

文章编号: 1000-0550(2012)05-0787-08

黔东镇远地区早寒武世清虚洞组潮坪风暴沉积特征及古地理意义^①

马志鑫¹ 张万平¹ 刘伟¹ 李波²

(1. 成都地质矿产研究所 成都 610081; 2. 中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室 武汉 430074)

摘要 黔东镇远地区早寒武世(相当于2008国际地层年表中的寒武纪第二世)清虚洞组发现类型丰富、特征典型的风暴沉积标志。侵蚀底面、粗粒滞留沉积、粒序层、波状层理、韵律层理等沉积组构明显,而丘状层理不发育。通过对金盆剖面和溜沙关剖面详细的野外观察及室内分析,识别出三种类型的风暴沉积序列。研究区风暴沉积的背景沉积为灰色纹层状灰岩,见波状层理、鸟眼构造等指示潮坪环境。综合分析得出,镇远地区的风暴沉积属于潮坪风暴沉积。这丰富了湘西黔东地区早寒武世清虚洞组风暴沉积的类型。风暴沉积的发现也为研究区早寒武世位于赤道附近的低纬度区域提供了间接的证据。

关键词 风暴沉积 潮坪 寒武纪 清虚洞组 黔东

第一作者简介 马志鑫 男 1983年出生 工程师 沉积学 E-mail: zhixinma83@yahoo.com.cn

中图分类号 P512.2 P534.41 **文献标识码** A

风暴沉积在现代和古代滨—浅海沉积中极为常见,也是重要的沉积作用之一。对于其定义, Kelling 和 Mullin 首先提出风暴岩(tempestite)的概念,用来描述风暴作用扰动后,在浅海盆地再沉积、形成的递变浊积岩^[1]。后来, Aigner^[2]扩充了风暴岩的意义,提出风暴沉积(storm deposit),泛指所有受风暴作用影响的沉积。风暴沉积序列及各段特征是风暴事件各阶段作用的记录,一次完整的风暴事件可能分为风暴期前、风暴增长期、风暴高峰期、风暴衰减期和风暴期后等5个阶段,在各个不同发展阶段中,分别出现不同的沉积特征和沉积构造,从而形成代表风暴事件的各种标志^[3]。一个完整的风暴沉积剖面序列由以下6个层段构成: A. 粒序层段,具有突变底界和冲刷充填构造; B. 平行层理段; C. 丘状交错层理; D. 波状层理段; E. 水平层理段; F. 泥质层段,可具有生物扰动构造^[4-6]。

值得注意的是,由于各地风暴沉积环境、形成时间、保存程度的差别,各地风暴沉积序列有一定的差异。同时,完整的风暴沉积序列在现代和古代沉积中并不多见。这是由于风暴沉积形成后,经常受到沉积后期的侵蚀、破坏和改造作用。所以,地层中保存的风暴沉积多以不完整或变形形式出现。

黔东地区寒武纪位于浅水台地相到深水盆地相

的过渡带上,前人对黔东地区早寒武世(2008国际地层年表中的寒武纪第二世)清虚洞组风暴沉积已有报道,多发生于浅水陆棚或斜坡区^[7,8]。本次在黔东镇远地区早寒武世清虚洞组潮坪环境中发现的风暴沉积现象丰富、独特。风暴序列下部滞留沉积和上部韵律层理段组成的“二元结构”明显,发育波状侵蚀底面、粒序层,且滞留沉积中灰泥砾屑、鲕粒等的保存状态指示了潮坪环境。由于潮汐、波浪的频繁作用,序列中未见保存良好的丘状交错层理。这一研究极大地丰富了湘西黔东地区早寒武世清虚洞组风暴沉积的类型。同时与前人在邻区的研究进行对比,初步建立了湘西黔东地区清虚洞组的风暴沉积空间分布特征模式,为进一步认识黔东地区早寒武世清虚洞组的古地理、古气候条件提供了重要依据。

1 地质概况及沉积背景

镇远地区位于扬子陆块东南缘,早寒武世清虚洞组沉积时期,研究区处于成熟被动大陆边缘阶段,发育浅水碳酸盐岩沉积。对于研究区寒武纪的年代地层,本文采用了2008国际地层年表中新的4统10阶划分方案^[9,10]。区内寒武系自下而上包括榔榔组、清虚洞组、高台组、炉山组。第二统榔榔组为灰绿色、深灰色泥质、粉砂质页岩,顶部夹少量灰岩透镜体。第

^①中国地质调查局地质调查工作项目《扬子陆块周缘铅锌矿成矿带基础地质综合研究》(编号:1212011085168)资助。
收稿日期:2011-09-20; 收修改稿日期:2012-01-09

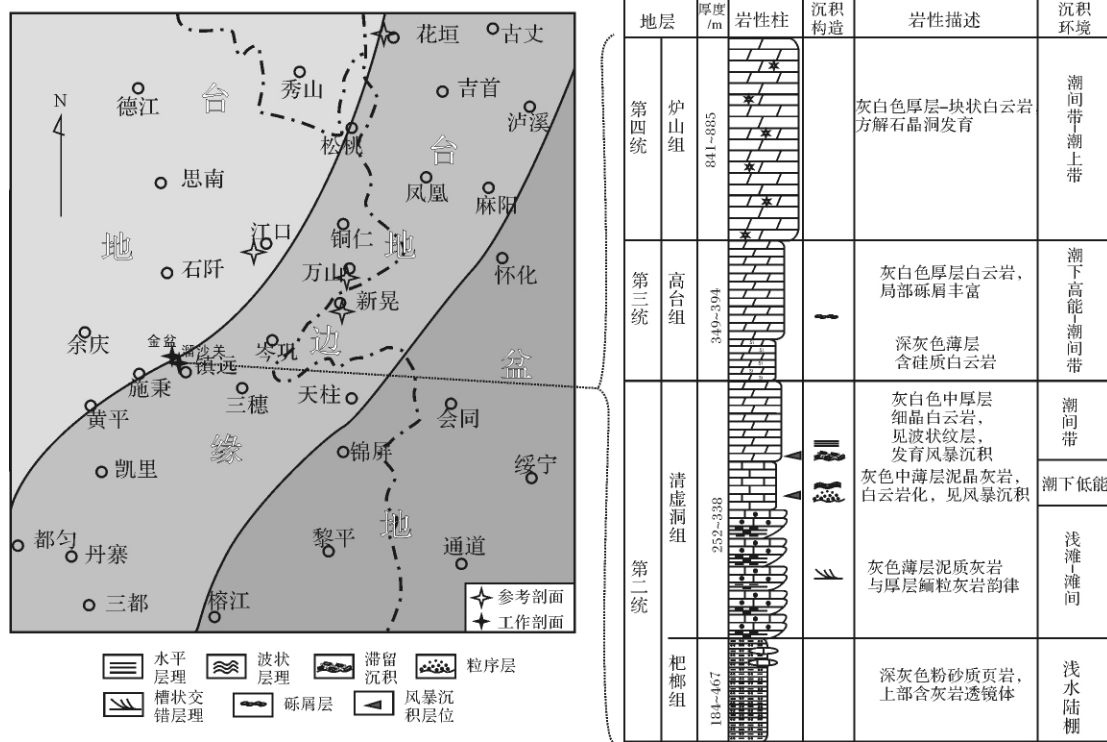


图1 湘西黔东早寒武世古地理格局^[11]、剖面位置及地层序列

Fig. 1 Paleogeography of early Cambrian in eastern Guizhou and western Hunan and location of sections and stratigraphic sequences

二统清虚洞组下部为灰色中薄层泥质条带灰岩及厚层鲕粒灰岩,中部为灰色中厚层灰岩,具白云岩化,上部为灰色中厚层粉晶-细晶白云岩、含鲕粒白云岩。第三统高台组下部为深灰色中薄层含硅质白云岩,单层厚度约5~10 cm,层面起伏不平。发育水平层理,波状层理,局部见砾屑,砾屑大小约1~3 mm。上部为灰白色中厚层状白云岩,单层厚度约20~50 cm,砾屑较多,砾屑大小不等,1~5 mm,局部见褐铁矿化。第四统炉山组为灰白色-肉红色块状白云岩,风化面刀砍纹发育,新鲜面灰色常带有肉红色,岩石表面方解石晶洞发育。整体上寒武系自下而上组成一个碎屑岩陆棚到蒸发碳酸盐岩台地向上变浅的沉积序列(图2)。

本文研究的风暴沉积主要发育在镇远县西北部金盆和溜沙关剖面清虚洞组中上部的灰岩沉积中(图1)。野外露头为灰色-深灰色纹层状泥晶灰岩,见鸟眼构造,具弱白云岩化,风化面略见刀砍纹,显示波状层理(图2-a,b)。显微镜下以微晶方解石为主,粒度小于30 μm,颗粒类型以藻球粒为主。显示含藻球粒的薄层与深色泥岩层互层,前者中鸟眼构造发育(图2-d)。显示不同程度白云岩化,一些云化强烈的已经难于辨识原来结构(图2-c)。整体上代表潮坪

沉积环境。

2 风暴沉积特征

通过野外露头观察和室内观察分析,镇远地区早寒武世清虚洞组中部发现丰富的风暴沉积构造,包括侵蚀底面、粗粒滞留沉积、粒序层、波状层理、韵律层理等。

2.1 侵蚀底面

侵蚀底面是风暴起始和高峰阶段,高流态的风暴涡流对沉积底面侵蚀、改造而形成的沉积构造,是鉴定风暴沉积的一种典型标志。侵蚀面的凹凸程度反映了风暴作用强度的大小。通常可分为两种,一种为具有强侵蚀作用的高能风暴形成的渠模、口袋模构造;另一种为具有较弱侵蚀作用的较低能风暴作用形成的波状侵蚀面构造^[12]。研究区风暴沉积中两种侵蚀底面均发育。渠模主要见于溜沙关剖面,其形态上宽下窄,侵蚀底面深约4 cm,反映风暴涡流的强度比较大(图3-a)。波状侵蚀面在金盆和溜沙关剖面中均可见,起伏幅度较小,一般1~2 cm,波峰宽缓,波谷陡峭,反映风暴涡流作用不是很强(图3-d,e)。

2.2 粗粒滞留沉积

粗粒滞留沉积一般发育于风暴侵蚀底面之上。

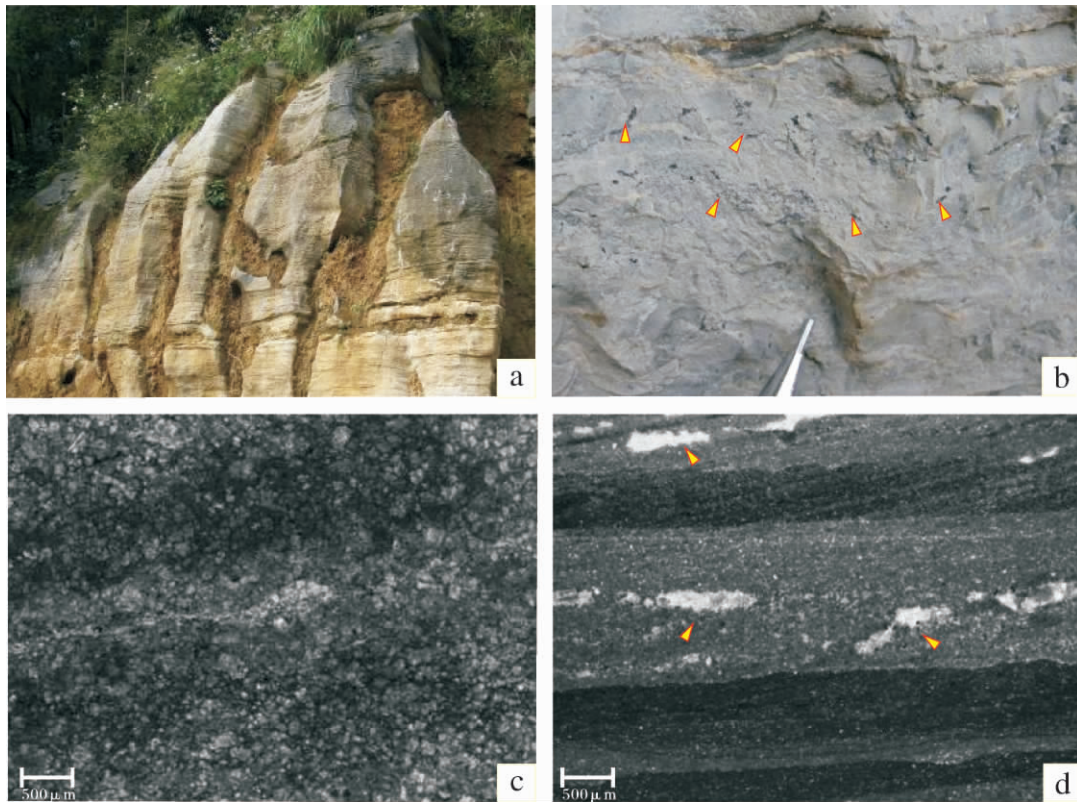


图 2 镇远地区清虚洞组风暴沉积段的背景沉积

a. 纹层状白云岩, 金盆剖面; b. 中厚层含泥灰岩, 见鸟眼构造(黄色三角指示), 溜沙关剖面; c. 细晶—粉晶白云岩, 略显纹层, 金盆剖面; d. 泥晶灰岩, 显示藻球粒与灰泥相间的纹层, 鸟眼构造(黄色三角指示), 溜沙关剖面.

Fig. 2 The background deposit of storm deposit of Qingxudong Formation in Zhenyuan

风暴高峰期, 风暴涡流对原地半固结的岩石进行掏蚀, 将其击碎并卷起、搅动、变形, 形成紊乱的搅动层。因此粗粒滞留沉积也是风暴沉积的一种典型标志^[13]。风暴滞留沉积是研究区风暴沉积的典型特征, 尤其在金盆剖面发育良好。它主要由砾屑、内碎屑和鲕粒构成。砾屑个体通常较大, 一般约 0.4 cm × 0.6 cm, 最大约 2 cm × 5 cm, 外形多呈不规则状、棱角状和撕裂状, 浅灰色, 可见波状纹层, 与背景沉积的纹层状白云岩很相近, 很可能是纹层状白云岩在风暴作用下破碎后沉积的。角砾周围被粉砂质或泥质充填, 呈漂砾状。一些砾屑的排列显示倒“小”字型结构(图 3-c), 这种结构被认为是风暴涡流作用的典型证据^[7, 14]。内碎屑外形多为球形或近球形, 深灰色, 个体相对较小, 一般直径 0.2 cm, 大者达 0.5 cm。鲕粒个体较小, 一般为 0.2 cm 或更小, 多为深灰色, 分散分布于内碎屑和砾屑之间(图 3-b, c, f, g)。

2.3 粒序层

粒序层位于冲刷面之上, 与下伏泥晶灰岩呈突变接触。风暴高峰过后, 风暴密度流按重力分异沉降而

形成向上变细的粒序层。粒序层在溜沙关剖面发育较好, 厚度约几厘米至十几厘米, 下部主要为砾屑—砂屑堆积, 砾屑形态多样, 主要为椭球状, 大小约 0.5 cm × 1 cm, 向上砾屑个体逐渐变小, 而且数量也变少, 最终过渡为砂屑为主(图 3-a)。

2.4 波状层理

波状层理由波浪摆动引起的。层系界面呈不规则的微波状起伏, 前积纹层成组排列成束状层系, 前积层可以通过波谷达到相邻沙纹的翼上。在金盆剖面, 波状层理见于滞留沉积之上, 或者二者交互出现。其组成岩性为砂屑结构, 起伏幅度约 0.5 cm, 波长 5 cm, 波峰宽缓, 波谷较陡(图 3-f, h)。这种沉积代表了风暴浪衰减后正常波浪作用的沉积。

2.5 韵律层理

韵律层理是在砂泥互层的水平层理中不同颜色、不同成分、不同粒度的单层在厚度较薄时(< 4 ~ 5 mm) 所形成的纹层状互层, 一般由潮汐变化、季节变化等作用形成。研究区韵律层理发育于粒序层或滞留沉积上部, 有时与滞留沉积呈指状交叉(图 3-f), 纹

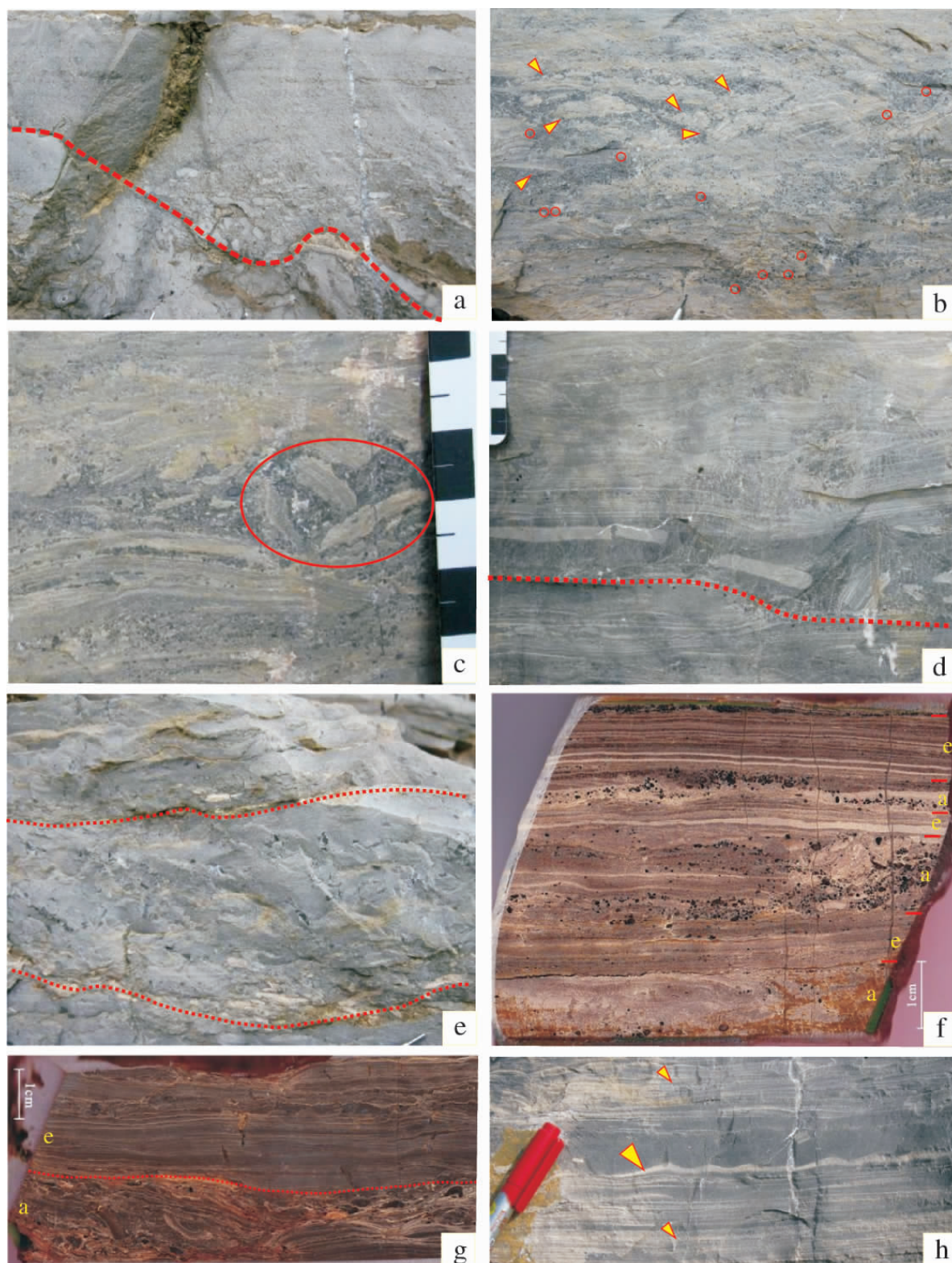


图3 镇远地区风暴沉积构造特征

1. 侵蚀底面(红色虚线)、粒序层,溜沙关剖面 2. 滞留沉积,包括砾屑(黄色箭头表示)、内碎屑(圆圈)、鲕粒,金盆剖面 3. 倒"小"字砾屑排列,金盆剖面 4. 侵波状蚀面、撕裂砾屑,金盆剖面 5. 侵蚀面、砾屑层,溜沙关剖面 6. 滞留沉积与韵律层理组成的二元结构 a 代表滞留沉积段 e 代表韵律层理段,金盆剖面 7. 砾屑层 a、韵律层理 e,溜沙关剖面 8. 波状层理(大三角)、韵律层理(小三角),金盆剖面

Fig. 3 Sedimentary structure of storm deposit in Zhenyuan

层厚度为毫米级,纹层平直或略显波状,连续性较好。岩性多为泥晶灰岩与粉晶灰岩组成的韵律层,代表风暴作用衰退后的正常潮坪环境沉积(图3-g, h)。

3 风暴沉积序列

一个完整的风暴沉积序列一般包括5个部分:A.粒序层段或滞留沉积段,具有突变底界和冲刷充填构造;B.平行层理段;C.丘状或洼状交错层理;D.波状层理段;E.水平层理段,构成似鲍马序列。由于研究区整体处于潮坪环境,潮汐和波浪作用会对风暴沉积产物再次改造,因此风暴沉积序列保存不完整^[14, 15]。其中B段、C段在镇远地区风暴沉积中发育不好,A、D、E段保存较好。镇远地区风暴沉积序列的主要特征表现为风暴期沉积与正常潮坪沉积组成的二元结构,根据各段发育的具体情况,划分出三种风暴序列(图4)。

类型 I

该风暴序列厚约30 cm, A段发育较厚的粗粒滞留沉积,厚度达15 cm,占总序列的一半;向上依次出现D波状层理、E韵律层理。粗粒滞留沉积段颗粒组成主要为砾屑、内碎屑、鲕粒。砾屑个体较大,约几厘米大小,磨圆、分选差,从砾屑的成分看,与背景沉积的纹层状灰岩十分相近,推测可能是在风暴流作用下,改造、破坏下部未固结的岩石所致。这种类似的砾屑被前人称作“碎藻层纹层石”,分布具等时性,其分布可能北东向展布至湘西花垣附近^[16]。内碎屑个体较小,约几毫米大小,灰黑色、分选、磨圆相对较好,其来自于固结岩石的破损,搬运而至。鲕粒很可能来自潮坪向海方向的浅滩附近,在风暴浪携带下进入潮坪环境。C段丘状交错层理不发育,可能是后期频繁潮汐或波浪作用破坏剥蚀所致。波状层理段和韵律层理段交替产出,代表风暴退去,正常水体条件下的潮坪沉积。

类型 II

该风暴序列厚约20 cm,底部为口袋状侵蚀面,其上为A段粒序层,厚约8~10 cm,粒序层颗粒组成主要为砾屑和砂屑,砾屑个体较小,灰白色或灰黄色,一般为厘米级,分选磨圆较好,竹叶状或椭圆状,组分与下伏背景灰岩沉积相近,砾屑粒径向上变小,数量变少。向上出现块状层理,砂屑结构,是风暴衰减后悬浮颗粒在重力作用下迅速沉降形成。再向上微D波状层理段,岩性为泥晶灰岩,代表风暴退去,正常潮坪环境的沉积。

类型 III

该风暴序列为多期风暴叠加形成,具有多期明显的侵蚀底面。每期的风暴沉积侵蚀底面微波状起伏,主要由A粗粒滞留沉积段和D波状层理段构成。下部粗粒滞留沉积厚度较小,约1~2 cm,成分主要是灰泥质砾屑,有一定磨圆,分选差。上部波状层理段厚度较大,约5~10 cm,成分主要为泥晶灰岩,见鸟眼构造,代表正常潮坪沉积。

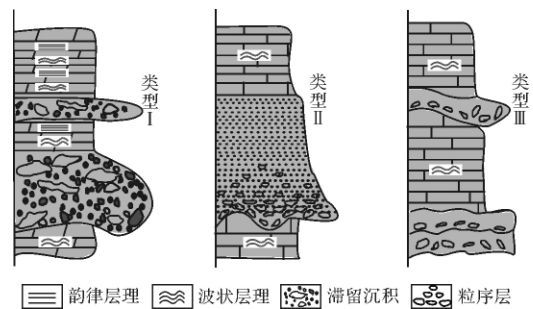


图4 镇远地区风暴沉积序列

Fig. 4 Depositional sequence of storm deposit in Zhenyuan area

4 古地理意义

4.1 镇远地区清虚洞组沉积环境为潮坪环境,发育风暴沉积。

镇远地区清虚洞组的背景沉积为纹层状白云岩或白云岩化灰岩,波状藻纹层、鸟眼构造发育,为典型潮坪环境。风暴沉积段主要特征是滞留沉积段发育,其成分包括了砾屑、内碎屑和鲕粒,砾屑成分为破碎的纹层状白云岩碎屑,分选、磨圆差,边缘粗糙。在相对低能的潮坪环境,这些滞留沉积的形成很可能是在风暴潮作用下搬运、沉积的,代表了潮坪风暴沉积。从纹层状白云质砾屑的保存状态看,很可能来自于风暴潮对原地潮坪沉积的撕裂、破坏。鲕粒和内碎屑经过一定距离的搬运。清虚洞组沉积期,在研究区东侧的松桃、铜仁、凯里一线,存在浅滩及生物丘沉积,鲕粒和内碎屑很可能是在风暴潮侵蚀作用下,破坏浅滩及生物丘并搬运至潮坪沉积的^[17]。许多古代潮缘碳酸盐岩的纹层常由毫米级的微晶灰岩和微晶白云岩组成,局部夹有含内碎屑和球粒的颗粒灰岩、灰泥质颗粒石灰岩纹层,它们代表风暴沉积^[5, 18]。

4.2 镇远地区的潮坪风暴沉积完善了早寒武世清虚洞期湘西—黔东地区风暴沉积的类型。

风暴沉积物是突发的水流使沉积物周期性侵位的产物,其性质可能取决于风暴的强度,一定沉积场

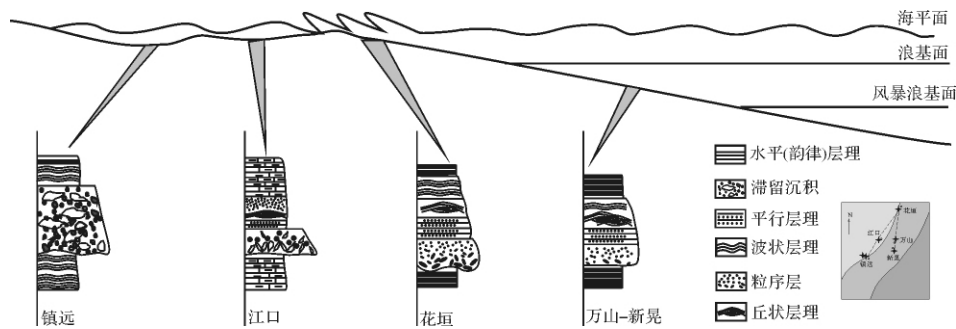


图5 湘西黔东清虚洞组风暴沉积序列

Fig. 5 Storm deposit sequence in western Hunan and eastern Guizhou Province

所的水深、相对于风暴行径的位置、陆棚坡度和海岸线形状等^[19-20]。各种风暴作用的流体在不同水深部位是不同的,保存的风暴沉积构造也不同。在风暴浪基面之下,风暴浪一般不触及海底,主要为风暴重力流作用带,沉积构造以粒序层为主;在正常浪基面—风暴浪基面之间,这是风暴浪、风暴涡流作用带、风暴重力流,也是风暴作用最强带,风暴沉积构造最为丰富,可以保存完整的风暴序列;在正常浪基面之上,平均海平面之下,为风暴回流、风暴浪、风暴涡流作用带,同时这一带正常波浪作用很强,会对风暴浪产生的丘状层理等产生破坏;在平均海平面之上的潮坪环境,主要为风暴潮流作用带,也有部分的风暴涡流作用,主要沉积构造包括冲刷面、放射状组构、竹叶状砾屑灰岩。

寒武纪时,扬子碳酸盐台地东南边缘的湘西黔东地区经历了明显的缓坡—台地演化过程。清虚洞组沉积期正好为碳酸盐岩台地演化的第一阶段,即碳酸盐等斜缓坡—变陡缓坡阶段。湘西黔东地区早寒武世清虚洞组风暴沉积记录了潮坪到风暴浪基面各种环境不同类型的风暴沉积(图5)。黔东北的江口剖面清虚洞组发育风暴沉积序列,由下向上包括侵蚀底面、递变层理段、平行层理段、丘状层理段、均质层理段,见菊花状砾石排列、钙质鲕粒,背景沉积为泥质条带灰岩,是典型的潮下浅海风暴沉积^[7]。研究区以东的贵州万山—湖南新晃—湖南张家界一带的清虚洞组为斜坡沉积,处于正常浪基面与风暴浪基面之间,其风暴沉积序列保存比较完整,包括正粒序、平行层理段、丘状较粗层理段、波状层理段及纹层灰泥段^[8]。湘西花垣地区清虚洞组风暴沉积也十分发育,风暴沉积的保存在浅水陆棚—潮下带,垂向上具有风暴油积岩—风暴岩—风暴改造层的演化序列^[16-21]。本文研究的镇远地区清虚洞组风暴沉积,

主要发育侵蚀底面,及其上滞留沉积或粒序层段,背景沉积为纹层状白云岩,局部见鸟眼构造,为风暴潮作用的潮坪风暴沉积。这样,从潮下带到潮坪环境,发育一套完整的各具特点的风暴沉积,因此镇远地区清虚洞组风暴沉积完善了不同沉积环境风暴沉积的类型。

4.3 风暴沉积为扬子陆块当时的古地理位置提供了间接证据。

研究表明,现代飓风带位于大西洋边缘 $5^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 纬度范围内,而冬季风暴带多发生在超过 25° 纬度范围。 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 纬度区域是飓风和冬季风暴共同作用的范围。有人提出古生代丘状交错层理发生于冬季风暴带和飓风带的混合带^[22]。由于中低纬度受赤道暖流影响,是强风暴的重要发源地和内源风暴碳酸盐岩沉积的主要场所。在开阔浅海区域,强风风暴形成的漩涡流常以 2 m/s 的速度直接传向 $100 \sim 200 \text{ m}$ 深的海底。古地磁数据表明,早寒武世,扬子陆块位于南半球中低纬度区,与冈瓦纳大陆毗邻^[23-26]。镇远地区清虚洞组风暴沉积的发育为扬子陆块古地理位置提供了间接的证据。

致谢 在论文的修改过程中,成都地质矿产研究所尹福光、朱同兴研究员在论文修改中提出了宝贵意见,两位审稿专家提出了中肯的建议,在此一并表示感谢!

参考文献 (References)

- 1 Kelling G, Mullin P. Graded limestones and limestone quartzite couplets: possible storm-sediments from the Pleistocene of Massachusetts [J]. *Petrology*, 1975, 38: 971-984
- 2 Aigner T. Schill-Tempestit im Oberen Muschelkalk (Trias, SW-Deutschland) [J]. *Neues Jahrbuch Geologie and Palontologie, Abhandlungen*, 1979, 157: 326-343
- 3 Allen J R L. Sedimentary structures: their character and physical basis

- [J]. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1982: 1-593
- 4 牟传龙. 谈谈丘状层理与风暴沉积[J]. 沉积与特提斯地质, 1989, 44(6): 40-44 [Mu Chuanlong. Discussion on hummocky cross-stratification and storm deposits[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 1989, 44(6): 40-44]
 - 5 Fügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2004: 1-976
 - 6 Zhou Z C, Willems H, Li Y, *et al.* A well-preserved carbonate tempestite sequence from the Cambrian Gushan Formation, eastern North China Craton[J]. Palaeoworld, 2011, 20(1): 1-7
 - 7 周琦, 颜佳新, 张命桥. 黔东北地区寒武系清虚洞组钙质风暴岩及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2006, 25(2): 25-28 [Zhou Qi, Yan Jiaxin, Zhang Mingqiao. Calcareous tempestite from the Cambrian Qingxudong Formation in Northeastern Guizhou Province and their geological implications[J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(2): 25-28]
 - 8 金振奎, 蒋盘良. 黔东湘西寒武纪碳酸盐斜坡上的风暴沉积[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1995, 19(3): 1-6 [Jin Zhenkui, Jiang Panliang. Cambrian storm deposits on carbonate slope at east Guizhou and west Hunan Provinces[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1995, 19(3): 1-6]
 - 9 章森桂, 张允白, 严惠君. “国际地层表”(2008)简介[J]. 地层学杂志, 2009(1): 1-10 [Zhang Sengui, Zhang Yunbai, Yan Huijun. A brief introduction to the “international stratigraphic chart” (2008) [J]. Journal of Stratigraphy, 2009(1): 1-10]
 - 10 彭善池. 华南新的寒武纪生物地层序列和年代地层系统[J]. 科学通报, 2009, 54(18): 2691-2698 [Peng Shanchi. The newly-developed Cambrian biostratigraphic succession and chronostratigraphic scheme for South China [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(22): 4161-4170]
 - 11 梁仁枝, 李汉瑜, 刘宝珺, 等. 湘西黔东下中寒武统沉积环境[J]. 沉积学报, 1991, 9(2): 16-24 [Liang Renzhi, Li Hanyu, Liu Baojun, *et al.* Dynamic stratigraphy of Lower and Middle Cambrian in Western Hunan and Eastern Guizhou[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(2): 16-24]
 - 12 杜远生. 广西北海涠洲岛第四纪湖光岩组的风暴岩[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2005, 30(1): 47-51 [Du Yuansheng. Tempestite in the Quaternary Huguangyan Formation in Weizhou Island, Beihai City, Guangxi[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2005, 30(1): 47-51]
 - 13 李华启, 姜在兴. 四川盆地西部上三叠统须家河组二段风暴岩沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 81-86 [Li Huaqi, Jiang Zaixing. Characteristics of storm deposits in upper Triassic Xuji-ahé Formation, Sichuan Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2003, 24(1): 81-86]
 - 14 胡明毅, 贺萍. 潮坪风暴沉积特征及其研究意义[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 391-395 [Hu Mingyi, He Ping. The study of tidal storm deposits and its research significance [J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(3): 391-395]
 - 15 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 the Early Triassic Tempestite in Southeastern Hubei Province and their environment significance [J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(2): 29-34]
 - 16 劳可通. 花垣县李梅地区早寒武世清虚洞期碳酸盐岩中的风暴沉积[J]. 湖南地质, 1989, 8(3): 10-16 [Lao Ketong. The tempestite in Qingxudong Formation carbonate rocks of Lower Cambrian Series in Limei, Huayuan County [J]. Hunan Geology, 1989, 8(3): 10-16]
 - 17 梅冥相, 马永生. 碳酸盐岩沉积学导论[M]. 北京: 地震出版社, 1997: 1-306 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng. Introduction about Carbonate Sedimentology [M]. Beijing: Seismological Press, 1997: 1-306]
 - 18 蒲心纯, 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: 1-190 [Pu Xinchun, Zhou Haoda, Wang Xilin, *et al.* Cambrian Lithofacies Paleogeography and Mineralization in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-190]
 - 19 Brenchley P. Storm influenced sandstone beds [J]. Modern Geology, 1985, 9: 369-396
 - 20 刘宝珺, 许效松, 罗安屏, 等. 中国扬子地台西缘寒武纪风暴事件与磷矿沉积[J]. 沉积学报, 1987, 5(3): 28-41 [Liu Baojun, Xu Xiaosong, Luo Anping, *et al.* Storm events and phosphate deposition in Cambrian on the western margin of the Yangtze platform, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1987, 5(3): 28-41]
 - 21 匡文龙, 杨绍祥, 刘新华, 等. 湘西北渔塘地区寒武系清虚洞组风暴岩及其地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(2): 225-232 [Kuang Wenlong, Yang Yhaoyang, Liu Xinhua, *et al.* Significance of tempestite from the Cambrian Qingxudong Formation in Yutang Area of Northwestern Hunan Province [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2008, 38(2): 225-232]
 - 22 Marsaglia K M, Klein G D V. The paleogeography of Paleozoic and Mesozoic storm depositional systems [J]. The Journal of Geology, 1983, 91(2): 117-142
 - 23 刘育燕, 杨巍然, 森永速男. 华北, 秦岭及扬子陆块的若干古地磁研究结果[J]. 地球科学, 1993, 18(5): 635-641 [Liu Yuyan, Yang Weiran, Morinaga Hayao. Some paleomagnetic results on North China, Qinling and Yangtze blocks [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1993, 18(5): 635-641]
 - 24 黄宝春, 朱日祥, Otofujii Y, *et al.* 华北等中国主要地块早古生代早期古地理位置探讨[J]. 科学通报, 2000, 45(4): 337-345 [Huang Baochun, Zhu Rixiang, Otofujii Y, *et al.* The Early Paleozoic paleogeography of the North China block and the other major blocks of China [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(4): 337-345]
 - 25 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 等. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1999, 24(1): 1-12 [Yin Hongfu, Wu Shunbao, Du Yuansheng, *et al.* South China defined as part of Tethyan Archipelagic Ocean System [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(1): 1-12]
 - 26 项立辉, 刘健, 曹志敏. 丘状交错层理研究述评[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(8): 19-24 [Xiang Lihui, Liu Jian, Cao Zhimin. Re-

Sedimentary Characteristics of Tidal Storm Deposit of Early Cambrian Qingxudong Formation in the Zhenyuan Area, Eastern Guizhou and Its Palaeogeographical Implications

MA Zhi-xin¹ ZHANG Wan-ping¹ LIU Wei¹ LI Bo²

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resource, Chengdu 610081;

2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract: Storm deposits with typical features of were found in the Qingxudong Formation, Lower Cambrian (corresponding to Series 2 of Cambrian) in Zhenyuan area, eastern Guizhou Province. Based on field observation on the Jinpen Section and Liushaguan Section and laboratory analysis, sedimentary structures of storm deposit, such as erosion surface, coarse lag deposits, graded bedding, ripple beddings and rhythmic lamination, are present in the succession, excluding hummocky cross-stratification. Particularly, the lag-suspension deposit couple is evident, winnowed coarse lag deposits occur in the below with an overlying fine laminated bed. Three types of storm deposit sequences with different vertical stacking patterns were identified. Sequence I consists of the coarse lag deposits, ripple beddings and rhythmic lamination upwards. The coarse lag deposits which are composed of gravels, intraclasts and ooids are the predominant parts. Sequence II consists of the graded bedding and ripple beddings, and including wavy erosion surface in the bottom. Sequence III is responsible for multi-stage small scale storm, including lag deposits and ripple beddings. The background deposit is gray laminated limestone, with ripple bedding, bird's eye structure, indicating tidal flat environment. In summary, the storm deposits in Zhenyuan is attributed to tidal flat storm deposit, that enrich the style of storm deposits of Qingxudong Formation, early Cambrian, in eastern Guizhou and western Hunan. The distribution pattern of storm deposit of Qingxudong Formation, in eastern Guizhou and western Hunan was preliminarily summarized based on the previous work and this study. The discovery of storm deposits reflects indirectly the study area should be located in the low latitudes near the equator during the Early Cambrian.

Key words: storm deposit; tidal flat; Cambrian; Qingxudong Formation; eastern Guizhou