



国家自然科学基金项目
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA

第
六
卷

Palaeontology and
Rare Fossil Biotas
in Hubei Province

湖北省地质调查院 组编

VOL.6

湖北省古生物 与珍稀古生物群落

汪啸风 王传尚 陈孝红 王保忠 © 主编

Rare Fossil Biotas

珍稀古生物 群落

图书在版编目(CIP)数据

湖北省古生物与珍稀古生物群落.第六卷,珍稀古生物群落/汪啸风等主编.—武汉:湖北科学技术出版社,2020.5

ISBN 978-7-5706-0832-4

I. ①湖… II. ①汪… III. ①古生物—研究—湖北
②古生物—生物群落—研究—湖北 IV. ① Q911.726.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 300998 号

HUBEI SHENG GUSHENGWU YU ZHENXI GUSHENGWU QUNLUO
DI-LIU JUAN ZHENXI GUSHENGWU QUNLUO

策 划:李慎谦 高诚毅 宋志阳
责任编辑:宋志阳 秦 艺 邓子林

责任校对:王 梅
封面设计:喻 杨

出版发行:湖北科学技术出版社
地 址:武汉市雄楚大街 268 号
(湖北出版文化城 B 座 13-14 层)

电话:027-87679468

邮编:430070

网 址:<http://www.hbstp.com.cn>

印 刷:湖北金港彩印有限公司

邮编:430023

787×1092 1/16

15 印张 360 千字

2020 年 5 月第 1 版

2020 年 5 月第 1 次印刷

定价:200.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

《湖北省古生物与珍稀古生物群落》编委会

主 编 朱厚伦 马 元

副主编 汪啸风 钟 伟 胡正祥

编写人员 (以姓氏笔画排序)

王传尚 王保忠 王淑敏 毛新武

邓乾忠 田望学 刘贵兴 孙振华

何仁亮 张汉金 陈公信 陈孝红

陈志强 陈 超 宗 维 徐家荣

黎作骢

在漫长的地质年代里,地球上曾经生活过无数的生物,这些生物死亡后的遗体或是生活时遗留下来的痕迹,有一些被当时的泥沙掩埋起来。在随后的岁月中,这些生物遗体中有机质分解殆尽,坚硬的部分如外壳、骨骼等与包围在周围的沉积物一起经过埋藏成岩作用变成了化石,这些化石保留了生物遗体原先的形态和结构(甚至一些细微的内部结构);同样,这些生物生活时留下的痕迹也可以这样被保存下来。我们把这些石化的生物遗体称为实体化石,石化的生物遗迹称为遗迹化石。

简单地说,化石就是生活在远古时期生物的遗体或遗迹变成的“石头”。从化石可以看到古代动物、植物的形态,因而可以推断出古代动物、植物的生活情景和生活环境,也可以推断出埋藏化石的地层形成的年代和经历的变化,还可以推断出生物从古到今的变化等。因为按照生物进化前进性(从低级到高级、从简单到复杂)的演化规律和不可逆性的原理,在较早的岩石中的生物化石通常是较原始的、较简单的;而在年代较新的岩石中的生物化石就会变得复杂和高级。因此在地质和古生物学家眼里,化石就如同一把能够打开地球史前奥秘的钥匙或密码,通过在岩石或地层中保存的化石,人们可以破译这些含化石母岩形成的时代、沉积环境、古地理面貌,重塑地球的演变历史。

湖北省古生物化石资源丰富,类型多样,数量众多,分布广泛。据不完全统计,迄今已发现 30 多个门类和数千种的无脊椎、脊椎动物和古植物化石,其中还不包括尚未统计的微体化石、超微化石和不同有机质形成的生物标记化合物。在无脊椎动物化石方面,主要类型有古杯、海绵、层孔虫、珊瑚、有孔虫(含蠕类)、苔藓虫(或苔虫)、水母类、海鳃类、腕足类、双壳类、腹足类、头足类、软舌螺、三叶虫、叶肢介、海百合、笔石以及古老的宏体化石。在脊椎动物化石方面,主要有鱼类、两栖类、爬行类(龟鳖、海生爬行、恐龙蛋及陆生恐龙)、鸟类和哺乳类等(不包括与人类活动有关的第四纪古脊椎动物化石)。除此之外,还包括宏体藻类、大植物化石以及由藻类和环境共同作用形成的叠层石。

湖北省古生物化石的另一特点是分布时代跨度大,自距今 7.2 亿年左右成冰纪到最新的第四纪地层中,均有反映各个地质时代特征的化石发现,其中还不包括在神农架群中发现的距今约 14 亿年由藻类活动形成的叠层石。

由于这些不同门类化石已在《湖北古生物》和《湖北化石》两书中被详细介绍,本书着重介绍和讨论湖北省最具代表性、在生物演化方面最为重要的几个珍稀古生物(化石)群,即庙河生物群和埃迪卡拉生物群、宋洛生物群、清江生物群、南漳-远安动物群、郧阳青龙山恐龙蛋化石群、松滋猴-鸟-鱼化石库、鄂西陆相红盆珍稀植物群。全书共7章,第一章由中国地质调查局武汉地质调查中心汪啸风编写;第二章由中国地质大学(武汉)喻建新、叶琴、雷勇和中国地质调查局武汉地质调查中心安志辉编写;第三章由中国地质调查局武汉地质调查中心汪啸风和姚华舟编写;第四章由中国地质调查局武汉地质调查中心程龙、阎春波、王保忠编写;第五章由湖北省地质科学研究院李正琪和中国科学院古脊椎动物与古人类研究所张蜀康编写;第六章由中国地质调查局武汉地质调查中心汪啸风、王传尚、王保忠、孟繁松编写;第七章由孟繁松编写。

由于本书涉及湖北省距今7.2亿—0.56亿年所发现的珍稀古生物化石群,时代跨度大,化石门类多样,内容广泛,受编者知识和水平所限,难免有不当之处,敬请批评指正。

本书在编写过程中得到湖北省自然资源厅、中国地质调查局武汉地质调查中心、中国地质大学(武汉)、湖北省地质科学研究院、古生物与地质环境演化湖北省重点实验室和湖北省古生物化石专家委员会的大力支持和帮助,得到国家地质调查项目“宜昌生态文明示范区综合地质调查工程(DD20190315、DD20190823)”、科技部基础性工作专项“中国标准地层建立——中国地层表的完善(2015FY310100)”、中国地质调查局和中国地质科学院项目“关键地区区域地层标准建立与关键生物群演化和沉积岩试点填图(No. DD20160120-04)”以及国家自然科学基金项目“早三叠世生态复苏期湖北鳄类多样性及其沉积环境研究(No. 41972014)”相关科研成果的支持,在此一并致谢。

编者

2019年5月

CONTENTS 目录

第一章 庙河生物群和埃迪卡拉生物群	001
一、三峡东部地区的成冰系和埃迪卡拉系	003
二、庙河生物群	009
三、埃迪卡拉生物群	017
参考文献	029
第二章 宋洛生物群	031
一、宏体藻类的概念	032
二、前寒武纪主要宏体藻类及其形态特点	032
三、前寒武纪不同时期宏体藻类化石组合特点	034
四、前寒武纪宏体藻类的分布和保存	035
五、前寒武纪宏体藻类系统描述	039
参考文献	055
第三章 清江生物群	058
一、长阳地区的寒武系	058
二、清江生物群——展示寒武纪大爆发奥秘的窗口	062
三、寒武纪大爆发的启示及其对进化论的贡献	071
参考文献	073
第四章 南漳-远安动物群	075
一、概述	075
二、研究简史	077
三、化石产地的地质背景	078
四、南漳-远安动物群分布及产出层位	087
五、南漳-远安动物群生物组合特征及时代特征	092

六、南漳-远安动物群的研究意义	098
参考文献	099
第五章 郧阳青龙山恐龙蛋化石群	101
一、研究区区域地质背景	101
二、研究区晚白垩世地层划分	110
三、恐龙蛋化石的分布与埋藏特征	121
四、青龙山恐龙蛋化石系统分类	126
五、郧阳恐龙蛋化石群与我国其他盆地恐龙蛋化石群的对比	145
六、郧县盆地恐龙蛋化石形成环境分析	158
参考文献	179
第六章 松滋猴-鸟-鱼化石库	184
一、概述	184
二、研究简史	186
三、化石产地的地质背景	188
四、化石库分布及产出层位	197
五、化石库生物组合特征及时代	202
六、与世界相关化石群的对比	206
七、对化石库形成与埋藏环境的设想	207
八、化石产地的科普意义	208
参考文献	209
第七章 鄂西陆相红盆珍稀植物群	211
一、概述	211
二、研究简史	212
三、化石产地的地质背景	213
四、中三叠世早期(安尼期)滨海潮坪植物群	217
五、晚三叠世早期(卡尼期)九里岗组植物群	224
参考文献	230

第一章 庙河生物群和埃迪卡拉生物群

摘要:在对长江三峡地区地层古生物长期调查研究和查阅大量研究成果的基础上,本章着重展现了新元古代大冰期之后、寒武纪生命大爆发前,我国长江三峡东部地区埃迪卡拉系(震旦系)(距今 6.35 亿—5.41 亿年)陡山沱组和灯影组中所发现和研究的反映地球早期生命辐射进化事件的珍稀生物群——庙河生物群和埃迪卡拉生物群,前者以产宏体碳质压膜化石为特点;后者被视为地球上最早多细胞动物化石的代表,他们都是探索地球早期生命进化和保存形式的重要证据。结合庙河生物群和埃迪卡拉生物群化石的研究和讨论,还介绍了陡山沱组下部所发现的以天柱山藻(或疑源类)(*Tianzhushania*)为代表的大型带刺多细胞藻类化石群。这些珍稀化石群落显示了距今 6.3 亿年全球寒冷(雪球)事件后,随着气候转暖,在三峡东部地区温暖浅海中所出现和繁衍的多细胞生命景观,是地球早期生命从简单到复杂进化过程中的一个重要环节,是人类认识和探索地球早期多细胞生命演化的新窗口;同时也为进一步研究和厘定我国和全球埃迪卡拉系年代地层的划分提供了重要证据。

关键词:庙河生物群,埃迪卡拉生物群,多细胞藻类,陡山沱组,灯影组

20 世纪末以来,随着研究的深入,新技术、新方法和新理论的引进,高倍扫描电子显微镜的应用,科学家们陆续从变质程度不太强烈的沉积岩层中发现了叠层石,这是一种微生物和藻类活动的产物。此外,人们从南非、加拿大和澳大利亚所出露的古老的岩层中分析出大量与原核藻类非常相似的古单细胞生物化石,它们被认为是人类迄今所发现的最古老、最原始的化石,也是说明太古代(距今 40 亿—25 亿年)地层中已经出现生命的有力证据(图 1-1)。尽管当时只有数量不多的原核生物(Garwood, Russell, 2012),只留下了极少的化石记录,但却展示了生物演化初级阶段所出现的最原始生命的类型和保存形式。不过比较肯定的最早的生命证据,是来自澳大利亚西部和南非距今 35 亿—34.5 亿年在硅质岩和硅化碳酸盐岩中分离出来的微生物实体化石(Schopf, 1993; Schopf et al., 2005)以及大量叠层石(Allwood et al., 2006; 史晓颖等, 2016)。

元古代的时限从距今 25 亿—5.4 亿年(图 1-1),在这段地史中,原核生物演化为真核细胞生物,构成地史时期的菌-藻类时代。在这一时期所形成的古老地层中所发现的微古植物化石、宏体藻类化石及叠层石说明那时的地球已不再是满目荒芜(图 1-2)。随着早元古代晚期大气圈出现了自由氧,而且随着植物的日益繁盛与光合作用的不断加强,大气圈的含氧量也不断增加。因而到了元古代的中晚期,藻类已十分繁盛,明显有别于太古代仅有极少原核藻类出现的荒芜景象。

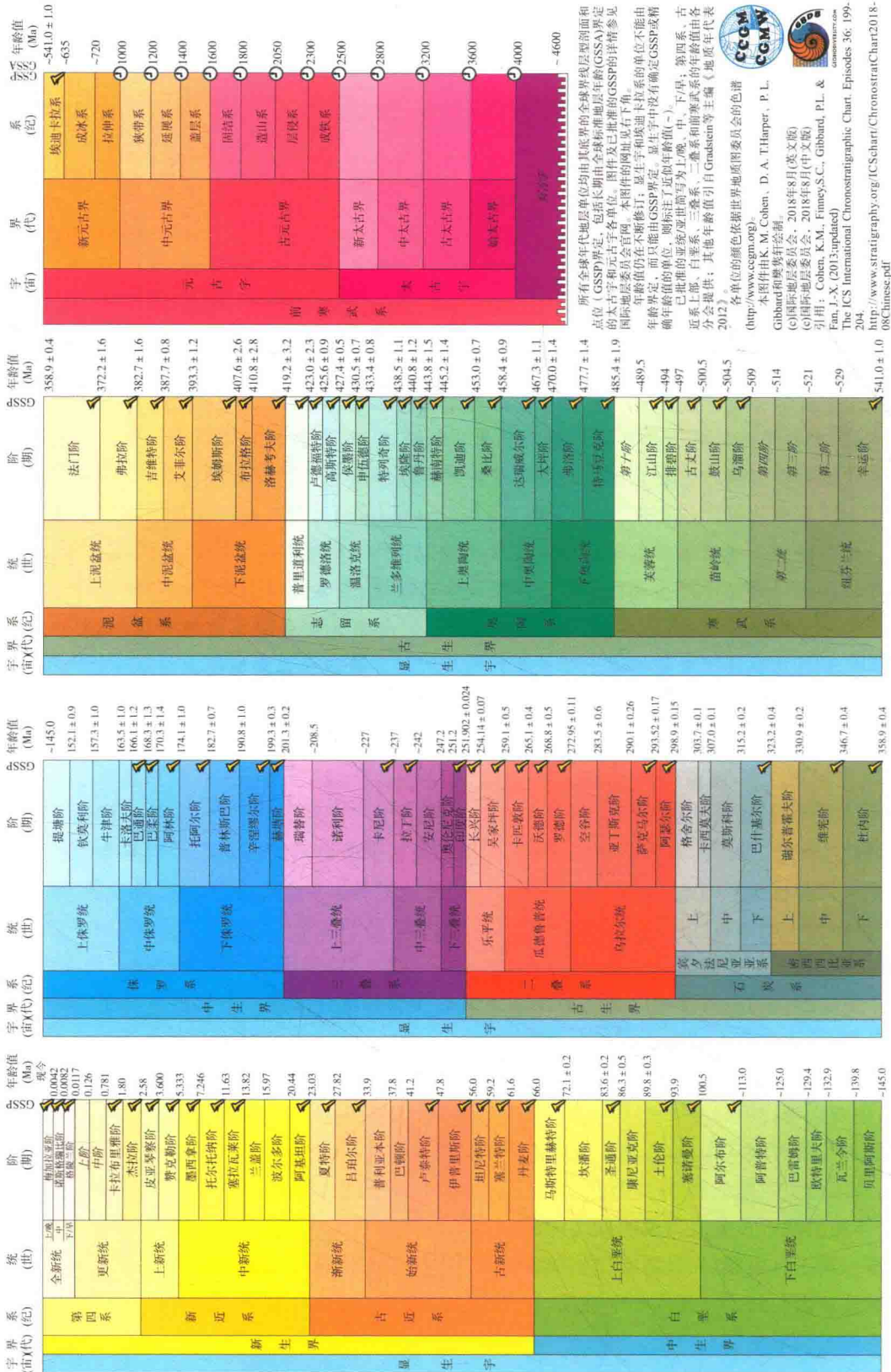


图 1-1 全球地质年代代表 (国际地层委员会, 2018)



图 1-2 神农架主峰黄龙亭中新元古代出露的距今约 14 亿年由微生物和藻类活动形成的叠层石

一、三峡东部地区的成冰系和埃迪卡拉系

自李四光、赵亚曾 (Lee et al., 1924) 在三峡东部地区建立震旦系 [包括当前的成冰系 (南华系) 和埃迪卡拉系 (震旦系)] 以来, 这里一直是我国研究成冰系 (南华系) 和埃迪卡拉系 (震旦系) 的标准地区。命名剖面分别位于宜昌莲沱和田家院子。三峡东部的成冰系和埃迪卡拉系主要出露在穹隆核部周缘, 围绕由早一中元古代崆岭群和黄陵花岗岩组成的变质结晶基底呈带状分布 (图 1-3)。后者与上覆成冰系 (南华系) 之间呈明显的角度不整合接触。结晶基底之上的地层自西向东依次为成冰系 (南华系)、埃迪卡拉系 (震旦系)、寒武系和奥陶系、志留系等, 它们环绕黄陵穹隆呈带状分布。出露于三峡东部和相关地区的成冰系和埃迪卡拉系的类型与关系如图 1-4 所示。

1. 成冰系 (南华系)

本章在延续 2002 年《中国区域年代地层 (地质年代) 表》颁布的南华系地层划分系统的同时, 考虑成冰系 (南华系) 在华南地区沉积类型的分异。由于三峡地区该系底部不整合在黄陵花岗岩或崆岭群之上, 缺失了近 4 000 万年的沉积记录, 全国地层委员会 (2002, 2018) 所颁布的中国地质年代表中, 选择湖南石门杨家坪剖面 (类型 II) 作为南华系的代表性剖面, 以三峡东部地区 (类型 I) 南华系剖面作为辅助剖面 (图 1-4)。三峡东部地区该系下部由一套河湖相紫红色的砂砾岩、砂岩、粉砂岩组成, 上部为全球大冰期期间所形成的灰绿色冰水混杂砾岩沉

积;中部缺失了在扬子碳酸岩台地边缘和斜坡地带,如长阳和湘西北地区,发育的古城组和含锰的大塘坡组沉积(图 1-3~图 1-6)。

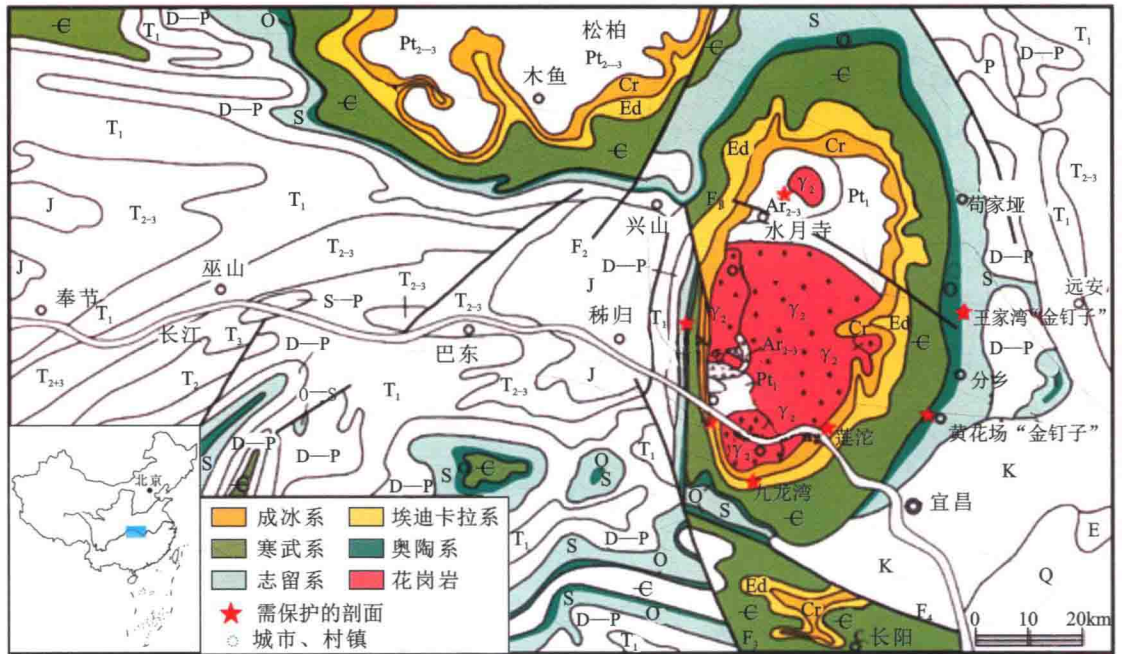


图 1-3 三峡东部新元古代成冰系(南华系)和埃迪卡拉系(震旦系)分布和命名剖面位置

中国南方		类型 I	类型 II	类型 III	
新元古界	寒武系	水井沱组	水井沱组	小烟溪组	
	震旦系	灯影组 (549.9±6.1)Ma (551±0.7)Ma	灯影组	留茶坡组 (老堡组)	
		陡山沱组 (614±7.6)Ma (628±5.8)Ma (635±0.57)Ma	陡山沱组		
	南华系	南沱组 (636.3±4.9)Ma (654.5±3.8)Ma	南沱组	南沱组	
		大塘坡(湘锰)组 (667±9.9)Ma (663±4.3)Ma	古城(小冰)组	富禄组 (669±13)Ma	
			莲沱组 (724±12)Ma (748±12)Ma	溇水河组 (758±23)Ma	长安组
	青白口系	黄陵花岗岩 (837±7)Ma	板溪群 (809±16)Ma	下江群 (785±19)Ma (795±15)Ma	丹洲群
	冷家溪群	四堡群			

图 1-4 中国南方不同类型沉积区新元古界划分对比(全国地层委员会,2018;尹崇玉等,2015)

类型 I:宜昌莲沱-田家院子(台地内部);类型 II:湖南石门杨家坪(台缘-斜坡);类型 III:广西三江长安-富禄一带(大陆边缘斜坡-盆地)

(1) 莲沱组

下部为浅紫红色厚层-块状含砾粗粒石英砂岩、长石石英砂岩,上部为浅灰色厚层状长石石英砂岩夹紫红、灰绿色中-薄层状细砂岩、粉砂岩。基本层序为:块状含砾砂岩—厚层状砂岩—粉砂岩夹泥岩互层,发育大型板状斜层理,部分层面见不对称波痕,为快速堆积的滨海相沉积。本组厚约 148 m,与下伏黄陵花岗岩或崆岭群呈角度不整合接触(图 1-3、图 1-5)。

(2) 南沱组

该组为灰绿色块状冰碛杂砾岩、冰碛含砾砂泥岩,它以砾、泥沙混合堆积为主要特点,砾石大小不等,分选差,成分复杂,常见有硅质岩、花岗岩及变质岩等。砾石表面具“丁”字形擦痕、刻痕、压扁凹坑(图 1-5)。本组属大陆冰川为主的沉积环境,厚约 90 m,平行不整合于莲沱组之上。



图 1-5 南华系南沱组冰碛砾岩

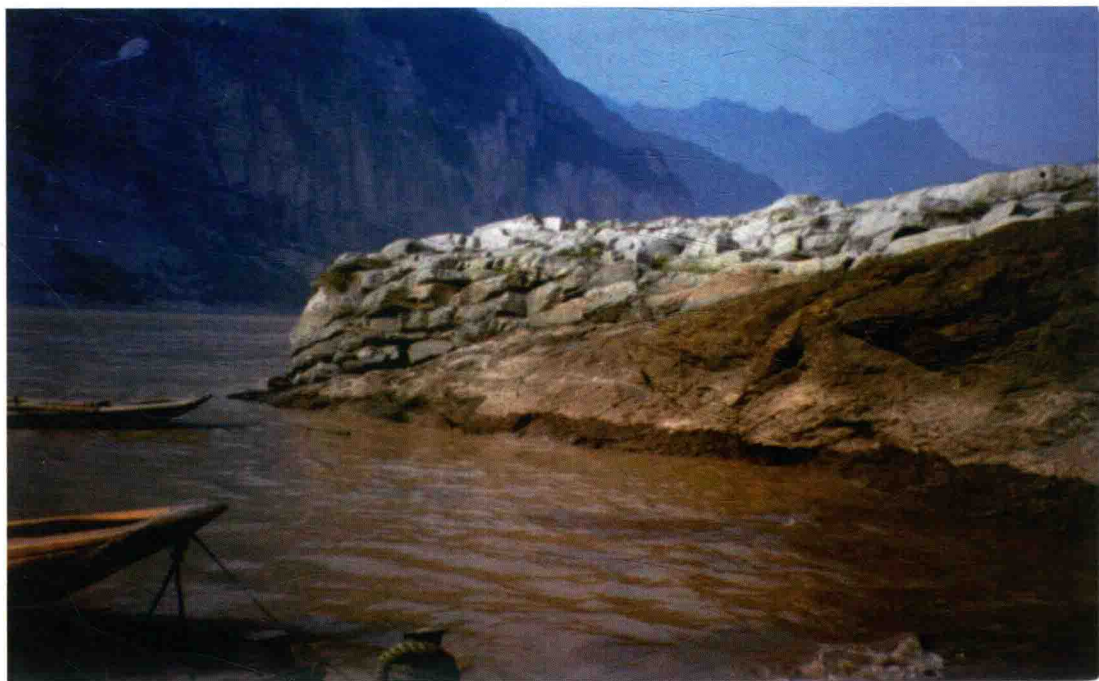


图 1-6 秭归新滩庙河南华系角度不整合在中元古代崆岭群之上

(汪啸风 1985 年摄于秭归)

2. 埃迪卡拉系(震旦系)

三峡东部地区震旦系岩石地层单位一直分为二统二组,下统为陡山沱组,上统为灯影组。陡山沱组在华南地区整合或平行不整合于南华系南沱组冰碛岩之上或直接超覆于不同层位的老地层之上,厚 170~230 m。

(1) 陡山沱组

该组系南沱冰期后的海侵沉积,厚约 210 m,与下伏南沱组为平行不整合接触。对陡山沱组岩性段划分,不同研究者并不完全相同,根据汪啸风等(Wang et al., 1998)意见,依岩性将其自下而上划分为四个岩性段。

一段:俗称盖帽白云岩,浅灰色中厚层状细晶白云岩,具大型“人”字形层理、小型帐篷构造、波状层理,厚 1~5 m。

二段:灰-深灰、灰黑色薄板状泥质条带泥晶灰岩、含炭质页岩、薄层状白云质硅质岩,含燧石结核及磷质,产巨型带刺疑源类化石,厚约 148 m。

三段:灰色薄-中层状细晶白云岩夹泥晶灰岩,含硅质扁豆体或燧石结核,厚 51 m。

四段(庙河段):灰黑色薄层状炭质泥岩、白云质泥岩夹含炭质、磷质结核白云岩,富含多门类宏体化石,在秭归县庙河村发现庙河生物群(图 1-7),属浅海台地-盆地边缘环境沉积,厚 26 m,故而,亦有人称此段为庙河段(Ye et al.2017)。

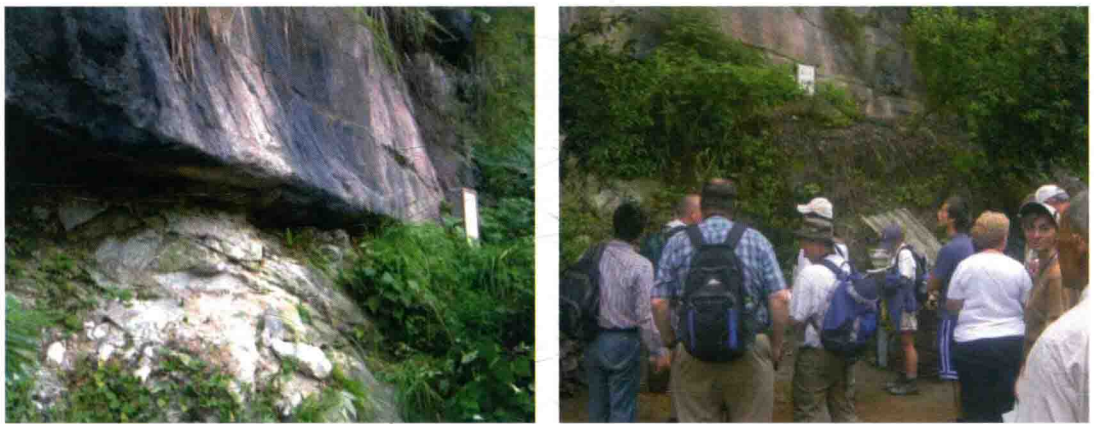


图 1-7 宜昌莲沱保留的南华系与黄陵花岗岩之间不整合接触面及风化剥蚀景观(距今 820—740 Ma)

(2) 灯影组

该组是一套以碳酸盐岩沉积为主的地层,岩性四分明显,因而自下而上划分为四个岩性段(图 1-8)。

蛤蟆井段:由灰-浅灰色中厚层状内碎屑白云岩、砂屑白云岩与中薄层状细晶白云岩、硅质细晶白云岩组成的高位沉积序列,上部白云岩中具鸟眼构造,厚约 200 m。

石板滩段:深灰、灰黑色薄层状硅质泥晶灰岩,产埃迪卡拉动物群,以文德带藻(*Vendot-aenia*)化石及虫迹为代表的宏体藻类化石及虫迹化石等,厚 24~36 m。



图 1-8 宜昌新滩庙河成冰系和埃迪卡拉系地层划分及庙河生物群产地和产出层位(红圈)

(汪啸风摄于 1985 年)

白马沱段:主要为灰、灰白色中厚层状微-细晶白云岩,下部含管状后生动物 *Cloudina*, 厚 18 m;

天柱山段/岩家河组:天柱山段为钙质白云岩,含黑灰色含硅质焦磷矿结核或条带白云岩,含小壳化石,时代为寒武纪初期,厚 0.5~1 m;出露在长阳县高家堰镇王子石村的岩家河组系由一套黑色泥岩和薄层硅质岩组成,岩相单一,厚 80~90 m,系天柱山段相变,但小壳化石序列较后者完整,是当前最有希望重新厘定我国寒武与前寒武系界线的重要的剖面之一。

本组厚度 150~820 m,与下伏陡山沱组呈平行不整合接触。

根据中国地质调查局武汉地质调查中心(2013)三斗坪地质调查的成果,结合近 20 年来三峡地区埃迪卡拉系多重地层划分与对比研究的深入,现将该区埃迪卡拉系岩石、层序、生物和化学地层划分概括于图 1-9 之中。从图 1-9 中不难看出,该区埃迪卡拉系自下而上划分出五个生物组合。其中陡山沱组三个,包括二段出现的以天柱山藻(*Tianzhushania*)为代表的大型具刺疑源类,三段所见的具刺疑源类以及产于四段中下部以多细胞藻类为代表的庙河生物群;灯影组两个,下部系石板滩段首次出现的以埃迪卡拉生物群为代表的多细胞动物化石和共生文德带藻和遗迹化石,及其上白马沱段所发现的管状化石,它们对于探索地球早期生命起源和保存形式以及埃迪卡拉系内部年代地层划分和埃迪卡拉系-寒武系界线的划分具有重要的意义。需要指出的是,陡山沱组在扬子碳酸岩台地的沉积厚度随古地理位置、构造背景和沉积环境的不同有所变化。在湖北省陡山沱组广泛发育的含磷矿带和含磷层位中所发现微体化石组合应与三峡东部地区陡山沱组二段和三段下部对比(尹崇玉等,2007)。灯影组沉积一般为较稳定的碳酸盐岩,主要为白云岩和藻白云岩,但不同地区沉积厚度有较大变化,三峡东部地区灯影组沉积最厚,近 700 m。向东南过渡到湖南中部和贵州东部,灯影组相变为一套灰黑色硅质岩夹薄层硅质白云岩,称为留茶坡组。再向南至盆地相边缘及更南的大陆边缘,灯影组则相变为黑色硅质岩,称老堡组。

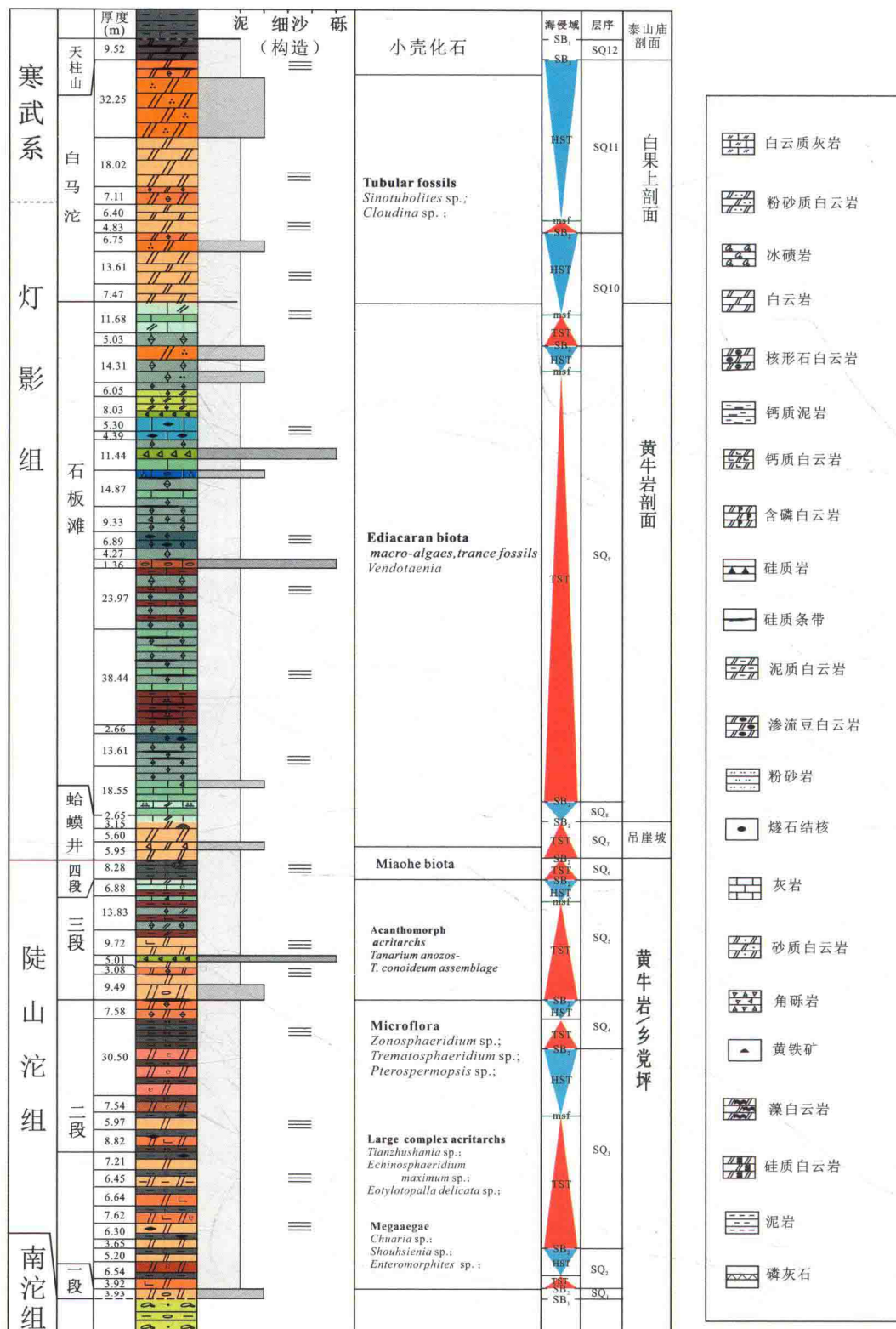


图 1-9 三峡地区埃迪卡拉系综合柱状图

(据武汉地质调查中心, 2013)

二、庙河生物群

典型的以宏体碳质压膜化石为特点的庙河生物群产于湖北三峡东部秭归庙河陡山沱组四段中下部页岩中,该化石群最早发现于20世纪80年代初期,并被认为是典型的多细胞藻类化石,与现生绿藻类的浒苔可以对比(朱为庆等,1984),由此拉开了埃迪卡拉纪(震旦纪)早期——陡山沱期宏体碳质压膜化石研究的序幕(图1-7~图1-11)。20世纪90年代初,伴随秭归庙河吊崖坡剖面陡山沱组近顶部黑色碳质页岩中所发现“庙河生物群”的大量发掘和深入研究(陈孟莪等,1991,1992;丁莲芳等,1996;袁训来等,1995,2002;陈孝红等,1999,2002;唐烽等,2002),更引起世界的普遍关注(Xiao et al.,2002,2004),因该生物群化石的出现展示了新元古代“雪球地球”事件结束后不久发生的生物演化事件,形态多样化的宏体真核生物,包括形态多样的海藻和后生动物出现和快速的辐射,暗示这个时期大气圈中的氧气含量有了明显的升高,较深部海水已经由“雪球地球”之前的还原状态转变成了间歇性的氧化状态,从而为宏体真核生物的生存提供了条件。

扬子台地型埃迪卡拉纪(震旦纪)陡山沱组地球化学的研究也表明,陡山沱组内部碳同位素的漂移轨迹,可以与世界其他地区埃迪卡拉系进行精确对比,并且与海洋每一次氧化事件以及生物多样性事件相对应,这也进一步表明埃迪卡拉纪早期真核生物的进化是沿着海洋氧化轨迹进行的,与海水温度和盐度的变化紧密相关(图1-12)。

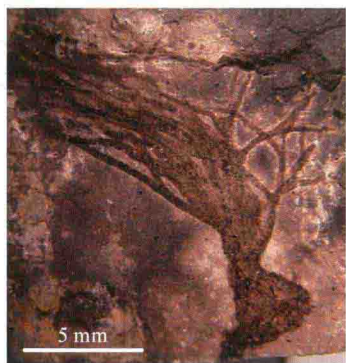


图 1-10 庙河生物群中的藻类化石
(袁训来等,2002)



图 1-11 三峡地区(莲沱镇对面黄牛岩)典型的成冰系和埃迪卡拉系

1. 庙河生物群产出层位和组合特征

典型的“庙河生物群”化石产于湖北三峡东部长江北岸的秭归庙河渡口村之上所出露的陡山沱组四段下部灰色-灰黑色页岩夹薄层砂岩之中(图1-7、图1-8、图1-11、图1-12)(丁莲芳

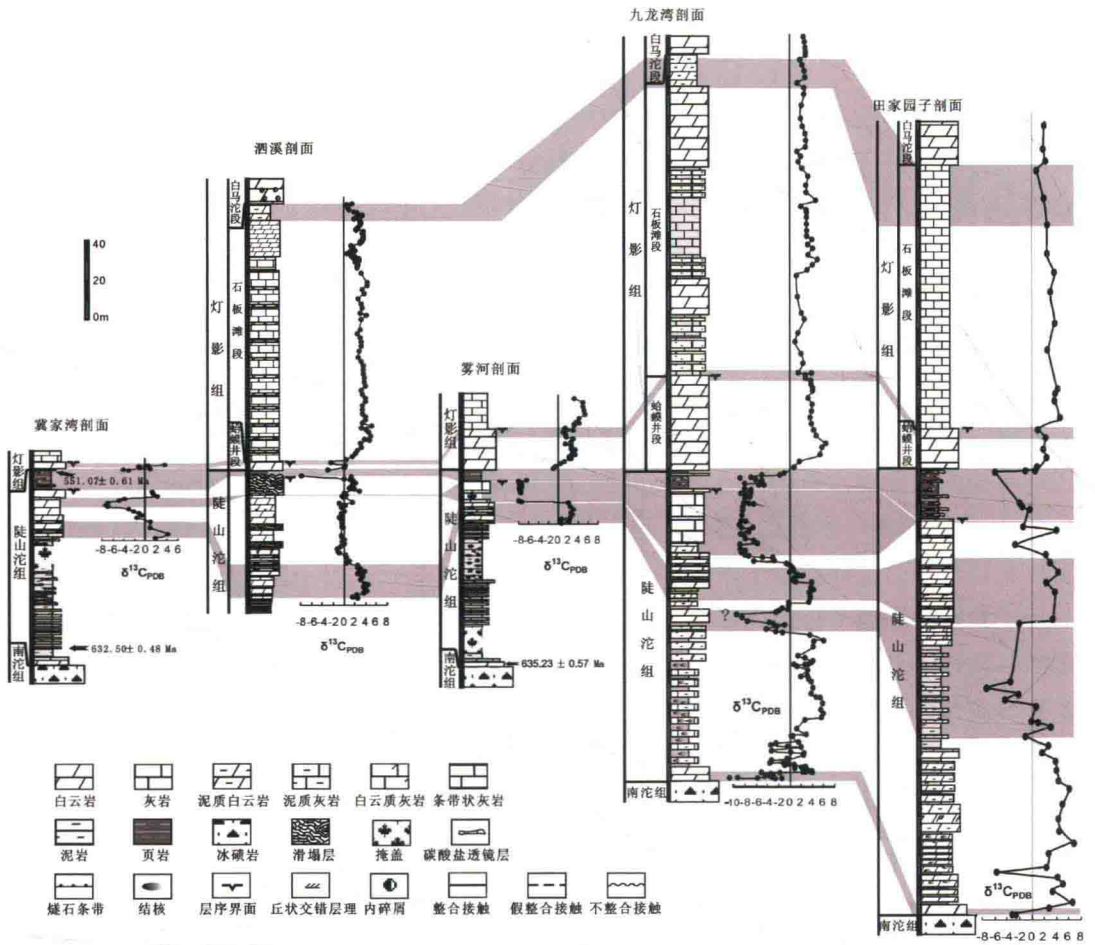


图 1-12 三峡地区不同剖面埃迪卡拉纪地层综合对比图

(同位素年龄据 Condon et al., 2005)

等, 1996; 陈孝红、汪啸风, 2002; 唐烽等, 2008; Zhu et al., 2007)。与庙河隔江相望的秭归九曲脑发育了与庙河剖面可以对比的埃迪卡拉系地层。该剖面位于茅坪镇西 17 km, 顺茅坪镇至高家坝沿江公路出露。剖面出露较好, 底部不整合在黄陵花岗岩之上, 自下而上依次可识别出南沱组、陡山沱组、灯影组和岩家河组/水井沱组。遗憾的是在该剖面陡山沱组四段下部黑色硅质、泥质薄层页岩和硅质岩中, 仅发现零星的宏体碳质压膜化石碎片, 而未见庙河生物群中大量多细胞藻类化石, 暗示庙河生物群仅出现在“雪球事件”后, 随气候转暖短暂现身且底部缺氧而表层充氧的局限盆地之中, 分布环境和条件十分局限。

根据刘鹏举等(2012; Liu et al., 2013)、尹崇玉等(2015)对三峡东部地区震旦系陡山沱组剖面系统岩石切片和化学分析研究, 在产庙河生物群的陡山沱组四段之下, 还存在两个燧石相微化石组合, 下组合出现在陡山沱组第二段碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)正值区(图 1-13、图 1-14)。该组合以大型具刺疑源类天柱山藻(*Tianzhushania*)、乳突球藻(*Papillomembrana*)的出现—