

东濮凹陷沙三段的风暴沉积

张金亮 寿建峰 赵激林 袁政文

(江汉石油学院、湖北沙市)

内容提要 东濮凹陷下第三系沙三段发育风暴沉积,主要特征有:(1)具重力流沉积特征的变形构造;(2)反映风暴作用的丘状交错层理、冲刷-充填构造(渠模)、浪成沙纹层理、和震荡波痕;(3)与风浪作用相关的生物活动,包括潜穴、钻孔和生物逃逸现象;(4)可与鲕相风暴岩对比的“似鲍马层序”以及(5)多变的砂层顶面形态。根据风暴砂层的性质,可将风暴岩系划分为三个微相:(1)水道充填沉积;(2)漫溢沉积微相;(3)末稍沉积微相。

主题词 湖泊风暴岩 重力流变形构造 冲刷-充填构造 生物活动 漫溢沉积微相 末稍沉积微相

第一作者简介 张金亮 男 24岁 助教 沉积岩与沉积相

一提起风暴沉积,大家便把它与海洋大陆架,或某些海滩及潮坪联系起来,非海相风暴岩的实例也未见报道。实际上,湖盆中的风暴作用在历史上是很频繁的。笔者通过对东濮凹陷下第三系的研究,认为盆地中心中央隆起带沙三段下部(S_3^{3-4})发育风暴沉积,见于桥口、文留等地区的取心中。

一、沉积特征

(一) 准同生变形构造

本区准同生变形构造十分发育,主要有重荷构造、球枕构造(图版 I, 1)、火焰构造、水下岩脉、旋涡层及包卷层理等。准同生变形构造的成因已有专门的论述^[1]。它主要由诸如差异载荷、重力滑塌和沉积物的液化及泄水等物理作用引起的。其中,液化和泄水是准同生变形构造形成的主要原因。

一般说来,准同生变形构造在牵引流中是较少出现的,因为牵引流沉积慢,颗粒多以床沙载荷的形式搬运,沉积后形成颗粒支撑结构,杂基含量少($<10\%$),水可以及时地排出,不容易形成超孔隙压力。而重力流沉积物就不同,沙泥混杂,堆积速度快,来不及排水,随后形成一系列的变形构造。风暴生成流的作用兼有重力流的特点。因此,其沉积物具有重力流沉积特征。

(二) 准同生侵蚀构造

当较强的水流经沉积物表面时,便形成了各种侵蚀构造。本区常见的侵蚀构造有冲刷面和冲刷-充填构造(图版 I, 2)。以下主要讨论冲刷-充填构造。

冲刷-充填构造为强烈的涡流所形成。R. Goldring和T. Aigner (1982) 对冲刷-充填构造进行了讨论和分析。本区此种构造有两种类型：一是切入泥岩中的砂质充填构造，出现在砂层的底部；一是切入砂岩中的泥质充填构造，出现在砂层的顶部，有时形成高角度截切。

冲刷-充填构造一般出现在洪水沉积和风暴沉积中，在浊流沉积中是罕见的。尤其是泥岩充填构造在浊积岩中缺乏。本区沙三段下部的沉积构造及其层序特点，与洪水沉积的层序 (Seilacher, 1982, Tunbridge, 1981) 是格格不入的。因此，它不是洪水所致，而是风暴生成流影响湖底的证据。

(三) 流动构造

流动构造系指沉积物在搬运和沉积时，在流体的作用下形成的构造。这里主要讨论以沉积作用为主在沉积物表面或内部形成的构造。例如波痕和层理等。

1. 波痕 (图版 I, 3)

本区所见波痕为对称和略不对称的振荡波痕，波长 3—5 cm，波高 0.2—0.5 cm，对称指数 1—1.5，波痕指数 10—15。直脊的或分叉的浪成波痕的出现，是波浪活动的最常见的鉴定标志。从直的与分叉的波脊线可把不对称波痕和水流波痕区别出来。

通过对波痕成因的沉积构造的观察，人们发现底形、流速和粒级之间有一定的相互关系。在强烈的底床剪应力的作用下，出现平床底形，而随着流速的减弱便形成浪成波痕 (Kreisa, 1981)。浪成波痕已有人用于计算古水深 (Fenton and Wilson, 1985)。本区沙三段下部“似鲍马层序”顶面出现浪成波痕也是风暴作用的证据。

2. 层理

东濮凹陷沙三段下部沉积层中的层理种类多，特征各异。主要有振荡水流形成的丘状交错层理，强风暴推移沙波而形成的板状斜层理，浪成沙纹层理及微弱振荡水流所形成的透镜层理。下面对丘状交错层理进行讨论。

丘状交错层理是一种由上凹和上凸的交错层理所组成的层理类型，以其低角度相交的曲面为特征，可据其上凸的层系特点与槽状交错层理相区别。湖泊丘状层理已有报道 (Duke, 1985)。大多数研究者认为，丘状交错层理是由振荡水流或多向水流形成的，它形成于正常浪底之下风暴浪底之上。丘状层的存在是风暴作用的标志。

东濮凹陷沙三段下部所见丘状交错层理较为特征 (图版 I, 4)，在向上变细的似鲍马层序中，其下为平行纹层，与泥岩呈侵蚀或突变接触，其上与泥岩接触。从丘状层理在构造层序中的位置可知，它不象某些研究者所描述的，为风暴作用的鼎盛期产物，而是在风暴浪减弱时由振荡水流形成的，是低流态的产物。丘状层理的内部纹理清晰，波高 1—3 cm，波长 5—8 cm，弧形纹层之间的夹角 8—10°。与国外报道的丘状层理比较，本区丘状层理的规模较小。湖泊丘状层理形成的水动力一般要比海洋中弱。湖泊中缺乏对丘状交错层理保存不利的潮汐水流等因素，因而有利于丘状层理的保存。

湖泊丘状层理的研究，有助于了解湖泊的水动力状况，并有可能对湖泊的古地理研究提供有益的设想。当时东濮盆地正处于中纬度地区，其气候相当于现今的长江流域以南的亚热带气候，因此，中纬度风暴的影响可能是频繁的。

在平行纹层砂层的剥开面上还可见到剥离线理构造。剥离线理一般产生于高流态平

床上,代表了风暴生成流活动的特高能环境。

(四) 生物成因构造

本区所见的沙三段下部的生物成因构造有生物潜穴、生物钻孔和生物逃逸等。

在本区出现的生物潜穴以垂直和倾斜的蹼状潜穴为主,多以砂/泥界面处向下发育(图版 I, 1)。生物的这一物理作用与风暴浪的作用是相关的。风暴浪的作用使得富氧的表层水与停滞的底层水混合,这样便为底栖生物群落的发育提供了良好的气体条件。一次风浪过后,便开始了底栖生物的繁盛期,生物作用的旋回性便与风浪事件的周期性存在着对应关系。生物在硬的底质上表现为钻孔。本区所见钻孔,壁面光滑,被砂质沉积物所充填(图版 I, 5)。

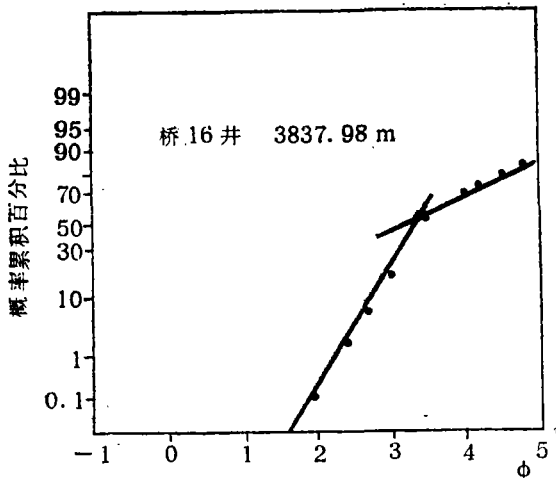


图1 风暴砂层的概率曲线

Fig. 1 Probability curve of a storm sand-layer

逃逸迹的出现指示了一种特有的事件,当快速的沉积作用到来时,生物为了不被埋葬便向上逃逸,有的生物并不一定逃脱这一灾难事件,便留下未成功的逃逸迹,生物逃逸迹常被随后的泄水作用所改造(图版 I, 6)。本区这一特有的生物成因构造特征非风暴岩莫属,是风暴浪的一套遗迹化石。

(五) 粒度特征

本区被认为风暴成因的砂层的概率曲线为两段式(图1),由跳跃总体和悬浮总体组成,跳跃总体含量为50—60%,S截点的 ϕ 值为3.5左右;跳跃总体的倾角一般为 50° — 60° ,反映了一种快速悬浮沉积的特征(Visher, 1969)。

二、沉积构造的层序特征

风暴成因的砂层的垂向层序变化较大,尤其是顶面更是多样。主要有以下几种:

1. 砂层的顶面有生物作用(图2-1)

业已述及,较深水底栖生物的物理作用与风暴浪的作用有关,砂泥界面处生物潜穴的存在,是风暴作用停歇的标志。潜穴以Skolithos型为主。

2. 砂层顶面有波痕(图2-2)

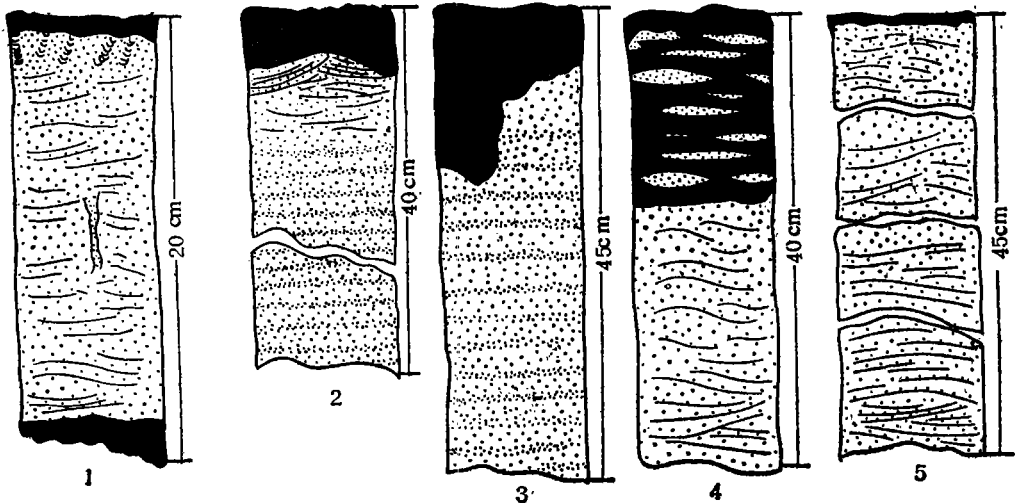
波痕为直脊的或分叉的浪成波痕,有时浪成波痕的下面可隐约见到浪成砂纹。波痕是波浪活动最常见的鉴别标志。T. Aigner (1982) 所提出的理想风暴岩层序与浊流层序的不同主要就在于这一段的不同。

3. 砂层顶面有泥质冲刷-充填构造(图2-3)

上已说明,冲刷-充填构造也是风暴砂层的一个重要特征。如大多数砂层的顶面常见这种沉积构造,作为风暴层恐怕是没什么问题的。

4. 砂层顶部有饥饿波痕 (图 2—4)

砂层的顶部通过波状层理、脉状层理或透镜层理的泥—粉砂向完全的泥岩过渡。在这些泥—粉砂岩薄层的层面上, 可显出波痕。



1. 桥 16 2. 桥 16 3. 桥 17 4. 桥 17 5. 桥 16

图 2 多变的砂岩顶面

Fig. 2 Variable sandstone tops

5. 砂层的顶面有间断面 (图 2—5)

有些向上变细的砂层的顶面, 虽然没有以上所描述的构造现象, 但砂层与泥岩是突变接触的。实际上, 所有的砂层顶面基本如此, 这一点与浊流也有区别。在浊流的沉积过程中, 砂泥混杂, 从粗到细连续地沉积; 而对于风暴沉积, 情况是不同的。正如 Seilacher (1982) 所指出的那样, 大部分风暴沉积物有强烈的预选, 便造成了一个无沉积的间断面分开了风暴砂和风暴泥的沉积。

风暴砂层的性质受多种因素控制, 不同的水深、盆地性质、地理位置及气候旋回等, 可能产生不尽相同的记录。但是, 本区风暴砂层的沉积层序除了下部递变段不发育外, 可以与鲍马层序来对应。因此, 笔者将本区沙三段下部被认为是风暴成因的砂层作一总结, 抽象出一个理想的垂向层序 (图 3)。

三、沉积相分析

(一) 微相类型及其主要特征

风暴浪对沉积物有一种选择性, 因此, 那些粒度适中的颗粒便以波浪载荷的形式离岸运动, 离岸流可以是多种因素联合作用的结果。与强风暴有关的离岸流的流向受到近岸水道的影响, 从而引起了水道沉积和漫溢沉积微相的形式。随着风暴重力流水道的延伸, 在其尽处可形成薄层砂体的均匀分布, 即所谓末稍沉积微相 (Nelson, 1981)。

1. 水道沉积微相

该微相由块状石英粉—细砂岩组成, 分布较局部, 底界具冲刷, 有时底面有砾石出

现，偶见小砾石呈弱的递变，与上覆泥岩呈突变接触，有时块状砂岩之上有几厘米厚的斜波纹层砂。这些石英砂岩基本上为钙质胶结，岩心呈青灰色，致密坚硬，储集性能差。某些平行纹层砂岩底面常见侵蚀面，并含再沉积泥砾，也可作为水道沉积。

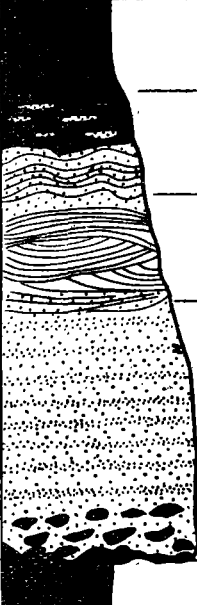
层 序	粒 度	分 段	沉 积 构 造	水 流 状 态
	泥	Se	块状泥岩	低 流 态
		Sd	透镜及压扁层理 波状层理 水平层理	
	粉砂	Sc	丘状交错层理 浪成砂 纹层理 斜坡层理 变形 层理 潜穴	高 流 态
砂	Sb	平行层理 剥离线理 生物逃逸 泥 砾 侵蚀接触		

图 3 沉积构造层序

Fig. 3 Sedimentary structure sequence

2. 漫溢沉积微相

是指近水道的席状砂沉积，这些席状砂保存于水道之间的区域内，因此，又可将它们称为水道间沉积微相，在这一微相中，平行纹层砂岩最发育，在其内部层理的表面上可证实剥离线理的存在。小型的丘状交错层理和浪成砂纹层理也较常见。有时还见到生物逃逸迹。顶面常出现上述多变的特征。水道间沉积微相以沉积层序的S_{b-e}为特点，有时出现S_{bce}、S_{be}序列。

3. 末稍沉积微相

这一沉积微相的沉积层序由S_{ce}、S_{de}组成，常与具水平纹理和块状层理的泥岩及劣质油页岩交互出现。波状层理、水平层理和透镜层理常见。薄砂层的剥开面上常显示出波痕。

(二) 相模式

在沙三段早期，东濮凹陷中央隆起尚不明显，本区接受了来自周缘的洪水重力流沉积和来自鲁西隆起的滑塌重力流沉积(如桥口20—25次芯所见)。随后中央隆起带开始形成，并发生差异升降运动，但水体仍处于半深湖与深湖地带，本区主要接受来自于马厂三角洲方向的物源，沉积物以波浪载荷的形式沿水道由马厂向桥口搬运，直达文留地区。

各微相类型与风暴浪的作用位置密切相关(图4)。

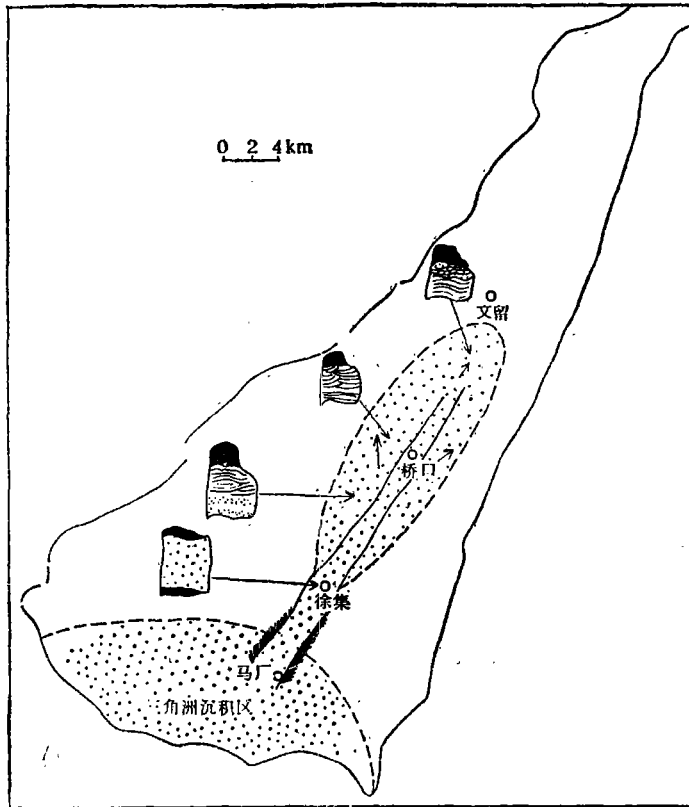


图4 相模式

Fig. 4 Facies model

四、讨 论

东濮凹陷沙三段的沉积相，是中原油田沉积相研究中最复杂、争论最多的问题之一。目前，多数人将沙三段下部的沉积相归为浊流沉积，笔者认为这一做法有些欠妥。

首先，本区所谓的鲍马层序的特点是平行纹层与下伏泥岩冲刷接触或突变接触，平行纹层中常发育剥离线理构造，波纹层段具有双向或多向水流的特点，纹理为丘状或浪成的，而且波纹层段的表面常见有振荡波痕。这就不是真正的浊流层序，因为浊流层序的波纹层段为水波迁移纹层，而且这种纹层在其表面上决不显示出波痕，即没有外部形态。业已说明，冲刷-充填构造的出现也是浊流沉积所罕见的。生物的物理作用特点与浊积岩的生物特也是不相关符合的。

通过对本区沙三段沉积特征的研究，笔者采用风暴沉积的观点来解释沙三段下部的大部分砂层。笔者对非海洋风暴沉积了解甚少，有些问题也不一定说得很清楚，请指正。

收稿日期 1986年2月1日

参 考 文 献

- [1] 沉积构造与环境解释编著组, 1984, 沉积构造与环境解释, 科学出版社。
- [2] Aigner T., 1982, Cyclic and event stratification. Ed. by G. and A. Seilacher, p.180—198, Springer-Verlag, New York.
- [3] Bourgeois J., 1980, J. Sed. Petrol. V.50, p.681—702.
- [4] Dott R.H. & Bourgeois J., 1982, Bull. Geol. Soc. Am. V.93, p.663—680
- [5] Duke W.L., 1985, Sedimentology, V.32, p.167—194.
- [6] Fenton M.W. & Wilson C.J.L., 1985, Sedim.Geol., V.45, p.231—260.
- [7] Goldring R. & Aigner T., 1982, Scour and fill; the significance of event separation, In: Cyclic and event stratification. Ed. by G. Einsele and A. Seilacher. p.354—362. Springer-Verlag, New York.
- [8] Hunter R.W. & Clifton H.E., 1982, J. Sed. Petrol. V. 52, p.127—143.
- [9] Kreisa R. D., 1981, J. Sed. Petrol. V51, p.823—848.
- [10] Kumar N. & Sanders J.E., 1976, J. Sed. Petrol. V.46, p.145—162.
- [11] Nelson C. H., 1981, J. Sed. Petrol. V.52, p. 537—545.
- [12] Seilacher A. 1982, Cyclic and event stratification. Ed. by G. Einsele and A. Seilacher. p.333—349. Springer-Verlag, New York.
- [13] Swift D. J. P. et al., 1983, J. Sed. Petrol. V. 53, p. 1295—1317.
- [14] Tunbridge I. P. 1981, Sedim. Geol. V. 28, p. 79—95.
- [15] Visher G. S. 1969, J. Sed. Petrol. V. 39, p. 1074—1106.
- [16] Walker R. G. 1979, Facies models, Geosci Canada, Reprint Ser. I ed. by R. G. Walker, p. 75—89, Kitchener Ontario, Ainsworth Press.

STORM DEPOSITS IN THE SHASAN MEMBER, OLIGOCENE, DONGPU DEPRESSION

Zhang Jinliang
Yuan Zhengwen

Sou Jianfeng
Zhao Chenglin

(East China of Institute Petroleum)

Abstract

Storm deposits are well-developed in the Shasan Member of Oligocene in Dongpu Depression. The lacustrine tempestites have many sedimentary features. (1) Penecontemporaneous deformation structures are well-developed including load structures, ball-and-pillow structures, flame structures, clastic dykes, concolute beddings, etc. The formation of these structures is related to sediment liquefaction and drain-

nage, reflecting the characteristics of gravity flows. (2) Scour-and fill structures are conspicuous and they can be divided into two types, sand-filled scours and the mud-filled ones cut into sands. The erosional structures, especially the mud-filled scours, seem to be uncommon in turbidite facies. They are the evidence of storm activity. (3) Sandstone tops of Bouma-like sequences often display oscillatory ripples. Parting lineations are often found in the parallel lamination sandstones. (4) Hummocky cross-stratifications are characterized by gently curved, low angle cross-lamination. Most researchers have specifically inferred their origin results from powerful oscillatory dominant or multidirectional flows. Despite uncertainty regarding the dynamics of formation, hummocky cross-stratification is now regarded as the best indicator of a storm influence in ancient sedimentary sequences. The absence of tidal currents in the lake greatly enhanced the potential for preservation of hummocky cross-stratification. (5) Biogenetic sedimentary structures are distinct. Storm activity may have mixed oxygen-rich surface water with stagnant basin water so as to provide more favorable conditions for development of benthic communities. After the storm is over, the sediment surface is then populated by burrowing infauna. The presence of escape burrows reflects a quick depositional event.

The sedimentary sequences of the storm sand layers can be compared with Bouma Sequence, but they display more variable sand-stone tops. There are five principal types: (a) sandstone tops modified by subsequent organic reworking; (b) wave-rippled sand-stone tops; (c) sandstone tops displaying mud-filled scours; (d) sandstone tops displaying starved ripples; and (e) sharp sandstone tops.

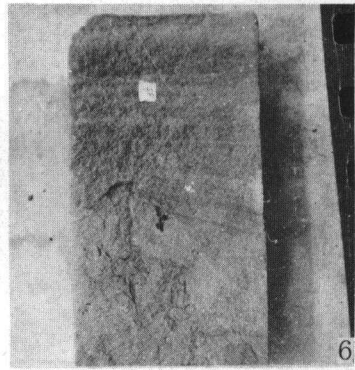
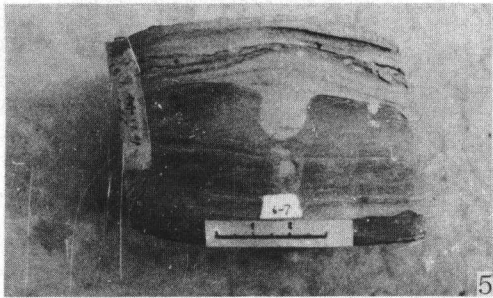
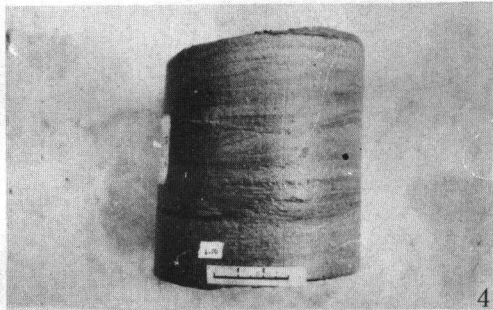
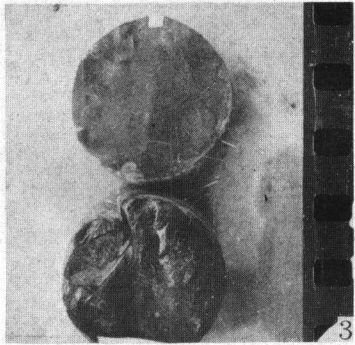
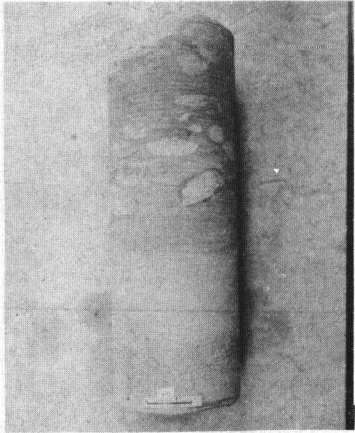
The storm layers vary between proximal and distal types: (a) channel-filled deposits, consisting of massive sandstones; (b) interchannel deposits with complete Sb-Se sequences; and (c) distal deposits, mainly consisting of thin silt beds with Sc-e, Sde. Based on single-well microfacies analysis and comparison of well-to-well correlations as well as their paleostructures, paleoclimates, sources and nature of sand layers, a facies model is presented.

张金亮等:

东濮凹陷沙三段的风暴沉积

图版 I

Zang Jinliang STORM DEPOSITS, OLIGOCENE



1. 重荷构造与球枕构造, 桥 17 井, 18 8/23 2. 冲刷-充填构造, 桥 16 井, 6 5/31 3. 似布马层序顶面的振荡波痕, 照片为剥开面, 其下为泥盖, 桥 16 井, 19 30/46 4. 一个具丘状交错层理的风暴沉积层序, 顶底面皆与泥岩突变接触, 下部为平行纹层, 向上变为丘状交错层, 桥 17 井, 12 20/36 5. 生物钻孔, 底质为低角度交错层理粉砂岩, 桥 17 井, 1 27/28 6. 未成功的生物逃逸迹, 被随后的泄水作用所改造, 桥 16 井, 11 37/46