

文章编号:1009-3850(2013)02-0032-08

徐州赵圩地区新元古界风暴沉积序列类型及其水深控制

冯乐, 窦鲁星, 师庆民, 江煜波, 孙晓倩

(中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:广义的风暴沉积是自然界内外地质营力促使海水产生足够大的漩涡流,对海底及海岸冲蚀形成的一种事件沉积。徐州赵圩地区发育丰富的晚元古代风暴沉积记录,通过野外露头剖面岩性观察与室内整理,划分出7种不同水深的风暴沉积序列类型。根据冲刷面、滞积层、丘状交错层理(HCS)、液化卷曲层理等典型风暴特征,可将这7种序列与浅海陆棚边缘-台地前缘缓斜坡-台前潮上环境的连续沉积相对应。据此分析了风暴沉积序列与水深的关系,并针对本区的沉积特点对风暴沉积成因进行探讨。

关键词:风暴沉积;新元古代;沉积标志;水深控制

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

风暴沉积由于具有等时性^[1]的特点,对于缺乏生物化石的前寒武系地层的划分以及古地理的恢复有着重要意义^[2],因此受到广泛关注。本文针对徐州赵圩地区新元古界下部地层中赋存的风暴沉积展开研究,试图恢复由于地震诱发海啸所产生的风暴浪引起的事件沉积与台前缓坡环境之间的对应关系。

1 地质背景

江苏省徐州地处华北准地台东南缘,介于华北古陆与淮阳古陆之间^[3]。本区新元古界主要发育贾园组、赵圩组地层。贾园组位于震旦系下部,以灰色中-厚层含泥灰岩为主,含叠层石。赵圩组下部与贾园组以一套厚层鲕粒灰岩为界呈整合接触,上部发育黄色泥质条带^[4]。均发育有大量的风暴沉积,早期主要沉积浅海陆棚相碎屑岩,赵圩组继承了贾园组后期沉积范围,但陆源碎屑大幅度减少,沉积以碳酸盐岩为主。

研究剖面为位于江苏北部铜山县的赵圩剖面(图1 2),剖面出露较好,特征构造丰富。本次研究主要针对贾园组和赵圩组下部地层。

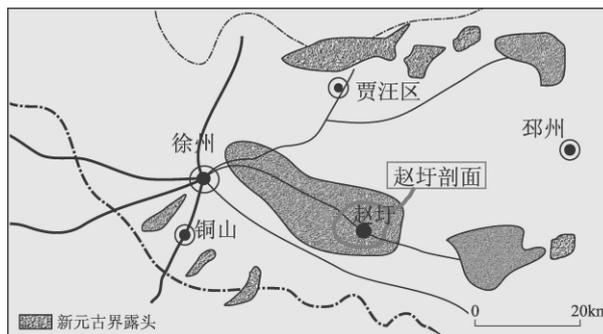


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of the Zhaowei region in Xuzhou

2 序列类型划分

在风暴沉积过程中,能量总是经历一个先急剧增强后衰减平息的过程,高频率高强度的风暴天气又使相隔的沉积序列存在后期改造作用。通过比较、分析赵圩地区贾园组以及部分赵圩组地层沉积特征,结合序列组合之间的内在联系及相互关系,得出7种不同的沉积类型。

收稿日期:2012-06-06; 改回日期:2012-07-20

作者简介:冯乐(1990-)男,本科,资源勘查工程,shxpdf@163.com

基金项目:大学生实践创新训练计划项目(X1029011049)

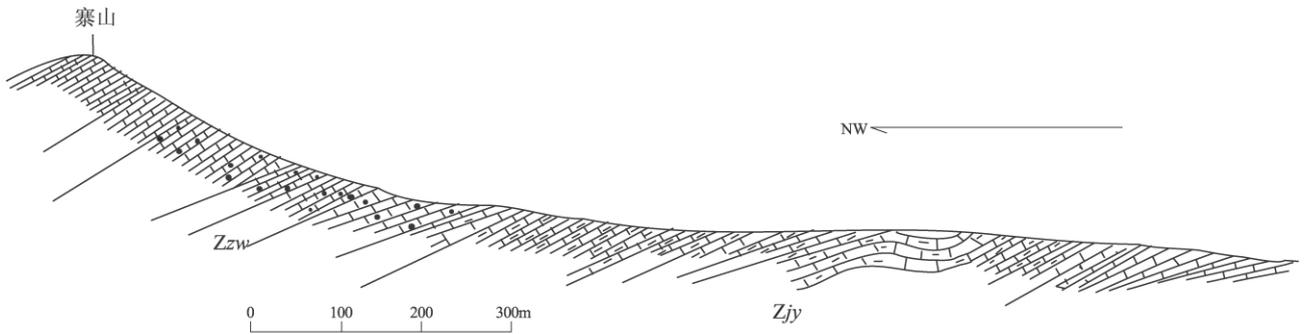


图2 徐州赵圩地区剖面(据江苏省区调大队资料修改)

Fig.2 Stratigraphic section across the Zhaowei region, Xuzhou

地层划分:

上覆地层:赵圩组上段(Zzw²):灰色薄层-中薄层夹中层和中厚层微晶灰岩

赵圩组(Zzw¹)下段:75.83m

灰色厚层泥灰岩,具黑色泥晶方解石脉

60.73m

灰色中厚层鲕粒灰岩

15.10m

----- 整合 -----

贾园组(Zjy) > 313.76m

灰色中厚层砂灰岩夹砂质泥灰岩,偶见微波状层理,发育泥晶方解石脉

60.47m

灰色厚层含砂泥灰岩,夹少量粉砂质泥晶灰岩

15.09m

灰色中厚、厚层粉砂质泥晶灰岩夹砂质泥灰岩,具丘状交错层理,泥晶方解石脉大量发育

80.25m

浅灰色厚层、中厚层砂质泥晶灰岩,夹透镜状内碎屑灰岩,具丘状交错层理,发育黑色泥晶方解石脉

45.11m

深灰色厚层砂质泥晶灰岩,夹薄层灰黄色薄层砂质泥晶灰岩,具丘状交错层理,发育泥晶方解石脉体,部分被掩盖

17.47m

黄绿色薄层钙质泥岩夹薄层粉砂岩,第四系覆盖严重(未见底)

>95.37m

2.1 类型 I

发育于贾园组下部的薄层粉砂质灰岩夹于泥岩中,从海滨被能量大幅衰减的风暴浊流携带来的极细粉砂以及泥岩搬运至此沉积,为形成下粗上细的粒序层理,缺乏典型风暴沉积序列的冲刷面,为形成于风暴浪基面之下的远源风暴浊流末梢的陆棚边缘沉积^[5]。

2.2 类型 II

底部发育发育厚层的含粉砂泥晶灰岩,其上为滞积层或平行层理,往上发育 HCS 段,顶部是块状均一层,序列底部有较为平整的冲刷面,整个序列厚度在 1m 左右。滞积层岩性为灰白色透镜状碎屑灰岩,横向上易尖灭,最厚达 6cm,内部“竹叶”内碎屑含量在 40% ~ 50%,上下层叠置较为宽缓;HCS 段波长在 40cm,波高 3 ~ 5cm,波痕指数在 8 ~ 10 左右,可见波状冲刷面切割,块状层含泥较高,在 10% 左右。在块状层中发育有垂直于层面的臼齿构造,发育极不规则,呈蠕虫状、球状,在 HCS 层中呈 X 型。

该风暴沉积序列位于正常浪基面附近的台地前缘斜坡上部,由风暴浪打碎的碎屑物质随风暴浊

流携带至此,在地形低洼处形成透镜状的滞留沉积;冲刷面的发育反映出风暴作用对沉积基底的影响。

该序列在贾园组下部多次重复出现,形成由多个冲刷面之间厚度小且不完整的层序组合而成的复合型风暴岩,判断是由一次强烈的风暴事件触发的多期次一级风暴流。由于风暴潮的规模的变化,反映在层序上也有一定的差异。

2.3 类型 III

此类型沉积序列没有发育滞积层,在清晰的冲刷面之上发育有宽缓的 HCS 层,在 HCS 中发育有小型的渠模等底模构造。HCS 段波长 24 ~ 40cm,波高 4 ~ 10cm,丘状层之间发生相互截切。水体受到扰动频繁,臼齿构造呈 X 型发育于 HCS 中,宽 1.5cm,延伸 20cm,呈长条状、X 型,锐角平分线与层面垂直。

该序列位于贾园组中部,从冲刷面以及底模构造的发育可以判断此处底面仍其形成于风暴浪的影响范围内,滞留沉积的缺失可以判断水深较大,较粗的颗粒无法搬运至此。HCS 段的发育以及相互截切也可看出此处受风暴衰减期的影响较大。

故判断处于风暴浪基面之上的台地前缘斜坡下部。

2.4 类型IV

主要由内碎屑灰岩的滞积层以及其上发育HCS段组成,底面冲刷面宽缓,顶部是风暴作用后水平层理段的晴天沉积。滞积层厚6~7cm,横向上尖尖呈透镜状,其所含“竹叶状”灰岩长度约3cm,宽不足1mm,多为短柱状,以平卧为主;其上HCS段厚达10~20cm,波长80cm,波高10cm左右。MT在块状层中局部发育,呈长条状,垂直或斜交于层面,发育不规则。总厚度达40cm。

该类型发育范围小,但是同样在贾园组中部重复出现数次,宽缓的冲刷面及HCS的较为发育代表一种水体能量位于正常浪基面之下的台地前缘斜坡中部位置。

2.5 类型V

发育在贾园组中部偏上,该类型发育完整,从底部冲刷面之上,发育有碎屑流形成的滞积层与平行层理段,其上发育风暴衰减期的HCS段,以及风暴停止期的微波状层理段和晴好天气的水平层理和均一层段。在滞积层中发育有袋模构造。此类型与类型III相似,但发育有透镜状的滞积层。底模构造发育,臼齿构造进一步减少,显示一种较类型III更浅的沉积环境,即处于台地前缘缓坡上部位置,靠近正常浪基面。

2.6 类型VI

滞积层极为发育,厚度大,可达40cm以上,内有叠层石灰岩碎屑,在滞积层中有大型的渠模等面构造,是典型的近源风暴沉积。风暴高潮期风暴流携带大量碎屑物质无法进行远距离搬运,粗碎屑原地或近源快速堆积,并形成规模可达0.5m以上的渠模,在渠模中发育有平行层理。

滞积层中发育有大量的叠层石灰岩被高能量的涡流打碎沉积。表明进一步接近物源区,代表一种正常浪基面之上的沉积序列。

2.7 类型VII

见于贾园组上部,有厚度大的滞积层或平行层理、HCS段以及晴好天气的均一层组成。其中滞积层厚度可达40cm,成分复杂,分选差,碎屑含量在30%以上。主要由泥质灰岩组成,上下界面起伏变化大。HCS段发育不明显,常相互截切,波长在40~60cm,波高6~8cm。在HCS段发育有袋模、渠模等底面构造,宽达30cm,深10cm。臼齿构造宽度达2mm,贯穿整个层序。位于正常浪基面附近的缓斜坡上部。

赵圩组下部发育一套厚层的鲕粒灰岩,形成于台地边缘的潮上环境。与贾园组呈整合接触关系。

3 特征标志及水深控制

沉积层序中所反映的水深变化是通过赋存的特征标志来反映,归纳总结在沉积序列中出现的具有环境指示意义的标志如下。

3.1 冲刷面及底模充填构造

冲刷面是发育在沉积序列底部的构造。在震荡水流作用下发生,由于风暴作用的能量以及海底地形的影响,形成形态、规模不等的冲刷面构造如渠模、袋模等。在正常浪基面之上由于海浪对海底底面的长期冲刷,使冲刷面难以保存,因而冲刷面集中存在于正常浪基面之下的缓坡地带,其上常发育透镜状或长条状的滞留沉积层或丘状纹层。冲刷面的凹凸程度反映了风暴作用的大小^[6]。

在贾园组发现的各种底模构造中,袋模、渠模等底模构造发育较多,个体规模不大。袋宽30~50cm,袋深10~15cm,其中充填有碎屑流沉积或泥质灰岩成分的平行层理,不仅可以作为风暴沉积的重要标志,同时反映序列总体水深较浅的缓坡地带。

3.2 滞留沉积层

滞留沉积层(滞积层)是识别风暴沉积的重要标志之一^[7]。在风暴高潮期,在风暴浪对所能控制范围内的海底沉积物强烈的掀起、改造作用下,形成高密度碎屑流并搬运至有利位置堆积。滞积层在受控于海底地形的同时,也是物源区远近的直接反映。由于碎屑流受控于重力作用,无法进行远距离搬运,只能存在于风暴浪基面之上。成层状的厚层滞积层的发育较透镜状滞积层更近陆地,远源风暴沉积序列常缺乏滞积层。

滞积层常呈层状和透镜状,通常横向上厚度变化明显(表1),受海底基底起伏影响。内部充填风暴作用次生的“竹叶状”内碎屑灰岩,“竹叶”含量在20%~40%,宽度多在3~5mm,有从“倒小”到平卧的形态,反映能量的衰减过程中碎屑颗粒沉积速率的减缓以及指示双向动荡水流^[8]的特征。碎屑之间依靠砂屑、石英粉砂及泥晶方解石充填。

3.3 丘状交错层理(HCS)

丘状层理呈丘状或洼状纹层,纹层平缓,倾角多在5°左右,单个丘长几十厘米。平行层理纹层不甚清晰,隐约可见。丘状交错层理是风暴事件后期形成的标志性沉积构造^[9]。在赵圩地区地层中,HCS普遍发育,纹层清晰,上凸下凹,多呈低角度的

特征,是风暴浪能量衰减后由于风暴回流引起水体震荡,携带的悬浮泥沙垂向加积而成,其规模受波浪强度影响。由露头可观察,任何方向切面层理均呈现丘形或扇形而与其它层理构造区分^[10](图 2e)。

本区 HCS 纹层厚度 0.1 ~ 0.3cm,波痕指数通常在 6 ~ 10 之间,表明层序中的波纹是由震荡的海水作用形成,沉积环境较浅,在同一个序列之中常会发生 HCS 纹层之间相互截切,代表风暴水流在衰减过程中的一种不稳定性。

HCS 可形成于水体很浅的环境到风暴浪基面附近,是判断沉积层序与水深的重要参考量。从其规模到丘状层理的数据,辅以沉积层序、古生物以及岩石学等方面的特征,可以判断一个地区的水深变化。

3.4 臼齿构造

臼齿构造是一种结构上有明显区别的 μm 级微亮晶及其底基质组成的岩石^[11]。在赵圩地区的贾园组中广泛存在。由于臼齿构造现仅存在于中、晚元古代的地层中,且局限于中新元古代潮下和潮间带^[12,13],在内缓坡深部和中缓坡上部最为发育^[14],故其具有很强的时限性和局限性。臼齿构造形态复杂多样,其可以作为浅水潮下环境的标志。在不同的风暴层序以及形成环境中,具有不同的形态及规模。同时,臼齿构造的机械振动成因在一定程度上可以支持风暴浪的海啸成因说。

本区臼齿构造主要存在于块状层以及 HCS 中,多以高角度呈蠕虫状或透镜状垂直层面发育,极不规则,内部主要填充十分纯净的方解石脉。在滞积层中,可找到大量由于风暴作用而打碎再沉积的微异地到异地臼齿构造。根据臼齿构造的发育类型与规模,可以对沉积环境有一定的判断。

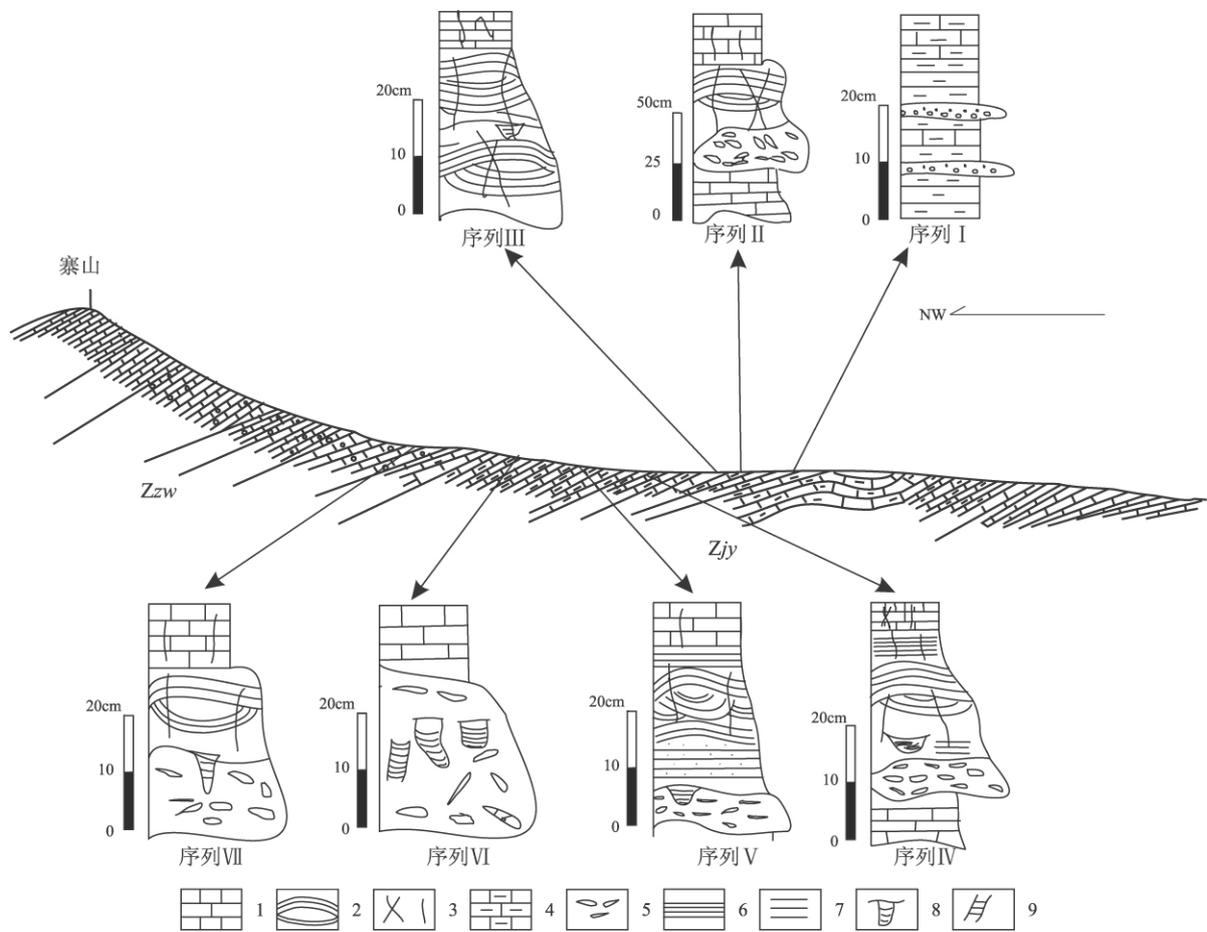


图3 贾园组不同位置发育的风暴沉积序列类型

- 1. 泥晶灰岩; 2. 丘状交错层理; 3. 臼齿构造; 4. 泥灰岩; 5. 滞积层碎屑物质; 6. 水平层理; 7. 平行层理; 8. 袋模; 9. 叠层石

Fig. 3 Vertical sequences through the storm deposits in the Jiayuan Formation, Zhaowei region

1 = micritic limestone; 2 = hummocky cross-bedding; 3 = dental structure; 4 = marl; 5 = lag deposits; 6 = horizontal bedding; 7 = parallel bedding; 8 = pocket cast; 9 = stromatolite

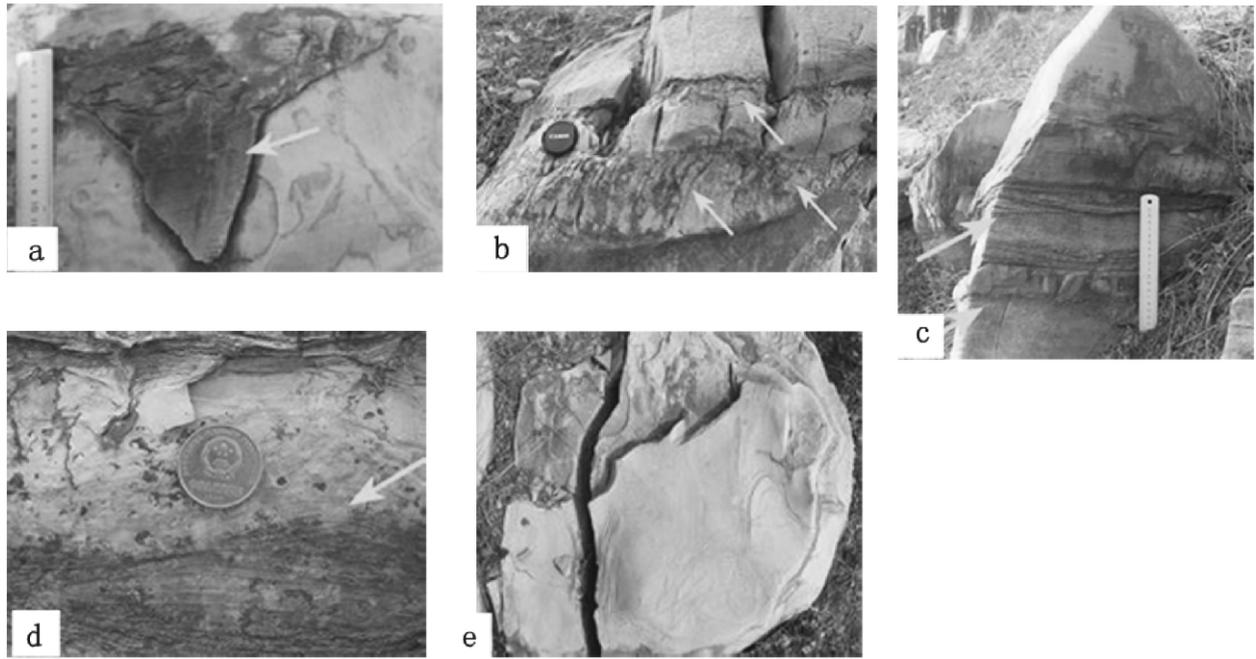


图4 贾园组风暴沉积特征识别标志野外照片

a. 贾园组中部的袋模构造, 充填风暴高潮期的碎屑流沉积; b. 块状层中的臼齿构造; c. 厚度不同的滞积层; d. HCS 剖面图; e. HCS 顶面图

Fig. 4 Criteria for the recognition of the storm deposits in the Jiayuan Formation, Zhaowei region

a. Pocket cast structure filled with the debris flow deposits in the middle part of Jiayuan Formation; b. Dental structure in the massive deposits; c. Lag deposits of varying thickness; d. Hummocky cross-bedding; e. Superficial view of the hummocky cross-bedding

3.5 液化卷曲层理

液化卷曲层理主要发育在丘状层理段中,常在薄层、条带状岩层或具纹层的岩层中发现此类变形层,其变形往往限于本层内部。剖面内液化卷曲变形以平缓褶皱为主^[15], 本区卷曲层理主要发育于贾园组上部序列中,其形态多为平卧褶曲状。它是地震、断裂活动引发的软沉积物以垂向运动为主形成的变形构造^[16],是赵圩地区风暴沉积事件是海啸成因的重要证据之一。

4 风暴沉积模式验证

4.1 海啸作用下的风暴沉积

前文述及的风暴沉积,是指广义上的包含由海啸、暴风、飓风等一切可能引发海水产生巨浪的事件。虽然它们在突发性、瞬时性、等时性上有类似之处,但它们所代表的地质含义是截然不同的^[17],风暴是一种气象现象,是在热带和亚热带海洋上发展起来的热带气旋的一种。当热带气旋的表面风速达到 17m/s 时,就被称为热带风暴;风速超过 33 m/s 就被称为飓风(大西洋)或台风(太平洋)^[18]。海啸(或称津浪, tsunami)是海底地震(海震)、火山爆发等因素引发的巨浪^[19]。显然二者之间有明

显的区别,体现在沉积特征上也具有明显的差异。

近年来,国际上越来越多的事件沉积的研究关注到这个问题,但在国内关注极少^[20]。尤其在浅海缓斜坡地带的环境,不论风暴还是海啸都是通过作用于海水产生涡流-回流,对海底松散堆积物产生一系列的影响,故所形成的沉积构造乃至沉积序列都具有极大的相似性。丘状交错层理曾一度被认作是风暴沉积的特征构造,显然有失严谨。再如沉积序列都是向上变细的正粒序,主要反映的是海水能量减弱过程中的机械分异作用。但是,由于海啸作用具有比风暴作用更广泛的作用范围,从深海到岸上均有反映。故二者在整体沉积环境对比上,还是有所区分。对于赵圩地区风暴沉积的海啸成因说,主要有以下几点证据:(1)液化卷曲层理的存在,又称为震褶皱^[21],是由于地震液化产生;(2)臼齿构造的存在,虽然对其地震成因目前还存争议,但通过在赵圩地区研究发现,地震与臼齿构造的形成有紧密的联系;(3)震裂缝的存在,在贾园组地层中部,有大量的“V”型裂缝存在。而由热带气旋引起的风暴浪只能对松散堆积物发生作用而无法对已经固结成岩的岩层发生作用,形成上述构造。故判断研究区的风暴沉积是由于海啸引起。

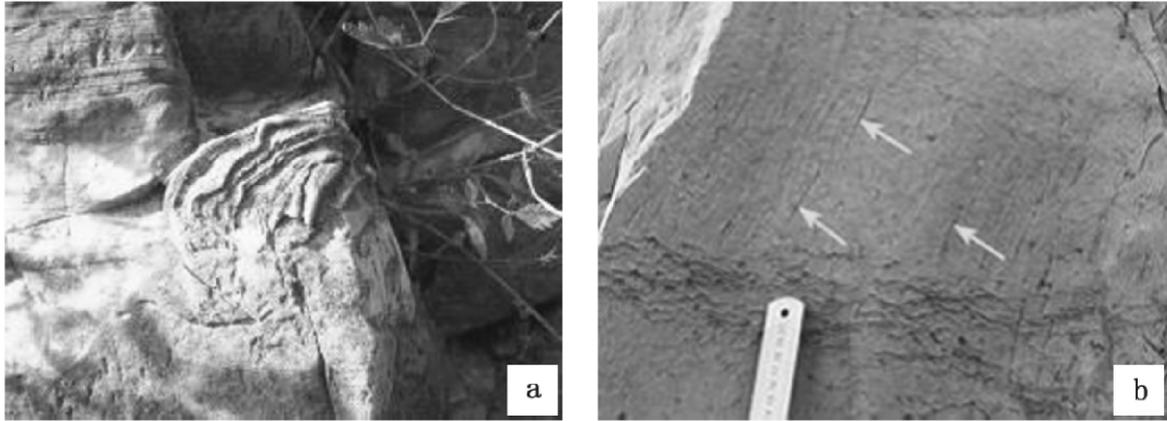


图 5 海啸成因的证据

a 液化卷曲层理; b 类似臼齿构造长条状裂缝

Fig. 5 Evidences for tsunami-induced structures

a. Liquefied crinkled bedding; b. Shattering cracks in dental structures

但是,由于研究区缺乏与海啸伴生的其他类型的底部特征震积岩,使这一判断并非无懈可击。需要在更广泛的范围内寻找地震依据。在研究过程中,运用现代风暴和海啸进行对比时,需要考虑的不仅是风暴海啸本身对现代环境的作用。对于处在 700Ma 前的新元古代,当时的气候环境、古地形、水体地球化学指标等的差异性需要着重研究。

4.2 贾园组模式解释

贾园组底部岩性以黄绿色泥岩夹薄层灰岩为主,代表了一种水体较为安静的浅海环境。其后经历了短暂的海平面下降,形成位于缓斜坡中部的沉积序列,表现为下部的序列 II 中,冲刷构造与滞留沉积的发育。在经历了类型 II 的短暂下降后,海平面升高,经历了由 III 型为主的位于风暴浪基面和正常浪基面的类型 III、IV、V 序列,分别代表了逐渐变浅的从风暴浪基面附近的陆棚边缘到缓斜坡地带。类型 VI、VII 则是在正常浪基面之上的台地前缘(图 6)。

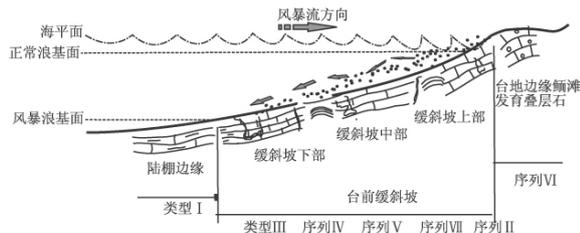


图 6 风暴序列与水深环境对应图

Fig. 6 Model for the storm sequences corresponding to sedimentary environments

综上所述,可以看出,赵圩地区贾园组-赵圩组形成

环境总体上表现为从浅海陆棚-缓斜坡-台地前缘-潮上的向上变浅的序列,对比整个徐宿地区,震旦系发育风暴沉积具有固定的层位,故判断在整个贾园组中形成一个海平面升降的旋回,其序列组合可划分出两级风暴周期。

第 1 个二级旋回有类型 I 的远源风暴沉积和类型 II 组成的近源型风暴沉积组合,沉积位置位于风暴浪基面与正常浪基面之间,反映了一个海水从深到浅的海退过程,在类型 II 位置处可见处于风暴频繁期;

第 2 个二级旋回由下而上分别由类型 III、IV、V、VI 组成,是一种持续的海水由深到浅的沉积过程,序列沉积厚度大,沉积序列较完整,形成从风暴浪基面附近的浅海陆棚边缘到台地边缘,在序列中曾发生数次范围不大的波动。

两个二级海平面的变化周期构成了一个一级海平面变化周期,是一次完整的进积-退积旋回,并在类型 III 所在位置达到最大海退面。在贾园组顶部,海水发生小规模的海平面下降,海水深度位于正常浪基面附近(表 1)。

5 结语

(1) 滞留沉积规模及形状、HCS 段的特征、臼齿构造的发育形态特点等特征构造是研究前寒武纪地层的重要手段。特别是滞积层与 HCS 的定量分析以及臼齿构造所具有的独特时限性和局限发育性的特点。

(2) 研究区所在的贾园组具有丰富的风暴沉积构造,可用于风暴沉积的识别。特别是在前寒武纪

表1 赵圩地区风暴作用数据分析

Table 1 Relevant data for the storm processes in the Zhaowei region

组	组合类型	风暴序列周期	厚度/m	HCS			滞积层发育状况	水深环境	
				波长/cm	波高/cm	波痕指数 RI			
贾园组	类型 I	一	二	20	不发育			不发育	陆棚边缘
	类型 II			30	40	3~5	8~10	透镜状 6cm	正常浪基面附近缓坡上部
	类型 III		10	24~40	4~10	2~10	不发育	风暴浪基面附近缓斜坡下部	
	类型 IV		15	80	10	8	透镜状 6~7cm	正常浪基面与风暴浪基面之间的缓斜坡中部	
	类型 V		10	40	10	4	薄层状 4cm	正常浪基面附近的缓斜坡上部	
	类型 VI		5	不发育			层状 40cm	正常浪基面之上潮坪	
	类型 VII		5	40~60	6~8	5~10	层状 40cm	正常浪基面附近	
赵圩组	鲕粒灰岩							潮上浅滩	

缺乏可靠的化石的情况下,通过对特征构造的识别,可以进行较为准确的地层对比。通过风暴沉积在水深的控制,可以较为准确地推断古环境。

(3) 风暴沉积随着研究的深入将会更加准确化。对于不同的作用方式,将会识别出海啸沉积、暴风沉积、飓风沉积等具有不同沉积指示意义的事件类型,将对古环境演化的研究具有更加重要的意义。

(4) 根据地质记录识别地质事件,可以充分了解地质过程,特别是如风暴沉积的短暂性灾难事件形成的地层记录,比“正常天气”条件下形成的更为重要^[22]。研究徐州地区的事件沉积,有助于认识整个华北板块在新元古代的地质演化规律。

参考文献:

- [1] 刘光华;含煤岩系中风暴岩的研究[J]. 煤田地质与勘探; 1986, 5:4-7.
- [2] 陈世悦, 杨怀宇, 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.
- [3] 江苏省地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1984. 38-46.
- [4] 江苏省地质调查局. 中华人民共和国区域地质调查(徐州幅)[M]. 南京, 1978.
- [5] 李壮福, 郭英海. 徐州地区震旦系贾园组的风暴沉积[J]. 古地理学报, 2000, 2(2):19-27.
- [6] 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):259-261.
- [7] 孔庆莹, 程日辉. 新疆库鲁克塔格地区寒武系莫合尔山组风暴岩特征及其对海平面变化的响应[J]. 新疆地质, 2006, 24(4):377-381.
- [8] 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.
- [9] 郑宁, 姜在兴等. 渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段风暴沉积基本特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2010, 37(4):1191-1198.
- [10] 赖志云, 赖庆伟. 丘状交错层理的成因探讨[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(5):42-46.
- [11] 孟祥化, 葛铭, 旷红伟, 等. 微亮晶的意义(白齿)碳酸盐成因及其在元古宙地球演化中[J]. 岩石学报, 2006, 22(8):2133-2143.
- [12] 刘燕学, 旷红伟. 辽南新元古代营城子组白齿构造灰岩的沉积环境[J]. 地质通报, 2003, 22(6):41-47.
- [13] DAN MARSHALL C D. Anglin, CO₂-clathrate destabilization: a new model of formation for molar tooth structures [J]. Precambrian Research, 2004, 129:325-341.
- [14] 刘燕学, 柳永清等. 一种严格受控于环境和时间的特殊碳酸盐岩——白齿构造碳酸盐岩[J]. 地球科学进展, 2005, 20(7):710-716.
- [15] 陈武杰, 袁静, 李红哲, 等. 柴达木盆地西南缘更新统震积岩特征及其意义[J]. 石油天然气学报, 2010, 21(2):230-237.
- [16] 路慎强. 济阳坳陷古近系碎屑岩地层中震积岩识别标志研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006, 30(5):8-13.
- [17] 龚一鸣. 风暴岩、震积岩、海啸岩几个名词含义的商榷[J]. 地质论评, 1988, 34(5):481-482.
- [18] NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). What is a hurricane, typhoon, or tropical cyclone [EB/OL]. [2009-03-30].
- [19] 杜远生, 韩欣. 论海啸与海啸沉积[J]. 高校地质学报, 2000, 19(1):19-22.
- [20] 王立成, 王成善, 李亚林, 等. 海啸与海啸沉积[J]. 沉积学报, 2010, 28(3):596-610.
- [21] 乔秀夫, 李海兵. 沉积物的地震及古地震效应[J]. 古地理学报, 2009, 11(6):0593-0610.
- [22] 潘国强, 刘家润等. 徐宿地区震旦纪地质事件及其成因分析[J]. 高校地质学报, 2000, 6(4):566-575.

The Neoproterozoic storm deposits in the Zhaowei region , Xuzhou , Jiangsu : Depositional sequences and their bathymetric controls

FENG Le , DOU Lu-xing , SHI Qing-min , JIANG Yu-bo , SUN Xiao-qian

(*School of Resources and Geosciences , China University of Mining and Technology , Xuzhou 221116 , Jiangsu , China*)

Abstract: The Neoproterozoic storm deposits are well developed in the Zhaowei region , Xuzhou , Jiangsu , and may be grouped into seven depositional sequences in different sedimentary environments. These storm deposits are characterized by scour surface , lag deposits , hummocky cross-bedding and liquefied crinkled bedding. The above-mentioned seven depositional sequences of the storm deposits may also be corresponded with the continuous deposits in the shallow shelf margin-platform foreslope-platform supratidal environments , and display a close correlation with water depths. Finally a genetic model is proposed for the storm deposits in the Jiayuan Formation.

Key words: storm deposit; Neoproterozoic; sedimentary indicator; bathymetric control