

# 东濮凹陷西部湖相风暴沉积的初步研究

姜在兴 赵澍林 刘孟慧

袁政文

(石油大学)

(中原油田)

**提要** 本文在论述东濮凹陷西部下第三系沙三段湖相风暴岩沉积特征的基础上, 建立起了风暴沉积体系的模式, 探讨了古代风暴沉积在盆地演化中的发育规律和分布状况及其形成的可能性。研究表明, 风暴岩中的对称波痕可用于恢复古水深, 而风暴岩本身又是一种较好的储集层。

**主题词** 东濮凹陷 近海湖盆 风暴流 风暴岩 沉积特征 对称波痕

**第一作者简介** 姜在兴 男 27岁 硕士 石油地质

## 前言

研究区位于东濮凹陷西斜坡的胡状集油田, 西邻内黄隆起, 东靠柳屯-海通集洼陷, 面积 200 多平方公里。作为主力油层的下第三系沙三段为一套深湖浊积岩-三角洲和滨浅湖沉积序列, 但在岩芯观察中, 笔者发现不少具风暴沉积的特征。

目前国内外对风暴流及其沉积的研究都着重于海相, 而湖泊的研究很少, 古代湖相风暴岩尚未见正式报道。

## 一、沉积特征

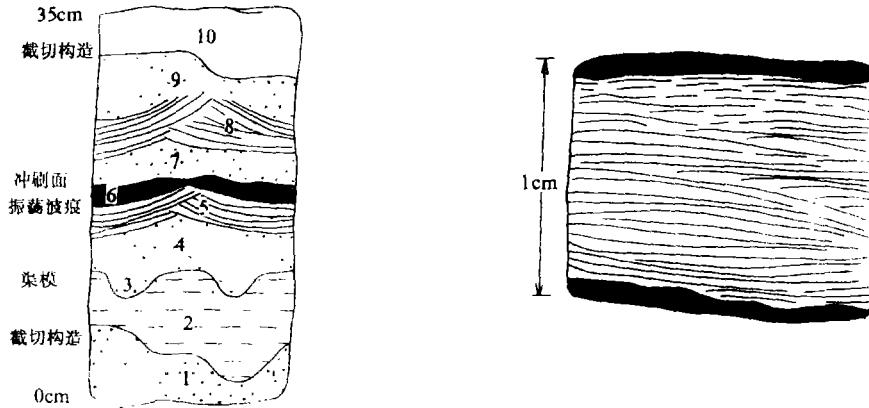
在 21 口取芯井中, 有胡 5-2、7-5、7-18、13、21、27 等井见风暴沉积, 特征归纳如下。

**1. 突变的顶, 底面接触关系** 风暴岩与上覆或下伏沉积的接触界面往往起伏不平, 在粒级上也不连续 (粒级跃变)。

顶面的不平整由两种沉积构造所致。一是截切构造, 其底为一不规则的冲刷面, 上为泥岩充填, 表现为泥质冲刷砂质 (图 1a)。风暴底部回流有很强的剪切力, 它使先期的沉积 (砂质) 遭到侵蚀而被部分切去, 形成不规则的截切面; 风暴过后, 湖水恢复平静, 于是较深湖 (晴天浪底之下) 泥岩便覆盖在截切面上。

第二种构造是浪痕, 共发现 30 多处。一般发育在粉细砂岩中, 有尖脊对称的、圆脊对称的、尖脊不对称的和圆脊不对称的四种。其上有时为暗色泥岩沉积, 在胡 7-18 井中见到泥岩仅保存于波谷中, 形成溢出构造。本区的波痕多数较平缓, 波长 5.0—11.0cm, 波高 0.5—1.8cm, 波痕指数 5.0—12.0; 顶面见生物的爬迹。大量波痕的发育是风暴岩区别于浊积岩的重要标志, 也使得其顶面变得很突出, 所以 M.W.Fenton 等 (1985) 也把风暴岩叫做尖顶浊积岩。

底面的不平整有三种情况: 冲刷面、工具痕和渠模, 其中以后二者最有代表性。渠模是



- 1、(Sa) 块状粗砂岩 2、(Sd) 断续纹层泥质粉砂岩 3、(Sa) 递变粗砂岩 4、(Sb) 平行层理中细砂岩  
 5、(Sc) 浪成槽状层理细砂岩 6、(Sc) 深灰色泥岩 7、(Sb) 平行层理细砂岩 8、(Sc) 浪成槽状层理细砂岩  
 9、(Sb) 平行层理中砂岩 10、(Sc) 黑灰色泥岩、页岩

图 1、风暴岩的沉积特征。a、示截切构造、渠模、浪成槽状交错层理及风暴沉积的层理，胡 7-5 井；b、HCS，胡 5-2 井

- 1、剥离线理砂岩，三角洲胡 5-2 井 2、立状交错层理砂岩，Sc，胡 13 井 3、递变砂砾岩，Ta，胡 13 井

Fig.1 Sketched sedimentary characters of tempestite at Huzhuangji

一种扁长的冲刷-充填构造。在胡 7-5 井的同一块岩芯上见到两个渠模 (图 1a)，渠的两壁一侧垂直切入下伏断续纹层粉砂岩中，另一侧相对缓些，底平或下凸；渠深在不同切面上不同，约 1.5—2.5cm，宽 2.0—2.5cm，长度推测至少有十几厘米；内部充填着块状或递变 (含砾) 粗砂岩；两个渠的延伸方向不平行，显然不是槽模。另外，风暴流还可形成工具痕，以不具方向性为特征。刺痕和拖痕在本区常见。风暴流携带的砾石和粗砂 (“工具”) 常以一定的角度冲击底床上的细粒沉积，当它们呈棱角状时形成锥形坑，圆度好时留下圆形坑，统称为刺痕。胡 7-5 井取芯上还见两条长沟，是风暴流拖动植物茎形成的拖痕。拖起的沉积物堆于一处，而两条拖痕也在这里交会而消失，说明风暴流的方向是多变的。

**2、波浪形成的层理构造** 风暴岩沉积于晴天浪底以下，风暴浪底之上，始终都受风暴浪的作用。丘状交错层理是其伴生的构造之一，本区较常见。特征是由许多大的宽缓波状层系组成，外形呈圆丘状，顶面可具圆脊对称波痕，波高 0.4cm；底部同下伏泥岩呈侵蚀接触，丘高 4.0—6.0cm、宽约 20.0—40.0cm (图 1b)。见于粉细砂岩中。

影响 HCS 发育的因素有三个。a、沉积物的粒径。HCS 形成于悬浮物质的加积，而粗的颗粒不易悬浮，极细的又难于在短时间内沉积下来，故以粉细砂最合适。本区共见 HCS 7 个，其中有六个为粉砂、一个为细砂岩。b、波浪的规模。如果波浪的规模较小，则质点作圆运动的轨道直径和速度也小，只能形成波痕；而大的波浪有利于 HCS 的发育。前已述及，本区的波痕多数较平缓，反映当时波浪的周期和能量很大。c、水体的温度、粘度和密度。水温降低或矿化度增大相当于使颗粒变小而利于悬浮，形成 HCS。东濮凹陷是

一个盐湖，水的密度和粘度大，利于沉积物悬浮，为形成 HCS 创造了条件。

风暴浪的振荡水流还可形成浪成槽状交错层理，由倾向相反、相互超覆的前积纹层组成，显人字形，顶部具尖脊对称波痕。同 HCS 一样，是似鲍玛序列中 Sc 的标志 (图 1a。

### 3. 低成分成熟度和较高的结构成熟度

根据镜下观察统计，风暴岩的岩屑含量平均 25%，最高达 40%，成分有盆内碳酸盐砂屑、粉屑和陆源多晶石英、燧石、中酸性喷出岩及碳酸盐岩等，反映不稳定的沉积。然而风暴又属异地沉积物，是滨浅湖滩或三角洲沉积被重新搅起、回流、再沉积的产物，加之又受风暴浪和风驱水流的作用，故有一定的分选性。表现为杂基含量低 (<15%)、分选中等，不显似斑状结构，即结构成熟度较高，这与浊积岩正好相反。在粒度概率图上，风暴岩为两段式，有牵引总体，但斜率不大，悬浮总体较发育，特征介于三角洲和浊积岩之间 (图 2)。在 C-M 图上，风暴岩以递变悬浮段为主，但也有滚动的成分，呈拉长的 S 状 (图 3)；而浊积岩只有递变悬浮段，三角洲除了滚动段外，其余各段齐全。

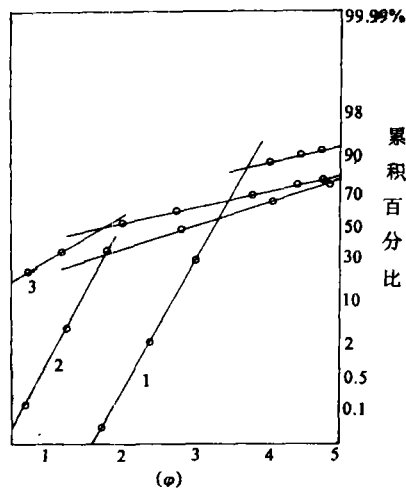


图 2、风暴岩与浊积岩和风暴沉积在粒度概率图上的差异

Fig.2 Differences in probability plot among tempestite, turbidite and deltaic deposits

4. 生物成因的觅食迹和逃逸迹 逃逸迹是一种细长的垂直潜穴，回填构造不发育，在与泥岩接触处消失。

### 5. 丰富的盆内再沉积组分

以介壳层和富集的碳酸盐内碎屑及球粒为特征。它们都是被风暴流从浅水区带来的，介形虫体腔的充填就是很好的例证。沉积在浅湖的介形虫体内首先被泥晶碳酸盐充填，而未等填满便被风暴搅起、搬运，沉积在较深湖区。其后在成岩过程中，余下的空间为亮晶所充填，特征类似于一半为泥晶、一半为亮晶的示底构造，但因它是再沉积的，故不能指示顶底。

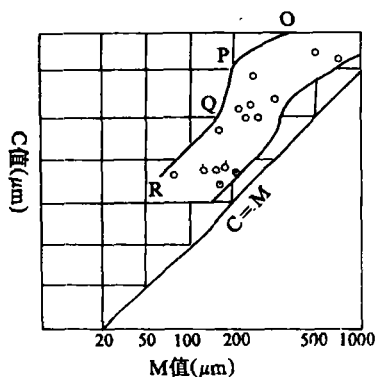


图 3. 风暴岩的 C-M 图

Fig.3 The C-M plot of tempestite

6. 垂向上的似鲍玛序列 根据大量岩芯观察，风暴岩的典型层序可归纳为五个段，称为似鲍玛序列 Sa-e。自下而上为：Sa-递变层理段。为递变层理或块状层理卵石质砂岩至细砂岩，底具冲刷面、渠模和工具痕，与下伏呈突变接触。Sb-平行层理段。由平行层理、剥离线理和流痕粉砂一中砂岩组成，底见冲刷或工具痕，顶面可有波痕。形成于风暴能量减弱、平床条件下的悬浮沉积。Sc-HCS 段。为 HCS、浪

成槽状交错层理、波状层理和上攀层理粉细砂岩。底面发育冲刷面或工具痕，顶见波痕、生物爬迹和截切构造，形成于浪成振荡水流的作用。Sd-断续纹层段。由断续纹层、透镜状层理或水平层理粉砂岩构成，顶、底平整，内见觅食迹和逃逸迹。是在风暴后期，只略受风浪影响下沉积而成的。Se-暗色泥岩段，是风暴过后，正常较深湖沉积的灰—黑灰色泥岩或页岩（图 1a）。

这种向上变细的序列形成于风暴流能量的逐渐衰减，然而一个完整的层序是难发育成的。本区出现频率最大的是 Sbc，次为 Sa-c、Sac、Sde 及 Sbe。

## 二、沉积模式

地层对比表明，风暴沉积的物源是滩和三角洲。这两种环境砂质富集，又位于浅水，故极易被风暴流搅起，在晴天浪底和风暴浪底之间形成风暴岩；当风暴能量很强时，风暴回流可穿过风暴浪底，在更深的水中形成浊积岩。这样，风暴沉积体系应由物源相、风暴相和浊积相三部分构成（图 4）。

1、物源相 指滩或三角洲。滩位于滨湖地带，与湖岸线平行，以灰色、杂色粉细砂岩

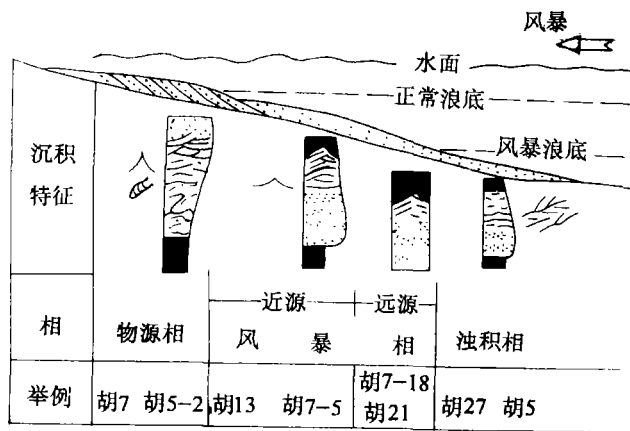


图 4、风暴沉积体系的剖面模式

Fig.4 Model in section (down) of the storm depositional system

和中砂岩沉积为主，具低角度交错层、平行层理、槽状交错层理、波状层理和变形层理等；层面见密布的炭屑，U形潜穴和扰动构造发育。三角洲平原和前缘受风浪的影响最大，也是沉积作用不稳定的部位，易发生滑塌和悬浮，是风暴沉积的重要物源。胡7井三角洲沉积的泥岩呈灰、灰绿、杂色或紫红色；砂岩为灰白及灰色粉砂—含砾砂岩，发育有前积斜层理、槽状交错层理、块状层理、冲刷面、不对称水流波痕和生物扰动、潜穴等。

物源相在风暴吹向的下游，逆风追索便是风暴沉积相了。

2、风暴相 本区的东南方向湖水较深，来自物源相的风暴流便在这时（正常浪底以下、风暴浪底之上）卸载，形成风暴沉积。

该相根据离物源的距离可分出如下两个亚相。

(1) 近源亚相 位于正常浪底和风暴浪底之间的上部，靠近正常浪底，风暴作用产生的水文现象在这里均有较强的反映。以胡7-5、胡13和胡5-2井为代表。沉积物为粉砂岩—含砾砂岩，底具渠模、工具痕和冲刷，内部发育有递变、块状、平行、丘状交错层理和浪成

槽状交错层理, 顶见浪成对称波痕。似鲍玛序列中以 Sa、Sb 和 Sc 的发育为特征, 见 Sabce、Sac、Sae 层序。砂泥比高, 约 3: 5—9: 10, 平均 4: 5。

(2) 远源亚相 位于两个浪底的下部, 靠近风暴浪底。由于水深增加, 只有周期较大的强波浪才能影响到这里。沉积物明显编细, 以粉砂、泥质粉砂岩为主, 底面构造不发育, 内部具波状层理、变形层理、上攀层理和生物扰动构造, 顶可发育浪成对称波痕。似鲍玛序列以 Sbce、Sde 为主; 砂泥比约 2: 5。

3、浊积相 风暴浪底之下的地区, 即使大的波浪也难以触及。风暴底流在这里沉积将形成深水浊积岩。这种风暴成因的浊积岩具有下列特征: ①砂泥岩互层, 泥质发育, 砂泥比约 1: 9。②泥质岩为灰黑色块状泥岩或页岩, 见深水牧食迹 *Paleodictyon*, 砂岩主要为灰色平行层理和波状、斜波状层理粉细砂岩。③发育鲍玛序列 Tbcde。

### 三、风暴沉积的规律性

#### 1、在盆地演化史上, 风暴岩发育于湖退序列的中部。

在盆地演化的早期, 构造运动往往较强烈, 水体深、地形陡, 边缘相(滨浅湖、三角洲)不发育, 不利于风暴流的形成。而在盆地演化的后期, 水体过浅, 即便有风暴作用, 其沉积也难于保存下来。只有在中期, 湖面广阔, 地形又不很陡, 边缘相也发育, 故最有到于

表 1. 正常沉积与事件沉积在地层中的比例

Table.1 Proportion in strata of normal and event deposits

过程 井	正常沉积	事件沉积	
		风暴流	洪水动流
胡 5-2	58.9%	9.1%	32.0%
胡 13	63.0%	11.8%	25.2%
胡 7-5	65.7%	4.3%	30.0%
胡 7-18	52.6%	0.6%	46.8%

风暴流的形成和沉积。研究表明, 本区砂三段大致可分出两大沉积旋回: 旋回 I 早期为典型的深湖浊积岩; 向上水体变浅, 浊积岩中偶见风暴沉积的标志(如溢出构造), 并趋向增加, 而浊积岩标志趋向减少并逐渐被风暴岩取代; 旋回顶部为滨湖滩沉积。旋回 II 与 I 类似, 也是一个向上水体变浅的湖退层序。风暴岩发育在三角洲沉积之下、浊积岩之上。可见其物源是滩和三角洲。

2、在地层剖面上, 风暴沉积与非风暴沉积交互出现,

前者仅占较小的比例。

任一剖面都可由事件沉积和正常沉积构成。事件沉积是阵发型、不连续的过程, 如浊流和风暴流; 正常沉积则具长期、连续和缓慢的特点, 三角洲、滨浅湖沉积和半深湖—深湖泥岩即是。风暴流只是其中短暂的一幕, 更多的是非风暴沉积, 表 1 的统计说明了这一点。

#### 3、在平面上的分布特征

风暴岩的四周为非风暴岩所包围, 向陆方向为三角洲或滩, 向盆地方向变为深水浊积

岩。在风暴方向上，风暴岩近源厚度大、砂泥比高，向远源区降低。与风暴砂体相邻发育的是三角洲、滩和浊积砂体。

### 四、问题讨论

#### 1. 风暴的形成

早第三纪时，由于太平洋海域向我国大陆方向的推进，东部地区受海洋气候的影响较明显，并遭受过太平洋海泛的侵袭。我国大陆上气候具分带性，渤海湾盆地位于温暖、亚热带上。与现代太平洋有孔虫和超微生物带的对比表明，位于渤海湾盆地南缘的东濮凹陷，其古气候相当于现今长江流域以南的亚热带气候<sup>①</sup>。这样，乐濮凹陷这个离太平洋不远的近海湖盆，受到来自太平洋的特大风暴（台风、飓风）的作用是不可能的。

#### 2. 风暴流和风暴沉积的形成

沙三段时期东濮凹陷湖面开阔，来自东南方向的风暴吹程约达100km，非常利于长周期大波浪的发育，使沿岸和湖底先前的沉积搅起，形成风暴流。另一方面，由于本区为一断阶状斜坡，湖底地形平坦，特别是西北部广大地区还发育有滨浅湖滩和三角洲沉积，为风暴流的形成和沉积提供了理想的物源和场所。

#### 3. 风暴岩的研究意义。

对称波痕是风暴岩中最常见的伴生构造。Komar (1974) 等研究过波痕的几何特征与波浪及水深的关系，利用他的算法可求得本区的古水深（图5）。

另外，风暴岩是一种新的储层。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，有利于储集空间的发育和流体的渗滤。镜下原生孔隙度达6%，实测连通孔隙度约20%。在岩芯上见不同级别的含油显示，有的井（如胡5-2、胡13）钻遇风暴岩的层段已经出油。

致谢下述同志的帮助和支持：中原油田地科院齐兴宇、王生郎、谈玉明、黄先雄，石油大学管守锐、信荃麟、罗冬梅，中国科学院地质研究所陈昌明等。

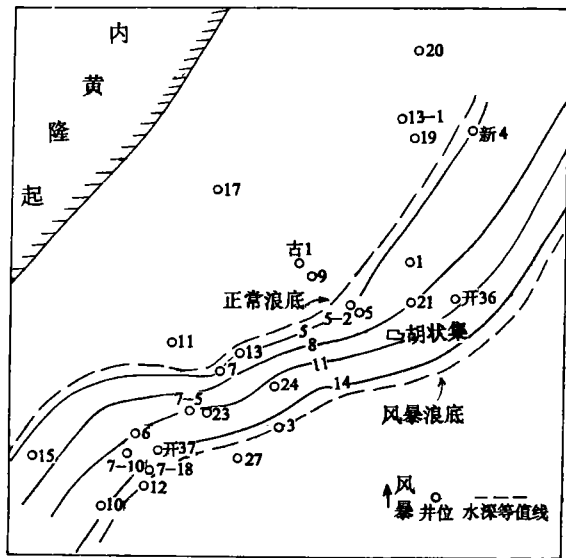


图 5、古水深等值线图

Fig.5 Paleobathymetric chart computed from symmetrical ripple marks

收稿日期 1987年8月23日

①石油勘探开发研究院等，1985，东濮凹陷下第三系的沉积、成岩与油气分布，内刊。

## 参 考 文 献

- (1) 孙顺才等, 1985, 科学通报, 29, 7期, 537-541页.
- (2) 刘宝璋等, 1986 岩相古地理基础和工作方法. 地质出版社
- (3) 吴崇筠, 1986年, 沉积学报, 4卷, 4期, 1-28页.
- (4) 赵激林等, 1984, 华东石油学院学报, 8卷, 1期, 1-28页
- (5) 姜在兴等, 1987, 华东石油学院学报, 11卷, 1期 1-9页
- (6) 李云通等, 1984, 中国的第三系, 地质出版社
- (7) Allen, J. R. L., 1982 sedimentary structures, V. 11. Elsevier scientific Publishing company, Amsterdam-Oxford-Newyork ,
- (8) Fenton, M.W. et al, 1985, Sedimentary Geology, V.45, N.1, p.231-260.
- (9) Galloway, W. E. et: al, Terregenous Clastic Depositional systems. Springer- Verlag, Newyork, Berlin, Heidelberg, Tokyo.
- (10) Komar, P.D, 1974, Journal of Sedimentary Petrology, V.44, N.1, p.169-180

**PRELIMINARY RESEARCH INTO LACUSTRINE  
STORM-CURRENT  
DEPOSITS: AN EXAMPLE FROM THE WESTERN  
DONGPU DEPRESSION**

**Jiang Zaixing Zhao Chenglin Liu Menghui**  
(East China Petroleum Institute)

**Yuan Zhengwen**  
(ZhongYuan Field)

**Abstract**

Bohai Bay basin was apparently influenced by the oceanic climate due to the pacific Ocean' s progressing to China' s continent in Eogenc.Dongpu Depression in the basin had a subtropical climate, and was not far from the Pacific.Thus the powerful storm from the Pacific used to attack the area.At the same time, Dongpu Depression was a large open lake with gentle toporgraphy and the developed delta and shore beaches, which helped form storm flow and its deposits.

Storm deposit or tempestite in the study area can be identified by:

(1) abrupt top and sole contact, (2) wave-produced beddings, (3) low maturity in composition and relatively high naturity in texture, (4) biological Fodinichia and Fugichnia, (5) Bouma-like succession, and (6) abundant resedimented intrabasinal components.

As a complete system, storm-flow depositional system consists of provenance facies, storm facies

and turbidite one. Provenance facies refers to the beach and / or delta supplying the storm flow with sufficient sandy source. The storm sedimentation facies, located between fair-weather (littoral lake) wave base and that of storm, can be subdivided into two units, proximal subfacies characterized by Sa, Sb and Sc in Bouma-like sequence and distal subfacies with Sabc and Sdc and lower sand / shale ratio. Storm waves were not available below the wave base of storm, where the unloading of storm-underflow formed deep-water storm-generated turbidite. It seems that the storm deposition followed the following rules:

- (1) tempestite developed in the middle of the lake-regressive sequence during the evolution of the basin;
- (2) tempestite is interbedded with non-tempestite and takes a smaller proportion in strata records; and
- (3) storm deposit is surrounded by aeltas and / or beaches onshore and by turbidites (flood-formed) offshore.

The discovery of ancient storm deposit is of great significance. Oscillation ripples common in tempestite have been used to evaluate paleobathymetry quantitatively. As a result, the fair-weather wave base is about 5m, and the storm one around 15m. And what is more important is that tempestite in the area acts as type of reservoir.

It is further concluded that tempestite might be widely spread in the near-sea lake basins of coastal lake basins, for example, the Eocene of Bohai Bay basin.