

文章编号:1000-0550(2011)03-0440-09

广元上寺剖面下三叠统飞仙关组风暴岩: 巨型季风体制下的极端气候事件?^①

曾德勇 时志强 张华 安红艳 张慧娟

(成都理工大学沉积地质研究院 成都 610059)

摘要 早三叠世扬子地台位于特提斯东北缘,研究者根据大量地质证据和模拟实验证实该时期巨型季风强度最大,且控制了整个泛大陆和周边海域的气候循环。笔者于川西北广元上寺剖面下三叠统中发现一套保存完好的风暴岩,其发育于飞仙关组下部,风暴沉积特征明显,风暴侵蚀构造、风暴撕裂构造和层理构造发育;根据沉积构造、岩石性质等识别了Sa-Sb-Sc、Sb-Sd、Sa-Sc-Sd三种序列组合(Sa-滞留砾屑沉积,Sb-粒序层理,Sc-丘状交错层理,Sd-均质层理)。早三叠世研究区处于有利于保存风暴沉积的浅海环境,风暴岩的形成、发展与特征对古气候研究有重要意义。我们认为上寺地区(乃至扬子地区)的风暴沉积,可能是最强盛的季风循环影响的结果;而P/T界线生物大量灭绝后缺乏潜穴生物的背景使风暴岩得以保存。

关键词 风暴岩 早三叠世 飞仙关组 巨型季风

第一作者简介 曾德勇 男 1986年出生 硕士研究生 沉积学 E-mail: zengdy_613@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

风暴岩^[1]一词最早由Kelling G和Mulin P R对Moroccan石炭纪风暴沉积的研究时提出。Kumar N和Sanden J E(1978)以及Alger T(1979)将其含义进一步扩充为风暴沉积(storm deposits),并泛指非正常天气风暴作用形成的一系列沉积^[2]。我国扬子地区广泛发育下三叠统海相沉积,且早三叠世风暴岩的报道颇多,中下扬子地区风暴沉积普遍发育,研究者对其沉积特征和沉积序列进行论述后,并探讨其环境意义^[3~5];同时期上扬子地区也屡见风暴岩相关报道^[6,7]。纵向上,风暴岩与上下地层界线明显,反映了一种突发性的气候事件。据大量的地质证据和气候模拟实验表明,三叠纪泛大陆面积达最大值,横亘于特提斯洋及泛大陆的巨型季风亦异常剧烈^[8~10]。大气环流的变化对气候及沉积物的影响至关重要,那么,早三叠世控制全球古气候的巨型季风是否影响了风暴流的形成?巨型季风的强盛是否也导致风暴流的加强,且在风暴岩中留有可查的沉积学证据呢?

笔者在川西北地区广元上寺剖面下三叠统飞仙关组中发现了一套保存完好的风暴沉积。其特征明显、易于识别,是研究三叠纪风暴事件的理想素材。早三叠世川西北地区位于东特提斯洋边缘,扬子陆块早三叠世古纬度为 12.4°N ^[11],同北美科罗拉多高原

和南阿尔卑斯地区大致相似,同处于低纬度地区^[12],受巨型季风影响强烈。上寺剖面下三叠统飞仙关组中识别出风暴沉积尚属首次,不仅为探讨该地早三叠世古地理有所帮助,而且为我们研究三叠纪早期(尤其是二叠纪末生物大灭绝后的)扬子地区古气候开启了一扇窗口。

1 地质背景

研究区位于四川盆地西北缘,大地构造上属上扬子地台西缘。广元上寺剖面是我国著名的P/T界线剖面。早在20世纪80年代,许多研究者都对该剖面做过实测调查,并依据古生物化石对P/T界线位置提出大致4种观点^[13~17],一般认为二叠系大套灰岩的结束,代表了古环境的剧烈变迁,P/T界线与此有密切关系。本次调研对上寺剖面上二叠统大隆组顶部至下三叠统飞仙关组一段进行了实测。

上寺剖面P/T露头良好,位于上寺村北2 km,地理位置为东经 105.20° ,北纬 32.15° 。实测飞仙关组一段(简称飞一段)厚约30 m,向上露头较差。剖面出露岩层主要为上二叠统大隆组深灰色硅质页岩,灰色微晶灰岩,黄绿色钙质页岩;与上覆地层下三叠统飞一段呈整合接触关系,但二者岩性特征变化明显;

^①国家自然科学基金项目(批准号:40872082)资助。
收稿日期:2010-05-04;收修改稿日期:2010-07-20

飞一段是剖面实测的主要层段,岩性为薄—中层浅灰色含泥质纹层微晶灰岩,含缝合线的灰色角砾灰岩,灰色颗粒微晶灰岩,含生屑泥质砾屑灰岩。根据层理构造发育情况,可将飞一段分为上、下两个亚段,其中下亚段以微晶灰岩为主,发育水平层理、波纹层理;上亚段以砾屑灰岩为主,发育粒序层理、平行层理、丘状交错层理,见冲刷面、沟模等构造,为风暴岩发育段(图 1)。

屑粒径大小不一,最大达 8 cm × 25 cm,成分以泥晶灰岩为主。根据砾屑分选、磨圆情况可将其分为上下两部分。下部砾石形状各异,可见角砾状、长条状和椭球状,其棱角分明(图 2a),局部砾屑具放射状、“菊花状”和“倒小字”等风暴流特有的构造(图 2b)。赵永胜等^[18]和冯仁蔚等^[19]认为该套砾屑是斜坡上发育的碳酸盐碎屑流沉积;而国外研究者曾将广元上寺剖面在纹层状灰质泥页岩上突然出现的该套角砾状灰岩命名为 Shangsi Breccia Bed(SBB),他们认为该套沉积是原地的角砾化作用(尽管 SBB 内没有叠瓦状结构和外来颗粒,仍推测与海啸有关)^[20]。

2 风暴岩沉积特征

风暴成因的砾屑较为多见,以“竹叶状”为主,砾

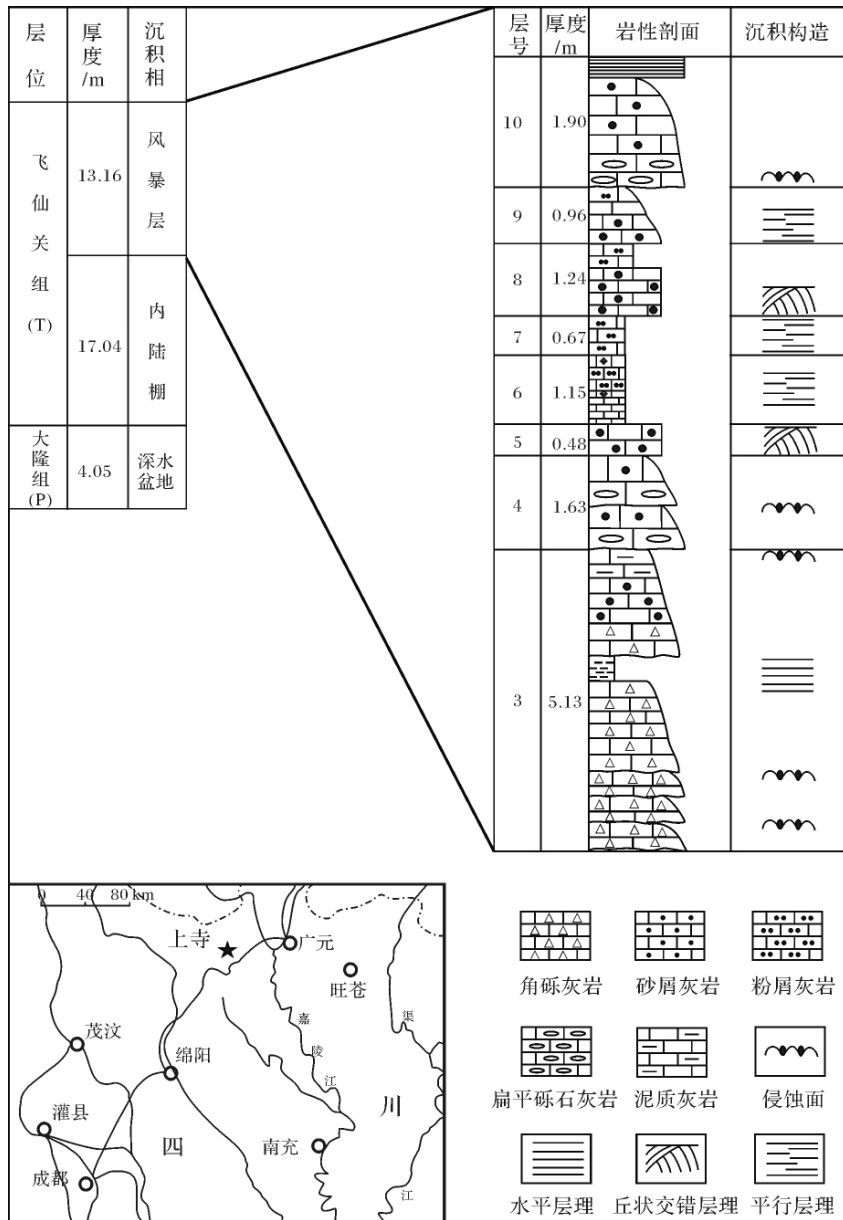


图 1 上寺剖面位置概图和风暴沉积剖面详图

Fig. 1 Location of Shangsi section and tempestitite sectional column

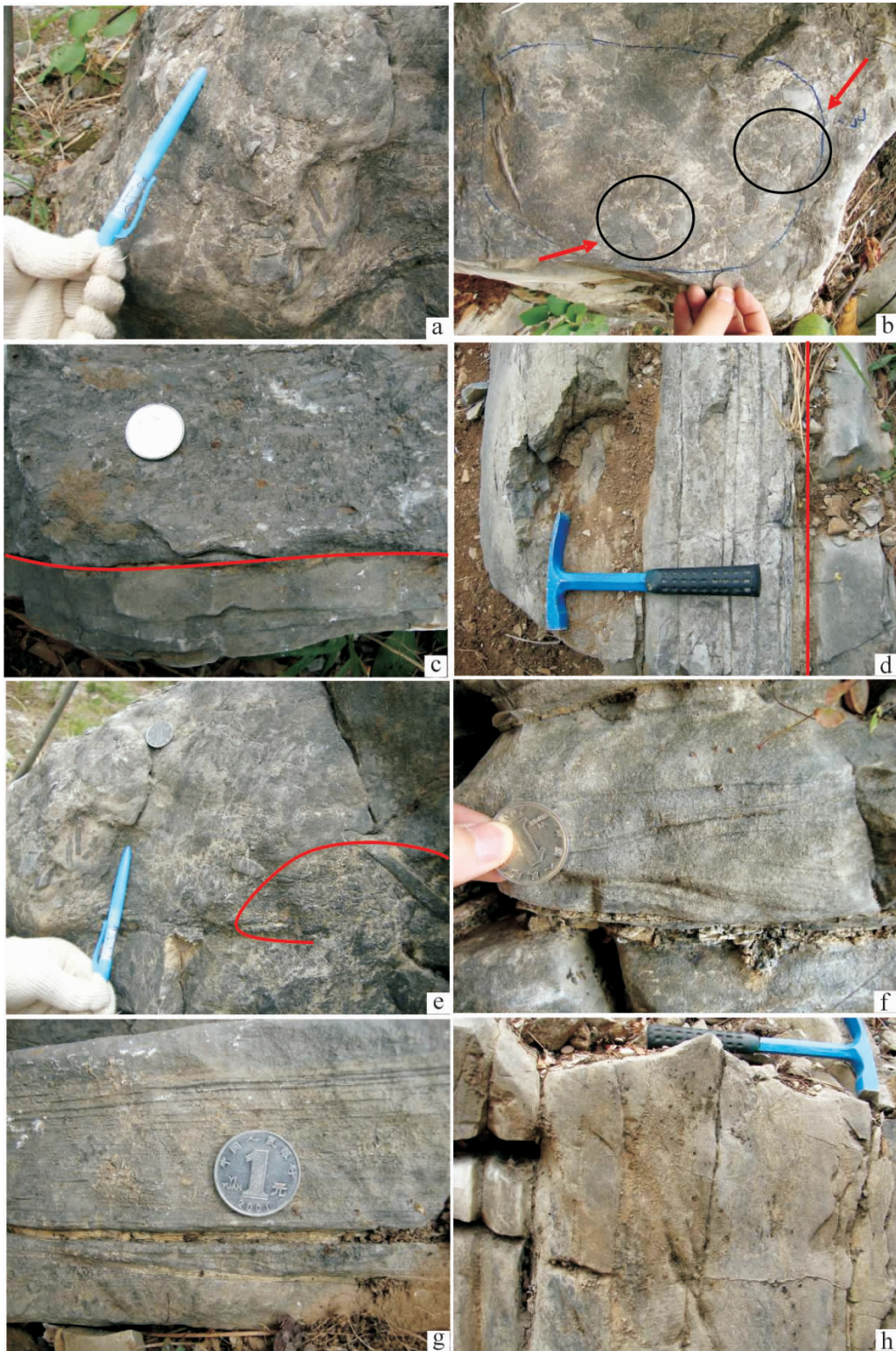


图2 广元上寺剖面下三叠统飞仙关组风暴岩沉积构造

a 风暴成因的砾屑呈棱角状、次棱角状堆积; b 局部砾屑呈菊花状、放射状排列(箭头所指); c 风暴侵蚀正常沉积的冲刷面,上部砾屑为扁平砾石砾岩; d 两期风暴流侵蚀面; e 沟模构造; f 丘状交错层理; g 截切构造形成透镜体,其上见平行层理; h 粒序层理

Fig. 2 Sedimentary structures of tempestites in Lower Triassic Feixianguan Formation in Shangsi section, Guangyuan
 a. angular conglomerate and subangular gravel by tempestites; b. local gravel showing chrysanthemums and radial pattern (a arrows point); c. Scour surface forming from tempestite erosion normal deposition, upper rubbles showing flat pebble conglomerates; d. scour surface during two tempestites; e. Groove cast; f. Hummocky cross-bedding; g. Lenticular body forming from truncation structure of tempestites, upper rock bedding existing parallel bedding; h. Graded bedding

我们野外考察发现该套角砾状灰岩在川西北地区广泛分布,且显示了一些风暴沉积的证据。风暴沉积层上部砾屑呈扁平砾石状(图2c),扁平砾石砾岩是寒武纪—前寒武纪浅海环境中普遍发育的沉积类型,系缺乏生物扰动的低能环境,处于早期成岩阶段尚未固结的薄层灰泥,在风暴或重力流作用下被撕裂,而后以微晶灰岩砾屑的形式重新沉积成岩^[20~22]。Sepkowski等^[23]亦强调扁平状或板条状碳酸盐内碎屑曾遭受强烈的风暴侵蚀和改造。

风暴岩的沉积构造包括:①风暴侵蚀构造:包括渠模、沟模等形成的似口袋状、菊花状构造,冲刷面构造^[24];②风暴撕裂构造:包括杂乱堆积的泥砾,呈撕裂缝合线的角砾和层面间的截切构造^[25];③层理构造:包括丘状交错层理,粒序层理,块状层理,均质层理,某些层段还见平行层理和交错层理等^[26]。但各风暴岩沉积区后期成岩改造程度不一,故保存的沉积特征也有所不同。研究区风暴岩以角砾灰岩和含丰富纹层叠置的微晶灰岩组合为主,发育不规则的侵蚀面、丘状交错层理、粒序层理,也见风暴后形成的块状层理、均质层理。具体可分为以下几类:

2.1 底面侵蚀构造

风暴初期,源于外海的风暴浪对浅海物质进行刨蚀、掘蚀、卷曲,形成一系列的底面侵蚀构造。广元上寺地区飞仙关下部最明显底面构造有(不)规则冲刷面和侵蚀沟铸模。通常认为,冲刷面为外部动力作用破坏原有的沉积过程,并形成与界面下部不同的岩石和构造沉积^[3]。上寺地区下三叠统风暴岩中的冲刷面有两种,一为风暴侵蚀正常天气条件沉积的微晶灰岩,形成似波纹的不规则冲刷面,波长大致3~5 cm,极不对称(图2c)。冲刷面两侧岩性由灰色微晶灰岩突变为砾屑灰岩,沉积构造也由原来的波纹层理,水平层理变为各种交错层理构造;二为两期风暴沉积的交界面,在风暴高发地区,后期风暴往往对第一期风暴保留下来的沉积物进行掏蚀,并形成规则(或不规则)的冲刷面,本区较为明显(图2d)。铸模构造是风暴侵蚀后,其携带的或者后期的沉积物填充沟、渠、洞而形成。上寺地区风暴岩中,露头上铸模构造较少,仅在微晶灰岩和风暴岩过渡地方存在,风暴岩段少见,常为沟铸模状(图2e)。

2.2 丘状交错层理

丘状交错层理^[27](图2f)为风暴岩中最为独特的沉积构造,也是辨别风暴沉积最明显的标志。其

形成机理与风暴流的性质有关,风暴流兼具牵引流和重力流特征,风暴中期,风暴流对沉积物的作用方式以刨蚀、卷曲为主,便在沉积物内部形成上凸和上凹的层理构造。本区丘状交错层理发育,见于砂屑灰岩和粉屑灰岩段,丘高0.5~2 cm,丘长5~10 cm,然而单个较完整的层理难以见到,大都是数个丘状层相互叠加、组合形成的,表明风暴强烈且持续时间较长。从野外观察得知,丘状层理段底部岩性常为泥质灰岩或微晶灰岩,或是数毫米—几厘米的极薄层泥岩段,前者可作为一次风暴流中划分沉积旋回的依据,后者则为划分历史时期中相邻两次风暴潮的证据。丘状层理段下部隐约可见侵蚀和冲刷面的痕迹,其岩性也常由底部具低角度纹层砂屑过渡至上部具穹窿状收敛纹层的粉屑灰岩。

2.3 截切构造

截切构造也是风暴岩沉积的显著特征之一。风暴事件频繁情况下,下次风暴流常对上次风暴沉积进行不同程度的截切侵蚀。而每次风暴都有一个侵蚀面,有时侵蚀面可截切下伏的某些构造,形成一些假层理。因此,在沉积记录中见到数次侵蚀和再沉积现象,并能识别出最强烈的风暴事件。研究区风暴沉积厚度大,为多期次叠加的结果,截切构造发育,并形成各种截切面和透镜状的截切体(图2g)。

2.4 粒序层理

本区风暴岩中粒序沉积较为发育。从实测剖面看,第3、4和10层中发育逆粒序层理,第9层中见正逆序沉积。岩性大致为砾屑灰岩、砂屑灰岩和泥、微晶灰岩。由于上、下两套砾屑形态差异明显,其发育的粒序段也有所不同。下部角砾灰岩主要以砾石大小变化为特征,由下至上砾石粒径逐渐增大,但这也不绝对,并如此构成20~50 cm不等的多个旋回;上部呈扁平状排列的砾屑常与砂屑灰岩、微晶灰岩构成完整的风暴序列,整体呈粒序沉积。按风暴作用的一般规律:风暴初期,强的浪流撕裂、撕碎正常沉积物质,并形成同沉积的角砾,角砾有定向性,且在风暴作用的末期因能量下降,可撕裂沉积物而不致其原生构造破坏,形成一系列的大致定向的缝合线。风暴中期,大部分砾屑都沉积了下来,继而沉积含砾灰岩和砂屑灰岩等。风暴减弱期,砾屑和砂屑等大颗粒骤降,主要为悬浮沉积的微晶灰岩和泥质灰岩。总体看粒序层理明显,研究区多见砾屑、砂屑灰岩组合和砾屑、泥质灰岩组合的粒序层(图2h)。

3 风暴沉积序列

本区风暴沉积可以分为:

Sa: 滞留砾屑灰岩段 代表风暴高潮后 由风暴撕裂、撕碎的物质原地沉积或风暴涡流卷曲的块状物因重力大于风暴剪切力而沉降 剖面局部见定向的砾屑沉积 似竹叶状灰岩; 底部的SBB可能为极强风暴撕碎原地物质或由风暴诱发的斜坡重力流沉积; 上部的扁平砾石砾屑系风暴涡流形成的典型沉积构造。

Sb: 递变粒序段 继大粒径砾屑沉积后 风暴密度流由于重力分异而沉积 主要由少量砾屑和砂屑构成 代表了风暴浊流沉积。

Sc: 丘状层理段 具有代表风暴原生沉积构造的丘状层理构成 主要保存于部分含砾灰岩和砂屑灰岩中。

Sd: 均质层理段: 该段为风暴作用后期 高密度重力流转变为牵引流后细粒物质缓慢沉积形成。

其中前三单元与曾雄伟于广西桂林地区中、上泥盆统识别的风暴岩有较大相似性^[28]。在野外剖面中 我们识别出3种风暴沉积序列(图3)。

序列1: 为Sa - Sb - Sc组成。序列反映风暴早、中期的沉积 晚期沉积的细粒均质层可能由于下次风暴浪作用或其他事件作用而被削蚀掉 该序列较为发育 且砾屑占主要成份 砾屑大小不一 粒径介于5 mm ~ 5 cm 间; 成份相似 构成砾屑的主要为含泥灰岩 微晶灰岩和少量生屑灰岩; 排列大致相同 也有部分砾屑呈紊乱排列 反映了风暴流的主流向和涡流的多向性。

序列2: 为Sa - Sc - Sd组合。该序列整体为一完整的正粒序组合。底部滞留砾屑层常见明显的冲刷面构造 中部丘状层理段也很发育 以砂屑为主 层理内部见相互削切、超覆的现象。顶部保存有少量的均质微晶灰岩段。

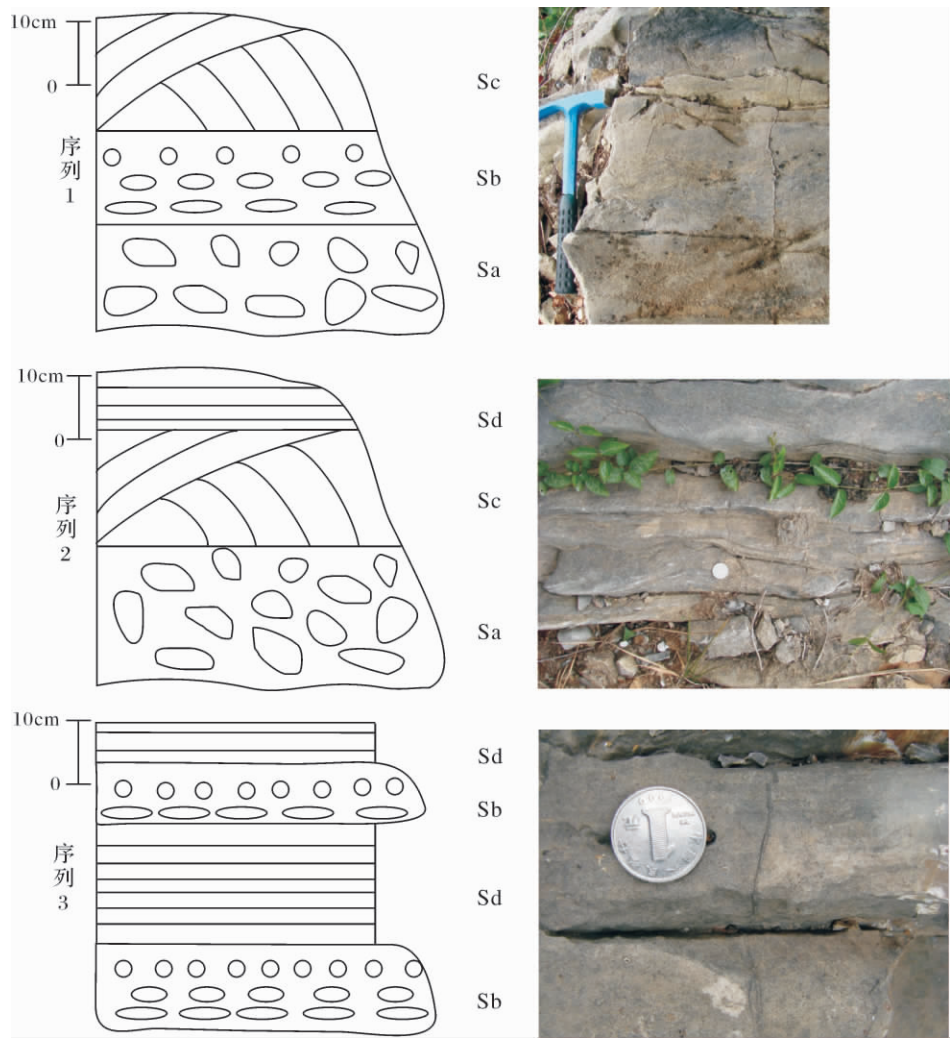


图3 风暴沉积序列

Fig 3 Tempestite sedimentary sequence

序列 3: 为 Sb - Sd 的组合, 该序列见于剖面第 3、4 层内, 下部为具递变粒序层理的砾屑和砂屑灰岩沉积, 上部是均质泥晶灰岩层。通常下部砾屑含量少, 其他各种层理缺乏, 递尾状粒序较薄, 均质层保存完好, 说明为后期悬浮作用的产物, 整个序列以低流态为主。

上述 3 种不同的风暴序列代表了不同的水深环境, 序列 1 缺乏 Sd, 因后期波浪改造使顶部均质层段被削蚀, 其受风暴浪作用较强, 底部滞留沉积和丘状交错层理发育, 保存厚度大, 为靠近正常浪基面的内陆棚环境; 序列 2 为典型的风暴沉积序列, 由风暴涡流形成的滞留砾屑, 风暴浪形成的丘状交错层理和后期风暴悬浮沉积组成, 为正常浪基面和风暴浪基面间的浅海陆棚环境; 序列 3 仅存有递变粒序层和均质层理段, 受风暴早、中期影响较小, 且在沉积过程中受到的波浪影响微弱, 是风暴后期回流悬浮沉积的结果, 为靠近风暴浪基面的陆棚边缘或者风暴浪基面之下的斜坡环境。

4 讨论

上寺剖面下三叠统飞仙关组的风暴岩形成于特

殊的古地理和古气候环境下, 同时期风暴沉积广泛分布于下扬子区的殷坑组和扁担山组内^[5]; 而在意大利多洛米蒂地区, 早三叠世 Mazzin 段内夹多层风暴岩^[29]; Pruss 等认为在土耳其南部、美国西部等地广泛分布的早三叠世扁平砾石砾岩形成于风暴盛行的潮下环^[30]。另我们对国内关于风暴沉积的学术论文的统计表明, 三叠纪和寒武纪是显生宙风暴沉积最为发育的两个时期, 且已识别的三叠纪风暴沉积多出现于早三叠世。如此广泛的风暴事件是否有密切的联系呢? 三叠纪泛大陆陆地面积大, 作为一个独特的全球古地理背景^[31], 泛大陆曾存在约 100 Ma 年之久^[32]。地质学家普遍认为泛大陆开始于石炭纪劳亚大陆和冈瓦纳大陆的碰撞, 且在三叠纪达到最大值^[8]。Vail P R 等提到二叠纪—三叠纪间, 泛大陆边缘海平面较低^[33]; 暴露的陆块面积达到最大, 除了现今的中国和东南亚地区, 其他暴露单元都拼合到联合古陆上^[10]。泛大陆跨越赤道, 破坏了每个区域的气候循环, 对全球古气候有特殊的影响(图 4)。Robinson P L 首次将当时的古气候描述为泛大陆的季风性气候^[34], 这种描述也得到了 Parrish 和 Russell 等人的支持^[10, 31], 后来在泛大陆气候数字模拟实验中也

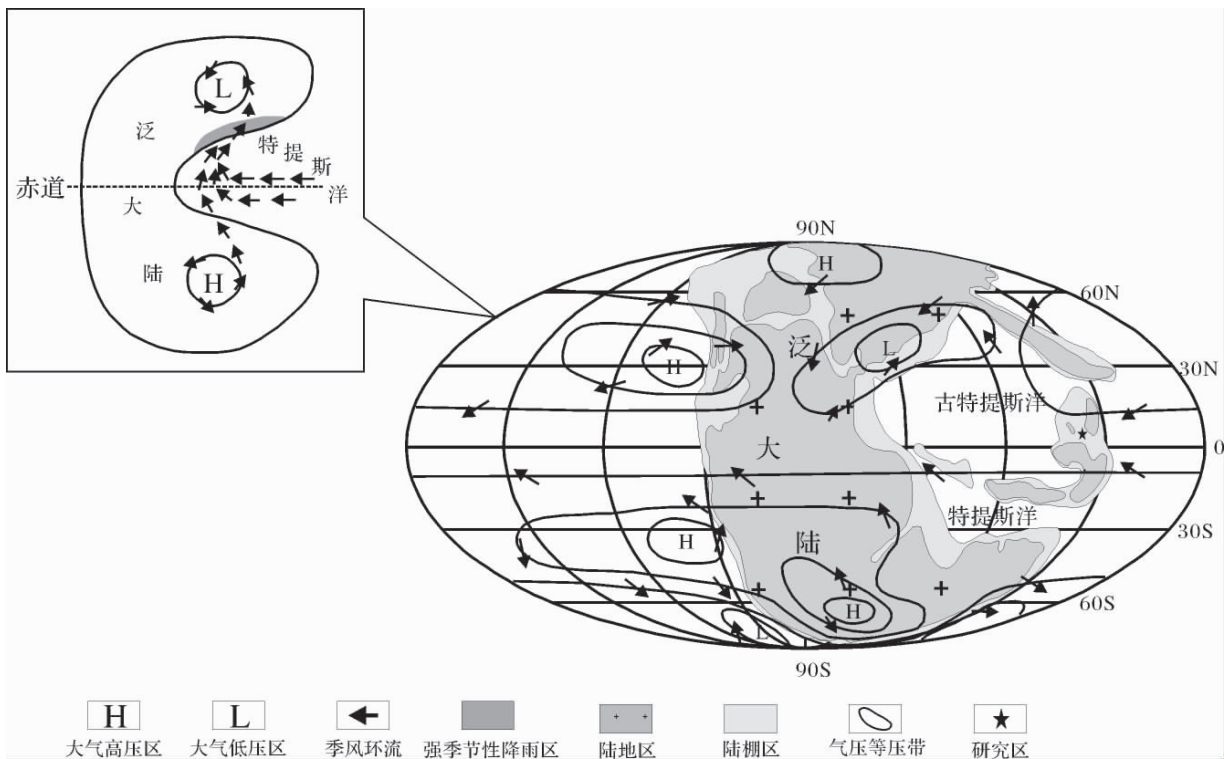


图 4 左上图为泛大陆北半球夏季巨型季风示意图; 右图为早三叠世印支期北半球夏季季风循环预测图 (据参考文献 [37] 有修改)

Fig. 4 Schematic diagram illustrating monsoonal circulation northern summer(ulept picture); Predicted atmospheric circulation in the Induan Age northern summer(earliest Triassic) (right picture) (modified from reference [37])

得出了季风气候的结论^[35,36]。季风环流最重要的特征是穿越了赤道区;在泛大陆时期,由于南、北半球冬天与夏天热力和压力值的巨大差异,导致季风环流的盛行(图4)。

三叠纪时,泛大陆面积大量暴露,且大部分位于中低纬度,特提斯的存在,成为湿度的来源^[8]。而且,暴露的大陆从北半球到南半球在赤道两侧对称分布^[10,38],前人普遍认为这一时期巨型季风处在最强时期,而赤道地区以及中纬度的大陆内部地区的干旱可能达到了最大程度^[10]。研究区在二叠—三叠纪之交气候经历了极大的变化,海平面下降,使大量陆地得以暴露,气候由原来的湿润变为更加干燥^[39],这和巨型季风在泛大陆与特提斯洋间的气候调节机制有很大的相关性,而四川盆地早三叠世时位于东特提斯边缘,明显受到巨型季风的控制。上扬子地区风暴沉积,可能是强盛的季风循环影响的结果;研究区早三叠世普遍受巨型季风气候控制,且主要的气候条件为干旱,带来短暂季节性降雨的强季节风与风暴流关系密切,穿越特提斯洋的季风在陆棚区形成强烈的风暴,显著影响着本区沉积作用。

另一方面,该区风暴岩发育于P/T事件后不久,上寺剖面对此有良好的岩层记录。上二叠统大隆组为深灰色硅质灰岩、硅质页岩、灰色微晶灰岩,见大量深水生物壳体;下三叠统飞一段为泥质灰岩、微晶灰岩,几乎没有生物的痕迹。大萧条的生态背景促使更多的地质信息得到保存,如代表“错时相”的扁平砾石砾岩、蠕虫状灰岩、微生物岩等^[40],同样风暴岩也不例外。研究区早三叠世气候受控于巨季风体制,沉积于陆棚区的风暴岩几乎未受到生物活动的破坏,野外剖面中也鲜见生物扰动构造,于是呈“季节性”发育的风暴岩能完整的保存下来,且特征明显,易于现代识别和研究。

5 结论

(1) 广元上寺剖面早三叠世飞一段风暴沉积发育,以砾屑灰岩—微晶灰岩组合岩性为特征,见底面侵蚀构造和冲刷面构造、粒序层理、丘状交错层理和均质层理等。

(2) 研究区飞仙关组风暴岩发育 Sa、Sb、Sc 和 Sd 四个序列单元,能识别出的序列组合有 Sa—Sb—Sc、Sa—Sc—Sd、Sb—Sd 三种。

(3) 早三叠世全球受巨型季风气候控制,飞仙关组下部风暴岩层蕴含了强烈的气候信息:①巨型季风

与飞仙关组风暴流关系密切,穿越特提斯洋的极强的季风在上扬子地区形成强烈的风暴,显著影响着本区沉积;②P/T生物大灭绝后,萧条的生态背景使风暴岩得以保存。

参考文献 (References)

- Kelling G, Mullin P R. Graded limestone and limestone quartzite couplets, possible storm deposits from the Moroccan Carboniferous [J]. *Sedimentary Geology*, 1975, 13: 161-190
- 何镜宇,孟祥化. 沉积岩和沉积相模式及建造 [M]. 北京:地质出版社,1987 [He Jingyu, Meng Xianghua. *Sedimentary Rocks and Sedimentary Facies Model and Buildup* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987]
- 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 the southeastern Hubei province and their environment significance [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25(2): 29-34]
- 王文彬. 苏皖南部早三叠世风暴沉积 [J]. 合肥工业大学学报:自然科学版, 1991, 14(4): 65-73 [Wang Wenbin. Storm deposits along south Jiangsu to Anhui [J]. *Journal of Hefei University of Technology: Science Edition*, 1991, 14(4): 65-73]
- 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. Characteristics of storm deposits lower Yangtze area in early Triassic [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1990, 14(2): 124-130]
- 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 (Fei Xianguan Formation) of Liangfengya in Chongqing [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(3): 121-127]
- 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]
- Judith Totman Parrish. Climate of the supercontinent Pangea [J]. *The Journal of Geology*, 1993, 101: 215-233
- Parrish J M, Parrish J T, Ziegler A M. Permian-Triassic paleogeography and paleoclimatology and implications for therapsid distributions [C]//*The Ecology and Biology of Mammal-Like Reptiles*. Washington D C: Smithsonian Press, 1986: 109-132
- Parrish J T. Latitudinal distribution of land and shelf and absorbed solar radiation during the Phanerozoic [J]. *U. S. Geological Survey Open-File Report*, 1985(21): 85-31
- 刘育燕,杨巍然,森永速男,等. 华北陆块、秦岭地块和扬子陆块构造演化的古地磁证据 [J]. 地质科技情报, 1993, 12(4): 17-21 [Liu Yuyan, Yang Weiran, Morinaga Hayao, et al. Paleogeographic history of north China continental block, Qinling geological block and Yangtze continental block since the Paleozoic Era [J]. *Geological Sci-*

- ence and Technology Information, 1993, 12(4): 17-21]
- 12 钱利军, 时志强, 李智武, 等. 四川盆地西缘地区上三叠统须家河组化石木年轮的古气候意义[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 324-330 [Qian Lijun, Shi Zhiqiang, Li Zhiwu, *et al.* Fossil wood of the upper Triassic Xujiahe Formation in the western margin of Sichuan Basin: Implication for palaeoclimate [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(2): 324-330]
 - 13 杨遵仪, 吴顺宝, 杨逢清. 关于我国南方海相二叠-三叠系的界线问题和接触关系[J]. 地球科学-武汉地质学院学报, 1981, 14(1): 4-15 [Yang Zunyi, Wu Shunbao, Yang Fengqing. Permian-Triassic boundary issues and the contact relation about the marine stratum of south China [J]. *Geoscience-Journal of Wuhan College of Geology*, 1981, 14(1): 4-15]
 - 14 杨遵仪, 殷鸿福, 吴顺宝, 等. 华南二叠-三叠系界线地层及动物群[J]. 地质专报, 1987, 2(6): 1-379 [Yang Zunyi, Yin Hongfu, Wu Shunbao, *et al.* South China Permian-Triassic stratigraphy boundary and fauna [J]. *Geological Special Report*, 1987, 2(6): 1-379]
 - 15 张景华, 戴进业, 田树刚. 四川北部广元上寺晚二叠世-一早三叠世的牙形石生物地层[C]. 国际交流地质学术论文集, 北京: 地质出版社, 1984 [Zhang Jinghua, Dai Jinye, Tian Shugang. Late Permian to Early Triassic Conodont Biostratigraphy in Shangsi Section, Guangyuan City, North Sichuan [C]. *International Geological Collection of Academic Paper*. Beijing: Geological Publishing House, 1984]
 - 16 Xu Daoyi, Ma Shulan, Chai Zhifang, *et al.* Abundance variation of iridium and trace elements at the Permian-Triassic boundary at Shangsi in China [J]. *Nature*, 1985: 314
 - 17 李子舜, 詹立培, 朱秀芳, 等. 古生代-中生代之交的生物灭绝和地质事件: 四川广元上寺二叠系-三叠系界线和事件的初步研究[J]. 地质学报, 1986: 6(1): 1-21 [Li Zishun, Zhan Lipai, Zhu Xiufang, Zhang Jinghua, Jing Ruogu, Liu Guifang, Sheng Guimei, Dai Jingye, Huang Hengquan, Xie Longchun, Yan Zheng. Mass extinction and geological events at the turn of Paleozoic - Mesozoic: In Guangyuan Shangsi, Sichuan province a preliminary study about Permian-Triassic boundary events [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1986, 6(1): 1-21]
 - 18 赵永胜, 王多义, 胡志水. 四川盆地西缘早三叠世早期碳酸盐重力流沉积与环境[J]. 沉积学报, 1994, 12(2): 1-9 [Zhao Yongsheng, Wang Duoyi, Hu Zhishui. Sedimentology and environment of carbonate gravity flows on the western margin of lower Triassic, Sichuan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(2): 1-9]
 - 19 冯仁蔚, 王兴志, 张帆, 等. 川西北广旺地区飞仙关组沉积岩石学特征及沉积环境分析[R]. 地质调查与研究, 2007, 30(2): 98-109 [Feng Renwei, Wang Xingzhi, Zhang Fan, *et al.* Characteristic of Sedimentary Petrography and Depositional Environment of the Feixianguan Formation in Guangyuan-Wangcang Southwestern Sichuan Province [R]. *Geological Survey and Research*, 2007, 30(2): 98-109]
 - 20 Wignall P B, Twitchett R J. Unusual intraclastic limestones in Lower Triassic carbonates and their bearing on the aftermath of the end-Permian mass extinction [J]. *Sedimentology*, 1999, 46: 303-316
 - 21 冯增昭, 王英华, 李尚武. 中国南方早、中三叠世岩相古地理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 1-162 [Feng Zengzhao, Wang Yinghua, Li Shangwu. *South China Lithofacies and Paleogeography Map in the Early Triassic* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 1-162]
 - 22 赵小明, 牛志军, 董金南, 等. 早三叠世生物复苏期的特殊沉积-"错时相"沉积[J]. 沉积学报, 2010, 28(12): 314-323 [Zhao Xiaoming, Niu Zhijun, Tong Jinnan, *et al.* The distinctive sediments in the early Triassic recovery time: "anachronistic facies" [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(12): 314-323]
 - 23 Sepkoski J J, Bambach R K, Droser M L. Secular changes in Phanerozoic event bedding and the biological imprint [M] // Einsele G, Ricken W, Seilacher A eds. *Cycles and Events in Stratigraphy*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1991: 298-312
 - 24 Aiger T. Calcareous tempestites: Storm-dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones Middle Trias, SW-Germany [J]. *Cyclic and Event Stratification*, 1982: 181-195
 - 25 周进高, 赵宗举, 邓红婴. 淮南地区风暴岩特征及其沉积环境[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(5): 73-76 [Zhou Jingao, Zhao Zongjun, De Hongying. Characteristics and depositional environment of tempestites in Huainan area [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1999, 26(5): 73-76]
 - 26 Allen J. Sedimentary structures-their character and physical basis [M]. New York: Elsevier Publishing Company, 1982: 2
 - 27 Kreisa P D. Storm-generated sedimentary structures in subtidal marine facies with example from the middle and upper Ordovician of south western Virginia [J]. *Sedimentary Petrology*, 1981: 513
 - 28 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): 42-65 [Zeng Xiongwei, Du Yuansheng, Zhang Zhe, *et al.* The sedimentary characteristics of the middle-upper Devonian tempestite in Guilin, Guangxi and its geological implication [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2007, 26(6): 42-65]
 - 29 Horacek M, Brandner R, Abart R. Carbon isotope record of the P/T boundary and the Lower Triassic in the southern Alps: Evidence for rapid changes in storage of organic carbon [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 252: 347-354
 - 30 Pruss S B, Bottjer D J, Corsetti F A, *et al.* A global marine sedimentary response to the end-Permian mass extinction: Examples from southern Turkey and the western United States [J]. *Earth-Science Reviews*, 2006, 78: 193-206
 - 31 Russell F D, Parrish J T, Parrish J M, *et al.* The Pangaeon Mega-monsoon-evidence from the upper Triassic Chinle Formation, Colorado plateau [J]. *Society for Sedimentary Geology*, 1991, 6: 347-370
 - 32 Erin Eastwood. Pangean Paleoclimate [J]. *GEO* 387H. 2008: 2
 - 33 Vail P R, Mitchum R M Jr, Thompson S. Global cycles of relative sea level change: Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration [J]. *AAPG Memoir*, 1977, 26: 83-97
 - 34 Robinson P L. Paleoclimatology and Continental Drift Implications of Continental Drift to the Earth Sciences [M]. London: Academic Press, 1973: 449-476

- 35 Crowley T J , Hyde W T , Short D A. Seasonal cycle variations on the supercontinent of Pangaea: Implications for Early Permian vertebrate extinctions [J]. *Geology* , 1989(17) : 457-460
- 36 Lutz R A , Rhoads D C. Growth patterns within the molluscan shell [M]//Rhoads D C , Lutz R A , Skeletal Growth Aquatic Organism. New York: Plenum Press , 1980: 203-254
- 37 Parrish J T , Peterson F. Wind directions predicted from global circulation models and wind directions determined from eolian sandstones of the western United States—A comparison [J]. *Sedimentary Geology* , 1988 , 56: 261-282
- 38 Mutti M. , Weissert H. Triassic monsoonal climate and its signature in Ladinian-Carnian carbonate platforms Southern Alps , Italy [J]. *Journal of Sedimentary Research* , 1995 , 65(3) : 357-367
- 39 黄思静. 上扬子二叠系—三叠系初海相碳酸盐岩的碳同位素组成与生物绝灭事件 [J]. *地球化学* , 1994 , 23(1) : 60-68 [Huang Sijing. Carbon isotopes of Permian and Permian-Triassic boundary in upper Yangtze platform and the mass extinction [J]. *Geochemistry* 1994 , 23(1) : 60-68]
- 40 赵小明, 童金南, 姚华舟, 等. 华南早三叠世错时相沉积及其对复苏期生态系的启示 [J]. *中国科学: D 辑* , 2008 , 38(12) : 1564-1574 [Zhao Xiaoming , Tong Jinnan , Yao Huazhou , *et al.* Anachronistic facies in the lower Triassic of south China and their implications to the ecosystems during the recovery time [J]. *Science in China* , 2008 , 51(11) : 1646-1657]

Tempestite of Early Triassic Feixianguan Formation in Shangsi Section , Guanyuan: Are they extreme climatic event under megamonsoon system?

ZENG De-yong SHI Zhi-qiang ZHANG Hua AN Hong-yan ZHANG Hui-juan
(Institute of Sedimentary Geology , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059)

Abstract Early Triassic Yangtze platform was located in the northeastern margin of Tethys. Based upon the large amount of geological evidence and simulation experiments , researchers confirmed that the Triassic climate system was megamonsoon that controlled the climate of whole Pangaea and surrounding sea. However abundant outcrops of Triassic strata in our country , whether contained some information implying monsoon climate? We found a set of well-preserved tempestite in the Lower Triassic at Shangsi Section , Guanyuan city , northwest Sichuan , which developed in the lower part of the Feixianguan Formation. The sedimentary characteristics of Lower Triassic Tempestite was significant , including storm-generated gravel , storm erosion structures , storm tear structures and bedding structures. Gravel was composed of micritic limestone , and might be divided into two types according to roundness. One contained brecciated , strip , axiolitic shape; the other presented flat-gravel shape. Storm erosion structures included pocket and chrysanthemum shape formed by drainage and channel mode , erosion surface structure. Storm tear structures included messy mud gravel , torn sutureline breccia and truncated structure amongst lays. Bedding structures included hummocky cross bedding , graded bedding , blocky bedding , homogeneous bedding and parallel bedding. According to sedimentary structures and lithology , three kinds of sequence of Sa-Sb-Sc , Sb-Sd , Sa-Sc-Sd(Sa-stranded gravel deposition , Sb-graded bedding , Sc-hummocky cross-stratification , Sd-homogeneous bedding) were recognized. The storm deposits occurred in the shallow sea and the formation , development and characteristics of the tempestites have important significance on paleoclimate research. We think that tempestite in Shangsi (and even whole Upper-Yangtze region) was controlled likely by the strong monsoon system (Megamonsoon) in Early Triassic , and the P/T boundary mass extinction event let tempestite be preserved below the setting that organism burrows were few.

Key words tempestite; Early Triassic; Feixianguan Formation; megamonsoon; Gaia effect