

引用: 周立宏, 何海清, 陈长伟, 等. 歧口凹陷滨海斜坡深凹区海探1井东营组勘探突破与启示[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(6): 78-89.

Zhou Lihong, He Haiqing, Chen Changwei, et al. Exploration breakthrough and enlightenment of Dongying Formation in Well Haitan 1 in the deep subsag area in Binhai slope, Qikou Sag[J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(6): 78-89.

# 歧口凹陷滨海斜坡深凹区海探1井东营组 勘探突破与启示

周立宏<sup>1</sup> 何海清<sup>2</sup> 陈长伟<sup>1</sup> 李长海<sup>1</sup> 石倩茹<sup>1</sup> 董越崎<sup>1</sup> 崔宇<sup>1</sup> 张佼杨<sup>1</sup>  
朱华汇<sup>1</sup> 张明振<sup>1</sup>

(1 中国石油大港油田公司; 2 中国石油油气和新能源分公司)

**摘要:** 近年来为实现歧口凹陷“下洼找油”的构想, 开辟新的增储上产战场, 在渤海湾盆地歧口凹陷滨海斜坡深凹区部署海探1井并获得重大突破。基于海探1井钻探结果, 对滨海斜坡深凹区东营组控砂机制、储层特征、生烃条件、油气成藏模式等进行深入研究。基于上述研究成果, 证实了滨海斜坡深凹区东三段发育来自北部燕山物源区的大型重力流砂体, 且储集物性较好; 首次发现了东营组自生自储含油气系统, 突破了以往东营组依靠断层输导成藏、下生上储的认识; 构建了深凹区东三段“远源输砂、近源充注、源储耦合、连片含油”的成藏模式; 同时深凹区东三段非常规页岩油也展现出广阔的资源前景。海探1井的成功钻探, 为东部老区增添了新的增储战场, 为“下洼找油”提供有利借鉴。

**关键词:** 歧口凹陷; 东营组; 海探1井; 成藏模式; 勘探突破

**中图分类号:** TE121 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-7703.2023.06.010

## Exploration breakthrough and enlightenment of Dongying Formation in Well Haitan 1 in the deep subsag area in Binhai slope, Qikou Sag

Zhou Lihong<sup>1</sup>, He Haiqing<sup>2</sup>, Chen Changwei<sup>1</sup>, Li Changhai<sup>1</sup>, Shi Qianru<sup>1</sup>, Dong Yueqi<sup>1</sup>, Cui Yu<sup>1</sup>, Zhang Jiaoyang<sup>1</sup>,  
Zhu Huahui<sup>1</sup>, Zhang Mingzhen<sup>1</sup>

(1 PetroChina Dagang Oilfield Company; 2 PetroChina Oil, Gas & New Energies Company)

**Abstract:** In order to achieve the “oil exploration in the deep subsag” in Qikou Sag and find a new field for increasing reserves and production, Well Haitan 1 has been deployed in the deep subsag in Binhai slope in Qikou Sag and a major breakthrough has been made. Based on the drilling results, the detailed analysis on the control mechanism of sand body development, reservoir characteristics, hydrocarbon generation conditions and hydrocarbon accumulation pattern in Dongying Formation in the deep subsag area in Binhai slope is conducted. The study results show that: (1) The gravity flow sand body supplied by the north Yanshan provenance was developed in the third member of Dongying Formation (Dong 3 member) in the deep subsag area in Binhai slope, showing good reservoir physical property; (2) The self-generation and self-storage oil and gas bearing system was discovered in Dong 3 member for the first time, breaking through the previous understanding of hydrocarbon migration through faults and “lower source rock and upper reservoir”; (3) The hydrocarbon accumulation pattern of “long distance sand transportation, near source hydrocarbon charging, coupling of source rock and reservoir, and contiguous oil bearing” in Dong 3 member in the deep subsag area has been established; (4) In addition, shale oil in Dong 3 member in the deep subsag area shows huge resource potential. The successful drilling of Well Haitan 1 supports to find a new field in the eastern mature oilfields and provides favorable reference for “oil exploration in the deep subsag”.

**Key words:** Qikou Sag, Dongying Formation, Well Haitan 1, hydrocarbon accumulation pattern, exploration breakthrough

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司前瞻性基础性战略性科技项目“大港探区斜坡带油气藏分布序列与富集高产规律研究”(2021DJ0702)。

第一作者简介: 周立宏(1968—), 男, 河北故城人, 博士, 2006年毕业于中国科学院地质与地球物理研究所, 教授级高级工程师, 现主要从事油气勘探研究与生产管理工作。地址: 天津市滨海新区海滨街中国石油大港油田公司, 邮政编码: 300280。E-mail: zhoulh@petrochina.com.cn

收稿日期: 2023-07-31; 修改日期: 2023-11-01

## 0 引言

渤海湾盆地东以郯城—庐江断裂带为界, 西接太行山东麓, 北抵燕山造山带, 南邻鲁西隆起, 经历了中—新生代多期复杂构造活动, 是中国东部重要含油气盆地之一<sup>[1-2]</sup>。渤海湾盆地内次级坳陷以发育斜坡区为主要特征, 且斜坡区赋存大量油气<sup>[3-6]</sup>。黄骅坳陷斜坡区发育, 其面积占坳陷总面积的60%~70%<sup>[7-8]</sup>, 并有丰富的油气发现<sup>[9]</sup>。黄骅坳陷歧口凹陷斜坡区的发育受基底差异沉降及继承性大断裂活动两大主控因素共同影响, 可划分为阶状断裂斜坡、多阶挠曲斜坡、简单斜坡及旋转掀斜斜坡4种类型<sup>[10]</sup>。斜坡区具有高、中、低分异的特征, 不同部位控砂控藏规律有所差异, 主要表现为高斜坡沟槽控砂, 优势运移汇聚相富集; 中斜坡坡折控砂, 优势构造岩性相富集; 低斜坡远扇控砂, 优势源储耦合相富集<sup>[11]</sup>。

歧口凹陷滨海斜坡主体位于黄骅坳陷海岸线以东的滩海地区, 是北大港潜山向东部歧口主凹过渡形成的斜坡构造, 成藏条件优越<sup>[12]</sup>。滨海斜坡区自西向东可划分为高、中、低3个区带, 勘探面积为768km<sup>2</sup>, 目前高、中斜坡勘探程度较高, 在东三段取得了一系列勘探发现。早期按照构造找油思路在高斜坡发现唐家河油田, 主力层位为东营组, 探明储量为1247.5×10<sup>4</sup>t, 目前累计产油421.45×10<sup>4</sup>t; 在“断

砂耦合”控藏理论指导下于中斜坡发现南港油田, 新增探明与控制储量共计4000×10<sup>4</sup>t, 其中预探井唐东9X2井初期在东三段取得突破, 获百吨高产, 已累计产油1.327×10<sup>4</sup>t、累计产气460×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup><sup>[13]</sup>。前期勘探工作已实现滨海高、中斜坡区东三段含油连片, 展现出较大的勘探潜力。

滨海斜坡低斜坡区处于深凹区, 以前认为深凹区东三段以半深湖—深湖相沉积为主, 烃源岩发育, 但砂体不发育。随着滨海斜坡高、中斜坡区勘探工作的不断深入, 证实歧口凹陷东三段沉积期盆内、盆外物源充足, 砂体可以波及深凹区。深凹区砂体与烃源岩相互匹配, 成藏潜力大, 是未来勘探的主要方向。由于地理条件限制, 深凹区目前总体勘探程度低, 砂体井控程度低。为落实深凹区东三段砂体发育情况及岩性圈闭含油气潜力, 进一步实现“下洼找油”、满坡含油连片的目标, 在深凹区新部署风险探井海探1井。本文基于海探1井的钻探发现, 总结深凹区东三段控砂机制、储层特征和生烃条件, 提出东三段油气成藏模式, 为后续滨海斜坡深凹区油气勘探工作提供借鉴。

## 1 地质概况

黄骅坳陷是渤海湾盆地中重要的构造单元之一, 其中歧口凹陷内部存在一个主凹区和北塘、歧北、歧南、板桥、埕北五大斜坡区(图1a)。歧口凹陷发

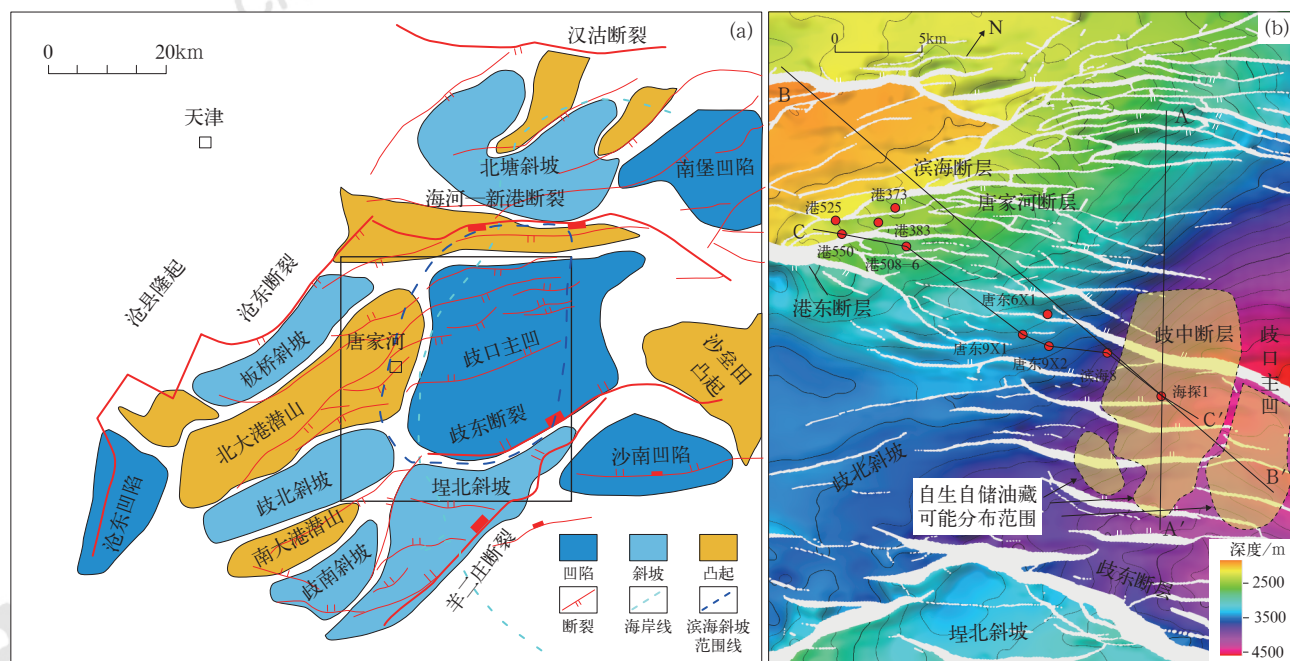


图1 歧口凹陷区域构造图(a)及东三段底部三维构造图(b) (据文献[14]修改)

Fig.1 Regional structural map of Qikou Sag (a) and 3D structural map of the bottom of the third member of Dongying Formation (b) (modified after reference [14])



育复杂断层系统<sup>[15-16]</sup>，主要包括北东向、近东西向和北西向 3 个优势断层走向（图 1b）。受盆外北部燕山褶皱带、西北部沧县隆起、南部埕宁隆起三大物源区和凹陷内部低隆起物源区持续影响，新生界从下到上发育了沙河街组、东营组、馆陶组和明化镇组 4 套地层（图 2）<sup>[17-20]</sup>。

歧口凹陷主力生烃层为沙三段和沙一中亚段、沙一下亚段，沙三段演化程度高，既是生油层也是生气层；沙一中亚段、沙一下亚段演化程度中等，以生油为主；东营组埋藏较浅，烃源岩演化程度低，以低成熟为主，但深凹区东营组已达到生排烃门限，可作为一套有效烃源岩。歧口凹陷区域泥岩盖层主要包括沙三段、沙一中亚段、东二段和明化镇组的泥岩，泥岩盖层的发育控制着油气垂向分布规律。

歧口凹陷滨海斜坡区夹持于北部海河—新港断层和南部歧东断层之间，地震剖面上显示滨海斜坡以歧中断层为界，其北为南倾正断层，其南为北倾正断层，南北向表现为地堑深凹特征（图 3）。受新生代以来差异沉降作用的影响，滨海斜坡自西向东逐渐向歧口主凹过渡，表现为东倾斜坡构造，根据高低关系划分为高、中和低 3 个区带（图 4）。

2 海探 1 井东三段油气地质特征

基于海探 1 井钻探情况，从东三段砂岩储层发育特征、烃源岩发育情况、原油性质等方面进行总结，以加强深凹区基础地质情况认识，为实现油气勘探突破奠定基础。

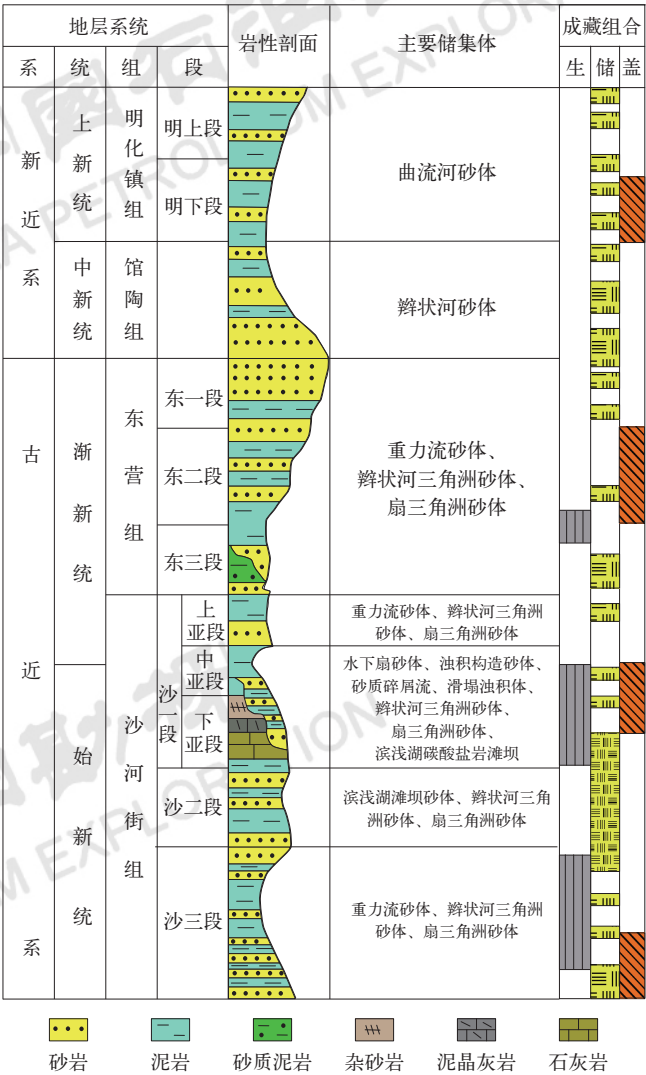


图 2 歧口凹陷地层综合柱状图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column in Qikou Sag

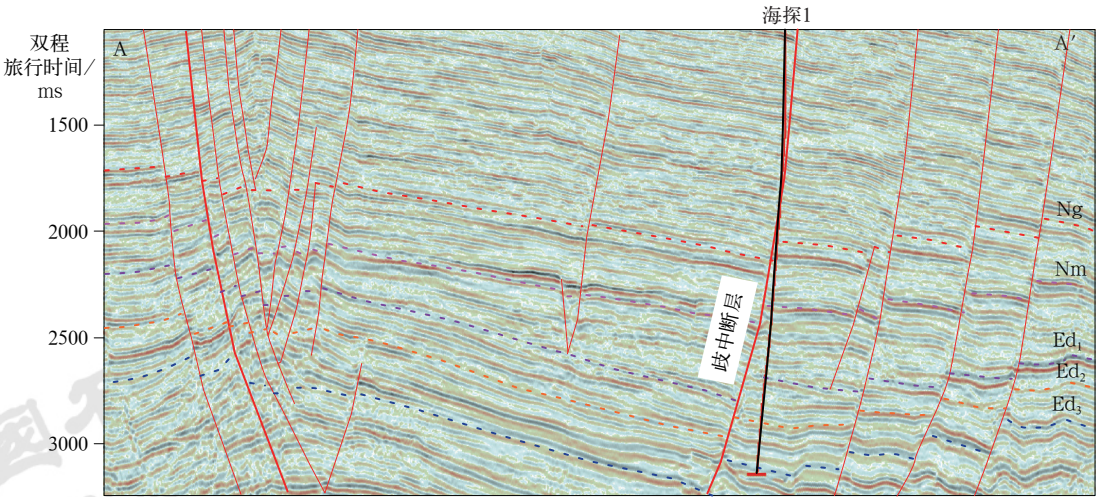


图 3 滨海斜坡过海探 1 井地震剖面图（剖面位置见图 1b）

Fig.3 Seismic profile cross Well Haitan 1 in Binhai slope (section location is in Fig.1b)

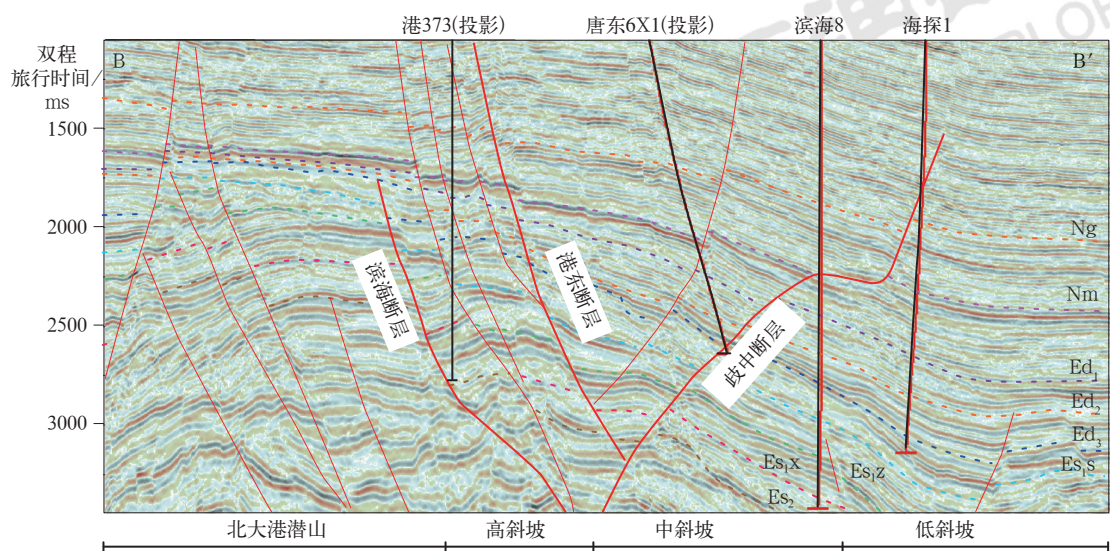


图 4 滨海斜坡东西向地震剖面图 (剖面位置见图 1b)  
Fig.4 E-W direction seismic profile in Binhai slope (section location is in Fig.1b)

2.1 海探 1 井东三段获高产工业油流

海探 1 井钻探位置在歧中断层上升盘，位于歧口主凹区。海探 1 井按预期设计共钻遇东三段 4 套砂岩层，从下到上分别为东三下砂体、东三中 1 砂

体、东三中 2 砂体和东三上砂体 (图 5)。除东三上砂体测井解释为水层外，其余 3 套砂体测井解释油层共 58.5m/7 层，其中东三下砂体油层 15.8m/2 层，东三中 1 砂体油层 17.3m/3 层，东三中 2 砂体油层 25.4m/2 层。

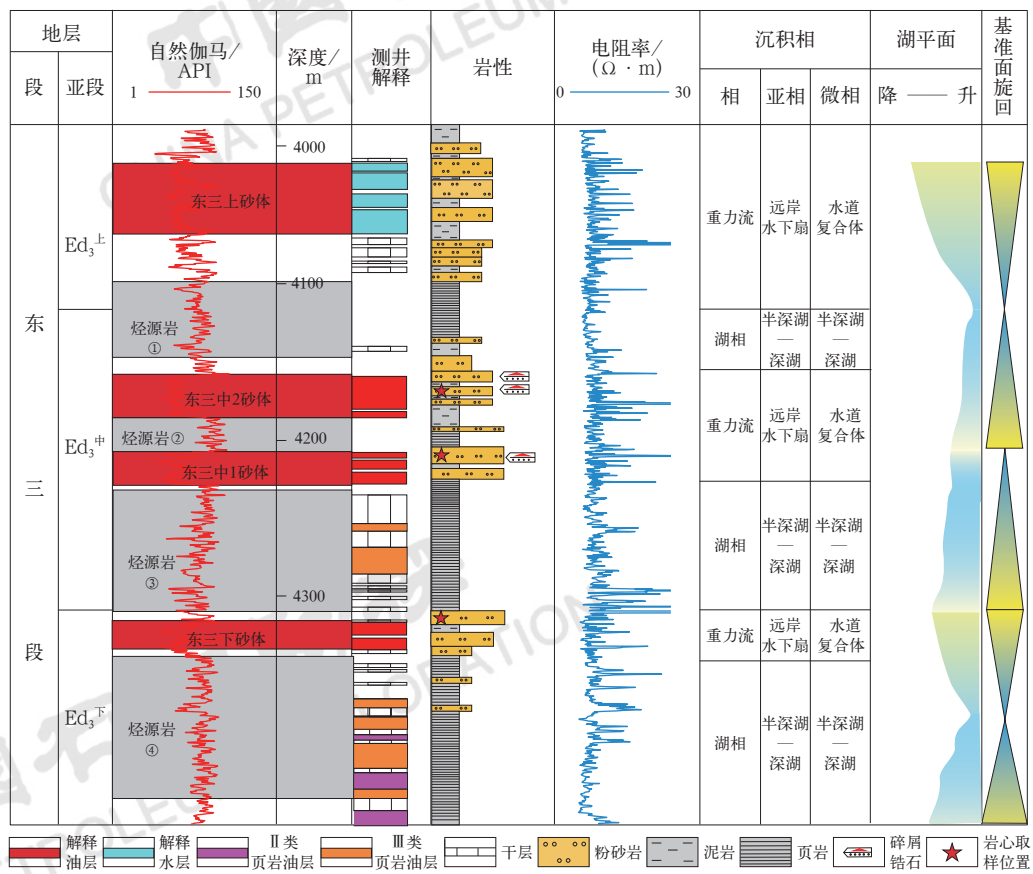


图 5 海探 1 井东三段岩性与沉积相特征图  
Fig.5 Lithologic section and sedimentary facies characteristics of the third member of Dongying Formation in Well Haitan 1



对东三下砂体 4318.5~4331.5m 井段加砂压裂, 日产油 33.16m<sup>3</sup>, 累计产油 152.1m<sup>3</sup>。对东三中 1 砂体 4208.6~4229.1m 井段进行压裂, 累计返排油 140m<sup>3</sup>。东三中 2 砂体目前待试油。

## 2.2 海探 1 井东三段储集特征

东三下砂体岩性为浅灰色细砂岩, 主要矿物成分为石英和长石, 部分长石颗粒蚀变为绢云母 (图 6a); 砂岩孔隙度为 13.2%~15.8%, 渗透率为 3.75~4.35mD, 孔隙类型主要为粒间孔和溶蚀孔 (图 6b), 二维核磁实测含油饱和度为 66.3%。东三中 1 砂体岩

性也为浅灰色细砂岩, 主要矿物成分为石英、长石和岩屑 (图 6c); 砂岩孔隙度为 12.8%~14.5%, 渗透率为 3.81~7.32mD, 孔隙类型主要为粒间孔和溶蚀孔 (图 6d), 二维核磁实测含油饱和度为 59.4%。东三中 2 砂体岩性为浅灰色细砂岩, 矿物成分主要为石英、长石和岩屑 (图 6e); 孔隙度平均为 14.2%, 渗透率平均为 11.18mD, 孔隙类型为粒间孔和溶蚀孔 (图 6f)。东三段新钻井岩心发育液化构造、撕裂状泥砾等重力流沉积构造 (图 6g、h), 镜下观察可见矿物颗粒整体分选差、磨圆次棱角状一次圆状, 具备典型重力流沉积特征。

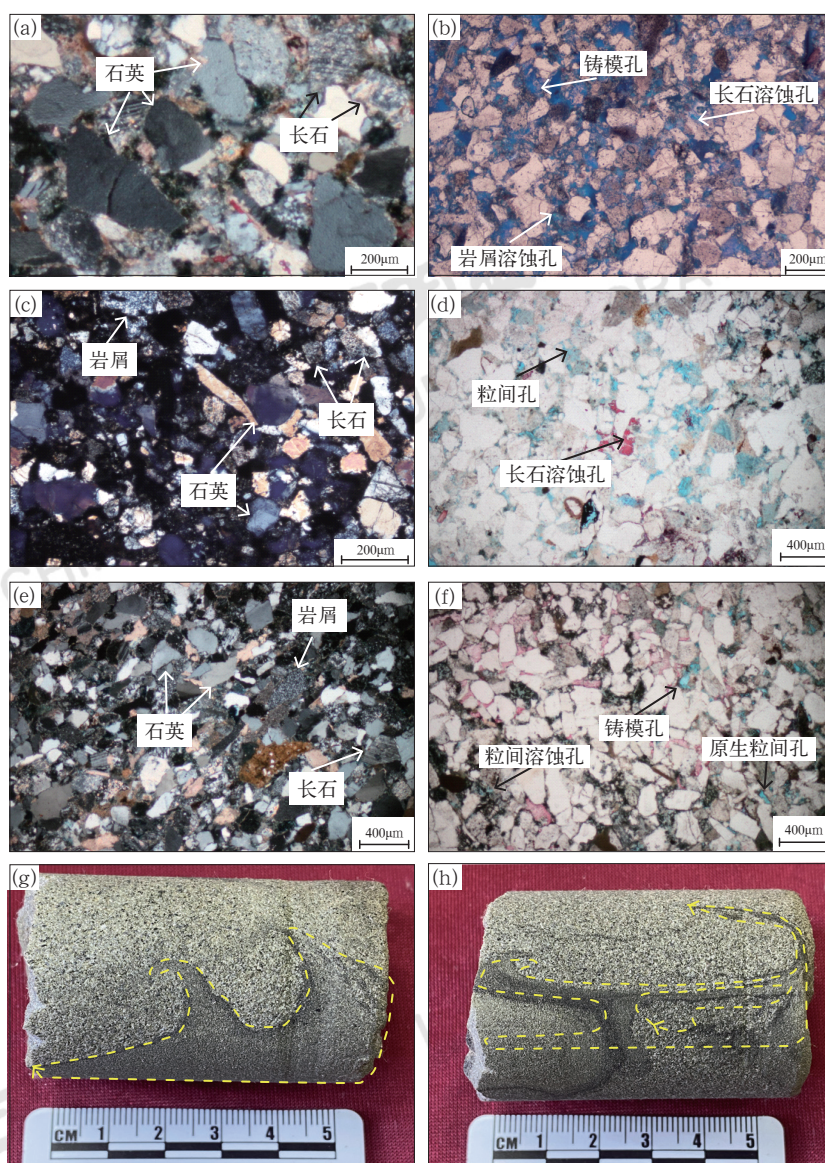


图 6 海探 1 井东三段砂岩镜下与岩心照片

Fig.6 Microscopic and core photos of sandstone in the third member of Dongying Formation in Well Haitan 1

(a) 4323m, 浅灰色细砂岩, 镜下可见部分长石颗粒绢云母化蚀变严重; (b) 4323m, 浅灰色细砂岩, 可见粒间孔、溶蚀孔; (c) 4211m, 浅灰色细砂岩, 主要矿物成分为石英、长石和岩屑; (d) 4211m, 浅灰色细砂岩, 可见粒间孔、溶蚀孔; (e) 4162m, 浅灰色细砂岩, 分选磨圆中等; (f) 4162m, 浅灰色细砂岩, 可见粒间孔、溶蚀孔; (g) 4214m, 浅灰色细砂岩, 发育液化脉; (h) 4211m, 浅灰色细砂岩中, 发育液化脉

### 2.3 深凹区东三段烃源岩发育特征

海探1井在东三段钻遇4套深灰色页岩(图7中①至④套页岩),累计厚度为268m,其中底部第三、四套页岩单层厚度可达60~80m。从地球化学指标上看(图7),4092~4152m深度段的第一套页岩,TOC在1.7%~3.5%之间,平均为2.6%; $S_1$ 在0.5~1.5mg/g之间,平均为1.0mg/g。4189~4205m深度段的第二套页岩,TOC在1.4%~4.2%之间,平均为3.2%; $S_1$ 在1.2~2.0mg/g之间,平均为1.6mg/g。4226~4308m深度段的第三套页岩,TOC在3.0%~5.9%之间,平均为4.2%; $S_1$ 在1.1~4.3mg/g之间,平均为2.8mg/g。4345~4448m深度段的第四套页岩TOC在1.9%~5.3%之间,平均为3.8%; $S_1$ 在2.3~4.2mg/g之间,平均为3.1mg/g。其中第三和第四套两套页岩 $R_o$ 可达1.1%,已经超过生烃门

限,是深凹区优越的烃源岩层系,且部分层段的含油饱和度指数OSI大于100mg/g,也展现出良好的非常规页岩油资源潜力。

### 2.4 深凹区东三段原油地球化学特征

海探1井东三段试油出油,为了确定油源,对其原油性质进行分析,同时利用气相色谱质谱法对东三段油样和烃源岩样品的饱和烃中的生物标志化合物进行检测。结果表明,海探1井原油密度为0.87g/cm<sup>3</sup>,黏度为16.47~17.16mPa·s,而中部滩海中斜坡区唐东9X2井、唐东9X6井、唐东9X8井的原油密度平均为0.85g/cm<sup>3</sup>,黏度平均为5.74mPa·s,均明显小于海探1井的相关数值,表明其油源可能存在不同。气相色谱质谱分析结果显示,海探1井东三段原油具有低 $C_{24}$ 四环萜烷、高伽马蜡烷、高ETR [ $(C_{28}+C_{29})TT/(C_{28}TT+C_{29}TT+Ts)$ ]指数、

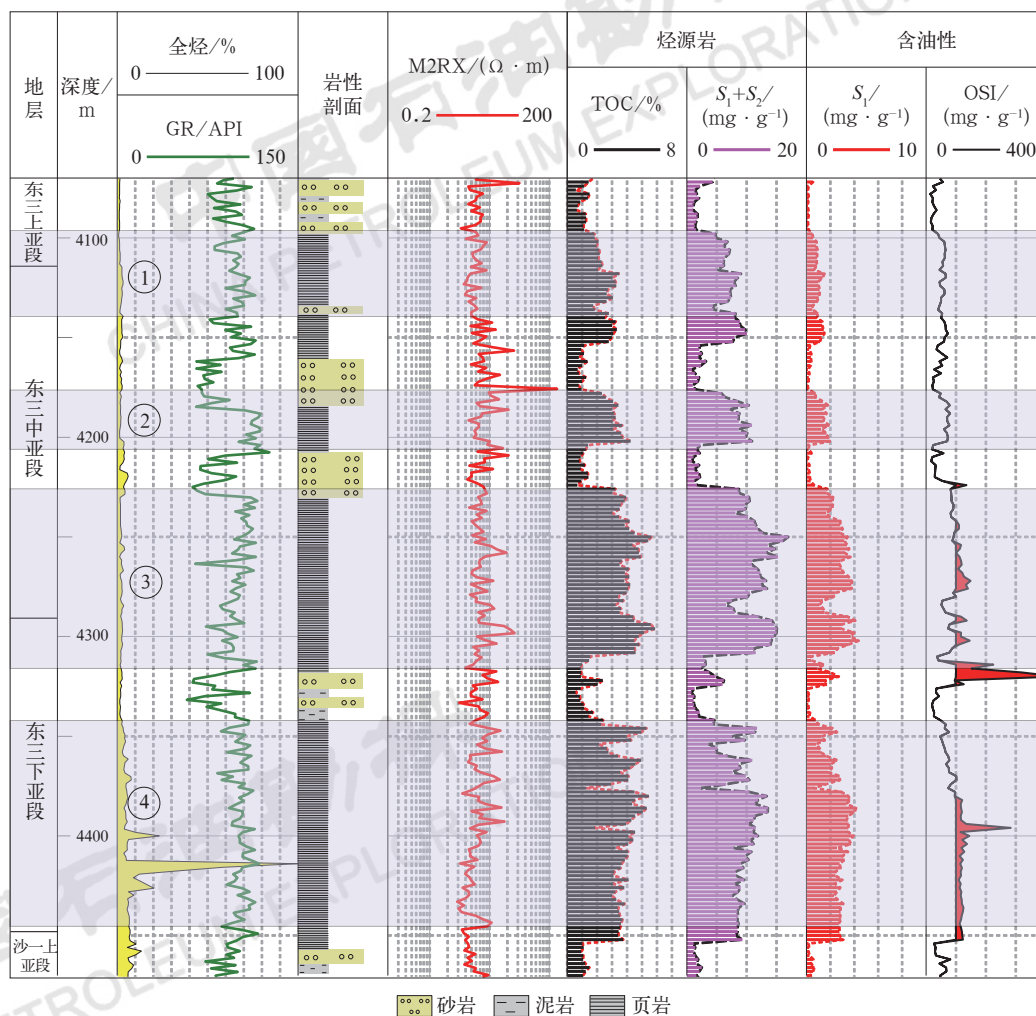


图7 海探1井东三段地球化学指标统计图

Fig.7 Geochemical indicators diagram of the third member of Dongying Formation in Well Haitan 1



高  $C_{23}$  三环萜烷/ $C_{30}$  藿烷、规则甾烷为“L”形分布特征,与海探1井东三段烃源岩具有相似性(图8a、b),但与沙一中亚段烃源岩低 ETR 指数、低  $C_{23}$  三环萜烷/ $C_{30}$  藿烷存在明显不同(图8c)。同时,

东三段原油族组分碳同位素特征、饱和烃单体碳同位素特征与东三段烃源岩具有一致性,而与沙一中亚段烃源岩差异性较大(图9)。上述油源对比结果表明,深凹区东三段油气来源于本层烃源岩。

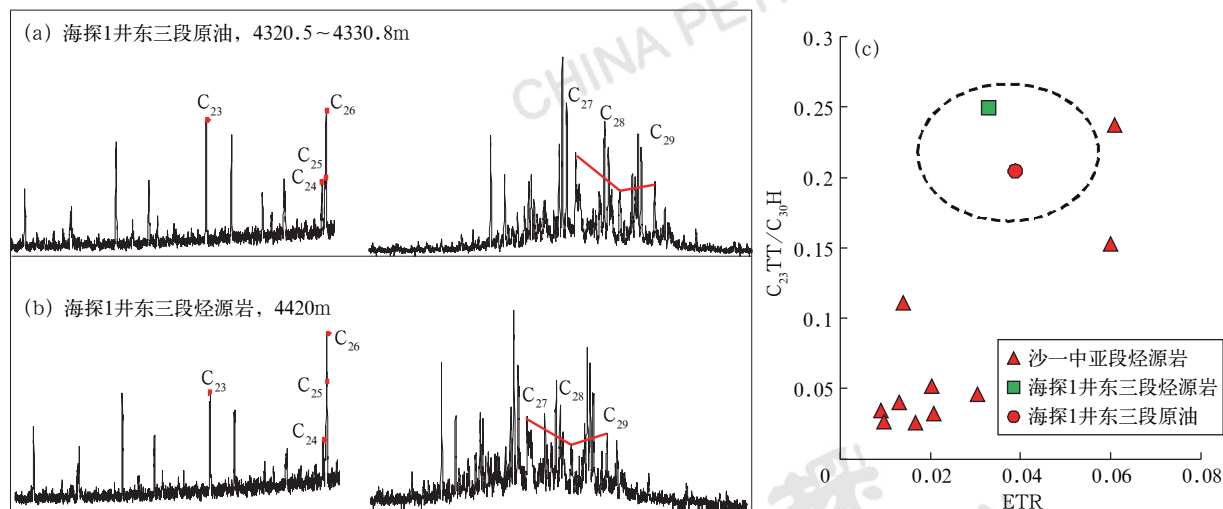


图8 海探1井油源对比图

Fig.8 Oil source correlation diagram in Well Haitan 1

(a) 海探1井东三段原油饱和和色质谱质谱特征; (b) 海探1井东三段烃源岩色质谱质谱特征; (c)  $C_{23}TT/C_{30}H$ —ETR 指数图

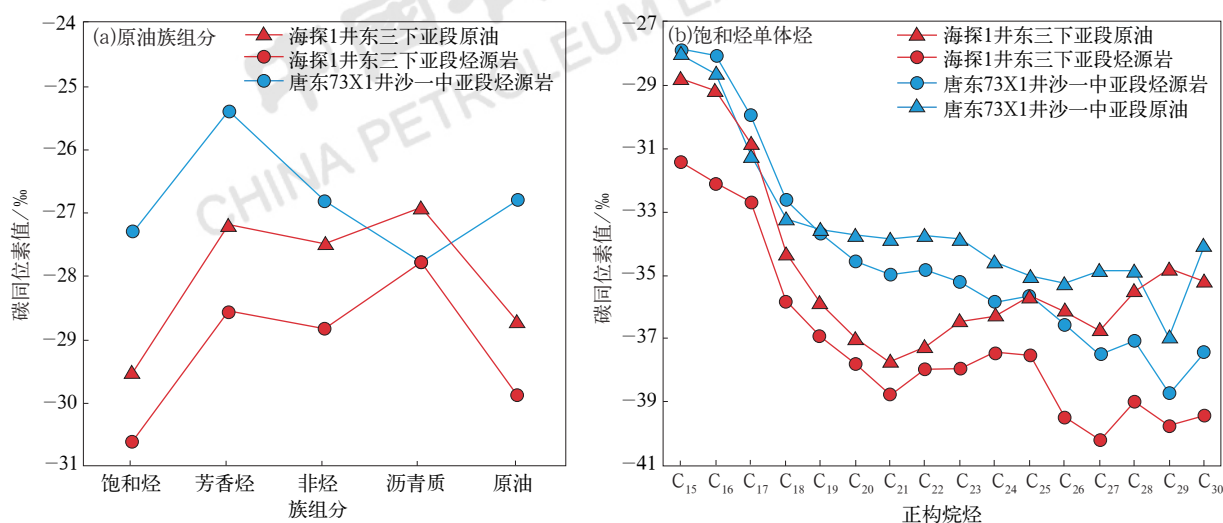


图9 海探1井原油与烃源岩碳同位素特征图

Fig.9 Carbon isotope characteristics of oil and source rock in Well Haitan 1

### 3 海探1井勘探启示

#### 3.1 深凹区东三段“远源输砂”发育大型重力流水道砂体

过去一直认为,歧口深凹区在东营组沉积时为深湖环境,砂体不发育。近年来根据滨海斜坡高、中斜坡的勘探成果,预测深凹区东三段可能有砂体发育。利

用弧长属性预测滨海斜坡东三段底部可能发育东、西两套砂体,西侧砂体带主要分布在滨海斜坡中斜坡区,东侧砂体带分布在滨海斜坡深凹区(图10a)。同时在东西向地震剖面上可以看到东、西两套砂体的叠置关系,深凹区的西侧砂体可识别出东三下、东三中1、东三中2和东三上砂体(图10b)。从沉积背景上来看,歧口凹陷沙一段—东营组沉积时期受太平洋板块向西俯冲于欧亚大陆下速度突然变大的影响,

右行走滑逐渐加强<sup>[21-22]</sup>。歧口凹陷兰聊走滑断层和东部海域郯城—庐江主干断层共同组成了右行右列走滑断层系, 该断层系在歧口海域主凹区派生出南北向拉张应力场, 形成拉分盆地<sup>[23]</sup>。在此应力场控制下,

东三段沉积时期, 海河断层及其以南多条南倾正断层呈阶状层层下掉, 歧口凹陷中部滩海区东三段古地貌显示北高南低(图11a), 歧口主凹成为最大沉降中心, 北部物源可向南长距离输送碎屑物质。

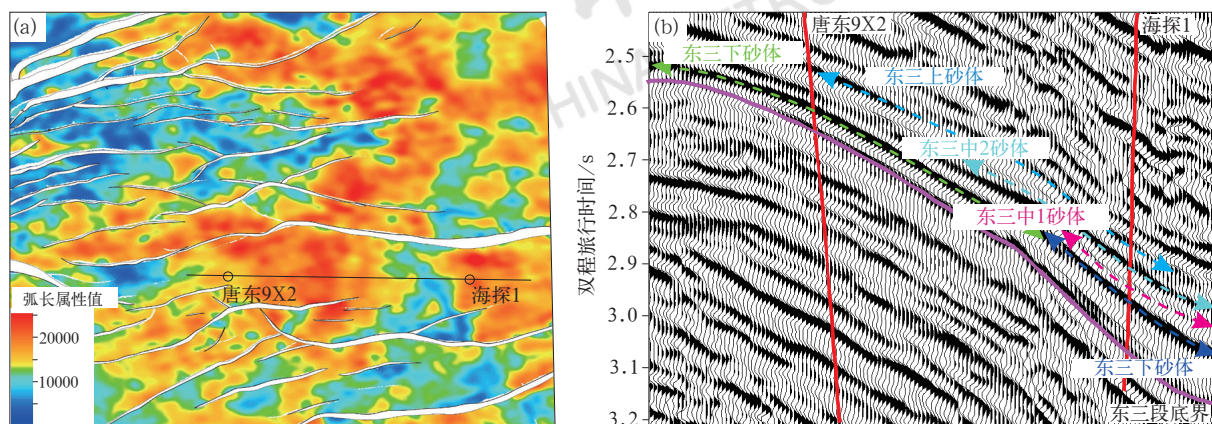


图10 歧口凹陷滨海斜坡深凹区东三段砂岩弧长属性(a)与地震剖面图(b)

Fig.10 Sandstone arc length attribute (a) and seismic profile (b) of the third member of Dongying Formation in Binhai slope

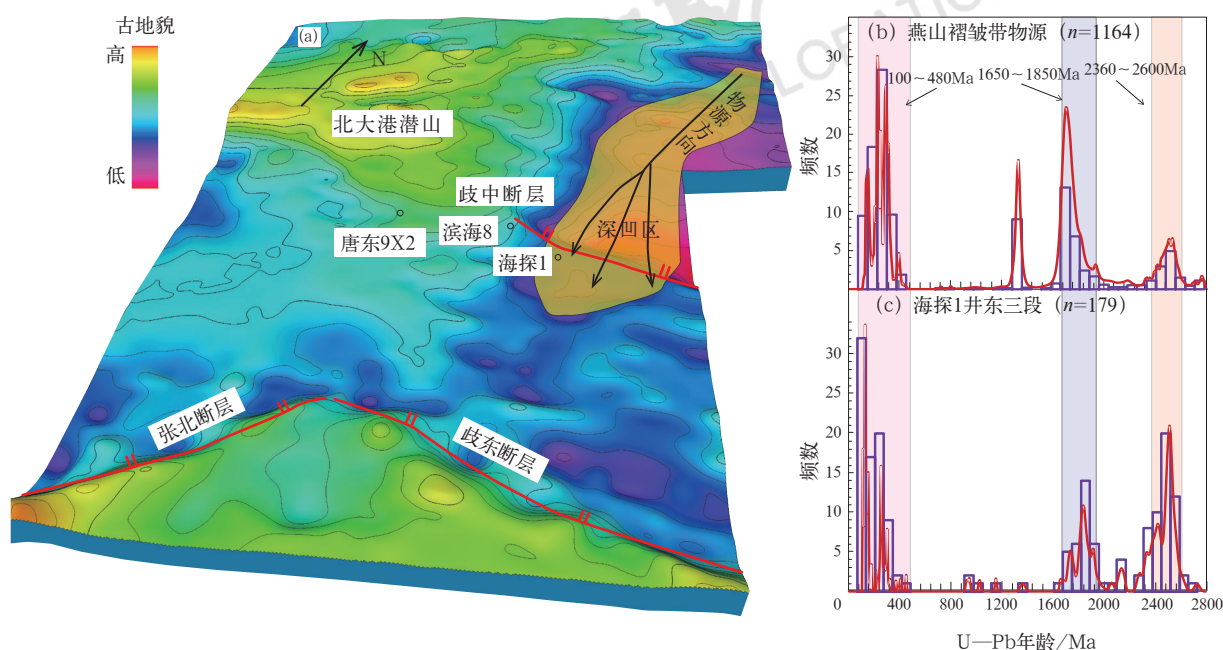


图11 歧口凹陷东三段古地貌与物源特征图

Fig.11 Paleogeomorphology and sediments source characteristics in Qikou Sag during the deposition period of the third member of Dongying Formation

(a) 歧口凹陷东三段古地貌图; (b) 燕山褶皱带物源区锆石 U—Pb 年龄谱特征图; (c) 海探1井东三段砂岩碎屑锆石 U—Pb 年龄谱特征图

为了进一步明确海探1井所钻遇重力流砂体的物源, 利用激光电感耦合等离子体质谱法(LA-ICP-MS)对海探1井东三段中深度为4162m、4177m和4209m处的碎屑锆石进行U—Pb定年分析。将测年结果与燕山褶皱带物源区母岩年龄特征进行对比<sup>[24-25]</sup>, 发现海探1井东三段碎屑锆石年龄整体呈现出100~480Ma, 1680~2000Ma和2300~2600Ma

3个年龄峰值, 与燕山褶皱带物源区年龄峰值特征基本一致(图11b、c), 因此滨海斜坡深凹区东三段重力流砂体物源区为北部燕山褶皱带。歧口凹陷滨海斜坡东三段自北向南发育的沉积相主要有辫状河三角洲前缘和远岸水下扇重力流沉积等(图12), 表明东三段沉积时燕山褶皱带供源能力强, “远源输砂”影响到歧口深凹区。



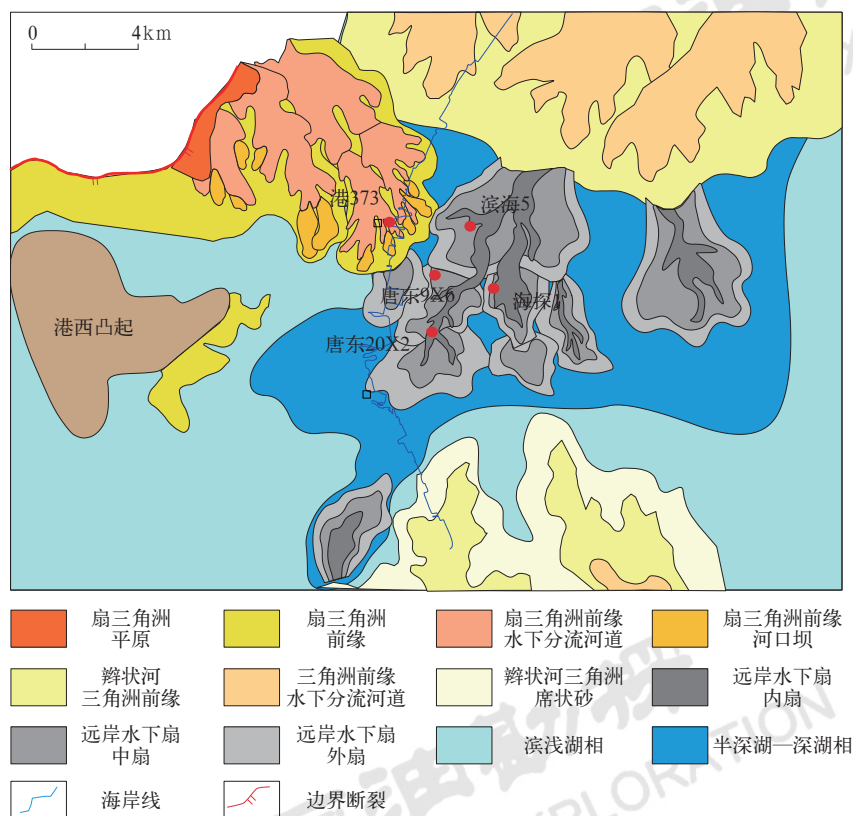


图 12 歧口凹陷东三段沉积体系图

Fig.12 Sedimentary system in Qikou Sag during the deposition period of the third member of Dongying Formation

### 3.2 深凹区东三段“近源充注”自生自储资源潜力大

传统认为歧口凹陷滨海斜坡深凹区发育沙一中亚段和沙三段两套主力烃源岩，东三段砂岩成藏主要依靠油源断层输导，形成下生上储型油气藏。海探 1 井钻探证实东三段发育 4 套页岩，且地球化学指标显示底部两套页岩为较好的烃源岩。从东三段有效烃源岩厚度等值线图可以看出（图 13），深凹区发育南、北两个烃源岩厚值区，厚度超过 300m；TOC>2% 且  $R_o>0.7\%$  的优质烃源岩发育面积可达 135km<sup>2</sup>。总的来看，深凹区东三段烃源岩分布面积广、埋深大、已达到生烃门限、资源潜力好，使得东三段具备了自生自储的潜力。油源对比结果也证实东三段发育自生自储型油气藏，改变了传统认为东三段发育下生上储油气藏的认识。东三段自生自储型油气藏的发现，开辟了东部滩海勘探开发的新局面。

### 3.3 滨海斜坡区“源储耦合，连片成藏”

滨海斜坡区断层发育，高斜坡唐家河油田发育北东向断层，其中港东断层、唐家河断层沟通沙一段和沙三段烃源岩，并且在成藏期活动，是高斜坡区主干

油源断层，断砂耦合控藏使得高斜坡油气富集，形成下生上储构造油气藏。中斜坡区北东东和近东西向断层发育，以歧中断层及其以南数条北倾正断层组成的歧中断层系为代表。歧中断层系中数条断层沟通了沙一段和沙三段烃源岩，并且在成藏期活动，作为主干油源断层，将深部烃源岩生成的油气运移到浅部东三段成藏，在中斜坡形成了以南港油田为代表的断砂耦合控制的下生上储岩性油气藏<sup>[26]</sup>。海探 1 井勘探结果表明，低斜坡区东三段存在自生自储油气藏，进一步丰富了对该区成藏模式的认识。总的来看，滨海斜坡从高斜坡区到低斜坡区，其油藏类型包括了断砂耦合控藏机制主导下形成的下生上储构造油气藏、岩性油气藏，以及自生自储岩性油气藏。不同油气藏类型的存在使得该区具有较为复杂的成藏模式，呈现出满坡含油的特征，展现出较大勘探潜力（图 14）。

### 3.4 深凹区东三段非常规页岩油资源潜力大

黄骅坳陷页岩油多年勘探实践表明，良好的烃源岩均可以作为页岩油勘探对象。沧东凹陷孔二段、歧口凹陷沙三段、沙一下亚段、沙一中亚段 4 套主要页岩层有机质类型覆盖 I、II、III 型，TOC 介于 2%~6%，

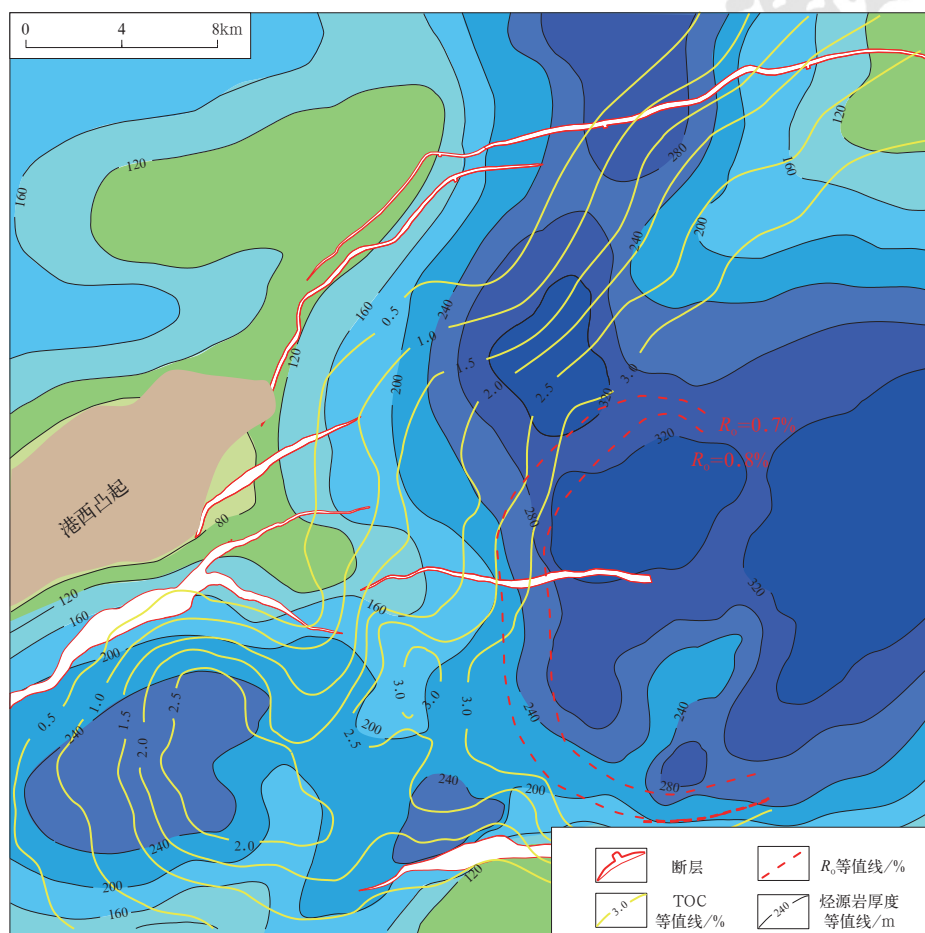


图 13 深凹区东三段有效烃源岩厚度等值线图

Fig.13 Thickness map of effective source rock in the third member of Dongying Formation in deep subsag area

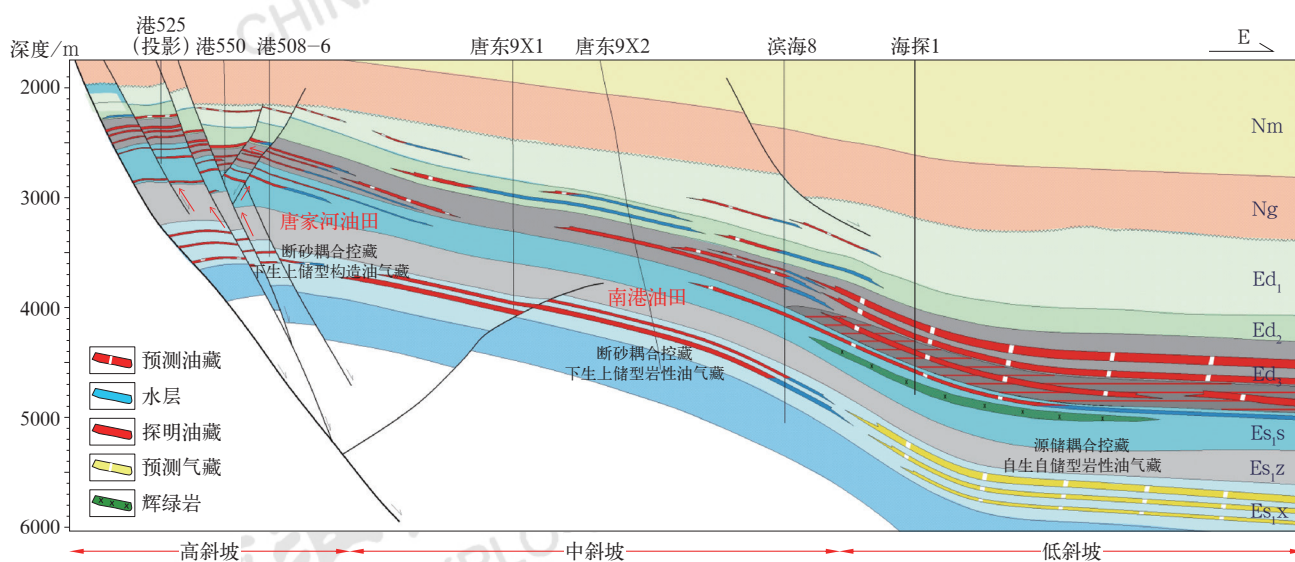


图 14 滨海斜坡成藏模式图

Fig.14 Hydrocarbon accumulation pattern in Binhai slope

$S_1$  介于  $2 \sim 20 \text{ mg/g}$ ,  $R_0$  介于  $0.6\% \sim 1.5\%$ , 均已实现了勘探突破, 充分表明良好的烃源岩达到一定的成熟度都可以形成页岩油<sup>[27-28]</sup>。

通过海探1井的实施, 证实歧口深凹区东三段发育4套页岩段, 其中底部两套页岩段地球化学指标优越。岩石热解生烃潜量 ( $S_1+S_2$ ) 和游离烃含量 ( $S_1$ ) 可



以直接反映页岩油含油量,含油饱和度指数 OSI 大于 100mg/g,表明页岩油具有可流动性<sup>[29-32]</sup>。第三套页岩  $S_1+S_2$  介于 6.54~16.94mg/g,平均为 11.77mg/g;  $S_1$  介于 0.38~4.33mg/g,平均为 2.64mg/g; OSI 介于 37~439mg/g,平均为 113mg/g。第四套页岩  $S_1+S_2$  介于 2.40~13.6mg/g,平均为 9.12mg/g;  $S_1$  介于 0.63~4.16mg/g,平均为 2.66mg/g; OSI 介于 47.5~283.0mg/g,平均为 107mg/g。综合上述地球化学指标,深凹区东三段第三、四套页岩含油性较好,可动性强,且平面分布范围广。总体来看,滨海斜坡深凹区东三段展现出较大的非常规页岩油资源潜力。

## 4 结论

(1) 海探 1 井在滨海斜坡深凹区钻遇目的层东三段 4 套砂体,基于碎屑锆石 U—Pb 定年结果与古地貌恢复,证实其物源区为北部燕山褶皱带,东三段砂体面积大,储集物性好。

(2) 海探 1 井钻遇东三段 4 套深灰色页岩,累计厚度达 268m,地球化学指标显示其生烃潜力好,为深凹区有利烃源岩层;油源对比表明海探 1 井所钻遇的油气藏为自生自储型,试油获工业油气流,开拓了勘探新领域。

(3) 滨海斜坡从高斜坡到低斜坡发育了下生上储构造油气藏、下生上储岩性油气藏和自生自储油气藏,同时深凹区东三段页岩含油性好,分布面积广,展现出巨大的非常规页岩油资源潜力。

## 参考文献

- [1] 赵贤正,王权,金凤鸣,等.渤海湾盆地富油凹陷二次勘探工程及其意义[J].石油勘探与开发,2015,42(6):723-733.  
Zhao Xianzheng, Wang Quan, Jin Fengming, *et al.* Re-exploration program for petroleum-rich sags and its significance in Bohai Bay Basin, east China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015,42(6):723-733.
- [2] 李三忠,索艳慧,戴黎明,等.渤海湾盆地形成与华北克拉通破坏[J].地学前缘,2010,17(4):64-89.  
Li Sanzhong, Suo Yanhui, Dai Liming, *et al.* Development of the Bohai Bay Basin and destruction of the North China Craton[J]. Earth Science Frontiers, 2010,17(4):64-89.
- [3] 刘海涛,于海洋,孙雨,等.断陷盆地多类型斜坡形成与油气差异富集规律:以渤海湾盆地为例[J].岩石学报,2022,38(9):2697-2708.  
Liu Haitao, Yu Haiyang, Sun Yu, *et al.* Formation and differential enrichment of oil and gas on multiple types of slopes in rifted basins: taking the Bohai Bay Basin as an example, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2022,38(9):2697-2708.
- [4] 赵珊,刘华,蒋有录,等.渤海湾盆地缓坡带类型及其油气分布特征[J].石油与天然气地质,2019,40(2):223-235.  
Zhao Shan, Liu Hua, Jiang Youlu, *et al.* Ramp zone types and their hydrocarbon distribution characteristics in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2019,40(2):223-235.
- [5] 金凤鸣,李宝刚,崔周旗,等.箕状断陷缓坡带油气富集的主要地质因素[J].断块油气田,2011,18(6):726-729.  
Jin Fengming, Li Baogang, Cui Zhouqi, *et al.* Main geological factors of controlling accumulation and distribution of oil and gas in gentle slope of half graben basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011,18(6):726-729.
- [6] 周立宏,陈长伟,韩国猛,等.渤海湾盆地歧口凹陷陆相湖盆页岩气富集条件及勘探潜力[J].天然气工业,2021,41(5):1-10.  
Zhou Lihong, Chen Changwei, Han Guomeng, *et al.* Enrichment conditions and exploration potential of shale gas in continental lake basins in Qikou Sag, Bohai Bay Basin[J]. Natural Gas Industry, 2021,41(5):1-10.
- [7] 赵贤正,周立宏,肖敦清,等.歧口凹陷斜坡区油气成藏与勘探实践[J].石油学报,2016,37(增刊2):1-9.  
Zhao Xianzheng, Zhou Lihong, Xiao Dunqing, *et al.* Hydrocarbon accumulation and exploration practice of slope area in Qikou Sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016,37(S2):1-9.
- [8] 韩国猛,牟连刚,董越崎,等.歧口凹陷板桥斜坡区新生代断裂特征及油气地质意义[J].地质科技通报,2020,39(6):1-9.  
Han Guomeng, Mou Liangang, Dong Yueqi, *et al.* Cenozoic fault characteristics and petroleum geological significance in Banqiao slope area of Qikou Depression[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2020,39(6):1-9.
- [9] 吴雪松,赵仕民,肖敦清,等.埕北断阶带油气成藏条件与模式研究[J].天然气地球科学,2009,20(3):362-371.  
Wu Xuesong, Zhao Shimin, Xiao Dunqing, *et al.* Hydrocarbon accumulation model of Chengbei step-fault zone[J]. Natural Gas Geoscience, 2009,20(3):362-371.
- [10] 肖敦清,卢异,付立新,等.断陷湖盆斜坡构造类型及特征:以歧口凹陷为例[J].石油地质与工程,2013,27(1):1-6.  
Xiao Dunqing, Lu Yi, Fu Lixin, *et al.* Slope structure feature and category in faulted basin: a case study on Qikou Sag Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2013,27(1):1-6.
- [11] 赵贤正,周立宏,蒲秀刚,等.断陷湖盆斜坡区油气富集理论与勘探实践:以黄骅坳陷古近系为例[J].中国石油勘探,2017,22(2):13-24.  
Zhao Xianzheng, Zhou Lihong, Pu Xiugang, *et al.* Hydrocarbon enrichment theory and exploration practice in the slope of fault lake basin: a case study of Paleogene in Huanghua Depression[J]. China Petroleum Exploration, 2017,22(2):13-24.
- [12] 蒲秀刚,陈长伟,柳飒,等.歧口凹陷歧北斜坡沙三段挠曲坡折体系与岩性油气藏勘探[J].成都理工大学学报(自然科学版),2011,38(6):611-618.  
Pu Xiugang, Chen Changwei, Liu Sa, *et al.* Lithologic reservoir exploration of Es<sub>3</sub> flexure slope break systems in Qibei slope of Qikou Sag, Bohai Bay, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2011,38(6):611-618.
- [13] 周立宏,韩国猛,董越崎,等.渤海湾盆地歧口凹陷滨海断鼻—砂组合模式与油气成藏[J].石油勘探与开发,2019,46(5):869-882.  
Zhou Lihong, Han Guomeng, Dong Yueqi, *et al.* Fault-sand combination modes and hydrocarbon accumulation in Binhai fault nose of Qikou Sag, Bohai Bay Basin, east China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019,46(5):869-882.

- [14] 李三忠, 索艳慧, 周立宏, 等. 华北克拉通内部的拉分盆地: 渤海湾盆地黄骅坳陷结构构造与演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(5): 1362–1379.
- Li Sanzhong, Suo Yanhui, Zhou Lihong, *et al.* Pull-apart basins within the North China Craton: structural pattern and evolution of Huanghua Depression in Bohai Bay Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(5): 1362–1379.
- [15] 王洪宇, 付晓飞, 王海学, 等. 渤海湾盆地歧口凹陷断裂活动定量分析和评价对油气成藏的控制作用研究[J]. 地质学报, 2020, 94(10): 3062–3073.
- Wang Hongyu, Fu Xiaofei, Wang Haixue, *et al.* Research on the controlling effect of quantitative analysis and evaluation of fault activity on oil and gas accumulation in Qikou Sag of Bohai Bay Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(10): 3062–3073.
- [16] 刘世瑞, 王有功, 刘海涛, 等. 歧口凹陷断裂密集带形成演化特征及油气富集差异研究[J]. 特种油气藏, 2020, 27(5): 88–93.
- Liu Shirui, Wang Yougong, Liu Haitao, *et al.* Study on the formation and evolution characteristics and hydrocarbon enrichment difference of fault concentrated zones in Qikou Sag[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2020, 27(5): 88–93.
- [17] 王华, 白云凤, 黄传炎, 等. 歧口凹陷古近纪东营期古物源体系重建与应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2009, 34(3): 448–456.
- Wang Hua, Bai Yunfeng, Huang Chuanyan, *et al.* Reconstruction and application of the Paleogene provenance system of the Dongying Formation in Qikou Depression[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2009, 34(3): 448–456.
- [18] 陈纯芳, 郑浚茂, 王德发. 板桥凹陷沙三段沉积体系与物源分析[J]. 古地理学报, 2001, 3(1): 55–62.
- Chen Chunfang, Zheng Junmao, Wang Defa. Depositional systems and source provenance of the third member of Shahejie Formation in Banqiao Sag[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(1): 55–62.
- [19] 汤戈, 王振升, 钱茂路. 歧口凹陷北塘次凹沙三段物源—沉积体系分析[J]. 东北石油大学学报, 2015, 39(6): 45–55.
- Tang Ge, Wang Zhensheng, Qian Maolu. Provenance and sedimentary system research of the third member of Shahejie Formation in Beitang sub-sag of Qikou Sag[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2015, 39(6): 45–55.
- [20] 钟玮, 林常梅, 周凤春. 物源及沉积体系研究对识别岩性圈闭的意义: 以黄骅坳陷歧口凹陷歧南斜坡为例[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2019, 34(3): 19–26, 108.
- Zhong Wei, Lin Changmei, Zhou Fengchun. Significance of study on provenance and sedimentary system to identification of lithologic traps: taking Qi'nan slope of Qikou Depression in Huanghua Sag as an example[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2019, 34(3): 19–26, 108.
- [21] 刘琼颖, 何丽娟. 渤海湾盆地新生代以来构造—热演化模拟研究[J]. 地球物理学报, 2019, 62(1): 219–235.
- Liu Qiongying, He Lijuan. Tectono-thermal modeling of the Bohai Bay Basin since the Cenozoic[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2019, 62(1): 219–235.
- [22] 黄雷, 周心怀, 刘池洋, 等. 渤海海域新生代盆地演化的重要转折期: 证据及区域动力学分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(6): 893–904.
- Huang Lei, Zhou Xinhui, Liu Chiyang, *et al.* The important turning points during evolution of Cenozoic basin offshore the Bohai Sea: evidence and regional dynamics analysis[J]. Scientia Sinica Terrae, 2012, 42(6): 893–904.
- [23] 王光奇, 漆家福, 岳云福. 歧口凹陷及周缘新生代构造的成因和演化[J]. 地质科学, 2003, 38(2): 230–240.
- Wang Guangqi, Qi Jiafu, Yue Yunfu. Formation and evolution of the Cenozoic tectonics within and surrounding the Qikou Sag[J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(2): 230–240.
- [24] Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Davis Gregory A, *et al.* Temporal and spatial variations of Mesozoic magmatism and deformation in the North China Craton: implications for lithospheric thinning and decratonization[J]. Earth Science Review, 2014, 131: 49–87.
- [25] 翟明国, 胡波, 彭澎, 等. 华北中—新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件[J]. 地学前缘, 2014, 21(1): 100–119.
- Zhai Mingguo, Hu Bo, Peng Peng, *et al.* Meso-neoproterozoic magmatic events and multi-stage rifting in the NCC[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(1): 100–119.
- [26] 韩国猛, 陈冬霞, 马建英, 等. 黄骅坳陷歧口北斜坡油气成藏机制与成藏模式[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2021, 51(6): 1636–1653.
- Han Guomeng, Chen Dongxia, Ma Jianying, *et al.* Hydrocarbon accumulation mechanism and accumulation model of Qibei slope in Huanghua Depression[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2021, 51(6): 1636–1653.
- [27] 周立宏, 陈长伟, 韩国猛, 等. 陆相致密油与页岩油藏特征差异性及其勘探实践意义: 以渤海湾盆地黄骅坳陷为例[J]. 地球科学, 2021, 46(2): 555–571.
- Zhou Lihong, Chen Changwei, Han Guomeng, *et al.* Difference characteristics between continental shale oil and tight oil and exploration practice: a case from Huanghua Depression, Bohai Bay Basin[J]. Earth Science, 2021, 46(2): 555–571.
- [28] 周立宏, 赵贤正, 柴公权, 等. 陆相页岩油效益勘探开发关键技术与工程实践: 以渤海湾盆地沧东凹陷古近系孔二段为例[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(5): 1059–1066.
- Zhou Lihong, Zhao Xianzheng, Chai Gongquan, *et al.* Key exploration & development technologies and engineering practice of continental shale oil: a case study of member 2 of Paleogene Kongdian Formation in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin, east China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(5): 1059–1066.
- [29] Jarvie D M. Components and processes affecting producibility and commerciality of shale resource systems[J]. Geologica Acta, 2014, 12(4): 307–325.
- [30] 匡立春, 侯连华, 杨智, 等. 陆相页岩油储层评价关键参数及方法[J]. 石油学报, 2021, 42(1): 1–14.
- Kuang Lichun, Hou Lianhua, Yang Zhi, *et al.* Key parameters and methods of lacustrine shale oil reservoir characterization[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(1): 1–14.
- [31] 张金川, 史森, 王东升, 等. 中国页岩气勘探领域和发展方向[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 69–80.
- Zhang Jinchuan, Shi Miao, Wang Dongsheng, *et al.* Fields and directions for shale gas exploration in China[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 69–80.
- [32] 吴松涛, 朱如凯, 罗忠, 等. 中国中西部盆地典型陆相页岩岩层结构与储层品质评价[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(5): 62–72.
- Wu Songtao, Zhu Rukai, Luo Zhong, *et al.* Laminar structure of typical continental shales and reservoir quality evaluation in central-western basins in China[J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(5): 62–72.