

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

郑 宁¹ 姜在兴² 李廷栋¹ 耿树方¹ 游国庆¹ 何幼斌³

(1.中国地质科学院地质研究所,北京 100037;2.中国地质大学能源学院,北京 100083;
3.长江大学地球科学学院,湖北 荆州 434023)

摘要:首次提出在孤南洼陷沙河街组沙三中亚段发育风暴岩沉积。根据岩心观察及分析,发现两处风暴岩沉积分别发育于浅湖和三角洲前缘沉积环境中。本区风暴岩沉积中发育以下相互伴生而具有指相作用的沉积构造,层面构造包括:渠模、截切、风暴形成的冲刷面;层理构造包括:块状层理、丘状交错层理、洼状交错层理、波状层理和浪成砂纹交错层理 5 种层理构造;以及生物逃逸迹及同生变形构造。本区风暴岩理想的垂向沉积序列可概括为“似鲍马序列”,自下而上为:SA,递变层理段;SB,平行层理段;SC,风暴浪振荡作用段;SD,波状层理段;SE,泥岩段。本次风暴沉积的发现,将有助于对孤南洼陷沙三中亚段地层沉积时期滨浅湖范围的界定,增加了新的沉积相类型,为岩石地层的划分提供了新依据;此外,也为寻找良好的油气储集层和生油层提供了新空间。

关键词:孤南洼陷;沙三中亚段;风暴岩

中图分类号:P512.32 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)04-1191-08

1 前 言

风暴岩由 Kelling G 和 Mullin P R 于 1975 年对浅海相地层研究时提出^[1],目前开展海相环境形成的风暴岩的研究远多于对陆相风暴岩的研究^[2-7]。陆相环境的风暴岩常发育于湖滨岸和浅湖地带,是由台风、冬季风暴、地震和海啸等作用引发的风暴流冲刷和挖掘滨、浅湖乃至近滨(高潮线以上)地区,将在正常天气下形成的常态沉积物,重新搅动、悬浮起来,并被风暴回流搬运至相邻一定距离的浅湖盆地内形成的特殊沉积层^[8-9]。本次孤南洼陷沙三中亚段岩心中风暴岩的发现属首次,位于孤南 15 井浅湖亚相中及孤南 30 井三角洲前缘亚相中(图 1)。

孤南洼陷位于山东省东营市河口区,黄河入海口北侧。它是渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷的一个次级洼陷,面积约 150 km²。洼陷呈北北东向长条形

展布,北部以孤南断裂带与孤岛凸起相隔,东侧以孤东断裂带和垦东断裂带与孤东—垦东凸起相邻,南部为垦利断层与富林洼陷相隔,西部为三合村洼陷,总体表现为北断南超的箕状洼陷构造格局^[10]。孤南洼陷的前新近纪基底经历了地台形成、地台演化和中生代裂陷 3 个阶段;自燕山运动后,一直处于隆升剥蚀状态;沙三段沉积期开始,洼陷周边断裂系统开始强烈活动,对沉积作用起着显著控制作用,整体发育扇三角洲—三角洲—风暴沉积模式,岩性主要为深灰色、灰绿色泥岩或灰质泥岩、油页岩、油页岩夹细砂岩、灰质砂岩、白云质砂岩及含砂砾岩,偶见紫红色泥岩和炭质页岩。

2 风暴沉积构造

沉积构造组合的识别有助于准确判断风暴岩的存在。对研究区沙三中亚段的岩心观察发现典型的

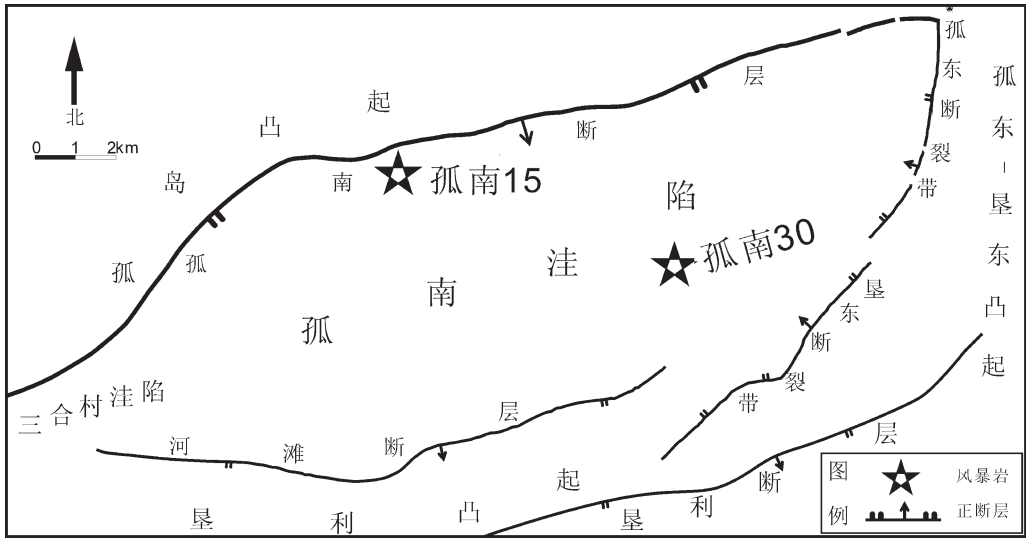


图 1 孤南洼陷沙三中亚段风暴岩分布图

Fig.1 Distribution of tempestites of Middle Sha 3 Member in Gunan Subsaug

风暴岩沉积构造,包括:渠模、截切、风暴流形成的冲刷面 3 种层面构造,块状层理、丘状交错层理、洼状交错层理、波状层理和浪成砂纹交错层理 5 种层理构造,以及生物逃逸迹和同生变形构造。

2.1 层面构造

2.1.1 渠模构造

研究区沙三中亚段渠模构造一般深 7~5 cm,宽 3~6 cm,渠模内充填夹泥岩纹层的灰色粉砂岩 (图 2)。分析认为是风暴来临,强烈的气流摩擦湖水形成强大的定向水流或涡流,在湖底冲蚀或旋切沉积物形成刨蚀坑,而后在坑内充填粗碎屑沉积而形成。这些

刨蚀坑在岩层断面上表现为口袋状特征^[11],通常称之为渠模构造,是风暴流典型的沉积构造。本区发现的渠模具有深且陡的渠壁,不具有方向性,也不一定成组出现,并且侵蚀冲刷下来的下伏细粒沉积物往往以同生泥砾、砂球、撕裂屑的形式充填在渠模附近。

2.1.2 冲刷面

研究区发现的风暴侵蚀构造中冲刷面占 50%,呈波状、槽状(图 3)。被认为是由强烈的风暴流冲刷沉积基底而形成,其凹凸程度反映了风暴作用的大小。若砂岩冲刷泥岩则其内充填泥砾,但泥砾不具方向性,可与河流的冲刷面相区分,可见倒“小”字型泥



图 2 孤南 30 井,3694.80 m,渠模、泄水构造

Fig.2 Gunan 30 Well,3694.80 m,gutter cast, water escape structures



图 3 孤南 15 井,3400.00 m,冲刷面

Fig.3 Gunan 15 Well,3400.00 m,surface of scour

砾,构造反映水流具有旋转、向上的力,只有风暴涡流才能提供这种水动力,因此,通常认为它是风暴作用典型的识别标志。若为冲刷砂质沉积,则当风暴平息后,湖底深色泥岩便由悬浮状态沉积在剪切面之上,正常浪基面以下暗色泥岩的异地沉积,说明了风暴的存在。

2.1.3 截切

本次在孤南 30 井的岩心中发现截切构造,截切面上覆盖暗色泥岩薄层约 3 mm(图 4)。分析认为孤南洼陷沙三中亚段湖泊萎缩,总体水体较浅,易产生风暴回流,孤南 30 井处为三角洲前缘沉积环境,当受到风暴回流的强烈剪切力影响时,先期沉积的砂质沉积物遭到侵蚀并被部分切去,形成了不规则的剪切面,风暴过后,湖水恢复平静,于是正常浪基面以下暗色泥岩覆盖在剪切面之上,这是风暴流影响湖底沉积物的结果。截切构造是造成砂岩顶面不平整的构造之一,截切面截切角度较大,截切面上充填暗色泥岩。

2.2 层理构造

研究区发现的层理类型共 6 种,这些层理构成风暴沉积的层理构造组合,自下而上为:块状层理、平行层理、丘状交错层理、洼状交错层理、浪成砂纹交错层理和波状层理。

2.2.1 块状层理

在孤南 15 井岩心中,发现块状泥岩沉积,层内物质均匀、组分和结构无差异、细层构造不明显(图 5)。认为主要形成于风暴高潮期,风暴卷起的湖底泥岩由悬浮状态快速堆积、沉积物来不及分异而形成

的层理。

2.2.2 平行层理

孤南 30 井粉砂岩中发现 3.5 cm 厚平行层理(图 2),发育于丘状交错层理之下。这种平行层理是风暴高潮期过后成悬浮状态的细砂沉积的产物,岩性为细砂岩-粉砂岩。

2.2.3 丘状交错层理

孤南 30 井发现的丘状交错层理发育于细砂岩中,4 组层理重叠,每组层理之间夹波状 1 mm 厚灰黑色泥岩。每组包括两层丘状交错层系的重叠,之间无分界面,每层系厚度为 0.2~1.1 cm,其内部纹理清晰,丘高 0.7~1.1 cm,层系上纹层倾角均小于 20°(图 6),国内外报道的细层倾角多小于 15°^[13],可见此段层理纹层倾角较陡,姜在兴认为当波浪的周期及能量很大时,其形成的波痕多数较平缓^[14],分析认为此段丘状交错层理由周期及能量相对较小的波浪形成。孤南 15 井发现的丘状交错层理由两组层系构成,层系厚为 1.5~2.0 cm,纹层倾角均小于 15°(图 2)。丘状交错层理是由一些波状层系组成的,外形呈圆丘状,向四周倾斜,层系上部被侵蚀,纹层与层系底界近乎平行,而中部呈发散-收敛状,纹层倾角小,以上凸丘状层系为特征^[15-18](图 7)。丘状交错层理是风暴事件后期形成的标志性沉积构造,是由飓风下面的巨大表面重力流在近底部产生强大的摆动和多向底流改造底部床沙而形成。湖泊沉积中丘状交错层理的存在是湖泊风暴沉积的有力证据。本区发现的丘状交错层理规模较国内外报道的可能是湖相及海相中形成的层理规模小^[5,6,14,19-23],主要原因可



图 4 孤南 30 井,3565.90 m,截切

Fig.4 Gunan 30 Well,3565.90 m, truncated structure

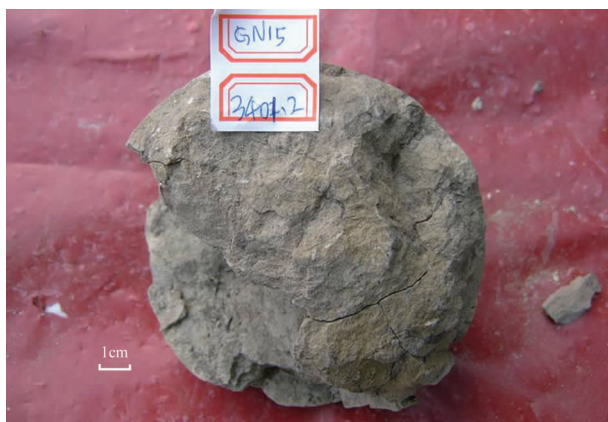


图 5 孤南 15 井,3398.40 m,灰色块状泥岩

Fig.5 Gunan 15 Well,3398.40 m, grey massive mudstone

能是湖泊面积小、水深浅、风暴能量弱,造成风暴来临时湖浪规模小,湖泊水动力弱。

2.2.4 洼状交错层理

研究区孤南 15 井中发现的洼状交错层理发育在灰色细砂岩中,叠置于丘状交错层理之上,并无分界面,由单层系构成,内部纹理不如丘状交错层理清晰,层理厚 0.9~1.3 cm,洼深 1.3 cm,纹层倾角均小于 20°(图 8)。洼状交错层理是彼此以低角度交切浅洼坑,其内充填的细层与浅洼坑底界面平行,而向上变成很缓的波状并近于平行的层理^[24,25]。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向下凹的部分,因此位于丘状交错层理之上。

2.2.5 波状层理和浪成砂纹交错层理

研究区的岩心中可观察到波状层理和浪成砂纹交错层理,孤南 15 井中发现的这两种层理与丘状交错层理、洼状交错层理共生,并位于其上,岩性为粉砂岩-泥质粉砂岩(图 8)。两种层理发育于风暴末期接近正常天气的条件,风暴沉积物受到正常湖浪的作用而产生。波状层理和浪成砂纹交错层理的存在说明了风暴岩发育的位置为正常浪基面之上,同时可作为区分风暴岩与发育于深湖环境中的浊积岩的标志。

2.3 生物逃逸迹

孤南 15 井风暴岩的粉砂岩中发现典型的生物逃逸迹,呈直管状垂直层理分布,管径一般为 2~8 mm,管长为 3~12 cm,管壁无内衬,常成组地向上终止于某一层面,管壁周围的纹层见有变形现象。该段岩心上部发育灰色块状泥岩,说明引起生物逃逸的

原因是风暴带来的快速沉积的泥岩(图 9),也是风暴沉积中常见的遗迹化石之一。风暴岩中典型的生物成因构造为生物逃逸迹。生物逃逸迹是生物为了使其居住潜穴与底质面保持适当距离,以防止被快速沉积掩埋而向上移动或沉积物被冲刷而向下掘穴



图 7 孤南 15 井,3399.40 m,丘状交错层理、洼状交错层理
Fig.7 Gunan 15 Well,3399.40 m,hummocky cross stratification, swale cross stratification



图 8 孤南 15 井 3399.30 m 洼状交错层理
Fig.8 Gunan 15 Well,3399.30 m,hummocky cross stratification



图 6 孤南 30 井,3563.90 m,丘状交错层理
Fig.6 Gunan 30 Well,3563.90 m,hummocky cross stratification



图 9 孤南 15 井 3398.80 m,生物垂向潜穴
Fig.9 Gunan 15 Well,3398.80 m,biologic vertical burrow

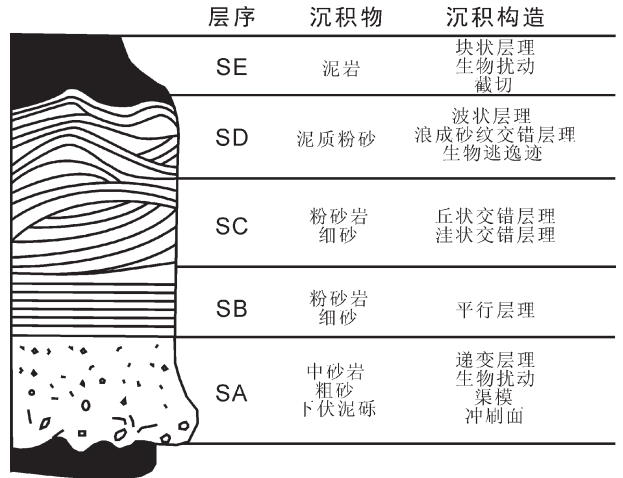


图 10 孤南洼陷沙三中段风暴岩垂向序列
Fig.10 Vertical sequence of tempestites of Middle Sha 3 Member in Gunan Sub-sag

时所形成的潜穴,是快速沉积的一个重要标志。

2.4 同生变形构造

本次研究发现的风暴岩沉积中的同生沉积构造包括重荷模、火焰状构造、泄水构造,它们均于快速沉积过程中形成^[26,27]。

2.4.1 重荷构造和火焰状构造

在孤南 15 井岩心中发现的负荷构造呈圆丘状,3 mm,火焰状泥岩高 1 cm。分析认为当被风暴搅动后沉积的泥质沉积物尚未凝固,处于可塑状态下,由于不均匀的负荷作用,上覆的砂质物陷入到泥质沉积物中,结果在上覆岩层底面上产生突起的重荷模,突起部由粗粒砂或细砾石组成,下伏软泥中的纹层发生畸变,常被向上挤入夹于下垂的负载构造之间,呈薄的舌状体,即形成火焰状构造。

2.4.2 泄水构造

在孤南 30 井发育的泄水构造,发育于渠模构造内充填的灰色夹泥岩纹层的粉砂岩中,形成砂岩柱,柱体高 4 cm,直径 0.6~1.3 cm(图 2)。泄水构造是迅速堆积的松散沉积物内由于孔隙水的泄出而形成的同生变形构造。在孔隙水向上泄出的过程中,破坏了原始沉积物的颗粒支撑关系,而引起颗粒移位和重新排列,形成新的变形构造,如碟状构造、柱状构造,生物逃逸迹常被随后的泄水作用所改造。

3 垂向沉积序列

本次发现的风暴岩沉积发育在湖水面广阔、地

形平缓的三角洲前缘及浅湖亚相中,根据对岩心的观察和研究,认为孤南洼陷沙三中亚段完整的风暴岩垂向沉积序列包括 5 段(图 10):递变层理段(SA)、平行层理段(SB)、风暴浪振荡作用段(SC)、生物逃逸迹段(SD)和正常天气沉积段(SE)。风暴岩是突发的高能风暴流的产物,由于风暴天气产生的风暴流而形成的特殊沉积组合。每一期完整的风暴事件的水动力条件变化都塑造了一套风暴岩相对应的沉积层序和沉积特征的变化。本区共识别出 14 期风暴沉积,其中在孤南 15 井岩心中观察到完整风暴岩五段连续发育,共 1.1 m 长,此段岩心为本区风暴岩沉积的存在提供了最有利的证据。

3.1 递变层理段(SA)

SA 段在本区厚约 8 cm,底部为底面侵蚀构造(渠模构造和冲刷面)。泥砾递变层理是在风暴高潮期间,风暴浪可搅动正常浪基面以下的沉积物,形成紊乱的搅动层,见生物扰动构造。

3.2 平行层理段(SB)

SB 段在本区厚约 4 cm,发育规模平行层理,岩性为细砂岩-粉砂岩。风暴高潮期过后,底部强烈的水流与悬浮状态的细砂沉积形成的产物。

3.3 风暴浪振荡作用段(SC)

SC 段在本区约厚 6 cm,发育在风暴能量减弱时期,以丘状交错层理和洼状交错层理为特征,主要出现在灰白色、灰色粉砂岩和细砂岩中。

3.4 波状层理段(SD)

SD 段在本区约厚 7 cm,发育在风暴减弱期,发育浪成砂纹交错层理、波状层理,表明在相对低能量水动力条件,流体性质已经转变为牵引流,岩性主要为泥质粉砂岩。可见垂直生物逃逸迹。

3.5 泥岩段(SE)

SE 段泥岩为泥质粉砂岩-泥岩段,底部发育截切构造,内部见生物扰动,块状层理,为风暴结束期低流态悬浮物质形成。上覆正常天气下形成的正常的沉积。在研究区,孤南 15—SE 段上部发育浅湖相泥岩,孤南 30 井 SE 段上部发育前三角洲相泥岩。

4 结论和意义

通过对岩心观察和研究认为,孤南洼陷沙三中亚段发育湖相风暴沉积;具有风暴岩具备的沉积构造,层面构造包括:渠模、截切、风暴流形成的冲刷面;层理构造包括:块状层理、丘状交错层理、洼状交错层理、波状层理和浪成砂纹交错层理 5 种层理构造,以及生物逃逸迹和同生变形构造,这些沉积构造相互伴生而具有指相作用,对于判断风暴岩相的存在意义重大。研究区风暴岩的沉积序列可概括为“似鲍马序列”:SA,递变层理段;SB,平行层理段;SC,风暴浪振荡作用段;SD,波状层理段;SE,泥岩段。

本次风暴岩的发现,具有以下重要意义:第一,有助于对孤南洼陷沙三中亚段地层沉积时期滨浅湖范围的界定,并增加了新的沉积相类型,对建立沉积体系、洼陷的沉积演化研究具有重要意义,同时对恢复研究区古地理、古气候特征提供了线索。第二,风暴岩的发现为研究区岩石地层的划分与对比提供了重要的线索。第三,风暴岩与浊积岩相比,粒度适中、分选和磨圆较好、杂基含量低,根据前人^[13,21]研究发现原生孔隙度达 20%,有利于形成石油和天然气的良好储集空间,同时风暴岩本身也是一种较好的储集层。第四,深水泥岩的识别有利于对烃源岩的存在及其范围的判断,为进一步在该区寻找新的油气藏提供了依据。

以此文祝贺尊敬的导师李廷栋院士 80 华诞,祝愿导师健康长寿!

参考文献(References):

[1] Kelling G, Mullin P R. Graded limestone and limestone quartzite couplets: possible storm-sediments Pleistocene of Massachusetts [J].

Petrology, 1975, 38: 971-984.

- [2] Aigner T. Schill-tempestite in Oberen Muschelkalk (Trias, SW-deutschland)[J]. N. Jb. Geol Palaont Aabh, 1979, 157:326-343.
- [3] Aigner T. Calcareous tempestites: Storm-dominated stratification in upper Muschelkalk limestones (Middle Trias, SW-Germany)[J]. Cyclic and Event Stratification, 1982:181-195.
- [4] Hamblin A P, Walker R G. Storm-dominated shallow marine deposits: the Fernie-Kootenay (Jurassic) transition [J]. Southern Rocky Mountains. Can J Earth Sci., 1979, 16:1673-1690.
- [5] Paolo Monaco, Hummocky cross-stratifications and trace fossils in the Middle Toarcian of some sequences of Umbria-Marche Apennines[J]. Geobios., 1994, 27: 679-688.
- [6] 刘宝珺, 许效松, 罗安屏, 等. 中国扬子地台西缘寒武纪风暴事件与磷矿沉积[J]. 沉积学报, 1987, 5(3):28-39.
- Liu Baojun, Xu Xiaosong, Luo Anping, et al. Storm events and phosphate deposition in Cambrian on the western margin of the Yangtze platform, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1987, 5(3): 28-39(in Chinese with English abstract).
- [7] 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 lower Permian of Silong, Xingwen, Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 1986, 60(1):55-67 (in Chinese with English abstract).
- [8] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 2001.
- Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001 (in Chinese with English abstract).
- [9] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2003:347-351.
- Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003:347-351 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张乐, 姜在兴, 郑宁, 等. 孤南洼陷新生代构造演化特征及其对沉积的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3):29-34.
- Zhang Le, Jiang Zaixing, Zheng Ning, et al. Tectonic evolution and its control on the Mesozoic sedimentation system in Mesozoic of Gunan subsag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(3):29-34 (in Chinese with English abstract).
- [11] Brenchley P J. Storm Influenced Sandstone Beds [M]. Modern Geology, 1985, 9:369-396.
- [12] 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, Xichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24 (1):81-86 (in Chinese with English abstract).
- [13] 吴崇筠, 袁亦楠, 朱国华. 风暴浪形成的丘状交错层理和洼状交错层理[J]. 石油勘探与开发, 1983, 4:77-80.
- Wu Chongjun, Qiu Yinan, Zhu Guohua. Hummocky cross stratification and swaley cross stratification causing by storm wave [J]. Petroleum Exploration and Development, 1983, 4:77-80 (in Chinese with English abstract).

- [14] 姜在兴, 赵澄林, 刘孟慧. 东濮凹陷西部湖相风暴沉积的初步研究[J]. 沉积学报, 1990, 8(2):107-113.
Jiang Zaixing, Zhao Chenglin, Liu Menghui. The preliminary study of lacustrine tempestites of western Dongpu depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8 (2):107-113 (in Chinese with English abstract).
- [15] Green Wood B, Sherman D J. Hummocky cross-stratification in the surf zone: flow parameters and bedding genesis [J]. Sedimentology, 1986, 33 (1):33-45.
- [16] Duke W L. Hummocky cross-stratification, tropical hurricanes and intense winter storms[J]. Sedimentology, Vol. 32, 1985. 167-194.
- [17] Dott Jr R H, Bourgeois J. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequence [J]. Geol. Soc. Am. Bull., 1982;663-680.
- [18] Bose P K, Chanda S K. Storm deposits and hummocky cross-stratification: a geological viewpoint [J]. Quart. Jour. Geol. Min. Met. Soc. India, 1986, 58(1):53-68.
- [19] 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 Zongju, Deng Hongying. Upper Proterozoic Lower Paleozoic tempestites characters and their environmental significance to Huainan region of Anhui [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26 (5):73-76 (in Chinese with English abstract).
- [20] 牟传龙. 谈谈丘状层理与风暴沉积 [J]. 岩相古地理, 1989, 6: 40-44.
Mu Chuanlong. Hummocky cross stratification and storm deposits [J]. Lithofacies Paleogeography, 1989, 6:40-44 (in Chinese with English abstract).
- [21] 高山林, 陈海泓, 窦伟坦, 等. 鄂尔多斯盆地延长组的湖泊风暴沉积[J]. 沉积学报, 1999, 17:758-762.
Gao Shanlin, Chen Haihong, Dou Weitan, et al. Lacustrine storm sediment in Yanchang formation of Ordos basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17:758-762 (in Chinese with English abstract).
- [22] 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 character and models of Paleogene tempestites in Huimin Sag, Shandong Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24 (1):43-49 (in Chinese with English abstract).
- [23] 吝文, 姜在兴, 向树安, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田下二叠统下石盒子组盒 2 及盒 3 段风暴岩研究[J]. 2008, 10(2): 167-174.
Lin Wen, Jiang Zaixing, Xiang Shu'an, et al. Researches on tempestites of the Member 2 and Member 3 of Lower Permian Xiashihezi Formation in Daniudi Gasfield, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 10 (2):167-174 (in Chinese with English abstract).
- [24] 冯增昭. 中国沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 1994.
Feng Zengzhao. Sedimentology of China [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1994 (in Chinese with English abstract).
- [25] Tillman R W. Swaley cross-stratification and associated feature, Upper Cretaceous western interior Seaway of United States [J]. AAPG Bulletin, 1986, 70(5):656.
- [26] 沉积构造与环境解释编著组. 沉积构造与环境解释 [M]. 北京:科学出版社, 1984.
Editing group of sedimentary structures and environmental interpretation. Sedimentary Structures and Environmental Interpretation [M]. Beijing:Science Press, 1984 (in Chinese with English abstract).
- [27] 张金亮. 东濮凹陷沙三段的风暴沉积 [J]. 沉积学报, 1988, 6 (1): 50-57.
Zhang Jinliang. The tempestites sediment in Dongpu depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1988, 6 (1):50-57 (in Chinese with English abstract).

Basic characteristics of tempestite sediments of Middle Sha 3 Formation in Gunan Subsag of Bohai Bay Basin and their geological significance

ZHENG Ning¹, JIANG Zai-xing², LI Ting-dong¹,
GENG Shu-fang¹, YOU Guo-qing¹, HE You-bin³

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Resources Institute, China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 3. College of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou 43402, Hubei, China)

Abstract: This paper has proposed for the first time that tempestites were developed in the Middle Sha 3 Member of Shahejie Formation in Gunan Subsag. Based on core observation and analyses, the authors found two places of tempestites which were developed respectively in sediments of shallow lake and those of delta front. Some sedimentary structures were developed in this zone which were co-existent to serve as facies marks: Surface structures include gutter cast, truncated structure, surface of scour due to storms, whereas bedding structures include massive bedding, hummocky cross stratification, swale cross stratification, wavy bedding and wave-ripple bedding; in addition, life-escaping structures and contemporaneous deformation were also developed. The ideal vertical sequence of the tempestites in this zone is a Bouma-like sequence, and consists from bottom to top of five segments, namely SA, graded bedding; SB, parallel bedding; SC, storm wave oscillating effect; SD, wavy bedding; SE, mudstone segment. The discovery of tempestites is helpful to defining the shore-shallow lacustrine boundary, adds some new sedimentary facies types to this area, provides the new basis for lithostratigraphic division, and also supplies new space to the prospecting for ideal oil and gas reservoirs and source rocks.

Key words: Gunan Subsag; middle Sha 3 Member; tempestites

About the first author: ZHENG Ning, female, born in 1983, doctor, now engages in the study of geotectonics and energy; E-mail: zhengninglaio@163.com.