

东濮凹陷文南—刘庄地区沙二下亚段浅湖风暴沉积

王 伟

(中国石油化工股份有限公司胜利油田公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 风暴沉积是一种特殊的事件沉积, 反映了区域特定时期的古地理环境和古气候变化。通过区域古地理研究和精细地层对比, 探讨了东濮凹陷文南—刘庄地区沙二下亚段沉积时期浅湖风暴沉积证据及特征, 在此基础上总结了风暴沉积模式。结果表明: 沙二下亚段沉积时期湖盆沉积层序主要受气候条件控制, 气候频繁变化导致风暴沉积广泛分布、多期发育; 风暴沉积主要发育在湖侵体系域和高水位体系域, 沉积早期发育在深水区, 而到沉积晚期分布范围扩大; 风暴沉积一般发生在每期砂组的边界附近, 作为短期、等时的一种事件沉积, 可以用来作为层序划分的辅助标志; 研究区风暴沉积模式主要有 I 类和 II 类两种; I 类风暴沉积为类深水风暴沉积, 发育 A—D 段沉积的类鲍马序列层序, 但粒度要较深水风暴沉积细得多, 多见于漫湖沉积环境相对深水区; II 类风暴沉积不发育 I 类风暴的 B 和 D 段沉积; 风暴流在风暴停止时越靠近湖盆中央, 其沉积特征就越类似深水风暴沉积, 反之则越类似 II 类风暴沉积。

关键词: 风暴沉积; 鲍马序列; 沙二下亚段; 古近系; 浅水湖盆; 东濮凹陷

中图分类号: TE121.3; P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)04-0384-06

Storm Deposits of Shallow Lake in Lower Submember of Member 2 of Shahejie Formation of Wennan-Liuzhuang Area, Dongpu Sag

WANG Wei

(Geological Scientific Research Institute, Shengli Oilfield, China Petroleum and Chemical Corporation,
Dongying 257015, Shandong, China)

Abstract: Storm deposit is a kind of special event deposit, and reveals palaeogeography and palaeoclimatology changes of certain period in certain region. Through the palaeogeography research and fine strata division, the evidence and characteristic of storm deposit of shallow lake in lower submember of member 2 of Shahejie Formation of Wennan-Liuzhuang Area, Dongpu Depression were discussed, and the sedimentary model of storm deposit was summarized. The results showed that deposition sequence of lake basin was mainly controlled by climate, so the frequent climate change resulted in the wide distribution and multi-period development of storm deposit; storm deposit mainly developed in lake transgressive system tract(TST) and highstand system tract(HST), and developed in deep water during the early deposit, and the distribution range enlarged during the later deposit; storm deposit, which could be the assistant mark for strata sequence division, generally occurred around the boundary of each sand group, and was taken as a event deposit with short term and isochronous; the sedimentary models of storm deposit mainly included class I and class II; class I storm deposit was similar to that developed in deep water, and developed A-D interval deposits which was similar to Bouma Sequence, but the granularity was thinner than that of storm deposit developed in deep water, and mostly developed in relatively deep water of flood-over-lake depositional environment; class II storm deposit did not develop the B and D interval deposits; when the storm stopped, if the storm flow was closer to the center of lake basin, the sedimentary characteristic was more similar to class I storm deposit, otherwise, it was more similar to class II.

Key words: storm deposit; Bouma Sequence; lower submember of member 2 of Shahejie Formation; Paleogene; shallow water lake; Dongpu Sag

收稿日期: 2011-01-29

基金项目: 中国石油化工股份有限公司胜利油田公司科研项目(06370502000045); 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB202302)

作者简介: 王伟(1981-), 男, 山东聊城人, 工程师, 工学硕士, 从事油气藏勘探开发研究。E-mail: kinvey@163.com

0 引言

文南—刘庄地区古近系沙二下亚段(E_{s2x})是区域上的主力含油层系,沙二下亚段沉积时期构造运动趋于稳定、湖盆萎缩,发育三角洲—漫湖沉积体系^[1-3],湖盆水体变浅,不同沉积期的储层对比特征不明显。通过区内钻井岩芯观察到丰富的风暴沉积现象,风暴沉积作为短期、等时的一种事件沉积,其沉积特征和发育模式的研究对于利用层序地层学方法进行精细等时地层对比具有非常重要的作用^[4-7]。

风暴沉积是由风暴作用引起的强烈振荡水流和风暴浪回流作用于滨岸和陆棚环境,使沉积物被破坏、搬运再沉积而形成的。最早由 Ager 于 1973 年提出风暴流沉积的组合特征和沉积模式^[8],之后在全球各地的沉积岩层中都陆续发现了这种瞬时、周期性的事件沉积现象^[9-19]。

国内外学者针对不同地区、不同沉积环境下的风暴沉积,总结出相应的风暴沉积序列和模式,但早期的风暴沉积研究多局限于海相风暴沉积和海岸环境下的潮坪风暴沉积^[8-13,20]。随着中国陆相湖盆油气勘探的突破和沉积研究的不断深入,在陆相深水湖盆沉积环境也发现了丰富的风暴沉积^[14-16],相应的研究工作补充完善了风暴沉积模式和发育背景,但对于类似文南—刘庄地区发育的浅水漫湖风暴沉积的研究,目前尚不深入。

1 区域地质概况

东濮凹陷位于华北地台上的渤海湾裂谷系南缘,是新生代裂陷旋回形成的伸展型断陷盆地,基底为太古界结晶变质岩和残存的古生界、中生界地层。凹陷北窄南宽,呈北北东向展布,盆地横剖面呈不对称箕状。受早期北北东向西倾断裂系和晚期东倾断裂系活动共同作用。该凹陷由东而西分为兰聊断裂带(陡坡带)、东部凹陷带、中央隆起带、西部凹陷带和西部缓坡带等 5 个次级构造单元(图 1)^[1-3,14-16,21],东界兰聊断裂带具有主控性质。

沙二段沉积时期,区域受近东西向剪切拉张应力作用,东西差异升降活动减弱,基底形态基本定型。盆地萎缩,湖水变浅,湖盆与周围物源区的地形幅度差异较小,发育间歇性扩张背景下的三角洲—漫湖相沉积体系(图 1)^[1-3],地层厚度为 380~480 m;按照层序旋回,并利用层序地层学方法^[1,4-7,22-25]可以将其分为 8 个砂层组(图 2)。该时期断层活动较弱,古地形平坦,水体较浅,气候较干旱,沉积岩层以

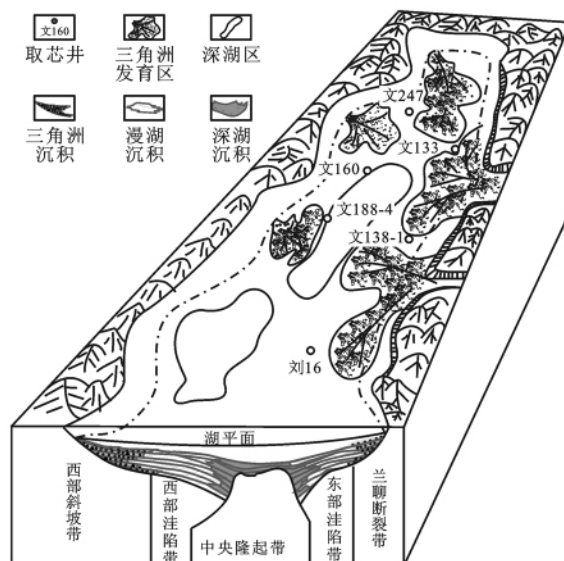


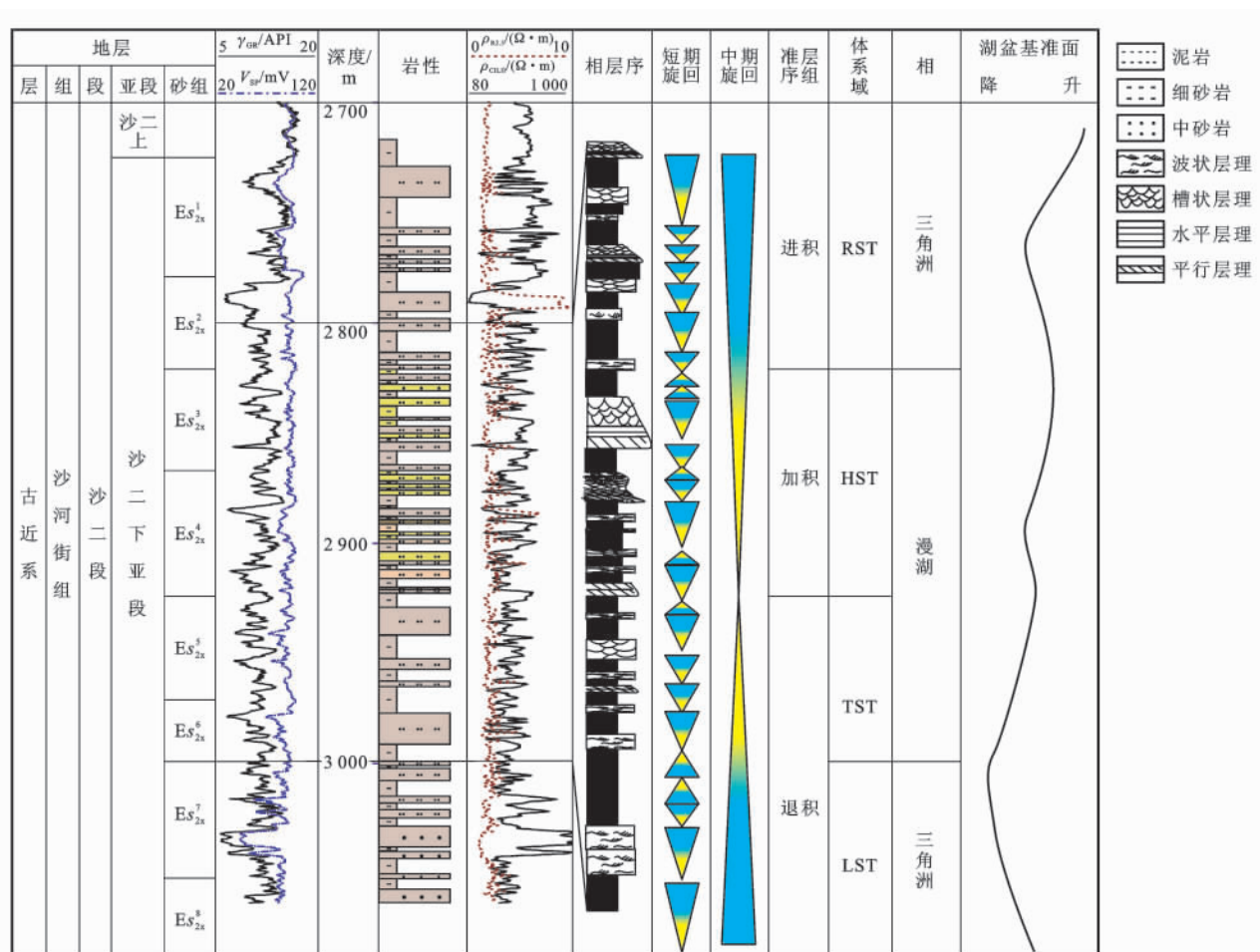
图 1 沙二下亚段三角洲—漫湖沉积模式

Fig. 1 Delt-flood-overlake Sedimentary Model in Lower Submember of Member 2 of Shahejie Formation

氧化环境下的红色岩性组合为主,主要为棕黄色、褐灰色含油粉砂岩、灰白色粉砂岩和紫红色泥岩不等厚互层,砂岩粒度偏细,以细粉砂级为主,偶见含砾(泥砾)细粉砂岩。泥岩以紫红色为主,次为灰色、灰绿色。砂岩成组性差,横向变化大,与沙二上亚段红色泥膏岩组成一套良好的储盖组合。

2 风暴沉积证据及特征

从岩芯观察来看,文南—刘庄地区风暴沉积现象比较普遍(图 3),主要沉积特征是:沉积物粒度较细,较少见粗砂、砾石等粗粒沉积物,见有丰富的冲刷底面和沉积物的递变现象;多见不对称波痕,底部见侵蚀、切割和冲刷构造,含泥砾;其下部为平行纹层理,上为波痕纹层理以及波状交错层理等。沉积层序以正旋回为主,常见小型反旋回层序。正旋回层序构成的厚层砂岩内冲刷面发育,且冲刷面上下岩石的色调多有差异(图 3),有的呈现氧化色,有的则呈现还原色,反映有多次沉积事件叠加;中部大段砂岩粒度均匀,顶、底粒度渐变较快,小型反旋回层序底部为暗色泥岩,向上过渡为砂、泥岩互层,再过渡到中厚层砂岩,顶部很少有厚层砂岩。生物扰动构造、潜穴等较丰富,干裂、植物根等陆上暴露标志不明显。纵向上韵律性不明显,发育有冲刷构造、丘状层理、波状层理、斜波状层理及交错层理,生物扰动普遍。大型板状、槽状交错层理发育在底部,小型层理发育在上部,波状层理发育在顶部。发现风暴沉积的取芯井分布在研究区的不同部位,湖盆边缘



注: γ_{GR} —自然伽马; V_{SP} —自然电位; $\rho_{R2.5}$ —2.5 m 底部梯度电阻率; ρ_{CLD} —深侧向电阻率; Es —古近系沙河街组。

图 2 文 133 井单井层序划分

Fig. 2 Sequence Division of Well Wen133

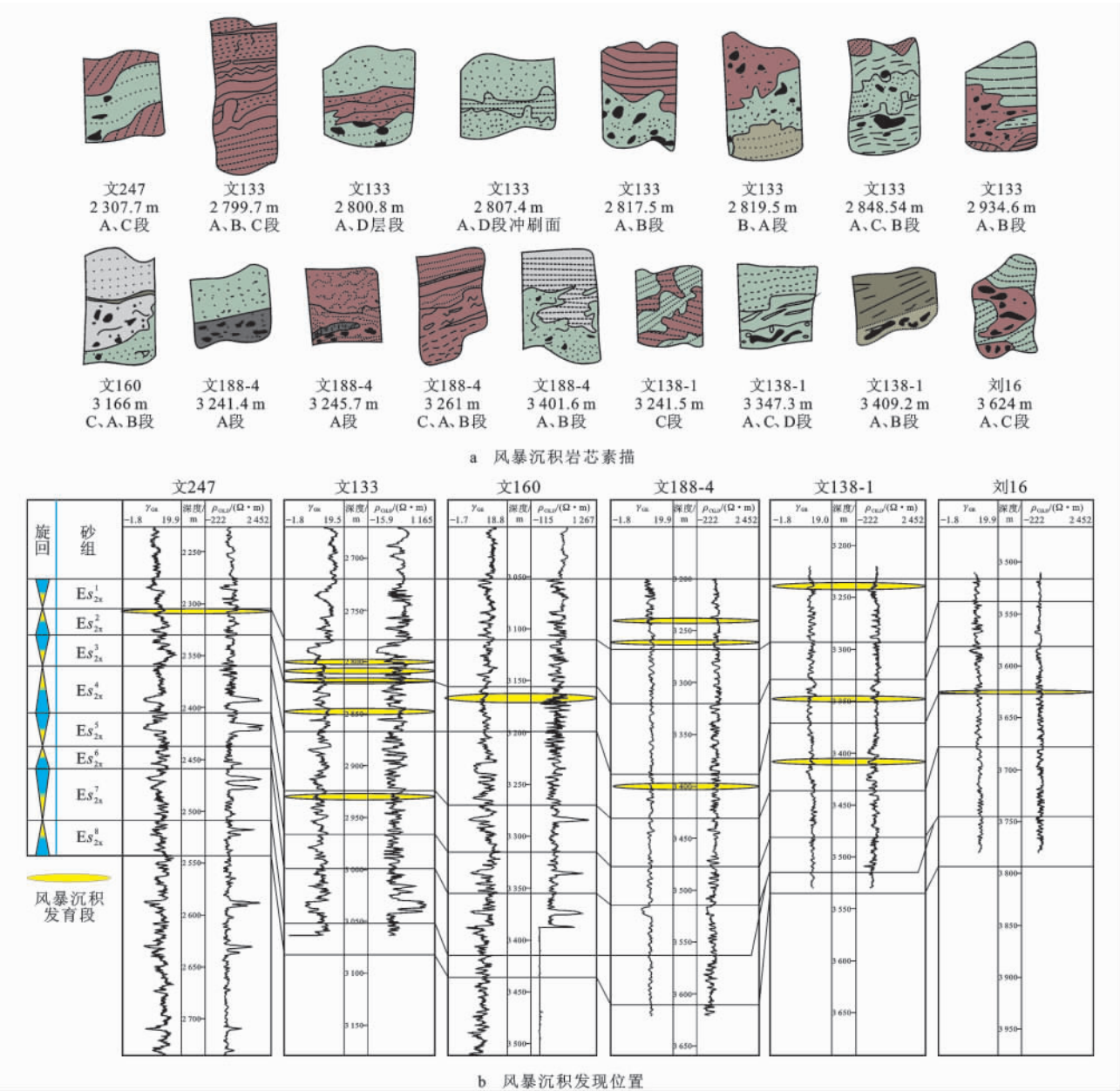
地带、三角洲前缘和浅湖之间的区域(图 1)发育较多,凹陷深部地区钻遇较少。从对比剖面上看(图 3),多数风暴沉积发育在每一期砂层组的边界附近,风暴沉积段厚度一般为 0.1~0.5 m,风暴沉积上下为大套的泥质或砂质沉积,区分明显。

沙二段沉积时期,湖盆延续沙三段沉积末期的构造形态,但此时构造活动显著减弱,仅在盆地局部位仍有断裂活动^[1-3]。沙二下亚段沉积为气候控制层序,湖盆基准面的变化主要受气候因素影响,而且大部分时期气候干旱,导致每个体系域形成的层序厚度较薄。从纵向上看,风暴沉积主要发育在湖侵体系域(TST)和高水位体系域(HST),沉积层序以水进退积和加积准层序为主(图 2、3),湖退体系域(RST)和低水位体系域(LST)发育程度较差;从平面上看,沉积早期(Es_{2x}^8 — Es_{2x}^5 砂组)风暴沉积主要发育在深水区,而到了沉积晚期(Es_{2x}^4 — Es_{2x}^1 砂组)风暴沉积的分布范围则更广泛(图 3),广泛发育的风暴沉积表明这一时期气候变化频繁。

在风暴沉积的上部层段或一套风暴沉积之后的大套泥岩沉积之上发育大量的石膏结晶砂岩,砂岩颜色一般为灰绿色还原色调。带有石膏结晶的砂泥岩沉积是浅水期湖盆蒸发作用的直接证据^[2-3,14,16],风暴沉积和石膏结晶的交替出现,反映了该时期的气候层序特征。风暴期带来丰沛的雨水,使得风暴沉积后的水体较之前深,而后在整体干旱的气候环境下湖盆发生蒸发和渗透作用,直至下一次风暴来临前接受正常沉积。

3 风暴沉积模式

风暴沉积是从侵蚀到再沉积的改造过程,深水风暴沉积的物质来源一般是岸坡或盆地边缘较浅部位被风暴搅动的沉积物,强风暴能使粗粒沉积物在巨浪作用下搅动并搬运到别处,再沉积的部位主要是风暴浪底附近。风暴浪底处原来的细粒沉积物,如黏土、黏土质粉砂等,受到风暴浪流强烈的冲刷形成各种冲蚀面和冲刷构造。深水湖盆中发育的风暴



注：A—含砾细砂岩段；B—具平行纹层的细砂岩层段；C—具丘状、槽状交错层理的细砂岩层段；D—波状层理细粉砂岩段。

图 3 风暴沉积岩芯素描图及其发现位置

Fig. 3 Core Sketch of Storm Deposits and the Locations Observed

流在风暴停止后会在重力作用下向湖盆深处流动，一旦沉积物流达到浪基面以下就基本不再受水平方向流水影响，而逐渐分异沉积下来形成由 A—D 段沉积的类鲍马序列层序^[8-12,14-16]（图 4）。风暴作用带起粗粒沉积物，如细砾石、泥砾等由于较重而搬运距离短，沉积在冲刷面上或高潮线附近（A 段沉积）；随着风暴能量的减弱，水体中的细粒物质逐渐发生重力分异作用沉积下来，并在垂向上表现出粒度递变现象（B 段沉积）；之后，风暴产生的高能环境慢慢减弱形成各种纹层和层理构造（C、D 段沉积）。在 Es_{2x} 的漫湖沉积环境中，相对较深的部位可以见到

类似深水风暴沉积的现象（图 2、3 中文 160、文 188-4 井），但该区漫湖风暴沉积的物质来源是三角洲前缘发育的滩坝和沙坝，导致该区的风暴沉积物质来源比深水风暴沉积要细得多，笔者将其称为 I 类风暴沉积（图 4）。

由于漫湖水深较浅，受风暴作用波及的湖底范围更广，造成接受 I 类风暴沉积的深水区范围小。对于浅水的风暴流，由于风暴停止后浊流仍处于浪基面之上，浊流悬浮物不仅受重力作用同时也被水平方向的波浪和岸流持续影响，因此不发育类似深水风暴的 B、D 段沉积。从剖面上看， $Es_{2x}^3—Es_{2x}^2$ 沉

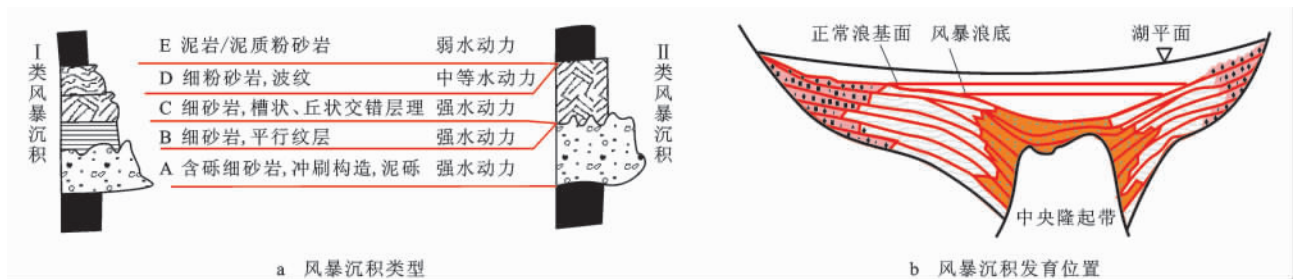


图 4 沙二下亚段湖盆风暴沉积发育模式

Fig. 4 Developed Model of Storm Deposit of Lake Basin in Lower Submember of Member 2 of Shahejie Formation

积时期,水深较大,在靠近湖盆中央位置可以观察到平行纹层 B 和 D 段沉积的发育,但厚度一般较薄。沉积层序主要受气候因素影响,沙二下亚段沉积晚期水体变深主要因为气候较早期湿润,不同期次风暴沉积的叠加也表明该时期风暴气候较为频繁。而且由于水浅、湖底坡度小,被风暴搅动的瞬时水流可能会沿风暴方向而不是湖盆中央深水区方向流动。一旦风暴停止,风暴搅动的浊流在向深水回流过程中很快会沉积下来,形成一种特殊的风暴流沉积——Ⅱ类风暴沉积(图 4),典型的Ⅱ类风暴沉积仅发育 A、C、E 段沉积。风暴流在风暴停止时越靠近湖盆中央,其沉积特征就越类似深水风暴沉积,反之则越类似Ⅱ类风暴沉积。

从古气候上来看,东濮凹陷位于北纬 40° 左右,是飓风和冬季风暴的作用范围^[26-29],季节性的风暴事件频繁发生,使得后一期风暴对前一期风暴沉积常常造成不同程度的截切侵蚀。因此,在沉积记录中见到的是无数次侵蚀和再沉积结果,能被辨认出来的只是那些最强烈的侵蚀和再沉积。研究区特殊的沉积浅湖背景造成湖盆大部分区域都为氧化环境,在水体相对较深的区域呈现小范围的还原环境,不同氧化、还原色调的岩石显示其不同的物质来源。在图 3 中,文 133 和文 188-4 井的 3 块岩芯均为紫红色氧化色调,显示该处风暴沉积的水深相对较浅;而显示灰绿色还原色调的风暴沉积则表明其沉积水体相对较深,风暴物来自距离较近的深水环境;岩芯主色调为还原色调,氧化色调沉积岩为外来侵入岩,表明该处沉积水体较深,风暴物来自距离较远的浅水环境。

4 结语

(1)沙二下亚段沉积时期,区域构造运动趋缓、湖盆地势平坦,发育气候控制下的沉积层序,湖盆基准面的变化主要受气候因素影响,单个体系域沉积厚度小。

(2)三角洲-漫湖沉积体系中可见丰富的风暴沉积,湖盆边缘地带、三角洲前缘和浅湖之间的区域发育较多,临近凹陷深部地区也有钻遇。从纵向上看,风暴沉积主要发育在湖侵体系域和高水位体系域,沉积层序以水进退积和加积准层序为主;从平面上看,沉积早期(Es_{2x}^8 — Es_{2x}^5 砂组)风暴沉积主要发育在深水区,而到了沉积晚期(Es_{2x}^4 — Es_{2x}^1 砂组),风暴沉积的分布范围广泛,显示这一时期气候变化频繁。

(3)风暴沉积一般发生在每期砂组边界附近,作为短期、等时的一种事件沉积,可以用来作为层序划分的辅助标志。

(4)风暴沉积和石膏结晶的交替出现,反映了沙二下亚段沉积时期的气候层序特征,风暴期带来丰沛的雨水,使得风暴沉积后的水体较之前深,而后在整体干旱的气候环境下湖盆发生蒸发和渗透作用,直至下一次风暴来临前接受正常沉积。

(5)研究区发育两种模式风暴沉积:Ⅰ类风暴沉积为类深水风暴沉积,发育 A—D 段沉积的类鲍马序列层序,但粒度要较后者细,多见于漫湖沉积环境相对深水区;Ⅱ类风暴沉积不发育Ⅰ类风暴沉积的 B、D 段。风暴流在风暴停止时越靠近湖盆中央,其沉积特征就越类似深水风暴沉积,反之则越类似Ⅱ类风暴沉积。

(6)还原色调风暴沉积同氧化色调风暴沉积叠加表明一定时期风暴沉积的频繁发生和沉积层序的气候控制特征,同时也为确定风暴沉积期次提供了依据。

参考文献:

- [1] 李宗信,张国栋. 文南油田文 33 块沙二下亚段沉积微相与储层研究[R]. 河南濮阳:中国石油化工股份有限公司中原油田公司勘探开发科学研究院,1993.
- [2] 纪友亮,冯建辉,王声朗,等. 东濮凹陷下第三系沙三段盐岩和膏盐岩的成因[J]. 沉积学报,2005,23(2):225-231.
- [3] 周新科,许化政. 东濮凹陷地质特征研究[J]. 石油学报,2007,28(5):20-26.

- [4] 王伟,张世奇,纪友亮.青坨子凸起馆陶组地震相研究[J].断块油气田,2007,14(1):16-18.
- [5] 纪友亮,张世奇.层序地层学原理及层序成因机制模式[M].北京:地质出版社,1998.
- [6] 倪新锋,陈洪德,赵俊兴,等.陆相层序界面的物质表现及成因类型——以鄂尔多斯盆地中生界为例[J].地球科学与环境学报,2007,29(3):256-262.
- [7] 王伟.东营凹陷青坨子凸起馆陶组沉积相演化特征及相模式[J].石油天然气学报,2009,31(3):167-170.
- [8] Ager D V. Storm Deposits in the Jurassic of the Moroccan High Atlas [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1974, 15(2): 83-93.
- [9] Kreisa R D. Storm-generated Sedimentary Structures in Subtidal Marine Facies with Examples from the Middle and Upper Ordovician of Southwestern Virginia[J]. Journal of Sedimentary Research, 1981, 51(3): 823-848.
- [10] Wnuk C, Pfeifferkorn H W. A Pennsylvanian-age Terrestrial Storm Deposit; Using Plant Fossils to Characterize the History and Process of Sediment Accumulation[J]. Journal of Sedimentary Research, 1987, 57(2): 212-221.
- [11] 钱 峥,李 淳,马在平.安徽巢北地区下石炭统高骊山组风暴沉积[J].石油大学学报:自然科学版,1996,20(5):8-11.
- [12] 杜远生,韩 欣.滇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):259-262.
- [13] 杨瑞东 赵元龙 毛家仁,等.贵州台江中寒武世凯里生物群古生态研究[J].沉积学报,2002,20(1):129-134.
- [14] 姜在兴,赵激林,刘孟慧,等.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.
- [15] 袁 静.惠民凹陷古近系风暴沉积研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(4):1-6.
- [16] 赵激林,刘孟慧,纪友亮.东濮凹陷下第三系碎屑岩沉积体系与成岩作用[M].北京:石油工业出版社,1992.
- [17] 田翠翠,余克服.古风暴研究进展[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(4):171-177.
- [18] 杨宝忠,杨坤光,夏文臣.鄂东黄石地区下三叠统大冶组风暴沉积[J].古地理学报,2007,9(4):379-386.
- [19] 马瑞申,张 良,杜远生,等.豫北地区寒武系风暴岩沉积特征及其地质意义[J].地质科技情报,2011,30(4):15-20.
- [20] 王伟,王锦程,李 博.东海平湖油气田八角亭构造区 H4 段沉积展布特征和相模式研究[J].地层学杂志,2011,35(4):448-453.
- [21] 徐春强,蒋有录,程 奇,等.东濮凹陷濮卫洼陷油气成藏期分析[J].地球科学与环境学报,2010,31(3):257-262.
- [22] 丁晓琪,张峭楠.层序地层学在河流相地层研究中的应用[J].西安石油大学学报:自然科学版,2010,25(4):1-5.
- [23] 董 洁,陈世悦,李 聪.辽河西部凹陷欢喜岭地区沙河街组三段层序地层与沉积相研究[J].地球科学与环境学报,2010,32(3):245-251.
- [24] 蔡 佳,王 华,罗家群.基于层序地层格架的南阳凹陷油气成藏模式[J].西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(3):67-73.
- [25] 田景春,张 翔,许 珉,等.南华北盆地青白口系—侏罗系层序界面时空分布特征研究[J].地球科学与环境学报,2010,32(4):331-337.
- [26] Marsaglia K M, Klein G D. The Paleogeography of Paleozoic and Mesozoic Storm Depositional Systems [J]. Journal of Geology, 1983, 91(2): 117-142.
- [27] 王伟,张世奇,纪友亮.环胶州湾海岸线演化与控制因素[J].海洋地质动态,2006,22(9):7-10.
- [28] 刘 奇 宋传中,崔 王,等.淮河源区中更新世黄土堆积的元素地球化学特征及其古气候意义[J].地球科学与环境学报,2007,29(4):356-361.
- [29] 王伟.张屯嘴—丁家嘴沿岸现代沉积和水动力研究[J].海洋地质动态,2010,26(2):25-31.

《地球科学与环境学报》连续第三次荣获 “中国科技论文在线优秀期刊”二等奖

据教育部科技发展中心消息,《地球科学与环境学报》荣获 2010 年度“中国科技论文在线优秀期刊”二等奖。这是本刊继获得 2008 年度和 2009 年度“中国科技论文在线优秀期刊”二等奖之后第三次获此殊荣。

为了促进科技期刊健康发展,提高科技期刊的质量,推动科技期刊的数字化建设,提高期刊刊载论文的引用率,扩大期刊的影响力,促进论文免费共享,建设良好的科研环境,使科技期刊更好地为科研和科研工作者服务,根据教技发中心函[2010]190 号文件《关于组织 2010 年度“中国科技论文在线优秀期刊”评选活动的通知》和同时公布的《2010 年度“中国科技论文在线优秀期刊”评选指标体系》,对截至 2010 年 12 月 31 日已收录在“中国科技论文在线”《科技期刊》栏目的教育部主管期刊,就期刊的影响因子和他引率、网站收录论文数和下载量、期刊入网的完整性及期刊编委的国际化程度、开放存取等统计分析,经过严格评审,共评选出一等奖 43 项,二等奖 92 项。