文章编号: 1009-3850(2015)02-0045-09

# 埕海油田张东地区沙河街组沉积特征分析

孟元库[1]，汪新文[2]，陈 杰[2]，黄 鹏[3]

(1. 中国地质科学院地质研究所 大陆构造与动力学国家重点实验室，北京 100037；2. 中国地质大学 地球科学与资源学院，北京 100083；3. 山东省第八地质矿产勘查院，山东 日照 276826)

**摘要:** 本文通过粒度、岩性、沉积构造、测井曲线以及沉积微相平面图等资料的综合分析，结合区域地质背景，对埕海油田张东地区沙河街组沙三段、沙二段、沙一段进行了详细的划分、描述。研究区沙三段沉积呈典型的正粒序结构，上细下粗，为三角洲前缘亚相，主要砂体类型包括河口坝、水下分流河道及前缘席状砂。储层特征表现为中孔-中渗、中孔-低渗、低孔-特低渗，孔隙以粒间、颗粒和粒内溶孔为主，于晚成岩 A 阶段形成；沙二段形成于三角洲沉积环境(滨浅湖)，属于低位体系域，砂体发育，规模大，为张东地区最为有利的储集层，是今后勘探的重点靶区；沙一段主要为白云岩、泥灰岩、和油页岩的互层沉积，局部地区发育薄层粉砂岩，可以作为很好的盖层和烃源岩，沉积环境为比较闭塞的静水潟湖环境。

**关 键 词:** 张东地区；沙河街组；沉积特征；砂体类型

**中图分类号:** P512.2 **文献标识码:** A

埕海油田张东地区在构造上位于埕海油田滩海区的埕北断阶区，地理上处于河北省黄骅市张巨河村东的滩涂极浅海区域[1-2]。埕海二区主要发育张东构造。张东构造为一个受断层控制的在中生代潜山背景上发育起来的二级构造带[3]，主要由断鼻、背斜构成，面积 75km$^2$。研究区及周边地区已发现了关家堡、赵东、羊二庄、张东东、张北等含油气构造，区域构造十分有利[4]（图 1）。研究区内古近系地层主要为沙河街组和东营组，沙河街组由沙三段、沙二段、沙一段组成，在本区缺失沙四段沉积；东营组由东三段、东二段、东一段组成。其中，沙河街组为最为有利的油气勘探区段，因此对沙河街组沉积特征进行详细的研究具有重要意义[5-6]。

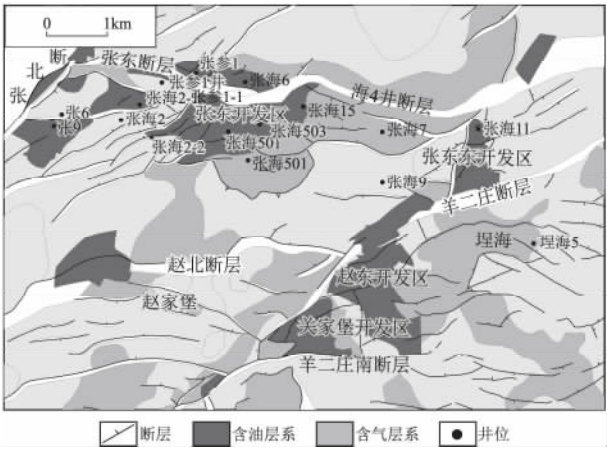


**图 1 大港埕海油田构造位置图**

Fig. 1 Tectonic setting of the Chenghai Oil Field, Hebei

**收稿日期:** 2014-04-10；**改回日期:** 2014-04-16

**作者简介:** 孟元库(1986－)，男，博士研究生，构造地质学专业。E-mail:ykmeng@foxmail.com

**资助项目:** 国家自然科学基金委创新群体项目(40921001)资助

# 1 地层特征

## 1.1 区域地层层序

根据钻井资料，研究区主要钻遇地层有：上古生界二叠系、中生界三叠系以及中－下侏罗统；新生界主要由沙河街组（Es）、东营组（Ed）、馆陶组（Ng）、明化镇组（Nm）和平原组（Qp）组成。

沙河街组三段直接覆盖在前新生代地层之上，其间缺失古近系始新统、上侏罗统和下白垩统，不整合面上、下地层变化比较明显；在新生代地层中，馆陶组（Ng）与东营组（Ed）也为区域性的角度不整合接触（表1）。

表1 埕海二区地层发育特征表

Table 1 Stratigraphic division in the second district of the Chenghai Oil Field

| 地层 | | | | 地层特征 | 沉积相 | 构造演化阶段 | 地层接触关系 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 界 | 系 | 组 | 段 | | | | |
| 新生界 | 新近系 | 明化镇组 | | 上部主要为厚层黄色砂层及泥岩，下部为灰绿色泥岩夹灰色砂岩，局部为棕红色砂岩 | 曲流河 | | |
| | | 馆陶组 | | 上部为灰色砂岩夹绿色泥岩，浅灰色细砂岩夹棕红色泥岩，下部为含砾砂岩，底部为灰色及杂色砾石层 | 辫状河 | | 不整合 |
| | 古近系 | 东营组 | | 下中部以大段灰色泥岩沉积为主，局部夹薄层粉砂岩或细砂岩，上部主要为灰色砂泥岩互层 | 三角洲 | 坳陷收缩期 | 整合 |
| | | 沙河街组 | 沙一段 | 棕褐色-灰黑色油页岩、钙质页岩、泥白云岩、粒屑灰岩组成的正旋回层序 | 半深湖-深湖相 | 强烈沉陷与坳陷扩张期 | 整合 |
| | | | 沙二段 | 灰绿色、灰色泥岩与浅灰色砂岩组成互层层序 | 三角洲 | | 不整合 |
| | | | 沙三段 | 大段暗色泥岩，局部夹砂砾岩、砂岩 | 扇三角洲 | | 不整合 |
| 中生界 | 侏罗系 | | | 由两套正旋回砂组组成，下砂组底部由巨厚砾岩、砂砾岩、砂岩组成，向上为泥岩夹中厚层含砾砂岩、中细砂岩。上砂组与下砂组相似 | 河流相 | | 不整合 |
| | 三叠系 | | | 棕红色/紫红色泥岩、砂岩、粉砂岩互层，偶夹煤线和灰岩，泥岩常含砂质，砂岩常含泥质 | 河湖相 | | 整合 |

## 1.2 沙河街组地层特征

埕海油田张东地区沙河街组地层发育特征及分布层位如表2。

（1）红层：岩性为棕红色-紫红色泥岩夹砂岩、杂色砂砾岩，主要分布于沙三段底部，是沙河街组与中生代地层的分界线。本区已有13口井均钻遇该套地层。

（2）沙三段顶部的低阻稳定泥脖子段是沙三段与沙二段分界的标志层。在埕海油田张东开发区沙三段顶部普遍发育厚层块状泥岩段，局部夹薄层砂岩，表明这一时期水体不断扩张，湖平面升高，为湖侵时期。

（3）沙一段下部的岩性比较典型，主要发育互层的白云岩、泥灰岩和油页岩，是研究区地层对比的标准层位之一。这一标准层在张东地区分布稳定，除张参1-1、张海2-1、张36-60、张14-1井未见外，其余井均钻遇沙一段下部的这一特殊岩性段；并且区域可比性强，成组出现，旋回性强，电性特征上自然电位曲线无明显异常。

（4）张东地区沙一段的底部是一套厚层泥岩细脖子段，是本区沙一下亚段与沙一中亚段的分界，电性特征上表现为低阻（Ω）、高伽玛（γ），高声波时差（AC），自然电位近平直（E）。

上述4个标准层在埕海二区张东地区均分布较稳定，从而将沙河街组的主力含油层系划分为三段：沙一下亚段、沙二段、沙三段。

## 1.3 层序地层学特征

### 1.3.1 层序界面

区内古近系可识别出4个层序界面（$SB_1$、$SB_2$、$SB_3$、$SB_4$）。

$SB_1$是新生界与中生界的分界面（$Mz/Es^3$），是黄骅坳陷岐口凹陷滩海区中生界-新近系的一个大的区域性不整合接触面。岐口凹陷古近纪时最先接受沙河街组沙三段沉积，沙三段地层直接覆盖在前新生界之上，不整合面上下地层出现比较明显的变化。地震剖面上显示界面之下有明显的削蚀现象，界面之上有超覆存在。从岩性特征上看，不整合面之下发育紫红色泥岩、砂岩；不整合面之上为灰色的砂泥互层韵律沉积（图2）。

$SB_2$界面是沙三段和沙二段之间的局部不整合。黄骅坳陷沙三段是一个粗-细-粗的沉积旋回韵律。研究区位于埕宁隆起向岐口凹陷过渡的埕北断阶带，致使沙三段顶部在该地区遭受强烈剥蚀，形成了张东地区沙三段和沙二段之间的局部不整

合接触。不整合面上、下岩性突变，不整合面之下为深灰色泥岩，不整合面之上为灰色砂泥岩互层。地震剖面上界面之上有上超现象。界面上下微体化石与孢粉组合明显不同。

表 2　埕海二区沙河街组主力含油层系地层特征表

Table 2　Description of the oil-bearing series in the Shahejie Formation in the second district of the Chenghai Oil Field

| 地层 | | | | | 平均厚度(m) | 岩性 | 电性 | 微体化石与孢粉分析 | 标准层标志层 | 沉积相 | 地层接触关系 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 系 | 组 | 段 | 油组 | 小层 | | | | | | | |
| 古近系 | 沙河街组 | 沙一下段 | $Es^{1-1}$ | 1 | 30 | 油页岩、钙质页岩、泥白云岩、粉屑灰岩正旋回层序 | 自然电位平直-略小起伏，电阻呈现成组的由高到低的变化 | 椭圆洼星介<br>繁棒藻属<br>栎粉属含量远高于榆粉属 | 底部发育一套灰质白云岩、泥灰岩、泥岩、油页岩互层，分布稳定 | 深湖-半深湖静水湖湾 | 整合 |
| | | | | 2 | 19 | | | | | | |
| | | | | 3 | 40 | | | | | | |
| | | 沙二段 | $Es^{2-1}$ | 1 | 21 | 灰绿色、灰色泥岩互层层序 | 呈中幅锯齿状 | 细纹纹星介<br>网状湖花介<br>麻黄粉属<br>楝粉属<br>芸香粉属<br>褶脊芸香粉<br>松科分子 | | 三角洲 | 不整合 |
| | | | | 2 | 33 | | | | | | |
| | | | | 3 | 35 | | | | | | |
| | | | | 4 | 32 | | | | | | |
| | | | $Es^{2-2}$ | 1 | 39 | | | | 泥岩凹槽，沙二下部发育块状砂体，分布较稳定 | | |
| | | | | 2 | 26 | | | | | | |
| | | | | 3 | 22 | | | | | | |
| | | 沙三段 | $Es^{3-1}$ | | 150 | 大段暗色泥岩，局部夹砂砾岩、砂岩 | 低平、局部夹锯齿状，底部为块状高阻 | 华北介属<br>滨县玻璃介<br>肥大华花介<br>渤海藻属<br>副渤海藻属<br>繁棒藻属<br>沟裸藻属等 | 上部泥脖子段、底部块状砂砾岩、下伏红层分布稳定 | 扇三角洲 | 不整合 |
| | | | $Es^{3-2}$ | | 107 | | | | | | |
| | | | $Es^{3-3}$ | 1 | 73 | | | | | | |
| | | | | 2 | 29 | | | | | | |
| | | | | 3 | 30 | | | | | | |

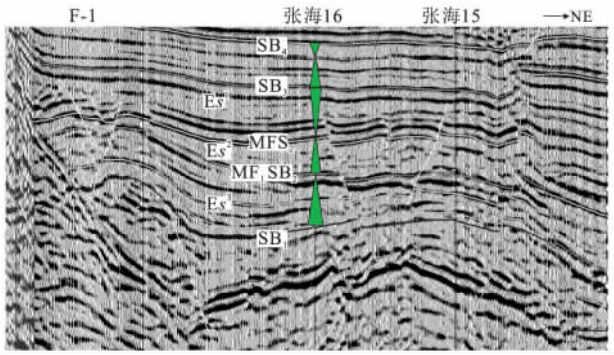


图 2　F-1 井-张海 15 井 SW-NE 向地震层序地层剖面

Fig. 2　SW – NE-trending seismic sequence stratigraphic profile through the F-1 well to the Zhanghai-15 well

$SB_3$ 是沙河街组与东营组的分界面。在盆地的边缘地区为不整合接触，在张东地区为整合接触，界面上下均为泥岩与粉砂岩互层沉积。

$SB_4$ 是古近系与新近系之间的区域性角度不整合，即 $Ed/Ng$。渐新世晚期，区域构造进入隆升阶段，期间有相对沉降。之后经历了更为强烈的抬升剥蚀，形成东营组与馆陶组之间的不整合。不整合面之下发育岩性为灰色砂、泥岩互层，不整合之上发育杂色砾石层以及灰绿色泥岩、泥质粉砂岩。

1.3.2　层序地层格架

研究区沙河街组可以识别出两个三级层序(图 3)。层序Ⅰ($SQ_1$)相当于沙三段，下边界是 $Mz/Es^3$ 的区域不整合面，上边界为 $Es^3$ 与 $Es^2$ 的不整合面。由于沙三段顶部在该地区遭受剥蚀，仅保留了两套正旋回层序组，具下粗上细的特点。从构造演化上看，在沙三早期，区内断裂活动强烈，湖盆内高差加大，坡度变陡，凸起的地方风化剥蚀作用强烈，提供了充足的物源。因此沉积物主要以低位体系域的扇三角洲沉积体系为主，沉积粒度相对较粗；沙三中期时湖泊扩张，湖水变深，沉积范围扩大，高差也逐渐变小。因此在张东地区绝大多数井沙三段顶部发育有一层稳定的泥岩段，即湖侵体系域中的密集段，这也是井震标定的一个标准层(图 3)。密集段上下发育有三角洲、扇三角洲前缘等储集体，形成有利的生、储、盖组合。层序Ⅰ缺失高位体系域，形成沙三段顶部的不整合。

沙二段沉积相当于层序Ⅱ($SQ_2$)的低位体系域[7]。沙二段沉积时期，该区气温升高，气候干燥，属热带-亚热带气候，区内沙二段以陆相淡水生物化石组合为特征，岐口凹陷为一淡水闭流湖盆。沙三段和沙一段以及整个东营组沉积时期，由于海水的入侵，导致了研究区及临区普遍发育半咸水的生物化石种属。由于盆地基底整体构造沉降对闭塞湖盆的湖平面影响微乎其微，因此，沙二时断层虽持续活动，但并不控制沉积地层的发育，对地层发育影响最大的主要是气候因素(图 4)。由气候作用控

制形成的沉积地层一般在干旱条件下占优势，因此其沉积厚度相对传统地层而言较薄（比如蒸发盐岩）。以张5井岩心为例，从钻井和录井资料可以看出，张东地区沙二段为复合韵律沉积，沉积物颗粒由细变粗再变细，反映了沉积水体的深-浅-深的旋回变化，在沉积相上为典型的三角洲沉积体系。

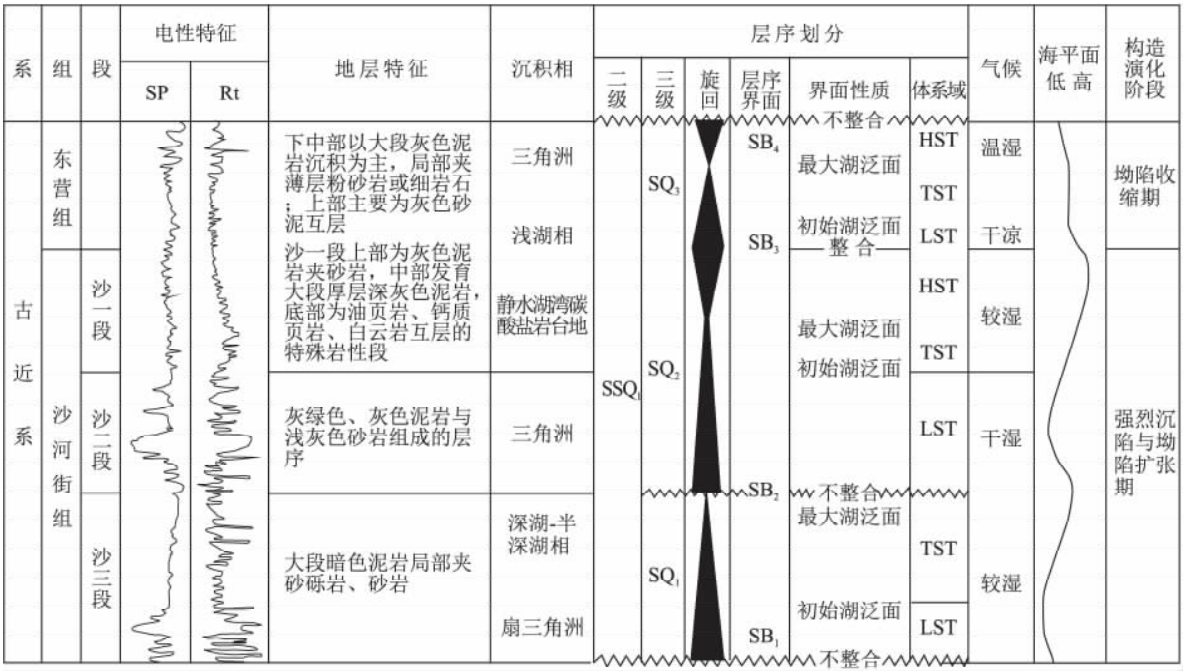


**图3 张东地区古近系层序地层特征**

Fig. 3 Sequence stratigraphic division of the Palaeogene strata in the Zhangdong district

沙二段下油组岩性主要为砂岩夹薄层泥岩，为典型的建设性三角洲沉积相；沙二段上油组沉积时，由于湖平面升高以及波浪作用的增强，主要发育砂泥互层沉积。并且沙二上亚段表现为超覆退积，与上覆地层为整合接触关系（图4）。

沙一下亚段地层为层序Ⅱ（$SQ_2$）中的湖侵体系域，岩性主要为油页岩、泥灰岩和白云岩，呈互层沉积，为井震标定的标准层位。到了沙二段沉积末期，闭流湖泊转变为敞流湖盆。该体系域沉积时，气候温湿，雨水充沛，物源区母岩物理风化相对减弱，物源供给减少，主要以碳酸盐岩沉积为主。

## 2 沉积特征

### 2.1 岩石学特征

#### 2.1.1 沙三段

根据研究区内的钻井资料，不难发现粗碎屑岩多分布于岩心剖面的底部，上部主要以细粒的大段深水暗色泥岩为主，为相对较深的水流沉积。沙三段下部的储层岩性主要为砂砾岩、细砾岩、含砾不等粒砂岩、细砂岩；砂砾岩砾石的粒径2～25mm，一般4～8mm，砾石成分约25%左右；含砾不等粒砂岩的砾石粒径1～60mm，以3～4mm粒径为主，砾石成分占15%～20%。砾石以石英为主，长石次之，伴有少量燧石质砾石。根据岩心观察（图5），底部的砾石排列无序，其成分成熟度和结构成熟度都相对较低，分选较差，中等磨圆[图]。成分成熟度和结构成熟度较低说明了沉积环境具有近物源、沉积速率快的特点。颗粒接触关系为线接触，胶结类型为孔隙式胶结，主要孔隙类型以粒间溶孔为主。

由于沙三段底部沉积物颗粒较粗，主要以冲刷构造、正递变层理以及块状层理为主。在垂向上可以看见韵律-反韵律型及块状序列。

#### 2.1.2 沙二段

张东地区沙二段岩性主要为含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩，其中夹有深灰色泥岩，岩心中富含泥砾。

沙二段砂岩岩石类型主要以岩屑长石砂岩为主，其中石英含量15%～63%，长石含量20%～53%，岩屑主要为岩浆岩屑，占3%～28%。岩石颗粒分选中等，次尖-次圆状，为接触-孔隙式胶结，接触关系以线-点、点接触为主。胶结物主要为方解石、白云石、硅质以及云母泥，次生方解石、白云石分散状充填粒间，泥碳酸盐主要分布在颗粒边缘，在局部相对富集，见1%～6%的鲕粒。孔隙发育分布较均匀，连通性较好，主要见粒间溶孔和长石部分

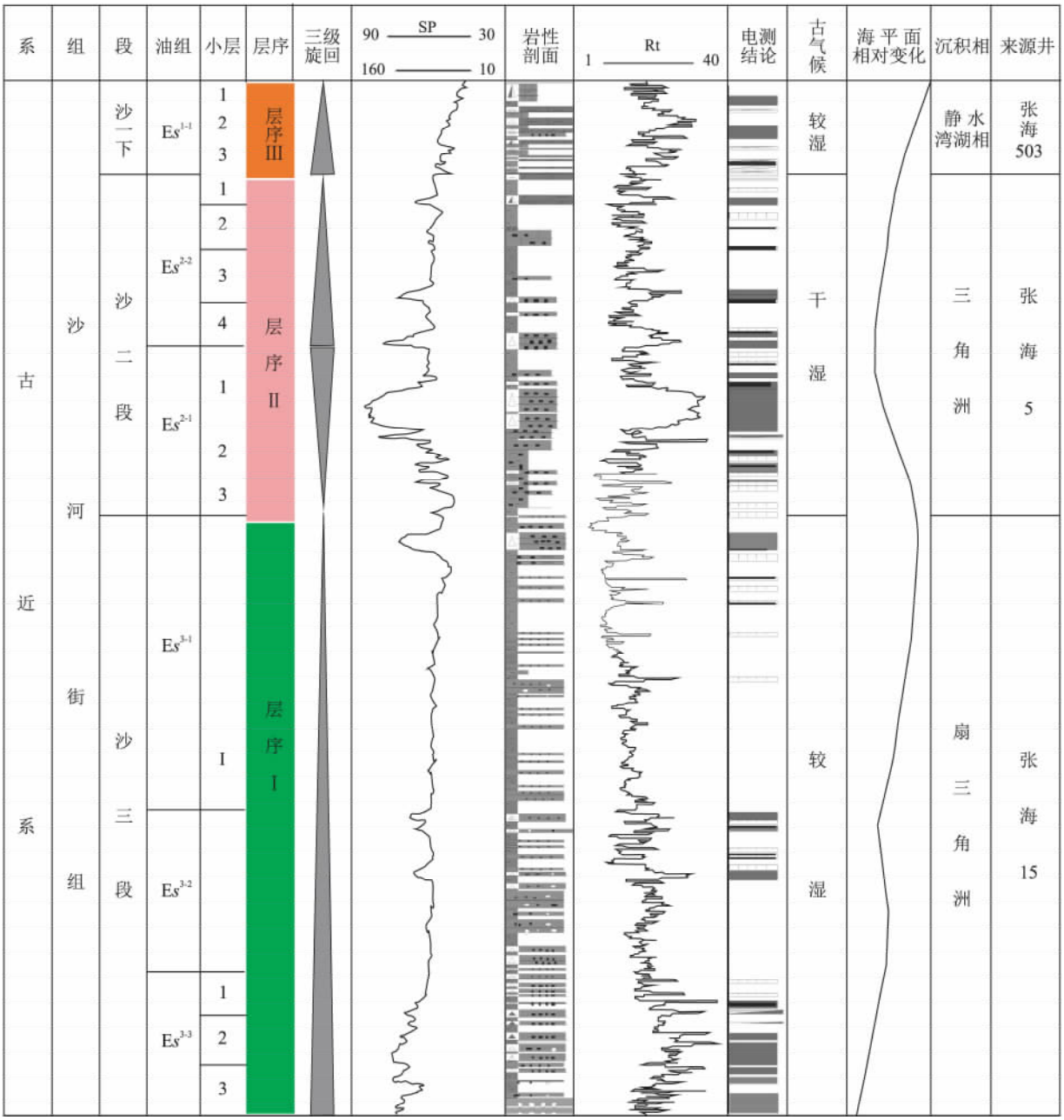


**图 4　张东地区古近系沙河街组地层柱状图**

Fig. 4　Stratigraphic column through the Palaeogene Shahejie Formation in the Zhangdong district

溶解形成的次生粒内溶孔和颗粒溶孔。

在张东断层下降盘，沙二段砂岩以灰色、褐色细砂岩、粉砂岩为主，泥岩主要呈黑色块状。岩性单一但岩性组合复杂，一般是泥岩、砂岩交互频繁出现。沉积颗粒分选好-中，磨圆度好-中，砂岩、泥岩分异较好。在张海 9 井 2131 ~ 2142m 处出现了鲕粒灰岩，表明沉积时张海 9 井处于为动荡水动力条件的滨岸沉积环境。

2.1.3　沙一段

研究区沙一段岩性主要为灰质白云岩、白云质粉砂岩、钙质泥岩和油页岩呈互层沉积，旋回性强。白云质粉砂岩陆源碎屑含量平均为 58.3%，碎屑成分主要为石英、长石，次尖棱角状-次圆状，分选较好。岩石原生孔隙基本不发育，主要以长石、方解石、白云石等易溶矿物形成的次生孔隙为主。油页岩、泥质灰岩发育微裂缝和微破裂(约 2% ~5%)，部分裂缝被有机质充填。

2.2　沉积相类型

2.2.1　沙三段

根据岩心观察、电性、地震等资料综合分析得出，张东地区沙三段属扇三角洲沉积[9-11]。主要发育有 4 个微相：

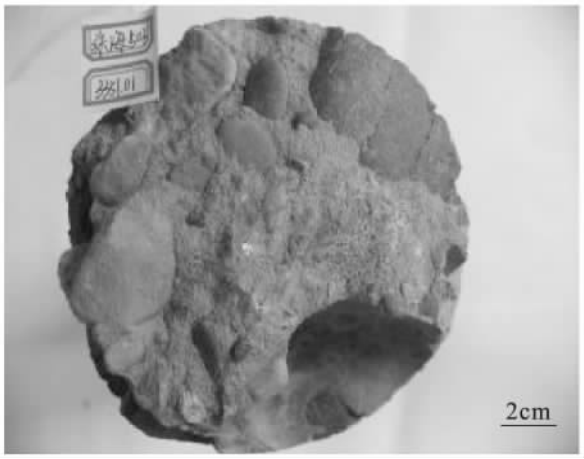


图5 张东地区沙三段张海503井(3351.01m)岩心照片

Fig. 5 Photograph of the core from the Zhanghai-503 well in the third member of the Shahejie Formation in the Zhangdong district (sampling depth: 3351.01 m)

(1)水下分流河道微相:主要岩性为灰色-杂色砂岩、含砾砂岩、中粗粒砂岩以及中细粒砂岩。扇三角洲水下分流河道是水上辫状河道入湖后向湖盆中央延展的部分[12],由于受到湖水阻挡作用,其能量有所降低,所携带的沉积载荷很快卸载沉积。因此砂-砾岩结构成熟度低,杂基支撑,颗粒多为次棱角状,分选较差,磨圆度为次棱角状-次圆状。砂体中韵律层理比较发育,以大-中型槽状交错层理、平行层理和砂体频繁侧向迁移加积形成的侧积交错层理为主,也发育冲刷充填构造,在砂体底部可见泥砾。单一水下分流河道砂体为明显的正韵律,即由下往上粒度逐渐变细。在电测井曲线上表现为箱型、钟形(图6)。

(2)河口坝微相:表现为明显的复合韵律层,主要由灰色-深灰色细砂岩、粉细砂岩和粉砂岩构成。形成扇三角洲河口坝微相的河道一般相对稳定,并且湖流作用较弱[12]。因此沉积构造规模相对较小,可见浪成沙纹层理、液化变形层理、平行层理及中、小型槽状以及波状交错层理等。在岩心柱子上表现为明显的沉积反韵律,自下向上粒度变粗,由粉砂岩变为细砂岩、中砂岩。电测井曲线为典型的漏斗型。

(3)席状砂微相:发育于扇三角洲前缘的最前端,常表现为粉砂岩、泥岩的薄层交互出现。扇三角洲前缘受湖流的改造形成,主要以灰色、深灰色粉砂岩、泥质粉砂沉积为主,夹深灰色-灰黑色泥岩。常见由负载和滑塌作用形成的变形层理,电测井曲线多呈指状。

(4)分流间湾微相:分流间湾微相是指在沉积平面上夹于两个水下分流河道之间,砂体粒度变细、沉积厚度变薄的部分,一般受到湖盆地形的影响,多发育在水下低凸起上。其岩性多以灰色-灰绿色粉细砂岩、泥质粉砂岩为主。沉积构造可见水平层理及小型波纹层理。

图6 张东地区沙三段沉积微相的测井相特征

Fig. 6 Well logs for the sedimentary microfacies in the third member of the Shahejie Formation in the Zhangdong district

### 2.2.2 沙二段

通过对沙二段岩心观察,结合电性特征、地震资料等综合分析后认为,张东地区沙二段是较为典型的三角洲沉积[14]。也可分为4个微相。

(1)水下分流河道微相:主要为泥岩、粉砂岩、粉细砂岩以及细砂岩组成的正粒序结构,在其底部多含泥砾和泥屑,偶见炭化植物碎块。沉积构造由上到下主要发育波状层理,小型槽状交错层理,平行层理,较大型槽状交错层理以及水平层理,可见生物扰动构造及植物碎片。自然电位曲线为典型的钟形、箱形及箱形-钟形(图7),粒度概率曲线大多由跳跃和悬浮二段组成[13]。因坡度较缓,水动力较弱,所含滚动组分含量很少(图8)。

图7 张东地区沙二段沉积微相的测井相特征

Fig. 7 Well logs for the sedimentary microfacies in the second member of the Shahejie Formation in the Zhangdong district

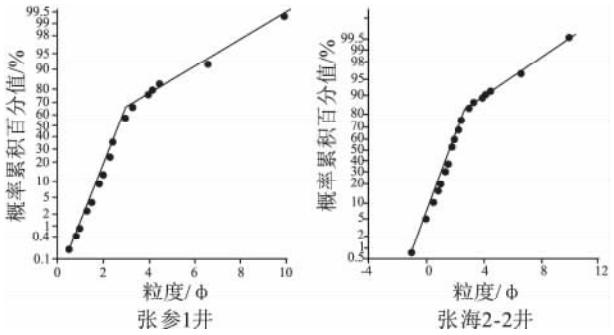


图8 张东地区沙河街组沙二段概率累积曲线图

Fig. 8 Grain-size probability accumulation curves for the second member of the Shahejie Formation in the Zhangdong district

(2)河口坝微相:是三角洲前缘亚相中最为典型的沉积微相,分布于分支河道的河口处。物源充足,沉积速率高,是河流注入湖泊水体中时由于湖水的顶托作用或地形地貌的突然改变,河流携带的大量沉积载荷快速堆积而成[13]。随着分支河道持续供应碎屑物质,以致河口坝的规模较大,成为三角洲前缘重要的砂体类型。岩性主要以细砂岩、粉-细砂岩和粉砂岩为主,多具反韵律特征。沉积构造主要发育低角度交错层理、平行层理、斜层理和斜波状交错层理,偶尔出现浪成波纹层理,生物扰动构造基本不发育。

(3)前缘席状砂微相:席状砂的形成主要受波浪搬运再沉积作用的控制,是三角洲前缘水下分流河道形成的河口砂坝受到波浪和岸流的改造后重新分布而形成的。主要位于河口砂坝前缘和侧翼,呈带状或席状展布于三角洲前缘。其特点是具有较大的分布面积,沉积特征也与河口坝明显不同,粒度相对变细,砂层减薄。沉积构造中缺乏大型交错层理,主要发育平行层理和低角度斜层理,有时出现波状层理和波状交错层理。自然电位曲线为指状(图7)。

(4)分流间湾微相:分流间湾为水下分流河道之间相对低凹的湖湾地区。沉积物主要以粘土岩为主,夹少量粉砂岩和细砂岩。相对较粗的砂质沉积主要是洪水期河道漫溢沉积的结果,常以薄透镜状分布于粘土夹层中。主要发育水平层理和透镜状层理,可见浪成波痕、生物介壳和植物残体,虫孔及生物扰动构造发育。自然电位曲线上表现为平直段夹局部微齿化特征(图7)。

### 2.2.3　沙一段

研究区沙一段沉积时期为相对封闭的静水潟湖环境,主要发育一套白云岩、泥灰岩、油页岩的互层沉积,局部发育薄层粉砂岩。通过岩心观察,结合录井、测井信息可识别出白云岩、泥灰岩、油页岩、砂泥互层等不同的岩相区。

## 2.3　沉积相平面展布与垂向演化

### 2.3.1　沙三段

该区物源主要受埕宁隆起东部物源控制,沙三段发育扇三角洲前缘亚相,砂体类型主要为水下分流河道砂体、河口坝砂体和前缘席状砂。受古地貌的控制,沙三段砂体主要分布于张海503井区-张海15井区的凹槽部位。研究区沙三段主要为一套下粗上细的正旋回沉积。在第3小层发育时期,张海15井区、张海503井区、下降盘张海19井区均发育河口坝微相(图9)。第2小层为该区扇三角洲发育的鼎盛时期(图10),来自东南方向的分流水道不断向前推进,张海15井区、张海503井区为水下分流河道发育区,延伸至下降盘张海19井区,但河道宽度变窄。第1小层发育时期,水体逐渐变深,物源供给减少,张海503井区发育分流间湾微相,张海15井区、下降盘张海19井区发育席状砂微相。之后,沙三段中期,水体逐渐变深,发育半深湖-深湖相,岩性以大段泥岩为主,局部夹薄层砂岩。沙三期末,研究区抬升,遭受强烈剥蚀,形成了沙三段与沙二段之间的不整合。

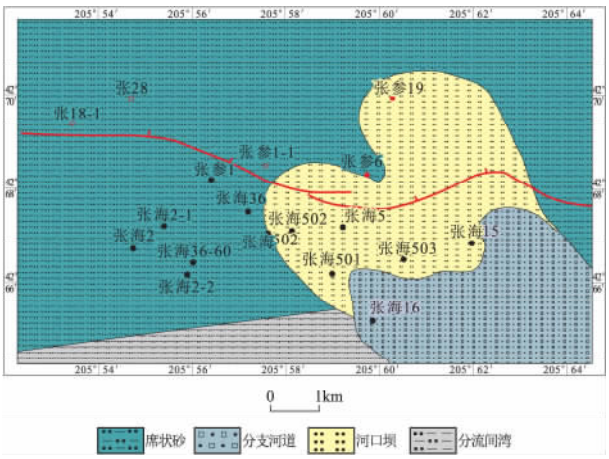


图9　埕海二区 $Es^{3-3}$ 第3小层沉积微相平面图

Fig. 9　Plan of the sedimentary microfacies in the third bed of $Es^{3-3}$ in the second district of the Chenghai Oil Field

### 2.3.2　沙二段

张东地区沙二段为砂泥岩互层,具复合韵律沉积,为层序Ⅱ的低位体系域,属三角洲前缘沉积。整个沙二下亚段为一反序韵律,沙二下亚段时期,水体由深变浅,三角洲不断向湖推进。沙二下油组由下往上是三角洲的进积演化。沙二下油组第3小层沉积时期,该区为三角洲前缘前端,张东断层的上升盘为水下分流河道的末端,受同沉积断层的影响,下降盘张海6井区发育分支水道,其它井区发育大片席状砂。第2小层沉积时期,水体略有加深。至第1小层沉积时期(图11),为三角洲发育的鼎盛时期。张参1井区、张海502井区、张海5井区均发育水下分流河道,其中张海5井区单砂体厚度达24.5m。沙二上油组沉积时期,水体逐渐变深,形成退积三角洲沉积。总体来看,厚层砂体主要集中在张海5井区的沙二下亚段,张海5井西侧砂体多呈薄互层形式展布。

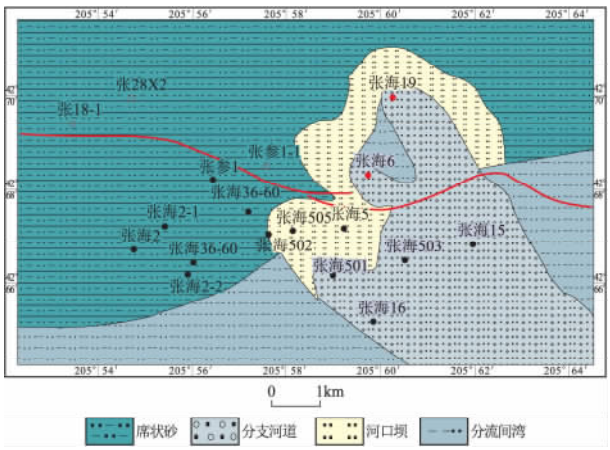


图 10 埕海二区 $Es^{3-3}$ 第 2 小层沉积微相平面图

Fig. 10 Plan of the sedimentary microfacies in the second bed of $Es^{3-3}$ in the second district of the Chenghai Oil Field

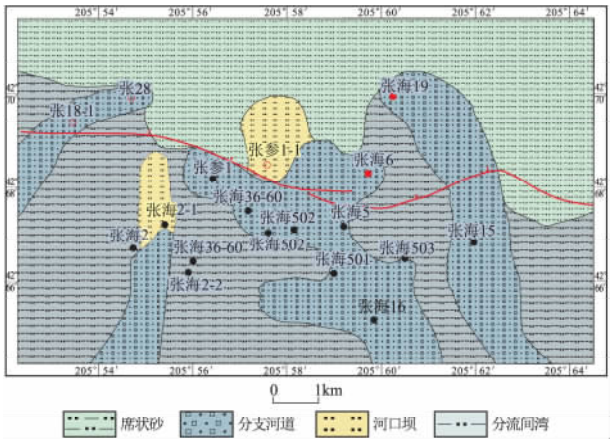


图 11 埕海二区 $Es^{2-2}$ 第 1 小层沉积微相平面图

Fig. 11 Plan of the sedimentary microfacies in the first bed of $Es^{2-2}$ in the second district of the Chenghai Oil Field

### 2.3.3 沙一下亚段

研究区沙河街组一段下亚段为静水湖湾的碳酸盐岩台地沉积。平面上，沙一下亚段第 3 小层沉积时期，白云岩大范围展布。第 2 小层沉积时期，区内分布碎屑岩沉积和碳酸岩沉积两部分，张参 1-4 井区发育油页岩。第 1 小层时期(图 12)，张海 5 断块张海 5 井区发育白云岩沉积，其它井区发育泥灰岩沉积，张参 1-4、张海 2-2 井区发育油页岩。剖面上特殊岩性段分布稳定，张海 501 井白云岩厚度 19.4m，张海 15 井泥灰岩厚度 20.6m，张海 5 井上部油层断缺，白云岩厚度 7.2m，张参 1-4 井区发育油页岩沉积，张参 1 井区发育碎屑岩沉积。向南张海 2-2 井处于白云岩相带的边缘。在测井曲线上表现为三低一高的特点，即低伽马、低密度、低时差、中高电阻率，是区内地层对比和井震标定的标准层位。

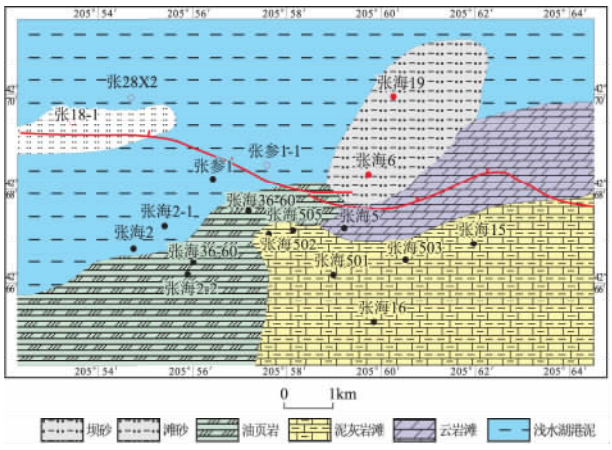


图 12 埕海二区 $Es^{1-1}$ 第 1 小层沉积微相平面图

Fig. 12 Plan of the sedimentary microfacies in the lower part of the first bed of $Es^{1-1}$ in the second district of the Chenghai Oil Field

## 3 结论

根据粒度、岩性、沉积构造、测井曲线等以及沉积微相平面图综合分析，现得出以下结论：

(1) 沙三段属三角洲前缘亚相，沉积特征为典型正粒序。主要砂体类型有水下分流河道、河口坝和前缘席状砂，具中孔-中渗、中孔-低渗、低孔-特低渗性质，孔隙主要为粒间、颗粒和粒内溶孔，于晚成岩 A 阶段形成。

(2) 沙二段属三角洲沉积(滨浅湖沉积环境)，低位体系域，砂体较为发育，是张东地区最有利的储集层，也是今后勘探的重点靶区。沙二段可以细分为河口坝微相、前缘席状砂微相、分流间湾微相和水下分流河道微相。

(3) 沙一段为一套互层沉积，岩性主要为泥岩-泥灰岩、白云岩和油页岩，局部发育粉砂岩。在物性上表现为低孔、低渗，为良好的盖层和烃源岩。沙一段的沉积环境为相对封闭的静水湖湾环境。

致谢：导师许志琴院士、中国矿业大学(徐州)王瑞瑞博士、中国地质科学院地质所何碧竹研究员以及陈希节博士等在学术上给予指导，本人受益匪浅，在此深表感谢！

参考文献：

[1] 邹才能，张颖. 油气田勘探开发实用地震新技术 [M]. 北京：石油工业出版社，2002.

[2] 贾玉梅，徐芳，陈斌等. 基于地震资料的薄互层储层三维地质建模-以埕海油田二区为例 [J]. 天然气地球科学，2010，21(5)：833－838.

[3] 于长华,苏俊青,袁淑琴,盛东杰,段润梅,张立宽. 大港油田埕北断坡区油气富集主控因素分析[J]. 沉积与特提斯地质,2006,26(4):86-90.
[4] 孟鹏,刘立,高玉巧等. 大港滩海埕北断阶区沙河街组三段、二段近岸水下扇沉积微相特征[J]. 世界地质,2005,24(1):36-42.
[5] 张江华. 大港张东地区地震地质综合储层预测研究[D]. 中国石油大学博士学位论文,2009.
[6] 王光奇,李三忠,周立宏,等. 张东断层成因机制及其与油气成藏关系[J]. 石油勘探与开发. 29(6):38-50.
[7] 许淑梅,翟世奎,李三忠,等. 歧口凹陷滩海区下第三系层序地层分析及沉积体系研究[J]. 沉积学报,2001,19(3):363-367.
[8] 颜学成. 埕海地区张东构造沙河街组储层识别研究[D]. 成都理工大学硕士学位论文,2009.
[9] 惠钢,董树正,李凡华,李冠全,顾斐. 大港埕海二区沙三下亚段相控建模技术[J]. 科学技术与工程,2011,11(15):3427-3434.
[10] 裘亦楠,薛书浩,应凤祥,等. 油气储层评价技术[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
[11] 顾家裕. 沉积相与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1994.
[12] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
[13] 张世奇,纪友亮. 油气田地下地质学[M]. 东营:中国石油大学出版社,2005.
[14] 于长华,袁淑琴,董晓伟,刘爱平,闫戈英,魏永生,李涛. 大港油田张东地区沙二段砂岩储集层沉积特征[J]. 新疆地质,2009,27(4):390-393.

# Sedimentary characteristics of the Shahejie Formation in the Zhangdong district, Chenghai Oil Field, Hebei

MENG Yuan-ku[1], WANG Xin-wen[2], CHEN Jie[2], HUANG Li[3]

(1. *State Key Laboratory of Continental Tectonics and Dynamics, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China*; 2. *School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*; 3. *No.* 8 *Research Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong, Rizhao* 276826, *Shandong, China*)

**Abstract**: The Zhangdong district, Chenghai Oil Field, Hebei is very complicated in geological structures and thus less explored in petroleum exploration. The authors in the present paper give a detailed division and description for the Shahejie Formation as main oil-bearing rock series in the Zhangdong district on the basis of grain sizes, lithology, sedimentary structures, sedimentary microfacies and well logs. The third member of the Shahejie Formation displays the typical normal graded structures, and belongs to the delta front subfacies including the channel mouth bar, subaqueous distributary channel and delta front sheet sands microfacies. The sandstone reservoirs are characterized by moderate porosity to moderate permeability, moderate porosity to low permeability, low porosity to extra-low permeability, and intergranular, granular and intragranular solution openings generated during the A stage of late diagenesis. The second member of the Shahejie Formation is organized in the delta (littoral to shallow-lake) environment in the lowstand tracts system, and occurs as the best favourable hydrocarbon reservoirs and target area in the Zhangdong district. The first member of the Shahejie Formation is built up of the dolostone-marl-oil shale couplets, locally with thin-bedded siltstones as good cap rocks and source rocks deposited in the relatively enclosed stationary lagoon environment.

**Key words**: Zhangdong district; Shahejie Formation; sedimentary characteristics; sandstone type