

张东断层下降盘沙河街组精细测井微相研究

徐 翰,陈 杰,汪新文

中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083

摘要: 横穿张东地区的张东断层严重影响断层上、下盘的沉积、构造演化,因此有必要对张东断层下降盘地层的沉积特征进行专门研究,建立下降盘沉积演化机制。本文依据粒度、岩性、沉积构造等沉积学特征,综合测井资料对张东断层下降盘的沙河街组沙三段、沙二段进行精细测井微相研究。结果表明:沙三段沉积物主要来源于构造高位的埕宁隆起西南部,发育半深湖扇三角洲前缘亚相,分为河口坝、水下分流河道、席状砂和支流间湾等4种微相,前扇三角洲亚相在某些阶段也有发育;沙二段物源仍为埕宁隆起西南部,属浅、滨湖沉积环境下的三角洲前缘亚相,分为水下分流河道、河口坝、前缘席状砂等3种微相。通过分析沙三段、沙二段的沉积相平面展布,认定张东断层作为物源通道,对进入下降盘的沉积物有明显控制作用。

关键词: 张东断层;测井;沉积微相

中图分类号: {P621+.6}

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)01-0129-06

Study on the Fine Logging Microfacies in Shahejie Formation of Zhangdong Fault Footwall

XU Han, CHEN Jie, WANG Xin-wen

School of Earth Sciences and Resources/China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstracts: Zhangdong fault across Zhangdong district influences on the sedimentary and structural evolution of fault's hanging wall and footwall significantly, so it is necessary to conduct a specific research on the sedimentary characteristics of Zhangdong fault footwall to set up a sedimentary evolution model. Based on sedimentological characteristics such as particle size, lithology and sedimentary structures combined with comprehensive analysis of well logs, this paper conducted the research on fine logging microfacies in Shasan and Shaer section. We figured out that Shasan section's provenance came from a relatively structural pinpoint which located in southwest named Chengning high. Shasan section mainly developed semi-deep lake fan delta front face, which could be further divided into subaqueous distributary channel, channel mouth bar, sheet sand and interdistributary bay; fan prodelta also developed somewhere in Shasan section. Shaer section's provenance was from southwest Chengning high and belonged to shallow lacustrine delta front which could be further divided into subaqueous distributary channel, channelmouth bar, frontal sheet sand. By analyzing the deposition plane distribution of Shasan and shaer section, Zhangdong fault had been identified as the provenance channel which played a significant role in controlling sediment to enter the fault footwall.

Keywords: Zhangdong fault; logging; sedimentary microfacies

1 概况

张东开发区位于大港油田滩海地区以东海拔-2~0 m的极浅海区域,行政区划上属于河北黄骅南排河镇张巨河村。1993年第一次在张东断层上升盘附近钻井试油成功后,证实了区域含油性^[1]。为了配合油气勘探开发,前人对张东开发区的油气地质特征进行了一系列的评价。张东断层上升盘主要划分为沙三段、沙二段和沙一段三个小层^[2];沙三段主要发育扇三角洲前缘亚相,可细分为水下分流河道等5个微相;沙二段主要发育三角洲前缘亚相^[3],分为河口坝等4个微相;张东断层横贯张东地区,发育于早期基岩断层之上,断距大、延伸广,控制了张东地区的沉积构造演化^[4]。然而前人在评价张东开发区时,往往忽略张东断层对断层上、下盘地层的不同控制作用,缺乏对张东断层下降盘沙河街组地层的专门探讨。本文以张东断层为控制边界,以沉积学、测井地层学为指导,利用岩芯资料及高纵向分辨率测井资料对张东断层下降盘沙河街组地层进行精细微相的识别、划分,单井、联井微相对比,厘定微相平面展布规律,建立张东断层下降盘沉积演化机制,为后续地质建模及储层预测提供沉积学依据。

收稿日期: 2015-07-20

修回日期: 2015-08-05

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司国家科技重大专项:全球剩余油气资源研究及油气资源快速评价技术(2011ZX05028)

作者简介: 徐 翰(1990-),男,博士研究生在读,主要从事盆地构造分析研究. E-mail:xuhan2219156@126.com

数字优先出版: 2015-12-28 <http://www.cnki.net>

1.1 地质概况

张东地区主要发育张东构造,是继承前期基岩潜山背景发育而成的大型背斜构造,东部为海 4 井断层,东北部为歧口凹陷,南邻埭北断坡和赵北断层,西侧为南大港断层,北接歧东断层(图 1)。

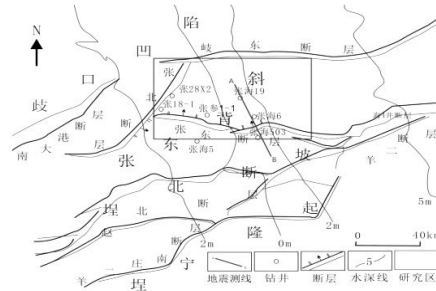


图 1 张东开发区构造纲要图 Fig.1 Structural outline of Zhangdong district

1.2 地层

受中生代末期燕山运动的影响,黄骅拗陷在新生代发生构造翻转而广泛隆升,前新生代地层遭受剥蚀;始新世末期发生伸展断陷活动,断陷、沉降活动强烈,范围逐渐扩大波及整个张东地区,由此进入湖盆扩展期,导致沙河街组各段逐层超覆在前期地层之上[6]。

沙河街组地层主要可划分为沙三段、沙二段和沙一段等 3 段。沙三段:研究区的沙三段厚度 200~250 m,地层直接覆盖在前新生界之上,缺失纪古新-始新世,不整合面上下出现比较明显的变化,底超顶剥特征明显,按旋回性自上而下主要发育 3 个正旋回小层:沙三上、沙三中和沙三下。沙二段:平面上沙二段地层厚度呈东厚西薄、北厚南薄的特点,地层厚度 130~280 m,可划分为沙二上、沙二下两套小层,与下伏的沙三段地层呈不整合接触关系。沙一段主要为油页岩、页岩等,厚度 52 m[7,8]。

表 1 张东地区地层岩性、电性特征表

Table 1 Stratigraphic lithology and electrical property in Zhangdong district

界	系	组	段	小层	平均厚度(m)	岩性	电性	沉积相	构造演化阶段	地层接触关系
World	Family	Group	Section	Segment	Average thickness	Lithology	Electrical property	Sedimentary facies	Structural evolution	Stratigraphic contact
			沙一段	沙一下	52	油页岩、钙质页岩等		静水湖湾		整合
新 生 界	古 近 系	沙 河 街 组	沙二段	沙二上	121	灰色、灰绿色泥岩与砂岩互层	呈中幅锯齿状	三角洲	拗陷扩张 强烈沉降	不整合
				沙二下	87					
			沙三段	沙三上	150	暗色泥岩,局部有砂砾岩、砂岩夹层	低平,局部夹锯齿状,底部为块状高阻	扇三角洲	不整合	
				沙三下	132					

1.3 构造

张东开发区位于黄骅拗陷内,主要发育有继承前期潜山背景演化而来的大型背斜构造-张东构造。张东构造位于张北断层的上升盘,在研究区中部为近东西走向的张北断层一分为二,其中张东断层下降盘主要是断鼻构造[8,9]。

北东走向的张东断层和北北西走向的张北断层均从研究区穿越,是张巨河构造体系下的主要二级断层。张东断层横穿整个张东地区,规模较大,延伸长度 13.42 km,断距较长,最大水平断距 0.6 km(图 2),应力方向为北北西-南南东向,倾向北北东,属于张性断裂[6]。始新世末期以来,两个断层相互作用,共同控制了张东开发区沙河街组的沉积构造演化[10]。

张东开发区周围还发育一系列东西、北东东走向的断层,如羊二庄断层、海 4 井断层等[7]。

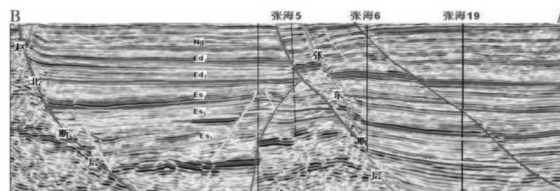


图 2 穿过张东断层的地震剖面 Fig.2 The earthquake profile across Zhangdong fault

2 沉积特征

2.1 沙三段沉积特征

据张东断层下降盘张海 6、张海 19、张参 1-1 等钻井岩芯揭示,沙三下小层主要为粗碎屑岩,

过渡到沙三上小层的大段深水相暗色泥岩,说明沙三段处于湖进环境下的正沉积旋回中^[11]。

沙三段岩性主要为中砾岩、细砾岩、粗砂岩、中砂岩和泥岩等。中砾岩砾石粒径 4~26 mm,一般 4~7 mm,砾石含量在 30%以下;细砾岩粒径 1~15 mm,一般为 2~4 mm,砾石含量 15%~20%。砾石组分主要为石英,其次是长石,少数岩芯可见燧石;砾石颗粒磨圆度、分选性均较差,排列不具有序性,杂基为泥质,孔隙式胶结,胶结程度高,较致密。砂岩粒级较粗,粗砂岩粒径 7~0.5 mm,一般 1~0.6 mm,中砂岩粒径 0.5~0.3 mm,石英含量在 25%~45%,长石含量 19%~49%,岩屑主要为岩浆岩岩屑,含量 17%~47%,属于岩屑质长石砂岩。砂岩中砂砾混杂,成分、结构成熟度均较低,分选性、磨圆度较差,呈孔隙式胶结,泥质含量大,胶结物主要为泥质。

沙三段岩石的成分、结构特征反映沉积物源较近,沉积速率较快,属于半深湖沉积。根据岩石学特征,研究区砂岩的长石、岩浆岩岩屑含量高,长石、沉积岩岩屑含量低,可认定沉积物源为埕宁隆起西南部出露的高长石、高岩浆岩屑的奥陶系灰岩地层。

2.2 沙二段沉积特征

据张东断层上盘的张海 6、张海 19、张参 1-1 等钻井岩芯揭示,张东开发区沙二段主要发育灰色、灰绿色细砾岩、细砂岩、粉砂岩及灰色互层砂泥岩^[11]。

沙二段下层细砾岩粒径 2~14 mm,平均 2~4 mm;细砂岩粒径 <0.25 mm,砂岩石英含量 16%~46%,长石 21%~49%,岩屑主要为岩浆岩岩屑,含量 5%~25%,属于岩屑质长石砂岩,颗粒分选度中等,磨圆度次棱状-次圆状,胶结物常见方解石、白云石等,胶结类型主要为接触-孔隙式,以点式接触关系为主。沙二段上层砂岩则以灰褐色细砂岩为主,粉砂岩次之,泥岩较少,局部呈黑色含少量炭质,分选性好,磨圆度中等。依据沙二段砂砾岩的岩石学特征,判断沉积物源仍然为埕宁隆起西南部的高长石、高岩浆岩屑的奥陶系灰岩地层。

沙二段总体岩性比较稳定,砂岩、泥岩分异良好,但多见泥、砂岩互层现象,岩芯观察可见滑塌变形构造、砂枕构造、波纹层理等波浪作用的改造特征,张海 9 井取于 2136.65 m、2138.45 m、2140.75 m、2141.45 m 处的岩芯分别揭露少量鲕粒灰岩,均指示了研究区在沙二段上层沉积时期位于水动力条件不稳定的的滨岸沉积环境中^[12]。

3 测井沉积微相

3.1 沙三段沉积微相

3.1.1 沉积类型 通过对岩芯标本、测井电性特征等综合分析认为,研究区沙河街组沙三段主要为扇三角洲前缘亚相,沙三中晚期至沙三上早期研究区为前扇三角洲亚相所控制。扇三角洲前缘是张东开发区断层下降盘发育相对完整的相带,是从临近隆起区推进至湖泊等稳定水体的冲积扇。发育扇三角洲的充要条件是存在大地形高差的海、湖岸,因此扇三角洲前缘发育时期研究区沉积环境为背依山体的半深湖沉积^[13]。

研究区扇三角洲前缘自下而上为河口坝、水下分流河道、席状砂、支流间湾 4 种微相,岩性主要为中砾岩、细砾岩、巨粒砂岩和细砂岩,变化较大。

3.1.1.1 水下分流河道微相 入湖后的水上辫状河道向湖盆方向延伸,称为水下分流河道,河流受湖水阻挡作用流速降低,所携带的各种颗粒物从而发生沉降。水下分流河道砂体的岩性主要为中砾岩、细砾岩、巨粒砂岩,砂砾岩的结构成熟度较低,多富含杂基支撑物,次棱角状颗粒,分选度、磨圆度均较差。此微相在自然电位测井(SP)中的电特征响应表现为箱型、钟形曲线,自然伽马测井(GR)响应特征为高值小幅震荡。

3.1.1.2 河口坝微相 研究区的河口坝砂体主要多由灰色、深灰色细砂岩、粉细砂岩、粉砂岩构成的互层韵律;原生沉积构造发育,常见浪成沙纹层理、平行纹理等。河口坝砂体的形成要求相对稳定的河道和较弱的湖水能量,指示了此微相形成时期研究区应处于河口的远端。自然电位特征曲线多为低槽状或漏斗型。

3.1.1.3 席状砂微相 席状砂微相发育于扇三角洲前缘的最前端,环绕于河口砂坝外缘,常表现为粉

砂岩、泥岩的薄层交互出现。扇三角洲前缘受潮流的改造作用，常见负载构造、滑塌构造形成的变形层理。电测曲线多呈指状。

3.1.1.4 支流间湾微相 支流间湾是指位于同一水平面内的两水下分流河道间的砂体，岩性以粉、细砂岩为主，一般发育于水下凸起上部，形状受凸起控制，可见水平层理及小波纹层理。自然电位测井曲线显示小范围波动的近直线型。

前扇三角洲亚相在研究区也有发育，岩性主要为深灰色、灰色泥岩与粉砂岩互层，具少量正递变层理，沉积发生于浪基面以下，属于半深湖沉积。自然电位曲线成低幅平直状。

3.1.2 特征井微相识别 以张海 19 井为例：张海 19 井位于张东断层下降盘东段鼻状构造的低位区，沙三段井段 3710~4350 m，厚度为 640 m，厚度约为上升盘地层厚度的 2 倍^[8]。张东开发区上升盘的沙三段地层明显表现为上细下粗的正旋回，反映水体不断加深，其顶底均为不整合面；而张海 19 井所在的下降盘在地层变厚的同时，更多地表现为粗-细-粗的旋回特征，反映了水深由浅变深再变浅的过程，发育有低位域、水进体系域和高位域，为完整的地层层序，尤为重要是基准面下降旋回得到较多的保存。岩性主要为灰色、灰白色细砾岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩和深灰色泥岩等。整个沙三段依次发育扇三角洲亚相的河口坝、水下分支水道、席状砂、支流间湾微相、前扇三角洲亚相和河口坝微相(图 3)。

3.2 沙二段沉积微相

3.2.1 沉积类型 综合分析沙二段地层岩芯、测井电性特征等认为，张东开发区沙二段属三角洲前缘亚相，自下而上依次可划分水下分流河道、河口坝和前缘席状砂 3 种微相。

3.2.1.1 水下分流河道微相 三角洲平原的陆上分支河道向湖内的延伸至水下的部分称为水下分支河道^[3]。在河道延伸入湖的过程中，河道逐渐加宽、分叉增多、河床变浅，导致水流速减小、沉积物堆积速率增大。沙二段为细砂岩、粉砂岩及泥岩等组成的正韵律地层；沉积构造一般为由下而上的大型槽状交错层理、小型槽状交错层理等。自然电位曲线多为钟形、箱形或两者交替出现。

3.2.1.2 河口坝微相 河口坝是三角洲前缘中最具特色的沉积体，由于研究区沙二段水下分流河道发育良好，河口坝发育于水下分流河道的末端，河流注入湖泊时湖水的顶托作用令携带的运载物迅速沉降堆积而形成^[10]。河口坝主要发育细砂岩、粉砂岩等，常具有反韵律属性；多个井岩芯有揭露的沉积构造为斜层理、低角度交错层理和斜波状交错层理等。自然电位曲线为漏斗形。

3.2.1.3 前缘席状砂微相 河口前缘席状砂是位于三角洲前缘的水下分流河道在形成河口砂坝后，由波浪和岸流改造而形成，主要受湖泊波浪搬运再沉积作用控制，其特点是砂体分布面积较广，粒度变细，砂层减薄，沉积构造中主要发育平行层理和低角度斜层理。自然电位曲线常见指状起伏^[14]。

3.2.2 特征井微相识别 张 28x2 井：沙二段依次发育河口坝和水下分流河道微相，属于反旋回沉积，反映水平面逐渐下降，河口前进；而沙二上为一正旋回沉积，整体表现为河口坝-席状砂微相组合，反映了水深的增加。水下分流河道微相发育块状砂岩，厚度较大；河口坝微相自然电位响应逐渐变强，反韵律明显，而席状砂厚度较薄，在伽玛和电阻率测井曲线表现为中高幅指状，其上下一一般为较厚层的泥岩(图 4)。

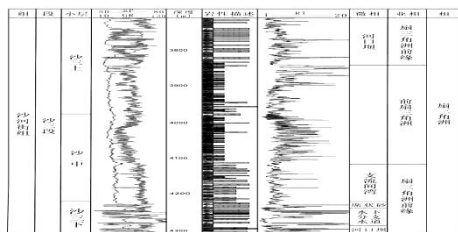


图 3 张海 19 井沙三段单井相分析

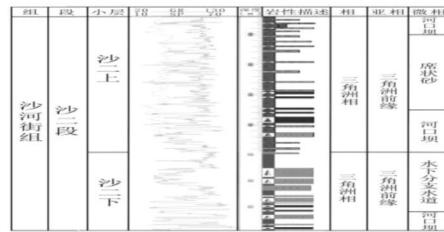


图 4 张 28x2 井沙二段单井相分析

Fig.3 Single well analysis of Shasan section in Log Zhanghai 19 Fig.4 Single well analysis of Shaer section in Log Zhang 28x2

4 微相平面展布与演化

根据区域沉积环境，在层序地层分析^[11,12]和井间小层对比^[15]的基础上，根据岩心观察确定的相标志和单井相分析后，确立不同微相类型的测井响应特征并进行联井微相标定，也就是将典型取心

井的微相分析推广到非取心井, 并利用地震属性综合结果^[16,17], 以实际的地质特征为约束, 以小层为单元对沙三段、沙二段进行微相平面展布研究。

4.1 联井微相标定

张东断层下降盘现已打井 5 口, 分别为张 18-1、张 28×2、张参 1-1、张海 6 及张海 19, 其中张海 19 井和张 28×2 井为取芯井。为了将典型取心井的微相分析推广到非取心井, 确定不同井间的微相对应关系, 将已标定沉积微相的张海 19 井与张 28×2 井作为参照, 利用不同微相类型的测井响应特征建立联井剖面, 为研究各段微相平面展布提供依据^[18,19](图 5)。

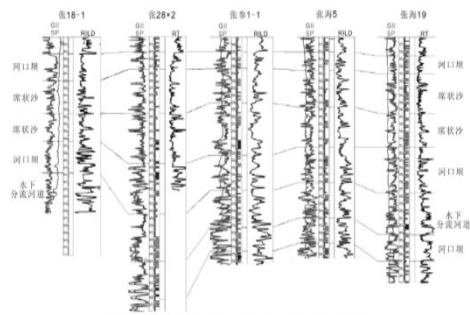


图 5 沙二段张 18-1 井-张海 19 井微相联井剖面

Fig.5 Profiles of Log Zhang 18-1 and Log Zhanghai 19 microfacies in Shaer section

4.2 沙三段微相平面展布

张东开发区沙三下发育的初期为扩展坳陷阶段, 湖平面上升以及强烈的断层活动共同促进坳陷内部的次级水域逐渐连通, 进而发育了低位体系域的扇三角洲前缘沉积亚相, 物源主要来自东南方向。其中, 张海 16 井及以东的断盘地区发育水下分支水道微相, 作为物源通道将沉积碎屑搬运至张海 15 井区、张海 503 井区、下降盘张海 19 井区一线, 沉积物逐渐堆积, 发育了河口坝微相。张东开发区扇三角洲相在沙三下中期的发育最为强烈, 来自东南方向的分流水道不断向前推进到张海 6 和张海 19 井位附近, 河道宽度前缘分叉又变窄, 沉积物堆积形成河口坝。沙三下晚期湖泊逐渐扩张, 水深加大, 东南物源供给减少, 转变为西南物源为主。分支水道在张海 503 井区和张海 5 井区, 且较前期明显变窄, 下降盘绝大部分地区发育席状砂微相(图 6A)。

沙三中期湖泊持续扩张, 沉积范围扩大, 发育半深湖-深湖相, 下降盘除张海 6 井区发育席状砂外, 岩性以大段泥岩为主, 局部夹薄层砂岩。张东开发区断层下降盘沉积体依托断层作为西南部物源的运输通道, 发育了地层层序在垂向上表现为明显的粗-细-粗旋回沉积。但断层上升盘则不尽相同, 绝大多数井沙三段顶部为一分布稳定的泥岩段, 向上由于湖平面下降产生剥蚀, 造成张东开发区沙三段顶部较大规模的区域不整合(图 6B)。

沙三上段沉积时期, 水位又开始下降, 在下降盘张 18-1 和张 28x2 井区发育西南方向分支水道砂, 而张参 1-1 和张海 19 井区发育河口坝, 说明在沙三上沉积期的断层下降盘与断层上升盘发育有明显不同。沙三段末期, 张东地区发生局部隆升, 沙三上部分地层遭受剥蚀, 形成不整合面(图 6C)。

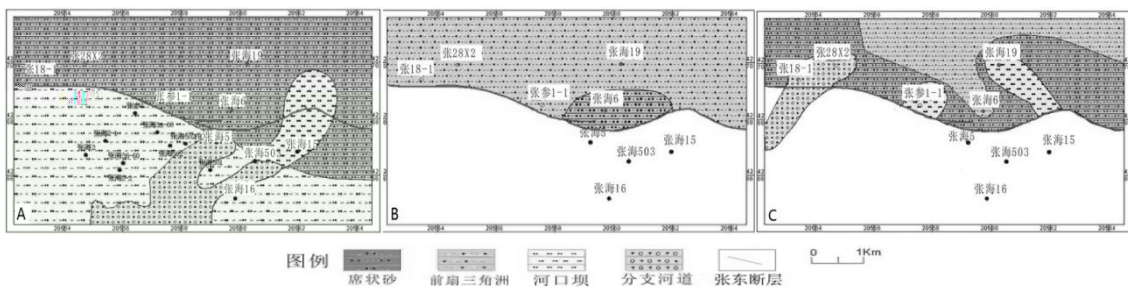


图 6 沙三段沉积微相平面图

Fig.6 Sedimentary microfacies of Shasan section

4.3 沙二段微相平面展布

张东开发区沙二段属于三角洲前缘亚相沉积, 砂泥岩互层剖面, 属于复合韵律沉积体系, 物源方向主要来自西南部地区。沙二下段为一反序韵律沉积体, 此时水体由深变浅, 三角洲不断向湖推进^[16]。三角洲前缘水下分支水道砂及河口坝在沙二下段时期沿张东断层断盘不断扩展, 沉积物经由张东断层及其分支不断向下降盘运输并堆积, 反映沙二下段是由下而上的三角洲的沉积演化过程。

沙二下早期, 张东断层下降盘位于三角洲前缘前端, 张海 19 井区发育分支水道微相, 张海 6 井及张 18-1、张 28x2 井区位于水下分流河道外缘, 发育河口坝微相, 其它区域发育席状砂微相。沙二下中期, 湖平面后退水体逐渐变浅, 分支水道向北推进到张海 6、张海 19 及张海 18-1、张 28x2 井区。沙二下段晚期(图 7A), 为三角洲发育的鼎盛时期, 共发育南北向 4 条分支水道, 下降盘的张海 6、张

海 19 及张海 18-1、张 28x2 井区都有水下分支水道微相揭露, 可能为沙二段晚期的物源通道。

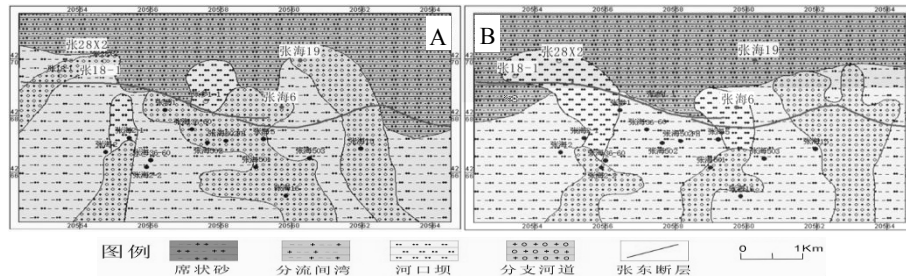


图 7 沙二段沉积微相平面图

Fig.7 Sedimentary microfacies of Shaer section

沙二上时期(图 7B)由于湖进作用, 水平面上升形成退积三角洲沉积。水下分支水道及河口坝逐渐向南退却, 表现在平面图上为断层下降盘砂体自下而上越来越不发育。

5 结论

(1)研究区沙河街组沙三段-沙二段经历了扇三角洲—三角洲沉积演化过程。根据区域沉积背景, 从构造、砂体展布、岩屑百分含量等确定张东断层下降盘沙三、沙二段的沉积物源为西南部构造高部位的埕宁隆起。

(2)通过对取心井段的岩性、粒度、结构、构造、沉积韵律以及垂向上地层层序发育特征的研究, 并结合录井、测井等综合分析, 划分出张东开发区单井沉积相及微相类型, 并得出沉积相的平面展布规律。确定张东开发区沙三段为扇三角洲前缘沉积, 沙二段为三角洲前缘沉积。

(3)沙三段—沙二段沉积形成时研究区处于强烈伸展断陷期, 张东断层继承前期基岩断层分段发育成核, 控制了上升盘物源进入下降盘的通道, 为埕宁隆起奥陶系物源经由张东断层进入下降盘提供了有利条件。

参考文献

- [1] 高锡兴, 黄骅坳陷石油天然气地质[M].北京:石油工业出版社,2004
- [2] 王友净, 滩海地区油藏评价与水平井地质参数优化[D].北京:中国石油大学,2007
- [3] 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,2004,24(1):36-41
- [4] 孟 鹏,刘 立,高玉巧,等.大港油田埕海二区沙三下亚段沉积微相研究[J].四川地质学报,2011,3:302-305
- [5] 张江华.大港张东地区地震地质综合储层预测研究[D].北京:中国石油大学,2009
- [6] 张 杰,邱楠生,王 昕,等.黄骅坳陷歧口凹陷热史和油气成藏史[J].石油与天然气地质,2005,26(4):506-511
- [7] 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,2002,29(6):38-42
- [8] 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
- [9] 袁淑琴,于 平,盛东杰,等.埕北断阶区断裂特征分析及与油气富集关系探讨[C]//第 12 届三省一市环渤海浅(滩)海油气勘探开发技术论文集.北京:石油工业出版社,2007
- [10] Jia Yumei, Xufang, Chen Bin, *et al.* Three-dimensional Geological Reservoir Modeling of Thin Beds Based on Seismic Data A Case on Chenghai Oilfield II Area[J]. Natural Gas Geoscience, 2010,21(5):833-838
- [11] 王友净,林承焰,董春梅,等.大港滩海张东开发区沙河街组层序地层格架与储层预测[J].油气地质与采收率,2007(4):23-26
- [12] Zhang Jianghua. Study on the Seismic Geology Comprehensive Reservoir Prediction in Zhangdong Area of Dagang Oil Field[D].Beijing:China University of Petroleum,2009
- [13] Meng Peng, Liu Li, GaoYuqiao, *et al.* Characteristic of sedimentary microfacies of the third and second members of Shahejie Formation in nearshore subaqueous fan in Chengbei step-fault zone, Dagang offshore area[J]. Global Geology, 2005, 24(1):36-42
- [14] QiuYilan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang, *et al.* Evaluation of oil and gas reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997
- [15] 徐学纯,邹海峰,高福红,等.大港探区油气形成过程的古地温特征及其演化[J].吉林大学学报:地球科学版, 2003,33(4):457-463
- [16] 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
- [17] Gu Jiayu. Sedimentary facies and hydrocarbon[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1994
- [18] 顾家裕.沉积相与油气[M].北京:石油工业出版社,1994
- [19] 胡望水,吕炳全,郭齐军,等.大港油田大张坨断层三维封闭特征[J].石油勘探与开发,2002,29(5):31-33