

渤海海域渤东地区烃源特征 及资源潜力

刘丽芳, 林青, 吴克强, 陈少平

(中海油研究总院, 北京 100028)

摘要:为了客观评价渤东地区的油气资源潜力,利用钻井和地震资料,在地层、构造和沉积研究基础上,结合岩样与油样的有机地化分析,对该区烃源岩特征、油气来源、优质烃源岩分布、烃源岩热演化特征进行了系统分析,并在此基础上用盆地模拟法对该区资源潜力进行了预测。研究认为,渤东地区发育 4 套烃源岩,其中沙三段和沙一段烃源岩达到优质级别,沙四段和东三段烃源岩为中等—好级别;渤东地区已发现原油来源具有多样性,但总体上以沙三段来源原油为主;在渤东地区 4 套烃源岩中,沙三段优质烃源岩分布广、厚度大、热演化程度高,生烃潜力占总生烃量的 74.8%,是该区主力烃源岩;在该区的 4 个洼陷中,渤东西洼生烃强度最大,庙西北洼其次,这 2 个洼陷是潜在富烃洼陷。

关键词:渤东凹陷;庙西北洼;烃源岩;油源对比;资源潜力

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.09004

渤东地区位于渤海湾盆地东部,郯庐断裂纵贯其西部,西侧与渤中凹陷相邻,东侧为胶辽隆起,北侧和南侧分别与辽东凹陷和庙西南洼相接,面积近 5 000 km²,主要包括渤东凹陷、渤东低凸起、庙西北洼和庙西北凸起(图 1)。该区油气勘探始于 1977 年,截至 2010 年,钻探井 20 多口,油气显示非常活跃,但发现油气藏规模普遍较小。直至 2010 年之后随着庙西北凸起蓬莱 9-1 超亿吨级油田的成功评价,渤东地区逐渐成为渤海海域勘探的热点区。但是,从前人的研究结果来看,对该区主力烃源岩、油气来源和资源潜力的认识仍存在较大分歧^[1-9]。早期研究认为,渤东地区位于盆地边缘,沙河街组沉积较薄,且靠近盆外物

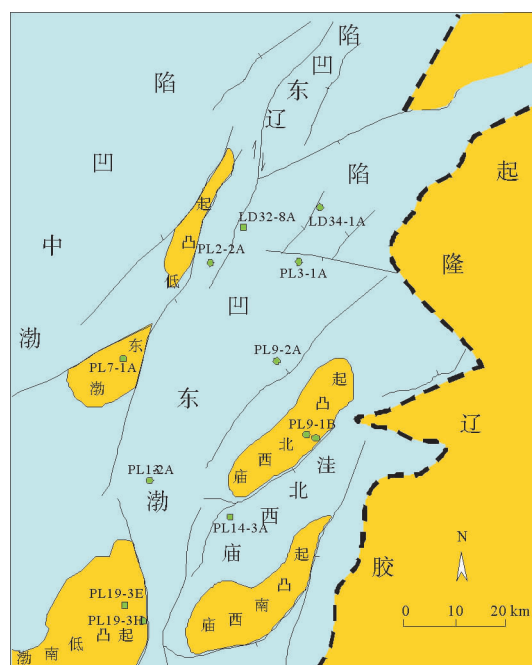


图 1 渤东地区构造单元划分

Fig. 1 Tectonic map of the Bodong region

收稿日期:2015-03-26

基金项目:国家科技重大专项“近海富烃凹陷资源潜力再评价和新区、新领域勘探方向”(2011ZX05023-001)

作者简介:刘丽芳(1974—),女,博士,工程师,主要从事沉积与石油地质综合研究工作。E-mail:liulf1@cnooc.com.cn

源,缺乏中深湖相,烃源岩条件较差。从历次资源评价结果看,渤东凹陷生烃量最小为 25.8 亿 t,最大为 57.8 亿 t,而目前该区除蓬莱 19-3 大油田(探明原油地质储量超过 5 亿 t)外,累计探明地质储量已超过 4 亿 t。而对资源潜力认识的争议主要原因在于对沙河街组和东营组孰为主力烃源岩不确定,对周边油田的油气来源认识不清。何文祥等^[9]认为渤东凹陷油源主要为沙河街组烃源岩,东营组烃源岩贡献很少^[8,9];关于渤东凹陷对蓬莱 19-3 大油田的油源贡献问题,不同学者认识有一定差异,但普遍认为渤东凹陷贡献较小,渤东凹陷仅东营组烃源岩对蓬莱 19-3 油田有一定贡献^[10,11]。针对上述地质问题,笔者充分利用该区钻井和地震资料,从地层构成、洼陷结构及演化等基础研究出发,结合岩样、油样的有机地化分析,对该区烃源岩特征、油气来源、优质烃源岩分布、烃源岩热演化特征展开了系统研究,在此基础上用盆地模拟法对该区生烃潜力进行了再评估,以

期对该区勘探潜力作出较客观的评价。

1 洼陷结构与古近系地层分布

渤海海域渤东地区是在复杂盆地基底上形成的新生代断陷盆地,古近系是烃源岩赋存层系。从控凹断裂和古近系地层厚度分布特征看,该区具有东西分带、南北分块的构造格局,洼陷分布平面上呈帚状^[12-14]。西部为渤东西洼,面积 1 400 km²,沿庐断裂东支呈 NNE 走向展布,具有西断东超(局部双断)的半地堑结构,洼内发育多个串连分布的沉降中心,基底最大埋深达 8 000 m,古近系厚度最大达 4 800 m。东部洼陷带由多个 NE 走向、并列分布的洼陷组成,剖面上表现为单断箕状半地堑结构,主要包括渤东东一洼、渤东东二洼和庙西北洼,面积分别为 730、220、475 km²,基底最大埋深分别为 4 400、4 000、5 200 m,古近系最大厚度分别为 2 000、1 800、2 800 m(图 2)。

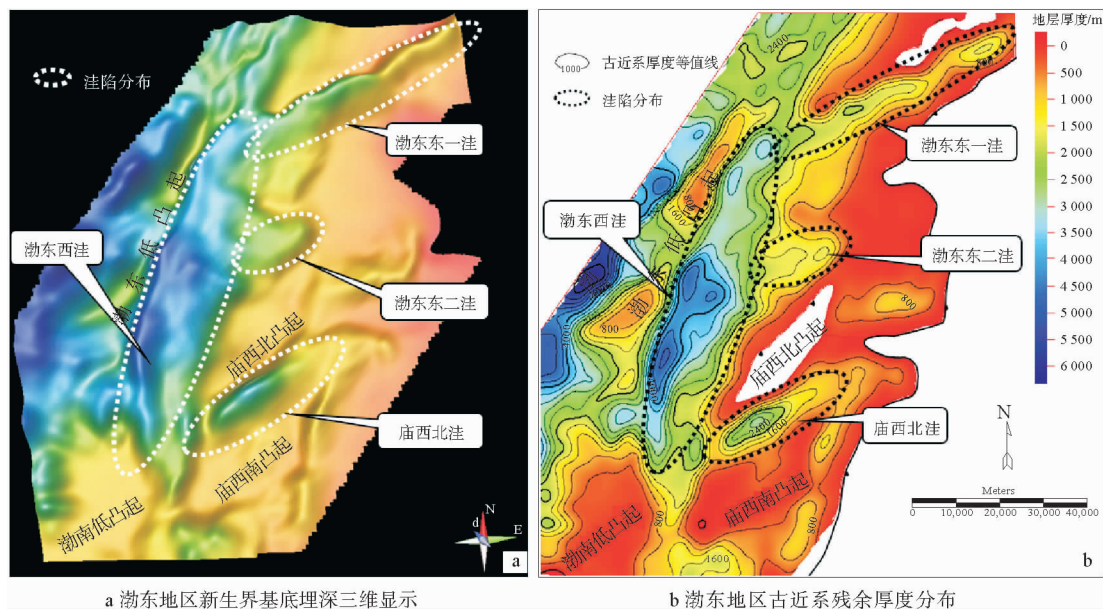


图 2 渤东地区新生界基底埋深、古近系厚度分布

Fig. 2 Maps showing burial depth of the Cenozoic basement and Paleogene thickness in Bodong area

钻井揭示渤东地区发育齐全的古近系地层,包括孔店组、沙四段、沙三段、沙二一段、东营组(图 3)。其中沙一、二段和东营组地层有多口井钻遇油气,基本可以通过常规的井—震标定和地震对比追踪来确定其分布;而钻遇沙三段及以下

的古近系地层钻井很少,且主要分布在凹陷边部,难以用常规方法实现对比追踪,主要通过地震反射特征类比法来确认。特别要说明的是,本次研究认为,庙西北洼也发育沙四段。首先,通过对 MX14-3A 井古生物分析资料的仔细梳理发现,该

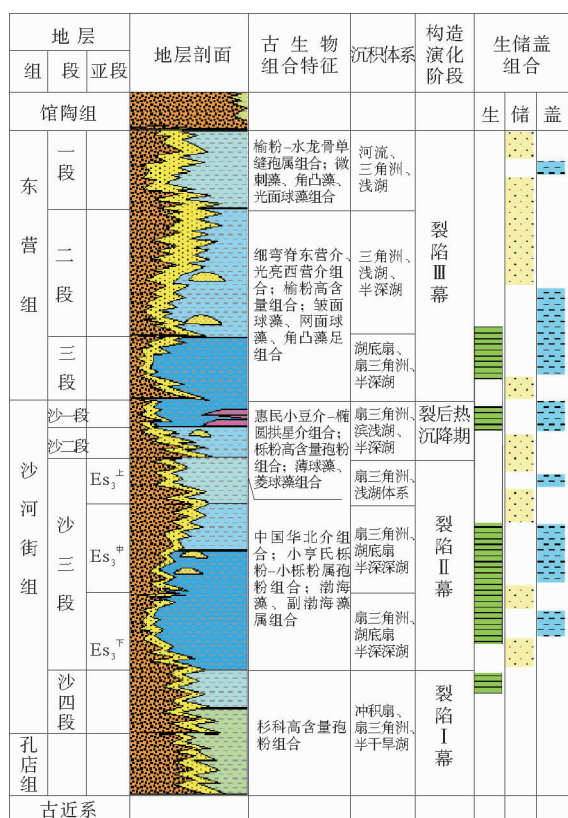


图 3 渤东地区古近系地层综合柱状图

Fig. 3 Comprehensive stratigraphic column of Paleogene in Bodong Region

井 3 857.5~3 891.5 m 井段的褐黑色泥岩夹碳酸盐岩(原分层方案认为是沙一段)中见典型的、只有在沙四段中才出现的古生物组合,即德弗兰藻和麻黄粉—榆粉—栎粉属孢粉组合^[15];其次,从地震反射特征看,MX14-3A 井 3 857.5 m 位置对应一区域不整合面,之下发育一套低频、连续、强反射,这套地震反射与莱州湾凹陷已证实的沙四段地层特征极为相似;另外,从渤海湾盆地地层发育规律看,沙四段在渤海湾盆地外环凹(洼)陷地层全、厚度大,如东营凹陷、饶阳凹陷、大民屯凹陷等都发育厚层沙四段。而庙西北洼位于渤海湾盆地东部边缘,而且在邻区的渤东凹陷东斜坡和庙西南洼钻井已经揭示了沙四段地层^[12]。

渤东地区古近纪凹陷演化经历了裂陷 I 幕、裂陷 II 幕、裂后热沉降阶段和裂陷 III 幕 4 个阶段^[6,13]。在孔店组—沙四段沉积时期(裂陷 I 幕),NE 向断裂为主要控洼断裂,NNE 向断裂也开始活动,厚度中心主要分布在东部 NE 向并排展布的 3 个洼陷,东一洼、东二洼和庙西北洼的孔

店—沙四段厚度最大分别为 600、500、700 m;在沙三段沉积时期(裂陷 II 幕),NE 向和 NNE 向断裂共同控洼,渤东西洼沉积范围和厚度明显加大,渤东西洼、渤东东一洼、渤东东二洼和庙西北洼沙三段最大厚度分别为 1 800、800、400 和 700 m;在沙一二段沉积时期(裂后热沉降阶段),凹陷整体处于热沉降期,断裂活动较弱,沉积厚度相对较薄,一般在 100~300 m 之间,厚度横向变化较小;在东营组沉积时期(裂陷 III 幕),西侧 NNE 向断裂活动继续加强,沉降—沉积中心整体向西迁移,东营组地层整体表现为西厚东薄、南厚北薄的特点,渤东西洼、渤东东一洼、渤东东二洼和庙西北洼东营组最大厚度分别为 2 300、800、700 和 1 200 m。综上分析,渤东地区发育比较齐全的古近系地层,沉降中心有自东向西迁移、沙河街组至东营组沉积厚度有自东向西加厚的趋势,这一地层发育特征和沉降—沉积中心迁移规律,决定了该区烃源岩发育特征和生烃潜力。

2 烃源岩有机地化特征

依据渤东地区钻井岩性、古生物和烃源岩有机地化特征,结合邻区钻井烃源岩有机地化指标的统计对比分析,渤东地区发育沙四段、沙三段、沙一段和东三段 4 套烃源岩,其中沙三段和沙一段有机质丰度高、类型好,为好—很好级别烃源岩,东三段和沙四段烃源岩也达到中等—好级别(图 4、5)。

2.1 沙四段烃源岩

目前,渤东地区只有 2 口井揭示了沙四段地层,其一是位于渤东斜坡的 LD34-1A 井,揭示了 171 m 厚的沙四段地层,岩性为大套深灰色、褐灰色泥岩夹薄层钙质粉砂岩,泥岩含量 86%;其二是位于庙西北洼的 MX14-3A 井,研究认为,34 m 的沙四段地层岩性为褐黑色泥岩夹薄层碳酸盐岩,泥岩含量>90%。在这 2 口井的沙四段地层中都含有丰富的反映微咸—半咸水中深湖环境的藻类化石,如德弗兰藻属、多刺甲藻属、古多甲藻属等,具备优质的生油母质基础。泥岩样品分析显示,TOC 值在 0.55%~3% 之间,(S₁+S₂)值在 1.74~20 mg/g 之间(图 4a);有机质类型主

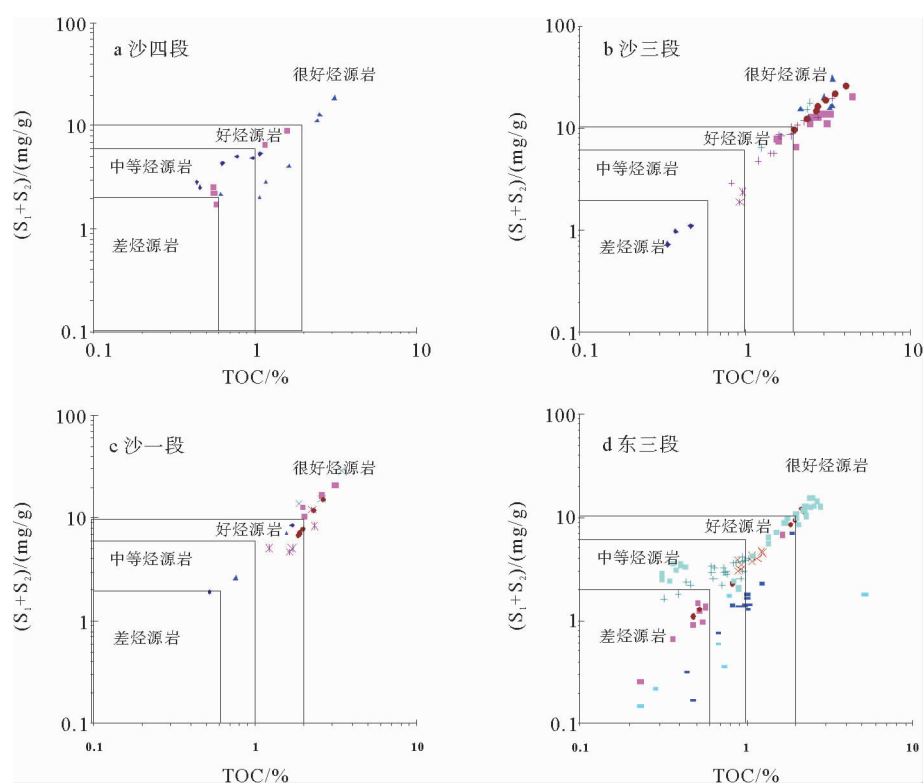


图 4 渤东凹陷及周缘烃源岩有机质丰度

Fig. 4 Organic matter abundance in source rocks of Bodong Depression and its periphery

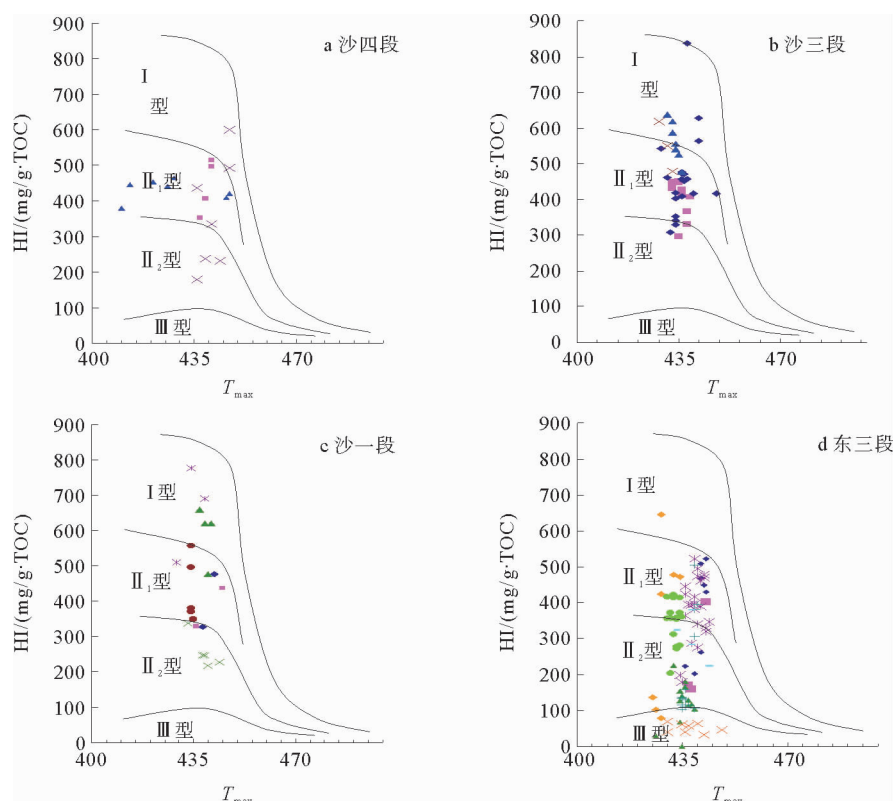


图 5 渤东凹陷及周缘烃源岩有机质类型

Fig. 5 Organic matter type of source rock in Bodong Depression and its periphery

要为Ⅱ₁型,氢指数HI值在262~514 mg/g之间, $T_{\max}$ 值在367~441℃之间(图5a)。因此,沙四段烃源岩有机质丰度较高,类型较好,属于中等—好烃源岩。

2.2 沙三段烃源岩

沙三段是渤海海域公认的优质烃源岩发育层系^[16,17],渤东地区也不例外,目前钻遇沙三段的井只有PL9-2A和PL19-3H井。PL9-2A井位于渤东西洼南斜坡高部位,虽然揭示了44 m浅湖相灰色泥岩,但由于其位于凹陷边缘相带,并不具有代表性;PL19-3H井位于渤东西洼南端走滑翻转构造带上,揭示了217 m厚的沙三段中深湖相暗色泥岩,泥岩含量100%。该区沙三段烃源岩TOC值为1.99%~4.04%,平均为2.92 mg/g, ($S_1 + S_2$)值在9.81~26.34 mg/g之间,平均为17.26 mg/g(图4b);有机质类型为Ⅰ—Ⅱ₁型,氢指数HI值为477~637 mg/g, $T_{\max}$ 值为431~436℃(图5b)。因此,该区沙三段烃源岩有机质丰度高、类型好,为好—很好级别。由于钻井多位于凹陷边缘,推测向洼陷中央中深湖—深湖相带应该发育更优质烃源岩。

2.3 沙一段烃源岩

渤东地区目前有4口井揭示了沙一段烃源岩。岩性主要为灰褐色泥岩夹薄层灰质粉砂岩及粉砂岩,泥岩含量一般>80%,藻类含量较高,分异度也较高,主要为微咸—半咸水环境的多刺甲藻属等,广盐型藻类和反映淡水环境的藻类较少。TOC值为0.76%~3.11%,平均为1.95%, ($S_1 + S_2$)值在2.64~21.35 mg/g之间,平均为11.1 mg/g(图4c);有机质类型主要为Ⅰ型和Ⅱ₁型,氢指数HI值为676~1344 mg/g,平均为1061 mg/g; $T_{\max}$ 值在436~445℃之间(图5c)。因此,渤东地区沙一段烃源岩与渤海海域其他富烃凹陷的沙一段一样为很好的烃源岩。

2.4 东三段烃源岩

目前渤东地区揭示东三段地层的井有4口,其中位于渤东西洼南部的BD13A井较具有代表性,该井揭示东三段厚度314.7 m,泥岩含量100%,岩性为深灰色泥岩夹薄层灰褐色泥岩,属

中深湖—深湖相沉积。TOC值在1.82%~2.25%之间,平均为1.99%, ($S_1 + S_2$)值在2.36~12.02 mg/g之间,平均为8.4 mg/g(图4d);相比沙河街组烃源岩,东三段烃源岩陆生高等植物来源有机质增加,有机质类型为Ⅱ₁—Ⅱ₂型,氢指数HI值在226~508 mg/g之间,平均为434 mg/g, $T_{\max}$ 值在430~445℃之间(图5d)。综合分析,该区东三段烃源岩也达到了中等—好级别。

3 油—源对比

3.1 烃源岩生标特征

在前人研究基础上,本次研究选取了渤东地区6口井的29个岩心、岩屑样品开展了色谱—质谱分析,对各样品的饱和烃、芳烃分子标志化合物进行了对比,以期找出东三段、沙一段、沙三段和沙四段4套烃源岩生标组合特征的差异,进而确定出油源对比的有效生标参数。研究表明,渤东凹陷不同层段烃源岩生标组合特征表现出明显的差异性。沙三段烃源岩一般表现为低丰度伽玛蜡烷、较高丰度4-甲级甾烷;东三段伽玛蜡烷丰度低, C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷、 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比值高,且三芳甾烷丰度高(图6);沙一段和沙四段烃源岩伽玛蜡烷丰度高,伽玛蜡烷/ C_{31} 藿烷比值>0.3,可能有沙一段的贡献^[18],从仅有的几个样品来看,沙一段甲基三芳甾烷和三芳甲藻甾烷丰度较高。

3.2 原油来源分析

选取渤东地区9口井的11个原油样品进行了饱和烃、芳烃色谱—质谱分析,结合前人的原油地化分析结果,将原油样品与不同层系烃源岩样品进行生标特征对比,进而找出它们之间的亲缘关系。油源对比结果表明,渤东地区原油具有多种来源类型,且不同类型原油分布具有明显分带性,但总体以沙三段原油为主。渤东低凸起及凹陷南端的原油主要来源于沙三段烃源岩;庙西北凸起蓬莱9-1大油田的油为沙三段与东三段混源油,但沙三段占主导;另外,在渤东西洼北部的LD32-8A井发现了以东三段为主的原油,在渤东斜坡PL3-1A井发现了沙四段和沙一段的混源油(图7)。

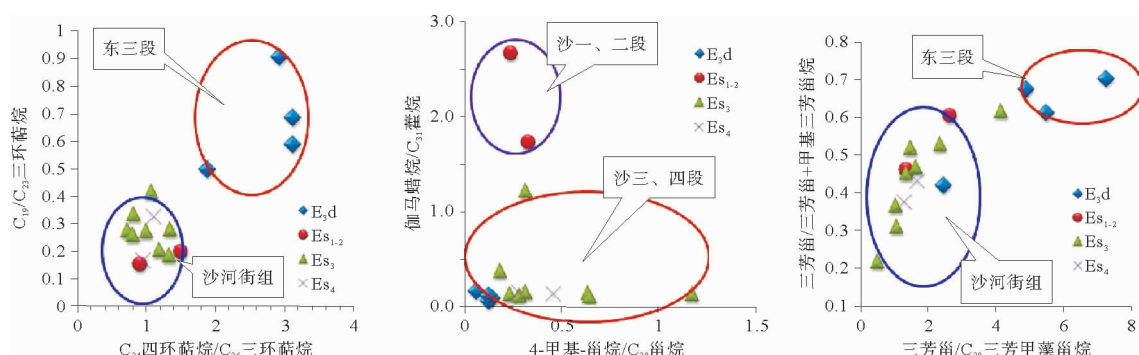


图 6 渤东地区烃源岩饱和烃和芳烃参数相关图

Fig. 6 Correlation of saturated hydrocarbon and aromatic hydrocarbon in source rocks of Bodong Region

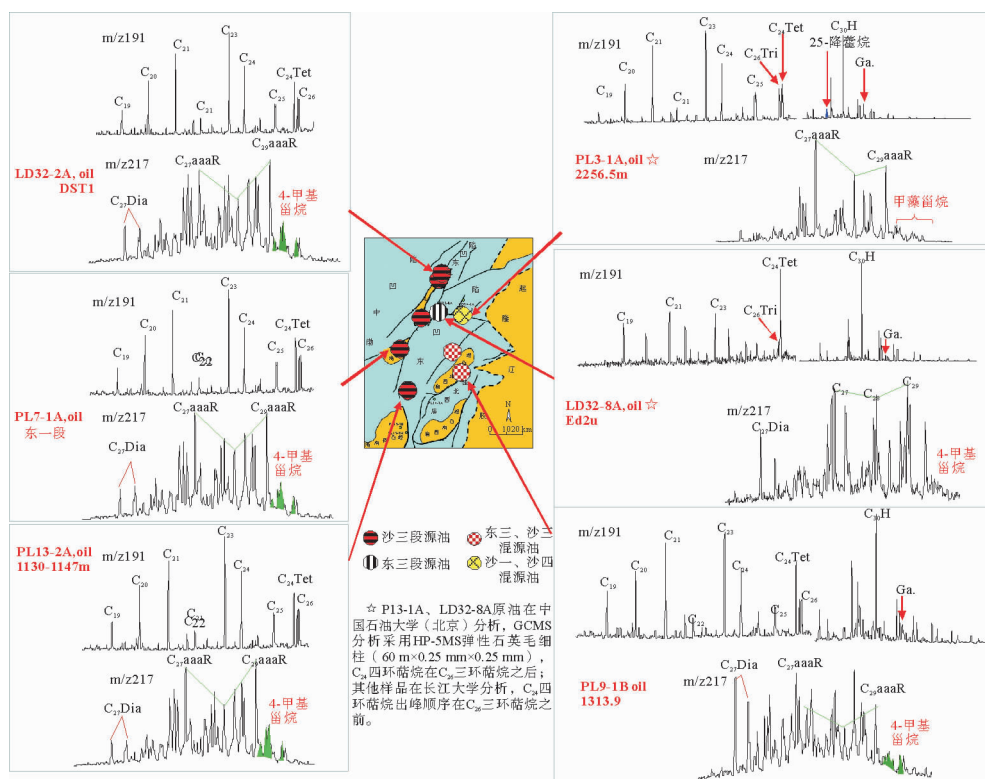


图 7 渤东—庙西地区不同来源原油分布及生标特征

Fig. 7 Oil distribution and biomarker characteristics of different sources in Bodong-Miaoxi area

渤东低凸起及渤东凹陷南端的原油主要来源于沙三段烃源岩。本次取了渤东低凸起北段 PL2-2A 井东营组油样、渤东低凸起南段 PL7-1A 井东一段油样和渤东凹陷南部 PL13-2A 井明化镇组油样进行了分析, 这些油样普遍具有 C_{24} 四环萜烷丰度低、伽马蜡烷丰度低、4-甲基甾烷丰度较高的生标特征(图 7)。 C_{24} 四环萜烷丰度低, 与东三段烃源岩生标特征明显不同; 伽马蜡烷丰度

低, 也基本排除了沙一段烃源岩的贡献; 4-甲基甾烷丰度较高, 与沙三段烃源岩具有较好的亲缘关系。因此, 推断这些油样主要来源为沙三段烃源岩。另外, 从前人研究结果看, 渤东低凸起北段的旅大 27-2 和旅大 32-2 油田原油也主要来源于沙三段烃源岩。

位于庙西北凸起上的蓬莱 9-1 油田, 在中生界花岗岩、馆陶组和明化镇组均获得商业油气流

发现,探明原油地质储量近 2 亿 t。本次主要取该油田 PL9-1A 和 PL9-1B 2 口的油样进行了测试分析,油—岩对比结果显示,该井原油具有 4-甲基甾烷丰度中等、伽玛蜡烷丰度低,指示出沙三段烃源岩的贡献;同时, C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比值高于沙河街组烃源岩,但低于典型东三段烃源岩,显示出沙三段和东三段混源的特征(图 7)。为进一步明确沙三段和东三段烃源岩的相对贡献,本次以该区典型的

沙三段来源油和东三段来源油作为标准样,选取 C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷、 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷、4-甲基甾烷/ C_{29} 甾烷、三芳甾烷/ C_{29} 三芳甲藻甾烷 4 个参数,对 PL9-1B 中生界花岗岩储层的原油样品进行了不同来源相对贡献的配比分析,结果显示,该原油样品中沙三段烃源岩的贡献达 75%(表 1),东营组仅占 25%。由此可见,蓬莱 9-1 构造原油虽然表现为沙三段和东三段的混源油,但沙三段烃源岩贡献占主导。

表 1 PL9-1B 井原油源贡献配比分析

Table 1 Relative proportion of oil source in well PL9-1B

特征参数	端元样品标准样		PL9-1B
	PL19-3E, E ₂ S ₃	PL14-3A E ₃ d ₃	花岗岩储层测试原油样
C ₂₄ Tetra/C ₂₆ Tri	0.723	1.970	0.912
C ₁₉ /C ₂₃ Tri	0.322	1.007	0.587
4-Me-/C ₂₉ Steranes	0.325	0.114	0.275
三芳甾/C ₂₉ 三芳甲藻甾烷	2.269	4.483	2.04
计算结果	沙三段烃源岩贡献/%		74.6
	东三段烃源岩贡献		25.4

另外,本次研究在渤东西洼北部的 LD32-8A 井发现了东三段为主要来源油,在渤东斜坡 PL3-1A 井发现了沙四段和沙一段的混源油。LD32-8A 井井东二上亚段油砂萃取的原油样品分析结果显示,萜烷分布特征与渤东低凸起上沙三段原油明显不同, C_{24} 四环萜烷丰度高, C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比值 >2.0 ,这与东三段烃源岩生标特征一致;伽玛蜡烷丰度低,低丰度

4-甲基甾烷,与沙三段、沙一段烃源岩特征也不符(图 7)。位于渤东斜坡带的 PL3-1A 井东二上亚段原油样品 C_{24} 四环萜烷丰度低,指示原油不可能来自东三段烃源岩;伽玛蜡烷丰度中等,并有甲藻甾烷检出,指示原油可能来自沙一段或沙四段烃源岩;甲基三芳甾烷含量介于沙一段和沙四段烃源岩之间,显示沙一和沙四段混源的特征(图 8)。

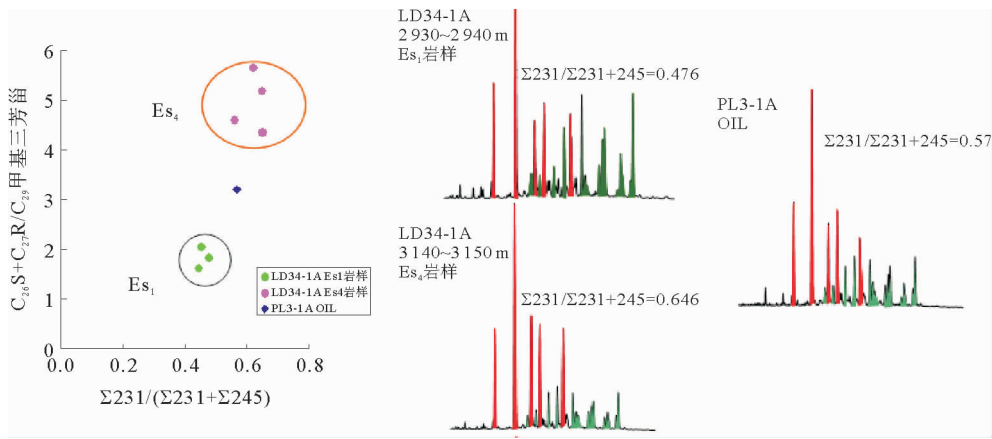


图 8 PL3-1A 井原油与 LD34-1A 井烃源岩三芳甾烷分布对比

Fig. 8 Comparison of crude oil in PL3-1A well and triaromatic steroid in source rock of LD34-1A well

4 优质烃源岩分布及生烃潜力

4.1 优质烃源岩分布

通过对渤东及邻区烃源岩有机质丰度与沉积相类型的相关分析,表明扇三角洲和三角洲前缘

相带的烃源岩以中—差烃源岩为主,中深湖—深湖相带烃源岩一般都为好—很好的烃源岩,沙一段浅湖相也发育好烃源岩(图 9)。

在沙四段沉积期,该区属于亚热带干旱气候,处于断陷早期,洼陷分隔性强,中深湖相分布相对局限,主要位于东一洼、东二洼和庙西北洼的深洼带,面积分别为 320、71 和 80 km²(图 10a)。

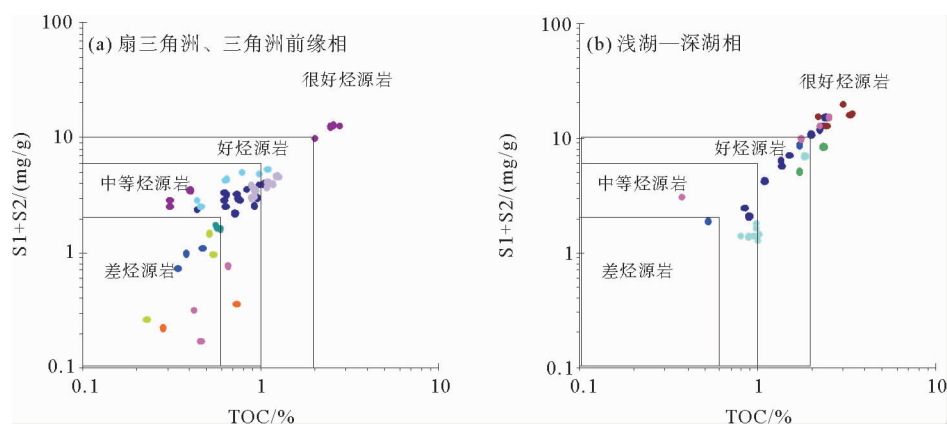


图 9 渤东及邻区烃源岩有机质丰度与沉积相的关系

Fig. 9 The relationship between organic matter abundance and sedimentary facies in Bodong and its adjacent area

沙三段沉积期,该区属于亚热带潮湿气候,处于断陷扩展期,凹陷沉降加速,湖盆水体加深,水域面积扩大,沉积范围和中深湖相面积较沙四段

明显扩大。中深湖主要分布在西洼、东一洼和庙西北洼,面积分别为 730、305 和 108 km²(图 10b)。

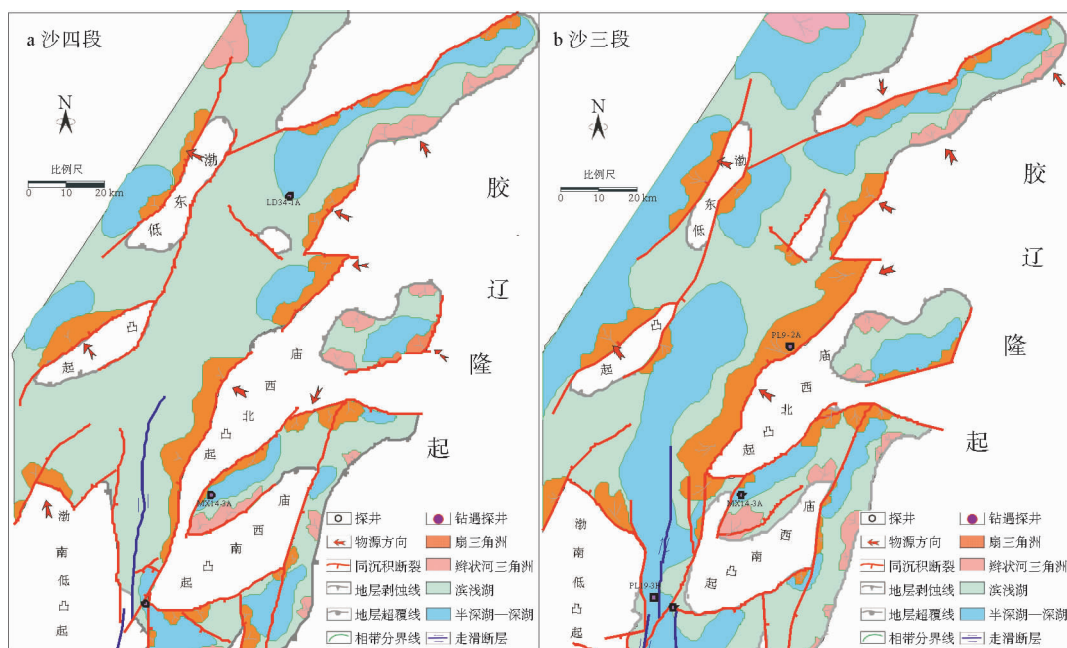


图 10 渤东地区古近系沙四段、沙三段沉积相

Fig. 10 Sedimentary facies map of each member of the Paleogene in Bodong Sag

沙一段沉积期,该区属于亚热带半干旱气候,处于裂后热沉降拗陷阶段,古湖盆范围广,各个洼陷相互连通,渤海海域普遍沉积了一套厚度不大,但富含湖相生烃母质的浅一中深湖相泥质烃源岩。

东三段时期,暖温带—亚热带潮湿气候,为裂陷Ⅲ幕初期,此时 NE、NNE 向断裂活动较沙三时期减弱,沉降—沉积中心向西迁移,渤东西洼、东一洼和庙西北洼中深湖面积分别为 891、247 和 109 km²。

4.2 烃源岩热演化特征及生烃潜力

根据渤东地区钻井 Ro 值及(S₁+S₂)值随深度的变化关系,该区烃源岩生烃门限约为 2 600 m。利用盆地模拟法对渤东地区 4 套烃源岩的现今热成熟度进行了模拟,渤东西洼烃源岩热演化程度总体高于东部洼陷带。沙四段烃源岩除盆地东部边缘局部区域外,大部分地区进入生烃高峰;沙三段烃源岩在渤东西洼全区、庙西北洼和渤东东二洼大部区域、渤东东一洼西部达到成熟;沙一段—东三段烃源岩,在渤东西洼和庙西北洼西段进入成熟,而在渤东东一洼和渤东东二洼基本未达到成熟门限。综上分析,渤东地区烃源岩成熟度西部高于东部,渤东西洼和庙西北洼发育 4 套有效烃源岩,渤东东一洼、渤东东二洼发育 2 套有效烃源岩。

生烃量模拟结果表明:沙三段生油量最大,占 4 套烃源岩总生油量的 74.8%;东三段其次,占 21%;沙四段和沙一段分别占 11%、7%。从生烃强度平面分布看,渤东西洼、渤东一洼、渤东东二洼和庙西北洼的生油强度分别为 795×10⁴、97×10⁴、179×10⁴、358×10⁴ t/km²。综上分析,沙三段是渤东地区主力烃源岩,东三段、沙一段和沙四段是重要烃源岩;渤东西洼和庙西北洼生油强度大,是渤海海域潜在的富烃洼陷。

结论

(1)渤东地区发育古近系沙四段、沙三段、沙一段和东三段 4 套烃源岩,其中沙四段分布相对局限,主要分布在东部凹陷带;沙三段分布最广,厚度最大;沙一段分布广,但厚度较小;东三段主要分布在西洼和庙西北洼,厚度也较大。

(2)从有机地球化学特征看,沙三段和沙一段烃源岩普遍丰度高、类型为 I—Ⅱ₁ 型,达到优质级别;沙四段和东三段烃源岩丰度普遍为中等—好级别,类型沙四段以 Ⅱ₁ 型为主,东三段为 Ⅱ₁—Ⅲ型,相对沙三段和沙一段烃源岩质量较差。

(3)渤东地区已发现原油来源具有多样性,主要包括沙三段源油、东三段源油、沙三和东三段混源油、沙一段和沙四段混源油,但总体上以沙三段源油为主。

(4)烃源岩层沉积相研究和盆地模拟研究结果表明,沙三段湖相优质烃源岩分布广、厚度大,热演化程度高,生烃量占 4 套烃源岩总量的 74.8%,是全区最主力的烃源岩;东三段、沙四段和沙一段也具有一定生烃潜力,是全区重要的烃源岩。渤东西洼和庙西北洼有效烃源岩层系多,优质烃源岩面积较大,热演化程度较高,生烃强度大,是 2 个潜在富烃洼陷。

参考文献:

- [1] 龚再升,王国纯. 中国近海油气资源潜力新认识 [J]. 中国海上油气(地质),1997,11(1):1-12.
- [2] 朱伟林,王国纯,周毅. 渤海油气资源浅析 [J]. 石油学报,2000,21(3):1-7.
- [3] 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布 [J]. 中国海上油气,2000,14(2):93-99.
- [4] 翟光明. 中国石油地质志卷十六:沿海大陆架及毗邻海域油气区)上册[M]. 北京:石油工业出版社,1987:64-69.
- [5] 邓运华,李秀芬. 蓬莱 19-3 油田的地质特征及启示 [J]. 中国石油勘探,2001,6(1):68-71.
- [6] 朱伟林,米立军,龚再生,等. 渤海海域油气成藏与勘探 [M]. 北京:科学出版社,2009:123-146.
- [7] 夏庆龙,周心怀,薛永安,等. 渤海海域油气藏形成分布与资源潜力[M]. 北京:石油工业出版社,2012:36-254.
- [8] 文志刚,何文祥,米立军,等. 渤东凹陷东营组烃源岩评价 [J]. 矿物岩石地球化学通报,2005,24(3):204-206.
- [9] 何文祥,米立军,文志刚,等. 渤东凹陷烃源岩生烃潜力研究 [J]. 天然气工业,2005,25(5):14-17.
- [10] 胡建武,郝芳,邹华耀,等. 渤中拗陷活跃烃源岩分布特征及其对 PL19-3 油气成藏的控制作用 [J]. 石油天然气学报,2006,28(1):13-15.
- [11] 郭永华,周心怀,凌艳玺,等. 渤海海域蓬莱 19-3 油田油气成藏特征新认识 [J]. 石油与天然地质,2011,32(3):327-332.
- [12] 吴克强,吴景富,刘丽芳,等. 构造迁移及其对油气成藏的影响——以渤海渤东—庙西凹陷为例 [J]. 中国海上油气

- 气,2014,26(2):5-1.
- [13] 吴智平,薛雁,颜世永,等. 渤海海域渤东地区断裂体系与盆地结构[J]. 高校地质学报,2013,19(3):463-474.
- [14] 田立新,吴国强,张金辉. 渤海东部庙西地区隆凹结构的形成及与油气聚集的关系[J]. 石油实验地质,2014,36(1):56-62.
- [15] 刘长海,魏文艳,任志勇,等. 渤海海域渤东凹陷沙河街组四段古生物组合的发现及其意义[J]. 微体古生物学报,2011,28(3):316-323.
- [16] 庞雄奇,郭永华,姜福杰,等. 渤海海域优质烃源岩及其分布预测[J]. 石油与天然气地质[J],2009,30(4):393-397.
- [17] 姜福杰,庞雄奇,姜振学,等. 渤海海域沙三段烃源岩评价及排烃特征[J]. 石油学报,2010,31(6):906-911.
- [18] 王培荣,张大江,宋孚庆,等. 区分渤中坳陷三套烃源岩的地球化学参数组合[J]. 中国海上油气,2004,16(3):157-160.

CHARACTERISTICS OF HYDROCARBON SOURCE ROCKS AND RESOURCE POTENTIAL IN THE BODONG REGION OF BOHAI SEA BASIN

LIU Lifang, LIN Qing, WU Keqiang, CHEN Shaoping

(CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: In order to make an objective evaluation of the hydrocarbon resource potential in the Bodong Sag based on stratigraphy, tectonics and sedimentology, as well as organic geochemistry of rock and oil samples, the authors systematically studied the characteristics of source rocks, oil and gas sources, distribution of high-quality source rocks and thermal evolution of source rocks in the sag. And the resource potential of this sag is assessed using basin simulation technology. The research shows that four sets of source rocks are well developed in the sag, and the source rocks of E_2S_3 and E_2S_3 are the best and the E_2S_4 and E_3d_3 fall within the middle-good level. Crude oil found in the sag can be divided into four source types and each type is distributed in definite area. Among the four types, oil from E_2S_3 dominates. Among the 4 sub-sags in the Bodong Sag, west Bodong sub-sag and the north Miaozi sub-sag are the two top potential hydrocarbon-rich sub-sags, which have more sets of high quality hydrocarbon source rocks and larger hydrocarbon generation potential.

Key words: Bodong Sag; north sub-sag of Miaozi sag; hydrocarbon source rock; contrast between oils and source rocks; resource potential