

Identification of Main Source Rocks and Oil-Source Correlation in Eastern Slope of Chengdao

Xiuhong Wang, Tao Chen, Qing Liu, Shouchun Zhang, Huiping Liu, Changyu Song

Sinopec Shengli Oilfield Exploration and Development Research Institute, Dongyi Shandong
Email: wangxiuhong595.slyt@sinopec.com

Received: Jun. 9th, 2020; accepted: Jun. 23rd, 2020; published: Jun. 30th, 2020

Abstract

Based on drilling, logging and geochemical data, the comprehensive research of the hydrocarbon generation capacity and characteristics of the source rocks in eastern slope of Chengdao were conducted from the geochemical characteristics such as total organic content, type, maturity and biomarkers. The results show that excellent source rocks were found in the lower-middle part of the Dongying formation and Es₁ of research area. Oil-source correlation indicated that the oil found in Dongying reservoirs is mainly originated from Dongying formations and mixed with a small amount of Es₁, while the oil from Es₃ were mainly distributed in the slope break belt and buried hill reservoirs in the deep depression. Combined with the analysis of reservoir forming conditions, it was concluded that in addition to the tectonic-lithologic reservoir in the slope break belt, the lithologic reservoir in the deep depression will also be favorable areas for further exploration.

Keywords

Eastern Slope of Chengdao, Dongying Formation, Main Source Rocks, Hydrocarbon Generation Capacity, Oil-Source Correlation

埕岛东斜坡主力烃源岩判定及油气来源分析

王秀红, 陈涛, 刘庆, 张守春, 刘会平, 宋长玉

中国石化胜利油田勘探开发研究院, 山东 东营
Email: wangxiuhong595.slyt@sinopec.com

收稿日期: 2020年6月9日; 录用日期: 2020年6月23日; 发布日期: 2020年6月30日

摘要

以地化实测数据为基础, 综合应用钻井、测井等地质资料, 从有机质丰度、类型、成熟度以及生物标志物等方面对埕岛东斜坡烃源岩生烃能力及成烃特征进行了研究。结果表明埕岛东斜坡东营组中下部、沙一段都发育好 - 优质烃源岩, 并重新界定了东营组生烃门限。油源对比表明埕岛东斜坡及其周缘东营组油气以自生自储为主, 混有少量沙一段的贡献, 而沙三段油气主要分布在坡折带以及深洼带靠近断裂的潜山储层中。结合成藏条件分析认为, 除坡折带的构造 - 岩性油藏之外, 深洼带生烃门限范围内的岩性油气藏也是进一步勘探的有利地区。

关键词

埕岛东斜坡, 东营组, 主力烃源岩, 生烃能力, 油源对比

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

埕岛东斜坡整体勘探程度较低, 为进一步明确油气规模及勘探方向, 需要落实主力烃源岩的生烃门限和供烃范围。由于海域钻井资料有限, 以往研究认为埕岛东斜坡主力烃源岩层系以沙三段为主, 没有对东营组及沙一段给予足够重视, 并且认为埕岛东部斜坡带下第三系东营组所富集的油气, 与其上覆上第三系及潜山油藏是同源的[1]; 还有部分研究认为东营组烃源岩具备一定生烃能力, 但是由于类型较差, 生烃门限深度较大, 故此成藏贡献较小[2]。本文以新钻井地化分析数据为基础, 借鉴了渤中凹陷相关研究成果, 重点对东营组等层系的生烃能力进行了系统评价, 重新界定了生烃门限, 厘定了已发现油气来源, 明确了下一步勘探方向。

2. 地质背景

埕岛东坡位于济阳拗陷与渤中拗陷交会部位, 为埕北潜山披覆构造带的一部分, 其东北部被渤中凹陷所环绕, 后者发育多套生烃层系, 微量元素分析结果表明: 东营组 - 沙一段沉积期整体属于湖相沉积环境[3]。根据岩电性特征及沉积旋回, 东营组自下而上又分为东三段、东二段及东一段。由坡折带到深洼带的连井剖面可见(见图 1): 位于深洼区的埕北 803 及埕北 323 井, 均钻遇了巨厚的东营组及部分沙一段地层, 东营组最大厚度达 150 m 以上, 渤海海域晚第三纪以来的快速沉降是沙一段和东营组形成厚层烃源岩的有利条件。

受构造演化、沉积环境以及物源等多方面的控制, 单井岩性组合在纵向上也具有一定的规律性: 其中沙一段为深湖相沉积, 岩性以深灰色油泥岩、泥岩为主, 局部夹薄层油页岩。东三段(包括 5、6 砂组)主要为灰色、深灰色泥岩及褐色油泥岩, 局部地区有少量砂岩发育, 为半深湖相沉积; 东二段 4 砂组的沉积环境也为半深湖相沉积, 发育来自埕岛凸起的浊积扇, 砂岩较东三段发育, 3 砂组为大规模三角洲沉积, 以砂岩为主, 砂岩百分含量一般在 60%以上; 东一段(包括 1、2 砂组)为含砾砂岩与灰色、灰绿色泥岩不等厚互层, 沉积背景决定东一段为非 - 差生油岩层, 暗色泥岩主要发育于东二段下部、东三段及沙一段地层中。

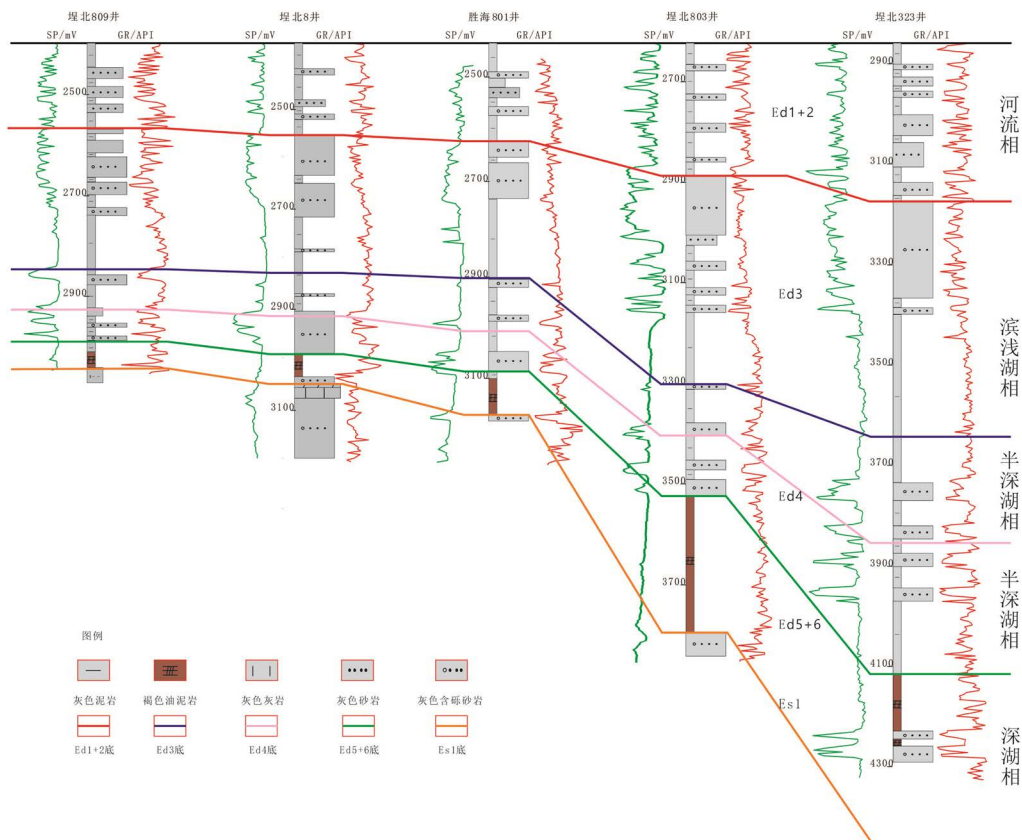


Figure 1. Lithology map of well Chengbei 809-well Chengbei 323 in the east slope of Chengdao
图 1. 埕岛东斜坡带埕北 809 井 - 埕北 323 井连井剖面岩性图

3. 烃源岩生烃能力评价

研究区不同组段优质烃源岩的生烃能力及生排烃规模是其成藏的重要因素之一，鉴于此本文将东营组烃源岩分组段进行精细评价。

3.1. 有机质丰度

埕岛东斜坡为渤中凹陷向埕北凸起过渡的斜坡带，整体上隶属于渤海海域体系，因此需要从整个渤海海域的角度来评价该区烃源岩的生烃潜力。考虑渤海海域的沉积环境，结合黄第藩等[4]建立的烃源岩有机质丰度评价标准和中海油湖相烃源岩企业评价标准，建立了一套适用于渤海海域烃源岩的有机质丰度指标体系(见表 1)。

Table 1. Evaluation standard for organic matter abundance of source rocks in Bohai Sea
表 1. 渤海海域烃源岩有机质丰度评价标准

烃源岩级别	非烃源岩	差 - 中等	好	优质
岩相	河流相	浅湖~滨湖	浅湖~半深湖	半深湖~深湖
TOC/%	<0.4	0.4~1.0	1.0~2.0	>2.0
A/%	<0.01	0.01~0.1	0.1~0.2	>0.2
HC/mg/g	<100	100~500	500~1000	>1000
S ₁ + S ₂ /mg/g	<1.0	1.0~4.0	4.0~10	>10

埕北 803 井及埕北 323 等井系统取样分析统计结果表明：东 3 段暗色泥岩有机碳分布范围为 0.60%~1.58%，其中仅 1 块样品的有机碳超过 1%，83% 的样品属于差 - 中等烃源岩的丰度标准；东 4 段暗色泥岩有机碳分布范围为 0.72%~1.31%，平均值为 1.01%，80% 的样品有机碳大于 1%，达到好烃源岩的丰度标准；东 5 + 6 段暗色泥岩有机碳分布范围为 1.40%~4.07%，平均值为 2.23%，全部达到好烃源岩标准，50% 以上的样品有机碳大于 2%，达到优质烃源岩标准。沙一段暗色泥岩有机碳分布范围为 1.52%~3.67%，平均值为 2.94%，除 1 块样品外有机碳均为 2.0% 以上，达到优质烃源岩的标准。

结合单井地化参数综合柱状图可以看出纵向上烃源岩品质具有一定的变化规律(见图 2)：东 4 段中部开始烃源岩品质变好，达到好烃源岩标准，到东 4 段底部随着油泥岩含量增加，有机质丰度逐渐增大，达到优质烃源岩标准，东三段及沙一段整体均为优质烃源岩，与渤中凹陷东下段烃源岩(相当于 4、5、6 砂组)为优质烃源岩的整体发育规律基本一致[5]。

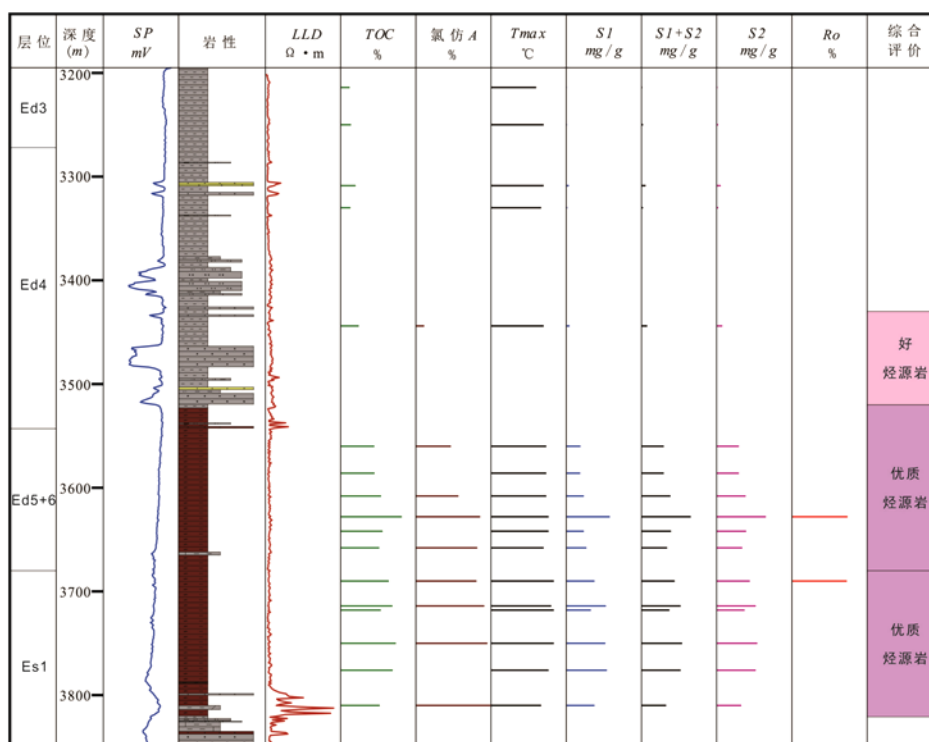
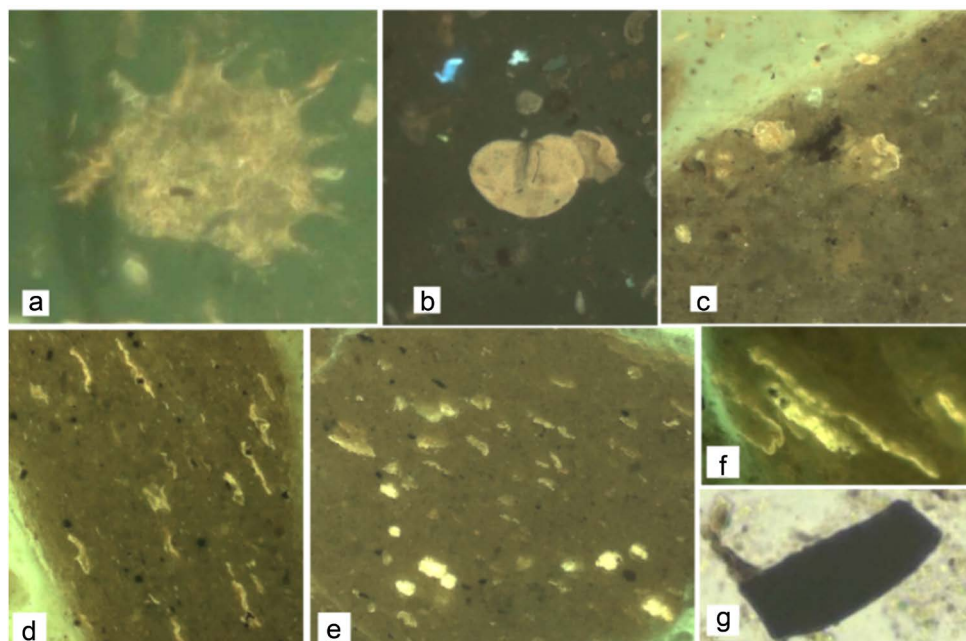


Figure 2. Geochemistry histogram of source rock of well Chengbei 803

图 2. 埕北 803 井烃源岩地球化学综合柱状图

3.2. 有机质类型

研究表明，渤海海域各凹陷的东下段烃源岩的有机质类型较好，以腐殖腐泥型混合有机质为主，干酪根类型基本为 I-II₂ 型，具有极好的生烃能力[6] [7]。本区东营组及沙一段烃源岩全岩光片鉴定结果表明：无论是深灰色泥岩还是褐色油泥岩，有机显微组分均以腐泥组、壳质组为主，腐泥组加壳质组相对含量大于 80%，其中以结构藻类体分布较多，东 4~6 段镜下见有葡萄藻、盘星藻，荧光色为亮黄色至黄色，见少量孢粉体为松粉及被子类花粉，黄色荧光，镜质组含量较低，一般呈灰色至灰黑色无荧光，少数具暗褐色荧光，烃源岩类型指数大部分在 75~92 之间，有机质类型较好，但有机显微组分总体含量较沙一段要低。由此可见，东斜坡优质烃源岩成烃母质以低等水生生物有机质为主，有机质类型以偏腐泥型为主，还有部分为腐泥腐殖型，具有极好的生油潜力(见图 3)。



(a) 埕北 802, 盘星藻, Ed_4 , 深灰色泥岩, 干酪根片反射荧光; (b) 埕北 802, 花粉, Ed_4 , 深灰色泥岩, 干酪根片反射荧光; (c) 埕北 803, 结构藻类体, Ed_4 , 灰色粉砂质泥岩, 反射荧光; (d) 埕北 803, 结构藻类体, Ed_{5+6} , 褐色油泥岩, 反射荧光; (e)-(f) 埕北 803, 结构藻类体, Ed_{5+6} , 褐色油泥岩, 反射荧光; (g) 埕北 803, 无结构镜质体, Es_1 , 褐色油泥岩, 干酪根透射光

Figure 3. Microscopic characteristics of the source rocks of Dongying formation and the first member of Shahejie formation in the east slope of Chengdao

图 3. 埕岛东斜坡东营组与沙一段烃源岩镜下显微组分特征

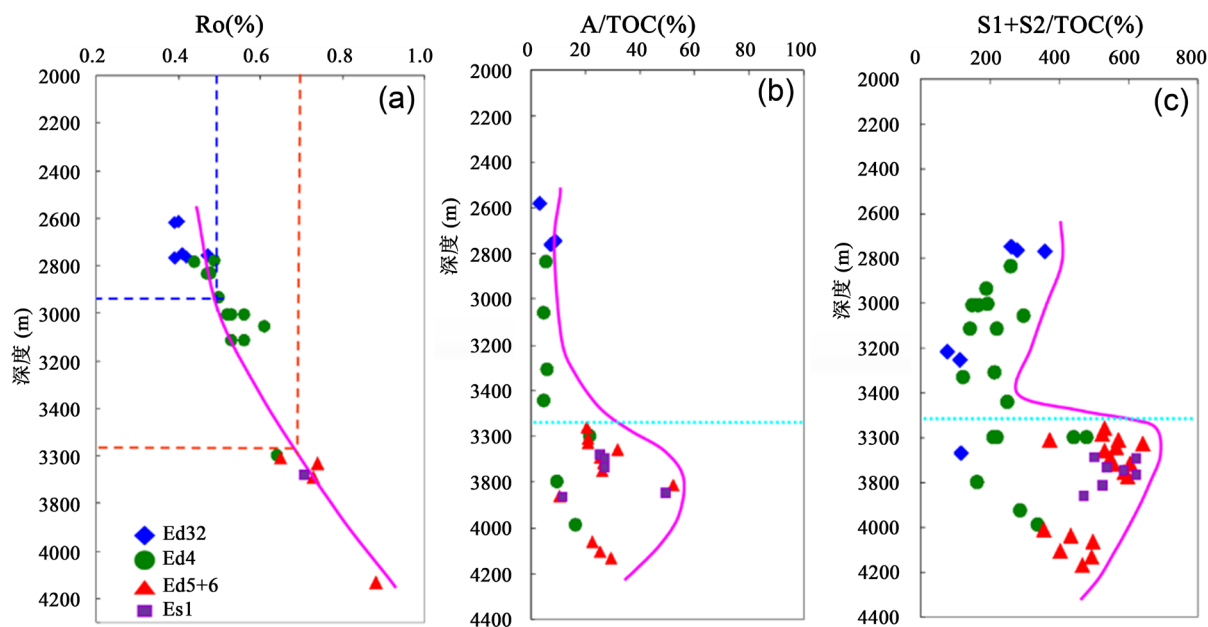
3.3. 有机质成熟度

镜质体反射率 R_o 是评价有机质成熟度最为有效的指标, 济阳拗陷相应演化阶段的镜质体反射率 R_o 的评价标准为未成熟阶段 R_o 小于 0.4%, 低熟阶段 R_o 为 0.4%~0.5%, R_o 大于 0.5% 则进入成熟演化阶段。鉴于渤海海域各凹陷与济阳拗陷在宏观石油地质特征上的可类比性, 本次对海域烃源岩有机质成熟度的研究将沿用济阳拗陷的划分标准。

埕岛东斜坡自然演化剖面的参数变化特征表明(见图 4): 东营组烃源岩成熟门限深度应为 2950 m, 比以往研究认识提高了 450 m, 这与龚再升等[8]确定的海域各凹陷烃源岩生烃门限深度(各凹陷基本 2500~3000 m 之间)基本一致, 拓展了东营组烃源岩的勘探范围。东下段烃源岩在现今埋深 3580 m 附近开始进入快速生烃阶段, 对应镜质体反射率 R_o 为 0.7%, 在现今埋深 3700 m 附近达到生烃高峰, 对应镜质体反射率 R_o 为 0.8%。由现今埋深来看, 东营组烃源岩整体处于成熟阶段, 底部达到高成熟生烃阶段。

受取芯限制, 东斜坡沙一段烃源岩取样深度主要集中于 3600~3900 m 范围内, 缺少低成熟的样品序列, 一般而言, 有机质类型越好, 有机质生烃高峰期越早, 生烃区间也越集中。并且沙一段烃源岩发育于半咸水-咸水沉积环境, 具有早生早排的特征, 2600 m 左右进入生烃门限[9] [10], 由现今埋深来看, 沙一段烃源岩已经进入了大规模生排烃阶段。

综上评价结果来看: 除沙一段为研究区主力烃源岩外, 东营组至少有三段烃源岩具有较强的生烃能力, 主要分布在东 4 段中下部、东 5 段、东 6 段, 并且东营组生烃门限上移, 拓展了东营组的勘探领域。另外由于埋藏较深, 揭示沙三段的井较少, 但是从渤中地区的研究成果来看, 该层系烃源岩的生烃贡献也不容忽视[11] [12]。



(a) Ro 与深度关系图; (b) A/TOC 与深度关系图; (c) 生烃潜力指数与深度关系图

Figure 4. Evolution profile of source rocks of E₄ and Es₁ Formation in east slope of Chengdao

图 4. 埕岛东斜坡东营组与沙一段烃源岩自然演化剖面

4. 埕岛东斜坡原油来源及有利区带预测

为了证实各套优质烃源岩的有效性,明确各类油气分布规律,利用生物标志物及碳同位素等地化信息对埕岛东斜坡的原油开展了精细油源对比,结果表明该区原油主要分为以下四种类型(见图 5):

第 I 类原油以低 4-甲基甾烷含量、低伽玛蜡烷含量为典型特征,通常还具有高含量的重排甾烷、C₂₉Ts 及 C₃₀ 重排藿烷特征, Ts/Tm、Pr/Ph 值一般大于 1,碳同位素多在 -28‰~-29‰ 之间,来源于东营组烃源岩。此类原油基本未遭受生物降解,也是埕岛东部斜坡区主要的原油类型,目前见于埕北 802、埕北 81、埕北 805、胜海 801、埕北 803、埕北 804 等井的东营组储层中,可见在没有断层沟通沙河街组烃源岩的情况下,东营组来源油气具有自生自储的特点,北部洼陷带的储层较发育的东 4 段底部是形成这类岩性圈闭发育的最有利部位,鉴于东营组源岩生排烃门限深度变浅,进一步拓展了东营组来源油气的勘探范围,东 4 段中上部也同样具有勘探价值,近期完钻的埕北 830 井(东 4 段顶部获得突破)也证实了这一点。

第 II 类原油低 4-甲基甾烷含量、高伽玛蜡烷含量为典型特征, C₂₇ 重排甾烷、C₂₉Ts 含量和 C₃₀ 重排藿烷含量低特征, Ts/Tm、Pr/Ph 值一般小于 1,碳同位素较轻,多在 -27‰~-28‰ 之间,源于沙一段烃源岩。这类原油较少见,目前仅见于埕北 323、埕北 803 井东营组底部及胜海 10 沙一段储层中,表明沙一段油气规模有限,以寻找近源岩性油藏为主。

第 III 类原油以较高的 4-甲基甾烷含量、低伽玛蜡烷含量为典型特征,一般还具有较高的 C₂₇ 重排甾烷、C₂₉Ts 含量和 C₃₀ 重排藿烷含量,碳同位素较重,多在 -25‰ 上下。此类原油来源于沙三段烃源岩。研究区单一沙三段来源的油多为储层较深的轻质油或凝析油,分布较少,胜海 8 的中生界与埕北 30 的太古界见到此类原油,可见虽然沙三段埋藏较深,预计目前已达到大量生气阶段,但是由于有机质类型以腐泥型油源岩为主,应仍能找到大规模石油聚集[13],并且油气品质较好,以轻质油为主,埕北 30 潜山地区断阶带,其紧邻渤中-桩东凹陷,拥有捕获油气成藏的优势,且断层发育,有利于油气的纵向运移、聚集,无疑是此类构造-岩性油气藏最为有利的聚集区带。



Figure 5. Plane distribution of oil and gas sources on the east slope of Chengdao
图 5. 埕岛东斜坡油源平面分布图

第 IV 类原油以高 4-甲基甾烷含量、中-高伽玛蜡烷含量为典型特征, 此类原油一般饱和烃色谱分布特征较完整, 但仍能检测到 25-降藿烷, 表明早期充注的原油遭受过强烈的生物降解, 后期又有正常原油充注, 具多期成藏特征。原油的生物标记化合物及碳同位素特征变化范围较大, 显示沙三段与沙一段烃源岩混源的特征, 已发现的此类原油以沙三段严重降解原油和沙一段正常原油混源为主。通过分析认为此类圈闭主要受岩性和构造双重因素控制[13], 目前见于埕北古 11 及埕北古 4 井潜山储层中, 成藏条件对比认为埕北 817 鼻状构造区、埕北 30 北断阶带次级断层发育, 储层为低位浊积岩扇体, 砂体与断层匹配良好, 是下步油气拓展和规模储量的优先勘探区。

5. 结论

1) 以地化实测数据为基础, 综合应用钻井、测井等地质资料, 通过有机质丰度、类型、成熟度等方面评价明确了东 4 段底部、东 5~6 段以及沙一段、沙三段为埕岛东斜坡主力烃源岩层系, 多套主力烃源岩表明埕岛东斜坡具有非常优越的油源条件。

2) 通过自然演化剖面界定了东营组生烃门限为 2950 m, 在埋深 3580 m 附近开始进入快速生烃阶段, 由现今埋深来看, 东营组整体处于成熟-高成熟阶段。沙一段烃源岩发育于半咸水-咸水沉积环境, 具有早生早排的特征, 2600 m 左右进入生烃门限, 目前已经进入了大规模生排烃阶段, 生烃门限深度的上移拓展了埕岛东斜坡的勘探空间。

3) 油源对比结果表明东斜坡有四种原油类型, 东营组及沙一段来源油以近源成藏为主, 沙三来源油主要分布于中-古生界潜山储层, 因此除坡折带的构造-岩性油藏之外, 深洼带的岩性油气藏同样具有十分广阔的勘探远景, 为研究区下一步的有利勘探方向。

参考文献

- [1] 冯德永. 埕岛东斜坡下第三系成仓规律研究[J]. 科技创新导报, 2014, 9(2): 72-74.
- [2] 苏宪峰. 埕岛东斜坡古近系东营组油气成藏规律分析[J]. 内江科技, 2008, 9(2): 107-109.
- [3] 刘传虎, 王学忠. 陆相箕状断陷缓坡带层序地层学研究与实践——以埕岛东坡东营组为例[J]. 特种油气藏,

2010, 17(6): 1-5.

- [4] 黄第藩, 李晋超, 张大江, 等. 陆相有机质演化和成烃机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- [5] 李友川, 黄正吉, 张功成. 渤海中坳陷东下段烃源岩评价及油源研究[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 44-48.
- [6] 黄正吉, 李友川. 渤海湾盆地渤海中坳陷东营组烃源岩的烃源前景[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(2): 118-124.
- [7] 黄正吉, 李秀芬. 渤海中坳陷天然气地球化学特征及部分气源浅析[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 17-21.
- [8] 龚再升, 王国纯, 贺清. 上第三系是渤海中坳陷及周围油气勘探的主要领域[J]. 中国海上油气, 2006, 14(3): 145-156.
- [9] 李浮萍, 文志刚, 唐友军, 等. 渤海中坳陷下第三系有效气源岩评价[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(1): 16-18.
- [10] 高喜龙, 肖贤明, 赵必强, 等. 渤海湾盆地渤海中坳陷下第三系烃源岩生烃史[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 359-364.
- [11] 何仕斌, 李丽霞, 李建红. 渤海中坳陷及其邻区新生界沉积特征和油气勘探潜力分析[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 61-71.
- [12] 王飞宇, 李洋冰, 曾花森, 等. 渤海湾盆地渤海中坳陷气油比的控制因素及勘探意义[J]. 中国海上油气, 2006, 18(5): 290-295.
- [13] 高喜龙. 埕岛东斜坡东营组层序地层特征及油气勘探方向[J]. 断块油气田, 2013, 20(2): 140-144.