

文章编号: 1000-0550(2008)03-0369-07

湘东南桂阳莲塘上泥盆系风暴岩特征 及其古地理、古气候意义^①

张 哲 杜远生 毛治超 李 瑞 原小杰

(中国地质大学(武汉)教育部生物地质与环境地质重点实验室 武汉 430074)

摘 要 湖南省桂阳县莲塘镇石龙村上泥盆统锡矿山组以台地相灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩为主。该组下部发育典型的风暴岩沉积。风暴沉积标志包括:渠铸型、竹叶状砾屑放射状组构、丘状或洼状交错层理、平行层理、递变层理、块状层理。风暴岩包括 4 种岩相类型: A—具块状层理的“竹叶状”砾屑灰岩(底部为冲刷侵蚀面或冲刷渠), B—具递变层理的砾屑灰岩, C—具丘状、洼状交错层理的砂屑灰岩, D—具均质或水平层理的泥状灰岩。它们组成 4 种典型的风暴沉积序列: A—D 序列、A—C—D 序列、B—C—D 序列、B—D 序列。湘东南上泥盆统风暴岩的首次发现表明晚泥盆世该区位于低纬度的风暴作用带,它对认识泥盆纪的古气候具有重要意义。

关键词 湖南省 泥盆系 风暴岩 古地理 古气候

第一作者简介 张哲 女 1966 年出生 副研究员 沉积地质学 E-mail: dxysyzx@cug.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

风暴是在热带海洋上生成的强大而深厚的气旋性涡旋的统称。风暴沉积是由风暴作用影响海水而导致海底沉积物引发的一种特殊事件沉积。Kelling 等^[1]首先提出风暴岩 (tempestite) 的概念,用以代表浅海中的风暴作用形成的风暴岩。Aigner^[2]将其含义扩充为风暴沉积 (storm deposit), 意指所有受风暴作用影响的沉积。风暴岩的概念提出后,一度成为国内、外沉积学界的热点。80 年代后国内学者发表了大量有关风暴岩的论著^[3-16]。国内对泥盆纪风暴岩报道仅限于新疆、甘肃及江苏等地^[17-19], 华南地区泥盆纪风暴岩报道较少。笔者在湘南桂阳莲塘地区进行泥盆纪沉积学研究中,在桂阳莲塘石龙泥盆系上统锡矿山组中发现了典型的碳酸盐岩风暴沉积。该风暴沉积的发现对认识该地区泥盆纪古地理、古气候具有重要意义。

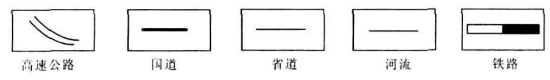
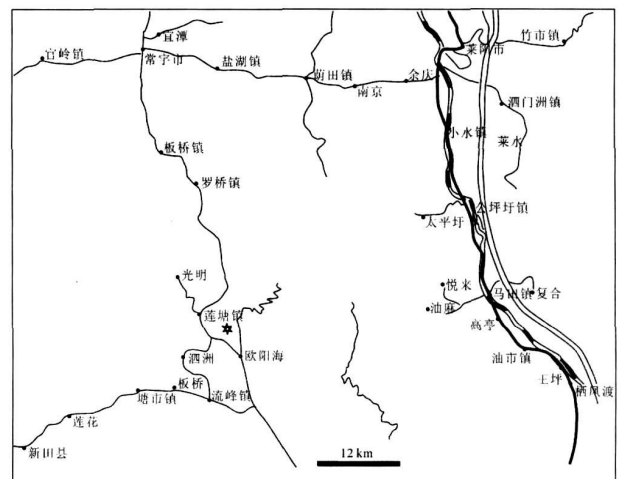


图 1 研究区交通位置示意图 (一剖面位置)

Fig 1 The traffic and location map of the study area (section position)

1 地层层位

研究区位于湖南省桂阳县莲塘镇一带 (图 1)。研究区内泥盆系广泛发育,包括中泥盆统跳马涧组、棋梓桥组,上泥盆统余田桥组和锡矿山组。

湖南桂阳莲塘一带泥盆纪处于裂陷海槽的构造背景,中泥盆统棋子桥组—上泥盆统余田桥组均为盆地相的泥质岩、泥灰岩、硅质岩和薄层灰岩。上泥盆

统锡矿山组盆地逐渐填平、水体变浅,形成浅水碳酸盐沉积。该区锡矿山组含腕足类、腹足类、头足类、棘皮类生物化石,包括 *Yunnanella* sp, *Yunnanella of huanensis* Tien *Manticoceras* sp 等典型化石,指示地层时代为晚泥盆世法门期。锡矿山组与下伏余田桥组

^①中国石油化工股份有限公司海相油气勘探前瞻性项目 (G0800-06-ZS-319) 资助。

收稿日期: 2007-04-16 收修修改稿日期: 2007-10-30

和上覆石炭纪地层均呈整合接触。风暴岩沉积主要 见于桂阳莲塘石龙上泥盆统锡矿山组下部(图 2)。

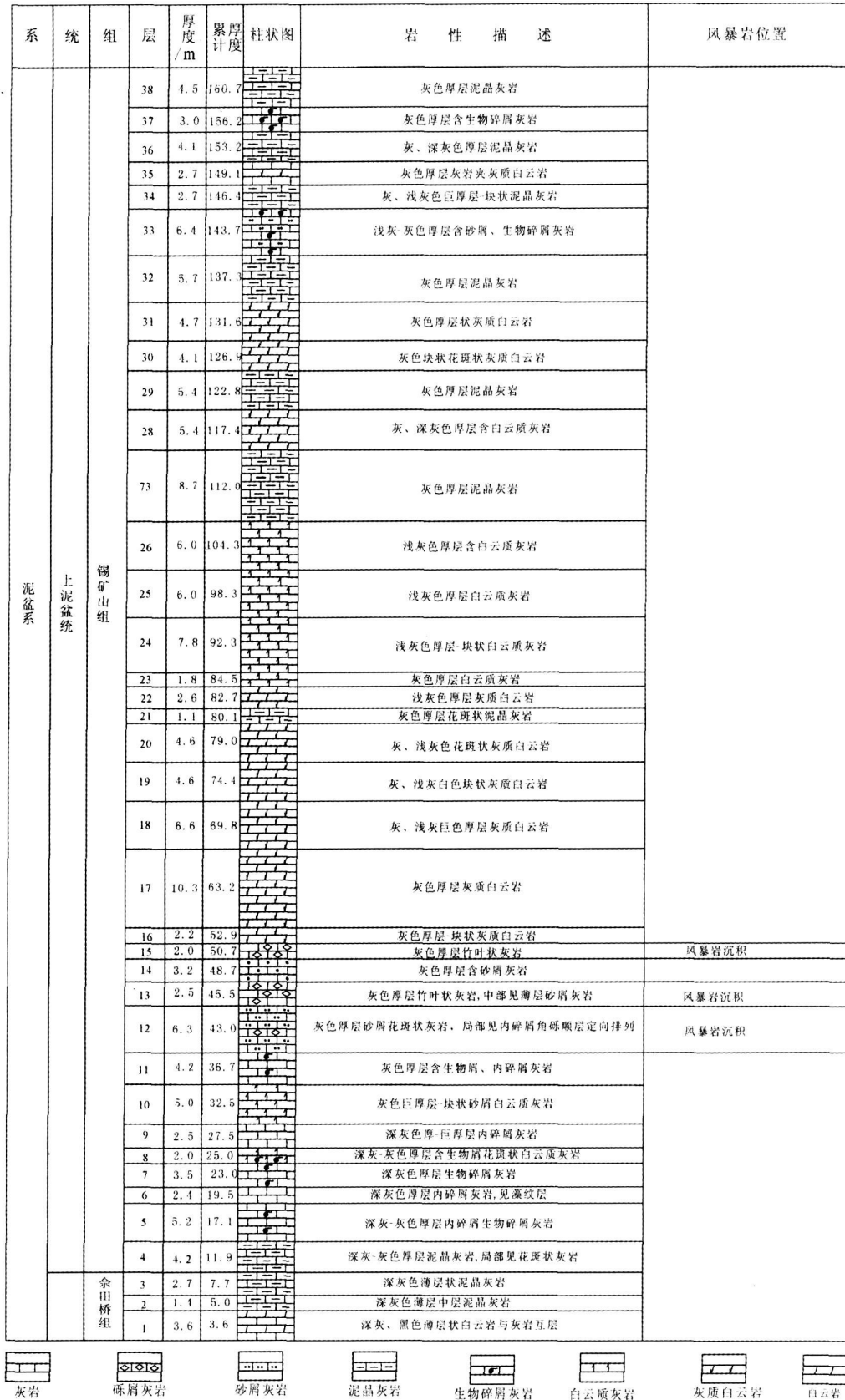


图 2 桂阳莲塘石龙锡矿山组地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of Xikuangshan Formation in Shilong, Liutang, Guiyang

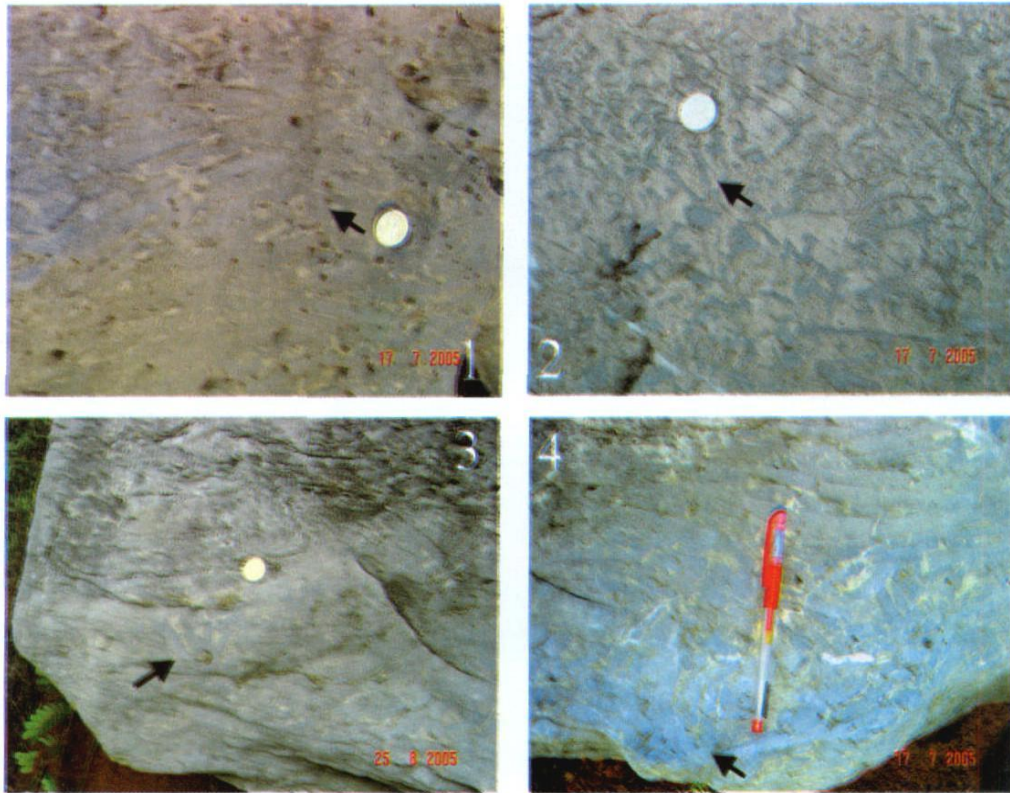


图 3 “竹叶状”砾屑灰岩(箭头指示放射状结构和倒“小”字组构)

Fig 3 Wormkalk calcarenite (Arrow point to the fabric of radiated and converse word“Xiao” in Chinese)

2 风暴岩的岩石学特征

2.1 “竹叶状”砾屑灰岩

砾屑含量 75%~90%，呈竹叶状(少数有塑性变形)，砾屑最大为 $9.5\text{ cm} \times 4.5\text{ cm}$ 粒径以 $2.0 \sim 3.0\text{ cm}$ 为主。砾屑成分以泥晶灰岩为主，分选性差，磨圆度中等(图 3)。见有少量含鲕粒的砾屑，鲕粒主要表现为同心状，颗粒支撑，基质为亮晶或泥晶方解石，代表高能动荡环境。砾屑多沿长轴定向排列(顺层排列)，局部砾屑具风暴作用特有的菊花状、倒“小”字状排列(图 4)。“竹叶状”砾屑为未完全固结的碳酸盐岩在风暴高峰期被风暴撕裂、扯起、打碎后沉积形成的。

2.2 砂屑灰岩

砂屑含量 60%~75%，其它为亮晶方解石，具丘状、洼状交错层理，局部发育平行层理。属风暴衰退期由风暴携带悬浮物沉积而成。

2.3 具均质或水平层理的白云岩化泥状灰岩

砂屑灰岩或砾屑灰岩之上主要为泥状灰岩，具均

质或水平层理。露头上可见微弱白云岩化，镜下可见白云石在泥晶中成层排列，白云石颗粒大小不一。

3 风暴岩沉积构造特征

锡矿山组风暴作用的沉积构造主要包括冲刷面和渠筑型构造、丘状交错层理和洼状交错层、块状层理和递变层理、平行层理等。

3.1 底面构造

底面构造是识别风暴沉积的重要标志。研究区内常见的风暴岩底面构造有冲刷面和渠铸型构造。冲刷面呈波状起伏，并受后期成岩压溶形成缝合面，冲刷面截切下伏岩层，冲刷面之上为异地钙质砾屑。沿冲刷面渠铸型构造发育。渠铸型构造是风暴强烈的气流摩擦海水形成强大的定向水流或涡流在海底冲蚀或旋切沉积物形成创蚀坑或渠，渠内充填粗碎屑沉积形成渠铸型。这些创蚀坑或渠在岩层断面上表现为口袋状，故通常称之为口袋构造。区内的这些渠铸型宽度 $50 \sim 60\text{ mm}$ 深度 $18 \sim 20\text{ mm}$ 左右，口袋壁直立或陡倾，口袋内充填物以钙质砾屑为主。上述特征表明其为典型的风暴流作用形成的渠铸型构造。

3.2 丘状、洼状交错层理和平行层理

丘状、洼状交错层理是风暴浪作用形成的典型沉积构造。Hams认为^[20],是由于风暴浪的波动作用将海底物质扫起,并堆积在丘洼起伏的风暴冲刷面上形成的,反映了深部风暴浪的活动性。其主要特征为:①各层组有一低角度的、侵蚀的下部底面;②紧接底面上的纹层平行于下部底面;③纹层在横向上可以有秩序的增厚,纹层倾角有规律地向上减小;④纹层倾角散乱。Dot等认为^[21],这是特大波浪作用的产物。浪高数十米,波长数百米的风暴浪波及海底沉物可以形成纹层平缓,丘状起伏或洼状下凹的交错层理,即丘状、洼状交错层理。锡矿山组的丘状、洼状交错层理见于砾屑灰岩上部的砂屑灰岩中,主要特点是各纹层向丘的脊部发散增厚而向两端变薄收敛,纹层平缓,纹层倾角一般 $<10^\circ$ 。丘状、洼状交错层理均为简单式类型,简单式由单个层系组成单个丘状体,单个丘状体长 30~90 cm 高 2~6 cm

3.3 递变层理和块状层理

锡矿山组的递变层理和块状层理主要见于风暴岩下部的渠铸型砾屑灰岩中。一般认为粗尾递变层理是浊流作用形成的,在风暴触发的浊流作用中也常常发育粗尾递变层理。当递变层理不发育时,常常形成块状层理。递变层理和块状层理砾屑灰岩一般厚约 40~60 cm 自下而上由砾屑—粗粒砂屑渐变为中粒砂屑。块状层理砾屑灰岩无序排列,见砾屑直立排列。递变层理和块状层理底部为渠铸型,反映为风暴涡流或风暴重力流作用形成。

3.4 竹叶状砾屑的放射状组构

多向水流组构是由风暴涡流形成,是风暴沉积特有的沉积组构。本区的多向水流构造主要有放射状、菊花状、倒“小”字状构造,见于锡矿山组的风暴层中(图 3)。放射状、菊花状、倒“小”字状构造由竹叶状砾屑排列而成。放射状、菊花状、倒“小”字状构造反映水流具有旋转、向上的力,一般认为,只有风暴涡流才能提供这种水动力,因此,通常认为这是风暴作用唯一的、典型的识别标志。

3.5 风暴期后构造

主要表现为风暴过后细粒悬浮物快速沉积形成的均质层理。同时风暴停息后生物在刚沉积的灰泥上觅食、栖息、扰动,形成块状灰岩。

除此之外,缝合线构造在研究区锡矿山组中广泛发育,是成岩作用过程中由压溶作用形成的一种裂缝构造。此区域的缝合线是沿着风暴岩底端冲刷面后

期改造。

4 风暴沉积序列

风暴沉积序列是在风暴沉积作用过程中,由于风暴事件作用的方式不同形成的沉积单元的规律组合。一次风暴事件的水动力条件变化,塑造了各阶段对应的沉积序列和沉积特征。湖南桂阳莲塘石龙的锡矿山组风暴沉积层序包括 4 种岩相类型: A. 具块状层理的“竹叶状”砾屑灰岩(底部为冲刷侵蚀面或冲刷渠); B. 具递变层理的砾屑灰岩; C. 具丘状、洼状交错层理的砂屑灰岩; D. 具均质或水平层理的泥状灰岩。它们组成以下 4 种典型的风暴沉积序列:

序列 1 由块状层理的“竹叶状”砾屑灰岩组成,其厚度为 40 cm 底部为冲刷侵蚀面或冲刷渠。“竹叶状”砾屑成分多为泥晶灰岩,夹有少量的含鲕粒的砾屑。砾屑形态多呈椭圆形,长条形,棱角状,以长条形为主。砾屑最大为 9.5 cm \times 4.5 cm 以 2.0~3.0 cm 为主;分选性差,磨圆度中等。“竹叶状”砾屑呈放射状、倒“小”字状排列,向上“竹叶状”砾屑含量较少,砾屑的长轴与层面斜交或近于平行。顶部为另一次风暴事件的侵蚀面。该序列由沉积单元 A、D 组成,代表风暴涡流作用和风暴过后悬浮灰泥质形成的沉积序列(图 4-(1))。该沉积序列为风暴影响正常浪基面之上的潮下带的近源风暴沉积。

序列 2 该序列厚为 70 cm 包括 A、C、D 三个沉积单元(图 4-(2)): A 为具块状层理的“竹叶状”砾屑灰岩(底部为冲刷侵蚀面或冲刷渠); C 为丘状和洼状交错层理的砂屑灰岩; D 为具均质或水平层理泥状灰岩。具块状层理的“竹叶状”砾屑灰岩厚度为 35 cm 其砾石一般为 2~5 cm \times 1~2.5 cm 砾石大多平行层面排列,局部见放射状、倒“小”字状排列。具丘状、洼状交错层理的砂屑灰岩厚度为 20 cm 简单式丘状、洼状交错层理发育。具均质或水平层理泥状灰岩厚度为 15 cm 其内常见生物扰动构造。代表风暴流作用—风暴浪作用—风暴过后的快速悬浮沉积和缓慢悬浮沉积(沉积背景)。该沉积序列反映其为风暴浪基面和正常浪基面之间的内陆棚风暴流沉积。

序列 3 该沉积序列厚度为 110 cm 由沉积单元 B、C、D 段组成(图 4-(3))。B 为具有递变层理的砾屑灰岩(由下向上颗粒由粗变细),底部具冲刷侵蚀面或冲刷渠; C 为丘状交错层理(推测看到的是丘状交错层理的纵切面); D 为具均质或水平层理的泥状灰岩。上述序列的各单元紧密共生,组成了鲍马序

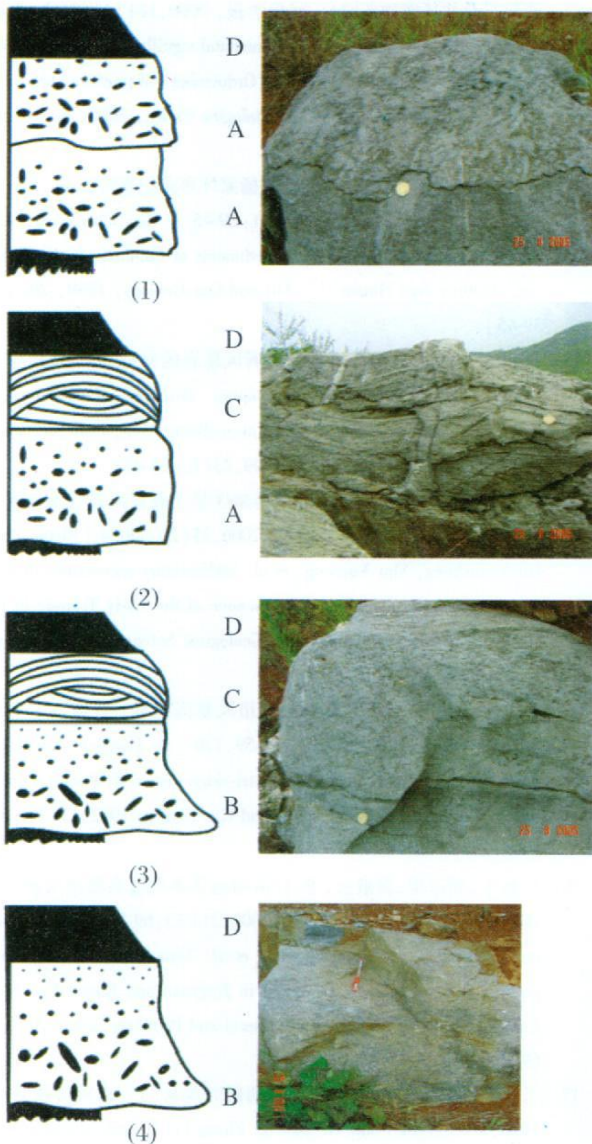


图 4 桂阳莲塘石龙锡矿山组的风暴沉积序列

- (1) A—D 序列; (2) A—C—D 序列;
- (3) B—C—D 序列; (4) B—D 序列

Fig 4 Storm depositional sequences of Xikuangshan Formation in Shuang Liantang, Guiyang

- (1) A—D sedimentary sequence (2) A—C—D sedimentary sequence
- (3) B—C—D sedimentary sequence (4) B—D sedimentary sequence

列, 代表风暴浪及面之上的受风暴影响外陆棚的风暴浊流沉积。

序列 4 此序列由沉积单元 B、D 组成, 该沉积序列厚度为 90 m。B 为具有递变层理的砾屑灰岩 (由下向上颗粒由粗变细), 其厚度为 60 m; D 为块状、泥状灰岩, 其厚度 30 m (图 4-(4))。代表风暴浊流—风暴悬浮沉积, 其为不完整的鲍马序列, 反映风暴浪基面之下的外陆棚的风暴浊流作用衰减过程中

及风暴过后快速悬浮沉积形成的沉积序列。

研究区内发育多期风暴沉积序列, 多数风暴序列不完整。根据风暴序列发育特征, 可以总结出 3 种理想的风暴岩沉积序列: A—C—D 序列、B—C—D 序列和 B—D 序列。其中 A—C—D 序列下部 A 段代表风暴涡流沉积, C 段代表风暴浪沉积, D 段代表风暴过后的快速悬浮沉积, 该序列为风暴浪及面之上的风暴涡流—风暴浪—风暴后沉积序列。B—C—D 序列与 A—C—D 序列差别在于底部为风暴浊流沉积, 该序列代表风暴浪及面之上的风暴浊流—风暴浪—风暴后沉积序列。B—D 序列则代表风暴浪基面之下的风暴浊流—风暴后沉积序列。

5 风暴岩古地理、古气候意义

现代风暴主要形成于赤道附近 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 的东风带、热带海区, 影响范围可达纬度 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 。华南南部地区泥盆纪一直没有发现风暴岩沉积, 过去给人的印象是, 华南南部不处于低纬度的风暴作用带, 或者处于风暴作用带, 但由于古板块、古地理、古洋流的因素导致华南南部不发育风暴作用。

关于华南泥盆纪的古纬度, 在上世纪 80~90 年代进行过古地磁研究。其中叶素娟^[19]古地磁分析认为桂林南边村泥盆系顶部古纬度为 $+4^{\circ}$ 左右。而卢德揆^[19]研究的广西武鸣的古地磁指示的古纬度为 $19^{\circ} \sim 27^{\circ}$ 。限于当时古地磁研究的精度问题, 这些数据的可靠性存在疑问。白志强^[20]古地磁研究认为早一中泥盆世之交, 广西那艺古纬度为北纬 $0^{\circ}36'$, 泥盆纪—石炭纪之交, 贵州陆化地区古纬度为北纬 $4^{\circ}10'12''$ 。因此认为华南南部在早一中泥盆世位于古赤道附近, 泥盆纪时期华南板块向北缓慢移动, 移动速率为 $0.22 \sim 0.26 \text{ cm/a}$

湖南桂阳莲塘地区泥盆系锡矿山组中发育有典型的风暴沉积, 该风暴沉积反映上泥盆纪时期湖南桂阳一带位于赤道附近低纬度 ($5^{\circ} \sim 20^{\circ}$) 的风暴作用带, 其沉积环境为陆棚浅海—开放潮下带—局限潮下沉积环境。这里气候温暖, 水体清洁, 盐度正常, 生物丰富, 广泛发育碳酸盐沉积。在赤道附近的风暴作用下, 形成了典型的风暴沉积。对湖南桂阳莲塘地区泥盆系锡矿山组风暴沉积的深入研究, 不仅对确定华南板块的古纬度, 分析华南板块的向北漂移提供更仔细、更可靠的参考数据, 而且对华南板块泥盆纪的古气候、古地理恢复都具有重要意义。

参考文献 (References)

- Kelling G Mullin P R. Graded limestones and limestone quartzite couplets: possible storm-sediments from the Pleistocene of Massachusetts [J]. *Petrology* 1975 38: 971-984
- Aigner T. Schill-tempestite in Oberen Muschlkalk (Trias SW-Deutschland) [J]. *Neues Jahrbuch Geologic und Palaeontologic Abhandlungen* 1979 157: 326-343
- 刘宝珺, 张继庆, 许效松. 四川兴文四龙下二叠统碳酸盐风暴岩 [J]. *地质学报*, 1986 60(1): 55-67 [Liu Baojun Zhang Jiqing Xu Xiaosong. On the calcareous tempestites in the lower Permian of Si-long Xingwen Sichuan [J]. *Geologica Sinica* 1986 60(1): 55-67]
- 孟祥化, 乔秀夫, 葛铭. 华北古浅海碳酸盐风暴沉积和丁家滩相序模式 [J]. *沉积学报*, 1986 4(2): 1-22 [Meng Xianghua Qiao Xiufu Ge Ming et al. Study on ancient shallow sea carbonate storm deposits (tempestite) in North China and Dingjiantan model of facies sequences [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1986 4(2): 1-22]
- 乔秀夫, 邢裕盛, 高林志, 等. 皖北震旦系张渠组风暴沉积—向上变浅的碳酸盐沉积序列 [J]. *地质学报*, 1989 63(4): 297-309 [Qiao Xiufu Xing Yusheng Gao Linzhi et al. Storm deposits of the Sinian Zhonggu Formation northern Anhui: an upward-shallowing carbonate sequence [J]. *Acta Geologica Sinica* 1989 3(4): 297-309]
- 杜远生, 韩欣. 滇中中元古代昆阳群因民组碎屑风暴岩及其意义 [J]. *沉积学报*, 2000 18(2): 259-262 [Du Yuansheng Han Xin. Clastic tempestite and its significance in Yinmin Formation Kunyang Group of Mesoproterozoic in central Yunnan province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2000 18(2): 259-262]
- 安桐林. 蓟县雾迷山组碳酸盐岩原地型风暴沉积特征及成因探讨 [J]. *沉积学报*, 1993 11(4): 30-36 [An Tonglin. The features and genetic discussion of carbonate autochthonous tempestite in Wumishan Formation in the Jixian [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1993 11(4): 30-36]
- 袁静. 山东惠民凹陷古近系风暴沉积特征及沉积模式 [J]. *沉积学报*, 2006 24(1): 43-49 [Yuan Jing. The sedimentary characteristics and models of paleogene tempestites in Huimin Sag, Shandong Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2006 24(1): 43-49]
- 孟庆任, 胡健民, 李文厚. 豫西前寒武纪汝阳群和洛峪群中风暴沉积 [J]. *地质科学*, 1995 30(3): 240-246 [Meng Qingren Hu Jianmin Li Wenhui. Storm-influenced sedimentation within the precambrian Ruyang Group and Luoyu Group, western Henan [J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)* 1995 30(3): 240-246]
- 邵龙义. 湘中下石炭统风暴岩的研究 [J]. *地质科学*, 1993 28(4): 34-44 107-108 [Shao Longyi. Study on tempestites of Lower Carboniferous in Central Hunan, South China [J]. *Chinese Journal of Geology* 1993 28(4): 34-44 107-108]
- 方国庆, 刘德良. 塔里木盆地西北缘中奥陶统其浪组风暴岩中遗迹化石及其环境意义 [J]. *沉积学报*, 2000 18(1): 68-72 [Fang Guoqing Liu Deliang. Paleoenvironmental significance of trace fossils in tempestite of Qilang Fm (Middle Ordovician) of northwestern Tarim Basin in China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2000 18(1): 68-72]
- 郭成贤, 朱忠德, 靳涛, 等. 湘西北杨家坪寒武纪事件沉积 [J]. *石油与天然气地质*, 1999 20(1): 39-45 [Guo Chengxian Zhu Zhongde, Jin Tao et al. Event sediments of Cambrian in Yangjiaping Northwestern Hunan [J]. *Oil and Gas Geology* 1999 20(1): 39-45]
- 杨明慧. 桂北巴马马平组远源钙屑风暴岩的发现 [J]. *地层学杂志*, 1999 23(1): 38-41 [Yang Minghui. Discovery of the late Carboniferous distal calcareous tempestite in Bama Area, Northern Guangxi [J]. *Journal of Stratigraphy* 1999 23(1): 38-41]
- 张哲, 杜远生, 舒雪松, 等. 鄂东南地区早三叠世风暴沉积序列及其环境意义 [J]. *地质科技情报*, 2006 25(2): 29-34 [Zhang Zhe Du Yuansheng Shu Xuesong et al. Sedimentary successions of tempestite and their environment significance of the Early Triassic in the southeastern Hubei Province [J]. *Geological Science and Technology Information* 2006 25(2): 29-34]
- 吕洪波, 夏邦栋, 涂涛. 苏南五通组风暴沉积与三肖波 [J]. *石油与天然气地质*, 1992 13(3): 51-59 126 [Lv Hongbo Xia Bangdong Tu Tao. Storm deposits and tri-ridge marks of Wutong Formation in Southern Jiangsu [J]. *Oil and Gas Geology* 1992 13(3): 51-59+126]
- 杜远生, 周道华, 龚淑云, 等. 甘肃靖远景泰泥盆系湖相风暴岩及其古地理意义 [J]. *矿物岩石*, 2001 21(3): 69-73 [Du Yuansheng Zhou Dachua Gong Shuyun et al. Tempestite and its paleogeography significance of Devonian in Jingyuan and Jingtai Counties Gansu Province [J]. *Journal of Mineral and Petrology* 2001 21(3): 69-73]
- 马永生, 仲力. 风暴沉积、风暴岩的研究现状 [J]. *地质科技情报*, 1990 9(3): 9-14 [Ma Yongsheng Zhong Li. Recent development of study on storm deposition and tempestites [J]. *Geological Science and Technology Information* 1990 9(3): 9-14]
- Dott R H Jr Bourgeois J. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences [J]. *Geological Society of American Bulletin* 1982 93(8): 663-680
- 钟铿, 吴谔, 殷保安, 等. 广西的泥盆纪 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992 295-298 [Zhong Keng Wu Yi Yin Baoan et al. Devonian of Guangxi [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press 1992 295-298]
- 白志强. 泥盆纪华南板块古地理的位置及其漂移 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 1998 34(6): 807-812 [Bai Zhiqiang. The paleogeographical position and drifting of the southern China Plate in Devonian [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis* 1998 34(6): 807-812]

The Upper Devonian Tempestites from Liantang, Guiyang, Southeastern Hunan Province and Its Palaeogeographic and Palaeoclimatic Significance

ZHANG Zhe DU Yuan-sheng MAO Zhi-chao LIRui YUAN Xiao-jie

(China University of Geosciences, Wuhan Key Laboratory of Biogeology and Environment Geology of Education Ministry of China, Wuhan 430074)

Abstracts The Upper Devonian Xikuangshan Formation in Shibing, Liantang, Guiyang county, southeastern Hunan Province consists of limestones, dolomites, dolomitized limestones and linedolomites of platform facies, in which typical tempestites develop. The criteria of storm deposits conclude bottom gutter casts, radial fabric of "wormkalk" calcirudite, hummocky or swaley cross bedding, parallel bedding, massive bedding and graded bedding. The tempestites consist of 4 types of lithofacies: A-"wormkalk" calcirudite with massive bedding and bottom gutter casts; B-"wormkalk" calcirudite with graded bedding; C-calcarenite with hummocky or swaley cross bedding and parallel bedding; D-mudstone with homogeneous or horizontal bedding. These lithofacies constitute 4 types of depositional succession: A-D succession, A-C-D succession, B-C-D succession and B-D succession. The storm deposits indicate that southeastern Hunan locate in platform to shelf of low latitude zone ($5^{\circ} \sim 20^{\circ}$) in the Late Devonian. The discovery of the storm deposits has important significance for the interpretation of the palaeoclimate of Devonian.

Key words Hunan Province; Devonian; tempestites; palaeogeography; palaeoclimate