

文章编号:1000-0550(2004)04-0664-08

贵州早寒武世早期黑色页岩中生物化石保存及生态学研究

杨瑞东 毛家仁 张位华 姜立君 高 慧

(贵州工业大学研究生部 贵阳 550003)

摘 要 早寒武世早期黑色页岩中以前只发现少量的海绵骨针,但随着研究的深入,各类动物化石被发现。最近,贵州早寒武世早期黑色页岩中发现碳质和薄膜型化石,它们包括大量的简单线状遗迹、碳质膜状高肌虫、完整海绵动物、管虫、薄壳双壳动物、碳质膜状软舌螺以及一些圆形膜状化石等。通过对黑色页岩的粘土矿物定量和定性分析,结合地球化学特征,认为早寒武世早期小壳动物繁盛期之上有一个大型动物繁盛期,随后由于地壳拉张作用,大规模的海底热液和火山喷发作用的加强,海洋环境变成酸性环境,不利于生物生存,发生生物绝灭作用,随后海洋环境逐渐趋于碱性,大量的生物又开始繁盛。

关键词 生物化石 黑色页岩 早寒武世 贵州

第一作者简介 杨瑞东 男 1963年出生 教授 博士研究生导师 地层古生物、生物地球化学

中图分类号 Q911.3 **文献标识码** A

贵州早寒武世早期以沉积磷块岩为特征,在磷块岩中产丰富的小壳动物化石^[1,2],它被认为是寒武纪生物大爆发第一幕^[3]。在小壳动物繁盛期之后,到澄江动物群繁盛期之前,越来越多的生物化石组合被发现,如“清镇生物群”^[4]、“松林生物群”等^[5,6],它们代表着小壳动物群之后出现的大型动物繁盛期间的产物,随后,发生了生物绝灭作用,到筇竹寺期生物又开始繁盛,形成寒武纪生命大爆发第二幕^[3]。“澄江动物群”^[7-9]和“遵义生物群”^[5,10]就是第二幕的产物。经过最近一段时间的化石采集,在贵州寒武系下部牛蹄塘组黑色页岩中发现了线状遗迹、碳质膜状高肌虫、完整海绵动物、管虫、长管状化石 *Platysolenites* sp.、薄壳双壳动物、碳质膜状软舌螺以及一些圆形膜状化石,它们丰富了早寒武世早期生物化石材料,对研究寒武纪早期生物演化有一定意义。

早寒武世早期牛蹄塘组黑色页岩中生物面貌如何?小壳动物群和澄江动物群之间生物发展演化如何?它们的古生态和埋藏机理是否与凯里、澄江生物群一样^[11,12]?这都是研究寒武纪生物大爆发过程的重要内容,因此,作者在贵州早寒武世早期牛蹄塘组黑色页岩进行大量的化石采集,并进行地球化学、古环境和生态研究,试图在生物化石方面有新的发现,

并恢复当时的古海洋生态环境。

1 研究剖面特征

为了研究早寒武世早期牛蹄塘组黑色页岩中化石保存特征,作者在贵州遵义、清镇、开阳、麻江和福泉等地黑色页岩中采集化石(图1),在黑色页岩中发现了线状遗迹、管虫、碳质膜状高肌虫、完整海绵动物、薄壳双壳动物、碳质膜状软舌螺以及一些圆形膜状化石。对贵州开阳马场剖面早寒武世早期牛蹄塘组黑色页岩中粘土矿物组成进行定量和定性分析,对遵义中南村剖面进行系统的微量、稀土元素测试,对福泉英坪早寒武世早期碳同位素测试,试图揭示早寒武世早期黑色岩系中生物化石的保存与环境关系以及生物繁盛、绝灭过程。

贵州清镇早寒武世早期桃子冲组磷块岩与下覆灯影组白云岩之间为平行不整合接触,磷块岩为硅质磷块岩、磷质硅质岩,夹薄层生物磷块岩,含有大量的微体藻类和小壳动物化石。形成的环境水体比较浅,但比织金地区水深。在硅质磷块岩之上为泥质粉砂岩或粉砂质泥岩,产软舌螺、类似 Ediacaran 型化石、单板类、高肌虫、海绵动物等组成的清镇生物群^[4]。该层之上为牛蹄塘组黑色页岩,黑色页岩底部产大量

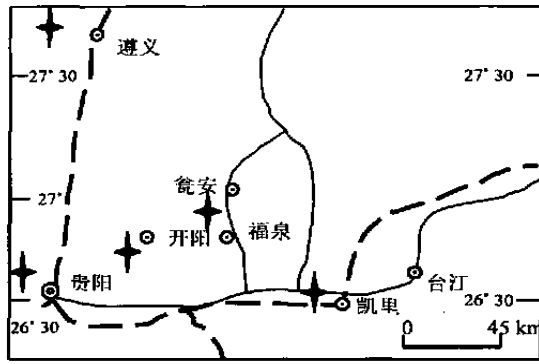


图 1 贵州寒武系下部牛蹄塘组黑色页岩研究剖面位置简图(星号表示剖面位置)

Fig. 1 Sections of the black shale of the base Cambrian in Guizhou Province, China

简单的遗迹化石。再往上出现黄灰色泥岩,含有三叶虫和海绵骨针及类似杆臂虫的化石(图 2)。

遵义松林中寒武系牛蹄塘组以陆棚沉积的黑色页岩为主,磷块岩只厚 20 cm,其上为薄层硅质岩夹黑色页岩,在薄层硅质岩夹黑色页岩和透镜状碳酸盐岩(以前一直认为粉砂岩),厚约为 3 m,其上为 0.1~1.0 m 的富 Mo, Ni 矿层。在重金属层之上为含大量高肌虫和海绵动物化石的黑色页岩,厚约 3 m,往上为含海

绵骨针的黑色页岩,其它化石几乎消失,到距底部灯影组白云岩之上 40m 处,大量的含有澄江动物群分子的遵义生物群出现(图 2)。

麻江羊跳寒武系牛蹄塘组黑色硅质岩夹薄层页岩覆盖在灯影组白云岩之上,硅质岩厚 3 m,其上为 0.9 m 厚含磷质结核的黑色页岩夹黑色碳酸盐岩,厚为的 1.5 m,往上为含丰富高肌虫和长管状化石 *Platysolenites* sp. 及海绵骨针(图 2)。

开阳马场寒武系底部为灰色薄层硅质磷块岩、磷质硅质岩,厚约为 3 m,往上为深灰色泥质粉砂岩,厚 2 m,往上为含碳质膜状高肌虫化石的黑色页岩,之上出现含大量星散状黄铁矿页岩,厚 1.8 m,其上为块状黑色页岩,未见化石。深灰色泥岩层,产出大量高肌虫、海绵、软舌螺、双壳动物和三叶虫等动物化石(图 2)。

福泉英坪寒武系牛蹄塘组含小壳化石的硅质岩夹薄层碳酸盐岩,厚 2 m,其上为黑色页岩,厚仅 6 m,黑色页岩中含管虫和高肌虫化石,往上为灰黄色泥岩夹薄层灰岩(图 2)。该剖面是目前贵州境内发现的黑色页岩最薄的剖面,也是少有的在寒武系底部产灰岩的剖面。

从上述介绍的几个剖面可以看到,在小壳动物繁盛期之后到二叶虫开始出现之前,存在一个独特的生物

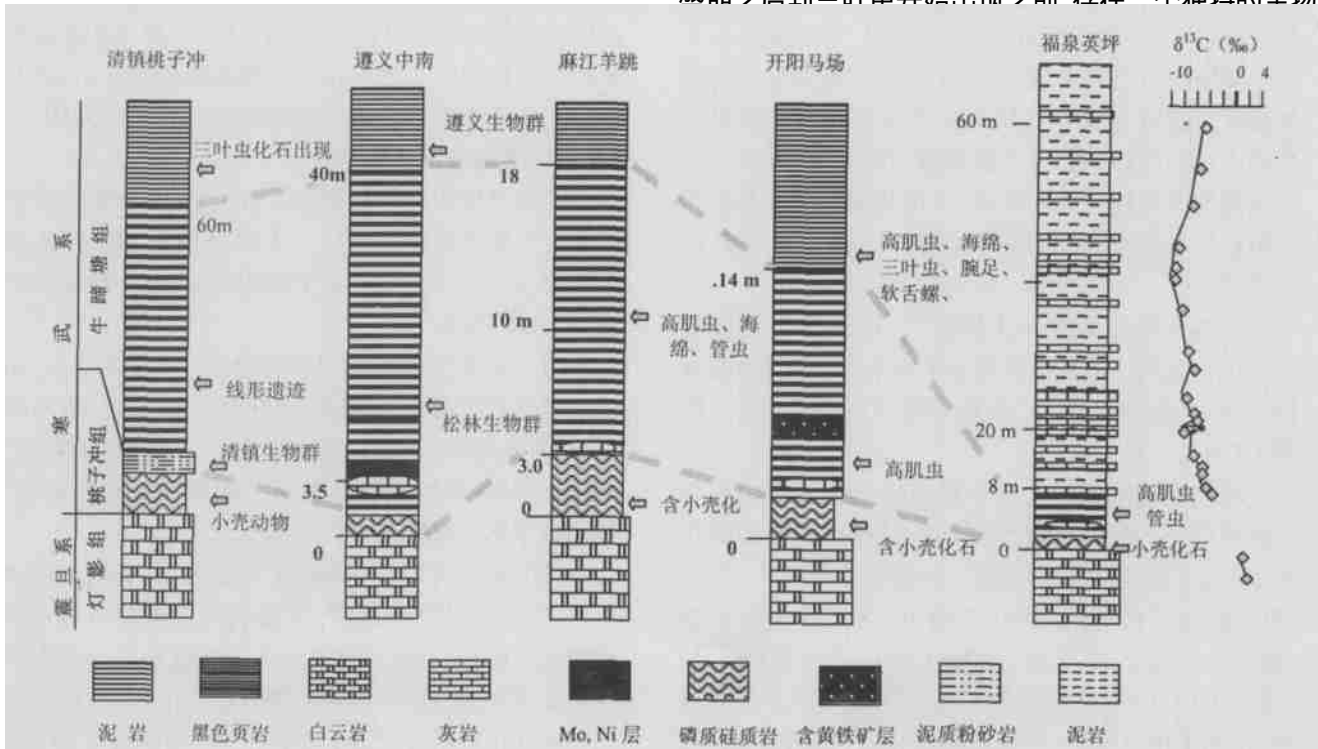


图 2 贵州寒武系底部岩石地层和化石组合对比图

Fig. 2 The correlation map of fossil assemblages and lithostratigraphy from the base Cambrian in Guizhou

群,它主要由高肌虫和管虫组成的分异度低、丰度高、个体比较大的生物群,它类似热水口生物群^[13~15]。

2 早寒武世早期黑色页岩中化石特征

对贵州清镇、开阳、遵义、麻江等地早寒武世早期黑色页岩进行仔细的化石采集,除发现大量保存完整的海绵动物化石外,还发现了一些碳质薄膜型化石,该类型的化石以前还没有报道。含硅质的海绵动物化石,是早寒武世早期黑色页岩中保存最多、最好的动物化石,海绵个体完整,但也发现大量的海绵骨针层。大量的碳质薄膜和印模化石的发现,说明早寒武世早期海洋生物的多样性。经初步研究,这些化石属于单板类,水母状盘状体,高肌虫动物化石,蠕虫动物化石,软舌螺动物化石,管虫 *Platysolenites* sp. 等,它们与藻类构成了早寒武世早期的海洋生物群落。其中藻类与中寒武世藻类相比较为简单^[16]。

在清镇桃子冲剖面黑色页岩中除少量海绵骨针外,有大量的简单的平行双线迹化石,遗迹细长,粗细均匀,光滑、表面无纹饰,粗为 1 mm,长可达 20 cm(图版 F1),类似采于南澳大利亚 Rawnsley Quartzite 的线形迹^[17],只是个体较小。

遵义松林中南剖面下部为松林生物群^[5],产高肌虫、海绵动物和藻类化石(图版 F2)。其中海绵动物个体很大,可达 20 cm 长,类似的大个体海绵在下扬子荷塘组中也有发现^[18]。以前认为奥陶纪以前动物滤食生态位一般小于 10 cm,但在寒武系底部黑色页岩中动物滤食生态位出现异常,可达 20~100 cm,这可能与海底热液活动有关,古代和现代海底热液喷口附近生物群个体都特别大等特征就是最好的证据^[13, 14, 19]。

上部生物群为遵义生物群^[5],产澄江生物群中一些生物化石^[10],主要代表分子为水母状化石(图版 F3)、三叶虫(图版 F4)、类似杆臂虫的动物化石(图版 F5,6)。

开阳马场剖面寒武系牛蹄塘组黑色页岩中化石分两个层位,下部层位化石单调,只有高肌虫动物化石,相当于遵义松林生物群。上部层位化石丰度、分异度高,有完整海绵动物(图版 F7,8)、群居软舌螺(图版 F9,22)、高肌虫(图版 F10)、薄壳双壳动物(图版 F12,13)、蠕虫动物(图版 F14)、类似苔藓动物(图版 F15)以及一些圆形膜状化石(图版 F16,17,18),它对应于遵义中南的遵义生物群。

麻江羊跳剖面寒武系牛蹄塘组黑色页岩中产大

量的高肌虫化石(图版 F11)、长管状化石 *Platysolenites* sp. (图版 F19)和海绵(图版 F21)及骨针等。其中长管状化石 *Platysolenites* sp. 个体大,长可达 15cm,粗 0.1~0.2cm。*Platysolenites* 化石在英国、威尔士、纽芬兰、挪威、俄罗斯寒武系底部都有发现^[20]。

Platysolenites 化石为管状体,直或稍微弯曲,向顶端微变细,管体由微细颗粒粘合而成,常常由于压实作用而保存为扁管状,在地层中保存为不完整的节状,一般不完整的节状化石为 3~5cm,完整的化石个体长可达 15 cm(图版 F20),McIlroy 等认为它类似于棘皮动物的滤食性动物,它具有较高的生态位。

3 早寒武世早期生态环境分析

长期以来,早寒武世早期黑色页岩中一直认为只有海绵骨针等少量的动物化石,但随着研究的深入,在黑色页岩中发现了大量以碳质薄膜形式保存的化石,生物体的结构和构造往往保存不清楚,在野外化石采集时往往被忽略。

为什么早寒武世早期黑色页岩中大量保存的只有硅质海绵动物化石和其它碳质薄膜型动物化石,而缺少钙质壳动物化石呢?作者带着这个问题对贵州开阳马场剖面早寒武世早期黑色页岩进行粘土矿物学定量和定性分析,发现在早寒武世早期黑色页岩沉积期古海洋环境处于较酸性的环境,这很可能就是早寒武世早期黑色页岩中很少发现钙质动物化石,而只保存硅质海绵骨针和碳质薄膜型动物化石的原因。

3.1 牛蹄塘组沉积特征

开阳马场牛蹄塘组剖面发育完整,与下覆寒武纪磷块岩为整合接触(图 3)。牛蹄塘组下部总体为黑色页岩,但由于含化石、岩石风化后颜色等特征的区别,可分为几段:

(1) 底部黑色粗细晶碳酸盐岩:厚度 1.5 m,由黑色粗细晶碳酸盐岩组成,风化后呈黄褐色,岩石坚硬,含有大量的方解石,很少含化石,与下覆的磷质岩为整合接触,碳酸盐岩具有显著的碳同位素负异常,可能属于热水成因有关的碳酸盐岩^[21]。

(2) 碳质泥岩段:黑色碳质泥岩,具有较少的水平层理,岩石易染手,含有大量的高肌虫化石和海绵动物化石碎片,含黄铁矿少,岩石黑色是由于含有大量的碳质引起,而不是硫化物引起。因此,这段地层沉积时环境缺氧不严重,海洋中生活高肌虫动物和海绵动物。厚 2.0 m。

(3) 黑色含黄铁矿粉砂质泥岩段:黑色粉砂质泥

岩,含大量的微细粒星散状黄铁矿,局部富集成黄铁矿结核体,球状风化。岩石坚硬致密,不含生物化石,水平纹理不发育。沉积这段地层时环境严重缺氧,是强还原环境,也可能是海底热液喷流作用形成的产物。厚 1.5 m。

(4) 黑色页岩层:黑色页岩,具有少量水平纹理,不含化石。厚 3.0 m。

(5) 黑色泥岩段:黑色泥岩,水平纹理较发育,含有微细粒星散状黄铁矿,含少量的海绵骨针、完整海绵动物化石和高肌虫化石。厚 3.0 m。

(6) 深灰色泥岩段:深灰色泥岩,夹风化后呈灰白色泥岩,含大量的动物化石,有三叶虫(盘虫)、完整的海绵动物、海绵骨针、藻类、簇状生长的软舌螺、单板类、高肌虫动物,类似苔藓动物,蠕虫动物化石,还有呈碳质薄膜状、印模状分类位置难以确定的盘状化石。说明海洋环境含氧条件明显改善,大量的动物和藻类繁盛。

3.2 利用粘土矿物组成恢复早寒武世早期海洋环境

粘土矿物的形成与沉积环境和成岩环境(孔隙水)的 pH 值有关^[22]。在酸性环境条件或热液蚀变带都可形成高岭石矿物;而随着环境的 pH 值增大,出现弱碱性,形成伊利石,而碱性环境则形成绿泥石。

通过对马场剖面寒武系底部磷块岩和牛蹄塘组下部黑色页岩系统粘土矿物样品的采集,要求样品新鲜,尽量去除风化岩石。样品破碎成 200 目,在中国科学院地球化学研究所矿床开放实验室 X 粉晶衍射室进行粘土矿物定性和定量分析,获得以下结果(表 1)。

从测试数据分析,在寒武系底部含磷质层中,白云石和磷灰石含量很高,还含有一定数量的伊利石(10.41%),少量的高岭石、绿泥石和斜长石,表明当时海洋处于偏碱性环境。寒武系最底部的(1)碳酸岩层和(2)黑色页岩层,含 5.72% 的高岭石矿物,说明在寒武纪初期可能发生了热液蚀变作用,这与同期沉积的遵义松林发现海底热液喷口沉积的碳酸岩相吻合,伊利石含量达到 27.77%,同样说明受热液蚀变作用影响。往上地层中高岭石含量几乎为零,但斜长石和锐钛矿明显逐渐增加,分别从 0.55% 增至 1.93%,1.33% 增至 9.89%。

而 M-11 以上层位中开始出现绿泥石,并有往上逐渐增加的趋势。由此推测,在海底热液作用后,海洋环境发生了很大的变化,原来的碱性环境被海底喷出的大量硫化氢、二氧化碳等破坏,使环境转变为弱酸性环境,结果形成高岭石,而碱性环境矿物绿泥

表 1 寒武系底部岩系矿物成分分析(%)

Table 1 Mineral composition analyses of rocks in the base Cambrian, Kaiyang

样品号	石英	绿泥石	伊利石	高岭石	锐钛矿	斜长石	磷灰石	白云石	备注
M-1	44.97	7.47	**		1.93	9.89	1.5		定量
M-4		*	**		*	*			定性
M-8	59.51	2.81	29.27		1.65	6.76			定量
M-11	58.66	0.91	32.48		1.55	7.31			定量
M-12			**		*	*			定性
M-13	70.70		20.89		1.32	7.09			定量
M-15			**	*		*			定性
M-17	64.61	27.77	5.72	0.55	1.33				定量
M-19	**	*	**						定性
M-20	28.99	0.5	10.41	0.5	0.58		*	60.02	定量
M-22	**	*	**	*	*	*	*		定性

含量高, 含量较高, ** 含量中等, * 含量低, * 含量少

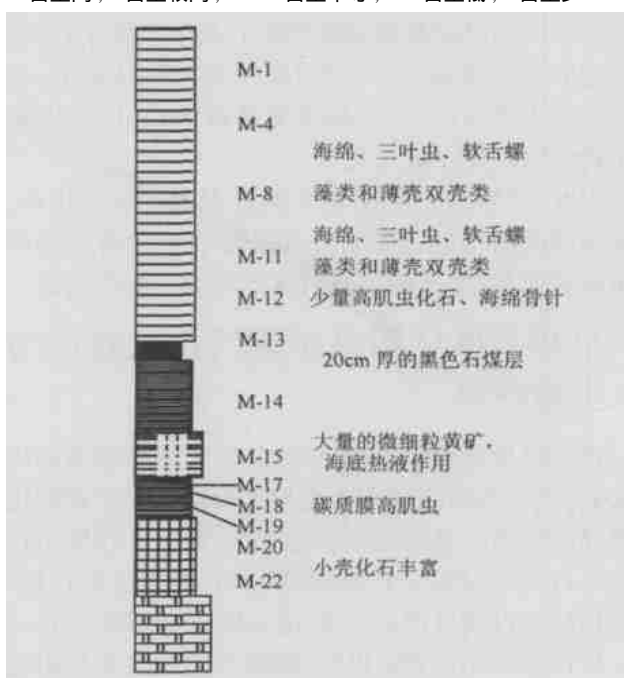


图 3 开阳马场寒武系底部岩性和生物分布

Fig. 3 Lithostratigraphy and biostratigraphy of the base Cambrian in Machang, Kaiyang County, Guizhou

石消失。大量的伊利石和很低的高岭石含量,说明海洋具有较低的酸性条件,处于弱酸性环境。在 M-8 以上层位,绿泥石开始出现,高岭石含量很低,伊利石保持在 30% 水平。说明海洋由弱酸性环境转变为弱碱性环境。

早寒武世早期化石产出层位与沉积时环境关系密切,在寒武系底部含磷硅质岩层中,海洋处于弱碱性环境,地层中保存有大量的钙磷质小壳动物化石;

寒武系下部的黑色页岩(M—18)含有大量的碳质薄膜状高肌虫化石,可能是海底大量的热液活动,喷出大量硫化物、二氧化碳等不利于生物生存,只有高肌虫和海绵类适应这样的环境,因此,形成分异度低、丰度高、个体大的独特生物群,它类似热液喷口附近的生物群。由于海底环境处于弱酸性环境,高肌虫生物体降落到海底后,高肌虫壳体的钙质物质被溶蚀,只剩下有机质部分,结果地层中(M—18)只有保存碳质薄膜状高肌虫化石。随着海底热液的持续活动,大量的海底硫化物形成,海洋环境酸化加剧,导致生物几乎绝灭,因此,在M—15至M—13层位没有发现生物化石。到M—12层,海洋环境酸度降低,开始出现高肌虫、海绵骨针等化石。特别是到了M—11层,绿泥石矿物开始出现,这标志着海洋环境由酸性转变为弱碱性环境,因此,大量的生物化石开始出现。导致这一现象的原因可能是弱碱性环境有利于生物生存,结果大量的生物繁盛;另一原因是在弱碱性环境下,钙磷质壳体生物死亡后,生物体不易被溶蚀,以致大量的生物体得以保存成为化石。

因此,早寒武世早期黑色页岩中很少保存化石,或除海绵动物(硅质)化石外几乎都以碳质薄膜或印模形式保存,这可能是当时海洋环境呈酸性所致。

4 早寒武世早期海洋碳同位素特征与生物绝灭

贵州福泉英坪剖面寒武系底部发育很完整的碳酸盐岩夹层,为研究早寒武世早期海洋碳同位素提供了极好的条件。剖面碳同位素特征表现为灯影组白云岩具有 $+1.32\% \sim 1.796\% \text{PDB}$ 的碳同位素特征,这一特征与以前报道的在新元古代末全球都存在一个 $+1.0\% \sim +2.0\% \text{PDB}$ 碳同位素“高原”相吻合^[23~26]。在白云岩之上为8 m厚的黑色硅质岩和页岩,其上为灰黄色泥岩夹薄层灰岩,薄层灰岩的碳同位素具有强烈的负异常,碳同位素值分布范围在 $-4.439\% \sim -10.258\% \text{PDB}$ 之间,特别是在白云岩之上20 m到40 m层位,灰岩碳同位素值很低,在 $-7.018\% \sim -10.258\% \text{PDB}$ 之间。在40 m以上碳同位素值逐渐向正的方向迁移(图2)。

贵州福泉英坪早寒武世早期强烈的碳同位素负异常的发现,不仅可与全球寒武系底部碳同位素负异常对比,而且它是在扬子地台缺氧黑色页岩相中发现的碳同位素异常现象,这对扬子地台寒武系底部地层对比也具有重要意义。该剖面上碳同位素强烈负异

常之下有8 m厚的黑色页岩和硅质岩,在黑色页岩中发现有大量高肌虫和虫管化石,说明缺氧的黑色页岩沉积期间海洋中有大量的生物生活,但到了灰黄色泥岩和灰岩互层的碳同位素强烈负异常层段,则几乎没有生物化石。这似乎说明缺氧事件对前寒武系—寒武系界线附近生物绝灭事件没有很大的影响,而碳同位素强烈的负异常事件与前寒武系—寒武系界线附近生物大绝灭关系似乎更为密切。

贵州缺氧黑色页岩相牛蹄塘组黑色页岩底部发现的大量以高肌虫动物、海绵动物、管虫、蠕虫动物和藻类化石为主的生物组合,其位于强烈碳同位素负异常之下,因此,它对应于浅水区的清镇生物群,位于小壳动物大量繁盛时期之后。这就说明在小壳动物大量繁盛之后,在水体较深的陆棚环境还生活着一群特殊的生物群落,它们与海底热液活动有关。但是,在强烈的碳同位素负异常之后,水体较深的陆棚环境中只保存少量的海绵骨针和藻类化石,其它如高肌虫、管虫、蠕虫动物消失了,一直到相当于梅树村期生物才大量出现。因此,寒武系底部的碳同位素强烈负异常可能隐藏着一次生物绝灭事件,但事件的规模和影响及机理有待进一步研究。

5 结论

早寒武世早期黑色页岩中大量动物化石的发现,化石以硅质海绵、碳质薄膜、印模和薄壳化石为主,它反映当时海洋缺少骨骼化矿物质Ca, Mg, P等,生物很难保存为化石,这可能是小壳动物化石大量出现后黑色页岩中很少发现动物化石的原因之一。为什么寒武系底部大量小壳动物繁盛期之后,Ca, Mg, P等矿化生物大量减少,生物壳体骨骼纤细,壳体很薄或缺少硬体,这可能是由于早寒武世早期洋壳拉张^[27],大量的海底火山和热液喷发,特别是硫化物(SO_2)大量喷出,使海水由碱性转变为酸性,引起海洋中Ca, Mg矿物质溶解,导致海洋中缺少碳酸盐沉淀,生物缺少钙镁质骨骼,只有硅质(耐酸)骨骼生物或具有软躯体(碳质)动物。寒武系底部黑色页岩中的粘土矿物组成也反映出水体由碱性—酸性—碱性的变化过程,因此,作者认为早寒武世早期生物的演化、绝灭作用和化石记录与古海洋环境演变过程关系密切。

早寒武世早期黑色页岩中大量碳质薄膜状、印模状化石的新发现,说明早寒武世早期海洋并非以前认为的只有海绵和藻类及高肌虫等少量生物存在,而是具有一定丰度、分异度的生物群落。另外,可能还存

在大量的类似小壳动物化石,只是个体很小,个体没有坚硬的骨骼或壳体而难以保存为化石。

寒武系牛蹄塘组黑色页岩中大量生物化石的发现,它填补了寒武纪生物大爆发第一幕(小壳动物繁盛)和大爆发第二幕(澄江动物群繁盛)之间生物组合面貌,为寒武纪早期后生生物研究打开了另一个窗口,对研究寒武纪生物大爆发过程具有重要意义。

寒武系底部的碳同位素强烈的负异常与早期寒武世早期小壳动物群和与热液活动有关的特殊生物群的绝灭有着密切关系,碳同位素强烈的负异常可能是寒武纪生物大爆发第一幕和第二幕之间重要的事件,而且可以进行全球对比^[28, 29]。

致谢 在野外工作中得到贵州地勘局王砚耕教授级高级工程师、贵州石油研究所张正华教授级高级工程师的指导和帮助,同时得到中国科学院地质与地球物理研究所陈孟莪研究员、地球化学研究所欧阳自远院士、王世杰研究员、南京地质古生物研究所钱逸研究员和西北大学舒德干教授的指导和帮助,在此表示感谢。

参考文献(References)

- 钱逸,尹恭正. 贵州早寒武世早期小壳动物化石的研究. 见:地层古生物论文集(13). 北京:地质出版社,1984. 91~123[Qian Yi, Yin Gongzheng. Small shelly fossils from the Lower Cambrian in Guizhou. Bulletin of Stratigraphy and Paleontology(13). Beijing: Geological Publishing House,1984. 91~123]
- 钱逸,陈孟莪,何廷贵,等. 中国小壳化石分类学与生物地层学. 北京:科学出版社,2000. 1~247[Qian Yi, et al. Taxonomy and biostratigraphy of small shelly fossils in China. Beijing: Science Press,1999. 1~247]
- 蒋志文.“寒武纪爆发”与澄江动物群. 云南地质,1999,19(2):111~120[Jiang Zhiwen. The relationship between the Cambrian explosion and the Chengjiang fauna. Yunnan Geology,1999,19(2):111~120]
- 杨瑞东,陈孟莪,赵元龙. 黔中寒武系底部生物化石新发现. 自然科学进展,2002,12:208~211[Yang Ruidong, Chen Meng'e, Zhao Yuanlong. New discovery of bio-fossils at the bottom of the Cambrian of central Guizhou. Progress in Natural Science,2002,12(2):226~229]
- 赵元龙,Michael Steiner,杨瑞东,等. 贵州遵义下寒武统牛蹄塘组早期后生生物群的发现及重要意义. 古生物学报,1999,38(增刊):132~144[Zhao Yuanlong, Michael Steiner, Yang Ruidong, et al. Discovery and significance of the Early metazoan biotas from the Lower Cambrian Niutitang Formation Zunyi, Guizhou, China. Acta Palaeontologica Sinica,1999,38(sup):132~144]
- 杨瑞东,赵元龙,郭庆军. 贵州早寒武世早期黑色页岩中藻类化石及古环境意义. 古生物学报,1999,38(增刊):145~156[Yang Ruidong, Zhao Yuanlong, Guo Qingjun. Algae and acritarchs and their paleoceanographic significance from the early Early Cambrian black shale in Guizhou, China. Acta Palaeontologica Sinica, 1999,38(Suup):145~156]
- 陈均远,周桂琴,朱茂炎,叶贵玉. 澄江动物群. 台湾:“国立自然博物馆”,1995. 1~150[Chen Junyuan, Zhou Guiqin, Zhu Maoyan, Ye Guiyu. The Chengjiang Fauna. Chinese Taipei: "Taiwan Nature and Science Museum",1995. 1~150]
- 侯先光,Jan Bergstrom,王海峰,等. 澄江动物群—5.3亿年前的海洋动物. 昆明:云南科技出版社,1999. 1~165[Hou Xianguang, Jan Bergstrom, Wang Haifeng, et al. The Chengjiang fauna-exceptionally well-preserved animals from 530 million years ago. Kunming: Yunnan Science and Technology Press,1999. 1~165]
- 罗惠麟,胡世学,陈忠良,等. 昆明地区早寒武世澄江动物群. 昆明:云南科技出版社,1999. 1~120[Luo Huilin, Hu Shixue, Chen Zhongliang, et al. The Early Cambrian Chengjiang fauna in Kunming. Kunming: Yunnan Science and Technology Press,1999. 1~120]
- 杨瑞东,张位华,姜立君,高慧. 澄江动物群重要分子在贵州遵义牛蹄塘组发现. 地质学报,2003,77(2):145~150[Yang Ruidong, Zhang Weihua, Jiang Lijun, Gao Hui. Members of the Chengjiang biota from the Lower Cambrian Niutitang Formation, Zunyi County, Guizhou Province, China. Acta Geologica Sinica,2003,77(2):145~150]
- 杨瑞东,赵元龙. 我国早期后生动物群的特异埋藏机理探讨. 沉积学报,1999,15(1):161~165[Yang Ruidong, Zhao Yuanlong. Primary study on exceptionally well-preserved process of metazoan biota in China. Acta Sedimentologica Sinica,1999,15(1):161~165]
- 杨瑞东,赵元龙,毛家仁,等. 贵州台江中寒武世凯里生物群古生态研究. 沉积学报,2002,10(1):129~134[Yang Ruidong, Zhao Yuanlong, Mao Jiaren, et al. Palaeoecology of the Kaili biota from Middle Cambrian in Taijiang County, Guizhou Province, China. Acta Sedimentologica Sinica,2002,10(1):129~134]
- Hart S R, Blusztajn J. Clams as recorders of ocean ridge volcanism and hydrothermal vent field activity. Science, 1998, 280: 883~886
- Haymon R M, Koski R A, Sinclair C. Fossils of hydrothermal vent worms from Cretaceous sulfide ores of the Samail Ophiolite, Oman. Nature, 1984, 223: 1407~1409
- Little C T S, Herrington R J, Maslennikov V V, et al. Silurian hydrothermal-vent community from the southern Urals, Russia. Nature, 1997, 385:146~148
- 杨瑞东,毛家仁,赵元龙,等. 贵州中寒武世凯里组中分枝状宏观藻类化石. 地质学报,2001,75(4):433~340[Yang Ruidong, Mao Jiaren, Zhao Yuanlong, et al. Branching macroalgaefossils of the Early-Middle Cambrian Kaili Formation from Taijiang, Guizhou Province, China. Acta Geologica Sinica,2001,75(4):433~340]
- Runnegar B. Evolution of the earliest animals. In: Schopf J W ed. Major events in the history of life. Cambridge University Press, 1992. 65~93
- Yuan Xunlai, Xiao Shuhai, Parsley Ronald L, et al. Towering sponges in an Early Cambrian Lagerstätte: Disparity between nonbilaterian and bilaterian epifaunal tierers at the Neoproterozoic-Cambrian transition. Geology, 2002, 30: 363~366
- Grassle J F. Hydrothermal vent animal: distribution and biology. Science, 1985, 229:713~717
- McIlroy D, Green O R, Brasier M D. Palaeobiology and evolution of the earliest agglutinated Foraminifera: Platysolenites, Spirosolenites and related forms. Lethaia, 2001, 34:13~29
- 孙省利,曾允孚. 西成矿化集中区热水沉积岩物质来源的同位素示踪及其意义. 沉积学报,2002,20(1):41~46[Sun Shengli, Zeng Yunfeng. Isotopic traces of material origin for hydrothermal sedimentary rocks and significance in Xicheng mineralization area. Acta Sedimentologica Sinica,2002,20(1):41~46]
- 任明达,王乃梁. 现代沉积环境概论. 北京:科学出版社,1985. 1~231[Ren Mingda, Wang Nailiang. A conception of modern sedimentary environment. Beijing: Science Press,1985. 1~23]

- 23 Melezhik V A, G6rokhov I M, Kuznetsov A B, Fallick A E. Chemostratigraphy of the Neoproterozoic carbonates: implications for 'blind dating'. *Terra Nova*, 2001, 13:1 ~ 11
- 24 Melezhik V A, G6rokhov I M, Fallick A E, Roberts D, *et al.* Isotopic shtrigraphy suggests Neoproterozoic ages and Laurentian ancestry for high-grade marbles from the North-Central Norwegian Caledonides. *Geology Magazine*, 2002, 139(4): 375 ~ 393
- 25 Kouchinsky A, Bengtson S, Missarzhevsky V B, *et al.* Carbon isotope stratigraphy and the problem of a Pre-Tommotian Stage in Siberia. *Geology Magazine*, 2001, 138(4):387 ~ 396
- 26 Walter M R, Veevers J J, Calver C R, G6rjan P and Hill A C. Dating the 840-544 Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon, and sulfur in seawater, and some interpretative models. *Precambrian Research*, 2000, 100: 371 ~ 433
- 27 于炳松, 陈建强, 李兴武, 林畅松. 塔里木盆地寒武统底部黑色页岩地球化学及其岩石圈演化意义. *中国科学(D)*, 2002, 32(5): 374 ~ 382 [Yu Binsong, Chen Jianqiang, Li Xingwu, Lin Changsong. Geochemical character of the Lower Cambrian black shale in Tarim basin: implications for the evolution of lithosphere, *Science in China(D)*, 2002, 32(5):374 ~ 382]
- 28 Corsetti F A, Hagadorn J W. Precambrian-Cambrian transition: Death Valley, United States. *Geology*, 2000, 28(4): 299 ~ 302
- 29 Shen Y, Schidlowski M. New C isotope stratigraphy from southwest China: Implications for the placement of the Precambrian-Cambrian boundary on the Yangtze Platform and global correlations. *Geology*, 2000, 28(7): 623 ~ 626

Fossil Preservation and Palaeoecological Research in Early Cambrian Black Shale

YANG Rui-dong ZHANG Wei-hua JIANG Li-jun GAO Hui
(Guizhou University of Technology, Guiyang 550003)

Abstract Few fossils were found previously in early Early Cambrian black shale, such as sponges. With the deepening of the research, many phyla have been discovered recently. A lot of carbon fossils were found in early Early Cambrian black shale of Guizhou Province, south China, and they are simple trace fossils, carbon Phyllocarida, complete sponges, Platysolenites, Bivalvia, carbon Hyolitha, "Worm", bryozoa-like animal fossil and membrane discus fossils.

Mineral composition of the black shale in the base Cambrian, Kaiyang County, Guizhou, China was analyzed by XRD analyses, according to the change of mineral composition of black shale and geochemical character in Kaiyang section, authors suggest that a prosperous period of large animal between small shell animal and the Chengjiang fauna was present, this animal assemblage disappear as crustal expansion, mass submarine hydrothermal event and volcanic eruption, the early Early Cambrian seawater changed from the weak alkalinity to weak acidity, animal did not live at the weak acidity, so large animals between small shell animal and the Chengjiang fauna disappeared. With the recovering of weak alkalinity of the seawater, a prosperous period of animal, the Chengjiang fauna was present.

Key words fossil, black shale, early Early Cambrian, Guizhou Province, South China

图版 I 说明 1. 简单遗迹化石, 标本号 Qz-16, ×1; 化石产于清镇桃子冲牛蹄塘组底部; 2. 藻类化石 *Zuniphyton perelegans* Yang et Zhao, 标本号 Zy-28, ×2; 化石产于遵义中南牛蹄塘组底部; 3. 水母状化石, 标本未见消化道、触手环和放射状脉管等, 标本号 Zy-18-22, ×2, 化石产于遵义中南牛蹄塘组底部; 4. 遵义盘虫 *Tsuyidiscus* sp., 标本号 Zy-18-12, ×3, 化石产于遵义中南牛蹄塘组底部; 5, 6. 类似杆臂虫的动物化石, 标本号 Zy-16, ×4; 6. 标本号 Zy-2, ×6, 可见横纹构造, 化石产于遵义中南牛蹄塘组底部; 7. 海绵动物化石 *Choiella radiata*, 标本号 G_{ym}-32, ×6, 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 8. 海绵动物化石 *Allantospongia mica*, 标本号 G_{ym}-4-8, ×6, 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 9, 22. 群居软舌螺化石; 9. 标本号 G_{ym}-56, ×6; 23. 标本号 G_{ym}-43, ×6, 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 10. 高肌虫 *Perspicares* sp., 标本号 G_{ym}-52, ×4, 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 11. 高肌虫 *Perspicares* sp., 标本号 YT-4, ×8, 化石产于麻江羊跳牛蹄塘组底部; 12, 13. 双壳动物化石, 12. 标本号 G_{ym}-40, ×6; 13. 标本号 G_{ym}-49, ×6; 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 14. 蠕虫动物化石, 但缺少环节构造, 标本号 G_{ym}-33, ×3, 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 15. 类似苔藓动物化石, 标本号 G_{ym}-15, ×2, 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 16, 17. 碳质膜圆盘状化石, 16. 标本号 G_{ym}-5, ×7; 17. 标本号 G_{ym}-13, ×8, 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 18. 双壳动物化石?, 标本号 G_{ym}-39, ×5, 化石产于贵阳马场牛蹄塘组底部; 19. 管状体化石 *Platysolenites* sp., 标本号 YT-1, ×1.5, 化石产于麻江羊跳牛蹄塘组底部; 20. 管状体化石 *Platysolenites* sp., 标本号 YT-2, ×1, 化石产于麻江羊跳牛蹄塘组底部; 21. 海绵动物化石 *Saetaspongia densa*, 标本号 YT-3, ×3, 化石产于麻江羊跳牛蹄塘组底部。

