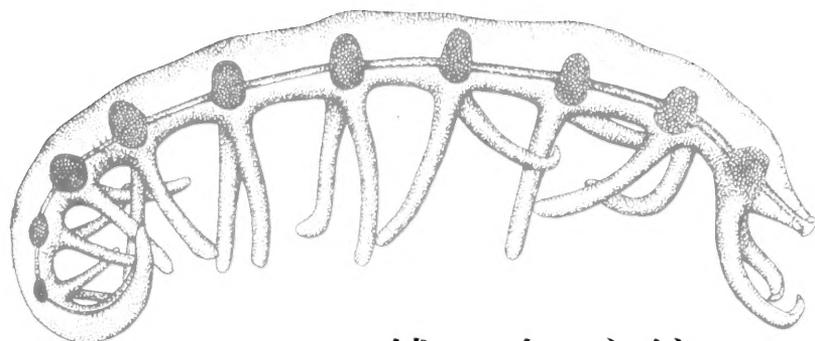
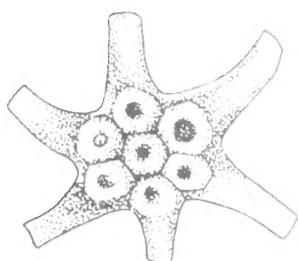
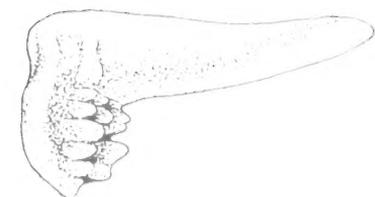
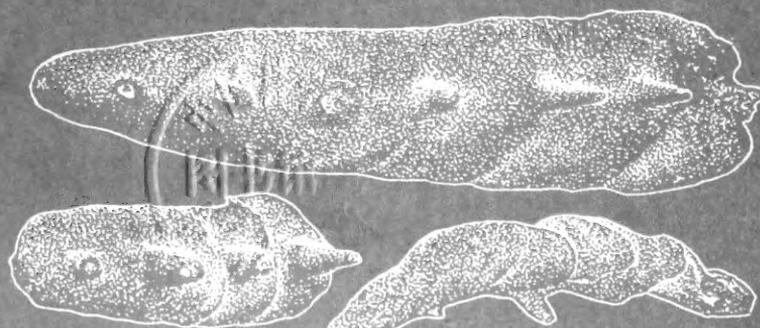
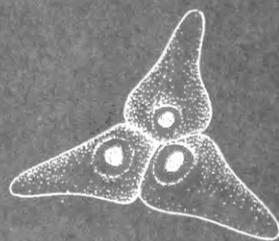
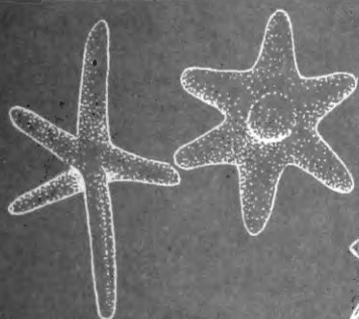


中国小壳化石分类学 与生物地层学



钱逸 主编

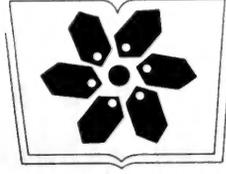


科学出版社

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Institute of Botany, CAS and Internet Archive

58.3233

809



中国科学院科学出版基金资助出版

国家自然科学基金委员会资助出版

中国小壳化石分类学 与生物地层学

钱逸 主编

国家自然科学基金资助项目



科学出版社

1999

中科院植物所图书馆



S0003967

内 容 简 介

本书介绍 20 年来我国小壳化石研究取得的进展,指出目前国内外小壳化石研究中普遍存在的疑难问题,并提出可行的解决办法。通过小壳化石形貌特征、功能形态、壳壁成分、结构构造、保存方式、矿化作用及沉积环境等方面的综合研究,论证这些疑难化石的生物亲缘、系统分类与分类位置,提出带壳动物突发的机理和早期演化规律,提供小壳化石在寒武纪早期生物地层划分对比中的新证据,讨论了小壳化石埋葬学特征,勾画了小壳化石生物地理分区和古生态,剖析了前寒武纪与寒武纪过渡时期发生的各种地质事件对寒武纪生物大爆发的影响。

本书不仅适用于国内外小壳化石专业工作者,也适用于广大地质古生物工作者和高等院校相关专业师生。

图书在版编目(CIP)数据

中国小壳化石分类学与生物地层学/钱逸主编.-北京:科学出版社,1999

ISBN 7-03-007599-4

I. 中… II. 钱… III. ①动物化石,小壳-分类-中国②动物化石,小壳-地层-中国 IV. Q915.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 19291 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1999 年 11 月第一次印刷 印张:16

印数:1-800 字数:366 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

主 编 钱 逸

作 者 钱 逸 陈孟莪 何廷贵 朱茂炎

尹恭正 冯伟民 徐均涛 蒋志文

刘第壖 李国祥 丁莲芳 茅永强

肖 兵



前 言

长期以来,古生物学者普遍认为无脊椎动物各门类最早出现于寒武纪筳竹寺期之后的各个时期。40年代初,在我国前三叶虫地层中首次发现了“带硬壳的软舌螺化石”(王鸿祯,1941)。至70年代中期,随着我国化学处理方法的突破,在我国寒武纪第一个阶——梅树村阶(钱逸,1977)发现了大量的、门类众多的带壳动物化石,由于大多生物亲缘不明,又具“微小”和“带壳”的共征,我们沿用了英文“small shelly fossils”(Matthew and Missarzhevsky, 1975),小壳化石一名便被国内外专业古生物工作者广泛引用。

自此以后,我国小壳化石学科的研究获得了迅速发展,大体可分三个阶段:① 70年代至80年代初,小壳化石处于初期探索阶段,主要是大量采集、处理和粗略的形态描述。主要代表作的作者有钱逸(1977,1978a,b),钱逸等(1979,1984a,b),陈孟莪(1977,1979a,b,1982),余汶(1979),刘第墉(1979),蒋志文[(1980a,b,1982(见罗惠麟等)],何廷贵[1980(见殷继成等),1984],岳昭[1984(见邢裕盛等)],钱建新和肖兵(1984),周本和和肖立功(1984)等。截止1985年,我国小壳化石共发表论文112篇,描述了191属471种(Qian Yi, 1989),其中还未包括软体动物60属123种(Yu Wen, 1987)。② 80年代中期至90年代初,小壳化石研究处于总结提高阶段,这一时期广泛地引进种群和骨片系概念,修订和合并大量属种,并开始从事壳壁微细结构和壳质成分的研究,通过研究确认了小壳化石中有8个已知动物门,即最早期的软舌螺动物门(Hyolitha)、软体动物门(Mollusca)、腕足动物门(Brachiopoda)、环节动物门(Annelida)、腔肠动物门(Coelenterata)、海绵动物门(Porifera)、节肢动物门(Arthropoda)、棘皮动物门(Echinodermata)和9个分类未定的自然类别:腔骨类(coeloscleritophorans)、织金钉类(zhijinitids)、托莫特壳类(tommotiids)、拟骨状壳类(paracarinachitids)、开腔骨类(chancelloriids)、牙形状化石(conodont-like fossils)、球状化石(globular fossils)、帽状化石(cap-like fossils)和管状化石(tubular fossils),以及一批至今未能归入某一个门纲目科的属种。这一时期的特点是我国小壳化石开始与国际合作研究(Qian Yi and Bengtson, 1989; Conway Morris and Chen Meng'e, 1989, 1990, 1991, 1992),国内代表作作者有何廷贵(1987),武其彻和蒋志文(1989),岳昭(1986a,b, 1988, 1990, 1991, 1992),余汶(Yu Wen, 1987),刘第墉(Liu Diyong, 1987),钱逸(Qian Yi, 1989)。③ 90年代以来小壳化石研究处于新理论、新方法的探索和加深研究阶段。这里包括国家自然科学基金资助项目“小壳化石分类学与生物地层学”和“小壳化石埋葬学与古生态学的研究”(钱逸等,本书);国际合作研究项目:球状化石胚胎学研究(Bengtson and Yue Zhao, 1997)和锥石类壳壁超微结构的研究(钱逸等,1997);国外学者利用中国材料独立进行的骨片系复原探索性研究(Bengtson, 1992; Conway Morris and Chapman, 1996, 1997)。这一时期,国内外学者从不同角度、用不同方法来探索如何加深小壳化石分类学的研究,以期完整地揭示长期以来令人迷惑不解的寒武纪大爆发之初出现的全部生物内容。

我国是世界上产小壳化石最丰富多样的国家,在解决小壳化石分类学与生物地层学

方面具有得天独厚的条件。在这样的前提下,我们有幸得到国家自然科学基金的资助,本书就是国家自然科学基金资助项目(No:48970075 和 No:49472081)的主要成果之一,第一个项目主要完成了小壳化石分类学与生物地层学研究论文手稿,第二个项目是在第一个项目研究的基础上加深研究、修改补充,并重点对小壳化石埋葬学和古生态学进行野外和室内工作,侧重于理论上的总结和提高。

本书章节和提纲内容由钱逸设计,分别请如下诸位同仁撰写,最后由钱逸汇总完成。现将各章节的主要执笔者分列如下:

钱逸:前言、第一章第一、四、五、七、九、十节,第四章第二节,第五章第一节以及参考文献、属种名索引、英文摘要;

冯伟民:第一章第二节;

刘第壖:第一章第三节;

陈孟莪:第一章第六、八、十一、十二、十三节和第五章第二、三节;

朱茂炎:第二章;

尹恭正:第三章第一、二、四、五节;

何廷贵:第三章第三、六节和第四章第一节。

张师本、杨暹和、段承华、陈忆元、岳昭、李勇、解永顺曾提供了他们历年发表的描述和图片,其中何廷贵、解永顺提供首次描述的新属种和图片,李勇、李中平、裴放、周天荣、张树森提供部分小壳化石标本,有关图版及古生物描述将在以后陆续发表。本书初稿完成后,徐均涛、肖兵、丁莲芳、茅永强、李国祥在各有关章节中提供了部分资料或修改意见。

本项目实施过程中,得到该项目顾问中国科学院院士郝诒纯教授、中国科学院南京地质古生物研究所张文堂、曹瑞骥、徐均涛研究员和中国地质科学院地质研究所邢裕盛研究员各方面的关心和支持。此外,本项目还得到教育部留学归国基金、塔里木生物地层地质演化古生物项目和中国科学院南京分院分析测试补助项目的少量资助,以及国家科学技术部基础性工作专项经费的支持。E. L. Yochelson和 B. D. Erdtmann 两教授帮助修改英文摘要。任玉皋、杨荣庆、陈锦云绘制插图,张小弘、卓二军打印稿件,在此一并致以衷心的感谢。

目 录

前 言	钱 逸(i)
第一章 小壳化石分类与演化	钱 逸 陈孟莪 冯伟民 徐均涛 刘第墉(1)
第一节 软舌螺的分类与早期演化	(1)
第二节 早期软体动物的分类与演化	(6)
第三节 最早期的腕足类化石	(19)
第四节 原始锥石类的分类与早期演化	(22)
第五节 早寒武世海绵骨针类型和海绵体化石	(27)
第六节 棘皮动物骨板	(31)
第七节 原牙形类和牙形状化石	(31)
第八节 论具腔骨片类	(35)
第九节 再论近骨状壳类	(46)
第十节 钉形化石织金钉类和寒武钉类	(49)
第十一节 托莫特壳类	(52)
第十二节 球形化石	(54)
第十三节 阿纳巴管类	(56)
第二章 小壳化石保存、壳壁成分和显微构造	朱茂炎 钱 逸 蒋志文 何廷贵 茅永强(60)
第一节 主要小壳化石类别保存状态、壳壁成分和显微构造	(60)
第二节 小壳化石保存方式	(67)
第三节 小壳化石成岩作用与壳壁显微构造	(69)
第四节 小壳化石成岩作用和壳壁原始矿物成分的辨别	(69)
第五节 早寒武世磷质小壳化石层的埋葬过程	(70)
第六节 小壳化石埋葬研究的古生物学和地层学意义	(71)
第三章 小壳化石的地质地理分布兼论早寒武世地理分区	尹恭正 何廷贵 钱 逸 肖 兵(73)
第一节 小壳化石的地质地理分布	(73)
第二节 中国早寒武世各古地理区沉积特征和小壳化石组合特征	(103)
第三节 扬子区梅树村早中期沉积相与古地理变化	(108)
第四节 早寒武世小壳动物群古生态	(115)
第五节 中国早寒武世小壳动物群的生物地理分区	(117)
第六节 扬子区梅树村期小壳动物群的空间分布	(119)
第四章 国际前寒武系-寒武系界线层型评述及早寒武世地层划分和洲际对比	

.....	何廷贵 钱逸 陈孟莪 丁莲芳	(124)
第一节	国际前寒武系-寒武系界线层型评述	(124)
第二节	下寒武统的划分和国内外的对比	(139)
第五章	寒武纪生物大爆发与地质事件	陈孟莪 钱逸 李国祥 (162)
第一节	梅树村期小壳动物群的发生与盛衰	(162)
第二节	寒武纪生物大爆发的地质背景以及晚前寒武纪至寒武纪过渡时期的 地质事件对早期生物演化的影响	(168)
第三节	寒武纪生物大爆发的生物学意义	(172)
参考文献		(178)
属种名索引		(195)
英文摘要		(209)

第一章 小壳化石分类与演化

第一节 软舌螺的分类与早期演化

据 150 年的研究资料累计,软舌螺已建立 1 门 2 纲 2 亚纲 2 超目 11 目 6 亚目 8 超科 55 科 201 属和 845 种(表 1-1)。由于资料零散,分类混乱,原始属种过多,长期以来被认为是古生物门类中难以掌握和鉴定的一个古老门类。经笔者系统修订整理,提出了一个新的软舌螺分类方案(钱逸、肖立功,1995),这个分类方案中软舌螺是门一级的分类地位,根据有无口唇划分出二个纲,即软舌螺纲(Hyolithimorpha)和直管螺纲(Orthothecimorpha)。在直管螺纲中根据有无背腹之分,分成两个目,即背腹不分、壳面浑圆过渡的 Circothecida 和背腹分明的 Orthothecida。前者根据壳形、横切面和始部特征分 4 个科,即壳口圆形、口缘平直或微斜的锥状壳 Circothecidae,壳口椭圆形的 Turcuthecidae,口平、管体狭长的 Spinulithecidae 和始部肿大的 Paragloborilidae。后者根据背腹缘的形态分 6 个科,即腹平背凸的 Allathecidae,腹凹背凸的 Novitatidae,三角锥形的 Orthothecidae,横切面透镜形的 Isitithecidae,横切面多边形、边棱高脊状的 Tetrathecidae 和具尖脊状背中轴和腹面内凹的 Gracilithecidae。软舌螺纲根据背腹界线与侧缘是否吻合分成两个目,即背腹界线与侧缘吻合的 Sulcavitida 和不吻合的 Hyolithida。前一目根据背腹缘形态分成 10 个科:背腹缘近于对称的 Sulcavitidae;背缘凸三角和腹缘平凸的 Linevitidae;具梯形背缘的 Trapezovitidae;兼有背唇和腹唇的 Parakorilithidee;口斜、微有腹唇的 Aimitidae;背面或者还有腹面布满密集纵线的 Pauxillitidae;背中轴尖脊状的 Angusticornidae,腹面平坦,背面半圆,无背中轴的 Notabilitidae;口盖主突起呈马鞍形和盖顶低于盖缘的 Parentilitidae 和腹面内凹的 Cardiolithidae。后一目仅有一个科 Hyolithidae(图 1-1)。修订后的软舌螺分类是 1 门 2 纲 4 目 21 科 155 属(表 1-1)。

我国寒武纪软舌螺比较丰富多样,近 20 年来已有不少报道,早寒武世特别是早寒武世早期的软舌螺主要分布在扬子区,早寒武世中晚期和中晚寒武世的软舌螺主要分布在华北和东北区,奥陶纪以后的古生代各纪虽在野外有零星的软舌螺化石发现,但均未正式报道。

到目前为止已描述我国的软舌螺 54 属 112 种,其中早寒武世 36 属 79 种,中寒武世 22 属 41 种,晚寒武世 4 属 6 种,奥陶纪 2 属 2 种(钱逸、肖立功,1995,表 14-19)。

中国寒武纪软舌螺可以分出 7 个不同的演化阶段(表 1-2,图 1-2):

第一阶段在梅树村早期,软舌螺全部属于圆管螺目,锥壳小,口平,横切面圆形或椭圆形,装饰全由单一的横向生长线组成,如 *Conotheca*, *Kunyangotheca* 等。

第二阶段在梅树村中期,软舌螺仍以圆管螺目为主要代表,如始部呈水滴状肿大的 *Paragloborilus*,但也开始出现了一些背腹分异度低的直管螺类,如异管螺科的 *Platycircotheca*, *Heterosculpotheca*。

第一、二阶段的软舌螺化石主要分布在扬子区含磷岩系，典型产地是云南晋宁梅树村中谊村段磷矿层。

表 1-1 全球软舌螺分类数字统计
Table 1-1 Global statistical figure of hyoliths classification

门	纲	超目	目	亚目	超科	科	属	种	
Hyoilitha	Orthothecimorpha	Exilithecioidea	Circothecida	Exilithecida	Istithecoidea Orthothecoidea Tchuranthecoidea	Circothecidae	Larawoidea		
						Turcuthecididae	Exentithecidae		
						Paragloborilidae			
						Allathecidae	Exilithecidae		
						Fistulosithecidae	Curithecidae		
						Chelsonellidae	Tchuranithecidae		
						Novitidae	Decorithecidae		
						Gracilithecidae			
						Orthothecidae			
						Isitithecidae	Lentithecidae		
							Nikathecidae		
						Tetrathecididae	Obliquathecidae		
							Aldanothecidae		
						Sulcavitidae	Tulenicomidae		
							Altaicomidae		
						Aimitidae			
						Angusticomidae	Similothecidae		
						Parakorilithidae			
						Trapezovitidae	Galicornidae		
							Amydaicornidae		
						Linevitidae	Inflaticornidae		
							Nelegerocornidae		
						Notabilitidae	Doliutidae		
							Crestjahitidae		
						Pauxillitidae	Dorsojugatidae		
						Cardiolithidae	Cardicornidae		
						Parentilitidae	Atdabanitidae		
						Hyoilithidae	Vagicornidae		
						Hyoilithellidae			
						Torellidae			
						Ceratothecidae			
						Barrandithecidae			
						Mattheviidae			
						Globorilidae			
						Diplothecidae			
						Camerothecidae			
						Pterygothecidae			
						Mathevena			
						Diplothecina			
						Camerothecina			
1	2	2	11	6	8	(修订前的数目)	55	201	845
1	2		4			(修订后的数目)	21	155	

注：打黑框者表示被废弃的软舌螺分类级别。

门	纲	目	科
1	2	4	5, 6, 7, 8
		9	10, 11, 12, 13, 14, 15
	3	16	17
		18	19, 20, 21, 22, 23
			24, 25, 26, 27, 28

图 1-1 软舌螺纲、目、科分类示意图

Fig. 1-1 Sketch map showing class, order and family in hyoliths classification
 1. Hyolitha; 2. Circothecimorpha; 3. Hyolithimorpha; 4. Circothecida; 5. Spinulithecidae; 6. Circothecidae; 7. Paragoborilidae; 8. Turcuthecidae; 9. Orthothecida; 10. Allathecidae; 11. Orthothecidae; 12. Novitatidae; 13. Tetrathecidae; 14. Isitithecidae; 15. Gracilithecidae; 16. Hyolithida; 17. Hyolithidae; 18. Sulcavitida; 19. Sulcavitidae; 20. Aimitidae; 21. Angusticornidae; 22. Parakorilithidae; 23. Parentilitidae; 24. Trapezovitidae; 25. Linevitidae; 26. Notabilitidae; 27. Pauxillitidae; 28. Cardiolithidae

年代地层单元			演化阶段	岩石地层单元			
统	阶	带		云南东部	山东长清	辽宁复州湾	
上寒武统	凤山阶	<i>Cambrolites gushanensis</i> 带 	VII		凤山组	凤山组	
	长山阶				长山组	长山组	
	崮山阶				崮山组	崮山组	
中寒武统	张夏阶	<i>Crestajaites delphus</i> 带 	VI		张夏组	张夏组	
	徐庄阶	<i>Cardiolites shandongensis</i> 带 			双龙潭组	徐庄组	徐庄组
	毛庄阶	<i>Circotheca inoadata</i> 带 			陡坡寺组	毛庄组	毛庄组
下寒武统	龙王庙阶				龙王庙组	馒头组	馒头组
	沧浪铺阶	<i>Yankongovitus quadragonum</i> 带 	V	沧浪铺组			碱厂组
		<i>Parakorilites mammilatus</i> 带 	IV				
	筓竹寺阶	<i>Microcornus parvulus</i> 带 	III	筓竹寺组			
		<i>Allathea degreeri</i> 带 					
	梅树村阶	<i>Neogloborilus applanatus</i> 带 	II	灯影组			
<i>Paragloborilus subglobosus</i> 带 							
<i>Conotheca subcurvata</i> 带 		I					
晚前寒武纪							

图 1-2 软舌螺动物的早期演化
Fig. 1-2 Early evolution of hyoliths

第三阶段在梅树村晚期和筇竹寺期,这一时期的软舌螺形态变化比较大,不仅出现具有口唇的代表,而且有的还具有复杂结构的软舌螺类口盖,如线带螺科的 *Microcornus*, *Burithes*, *Linevitus*, 还有 *Ambrolinevitus*, *Dipterygotheca*;同时还出现了无口唇的、背腹分异明显的异管螺科代表,如 *Allatheca*, *Ancheilotheca*。还有球状始部带刺的 *Neogloborilus*。该时期的软舌螺主要分布在川西、滇东梅树村晚期含磷碎屑岩系和鄂西北含磷白云岩。

第四阶段在沧浪铺早期,这一时期的软舌螺化石形态类型较多,既有圆管螺目的

表 1-2 中国寒武纪软舌螺属种组合序列表
Table 1-2 Association sequence of Cambrian hyoliths genera and species in China

年代地层	软舌螺属种组合	演化阶段			
奥陶系	<i>Batangithea</i> , <i>Dalmanithea</i> *				
上寒武统	凤山阶	" <i>Hyolithes</i> "? <i>daphnis</i>			
	长山阶				
	崧山阶	<i>Decorithea</i> , <i>Linevitus</i> , <i>Cambrolithes</i> *, <i>Anonymolitus</i> , <i>Paraexilithea</i>	VII		
中寒武统	张夏阶	<i>Shandongolithes</i> , <i>Tharatheca</i> , <i>Paraexilithea</i> , <i>Linevitus</i> , <i>Decorithea</i> , <i>Neuadotheca</i> *, <i>Novakotheca</i> *, <i>Crestjahitus</i>	VI		
	徐庄阶	<i>Allatheca</i> , <i>Aimitus</i> , <i>Platycircotheca</i> *, <i>Meitanovitus</i> , <i>Cardiolithes</i> *, <i>Anonymolitus</i> , <i>Mashanites</i> , <i>Platycircotheca</i> *			
	毛庄阶	<i>Conotheca</i> , <i>Crestjahitus</i> *, ? <i>Circotheca</i>			
下寒武统	龙王庙阶	<i>Circotheca mandingshanensis</i> , <i>Gyrazonatheca</i>	IV		
	沧浪铺阶	上组合		<i>Yankongovitus</i> *, <i>Doliutus</i>	V
		下组合		<i>Aimitus</i> , <i>Turcutheca</i> , <i>Decorithea</i> , <i>Crestjahitus</i> , <i>Linevitus</i> , <i>Conotheca</i> , <i>Spinulitheca</i> , <i>Lataitheca</i> , <i>Microcornus</i> , <i>Parakorilithes</i> *, <i>Decorithea</i> *, <i>Exilithea</i> *	IV
	筇竹寺阶	上组合		<i>Sulcavitus</i> , <i>Paracircotheca</i> *, <i>Trypanovitus</i> *, <i>Dipterygotheca</i> *, <i>Ambrolinevitus</i> *, <i>Ancheilotheca</i> , <i>Doliuthea</i> , <i>Neogloborilus</i>	III
		下组合		<i>Burithes</i> , <i>Adyshevitheca</i> , <i>Ambrolinevitus</i> *, <i>Paragloborilus</i> , <i>Doliutus</i> , <i>Aimitus</i> , <i>Allatheca</i> , <i>Linevitus</i> *, <i>Microcornus</i> , <i>Neogloborilus</i>	
	梅树村阶	IV组合		<i>Paraeonovitatus</i> *, <i>Conotheca</i> , <i>Neogloborilus</i> *	II
II-III组合		<i>Conotheca</i> , <i>Leibotheca</i> *, <i>Paragloborilus</i> *, <i>Lophotheca</i> , <i>Spinulitheca</i> , <i>Actinotheca</i> , <i>Platydorsotus</i> , <i>Gyrazonatheca</i> , <i>Heterosculpotheca</i> , <i>Loculitheca</i> , <i>Doliuthea</i> , <i>Turcutheca</i>			
I组合		<i>Conotheca</i> *, <i>Kunyangotheca</i> *, <i>Lophotheca</i> *	I		

* 最早出现的属。

Conothea, *Turcutheca*, *Spinulitheca*, 又有背腹分异的直管螺目的 *Exilitheca*, *Decoritheca*, 还有明显具腹口唇的 *Microcornus* 和背腹唇兼有的 *Parakorilithes*。此期最大的特征是出现了具腹凹的直管螺类 *Decoritheca* 和背腹唇兼有的 *Parakorilithes*。这一时期的软舌螺分布在华北、东北寒武系底部含磷岩系。

第五阶段在沧浪铺晚期, 这一时期的软舌螺演化上的特点是出现了有梯形横切面和粗纵脊纹饰的壳体, 如 *Yankongovitus*, 它们主要分布在贵州明心寺组的含磷岩系。

第六阶段在中寒武世, 主要分布在华北广阔的浅海相碳酸盐地层中。这一时期软舌螺个体增大, 数量最多, 但形态变化相对较小, 这与当时的沉积环境相对稳定有关。另外软舌螺的内容及其所含的壳体特征也有明显变化, 表现在以下四个方面: ① 圆管螺目和直管螺目的分子大大减少, 而有唇的线带螺科占了明显的优势地位, 如 *Nevadothea*, *Novakotheca*, *Linevitus*, *Crestjahitus*; ② 出现了具有口唇且腹凹的软舌螺类 *Cardiolithidae*, 如 *Shandongolithes*, *Cardiolithes*, *Liaoningolithes*; ③ 出现了背中轴浑圆、背两侧部不分的 *Notabilitidae* 科分子, 如 *Anonymolitus*; ④ 出现了背部带有皱纹状生长线和明显显示背两侧且具有大的 V 字形中央背缺凹的软舌螺分子, 如 *Linevitus* 和 *Crestjahitus*。

第七阶段在晚寒武世固山期, 主要分布在华北和东北浅海相石灰岩中, 软舌螺基本上继承了中寒武世软舌螺的形态特征, 但也出现了个别的特殊分子, 如背口缘具 V 字形大缺凹, 但背中轴浑圆, 不分背两侧部的 *Cambrolitus*。

中国奥陶纪软舌螺不少, 但很少有人注意寻找, 目前在晚奥陶世末期达尔曼层中普遍见有压平的软舌螺 *Dalmanitheca*, 这个属壳面具明显的纵横脊所组成的网格状纹饰。但是这种装饰类型, 最近在寒武纪末凤山期也有发现。

第二节 早期软体动物的分类与演化

1. 早期软体动物分类

自 70 年代我国开展对扬子区早寒武世早期软体动物化石研究以来, 先后有 17 位国内外学者研究发表论著约 40 篇。1987 年, 余汶 (Yu Wen, 1987) 系统总结了我国扬子区早寒武世早期软体动物群的分类, 提出了软体动物早期演化的新思路。余汶认为, 早期软体动物共有 61 种, 可归于 6 个纲: 多板纲、节壳纲、喙壳纲、单板纲、腹足纲、双壳纲及太阳女神螺类。但是, 这些化石材料主要取自于滇东、鄂西下寒武统。其中被归入多板纲的化石是否能归于多板纲, 钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989) 已经提出了质疑, 节壳纲是依据内核标本建立的新纲, 被归入单板纲的化石未发现肌痕, 因此早期软体动物究竟存在几个纲, 还有待于进一步证实。近年来, 我们在陕西、云南、四川等地又有新的软体动物发现 (软体动物系统古生物描述, 另文发表)。钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989) 着重对梅树村阶帽贝状化石进行了详细研究和讨论。在这些化石中, 除了 *Bemella*, *Archaeospira* 等少数属外, 大多数都难以归入哪个纲和目。本书在前人研究的基础上, 以更丰富的化石材料 (表 1-3), 结合近几年来国外的最新研究, 对扬子区早寒武世梅树村阶软体动物群的部分属种作了修订 (表 1-4), 并进行系统分类和演化研究, 目前可将其归于单板纲、腹足纲、双壳纲、喙壳纲及其未定类。这些化石分别产自滇东、鄂西、川西、川北、陕南。

表 1-3 本书对余汶 (Yu Wen, 1987) 材料的补充

Table 1-3 Classificatory supplements to Yu Wen's (1987) material in this book

单板纲	<i>Tigrinuconus erectus</i> He <i>Yochelcionella yunnanensis</i> He <i>Bemella liantuensis</i> (Yu) <i>Ilsanella orecta</i> (Jiang) <i>Tannuella retuses</i> Jiang <i>Tannuella</i> cf. <i>elata</i> Missarzhevsky <i>Mellopegma georgiensis</i> Runnegar et Jell <i>Mellopegma formosa</i> Xei
腹足类	<i>Archaeospira</i> cf. <i>sonlingpoensis</i> (Chen et Zhang) <i>Yunannospira multiribis</i> Jiang <i>Aldanella yangjiahensis</i> Chen <i>Uncinaspira pristina</i> He <i>Pelagiella emeishaensis</i> He
未定类	<i>Maikhanella pristinis</i> (Jiang) <i>Ramenta radularis</i> (Qian et Bengtson) <i>Purella squamulosa</i> Qian et Bengtson <i>Mobergella?</i> <i>bella</i> (He et Yang) <i>Emarginoconus mirus</i> Yu

表 1-4 对余汶 (Yu Wen, 1987) 分类的修订

Table 1-4 Revisions to Yu Wen's (1987) classification

余汶 (Yu Wen, 1987)	本 书
<i>Obtusconus paucicostatus</i> Yu <i>Obtusconus rostriptutea</i> (Qian)	<i>Obtusconus rostriptutea</i> (Qian)
<i>Anabarella?</i> <i>emeiensis</i> Yu	<i>Stenotheta emeiensis</i> (Yu)
<i>Helcionella?</i> <i>liantuensis</i> Yu <i>Archaeospira ornata</i> Yu <i>Archaeospira imbricata</i> Yu <i>Archaeospira</i> <i>Archaeospira regularis</i> (Jiang)	<i>Bemella liantuensis</i> (Yu) <i>Archaeospira ornata</i> Yu
<i>Lepidites emeiensis</i> Zhong	<i>Maikhanella multa</i> Zhegallo, 1982
<i>Cassidina pristinis</i> Jiang	<i>Maikhanella pristina</i> (Jiang)
<i>Macturites</i> <i>Cambrospira</i> <i>Tianzhushanospira</i>	标本太差, 仅一标本

(1) 单板纲

1) 几种分类观点回顾及评述

单板纲作为化石来描述已有一个多世纪了, 至今仍缺乏一个普遍可以接受分类。近二三十年来, 一些学者提出了几种具有代表性的单板纲分类。Runnegar 和 Pojeta (1980, 1985) 主张单板纲可以是一个较宽的概念, 除了传统的 Tryblidiacea 的 *Pilina*, *Tryblidium* 和 *Neopilina* 外, 它还包括 helcionellids, hypseloconids, bellerophontids, archinacellids, pelagiellids, turangiids 和 cyrtionellids。但是, 另有一些学者主张将不扭曲的

单壳类一分为二,较早提出这一观点的是 Horny (1965),他将单板纲分成二个亚纲,即背壳肌亚纲(Tergomya)和环肌亚纲(Cyclomya)。Tergomya亚纲包括经典的单板纲的Tryblidiacea等,Cyclomya亚纲主要由Archinacelloida和强烈卷曲的Cyrtonellida组成。这两个亚纲的主要区别在于肌痕圈与壳顶的关系,在Tergomya中壳顶处在背部肌痕的外侧,而在Cyclomya中壳顶处在背部肌痕圈内。Миссаржевский(1989)和Peel(1991c)几乎同年提出了各自新的观点,从分类内容上看,他们俩提出的分类有相似之处,但是,彼此的分类概念却截然不同(Peel,1991b, p. 30)。Миссаржевский(1989, c. 22)明确指出,只有具有成对肌痕的单板类才属于真正意义上的单板纲,对于大量不具有肌痕的单壳类,他主张归于他所新建立的始单板目Eomonoplacophora。他认为新目所包括的Helcionellidae, Securiconidae, Corespiridae, Mellopegmidae, Yochelcionellidae, Maikhanellidae, Khairkhaniidae, Ceratoconidae具有单板纲的形貌特征,如果不能证明上述的科属于软体动物的其他纲,那么显然应置于单板纲(Миссаржевский, 1989, c. 25)。Peel(1991c)正式提出了二个新纲:背壳肌纲Tergomya和太阳女神螺纲Helcionellida。他在回顾单板纲分类的混乱历史后,指出单板纲确是一个能在一般意义上涵盖各种各样不扭曲的软体动物单壳类的漂亮术语,但是术语可以涵盖很宽的面,不适于一个纲的范畴,故建议取消单板纲名称(Peel, 1991b, p. 17)。他主张以Tergomya纲取代传统的单板纲。被Peel提出的Tergomya纲相当于Horny(1965)提出的Tergomya亚纲,相当于Harper和Rollins(1982)提出的狭窄的单板纲概念。该纲包括三个目:Cyrtonellida, Tryblidiida, Hypseloconida。虽然Runnegar和Pojeta(1985)归于Helcionellida目的Helcionellida, Yochelcionellida, Stenotheoida,被Peel(1991b, p. 31)看作是新纲Helcionellida的范围,但Peel却没有对新纲Helcionelloida作进一步的划分。Peel的分类主要是基于功能形态特征的分析,Tergomya亚纲被看作是外腹式的螺旋型,即壳顶在前侧,壳体向后扩张,进水管在前端,出水管在后侧部;Helcionellida的属内腹式的螺旋型,即壳顶在后侧,壳体向前扩张,进水管在壳体两侧,出水管在壳后缘中央(Peel, 1991c, fig. 4)。余汶(Yu Wen, 1987)提出的单板纲分类接近于传统的单板纲分类,但补充了许多中国扬子区早寒武世早期的单板纲分子,如Yangtzeconus Yu, Eosoconus Yu, Actinoconus Yu, Archaeotremaria Yu, Granoconus Yu。余汶认为这些属一般都具有肌痕或特殊的气孔构造。余汶的单板纲包括三个目:Yangtzeconioidea, Tryblidiida, Archinacelloidea和一个超科Archaeotremariacea(表1-5)。至于太阳女神螺类,余汶认为它是一个与单板纲有密切关系的独立类群。

表 1-5 国内外学者对单板纲目级分类的比较

Table 1-5 Comparison on classification of Monoplacophora at order levels

Runnegar (in Bengtson et al., 1990)	Peel(1991a)	Миссаржевский (1989)	余汶(Yu Wen, 1987)	本书
Cyrtonellida	Tryblidiida	Tryblidiida	Yangtzeconioidea	Yangtzeconioidea
Tryblidiida	Cyrtonellida	Eomonoplacophora	Tryblidiida	Tryblidiida
Pelagiellida	Hypseloconida		Archinacelloidea	Hypseloconida
Bellerophontida			Archaeotremariacea	Cyrtonellida
				Archaeotremariacea

尽管现生单板类的软组织研究早已确定了单板纲的定义和它在软体动物门中的位置,但是面对早寒武世早期出现的各种各样的单板类化石,许多学者的观点仍是仁者见仁,智者见智。Horny (1965) 试图从肌痕与壳顶的关系将单板纲划分为背壳肌亚纲(Tergomya)和环肌亚纲(Cyclomya)。但是 Cyclomya 亚纲具有壳顶处在肌痕圈中的特征,与腹足类蛭类相同(Peel, 1991b, p. 21, fig. 13E),因而未能被 Staribogatov(1970), Runnegar 和 Jell (1976), Runnegar 和 Pojeta (1985)所接受。该亚纲中 Cyrtonellida 被 Peel 转移到 Tergomya 纲中,而 Archinacellida 则被 Staribogatov (1970), Harper 和 Rollins (1982), Yochelson (1988) 和 Peel(1990, 1991)看作是腹足类。即使这样, Horny 的分类方法和坚持以肌痕来鉴别单板纲的观点对后来的分类仍有很大影响。Runnegar 和 Pojeta (1974, 1985)几乎将早寒武世早期不扭曲的所有单壳类都归入单板纲,这一分类观点遭到了坚持狭义单板纲观点的 Wingstrand (1985) 和 Peel (1991b,c)的激烈反对。虽然,本书对 Runnegar 的这一分类也持不同的看法,但仍然认为 Runnegar 从谱系演化的整体角度,着重于壳形和功能来分析具肌痕的单壳类和不具肌痕的单壳类之间的亲缘关系,对于避免将具肌痕的单壳类与不具肌痕(很可能暂时没有发现)的单壳类绝对分开的倾向具有重要现实意义。Миссаржевский(1989)为了纯洁传统的单板纲,将所有未发现肌痕的单壳类归入 Eomonoplacophora,却将此目置于单板纲。但此分类未被 Peel (1991b, p. 30)所接受, Peel (1991b,c)的分类实际上是 Horny(1965), Harper 和 Rollins (1982), Yochelson (1978)观点的结合。Yochelson 在 1978 年讨论软体动物早期演化时就提出, Helcionellida 可能是一个独立的新纲,可惜 Peel 等都没有提出 Helcionellida 的详细分类。从总的分类模式看,余汶的分类与 Peel 的分类很相似。余汶也将早寒武世早期的不扭曲单壳类分成二部分:单板纲和未定纲目的太阳女神螺科 Helcionellidae 和窄壳螺科 Stenothecidae。

总之, Horny (1965), Миссаржевский(1989), Runnegar 和 Pojeta (1974, 1985), Runnegar (见 Bengtson et al., 1990)虽然在具体分类上区别较大,但都归属于单板纲。Peel (1991b,c), Yochelson (1978), Yu Wen(1987)则主张将一部分单壳类,即太阳女神螺类作为非单板纲的独立分类单位。

2) 本书的单板纲分类

根据中国早寒武世早期软体动物化石材料,比较前人的各种分类意见,本书倾向于采纳较宽的单板纲概念。因为从经典的单板纲壳形变化上看,既有低笠形、匙形的 tryblids,也有高锥形的 hypseloconids,那么,壳形特征与单板纲定义相吻合,且介于 tryblids 和 hypseloconids 壳形变化之间的 helcionellids 也应归于单板纲。正如 Миссаржевский(1989, c. 25)所确信的,包括 helcionellids 在内的具有单板纲形态特征的种类,如果它不是帽状腹足类的话,其唯一可能归于的纲就是单板纲。Runnegar 和 Pojeta (1974)的研究表明,从 *Helcionella* 经过 *Bemella*, *Ilsanella*, *Tannuella* 到 *Scenella* 在外形上是一个渐变的过程,而 *Scenella* 经 Rasetti (1954, pl. 12, fig. 5), Runnegar 和 Pojeta (1985, fig. 11) 研究,发现有许多实际上两侧对称的肌痕。Runnegar 还指出 *Anabarella* 的壳形介于较典型的寒武纪单板类,如 *Helcionella*, *Latouchella*, *Igorella* 与产于法国早寒武世的最原始的喙壳类 *Heraultia* 之间,而起源于 *Anabarella* 的 *Heraultia* 的后裔并未提供扭曲的证据,这些都间接证明了像 helcionellids 的分子没有经历扭曲,

很可能具有已经破坏了的肌痕。但是,主张单板纲较窄范畴的学者在处理 helcionellids 的分类时往往采用下列两种方法:一是建立了新纲,如 Peel(1991b)将 helcionellids 作为一个独立的纲,但纲以下缺乏具体的分类 (Peel, 1991b, c), 另一个则将 helcionellids 作为未定纲、目 (Yu Wen, 1989)。另外,本书将 Runnegar 归入单板纲的 archinacellids, pelagiellids 和 bellerophontids 看作是腹足类。

余汶 (Yu Wen, 1987) 提出的单板纲包括 3 个目, 1 个超科, 即 Yangtzeconioidea, Trybliidiida, Archinacelloidea 和 Archaeotremariacea。本书除了以 Hypseloconida 替代 Archinacelloidea 外, 还补充了 Cyrtonellida。下面将我们的分类 (4 目 1 超科) 简述如下:

扬子目 Yangtzeconioidea Yu, 1979 此目为余汶 1979 年根据中国扬子区早寒武世早期新发现的单板纲分子建立的。该目的特征是壳体小, 方锥形、帽形, 具一对粗大肌痕, 壳顶钝圆, 悬于前端, 壳口椭圆或亚圆形, 壳面饰有生长线、脊。该目包括 1 科 2 属, 即 Yangtzeconidae 科和 Yangtzeconus 与 Huangshadongconus 两属。

罩螺目 Tryblidrida Lemche, 1957 这是单板纲中最典型的 1 个目, 本书有 2 个科归入该目, 即 Scenellidae 科和 Trybliidiidae 科。除了 Scenella 为经典的单板纲的属外, Actinoconus Yu, Spatuloconus Yu, Eosoconus Yu, Latirostratus Yu 均为中国扬子区早寒武世早期发现的属。对于 Scenella 属, Yochelson 和 Gil-Cid 1984 年曾提出过该属不是单板类, 而是一个内韧 (chondrophore), 但 Peel (1991b, p. 31) 认为这一观点没有得到证实。

高锥目 Hypseloconida Peel, 1991 此目具壳体高, 稍弯曲等特征。现有 2 个科: Hypselconidae 和 Yochelcionellidae, 前者包括 Obtusoconus Yu, Tigrinuconus He 和 Pollicina Holzappel, 后者仅有 Yochelcionella Runnegar et Pojeta。余汶主张这 2 个科归入 Archinacelloidea 目, 实际上, 此目已被许多学者 (Starobogatov, 1970; Harper and Rollins, 1982; Yochelson, 1988; Peel, 1991b, c) 看作腹足类。因为 Archinacella 的肌痕类似于腹足类 *Metoptoma* Philips 或 *Lepetopsis* Whitfield 近顶部的后肌痕。

钥孔蠃超科 Archaeotremariacea Yu, 1979 此超科显著特征是具有管孔状结构, 包括 2 个科: Archaeotremariidae 和 Muttifariidae。其中 Archaeotremaria Yu, Granoconus Yu 和 Cambroconus Yu 三属目前仅发现于我国早寒武世早期。Dzik (1981) 认为 Archaeotremaria Yu 与 Yochelcionella Runnegar et Pojeta 有密切的关系, 但余汶认为这需要更多的化石材料来证实 (Yu Wen, 1987)。

弓锥目 Cyrtonellida Horny, 1963 此目主要是一些平旋的螺壳, 包括 3 个科: Helcionellidae Wenz, 1938, Stenothecidae Runnegar et Jell, 1980 和 Coreospiridae Knight, 1952。该目各科、属原被余汶 (Yu Wen, 1987) 看作单板纲之外的独立分类群。Runnegar 和 Jell (1976), Runnegar (见 Bengtson et al., 1990) 曾将大量的科属归入 Cyrtonellida 目, 如 Helcionellidae, Scenellidae, Palaeacmaeidae, Yochelcionellidae, Procarinariidae, Hypseloconidae, Cyrtolitidae。其中, 本书将 Scenellidae 归入 Trybliidiida, Yochelcionellidae 和 Hypseloconidae 归入 Hypseloconida。Миссаржевский (1989) 建立的 Eomonoplacophora 目中包括了本书 Cyrtonellida 的部分科, 但是科内属级分类变化较大。被 Миссаржевский 归入 Helcionellidae 的 *Aegides* Jiang, *Purella* Missarzhevsky, *Canopocous* Jiang 和归入 Maikhanellidae 的 *Maikhanella* Zhegallo, *Cassidina* Jiang, *Ramenta* Jiang 均

具有特殊的壳饰构造,本书将在下文对这一类群专门进行讨论。

(2) 喙壳纲

Heraultipegma 在梅树村阶分布广泛,见于滇东中谊村段,鄂西黄鳊洞段,川西麦地坪段等(钱逸等,1979;蒋志文,见罗惠麟等,1982;何廷贵、杨暹和,1983)。尤以滇东会泽大海大海段上部最为丰富。*Heraultipegma* 的壳体微小,构造简单,个体数量异常丰富,常堆积成层,成为该地区大海段上部的标志层,也是我国喙壳类演化初期的代表。

(3) 双壳纲

近 20 年来,寒武纪双壳化石研究有了新进展,发现一些新属种。例如,俄罗斯西伯利亚地台下寒武统阿特达班阶发现有 *Fordilla siberica* Krasilova, 1977, 澳大利亚南部 Yorke 半岛下寒武统 Parara 灰岩层下部见 *Pojetaia runnegari* Jell (1980) 以及新西兰 Nelson 西北部中寒武统 Tasman 组所产的 *Tuarangia paparna* Mackinnon (1982)。在国内,张仁杰(1980)首次报道了湖北咸丰下寒武统天河板组双壳纲化石,化石个体大,长 7—15mm,时代相当于沧浪铺期乌龙筓亚期。1985 年余汶报道了梅树村阶灯影组中谊村段一个可疑双壳类化石 *Yangtzedonta*。这一发现不仅使“扬子微型软体动物群”增加了一个重要成员,也为探讨软体动物门,特别是双壳类的起源、演化提供了新的资料(余汶,1985, 402 页)。毫无疑问, *Yangtzedonta* Yu 是目前世界上发现的最古老的双壳类。它将前人一度认为的双壳类是从奥陶纪或中寒武世才出现的,提前至寒武纪最早期。在这之前,余汶等(1984)曾报道了陕西洛南下寒武统辛集组软体动物化石,其中有首先在南澳大利亚 Yorke 半岛下寒武统 Parara 灰岩层发现的 *Pojetaia* Jell, 但没有对该属作详细的研究。几乎同时,该属在河南辛集组又被发现(何廷贵、裴放,1985)。1986 年,李玉文和周本和对安徽霍丘雨台山组和淮南凤台烟灯山的相应层位中双壳类 2 属 4 种(其中 1 新属 3 新种),即 *Pojetaia runnegari* Jell, *Pojetaia elliptica* Li et Zhou, *Jellia elliptica* Li et Zhou 进行详细研究。雨台山组和辛集组的双壳类壳体小,保存好,数量丰富,它们在我国华北地台南缘沧浪铺期早期有广泛分布,与澳大利亚 Parara 灰岩层双壳类的形貌很相似,充分说明双壳类进入初次辐射演化阶段,具有洲际地层对比的重要意义。

(4) 腹足纲

腹足纲壳体最显著的特征是单壳、螺旋、不对称。但是不对称的螺旋单壳是否就是腹足类呢?从化石的角度看,鉴定是否腹足类并不是一个简单的事。Runnegar(见 Bengtson et al., 1990)认为 *Bellerophora* 和 *pelagiellids* 是单板类, Morris (1990, p. 86)在讨论中国梅树村阶的 *Archaeospira* Yu, *Yangtzespira* Yu, *Hubeispira* Yu 时,认为这些属可能是外腹型的和不扭曲的,且与单板纲相平行的类群。Peel (1991b, p. 58)则认为 *Archaeospira* 是内腹型的 *helcionellids*。他们认为壳口稍偏离壳体是壳体的突然膨大造成的(Peel, 1991b; Morris, 1990), Runnegar (见 Bengtson et al., 1990)还从 *Pelagiella* Matthew 的内模标本残留的模糊肌痕的排列规律,推测 *Pelagiella* 没有经过明显的扭曲。但是,本书以为从谱系演化上看,单板纲中螺旋程度较高且对称平旋的 *Latouchella*

Cobbold 一般被看作腹足类的祖先 (Peel, 1991b), 在它 与人们习见的腹足类之间似应存在过渡类型。而中国早寒武世早期梅树村期 *Archaeospira*, *Yangtzespira*, *Aldanella* 具有壳体小、低矮、平旋、螺环少、壳口大、略下降、壳饰简单等特征, 既显示了腹足类的原始特征, 亦与 *Latouchella* 有很大的相似性。如果它们的壳体不是因为软体扭曲而是因为突然膨大造成壳口稍偏离壳体, 那么, 这种壳口偏离应该是随机的。事实上, 所有的 *Archaeospira* 个体无一例外地显示了左旋的特征, 而 *Aldanella* 的个体则显示了右旋的特征, 显示了它们演化上具内在的规律性。因此在目前缺乏充分证据的情况下, 说明这些属是单板纲或相应的类群而不是腹足纲, 只会模糊单板纲和腹足纲的区别, 给分类工作带来混乱。

经统计, 世界上已研究报道的寒武纪腹足类约 20 属, 其中半数以上在亚洲, 绝大多数发现在中国。Walcott (1913, 1920) 最早报道了我国山东寒武纪 *Straparollina* Montfort 属。此后, 在东北南部上寒武统凤山组和华北地区寒武系, 又发现了 *Matherellina* Kobayashi, *Scaevogyra* Whitfielt 等属种 (Kobayashi, 1933, 1939; Endo and Resser, 1937)。70 年代后期, 中国最重要的寒武纪腹足类动物群在扬子区下寒武统梅树村阶被发现 [余汶, 1979, 1981, 1987; 何廷贵 (见殷继成等, 1980); 蒋志文, 1980; 罗惠麟等, 1982]。这个腹足类动物群既有左旋型的 *Archaeospira*, 也有右旋型的 *Hubeispira* Yu, *Aldanella* Vostokova, *Uncinaspira* He, *Yunnannospira* Jiang, 还有特殊壳形的 *Yangtzespira*。其中, *Aldanella* 是一个分布最广的早寒武世腹足类, 此属广泛分布于美国马萨诸塞州, 加拿大纽芬兰, 波兰, 俄罗斯西伯利亚地台和蒙古等地下寒武统, 也见于我国湖北宜昌、陕西宁强等地区下寒武统 [陈平, 1984; 岳昭 (见邢裕盛等, 1984); Yu Wen, 1987]。*Archaeospira* 是个体数量很丰富的腹足类, 也是梅树村阶软体动物第二化石组合的主要分子 (Yu Wen, 1987)。80 年代早期, 中国又一重要寒武纪腹足类动物群在华北地台南缘下寒武统沧浪铺阶下部辛集组和雨台山组被发现 (何廷贵等, 1984; 周本和、肖立功, 1984)。虽然只有二个属: *Xinjispira* Yu, *Auriculaspira* He et Pei, 但是 *Auriculaspira* 个体数量之多, 使它在该层位软体动物组合中占有绝对的优势。更具有重要意义的是, *Auriculaspira* 也是澳大利亚 Parara 灰岩层软体动物组合中的重要分子。因此, *Auriculaspira* 属被看作是对比洲际地层, 探讨早寒武世古地理的重要分子之一 (裴放, 1985; 余汶、戎治权, 1991; 冯伟民等, 1994)。

(5) 未定类

中国早寒武世早期软体动物中有一个引人注目的特征类群。这一类群包括的属种类型很多, 虽然壳形与单板纲相似, 但多数人 not 把它们放在单板纲或软体动物其他已知各纲中, 如余汶 (Yu Wen, 1987); 钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989) 将它们放在未定的类群中, 尤其是钱逸和 Bengtson (1989) 根据这一大类中不同的壳饰构造分出了二大类群, 即具鳞片状壳饰的类群和具颗粒状壳饰的类群。其中最古老的分子 *Maikhanella pristinia* 出现于最早的小壳化石层位, 它的进一步研究对于探讨软体动物早期演化有着重要的意义。下面按壳饰构造的类型, 分别讨论之。

1) 具鳞片状壳饰的类群

这一类群的化石除了在中国被大量发现外, 俄罗斯西伯利亚 (*Purella antiqua*

Abaimova, 1976, pl. 20), 蒙古 (*Maikhanella multa* Zhegallo, 1982, *Rozanoviella atypica* Missarzhevsky, 1974, *R. gracilis*—Voronin et al., 1982, pls. 1:10—13; 2:12—13), 法国 [*Maikhanella layracensis* Kerber, 1988, *Purella marconensis* Kerber, 1988, *Rozanoviella gracilis* (Zhegallo, 1982)—Kerber, 1988, pl. 8]和澳大利亚(?*Ramenta* sp.—Laurie and Shergold, 1985, fig. JP, X)也有发现。钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989, p. 89)认为这一类群中的各属在形态上有明显的差异,可能是彼此无关的分类单元。在这个类群中,钱逸和 Bengtson 根据中国的材料归纳了4属,即 *Canopoconus* Jiang, *Xiadongoconus* Yu, *Purella* Missarzhevsky 和 *Yunnanopleura* Yu; Bengtson (1992a)将 *Canopoconus*, *Lepidites* Zhong, *Cassidina* Jiang, *Ramenta* Jiang, *Jinkenites* Yu 作为晚出同义名归入 *Maikhanella* Zhegallo, 并建立了 *Maikhanella* 类群,该类群包括:*Maikhanella multa* Zhegallo, *M. calvata* (Jiang), *M. cambrina* (Jiang), *M. crassispinus* (Yang et He), *M. layracensis* Kerber, 1988, *M. lepidites* (He et Yang), *M. micropora* (He), *M. pelytrichus* (He), *M. pristinis* (Jiang), *M. ? radularis* (Qian et Bengtson), *M. squamosa* (Chen et Xiong, 1984)和 *M. zhaoi* (Yu)。后来 Bengtson 对模式种 *Maikhanella multa* 重新作了研究和详细描述,特别是对壳面构造有了详尽的认识。他认为 *Maikhanella* 的壳体由两部分组成,被鳞片充填的骨针和包裹它的基质。骨针显“芒果状”,或以单个被基质包裹,或以簇状被基质包裹 (Bengtson, 1992, figs. 2, 3, 5)。“芒果状”的骨针顶部如被磨损,就显出鳞片状的壳饰特征 (Bengtson, 1992, fig. 4)。Bengtson 同时建立了 *Purella* 类群,并将 *Yunnanopleura*, *Rozanoviella*, *Purella* 等属归入该类群。它与 *Maikhanella* 类群的明显区别在于壳呈高锥形,壳顶裸露区小,鳞片状壳饰被拉长。

我国自发现鱼鳞片状壳饰的帽状化石以来,先后发表了一系列属名:*Lepidites*, *Emeiconus*, *Cassidina*, *Canopoconus*, *Ramenta*。经钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989)重新厘定,认为 *Lepidites* 属仅是依据其鳞片状壳饰的碎片建立起来的,没有新的属种的详细描记,也未指定模式种,属可疑名称 (nomen dubium),建议不再使用。*Emeiconus* 的模式种 *Helcionella antiqua* Abaimova, 1976 已被修正为 *Purella antique* (Abaimova) (Абаимова, 1976, с. 174; Миссаржевский, 1989, с. 174),因此, *Emeiconus* 是 *Purella* 的晚出同义名。钱逸和 Bengtson 还发现 *Cassidina* 属名早在 1839 年被 M. Edwards 使用,故予废除。这样,只有 *Canopoconus* 和 *Ramenta* 属名是有效的。*Canopoconus* 属是 1982 年由蒋志文建立,与 *Maikhanella* 同年建立的。Bengtson (1992b)认为这两个属可以合并,由于 *Canopoconus* 比 *Maikhanella* 晚发表三个月,所以 *Canopoconus* 为 *Maikhanella* 的晚出同义名。

经对各属模式种的详细比较,本书认为 *Lepidites* 应归于 *Ramenta*, *Emeiconus* 归 *Purella*, *Cassidina* 和 *Canopoconus*, *Maikhanella* 为同一个属。*Emeiconus* 虽然是 *Purella* 的晚出同义名,但以 *Emeiconus* 为属名而建立的 *Emeiconus crassispinus* Yang et He, 在壳形和壳饰构造特征上与 *Maikhanella* 很相同,故应归于后者。余汶 1987 年发表的 *Lepidites emeiensis* 显示的壳形与壳饰构造也与 *Maikhanella* 属征一致,也归于后者。表 1-6 概括了 *Maikhanella*, *Ramenta* 和 *Purella* 三属间的区别。

2) 具颗粒状壳饰的类群

这一类群的属有 *Aegides* Jiang, *Protoconus* Yu, *Ernogia* Jiang。它们均出现在中国扬子区早寒武世早期。*Aegides* 在壳形上与传统的单板纲罩螺类壳体很相似,故建属初被归入了单板纲(蒋志文, 1980)。后来,余汶注意到 *Aegides* 的壳饰构造有变化,认为与单板纲有区别,故将此属归入未定类(Yu Wen, 1987)。Миссаржевский(1989)则将 *Aegides* 归于 Eomonoplacophora 目的 Helcionellidae 科。钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989)虽然认为它在壳形上类似于单板纲,但仍将此属归于分类未定的具颗粒状壳饰的类群。

Protoconus 壳面具有明显的颗粒状凸起。该属分子首先发现于鄂西宜昌石牌下寒武统灯影组黄鳝洞段,后来又在陕西宁强赵家坝下寒武统郭家坝组被发现。

对于具有鳞片状或颗粒状壳饰的帽状化石的可能分类归属,目前主要有二种看法。余汶(Yu Wen, 1987, p. 226)认为单板纲的壳体为单壳、帽形、匙形、弓锥形或平旋形,壳饰主要有生长线、放射线、同缘褶或褶纹,壳饰在壳面上的类型和形态完全相同。但在 *Lepidites*, *Aegides* 等属中,壳体非常发育,有些显实心,有些显中空,壳饰的形态也有小脓疱状、珠肋状、楔形状等,这些凸起或为圆形,或为椭圆形,特别是在同一壳面的不同部位生长着形态和数量都不同的壳饰。因此,余汶认为这些帽状化石不是单板类,在壳饰特征上更相似于多板纲。另一种看法是 Bengtson (1992) 提出的,他通过这类帽状化石与 Conway Marris 和 Peel (1990) 在北格陵兰下寒武统 Buen 层发现的 halkieriids 比较,认为这类帽状化石可与 *Halkieria* 身体两端的帽贝状壳板呈对应关系。例如, *Canopoconus cambrinus* (Jiang)代表 *Halkieria* 后壳板, *Canopoconus? radularis* Qian et Bengtson 则代表 *Halkieria* 前壳板。但解决这一问题,尚需更多的化石材料来证实。

表 1-6 *Maikhanella*, *Ramenta* 和 *Purella* 属特征的比较

Table 1-6 Comparison of characteristics between *Maikhanella*, *Ramenta* and *Purella*

	<i>Maikhanella</i>	<i>Ramenta</i>	<i>Purella</i>
壳顶	钝圆、近中央	宽圆、近前侧	圆凸、近前侧
壳高	中等	低矮	高
壳口	圆形、圆方形	卵形、卵圆形、次圆形	窄圆
壳饰	方形,长方形颗粒呈鳞片状叠覆,颗粒一边平行壳缘,一边斜交壳缘	长菱形颗粒呈鱼鳞片状叠覆,颗粒边缘均斜交壳缘	长条形叠覆,颗粒长轴平行壳缘,短轴垂直壳缘
壳厚	厚	薄	较厚

2. 软体动物的早期演化

早寒武世早期发现的软体动物化石,除了喙壳纲、似海螺类、太阳女神螺类、窄壳类外,单板纲、双壳纲、腹足类均延续至今,广泛生活于世界各大洋。因此,对软体动物早期演化的认识在很大程度上可以得益于对现生软体动物的胚胎学、组织解剖学方面的研究。例如,丹麦哥本哈根大学 Lemche(1957) 教授对采自深达 3570m 海底黑泥中的 10 个带有软体的现生单板纲标本和 3 个空壳的研究表明,这些被命名为 *Neopilina galathea* Lemche 的单板类,背侧有一个约 3cm 的笠状壳,腹侧有一个圆形的肉足,口部在前端,

肛门在后端,并具有5对原始的鳃,6对肾脏,8对缩足肌和梯形神经。这种生理结构,显示了单板纲的内部器官仍保留着极原始的假分节性状,因而,对探索软体动物的起源、谱系演化具有重要意义。动物学家 Salvini-Plawen (1972, 1981, 1985)通过对无板纲尾坑目(Caudoveata)、沟腹目(Solengastres)和多板纲等低级软体动物的外套膜、腹侧面、外套腔、肌肉系统、感觉器官、消化道、循环系统、排泄器官、生殖系统、个体发育等一系列比较解剖学的研究,认为软体动物起源于类蜗虫祖先(turbellariomorph ancestor),软体动物祖先的形态特征包括背腹侧低扁,背部为几丁质的角质层包裹,角质层上有文石质鳞片;侧缘有运动器官;腹部具粘液纤毛,利于滑行;具脑神经节、腹神经索和侧神经索;外套腔后部有一对鳃;近边缘有一对纵肌肉束,并有一系列背腹肌肉束;具一条直的消化道和单列齿舌;具围心腔和开放式循环系统;有一对生殖腺等。他强调指出:软体动物的演化路线是从无板纲到多板纲,从多板纲到单板纲,从单板纲辐射演化到其余的各纲。Haas (1981)在研究多板纲壳体微细构造,胚胎时期壳腺的发育情况和钙质骨针产生和形成过程中,认为多板纲壳质构造比锥形类原始得多,多板纲的骨针形成过程与无板纲相似。由此,他认为单板纲的单壳是由多板纲8个分离的壳板逐渐融合演化而来。

毫无疑问,动物学家对软体动物起源演化的研究及其观点具有重要的指导意义。但是,他们的观点同样需要化石材料的实证,而不能仅仅依靠现生动物的组织解剖学来解释5亿年前的软体动物早期演化史。因为化石记录表明,软体动物的许多类群,像 *Helcionellids*, *pelagiellids* 等在寒武纪以后就已绝灭(Peel, 1991c),但是,它们是寒武纪早期很重要的软体动物类群,在软体动物早期演化史上占有重要位置;化石产出的层位也直接反映了软体动物早期演化的时代特征。

近二三十年来,随着软体动物化石在早寒武纪早期的不断发现,古软体动物学家对有关软体动物早期演化的知识越来越丰富,一些有关软体动物早期演化的假说和模式应运而生。Runnegar 和 Pojeta (1974)提出早寒武世最早期软体动物最早出现的是单板纲,软体动物各纲均是单板纲衍生而来,它与环节动物门、星虫动物门(Sipunculoidea)和软舌螺动物门关系密切,起源于晚前寒武纪的共同祖先,即原始蜗虫类扁虫(turbellarian flatworm);软体动物门共有7纲,即无板纲(Aplacopoda)、多板纲(Polyplacophora)、单板纲(Monoplacophora)、腹足纲(Gastropoda)、头足纲(Cephalopoda)、双壳纲(Bivalvia)、掘足纲(Scaphopoda)、喙壳纲(Rostroconchia)。其中,喙壳纲是已灭绝的纲;多板纲起源于单板纲,建议将锥形壳类(Conchicifera)划分为两个亚门:直体亚门(Diasoma)和曲体亚门(Cyrosoma),前者包括双壳纲、喙壳纲、掘足纲,后者包括单板纲、腹足纲、头足纲。1978年, Yochelson 提出了另一个软体动物演化模式,主要观点是早寒武世出现的 *Helcionellacea* 可能是独立的纲,软体动物祖先不一定与单板纲有关,窄壳纲(Stenothecoida)和卡特壳纲(Matthevina)是已灭绝的软体动物类型;多板纲最早出现于早奥陶世晚期,腹足类出现于晚寒武世,双壳纲出现于晚奥陶世,掘足纲出现于密西西比世或泥盆纪;早寒武世的似海螺超科可能是另一个绝灭了了的纲。Pojeta (1980)提出的早期软体动物演化图表明:软体动物门由原始蜗虫状扁虫(turbellarian-like flatworm)演化而来,软体动物不分节,单板纲可能是腹足纲、头足纲和喙壳纲的祖先,喙壳纲依次演化成掘足纲和双壳纲。Peel (1981, 1991b)曾评述前人提出的软体动物早期演化的模式时,批评了 Runnegar 提出的模式,指出 Runnegar 将早寒武世早期单壳类几乎都归入单板纲,并以单板纲作为软

体动物门其他纲的祖先是并不严密的。他建议废弃单板纲名称,以背壳肌纲取而代之,并建立了太阳女神螺新纲。他认为太阳女神螺纲是喙壳纲、掘足纲、头足纲的祖先,腹足类来源于弓锥形的背壳肌纲,多板纲和 halkieniids 类起源于无板纲,后来演化成单壳类 (Peel, 1991c, fig. 46)。

自 70 年代以来,中国扬子区发现了世界上最丰富的早寒武世早期的软体动物化石群,包括单板纲、腹足纲、双壳纲、喙壳纲。这对进一步阐明软体动物的早期演化史,显示了重要意义。另外,余汶还建立了一个新纲:节壳纲,提出了寒武纪最早期存在多板纲的认识,并以此为依据提出了软体动物早期演化的新观点 (Yu Wen, 1987, 1989, 1990; 余汶, 1993)。他认为早期软体动物至少由 6 纲组成,即多板纲、节壳纲、单板纲、双壳纲、喙壳纲、腹足纲;多板纲、节壳纲、单板纲均属前后轴生长;双壳纲不是高级软体动物。他强调单板纲起源于多板纲,软体动物的演化具有从无壳到有壳,从多壳到单壳,从外壳到内壳的规律。

Runnegar 等 (1979) 和 Runnegar (1983) 认为 *Matthevina* 属于多板纲,因此多板纲化石最早出现的时代应是晚寒武世。

节壳纲是余汶 1979 年建立的新纲。根据内核标本壳体被二条节沟分开,呈假分节,被称为喙节、第二节和体节的显著特点而命名。余汶认为节壳纲在形态特征上介于多板纲和单板纲之间,节壳纲是从多板纲演化而来,由多板纲 8 个分离的壳板逐渐融合,演变成节壳纲的喙节、第二节和体节,并逐渐融合成单板纲的单壳。他的这个演化模式的设想与地层中真正出现的先后顺序是有矛盾的。在地层中单板纲最早出现(梅树村阶第 I 组合带),而所谓的多板纲和节壳纲却在梅树阶第 II 组合带出现(表 1-7)。由于节壳纲化石罕见,而且均为内核标本,因此它的“分节”还有值得怀疑的地方,加上壳形上与单板纲很相似,有关它的分类可靠程度和演化中的真实地位需要过硬的化石材料来证实。

在梅树村阶软体动物群中最丰富并且最早出现的化石是单板纲化石。梅树村阶单板纲的许多分子代表了早寒武世以后许多类群的祖先型分子,如 *Spatuloconus* Yu, *Eosoconus* Yu, *Truncatoconus* Yu, *Obtusoconus* Yu。余汶认为有意义的、在分类和演化上具有重要意义的肌痕在梅树村阶单板纲化石有很好的反映。例如 *Yangtzeconus priscus* Yu, *Huangshandongoconus pileus* Yu, *Eosoconus primarius* Yu, *Truncatoconus yichangensis* Yu, *Archaeotremaria polytremata* Yu 和 *Cambroconus minimus* Yu。这 6 种内核标本上均发现了形态、数量不同的原始肌痕类型 (Yu Wen, 1987)。余汶还认为单板纲原始肌痕的数量是由少向多向联合的方向发展,肌痕的构造是从简单向复杂向特化的方向演化。但是,他的这一认识与他提出的多板纲向节壳纲、单板纲演化的观点是自相矛盾的。众所周知,多板纲由 8 个体节组成,每个体节均有成对的肌痕,因此,每对肌痕均可反映一个体节的存在,体节的分节在单板纲虽已消失,但组成的肌痕依然存在,并且在不同的科中肌痕的数量和形态有较大的变化,例如,在 Trybliidae 科中存在 6—8 对肌痕,在 Cyrtonellidae 科中存在 2 对肌痕,至今在单板纲中未发现有 8 对以上的肌痕,这充分反映了多板纲与单板纲之间密切的亲缘关系。肌痕的数量和形态变化也在软体动物门其他纲中有重要的反映,例如, Belleroplontacta 中肌痕进一步地减少;腹足类的肌痕减少到一对踏足肌,分布形态呈马蹄形或“U”字形;头足类是 1—2 对肌痕;双壳类的踏足肌痕和体肌痕虽然在一些奥陶纪双壳类中明显保存,但在后来的成种演化中明显萎缩,大多数原

来的体节特征在现代双壳类中丧失(Morris, 1990, p. 75)。Pojeta 和 Runnegar (1976)提出 Rostroconchia 的肌痕有多对缩足肌痕, 而掘足纲减少到一对肌痕。因此, 很显然, 随着软体动物的进化, 体节分节在高等的软体动物明显减少或模糊, 甚至完全消失, 肌痕的数量也是从多向少发展, 肌痕的形态由于软体的扭曲与否而发生明显的变化。在软体动物各纲中, 单板纲的肌痕数量变化最大, 单板纲的肌痕数量和形态也为探索单板纲向软体动物其他纲的演化提供了重要线索。例如, 产于鄂西宜昌天柱山下寒武统灯影组黄鳍洞段的单板类 *Truncatoconus yichangensis* Yu 具有 2 对肌痕, 一对肌痕是不完整环形状环绕壳顶, 后一对肌痕很圆, 处在前肌外侧。这种肌痕特征是多肌痕向环肌痕演变中的过渡特征, 余汶根据这种肌痕特征将该种放在 Archinacellidae 科中, 而该科的分子普遍被看作是帽状腹足类(Peel, 1991b)。本书倾向于认为单板类的肌痕演化是从多肌痕向少肌痕演化。在肌痕减少的演化背景下, 呈两种形式分叉演化, 即多肌痕联合成环肌痕, 这是一条向具有 U 形肌痕的帽状腹足类演化的途径, 或多肌痕退化, 仅存一二对肌痕, 像多数腹足类和头足类是沿这条途径演变而来的。

早寒武世的单板类至少有过两次辐射演化的高潮, 代表第一次辐射演化高潮的层位是梅树村阶中谊村段上部, 该段单板类属种众多, 分布广泛, 像上面提及的祖型分子和含原始肌痕的分子几乎都出现在这一层位。经过筇竹寺阶相对萧条期后, 至沧浪铺阶辛集组下部, 单板类动物群出现了新的分异和发展。在这个动物群中, 除了 *Obtusoconus rostriptutea* (Qian) 外, 都是新生的分子, 其中以 *Stenotheca drepanoida* (He et Pei) 和 *Igorellina proboscis* Feng et al. 的个体特别丰富。另外, *Scenella pycna* Feng et al. 壳饰明显复杂化, 在单板类中首次出现密集的纵横肋叠覆的壳饰特征(冯伟民等, 1994)。相对于梅树村期的单板类, 该动物群的分布局限, 主要沿华北地台南缘一带分布, 在国外, 仅见于澳大利亚南部寒武统 Parara 灰岩层。

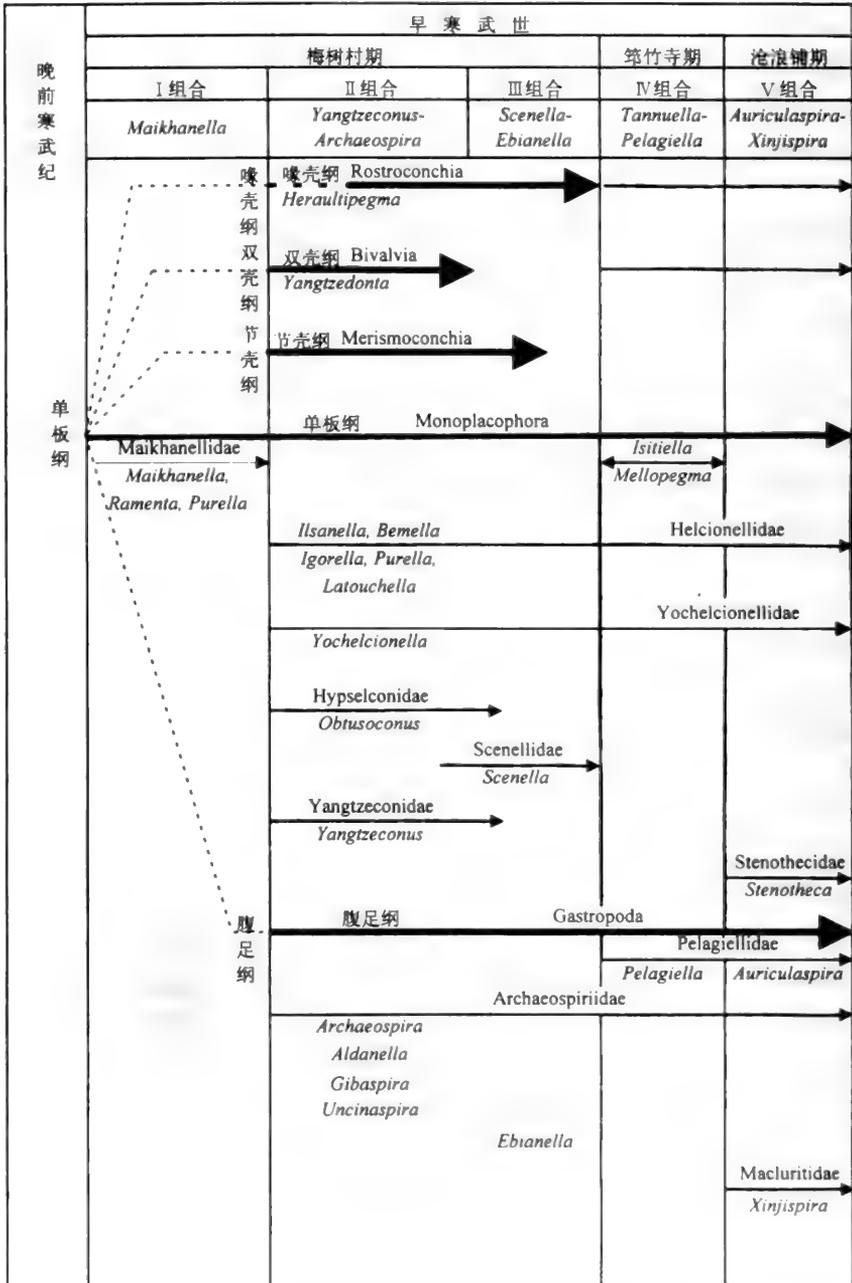
双壳纲最早也出现于早寒武世早期, 但目前仅发现 *Yangtzedonta* Yu 一属一种。双壳类首次辐射演化, 大范围分布出现于沧浪铺期早期, 相当于单板类演化的第二高潮期, 它与沧浪铺期早期的单板类具有同样的分布范围和古地理意义。虽然双壳类首次辐射的时间较晚, 但是双壳类不具有头部, 被动取食, 前后轴生长, 成对肌痕, 外壳层的骨针等特征表明它属于低级的软体动物(Yu Wen, 1987; 余汶, 1993)。

喙壳纲的最原始代表是 *Heraultipegma*, 这个属先后在我国湖北宜昌灯影组黄鳍洞段(钱逸等, 1979), 四川, 云南会泽、永善、寻甸灯影组中谊村段上部和大海段底部(罗惠麟等, 1982; 何廷贵、杨暹和, 1982)发现。它在壳体形态上介于单板纲的 *Anabarella* 和双壳纲 *Fordilla* 之间, 这个纲不仅在我国华南梅树村阶第 II—III 化石组合带发现, 而且在法国南部海拉尔特(Herauld)瓦伦斯(Varense)下寒武统上部与三叶虫化石共生的地层中也发现, 所以, Pojeta 和 Runnegar 认为 *Heraultipegma* 是从单板纲演化而来, 并导致双壳纲最原始的 *Fordilla* 属的出现。由于最原始的单板类 maikhanellids 在梅树村阶第 I 组合带中发现, 因此, 我们认为喙壳类 *Heraultipegma* 和单板类 *Anabarella* 可能从最原始的单板类演化而来。尽管余汶(Yu Wen, 1987)有怀疑喙壳类是从单板纲演化而来的看法。

喙壳纲在我国寒武纪经历了两个发展期, 出现于梅树村阶中谊村段上部的 *Heraultipegma* 一般很小, 构造简单, 个体数量极丰富, 堆积成层, 是我国喙壳类第一个发

展期。此后,喙壳类的发展极快,壳体变大,构造复杂,分异明显,在我国辽宁本溪晚寒武世凤山组产有世界上最丰富的喙壳类 17 属 25 种 (Pojeta and Runnegar, 1976),这代表了喙壳类的第二发展阶段。喙壳类的系统演化具有连接板由外向内延伸,原壳从不明显到明显,前缘缺凹从不发育到比较发育的特点。

表 1-7 软体动物早期演化
Table 1-7 Early evolution of Mollusca



同软体动物大多数纲一样,腹足纲也出现于早寒武世梅树村阶第Ⅱ组合带中,而且,分异演化很快,出现了许多早寒武世祖先型分子,如 *Archaeospira* Yu, *Hubeispira* Yu, *Aldanella* Vostokova, *Uncinaspira* He, *Yunnannospira* Jiang, *Yangtzespira* Yu, 由此形成了腹足类早期演化的第一阶段。这个阶段的腹足类具有很原始的特征,如壳体小、低矮、平旋、不对称、螺环小、壳口大、壳饰简单,一般表现为同缘褶饰纹。这种壳饰特征与早期单板类通常具有同缘褶或肋几乎相同,表明了两者的演化关系。梅树村期之后,经筇竹寺期的萧条,至沧浪铺早期又出现了两个重要的腹足类属种: *Xinjispira* Yu, *Auriculaspira* He et Pei, 属种虽少,但面貌已与梅树村期的腹足类有别,而且腹足类 *Auriculaspira adunca* He et Pei 在软体动物群中占有极大的居群个数。出现于晚寒武世凤山组的腹足类 *Matherellina*, *Scaevogyra*, *Helicostoma* 等代表了寒武纪腹足类演化的第二阶段,此阶段的腹足类壳体大,属种多,广泛分布于亚洲和北美等地区。

从表 1-7 中可以看出,具有 8 个纲的软体动物门在我国扬子地台早寒武世早期就已出现了 5 个纲,如果按余汶的观点,加多板纲,就有 6 个纲。其中单板纲化石出现最早,在梅树村阶第 I 组合带中就已出现,其余的 4 个纲最原始的化石出现在梅树村中期,只是喙壳纲、双壳纲分异度小。喙壳纲的 *Heraultipegma* 属假双壳类,一个板对折成二个板。双壳纲的 *Yangtzedonta* 两板壳具简单铰合构造。

单板纲和腹足纲分异度较大,梅树村期单板纲就有 4 目 10 科,腹足纲有 1 目 3 科。单板纲的形态变化范围较大,从低帽状到高锥状,肌痕有数对,但两侧对称。腹足纲扭曲不对称,往往有螺塔和盘卷,但早期的腹足类有些特殊,几乎无螺塔,属低盘卷型。早寒武世腹足类的演化特点主要反映在装饰上,从周缘脊(如 *Archaeospira*)到周缘脊与旋向脊兼而有之(如 *Auriculaspira*)。总之,装饰和类型逐渐多样化。

第三节 最早期的腕足类化石

近 10 多年来在我国西南地区下寒武统底部梅树村阶找到大量毫米级的壳片化石。其中一些壳体,已先后被不同的作者定为腕足类新属的有 18 个,新种 21 个。所有这些分类单元所赖以鉴定的标本,都未见内部构造,保存壳体也多以单瓣出现,所显示的壳体形态都相当特异,对其重新审定和整理也无疑是很难并有很大的局限性。现在只能据这些有限的化石资料,提出一些力所能及的暂时性意见,为今后进一步研究提供较系统的参考意见。

现将过去被定为腕足类的属,提出三种不同处理意见(表 1-8)。

1. 基本上可归入腕足类的属

有关这些属所显示的壳体形态,在已知的化石门类中,只能与腕足类相类比。这些壳体的形态虽然都相当特异,并且没有见到较分明的内部构造。然而,壳体保存形式是以两壳联合在一起,并呈左右对称,两个壳瓣则不对称和不等大。壳顶部的一些构造保存较好,包括壳顶、壳顶的生长类型、后转面,以至茎孔形态。为此,我们也只能据这些构造特征,将这些少数壳体定为腕足类,并进而划分为两个超科,即初生贝超科(*Heosomocelyphacea* Liu)和细生贝超科(*Dolichomocelyphacea* Liu)。前者包括两个科:初生贝科

(Heosomocelyphidae Liu)和尖头贝科(Acidotocarenidae Liu)。后一超科仅包括一个科:细生贝科(Dolichomocelyphidae Liu)。所有上述这些壳体,又共有一个独特的特征,即它们的后缘都显示一个未闭合的横宽延伸裂口。联系到原始腕足类以及如 acrotretids 等幼壳,其肉茎也是伸出于两壳各自的后缘之间,也就是说,它们当时都未发育被固限的特定肉茎孔。据这一特征也可以看出,有关这些小壳体应为一种特别的腕足类。据此可看出,我国这些腕足类较前苏联托莫特阶所产小腕足类 *Aldanotreta* 要原始。相应地,我国梅树村阶较前苏联的托莫特阶要早(Liu Diyoung, 1987)。除上述这些以外,还有二个被定为腕足类的,一个是 *Tianzhushanella* Liu (Liu Diyoung, 1987), Conway Morris (见 Bengtson et al., 1990)以此建立了一新科 *Tianzhushanellidae* Conway Morris, 1990,但他认为这个科可能是与腕足类有亲缘关系的双壳类生物(Bengtson et al., 1990, p. 164)。另一个属叫易漏贝属 *Lathamella* Liu, 1979,李国祥和陈均远(1992)将此属归入打问号的软体动物,并将刘第壩(1979)原定的 *Lathamella* 提升为新科 *Lathamellidae* Li et Chen, 1992。然而,这个科与 *Tianzhushanellidae* Conway Morris, 1990 很难区分,看来前者应为后者的次同义名。

表 1-8 对历年发表的最早期腕足类属的处理意见

Table 1-8 Revision of earliest brachiopod genera published over the years

原定腕足类属名	本书拟定	处理意见
<i>Heosomocelypha</i> Liu, 1987 <i>Acidotocarena</i> Liu, <i>Scambocris</i> Liu, 1979 <i>Dolichomocelypha</i> Liu, 1987 <i>Tianzhushanella</i> Liu, 1979 <i>Lathamella</i> Liu, 1979	<i>Heosomocelypha</i> <i>Acidotocarena</i> syn. = <i>Acidotocarena</i> <i>Dolichomocelypha</i> <i>Tianzhushanella</i> ("Aldanotreta" <i>pusila</i> 应归入此属) <i>Lathamella</i>	基本可归入 腕足类
<i>Plicatolingula</i> Liu, 1979 <i>Protobolus</i> Liu, 1979 <i>Artimyxella</i> Liu, 1979 <i>Psamathopalass</i> Liu, 1979 <i>Ocruranus</i> Liu, 1979	<i>Plicatolingula</i> <i>Protobolus</i> <i>Artimyxella</i> <i>Psamathopalass</i> <i>Ocruranus</i>	有明显问题的 腕足类
<i>Punctella</i> Chen, 1977 <i>Ernogia</i> Jiang, 1982 <i>Parapunctella</i> Jiang, 1982 <i>Ramenta</i> Jiang, 1982 <i>Xianfengella</i> He et Yang, 1982 <i>Hanshuiella</i> Yue, 1984 <i>Yuanjiapingella</i> Yue, 1984	<i>Punctella</i> <i>Ernogia</i> <i>Parapunctella</i> <i>Ramenta</i> <i>Xianfengella</i> <i>Hanshuiella</i> <i>Yuanjiapingella</i>	无法归入 腕足类

2. 有明显问题的腕足类的属

有一些壳片化石过去曾被定为腕足类,未见到有两个壳瓣保存在一起,也未见到明确的腕足类的标志性构造,但所见的壳瓣是两侧对称的,并存在某些类似于腕足类的特征,这样的属有 5 个:

- 1) 褶舌贝属 *Plicatolingula* Liu, 1979

壳体形态颇似 *lingulellids* 的壳瓣,壳面上发育的少数壳褶,看起来也显示为腕足类的形态性质,起伏较圆并以两侧对称的形式而分布。

2) 原圆货贝属 *Protobolus* Liu, 1979

单型壳瓣也是对称的,并具低的后转面和小的腹似窗板。

3) 直喙贝属 *Artimyctella* Liu, 1979

有低的后转面和小的腹似窗板。

4) 峰顶贝属 *Ocruranus* Liu, 1979

以具假间面和似窗板而类似于 *paterinids* 的壳瓣。

5) 砂点贝属 *Psamathopalass* Liu, 1979

表面所饰放射瘤点也是左右对称排列,而高直的壳顶又表现出和 *Ocruranus* 壳体形态的可比性。

3. 无法归入腕足类的属

有关这些过去被归为腕足类的小壳,它们既没有铰连在一起的两型壳瓣,也没有与已知腕足类可比的明显特征。因此,在本书中不得不排斥在腕足类之外。这包括如下一些属:

1) *Punctella* Chen, 1977

模式种 *P. maidipingensis* Chen, 四川峨眉灯影组麦地坪段。有两壳瓣保存在一起,但所见的两壳瓣相互间并不严合,是否是原来共生的两壳瓣很难确定。并且,两壳瓣的壳面装饰也不一样,每一壳瓣左右两侧又是不对称的。由于目前显示的这些具有基本意义的壳体特征与腕足类的不相一致,因而无法考虑归入腕足类。

2) *Ernogia* Jiang, 1982

模式种 *E. aculatus* Jiang, 云南晋宁灯影组中谊村段。蒋志文(见罗惠麟等,1982)定此属时置于腕足类。钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989) 否定了此属归入腕足类的可能性,并将此属归入分类未定的具瘤状壳饰的帽形化石。现在看来我们未找到能够归入腕足类的证据。

3) *Parapunctella* Jiang, 1982

模式种 *P. xianfengensis* Jiang, 云南晋宁灯影组中谊村段。钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989) 将此属并入 *Ernogia*, 并将其模式种 *P. xianfengensis* Jiang 定为 *Ernogia* cf. *aculatus* Jiang, 1982。目前我们也没有看出属于腕足类的可能性。

4) *Ramenta* Jiang, 1982

模式种 *R. cambrina* Jiang, 云南晋宁灯影组中谊村段。钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989) 将此属并入 *Canopoconus*, 并排斥于腕足动物之外。据其颇为特别的壳顶,既光滑无饰,又由全围生长围限于离壳后缘前方一段距离的壳后部,壳顶区外围的其他壳面则饰以分明的鳞片状壳表构造等特征,确实很难与腕足类的壳体性质对比。

5) *Xianfengella* He et Yang, 1982

模式种 *X. prima* He et Yang, 云南寻甸灯影组中谊村段。壳体左右不对称,壳顶呈内卷状,有些标本在其口部盖有另一圆盘形壳片,后者的直径较口部的要小些,因而不像是原来共存的双壳,当然更不可能是腕足类。

6) *Hanshuilella* Yue, 1984

模式种 *H. primitiva* Yue, 陕西宁强灯影组上段。标本皆为分离的单壳瓣,它们在形态上也是单一的,原作者定为可疑腕足类的腹壳(?)。但这些壳瓣顶下的后转面呈明显的凹曲状,其沿后缘的纵中线伸成一明显向后突伸和明显加厚的壳片,这样一些特异形态都是无法和腕足类的腹间面和腹三角板类比的,因而也就没有根据能将此属归于腕足类。

7) *Yuanjiapingella* Yue, 1984

模式种 *Y. longa* Yue, 陕西宁强灯影组上段。仅见相同形态的单壳瓣,原作者定为可疑腕足类的腹壳(?)。然而,模式种的模式标本,其壳体较窄,并作较强的弯曲生长,这和腕足类壳体,特别是在原始腕足类中所见的壳体形态有明显不同。因此,将这样的单壳瓣归入腕足类,目前还未找到能类比的根据。另一个 *Y. curta* Yue 的壳体较短,壳顶较直,在壳顶之下虽同样见不到间面和窗板等构造,但据这些所见的壳体外部形态,已偏离模式种而与 *Artimyctella* Liu 有些相似。

第四节 原始锥石类的分类与早期演化

1. 形态类型

据 1980 年以前的文献记载,锥石化石仅产于中寒武世至三叠纪地层。但是近 15 年在我国早寒武世梅树村阶地层中发现了一类形态上酷似锥石动物的骨骼化石,按其形态组合可以分出两种不同类型(图 1-3)。

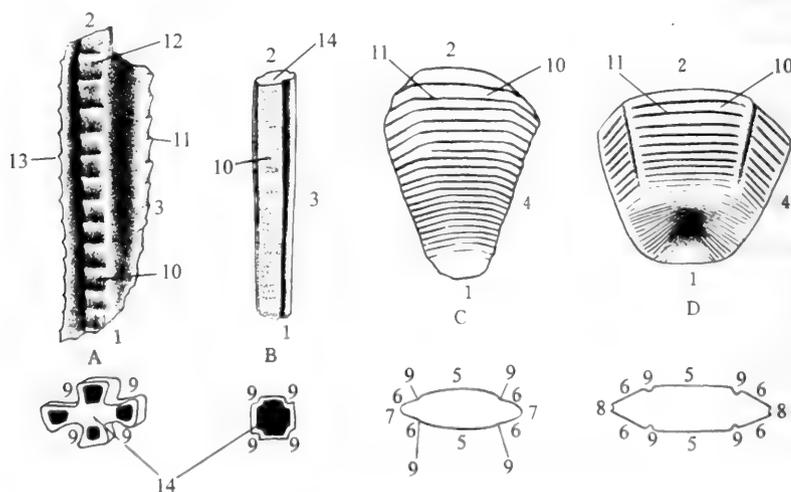


图 1-3 原始锥石类不同类型的代表及其形态术语

Fig. 1-3 Representatives of protoconulariids in different types and their morphological terminology
 A—B. 骨状壳类 (carinacitids); C—D. 六方锥石类 (hexangulaconulariids) 1. 顶端 (apex); 2. 11 端 (apertural termination); 3. 管状体 (tubular body); 4. 锥状体 (pyramidal body); 5. 中央锥面 (central face); 6. 侧锥面 (lateral face); 7. 侧脊 (lateral edge); 8. 侧沟 (lateral furrow); 9. 角沟 (corner groove); 10. 锥面 (face); 11. 横肋 (transverse ribbing); 12. 面中线 (face middle line); 13. 刺 (spine); 14. 中央腔 (central cavity)

(1) 骨状壳类 (carinachitids)

以 *Carinachites* Qian, 1977 为代表[晚出同义名 *Quadrosiphogonuchites* Chen, 1982, *Paranabarites* Jiang, 1982 (罗惠麟等, 1982), *Paraconularoides* He, 1984 和 *Mabianoconullus* He, 1984 (邢裕盛等, 1984)], 具方形横切面的管状体, 相邻锥面具 4 条清楚的角沟, 锥面具清楚的横向肋。如果角沟很宽很深, 4 个锥面被明显分割, 形成四辐对称的花瓣状横切面, 壳体外形尤似四个单列的管状体纵向辐射排列, 锥面显示上曲的横肋直至鸟喙状尖刺。

(2) 六方锥石类 (hexangulaconulariids)

壳呈扁平的锥体, 两侧对称, 在两个宽面的每一个面上均有一个宽的中央锥面和左右一对狭的侧锥面, 侧锥面与中央锥面之间角沟或有或无, 横切面椭圆形或透镜形, 锥面上具有横肋, 以分节壳属 *Arthrochites* Chen, 1982 为代表(晚出同义名有 *Barbitositheca* Qian et Jiang, 1982, *Sacciella* He, 1984 和 *Lagenaconularia* He, 1984)。如果中央锥面与侧锥面之间呈角状过渡, 角沟又清楚, 其横切面显示了两侧对称的横向伸长的六角形, 则为 *Hexangulaconularia* He, 1984(晚出同义名 *Hexaconularia* He et Yang, 1986)。

上述两种类型的锥石类具有明显的锥石动物性质, 如壳呈四辐对称至两侧对称的管状体或锥状体, 壳体由外表皮和内部支撑的硬骨骼组成, 锥面间具有角沟, 锥面上具有由埋在周围组织中的棒状物构造所形成的横肋, 少数标本上隐约见有面中线, 这些特征符合典型锥石动物壳体形态构造的特征。因此, 我们认为将它们置于锥石动物比较合适。但是, 从目前所掌握的材料看, 梅树村期锥石类个体比较小, 未见隔壁刺和典型的面中线, 始部未被保存, 因而它又区别于典型的锥石类, 特别是在形态上和时代上较接近的小锥石科 *Conulariellidae*, 后者产于中寒武世至早奥陶世。为了表示这类具有原始性状的锥石类, 我们在这里称它们为原始锥石类(protoconulariids)。

2. 产地与层位

原始锥石类生存时间很短, 除了四川南江地区的 *Hexangulaconularia* 可以从早寒武世梅树村阶第一组合带 *Anabarites-Protohertzina-Arthrochites* 延伸到第二组合带 *Siphogonuchites-Paragloborilus* 外, 其余各属如 *Carinachites*, *Arthrochites*, *Punctatus* 都产于梅树村阶第一组合带的中部层位。原始锥石类地理分布也不广, 局限于中国扬子地台西缘, 自陕西南部, 四川北部、西部, 云南东部向南延伸到印度小喜马拉雅地区。根据已有可靠化石记载, 在云南晋宁梅树村剖面第 5 层和永善肖滩剖面第 15 层有 *Arthrochites* (蒋志文, 1980; 罗惠麟等, 1982; Qian Yi, 1989; Qian Yi and Bengtson, 1989), 安宁白登剖面第 1 层有 *Carinachites* (蒋志文定为 *Paranabarites tetrasulcatus* Jiang, 见罗惠麟等, 1982)。在四川西部峨眉麦地坪剖面第 34 层, 锥石类不仅数量丰富而且类型也多, 除了 *Carinachites* 外, 其余各属均有发现(陈孟莪, 1982; 殷继成等, 1980; 何廷贵, 1984, 1987; 何廷贵、解永顺, 1989; Qian Yi, 1989)。在四川北部南江地区, 包括南江桥亭沙滩磨坊岩剖面第 4—5 层和新立长梁剖面第 4 层, 锥石化石数量较多, 但品种单调, 仅见有 *Hexangulaconularia* (杨暹和等, 1984; 何原相等, 1986)。在陕西宁强宽川铺瓢家垭剖面

第 15, 16 层(Conway Morris and Chen Meng'e, 1991), 石中沟剖面第 24, 25 层, 袁家坪剖面第 5 层(邢裕盛等, 1984), 锥石类最为丰富, 目前除 *Hexangulaconularia* 未见外, 其余四个属均有发现。在印度小喜马拉雅下 Tal 组的燧石-磷块岩段曾记有 *Arthrochites*, 说明其时代与梅树村阶第一组合带相当。值得注意的是 Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1991)最近抄录了在中国已发表的一些地层剖面中的“原始锥石类”名单, 这些“锥石类”涉及到其他地区和更高层位, 并以此提出原始锥石类地质地理分布范围进一步扩大的信息。根据陈孟莪研究, 这些所谓的锥石类不是鉴定有误, 就是产地层位搞错。如罗惠麟等 1982 年书中云南晋宁梅树村剖面第 8 层, 寻甸先锋剖面第 4 层(Conway Morris and Chen Meng'e, 1991), 却被错误地叙述为东川西南大海剖面; 永善肖滩剖面大海段 18 层中, 永善金沙厂剖面第 24 层中被错误地叙述为昭通西北马路剖面的 *Carinachites*, 实际上是骨状壳类(非锥石类) *Paracarinachites*。还有 *Conularia absidata* Jiang 的产地层位被标在会泽雨禄中谊村段顶部和 *Paranabarites tetrasulcatus* 产地层位被标在云南安宁白登小歪头山段(蒋志文, 见罗惠麟等, 1982), 根据周围地层分布情况以及该层位共生的化石分子, 我们认为他们确切的层位是有问题的。至于王砚耕等在 1984 年书中有关贵州习水大岩剖面上记录的 *Carinachites*(没有图片)和丁伟明等 1988 年文中湖南石门杨家坪小壳化石图版上记有问号的骨状壳类目前均未能进一步确定, 因此上述资料不能作为原始锥石类产地层位分布扩大和延展的依据, 除非进一步的证实后方可信。

3. 门的地位与系统分类

应该承认锥石动物由于没有现代类似动物可比较, 以及外表上类似于几大动物群的代表, 因此它在无脊椎动物中始终没有合适的位置, 历史上虽有过将锥石类置于软体动物, 如翼足动物、腹足动物、类水母刺胞动物以及认为不适宜指定为任何已描述过的门类。80 年代, 有人(Babcock and Feldmann, 1986)正式提出 Conulariida 应为一个独立的门, 并且重新厘定了锥石的定义, 认为锥石是古生代到中生代早期一类绝灭海生后生动物门, 外骨骼独特, 由联结棒状体骨架和磷酸钙质的表皮组成, 形成四面的、两侧对称的、开口的角锥体。如果这个建议被采纳的话, 那么, 原始锥石类作为锥石动物门中的一个独立的目存在并区别于中寒武世以后出现的锥石目 Conularida 也是理所当然的。

在中国, 早古生代锥石类的研究还是一个空白。杨暹和等(1983)、何廷贵(1984, 1987)以及陈孟莪(1982)首次将早寒武世梅树村阶原始锥石类的一些属指定为锥石目, 然而蒋志文(见罗惠麟等, 1982)把 *Barbitosithea* 放在“软舌螺类”的球管螺中, 并且认为 *Paranabarites* 与阿纳巴管类亲缘密切, 而陈孟莪(1982)却提出 *Arthrochites* 亲近于节肢动物。我们认为把这些化石列入软舌螺、阿纳巴管类或节肢动物的看法是无根据的, 钱逸(Qian Yi, 1989)、钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989)论述了梅树村期锥石类的性质, 肯定了与锥石类亲缘的看法是较有根据的。Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1992)提出了这类化石有三种可能的亲缘途径: 第一种, 骨状壳类可能代表某种生物内部支持物——杆, 如海鳃类的茎(柄); 第二种, 骨状壳类代表某类离散骨片系的一部分; 第三种, 骨状壳类和锥石类有亲缘。显然第一、二种亲缘途径是推测的、想象的、缺乏根据的, 只有第三种亲缘途径的理由比较充分。当然, 我们也承认瘤

点骨片类与锥石类的亲缘要比骨状壳类和六方锥石类更远一些,但目前尚未掌握有更充分的证据。梅树村期原始锥石类的发现和研究使我们改变了关于锥石类的起源和演化的某些概念,就是说,锥石动物并非起源于中寒武世小锥石科,而是在早寒武世早期就有锥石类的祖先代表,甚至有人提出锥石类可能起源于前寒武纪三辐对称的生物,然后有一支向四辐对称的原始锥石类演化。但是本书的材料有限,还不足以作进一步的讨论。原始锥石类的系统分类,何廷贵(1987)曾作过细致的工作。他将原始锥石类归入锥石目,并分出了4科(包括1个未定科)11属。其后,钱逸(Qian Yi, 1989)根据原始锥石类内部的形态变异情况,简化了何氏的分类系统,仅保留了2科3属。本书的分类保留了钱逸(Qian Yi, 1989)的分类系统(表 1-9)。

表 1-9 原始锥石类分类沿革表

Table 1-9 Evolutionary history of early protoconulariid classification

何廷贵(1983)	何廷贵(1987)
门 Coelenterata Frey et Leucart, 1847	亚纲 Conulata Moore et Harrington, 1956
纲 Scyphozoa Gotte, 1887	目 Conulariida Moore et Harrington, 1956
亚纲 Conulata Moore et Harrington, 1956	科 Hexangulaconulariidae He, 1987
目 Conulariida Miller et Gurley, 1896	属 <i>Hexangulaconularia</i> He, 1983
科 Conulariidae Walcott, 1886	属 <i>Hexaconularia</i> Y. X. He et Yang, 1984
属 <i>Eoconularia</i> Sinclair, 1943	属 <i>Barbitosithea</i> Qian et Jiang, 1980
属 <i>Hexangulaconularia</i> He, 1983	科 Conulariellidae Kiderler, 1937
科 Conulariellidae Kiderler, 1937	属 <i>Conulariella</i> Boucek, 1928
属 <i>Mabianoconullus</i> He, 1983	属 <i>Primaconulariella</i> He, 1987
属 <i>Lagenaconularia</i> He, 1983	科 Carinachitidae He, 1987
	属 <i>Carinachites</i> Qian, 1977
	属 <i>Quadrosiphonuchites</i> Chen, 1982
	属 <i>Aciconularia</i> He, 1987
	属 <i>Paraconularoides</i> He, 1984
	科未定
	属 <i>Mabianoconullus</i> He, 1983
	属 <i>Pyrgites</i> Yue, 1983
钱逸(Qian Yi, 1989)	本书
纲 Conulata Moore et Harrington, 1956	锥石类 conulariids
目 Conulariida Miller et Gurley, 1896	科 Hexangulaconulariidae He, 1987
? 科 Carinachitidae He, 1987	属 <i>Hexangulaconularia</i> He, 1983
属 <i>Carinachites</i> Qian, 1977	属 <i>Arthrochites</i> Chen, 1982
属 <i>Quadrosiphonuchites</i> Chen, 1982	科 Carinachitidae He, 1987
科 Hexangulaconulariidae He, 1987	属 <i>Carinachites</i> Qian, 1977
属 <i>Arthrochites</i> Chen, 1982	
属 <i>Hexangulaconularia</i> He, 1983	

诚然,这个系统分类方案也不是十全十美的,只能说比较符合实际,因为原始锥石类的形态变异范围很大,如 *Carinachites spinatus* Qian 与 *C. (Quadrosiphonuchites) curvatornatus* Chen 和 *Arthrochites* 与 *Hexangulaconularia* 之间都有过渡的形态,如何确定划分标准,物种变异的范围有多大,仍然是目前研究原始锥石类系统分类时令人头疼的事。

4. 保存特征

原始锥石类通常保存在早寒武世梅树村阶含磷层位,但含磷的岩性可以不一样,有的保存在含磷页岩中,如云南晋宁梅树村;有的保存在含磷白云岩中,如云南安宁白登,四川峨眉麦地坪;有的保存在含磷灰岩中,如四川雷波抓抓岩和牛牛寨剖面,四川南江新立长梁,陕西宁强石中沟、袁家坪,陕西西乡河西张家河;还有的保存在胶磷矿磷块岩中,如陕西宁强宽川铺选将坪,云南永善肖滩。

随着地区和保存岩性的不同,化石的类别、丰度、数量和完整性也有差异,尽管多数情况下化石保存不完整或呈碎片状。如 *Arthrochites* 在云南晋宁梅树村和四川峨眉麦地坪数量较多。同样,化石数量较多、保存较完好并具有明显顶区和口部的 *Carinachites*,主要产于四川峨眉麦地坪和陕西宁强宽川铺。*Hexangulaconularia* 保存数量较多、个体完好的标本产在四川南江地区。瘤点骨片类数量较多、保存较好的,产在陕西宁强宽川铺。这些表明了同类别的不同属种对环境也有不同选择。但是不管什么情况,原始的骨骼组织总是以磷酸盐保存,管壁磷酸盐化,腐蚀和磨光的切面显示了其壳壁结构是球状颗粒,或细粒粒状保存 (Conway Morris and Chen Meng'e, 1992),推测交代了钙碳酸盐,Conway Morris 和陈孟莪 (1992) 试探性地把它看作一种原始的文石成分。管体外表常常包裹着次生磷酸盐增层,使横肋等纹饰显示模糊。

管内部或多或少中空,常充填有磷酸盐碎屑,这种后期充填物是无构造的,但在一些标本里被组织成线,线状体的横切面上有球状颗粒结构 (Conway Morris and Chen Meng'e, 1992),推测它代表磷酸盐化的软组织。管内的衬积是明显的葡萄状(或皮壳状)磷酸盐超微结构,显然是成岩期交代的产物。

另从 *Carinachites spinatus* 的锥体与沟紧贴以及 *Punctatus emeiensis* 管壳的强烈褶皱,表明这些壁是有些韧性的,特别是后者很可能是有机质的,见到的磷酸盐化是次生的。

最新研究表明(钱逸等,1997),原始锥石类化石保存的壳壁由内外两层组成,外层的磷质矿物呈均匀的颗粒状结构,这一层是化石的真正壳壁,内层的磷质矿物呈柱状结构,晶体长轴方向垂直壳壁,这是成岩作用的产物。

5. 形态学术语

对锥石类软体解剖知之甚少,其古生态意义就更是一无所知。但它保存着单体的集群,有群生而单独生活方式的证据,可以推测原始锥石类是一个个体代表了一个生物壳体而不是一个骨片。为了表达原始锥石类这种外骨骼的形态特征,Conway Morris 和陈孟莪 (Conway Morris and Chen Meng'e, 1992) 提出了一些有关它的形态学术语(图 1-3)。

原始锥石类生活在浅水区,可能营固着或假漂浮生活。固着的一端为顶端,它是外

骨骼最窄的终端,但保存的化石常缺失顶端;另一端为口端,也是外骨骼最宽的一端,开口处即为口,这是软体伸出的地方。有时口部稍有收缩。外骨骼常呈管状体、锥状体或塔形,它由几个锥面围成的,一般有四个辐射对称的锥面,但在六方锥石类有六个面,这时中央的一对宽面叫中央锥面,两侧各有一对狭的侧锥面。横切面为椭圆形或透镜形时,如 *Arthrochites* 两侧有侧脊或侧沟。锥面包含由表皮联结的棒状物,边界用口、顶和两条相邻的角沟所限定。锥石的分散角由锥面的两侧棱之间的夹角表示。相邻锥面之间的沟叫角沟,它是相邻锥面间的纵向凹陷部位,锥面中央从顶到口有一条线叫面中线,横肋是棒在表皮的凸出部位,狭而长,横向延伸,有时可以通过角沟。棒之间的凹陷部位,在表皮上显示横沟。横肋有时横直,有时在面中线位置向口部尖角状拱凸,有时呈环形弯曲,这是棒在中线联接的不同方式。横肋之间常有密集的纵向细纹,在横肋上或有许多狭短并向远端逐渐变尖而实心的刺,或有瘤,成行排列并突出于肋或脊的表面并与其方向一致。所有这些装饰结构都是为了加固外骨骼起保护机能作用。壳体内部中空,是软体生长部位,称中央腔。

第五节 早寒武世海绵骨针类型和海绵体化石

海绵动物起始于什么时期,至今没有定论,国外对前寒武纪的海绵化石虽屡有报道,但进一步研究证明所报道的这些化石或者不是海绵或者是所出现的地层时代有误(Rigby, 1986)。近 10 年来,在我国文献中,也陆续报道了震旦纪陡山沱组和灯影组海绵骨针和海绵体化石(陈孟莪, 1977; 唐天福等, 1978; 邢裕盛等, 1984; 陈孟莪、萧宗正, 1992),但这些是否确属海绵,国内外专家尚有争议。最近,李家维等(Li, C. W., Chen, J. Y. and Hua, T. F., 1998)通过化石胚胎学的研究,发现了我国贵州震旦纪陡山沱组含磷层位中某些球形化石具有海绵体的骨针和细胞结构,这是研究早期后生动物的一次突破性进展。

寒武纪的海绵骨针分布很广,在各种不同的沉积类型中,如泥岩、砂岩、页岩、白云岩、灰岩、磷块岩都有发现。由于早寒武世海绵绝大多数呈零星的孤立的骨针保存,普遍认为没有分类学和地层学意义而被忽视,或者以 *Protospongia* 而泛泛代之,或者依据孤立的骨针建立形态属种。

本书在酸处理小壳化石过程中收集了我国川、滇、黔、陕、湘、鄂、豫、苏、浙、皖及新疆、内蒙古等地早寒武世海绵骨针个体数千枚,由于不清楚其海绵体形态及其骨针之间的组合特征,因此,系统分类及描述比较困难。为此,笔者参考了 N. W. Laubenfels(见 Moore, R. C., 1955)和 Hartman 等(1980)关于海绵形态类型的描述, E. B. Phillip(1961)关于海绵骨针形态分类方案,对所收集的全部骨针首先进行了形态学分类,共分为 6 大类 35 小类,分别叙述如下。

1. 单轴针(monaxons)——具有直或弯的单轴

1) 末端不相同的单轴针(stylose monaxons):

- ① 宽的一端呈瘤状(tylostylose);
- ② 宽的一端盘节状(diskstylose)。

2) 两端相似的单轴针(klostose monaxons):

- ① 两端均呈瘤节状(tyloklosters);
- ② 杆棒状(rod-shaped-klosters);
- ③ 两端均尖(oxeaklosters):
 - A. 横切面圆形(circular oxeaklosters);
 - B. 横切面椭圆形(elliptical oxeaklosters)。
- ④ 两端均圆(strangiklosters):
 - A. 横切面圆形(circular strangiklosters);
 - B. 横切面椭圆形(elliptical strangiklosters)。
- ⑤ 一端钝尖,一端渐尖(atelo-oxeaklosters):
 - A. 横切面圆形(circular atelo-oxeaklosters);
 - B. 横切面椭圆形(elliptical atelo-oxeaklosters)。
- ⑥ 刀形单轴针(siciform monaxons);
- ⑦ 有次级分枝的单轴针(monaxons with subradiates):
 - A. 1根长轴,末端长出3根向后伸出的短枝(protriaenes);
 - B. 1根长轴,末端长出4根向后伸出的短枝(protetraenes);
 - C. 1根长轴,末端长出6根向后伸出的短枝(prohexaenes)。

2. 二轴针(bixons)

- 1) 三射二轴针(triradiates or trictines):
 - 1根长针2根短针,短针向后伸(prodiaenes)。
- 2) 直四射二轴针(orthotetractines or stauractines):
 - 4根射针在同一平面上呈直角交叉。
- 3) T型二轴针(T-form bixones)。

3. 三轴针(trixons)

主要形式为三轴六射针,射针可缺,水平二轴可与垂直轴不立交。

- 1) 六射三轴针(hexactines trixons):
 - ① 三轴直交(orthohexactines):
 - A. 射枝细长;
 - B. 射枝尖锥状,基部粗。
 - ② 二轴斜交,但均垂直于第三轴(clino orthohexactines)。
 - ③ 二轴均斜交于第三轴,呈“六射五轴状”,称之为斜三轴六射针(clinohexactines)。
 - ④ 三根轴从同一基部伸出,呈 120° 分叉,每根轴末端分出次一级射针。
- 2) 直五射三轴针(orthopectines):
 - 三轴直交,但射针长度不等。
- 3) 斜五射三轴针(clinopectines):
 - 二轴与斜直轴斜交,呈“五射五轴状”。

4) 瘤状三轴针 (tumour-shaped trixons)。

4. 四轴针 (tetraxon or quadradiates)

1) 四轴射针 (tetraxons polyactine):

① 1 根垂直射枝, 6 根水平射枝, 水平射枝同在一平面上, 呈 60° 交叉;

② 1 根垂直射枝, 7 根水平射枝:

A. 在底部又分出 4 根射枝;

B. 在底部又分出 3 根射枝。

2) 4 根射针不在同一个平面上, 由一个中心点射出:

① 规则四射针 (regular tetraxons):

4 根射针垂直平射, 等长, 但横切面棱状。

② 不规则四射针 (irregular tetraxons):

4 根射针无规则的不等长 (irregular anisomekactinal tetraxons), 也不在一个平面上。

5. 多射针 (polyactinals)

1) 多射针自基部向同侧方向以不同角度射出。

2) 多射针自基部向相向的二个方向以不同角度射出。

6. 网形针 (desma)

1) 由一个小的基点向各个方向伸出网状射针, 射针不规则排列, 形态大小不一。

2) 规则排列的射针, 自大的球形基部向四周射出等大的有规律的射针, 射针粗端向末端尖细快, 略呈短角锥形。

对共生的骨针, 即使形态类型不同, 凡是组织结构、成分、排列方式等方面基本相似的合并为一个单元即影子分类单元, 为今后建立真正的生物分类单元创造条件。据此, 在我国早寒武世梅树村期鉴定了一些属种, 如 *Protospongia* sp., *Asteractinella* cf. *expansa* Hinde, 1988, *Calcihexactina*? sp., *Hunanospongia delicata* Qian et Ding, 1988; 在筇竹寺期有 *Protospongia* sp., *Calcihexactina*? sp., *Effelia* sp., *Cornacuspongia* sp., *Xixiangites tripodanus* Ding et Li, 1992; 在沧浪铺期有 *Eiffelia araniformis* (Missarzhevsky, 1981); 在中寒武统建立了 *Miriella hainanensis* Jiang et Huang, 1986。其中能鉴别到高级分类单元的骨针还不多, 目前仅包括了两个类别: 一类属于钙质海绵纲 (Calcarea)、异射海绵目 (Heteractinida), 如 *Effelia*, 它是多射枝的, 主要为四射针, 虽然形态上与开腔骨类十分相似, 但本书已将 *Chancelloriidae* 从海绵动物中排除, *Effelia* 骨针一般有良好的定向和留下的磷酸盐质成分, 但原始成分是钙质的; 另一类属于六射海绵目 (Hexactinellida), 如 *Protospongia* 带有硅质成分和轴沟, 证实了现代类型的六射海绵类在早寒武世早期就已存在。在那时期出现如此之多的骨针形态类型, 表明海绵动物的辐射分异不是在中寒武世也不是在早寒武世筇竹寺期, 而是在早寒武世最早期——梅树村期就已开始。遗憾的是早寒武世的海绵骨针绝大多数呈孤立、分散状态保存, 而完整形态的海绵体化石只在加拿大早寒武世布吉斯动物群中存在。可喜的是, 近几年我

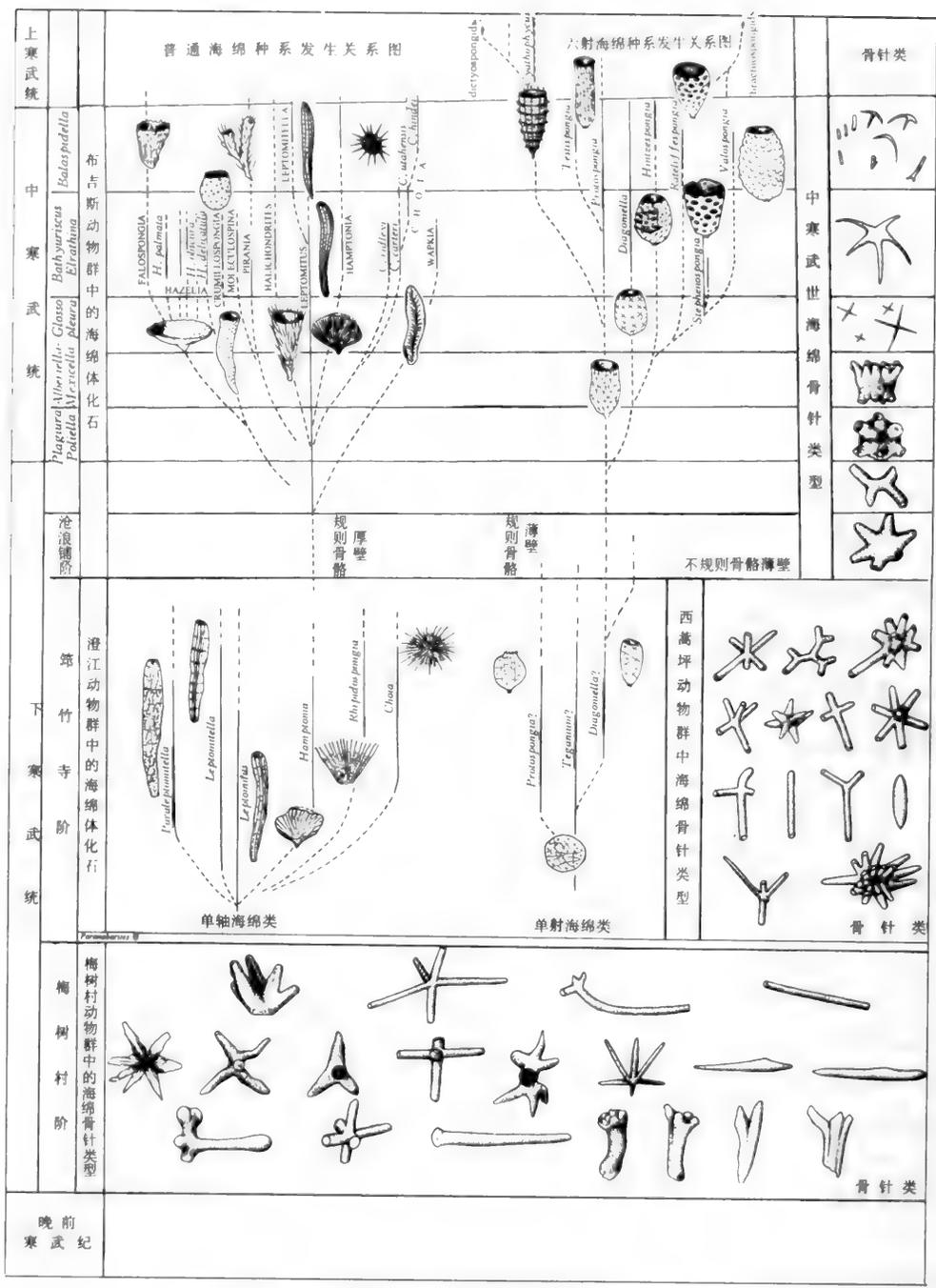


图 1-4 寒武纪海绵动物早期演化示意图

Fig. 1-4 Sketch map showing early evolutionary development of Cambrian sponges

国学者(陈均远等, 1989,1990)首次报道了我国云南澄江的完整形态的海绵体化石,是迄今为止世界上所发现的保存大量完整海绵骨骼化石中层位最低的唯一产地。尤其是詹

仁斌^①的系统研究,发现了澄江动物群中的海绵化石已拥有2纲3目5科10属。不仅显示了该时期的海绵动物已有较高的分异度,它在海绵动物早期演化进程中已达到了一个新的高度(图1-4),而且改变了过去关于“海绵动物在早寒武世是一个非常有限的生物集群”和“海绵动物只在中寒武世才开始迅速分异”的结论(Rigby, 1976, 1986)。

第六节 棘皮动物骨板

在我国早寒武世地层中,经化学处理后,经常发现一些形状奇特疏松多孔的骨板化石,但大多未经仔细研究,已知产自峡东宜昌石牌组、汉中梁山郭家坝组、河南辛集组等地。李勇等(1991)对陕南镇巴小洋坝水井沱组的类似材料进行了描述,命名为 *Liyongella* Qin et Li, 完全据22形态鉴定7种。根据现代化石岩石学的研究,这些骨骼具有棘皮动物的典型特征,骨板外形多样,多孔,岩性多具同轴增生的特征,在正交镜下呈整体消光。故将李勇等(1991)的材料改归棘皮动物。

Bengtson 等(1990, p. 255, figs. 174A—C) 自澳大利亚早寒武世地层中报道了类似形态骨板,现有扫描照片又有正交镜下的图像,可惜未作进一步的论述。

我国贵州中寒武世凯里动物群中有完整棘皮动物化石(赵元龙等, 1994),在北美中寒武世发现许多完美的棘皮动物化石,分属数个纲(Robison, 1991),其骨板形态多种。

Миссаржевский(1989, табл. 30, фиг. 7—9)图示了三个类似形态的骨片,未定名,仅仅说明为“古老棘皮动物的骨板”。

第七节 原牙形类和牙形状化石

牙形类的生物学亲缘迄今悬而未决,一百多年来已提出过50多种假设,最近几年的讨论集中于两种假说:脊索动物与毛颚动物,但这两类动物相差甚远。尽管在石炭纪和志留纪发现了带软体的牙形动物化石,但仍然没有定论,甚至对其牙形器官的功能也有分歧,既有“牙”模式,也有“肉中刺”的说法。

Bengtson (1976)根据牙形类化石的组织特征将其分为三大类:原牙形类(protoconodont),副牙形类(paraconodont)和真牙形类(euconodont)。并提出了原牙形类→副牙形类→真牙形类演化序列,即从全暴露单体(原牙形类),通过部分暴露的单体(副牙形类),到全包埋在上皮囊里的单体(真牙形类)(图1-5),这一假说现在逐渐被普遍接受。Szaniawski 和 Bengtson (1993)根据大量切片认为已完全确定副牙形类通过中间类型增加冠层演化为真牙形类,但他们自述没有证实原牙形类向副牙形类的演化。

寒武纪许多化石在总的形态上或多或少类似于牙形类,大多数情况下它们是简单的锥体,但也出现较复杂的种类。仅几种在某种程度显示与典型的真牙形类有亲缘,现有的研究说明这三种牙形类均能见到。安泰序和梅仕龙(1994)根据形态学资料对我国华北中晚寒武世牙形类属种间演化谱系作了详细说明。Bengtson(1993)对中晚寒武世副牙形类

① 詹仁斌,1989;云南澄江早寒武世海绵化石的初步研究。中国科学院南京地质古生物研究所硕士研究生学位论文。

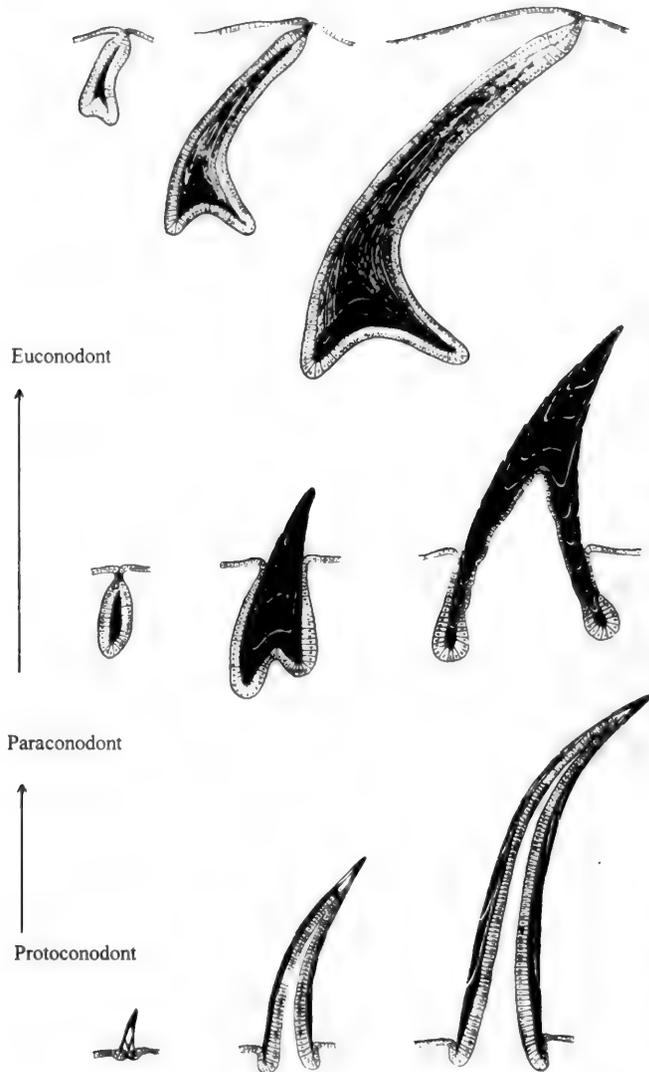


图 1-5 早期牙形类演化模式(引自 Bengtson, 1976)

Fig. 1-5 A model of early conodont evolutionary sequence (after Bengtson, 1976)

和真牙形类的演化和相互联系也作了进一步的理论性阐述。

早寒武世早期原牙形类和牙形状化石的研究始于 70 年代初,相对而言,研究时间较晚,研究程度也较差。目前仅辨认出原牙形类和牙形状化石。此外,在中国还发现一些不明生物体的器官。原牙形类是一类细长的单锥型刺体,壳壁具层状微结构,最早最典型的代表是 *Protohertzina*。该属在世界上分布甚广,迄今为止已在俄罗斯、中国、哈萨克斯坦、蒙古、印度、伊朗、加拿大、澳大利亚等国最早寒武纪地层中发现。尤其在中国扬子地台,在许多前寒武系与寒武系跨界地层剖面中存在(钱逸, 1977; 蒋志文, 1980; 何廷贵, 见殷继成等, 1980), 他们以此属作为梅树村阶第 I 组合带(下亚带)的带化石之一。它是

目前建立的最早一个牙形类化石带。这个化石带的建立大大提高了中国乃至世界上最早寒武纪地层对比的潜力,对确定寒武纪的底界起了标准化石的作用。在中国早寒武世早期地层序列中稍晚于 *Protohertzina* 出现的有 *Paracanthodus* (陈孟莪, 1982) 和 *Ganluodina* (何廷贵, 1984), 它们产于四川峨眉高桥麦地坪灯影组麦地坪段(何廷贵划为 34 层)第 I 组合带的上部。目前对 *Paracanthodus* 的牙形类性质尚有争议,陈孟莪至今坚持认为应属原牙形类,王成源却表示怀疑。1996 年, Azmi 认为 *Ganluodina* He 是 *Mongolodus* Missarzhevsky, 1977 的晚出同义名。*Ganluodina* 除产于四川峨眉外,尚见于甘洛、汉源等地灯影组麦地坪段下部、陕西宁强灯影组宽川铺段下部。此属与 *Paracanthodus* 有些共同之处,并在刺体后缘或靠近基部都有小的齿状突起、小齿或甚至有孤立小齿存在。说明小齿化(dentalatim)发生较早。另外,其形态还显示了一些变异现象,基缘形态由浑圆到压扁,刺体弯曲度由弱而强,有时呈膝曲状,侧脊、后脊和前槽也均有少许变化。在中国下寒武统梅树村阶第 II 组合带现仅发现一属,即 *Yunnanodus* Wang et Jiang, 1980。此属仅产于云南晋宁梅树村剖面灯影组中谊村段第二组合。此属特点是基板上密集排列的小齿,但没有基腔,所以对此属的牙形类性质尚有疑问(Bengtson, 1983; Qian Yi and Bengtson, 1989)。筇竹寺期牙形类化石也屡屡发现,其中特征很明显的牙形状化石是小菱角刺属 *Rhombocorniculum*。该属最早报道于英国思诺普郡下寒武统(Cobbold, 1921; Walliser, 1958),它包括 3 种:*Rh. cancellatum*(Cobbold), *Rh. walliseri* Meshkova 和 *Rh. insolutum* Missarzhevsky。其中 *Rh. cancellatum* 也在湖北房县灯影组西嵩坪段发现(钱逸、张师本, 1983),并被视作筇竹寺阶小壳化石带的带化石(Qian Yi, 1989),后在陕西镇巴水井沱组 and 新疆乌什-阿克苏地区早寒武世肖尔布拉克组底部也发现(解永顺, 1990; 岳昭、高林志, 1992)。该属地质时代延限短,地理分布广,目前在英国、蒙古、哈萨克斯坦、中国、加拿大、美国早寒武世中期相当筇竹寺阶层位均有,而且已被欧洲、美国、中国、俄罗斯等学者用来作为筇竹寺阶的带化石。尽管在分类上该属还归不到任何一种牙形类,Conway Morris (1987) 和 Landing (1980) 曾将它归入特殊的假牙形类(pseudoconodonts)。与 *Rhombocorniculum* 共生的原牙形类有 *Jiangshanodus* Yue, 1989, *Hagionella* Xie, 1990, *Amphigeisina* Bengtson, 1976 和 *Gapparodus* Abaimova, 1978, 前两属发现于浙江江山早寒武世荷塘组底部(岳昭、何圣策, 1989, 当时他俩将 *Hagionella* 误定为 *Protohertzina*)。后三属发现于陕西镇巴早寒武世水井沱组(解永顺, 1990)和新疆乌什-阿克苏地区筇竹寺期玉尔吐斯组和肖尔布拉克组(岳昭、高林志, 1992, 当时他俩将 *Hagionella* 误定为新属 *Xinjiangodus*)。小神圣刺 *Hagionella* Xie, 1990, 原本由 *Protohertzina cultrata* Missarzhevsky 改订而来(因该种与 *Protohertzina* 存在多点区别)。加帕尔刺 *Gapparodus* 是一个延限较长的属,可以从筇竹寺期延伸到晚寒武世长山期。广布于亚洲、北美、欧洲。过去认为副牙形类是从中寒武世原牙形类 *Gapparodus* 演化而来(安泰席、梅仕龙, 1994), 现在该属已在早寒武世早期筇竹寺期就已存在,因此副牙形类的初始演化已大大超前了。双檐刺 *Amphigeisina* 分布于亚洲和欧洲下寒武统,值得注意的是上述几种牙形类均大体类似于 *Hertzina*, 后来才被陆续建立新属,但均属于原牙形类。

综上所述,原牙形类在我国早寒武世梅树村期至筇竹寺期经历了三个演化阶段,被划分为三个原牙形类化石带,即梅树村期的 *Protohertzina anabarica* 带, *Ganluodina*

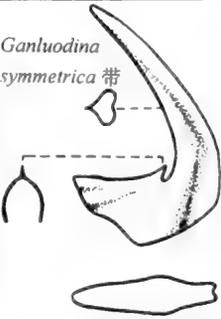
阶	小壳化石组合带	原牙形类化石带	牙形状化石带	属的分布	演化
筇竹寺阶	V	 <p><i>Hagionella cultrata</i> 带</p>	 <p><i>Rhombocorniculum cancellatum</i> 带</p>	<p><i>Gapparodus</i> <i>Amphigeisina</i> <i>Jiangshanodus</i> <i>Hagionella</i> <i>Rhombocorniculum</i></p>	 <p>Protoconodonts Paraconodonts</p>
	IV				
梅树村阶	III — II		 <p><i>Porcauricula hypsilippis</i> 带</p>	<p><i>Porcauricula</i> <i>Ganluodina</i></p>	
	I	 <p><i>Ganluodina symmetrica</i> 带</p>	 <p><i>Paracanthodus variabilis</i> 带</p>	<p><i>Paracanthodus</i></p>	
		 <p><i>Protohertzina anabarica</i> 带</p>		<p><i>Protohertzina</i></p>	

图 1-6 我国早寒武世早期原牙形类和牙形状化石带及其演化

Fig. 1-6 Early Cambrian protoconodont and conodont-like fossil zones in China and their evolution

symmetrica 带和筇竹寺期的 *Hagionella cultrata* 带(图 1-6)。

目前在我国早寒武世中期即沧浪铺期还未发现真正的牙形类,仅在河南方城、叶县早寒武世辛集组小壳化石中发现牙形状化石 *Bioistodina* He et Pei, 1984 和 *Henaniodus* He et Pei, 1984 (何廷贵等, 1984; 裴放, 1988), 前一属与牙形动物关系不大, 可能为某种动物体上的颚器, 而后一属似乎与牙形动物有关。

第八节 论具腔骨片类

1. 对具腔骨片纲(*Coeloscleritophora*)的评论

Bengtson 和 Missarzhevsky (1981) 首次提出 *Coeloscleritophora* 一名, 包括 3 科: *Wiwaxiidae* Walcott, 1911 (= *Halkieriidae* Poulsen, 1967 = *Sachitidae* Meshkova, 1969), *Siphogonuchitidae* Qian, 1977 和 *Chancelloriidae* Walcott, 1920(图 1-7)。这些动物以复合的外骨骼为特征, 其单个骨片(sclerites)都有一个显著内腔和一个细小的基孔。他们认为骨片的形成方式可能是矿化沿着生物先驱的表面发生, 以后才占据了整个骨片的内腔。骨片是生物的外部构造, 形成一个彼此联结, 甚至多少有些吻合的甲盾。这种外骨骼的生长或者是新骨片的添加, 或者是大骨片更换小骨片的过程。所涉及的诸科之间骨骼组织上的基本相似性表明这类骨骼具同源的特征, 可以用来鉴别一个高级分类上的单祖源生物类群。由于寒武系底部大多是分散的骨片以及涉及许多绝灭的种类, 尤其对多骨片动物组织(包括骨片系 scleritome)缺乏认识, 对种群内部表型变异估计不足, 对各类生物间的谱系关系缺少了解, 造成了分类与命名上的混乱, 生态解释的错误和生物物种分异度的夸大等。但随着新的事实积累, 证明 Bengtson 和 Missarzhevsky (1981) 这种归纳的尝试不能说是成功的。

(1) *Halkieria* 与 *Wiwaxia* 的区别

Conway Morris 和 Peel (1990) 报道了格陵兰北部早寒武世 Buen 组中完整保存的赫尔克壳类的联锁骨片(图 1-8a)。尽管它与早先发现的 *Wiwaxia* 个体(图 1-8b)有某些相似性, 但有很大的不同: 在 *Halkieria* 个体的前后部各有一个帽贝状大壳, 而 *Wiwaxia* 没有如此构造; *Halkieria* 的骨片数近 2 000 个, 而 *Wiwaxia* 的甲片数目只有 150 个左右; *Halkieria* 的骨片是矿化的, 常见的是磷酸盐质, 而 *Wiwaxia* 的甲片是非矿化的, 只有在特异环境下才能保存; 两种生物的骨片类型数目及其排列位置也不一样, *Wiwaxia* 有四种骨片类型, 即剑形骨片、掌形骨片、刀形骨片和刺形骨片, 而 *Halkieria* 只有三种类型, 即位于腹两侧边缘的呈束状排列的剑形骨片, 位于个体中央呈叠瓦状排列的掌形骨片和位于剑形和掌形两种骨片之间的平行前后轴排列的刀形骨片, 它没有像 *Wiwaxia* 个体上还有背向伸出的刺形骨片, 而且在这两种生物体上刀形骨片与掌形骨片排列位置相反。在上述区别中, 我们认为有无帽贝状壳板的区别是最本质的, 这一区别表明两者在解剖学和生物学的特征上已超过纲一级的范围, 使得其他的相似性不过是一种趋同现象。赫尔克壳类是亲近于软体动物的绝灭种类, 可能介于软体动物无板纲与多板纲之间的潜在有纲一级的新类别, 而 *Wiwaxia* 是更接近蠕虫动物的后裔。



图 1-7 具腔骨片类骨片系类型(引自 Bengtson and Conway Morris, 1984; 钱逸, 1989)

Fig. 1-7 Scleritom types of coeloscleritophorans (after Bengtson and Conway Morris, 1984; Qian Yi, 1989)

(2) 开腔骨类

完整生物体(图 1-8c)的轮廓呈长管状或花瓶状, 体表嵌满了许许多多密集的星形骨片, 显然它是一种固着底表动物, 食悬浮的微生物。尽管目前被排除出海绵动物之外, 但无论是星状的单个骨片还是花瓶状的个体以及它们的生活习性, 都表明它比赫尔克壳类和维王克壳类更接近于海绵动物的一类非海绵绝灭类群。它们之间的区别如此之大, 可达到门的级别, 我们决不能忽视体构(bodyplan)的不同而过分强调骨片形成方式和组织

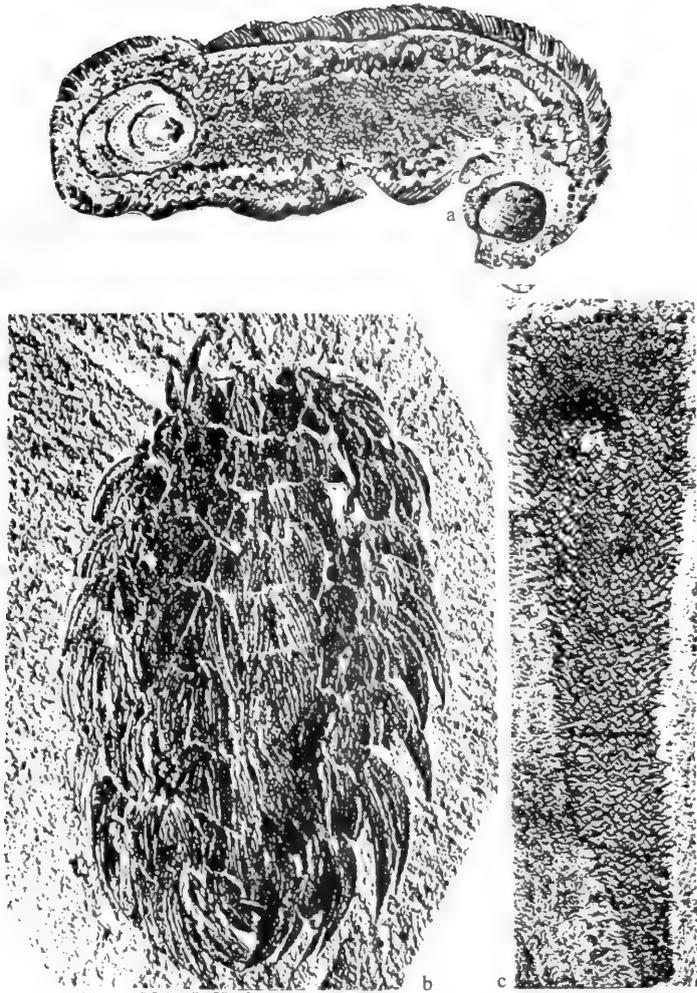


图 1-8 *Halkieria* (a), *Wiwaxia* (b) 和 *Chancelloria* (c) 的完整生物体 (a 引自 Conway Morris and Peel, 1990; b 引自 Conway Morris, 1985; c 引自 Walcott, 1920)

Fig. 1-8 Restoration of *Halkieria* (a), *Wiwaxia* (b) and *Chancelloria* (c) showing the complete organism body (a after Conway Morris and Peel, 1990; b after Conway Morris, 1985; c after Walcott, 1920)

结构的相似性。

寒武纪是各种“试验”盛行、“创造门”的时代。与其硬性归并上升为既非真正的生物系统分类,又非纯形态分类的处理,还不如先让它们独立“门户”。

因此,本书建议暂不使用具腔骨片纲 *Coeloscleritophora* 一名,本书对棱管壳类、赫尔克壳类和开腔骨类作不同类别处理。

2. 棱管壳类(siphogonuchitids)

棱管壳科 Siphogonuchitidae 是钱逸(1977)建立的,原始属有 *Siphogonuchites* Qian, 1977, *Palaeosulcachites* Qian, 1977, *Lopochites* Qian, 1977 和 *Carinachites* Qian, 1977。被后人加进的属有: *Dabashanites* Chen, 1979, *Trapezochites* Qian et Jiang, 1982, *Loma-sulcachites* Qian et Jiang, 1982, *Drepanochites* Qian et Jiang, 1982, *Protohertzina* Missarzhevsky, 1973 (罗惠麟等, 1982), *Cyrtochites* Qian, 1984 和 *Aurisella* Qian et Xiao, 1984(钱建新、肖兵, 1984a)。1989年后,经钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989)研究后确认能归入该科的属仅有 *Siphogonuchites*, *Lopochites*, *Drepanochites* 和 *Loma-sulcachites*。其中, *Palaeosulcachites*, *Trapezochites*, *Dabashanites* 是 *Siphogonuchites* 的晚出同义名, *Protohertzina* 归入原牙形类, *Cyrtochites* 和 *Aurisella* [Conway Morris 和 Chapman (1996)认为此属是 *Ninella* Missarzhevsky et Mambetov, 1981 的晚出同义名]被排除在棱管壳类之外,是一个分类位置未定的生物类别(Qian Yi and Bengtson, 1989)。*Ninella* 曾被认为是托莫特壳类(Миссаржевский В. В. и Мамбетов А. М., 1981)或接近于带柄类原口动物(? stem-group protostomia) (Conway Morris and Chapman, 1996)。

目前棱管壳类化石已在中国、前苏联、蒙古、伊朗、印度、法国早寒武世沉积中发现。典型的棱管壳类骨片是中空的、伸长的、不对称的,常顺轴向扭曲,其上具有明显的纵脊,脊之间的面平或凹,其横切面为三角形、多边形、卵圆形、透镜形、梯形等不同形状。表面饰有纵线和横纹组成的装饰。骨片大略可分成近端的基本部和远端的叶片,有时两部分之间显著弯折。基部开口叫基孔,末端部叫作顶,上、下叶片之间的界线常常不大清楚,有时可分出上侧面和下侧面(图 1-9)。

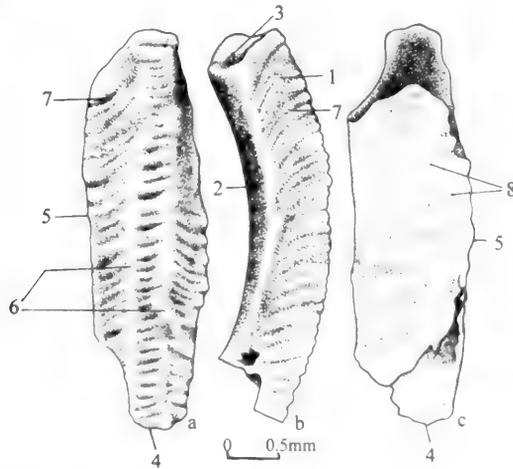


图 1-9 棱管壳类骨片形态学术语(引自钱逸, 1989)

Fig. 1-9 Morphological terminology of siphogonuchitids(after Qian Yi, 1989)

- a. 凸面视(convex view); b. 侧视(lateral view); c. 凹面视(concave view)。1. 凸面壳(convex shell); 2. 凹面壳(concave shell); 3. 基孔(basal pore); 4. 顶部(apical part); 5. 侧棱(lateral edge); 6. 纵脊(longitudinal ridge); 7. 横肋(transverse ribs); 8. 横纹(transverse rugae)

骨片的集合体,呈束状排列,常见2个至8个以上骨片堆叠在一起,偶然在基部融合,但有时只有一个共同的基孔(图1-10)。棱管壳类集合体骨片的发现(陈孟莪,1979a; Воронин и др., 1982; 杨暹和等, 1983; Qian Yi and Bengtson, 1989; Qian Yi, 1989)再次肯定了钱逸(1977)关于棱管壳类骨片是某一生物外骨骼的离散部件的看法。尽管至今还不清楚它的生物学性质,但钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989)认为经过研究后保留的形态属种仍然是可取的和实际的,最终将转变为生物分类。

现在所见到的棱管壳类骨片成分是磷酸盐,钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989)认为其原始成分极可能是钙碳酸盐,现有的磷酸盐成分可能是次生的,成岩作用形成的,我国云南晋宁梅树村剖面上的棱管壳壳壁是由隐晶质的磷酸钙组成,内壁衬积一层C轴垂直于表面的磷灰石。

棱管壳类的形态变异度很大,但大小不一的骨片类型都存在一个变化的基部,表明不是靠生长层连续增长,而是连续分泌生长的,早期生长阶段没有使骨片合并,骨片的紧密结合表明具体生长包括了外骨骼整体脱落而不是单个骨片脱落,也不是旧骨片没有脱掉新骨片就插入。尽管棱管壳类的骨片呈束状排列,并区别于鳞片状叠覆的赫尔克壳类甲片,但是他们的形态相似性是毫无疑问的。Bengtson 和 Conway Morris 认为 *Thambetolepis* (Bengtson et al., 1990, figs. 56—61) 和 *Halkieria* (Bengtson et al., 1990, fig. 47) 的剑形和刺形骨片非常相似于棱管壳类的骨片,尤其是在单独找到的情况下很可能混淆。因此,他们推测棱管壳类与赫尔克壳类可能同属于一个更高的分类级别。

有关棱管壳类的生物亲缘,近年来有种种猜测:猜测之一源于我国何原相和杨暹和(1986)的鉴定材料,他们建立了两个珊瑚属,一个叫微小珊瑚 *Microlites* He et Yang, 1987,他们描述为小型块状复体珊瑚,整个群体大小不到1mm,个体直径不到0.01mm。有人怀疑它是棱管壳类,但经我们研究后认为它既不是珊瑚,也不是棱管壳类,而是软体动物 *Emeiconus* He, 1982 外表脱落的装饰碎片,因为 *Microlites* 的碎片和 *Emeiconus* 表面上的装饰构造,无论从个体大小、排列方式和壳壁结构都是一致的,而且两者总是共生在一起。另一个属叫奇异珊瑚 *Mirusilites* He et Yang, 1986, 包括3种: *M. chiriformis* He et Yang, *M. legantis* He et Yang, *M. rodustus* He et Yang。由于这个属具有共用的基孔和香蕉状的联锁骨片,我们确认是 *Dabashanites* Chen, 1979 的晚出同义名,理应是棱管壳类的骨片集合体,但这也决不意味着棱管壳类就是珊瑚,因为这类化石不具有辐射对称的特点,内腔壁上也无隔壁,尽管何原相等叙述到 *Mirusilites* 的壳内壁上偶尔见有小刺状隔壁,但我们认为它是一种次生产物,不是原生构造。

由第一种猜测引申成第二种猜测源于前苏联 Миссаржевский (1989),在他专著中提到产于蒙古北部 Salanygol 剖面上的棱管壳类与其共生的软体动物 *Maikhanella* Zhegallo, 1982 属于同一生物体,前者是后者的表面装饰刺(见 Bengtson, 1992a, figs. 2—7, *Makhanella multa*; fig. 8, 棱管壳类)。Conway Morris (1990)也注意到这一看法,并认为这仅仅是一种假设性的意见,尚需进一步材料证实。由第二种猜测延伸出第三种猜

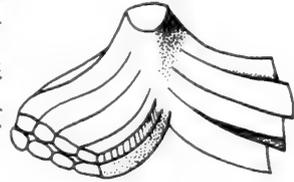


图1-10 显示有共用基孔的棱管壳类骨片系(引自陈孟莪,1979)

Fig. 1-10 Diagram showing associated sclerites of siphonochitids with a basal pore(after Chen Meng'e, 1979)

测是 Bengtson(1992a)的分析意见,他的认识是从下面二个基本观点出发的:棱管壳类与赫尔克壳类有密切的近亲关系,因此他的思路是借助 *Halkieria* 的完整生物体,复原棱管壳类的生物体(尽管还没有实现);中国云南的 *Ramenta* Jiang, 1982, *Canopoconus* Jiang, 1982 和四川的 *Emeiconus* He, 1982, 都是 *Maikhanella* 的晚出同义名[前2属的建属时间是1982年9月,第3个属的建属时间是1982年6月, *Maikhanella* 的建属时间,据 Bengtson(1992a)叙述为1982年1月,但我们没有查到确切的月份,尚待进一步查证]。依此, Bengtson(1992a)认为,中国的棱管壳是某一软体动物生物体上的外骨骼, *Maikhanella* 是其上的孤立骨片经过融合形成的骨板,这种骨板类似于 *Halkieria* 生物体上的帽贝状壳板。

在我们检查了中国的有关材料后认为第二种猜测可能性不大,因为棱管壳单个骨片的长度和直径可以大于共生的 *Maikhanella* 单个装饰刺的5—20倍;棱管壳具有香蕉状骨片系,具有共同的基孔,而 *Maikhanella* 的装饰刺常常是并列的;据我们对中国的“*Maikhanella*”表面脱掉的装饰刺的仔细观察发现,其表面没有像棱管壳表面上有那样复杂的表面纹饰。

对于第三种猜测可靠的程度有多少,目前无法预测,即使 Bengtson 的分析是正确的,但棱管壳生物体的壳板究竟有多少个是不清楚的,而壳板数目的不同,直接关系到棱管壳类生物与赫尔克壳类生物能否作为同一纲中的两个并列类别处理。另外, *Halkieria* 的帽贝状壳板是由边缘向中心生长,而 *Maikhanella* 的帽状壳很明显是从顶部(始壳)向边缘生长,因此,我们怀疑 Bengtson 的这种推论的可靠性,与其是把棱管壳与 *Maikhanella* 放在同一个属、同一个软体动物,还不如把棱管壳作为一个分类位置未定的独特绝灭类群处理。

3. 赫尔克壳类(halkieriids)

Halkieria 属和 Halkieriidae 科是 Poulson 1967 年根据丹麦波恩荷恩岛下寒武统磷酸盐结核中鳞甲状外模建立起来的,当时被视为软舌螺的一个科。1969 年 Мешкова 在俄罗斯西伯利亚下寒武统托莫特阶发现了大量的这类化石,并建立了 *Sachitidae* Meshkova, 1969, *Sachites* Meshkova, 1969 及其 4 种,原先被归入似软舌螺目 Hyolithelminthes (Мешкова, 1969), 后来又归入一个大杂类寒武骨片目 Cambroscleritida (Мешкова, 1974)。

钱逸(1977)首次报道并描述了我国峨眉麦地坪剖面灯影组麦地坪段的此类化石,鉴定了 *Sachites* 4 个种,其中包括 2 新种。他认为这类化石不是软舌螺,而是某一生物体的局部构造—硬片,稍后,何廷贵(见殷继成等, 1980) 又根据同剖面上的材料鉴定了 5 种和由 2 新种所代表的一个新属 *Sinosachites*。他根据该属壳体有明显的轴部和具有羽状排列的骨板所组成的两侧翼构造,推测与三叶虫类节肢动物有亲缘关系。蒋志文(见罗惠麟等, 1982) 通过云南会泽和永善梅树村阶地层的材料,鉴定了 6 种,包括 1 新种,他认为 *Sachites* 与棱管壳科 Siphogonuchitidae 有近亲关系,但他设想为一个完整的动物体,独立生活在岩壁上(见罗惠麟等, 1982, 178 页,图 51),显然这种模式已经过时。以后钱建新和肖兵(1984)、肖兵(见高振家等, 1987a, b)、肖兵和段承华(1992)、段承华和肖兵(1993)通过新疆乌什-阿克苏地区早寒武世玉尔吐斯组的材料又建立了 12 新种,还有 1 未定种和 1

已知种,加上国内其他作者如何廷贵(见殷继成等,1980)、岳昭(见邢裕盛等,1984)、段承华(1984)、钱逸和尹恭正(1984)、钱逸(1986),陆续发表的一些似楯壳类新属种,累计 *Sachites* 属在我国就有 38 形态种,如此众多的形态种使中国的 *Sachites* 的分类与进化历史扑朔迷离。为了解决这些问题, Bengtson 和 Conway Morris (1984, 1991)、Conway Morris 和 Peel (1990)重新研究了格陵兰北部的赫尔克壳类和俄罗斯西伯利亚似楯壳类的典型材料,经过分析、对比、复原,提出了如下几点重要认识:① *Halkieria* 和 *Sachites* 都是披有镜像对称的鳞甲状的多骨片后生动物,随着排列位置不同,骨片形态变异度很大,基本上可分 4 类骨片:剑形骨片位于腹两侧边缘,单个骨片新月形,不对称,骨片之间呈束状排列;掌形骨片位于个体中央,扁,微不对称,骨片之间呈叠瓦状排列;刀形骨片位于剑形骨片和掌形骨片之间,平行前后轴,呈纵向排列,单个骨片较长,大体对称;刺形骨片位于背部两侧。② *Sachitidae* 可以看作 *Halkieriidae* 的同义名,由于 *Sachites* 的模式种 *S. proboscideus* Meshkova 正模标本是内模,数量又少,发表的图像模糊不清,因此,这个属是敞开的,如果 *Sachites proboscideus* 的骨片是 *Halkieria* 的刺状骨片,那么 *Sachites* 可能被视为 *Halkieria* 的晚出同义名。考虑到 *Sachites* 的模式种是一个没有鳞甲形的骨片,产出层位又低于 *Halkieria*, 因此保留 *Sachites* 一属是可取的。但不管结果如何,除 *Sachites* 属的模式种外,其余的种,包括中国和前苏联 *Sachites* 的种都应归入 *Halkieria*。③ *Halkieria* 骨片的机能作用只能解释为保护软体的甲冑,是否有吸收功能有待进一步的查证。

丹麦格陵兰北部早寒武世 Buen 组页岩中,特异埋葬的 *Halkieria* 完整骨片系的发现(图 1-8a)具有重大的古生物学价值,不仅给大量骨片形态种的 *Halkieria* 的生物分类带来生机,而且为探讨 *Halkieria* 的生物亲缘带来一线曙光。根据 Conway Morris 和 Peel (1990)观察,证明了 *Halkieria* 只有 3 种骨片类型,它缺少 *Wiwaxia* 所具有的背向伸出的刺形骨片和前后部各有一个帽贝状壳板,这是当时 Bengtson 和 Conway Morris (1984)借助 *Wiwaxia* 来复原 *Halkieria* 完整生物体时所没有想到的,这个事实进一步说明了 *Halkieria* 在体构和骨片生长方式上与 *Wiwaxia* 有极大的区别(见本书,第 35 页),也提供了 *Halkieria* 与软体动物有密切亲缘关系的可能性,尽管目前它的确切分类位置还是不确定的。

赫尔克壳类骨片不仅特征明显,数量很多,而且地理分布也很广,目前,中国扬子地台、塔里木地台,俄罗斯西伯利亚地台,哈萨克斯坦,蒙古,印度,巴基斯坦,丹麦,英国,瑞典,挪威,澳大利亚,加拿大纽芬兰,美国东部早寒武世早中期地层都有发现,特别是在不同时代的地层中的赫尔克壳类骨片组合也不相同。根据本书材料分析, *Sachites* 层位最低,其次是 *Halkieria*, 再次是 *Sinosachites*, 最高层位的是 *Thambetolepis*。骨片的特征演化趋势是其侧翼从无(如 *Sachites*)到有,从侧翼狭(如 *Halkieria*)到宽(*Sinosachites*)再到最宽(*Thambetolepis*)。骨片组合类型变化从 3 种骨片类型(或许是 *Halkieria* 原始种)到 3—2 种骨片类型(*Halkieria* 晚期种),再到仅 1 种骨片类型 *Sinosachites*。由此证明赫尔克壳类的详细分类可用于寒武纪早期地层的划分与对比。

Halkieriidae 科的特征是:披有鳞片状骨片系的后生动物,两侧对称,具有左右两形钙质骨片可形成的几个纵向带,主要类型包括剑形骨片、掌形骨片和刀形骨片。身体两端各有一个显著的壳,前壳矩形、凸,后壳卵形,微凸,前后壳上均有边缘同心生长线。骨片形

态在各主要类型内部和之间变化较大,明显的基部可有可无,收缩的小孔(附着痕)位于基部中央,表面装饰可变,上表面通常具有纵肋或小管以及有时存在横脊;下表面通常显示微弱的横肋。在内部,宽度变化很大的中央沟在始部孔敞开。侧带可能包括连续的纵沟,但更多的是分成侧沟或小室。侧眼经小孔连通中沟。

目前该科仅包括 4 属: *Halkieria* Poulson, 1967, *Sachites* Meshkova, 1969, *Sinosa-chites* He, 1980 和 *Thambetolepis* Jell, 1981。

4. 开腔骨类(chancelloriids)

(1) 开腔骨类的研究概况

本类的完整生物体,呈管锥状或花瓶状,内腔中空,外壁嵌有密集的、花结状或是星状骨片(图 1-8c)。单个骨片是由 2—20 个边缘射管或有一个中央射管组成,每根射管是一个独立的单元,有自己的腔,在各射管的接触带上,双层钙质壁分隔开相邻的内腔。每条射管的基孔朝相同的方向,组成多角形的呈拼合图像的一个面。开腔骨类的离散骨片经常保存为内模,但因相邻腔之间的壁较薄且常常被成岩矿物充填,因此即使在酸浸之后相邻射管仍经常粘在一起。为了称呼单个骨骼的射管构造,钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989) 简化了 Sdzuy (1969) 的方式,直接用“ $n + n$ ”分别表述骨片的边缘射管数与中央射管数。Walcott (1920) 建立 *Chancelloria* Walcott, 1920 的模式种 *C. eros* Walcott, 1920 的标本,来自加拿大中寒武统伯吉斯页岩,是在特异埋葬条件下保存的自然集合体,混合有几种不同类型的骨片系。Bengtson 等(1990) 对 Walcott 模式系列的重新研究表明至少存在 3 个类别,可能更多,即:

① 具圆锥形体和两个类型的星形骨片,常见的 6-7+1 型和稀少的 4+0 型,该类包括后被 Goryansky(Горянский, 1973) 指定的 *C. eros* Walcott 的选模。Walcott 的选模、图没有显示完整标本并可能给人一个印象,它可能是偶然的骨片共生,但躯体的完整轮廓和反向的两层骨片,表明它是一个实体化石。Rigby(1978) 也从美国犹他州的中寒武统得到的一集群 *C. eros* 中发现 4+0 骨片。Mostler 和 Mosleh-Yazdi(1976) 报道了伊朗上寒武统的 4+0 骨片[*Chancelloria* n. sp. (未定种名)]与 *C. eros* 型骨片(7+1, 描述为 *C. iranica* Mostler et Moslehr-Yazdi) 共生,这一共生很可能代表与 *C. eros* 有密切亲缘或者相同的物种。

② 具有细长的窄圆锥体,3+0 的骨片,两射管平行体表,第 3 个离体表往外弯曲。全部射管看来朝躯体的较宽端弯曲,尽管伸出的射管一般断失。Walcott(1920, pl. 88, figs. 1, la, d, e) 图示了这种类型的实例。

③ 具窄圆锥形的躯体,4+0 的骨片,3 条射管在体表面内,一条从其伸出。如同前一类,全部 4 条射管看来指向躯体较宽一端,但突起的一条一般在基部断折。Walcott (1920, pl. 88, fig. 1c) 也图示过这一类。

Walcott 把第一、二类的骨片解释为与选模相同类型,但以角度埋葬以致某些射管见不到。Bengtson 等(1990) 认为这种解释不对,因为三个类别的骨片形态是一致的,特别是第二类具有比 *C. eros* Walcott 的选模更细长的射管。第二类骨片类似 Dore 和 Reid (1965) 得自法国下寒武统,描述为 *Allonnia tripodophora* Dore et Reid 的骨片。

已知自然集合的开腔骨类的其他几种,如 Rigby (1978) 描述美国犹他州中寒武世 *Chancelloria pentacta* Rigby 的骨片群; 根据一个可能的自然骨片共生的若干孤立的骨片建立的 *Archiasterella pentactina* Sdzuy 源自西班牙下寒武统 (Sdzuy, 1969); 另一些种根据了丰富的骨片集群 (如 Zhuravleva and Kordeh, 1955; Sdzuy, 1969)。尽管自 Walcott 时代以来已知道骨片系的复合性和骨片的变异性,但至今仍有一些由单骨片型来定义分类单位 (蒋志文, 见罗惠麟等, 1982; Васильева и Саютина, 1988)。

骨片中的射管数可能表现轻微变异 (*C. pentacta*, *C. eros*) 到可观的变异度 (*C. omaroccana* Sdzuy)。还有, 某些物种的骨片系可以有几种类型的骨片。如上所述, *C. eros* 的骨片稀罕为 $4+0$, 正常为 $6-7+1$; *A. pentactina* 除了正常的 $4?-5+0$ 外, 有少量的 $2+0$ 的骨片 (Sdzuy, 1969)。然而出乎意料之外, 中寒武世种类的骨片系中射管数变化小, 比较起来下寒武统岩层中离散骨片的样品显示出可观的变异度。南澳大利亚的样品得出开腔骨类骨片从 $0+1$ 变到 $11+1$, 以及从 $3+0$ 到 $8+0$, 甚至在一个样品中变异度也相当大。

在中国云南早寒武世澄江动物群和贵州中寒武世凯里动物群也分别发现了几个 *Chancelloria* 的自然集合体。云南澄江帽天山筇竹寺组上段中下部的 *Chancelloria* 材料, 显示了指状 (不完整) 的外形, 表壁上嵌有密集的但呈规则排列的三射射管, 其中二根穿过皮层露出表面, 第三根射管隐约可见, 常常向内生长, 詹仁斌 (1989) 鉴定为 *Chancelloria eros*, 但从具三射射管的特点似应定为 *Allonnia tripodophora* Dore et Reid, 1965。贵州凯里中寒武世凯里组的标本, 保存很不完整, 表壁上同样显示不规则排列的密集的骨片, 但每个骨片的射管数是 $2-6+1$, 显然属于 *Chancelloria*。

离散的开腔骨类骨片在早寒武世沉积地层中是常见的化石, 其骨片的类型也远比中寒武统的多得多, 尤其在我国。

蒋志文 (见罗惠麟等, 1982) 详细报道了云南梅树村阶开腔骨类的 7 属 9 种, 计有 $2+0 = Dimidia simplex$ Jiang, 1982, $3+0 = Allonnia erromenosa$ Jiang, 1980, $4+0 = Onychia tetrathallis$ Jiang, $5+0 = Archiasterella pentactina$ Sdzuy, 1969, $2+1 = Adversella montanoides$ Jiang, 1982, $6+1 = Eiffellia hispanica$ Sdzuy, 1969, $7+1 = Chancelloria maroccana$ Sdzuy, 1969 和 $8+1 = Chancelloria altaica$ Romanenko, 1968。显然蒋氏的分类依据是单个骨片的射管数目, 按此分类 chancelloriids 的属种数目, 将会急剧膨胀。因为新疆乌什-阿克苏地区早寒武世玉尔吐斯组中, 除了有上述的几种类型骨片外, 还发现有 $3+1$, $4+1$, $5+1$ 的骨片类型, 在上扬子地区包括滇、川、陕早寒武世梅树村期地层中还发现有 $9+1$, $10+1$, $11+1$, $12+1$ 等骨片类型。因此, 如果仅仅依据单个骨片的射管数目确定形态种, 必然与实际存在的生物种产生较大的误差。尽管目前的条件还不能真正解决开腔骨类的骨片系组构问题, 但至少在进行形态分类时, 还要考虑骨片的共生特征、形态特点、排列方式以及射管的组合数目。据此, 本书重新检查了我国不同地区同一层位或不同层位的开腔骨片样品, 发现中国上扬子地区梅树村阶第二组合带中, 仅有 $5-12+1$ 的骨片组合, 钱逸 (1989) 建立了 2 种, 即 $5-6+1 = Chancelloria irregularis$ 和 $7-12+1 = Chancelloria gigantea$ 。第三组合带中开腔骨类型发生了较大的变化, 共现的有 $2+0$, $3+0$, $4+0$ 和 $5+0$ 。根据 Bengtson 对 Burgess 页岩开腔骨类的研究, 除了保存 $5+0 = Archiasterella$ 外, 其余 $2+0$, $3+0$ 和 $4+0$ 的骨片组合可以合并成 *Allonnia*,

分别建立 3 个种 (Qian Yi and Bengtson, 1989)。

在湖北房县灯影组西蒿坪段,未见 2+0 和 3+0 的骨片组合,共现的有 4+0 和 5+0 以及 5-10+1 的骨片组合类型。其中后一种骨片类型的射管均已萎缩,呈钮扣状,因此,单独建立 *Chancelloria arida* Duan 是可取的(段承华, 1984; 段承华、曹芳, 1989)。在新疆柯坪地区玉尔吐斯组中,开腔骨类骨片特别丰富多样,几乎包括了我国早寒武世早期磷酸盐沉积地层中的所有 chancelloriids 骨片组合类型,而且还出现了不同形态和排列方式的 3-5+1 的骨片组合类型,即一根中央射管与 3-5 根边缘射管向相反方向伸出,而且边缘射管常常彼此并拢。因此,单独建立一个新属种 *Archicladium tridactyles* Qian et Xiao 是可取的(钱建新、肖兵, 1984)。

(2) 开腔骨类的分类与分类位置

1920 年 Walcott 提出 Chancelloriidae 科时,仅包括一属 *Chancelloria*, Doré 和 Reid 1965 年在该科内增加了 2 属,即 *Allonnia* Doré et Reid, 1965 和 *Eiffelia* Walcott, 1920。后来, Sdzuy (1969) 又增加 *Archiasterella* 属,之后,又有人将 Chancelloriidae 提升为目 Chancelloriida。并将 Sachitidae Meshkova, 1969 和 Sissospinidae Missarzhevsky, 1989 也列入了 Chancelloriida 目(见 Миссаржевский, 1989, с. 41, табл. 3)。正如钱逸和 Bengtson (Qian Yi and Bengtson, 1989)、Bengtson 等(1990)讨论过的,如果 Sachitidae 仅有的模式属和唯一的模式种标本是 *Halkieria* 的刺状骨片,那么 *Sachites* 一属就难以成立,如果 *Sachites* 是 *Chancelloria* 一个孤立的中央射管(见 Миссаржевский, 1989, табл. 21, фиг. 3, 4),那么,它也不过是 *Chancelloria* 的一种骨片形态,无论 Sachitidae 能否成立,它作为一个独立的科置于 Chancelloriida 是不可能的。作为仅有单属单种的 Sissospinidae 科(见 Миссаржевский, 1989, табл. 20, фиг. 6, 7)也不过是一种特异生长的开腔骨类,相当于 Васильева (1989) 所列的非星状外貌的射管簇。Sissospinidae 也不可能作为一个独立的科置于 Chancelloriida 目之下。

Васильева (1989) 提出所有开腔骨类的骨片组合累计有 12 型(形态属),暂作为属的标志是射管的空间分布及其数目和中央射管(或中央盘)的有无。种的标志是射管的整体性大或小,其形态、长度及与中央射管或中央盘的相对位置。但是, Bengtson 等(1990)对此 12 型的属名的比较与归并持有不同的看法。如: *Rosella* Vasiléva, 1988, *Stellaria* Vasiléva, 1985 似乎应归入 *Chancelloria* 属;而 *Aldania* Vasiléva 应归入 *Archiasterella* 属, *Dimidia* Jiang, 1982 和 *Onychia* Jiang, 1982 似乎应归入 *Allonnia* 属。另外, *Platispinites* 被排除在 Chancelloriidae 科之外。据本书统计,迄今为止,已发表的 *Chancelloria* 的种已超过 30 个,它们是:

- * *C. aldanica* Zhuravleva et Kordeh, 1955
- * *C. altaica* Romanenko, 1968
- C. arida* Duan, 1984
- C. asteroidea* Vasiléva, 1988
- C. astoroedea* (Vasiléva in Vasiléva et Seyutina, 1988)
- C. coronacea* Vasiléva, 1985
- * *C. drusill* Walcott, 1920
- * *C. eros* Walcott, 1920

- C. exilis* Saito, 1936
C. fragilis Vasiléva, 1985
C. gigantea Qian, 1989
* *C. grosdilovi* Zhuravleva et Kordeh, 1955
C. hispanica (Sdzuy, 1969)
C. irregularis Qian, 1989
* *C. lenaica* Zhuravleva et Kordeh, 1955
* *C. libo* Walcott, 1920
* *C. maroccana* Sdzuy, 1969
C. odontodes Quan, 1984
C. pentacta Rigby, 1978
C. ? petalina (Duan, 1984) (= *C. ? schizoloma*)
C. primaria Missarzhevsky, 1989
C. racemifundis Bengtson, 1989
C. sardinica Mostler, 1985
C. ? schizoloma (Duan, 1984)
C. spinulosa Vasiléva, 1985
C. spp. Bengtson, 1989
C. symmetrica Vasiléva, 1985
C. tuberculata (Sayutina) (Василева и Саютина, 1988)
C. verrucata Missarzhevsky, 1989
* *C. yorkensis* Walcott, 1920

上列种中,有 9 个主要种的特征已被归纳(种名前 * 者),一些种已被合并(种名前 # 者),但是其余形态种是否能成立是不清楚的,可靠物种数目的确定有赖于更多自然集合体的发现。

开腔骨类习称海绵(Walcott, 1920), Sdzuy (1969) 把它们看作现生海绵三大类(即六射海绵、普通海绵和钙质海绵)的主干类群。他把开腔骨类骨片的内腔当作普通海绵和六射海绵骨针的轴沟,并认为射管被海绵丝充填,海绵丝通过基孔外延。

Goryansky (1973) 反对海绵说,认为骨片由磷酸盐、碳酸盐混合物组成,没有联通的内腔。尽管他把骨片看作生物体的外部构造是可取的,但他对微细结构和成分的解释未能确认。围绕分离的内腔和薄的钙质壁的证据看来是无可辩驳的(Qian Yi and Bengtson, 1989)。此外,他还认为开腔骨类有属棘皮动物的可能性。Bengtson 和 Missarzhevsky (1981)指出,这种骨片构造排除海绵型包覆骨针的细胞参与,并认为骨片是作为有机质前体上的矿化鞘而分泌的。因此,此种骨片几乎不可能与现生海绵中的某些类别同源。

但是他们将开腔骨类骨片与赫尔克壳类、棱管壳类和 wiwaxiids 骨片系联系在一起作为一个独立的纲 Coeloscleritophora,看来是缺乏根据的(见本书,第 35 页)。蒋志文(见罗惠麟等, 1984)观察到开腔骨类骨片的表面有其他生物寄生、刻蚀的痕迹,并依此推测开腔骨类属外骨骼性质是对的,但是,他推测这种外骨骼内部具有的中空的体腔是虫体栖室的地方显然是错误的。因为根据 Walcott(1920)的北美中寒武统 *Chancelloria* 整体化石,其表壁上的棘刺、开孔及腔是肌肉附着于躯体的地方,并非虫体栖室,何况开腔骨类骨片的各射管之间的腔是分隔的,不联通的。本书支持开腔骨类不是海绵的理由如下:开

腔骨类骨片的射管是空的,而海绵骨针是实心的;开腔骨类骨片是披覆在软体之外,起保护性功能的皮刺型骨片而海绵骨针是内骨骼起支撑和加固软体的作用;开腔骨类的骨片由薄壁隔开各射管的内腔,表明壁是由占据空腔的组织分泌,而海绵骨针是由封闭着的骨针细胞组成。

虽然我们目前不能接受开腔骨类置于具腔骨片纲,可是目前它的真正生物亲缘和分类位置还是不清楚的,似乎应作为特殊的绝灭类型处理较妥。

(3) 开腔骨类的演化与地层意义

根据我国开腔骨类的骨片类型在不同时代的地层中分布情况看,可以总结出如下的规律性:寒武纪最早期梅树村期,第Ⅱ组合主要是 *Chancelloria* 骨片,大多有 5-12+1 的类型,水平射管多且完全平伸,以 *Chancelloria aksuensis* Xiao 和 *C. irregularis* 为代表。梅树村阶第Ⅳ组合中的开腔骨类骨片出现了 2-5+0 和 5+1 的骨片类型,边缘射管已从平伸向斜伸发展,其中以 *Allonnia tetrathallis* (Jiang), *A. erromenosa* 和 *Archisterella pentactina* 为代表。在筇竹寺期开腔骨类骨片出现的 5-10+1 的类型,其边缘射管萎缩,成钮扣状,以 *Chancelloria arida* 为代表。从筇竹寺期至沧浪铺期开腔骨类的骨片出现的 3-6+1 的类型,其边缘射管与中央射管呈相反方向延伸(其夹角从 120°至 180°),其中以 *Archicladium tridactyles* 和 *A. yurtusensis* 为代表。由此可知,早寒武世开腔骨类骨片类型的演化趋势是多枝模式到多枝与少枝模式,边缘射管从平伸到斜伸直至反向延伸,从长射管萎缩成短射管,整体呈钮扣状。以此演化规律,可以反过来应用到地层时代的确定和横向对比。

第九节 再论近骨状壳类

近骨状壳类(paracarinachitids)是钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989)根据钱逸(1984)建立的 Paracarinachitidae 科而指定的一个超科分类单元。总特征是骨片窄长,两侧对称,顶端狭,向反顶端逐渐变宽,末端部扩大呈刮铲状凸边,横向划分若干生长节,每个节上有一个小刺(图 1-11)。已知产于我国云南东部和法国南部黑山地区早寒武世梅树村阶第二化石带中。1980 年钱逸和蒋志文首次命名了一个新属种 *Paracarinachites sinensis* Qian et Jiang, 1982, 蒋志文将 *Paracarinachites* 与 *Zhijinities* Qian, 1987, *Carinachites* Qian, 1977, *Yunnanodus* Wang et Jiang, 1980 和 *Scoptonodus* Jiang, 1982 共 5 属组成一个新类别,叫齿形壳类(Conodonmorpha),但没有给予明确的定义。1989 年,钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989)对以上属的再研究发现齿形壳类所包括的几个属显然属于不同演化世系的分类单元。如 *Carinachites* 骨片是四辐对称,有角沟,应属于原始锥石类;*Yunnanodus* 不是典型的牙形刺,没有真正的基腔,小齿排列无序,钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989)已将它归入似牙形类化石(conodont-like fossils);有人认为 *Zhijinities* 是牙形刺,但它的外表是全封闭的钉状骨针,没有基腔,显然不是牙形刺,它可能是某种动物体上的皮刺状骨针;由于 *Scoptonodus* 标本保存不全,生物亲缘关系无法确认;*Paracarinachites* 既不是牙形类,也不是牙形状化石,尽管背脊上有刺,但生长方式不同。因此,Conodonmorpha 一名作为独立的分类单元是否继续使用值得

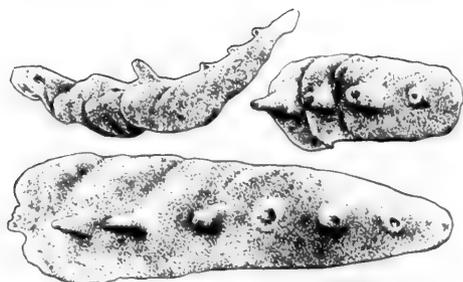


图 1-11 近骨状壳类骨片示意图(引自钱逸,1993)

Fig.1-11 Sketch showing sclerites of paracarinachitids (after Qian Yi, 1993)

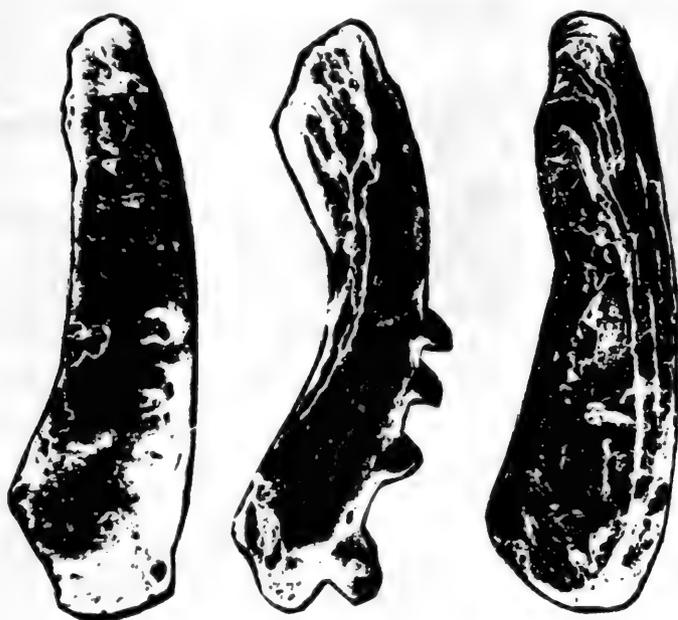


图 1-12 近骨状壳类骨片顶端所显示的层片状构造(引自 Qian Yi 和 Bengtson,1989)

Fig.1-12 Top of sclerite showing laminar structure of paracarinachitids
(after Qian Yi and Bengtson, 1989)

进一步商榷。

1984年,余汶根据四个骨片又命名了2个新属种: *Yangtzechiton spinus* Yu 和 *Luyanhaochiton elongatus* Yu。1987年,他又系统阐述了 *Yangtzechiton* 和 *Luyanhaochiton* 属于多板纲的理由,并提出了软体动物不是由单板纲而是由多板纲演化而来的理论,从而引起了国际学术界,尤其是软体动物专家和小壳化石专家们的注意。1989年,首先由钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989),稍后一些时间还有德国软体动物专家 Martin Keber 博士,1991年 Conway Morris 和 Chen Meng'e,1992年 Bengtson 和 Conway Morris、Розанов 和 Журавлева,先后发表文章反对 *Yangtzechiton* 是多板纲的观



图 1-13 余汶(1984)出示的 *Yangtzechiton elongatus* 的全部标本

Fig. 1-13 Specimens of *Yantzechiton elongatus* as shown by Yu Wen(1984)

点。根据本书的研究,持这种看法的主要依据有三点:

① *Paracarinachites* 型骨片和 *Yangtzechiton* 型骨片总是在同一层位中一起出现,同时还出现了介于两者之间的一系列过渡型骨片。*Paracarinachites* 型骨片表面上看是一个融合的整体骨片,背面光滑,只在背脊上有一排小刺(钱逸,1993,图版 I,图 E₁₋₂)。但稍受风化后的近骨状壳类骨片,背面上逐渐显示等间距排列的横沟,横沟再深,骨片开始显示分节的骨板,而且发现一个骨板就有一个小刺。*Yangtzechiton* 型骨片(钱逸,1993,图版 II,图 A—C),骨板完全裸露,呈一块块叠覆的生长节。更值得注意的是同一个骨片上竟然同时显示两种极端型骨片,一端是 *Paracarinachites* 型骨片,另一端是 *Yangtzechiton* 型骨片(见钱逸,1993,图 1)。这些现象只能说明这些骨片是同一类的化石。由于埋葬后期改造因素的作用造成保存形态的差异。我们认为中间型骨片是这类骨片的原始形态。生长节之间一条条等间距的横沟实际上是前后生长节叠覆的接缝。*Yangtzechiton* 型骨片是这一类骨片中受后期风化、淋离、侵蚀最重的骨片,而且生长节之间接缝的位置又比背面凸起的位置更易腐蚀,久而久之就会出现一个个分离的骨板。

Paracarinachites 型骨片,所以显示融合的骨片,是因为在壳体成岩过程中,磷酸盐的成岩包膜厚厚地裹覆骨片的结果。这种现象在磷酸盐岩类中是常见的现象。钱逸 1993 年出示的图版 I,图 B 的骨片就显示了成岩包膜裹覆骨片的证据。

② *Paracarinachites* 型骨片和 *Yangtzechiton* 型骨片具有同样的生长方式。它们都是由顶端一个生长点通过前一个骨片的侧缘和后缘分泌长出新骨片,也就是说它们是节节生长。*Paracarinachites* 型骨片,背视是一个融合的骨片,但侧视可清楚地看到骨片层层生长,而且都是从顶端一个生长点出发,所以顶端部显示层片状构造(图 1-12)。*Yangtzechiton* 型骨片,一层层叠覆的骨片也都是从顶端一个生长点出发,顶端部同样显示层片状构造。这又说明它们是同一类的骨片。绝不是 *Yangtzechiton* 型骨片是软体动物多板纲,*Paracarinachites* 型骨片是特殊的小壳化石。

③ 余汶先后发表了四篇有关 *Yangtzechiton* 是多板纲的文章,但他所依据的仅有 4 块不完整标本(图 1-13)。正模标本只有三个生长节,三个副模中,一个 5 节,另一个 2

节,第三个只有1节,而且出版物中从未图示过。而我们经过反复多次酸处理才获得了400多个这类骨片,Matin Keber搜集了法国近千个这类骨片,均未发现 *Yangtzechiton* 型骨片有8个骨板组成,而发现 *Paracarinachites* 型骨片有10个生长节组成(钱逸,1993,图版 I,图 E₁₋₂),再次说明它与自胚胎期开始就有固定不变的8个板和每一个板上的装饰和壳壁结构都不一样的多板纲,是截然不同的。

Conway Morris(1992,1994)指出 *Yangtzechiton* 和 *Luyanhaochiton* 骨片不能再叫 chiton 了,他认为近骨状壳类可能与另一类具骨片动物 *Zhijinites*, *Cambroclavus*, *Deiradoclavus* 有亲缘关系,他甚至以惊人的想象力提出了这些形态属可能是同一个动物体表面上代表不同部位的骨片装饰。但是在缺乏原封不动的骨片系情况下,这几类骨片动物各自的体构、古生态和生物亲缘仍然是不确知的。

最近有人提出近骨状壳类个体是由二个同向凹凸的壳瓣组成,但没有给出清楚的照片,更没有论证两个壳瓣是如何较合的,软体长在什么位置,肌痕在什么地方?也就是说未能否定两个骨片在搬运过程中叠覆沉积结果的可能性。

第十节 钉形化石织金钉类和寒武钉类

钉形化石又是一类特殊的骨片,它是由一或多或少圆形的茎座(织金钉型)或一较长的盘体或称盾板(寒武钉型)加上一锥体(或称锥刺)或萎缩成瘤或突起构成。总体上可分为两种类型:织金钉类(zhijinitids)和寒武钉类(cambroclavids)(图 1-14)。前者主要产自我国华南扬子地台下寒武统梅树村阶(陈孟莪,1977;钱逸,1977,1978;钱逸、尹恭正,1984a,b;Conway Morris and Chen Meng'e,1991);后者主要产自哈萨克斯坦小卡拉套、塔拉斯阿拉套和澳大利亚的下寒武统阿特达班阶(Мамбетов и Репина,1979;Миссаржевский и Мамбетов,1981;Bengtson et al.,1990),在我国新疆阿克苏-乌什地区和湖北神农架地区,陕南西乡、镇巴地区筲竹寺阶中也有大量出现[钱逸、张师本,1983;段承华,1984;钱建新、肖兵,1984;肖兵(见高振家等),1987],而且在海南岛崖县可延至下寒武统顶部或中寒武统下部(大茅群)(蒋志文、王昭碧,1986)。织金钉型骨片先于寒武钉型骨片出现。织金钉型骨片呈孤立状,在地层中可以单独出现,而寒武钉型骨片偶有骨片集合体,在地层中常伴随少量的织金钉型骨片。

1. 分类问题

织金钉型骨片可保留4属:*Zhijinites* Qian,1978,*Parazhijinites* Qian et Yin,1984,*Isoclavus* Qian et Zhang,1983。另外,Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e,1991)认为 *Kaiyangites* Qian et Yin,1984 放入织金钉类是合理的。寒武钉型骨片,目前仅有一个属。过去曾有许多人建立的一些与 *Cambroclavus* 相关的新属,现被重新置于 *Cambroclavus* 属中。1984年,钱建新和肖兵依据新疆阿克苏-乌什地区玉尔吐斯组寒武钉型骨片材料建了一个新属 *Sugaites*,其轮廓难以辨认,表面似乎很光滑,其实这是磷酸盐严重包覆的结果,其骨片的形态与哈萨克斯坦 *Cambroclavus antis* Mambetov,1979 极其相似,加上两地地理位置靠近,因此 *Sugaites* 被视为一个晚出同名(钱逸、尹恭正,1984;Qian Yi,1989)。

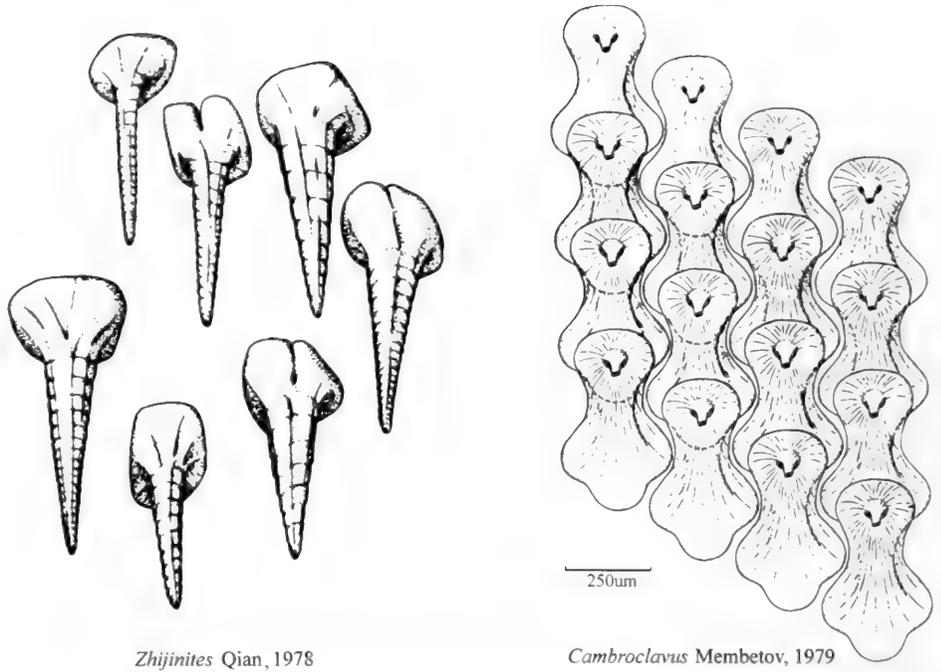


图 1-14 织金钉类和寒武钉类骨片示意图(引自 Conway Morris 和 Chen Meng'e, 1991)
 Fig. 1-14 Sketch showing zhijinitid and cambroclavid sclerites (after Conway Morris and Chen Meng'e, 1991)

Wushichites 是钱建新和肖兵(1984)依据同产地同层位的骨片材料建立的又一个新属,其特点是锥刺萎缩呈瘤,后缘具明显缺凹。根据这些特征,应与钱逸、张师本(1983)依据湖北房县灯影组西嵩坪段的材料建立的 *Isoclavus* 一样,当然也与段承华在同产地同层位建立的 *Tanbaoites* Duan, 1984 一样。根据优先律, *Wushichites* 和 *Tanbaoites* 是 *Isoclavus* 的晚出同义名(Qian Yi, 1989)。但是 Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1991)依据 *Wushichites* 与 *Cambroclavus* 产自同一层位,推测它们可能来源于相同的骨片系,而视 *Wushichites* 为 *Cambroclavus* 的晚出同义名。目前我们还不能接受这一观点。岳昭(见邢裕盛等, 1984)根据湖北房县西嵩坪灯影组西嵩坪段的集合体骨片建立了 *Phyllochiton* Yue, 1984, 因其形态特征与 *Cambroclavus* 属完全相似而被钱逸(Qian Yi, 1989)、Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1991)视为 *Cambroclavus* 的晚出同义名。哈萨克斯坦阿特达班阶的 *Pseudoclavus* Mambetov, 1979 和 *Cambroclavus undulatus* Mambetov, 1979, 在其形态特征上极其相似于 *Zhijinites*, 而被视为 *Zhijinites* 的晚出同义名(蒋志文, 见罗惠麟等, 1982; Qian Yi, 1989)。但 Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1991)则认为, 这些织金钉型骨片应视为 *Cambroclavus* 的同义名, 因为它们共生在一起, 但他们也承认尚无确切证据, 仅是推测而已。我们认为在没有搞清楚共生的 *Cambroclavus* 和 *Zhijinites* 两种骨片是否能视为同一属种的情况下, 尤其在所发现的 *Cambroclavus* 型骨片系中, 尚未发

现掺杂有织金钉型骨片的情况下,暂先按原分类方案执行,否则“分类”将被变得过于随意性而无所适从。

Zhijinites 和 *Cambroclavus* 的关系,正如前面所述,织金钉型骨片至今未发现集合体,也没有在骨片上见到出现集合体骨片的关节面构造。因此,织金钉型骨片本身就是孤立存在的骨片而没有集合体的骨片系,而且出现层位更老,所以大多数人主张将 *Zhijinites* 和 *Cambroclavus* 两属分开(Qian Yi, 1989; Conway Morris and Chen Meng'e, 1991)。

2. 保存特征

用肉眼可以看到在寒武纪梅树村期和筇竹寺期的含磷白云岩、含磷灰岩标本中有许多分散保存的钉形化石,酸处理后所获的钉形化石绝大部分也是孤立保存的。其中织金钉型骨片是完全不连锁的,也没有见到有连锁的迹象(如骨片上的关节面),除少数几例见到寒武钉型连锁骨片。最早得自哈萨克斯坦 *Cambroclavus antis* 的连锁着的骨片集合体(Мамбетов и Репина, 1979, табл. 14, фиг. 6, 8, 9),后来在澳大利亚的材料中偶尔也找到两个首尾相连的骨片(Bengtson et al., 1990, figs. 68A, B, C, D, E),不过也怀疑这是偶尔叠覆。岳昭(1991)也曾在房县西嵩坪灯影组西嵩坪段中找到 *Cambroclavus* (岳昭鉴定为 *Phyllochiton*)成排的集合体。骨片的形态很可能取决于与其邻近骨片的相关配置,刺和壳壁矿物质明显纤维状排列表明原始钙质壁经成岩磷酸盐化。

3. 生物亲缘与骨片机能

我国的研究者根据保存骨片的形态,尤其是织金钉型的孤立骨片曾对 *Zhijinites* 的生物亲缘与骨片机能提出过一种设想,即 *Zhijinites* 生物类似于寄生的棘头虫动物,织金钉型骨片类似于棘头虫动物的吻钩,起防卫或固定身体的作用(钱逸、尹恭正, 1984; 钱建新、肖兵, 1984),它也可能是一类已绝灭的独立生物类群(岳昭, 1991)。但 Bengtson 等(1990),还有 Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1991)不支持这种看法,他们认为骨片很可能由薄的表皮覆盖并占据周边部位,因而骨片类似棘皮动物的外骨骼,骨片系叠覆和连锁的性质暗示,该种骨片起保护作用(对付肉食动物或者磨蚀)。但是由于现有资料很少,要严格地评价钉形化石的生物亲缘还不成熟。

不过最近几年,澄江动物群研究的新进展,对于解说织金钉型骨片的生物亲缘和机能作用非常有利。如澄江动物群中纤毛环动物类 *Rotadiscus*, 其表面发现有成排的 *Zhijinites* 状的骨片,在每个生物体上其数量达到 8000—10000 个,足以与麦地坪剖面 38 层中大块样品中的 *Zhijinites* 的丰度相匹配,大小也差不多;其次,在缓步类怪诞虫 *Hallucigenia* 有 7 对钉状物。这些骨片均为矿化的体外装饰,孤立地分布或成行地间隔分布,可能具有防御作用。这些生物所带骨片的细节有待进一步研究,如单种骨片的细节变化,个体发育中骨片的细节变化,居群中骨片的变化等等。

总之,钉状化石的生物亲缘之谜现在仍未完全解开。但看来,织金钉型骨片和寒武钉型骨片二者不是能互相替代的,很可能是互不相关的类群。

第十一节 托莫特壳类

列入托莫特壳类(tommotiids)的骨片呈圆锥形、角锥形、角状、贝壳状,一般为强烈不对称的磷酸盐骨片,壁多层。不仅没保存完整的骨片系,连其一部分也没有,因而动物的结构式仍然不明。只有零散骨片,其在躯体表面上的分布也不清。但骨片的形态可供推测,它们包含了几种不同的形态类型。Landing (1984)、Bengtson (1986)、Laurie (1986)以及钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson,1989)发现了骨片生长时偶尔个体发育的融合,提供了动物具许多骨片的直接证据。

Bengtson(1981)试图阐明这个问题,为此应用了统计分析方法,分析共同出现的形态鲜明不同的骨片属 *Tommotia* Missarzhevsky, 1970 和 *Camenella* Missarzhevsky, 1966。计算了取自不同露头 and 不同地层层位的各块标本中的这种和那种形态,证明了 *Tommotia* 和 *Camenella* 数量相同。据此, Bengtson 得出结论,过去归入不同属的骨片属于动物的一个物种,具有复杂的外骨骼。情况可能如此,但只有在发现由上述骨片组成的部分骨片系之后,才会可能最终解决问题。唯一办法是运用形态分类系统(影子单元),假定每个物种构成骨片系类型相同,在生物地层研究中完全可以应用这样的形态种。

在广泛应用化学处理方法之后,可能获得高质量的古生物材料,得以分出托莫特壳类作为独立的化石类群,其骨片的性质及分类最近趋于确定。在这以前,找到的稀少代表曾经被归入不同种类的带壳动物,如软舌螺、软体动物、似软舌螺类等(Cobbold, 1921; Мешкова, 1974b)。

1. 分类

按骨片的总构式、装饰及内腔的构造特点,托莫特壳类细分为以下几科:

1) 拉普涅斯壳科 Lapworthellidae Missarzhevsky, 1966

角状骨片,带有多或少数轴的切面,仅有横向的装饰单元(环状横脊)和内腔,内腔没有骨骼单元。

2) 托莫特壳科 Tommotiidae Missarzhevsky, 1970

骨片主要带有不对称轮廓的切面和底缘,装饰呈纵、横向褶皱、棱、脊不同类型的组合。内腔没有骨骼形成物。

3) 小基拉壳科 Kellanellidae Missarzhevsky et Grigorieva, 1981

骨片一般具有不对称的底缘,带纵向和横向的褶皱和棱,内腔有别于其他科代表的内腔,充填着骨骼单元,呈横隔板或泡状组织。据此分出 2 亚科:Kellanellinae——内腔中有横隔板以及 Sonellinae——具有泡状组织。

4) 唐努乌拉壳科 Tannuolinidae Fonin et Smirnova, 1967

特征为凸起(帽形)和扁平(鞍形)两种壳,壳面常发育小孔。

5) ?苏娜金壳科 Sunnaginidae Landing, 1984

只有低、宽类型的骨片。

钱逸(Qian Yi, 1989)将 5 科归并入 2 目中,即第 2、4 科属于 Tommotiida

Missarzhevsky, 1970, 第1、3、5科属于 Lapworthellida Qian, 1989。

根据 Bengtson 等(1990)的归纳:① Lapworthellidae 包括 *Lapworthella* Cobbold, 1921 (? = *Stenothecopsis* Cobbold, 1935), *Kelanella* Missarzhevsky, 1966(在 Rozanov 和 Missarzhevsky, 1966, ? = *Bengtsonia* Missarzhevsky et Grigorieva, 1981, 1981 年 Missarzhevsky 和 Grigorieva 曾把上述两属均放入 Kellanellidae 科), *Bercutia* Missarzhevsky, 1981 (? = *Geresia* Missarzhevsky, 1981) 和 *Sonella* Missarzhevsky et Grigorieva, 1981 (? = *Tesella* Missarzhevsky et Grigorieva, 1981)。② Tommotiidae 科有 *Camenella* (= *Tommotia* Missarzhevsky, 1970), *Dailyatia* Bischoff, 1976, 尝试性地被纳入该科的还有 *Ninella* Missarzhevsky (Миссаржевский и Мамбетов, 1981), Landing (1984) 将 *Eccentrotheca* Landing et al., 1980 归进 Tommotidae 科, 而 Bengtson 则认为是暂时的 (Bengtson, 1986)。③ Tannuolinidae 科包括 *Tannuolina* Fonin et Smionova, 1967 和 *Micrina* Laurie, 1986。④ Sunnaginiidae 科仅包括 *Sunnaginia* Missarzhevsky (Розанов и др., 1969)。⑤ Laurie (1986) 以 *Kennardia* Laurie, 1986 建立了 Kennardiidae 科, 还把 *Dailyatia* 归到此科。

2. 亲缘和机能

在完全缺乏动物软体构造和任何器官配置的信息的情况下, 讨论托莫特壳类的性质是万不得已的。但是右形和左形骨片的存在证明动物属于两侧对称。据此就可能推测其活动方式, 同时骨片的形态排除了动物埋在沉积物中或在水中积极浮游的模式。Tommotiida 是最可能在底上层上觅食的动物。自然地, 朝着底层的那部分躯体缺乏骨片, 否则在运动时受其妨害。骨片自由地分布在动物的皮上仍然可以实现两种移动方式: 借助于朝向底层的躯体部件(足?)的蠕动收缩或者弯曲运动, 类似现代的无板类。在后一种情况下, 动物在角质表层(带有骨片)下, 推测存在肌皮的囊。据此, 可以推测托莫特壳类的构式和组织大体相当于假说中的动物担轮幼虫式的祖先。这是早期和短寿的支系之一, 可能是由软体动物和节肢动物共同的祖先派生出来的。

3. 地层分布

托莫特壳类已知从托莫特期初一直到中寒武世初期。在这段时间, 它们产出了一般短寿的、大量变型的骨片类型, 加上它的全球性分布, 使其具有较大的地层意义。比如, 拉普渥斯壳类的形态演化, 以唯一的 *Lapworthella* 属为代表, 在西伯利亚地台地层中详细地追踪过, 能确定一系列化石带一级的单位, 以属中的各个种的系统演化链为根据: *L. tortuosa* — *L. bella* — *L. dentata* — *L. nigra*。同时, 观察到骨片装饰的方向性变化, 从由瘤粒组成的环状脊的 *L. tortuosa* Missarzhevsky, 到横棱形的装饰 *L. nigra* Cobbold。在中国, *Lapworthella* 属也有一定的演化规律, 梅树村阶 II 组合开始出现 *L. tortuosa*, 至 III 组合出现 *L. rete* Yue, 最后在筑竹寺阶变成 *L. hubeiensis* Qian et Zhang。

另一个托莫特壳类的代表, 在托莫特阶和阿特达班阶底部分布最广, 在西伯利亚地台其上部还不知有其可靠的发现。这就怀疑 Tommotiidae 与 Kellanellidae 的亲缘关系, 后一科仅出自波多马阶的底部。Kellanellidae 在外表上很类似于 Tommotiidae, 但其内腔

中出现了骨骼单元,可看作 Tommotiidae 形态进化的结果,不仅骨片由此具有了坚固性,而且在隔板间存在空隙的情况下也很轻便。骨片的尺寸逐渐加大,从马内凯阶上部骨片仅 1—2mm 到中寒武统底部骨片达几十毫米,基本上反映了该类群的演化。托莫特壳类在我国扬子地台早寒武世地层中也有一定的分布规律;梅树村阶第 2 组合带中第一次出现托莫特壳类 *Camenella* sp., 蒋志文(见罗惠麟等,1982) 报道云南会泽大海灯影组中谊村段至梅树村阶第 IV 组合出现了 *Tannuolina zhangwentangia* Qian(云南晋宁梅树村箬竹寺组石岩头段和四川峨眉麦地坪九老洞组下段),到了箬竹寺阶和沧浪铺阶托莫特壳类出现了 *Sonella jinshaensis* Yuan et Zhang, 它们分别产自湖北房县和陕西镇巴水井沱组底部(Qian Yi, 1989) 和贵州金沙岩孔明心寺组底部(袁克兴、章森桂, 1983)。

4. 地理分布

在中国,托莫特壳类主要分布在扬子地台(贵州金沙岩孔、云南晋宁梅树村、四川峨眉麦地坪、陕西北强宽川铺、湖北房县西嵩坪等)和塔里木地台(新疆乌什);在国外,分布于西伯利亚地台、中亚小卡拉套和塔拉斯阿拉套、蒙古西部、澳大利亚(南澳、北澳新南威尔士)、英国沃里克郡、北美东北部等地。

第十二节 球形化石

在许多国家和地区的早寒武世地层中出现一些球形体化石,表面光滑或多瘤突,其生物成因或明显或较差。研究初期,很少知其微细构造。已命名了若干属种,如 *Olivoooides* Qian, 1977, *Archaeooides* Qian, 1977, *Pseudoooides* Qian, 1977, *Gaparella* Missarzhevsky, 1981, *Mirabifolliculus* Yang et He, 1984, *Nanjiangofolliculus* Yang et He, 1984, *Paleocenosphaera* Nazarov, 1973, *Paleoxiphosphaera* Nazarov, 1973, *Microoides* (nomen nudum) Yang et al., 1983, *Paramobergella* Zhong (Chen), 1977, *Protospherites* Chen, 1982。这些属种分布相当广泛。近些年在我国震旦纪陡山沱期也发现球形化石,如 *Meghystrichosphaeridium* (陈孟莪、刘魁梧, 1986), 尹磊明、袁训来(1996) 也有类似种类发现。

有些出版品没给这些球形物提供质量足够好的照片,也没有描述,如忠华(陈孟莪) 1977 年图示的“*Paramobergella ningqiangensis* Zhong (Chen), 1977”以及张录易(1986) 的图版 2, 图 5 上的“*Olivoooides papillatus* Zhang, 1986”不能判断其是否生物成因。但一些球形体确是真正的化石,尽管其生物性质各不相同,现在看来可能是多源的。例如 *Archaeooides* Qian, 1977 和 *Olivoooides* Qian, 1977 具有规则的小疱状表面,说明是生物成因的,钱逸早在 1997 年指出,它们是动物的卵。澳大利亚下寒武统 *Aetholicopala abnata* Conway Morris, 1990 具有复杂的内部管状构造,以及附着生长的习性(Bengtson et al., 1990)。 *Paleocenosphaera* 和 *Paleoxiphosphaera* 是硅质的,并被解释作放射虫(Nazarov, 1973, 1975)。最近对寒武系球形化石的研究,说明其中一些可被解释作放射虫,而另一些解释作海绵芽球(gemmules)(White, 1986; Bengtson, 1986; 岳昭, 1986b)。还有人提出某些化石类似串管海绵(Picket and Jell, 1983)。Conway Morris (1990) 对球形化石作了详细评述(见 Bengtson et al., 1990)。蒋志文(见罗惠麟等, 1982) 建立 *Globomorpha* 等

级为新的类群,包括了 *Archaeooides* 和 *Olivoooides* 属。由于不清楚这些或其他球形化石的本质,我们力戒匆忙地将其归入超属分类。

近几年,对 *Olivoooides* 等球形体化石的壳壁构造研究取得令人兴奋的进展(岳昭, 1986; Qian Yi, 1989; Bengtson et al., 1990)。在通常的保存情况下,未破碎的标本惊人地光滑,缺乏明显的附着构造,球常被弄皱,暗示原来柔软。但对其壳壁的切片研究发现,在外层之下,见一种复杂的骨针,阵列向外延伸,呈稠密的支柱状突起系列,而在相反一端互相联结而构成内壁。

钱逸(1977)以湖北三峡和陕西宁强的材料建立了 *O. multisulcatus* Qian, *O. alveus* Qian, *O. canariculatus* Qian 和 *O. intersulcatus* Qian。蒋志文(见罗惠麟等, 1982)把这些种列为同义名,并重新建立新种 *O. blandes*,但他违反了国际动物命名法的优先权法则。如果承认了同义名,那么有效名称就是 *O. multisulcatus* Qian。在邢裕盛等(1984)、何廷贵等(1984)文中已有 *Olivoooides* 地层分布的概述,依据的材料得自云南晋宁梅树村(蒋志文, 1980a),陕西宁强(钱逸, 1977; 邢裕盛、岳昭, 1984b),贵州的几个产地(王砚耕等, 1984b),湖北三峡(钱逸, 1978),包括湖北省宜昌附近的计家坡(陈平, 1984),四川峨眉麦地坪(陈孟莪, 1982)以及四川南江地区(杨暹和等, 1983)。不过陕西灯影组高家山段的 *O. papillatus* (张录易, 1986)似乎不是球状化石。

Olivoooides 属还产自印度北方邦下 Tal 组(Bhatt et al., 1983, 1985; Brasier and Singh, 1987; Azmi, 1983)以及巴基斯坦的 Hazara 组(Mostler, 1980)。Brasier 和 Singh (1987)认为, *Olivoooides* 的特征与原生生物的胞囊、也许球形疑源类或 prasinophyceans 一致。然而岳昭根据其假定的骨针构造把这个形态种类与海绵放在一起。近年来 Bengtson 和岳昭(Bengtson and Yue Zhao, 1997)在研究梅树村期球状化石的方法上有重大突破,他们发现了 *Olivoooides* 有一个几乎完整发育的胚胎发育序列,在孵化标本中发现有早期卵裂的存在,从而认为 *Olivoooides* 是后生动物的胚胎,并认为它有可能相似于花冠状的钵水母类或锥石类。

Conway Morris (见 Bengtson et al., 1990)认为陕西宁强的球形微化石 *Pseudoooides prima* Qian (钱逸, 1977)和 *Microooides stellatus* Yong et He (杨暹和等, 1983)可能是 *Olivoooides* 的同义名。意大利撒丁岛西南部中寒武世 Cabitea 组的光滑小球被归到胶结壳有孔虫(Cherchi and Schroeder, 1985),并且可能与 *Olivoooides* 无关。

从加拿大魁北克的特里马道克阶底界附近获得的空的有机质小球(Naslund et al., 1986)声称是现代混入物,比如种子和昆虫(Montanari, 1986),尽管表面上有相似的一些构造。

古球壳 *Archaeooides* 共有 4 种: *A. granulatus* Qian (模式种), *A. acuspinnatus* Qian, *A. kuanchuanpuensis* Qian (钱逸, 1977), *A. interscriptus* Qian (钱逸, 1978b), 可能都是模式种的同义名(岳昭, 1986b)。 *Protosphaerites ningqiangensis* (Chen) (陈孟莪, 1982) 曾替代 *Paramobergella ningqiangensis* Zhong (Chen), 1977。因属于晚出同义名,按照国际动物命名法规则是无效的。

Archaeooides 广泛分布于中国早寒武世梅树村阶,在每个剖面有一定的地层延限,可能有生物地层意义。现时的记录包括:云南晋宁梅树村剖面,四川峨眉麦地坪剖面,四川南江剖面,同时 Kerber (1988) 认为四川雷波的 *Uncinaspira squamosa* He (何廷贵, 1984)

可能是 *Archaeooides* 的一个晚出同义名; 陕西宁强石钟沟剖面(第 26 层)和袁家坪剖面(第 4—5 层, 还见邢裕盛等, 1984), 湖北峡东(还见钱逸, 1978b; 钱逸等, 1979), 新疆阿克苏-乌什早寒武世玉尔吐斯组(钱建新、肖兵, 1984)的球状化石, 可能难与 *Archaeooides* 比较。*Archaeooides* 有作为标准化石的潜力, 在梅树村和麦地坪剖面该属出现在 *Paragloborilus-Siphogonuchites* 组合中, 而宁强的那些处在下伏地层的 *Anabarites-Protohertzina* 组合。

在国外, *Archaeooides* 已发现于蒙古的 Salanygol 的 Tienchoshan 组 *Ilsanella compressa* 带(Воронин и др., 1982), 该组与西伯利亚地台托莫特阶(*D. regularis* 带的 *L. tortuosa* 亚带)对比。在勒拿河各剖面, *Archaeooides* 已知出现于 *Bergeroniellus micmaciformis-Erbiella* 带和波托姆阶下部(Соколов и Журавлева, 1983), 但在西伯利亚北部, 它出现在显然是先托莫特阶(Вальков, 1987)。Горянский(1973)把西伯利亚东北部 Kotui 河上勒拿阶(=波托姆阶)的不规则球形化石看作可能的 *Chancelloria*; 钱逸(1977)把它与 *Archaeooides* 比较。法国南部寒武统的 *Archaeooides* (Kerber, 1988)可能是 *Aetholico-palla* (Conway Morris, 1990); *Gaparella porosa* Missarzhevsky (Миссаржевский и Мамбетов, 1981)可能是 *Archaeooides kuanchuanpuensis* Qian, 1977 的同义名, 它出现在哈萨克斯坦小卡拉套的 Shabakty 组, 这些化石产于 *Rhombocorniculum cancellatum* 带(*Adyshevitheca* 亚带), 被视为阿特达班阶上部, Миссаржевский(1989)将 *Gaparella* 与 *Archaeooides* 两属并用。印度 Tal 组 *Maikhanella* sp. (Bhatt et al., 1985)的标本, 可能是 *Archaeooides*。如果蒙古、哈萨克斯坦和西伯利亚之间的地层对比是可靠的, 那么, *Archaeooides* 在下寒武统具有很长的延限。

张喜光和 Pratt (Zhang Xiguang and Pratt, 1994)报道了贵州都匀中寒武世磷酸盐球状化石, 他们认为是带分裂球的节肢动物胚胎, 并代表两个发育阶段。最近, 肖书海等(Xiao Shuhai et al., 1998)和李家维等(Li Chiawei et al., 1998)分别报道了贵州瓮安震旦系陡山沱组的球状化石, 认为这些球状化石是动物胚胎, 这一研究结果为进一步研究球状化石打开了新的窗口。

第十三节 阿纳巴管类

1. 研究简史

Bengtson 等认为, 首次发表阿纳巴管类(anabaritids)的是 Rosén (1919), 他描述图示了瑞典加里东造山带下寒武统原地生成的石灰岩中管状化石的切面。可惜 Rosén 没给化石正式命名。因此, 长期没有认识到 Rosén 报道这个化石的古生物学意义, 当然也没引起别人的注意。后来, 我国王鸿祯(1941, fig. 1a)描述图示了云南晋宁梅树村昆阳磷矿的一块标本, 命名为 *Hyalithes* sp. type A, 当时只观察到 1 条纵槽而忽略了其他 2 条纵槽, 现从该化石在该磷矿中的丰度看, 无疑就是阿纳巴管类(钱逸, 1977, 1978a; 罗惠麟等, 1982)。在西伯利亚地台较早报道的 *Hyalithellus* sp. (Сысоев, 1965, фиг. 2) 和 *Platysolenites sibiricus* Valkov, 1968 (Вальков, 1968, табл. 1, фиг. 2—5) 也显示具有阿纳巴管类的形态特征, 但都没有指出阿纳巴管类的特殊性。直到 1969 年 Миссаржевский

(见 Воронова и Миссаржевский, 1969) 才首次给予属种名, 即 *Anabarites trisulcatus* Missarzhevsky, 并恰如其分地描述和图示, 指出它具有钙质管和四射对称的横切面, 这是后生动物中一类不常见的组织类型。

现知阿纳巴管类产于西伯利亚、蒙古、中国南方、印度北部、伊朗、加拿大北部、澳大利亚南部、纽芬兰东南部和瑞典的下寒武统, 以及南极大陆西边的上新世冰碛岩中的石灰岩块。

2. 形态和机能

阿纳巴管类是形态很独特的化石类群, 其造型在化石中或在现生动物中均无类似者。这个类群的所有代表均具有壳, 其所有的形态单元是“3”的倍数, 包括纵褶、纵槽、成列的刺状突起、环纹等。横切面的轮廓多种多样, 包括圆三角形的、三分的、六分的、六方形的、三瓣的等类型, 一般壳的分散角不大。壳的始部很少知道, 壳体呈圆锥形, 以轻微的狭缩(有时没有)与其余部分分开。在壳的外表面上有生长环纹, 偶尔有纵纹。有时壳的内表面上饰有纵向成行的刺, 有时为囊状突起呈覆瓦状纵行分布。在壳的内腔里可能见到横隔板(?)、刺列。有时纵槽很深。

壳的内腔里存在隔板或刺的, 其形状本身排除了阿纳巴管类动物软体在其壳内居住的可能性, 这一点不像其他具管状壳的动物。

壳也许是内骨骼, 但这与壳生长的特征(一节节地生长)相矛盾, 这也与生态观察相矛盾。Миссаржевский(1989)指出, 有时见到阿纳巴管类生前埋葬的滩, 壳垂直于层面, 彼此紧贴。没有证实 Вальков(1982) 关于阿纳巴管类具有“弹性和柔软的碳酸盐骨骼”的论断。

因此, 如果管子既不是生物的住室又不是内部形成物, 就必然推测作为动物的支架。这就是说, 动物软体位于最上端, 并借助于其下部的分泌器官而建造之。

有一些证据表明阿纳巴管类是固着生物, 特别是不呈两侧对称, 有些种类侧面存在纵突(Абаимова, 1978; Вальков, 1982), 这是用来在软沉积物中支撑管子或来阻止其卷缩的。

Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1989)报道可能有口盖, 认为其壳壁分为内部锯齿形层和外部横向纤维层。

3. 生物亲缘

对于阿纳巴管类的亲缘归属尚不能确定。Воронова 和 Миссаржевский(1969)曾提出与龙介类环节动物有亲缘, 特别注意到与新生代的蠕虫属 *Placostegus* Phil. 和 *Paliurus* Gabb. 的壳形有某种类似, 不久又认为可疑(Миссаржевский, 见 Розанов, и др., 1969)。Миссаржевский(1974)又将它看作腔肠动物类的四射对称的动物。不过, Glaessner(1976)支持其为某种环节动物亲缘。但前苏联的研究者中有一种建议其为刺胞动物 cnidarian 类亲缘, Вальков(1982)还以 Anabaritidae 科为依据建立一个钵水母的新亚纲 Angustimedusae。Миссаржевский(1989)认为其选模类似于文德纪软驱动物群的代表属 *Tribrachidium* Fedonkin, 1983 和几种海胆纲的代表, 并推测 *Tribrachidium* 是阿纳巴管类不具矿化骨骼的祖先形态。他还说“阿纳巴管类很明显属于腔肠动物的特别

类群”。Fedonkin (1986)也陈述了阿纳巴管类与埃迪卡拉期三射对称的特殊一类化石 (*Ablumare Fedonkin*, 1976, *Tribrachidium Glaessner*, 1979)有亲缘关系的可能,对此他建立了三叶动物纲 Trilobozoa (Fedonkin, 1983)。Fedonkin (1986)特别指出,即使 trilobozoans 是刺胞动物,也不可能是钵水母。Абаимова(1978)认为阿纳巴管类似锥石类,并且认为其骨骼可能仅是内部的。Dzik (1986)还试图把 *Chancelloria* 和其他寒武纪的种类(如 *Pirania*)与 *Anabarites* 联合起来。

4. 分类

Миссаржевский(见 Розанов и др., 1969)认为 *Anabarites* 属可包括 6 种,后来建 Anabaritidae Missarzhevsky, 1974。迄今前苏联已描述 25 种(Миссаржевский, 1989)。Вальков 和 Сысоев(1970)、Вальков(1982)将此类提升为 Angustiochreida 目 (incerta sedis), 其中再分 4 科,至少包括 13 属(名单见 Bengtson et al., 1990)。因为模式属是 *Anabarites* Missarzhevsky, 1969, 所以 Вальков 和 Сысоев(1970)建立 Angustiochreidae 来包罗这个属是无效的(Миссаржевский, 1974, p. 184; Glaessner, 1979), 建立目也不可取。而 Вальков(1982)在钵水母纲下建立 Angustimeudusae 亚纲, 理由更不充分。Миссаржевский (1974)将阿纳巴管类置于纲和目未定类,似乎是最明智之举。

形态学资料是阿纳巴管类分类的基础,壳形分化是最重要的特征。Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1989)将 Anabaritidae 科分成四种形态类型(亚科级):① 具有圆形横切面并且三射对称不明显的壳归第一类(Cambrotubulinae)。壳始部结构的相似是 Cambrotubulinae 列入阿纳巴管类的理由。② 具有明显三次对称的形态归另一类(Tiksithecinae)。壳具有三角形横切面,角顶圆滑。没有纵向单元分割,纹饰仅是横向的。③ Lobiochreninae 的结构比前述的要复杂,横切面一般六边形,同时观察到微弱凸起和平坦或微凹下的壳面相互交替。在三个凸面上可能存在刺状突起或鳞片。在凹面上可能存在刺状突起,坐落在壁的内部并指向壳的轴部。④ Anabaritinae 具有或多或少明显的纵向褶皱,把壳分成三部分或六部分。在纵脊上存在外延突起对于这个类群的许多种是特征的。

推测壳形有一个发生、发展的演变过程,壳形由简单而复杂,与其地质时代有一定关系(Conway Morris and Chen Meng'e, 1989, 插图 11)。

科、属的鉴定存在不少问题,由于图版质量不一,很难进行清理,标本的保存程度也不同,有些仅是根据内核建立的种类。种一级的变异度还未引起足够重视,仅 *Anabarites* 一属就命名了大量的种(约 36 个),高估了种的分异度。

5. 地层意义

在西伯利亚的剖面,典型的阿纳巴管类是出现在前寒武系-寒武系界线上,其地层延限曾被认为是托莫特期和先托莫特期(如马内凯期和涅马基特-达尔丁层)地层单位的标志(Миссаржевский, 1982, 1989; Вальков, 1987)。

与西伯利亚剖面的情况一样,中国扬子地台典型的阿纳巴管类化石出现在早寒武世梅树村阶第 I、II 组合带,我们认为这两个带可分别与托莫特期和先托莫特期地层对比。但是,在中国新疆阿克苏-乌什地区玉尔吐斯组 and 浙江江山荷塘组底部也发现了少量的非

典型的阿纳巴管类,与最近几年在澳大利亚南部和美国阿瓦隆地区寒武系下部(据认为与阿特达班期层位相当,见 Bengtson et al., 1990; Landing et al., 1988)发现的非典型的阿纳巴管类的情况一样。而安徽巢湖冷泉王组底部发现的少量非典型的阿纳巴管类可能是沧浪铺阶的。因为它与沧浪铺期标准化石三叶虫 *Paokannia* 共生。另外,非典型的 *Anabarites* 标本,个体普遍比较短,直沟与凸面之间的折曲明显,特别注意的是普遍没有外壳。因此不能见到三条槽的管状体就认为一定是 *Anabarites trisulcatus*。

澳大利亚南部和美国马萨诸塞州和加拿大纽芬兰东南部及安徽巢湖地区这类化石的发现,似乎使阿纳巴管类的地层延限大于所知的延限。Landing (1988) 还把蒙古(Воронин и др., 1982)和哈萨克斯坦(Миссаржевский и Мамбетов, 1981)此类看作阿特达班期的,我们认为值得商榷。Розанов 和 Соколов(1984, с. 129) 坚持认为典型的阿纳巴管类属于托莫特期[*A. trisulcatus* 不同于 Landing (1988)的 *A. tricarinatus*]。在哈萨克斯坦, *Anabarites* 出现在 *Pseudorthotheca costata* 带, Миссаржевский 和 Мамбетов (1981)推断为托莫特期。

Nowlan, Narbonne 和 Fritz (1985)把加拿大西北部育空地区 Wernecke 山脉 Vampire 组出现的阿纳巴管类看作寒武纪最早期的标志是可信的,虽然有人根据共生的节肢动物痕迹化石推断其年龄稍新(阿特达班阶上部至阿特达班阶下部)(见 Crimes, 1987, 1989)。在确定前寒武系-寒武系界线时,痕迹地层学的可靠性仍不大肯定。纽芬兰东南部的最新资料(Narbonne and Myrow, 1988)说明在原则上加拿大西北部的剖面老于 Crimes (1987, 1989)所提议的方案。然而,马更些山脉 Wernecke 山东南部的 Vampire 组的疑源类,其时代却被确定为托莫特阶(Baudet et al., 1989),但疑源类的地层学意义究竟有多大,地层的划分对比能否精确到带一级的范畴值得怀疑。

在印度小喜马拉雅下 Tal 组产出的最早骨骼化石组合中发现阿纳巴管类(Kumar et al., 1987),还有伊朗的厄尔布尔士山的前寒武系-寒武系界线剖面也报道了阿纳巴管类(Brasier, 1989a)。它们的地层时代可与中国的梅树村阶Ⅱ组合带或托莫特期相当。

由于阿纳巴管类的地层延限比较长,有必要对阿纳巴管类进行精确的分类,以免因阿纳巴管类分类的混乱导致地层对比的混乱。

第二章 小壳化石保存、壳壁成分和显微构造

小壳化石绝大部分保存在磷矿层和含磷碳酸盐地层内,但也有一部分保存在硅质岩和碎屑岩层内。除少量化石以钙质和硅质保存外,绝大多数化石保存为磷质。经酸分离后获得的小壳化石几乎全部是磷质的,有时也有硅质等。目前国内外对小壳化石保存矿物学及成岩过程的研究还处于初级阶段(Runnegar, 1985; 武希彻、蒋志文, 1989; Brasier, 1990)。多数小壳动物的原生壳壁成分、显微构造的研究还属于空白,更缺乏埋葬学方面的论证。武希彻等(1989)认为,我国梅树村期地层中绝大多数小壳化石均为原生磷质壳,小壳动物群除少数的外,极大多数骨骼的原始成分为磷质。而另一种观点则认为:早期生物化石壳质成分是多元的,既有大量磷质,又有大量钙质、硅质等,还有相当一部分是生物有机质外壳经磷酸盐化而保存下来造成的矿化骨骼化石假象,只不过寒武纪早期磷质化石骨骼所占全部生物类别的比例要比现存生物的高(表 2-1)。这种观点目前已被多数学者所接受。

小壳化石壳壁的原生显微构造也仅在一小部分化石中发现,如软体动物(Runnegar, 1985)、帽状壳类(李国祥、陈均远, 1992)、原牙形类(Bengtson, 1976; Qian Yi, 1989)、托莫特壳类(蒋志文, 1985; Qian Yi, 1989)、织金钉类和阿纳巴管类(Qian Yi, 1989; Conway Morris and Chen Meng'e, 1991)等。由于化石在埋葬过程中受到成岩作用、重结晶作用和交代作用等的改造,原生成分、微细构造很难保存,即使保存也难以识别。以往的研究对小壳化石的壳质成分、显微构造的描述,绝大部分缺少埋葬学方面的论证。由于壳的成分和显微构造是探讨小壳化石系统分类和早期生矿化作用演替过程的最重要和最直接的证据,因此,深入和系统地对小壳化石保存的矿物学和显微构造的埋葬学研究显得十分必要。

本书试图利用现有化石切片和岩石切片,在过去的描述基础上,经重新观察将对小壳化石各门类的壳壁保存方式、矿物成分、显微构造特征,进行分析和总结。

第一节 主要小壳化石类别保存状态、壳壁成分和显微构造

1. 软舌螺类

我国软舌螺化石在早中寒武世地层中均有大量产出,但在不同层位与不同地点的化石其保存差异十分明显。根据目前所收集的资料表明,软舌螺化石可见于磷质白云岩、白云质磷块岩、晶粒灰岩、泥晶灰岩以及泥岩和粉砂岩层中。除泥岩中的印模化石外(Qian Yi, 1989, pl. 45, fig. 8),其他岩层内化石以内核和铸型的方式保存。通过切片观察,化石在不同的岩层内不仅成分差异显著,而且显微构造相差甚远。

表 2-1 小壳化石各分类单元的原始骨骼成分

Table 2-1 Primary skeletal composition in different taxa of Cambrian small shelly fossils

分 类	CaCO ₃	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F, Cl, OH)	SiO ₂	文 献
molluscs monoplacophorans paragastropods rostromconches bivalved molluscs	+			Runnegar, 1985; Brasier, 1990
hyoliths	+			Brasier, 1990
hyolithelminthes		+		Brasier, 1990; Bengtson et al., 1990
anabaritids	+			Brasier, 1990; Bengtson et al., 1992b; Conway Morris and Chen Meng'e, 1989
decollating tubes Cupithecidae	+			Bengtson et al., 1990
protoconodonts		+		Brasier, 1990; Bengtson et al., 1990
lathamellids	+			李国祥、陈均远, 1992
(?) brachiopods	+			Bengtson et al., 1990
bradoriids		+		Brasier, 1990; Bengtson et al., 1990
conulariids		+		Qian Yi, 1989; Bengtson and Conway Morris, 1992
chancelloriids halkieriids siphononuchitids wiwaxiids sachitids	+	+		Bengtson et al., 1990; Qian Yi and Bengtson, 1989; Brasier, 1990
cambroclavids zhijinitids	+			Qian Yi, 1989; Bengtson et al., 1990; Conway Morris and Chen Meng'e, 1991
paracarinachitids	+			Bengtson and Conway Morris, 1992; Conway Morris and Chen Meng'e, 1991, 1992; Qian Yi and Bengtson, 1989
tommotiids		+		Brasier, 1990; Bengtson et al., 1990
cap-shaped fossils ornamented cones				Bengtson et al., 1990
ornamented tubes	?	?		
smooth cones	+			
smooth caps coiled shells	?	?		
onychophora <i>Microdictyon</i>		+		Brasier, 1990; Bengtson et al., 1990; Bengtson and Conway Morris, 1992
sponges hexactinellid sponges			+	Bengtson and Conway Morris, 1992
demosponges			+	
Calcarea	+			

(1) 磷质内核

化石体无壳壁保存,多见于酸离标本,在岩石切片中也很常见。内核以充填于壳内腔中的胶磷矿构成,呈颗粒状碎屑岩结构特征。酸离标本见于滇东晋宁中谊村段、鄂西宜昌黄鳍洞段、河南辛集组。岩石切片中发现的有四川峨眉、汉源乌斯河大桥麦地坪段、鄂西宜昌松林坡黄鳍洞段上部、贵州织金戈仲伍段、云南会泽皮嘎中谊村段等。这些内核化石在岩石中通常为亮晶方解石或胶磷矿胶结。

(2) 均匀磷质单层壳

这类化石在酸离标本和岩石切片中均常见,化石壳壁由均匀胶磷矿或微晶磷灰石构成,呈均质显微构造特征。壳壁与内充填物质构成一体,但内充填物质呈颗粒状结构特征。单偏光镜下,壳壁与内充填磷矿物质颜色差异一般较明显,在不同的岩石中颜色差异表现不一,通常壳壁部分颜色淡于内充填磷质。正交偏光镜下,壳壁颜色均一,而内充填磷质成斑杂状不均匀颜色和构造特征。

已描述的标本见于早寒武世中谊村段、西蒿坪段和辛集组等。切片中见于滇东晋宁中谊村段、鄂西宜昌黄鳍洞段、河南辛集组。岩石切片中发现的有川西汉源乌斯河大桥麦地坪段、鄂西松林坡黄鳍洞段上部、贵州织金戈仲伍段、云南会泽皮嘎中谊村段等。

(3) 均匀晶粒方解石构成的单层壳

化石多见于晶粒或泥晶灰岩中,壳壁以方解石晶体构成,呈晶粒结构。壳内充填物质与围岩一致。在同岩层内常见有磷质壳的腕足类化石,保存有完好的原生显微构造。除鄂西灯影组西蒿坪段外,这类化石主要见于我国北方早中寒武世毛庄组、徐庄组、张夏组。但是在四川峨眉麦地坪、湖北宜昌石牌、云南会泽皮嘎等地梅树村阶含磷白云岩层中,见有晶粒方解石壳壁保存的软舌螺类化石,壳内充填磷质。一些层位壳壁由于重结晶作用与方解石胶结矿物联成一体,使化石壳壁边界破坏而不易辨别。

(4) 柱晶和纤晶磷灰石构成的单层壳

在岩石切片中发现壳壁具有柱晶和交叉纤状显微构造的软舌螺化石的层位,目前只有贵州织金五指山戈仲伍段和四川汉源乌斯河大桥。柱晶构成的壳壁显示柱晶垂直壳壁生长,晶体粗;纤晶构成的壳壁纤晶相互斜交,在纵切面和横切面上均相似,纤晶交叉的角度为 35° ,纤晶直径 $2\mu\text{m}$ 。这种显微构造一般在单偏光镜下明显,正交偏光镜下由于磷质不透光,显微构造不见。含这类化石的岩石均为方解石晶体胶结。

(5) 柱晶方解石构成的单层壳

这种壳由方解石构成,方解石晶体呈垂直壳壁的柱状生长,在正交偏光镜下,光性一致。保存这种结构的壳常与磷质纤状和柱状构造的壳在同一层位发现,并可在同一个体的不同部位共同存在。目前仅在贵州织金五指山发现。

(6) 层纹状磷灰石构成的多层壳

多层壳由上述单层壳层和内、外层纹状磷灰石层构成。当内外均有层状磷灰石则构成三层结构,当层状磷灰石仅在内层或外层一面出现则构成二层壳。层状磷灰石的层纹平行壳壁,但单层内晶体生长垂直壳壁方向,在正交偏光镜下呈十字消光或波状消光现象。这种生长的层状磷灰石在化石内腔中的颗粒周围也非常发育,并见层状构造波状或不规则的变化。

由层状磷灰石与均质胶磷矿构成的多层壳常见于中谊树村段;由层状磷灰石与柱晶磷灰石构成的多层壳见于中谊村段、西蒿坪段、麦地坪段;由层状磷灰石和柱粒晶方解石构成的多层壳见于会泽大海中谊村段、汉源乌斯河大桥麦地坪段;由层状磷灰石和柱晶方解石构成的多层壳见于会泽大海中谊村段、汉源乌斯河大桥麦地坪段。

软舌螺化石壳由锥体和口盖两部分构成,在绝大多数情况下,锥体和口盖分散保存。最常见的化石是锥体部分,且破损不全,胎壳一般缺失。只有在极少的特殊条件下,口盖和锥体保存在一起(如 Qian Yi, 1989, pl. 45, fig. 8),它产生于快速埋葬的泥岩内;陕西宁强郭家坝早寒武世郭家坝组中的带口盖磷质标本的发现,表明壳体在生物死亡后未经过水流的改造、搬运,属原位埋葬。

2. 似软舌螺类

(1) 磷质内核

化石完全由胶磷矿胶结的碎屑状沉积物构成,内外均无壳壁显示,见于宜昌三斗坪黄鳍洞段的 *Torellella* sp. (Qian Yi, 1989, pl. 82, figs. 6—9), *Sagittitheca lubrica* Yue (Qian Yi, 1989, pl. 78, figs. 4—6)。

(2) 均匀磷质单层壳

化石外壁由均质胶磷矿构成,与内充填磷质颜色区别明显,内充填磷质具有斑杂结构。见于寻甸先锋中谊村段 *Coleolella recta* (Mambetov) (Qian Yi, 1989, pl. 81, figs. 10, 11), *Pseudorthotheca bistrata* Qian (Qian Yi, 1989, pl. 82, figs. 1—5), 峨眉麦地坪段 *Rugatotheca typica* He (Qian Yi, 1989, pl. 84, figs. 1—7)。

(3) 层状磷质单层壳

化石外壁有一层厚的层状磷质层,层内磷灰石晶体垂直壳壁生长,在正交偏光镜下呈十字或波状消光(朱茂炎等, 1996, 图版 II, 图 6)。见于峨眉麦地坪段 *Rugatotheca typica* Qian (Qian Yi, 1989, pl. 84, fig. 3)。

(4) 磷质双层壳

化石由均质或柱晶磷矿物外层和层状磷灰石内层构成,内层层状磷灰石在正交偏光镜下呈十字消光或波状消光。外层等厚,呈垂直壳壁的柱晶结构,如寻甸先锋中谊村段 *Coleolella recta* (Mambetov) (Qian Yi, 1989, pl. 74, figs. 1—5); 外层等厚,均质结构,如

峨眉麦地坪段 *Rugatotheca typica* He (Qian Yi, 1989, pl. 84, figs. 1—7); 外层不等厚且薄, 如寻甸先锋中谊村段 *Coleolella recta* (Qian Yi, 1989, pl. 74, figs. 1—5), *Pseudorthothesa bistrata* Qian (Qian Yi, 1989, pl. 82, figs. 1—5)。

(5) 磷质三层壳

① 内外层厚, 颜色浅, 正交偏光镜下十字消光; 中间层薄, 颜色暗, 正交偏光镜下不透光。内腔充填胶磷矿胶结的碎屑沉积物, 如宜昌黄鳍洞段 *Sagittitheca lubrica* Yue (Qian Yi, 1989, pl. 75, figs. 1, 2)。

② 外层为暗色不透光胶磷矿, 中间层为均质黄褐色胶磷矿, 内层为层状磷灰石, 呈十字消光, 如湖北房县西蒿坪段 *Hyolithellus annulatus* Meshkova (Qian Yi, 1989, pl. 84, fig. 12)。

3. 阿纳巴管类

阿纳巴管类的管壁保存和微细构造曾经 Conway Morris 和陈孟莪 (Conway Morris and Chen Meng'e, 1989) 通过岩石切片和扫描电镜进行了较为详细的研究。岩石切片表示化石壳壁即可由完全的钙质, 又可由完全磷质成分构成 (Conway Morris and Chen Meng'e 1989, fig. 6)。完全钙质单层壁与围岩方解石晶体连接一体, 仅显示内边缘暗色线条轮廓; 钙质壁和内层磷质层及构成的双层壁, 内层厚薄不匀; 完全磷质壁可见有三层, 内外层由层纹状磷灰石构成, 中间为均匀胶磷矿层。经酸离后获取的阿纳巴管类化石均为磷质, 一般可见有下面几种形态:

(1) 内核

完全由颗粒状斑杂结构的磷矿物构成, 如宜昌石牌黄鳍洞段 *Anabarites trisulcatus* Missarzhevsky (Qian Yi, 1989; Conway Morris and Chen Meng'e, 1989)。

(2) 残余钙质的磷质多层壳

壳壁内外由层纹状磷灰石构成, 中间为残余方解石的磷质层。层纹状磷灰石在正交偏光镜下呈十字消光或波状消光, 而中间层均匀一致消光。如 *Anabarites trisulcatus* (Qian Yi, 1989, pl. 84, figs. 8, 9)。

(3) 磷质多层壳

内外层均匀为层纹状磷灰石, 或仅见内层层纹状磷灰石与均匀胶磷矿构成二层或三层壳。层纹状磷灰石在正交偏光镜下呈十字消光或波状消光, 均质磷矿正交镜下不透光, 如 *Anabarites trisulcatus* (Qian Yi, 1989, pl. 85, figs. 1, 2)。酸处理后的孤立标本在电镜下显示内柱层表面 V 形的显微磷灰石纤晶结构, 与壳表面层的横向平行纤晶结构构成阿纳巴管壳壁的内外层显微结构 (Conway Morris and Chen Meng'e, 1989, fig. 10)。

4. 托莫特壳类

目前所发现的托莫特壳类化石层位稳定, 常产于颗粒磷块岩层内, 呈密集的介壳堆积

层(朱茂炎等,1996,图版IV,图3),如滇东筇竹寺组上段底部和川西九老洞组下段中部层位。所有发现的化石壳壁均为磷质,保存有完好的壳壁结构和微细构造特征。经蒋志文(1985),钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989)、Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1990b)对 *Tannuolina* 属的研究,表明壳壁表面有规则的多边形网纹,被认为是表皮细胞的印痕。壳壁厚,由一系列的隔板构成,隔板厚度和密度变化不一,隔板从外壁向壳顶方向弯曲,并在壳内表面相互叠加成内壁。在壳凸边内侧中部,隔板向反顶端方向弯曲加厚形成一脊状构造。隔板间有垂直的管状构造穿过,管状构造中空,沿隔板呈低角度向壳表面穿出,管内壁呈平行管的线脊状。

Conway Morris 和陈孟莪(Conway Morris and Chen Meng'e, 1990b)经酸蚀光面标本扫描发现壳壁隔板由两层壁构成,每层壁由结晶状磷灰石晶体呈垂直隔板的方向生长(Conway Morris and Chen Meng'e, 1990b, fig. 11-9)。通过化石切片在偏光镜下发现隔板由三层构成,内外两层磷质矿物颜色浅,正交偏光镜下呈十字消光或波状消光,而中间层颜色暗,正交偏光镜下无消光现象。

通过壳的不同切面,薄片壳壁的显微构造特征区别明显,一般壳壁内隔板在壁边缘加密,中间稀疏,而近壳壁边缘切面,隔板密集。

5. 原牙形类

目前为止,原牙形类化石切片极少。研究标本绝大部分是酸离后的磷质壳体,显微结构和壳壁构造多为扫描电镜观察的结果。从已研究的标本描述中,壳壁常显示双层至三层结构特征,主要有如下几种类型:

(1) 双层壁

外层为细粒磷灰石构成,内层为垂直壳壁方向的短柱状粒晶磷灰石构成,如 *Protohertzina unguiformis* Missarzhevsky (Qian Yi, 1989, pl. 86, figs. 5, 6)等。

(2) 三层壁

内外层由胶磷矿构成,中间层充填次生沉积物,如 *Amphigeisina danica* Müller(岳昭、高林志, 1992)。

(3) 层状壁

在杨暹和、何廷贵(1984)描述的 *Protohertzina* 和 *Hertzina* 标本上曾有发现,何廷贵、解永顺(1989)也报道过 *Huizenodus* 的层状壁构造。钱逸(Qian Yi, 1989)描述 *Rhombocorniculum cancellatum* (Cobbold)(Qian Yi, 1989, pl. 89, figs. 7, 8)标本上壳壁显示斜的平行层状构造。岳昭(1992)通过酸蚀处理后的实体化石标本也有层状壳壁构造的发现。

6. 开腔骨类

开腔骨类化石是小壳化石动物群中最常见分子之一,分布广泛,标本丰富,通常为多刺联接体,分离标本和不分离标本均常见。化石切片显示保存的方式有如下几种类型:

(1) 内核

化石刺壁不保存,仅刺腔中充填碎屑状磷质成分。在不分离标本中,各刺之间原刺壁联接处由成岩磷质等矿物充填,其颜色一般与腔内矿物不同,多为均质浅色,常为层纹状磷质。见于九老洞组下段。

(2) 磷质单层壁

刺壁由均质胶磷矿构成,一般颜色较浅,与内充填碎屑状磷质或硅质等矿物相区别,如黄鳊洞段、西蒿坪段、九老洞组下段、郭家坝组等均有发现。

(3) 均质方解石晶粒壳壁

刺壁内浅色方解石晶粒构成,但有磷化现象,腔内充填暗色的磷质矿物。见于云南晋宁梅树村中谊村段,胶结物为泥晶碳酸盐矿物。

7. 织金钉类

织金钉类化石保存和显微构造曾经 Conway Morris 和陈孟莪 (Conway Morris and Chen Meng'e, 1991) 做过较详细的讨论。除一部分化石保存为碳酸盐质外,壳刺保存多为均匀磷质,切片显示壳刺有不同程度的磷酸盐矿物成分 (Conway Morris and Chen Meng'e, 1991, text-fig. 7)。碳酸盐矿物晶体常破坏壳刺壁与围岩边界,使化石体变得与围岩界线模糊。刺腔内壁见有层纹状磷质,正交偏光镜下十字消光或波状消光。切片中纵切面刺常显示平行刺长轴方向的显微构造,横切面上显示网状构造。实体标本在扫描电镜下显示平行刺的纤维状显微构造。

内核标本在切片中很难辨认,但酸离的实体标本中有内核标本的发现 (Conway Morris and Chen Meng'e, 1991, p. 12, fig. 16; pl. 3, figs. 4—6)。内核表面具阶梯状纤维构造。

石内藻铸模化石在刺壁上常见。

8. 棱管壳类

化石切片多,所有标本均保存为磷酸盐质。无碳酸盐质等其他成分保存的棱管壳类化石发现,内核标本未见。切片中几乎绝大多数标本壳壁显示两层构造,外层均质胶磷矿,内层为层纹状磷灰石,正交偏光镜下十字消光或波状消光,常见于滇东中谊村段。

9. 近骨状壳类

所有标本均保存为磷酸盐质,无内核标本发现。化石切片少,研究标本均为酸离标本。切片显示壳为均质胶磷矿,在电镜下壳内侧显示层状显微构造 (Qian Yi and Bengtson, 1989, fig. 28-A),外表面有向顶端收缩的同心纹饰 (Qian Yi and Bengtson, 1989, fig. 31)。见于滇东中谊村段。

10. 原始锥石类

所有标本均为酸离标本,保存为磷酸盐质。切片和扫描电镜显示几种壳壁保存类型:

① *Arthrochites* (Qian Yi, 1989, pl. 86, figs. 8—10), 显示壁两层,外层薄,内层由相互连接的小管(房室)构成(Conway Morris and Chen Meng'e, 1992, figs. 12-6, 7),壳壁由层纹葡萄状微晶磷灰石构成,外表面有包生现象。

② *Carinachites spinatus* Qian,壳壁显示两层,外层为粗粒状磷灰石构成,内层由球粒磷灰石放射状排列构成(Conway Morris and Chen Meng'e, 1992, figs. 7-15, 16, 17)。

③ *Carinachites tetrasulcatus* (Jiang),壳壁为三层,内外层为层纹状磷灰石,正交偏光镜下十字消光或波状消光。中间层为颗粒状或均质磷质矿物构成,一致消光。

11. 帽状壳类

帽状壳化石类别很多,目前有关这类化石的切片很少,保存状态仅依据酸离标本的研究。内核标本和磷质壳标本均常见。如四川麦地坪组中的帽状壳类多为内核标本,壳壁显微构造仅在帽状壳类(李国祥、陈均远, 1992)和 *Canopoconus radularis* (Qian Yi and Bengtson, 1989)中有发现,壳壁内侧均有纤晶层的存在。

第二节 小壳化石保存方式

寒武纪小壳化石保存的矿物成分一般为碳酸盐矿物、磷酸盐矿物和硅质矿物,其中以碳酸盐和磷酸盐矿物保存的化石最为常见,以硅质保存的目前仅在陕西镇巴早寒武世水井沱组 *Microdictyon* 发现(舒德干、陈苓, 1988)。除泥质和粉砂质岩层中保存的印模化石(图 2-1-1; 见于软舌螺类、开腔骨类等)和磷质内核化石(图 2-1-2; 见于软舌螺类、似软舌螺类、阿纳巴管类、开腔骨类、织金钉类、帽状壳类等)外,小壳化石常见有下面几种保存类型(图 2-1):

1. 碳酸盐矿物构成的单层壳

壳壁由碳酸盐矿物粗粒构成。通常可见有三种形式:

① 壳由方解石粒晶构成,壳内和围岩均为微晶和泥晶碳酸盐矿物(图 2-1-3),见于软舌螺类、阿纳巴管类等。

② 壳由方解石粒晶构成,壳内充填磷质矿物,围岩为碳酸盐粒晶,壳壁和围岩中的方解石晶体可连为一体,使壳壁外边缘轮廓模糊(图 2-1-4),见于软舌螺类、阿纳巴管类、开腔骨类等。

③ 壳壁由垂直壁的柱状方解石晶体构成,壳内常为磷质充填物,见于软舌螺类(图 2-1-5)。

2. 磷酸盐矿物构成的单层壳

磷质单层壳常见有如下三种类型:

① 均质胶磷矿壳壁,无显微构造保存,内腔充填斑杂状磷质矿物(图 2-1-6),见于软

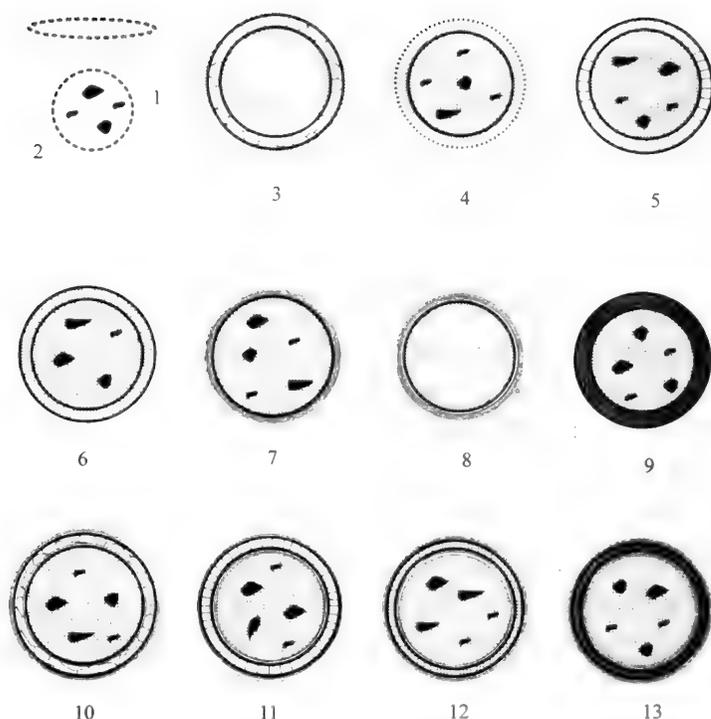


图 2-1 寒武纪小壳化石的保存类型(引自朱茂炎等,1996)

Fig. 2-1 Preservation types of Cambrian small shelly fossils(after Zhu Maoyan et al., 1996)

1. 印模(mould); 2. 内核(steinerns); 3—5. 单层碳酸盐壳(monolayered calcareous shell); 6—9. 单层磷酸盐壳(monolayered phosphatic shell); 10, 11. 多层碳酸盐壳(multilayered calcareous shell); 12, 13. 多层磷酸盐壳(multilayered phosphatic shell)

舌螺类、似软舌螺类、开腔骨类等。

② 均质层纹状磷灰石壳壁,磷灰石晶体垂直壳壁生长,在正交偏光镜下,呈十字消光或波状消光,内腔充填磷质(图 2-1-7),见于似软舌螺类等。

③ 见有不同类型的显微构造,正交偏光显微镜下,一致消光。壳由磷质矿物包裹或充填(图 2-1-9),见于软舌螺类、托莫特壳类、原牙形类(?)、织金钉类、拟骨状壳类、帽状壳类等;壳由碳酸盐矿物充填或包裹的较少见,常见于无铰腕足类(图 2-1-8)。

3. 碳酸盐矿物和磷酸盐矿物构成的多层壳

壳壁一般见有二层(外层碳酸盐质+内层层纹状磷质)或三层(内外层纹状磷质+中间碳酸盐质层)。层纹状磷质内层和外层在正交偏光显微镜下呈十字消光或波状消光,磷灰石柱晶垂直壳壁生长。碳酸盐质层可分为:粒晶方解石层(图 2-1-10),见于软舌螺类、阿纳巴管类等;垂直壳壁的柱晶方解石层(图 2-1-11),见于软舌螺类

4. 磷质多层壳

壳壁由磷质矿物构成二层(内层层纹状磷灰石,外层均质胶磷矿或微晶磷灰石构成)(图 2-1-12)或三层(内外层纹状磷灰石层,中间层由柱状或纤维状等微细构造的磷灰石构成)(图 2-1-13),见于软舌螺类、织金钉类、原始锥石类等。

此外,多层壳的碳酸盐和磷酸盐中间层有相互过渡的类型。在经过酸处理后,碳酸盐矿物构成的单层壳的第一种类型(图 2-1-3)消失。碳酸盐矿物构成的单层壳的第二种类型(图 2-1-4,2-1-5),呈内模化石出现。由碳酸盐矿物和磷酸盐矿物构成的多层壳(图 2-1-10,2-1-11),壳壁则呈中空的形式出现。

第三节 小壳化石成岩作用与壳壁显微构造

早寒武世含磷岩石中所产带壳动物化石绝大部分由于受成岩磷酸盐化作用、重结晶作用、白云岩化作用等的改造,壳壁原始显微构造极少保存。目前发现有微细构造的标本仅在托莫特壳类、帽状壳、织金钉类、阿纳巴管类等少量化石中发现。除托莫特壳类外,这种有微细构造保存的标本极少。原生显微构造由于具有规则的显微形态,在整个壳体中特征稳定,在不同个体上特征相同等特点,很容易与成岩次生显微构造相区别。一般原生磷质壳由于受次生成岩改造作用弱,原生显微构造较易保存,如托莫特壳类。原生钙质壳的稳定性差,受成岩作用影响大,原始显微构造一般难以保存。但是在壳壁未受其他成岩改造之前,早期磷酸盐化作用会复制钙质壳的显微构造,这已被大量软体动物化石所证实(Runnegar,1985)。在贵州织金五指山灯影组戈仲伍段中软舌螺化石切片显示出的交叉纤晶显微构造,就是由于早期磷酸盐化作用复制的结果。钙质壳的显微构造还可以通过石内藻迹的磷质铸模化石得以复制(Runnegar,1985),这值得今后深入的研究。

在过去的研究中,我国寒武纪含磷岩层的小壳化石描述有大量的多层壳壁显微构造。正如钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989)曾讨论过的棱管壳类内壁的层纹状磷灰石是成岩的产物,绝大部分已描述的多层壳化石是未区别受成岩附壁磷灰石层的假象所造成的。如前述化石保存类型中所述,钙质或磷质壳内外层的层纹状磷灰石层在大多数小壳化石标本中均有发现。这种层纹状磷质层具有单层内由垂直壳壁的短柱状磷灰石晶体构成;在单偏光镜下颜色均匀无杂质,在正交偏光镜下呈十字消光特征。由于上述特征的层纹状磷灰石层不仅在壳内充填的颗粒周围同时存在,而且在破碎壳体的缺失壳的部分也同时存在,证明了它是成岩产物。所以对层状显微构造的壳壁的描述要注意区分其成岩次生的和原生的关系。

第四节 小壳化石成岩作用和壳壁原始矿物成分的辨别

生物矿化骨骼的成分常见的是钙质、磷质和硅质。寒武纪早期矿化骨骼化石在地层中绝大部分是以磷质矿物的形式保存的,但这并不意味着磷质骨骼是当时的优势骨骼类型。因为有大量的证据表明,在寒武纪磷质岩层中原始钙质骨骼经埋葬后成岩磷酸盐化作用的改造而保存为磷质。首先,有大量原生钙质壳化石经成岩作用改造,保存为磷质,

这种成岩磷酸盐化作用过程通过岩石切片得到证明。从完全钙质到完全磷质的一系列过渡类型化石的保存,反映了钙质经成岩作用转变为磷质的不同阶段。已经研究的有软舌螺类、阿纳巴管类(Conway Morris and Chen Meng'e, 1989),软体动物(Runnegar, 1985)等。第二,在含磷碳酸盐层中,通过切片可以反映出磷质常沿着碳酸盐矿物晶体的边缘和节理面之间分布的特点,这是磷质交代碳酸盐矿物的极好证明。第三,切片中生屑和其他碎屑颗粒周围的层纹状磷灰石显示出典型的成岩作用特征。以上证据均表明含磷岩层中磷质矿物所经过的成岩过程。所以在研究生物壳的原始成分时,就应考虑磷质壳的次生成因过程。既然原始钙质壳经成岩磷酸盐化作用后以磷质保存,那么,它怎样区别于原生磷质壳呢?下面一些鉴别标准可以在研究中参考应用。

1. 次生成岩磷酸盐化钙质壳

- ① 以磷质保存的壳在同层位或不同层位有碳酸盐矿物保存的,壳内一般充填磷质。
- ② 酸处理后标本常为磷质内核。
- ③ 一般微细构造保存差或不保存。如保存,则具有碳酸盐矿物构成的微细构造特征,如纤维状晶体特征、软体动物棱柱层+纤晶内层的特征构造等。
- ④ 常有石内藻迹。

2. 原生磷质壳

- ① 壳在同一层位和不同层位的各种岩层中以稳定的磷质保存。
- ② 内腔和围岩均为碳酸盐矿物的磷质壳。
- ③ 在不同岩层中壳厚度稳定。
- ④ 内核标本少见。
- ⑤ 常有稳定的微细构造和特征的磷质微细构造,如球粒状磷灰石晶体构造。
- ⑥ 石内藻迹少见。

第五节 早寒武世磷质小壳化石层的埋葬过程

早寒武世磷质小壳化石层一般来讲,主要是指含磷酸盐地层和磷矿层中的小壳化石层。尽管含小壳化石的地层还有碎屑岩层和泥岩层以及硅质岩层,由于受研究材料限制,这里不做讨论。通过详细地研究含磷碳酸盐地层和磷矿层中的小壳化石层位的岩石切片和手标本,小壳化石在岩层中的保存状况通常具有如下一些特点:① 生物化石颗粒破碎、个体较小,以生屑状态保存;② 生物碎屑紧密堆积成生物介壳层,岩层底面为侵蚀面;③ 生物碎屑具有明显的定向性,轴状生屑的长轴方向定向排列,扁平生屑平行层面堆积,凹面多数朝下;④ 生物碎屑绝大部分以磷质保存,壳壁和内充填沉积颗粒周边具有层纹状成岩附壁磷灰石层;⑤ 磷质生物碎屑和含生物碎屑磷质颗粒常以再沉积颗粒的状况保存于岩层中,被碳酸盐沉积物胶结;⑥ 磷质生屑层常具有斜交层理,横向厚度变化大,通常呈透镜状;⑦ 生物碎屑在岩层中具有粒序构造(朱茂炎等,1996,图版IV,图1);⑧ 硬底面发育。

根据以上保存的特点,结合本书前述岩相分析,可以将磷质小壳化石层的埋葬过程概

述如下：A 阶段——生物死亡后，壳体自然堆积在表层沉积物之中，在未压实固结以前，壳体一般未受破坏或受到溶蚀、石内藻类钻蚀以及早期磷酸盐化作用的改造；B 阶段——生物壳体受水动力簸选，堆积成壳层，壳受到破碎、定向分选等的改造，壳层底面为侵蚀面；C 阶段——磷酸盐化作用发生，壳体及其他沉积颗粒周围有磷灰石层纹状附壁沉积，钙质成分颗粒本身也可能发生磷酸盐作用，颗粒孔隙中同时磷酸盐化；D 阶段——化石层再次遭受水动力改造、磷质化石层又由于机械破碎、分选作用成为再沉积磷质颗粒沉积下来。磷质颗粒可为紧密堆积层(颗粒支撑结构)，或为粒序层(基质支撑结构)。A—D 阶段可以多次重复发生(图 2-2)。

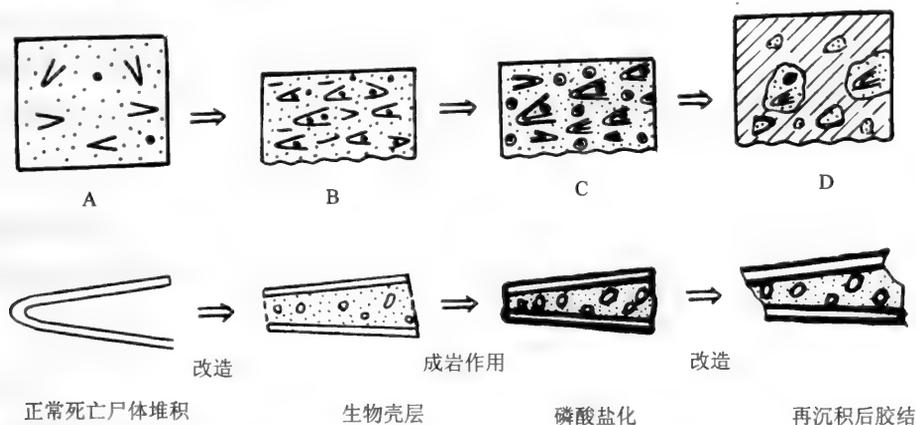


图 2-2 寒武纪磷质小壳化石壳层的埋葬学过程(引自朱茂炎等,1996)

Fig. 2-2 Taphonomic processes of Cambrian phosphoric shelly fossil beds

(after Zhu Maoyan et al., 1996)

第六节 小壳化石埋葬研究的古生物学和地层学意义

传统的采样、酸泡、描述、鉴定的研究程序对小壳化石的研究积累了丰富的资料,但是在缺少对含化石层位的全信息研究的情况下,包括埋葬学、沉积学、矿物学、地球化学等方面,依据小壳化石标本的形态、组合特征所进行的生物分类和演化以及生物地层学的方面解释会不可避免地产生偏差和错误。只有在了解化石从死亡到形成化石、再从岩层中取样分析这全过程之后,在埋葬学研究基础上,再进行科学解释才能更接近实际。通过对小壳化石埋葬学的初步研究,其实际意义可从下面几方面得以说明。

1. 生物分类学

保存在岩层中的小壳化石绝大多数是沉积动力改造后生物完整实体的硬体部分的破碎产物,小壳化石并不意味着真实壳体就很小,它们很大一部分是大壳体的碎片。不仅破碎壳与完整壳应当加以区别,更加令人困惑的是多骨片系和复合硬体的单个骨板之间的联系与区别,如 *wiwaxiids*, 赫尔克类, 寒武钉类, 等等,如果不考虑骨片系的构成,过分依赖形态分类,将造成错误的分类。

分类上另一个最具有代表性的错误则来自对化石的保存方式不加区分,同一壳体可

保存为变化的实体和模铸标本,特别是内核和内模与外模标本上的特征可能有很大的差异,同物异名的出现很大部分就是缘于此故。如在四川峨眉麦地坪段发现 *Rugatotheca* 就是一种内核标本,内核外表面有成岩作用所形成的层纹状磷灰石层,表面纹饰为内模特征。

2. 壳壁成分与矿化作用

壳壁原始矿物成分和有机质成分在经受埋葬成岩作用的改造后,可能完全改变。因此有必要从成岩作用着手,区别次生骨骼成分与原生骨骼成分。早寒武世小壳化石多以磷质保存,但不表明原始骨骼成分均为磷质。有大量碳酸盐质壳,几丁质或有机质壳由于受成岩磷酸盐化作用而保存为磷质。区别弱矿化或非矿化壳体经埋葬后显示的变形特征,也为研究早期生物矿化作用提供了依据。

3. 壳壁显微构造

如前文所述,壳壁原生的显微构造除少数情况下得以保存外,化石体上表现的显微构造绝大部分是经成岩作用改造后的特征。因此在讨论早期矿化骨骼显微构造及其演化等问题时,必须仔细地地区别次生显微构造。

4. 地层学方面

通过大量切片和手标本研究表明,早寒武世磷质小壳化石层绝大多数为经沉积动力反复冲刷、改造过的再沉积层,底面为侵蚀面,而且硬底面发育。所以在地层对比上要充分考虑到沉积间断和磷质小壳化石凝缩层(condensed beds)造成的不同时代化石的混生现象,以免造成对比上的错误;同时又要充分利用埋葬学原理进行生物相分析,避免不同相区或环境内同一时代化石组合面貌的差异而造成地层对比的偏差。

由此可见,埋葬学研究在小壳化石研究中的应用是十分必要的。尽管埋葬学研究非本书重点,收集的材料有限,对小壳化石保存、壳壁显微构造和原始矿物成分的讨论缺乏系统性,但是目前所进行的研究已经为下一步深入研究打下了基础。在系统整理分类的基础上,深入开展小壳化石埋葬学和生态学研究是深化我国小壳化石研究的重要内容之一。

第三章 小壳化石的地质地理分布

兼论早寒武世地理分区

第一节 小壳化石的地质地理分布

寒武纪是无脊椎动物大爆发大发展的一个重要时期,特别是早寒武世早期,除了多门类小壳动物和以三叶虫为代表的节肢动物大量繁衍外,腕足动物、高肌虫类及古杯动物等亦先后出现和繁衍。

中国小壳动物门类众多,数量丰富,分布广泛,产出层位亦多。小壳化石主要分布于扬子地台周缘、华北地台南缘和北缘、塔里木地台北缘及扬子地台与东部盆地间过渡带斜坡区的晚震旦世至早寒武世沉积,尤以扬子地台震旦系与寒武系的界线附近最为丰富。此外,在一些地槽区边缘的晚震旦世和早寒武世沉积中,近年来亦发现了少量的小壳化石。通过近 20 年来的研究,中国各地发现了许多富含小壳化石的产地和层位,其面貌已比较清楚。

1. 扬子地台区

主要包括云南东部和东北部,四川盆地西部和北部,贵州北部和中西部,陕西南部,湖北西部和西北部,湖南西北部和苏浙皖等地。上述地区晚震旦世至早寒武世的某些层段含比较丰富的小壳化石,但各地产出层位不尽相同。其中尤以滇东、四川盆地西部和陕西南部震旦系与寒武系界线附近小壳化石最为丰富,门类亦齐全,是当今全球研究早期骨骼化石和前寒武系与寒武系界线最理想的地区之一。

扬子地台区晚震旦世至寒武纪,小壳化石产出层位各地略有差异,化石类型和纵向分布也有所不同。现就各地的分布情况分述如下:

(1) 滇东

云南东部是中国早寒武世地层层型所在地区,亦是国际前寒武系与寒武系界线研究程度最高的地区之一,该区的的小壳化石和三叶虫及高肌虫的研究都很详细(罗惠麟等, 1982, 1987, 1994; Qian Yi et al., 1984; Qian Yi, 1989; Qian Yi and Bengtson, 1989)。

滇东地处扬子地台西缘,震旦纪末期至寒武纪初期地壳升降运动频繁,中寒武世之后又长期处于上升剥蚀状态,因而区内许多重要剖面上震旦统至下寒武统有不同程度的缺失。

云南东部地区凡震旦系与寒武系界线上、下地层出露的地区,几乎都有小壳化石,经系统研究的剖面有晋宁梅树村、王家湾,华宁火特,澄江渔户村,安宁鸣矣河、白登、草铺、温泉和八街,寻甸先锋、摆宰、大湾,禄劝翠华、哈依、岔河厂、恩祖和中槽,会泽大海、驾车湾、沙坝、马路、待补、雨碌和皮嘎,永善金沙厂、肖滩和长坪,昆明海口、观音山、龙

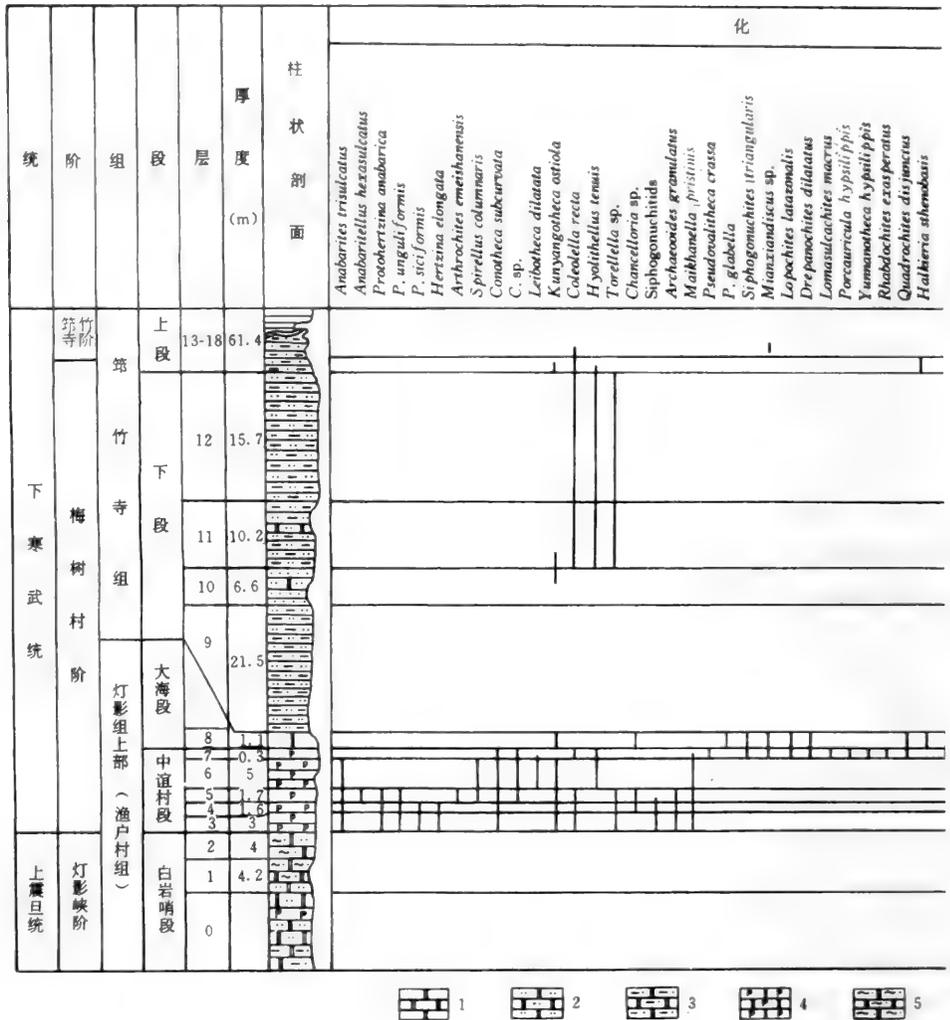
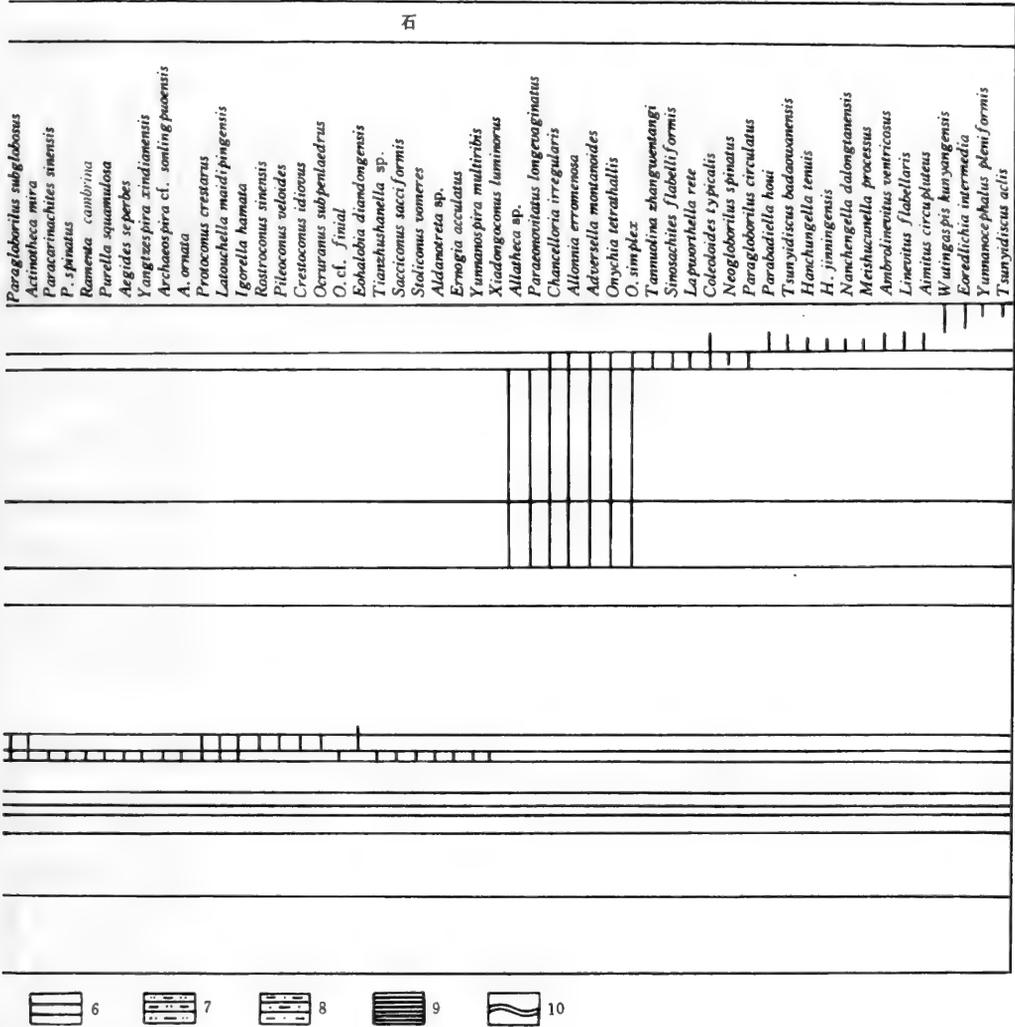


图 3-1 云南晋宁梅树村

Fig. 3-1 Fossil distributions at the Meishucun

1. 白云岩 (dolomite); 2. 砂质白云岩 (sandy dolomite); 3. 砂泥质白云岩 (phosphatic dolomite); 5. 含硅质条带白云岩 (dolomite with siliceous (muddy siltite)); 8. 砂质泥岩 (sandy mudstone); 9. 页岩 (shale); 10. 厚

潭街和金马寺, 沾益德泽, 江川桃溪村, 路南水尾, 宜良禄丰村、狗街和柴石滩, 呈贡鸡叫山, 武定洒普山, 东川滥泥坪, 巧家大包厂和渭姑, 镇雄羊场, 华坪腊姑河及宁蒗昔腊坪等 44 条剖面。小壳化石主要分布于渔户村组中谊村段、大海段和筇竹寺组下部。在白岩峭段顶部和中谊村段与白岩峭段间过渡层段, 个别剖面上亦有少量小壳化石产出。在所研究的剖面中以寻甸先锋、晋宁梅树村和会泽雨碌、大海剖面含小壳化石最丰富, 从中谊村段开始至筇竹寺组下部, 由下而上几乎每一自然层段都有小壳化石和遗迹化石。筇竹寺组中部以“澄江动物群”为代表的特异埋葬软躯体生物群为主, 目前在澄江、晋宁、武定等地都有发现。上述几条剖面中小壳化石类型、组合面貌和纵向分布规律研究得最为



剖面化石分布图

section, Jinning, Yunnan

岩 (sandy and muddy dolomite); 4. 含磷白云岩
stripes); 6. 磷块岩 (phosphorite); 7. 泥质粉砂岩
度缩减符号 (symbol for reduction in thickness)

详细。

云南晋宁梅树村震旦系-寒武系界线剖面及其小壳化石的纵向分布 (图 3-1) 已有大量文献记述 (罗惠麟等, 1982, 1984, 1987; 钱逸, 1977, 1978a, 1983; 钱逸等, 1984; Qian Yi et al., 1984; Qian Yi, 1989; 邢裕盛等, 1984; 何廷贵等, 1988)。

梅树村剖面震旦系-寒武系界线剖面可划分 3 个小壳化石组合带, 自上而下为:

梅树村阶

Ⅲ. *Lapworthella-Tannuolina-Sinosachites* 组合带

Ⅱ. *Siphonuchites-Paragloborilus* 组合带

I. *Anabarites-Protohertzina-Arthrochites* 组合带

云南会泽雨碌和大海震旦系-寒武系界线参考剖面及生物分布曾有报道(罗惠麟等, 1980, 1982; 何廷贵, 1989), 但未受到注意, 只是近几年的详细研究(钱逸等, 1996)才引起重视。目前, 此两剖面已被视为是梅树村剖面的重要补充剖面。

雨碌剖面(图 3-2)灯影组(渔户村组)待补段(40—47层)为硅质岩与白云岩互层, 下部夹钙质页岩, 产遗迹化石 *Oldhamia* cf. *flabellata* Acenolaza et Durand (殷继成等, 1993b)。中谊村段(13—39层)为含磷砂屑白云岩、白云质粉砂岩、粉砂质泥岩与云基砂屑磷块岩互层, 其中 35—39层含小壳化石 *Anabarites trisulcatus*, *Rugatotheca*, *Coleolella*, *Arthrochites emeishanensis* Chen, *Ganluodina*, *Protohertzina*, *Lopochites*, *Siphogonuchites* 等; 第 13—34层小壳化石极其丰富, 除大量单板类、腹足类、软舌螺类、棱管壳类外, 尚产锥石类 *Carinachites absidatas* (Jiang), 近骨状壳类 *Paracarinachites*, 盔形类 *Acanthocassis*, 齿形类化石 *Huizenodus*, *Scoponodus*, *Brushenodus* 等; 其中 22层产有较多 *Paragloborilus subglobosus* He 以及 *Yangtzespira*, *Latouchella*, *Obtusoconus* 等。大海段(8—12层)为白云岩、白云质灰岩、石灰岩, 小壳化石极为丰富, 主要有软舌螺、单板类、棱管壳类、开腔骨类等, 只分布于此段的特征化石有 *Heraultipegma yunnanensis* He et Yang。值得重视的是似楯壳类, 开腔骨类从 11层才开始大量出现。筇竹寺组下段(6—7层)为粉砂质泥岩和石英粉砂岩, 底部 0.1—0.3m 的含海绿石砂质胶磷矿层, 产少量小壳化石 *Conotheca*, *Hyolithellus*, *Chancelloria* 等。

会泽大海泥者箐-朱家箐剖面(图 3-3)灯影组岩性与雨碌剖面极为相似。待补段(8—10层)下部为硅泥质白云岩夹黑色硅质岩, 中部相变为白云岩与硅质岩互层, 向上硅质岩减少, 白云岩含磷, 并逐渐出现白云质砂屑磷块岩条带而过渡到中谊村段。中谊村段(11—29层), 其中下部(11—19层)为含磷砂屑白云岩、钙泥质粉砂岩夹云基砂屑磷块岩, 产小壳化石 *Anabarites trisulcatus*, *Conotheca* spp., *Hyolithellus* sp.; 上部(20—29层)为云基、磷基砂屑、砂砾屑磷块岩夹磷质砂屑白云岩、含磷粉砂岩, 小壳化石极其丰富, 有软舌螺类 *Conotheca* sp., *Turcutheca* spp., *Ovalitheca* sp., *Paragloborilus subglobosus*; 单板类 *Latouchella* sp., *Rostroconus* sp., *Aegides places* Jiang; 腹足类 *Archaeospira ornata* Yu, *Latirostratus amplaperatus* Yu 等; 分类位置不明的化石 *Halkieria* spp., *Siphogonuchites* spp., *Palaeosulcachites* spp., *Lopochites* sp. 等。大海段(30—37层)下部为白云岩, 中上部为含磷泥质瘤状灰岩、白云质灰岩夹薄层泥岩, 产丰富的小壳化石, 除有大量软舌螺类、双壳类、棱管壳类外, 还有丰富的喙壳类 *Heraultipegma yunnanensis* 及开腔骨类 *Chancelloria* sp. 等。

值得重视的是在雨碌和大海震旦系-寒武系界线剖面上, 以硅质岩组成的待补段与以含磷岩系为特征的中谊村段在岩性上很难将两岩性段界线进行划分(钱逸等, 1996)。在风化程度较高的雨碌红岩沟, 大海泥者箐、小麦地剖面上, 中谊村段底部为品位较低的灰褐色云基砂屑磷块岩层, 而在雨碌楞病冲、大海朱家箐等新鲜露头上则为深灰色含磷砂屑白云岩而可能划归待补段, 它们中均产有 *Anabarites trisulcatus*, *Conotheca* spp. 等化石, 岩性为逐渐过渡。此外, 在大海段上部存在有一个特殊的小壳化石带——*Heraultipegma yunnanensis* 带。因此滇东地区会泽雨碌和大海剖面, 其界线点在中谊村段与待补段之间, 即最古老的小壳化石组合——*Anabarites trisulcatus-Protohertzina anabarica* 组合之底。

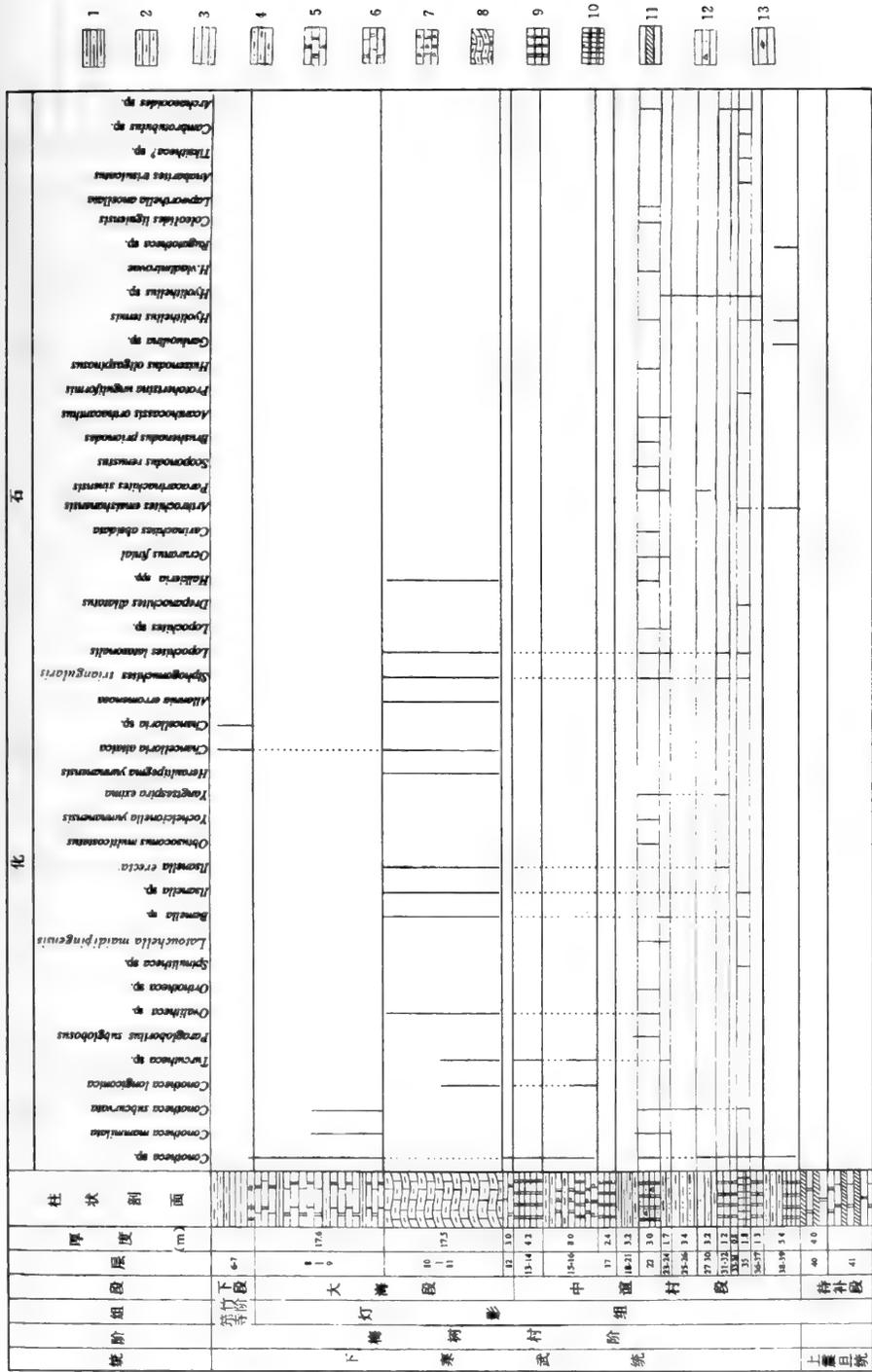


图3-2 云南会泽雨碌红岩沟剖面化石分布图

Fig.3-2 Fossil distributions at the Yulu section of Huize, Yunnan

1. 粉砂质页岩 (silty shale);
2. 砂质泥岩 (sandy mudstone);
3. 粉砂岩 (siltite);
4. 泥质粉砂岩 (muddy siltite);
5. 白云岩 (dolomite);
6. 白云质灰岩 (dolomitic limestone);
7. 含磷白云岩 (phosphatic dolomite);
8. 泥质瘤状灰岩 (muddy knotted limestone);
9. 云基磷块岩 (dolomitic phosphorite);
10. 硅质磷块岩 (siliceous phosphorite);
11. 硅质岩 (silicalite);
12. 含砂碎屑角砾岩 (sandy clastic breccia);
13. 含绿泥石砂质胶磷矿层 (glauconite-bearing sandy collophanite bed)

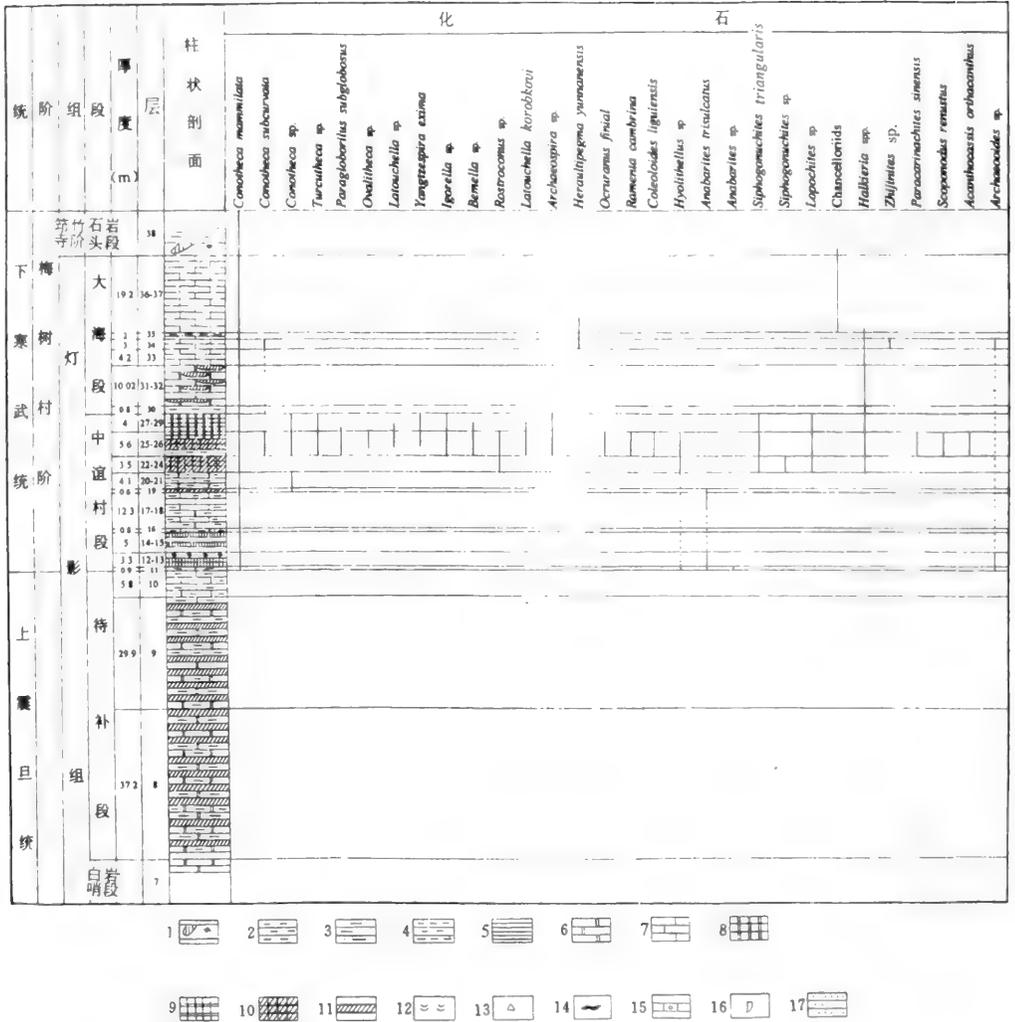


图 3-3 云南会泽大海泥者笋剖面化石分布图

Fig. 3-3 Fossil distributions at the Nizeqing section of Dahai, Yunnan

1. 含磷海绿石砂岩 (phosphatic glauconitic sandstone); 2. 粘土质泥岩 (argillaceous mudstone); 3. 泥质页岩 (argillaceous shale); 4. 泥岩 (mudstone); 5. 页岩 (shale); 6. 白云岩 (dolomite); 7. 灰岩 (limestone); 8. 白云质磷块岩 (dolomitic phosphorite); 9. 硅质磷块岩 (siliceous phosphorite); 10. 磷质磷块岩 (phosphatic phosphorite); 11. 硅酸盐类 (silicates); 12. 生物碎屑岩 (bioclastics); 13. 角砾岩 (breccia); 14. 燧石 (chert); 15. 碎屑, 鲕状 (clastic, oolitic); 16. 含化石层 (fossil-bearing bed); 17. 硅质岩 (siltstone)

根据上述晋宁梅树村剖面、会泽雨碌和大海剖面小壳化石在纵向上的分布规律, 可将云南东部下寒武统梅树村阶划分为 4 个小壳动物化石组合带:

梅树村阶

IV. *Lapworthella-Tannuolina-Sinosachites* 组合带

III. *Heraltipigma yunnanensis* 组合带

II. *Paragloborilus-Siphogonuchites* 组合带

I. *Anabarites trisulcatus-Protohertzina anabarica* 组合带

(2) 四川盆地西部

四川盆地西部地区主要包括峨眉、乐山、汉源及凉山州广大地区。这里的震旦系与寒武系为连续沉积,自上震旦统至下寒武统划分为陡山沱组(喇叭岗组或观音崖组)、灯影组(洪椿坪组)、九老洞组、遇仙寺组和太阳坪组。其中灯影组可进一步划分为下(鱼山段和高桥段)、中(猫儿岗段)和上(麦地坪段)三部分。上部麦地坪段为跨震旦系和寒武系的岩石地层单位。九老洞组亦可分为下、中、上三段。在东部的雷波、马边、乐山和峨眉一带,小壳化石主要集中于灯影组上部麦地坪段和九老洞组。峨眉麦地坪剖面上的小壳化石组合特征和纵向分布已进行了系统的研究(殷继成等,1980;陈孟莪,1982;Qian Yi,1989),自上而下可划分为5个生物地层单位(图3-4):

筇竹寺阶

V. *Pelagiella emeishanensis* 延限带(相当于三叶虫 *Mianxiandiscus-Eoredlichia* 带)

梅树村阶

IV. *Sinosachites flabelliformis* 延限带

III. *Heraultipegma yunnanensis* 延限带

II. *Siphogonuchites pusilliformis-Paragloborilus subglobosus* 组合带

I. *Anabarites trisulcatus-Protohertzina anabarica* 组合带

其中,*A. trisulcatus*,棱管壳类稀少,而锥石类、织金钉类、牙形类很丰富,偶见瘤点锥。九老洞组(上部)产三叶虫。

在甘洛凉红、汉源市荣等剖面,距九老洞组底2m即产小壳化石 *Sinosachites flabelliformis* He, *Conotheca*, *Torelrella*, *Halkieria*, *Tannuolina*, *Lapworthella* 等,也是九老洞组中段底部工业性磷块岩的层位。根据小壳化石对比,这一带缺失九老洞组下段。

(3) 四川北部

四川北部南江和旺苍一带发育有晚震旦世和早寒武世地层。该区晚震旦世灯影组划分为下段(杨坝段)、中段(高家山段)和上段(磨坊岩段)。下寒武统自下而上划分为郭家坝组、仙女洞组、阎王碛组和孔明洞组。小壳化石主要分布于灯影组上部磨坊岩段和郭家坝组。区内以南江沙滩剖面中的小壳化石和生物地层研究较为详细(杨暹和等,1983)。南江沙滩剖面灯影组中段(高家山段)含 *Shaanxilithes*,上段磨坊岩段下部为钙质白云岩夹磷质条带,未见化石,但向西至长滩河和长梁子等地,该层含较多的小壳化石 *Anabarites trisulcatus* 和 *Conotheca* 等;磨坊岩段中上部为黑色灰岩、硅质条带白云质灰岩,富含小壳化石,其中有软舌螺类、单板类、棱管壳类、赫尔克壳类、原始锥石类及牙形刺状化石等,但未发现 *Paragloborilus subglobosus*, *Heraultipegma* 等。该区化石组合表现出地方性色彩较强,但分带较差。郭家坝组下段粉砂质泥岩、页岩及细砂岩中含少量小壳化石,如 *Hyalolithellus*, *Conotheca*, *Chancelloria* 等;上段含三叶虫 *Parabadiella*, *Eoredlichia*, *Wutingaspis* 和高肌虫,还有些软舌螺化石,如 *Sulcavitus*, *Linevitus*, *Ambrolinevitus*, *Microxormus*, *Ancheilotheca*, *Conotheca* 及开腔骨类和腕足类等。此外,有时还可见到少数分类位置不明的化

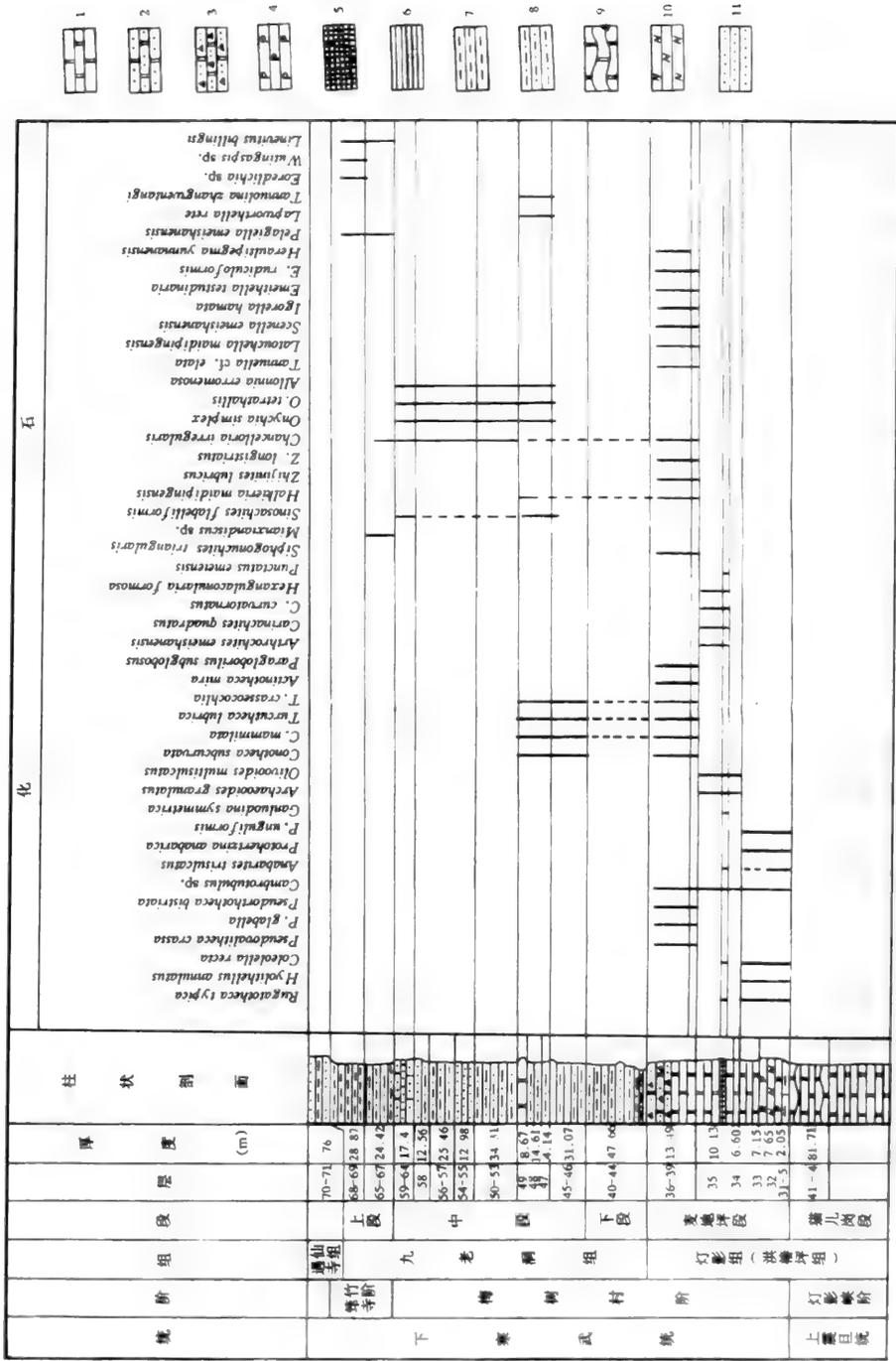


图3-4 四川峨眉山地坪剖面化石分布图
Fig.3-4 Fossil distributions at the Maidiping section of Emei, Sichuan

1.白云岩(dolomite); 2.砂质白云岩(sandy dolomite); 3.磷块岩(phosphorite); 4.硅质岩(silicite); 5.页岩(shale); 6.泥岩(mudstone); 7.泥质粉砂岩(muddy siltite); 8.含硅质条带白云岩 (dolomite with siliceous stripes); 9.砂质、泥质白云岩 (sandy,muddy dolomite); 10.含砾砂岩 (gravel-bearing sandstone); 11.砂岩(sandstone)

石, 如 *Cambroclavus* 及 *Microdictyon*。以南江沙滩剖面为例, 可将四川北部地区晚震旦世一早寒武世的生物地层由上到下划分如下(图 3-5):

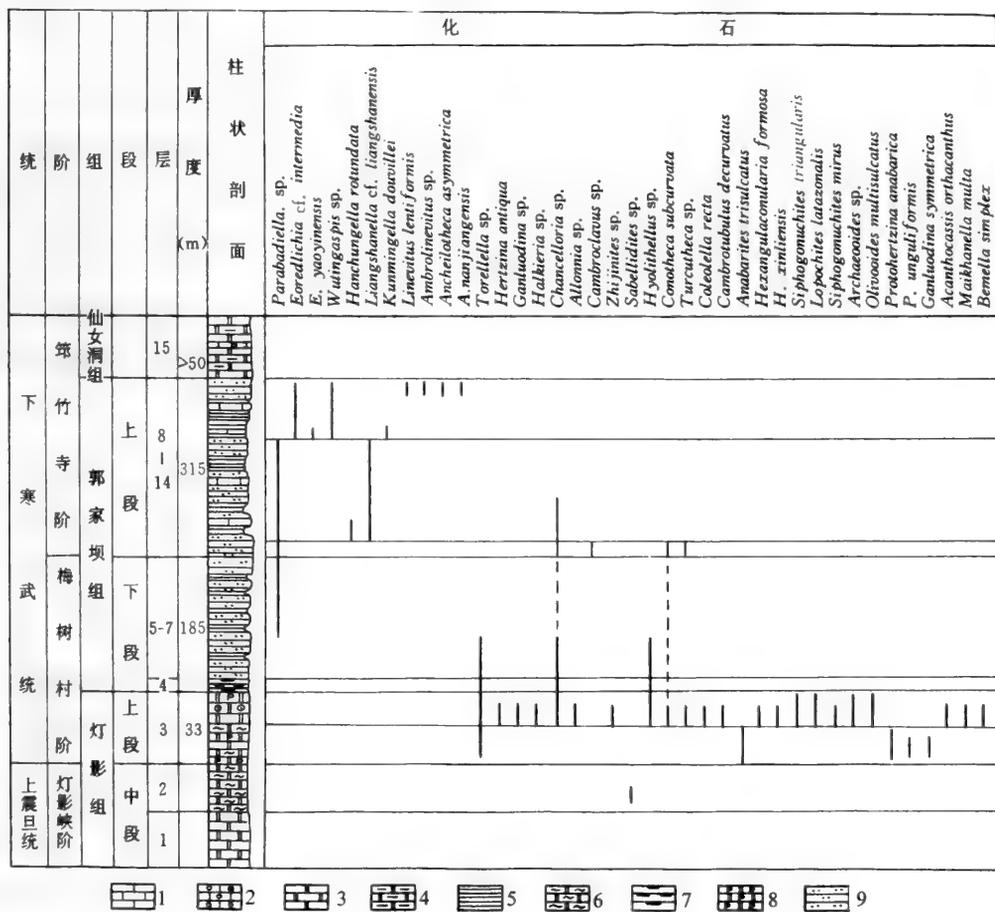


图 3-5 四川南江沙滩剖面化石分布图

Fig. 3-5 Fossil distributions at the Shatan section of Nanjiang, Sichuan

1. 石灰岩 (limestone);
2. 鲕状石灰岩 (oolitic limestone);
3. 白云岩 (dolomite);
4. 泥质白云岩 (muddy dolomite);
5. 页岩 (shale);
6. 硅质白云岩 (siliceous dolomite);
7. 碳质页岩 (carbonaceous shale);
8. 含磷白云岩 (phosphoric dolomite);
9. 粉砂岩 (siltstone)

筇竹寺阶

V. *Eoredlichia-Wutingaspis* 延限带

IV. *Parabadiella* 延限带

梅树村阶

III. 未名带

II. *Siphogonuchites* 顶峰带

I. *Anabarites trisulcatus* 顶峰带

(4) 贵州北部和中西部

贵州北部和中西部位于扬子地台东南隅,震旦系和寒武系发育完好,厚度亦较大。区内早寒武世地层中含丰富的三叶虫、古杯和小壳化石。小壳化石主要分布在震旦系与寒武系界线上下层位中,已经作了比较详细的研究(钱逸、尹恭正,1984b)。

贵州北部和中西部上震旦统划分为陡山沱组和灯影组(或灯影组和桃子冲组),灯影组又可分为上(戈仲伍段和冒龙井段或大岩段)、中及下(藻白云岩段)三段。小壳化石主要分布于织金、纳雍、清镇、开阳和习水等县境内震旦系与寒武系界线附近的含磷岩系层位(尹恭正等,1982;钱逸、尹恭正,1984b;王砚耕等,1984),在牛蹄塘组下部亦含有一些软舌螺类、似软舌螺类和海绵类等。目前以织金戈仲伍震旦系-寒武系界线剖面含化石最丰富,研究程度较高(图 3-6)。据织金戈仲伍、五指山,习水大岩,清镇阿坝寨、桃子冲和落夯等剖面所含小壳化石的面貌,可将贵州北部和中西部晚震旦世至早寒武世早期生物地层由上到下划分如下:

筇竹寺阶

IV. *Zhenbaspis* 顶峰带

III. *Tsuniyidiscus* 延限带

梅树村阶

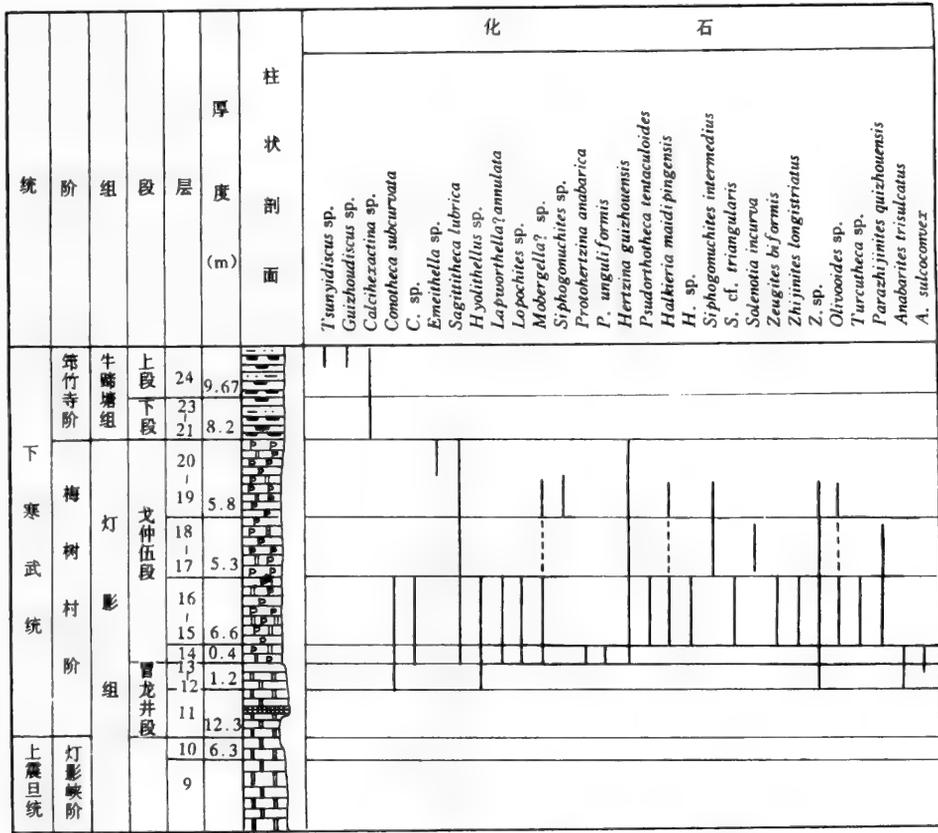
II. *Siphogonuchites-Halkieria* 组合带

I. *Anabarites-Protohertzina* 组合带

织金戈仲伍剖面是此区具有代表性的界线剖面。该剖面灯影组上段(王砚耕等进一步将此段分为冒龙井段和戈仲伍段)产有丰富的小壳化石,其中 *Zhijinites* 贯穿整个上段。但根据其他小壳化石,此段可建立二个组合带,下部白云岩夹磷块岩条带为 *Anabarites trisulcatus-Protohertzina anabarica* 组合带;上部白云岩与云基磷块岩互层为 *Siphogonuchites-Lapworthella* 组合带。此区牛蹄塘组下段仅产少量小壳化石,上段产三叶虫 *Tsuniyidiscus*, *Guizhoudiscus* 等,因此牛蹄塘组下段延续时限相当于梅树村晚期 *Sinosachites flabelliformis* 延限带,上段延续时限相当于筇竹寺期。

(5) 贵州东部

贵州东部包括石阡—余庆—都匀一线以东,位于扬子地台南部的边缘和东部盆地之间。区内震旦系与寒武系为连续沉积。在石阡—余庆—都匀一线以东和剑河南明—剑河—三都一线以西地区,上震旦统至下寒武统由下到上划分为陡山沱组、灯影组、老堡组、九门冲组、变马冲组、杷榔组和清虚洞组;而在剑河南明—剑河—三都一线以东地区上震旦统至下寒武统划分为陡山沱组、灯影组、老堡组和渣拉沟组。由于在晚震旦世晚期和早寒武世早期贵州东部地区海水较深,在所研究的台江五河,镇远城南、印江木黄锅厂、松桃乌乐和杨立掌,三都城郊及剑河南明等 6 条震旦系-寒武系界线剖面,经研究和处理,仅在台江五河震旦系与寒武系界线附近的硅质磷块岩和含磷硅质岩中发现一些小壳化石,如 *Kaiyangites novilis* Qian et Yin 和 *Calciheractina* 等,而其他剖面震旦系与寒武系界线附近的硅质磷块岩中目前尚未发现小壳化石。在三都城郊和剑河南明,仅在渣拉沟组黑色碳质页岩中发现一些海绵骨针 *Protospongia*。以台江五河剖面为例(图 3-7),可将石阡



Tsunyidiscus sp.
Guizhoudiscus sp.
Calcihexactina sp.
Conotheca subcurvata
 C. sp.
Emeithella sp.
Sagittitheca lubrica
Hyolithellus sp.
Lapworthella? *annulata*
Lopochites sp.
Mobergella? sp.
Siphonogonuchites sp.
Protoherztina anabarica
P. unguiformis
Hertzina guizhouensis
Pseudorthisca tentaculoides
Halkteria maidipingensis
 H. sp.
Siphonogonuchites intermedius
S. cf. triangularis
Solenotia incurva
Zeugites bifurmis
Zhiyinites longistriatus
 Z. sp.
Olivoides sp.
Turcutheca sp.
Parazhiyinites quizhouensis
Anabarites trisulcatus
A. sulcoconvex



图 3-6 贵州织金戈仲伍剖面化石分布图

Fig. 3-6 Fossil distributions at the Gezhongwu section of Zhijin, Guizhou

1. 白云岩 (dolomite); 2. 磷质白云岩 (phosphoric dolomite); 3. 磷块岩 (phosphorite); 4. 硅质岩 (silicalite);
 5. 粉砂岩 (siltite); 6. 碳质页岩 (carbonaceous shale)

—余庆—都匀—一线以东和剑河南明—剑河—三都—一线以西地区早寒武世早期生物地层由上到下划分如下:

筇竹寺阶

Ⅲ. *Hupeidiscus* 延限带

梅树村阶

Ⅱ. *Kaiyangites-Calcihexactina* 组合带

Ⅰ. *Miniococcus sinensis* 顶峰带 (F₂群落)

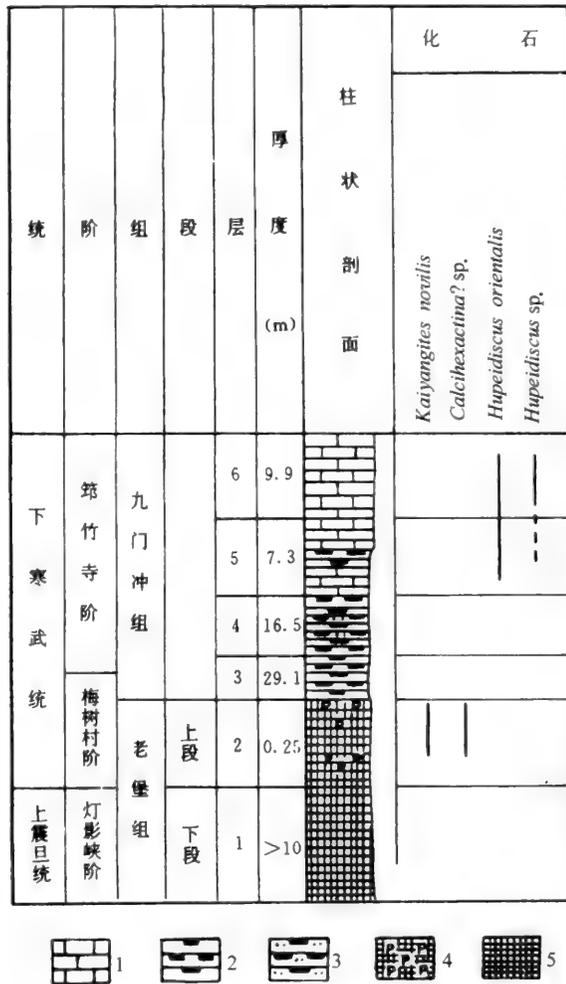


图 3-7 贵州台江五河剖面化石分面图

Fig. 3-7 Fossil distributions at the Wuhe section of Taijiang, Guizhou

1. 石灰岩 (limestone); 2. 碳质页岩 (carbonaceous shale); 3. 碳质粉砂岩 (carbonaceous siltite);
4. 硅质磷块岩 (siliceous phosphorite); 5. 硅质岩 (silicalite)

(6) 湖北西部

峡东区是我国震旦系层型所在地。该区上震旦统划分为陡山沱组和灯影组,下寒武统划分为水井沱组、石碑组、天河板组和石龙洞组。区内灯影组与水井沱组之间有沉积间断,部分地区缺失梅树村中晚期沉积。小壳化石主要分布于灯影组上部黄鳍洞段(钱逸等, 1979)(注意:天柱山段是黄鳍洞段的晚出同义名)。水井沱组至石龙洞组亦有少量小壳化石,但尚未进行研究。天河板组产丰富古杯动物化石。灯影组中部所含化石主要是栖管类,如 *Sinotubulites* 等,以及伊迪卡拉型的标准分子 *Paracharnia*。上部的黄鳍洞段白云岩和少量灰岩中含丰富的小壳化石,但分带并不明显。有些剖面,如黄家塘、天柱山、黄鳍洞、泰山庙和虎井滩等剖面中 *Anabxrites trisulcatus*, *Protohertzina anabarica*,

Paragloborilus subglobosus, *Obtusoconus*, *Latouchella* 等化石出现混生,可能是由于晚期剥蚀后再沉积作用所致(图 3-8)。只有宜昌三斗坪岩家河剖面较为连续,灯影组上部岩家河段由上到下可划分出 2 个生物地层单位:

II. *Obtusoconus-Tiksitheca* 组合带

I. *Protohertzina anabarica-Spinulitheca billingsi* 组合带

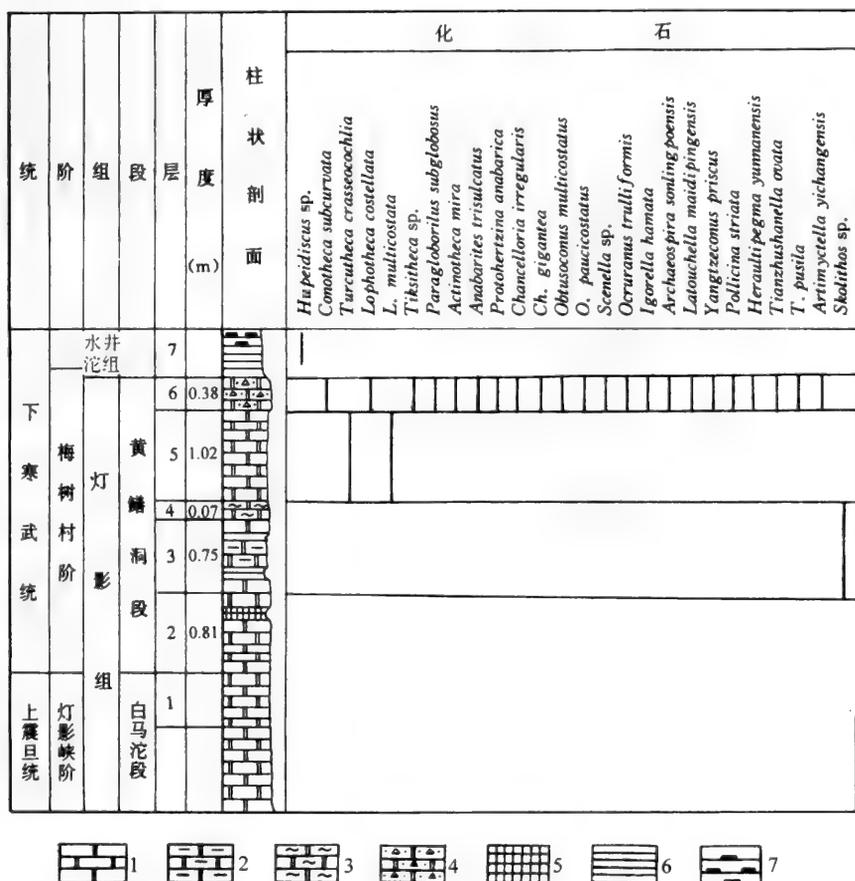


图 3-8 湖北宜昌莲沱黄家塘剖面化石分布图

Fig. 3-8 Fossil distributions at the Huangjiatang section of Liantuo, Yichang, Hubei

1. 白云岩 (dolomite);
2. 泥质白云岩 (muddy dolomite);
3. 硅质白云岩 (siliceous dolomite);
4. 砂屑、砾屑白云岩 (pramitic-dolorudite);
5. 硅质岩 (silicalite);
6. 页岩 (shale);
7. 碳质页岩 (carbonaceous shale)

但在剖面中, *Anabarites trisulcatus* 分布在整个岩家河段, 延续二个生物带(图 3-9)(据陈平, 1984)。岩家河段为一套厚 30 余米的白云岩、硅质岩和灰岩夹粉砂岩。

湖北西部地区水井沱组与下伏灯影组呈假整合接触, 接触面上遭受侵蚀, “硬底”虫孔、裂隙渗漏等现象有时十分显著, 但两个组各地发育情况不同。有的剖面水井沱组底部有数十米厚石灰岩, 盘虫类三叶虫出现层位高低差别大(距离底 0.7—27m)。水井沱组上

部的延续时限相当滇东筇竹寺期,而下部的延续时限相当于梅树村晚期。

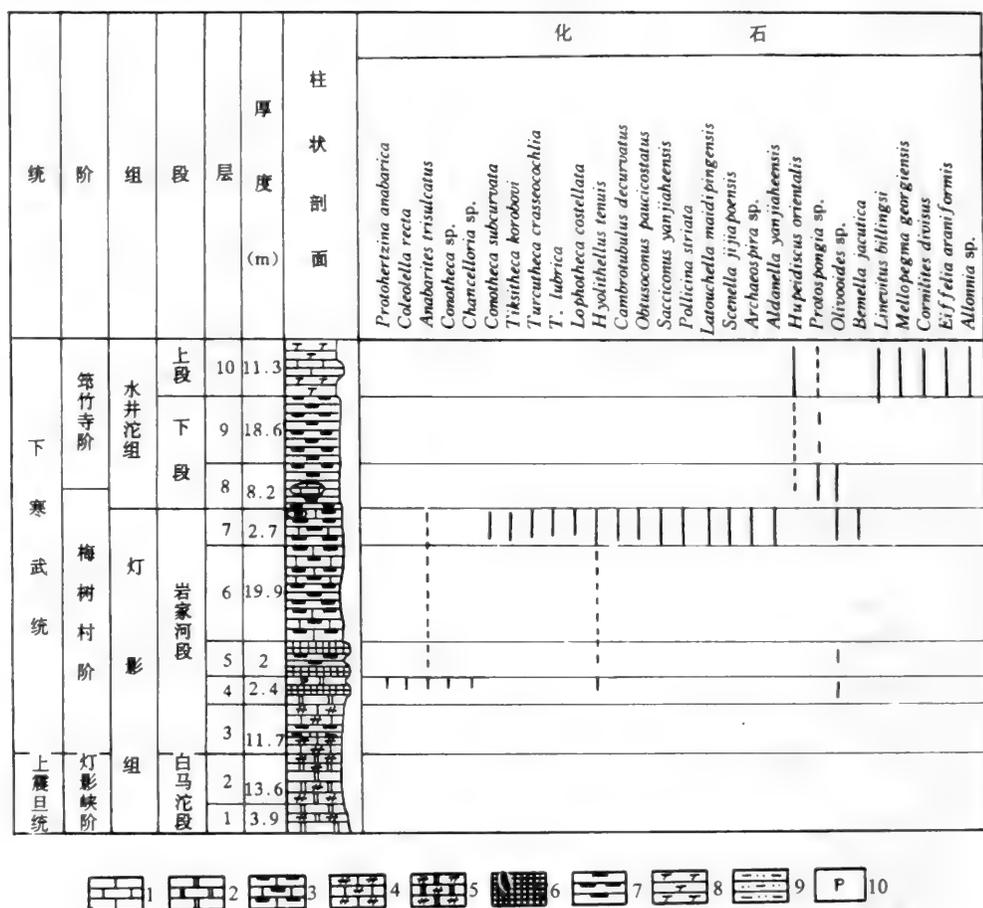


图 3-9 湖北宜昌三斗坪剖面化石分布图

Fig. 3-9 Fossil distributions at the Sandouping section of Yichang, Hubei

1. 灰岩 (limestone); 2. 白云岩 (dolomite); 3. 碳质灰岩 (carbonaceous limestone); 4. 硅质灰岩 (siliceous limestone);
5. 硅质白云岩 (siliceous dolomite); 6. 硅质岩 (silicalite); 7. 碳质页岩 (carbonaceous shale); 8. 钙质页岩 (calcareous shale); 9. 粉砂质页岩 (silty shale); 10. 磷碎屑岩 (phosphorous clastic rock)

(7) 湖北西北部

湖北西北地区包括房县以南的西蒿坪和神农架等地。该区灯影组虽经不少地质单位工作,但因一直未发现化石,而将其置于震旦系。1980年湖北地质局第五地质大队王寿琼等首次发现了软舌螺和腕足类化石,而将灯影组顶部含化石层位单独分出,建立西蒿坪段,置于下寒武统最底部。1981年张师本实地观察了西蒿坪古井湾矿洞坡剖面 and 潭堡剖面灯影组西蒿坪段,并逐层采集化石样品,经室内处理,获得了丰富而保存较好的软舌螺、单板类、腕足类、海绵类、齿形类和一些分类位置不明的小壳化石,主要有 *Microcornus*, *Paragloborilus*, *Neogloborilus*, *Rhombocorniculum*, *Cambroclavus* 和 *Isoclavus* 及

*Lapworthella*等。此外,还有三叶虫碎片(钱逸、张师本,1983;段承华,1984;岳昭,1990)。从总体面貌看,与滇、川、黔及峡东等地区的梅树村动物群差异较大,而与新疆乌什-柯坪-阿克苏地区肖尔布拉克组和哈萨克斯坦小卡拉套地区早寒武世沙巴克基层 *Rhombocorniculum cancellatum* 带和 *Microcornus parvulus* 带的动物群更为接近。钱逸和张师本(1983)、解永顺(1988)、岳昭(1990)、何廷贵(1993)等认为西蒿坪段为相当于筇竹寺期地层;而段承华(1984)、段承华等(1993)、肖兵等(1992)则认为是梅树村期。

现以房县西蒿坪潭堡剖面为代表,将湖北西北部房县地区筇竹寺阶下部划为下列两个生物地层单位(图3-10):

II. *Rhombocorniculum cancellatum*-*Microcornus parvulus* 组合带

I. *Lapworthella hubeiensis*-*Cambroclavus fangxianensis* 组合带

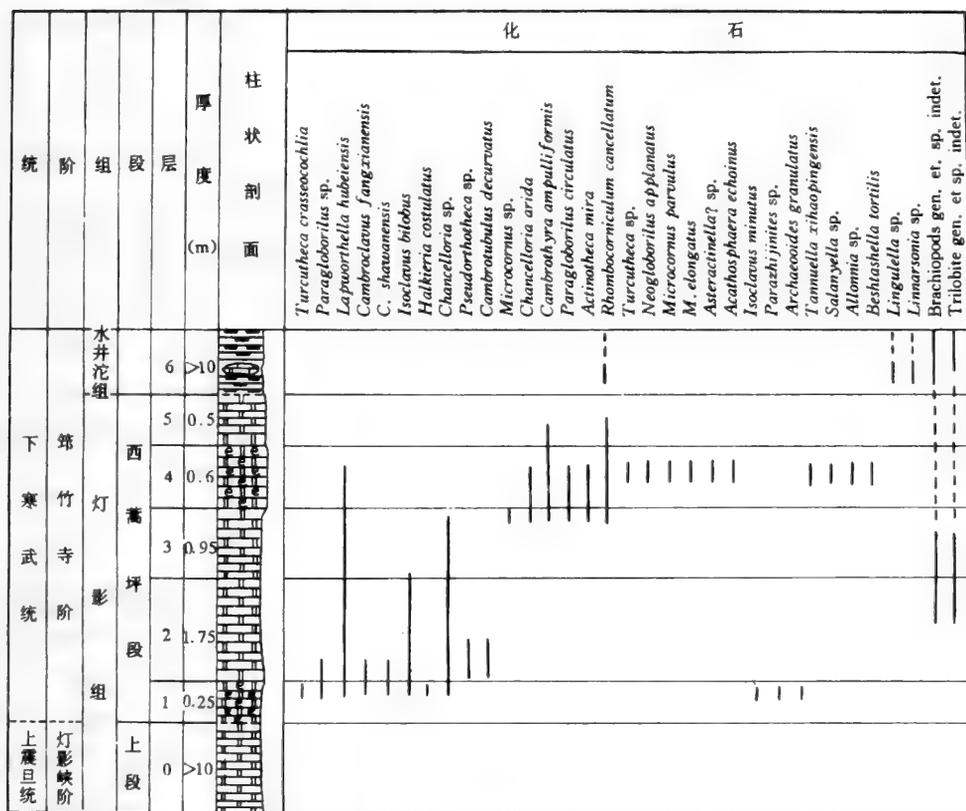


图3-10 湖北房县西蒿坪潭堡剖面化石分布图

Fig. 3-10 Fossil distributions at the Tanbao section, Xihaping of Fangxian County, Hubei

1. 白云岩 (dolomite); 2. 白云质灰岩 (dolomitic limestone); 3. 生物碎屑白云岩 (bioclastic dolomite); 4. 碳质页岩 (carbonaceous shale)

(8) 陕南宁强地区

陕西宁强、南郑、汉中南部一带位于扬子地台北缘,晚震旦世至早寒武世地层分布广

泛,发育完好,化石丰富,是研究我国早期骨骼化石和生物地层的重要地区之一。

宁强宽川铺一带晚震旦世和早寒武世地层出露较好,研究也较详细。灯影组自下而上可分为下、中(高家山段)、上(宽川铺段)段。高家山段下部为砂岩、粉砂岩、粉砂质页岩和砂质白云岩,含遗迹化石 *Shaanxilithes ningqiangensis* Xing, Yue et Zhang。在高家山一带,相当层位中含丰富的栖管类和遗迹化石 *Conotubus*, *Ningqiangella*, *Gaojiashanella*和 *Shaanxilithes* 等。上部为白云岩夹硅质条带,含多种栖管类化石。宽川铺段下部为灰岩与硅质岩互层夹磷块岩,含丰富的软舌螺类、棱管壳类、原牙形类和栖管类化石等,重要的分子有 *Anabarites trisulcatus*, *Protohertzina anabarica* 和 *Carinacites* 等(钱逸,1977;邢裕盛等,1984;丁莲芳等,1992)。在宽川铺石中沟剖面, *Protohertzina anabarica* 出现在宽川铺段的底部,中部含 *Paragloborilus subglobosus* 及丰富的单板类、腹足类和棱管壳类等化石,上部泥质灰岩中含 *Heraultipegma yunnanensis*。综上所述,宽川铺段自上而下包括3个生物地层单位(图3-11):

Ⅲ. *Heraultipegma yunnanensis* 顶峰带

Ⅱ. *Paragloborilus subglobosus* 延限带

Ⅰ. *Anabarites trisulcatus*-*Protohertzina anabarica* 组合带

在宽川铺一带,早寒武世郭家坝组下段为粉砂岩,含少量小壳化石 *Hyolithellus*, *Torellella*, *Chancelloria* 等;上段为页岩、粉砂岩和砂质灰岩,除含三叶虫 *Mianxiandiscus*, *Eoredlichia* 和高肌虫等外,含较丰富的小壳化石 *Sulcavitus*, *Lineovitus*, *Ambrolinevitus*, *Microcornus*, *Cambroclavus*, *Tannuolina*, *Chancelloria*, *Pelagiella* 等。

经典的汉中梁山剖面产少量小壳化石,郭家坝组底部有 *Zhijinities*, *Chancelloria* 等(符俊辉,1983;丁莲芳等,1983,1994),上部细砂岩中有棘皮动物骨板、古杯、软舌螺和 *Chancelloria* 等。

(9) 陕南西乡、镇巴

陕南西乡、镇巴属大巴山弧形推覆体的一部分,为扬子地台北部边缘地带,其地层发育和小壳化石产出层位与宁强一带稍有差异。在西乡和镇巴一带,灯影组下段和中段未见动物化石,上部西蒿坪段(解永顺,1988)为白云质灰岩和灰岩,中部含小壳化石 *Cambroclavus*, *Microcornus*, *Rhombocorniculum insolutum* Missarzhevsky 和三叶虫化石等。上覆地层为水井沱组,由黑色碳质页岩和泥灰岩组成,泥灰岩中含丰富的小型盘虫类 *Hupeidiscus* 和小壳化石 *Microcornus*, *Microdictyon*, *Rhombocorniculum cancellatum* 等。根据西乡、镇巴一带西蒿坪段和水井沱组所含小壳化石,自上而下可划分2个生物地层单位(图3-12,3-13):

Ⅱ. *Rhombocorniculum cancellatum* 顶峰带

Ⅰ. *Rhombocorniculum insolutum* 顶峰带

从所产小壳化石和伴生的三叶虫看,上列Ⅰ、Ⅱ两个生物地层单位分别与 *Parabadiella* 延限带和 *Eoredlichia* 延限带大致相当,应属于早寒武世筇竹寺期,但丁莲芳等(1992)认为它们应与梅树村期相当。

在小洋坝剖面水井沱组之上的石碑组中含三叶虫 *Palaeolenus*, 而三郎铺的仙女洞组含三叶虫 *Yiliangella* sp.; 古杯 *Aldanocyathus* sp., *Ajaciccyathus* sp.; 软舌螺类

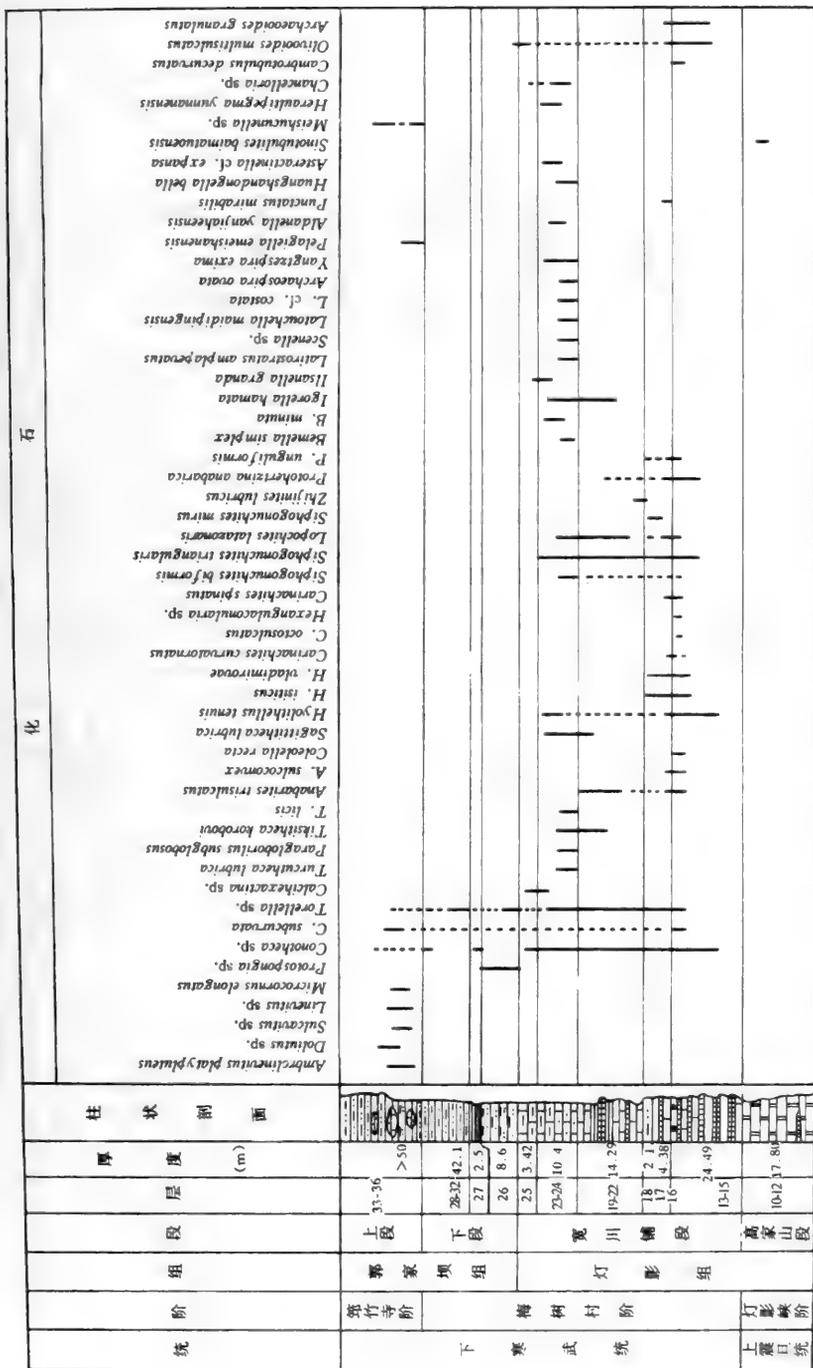


图3-11 陕西宁强宽川铺选将剖面化石分布图

Fig.3-11 Fossil distributions at the Xuanjiangping section of Kuanchuanpu, Ningqiang, Shaanxi

1. 粉砂质页岩 (silty shale);
2. 页岩 (shale);
3. 碳质粉砂岩 (carbonaceous siltite);
4. 石灰岩 (limestone);
5. 泥质灰岩 (muddy limestone);
6. 砂质灰岩 (sandy limestone);
7. 硅质岩 (silicalite);
8. 白云岩 (dolomite);
9. 磷块岩 (phosphorite)

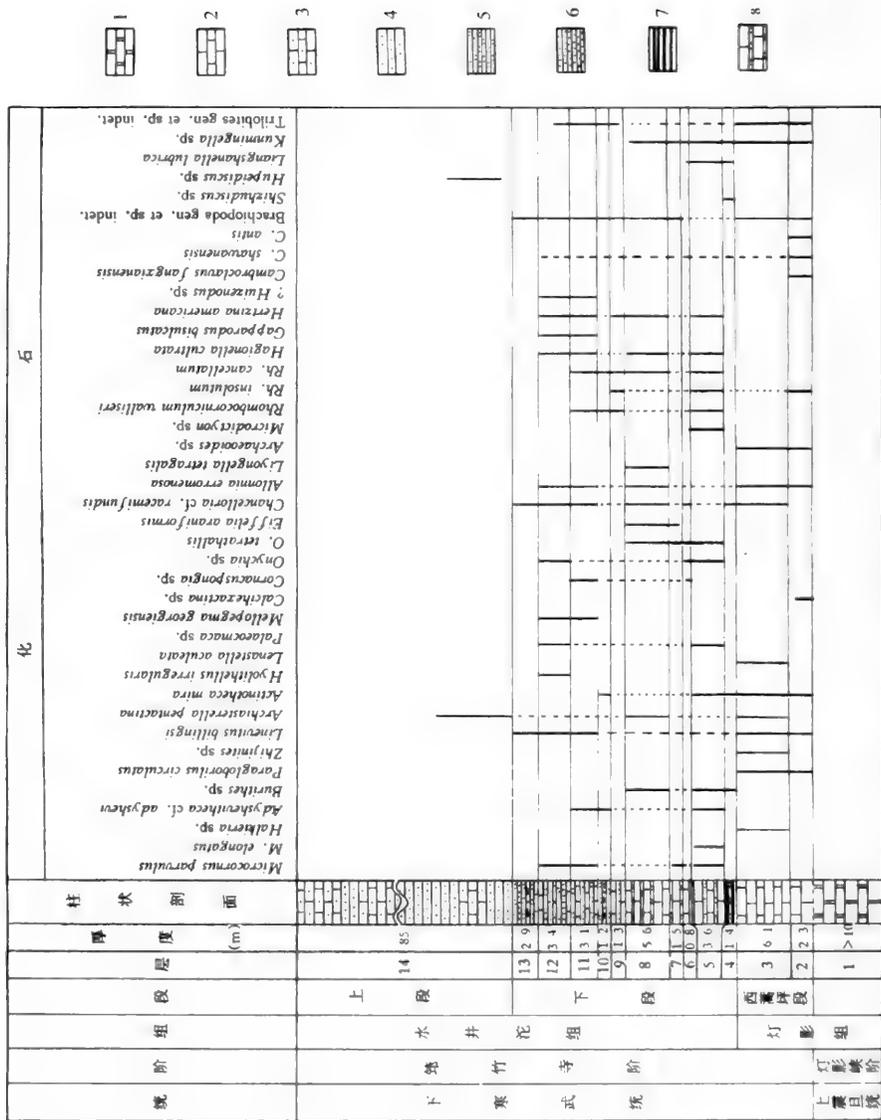


图3-12 陕西镇巴小洋坝剖面化石分布图

Fig. 3-12 Fossil distributions at the Xiaoyangba section, Zhenba, Shaanxi

1.白云岩(dolomite); 2.石灰岩(limestone); 3.砂质石灰岩(sandy limestone); 4.砂岩(sandstone); 5.粉砂岩(siltstone); 6.细砂岩(fine-grained sandstone); 7.碳质页岩(carbonaceous shale); 8.石灰岩夹粉砂岩(limestone intercalated with siltstone)

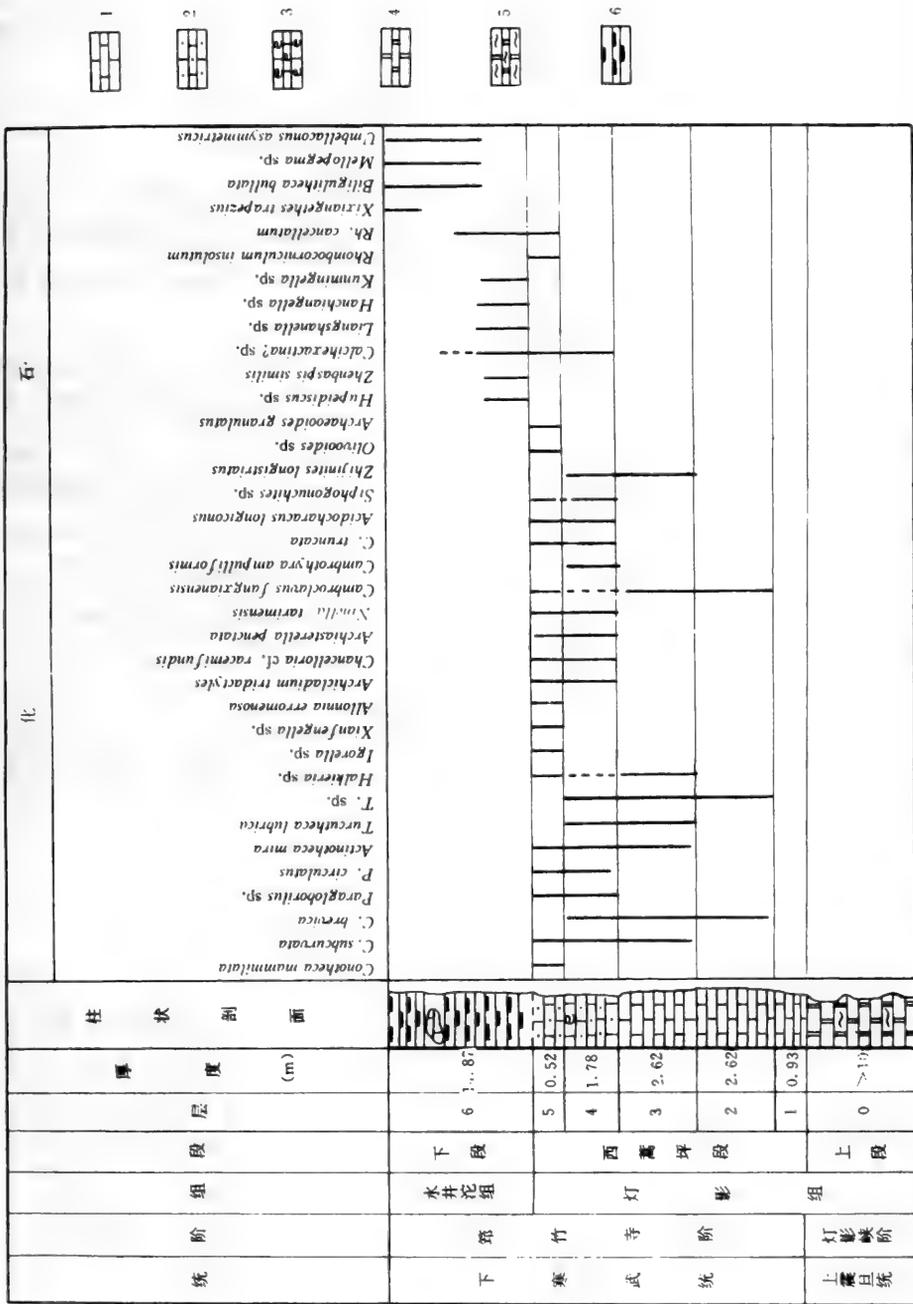


图3-13 陕西西乡三郎铺杨家沟剖面化石分布图

Fig. 3-13 Fossil distributions at the Yangjiagou section of Sanlangpu, Xixiang, Shaanxi

Rectistomatheca bullata Xie, *Parakorilithes* sp., *Hyolithes* sp.; 单板类 *Mellopegma* sp.; 腕足类 *Obolus* sp., 以及开腔骨类 *Chancelloria* sp., *Allonnia erromensa* 等。其上为天何板组、石龙洞组(或阎王扁组、孔明洞组), 除含三叶虫 *Redlichia* 等外, 也含一些软舌螺类, 但未进行系统研究。

(10) 湖南西北部

湖南西北部地处扬子地台南隅的边缘地带, 晚震旦世和早寒武世地层分布广泛, 但长期未发现小壳化石。1982年丁伟民在处理石门杨家坪震旦系与寒武系界线剖面样品时, 首次获得了小壳化石, 后经进一步取样分析, 获得了丰富的小壳化石(丁伟民、钱逸, 1988)。

湖南石门杨家坪一带的晚震旦世至早寒武世地层可划分为陡山沱组、灯影组、杨家坪组、杷榔组和清虚洞组。小壳化石主要分布于杨家坪组下段(泥砂段)。经研究和鉴定, 黑色含磷结核碳质页岩夹硅质岩中产有阿纳巴管类 *Tiksitheca irregularis* Qian et Ding, *Anabaritellus cylindriculus* Qian et Ding, *Quadrarites hunanensis* Qian et Ding; 似软舌螺类 *Torelrella* sp., *Hyolithellus* sp., *Rushtonia minuta* Qian et Ding; 软舌螺类 *Conotheca* sp.; 海绵类 *Calcihexactina?* sp., *Hunanospongia delicata* Qian et Ding; 原牙形刺类 *Protohertzina anabarica* Missarzhevsky, *P. unguiformis* Missarzhevsky, *P. siciiformis* Missarzhevsky 和 *Hertzina* sp. 及一些分类位置不明的离散骨片 *Lopochites?* sp., *Archaeooides* sp., *Kaiyangites multispinatus* Qian et Ding 等。

石门杨家坪灯影组和杨家坪组的小壳化石具有强烈的地方色彩, 与扬子地台各地的小壳化石面貌差异较大。经本书进一步研究, 现将湖南石门杨家坪灯影组—杨家坪组泥砂段的小壳化石自上而下划分为2个生物地层单位(图3-14):

II. *Tiksitheca irregularis*-*Anabaritellus cylindriculus* 组合带

I. *Protohertzina anabarica*-*Kaiyangites multispinatus* 组合带

(11) 浙江西部

浙西位于下扬子地台区南隅的边缘带, 包括江山和富阳等地, 这一带晚震旦世和早寒武世地层为连续沉积。80年代以来, 在震旦系与寒武系界线上下层位中陆续发现了小壳化石。富阳上万村灯影组顶部0.9m的含磷质碎屑白云岩含小壳化石 *Anabarites trisulcatus*, *Conotheca?* sp., *Torelrella* sp. 和 *Olivoooides* sp. (赵建新、岳昭, 1987); 江山五加岭灯影组顶部0.8m的磷块岩和含磷碎屑白云岩含原牙形刺类 *Kijacus kijanicus* (Missarzhevsky) 和球形壳类 *Olivoooides* sp.; 荷塘组底部的石煤层夹灰岩透镜体含高肌虫 *Liangshanella* aff. *lubrica* Qian et Zhang, 原牙形刺类 *Jiangshanodus triangulus* Mambetov et Missarzhevsky, *Hagionella cultrata* (Missarzhevsky) 等(岳昭、何圣策, 1989, 本书作了修改); 江山丰足碓边灯影组顶部厚1m的磷块岩和含磷碎屑白云岩含小壳化石 *Anabarites* sp., *Protohertzina anabarica*, *P. unguiformis*, *Hertzina* sp., *Conotheca* sp., *Archaeooides* sp. 及 *Kaiyangites jiangshanensis* He et Yu 等; 荷塘组底部石煤层夹灰岩透镜体含小壳化石 *Fangzuella zhejiangensis* He et Yu, *Calcihexactina?* sp., *Hyolithellus* sp. 及 *Kijacus kijanicus* 等(何圣策、俞国华, 1992, 本书修改)。现将江山震

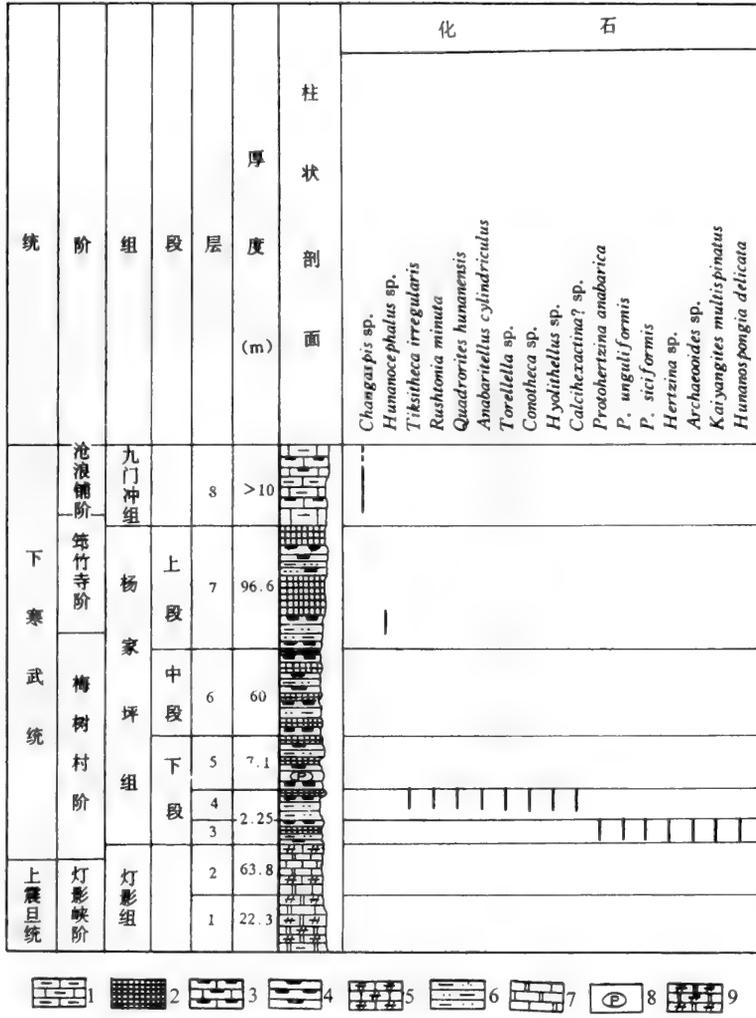


图 3-14 湖南石门杨家坪剖面化石分布图

Fig. 3-14 Fossil distributions at the Yangjiaping section of Shimen, Hunan

1. 泥质灰岩 (muddy limestone); 2. 硅质岩 (silicalite); 3. 碳质灰岩 (carbonaceous limestone);
4. 碳质页岩 (carbonaceous shale); 5. 硅质灰岩 (siliceous limestone); 6. 粉砂质页岩 (silty shale);
7. 白云质灰岩 (dolomitic limestone); 8. 磷结核 (phosphatic nodule); 9. 硅质白云岩 (siliceous dolomite)

且系与寒武系界线附近自上而下分为 2 个生物地层单位(图 3-15):

II. *Jiangshanodus-Hagionella* 组合带

I. *Anabarites-Protohertzina* 组合带

(12) 安徽巢湖

安徽巢湖位于扬子地台东部, 主要包括巢县、滁县、无为、庐江和全椒的部分地区。自 1965 年以来, 在巢湖地区原划为奥陶纪的地层中先后发现了 *Kunmingaspis*,

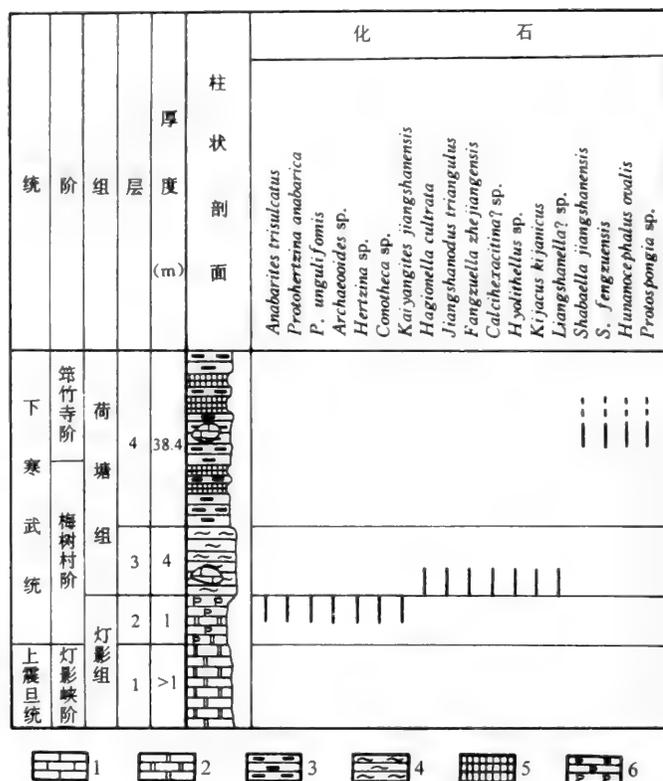


图 3-15 浙江江山碓边剖面化石分布图

Fig. 3-15 Fossil distributions at the Duibian section of Jiangshan, Zhejiang

1. 石灰岩 (limestone); 2. 白云岩 (dolomite); 3. 碳质页岩 (carbonaceous shale); 4. 硅质页岩 (siliceous shale); 5. 硅质岩 (silicalite); 6. 磷块岩 (phosphorite)

*Chittidilla*和 *Redlichia* 等寒武纪三叶虫和高肌虫,从而证实了在巢湖地区有寒武纪地层存在。1981年,杜森官等进一步研究了巢湖汤山、前湾和宿松县龙山等剖面,以巢县汤山剖面为代表,将巢湖地区寒武系划分为:中、上统凹丁群,中统半汤组和下统冷泉王组。后经朱兆玲等工作(1988),在冷泉王组(厚约 100m)底部的中厚层白云岩(0.2—0.3m)中发现了小壳化石,主要有 *Circotheca?* sp., *Turcutheca?* sp., *Anabarites?* sp., *Olivoooides?* sp.;章森桂等(1991)还记述有 *Allatheca*, *Actinotheca*, *Protoconus*, *Stephaconus*, *Anhuiconus*(?)(经本书删改整理),章森桂等推测其时代从梅树村期至沧浪铺期。1992年钱逸、孙乘云、王冰再次实地考察,首次在冷泉王组底之上 0.15m 处采获三叶虫化石 *Paokannia* sp.,从而肯定了冷泉王组的时代为沧浪铺期(图 3-16)。

(13) 江苏宁镇山脉

江苏宁镇山脉地区亦位于扬子地台东部。该地区寒武系露头零星,剖面多不完整。薛耀松等(1983)研究了句容小仑山震旦系和寒武系,朱兆玲等(1988)对这里的寒武系进一步工作,在早寒武世幕府山组下部(距底约 5m 左右)的灰色粉砂质页岩和砂质磷块岩

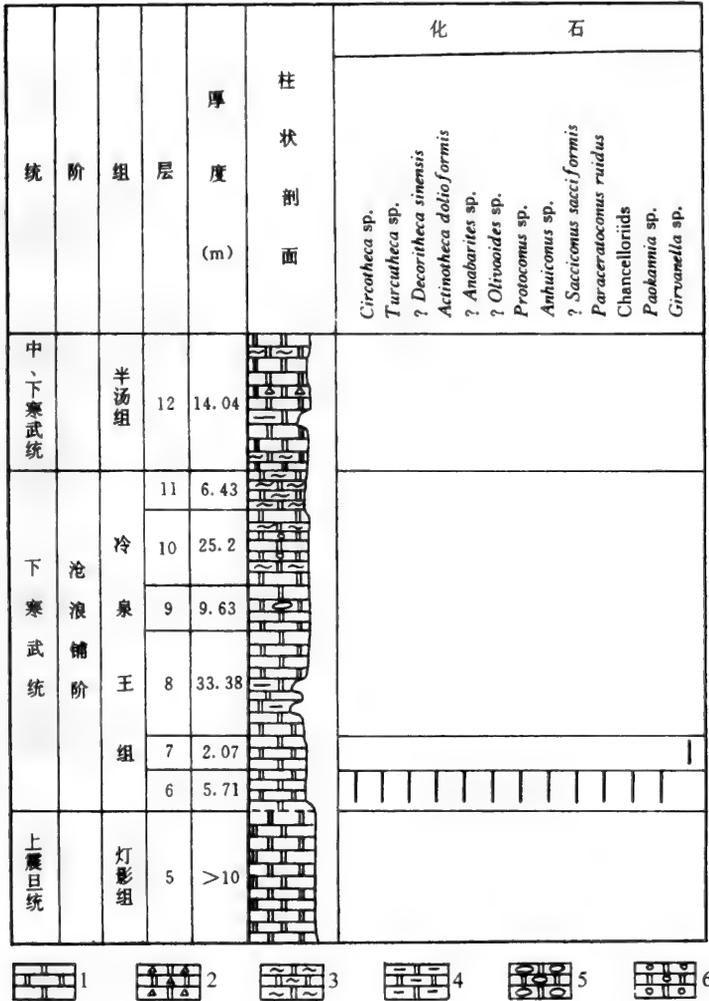


图 3-16 安徽巢县半汤汤山剖面化石分布图

Fig. 3-16 Fossil distributions at the Tangshan section of Bantang, Chaoxian County, Anhui

1. 白云岩 (dolomite); 2. 角砾白云岩 (brecciated dolomite); 3. 硅质白云岩 (siliceous dolomite); 4. 泥质白云岩 (muddy dolomite); 5. 含砾白云岩 (gravel-bearing dolomite); 6. 鲕状白云岩 (oolitic dolomite)

中发现了大量的小壳化石,其中有开腔骨类 *Chancelloria* sp.; 单板类 *Latouchella* sp.; 腕足类 *Prototreta*? sp.; 软舌螺类 *Conotheca*? sp., *Allatheca*? sp., *Hyalithes* sp.; 似软舌螺类 *Hyalithellus*? sp. 等(本书略作删减)。在南京幕府山组中段顶部含磷白云质灰岩除含三叶虫 *Paokannia*? *mufushanensis* Lin, *Redlichia* sp. 等外,还含小壳化石 *Conotheca* sp., *Allatheca*? sp., *Hyalithes*? sp. 等,朱兆玲等(1988)认为其时代可能是梅树村晚期至沧浪铺中期。以句容小仑山寒武系剖面为例,其小壳化石分布如图 3-17。

2. 华北地台

华北地台在早寒武世时,多为陆表海或滨浅海,初期露出海面的陆地,因此普遍缺失

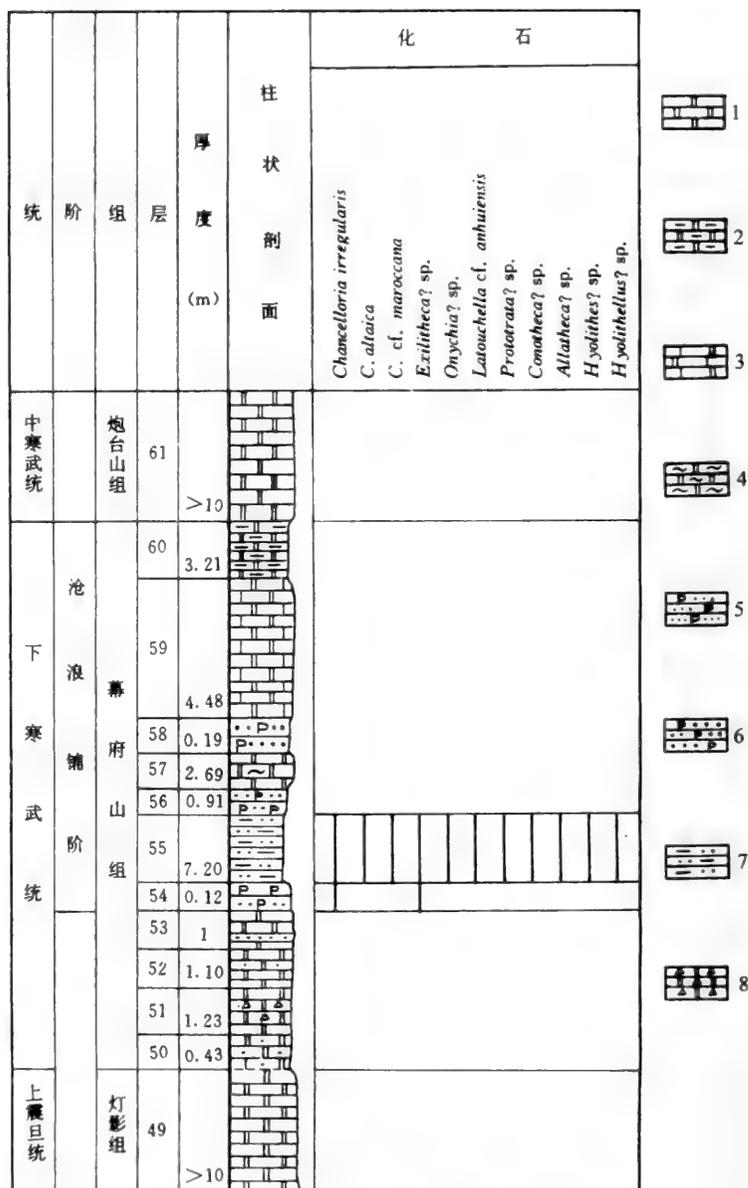


图 3-17 江苏句容小仑山剖面化石分布图

Fig. 3-17 Fossil distributions at the Xiaolunshan section of Jurong, Jiangsu

1. 白云岩 (dolomite); 2. 泥质白云岩 (muddy dolomite); 3. 灰质白云岩 (calcic dolomite); 4. 硅质白云岩 (siliceous dolomite); 5. 磷质砂岩 (phosphoric sandstone); 6. 砂质磷块岩 (sandy phosphorite);
7. 粉砂质页岩 (silty shale); 8. 角砾状白云岩 (brecciated dolomite)

早寒武世梅树村期—筓竹寺期沉积。在华北地台的南部和北部均有早寒武世中晚期的沉积,除含三叶虫外,还有少量的小壳化石。中晚寒武世,华北地台属于稳定区沉积,中寒武世早期沉积了富含陆源碎屑的红色钙泥质沉积(如徐庄组),而自中寒武世中期至晚寒武世则逐渐被碳酸盐沉积所代替,沉积了一套具鲕状或竹叶状内碎屑结构和薄层灰岩为

主的典型陆表海环境潮汐带的沉积,而且化石极为丰富,除三叶虫外,还含有大量软舌螺、钙藻,局部地区和层位具有单板类、腹足类、喙壳类、海绵及放射虫等微小化石。现将小壳化石的类型和各地分布情况叙述如下:

(1) 华北地台南部

华北地台南部地区包括陕西洛南、河南南部和安徽北部。河南南部从晚震旦世晚期至早寒武世早期露出海面,因而缺失了晚震旦世晚期至早寒武世早期的沉积,区内早寒武世辛集组与震旦纪罗圈组呈平行不整合接触,下寒武统由老到新可划分为辛集组、砾砂砾组 and 馒头组。河南方城杨楼和叶县杨寺庄辛集组中部生物碎屑灰岩中含较丰富的小壳化石,主要有软舌螺 *Parakorilithes mammillatus* He et Pei, *Dosolinevitus? sedecostatus* Sysoiev, *Linevitus suvorovi* He et Pei; 单板类 *Anabarella drepanoida* He et Pei; 腹足类 *Auriculaspira adunca* He et Pei; 双壳类 *Pojetaia* spp.; 开腔骨类 *Chancelloria altaica* Romonenko; 齿形壳类 *Henaniodus magicus* He et Pei 和 *Bioistodina planuta* He et Pei, 以及特殊的 *Yochelcionella*, 多种腕足类和棘皮动物骨板等。以河南叶县杨寺庄辛集组为代表,其小壳化石分布如图 3-18。

华北地台南缘安徽的淮南、霍丘、凤阳以及淮北地区早寒武世地层广泛出露。70 年代末期周本和、肖立功等研究了淮南、霍丘一带的寒武系,将霍丘、淮南、凤阳和淮北地区的下寒武统自上而下划分为馒头组、猴家山组和雨台山组,并在雨台山组顶部的砂质生物碎屑灰岩中发现了丰富的小壳化石与三叶虫 *Hsuaspis convexus* Chang et Zhu 等共生(周本和、肖立功, 1984; 肖立功、周本和, 1984), 小壳化石主要包括软舌螺 *Conotheca subcurvata* (Yu), *Egdetheca sinensis* Xiao et Zhou, *Majatheca curta* Xiao et Zhou, *Actinotheca dolioformis* Xiao et Zhou, *Microcornus anhuiensis* Xiao et Zhou, *Trapezochites huoquiensis* Xiao et Zhou, *Allatheca* sp.; 单板类 *Anhuiconus microtuberus* Zhou et Xiao, *Helcionella sidingshanensis* Zhou et Xiao, *Bemella costa* Zhou et Xiao, *Anabarella drepanoida* He et Pei, *Ilsanella reticulata* Zhou et Xiao, *Auriculaspira adunca* He et Pei, *Hujiagouella shouxianensis* Zhou et Xiao, *Mellopegma rostratam* Zhou et Xiao, *Paracera-toconus ruidus* Zhou et Xiao, *Protowenella primaria* Zhou et Xiao; 腹足类 *Barskovia simplex* Zhou et Xiao 及 *Auriculaspira madianensis* Zhou et Xiao; 双壳类 *Pojetaia* spp. 等。安徽霍丘、淮南、凤阳及淮北地区早寒武世小壳化石分布如图 3-19。

(2) 华北地台东部

华北地台东部吉林通化地区早寒武世与华北地台南部有类似的沉积。1976 年,靳继承、王福润等研究吉林通化水洞地区寒武系剖面时,在下寒武统底部含磷岩系中发现了小壳化石。1983 年,彭玉琼等进一步工作,采集到丰富的小壳化石,经蒋志文初步鉴定,计有 *Circotheca maxima* Jiang, *Microcornus* cf. *parvulus* Mambetov, *Linevitus* cf. *amgaicus* Sysoiev, *Turcutheca* sp., *Zhijinites* sp., *Hyolithellus* sp.; 遗迹化石 *Phycodes pedum* Seilacher 等。石新增 1986 年研究了吉林浑江八道江青沟子和通化水洞一带寒武系,于水洞组中发现两个含小壳化石的层位,并认为该地区有梅树村期的沉积。岳昭等 1990 年在研究吉林通化地区寒武系底界时,根据水洞组所含小壳化石 *Holmitheca*

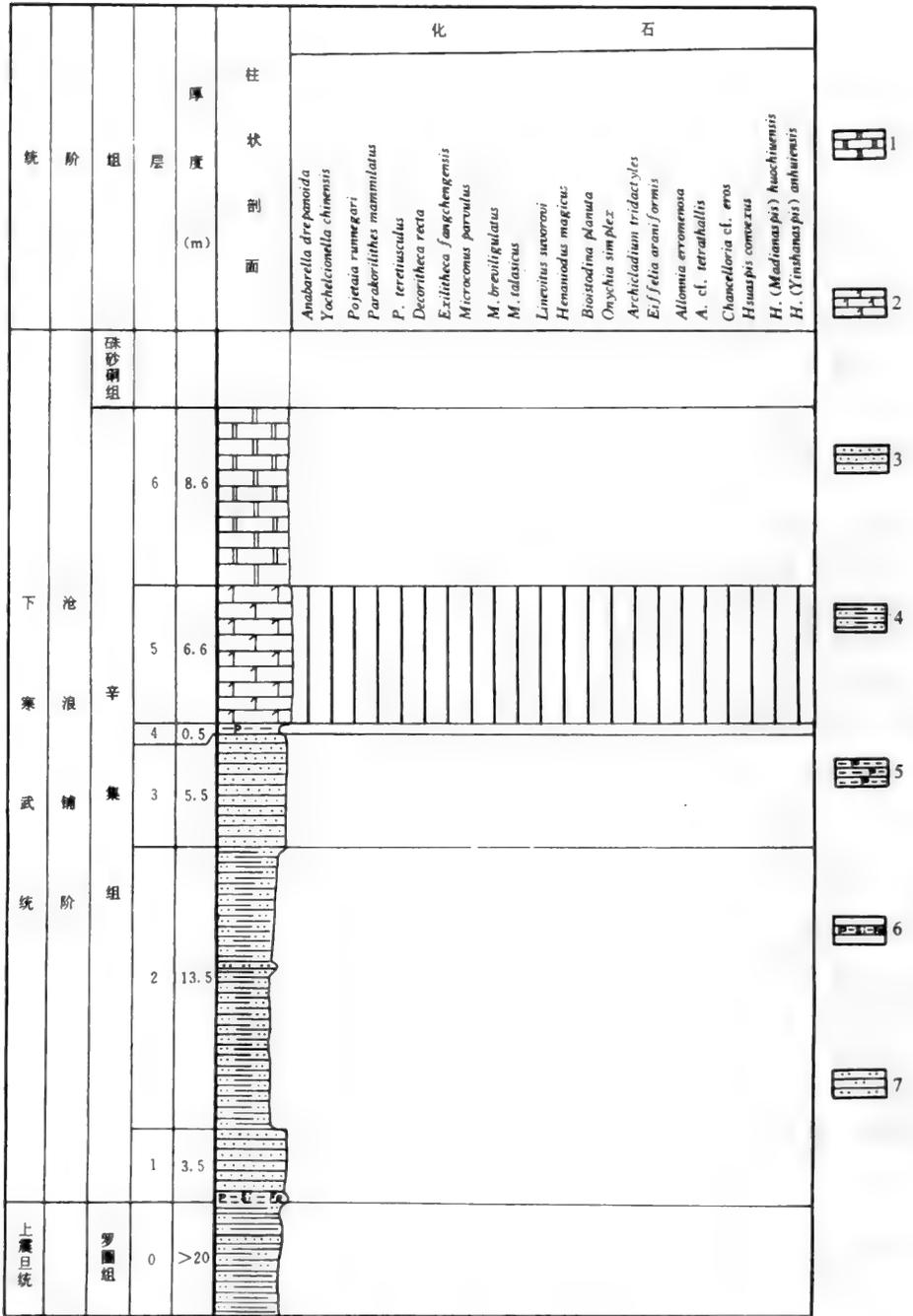


图 3-18 河南叶县杨寺庄剖面化石分布图

Fig. 3-18 Fossil distributions at the Yangsizhuang section, Yexian County, Henan

1. 白云岩 (dolomite);
2. 白云质灰岩 (dolomitic limestone);
3. 砂岩 (sandstone);
4. 粉砂质页岩 (silty shale);
5. 含磷泥岩 (phosphoric mudstone);
6. 含磷、铁硅质泥岩 (phosphorus- and iron-bearing siliceous mudstone);
7. 粉砂岩 (siltstone)

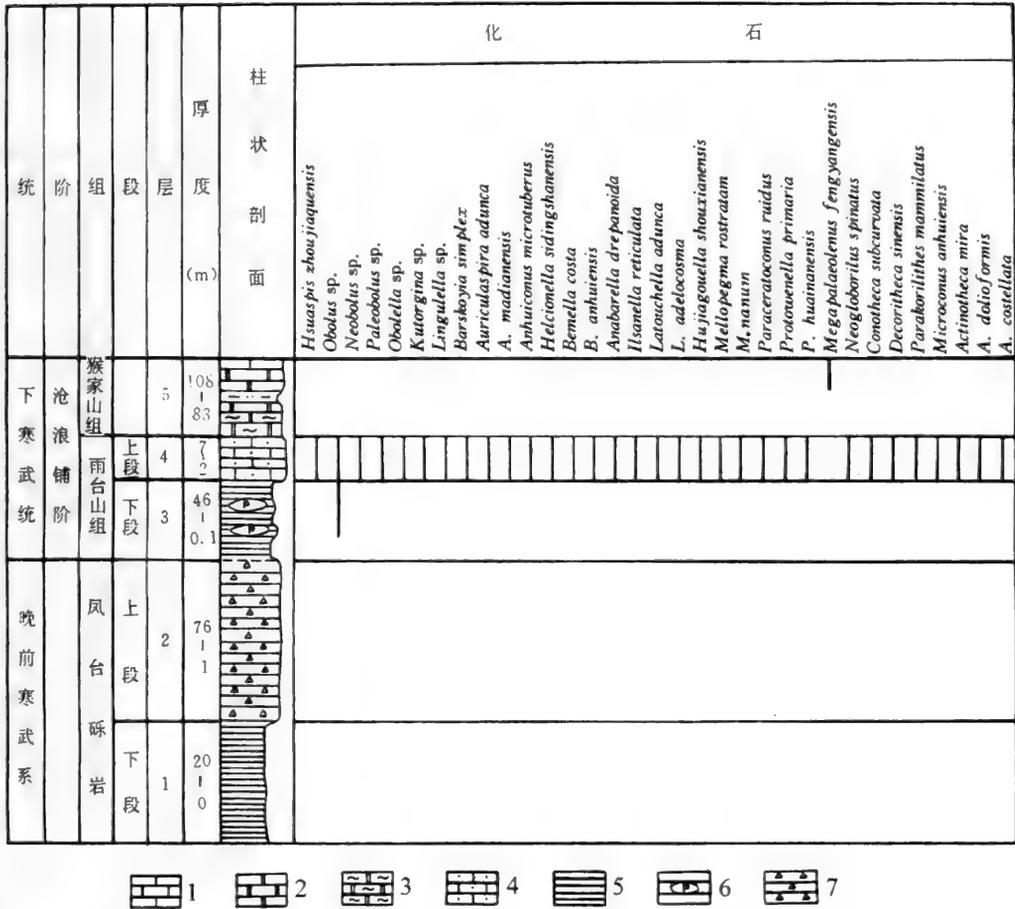


图 3-19 安徽淮南、霍丘早寒武世化石分布图

Fig. 3-19 Early Cambrian fossil distributions in Huainan and Huoqiu, Anhui

1. 石灰岩 (limestone); 2. 白云岩 (dolomite); 3. 硅质白云岩 (siliceous dolomite); 4. 砂质灰岩 (sandy limestone);
5. 页岩 (shale); 6. 胶磷矿层 (collophanite bed); 7. 角砾岩 (breccia)

hunjiangensis Yue, *Adyshevitheca adyshevi* Mambetov, *Tcharaetheca amgaica* Sysoiev 及 *Chancelloria* sp. 等与高肌虫 *Kunmingella* sp. 和腕足类 *Obolus* 等共生这一现象, 认为水洞地区寒武系底界的时代应相当于沧浪铺晚期。以通化水洞寒武系剖面为代表, 其小壳化石分布如图 3-20。

华北地台东部辽宁旅大地区(碱厂组中近年发现古杯化石)和山东长清、莱芜地区分别是我国上、中寒武统标准剖面所在地, 1988 年钱逸对上述地区以及山西五台、安徽宿县等地区进行了广泛的野外调查, 分别在下统馒头组、毛庄组, 中统徐庄组、张夏组, 上统崮山组发现了大量软舌螺化石(见表 1-2)。

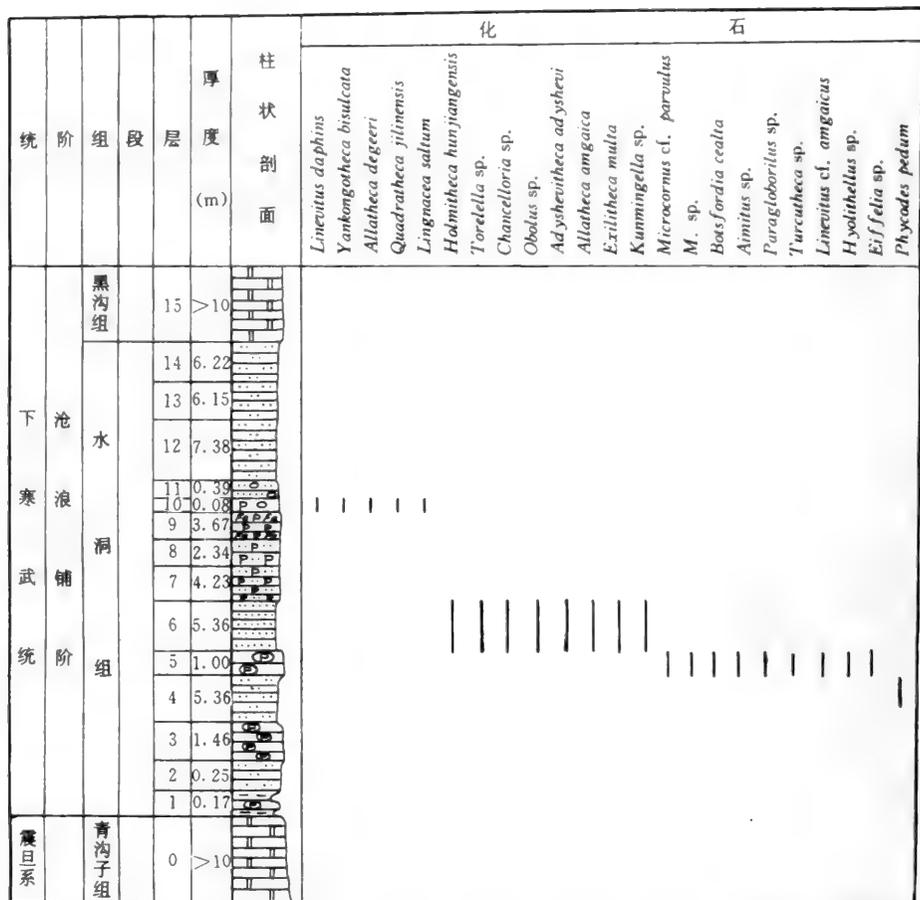


图 3-20 吉林通化水洞剖面化石分布图

Fig. 3-20 Fossil distributions at the Shuidong section of Tonghua, Jilin

1. 白云岩 (dolomite);
2. 粉砂岩 (siltstone);
3. 细砂岩 (fine sandstone);
4. 含砾粉砂岩 (gravel-bearing siltstone);
5. 含铁质磷块岩 (ferrous phosphorite);
6. 含磷粉砂岩 (phosphoric siltite);
7. 胶磷矿砾石 (collophanitic gravel);
8. 泥岩 (mudstone)

3. 塔里木地台

塔里木地台北缘阿克苏—柯坪一带和卡瓦布拉克及方山口地区断续分布有震旦系和寒武系。早在 40 年代,西尼村对该区的早古生代地层作过粗略的工作。50 年代,地质和石油部门曾先后多次研究了这里的地质,并将下寒武统划分为肖尔布拉克组和吾松格组(新疆区域地层表编写组, 1981)。1979 年和 1981 年,新疆地质局地质研究所前寒武系专题研究组两次进入区内研究早寒武世地层, 1979 年在下寒武统下部首次发现了大量多门类小壳化石(高振家等, 1981)。据所含化石,将原肖尔布拉克组底部的非三叶虫层位划出,建立玉尔吐斯组。近 10 年来新疆地质矿产局地质研究所肖兵等对阿克苏-乌什-

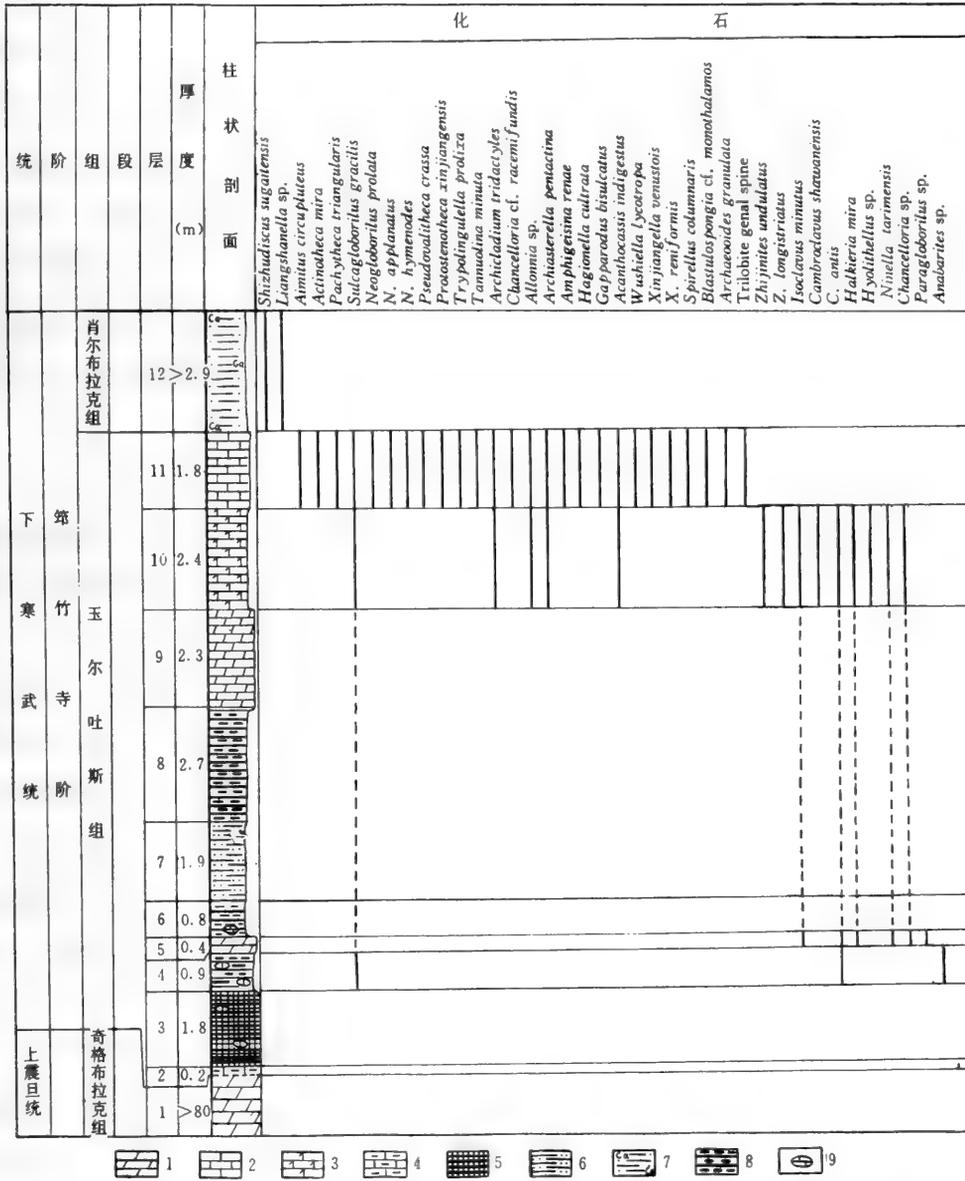


图 3-21 新疆乌什玉尔吐斯山 XXII 号剖面化石分布图

Fig. 3-21 Fossil distributions at the XXII section, Yuertusi Mountain, Wushi, Xinjiang

1. 白云岩 (dolomite); 2. 石灰岩 (limestone); 3. 白云质石灰岩 (dolomitic limestone); 4. 泥质灰岩 (muddy limestone); 5. 硅质岩 (silicalite); 6. 砂质页岩 (sandy shale); 7. 钙质砂质页岩 (calcareous sandy shale);
8. 碳质页岩 (carbonaceous shale); 9. 灰岩透镜体 (limestone lenticules)

柯坪三角地带晚震旦世和早寒武世化石及生物地层作了详细的研究, 鉴定大量的小壳化石属种, 并以此确定玉尔吐斯组时代为梅树村期(钱建新、肖兵, 1984; 肖兵、段承华, 1992; 段承华、肖兵, 1993)。

阿克苏—乌什一带上震旦统称奇格布拉克组, 为一套浅灰色中-薄层含叠层石白云

岩。其上为震旦系与寒武系的过渡层玉尔吐斯组,由含磷砂质灰岩、页岩夹砂岩、硅质岩和结核状磷块岩组成,含丰富的小壳化石。玉尔吐斯组之上是肖尔布拉克组,由灰黑色薄层白云岩和泥质灰岩夹砂岩组成,含三叶虫。玉尔吐斯组底部含小壳化石 *Anabarites* sp.; 中部含 *Lopworthella xinjiangensis* Yue, *L. rete* Yue, *Tannuolina minuta* Yue; 上部含高肌虫 *Xinjiiangella venustois* Jiang et Xiao, *Dabashanella hemicyclita* Huo, Shu et Fu, *Amphigeisina renae* Mambetov et Missarzhevsky, *Gapparodus bisulcatus* Müller, *Neogloborilus applanatus* Qian et Zhang; 腕足类 *Trypolingulella proliza* Liu, *Promictoracens informis* Liu, *P. primordium* Liu, 牙形类 *Hagionella cultrata* (Missarzhevsky)等。根据所含化石,玉尔吐斯组应属早寒武世筇竹寺期的沉积(Qian Yi, 1989; 岳昭、高林志, 1992)。以新疆阿克苏玉尔吐斯山 2034 高地剖面为例,晚震旦世奇格布拉克组至早寒武世肖尔布拉克组的化石分布如图 3-21。

4. 秦岭地槽

秦岭地槽南缘略阳、勉县、汉中至西乡一带断续出露有震旦系和寒武系,经褶皱岩石已经变质,上震旦统下部含磷锰岩系中产少量管状化石。汉中天台山震旦系和寒武系剖面为秦岭地槽南缘研究较为详细的代表性剖面(据王志辉等, 1990)。

汉中天台山一带震旦系至寒武系地层层序如下:

药王殿组

- | | |
|--|--------|
| (8) 结晶灰岩夹灰黑色薄层钙质绢云母片岩。 | 30—90m |
| (7) 厚层石英岩。 | 5—11m |
| (6) 薄层石英岩夹绢云母片岩,顶部有一层厚 3—15m 千枚状绢云母片岩。 | 5—110m |
| (5) 含石榴子石绢英片岩夹薄层石英岩,下部时有白云岩透镜体。 | 2—65m |

————— 断层 —————

塔南坡组

- | | |
|---|-------|
| (4) 灰色微晶白云岩,局部地段夹较多的黑色硅质岩、碳质千枚岩或磷块岩条带(天台山三道峡一带顶部泥质结晶灰岩中含管状化石“ <i>Circotheca</i> ”sp.) | >70m |
| (3) 主要为含锰白云岩及锰矿层,底部有时有磷质条带,含管状化石“ <i>Circotheca</i> ”sp., <i>Hyolithellus</i> sp. | 0—40m |
| (2) 以泥基磷块岩为主,局部为云基磷块岩。顶部常见一薄层含磷条带的碳质千枚岩,含“ <i>Circotheca</i> ”sp. | 0—8m |
| (1) 黑色碳质千枚岩,局部夹白云岩透镜体及磷块岩条带。底部时见砾石层。 | |

~~~~~角度不整合~~~~~

##### 下伏地层 前震旦系

- |                            |      |
|----------------------------|------|
| 上部为绢云母片岩,顶部含碳质,夹白云岩透镜体。    | 35m  |
| 下部为绢云母绿泥纳长石片岩,其顶部偶夹白云岩透镜体。 | 147m |

根据岩性和含磷、锰组合特征,上述地层塔南坡组 1—3 层相当于扬子地台区北缘陡山沱组,其中含少量管状化石“*Circotheca*”和 *Hyolithellus* 等,与下伏前震旦系呈角度不整

合接触。塔南坡组4层与灯影组相当,药王殿组可能属寒武系。

## 第二节 中国早寒武世各古地理区沉积特征 和小壳化石组合特征

寒武纪时,中国的古地理基本上继承了震旦纪晚期古地理格局。北方的华北区和塔里木区及南方的扬子区属稳定区。早寒武世早期,扬子浅海中普遍沉积了含磷岩系,中晚期主要沉积了黑、黄绿和灰色页岩及灰岩;中晚寒武世时,局部出现咸化海,形成大量含镁碳酸盐沉积。华北区与晚震旦世时相似,高出水面,没有早期沉积,但从沧浪铺期开始,海水自东向西,由南向北海侵,形成了浅水碳酸盐和砂泥质沉积,继之出现石膏等萨布哈环境沉积。海相活动型和过渡型沉积区的分布范围亦基本上与晚震旦世相似,主要包括扬子区东南的江南区和东南区,北方的秦岭地区及西部的滇西、川西,祁连地区,中天山区和北天山区。江南区在早寒武世属典型的非补偿海,以碳泥质和硅质并含多种稀有元素沉积为主。中晚寒武世,则以泥砂质和碳酸盐岩沉积为主。东南区位江南区东南部,寒武纪为一深海槽,以砂泥质复理石和类复理石沉积为主。康滇古陆的西部是滇西和川西地区,地势比较复杂,寒武纪沉积了一套数千米碎屑岩和碳酸盐岩沉积。秦岭南部地区位于扬子地台北部边缘区,寒武纪沉积环境比较复杂,与扬子地台东部的江南区有些相似。祁连地区,寒武纪时是一个强烈的活动区,中祁连是隆起区。中天山和北天山早寒武世属稳定的浅海区,中晚寒武世属非补偿边缘海,沉积了一套以碳酸盐为主,偶夹一些硅质或砂质组合的地层。西部的西昆仑地区,寒武纪属较深海区,亦是以碳酸盐和砂质沉积为主。北方的地槽区为活动型或过渡型沉积区。

寒武纪是无脊椎动物爆发式大发展的一个时期,除了多门类小壳化石、以三叶虫为代表的多种节肢动物外,还出现了腕足动物、古杯动物、环节动物、高肌虫和鹦鹉螺类等,甚至也有脊索动物、半索动物的代表。

早寒武世,中国的广大地区气候温暖,浅海范围逐渐扩大,南方的扬子区和西北的塔里木区属滨浅海区,以泥质、碳酸盐、含镁碳酸盐和含磷碳酸盐类沉积为主,小壳动物和三叶虫强烈分异,古杯类和高肌虫类亦大量繁衍。早寒武世初期为古陆的北方的华北区,受海侵的影响,晚期逐渐被海水淹没,海域扩大,沉积了一套泥质和碳酸盐为主的岩系。早寒武世属于过渡型沉积区的江南区、秦岭区、川西北区、滇西和川西区及兴蒙区南部(?)分别沉积了由碳泥质、硅质等组成的非补偿海沉积的泥砂质沉积及砂泥质含古杯类碳酸盐沉积。活动型沉积区的东南区、兴蒙区北部和西昆仑区,则分别沉积了类复理石泥砂质和一套原岩为砂泥质及碳酸盐岩的(变质)岩系。

下面按区叙述各地理区的沉积特征和有关的小壳化石组合特征。

### 1. 华南地区

包括扬子地台区、江南区、东南区、南秦岭区、滇西和川西区及龙门山西区。自西北向东南分别由滨浅海—深浅海—边缘海—较深海—大洋。从早寒武世早期扬子海逐渐由西向东扩大,西部的康滇古陆亦逐步向北向东扩展。

## (1) 扬子地台区

包括滇东、四川大部、贵州中西部、湖北大部和长江中下游一带。本区由晚震旦世至早寒武世早期碳酸盐台地型沉积逐渐发展为早寒武世中期以陆源碎屑为主的广海型沉积。自早寒武世晚期开始,扬子地台区又在广海型沉积的基础上,再一次出现典型的碳酸盐台地沉积,直至晚寒武世。

早寒武世,整个扬子地台的地势是西高东低,因而沉积环境有所差异,沉积物在时空上都有明显的变化。梅树村期,整个扬子区沉积物中普遍含磷,尤以西部地区最为明显(邻近上翻洋流区?)。自西向东海水变深,碳酸盐及含镁碳酸盐成分逐渐增加,而磷质则相对减少。在贵州的石阡—余庆—都匀一线以东和湖南保靖、石门以南直至安徽全椒和南京幕府山一带,海水更深,沉积了以碳质和硅质为主的非补偿型边缘海沉积。刘家军、郑明华(1991)认为黑色硅质岩可能为大陆裂谷的热水沉积。

扬子区西部的滇东和邻区川西及贵州中西部早寒武世梅树村期所属海域为陆表海,风暴作用多发区,向南西延伸与康滇、牛首山古陆相连。四川甘洛—金阳对坪—云南禄劝一线以西沉积了以白云岩、燧石条带白云岩为主的地层,上部白云岩中含磷,底部为紫红色薄层含云母砂岩、钙质粉砂岩、泥灰岩或蓝灰色白云质页岩和泥质白云岩的地层,系属盐度较高的潮间和潮上碳酸盐沉积。在甘洛—对坪—禄劝一线以东和遵义—清镇一线以西地区磷块岩特别富集,含小壳化石特别丰富,属潮间、潮下碳酸盐、磷酸盐沉积。遵义—清镇一线以东地区,沉积了一套白云质硅质岩、硅质岩夹生物碎屑硅质磷块岩组成的地层,属潮下低能环境沉积。在扬子地台的西北缘(即四川南江、陕南镇巴和宁强地区),围绕汉南古陆的周缘,即宁强、南江地区继承和发展了晚震旦世海侵,沉积了一套由含磷碳酸盐岩和碎屑岩组成的地层,属潮间、潮下沉积环境。而在西乡、镇巴直到湖北房县西蒿坪一带属北部推覆而来,但原所处地区应处于相对隆起状态,梅树村期属剥蚀区或潮上坪带。

筇竹寺期,扬子地台的西部为滨浅海砂泥质或滨海砂质沉积,三叶虫和高肌虫类大量繁衍。由于风暴作用引起浊流沉积,创造了“澄江动物群”的特异埋葬的条件。而在贵州清镇纳雍—四川城口一线以东海水明显加深,在滞流海环境下沉积了一套以黑色碳质页岩为主的沉积,三叶虫以漂游型的盘虫类为特色,小壳化石明显减少。扬子地台西北缘的南江、宁强和西乡、镇巴地区发生了较大的变化,尤其是东部的西乡、镇巴地区。筇竹寺早期,南江和宁强地区处于正常浅海陆架环境,沉积了以粉砂岩为主夹泥质岩的地层,含三叶虫、高肌虫、小壳化石及腕足类碎片等。在西乡地区,此时沉积了一套以瘤状灰岩夹生物碎屑灰岩的地层,富含小壳化石,这表明海水不深,温度、盐度正常,而水动力较弱,为潮下低能环境。筇竹寺中期,南江、宁强地区仍为正常浅海环境,水平虫迹、虫孔发育,生物丰富,属正常浅海陆架环境。而在西乡和镇巴地区,沉积了一套黑色页岩和深灰色灰岩地层,含分散的黄铁矿和盘虫类、高肌虫及海绵骨针等,属深水浅海陆架环境。筇竹寺晚期时,汉南古陆被海水淹没,南江和西乡等地海水连成一片,而西乡与镇巴之间为南北向展布的隆起所阻隔。在南江、宁强和西乡一带沉积了一套石英粉砂岩和中层状粉砂岩的地层,发育有水平层理和纱纹状斜层理,属浅海陆架浪基面之上的沉积环境。而在镇巴地区沉积了以黑灰色泥质生物碎屑灰岩为主,夹薄层黑色泥岩和钙质粉砂岩的地层,水平层理

发育,含底栖、游泳和浮游的三叶虫、小壳化石及高肌虫等,部分层位含海绵骨针,属浅海陆架局部凹陷环境。

沧浪铺期,扬子地台西部的康滇古陆上升速度加快,向北延伸形成一系列小岛,与汉南古陆相连,在滇东、川西、川北和陕西南部一带近岸滨海沉积发育,粒度变粗,沉积了一套以白云岩为主的地层,系属局限海台地。在马鞍山—安庆一线东南海水变深,沉积了一套以页岩和砂页岩为主的地层,为陆架相沉积。

龙王庙期,扬子地台西部的康滇古陆略有扩大,云南沾益等地上升为陆地,但扬子海沉积物无明显分异,自西向东主要为碳酸盐和含镁碳酸盐沉积,在近岸滨海区常有石膏或石盐假晶,这说明当时气候变得炎热干燥,海水流动不畅和海水逐步咸化。

综上所述,扬子地台在早寒武世西部陆源碎屑较多,为氧化环境,东部含钙较高,为中性至弱还原环境,随时间的变化,氧化环境由西向东扩大。因海水较浅,富含磷质,所以小壳化石十分丰富,门类繁多,主要包括软舌螺、似软舌螺、赫尔克壳类、棱管壳类、织金钉类、牙形类、球形壳类、托莫特壳类、锥石类、海绵动物、腕足动物、棘皮动物、腔肠动物、单板类、喙壳类和腹足类等。滇东和川西位于康滇古陆的边缘,早寒武世早期以碳酸盐和磷酸盐沉积为主,富含门类众多、类型复杂的小壳动物群,最常见的分子有软舌螺 *Conotheca*, *Allatheca*, *Laratheca*, *Orthotheca*, *Paragloborilus* 和 *Microcornus*; 锥石类 *Arthrochites*; 管状化石 *Quadrotheca*; 托莫特壳类 *Lapworthella*, *Tannuolina*; 阿纳巴管类 *Anabarites*, *Tiksitheca*; 开腔骨类 *Chancelloria*; 单板类 *Ginella*, *Anabarella* 等; 腹足类 *Yangtzespira*, *Yunnanospira*; 织金钉类 *Zhijinities*; 棱管壳类 *Siphogonuchites*, *Lopochites*; 赫尔克壳类 *Halkieria*; 喙壳类 *Heraultipegma*; 腕足类 *Pasamathopales*, *Acidotocarena*, *Botsfordia*; 原牙形类 *Protohertzina* 及海绵骨针等,并有多种遗迹化石产出。贵州中西部位于扬子地台的南隅,早寒武世早期以白云岩、白云质生物碎屑磷块岩和含磷生物碎屑白云岩等碳酸盐及磷酸盐类沉积为主,该地区远离康滇古陆,海水较滇东-川西地区为深,小壳化石受水动力的影响比较明显,化石保存的完整性较差,常有明显的磨损或异地埋葬现象(如织金五指山),但种类和数量仍十分丰富,其中有丰富的软舌螺 *Conotheca*, *Loculitheca*; 似软舌螺 *Torellalla*, *Hyolithellus*; 织金钉类 *Zhijinities*; 少量的棱管壳类 *Siphogonuchites*; 赫尔克壳类 *Halkieria* 和开腔骨类 *Chancelloria* 等; 分类位置不明的 *Kaiyangites* 及海绵类 *Calcihexactina*? 等。与滇东、川西地区相比,贵州中西部小壳化石外壳变薄,壳体变小,出现一些适于浮游的新类型,而滇东、川西出现的底栖近岸环境的单板类、腹足类和腕足类却在这里大大减少。位于东部的鄂西一带,早寒武世早期主要为一套碳酸盐沉积,属潮坪环境,其岩性主要为含磷质条带砾屑、砂屑白云岩。因环境动荡,生物分带性不甚明显,组合特征与滇东、川西有些相似,除含软舌螺 *Conotheca*, *Paragloborilus* 和阿纳巴管类 *Anabarites*, *Tiksitheca* 外,还含有丰富的单板类 *Igorella*, *Yangtzeconus* 和腹足类 *Scenella*, *Aldanella* 等,这说明早寒武世早期鄂西地区海水较贵州中西部浅。位于扬子地台西北隅的川北和陕南,早寒武世梅树村期为碳酸盐台地,沉积了以白云岩及含磷硅质白云岩为主的地层,富含小壳化石,主要有软舌螺 *Conotheca*; 棱管壳类 *Siphogonuchites*, *Lopochites*; 球形壳类 *Archaeooides* 等。扬子地台北隅陕南东部地区、鄂西北房县和神农架地区,筇竹寺早期时为碳酸盐台地,沉积了一套以生物碎屑白云岩、白云岩和钙质白云岩为主并富含小壳化石的地层,所含小壳化石

包括软舌螺、单板类、腕足类、海绵类、牙形类和一些分类位置不明的小壳化石及一些梅树村期所没有的新型分子,其特点出现了构造较高级的软舌螺,如有口唇的 *Microcornus*; 牙形类如 *Rhombocorniculum* 和寒武钉类 *Cambroclavus*, 与其共生的还有高肌虫 *Dabashanella* 和三叶虫碎片。生物面貌与滇东、川西和贵州中、西部梅树村期动物群的面貌差异较大。鄂西北地区所含动物群与新疆阿克苏-乌什地区的面貌却十分相似。早寒武世,鄂西北属扬子地台的一部分,南与四川、云南和贵州相通,北与华北及塔里木区相通,可能是扬子区与华北和塔里木区的过渡区。在扬子区东南隅的黔东、桂西、湘西、赣西北和苏南部分地区,正处在扬子地台与湘桂海盆间的过渡带上。早寒武世早期,沉积了以硅质岩和硅质白云岩为主,局部含磷的地层,属台缘斜坡环境沉积,由于水体较深,故小壳化石较少。在贵州台江五河梅树村晚期硅质含磷层中发现了一些海绵类 *Calcihexactina?* 和分类位置不明的 *Kaiyangites* 等(钱逸、尹恭正,1984)。在湖南西北部石门杨家坪梅树村晚期地层中发现软舌螺 *Conotheca*; 阿纳巴管类 *Anabaritellus*, *Tiksitheca*; 似软舌螺类 *Torelrella* 和 *Hyolithellus*; 原牙形类 *Protohertzina* 和 *Hertzina*; 海绵类 *Calcihexactina?*, *Hunanospongia* 以及分类位置不明的 *Kaiyangites* (丁伟民、钱逸,1988)。从沉积特征和古动物面貌看,该地区应是扬子区与江南区之间的过渡区。

## (2) 江南区

包括黔东南剑河—三都一线以东桂北、湘中、赣北和浙西一带。早寒武世早期,该区位于湘桂浅海盆区,是一个氧化还原界面之下的非补偿滞流海盆,沉积了数十米至二百余米以粉砂质碳质页岩为主偶夹硅质岩和含磷结核的一套地层,沉积厚度由北向南递减,化石稀少,仅见分散的海绵骨针,如 *Protospongia*。

## (3) 东南区

包括桂东、湘南、赣南、广东大部、海南和闽西地区。该区为一较深海槽(东南海槽),东边是浙闽群岛。早寒武世沉积了千余米的硅质、凝灰质和以砂泥质为主的类复理石建造,部分为浊流沉积。沉积物来自于浊流和浙闽群岛。因为海水很深,很少发现小壳化石。

## (4) 秦岭南部地区

位于陕西南部和湖北西北部的一个狭长地带,是扬子海以北的一个边缘深海槽——南秦岭海槽。早寒武世早期,为非补偿边缘海,以硅质、泥质沉积为主,偶见含磷泥硅质沉积。至沧浪铺晚期,南秦岭海槽明显分化,陕南镇安、柞水—鄂西北白桑—豫西南邓县、浙川一带海域上升,形成镇安小地块,周边地区接受了泥质和碳酸盐沉积。

## (5) 滇西-川西-喜马拉雅区

包括滇西保山和川西巴塘一线以西及西藏南部地区,位于康滇古陆的西隅。寒武纪时,喜马拉雅海海水较深,可能为一半深海海盆。根据滇西的资料,早寒武世以硅质和泥砂质沉积为主。区内尚未发现小壳化石。

## (6) 龙门山西区

位于四川西北部龙门山西部,包括川西平武、青川和茂汶地区,为扬子海与松潘古陆间的一个狭长的深海槽。早寒武世属非补偿边缘海,沉积了一套磷泥质和硅质沉积。

## 2. 华北地区

包括河南大部、安徽北部、江苏北部、山东、河北、山西、宁夏、甘肃大部、青海大部、新疆东南部、内蒙古南部、黑龙江东南部、吉林大部和辽宁大部地区。晚震旦世,华北地区为一古陆,至早寒武世沧浪铺中期开始,古陆南隅和西南隅发生海侵,接受海相沉积,从河南西部至贺兰山一线之南,为一狭长的带状含磷碎屑质和磷酸盐沉积区。沧浪铺晚期,华北古陆东部和东北部接受海侵,主要为碳酸盐沉积,辽东偶见古杯化石,还有大面积萨布哈环境的膏盐沉积(如晋、豫地区和吉林浑江和通化一带)。至龙王庙期,海侵范围扩大,古陆的两侧以泥砂质沉积为主,属滨海沉积。华北西部为深水海槽区,有些地区沉积了一套复理石建造。在吉林通化水洞沟沧浪铺期地层含软舌螺 *Microcornus*。沧浪铺早期,华北南部为一套碳酸盐岩沉积,属台地相,在河南方城、叶县,安徽淮南、霍丘富含小壳化石,主要有软舌螺 *Parakorilithes*, *Linevitus*; 单板类 *Anabarella*, *Spatuloconus*; 腹足类 *Auriculaspira*; 开腔骨类 *Chancelloria* 等; 北部的吉林通化地区含小壳化石 *Linevitus*, *Holmitheca*, *Allatheca*, *Adyshevitheca* 等。

## 3. 塔里木地区

包括新疆大部、青海北部和甘肃部分地区。从震旦纪开始塔里木地台形成,区内大部分地区则属塔里木浅海的范畴,为一稳定的沉积区。震旦纪末,柯坪运动使塔里木地台抬升,南部的塔里木古陆向西向北扩张,北部的浅海区亦不同程度地时而露出潮间带或露出水面。自寒武纪开始,海水从北西和南东两个方向侵入塔里木浅海,南部由于受塔里木古陆的阻隔,塔里木区的沉积受到一定的影响,而北部与天山北山海槽相连,其沉积受北方海域的影响较大,特别是生物群面貌,与西伯利亚和哈萨克斯坦更为接近。早寒武世,塔里木区基本上继承了晚震旦世沉积环境。海侵初期,乌什-阿克苏地区位于塔里木台地的北西缘,远离南部的塔里木古陆,与东北部的天山北山海槽毗邻,属陆架边缘盆地沉积区,由于海水较深,沉积界面在氧化还原界面之下,形成一个宁静的还原环境,沉积了一套以硅质岩、暗色泥岩和黑色页岩为主的地层,属非补偿边缘海沉积。由于海侵初期海水中富含磷,而与硅、泥沉积组成含磷层。晚震旦世晚期至早寒武世早期因海水较深,底栖生物不易生存,可能是 *Anabarites* 营浮游生活的缘故,该区除发现有 *Anabarites* 外,尚未发现其他小壳化石。在早寒武世经历了短暂的深水陆架边缘环境之后,海水时有进退,塔里木台地抬升,台地的北西缘逐步向浅水环境过渡,梅树村中期时开始至筇竹寺早期,区内大部分地区以碳酸盐沉积为主,形成一套白云岩、生物碎屑白云岩、钙质白云岩夹泥质页岩的地层。由于海水较浅,光照条件较好,底栖生物大量繁衍,出现了丰富的多门类小壳动物。在阿克苏-乌什地区玉尔吐斯组中富含典型的筇竹寺期小壳化石,主要包括软舌螺 *Negloborilus spinatus* (Qian et Xiao), *Neogloborilus applanatus* Qian et Zhang; 托莫特壳类 *Lapworthella*, *Tannulina*; 牙形类 *Amphigeisina danica* Poulson, *Gapparodus*

*bisulcatus* Miller, *Hagionella cultrata* Massarzhevsky; 高肌虫 *Dabashanella*; 腹足类 *Aldanella*; 单板类 *Porcaconus*; 海绵动物 *Archicladium*, *Polycladium*; 开腔骨类 *Chancelloria*; 织金钉类 *Cambroclavus*, *Zhijinities*; 赫尔克壳类 *Halkieria* 及一些分类位置不明的化石 *Ninella*, *Tianshandiscus* 等, 还有三叶虫碎片, 腕足类等, 这些化石目前除见于新疆阿克苏-乌什地区外, 某些属种在湖北房县、神农架, 哈萨克斯坦, 英国希罗普群岛及美国马萨诸塞州下寒武统亦有发现。从筇竹寺期开始, 乌什-阿克苏地区完全成为浅水台地, 由于海底抬升, 半封闭环境更加明显, 沉积了以中厚层白云岩和泥质灰岩为主的地层, 营底栖生活的三叶虫、高肌虫和古杯类开始繁衍, 取代了原始的小壳动物, 软舌螺类个体由小变大, 纹饰也变得复杂, 壳体成分由磷质过渡为钙质。塔里木台区是一个特殊的地区, 但寒武纪与华北区和扬子区亦有些相似。

#### 4. 阿尔泰-兴蒙地区

包括新疆北部、内蒙古大部和黑龙江部分地区, 西部是阿尔泰海槽, 为活动型海域。南部的准噶尔地块可能为一较稳定的地区, 根据邻区资料, 早寒武世为海相砂岩和灰岩沉积, 且有大量的火山活动, 至今还未发现小壳化石。本区东北部是兴蒙地槽区, 早寒武世为泥砂质及碳酸盐沉积, 有些地区为灰岩、页岩和硅质岩沉积, 可能为一个较稳定的沉积区。1982年彭立红在内蒙古温都尔庙的蛇缘岩套地层中发现了蠕虫、放射虫和可疑小壳化石, 其时代可能为早寒武世晚期。

### 第三节 扬子区梅树村早中期沉积相与古地理变化

扬子地台区是我国小壳化石最丰富的地区, 也是本书研究的重点地区。因此, 我们有必要在前面概述的基础上, 进一步阐述该区梅树村期(尤其是早中期)小壳化石的生存条件和埋葬环境。

#### 1. 扬子区梅树村早中期(中谊村段—大海段沉积期)古地理特征

扬子区梅树村期的古地理面貌是继承了晚震旦世发展起来的古地理格局, 基本上保持了以川黔鄂碳酸盐台地为核心, 向四周逐渐降低的地势。其总趋势是: 扬子区西部边缘由一系列高出水面的古岛组成岛链, 向东地势逐渐降低为碳酸盐台地—浅海陆架。到湘中、赣南成为陆缘深水盆地。除了西部近古岛链的地带地形较为复杂外, 其余地带基本上为一向东倾斜的缓坡地形。

#### 2. 沉积相划分

根据岩石组合、沉积构造和古生物组合等特点, 梅树村早中期整个扬子沉积区可分为三个沉积相区(图 3-22)。

##### I 碳酸盐岩台地相区

I<sub>1</sub> 潮坪碳酸盐岩相

I<sub>2</sub> 台地前缘缓坡碳酸盐岩相

I<sub>3</sub> 台地浅滩相(包括台地粒屑碳酸盐岩-磷块岩滩、风暴生物屑磷块岩滩、台缘

粒屑碳酸盐岩-磷块岩浅滩等)

I<sub>4</sub> 海湾-潟湖碳酸盐岩-磷块岩相

II 浅海陆架相区

II<sub>1</sub> 浅海陆架硅质岩-碳酸盐岩相

II<sub>2</sub> 浅海陆架硅质岩相

III 陆架边缘深水盆地硅质岩相

### 3. 梅树村早中期扬子区岩性、岩相变化

梅树村早中期中上扬子区和下扬子区的岩性、岩相和生物群面貌均有较大差异,而中上扬子区南部和北部又各有不同,现分别介绍于下:

#### (1) 上扬子区南部

梅树村早中期,此区发育一系列南北向断裂,受断裂影响,岩性、岩相和生物群落展布均呈东西向变化(图 3-22, 3-23)。西部边缘为牛首山古岛,滇中古岛和泸定古岛等组成近南北向古岛链,向东在滇东和川西南分别由牛首山-滇中古岛陆、泸定古岛-川中台地环绕形成两个海湾-潟湖相带,海湾之间则是台地前缘缓坡相带。

##### 1) 滇东海湾潟湖区

本区在近古岛链边缘武定一渡口一带沉积一套泥晶、微晶白云岩,含磷白云岩,近陆部分白云岩中含陆源碎屑较多,属潮上-潮间坪沉积。向东由于晋宁—昆明—寻甸一带存在一近南北向的潮下具障壁性质的浅滩,而将滇东海湾分隔为性质不同的潟湖区,西侧为近滨潟湖,东侧为自体潟湖。在浅滩区岩性主要为云基砂、砾屑磷块岩、核形石磷块岩、颗粒白云岩、夹泥岩。下矿层常夹以软舌螺为主的生物碎屑磷块岩透镜体,上矿层上部夹以单板类为主的介壳磷块岩,厚达 0.1m 到 2m,具潮下浅滩和风暴浅滩沉积特征。在近滨潟湖区安宁鸣矣河—白登—昆明龙潭街一带沉积了云基砂屑磷块岩、砂质白云岩、微晶白云岩夹硅质岩、产较多小壳化石,安宁龙山—温泉一带上矿层夹有以离散骨片棱管壳类为主的生物碎屑透镜体,具近滨潟湖和近积风暴区沉积特点。而在自体潟湖区内江川清水沟—晋宁王家湾以及华宁火特—澄江一带则沉积了硅质岩、硅基云基磷块岩-微晶白云岩组合,小壳化石较少,藻类化石丰富。局部地带在上矿层中也见生物碎屑磷块岩透镜体,其生物碎屑在王家湾、清水沟等地以软舌螺为主,而澄江小团坡一带则以腹足类为主,软舌螺次之,属自体潟湖和远积风暴区沉积性质。

##### 2) 川西南海湾区

本区靠近泸定古岛陆东侧的会理、甘洛至汉源一线,梅树村早中期时沉积的麦地坪段为一套含磷硅质岩-微晶白云岩夹硅质岩条带,向东下部逐渐夹磷块岩条带,为潮间—潮下带沉积。在马边、雷波、永善一带,麦地坪段除下部夹有较厚的粒屑滩沉积的硅质、云基砂屑磷块岩、生物屑磷块岩外,其余层位均为深色含磷硅质白云岩、硅质岩和灰岩沉积,属低能海湾潟湖环境的沉积,生物以藻类生物为主,中上部产丰富的小壳化石。北区北部靠台地边缘的峨眉、峨边一带,麦地坪段上部为含磷砂屑碳酸盐岩、软舌螺生物屑碳酸盐岩,属台缘粒屑浅滩环境沉积(图 3-24)。

##### 3) 滇东北—黔西潮下浅水缓坡区

滇东和川西南海湾之间的滇东北至黔西地区除西部边缘有较窄的潮坪碳酸盐岩相和

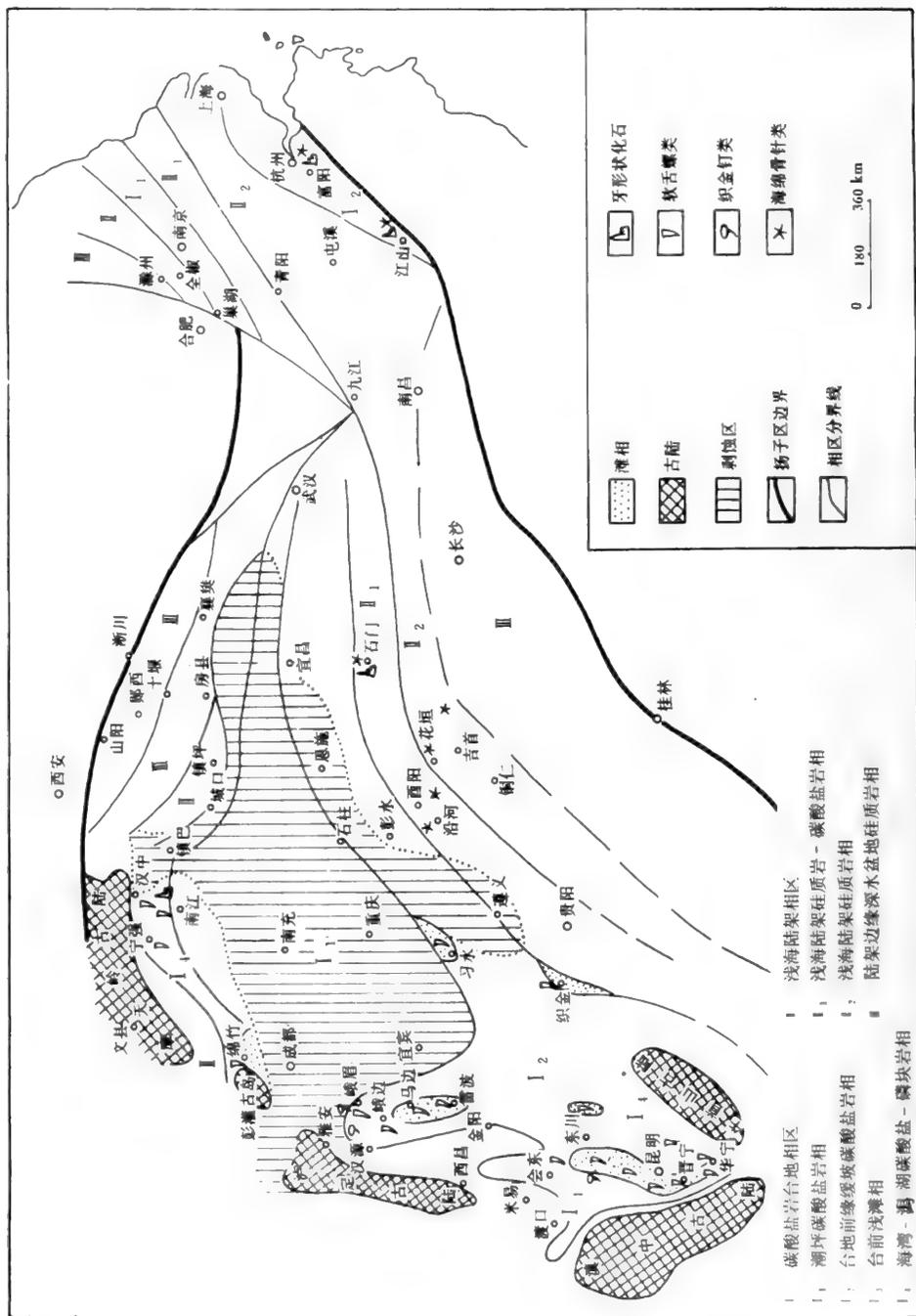


图 3-22 扬子地台区早寒武世梅树村早中期岩相古地理图  
 Fig. 3-22 Lithofacies and palaeogeography of the Yangtze Platform during early and middle Meishucunian of Early Cambrian

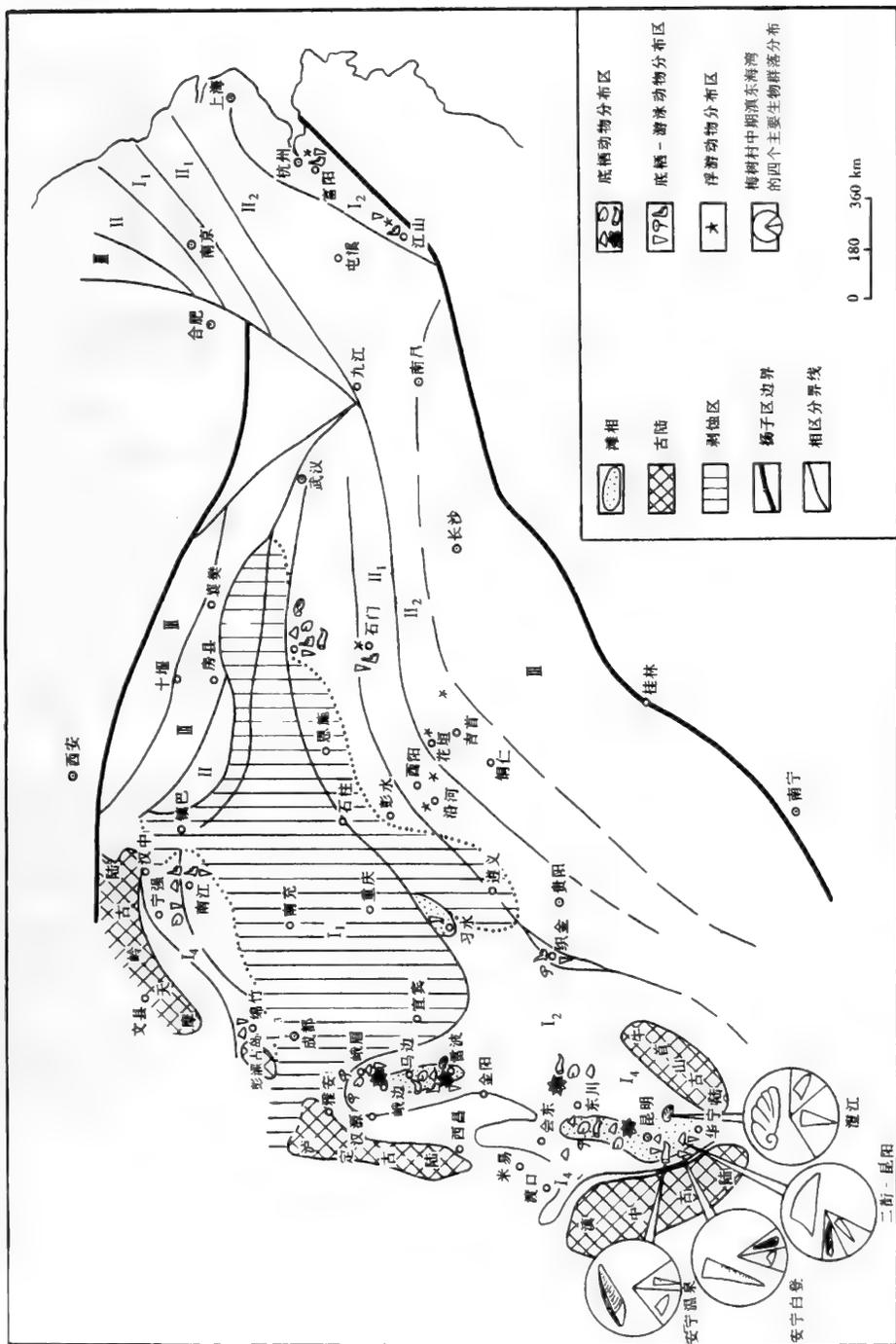


图 3-23 扬子地台早寒武世梅树村早中期小壳化石分布图  
 Fig. 3-23 Small shelly fossil distributions in the Yangtze Platform during early and middle Meishucunian of Early Cambrian

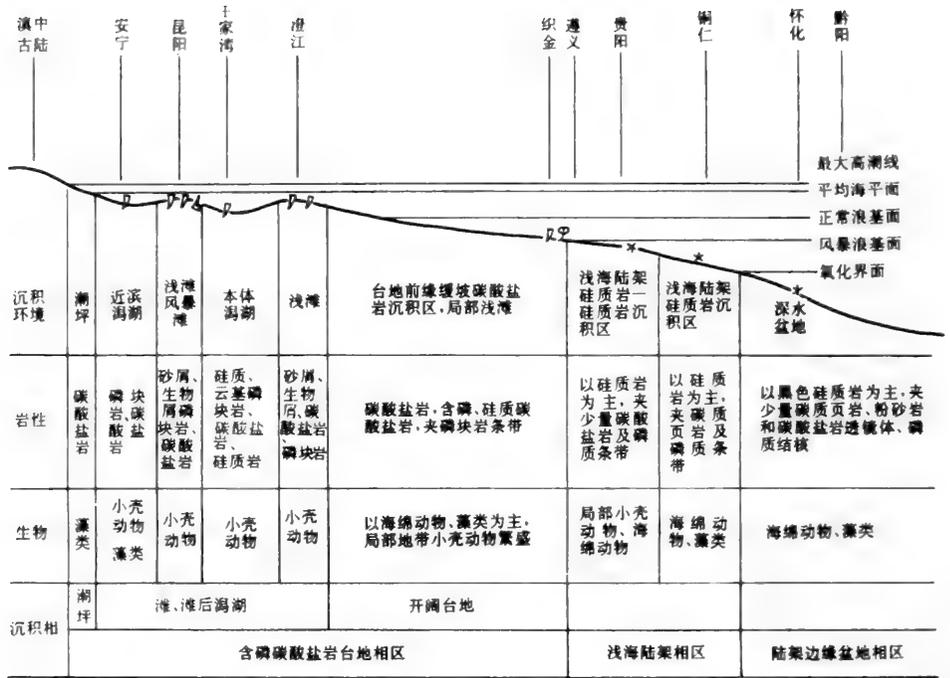


图 3-24 中上扬子区南部早寒武世梅树村早中期沉积岩相示意图

Fig. 3-24 Sketch map showing sedimentary lithofacies in the south part of the centro-western Yangtze region during early and middle Meishucunian of Early Cambrian

局部较小的海湾磷块岩-碳酸盐岩相外, 广大地区基本上为潮下浅水缓坡地带, 沉积了含磷碳酸盐岩为主的地层, 夹少量硅质岩、硅质磷块岩条带或透镜体, 称戈仲伍段或大岩段, 属台地前缘缓坡碳酸盐岩相。在局部地带, 尤其在牛首山古岛陆向北东延伸方向断续出现一些小型水下高地形成浅滩沉积, 如习水大岩, 织金五指山等地沉积一些内碎屑白云岩、硅基云基砂屑磷块岩、生物碎屑磷块岩等, 内产较丰富的以软舌螺类和织金钉类为主的小壳化石。

向东至黔中、黔东铜仁之间梅树村期地层的中下部由硅质白云岩-硅质岩偶夹硅磷块岩条带, 并含丰富藻类化石和少量的小壳化石及海绵骨针(桃子冲组), 逐渐相变为白云岩-硅质岩, 最后相变为黑色硅质岩, 只产海绵骨针和藻类化石(留茶坡组顶部)。

## (2) 上扬子区北部和中扬子区 (图 3-24, 3-25)

此区的川中、川东、黔北和鄂西广大地带继承了晚震旦世发展起来的碳酸盐岩台地环境, 向四周逐渐降低形成台地前缘斜坡-深水盆地。西缘和北缘斜坡地带靠近古陆或存在较大断裂, 岩相变化较大, 但东南缓坡地带发育较好, 可进一步划分出台地前缘缓坡、浅海陆架和陆架边缘深水盆地等相区。

川黔鄂台地虽然在钻井资料和局部露头(遵义松林等)上未见有梅树村期(麦地坪段)沉积, 但根据周围沉积相分析以及在局部地段如宜昌天柱山、黄山洞一带可见的后期

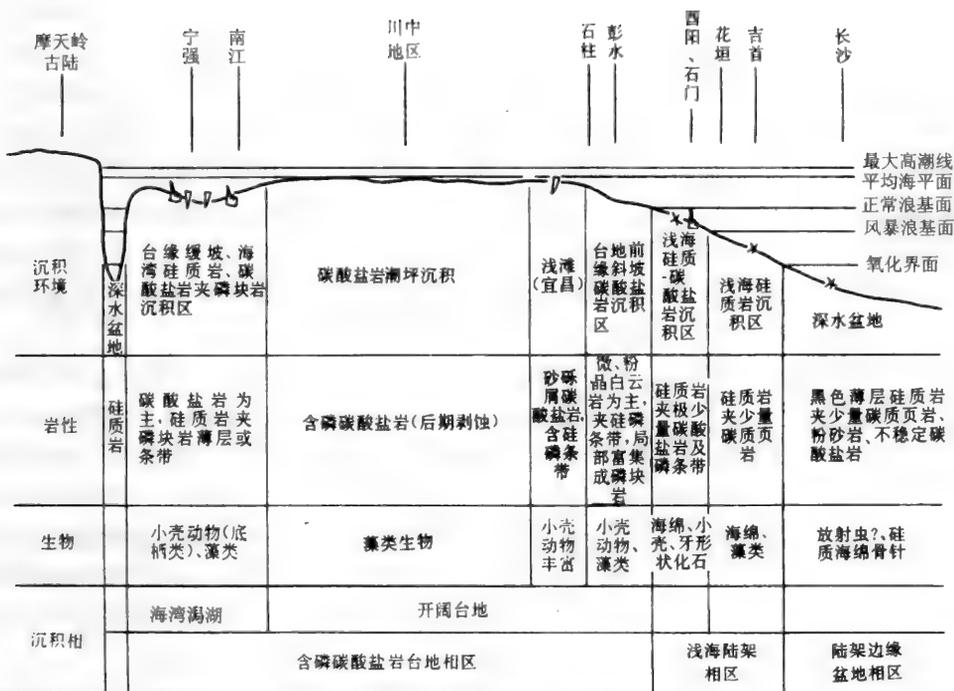


图 3-25 中上扬子区北部早寒武世梅树村早中期沉积岩相示意图

Fig. 3-25 Sketch map showing sedimentary lithofacies in the north part of the centro-western Yangtze region during early and middle Meishucunian of Early Cambrian

剥蚀再沉积的含磷砂砾屑白云岩,造成梅树村早中期时小壳化石混生、分带不清现象,足以说明在梅树村早中期时台地内是有沉积的,岩性应为潮坪环境沉积的含磷碳酸盐岩。在麦地坪段沉积后,台地上升而遭受普遍剥蚀。

由川黔鄂台地向西至龙门山区绵竹、安县一带,此期沉积(麦地坪段)为含磷硅质白云岩和灰岩夹云基砂砾屑磷块岩,产较多小壳化石,属台地边缘浅滩环境沉积。向北至大巴山西段南江、宁强、勉县南部一带为硅质岩、沥青质灰岩夹硅云基砂屑磷块岩透镜体,具水平层理,小壳化石丰富,以软舌螺化石为主,原牙形类次之。此外,各种锥石化石在这一带产出为本区化石特色之一。这些沉积和生物特点说明本区属台地边缘海湾环境,少数层位在局部地带有滩相沉积。但在南江东北部长滩河、新立一带已相变为潮坪环境沉积的白云岩夹磷质、硅质条带。由于龙门山区和大巴山西段存在巨大推覆构造,这些地带梅树村期台缘海湾、浅滩相与摩天岭古陆之间的关系尚不清楚,是否两者之间存在有陆缘深水盆地需要今后进一步工作。

台地北部秦岭、大巴山东段,构造复杂,研究此区梅树村期岩性、岩相和生物群变化必须考虑后期构造因素的影响。其中城口-房县弧形断裂带是此区关键性的一条地质构造线,此断裂带是武当山褶皱-逆冲推覆构造的主滑脱面——青峰断裂带,它在地下深处的位置一直延续到陕西山阳到河南淅川一线附近(蔡学林等,1988)。位于主滑脱面以南推覆构造前缘叠瓦褶-断带内的西乡、镇巴及房县一带,在早寒武世,其地理位置远在现今位置以北 50—100km 以外,与西侧宁强、汉中南部地区相隔较远。从镇巴小洋坝、房县西蒿

坪等地产三叶虫和 *Rhombocorniculum* 等化石的西蒿坪段(筇竹寺期)超覆于灯影组中段白云岩之上的情况分析,这些地区梅树村期应属川黔鄂磷酸盐岩台地的一部分,但此期沉积可能在筇竹寺期前已被剥蚀。而主滑脱面以北的城口高燕地区梅树村期沉积了厚 22—77m 的黑色硅质岩、硅质白云岩夹页岩(高燕组)产藻类化石的地层;在紫阳—镇坪一带此期沉积为黑色碳硅质岩夹玻屑凝灰岩、白云岩透镜体,含胶磷矿结核,产软舌螺及放射虫、藻类等化石,厚 18—61m(曾良奎等, 1992)。这些都是属于浅海陆架到陆架边缘深水盆地的沉积。由于主滑脱面在地下深处位置在山阳—浙川一线,因此这些陆架-陆缘深水盆地原来位置应在山阳—浙川一线以北地区。推测在主滑脱面之下,可能存在台地与陆架之间的台地边缘斜坡相沉积。

川黔鄂碳酸盐台地向黔东、川东南和湘西一带,梅树村期沉积岩相变化分带性明显。在四川彭水至湖北宜昌三斗坪岩家河一线此期沉积为含磷碳酸盐岩,如岩家河一带为厚 30 余米的硅质白云岩、硅质岩和内碎屑白云岩夹粉砂质页岩,产丰富的小壳化石、藻类化石等,为台缘缓坡相沉积。向南至黔东北,川东南酉阳、秀山和湘西石门、沅陵至通山一带,由南而北岩性由含磷碳酸盐岩、含磷结核碳硅质岩(杨家坪组下段),逐渐过渡为含磷结核碳硅质岩(留茶坡组顶部),以产丰富的海绵骨针和藻类化石为其特征,局部地带如石门杨家坪等地尚产少量 *Anabarites*, *Protohertzina* 等小壳化石,属低能浅海陆架相沉积(图 3-24)。再向东南至湘中地区已相变为陆缘深水盆地黑色硅质岩相区。

上述上扬子区北部梅树村期岩性、岩相变化规律与中扬子区极为相似,可能在早寒武世整个扬子区就是一个以川黔鄂-苏碳酸盐岩台地为核心向四周,主要是向南北逐渐降低为深水盆地的地台区。后来由于郯庐深大断裂西盘南移而在安徽北部呈一楔状体嵌入而将中下扬子区台地部分隔离,同时在武汉—九江一带将沉积相带向南推移,致使各相带弧形弯曲并向南突出(图 3-25)。

### (3) 下扬子区

在梅树村期,下扬子区全为海水所淹没,海底地势有一定方向性。沿安徽巢湖到江苏句容、泰兴一线存在一个北东-南西向的水下高地。从高地向北西、南东方向地势呈斜坡状急剧下降,形成深水盆地。这种地势展布似乎受一组北东-南西向断裂的控制。

句容—泰兴一线梅树村期沉积为幕府山组一段,岩性为灰色颗粒白云岩、泥晶白云岩和叠层石白云岩,具叠层和鸟眼构造。局部地段如句容等地尚产有小壳化石(朱兆玲等, 1988),具潮坪-浅滩相组合特征。幕府山组第一段向北西至滁县、全椒一带相变为黑色藻层硅质岩夹泥岩、硅质胶磷矿条带,厚约 90m(黄栗树组下段)。向南东至赣北相变为王音铺组下段,在皖南石台和青阳一带为黄柏岭组下段,浙西为荷塘组下段,其岩性均为含碳、磷结核的深色硅质岩层,产海绵骨针和藻类化石,厚几米至几十米。它们均为台地斜坡至深水陆架碳硅质岩相沉积,局部为深水盆地沉积。但在此区东南上饶—江山—富阳一线于灯影组顶部有几米厚的含磷白云岩、硅基砂屑磷块岩,以及荷塘组底部碳质页岩夹灰岩透镜体,磷质结核产有较多小壳化石 *Anabarites*, *Protohertzina* 等,尤以似牙形类化石为多。这一带应属于台缘缓坡相沉积环境(图 3-26)。

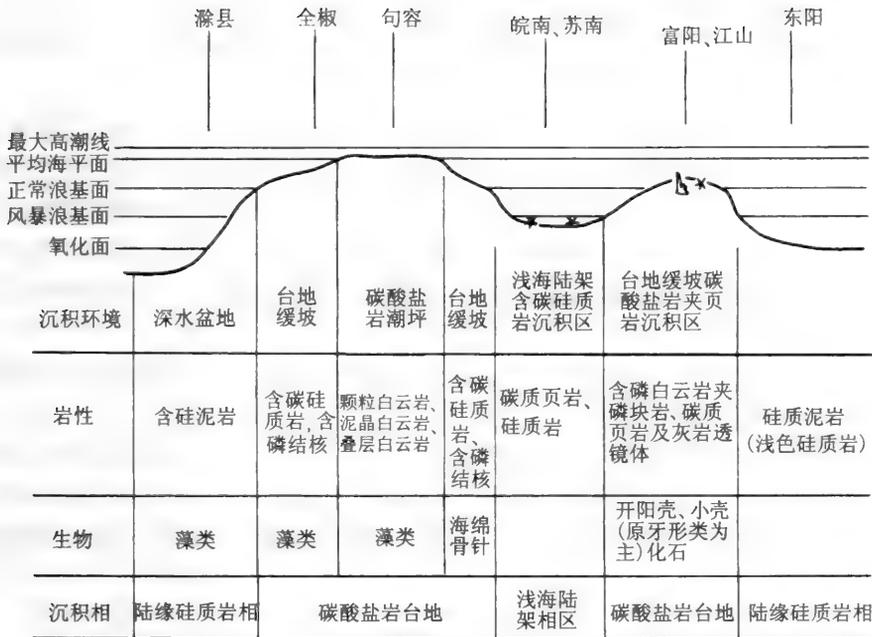


图 3-26 下扬子区东部早寒武世梅树村早中期沉积岩相示意图

Fig. 3-26 Sketch map showing sedimentary lithofacies of the eastern Yangtze region during early and middle Meishucunian of Early Cambrian

#### 第四节 早寒武世小壳动物群古生态

小壳动物是早寒武世早期海洋中多门类动物大爆发、大发展的极其重要的第一幕,在其之后大量繁衍的还有三叶虫、腕足动物、高肌虫和古杯动物等。许多早期骨骼化石组合复杂的埋葬史不仅使我们陷入系统分类的泥坑,而且妨碍富有成效地推测这些多种多样的动物群的古生态。在这个领域内我们的认识仍处在幼稚期,甚至传统的几项探索,如觅食类型、沉积物、水界面的相对位置在许多情况下仍模糊不清。

在营养专属性方面,似乎许多管栖类是食悬浮物生物,与固着环节动物之类比较使我们相信管栖动物从管口伸出觅食冠。开腔骨类的海绵状性质还暗示,它们在其习性上仿效海绵,即使几乎无证据说明其亲缘密切。无疑的四射海绵纲网状海绵骨针和钙质海绵,古今相同,肯定是食悬浮物动物。令人迷惑的古杯动物是否包括在海绵中,是一个问题,它们也很可能采取这种觅食方法。在具壳的种类中,腕足动物和假腕足类动物定为食悬浮物生物可能较有把握,至少在后一非正式类群的一个种中有说服力的证据表明槽分开了觅食水流(Bengtson et al., 1990)。

许多蛞蝓状后生动物生长着骨片,包括赫尔克壳类,也许还有托莫特壳类,可能定为食沉积物动物,软舌螺和许多软体动物食沉积物习性是比较确定的。

原牙形类以及更加莫名其妙的 *Cyrtochites* 看来有可信证据说明是肉食习性。有关带壳动物群的肉食性的直接证据包括一些例子,如 *Mobergella*、管栖种类、无铍纲腕足类

和其他壳化石上的小孔,但尚不知道制造这些小孔的生物是什么。有关紧密联锁骨片系的证据正在增加,尤其是赫尔克壳类和 *Cambroclavus*, 启示有抵御肉食动物的作用。与此相似,丰富的双壳种类和带口盖的生物推测有保护作用。

这些种类与沉积物-水界面的相对位置经常更难解释。绝大多数管栖物种推测是半底质内的, *Coleoloides* 局部呈丛状,可以挡积沉积物而建造小型生物礁。某些阿纳巴管类的种,侧面存在外延突起(即纵突或囊状突起构造),可以在沉积物上移动时保持稳定。

属于移动底表动物的,推测包括软体动物、软舌螺,以及许多带骨片的种类,比如赫尔克壳类和托莫特壳类以及寒武钉类。需要强调这种归类很带尝试性,值得考虑的另一种看法是一些或属移动底质内的成员可能属固着的底表动物。

浮游成员可以想到的包括原牙形类,主要因为其与现代毛颚类的机能和构造相似,而这个门的代表(极少例外)是漂浮的。

上述看法仍然不那么牢靠,有待进一步研究确证。一般似乎寒武纪最早期生物多数为固着底表动物和底内动物。活动型底表动物主要是节肢动物,多样性的增加,出现在筇竹寺期。为了验证上述的情形,进一步提高对各种不同疑难生物的个体生态的认识是不可少的。

## 1. 个体生态

小壳动物包括多门类的动物,其中大部分为软体动物,亦有少数属于腕足动物、海绵动物、棘皮动物、腔肠动物和一些分类位置不明的动物等,这些生物有一定的生态分异性。根据早寒武世早期保存的大量的小壳动物化石分析,它们有些共同的特点:海生,几乎均为底栖类型,一部分营游移生活,另一部分则附着生活。有少数类型或许可称之为自游型。根据运动和附着方式,可分为以下6种类型:胶结附着——分泌壳质粘附在底质上;足附着——全身和部分附着在一个地方,如腹足类等;浮游——浮游于水体中,如 *Anabarites*;掘穴——在松软的底质内移行;钻孔——钻入坚硬的底质中;固着——固着在硬基底上(如海绵类)。

小壳动物的食物与大部分软体动物类似,一般为悬浮的浮游微生物及有机颗粒,沉积物中的有机物微粒,以及生长在海水中或岩石上的藻类。

## 2. 环境耐受性

### (1) 温度

软舌螺类和其他一些小壳化石常与三叶虫、高肌虫、腕足类、古杯动物及藻类等共生,据三叶虫、高肌虫、古杯类等生活习性,可以推断小壳动物亦多属喜暖动物。据解永顺研究,发现小壳动物多数与海绿石共生,推测它们生活在3—15℃的冷水中或寒流与暖流交汇处。

### (2) 盐度

作为一个庞杂的小壳动物,对盐度的适应范围应该还是比较宽的。据对早寒武世小壳动物化石的研究,可以发现多数的软舌螺、腹足类、单板类、腕足类、原牙形类、开腔骨类、海绵类等都保存在正常浅海相地层中,如在含磷白云岩、磷块岩、生物碎屑磷块岩、泥质砂

质灰岩和白云岩等地层中常见,而在膏盐地层中尚未发现,所以,小壳动物系生活在正常盐度的海水中。

### (3) 深度

小壳动物一般生活在潮间-潮下(低能带)的浅海陆架区,尤以潮间和潮下坪环境为主,而在代表浪基面以下深水体沉积环境的黑色碳质页岩和黑色泥质粉砂岩中则很少见到大量小壳化石。所以说,小壳动物一般适应于生活在中低能潮下海湾和正常浅海陆架环境,但各类生物深度又各有选择,如部分海绵动物,原牙形类 *Protohertzina* 等可能为某些浮游生物体的一部分,主要生活于水体上层,而像软舌螺 *Conotheca* 等可能生活在水体下部。

### (4) 水的清浊度

根据丰富的资料证实,多数小壳动物化石保存在生物碎屑灰岩、生物碎屑白云岩、磷块岩、含磷白云岩和泥砂质灰岩中,而这些岩层多在清澈的沉积环境中沉积,且海水中富含磷和钙,故可以推断,小壳动物多生活在清澈的近海岸区,而在砂页岩中所保存的小壳动物化石数量相对要少得多,这也说明小壳动物对水质有一定的选择性。

### (5) 基底

小壳动物出现于硬质和软质两种底质上。在寒武纪最早期,海底以硬质为主,因此许多具骨片动物保存的大多是支离破碎的骨片,而一般在粒度细的泥岩中(软质基底)很少见到小壳化石,如有小壳化石则保存完好(如澄江动物群)。生活在泥沙质基底上的软舌螺类个体要稍大一些,有时可见口盖,甚至附器。

### (6) 湍性

小壳动物对水动力条件的适应范围也较广,从开阔海岸的潮间带到基本静止的深海和湖环境都有它们的存在,但以近岸的陆架区为最适宜的环境。湍流水体的标志是硬底质(适合于胶结附着、巢居或足丝附着的悬食者)或者不稳定的流动底质(适合于快速掘穴滤食者)。多数小壳动物适合于中等水动力条件下生活,只有极少数适应高能环境。湍流既可带来丰富的有机质供底栖生物食用,也可将其他地方的生物带来一起呈介壳滩堆积。贵州织金五指山戈仲伍段和陕西镇巴水井沱组下部小壳化石的丰富堆积可能与湍流有关。

## 第五节 中国早寒武世小壳动物群的生物地理分区

寒武纪中国的古地理基本上继承了震旦纪的古地理格局。寒武纪是无脊椎动物大发展的一个时期。早寒武世小壳动物大量繁衍,分布广泛。经 20 多年的研究,发现小壳化石主要分布于扬子地台、华北地台和塔里木地台及其周围的稳定地区。截至目前为止,全国已发现了许多富含小壳动物的地点和层位,通过古生物学家们的研究,有关寒武纪特别是早寒武世小壳动物的面貌已经比较清楚,为研究小壳动物的生物地理分区奠定了基础。根据生物相、沉积相特征和古地理特征及古地理位置诸因素可将中国早寒武世小壳动物

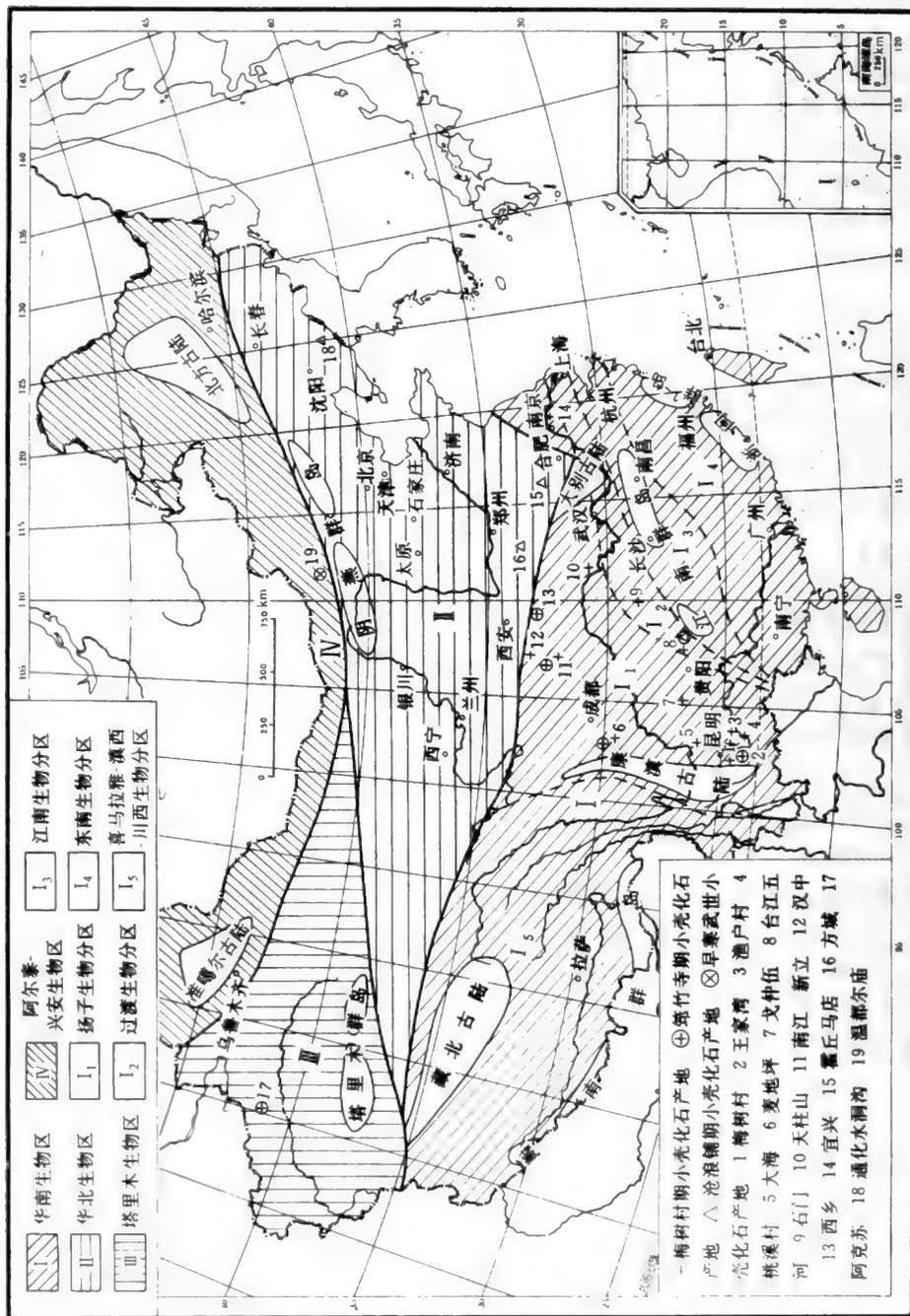


图 3-27 中国早寒武世小壳动物生物地理分区示意图  
 Fig. 3-27 Biogeographical provinces of Early Cambrian small shelly fossils in China

群大致分为 4 个生物区(图 3-27):

I. 华南生物区

I<sub>1</sub> 扬子生物分区(此区研究程度较高,材料丰富)

I<sub>2</sub> 过渡生物分区

I<sub>3</sub> 江南生物分区

I<sub>4</sub> 东南生物分区

I<sub>5</sub> 喜马拉雅-滇西川西生物分区

II. 华北生物区

III. 塔里木生物区

IV. 阿尔泰-兴安生物区

## 第六节 扬子区梅树村期小壳动物群的空间分布

### 1. 空间分布

地球上最早期具微小硬体的后生动物群出现时,生活范围较小,并严格受着沉积环境限制。从图 3-19,3-20 上可以看出早寒武世梅树村期小壳动物群主要分布于川黔鄂碳酸盐岩台地周围的潮下浅水缓坡地带,尤其是在台地与古岛链之间的复杂的海湾-潟湖地带,如滇东、滇东北、川西南和陕南宁强一带,小壳动物群极其繁盛,类型众多,几乎集中了小壳动物群的所有类型。离古陆愈远,水体愈深,不仅类型减少,软体动物的单板类、腹足类、喙壳类和腕足类几乎绝迹,而且数量也急剧减少。在浅海陆架区(浪基面以下)只有软舌螺类、似牙形类和海绵动物。到陆缘深水盆地就只见海绵动物和藻类了。

在同一大的生活环境(生境)中,由于小生境不同,小壳动物类型也有差异。如滇东海湾区沉积的梅树村阶 *Paragloborilus subglobosus* 带底部风暴生物碎屑滩(生物碎屑磷块岩透镜体)中的生物组成,在安宁八街、白登一带生物碎屑以软舌螺类为主,单板类次之;而在二街、昆阳、尖山一带则以单板类为主,棱管壳类、软舌螺类次之;在龙山、温泉一带棱管壳类在生物碎屑中约占 80%,单板类和软舌螺类仅占 20%左右;在澄江小团坡一带则以腹足类 *Yangtzespira* 占优势,软舌螺类次之。由此可见各浅滩附近生活的小壳动物群落是不同的,也就是说不同类型的小壳动物生活在不同的小生境。

### 2. 一些主要小壳动物属种的地理分布和埋葬(保存)特点

#### (1) *Anabarites trisulcatus*

*Anabarites* 属的地理分布很广,在西伯利亚、蒙古、中亚、南亚印度、伊朗北部以及中国扬子地台区、塔木里地台北部前寒武纪末期和早寒武世早期的沉积中均有发现,近来在澳大利亚南部早寒武世沉积中也有发现。就扬子地台区而言,此属的种绝大部分为 *A. trisulcatus*, 并且主要分布于晚震旦世末期的川黔鄂碳酸盐岩台地边缘潮下缓坡地带,尤其大量集中分布于台地西部、西北部边缘地区。由于川黔鄂台地在晚震旦世末期的范围要比早寒武世梅树村期大些或其他某种原因,所以在安徽巢县,浙江江山、富阳等地灯影组顶部白云岩中也有 *A. trisulcatus*。

扬子地台区绝大部分地区所发现的 *A. trisulcatus* 是主要集中产于灯影组上段(滇东中谊村段,川西南麦地坪段,陕南宽川铺段,鄂西黄鳝洞段或岩家河段)的下部组合带的典型化石之一,但在安徽巢湖地区,*A. trisulcatus* 产于灯影组顶部 0.2m 和冷泉王组底部 0.5m 的砂质、角砾状或鲕状白云岩中,两组呈假整合接触。由于产于冷泉王组底部的 *A. trisulcatus* 与淮北沧浪铺期沉积的兩台山组中常见的 *Anhuiconus*, *Actinotheca* 等共生,因而提出此区的 *A. trisulcatus* 可能已延续到早寒武世沧浪铺期,但笔者认为这种现象有三种可能:一种可能是 *A. trisulcatus* 在某些地区如生境不变可以成为孑遗分子、延续时间较长;另一种可能是 *Anhuiconus*, *Actinotheca* 等小壳化石可以出现较早,实际上 *Actinotheca* 在川西、鄂西梅树村期沉积中就已大量存在,*Actinotheca* 属就是以 *Paraglobobus mirus* (He) 为模式种而另建立的属;第三种可能是冷泉王组底部 0.5m 产 *A. trisulcatus* 的颗粒白云岩为灯影组顶部白云岩剥蚀后再沉积于低凹地带的结果。其论据是两组间呈假整合接触,冷泉王组底部普遍见陆源物质砂岩沉积,其上为颗粒(角砾状、鲕状、砂质等)白云岩,产小壳化石。

*Anabarites trisulcatus* 在岩石中产出状态有两种:一种是分散保存于硅质岩或含磷灰岩内,如陕南宁强宽川铺一带宽川铺段下部灰岩中的 *A. trisulcatus*,个体保存比较完整,管体长轴方向与岩层面垂直或斜交,少数为平行,属原地埋葬性质;另一种是保存于含磷砂屑内碎屑白云岩或云基砂砾屑磷块岩中,也有少数在含磷砂质泥岩中,如昆阳磷矿一带上、下磷矿层所夹“白泥层”内。这些岩石中的 *A. trisulcatus* 均呈杂乱堆积,数量多,个体也较破碎,长轴方向一般都平行层面。如东川烂泥坪一带中谊村段底部的 *A. trisulcatus* 层,化石呈密集堆积状态,厚达 0.1—0.2m,具有浅滩相异地埋葬特点,是生活于浅滩附近海域中的 *A. trisulcatus* 和共生的软舌螺类等小壳动物硬体,经海浪或风暴浪等的搬运,被带到浅滩环境大量堆积并迅速埋葬的结果。

根据 *Anabarites* 属管体呈锥管状,任意弯曲,长短不一,管壁鞘状,三辐射对称,几乎未见始部等特点,结合原地埋葬的岩性、岩相分析,它们是生活在台地潮下带、水动力不太强的浅海环境中,为固着底栖管状后生动物。

## (2) *Protohertzina anabarica*

*Protohertzina* 属与 *Anabarites* 属地理分布范围都较广,但延续时限相对较长。在世界许多地区,如西伯利亚、伊朗北部、中亚地区以及中国扬子地台区早寒武世沉积中都能找到此属。但此属中的 *P. anabarica* 分布时限却短,常与 *A. trisulcatus* 共生,是 *A. trisulcatus*-*P. anabarica* 组合带中的重要化石。但在我国的许多文献中,一些作者常把 *P. unguiformis* Missarzhevsky 误定为 *P. anabarica*,使人们错误得出 *P. anabarica* 延入早寒武世梅树村期第二化石带的结论。因此在讨论此种层位分布时应注意两个种的区别。

在中国扬子区 *Protohertzina* 属主要分布于川黔鄂碳酸盐岩台地周围潮下浅水缓坡碳酸盐岩沉积中,但在陆架地带如湖南石门杨家坪、浙江富阳、江山一带较深水沉积的含磷结核硅泥岩、灰岩中也发现了它们,说明它们生活的范围要比 *A. trisulcatus* 等动物生活范围大一些。

*Protohertzina* 属于具微小分散硬体后生动物的离散骨片化石,单个刺体为器官属。它们产出的岩石类型和保存方式虽然基本上与 *A. trisulcatus* 相似,但在数量上却少得

多。根据数量较少、刺体有左型和右型、刺壁层状以及刺体功能分析,它们类似于蠕形动物的颚钳或夹持器构造。由于 *Protohertzina* 在早期就可生活于台地到台缘直至陆架地带,因此推测它们应为游泳能力强的远岸后生动物。McMenamin 等(1990)和 Bengtson 等(1990)认为属肉食动物的代表。

### (3) *Heraultipegma*

此属在世界许多地区,如西伯利亚、中亚、法国南部、澳大利亚南部以及中国扬子地台西部早寒武世沉积中都有分布。在中国扬子区,当前所描述的种基本上都属于个体较小的 *H. yunnanensis*,并且仅发现于梅树村阶 *H. yunnanensis* 带(大海段上部、麦地坪段上部、宽川铺段上部以及黄鳝洞段)。

据当前资料,扬子区的 *H. yunnanensis* 分布于扬子地台西部边缘近古岛链东侧有大海段灰岩层或相当层位沉积地区(滇东北、川西南、陕南宁强等地),常与软体动物的腹足类、单板类等化石共生,个体小、数量少、保存完整,具原地埋葬特点。根据化石原地埋葬的岩石类型、共生化石组合及沉积相分析, *Heraultipegma* 是一种生活于水动力条件不强的浅海环境中的软体动物。在四川峨眉麦地坪和湖北宜昌天柱山等地潮下高能滩相沉积的磷质砂屑次生白云岩、白云岩中所产少量的 *H. yunnanensis*,具异地埋葬的特征。

### (4) *Tannuolina*

*Tannuolina* 属为另一类具微小似鳞状骨片的后生动物硬体化石,常与 *Sinosachites*, *Chancelloria*, *Lapworthella* 等离散骨片化石共生。当前除了发现两个叠覆在一起的骨片化石外,尚未见有完整的动物体保存。在扬子区仅见于梅树村阶上部 *S. flabelliformis* 带(滇东筇竹寺组下段、川西南九老洞组中段)。

此属在世界许多地区下寒武统下部都有发现,在扬子区仅靠近川滇古岛链东侧分布,滇东至川西南一带分布于早寒武世梅树村晚期出现的短暂的潮下浅滩环境沉积的含海绿石磷屑砂质白云岩(如昆阳磷矿、峨边老汞山、甘洛、汉源一带)或浅海陆架沉积的胶磷矿、海绿石砂屑不等粒白云岩及其底部滞流砾石层中(如峨眉麦地坪—乐山范店一带)。在这些岩石中它们的骨片均呈大量离散状态杂乱地与其他共生化石一起密集堆积,属异地埋葬特点。

根据地理分布、产出岩石类型及岩相特征结合硬体功能分析, *Tannuolina* 属应是一种生活于浅滩附近潮下高能到陆架环境中的具似鳞状的锥状硬体的底栖后生动物,也可能是此期的一种造迹生物。岳昭、高林志(1994)对此化石的分布、时代以及生物学特征进行过详细探讨。

### (5) 开腔骨类

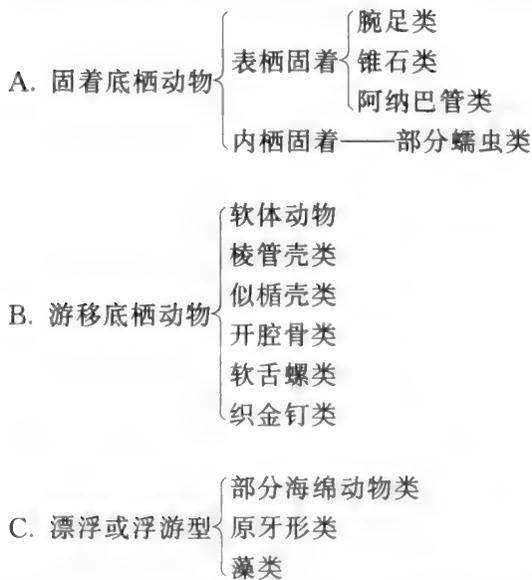
本类为外表具微小簇状、棘刺状、星状等硬体的一类后生动物。动物死亡后,硬体一般离散保存为化石。澄江动物群、布吉斯页岩动物群中有软、硬部兼具的完整化石保存,遗憾的是目前还未有很好的研究结果。

此类动物地理分布范围和层位都较广泛,在世界各地下寒武统至下奥陶统中均有产出。中国扬子地台区这类化石分布的层位是在下寒武统梅树村阶 *Heraultipegma yunnanensis* 带及其以上地层,可见它们出现的最早时间是在梅树村中期。同时,它们开始

出现时地理分布范围也较狭窄,仅局限于川黔鄂碳酸盐岩台地周缘潮下浅水斜坡带,尤其是在西部滇东北—川西南一带沉积的大海段上部灰岩层(包括麦地坪段上部次生白云岩层)中最为丰富。向东水体稍深,数量剧减,甚至消失,所以在宁强一带的宽川铺段、贵州中西部织金戈仲伍段、清镇桃子冲段、湖南石门杨家坪组下段中均未发现。它们不与海绵动物共生。说明在梅树村中期,开腔骨类只生活在潮下高能浅水环境中,属活动范围较窄的底栖后生动物。但到梅树村晚期时(筇竹寺组下段沉积时),它们生活范围已扩大,辐射演化到浅海陆架区。

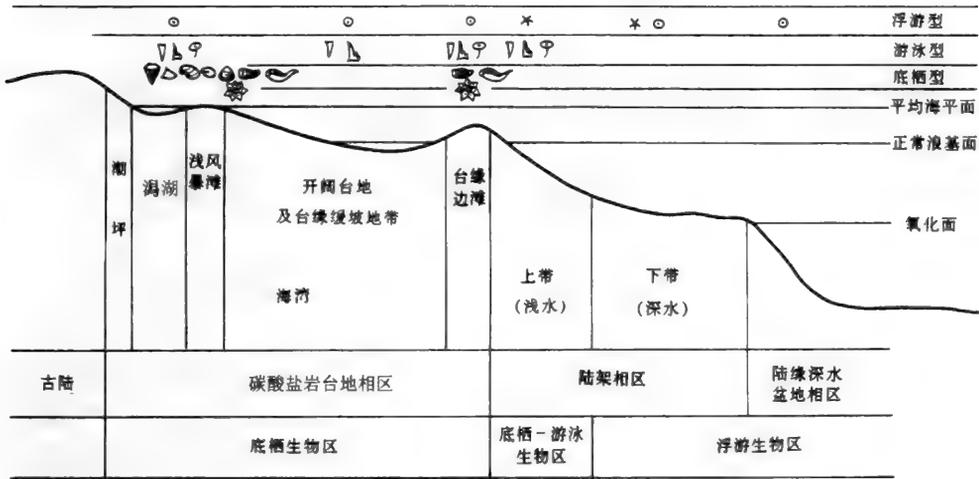
### 3. 分布区域

从上述下寒武统梅树村阶小壳动物化石群的时空分布,以及对几类后生动物生境、生态剖析,可以得出如下初步结论:在早寒武世梅树村期大部分小壳动物应为底栖型的表栖动物,它们只生活在潮下浅水地带,其时绝大部分尚未辐射演化到较深的陆架环境。在陆架上带仅见生活范围较广的软舌螺类、原牙形类和织金钉类;而下带和陆缘深水盆地仅生活着海绵动物和藻类生物。因此,推测部分海绵动物应是漂浮型的生活于水体表层的后生动物。软舌螺类、原牙形类和织金钉类等是游泳型或底栖-游泳型的动物群。因此按生活方式初步将梅树村期微小硬体的后生动物群分为三大类型:



按上述初步分出的三大类梅树村期小壳动物群在扬子区的空间展布,可将扬子区分为三个生物分布区(图 3-28):

- I. 底栖生物分布区
- II. 底栖-游泳生物分布区
- III. 浮游生物分布区



图例说明

- |        |         |        |
|--------|---------|--------|
| ▽ 软舌螺类 | ⊖ 腕足类   | ★ 开腔骨类 |
| △ 单板类  | ⊖ 赫尔克壳类 | ▽ 锥石类  |
| ⊖ 腹足类  | ⊖ 棱管壳类  | ⊖ 似牙形类 |
| ⊖ 喙壳类  | ⊖ 织金钉类  | × 海绵动物 |
| ○ 藻类   |         |        |

图 3-28 早寒武世梅树村期沉积环境与小壳动物空间分布图

Fig. 3-28 Sedimentary environment and spacial distribution of small shelly fossils in Early Cambrian Meishucunian

# 第四章 国际前寒武系-寒武系界线层型评述 及早寒武世地层划分和洲际对比

## 第一节 国际前寒武系-寒武系界线层型评述

国际前寒武系-寒武系界线层型和界线点的选择经国际前寒武系-寒武系界线工作组近 20 年的工作,原则几经变更,最后于 1990 年正式确定北美加拿大纽芬兰东南布伦(Burin)福裘角(Fortune Head)前寒武系-寒武系剖面为国际前寒武系-寒武系界线层型;界线点定于遗迹化石带 *Harlaniella podolica* 带与 *Phycodes pedum* 带之间。由于界线层型和界线点的划分主要依据遗迹化石,而“遗迹化石带不是生物地层学的一个可行的方法”(Cowie, 1985),并且缺乏洲际对比潜力,因而层型剖面从正式确定的那天开始,就没有起到前寒武系-寒武系界线层型的作用。

### 1. 历史的回顾

20 世纪 50 年代开始,随着近代地层学理论的发展,地层学研究进入地层的多重划分阶段。地层的年代划分要求全球各时代地层只能有一个层型和界线层型作为全球划分和对比的标准,其划分原则主要是以生物地层为依据。前寒武系-寒武系界线是各系界线中最重要的界线之一。因此,1972 年国际地层委员会(ICS)设置了前寒武系-寒武系界线工作组,并将选择国际前寒武系-寒武系界线层型列为国际地质对比计划(IGCP)第 29 项目开始活动。

前寒武系-寒武系界线工作组考察了西伯利亚(1973, 1987)、诺曼底和布列塔尼(1974)、乌拉尔山脉(1975)、乔治亚(1975)、摩洛哥前阿特拉斯山脉(1975, 1976)、南澳大利亚弗林德斯山脉(1976)、伊比利亚半岛(1976)、中国中部和南部(1978, 1982)、纽芬兰东南部(1979, 1987)、加拿大马更些山脉(1979)、美国内华达-加利福尼亚(1981)、威尔士和英格兰(1983)诸多剖面。在此期间举行了一系列重要会议,并在巴黎(1974)、剑桥(1978)、布里斯托尔(1983)和纽芬兰(1987)的全体委员会会议上作出了一系列重要决议。

1974 年在巴黎会议上决议:“界线点选择的任何一个地层层序必须是海相,并尽可能是连续、单相层序。选择的指导方法是生物地层学,但也应当利用一切可能的对比方法”。在这次会上,工作组就确认在前寒武系-寒武系界线层型中,“埃迪卡拉型动物群是前寒武纪的,而 olenellid-fallotaspid 三叶虫动物群是寒武纪的”(Cowie and Rozanov, 1974; Cowie, 1985)。1978 年在剑桥会议上,工作组进一步决定:“前寒武系-寒武系界线应大致置于由多种具硬壳化石在岩层中的出现附近标志着演化的年代地层单元的底部”。会议强调,“界线层型点一经确定后就固定保存于岩层之中,不管将来在界线点上、下层位中是否发现新的化石资料都保持不变”(Cowie, 1985, 1978a, b)。1983 年布里斯托尔会议上,将剑桥会议上的界线划分原则作了更具体的规定:“界线层型尽可能定在可行的具有

良好对比潜力的已知多种带壳化石最低出现点附近”。这次会议上对全球前寒武系-寒武系界线层型(候选)剖面 and 点进行了较详细的讨论和分析,最后确定西伯利亚东部阿尔丹河中游乌拉罕-苏鲁古尔剖面、加拿大纽芬兰东南部布伦半岛剖面和中国南部云南晋宁梅树村剖面三条剖面作为进一步考虑的候选剖面,每一剖面各提出两点,即 A 点和 B 点作为选择的界线点(Cowie, in Cowie and Brasier eds., 1989)。

### (1) 纽芬兰界线层型(候选)

“B”点:查佩尔岛组(Chapel Island Formation)第 4 段含较多具壳生物灰岩之底,位于加拿大纽芬兰福裘向斜西北侧福裘角。

“A”点:查佩尔岛组之底下即“古生代型”多种遗迹化石稍下,纽芬兰布伦半岛格兰达(Grand)滩头。

### (2) 西伯利亚界线层型(候选)

“B”点:西伯利亚雅库茨克阿尔丹河乌拉罕-苏鲁古尔剖面第 8 层底。

“A”点:同上剖面第 8 层底之下 0.2m 一处古地磁倒转处,即第 7 层中部。

### (3) 中国云南梅树村界线层型(候选)

“B”点:梅树村剖面第 7 层底,即 I, II 小壳化石带之间。

“A”点:梅树村剖面第 1 层底,即 I 小壳化石带之底。

工作组在确定出以上候选剖面 and 界线候选点之后,接着进行了一系列投票推选活动。1983 年 9 月对俄罗斯乌拉罕-苏鲁古尔剖面进行表决,其结果以 9 票反对,7 票赞成,3 票弃权而被否决(Cowie, 1985)。而纽芬兰布伦半岛剖面当时尚不能提供正式材料而弃权。1983 年 12 月界线工作组对中国梅树村剖面进行通讯表决,结果以近 80% 的压倒多数通过为国际前寒武系-寒武系界线层型,界线点为“B”点。随后于 1984 年 6 月通过工作组主席 Cowie 将梅树村提案决议提交国际地层委员会秘书长,并于同年 8 月在莫斯科会议上进行讨论。莫斯科会议上寒武纪分会以 10 票赞成,3 票反对获得通过;在前寒武纪分会上一致通过。这一提案在进一步提交国际地层委员会(ICS)表决时被搁置起来,地层审定委员会大多数人同意将此提案延期表决。此时已有人再次提出强调遗迹化石作为研究前寒武系-寒武系界线的主要生物依据,同时也强调小壳化石的意义(Cowie, 1985)。

1987 年加拿大纽芬兰召开的“遗迹化石、小壳化石及前寒武系-寒武系界线讨论会”上的主要议题就是讨论用遗迹化石进行全球对比的前景(Cowie, in Cowie and Brasier eds., 1989)。会上许多成员反复强调遗迹化石明显受沉积环境限制,遗迹化石带不是生物地层学研究中的一个可行的方法,缺乏大区域对比潜力。

1989 年在 Cowie 和 Brasier 所编辑的《前寒武系-寒武系界线》一书中,Conway Morris 正式提出了以“古生代型”遗迹化石作为划分纽芬兰布伦半岛剖面前寒武系-寒武系界线点的主要生物依据(Conway Morris, 1989c)。1990 年 10 月由前寒武系-寒武系界线工作组选举委员进行通讯投票,并以简单多数票仓促通过纽芬兰布伦半岛福裘角剖面为前寒武系-寒武系界线层型,1992 年 2 月由国际地科联执委会正式批准,界线点置于查佩尔

岛组第二段底界之上 2.4m 处, 即遗迹化石 *Harlaniella podolica* 带与 *Phycodes pedum* 带之间, 这样一度被国际上公认的最理想的全球寒武系界线地层层型剖面中国梅树村剖面落选, 变为地区性层型。

## 2. 国际前寒武系-寒武系界线层型和地区层型剖面

### (1) 纽芬兰布伦半岛界线层型

位于加拿大纽芬兰 Avalon 一带的前寒武系-寒武系剖面没有一条系统的完整的剖面, 因此布伦半岛的前寒武系-寒武系界线层型实际上是一条综合性剖面(图 4-1, 4-2)。

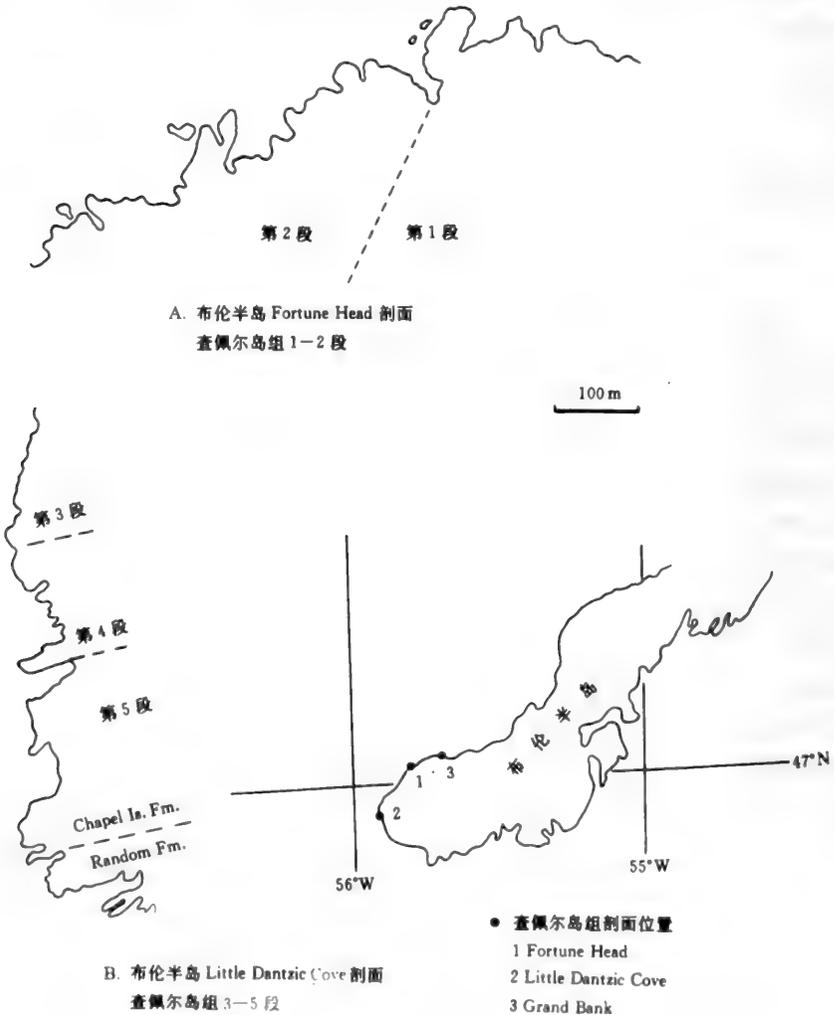


图 4-1 加拿大纽芬兰布伦半岛前寒武系-寒武系界线层型剖面位置图  
(引自 Conway Morris, 见 Cowie et al., 1989c)

Fig. 4-1 Location of Precambrian-Cambrian boundary stratotype section on Burin Peninsula, Newfoundland, Canada (after Conway Morris, in Cowie et al., 1989c)



上覆地层兰多姆组(Random Formation):白色石英砂岩,上部夹少量页岩。

查佩尔岛组:按岩性进一步划分为5段,1—2段以福裘角剖面资料,3—4段以 Little Dantzig 湾小溪剖面为依据(图4-1)。 厚约1020m

第5段:上部为红色中—厚层含云母砂岩为主,粉砂岩次之;下部为绿色薄—中层砂岩、粉砂岩。 厚178m

第4段:红色、绿色具生物搅动的泥岩、含黄铁矿泥岩和薄层结核状、层状灰岩,红色薄层含化石藻灰岩。在布伦半岛上部为厚层灰岩,产有丰富的小壳化石 *Aldanella attleborensis* (Shaler et Foerste), *Halkieria*, *Lapworthella*, *Formitcheila*, *Tiksitheca*, *Cambrotubulus*, *Coleoloides* 及直管螺类等。 厚85m

第3段:在福裘角界线层型剖面顶部由于出现断层,加之无对比标志层,故此段无完整厚度。在 Little Dantzig 湾,该组出露最厚为135m,因而估计该组厚不大于150m (Landing et al., 1988)。在福裘角剖面,该组岩性为绿色纹层状粉砂岩,含钙质结核,上部41m产少量小壳化石 *Ladatheca cylindrica*, *Aldanella attleborensis*, *Watsonella crosbyi* Landing 等。 <150m

第2段:上部为灰色、绿色薄至中层砂岩、粉砂岩,近顶部产“*Ladatheca*”和少量遗迹化石 *Planolites*, *Gordia* 等;下部为灰色、绿色薄—中层砂岩、粉砂岩,产丰富的遗迹化石。福裘角剖面底部2.4m,产 *Harlaniella podolica* Sokolov, *Gordia marina* Emmons; 距底界2.4m以上产 *Phycodes pedum* Seilacher, *Monomorphichnus*, *Conichnus*, *Helminthopsis*; 在 Grand Bank Head 剖面二段下部顶产 *Rusophycus avalonensis* Landing (Landing et al., 1988)。 厚430m

第1段:上部为灰色页状粉砂岩,下部为红色、绿色薄—中层砂岩、粉砂岩和页岩,间夹黑色页岩,产遗迹化石 *Harlaniella podolica*, *Gordia*, *Planolites* 等,近顶部产 *Sabellidites* 等,与下伏地层伦康泽组呈整合接触。 厚180m

下伏地层伦康泽组:上部为硅质碎屑砂岩、粉砂岩和泥岩,下部为砾石层,与下伏地层马里斯顿群(Marystown Group)酸性火山岩呈不整合接触。

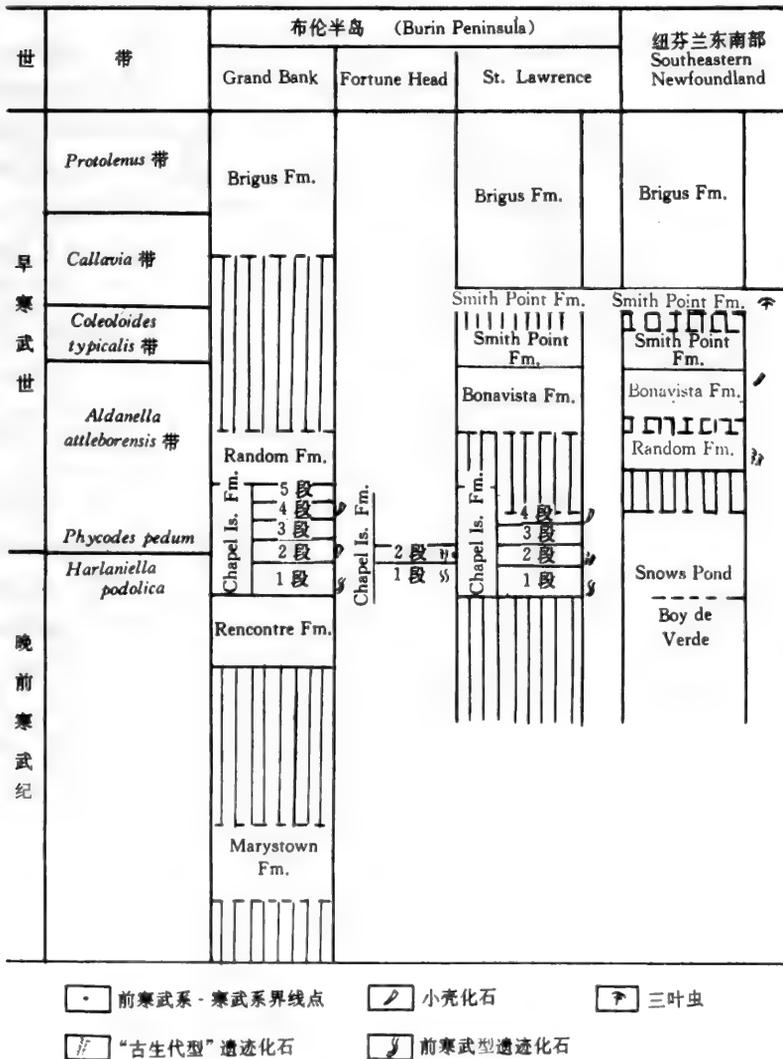
上述层型剖面,根据生物化石,下部建立了三个遗迹化石带,向上建立二个小壳化石带,即查佩尔岛组第1段和第2段底部2.4m为 *Harlaniella podolica* 遗迹带,从第2段底部2.4m开始为 *Phycodes pedum* 带,第2段上部为 *Rusophycus avalonensis* 遗迹带。<sup>①</sup> 查佩尔岛组第3段顶和第4段为 *Aldanella attleborensis* 小壳组合,史密斯峰组下部为 *Coleoloides typicalis* 小壳组合。史密斯峰组顶部开始产三叶虫 *Callavia* 等。

1990年界线工作组通过表决将前寒武系—寒武系界线层型确定在纽芬兰布伦半岛,界线段定在布伦半岛福裘角查佩尔岛组遗迹化石 *Harlaniella podolica* 带与 *Phycodes pedum* 带之间,即距查佩尔岛组第2段底界之上2.4m处(表4-1)。其理由,一是认为那里剖面厚度大,为一套未变质的沉积碎屑岩层,界线附近为连续沉积;二是该剖面一切关键的生物如埃迪卡拉动物群、小壳化石、三叶虫都有记录。其中遗迹化石丰富多样,可划分为三个遗迹带,第1带为前寒武纪类型的,2—3带为“古生代”类型的。上部小壳化石也包括了两个截然不同的组合,可与波罗的海地区、俄罗斯地台东部以及更远的地方进行对比。底界年龄值推定为540—550Ma (Cowie et al., 1989) 但层型剖面从确定之日起

① *Rusophycus avalonensis* 带与 *Phycodes pedum* 带未在同一剖面中出现

就受到许多专家反对。我们认为:首先,布伦半岛界线层型迄今没有一条完整剖面而是一条综合性剖面,福裘角一带查佩尔岛组第3段出露不全,厚度最大为135m(图4-1)。第二,以遗迹化石带来确定前寒武系-寒武系界线点的有效性一直受到怀疑,因为遗迹化石形成和保存强烈地受到沉积环境限制,缺乏洲际对比潜力;同时以遗迹化石带确定界线违背了界线工作组历来关于以小壳化石带为依据的决定,目前尚无充分理由否定小壳化石带在划分前寒武系-寒武系界线中的作用。第三,布伦半岛界线层型小壳化石出现层位高,分布局限、贫乏,而且遗迹化石 *Rusophycus avalonensis* 带,三叶虫 *Callavia* 与 *Harlaniella podolica* 带, *Phycodes pedum* 带并不在同一剖面中出现;同时,与北美、欧洲对比,布伦半岛地区三叶虫出现较晚,史密斯峰组中下部 *C. typicalis* 小壳化石组合可能相当于北美、欧洲广泛分布的 *Fallotaspis* 带的层位,但却缺乏目前被认为最老的三叶虫

表 4-1 纽芬兰布伦半岛前寒武系-寒武系界线层型划分表(引自 Conway Morris, 1989c; Landing et al., 1988)  
 Table 4-1 Stratigraphic subdivisions for the Precambrian-Cambrian boundary stratotype on Burin Peninsula, Newfoundland(after Conway Morris, 1989c; Landing et al., 1988)



*Fallotaspis* 等化石。另外,岩层变质不适宜作古地磁测定。因此,我们认为布伦半岛前寒武系-寒武系界线层型和界线点只能作为北美、欧洲地区性层型和界线点。

## (2) 云南东部前寒武系-寒武系界线地区层型

滇东上震旦统至下寒武统地区层型也是一条综合性剖面。由发育较好、出露完整、研究程度较高的梅树村剖面、会泽雨碌和大海剖面组成。其岩性由一套厚 400—500m 的碳酸盐岩-含磷岩-碎屑岩组成。上震旦统至下寒武统界线附近自下而上可划分为灯影组(包括顶部属早寒武世最早期的中谊村段和大海段)、筇竹寺组、沧浪铺组和龙王庙组,其上为中寒武统陡坡寺组或中泥盆统海口组所覆盖。

梅树村前寒武系-寒武系界线地区层型简要列述如下(罗惠麟等, 1982, 1984; 钱逸, 1983; 钱逸等, 1984; 邢裕盛等, 1984; 何廷贵等, 1988; Qian Yi, 1989; Qian Yi and Bengtson, 1989):

筇竹寺组:按岩性分为上、下两段。

上段(玉案山段):上部灰色、黄绿色页岩、粉砂岩,顶部夹细粒岩屑砂岩,产三叶虫 *Eoredlichia*, *Yunnanocephalus* 和高肌虫、腕足类、软舌螺等化石。下部深灰和灰黑色泥质石英粉砂岩、粉砂质页岩和碳泥质页岩,产 *Parabadiella* 和 *Mianxiandiscus* 等三叶虫和高肌虫、软舌螺和腕足类、软躯体蠕虫化石等,另有少量遗迹化石。 厚 72.4m

下段(石岩头段):灰、深灰、灰黑色薄—中层泥质粉砂岩、白云质石英粉砂岩夹粉砂质白云岩。底部有 0.4m 厚的结核状海绿石硅质磷块岩,产少量 *Hyolithellus* 和 *chancelloriids*, 近顶部有 0.2m 海绿石粉砂质白云磷质岩,其中含丰富的小壳化石,除软舌螺类、单板类外尚有 *Halkieria*, *Sinosachites*, *Tannuolina*, *Plagiogmus*, *Gordia*, *Lapworthella* 及开腔骨类等。中部产遗迹化石。 厚 54m

灯影组上部(渔户村组):按岩性进一步划分为 5 段。

第 5 段(大海段):下部为白云岩,上部深灰、灰黑色白云质灰岩、灰岩。产单板类、软舌螺类及 *Heraultipegma*, *Halkieria*, 开腔骨类,海绵骨针等。在梅树村剖面只保存 1.1m(罗惠麟等, 1982, 1984), 上部缺失。 厚 4—46.7m

第 4 段(中谊村段):为灰色、蓝灰色云基砂屑磷块岩,生物碎屑磷块岩夹砂质泥岩和磷屑砂屑白云岩条带,产丰富的小壳化石和遗迹化石。上部 1.7m(第 7 层)产 *Paragloborilus subglobosus* 等软舌螺类、单板类、腹足类、近骨状骨类及大量离散骨片 *Halkieria*、棱管壳类、开腔骨类及遗迹化石 *Rusophycus meishucunensis* Yin et al., *Didymaulichnus meittenensis* Young。下部(3—6 层)产大量小壳化石,以软舌螺类、*Anabarites trisulcatus* 等管状化石为主,少量单板类、棱管壳类、似软舌螺类和原牙形类 *Protohertzina anabarica* 等。遗迹化石类型较多,有 *Sellaulichnus*, *Chondrites*, *Cavaulichnus* 和 *Phycodes pedum*, *Oldhamia* 等(罗惠麟等, 1982, 1991; 殷继成等, 1993)。 厚 11.6m

第 3 段(待补段):为灰、灰黑色薄—中厚层含磷硅质白云岩、含磷硅质岩、粉砂质页岩,产少量似软舌螺和藻类化石。此段在梅树村界线地区层型剖面上缺失,但在晋宁王家湾、清水沟,会泽雨碌和大海等剖面上均有出露,厚度约 10m 至 75m(何廷贵等, 1988; 钱逸等, 1996)。 厚 10—56m

第 2 段(白岩峭段,包括小歪头山段):浅灰、灰白色薄—厚层微至细晶白云岩夹假鲕状白云岩、藻白云岩及砂质白云岩、粉砂质页岩、硅质层或硅质条带,上部夹不规则燧石条带

或结核。顶部 4—10m 含少量似软舌螺类等化石。

厚 187m

第1段(旧城段):灰、灰紫色薄—中层泥质白云岩、白云质粉砂泥岩和泥质粉砂岩,产遗迹化石。

厚 37m

云南雨碌剖面(何廷贵, 1989)和大海剖面(罗惠麟等, 1982; 钱逸等, 1996)的岩性和生物分布见图 3-2 和 3-3, 本节不再列述。但这里必须强调这两条剖面上待补段和大海段的特征:①在灯影组白云岩峭段和中谊村段之间,发育一套黑色层状硅质岩和含磷硅质白云岩不等厚互层,厚度 60—75m,即待补段。此段顶部白云岩含磷逐渐增多,偶见含磷条带,向上逐渐过渡为夹薄层磷块岩的中谊村段。两段岩性界线难于划分,说明为连续过渡沉积。待补段顶部含磷白云岩(风化后磷质富集常呈黄褐色白云质磷块岩)中,即开始出现 *Anabarites trisulcatus* 和软舌螺类等化石。②大海段在两条剖面厚达 35—46m,下部 10m 左右为白云岩,上部为深灰、灰黑色白云质灰岩和泥质瘤状灰岩夹泥质条带。瘤状灰岩产丰富的多门类小壳化石,尤以 *Heraultipegma yunnanensis* 为特征。

上述云南东部前寒武系-寒武系地区层型在三叶虫出现之前建立了 4 个小壳化石组合带(钱逸, 1978; 罗惠麟等, 1982, 1984; Qian Yi and Bengtson, 1989; 何廷贵等, 1988; 钱逸等, 1996) 和 4 个遗迹化石组合带(罗惠麟等, 1984; 殷继成等, 1993)。这样,梅树村界线地区层型划分如表 4-2。

上述云南梅树村剖面为海相碳酸盐岩-磷块岩相,含有丰富的小壳化石和遗迹化石,有利于全球性对比,且剖面所在地交通方便、四季如春、易于到达(Cowie, 1985)。因此,在 1985 年界线工作组通信表决中曾以绝对优势的多数通过将梅树村剖面作为全球前寒武系-寒武系界线层型,“B”点为界线点,其年龄值为 597Ma(罗惠麟等, 1991)。Cowie (1985), Conway Morris (1987) 等认为,梅树村剖面由白云岩和磷块岩组成,而这些岩性经常具有许多间断,因而使含动物群的某一层位可能缺失,其生物组合可能是混合成因,导致对比困难。此外,还提出化石鉴定属种过多或只显示保存特征而非真正分类学上的特点,因此提供了一个对比的假象,甚至提出遗迹化石分带不是生物地层学的一个可行的方法(Cowie, 1985)。钱逸(Qian Yi, 1989)则认为前寒武系与寒武系界线也就是显生宙和元古宙的界线。这样大的地质界线,必须考虑在寒武纪多门类带壳动物爆发式的辐射演化点和骨骼生物矿化的突破点上,而决不能确定在生物演化上有连续性的第一、二带之间,因此,他认为最古老的小壳化石组合首次出现即 3 层之底作为寒武纪的底界标志是最适宜的。实际上通过遗迹化石的对比,纽芬兰前寒武系与寒武系界线层型的界线点就与此点相当。

经反复研究和区域对比,梅树村剖面是存在两次较为明显的沉积间断。第一次发生在 2 层与 3 层之间,导致晋宁梅树村剖面灯影组待补段硅质岩层的缺失。据 1995 年钱逸、蒋志文、何廷贵、朱茂炎联合考察结论,2 层顶磷质条带中的小壳化石及 *A. trisulcatus* 系 3 层沉积时沿侵蚀面向下渗漏形成。第二次发生在 8 层与 9 层之间,导致梅树村剖面缺失第五段(大海段)中上部,筲竹寺组直接覆盖于大海段底部白云岩之上(何廷贵等, 1988; 何廷贵, 1989; 殷继成等, 1993; 钱逸等, 1996)。根据会泽雨碌、大海等发育完整的界线剖面的生物地层单位的划分与对比,第 1 次沉积间断较短,上下层(1—2 层到 3—6 层)均为 *Anabarites-Protohertzina* 带,说明未缺失生物带。第二次间断时间较长,致使广布于滇东北、川西和陕南等地区的大海段上部 *Heraultipegma yunnanensis* 带

表 4-2 云南东部前寒武系-寒武系界线地区层型划分表  
 Table 4-2 Stratigraphic subdivisions for the regional Precambrian-Cambrian boundary stratotype in eastern Yunnan

| 年代地层单位 |      | 岩石地层单位                                           |                                                                  |      |             |      |      |
|--------|------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------|-------------|------|------|
| 统      | 阶    | 带或组合带                                            | 梅树村                                                              | 王家湾  | 箬竹寺         | 雨碌   | 大海   |
| 下寒武统   | 箬竹寺阶 | 小壳化石组合带                                          | 遗迹组合带                                                            | 三叶虫带 |             |      |      |
|        |      | <i>Rhombocorniculium-Microcormus</i> 组合带         | <i>Eoredlichia-Parabadiella-Mianxiantaniscus</i>                 |      | 上段          | 上段   | 上段   |
| 下寒武统   | 梅树村阶 | <i>Lapworthella-Tannuolina-Sinosachites</i> 组合带  | <i>Plagiogmus-Protopalaeodictyon-Taphrohelminthopsis</i> 组合带     |      | 下段          | 下段   | 下段   |
|        |      | <i>Heraulitegma</i> 组合带                          | <i>Rusophycus cardiopetalus-Didymaulichmus-Dimorphichmus</i> 组合带 |      | 下段          | 下段   | 下段   |
|        |      | <i>Siphonomuchites-Paragloborutilus</i> 组合带      | <i>Phycodes-Sellaulichmus</i> 组合带                                |      | 5段 8层 7层    | 5段   | 5段   |
|        |      | <i>Anabarites-Protohertzina-Arthrochites</i> 组合带 |                                                                  |      | 4段 B 3-6层 A | 4段 B | 4段 B |
| 上震旦统   | 灯影峡阶 |                                                  | <i>Bilimlichmus-Palaeopascichmus-Plamolites</i> 组合带              |      | 以下未出露       | 3段   | 3段   |
|        |      |                                                  |                                                                  |      | 1-2层        | 2段   | 2段   |
|        |      |                                                  |                                                                  |      | 1段          | 1段   | 1段   |

缺失。至于第7层属风暴沉积的介壳磷块岩,厚度变化较大,生物混合,但与邻区对比,基本上代表了 *Siphogonuchites-Paragloborilus* 带的生物面貌,说明搬运距离较近,反映了当时附近海域生物组合特征。沉积相分析“B”点(7层与8层分界点)上下也是连续沉积。此外该剖面筇竹寺组上段底部开始出现了古地中海-南太平洋区(南欧、南亚和南澳地区)最古老三叶虫带 *Parabadiella*(或 *Abadiella*)。综上所述,梅树村震旦系-寒武系界线地区层型结合大海、雨碌参考剖面具有优于布伦半岛界线层型的独特条件,它既有大量的小壳化石和丰富多彩的遗迹化石,又有最古老的三叶虫带,乃是南太平洋区和古地中海地区的典型代表。因而,界线点的确定和下寒武统划分主要是以小壳化石组合为依据,又以遗迹化石组合为补充(罗惠麟等,1984),这些条件更有利于进行全球性对比。小壳化石群的复杂多样是客观事实,至于对梅树村剖面上小壳化石属种鉴定过多和分类上的混乱等问题,正如 Brasier 在 1990 年俄罗斯新西伯利亚召开的第三次国际寒武系讨论会上所提出的“钱逸和 Bengtson 的专著已经扭转了这种情况”。正因为如此,我们对既然怀疑“遗迹化石带并不是生物地层学的一个可行的方法”(Cowie,1985),而最后又以遗迹化石带为依据而选定纽芬兰布伦半岛福裘角剖面为前寒武系-寒武系界线层型甚感费解。

### (3)西伯利亚乌拉汉-苏鲁古尔地区层型(图 4-3)

东西伯利亚阿尔丹河一带前寒武系-寒武系界线剖面由下而上分为三组,即尤多姆组(Yudoma Formation)(包括顶部涅马基特-达尔丁层)、杂色岩组和土莫杜尔组(Розанов и др.,1969)。尤多姆组为一套白云岩沉积,产叠层石和微古植物,属文德系,在阿尔丹东南 100km 的 Gonam 剖面,尤多姆组顶部有与阿纳巴尔地区相似的涅马基特-达尔丁层,并产有 *Anabarites*, *Protohertzina* 等小壳化石。Missarzhevsky (1982)将这段含最古老小壳化石组合的地层命名为马内凯阶(Manyaikan)。杂色岩组成为一套厚度不大的红色灰岩层,产丰富的古杯类及小壳化石,属下寒武统托莫特阶。土莫杜尔组产有 *Fallotaspis* 和 *Protofallotaspis* 等最古老的三叶虫化石而属阿特达班阶。

乌拉汉-苏鲁古尔界线地区层型共出露 13 层,总厚 27.05m(Розанов и др.,1969; Cowie and Glaessner, 1975),层序如下:

#### 杂色岩组

13. 红色泥灰岩。产 *Dokidocyathus regularis* Zhuravleva 等古杯类、软舌螺类等小壳化石。
12. 灰、粉红、浅绿色不等粒灰岩,局部白云岩化。产大量古杯 *Aldanocyathus sunnaginicus* Zhuravleva 等生物礁、软舌螺、腹足类、似软舌螺类及其生物壳屑等。 3.2—5.0m
11. 灰带浅红色有时显浅棕褐色白云岩。在个别透镜体和夹层中见壳屑和海绿石。 0.2m
10. 灰、带浅红色白云岩夹碎屑岩和叠层石白云岩,产微体植物 *Nubecularites abustus* Zhuravleva 及软舌螺、腕足类等小壳化石。 0.3m
9. 浅黄色微—细粒白云岩,局部空洞发育,与下伏 8 层或 7 层为假整合接触。 0.7m
8. 灰色海绿石、硅质、生物介壳混杂的钙质砂岩、不等粒白云岩,呈透镜状或不规则层状产出,沿走向分布不稳定,或有或无,产丰富的小壳化石,古杯化石 *Aldanocyathus* cf. *virgatus* Zhuravleva, *Torelrella curvae* Missarzhevsky, *Laratheca nana* Missarzhevsky, *Tiksitheca licis* Missarzhevsky, *Egdetheca aldanica* Missarzhevsky,

*Hyolithellus tenuis* Missarzhevsky, *Sunnaginia imbricata* Missarzhevsky, *Halkieria* sp., *Chancelloria* sp. 等。与下伏层呈假整合接触(图 4-3)。

0.1—0.2m

尤多姆组

7. 浅灰、浅红灰色角砾状白云岩, 含陆源碎屑, 顶具冲刷面。中部产 *Cambrotubulus* 等小壳化石。

0.3m

6. 浅灰色微—细粒白云岩, 富含陆源碎屑。

0.6m

5. 浅灰色白云岩夹细碎屑白云岩透镜体。

0.3m

4. 浅灰、浅黄色白云岩。

0.8m

3. 浅灰色微—细粒、鲕状白云岩, 顶部见硅质结核。

1.1m

2. 浅灰色不等粒白云岩。

0.85m

1. 浅灰微带浅黄色白云岩。

0.3—0.5m

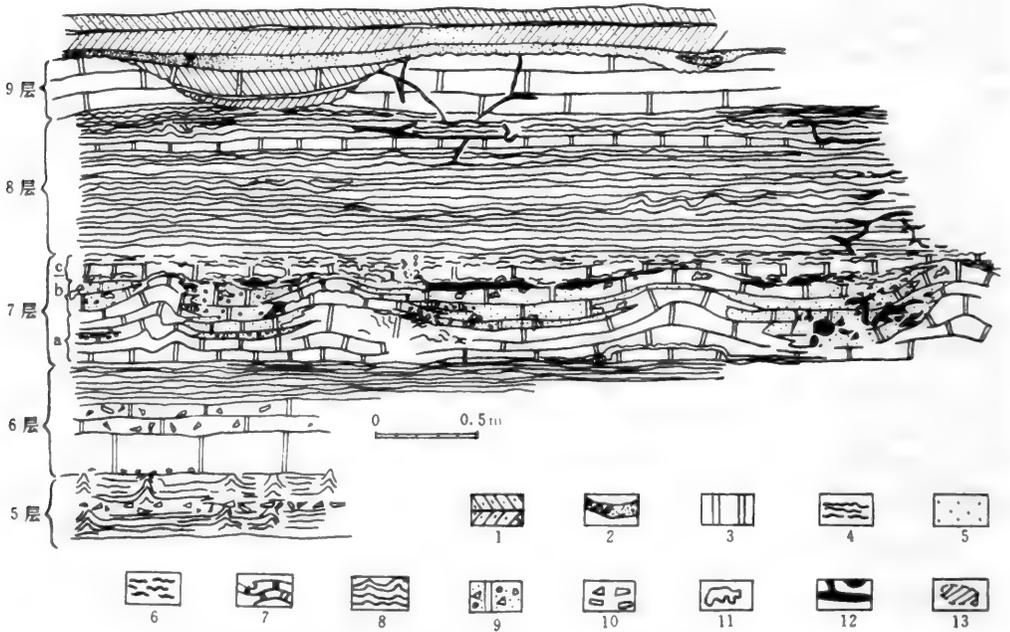


图 4-3 西伯利亚乌拉汗-苏鲁古尔露头局部素描图(引自 Khomentovsky and Karlova, 1993)

Fig. 4-3 Sketch showing part of the Ulakhan-Sulugur outcrop(after Khomentovsky and Karlova, 1993)

1. 灰质白云岩, 因含碎屑矿物的海绿石而呈浅绿色 (limey dolomite, greenish with clastic material and glauconite);
2. 富集海绿石的夹层 (interlayers enriched by glauconite);
3. 白云岩 (dolomite);
4. 显微条带状的泥质白云岩 (microstriped clayey dolomite);
5. 白云质砂岩 (dolomitic sandstone);
6. 微层状白云岩 (microbedded dolomite);
7. 核形石 (叠层石生物丘) [oncooids (stromatolitic bioherms)];
8. 微褶皱 (microfolds);
9. 白云质砂岩和砾岩-角砾岩 (dolomitic sandstone and conglobreccia);
10. 风暴砾岩-角砾岩 (storm conglobreccia);
11. 洞穴 (caverns);
12. 再沉积的海绿石砂岩 (redeposited glauconitic sandstone);
13. 海绿石砂岩透镜体的突出部分 (projecting part of glauconitic sandstone lens)

上述前寒武系-寒武系界线剖面,按 Розанов(1969)意见,1—7层属前寒武系(文德系)涅马基特-达尔丁阶,8—13层属下寒武统托莫特阶。其中8—12层为 *Aldanocyathus sunnaginicus-Tiksitheca licis* 带,而13层为 *Dokidocyathus regularis* 带。推荐界线“А”位于第7层距底0.15m处,即 *Cambrotubulus* 层之底,“B”位于第8层之底,即 *Aldanocyathus sunnaginicus-Tiksitheca licis*带之底。但由于界线点附近7—8层间存在明显的沉积间断,缺失了阿纳巴尔地区含 *Anabarites trisulcatus* 的涅马基特-达尔丁层。同时所推荐的界线点“А”和“B”仅距0.15m,两点间除发现 *Cambrotubulus* 管外,仅见少量 *Chancelloria* 的碎片,而 *Cambrotubulus* 属又不具备区域对比意义。此外,据1981年界线工作组野外考察时发现8层中的小壳化石系上覆12层(相距1.4m)沿裂隙向下渗漏堆积而成,因而对“B”点提出疑问。加上阿尔丹河一带交通不便,难于到达。所以在1983年9月的通讯表决中予以否决。但该剖面仍不失为西伯利亚地区前寒武系-寒武系地区层型的地位。

### 3. 国际前寒武系-寒武系界线层型、地区层型的对比

前述三条前寒武系-寒武系界线层型、地区层型实际上是代表了全球三种不同生物地理区和三种不同岩相类型的剖面。加拿大纽芬兰布伦半岛福裘角界线层型为碎屑岩-碳酸盐岩沉积类型,生物化石以遗迹化石为主,上部才出现少量小壳化石,未发现最古老三叶虫带。那是北美、北欧和中欧地区(北大西洋-太平洋区)前寒武系-寒武系界线剖面的代表。中国云南梅树村界线地区层型为碳酸盐岩-磷酸岩-碎屑岩沉积类型,生物化石从下而上不仅有大量的多门类的小壳化石,而且有丰富多彩的遗迹化石,上部最古老三叶虫带为 *Parabadiella* 带,是南欧、南亚、南澳等地区(南太平洋-古地中海区)界线剖面的典型代表。俄罗斯东西伯利亚乌拉汉-苏鲁古尔剖面为碳酸盐岩沉积类型,生物化石以古杯类、小壳等化石共生组合为特征,是西伯利亚地台区界线剖面的代表。由于在全球前寒武系和寒武系界线划分和对比中,生物地层学方法仍至关重要,起着主导作用,而三条界线层型、地区层型中只有梅树村剖面既有大量的小壳化石,又有丰富的遗迹化石,因而实际上成为层型、地区层型对比时最重要的关键剖面。

在具体对比时,选择具有对比潜力的生物化石十分重要。由于小壳化石和遗迹化石都受沉积环境的限制,遗迹化石还要强烈地受制于保存条件,因此小壳化石在前寒武系-寒武系界线层型、地区层型的对比中应予以特别重视。笔者认为,选择具有对比潜力的生物化石时,应将它们分为具全球对比意义的和具区域对比意义的两种。小壳化石中特征明显,而又具有全球对比能力的当属 *Anabarites trisulcatus* 和 *Rhombocorniculum*。前者在全球各大洲早寒武世早期沉积中都已陆续发现,而且绝大部分地区它仅分布于埃迪卡拉动物群与最早三叶虫带和节肢动物遗迹 *Rusophycus* 之间。尽管已发现在少数地区如澳大利亚南部(Bengtson et al., 1990) *Anabarites* 一些种已延续至早寒武世沧浪铺期,但并不能影响 *A. trisulcatus* 作为全球前寒武系-寒武系界线点对比依据。因为 *Anabarites* 在个别地区能延续到较新的地层中,这是生物学研究中常见的先驱分子和子遗分子问题。在当代地层学研究对地层多重划分理论中,这种现象正是反映了生物地层单位与年代地层单位的原则区别。*Rhombocorniculum* 属几乎在全球各地早寒武世筇竹寺期(阿特达班期)沉积中都有发现,而且许多地区都与最老三叶虫带共生,因此它也是

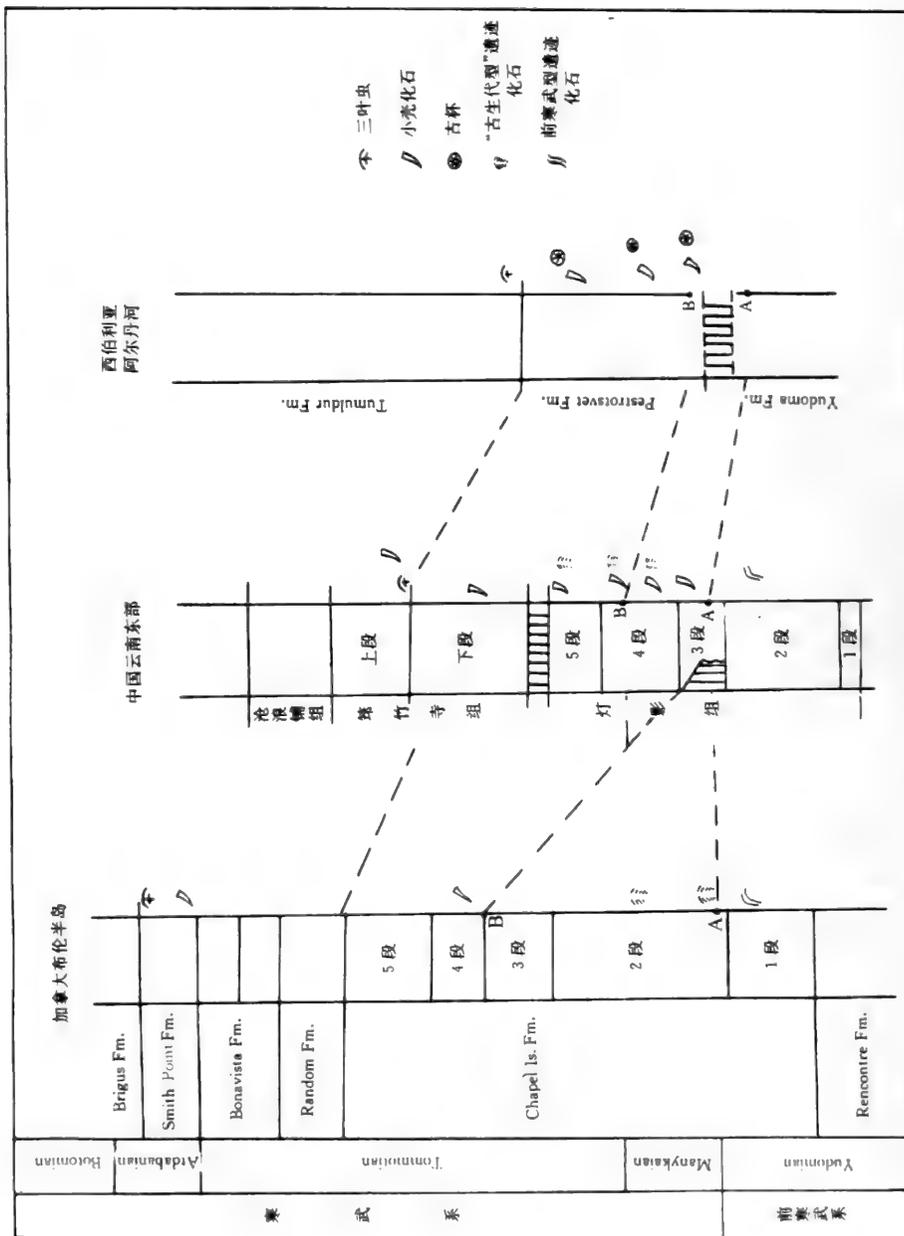


图 4-4 前寒武系-寒武系界线层型、地区层型及界线点对比图  
 Fig. 4-4 Correlation of the Precambrian-Cambrian boundary stratotype with the regional Precambrian-Cambrian boundary stratotypes and boundary points

全球早寒武世划分和对比的重要化石之一。

遗迹化石带虽然作为年代地层对比依据的有效性尚需进一步讨论, 因为遗迹化石的特殊性: 同种生物可以造成多种形态遗迹, 不同的生物又可造成相同形态的遗迹化石, 这是值得重视的。埃迪卡拉动物群中已含有节肢动物, 也能造成 *Rusophycus*, *Cruziana* 之类遗迹化石。但当前前寒武系-寒武系界线附近出现的 *Phycodes pedum* 普遍分布于北美、北欧早寒武世早期沉积, 而且在中国梅树村界线剖面第 4 层中也发现此种与 *A. trisulcatus* 共生。有趣的是在布伦半岛界线层型 *Phycodes pedum* 带之上为 *Rusophycus avalonensis* 带; 而梅树村剖面在 *Anabarites trisulcatus* 带之上的 *Paragloborilus subglobosus* 带中也发现大量的 *Rusophycus meishucunensis* (殷继成等, 1993)。由此可见, 遗迹化石 *Phycodes pedum* 和 *Rusophycus* 等在前寒武系-寒武系界线地层对比中也可用作参考。选择地区性特殊小壳化石带来进行大区域范围内的对比, 则相对容易得多。

据此, 全球性前寒武系-寒武系界线层型和地区层型对比如下(图 4-4, 4-5):

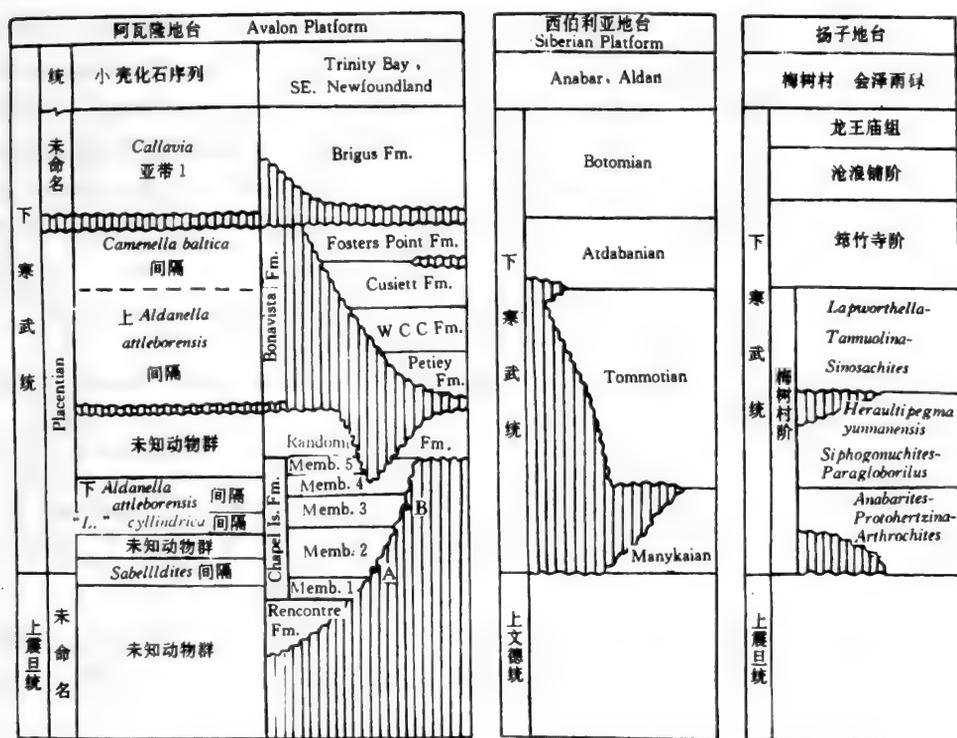


图 4-5 阿瓦隆地台、西伯利亚地台和扬子地台前寒武系-寒武系界线对比图

Fig. 4-5 Correlation of Precambrian-Cambrian boundary between Avalon, Siberian and Yangtze platforms

纽芬兰布伦半岛界线层型查佩尔组第二段距底 2.4m 以上开始产遗迹化石 *Phycodes pedum* 带, 共生的有 *Monomorphichnus* spp., *Helminthopsis tenuis* Ksiazkiewicz, *Skolithos annulatus* Howell 等, 其上为 *Rusophycus avalonensis* 带, 共生的 *Phycodes pedum*, *Gordia marina* Emmons, *Didymaulichnus lyelli* Rouault, *Treptichnus* sp. 等

(Narbonne et al., 1987)。而云南梅树村界线剖面 *Anabarites-Protohertzina-Arthrochites* 带也产古生代类型遗迹化石 *Phycodes pedum*, 共生的有 *Sellaulichnus meishucunensi* Jiang, *Gordia maeandrica* Jiang, *Didymaulichnus meittenensis* Young, *Helminthopsis* sp. 等, 称 *Oldhamia-Phycodes-Sellaulichnus* 组合带。其上 *Paragloborilus subglobosus* 带产遗迹化石 *Rusophycus* spp., *Monomorphichnus* spp., *Cruziana* sp. 等, 称 *Rusophycus-Dimorphichnus-Didymaulichnus* 组合带(殷继成等, 1993)。因此布伦半岛界线层型 *Phycodes pedum* 带应与云南梅树村层型 *Anabarites-Protohertzina-Arthrochites* 带进行对比, 而层型剖面 *Rusophycus avalonensis* 带相当于梅树村剖面 *Siphogonuchites-Paragloborilus* 带。层型界线点 *P. pedum* 带与 *R. avalonensis* 带分界点相当于梅树村界线点“A”, 即 *Anabarites-Protohertzina-Arthrochites* 带之底(图 4-1, 4-2)。

西伯利亚乌拉汉-苏鲁古尔界线地区层型与梅树村界线地区层型的对比, 由于都产有丰富的壳化石, 尤其是在邻近地区涅马基特-达尔丁层中产有 *Anabarites trisulcatus*, 因此, 该区涅马基特-达尔丁层应与梅树村界线地区层型 *Anabarites trisulcatus* 带对比。

西伯利亚地台吐莫杜尔组中产有最古老三叶虫带 *Profallotaspis* 带和 *Fallotaspis* 带, 属早寒武世阿特达班期, 应与梅树村剖面产 *Parabadiella* 带和 *Eoredlichia* 带的筇竹寺阶进行对比。这样位于 *Anabarites trisulcatus* 带与阿特达班阶之间的托莫特阶就相当于梅树村界线地区层型梅树村阶 *Siphogonuchites-Paragloborilus* 带至 *Lapworthella-Tannuolina-Sinosachites* 带。因此, 乌拉汉-苏鲁古尔界线地区层型界线“A”大致相当于梅树村

表 4-3 西伯利亚阿尔丹河流域前寒武系-寒武系界线地区层型划分表(引自 Cowie, 1989; Cowie and Glaessner, 1975; Landing et al., 1988)

Table 4-3 Stratigraphic subdivisions for the Precambrian-Cambrian boundary regional stratotype of Aldan watershed, Siberia(after Cowie, 1989; ; Cowie and Glaessner, 1975; Landing et al., 1988)

| 系 统 阶 |                                  | 年 代 地 层 单 位                         |                                                 | 岩 石 地 层 单 位                     |                    |                    |                    |                |                |
|-------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|
|       |                                  | 带 或 组 合 带                           |                                                 | 西 伯 利 亚                         |                    |                    |                    |                |                |
|       |                                  | 古杯或三叶虫带                             | 小壳化石带                                           | Ulakhan-Sulugur                 |                    | Gonam              |                    | Anabar         |                |
| 寒 武 系 | 下                                | Atdabanian                          | <i>Fallotaspis</i> 带<br><i>Profallotaspis</i> 带 |                                 | Tumuldur Fm.       | 泥质白云岩              | Tumuldur Fm.       | 泥质白云岩          | Medvezh'ys Fm. |
|       |                                  |                                     | Tommotian                                       | <i>Dokidocyathus lenaicus</i> 带 | <i>Majatheca</i> 带 | Pestrosvet Fm.     | 杂色泥质灰岩             | Pestrosvet Fm. |                |
|       | <i>Dokidocyathus regularis</i> 带 | <i>Lapworthella bella</i> 带         |                                                 |                                 |                    |                    |                    |                |                |
|       |                                  | <i>Lapworthella tortuosa</i> 带      |                                                 |                                 |                    |                    |                    |                |                |
| 统     | Manykaian                        | <i>Aldanocyathus sunnaginicus</i> 带 | <i>Tiksitheca licis</i> 带                       |                                 | B<br>A<br>白云岩      | Nemakit-Daldyn Bed | Nemakit-Daldyn Bed |                |                |
| 文 德 系 |                                  |                                     | <i>Anabarites trisulcatus</i> 带                 | Yudoma Fm.                      |                    |                    |                    |                |                |

界线地区层型界线点“A”，而“B”点 (*Aldanocyathus sunnaginicus*-*Tiksitheca licis* 带之底) 应与梅树村地区层型“B” (*Siphogonuchites-Paragloborilus* 组合带底界即 7 层底) 相当。根据布伦半岛前寒武系-寒武系界线层型界线点位置对比，乌拉汉-苏鲁古尔地区层型前寒武系-寒武系界线点应于“A”点，即 7 层中部(距底 0.15m 处)产 *Cambrotubulus* 处，在 Gonam 或阿纳巴尔等剖面上应位于涅马基特-达尔丁层产 *Anabarites trisulcatus* 带之底(表 4-3)。

下面，我们评论一下外国某些学者的意见：

Landing(1994, fig. 1) 发表文章讨论加拿大前寒武纪与寒武纪界线层型剖面与中、俄地区层型的对比问题。我们有两点不同意见：第一，中、俄前寒武纪与寒武纪界线层型剖面上各次间断究竟有多大？按照幕式沉积作用的观点，那就没有一个剖面是完全连续的。我们怀疑其有意或无意夸大中、俄剖面上的间断，竭力缩小加拿大剖面的间断。梅树村阶 II 组合带化石种类的突然增多，虽然不能排除沉积因素，但主要还是带硬部动物“大爆发”引起的。第二，对比上的重大错位。梅树村阶 I 组合带根本不可能与纽芬兰的 *Sabelidites cambriensis* 带，*Ladatheca cylindrica* 带和 *Watsonella crusbyi* 带相当。梅树村阶 II 组合带也不能与 *Sunnaginia imbricata* 带和 *Camenella baltica* (Bengtson) 带对比，后两个带只能与梅树村阶 III 带和筇竹寺阶下部(西篙坪动物群)相比。另外，纽芬兰阿瓦隆地区的早寒武世最低的三叶虫带 *Callavia kroeggeri* 带和 *Acidiscus-Protolenus hololeyi* 带，据我国三叶虫专家的意见，根本不能与我国筇竹寺期的古老三叶虫带相比，而只能与沧浪铺期的相比。

## 第二节 下寒武统的划分和国内外的对比

### 1. 中国下寒武统的划分

据全球寒武纪底部出现的最古老小壳化石组合以及参考纽芬兰布伦半岛前寒武系-寒武系界线点，中国云南梅树村界线地区层型剖面上震旦系-寒武系的界线点应在 *Anabarites-Protohertzina-Arthrochites* 组合带之底。这样以湖北宜昌震旦系层型、云南梅树村震旦系-寒武系界线层型、云南筇竹寺下寒武统层型，参考云南会泽雨碌上震旦统至下寒武统年代地层单位划分为 6 阶 10 带。其中下寒武统因化石多、分布广、研究程度高而划分为 4 阶 8 个时间带；而上震旦统中动物化石少，分布局限、研究程度差，当前只暂时划分为 2 阶 2 个组合带(项礼文等，1981；殷继成等，1993)，详细划分见表 4-4。

### 2. 对比

前寒武系-寒武系界线层型和地方层型一经确认，全球其他地区的前寒武系-寒武系界线在理论上均应以此为标准进行划分和对比。全球层型、地区层型的三个界线点可以看成是等时的，但由于各地沉积环境对生物的制约作用，生物发育程度差异很大，即使在同一生物地理区内，由于生物发生与迁移作用，出现生物地层单位在各地的顶、底界线也不具等时性，因而各地区界线点或各级年代地层单位顶、底界线没有必要也不可能进行准确的划分和对比。所以我们认为在层型、地区层型确定后，就应重视各地区岩石地

层单位的研究,不宜过分强调各地典型剖面都要确定其各种年代地层单位的界线点。因为即使能找到与层型或地区层型相同生物带的相似分界点,此点也不一定就与层型或地区层型的界线点等时(赫德伯格,1979;全国地层委员会,1982)。在本节对比中侧重于依据生物地层单位对国内各地区同期岩石地层单位的时限进行讨论和对比。

表 4-4 中国南方上震旦统至下寒武统划分  
Table 4-4 Upper Sinian—Lower Cambrian subdivisions in southern China

| 系    | 统  | 阶    | 带 或 组 合 带                                        |                              | 组                                    |    |   |    |      |
|------|----|------|--------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|----|---|----|------|
| 寒武系  | 下统 | 龙王庙阶 |                                                  | <i>Redlichia chinensis</i> 带 | 龙王庙组                                 |    |   |    |      |
|      |    | 沧浪铺阶 |                                                  | <i>Palaeolenus</i> 带         | 沧浪铺组                                 |    |   |    |      |
|      |    | 筇竹寺阶 | <i>Rhombocorniculum cancellatum</i> 带            | <i>Eoredlichia</i> 带         | 筇竹寺组                                 | 上段 |   |    |      |
|      |    |      | <i>Rhombocorniculum insolutum</i> 带              | <i>Parabadiella</i> 带        |                                      |    |   |    |      |
|      |    | 梅树村阶 | <i>Lapworthella-Tannuolina-Sinosachites</i> 组合带  |                              | 灯影组                                  | 下段 |   |    |      |
|      |    |      | <i>Heraultipegma yunnanensis</i> 带               |                              |                                      |    |   |    |      |
|      |    |      | <i>Siphogonuchites-Paragloborilus</i> 组合带        |                              |                                      |    |   |    |      |
|      |    |      | <i>Anabarites-Protohertzina-Arthrochites</i> 组合带 |                              |                                      |    |   |    |      |
|      |    | 震旦系  | 上统                                               | 灯影峡阶                         | <i>Paracharnia-Sinotubulites</i> 组合带 |    | 组 | 上段 | 白岩峭段 |
|      |    |      |                                                  |                              | 未名带                                  |    |   | 中段 | 旧城段  |
| 陡山沱阶 |    |      |                                                  | 下段                           | 东龙潭段                                 |    |   |    |      |
|      |    |      |                                                  |                              | 陡山沱组                                 |    |   |    |      |
| 下统   |    |      |                                                  | 南沱组                          |                                      |    |   |    |      |

(1) 国内地层对比(表 4-5)

近 20 年来,中国各大区寒武系下部都有小壳化石发现,扬子区寒武系下部梅树村阶已建立了四个小壳化石组合带,这些化石带程度不同地发现在云南灯影组中谊村段、大海段和筇竹寺组下段;在四川西部见于灯影组麦地坪段和九老洞组下段,北部见于灯影组磨坊岩段和郭家坝组下段。在湖北峡东区见于灯影组黄鳍洞段或岩家河段,湖南见于杨家坪组下段(泥沙岩段),在贵州西部见于灯影组戈仲伍段、冒龙井段,北部见于灯影组大岩段,目前除筇竹寺组下段和郭家坝组下段属梅树村晚期沉积外,其余层段均属梅树村早中期沉积。在华北地台,安徽寒武系下部雨台山组和猴家山组、河南寒武系下部辛集组、东北区吉林通化地区寒武系下部水洞组也都含小壳化石。根据其小壳化石面貌和参照共生的三叶虫,它们隶属早寒武世沧浪铺期无疑。上述地区的地层对比问题在国内意见已趋一致,但在扬子地台北缘部分地区,如陕南东部西乡灯影组杨家沟段、镇巴早寒武世灯影组小洋坝段(或“火烧店组”或灯影组西蒿坪段),再往东至湖北房县神农架地区灯影组西蒿坪段,在扬子地台东部边缘地区,如安徽下寒武统下部灯影组顶部和其上的冷泉王

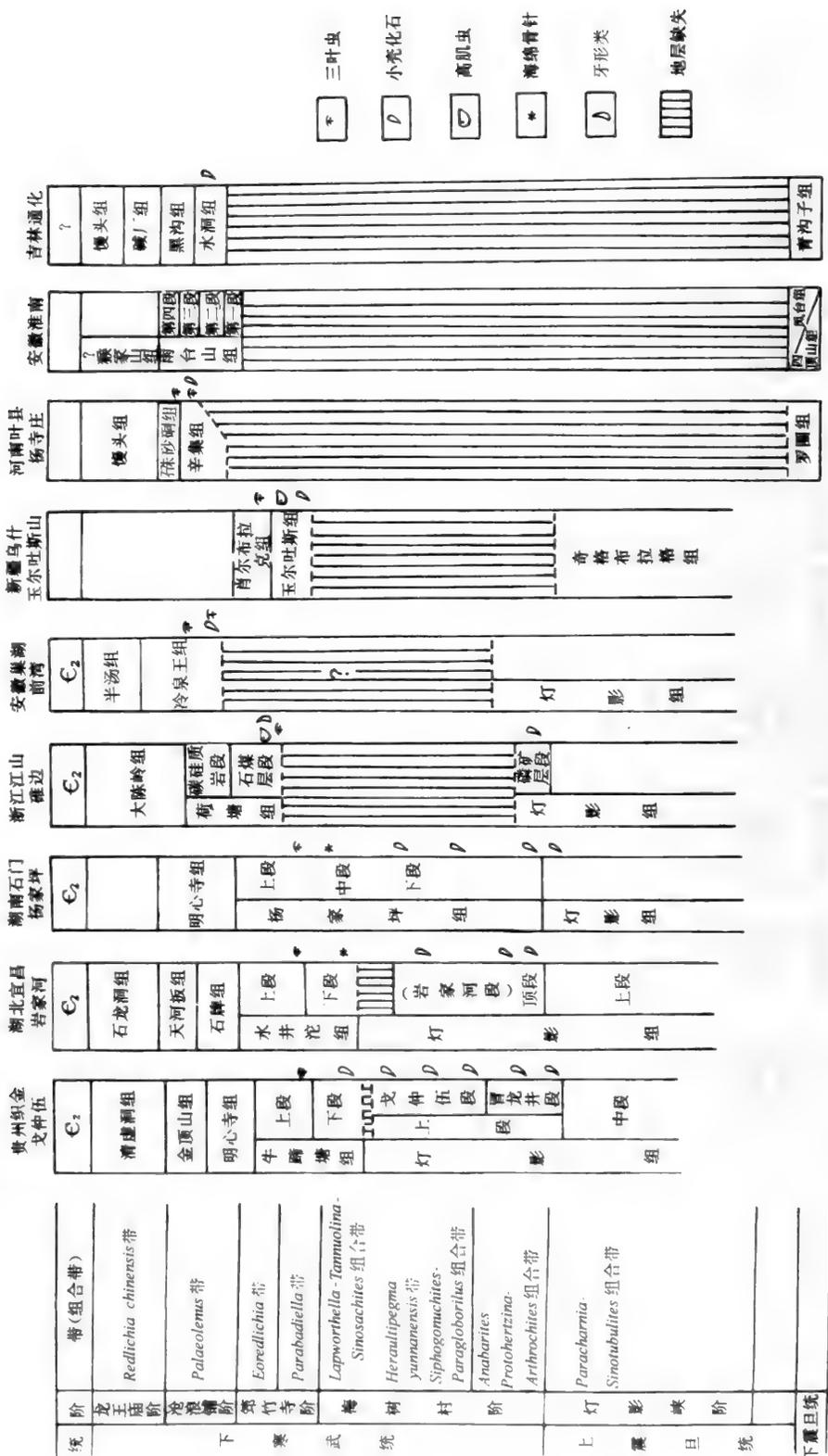
表 4-5a 中国下寒武统对比表(1)  
Correlation of Lower Cambrian strata in China (1)

| 统    | 阶    | 带(组合带)                                               |
|------|------|------------------------------------------------------|
| 下寒武统 | 梅树村  | <i>Redlichia chinensis</i> 带                         |
|      | 村    | <i>Palaeolemus</i> 带                                 |
|      | 阶    | <i>Eoredlichia</i> 带                                 |
| 寒武统  | 阶    | <i>Parabadiella</i> 带                                |
|      | 梅    | <i>Lapworthella - Tannuolina</i>                     |
|      | 阶    | <i>Sinosachites</i> 组合带                              |
| 上震旦统 | 灯影峡阶 | <i>Heraulipegma</i>                                  |
|      | 灯影峡阶 | <i>yunnanensis</i> 带                                 |
|      | 灯影峡阶 | <i>Siphononachites - Paragloborites</i> 组合带          |
| 下震旦统 | 灯影峡阶 | <i>Anabarites - Protohertzina - Arthrochites</i> 组合带 |
|      | 灯影峡阶 | <i>Paracharnia - Sinoubulites</i> 组合带                |
|      | 灯影峡阶 |                                                      |
| 云南晋宁 | 梅树村  | D <sub>2</sub>                                       |
| 云南昆明 | 筇竹寺  | D <sub>2</sub>                                       |
| 云南会泽 | 雨碌   | D <sub>2</sub>                                       |
| 四川峨眉 | 麦地坪  | E <sub>2</sub>                                       |
| 四川南江 | 砂滩   | E <sub>2</sub>                                       |
| 陕西宁强 | 宽川铺  | E <sub>2</sub>                                       |
| 陕西镇巴 | 小洋坝  | E <sub>2</sub>                                       |
| 陕西西乡 | 杨家沟  | E <sub>2</sub>                                       |
| 湖北房县 | 西蒿坪  | E <sub>2</sub>                                       |
| 统    | 阶    | 带(组合带)                                               |
| 下寒武统 | 梅树村  | <i>Redlichia chinensis</i> 带                         |
|      | 村    | <i>Palaeolemus</i> 带                                 |
|      | 阶    | <i>Eoredlichia</i> 带                                 |
| 寒武统  | 阶    | <i>Parabadiella</i> 带                                |
|      | 梅    | <i>Lapworthella - Tannuolina</i>                     |
|      | 阶    | <i>Sinosachites</i> 组合带                              |
| 上震旦统 | 灯影峡阶 | <i>Heraulipegma</i>                                  |
|      | 灯影峡阶 | <i>yunnanensis</i> 带                                 |
|      | 灯影峡阶 | <i>Siphononachites - Paragloborites</i> 组合带          |
| 下震旦统 | 灯影峡阶 | <i>Anabarites - Protohertzina - Arthrochites</i> 组合带 |
|      | 灯影峡阶 | <i>Paracharnia - Sinoubulites</i> 组合带                |
|      | 灯影峡阶 |                                                      |

|      |     |                |      |             |      |           |       |    |
|------|-----|----------------|------|-------------|------|-----------|-------|----|
| 云南晋宁 | 梅树村 | D <sub>2</sub> | 筇竹寺组 | 灯影组上部(渔户村组) | 1段   | 2段        | 4段    | 5段 |
| 云南昆明 | 筇竹寺 | D <sub>2</sub> | 龙王庙组 | 沧浪铺组        | 筇竹寺组 | 灯影组       | 以下未出露 | 5段 |
| 云南会泽 | 雨碌  | D <sub>2</sub> | 筇竹寺组 | 灯影组上部(渔户村组) | 1段   | 2段        | 3段    | 4段 |
| 四川峨眉 | 麦地坪 | E <sub>2</sub> | 龙王庙组 | 沧浪铺组        | 九老洞组 | 灯影组(洪椿坪组) | 上段    | 中段 |
| 四川南江 | 砂滩  | E <sub>2</sub> | 孔明洞组 | 阎王碛组        | 仙女洞组 | 郭家坝组      | 灯影组   | 上段 |
| 陕西宁强 | 宽川铺 | E <sub>2</sub> | 孔明洞组 | 阎王碛组        | 仙女洞组 | 郭家坝组      | 灯影组   | 上段 |
| 陕西镇巴 | 小洋坝 | E <sub>2</sub> | 石龙洞组 | 天河板组        | 石碑组  | 水井沱组      | 灯影组   | 上段 |
| 陕西西乡 | 杨家沟 | E <sub>2</sub> | 仙女洞组 | 郭家坝组        | 水井沱组 | 灯影组       | 上段    |    |
| 湖北房县 | 西蒿坪 | E <sub>2</sub> | 石碑组  | 水井沱组        | 灯影组  | 上段        | 中段    | 下段 |

表 4-5b 中国下寒武统对比表(2)  
Table 4-5b Correlation of Lower Cambrian strata in China (2)



组下部,浙西寒武系下部灯影组顶部磷矿层段和荷塘组底部石煤层段,还有新疆柯坪-阿克苏地区下寒武统下部玉尔吐斯组也都见大量的各类小壳化石,但其时代归属尚有较大的争议。

### 1) 关于扬子区震旦系-寒武系界线上下一些岩石地层单位的划分、命名及时代

随着中国震旦系-寒武系界线的深入研究,华南扬子区各地在界线上下先后发现了不同丰度的最早期具硬体的后生动物微体化石。产微小硬体化石的地层,各地也纷纷单独划出命名了许多组或段,使界线上下岩石地层单位出现了一些重复命名,有的名称多次更换,曾引起地层划分对比的混乱;另外对一些组、段时代也有较大争论。本书为了使华南扬子区震旦系-寒武系界线上下岩石地层单位尽量统一,层序清楚,符合岩石地层单位命名原则,建议:

① 将扬子区上震旦统陡山沱组之上、筇竹寺组及其相当层位(九老洞组、郭家坝组、牛蹄塘组、水井沱组、荷塘组等)之下的一套碳酸盐岩沉积统一称为灯影组,为跨上震旦统-下寒武统的一个岩石地层单位。

② 扬子区灯影组在纵向上各地岩性、岩相有所不同,但总的可划分四个岩性段。唯滇东第四岩性段划分较细,可进一步细分为三层。考虑到灯影组分段较清楚,不宜以上、下段或一、二、三、四段称之,可以以各地建段剖面地名命名,或下、中、上、顶部段名称之。

③ 川西、滇东下寒武统筇竹寺组各地可进一步划分为下、上两段,没有必要对段进行命名,尤其是滇东地区筇竹寺组下段多次易名,应用混乱的情况时有发生,而以下段称之一目了然(见表4-5)。我们对本区有争议的组、段名称的清理如下:

灯影组:是广泛分布于扬子地台区上震旦统陡山沱组之上、筇竹寺组之下的一套碳酸盐岩沉积。该组旧称灯影灰岩,1924年李四光命名于湖北宜昌市西石牌与莲沱之间的灯影峡。据岩性灯影组普遍划分为四段,其中第二段和第四段横向相变较大,故各地段名不同(见表4-5)。

峡区灯影组下段(蛤蟆井段)为蓝灰、灰白色块状白云岩;中段(石板滩段)为灰黑色中至薄层灰岩,含燧石结核及条带;上段(白马沱段)灰色块状白云岩,偶含燧石结核或条带;顶部(黄鳍洞段)为灰色白云岩、灰岩夹磷质、硅质条带,产丰富小壳化石。总厚度大于500m。

洪椿坪组:川西峨眉地区相当于灯影组的层位一度称为洪椿坪组。赵亚曾于1929年首次将分布于峨眉山洪椿坪一带的白云岩称为洪椿坪系,他把洪椿坪系与上覆地层九老洞系一起划为上震旦统,并与峡区灯影组对比。1933年,谭锡畴、李春昱将洪椿坪白云岩称为洪椿坪层,划归震旦系。1964年四川地质局207队才正式将峨眉山上震旦统下部碎屑岩命名为喇叭岗组,中上部白云岩称为洪椿坪组。1965年,何信禄<sup>①</sup>等在洪椿坪组顶部含磷层中发现软舌螺等化石后将顶部单独分出建立含磷组,时代寒武纪。以后,曹瑞骥等(1979)、钱义元等(1978)、殷继成等(1980)都将产小壳化石的含磷层称为麦地坪组。这样洪椿坪组仅限于喇叭岗组之上、麦地坪组之下的白云岩层,属上震旦统。何廷贵等(1983)考虑到麦地坪组基本岩性为白云岩夹含磷层,与下伏地层白云岩差异不大,据岩石

<sup>①</sup> 何信禄、董榕生、殷继成、丁莲芳,1965:四川峨眉震旦纪地层(摘要)。见:地质部华北地质科学研究所编辑,蜀县震旦系现场学术讨论会论文汇编,219页。

地层单位命名原则,将麦地坪组改为洪椿坪组最顶部的一个岩性段——麦地坪段,这样洪椿坪组又扩大到九老洞组之底。

本书认为,川西地区洪椿坪组虽与峡东灯影组建组剖面在岩性、岩相方面有所差异,尤其中段和顶段岩性差别较大,但基本上为一套碳酸盐岩台地沉积,近年来多数研究者普遍以灯影组一名代之。故本书将川西地区洪椿坪组改称灯影组。此组岩性进一步划分为下、中、上和顶部麦地坪段共四段,分别与峡区灯影组下、中、上段和黄鳍洞段进行对比。

渔户村组:滇东地区的渔户村组其含义已经多次改动,是一度使用比较混乱的岩石地层单位之一。渔户村组为刘鸿允、刘钰于1963年创建,建组剖面位于云南澄江渔户村。建组时,此组包括了何春荪(1942)命名的“上层紫色页岩系”和“渔户村含燧石石英岩系”,属寒武纪最早期,下伏地层为晚震旦世灯影组。之后此组划分混乱,其层位各家理解不一。罗惠麟等(1975)将“旧城紫色页岩”至梅树村含磷粉砂岩段(后改为八道湾段、石岩头段)统称为渔户村组;渔户村组即为中谊村组(包括现称为中谊村段和大海段的层位);曹仁关等(1980)、罗惠麟等(1980)将上震旦统下部称王家湾组,上部称灯影组。灯影组进一步划分为下段和上段,将上覆磷矿层和八道湾段统称为梅树村组,废弃渔户村组一名。直至1982年及其以后罗惠麟等才将八道湾段划入筇竹寺组,八道湾段以下地层至旧城紫色页岩底划为渔户村组,将原灯影组下段称东龙潭组,并进一步将渔户村组划分为五个岩性段。下部两段(旧城段、白岩峭段)属上震旦统,上部三段(小歪头山段、中谊村段和大海段)属下寒武统。罗惠麟等再次厘定的渔户村组实际上就是扬子区灯影组的中上部,与陕南地区灯影组沉积环境相同,属台地边缘相,故中部夹红色碎屑岩(旧城段或高家山段),上部为白云岩(白岩峭段或碑湾段),顶部为含磷岩系,与三峡地区灯影组中上部(石板滩段、白马沱段、黄鳍洞段)层位相当。钱逸等(1979,1984)认为渔户村组可以分成四段,第四段含磷粉砂岩段应归于筇竹寺组下段,第三段磷块岩段,应为中谊村段(包括大海段),第二段白云岩段属灯影组白岩峭段(包括小歪头山段),第一段紫色页岩段属灯影组旧城段。本书认为,滇东地区陡山沱组(王家湾组)之上、筇竹寺组之下的一套以白云岩为主的碳酸盐岩地层,不论在岩性上,还是在所含生物化石上都与峡东、陕南地区灯影组相似,尤其是与陕南宁强地区灯影组可以逐层对比,应称为灯影组,完全没有必要再划分为东龙潭组和渔户村组,尤其是渔户村组含义多次修改,甚为混乱,本书主张予以废弃。但考虑到滇东地区实际情况,可以将灯影组进一步划分为六段,即东龙潭段(原东龙潭组)、旧城段、白岩峭段、待补段、中谊村段和大海段。

旧城段:此段名源于王竹泉、何春荪1942年所命名的“旧城紫色页岩”,后来被罗惠麟(1975)改称为“旧城紫色页岩段”,任显等1979年改为旧城段。命名地点在澄江旧城附近。其岩性主要为灰黄、灰紫色薄层泥质白云岩夹少量黑色粉砂质页岩,厚48.6m。此段属晚震旦世碳酸盐岩台地边缘碎屑岩相沉积,与台地北部边缘沉积的高家山段相似。此段厚度由滇东向北,越接近台地中心越薄,相变为所谓蓝灰色泥岩、泥质白云岩段。

白岩峭段:此段源于王竹泉1945年命名的“白岩峭硅质灰岩层”,后被罗惠麟(1975)称为“白岩峭硅质白云岩段”,任显1977年改称为“白岩峭段”,命名地在云南嵩明官箐白云峭。建组剖面虽未详细描述,但此段层位在“旧城紫色页岩段”之上,“中谊村磷块岩段”之下。曹仁关等(1980)、罗惠麟等(1980)将此段层位划为灯影组上段上部,把顶部砂质白云岩划入梅树村组小歪头山段。罗惠麟等1982年又将此段称白岩峭段和小歪头山段

并置于渔户村组。何廷贵等(1988)根据岩石地层单位划分原则将旧城段以上,待补段(王家湾剖面)之下的全部白云岩(包括“小歪头山段”)划为白岩峭段。本书采用何廷贵等(1988)的划分方案,将滇东地区旧城段之上,待补段硅质岩层(王家湾剖面)或中谊村段(昆阳小歪头山剖面)之下一套灰色、灰白色白云岩夹少量白云质砂岩、砂质白云岩、泥质白云岩及硅质条带或结核统一称为白岩峭段。时代属晚震旦世。

**小歪头山段:**1980年罗惠麟等在云南梅树村西北小歪头山、晋宁王家湾偏头山等剖面上灯影组顶部含磷含燧石团块的砂质白云岩中发现少量小壳化石,并将含化石层位单独分出,以小歪头山剖面为代表命名了小歪头山段。建段时厚度为4.2m,1982年又在距此段顶7.4m处发现小壳化石,而将小歪头山段扩大到7.4m(罗惠麟等,1982)。最后又将底下移到距顶8.2m(邢裕盛等,1984)的一层泥质白云岩底。因此,小歪头山段明显是个生物地层单位。罗惠麟等(1980,1982)认为小歪头山段白云岩与滇东其他地区白岩峭段与中谊村之间的含磷硅质岩层为相变关系。何廷贵等(1988,1989)认为小歪头山段是根据生物地层而建立,底界曾随下部不断发现小壳化石而不断下移,说明此段岩性与下伏地层白岩峭段白云岩相似,两者难以划分,所以小歪头山段是白岩峭段的顶部,不必单独建段。如按此标准分段,白岩峭还可划分出若干段(曹仁关等,1980)。同时,何廷贵等(1988,1989)在分析了王家湾偏头剖面及其他代表剖面之后,认为小歪头山段与其上覆地层待补段(硅质岩层)是上、下层位关系,而不是相变关系。

**待补段:**系戈宏儒命名,代表剖面在云南会泽待补,1989年由何廷贵等正式描述。此段是滇东灯影组白岩峭段(包括小歪头山段)之上和中谊村段之下的一套硅质岩为主的地层,岩性为灰、灰黑色硅质岩,含磷硅质白云岩和含磷白云岩等。与上覆、下伏地层均为连续沉积,厚56m。此段在晋宁王家湾剖面上位于“小歪头山段”之上、中谊村段之下,产小壳、宏体藻等化石,时代属晚震旦世灯影峡期。在昆阳磷矿以及南北向隆起带缺失此段。

**中谊村段:**此段源于罗惠麟(1975)命名的中谊村磷块岩段。岩性为磷块岩夹粘土质页岩,顶部为1—2m厚的白云岩,为渔户村组的一个岩性段,时代为寒武纪。1980年罗惠麟等改称中谊村段,并与八道湾段合并而称梅树村组。1982年罗惠麟等又修改了中谊村段含义,将此段限定在梅树村剖面的下、上磷矿层夹泥岩层范围。将其上白云岩层划为大海段,属渔户村组。此后中谊村段一直代表滇东灯影组中上部磷块岩层位。命名剖面上此段厚11.6m,区域上厚几米至50m不等。

**大海段:**此段为罗惠麟等在1982年命名于云南会泽大海,代表滇东、滇东北地区灯影组顶部一套含磷碳酸盐岩地层,下与中谊村段为连续沉积,上与筇竹寺组呈假整合接触。其岩性下部为含磷隐-粉晶白云岩,中上部为灰岩夹少量页岩,产丰富小壳化石,尤以产 *Heraultipegma* spp. 为特征。建段剖面厚度38.3m。大海段在滇东北、川西南一带厚度较大,岩性稳定,下部为白云岩,中上部为灰岩。但在滇东昆明地区此段中上部普遍遭剥蚀而缺失,仅残存下部几米至十几米白云岩,王家湾晋宁磷矿东矿区及一些地带此段已荡然无存,中泥盆世海口组直接超覆于中谊村段磷块岩之上。

**八道湾段和石岩头段:**滇东地区早寒武世筇竹寺组按岩性可分为下段和上段。1982年之后被罗惠麟等分别命名为八道湾段(下段)和玉案山段(上段)。后又将八道湾段改为石岩头段。八道湾段源于罗惠麟(1975)命名的渔户村组梅树村含磷粉砂岩段。后又改为

梅树村组八道湾段(罗惠麟等,1980)。命名剖面位于昆阳磷矿八道湾,其岩性下部为黑色薄层含磷泥质石英粉砂岩,底部0.4m为含海绿石结核磷块岩及页岩;上部为灰、深灰色薄至中层泥质粉砂岩、白云质粉砂岩夹含磷石英粉砂质白云岩,产小壳化石,厚度为54m。1982年,罗惠麟等才将此段划入筇竹寺组。直至1991年,罗惠麟等又考虑到八道湾一名与新疆侏罗纪八道湾组重名,又将段名改为石岩头段。本书认为筇竹寺组层型剖面在昆明附近筇竹寺风景区,出露完整,下、上两段岩性特征明显,没有必要在筇竹寺玉案山命名上段,在昆阳磷矿命名下段。加之八道湾段多次易名已引起称谓混乱。因此本书建议以筇竹寺组下段、上段称之。

“黄鳍洞组”和“天柱山组”:钱逸(1977)、陈孟莪(1977)各自在论文中首次提到“黄鳍洞组”一名,但均缺乏建组所必要的程序与必备条件。1978年,钱逸第一次给出定义:“黄鳍洞组一名是1973年中国科学院南京地质古生物研究所江纳言、李蔚依等在湖北宜昌黄鳍洞原灯影组顶部4—5m厚的砂质白云岩中发现了软舌螺化石以后提出来的,1974年湖北地质局综合研究队在宜昌石牌等地的灯影组顶部白云岩中采获二层软舌螺化石,经笔者鉴定(钱逸等,1979),除有大量软舌螺类化石外,还有腹足类、甲壳纲、海绵和许多分类位置未定的动物化石,乃为前三叶虫动物群的分子,它可与四川灯影组麦地坪段、云南灯影组中谊村段、陕西灯影组宽川铺段相当。黄鳍洞组顶界与上覆地层水井沱组黑色页岩相接,底界与原灯影组上段灰白色白云岩之顶相接”。1977年,钱逸等在野外追溯黄鳍洞组的层位、产状和化石时在黄陵背斜东翼(天柱山—胡家沟间)等近10个地点,系统采集了化石标本,接着在1979年不仅发表了化石研究成果,还提供了5个典型剖面的详细地层资料,其岩性特征是白云岩中含磷、硅质、陆源碎屑高,但基本上属于灯影组范畴,因此后来改称为灯影组黄鳍洞段。黄鳍洞一名是早先访问当地居民称黄鳍洞而来(钱逸,1977;陈孟莪,1977),1979年,余汶改称“黄山洞段”,这是因后来修建宜昌—莲沱公路时在附近的隧道顶刻名为黄山洞隧道,但因与安徽的名山“黄山”有重名之嫌,故仍用黄鳍洞一名比较适宜。陈孟莪等(1981)、陈忆元、张树森(1980)描述了湖北宜昌胡家沟“天柱山组”(原文带引号)的剖面与化石,特点是岩性相变为石灰岩,小壳化石明显分为两层,有些小壳化石个体特肥大。从此以后黄鳍洞组(或黄鳍洞段)与天柱山组(天柱山段)二名并存。不过根据命名优先权,不忘前人在峡东区的黄鳍洞突破性化石发现,建议今后优先使用黄鳍洞段这一正确命名。

岩家河段:岩家河段原称岩家河组,为陈平于1984年创建于宜昌三斗坪岩家河。原组含义为:在灯影组细晶白云岩、硅质岩之上,水井沱组黑色页岩之下的一套产小壳化石的黑色灰岩、碳质页岩夹生物碎屑灰岩,厚38.7m。下部产 *Anabarites trisulcatus*, *Protohertzina*, *Spinulitheca* 等;上部产 *Anabarites trisulcatus*, *Tikisitheca*, *Lophotheca*, *Obtusoconus maidipingensis*, *Aldanella* 等。根据小壳化石组合认为其层位与峡东灯影组黄鳍洞段相当,时代为早寒武世梅树村期。邢裕盛等(1984),赵自强等(1988)认为此组岩性与水井沱组相近,而将其并入水井沱组称为水井沱组下段。丁莲芳等(1992)则认为“岩家河组”与下伏地层灯影组白马沱组为连续沉积,与上覆地层水井沱组黑色页岩之间有一沉积间断,其层位应与峡东“天柱山段”对比。虽然在岩性、岩相上与峡东黄鳍洞段有一定差异,但仍未超出灯影组定义的范围,所以将岩家河组降格为岩家河段,并入灯影组,但时代属早寒武世梅树村期。本书采纳了丁莲芳等(1992)使用岩家河段一名的观点。

**高家山段：**根据岩性、岩相和生物的特征，陕南汉中地区分布的灯影组可以划分为四个岩性段，即下、中、上段和顶部含磷段。丁莲芳、张录易等先后称之为藻白云岩段、高家山段、碑湾段和宽川铺段。但有些段名其含意已经多次改变。高家山段原称高家山组，组名为刘鸿允、陈孟莪等于1968年命名，建组剖面在陕西宁强胡家坝高家山。他们认为陕南地区在灯影组之上、宽川铺组之下有一套碎屑岩和白云岩，与峡区灯影组上部岩性有区别，并将此套岩层命名为高家山组。陕西省区域地层表上高家山组相当于灯影组第二段。杨暹和等(1981)也认为此组与邻区灯影组上部岩性基本相同，底部为砂页岩、砂岩，中上部为白云岩，厚448m，没有必要另建新组，但可保留此名作灯影组第二段的名称，即灯影组“高家山段”。张录易(1986)、丁莲芳等(1992)进一步将杨暹和等(1981)的“高家山段”细分为狭义的高家山段和碑湾段。把高家山段限定在原高家山组(段)的下部碎屑岩层，中上部白云岩另命名为碑湾段。这样狭义的高家山段是灯影组第一段之上、碑湾段之下的一套以碎屑岩为主的地层。岩性下部为灰绿色、紫红色粉砂质泥岩、黑色硅质页岩，中部为黄绿色泥质粉砂岩夹灰岩及灰岩透镜体，上部为灰色、灰黑色硅质灰岩夹薄层粉砂岩、页岩等，产丰富的软躯体后生动物化石、遗迹化石、瓶状化石及宏体藻类等，厚55m。属晚震旦世沉积。本书采用丁莲芳等(1992)对高家山段的定义，它与峡区灯影组石板滩段、滇东灯影组旧城段层位相当，尤其与后者岩性极其相似，均属台地边缘相碎屑岩沉积。

**宽川铺段：**宽川铺段源于宽川铺组，最早由陕西地质局四队于1961年创建，建组剖面在陕西宁强宽川铺。最初命名的宽川铺组包括现今所划分的高家山段砂页岩至郭家坝组底黑色页岩之下所有地层。1968年刘鸿允、陈孟莪认为在建组剖面上该组中部有一侵蚀间断，在间断面上下，岩性和生物化石组合不同，因此他们将间断面以上产软舌螺的硅质岩、磷块岩和灰岩仍称为宽川铺组，厚70—90m，时代属早寒武世；其下产蠕虫化石的碎屑岩和白云岩称高家山组，时代属晚震旦世。杨暹和等(1981)根据岩石地层单位命名原则，将狭义宽川铺组改称为灯影组宽川铺段，顶界为郭家坝组黑色页岩之底，为假整合接触。底界划在首次出现小壳化石的碎屑灰岩底，比刘鸿允、陈孟莪所定义的宽川铺组底界高30余米。以后岳昭(邢裕盛等，1984)、丁莲芳等(1992)赞同使用宽川铺段一名，置于灯影组最上部岩性段，但底界划在灰岩与白云岩分界线处，为一跨震旦系-寒武系的岩石地层单位。

**西蒿坪段：**大巴山地区包括陕西西乡东部、镇巴，四川城口至湖北房县一带向南呈弧形突出的断褶带，据物探资料此带是一个由北向南形成的弧形推覆体，其推覆距离为几十公里至200km。在此构造带内震旦系灯影组顶部含磷灰质白云岩和白云质灰岩、灰岩产有三叶虫或高肌虫及小角螺、寒武钉、小菱角刺等不同於梅树村阶的生物群。此套地层各地分别命名为西蒿坪段、火烧店段、杨家沟段，对其时代归属争议颇大。

1980年，王寿琼等首次在湖北房县西蒿坪一带灯影组顶部发现了软舌螺和腕足类化石，并将含化石层位单独分出，建立西蒿坪段，置于下寒武统最底部。遗憾的是未正式发表文章。嗣后，钱逸、张师本(1983)详细列述了建组剖面，分析了小壳化石组合性质，此段岩性为灰黑、灰白、紫灰色含砂砂屑白云岩、生物碎屑白云岩和白云岩，产小壳化石 *Microcornus*, *Rhombocorniculum cancellatum*, *Cambroclavus* 以及其他软舌螺等化石，厚4.05—5.85m。他们认为其层位较梅树村阶高，小壳组合是全球各地下寒武统阿特达班

阶的常见分子。段承华(1984)则认为西蒿坪段可与国内其他地区梅树村阶化石组合相比,具有明显地方色彩,主张将此段从灯影组中分出单独建组——西蒿坪组,时代属早寒武世梅树村期。解永顺(1988)、何廷贵(1993)均认为此段岩性基本上为一套碳酸盐岩沉积,明显属灯影组的一部分,没有单独建组的必要,但岩性与下伏地层白云岩略有区别,同意钱逸等(1983)意见,将此段地层称为灯影组西蒿坪段。根据小壳化石组合特点,没有梅树村阶中的带化石,却有全球各地产下寒武统阿特拉班阶中重要化石 *Microcoranus*, *Rhombocorniculum*, *Cambroclavus* 等,因此其时代应属筇竹寺期。自岳昭(1990)在西蒿坪段确证了三叶虫存在之后,更进一步证明了西蒿坪段属筇竹寺阶。

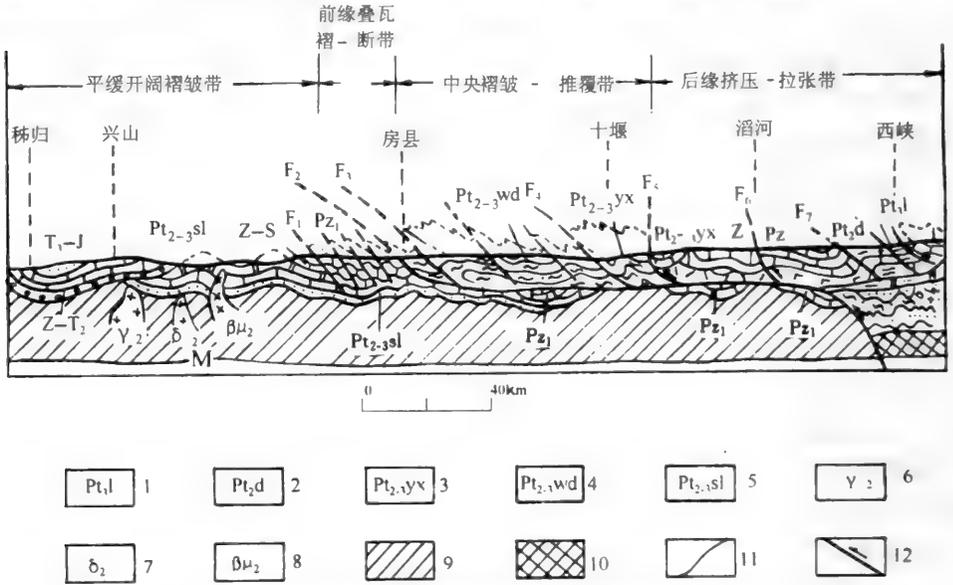


图 4-6 秦巴地区东段构造变形局部剖面略图(引自蔡学林等,1988)

Fig. 4-6 Sketch map showing framework of structural deformation along east section of Qinling-Daba Mountains (after Cai Xuelin et al., 1988)

1. 刘岭群(Liuling Group); 2. 陡岭群(Douling Group); 3. 郧西群(Yunxi Group); 4. 武当群(Wudang Group); 5. 神农架群(Shennongjia Group); 6. 燕山期花岗岩(Yanshanian granite); 7. 晋宁期花岗岩(Jinningian granite); 8. 晋宁期辉绿岩(Jinningian diabase); 9. 扬子地台基底(basement of Yangtze Platform); 10. 秦岭再生地槽-褶皱基底(秦岭型) [basement of regenerated geosyncline folded belt along Qinling (Qinling type)]; 11. 地质界线 (geological boundary); 12. 断层面及上盘运动方向(fault surface and direction of upper plate movement)

所谓西蒿坪段与宽川铺段或黄鳍洞段等是相变关系的认识,主要是由于没有弄清这一地区复杂构造关系而得出的错误认识。西乡、镇巴至房县一带位于秦岭-大巴山弧形褶皱变质断裂带内,地质构造十分复杂。据蔡学林对“秦巴地区 QB-1 地震测得剖面地质构造研究”成果证实,秦岭-大巴山弧形褶皱变质断裂带实际上是一个由外来岩系组成的褶皱-逆冲推覆体,即武当山褶皱-逆冲推覆构造。根据几何结构形态和构造性质的差异,武当山推覆构造可分成四个构造带(图 4-6, 4-7):主滑脱面-青峰断裂带(城口-房县断裂带);前缘叠瓦褶-断带;中央褶皱-推覆带;后缘挤压-拉张带。推覆体的主滑脱面在地表位于呈弧形弯曲的城口-房县断裂带内,在地下深处大约位于山阳-浙川断裂带以南。从图上可以看出,西乡、镇巴、房县北部一带位于主滑脱面以南的前缘叠瓦褶-断带内,而紫阳、镇坪、城口北部、房县北部等地则位于中央褶皱-推覆带内。两带位置现今距离虽然较近,

但据推覆体褶皱、推覆理论计算,两带原来的位置差距甚远。镇巴-房县前缘叠瓦褶-断带仅受褶皱、断裂影响,所以距今位置较近,推测原先位置应在现今位置以北 50—100km (殷继成等, 1993)。梅树村时期此区以及向北 50—100km 范围应属于黔鄂碳酸盐岩台地的一部分,其沉积与整个台地相似,可能在筲竹寺期前的短暂上升期遭剥蚀殆尽。到筲竹寺早期海侵时,此区为潮坪-潮下浅滩环境,沉积了微-泥晶白云岩、含生物碎屑内碎屑白云岩的西蒿坪段,产三叶虫等化石,并直接覆于灯影组中段白云岩之上。这一超覆现象,现今虽然仅在前缘叠瓦褶-断带狭长地区内见到,但据推覆理论推测,主滑脱面之下的震旦系-寒武系之间仍为超覆沉积。根据主滑脱面在地下深处的位置推算,现今中央褶皱-推覆带原来应位于山阳-浙川断裂带以北地区,这样不计算褶皱、断裂缩短地层的距离,此带已向南推覆 100—200km。因此,紫阳、城口以北以及房县以北为武当山褶皱-推覆体所覆盖的梅树村期浅海陆架-陆缘深水盆地沉积,原位置应在现今山阳-浙川断裂带以北地区。台地与陆架之间的台缘缓坡碳酸盐相可能存在于主滑脱面之下。

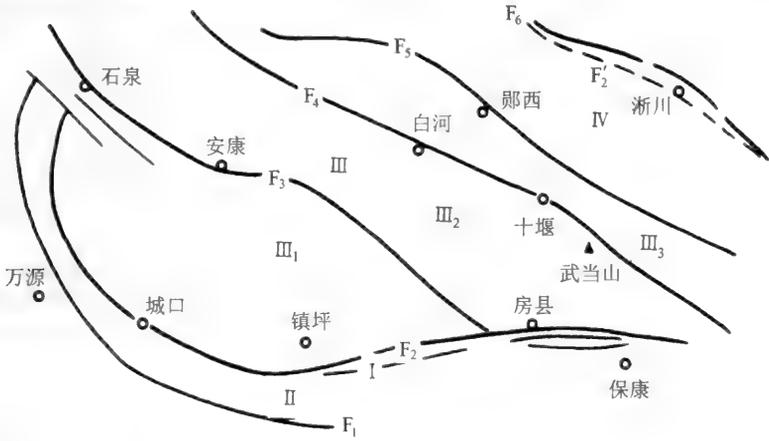


图 4-7 武当山推覆构造略图(引自蔡学林等,1988,被简化)

Fig. 4-7 Sketch map showing Nappe structure in Wudang Mountains (after Cai Xuelin et al., 1988)

F<sub>1</sub>. 阳日-九道断裂带(Yangri-Jiudao Fracture Zone); F<sub>2</sub>. 城口-房县断裂带(Chengkou-Fangxian Fracture Zone); F<sub>2</sub>' 城口-房县断裂带在地下深处的位置(subsurface deep-seated position Chengkou-Fangxian Fracture Zone); F<sub>3</sub>. 安康断裂带(Ankang Fracture Zone); F<sub>4</sub>. 十堰断裂带(Shiyan Fracture Zone); F<sub>5</sub>. 两郧断裂带(Yunxian-Yunxi Fracture); F<sub>6</sub>. 山阳-浙川断裂带(Shanyang-Xichuan Fracture Zone); I. 主滑脱面-青峰断裂带(main decollement plane-Qingfeng Fracture Zone); II. 前缘叠瓦褶-断带(frontal imbricate folded fault zone); III. 中央褶皱推覆带(central folded nappe zone); III<sub>1</sub>. 镇坪褶皱-推覆体(Zhenping folded nappe); III<sub>2</sub>. 武当山褶皱-推覆体(Wudangshan folded nappe); III<sub>3</sub>. 两郧褶皱-推覆体(Yunxian-Yunxi folded nappe); IV. 后缘挤压拉张带(real compression-extension zone)

这样,在弄清了武当山褶皱-逆冲推覆体构造的性质之后,也就得出现今地层的空间分布并非原来沉积的位置,它们都不同程度地向南推移的结论,也可以合理解释位于前缘褶皱-断裂带内的西乡、镇坪至房县一带缺失梅树村期沉积,而位于中央褶皱-推覆带内的紫阳、城口、镇坪一带又有该期沉积的现象。也可以理解此区灯影组西蒿坪段与黄鳝洞段(或宽川铺段)不是相互相变而是上下层位关系的原因(图 4-8)。

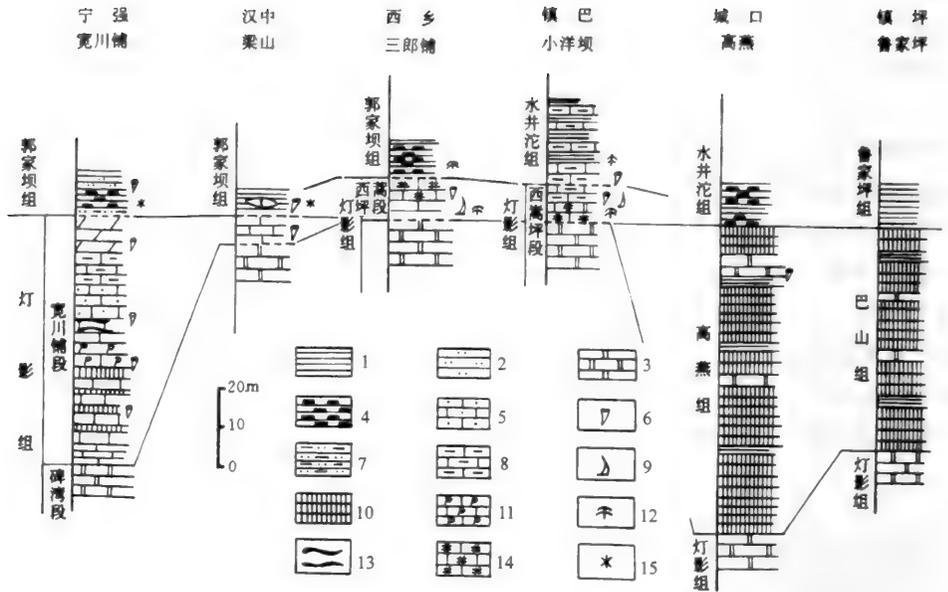


图 4-8 扬子区北部宁强—镇坪一带宽川铺段与西蒿坪段地层对比图

Fig. 4-8 Stratigraphic correlation of the Kuanchuanpu and Xihaoqing members around Ningqiang — Zhenping area in northern Yangtze Platform

1. 页岩(shale); 2. 粉砂岩(siltite); 3. 白云岩(dolomite); 4. 碳质页岩(carbonaceous shale); 5. 砂质灰岩(sandy limestone); 6. 小壳化石(small shelly fossils); 7. 粉砂质页岩(silty shale); 8. 泥质灰岩(muddy limestone); 9. 小菱角(*Rhombocorniculum*); 10. 硅质岩(silicalite); 11. 含磷灰岩(phosphoric limestone); 12. 三叶虫(trilobite) 13. 硅质条带(siliceous banding); 14. 含海绿石灰岩(glauconite-bearing limestone); 15. 海绵骨针(spongespicule)

火烧店段：火烧店段源于火烧店组。该组为汪明洲于 1987 年创建于陕西镇巴小洋坝火烧店，属下寒武统。舒德干(1990)认为火烧店组属水井沱组下部的一个岩性段而改称火烧店段。其岩性下部为灰色钙质白云岩，上部为白云质灰岩，厚 8.5m，与下伏地层灯影组、上覆地层水井沱组中上段均呈假整合接触。产三叶虫 *Kuanyangia pustulosa* Lu, *Mianxiandiscus* sp., 高肌虫 *Haoia*, *Eotuzoia*, *Indiana*, *Dielymella*, *Mononotella* 及大量小壳化石，时代属筇竹寺期。解永顺(1988)、何廷贵等<sup>①</sup>认为“火烧店组岩性为一套碳酸盐岩沉积，与下伏地层灯影组相似，应属灯影组顶部的一个岩性段。生物化石除三叶虫、高肌虫外，尚产 *Cambroclavus*, *Aurisella*, *Rhombocorniculum* 等小壳化石，显然岩性和生物组合均与房县灯影组西蒿坪段一致，时代属筇竹寺早期。由于西蒿坪段命名较早，故可以西蒿坪段代之。

杨家沟段：杨家沟段是陕南灯影组最上部的一个岩性段，为丁莲芳等于 1983 年创建于陕西西乡三郎铺杨家沟，岩性为灰色、浅灰色灰岩，含海绿石砂屑灰岩、白云质灰岩，厚 8.5m，产软舌螺 *Cambroclavus*, *Halkieria*, *Chancelloria* 等。丁莲芳等(1983)认为此段

① 何廷贵、张运芬, 1992: 陕西地区产小壳动物化石地层时代的讨论 见: 陕西地质矿产局成果编辑室, 小壳化石研究与地质找矿, 41—49 页。

层位与宽川铺段相当,属早寒武世梅树村期沉积。解永顺(1988)、殷继成等(1993)在此段中又发现有 *Microcornus*, *Cambroclavus*, *Rhombocorniculum* 及 *Ninella* 等化石,根据此段岩性和生物组合特征,西乡三郎一带灯影组应属大巴山推覆体最西端部分,与镇巴小洋坝、湖北房县属于同一相区的沉积物,所以杨家沟段即为西蒿坪段,时代属筇竹寺早期。

综上所述,西蒿坪段、杨家沟段、火烧店段均属大巴山推覆体同一沉积相区的同一岩石地层段的重复命名,按优先命名原则,本书将此区灯影组顶部岩性段统一称西蒿坪段,时代为筇竹寺早期。

## 2) 关于安徽巢湖地区灯影组顶部和冷泉王组底部小壳化石的时代

安徽巢湖地区位于扬子准地台下扬子台拗的沿江拱断褶皱带,该区的晚震旦世至寒武纪地层自下而上一般分为灯影组、冷泉王组、半汤组和山凹丁群。1988年安徽区域地质调查队根据半汤组顶部发现三叶虫 *Probowmania* sp. 和 *Redlichia* sp. 后,将其归入下寒武统。冷泉王组虽未见化石,但从岩相分析,他们提出了“冷泉王组可能是灯影组的一部分”的可能性(安徽省地质矿产局区域地质调查队,1988,第18页)。同年,朱兆玲等在冷泉王组底部发现小壳化石,明确提出了冷泉王组的时代为早寒武世,但没有进一步的具体意见,1991年章森桂和孙乘云描述了该区的的小壳化石(表4-6)。他们根据小壳化石分析认为:巢湖地区灯影组顶部和冷泉王组底部的小壳化石地层时代在梅树村中期之后至沧浪铺中期之前的某段时间,具体时限没有确定;灯影组顶部和冷泉王组底部的小壳化石基本相同,属于相同时代同一组合化石,小壳化石的产出与时代有关而与岩性无关(章森桂、孙乘云,1991,第25页)。1992年,钱逸、孙乘云和王冰再次赴巢湖地区进一步寻找并研究了该层位的小壳化石,结果在冷泉王组底部之上30cm的位置(与小壳化石共生)发现了三叶虫 *Paokonnia* sp.,其时代应为沧浪铺晚期,与江苏南京地区早寒武世慕府山组的 *Paokonnia* 层位相当。但灯影组顶部的小壳化石是否属上层化石渗漏的产物目前无法判断,仅仅是一种怀疑,但也不能因为灯影组顶部出现那些非典型“*Anabarites*”,就不加思索地与梅树村阶第I组合带对比。

## 3) 关于浙西灯影组顶部和荷塘组底部小壳化石的时代

浙西位于扬子地台东南缘,上震旦统与下寒武统跨界地层自下而上为灯影组和荷塘组。1989年由岳昭、何圣策,还有1992年何圣策、俞国华在浙西江山地区荷塘组下部石煤层段和灯影组顶部磷矿层段发现小壳化石。据岳昭、何圣策(1989)鉴定有原牙形类 *Protohertzina cultrata* Missarzhevsky (本书已改为 *Hagionella cultrata*), *Jiangshanodus triangulus* (Missarzhevsky et Mambetov, 1981) 和磷质壳的高肌虫 *Lianshanella* aff. *lubrica* Qian et Zhang, 在灯影组顶部还发现 *Olivoooides*。岳昭认为荷塘组底部的小壳化石属早寒武世筇竹寺晚期至沧浪铺早期,与国外哈萨克斯坦小卡拉套下寒武统阿特达班阶上部的第4化石带相当。灯影组顶部的小壳化石被认为是梅树村早中期的。后来何圣策、俞国华又一次作了研究,他们在荷塘组底部和灯影组顶部建立了两个小壳化石带即荷塘组石煤层段的 *Siphogonuchites-Lopochites* 组合带和灯影组顶部磷矿层段的 *Anabarites-Protohertzina* 组合带,何圣策、俞国华(1992)认为前一组合与梅树村阶II组合带对比,后一组合带与梅树村阶I组合带对比。这两种意见目前仍坚持着,有待进一步工作加以肯定或否定。

## 4) 关于塔里木地台西缘玉尔吐斯组的时代

1979年新疆地质局地质科学研究所前寒武系地质专题研究组在新疆阿克苏-乌什地区下寒武统下部发现了大量多门类小壳动物化石,并将原来的肖尔布拉克组底部的非三叶虫层位(即最早出现的三叶虫 *Shizhudiscus sugaitensis* Chang 以下的层位)划出,建立

表 4-6 安徽巢湖汤山前湾和无为井头山灯影组顶部和冷泉王组底部小壳化石一览表

[据章森桂和孙乘云(1991)剖面化石名单,后经本书整理]

Table 4-6 Small shelly fossil distributions in apical part of Tongying Formation and basal part of Lengquanwang Formation at Qianwan of Tangshan, Chaohu County, and Jingtoushan of Wuwei County, Anhui Province [based on Zhang Sengui and Sun Chengyun (1991) list of fossils from the profile section, with rearrangement in this book]

| 产地<br>层位 | 巢湖汤山剖面                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 巢湖前湾剖面                                                                                                       | 无为井头山剖面                                                                                                                                                                              |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 冷泉王组     | 在本组底部向上 1—50cm 厚发现 6 个小壳化石层位,计有:<br><i>Circotheca</i> (?) sp.<br><i>Turcutheca</i> (?) sp.<br><i>Spinulitheca</i> (?) sp.<br><i>Anabarites</i> sp.<br><i>Tiksiheca</i> (?) sp.<br>chancelloriids,<br><i>Olivoides</i> (?) sp.<br><i>Fomichella</i> sp.<br><i>Lapworthella</i> sp.<br><i>Sacciconus sacciformis</i><br><i>Anhuiconus</i> sp.<br>单板类(?)<br>软舌螺类<br>腕足型(?)化石等 | 在本组底界面之上的 30—45cm 处,发现二层小壳化石,计有:<br><i>Anabarites</i> sp.<br><i>Protoconus</i> sp.<br>单板类<br>软舌螺类<br>开腔骨类(?) | 在本组底界面上 0—20cm 计有小壳化石:<br><i>Actinotheca</i> ? sp.<br><i>Allatheca</i> cf. <i>nanjiangensis</i><br><i>Actinotheca dolioformis</i><br><i>Anabarites</i> sp.<br>单板类<br>开腔骨类(?)<br>软舌螺类 |
| 灯影组      | 本组顶部未见小壳化石                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 本组顶部未见小壳化石                                                                                                   | 本组顶部之下 0—20cm 处见小壳化石,计有:<br><i>Anabarites</i> sp.<br><i>Anhuiconus</i><br><i>Protoconus</i><br><i>Stephaconus</i><br>单板类(?)<br>开腔骨类(?)<br>软舌螺类                                       |

玉尔吐斯组(钱建新、肖兵,1984)。该组在阿克苏西南约 80km 的玉尔吐斯山出露较好而得名。玉尔吐斯组发育稳定,在阿克苏-乌什地区各震旦系-寒武系界线剖面皆可见到,其特征是:底部为含磷硅质岩夹薄层灰岩,往上为含海绿石的砂岩、砂质灰岩、碳质和泥质页岩,再往上为含丰富的小壳动物化石及叠层石的瘤状白云岩,直接整合其上的地层是肖尔布拉克组含三叶虫 *Shizhudiscus* 的灰黑色薄层状白云岩。该组底部与下伏地层震旦纪奇

格布拉克组白云岩平行不整合接触,其间可见波状冲刷面,在冲刷面上常见下伏地层白云岩的碎块及沿界面充填的石膏。玉尔吐斯组厚 14—15m,有些地段可达 35m。肖兵(1989)根据玉尔吐斯组近底部发现 *Anabarites trisulcatus*,认为玉尔吐斯组是梅树村期的。肖兵、段承华(1992)和段承华、肖兵(1993)继续坚持这一观点。与此相对立的意见则认为玉尔吐斯组的小壳化石应属筇竹寺期(Qian Yi, 1989; 岳昭、高林志,1992)。后者的论据是:根据重新鉴定的化石名单看,玉尔吐斯组有原牙形类 *Jiangshanodus*, *Xinjiangodus* (本书已改为 *Hagionella*), *Amphigeisina* 和 *Gapparodus*;腕足类 *Obolus*;高肌虫 *Dabshanella*;软舌螺 *Neogloborilus*;托莫特壳类 *Tannuolina*, *Lapworthella*;寒武钉类 *Cambroclavus*。这些小壳化石,尤其是原牙形类,与陕南西乡、镇巴,湖北房县、浙江江山早寒武世水井沱组(或西嵩坪段或荷塘组)底部的化石极为相似。上述小壳化石也与国外哈萨克斯坦的塔拉斯阿拉套和小卡拉套早寒武世 *Бешташ* 组的下带(*Rhombocorniculum cancellatum* 带)的小壳化石不仅面貌相似,而且许多标准属种也一样。此外,前节中已叙述过西嵩坪段小壳化石属筇竹寺期的,而 *Бешташ* 组的下带属勒拿阶下部。小卡拉套的 *Акутай* 剖面分五个化石带,其中 *Щабактин* 组的下部含 *Cambroclavus* 和众多的原牙形类(相当于第四带),它们应与阿特达班阶相当,而且许多地区的上述层位已发现三叶虫化石。因此,玉尔吐斯组的小壳化石时代应与筇竹寺期或阿特达班期相当,而不应早于筇竹寺期。至于有人依据玉尔吐斯组出现有 *Anabarites* sp., *Protohertzina* sp., *Siphogonuchites triangularis* 及 *Lopochites latazanalis* 就确定其为梅树村阶(高振家等,1987a,b),实际上是一种误解。应当指出,*Anabarites* 仅能定到属,正如本书前面讨论过的非典型的 *Anabarites* (其特征:层位中发现标本绝少,标本绝对残缺不全,只保存内核,没有外壳,没有真正显示其壳体的特征)往往可能出现在较高层位,而后三个属与原定属的定义不符,不能作为时代的依据。因此,不要一出现阿纳巴管类就确定为梅树村期的,甚至与梅树村期第 I 组合带相当(Qian Yi, 1989; 岳昭、高林志,1992)。

## (2) 国际地层对比

### 1) 与南亚对比

目前梅树村阶地层已在南亚的印度、巴基斯坦,中亚的哈萨克斯坦、伊朗和沿古地中海的法国南部呈东西向延伸分布,不仅岩性很相似,而且小壳化石面貌很相同,生物地层和碳氧同位素资料(Brasier,1990)完全可以对比(表 4-7,图 4-9)。

印度小喜马拉雅山西北部,前寒武系与寒武系过渡层位是晚前寒武纪的上克罗尔组(Upper Krol Fm.),产钙藻、叠层石。寒武纪下部为塔尔组(Tal Fm.),共分五个岩性段:底部含磷块岩段(Chert-phosphorite M.),产有 *Protohertzina* spp., *Maikhanella*, *Arthrochites*, *Hexangulaconularia*, *Conotheca*, *Ovalitheca multicostata* Qian, *Leibotheca*, *Coleoloides*, *Hyolithellus* spp., *Spirellus*, *Olivoooides* 和异管螺类(?)等;第二段为泥岩段(Argillaceous M.),主要产小型管状痕迹,如 *Skolithos*;第三段砂岩段(Arenaceous M.),底部产 *Allonnia*, “*Dimidia*”, *Hyolithellus*,中部有丰富多样的遗迹化石,顶部发现多节类三叶虫;第四段钙质页岩段(Calcareous Shale M.),产有遗迹化石 *Diadongia*,软体动物 *Pelagiella*, *Auriculaspira*,还有软舌螺类、开腔骨类;第五段为石英岩段(Phulchatti Quartzite M.),主要化石有 *Lingulella*, *Obolus*, *Obelella*, *Walcattina*, *Magnicanalis*

表 4-7 南亚典型剖面地层、化石组合对比表  
 Table 4-7 Correlation for strata and fossil assemblages of typical sections in South Asia

| 时 代     | 中 国     |         | 印 度     |                                                       | 伊 朗           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 巴基斯坦<br>赫扎拉地区                                                                   |
|---------|---------|---------|---------|-------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
|         | 云南梅树村   | 小喜马拉雅山  | 厄尔布尔士山脉 | 赫扎拉地区                                                 |               |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                 |
| 早 寒 武 世 | 筇竹寺组    | 上 段     | 钙质页岩段   | Diadongia<br>Pelagiella<br>Auriculaspira<br>开腔骨类、软舌螺类 | 上白云岩段         | 叠层石和 <i>Hadrophyceus</i>                                                                                                                                                                                                                                                             | 三叶虫                                                                             |
|         |         | 下 段     | 砂岩段     | 多节类三叶虫<br>遗迹化石<br>Allomia<br>Dmidia                   | 上页岩段          | <i>Pelagiella lorencei</i><br><i>Laioucheella korabkovi</i><br><i>Obrusoconus</i> sp.<br>? <i>Eoredlichia</i> sp.<br>? <i>Aldanella</i> sp., <i>Anabarites</i> sp.<br>Allathesidae<br><i>Maitihonella multia</i> , <i>Purella</i><br><i>Tikishkeca licii</i> , <i>Circotheca</i> sp. |                                                                                 |
| 武 世     | 梅 树 村 期 | 大 海 段   | 泥岩段     | 多节类三叶虫<br>遗迹化石<br>Allomia<br>Dmidia                   | 中白云岩段         | <i>Anabarites trisulcatus</i><br><i>Cambraubulus decurvatus</i><br><i>Protobertizina anabarica</i><br><i>Olivoooides</i> sp., <i>Siphogonuchitidae</i>                                                                                                                               | Halkieria<br>Olivoooides<br>Ovalitheca<br>Lophotheca<br>Comatheca<br>Anabarites |
|         |         | 中 道 树 段 | 含磷块岩段   | 多节类三叶虫<br>遗迹化石<br>Allomia<br>Dmidia                   | 下页岩段          | 疑源类<br><i>Chuarina</i> sp.                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                 |
| 晚 震 旦 世 | 灯 影 峡 期 | 白岩峭壁段   | B - E 段 | 钙质页岩类<br>叠层石                                          | 下白云岩段<br>下页岩段 | <i>Hyalithellus</i> sp., <i>Rugatheca</i> sp.,<br><i>Protobertizina</i> sp.                                                                                                                                                                                                          | Sirhan Fm.<br>Kahar Fm.                                                         |

等(Bhatt et al., 1985; Brasier and Singh, 1987)。根据上述层序中的小壳化石, 第一段即含磷块岩段与梅树村阶 I 组合带相当, 第三段砂岩段底部化石与梅树村阶 IV 组合带相对比, 其顶部出现多节类三叶虫, 可能与筇竹寺阶相当。

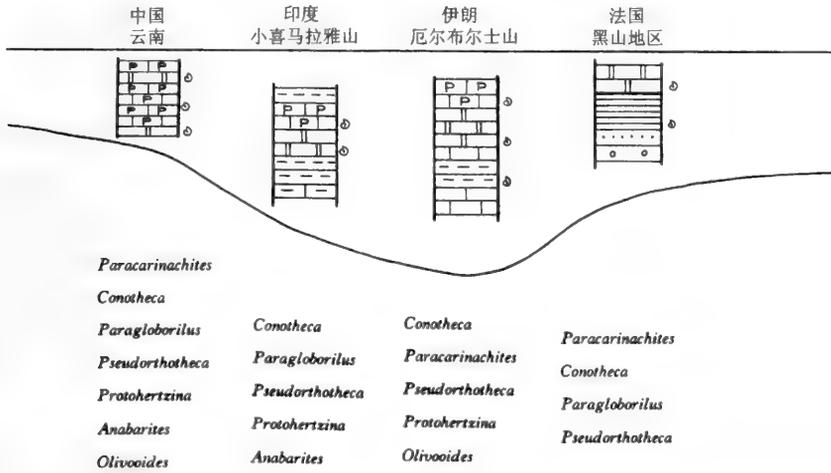


图 4-9 南亚至法国南部(沿古特提斯海峡东西向延伸)寒武纪最早期生物地层对比略图

Fig. 4-9 Sketch map showing biostratigraphical correlation of the earliest Cambrian from South Asia to South France (extending east-westward along the Tethyan coast)

巴基斯坦赫扎拉(Hazara)地区, 晚前寒武纪地层为西尔斑组(Sirban Fm.), 寒武系下部为赫扎拉组(Hazara Fm.), 底部产与我国梅树村阶小壳化石相似的属种, 如 *Halkieria* spp., *Allonnia* sp., *Olivoooides*, *Anabarites*, *Ovalitheca*, *Conotheca* 和 *Rhabdochites* (Mostler, 1980)。因此, 该层位可与梅树村阶层位相当, 组合带的对比尚不清楚。

伊朗德黑兰以北紧邻黑海的厄尔布尔士山, 晚前寒武纪地层为卡哈尔组(Kahar Fm.), 发现有疑源类。寒武系下部为索尔塔尼赫组(Soltanich Fm.), 其中分五个岩性段, 自下而上是下白云岩段(L. D. M.)、下页岩段(L. S. M.)、中白云岩段(M. D. M.)、上页岩段(U. S. M.)和上白云岩段(U. D. M.)。小壳化石主要发现于下中白云岩段和上页岩段。下白云岩段中的小壳化石主要有 *Protohertzina*, *Rugatotheca*, *Olivoooides multisulcatus* Qian, *Hyolithellus*, 单板类(?) 和 *Sabellidites*。根据上述化石可与我国梅树村阶 I 组合带相当。中白云岩段的小壳化石有 *Hertzina danica* Poulson, *Protohertzina anabari-ca*, *P. robusta* Qian, *P. unguiformis*, *Anabarites trisulcatus*, *Olivoooides* sp., *Lophotheca*, *Circotheca*, *Hyolithellus*, *Cambrotubulus*, *Torelrella*, *Tiksitheca*, *Maikhanella*, *Scenella*, *Trapezotheca*, *Palaeosulcachites*, *Lopochites*, *Siphogonuchites*, *Sachites* 等。从中白云岩段出现的小壳组合面貌看, 与我国梅树村阶 II 组合带相当是没有问题的。在上页岩段中小壳化石特别丰富, 产 *Pelagiella*, *Auriculaspira*, *Yangtzespira*, *Purella*, *Obtusocoelus*, *Bemella*, *Igorella*, *Latouchella*, *Scenella*, *Xiaodongoconus*, *Eosoconus*, *Salanyella*, *Huangshandongoconus*, *Protoconus*, *Hyolithellus*, *Torelrella*

*biconvexa*, *Tiksitheca licis*, *Turcutheca*, *Conotheca* cf. *obesa*, *C.* cf. *longiconica*, *Cambrotubulus*, *Allatheca*, *Orthotheca*?, *Hertzina*, *Protohertzina* spp., *Anabarites tripartitus* Missarzhevsky, *Siphogonuchites*, *Eoredlichia*? 及赫尔克壳类和原始锥石类 (Hamdi et al., 1989; Hamdi, 1989)。上述化石中极大部分属种是梅树村阶Ⅱ组合的分子,但是,却出现了高层位的 *Pelagiella*, *Eoredlichia* 和腹凹的直管螺类,使这一组合面貌有可能与我国筇竹寺阶相当。

### 2) 与法国南部对比

法国南部黑山地区下寒武统 Herault 石灰岩层中,含大量小壳化石,据 Keber (1988) 资料,计有 *Pseudorthotheca*, *Conotheca*, *Turcutheca*, *Paragloborilus*, *Cobboldiella*, *Paracarinachites*, *Cambrotubulus*, *Obtusoconus*, *Latouchella*, *Maikhanella*, *Ginella*, *Protoconus*, *Heraultipegma*, *Archaeooides*, *Halkieria* 和棱管壳类化石。根据上述化石名单似乎与我国和南亚的梅树村期小壳化石面貌相似。但 Keber (1989) 又报道了 Herault 石灰岩之下还有厚 700m 的古杯灰岩 (Archaeocyathid Lst.), 其中产有什么化石,它与 Herault 石灰岩的关系,谁上谁下,由于当地构造复杂,尚不清楚。

### 3) 与南澳大利亚对比

Daily (1972) 和 Cowie 等 (1972) 报道过澳大利亚早寒武世地层中所产的小壳化石初步鉴定名单,但那时没有图版和描述,尽管后来有一些小壳化石的零星报道与描述 (Jell, 1979, 1980; Laurie and Shergold, 1985; Laurie, 1986), 但系统地研究还是在 1990 年以后, Bengtson 等 (1990) 研究的南澳早寒武世 Kulpara 石灰岩、Parara 石灰岩和 Ajax 石灰岩中的小壳化石,为中国与澳大利亚早寒武世地层对比提供了小壳化石的依据。尽管由于澳大利亚早寒武世地层缺乏连续剖面,以及小壳化石的延续时限尚未清楚而不能建立小壳化石带,但是从已有的小壳化石面貌来看,参照所产的三叶虫化石,南澳 Kulpara 石灰岩, Parara 石灰岩和 Ajax 石灰岩中的小壳化石完全可以与我国筇竹寺期和沧浪铺早期的小壳化石相比,地层时代也相当 (表 4-9)。

必须指出的是, Conway Morris (1987) 认为南澳的 Ajax 石灰岩,只能与我国云南渔户村组顶部和筇竹寺组底部相当,并认为中国缺失了南澳寒武系最底部的 Parachina 组和 Uratanna 组,这一对比意见与实际的情况误差较大。

南澳下寒武统最底部 Parachina 组和 Uratanna 组产有与我国梅树村阶第Ⅱ—Ⅲ组合带相同的小壳化石属种,如 *Heraultipegma* (= *Watsonella*), *Halkieria*, *Conotheca*, *Turcutheca*, *Chancelloria*, 因此两套地层完全相当似应无疑。Ajax 石灰岩即 Kulpara 石灰岩 + Parara 石灰岩 + Bunkers 组 + Oraparinna 页岩,具有四个三叶虫带,即 *Abadiella houi* 带, *Pararaia tatei* 带, *Pararaia bunyeroensis* 带和 *Pararaia janeae* 带,在这些带中产有我国筇竹寺阶和沧浪铺阶的三叶虫,如 *Redlichia*, *Hsuaspis*, *Kootenia*, *Serrodiscus*, *Eoredlichia*, *Abadiella*。另外,小壳化石面貌也极相似,如 *Microdictyon*, *Eiffelia*, *Archiasterella*, *Lapworthella*, *Torella*, *Microcornus*, *Isoxys*, *Parakorilithes* (= *Hyp-tiotheca*), *Beshtashella*, *Holmitheca hunjiangensis* (= "*Hyalolithes*" *conularioides*) (表 4-8, 4-9)。因此,南澳 Ajax 石灰岩只能与我国筇竹寺阶和沧浪铺阶相当,而决不可能与我国灯影组上部(渔户村组)对比。

Bengtson 等 (1990) 根据南澳三叶虫、古杯、小壳化石的面貌与西伯利亚下寒武统阿

特达班阶对比,其小壳化石的依据是南澳小壳化石中有上阿特达班阶典型化石 *Microdictyon* 和阿特达班阶化石 *Microcornus*, *Lapworthella* cf. *fosciculata* Conway Morris et Bengtson (Bengtson et al., 1990, p. 19)。我们基本上同意 Bengtson 等的上述结论。

表 4-8 中国与澳大利亚早寒武世地层对比表

Table 4-8 Correlation of Early Cambrian biostrata between China and Australia

| 南澳大利亚早寒武世岩层综合柱状示意图            | 南 澳 大 利 亚 早 寒 武 世 化 石 带       |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          | 中 国  |      |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|                               | 三叶虫化石带                        | 软体动物化石组合                                                                                                               | 小壳化石组合                                                                                                                                                                   | 阶    | 统    |
| WIRREALPA LST                 |                               |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |      |      |
| BILLY                         |                               |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |      |      |
| CREEK FM.                     |                               |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |      |      |
| ORAPARINNA SHALE              | Pararaia janeae 带 (FA9,11,12) | <i>Yochelcionella chinensis</i><br><i>Pojetaia rumegari</i><br><i>Anabarella australia</i><br><i>Pelagiella adunca</i> | <i>Hyptiotheca karraculum</i><br>"Hyolithes" <i>conularioides</i><br><i>Actinotheca holocyclus</i>                                                                       | 沧浪铺阶 | 下寒武统 |
| BUNKERS FM.                   |                               |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |      |      |
| PARARA LST                    | Pararaia bunyeroensis 带 (FA8) |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          | 筇竹寺阶 | 寒武统  |
| WILKAWILLINA LST (= AJAX LST) | Pararaia tatei 带 (FA4,7)      |                                                                                                                        | <i>Microcornus eximius</i><br><i>Hyolithellus filiformis</i><br><i>Torellella</i> sp.<br><i>Lapworthella</i> sp.                                                         |      |      |
| WANGKONDA LST                 | Abadiella houi 带 (FA3,5,6)    | <i>Beshstshellatortilis</i>                                                                                            | <i>Chancelloria?</i> spp.<br><i>Eiffelia araniiformis</i><br><i>Microdictyon</i> sp.<br><i>Isosys?</i> sp. A<br><i>Hipponicharion</i> sp.<br><i>Cambroclavus absonus</i> |      |      |
| KULPARA LST (STANSBURY BASIN) |                               |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |      |      |
| OODENDINA DOLOMITE            |                               |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |      |      |
| PARACHINA FM.                 |                               |                                                                                                                        | <i>Dailiyatia micrina</i><br><i>Thambetolepis</i><br><i>Halkieria</i><br><i>Watsonella</i><br>(= <i>Heraultipegma</i> )<br><i>Conotheca</i><br><i>Turcutheca</i>         | 梅树村阶 |      |
| URATANNA FM.                  |                               |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |      |      |
| POUND SUBGROUP                |                               |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |      |      |

根据这个结论,显然它们应该与我国筇竹寺晚期或沧浪铺早期相当。但 Bengtson 等在与中国小壳化石对比时,却认为被他们研究的南澳 Kulpara 和 Parara 石灰岩中小壳化石,有些类似于梅树村阶第IV组合,理由是共生有相似的 *Actinotheca* 和 *Cambroclavus*。我们认为 *Actinotheca* 可以从中国梅树村阶的第II小壳化石组合带一直延续至沧浪铺阶。*Cambroclavus* 在中国可以从筇竹寺阶一直延到中寒武统。因此依靠上述两个属进行对比容易发生误差,而且从南澳产的这两个属的面貌来看更接近于中国筇竹寺阶和沧浪铺阶的 *Actinotheca* 和 *Cambroclavus*。在中国的筇竹寺阶产有哈萨克斯坦上阿特达班阶的标准化石 *Rhombocorniculum cancellatum* 和 *Microcornus pavulus*, 这又为中国与南澳含小壳化石层位对比提供了间接证据。Bengtson 等在 1990 年文章中并没有提供南澳寒武纪最早期 Mt. Terrible 组、Winulta 组或者 Uratanna 组、Parachina 组的小壳化石图片,但是在文中已提到了这些组产有 *Watsonella* (= *Heraultipegma*), *Halkieria* 等小壳化石,正如钱逸早

表 4-9 中国与澳大利亚寒武纪早期小壳化石对比

Table 4-9 Correlation of Early Cambrian small shelly fossils between China and Australia

| 澳大利 亚        |                                                      | 中 国   |                                                    |
|--------------|------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|
| 产地层位         | 属 种 类 别                                              | 相 关 度 | 属 种 类 别                                            |
| Parara Lst.  | ① 软舌螺                                                | 相似    | <i>Holmitheca hujiangensis</i> Yue, 1990           |
| Parara Lst.  | " <i>Hyolithes</i> " <i>comularioides</i> Tate, 1892 | 存在    | <i>Microcornus ezimius</i> Duan, 1984              |
| Ajax Lst.    | <i>Microcornus ezimius</i> Duan, 1984                | 几乎一样  | <i>Parakorolithes teretiusculus</i> Qian, 1989     |
| Parara Lst.  | ② 脱顶的管状化石                                            | 相像    | <i>Actinotheca mira</i> (He), 1977                 |
| 房县西蒿坪段       | ③ 似软舌螺类                                              | 相似    | <i>Hyolithellus annulata</i> Meshkova, 1969        |
| ④ 托莫特壳类      | <i>Hyolithellus filiformis</i> Bengtson, 1990        | 相似    | <i>Torellella lentiformis</i> (Sysoiev), 1990      |
| ⑤ 开腔骨类       | <i>Torellella</i> sp.                                | 同类    | <i>Lapworthella</i>                                |
| ⑥ 海绵骨针类      | ④ 托莫特壳类                                              | 同产    | <i>Chancelloria</i>                                |
| Parara Lst.  | ⑤ 开腔骨类                                               | 同产    | <i>Archiasterella</i>                              |
| Parara Lst.  | ⑥ 海绵骨针类                                              | 同产    | <i>Lenastela araniiformis</i> Miss., 1981          |
| Kulpara Lst. | <i>Eiffelia araniiformis</i> (Miss.), 1981           | 完全一样  | <i>Microdictyon</i>                                |
| Parara Lst.  | ⑦ 分类未定化石                                             | 存在    | <i>Beyrichona longquanriensis</i> Cui et Huo, 1987 |
| Parara Lst.  | <i>Microdictyon</i> Bengtson et al., 1986            | 十分相似  | <i>Isocypris</i> sp. A                             |
| Parara Lst.  | ⑧ 甲壳类                                                | 存在    | <i>Beshiashella tortilis</i> Miss., 1981           |
| Parara Lst.  | <i>Hipponicharion</i> sp.                            | 存在    | <i>Oryzochocha prisca</i> He et Pei, 1985          |
| Parara Lst.  | <i>Isocypris</i> ? sp. A                             | 相似    | <i>Yochelcionella chinensis</i> Pei, 1985          |
| Kulpara Lst. | ⑨ 腹足类                                                | 存在    | <i>Anabarella australia</i> Runnegar, 1990         |
| Oraparinna   | ⑩ 双壳类                                                | 存在    | <i>Pelagiella adunca</i> He et Pei, 1984           |
| Oraparinna   | <i>Pojetaia runnegari</i> Jell, 1980                 | 存在    |                                                    |
| Oraparinna   | ⑪ 单板类                                                | 存在    |                                                    |
| Oraparinna   | <i>Yochelcionella chinensis</i> Pei, 1985            | 存在    |                                                    |
| Oraparinna   | <i>Anabarella australia</i> Runnegar, 1990           | 存在    |                                                    |
| Oraparinna   | <i>Pelagiella adunca</i> He et Pei, 1984             | 存在    |                                                    |
|              |                                                      |       | 产地层位                                               |
|              |                                                      |       | 吉林水洞组                                              |
|              |                                                      |       | 湖北房县西蒿坪段                                           |
|              |                                                      |       | 河南叶县辛集组                                            |
|              |                                                      |       | 安徽雨台山组                                             |
|              |                                                      |       | 湖北                                                 |
|              |                                                      |       | 湖北房县西蒿坪段                                           |
|              |                                                      |       | 梅树村阶第IV组合带和筇竹寺阶                                    |
|              |                                                      |       | 陕西镇巴水井沱组                                           |
|              |                                                      |       | 河南叶县辛集组,湖北房县西蒿坪段                                   |
|              |                                                      |       | 河南叶县辛集组,湖北房县西蒿坪段                                   |
|              |                                                      |       | 陕西镇巴杨家沟段和水井沱组底部                                    |
|              |                                                      |       | 云南澄江筇竹寺阶                                           |
|              |                                                      |       | 西南地区筇竹寺阶                                           |
|              |                                                      |       | 新疆玉尔吐斯组 and 云南澄江筇竹寺组                               |
|              |                                                      |       | 湖北房县西蒿坪段                                           |
|              |                                                      |       | 河南叶县辛集组                                            |
|              |                                                      |       | 李玉文与陈元报道存在 <i>Pojetaia</i>                         |
|              |                                                      |       | 河南叶县辛集组                                            |
|              |                                                      |       | 河南叶县辛集组                                            |
|              |                                                      |       | 安徽雨台山组                                             |

在1978年认为,南澳寒武纪最早期的这些层位,只能与中国梅树村阶第Ⅱ或Ⅲ组合带相当。

|      |                                                                         | 扬子地台 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | 西伯利亚地台 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |                                                          |            |   |
|------|-------------------------------------------------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------------------------------------------------------|------------|---|
| 阶    | 组合带                                                                     | 0    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11                                                       | 组合带        | 阶 |
| 筲竹寺阶 | <i>Eoredlichia-Wutingus</i> pax-<br><i>Perrabadiella-Mianxiandiscus</i> |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | <i>Fallotaspis</i><br><i>Profallotaspis</i>              | Aldabanian |   |
|      |                                                                         |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |                                                          |            |   |
| 梅树村阶 | <i>Tannuolina-Lopworthella-Sinosachites</i>                             |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | <i>Dokidocyathus lenaicus</i><br><i>D. regularis</i>     | Tommotian  |   |
|      | <i>Heraultipegma yunnanensis</i>                                        |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |                                                          |            |   |
|      | <i>Siphonochites-Paragloborilus</i>                                     |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | <i>Aldanocyathus sunnaginicus</i>                        |            |   |
|      | <i>Anabarites-Protohertzina-Arthrochites</i>                            |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | <i>Purella cristata</i><br><i>Anabarites trisulcatus</i> | Manykian   |   |
|      |                                                                         |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |                                                          |            |   |
| 震旦系  |                                                                         |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | Yudoma Fm.                                               |            |   |

图 4-10 扬子地台和西伯利亚地台某些骨骼动物类群的延限及前寒武系与寒武系界线地层对比

Fig. 4-10 Time range of some skeletal fauna and stratigraphic correlation of the Precambrian-Cambrian boundary between Yangtze and Siberia platforms

0. *Heraultipegma yunnanensis*; 1. *Arthrochites emeishanensis*; 2. *Anabarites trisulcatus*; 3. *Protohertzina anabarica*; 4. *Cambrotubulus*; 5. 赫尔克壳类; 6. 开腔骨类; 7. 单板类; 8. 腹足类; 9. 直管螺类; 10. 软舌螺类; 11. 拉普涅斯壳类; 12. 三叶虫; 点线代表该类分子较少或不确定

南澳虽然产有 *Anabarites trymatius* Conway Morris et Bengtson, 1990 和 *A. sexalox* Conway Morris et Bengtson, 1990, 但是这两个种仅在内核有三条纵槽而在外表面上没有纵槽, 似有 *Pseudorthotheca* 属的特征, 因此在形态特征上与 *Anabarites trisulcatus* Missarzhevsky, 1969 完全不一样, 甚至存在属级以上的差异。因此, 产于中国梅树村阶第 I 小壳组合带和前苏联涅马基特-达尔丁层(马内凯阶)第一化石带中的标准化石 *Anabarites trisulcatus* Missarzhevsky 和 *Protohertzina anabarica* Missarzhevsky 在南澳寒武系最底部是没有见到的, 说明南澳缺失了世界上最早的小壳化石组合带。这正是澳大利亚长期以来丧失竞争国际前寒武系与寒武系界线型剖面能力的缘故。

#### 4) 与西伯利亚对比(表 4-10, 图 4-10)

70 年代中期, 我国学者建立了中国寒武纪第一个阶——梅树村阶, 并在扬子区梅树村阶中报道了大量的的小壳化石, 发现其生物面貌与俄罗斯西伯利亚地台寒武纪早期托莫特期的的小壳化石面貌相似, 从而提出了俄罗斯托莫特阶与我国梅树村阶大致相当的看法(钱逸, 1977; 陈孟莪, 1977)。随着小壳化石研究的进展, 后又发现我国梅树村阶第 I 化石组合 *Anabarites-Anthrochites-Protohertzina* 在托莫特阶缺失, 托莫特阶中的生物化石往往在我国较高层位中发现, 因而提出了托莫特阶只能与我国梅树村阶 II—IV 组合带和下筲竹寺阶相当(钱逸等, 1979; 罗惠麟等, 1982)。有人还根据古杯化石序列的对比,

表 4-10 中国、西伯利亚、蒙古西部、

Table 4-10 Correlation of Early Cambrian biostrata between

| 时代               |               |      |                                                | 中国云南梅树村                                                            | 俄罗斯<br>勒拿-阿尔丹区 | 俄罗斯<br>阿纳巴尔西区 |                                                                                        |
|------------------|---------------|------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 世                | 期             |      |                                                |                                                                    |                |               |                                                                                        |
| 早<br>寒<br>武<br>世 | 筇竹寺期          | 筇竹寺组 | 上段                                             | <i>Eoredlichia</i><br><i>Parabadiella</i>                          | Aldabanian     | Perekhod Fm.  | Judomia<br>Hebediscus<br>Pranabarites<br>Pseudojudomia<br>Fallotaspis<br>Profalloaspis |
|                  |               |      | 下段                                             | <i>Tannuolina-</i><br><i>Lapworthella-</i><br><i>Sinosachites</i>  |                |               |                                                                                        |
|                  | 灯影组<br>(渔户村组) | 大海段  | <i>Heraulitipegma</i><br><i>yunnanensis</i>    | Tommotian                                                          | Pestrosvet Fm. | Medvezhin Fm. |                                                                                        |
|                  |               | 中直村段 | <i>Siphonochites-</i><br><i>Paragloborilus</i> |                                                                    |                |               | <i>Dokidocyathus</i><br><i>regularis</i>                                               |
| 晚<br>震<br>旦<br>世 | 灯影映期          | 白岩哨段 |                                                | <i>Anabarites-</i><br><i>Protohertzina-</i><br><i>Arthrochites</i> | Manykian       | Yudoma Fm.    | Manykay Fm.                                                                            |
|                  |               |      |                                                |                                                                    |                |               |                                                                                        |
|                  |               |      |                                                |                                                                    | Vendian        |               | Rechka Fm.                                                                             |

提出托莫特阶只相当于筇竹寺阶或沧浪铺阶(袁克兴、章森桂,1983;章森桂,1982)。

近几年俄罗斯一些学者在深入研究西伯利亚前寒武系-寒武系界线工作中,改变了他们一贯坚持的托莫特阶是俄罗斯寒武系最低层位,并与中国梅树村阶相当的看法。Mиссаржевский(1982)首先建立马内凯阶,并认为它与托莫特阶呈上下关系。Khomentovsky 和 Karlova(1993)提出了涅马基特-达尔丁层的小壳化石与中国梅树村阶第 I 组合带相当,从而使中国和俄罗斯的研究者在两国寒武纪早期的地层对比上取得了初步的一致(岳昭,1988;Qian Yi,1989;Khomentovsky and Karlova,1993)。

但必须指出,由于生物地理位置的不同,西伯利亚阿尔丹地区托莫特阶和我国扬子区梅树村阶 II、III、IV 组合的小壳化石面貌仍有区别,目前精确的对比尚有困难。标准剖面上托莫特阶或许与中国梅树村阶 II、III、IV 组合带相当或许更高一些。令人惊喜的是,1991 年在新西伯利亚召开的国际第三届寒武系会议上, Khomentovsky, Karlova, Bengtson, Conway Morris, Landing, 钱逸和岳昭等观看了西伯利亚阿纳巴尔地盾马内凯阶地层中的小壳化石,取得了与中国扬子区梅树村阶第 I 组合带,尤其是峡东区黄鳍洞段

南哈萨克斯坦、韩国早寒武世地层对比  
China, Siberia, W. Mongolia, S. Kazakhstan and Korea

| 蒙古西部           |                                                                                                               | 哈萨克斯坦南部       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 韩国                             |                                                                                                                               |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Salanyal Fm.   | <i>Aldanocyathus jaroschevitchi</i><br><i>Tabulacynthellus bidzhaensis</i><br><i>Pretiosocyathus subtilis</i> | Shabaktin Fm. | <i>Hebediscus</i> , <i>Micracornus</i> ,<br><i>Stenothecoides</i> , <i>Helcionella</i> , <i>Burithes</i> ,<br><i>Microdictyon</i> , <i>Cambroclavus</i> ,<br><i>Adyshevitheca</i> , <i>Hyolithellus</i> ,<br><i>Chancelloria</i> , <i>Rhombocorniculum</i> ,<br><i>Halkieria</i> , bradoriids,<br><i>Pseudorthotheca</i> , <i>Yochelcionella</i> | 沧浪铺期                           | Choson Supergroup<br><i>Actinotheca mira</i><br><i>Archiasterella quadratina</i><br><i>Paragloborilus</i><br><i>Conotheca</i> |
|                | <i>Stenothecoides</i>                                                                                         |               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                |                                                                                                                               |
| Bayangol Fm.   | <i>Tannuella gracilis</i><br><i>Lapworthella tortuosa</i><br><i>Anabarella plana</i>                          | Chulaktau Fm. | <i>Bercutia</i><br><i>Tommotia</i><br><i>Cambroclavus</i><br><i>Uniformitheca</i><br><i>Hyolithellus</i><br><i>Halkieria</i><br><i>Camenella</i><br><i>Tiksiheca</i><br><i>Anabarites</i><br><i>Pseudorthotheca</i><br><i>Torellella</i><br><i>Chancelloria</i><br><i>Conotheca</i><br><i>Protohertzina</i>                                      |                                |                                                                                                                               |
|                | <i>Ilsanella compressa</i><br><i>Latouchella</i><br><i>Halkieria</i><br><i>Rozanoviella</i>                   |               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                |                                                                                                                               |
|                | <i>Maikhanella multa</i><br><i>Tiksiheca licis</i><br><i>Anabarites trisulcatus</i>                           |               | Bercutin Fm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <i>Protohertzina anabarica</i> |                                                                                                                               |
| Tsaganolom Fm. |                                                                                                               |               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                |                                                                                                                               |

的小壳化石几乎完全一样的共识,使得中俄寒武系的底界对比变得十分可靠。遗憾的是 Conway Morris 在缺少充分古生物证据的前提下,绘制一张洲际前寒武系与寒武系界线对比表(Conway Morris, 1987, p. 160, fig. 4),此表将中国的渔户村组中间划出了一个大间断,以致于连俄罗斯前寒武系与寒武系主要界线专家 Rozanov(1987), Khomentovsky 和 Karlova(1993)都不同意这一观点,认为托莫特阶或者说 Pestrotsvet 组在中国渔户村组有相当层位的沉积。还有,在 Conway Morris 绘制的这张表上,竟然将南澳的 Ajax 石灰岩与我国云南渔户村组顶部和筇竹寺组底部相当,而南澳寒武系下部的 *Parachina* 组和 *Urattana* 组却在中国缺失了,这个对比与事实根本不符。

# 第五章 寒武纪生物大爆发与地质事件

## 第一节 梅树村期小壳动物群的发生与盛衰

骨骼化的生物群,通常具有比软躯体生物更为分化的器官,具有多功能的机体组织,多用途的硬体,提高了适应环境的能力。

根据现有资料,总观全球早期骨骼生物的发生和发展历史,梅树村期“小壳化石生物群”代表了寒武纪生物大爆发的第一幕,代表了生物矿化作用“质”与“量”的飞跃,在生命发展史上具有重大意义。寒武纪基本上奠定了无脊椎动物界的面貌。钱逸(Qian Yi, 1984)、钱逸和 Bengtson(Qian Yi and Bengtson, 1989)、蒋志文(1984,1985,1986)、蒋志文(Jiang Zhiwen, 1992)、岳昭(1988)等论述过早期骨骼动物演化的阶段性。

中国是世界上寒武纪早期小壳化石代表性产区之一,含化石地层主要分布于扬子区、西北区和北方区(Qian Yi, 1989, pp. 3,4, text-fig. 1)。

### 1. 梅树村期小壳动物的三大变革期

以滇东、川西地区为代表的扬子西区,梅树村阶四个小壳化石带(图 5-1,表 5-1)表明历经了三次大的变革期。第一次是梅树村早期——小壳动物发展的起始期,第二次是梅树村中期——小壳动物全盛期,第三次是梅树村晚期——小壳动物衰退期。紧接着筇竹寺期则是寒武纪生物大爆发的第二幕。

第 I 小壳化石带中包含的门类与属种不多,形态小而简单,分异度亦低,以固着的管栖生物为主,如软舌螺 *Conotheca*, 似软舌螺 *Hyolithellus*, 锥石类 *Arthrochites*, 可能属腔肠类的 *Anabarites*; 但是非固着的底栖软体动物 *Canopoconus*, 或许是肉食类的原牙形类 *Protohertzina* 也存在;可能代表一种生物生命周期的休眠阶段的球形化石 *Archaeooides* 也不少。虽然这一时期带硬体的门类与种属不多,但数量极其可观,许多层位几乎是成层堆积。这个带的小壳化石有广泛的地理分布,在俄罗斯西伯利亚地台、中亚哈萨克斯坦、南亚印度小喜马拉雅地区,伊朗北部厄尔布尔士山、北美科迪勒拉山都有发现。俄罗斯的涅马基特-达尔丁层或马内凯阶与此相当。某些研究者曾一度把这个带划出寒武纪而列入震旦纪(罗惠麟等, 1991)。

第 II 小壳化石带的生物分异度高,不仅大量地出现了新门类和属种,而且数量丰富,在梅树村剖面上几米厚的磷块岩层几乎成了化石堆积层。近 10 个新门类中,游移的软体动物第一次繁盛(包括单板类、腹足类、喙壳类、双壳类等),多骨片动物(包括棱管壳类、织金钉类等)是这个带的优势种类。另外,固着管穴居住者如 *Coleolella*, 直管螺形软舌螺 *Paragloborilus* 和可能的食肉类 *Cyrtochites* 和 *Yunnanodus* 也不少,还有腕足动物,主要的属有 30 多个,许多化石的外装饰、内部构造和壳结构的复杂性显著增加,一些分子具有地方性色彩,但也有些可用于全球对比;还有遗迹化石 11 属。目前发现在中国扬

| 门类   | 软舌螺                   | 环节动物                  | 软体动物                                          | 腔肠动物                                             | 牙形状化石                  | 海鞘和开腔海类            | 钉形化石                | 托壳特壳类              | 赫尔壳壳类             | 棱管壳类                 | 球状化石和腕足动物                                  |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------------------|
| 中寒武统 | <i>Hyolites</i>       |                       |                                               | <i>Camularia</i>                                 |                        |                    |                     |                    | <i>Wracaria</i>   |                      |                                            |
| 下寒武统 | <i>Yankongoceras</i>  | <i>Auriculaspira</i>  | <i>Tannella</i>                               |                                                  | <i>Rhombocermatium</i> | <i>Protopanga</i>  | <i>Cambroclanus</i> | <i>Limnoria</i>    | <i>Limnoria</i>   | <i>Halkieria</i>     |                                            |
| 下寒武统 | <i>Macrocerus</i>     | <i>Hyolithellus</i>   |                                               |                                                  |                        | <i>Altonia</i>     |                     | <i>Laoporthea</i>  | <i>Tannuolina</i> | <i>Sinoschistes</i>  |                                            |
| 下寒武统 | <i>Neoglabrorius</i>  |                       |                                               |                                                  |                        |                    |                     | <i>Foranurilia</i> | <i>Halkieria</i>  | <i>Siphonochutes</i> |                                            |
| 下寒武统 | <i>Paraglabrorius</i> | <i>Coleella</i>       | <i>Archaeospara</i><br><i>Yangetzoceras</i>   | <i>Amabartes</i><br><i>Quadrastrophomuchites</i> | <i>Yunnanodus</i>      | <i>Chanceloria</i> | <i>Zhiyues</i>      |                    |                   | <i>Siphonochutes</i> | <i>Archaeooides</i><br><i>Hosomoclypha</i> |
| 下寒武统 | <i>Conothecha</i>     | <i>Cambroutubulus</i> | <i>Heraulitpegrina</i><br><i>Canopocornus</i> | <i>Arthrochites</i>                              | <i>Prothertzia</i>     |                    |                     |                    |                   |                      | <i>Oltrooides</i>                          |
| 上震旦统 |                       |                       |                                               |                                                  |                        |                    |                     |                    |                   |                      |                                            |

图 5-1 梅树村期小壳动物发生与盛衰示意图  
 Fig. 5-1 Sketch map showing occurrence, prosperity and decline of small shelly fauna during the Meishucunian Stage

子地台、俄罗斯西伯利亚地台、哈萨克斯坦、蒙古西部、印度小喜马拉雅山区、伊朗北部厄尔布尔士山等。

表 5-1 中国下寒武统主要动物群分带的对比

Table 5-1 Correlation between main faunal zones of Lower Cambrian in China

| 阶    | 小壳化石带                                                                                                                                                                                                                                                    | 三叶虫带                                                                                                                           | 古杯组合                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 龙王庙阶 |                                                                                                                                                                                                                                                          | 8. <i>Redlichia</i><br>( <i>Pteroredlichia</i> )<br>7. <i>Hoffetella</i>                                                       |                         |
| 沧浪铺阶 | 8. <i>Dorsolinevitus</i> -<br><i>Parakorolithes</i> -<br><i>Yochelcionella</i><br>7. <i>Obliquatheca</i> -<br><i>Majatheca</i>                                                                                                                           | 6. <i>Megapalaeolenus</i><br>5. <i>Palaeolenus</i><br>4. <i>Drepanuroides</i><br>3. <i>Yiliangella</i> -<br><i>Yunnanaspis</i> | 天河板组合<br>鹰嘴崖组合<br>凉水井组合 |
| 筇竹寺阶 | 6. <i>Sulcavites</i> -<br><i>Linevitus</i> -<br><i>Aimitus</i><br>5. <i>Cambroclavus</i> -<br><i>Rhombocorniculum</i> -<br><i>Microconus</i>                                                                                                             | 2. <i>Eoredlichia</i><br>(澄江动物群)<br>1. <i>Parabadiella</i> -<br><i>Mianxiandiscus</i>                                          | 筇竹寺组合                   |
| 梅树村阶 | 4. <i>Sinosachites</i> -<br><i>Tannuolina</i> -<br><i>Lapworthella</i><br>3. <i>Heraultipegma</i><br><i>yunnanensis</i><br>2. <i>Siphonochites</i> -<br><i>Paragloborilus</i><br>1. <i>Anabarites</i> -<br><i>Arthrochites</i> -<br><i>Protohertzina</i> |                                                                                                                                |                         |

第Ⅲ带小壳动物仍持续繁盛，并出现一些新的类群，如喙壳类 *Heraultipegma* 的出现，开腔骨类和赫尔克壳类的大量繁盛。它们在全球分布广泛，其中 *Heraultipegma* 由于延续时限短，可用于大区域范围的对比。

第Ⅳ带在小壳化石门类与属种或个体数量上均大量减少，如软体动物、软舌螺、多骨片动物的棱管壳、牙形状化石。代之出现了一些特异类型的多骨片动物，如托莫特壳类的 *Tannuolina*, *Lapworthella*, 似楯壳类的 *Sinosachites*, 少枝类开腔骨针 *Allonnia*, *Archiasterella* 以及软舌螺类，总数接近 17 属，还有遗迹化石 7 属。这个带分布在扬子西区的筇竹寺组或九老洞组中下部。

第Ⅳ带的小壳化石在世界范围有较广泛的地理分布，但由于延续的地质时限较长，确切的洲际对比还存在分歧。有人认为相当托莫特中期，也有人认为相当阿特达班期。

作为对照，筇竹寺期的骨骼化石则另具特色，多数典型梅树村期的具骨片动物消失，而代之以高分异度的具或不具硬部的多种生物大爆发，澄江动物群目前接近 100 属。以三叶虫 (*Eoredlichia*, *Wutingaspis*, *Yunnanoccephalus*) 为代表的节肢动物高度分异，具有许多具双瓣壳的高肌虫；软舌螺形态变得大而复杂，背腹分异并有口唇、口盖、中槽和大的顶角，常见的属包括 *Linevitus*, *Sulcavitus*, *Ambrolinevitus*, *Aimitus*, *Burithes* 和

*Microcornus*等。另外,著名的澄江动物群各种海绵大发展,造型奇特的叶足类、骨板独特的近有爪类 *Microdictyon*,带 *Zhijinites* 型皮刺的 *Rotadiscus* 等以及其他各种软躯体生物化石。*Chancelloria*, *Allonnia*, *Archiasterella* 等继续存在。腕足动物出现新的属,甚至有半索动物或头索动物的可能代表 *Yunnanozoon* (Chen Junyuan, Dzik et al., 1995; Shu Degan et al., 1996)。

## 2. 梅树村期小壳化石各门类的演化趋势

### (1) 软舌螺

在梅树村期,从口平、顶尖的圆锥形化石 *Conotheca* 逐渐向始部膨大呈球形、亚球形、泪滴形的 *Paragloborilus* 演化。梅树村末期,其球形的始部出现小刺,如 *Neogloborilus*。筇竹寺期以后的软舌螺背腹明显分化,横切面复杂化,出现了口唇,如筇竹寺期早中期的 *Microcornus*,偶线带螺 *Ambrolinevitus*,沧浪铺期的 *Parakorilithes* 和 *Yankongovitus*。

### (2) 腔肠动物

主要指最原始的锥石类。从单纯三射对称的 *Anabarites*,向三射对称和两侧对称混合型的 *Arthrochites* 演化,并出现四射对称的 *Carinachites* 以及其三射对称的少数属种 *Emeiconularia trigemme* Qian et al. (钱逸等,1997),还有六边形的 *Hexangulaconularia*。筇竹寺期出现了典型的软躯体海葵和钵水母)。中寒武统出现了典型的锥石类 *Conulariella robusta* Barrande。上寒武统发现了 *Conularia cambria* Walcott。

### (3) 牙形状化石

首先出现单锥型的原牙形类 *Protohertzina*,单锥型然而具小齿的 *Paracanthodus*,甚至具孤立小齿出现,说明早期的原牙形刺并非简单,其次出现假复合型的具不规则小齿的 *Yunnanodus*。至筇竹寺期初出现了具纤维状壳壁结构的假牙形刺 *Rhombocorniculum* 和原牙形类 *Amphigeisina*, *Gapparodus*。肉食类的出现,加剧了生存竞争,尤其在澄江动物群中多种大型-巨型肉食类 *Anomalocaris* 的出现。

### (4) 开腔骨类

繁盛期出现的多射管具基孔的 *Chancelloria* 向少射管、有基孔的 *Allonnia*, *Onychia* 演化。筇竹寺期至沧浪铺期出现了多射枝、无基孔的 *Eiffelia* 和射管萎缩成钮扣状的开腔骨类 *Chancelloria arida* Duan。曾有人认为具基孔的开腔骨类代表外骨骼,并有完整骨片系的化石发现。

### (5) 托莫特壳类

全盛期有扁形的成对对称的 *Porcauricula*,衰退期出现了鞍槽、僧帽形双型又各自成对的 *Tannuolina* 以及多骨片动物 *Lapworthella*。在筇竹寺期以后出现典型多面锥状的 *Tommotia* 和具有隔板的 *Tesella*,并往往与古杯动物一起出现。Dzik(1986)、岳昭和高林

志(1994)曾提出过有趣的复原图,与短剑类(*Machaeridia*)蔓足类等具有相似之处。

#### (6) 赫尔克壳类

全盛期为 *Halkieria*, 少量 *Sachites*, 衰退期出现粗中脊的骨片 *Sinosachites*。在北格陵兰岛早寒武世 Buen 组出现完整的 *Halkieria* 连锁骨片系,除上千个小骨片外,还有前、后两个大壳,与中寒武世布吉斯页岩的 *Wiwaxia* 的壳片形态类似,但骨片数量少得多,而且不矿化;在中国的凯里动物群中有其零散壳片(赵元龙、钱逸等,1994)。

#### (7) 织金钉类

全盛期初出现壳薄、基盘圆、结构简单的孤立的钉形 *Zhijinities*, 后来变为壳厚、基盘鞋形、结构复杂的连锁钉形 *Cambroclavus*。此类至少一部分(可能是 *Zhijinities*)与澄江动物群 *Rotadiscus* 的上伞面的皮刺有关,而另一部分(可能是 *Cambroclavus*)与 *Hallucigenia* 有关,后者也具钉形骨片。因此,此类化石是多源的。

#### (8) 软体动物

在梅树村早期仅发现 *Canopoconus* 属,外形杯状,表面有瘤状突起,可能属单板类。到中期(全盛期)软体动物第一次发生了惊人的分异,出现有单板类、腹足类、喙壳类等共 50 多个属。到了晚期,大量中期的物种消亡,仅发现个别的属种,如单板类 *Ilsanella*, *Palaeocmaca*。但到筇竹期初开始出现 *Pelagiella*, *Tannuella elata* Missarzhevky, *Anabarella plana* Vostokova 等软体动物。贵州筇竹寺期牛蹄塘组出现了双壳类 *Xianfengoconcha elongata* Shu。华北地台南缘沧浪铺期辛集组产双壳类 *Pojetaia ovata* Chen et Wang, 雨台山组产 *Pojetaia runnegari* Jell, *P. elliptica* Li et Zhou 以及 *Jellia ovata* Li et Zhou 等,还有独特而稀少的 *Yochelcionella*。

#### (9) 腕足动物

无铰纲磷质壳化石开始出现。近来有人声称找到腕足类与环节动物的过渡型,需进一步审定。

### 3. 小壳化石兴衰的影响因素

埃迪卡拉动物群中很少发现寒武纪动物的祖先,寒武纪还没有肯定的埃迪卡拉动物群分子的后裔(Conway Morris, 1993)。这种不连贯的现象暗示某种生物事件的发生。

但生物矿化的发生要比梅树村期早得多,甚至某些细菌都会发生。仅就中国的实际情况而言,后生动植物的生物矿化至少在陡山沱期已找到证据(薛耀松等,1992;陈孟莪等,1992;张昉,1989;Zhang Yun and Yuan Xunlai, 1992)。到灯影峡期大量蠕虫管(可能分泌非胶粒结构的)已局部呈堆积状。各个门类的出现与生物矿化的早晚各不相同,生物矿物的种类也不相同。从梅树村期小壳化石可以判断,后生动物早期生物矿化硬体薄、小、结构脆弱,甚至呈分散的颗粒。只是到了梅树村早期后生动植物的生物矿化发生了“质”与“量”的飞跃,大小变得可见、厚度可变得抗溶解、结构变得坚固。还不明白何种外因或内因起了主要作用,或许是综合作用的结果产生新的遗传密码(表 5-2)。此外,各种

因素影响到古海洋的化学成分, 火山作用和裂谷作用不仅提供磷质, 还提供硅质、钙质、二氧化碳、硫等, 震旦纪—寒武纪大规模成磷作用, 这些营养物质对生物不仅是生理作用的重要元素, 也是造骨作用的基础材料。丰富的磷酸盐不仅是生物生存和发展的营养物质, 还有利于微壳和小壳的成岩交代而保存下来。

另外, 梅树村剖面上包含四个小壳化石带的层段之间都有明显的间断现象, 说明不是连续的记录。

表 5-2 后生物出现的主要假说(引自 Bengtson and Lipps, 1992)

Table 5-2 Proposed main hypotheses on appearance of metazoans(after Bengtson and Lipps, 1992)

|                       |                                                                          | 主要假说                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 生<br>物<br>因<br>素      | 大小                                                                       | 前寒武纪后生物因为小而没有留下化石记录。它们呈浮游(Brooks, 1844; Raymond, 1939)、缝隙式(Boalen, 1975)、或在沉积物表面上(Clarke, 1964)生活。由于固着习性(Nicol, 1966)或穴居习性(Clarke, 1964)的获得, 产生了较大生物                                                                                                                                                                                                      |
|                       | 骨骼                                                                       | 前寒武纪后生物因是软躯体而没有留下化石记录(Rutten, 1971; Glaessner, 1972, 1984; Durham, 1971, 1978b)。骨骼化是后生的[在正常钙形成之后(Lowenstam and Margulis, 1980a, b; Kazmierczak et al., 1985; Degens et al., 1985)], 用于抵御肉食动物(Evans, 1912; Sollas, 1912), 或由于生物力学的原因(Raymond, 1939; Nicol, 1966), 或主要作为过量钙的分泌(Kazmierczak et al., 1985; Degens et al., 1985)或磷的分泌(Rhodes and Bloxam, 1971) |
|                       | 迁移                                                                       | 后生物从缺乏可获得化石记录的生境侵入浅海水体, 例如从岸线(Axelrod, 1958)到较深水体(Snyder, 1947)                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                       | 生态                                                                       | 肉食动物和(或)收获者的出现为多样化提高了选择机理(Stanley, 1973a)。埃迪卡拉动物群的绝灭为“寒武纪的爆发”提供了生态空间(Hsü K. J. et al., 1985; McMenamin and Schulte McMenamin, 1989)                                                                                                                                                                                                                       |
|                       | 遗传                                                                       | 调控基因的演化使新造型的迅速出现成为可能(Valentine and Campbell, 1975)。性的演化促进了多样化(Schopf et al., 1973b; Stanley, 1975a)                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 非<br>生<br>物<br>因<br>素 | 氧                                                                        | 在大气圈和海洋中积累充足的氧, 允许具复杂肌肉和新陈代谢的较大生物起源和多样化(Berkner and Marshall, 1964a, b, 1965a, 1967; Cloud, 1968, 1976a; Nursall, 1959; Runnegar, 1982a; Berry and Wilde, 1987; Wilde, 1987)。氧水平较高, 使结构蛋白, 尤其是胶原蛋白(Towe, 1970, 1981)能够合成                                                                                                                                  |
|                       | 钙                                                                        | 海洋中钙水平增加允许钙质骨骼的发育(Daly, 1907; Kazmierczak et al., 1985)                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                       | 磷                                                                        | 磷的可利用度增加导致生物量和多样性的增加(Cook and Shergold, 1984, 1986)。丰富的磷说明早期骨骼以磷酸盐为主(Rhodes and Bloxam, 1971; Lowenstam and Margulis, 1980a, b; Cook and Shergold, 1984, 1986; Brasier, 1986)                                                                                                                                                                             |
|                       | 冰川作用                                                                     | 晚元古代地球的冰川作用改变古海洋和营养源供应, 故所有类群几乎能够同时辐射(Harland, 1964; Rudwick, 1964)                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                       | 陆、海格局                                                                    | 大陆改观和海平面变化增加了能栖息浅海环境的广度和多样性, 引起生物的多样化(Valentine and Moores, 1972; Brasier, 1982, 1985)                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 宇宙原因                  | 一次陨星撞击(Hsü K. J. et al., 1985)或宇宙辐射的增加(Schindewolf, 1954, 1958)触发了生物圈的再造 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

在震旦纪—寒武纪期间还发生了一系列影响或大或小的事件。由于海侵造成的缺氧事件(范德廉等, 1987)、古地磁极频繁变换(梁其中等, 1990)、风暴事件(孙枢等, 1987; 刘宝珺等, 1987)、反映地内事件(如火山、裂谷作用等)或地外事件(小行星、彗星陨击)造成的各种地化异常等, 小壳动物(带硬体或早期骨骼动物)处在这种“多事之秋”, 促使“不幸者”快速绝灭, “幸运者”快速发展, 小壳化石带的更替是相当快的, 但由于同位素定年的精度不够, 故不能作定量评价。

具骨骼动物的演化总趋势是越来越发展, 那么如何解释梅树村晚期小壳化石的贫乏呢? 究竟是已有的小壳动物由于某种原因衰亡, 或被新类型的骨骼生物排挤、打击与替代而降低到次要地位, 还是局部环境条件不利于生存或保存, 使有利相带(特别与成磷环境有关)迁移? 其确切原因是难以判断的, 但后面的原因是最可能的, 黑色粉砂岩不利于生物生存与小壳化石的保存。

筇竹寺期以软躯体后生动物保存极好而著称(所谓化石宝库“Lagerstätte”), 澄江动物群较真实地保存了当时的生物群落概貌, 反映出后生动植物发生新的飞跃: 新型的“大壳动物”出现, 传统的“小壳动物”衰退, 但某些动物继续存在; 巨型肉食类(如 *Anomalocaris*)代替了原牙形类; 以三叶虫为代表的节肢动物大分化, 还有许多其他类别: 叶足类、有爪类、曳鳃类、内肛虫、腔肠动物(钵水母、海葵)、棘皮动物、海绵动物新类型、水母状生物 *Eldonia*, *Rotadiscus* 等、造礁生物(古杯)和脊索动物等, 这对探索无脊椎动物的早期进化史有重要意义, 尤其是它早于著称于世的北美中寒武世布吉斯动物群达千万年, 逼近梅树村期, 对某些小壳动物骨片系的恢复、解剖与功能的理解有重要启迪(如 *Microdictyon*, *Rotadiscus*)。值得注意的是, 据澄江动物群和布吉斯页岩动物群的研究, 带硬体生物其实只占其小部分, 梅树村期小壳化石, 不能理解为独占当时动物界, 只缘许多软躯体生物没能留下记录。

## 第二节 寒武纪生物大爆发的地质背景以及晚前寒武纪至寒武纪过渡时期的地质事件对早期生物演化的影响

生物与环境是一个统一体中密切联系着的矛盾的两个方面, 它们之间相互影响、相互依存又相互斗争。环境决定并控制着生物的生存、分布和组合特点, 而生物反过来又通过自身的生命活动和生存竞争, 主动地适应并不断地改造环境。

生物演化的进程除生物自身内在因素在起作用之外, 还与外界环境因素有着密切的关系。众多互不相关的生物门类同时卷入了寒武纪早期生物辐射演化和生物矿化事件, 这一事件的发生除了生物界的进化过程为这一事件的出现准备好生物自身的条件之外, 显然还与我们目前知之不多的全球性环境的变化有关。许多生物类别几乎同时发生了外骨骼, 外骨骼的出现无疑对生物体有着保护和支撑的作用, 有利于生物向底表生活方式的发展, 因而完全可以想象当时海床表面生态空间首次成为众多生物争夺的对象和集居地。

### 1. 古地磁场的研究与古大陆位置的再造

刘椿等(1988)、梁其中等(1990)在晋宁梅树村的前寒武系-寒武系剖面上, 较系统地

在 53 个采点上采集了 112 块岩芯标本(249 块样品)。磁性地层学研究指出该剖面中一些极性混合带与小壳动物化石群的出现与衰亡的时空位置吻合(图 5-2), 反映了地磁场倒转与小壳动物化石群演化的相关性。古纬度信息表明中谊村段主要磷矿层位正是低纬度带控制的古地理环境。

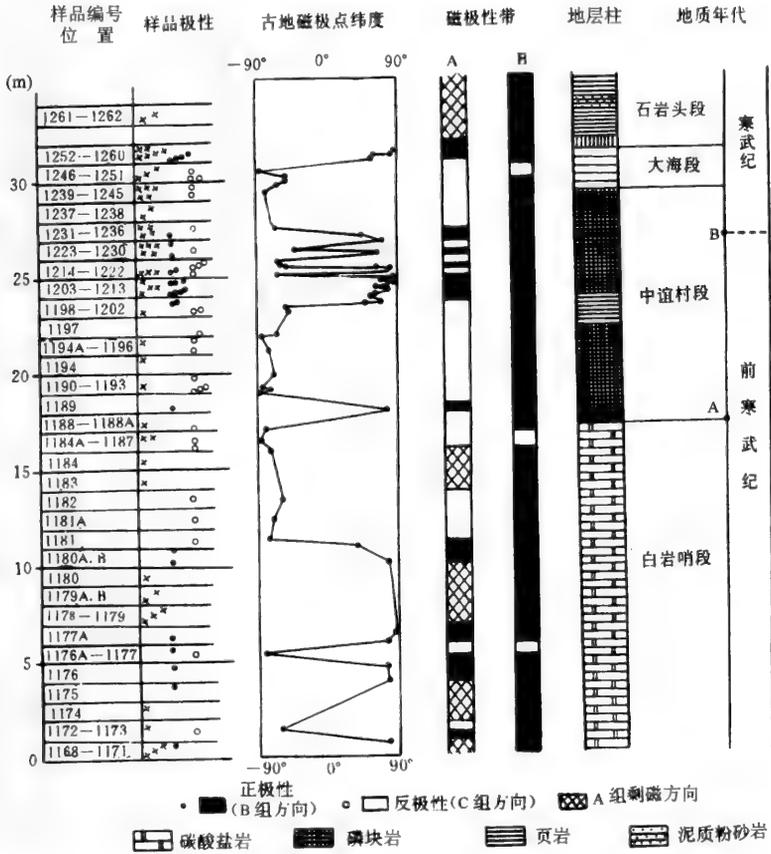


图 5-2 梅树村剖面下部磁性地层柱(引自梁其中等, 1990)

Fig. 5-2 Magnetostratigraphic column of the lower part of the Meishucun section (after Liang Qizhong et al., 1990)

外国学者 Kirschvink 等(1984, 1987)在西伯利亚、澳大利亚、中国、摩洛哥前寒武系-寒武系过渡地层中也作了类似的古地磁研究, 证明当时大陆集中于低纬度地带, 气候温暖, 发育大规模的碳酸盐岩台地, 有利于生物多样性的发生、发展。另外, 古地磁极频繁交替与变换促使生物尤其是动物“推陈出新”。

McKerrow 等(1992)还作了寒武纪三个阶段古大陆位置的再造。大陆配置与板块运动影响到海流状况、营养物的供给, 从而影响生物区系的分布与迁移。

## 2. 地化异常与地壳活动性或地外事件

Knoll (1991) 总结外国学者的 Sr 同位素研究资料, 表明晚前寒武纪地壳活动性增加 (图 5-3)。或许正是在这个时期板块构造才正式出场, 裂谷作用强烈。在非洲、美洲、西伯利亚南部及中国南部, 都发生强烈的火山喷发。在前寒武纪-寒武纪过渡期, 海洋化学、肥沃度等发生了深刻的变化。

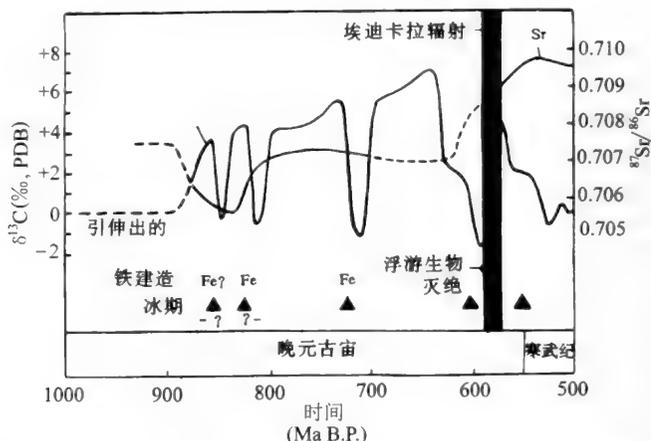


图 5-3 晚元古宙  $\delta^{13}\text{C}$  变化总体模式与海水中异常低的 Sr 同位素比值变化关系及原图说明(引自 Knoll, 1991)

Fig. 5-3 Overall pattern of carbon isotopic variation fits well with that of unusually low strontium isotope ratios in seawater (after Knoll, 1991)

在中国西部和南部, 有关震旦纪早期的火山活动认识得比较早 (刘鸿允等, 1991), 但震旦纪晚期—寒武纪早期的火山活动则认识得比较晚 (骆学金, 1990; 邸瑞姑等, 1989)。近年在梅树村剖面发现多层斑脱岩, 尤其对分布于皖、浙、赣、湘、桂、黔的大面积黑色硅质沉积重新解释为热水沉积 (刘家军、郑明华, 1991), 其中含透长石等非正常沉积矿物。

徐道一等 (Xu Daoyi et al., 1989) 报道, 中国寒武系底部有铀异常, 范德廉等 (Fan Delian et al., 1984, 1987) 研究寒武系下部黑色页岩中 V, Cr, Co, U 等多金属层, 这些究竟是地内火山事件的结果抑或地外物体的撞击效应, 还应慎重思考。无论如何, 它们对于生物均是灾难性的事件, 有深刻的影响。

至于  $\delta^{13}\text{C}$  (图 5-4, 5-5),  $\delta^{18}\text{C}$  的波动则同样具有多种原因与解释。 $\delta^{13}\text{C}$  一般以碳储库的模式来解释 (Knoll, 1991, fig. 8)。

$\delta^{13}\text{C}$  在震旦纪—寒武纪趋向负值。 $\text{O}_2$  分压 ( $P_{\text{O}_2}$ ) 的变化及  $\text{CO}_2$  分压 ( $P_{\text{CO}_2}$ ) 的变化导致硬骨骼的发展, 另外营养物质的可用度增加。

可能大气圈化学成分的变化伴随着海洋肥沃度的大变化, 如伴随肥沃度增加而光合作用增加, 使大气圈氧含量增加。浮游植物的增加还造成大气中硫化物, 如二甲基硫化物增加, 碳在陆架沉积物中封存增加可能增加硫酸盐还原的数量导致  $\text{NH}_3$  增加和短暂的氮的氧化物增加等。也有人认为肥料过量是气候变化的一个潜在原因。

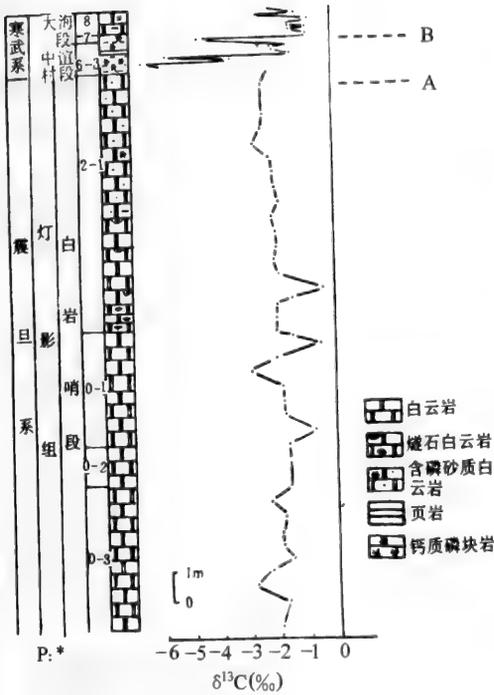


图 5-4 云南晋宁梅树村前寒武系-寒武系过渡层的碳同位素组成变化 (引自陈锦石等, 1992)

Fig. 5-4 Changes in carbon isotope composition of Precambrian-Cambrian boundary strata at Meishucun of Jinning, Yunnan (after Chen Jinshi et al., 1992)

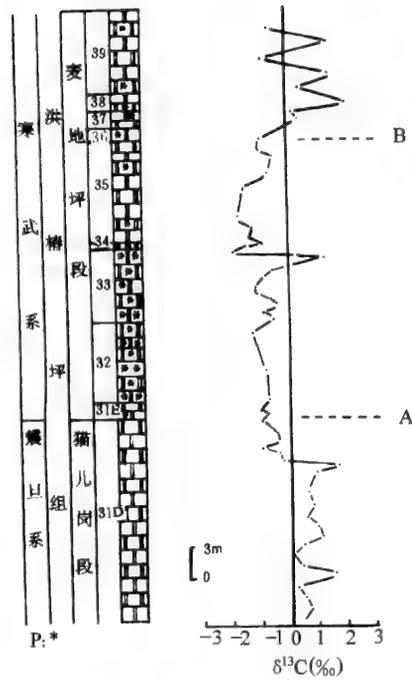


图 5-5 四川峨眉麦地坪前寒武系-寒武系过渡层的碳同位素组成变化 (引自陈锦石等, 1992)

Fig. 5-5 Changes in carbon isotope composition of Precambrian-Cambrian boundary strata at Maidiping of Emei, Sichuan (after Chen Jinshi et al., 1992)

海平面上升造成广阔的浅海生境, 增大海洋表面积, 同时这些新生的浅海区磷含量增加, 使后生物能够利用这个机会。晚前寒武纪冰期与寒武系底之间有很长的时间, 可能造成新的扩张洋中脊长期升降事件。新的海、陆格局使海水循环及形成新的海路, 海洋更替速率提高。大规模发生玄武岩等火山喷发( $P_2O_5$ 含量为 2%), 元古代末期的裂谷作用, 使磷酸盐额外增加。

震旦纪宏体藻类的第一次大分化, 很可能是造成  $P_{O_2}$ - $P_{CO_2}$  变动的另一主因(陈孟莪等, 1994)。

许多学者曾经强调过大气和水圈中游离氧含量对后生物演化的重要意义(Cloud, 1976)。生物需氧呼吸能充分利用能源, 另外, 臭氧层的出现还使生物免于受到太阳紫外线的伤害。

### 3. 成磷事件与海水肥沃度

磷是所有生命形成的基本元素。在大多数生物中 C 和 P 比率为 106:1 (Redfield 比

率),相当一致。清华大学赵玉芬教授发现磷是生命化学的调控中心。ATP, ADP 都含磷。磷酸盐在早期骨骼化中的作用也是重要的。

沉积磷酸盐在地史上第一次形成大规模矿床始于晚前寒武纪(文德纪或震旦纪)-寒武纪的非洲和亚洲,其次为大洋洲(图 5-6)。

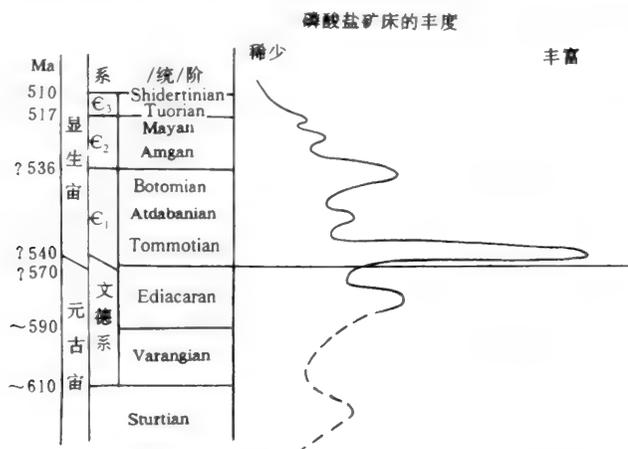


图 5-6 元古宙-显生宙过渡期磷酸盐的分布(引自 Cook,1992;Harland et al.,1990,修正)

Fig. 5-6 Phosphate distribution during Proterozoic-Phanerozoic transition (after Cook,1992; chronostratigraphical nomenclature and radiometric ages modified from Harland et al., 1990)

磷酸盐富集与生物演化之间的关系值得深入探讨,迄今尚未明白,但其相互促进、相互影响是可以肯定的。生物在形成磷酸盐矿床中起作用,而磷酸盐重要的生化作用、生物矿化作用、提高生物硬体的保存度也是显著的。成磷事件的顶峰与元古宙-寒武纪界线相符合,它反映了当时海洋化学的重要变化,深处的富磷海水循环进入浅水透光带。海平面的剧烈下降、上升也是重要因素。

海洋化学的变化可能触发了生物群的某些变化,包括动物生物量的增加,生物矿化作用开始出现在磷酸盐浓度最高的地区,然后已骨骼化的后生动物才迁移到磷酸盐低含量的地区。

#### 4. 古气候的巨变

早震旦世晚期发生了全球性冰期,称谓“雪球期”,气候严酷,海平面大幅度下降,对于先埃迪卡拉期的生物群是极大的锻炼和考验。从晚震旦世至寒武纪气候显著变暖,冰川融化,海平面上升,浅水地域扩大,适宜生物的生存和发展。这种古气候的改变,无疑受天体运行规律与周期的控制。

### 第三节 寒武纪生物大爆发的生物学意义

寒武纪早期动物爆发性演化事件是地质历史中的一个重大不解之谜,达尔文对此曾给予极大的注意但深感费解(Conway Morris, 1987) 近 30 余年来,世界各地前寒武纪

晚期地层内陆续发现了许多软躯体后生动物化石。这些化石资料表明后生动物在寒武纪之前早已出现了(陈孟莪, 1988; Glaessner, 1984)。由于早期动物由软躯体所组成, 极难保存成为化石。到了寒武纪, 地层中化石记录突然增多, 除了生物辐射演化这一原因外, 更为重要的是发生了生物矿化事件(图 5-7), 生物保存为化石的潜力大大提高了。“爆发”产生了梅树村期梅树村动物群、筇竹寺期澄江动物群, 中寒武世凯里动物群和布吉斯动物群(可能有脊索动物出现)。

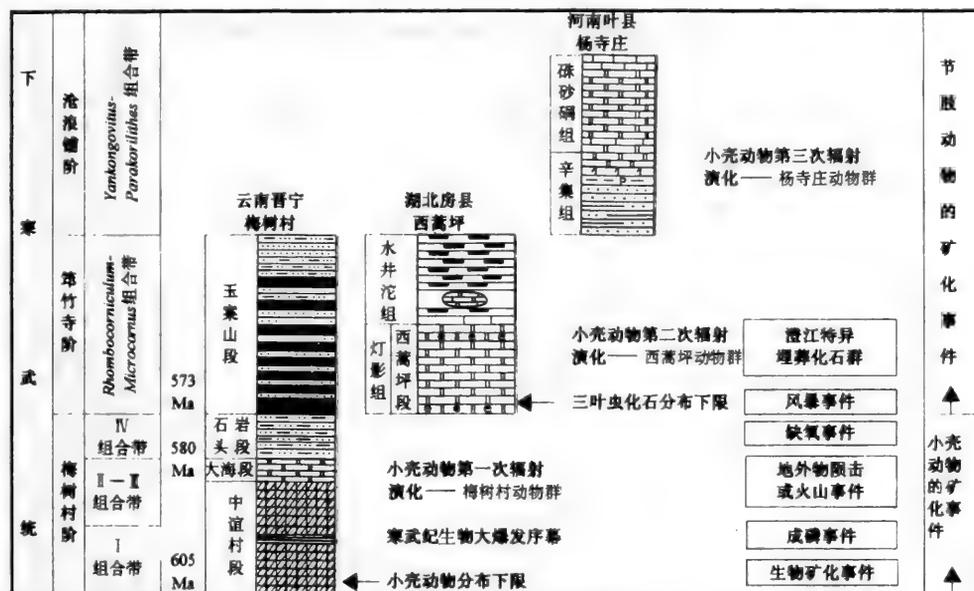


图 5-7 中国早寒武世生物矿化事件及小壳动物群、澄江动物群的地层分布

Fig. 5-7 Early Cambrian biomineralization events and stratigraphical distribution of small shelly faunas and Chengjiang Fauna in China

寒武纪早期动物骨骼化石中, 除三叶虫、海绵、古杯等个体较大外, 其余均不大, 大小通常只有数毫米, 甚至小于 1mm。文献中泛称为小壳化石或早期的微小骨骼化石, 不具严格分类学的意义, 除软体动物、无铰纲腕足类和软舌螺类外, 还包括大量分类位置不明的骨片。它们所代表的是一个陌生而神秘的动物世界。单从这些骨片化石我们不仅无从了解动物体的形态, 连有关这些骨片化石本身的一些基本问题也无法作出肯定性的回答, 诸如原始化学组成、外骨骼, 还是内骨骼, 分离式或连锁式排列, 增生性生长或一次性形成, 等等。上述问题的最终解决, 我们不能不寄希望于保存软躯体化石的发现和研究。

寒武纪初生物的爆发式进化, 既表现为骨骼化, 又表现为造型的奇特与多样, 正是所谓创造“门”的时代, 出现了近 30 个门类, 以后再没有那么多的“门”发生, 只是在分类低级别单元上的分化。由于当时高分类级别上的多样性(悬殊度), 限制性较少而自由地“试验”。寒武纪以后许多门类的祖先形式可以追溯到梅树村期, 包括无脊椎动物的主要门类以及可能的脊椎动物(图 5-8)。但存在尾鞘类之说(张爱云等, 1985, 1987)一直受到怀疑。对于寒武纪初生物的爆发式演化有三种不同的方式(图 5-9)。

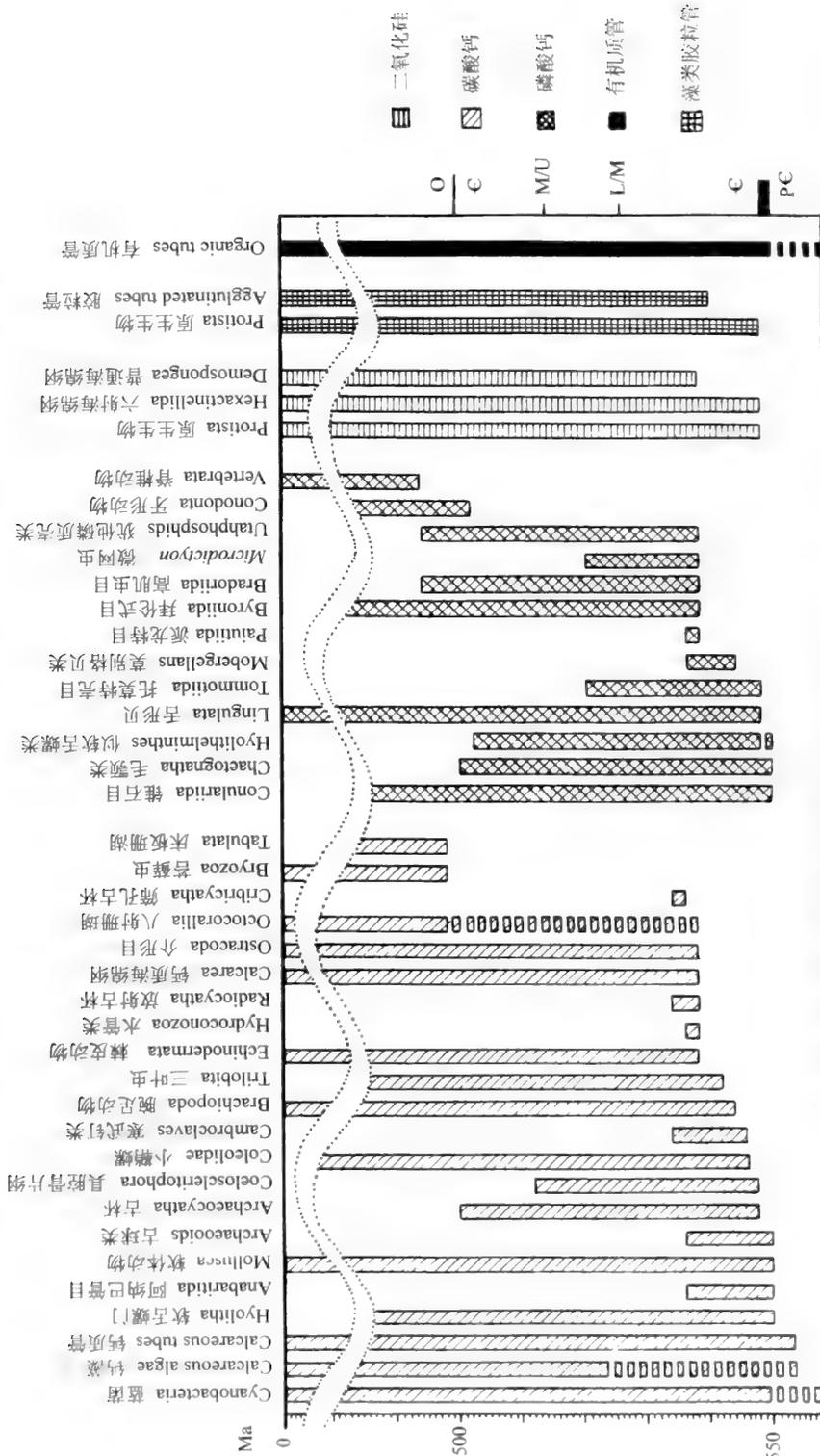


图 5-8 形成骨骼的主要类群的时代分布(引自 Bengtson, 1992b)

垂直线表示据化石所知的时代分布;断线表示鉴定年龄有疑问。前寒武纪-寒武纪过渡期示为过渡带,包括涅马基-达尔丁层(550—548Ma)。浪线表示略去从下奥陶统到上第三系图上的分类单位。有些是“门”的亚类群,若干疑难群状生物统称“钙质管”,“胶粒管”和“有机质管”

Fig. 5-8 Distribution of major skeleton-forming groups through time(after Bengtson, 1992b)

Vertical bars denote age distribution as known from fossils; broken bars indicate problems of identification or of age assessment. The Precambrian-Cambrian boundary is shown as a transitional interval spanning the Nemakit-Daldynian(550 to 548Ma), and a missing time interval from the Lower Ordovician to Upper Tertiary. Some of the taxa on the figure are subgroups of such "phyla" and that a number of problematic tubicolous organisms have been lumped into non-taxonomic categories as "calcareous tubes", "agglutinated tubes" and "organic tubes"

表 5-3 元古宙—显生宙早期宏体化石生物群及其特征一览表

Table 5-3 A schedule of early macrofossil biota and thier character from Proterozoic to Phanerozoic

|      |                                                                                             |                                                                                                                                                                |                                                    |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 寒武纪  | 中寒武世                                                                                        | 凯里生物群:节肢动物,腕足动物,棘皮动物,软舌螺动物,海绵动物,开腔动物,维王克壳类,宏体藻类                                                                                                                |                                                    |
|      | 早寒武世                                                                                        | 澄江生物群:海绵动物,腔肠动物,腕足动物等,以三叶虫为代表的节肢动物爆发。大型肉食节肢动物出现。藻类植物 Marpolia 丛状体<br>梅树村生物群:小型多门类带硬部动物大爆发,可能肉食动物出现。遗迹化石分异度大增                                                   |                                                    |
| 震旦纪  | 灯影期                                                                                         | 西陵峡生物群: <i>Paracharrria</i> , <i>vendotaenides</i> 大量, <i>cloudinids</i> 大量。遗迹化石少量,垂直钻穴出现                                                                      |                                                    |
|      |                                                                                             | 高家山生物群:蠕虫管,遗迹化石,瓶状化石,带藻(?)<br>江川生物群:蠕虫(带藻?) <i>chuarid-tawuid</i> 组合                                                                                           |                                                    |
|      | 陡山沱期                                                                                        | 瓮安生物群:多细胞藻类,胶鞘丝关体,球状动物胚胎和疑源类<br>庙河生物群:生物大型化。宏观高级藻类,具单轴式分枝、蝎叉轴式分枝、二歧式分枝。蠕虫,似海绵,特大 <i>chuarids</i> , 小球集合体<br>蓝田植物群:宏观藻类:二歧式分枝丛、扇形体带固着器、串珠状、似 <i>chuarids</i> 种类 |                                                    |
|      | 间冰期                                                                                         | 溶溪植物群:宏体植物(带藻类)                                                                                                                                                |                                                    |
| 辽南纪  | 葛屯期                                                                                         | <i>chuarid-tawuid</i> 组合; 石碌特大型 <i>chuarid-tawuid</i> 组合                                                                                                       |                                                    |
|      | 兴民村期                                                                                        | 简单水母状疑问化石                                                                                                                                                      |                                                    |
|      | 南关岭期                                                                                        | 可靠蠕虫, <i>tawuid</i> 淮南生物群                                                                                                                                      | { 九里桥期:可靠蠕虫, <i>tawuid</i><br>刘老碑期:可能蠕虫,带藻         |
|      | 长岭子期                                                                                        | 可能蠕虫(或藻?) <i>sinosabellidites</i><br><i>chuarid-tawuid</i> 组合                                                                                                  |                                                    |
|      | 桥头期                                                                                         | <i>chuarid-tawuid</i> 组合<br><i>chuarids</i>                                                                                                                    |                                                    |
|      | 南芬期                                                                                         | <i>chuarid-tawuid</i> 组合                                                                                                                                       |                                                    |
| 钓鱼台期 | <i>chuarids</i>                                                                             |                                                                                                                                                                |                                                    |
| 青白口纪 | <i>longfengshanid</i> , <i>Paralaminarites</i> 植物带组织分化首次出现, <i>chuarid-tawuid</i> 组合。可疑遗迹化石 |                                                                                                                                                                |                                                    |
| 蓟县纪  | 洪水庄期                                                                                        | <i>chuarids</i>                                                                                                                                                |                                                    |
|      | 雾迷山期                                                                                        | <i>Wumishania</i> 具异丝体体制的宏体藻类                                                                                                                                  |                                                    |
|      | 高于庄期                                                                                        | <i>Grypania</i> (藻或虫?)                                                                                                                                         | 北美 Belt 超群 Ravalli 的化石<br>印度 Vindhyan 中 Rotas 组的化石 |
| 长城纪  | 团山子期                                                                                        |                                                                                                                                                                |                                                    |
|      | 串岭沟期                                                                                        | 宏体腐泥膜 <i>Tyrasotaenia</i> , <i>chuarids</i> 出现。遗迹化石可疑,真核生物出现                                                                                                   |                                                    |

现已查明,生物多细胞化在晚里非期已经实现(一些红藻和绿藻的证据)(Knoll, 1992)。淮南生物群已包含后生动物。到晚震旦世后生动植物已经发生了巨大分化,表现为以软躯体动物为特征的埃迪卡拉-白海生物群,组织与器官分化达到相当高的水平,传统上分为4—5个门。在中国分为庙河生物群、西陵峡生物群和高家山生物群。高家山生物群包括多种蠕虫管、少量钙质壁的瓶状化石。晚震旦世还出现多种简单的遗迹化石,仍不了解其造迹生物。应强调指出,薛耀松等(1992)报道贵州瓮安-福全地区陡山沱期微体的骨骼化石有板、管、壳,以及张运芬<sup>①</sup>在陕南天台山可能陡山沱组磷锰矿层中找到过少量管状化石,说明生物矿化开始较早。这就是寒武纪生物演化大爆发的生物学方面的背景。寒武纪生物矿化进一步发展,增大了生物化石保存的潜力。我们认为,寒武纪高度进化而复杂的生物群决非“瞬间”能出现的,是长期进化积累的结果(表5-3)。不过,寒武纪早期生物矿化才实现了突破。

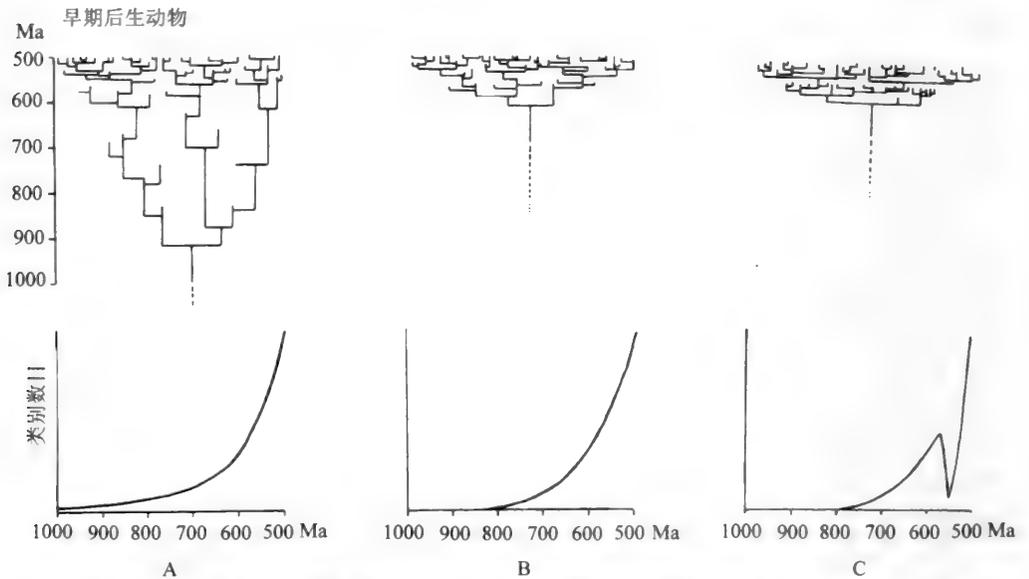


图 5-9 据分支起源假说(上)和地质时期的净分化(下)而描绘出的后生动物分异的三种可能的模式 (引自 Conway Morris, 1989a)

A. 后生动物在至少 1000Ma 前产生,直至约 600Ma 一直缓慢分异,随后因埃迪卡拉期和寒武纪动物群出现演化较为迅速; B. 后生动物在约 800Ma 之前可能没产生,而是通过埃迪卡拉期和寒武纪动物群分异; C. 同 B,除了埃迪卡拉期动物群因集群绝灭而大部分消失,仅有几个谱系残存到寒武纪,寒武纪的分异极其迅速

Fig. 5-9 Three possible patterns of Metazoan diversification depicted in terms of hypothetical cladogenesis (upper) and net diversification through geological time (lower)(after Conway Morris, 1989a)

A. Metazoans evolved at least 1000Ma ago, slowly diversified until about 600Ma ago, followed by more rapid rates as the Ediacaran and Cambrian faunas appeared; B. Metazoans may not have evolved before about 800Ma, and diversified via the Ediacaran and Cambrian faunas; C. as for B; except that Ediacaran faunas were largely extirpated after a mass extinction and only a few lineages survived into the Cambrian where diversification was extremely rapid

作为初级生产者之一的后生植物,往往与作为消费者的草食动物协同发展,或者后

<sup>①</sup> 张运芬,1992:陕西汉中地区北部含磷岩系小壳化石及其时代问题。见:陕西省地质矿产局地质成果编辑室,小壳化石研究与地质找矿,29—30页。

生植物的大分化略为超前后生动物的分化。震旦纪多种钙质藻类和非钙质藻类发生大分化。尽人皆知，作为前期进化的继续，寒武纪的多种藻类已发展到高级程度 (Johnson, 1966; Conway Morris and Robison, 1988)。过去忽视了后生植物在震旦纪生态系中的重要作用。

寒武纪爆发式进化的另一方面，是肉食动物的出现，食物链加长。证据不仅有三叶虫壳上的伤痕、介壳上的孔洞、原牙形类或牙形类化石的存在，还有澄江动物群和布吉斯页岩动物群中多种肉食类的化石，如 *Anomalocaris* (图 5-10)，长达 1m 左右，有巨型的口器、巨爪，消化道中还有生物残骸。肉食现象 (包括同类相食) 的出现加剧了生物之间的生存竞争，动物之间关系、行为复杂化，促进了后生动物的加速进化。

寒武纪生物爆发的另一种表现是遗迹化石的“质”与“量”的变化。生物为了更好地利用食源及生存空间，从震旦纪到寒武纪由二维向三维空间活动。虽然造迹生物不完全清楚，但多样性大增代表新型动物或行为习性的复杂化 (Crimes, 1992a, b)。此外，陡山沱期微潜穴只是说明较小动物群的活动 (Awramik et al., 1985)。

澄江动物群 (相当国外的 Buen 动物群) 与凯里动物群 (相当国外著名的布吉斯动物群) 同等重要，代表寒武纪生物大爆发的第二、第三幕。对它们的深入研究，不仅为解开某些类别的小壳化石的亲缘，如 *Microdictyon* (图 5-11), *Rotadiscus*, *Halkieria*, *Chanceloria* 等，而且为生物进化发展在造型、解剖、生态等方面提供新的信息。

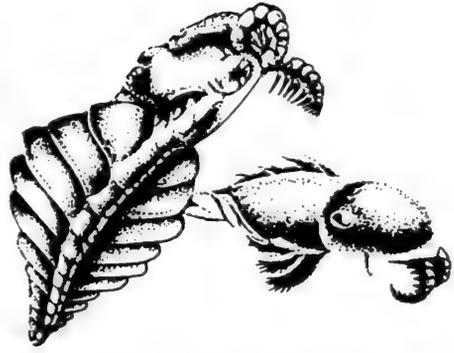


图 5-10 早寒武世巨型动物 *Anomalocaris*  
(引自 Gould, 1989)

Fig. 5-10 Early Cambrian predator  
*Anomalocaris* (after Gould, 1989)

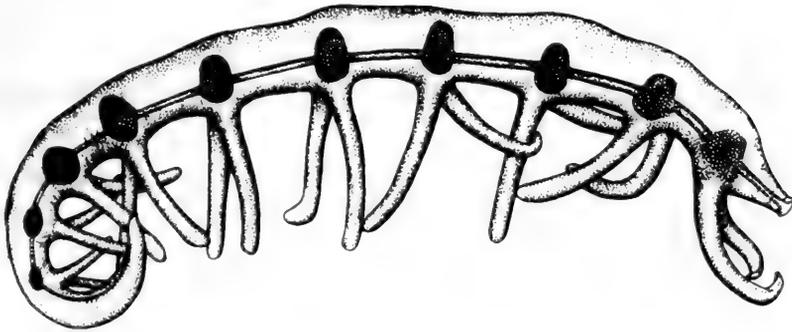


图 5-11 *Microdictyon sinicum* Chen, 1989 复原图 (据陈均远等, 1989)

Fig. 5-11 Restoration of *Microdictyon sinicum* Chen, 1989 (after Chen Junyuan et al., 1989)

## 参 考 文 献

- 丁伟明、钱逸, 1988: 湖南石门杨家坪晚震旦世至早寒武世小壳化石。微体古生物学报, 5(1): 39—55, 图版 1—4。
- 丁莲芳、李勇、安国勤, 1983: 试论陕南震旦系-寒武系界线。西安地质学院学报, 5(2): 9—22。
- 丁莲芳、张录易、李勇、董军社等, 1992: 扬子地台北缘晚震旦世一早寒武世早期生物群研究, 1—135 页, 图版 1—20。北京: 科学技术文献出版社。
- 尹恭正、王砚耕、钱逸, 1982: 贵州震旦系与寒武系分界的初步研究。地层学杂志, 6(4): 286—293。
- 尹恭正、钱逸, 1986: 中国早寒武世早期小壳化石的生物地理分区。古生物学报, 25(3): 338—344。
- 尹磊明、袁训来, 1996: 中国南方震旦系一早寒武世含磷地层中的微体浮游植物化石。见: 叶连俊主编, 生物有机质成矿作用, 63—72 页, 图版 1—2。北京: 海洋出版社。
- 王竹泉、霍世诚, 1945: 云南呈贡鸡叫山磷矿地质。前中央地质调查所地质汇报, 36: 17—24。
- 王砚耕、尹恭正、郑淑芳、钱逸, 1984: 贵州扬子区震旦系-寒武系界线地层学。见: 贵州上寒武系及震旦系-寒武系界线, 1—31 页。贵阳: 贵州人民出版社。
- 王鸿祯, 1941: 云南昆阳中邑村磷矿略述。中国地质学会志, 21(1): 67—70。
- 石新增, 1986: 吉林南部下寒武统的划分及其底界。中国区域地质, (3): 221—227。
- 冯伟民、钱逸、戎治权, 1994: 河南叶县下寒武统辛集组单板类和腹足类化石的研究。微体古生物学报, 11(1): 1—19。
- 全国地层委员会, 1981: 中国地层指南及中国地层指南说明书, 1—25 页。北京: 科学出版社。
- 安太庠、梅仕龙, 1994: 试论寒武纪牙形石演化。古生物学报, 33(5): 525—544, 图版 I—IV。
- 安徽省地质矿产局区域地质调查队, 1988: 安徽地层志·寒武系分册, 1—192 页, 图 I—VI。合肥: 安徽科学技术出版社。
- 朱兆玲、林焕令、章森柱, 1988: 江苏地区下扬子准地台寒武纪生物地层。见: 江苏地区下扬子准地台震旦纪—三叠纪生物地层, 35—80 页, 图版 1—11。南京: 南京大学出版社。
- 朱茂炎、钱逸、蒋志文、何廷贵, 1996: 小壳化石保存、壳壁成分和显微构造初探。微体古生物学报, 13(3): 241—254, 图版 I—IV。
- 孙枢、范德廉、陈海泓、王清晨, 1987: 中国地台区张裂盆地沉积。沉积学报, 5(3): 6—18。
- 刘椿、梁其中、李燕平, 1988: 云南晋宁梅树村前寒武系-寒武系界线剖面的磁性地层学研究。中国科学, B 辑, (3): 314—320。
- 刘宝碧、许效松、罗安屏、唐永林, 1987: 中国扬子地台北缘寒武纪风暴事件与磷矿沉积。沉积学报, 5(3): 28—39。
- 刘家军、郑明华, 1991: 硅岩的新成因——热水沉积作用。地质学报, 11(4): 249—254。
- 刘第璠, 1979: 西南地区早寒武世早期的腕足类化石。古生物学报, 18(5): 506—512, 图版 1—2。
- 刘鸿允、刘钰, 1963: 云南中东部震旦纪地层的组成、划分与发育。地质学报, 43(1): 53—78。
- 刘鸿允等, 1991: 中国震旦系, 1—388 页。北京: 科学出版社。
- 邢裕盛、丁启秀、罗惠麟、何廷贵、王砚耕等, 1984: 中国震旦系-寒武系界线。中国地质科学院地质研究所所刊, 10: 1—262, 图版 1—29。北京: 地质出版社。
- 李勇, 1990: 陕西镇巴筇竹寺阶生物地层及动物群。成都地质学院学报, 17(1): 37—44。
- 李勇、丁莲芳, 1996: 陕西镇巴下寒武统水井沱组小壳化石新属种。微体古生物学报, 13(1): 57—64, 图版 1。
- 李勇、秦鸿宾、丁莲芳, 1991: 陕南镇巴早寒武世一类奇特的竹板化石。西安地质学院学报, 13(3): 8—14, 图版 1。
- 李勇、秦鸿宾、丁莲芳, 1993: 扬子地台北缘早寒武世早期的海绵骨针化石。西安地质学院学报, 15(2): 31—39, 图版 I—II。

- 李玉文、周本和,1986:我国古老微体双壳类的发现及其意义。地质科学,(1):38—44,图版1。
- 李国祥、陈均远,1992:寒武纪早期帽状动物壳体 lathamellids 类的微细构造及其系统分类。古生物学报,31(4):459—471,图版1—3。
- 肖兵,1989:化石 *Anabarites* 的发现及再论玉尔吐斯组的时代归属。新疆地质,7(4):35—39。
- 肖兵、段承华,1992:新疆早寒武世玉尔吐斯组小壳动物群再研究。新疆地质,10(3):213—232,图版1—4。
- 肖立功、周本和,1984:安徽淮南、霍丘下寒武统雨台山组软舌螺。地层古生物论文集,13:141—151,图版1—2。北京:地质出版社。
- 吴瑞棠、张守信等,1989:现代地层学,1—213页。北京:中国地质大学出版社。
- 陈平,1984:湖北宜昌计家坡下寒武统底部小壳化石的发现及其意义。地层古生物论文集,13:49—64,图版1—2,北京:地质出版社。
- 陈忆元、张树森,1980:峡东松林坡早寒武世早期小壳动物化石。地质论评,26(3):190—197,图版I—II。
- 陈均远、侯先光、李国祥,1990:云南澄江下寒武统普通海绵化石一新属——*Quadrolaminiella* gen. nov.。古生物学报,29:402—414。
- 陈均远、侯先光、路浩之,1989:早寒武世网状鳞片的蠕形海生动物。古生物学报,28(1):1—16,图版1—4。
- 陈孟莪(忠华),1977:我国南方的古老动物群及有关问题的初步探讨。地质科学,(2):118—128,图版1—4。
- 陈孟莪,1979a:我国寒武纪早期含磷岩系中的几种动物骨骼化石。地质科学,(2):187—189,图版1。
- 陈孟莪,1979b:我国寒武纪早期含磷岩系中织金壳属 *Zhijinites* 化石的构造和分类。地质科学,(3):279—281。
- 陈孟莪,1982:四川峨眉麦地坪剖面震旦系-寒武系界线的新认识及有关化石的记述。地质科学,(3):253—262,图版1。
- 陈孟莪,1988:小壳化石首次出现可能较早。地质论评,84(1):96。
- 陈孟莪、刘魁梧,1986:晚震旦陡山沱期磷块岩中微体化石的发现及地质意义。地质科学,(1):43—53。
- 陈孟莪、陈忆元、张树森,1981:宜昌松林坡灯影组顶部石灰岩中的小壳化石组合。地球科学,1:32—41,图版1。
- 陈孟莪、萧宗正,1992:峡东震旦系陡山沱组宏体生物群。古生物学报,31(5):513—529,图版1—6。
- 陈孟莪、萧宗正、袁训来,1994:晚震旦世的特种生物群落——庙河生物群新知。古生物学报,33(4):391—403,图版1—4。
- 陈锦石、钟华、储雪蕾,1992:中国前寒武系-寒武系的碳同位素地层学研究。科学通报,37(6):540—542。
- 何圣策、俞国华,1992:浙江江山早寒武世梅树村期小壳化石。浙江地质,8(1):1—7,图版1—3。
- 何廷贵,1984:四川雷波牛寨下寒武统梅树村阶 *Lapworthella bella* 小壳化石组合的发现。地层古生物论文集,13:23—34,图版1—2。北京:地质出版社。
- 何廷贵,1987:扬子地台早寒武世锥石动物及其早期演化。成都地质学院学报,14(2):7—18,图版I—II。
- 何廷贵,1989:滇东渔户村组合磷岩系的划分与对比。矿物岩石,9(2):1—11。
- 何廷贵、沈丽娟、殷继成,1988:对云南晋宁梅树村震旦系-寒武系界线层型(候选)剖面的一些新认识。成都地质学院学报,15(3):38—44。
- 何廷贵、杨暹和,1983:扬子区西部下寒武统梅树村阶及小壳动物群。中国地质科学院成都地质矿产研究所刊,3:69—95,图版1—3。
- 何廷贵、解永顺,1989:扬子地台西部梅树村阶中的一些疑难小壳化石。微体古生物学报,6(2):111—127,图版I—III。
- 何廷贵、裴放,1985:河南方城一带下寒武统辛集组中双壳类化石的发现。成都地质学院学报,1(总34):61—65,图版I—II。
- 何廷贵、裴放、符光宏,1984:河南方城下寒武统辛集组的一些小壳动物化石。古生物学报,23(3):350—357,图版1—2。
- 何春荪,1942:云南澄江县东山磷矿地质。前中央地质调查所地质汇报,35:97—106。

- 何原相、杨遵和,1986;四川南江早寒武世早期的腔肠动物化石。中国地质科学院成都地质矿产研究所刊,(7):31—48。
- 邱瑞姑、沈俊、蒋金云、王金生,1989;南昌地区震旦纪—早寒武世地层的发现。地质论评,35(6):537—542。
- 余汶,1979;湖北西部早寒武世早期的单板类和腹足类及其生物地层意义。古生物学报,18(3):234—270,图版1—3。
- 余汶,1981;鄂西滇东早寒武世最早期的单板类和腹足类新属种。古生物学报,20(6):552—556,图版1。
- 余汶,1985;梅树村期的一个可疑双壳类——扬子蛤(*Yangtzedonta*)。微体古生物学报,2(4):401—408,图版I。
- 余汶,1987;中国早寒武世最早期软体动物研究的新进展。科学通报,3(12):928—930。
- 余汶,1988;鄂西早寒武世最早期一种奇异化——金科甲(*Jinkenites*)。古生物学报,27(3):303—308。
- 余汶,1993;论 *Yangtzechiton* Yu 与 *Paracarinachites* Qian et Jiang 的区别。微体古生物学报,10(3):307—316。
- 余汶、戎治权,1991;河南方城下寒武统辛集组的两种腹足类化石。微体古生物学报,8(3):339—345,图版1。
- 余汶、徐均涛、伊鸥英,1984;陕西洛南下寒武统辛集组软体动物的发现。地层学杂志,8(3):234。
- 杨遵和、何廷贵,1984;四川南江地区下寒武统梅树村阶小壳化石新属种。地层古生物论文集,13:35—47,图版1—4。北京:地质出版社。
- 杨遵和、何原相、邓守和,1983;四川南江地区震旦系-寒武系界线及小壳化石群。中国地质科学院成都地质矿产研究所刊,4:91—110,图版1—4。
- 杨遵和、陈远德、李善姬、李玉文、田传荣,1981;四川峨眉麦地坪剖面前寒武系和寒武系界线划分与对比。中国地质科学院天津地质矿产研究所刊,4:33—47。
- 汪明洲、许安东,1987;陕南镇巴地区早寒武世地层火烧店组的建立及其地层学意义。长春地质学院院报,17(3):249—254,图版I。
- 张昉,1989;前寒武纪生命演化与化石纪录,1—189页。北京:北京大学出版社。
- 张仁杰,1980;最古老的双壳类动物群——湖北咸丰下寒武统天河板组双壳纲化石。国际交流地质学术论文集(4),121—129。北京:地质出版社。
- 张录易,1986;陕西宁强晚震旦世晚期高家山生物群的发现和初步研究。中国地质科学院西安地质矿产研究所刊,13:67—68。
- 张录易、李勇,1991;陕西宁强震旦期末期的瓶状微化石。中国地质科学院西安地质矿产研究所刊,31:77—86。
- 张爱云,1985;寒武纪初期被囊动物化石的发现。科学通报,(5):375—378。
- 张爱云、伍大茂、郭丽娜、王云龙,1987;海相黑色页岩建造地球化学与找矿意义,1—228页。北京:科学出版社。
- 武希彻、欧阳麟,1988;云南梅树村剖面磷块岩底部过渡层碳、氧同位素研究。岩相古地理,3—4(合期):62—68。
- 武希彻、蒋志文,1989;最早带壳动物化石外壳的矿物学特征。微体古生物学报,6(2):153—160,图版I—III。
- 周本和、肖立功,1984;安徽淮南霍丘下寒武统雨台山组的单板类和腹足类。地层古生物论文集,13:125—140。北京:地质出版社。
- 范德廉、叶杰、杨瑞英、黄忠祥,1987;扬子地台前寒武-寒武纪界线附近的地质事件与成矿作用。沉积学报,5(3):81—95。
- 罗惠麟,1975;滇东渔户村组的时代兼论西南区寒武系下界(摘要)。西南地层古生物通讯,7:56—65。
- 罗惠麟、蒋志文、徐重九、宋学良、薛啸峰,1980;云南晋宁梅树村、王家湾震旦系-寒武系界线研究。地质学报,54(2):95—111,图版I。
- 罗惠麟、蒋志文、武希彻、宋学良、欧阳麟,1982;云南东部震旦系-寒武系界线,1—265页,图版1—36。昆明:云南人民出版社。
- 罗惠麟、蒋志文、武希彻、宋学良、欧阳麟,1987;云南晋宁梅树村剖面研究新进展。地层学杂志,11(4):301—304。
- 罗惠麟、蒋志文、武希彻、宋学良、欧阳麟,1990;梅树村阶及前寒武系-寒武系界线的全球性生物地层对比。中国科学(B),3:313—318

- 罗惠麟、蒋志文、武希彻、宋学良、欧阳麟、邢裕盛、刘桂芝、张世山、陶永和,1984:中国云南晋宁梅树村震旦系-寒武系界线层型剖面,1—154页,图版1—22。昆明:云南人民出版社。
- 罗惠麟、蒋志文、武希彻、欧阳麟、宋学良、薛啸峰,1991:云南晋宁梅树村剖面前寒武系-寒武系界线的深入研究。地质学报,65(4):367—375。
- 罗惠麟、蒋志文、唐良栋,1994:中国下寒武统建阶层型剖面,1—183页,图版1—40。昆明:云南科技出版社。
- 岳昭,1986a: *Tannuolina* 和 *Lapworthella* 在云南晋宁梅树村和四川峨眉麦地坪剖面中发现。地层古生物论文集,16:173—177,图版I。北京:地质出版社。
- 岳昭,1986b: *Olivoooides* 属的微结构及其系统位置。中国地质科学院地质研究所所刊,14:147—152,图版1—2。
- 岳昭,1988:早期骨骼动物演化的阶段性及前寒武系-寒武系界线层的划分和对比。地质学报,62(1):1—15,图版I。
- 岳昭,1990:湖北省房县灯影组西蒿坪段三叶虫首次发现及意义。中国区域地质,3:277—282,图版IV。
- 岳昭,1991:早寒武世 *Phyllochiton* 骨片集合体的发现及其与 *Zhijinites* 的关系。科学通报(1),47—50。
- 岳昭,1992:新疆早寒武世 *Lapworthella* 一新种及本属有关问题探讨。古生物学报,31(1):108—116,图版1。
- 岳昭、何圣策,1989:浙西早寒武世牙形类及高肌虫。微体古生物学报,6(3):289—300,图版I。
- 岳昭、何廷贵,1989:四川甘洛、峨眉早寒武世小壳化石再研究。微体古生物学报,6(4):389—408,图版I—III。
- 岳昭、高林志,1992:新疆阿克苏-乌什地区下寒武统原牙形类等化石及其地质意义。中国地质科学院地质研究所所刊,23:133—160,图版1—5。
- 岳昭、高志林,1994:新疆早寒武世 *Tannuolina* 一新种及其生物地层意义。地层古生物论文集,24:66—78。北京:地质出版社。
- 欧阳自远、管云彬,1992:巨大撞击对地球演化的系统灾变效应。地球科学进展,7(1):22—27。
- 骆学金,1990:阮陵淑浦上震旦统的火山碎屑岩。湖北地质,9(3):63—68。
- 段承华,1984:湖北神农架地区早寒武世西蒿坪组小壳化石——软舌螺和亲缘关系不明的骨骼化石。中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊,7:143—183,图版I—V。
- 段承华,1985:湖北房县寒武纪初期的瓶状微化石。中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊,13:87—107。
- 段承华、肖兵,1993:玉尔吐斯组层型再研究。中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊,26—27:325—355,图版1—3。
- 段承华、曹芳,1989:湖北峡东前寒武纪瓶状微化石的新发现。中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊,21:129—145。
- 段承华、曹芳、张录易,1993:陕南西乡灯影组顶部的瓶状微化石。微体古生物学报,10(4):379—408。
- 项礼文等,1981:中国地层4 中国的寒武纪,1—198页,图版10—12。北京:地质出版社。
- 赵元龙、钱逸、李信善,1994:贵州台江早、中寒武世凯里组的 *Wiraxia*。古生物学报,33(3):359—366,图版1。
- 赵元龙、黄友庄、龚显英,1994:贵州台江凯里动物群中的棘皮动物。古生物学报,33(3):305—324,图版1—5。
- 赵自强、邢裕盛、丁启秀、刘桂芝、赵雅秀、张树森、孟宪均、尹崇玉、宁伯儒、韩培光,1988:湖北震旦系,1—20页,图版1—28。武汉:中国地质大学出版社。
- 赵建新、岳昭,1987:浙西早寒武世梅树村期小壳化石新发现及震旦系-寒武系的分界。科学通报,(15):1168—1170。
- 唐天福、张俊明、蒋先建,1978:湘、鄂西部晚震旦世地层与古生物的发现及其意义。地层学杂志,2(1):32—45。
- 高振家、王务严、彭昌文、李永安、肖兵等,1987a:新疆震旦系,1—173页,图版1—34。乌鲁木齐:新疆人民出版社。
- 高振家、王务严、彭昌文、李永安、肖兵等,1987b:新疆阿克苏-乌什地区震旦系,1—184页,图版1—32。乌鲁木齐:新疆人民出版社。
- 高振家、吴绍祖、李永安等,1981:新疆阿克苏-柯坪一带震旦系及早寒武世地层研究。科学通报,26(12):741—743。
- 袁训来、王启飞、张昀,1993:贵州瓮安磷矿晚前寒武纪陡山沱期的藻类化石群。微体古生物学报,10(4):409—420。
- 袁克兴、章森桂,1983,托莫特壳类(*tommotiid*)在我国的发现。古生物学报,22(1):31—40,图版I—II。

- 殷继成、丁莲芳、何廷贵、李世麟、沈丽娟, 1980; 四川峨眉-甘洛地区震旦纪地层古生物及沉积环境, 1—133 页, 图版 1—33。成都: 四川人民出版社。
- 殷继成、李大庆、何廷贵, 1993; 滇东震旦系-寒武系界线层型遗迹化石新发现及对对比意义。地质学报, 57(2): 146—158。
- 殷继成、何廷贵等, 1993; 四川盆地周边及邻区震旦亚代地质演化及成矿作用, 1—179 页, 图版 1—8。成都: 成都科技大学出版社。
- 钱义元、陈旭, 1978; 四川峨眉山地区的寒武—奥陶系。地质学报, 52(2): 124—134。
- 钱建新、肖兵, 1984; 新疆阿克苏-乌什地区早寒武世小壳动物群。地层古生物论文集, 13: 65—90, 图版 1—4。北京: 地质出版社。
- 钱逸, 1977; 华中西南区早寒武世梅树村阶的软舌螺纲及其它化石。古生物学报, 16(2): 255—278, 图版 1—3。
- 钱逸, 1978a; 华中西南区早寒武世软舌螺化石的研究及其地层意义。中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 11: 1—43, 图版 1—7。
- 钱逸, 1978b; 软舌螺等化石。见: 湖北省地矿局三峡地层研究组, 峡东地区震旦纪至二叠纪地层古生物, 127—138 页, 图版 13—15。北京: 地质出版社。
- 钱逸, 1983; 中国震旦系与寒武系的分界。见: 中国科学院南京地质古生物研究所, 中国各纪地层界线研究, 1—11 页。北京: 科学出版社。
- 钱逸, 1986; 云南东部早寒武世早期几类奇特骨壳化石。中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, 6: 85—99, 图版 I—III。
- 钱逸, 1992; 中国小壳化石研究现状与展望。微体古生物学报, 9(2): 327—329。
- 钱逸, 1993; 论 paracarinachitids。微体古生物学报, 10(3): 317—330, 图版 1—2。
- 钱逸、尹恭正, 1984a; 试论织金壳科 Zhijinitidae 的构造、亲缘、分类及其地层意义。古生物学报, 23(2): 213—223, 图版 2。
- 钱逸、尹恭正, 1984b; 贵州早寒武世早期小壳动物化石的研究。地层古生物论文集, 13: 91—123, 图版 1—6。北京: 地质出版社。
- 钱逸、H. V. 伊顿、R. S. 柯克斯、朱茂炎、卓二军, 1997; 记述原始锥石类中的一个新属种 *Emeiconularia trigemme* gen. et sp. nov.。微体古生物学报, 14(4): 475—488, 图版 1—2。
- 钱逸、朱茂炎、何廷贵、蒋志文, 1996; 再论滇东前寒武系与寒武系界线剖面。微体古生物学报, 13(3): 225—240。
- 钱逸、余汶、刘第塘、王宗哲, 1984; 云南晋宁梅树村震旦系-寒武系界线剖面再研究。科学通报, 15: 928—931。
- 钱逸、陈孟莪、陈亿元, 1979; 峡东地区下寒武统黄鳍洞组的古动物化石。古生物学报, 18(3): 207—232, 图版 1—4。
- 钱逸、肖立功, 1995; 软舌螺, 1—26 页, 图版 1—15。北京: 科学出版社。
- 钱逸、张师本, 1983; 湖北房县灯影组西蒿坪段小壳化石。古生物学报, 22(1): 82—94, 图版 1—4。
- 梁其中、方武、Vandervoo R., 1990; 云南梅树村前寒武系-寒武系界线层型候选剖面的古地磁研究。地质学报, 64(3): 264—274。
- 符俊辉, 1983; 汉中梁山小壳动物化石发现及地层意义。地质科学, (4): 414—417, 图版 1。
- 章森桂, 1982; 最古老的三叶虫及一些古杯组合的对比。古生物学报, 21(5): 416—526。
- 章森桂、孙乘云, 1991; 安徽巢湖地区早寒武世小壳化石。微体古生物学报, 8(1): 19—40, 图版 1—3。
- 曹仁关、戈宏儒、徐重九、梁其中, 1980; 云南震旦系顶界问题的初步探讨。地层学杂志, 4(1): 37—44。
- 曹瑞骥、杨万容、尹磊明、张俊明、李再平、赵文杰, 1979; 西南地区的震旦系。见: 中国科学院南京地质古生物研究所, 西南地区碳酸盐生物地层, 1—36 页。北京: 科学出版社。
- 曾良奎等, 1992; 四川省寒武纪岩相古地理及沉积层控矿产, 1—133 页, 图版 I—VII。成都: 四川科学技术出版社。
- 蒋志文, 1980a; 云南梅树村剖面梅树村阶单板类、腹足类动物群。地质学报, 52(2): 112—123, 图版 1—3。
- 蒋志文, 1980b; 云南晋宁梅树村阶及梅树村动物群。中国地质科学院院报, 2(1): 75—92, 图版 1—4。

- 蒋志文, 1984: 早期带壳生物演化及梅树村动物群的基本特征。地层古生物论文集, 13: 1—22, 图版 1—4。北京: 地质出版社。
- 蒋志文, 1985: 论唐努乌拉壳 (*Tannuolina*)。微体古生物学报, 2(3): 231—238, 图版 1—2。
- 蒋志文, 1986: 初期生物的带壳演化及晚前寒武纪的终止。前寒武纪地质, (3): 515—523。
- 蒋志文、M. D. Brasier、B. Hamdi, 1988: 南亚梅树村阶的对比。地质学报, 60(3): 191—199。
- 蒋志文、黄昭碧, 1986: 海南岛中寒武世小壳动物群。地质论评, 32(4): 317—324, 图版 1—2。
- 彭玉鲸, 1983: 吉林省下寒武统底部带壳化石及遗迹化石的新发现。中国地质, 11: 33。
- 舒德干, 1990: 浙西、湘西及陕南寒武纪至早奥陶世的高肌虫, 1—95 页, 图版 1—20。西安: 西北大学出版社。
- 舒德干、陈 苓, 1988: 早寒武世放射虫的发现及其意义。中国科学, B 辑(8): 881—886。
- 新疆区域地层表编写组, 1981: 西北地区区域地层表, 新疆维吾尔自治区分册。北京: 地质出版社。
- 解永顺, 1988: 陕西镇巴下寒武统筇竹寺阶小壳动物及有关问题的讨论。成都地质学院院报, 15(4): 21—29, 图版 I。
- 解永顺, 1990: 陕西镇巴早寒武世的牙形刺形化石。成都地质学院院报, 17(4): 16—22, 图版 I—II。
- 解永顺、何廷贵, 1993: 扬子地台区早寒武世早期小壳动物古生态和生物分区初探。成都地质学院学报, 20(2): 57—63。
- 赫德伯格, H. D. 著, 张守信译, 1979: 国际地层指南。北京: 科学出版社。
- 裴 放, 1985: 河南下寒武统辛集组小壳动物群。河南地质, 3(3): 40—44。
- 裴 放, 1988: 河南下寒武统辛集组中齿形类 *Henaniodus* 的再研究。微体古生物学报, 5(2): 179—182, 图版 1。
- 蔡学林、魏显贵、吴德超、侯建勇, 1988: 武当山推覆构造结构模式。成都地质学院院报, 15(4): 30—39。
- 薛耀松、唐天福、俞从流, 1984: 南京—巢县一带震旦纪灯影期碳酸盐台地沉积特征。地层学杂志, (6)1: 1—9, 图版 1—2。
- 薛耀松、唐天福、俞从流, 1992: 贵州晚震旦世陡山沱期具骨骼的动物化石的发现和意义。古生物学报, 31(5): 530—539, 图版 1—2。
- 薛耀松、唐天福、俞从流、周传明, 1995: 贵州瓮安-开阳地区陡山沱期含磷岩系的大型球形绿藻化石。古生物学报, 34(6): 688—706, 图版 1—5。
- 戴永定等, 1994: 生物矿理学, 1—463 页, 图版 1—108。北京: 石油工业出版社。
- Awramik, S. M., McMenamin, D. S., Yin, C., Zhao, Z., Ding, Q. and Zhang, S., 1985: Prokaryotic and eukaryotic microfossils from a Proterozoic/Phanerozoic transition in China. *Nature*, 315: 655—658.
- Azmi, R. J., 1983: Microfauna and age of the Lower Tal phosphorite of Mussoorie Syncline, Garhwal Lesser Himalaya, India. *Himalayan Geology*, 11: 373—409.
- Azmi, R. J., 1996: Evidence for soft tissue basal support in earliest Cambrian protoconodonts from the Lesser Himalaya: Conodont function and affinity. In: Pandey, J., Azmi, R. J., Bhandari, A. and Dare, A. eds., *Contrs. XV Indian Colloq. Micropal. Strat.*, Dehra Dun, 1996, pp. 457—463.
- Azmi, R. J. and Panchili, V. P., 1983: Early Cambrian (Tommotian) conodonts and other shelly microfauna from the Upper Krol of Mussoorie Syncline, Garhwal Lesser Himalaya with remarks on the Precambrian-Cambrian boundary. *Himalayan Geology*, 11: 360—372.
- Babcock, L. E. and Feldmann, R. M., 1986: The phylum Conulariida. In: Hoffman, A. and Nitecki, M. H. eds., *Problematic fossil taxa*, pp. 135—147. *Oxford Monographs on Geology and Geophysics* 5. Oxford: Oxford University Press.
- Babcock, L. E. and Robison, R. A., 1988: Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian *Scenella* (Cnidaria) and hyolithids (Mollusca) from western North America. *Paleont. Contr. Univ. Kansas Pap.*, 121: 1—48.
- Bassett, M. G. and Yochelson, E. L., 1979: *Grandia sedgwickkii* revised as a hyolith operculum. *Lethaia*, 12(4): 307—312.
- Baudet, D., Aitken, J. D. and Vanguetaine, M., 1989: Palynology of uppermost Proterozoic and lowermost Cambrian formation, central MacKenzie Mountains, northwestern Canada. *Canad. J. Earth Sci.*, 26(1): 129—148 (in English and

French).

- Bengtson, S. , 1976: The structure of some Middle Cambrian conodonts, and the early evolution of conodont structure and function. *Lethaia*, 9(2): 185—206.
- Bengtson, S. , 1981: *Atractosella*, a Silurian alcyonacean octocoral. *J. Paleont.* , 55: 281—294.
- Bengtson, S. , 1983: The early history of the Conodonta. A contribution to the Third European Conodont Symposium, Lund. *Fossils and Strata*, 15:5—19.
- Bengtson, S. , 1985a: Redescription of the Lower Cambrian *Halkieria obliqua* Poulsen. *Geologiska Foreningens i Stockholm Forhandlingar*, 107(2):101—106.
- Bengtson, S. , 1985b: Taxonomy of disarticulated fossils. *J. Paleont.* , 59( 6 ) :1350—1358.
- Bengtson, S. , 1986a: A new Mongolian species of the Lower Cambrian genus *Camenella* and the problems of scleritome — based taxonomy of the Tommotiidae. *Paläont. Z.* , 60: 45—55.
- Bengtson, S. , 1986b: Siliceous microfossils from the Upper Cambrian of Queensland. *Alcheringa*, 10:195—216.
- Bengtson, S. , 1992a: The cap-shaped Cambrian fossil *Maikhanella* and the relationship between coeloscleritophorans and molluscs. *Lethaia*, 25:401—420.
- Bengtson, S. , 1992b: Proterozoic and earliest Cambrian skeleton metazoans. In: Schopf, W. J. and Klein, C. eds. , *The Proterozoic biosphere — A multidisciplinary study*, 1017—1054. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bengtson, S. and Conway Morris, S. , 1984: A comparative study of Lower Cambrian *Halkieria* and Middle Cambrian *Wiwaxia*. *Lethaia*, 17(4):307—329.
- Bengtson, S. and Conway Morris, S. , 1992: Early radiation of biomineralizing phyla. In : Lipps, J. H. and Signor, P. W. eds. , *Origin and early evolution of the Metazoa*, 447—481. New York and London: Plenum Press.
- Bengtson, S. , Conway Morris, S. , Cooper, B. J. , Jell, P. A. and Runnegar, B. N. , 1990: Early Cambrian fossils from South Australia. *Memoir 9 of the Association of Australasian Palaeontologists*, pp. 1—364.
- Bengtson, S. and Lipps, J. H. , 1992: Introduction. In: Schopf, J. W. and Klein, C. eds. , *The Proterozoic biosphere — A multidisciplinary study*, 427—428. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bengtson, S. and Missarzhevsky, V. V. , 1981: Coeloscleritophora — Major group of enigmatic Cambrian metazoans. In: Taylor, M. E. ed. , *Short papers for the Second International Symposium on the Cambrian System*. U. S. Geol. Surv. Open-File Report 81-743: 19—21.
- Bengtson, S. and Yue Zhao, 1997: Fossilized metazoan embryos from the earliest Cambrian. *Science*, 277: 1645—1648.
- Bhatt, D. K. , Mangain, V. D. and Misra, R. S. , 1985: Small shelly fossils of Early Cambrian (Tommotian) age from Chert-Phosphorite Member, Tal Formation, Mussoorie Syncline, Lesser Himalaya, India, and their chronostratigraphic evaluation. *Journ. Palaeont. Soc. India*, 30:92—102.
- Bhatt, D. K. , Mangain, V. D. , Misra, R. S. and Srivastava, J. P. , 1983: Shelly microfossils of Tommotian age (Lower Cambrian) from the Chert Phosphorite Member of the Lower Tal Formation, Maldeota, Dehra Dun district, Uttar Pradesh. *Geophytology*, 13(1):116—123.
- Binda, P. L. and Bokhari, M. M. , 1980: Chitinozoan-like microfossils in a Late Precambrian dolostone from Saudi Arabia. *Geology*, 8:70—71.
- Brasier, M. D. , 1986: The succession of small shelly fossils (especially conoidal microfossils) from English Precambrian-Cambrian boundary beds. *Geol. Mag.* , 123(3):237—256.
- Brasier, M. D. , 1989a: China and the Palaeothethyan belt ( India, Pakistan, Iran, Kazakhstan and Mongolia). In: Cowie, J. W. and Brasier, M. D. eds. , *The Precambrian-Cambrian boundary*, 40—74. Oxford: Clarendon Press.
- Brasier, M. D. , 1989b: Towards a biostratigraphy of the earliest skeletal biotas. In: Cowie, J. W. and Brasier, M. D. eds. ,

- The Precambrian-Cambrian boundary, 117—165. Oxford: Clarendon Press.
- Brasier, M. D. , 1990: Phosphogenic events and skeletal preservation across the Precambrian-Cambrian boundary interval. In: Notholt, A. J. G and Jarvis, I. eds. , Phosphorite research and development. Geol. Soc. Spec. Publ. , 52:289—303.
- Brasier, M. D. , 1992a: Background to the Cambrian explosion. Journ. Geol. Soc. London, 149:585—587.
- Brasier, M. D. , 1992b: Global ocean-atmosphere change across the Precambrian-Cambrian transition. Geol. Mag. , 129(2): 161—168.
- Brasier, M. D. , Magaritz, M. , Corfield, R. , Luo, H. L. , Wu, X. C. , Ouyang, L. , Jiang, Z. W. , Hamdi, B. , He, T. G. and Fraser, A. G. , 1990: The carbon- and oxygen-isotope record of the Precambrian-Cambrian boundary interval in China and Iran and their correlation. Geol. Mag. , 127(4):319—332.
- Brasier, M. D. and Singh, P. , 1987: Microfossils and Precambrian-Cambrian boundary stratigraphy at Maldeota, Lesser Himalaya. Geol. Mag. , 124(4):323—345.
- Brosier, B. , 1985: *Melanocyrrillum* , a new genus of structurally complex Late Proterozoic microfossils from the Kwagunt Formation ( Chuar Group) , Grand Canyon, Arizona. J. Paleont. , 59(3):741—765.
- Butterfield, N. J. , 1990: A reassessment of the enigmatic Burgess Shale fossil *Wiwaxia corrugata* (Matthew) and its relationship to the polychaete *Canadia spinosa* Walcott. Paleobiology, 16:287—303.
- Chen Junyuan, 1988: Precambrian metazoans of the Huai River drainage areas (Anhui, E. China); their taphonomic and ecological evidence. Senckenberg. lethaea, 69:189—215.
- Chen Junyuan, Dzik, J. , Edgecombe, G. D. , Ramsköld, L. and Zhou Guiqing, 1995: A possible Early Cambrian chordate. Nature, 377:720—722.
- Chen Junyuan, Zhou Guiqing and Ramsköld, L. , 1995: The Cambrian lobopodian *Microdictyon sinicum*. Bulletin of the National Museum of Natural Science, 5:1—93, pls. 1—20.
- Cherchi, A. and Schroeder, R. , 1985: Middle Cambrian Foraminifera and other microfossils from SW Sardinia. Boll. Soc. Paleont. Ital. , 23: 149—160.
- Cloud, P. , 1976: Beginning of biospheric evolution and their biogeochemical consequences. Paleobiology, 2:351—387.
- Cobbold, E. S. , 1921: The Cambrian horizons of Comley (Shropshire) and their Brachiopoda, Pteropoda, Gastropoda, etc. Q. J. G. S. London, 76:325—386, pls. 21—24.
- Cock, P. J. , 1992: Phosphogenesis around the Proterozoic-Phanerozoic transition. Jour. Geol. Soc. , 149(4): 615—620.
- Conway Morris, S. , 1985: The Middle Cambrian metazoan *Wiwaxia corrugata* (Matthew) from the Burgess Shale and Ogygopsis shale. British Columbia Canada. Phil. Trans. R. Soc. , B 307, 507—586.
- Conway Morris, S. , 1987: The search for the Precambrian-Cambrian boundary. American Scientist, 75:157—167.
- Conway Morris, S. , 1989a: Early metazoans. Sci. Prog. Oxf. , 73:81—99.
- Conway Morris, S. , 1989b: Conodont palaeobiology: recent progress and unsolved problems. Terra Nova, 1:135—150.
- Conway Morris, S. , 1989c: South-eastern Newfoundland and adjacent areas (Avalon Zone). In: Cowie, J. W. and Brasier, M. D. eds. , The Precambrian-Cambrian boundary, 7—39. Oxford: Clarendon Press.
- Conway Morris, S. , 1990: Parasitism. In: Briggs, D. E. G. and Crowther, P. eds. , Palaeobiology, a synthesis, 270—274. Oxford: Blackwell Scientific.
- Conway Morris, S. , 1992: Burgess Shale-type faunas in the context of the Cambrian explosion: a review. Journ. Geol. Soc. London, 149:631—636.
- Conway Morris, S. , 1993: The fossil record and the early evolution of the Metazoa. Nature, 361:219—225.
- Conway Morris, S. and Chapman, A. J. , 1996: Lower Cambrian coeloscleritophorans (*Ninella* , *Siphogonuchites*) from Xinjiang and Shaanxi. Geol. Mag. , 133:33—51.

- Conway Morris, S. and Chapman, A. J. , 1997: Lower Cambrian halkierids and other coeloscleritophorans from Aksu-Wushi, Xinjiang, China. *Paleontology*, 71(1):6—22.
- Conway Morris, S. and Chen Meng'e, 1989: Lower Cambrian anabaritids from South China. *Geol. Mag.* , 126(6):615—632.
- Conway Morris, S. and Chen Meng'e, 1990a: *Blastulospongia polytreta* n. sp. , an enigmatic organism from the Lower Cambrian of Hubei, China. *J. Paleont.* , 64(1):26—30.
- Conway Morris, S. and Chen Meng'e, 1990b: Tommotiids from the Lower Cambrian of South China. *J. Paleont.* , 64(2): 169—184.
- Conway Morris, S. and Chen Meng'e, 1991: Cambroclaves and paracarinachitids, early skeletal problematica from the Lower Cambrian of South China. *Palaeontology*, 34(2):357—397, pls. 1—9.
- Conway Morris, S. and Chen Meng'e, 1992: Carinachitids, hexanguleculariids and *Punctatus*; problematic metazoans from the Early Cambrian of South China. *J. Paleont.* , 66: 386—406.
- Conway Morris, S. and Peel, J. S. , 1990: Articulated halkierids from the Lower Cambrian of North Greenland. *Nature*, 345 (6278):802—805.
- Conway Morris, S. and Robison, R. A. , 1988: More soft-bodied animals and algae from the Middle Cambrian of Utah and British Columbia, *Paleont. Contr. Univ. Kansas Pap.* , 122:1—48.
- Cowie, J. W. , 1978a: Symposium on the Precambrian-Cambrian boundary. *Geol. Mag.* , 115(2): 4,5.
- Cowie, J. W. , 1978b: I. U. G. P. Project 29 Precambrian-Cambrian Boundary Working Group in Cambridge, 1978. *Geol. Mag.* , 115(2): 151—152.
- Cowie, J. W. , 1985: Continuing work on the Precambrian-Cambrian boundary. *Episodes*, 8(2): 93—97.
- Cowie, J. W. , 1992: Two decades of research on the Precambrian-Cambrian transition; 1972—1991. *Q. J. G. S. London*, 149:589—592.
- Cowie, J. W. and Brasier, M. D. eds. , 1989: The Precambrian-Cambrian boundary. *Oxford Mon. Geol. Geophy. No. 12*. Clarendon; Oxford Science Publications.
- Cowie, J. W. and Glaessner, M. F. , 1975: The Precambrian-Cambrian boundary; A symposium. *Earth Science Reviews*, 11 (2):209—251.
- Cowie, J. W. and Rozanov, A. Yu, 1974: I. U. G. S. Precambrian-Cambrian Boundary Working Group in Siberia, 1973. *Geol. Mag.* , 111(3): 237—252.
- Cowie, J. W. , Rushton, A. W. A. and Stubblefield, C. J. , 1972: A correlation of Cambrian rocks in the British Isles. *Geological Society of London, Special Report*, 2:1—42.
- Crimes, T. P. , 1987: Trace fossils and correlation of Late Precambrian and Early Cambrian strata. *Geol. Mag.* , 124: 97—119.
- Crimes, T. P. , 1989: Trace fossil. In: Cowie, J. W. and Brasier, M. D. eds. , *The Precambrian-Cambrian boundary*, 166—185. Oxford: Clarendon.
- Crimes, T. P. , 1992a: Change in the trace fossil biota across the Proterozoic-Phanerozoic boundary. *J. Geol. Soc. London*, 149: 637—646.
- Crimes, T. P. , 1992b: The record of trace fossils across the Proterozoic-Cambrian boundary. In: Lipps, F. H. and Signor, P. W. eds. , *Origin and early evolution of the Metazoa*, 177—204. New York and London: Plenum Press.
- Daily, B. , 1972: The base of the Cambrian and the first Cambrian faunas. *Univ. Adelaide centre for Precambrian Res. , Spec. Pap.* , 1:13—42
- Dzik, J. , 1981: Larval development, musculature, relationships of *Sinuitopsis* and related Baltic bellerophonites. *Norsk Geolog.*

- ick Tidsskrift, 61:15—21.
- Dzik, J., 1986: Turriplepida and other Machaeridia. In: Hoffman, A. and Nitecki, M. H. eds., Problematic fossil taxa, 116—134. Oxford: Oxford University Press and Clarendon Press.
- Endo, R. and Resser, C. E., 1937: The Sinian and Cambrian formations and fossils of South Manchoukuo. Manch. Sci. Mus., (1):1—474, pls. 1—73.
- Fan Delian, Yang Ruiying and Huang Zhongxiang, 1984: The Lower Cambrian black shale series and the iridium anomaly in South China. In: Academia Sinica ed., Developments in Geoscience, Contribution to 27th International Geological Congress, 1984, Moscow, 215—224. Beijing: Science Press.
- Fendonkin, M. A., 1986: Precambrian problematic animals; their body plan and phylogeny. In: Hoffman, A. and Nitecki, M. H. eds., Problematic fossil taxa, pp. 59—67. Oxford: Oxford University Press.
- Fletcher, H. O., 1938: A revision of the Australian conulariids. Rec. Aust. Mus., 20(3):235—255.
- Geng Liangyu and Zhang Shibei, 1987: Early Cambrian problematic fossils from Fangxian, Hubei, China. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica ed., Stratigraphy and paleontology of systemic boundaries in China, Precambrian-Cambrian boundary(1), 523—536. Nanjing: Nanjing University Publishing House.
- Glaessner, M. F., 1976: Early Phanerozoic annelid worms and their geological and biological significance. Q. J. G. S. London, 132:259—276.
- Glaessner, M. F., 1979: Precambrian. In: Robison, R. A. and Teichert, C. eds., Treatise on invertebrate paleontology. Part A. Fossilization (taphonomy), biogeography and biostratigraphy, A79—A118., Boulder and Lawrence. Geol. Soc. Amer. & Univ. Kansas Press.
- Glaessner, M. F., 1984: The dawn of animal life. A biohistorical study, vol. xi, pp. 1—244. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gould, S. J., 1989: Wonderful life, the Burgess Shale and the nature of history. Norton: New York, 1—347.
- Haas, W., 1981: Evolution of calcareous hardparts in primitive Mollusca. Malacologia, 21(1—2):403—418.
- Hamdi, B., 1989: Stratigraphy and palaeontology of the Late Precambrian to Early Cambrian in the Alburz Mountains, northern Iran. Geol. Sur. Iran, Rept., 50:1—41, pls. 1—6.
- Hamdi, B., Brasier, M. D. and Jiang Zhiwen, 1989: Earliest skeletal fossils from Precambrian-Cambrian boundary strata Elburz Mountains, Iran. Geol. Mag., 126: 283—289.
- Harper, J. A. and Rollins, H. B., 1982: Recognition of Monoplacophora and Gastropoda in the fossil record: a functional morphological look at the bellerophon controversy. Proc. III N. Am. Paleont. Conv., 2:227—232.
- Hartman, W. D., Wendt, J. W. and Wiedenmayer, F., 1980: Living and fossil sponges (notes for a short course). Miami, Florida: The University of Miami, Sediments VIII, pp. 1—274.
- Hofmann, H. J., 1987: Precambrian biostratigraphy. Geoscience Canada, 14:135—154.
- Horny, R. J., 1965: *Cyrtolites* Conrad, 1838 and its position among the Monoplacophora (Mollusca). Sbornik, Nar. Muz. Praze, 21B(2): 57—69.
- Hsu, K. J., Oherhansli, H., Gao, J. Y., Sun Shu, Chen Haihong and Krahenbuhl, U., 1985: Strangelove Ocean before the Cambrian explosion. Nature, 316:809—811.
- Jell, P. A., 1979: *Plumulites* and the machaeridian problem. Alcheringa, 3(4):253—259.
- Jell, P. A., 1980: Earliest known pelacypod on earth — a new Early Cambrian genus from South Australia. Alcheringa, 4(3): 233—239.
- Jiang Zhiwen, 1992: The Lower Cambrian fossil record of China. In: Lipps, J. H. and Signor, P. W. eds., Origin and early evolution of the Metazoa, 311—333. New York and London: Plenum Press.

- Johnson, J. H. , 1966: A review of the Cambrian algae. *Quart. Colorado School of Mines*, 61(1):1—162.
- Kerber, M. , 1988: Microfossils from Lower Cambrian rocks of the Montagne Noire, France. *Palaeontographica*, A, 202: 127—203, pls. 1—11.
- Khomentovsky, V. V. and Karlova, G. A. , 1993: Biostratigraphy of the Vendian—Cambrian beds and the Lower Cambrian boundary in Siberia. *Geol. Mag.* , 130(1):29—45.
- Khomentovsky, V. V. and Gibsher, A. S. , 1996. The Neoproterozoic—Lower Cambrian in northern Gobi-Altay, western Mongolia: Regional setting, lithostratigraphy and biostratigraphy. *Geol. Mag.* , 133:371—390.
- Kirschvink, J. , Budney, C. J. and Zhuravlev, A. Yu, 1987: Magnetostratigraphy of the Precambrian-Cambrian reference section near Salany-Gol, western Mongolia; comparison with the Siberian Platform. *Geol. Soc. Am. Abstr. Progr.* , 19:728.
- Kirschvink, J. and Rozanov, A. Y. , 1984: Magnetostratigraphy of Lower Cambrian strata from the Siberian Platform; a palaeomagnetic pole and a preliminary polarity time-scale. *Geol. Mag.* , 121(3): 189—203.
- Knoll, A. H. , 1991: End of the Proterozoic Eon. *Scientific American*, 265(10):64—73.
- Knoll, A. H. , 1992: Biological and biogeochemical preludes to the Ediacaran radiation. In: Lipps, J. H. and Signor, P. W. eds. , *Origin and early evolution of the Metazoa*, 52—85. New York and London: Plenum Press.
- Knoll, A. H. and Vidal, G. , 1980: Late Proterozoic vase-shaped microfossils from the Visingsö beds, Sweden. *Geol. Foren. Stockh. Forhandl.* , 102(3):207—211.
- Kobayashi, T. , 1933: Faunal study of the Wanwanian (basal Ordovician) Series with special notes on the Ribeiridae and the ellesmeroceroids. *Jour. Fac. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, 2. *Geol. Mineral. Geogr. Seosmol.* , 3:249—338.
- Kobayashi, T. , 1939: Restudy of Lorenz's *Raphistoma broggeri* from Shantung with a note on *Pelagiella*. In: *Jubilee Publication in Commemoration of Prof. H. Yabe's 60th birthday*. 283—288. (Tohoku Imperial University: Tohoku)
- Landing, E. , 1980: Late Cambrian—Early Ordovician macrofaunas and phosphatic microfaunas, St. John Group, New Brunswick. *J. Paleont.* , 54:752—761.
- Landing, E. , 1984: Skeleton of lapworthellids and the suprageneric classification of tomotiids (Early and Middle Cambrian phosphatic problematica). *J. Paleont.* , 58(6):1380—1398, pls. 1—5.
- Landing, E. , 1992: Lower Cambrian of southeastern Newfoundland: epirogeny and Lazarus faunas, lithofacies-biofacies linkages, and the myth of a global chronostratigraphy. In: Lipps, J. H. and Signor, P. W. eds. , *Origin and early evolution of the Metazoa*, 283—309. New York and London: Plenum Press.
- Landing, E. , 1994: Precambrian-Cambrian boundary global stratotype ratified and a new perspective of Cambrian time. *Geology*, 22(2):179—182.
- Landing, E. , Benus, P. , Myrow, P. and Narbonne, G. M. , 1989: The Placentian Series; appearance of the oldest skeletalized faunas in southeastern Newfoundland. *J. Paleont.* , 63:739—769.
- Landing, E. , Narbonne, G. M. , Myrow, P. , Benus, A. P. and Anderson, M. M. , 1988: Faunas and depositional environments of the Upper Precambrian through Lower Cambrian, southeastern Newfoundland. *Bull. NY State Mus.* , 463: 18—52.
- Laubenfels, M. W. , 1955: Porifera. In: Moore, R. C. ed. , *Treatise on Invertebrate palaeontology*. Part E, E22—2122, Boulder and Lawrence: Geol. Soc. Amer. & Univ. Kansas Press.
- Laurie, J. R. , 1986: Phosphatic fauna of the Early Cambrian Todd River Dolomite, Amadeus Basin, central Australia. *Alcheringa*, 10(3—4):431—454.
- Laurie, J. R. and Shergold, J. H. , 1985: Phosphatic organisms and the correlation of Early Cambrian carbonate formations in central Australia. *BMR Jour. Aust. Geol. Geophys.* , 9:83—89.
- Lee, H. Y. , 1987: Discovery of the Early Cambrian small shelly fossils from the Choseon Supergroup at the Kurangni area

- Mungyong-Kun, South Korea. *J. Paleont. Soc. Korea*, 3;93—107.
- Lee, J. S. and Chao, Y. T., 1924; Geology of the Gorge district of the Yangtze (from Ichang to Tzekuei) with special reference to the development of the Gorges. *Bull. Geol. Soc. China*, 3(3—4);351—391.
- Lemche, H., 1957; A new living deep-sea mollusc of the Cambro-Devonian class Monoplacophora. *Nature*, 179;413—416.
- Li Chiawei, Chen Junyuan and Hua Tzuen, 1998; Precambrian sponges with cellular structures. *Science*, 279;879—882.
- Lipps J. H. and Signor, P. W. eds, 1992; Origin and early evolution of the Metazoa, 1—560. New York and London: Plenum Press.
- Liu Diyong, 1987; Brachiopods and tomotiids near Precambrian-Cambrian boundary in SW China. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica ed., Stratigraphy and palaeontology of systemic boundaries in China, Precambrian-Cambrian boundary (1), 344—400, pls. 1—13. Nanjing: Nanjing University Publishing House.
- Matthews, S. C. and Missarzhevsky, V. V., 1975; Small shelly fossils of Late Precambrian and Early Cambrian age: A review of recent work. *Q. J. G. S. London*, 131;289—304.
- McMenamin, M. A. S., 1988; The dawn of animal life. *Episodes*, 11(3);229—230.
- McMenamin M. A. S. and McMenamin, D. L. S., 1990; The emergence of animals. *The Cambrian breakthrough*, 1—217. New York; Columbia University Press.
- Mehl, D. and Erdtmann, B. D., 1994; *Sanshapentella dapingi*, n. gen., n. sp., a new hexactinellid sponge from the Early Cambrian (Tommotian) of China. *Berliner geowiss. Abh.*, E 13;315—319.
- McKerrow, W. S., Scotese, C. R. and Brasier, M. D., 1992; Early Cambrian continental reconstructions. *J. Geol. Soc. London*, 149; 599—646.
- Montanari, A., 1986; Spherules from the Cretaceous / Tertiary boundary clay at Gubbio, Italy: the problem of outcrop contamination. *Geology*, 14;1024—1026.
- Moore, R. C. ed., 1955; Archaeocyatha and Porifera. In: *Treatise on invertebrate paleontology*. Part E. Lawrence; Geol. Soc. Amer. and Univ. Kansas Press.
- Moore, R. C. ed., 1956; Coelenterata. In: *Treatise on invertebrate paleontology*. Part F, Lawrence; Geol. Soc. Amer. and Univ. Kansas Press.
- Morris, N. J., 1990; Early radiation of the Mollusca. In: Taylor, P. D. and Larwood, G. P. eds., *Major evolutionary radiations*. The Systematics Association Special Volume, no. 40, 73—89. Oxford: Clarendon Press.
- Mostler, V. H., 1980; Zur Mikrofauna des Unterkambriums in der Hazira Formation — Hazara, Pakistan. *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 83;245—257, pls. 1, 2.
- Mostler, V. H. and Mosleh-Yazdi, A., 1976; Neue Poriferen aus ober kambrischen Gesteinen der Milaformation im Elburgebirge (Iran). *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, 5(1);1—26.
- Narbonne, G. M., Myrow, P. M., Landing, E. and Anderson, M. M., 1987; A candidate stratotype for the Precambrian-Cambrian boundary, Fortune Head, Burin Peninsula, southeastern Newfoundland. *Can. J. Earth Sci.*, 24(7); 1277—1293.
- Narbonne, G. M. and Myrow, P., 1988; Trace fossil biostratigraphy in the Precambrian-Cambrian boundary interval. *Bull. NY State Mus.*, 463;72—76.
- Naslund, H. R., Officer, C. B. and Johnson, G. D., 1986; Microspherules in Upper Cretaceous and Lower Tertiary clay layers at Gubbio, Ital. *Geology*, 14; 923—926.
- Nazarov, B. B., 1973; Radiolyarii iz nizhnikh gorizontov kembriya Batenevskogo Kryazha (Radiolarians from the lower beds of the Cambrian of the Bateny Hills). In: Zhuravleva, I. T. ed., *Problemy paleontologii i biotratigrafii nizhnego Kembriya Sibiri i Dalnego vostoka*. Trudy Instituta geologii geofiziki Sibirskoe Otdolenie, Akademiya Nauk SSSR, 49; 5—13.

- Nazarov, B. B. , 1975; Radiolyarii nizhnego-srendnego paleozoya Kazakhstana. (Lower-Middle Palaeozoic radiolarians of Kazakhstan). Trudy Geologicheskogo, Instituta Akademiya Nauk SSSR 275, 203 pp.
- Nowlan, G. S. , Narbonne, G. M. and Fritz, W. H. , 1985; Small shelly fossils and trace fossils near the Precambrian-Cambrian boundary in the Yukon Territory, Canada. *Lethaia*, 18(3):233—256.
- Peel, J. S. , 1990; Morphology and systematic position of *Tryblidium canadense* Whiteaves, 1884 (Mollusca) from the Silurian of North America. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, 38: 43—51.
- Peel, J. S. , 1991a; Introduction. Articulated halkieriids and microchitons. In: Peel, J. S. ed. , *Functional morphology, evolution and systematics of early Palaeozoic univalved molluscs. Greenlands Geologiske Unders(G. G. U. ) Bulletin*, 161:5—10.
- Peel, J. S. , 1991b; The classes Tergomya and Helcionelloida, and early molluscan evolution. In: Peel, J. S. ed. , *Functional morphology, evolution and systematics of Early Palaeozoic univalved molluscs. Greenlands Geologiske Unders (G. G. U. ) Bulletin*, 161:11—66.
- Peel, J. S. , 1991c; Functional morphology of the class Helcionelloida nov. , and the early evolution of the Mollusca. In: Simonetta, A. and Conway Morris, S. eds. , *The early evolution of Metazoa and the significance of problematic taxa*, 157—177. Cambridge: Cambridge University Press.
- Phillip, E. B. , 1961; Morphologic classification of sponge spicules, with description of siliceous spicules from Lower Ordovician Bellefonte dolomite in central Pennsylvania. *J. Paleont.* , 35(1):191—200.
- Pickett, J. and Jell, P. A. , 1983; Middle Cambrian Sphinctozoa (Porifera) from New South Wales. *Mem. Ass. Australas. Palaeontols.* , 1: 85—92.
- Pojeta, J. Jr. , 1980; Molluscan phylogeny. *Tulane Studies in Geology and Paleontology*, 16:55—80.
- Pojeta, J. Jr. and Runnegar, B. , 1976; The paleontology of rostroconch mollusks and the early history of the phylum Mollusca. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* , 968:1—88.
- Poulsen, C. , 1967; Fossils from the Lower Cambrian of Bornholm. *Dan. Vidensk. Selsk. , Matematisk-Fys. Medd.* , 36(2): 1—48.
- Qian Yi, 1984; Early Cambrian—Late Precambrian small shelly faunal assemblages with a discussion on Cambrian-Precambrian boundary in China. In: Academia Sinica ed. , *Developments in Geoscience, Contribution to 27th International Geological Congress, 1984, Moscow*, 9—20. Beijing: Science Press.
- Qian Yi, 1989; Early Cambrian small shelly fossils of China with special reference to the Precambrian-Cambrian boundary. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica ed. , *Stratigraphy and palaeontology of systematic boundaries in China, Precambrian-Cambrian boundary (2)*, 1—342, 99pls. Nanjing: Nanjing University Publishing House.
- Qian Yi and Bengtson, S. , 1989; Palaeontology and biostratigraphy of the Early Cambrian Meishucunian Stage in Yunnan Province, South China. *Fossils and Strata*, 24:1—156.
- Qian Yi, Yu Wen, Liu Diyong and Wang Zongzhe, 1985; Restudy on the Precambrian-Cambrian boundary section at Meishucun of Jinning, Yunnan. *Kexue Tongbao*, (15):928—931 (in Chinese and English).
- Rasetti, F. , 1954; Internal shell structure in the Middle Cambrian gastropod *Scenella* and the problematic genus *Stenothecoides*. *J. Paleont.* , 28:59—66.
- Rigby, J. K. , 1976; Some observations on occurrences of Cambrian Porifera in western North America and their evolution. In: Robison, R. A. and Rowell, A. J. eds. , *Paleontology and depositional environments: Cambrian of western North America. Brigham Young University Geology Studies*, 23(2): 51—60.
- Rigby, J. K. , 1978; Porifera of the Middle Cambrian Wheeler Shale, from the Wheeler Amphitheater, House Range, in western Utah. *J. Paleont.* , 52(6):1325—1345.
- Rigby, J. K. , 1986; Sponges of the Middle Cambrian Burgess Shale (Middle Cambrian). *British Columbia, Palaeontographica*

- Canadiana, 2:1—105.
- Robison, R. A. , 1991: Middle Cambrian biotic diversity: examples from four Utah Lagerstätten. In: Simonetta, A. M. and Conway Morris, S. eds., The early evolution of Metazoa and the significance of problematic taxa, 77—98. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rollins, H. B. , 1969: The taxonomic position of *Cyrtionella mitella* (Hall) (Mollusca, Monoplacophora). Jour. Paleont. , 43: 136—140.
- Rollins, H. B. and Batten, R. L. , 1968: A sinus-bearing monoplacophoran of primitive molluscs. Palaeontology, 11: 132—140.
- Rössen, S. , 1919: Über einige neue Problematica in einem fossilführenden Kalkstein aus dem nordschwedischen Hochgebirge. Bull. G. I. U. Uppsala, 16: 159—168
- Rozanov, A. Yu. , 1987: The Cambrian lower boundary problem. Geol. Mag. , 104(5): 415—434.
- Rozanov, A. Yu. and Landing, E. , 1995: Precambrian-Cambrian boundary global stratotype ratified and a new perspective of Cambrian time: Comment and Reply. Geology, 23(3): 285—286.
- Rozanov, A. Yu. and Zhuravlev, A. Yu. , 1992: The Lower Cambrian fossil record of the Soviet Union. In: Lipps, J. H. and Signor, P. W. eds. , Origin and early evolution of the Metazoa, 205—282. New York and London: Plenum Press.
- Rudwick, M. J. S. , 1964: The infra-Cambrian glaciation and the origin of the Cambrian fauna, In: Nairn, A. E. M. ed. , Problems in paleoclimatology, 150—155, 184—185. London: Interscience.
- Runnegar, B. , 1983: Molluscan phylogeny revised. Mem. Ass. Australias. Palaeontols. , 1: 121—144.
- Runnegar, B. , 1985: Shell microstructures of Cambrian molluscs replicated by phosphate. Alcheringa, 9: 245—257.
- Runnegar, B. and Jell, P. A. , 1976: Australian Middle Cambrian molluscs and their bearing on early molluscan evolution. Alcheringa, 1: 109—138.
- Runnegar, B. and Pojeta, J. Jr. , 1974: Molluscan phylogeny: the paleontological viewpoint. Science, 186: 311—317.
- Runnegar, B. and Pojeta, J. Jr. , 1985: Origin and diversification of the Mollusca. In: Trueman, E. R. and Clarke, M. R. eds. , The Mollusca, vol. 10, 1—57. Orlando: Academic Press.
- Runnegar, B. , Pojeta, J. Jr. , Taylor, M. E. and Collins, D. , 1979: New species of the Cambrian and Ordovician chitons *Matthevia* and *Chelodes* from Wisconsin and Queensland; evidence for the early history of polyplacophoran molluscs. J. Paleont. , 53(6): 1374—1394.
- Salvini-Plawen, L. V. , 1972: Zur Morphologie und Phylogenie der Mollusken: Die Beziehungen der Caudofoveata and der Solenogastres als *Aculifera* , als Mollusca und als *Spiralia* (nebst einem Beitrag zur Phylogenie der coelomatishcuen Raume). Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie, 184: 205—394.
- Salvini-Plawen, L. V. , 1981: On the origin and evolution of the Mollusca. Atti Dei Convegni Lincei, 49: 235—293.
- Salvini-Plawen, L. V. , 1985: Early evolution and primitive groups. In: Trueman, E. R. and Clarke, M. R. eds. , The Mollusca, vol. 10, 59—150. Orlando: Academic Press.
- Schopf, J. W. and Klein, C. eds. , 1992: The Proterozoic biosphere. A multidisciplinary study. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sdzuy, K. , 1969: Unter- und mittelkambrische Porifera (Chancelloriida und Hexactinellida). Paläont. Z. , 43: 115—147.
- Shu Deggen, Zhang Xiguang and Chen Lin, 1996: Reinterpretation of *Yunnanozoon* as the earliest known hemichordae. Nature, 380: 428—430.
- Simonetta, A. M. and Conway Morris, S. eds. , 1991 : The early evolution of Metazoa and the significance of problematic taxa. Cambridge: Cambridge University Press.
- Staribogatov, Ya. , 1970: Systematics of Early Paleozoic Monoplacophora. J. Paleont. , 3: 293—302.

- Steiner, M., Mehl, D., Reitner, J. and Erdtmann, B.D., 1993: Oldest entirely preserved sponges and other fossils from the lowermost Cambrian and a new facies reconstruction of the Yangtze Platform (China). *Berliner geowiss. Abh.*, E 9; 293—329.
- Szaniawski, H. and Bengtson, S., 1993: Origin of euconodont elements. *J. Paleont.*, 67(4): 640—654.
- Walcott, C. D., 1913: The Cambrian faunas of China. *Research in China. Publications of the Carnegie Inst. Wash. Publ.*, 54 (3): 1—375.
- Walcott, C. D., 1920: Middle Cambrian Spongia. *Smithson. Misc. Coll.*, 67(6): 261—364.
- Walliser, G. H., 1958: *Rhombocorniculum comleyense* n. gen., n. sp. Incertae sedis unter Kambrium, Shropshire. *Paläont. Z.*, 32: 176—180.
- Wang Hongzhen, 1941: A brief note on the Chungitsuu phosphate deposit, Kuyang, Yunnan. *Bull. Geol. Soc. China*, 21 (1): 67—70 (in Chinese and English).
- White, R. D., 1986: Cambrian Radiolaria from Utah. *J. Paleont.*, 60: 778—780.
- Wingstrand, K. G., 1985: On the anatomy and relationships of recent Monoplacophora. *Galathaea Rept.*, 16: 7—94.
- Xiao Shuhai, Zhang Yun and Knoll, A. H., 1998: Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite. *Nature*, 391: 553—558.
- Xing Yusheng, Ding Qixiu and Lu Huilin, 1982: Biotic characteristics of Sinian-Cambrian boundary beds in China and the boundary problems. *Precambrian Res.*, 17: 77—85.
- Xu Daoyi, Yan Zhang, Sun Yiyin, He Jinwen, Zhang Qinwen and Chai Zhifang, 1989: *Astrogeological events in China*. Van Nostrand Reinhold (New York), Geological Publishing House (Beijing), Scottish Academic Press (Edinburgh), pp. 1—264.
- Yang Jiedong, Su Weiguo, Wang Zongzhe and Wang Yinxi, 1996: Sm-Nd isotopic age of Precambrian-Cambrian boundary in China. *Geol. Mag.*, 133(1): 53—61.
- Yin Leiming, 1980: Late Precambrian microfossils from the Diaoyutai Formation, eastern Liaoning, China. Paper for the 5th International Palynological Conference. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, pp. 1—18, pls. 1, 2.
- Yochelson, E. L., 1978: An alternative approach to the interpretation of the phylogeny of ancient mollusks. *Malacologia*, 17: 165—191.
- Yochelson, E. L. and Gil-Cid, D., 1984: Reevaluation of the systematic position of *Scenella*. *Lethaia*, 17(4): 331—340.
- Yu Wen, 1987: Yangtze micromolluscan fauna in Yangtze region of China with notes on the Precambrian-Cambrian boundary. In: *Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica ed., Stratigraphy and palaeontology of systemic boundaries in China, Precambrian-Cambrian boundary (1)*, 19—275, pls. 1—68. Nanjing: Nanjing University Publishing House.
- Yu Wen, 1989: Did the shelled mollusks evolve from univalved to multivalved forms or vice versa? In: *Chinese Academy of Science ed., Developments in Geoscience, Contribution to 28th International Geological Congress, Washington D. C., U. S. A.*, 235—244. Beijing: Science Press.
- Yu Wen, 1990: The first radiation of shelled mollusks. *Palaeontologia Cathayana*, 5: 139—170.
- Zhang Wentang, 1987: World's oldest Cambrian trilobites from eastern Yunnan. In: *Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica ed., Stratigraphy and palaeontology of systemic boundaries in China, Precambrian-Cambrian boundary (1)*, 1—16, pls. 1, 2. Nanjing: Nanjing University Publishing House.
- Zhang Xiguang and Pratt, B. R., 1994: Middle Cambrian arthropod embryos with blastomeres. *Science*, 266: 637—639.
- Zhang Yun and Yuan Xunlai, 1992: New data on multicellular thallophytes and fragments of cellular tissues from Late Proterozoic.

- zoic phosphate rocks, South China. *Lethaia*, 25: 1—18.
- Абаимова Г. Л., 1976: Самые древниегастроподы Сибири. В кн.: Стратиграфия и палеонтология нижнего и среднего кембрия СССР. Новосибирск: «Наука», с. 174—175.
- Абаимова Г. П., 1978: Анабариты — древнейшиенскопаемые с карбонатным скелетом. В кн.: Новые материалы по стратиграфии и палеонтологии Сибири. Новосибирск: «Наука», Труды СНИИГиМС, вып. 260, с. 77—83.
- Вальков А. К., 1968: К фауне кесоюсинской свиты нижнего кембрия Оленекского поднятия. В кн.: Тектоника, стратиграфия и литология осадочных формаций якутий Докл. На XVII Научн. сессии ЯфСОАН СССР. Якутск. Кн. изд-во, с. 115—119.
- Вальков А. К., 1970: Hyolithida Амгинского яруса среднего кембрия северо-востока Сибирской платформы. В кн.: Бобров, А. К. ред., Стратиграфия и палеонтология дротерозоя и кембрия востока Сибирской платформы. Якутск. Кн. изд-во, с. 71—90, табл. 1, 2.
- Вальков А. К., 1975: Биостратиграфия и хиолиты кембрия северо-востока Сибирской платформы. Учуро-Майский район. М.: «Наука», с. 1—116, табл. 1—14.
- Вальков А. К., 1982: Биостратиграфия нижнего кембрия востока Сибирской платформы. Учуро-Майский район. М.: «Наука», с. 1—92.
- Вальков А. К., 1987: Биостратиграфия нижнего кембрия востока Сибирской платформы. Юдомо-Оленекский регион. М.: «Наука», с. 1—136, табл. 1—16.
- Вальков А. К. и Сысоев В. А., 1970: Ангустиокреиды кембрия Сибири. В кн.: Стратиграфия и палентогия протерозоя и кембрия востока Сибирской платфоры. Якутск, с. 94—100.
- Васильева Н. И. и Саютина Т. А., 1988: Морфологи ческое разнообразие склеритов Ханцеллорий. В кн.: Журавлева И. Т. и Репина Л. Н. ред., Кембрий Сибири и средней Азии. М.: «Наука», с. 190—197, табл. 30—32.
- Воронин Ю. И., Воронова Л. Г., Григорьева Н. В., Дроздова Н. А., Жегалло Е. А., Журавлев А. Ю., Рагозина А. Л., Розанов А. Ю., Саютина Т. А., Сысоев В. А. и Фонин В. Д., 1982: Граница докембрия и кембрия в геосинклинальных обласрях Сопорный разрез Саланы-Гол, МНР. М.: «Наука», Труды, вып. 18, с. 1—152, табл. 1—40.
- Воронова Л. Г. и Миссаржвский В. В., 1969: Находки водорослен и трубок первой в пограничный слоях кембрия и докембрия Сибирской платсрормы. Докл. АН СССР, 184, No. 1.
- Горянский В. Ю., 1973: О необходимости исключения рода *Chancelloria* Walcott из типа губк. В кн.: Журавлева И. Т. ред., Пробаеты палеонтологии биостратиграфии нижнего кембрия Сибири и Дальнег Востока. Новосибирск: «Наука», с. 39—44.
- Журавлева И. Т. и Кордэ К. Б., 1955: Находка губки *Chancelloria* Walcott отяожениях нижнего кембрия Сибири. Докл. АН СССР, 104, 3: 474—477.
- Мамбетов А. М. и Репина Л. Н., 1979: Нижний кембрий Таласского Алатау и его корреляция с разрезами Малого Каратау и Сибирской платформы. В кн.: Журавлева И. Т. и Мешкова, Н. П. отв. ред., Биостратиграфия и палеонтология нижнего и среднего кембрия СССР. Новосибирск: «Наука», с. 7—22.
- Мешкова Н. П., 1969a: К вопросу о палеонтологической характеристике нижнекембрийских отложений Сибирской платформы. В кн.: Журавлева И. Т. отв. ред., Биостратиграфия и палеонтология нижнего кембрия Сибири и Дальнего Востока. М.: «Наука», с. 158—174, табл. 52—57.
- Мешкова Н. П., 1969b: Новые представители отряда Hyolithida в нижнем кембрии Сибирской платформы. В кн.: Журавлева И. Т. отв. ред., Биостратиграфия и палеонтология нижнего кембрия Сибири и Дальнего Востока. М.: «Наука», с. 175—179, табл. 57.

- Мешкова Н. П. , 1974а: Хиолиты нижнего кембрия Сибирской платформы. Новосибирск: *«Наука»*, вып. 97, с. 1—96, табл. 1—12.
- Мешкова Н. П. , 1974b: Cambroscleritida incertae sedis—новый отряд кембрийских ископаемых. В кн. : Журавлева, И. Т. и Розанов А. Ю. отв. ред. , Биостратиграфия и палеонтология нижнего кембрия Европы и северной Азии. М. : *«Наука»*, с. 190—193, табл. 25, 26.
- Миссаржевский В. В. , 1974: Новые данные о древнейших окаменелостях раннего кембрия Сибирской платформы. В кн. : Журавлева И. Т. и Розанов А. Ю. отв. ред. , Биостратиграфия и палеонтология нижнего кембрия Европы и северной Азии. М. : *«Наука»*, с. 179—189, табл. 23, 24.
- Миссаржевский В. В. , 1982: Расчленение и корреляция пограничных толщ докембрия и кембрия по некоторым проблематичным группам скелетных окаменелостей. Бюл. МОИП. Отд. геол. , 57(5): 52—68.
- Миссаржевский В. В. , 1989: Древнейшие скелетные окаменелости и стратиграфия пограничных толщ докембрия и кембрия. Труды АН СССР, вып. 443: 1—233.
- Миссаржевский В. В. и Мамбетов А. М. , 1981: Стратиграфия и фауна пограничных толщ кембрия и докембрия Малого Каратау. Тр. ГИН АН СССР, вып. 326: 1—90, табл. 1—16.
- Розанов А. Ю. , Миссаржевский В. В. , Волкова Н. А. , Воронова Л. Г. , Крылов И. Н. , Келлер Б. М. , Королков И. К. , Лендзион, К. , Михняк Р. , Ныхова Н. Г. и Сидоров А. Д. , 1969: Томмотский ярус и проблема нижней границы кембрия. Тр. ин-та Геол. АН СССР, вып. 206: 1—319, табл. 1—55.
- Розанов А. Ю. и Соколов Б. С. , 1984: Ярусное Расчленение Нижнего Кембрия Стратиграфия. Москва: изд-во *«Наука»*, с. 1—168.
- Соколов Б. С. и Журавлева И. Т. ред. , 1983: Ярусное расчленение нижнего кембрия Сибири. — Атлас окаменелостей. Тр. ин-та Геол. и Геоф. , вып. 558: 1—214, табл. 1—72.
- Сысоев В. А. , 1965: Основные черты эволюции хиолитов. В кн. : Палеонтология и биостратиграфия палеозойских и триасовых отложений якутии, 5—20. М. : *«Наука»*.

## 属种名索引

- Abadiella* 133,156,157  
*Abadiella houi* 156  
*Ablumare* 58  
*Acanthocassis* 76  
*Acanthocassis indigestus* 101  
*Acanthocassis orthacanthus* 77,78,81  
*Acatosphaera echoinus* 87  
*Aciconularia* 25  
*Acidiscus* 139  
*Acidocharacus longiconus* 91  
*Acidocarena* 20  
*Acidotocarena* 105  
*Actinoconus* 8,10  
*Actinotheca* 5,94,120,157  
*Actinotheca costellata* 99  
*Actinotheca dolioformis* 95,97,99,152  
*Actinotheca holocyclata* 157,158  
*Actinotheca mira* 75, 80, 85, 87, 90, 91, 99, 101, 158,161  
*Actinotheca* sp. 152  
*Adversella montanoides* 43,75  
*Adyshevitheca* 5,56,90,107,161  
*Adyshevitheca adyshevi* 99,100  
*Adyshevitheca* cf. *adyshevi* 90  
*Aetholicopalla* 56  
*Aetholicopalla abnata* 54  
*Aegides* 10,14  
*Aegides seperbes* 75  
*Aegides places* 76  
*Aimitus* 5,164  
*Aimitus circupluteus* 75,101  
*Aimitus* sp. 100  
*Ajaciocyathus* sp. 88  
*Alberiella* 30  
*Aldanella* 12,18,19,105,108,146  
*Aldanella attleborensis* 128,129,137  
*Aldanella* sp. 154  
*Aldanella yanjiaheensis* 7,86,89  
*Aldanica* 44  
*Aldanocyathus sunnaginicus* 133, 135, 138, 139, 159,160  
*Aldanocyathus jaroschevitchi* 161  
*Aldanocyathus* sp. 88  
*Aldanocyathus virgatus* 133  
*Aldanotreta* 20  
*Aldanotreta pusila* 20  
*Aldanotreta* sp. 75  
*Allatheca* 5,94,105,107,156  
*Allatheca amgaica* 100  
*Allatheca degeeri* 4,100  
*Allatheca* cf. *nangiangensis* 152  
*Allatheca* sp. 75,97  
*Allatheca?* sp. 95,96  
*Allonnia* 43,44,153,154,163—165  
*Allonnia erromenosa* 43,46,75,77,80,91—92,98  
*Allonnia* sp. 81,86,87,101,155  
*Allonnia tetrathallis* 46  
*Allonnia* cf. *tetrathallis* 98  
*Allonnia tripodophora* 42,43  
*Ambrolinevitus* 5,79,88,164  
*Ambrolinevitus platypluteus* 89  
*Ambrolinevitus* sp. 81  
*Ambrolinevitus ventricosus* 75  
*Amphigeisina* 33,34,153,165  
*Amphigeisina danica* 65,107  
*Amphigeisina renae* 101,102  
*Anabarella* 9,17,105,107  
*Anabarella australia* 157,158  
*Anabarella drepanodus* 99  
*Anabarella drepanoida* 97,98  
*Anabarella?* *emeiensis* 7  
*Anabarella plana* 160,161,166  
*Anabaritellus* 106  
*Anabaritellus cylindriculus* 92,93

- Anabarithellus hexasulcatus* 74  
*Anabarites* 23, 57, 58, 76, 82, 93, 105, 107, 114,  
116, 119, 120, 131, 131—133, 135, 137—142, 151,  
153—155, 159—165  
*Anabarites sexalox* 159  
*Anabarites* sp. 78, 92, 94, 95, 101, 102, 152—154  
*Anabarites sulcoconvex* 83, 89  
*Anabarites tricarinatus* 59  
*Anabarites tripartitus* 156  
*Anabarites trisulcatus* 56, 59, 64, 74, 76—86, 88,  
89, 92, 94, 119, 120, 130, 131, 135, 137—139, 146,  
153, 154, 155, 159, 160, 161  
*Anabarites trymatius* 159  
*Ancheilotheca* 5, 79  
*Ancheilotheca asymmetrica* 81  
*Ancheilotheca nanjiangensis* 81  
*Anhuiconus* 94, 120, 152  
*Anhuiconus microtuberus* 97, 99  
*Anhuiconus* sp. 95, 152  
*Anonymolitus* 5, 6  
*Anomalocaria* 165, 168, 177  
*Archaeooides* 54—56, 105, 156, 162, 163  
*Archaeooides granulatus* 55, 74, 80, 87, 89, 91, 101  
*Archaeooides acuspinnatus* 55  
*Archaeooides kuanchuanpuensis* 55, 56  
*Archaeooides interscriptus* 55  
*Archaeooides* sp. 77, 78, 81, 90, 92—94  
*Archaeospira* 6, 7, 11, 12, 18, 19, 163  
*Archaeospira imbricata* 7  
*Archaeospira ornata* 7, 75, 76  
*Archaeospira ovanta* 89  
*Archaeospira regularis* 7  
*Archaeospira* cf. *sonlingpuoensis* 7, 75, 85  
*Archaeospira* sp. 78, 86  
*Archaeotremaria* 8, 10  
*Archaeotremaria polytremata* 16  
*Archiasterella* 43, 44, 156, 158, 164, 165  
*Archiasterella quadratina* 161  
*Archiasterella pentata* 43, 91  
*Archiasterella pentactina* 43, 46, 90, 101  
*Archi cladium* 46, 108  
*Archi cladium tridactyles* 44, 46, 91, 98, 101  
*Archi cladium yurtusensis* 46  
*Archinacella* 10  
*Arenicolites* sp. 127  
*Artimyxella* 20, 21, 22  
*Artimyxella yichangensis* 85  
*Arthrochites* 23—27, 67, 76, 105, 132, 137—142,  
153, 154, 159, 160, 162—165  
*Arthrochites emeishanensis* 74, 76, 77, 80, 159  
*Asteractinella* cf. *expansa* 29, 89  
*Asteractinella?* sp. 87  
*Auriculaspira* 12, 18, 19, 107, 153—155, 163  
*Auriculaspira adunca* 19, 97, 99  
*Auriculaspira madianensis* 97, 99  
*Aurisella* 38, 150  
*Balaspidella* 30  
*Barbitositheca* 23—25  
*Barskoyia simplex* 97, 99  
*Batangitheca* 5  
*Bathyriscus* 30  
*Bemella* 6, 9, 18, 155  
*Bemella anhuiensis* 99  
*Bemella costa* 97, 99  
*Bemella jacutica* 86  
*Bemella liantuensis* 7  
*Bemella minuta* 89  
*Bemella simplex* 81, 89  
*Bemella* sp. 77, 78  
*Bercutia* 53, 161  
*Bergeroniellus micmaciformis* 56  
*Beshtashella* 156  
*Beshtashella tortilis* 87, 157, 158  
*Bengtsonia* 53  
*Beyrichona longquanxiensis* 158  
*Biligulitheca bullata* 91  
*Bilinlichnus* 132  
*Bioistodina* 35  
*Bioistodina planuta* 97, 98  
*Blastulospongia* cf. *monothalamos* 101  
*Botsfordia* 105  
*Botsfordia cealta* 100  
*Brushenodus* 76  
*Brushenodus prionodes* 77  
*Burithes* 5, 161, 164  
*Burithes* sp. 90

- Calcihexactina* 82, 83, 105, 106  
*Calcihexactina* sp. 29, 83, 84, 89—94  
*Callavia* 127—129, 137  
*Callavia kroeggeri* 139  
*Cambroclavus* 49—51, 81, 86, 88, 106, 108, 116, 147, 148, 151, 153, 157, 161, 163, 164, 166  
*Cambroclavus absonus* 157  
*Cambroclavus antis* 49, 51, 90, 101  
*Cambroclavus fangxianensis* 87, 90, 91  
*Cambroclavus shawanensis* 87, 90, 101  
*Cambroclavus* sp. 81  
*Cambroclavus undulatus* 50  
*Cambroconus* 10  
*Cambroconus minimus* 16  
*Cambrolithus* 5, 6  
*Cambrolithus gushanensis* 4  
*Cambrospira* 7  
*Cambrothyra ampulliformis* 87, 91  
*Cambrothyra truncata* 91  
*Cambrotubulus* 128, 134, 135, 139, 155, 156, 163  
*Cambrotubulus decurvatus* 81, 86, 87, 89, 154  
*Cambrotubulus* sp. 77, 80, 160  
*Camenella* 52, 53, 161  
*Camenella baltica* 137, 139  
*Camenella* sp. 54  
*Canopoconus* 10, 13, 21, 40, 162, 163, 166  
*Canopoconus cambrinus* 14  
*Canopoconus?* *radularis* 14, 67  
*Cardiolithes* 5, 6  
*Cardiolithes shandongensis* 4  
*Carinachites* 23—26, 38, 46, 88, 165  
*Carinachites absidata* 76, 77  
*Carinachites curvatornatus* 26, 80, 89  
*Carinachites octosulcatus* 89  
*Carinachites quadratus* 80  
*Carinachites spinatus* 26, 67, 89  
*Carinachites tetrasulcatus* 67  
*Cassidina* 10, 13  
*Cassidina pristinis* 7  
*Cavaulichnus* 130  
*Chancelloria* 37, 42—46, 56, 58, 76, 79, 88, 105, 107, 108, 121, 135, 150, 156, 158, 161, 163, 165, 177  
*Chancelloria aldanica* 44  
*Chancelloria aksuensis* 46  
*Chancelloria altaica* 43, 44, 77, 96, 97  
*Chancelloria arida* 44, 46, 87, 165  
*Chancelloria asteroidea* 44  
*Chancelloria astoroëdea* 44  
*Chancelloria coronacea* 44  
*Chancelloria drusill* 44  
*Chancelloria eros* 42—44  
*Chancelloria* cf. *eros* 98  
*Chancelloria exilis* 45  
*Chancelloria fragilis* 45  
*Chancelloria gigantea* 43, 45, 85  
*Chancelloria grosdilovi* 45  
*Chancelloria hispanica* 45  
*Chancelloria iranica* 42  
*Chancelloria irregularis* 43—46, 75, 80, 85, 96  
*Chancelloria lenaica* 45  
*Chancelloria libo* 45  
*Chancelloria maroccana* 43, 45  
*Chancelloria* cf. *maroccana* 96  
*Chancelloria odontodes* 45  
*Chancelloria pentacta* 43, 45  
*Chancelloria?* *petalina* 45  
*Chancelloria primaria* 45  
*Chancelloria racemifundis* 45  
*Chancelloria* cf. *racemifundis* 90, 91, 101  
*Chancelloria sardinica* 45  
*Chancelloria?* *schizoloma* 45  
*Chancelloria spinulosa* 45  
*Chancelloria* sp. 74, 76, 77, 81, 86, 87, 89, 92, 95, 99, 100, 101, 134, 160  
*Chancelloria* spp. 45, 157, 158  
*Chancelloria symmetrica* 45  
*Chancelloria tuberculata* 45  
*Chancelloria verrucaia* 45  
*Chancelloria yorkensis* 45  
*Changaspis* sp. 92  
*Chittidilla* 94  
*Choia* 30  
*Choia carteri* 30  
*Choia hindei* 30  
*Choia ridleyi* 30

- Choaia utahensis* 30  
*Chondrites* 130  
*Chuarria* sp. 154  
*Circotheca* 5, 102, 155  
*Circotheca inundata* 4  
*Circotheca mandingshanensis* 5  
*Circotheca maxima* 97  
*Circotheca* sp. 94, 95, 102, 152, 154  
*Cobboldiella* 156  
*Coleoloides* 116, 127, 128, 153  
*Coleoloides liguiensis* 77, 78  
*Coleoloides typicalis* 75, 128, 129  
*Coleolella* 76, 162, 163  
*Coleolella recta* 63, 64, 74, 80, 81, 86, 89  
*Conichnus* 128  
*Conichnus conicus* 127  
*Conotheca* 1, 5, 6, 76, 79, 105, 106, 117, 153—157, 161, 162, 163, 165  
*Conotheca brevica* 91  
*Conotheca longiconica* 77  
*Conotheca mammilata* 77—79, 80, 91  
*Conotheca subcurvata* 4, 74, 77, 78, 80, 81, 83, 85, 86, 89, 91, 97, 98  
*Conotheca* sp. 74, 76, 77, 78, 83, 86, 89, 92—95  
*Conotheca* spp. 76  
*Conotubus* 88  
*Conularia absidata* 124  
*Conularia cambria* 165  
*Conulariella* 25, 163  
*Conulariella robusta* 165  
*Cornacuspongia* 29, 90  
*Cornilites divisus* 86  
*Crestjahitus* 5, 6  
*Crestjahitus delphus* 4  
*Crestoconus idiovus* 75  
*Crumillospongia* 30  
*Cruzian* 137  
*Cruzian* sp. 138  
*Curcolithus* sp. 127  
*Cyathophycus* 30  
*Cyrtochites* 38, 115, 162  
*Dabashanella* 106, 108, 153  
*Dabashanella hemicyclita* 102  
*Dabashanites* 38, 39  
*Dailyatia* 53  
*Dailyatia micrina* 157  
*Dabashanites* 38, 39  
*Dalmanitheca* 5, 6  
*Decoritheca* 5, 6  
*Decoritheca recta* 98  
*Decoritheca sinensis* 95, 99  
*Deiradoclavus* 49  
*Diagoniella* 30  
*Diadongia* 153, 154  
*Didymaulichnus* 132, 138  
*Didymaulichnus lyelli* 137  
*Didymaulichnus mettenensis* 130, 138  
*Dielymella* 150  
*Dimidia* 44, 153, 154  
*Dimidia simplex* 43  
*Dimorphichnus* 132, 138  
*Dipterygotheca* 5  
*Dokidocyathus lenaicus* 138, 159, 160  
*Dokidocyathus regularis* 56, 133, 135, 138, 159, 160  
*Dolichomocelypha* 20  
*Doliutheca* 5  
*Doliutus* 5  
*Doiutus* sp. 89  
*Dorsolineovitus* 164  
*Dorsolineovitus? sedecostatus* 97  
*Drepanochites* 38  
*Drepanochites dilatatus* 74, 77  
*Drepanuroides* 164  
*Ebianella* 18  
*Eccentrotheca* 53  
*Egdetheca aldanica* 133  
*Egdetheca sinensis* 97  
*Eiffelia* 29, 44, 156, 163, 165  
*Eiffelia araniiformis* 29, 86, 90, 98, 157, 158  
*Eiffelia hispanica* 43  
*Eiffelia* sp. 29, 100  
*Eldonia* 168  
*Elrathina* 30  
*Emarginoconus mirus* 7  
*Emeiconularia trigemme* 165  
*Emeiconus* 13, 39, 40

- Emeiconus crassispinus* 13  
*Emeithella rudiculoformis* 80  
*Emeithella testudinaria* 80  
*Emeithella* sp. 83  
*Eoconularia* 25  
*Eohalobia diandongensis* 75  
*Eoredlichia* 79, 81, 88, 130, 132, 138, 140—142, 156, 159, 160, 164  
*Eoredlichia* cf. *intermedia* 75, 81  
*Eoredlichia* sp. 80  
*Eoredlichia*? sp. 154  
*Eoredlichia yaoyinensis* 81  
*Eosoconus* 8, 10, 16, 155  
*Eosoconus primarius* 16  
*Eotuzoia* 150  
*Ernogia* 14, 20, 21  
*Ernogia acculatus* 21, 75  
*Exilitheca* 5, 6  
*Exilitheca fangchengensis* 98  
*Exilitheca multa* 100  
*Exilitheca*? sp. 96  
*Fallotaspis* 129, 130, 133, 138, 159, 160  
*Falospongia* 30  
*Fangzuella zhejiangensis* 92, 94  
*Fansycyathus iermontovae* 160  
*Fordiella* 17  
*Fordiella siberica* 11  
*Formichella* 128  
*Formichella* sp. 152  
*Ganluodina* 33, 34, 76  
*Ganluodina* sp. 77, 81  
*Ganluodina symmetrica* 33, 34, 80, 81  
*Gaojiashanella* 88  
*Gaparella* 54, 56  
*Gapparodus* 33, 34, 153, 165  
*Gapparodus bisulcatus* 90, 101, 102, 108  
*Geresia* 53  
*Gibaspira* 18  
*Ginella* 105, 156  
*Girvanella* sp. 95  
*Glossopleura* 30  
*Gordia* 128, 130  
*Gordia arcuata* 127  
*Gordia maeandrica* 128  
*Gordia marina* 127, 128, 137  
*Granoconus* 8, 10  
*Grypania* 175  
*Guizhoudiscus* 82  
*Guizhoudiscus* sp. 83  
*Gyrazonatheca* 5  
*Hadrophycus* 154  
*Hagionella* 33, 34, 93, 153  
*Hagionella cultrata* 34, 35, 90, 92, 94, 101, 102, 108, 151  
*Halichondrites* 30  
*Halkieria* 14, 35, 37, 39—42, 44, 79, 82, 105, 108, 127, 128, 130, 150, 154, 156, 157, 161, 163, 166, 177  
*Halkieria costulatus* 87  
*Halkieria maidipingensis* 80, 83  
*Halkieria mira* 101  
*Halkieria* sp. 81, 83, 90, 91, 134  
*Halkieria* spp. 76, 77, 78, 155  
*Halkieria sthenobasis* 74  
*Hallucigenia* 51, 166  
*Hamptonia* 30  
*Hanchiangella* sp. 91  
*Hanchungella jinningensis* 75  
*Hanchungella rotundata* 81  
*Hanchungella tenuis* 75  
*Hanshuiella* 20, 22  
*Hanshuiella primitiva* 22  
*Haoia* 150  
*Harlaniella podolica* 124, 126—129  
*Hazelia* 30  
*Hazelia obscura* 30  
*Hazelia delicatula* 30  
*Hazelia palmata* 30  
*Hebediscus* 160, 161  
*Helcionella* 9, 161  
*Helcionella antiqua* 13  
*Helcionella?* *liantuensis* 7  
*Helcionella?* *sidingshanensis* 97, 99  
*Helicostoma* 19  
*Helminthopsis* 128  
*Helminthopsis* sp. 138

- Helminthopsis tenuis* 127, 137  
*Henaniodus* 35  
*Henaniodus magicus* 97, 98  
*Heosmocelypha* 20, 163  
*Heraultia* 9  
*Heraultipegma* 11, 12, 17—19, 79, 105, 121, 130, 131, 156, 157, 163, 164  
*Heraultipegma yunnanensis* 76—80, 85, 88, 89, 121, 131, 137, 140—142, 154, 159, 160, 164  
*Hertzina* 33, 65, 106, 156  
*Hertzina americana* 90  
*Hertzina antiqua* 81  
*Hertzina danica* 155  
*Hertzina elongata* 74  
*Hertzina guizhouensis* 83  
*Hertzina* sp. 92—94  
*Heterosculpotheca* 1, 5  
*Hexaconularia* 23, 25  
*Hexangulaconularia* 23—26, 153, 154, 165  
*Hexangulaconularia formosa* 80, 81  
*Hexangulaconularia xinliensis* 81  
*Hexangulaconularia* sp. 89  
*Hintzesporgia* 30  
*Hipponicharion* sp. 157, 158  
*Hoffetella* 164  
*Holmitheca* 107  
*Holmitheca hunjiangensis* 97, 100, 156, 158  
*Hsuaspis* 156  
*Hsuaspis* (*Yinshanaspis*) *anhuiensis* 98  
*Hsuaspis conræxus* 97, 98  
*Hsuaspis* (*Madianaspis*) *huochiuensis* 98  
*Hsuaspis zhoujiaquensis* 99  
*Huangshandongella bella* 89  
*Huangshandogoconus* 10, 155  
*Huangshandogoconus pileus* 16  
*Hubeispira* 11, 12, 19  
*Huizenodus* 65, 76  
*Huizenodus oligaspinosus* 77  
*Huizenodus* sp. 90  
*Hujiagouella shouxiensis* 97, 99  
*Hunanocephalus ovalis* 94  
*Hunanocephalus* sp. 93  
*Hunanospongia* 106  
*Hunanospongia delicata* 29, 92, 93  
*Hupeidiscus* 83, 88  
*Hupeidiscus orientalis* 84, 86  
*Hupeidiscus* sp. 84, 85, 90, 91  
“*Hyolithes*” 163  
“*Hyolithes*” *conularioides* 156, 157, 158  
“*Hyolithes*” *daphnis* 5  
*Hyolithes* sp. 56, 92, 95  
*Hyolithellus* 76, 79, 88, 102, 105, 106, 127, 130, 153, 155, 161, 163  
*Hyolithellus annulatus* 64, 80, 158  
*Hyolithellus filiformis* 157, 158  
*Hyolithellus irregularis* 90  
*Hyolithellus isiticus* 89  
*Hyolithellus tenuis* 74, 77, 86, 89, 134  
*Hyolithellus vladimirovae* 77, 89  
*Hyolithellus* sp. 56, 57, 77, 78, 81, 83, 92—94, 97, 100—102, 153, 154, 160  
*Hyolithellus?* sp. 95, 96  
*Hyptiotheca* 156  
*Hyptiotheca karraculum* 157, 158  
*Igorella* 9, 18, 105, 155  
*Igorella hamata* 75, 80, 85, 89  
*Igorella* sp. 78, 91  
*Igorellina proboscis* 17  
*Ilsanella* 9, 18, 56, 166  
*Ilsanella compressa* 56, 161  
*Ilsanella erecta* 77  
*Ilsanella granda* 89  
*Ilsanella orecta* 7  
*Ilsanella reticulata* 97, 99  
*Ilsanella* sp. 77  
*Indiana* 150  
*Isoclavus* 49, 50, 86  
*Isoclavus bilobus* 87  
*Isoclavus minutus* 87, 101  
*Isorxys* 156  
*Isorxy?* sp. A 157, 158  
*Jellina elliptica* 11  
*Jellina ovata* 166  
*Jiangshanodus* 33, 34, 93, 153  
*Jiangshanodus triangulus* 92, 94, 151  
*Jinkenites* 13

- Judomia* 160  
*Kaiyangites* 49,83,105,106  
*Kaiyangites jiangshanensis* 92,94  
*Kaiyangites multispinatus* 92,93  
*Kaiyangites novilis* 82,84  
*Kelanella* 53  
*Kennardia* 53  
*Kijacus kijanicus* 92,94  
*Kootenia* 156  
*Kuanyangia pustuosa* 150  
*Kunmingaspis* 93  
*Kunmingella douvillei* 81  
*Kunmingella* sp. 90,91,100  
*Kunyangotheca* 1,5  
*Kunyangotheca ostiola* 74  
*Kutorgina* sp. 99  
*Ladatheca cylindrica* 128,139  
*Lagenaconularia* 23,25  
*Lapworthella* 53,75,79,82,86,105,107,121,128,  
 130,131,137,138,140—142,153,154,156,158—  
 160,163—165  
*Lapworthella ancillata* 77  
*Lapworthella?* *annulata* 83  
*Lapworthella bella* 53,138,160  
*Lapworthella dentata* 53  
*Lapworthella* cf. *fosciculata* 157  
*Lapworthella hubeiensis* 53,87  
*Lapworthella nigra* 53  
*Lapworthella rete* 53,75,80,102  
*Lapworthella* sp. 152,157  
*Lapworthella tortuosa* 53,56,138,160,161  
*Lapworthella xinjiangensis* 102  
*Laratheca* 105  
*Laratheca nana* 133  
*Lataitheca* 5  
*Lathamella* 20  
*Latirostratus* 10  
*Latirostratus amplapevatus* 76,89  
*Latouchella* 9,11,18,76,85,155,156,161  
*Latouchella adelocosma* 99  
*Latouchella adunca* 99  
*Latouchella* cf. *anhuiensis* 96  
*Latouchella* cf. *costata* 89  
*Latouchella korobkovi* 78,154,160  
*Latouchella maidipingensis* 75,77,80,85,86,89  
*Latouchella* sp. 76,78,95  
*Leibotheca* 5,153,154  
*Leibotheca dilatata* 74  
*Lenastella aculeata* 90  
*Lenastella araniiformis* 158  
*Lepetopsis* 10  
*Lepidites* 13  
*Lepidites emeiensis* 7,13  
*Leptomitella* 31  
*Leptomitus* 30  
*Liangshanella* cf. *liangshanensis* 81  
*Liangshanella lubrica* 90  
*Liangshanella* aff. *lubrica* 92,151  
*Liangshanella* sp. 91,101  
*Liangshanella?* sp. 94  
*Liaoningolithes* 6  
*Linevitus* 5,6,79,88,107,164  
*Linevitus* cf. *amgaicus* 97,100  
*Linevitus billingsi* 80,86,90  
*Linevitus daphins* 100  
*Linevitus flabellaris* 75  
*Linevitus lentiformis* 81  
*Linevitus* sp. 89  
*Linevitus suvorovi* 97,98  
*Lingnacea saltum* 100  
*Lingulella* 153  
*Lingulella* sp. 87,99  
*Linnarsonia* sp. 87  
*Liyongella* 31  
*Liyongella tetragalis* 90  
*Loculitheca* 5,105  
*Lophotheca* 5,146,154,155  
*Lophotheca costellata* 85,86  
*Lophotheca multicostata* 85  
*Lomasulcachites* 38  
*Lomasulcachites macrus* 74  
*Lopochites* 38,76,105,151,155,163  
*Lopochites latazonalis* 74,77,81,89,153  
*Lopochites* sp. 76,77,78,83,92  
*Luyanhaochiton* 47,49  
*Luyanhaochiton elongatus* 47

- Mabianocoonullus* 23,25  
*Macturites* 7  
*Magnicanalis* 153  
*Maikhanella* 10,12—14,18,39,40,153—156  
*Maikhanella calvata* 13  
*Maikhanella cambrina* 13  
*Maikhanella crassispinus* 13  
*Maikhanella lepidites* 13  
*Maikhanella layracensis* 13  
*Maikhanella micropora* 13  
*Maikhanella* sp. 56  
*Maikhanella multa* 7,13,39,81,154,161  
*Maikhanella pelytrichnus* 13  
*Maikhanella pristinis* 7,12,13,74  
*Maikhanella radularis* 13  
*Maikhanella squamosa* 13  
*Maikhanella zhaoi* 13  
*Majatheca* 138,164  
*Majatheca curta* 97  
*Mashanites* 5  
*Matherellina* 12,19  
*Mathevina* 16  
*Megapalaeolenus* 164  
*Megapalaeolenus fengyangensis* 99  
*Megbystrichosphaeridium* 54  
*Meishucunella* 154  
*Meishucunella processus* 75  
*Meishucunella* sp. 89  
*Meitanovitus* 5  
*Mellopegma* 18  
*Mellopegma formosa* 7  
*Mellopegma georgiensis* 7,86,90  
*Mellopegma nanum* 99  
*Mellopegma rostratum* 97,99  
*Mellopegma* sp. 91,92  
*Metoptoma* 10  
*Mexicella* 30  
*Mianziandiscus* 79,88,130,132,150,159,164  
*Mianziandiscus* sp. 74,80  
*Micrina* 53  
*Microcornus* 5,6,79,86,88,105—107,132,147,148,151,157,161,163—165,173  
*Microcornus anhuiensis* 97,99  
*Microcornus breviligulatus* 98  
*Microcornus elongatus* 87,89,90  
*Microcornus eximius* 157,158  
*Microcornus parvulus* 4,87,90,98,157  
*Microcornus* cf. *parvulus* 97,100  
*Microcornus* sp. 87,100  
*Microcornus talasicus* 98  
*Microdictyon* 61,67,81,88,157,158,161,165,168,174,177  
*Microdictyon* sp. 90,157  
*Microoides* 54  
*Microoides stellatus* 55  
*Microlites* 39  
*Miniococcus sinensis* 83  
*Mirabifolliculus* 54  
*Miriella hainanensis* 29  
*Mirusilites* 39  
*Mirusilites chiriformis* 39  
*Mirusilites legantis* 39  
*Mirusilites rodustus* 39  
*Mobergella* 115  
*Mobergella?* *bella* 7  
*Mobergella?* sp. 83  
*Moleculospina* 30  
*Mongolodus* 33  
*Monomorphichnus* 128  
*Monomorphichnus* spp. 127,137,138  
*Monotella* 150  
*Nanchengella dalongtanensis* 75  
*Nanjiangofolliculus* 54  
*Neobolus* sp. 99  
*Neogloborilus* 5,86,153,163,165  
*Neogloborilus applanatus* 4,87,101,102,107  
*Neogloborilus prolata* 101  
*Neogloborilus spinatus* 75,99,107  
*Neogloborilus hymenodes* 101  
*Neopilina* 7  
*Neopilina galathea* 14  
*Nevadotheca* 5,6  
*Ninella* 53,108,151  
*Ninella tarimensis* 91,101  
*Ningqiangella* 88  
*Nochoroicyathus kokoulini* 160

- Novakotheca* 5,6  
*Nubecularites abustus* 133  
*Obliquatheca* 164  
*Obolella* 153  
*Obolella* sp. 99  
*Obolus* 153  
*Obolus* sp. 99  
*Obtusoconus* 10,16,18,76,85,155,156  
*Obtusoconus maidipingensis* 146  
*Obtusoconus multicostatus* 77,85  
*Obtusoconus paucicostatus* 7,85,86  
*Obtusoconus rostriptutea* 7,17  
*Obtusoconus* sp. 154  
*Ocurranus* 20,21  
*Ocurranus finial* 75,77,78  
*Ocurranus subpenlaedrus* 75  
*Ocurranus trulliformis* 85  
*Oldhamia* 130,138  
*Oldhamia flabellata* 76  
*Olivoooides* 54,55,151,153—155,163  
*Olivoooides alveus* 55  
*Olivoooides canariculatus* 55  
*Olivoooides blandes* 55  
*Olivoooides intersulcatus* 55  
*Olivoooides multisulcatus* 55,80,81,89,155  
*Olivoooides papillatus* 54,55  
*Olivoooides* sp. 86,91,92,95,154,155  
*Olivoooides?* sp. 94,152  
*Onychia* 44,165  
*Onychia simplex* 75,80,98  
*Onychia?* sp. 90,96  
*Onychia tetrathallis* 43,75,80,90  
*Orthotheca* 105,156  
*Orthotheca* sp. 77  
*Oryzochocha prisca* 158  
*Ovalitheca* 154,155  
*Ovalitheca multicostata* 153  
*Ovalitheca* sp. 76—78  
*Pachythea triangularis* 101  
*Palaeomaca* 90,166,167  
*Palaeolenus* 88,140—142,164  
*Palaeopascichnus* 132  
*Palaeopascichnus delicatus* 127  
*Palaeosulcachites* 38,155  
*Palaeosulcachites* spp. 76  
*Paleobolus* sp. 99  
*Paleocenospaera* 54  
*Paleoxiphospaera* 54  
*Paliurus* 57  
*Paokannia* 59,151  
*Paokannia mufushanensis* 95  
*Paokannia* sp. 94,95,151  
*Parabadiella* 79, 81, 88, 130, 132, 133, 135, 138, 140—142, 154, 159, 160, 164  
*Parabadiella houi* 75  
*Parabadiella* sp. 81  
*Paracanthodus* 33,34  
*Paracanthodus variabilis* 34  
*Paracarinachites* 23, 24, 46, 48, 49, 76, 155, 156, 165  
*Paracarinachites sinensis* 46,75,77,78  
*Paracarinachites spinatus* 75  
*Paraceratoconus ruidus* 95,97,99  
*Paracharnia* 84,140—142,175  
*Paracircothea* 5  
*Paraconularoides* 25  
*Paraeomovitatus* 5  
*Paraeomovitatus longevaginatus* 75  
*Paraexilitheca* 5  
*Paragloborilus* 1, 5, 23, 56, 75, 79, 86, 105, 132, 133, 137—142, 154—156, 159—165  
*Paragloborilus circulatorius* 75,87,90,91  
*Paragloborilus mirus* 120  
*Paragloborilus subglobosus* 4, 75—80, 85, 88, 89, 119, 130, 137, 138  
*Paragloborilus* sp. 87,91,100,101  
*Parakorilithes* 5,6,107,156,164,165,173  
*Parakorilithes mammilatus* 4,97,98,99  
*Parakorilithes* sp. 92  
*Parakorilithes teretiusculus* 98,158  
*Paralaminarites* 175  
*Paraleptomitella* 30  
*Paramobergella* 54  
*Paramobergella ningqiangensis* 54,55  
*Paranabarites* 23,24,30  
*Paranabarites tetrasulcatus* 23,24

- Parapunctella* 20,21  
*Parapunctella xianfengensis* 21  
*Pararaia bunyeroensis* 156,157  
*Pararaia janeae* 156,157  
*Pararaia tatei* 156,157  
*Parazhijinites* 49  
*Parazhijinites quizhouensis* 83  
*Parazhijinites* sp. 87  
*Pasamothopaless* 105  
*Pelagiella* 11,18,88,153—156,166  
*Pelagiella adunca* 157,158  
*Pelagiella emeishanensis* 7,79,80,89  
*Pelagiella lorenzi* 154  
*Phycodes* 132,138  
*Phycodes pedum* 97,100,124,126—130,137  
*Phycodes* sp. 127  
*Phyllochiton* 50,51  
*Pileoconus veloides* 75  
*Pilina* 7  
*Pirania* 30  
*Placostegus* 57  
*Plagiogmus* 130,132  
*Plagiura* 30  
*Planolites* 128,132  
*Planolites beverleyensis* 127  
*Planolites montanus* 127  
*Platispinites* 44  
*Platycircotheca* 1,5  
*Platydsorosus* 5  
*Platysolenites sibiricus* 56  
*Plicatolingula* 20  
*Pojetaia* 11  
*Pojetaia elliptica* 11,166  
*Pojetaia ovata* 166  
*Pojetaia runnegari* 11,98,157,158,166  
*Pojetaia* spp. 97  
*Poliella* 30  
*Pollicina* 10  
*Pollicina striata* 85,86  
*Polycladium* 108  
*Porcaconus* 108  
*Porcauricula* 34,163,165  
*Porcauricula hypsilippis* 34,74  
*Porocyathus vinus* 160  
*Pretiosocyathus subtilis* 161  
*Prianabarites* 160  
*Primaconulariella* 25  
*Proboumania* 151  
*Profallotaspis* 133,138,159,160  
*Promictocracens informis* 102  
*Promictocracens primordium* 102  
*Protobolus* 20,21  
*Protoconus* 14,94,155,156  
*Protoconus crestarus* 75  
*Protoconus* sp. 95,152  
*Protohertzina* 23,32—34,38,56,65,76,82,93,  
105,106,114,117,120,121,131—133,137—142,  
146,151,154,155,159—165  
*Protohertzina anabarica* 33,34,74,76,79—86,88,  
89,92—94,120,130,154,155,159,161  
*Protohertzina cultrata* 33,151  
*Protohertzina robusta* 155  
*Protohertzina siciiformis* 74,92,93  
*Protohertzina* sp. 153—156  
*Protohertzina unguiformis* 65,74,77,80,81,83,  
89,92—94,120,155  
*Protolenus* 129  
*Protolenus hololeyi* 139  
*Protopalaeodictyon* 132  
*Protosphaerites* 54  
*Protosphaerites ningqiangensis* 55  
*Protospongia* 27,29,30,82,106  
*Protospongia* sp. 29,86,89,94  
*Protostenotheca xinjiangensis* 101  
*Prototrata?* sp. 96  
*Protowenella huainanensis* 99  
*Protowenella primaria* 97,99  
*Psamathopalass* 20,21  
*Pseudoclavus* 50  
*Pseudojudomia* 160  
*Pseudoooides* 54  
*Pseudoooides prima* 55  
*Pseudorthothea* 155,156,159,161  
*Pseudorthothea bistrata* 63,64,80  
*Pseudorthothea costata* 59  
*Pseudorthothea* sp. 87

- Pseudorthotheca tentaculoides* 83  
*Pseudovalithea crassa* 74,80,101  
*Pseudovalithea glabella* 74,80  
*Pteroredlichia* 164  
*Punctatus* 23,24  
*Punctatus emeiensis* 26,80  
*Punctatus mirabilis* 89  
*Punctella* 20,21  
*Punctella maidipingensis* 21  
*Purella* 13,14,18,154,155  
*Purella antiqua* 12,13  
*Purella cristata* 159  
*Purella marconensis* 13  
*Purella squamulosa* 7,75  
*Pygites* 23,25  
*Quadrotheca* 105  
*Quadrathea jilinensis* 100  
*Quadrochites disjunctus* 74  
*Quadrorites hunanensis* 92,93  
*Quadrosiphogonuchites* 23,25,163  
*Quadrosiphogonuchites curvatornatus*  
*Ramenta* 10,12—14,18,20,21,40  
*Ramenta cambrina* 21,75,78  
*Ramenta radularis* 7  
*Rateliffespongia* 30  
*Rectistomatheca bullata* 92  
*Redlichia* 92,94,156,164  
*Redlichia chinensis* 140,141,142  
*Redlichia* sp. 95,151  
*Renalicia* 154  
*Retecoscinus zegebarti* 160  
*Rhabdochites* 155  
*Rhabdochites exasperatus* 74  
*Rhipidospongia* 30  
*Rhombocorniculum* 33,34,86,106,114,132,135,  
148,151,161,163—165,173  
*Rhombocorniculum cancellatum* 33,34,56,65,87,  
88,90,91,140,147,150,153,157  
*Rhombocorniculum insolutum* 33,88,90,91,140  
*Rhombocorniculum walliseri* 33,90  
*Rostroconus sinensis* 75  
*Rostroconus* sp. 76,78  
*Rotadiscus* 51,165,166,168,177  
*Rozanoviella* 13,161  
*Rozanoviella atypica* 13  
*Rozanoviella gracilis* 13  
*Rugatotheca* 72,76,155  
*Rugatotheca* sp. 154  
*Rugatotheca typica* 63,64,80  
*Rushtonia minuta* 92,93  
*Rusophycus* 135,137,138  
*Rusophycus avalonensis* 128,129,137,138  
*Rusophycus cardiopetalus* 132  
*Rusophycus meishucunensis* 130,137  
*Rusophycus* spp. 138  
*Sabellidites* 81,128,137,155  
*Sabellidites cambriensis* 139  
*Sachites* 40,41,42,44,155,166  
*Sachites proboscideus* 41  
*Sacciconus saciformis* 75,95,152  
*Sacciconus yanjiaheensis* 86  
*Sacciella* 23  
*Sagittitheca lubrica* 63,64,83,89  
*Salanyella* 155  
*Salanyella* sp. 87  
*Scaevogyra* 12,19  
*Scambocris* 20  
*Scenella* 9,10,18,105,155  
*Scenella emeishanensis* 80  
*Scenella jijiaopensis* 86  
*Scenella pycna* 17  
*Scenella* sp. 85,89  
*Scoptonodus* 46,76  
*Scoptonodus renustus* 77,78  
*Sellaulichnus* 130,132,138  
*Sellaulichnus meishucunensis* 138  
*Shaanxilithes* 79,88  
*Shaanxilithes ningqiangensis* 88  
*Serradiscus* 127,156  
*Shabaella fengzuensis* 94  
*Shabaella jiangshanensis* 94  
*Shandongolithes* 5,6  
*Shizhudiscus* 152  
*Shizhudiscus* sp. 90  
*Shizhudiscus sugaitensis* 101,152  
*Sinosabellidites* 175

- Sinosachites* 40—42, 75, 78, 121, 130, 131, 137, 138, 140—142, 154, 159, 160, 163, 164, 166  
*Sinosachites flabelliformis* 75, 79, 80, 82, 121  
*Sinotubulites* 84, 140—142  
*Sinotubulites baimatuoensis* 89  
*Siphogonuchites* 23, 38, 56, 75, 76, 79, 81, 82, 105, 132, 133, 137—142, 151, 154, 156, 159, 160, 163, 164  
*Siphogonuchites biformis* 89  
*Siphogonuchites intermedius* 83  
*Siphogonuchites mirus* 81, 89  
*Siphogonuchites pusilliformis* 79  
*Siphogonuchites* spp. 76, 78, 79, 83  
*Siphogonuchites triangularis* 74, 77, 78, 80, 81, 89, 153  
*Siphogonuchites* cf. *triangularis* 83  
*Skolithos* 153  
*Skolithos annulatus* 127, 137  
*Skolithos* sp. 85  
*Solenotia incurva* 83  
*Sonella* 53  
*Sonella jinshaensis* 54  
*Spatuloconus* 10, 16, 107  
*Spinulitheca* 5, 6, 146  
*Spinulitheca billingsi* 85  
*Spinulitheca* sp. 77, 152  
*Spirellus* 153, 154  
*Spirellus columnaris* 74, 101  
*Stellaria* 44  
*Stenotheca* 18  
*Stenotheca drepanoidea* 17  
*Stenotheca emeiensis* 7  
*Stenotheconoides* 161  
*Stenotheconopsis* 53  
*Stephaconus* 94, 152  
*Stephenospongia* 30  
*Stoliconus vomeres* 75  
*Straparollina* 12  
*Sulcagloborilus gracilis* 101  
*Sugaites* 49  
*Sulcavitus* 5, 79, 88, 89, 164, 165  
*Sunnaginina* 53  
*Sunnaginina imbricata* 134, 139  
*Tabulacyathellus bidzhaensis* 161  
*Tanbaotites* 50  
*Tannuella* 9, 18, 163  
*Tannuella elata* 166  
*Tannuella* cf. *elata* 7, 80  
*Tannuella gracilis* 161  
*Tannuella retuses* 7  
*Tannuella xihaopingensis* 87  
*Tannuolina* 53, 65, 75, 79, 88, 105, 107, 121, 130, 132, 137, 138, 140—142, 153, 154, 159, 160, 163—165  
*Tannuolina minuta* 101, 102  
*Tannuolina zhangwentangi* 54, 75, 80  
*Taphrhelminthopsis* 132  
*Tcharatheca amgaica* 99  
*Teganium* 30  
*Tesella* 53, 165  
*Testispongia* 30  
*Thambetolepis* 39, 41, 42, 157  
*Tharatheca* 5  
*Tianshandiscus* 108  
*Tianzhushanella* 20  
*Tianzhushanella ovata* 85  
*Tianzhushanella pusila* 85  
*Tianzhushanella* sp. 75  
*Tianzhushanospira* 7  
*Tigrinuconus* 10  
*Tigrinuconus erectus* 7  
*Tiksitheca* 85, 105, 106, 128, 146, 155, 161  
*Tiksitheca irregularis* 92, 93  
*Tiksitheca korobovi* 86, 89  
*Tiksitheca lisis* 89, 133, 135, 138, 139, 154, 156, 161  
*Tiksitheca?* sp. 77, 85, 152  
*Tommotia* 52, 53, 161, 163, 165  
*Torellevella* 79, 88, 105, 106, 155, 156, 161  
*Torellevella biconvexa* 155  
*Torellevella curvae* 133  
*Torellevella lentiformis* 158  
*Torellevella* sp. 63, 74, 81, 89, 92, 93, 100, 157, 158  
*Trapezochites* 38  
*Trapezochites huoquiensis* 97  
*Trapezotheca* 155  
*Treptichnus* sp. 137

- Tribrachidium* 53,58  
*Truncatoconus* 16  
*Truncatoconus yichangensis* 16,17  
*Tryblidium* 7  
*Trypanovitus* 5  
*Trypolingulella proluxa* 101,102  
*Tsunyidiscus* 82  
*Tsunyidiscus aclis* 75  
*Tsunyidiscus badaowanensis* 75  
*Tsunyidiscus* sp. 83  
*Tuarangia paparna* 11  
*Tumuliolynthus primigenius* 160  
*Turcutheca* 5,6,156,157  
*Turcutheca crasseocochlia* 80,85—87  
*Turcutheca lubrica* 80,86,89,91  
*Turcutheca* sp. 76,77,78,81,87,91,94,95,97,100,152  
*Tyrasotaenia* 175  
*Umbellaconus asymmetricus* 91  
*Uncinaspira* 12,18,19  
*Uncinaspira pristina* 7  
*Uncinaspira squamosa* 55  
*Uniformitheca* 161  
*Valospongia* 30  
*Vendotaendes* 175  
*Walcottina* 153  
*Wapkia* 30  
*Watsonella* 156,157  
*Watsonella crosbyi* 128,139  
*Wirwaxia* 35,37,41,163,166  
*Wumishania* 175  
*Wushichites* 50  
*Wushiella lycotropa* 101  
*Wutingaspis* 79,81,159,164  
*Wutingaspis kunyangensis* 75  
*Wutingaspis* sp. 80,81  
*Xiadongoconus* 13,155  
*Xiadongoconus luminorus* 75  
*Xianfengella* 20,21  
*Xianfengella prima* 21  
*Xianfengella* sp. 91  
*Xianfengoconcha elongata* 166  
*Xijispira* 12,18,19  
*Xinjianyella reniformis* 101  
*Xinjiangella venustois* 101,102  
*Xinjiangodus* 33,155  
*Xixiangithes trapezius* 91  
*Xixiangithes tripodanus* 29  
*Yangtzechiton* 47,48,49  
*Yangtzechiton spinus* 47  
*Yangtzeconus* 8,10,18,105,163  
*Yangtzeconus priscus* 16,85  
*Yangtzedonta* 11,17,18,19  
*Yangtzespira* 11,12,19,76,105,119,155  
*Yangtzespira exima* 77,78,89  
*Yangtzespira xindianensis* 75  
*Yankongotheca bisulcata* 100  
*Yankongovitus* 5,6,163,165,168  
*Yankongovitus quadragonum* 4  
*Yiliangella* 88,164  
*Yochelcionella* 10,18,97,161,164,166  
*Yochelcionella chinensis* 98,157,158  
*Yochelcionella yunnanensis* 7,77  
*Yuanjiapingella* 20,22  
*Yuanjiapingella curta* 22  
*Yuanjiapingella longa* 22  
*Yunnanaspis* 164  
*Yunnancephalus* 130,164  
*Yunnancephalus pleniiformis* 75  
*Yunnanodus* 33,46,162,163,165  
*Yunnanopleura* 13  
*Yunnanospira* 12,19,105  
*Yunnanospira multiribis* 7,75  
*Yunnanotheca hypsilippis* 74  
*Yunnanozoon* 165  
*Zeugites biformis* 83  
*Zhenbaspis* 82  
*Zhenbaspis similis* 91  
*Zhijinites* 46,49,50,51,88,105,108,163,165,166  
*Zhijinites longistriatus* 80,83,91,101  
*Zhijinites lubricus* 80,89  
*Zhijinites* sp. 78,81,83,90,97  
*Zhijinites undulatus* 101



# **Taxonomy and Biostratigraphy of Small Shelly Fossils in China**

*Edited by Qian Yi*

The project supported by National Natural Science  
Foundation of China

Science Press

1999

**Edited by**

Qian Yi

**Written by**

Qian Yi

Chen Meng'e

He Tinggui

Zhu Maoyan

Yin Gongzheng

Feng Weimin

Xu Juntao

Jiang Zhiwen

Liu Diyong

Li Guoxiang

Ding Lianfang

Mao Yongqiang

Xiao Bing

# Contents

**Introduction** ..... Qian Yi (213)

## **Chapter I Classification and early evolution of different groups of SSF**

.....Qian Yi, Chen Meng'e, Feng Weimin, Xu Juntao and Liu Diyong (215)

- Section 1 Classification and early evolution of hyolithids ..... (215)
- Section 2 Classification and evolution of early molluscs ..... (216)
- Section 3 Earliest brachiopods ..... (219)
- Section 4 Classification and early evolution of protoconulariids ..... (219)
- Section 5 Early Cambrian sponge spicules and complete sponge fossils ..... (220)
- Section 6 Sclerites of echinoderms ..... (221)
- Section 7 Protoconodont and conodont-like fossils ..... (221)
- Section 8 Discussion on coeloscleritophorans ..... (223)
- Section 9 Discussion on paracarinachitids ..... (227)
- Section 10 Nail-shaped fossil zhijinitids and cambroclavids ..... (228)
- Section 11 Tommotiids ..... (229)
- Section 12 Globular fossils ..... (229)
- Section 13 Anabaritids ..... (230)

## **Chapter II Preservation, shell wall composition and microstructure of SSF**

...Zhu Maoyan, Qian Yi, Jiang Zhiwen, He Tinggui and Mao Yongqiang (231)

- Section 1 Preservation, composition and microstructure of main SSF groups ... (231)
- Section 2 Diagenesis and microstructures ..... (232)
- Section 3 Diagenesis and compositions ..... (233)
- Section 4 Taphonomic processes of SSF preserved as shell beds ..... (233)
- Section 5 Palaeontological and stratigraphical significance of taphonomy of SSF... (234)

## **Chapter III Geological and geographical distribution of SSF, with discussion on Early Cambrian geographical provinces**.....

.....Yin Gongzheng, He Tinggui, Qian Yi and Xiao Bing (234)

- Section 1 Geological and geographical distribution of SSF ..... (234)

|                                                                                                                  |                                                                                                                        |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Sections 2—3                                                                                                     | Early Cambrian sedimentary facies and palaeogeography in China                                                         | (239) |
| Section 4                                                                                                        | Preliminary research on ecology of Early Cambrian small shelly fauna                                                   | (239) |
| Section 5                                                                                                        | Biogeographical provinces of Early Cambrian SSF in China                                                               | (240) |
| <b>Chapter IV Review on global Precambrian-Cambrian boundary stratotype and its intercontinental correlation</b> |                                                                                                                        |       |
|                                                                                                                  | He Tinggui, Qian Yi, Chen Meng'e and Ding Lianfang                                                                     | (240) |
| Section 1                                                                                                        | Review on global Precambrian-Cambrian boundary stratotype                                                              | (240) |
| Section 2                                                                                                        | Global correlation of the Precambrian-Cambrian boundary stratigraphy                                                   | (245) |
| <b>Chapter V Cambrian explosion and geological events</b>                                                        |                                                                                                                        |       |
|                                                                                                                  | Chen Meng'e, Qian Yi and Li Guoxiang                                                                                   | (245) |
| Section 1                                                                                                        | Cambrian explosion                                                                                                     | (245) |
| Section 2                                                                                                        | Occurrence and development of Meishucunian SSF                                                                         | (246) |
| Section 3                                                                                                        | Geological background of the Cambrian explosion and influences of the geological event on early evolution of organisms | (246) |
| Section 4                                                                                                        | Significance of Cambrian explosion                                                                                     | (247) |

# Taxonomy and Biostratigraphy of Small Shelly Fossils in China

(Summary)

## Introduction

The name "small shelly fossils (SSF)" was first proposed by S. C. Matthew and V. V. Missarzhevsky in 1975, especially referring to those microfossils with mineralized skeletons in the Tommotian or Meishucunian strata of the Early Cambrian, these were later called the earliest skeletonized microfaunas by some other scholars. After two decades of research, the contents and the stratigraphic distribution of SSF have been much extended. Now it is known that they include numerous fossil groups, including not only the shells of metazoans, but also the discrete sclerites of animals, with a small amount of secondary mineralized traces and algae, all being commonly characterized by tiny mineralized microfossils.

In China, the SSF are distributed almost throughout the whole country, mainly in the Yangtze Platform, North China Platform and Tarim Platform, the fossil-bearing horizons cover all Early Cambrian stages, they are especially common and abundant in the Meishucunian Stage. This book presents a study on these fossils, which include the earliest representatives of 8 known phyla and the 9 undeterminable problematic groups. The discoveries and studies of these small shelly fossils not only fills a large gap in the fields of the earliest invertebrates in China and even in the whole world, but also reveals the prelude of the Cambrian explosion, providing both sufficient paleontological evidences for the division and intercontinental correlation of Cambrian strata, and extremely significant clues to theoretical studies on the origin and early evolution of mineralized invertebrates.

Until now, nearly 100 Precambrian-Cambrian (Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$ ) boundary sections in China have been studied. Among them, 37 sections have been reported in detail, while 5 sections have been approved by the International Working Group for the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  Boundary (IUGS) as the candidates of global stratotype section and point (GSSP) for the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary. In particular, the Meishucun section in Jinning, Yunnan had once been recommended as the top candidate for the GSSP of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary. Based on SSF, the Meishucunian Stage, the first stage of Early Cambrian in China, has been established. The regularities in spatial-temporal distribution of the Early Cambrian SSF have been preliminarily confirmed through repeated investigations and comparisons in different regions of China. The different features of the SSF in the Meishucunian, Chiungchussuan and Tsanglangpuan stages represent the successive

evolution of early metazoans, which respectively are called here the Meishucun Fauna of the Meishucunian, the Xihaoping Fauna of the Chiungchussuan and the Yangsizhuang Fauna of the Tsanglangpuan (see Fig. 5-7 in Chinese text). Furthermore, the Meishucunian has been subdivided into 4 SSF assemblage zones. The results from correlation of Lower Cambrian SSF assemblages in China have reconfirmed that the base of the Cambrian in different platform regions of China is by no means an isochronal interface, indicating a tendency towards elevation step by step from south to north, i. e., from Meishucunian to Tsanglangpuan. This conclusion is identical with the results of correlation of the oldest trilobites.

After making a comparison of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary regional stratotype in China with the global Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype in Newfoundland, we consider that it is reasonable to insist on the opinion which holds that a trace fossil zone cannot be taken as a practicable method in biostratigraphy (Cowie, 1985), because the global Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype in Newfoundland was established based on a trace fossil zone which has never been fully accepted as the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary global stratotype since the first day on which it was formally adopted, regional Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype in Yunnan, China plays an superior role to the global boundary stratotype on the Burin Peninsula of Newfoundland, due to successive SSF sequences in this section, which can be taken as standard for stratigraphical division and correlation, and the abundant trace fossils as supplements, together with the oldest trilobite zone above, as the upper limit.

This book mainly focuses on the taxonomy and biostratigraphy of SSF. All chapters and sections together with their outlines and contents in this book were designated and proposed by Qian Yi to be compiled by respective specialists. Finally, the manuscripts were gathered and edited by him into a complete volume. The chief writers for different component parts of the book are listed below:

Qian Yi: Introduction, sections 1, 4, 5, 7, 9 and 10 of chapter I, section 2 of chapter IV, section 1 of chapter V, together with references, index of genera and species, and summary in English;

Feng Weimin: Section 2 of chapter I;

Liu Diyong: Section 3 of chapter I;

Chen Meng'e: Sections 6, 8, 11, 12 and 13 of chapter I, Sections 2 and 3 of chapter V;

Zhu Maoyan: Chapter II;

Yin Gongzheng: Sections 1, 2, 4 and 5 of chapter III;

He Tinggui: Sections 3 and 6 of chapter III and section 1 of chapter IV.

The achievements of this compilation are mainly subsidized by the National Foundation of Natural Science (under the Projects Nos. 4897007 and 49472081), with partly support from the Tarim Project on Biostratigraphy, Geological Evolution and Paleontology, and part of the allowance for making analyses and tests from Nanjing Branch, Chinese Academy of Sciences. We are very grateful to Profs. E. L. Yochelson and B. D. Erdtmann for their helpful advice and revising the summary in English.

# Chapter I Classification and early evolution of different groups of SSF

## Section 1 Classification and early evolution of hyolithids

Taxonomy of the hyoliths is revised with a new classification scheme proposed (Fig. 1-1). In the scheme, the hyoliths are regarded as an extinct phylum with two sister classes, namely the Hyolithomorpha (lipped) and the Orthothecimorpha (unlipped hyoliths). The unlipped hyoliths in turn are divided into two sister orders: the Circothecida (undifferentiated dorsoventrally) and the Orthothecida (differentiated dorsoventrally). The former order comprises a group of four families, namely the Circothecidae (with round aperture and conical shell), the Turcuthecidae (elliptical aperture), the Spinulithecidae (with flat aperture and long, narrow tubular shell), and the Paragloborilidae (with dilative initial part). The ventral and dorsal margins are used as morphological criteria to subdivide the Orthothecida into a group of six families, namely the Allathecidae (with flat venter and convex dorsum), the Novitatidae (with concave venter and convex dorsum), the Orthothecidae (having a triangular-conical shell), the Isitithecidae (a lenticular cross-section), the Tetrathecaeidae (a polygonal cross section and high ridge-like lateral edges), and the Gracilithecidae (with shape ridge-like dorsal midaxis and inwardly concave ventral surface). The Hyolithomorpha comprises two orders: the Sulcavitida (the dorsoventral boundary anastomosing laterally), and the Hyolithida (with an unanastomosing margin). The Sulcavitida is subdivided into ten families: the Sulcavitidae (with subsymmetrical dorsoventral margin), the Linevitidae (with convexly triangular dorsal margin and flattened, convex ventral margin), the Trapezovitidae (with trapezoidal dorsal margin), the Parakorilithidae (with both ventral and dorsal lips), the Aimitidae (with oblique aperture and a small ventral lip), the Pauxillithidae (with dense longitudinal striation distributed all over the dorsal surface and sometimes also the ventral surface), the Angusticornidae (with a sharp ridge-like dorsal midaxis), the Notabilitidae (with a flat ventral surface and semicircular dorsal surface, but without dorsal midaxis), the Parentilitidae (with a saddle-shaped cardinal process in the operculum, and the opercular apex lower than its periphery), and the Cardiolithidae (with inwardly concave ventral surface). The Hyolithida is, however, represented only by single family, namely Hyolithidae.

In China, the early evolution of hyoliths may be divided into 7 instinct evolutionary stages (Fig. 1-2). The first stage was in the early Meishucunian, in which the hyoliths all belonged to the Circothecida, with small conical shell, flat aperture, undifferentiated dorsum and venter, circular or elliptical cross-section, and ornamentations all composed of transverse growth lines, such as *Conotheca* and *Kunyangotheca*. The second stage was in the middle Meishucunian, in which the firstly representative of nontypical Allathecidae with a low differentiation in dorsum and venter, such as *Platycircotheca* and *Heterosculpotheca*. The third stage was in the late

Meishucunian to the Chiungchussuan, in which appeared the hyoliths obviously with lip, such as *Microcornus*, *Burithes* and *Linevitus*, and also the typical representative Allathecidae with obviously differentiated dorsum and venter, such as *Allatheca* and *Ancheilotheca*. The fourth stage was in the early Tsanglangpuan, in which the Orthothecida *Decoritheca* with ventral depression and hyolithids *Parakorilithes* with both dorsal and ventral lips made their first appearance. The fifth stage was in the late Tsanglangpuan, in which the evolution of hyoliths was characterized by the appearance of shell with trapezoidal cross-section and ornamentation of coarse longitudinal ridges, such as *Yankongovitus*. The sixth stage was in the Middle Cambrian, in which appeared the hyolithids *Shandongolithes* and the *Cardiolithes* with apertural lip and ventral depression, the genus *Anonymolitus* of the family Notabilitidae with perfectly round dorsal midaxis and undifferentiated both lateral sides of the dorsum, and the *Neocrest-jahitus* with wrinkle-like growth lines on the dorsum, distinct indication showing both lateral parts of the dorsum and large V-shaped centrodorsal sinus, and the seventh stage was in the Gushanian of the Late Cambrian, in which appeared the *Cambrolithes* with perfectly round dorsal midaxis, undifferentiated both lateral parts of the dorsum, and V-shaped dorsal sinus.

Although there are quite a number of Ordovician Hyolitha in China, very few people pay attention to searching for them. At present, some kinds of flattened hyoliths known as *Dalmanitheca* can be commonly found in the Dalman bed belonging to the terminal stage of the Late Ordovician. This genus has distinct latticed ornamentations on shell surface; its appearance indicates the termination of the Ordovician Period.

The characteristics in the early evolution of hyoliths may be summarized as: 1) the lip evolving from absent to present; 2) the dorsum and venter of shell evolving from undifferentiated to differentiated, up to polygonal-conical in shape; 3) the shell surface ornamentation evolving from transverse to longitudinal striations, and then to latticed sculpture; and 4) the operculum evolving from simple low-cup to differentiated dorsal and ventral sectors.

## Section 2 Classification and evolution of early molluscs

### 1. Classification of early molluscs

Based on the results from the latest research both in China and abroad, we make a revision on partial genera and species of molluscs discovered from the Lower Cambrian of the Yangtze Platform, and replenish 18 species. A systematic classification has been made on the 57 described species combined with a discussion of their early evolutionary relationships. These fossil molluscs from the Yangtze Platform are separately attributed to the Monoplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Rostroconcha and some other undetermined groups. However, the Polyplacophora and Arthroconcha in Yu Wen's (1987) classification have not been adopted here.

#### (1) Monoplacophora

A relatively broad taxonomical concept is adopted here for this group. The monoplacopho-

rans are distinguished from the gastropods mainly based on the principle of morphology combined with symmetrical muscle scars. In addition, helcionellids are also tentatively attributed to the Monoplacophora, which, with morphological variation between trybliids and hypseloconids, and no characteristic muscle scars having been discovered until now. In the light of material from early monoplacophorans of Early Cambrian in China, and on the basis of Yu Wen's (1987) classification for Monoplacophora, we here supplement the order Cyrtonelella. Thus, the monoplacophorans may be divided into 4 orders and 1 superfamily: 1) the order Yangtzeconida Yu, 1979 is characterized by the small, square-conical and mitral shell, with a pair of stout muscle scars(?), the bluntly round umbo pending anteriorly, the elliptical or subcircular aperture and growth lines and ridges ornamented on the shell surfaces, the order comprises 1 family, the Yangtzeconidae; 2) the order Trybliida Lemche, 1957 represent the most typical order of the monoplacophorans, including 2 families: Scenellidae and Trybliidae; 3) the order Hypseloconida Peel, 1991 is characterized by the relatively high and slightly curved test, including 2 families Hypseloconidae and Yochelcionellidae; 4) the order Cyrtonelella Horny, 1963 consists mainly of some planispiral shells, including 3 families: Helcionellidae Weng, Stenothecidae Runnegar et Jell, and Coreospiridae Knight; and 5) the superfamily Archaeotremariacea Yu, 1979, is characterized by a shell possessing a siphonoporous structure, including 2 families: Archaeotremariidae and Multifariidae.

#### (2) Rostroconcha

This class first appeared in the Meishucunian. *Heraultipegma* is the representative element of early rostroconchids in China, which is common in the Dahai Member and the upper part of the Zhongyicun Member, forming the third fossil zone of the Meishucunian.

#### (3) Bivalvia

In China, there are abundant fossil bivalves which have already been discovered from the Lower Cambrian, such as *Yangtzedonta* from the Meishucunian and *Pojetaia* from the Tsanglangpuan. *Yangtzedonta* undoubtedly represents the oldest bivalve ever discovered in the world so far. *Pojetaia* represents a fossil bivalve with essential significance for intercontinental stratigraphical correlation.

#### (4) Gastropoda

One of the most distinct characteristics of this class lies in the univalved, spiral and asymmetrical test. Judging from phyletic evolution, *Latouchella* shows a higher degree of spirality with symmetrical planispiral test among the Monoplacophora from the Meishucunian, therefore, it is considered here as the ancestor of the gastropods. In the Meishucunian of the Yangtze Platform, there were diverse gastropods which have been discovered, such as *Archaeospira* with characteristic regular sinistral test, *Aldanella*, *Hubeispira*, *Yunnanospira* and *Unicinaspira* with characteristic dextral test, *Yangtzespira* with a particular shell shape, etc. *Pelagiella* has been found from the Chiungchussuan, while *Auriculaspira* and *Xinjispira* have been found from the Tsanglangpuan Stage. Among them, *Aldanella* is a genus extensively distributed in the Lower Cambrian of such areas as China, U. S. A., Newfoundland,

Poland, Siberian Platform and Mongolia. While *Auriculaspira* was found from the Tsanglangpuan of China, it occurs as well as in the Lower Cambrian Parara Limestone of Australia. Therefore, *Aldanella* and *Auriculaspira* are regarded as significant elements for intercontinental stratigraphical correlation and understanding of Early Cambrian paleogeography.

#### (5) Undetermined groups

Although these groups are similar to the Monoplacophora in shape, most scholars do not place them in the Monoplacophora or into other classes of molluscs. One opinion holds that they are more similar to Polyplacophora in sculptural character (Yu Wen, 1987), and another opinion considers that these mitral fossils might bear a corresponding relationship with the anterior shell and posterior shell at both ends of the *Halkieria*. However, more discoveries are needed to confirm their attribution before the final solution of this problem.

These fossils may be divided into 2 subgroups based on sculptures: 1) the first group shows scale-like sculptures on the shell surface. In this group the genera display obvious differences in morphology, including numerous genera and species which are rather confused, probably representing taxa without phylogenetic relationships to each other. After a detailed comparison between the type species of different genera, only 3 genera: *Ramenta*, *Purella* and *Maikhanella* are adopted in our taxonomy, *Lepidites* is considered to be synonymous with *Ramenta*, *Emeiconus* a synonym of *Purella*, while *Cassidina* and *Canopoconus* are synonyms of *Maikhanella*. Table 1-6 shows a comparison between the characteristics of these 3 genera; and 2) the second group shows granular sculptures on the shell surface, including *Aegides* Jiang, *Protoconus* Yu and *Ernogia* Jiang.

## 2. Early evolution of molluscs

After a review of the evolutionary models of molluscs as proposed by Sakvini-Planen (1972, 1981, 1985), Runnegar and Pojeta (1974), Pojeta (1980), Yochelson (1978), Peel (1981, 1991), Yu Wen (1987, 1989, 1990, 1993) and others, we have carried out a series of analyses on the molluscs of the 5 classes discovered from the Early Cambrian in China according to the stratigraphic order of their appearances, with the consideration that the molluscs display an evolutionary tendency towards variation of their body segments in advanced molluscs which obviously became reduced or obscure and even completely disappeared. Muscle scars developed from more to less in number, and morphology of muscle scars also varied along with the twisted or non-twisted soft body in the later stage. The most significant distinguishing feature of the Monoplacophora lies in the greatest variation of the number of muscle scars, indicating that the Monoplacophora represent a group between the Polyplacophora and the other classes. Based on the background of reduced muscle scars, the Monoplacophora evolved in two ways. One is that many muscle scars join together to form a circular muscle scar, leading Monoplacophora toward the evolution of mitral gastropods with U-shaped muscle scars. Another is the degeneration and reduction of multiple muscle scars, only 1—2 pairs of muscle scars were eventually reserved, this may be a channel along which most gastropods and cephalopods have evolved (Table 1-7).

The Rostroconcha display an intermediate test in morphology between *Anabarella* of the Monoplacophora and *Fordilla* of the Bivalvia, these 2 genera probably have evolved from the most primitive monoplacophorans.

### Section 3 Earliest brachiopods

Among the Lower Cambrian SSF from the Meishucunian in Southwest China, a number of the brachiopod-like tests have been successively determined by authors as brachiopods, now consisting of 18 genera and 21 species. However, in the specimens upon which all these taxa have been identified, none of the internal structures are visible, the tests preserved in the form of univalves, all demonstrating a rather peculiar morphological structure. It is doubtlessly very difficult to apply a fresh examination and to arrange a taxonomic organization. Based on these fossil materials, we can only put forth some opinions on their temporary treatment, to divide them into 3 groups (Table 1-8). The genera in group 1 basically may be attributed to brachiopods, those in group 2 is regarded as "brachiopods" with obvious problems, while those in group 3 are genera which can hardly be attributed to brachiopods.

### Section 4 Classification and early evolution of protoconulariids

From the Lower Cambrian in the western part of the Yangtze Platform have been discovered a large number of microfossils with their tests in the form of tetradially to bilaterally symmetrical tubular or conical bodies, which are characteristic of the external sheaths of the conulariids. Especially, they are comparatively similar in morphology and chronological distribution to the Conulariellidae from Middle Cambrian to Lower Ordovician. These conulariids with primitive characters of conulariids are called the protoconulariids. Based on the status in the variation of their internal morphology, they are classified into 3 families with 4 genera (Table 1-9). The author is inclined to attribute the protoconulariids to an independent order under the class Conularida.

For the time being, the protoconulariids have been found to be distributed only in the *Anabarites-Protohertzina-Arthrochites* and *Paragloborilus-Siphonuchites* assemblage zones of the Meishucunian along the western margin of the Yangtze Platform in China, such as in southern Shaanxi, northern and western Sichuan, northeastern and eastern Yunnan, and then, they extend westward to the Lesser Himalayas region of India. It is worthwhile to mention the list of published "protoconulariids" from some stratigraphical sections in China copied by Conway Morris and Chen Meng'e (1991), which shows protoconulariids occurring in some other regions and still higher horizons. Based on this, Conway Morris and Chen Meng'e (1991) put forth the information that the protoconulariids had further extended the sphere of their geological and geographical distribution. According to Chen Meng'e's (personal communication, 1993) confirmation, the conulariids in this list are either misidentified, or with errors in their

stratigraphical horizons.

The discovery and study of protoconulariids from the Meishucunian in China has changed certain concepts on the origin and evolution of conulariids. The conulariids were by no means derived from the Middle Cambrian Conulariellidae. In fact, as early as earliest Cambrian, there existed the ancestral representatives of the conulariids. Some scholars even put forth that the conulariids probably derived from the triradial symmetrical metazoans in the Late Precambrian, among which a branch of the animals evolved towards the tetradial symmetrical protoconulariids by the beginning of the Early Cambrian.

The morphological terminology of protoconulariids is shown in Fig. 1-3.

## Section 5 Early Cambrian sponge spicules and complete sponge fossils

There have been a large number of reports on the fossil sponge spicules yielded from the latest Precambrian and Early Cambrian all over the world. Although there existed different understandings about whether the spicules from the Precambrian really belong to the Porifera, it has been generally recognized that abundant sponge spicule fossils have been yielded from different kinds of Early Cambrian rocks. It has become clear that these fossils existed in abundance during the earliest Cambrian, especially after the discoveries of diverse completely preserved sponges in the Chengjiang Fauna (Chen Junyuan et al., 1989, 1990), and other localities, such as western Hunan (Steiner et al., 1993; Mehl and Erdtmann, 1994).

Zhan Renbin has prepared a preliminary study on the classification of the sponges in the Chengjiang Fauna (thesis of master degree), with the division of 2 classes, 3 orders, 5 families and 10 genera. This indicates that even during the Early Cambrian the sponges have displayed a relatively much higher diversity.

The Cambrian sponge spicule fossils are widely distributed and abundant with high diversity. However, with the exception of the completely preserved sponges in the Chengjiang Fauna and some Lower Cambrian horizons in western Hunan, most of the sponge spicules are preserved as scattered and isolated, which are generally considered as of no taxonomical and stratigraphical significance, and therefore they are either not taken seriously, or called by a general designation *Protospongia*. Although at present we have already collected several thousand specimens of sponge spicule fossils yielded in the Lower Cambrian of China, it is rather difficult to make a systematical classification, because morphology and structure of the sponges and the frame association between individualized spicules still remains unclear. With reference to N. W. Lanbenbels (1955) and W. Hartman et al.'s (1980) description of the morphological types of sponges, and E. B. Phillip's (1961) classification based on morphology of sponge spicules, we first of all prepared a morphological classification of the whole spicules on hand, and then, merged all of the paragenetic spicules into a unit, i. e., the sciotaxa, which include those spicules basically similar in tissue texture, composition, arrangement and some other

aspects, in order to create conditions for their further classification:

## 1. Morphological classification

In this book, sponge spicules based on our specimens are divided into 6 major groups, including monaxon, biaxon, tetraxon, polyactin and desma, and 35 minor groups (see pp. 27—29).

## 2. Sciotaxa

Early Cambrian

Meishucunian: *Protospongia* sp., *Arteractinella* cf. *expansa* Hinde, 1988, *Calcihexactina?* sp., *Hunanospongia delicata* Qian et Ding, 1988.

Chiungchussuan: *Protospongia* sp., *Calcihexactina?* sp., *Cornilites divisus* Ding et Li (gen. et sp. nov.), *Eiffelia*, *Cornacuspungia* sp., *Xixiangites tetrapodus* Ding et Li, 1992.

Tsanglangpuan: *Eiffelia araniiformis* (Miss, 1981).

Middle Cambrian

*Miriella hainanensis* Jiang et Huang, 1986

Among these genera of spicules, few of them can be identified up to the level of higher taxa. At present, they comprise only 2 groups, namely, class Calcarea (including order Heteractinida) and class Hexactinellida.

## Section 6 Sclerites of echinoderms

A large amount of typical echinoderm sclerites have been discovered from the upper part of Lower Cambrian in China and other localities of the world. These plates are characterized by the various and porous external appearance, with coaxial accretions, displaying a complete extinction under the orthogonal microscope. It is a pity that no more careful studies have been prepared. Only Li Yong et al. (1991) did some work on morphological classification of these plates, which were named *Liyongella* Qin et Li.

## Section 7 Protoconodont and conodont-like fossils

Based on histological characteristics, Bengtson (1976) divided conodonts into 3 major groups, namely, Protoconodonta, Paraconodonta and Euconodonta, with the proposal of the evolutionary lineage from Protoconodonta through Paraconodonta to Euconodonta, that is from the entirely exposed solitary unit (Protoconodonta) through the partially exposed solitary unit (Paraconodonta) to the solitary unit completely included in the epithelial cyst (Euconodonta) (Fig. 1-5). At present, this hypothesis has been generally accepted. In China, all of the 3 conodont groups mentioned above may be recognized from the Cambrian. Many specimens are

more or less similar to conodonts in overall morphology, among them, most specimens appear in the form of simple cones, but there are also some relatively complicated forms. Only a few species demonstrate their affinity to the typical euconodonts. At present, Middle and Late Cambrian conodonts have been studied in detail concerning their classification, evolution and their relationships (An Taixiang et al., 1994), but the Early Cambrian conodonts have not yet been well investigated. For the time being, only protoconodonts and conodont-like fossils are discernible in the Lower Cambrian. In addition, some fossils are possibly related to organs of unknown organisms, which are very similar to conodonts.

### 1. Protoconodonts

These is a group of slender monocone type of conodonts with a laminar wall. Their typical representative is *Protohertzina* Missarzhevsky, 1973, which is extensively distributed in the First Subzone of SSF Assemblage Zone I of the Meishucunian and form correspondent horizon in other localities of the world. *Ganluodina* He, 1984 and *Paracanthodus* Chen, 1982 appear in the Second Subzone of SSF Assemblage Zone I of the Meishucunian. In the Second SSF Assemblage Zone of the Meishucunian is *Yunnanodus* Wang et Jiang, but it is not considered to be a conodont by other scholars. Those distributed in the Chiungchussuan include *Jiangshanodus* Yue et He, 1989, *Hagionella* Xie, 1990, *Amphigeisina* Bengtson, 1976 and *Gapparodus* Abaimova, 1978. Since *Protohertzina*, *Ganluodina* and *Hagionella* have an extensive distribution all over the world with a relatively shorter interval, they are of significance for global stratigraphical correlation. Until now, 3 Lower Cambrian protoconodont zones have been established for the Yangtze Platform, which are: the *Protohertzina anabarica* Zone and the *Ganluodina symmetrica* Zone of the Meishucunian and the *Hagionella cultrata* Zone of the Chiungchussuan.

### 2. Conodont-like fossils

Their typical representative is *Rhombocorniculum* with an extensive distribution in the Chiungchussuan all over the world, especially, *Rh. cancellatum* has usually been taken as the zonal fossil for the Chiungchussuan. At present, it is impossible to attribute these fossils to any kind of conodonts, however, they have been regarded as pseudoconodonts by Conway Morris (1987) and Landing (1980).

### 3. Organs of unknown organisms

These fossils include *Bioidstodina* He et Pei, 1984 and *Henaniodus* He et Pei, 1984 from the Lower Cambrian Tsanglangpuan Xinji Formation in Fangcheng, Ye Xian of Henan, the former is probably the plate of a certain organism without relation to conodonts, while the latter seems to bear some relations with the conodonts.

## Section 8 Discussion on coeloscleritophorans

### 1. A review on the class Coeloscleritophora

In 1981, based on sclerites with coelomata, S. Bengtson and V. V. Missarzhevsky established the class Coeloscleritophora, which include 3 families, *Wiwaxiidae* Walcott, 1911 (= *Halkieriidae* Poulsen, 1967 or *Sachitidae* Meshkova, 1969), *Siphogonuchitidae* Qian, 1977 and *Chancelloriidae* Walcott, 1920 (Fig. 1-7). In their consideration, the genera of these 3 families are basically similar in the skeletal character, all with the character of exoskeletons, indicating the homologous nature of these skeletonized fauna, and therefore they were used for the identification of biological groups with a monophyletic at a higher taxonomical level. However, based on recent new materials, the proposal of Bengtson and Missarzhevsky concerning the class Coeloscleritophora is likely to be unsuccessful.

#### (1) On halkieriids and wiwaxiids

In 1990, Conway Morris and Peel first reported completely preserved halkieriids from the Lower Cambrian Buen Formation of northern Greenland (Fig. 1-8a). However, as compared with the complete carapace of *Wiwaxia*, although display certain similarities, the interlocking sclerites of these two organisms show obvious differences in morphology, quantity, arrangement or mineral composition of the sclerites. In addition, there exist distinct anterior and posterior plates in the anterior and posterior parts of halkieriids. We consider that the presence or absence of the patella-like shell plate (i. e. anterior and posterior plates) indicates a characteristic between both of them beyond the range of class level, making their similarity in other aspects a convergent phenomenon. At present, there is an inalienable opinion to the consideration that the halkieriids represent an extinct group with affinity to the molluscs, probably an extinct transitional group between Aplacophora and Polyplacophora. On the other hand, *Wiwaxia* represents their offsprings with a closer relation to the vermes (Conway Morris and Peel, 1990).

#### (2) Chancelloriids

The complete organism (Fig. 1-8c) displays an elongate tubular or flower vase-like outline, inlaid with numerous dense stellate sclerites all over the body surface, indicating that they are sessile metazoans and feeding on suspending microorganisms. Therefore, chancelloriids may belong to one extinct group which is closer to sponges, whether in the vase-like individual or in the solitary stellate spicule inlaid on the body, and as far as the life mode is concerned. The differences among chancelloriids, *Wiwaxia* and halkieriids might attain the level of phylum. They can never be attributed to the same class due to negligence of differences in body structure but overemphasizing the similarity in arrangement patterns of sclerites and their histological texture.

It is considered here that the Cambrian was a period for different animals with hard bodies

to make prevailing "tribes" and to "create more phyla". Therefore, the 3 groups mentioned above are tentatively regarded as independent taxa, separately under the names of siphogonuchitiids, halkieriids and cancelloriids instead of the name Coeloscleritophora.

## 2. Siphogonuchitiids

Siphogonuchitiids are abundant and a widely distributed fossil group in the Lower Cambrian of China, Russia, Mongolia, Iran, India, France and some other areas. The typical siphogonuchitiid sclerites are hollow, elongated and asymmetrical, often twisted along the axial direction, with obvious longitudinal ridges; the surface between the ridges is flat or concave, ornamented with longitudinal or transversal lines; the cross section is triangular, polygonal, oval, lenticular or trapezoidal in shape; the basal part possesses a basal pore. The basal pore displays greater variations in morphology. Recently, aggregations of sclerites have been successively discovered from different localities, often with more than 2—8 of them piled up together in fascicular or banana-like arrangement. The basal parts of few specimens are fused, sometimes with a basal pore in common. The discovery of aggregations (Chen Meng'e, 1979; Voronin et al., 1982; Yang Xianhe et al., 1983; Qian Yi and Bengtson, 1989; Qian Yi, 1989) has once again confirmed the understanding of siphogonuchitiid sclerites to have represented the exoskeleton of organisms (Figs. 1-9, 1-10).

Since Qian Yi established the family Siphogonuchitidae with 4 genera in 1977, the siphogonuchitiids have increased to 11 genera in literature until now. As affirmed by Qian Yi and Bengtson (1989), actually only 4 genera may be attributed to this family, namely, *Siphogonuchites* Qian, 1977, *Lopochites* Qian, 1977, *Drepanochites* Qian et Jiang and *Lomasulcachites* Qian et Jiang, whereas *Palaeisycachites*, *Trapezochites* and *Dabashanites* are all junior synonyms of *Siphogonuchites*. *Protohertzina* is attributed to the protoconodonts, while *Cyrtochites* and *Aurisella* are excluded from siphogonuchitiids, and attributed to a problematic group.

There has been much controversy over the taxonomical position of siphogonuchitiids. Here we consider this group as one of extinct groups with unknown affinity.

## 3. Halkieriids

The halkieriids is one kind of sclerite-bearing metazoans with an extensive distribution and an extremely great abundance in the Lower Cambrian over the whole world. The extraordinary preserved fossils of *Halkieria* (Fig. 1-8a) from the shale of the Lower Cambrian Buen Formation in northern Greenland have demonstrated the characteristics of the Halkieriidae Poulsen which may be described as: Metazoans draped with a scaly scleritome, bilaterally symmetrical, possessing left and right dimorphous calcareous sclerites and forming several longitudinal "zones". The main types of sclerites include ensiform, palmate and knife-shaped ones, with two prominent patella-like plates at each end of the body; the anterior plate being rectangular, convex, whereas the posterior plate being oval-shaped, slightly convex, both with marginal

concentric growth lines. At present, the Halkieriidae include only 4 genera, which are *Halkieria* Poulsen, 1967, *Sachites* Meskkova, 1969, *Sinosachites* He, 1980, and *Thambetolepis* Jell, 1981.

It should be pointed out that most sclerites of *Halkieria* have been attributed to *Sachites* before the complete specimens of *Halkieria* were discovered. In China alone, as many as 38 form species of them have been identified which are taxonomically confused. Here we agree with the analyses of Bengtson and Conway Morris (1984, 1991) and Conway Morris and Peel (1990) concerning halkieriids and sachitids, regarding Sachitidae as a junior synonym of Halkieriidae. *Sachites* is limited to only 1 species, the type species *S. proboscideus*, while other species have been attributed to the 3 types of sclerites of *Halkieria* Poulsen, 1967, including the species of *Sachites* found in China and Russia. It is considered that the genera of the family Halkieriidae appeared at different horizons, among which *Sachites* occurs first, *Halkieria* appears next, and then *Sinosachites*, while *Thambetolepis* occurs at the highest horizon. These sclerites display a characteristic tendency in their lateral flanks towards evolving from absence (such a *Sachites*) to presence, and from being narrow (such as *Halkieria*) to broad (*Sinosachites*) and broadest (*Thambetolepis*). The sclerite association varies from 3 types of sclerites (probably the early species of *Halkieria*) to 3 or 2 types of sclerites, as in the later species of *Halkieria*, and then to only 1 type of sclerites, in *Sinosachites*. Therefore, a detailed classification of halkieriids may be applied to the division and correlation of Early Cambrian strata.

#### 4. Chancelloriids

This group represents a kind of extinct metazoans with an extensive distribution in Cambrian – Ordovician of different regions of the world. The complete body of these animals is tubular-conic or flower vase-like in shape; thecarium hollow; outer wall with densely inlaid chopped straw-like or stellate sclerites (Fig. 1-8c). Single sclerite is composed of 2–20 marginal rays (or sometimes with central ray), each ray being an independent unit with its own cavity. On the contact zone of the rays a calcareous double wall separates the adjacent interior cavity. The basal pore of each ray faces the same direction, forming a polygonal facet.

Chancelloriids was usually preserved as dispersed sclerites. Under extraordinary taphonomic conditions, such as the Middle Cambrian Burgess Shale in Canada (Watcott, 1920), chancelloriids was preserved completely with original aggregations of sclerites. During the recent years, specimens with original arrangement of sclerites also have been discovered from the Early Cambrian Chengjiang Fauna, eastern Yunnan and the Middle Cambrian Kaili Fauna in Guizhou. None of them have been studied until now. Some scholars have successively made detailed or preliminary studies on the complexity and variability of the scleritome in these natural aggregations (Bengtson, 1990; Zhan Renbin, 1989, thesis of the master degree). Since the dispersed sclerites or sclerite aggregations of chancelloriids discovered from different localities over the world are variable, such as association and number of ray of sclerite displaying a slight

variability (*Chancelloria pentacta*, *C. eros*), and a considerable variability (*Chancelloria macroccana*), there is constantly different understanding about the identification standard and classification of the genera and species in chancelloriids. For instance, more than 30 species of *Chancelloria* have been published so far (see the list in the Chinese text, pp. 44, 45).

For the time being, not so many complete chancelloriids have been discovered, and therefore it is still impossible to solve the problem on the classification of the abundant dispersed sclerites of chancelloriids by applying the structure of scleritome. We adopts Sdzuy's (1969) simplified classification scheme of chancelloriids given by Qian Yi and Bengtson (1989), based on that the number of marginal rays and that of central rays are separately expressed by  $h + n$ . The abundant dispersed sclerites of chancelloriids discovered from the same horizon or different horizons of the Lower Cambrian in different places of China which summed up into 4 genera as follows:

*Chancelloria* Walcott, 1920 5-12+1 sclerite associations

*Ch. irregularis* Qian, 1989 5-6+1

*Ch. gigantea* Qian, 1989 7-12+1

*Archi cladium*, Qian et Xiao, 1984 3-5+1 sclerite associations

*A. tridactyles* Qian et Xiao, 1984 3-5+1

*Archiasterella* Sdzuy, 1969 5+0 sclerite associations

*A. pentactina* Sdzuy, 1969 5+0

*Allonnia* Dore et Reid, 1965 2+0, 3+0, 4+0 sclerite associations

*A. simplex* (Jiang), 1982 2+0

*A. erromenosa* Jiang, 1980 3+0

*A. tetrathallis* (Jiang), 1982 4+0

The phylogenetic position of chancelloriids is still disputed. Here we support the opinion that none of these animals are sponges, based on the following evidences: 1) the rays of chancelloriid sclerites are hollow, while sponge spicules are solid; 2) the chancelloriid sclerites are draped on the surface of the soft body, playing the protective function as the dermal-spine, while the sponge spicules are endoskeleton, playing the role of supporting and consolidating the soft body; and 3) in the sclerites, the thecaria are separated by thin walls, indicating that the walls are secreted by the tissue occupying the thecarium, while the sponge spicules are secreted by spicule-producing cells. Chancelloriids probably represents an extinct sessile animal group which was close to sponges.

Based on stratigraphic distribution of chancelloriid sclerites in China, some regularities may be summarized as follows: the chancelloriids first appears in SSF Assemblage II of Meishucunian, mainly *Chancelloria* in the type of 5-12+1 with horizontal rays, represented by *C. aksuensis* and *C. irregularis*. Among the chancelloriid sclerites of SSF Assemblage IV of the Meishucunian, there appear the sclerite types of 2-5+0 and 5+1 with the marginal rays developed from extending horizontally to extending obliquely, represented by *Allonnia tetrathallis*, *A. erromenosa* and *Archiasterella pentactina*. In the Chiungchussuan, there appears the

sclerite type of 5-10+1 with withered marginal rays in button-shape, which are represented by *Chancelloria arida*. In the interval from the Chiungchussuan to the Tsanglangpuan, there appeared the sclerite type of 3-6+1 with their marginal rays and central rays extending in opposite directions (at an included angle of 120°-180°), which are represented by *Archicladium tridactyles* and *A. yurtusensis*. The sclerite types of Early Cambrian chancelloriids display a tendency towards evolving from a multi-clade pattern to a multi-clade and oligo-clade pattern, with the marginal rays evolving from horizontally to obliquely extending up to extending in opposite directions; the longer rays gradually become withered into shorter ones, among which some appear as button-shaped. Such an evolutionary tendency may be applied to stratigraphy.

## Section 9 Discussion on paracarinachitids

The paracarinachitids represent the sciotaxa at the level of a superfamily designated by Qian Yi and Bengtson (1989) based on the family Paracarinachitidae established by Qian Yi in 1984. Their overall characteristics may be described as: sclerites long and narrow, bilateral symmetry; apical end narrow, gradually becoming broadened towards abapical end with a scraping spatulate convex edge in appearance; sclerites show a variable number of growth segments, each with a spinule on it (Fig. 1-11). These fossils have been found in the SSF Assemblage Zone II of the Lower Cambrian Meishucunian in eastern Yunnan and the Montagne Noire in south France.

Worthy of discussion are the relationships of *Paracarinachites* with such genera as *Yangtzechiton*, etc., and their phylogenetic affinities. When *Paracarinachites* Qian et Jiang, 1982 was first described, an affinity of this genus to *Carinachites* Qian, 1977 was obviously taken into consideration. For this reason, Jiang Zhiwen (1982) attributed this genus, together with *Carinachites*, *Zhijinities*, *Yunnanodus*, *Scoptonodus*, *Formitchella* and other genera, to conodontomorpha. Nowadays studies have proved that these genera are taxa without phylogenetic affinity (Qian Yi and Bengtson, 1989). *Paracarinachites* represents neither conodonts nor conodont-like fossils. In 1984, Yu Wen renamed these fossils as *Yangtzechiton spinus* and *Luyanhaochiton elongatus* and attributed them to Polyplacophora of molluscs, with the proposal of the theory that other molluscs have evolved from Polyplacophora. However, this assumption was not widely accepted. Here *Yangtzechiton* is considered as a junior synonym of *Paracarinachites*, based on the features: 1) *Paracarinachites*-type and the *Yangtzechiton*-type sclerites are always discovered from the same horizon, with a series of morphologically transitional sclerites between them (see Qian Yi, 1993, plates I, II); 2) both types of sclerites show the same growth pattern (Fig. 1-11); and 3) *Yangtzechiton* have been never recognized certain 8 growth segments in Yu Wen's specimens and our specimens (Fig. 1-12), whereas none of any *Yangtzechiton*-type sclerites have been discovered again in the more than 400 specimens from same horizon so far we have procured, and only few of them actually composed of 10 growth segments (see Qian Yi, 1993, plate I, fig. E<sub>1</sub>). It is not correct that

since the beginning of the embryonic stage these sclerites possessed the fixed 8 “chitons” with unchangeable ornaments and crust wall structure, which proposed by Yu Wen.

Based on the present material, it is still difficult to make clear conclusion about the body plan, phylogenetic affinity and habitat of the respective animals bearing these sclerites.

## Section 10 Nail-shaped fossil zhijinitids and cambroclavids

The nail-shaped fossils represent another kind of extinct metazoans. They are made up of a subcircular basal pedestal (zhijinitid-type) or a relatively long disc, also called shield plate (cambroclavid-type) together with a conical spine which is sometimes withered into a nodule or process. They may be grouped into 2 types in morphology (Fig. 1-14); zhijinitids, which are mainly from the Lower Cambrian Meishucunian in the Yangtze Platform, and cambroclavids, which are distributed rather extensively through the Chiungchussuan in Xinjiang, southern Shaanxi, Shennongjia of Hubei in China, and in Kazakhstan and Australia. The sclerites of the latter type are also found from the top of the Lower Cambrian to the lower part of Middle Cambrian Damao Group in Ya Xian of Hainan. The zhijinitid-type sclerites made their appearance earlier than the cambroclavid-type sclerites, preserved in isolated individuals without associated cambroclavid-type sclerites. The cambroclavid-type sclerites are usually preserved in isolated individuals too, but sclerite aggregations were occasionally found, and sometimes they are accompanied with a small amount of zhijinitid-type sclerites. This indicates that there is no possibility of both type being sclerites from the same kind of animals.

At present, the classification of the zhijinitid-type and cambroclavid-type sclerites are still based on their morphology. Here we consider that 3 genera may be retained in the zhijinitid-type sclerites, i. e. *Zhijinites* Qian, 1978, *Parazhijinites* Qian et Yin, 1984 and *Isoclavus* Qian et Zhang, 1983. In addition, Conway Morris and Chen Meng'e (1991) thought that *Kaiyangites* Qian et Yin, 1984 should be attributed to this group, which we consider as reasonable. Only *Cambroclavus* Mambetov, 1979 is retained within the cambroclavid-type sclerites. The other taxa are all considered as junior synonyms of *Cambroclavus*.

The biological affinity of these nail-shaped fossils still remains a puzzling riddle which has not been entirely solved until now. However, the discovery and study of lophophore animals in the Chengjiang Fauna has provided favorable clue for phylogenetic affinity and functional effect of the zhijinitid-type sclerites. It is shown that *Zhijinites*-like sclerites arranged in rows on the surface of *Rotadiscus* amounting to 8000—10000 in number on the body of an individual animal (?), this number matches well the abundance of the *Zhijinites* contained in one of the samples from Bed 38 of the Maidiping section, with little difference in size. In addition, recent discoveries and research of lobopodians in Chengjiang Fauna revealed that there are pairs of nail-shaped skeletons found on the body of these vermiform animals (Hou Xianguang and Bergstron, 1995; Chen Junyuan et al., 1996), such as 7 pairs of spicules on the body of *Hauillacigenia*. These sclerites are all external mineralized skeletons, isolated or intermittently

distributed in lines, probably playing a role of defense. Further studies are still needed as to whether there are any relationships between the nail-shaped sclerites of these animals and nail-shaped sclerite fossils, but it is preliminarily considered that the zhijinitid-type and cambroclavid-type sclerites may present different groups without relations each other.

## Section 11 Tommotiids

The tommotiid sclerites are conical, pyramidal or angular in shape, generally asymmetrical, with left-form and right-form and phosphatic multi-layered wall. Although no completely preserved scleritome has been discovered, and the sclerites are often preserved separately, there has been discovered the occasional fusion phenomenon in ontogeny during the growth of individual sclerite, thus indicating that dispersed tommotiid sclerites may belong to metazoans with numerous sclerites covered on their body. Through statistical analysis of abundant fossils from acetic residue, as an independent group, tommotiid sclerites possess stable character. Based on morphology, ornaments, and internal structure of sclerites, tommotiids can be divided into 5 families: 1) Lapworthellidae Missarzhevsky, 1966; 2) Tommotiidae Missarzhevsky, 1970; 3) Kellanellidae Missarzhevsky et Grigorieva, 1981; 4) Tannuolinidae Fonin et Smirnova, 1967; and 5) ? Sunnaginidae Landing, 1984. In 1989, Qian Yi attributed these 5 families to 2 orders. The order Tommotiida Missarzhevsky, 1970, include the 2nd and 4th families, and Lapworthellida Qian, 1989 ( Qian Yi, 1989) including the 1st, 3rd and 5th families. For characteristics of these families and the genera they include see Chap. I , Sect. 11 in Chinese text(see p. 51).

Tommotiids have an extensive geographical distribution. They have been discovered from the strata of the Early Cambrian Meishucunian and Chiungchussuan to the Middle Cambrian in the Yangtze and Tarim platforms of China, the Siberian Platform of Russia, Central Asia, Mongolia, southern and northern Australia, England, and northeastern North America. Among them, there are some sclerites showing a relatively short extension and abundant variable forms, together with the characteristic of a global distribution, thus making some of these tommotiid sclerites become essentially significant for stratigraphical correlations. In China, among these sclerites, *Camenella* sp. made its earliest appearance in the 2nd SSF Assemblage Zone of the Meishucunian, *Tannuolina zhangwentangia* appeared in abundance in the 4th SSF Assemblage Zone of the same stage, while *Sonella jinshaensis* appeared up to the Chiungchussuan and the Tsanglangpuan.

## Section 12 Globular fossils

During the last 20 years, a number of globular fossils have been discovered successively from the Lower Cambrian and even the uppermost Precambrian, some with a surface smooth or bearing many nodules, while other specimens even possess complicated internal structures.

Some of them are clear in biogenesis, while others are still doubtful. A number of form genera and form species have been named based on their morphology (see Chap. I, Sect. 12, p. 54). Among the globular shells from the Lower Cambrian Meishucunian in China, only 2 genera are retained, *Archaeooides* Qian, 1977 and *Olivoooides* Qian, 1977, while all of the others may be taken as junior synonyms of the two genera.

Recent studies on the structure of shell wall of globular fossils such as *Olivoooides*, etc., have achieved exciting development, proving that some globular bodies are actually real biological fossils, and probably relate to different animals because of different character of these fossils. Some authors interpret them as the gemmules of *Hexactinella* (White, 1986; Bengtson, 1986; Yue Zhao, 1986), while others interpret them as *Radiolaria*. After the phosphatized globule fossils from the Middle Cambrian of Duyun, Guizhou were interpreted as the embryo of arthropods by Zhang Xiguang and Pratt (1994), Bengtson and Yue (1997) reported their new results about Early Cambrian global fossils that *Olivoooides* contain developing embryos of metazoans, which consisting of a nearly full developmental sequence of embryonic stages, showing similarities to coronate scyphozoans or the conulariids. Global fossils recently discovered from the phosphorites in the Sinian Doushantuo Formation near Weng'an, central Guizhou were also interpreted as embryos of metazoans (Xiao Shuhai et al., 1998; Li Chiawei et al., 1998). These open a new window for future research of global fossils.

## Section 13 Anabaritids

Anabaritids is also a common group of Early Cambrian problematic fossils. These tubular fossils show tri-symmetrical morphology with their morphological units in the multiple of "three", including the longitudinal furrow, longitudinal fold, spine-like processes arranged in rows, annular lines, etc. The cross section is from roundly triangular, tripartite, hexapartite to tripetaled. Generally, the divergent angle of shell is small. The apical (initial) shell is little known, usually in the shape of a cone, separated from other parts whether or not by somewhat narrow contraction. Outer surface of the shell bears annular growth lines and occasionally longitudinal lines, inner surface is covered with longitudinal spines arranged in rows, sometimes distributed with cyst-like processes arranged in imbricate longitudinal rows. There may be some septa in the cavity of shell.

There are different views on the function of anabaritids. The bilaterally asymmetrical tube and longitudinal processes on the lateral side indicate that the anabaritids were sessile animals (Abaimova, 1980; Volkov, 1982). However, according to analysis on the internal structure and external ornaments of the shell, the tube of anabaritids is neither the living chamber of organisms, nor the endoskeleton of animals. For this reason, it is inferred that the tube was probably the pillar of the soft animal, the soft body of anabaritids was probably situated at the uppermost end of the tube with the help of secretion organ in the lower part of the soft body to secrete and build up the tube. They are probably the triradial symmetrical animal related to

coelenterates (Missarzhevsky, 1974, 1989).

We agree that the taxonomy of anabaritids suggested by Conway Morris and Chen Meng'e (1989). The anabaritids are attributed to 1 family with 4 subfamilies (4 morphological types):

Family Anabaritidae Missarzhevsky, 1974, which are divided into 4 subfamilies as follows:

Cambrotubulinae Conway Morris et Chen, 1989;

Tiksithecinae Conway Morris et Chen, 1989;

Lobiochreninae Conway Morris et Chen, 1989;

Anabaritinae Conway Morris et Chen, 1989.

There exist quite a few problems in generic and specific identification. For instance, as many as 36 species have been named in the genus *Anabarites* alone, indicating a definite overestimate on the diversity of species.

Anabaritids are mainly distributed close to the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary all over the world. They might also extend to the Chiungchussuan and Tsanglangpuan(?) in a few areas. However, the typical anabaritids are only limited in the strata across the boundary. In the Yangtze Platform, the typical anabaritids are distributed in assemblage zones I—II of the Meishucunian, especially dominated in Assemblage Zone I.

## Chapter II Preservation, shell wall composition and microstructure of SSF

Most of the SSF are preserved in phosphate rock and phosphatic carbonates, part of them preserved in silicalite and siliciclastic rocks. After being reformed through diagenesis, recrystallization and succeeding replacement during the burial process, the primary composition and microstructure of shells could hardly be preserved, and sometimes they are very difficult to recognized even though having been preserved. The primary skeleton compositions of different SSF groups are shown in Table 2-1.

### Section 1 Preservation, composition and microstructure of main SSF groups

The Cambrian SSF of China have been preserved generally in phosphates, carbonates and silicates and clastic rocks, the fossils preserved in phosphates and carbonates are most frequently found. Except for the silicated sponge spicules, and the silicated *Microdictyon* in the Shuijing-tuo Formation around the Zhenba area in Shaanxi, almost all of the SSF obtained after dissolution through acetic acid are phosphatic.

Besides the phosphatic steinkerns and the moulds preserved in argillaceous and silty rocks, the SSF commonly display preservation types as follows (Fig. 2-1):

### 1. One-layered carbonated shell

The shells include: a) crystallized carbonated wall in crystallized limestone or dolomite with a confused boundary of shell wall (Fig. 2-1-3; see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 1, fig. 4); b) crystallized carbonated wall in argillaceous limestone with a distinct shape of shell wall (see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 1, fig. 7); c) crystallized carbonated wall with phosphatic infillings (Fig. 2-1-4; see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 1, figs. 5, 6); and d) prismatic carbonated wall in phosphate (Fig. 2-1-5; see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 1, fig. 8).

### 2. One-layered phosphatic shell

The shells include a) even-textured phosphatic wall with clastic textured surroundings (Fig. 2-1-6; see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 2, fig. 1); b) laminated phosphatic wall with microcrystalline apatite bearing crystallographic c-axes perpendicular to the lamella (Fig. 2-1-7; see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 2, figs. 5, 6); and c) wall with various microstructures (Fig. 2-1-8; see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 2, figs. 2—4). It is noteworthy that original cross fibrous ultrastructure of hyoliths was first reported here from the Gechongwu Member of Guizhou (see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 2, fig. 2).

### 3. Multi-layered carbonated shell

The shells include carbonated wall with inner or outer laminated phosphatic layers in which the microcrystalline apatite bears crystallographic c-axes perpendicular to the lamella (Fig. 2-1-10, 11; see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 3, figs. 6—8). The middle carbonated layer is similar in preservation type to one-layered carbonated wall.

### 4. Multi-layered phosphatic shell

The shells similar to multi-layered carbonated wall, but the middle layer is phosphatic (Figs. 2-1-12, 2-1-13; see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 2, figs. 7—9; pl. 3, figs. 1, 2; pl. 4, fig. 5).

However, it is impossible to observe all variability in preservation from the acid residues. After acid treatment, the illustrated type of Fig. 2-1-3 disappears, and the types of Figs. 2-1-4, 2-1-5 would remain steinkerns, the multi-layered phosphatic shells would remain unchanged, but the multi-layered carbonated shells would leave the middle layer empty.

## Section 2 Diagenesis and microstructures

Microstructures of primary phosphatic skeletons are easy to be preserved: a) with stable patterns of microstructures; b) with an equal distribution in the whole shell; and c) without changes among different individuals, because of their stable chemical property, such as inarticulate brachiopods (see Zhu Maoyan et al., 1996, pl. 1, fig. 7) and tomocitiids (see Zhu

Maoyan et al. , 1996, pl. 2, fig. 4). But the unstable property of carbonated skeletons usually causes the disappearance of primary microstructures. In some cases, however, early diagenetic phosphatization may replicate the microstructures of carbonated skeletons (see Zhu Maoyan et al. , 1996, pl. 2, fig. 2), as evidenced by studies of molluscs (Runnegar, 1985), lathamellids (Li Guoxiang and Chen Junyuan, 1992), etc.

In previous literature descriptions, multi-layered shells from Yangtze Platform were largely confused with the secondary diagenetic textures. As discussed on siphogonuchitids by Qian Yi and Bengtson (1989), the outer and inner laminated apatite layers of the shell are formed during diagenesis. The laminated apatite growth outward and inward with long axes which correspond to their crystallographic c-axes is shown in the thin-section under the crossed nichols (see Zhu Maoyan et al. , 1996, pl. 3, figs. 2—4). The same laminated apatite also occurs on the outer side of infilled grains (see Zhu Maoyan et al. , 1996, pl. 2, figs. 7—9; pl. 3, figs. 3, 4), and large pebbles (see Zhu Maoyan et al. , 1996, pl. 3, fig. 5). All these support the diagenetic origin of the laminated layers.

### Section 3 Diagenesis and compositions

Due to the obviously wide occurrence of diagenetic phosphatization, it is important to know the taphonomic aspects for interpreting the primary composition of early skeletons. Secondary phosphatized carbonate skeletons are common; this is supported by studies of hyoliths, anabaritids (Conway Morris and Chen Meng'e, 1989), and molluscs (Runnegar, 1985). One of the figures (see Zhu Maoyan et al. , 1996, pl. 3, fig. 8) shows occurrence of phosphatization along the fissures of crystals, providing the best evidence for phosphatization of carbonate shells. Some criteria are useful in our studies for inferring original composition of phosphatic remains.

In primary phosphatic skeleton; a) phosphatic composition remains stable in different rocks; b) surroundings and infillings are all carbonate; c) the shell thickness remains unchanged in different rocks; d) steinkerns are generally absent; e) phosphatic microstructures are distinct; and f) endolithic algae are rare.

In secondarily phosphatized carbonate skeletons; a) phosphatic shells are preserved as carbonate in other rocks or beds; b) steinkerns are generally present; c) evidences showing the replicated carbonate microstructures are generally absent, if preserved, and d) endolithic algae are common.

### Section 4 Taphonomic processes of SSF preserved as shell beds

Cambrian SSF are usually preserved as shell beds, showing such aspects as (see Zhu Maoyan et al. , 1996, pl. 3, figs. 1—4): a) fossils preserved as small fragments; b) forming condensed shell beds with erosive bases and grading texture; c) common occurrence of

redeposited grains and pebbles; and d) association with many hardground surfaces. Based on these evidences, a general taphonomic mode of SSF beds is suggested here as shown in Fig. 2-2.

## Section 5 Palaeontological and stratigraphical significance of taphonomy of SSF

The variability in preservation provides a basis for systematics of SSF. For example, “*Rugatotheca*” (see Zhu Maoyan et al. , 1996, pl. 2, figs. 5, 6) is a steinkern but it was originally described as a replica (Qian Yi, 1989). Early Cambrian multi-element and articulated skeletons may be predominant in early mineralized metazoans, such as wiwaxiids, halkieriids, cambroclavids and lobopodians (*Microdictyon*). These cause confusion in the systematic of fragmentary SSF, and therefore much work on taphonomy remains to be done.

### 1. Primary skeleton compositions and microstructures

Due to diagenesis, the preserved composition and texture of skeletons were usually secondary. As discussed above, understanding of diagenesis and some criteria are needed for interpretation of SSF.

### 2. Biostratigraphy

Almost all SSF beds were phosphatized with hardgrounds, glauconites and erosive bases, indicating a common hiatus in deposition. Taphonomic analysis may be helpful in correlation of SSF assemblages and establishment of taphofacies, providing convincing evidences for interpreting the history and evolution of biomineralization.

## Chapter III Geological and geographical distribution of SSF, with discussion on Early Cambrian geographical provinces

### Section 1 Geological and geographical distribution of SSF

The small shelly animals of China have an extensive distribution in time and space with various taxa and varying abundance. They are mainly preserved in the Late Sinian to Early Cambrian deposits in Yangtze Platform, along the southern and northern margins of the North China Platform and the northern margin of the Tarim Basin, and are especially abundant near the Sinian-Cambrian boundary. The distribution of SSF and their assemblage characteristics are recognized as follows:

#### 1. Yangtze Platform

(1) Eastern Yunnan

Eastern Yunnan is an area in which are situated the Lower Cambrian stratotype sections and the Sinian-Cambrian boundary stratotype section of China. The Lower Cambrian is extensively exposed in this area, SSF were found in almost all of the outcropping sections across the Sinian-Cambrian boundary. A total of 44 sections have been studied in detail, especially the 4 sections at Meishucun of Jinning, Xianfeng of Xundian, Dahai and Yulu of Huize, where the strata are well exposed. There are rich SSF within the Zhongyicun Member to the Lower Member of the Chiungchussu Formation, the regularities in their assemblage features and vertical distributions have been studied in details. The Meishucun section and SSF discovered therein have been recorded and discussed in a lot of literature (Luo Huilin et al., 1982, 1984, 1987; Qian Yi, 1977, 1983; Qian Yi et al., 1984, 1996; Qian Yi, 1989; Xing Yusheng et al., 1984; He Tinggui et al., 1988) as shown in Fig. 3-1. However, this section shows two horizons of hiatus, causing an incomplete records of SSF. Based on recent study and report, the two sections at Yulu and Dahai of Huize are distinguished not only by successive sedimentation with rich fossils, but also by the strata with a greater thickness. Therefore they are regarded as an important supplement to the Meishucun section (Figs. 3-2, 3-3).

The main characteristic of the Yulu and Dahai sections lies in the successive transitional sedimentation in lithology of the Zhongyicun Member and the underlying Daibu Member. Another characteristic lies in the Dahai Member which is stable in thickness (35.0—39.2m), consisting of dolomite at the lower part and limestone, argillaceous nodular limestone at the middle-upper part with the important fossil *Heraultipegma yunnanensis*.

The Lower Cambrian Meishucunian of eastern Yunnan may be divided into 4 SSF assemblages:

- 4) *Lapworthella-Tannuolina-Sinosachites* Assemblage Zone;
  - 3) *Heraultipegma yunnanensis* Assemblage Zone;
  - 2) *Paragloborilus-Siphogonuchites* Assemblage Zone;
  - 1) *Anabarites trisulcatus-Protohertzina anabarica* Assemblage Zone.
- (2) Western Sichuan

This is one of the areas with Sinian-Cambrian successive sediments in the Yangtze Platform (Fig. 3-4). There are a large number of SSF in the Lower Cambrian, especially in the Maidiping Member at the top of the Tongying Formation and the middle part of the Chiulao-tung Formation. In the area, the Maidiping section at Emei was well studied, with the SSF divided in descending order into 5 biostratigraphical units as follows:

Chiungchussuan

- 5) *Pelagiella emeishanensis* Range Zone (corresponding to the trilobite *Mianxiandiscus-Eoredlichia* Zone).

Meishucunian

- 4) *Sinosachites flabelliformis* Range Zone;
- 3) *Heraultipegma yunnanensis* Range Zone;
- 2) *Siphogonuchites pusilliformis-Paragloborilus subglobosus* Assemblage Zone;

1) *Anabarites trisulcatus-Protohertzina anabarica* Assemblage Zone.

(3) Northern Sichuan

In this area, SSF are usually found in the Mofangyan Member at the top of the Tongying Formation, with the Shatan section in Nanjiang as the representative section, in which SSF may be divided in descending order into 3 biostratigraphical units as follows ( Fig. 3-5):

Meishucunian

3) Unnamed Zone;

2) *Siphogonuchites* Acme Zone;

1) *Anabarites trisulcatus* Acme Zone.

(4) Northern and centro-western Guizhou

This area is situated at the southeastern corner of the Yangtze Platform, SSF are mainly distributed in the upper part of the Tongying Formation (Fig. 3-7). Taking the Gezhongwu section as an example, SSF may be divided into 2 stratigraphical units:

Meishucunian

2) *Siphogonuchites-Lapworthella* Assemblage Zone;

1) *Anabarites trisulcatus-Protohertzina anabarica* Assemblage Zone,

(5) Eastern Guizhou

In the district along the southern margin of the Yangtze Platform, the Sinian and Cambrian sedimentation is successive. SSF have been recorded from the siliceous phosphates and phosphatic silicalite in the transitional strata between Sinian and Cambrian (Fig. 3-7). Based on the SSF from the Wuhe section of Taijiang, SSF may be divided into 2 biostratigraphical units:

Meishucunian

2) *Kaiyangites-Calcihexactina* Assemblage Zone.

1) *Miniococcus sinensis* Acme Zone;

(6) Western Hubei

This is the area in which the Sinian stratotype section of China is situated, with SSF in the Huangshandong Member or the Yanjiahe Member at the top of the Tongying Formation. There exists a sedimentation hiatus between Sinian and Cambrian in the eastern part of this area. The Huangshandong Member was formed by redeposition, SSF in the member appear in mixed accumulation, showing a relatively indistinct zonation (Fig. 3-8). Whereas in the area south of Sandouping, Yichang, successive Sinian and Cambrian deposits are developed. In the Yanjiahe Member of the Yanjiahe boundary section, the SSF may be divided into 2 biostratigraphical units (Fig. 3-9):

Meishucunian

2) *Obtusoconus-Tiksitheca* Assemblage Zone;

1) *Protohertzina anabarica-Spinulitheca billingsi* Assemblage Zone.

(7) Northwestern Hubei

In this area, the SSF are mainly distributed in the Xihaoping Member at the top of the Tongying Formation (Fig. 3-10). SSF from the Xihaoping Member of the Tanbao section at

Xihaoping of Fangxian may be divided into 2 biostratigraphical units;

Chiungchussuan

2) *Rhombocorniculum cancellatum*-*Microcornus parvulus* Assemblage Zone;

1) *Lapworthella hubeiensis*-*Cambroclavus fangxianensis* Assemblage Zone.

(8) Ningqiang of Shaanxi

In this area the Sinian and Cambrian belong to successive sedimentation units, with widespread outcroppings. SSF are recorded dominantly in the upper member (Kuanchuanpu Member) of the Tongying Formation, some SSF were also recorded in the Guojiaba Formation (Fig. 3-11). SSF in the Kuanchuanpu Member of the Kuanchuanpu section may be divided into 3 biostratigraphical units;

Meishucunian

3) *Heraultipegma yunnanensis* Acme Zone;

2) *Paragloborilus subglobosus* Range Zone;

1) *Anabarites trisulcatus*-*Protohertzina anabarica* Assemblage Zone.

(9) Xixiang-Zhenba of Shaanxi

In this area, the SSF are recorded in the Xihaoping Member of the Tongying Formation and the Shuijingtuo Formation (Figs. 3-12, 3-13). SSF may be divided into 2 biostratigraphical units, which belong to the Chiungchussuan;

2) *Rhombocorniculum cancellatum* Acme Zone;

1) *Rhombocorniculum insolutum* Acme Zone.

(10) Northwestern Hunan

The Precambrian and Cambrian boundary interval of this district belongs to the deep-water facies along the margin of the Yangtze Platform, with comparatively rare SSF. These are recorded in the lower member of the Lower Cambrian Yangjiaping Formation. In the Yangjiaping section of Shimen, Hunan, based on SSF, the lower member of the Yangjiaping Formation may be divided into 2 biostratigraphical units, which belong to deposits of the Meishucunian (Fig. 3-14):

2) *Tiksitheca irregularis*-*Anabaritellum cylindriculus* Assemblage Zone;

1) *Protohertzina anabarica*-*Kaiyangites multispinatus* Assemblage Zone.

(11) Western Zhejiang

In the Sinian-Cambrian transitional strata of this area, the SSF are distributed at the top of the Tongying Formation and at the base of the Hetang Formation (Fig. 3-15). Two SSF assemblages may be distinguished around the Jiangshan area:

2) *Jiangshanodus*-*Hagionella* Assemblage Zone;

1) *Anabarites*-*Protohertzina* Assemblage Zone.

Since *Jiangshanodus*-*Hagionella* Assemblage Zone yields such fossils as the bradoriids *Liangshanella* aff. *lubrica*, etc., it should belong to the Chiungchussuan, while *Anabarites*-*Protohertzina* Assemblage Zone belongs to the Meishucunian.

(12) Caohu of Anhui

In this area, the SSF are mainly recorded at the base of the Lower Cambrian Lengquanwang Formation, in association with the trilobite *Paokannia* sp., etc., indicating a age of the Tsanglangpuan. However, in few sections, a small number of SSF have been discovered from the dolomite 0.2—0.8m in thickness at the top of the Tongying Formation (Fig. 3-16).

#### (13) Ningzhen Mountains of Jiangu

In this area the SSF are mainly from the Lower Cambrian Mufushan Formation, especially the basal part of the formation, where the SSF are abundant (Fig. 3-17). At the top of the middle member of the Mufushan Formation, the SSF are in association with the trilobites *Paokannia mufushanensis* and *Redlichia* sp., which were considered by Zhu Zhaoling et al. (1988) probably as the late Meishucunian to Tsanglangpuan.

### 2. North China Platform Region

In this region deposits from the Meishucunian to the Chiungchussuan are generally not recorded. Along the southern and northern margins of the Platform, the deposits of the Tsanglangpuan and later stages contain trilobites and other fossils, including hyolithids (Table 1-2), which are abundant especially in the Xinji (or Yutaishan or Shuidong) Formation (Figs. 3-18,3-19,3-20).

### 3. Tarim Platform Region

Around the Aksu-Kalpin area on the northern margin of the Tarim Platform, the Lower Cambrian also contains SSF, especially in the Yurtus Formation, where the SSF are mainly recorded in association with bradoriids (Fig. 3-21). Based on the SSF assemblage, the Yurtus Formation should belong to the Chiungchussuan.

### 4. Qinling Geosynclinal Region

On the southern margin of this region, there are intermittent outcroppings of the Sinian and Cambrian metamorphic rock sequence along the northern side of the Lueyang-Hanzhong Fracture Zone. Taking the Tiantaishan section as a representative, the Tananpo Formation at the lowerpart of the sequence is composed of 0—40m metamorphic rock bearing phosphorus and manganese in the lower part and more than 70m of dolomite, intercalated with silicalite in the upperpart, bearing an angular unconformity with the underlying pre-Sinian metamorphic base. The rocks bearing phosphorus and manganese in the Tananpo Formation have yielded a small amount of hyolithid-like tubular fossils, such as "*Circotheca*", *Hyolithellus*, etc. Based on lithology and characteristics of the ore bed association bearing phosphorus and manganese, the lower part of the Tananpo Formation was considered as a deposit of the Late Sinian Doushantuo Stage, while the dolomite bed in the upper part belongs to deposits of the Tong-yingxia Stage.

Based on SSF assemblages, we has made a unified division and correlation on the Lower Cambrian of different districts in China (Tables 4-4,4-5).

## Sections 2—3 Early Cambrian sedimentary facies and palaeogeography in China

These two sections give a brief account of the sedimentary facies in different regions of China during the Early Cambrian, with detailed discussion on the Meishucunian palaeogeography in the Yangtze Platform (Figs. 3-22—26).

### Section 4 Preliminary research on ecology of Early Cambrian small shelly fauna

Based on morphology and structure of hard body, association of the small shelly fauna, combined with analysis on sedimentary environments, we consider that the small shelly fauna living in the Early Cambrian ocean display the following characteristics in ecology:

#### 1. Attribute of nutrition

In general, the small shelly faunas are mainly feeding on suspending microorganisms and organic particles. Among them, those feeding on suspending organisms include: shelled brachiopods, brachiopod-like animals, and many benthic animals, such as sponges and cancellorids, etc. While those feeding on sediments include hyolithids, various kinds of molluscs, and probably those metazoans with slug-like sclerites, such as halkieriids and perhaps tommotiids. It is believed that planktonic conodonts are carnivorous animals.

#### 2. Individual ecology

Based on the modes of movement and attachment, these animals may be divided into 6 types: a) cementing epibionts; b) pedal attaching benthos; c) planktons; d) burrowing endobionts; e) drilling endobionts; and f) sessile benthos.

#### 3. Living environment

Based on analysis of sedimentary facies in which SSF preserved in situ, the living environment of these faunas is recognized as follows:

Temperature: 3°—15° cold water or at the juncture of cold and warm currents;

Salinity: seawater with normal salinity;

Water depth: generally in shelf or subtidal low-energy zones, planktonic fauna may reach in the deep-water;

Turbidity: limpid seawater rich in phosphorus or calcium;

Substrate: mainly hard, occasionally soft muddy substrate;

Turbulence: SSF can live under the different hydrodynamic conditions, but most of them mainly adaptive to moderate hydrodynamic conditions, while those cementing benthos and

burrowing benthos possibly adaptive to subtidal high-energy zone.

#### 4. Three major types of small shelly fauna

Sessile benthos; epifauna; brachiopods, conulariids, anabaritids;  
endobionts; some vermes.

Vagile benthos; molluscs, siphogonuchitids, sachitids, cancelloriids, hyolithids,  
zhijinitids.

Planktonic; conodontoids, Porifera (part), algae.

### Section 5 Biogeographical provinces of Early Cambrian SSF in China

In China, the Early Cambrian small shelly fauna may be divided into 4 biogeographical provinces based on biofacies, sedimentary facies and palaeogeography (Fig. 3-27). In the Yangtze Platform the Early Cambrian Meishucunian SSF may be further subdivided into 3 provinces (Fig. 3-28).

## Chapter IV Review on global Precambrian-Cambrian boundary stratotype and its intercontinental correlation

### Section 1 Review on global Precambrian-Cambrian boundary stratotype

#### 1. Selection of Pre $\epsilon$ - $\epsilon$ boundary global stratotype

Through efforts during the last 20 years, the International Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  Boundary Working Group has successively selected the Ulakhan-Sulugur boundary section by the bank of the Aldan River on the Siberian Platform of Russia, the Meishucun boundary section in Jinning of eastern Yunnan on the Yangtze Platform of China, and the Burin Peninsula boundary section of Newfoundland in Canada as the candidates for the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary global stratotype section and point (GSSP). The principle governing selection has been modified for several times, the Fortune Head boundary section on the Burin Peninsula of Newfoundland, Canada has been finally determined as the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary GSSP in 1990, the base of the *Phycodes pedum* Zone was considered as the the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary. Unfortunately, the boundary stratotype section and point were differentiated based on trace fossils. Since "the trace fossil zone cannot be taken as a practicable method in biostratigraphy" (Cowie, 1985), and in addition, trace fossils lacks potential in intercontinental correlation, this GSSP has never played the role of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype beginning from the day on which it was formally affirmed.

## 2. Review on regional Pre €- € boundary stratotype sections and points

### (1) Burin Peninsula, Newfoundland

Among the Pre €- € boundary sections situated around the Avalon area in Newfoundland, Canada, none of them represents a complete section, and the Pre €- € boundary stratotype section at Burin Peninsula is practically a composite profile (Figs. 4-1, 4-2), which consisting of sections separately distributed in the area of Burin and Avalon peninsulas. The whole profile lithologically composed of sandstones, siltstones and shales intercalated with limestones with thickness of nearly 1 400m. It is divided in ascending order into the Rencontre Formation, Chapel Island Formation, Bonavista Formation, Smith Point Formation and Brigus Formation. In the lower part of the stratotype section 3 trace fossil zones have been established: a) the *Harlaniella podolica* Zone in Member 1 and the basal part (2.4m) of the Member 2 in the Chapel Island Formation; b) the *Phycodes pedum* Zone in the middle part of Member 2 of the Chapel Island Formation; and c) the *Rusophycus avalonensis* Zone<sup>①</sup> in the upper part of Member 2 of the Chapel Island Formation. Above the trace fossil zones 2 SSF zones have been established. The *Aldanella attleborensis* SSF Assemblage Zone is in apical part of Member 3. and Member 4 in the Chapel Island Formation, and the *Coleoloides typicalis-Halkieria* SSF Assemblage zone appears at 3m above the basal boundary of the Smith Point Formation. Trilobites *Callavia*, *Serodiscus*, etc., first occur at the top of the Smith Point Formation (Table 4-1).

In 1990 the Boundary Working Group decided by vote to define the Pre €- € boundary stratotype on the Burin Peninsula of Newfoundland, the Pre €- € boundary is the base of the *Phycodes pedum* Zone, at a distance of 2.4m from the bottom of Member 2 of the Chapel Island Formation, based on the following reasons: 1) it is considered that the section has a greater thickness, being composed of a suite of unmetamorphosed clastic sequence, with successive deposits across the boundary; 2) in the section, all of the key organisms have been recorded, such as the Ediacara Fauna, SSF and trilobites. Among them, the abundant and diverse trace fossils can be divided into 3 trace fossil Zones, with Zone 1 belong to the Precambrian and zones 2—3 to the “Palaeozoic”. The SSF in the upper part also can be distinguished into 2 assemblages, which may be correlated with those from the Baltic region, the eastern Russian Platform and even still farther places from Newfoundland; and 3) the Pre €- € boundary is inferred at 540—550Ma in age (Cowie, 1989). However, this stratotype section has been opposed by many specialists since the first day on which it was defined. In our consideration; firstly, until now the boundary stratotype on the Burin Peninsula represents a composite section, while the outcroppings of Member 3 in the Chapel Island Formation around the Furture Head Cape are incomplete, with a maximum thickness of only 135m (Fig. 4-1). Secondly, all along it has been doubtful about the validity in defining the Pre €- € boundary global point based on trace fossils, because the preservation of trace fossils are strongly restricted by the

① The *R. avalnensis* Zone and the *P. pedum* Zone have not been found in the same section.

sedimentary environment, lacking potential for intercontinental correlation. In addition, to define a boundary based on trace fossil zones violates the constant resolution of the Boundary Working Group on defining a boundary by small fossil zones. At present, there are no grounds for us to negate the role of small fossil zones in defining the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary. Thirdly, in the boundary stratotype of the Burin Peninsula, the SSF appear in higher horizons, with a restricted distribution and poor preservation, while the *Phycodes pedum* Zone, the *Rusophycus avalonensis* Zone and the *Caliavia-Harlaniella podolica* Zone are never recorded in one section. Moreover, as compared with North America and Europe, the trilobites of the Burin Peninsula appeared in a later stage. The SSF *Coleoloides typicalis* Assmeblage in the middle-lower part of the Smith Point Formation probably corresponds to the *Fallotaspis* Zone which is extensively distributed in North America, but none of the oldest trilobites, such as *Fallotaspis*, etc., have been reported. Furthermore, metamorphosed sequence are unsuitable for palaeogeomagnetic determination.

Therefore, we consider that the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype and boundary point of the Burin Peninsula can only be taken as the regional stratotype and boundary point for North America and Europe.

## (2) Meishucun, eastern Yunnan

The regional Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype section in eastern Yunnan is also a composite section, including the Meishucun section, together with the Yulu and Dahai reference sections in Huize County. The profile across the boundary is composed of carbonates, phosphorous-bearing rocks and clastic rocks. The sequence is subdivided in ascending order into the Jiucheng Member, Baiyanshaon Member, Daibu Member, Zhongyicun Member and Dahai Member of the Tongying Formation, the Shiyantou Member and Yu'anshan Member of the Chiungchussu Formation.

The strata across the boundary in eastern Yunnan is differentiated into 4 SSF assemblages and 4 trace fossil assemblages (Table 4-2).

The oldest trilobites, such as *Parabodiella*, *Mianxiandiscus*, etc., are first recorded in the Yu'anshan Member. The Meishucun section contains rich SSF and trace fossils, which are favorable for global correlation. The section is easily accessible with a good transport service, and the climate there is like spring all the year round (Cowie, 1985). Therefore, in 1985 a resolution was passed by an overwhelming majority in the Boundary Working Group, taking the Meishucun section the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary global stratotype, with Point B as the boundary point. The radioisotopic dating has been determined as 597Ma (Luo Huilin et al., 1991), and 565Ma (Yang Jiedong et al., 1996). In Qian Yi's consideration, since the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary is practically the boundary between Phanerozoic Eon and Proterozoic Eon, such a important geological boundary should be located at the explosive radial evolution point of diverse shelly animals and the biomineralization breakthrough point of skeletal animals during Early Cambrian. For this reason, Qian Yi insists that it is most appropriate to take the first appearance of the oldest SSF *A. trisulcatus*-*P. anabarica* Assemblage Zone (i. e. base of Bed 3 of the

Meishucun section) as the basal boundary of the Cambrian. Practically, the boundary point of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype in Newfoundland is also equivalent to this point through trace fossil correlation. However, some scholars consider that there are a number of hiatuses in the Meishucun section, probably causing the lacuna of certain horizons containing these faunas, and that the fossil assemblage is probably of a mixed origin, leading to difficulties in correlation (Cowie, 1985; Conway Morris, 1987). For these reasons the Meishucun section was voted down by the Boundary Working Group in 1990.

In fact, there exist 2 relatively distinct sedimentary hiatuses in the Meishucun section. The first hiatus took place between Bed 2 and Bed 3, causing a lacuna in the silicate sequence of the Daibu Member; however, a correlation with the successively deposited at Yulu and Dahai sections shows that this sedimentary hiatus is relatively short, without lacuna of SSF Assemblage Zone 1. The second hiatus occurs between Bed 8 and Bed 9, with a longer range, leading to a lacuna in the upper part of the Dahai Member, and also causing a lacuna in the *Heraultipegma yunnanensis* Zone which is extensively distributed in northeastern Yunnan, southwestern Sichuan, southern Shaanxi and other areas. However, this defect of Meishucun section can be fully remedied with the supplement of such auxiliary sections as Yulu, Dahai, etc. With regard to problems about variability in thickness and mixed assemblages of SSF in the Bed 7, after correlation with adjacent areas, it is recognized that SSF in the Bed 7 are reworked in situ without transportation, in which the SSF assemblage is distinct without difference from that of the *Siphonochites-Paragloborilus* Assemblage Zone in other boundary sections in China. Moreover, in the basal part of the Yu'an-shan Member of the Chiungchussu Formation in this section, there occurred the oldest trilobite from the Tethys Sea-South Pacific Province (South Europe, South Asia and South Australia regions).

Summing up the above statement, the regional Sinian-Cambrian boundary stratotype of eastern Yunnan is superior in distinctive conditions to the boundary stratotype of the Burin Peninsula. It possesses not only abundant SSF and trace fossils, but also the oldest trilobite, which is a typical representative in the Tethys-South Pacific Province. Therefore, the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype in eastern Yunnan is considered as a better global stratotype section and point than in Newfoundland.

### (3) Ulakhan-Sulugur, Siberia

In eastern Siberia, the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary section around the Aldan River area was divided in ascending order into 3 formations; the Yudom Formation (including the Nemakit-Daldyn Bed at the top), Restrotsvet Formation, and Fumulder Formation. 3 fossil zones were erected as follow: the *Anabarites trisulcatus* Zone in the apical part of the Yudom Formation; the *Aldanocyathus sunnaginicus-Tiksithecea* Zone and the *Dokidocyathus regularis* Zone in the middle-lower part and the apical part of the Restrotsvet Formation respectively. The overlying Fumulder Formation yields the oldest trilobites, such as *Fallotaspis*, *Protofallotaspis*, etc. However, in the Ulakhan-Sulugur section, there is a lacuna of the Nemakit-Daldyn Bed which yields *Anabarites trisulcatus*, indicating the existence of an obvious sedimentary hiatus (Fig.

4-3). In addition, it is generally recognized that the SSF in the basal part of the Rerstrosvet Formation was formed by the downward percolating deposits from Bed 8 in the upper part of this formation. Therefore by vote through correspondence in 1985, this section has been voted down. Nevertheless, due to the successive sediments across the boundary in the Gonam section 100km southeast of Aldan, and the existence of the Nemakit-Daldyn Bed which yields such SSF as *Anabarites*, *Protohertzina*, etc. in the apical part of the Yudom Formation, the Ulakhan-Sulugur section is still regarded as the regional Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype of the Siberia region, with the supplement of the Gonam section.

### 3. Correlation between Pre $\epsilon$ - $\epsilon$ boundary global stratotype and regional stratotype

The 3 regional Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratotype mentioned above represent the sections in 3 types of lithofacies from 3 biogeographical provinces in the world: 1) the Furture Head Cape boundary stratotype on the Burin Peninsula of Newfoundland, Canada belongs to the clastic rock-carbonate sedimentary facies, serving as the representative of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary section in North America, North Europe and Central Europe regions (North Atlantic-Pacific Province). The fossils in the area are mainly trace fossils, with the appearance of a few SSF late in the upper part of the profile, but none of the oldest trilobite zones have been discovered; 2) the regional Meishucun boundary stratotype of Yunnan, China belongs to the carbonate-phosphate-clastic rock sedimentary facies, serving as the typical representative of the boundary section in South Europe, South Asia, South Australia (South Pacific-Tethys Province), in the section, there are abundant trace fossils and SSF, and the oldest trilobite *Parabadiella* is recorded, which is widely distributed in South Pacific-Tethys Province; and 3) the Ulakhan-Sulugur section of East Siberia, Russia belongs to the carbonate sedimentation type, serving as the representative of the regional boundary section on the Siberian Platform. The fossils in the section are characterized by the SSF associated with archaeocyathids and other fossils. The biostratigraphical method is still of essential importance and plays a leading role in global division and correlation of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary, while among the 3 boundary stratotypes, only the Meishucun section contains both abundant SSF and trace fossils, so it should be an extremely important key section for global correlation.

It is very important to select fossils with correlation potential as the basis for correlation. Both SSF and trace fossils are restricted by sedimentary environments, but more so trace fossils are, special attention should be paid to the SSF in correlation of Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary. We consider that fossils with correlation potential can be classified into 2 groups: one group with potential for global correlation and the other only with potential for regional correlation. Among the SSF, those with distinct characteristics and global correlation potential are *Anabarites trisulcatus* and *Rhombocorniculum*. *Anabarites* has been successively discovered from the early Early Cambrian deposits of all continents over the world, and it is only distributed in strata between the Ediacara Fauna and the oldest trilobite or the first arthropod trace fossil *Rusophycus* in most areas. *Rhombocorniculum* has been discovered from the deposits of the Early Cambrian Chiungchussu Stage (Atdabanian) in localities almost throughout the world, and it is

usually in association with the oldest trilobite.

Although there is still needs for further discussion on the validity of the trace fossil zone for chronostratigraphical correlation, *Phycodes pedum* which appears near the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary is extensively distributed in the deposits of early Early Cambrian in North America and North Europe, as well as in Bed 4 in the Meishucun section in association with *Anaberites trisulcatus*. It is interesting that in the boundary stratotype of the Burin Peninsula, above the *Phycodes pedum* Zone is the *Rusophycus avalonensis* Zone, while in the Meishucun section, where have discovered a large number of *Rusophycus meishucunensis* in the *Paragloborilus subglobosus* Zone above the *Anaberites trisulcatus* Zone (Yin Jicheng et al., 1993). It is supported that such trace fossils as *Phycodes pedum*, *Rusophycus*, etc. are useful to make stratigraphical correlations of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary interval.

Listed in Figs. 4-4, 4-5 are correlations of Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary GSSP and regional stratotype sections.

## Section 2 Global correlation of the Precambrian-Cambrian boundary stratigraphy

Once the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary global stratotype and regional stratotypes have been affirmed, the 3 boundary points discussed above may be regarded theoretically as isochronous points, which should be taken as a standard for division and correlation of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary in all other regions over the world. However, due to the lack of isochroneity in the apical and basal boundaries of biostratigraphical units in different regions, it is impossible and unnecessary to make precise correlation between boundary points and chronostratigraphic units. In our correlation, biostratigraphical units are applied for the main standard. Widely distributed *Anaberites trisulcatus* and *Rhombocorniculum* and the oldest trilobite are the principle fossils used for our consideration of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary stratigraphy. In addition, convincible results also may be achieved in correlation from selection of distinct fossils distributed in large area, such SSF like *Protohertzina anabarica*, *Heraultipegma*, etc.

For global correlation of the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  boundary and the Lower Cambrian, see Figs. 4-9, 4-10 and Tables 4-7, 4-8, 4-9, 4-10.

## Chapter V Cambrian explosion and geological events

### Section 1 Cambrian explosion

The Cambrian Explosion is mainly expressed by: 1) the successive paroxysmal appearances of the small shelly fauna of the Meishucunian, the Chengjiang Fauna of the Chiungchussuan, and the Kaili Fauna or Burgess Shale Fauna of the Middle Cambrian during the transient geological periods; 2) the explosive evolution is evidenced by skeletonization and high disparity of metazoans, with the appearances of approximately 30 phyla during Early Cambrian, which

were much more than the “phyla” occurring in any later geological ages, indicating that the Early Cambrian had become an epoch for the creation of more “phyla” (Figs. 5-8,5-9); 3) another aspect of the Cambrian explosion is the first appearance of carnivorous animals at the same time when the metaphytes developed together with the vegetarians, which had extended the food chain; and 4) the abrupt increase of diverse and complex traces in Lower Cambrian, indicating the appearance of complexity in the activity and behavior of animals.

## Section 2 Occurrence and development of Meishucunian SSF

The first episode of the Cambrian explosion is represented by the appearance of the earliest hard-bodied microfaunas. Studies indicate that the Meishucunian SSF can be divided into 4 assemblage zones (Table 5-1, Fig. 5-1), reflecting the 3 major development stages of SSF. Early Meishucunian recorded the first occurrence and subsequent development of SSF, and middle Meishucunian represents full bloom of SSF, while in late Meishucunian SSF appear to decline. However, among the different groups of the small shelly fauna, their appearances, evolution rates and periods of flourish and decline are different from each other.

## Section 3 Geological background of the Cambrian explosion and influences of the geological event on early evolution of organisms

As everyone knows, environments control the subsistence, distribution and assemblage characteristics of organisms. On the other hand, organisms initially adapt themselves to, and unceasingly reform the environments through their life activity and struggle for existence. The first great explosion of metazoans on earth occurred in the transitional period from Precambrian to Cambrian. Just at that time a series of major geological events occurred throughout the world, such as significant changes of palaeoclimate (post-glacial period), intratelluric events (volcano and rifting), anoxia events caused by transgression (Fan Delian et al., 1987), frequent alternation of the geomagnetic pole (Liang Qizhong, 1990), various geochemical anomalies caused by possible extraterrestrial events (collision of extraterrestrial objects with the earth). A variety of these geological events created favorable conditions for the occurrence and multiplication of small shelly faunas (Table 5-2) and brought forth unfavorable environments resulting in their decline as well, and provided the situation to accelerate the development of the “fortunate” and to promote the rapid extinction of the “unfortunate”. This is why the Meishucunian small shelly faunas have evolved at a higher rate.

### 1. Palaeogeomagnetism

The results from palaeogeomagnetic studies indicate that during the Pre  $\epsilon$ - $\epsilon$  transitional period the palaeocontinent was concentrated in the low-latitude area, resulting in development of large-area carbonate platform. A mild climate was favorable to the various occurrence and development of organisms. The mixed palaeomagnetic polarity zone is coincident with the

appearance and decline of the small shelly fauna (Fig. 5-2). The frequent alternation of palaeo-geomagnetism possibly impels the organisms, especially the animal kingdom to evolve by "weeding through the old to bring forth the new".

## 2. Geochemical anomaly

Intratelluric and extraterrestrial events caused an increase in phosphate, enrichments of iridium, anomaly of multiple metals (V, Cr, Co, U, etc.) and a high content of oxygen in the atmosphere. All these results would directly or indirectly lead to profound changes in the chemical composition and fertility of seawater, exerting significant influences on the occurrence, development of early skeletal faunas.

An increase of phosphate in seawater and free oxygen in atmosphere and hydrosphere had an important bearing on the metazoans in their evolution towards the possession of hard body. The occurrence of ozonosphere at that time prevented the organisms from being hurt by the ultraviolet rays from sun. In the middle-late Meishucunian, the extraterrestrial events (causing the iridium anomaly) and the anoxia event probably also accelerated the decline and extinction of most small shelly faunas.

## 3. Tremendous changes in palaeoclimate

After the global glaciation during the late stage of Early Sinian, the climate became warmer along with the deglaciation and the rise of sea level, creating a suitable climate for development of organisms.

# Section 4 Significance of Cambrian explosion

It still remains a major puzzling riddle in geological history until now with regard to the explosive appearance of metazoans during the Early Cambrian. Studies in the recent 30 years have confirmed the existence of the abundant soft-bodied "metazoan" fauna (Eldredge Fauna) in latest Precambrian, yet they could hardly be preserved as fossils. The Cambrian explosion substantially means the strengthening of radial evolution capacity and biomineralization capacity, which lead to enhancement of preservation potential as fossils. Therefore, we consider that the highly advanced and complicated metazoans, first recorded at the beginning of Cambrian, could never appear just in the twinkling of an eye, instead, they appeared as an accumulated result through long-standing evolution. It is evidenced by subsequent fossils in Precambrian, showing a developmental stages from the Huainan Biota to the Gaojiashan Biota through the Miaohu Biota. Only by the initial stage of the Cambrian, could the organisms make a breakthrough in their biomineralization capacity.

To sum up, future detailed studies on the small shelly fauna occurring from the Cambrian explosion, together with the Chengjiang and Kaili faunas, may not only solve the problem on the affinity of some small shelly fossils, but also provide more information for understanding body plan, anatomy, ecology of early shelly animals.



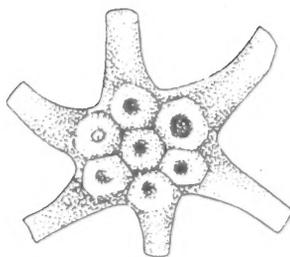
S0003967

|    |          |
|----|----------|
|    | 2005. 10 |
| 市价 | 40.00元   |



(Q-0892.0101)

责任编辑: 胡晓春 邓龙华 / 封面设计: 黄华斌



ISBN 7-03-007599-4



9 787030 075994 >

ISBN 7-03-007599-4/Q

定价: 40.00 元