

文章编号:0253-9985(2012)02-0277-10

东营凹陷民丰地区沙河街组四段—三段中亚段 沉积相与沉积演化特征

远光辉,操应长,王艳忠

(中国石油大学 地球科学与技术学院,山东 青岛 266555)

摘要:针对东营凹陷民丰地区古近系沙四段—沙三中亚段砂砾岩扇体类型认识的不统一,在工区26口取心井岩心观察和描述的基础上,结合地震、测井、录井及沉积物粒度特征等资料,对民丰地区沙四段—沙三中亚段近岸水下扇、扇三角洲及深水浊积扇等砂砾岩扇体的沉积特征进行了系统研究。结果表明,民丰地区沙四下亚段底部和沙三中亚段主要发育扇三角洲,沙四下亚段中上部、沙四上亚段和沙三下亚段主要发育近岸水下扇,深水浊积扇在各个时期均有发育,但规模较小。在识别不同层段砂砾岩扇体类型的基础上,综合民丰地区各时期构造活动特征、边界断层形态、气候条件、水体深度及湖盆的“敞—闭”状态等,分析了不同时期主要沉积相的沉积演化及分布特征。以此为基础,建立了断陷湖盆演化过程中“板式高角度断层—铲式高角度断层”继承性控制的陡坡带砂砾岩扇体的沉积演化模式,旨在对类似地区的油气勘探有所裨益。

关键词:断层;砂砾岩扇体;沉积相;沉积演化;民丰地区;东营凹陷

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary facies and their evolution of the 4th-middle 3rd members of Shahejie Formation in Minfeng area, Dongying Sag

Yuan Guanghui, Cao Yingchang and Wang Yanzhong

(School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555, China)

Abstract: No consensus has been reached on the types of sandy conglomerate fans in the 4th-middle 3rd members of Shahejie Formation in Minfeng area. Based on observation and description of cores from 26 wells and in combination with seismic data, logging data, and grain size characteristics, this paper systematically studied the sedimentary characteristics of sandy conglomerate fans, including nearshore subaqueous fans, fan deltas and deep water turbidite fans in the 4th-middle 3rd members of Shahejie Formation in Minfeng area. Fan deltas dominate the bottom of the lower 4th member and middle 3rd member of Shahejie Formation, while the nearshore subaqueous fans are predominant in the middle to upper part of the lower 4th member, the upper 4th member and the lower 3rd member of Shahejie Formation. Deep water turbidite fans exist in each interval, but their scales are small. On the basis of identifying the types of sandy conglomerate fans in different intervals, we analyzed the synsedimentary tectonic activity, the geometry of boundary fault, paleoclimate, water depth and the close and open of lake basin, and determined the evolution and distribution characteristics of the main sedimentary facies in different periods. Based on these studies, this paper puts forward a sedimentary evolution model for the sandy conglomerate fans in the steep-slope zone of rifted lacustrine basin under the successive controls of the ‘high angle plate fault-high angle listric fault’, offering an applicable instruction for oil and gas exploration in similar area.

Key words: fault, sandy conglomerate fan, sedimentary facies, sedimentary evolution, Minfeng area, Dongying Sag

收稿日期:2011-10-12;修订日期:2012-01-02。

第一作者简介:远光辉(1986—),男,博士,沉积学和储层地质学。

基金项目:国家自然科学基金项目(40972080);国家科技重大专项(2011ZX05009);中国石油大学(华东)研究生自主创新科研计划项目(12CX06003A)。

在古近系沙河街组三段(沙三,下同)一四段沉积时期,东营凹陷北部陡坡带民丰地区具有构造活动强烈、坡度陡、高差大、物源近等特点,砂砾岩扇体广泛发育,构成了重要的沉积体系,这些砂砾岩储层紧邻深湖相烃源岩,成为油气聚集的重要场所^[1]。东营凹陷北部陡坡带已钻探发现 50 余个含油气砂砾岩扇体,探明石油地质储量超亿吨,是东营凹陷油气勘探的重要对象和接替阵地^[2-5]。民丰地区针对砂砾岩扇体油气藏的勘探也取得了重大突破,如丰深 1 井砂砾岩油藏获得日产原油逾 50 t 和日产天然气逾 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产^[3]。但是,目前民丰地区砂砾岩扇体的勘探程度仍相对较低,导致不同学者对该区砂砾岩扇体的认识仍存在较大分歧:沙四下亚段,钟建华等^[6]、高翔成等^[7]认为主要发育冲积扇^[6-7],王巨峰^[8]认为主要发育近岸水下扇;沙四上亚段,杨剑萍等^[9]、王蛟等^[10]认为

发育扇三角洲,王巨峰^[8]认为发育近岸水下扇;沙三下亚段,杨剑萍等^[9]认为发育扇三角洲,鄢继华等^[11]、高翔成等^[7]、王巨峰^[8]等认为发育近岸水下扇^[7-8,11];沙三中亚段,杨剑萍等^[9]、鄢继华等^[11]、王巨峰^[8]认为发育近岸水下扇^[8-9,11-12]。

不同类型的砂砾岩扇体,其沉积和成藏特征不同,进行勘探开发时的指导方针就不同,因此准确识别其成因类型非常重要。笔者通过对民丰地区 26 口井的 1100 余米岩心的观察描述(图 1),结合地震、测井、录井及沉积物粒度特征等资料,综合各时期构造活动特征、边界断层形态、气候条件、水体深度及湖盆的“敞-闭”状态等,对民丰地区沙四段一沙三中亚段主要沉积相及沉积演化特征进行了系统分析,以民丰地区为原型,建立了高角度边界断层控制的断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体的沉积演化模式。

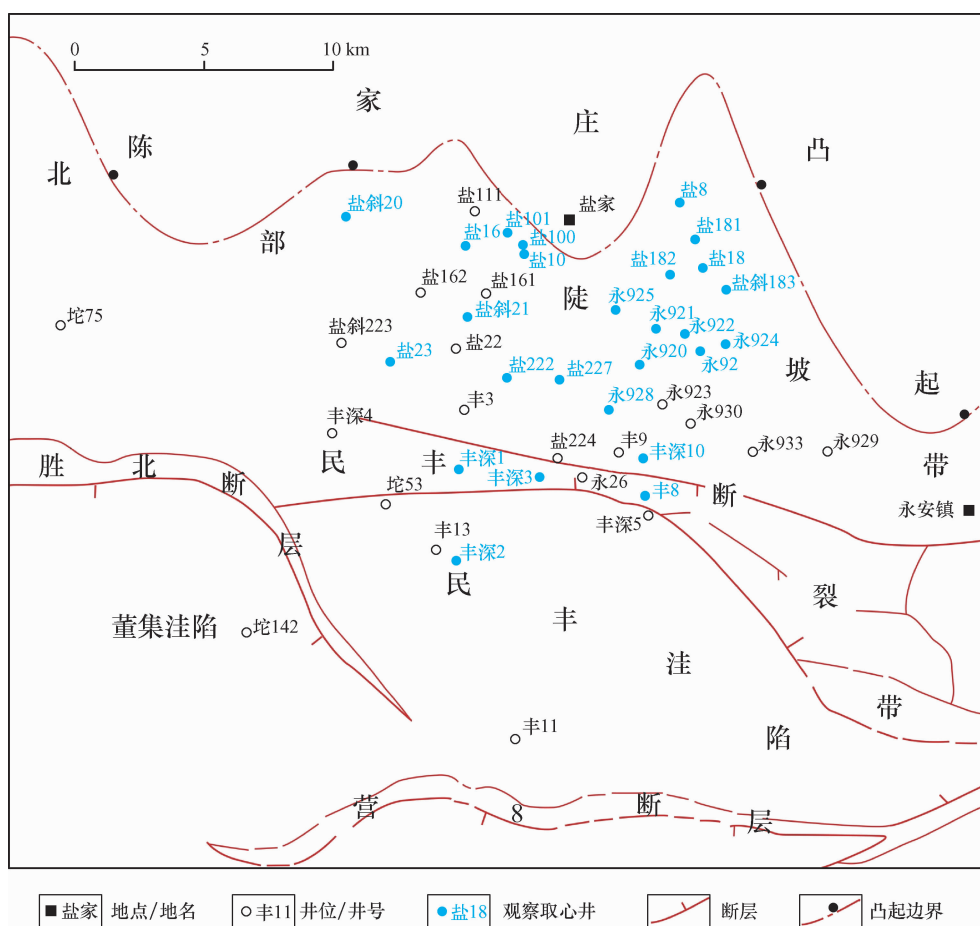


图1 东营凹陷民丰地区构造特征及井位分布

Fig. 1 Structural characteristics and well locations of Minfeng area, Dongying Sag

1 地质背景

民丰地区位于东营凹陷北部陡坡带东段,北为陈家庄凸起,南靠营8断层,西为胜北断层,东临永安镇隆起,包括北部陡坡带、民丰断裂带和民丰洼陷区,有利勘探面积 200 km^2 ^[8] (图1)。陈南断裂带东段断层坡度大,倾角为 $30^\circ \sim 45^\circ$ ^[1],作为民丰地区的边界断层,对该区的沉积演化起到了重要的控制作用。

2 主要沉积相类型及特征

2.1 近岸水下扇

近岸水下扇是邻近高地的沉积物直接进入湖泊深水沉积区紧邻断层面沉积的重力流沉积扇体。根据其沉积特征可划分为扇根(图2a、b)、扇

中(图2c)和扇端亚相(图2d),并可进一步划分出扇根主水道、扇中辫状水道和扇中辫状水道间等沉积微相。

1) 扇根亚相

扇根亚相主要由富砾碎屑流沉积的杂基支撑砾岩(图2a)和季节性洪水形成的高密度浊流沉积的碎屑颗粒支撑砾岩(图2b)两部分组成,块状层理(图3a)和粒序层理发育。

富砾碎屑流粘度大,进入湖盆后,直接以碎屑锥的形式快速紧贴高角度断层堆积,形成的杂基支撑砾岩单层厚度多大于 2 m ,最厚可达 30 m ,沉积物分选极差,砾石粗大(岩心中见到直径近 1 m 的花岗片麻砾岩),呈棱角—次棱角状,杂乱排列(图2a)。富砂砾的季节性洪水粘度相对较小,进入湖盆后,冲刷侵蚀湖底形成水道,推进距离较远,在重力作用下,粗碎屑物质迅速卸载充填主水道。充填主水道的碎屑颗粒支撑砾岩单层厚度多

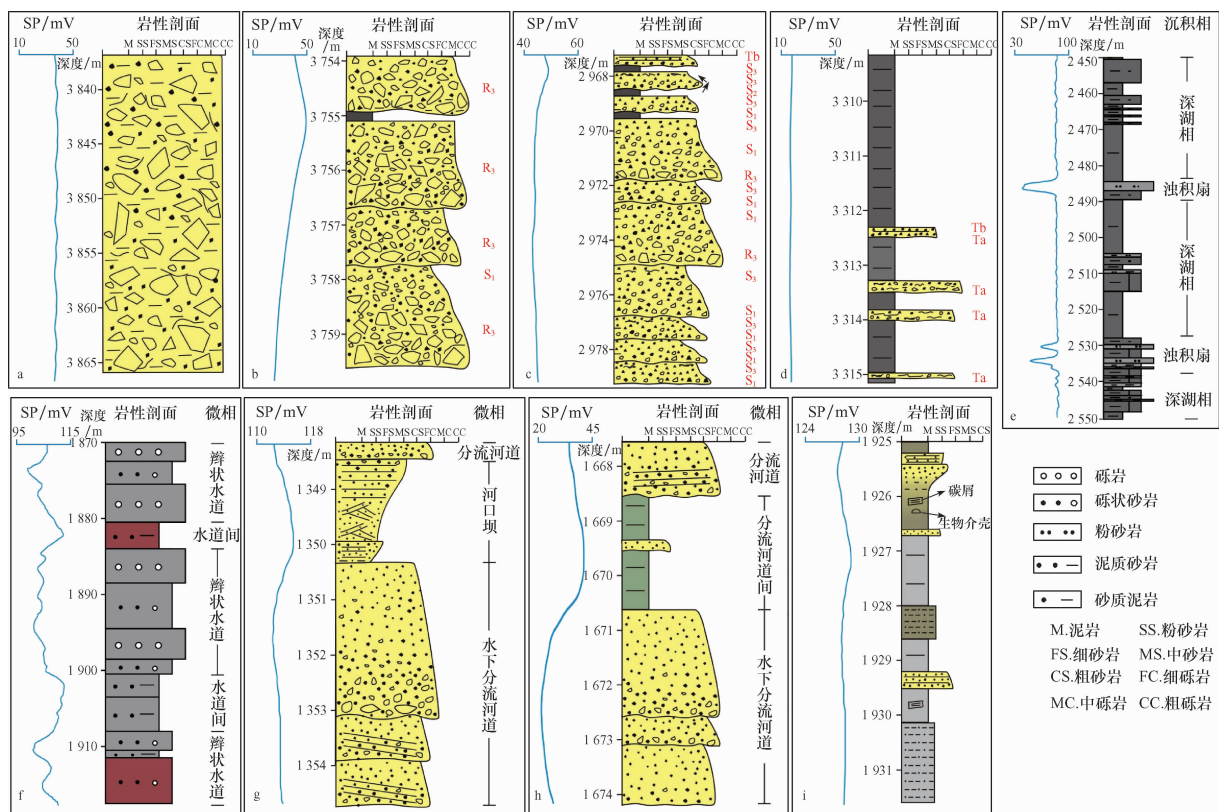


图2 东营凹陷民丰地区不同沉积相沉积序列及自然电位曲线响应特征

Fig. 2 Depositional sequences and corresponding SP curves of different sedimentary facies in Minfeng area, Dongying Sag

a. 盐227井, $E_s^{4(上)}$, 近岸水下扇扇根碎屑锥; b. 盐227井, $E_s^{4(上)}$, 近岸水下扇扇根亚相主水道; c. 永92井, $E_s^{4(上)}$, 近岸水下扇扇中亚相辫状水道; d. 盐227井, $E_s^{4(上)}$, 近岸水下扇扇端亚相; e. 丰13井, $E_s^{3(中)}$, 深水浊积扇及深湖相; f. 盐8井, $E_s^{3(中)}$, 扇三角洲平原亚相; g. 盐10井, $E_s^{3(中)}$, 扇三角洲前缘亚相; h. 盐101井, $E_s^{3(中)}$, 扇三角洲前缘亚相; i. 盐16井, $E_s^{3(中)}$, 前扇三角洲亚相

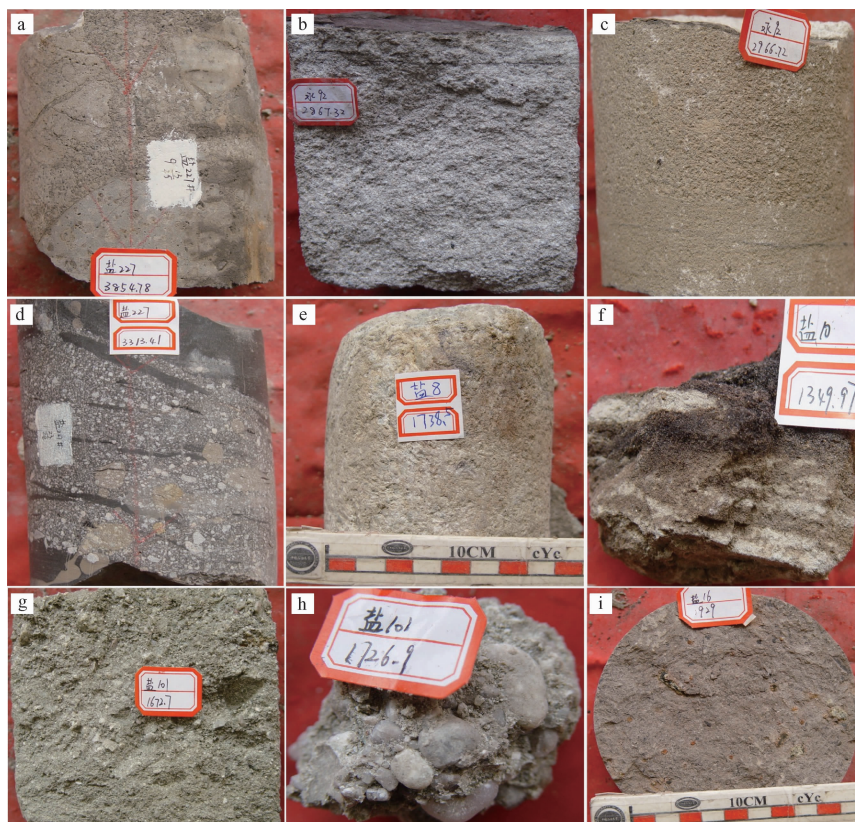


图3 东营凹陷民丰地区不同沉积相相标志

Fig. 3 Marks of different sedimentary facies in Minfeng area, Dongying Sag

a. 盐 227 井, 3 854.78 m, 近岸水下扇扇根亚相杂基支撑砾岩; b. 永 92 井, 2 867.32 m, 近岸水下扇扇中亚相正粒序层理; c. 永 92 井, 2 966.72 m, 近岸水下扇扇中亚相底冲刷构造; d. 盐 227 井, 3 313.41 m, 近岸水下扇扇端亚相 Ta 段及泥岩撕裂屑; e. 盐 8 井, 1 738.5 m, 扇三角洲平原亚相片麻岩大砾石; f. 盐 10 井, 1 349.97 m, 扇三角洲前缘亚相交错层理; g. 盐 101 井, 1 672.7 m, 扇三角洲前缘亚相灰绿色砾质砂岩; h. 盐 101 井, 1 726.9 m, 扇三角洲前缘亚相卵状中、细砾岩; i. 盐 16 井, 1 929 m, 前扇三角洲亚相黄灰色泥岩

为 0.5~2.0 m, 少数可达 5 m, 主要由砾质高密度浊流正递变悬浮沉积单元(R_3)组成, 底部为中、粗砾岩, 向上递变为中、细砾岩(图 2b)。少数底部发育砾质反递变牵引毯层(R_2), 顶部发育砂质高密度浊流的牵引层(S_1)。

扇根沉积物粒度概率曲线以宽缓上拱式、低斜二段式、低斜三段式为主(图 4a), $C-M$ 图以反映重力流为主的与 $C=M$ 线平行的 QR 段为特征(图 4b)。自然电位曲线多为中低幅齿状或箱状(图 2a, b)。

2) 扇中亚相

扇中亚相为辫状水道发育区, 是扇的主体。垂向剖面上表现为辫状水道叠复冲刷, 形成多层叠合的砂砾岩体, 以砾质-砂质高密度浊流沉积为特色。岩性主要为浅灰色-灰白色砂砾岩、中粗砂岩与细砂岩。粒序层理(图 3b)、底冲刷构造(图 3c)及块状层理最为发育, 此外见有平行层理和波状层理。从近源向远源, 由于水动力减弱, 依

次见到 R_3S_1 , S_1S_3 , $(S_1)S_3Tb$, S_3Tbc 和 S_3Tbcd 等沉积序列, 其中 S_1S_3 和 $(S_1)S_3Tb$ 最为发育(图 2c)。反映颗粒流沉积的砂质牵引毯层(S_2)偶有发育, 组成 $S_2S_3(Tb)$ 的沉积序列。一个完整的 $R_3S_1S_3Tbcd$ 沉积序列, 从下向上, 沉积物由中、细砾岩过渡为中、细砂岩。辫状水道单层砂体厚度多为 0.2~1.0 m, 少数可达到 1.5~2.0 m, 叠置砂体最大厚度可达 40 m。扇中水道间沉积粒度较细, 多以 0.2~0.4 m 厚的深灰色、灰黑色泥岩夹厚度小于 0.15 m 的薄砂层组成。

扇中沉积物粒度概率曲线以上拱弧形式和低斜二段式为主, 发育少量典型两段式(图 4a), $C-M$ 图以反映重力流为主的 QR 段与 $C=M$ 线平行(图 4b)。自然电位曲线多表现为齿化或弱齿化中、高幅钟形或箱形(图 2c)。

3) 扇端亚相

扇端亚相为深灰色和灰黑色泥岩夹中薄层砂

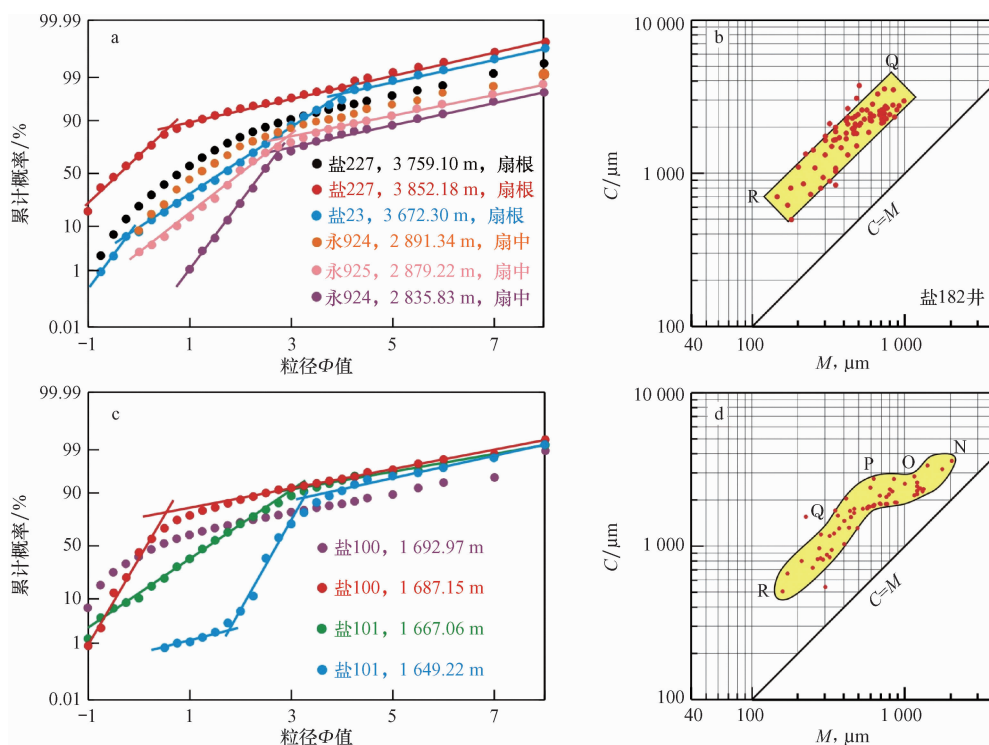


图4 东营凹陷民丰地区近岸水下扇和扇三角洲沉积物粒度特征

Fig. 4 Grain size characteristics of nearshore subaqueous fans and fan deltas in Minfeng area, Dongying Sag

a. 近岸水下扇沉积典型粒度概率曲线; b. 近岸水下扇沉积的 $C-M$ 图; c. 扇三角洲沉积典型粒度概率曲线; d. 扇三角洲沉积的 $C-M$ 图

岩(图2d), 泥岩中见黄铁矿和多种生物化石。砂岩层以低密度浊流鲍玛序列的 Ta 和 Tab 段沉积为主, 底冲刷、泥岩撕裂屑及变型构造常见(图3d), 偶见有平行层理。自然电位曲线多为弱齿状或表现为平直的泥岩基线(图2d)。

2.2 扇三角洲

扇三角洲是陆源碎屑物质从临近高地进入稳定水体中形成的扇状沉积, 其沉积主体位于滨浅湖。扇三角洲具有复合型水动力机制, 根据其沉积特征, 可将扇三角洲划分为扇三角洲平原(图2f)、扇三角洲前缘(图2g, h)和前扇三角洲(图2i)3个亚相。

2.2.1 扇三角洲平原亚相

扇三角洲平原多表现为近源的砾质辫状河沉积, 主要岩性为大套灰色—杂色砾岩、砂砾岩夹紫红色、红褐色砂质泥岩和泥岩沉积(图2f)。平原水道沉积物粒度粗(图3e), 成分成熟度和结构成熟度较低。自然电位曲线多表现为齿化或弱齿化中—高幅箱形或钟形(图2f)。

2.2.2 扇三角洲前缘亚相

扇三角洲前缘亚相是最主要的沉积相带和砂

体发育区, 发育水下分流河道、水下分流河道间和河口坝3种沉积微相。

1) 水下分流河道

扇三角洲前缘水下分流河道沉积是本区重要的沉积类型, 也是重要的油气储集体, 在多口井见到不同含油级别的岩心。岩性主要表现为混杂—中等较好分选的含砾砂岩、中粗砂岩和细砂岩, 并能见到少量的砾质砂岩和砂质砾岩, 岩心中泥质杂基呈灰绿色或黄绿色(图3g), 反映了沉积物沉积时相对较浅的水环境。含花岗片麻岩和硅质岩的中、细砾岩呈卵石状, 磨圆好(图3h), 反应了相对较长的搬运过程。水下分流河道砂体常为单个或叠覆冲刷的多个正韵律砂体(图2g, h), 单砂层厚度多为0.5~2.0 m, 少数可达3~4 m, 叠置砂体厚度可达30 m。沉积构造发育, 常见底冲刷构造、粒序层理、交错层理(图3f)和平行层理。

水下分流河道沉积粒度概率曲线以弧形单段式和低斜二段式为主, 但也发育有3段式(图4c); $C-M$ 图由反映牵引流的 $NO-OP$ 段和反映重力流的与 $C=M$ 线平行的 QR 段组成(图4d)。自然电位曲线形态表现为弱齿化的中、高幅钟形或箱型的组合(图2g, h)。

2) 水下分流河道间

水下分流河道间沉积为砂泥互层的过渡岩性,主要以泥岩、粉砂岩及泥质粉砂岩等为特征,层理类型以块状层理和水平层理为主,泥岩颜色多为灰绿色和浅灰色,含较多碳屑。河道间泥岩沉积厚度一般较薄,多为0.2~1.0 m,并常被河流改道而改造,甚至被完全冲刷(图2g,h)。

3) 河口坝

河口坝常形成于水下河道分叉处的前缘,以前积作用为主,垂向上具典型向上逐渐变粗的反韵律特征(图2g)。

2.2.3 前扇三角洲亚相

前扇三角洲处于开阔湖地带,沉积物以灰绿色、黄灰色和灰色具水平层理泥岩为主,夹薄层泥质粉砂岩或粉细砂岩(图2i,图3i)。常见到黄铁矿和多种类型的生物化石。

2.3 深水浊积扇

近岸水下扇和扇三角洲砂体沉积厚度大,加

之陡坡带坡度较大,砂体常处于不稳定状态,在某些外因(如地震和风暴等)的诱导下,滑塌形成二次搬运,在湖盆更深部位形成深水浊积扇沉积^[13]。

深水浊积扇的砂体底部与深湖-半深湖相泥岩呈冲刷接触,垂向上常表现为正粒序,岩性底部以块状含砾砂岩为主,向上变为中粗砂岩,顶部主要沉积细砂岩和粉砂岩(图2e)。研究区深水浊积扇规模较小,厚度常小于3 m。

3 沉积演化特征及演化模式

民丰地区在沙四段—沙三中亚段沉积时期发育有近岸水下扇、扇三角洲和深水浊积扇等类型的砂砾岩扇体。不同沉积时期,由于构造活动、边界断层形态、气候条件、水体深度及湖盆“敞-闭”状态等条件的差异性,砂砾岩扇体的类型及沉积特征亦有所不同:沙四下亚段底部和沙三中亚段发育扇三角洲,沙四下亚段中上部、沙四上亚段和沙三下亚段主要发育近岸水下扇,深水浊积扇在各个时期都有发育,但规模较小(图5,图6)。垂

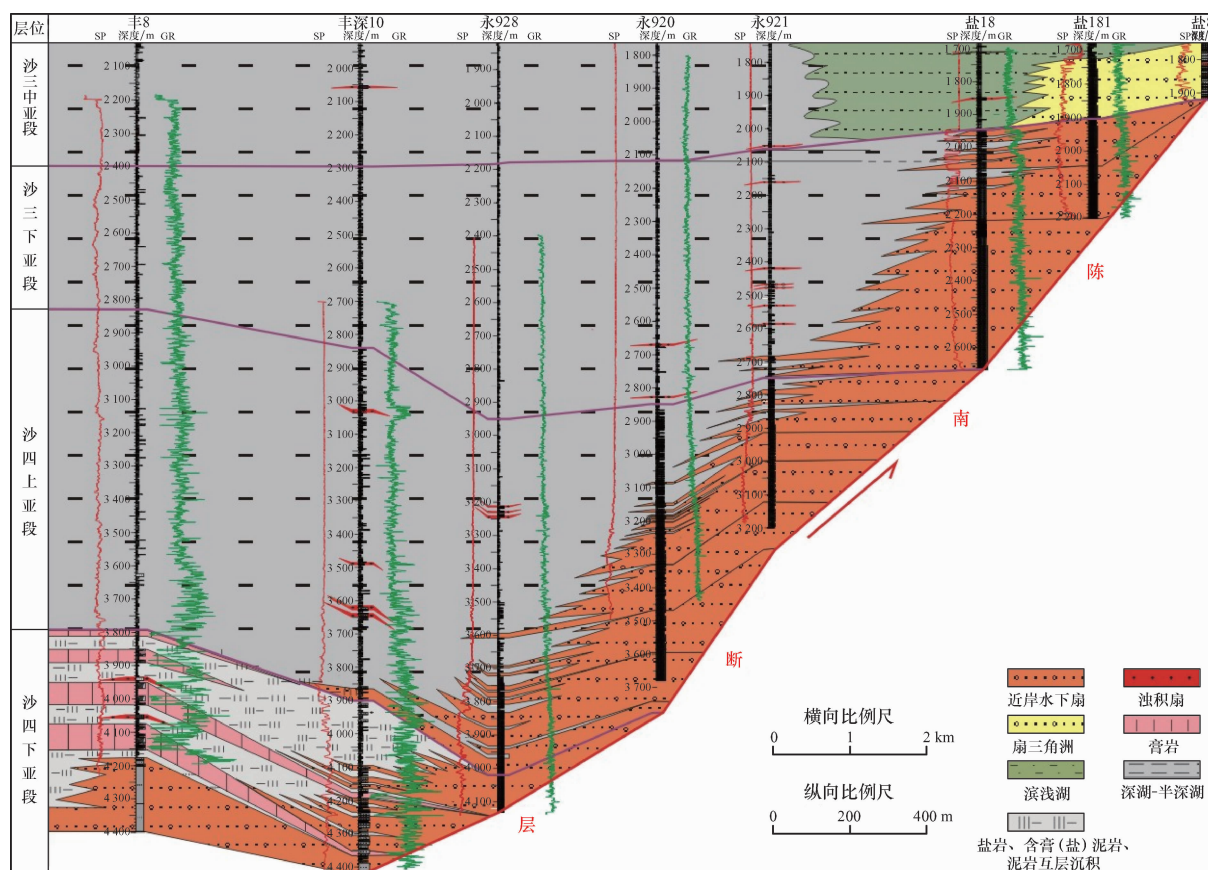


图5 东营凹陷民丰地区盐8井—丰8井沉积相剖面

Fig. 5 Sedimentary facies profile crossing Well Yan8 and Well Feng8 in Minfeng area, Dongying Sag

向上,沙四段—沙三中亚段砂砾岩扇体整体呈现退积为主、加积为辅、继承性发育的特征(图5);平面上,整体呈现沟扇对应,多期砂砾岩扇体叠置连片分布的特点(图6)。

3.1 沙四段沉积演化特征

民丰地区控盆边界断层总体走向约为 320° ^[14],其演化经历了孔店组—沙四段沉积时期(85~42.5 Ma)的高角度板式断层阶段及沙三段沉积时期—现今(42.5 Ma 至今)的上陡下缓的铲式断层阶段^[15]。在孔店组—沙四段沉积时期,东营凹陷受NE向引张作用的控制,民丰地区北西向的板式边界断层呈现出强烈的伸展作用,盆地基

底沉降迅速,沉降速率接近250 m/Ma,该时期民丰地区陡坡带是东营凹陷一个沉降中心^[15-19]。

3.1.1 沙四下亚段沉积时期

沙四下亚段沉积早期,板式边界断层活动强度大,基底快速沉降,气候干旱,降雨量少,缺乏永久性供给河流,此时,东营凹陷处于“盆深水浅”的闭流湖盆状态^[19-20]。研究区钻穿沙四下亚段的仅有3口井,从丰深2井沙四下亚段底部一套紫红色、灰色含膏泥岩和泥岩的互层沉积,推测该时期湖盆陡坡带为水体较浅的滨浅湖,发育间歇性盐湖沉积。降水时期洪水携带陆源碎屑物质进入湖盆,发育了扇三角洲的碎屑沉积,蒸发时期沉积了

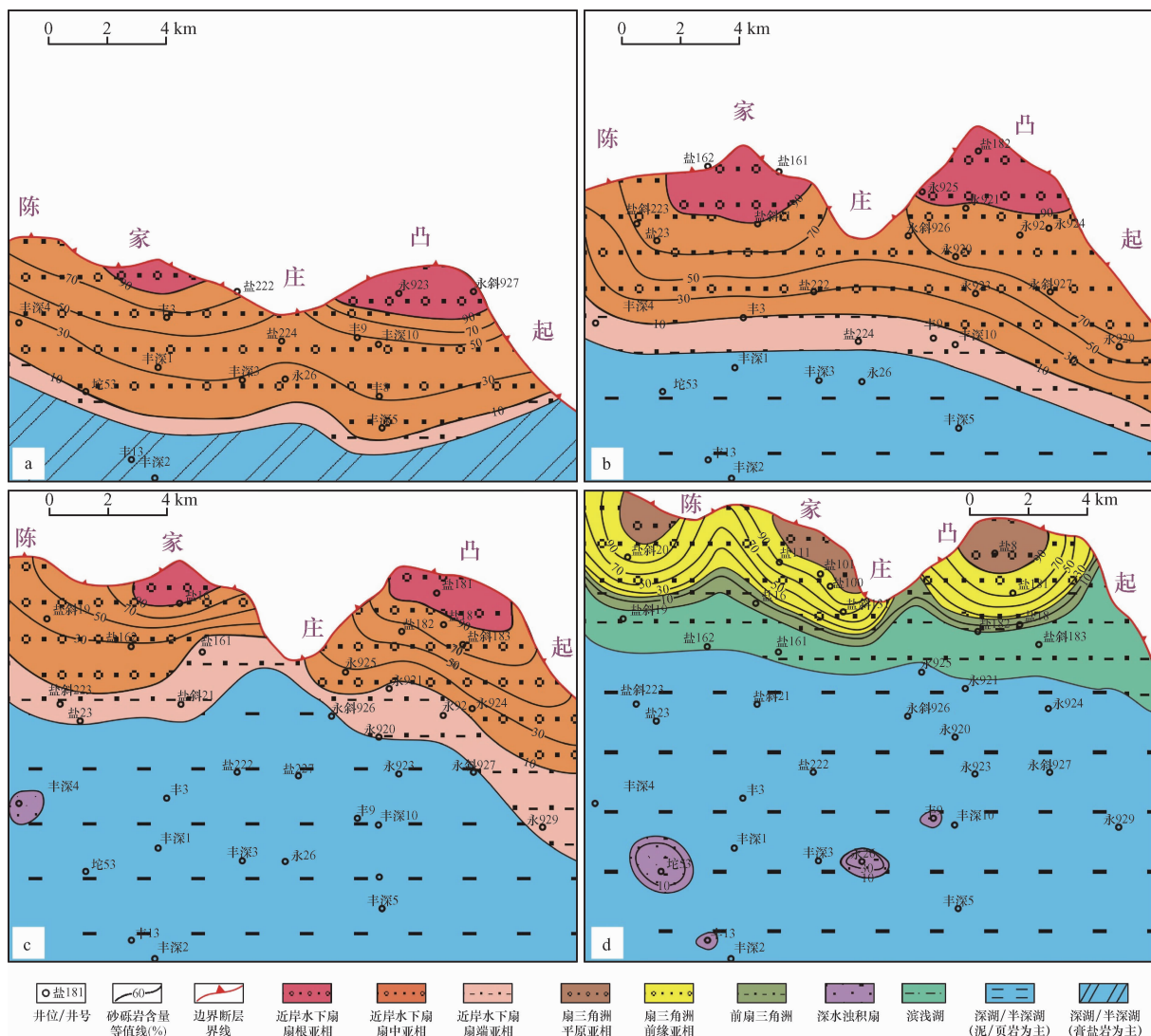


图6 东营凹陷民丰地区沙四段—沙三中亚段各亚段沉积相

Fig. 6 Map showing sedimentary facies of the 4th—middle 3rd members of Shahejie Formation in Minfeng area, Dongying Sag

a. 沙四下亚段; b. 沙四上亚段; c. 沙三下亚段; d. 沙三中亚段

紫红色的盐岩和膏盐,剖面上沙四下亚段底部表现为一套杂色膏盐岩与碎屑岩互层的沉积组合。

沙四下亚段沉积中后期,陡坡带基底持续快速沉降,在整体气候为干热的背景下,降雨量有所增加,已有永久性河流长期补充盐湖^[20]。板式边界断层附近陡坡带作为闭流湖盆的沉降中心,为湖盆可容空间最大发育区,湖盆其他部位水体向此处汇聚,水体迅速加深。该时期,民丰地区陡坡带处于深湖-半深湖状态,季节性洪水带来的陆源碎屑物质紧贴边界断层沉积,发育了退积为主的近岸水下扇(图5,图6a)。

3.1.2 沙四上亚段沉积时期

沙四上亚段沉积时期,东营凹陷依旧为闭流湖盆^[19],民丰地区受北东向引张作用的控制,基底沉降速度快、沉降幅度大^[12],加之该时期气候由干旱转为半干旱-较湿润^[20],降雨量增加,湖盆水体迅速增大,水深快速增加,陡坡带常保持在深湖-半深湖状态,季节性洪水带来的陆源碎屑物质紧贴边界断层沉积,发育了退积为主的近岸水下扇(图5,图6b)。

3.2 沙三段沉积演化特征

在民丰地区,由沙四段沉积时期进入沙三下亚段沉积时期,东营凹陷的古应力方向发生改变,表现为北西向的引张作用,民丰地区北西向的边界断层此时表现出走滑和伸展共存的特点,且以走滑作用为主,伸展作用相对较弱^[18]。在这种情况下,边界断层活动性减弱,陡坡带基底沉降速率约为120 m/Ma,仅为沙四段沉积时期的一半^[16]。

民丰地区孔店组(Ek)-沙四段-沙三下亚段楔状形态明显,向盆地边缘明显变厚,而沙三中亚段厚度向盆地边缘减小,反映沙三中亚段沉积时期,研究区边界断层活动的活动很弱,断层附近陡坡带基底沉降非常缓慢^[16]。另外,伴随该时期边界断层已由板式演变为铲式^[15],研究区的沉降和沉积中心也从边界断层根部向盆地中心深洼区迁移^[16],边界断层根部不再是民丰地区的沉降中心。

3.2.1 沙三下亚段沉积时期

沙三下亚段沉积时期,尽管构造沉降引起的新增可容空间速度开始放慢,但沙四段沉积时期结束时,湖盆仍处于闭流湖盆阶段^[19],存在较大的

老空间(早期未被充填而遗留的空间)。该时期气候湿润,降雨量丰富,雨水大量汇入湖盆,湖平面快速上升,水下可容空间快速增大,使得陡坡带仍处于深湖-半深湖状态,季节性洪水带来的陆源碎屑物质紧贴边界断层沉积,继承性地发育了退积为主的近岸水下扇(图5,图6c)。

3.2.2 沙三中亚段沉积时期

沙三中亚段沉积时期,气候湿润,降雨量大,东营凹陷已经处于敞流湖盆状态^[19],湖盆绝对湖平面变化不大,水体深度的增大需要通过基底沉降来实现。而该时期民丰地区铲式边界断层活动微弱,这使得边界断层附近陡坡带处于较稳定的滨浅湖状态。由于陈家庄凸起的存在,伴随着基底的缓慢沉降,沙三中亚段沉积时期,民丰地区仍具有高差相对较大、物源相对较近的特点,由季节性洪水带来的陆源碎屑物质推进到陡坡带滨浅湖地区,发育了扇三角洲沉积(图5,图6d)。深水浊积扇在湖盆演化的各个阶段均有发育,但规模相对较小(图5,图6)。

3.3 砂砾体类型演化主控因素及演化模式

综合民丰地区沉积演化特征,研究认为构造活动、边界断层形态、气候条件、水体深度及湖盆“敞-闭”状态是影响高角度断层控制的陡坡带地区砂砾岩扇体沉积演化的主要因素。其中,构造活动为控制砂砾岩扇体沉积演化的根本因素,强烈的构造沉降形成“高山深盆”,为砂砾岩扇体的发育提供物源条件和沉积场所,为湖盆水体的加深提供先决条件。边界断层形态是构造活动的结果,同时直接影响了陡坡带的沉降和沉积中心,边界断层活动强烈,陡坡带沉降和沉积中心位于板式边界断层附近,边界断层活动减弱,沉降和沉积中心远离铲式边界断层,向湖盆中心方向迁移。气候的作用仅次于构造活动,是湖盆水体加深或变浅的直接因素。陡坡带水体深度是构造活动和气候条件综合响应,直接控制砂砾岩扇体类型,水体较浅时,陡坡带处于滨浅湖状态,主要发育扇三角洲;水体较深时,陡坡带处于深湖-半深湖状态,主要发育近岸水下扇。湖盆“敞-闭”状态对砂砾岩扇体类型有一定影响,闭流湖盆时,陡坡带水体深度主要由气候条件的变化控制,在干旱且无永久河流供给条件下,陡坡带水体较浅,主要发育扇

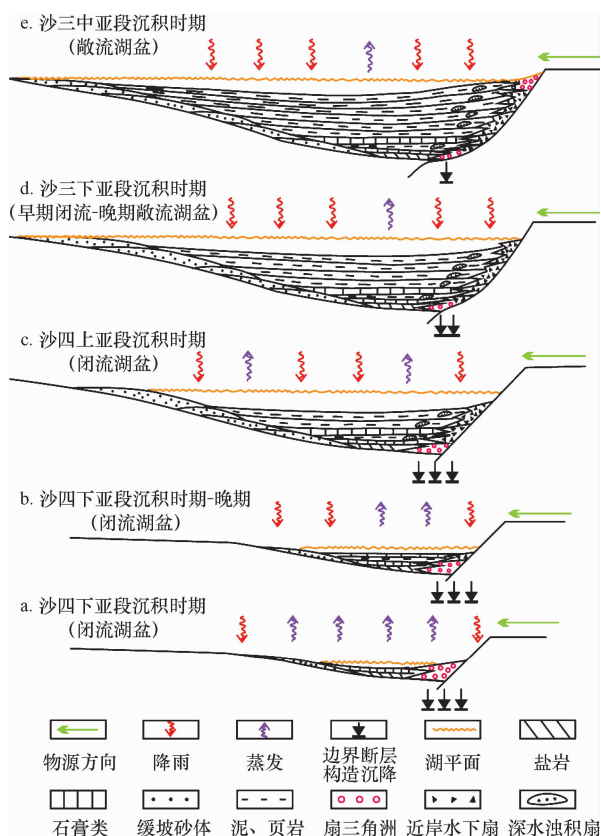


图7 东营凹陷民丰地区沙四段—沙三中亚段砂砾岩扇体沉积演化模式

Fig. 7 Sedimentary evolution model of sandy conglomerate fans in the 4th-middle 3rd members of Shahejie Formation in Minfeng area, Dongying Sag

三角沉积,在干旱但有永久性河流供给-湿润气候条件下,陡坡带水体较深,主要发育近岸水下扇;敞流湖盆时,陡坡带水体深度的变化主要对构造活动较敏感,陡坡带基底沉降幅度大时,水体深度大,主要发育近岸水下扇,陡坡带基底沉降幅度小时,水体深度浅,多发育扇三角洲。将民丰地区砂砾岩扇体的沉积演化特征与构造活动、边界断层形态、气候条件、水体深度及湖盆“敞-闭”状态等相结合,建立了民丰地区“板式高角度断层-铲式高角度断层”继承性控制的断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体的沉积演化模式(图7)。

4 结论

1) 民丰地区沙四下亚段底部和沙三中亚段主要发育扇三角洲,沙四下亚段中上部、沙四上亚段和沙三下亚段主要发育近岸水下扇,深水浊积扇在各个时期均有发育,但规模较小。

2) 高角度边界断层控制的民丰地区陡坡带砂砾岩扇体沉积演化特征受构造活动、边界断层形态、气候条件、水体深度和湖盆“敞-闭”状态的综合控制。其中构造活动是砂砾岩扇体类型演化最根本的控制因素,边界断层形态是构造活动的结果,同时直接影响了陡坡带的沉降和沉积中心;气候条件的作用仅次于构造活动;陡坡带水体深度是构造活动和气候条件综合响应,直接控制砂砾岩扇体类型;湖盆“敞-闭”状态对砂砾岩扇体类型有一定影响。

致谢:编辑和审稿专家对本文提出了非常中肯和有益的建议,谨致谢忱。

参考文献

- [1] 孔凡仙. 东营凹陷北部陡坡带砂砾岩体的勘探[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(5): 669-676.
Kong Fanxian. Prospecting for sand-gravel body in northern steep slope of Dongying Depression[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2000, 35(5): 669-676.
- [2] 孙龙德. 东营凹陷北部斜坡带沙三-四段砂砾岩体与油气聚集[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 278-282.
Sun Longde. Sandstone-conglomerate bodies in Sha3-4 Members and hydrocarbon accumulation in northern slope of Dongying Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 278-282.
- [3] 李延钧, 宋国奇, 李文涛, 等. 济阳坳陷东营凹陷北带丰深1井区深层沙四下古油藏与天然气成因[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 173-179.
Li Yanjun, Song Guoqi, Li Wentao, et al. A fossil oil-reservoir and the gas origin in the Lower Sha-4 Member of the Well Fengshen-1 area, the North Dongying zone of the Jiyang Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 173-179.
- [4] 牟雪梅, 赵卫卫, 查明. 东营凹陷胜坨地区岩性油气藏物理模拟[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 219-224.
Mu Xuemei, Zhao Weiwei, Zha Ming. Physical simulation of lithologic reservoirs in the Shengtuo area of the Dongying Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 219-224.
- [5] 刘晖, 王升兰. 渤海湾盆地东营凹陷胜坨地区沙四上亚段物源方向对储集砂体的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 602-609.
Liu Hui, Wang Shenglan. Provenance systems and their control over sandbodies in the upper Es4 of the Shengtuo area in the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 602-609.
- [6] 钟建华, 王国壮, 高祥成, 等. 东营凹陷北部陡坡带丰1扇背斜的特征、成因及其与油气的关系[J]. 地质科学, 2008, 43(4): 625-636.
Zhong Jianhua, Wang Guozhuang, Gao Xiangcheng, et al. Sedi-

- mentary features, genesis and relation to hydrocarbon of fan-anticline in the North Slope of the Dongying Sag [J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(4): 625–636.
- [7] 高翔成, 钟建华, 雷敏, 等. 东营凹陷北部陡坡带深层砂砾岩体沉积特征及控制因素—以丰深1地区为例[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(1): 5–8.
- Gao Xiangcheng, Zhong Jianhua, Lei Min, et al. Sedimentation feature and controlling factors of the deep glutenite fans in the northern steep slope, Dongying Sag: taking Well Fengshen-1 area as an example [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2008, 22(1): 5–8.
- [8] 王居峰. 陆相断陷盆地陡坡带沉积相类型与沉积演化特征——以东营凹陷丰地区沙三段、沙四段为例[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(5): 611–617.
- Wang Jufeng. Sedimentary facies types and evolution features on steep slope belt in Terrestrial fault-depressed basin: a case in Sha 3 and 4 member of Minfeng Area in Dongying Depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(5): 611–617.
- [9] 杨剑萍, 石德文. 东营凹陷北部永921地区渐新世沙三段和沙四段扇三角洲沉积[J]. 石油大学学报, 2000, 24(1): 10–17.
- Yang Jianping, Shi Dewen. Fan delta deposits of Sha 3 and Sha 4 member at oligocene Shahejie formation at Yong 921 area in the north of Dongying Depression [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2000, 24(1): 10–17.
- [10] 王蛟, 姜在兴, 操应长, 等. 山东东营凹陷永921地区沙四上亚段扇三角洲沉积与油气[J]. 吉林大学学报, 2005, 35(6): 725–731.
- Wang Jiao, Jiang Zaixing, Cao Yingchang, et al. Fan delta deposits and relation to hydrocarbon of upper Es⁴ at Yong 921 area in Dingying Depression [J]. Journal of Jinlin University, 2005, 35(6): 725–731.
- [11] 鄢继华, 陈世悦, 姜在兴. 东营凹陷北部陡坡带近岸水下扇沉积特征[J]. 石油大学学报, 2005, 29(1): 12–21.
- Yan Jihua, Chen Shiyue, Jiang Zaixing. Sedimentary characteristics of nearshore subaqueous fans in steep slope of Dongying Depression [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2005, 29(1): 12–21.
- [12] 王化爱. 东营凹陷古近系岩性地层油气藏层序地层学特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 158–164.
- Wang Hua'ai. Sequence stratigraphic characteristics of the Paleocene lithologic and stratigraphic reservoirs in the Dongying Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 158–164.
- [13] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 312–314.
- Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 312–314.
- [14] 漆家福, 肖焕钦, 张卫刚, 等. 东营凹陷主干边界断层(带)构造几何学、运动学特征及成因解释[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 8–12.
- Qi Jiafu, Xiao Huanqin, Zhang Weiguang, et al. Geometry, kinematics and mechanism interpretation of the major boundary faults in Dongying Sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 8–12.
- [15] 马莉娟, 何新贞, 王淑玲, 等. 东营凹陷沉降史分析与构造充填演化[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(6): 786–794.
- Ma Lijuan, He Xinzhen, Wang Shuling, et al. Subsidence history analysis and structural filling evaluation in Dongying Depression [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2000, 35(6): 786–794.
- [16] 任建业. 渤海湾盆地东营凹陷S6'界面的构造变革意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(1): 70–76.
- Ren Jianye. Tectonic significance of S6' boundary in Dongying Depression, Bohai Gulf Basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(1): 70–76.
- [17] 张升平, 吕宝凤, 夏斌, 等. 东营凹陷新生代构造转型及其控油意义[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(7): 281–287.
- Zhang Shengping, Lü Baofeng, Xia Bin, et al. The cenozoic structural transition and its significance for petroleum accumulation in Dongying Sag, Shandong [J]. Geotectonica and Metallogenia, 2007, 31(7): 281–287.
- [18] 盛文波, 操应长, 刘晖, 等. 东营凹陷古近纪控盆断层演化特征及盆地结构类型[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 290–296.
- Sheng Wenbo, Cao Yingchang, Liu Hui, et al. Evolutionary characteristics of the Palaeogene basin-controlling boundary faults and types of basin architectures in the Dongying Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(3): 290–296.
- [19] 张海峰, 刘庆, 张林晔, 等. 山东东营凹陷古近系沙河街组湖盆演化及烃源岩赋存相带[J]. 古地理学报, 2005, 7(3): 383–397.
- Zhang Haifeng, Liu Qing, Zhang Linye, et al. Lacustrine basin evolution and favorable sedimentary facies belt for source rocks abounding in Shahejie Formation of Paleogene in Dongying Sag, Shandong Province [J]. Journal of Palaeo Geography, 2005, 7(3): 383–397.
- [20] 徐磊, 操应长, 王艳忠, 等. 东营凹陷古近系膏盐岩成因模式及其与油气藏的关系[J]. 中国石油大学学报, 2008, 32(3): 30–39.
- Xu Lei, Cao Yingchang, Wang Yanzhong, et al. Genetic model of salt–gypsum rock of Paleogen in Dongying Depression and its relationship with hydrocarbon reservoir [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2008, 32(3): 30–39.

(编辑 张亚雄)