

文章编号:1673-5005(2006)04-0001-06

惠民凹陷古近系风暴沉积研究

袁 静

(中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要:利用岩心观察、薄片鉴定、粒度分析及测井解释等方法,对惠民凹陷古近系风暴沉积进行了研究。根据风暴岩的垂向序列类型、沉积构造特点和原地沉积物特征等总结出9种风暴岩序列和原地风暴岩、A型近源风暴岩、B型近源风暴岩和远源风暴岩等4种沉积模式,并总结了风暴岩的分布规律。结果表明,该凹陷风暴沉积岩石类型丰富,包括各类碎屑岩、生物灰岩和火山碎屑岩。粒度分布具有“高斜多跳一悬式”、多段式和“高斜一段式”等多种样式。沉积构造发育渠模、冲刷面、截切等底层面侵蚀构造和递变层理、块状层理、丘状层理、洼状层理、平行层理等构造,还发育有波痕和各种同生变形构造、生物逃逸构造等。粒度分布和沉积构造反映出研究区兼有重力流和牵引流的水动力机制。在剖面上,风暴沉积与非风暴沉积交互出现,发育程度与层位、古地形、古水深、构造位置及碎屑供给特征等条件有关;在平面上,风暴岩被非风暴岩所包围,向陆、向浅水方向一般为(扇)三角洲、滩坝沉积体,向盆地方向变为浊积岩或半深湖、深湖泥页岩。

关键词:惠民凹陷;古近系;风暴岩;沉积特征;沉积模式;分布规律

中图分类号:TE 121.3 **文献标识码:**A

Study of tempestite sedimentary of Paleogene in Huimin depression

YUAN Jing

(Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum,
Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: By means of core observation, thin-section analysis, granularity analysis and log analysis, the tempestite sedimentary of Paleogene in Huimin depression was studied. Nine kinds of tempestite sequences and four sedimentary models such as autochthonous coarse grain rocks, near source tempestite A, near source tempestite B and distal tempestite were summarized according to vertical sequence types, structures and sediment characters. The distribution rule of tempestite was also summarized. The results indicate that the tempestite in the area has lots of rock types including clastic rocks, bioclastic limestones and volcanoclastic rocks. The cumulative probability plots have “high slope-multi-bouncing population-1 suspension population” pattern, multi-segments pattern and “high slope 1 segment” pattern. The sedimentary structures include gutter cast, surface of scour, cut structure, graded bed, massive bedding, hummocky cross stratification (HCS), parallel bedding, ripples, contemporaneous deformation and Fugichnia. The grains distribution and sedimentary structures show that the transportation medium is characterized by tractive current and gravity flow synchronously. The tempestite and non-tempestite occur alternately in vertical section. The development of tempestite is related to stratum, ancient landform and water depth, tectonic location and clast supply. The tempestite is encircled by non-tempestite in horizontal section. The tempestite became (fan) delta, beach & bar toward the shallow water, and became turbidites or (half) deep lake clay stone towards basin.

Key words: Huimin depression; Paleogene; tempestite; sedimentary property; sedimentary models; distribution rule

风暴沉积研究始于对古代地层中风暴岩的探讨。早在1899年, Gilbert就报道了“纹层呈上穹状, 三维大小和形状的丘状层理和滩槽层理”, 并认

为是浅海地带大风暴波流作用的结果。20世纪60年代, 国外学者对风暴沉积的研究逐渐兴起。自从 G. Kelling 和 P. R. Mullin^[1] 提出风暴岩 (Tem-

收稿日期: 2006-03-05

基金项目: “十五”国家科技攻关项目(2001BA605A09)

作者简介: 袁静(1972-), 女(汉族), 山东肥城人, 副教授, 博士, 从事储层沉积学和石油地质综合研究。

重力流特点,如商67井2371.68 m处的风暴沉积物(图2(b))。

第三种类型是“高斜一段式”,曲线基本由一条斜率较高(60°~70°)的直线段组成(即使有分段,各

段斜率相似而且均较高),其悬浮沉积特征不同于牵引流,其高斜率分选好而有别于一般的重力流沉积,这正是风暴流沉积的典型特点(图2(b)),商67井2355.47 m)。

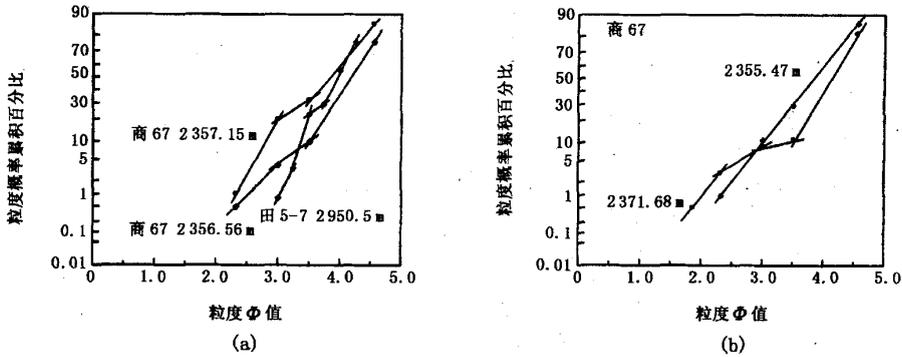


图2 惠民凹陷古近系风暴沉积粒度概率

2.3 沉积构造特征

岩心观察表明,研究区古近系反映风暴流沉积的沉积构造十分丰富,类型多样(图3)。

2.3.1 底面侵蚀构造

强流体流经沉积物表面时,便形成各种侵蚀构造。保存于沉积物底面的侵蚀构造是识别风暴岩的重要标志^[9]。本区常见的侵蚀构造有渠模、冲刷面和截切构造等。

渠模也称钵模,是在风暴高峰期风暴浪引起的涡流及风暴退潮流强烈地侵蚀湖底形成的扁长状侵蚀充填构造(图3(a)),也是风暴流环境的良好指相构造。渠模类似于重力流沉积环境中的槽模,不同之处是渠模不具有方向性,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共生泥砾、砂球、撕裂屑的形式充填在渠模附近。

冲刷面是强烈的风暴流冲刷沉积基底形成的槽状凹陷或波状起伏的不平坦面,其凹凸程度反映了风暴作用的大小。研究区冲刷面呈平缓的波状、槽状,其内充填的砾岩或砂砾岩具有递变层理或块状层理,顶部具有丘状交错层理。

截切是造成研究区砂岩顶面不平整的构造之一,如田9井(图3(b)),块状层理的砂岩一侧高出,一侧变平,截切角度较大,并被泥质充填,表现为泥质冲刷砂质,它是由于风暴底部回流有很强的剪切力,使先期沉积的砂质遭到侵蚀,并被部分切去,形成了不规则的剪切面。毫无疑问,截切构造是风暴流影响湖底的可利证据。

2.3.2 波痕

除了截切构造,波痕也是造成风暴砂岩顶面不

平整的构造之一。本区内所见波痕为直脊、曲脊或音叉状,略对称,有时见浪成干涉波痕,波长约3~5 cm,波高0.3~0.6 cm(图3(m))。音叉状波痕表面发育了生物的水平蛇形迹,反映其形成于较深水环境。波痕是波浪活动最常见的鉴别标志,T. Aigner^[9]所提出的理想风暴层序与浊流层序的主要区别就在于这一点。

2.3.3 层理

惠民凹陷古近系风暴岩层理类型多样,特征各异。

(1)递变层理和块状层理。位于冲刷面之上,一般厚约10~20 cm。岩心中所见递变层理多为粗砂、细砾或生物介壳粒度向上变细的正粒序,是风暴高峰过后,随着涡流支撑力的减弱,风暴密度流按重力分异迅速沉降而成的,粒序层代表风力减弱、重力大于剪切力的沉积环境。夏气1井沙一段发育的逆粒序(图3(e))与下伏泥岩呈突变接触,可能与风暴流的动力筛选作用有关(米德尔顿,1970),也可能成由于分散压力对颗粒的分选作用(巴格诺尔德,1954,1968)^[10]。当递变层理不发育时,常形成块状层理,顶部有时被截切构造削顶。

(2)丘状、洼状交错层理和平行层理。丘状交错层理在临邑、田家、商河、临南一带风暴岩中均有发现,其内部纹理清晰,丘高1~7 cm,层系上部细层凸起呈圆丘状,下部细层与下界面平行(图3(g), (h), (i), (j)),在商13-107、商67、田9、夏气1井中均有发育,一般发育在灰色粉细砂岩中,但也有发育在红色细砂岩中的(图3(i)),推测是形成于风暴期间的激浪带^[11]。另外,在商河地区见有少量的洼状

交错层理,层面与细层均下凹呈洼状,纹层与层系界面平行(图 3(k))。本区丘状交错层理常与平行层理共生,位于块状层理、递变层理之上,多数研究者认为它是风暴浪减弱时由弱振荡水流和多向水流形

成的孤立沙波迁移造成的,是风暴作用的重要标志。平行层理(图 3(f))见于中细砂岩中,顶部常被泥岩截切,砂岩剥开面上可见剥离线理构造。

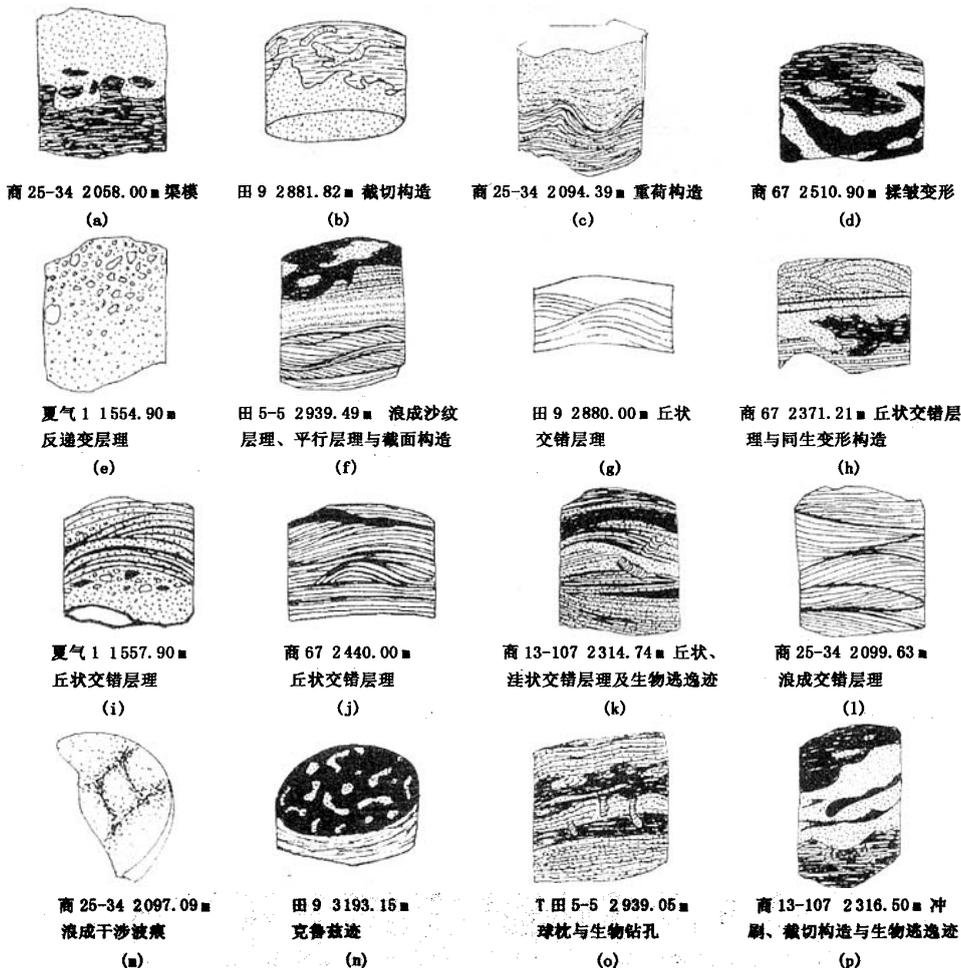


图 3 惠民凹陷古近系风暴岩主要沉积构造类型

2.3.4 准同生变形构造

本区准同生构造非常发育(图 3(c),(d)),主要有重荷构造、火焰状构造、球枕构造、包卷层理、泄水构造等。如田 5-5 井中砂岩球枕构造直径为 2~5 cm,具有纹层,但已变形,变形的纹层呈槽状向下弯曲,下伏的泥岩呈舌状伸入砂层中,形成火焰状。包卷层理作为风暴沉积序列中的一种层理类型已被众多学者所认同,早在 1986 年刘宝珺等^[12]就在四川下二叠统碳酸盐岩风暴岩介壳层中发现了包卷层理。虽然准同生变形构造可能起因于多种沉积迅速的环境,但一般来说,它们在牵引流中较少出现,多出现在事件沉积中,由于堆积速度快,来不及排水,

从而形成超孔隙压力,随后便形成一系列变形构造。

2.3.5 生物成因构造

本区与风暴作用有关的生物成因构造最重要的是生物逃逸迹(图 3(n),(o),(p))。它一般位于风暴层序的下部,是一种较细长的垂直洞穴,不具回填构造,代表了事件沉积作用的发生:当快速的沉积作用发生时,生物为了不被埋葬便向上逃逸或为避免被风暴流卷裹而向下逃逸。

3 风暴岩垂向序列类型和沉积模式

惠民凹陷古近系风暴岩的沉积序列^[13]和沉积特征在不同层位、不同地区有所差异,主要根据风暴

岩的垂向序列类型、沉积构造特点和原地沉积物特征等总结出4种风暴岩序列,各序列反映的产出环境和成因过程各不相同,图4为研究区古近系风暴岩产出环境、水动力条件和沉积模式。

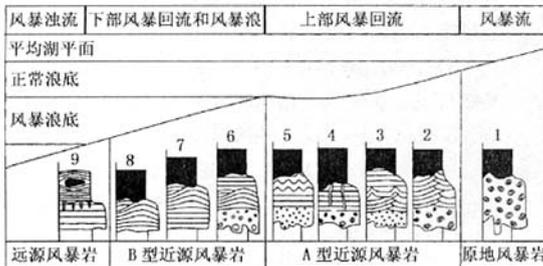


图4 惠民凹陷古近系风暴岩产出环境、水动力条件和沉积模式

3.1 原地风暴岩

序列1见于商25-34井、商67井、临10-1井沙三中亚段,田9井沙三上亚段和唐4井沙一段,由两个沉积单元组成:具渠模的递变层理块状砂砾岩、生物介壳层段;水平层理或块状层理杂色泥质岩段,底部具有明显的生物扰动。

上述Sae序列代表强烈的风暴流作用——风暴过后的快速悬浮沉积和缓慢悬浮沉积,反映风暴流于滨湖区将原地沉积物打碎、卷起、再沉积的过程,属原地风暴岩。

3.2 A型近源风暴岩

序列2见于商25-34井沙三中亚段,由3个沉积单元组成:具冲刷面的块状介壳层段;浪成砂纹层理粉细砂岩段;均质层理泥岩段,即发育Sabe序列。

序列3见于田5-5井沙三上亚段,由4个沉积单元组成具重荷构造和球枕构造的块状砂岩段;具浪成砂纹层理和包卷层理的粉细砂岩段;平行层理粉细砂岩段;均质层理泥岩段,即发育Sabce序列。

序列4见于商13-107井沙三上亚段,由3个沉积单元组成:具冲刷面的块状层理砂砾岩、生物介壳层段;平行层理粉细砂岩段,有岩脉贯穿其中;水平层理或块状层理泥质岩段,即发育Sace序列。

序列5见于田5-5井沙三上亚段,由4个沉积单元组成:具重荷构造和球枕构造的块状砂岩段;平行层理粉细砂岩段;小型波状层理粉砂岩段;均质层理泥岩段,即发育Sacde序列。

序列2~5的共同特征是Sa段发育,反映较强烈的风暴流侵蚀作用,砂岩层面常见波痕,均为风暴回流和风暴浪沉积或风暴回流改造原地沉积物而成,位于正常浪底之上。

3.3 B型近源风暴岩

序列6见于夏气1井东营组,商13-107井沙三下亚段,由3个沉积单元组成:具渠模的递变层理/块状层理砂砾岩、生物介壳层段;丘状、洼状交错层理和、或平行层理粉细砂岩段;水平层理或块状层理泥质岩段,即发育Sace序列。

序列7见于田9井沙三上亚段,由两个沉积单元组成:具平缓冲刷面的丘状交错层理粉细砂岩段;块状层理泥质岩段,即发育Sce序列。

序列8见于商67井沙三中亚段,田5-5井沙三上亚段,由3个沉积单元组成:具冲刷面的平行层理粉细砂岩段;丘状交错层理粉细砂岩段;块状层理泥质岩段,即发育Sce序列。

序列6~8的共同特征是丘状交错层理发育,砂岩层面常见波痕,反映风暴回流和风暴浪越过滩坝发生的侵蚀和沉积作用,代表风暴流作用—风暴浪作用—风暴过后的快速悬浮沉积和缓慢悬浮沉积过程。

3.4 远源风暴岩

序列9见于临深1井沙三上亚段,由两个沉积单元组成:平行层理粉细砂岩段,顶部与泥页岩突变接触;具扁平红色泥砾的水平层理粘土岩段,底部有较强的生物扰动。

序列9不具丘状交错层理的Sce序列,反映风暴回流在靠近风暴浪基面附近能量衰减,已不足以对原地沉积物产生强烈侵蚀,风暴流向风暴浊流转化,从滨湖区被携带来的泥砾与细粒悬浮沉积物一起沉积,属远源风暴岩。

4 风暴岩沉积规律

惠民凹陷古近系风暴沉积在沙河街组和东营组均有发育。其物源可以是三角洲前缘砂、滩坝,也可以是扇三角洲沉积物,还可以是碳酸盐岩浅湖沉积物,甚至可以是正常浅湖—半深湖泥质沉积物。总之,在地形不很陡,水体不很深,湖盆边缘碎屑物质丰富的地质条件下,风暴流和风暴回流很容易产生,从而形成各种类型的风暴沉积。

对部分发育风暴沉积的钻井取心的统计结果表明,在地层剖面中风暴沉积与非风暴沉积交互出现,前者所占比例差异较大,分析认为这种差异性与层位、古地形、古水深、构造位置及碎屑供给特征等条件有关(表1)。

在平面上,风暴岩被非风暴岩所包围,向陆向浅水方向为(扇)三角洲、滩坝(砂质的或碳酸盐质的),

向盆地方向变为浊积岩或(半)深湖泥页岩。风暴岩在靠近物源处厚度大,砂泥比高,砂层厚,远离物源则厚度和砂泥比降低。

表1 惠民凹陷古近系风暴岩发育程度

井号	风暴沉积岩厚度与地层厚度比/%
阳 29	5.7
商 25-34	14.5
商 13-107	4.03
田 5-5	50.0
田 5-7	14.3
临 10-1	8.0
临深 1	2.0

5 结束语

惠民凹陷古近纪发育丰富的风暴沉积。该凹陷风暴岩岩石类型丰富,粒度分布和沉积构造反映出重力流和牵引流兼有的复杂的水动力机制。惠民凹陷古近系风暴岩物源相多样,发育各种类型的风暴沉积,共总结出9种风暴岩序列和原地风暴岩、A型近源风暴岩(Sa段发育)、B型近源风暴岩(丘状交错层理发育)和远源风暴岩等4种风暴岩沉积模式。在垂向剖面中,风暴沉积与非风暴沉积交互出现,发育程度与层位、古地形、古水深、构造位置及碎屑供给特征等条件有关;在平面上,风暴岩被非风暴岩所包围,向陆、向浅水方向一般为(扇)三角洲、滩坝沉积体,向盆地方向变为浊积岩或半深湖、深湖泥页岩。

参考文献:

- [1] KELLING G, MULLIN P R. Graded limestone and limestone quartzite couplets; possible storm-sediments[J]. Pleistocene of Massachusetts, *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] 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 Jin-liang. The storm deposits of Sha-3 member in Dongpu sag[J]. *Acta Sedimentologic Sinica*, 1988, 6(1): 50-57.
- [4] 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 Zai-xing, ZHAO Cheng-lin, LIU Meng-hui. The pilot study of the lake facies storm deposits in western Dongpu sag [J]. *Acta Sedimentologic Sinica*, 1990, 8(2): 107-113.
- [5] 梁桂香. 风暴沉积及其构造背景[J]. *世界地质*, 1994, 13(3): 131-143.
LIANG Gui-xiang. The storm deposits and its tectonic setting [J]. *Global Geology*, 1994, 13(3): 131-143.
- [6] 杨剑萍. 惠民凹陷中央隆起带西部下第三系沙河街组三段上部的风暴重力流沉积[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2000, 24(1): 27-30.
YANG Jian-ping. Storm deposits in the upper Sha-3 member of Eogene system in western central uplift belt of Huimin depression [J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2000, 24(1): 27-30.
- [7] 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 Yuan-sheng, ZHOU Dao-hua, GONG Shu-yun, et al. Tempestite and its palaeogeographical significance of Devonian in Jingyuan and Jingtai counties, Gansu Province [J]. *Mineral Petrol*, 2001, 21(3): 69-73.
- [8] 袁静, 杜玉民, 李云南. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 103-107.
YUAN Jing, DU Yu-min, LI Yun-nan. Probability cumulative grain size curves in terrigenous depositional environments of the Paleogene in Huimin sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 103-107.
- [9] AIGNER T. Calcareous tempestite: storm-dominated stratification in upper muschelkalk limestones (Middle Trias, SW-Germany) [M] // *Cyclic and Event Stratification*, [S. L.]: [s. n.], 1982: 181-195.
- [10] 冯增昭. 沉积岩石学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 76.
- [11] 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.
- [12] 刘宝瑛, 张继庆, 许晓松. 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 Bao-jun, ZHANG Ji-qing, XU Xiao-song. The carbonate tempestite of the lower Permian in Silong, Xingwen, Sichuan province [J]. *Acta Geologic Sinica*, 1986, 60(1): 55-67.
- [13] 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 characteristics and models of tempestites of Paleogene in Huimin sag, Shandong province [J]. *Acta Sedimentologic Sinica*, 2006, 24(1): 43-49.

(编辑 修荣荣)