

文章编号: 1000-0550(2002)01-0129-06

贵州台江中寒武世凯里生物群古生态研究^①

杨瑞东^{1,2} 赵元龙² 毛家仁² 聂爱国² 陈笑媛²

1(中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室 贵阳 550002)

2(贵州工业大学资源与环境学院 贵阳 550003)

摘要 凯里生物群是世界三大布尔吉斯页岩型生物群之一。本文通过古生物个体埋藏保存情况、古生物个体生态学、沉积学和地球化学等的研究和分析,认为凯里生物群中大部分分子是从异地搬运到陆棚环境埋藏的。同时,提出了凯里生物群的埋藏机理模式和生态复原图。

关键词 古生态 凯里生物群 中寒武世 贵州

第一作者简介 杨瑞东 1963年生 教授、博士后 地层古生物与沉积地球化学

中图分类号 Q911.3 **文献标识码** A

1 前人研究概况

凯里生物群是世界三大布尔吉斯页岩型生物群之一,目前已经发现了120多个属的动、植物化石^[1]。凯里生物群产于贵州台江县革东镇八郎村后山早、中寒武世凯里组上部。中寒武世早期,该区地处长扬子地台与华南次深海之间的过渡带,根据岩性古地理资料^[2-3],凯里生物群产出地位于陆棚相区。杨式溥^[4]从遗迹化石组合分析认为凯里组形成环境水体深度在150 m~200 m。张正华等^[5]则根据沉积特征和生物组合特征分析认为,凯里组形成水体深度为90 m~200 m,属温暖、透光、沉积速率较高的陆棚环境,海底表面处于氧化还原界面附近,适应于生物繁衍,并认为生物原生活于陆棚泥表面或水中,属原地埋藏,与布尔吉斯页岩生物群和澄江动物群的保存环境明显不同。朱立军等^[6]对台江八郎剖面的地球化学研究表明, Sr/Ba 、 V/Ni 、 δCe 值都表示具有较深的陆棚环境。而在9~10层 δCe 变化大,反映出环境的剧烈变化。

随着凯里生物群中大量宏观藻类和沉积韵律层的发现^[7-10],上述认为水体深度在90~200 m的观点难以解释这些大量宏观藻类出现的现象。同时,在凯里生物群保存的地层段中发现了一系列的沉积韵律,凯里生物群的保存与这些韵律层有着密切关系。即有韵律层出现的地层段,一些重要的化石门类如水母状化石、棘皮类、蠕虫、藻类等就大量保存,说明它们与阵发性沉积事件有密切关系。从生物化石组合及大量藻类的出现以及沉积特征等分析,凯里生物群中的生物并非都是原地埋藏,其很大一部分与布尔吉斯页岩生物

群一样是属于异地埋藏的。最近,朱茂炎等^[11]也认为凯里生物群是特异埋藏形成的。

2 凯里生物群化石埋藏序列与埋藏机理

通过对凯里生物群的埋藏学系统研究,从中发现了化石埋藏序列(图1)。化石埋藏序列在贵州台江八郎剖面8~11(台江动物群产出层位)、20~24层(凯里生物群产出层位)中韵律性出现(图1)。每个韵律厚约4~10 cm,根据岩性、沉积构造和化石可将其分为A、B、C、D四层,各层岩性、化石特征、厚度等如下:

化石序列A层($F_s \cdot A$):灰色、绿灰色粉砂质泥岩,泥质粉砂岩,无或很少具有层理构造,仅含大型三叶虫 *Kaotia* 头鞍及少量的 *Pagitia* 头、尾化石,其中产大量的潜穴 *Treptichnus bifurcus* 为化石序列A层的特征,厚1~3 cm。

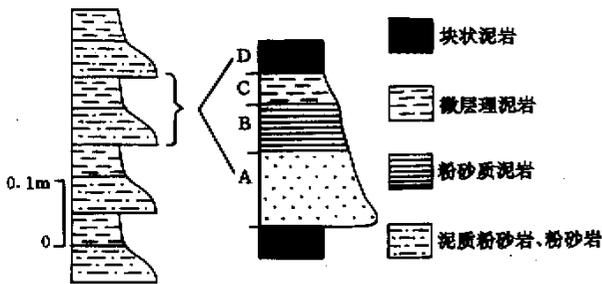
化石序列B层($F_s \cdot B$):具水平层理的粉砂质泥岩、钙质泥岩,大量的 *Pagitia* 沿层面密集分布,化石头、尾分离,常具有弱的定向性排列, *Pagitia* 化石丰度可达2~3个/ cm^2 ,最多可达5个/ cm^2 ,有少量的 *Marpolia*、*Bosworthia* 藻化石,厚1~3 cm。

化石序列C层($F_s \cdot C$):灰绿、黄绿色泥岩,具少量水平纹理,含有非常丰富的、个体完整的化石。从微地层角度分析,凯里化石库(生物群)就产于该序列层。凯里生物群中11个门类化石,特别是那些具有软躯体的如蠕形动物 *Scolecillus*、*Selkirkia*,水母状化石 *Rotadiscus guizhouensis* 及分类位置不明的 *Wirwaxia* 刺胞动物 *Scenella*,多孔动物 *Hazelia*(?)、*Vauxia*、*Pro*

① 国家自然科学基金(批准号:40062001)和贵州工业大学博士启动基金项目资助

tospogia、*Chancelloria* 等,和大量的结构脆弱、难以保存为完好化石的软舌螺 *Haplophrentis*、棘皮动物 *Sinoeocrinus*、*Paragogia*、*Curtoeocrinus*,藻类化石 *Bosworthia*、*Marpolia*、*Eolaminaria*, *Fractibeltia*, *Palaeodictyota*, *Wavilaminaria* 等都在剖面中产出。另外还产有丰富的三叶虫 *Kaotia*、*Xingrenaspis*、*Oryctocephalus*、*Olenoides*、*Peronopsis*、*Pagetia* 和非三叶虫节肢动物 *Canadaspis*、*Paratuzoia*、*Chuandinella* 和丰富的遗迹化石 *Phycodes*,厚 1~3 cm。

化石序列 D 层 (Fs·D):黄绿色块状泥岩,化石保存好,但化石从数量、门类上明显减少,缺少如刺胞动物、棘皮、软舌螺、*Wirwaxia*、蠕形动物、水母状化石、多孔动物等化石,仅只有三叶虫 *Pagetia*、*Kaotia*、*Xingrenaspis*、*Oryctocephalus* 和腕足 *Glyptacrotthele*、*Linnarssonina* 等化石,化石壳体小而薄,多为浮游生物。该化石序列层以大多数三叶虫 *Pagetia* 头尾不分离和腕足 *Glyptacrotthele* 双壳相连为特征;另有丰富的层面迹 *Tasmanadia*、*Bostricophyton*、*Petalichnus*、*Monomorphichnus*、*Eophyton*、*Oldhamia*、*Phycodes*、*Tibikoia*、*Palaeophycus*,厚 1~3 cm。



A B C D 分别代表化石序列 A 层 B 层 C 层和 D 层

图 1 凯里组中沉积韵律层与化石埋藏序列

Fig. 1 The map showing sedimentary sequences and taphonomic sequence layers in Kaili Fm

从化石埋藏序列分析,阵发性水流事件是生物群保存下来的重要条件。由于阵发性水流改变了水体的物化条件,如水体变浑浊,使生活在水体中的生物大量死亡^[8,10],并在水动力强度、沉积速率合适的时候(C 层沉积时),生物尸体得以保存。阵发性风暴或浊流作用往往形成浑水层,浑水层中大量细粒物质对生物尸体有保存作用,以致生物尸体从浅水区搬运到深水陆棚时免遭破坏,这种浑水层与现代黄海中浑水层类似^[12]。在事件早期(A 层沉积时),沉积速率很高,但水动力很强,生物尸体几乎都被破坏,且像藻类及具有软躯体的“轻”生物被阵发水流从海底带到水体中,或生活在水体中的生物才开始“中毒”死亡,因此,在 A

层中仅只有大型三叶虫碎片及斜交和垂直层面的生物潜穴。B 层沉积时,沉积速率高,水动力强,沉积以侧向加积为主,这时只有 *Pagetia* 等带硬壳的生物保存为化石,但化石常被分选改造,化石的头、尾分离,呈定向排列。C 层沉积时,沉积速率仍较高,但水动力弱,这时“浮”在水体中死亡的“轻”生物大量沉降下来,由于水动力弱,沉积速率高,因此,大量的具有软躯体和“轻”生物被保存下来。事件结束后,海底处于正常沉积(D 层沉积时),这时水动力很弱,沉积速率也很低,生物只有正常死亡,生物尸体少,生物死亡后没有得到快速埋藏而被氧化分解,因此,仅保存少量具壳体的化石。它们以壳体小,壳壁薄的三叶虫和腕足为主,化石保存完好,有些腕足化石还双壳相连^[13]。这个过程可由图 2a-e 表示,其埋藏机理与贵州三叠纪菊石和双壳类化石群埋藏相似^[14]。

3 凯里生物群异地埋藏的证据

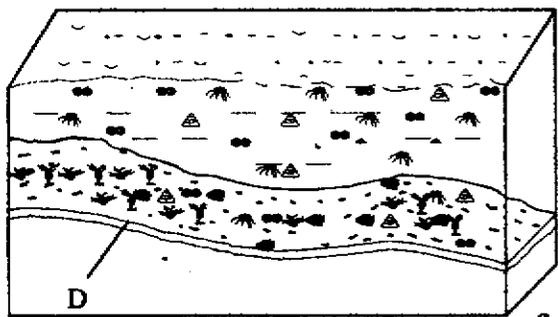
3.1 遗迹化石组合、沉积特征代表深水陆棚环境

遗迹化石属种在台江八郎剖面上的分布也表现出一定的规律,8~10 层遗迹化石丰富,这一层位就是产台江动物群的层位;5~7 和 13~18 层遗迹化石较少,以层面爬迹表层觅食迹为主,含化石也少,仅有一些三叶虫和腕足化石;19~25 层遗迹化石丰富,特别是 20~23 层含有大量的 *Phycodes* 及 *Treptichnus* 等层内觅食迹和潜穴,就是这个层位产大量的水母状化石、棘皮动物、蠕虫和海绵动物化石及大量三叶虫、腕足、软舌螺和藻类化石(凯里生物群);24~25 层以丰富的层面爬行迹为主,26~28 层遗迹化石少,仅有 *Gordia*、*Oldhamia* 等表生迹,其他化石仅有三叶虫。

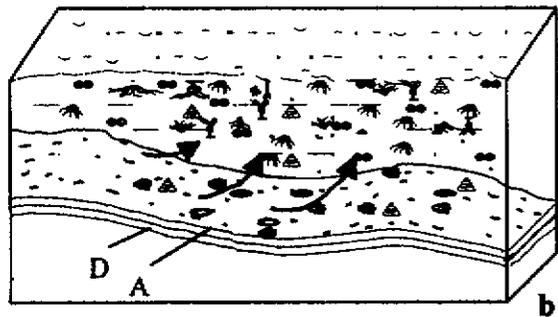
通过野外各层遗迹化石含量的统计,以遗迹化石出现频率作为纵坐标,地层分层作为横坐标,绘制了表生迹和内生迹分布曲线(图 3)。

遗迹化石丰度、遗迹化石层面迹与层内迹数量多少与其他化石保存完好性、丰度、丰异度都有一定的关系。即遗迹化石丰富的层位,其他化石也很丰富,如 8~10 层、20~24 层中遗迹化石非常丰富,其中就产台江化石库和凯里化石库。特别是层面遗迹与层内遗迹交替出现的层位,是大量其他化石保存的层位。而仅只有层面遗迹的层位,则代表沉积速率缓慢,生物扰动强烈,具有软体的生物体很难保存为化石,而层内遗迹发育的层位,代表沉积速率高,具有软体的生物体容易保存为化石。

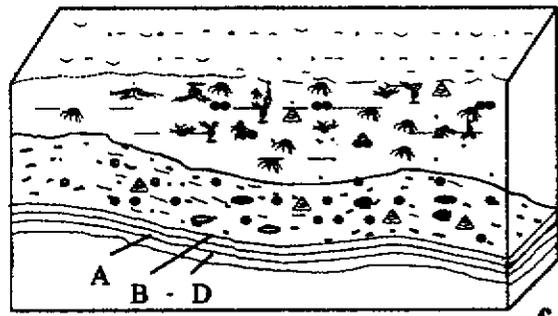
遗迹化石与化石埋藏序列 ABCD 层关系是以 *Treptichnus* 为代表斜交或垂直层面遗迹,分布在化石埋藏序列 A 层,以 *Phycodes* 为代表的微斜交层面遗



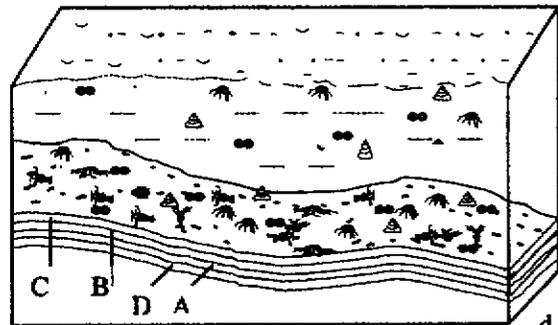
a- 正常的浅海陆棚沉积,形成化石埋藏序列 D 层,生物属于下正常死亡,保存的生物化石少,以薄壳腕足和 *Pagitia* 为主,化石保存完好,大多数 *Pagitia* 头尾相连。



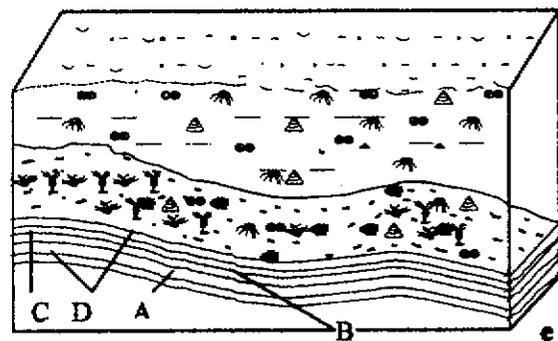
b- 阵发性水流(浊流或风暴流)作用,破坏了浅海陆棚环境中生活的生物群落,由于水动力作用,藻类和软躯体生物被水流卷到水体中。事件引起水体浑浊,生在水体中的生物中毒死亡。这时沉积物颗粒较粗,为粉砂岩或泥质粉砂岩,化石少,仅以大型三叶虫颊刺或头、尾,有逃逸遗迹化石,形成化石埋藏序列 A 层。



c- 阵发性水流(浊流或风暴流)作用晚期,水动力变弱,但侧向水流作用还强,大量较粗的沉积物沉积,形成泥质粉砂岩,含有丰富的头尾分离的三叶虫化石,其他化石少,水平层理发育。其构成了化石埋藏序列 B 层。



d- 阵发性水流(浊流或风暴)作用末期,水动力变得很弱,垂向加积作用为主,这时漂浮在水体中的细粒物质和轻化石(包括藻类和具有软躯体生物,如水母状生物)大量沉淀,形成化石埋藏序列 C 层。由于大量漂浮在水体中的被毒死或破坏的生物沉积下来,因此在 C 层含有丰富的生物化石,如水母状化石、节肢动物、棘皮动物、腕足、大型双壳动物、藻类、蠕虫等,凯里生物群主要就保存在这一层内。



e- 正常的浅海陆棚沉积,形成化石埋藏序列 D 层。生物属于正常死亡,保存的生物化石少,以腕足和 *Pagitia* 为主,化石保存完好,大多数 *Pagitia* 头尾相连。

A—化石埋藏序列 A 层 B—化石埋藏序列 B 层 C—化石埋藏序列 C 层 D—化石埋藏序列 D 层。

图 2 贵州中寒武世凯里生物群埋藏机理示意图

Fig.2 The map showing burial mechanism of the Kaili biota from Middle Cambrian in Guizhou

迹,分布在化石埋藏序列 B、C 层;以 *Tasmanadia* 为代表层面爬行遗迹,分布在化石埋藏序列 D 层。而只

有 D 层中的遗迹化石组合才代表当时的水体深度,这与北海的第三纪海底扇中有 *Skolithos* 遗迹相、*Zoophycos* 遗迹相和 *Nereites* 遗迹相分子混合相似,只有 *Zoophycos* 遗迹相和 *Nereites* 遗迹相分子才真正反映古海洋水体深度^[15]。

生物群大量产在具韵律层的层位,而韵律层是风

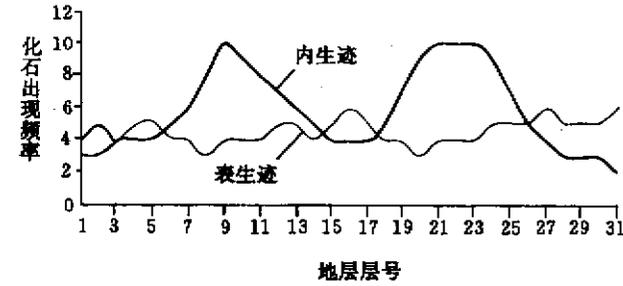


图3 贵州台江八郎剖面凯里组中遗迹化石层面迹与层内迹出现频率图

Fig.3 The map showing occurrence frequency of epichia-hypichnia and exichnia-endichnia in Kaili Fm. of Balang section of Taijiang county, Guizhou province

暴沉积形成,缺少风暴韵律层的正常陆棚沉积层位,岩性为块状泥岩、钙质泥岩,具有水平层理,含化石少而单调,仅以营浮游生活的三叶虫、腕足等化石,缺少水母状化石、棘皮动物、蠕虫动物、海绵动物和大量宏观藻类化石。因此推测凯里生物群中大部分分子是风暴作用破坏了生活在浅水区的生物群落,然后这些浅水生物随风暴流沉积在陆棚区。

正常陆棚沉积的层位或风暴沉积序列 E 段中化石少,仅有薄壳腕足和 *Pagitia* 等小型营浮游生物化石,化石保存完好,双壳相连,说明在正常陆棚环境生物分异度、丰度不高。另外,根据三叶虫、腕足、软舌螺等化石的定向性测量,测得当时古流方向为 35° 左右,

这与当时斜坡上的风暴成因浊流方向相同^[2],说明物源来自上扬子台地区。

3.2 生物组合特征

凯里生物群埋藏环境从遗迹化石组合及沉积特征分析认为是陆棚环境,水体深度为 $150 \sim 200 \text{ m}$ ^[4-5]。然而,最近在化石库中确发现了大量的红藻、褐藻和绿藻化石,如 *Marpolia*, *Bosworthia*, *Eolaminaria*, *Palaeodictyota*, *Paraamphyroa*, *Umbellulaga*, *Eoulothrix*, *Fractibeltia* 等^[8-10],根据现代藻类生活习性,红藻(珊瑚藻)、褐藻类和绿藻主要生活在 $20 \sim 50 \text{ m}$ (一般生活在 $10 \sim 20 \text{ m}$)^[16-17],因此,不能解释水深在 $100 \sim 200 \text{ m}$ 处有如此高分异度、丰富的藻类植物群。从化石组合、个体生态和沉积特征分析,凯里生物群与加拿大 *Burgess* 页岩生物群一样属异地埋藏生物群。

对凯里组中的疑源类化石研究表明,在台江动物群和凯里生物群产出层位分析出大量的疑源类化石光面球形类 *Lieosphearids*^[18]。光面球形类 *Lieosphearids* 一般认为是浅水近岸环境生活的微体生物类群^[19]。由此可以推测生物群是由浅水区搬运至较深水的陆棚区。

现代海草生物群生活在 $50 \sim 60 \text{ m}$ 深处,而且在潮下带长得最旺盛^[20]。热带比温带的藻类多,并喜欢在松软的基质上生长。现代海草生物群落通常只有一种或只有少数几个优势种,看上去它们的结构相当简单和类同。而实际上在这类海草床上生长着一些复杂的生物群落。这种海草床如现代地中海的 *Posidonia* 海草床和斯堪的那维亚海韭菜 *Zostera* 草床^[20]。作者认为凯里生物群的生态特征与现代的海草生物群落相似。凯里生物群中藻类以 *Thamnophyton*, *Marpolia* 为主^[8-10],它们的形态及组成与现代典型的河口藻类

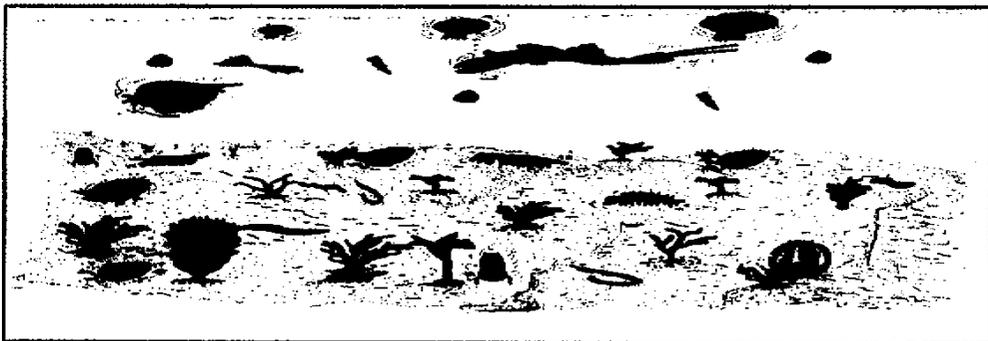


图4 凯里生物群生态复原图

Fig.4 The ecological reconstruction of the Kaili fauna

硬毛藻 *Chaetomorpha* ,刚毛藻 *Cladophora* ,肠浒苔 *Enteromorpha* 很相似,更有意义的是 *Thamnophyton* , *Marpolia* 藻丝体具有较厚的胶质层,因此推测凯里生物群中藻类和动物大部分是生活在水体比较浅的浅海环境,生物群生态特征可用复原图表示(图 4)。

综上所述,凯里生物群生活环境应是水体浅于 90 m 的浅海环境,而其埋藏环境则为水深在 150~200 m 的陆棚环境,类似于加拿大 *Burgess* 页岩生物群属于异地埋藏生物群。

3.3 沉积地球化学

利用沉积地球化学恢复沉积环境的方法已被当地质学家广泛采用。由于地球化学数据能间接反映沉积环境的特征,对恢复古海洋和古生物当时生活环境具有一定的意义。通过对贵州台江八郎剖面和丹寨平寨剖面的凯里组微量元素和稀土元素进行分析,探讨属于同一时代的凯里组,为什么有不同的生物组合。特别是台江八郎剖面产丰富的生物化石,包括大量的藻类化石,而丹寨平寨剖面却只有较少的生物化石,它们在沉积环境方面有何不同,是什么因素引起的。

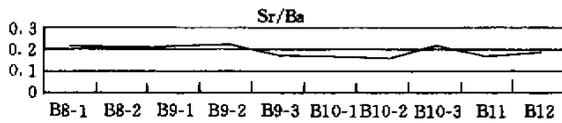


图 5 贵州台江八郎剖面凯里组 8~12 层 Sr/Ba 比值曲线
Fig. 5 Sr/Ba rate pattern from 8~12 layers of Kaili Fm. in Balang section, Taijiang county, Guizhou province

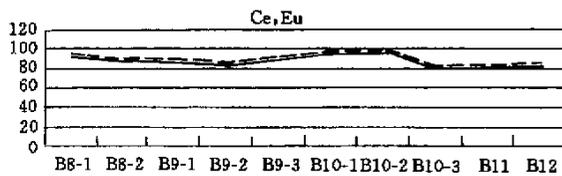


图 6 贵州台江八郎剖面凯里组 8~12 层 Ce、Eu 曲线
Fig. 6 Ce、Eu pattern from 8~12 layers of Kaili Fm. in Balang section, Taijiang county, Guizhou province

八郎剖面凯里组 Sr/Ba 比值曲线(图 5)表明,在化石大量产出层位, Sr/Ba 比值较高,说明有更多的陆源物质注入。稀有元素中的 Eu、Ce 常作为判断沉积环境的氧化还原性。八郎剖面 8~9 层 Ce 值在 84.912~97.805 范围, Eu 值在 1.0~1.2 之间,以 1.0~1.1 为主,而 10~12 层 Ce 值在 80.137~82.176 范围, Eu 值分布在 1.221~1.317 范围。八郎剖面 8~9 层 δCe 、 δEu 表现为弱亏损或正常(图 6),说明 8~9 层沉积时为氧化环境。10~12 层 δCe 、 δEu 表现为较强亏损,由此推测其沉积时为还原环境^[21]。V、Ni 曲线

上也反映出 10~3 层开始 V、Ni 有明显较少(图 7)指示陆源物质减少,钙质增多。

丹寨平寨剖面凯里组 Sr/Ba 比值曲线(图 8)反映 1~5 层比起 7~23 层有更多的陆源物质影响,这与 1~5 层中粉砂质含量高,而 7~23 层中钙质组分多有关。1~5 层 Ce 值在 87.815~95.271 范围, Eu 值为 1.094~1.271 之间,以 1.2 为主。7~23 层 Ce 值在

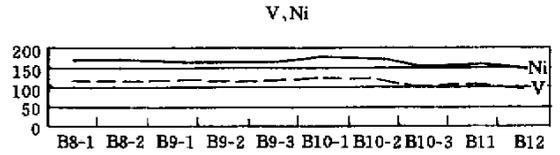


图 7 贵州台江八郎剖面 8~12 层 V、Ni 曲线
Fig. 7 V、Ni pattern from 8~12 layers of Kaili Fm. in Balang section, Taijiang county, Guizhou province

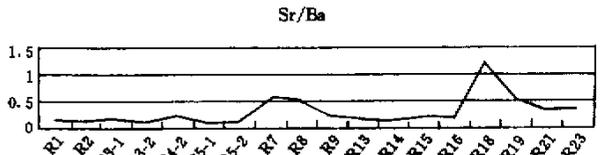


图 8 贵州丹寨平寨剖面凯里组 Sr/Ba 曲线
Fig. 8 Sr/Ba rate pattern from Kaili Fm. in Pingzhai section, Danzhai county, Guizhou province

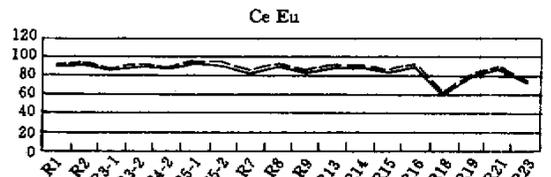


图 9 贵州丹寨平寨剖面凯里组 Ce、Eu 曲线
Fig. 9 Ce、Eu pattern from the layers of Kaili Fm. in Pingzhai section, Danzhai county, Guizhou province

62.991~90.179 范围, Eu 值分布在 1.095~1.808 范围,主要分布在 1.3~1.5 范围。但总体来说 δCe 、 δEu 波动频繁(图 9),它们反映沉积以还原—氧化环境。

综上所述,两条剖面上生物化石丰富的层位为氧化环境。Sr/Ba 比值在 0.2 左右的层位生物化石往往很丰富,小于 0.2 或大于 0.5 的层位生物化石常常少。Ce、Eu 弱亏损或正常所代表的氧化环境,生物化石明显丰富,而 Ce、Eu 强亏损所代表的还原环境,生物化石较少。根据吴明清等对塔里木盆地白垩纪—早第三纪海相的介壳 Ce 异常研究^[22],发现地表径流补给充足,海水的氧化电位相对降低, Ce 亏损或弱亏损,其稀土组成类似于地表径流(河水),并代表古海洋可能处于氧化状态。由此可以推测八郎剖面 8~9 层 Ce 亏损可能是由于地表径流的补给有关,而这种地表径流往

往是高密度流,这与8~9层中发育大量的沉积韵律层相吻合。朱立军等在9~10层也发现 $\delta^{13}\text{C}$ 变化大,认为是环境的剧烈变化的结果^[6]。从地球化学数据反映,只有在近陆源区的浅水陆棚,并有阵发性的陆源物质供给的环境中生物才大量保存。而缺少阵发性的陆源物质供给的水体较深的距陆源供给区远的正常陆棚海,以钙质泥岩沉积为主,生物可能相对不繁盛,并不易于保存,这就是同一时期台江和丹寨两地生物群明显不一的主要原因。台江属于有阵发性的陆源物质供给的浅水陆棚,丹寨属于缺少阵发性的陆源物质供给的水体较深的距陆源供给区远的正常陆棚海。但在丹寨R6-8, R17-19两个层位存在有陆源物质较丰富,并在R6层发现了最古老的苔藓类高等植物的隐孢子化石组合,说明有浅水区的陆源碎屑注入。根据早、中寒武世古地理特征^[2-3],丹寨一带水体相对深,台江附近海水相对浅,台江以北水体逐渐变浅,往南加深,由此推测在台江八郎以北地区应该找到更好于台江八郎剖面的凯里生物群产地,事实上八郎剖面以北500米处已经发现了比八郎剖面更好的凯里生物群产地,我们相信在更北的露头上可发现更好的凯里生物群。地球化学特征分析也支持了前面叙述的凯里生物群中大部分分子属于异地埋藏的观点。

致谢 在完成该项工作期间曾得到南京大学地球科学系张忠英、杨湘宁教授、生物系刘志礼教授,中国科学院地质研究所陈孟裁研究员,南京古生物研究所尹磊明、曹瑞骥、袁训来研究员,石家庄经济学院杜汝林教授,天津地矿所朱士兴、阎玉忠研究员等的指导和帮助,笔者在此表示真诚的感谢。

参 考 文 献

- 1 赵元龙,袁金良,朱茂炎,杨瑞东. 贵州中寒武世早期凯里生物群研究新进展[J]. 古生物学报, 1999, 38(增刊): 1~14
- 2 浦心纯,周浩达,王熙林等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 1993. 40~100
- 3 桑惕,王立亭. 贵州岩相古地理图集[M]. 贵阳:贵州科技出版社,

1992. 1~77
- 4 杨式溥. 贵州台江早、中寒武世凯里组的遗迹化石[J]. 古生物学报, 1994, 33(3): 350~358
- 5 张正华,沈建伟,赵元龙等. 贵州台江中寒武世凯里动物群保存环境初探[J]. 古生物学报, 1996, 35(5): 607~622
- 6 朱立军,赵元龙. 贵州台江中、下寒武统界线剖面微量元素地球化学特征[J]. 古生物学报, 1996, 35(5): 623~630
- 7 杨瑞东,赵元龙. 贵州早、中寒武世凯里组中带状宏观藻类[J]. 地质论评, 1999a, 45(3): 282~290
- 8 杨瑞东,赵元龙. 我国早期后生生物群的埋藏学、沉积古地理探讨[J]. 沉积学报, 1999b, 17(1): 161~165
- 9 杨瑞东,毛家仁,赵元龙等. 贵州台江早-中寒武世凯里组中分枝状宏观藻类化石[J]. 地质学报, 2001(1)(印刷中)
- 10 杨瑞东,赵元龙. 贵州台江凯里生物群中化石埋藏序列分析[J]. 古生物学报, 1999c, 38(增刊): 95~101
- 11 朱茂炎, Erdtmann B D, 赵元龙. 贵州中寒武世凯里化石库的埋藏学和生态学初步研究[J]. 古生物学报, 1999, 38(增刊): 28~57
- 12 李凡,徐善民,姜秀珩等. 南黄海海水中悬浮体跃层及底部浑水层[J]. 海洋科学, 1991(5): 42~45
- 13 黄友庄,王化羽,赵元龙. 贵州台江早、中寒武世凯里组的腕足动物[J]. 古生物学报, 33(3): 335~344
- 14 杨瑞东. 黔中、黔南三叠纪古生态、古群落研究[J]. 岩相古地理, 1996, 16(6): 42~47
- 15 Crimes T P, Legg I, Marcos A. Late Precambrian - Lower Cambrian trace fossils from Spair[J]. Trace fossils, 1977, 2: 91~38
- 16 福迪 B 著,罗迪安译. 藻类学[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1980. 1~449
- 17 Yang Ruidong, Zhao Yuanlong. Discovery of Bryophyte fossil from the Middle Cambrian of Taijiang country, Guizhou province, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(6): 544~547
- 18 尹磊明,杨瑞东. 贵州台江中寒武世凯里组疑源类[J]. 古生物学报, 1999, 38(增刊): 66~78
- 19 尹磊明. 吉林浑江、湖北宜昌早奥陶世疑源类[M]. 北京:地质出版社, 1995. 1~92
- 20 尼贝肯 J W 著,林光恒,李和平译. 海洋生物学—生态学探讨[M]. 北京:海洋出版社, 1991. 1~311
- 21 刘岫峰. 沉积岩实验室研究方法[M]. 北京:地质出版社, 1991. 206~22
- 22 吴明清,欧阳自远. 铈异常—一个寻迹古海洋氧化还原条件变化的化学示踪剂[J]. 科学通报, 1992, 37(3): 242~244

Paleoecology of the Kaili Biota from Middle Cambrian in Taijiang County, Guizhou Province, China

YANG Rui-dong^{1, 2} ZHAO Yuan-long² MAO Jia-ren²
NIE Ai-guo² CHEN Xiao-yuan²

1 (The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences Guiyang 550002)

2 (Guizhou University of Technology Guiyang 550003)

Abstract The Kaili Biota is the third most diverse Burgess Shale-type biota after the Burgess Shale and Chengjiang biota. In the paper, on the basis of the study on the burial characteristics of fossils, the ecological bed in continental shelf. At the same time, the burying mechanism of the Kaili biota is put forward in this paper.

On the basis of the analyses of sedimentary sequences and taphonomic sequences of fossil in Kaili Fm. bearing Kaili Biota, and combining research of geochemistry and paleo-ecology and taphonomy, the Kaili Biota is considered that most organisms are characterized by ecological behavior of shallow water, these animals and algae living in shallow water were destroyed by event of tempestite or turbidity flow, and carried into deeper shelf, and buried at shelf.

Some researches suggested that the Kaili Biota live at 150~200 meters water in depth; they reached this conclusion from lithology and lithofacies, and trace fossil assemblage in Kaili Formation. We disagree with above-mentioned view about the Kaili Biota lived below 150~200 meter deep, but agree that the Kaili Biota was buried at shelf below 150~200 meter water in depth. Therefore, we consider that most animals and algae in the Kaili biota lived at shallow water, and they were carried into shelf by tempestite or turbidity flow and were buried in shelf. The conclusion is suggested by the following sedimentary characteristics and fossil assemblage in Kaili Fm.

1, A lot of algal fossils (about 20 genus), containing red algae, blue algae, and brown algae, occur in the Kaili Biota. According to ecological distribution of modern algae, so high diverse algae only live at shallow sea (less than 90 meter in depth).

2, Until now, the Kaili Biota contains more than 100 genus animal fossils, so high diverse animals only live at shallow sea (less than 90 meter in depth).

3, Most fossils were persevered at D layer of tempestite or turbidity sequence, this is the fossil buried sequence C, but shelf shale (analogous to E layer of tempestite or turbidite sequence) only contains few fossils. On the basis of fossil distribution in the tempestite or turbidity sequence, we believe that most organisms were carried into shelf from shallow water region by tempestite or turbidity flow.

Key words paleoecology, Kaili Biota, Middle Cambrian, Guizhou province