

# 峡东地区埃迪卡拉系灯影组石板滩段 沉积环境探讨

赵 灿<sup>1</sup> 曾雄伟<sup>1</sup> 李旭兵<sup>1</sup> 郁金来<sup>2</sup> 周 鹏<sup>1</sup> 危 凯<sup>1</sup> 张 华<sup>3</sup>

(1. 武汉地质矿产研究所, 湖北 武汉, 430223; 2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057;  
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:** 本文通过对峡东地区埃迪卡拉系灯影组石板滩段典型沉积岩的岩石学特征及沉积构造进行详细研究, 取得了石板滩段主体沉积形成于台地边缘浅滩-台缘缓斜坡的较多证据, 并首次发现了该段地层中保存的十分完整的诸如丘(洼)状交错层理、粒序层理、冲刷-充填构造、渠铸型构造在内的典型的风暴沉积构造。通过对沉积特征、风暴序列的分析认为石板滩段沉积是受风暴作用改造的产物, 其主体沉积背景属于正常浪基面与风暴浪基面附近的受周期性风暴影响的台地边缘-台缘缓斜坡环境。

**关键词:** 沉积构造; 风暴沉积序列; 沉积环境; 埃迪卡拉系; 峡东地区

**中图分类号:** P534.31      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2013)04-1129-11

湖北峡东地区是中国埃迪卡拉系层型剖面所在地。重新厘定后的埃迪卡拉系在三峡地区与南华系相伴出现, 广泛分布在黄陵穹隆周缘(图 1), 为扬子克拉通固结之后首次形成的稳定碳酸盐沉积<sup>[1]</sup>。峡东地区埃迪卡拉系剖面的研究历史悠久<sup>[2]</sup>, 并且已经积累了大量关于岩石地层、生物地层、岩相古地理、古地磁、同位素测年和地球化学方面的资料<sup>[3-14]</sup>。前人的研究中不乏针对峡东地区灯影组石板滩段沉积环境的研究, 并引用不同的碳酸盐岩沉积模式对该段沉积岩的形成环境加以解释。其中大部分观点认为石板滩为潮坪相、开阔台地相沉积<sup>[15]</sup>; 或认为石板滩段下部形成于具障壁缓坡的潟湖-潮间带环境、滩后障蔽潟湖沉积<sup>[2, 16]</sup>, 中-上段为无障壁缓坡的潮下带-潮间带环境的产物。

西陵峡地区三斗坪乡李家院子剖面与峡东地区其他埃迪卡拉系剖面相比, 此处灯影组石板滩段地

层连续, 露头极好, 风化程度低, 易于观察, 为本文的研究提供了良好的条件。通过对石板滩段地层典型的沉积构造、岩石学特征进行详细研究, 取得了其主体沉积环境的较多证据, 认为石板滩段主体沉积环境应为正常浪基面与风暴浪基面附近的受周期性风暴影响的台地边缘-台缘缓斜坡环境。这对于重新认识和分析该地区石板滩段的沉积环境具有一定的意义, 为进一步深化该时期的沉积相类型和沉积演化等方面的分析和研究提供了较好的参考。

## 1 地质背景

埃迪卡拉纪是全球构造、环境发生重大变化的地史阶段。伴随全球气候和环境的巨大变化, 埃迪卡拉纪成为生物辐射演化的重要时期。灯影期中扬子区进入了相对稳定的地台发展阶段, 沉积物从早震旦世以陆源岩沉积为主转变为以碳酸盐岩、硅质岩

收稿日期: 2012-08-28; 改回日期: 2013-04-25

基金项目: 中国地调局计划项目“中上扬子海相含油气盆地油气地质综合调查——桑植—石门及邻区油气地质综合调查评价及地层对比研究”(121201120968)及“华南中部震旦纪—志留纪地层格架、岩相与古地理成矿关系”(1212011121103)共同资助。

作者简介: 赵灿, 男, 1985 年出生, 助理研究员, 沉积学专业; E-mail: zhaocan1985216@163.com。

通讯作者: 曾雄伟, 男, 1982 年生, 助理研究员, 地层与古生物学研究; E-mail: zxyuehen@163.com。

的配置。2002年震旦系的含义缩小为仅包括陡山沱组和灯影组的地层(全国地层委员会,2002),如果南沱冰期与马雷诺冰期可以对比的话,则震旦系与国际上新建立的埃迪卡拉系相当。三峡东部莲沱—灯影峡标准剖面上的埃迪卡拉系分下部陡山沱组和上部灯影组。其中陡山沱组为白云岩、黑色页岩,下部含磷。产大型复杂的棘刺疑源类化石<sup>[10]</sup>。上覆灯影组以白云岩发育为特色,灯影组底部蛤蟆井段(一段)以厚层晶粒白云岩、藻纹层白云岩为主,中部石板滩段(二段)为灰岩,产 *Paracharia denyinensis*、简单球形藻和文德带藻类化石以及管状动物化石 *Sinotubulites* 等<sup>[17,18]</sup>。上部白马沱段(三段)为灰白色块状硅质白云岩,微晶或粗晶白云岩,内碎屑白云岩,夹燧石层,含燧石团块和燧石结核,产同生角砾岩。灯影组顶部天柱山段含磷白云岩中产寒武纪初期的小壳化石。本文研究的剖面位于三斗坪乡李家院子,相当于王自强等<sup>[2]</sup>研究的沿黄陵背斜的东翼埃迪卡拉系剖面附近。该位置灯影组石板滩段—白马沱段出露连续、完整,地层岩性以灰色—深灰色薄板状微晶石灰岩、含颗粒微晶灰岩、亮晶内碎屑灰岩、薄层白云岩为主。

## 2 沉积特征

### 2.1 岩石学特征

#### 2.1.1 内碎屑灰岩

在石板滩段中上部地层中,常见厚度仅数厘米的砂、砾屑灰岩呈夹层状产出或出现在似鲍马序列底部单元。内碎屑灰岩层与下部单元呈波状起伏的冲刷面接触,横向上不稳定,该类灰岩主要包括以下两个类型:

##### (1)亮晶藻砂屑灰(云)岩

该类岩石在研究区较为常见,藻砂屑成分为富含有机质的暗色泥晶方解石,藻砂屑粒径为0.1~0.4 mm,呈圆状、椭圆状、纺锤状产出(图2-1,2-2)。孔隙物成分主要为亮晶方解石,藻砂屑之间局部发生白云石化,单偏光显微镜下白云石呈菱形显雾心亮边结构(图2-2),以晶粒大小在0.05~0.1 mm的半自形—自形粉晶产出。该类灰岩主要出现在台地边缘滩等浅水沉积环境中。

##### (2)微—亮晶砾屑灰岩

该类灰岩在宏观上主要发育在具有底面侵蚀构造的上部岩性段中,砾屑层厚度不稳定,厚度在2~20 cm,砾屑圆度好而分选差,长轴大多数顺层分布,

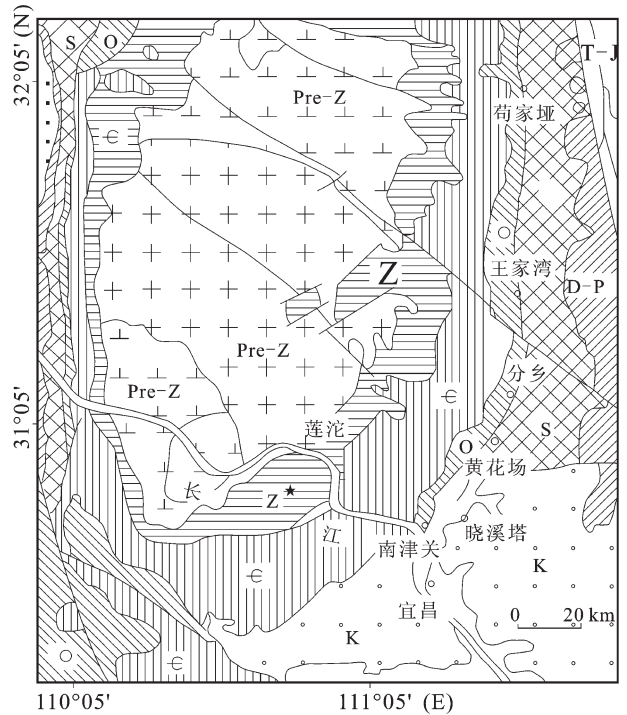


图1 峡东地区地质略图

Pre-Z—前埃迪卡拉系; Z—埃迪卡拉系; ε—寒武系;  
O—奥陶系; S—志留系; D-P—泥盆系—二叠系; T-J—三叠系—侏罗系; K—白垩系; ★—剖面位置(据<sup>[10]</sup>)  
Fig.1 Geological map of the eastern Yangtze Gorges area  
Pre-Z—Pre-Ediacaran; Z—Ediacaran; ε—Cambrian;  
O—Ordovician; S—Silurian; D-P—Devonian-Permian;  
T-J—Triassic-Jurassic; K—Cretaceous; ★—Location of the section

局部可见倒“小”字状排列(图3-5,3-9)。砾石最大可达25 cm×10 cm,最小2 mm×1 mm,多数在1 cm×1.5 cm~3 cm×4 cm之间。显微镜下,砾屑多呈次圆状、不规则多边形、板条状或少量无分选、棱角分明的撕裂屑状产出(图2-3~6)。砾屑主要成分为泥微晶灰岩或颗粒灰岩,砾屑含量为60%~80%,砾屑边缘常有溶蚀、交代现象。砾屑之间常见藻团粒、细小的球粒等充填,胶结物主要为微—亮晶方解石,及少量亮晶白云石,白云石胶结物含量约5%,呈半自形粉晶级产出。该类灰岩主要发育在风暴序列沉积底部或风暴触发的浊流沉积中。当产于在风暴触发的浊流沉积中时,砾屑粒度更细,沉积底面相对较平整;层内粒序性较好,以表现为正粒序较多(图3-6)。

#### 2.1.2 微晶似球粒灰岩

镜下呈近圆形的细小颗粒状,颗粒色深暗富含有机质(图2-7)。颗粒内部结构不易观察,有时可见凝块状结构,其成分主要由隐晶质的泥晶方解石集合

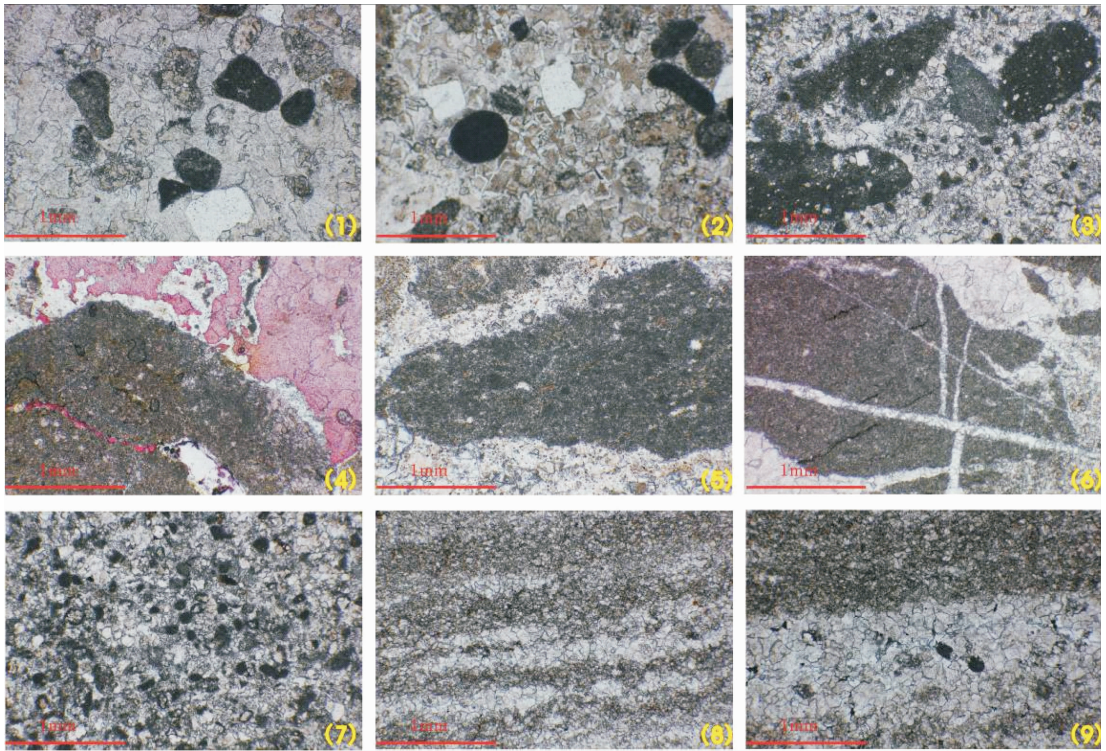


图 2 峡东地区灯影组石板滩段常见的岩石类型

(1)—亮晶藻砂屑灰岩,单偏光;(2)—亮晶藻砂屑白云岩,砂屑之间充填具雾心亮边结构的菱形白云石,单偏光;(3)—亮晶砾屑砂屑灰岩,砾屑呈椭圆形、不规则多边形等外貌,砾屑边缘发生溶蚀作用,单偏光;(4)—亮晶砾屑灰岩,砾屑边缘依次被亮晶白云石—方解石胶结,砾屑内部发生破裂—充填作用,单偏光;(5)—亮晶砾屑灰岩,砾屑不规则多边形外貌,砾屑边缘发生溶蚀交代,单偏光;(6)—亮晶砾屑灰岩,砾屑发生破裂作用,单偏光;(7)—假亮晶球粒灰岩,球粒色暗富含有机质,单偏光;(8)—重结晶灰岩,单偏光;(9)—重结晶灰岩,粗的晶粒条带内保存有少量藻砂屑,单偏光(均为普通薄片)

Fig.2 Sedimentary structure of the Dengying Formation in the study area

(1)—Algal calcarenite(plainlight);(2)—Dolarenite, diamond dolomite with fuzzy center and bright side(plainlight);(3)—Sparrenite and spare audite, the pebbles is oval or irregular polygon with dissolution effect, (plainlight);(4)—Intrasparrudite, the pebbles is cemented by sparry dolomite and calcite, (plainlight);(5)—Intrasparrudite, the pebbles is oval or irregular polygon with dissolution effect, (plainlight);(6)—Intrasparrudite, fracturing occurs in the pebbles, (plainlight);(7)—Microspar pelmicrite, with high organic matter abundance, (plainlight);(8)—Recrystallized limestone, (plainlight);(9)—Recrystallized limestone, arenite appears in the coarse crystal stripe, (plainlight)(all the above sections are common thin sections)

体组成,属于藻成因或者与藻席中蓝细菌钙化的结果。似球粒大小在 0.1~0.3 mm,粒径大小分布较均匀。似球粒之间主要为假亮晶充填,为沉积期泥晶方解石新生变形而来,并非真正的亮晶胶结物。该类灰岩主要出现在滩后潟湖沉积环境中。

### 2.1.3 重结晶灰岩

该类岩石在研究区石板滩段最为常见,主要由方解石晶粒组成,属泥晶灰岩或含颗粒泥晶灰岩通过重结晶形成的。研究区所见重结晶灰岩不同程度地保留变余的原始结构特征,且具备晶粒大小渐变,镜下观察粗的晶粒大小可以在 0.05~0.2 mm,细小的晶粒粒径不到 0.01 mm,组成明暗递变的条带状(图 2-8)。粗晶粒条带内部常可观察到少量微晶

球粒、藻砂屑等颗粒(图 2-9),而泥—微晶条带内却少见颗粒沉积。宏观上该类灰岩亦有单层内部从下至上粗细变化和明暗递变的特点。该类灰岩主要出现在缓斜坡或滩后潟湖沉积环境中。

## 2.2 沉积构造特征

### 2.2.1 丘状、洼状交错层理

丘状交错层理是研究区所发现的最常见的沉积构造,也是风暴岩中最为独特的沉积构造和辨别风暴沉积最明显的标志<sup>[9]</sup>。石板滩段丘状交错层理由一系列宽缓的波状层系组成(图 3-1~3),内部具较多波状侵蚀面。具体而言具备以下 6 个方面的具体特征:

(1)细层厚度一般在 2 mm 左右,倾角在 3°~8°。

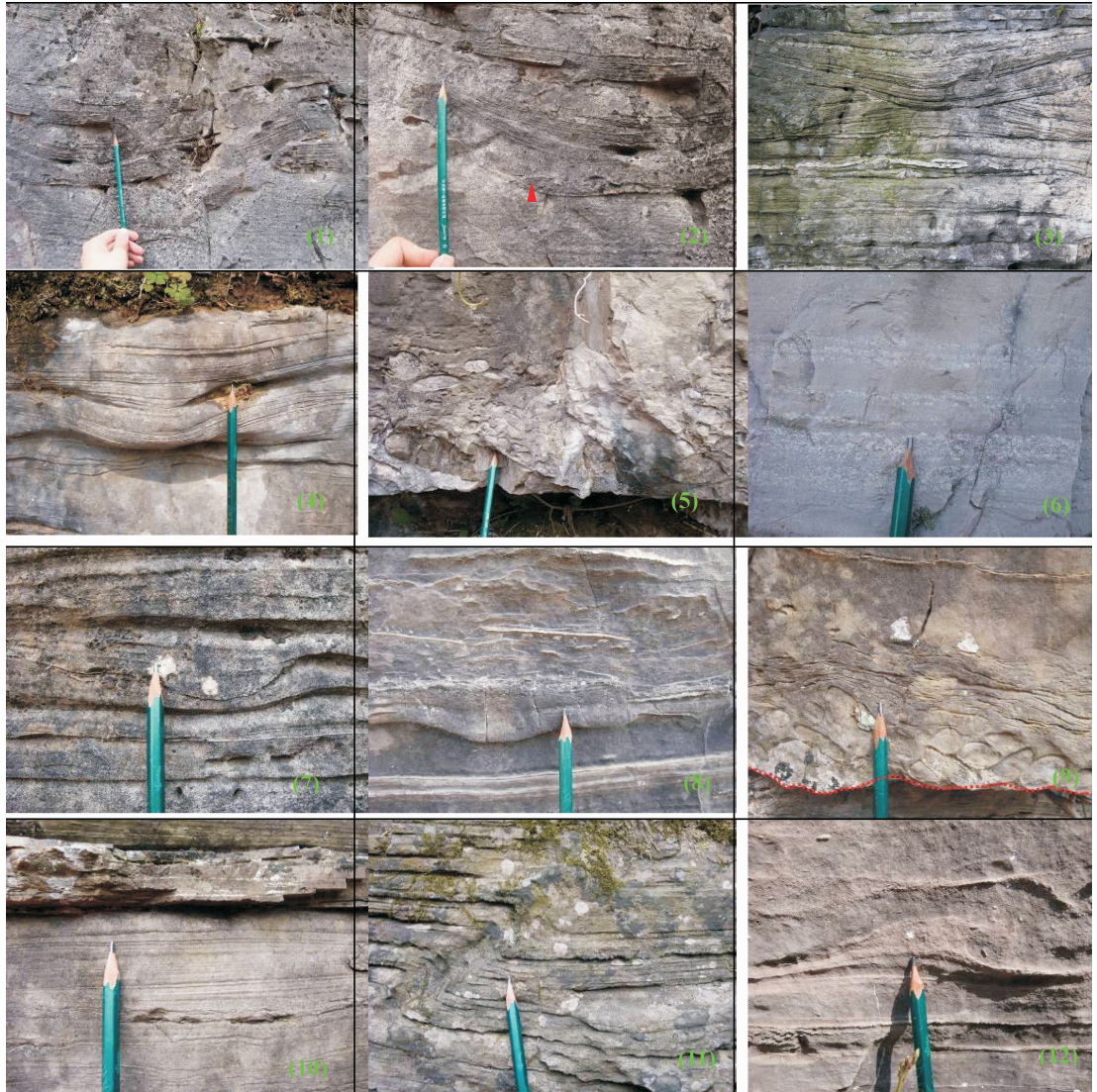


图 3 峡东地区灯影组石板滩段常见的沉积构造

(1)—丘状交错层理, 上纹层呈辐射状, 纹层倾角较小, 顶面呈丘状起伏; (2)—图 1 的局部放大, 风暴丘内的细层厚度向凹槽方向逐渐变厚, 倾角逐渐减小, 底部见低角度侵蚀面(箭头指处); (3)—丘状交错层理, 层内具数个丘状层相互叠加、组合; (4)—洼状交错层理, 下凹部分内均能见到渠模构造; (5)—递变层理, 砾石成分为“竹叶状”砾屑灰岩, 分选差, 砾石圆度极好, 略显正粒序; (6)—递变层理, 粉屑灰岩, 沉积物粒度较细, 沉积底面相对较平整, 略显冲刷构造; (7)—渠模构造, 截面形态呈“口袋状”; (8)—底冲刷构造, 冲刷面之上为具递变层理的砾屑灰岩沉积; (9)—底冲刷构造, 冲刷面之上见倒“小”字状排列砾屑灰岩沉积及上部块状层。(10)—水平层理; (11)—液化卷曲层理; (12)—火焰状构造

Fig.3 Sedimentary structure of the Dengying Formation in the study area

(1)—Hummocky cross bedding, upper lamina shows radial form, the angle of the lamina is small, the superface is undulating in hummocky form; (2)—The partial amplification of Fig. 1, the thickness of the thin layer within the storm mound gradually increases in groove direction, its angle decreases gradually, a low angle erosion surface is developed at the bottom (arrow direction); (3)—Hummocky cross bedding, several hummocky layers are superimposed on each other; (4)—Sunken cross bedding, gutter cast could be generally found in the concave part; (5)—Graded bedding, the pebble component is “wormkalk” calcirudite, the gravel has poor sorting and excellent roundness, showing appreciably normal grading; (6)—Graded bedding, calcisiltite, sediment is rather fine in grain size, the bottom surface of deposited is relatively leveling, cross bedding is developed appreciably. (7)—Gutter cast, the section pattern is in the form of pocket; (8)—Bottom cross bedding, calcirudite with graded bedding is deposited on the scour surface; (9)—Bottom cross bedding, calcirudite is arranged in reverse “xiao” form, and upper block layer is deposited on the scour surface; (10)—Horizontal bedding; (11)—Liquefied curling bedding; (12)—Flame structure

单个风暴丘内细层厚度不匀,细层厚度在上凸的丘部较平直、厚度较小,细层厚度向凹槽方向逐渐变厚,倾角逐渐减小(图 2-2)。(2)丘状层内常见小型的渠模或低角度侵蚀面出现(图 3-2)。(3)层系厚度 5~10 cm 为主的,单个的丘状层少见,绝大多数是数个丘状层相互叠加、组合形成(图 3-3)。它构成厚度不等的丘状层系组,厚度在 25~35 cm,层系组的厚度有随形成深风暴沉积序列类型不同而发生变化的特点。(4)波长和波高变化较大,研究区所见的丘状层,波长与波高的比值在 5:1 左右的最为常见,也有长、高比值大于 15:1 的长丘长波产出。(5)顶面为低缓的圆丘状、长圆丘状及形似不规则的波痕状。(6)产出丘状层理的岩性以砂屑灰岩和含砂屑微晶灰岩、粉晶灰岩为主,颗粒含量较高。

洼状交错层理是彼此以低角度交切浅洼坑,浅洼坑的宽度一般为 10~15 cm,其内部细层与洼坑底界面平行,而向上变成很缓的波状并近于平行的层理(图 3-4)。研究区虽有少数洼状层理孤立产出,仅见“洼”而不见“丘”,但绝大多数的洼状层理常与丘状层理伴生。关于洼状交错层理的研究程度不及丘状交错层理,概念还不十分明确,前人的研究认为洼状交错层理是丘状交错层理的伴生部分,即向上凸起的丘之间的向下凹部分<sup>[20]</sup>。

### 2.2.2 粒序层理

粒序层理的发育主要是由于岩石结构组分的粒度变化和物质组成变化所导致的。研究区风暴岩中粒序沉积主要发育有两种类型:(1)主要发育在具备完整风暴序列的具有底面侵蚀构造的上部岩性段中。岩石类型为砂屑-砾屑灰岩,位于块状层之下,砾石厚度不稳定,厚度在 2~20 cm。砾石磨圆好而分选差,长轴大多数顺层分布,局部可见倒“小”字状排列(图 3-5、-9)。砾石最大可达 25 cm×10 cm,最小 2 mm×1 mm,多数为 1 cm×1.5 cm~3 cm×4 cm。自下而上砾石具不明显的正粒序(图 3-5)。(2)主要发育在风暴触发的浊流沉积中,具备重力流沉积的特征。岩石类型为砂屑、粉屑灰岩,沉积物粒度较细,沉积底面相对较平整,略显冲刷面构造;层内粒序性较好,以表现为正粒序较多,有时具粗尾递变,厚度一般 3~5 cm。剖面上常见多个粒序层的叠加(图 3-6)。

### 2.2.3 冲刷-充填构造

冲刷-充填构造等底面构造是识别风暴沉积的重要标志<sup>[21]</sup>。发育在风暴沉积层的底面,构成与下伏

岩层之间的突变底界,是风暴高潮期风暴流在流动过程中对海底沉积物冲刷、掏蚀而成,并被上覆沉积物充填。研究区内常见的风暴岩底面构造以渠铸型构造及冲刷面构造最为典型,因在岩层断面上呈现为口袋状(图 3-7)这些渠铸型宽度在 5~10 cm,深度 3~5 cm,渠模的两壁呈垂直或高角度倾斜切入下伏沉积物中,充填物为具丘状或波状纹层的颗粒灰岩。研究区冲刷面构造呈不规则的波状起伏形态,属具面状流性质的风暴流冲刷所成,冲刷面之上常为薄层的粗颗粒内碎屑灰岩(图 3-8)或砾石层(图 3-9)沉积。

### 2.2.4 块状层理、平行层理

块状层理在发育于递变层理段之上的粗颗粒灰岩层中。其内部碎屑无序排列,没有纹层显示,粒序不明显,常呈块状产出。块状层理主要由风暴回流引发的重力流作用所致,具重力流的性质。平行层理主要见于砂砾屑灰岩中,其纹层相互平行、水平状,纹层厚度数毫米,总厚度 10~30 mm,属风暴衰减期风暴流底部的强烈剪切水流作用下形成的。

### 2.2.5 同沉积变形构造

本次研究发现的风暴岩沉积中的同生沉积构造有卷曲层理及火焰状构造。其中卷曲层理发育在丘状层理段中,其形态多为平卧褶曲状,不同位置的“褶曲”的转折端部位指向相同(图 3-11)。为饱含孔隙水的风暴沉积物由液化作用所致。火焰状泥灰岩高约 2 cm,这种同沉积变形属于当被风暴搅动后沉积的泥质沉积物处于可塑状态下,由于不均匀的负荷作用导致下伏软泥中的纹层发生畸变、向上挤入夹于下垂的负载构造之间形成薄的舌状体,即火焰状构造(图 2-12)。这些构造虽然在浊流沉积中常见,但风暴流兼有重力流特点,不同粒径的颗粒混杂,堆积速度较快来不及排泄水故也容易形成上述变形构造<sup>[22]</sup>。

### 2.2.6 水平层理

水平层理可发育于丘状层理之上的微-粉晶灰岩层段中,水平层理纹层厚度为毫米级,纹层平直、连续。水平层理也见于其他正常沉积条件下的岩层之中,是研究区石板滩段最常见的沉积构造之一(图 3-10)。

## 2.3 风暴沉积序列

风暴沉积序列是在风暴事件沉积作用过程中,由于风暴作用的方式不同形成的沉积单元的规律组合。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<sup>[2]</sup>。研究区内发育多期风暴沉积序列,结合各类风暴沉积标志在剖面上的组合关系,笔者等将石板滩段风暴岩划分为4个风暴沉积序列(图4)类型:(1)序列Ⅰ:该类型风暴沉积序列以发育递变层理的风暴砾岩、块状层理的粗颗粒灰岩、风暴丘状层理为特征(图4-1)。沉积单元由A、B、C、D 4部分组成:下部(A段)为此类风暴岩的主体,岩性为粗砾屑灰岩,砾屑成分较以微晶灰岩、粉屑灰岩为主。砾屑大小混杂,圆度普遍呈次圆状—圆状,长轴大多数顺层分布,局部可见倒“小”字状排列。中部(B段)为块状层理,紧接于A段之上,主要为粗颗粒灰岩层。其内部碎屑无序排列,无纹层显示,呈块状产出。上部单元(C段)厚仅数厘米,岩性为粉—砂屑灰岩,发育有浪成沙纹层理、局部见保存不甚完好的丘状层理。顶部(D段)具水平层理或波状层理的泥—微晶灰岩,代表风暴过后的晴天沉积。(2)序列Ⅱ:该类型风暴沉积序列以发育块状层理的粗颗粒灰岩、风暴丘状层理、水平层理为特征(图4-2)。沉积单元由B、C、D 3部分组成:下部(B段)为此类风暴岩的主体,岩性为粗砂屑、砾屑灰岩,呈块状产出。此单元与底部单元接触面显示不显著的侵蚀冲刷。中部(C段)岩性为砂屑灰岩,发育面貌显现较全的丘状交错层理,丘状层内常见小型的渠模或低角度侵蚀面出现。顶部(D段)具水平层理或波状层理的微晶灰岩、含砂屑微晶灰岩。(3)序列Ⅲ:该类型风暴沉积序列以发育渠模、风暴丘状层理为特征(图4-3)。单一沉积单元由C、D两部分组成:下部(C段)丘状交错层理段的粉屑、砂屑灰岩,代表风暴浪作用沉积;上部(D段)具水平层理或波状层理的泥—微晶灰岩或团块状灰岩,代表风暴过后的背景沉

积。(4)序列Ⅳ:该类型风暴沉积序列以发育递变层理层理为特征。沉积单元由B、D组成(图4-4):下部单元(B)为此类风暴岩的主体,厚仅几毫米至几厘米,岩性为砂砾屑灰岩,碎屑由砂屑和细砾屑组成,具正粒序,与底部单元间界线清楚,有时具明显的凹凸不平的侵蚀冲刷面。此单元为风暴碎屑流被搬运至较深水处的沉积。上部单元(D)为暗色泥质灰岩、微晶灰岩,发育有水平纹层理,厚仅数毫米至几厘米,属背景沉积。序列Ⅳ的特征表现为不完整的鲍马序列,反映了由于风暴事件触发和诱导的较深水环境的沉积物重力流,该序列形成于风暴浪基面之下。

## 4 沉积环境

前人对埃迪卡拉系沉积环境的研究显示,从浅水台地背景向深水盆地转变时,灯影组白云岩的厚度明显减薄,而且在深水背景中还是以白云岩为主,表明由灯影组白云岩所构成的碳酸盐台地是一个较为典型的缓坡型台地。这与寒武系从浅水台地相变到深水陆棚从白云岩相变为灰岩的变化特点明显不同<sup>[24-26]</sup>。从总体上看,灯影期宜昌、鹤峰、松滋、慈利一带,以泥粉晶白云岩、粉晶白云岩夹藻叠层白云岩、砂砾屑白云岩、核形石、凝块石等为主要沉积,发育潮汐层理、槽状交错层理、羽状交错层理、藻纹层及鸟眼等潮坪沉积构造,至张家界三岔、桑植一带变为以鲕粒白云岩、核形石白云岩和微晶—粉晶白云岩为主的典型台缘浅滩沉积(图5)。

根据顾家裕<sup>[7]</sup>总结的各类型碳酸盐台地的沉积模式与沉积特征,中扬子区灯影期沉积最符合“封闭型无镶边缓坡台地”的沉积特征,即台地边缘虽没有明显的镶边,但台地边缘发育有水体较浅的滩地,对

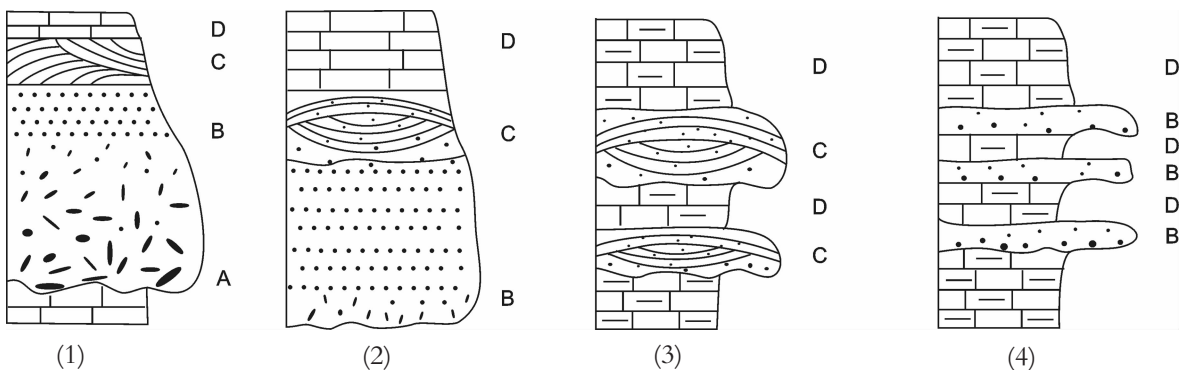


图4 峡东地区灯影组石板滩段风暴沉积序列

Fig.4 Types of storm deposit sequences in the Dengying Formation

水体交换有一定的阻隔性, 而台地上则主要以潮坪沉积和潟湖沉积为主。本文对石板滩段的沉积环境的讨论也引用了这一模式。

风暴沉积的许多特征可以指示古水深, 还对恢复古气候、沉积盆地分析及古地理恢复有实际意义<sup>[2]</sup>。如前所述, 石板滩段地层中保存完好的风暴沉积记录具有良好的指相作用, 它在垂向上的变化规律可反映出沉积环境的演变。结合沉积相标志和风暴序列的指相意义分析, 研究区石板滩段的沉积环境(图 6~7)主要由两个沉积相组成:

### 4.1 台地边缘相

该相主要发育于在石板滩段下部和顶部。研究区该沉积环境以保存有频繁出现的风暴岩为特征。剖面上表现为:(1)以风暴序列Ⅲ最为常见, 剖面上数个 SCD-CD 序列的沉积单元叠加而成(图 3-3)。C 段中常见波状冲刷面切割丘状交错纹层, 也可见渠模等底模构造。渠模多呈圆滑的 U 字型, 深度 4~10 cm, 宽度 5~15 cm; 风暴丘状层段的波长以 15~40 cm 为主, 波高多为 3~5 cm; 波长与波高比值一般在 1:10 左右。序列顶部水平层理、波状层理常见, 由于多期的风暴作用反复改造, 在剖面上垂向叠加数个 SCD 段沉积, 宏观上表现为丘状层(或洼状层)段与

水平层段的反复重现。该风暴沉积序列仍形成于晴天浪基面与风暴浪基面之间的台缘斜坡亚环境。(2)发育块状层理的粗颗粒灰岩、风暴丘状层理、水平层理为特征。沉积单元由 B、C、D 3 部分组成, 其底部不发育粗颗粒砾岩, 但丘状层理保存完好, 特征典型(图 3-1、-2)。该序列中常见卷曲变形层理, 形成于斜坡上部的晴天浪基面与风暴浪基面之间的台缘斜坡亚环境。(3)同时, 部分沉积物为原地保存的风暴砾屑灰岩为特征, 该类型风暴沉积序列以发育递变层理的风暴砾岩、块状层理的粗颗粒灰岩、风暴丘状层理为特征, 属于水体较浅的正常浪基面附近的台地边缘浅滩亚环境沉积。

### 4.2 陆棚边缘相

陆棚边缘岩相序列分布于石板滩段中部。以风暴序列Ⅳ最为常见, 该序列垂向表现为数个 SBD-BD 的沉积单元频繁叠加。其丰度为每 10 cm 有 3~5 层类似的沉积单元叠加, 使薄板状石灰岩呈现平直的条带状外貌。浊积岩每一单层厚度仅为 1~2 cm, 大者也不超过 15 cm, 横向稳定、延伸甚远。单层底界一般起伏甚微, 但层内有砾屑者, 其底界起伏明显。单层内部具正粒序, 底部为砂屑或粗粉屑, 向上颗粒含量递减, 颗粒变细。上述特征表现为不完整的

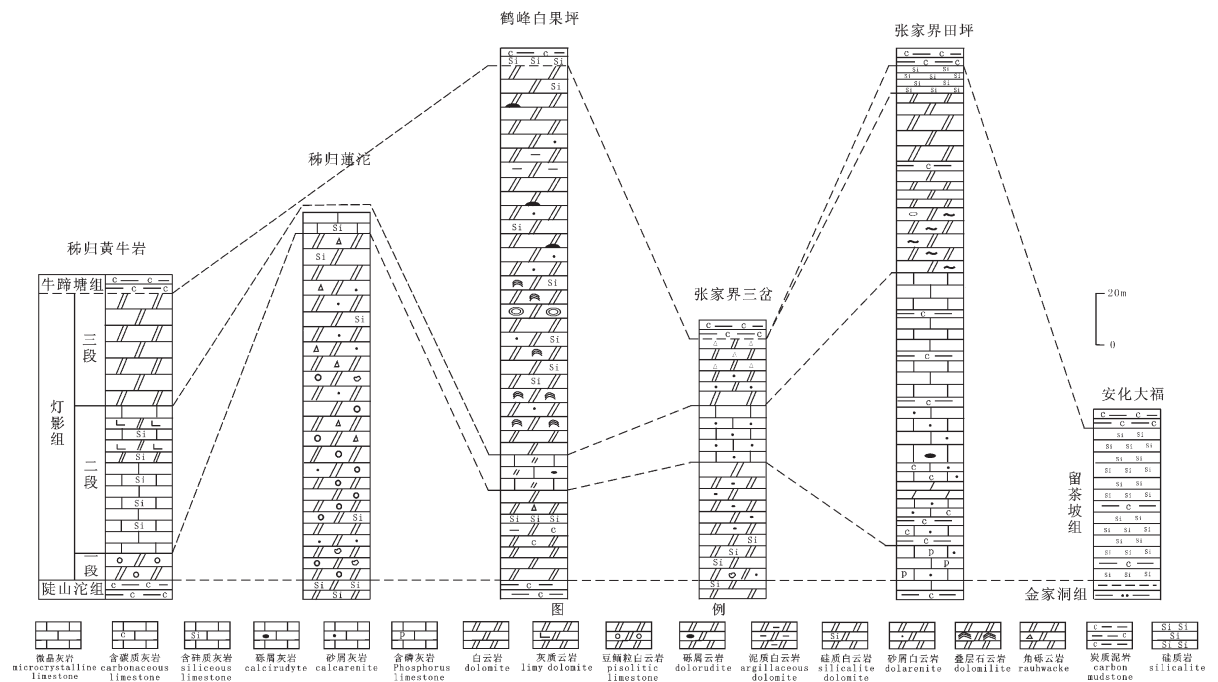


图 5 雪峰山西侧地区埃迪卡拉系灯影组地层沉积柱状对比图  
Fig.5 Columns of the Dengying Formation in western Xuefeng Mountain area

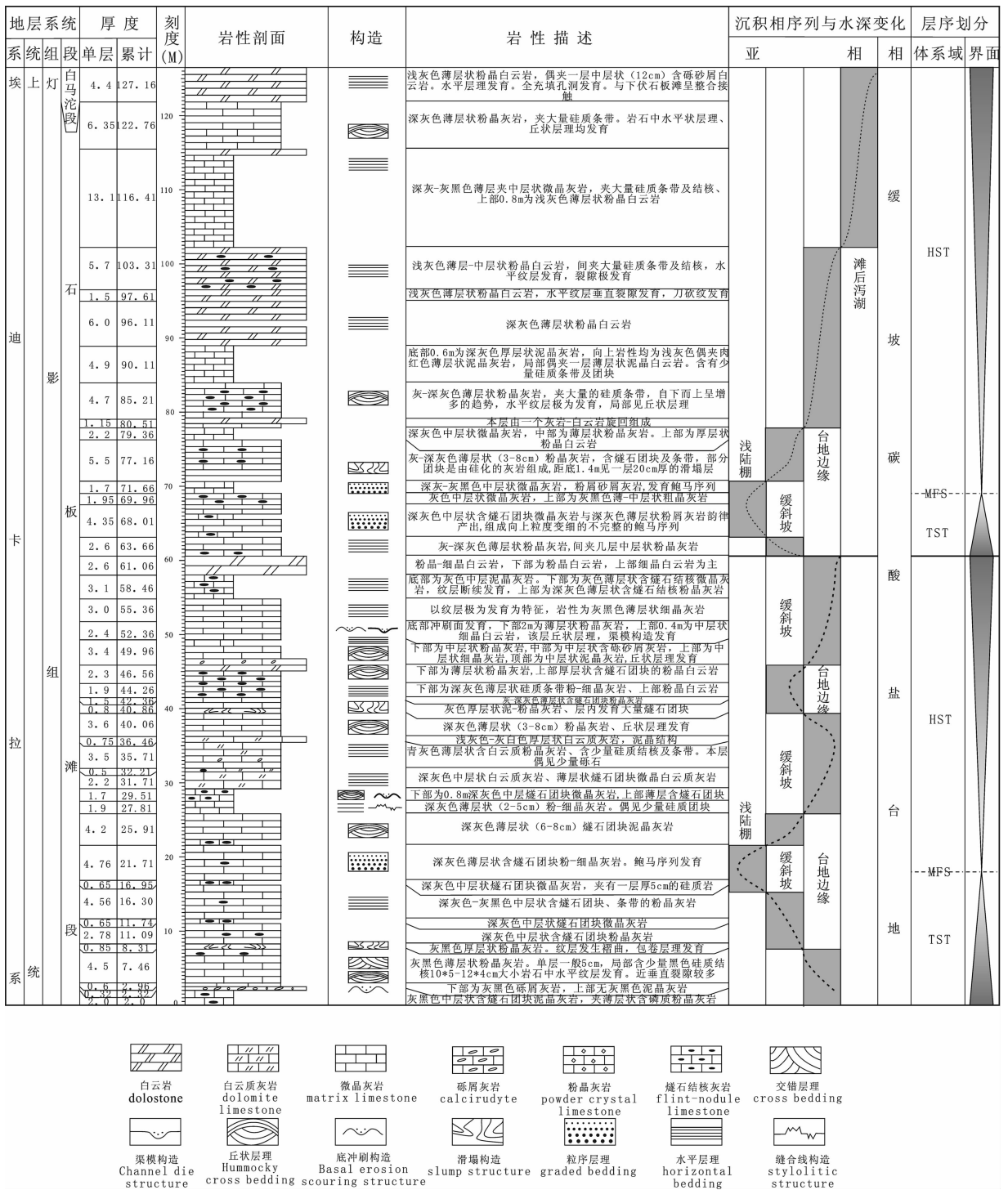


图6 研究区灯影组石板滩段沉积-层序综合柱状图

Fig.6 Comprehensive column of sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Dengying Formation in the study area



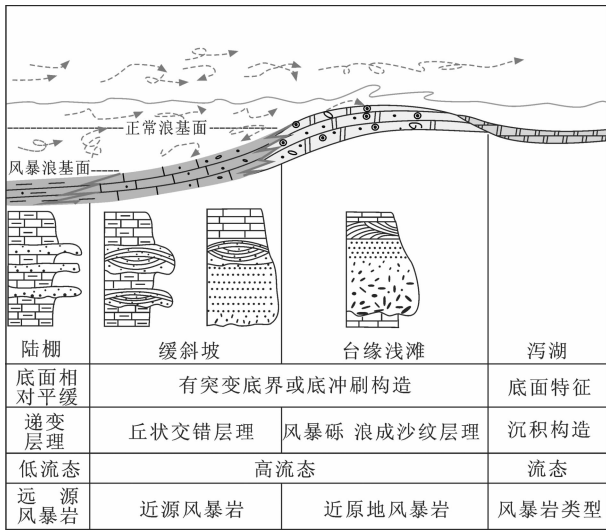


图 7 研究区风暴岩产出环境、水动力条件及沉积模式 (图例同图 4)

Fig.7 Sedimentary environment, hydrodynamic condition and model of the study area

鲍马序列, 反映了由于风暴事件触发和诱导的较深水环境的沉积物重力流, 该序列形成于风暴浪基面之下。低密度粒序层的出现表明研究区相对深水的陆棚边缘环境的存在。

综上所述, 石板滩段下部原地、异地风暴砾屑灰岩极为发育, 反映其沉积环境处于台缘滩相—缓斜坡相; 石板滩段中部发育风暴浊积灰岩碎屑颗粒较细, 主要为含砾砂屑, 反映风暴碎屑流已运移至较远距离, 沉积环境处于缓斜坡下部—陆棚相。岩层在垂向的变化记录了石板滩段沉积早时已遭受到海侵, 部分潮坪区转变成台地边缘, 但是就总体而言, 在斜坡亚环境中, 仅有层内的滑动变形, 岩层的成层性并没有遭到破坏, 滑动角砾岩也仅限由本层内部的撕裂、破碎产生, 无来自台地内部滑塌岩块及塌积岩出现, 说明台地前缘斜坡的坡度仍属平缓。

石板滩段沉积经历了两次小规模的海进—海退的沉积旋回, 沉积环境经历了台缘滩相→缓斜坡相→陆棚相→缓斜坡相→台缘滩相的演变过程(图 6)。

## 5 结论

(1) 内碎屑灰岩、藻球粒灰岩、结晶灰岩等是研究区石板滩段做主要的的岩石类型, 丘(洼)状交错层理、粒序层理、冲刷—充填构造、水平层理及变形层理等是研究区典型的沉积记录。

(2) 研究区内发育多期风暴沉积序列, 结合各类风暴沉积标志在剖面上的组合关系, 笔者等将石板滩段风暴岩划分出 4 个风暴沉积序列类型: 类型 I 为形成于正常浪基面附近的近原地风暴岩; 类型 II 具形成于陆棚斜坡的上部; 类型 III 出现在风暴浪基面与正常浪基面之间; 类型 IV 形成于风暴浪基面以下, 划归为风暴成因的远源浊流沉积。

(3) 石板滩段典型沉积物沉积特征指示其沉积环境为正常浪基面以下、风暴浪基面以上的受周期性强风浪或风暴影响的台地边缘—台缘缓斜坡环境, 沉积环境经历了台缘滩相→缓斜坡相→陆棚相→缓斜坡相→台缘滩相的演变过程。

## 参考文献 (References):

- 陈孝红. 三峡地区震旦系碳酸盐岩碳氧同位素特征[J]. 地质论评, 2003, 49(1):66-71.  
Chen Xiaohong. Carbon and oxygen isotope features of the Sinian carbonate strata in the three gorges region [J]. Geological Review, 2003, 49(1):66-71(in Chinese with English abstract).
- 王自强, 高林志, 尹崇玉. 峡东地区震旦系层型剖面的界定与层序划分[J]. 地质论评, 2001, 47(5): 449-458.  
Wang Ziqiang, Gao Linzhi, Yin Chongyu. Ascertainment and stratigraphic division of the Sinian stratotype section [J]. Geological Review, 2001, 47(5):449-458(in Chinese with English abstract).
- 刘鹏举, 尹崇玉, 陈寿铭, 等. 峡东地区震旦(埃迪卡拉)纪年代地层划分的初探[J]. 地质学报, 2012, 86(6): 849-866  
Liu Pengju, Yin Chongyu, Chen Shouming, et al. A preliminary discussion of the chronostratigraphic subdivision of the Sinian (Ediacaran) in the Yangtze Gorges, South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(6): 849-866(in Chinese with English abstract).
- 汪建国, 陈代钊, 王清晨, 等. 中扬子地区晚震旦世—早寒武世转折期台—盆演化及烃源岩形成机理 [J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1102-1110.  
Wang Jianguo, Chen Daizhao, Wang Qingchen, et al. Platform evolution and marine source rock deposition during the Terminal Sinian to Early Cambrian in the Middle Yangtze Region [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(8):1102-1110(in Chinese with English abstract).
- 陈寿铭, 尹崇玉, 刘鹏举, 等. 峡东地区埃迪卡拉系陡山沱组碳同位素特征研究进展与国内外对比[J]. 地球学报, 2009, 30(4):475-486.  
Chen Shoumin, Yin Congyu, Liu Pengju, et al. Research advances and correlations of carbon isotopic compositions in the Ediacaran Doushantuo Formation, East Yangtze Gorges, South China [J]. Acta Geoscientia Sinica. 2009, 30 (4):475-486 (in Chinese with English abstract).
- 夏文杰, 杜森官, 徐新煌, 等. 中国南方震旦纪岩相古地理与成矿

- 作用[M].北京:地质出版社,1994:50-62.
- Xia Wenjie, Du Sengguan, Xu Xinhuang. Sinian lithofacies paleogeography and mineralization in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994:50-62(in Chinese with English abstract).
- [7] 尹崇玉, 唐烽, 柳永清, 等. 长江三峡地区埃迪卡拉(震旦)系锆石 U-Pb 新年龄对庙河生物群和马雷诺冰期时限的限定 [J]. 地质通报, 2005, 24(5):393-400.
- Yin Chongyu. New U-Pb zircon ages from the Ediacaran(Sinian) System in the Yangtze Gorges:constraint on the age of Miaohu biota and Marinoan glaciation[J].Geological Bulletin of China,2005, 24(5):393-400(in Chinese with English abstract).
- [8] 陈洪德, 田景春, 刘文均, 等. 中国南方海相震旦系-中三叠统层序划分与对比[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2002, 29(4): 355-379.
- Chen Hongde, Tian Jingchun, Liu Wenjun, et al. Division and correlation of the sequences of marine sinian system to middle Triassic series in the south of china [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Sci. & Technol. Ed., 2002, 29(4):355-379(in Chinese with English abstract).
- [8] 王传尚, 李旭兵, 白云山, 刘安. 湘西北地区震旦系斜坡相区层序地层划分与对比[J]. 地质通报, 2011, 30 (10):1538-1546
- Wang Chuanshang, Li Xubing, Bai Yunshan, et al. The classification and correlation of Sinian sequence stratigraphy on the slope zone in northwestern Hunan Province [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30 (10):1538 -1546 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王自强, 高林志, 尹崇玉. 峡东地区震旦系等时层序地层格架的建立[J]. 地质通报, 2001, 20(4):368-376.
- Wang Ziqiang, Gao Linzhi, Yin Chongyu. Establishment of the Sinian isochronous sequence stratigraphic framework in the eastern Yangtze Gorges area [J]. Geological Bulletin of China, 2001, 20(4): 368-376(in Chinese with English abstract).
- [10] 尹崇玉, 高林志. 中国早期具棘刺凝源类的演化及其生物地层学意义[J]. 地质学报, 1995, 69(4):360-371.
- Yin Chongyu, Gao Linzhi. The early evolution of the acanthomorphic acritarchs in China and their biostratigraphical implication [J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 69 (4):360-371(in Chinese with English abstract).
- [11] 陈孝红, 汪啸风, 毛晓冬. 湘西地区晚震旦世-早寒武世黑色岩系地层层序沉积环境与成因[J].地球学报, 1999, 20 (1):87-95.
- Chen Xiaohong, Wang Xiaofeng, Mao Xiaodong.Sequence stratigraphy and depositional enviroments of the Late Sinian-Early Cambrian Black Rock Series in Western Hunan and its origins[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20 (1):87-95 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王自强, 尹崇玉, 高林志, 等. 湖北宜昌峡东地区震旦系层序剖面化学地层特征及其国际对比[J]. 地质论评, 2002, 48(4):408-415.
- Wang Ziqiang, Yin Chongyu, Gao Linzhi, et al. China University of Geosciences, Beijing. chemostratigraphic characteristics and Correlation of the Sinian Stratotype in the Eastern Yangtze Gorges Area, Yichang, Hubei Province [J]. Geological Review, 2002, 48 (4):408-415(in Chinese with English abstract).
- [13] Xiao S. New multicellular algal fossils and acritarchs in Doushantuo chert nodules (Neoproterozoic; Yangtze Gorges area, South China) [J]. J Paleontol, 2004, 78:393-401.
- [14] 赵灿, 李旭兵, 李志宏, 等. 湖南慈利震旦系陡山沱组震积岩的发现及其地质意义[J]. 沉积学报, 2012, 30 (6):1032-1041.
- Zhao Can, Li Xubing, Li Zhihong, et al.Characteristics and geological significance of Seismites of the Doushantuo Formation in Xikou, Hunan Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30 (6):1032-1041(in Chinese with English abstract).
- [15] 李忠雄, 陆永潮, 王剑, 等. 中扬子地区晚震旦世-早寒武世沉积特征及岩相古地理[J]. 古地理学报, 2004, 6(2):151- 162.
- Li Zhongxiong, Lu Yongchao, Wang Jian, et al. Sedimentary characteristics and lithofacies palaeogeography of the Late Sinian and Early Cambrian in middle Yangtze region [J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6 (2):151-162 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈孝红, 周炼, 危凯, 等. 牙形石稀土元素的环境意义:来自湖北宜昌黄花场奥陶系牙形石的证据 [J]. 科学通报, 2011, 56(36): 3091-3097.
- Chen Xiaohong, Zhou Lian, Wei Kai, et al. The environmental index of the rare elements in conodonts [J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(36):3091-3097(in Chinese).
- [17] 唐烽, 高林志. 中国“震旦生物群”[J]. 地质学报, 1998, 72(3): 193-204.
- Tang Feng, Tang Feng. Sinian Biota in China [J]. Acta Geologica Sinica,1998, 72(3):193-204(in Chinese with English abstract).
- [18] Sun Weigu. Late Precambrian pennatuids (sea pens)from the eastern Yangtze Gorges, China:Paracharia gen .nov., Prec ambrian Research, 1986.31(4):361- 375.
- [19] Kreisa P D. Storm-generated sedimentary structures in subtidal marine facies with example from the middle and upper Ordovician of south western Virginia[J]. Petrol. 1981, 51(3):54-69.
- [20] 陈世悦, 杨怀宇, 李文涛, 等. 贵州紫云地区上泥盆统风暴重力流沉积特征及地质意义[J]. 地质学报, 2010, 84(1):127-132.
- Chen Shiyue, Yang Huaiyu, Li Wentao, et al. The sedimentary characteristics of the Upper Devonian Tempestite and gravity flow and its geological implications in Ziyun Area, Guizhou [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84 (1):127-132 (in Chinese with English abstract).
- [21] 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 Daohua, Gong Shuyun, et al. Tempestite and its palaeogeographical significance of Devonian in Jingyuan and Jingtai Counties, Gansu Province [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(3): 69-73(in Chinese with English abstract).
- [22] 胡明毅, 贺萍. 湖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(in Chinese with English abstract).
- [23] 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(in Chinese with English abstract).
- [24] 梅冥相, 周鹏, 张海, 等. 上扬子区震旦系层序地层格架及其形成的古地理背景[J]. *古地理学报*, 2006, 8(2):219–231.
- Mei Mingxiang, Zhou Peng, Zhang Hai, et al. Sequence stratigraphic framework and its palaeogeographical background for the Sinian of Upper Yangtze Region [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2006, 8 (2): 219–231 (in Chinese with English abstract).
- [25] 梅冥相, 聂瑞贞, 张海, 等. 上扬子区震旦系层序地层划分[J]. *现代地质*, 2006, 20(1):49–60.
- Mei Mingxiang, Nie Ruizhen, Zhang Hai, et al. Sequence – stratigraphic division for the Sinian System of the Upper–Yangtze Region [J].*Geoscience—Journal of Graduate School, China University of Geosciences*, 2006, 20 (1):49–60 (in Chinese with English abstract).
- [26] Tucker M E. *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks* [M]. Oxford: Blackwell Science Publication, 2001: 102–121.
- [27] 顾家裕, 马锋, 季丽丹. 碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素[J]. *古地理学报*, 2009, 11(1):618–630.
- Gu Jiayu, Ma Feng, Ji Lidan. Types, characteristics and main controlling factors of carbonate platform [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11 (1):618–630(in Chinese with English abstract).

## A discussion on the sedimentary environment of Shibantan Member of Dengying Formation in the eastern Yangtze Gorges area

ZHAO Can<sup>1</sup>, ZENG Xiong-wei<sup>1</sup>, LI Xu-bing<sup>1</sup>, HUAN Jin-lai<sup>2</sup>, ZHOU Peng<sup>1</sup>,  
WEI Kai<sup>1</sup>, ZHANG Hua<sup>3</sup>

(1. *Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan 430223, Hubei, China*; 2. *Zhanjiang Branch of CNOOC (China) Co., Ltd., Zhanjiang 524057, Guangdong, China*; 3. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** Based on a detailed study of the rock constituents and sedimentary structure of the typical sediments, the authors found that the depositional environment of the Shibantan Member of Dengying Formation was a platform edge shallow – platform margin ramp. According to the outcrop sections and the observation, the authors recognized many depositional characteristics of storm deposits, such as hummocky cross stratifications, scouring–filling structures, graded bedding and convolute bedding. The environment of the Shibantan Member of Dengying Formation was influenced by periodic strong waves or storms, occurring below the normal wave base and above the storm wave base.

**Key words:** sedimentary structure; tempestite succession; depositional environment; Ediacaran; eastern Yangtze Gorges area

**About the first author:** ZHAO Can, male, born in 1985, assistant researcher, mainly engages in the study of sedimentology and oil geology; E-mail: zhaocan1985216@163.com.

**About the corresponding author:** ZENG Xiong-wei, male, born in 1982, assistant researcher, engages in the study of stratigraphy and paleontology; E-mail: zxwyuehen@163.com.