

埕岛东斜坡水下扇沉积特征

袁向春^{1,2}, 钟建华³, 高喜龙⁴, 孙希瑞⁴, 李照延⁴

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083;

3. 石油大学地球资源与信息学院, 山东东营 257061; 4. 中国石化胜利油田有限公司海洋石油开发公司, 山东东营 257066)

摘要: 埕岛东斜坡东营组三段砂体是由水下河道控制的、具有牵引流和浊流双重沉积特征的水下扇。主要发育混杂基质支撑砾质砂岩相、含砾砂岩相、泥质支撑砂岩相和砂质粉砂岩相; 粒度粗是其主要特征; 粒序层理、块状层理、平行层理、交错层理、波状层理十分发育; 滑塌、旋卷、负荷脱水等沉积构造也十分发育; 在地震剖面上有明显河道下切现象, 呈现顶平底微下凸的宽阔半透镜体; 自然电位曲线呈正韵律, 曲线由高幅至中幅呈柱状及箱形, 与不同岩性和不同沉积相具良好对应关系。根据岩性、电性、物性分析, 研究区共识别出水下河道、道间漫溢、道间决口扇、水下天然堤、河道间泥坪、河口朵叶体及席状砂等微相, 其中水下河道为主要储集层段。

关键词: 水下扇; 重力流; 牵引流; 埕岛东斜坡

第一作者简介: 袁向春, 男, 45岁, 高级工程师(博士生), 构造地质学

中图分类号: P512.2 **文献标识码:** A

关于浊积扇的研究, 国内外已取得了大量的成果^[1~9], 并建立了众多浊积相模式^[10~11]。但大多数学者认为, 浊流是一种重力驱动的流体, 即由密度差异而产生的流体^[12]。作者通过对埕岛东斜坡东营组三段的研究, 认为该砂体是一个具有浊流和牵引流双重沉积特征的水下扇沉积。

1 构造特征

埕岛东斜坡地区位于渤海湾盆地南部的浅海海域, 区域构造上属于埕宁隆起带埕北低凸起的东南部, 为埕北低凸起东部向生油凹陷——渤中凹陷延伸的斜坡部分, 是在前第三系潜山上发育起来的披覆构造。

燕山运动末期至喜山运动初期, 埕岛地区基底整体抬升, 开始了强烈的风化剥蚀, 使早期形成的基底大断裂大都成为隐伏断层或落差很大的断层。喜山运动初期开始了断陷活动, 由于郯庐旋转构造体系的影响, 形成NW-SE走向的大断层, 控制了下第三系的沉积。下第三系沉积, 早期在潜山上升盘附近层层超覆。到下第三系沉积晚期, 埕岛地区全部被东营组覆盖。至喜山运动中期整个济阳拗陷抬起时, 埕岛地区也随之整体抬升, 形成上、下第三系较长时间的沉积间断, 致使

东营组顶部遭受到部分剥蚀。至喜山运动中晚期, 整体下沉, 沉积了作为披覆盖层的上第三系。埕岛东部从沙河街组至东营组作为一个完整的上超层序向潜山主体高部位超覆和披覆沉积。

2 沉积特征

埕岛东斜坡地区下第三系主要发育了东营组和沙河街组的一部分, 与下伏前第三系呈角度不整合接触。沙河街组三段为断陷湖盆鼎盛期发育的一套以暗色泥岩为主的半深湖-深湖相沉积, 为埕岛地区的主要生油岩系, 主要分布在潜山翼部及洼陷区。沙河街组二段、一段为一套滨浅湖相沉积。东营组为一套湖相-河流沉积, 其中东营组三段为一套半深湖-深湖相沉积, 暗色泥岩发育, 具有一定的生烃能力, 砂岩主要发育在基底断层下降盘及潜山斜坡部位, 是一个由水下河道控制的、具有牵引流和浊流双重沉积特征的水下扇; 东营组二段为一套大型扇三角洲沉积, 砂岩发育, 全区广布; 东营组一段为河流相沉积, 顶部遭受不同程度的剥蚀。埕岛东部潜山披覆构造大部分地区缺失沙河街组, 东营组下部向斜坡层层超覆, 东营组一、二段完全披覆。

2.1 岩性相标志

2.1.1 岩相

研究区东营组三段主要为浅灰色、灰白色砂

质粗砾岩、砾状砂岩、含砾中细砂岩和细砂岩; 与含砾砂岩间互的主要是灰色、深灰色泥页岩, 厚层泥页岩中常夹有灰质、白云质泥岩。泥岩厚度较大, 厚者逾 300 m。根据取芯井岩芯观察分析, 主要发育以下岩相类型。

(1) 混杂基质支撑砾质砂岩相。基质为混杂的粉砂、泥等物质, 含量可达 35%; 砾石成分以变

质石英岩、中酸性喷出岩为主, 砾石磨圆程度中等, 粒径一般为 0.5~3 cm; 粗砂和中砂是主要的碎屑成分。按粒度及岩相可分为正粒序砾质砂岩相和块状砾质砂岩相(图 1), 其中正粒序岩相一般分布在水下扇河道底部, 可用浊积岩的“A, B”来描述, 常呈现“AB”和“ABAB”组合, 厚度一般在 0.2~0.6 m。

(2) 含砾砂岩相。砾石为 0.3~0.8 cm 的次棱

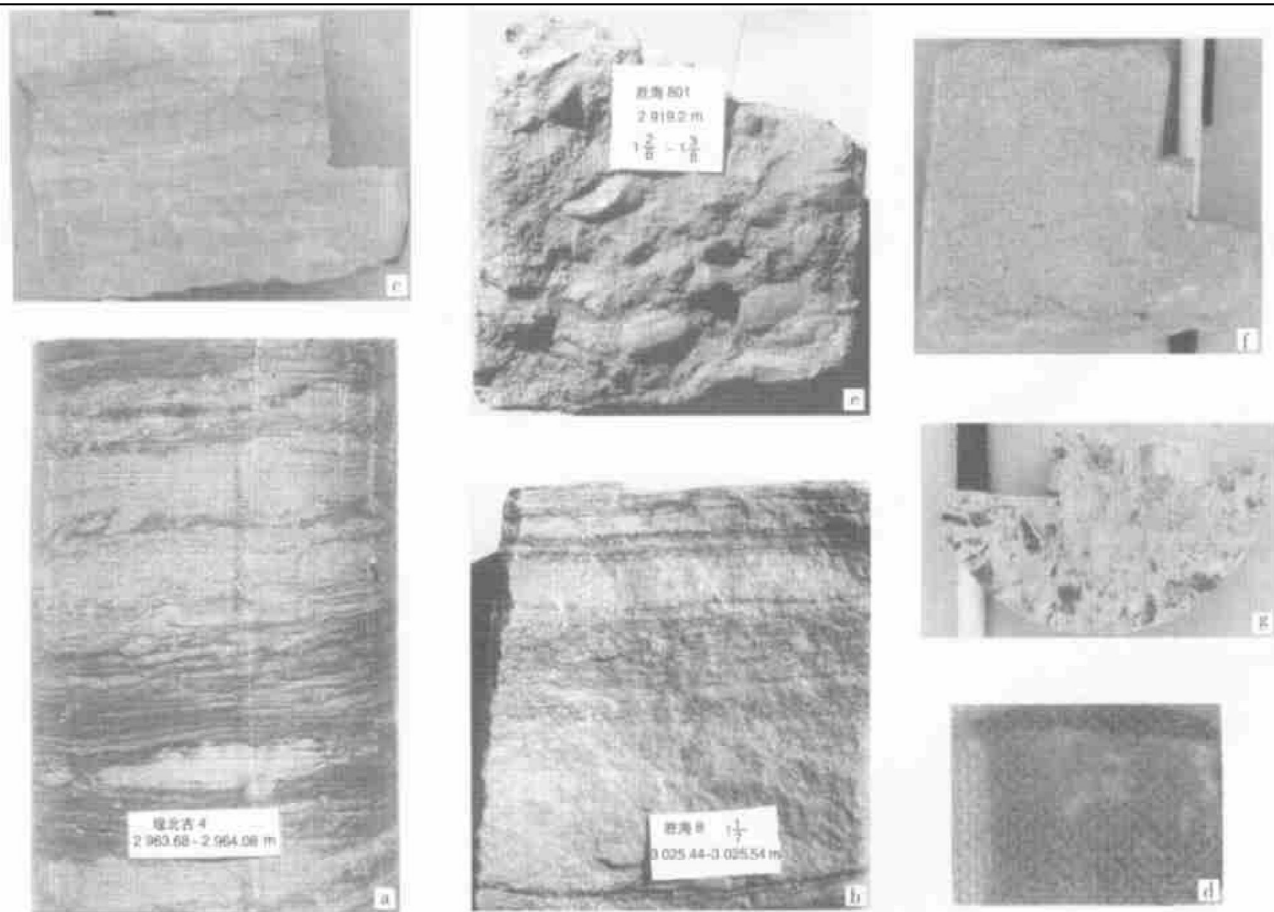


图 1 研究区沉积构造特征

Fig. 1 Characteristics of sedimentary structures in the study area

- 埕北古 4-1, 深 2 963.68~2 964.08 m, 灰绿-深灰色泥质粉砂岩, 发育了大量的细小变形构造: 砂滴、砂球及砂枕构造;
- 胜海 8[#]-3, 深 3 025.44~3 025.54 m, 黄褐色细砂岩, 夹黑色丝发状有机线理, 线理宽 0.1~1 mm, 微量油浸;
- 埕北古 403 井, 深 2 445.3 m, 交错层理发育;
- 埕北 8 井, 深 2 914.0 m, 致密含砾砂岩, 粒序层理发育;
- 胜海 801[#]-1, 深 2 919.2 m, 黄褐色砾岩, 砾石成分主要为石英岩, 直径 1~3 cm, 分选中等, 磨圆中等一较好, 杂基为中粗砂, 悬浮式胶结; 其中含少量同生泥砾, 扁平状, 长 1~3 cm, 厚数毫米, 长轴顺层面分布, 有油浸现象;
- 埕北古 4 井, 深 2 997.2 m, 块状中粗砂岩;
- 埕北古 4 井, 深 2 990.7 m, 碳质泥岩, 生物碎片发育。

角状细砾, 主要颗粒成分为粗-中砂, 砂岩成分成熟度较低, 石英含量在 40%~50%, 岩屑含量高达 25%, 以岩屑质长石砂岩为主(图 2)。发育正递变层理或块状层理以及其他交错层理。主要为河道充填沉积。

(3) 泥质支撑砂岩相。砂质多呈粒序结构, 其

中粗砂含量较大; 交错层理和粒序层理发育, 分布在河道侧缘和河口处。

(4) 砂质粉砂岩相。研究区发育砂质粉砂岩相, 由含中-粗砂粉砂岩和中-细砂质粉砂岩组成。在岩芯上, 可见到斜层理和交错层理(图 1), 反映了牵引流特征。

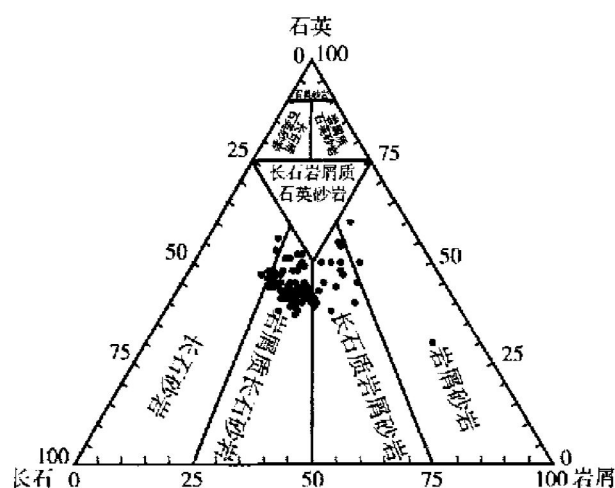
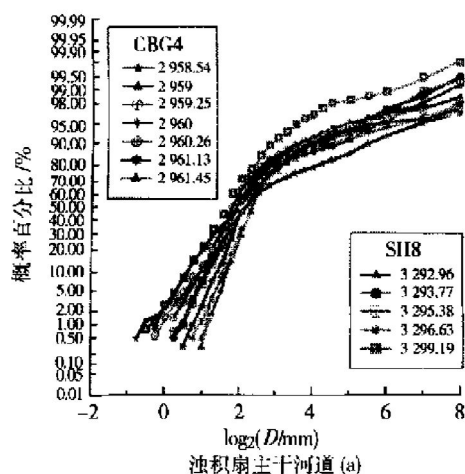
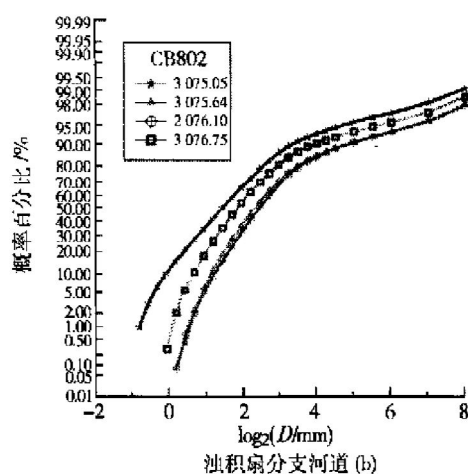


图2 砂岩成分三角图

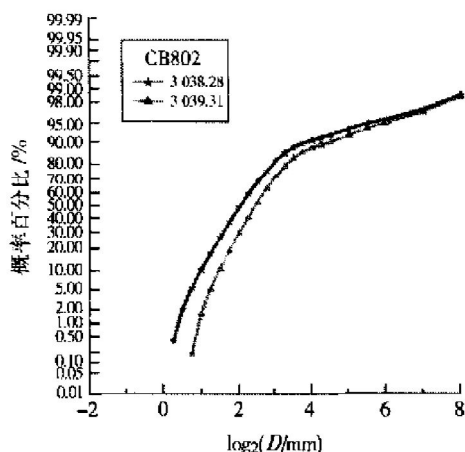
Fig. 2 Triangular diagram showing compositions of sand bodies



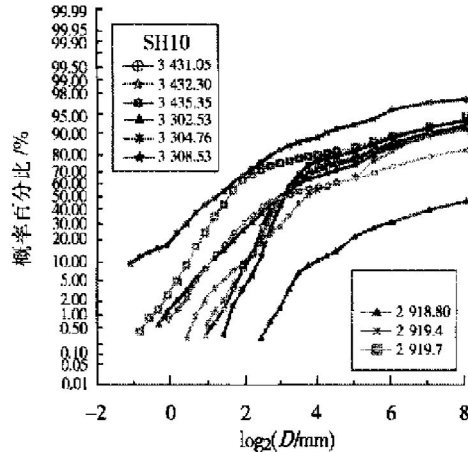
浊积扇主河道 (a)



浊积扇分支河道 (b)



浊积扇末梢河道 (c)



河口朵叶体、席状砂体 (d)

图3 粒度概率图

Fig. 3 Probability distribution of grain size

类型 II: 粒度概率曲线呈单段式, 呈现平缓的或微上凸的弧形曲线(图 3d)。样品采集于水下分支河道间、河口朵叶体和席状砂等微相处, 反映出低密度浊流的沉积特点。

通过研究区 600 个粒度资料的统计分析, 发

2.1.2 粒度

埕岛东斜坡水下扇相沉积物的粒度粗是其重要特征之一, 这反映了埕岛东斜坡水下扇能量较高, 水动力较强, 坡度较大等特征。据 5 口取芯井统计, 平均粒度中值为 0.52 mm, 分选系数 1.74。砾石在全区比较发育, 且具有一定的磨圆度, 无明显的排列方向, 大小颗粒混杂堆积, 多呈块状和粒序层理。在粒度概率图上, 主要有以下两种不同的类型, 反映了不同的水动力条件(图 3)。

类型 I: 曲线呈现双段式, 由跳跃和悬浮两个总体组成, 细截点在 2.5~3.5 左右, 以跳跃总体为主。反映了牵引流和浊流交互作用的沉积特点, 该样品一般分布在水下主河道、末梢河道处(图 3a, b, c)。

现类型 I 约占 60%, 类型 II 约占 40%, 反映了埕岛东斜坡水下扇浊流和牵引流共同作用的特点。

2.1.3 沉积构造

研究区沉积构造十分发育, 归纳起来主要有以下几种。

(1) 层理构造。研究区广泛发育粒序层理、块状层理、平行层理、交错层理、波状层理等, 还可见到压扁、透镜状层理、斜波状层理等(图1)。

(2) 同生变形构造。这类构造是埕岛东斜坡中最常见的沉积构造。它是由于沉积物的差异负载或超负载作用、沉陷作用, 在重力作用下顺坡滑动或滑塌以及沉积物的液化作用等形成的变形构造。主要有滑塌构造、旋卷层理、负荷脱水构造等; 另外, 还可见到冲刷构造、泥岩撕裂屑、丰富的碳化植物屑等(图1); 在 CBG4 井粉细砂岩中发育虫管和生物扰动构造等, 反映出短时水体变浅的沉积环境。

2.2 地震反射

在地震剖面上, 埕岛东斜坡地区东营组泥岩主要为连续性较好的、平行的、中- 强振幅的地震反射。而浊积砂体与正常的沉积岩不同, 表现为不稳定的沉积, 相带变化大, 相带的变化又引起速度的变化, 地震相表现为变振幅、短同相轴, 有时呈现叠合短轴, 一般为弱- 中振幅。由于研究区河道十分发育, 在地震剖面上明显有河道的下切现象(图4)。在地震剖面上, 呈现顶平底微下凸的宽阔半透镜体。同时, 由于地震剖面有的垂直切过河道, 有的斜切河道, 也有的顺切河道, 所以在地震剖面上呈现出不同的形态。另外, 由于陆坡坡度的变化或基准面边界条件的变化及沉积物负载或卸载, 所以沉积河道的横截面表现为由下凹到底平; 侵蚀河道则表现为具有侵蚀阶地或尖头的U形或V形剖面形态或宽阔上凹的冲蚀谷。

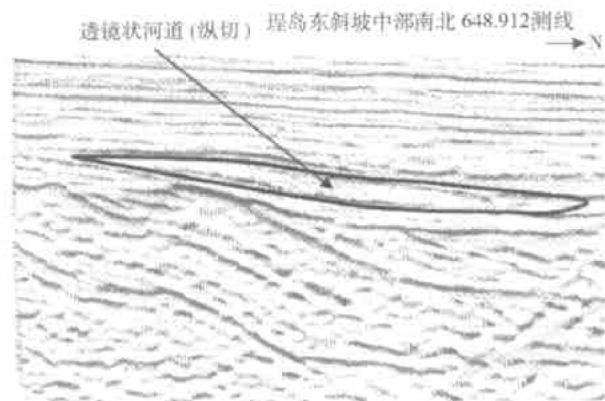


图4 埕岛东斜坡水下扇在地震剖面上的响应
Fig.4 Response of subaqueous fan in eastern slope of Chengdao in seismic profiles

2.3 测井响应

在研究区内, 自然电位曲线与不同岩性和不同沉积相单元具有良好的对应效果。水下河道沉积呈现正韵律, 曲线变化由高幅至中幅, 形态组合呈柱状及箱形; 非河道沉积的反韵律部分, 曲线变化由中幅至低幅, 变化幅度较小。另外, 通过我们的研究, 建立了该斜坡扇的沉积模式, 并绘制了沉积地貌单元的典型测井响应图(图5)。其中, 图中所有自然电位曲线均来自该区探井, 可见该区自然电位曲线与沉积相单元对应较好。

3 微相单元

根据以上岩性、电性和物性的分析, 对研究区水下扇共识别出以下几个相单元, 其中水下河道为主要的储集层段。

3.1 水下河道

水下河道(又称沟道微相)由砾石、粗砂到粉细砂岩组成, 它们构成了水下扇沉积体系的骨架, 也是东营组三段的主要储集层。由于水下河道的迁移和互相嵌套, 构成了水下河道网^[8], 控制了水下扇的发育。

水下河道的主干河道, 是快速堆积而成, 呈带状伸向湖盆的深水部位, 并渐变为次一级的河道(分支河道、末梢河道); 横向变薄过渡到河道侧缘(水下天然堤)。主干河道砂体单层厚度在5~20 m左右, 主要发育粒序层理、块状层理以及平行层理等, 在垂向上可表现出3种韵律: 即下粗上细的正韵律, 上下细中间粗的复合韵律及粒度变化不大的块状韵律。粒度概率图以双段式为主, 体现出牵引流的特点, 自然电位曲线特征以齿形柱状、中- 高幅箱形组成。水下分支河道和末梢河道以含砾砂岩、中- 细砂岩为主, 泥质夹层较多, 冲刷和充填现象常见。粒度概率图以单段式或微凸的弧线形为主, 体现出牵引流和浊流共同作用的特点。

3.2 道间漫溢

位于河道间的部分是由水流(浊流)溢出沟道在水道间沉积而形成, 但是在河道的不同部位, 溢出的水流动也差异较大, 因此可形成不同的沉积微相单元, 如道间决口扇、水下天然堤以及河道间泥坪等。

3.2.1 道间决口扇

由于研究区陡坡较陡, 流体能量大, 冲出水下

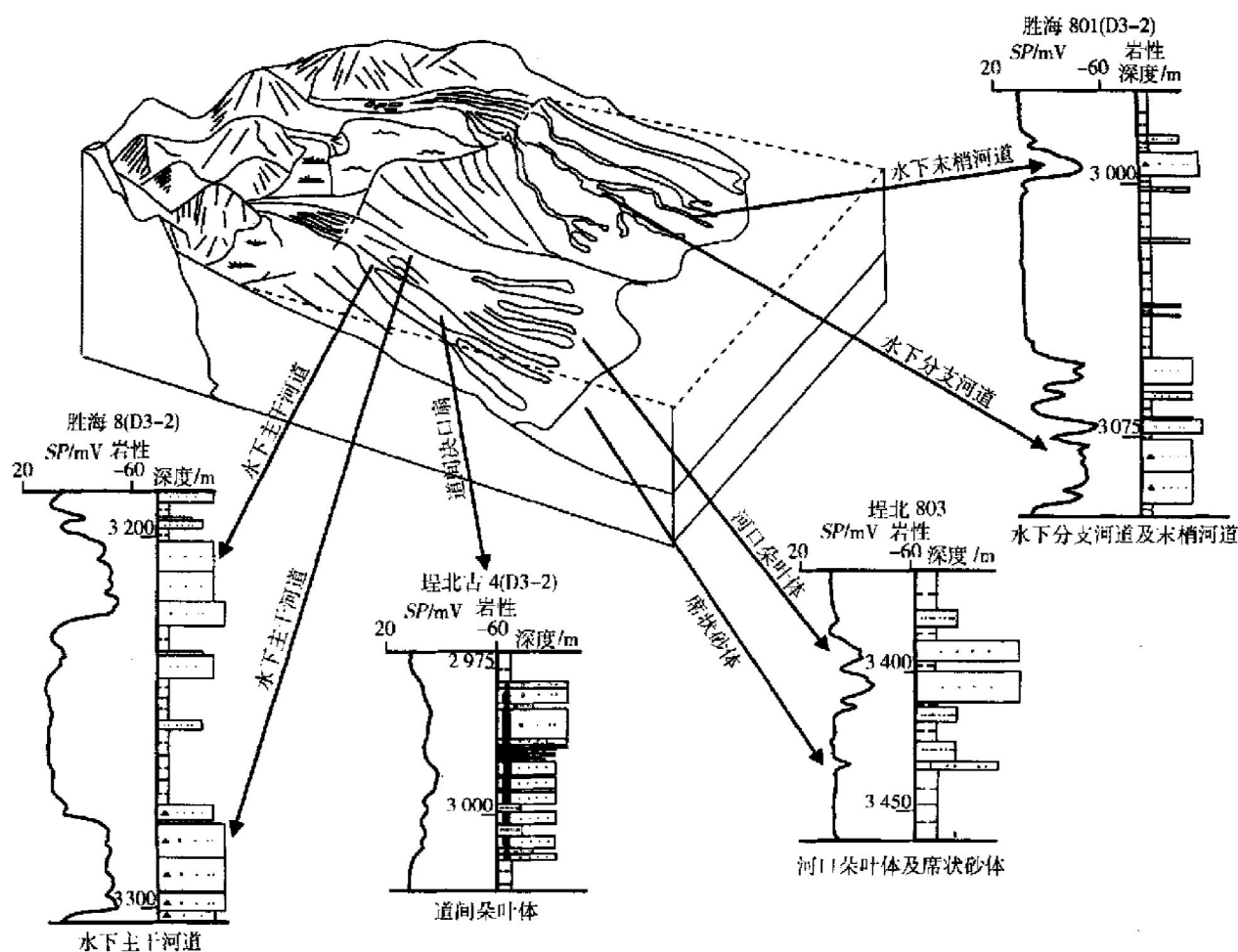


图5 沉积模式与测井响应图

Fig. 5 Depositional model and log response

天然堤后,以高密度浊流的形式在河道两侧的洼地快速堆积下来,形成粒度较粗的决口扇砂体。在较缓的区域,由于水流能量的衰减,溢出河道后已无冲蚀下伏沉积物形成水道的能力,而以低密度浊流搬运沉积物的方式形成朵状或带状砂层。决口扇砂岩的厚度小于河道。主要为砂质、粉砂质、泥质沉积物组成的薄互层。砂体的厚度一般在2~9 m,向前方可逐渐过渡为席状砂体或道间泥坪。

3.2.2 水下天然堤

主要为砂质、粉砂质、泥质沉积物组成的薄互层。由于河水的漫溢,使砂泥等物质越过河道,在河道侧缘沉积下来。因此河道侧缘沉积在垂向上表现出变粗且变厚的相序,反映河道逐渐加宽或迁移。向前逐渐变化为泥坪沉积。自然电位曲线特征以漏斗形、齿化箱形为主。

3.2.3 河道间泥坪

河道间砂体不发育的泥质沉积部分,以泥为

主,含少量粉细砂岩。自然电位曲线特征为平直。

3.3 河口朵叶体

河口朵叶体分布于末梢河道前端的砂质沉积。这些朵叶体记录了河道化的浊流减速和扩散时形成的粗粒沉积物,常呈扇形^[8];多个朵叶体叠加或斜交成扇裙状或瀑布状。砂岩厚度和粒度顺流向逐渐降低和变细,这与水流的能量有关。河口朵叶体加积层理发育。如果河道的长期活动使河口处的朵叶体不断扩展,并使粗粒碎屑叠置在细粒碎屑之上,形成向上变粗和加厚的相序;如果末梢河道的流量衰减,那么朵叶体便成为向上变细的相序。因此,在河口朵叶体中,既有正旋回,亦有反旋回。

3.4 席状砂体

席状砂体位于扇体边缘部分,与深湖泥相接,以粉细砂为主,夹薄层泥岩;以水平层理、变形层理为主。席状砂是来自河口朵叶体的细碎屑,这些细粒物质呈悬浮状态向深湖扩散沉降形成的。

参 考 文 献

- 1 赵澄林, 刘孟慧, 姜在兴, 等. 渤海湾早第三纪断陷盆地含油气岩系沉积学及沉积相的基本特征[J]. 石油学报, 1991, 12(2): 27~ 32
- 2 信荃麟, 朱筱敏, 郑清, 等. 渤海湾盆地第三系断陷湖盆沉积体系与油气分布[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1989, 13(5): 11~ 17
- 3 赖婉琦, 顾家裕. 渤海湾含油气盆地中的浊积岩[J]. 沉积学报, 1984, 2(4): 47~ 56
- 4 方爱民, 李继亮, 侯泉林. 浊流及相关重力流沉积研究综述[J]. 地质论评, 1998, 44(3): 270~ 280
- 5 刘孟慧, 赵澄林. 渤海湾地区下第三系湖底扇的沉积特征[J]. 华东石油学院学报, 1984, 3: 223~ 234
- 6 朱筱敏, 查明, 张卫海. 陆西凹陷上侏罗统近岸水下扇沉积特征[J]. 石油大学学报, 1995, 19(1): 1~ 6
- 7 端木合顺, 朱莲芳. 酒西盆地白垩统下沟组重力流水下扇沉积[J]. 沉积学报, 1990, 8(2): 72~ 83
- 8 Galloway W E. Siliciclastic slope and base of slope depositional systems: component facies, stratigraphic architecture, and classification[J]. AAPG Bull, 1998, 82(4): 569~ 595
- 9 Harold G, Marcus R. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system[J]. AAPG Bull, 1994, 78(5): 792~ 822
- 10 Ricci L F. Depositional cycles in two turbidite formations of the northern Apennines (Italy) [J]. J Sediment Petrol. 1975. 45: 3~ 43
- 11 Shanmugam G, Moiola R J. An unconventional model for the deepwater sandstones of the Jackfork Group (Pennsylvanian), Ouachita Mountains, Arkansas and Oklahoma [A]. In: Weimer P, Bouma A H, Perkins R F, eds. Submarine fans and turbidite systems: society of economic paleontologists and mineralogists [C]. Gulf Coast Section Foundation, 15th Annual Research Conference, 1994. 311~ 326
- 12 桑德斯 J E, 弗里德曼 G M. 沉积学原理[M]. 徐怀大, 陆伟文, 译. 北京: 科学出版社, 1987. 546~ 558

STUDY OF SEDIMENTARY CHARACTERISTICS OF SUBAQUEOUS FAN IN EASTERN SLOPE OF CHENGDAO

Yuan Xiangchun^{1,2} Zhong Jianhua³ Gao Xilong⁴ Sun Xirui⁴ Li Zhaoyan⁴

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong; 2. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing; 3. Geo-Resources and Information College, Petroleum University, Dongying, Shandong; 4. Offshore Petroleum Development Company, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: Sand body in the 3rd member of Dongying Fm in eastern slope of Chengdao is controlled by subaqueous channel, with subaqueous fan to be characterized by both traction and turbidity current sediments. The petrographic facies include hybrid matrix-supported gravelly sandstone, pebbled sandstone, argillaceous-supported sandstone and sandy siltstone, which are mainly characterized by coarse-grained sediments. Depositional beddings such as graded bedding, massive bedding, parallel bedding, cross-bedding and wave bedding, are well developed; and depositional structures including slump, convolute and load-dehydration, are also developed very well. Obvious channel downcutting has been recognized in the seismic profiles, which appears as wide semi-lens—being flat on the top and being slightly convex at the bottom; and the spontaneous potential log shows positive rhythm, with columnar and box-like shapes changing respectively from high amplitude to medium amplitude, which are closely related to different lithology and different depositional facies. On the basis of lithology, and electric and reservoir property analyses, depositional facies in this area can be divided into 7 micro-facies, including subaqueous channel, interchannel unconcentrated flow, interchannel splay, subaqueous levee, interchannel mudflat, river mouth lobe and sheet sand microfacies.

Key words: subaqueous fan; gravity current; traction current; eastern slope of Chengdao