

渤海湾含油气盆地中的浊积岩

赖婉琦 顾家裕

(中国石油学会)(石油勘探开发研究院,北京)

随着我国对油气藏勘探的深入,在渤海湾含油气盆地中相继发现了一些浊流沉积体——浊积扇。由于浊积扇位于深湖区,插入湖盆腹地生油区,它本身又有较好的储油性,因此,研究浊积扇的沉积特征及其含油性,对油气勘探具有重要的现实意义。

一、浊积扇形成的地质背景

中生代末以来,由于太平洋板块向西俯冲,使欧亚陆壳向东蠕散,在拉张应力作用下渤海湾地区形成一系列的北东向断陷-坳陷盆地。在各断陷中受局部构造的影响又形成了次一级的凹陷,在近断裂侧下降幅度大,远离断裂下降幅度小,形成一个较平缓的斜坡,一般把这类凹陷称为箕状凹陷。在这类箕状凹陷中,短轴近陡岸一侧,地形高差大,特大洪水期,携带大量碎屑物质的混浊水流进入湖区以后,由于密度较大,并具有一定的势能,它们以比较固定的流路直入湖泊深水区。即使在长轴方向上,由三角洲前缘的快速堆积,使三角洲前缘部分与前三角洲之间坡度增大,当沉积物倾斜角超过休止角时或有地震等突发性因素的触发,大量沉积物沿坡重力下滑,也形成浊流进入湖盆腹地。这一点已得到古生物组合所证实。在渤海湾盆地中沙河街组三段浊流沉积中的泥质和泥质粉砂的夹层里已见多量适于深水安静环境中生活的华北介(*Huabeinia*),纺锤玻璃介(*Fusocandona*),渤海藻属(*Bohaidina*),付渤海藻属(*Parabohaidina*),粒纹锥藻(*Conicoidium granorugosum*)。同时,在泥岩中见多量黄铁矿,是还原环境的佐证。

浊积扇沉积与湖盆的演化有着密切的关系,它往往与湖盆发育的深陷期相伴随,渤海湾地区湖盆的深陷期在区域性构造控制下,时间上略有不同,但主要集中于下第三系沙河街组沉积时期,如辽河西部凹陷沙三时期,黄骅坳陷沙一、沙三时期,东濮凹陷的沙三时期都有浊积扇的分布。

二、浊积扇沉积特征

(一) 浊积扇的形态

渤海湾断陷盆地中,浊积扇的形态强烈地受古地形控制。在短轴陡岸侧由突发性洪水所形成的浊积扇,扇根和扇中有较广的空间,扇体呈扇形,但扇缘前端较窄。而由滑塌

作用所形成的浊积扇，因形成于长轴一端，沿深湖底部前进，因而呈长条形，网状水道发育较差，有一主水道延伸较远（图1），扇缘前端宽。两种浊积扇平面形态有差别，

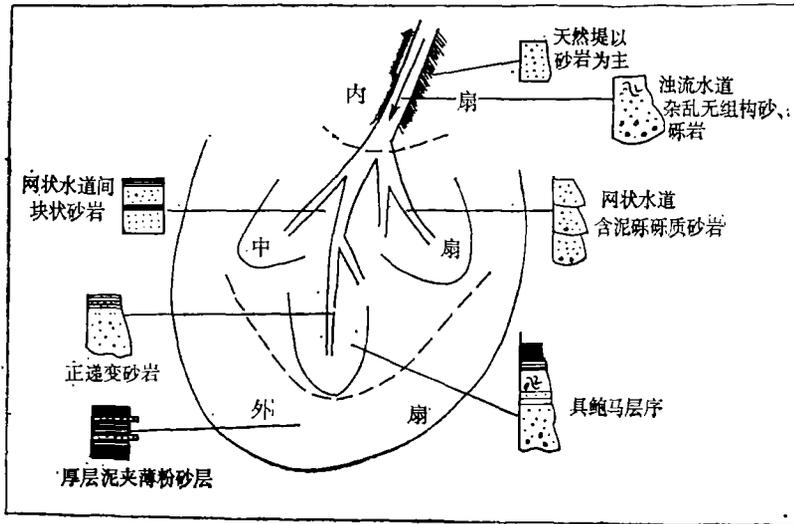


图1 浊积扇环境模式图

Fig. 1 Environmental model of turbidity fan

但在纵向和横向剖面上，浊积扇均为双凸透镜体或底凸上平的透镜体。沉积物粒度由内扇（近源部分）至外扇（远离物源端）逐渐变细，砂层厚度逐渐变薄，而泥岩厚度相反逐渐增厚，但也出现较厚砂层包裹于厚层泥岩之中。同时，由于浊流的多发性和间歇性因而在地层中可发现上下多层叠置（图2）同一层位出现互相孤立的浊积扇。

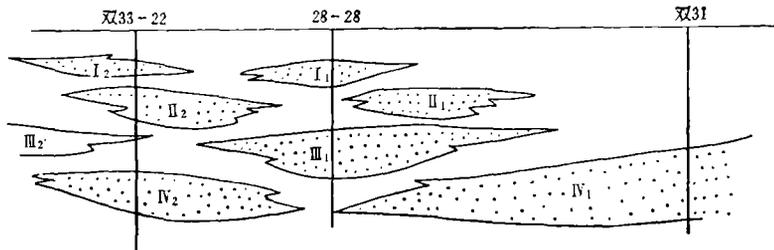


图2 桑台子构造沙河街组三段上部叠复浊积扇略图

Fig. 2 Sketch map of overlapping complex turbidity fan upper of the third member of Shahejie Formation of Shongtaizi Structure

(二) 岩石矿物学特征

浊积扇主要由砾岩、砂砾岩、砂岩、粉砂岩和暗色泥岩组成，各组分含量变化悬殊，单个旋迴厚度可以是几厘米至几十厘米，乃至几米。辽河拗陷浊积扇中砾岩含量高，以砾质砂岩、砂岩为主，单个旋回厚度几十厘米至几米。东濮凹陷中主要是粉砂岩、细砂岩、偶含细砾，单个旋回厚度仅几厘米至数十厘米。

岩石类型多为岩屑杂砂岩、硬砂质长石砂岩等，以岩屑含量高和基质含量高为特

征, 岩屑含量可达30—50%, 岩屑成分与物源有密切关系, 基质含量高达25%, 多为泥质和粉砂混合物, 岩石成熟度低。

(三) 粒度特征

1. 概率曲线 其概率曲线(图3)一般都由平缓的一条曲线组成, 没有明显的截点,

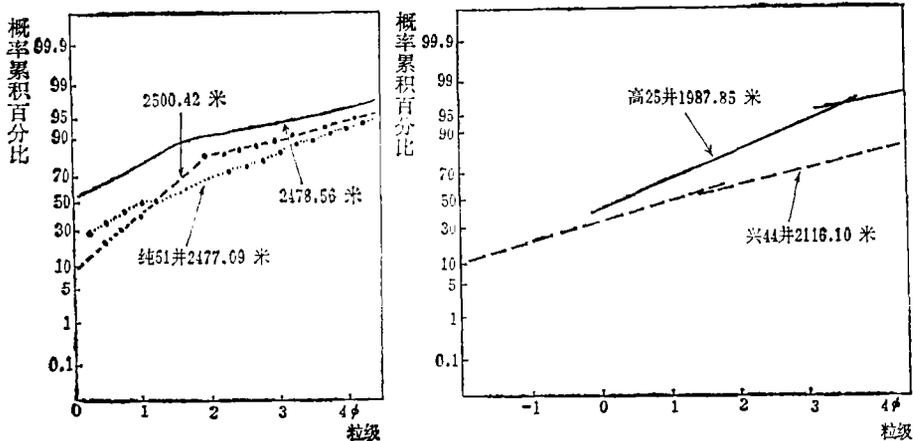


图3 概率曲线(左: 胜利油田。右: 辽河油田)

Fig. 3 The probability cumulative frequency curves (the left is Shengli Oil Field and the right is Liaohe Oil Field)

反映浊流是泥、砂混杂的流体, 在流动过程中呈递变悬浮, 所以在概率曲线图上悬浮组分比例特别高, 一般占40—70%, 如果在浊积扇的下平行层中的沉积物所作的概率曲线, 虽同样为平缓的两条交叉线段组成, 但较粗部分斜率稍大, 反映B段分选性相对略好。

2. C-M图 渤海湾各断陷盆地中许多浊积岩所作的C-M图, 基本上都与基线 $C = M$ 相平行, 反映浊流沉积物中C值的大小与M值的大小呈正比关系, 当C值增大时, M值相应增大; 反之亦然。这一事实与概率曲线所反映浊流在流动过程中沉积物大部分呈递变悬浮相一致。一般C值为100—3000微米; M值介于40—800微米之间。在辽河西部凹陷中, C值大于2000微米的区域内, C值增大时, M值基本不变或变化不明显(图4), 这种现象可能说明沉积物中携带少量的滚动组分, 因含量少, 对C值变化影响不大。

(四) 沉积构造及其组合

渤海湾盆地中有类似于鲍马序列的典型浊积岩, 这类浊积岩虽夹于深水湖相泥岩之间, 但它的根部有时与其它粗粒沉积体有一定的联系。底部有明显的冲蚀面, 其上有砾石和泥砾。砾石磨圆不好但泥砾圆度较好, 砂、泥、砾混杂, 分选很差, 具明显的正递变粒序层(A层)。向上逐渐过渡为砂级平行纹层(B层), 此层上下粒度变化不大, 相对来说泥质含量比A层少; 又上则渐变为由粉砂岩和泥质粉砂岩为主夹粉砂质泥岩的波痕纹层(C层), 此层以微波状、波状纹层为特征, 这层沉积时, 粗粒物质已大部分卸载, 由于湖水混合, 已逐渐向牵引流转化, 因此水流波痕清晰可见(图5)。最上部为泥质水平纹层(D层)。

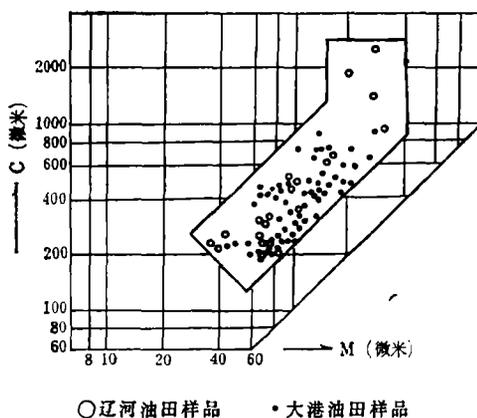


图4 浊流沉积C-M图

Fig. 4 C-M diagram of turbidity deposits

○ Sample of Liaohe Oil field
 • Sample of Dagang Oil field

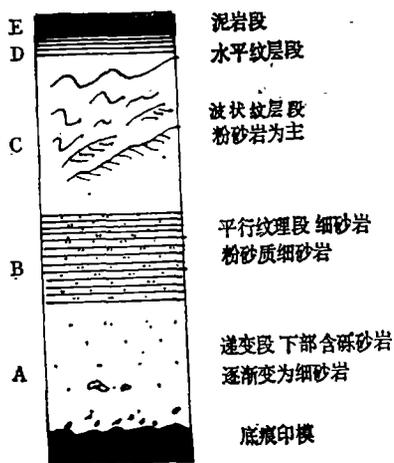


图5 东濮凹陷浊流沉积层序 I

Fig. 5 Depositional sequences I of turbidity in Dongpu depression

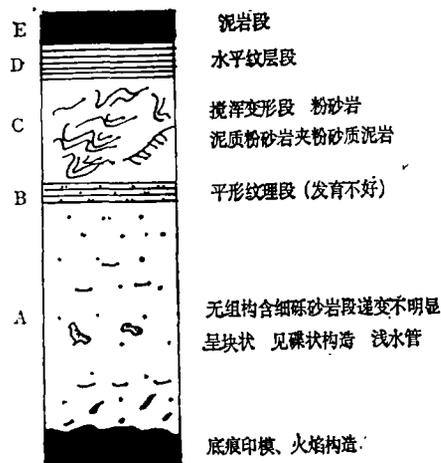


图6 东濮凹陷浊流沉积层序 I

Fig. 6 Turbidite sequences I at northern Dongpu depression

另一种为非典型（即与鲍马序列不同）浊积岩。这类浊积岩与上述第一类主要不同是在冲蚀面之上为无组构混杂砂砾岩（A层），偶见具反递变的砂砾岩，其中可见液化沉积的泥片、即碟状构造和泄水管（图6）分选性很差，递变现象不太明显，这一层特别发育。鲍马序列中的B层发育不全，有时A层之上直接覆盖湖相泥岩，有时出现类似于鲍马序列中的C、D层。但C层中变形扭曲构造特别发育，而水流的波痕纹理却较少。这可能在断陷盆地中，由于浊流的流动受到古地形的严格限制，运动距离较短，没有充足的时间和空旷的空间与湖水混合、流动形成平行层理。上部C、D层则是部分粗碎屑沉积后，密度有所降低，浊流体内部本身以扰动并与水体发生摩擦不均匀混合而使变形构造特别发育。

（五）底部构造

本区浊积扇中常见浊流在流动过程中因侵蚀底部尚未完全固结沉积物所产生的槽模和因较粗物质对底部刻画而形成的沟模，并由差异压实所形成的重荷模和火焰构造。

槽模由浊流在流动过程中侵蚀底部尚未完全固结的沉积物而形成类似匙状的凹坑，而后较粗的浊积物充填其中，在底部形成一端突起圆滑，一端平缓倾伏，平缓倾伏端为浊流的前进方向。本区槽模都成群分布，常见于粗砂-细砂岩这粒级范围。槽模长一般 5—10 厘米（最小不足 1 厘米），宽 3—5 厘米，深不超过 2 厘米。

沟模是浊流在流动过程中，由底部所携带的砂、砾、岩块或其它硬性物质在下伏沉积层上刻画出线形沟，而后被浊积物充填、覆盖，在浊积物底面上形成沟脊相间的构造，脊较尖而窄。脊间则宽而平缓，脊高一般不足 1 厘米（图 7）。

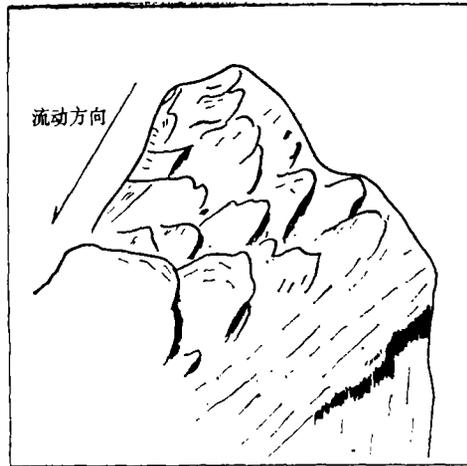


图 7 凹槽模型及沟纹模型素描图

Fig. 7 Sketch of flute cast and groove cast (the above is flute cast and the below is groove cast)

重荷模是浊流沉积的砂质物质直接覆于塑性的泥质沉积物之上，由于差异压实使砂体呈乳头状、瘤状等嵌入泥质沉积物之中，其大小不一，一般直径 1—5 厘米。

三、垂向序列组合及侧向变化

浊积扇根据其沉积特征的不同，可进一步分为五个部分：水道充填沉积，网状水道沉积，过渡带沉积（有一无网状水道沉积），无网状水道沉积，外扇沉积（图 8）。

水道充填沉积 位于扇体最上部，是浊流的主要通道，平面上呈长条形，沉积物主要由杂乱无组构或模糊递变的砾、砂，少量泥质组成，分选极差，整个层系向上呈正韵律变细有时能见碟状构造。

网状水道沉积 水道在向下游延伸过程中分叉形成网状水道，位于中扇偏上部，以砂砾岩为主但比水道沉积细，粒级递变层比较发育，偶然也见无组构的混杂层，分选性比水道沉积好。

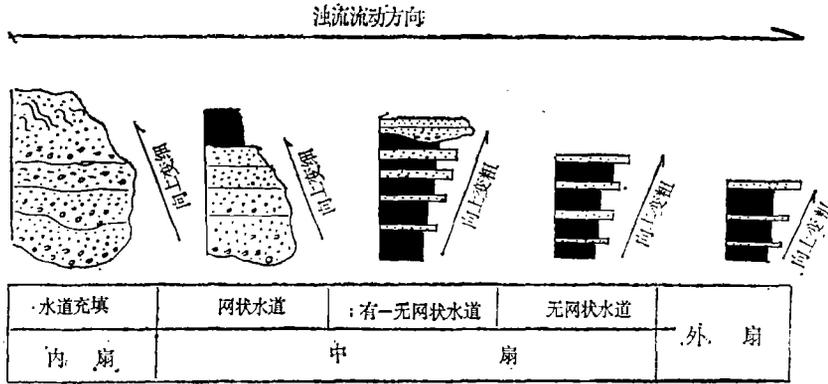


图8 浊积扇岩性变化(从内扇——外扇)

Fig. 8 Lithologic variation of turbidity fan (from inner fan to outer fan)

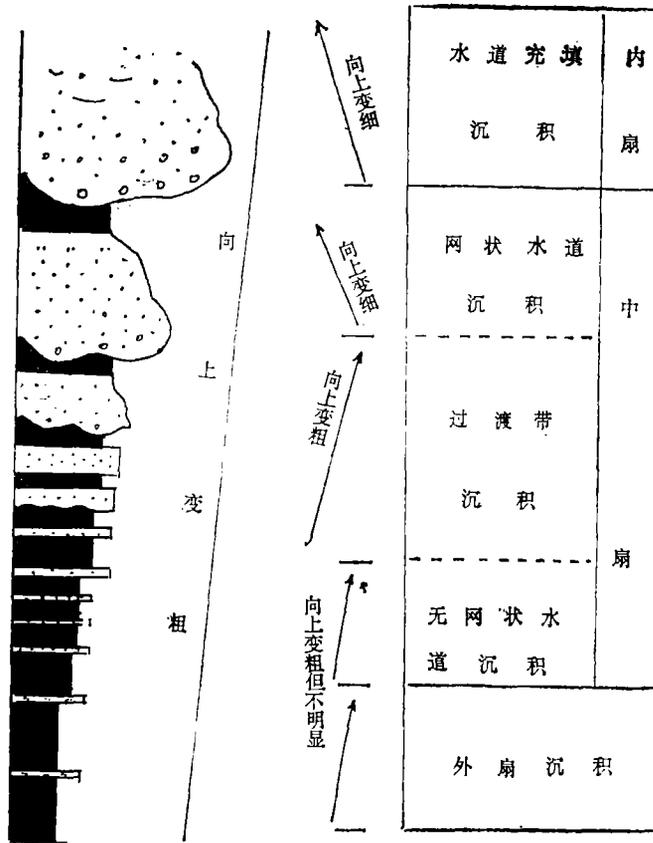


图9 浊积扇垂向地层剖面

Fig. 9 Vertical stratigraphic sequence of turbidity fan that could be developed during fan progradation

过渡带沉积 以砂岩为主, 网状水道侵蚀性地覆于砂岩或泥岩之上, 以平行层理为主, 亦见波状层理, 略具分选。

无网状水道沉积 位于扇中部分的前缘，主要由粉砂岩、细砂岩与泥岩互层组成，泥岩占有相当的比例，砂质岩则较薄，粉砂岩中波状层理变形层理较发育。

外扇沉积 为扇体的最前缘部分，与深水湖泥相接，主要为泥质沉积，具少量的薄粉砂层，以水平层理为主，也见微波层理。与湖相泥岩的主要区别在外扇沉积中常见粉砂薄层所夹泥岩大部分呈块状，层理不发育，湖相泥季候纹层不存在。

整个沉积在垂向剖面上为反韵律，岩性由下而上变粗，砂层厚度增大，而泥岩向上逐渐变薄，只在局部废弃的水道中才有较厚的泥岩，而在水道充填沉积和网状水道沉积部分则表现为正韵律，粒级向上变细（图 9）。

四、洪水浊积扇与滑塌浊积扇的比较

(一) 洪水浊积扇：

洪水浊积扇主要是由陆上河流在暴洪时期携带大量陆源碎屑物质直接进入湖盆。由

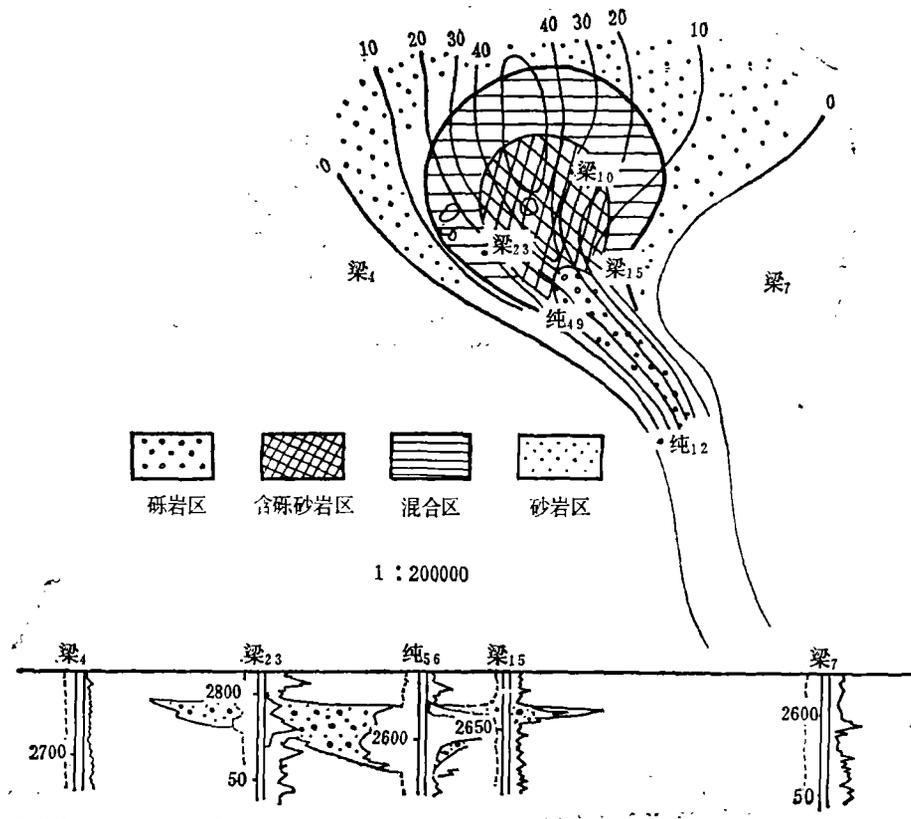


图10 纯化镇—梁家楼洪水扇形浊流砂体图（据胜利油田）

Fig. 10 Diagram of the flood turbidity sand body at Chunhuazhen-Liangjialou (after Shengli Oil Field)

于与湖水之间存在一个密度差，又具有一定的势能，因此流体仍保持其完整性，继续伸入湖盆深处，从而形成浊积扇。由于浊流源头在陆上，河流入湖后空间比较宽广，可以毫无

限制地向两侧及前缘散开,因而从形态上说一般呈扇形。洪水浊积扇中的沉积物为一次性沉积,没有经过再搬运和再沉积的过程。砂体碎屑颗粒较粗,且大小混杂,粒级差别较大,岩石成熟度低,多为A、B层, A、D层的反复叠加,完整的A、B、C、D序列较少。C层中水流波痕纹层理较发育, A层中递变层明显。这类浊积扇在渤海湾地区的断陷盆地中占有重要的地位。胜利油田济阳坳陷下第三系沙河街组三段纯化镇—梁家楼浊积体(图10)及辽河凹陷沙河街组三段曙光、杜家台、欢喜岭地区的浊积扇都属洪水浊积扇。

(二) 滑塌浊积扇:

河流携带的陆源碎屑物质在湖滨地区首先形成三角洲前缘砂体。在三角洲前缘由于快速堆积,使前缘与前三角洲之间高差不断增大,当超过休止角时或其它因素的触发引起砂体滑塌形成浊流;或者滨湖的滩坝砂体在构造和重力作用下发生滑动,这两者都能形成滑塌浊积扇。

这种浊积扇的沉积物共同特点是出现再搬运再沉积的过程。扇体的形态一般受地形的控制,主要为长条形。沉积物相对比较细,分选差,但其矿物成熟度比洪水浊积岩要好。在垂向序列中, A层十分发育,主要为杂乱无组构的砂砾岩,递变性远不如洪水浊积岩好, C层中变形构造十分发育,单层揉皱强烈。扇体中部可见较完整的鲍马序列,这一点与深海扇相类似。这类浊积扇在断陷盆地中不占主要地位。辽河兴隆台沙河街组三段的浊积体就属滑塌浊积扇(图11)。

五、浊积扇的含油性

浊积扇由于伸入深湖腹地,可与生油岩系直接接触,充分吸取生油岩系所提供的油源,周围又有泥岩作盖层,具良好的生、储、盖组合,是比较理想的隐蔽性油藏。

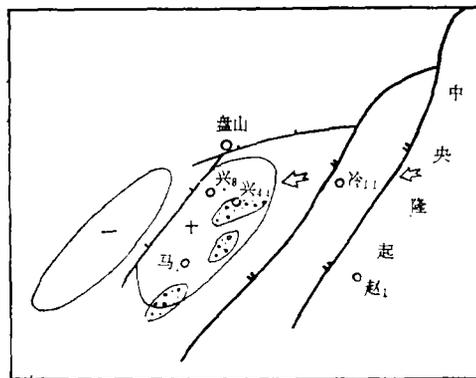


图11 兴隆台沙三上滑塌条带形浊流砂体示意图

Fig. 11 Sketch showing the slumped band turbidity sand body upper of the third member of Shahejie Formation at Xinlongtai

从扇体的平面分布看,网状水道区及中扇前缘部分储油物性较好,而内扇水道区和

外缘部分物性较差(表1)。纵向层序上,浊积扇体各段的储油物性也有较大的差异,一般以颗粒支撑的A层上部,B层及C层的一部分具较好的物性,其空隙度为17—30%,空气渗透率为300—350毫达西;而基质支撑部分则物性差,A层的下部,C层的一部分空隙度低,渗透率很差(表2)。因此,对浊积扇的勘探应注重网状水道区和中扇前缘部分,层位重点要放在B段。

表1 浊流扇体各部位空隙度与渗透率

Table 1 Porosity and permeability in different parts of turbidity fan

项 目	扇 部 位		
	网 状 水 道	扇 中 其 余 部 分	外 扇
空 隙 度	18.7%	17.0%	12.7%
渗 透 率 (毫 达 西)	136.5	102	17.7

表2 部分地区浊积扇储油物性表

Table 2 The physical nature of reservoir in turbidite fan at some areas.

井 号	项 目 序 列	孔 隙 率 %			空 气 渗 透 率 (毫 达 西)			井 段 (米)
		最 小	最 大	平 均 值	最 小	最 大	平 均 值	
锦 2—8—011 井	C 段	1.95	21.9	20.8	<1	365	115.0	2585.4
	B 段	21.2	23.5	21.4	74	383	228.5	
	A 上段	18.7	22.2	20.8	33	805	391.2	
	A 下段	15.6	18.8	17.1	15	21	19.5	
锦 2—丙6—4 井	C 段	17.8	21.1	19.8	6	45	19.8	1463.2
	B 段	10.1	25.9	18.0	873	886	879.5	
	A 段	10.6	20.4	14.7	156	7980	2120.5	
高 2—4—5 井	C 段	27.0	29.5	28.3		2015		1658.8 1663.1
	B 段	23.4	29.7	27.8	3742	5585	4301	
	A 段		29.5			1629		
井	C 段	20.7	22.0	21.3	68	163	122.7	1548.1 1549.0
	B 段	20.6	21.7	21.2		916	916	
	A 段	15.5	16.6	16.1	12	130	130	

(据郑长明, 1981)

对湖泊浊积扇的研究还刚开始,有待于继续深入,需要详细地确定其相、微相及其

沉积特征, 从而指导油气勘探开发。限于笔者水平不妥之处请指教。

本文承蒙吴崇筠教授热情支持、关心, 深表谢忱。

(收稿日期1983年11月8日)

参 考 文 献

- [1] 刘宝珺1980, 沉积岩石学, 地质出版社。
- [2] Walker, R.G., 1978, Deep-water sandstone facies and ancient submarine fan: model for exploration for stratigraphic traps. A.A.P.G. V.62 NO. 6
- [3] Lowe, D.R., 1982, Sediment gravity flow: I depositional model with special reference to the deposits of higher-density turbidity currents. J. Sed. Petro. V.52 No. 1
- [4] Reading, H.G., 1978, Sedimentary environment and facies. Blackwell Scientific Publications, Oxford London Edinburgh Melbourne

TURBIDITY FAN IN THE OIL AND GAS—BEARING BASIN IN BOHAI BAY

Lai Wanqi

(The Chinese Petroleum Society)

Gu Jiayu

(Scientific Research Institute of Petroleum
Exploration and Development, Beijing)

Abstract

Since the end of Mesozoic, Bohai Bay region has been influenced by the diving of Pacific Plate from east to west and acted by the stretching forces so as to form many fault-depressions, in which more turbidity fans are developed.

The developing stage of turbidity fans is concordant with that of the strong-sinking of lake basin. In the study region the turbidity fans distribute mainly in the third member of Shahejie Formation.

The chief depositional features of the turbidity fans are as follows.

1. The turbidity fans mainly consist of conglomerate, sandy-conglomerate, sandstone, siltstone and interbedded frequently with the dark mudstone.

They are predominately unsorted admixtures of sand and pebbles in a muddy matrix, namely greywacke, feldspathic litharenite or litharenite. They are characterized by higher rock fragment contents, ranging from 30% to 50%.

2. The cumulative probability curves of deposits in turbidity fans show a population (a gentle curve) without obvious breaker, illustrating that the turbidity is dominantly graded suspension, C-M pattern of the sediments is a rectangle parallel

to the basic line ($M=C$), value $C(1\%)$ being 100μ to 800μ , value $M(50\%)$ $40-800\mu$.

3. The primary sedimentary structures and their vertical assemblages illustrate that there are two kinds of vertical sequences, that is, classical turbidite sequence (with Bouma sequence) and unclassical turbidite sequence (without Bouma sequence).

4. Flute cast, groove cast and load cast are common in the turbidite bottom-side in this area, and sometimes the flame structure can be seen.

This paper also deals with the difference between the two kinds of turbidity fans—flood turbidity fan and slump turbidity fan.

Finally this paper discusses the oil-bearing ability in the turbidity fan.