

莱南斜坡带沙四段—沙三下亚段原型盆地恢复及其对沉积的控制

王启明, 黄晓波, 周晓光, 刘睿, 李晓辉

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要: 莱州湾凹陷南部斜坡带后期经历多次大规模构造运动改造, 导致原始盆地面貌不清, 沉积体系分布不明确。以构造演化分析为主线, 通过地震解释、声波时差法和趋势厚度法相结合, 对沙河街组早期沙四段—沙三下亚段沉积时期的原型盆地面貌及其配置关系进行了恢复, 并明确了不同沉积体系的平面分布及控制因素。研究表明: (1) 沙四沉积时期, 莱南斜坡带整体受断裂伸展活动引起的块体差异升降, 西部受两组东西向断层分割形成3个东西向展布的断槽, 东部及南部为淮北凸起的隆起区, 早期断层分割东西古地貌变化; (2) 沙三下沉积时期, 整体快速沉降, 西部受东西向断裂差异抬升, 形成局部高地, 淮北凸起东部一部分后期逐渐淹没于水下, 形成宽缓台地背景; (3) 不同物源体系供给控制了沙四段扇三角洲与辫状河三角洲差异分布, 古地貌与物源差异供给共同控制了沙三下亚段湖相碳酸盐岩与风化残积相的发育与垂向分布。沉积体系的发育和分布对于盆地原型面貌具有重要的响应关系。

关键词: 莱南斜坡带; 原型盆地恢复; 差异分布; 湖相碳酸盐岩; 渤海海域

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

THE RECOVERY OF PROTOTYPE BASIN AND ITS CONTROL OVER THE DEPOSITION IN THE LOWER THIRD SUB-MEMBER AND FOURTH MEMBER OF THE SHAHEJIE FORMATION IN THE SOUTH SLOPE ZONE OF THE LAIZHOUWAN SAG

WANG Qiming, HUANG Xiaobo, ZHOU Xiaoguang, LIU Rui, LI Xiaohui

(Tianjin Branch, CNOOC China Limited, Tianjin 300459, China)

Abstract: The south slope zone of the Laizhouwan Sag in the late stage has been reformed in many large-scale tectonic movements, resulting in the unclear appearance of the original basin and the unclear distribution of the sedimentary system. Based on the tectonic evolution analysis as the main line, through seismic interpretation, sound wave time difference method and trend thickness method, prototype basin at the sedimentary period and its configuration relationship have been recovered in the lower third sub-member and the fourth member of the Shahejie Formation at the early paleogene, and the planar distribution and controlling factors of different sedimentary system have been cleared. Study showed that: (1) At the sedimentary period of the fourth member of the Shahejie Formation, the whole south slope zone of the Laizhouwan Sag were lifted and dropped due to block differences caused by fault extension, in the west three east-west spreading fault trough were formed by two groups of east-west trending faults and the east and south areas were the uplift areas of the Weibei salient. The early faults resulted in the

palaeogeomorphology differences in the east and west. (2) At the sedimentary period of the lower third sub-member of the Shahejie Formation, the whole south slope zone went through rapid settlement and the west part was uplifted by the differences between the east and west faults, forming a local highland. Part of the eastern Weibei salient submerged in water later, forming broad platform. (3) Different provenance supply system controlled the differential distribution in Fan delta and braided river delta of the fourth member of the Shahejie Formation. Geomorphology together with the provenance supply differentiation controlled the development of lacustrine carbonate rocks and weathered eluvial facies and their vertical distribution in the lower third sub-member of the Shahejie Formation. The development and distribution of sedimentary systems have an important response relation to basin prototype.

Key words: the south slope zone of Laizhouwan Sag; prototype basin recovery; differential distribution; lacustrine carbonate rocks; the Bohai Sea

0 引言

渤海海域近年来勘探实践证明,有效储层展布是制约中深层油气勘探成效的主要控制因素之一^[1]。而中深层具有构造复杂、沉积相带迁移变化快等特点,砂体在空间分布上具有差异性,特别是盆缘洼陷后期经历多次大规模构造运动改造,导致现今残留盆地特征与原始盆地差异较大,进而砂体难以精细预测,给油气勘探带来极大难度。近年来,原型盆地恢复及其对沉积分布的控制研究是盆缘洼陷油气勘探研究中的热点^[2-7]。通过地震剖面、重矿物分布、砾岩分布、砂泥岩厚度变化等来恢复地层的分布范围、沉积相带类型、地层厚度变化、沉积物来源以及当时的盆地面貌,重建沉积期构造—沉积环境,并总结沉积演化规律。因此,通过原型盆地恢复研究可以揭示盆地原型及古地貌格局,进而来明确沉积体系平面分布位置和控制因素。

渤海海域莱州湾凹陷南部斜坡带具有典型的盆缘洼陷特征,断裂与古地貌背景复杂,后期经历多次大规模的构造运动,早期残留沉积物后期被改造,盆地面貌发生较大改变,古近系沙河街组早期沙四段—沙三下亚段沉积体系展布规律不清,制约该区的勘探进程。相关学者曾对莱州湾凹陷进行了系统详细研究,主要集中在整个凹陷构造演化、油气成藏特征、郯庐走滑构造带对油气成藏的控制等方面^[8-11],沉积体系研究也多集中在莱州湾凹陷北部沙三中亚段^[12-13],而针对南部斜坡带的原型盆地恢复及其沙四段—沙三下亚段的沉积储层的研究较少。文章综合利用研究区的地震及钻测井资料,采用构造演化分析与盆地边界剥蚀厚度恢复相结合的方法,首次完整恢复

了古近系沙四段—沙三下亚段的原型盆地面貌,并明确了盆地面貌特征以及沙四段到沙三下亚段沉积储层平面分布,对指导该区的下一步勘探具有重要意义。

1 地质背景

莱州湾凹陷位于渤海湾盆地渤中坳陷东南端,郯庐走滑断裂带东支和中支横穿凹陷,北部为莱北低凸起,东侧为鲁东隆起区,南部为淮北凸起,西部与垦东—青坨子凸起相接(见图1)。古近纪莱州湾凹陷是一个东断西超、北断南超的断陷盆地,其中北部为陡坡带,南部为斜坡带^[8-11,14]。结合渤海海域宏观构造演化特点,莱州湾凹陷构造演化整体可划分为4个阶段:始新统孔店组—沙二段沉积时期的裂陷一幕;渐新统东营组沉积时期的裂陷二幕;中新统馆陶组—上新统明化镇组下段沉积时期的裂后热沉降阶段;上新统明化镇组上段沉积时期至今的新构造运动改造阶段。与凹陷整体构造演化相匹配,莱州湾凹陷南部斜坡带古近纪受北部莱北1号控凹边界断裂持续活动,在张扭性应力体制和重力均衡作用下造成斜坡带持续抬升倾斜,古近纪分别经历了孔店—沙四沉积末期、沙三沉积末期、沙一二—东营沉积末期等3期明显构造抬升运动,其中东营沉积末期构造抬升最为明显,形成现今高角度斜坡带,成为对盆地改造的重要时期^[15]。目前,在凹陷北部和中部相继发现了垦利10-1、垦利10-4等大中型油田,钻井也大多集中于此,而南部斜坡带钻井相对较少。据钻井和地震资料揭示,该凹陷新生界发育较全,古近系从老到新依次发育孔店组、沙河街组、东营组地层。其中,沙河街主要发育沙四段、沙

三下亚段、沙三中亚段、沙三上亚段、沙一二段地层。受沙三中后期构造抬升以及剥蚀程度影响, 南部斜坡带部分地区沙河街组层位不全。

2 构造演化

构造演化可以直观反映地层之间的接触关系, 并能识别出不同阶段的构造运动及后期的改造特征, 有助于原型盆地的恢复。关于莱州湾凹陷整体的构造活动及演化, 已有大量的分析和论述^[8-11]。而残留盆地地貌揭示, 南部斜坡带主要呈现由北向南掀斜翘倾抬升的高角度斜坡带(见图2), 受断裂分割, 局部形成局限小次洼, 规模较小。南部斜坡带古近系沙河街组和东营组地层与上覆新近系馆陶组地层呈现高角度不整合关系, 可见明显的削截特征(见图2), 在现今残留的洼陷内北侧的垦利16-1构造可见潜山变形较强烈, 表明东营组末期受到构造抬升后遭受剥蚀。南部斜坡带古近系构造演化可分为三个阶段。

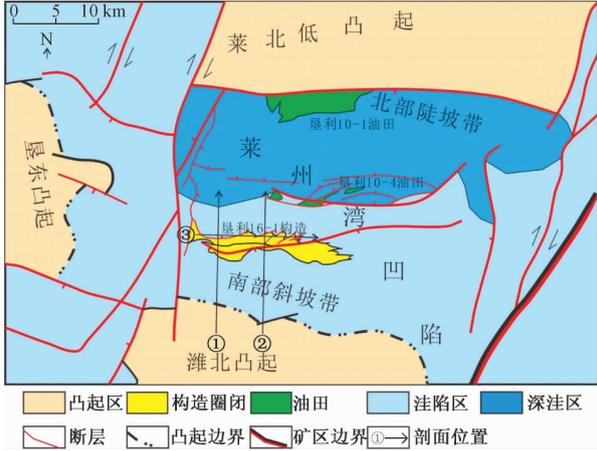


图1 莱州湾凹陷南部斜坡带区域位置

Fig. 1 Regional location of the south slope zone of the Laizhouwan Sag

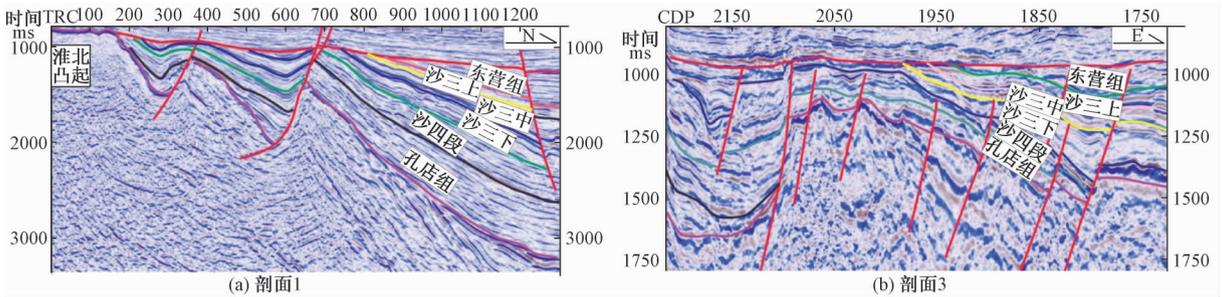


图2 莱州湾凹陷南部斜坡带典型地震解释剖面(剖面位置见图1)

Fig. 2 Typical seismic interpretation profiles of the south slope zone of the Laizhouwan Sag

2.1 孔店—沙四期伸展断裂差异活动阶段

南部斜坡带整体受反向控洼断裂和走滑断裂共同控制, 东西分段, 呈现一定的差异性。构造演化分析表明, 在孔店—沙四沉积时期, 为莱州湾凹陷形成的雏形期。早期受拉张应力场作用, 斜坡外带发育近东西向的反向控洼断层。莱州湾凹陷北洼开始形成, 南部缓坡结构成型, 由于受东西向反向断层影响, 南部斜坡带与莱州湾凹陷北洼呈分割状态, 表现为2个沉降中心, 古今地貌差异较大(见图3a)。同时, 早期一系列南北向展布断层表现为同沉积断裂, 控制东西部原始地貌特征差异变化, 西部表现为洼陷区, 孔店组—沙四段充填地层厚度大, 自西向东部受断裂影响呈现阶梯式抬升, 东部为早期隆起区, 可以提供粗碎屑物质(见图3b)。

2.2 沙三期整体沉降阶段

沙三沉积时期, 为盆地形成的巨变期, 南次

洼快速沉降, 地层厚度大, 隆凹格局发生较大变化, 总体表现为快速的沉降, 但局部地区也表现为一定的差异性。受断裂继续活动, 西部洼陷面貌有所扩大, 充填地层厚度较大。而东部隆起区逐渐淹没于水下, 接受沉积, 表现为宽缓台地背景, 地层厚度相对较薄。

2.3 沙一二—东营期隆升剥蚀阶段

沙一二—东营沉积时期, 受郯庐走滑中支右旋活动影响, 全区形成北东向展布的断裂体系。受局部走滑活动的挤压, 东西部呈现“跷跷板”效应。西部洼陷区由于构造活动挤压抬升, 靠近淮北凸起盆地边缘古近系不同层系地层均有剥蚀, 但剥蚀量相对较小。靠近垦利16-1构造区, 由于受后期的构造抬升, 沙三中亚段到东营组地层遭受强烈剥蚀, 与上覆馆陶组地层呈现明显的角度不整合关系, 且剥蚀量明显比南部大。东部地层表现为下沉, 总体呈现西高东低的构造格局。

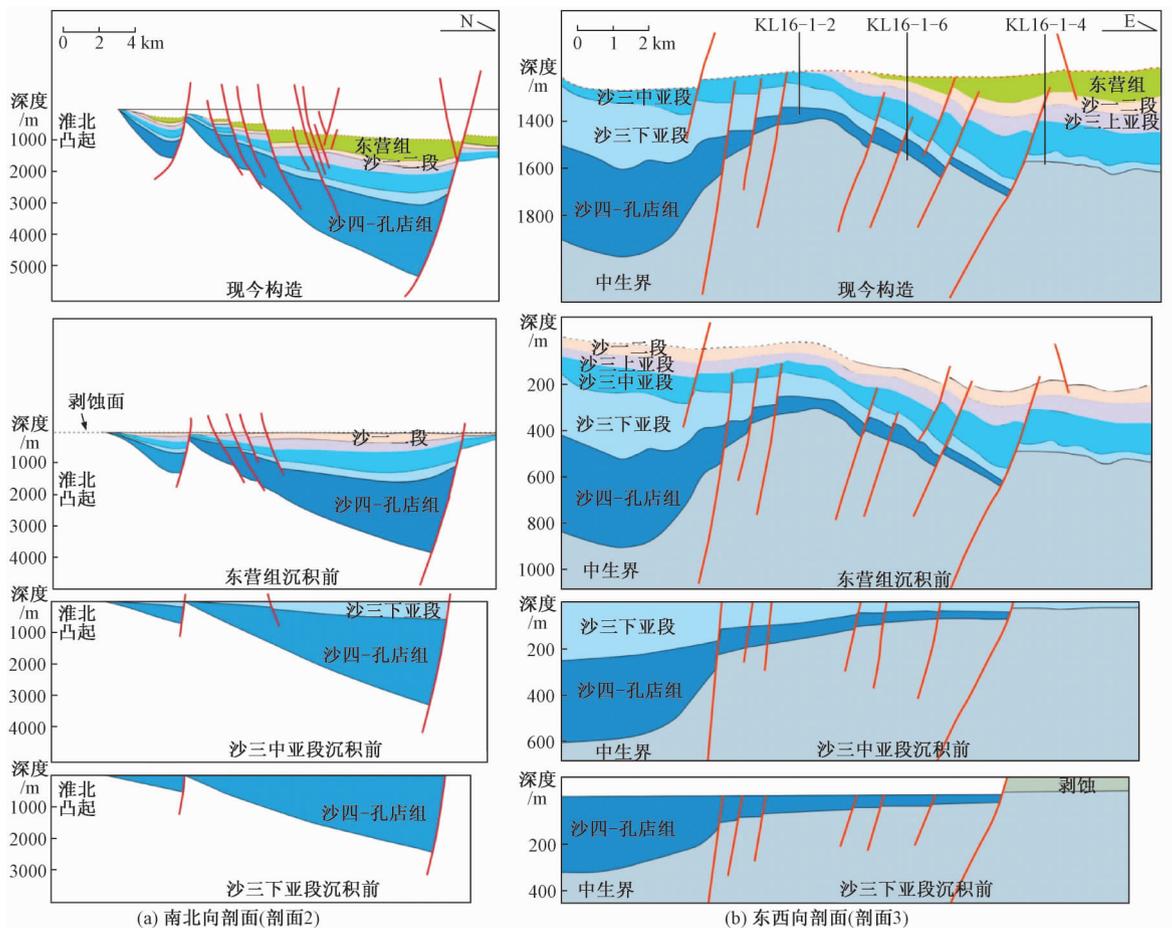


图3 莱州湾凹陷南部斜坡带典型剖面构造演化分析

Fig. 3 Tectonic evolution analysis of typical profiles of the south slope zone of the Laizhouwan Sag

构造演化分析表明, 靠近淮北凸起以及垦利16-1构造区沙四—沙三下亚段部分地层被剥蚀, 南部沉积边界已不是原始边界, 应该往南延伸一定的距离。而东部由于受到后期构造反转, 早期为构造高地, 可能为淮北凸起的一部分。

3 盆地面貌恢复

目前, 剥蚀地层厚度恢复的方法主要有基于井资料的声波时差法、沉积速率法、邻近厚度比值法、趋势厚度分析法等^[16]。声波时差法即泥岩压实外推法, 泥岩的声波时差 Δt 与埋深 H 呈如下关系: $\Delta t = \Delta t_0 e^{-cH}$ 。 Δt 为任一埋深泥岩的声波时差值, $\mu s \cdot m^{-1}$; Δt_0 为地表未固结泥岩的声波时差值, $\mu s \cdot m^{-1}$; C 为正常压实曲线的斜率; H 为泥岩埋藏深度, m 。 Δt_0 理论值为 $620 \sim 650 \mu s \cdot m^{-1}$ 。某一地区的 Δt_0 可根据该地区多口井正常压实曲线外推至地表求得。当不整合面以下的地层

压实规律没被改变时, 岩石声波时差随深度变化存在的标准指数关系并不因为遭受过剥蚀而发生改变, 通过对现有不整合面下未遭受剥蚀的地层声波时差数据与深度数据的统计拟合, 可以建立一条标准指数压实趋势曲线, 将其外延至 $\Delta t = \Delta t_0$ 。此处即为古地表, 古地表与不整合面之间的距离即为剥蚀厚度。趋势厚度法主要考虑的是在地层原始发育状态不等厚的情况下, 一般由盆地原型中心向边缘逐渐变薄直至尖灭 (除了某些盆地的断裂边缘有时陡然截断), 根据地层厚度趋势方法进行恢复剥蚀厚度。由于研究区斜坡带洼陷内地层存在局部剥蚀, 且受深大断层影响缺乏明显地层削截现象, 不能采用趋势厚度法进行恢复, 只能利用泥岩声波时差法进行点恢复; 而斜坡带向上凸起高处存在明显地层削截, 同时缺乏钻井资料, 可利用地层趋势厚度法进行线恢复。因此, 结合区域地质背景和构造演化分析, 对剥蚀厚度主要采用声波时差法和趋势厚度法相结合的方法

来进行恢复。其步骤如下: 利用地震资料, 追踪残留地层厚度, 再选取典型地震剖面, 利用趋势厚度法, 找出地层剥蚀原点, 确定地层变薄率, 求算剥蚀地段原始厚度和剥蚀厚度, 由盆地向凸起逐步进行沿“线”恢复; 然后利用声波时差法, 对凹陷内后期抬升遭受剥蚀的井区进行“点”恢复。如过 KL16-1-2 井利用泥岩声波时差法计算剥

蚀厚度, 通过沙四段的泥岩声波时差值拟合曲线, 计算出古地表深度为 1082 m, 现今不整合面深度为 1187 m, 两者之间的距离即为剥蚀厚度, 得出沙四段剥蚀厚度大约在 105 m 左右 (见图 4)。最终两者相结合, 通过综合分析区域地质背景及构造区的构造演化, 与残留厚度共同恢复原始盆地面貌。

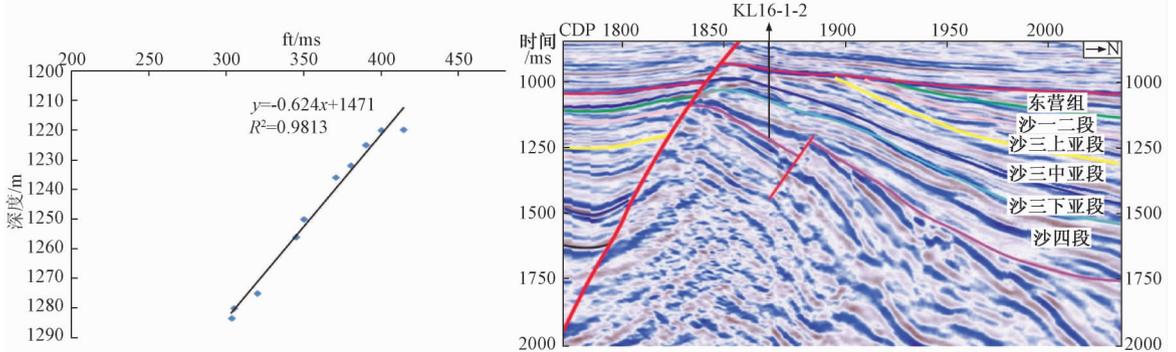


图 4 KL16-1-2 井泥岩声波时差法计算剥蚀厚度

Fig. 4 Denudation thickness of mudstone in KL16-1-2 well calculated by sound wave time difference method

经计算表明, 莱南斜坡带沙四段剥蚀厚度自西向东逐渐减小, 西部平面平均剥蚀范围在 300 m 左右, 最大可达 350 m (见图 5、图 6a), 东部平面上平均剥蚀范围在 100 m 左右, 最大可达 150 m (见图 5、图 6b)。沙三下亚段剥蚀强度增大, 其中西部平面平均剥蚀范围在 1200 m 左右, 最大可达 1300 m (见图 5、图 6a), 东部剥蚀程度较小 (见图 5、图 6b)。剥蚀厚度表明, 莱南斜坡带沙四—沙三下亚段沉积时期, 西部剥蚀程度较大, 原始沉积范围更大。在残留盆地及剥蚀特征分析基础上, 恢复了古近系沙四—沙三下亚段沉积时期盆地原型。该原型盆地呈现出断陷盆地典型的洼隆相间的构造格局, 具有明显的半地堑和地垒的构造形态。沙四沉积时期, 莱南斜坡带整体受盆地张扭体制的制约, 构造变形以基底断块差异升降为特征, 在区域张应力作用下西部受两组东西向断层分割形成 3 个东西向展布的断槽, 由于快速沉降地层厚度大, 有利于碎屑物质的注入。东部及南部为潍北凸起的隆起区, 分布范围较广, 同时凸起上局部残留部分地层, 可能为早期沟道沉积 (见图 5a)。沙三下沉积时期, 西部受东西向断裂差异抬升, 形成局部高地。东部潍北凸起一部分后期逐渐淹没于水下, 形成宽缓台地背景, 而南部潍北凸起主体向南萎缩 (见图 5b)。沙三末期, 莱南斜坡带整体抬升, 抬升幅度呈现西强东

弱的特征, 基底的差异升降产生差异压实, 西部沙河街组地层遭受大面积的剥蚀。

4 古地貌对沉积的控制

莱南斜坡带目前探井较少, 主要分布在东向大断裂附近, 分布不均匀。依据已钻井沉积学标志, 通过地球物理测井相标志、地震相标志来划分沉积相类型, 结合原型盆地认识来综合预测沙四—沙三下亚段的沉积体系平面分布。综合以上研究发现, 沙四—沙三下亚段沉积相主要有冲积扇—扇三角洲、辫状河三角洲、碳酸盐岩台地、湖泊和风化残积相等类型 (见图 7), 沉积体系的发育和分布与盆地原型面貌和改造状态具有明显的控制。

4.1 古地貌对沙四段沉积体系分布控制

莱南斜坡带西部的 KL16-1-3 井、KL16-1-1 井, 沙四段主要为灰绿色凝灰质砂砾岩、灰色细砂岩与灰绿色泥岩、红色泥岩不等厚互层 (见图 8)。钻井揭示中上部地层主要为一套向上变粗的反旋回, 表现为厚层泥岩与中厚层凝灰质砂岩垂向上间互发育, 凝灰质砂岩单层厚度增大, 泥岩厚度逐渐减小, 呈现出进积的特征。测井曲线表现为高伽玛、中等自然电位、中第中子、高密度的特征, 沙四段地震相内部反射结构表现为楔形前积

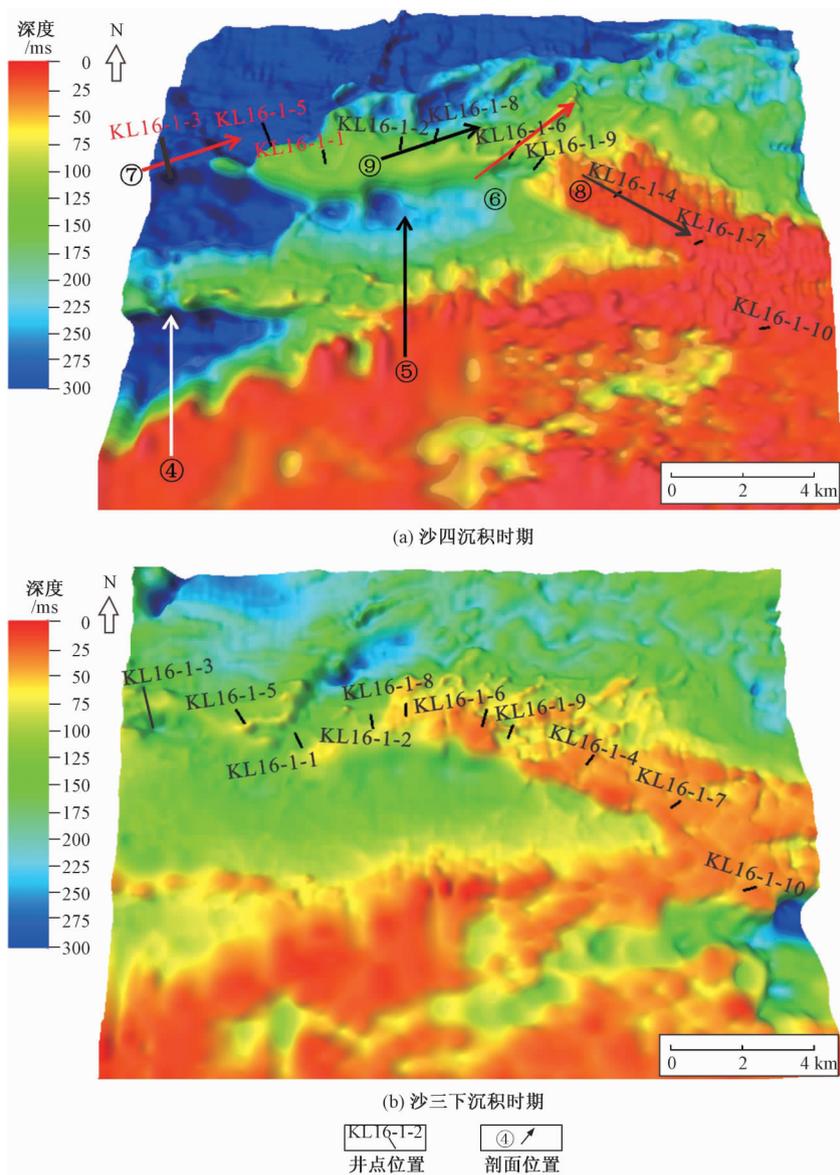


图 5 沙四—沙三下亚段沉积时期盆地原型

Fig. 5 Basin prototype at the sedimentary period in the lower third sub-member and the fourth member of the Shahejie Formation

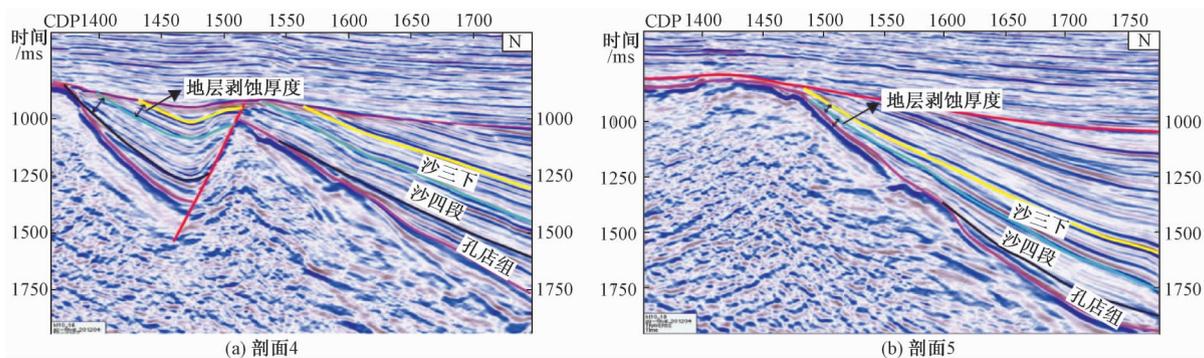
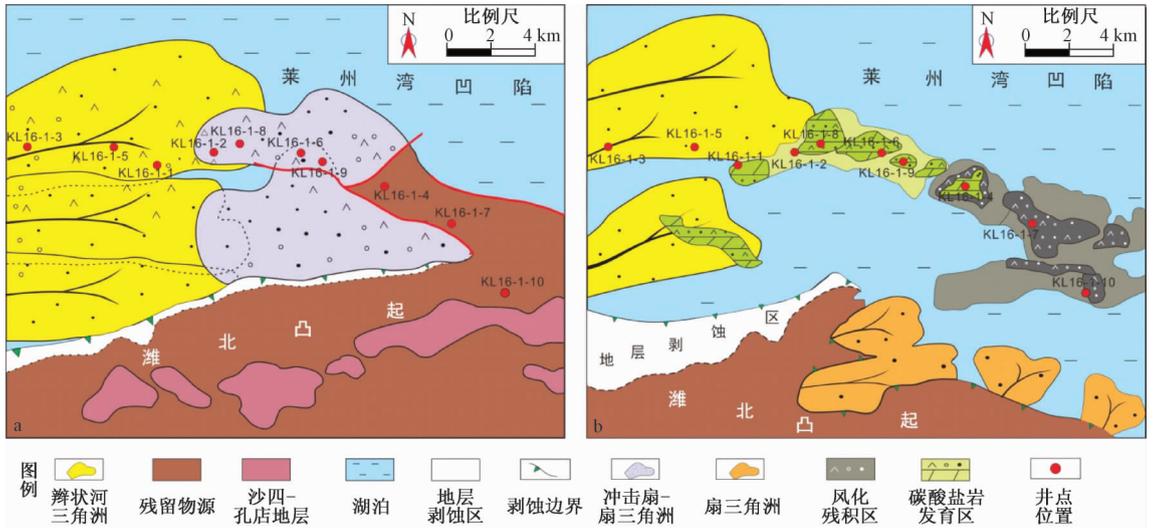


图 6 东西部不同位置剥蚀厚度差异 (剖面位置见图 5)

Fig. 6 Denudation thickness difference at different locations in the east and west



a—沙四段沉积体系展布; b—沙三下亚段沉积体系展布

图7 沙四—沙三下亚段沉积体系展布

Fig. 7 Distribution of sedimentary system in the lower third sub-member and the fourth member of the Shahejie Formation

反射, 为辫状河三角洲前缘亚相的沉积环境。而与之相邻在莱南斜坡带东部的 KL16-1-8 井、KL16-1-6 井、KL16-1-9 井亦钻遇了沙四段地层, 沉积物主要发育厚层的杂色、灰绿色凝灰质砂砾岩, 泥岩少见 (见图 8)。岩石碎屑颗粒整体分选性差—中等, 碎屑粒级以粗粒、砾质粗粒、含砾粗粒为主, 砾石成分主要为火成岩岩块, 砾径不一, 一般 2~3 mm, 最大为 50 mm, 颗粒磨圆多呈次圆—棱角状, 结构成熟度较低, 砂岩成分以石英、长石为主, 含少量杂色岩屑和白云母碎片, 次棱角状, 分选差, 多以凝灰质胶结为主 (见图 8)。而且该处砾岩厚度大, 垂向上多期叠置, 含砂率高达 83%, 平均为 73%。在凹陷东部可见杂乱地震反射特征, 往西可见透镜状充填反射特征, 也指示这一区域主要为近源沉积^[17-19]。测井曲线表现为高伽玛、中等自然电位、中第中子、高密度的特征, 综合分析认为这是一套近物源的陆上一水下沉积, 属于冲积扇—扇三角洲相。

东西两侧不同位置发育的沉积体系类型及其分布具有明显的差异性。西部发育多个东西向断槽的输砂通道, 沉积区与物源区相隔一定的距离, 碎屑物质经历搬运后到达洼陷区, 表现为远源沉积特征, 辫状河三角洲主要分布在断槽内 (见图 7a)。地震上由楔形前积反射往东部逐渐变为连续、低频、强振幅反射结构的湖相沉积, 体现了从靠近物源区的粗粒沉积向凹陷内部细粒、稳定沉积转变的特点。而盆地恢复表明, 淮北凸起分

布范围与现今残留范围有较大差别, 在沙四早期其分布范围较广, 已延伸至莱南斜坡带上, 且能够提供大量粗碎屑物质, 为近源沉积提供物质基础。莱南斜坡带东部的 KL16-1-8 井、KL16-1-6 井、KL16-1-9 井区物源主要来自南部的淮北凸起, 冲积扇—扇三角洲沉积体主要分布在淮北凸起北侧以及墙角处 (见图 7a)。

4.2 古地貌对沙三下亚段沉积体系分布控制

沙三下亚段在 KL16-1-4 井、KL16-1-7 井区中下部同样发育有大量灰色凝灰质砂砾岩, 局部发育薄层灰色、灰绿色凝灰岩 (见图 8)。凝灰质砂砾岩垂向厚度较大, 砾石成分主要为火成岩, 砾石砾径一般 2~3 mm, 最大可达 5 mm, 次棱角状—次圆状, 分选较差 (见图 8), 多以凝灰质胶结为主。与沙四段凝灰质砂砾岩相比, 本层位凝灰质砂砾岩中可见长石风化严重, 大部分绢云母化 (见图 8), 表明储层遭受一定的风化。测井曲线表现为低—高伽玛、低自然电位、低中子、高密度的特征, 地震上表现为一套强振幅连续反射特征, 表现为风化残积相特征 (见图 8)。而在中部的 KL16-1-1 井、KL16-1-2 井、KL16-1-6 井、KL16-1-8 井、KL16-1-9 井等 5 口钻井中, 发育了一套碳酸盐岩与陆源碎屑砂岩互层的储层, 碳酸盐岩岩石类型主要为泥晶云岩、泥晶灰岩、云质泥晶灰岩等, 矿物成分主要为白云石, 白云石呈泥晶状较均匀分布, 泥晶白云石内偶见粉砂级石英及长石颗粒零散分布 (见图 8)。测井曲线表现为低伽玛、

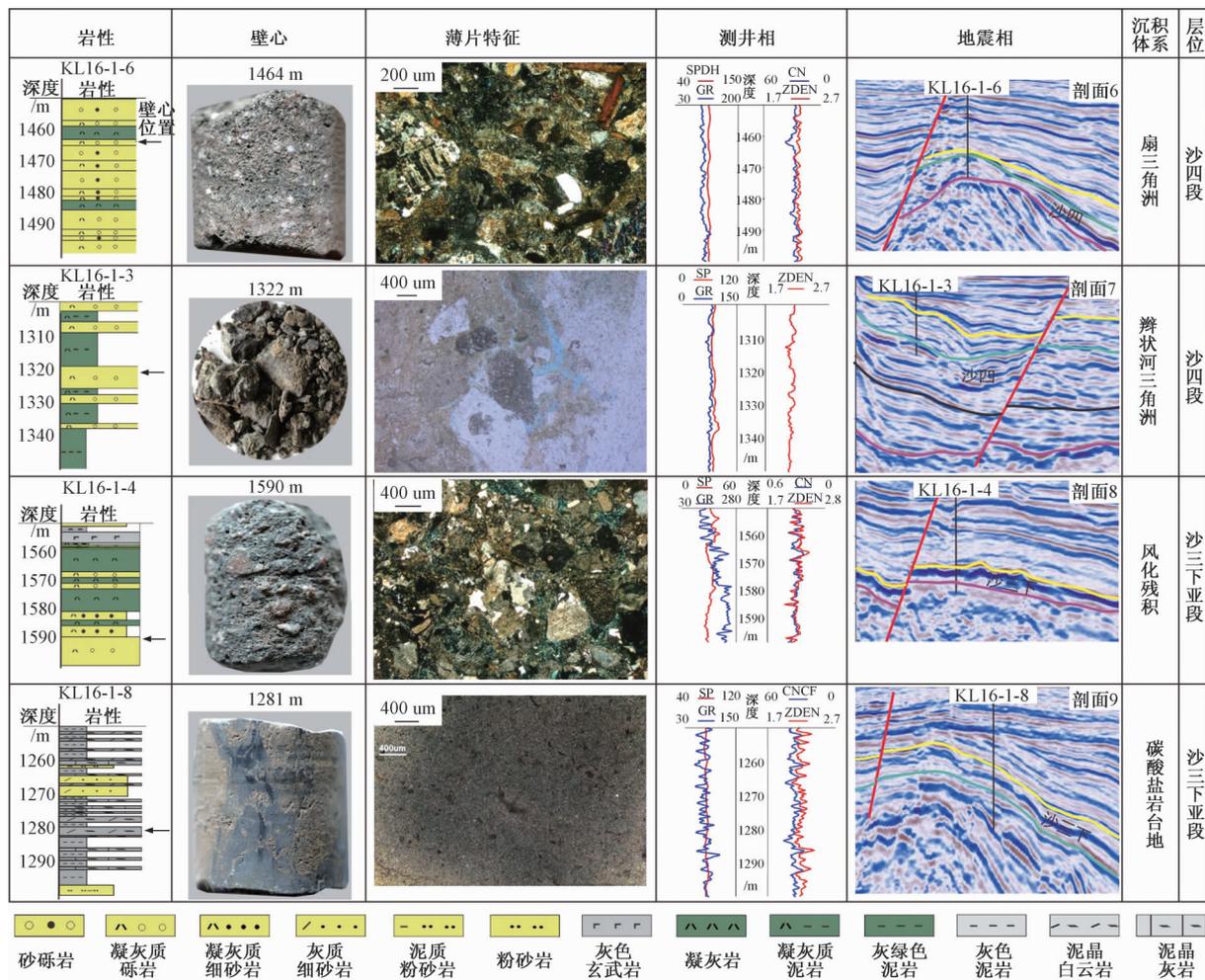


图 8 不同沉积体系发育特征 (剖面位置见图 5)

Fig. 8 Development characteristics of different sedimentary systems

低自然电位、中高中子、中高密度的特征，地震上表现为中强振幅丘形反射特征，主要发育碳酸盐岩台地相。

古地貌对沙三下亚段沉积体系分布控制明显。沙三下亚段沉积时期，南部的淮北凸起逐渐缩小，其北部延伸的一部分已淹没于水下，为宽缓台地的地貌背景，而西部沿东西向断裂发育局部高地背景。已有研究多表明，有利的古地貌背景是湖相碳酸盐岩发育的先决条件^[20-21]。通过分析其地貌背景、古水体环境、岩石类型等信息，可以推测，东部淮北凸起延伸一部分早期经历风化剥蚀，就近堆积，形成一套风化残积岩相，后期被水淹没，形成宽缓台地，在局部较高位置发育碳酸盐岩，分布局限，而靠近淮北凸起区域，由于受粗碎屑物质供应以及动荡水体影响，不利于湖相碳酸盐岩发育，主要在凸起边缘发育多个环状分布的近源的扇三角洲沉积 (见图 7b)。西部井区如

KL16-1-3 井由于持续受垦东凸起物源影响，且在沙三下亚段沉积时期，相对湖平面上升，较深水环境下不利于湖相碳酸盐岩的发育，而远离物源的古地貌较高位置，受垦东凸起陆源碎屑供给干扰较小，如 KL16-1-1、KL16-1-2、KL16-1-8、KL16-1-9 井则发育厚层湖相碳酸盐岩，单井最大厚度可达 100 m。由此不难看出，古地貌背景控制了风化残积岩和湖相碳酸盐岩发育和分布，也进一步证实了文中原型盆地面貌恢复结果的可靠性。

5 结论与讨论

(1) 沙三段沉积末期南部斜坡带剧烈抬升，使凹陷中南部盆地边界遭受强烈剥蚀，其中，靠近西部改造较为明显，东部影响相对较弱。同时，受走滑断层活动与局部构造，沙三中后期活动加强，南斜坡东西向形成“跷跷板”效应，造成现

今西高东低的面貌,构造活动控制了隆凹格局的改变。

(2) 沙四沉积时期,莱南斜坡带整体受盆地张扭体制的制约,西部发育东西向展布的断槽,控制了来自垦东凸起物源形成的辫状河三角洲展布,东部及南部为潍北凸起的物源区,分布范围较广,形成了局部的近源扇三角洲沉积;沙三下沉积时期,西部受东西向断裂差异抬升,形成局部高地,受物源影响较小,发育湖相碳酸盐岩,东部潍北凸起一部分早期形成风化残积岩,后期逐渐淹没于水下,形成宽缓台地背景,局部高地发育湖相碳酸盐岩。构造活动控制了原型盆地面貌,进一步控制了沙四—沙三下亚段不同沉积体系平面的差异分布。

(3) 莱州湾凹陷目前已相继发现垦利 10-1、垦利 10-4、垦利 16-1 等多个油气田及有利含油气构造,均表明莱州湾凹陷具有较好的成藏条件^[11,13],勘探前景可观。虽然前人通过构造演化分析认为南部潍北物源体系相对局限、规模较小,主要以西部垦东凸起的物源体系形成的大型辫状河三角洲为主^[15]。但原型盆地恢复及已钻井证实,在古近系早期潍北凸起范围较大,物源充沛,供源能力不容忽视,具有形成不同类型优质储层的良好条件。同时,受斜坡带油气成藏的差异聚集效应^[15,22],斜坡带古近系早期地层是下一步勘探的有利区域。

参考文献/References

- [1] 薛永安,柴永波,周圆圆. 近期渤海海域油气勘探的新突破 [J]. 中国海上油气, 2015, 27 (1): 1~9.
XUE Yongan, CHAI Yongbo, ZHOU Yuanyuan. Recent new breakthroughs in hydrocarbon exploration in Bohai sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27 (1): 1~9. (in Chinese with English abstract)
- [2] 侯艳平,朱德丰,任延广,等. 贝尔凹陷构造演化及其对沉积和油气的控制作用 [J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32 (3): 300~307.
HOU Yanping, ZHU Defeng, REN Yanguang, et al. Tectonic evolution and its controlling on sedimentation and hydrocarbon accumulation in Beir depression [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2008, 32 (3): 300~307. (in Chinese with English abstract)
- [3] 姜素华,边凤青,王鹏,等. 惠民凹陷孔店期盆地原型格架对油气成藏的影响 [J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39 (3): 483~489.
JIANG Suhua, BIAN Fengqing, WANG Peng, et al. Impact of basin prototype structure in Kongdian stage on petroleum accumulation in Huimin depression [J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39 (3): 483~489. (in Chinese with English abstract)
- [4] 余海洋. 长岭断陷火石岭组原型盆地恢复及勘探方向分析 [J]. 石油地质, 2013, 33 (2): 21~25.
YU Haiyang. Restoration of Changling Rift Huoshiling Formation basin prototype and analysis of exploration orientation [J]. Petroleum geology, 2013, 33 (2): 21~25. (in Chinese with English abstract)
- [5] 任红民,陈丽琼,王文军,等. 苏北盆地晚白垩世泰州期原型盆地恢复 [J]. 石油实验地质, 2008, 30 (1): 52~57.
REN Hongmin, CHEN Liqiong, WANG Wenjun, et al. Restoration of prototype basins of late cretaceous Taizhou period in the northern Jiangsu basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30 (1): 52~57. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李英强,何登发. 四川盆地及邻区早侏罗世构造-沉积环境与原型盆地演化 [J]. 石油学报, 2014, 35 (2): 219~232.
LI Yingqiang, HE Dengfa. Evolution of tectonic-depositional environment and prototype basins of the early Jurassic in Sichuan Basin and adjacent areas [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35 (2): 219~232. (in Chinese with English abstract)
- [7] 韩少甲,赵俊峰,刘池洋,等. 渤海海域庙西凹陷古近纪沙三段沉积期原盆面貌恢复 [J]. 地质论评, 2014, 60 (2): 339~347.
HAN Shaojia, ZHAO Junfeng, LIU Chiyang, et al. Restoration of the Original Sedimentary Extent of Miaoxi Sag in Bohai Sea during the Sedimentary Period of the Third Member of Shahejie Formation in Paleogene [J]. Geological Review, 2014, 60 (2): 339~347. (in Chinese with English abstract)
- [8] 彭文绪,辛仁臣,孙和风,等. 渤海海域莱州湾凹陷的形成和演化 [J]. 石油学报, 2009, 30 (5): 654~660.
PENG Wenxu, XIN Renchen, SUN Hefeng, et al. Formation and evolution of Laizhou Bay Sag in Bohai Bay [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30 (5): 654~660. (in Chinese with English abstract)
- [9] 牛成民. 渤海南部海域莱州湾凹陷构造演化与油气成藏 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33 (3): 424~431.
NIU Chengmin. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Laizhouwan depression in southern Bohai Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33 (3): 424~431. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王永利,武强,王应斌. 莱州湾凹陷西走滑带构造演化特征及对油气成藏的影响 [J]. 石油地质与工程, 2010, 24 (2): 5~7.
WANG Yongli, WU Qiang, WANG Yingbin. Structural evolution characteristics of west strike-slip zone in Laizhouwan

- depression and its effect on hydrocarbon accumulation [J]. *Petroleum geology and engineering*, 2010, 24 (2): 5 ~ 7. (in Chinese with English abstract)
- [11] 史浩, 周东红, 吕丁友. 莱州湾凹陷东部新生代走滑构造特征及油气勘探意义 [J]. *海洋石油*, 2014, 34 (3): 34 ~ 39.
- SHI Hao, ZHOU Donghong, LV Dingyou. Cenozoic Strike-slip Tectonic Character and the Significance of Oil and Gas Exploraton in Eastern Laizhou Bay [J]. *Offshore Oil*, 2014, 34 (3): 34 ~ 39. (in Chinese with English abstract)
- [12] 辛云路, 任建业, 李建平. 构造-古地貌对沉积的控制作用—以渤海南部莱州湾凹陷沙三段为例 [J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40 (3): 302 ~ 308.
- XIN Yunlu, REN Jianye, LI Jianping. Control of tectonic-paleogeomorphology on deposition: A case from the Shahejie formation Sha 3 member, Laizhouwan sag, southern Bohai sea [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40 (3): 302 ~ 308. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王改卫, 杜晓峰, 加东辉, 等. 莱州湾凹陷沙三中段高精度层序地层格架及沉积体系演化 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2015, 35 (4): 17 ~ 24.
- WANG Gaiwei, DU Xiaofeng, JIA Donghui, et al. High-precision sequence stratigraphic framework and sedimentary system evolution in the middle submember of the 3rd member of the Shahejie Formation in the Laizhouwan depression [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2015, 35 (4): 17 ~ 24. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王亮, 陈国童, 牛成民, 等. 莱州湾凹陷构造演化对含油气系统的控制作用 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2011, 30 (3): 8 ~ 13.
- WANG Liang, CHEN Guotong, NIU Chengmin, et al. Controlling effects of structural evolution of Laizhou Bay sag on petroleum system [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2011, 30 (3): 8 ~ 13. (in Chinese with English abstract)
- [15] 杨波, 胡志伟, 李果营, 等. 渤海莱州湾凹陷南部斜坡带构造特征及油气成藏规律 [J]. *中国海上油气*, 2016, 28 (5): 22 ~ 29.
- YANG Bo, HU Zhiwei, LI Guoying, et al. Tectonic characteristics and hydrocarbon accumulation rules in south slope of Laizhouwan sag in Bohai sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2016, 28 (5): 22 ~ 29. (in Chinese with English abstract)
- [16] 加东辉, 徐长贵, 杨波, 等. 辽东湾辽东带中南部古近纪古地貌恢复和演化及其对沉积体系的控制 [J]. *古地理学报*, 2007, 9 (2): 155 ~ 166.
- JIA Donghui, XU Changgui, YANG Bo, et al. Paleogene palaeogeomorphology reconstruction and evolution and its control on sedimentary systems in central-southern Liaodong Zone, Liaodongwan bay [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9 (2): 155 ~ 166. (in Chinese with English abstract)
- [17] 王均, 薛金宝, 薛冰宇. 渤海莱州湾凹陷古近系沙四段上亚段沉积体系研究 [J]. *内蒙古石油化工*, 2011, 7: 206 ~ 208.
- WANG Jun, XUE Jinbao, XUE Bingyu. Depositional System of the Upper Sha4 Formation (Paleogene) in Laizhouwan Sag, Bohai Bay [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2011, 7: 206 ~ 208. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张玥, 咎灵, 张坤. 渤南洼陷北部陡坡带沙四上亚段~沙三下亚段砂砾岩沉积特征 [J]. *石油天然气学报*, 2014, 36 (1): 10 ~ 13.
- ZHANG Yue, ZAN Ling, ZHANG Kun. Conglomerates Sedimentary Characteristics of Es₃-Es₄¹ in the Northern Steep Slope of Bonan Sag [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2014, 36 (1): 10 ~ 13. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王居峰. 陆相断陷盆地陡坡带沉积相类型和沉积演化特征—以东营凹陷民丰地区沙三段、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. (in Chinese with English abstract)
- [20] 马立祥, 邓宏文, 林会喜, 等. 济阳坳陷三种典型滩坝相的空间分布模式 [J]. *地质科技情报*, 2009, 28 (2): 66 ~ 71.
- MA Lixiang, DENG Hongwen, LIN Huixi, et al. Three kinds of spatiotemporal models of typical beach and bar sedimentary facies in Jiyang depression [J]. *Geological science and technology information*, 2009, 28 (2): 66 ~ 71. (in Chinese with English abstract)
- [21] 宋章强, 赖维成, 牛成民, 等. 渤海海域湖相碳酸盐岩地震-地质综合预测方法及应用 [J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30 (4): 444 ~ 449.
- SONG Zhangqiang, LAI Weicheng, NIU Chengmin, et al. An integrated seismic-geological approach to predict lacustrine carbonate rock in the Bohai Sea waters [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30 (4): 444 ~ 449. (in Chinese with English abstract)
- [22] 王永利, 武强, 姚长华, 等. 莱州湾西构造带断裂特征及其对油气成藏的控制 [J]. *海洋石油*, 2011, 31 (1): 28 ~ 32.
- WANG Yongli, WU Qiang, YAO Changhua, et al. Characteristics of faults and their control to hydrocarbon accumulation in the western tectonic zone of Laizhou Bay Sag [J]. *Offshore Oil*, 2011, 31 (1): 28 ~ 32. (in Chinese with English abstract)