

文章编号: 1000-0550(2012)06-1010-11

黔南罗甸沫阳中二叠世茅口组风暴岩沉积特征 及地质意义^①

薛武强^{1 2 3} 李波^{1 2} 颜佳新^{1 2} 申欢欢⁴

(1. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室 武汉 430074; 2. 中国地质大学地球科学学院 武汉 430074;
3. 中国地质大学经济管理学院 武汉 430074; 4. 中国地震局地质研究所 北京 100081)

摘要 黔南罗甸沫阳剖面中二叠世茅口组以海相碳酸盐为主,下部地层中发育风暴岩,露头特征明显,主要以介壳灰岩为识别标志。风暴沉积构造包括底面侵蚀构造、截切构造、波痕层理、递变层理、块状层理等。风暴沉积主要包括一个底面构造 A 和 B、C、D、E 等四个沉积单元: A. 侵蚀底面,代表风暴流对海底沉积物的作用; B. 介壳灰岩层,代表风暴浪、风暴涡流沉积; C. 粒序层,代表风暴衰减期重力分异沉积或风暴浊流沉积; D. 块状层,代表风暴快速悬浮沉积; E. 波痕层理段,代表风暴衰减后期沉积。它们共组成 4 种风暴沉积序列,分别代表不同深度的风暴沉积,反映了不同的风暴沉积作用和风暴流的类型。沫阳地区风暴沉积的沉积特征表明,该区风暴沉积主要发育于风暴浪基面之上的内陆棚沉积环境,风暴强度大,为近源风暴岩。仅个别风暴沉积发育于风暴浪基面之下的外陆棚沉积环境,为风暴引起的浊流沉积,为远源风暴岩。风暴岩类型的正确识别,对确定该区沉积相与深入认识扬子碳酸盐台地南部边缘沉积演化提供参考依据。

关键词 中二叠世 风暴岩 沉积序列 贵州沫阳

第一作者简介 薛武强 男 1971 年出生 博士研究生 沉积学 E-mail: xuewq_718888@sina.com

通讯作者 颜佳新 E-mail: jxyan@cug.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

风暴岩是一种常见的沉积地质记录,承载着许多地质历史时期的重要信息。因此,自 20 世纪 70 年代 Kelling 和 Mullin^[1] 提出“tempestite”一词以来,风暴岩的研究得以迅速发展,并涌现出大量研究成果,主要涉及风暴岩的定义^[2]、沉积特征与沉积构造^[3-16]、沉积序列^[17-24]、沉积模式^[21, 25-30] 及研究意义^[17-19, 31-36] 等方面。这些研究成果极大地深化了对风暴沉积的认识,为古环境分析、古气候与古地理环境重建、地层对比提供了重要的依据。华南地区二叠纪位于低纬度地区,在该区浅水海相地层中也有相应的风暴沉积报道^[15, 37]。本次研究发现,在贵州南部罗甸沫阳地区中二叠世地层内发育一套以生物介壳灰岩为主的风暴沉积,以往并没有给予重视和深入研究。而且与本区寒武纪、三叠纪碳酸盐风暴岩和已经报道的二叠纪碳酸盐岩风暴岩特征相比,沫阳地区二叠纪的风暴岩砾屑较少,生物介壳破碎严重,粒序性不明显。通过对其沉积特征、沉积类型及沉积序列进行详细研究,结果表明,风暴岩沉积序列的保存特征

与其沉积环境背景密切相关,可为深入认识扬子碳酸盐台地南部边缘沉积演化提供参考依据。

1 地质背景

黔南地区在构造古地理上位于扬子板块西南部滇黔桂盆地。二叠纪期间大部分地区位于陆架坡折以上的陆棚区,以碳酸盐台地沉积环境为主^[38]。该区在二叠纪明显存在着一条大致沿兴义—册亨—紫云—罗甸北—河池—一线延伸的条带状生物礁分布带^[38-42],构成陆架碳酸盐台地的边缘。该带北侧是广布的浅水碳酸盐台地,南侧依次是碳酸盐台地前斜坡带、深水盆地区^[39-42](图 1)。研究区位于贵州南部罗甸县沫阳镇与老沫阳之间的柏油公路旁,距沫阳镇约 1 km 处。二叠系地层沿沫阳河两岸出露,露头清晰连续。二叠纪期间,该区整体属于扬子碳酸盐台地南缘斜坡带,经历了斜坡—陆棚—碳酸盐台地前斜坡—碳酸盐台地边缘的相序演化^[43-48]。沫阳剖面正好处于碳酸盐台地与盆地之间的过渡地带^[37],而此

^①国家重点基础研究(973)项目(编号:2011CB808800),国家自然科学基金项目(批准号:41072078)资助。
收稿日期:2011-10-19; 收修改稿日期:2012-02-20

带中的台前斜坡和陆棚环境正是风暴沉积保存的理想场所。

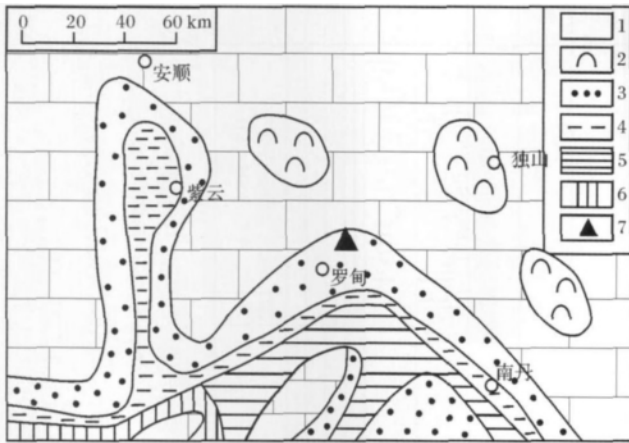


图1 贵州南部中二叠世岩相古地理概图及剖面位置图
(据焦大庆等 2003 修改)

1. 开阔台地; 2. 台内生物礁; 3. 台地边缘生物礁滩; 4. 台缘斜坡;
5. 台棚; 6. 台盆; 7. 实测剖面位置

Fig. 1 The outline map of paleogeography of Middle Permian in Southern Guizhou and position of stratigraphical section
(modified from Jiao, *et al.*, 2003)

沫阳剖面中二叠世栖霞组厚 103.5 m。下部由灰黑色中薄层灰泥岩和薄层硅质岩组成,以薄层硅质岩为主,硅质岩层面平整,水平纹层发育,生屑含量少,为海绵骨针和放射虫。这些特征表明此段沉积环境是深水盆地。上部灰岩增多,为灰黑色中—厚层灰泥岩—粒泥岩,夹薄层硅质岩,生屑为有孔虫、介形虫、海百合茎和薄壳双壳类,顶部发育重力流沉积^[49]。本段沉积环境应为斜坡环境。由此可见,栖霞组的沉积环境为一向上变浅层序。

茅口组厚 410 m,自下而上可以分为四段:第一段(H20—H60)厚 232.9 m,为灰黑色中薄—中厚层灰泥岩—粒泥岩,夹有薄层硅质岩、硅质条带或硅质结核,中部与薄层硅质岩互层。生物碎屑丰富,含量以 5%~30% 为主,最高达 45%,主要为钙藻、钙球、棘皮、有孔虫、筳、介形虫、苔藓虫、海绵骨针,还有少量的腕足碎片、腹足、双壳类、三叶虫等。本段沉积环境为陆棚上部。第二段(H61—H78)厚 99.6 m,为深灰色—黑色中厚层灰泥岩与薄层硅质岩互层或夹薄层硅质岩、硅质条带或硅质结核。本段薄层硅质岩发育。下部生物碎屑含量高,以 10%~20% 为主,上部含量低,<5%,主要为有孔虫、介形虫、海绵骨针,还有少量棘皮、钙球、腕足碎片等。本段沉积环境为陆

棚下部。第三段(H79)厚 8 m,为灰黑色厚层块状灰泥岩—泥粒岩。生物碎屑丰富,由底部向顶部增多,含量达 30%。下部主要为钙球、有孔虫、筳、介形虫、海绵骨针、棘皮、苔藓虫、腕足碎片等,上部主要以藻类为主,底部含有礁角砾。本段沉积环境为礁前斜坡;第四段(H80—H84)厚 69.5 m,主要由礁灰岩、含藻类的颗粒岩、泥粒岩等组成。造礁生物主要为海绵,与其共生的棘皮类、腕足类。其它生屑灰岩中的生屑主要为管壳藻、非筳有孔虫、棘皮类、腕足类、红藻、绿藻、介形虫等。本段沉积环境为台地边缘礁。

沫阳剖面中二叠世自下而上沉积环境经历了深水盆地—斜坡—陆棚上部—陆棚下部—礁前斜坡—台地边缘礁的变化,为一向上变浅层序。其中茅口组整体以陆棚沉积为主,风暴岩主要出露于茅口组第一段,具体发育在 30、31、37、39 等层(图 2)。

2 风暴岩沉积特征

由风暴引起的风暴流是一种高能量的流体,其作用于海底会重新改造海底的沉积物,从而形成一些特殊的沉积构造。本区的风暴沉积构造比较丰富,主要有渠铸型构造、截切构造、波痕层理、递变层理、块状层理等。

2.1 底面侵蚀构造

底面侵蚀构造是由强劲的风暴流及其触发的重力流对海底沉积物进行掏蚀、冲刷而形成的各种侵蚀充填构造,是识别风暴流沉积最特征和最重要的标志之一^[50],可揭示风暴作用的强度。研究区风暴岩的侵蚀构造主要包括冲刷面、渠铸型构造、袋状构造及截切构造。侵蚀面上覆地层与下伏岩石在颗粒粒度、岩性、生物特征等方面截然不同,呈现出突变接触现象(图 3A、B、C、D、E)。冲刷面清晰可见,呈近平直或波状形态,一般波状起伏幅度不大,最大幅度为 1.6 cm。其中在 30 层中可见上覆地层切割下伏硅质结核,形成截切构造(图 3E),并可见一袋状构造(图 3E)。冲刷渠是风暴涡流或风暴流在介壳层底部形成的具较陡壁的沟渠,通常在上覆岩层底面形成渠铸型构造(图 3A)。

2.2 放射状组构

放射状组构是风暴涡流形成的特有的沉积物构造,表现为竹叶状砾屑呈菊花状、倒小字型排列。在研究区主要表现为介壳或生物碎屑呈直立状(图 3A)、放射状(图 3B,圆圈处)或倒小字状排列(图 3E),这些构造反映了水流具有旋转和向上推举力的特点。

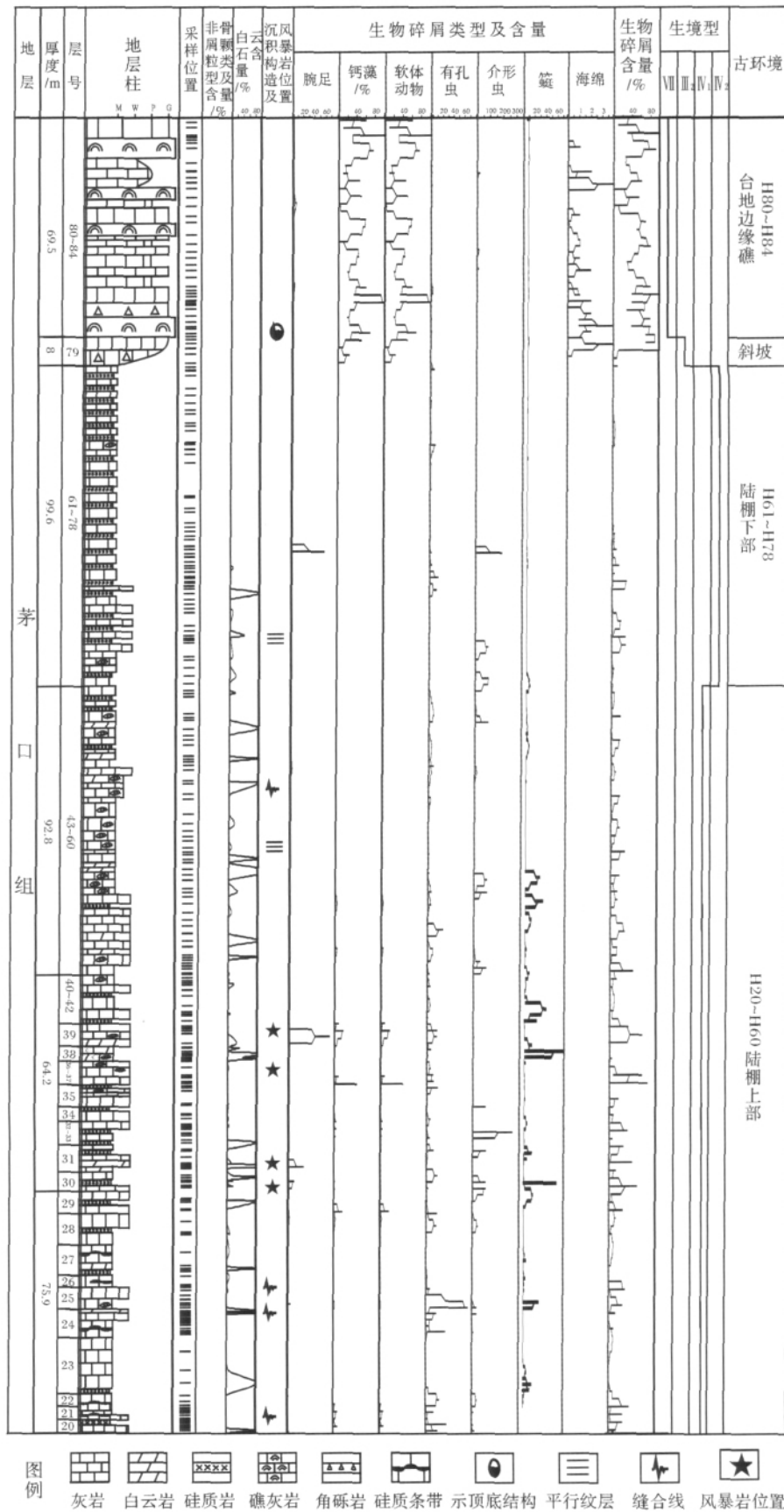


图2 贵州罗甸沫阳剖面中二叠世茅口组综合柱状图

Fig. 2 The integrated column of Maokou Formation of the Middle Permian in Moyang Section of Luodian, Guizhou

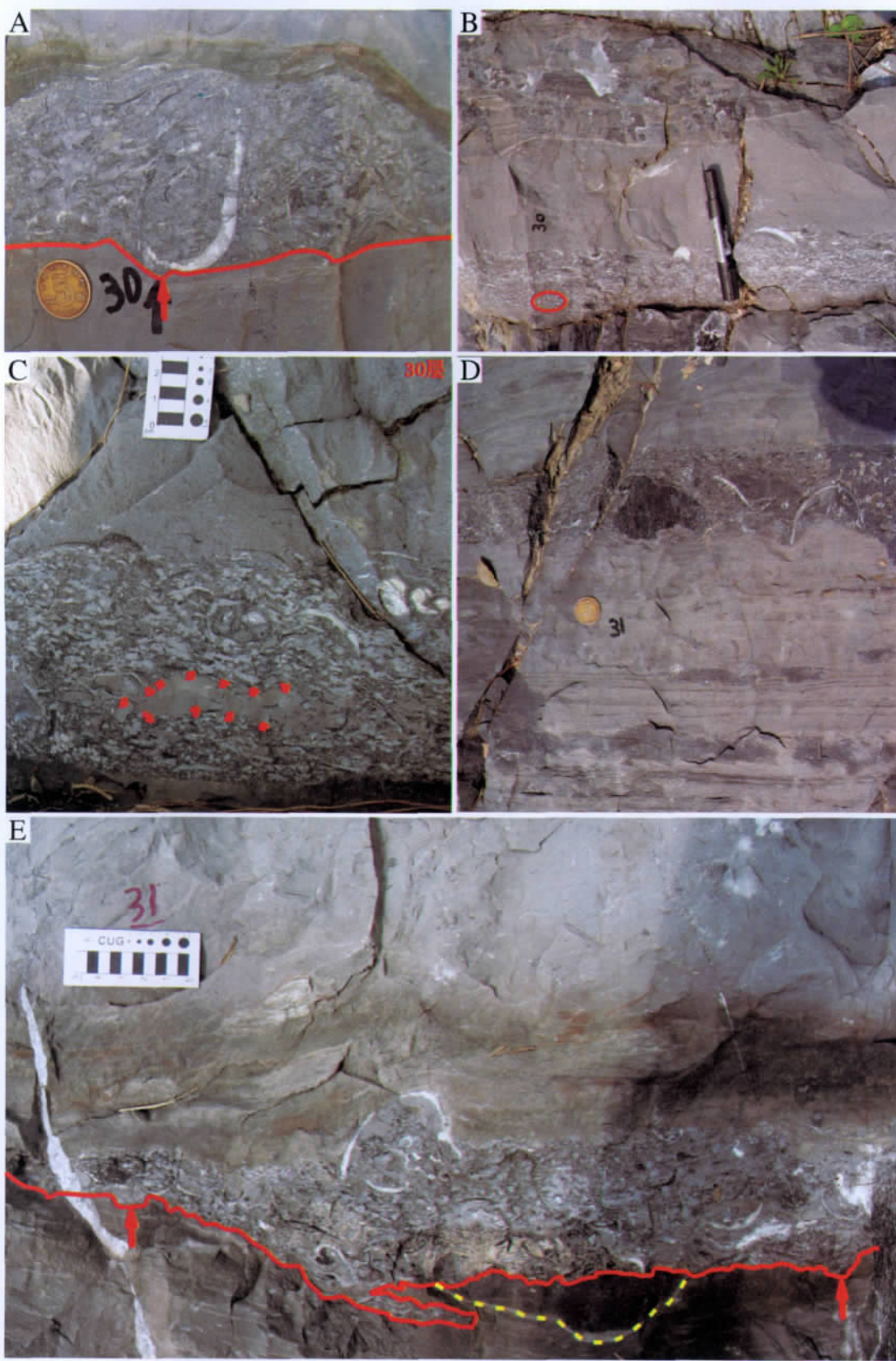


图 3 贵州罗甸沫阳剖面中二叠世茅口组风暴岩野外沉积构造特征

A. 底面侵蚀构造:冲刷面(红线处)、渠铸型构造(箭头处);B. 放射状构造(圆圈处);C. 内碎屑(红虚线内);
 D. 底面侵蚀构造与壳体保存形态;E. 介壳层截切下伏硅质结核(黄虚线处)、袋状构造、渠铸型构造(箭头处)

Fig. 3 Field sedimentary structure of storm tempestitute of Middle Permian Maokou Formation in Moyang Section, Luodian, Guizhou

2.3 粒序层理和块状层理

粒序层理是风暴作用衰减时,密度流开始分异,悬浮颗粒按重力与剪切力的大小不同而形成正粒序或逆粒序。另外,风暴也可触发海底沉积物形成密度流,当密度流流速减小时,密度流中的颗粒迅速下沉,产生粗尾的递变层理。块状层理是风暴衰减期,细粒悬浮物快速堆积而形成的。粒序层主要发育沱阳剖面的37层,块状层理主要发育在30、31层。

2.4 波痕层理

波痕是波浪活动最常见的鉴别标志,也是区分风暴岩与浊积岩的重要标志^[36,51,52]。在风暴作用衰减的最后阶段,当风暴流的能量与波浪的能量相当时,会形成波痕层理。研究区的波痕纹层位于风暴岩的顶部,规模小且不规则,波状层系厚度变化较大,为1.3~4 cm,波长为6.6 cm左右,波高为0.22~0.45 cm(图3A)。

3 风暴沉积序列及沉积环境

风暴沉积序列是在一次风暴事件引发的风暴沉积作用过程中,由于各阶段的水动力条件不同而塑造的不同沉积单元的规律组合^[17]。它能较好的反映风暴强度、持续时间、作用过程与水深。本区的风暴沉积序列主要由侵蚀底面A和B、C、D、E等四种沉积单元构成:A.侵蚀底面,代表风暴流及其触发的重力流对海底沉积物的作用;B.介壳灰岩层,代表风暴浪、风暴涡流沉积;C.粒序层,代表风暴衰减期重力分异沉积或风暴浊流沉积;D.块状层,代表风暴快速悬浮沉积;E.波痕层理段,代表风暴衰减后期沉积。它们在地层剖面中组合成以下4种沉积序列(图4)。

(1) 序列1 由侵蚀底面、介壳灰岩层和波痕层理段组成,包括侵蚀底面A和B、E等两个沉积单元,

分布在30、31层,厚度7.4~13 cm,其中介壳层厚6.5~9.3 cm。该序列具体有以下主要特征:①在露头上厚度较稳定,只是在两侧逐渐尖灭,整体上呈透镜状;②底部为不规则的波状侵蚀面,可见渠筑型构造、袋状构造,特别见一下伏硅质结核截切构造(图3E)。顶面不规则,具有明显波浪作用的痕迹;③介壳灰岩中可见介壳或生物碎屑呈高角度倾斜状、直立状、放射状或倒小字状排列;④介壳灰岩中壳体无定向性,凸面向上、向下、倾斜、直立的均有,但凸面向上的所占比重最大,其次为凸面向下者;⑤介壳灰岩底部有不规则的内碎屑,镜下鉴定为灰泥岩(图5C),与下伏岩石相似,推测其为风暴撕裂、破碎后的再沉积物;⑥生物主要为双壳类、筳类、藻类,可见少量腕足类、腹足类和海百合,无深水生物。生物碎屑破碎严重,双壳类几乎无铰合构造,整个薄片只见两个铰合构造(图5E);⑦波痕层理段覆于介壳灰岩上,顶面呈波形与上覆岩层(背景沉积)过渡。该序列代表风暴涡流和风暴浪作用形成的沉积序列。

风暴沉积序列1由侵蚀底面、介壳层和波痕层理段组成,缺失了一个完整风暴沉积序列的其它沉积单元,但其典型的底面侵蚀构造、截切构造、放射状构造、袋状构造,以及介壳层的沉积特征,均反映了当时水体能量高,风暴涡流和风暴浪的作用均很强,使底部沉积物被掀起、冲刷与掏洗,细粒物质被带走,生物介壳被富集。推测其沉积环境应为风暴浪基面与正常浪基面之间,靠近正常浪基面一侧的沉积环境。

(2) 序列2 由侵蚀底面、介壳灰岩层、块状层和波痕层理段组成,包括侵蚀底面A和B、D、E等3个沉积单元,分布在30、31层,厚度为30 cm左右,其

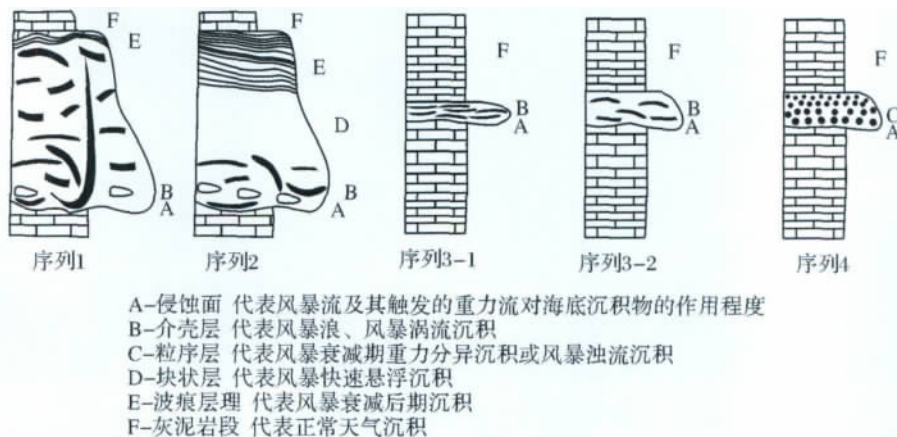


图4 贵州罗甸沱阳剖面中二叠世茅口组风暴沉积序列

Fig. 4 Sedimentary sequence of tempestite of Maokou Formation of the Middle Permian in Movang Section of Luodian, Guizhou

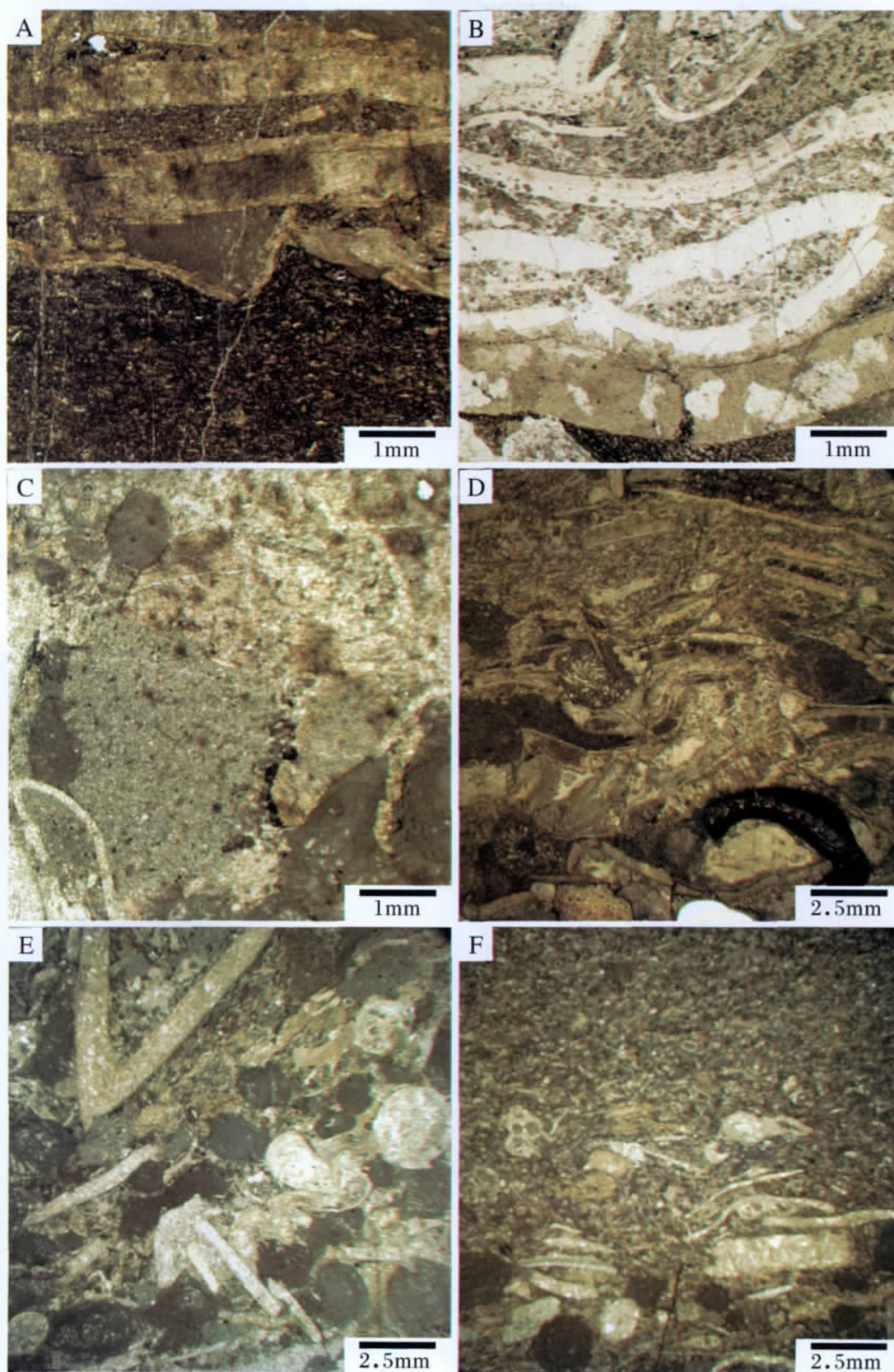


图 5 贵州罗甸沫阳剖面中二叠世茅口组风暴岩镜下特征

A. 介壳层与下伏岩体突变接触; B. 31 层介壳层中的双壳铰合构造; C. 介壳层中的内碎屑; D. 31 层介壳层中粒序现象; E. 30 层介壳层中具铰合构造的壳体; F. 介壳层与上覆岩层逐渐过渡

Fig. 5 Microscopic features of storm tempestites of Middle Permian Maokou Formation in Moyang Section, Luodian, Guizhou

中介壳灰岩层厚为 7~9 cm。该序列具有以下主要特征: ①介壳灰岩在露头上厚度不稳定,且向两侧变薄; ②底部为不规则的波状侵蚀面,波长 8~15 cm,波高 0.5~1 cm,底部见生物碎屑呈放射状排列; ③介壳层中可见介壳呈高角度倾斜状,壳体凸面向上者居多,且壳体破碎较严重,双壳类部分可见铰合构造(图 5B); ④介壳层中有极不规则的内碎屑,棱角十分明显,有的可见撕裂状,大小比较悬殊,底部可见一个 0.8 cm×7 cm 内碎屑(图 3C),近平行底面沉积,推测应为风暴撕裂、破碎后的再沉积物; ⑤生物主要为双壳类、瓣类和藻类为主,可见少量腕足类、腹足类和海百合,无深水生物; ⑥介壳层与下伏岩体呈突变接触(图 5A),与上覆块状层呈自然过渡,逐渐消失在上覆岩体(图 5F); ⑦块状层单元上覆波痕层理段,波长约 10 cm,波高 0.2~0.5 cm。该序列代表风暴涡流、风暴衰减后的快速沉积和风暴衰减后期余浪形成的沉积序列。

风暴沉积序列 2 相对保存较好。介壳层下部有被风暴撕裂、破碎后的砾级再沉积物,反映当时风暴作用很强。介壳层中具粒序性(图 5D),与块状层一起应为风暴高峰期过后的快速堆积物。推测其沉积环境应为风暴浪基面与正常浪基面之间,但深度比序列 1 深些。

(3) 序列 3 由侵蚀底面 A 和介壳灰岩层 B 组成,分布在 31、39 层,厚度一般为几个厘米。本序列可进一步分为 2 个亚序列。序列 3-1 分布在 39 层,

厚度 1 cm 左右。虽然厚度薄,但向两侧延伸比较长且较稳定。底部有微波状冲刷面。介壳主要为双壳和腕足,壳体具定向性,平行底面,凸面向上向下的均有,壳体破碎程度中等,粒序性不强。序列 3-2 分布在 31、39 层,厚度 4.5~4.6 cm。介壳灰岩中壳体少,保存较完好,可见较完整的介壳,壳体基本具定向性,绝大多数平行底面,凸面向上向下的均有,个别具有小角度倾斜状。底部具波状冲刷面。该序列代表风暴衰减后的弱悬浮沉积序列。

风暴沉积序列 3 根据介壳灰岩中介壳含量的多少,分为两种亚序列。该序列厚度均很薄,均具有底部侵蚀构造,壳体具有定向性,弱粒序性,具有风暴悬浮沉积的特征,推测其沉积环境应位于靠近风暴浪基面附近的沉积环境。序列 3-1 应比 3-2 的水深更浅些。

(4) 序列 4 由侵蚀底面 A 和粒序层段 C 组成,主要分布在 37 层,厚度一般为几个厘米,露头上可见 3.5~6.7 cm。本序列风暴岩的厚度不均,在空间的展布上同一层厚度略有变化,但总体来说比较稳定,且向两侧延伸也长。风暴岩下伏冲刷面,多为微波状或近直线形,表现为岩性的突变接触,这表明当时水体能量较弱,对底部的沉积物侵蚀作用较小。生物碎屑破碎,不见成形的介壳,但呈明显的正粒序。该序列代表风暴浊流形成的沉积序列。其应为风暴引起的浊流沉积,反映其沉积环境应位于风暴浪基面以下的陆棚沉积环境。

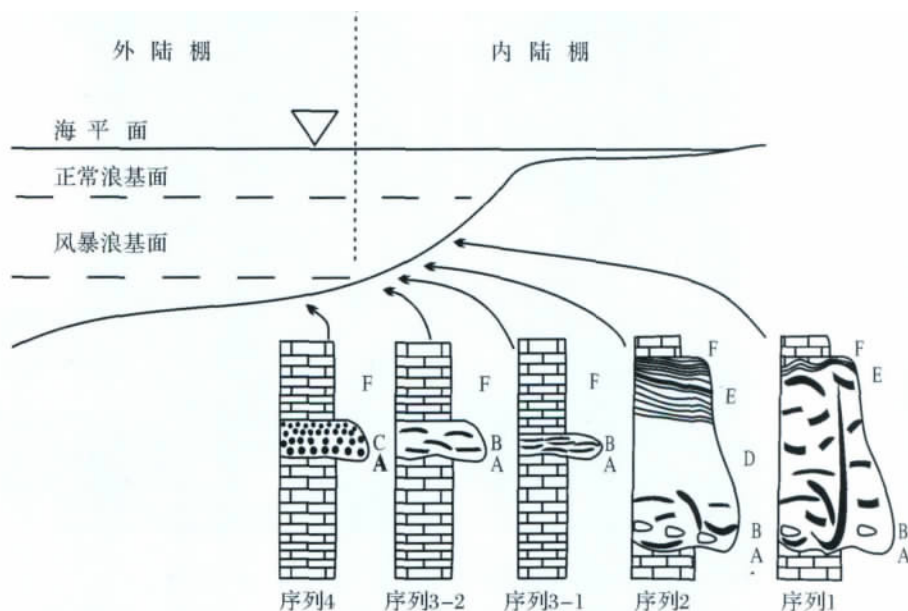


图 6 贵州罗甸沫阳剖面中二叠世茅口组风暴岩沉积序列的分布

Fig. 6 The distribution of tempestite succession of Maokou Formation of the Middle Permian in Moyang Section of Luodian, Guizhou

总之,沫阳剖面茅口组中的风暴沉积序列均不完整,共识别出4种,分别代表不同深度的风暴沉积(图6),反映了不同的风暴沉积作用和风暴流的类型。其中序列1、序列2和序列3均发育于正常浪基面之下,风暴浪基面之上的内陆棚沉积环境,风暴强度大,为近源风暴岩,这也与 Miller 等^[53]认为的风暴介壳岩最易保存的部位相符合。序列4发育于风暴浪基面之下的外陆棚沉积环境,为远源风暴岩。

与它区风暴沉积相比,本区近源风暴岩沉积序列中缺乏丘状交错层理,说明当时的沉积环境不利于丘状交错层理的发育或保存。影响因素可能是多方面的,不仅与风暴浪强度、作用时间等密切相关,而且可能与沉积物的粒度大小、海底地形的坡度也相关。从综合分析来看,本区丘状交错层理应该是保存问题,而不是发育问题,主要与风暴浪形成的水动力条件密切相关,应是在风暴衰退期受到风暴作用的改造而遭到破坏;二是风暴沉积序列中,介壳灰岩层发育,但破碎严重,壳体全部为生物碎屑,无完整介壳,明显没有黔北志留纪早期枝线贝类介壳层^[54]中的介壳保存完整。但与四川龙门山区泥盆统正常浪基面之下,风暴浪基面附近向海一侧形成的介壳层^[55]、三峡地区志留纪纱帽组中形成于正常浪基面—平均风暴波基面之间的砂质风暴岩(含介壳层单元)和形成于风暴浪基面向陆一侧的灰质风暴岩(含介壳层单元)^[51]等特征相似,这从另一个侧面佐证了本区近源风暴岩的沉积环境。

4 结论及地质意义

风暴沉积是地质历史时期一种重要的事件沉积,其所形成的风暴岩可为古环境分析、古气候与古地理环境重建、地层对比提供重要的证据。

(1) 在沫阳二叠纪茅口组剖面上,共识别出四种不同的风暴沉积序列,每种序列的底部侵蚀面A不尽相同,而且在同一层中同时存在几种不同的风暴沉积序列,如30层中同时发育第1、2沉积序列,31层中同时发育第1、2和4沉积序列,39层中同时发育第3、4沉积序列。根据背景沉积环境的特征分析,发育在同一层段中的不同沉积序列应发育于相似的沉积环境。造成上述差别的原因,是风暴登陆路径的不同,还是风暴流强度的不同^[56],仍值得进一步研究解决。

(2) 本区风暴岩的识别与研究可以为扬子地台南缘二叠纪茅口组的演化提供依据。扬子地台南缘

二叠纪茅口期频繁的风暴活动,支持前人的论断该区当时处于低纬度热带地区^[57~59]。值得注意的是,华南地区浅水碳酸盐沉积分布广泛,但是风暴沉积的报道相对较少。从本剖面研究结果看,有可能是保存问题。比较台地内部一些陆棚环境,本区台地边缘外侧的浅海陆棚背景,可能也是风暴沉积频发的地区。这些都值得今后研究注意。

参考文献(References)

- 1 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
- 2 Aigner T. Schill-tempestite in Oberen Muschlkalk (Trias, SW-Deutschland) [J]. *Neues Jahrbuch Geologic and Palaeontologic. Abhandlungen*, 1979, 157: 326-343
- 3 阳伟, 田景春, 朱迎堂, 等. 河南登封地区上二叠统石千峰组风暴沉积特征[J]. *沉积学报*, 2009, 29(1): 65-70 [Yang Wei, Tian Jingchun, Zhu Yingtang, et al. The storm deposits in the upper Permian Shiqianfeng Formation in the Dengfeng area, Henan [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2009, 29(1): 65-70]
- 4 李华启, 姜在兴, 邢焕清, 等. 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, Xing Huanqing, et al. Characteristics of storm deposits in Upper Triassic Xujiahe Formation, Sichuan basin [J]. *Oil and Gas Geology*, 2003, 24(1): 81-86]
- 5 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]
- 6 陈林洲, 罗新民, 肖劲东. 鄂东南早三叠世钙质风暴沉积特征及其初步研究[J]. *岩相古地理*, 1991, 11(3): 1-9 [Chen Linzhou, Luo Xinmin, Xiao Jindong. Early Triassic calcareous storm deposits in southeastern Hubei [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1991, 11(3): 1-9]
- 7 关尹文, 范法明. 湖南桃江半边山先寒武纪马底驿组陆屑风暴岩[J]. *沉积学报*, 1990, 8(1): 115-121 [Guan Yinwen, Fan Faming. The characteristic of Precambrian elastic tempestites in Madiyi Formation in Banbianshan Taojiang, Hunan [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(1): 115-121]
- 8 姜在兴, 袁政文. 东濮凹陷西部湖相风暴沉积的初步研究[J]. *沉积学报*, 1990, 8(1): 107-114 [Jiang Zaixing, Yuan Zhengwen. Preliminary research into lacustrine storm-current deposits: an example from the western Dongpu depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(1): 107-114]
- 9 李文厚, 邵磊, 林晋炎, 等. 秦岭刘岭群风暴沉积的基本特征[J]. *岩相古地理*, 1990, 10(6): 30-37 [Li Wenhou, Shao Li, Lin Jinyan, et al. Main characteristics of the storm deposits in the Liuling Group in the Qinling mountain area [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1990, 10(6): 30-37]

- 10 罗强, 候方浩, 方少仙, 等. 平果地区孤立碳酸盐台地风暴特征及展布规律[J]. 矿物岩石, 1990, 10(2): 53-58 [Luo Qiang, Hou Fanghao, Fang Shaoxian, *et al.* Features and distribution law of tempestite in the isolated carbonate platform of Permian to lower Triassic, Pingguo, Guangxi Province [J]. Minerals and Rocks, 1990, 10(2): 53-58]
- 11 王文彬. 下扬子区早三叠世风暴沉积及其特征[J]. 地层学杂志, 1990, 14(2): 124-130 [Wang Wenbin. Storm deposits and characteristics of early Triassic low Yangtze area [J]. Journal of Stratigraphy, 1990, 14(2): 124-130]
- 12 张金亮, 寿建峰, 赵激林, 等. 东濮凹陷沙三段的的风暴沉积[J]. 沉积学报, 1988, 6(1): 50-57 [Zhang Jinliang, Shou Jianfeng, Zhao Chenglin, *et al.* Storm deposits in the Shasan member, Oligocene, Dongpu depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1988, 6(1): 50-57]
- 13 刘光华. 豫西禹县大风口一带晚石炭世碳酸盐岩风暴沉积特征与类型[J]. 地质论评, 1987, 33(3): 249-257 [Liu Guanghua. The features and types the late Carboniferous carbonate tempestites in the Dafengkou area, Yuxian, western Henan [J]. Geological Review, 1987, 33(3): 249-257]
- 14 翟晓先. 乌鲁木齐祁家沟剖面中上石炭统风暴岩沉积特征[J]. 成都地质学院学报, 1987, 14(1): 45-54 [Zhai Xiaoxian. Sedimentary features of Carboniferous tempestites, Qijiagou, Urumqi [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1987, 14(1): 45-54]
- 15 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 low Permian of Si-long, Xingwen, Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 1986, 60(1): 55-67]
- 16 许世远, 邵虚生, 洪雪晴, 等. 杭州湾北部滨岸的风暴沉积[J]. 中国科学: B 辑, 1984, (12): 1136-1145 [Xu Shiyuan, Shao Xusheng, Hong Xueqing *et al.* Storm deposits along the northern bank of Hangzhou Bay [J]. Science in China: Series B, 1984, (12): 1136-1145]
- 17 张哲, 杜远生, 毛治超, 等. 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[J]. 沉积学报, 2008, 26(3): 369-375 [Zhang Zhe, Du Yuansheng, Mao Zhichao *et al.* The upper Devonian tempestites from Liantang, Guiyang, southeastern Hunan province and its palaeogeographic and palaeoclimatic significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(3): 369-375]
- 18 曾雄伟, 杜远生, 张哲, 等. 广西桂林地区中、上泥盆统风暴岩沉积特征及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2007, 26(6): 42-46 [Zeng Xiongwei, Du Yuansheng, Zhang Zhe *et al.* The sedimentary characteristics of the middle-upper Devonian tempestite in Guilin, Guangxi and its geological implications [J]. Geological Science and Technology Information. 2007, 26(6): 42-46]
- 19 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]
- 20 谢庆宾, 朱筱敏. 北京西山地区雾迷山组风暴硅岩沉积序列[J]. 沉积学报, 1997, 15(3): 37-40 [Xie Qingbin, Zhu Xiaomin. Depositional sequence of storm siliceous rock in Wumishan Formation, west mountain, Beijing, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3): 37-40]
- 21 杨进辉, 吴福元, 马力, 等. 河北平泉地区高于庄组风暴沉积序列及沉积环境演变[J]. 岩相古地理, 1995, 15(4): 28-35 [Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Ma Li, *et al.* The tempestite sequences and sedimentary environmental evolution of the Gaoyuzhuang Formation in Pingquan, Hebei [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1995, 15(4): 28-35]
- 22 童熙盛, 唐勇. 重庆凉风垭飞仙关组风暴流沉积[J]. 沉积学报, 1990, 8(3): 121-127 [Tong Xisheng, Tang Yong. Storm deposits in early Triassic first member (Feixianguan Formation) of Liangfengya, Chongqing [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8(3): 121-127]
- 23 牟传龙. 谈谈丘状层理与风暴沉积[J]. 岩相古地理, 1989, 9(6): 40-44 [Mu Chuanlong. Discussion of the hummocky cross stratification and storm deposits [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1989, 9(6): 40-44]
- 24 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(004): 297-309 [Qiao Xiufu, Xing Yusheng, Gao Linzhi, *et al.* Storm deposits of the Sinian Zhanggou Formation northern Anhui: an upward-shallowing carbonate sequence [J]. Acta Geologica Sinica, 1989, 63(004): 297-309]
- 25 袁静. 山东惠民凹陷古近系风暴岩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]
- 26 Sagemen B B. Lowstand tempestites: depositional model for Cretaceous skeletal limestones, western interior basin [J]. Geology, 1997, 24(10): 888-892.
- 27 张继淹, 蒋廷操, 李孝全. 桂西三叠纪风暴岩沉积特征[J]. 中国区域地质, 1992, (4): 304-310 [Zhang Jiyan, Jiang Tingcao, Li Xiaquan. Features of Triassic tempestites in western Guangxi [J]. Regional Geology of China, 1992, (4): 304-310]
- 28 吴贤涛, 胡斌, 王观忠, 等. 豫西焦作地区上石炭统浅海碳酸盐岩中的风暴沉积[J]. 沉积学报, 1987, 5(4): 1-13 [Wu Xiantao, Hu Bin, Wang Guanzhong *et al.* Storm deposits in upper Carboniferous shallow marine carbonates of Jiaozuo, Henan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1987, 5(4): 1-13]
- 29 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): 1-18 [Meng Xianghua, Qiao Xiufu, Ge Ming, *et al.* Study on ancient shallow sea carbonate storm deposits (tempestites) in north China and Dingjiantan model of facies sequences [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986, 4(2): 1-18]
- 30 吴贤涛, 王观忠. 浅海碳酸盐相的风暴沉积模式[J]. 焦作矿业学院学报, 1985, (1): 7-19 [Wu Xiantao, Wang Guanzhong.

- Storm-generated depositional types and associated trace fossils in lower Carboniferous shallow-marine carbonates of Three Cliffs Bay and Ogmore-by-Sea, south Wales Britain [J]. *Journal of Jiaozuo Mining Institute*, 1985(1): 7-19]
- 31 陈锐明, 罗根明, 张克信, 等. 青海同仁地区早三叠世晚期风暴岩的发现及其意义 [J]. *地质通报*, 2009, 28(1): 63-71 [Chen Ruimin, Luo Genming, Zhang Kexin, *et al.* Discovery of late Early Triassic tempestite in Tongren area, Qinghai, China and its significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(1): 63-71]
- 32 陈世悦, 张鹏飞, 杨怀宇. 湘西北江坪地区志留系风暴沉积特征及意义 [J]. *古地理学报*, 2009, 11(1): 51-57 [Chen Shiyue, Fei Zhangpeng, Yang Huaiyu. Silurian storm deposits in Jiangping area, northwestern Hunan Province: characteristics and geological significances [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(1): 51-57]
- 33 彭靖淞, 刘树根, 赵霞飞, 等. 川西中三叠统天井山组风暴沉积的发现及古地理意义 [J]. *岩性油气藏*, 2009, 21(1): 83-88 [Peng Jingsong, Liu Shugen, Zhao Xiafei *et al.* Discovery of tempestite in the middle Triassic Tianjingshan Formation in the western Sichuan and its paleogeographic significance [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2009, 21(1): 83-88]
- 34 刘鹏举, 林小谷. 河北省平泉早奥陶世冶里组碳酸盐风暴沉积 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2004, 34(1): 1-4 [Liu Pengju, Lin Xiaogu. The carbonate storm deposit of earth Ordovician Yeli Formation in Pingquan area, Hebei province [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2004, 34(1): 1-4]
- 35 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]
- 36 刘树臣. 风暴岩的基本特征及其与浊积岩的区别标志 [J]. *岩相古地理*, 1989, 9(5): 44-55 [Liu Shuchen. Storm deposition [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1989, 9(5): 44-55]
- 37 冯增昭, 金振奎, 杨玉卿. 滇黔桂地区二叠纪岩相古地理 [M]. 北京: 地质出版社, 1994 [Feng Zengzhao, Jin Zhenkui, Yang Yuqing. *Lithofacies Paleogeography of Permian in Yunnan, Guizhou and Guangxi* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994]
- 38 贵州地质矿产局. 贵州省地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1987 [Province Regional Geology of Guizhou. Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987]
- 39 Lu Y C, Li S T, Xie X N. Depositional architecture and evolution of late Permian reefs in Ziyun County, southern Guizhou, China [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 1996, 7(1): 95-101.
- 40 沙庆安, 吴望始, 傅家谟. 黔桂地区二叠系综合研究兼论含油气性 [M]. 北京: 科学出版社, 1990 [Sha Qingan, Wu Wangshi, Fu Jiamo. *A Integrative Study of the Permian in Guizhou and Guangxi with Special Discussion on Its Oil-gas Potential* [M]. Beijing: Science Press, 1990]
- 41 张正华, 王治华, 李昌全. 黔南二叠纪地层 [M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988 [Zhang Zhenghua, Wang Zhihua, Li Changquan. *Strata of Permian in south Guizhou* [M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1988]
- 42 焦大庆, 马永生, 邓军, 等. 黔桂地区二叠纪层序地层格架及古地理演化 [J]. *石油实验地质*, 2003, 25(1): 18-27 [Jiao Daqing, Ma Yongsheng, Deng Jun, *et al.* The Permian sequence stratigraphic and framework and evolution of sedimentary facies and paleogeography in Guizhou and Guangxi areas [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(1): 18-27]
- 43 田景春, 曾允孚. 中国南方二叠纪古海洋锶同位素演化 [J]. *沉积学报*, 1995, 13(4): 125-130 [Tian Jingchun, Zeng Yunfu. The revolution of the isotopic composition of strontium in the Permian Paleoocean in the south China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, 13(4): 125-130]
- 44 白云, 周铁明. 滇黔桂相异邻地区二叠纪有孔虫分异度与沉积环境探讨 [J]. *地层学杂志*, 1990, 14(1): 44-50 [Bai Yun, Zhou Tieming. Discussion on the diversity of the Permian foraminifers and the sedimentary environment of the nearby areas of Yunnan, Guizhou and Guangxi [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1990, 14(1): 44-50]
- 45 李昌全. 贵州早二叠世沉积相 [J]. *贵州地质*, 1989, 6(2): 123-132 [Li Changquan. Early Permian of Guizhou sedimentary facies [J]. *Guizhou Geology*, 1989, 6(2): 123-132]
- 46 马忠魏. 贵州早二叠世栖霞早期聚煤环境及找矿方向 [J]. *中国区域地质*, 1983, (7): 21-29 [Ma Zhongwei. Coal-accumulating environments of early Permian age (early Permian) in Guizhou and the direction in coal finding [J]. *Regional Geology of China*, 1983, (7): 21-29]
- 47 王立亭, 叶念曾, 秦大康, 等. 贵州省早二叠世岩相古地理概论 [J]. *中国区域地质*, 1983, 2(3): 23-38 [Wang Liting, Ye Nianzeng, Qin Dakang, *et al.* Early Permian of Guizhou province lithofacies palaeogeography introduction [J]. *Regional Geology of China*, 1983, 2(3): 23-38]
- 48 范嘉松, 李菊英, 赵生才. 论古代海洋碳酸盐沉积环境模式 [J]. *地质科学*, 1979, (4): 287-301 [Fan Jiasheng, Li Juyin, Zhao Shengcai. A basic model of the ancient marine environment for sedimentation of carbonate [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1979, (4): 287-301]
- 49 冯增昭, 杨玉卿, 金振奎, 等. 中国南方二叠纪岩相古地理 [J]. *沉积学报*, 1996, 14(2): 1-11 [Feng Zengzhao, Yang Yuqing, Jin Zhenkui, *et al.* Lithofacies paleogeography of Permian in south China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(2): 1-11]
- 50 胡志水, 赵永胜. 重庆中梁山三叠系飞仙关组三段风暴沉积 [J]. *沉积学报*, 1993, 11(2): 84-90 [Hu Zhishui, Zhao Yongsheng. Storm deposits in member III of Feixianguan Formation, Triassic series in Zhongliang Mountain, Chongqing [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1993, 11(2): 84-90]
- 51 李志宏, 牛志军, 陈立德, 等. 三峡地区志留纪纱帽组风暴岩的发现及地质意义 [J]. *华南地质与矿产*, 2000, 1(1): 43-52 [Li Zhihong, Niu Zhijun, Chen Lide *et al.* Discovery and geologic significance of tempestites in Silurian Shamao Formation from the Yangtze three gorges area [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2000, 1(1): 43-52]
- 52 梁桂香. 风暴沉积及其构造背景 [J]. *世界地质*, 1994, 13(3):

- 131-143 [Liang Guixiang. Storm deposition and tectonic setting [J]. *Global Geology*, 1994, 13(3): 131-143]
- 53 Miller K B, Brett C E, Parsons K M. The paleoecologic significance of storm-generated disturbance within a middle Devonian Muddy Epeiric Sea [J]. *Palaios*, 1988, 3(1): 35-52
- 54 李越, 戎嘉余. 黔北志留纪早期枝线贝类介壳层的时空分布和风暴沉积特征 [J]. *科学通报*, 2007, 52(10): 1158-1167 [Li Yue, Rong Jiayu. Shell concentrations of early Silurian virganiid brachiopods in northern Guizhou: temporal and spatial distribution and tempestite formation [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(10): 1158-1167]
- 55 陈源仁, 王洪峰, 张长俊. 四川龙门山区下泥盆统的介壳岩形成模式及其意义 [J]. *矿物岩石*, 1992, 12(2): 70-78 [Chen Yuanren, Wang Hongfeng, Zhang Changjun. The genetic models and implication of shell beds from the Lower Devonian of the Longmenshan area, Sichuan, China [J]. *Mineralogy and Petrology*, 1992, 12(2): 70-78]
- 56 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]
- 57 张正坤. 中朝地块与扬子地块在古生代晚期是太平洋古陆的一部分 [J]. *中国地质科学院院报*, 1984, 9: 45-54 [Zhang Zhengkun. Sino-Korean block and Yangtze block as part of the Pacifica continent in the Late Paleozoic [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1984, 9: 45-54]
- 58 Yan J X, Zhao K. Permo-Triassic paleogeographic, paleoclimatic and paleoceanographic evolutions in eastern Tethys and their coupling [J]. *Science in China: Series D*, 2011, 44(11): 968-978
- 59 吴浩若. 晚古生代—三叠纪南盘江海的构造古地理问题 [J]. *古地理学报*, 2003, 5(1): 63-76 [Wu Haoruo. Discussion on tectonic palaeogeography of Nanpangjiang sea in the late Palaeozoic and Triassic [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2003, 5(1): 63-76]

Sedimentary Characteristics and Geological Implications of the Middle Permian Tempestite in Moyang Section, Luodian, South of Guizhou

XUE Wu-qiang^{1 2 3} LI Bo^{1 2} YAN Jia-xin^{1 2} SHEN Huan-huan⁴

(1. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

3. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

4. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100081)

Abstract: South Guizhou is located in Yunnan-Guizhou-Guangxi basin, southwest of the Yangtze plate. This area is located in the shallow shelf during the most period of the Permian, dominated by carbonate platform depositional environments. The Moyang Section is just situated in the transitional zone between the carbonate platform and basin, which is an ideal region for preservation of storm deposits. The Maokou Formation of Middle Permian in Moyang Section, Luodian, South Guizhou is mainly composed of marine shelf carbonates. Tempestite occurs in the lower part of this formation, featured by the shell limestone, containing a little rubble with sedimentary structure of storm deposit. Biological shells are severe fragmented and grading is not obvious in the shell limestone. The storm sedimentary structures include bottom erosional surface, truncation, wave ripple bedding, graded bedding, and massive bedding. Storm deposits include bottom erosional surface A and four sedimentary units: B, C, D, E. The unit A, bottom erosional surface, indicates the action of storm flow on marine sediment; the unit B, shell limestone, represents the deposits of storm waves and storm eddy; the unit C, grading layer, records the process of gravitational differentiation or storm turbidity during period of storm decaying; the unit D, massive layer, is produced by rapid accumulation of suspending materials in the late stage of the storm; the top unit E, waves ripple bedding section, is deposited during the later period of the storm. Four successions of storm deposits can be distinguished, correspondent to the water-depth and storm flow involved. Successions 1, 2 and 3 occur in the inner shelf that between the normal wave base and storm wave base, caused by the intensive proximal-storm. Succession 4 occurs in the outer shelf that below the storm wave base, which is the turbidity deposit brought by the distal-storm. The sedimentary characteristics, types and sequences of the Moyang storm deposit suggest that the preservation of the storm sedimentary sequence closely related to the sedimentary environment, providing a reference for understanding the evolution of the southern margin of the Yangtze carbonate platform.

Key words: Middle Permian; tempestite; sedimentary sequence; Moyang, Guizhou