

贵州省兴义地区中三叠世兴义动物群 化石储集层古环境初步分析

邹晓东 郭文 江大勇[†] 孙作玉

造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京大学地质博物馆, 北京 100871;

[†] 通信作者, E-mail: djiang@pku.edu.cn

摘要 通过野外剖面观察、测量、取样和室内工作, 对贵州省兴义市乌沙镇泥麦古村爆竹厂剖面中三叠统法郎组竹杆坡段兴义动物群化石储集层碳酸盐岩的沉积微相、碳氧同位素进行初步分析, 探讨其沉积环境及其变化。识别出5种微相类型: 均质泥质微晶灰岩、含少量生物碎屑的泥质微晶灰岩、含丰富破碎生物碎屑的泥质微晶灰岩、含丰富完整生物碎屑的泥质微晶灰岩以及水平纹层状泥晶灰岩。结合前人的工作, 推断该地区在拉丁期经历局限海、开阔海、台内盆地3种环境, 整体为一个海进过程。 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 普遍偏低, $\delta^{13}\text{C}$ 在化石层出现明显负漂移。综合微相、沉积相及碳氧同位素特征, 推断兴义动物群生活在局限海且海水温度相对偏高的环境中。

关键词 法郎组竹杆坡段; 微相; 氧碳同位素; 沉积环境; 中三叠世; 兴义; 贵州省
中图分类号 P52

Preliminary Analysis of Environment of Fossils Reservoir of Xingyi Fauna in Guizhou Province

ZOU Xiaodong, GUO Wen, JIANG Dayong[†], SUN Zuoyu

Laboratory of Orogenic Belt and Crustal Evolution (MOE); School of Earth and Space Sciences, Geological Museum, Peking University, Beijing 100871; [†] Corresponding author, E-mail: djiang@pku.edu.cn

Abstract Based on the field investigation on the Zhuganpo Member of Falang Formation at Wusha of Xingyi, Guizhou Province, lithofacies analysis in the laboratory, and the analysis of values of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ were conducted to reconstruct the paleoenvironmental background of the Xingyi Fauna. Five microfacies for this carbonate bed were recognized: homogeneous argillaceous micrite, muddy microcrystalline limestone containing a small amount of bioclastic, muddy microcrystalline limestone containing a mass of broken bioclastic, muddy microcrystalline limestone containing a mass of intact bioclastic, and horizontal laminated micrite. Combined with previous research, three sedimentary facies: restricted sea, open sea and interplatform basin can be reconstructed, which indicates a transgression in Ladinian age in this region. The values of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ are generally low in the whole of the carbon and oxygen isotope curves, and $\delta^{13}\text{C}$ value appears obvious negative drift in the fossil bed. Combined with the features of the microfacies, sedimentary facies and the carbon and oxygen isotope curves, it can be found that the environment where the Xingyi Fauna lived in was restricted sea and relatively high seawater temperature.

Key words Zhuganpo Member of Falang Formation; microfacies; oxygen and carbon isotope; sedimentary facies; Middle Triassic; Xingyi; Guizhou Province

贵州省兴义地区中三叠统出产大量保存完整的海生爬行动物和鱼类等化石^[1-8],与早三叠世安徽巢湖生物群、中三叠世盘县-罗平动物群、晚三叠世关岭生物群共同组成一个几乎连续的动物群演变序列,是研究二叠纪末期生物大绝灭之后生物圈快速分异辐射过程的重要素材。对兴义动物群中的海生爬行动物已有相当丰富和深入的研究,然而,与此动物群相关的生存环境研究却相对薄弱。前人对兴义顶效地区动物群的生存环境进行过探讨^[9-13]。杨瑞东^[14]认为中三叠世拉丁早期海退形成的三面岛屿环绕的海湾,水动力条件弱,水体浅且清洁,光照条件好,盐度正常,有机质丰富,鱼、虾繁盛,是海生爬行动物生活的最佳生态环境。兴义顶效一带的古地理和海平面变化是控制兴义动物群兴亡最主要因素。随着拉丁中、晚期海侵^[15],上述有利于兴义动物群生存的古生态环境遭受破坏,动物群快速消亡,但兴义顶效地区仍处在较闭塞的局限海环境,水动力较弱,沉积速率较快,使兴义动物群能完整地保存下来^[14]。但是,上述初步的古地理探讨只基于野外观察。鉴于以上问题,我们在兴义乌沙地区选取含兴义动物群层位的连续剖面进行研究,在野外地层观察、测量和采样的基础上,对岩石薄片进行鉴定和微相分析。通过对碳酸盐岩颗粒类型和特征、微相类型及化石组合的分析,结合碳氧同位素特征,探讨含兴义动物群化石层段的地层所反映的沉积环境。

研究剖面位于贵州省黔西南布依族苗族自治州兴义市乌沙镇泥麦古村西北,距云南、贵州两省交界处 4 km,距贵阳市 234°方向约 320 km。乌沙镇境内有 324 国道东西向穿过,向东约 5 km 为 212 省道,向西约 6 km 为南昆铁路。剖面的地理坐标为 25°9'52"N, 104°47'19"E,海拔 1491 m(图 1)。

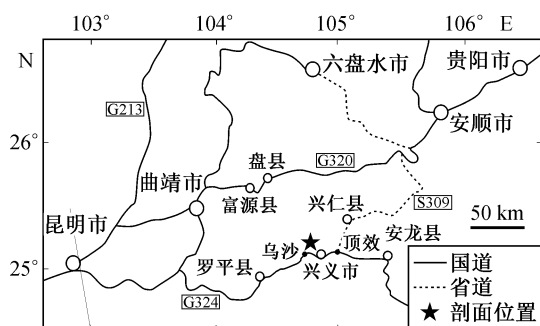


图 1 贵州省黔西南兴义动物群发掘地理位置
Fig. 1 Locality of excavation of Xingyi Fauna in southwestern Guizhou Province

1 兴义乌沙泥麦古村含化石层剖面地层描述

研究剖面主要出露中三叠统拉丁阶法郎组竹杆坡段。竹杆坡段下伏地层为杨柳井组,上覆地层为法郎组瓦窑段。研究剖面地层岩性以泥质灰岩为主,从底部向上生物化石种类和数量呈增多的趋势。化石层下部有多层薄层灰岩;化石层上部多为中厚层灰岩,有机质含量明显增加,并反复出现泥质层^[16]。自上而下按自然层描述如下。

上覆地层:上三叠统卡尼阶法郎组瓦窑段,未见顶,厚 5.6 m

10. 中薄层深灰至灰黑色泥质灰岩与页岩互层

-----整合-----

中三叠统拉丁阶上部至上三叠统卡尼阶底部法郎组竹杆坡段上部

9. 灰色至黑灰色中厚层灰岩,夹燧石团块,单层顶部常发育纹层,厚 16.3 m

8. 灰色中层泥质条带灰岩,夹灰色厚层块状灰岩,中上部发育一层黄白色凝灰岩,厚 19.0 m

7. 灰色中薄层瘤状灰岩,厚 1.3 m

6. 灰色至深灰色中薄层灰岩,夹灰色薄层瘤状灰岩,厚 6.4 m

-----整合-----

中三叠统拉丁阶法郎组竹杆坡段中部(含化石层)(按自然层描述)

5. 灰色中厚层灰岩与灰黑色中薄层泥质灰岩、泥灰岩互层,夹有中薄层瘤状灰岩,厚 13 m

自然层 96: 深灰色中厚层泥质灰岩,风化面灰白色,厚 30 cm

自然层 95: 深灰色灰岩,风化面黄白色,厚 16 cm

自然层 94: 泥岩,厚 2 cm

自然层 93: 薄层灰岩,风化面灰白色,厚 6 cm

自然层 92: 泥岩,厚 3~4 cm

自然层 91: 泥质灰岩,风化面黄白色,厚 2~3 cm

自然层 90: 泥岩,厚 0.5~1 cm

自然层 89: 中厚层灰岩,含泥质条带,风化面灰白色,厚 35~40 cm

自然层 88: 泥岩,厚 1~2 cm

自然层 87: 泥质灰岩,风化面灰白色,厚 15 cm

自然层 86: 泥岩,厚 1 cm

自然层 85: 灰色灰岩,夹泥质条带,风化面黄白色,厚 30 cm

自然层 84: 泥岩,厚 0.5~1 cm

自然层 83: 中厚层深灰色泥质灰岩,厚 10 cm

自然层 82: 泥岩,厚 3~4 cm

自然层 81: 深灰色泥质灰岩,风化面土黄色,厚 17 cm

自然层 80: 泥岩, 厚 0.5 cm
自然层 79: 灰色泥质灰岩, 厚 15 cm
自然层 78: 泥岩, 厚 0.5 cm
自然层 77: 中厚层深灰色泥质灰岩, 风化面黄色, 厚 20 cm
自然层 76: 薄层泥质灰岩, 厚 1 cm
自然层 75: 深灰色中厚层泥质灰岩, 厚 15 cm
自然层 74: 深灰色中厚层泥质灰岩, 厚 15 cm
自然层 73: 深灰色中厚层泥质灰岩, 厚 20 cm
自然层 72: 深灰色中厚层泥质灰岩, 厚 14 cm
自然层 71: 深灰色中厚层泥质灰岩, 厚 12 cm
自然层 70: 深灰色中厚层泥质灰岩, 厚 12 cm
自然层 69: 深灰色中厚层泥质灰岩, 厚 40 cm
自然层 68: 泥岩, 厚 0.4 cm
自然层 67: 深灰色泥质灰岩, 厚 10 cm
自然层 66: 灰色中厚层泥质灰岩, 厚 13 cm
自然层 65: 薄层灰色泥质灰岩, 厚 4 cm
自然层 64: 泥岩, 厚 0.3 cm
自然层 63: 中厚层灰色泥质灰岩, 厚 25 cm
自然层 62: 泥岩, 厚 1 cm
自然层 61: 灰色泥质灰岩, 厚 8 cm
自然层 60: 薄层页状泥质灰岩, 厚 1 cm
自然层 59: 灰色中厚层泥质灰岩, 厚 20 cm
自然层 58: 灰色中厚层泥质灰岩, 厚 12 cm
自然层 57: 中层泥质灰岩, 风化面黄白色, 厚 20 cm
自然层 56: 浅灰色中厚层灰岩, 厚 21.5 cm
自然层 55: 中厚层灰色泥质灰岩, 厚 20.5 cm
自然层 54: 黑色泥质页岩, 风化严重, 厚 2 cm
自然层 53: 深灰黑色泥质灰岩, 含海百合、双壳、菊石, 产贵州鱼龙, 厚 38 cm
自然层 52: 深灰黑色泥质灰岩, 上部层理发育, 单层厚约 4 mm, 含海百合, 厚 9 cm
自然层 51: 灰色薄层泥灰岩, 单层厚约 1 mm, 厚 1 cm
自然层 50: 中厚层灰白色灰岩, 产贵州鱼龙、黔鱼龙及海龙, 厚 30~60 cm
自然层 49: 薄层黑灰色泥质灰岩, 含海百合、菊石、双壳, 产鱼龙, 厚 5 cm
自然层 48: 中厚薄层灰色灰岩, 含双壳、菊石, 产鱼类, 厚 5 cm
自然层 47: 薄层灰色灰岩, 含双壳, 产鱼类, 厚 4 cm
自然层 46: 中厚层灰岩, 含双壳、菊石, 产黔鱼龙, 厚 12 cm
自然层 45b: 45 层上部, 黑灰色块状灰岩, 风化面黄色, 厚 57~60 cm
自然层 45a: 45 层下部, 纹层状灰岩, 含海百合、菊石、双壳丰富, 产海龙, 厚 10 cm
自然层 44: 黑灰色薄层灰岩, 含海百合、菊石、双壳丰富, 产鱼龙、鱼类, 厚 37 cm

自然层 43: 中厚层灰岩, 含菊石、双壳, 产鱼类, 厚 30 cm
自然层 42: 纹层状泥灰岩, 含菊石, 产鱼龙, 厚 7~20 cm
自然层 41: 中厚层灰岩, 产大鱼龙、鱼类, 厚 30 cm
自然层 40: 中厚层灰岩, 含双壳, 少量鱼类, 厚 10 cm
自然层 39: 板状泥灰岩, 含菊石、双壳, 产鱼类, 厚 20 cm
自然层 38: 泥质灰岩, 双壳丰富, 少量鱼类, 厚 30 cm
自然层 37: 黑灰色薄板状泥质灰岩, 含双壳, 产鱼类, 厚 10 cm
自然层 36: 灰色中厚层灰岩, 双壳丰富, 厚 37 cm
自然层 35: 灰黑色薄板状泥质灰岩, 菊石丰富, 产贵州龙、鱼类, 厚 40 cm
自然层 34: 中薄层灰黄色泥灰岩, 产贵州龙、鱼类, 厚 9~10 cm
自然层 33: 土黄色薄层泥灰岩, 单层厚约 1 mm, 产贵州龙、鱼类, 厚 1.5 cm
自然层 32: 灰黑色泥质灰岩, 产贵州龙, 厚 4.5 cm
自然层 31: 土黄色薄板状泥灰岩, 单层厚 1~3 mm, 产贵州龙, 厚 10.5 cm
自然层 30: 灰色泥质灰岩, 产贵州龙、幻龙及鸥龙, 厚 67 cm
自然层 29: 灰黑色泥质微晶灰岩, 产贵州龙、鱼类, 厚 32 cm
自然层 28: 灰黑色泥质灰岩, 表面纹层发育, 产贵州龙, 厚 29 cm
自然层 27: 灰色泥质灰岩, 顶部有纹层, 产贵州龙, 厚 38 cm
自然层 26: 灰色中薄层瘤状灰岩, 产贵州龙, 厚 11 cm
中三叠统拉丁阶法郎组竹杆坡段下部
4. 灰色中层纹层状灰岩, 顶部为中薄层灰岩与泥质灰岩互层, 厚 21.3 m
3. 白灰色至灰色厚层块状白云质灰岩, 厚 19.9 m
2. 黑灰色厚层块状灰岩, 厚 6.1 m
-----整合-----
下伏地层: 中三叠统杨柳井组顶部未见底, 厚 7.3 m
1. 灰白色至灰色厚层块状白云岩, 刀砍纹发育

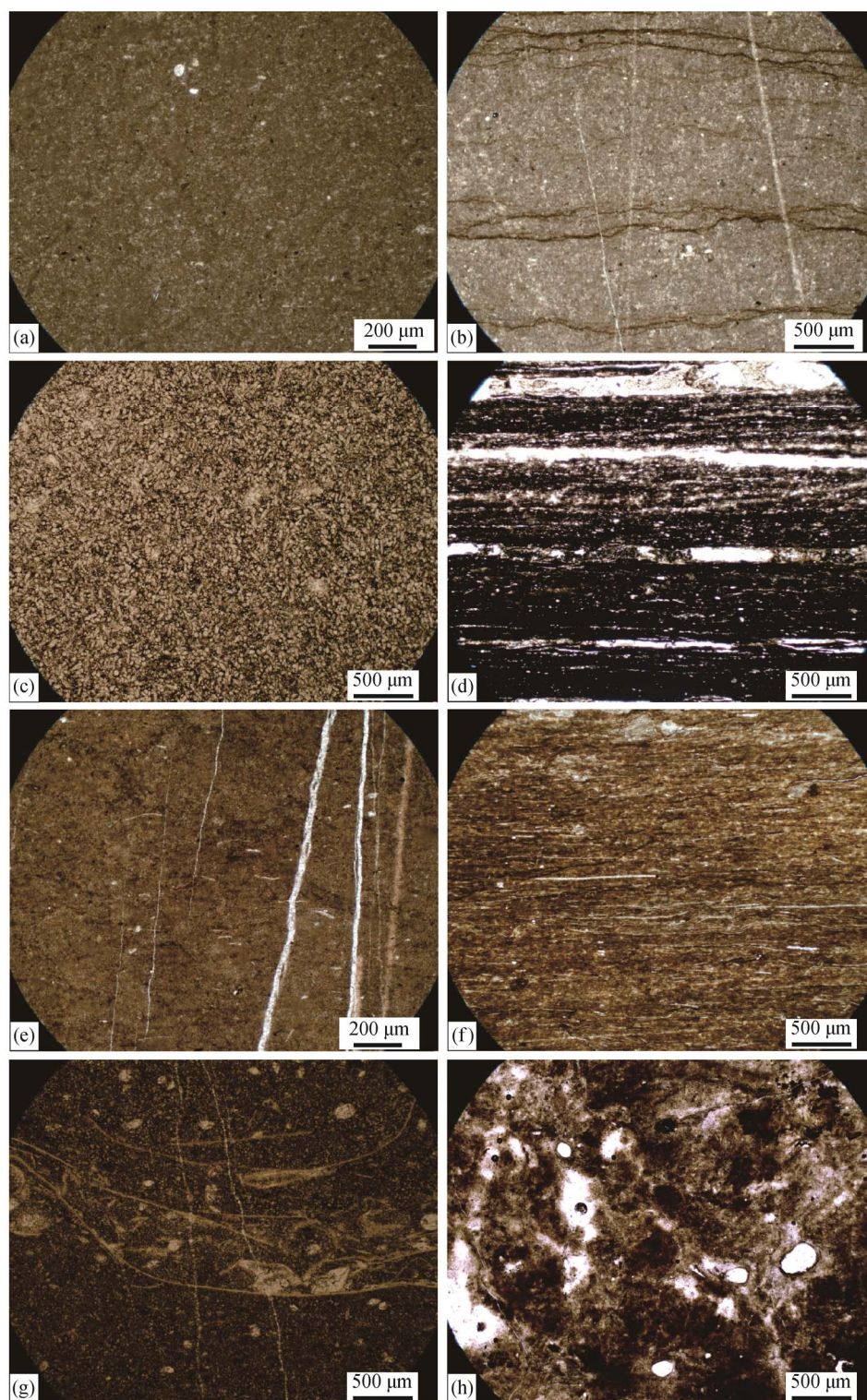
2 主要颗粒类型

研究剖面岩性以泥质微晶灰岩和以及含生物碎屑灰岩为主。灰岩中主要颗粒类型有生物碎屑、钙球和内碎屑等(图 2 和 3)。

2.1 生物碎屑

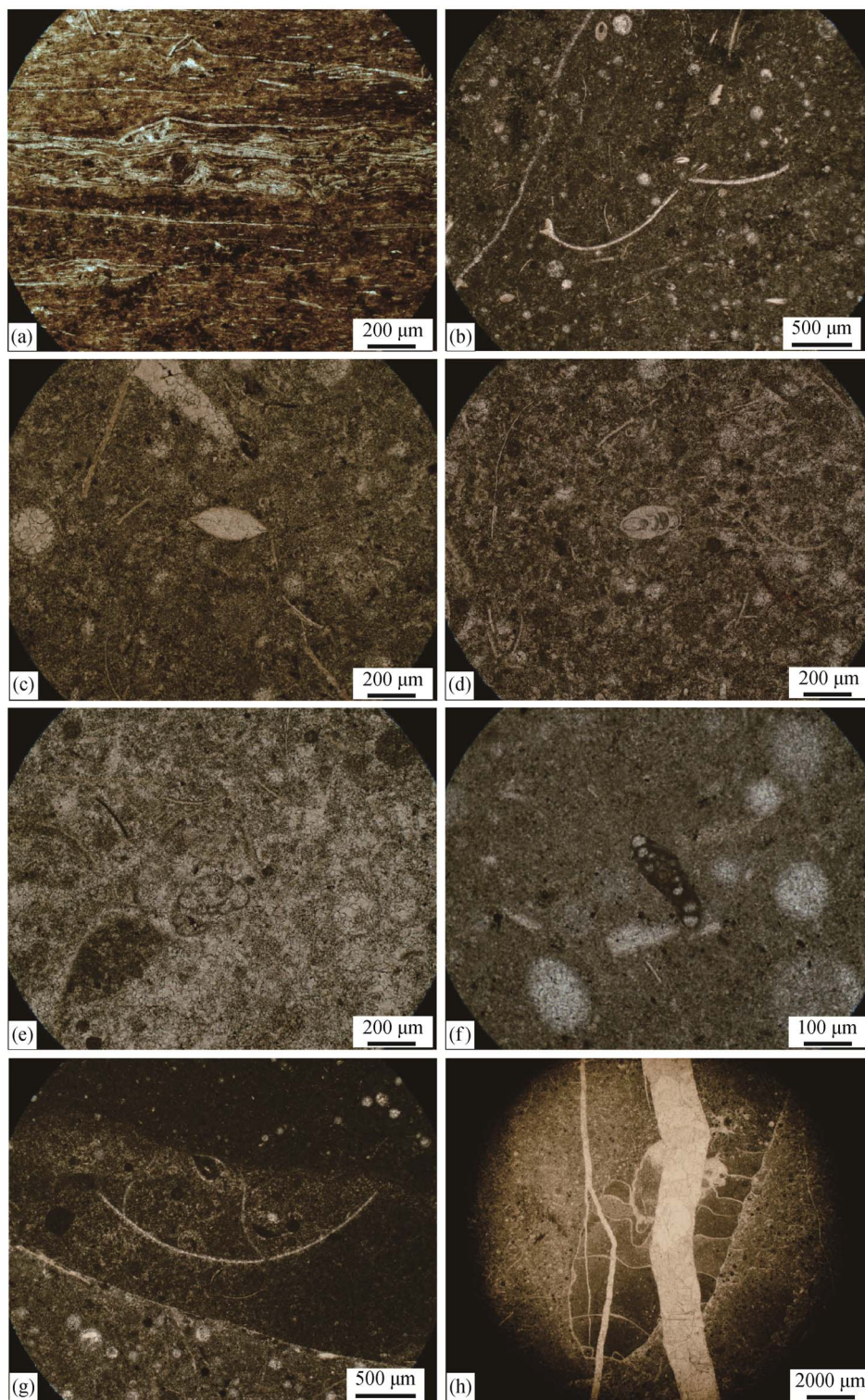
法郎组竹杆坡段, 尤其是其中上部的岩层中生物碎屑分布广泛, 包括双壳类、介形虫、腹足类、有孔虫、棘皮类、腕足类和头足类等。

双壳类 以薄壳类为主, 含量及保存程度不一, 少数薄片可见大量具定向密集排列的薄壳类双壳碎屑。部分薄片双壳含量最高可达 30%左



(a) 采样号 wy37-2, 薄壳类双壳碎屑, 单偏光; (b) 采样号 wy67-4, 厚壳类双壳碎屑, 单偏光; (c) 采样号 wy59-2, 介形虫, 单偏光; (d) 采样号 wy74-2, 有孔虫, 单偏光; (e) 采样号 wy75-4, 有孔虫, 单偏光; (f) 采样号 wy83-2, 有孔虫, 单偏光; (g) 采样号 wy72-3, 菊石, 单偏光; (h) 采样号 wy73-4, 头足类, 单偏光。薄片标本均保存于北京大学地质博物馆

图 2 主要生物碎屑类型
Fig. 2 Main bioclastic types



(a) 采样号 wy87-2, 菊石, 单偏光; (b) 采样号 wy55-4, 腹足类, 轴切面, 单偏光; (c) 采样号 wy83-8, 腹足类, 横切面, 单偏光; (d) 采样号 wy67-3, 腕足类, 单偏光; (e) 采样号 wy85-5, 海百合茎, 横切面, 单偏光; (f) 采样号 wy93-3, 海百合茎, 纵切面, 单偏光; (g) 采样号 wy53-3, 钙球, 单偏光; (h) 采样号 wy78-3, 黏土矿物, 单偏光。薄片标本均保存于北京大学地质博物馆

图 3 主要生物碎屑类型及其他颗粒
Fig. 3 Main bioclastic and other particles types

右。壳体大多经历严重的重结晶过程,已很难分辨其内部结构,少数在正交偏光下可见波状消光现象。

介形虫 大多破碎严重,也有少数非常完整的个体。完整个体粒径为 0.2~0.5 mm,呈椭圆形或梭形。内部为纯净的亮晶方解石,在正交偏光下可见波状消光。

腹足类 具螺旋形的外壳,多数粒径为 0.3~0.8 mm。在薄片形态可分为两类:一类为平行于轴的切面,为螺旋形的螺塔;另一类为垂直轴切面,形态为近圆形,内部一般被微晶方解石所填充。

有孔虫 个体较小,粒径一般 0.3 mm 左右,含量较少,可见房室、隔壁等构造,多保存完整。

棘皮类 主要为海百合茎碎屑,多数已破碎,形状不规则。粒径多在 0.5~1 mm 之间,在薄片中的含量一般不超过 5%,且仅现于上部岩层。茎的横切面可见有机质斑点,具原生单晶结构。

腕足类 上部岩层中可见,较为破碎,长度在 1 mm 以下,壳厚 0.3 mm 左右,重结晶现象严重,少数可见片状的原始结构。

头足类 主要指菊石。在薄片表现为厘米级的具隔壁等结构的螺旋形碎屑,内部被微晶方解石充填。

2.2 其他类型颗粒

钙球 粒径 0.1~0.5 mm 不等,多数形态极圆,内部为重结晶的伪亮晶方解石,来源不明,个别薄片含量可达 20%以上。

内碎屑 形状不规则,磨圆度较差。内碎屑成分为泥晶方解石,泥质含量一般高于基质。含量较少,低于 10%,为沉积环境内部半固结的岩石破碎后再次沉积并固结形成。

3 碳酸盐岩微相类型及主要特征

碳酸盐岩微相的划分方案包括标准微相类型(SMF)和缓坡微相类型(RMF)等。SMF 类型用于描述热带镶边陆棚沉积环境,RMF 则适用于缓坡背景^[17]。中-晚三叠世,本区属于扬子地台南缘被动陆缘碳酸盐岩台地^[18],因此,本文在划分微相及讨论沉积相时主要参照 SMF 类型。通过对颗粒类型等岩石结构特征的分析,本剖面的岩层可划分为 5 种碳酸盐岩微相。剖面上部反复出现的泥岩不能归入任何一种碳酸盐岩微相,单独列出来。各微相类型描述如下(图 4)。

MF1 均质泥质微晶灰岩 对应 SMF23。主要

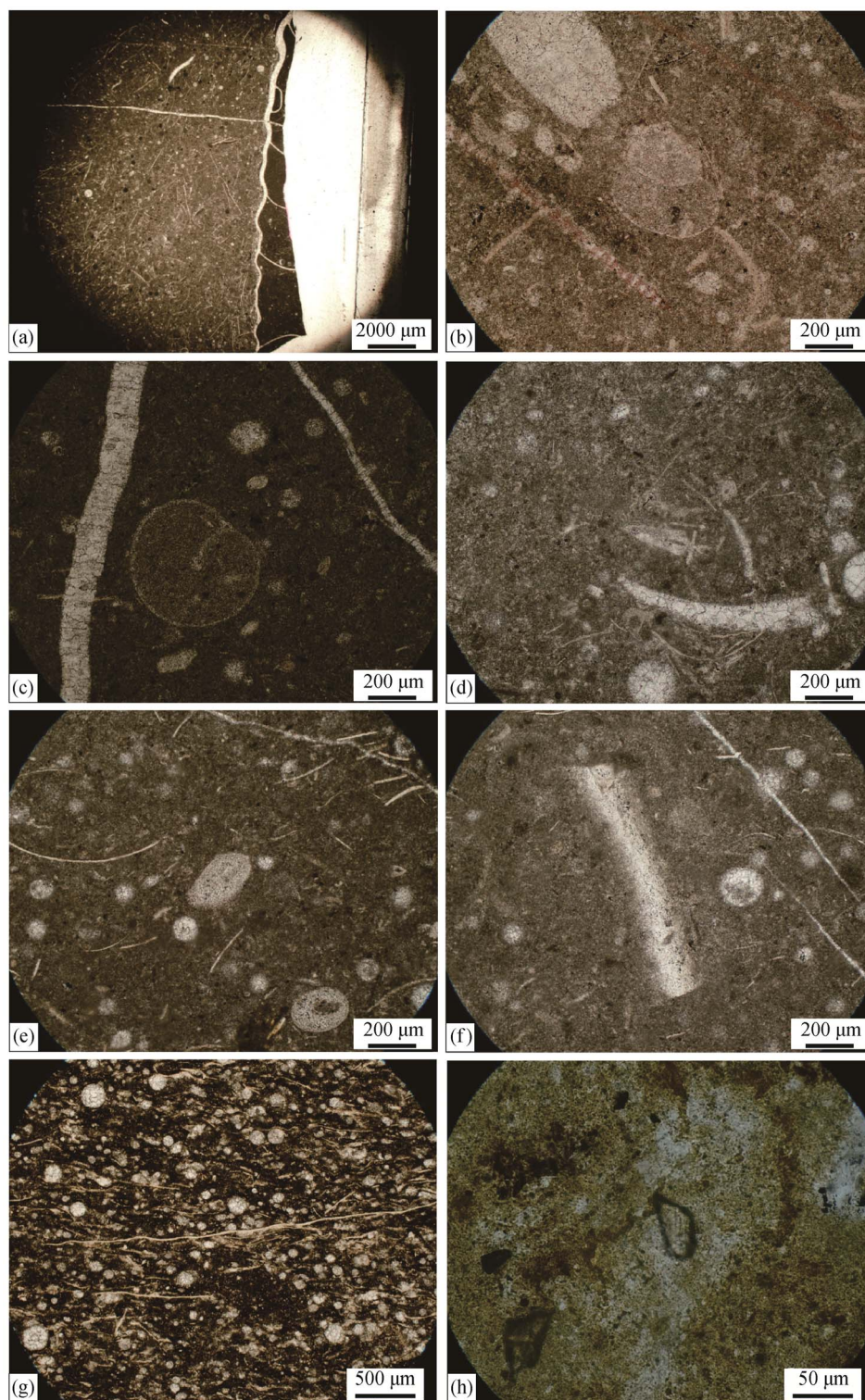
成分为微晶方解石和泥质,未见生物碎屑,其他颗粒很少。少数薄片可见细密的泥质纹层,应为后期压溶形成。对应的相带为 FZ8,沉积环境为局限海,可能接近于蒸发区。此微相类型出现在中三叠统法郎组竹杆坡段赋存兴义动物群的化石层段第 27, 28, 29, 33, 36, 41 自然层。

MF2 含少量生物碎屑的泥质微晶灰岩 对应 SMF10。主要成分为微晶方解石和泥质。出现少量生物碎屑,主要为双壳和介形虫,含量不足 5%,较为破碎,可能经过长距离搬运异地堆积而成。对应的相带为 FZ2 和 FZ7。考虑到上下层的沉积环境,后者的可能性较大,沉积环境为陆棚泻湖等环境。此微相类型出现在中三叠统法郎组竹杆坡段赋存兴义动物群的化石层段第 30, 31, 32, 34, 39, 43, 44, 45a, 45b, 46, 47, 50, 60 自然层。

MF3 含丰富破碎生物碎屑的泥质微晶灰岩 接近 SMF9, 10, 12, 含有丰富的破碎双壳类碎屑,基质为泥晶方解石,泥质含量很高。生物碎屑具水平方向定向排列,个别区域因生物的掘穴导致壳体折曲和聚集。大多数生物碎屑应来自浅滩上的高能环境,并沿局部斜坡下移沉积。沉积环境为广海陆棚或开阔台地,对应的相带为 FZ7。此微相类型出现在中三叠统法郎组竹杆坡段赋存兴义动物群的化石层段第 37, 49, 52, 53, 54, 56, 58, 63, 66, 67, 69, 70, 76, 77 自然层。

MF4 含丰富完整生物碎屑的泥质微晶灰岩 对应 SMF8, 11, 12。含丰富的保存较完整的双壳类和介形类化石,大多具水平定向排列。少数薄片生物碎屑外部包有一层泥晶套。化石层内个别层虽在薄片未观察到生物碎屑,但因为存在大的爬行类化石,一并归入该微相。基质为微晶方解石,泥质成分较高。沉积环境可能为浪基面以下的静水环境,对应的相带最可能为 FZ7, 8。此微相类型出现在中三叠统法郎组竹杆坡段赋存兴义动物群的化石层段第 35, 38, 40, 55, 57, 59, 61, 65, 71, 72, 73, 74, 75, 79, 81, 83, 85, 87, 89, 93, 95, 96 自然层。

MF5 水平纹层状泥晶灰岩 对应 SMF10, 25。主要成分为泥晶方解石,具水平纹层结构。少数含双壳、介形虫等生物碎屑。“浑浊”泥晶方解石与“干净”泥晶方解石各自相对集中,形成水平纹层。纹层较平直,纹层间有明显的界线。对应的相带为 FZ7, 8。此微相类型出现在中三叠统法郎组竹杆坡段赋存兴义动物群的化石层段第 42, 48, 51, 91



(a) 采样号 wy30-1, 均质泥质微晶灰岩, 单偏光; (b) 采样号 wy27-1, 泥质微晶灰岩压溶产生的泥质条纹, 单偏光; (c) 采样号 wy41-1, 泥质微晶灰岩经重结晶形成伪亮晶, 单偏光; (d) 采样号 wy42-1, 纹层状泥质微晶灰岩, 单偏光; (e) 采样号 wy32-2, 含少量生物碎屑的泥质微晶灰岩, 单偏光; (f) 采样号 wy37-3, 含丰富破碎生物碎屑的泥质微晶灰岩, 单偏光; (g) 采样号 wy38-2, 含丰富较完整生物碎屑的泥质微晶灰岩, 单偏光; (h) 采样号 wy82-1, 泥质, 单偏光。薄片标本均保存于北京大学地质博物馆

图 4 主要岩性及微相类型

Fig. 4 Main lithology and microfacies types

自然层。

另外中三叠统法郎组竹杆坡段赋存兴义动物群的化石层段第 62, 64, 68, 78, 80, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94 自然层等为泥岩, 薄片未见生物碎屑, 钙质含量低, 含少量黏土矿物。

4 沉积相和环境解释

根据 Wilson 制定的标准微相与标准相带的对应关系^[19], 上述微相类型大致可划分为以下几种相应的沉积环境类型。

局限海 接近标准相带 FZ8。水循环不畅, 弱还原环境, 沉积物颜色较暗, 水体总体上较安静。碳酸盐岩微相类型以不含生物碎屑的均质泥质微晶灰岩相 MF1 和含少量生物碎屑的 MF2 为主。均质泥质微晶灰岩在后期可能经过压溶作用, 很多薄片中都可见泥质的条纹。生物碎屑类型主要为双壳、介形虫类, 部分化石碎屑保存较完整, 但也有部分较为破碎。大部分碎屑排列无序, 反映较弱的水动力条件。野外挖掘到大量贵州龙化石、幻龙化石、鸱龙化石及鱼类化石。

开阔海 即相带 FZ7。对应微相 MF4 和 MF5, 有极其丰富多样的动物群, 生物碎屑种类除双壳、介形虫类外, 还包括腕足、腹足、有孔虫、头足、棘皮类等。开阔海环境具有良好的水循环, 经常受到波浪或者潮汐水动力的影响, 因此大部分颗粒经过一定距离的搬运后变得较破碎, 但潮下带静水环境中也存在大量保存较完整、排列杂乱的生物碎屑。野外挖掘到体型较大的贵州鱼龙化石、黔鱼龙化石及海龙类化石。

台盆 对应微相 MF3 等。含大量薄壳类等生物碎屑, 少数具有泥晶套, 呈水平定向排列, 基质中泥质含量较高。可能为开阔台地内的台盆环境, 水体较深, 水动力条件相对较弱。

5 海平面变化

从综合柱状图(图 5 和 6)中可以看出, 该剖面 27~36 层的岩性几乎全为泥质微晶灰岩。微晶灰岩一般是在没有持续水流的平静环境中由灰泥质沉积而成的, 大多形成于很浅的有遮挡的泻湖地区, 坡度小、平坦开阔的低能潮坪带, 以及浪基面以下的广阔深水陆棚、盆地区^[20]。27~36 层薄片呈微带红的褐色, 未见生物碎屑, 可以排除沉积环境为深水陆棚及盆地的可能。从微相分析也可以看出, 这几

层接近 Wilson 标准微相类型的 SMF23, 对应标准相带 FZ8 或 FZ9, 即局限台地或蒸发区。因此可以断定, 法郎组竹杆坡段底部岩层沉积的地质时期海平面相对较低。

从第 34 层至第 50 层, 生物碎屑明显增多, 但大部分未达到参与定名的程度。岩性仍以泥质微晶灰岩为主, 夹少量含生物碎屑泥质微晶灰岩以及生物碎屑泥质微晶灰岩。从下往上, 各层薄片色调从底部的红褐色变化到上部的灰色, 有机质含量逐渐增多, 呈现氧化性从强到弱的趋势。该段对应的标准相带以 FZ7 为主, 个别可接近 FZ6, 也有少数对应 FZ8, 呈现海平面在波动中逐渐升高的趋势。

50 层以上, 总体来说岩性比较均一, 大多为含生物碎屑泥质微晶灰岩。薄片反映的环境以还原性为主。可以说, 这一时期海平面基本上处于一个比较稳定的状态, 略有小的波动, 但沉积相带仍处于 FZ7 附近。

海平面的变化从生物化石方面也可以得到佐证。27~31 层的薄片观察不到任何生物碎屑, 从 32 层到 50 层, 生物碎屑数量逐步增多。35 层为贵州龙集中产出层。从贵州龙的生活环境推断, 这一时期该地区处于三面环岛的闭塞的局限海环境^[15]。37 层中富集的薄壳类双壳碎屑说明此时的沉积环境已经转变为接近台盆。37 层还产出具有较强游泳能力^[21]的纯信龙, 也反映海平面的上升。40 层及其上部若干层均出产鱼龙。鱼龙是适应中到深海生活环境的海生爬行动物, 到晚三叠时期, 大型鱼龙以及尾弯的出现更体现其向广阔深海环境进军的趋势^[22]。

从 50 层顶部到顶部, 各种生物碎屑的含量基本上在 10%~20% 之间, 生物碎屑的种类也从最初的以双壳、介形虫类为主发展到后来的腹足、腕足、棘皮、头足、有孔虫等并存。薄片中腹足壳质很薄且个体微小, 营大洋漂浮生活。腕足、头足类具有广阔的地理分布范围, 在薄片观察的精度下对环境指示意义不大。海百合在中生代一般生活在浅海、半深海环境^[23]。综合这些生物的生态可以断定, 在 50 层以后相当一段时间内, 该地区都处于海平面较高的环境。

综上所述, 在所研究的地层范围内, 沉积环境的海水深度总体趋势是先加深, 然后保持基本稳定, 这与拉丁期黔西南地区发生海侵的地质背景吻合, 与同时期全球海平面的变化一致^[24-25]。

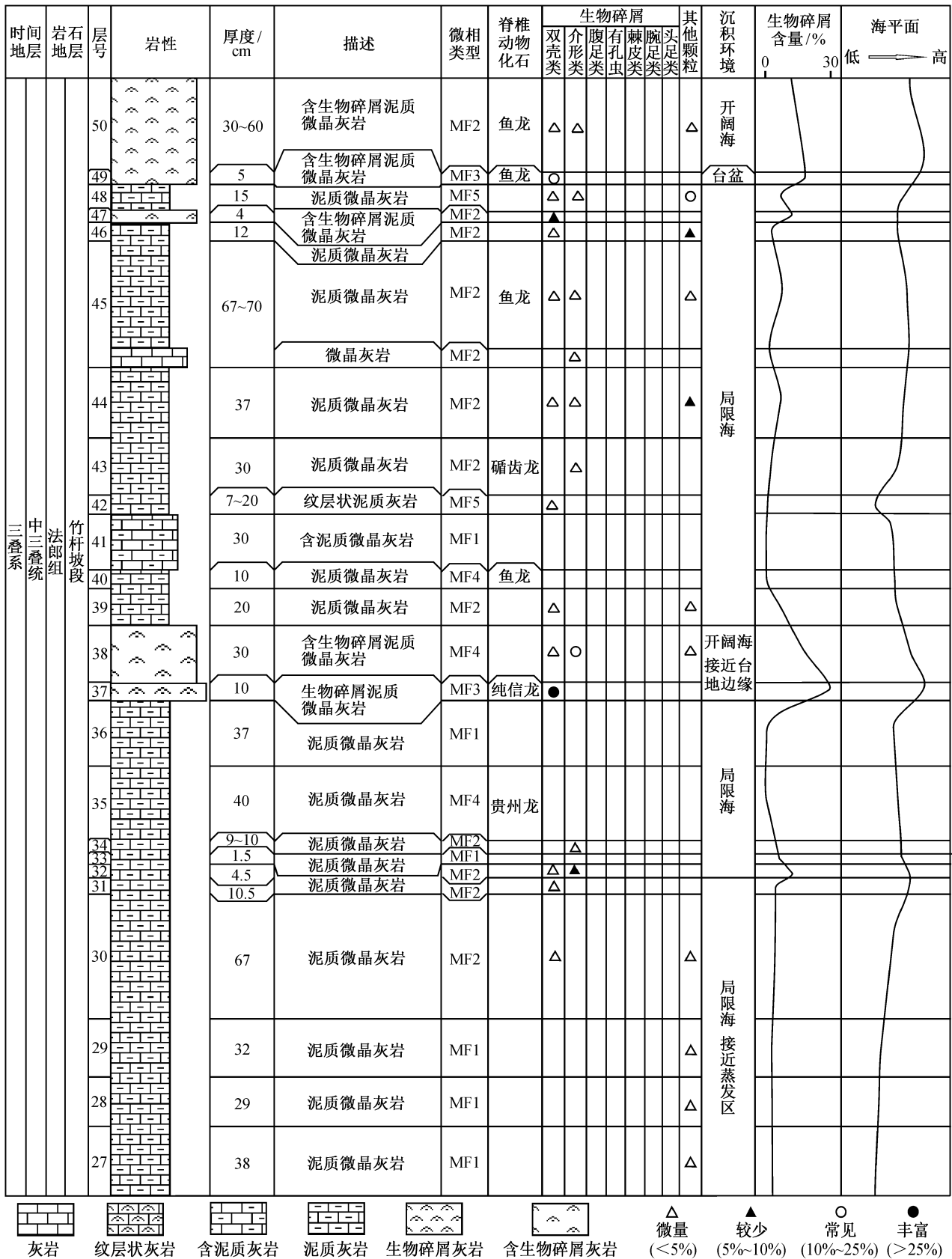


图 5 乌沙爆竹厂剖面中三叠统法郎组竹杆坡段综合柱状图(27~50层)

Fig. 5 Fossils in Zhuganpo Member of the Falang Formation in the Wusha Section and integrated column of sedimentary facies 27~50 layers

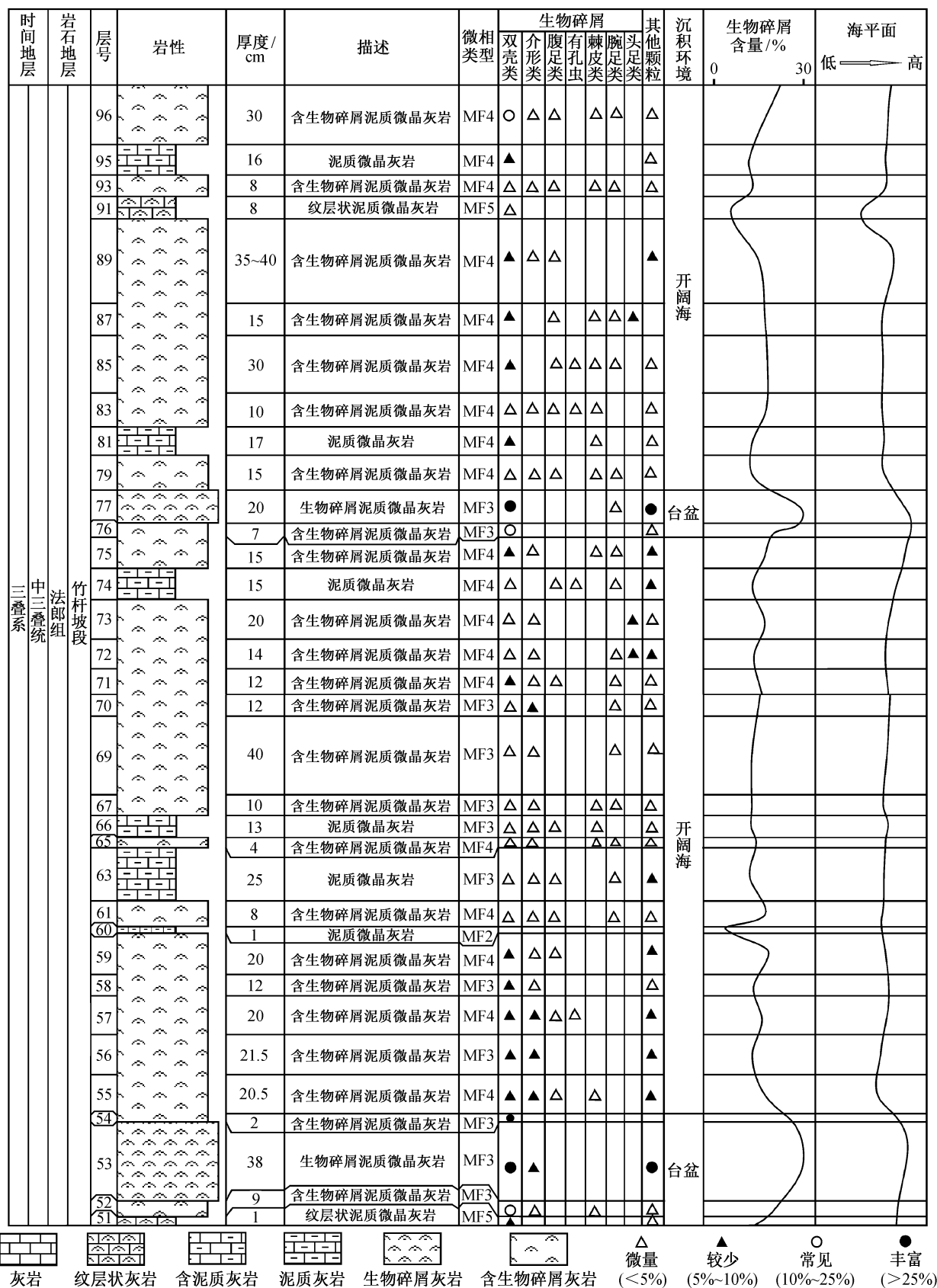


图 6 乌沙爆竹厂剖面中三叠统法郎组竹杆坡段综合柱状图(51-96层)

Fig. 6 Fossils in Zhuganpo Member of the Falang Formation in the Wusha Section and integrated column of sedimentary facies 51-96 layers

6 本段地层稳定碳氧同位素特征及古环境意义

6.1 样品采集与测试

本研究系统采集研究层段每一自然层的样品,共 94 块,挑选无后期蚀变、无方解石脉充填、无破碎现象的新鲜岩石样品进行碳氧同位素测定,测定仪器为中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学国家重点实验室的 MAT-253 同位素质谱仪。参比标准:GBW-04405;分析精度: $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 测定值标准偏差分别小于 0.040 和 0.100。图 7 为乌沙剖面碳氧同位素曲线,其中 W6 至 W22 对应图 5 和 6 的自然层第 27~96 层。

6.2 碳同位素地层曲线

本区早三叠世碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于 $-0.362\text{‰}\sim 2.788\text{‰}$ 之间,平均值为 1.3425‰ ,变化幅度为 3.150‰ 。纵向上大致可分为 4 个阶段,与沉积层段相对应。第 1 阶段, W1 至 W2, 碳同位素曲线呈现较小幅震荡,从 W1 的 0.802 上升到 W2 的 1.414, 随即下降到 0.121, 偏移量达到 1.29。第 2 阶段, W3 至 W5, 碳同位素曲线整体呈现较大幅度波动, W3 段从第 1 阶段开始呈现急剧正漂移, 出现小幅震荡后开始负漂移, 直至 W5 中段呈现明显正漂移。第 3 阶段, W6 至 W21, 碳同位素曲线呈现急剧大幅度负漂移之后又迅速大幅度正漂移, 此阶段正是兴义动物群所处地层段。碳酸盐岩中无机碳的同位素值受多种因素影响, 众多研究表明, 碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 反映地质历史时期的生物初级生产力水平, 与生物总量成正比^[26-32], 兴义乌沙剖面碳同位素曲线反映中三叠世兴义动物群的生态环境, 由此可知, 海洋初级生产力及生物量呈现由少变多的剧烈变化。第 4 阶段, W22 至 W28, 碳同位素曲线总体呈现较稳定波动, 在 W27 段末至 W28 段呈现较缓慢负漂移。

6.3 氧同位素地层曲线

本区 $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围为 $-8.37\text{‰}\sim -2.445\text{‰}$, 平均值为 -4.99‰ , 变化幅度为 5.925‰ 。氧同位素曲线在本区纵向上呈正漂移趋势, 至本研究层段结束时呈较明显的负漂移, 不同阶段均有不同程度的波动。大致可分为 5 个阶段, 与沉积层段相对应。第 1 阶段, W1 至 W2, 氧同位素曲线波动后呈现负漂移。第 2 阶段, W3 至 W4, 氧同位素曲线呈现较为剧烈的波动后的正漂移。第 3 阶段, W5 至 W21,

氧同位素曲线呈现较大幅度的正漂移, 兴义动物群位于此段地层中。第 4 阶段, W22 至 W24, 氧同位素曲线呈现急剧负漂移后的缓慢恢复过程, 之后又剧烈负漂移。第 5 阶段, W25 至 W28, 氧同位素曲线呈现开始急剧正漂移后的较稳定波动, 到 W27 段末呈现较明显的负漂移。 $\delta^{18}\text{O}$ 随温度的升高而下降^[33-34]。但是, 由于 $\delta^{18}\text{O}$ 测定古海水温度的方法受到的局限因素很多, 因此本文不利用氧同位素数据定量计算古海水温度, 只分析海水温度变化趋势及大致温度范围。第 5 阶段水温普遍偏高。

7 讨论

1) 法郎组竹杆坡段岩性下部为泥质微晶灰岩, 向上生物碎屑逐渐增多, 逐步过渡到含生物碎屑灰岩为主, 夹泥质微晶灰岩。50 层以上主要为含生物碎屑泥质微晶灰岩, 夹若干层泥层。

2) 根据微相特征和泥质含量变化情况, 结合野外宏观特征, 可将研究区的碳酸盐岩划分为 5 个微相类型: 均质泥质微晶灰岩(MF1)、含少量生物碎屑的泥质微晶灰岩(MF2)、含丰富破碎生物碎屑的泥质微晶灰岩(MF3)、含丰富完整生物碎屑的泥质微晶灰岩(MF4)和水平纹层状泥晶灰岩(MF5)。

3) 通过野外观察和微相分析, 结合前人的工作, 认为该地区中三叠统拉丁期经历 3 种沉积环境, 即局限海、开阔海和开阔台地内的台盆。

4) 杨柳井组顶部以 5~7 m 厚的块状白云岩出现为特点, 属半封闭局限海台地蒸发相沉积。该地区法郎组竹杆坡段可以分为上下两部分: 下部为灰色中厚层灰岩、白云质灰岩互层, 上端发育纹层状灰岩; 上部以灰色中厚层泥质条带灰岩夹中薄层灰色、黄灰色瘤状灰岩为主。法郎组竹杆坡段底端的 5.4 m 为灰色中厚层灰岩与深灰色、灰黑色中薄层泥质灰岩、泥灰岩互层, 夹中薄层瘤状灰岩, 含丰富的双壳类、菊石类和海百合化石, 海生爬行动物和鱼类化石富集。产出兴义动物群化石的层位于剖面第 26~53 层, 根据海生爬行动物化石产出情况, 可将化石层分为上中下 3 段^[16]。下段包括 26~35 层, 以产出大量贵州龙为特点; 中段包括 36~44 层, 鳍龙类和鱼龙类均有出现; 上段包括 45~53 层, 以产出保存完整的鱼龙和海龙为特点, 伴生大量海百合。从兴义动物群海生爬行动物组成看, 化石层下段产出的鳍龙类分子包括幻龙、鸥龙和大量贵州龙, 具西特提斯亲缘性; 化石层上段发现完整贵州

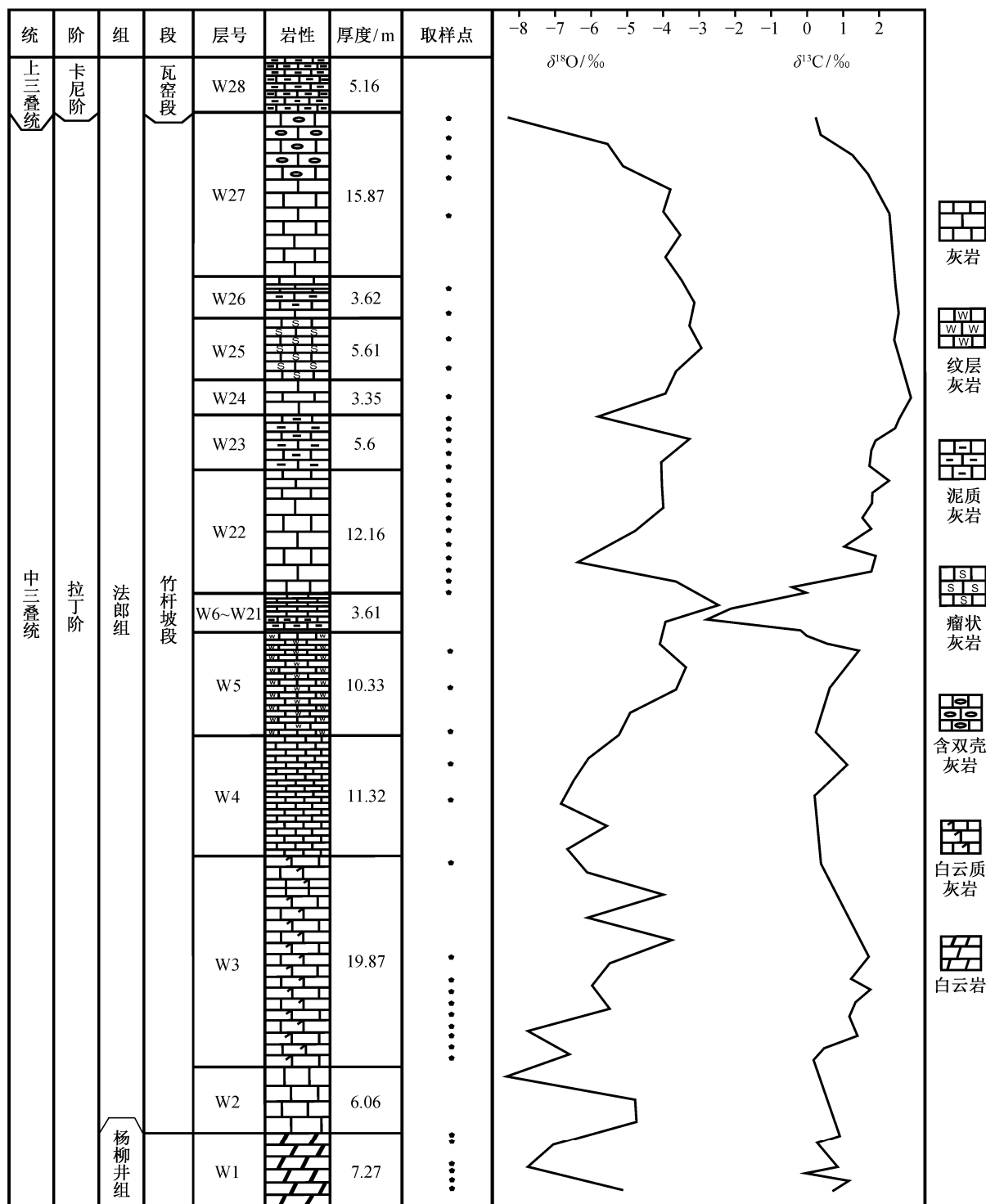


图7 乌沙剖面碳氧同位素曲线

Fig. 7 Carbon and oxygen isotope curves from the Wusha Section

鱼龙、黔鱼龙及海龙材料，与贵州晚三叠世卡尼期关岭动物群的组成有相似之处，种类、数量及体型都呈现明显变化。从微相角度看，下段主要呈现台盆中局限海域且海水较深环境；中段主要呈现海水

较动荡的半开阔海域环境；上段主要呈现相对稳定的开阔水域环境。

综上所述，兴义乌沙泥麦古村含化石层剖面自下而上：较小体型的海生爬行动物(如贵州龙、幻

龙及鸥龙等)生活在台盆中局限海域且海水较深环境,之后经过较为动荡的海水变化,从半开阔海域过渡到相对稳定的开阔海域环境,出现体型较大的贵州鱼龙、黔鱼龙及海龙等海生爬行动物类群。

致谢 贵州省兴义市国土资源局和乌沙镇政府在野外工作中给予食宿和交通方面的支持,北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室磨片室倪德宝老师和贾秋月老师在岩石薄片制作过程中给予帮助,在此一并致以衷心感谢。

参考文献

- [1] Cheng Y N, Wu X C, Sato T, et al. A new eosauroptrygian (Diapsida, Sauroptrygia) from the Triassic of China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2012, 32(6): 1335-1349
- [2] Zhao L J, Sato T, Li C. The most complete pistosauroid skeleton from the Triassic of Yunnan, China. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(2): 283-286
- [3] 李锦玲, 刘俊, 奥利维尔·瑞柏尔. 贵州兴义中三叠统法郎组竹杆坡段 *Lariosaurus* 一新种. *古脊椎动物学报*, 2002, 40(2): 114-126
- [4] Rieppel O, Li J L, Liu J. *Lariosaurus xingyiensis* (Reptilia: Sauroptrygia) from the Triassic of China. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2003, 40: 621-634
- [5] Cheng Y N, Sato T, Wu X C, et al. First complete pistosauroid from the Triassic of China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2006, 26(2): 501-504
- [6] Rieppel O, Liu J, Li C. A new species of the thalattosaur genus *Anshunsaurus* (Reptilia: Thalattosauria) from the Middle Triassic of Guizhou Province, southwestern China. *Vertebrata Palasiatica*, 2006, 44 (4): 285-296
- [7] Rieppel O, Jiang D Y, Fraser N, et al. *Tanytropheus* cf. *T. longobardicus* from the early Late Triassic of Guizhou Province, southwestern China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2010, 30(4): 1082-1089
- [8] 李淳. 云南中三叠统 *Macrocnemus* (爬行纲: 原龙目)一新种及其古地理意义. *中国科学: D 辑*, 2007, 37(10): 1281-1286
- [9] 王立亭. 贵州古地理的演变. *贵州地质*, 1994, 11(2): 133-141
- [10] 王立亭. 黔西南地区三叠纪地层沉积格架. *贵州地质*, 1996, 13(2): 129-134
- [11] 鲍志东, 冯增昭, 李永铁. 中国南方东部三叠纪古地理演化及其构造控制. *石油大学学报*, 1999, 23(4): 6-8
- [12] 冯增昭, 鲍志东, 李尚武. 滇黔桂地区中三叠世岩相古地理. 北京: 石油大学出版社, 1994
- [13] 刘宝珺, 张锦泉, 叶红专. 黔西南中三叠世陆棚-斜坡沉积特征. *沉积学报*, 1987, 5(2): 1-15
- [14] 杨瑞东. 兴义顶效贵州龙动物群的古生态环境讨论. *贵州地质*, 1997, 14(1): 35-39
- [15] 李荣西, 肖佳飞, 魏家庸, 等. 黔南 Ladinan-Carnian 期海侵与碳酸盐台地演化. *地球学报*, 2005, 26(3): 249-253
- [16] 马乐天, 季承, 邹晓东, 等. 贵州兴义三叠纪海生爬行动物群的地层分布及其生物多样性. *地层学杂志*, 2013, 37(2): 178-185
- [17] Flugel E. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Berlin: Springer, 2004: 682-722
- [18] 肖家飞, 魏家庸, 胡瑞忠. 黔西南及邻区中-晚三叠世层序地层格架. *地质学报*, 2004, 78(5): 591-599
- [19] Wilson J L. *Carbonate facies in geologic history*. Berlin: Springer-Verlag, 1975
- [20] 方邨森, 任磊夫. *沉积岩石学教程*. 北京: 地质出版社, 1987: 219-220
- [21] 程龙, 陈孝红, Marti S P, 等. 云南中三叠世(安尼期)纯信龙的新材料及其意义 // 中国古生物学会第十次全国会员代表大会暨第 25 届学术年会论文摘要集. 南京: 2009: 156-157
- [22] 季承, 江大勇, 郝维城, 等. 贵州晚三叠世关岭鱼龙的原始尾弯对比研究. *北京大学学报: 自然科学版*, 2010, 47(2): 209-314
- [23] 何心一, 徐桂荣. *古生物学教程*. 北京: 地质出版社, 1993: 118, 147, 173
- [24] 王鸿祯, 史晓颖, 王训练, 等. *中国层序地层研究*. 广州: 广东科技出版社, 2000
- [25] 孙作玉. 黔西、滇东地区中-上三叠统生物地层研究[D]. 北京: 北京大学, 2006
- [26] 孙媛媛, 刘俊, 吕涛, 等. 罗平生物群产出层位氧碳稳定同位素的初步研究. *地质学报*, 2009, 83: 1110-1117
- [27] Kump L. Interpreting carbon-isotope excursions: Strangelove oceans. *Geology*, 1991, 19(4): 299-302
- [28] 王伟, 沈树忠, 朱自力. 中国西藏色龙二叠-三叠系界线剖面的碳同位素特征及其意义. *科学通报*, 1997, 42(4): 406-408
- [29] 曹长群, 王伟, 金玉珩. 浙江煤山二叠-三叠系界线附近碳同位素变化. *科学通报*, 2002, 47(4): 302-306
- [30] 左景勋, 童金南, 邱海鸥, 等. 巢湖地区早三叠世碳氧同位素地层对比及其古生态环境意义. *地质地球化学*, 2003, 31(3): 26-33
- [31] 左景勋, 童金南, 赵来时, 等. 早三叠世下扬子古海洋地球化学环境的修复过程. *地球科学*, 2013, 38(3): 441-453
- [32] Payne J L, Lehrmann D J, Wei J Y, et al. Large perturbations of the carbon cycle during recovery from the end-Permian extinction. *Science*, 2004, 305: 506-509
- [33] 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系. *沉积学报*, 1985, 3(4): 17-30
- [34] 邵龙义, 窦建伟, 张鹏飞. 西南地区晚二叠世氧碳稳定同位素的古地理意义. *地球化学*, 1996, 25(6): 575-581