

·油气地质·

渤中凹陷古近系优质烃源岩特征及分布

任拥军¹, 杜雨佳¹, 郭潇潇², 王冠民¹

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘要: 综合应用钻井、地震等地质资料, 以大量烃源岩样品地球化学分析为基础, 从有机质丰度、类型、成熟度、沉积环境、母质来源以及生物标志物等方面对渤中凹陷古近系烃源岩地球化学特征进行了研究, 指出了渤中凹陷优质烃源岩的发育层段, 阐明了优质烃源岩的形成条件和分布规律, 并在此基础上剖析优质烃源岩与油气成藏的关系, 进一步揭示了渤中凹陷的勘探潜力。研究结果表明, 渤中凹陷沙三段、沙二段—沙一段以及东营组3套烃源岩中均存在有机质丰度高、类型好、生排烃潜力大的优质烃源岩。其中, 沙三段烃源岩有机质类型以 I 型和 II₁ 型为主, 有机质丰度最高且已经进入生烃门限, 优质烃源岩最为发育。从母质来源和沉积环境方面分析了3套烃源岩的形成条件, 发现生物产率高、母源类型好、保存条件良好是优质烃源岩形成的主要原因。总结了优质烃源岩的时空展布特征, 优质烃源岩的形成受控于沉积环境和沉积中心, 主要发育于半深湖—深湖相带, 由沉积中心向外逐渐变薄; 优质烃源岩的空间分布控制了渤中凹陷油气分布, 凹陷近源斜坡带是进一步油气勘探的有利地区。

关键词: 优质烃源岩 地球化学特征 形成条件 空间分布 渤中凹陷

中图分类号: TE112.113

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2015)01-0005-09

Characteristics and distribution of Paleogene high-quality source rocks in Bozhong sag

Ren Yongjun¹, Du Yujia¹, Guo Xiaoxiao², Wang Guanmin¹

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao City, Shandong Province, 266580, China;

2. China National Offshore Oil Corporation Limited, Zhanjiang Branch, Zhanjiang City, Guangdong Province, 524057, China)

Abstract: Based on the drill and seismic data and the organic geochemical analysis data of the source rocks, the geochemical characteristics of Paleogene source rocks in Bozhong sag have been studied from several aspects such as organic abundance and types, maturity, sedimentary environment, original source of rock and biological markers, etc. The area, where the high-quality source rocks developed, has been pointed out. And then the forming conditions and distribution of the high-quality source rocks have been described. On this basis, all the relationships between high-quality source rocks and hydrocarbon reservoirs have been analyzed to reveal the exploration potential in Bozhong sag. The studied results show that there are three sets of hydrocarbon source rocks developing respectively in the third member of Shahejie Formation, the second member and the first member of Shahejie Formation, and Dongying Formation. The source rocks have high quality, good types and great potential for hydrocarbon generation and expulsion. The types of source rocks in the third member of Shahejie Formation are mainly I and II₁, and the rocks have the highest abundance of organic matter and are in the threshold of hydrocarbon generation with the highest quality. It is found that the main conditions for high-quality rocks generation are high rate of biological generation, good source material and good preservation conditions through analyzing forming conditions of the three sets of hydrocarbon source rocks from the aspects of source material and sedimentary environment. Then the spatial and temporal distribution characteristics were summarized. The high-quality source rocks generation is controlled by sedimentary environment and centre, where semi-deep lake or deep lake developed and the source rocks became

收稿日期: 2014-11-14。

作者简介: 任拥军(1968—), 男, 山西榆社人, 教授, 从事石油地质、油气地球化学等方面的研究。联系电话: 15865579319, E-mail: ren-yongjun126@126.com。

基金项目: 国家科技重大专项“渤海海域已证实的富生烃凹陷再评价及新领域勘探方向”之“渤中凹陷油气成藏规律及勘探方向研究”(2011ZX05023-001-013)。

thinner from centre to outsides. In Bozhong sag, the distribution of high-quality source rocks controls oil and gas distribution and the slope areas near the depression center are the favorable exploration targets.

Key words: high-quality source rocks; geochemical characteristics; formation conditions; spatial distribution; Bozhong sag

近年来,利用优质烃源岩控藏论对勘探程度较高的地区重新进行油源和油气成藏特征分析已被越来越多的石油地质学家和地球化学家所重视,并在多个盆地取得了一系列进展^[1-5]。大量研究表明,世界多数盆地的油气藏都主要分布在烃源灶范围内或者其周围,换言之,就是油气田的分布受烃源岩控制。而优质烃源岩在陆相盆地勘探中具有重要的意义,其厚度不大,却具有有机质丰度高、类型好的特点,为油气聚集成藏提供烃类基础,并控制着油气藏的形成与分布。

渤中凹陷是渤海海域最大的富生烃凹陷,同时也是渤海湾盆地的沉降中心和沉积中心^[6],面积约为8 660 km²^[7]。目前,环渤中凹陷已发现28个含油气构造,其中油气田26个,油气资源丰富,石油地质储量约为16.5×10⁸ m³,天然气地质储量约为505×10⁸ m³^[8-9]。油气源对比分析表明,这些油气来源复杂,主要来自沙三段、沙二段—沙一段、东营组烃源岩。前人针对渤中凹陷已进行了大量研究,认为该凹陷的烃源灶具有类型好、热演化程度高以及较早进入生油阶段等特征^[10-14]。随着探明程度的提高,对凹陷资源潜力进行准确分析,明确进一步勘探的方向尤为重要。为此,笔者通过对渤中凹陷古近系烃源岩地球化学特征进行深入研究,明确了研究区优质烃源岩的发育层段,总结出优质烃源岩的发育规律,并在此基础上剖析优质烃源岩与油气成藏的关系,揭示了渤中凹陷的勘探潜力与方向。

1 区域地质概况

渤中凹陷地处渤海湾盆地中部,整个凹陷在平面上表现为不规则的等轴状。凹陷北以断层与石臼坨凸起相连,南向渤南低凸起超覆,东与渤东低凸起相邻,西与沙垒田凸起超覆接触,总体上表现出开阔、平缓的特点。在新生代渤中凹陷具有裂陷盆地的发育特点,即表现出多幕裂陷、多成因盆地叠加复合的构造演化特点^[15]。其构造活动主要经历了裂陷、裂后2个阶段,其中裂陷阶段又可分为早裂陷期(孔店组—沙四段沉积时期)、深裂陷期(沙三段沉积时期)、裂陷扩张期(沙二段—沙一段沉积时期)和裂陷再活动期(东营组沉积时期),多幕裂陷沉降在凹陷东部沉降最深,形成了超过万米的沉

积地层。

渤中凹陷主要发育古近系孔店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组、明化镇组以及第四系,其中沙河街组和东营组发育烃源岩,是研究的目的层段,不同层段岩性、地层厚度和沉积特征差别很大。孔店组、沙四段地层分布表现为多断、多凹、分割性强的特点,在地震剖面上会出现凸起区地层厚度较大,向洼陷区逐渐减薄的现象,主要为冲积扇、泛滥平原以及滨浅湖相沉积。沙三段沉积时期是古近纪断陷盆地演化深陷期,地层发育表现为深断大凹的特点,地层在全区连续分布,范围广,厚度大,凹陷内部深湖—半深湖相沉积面积大,是渤中凹陷主要烃源岩发育时期。沙二段—沙一段地层分布具有浅断广凹的特征,受沙三段沉积末期构造抬升湖水变浅影响,以滨浅湖相为主,后来再次受湖侵影响,凹陷内部广泛发育了较深湖相沉积,为研究区第2套区域性分布的优质烃源岩^[16]。东营组沉积早期受边界断层控制,水体进一步扩大,沉积了大套灰色和深灰色泥岩,形成第3套优质烃源岩。

2 优质烃源岩的地球化学特征

2.1 有机质丰度

优质烃源岩是指有机质特别富集、类型好、生烃潜力大的烃源岩,它们往往厚度不大,但对油气聚集的形成具有较大贡献^[17]。较高的有机质丰度是优质烃源岩的一大特征,针对中国陆相含油气盆地的特点,很多学者对有机质丰度评价标准进行了深入研究。黄第藩等对中国主要陆相含油气盆地的有机质丰度进行了总结,提出了适用于我国陆相含油气盆地的烃源岩评价标准,并以有机碳含量为1.0%作为好烃源岩的下限^[18]。侯读杰等综合中外评价标准,把有机碳含量大于3%作为优质烃源岩的标准^[19]。朱光有等对东营凹陷烃源岩研究后认为优质烃源岩的有机碳含量下限标准为2.0%^[4,20]。可见不同研究者关于优质烃源岩有机碳含量下限的标准并不相同。由于渤中凹陷与东营凹陷同处渤海湾盆地,具有相近的石油地质特征,为此采用有机碳含量为2.0%作为优质烃源岩的下限标准,对应生烃潜量大于10 mg/g。

有机碳和热解分析结果表明,渤中凹陷3套主

力烃源岩有机碳含量和热解生烃潜量之间存在良好的正相关性(图1),3套烃源岩均有好和优质烃源岩发育,其中沙三段优质烃源岩分布最为广泛,其次为沙二段—沙一段,东营组烃源岩质量一般。

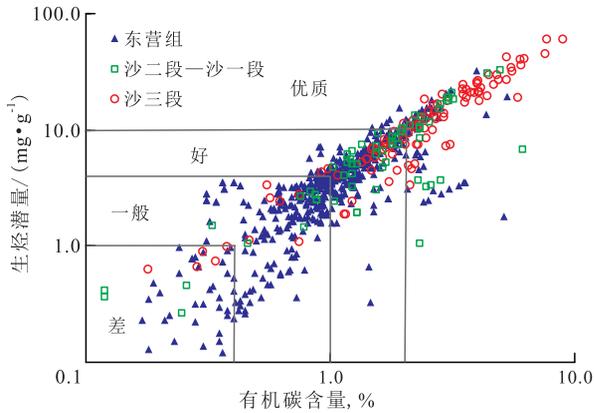


图1 渤中凹陷烃源岩有机碳含量与岩石热解生烃潜量相关性

Fig.1 The relationship between TOC and (S₁+S₂) of source rocks in Bozhong sag

对渤中凹陷553个烃源岩样品的有机碳含量分层位进行统计,发现不同层段烃源岩有机碳含量差异较大。沙三段108个样品的有机碳含量平均达2.72%,66%的样品达到优质烃源岩的标准。氯仿沥青“A”含量为0.03%~1.5%,平均为0.48%,是一般烃源岩的3~4倍。总烃含量为21.22~7 374.50 mg/g,平均为2 642.00 mg/g,而常规烃源岩一般都为100~1 000 mg/g。生烃潜量为0.03~60.05 mg/g,平均为13.90 mg/g,85%的样品超过4 mg/g,54%的样品超过10 mg/g。由此可见,渤中凹陷沙三段烃源岩质量很好,大部分烃源岩都达到了优质烃源岩的标准。

沙二段—沙一段烃源岩有机碳含量为0.12%~6.15%,67个样品的平均值为1.85%,80%以上的样

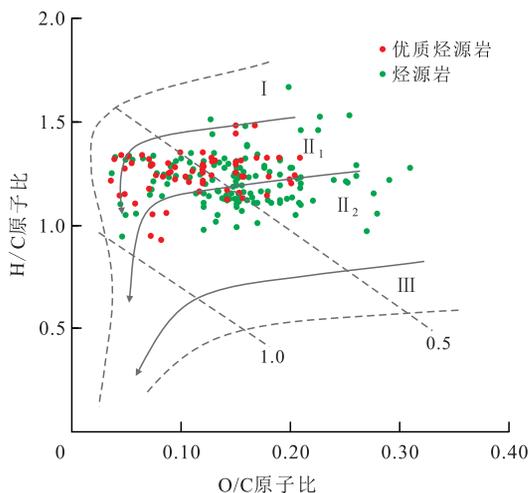
品有机碳含量超过1%,37%以上的样品达到优质烃源岩的标准。氯仿沥青“A”含量平均为0.31%,总烃含量平均为1 560.88 mg/g。生烃潜量为0.04~32.99 mg/g,平均为7.63 mg/g,65%以上的样品超过4 mg/g,29%的样品超过10 mg/g。可以看出,沙二段—沙一段烃源岩质量较好,总体上为好—优质烃源岩。

东三段烃源岩有机碳含量为0.35%~3.13%,137个样品的平均值为1.65%,88%的样品有机碳含量超过1%,31%的样品达到优质烃源岩的标准,烃源岩质量较好,总体上为好—优质烃源岩。东二段下亚段烃源岩有机碳含量为0.18%~5.30%,241个样品的平均值为1.1%,48%的样品有机碳含量超过1%,仅有5%的样品达到优质烃源岩的标准。东二段下亚段相比于沙河街组和东三段烃源岩质量较差,部分达到有效烃源岩标准,仅有少部分达到优质烃源岩标准。

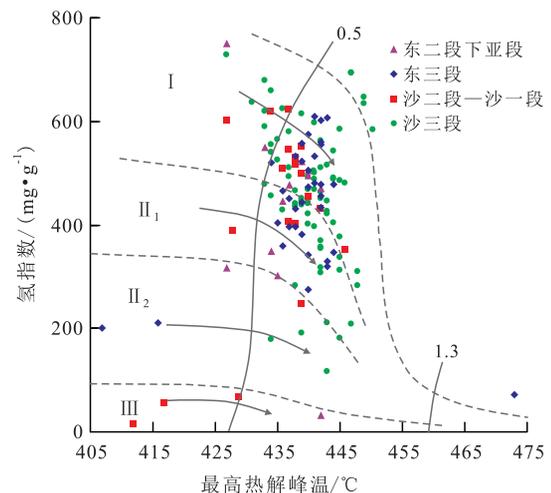
2.2 有机质类型

有机质类型是衡量烃源岩生烃潜力的质量指标,它既控制着烃源岩的演化方向,又影响着烃类的生成速率和数量。一般从不溶有机质和可溶有机质2方面对有机质类型进行评价。目前,用于确定烃源岩有机质类型的方法很多,可以通过干酪根的显微组分、元素组成、热解结果和可溶有机质的族组分等进行判别^[21-23]。

渤中凹陷烃源岩样品的干酪根元素组成分析结果表明,绝大部分优质烃源岩(有机碳含量大于2.0%)样品落于II₁型区域内(图2a),只有少部分落在I型和II₂型区域,没有点在III型区域。而从优质烃源岩最高热解峰温与氢指数的关系(图2b)来看,有机质类型分布范围较大,从I型到III型都有,但



a—干酪根元素组成



b—优质烃源岩最高热解峰温与氢指数的关系

图2 渤中凹陷烃源岩有机质类型划分

Fig.2 The classification of organic matter of source rocks in Bozhong sag

主要以 I 型和 II₁ 型为主。2 种方法的分析结果存在一定差异, 由于前者主要受干酪根分离方法的限制, 并不能完整反映有机质的全部组成信息, 所以热解方法的分析结果更为准确。综合来看, 沙三段烃源岩有机质类型以 I 型和 II₁ 型为主, 存在少量 II₂ 型; 沙二段—沙一段烃源岩在 II₁ 型、I 型和 III 型区域都有分布; 东二段下亚段烃源岩以 II₁ 型和 II₂ 型为主, 含有少量 I 型; 东三段烃源岩主要为 II₁ 型和 I 型, 有极少量的 II₂ 型。由此可见, 渤中凹陷 3 套烃源岩中, 有机质丰度达到优质烃源岩标准的样品也具有很好的有机质类型, 以偏腐泥型为主, 同时也表明低等水生生物的大量输入是形成优质烃源岩的重要因素之一。

2.3 有机质成熟度

衡量有机质实际生烃能力的另一个重要指标是烃源岩中有机质的热演化程度^[24-25]。研究表明, 只有在达到一定的热演化阶段时(即处在生油窗内)才能形成有效烃源岩^[26]。目前用于评价烃源岩热演化程度的参数很多, 应用较为广泛的主要有镜质组反射率、热解参数以及生物标志物参数。镜质组反射率随着热演化程度的加深而不断增大, 且不可逆, 是研究烃源岩演化最有效的指标^[27], 可以较为准确地划分烃源岩有机质的热演化阶段。由于不同地区各井的实测镜质组反射率与深度的对应关系可能存在差异, 在利用镜质组反射率来反映全区的热演化程度时, 通常采用不同井之间取平均值的方法来减小误差。

渤中凹陷 331 个样品的干酪根镜质组反射率为 0.3%~1.6%, 未成熟到过成熟均有分布。通过同一层位相邻深度间样品取平均值, 并逐步剔除样品异常点, 得到镜质组反射率与深度的关系(图 3)。随着埋深的增加, 镜质组反射率逐渐增大, 两者呈现

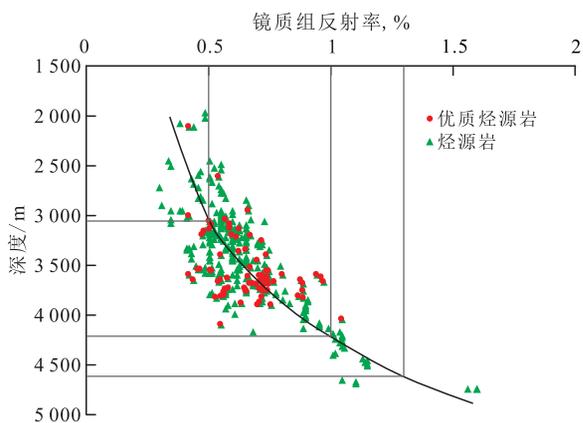


图 3 渤中凹陷烃源岩镜质组反射率与深度的关系

Fig.3 The relationship between R_o and depth of source rocks in Bozhong sag

较好的正相关关系。渤中凹陷古近系烃源岩生烃门限约为 3 120 m, 有机质开始生油; 在 4 150 m 左右镜质组反射率达 1%, 进入生烃高峰; 当镜质组反射率大于 1.3%, 深度超过 4 520 m 时, 有机质进入过成熟阶段。结合烃源岩埋深状况可发现, 研究区古近系优质烃源岩现今大多已达到成熟生烃门限, 主要处于生烃高峰阶段, 极少量优质烃源岩处于未成熟和过成熟演化阶段。

3 优质烃源岩形成条件

3.1 母质来源

影响优质烃源岩发育的因素很多, 但生物产率高是有机质富集的首要条件。通过分析微体古生物特征发现, 渤中凹陷 3 套烃源岩发育时期的藻类化石都非常丰富, 藻类的周期性或季节性勃发或为有机质富集创造了条件。孢粉相分析表明, 渤中凹陷沙三段优质烃源岩藻类含量最为丰富, 占孢粉总量最高可达 80% 以上, 半咸水的藻类如渤海藻、副渤海藻(属沟鞭藻类, 是 4-甲基甾烷的生源之一)尤为发育^[28]。沙一段沉积时期, 在亚热带温湿气候条件下, 水生生物发育, 烃源岩中藻类以球藻为主, 如薄球藻、棒球藻等。东营组烃源岩是湖盆水域再次扩大、湖水加深、水质淡化形成的, 藻类含量普遍较高, 浮游藻类占孢粉总量的 30%~50%, 表明东营组沉积时期具有较高的湖相有机质生产力, 为该段烃源岩的形成提供了有利的物质条件。

选取 3 套烃源岩中未成熟—低成熟演化阶段的样品进行了生物标志物分析, 通过生物标志物构成来研究其母质来源。正构烷烃的碳数分布特征是一个经典的有机地球化学指标, 它能够很好的指示母质来源。沙河街组烃源岩主要以前单峰型为主, 主峰碳数为 nC_{17} , 碳数在 nC_{29} 以后的烃类含量很低(图 4), 说明该套烃源岩有机质主要以藻类等水生低等生物的贡献为主, 同时存在少量陆源高等植物的贡献。族组分碳同位素分析表明, 沙河街组烃源岩碳同位素较轻, 饱和烃 $\delta^{13}C$ 为 -33.58‰ ~ -26.1‰ , 同样反映烃源岩母质类型较好, 这种类型的有机质易向油气转化, 生油能力较强。东营组烃源岩饱和烃主要以后单峰型为主, 还有部分双峰型(图 4), 族组分碳同位素较轻, 饱和烃 $\delta^{13}C$ 为 -29.5‰ ~ -27.2‰ , 说明东营组烃源岩有机质可能是高等植物和水生生物的混和来源, 并以陆源高等植物输入为主。

C_{27} — C_{29} 规则甾烷系列构成与烃源岩有机母源的明确对应关系正逐渐被否定, 但具有不同母源

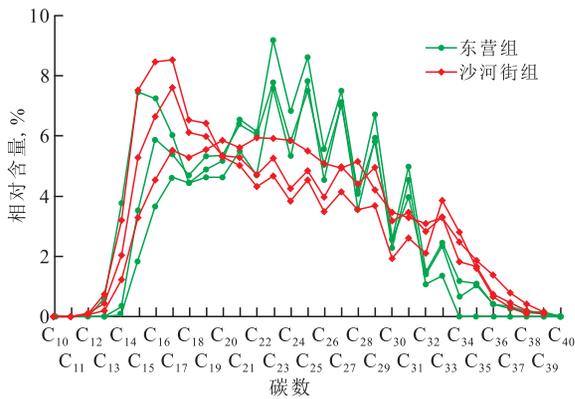


图4 渤中凹陷优质烃源岩正构烷烃碳数分布

Fig.4 The carbon number distribution of *n*-alkanes of high-quality source rocks in Bozhong sag

输入样品的规则甾烷构成确有差异,为此规则甾烷的构成依然是母源输入要讨论的内容。沙三段和

沙二段—沙一段烃源岩 C_{27}, C_{28}, C_{29} 规则甾烷均呈“L”型分布(图5),即 $C_{27} > C_{29} > C_{28}$,略具 C_{27} 优势。东营组烃源岩 C_{27}, C_{28}, C_{29} 规则甾烷呈“V”型分布,部分样品为 C_{29} 甾烷或 C_{27} 甾烷优势,反映其母质类型与沙河街组有一定差异,但不能明显的区分这2套烃源岩。4-甲基甾烷常作为一种有机母源的标志物,一般认为很可能是海相和非海相沟鞭藻和细菌的标志^[21],用它较好的区分出3套烃源岩。沙三段烃源岩4-甲基甾烷指数都大于0.1,平均值为0.22,分布范围大,大多含有甲藻甾烷;与沙三段相比,沙二段—沙一段烃源岩4-甲基甾烷指数较低,但仍高于东营组;东营组烃源岩4-甲基甾烷指数都小于0.15,分布范围小且指数都比较低,目前烃源岩中还未检测出甲藻甾烷。

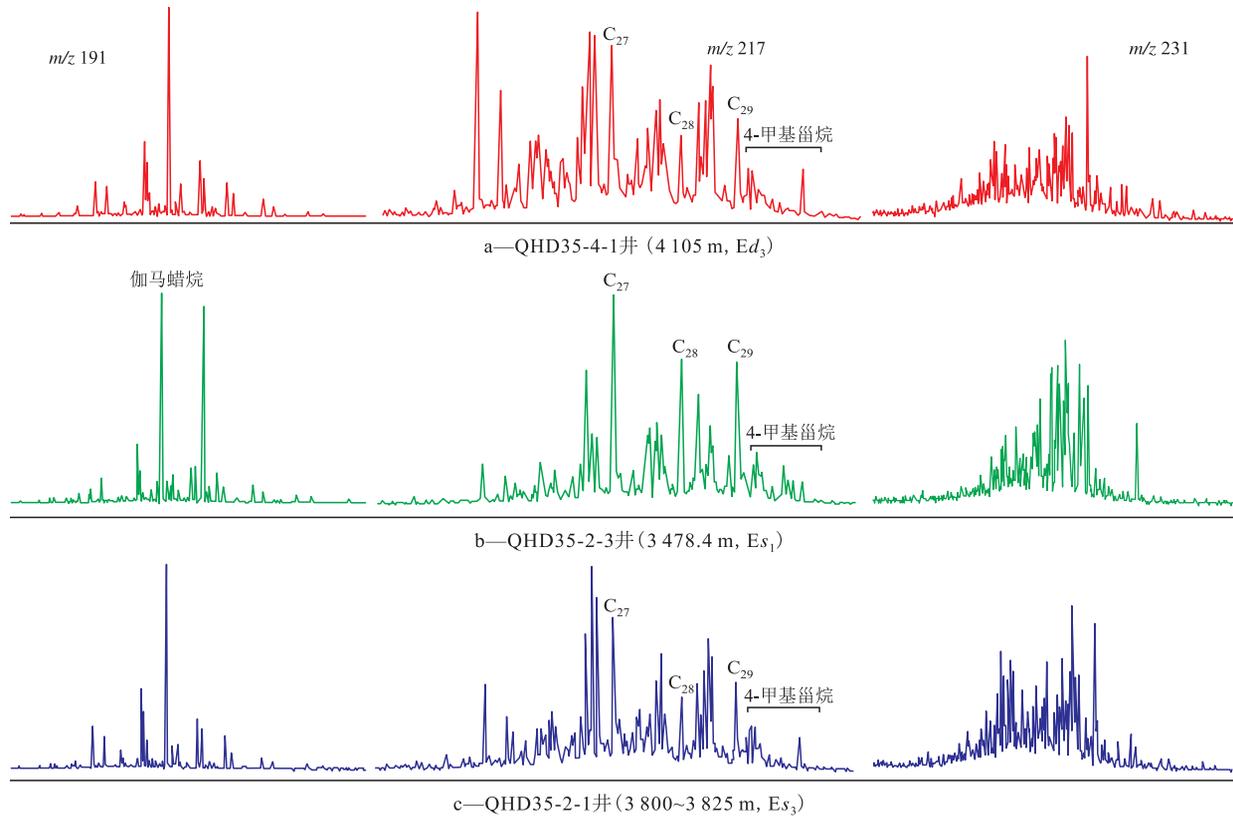


图5 渤中凹陷古近系优质烃源岩甾萜烷质量色谱

Fig.5 The steroid and the terpane mass chromatograms of Palaeogene high-quality source rocks in Bozhong sag

3.2 沉积环境

前人曾指出生物勃发与缺氧环境的叠加区域是优质烃源岩形成的有利地区^[29-30],因此有必要从沉积环境方面探究渤中凹陷优质烃源岩的形成。规则类异戊二烯烷烃广泛分布在现代沉积物、古代沉积岩及原油中,其中姥鲨烷(Pr)与植烷(Ph)分布最广,是判别沉积环境的重要标记。此外,伽马蜡烷是一种 C_{30} 三环萜烷,常作为高盐度还原沉积环境的标志化合物,它也是区分沙河街组和东营组烃源

岩的良好参数。一般通过伽马蜡烷异常指数($4 \times \text{伽马蜡烷} / (C_{31} + C_{32})$)来表示伽马蜡烷在样品中的相对含量,指数大于1时,则表明伽马蜡烷含量具有正异常,伽马蜡烷含量高;当指数小于1时,伽马蜡烷含量具有负异常,伽马蜡烷含量低^[31]。

研究区3套烃源岩的伽马蜡烷异常指数与 Pr/Ph 值均具有一定的相关性(图6)。沙三段烃源岩具有极低的伽马蜡烷异常指数,Pr/Ph 值接近于1,指示烃源岩形成于半深湖—深湖的淡水还原环境;与

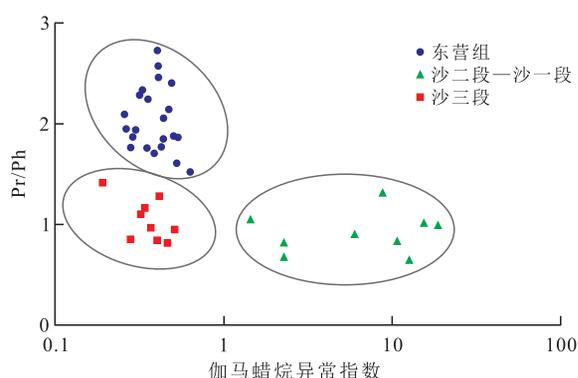


图6 渤中凹陷烃源岩伽马蜡烷异常指数与Pr/Ph相关性
Fig.6 The relationship between gammacerane abnormal index and Pr/Ph of source rocks in Bozhong sag

沙三段烃源岩相比,东营组烃源岩Pr/Ph值相对较高,属于弱氧化弱还原沉积介质,大部分样品的伽马蜡烷异常指数很低,说明东营组属于淡水湖泊沉积;沙二段—沙一段烃源岩较易区分,它形成于湖泊萎缩期的半咸水—咸水环境,其特征是伽马蜡烷含量普遍较高,伽马蜡烷异常指数都大于1,Pr/Ph值低,具植烷优势。

生物标志物的这些特征表明,古近纪湖盆鼎盛时期,研究区沉积了一大套以暗色泥岩为主的深湖—半深湖相沉积,即沙三段烃源岩的主要发育层段。该段烃源岩形成于淡水还原环境,各项地化指标显示该时期的有机质主要来源于低等水生生物,有大量的藻类输入。生物产率高、母质类型好、良好的保存条件是沙三段优质烃源岩形成的主要原因。沙一段烃源岩是沙二段沉积时期湖水变浅之后水域范围再次扩大所形成的,但水体变浅、水质略有咸化,导致沙二段—沙一段烃源岩处于半咸水—咸水的缺氧还原环境。高盐环境虽影响寄生生物的发育,但有利于藻类勃发^[32],该时期有机母质仍以水生生物来源为主,有少量陆源高等植物的输入,藻类输入较沙三段少。东营组烃源岩处于淡水弱还原沉积环境,母质来源以陆源高等植物和菌藻类混合输入为特征。

4 优质烃源岩的分布特征

4.1 纵向分布特征

通过对研究区典型探井烃源岩综合评价,进一步明确了凹陷内优质烃源岩在纵向上的展布。从纵向发育层段来看,优质烃源岩分布广泛,在各层段都有分布:BZ8-4-1井、QHD36-3-1井、QHD36-3-2井等均在沙三段发现了优质烃源岩;BZ13-1-1井、QHD36-3-1井等在沙二段—沙一段发现优质烃

源岩;BZ13-1-1井、CFD18-2-1井等则在东营组发现优质烃源岩。从优质烃源岩发育的沉积相类型来看,半深湖—深湖相和滨浅湖相是主要沉积相类型,前三角洲相也有优质烃源岩发育,如BZ13-1-1井和QHD36-3-1井的部分优质烃源岩。

4.2 平面分布特征及其与油气分布的关系

利用已有探井的测井资料,结合地球化学分析资料,建立了渤中凹陷优质烃源岩的测井识别数学模型,进而通过测井标定与地震追踪对比,参考沉积相研究成果,以原始有机碳含量下限2%为标准,绘制了优质烃源岩的平面展布。研究区沙三段优质烃源岩的分布范围最广且厚度较大(图7a),这与沙三段沉积时期连续广泛的深湖相、较深湖相沉积密不可分。凹陷内主要存在东、西次凹2个沉积中心,优质烃源岩总体厚度为100~250 m,最大可达450 m。沙二段—沙一段沉积时期较深湖相、滨浅湖相发育较多,优质烃源岩的分布与沙三段相差不大,但厚度有所差别(图7b)。凹陷内存在多个沉积中心,主要分布在凹陷的东北部和西部,优质烃源岩厚度一般为100~200 m,最大达400 m,厚度中心主要分布在沉积中心的较深湖相带。东营组沉积初期滨浅湖相和较深湖相广泛发育,优质烃源岩的分布范围虽然较沙河街组小(图7c),但厚度较大,沉积中心主要在渤东地区附近,厚度可至750 m。进入东二段下亚段沉积时期,凹陷的中部地区主要为湖相沉积,同时出现了很多曲流河、辫状河三角洲沉积,该时期的优质烃源岩主要在较深湖相和滨浅湖相发育,也有部分发育在前三角洲相。总体分布范围较东三段大(图7d),厚度为100~550 m,厚度中心在渤中凹陷中央以及渤东凹陷中央较深湖相沉积处,厚度由沉积中心向四周逐渐减薄。

总之,渤中凹陷古近系优质烃源岩的形成受控于沉积环境和沉积中心,主要分布于凹陷中心以及凸起与中央深洼带之间的斜坡区,由沉积中心向外逐渐变薄。已知油田的油气来源研究表明,沙河街组混合原油多位于凹陷北、西和南部环凹陷的优质烃源岩分布范围之外的凸起区,而优质烃源岩厚度较大的东北部沉积中心附近少见油气显示,可见该地区尤其是渤东低凸起区仍具有很大的勘探前景。此外,凸起与凹陷过渡的斜坡带优质烃源岩的分布区也应是构造油气田勘探的有利区。东营组原油以及东营组和沙河街组混源油主要呈点状分布于有东营组优质烃源岩发育的斜坡带,油气运移的范围明显小于沙河街组生成的油气运移范围,且规模也小得多。这些特征与东营组优质烃源岩

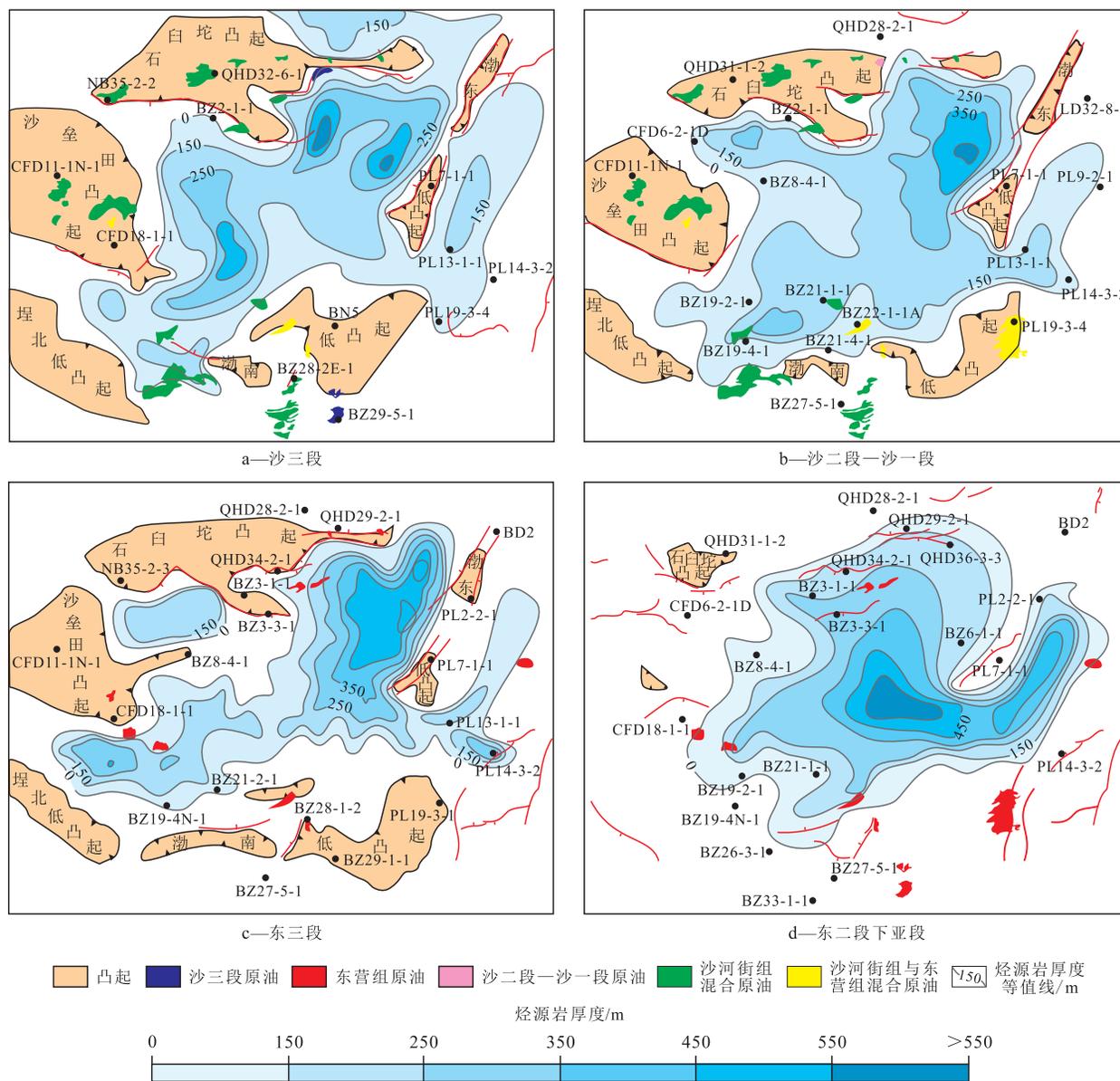


图7 渤中凹陷古近系优质烃源岩平面分布

Fig.7 The distribution of Paleogene high-quality source rocks in Bozhong sag

的发育规模明显不符,显示了以东营组为来源的油气勘探具有广阔的前景,今后油气勘探的有利方向应该是凹陷区周边的源内或近源斜坡区。

5 结论

渤中凹陷沙三段、沙二段—沙一段和东营组3套烃源岩均存在优质烃源岩,对于油气成藏都有较大贡献,具有较好的生烃潜力。其中,沙三段烃源岩有机质丰度高,类型好,优质烃源岩最为发育;沙二段—沙一段次之;东营组烃源岩质量一般,但大部分达到了有效烃源岩的标准,仍具有较好的生烃潜力,并且东三段好于东二段下亚段。

从母质来源和沉积环境方面分析了优质烃源

岩的形成条件。结果表明,优质烃源岩的形成是生物产率、良好的母质来源以及缺氧环境共同作用的产物。生物产率高、母质类型好、深湖—半深湖的淡水还原环境是沙三段优质烃源岩形成的主要原因。优质烃源岩的形成受控于沉积环境和沉积中心,由沉积中心向外逐渐变薄;优质烃源岩的空间分布控制了渤中凹陷油气分布,半深湖—深湖相和滨浅湖相是凹陷优质烃源岩的主要发育区域。在此基础上,拓宽了渤中地区古近系油气勘探的领域,优质烃源岩沉降中心附近的凹陷近源斜坡带将成为今后勘探的有利地区。

参考文献:

[1] 李敬生.贝尔凹陷优质烃源岩的发现及其地质意义[J].成都理

- 工大学学报:自然科学版,2013,40(3):326-332.
- Li Jingsheng. Discovery and geological significance of high quality source rock in Bei'er sag of Hailaer Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2013, 40(3): 326-332.
- [2] 王伟明, 卢双舫, 曹瑞成, 等. 海拉尔盆地乌东斜坡带优质烃源岩识别及油气运聚特征再认识 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 692-709.
- Wang Weiming, Lu Shuangfang, Cao Ruicheng, et al. High-quality hydrocarbon source rock identification and hydrocarbon migration and accumulation characteristics in the Wudong slope zone of the Hailer Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 692-709.
- [3] 何锋, 靳广兴, 魏丽红. 东濮凹陷优质烃源岩研究意义 [J]. 石油天然气学报, 2010, 32(4): 185-188.
- He Feng, Jin Guangxing, Wei Lihong. Study significance of high-quality source rock in Dongpu depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(4): 185-188.
- [4] 朱光有, 金强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地质地球化学特征研究 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 506-512.
- Zhu Guangyou, Jin Qiang. Geochemical characteristics of two sets of excellent source rocks in Dongying depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 506-512.
- [5] 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, 2009, 30(4): 393-397.
- Pang Xiongqi, Guo Yonghua, Jiang Fujie, et al. High-quality source rocks and their distribution prediction in the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 393-397.
- [6] 吴磊, 徐怀民, 季汉成, 等. 渤海湾盆地渤中凹陷古近系沉积体系演化及物源分析 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(1): 81-88.
- Wu Lei, Xu Huaimin, Ji Hancheng, et al. Evolution of sedimentary system and analysis of sedimentary source in paleogene of Bozhong Sag, Bohai Bay [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2006, 26(1): 81-88.
- [7] 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: 地质, 2000, 14(2): 93-99.
- Zhang Gongcheng. Tectonic framework and prolific hydrocarbon depressions in Bohai bay [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2000, 14(2): 93-99.
- [8] 姜福杰, 庞雄奇. 环渤中凹陷油气资源潜力与分布定量评价 [J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1): 23-29.
- Jiang Fujie, Pang Xiongqi. Quantitative evaluation of hydrocarbon resource potential and its distribution in the Bozhong Sag and surrounding areas, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 23-29.
- [9] 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.
- Zhu Weilin, Wang Guochun, Zhou Yi. Potential of petroleum resources in the offshore of Bohai bay basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(3): 1-7.
- [10] 王飞宇, 李洋冰, 曾花森, 等. 渤海湾盆地渤中坳陷气油比的控制因素及勘探意义 [J]. 中国海上油气: 地质, 2006, 18(5): 290-295.
- Wang Feiyu, Li Yangbin, Zeng Huasen. Factors to control GOR and its exploration implications in Bozhong depression, Bohai Bay basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2006, 18(5): 290-295.
- [11] 李友川, 黄正吉, 张功成. 渤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.
- Li Youchuan, Huang Zhengji, Zhang Gongcheng. Evaluation of the Lower Dongying source and oil source research in China Bozhong depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 44-48.
- [12] 李浮萍, 文志刚, 唐友军, 等. 渤中凹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.
- Li Fuping, Wen Zhigang, Tang Youjun, et al. Evaluation of Paleogene effective gas source rocks in Bozhong sag [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2006, 28(1): 16-18.
- [13] 高喜龙, 肖贤明, 赵必强, 等. 渤海湾盆地渤中凹陷下第三系烃源岩生烃史 [J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 359-364.
- Gao Xilong, Xiao Xianming, Zhao Biqiang, et al. Petroleum generation history of lower Tertiary source rocks from the Bozhong depression of the Bohaiwan basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 359-364.
- [14] 黄正吉, 李友川. 渤海湾盆地渤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.
- Huang Zhengji, Li Youchuan. Hydrocarbon source potential of Dongying Formation in Bozhong Depression in Bohai Bay Basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2002, 16(2): 118-124.
- [15] 蔡东升, 罗毓晖, 武文来, 等. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系 [J]. 中国海上油气: 地质, 2001, 15(1): 35-43.
- Cai Dongsheng, Luo Yuhui, Wu Wenlai, et al. Shallow tectonic deformation and its relationship to hydrocarbon enrichment in Bozhong Depression and adjacent areas, Bohai Bay Basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2001, 15(1): 35-43.
- [16] 何仕斌, 朱伟林, 李丽霞, 等. 渤中坳陷沉积演化和上第三系储盖组合分析 [J]. 石油学报, 2001, 22(2): 38-43.
- He Shibin, Zhu Weilin, Li Lixia, et al. Sedimentary evolution and Neogene reservoir-seal assemblage analysis of Bozhong Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 38-43.
- [17] 王力, 金强, 林腊梅, 等. 柴达木盆地西部古近系-新近系优质烃源岩特征 [J]. 天然气工业, 2009, 29(2): 23-26.
- Wang Li, Jin Qiang, Lin Lamei, et al. Characteristics of quality Tertiary source rocks in west Qaidam Basin [J]. Nature Gas Industry, 2009, 29(2): 23-26.
- [18] 黄第藩, 李晋超, 周嘉虹, 等. 陆相有机质演化和成烃机理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- Huang Difan, Li Jinchao, Zhou Zhuhong, et al. Evolution and hydrocarbon generation mechanism of terrestrial organic matter [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984.
- [19] 侯读杰, 张善文, 肖建新, 等. 济阳坳陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析 [J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 137-146.
- Hou Dujie, Zhang Shanwen, Xiao Jianxin, et al. The excellent source rocks and accumulation of stratigraphic and lithologic traps in the Jiyang Depression, Bohai bay basin [J]. Earth Science

- Frontiers, 2008, 15(2): 137-146.
- [20] 范泓澈, 黄志龙, 庞雄奇, 等. 南堡凹陷古近系深层烃源岩分布特征及厚度预测[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(2): 21-25.
Fan Hongche, Huang Zhilong, Pang Xiongqi, et al. Evaluation approach and early-stage prediction on Paleogene hydrocarbon source rocks in Nanpu sag, Bohai Bay basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(2): 21-25.
- [21] 曹宏明, 程子翔, 程伟, 等. 莘县凹陷堂邑洼陷古近系沙三段烃源岩生烃潜力评价[J]. 特种油气藏, 2013, 20(2): 56-59.
Cao Hongming, Cheng Zixiang, Cheng Wei, et al. Shenxian cave hall of the city sub-sag in the three sections of the hydrocarbon potential evaluation of hydrocarbon source rock[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(2): 56-59.
- [22] 韩宗元. 鄂尔多斯盆地镇探1井烃源岩有机地球化学特征[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(5): 10-14.
Han Zongyuan. Organic geochemical characteristics of source rocks in well-Zhentan1, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(5): 10-14.
- [23] 南征兵, 张艳玲, 李永铁, 等. 羌塘盆地中侏罗统布曲组烃源岩评价[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(3): 15-17, 21.
Nan Zhengbing, Zhang Yanling, Li Yongtie, et al. Evaluation of middle Jurassic Buqu formation source rock, Qiangtang Basin, north Tibet[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(3): 15-17, 21.
- [24] 刘旭明, 张成. 南海南部万安盆地烃源岩成熟史数值模拟研究[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(2): 34-37.
Liu Xuming, Zhang Cheng. Numerical simulation of source rock maturity history in Wan'an Basin, Southern South China Sea[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(2): 34-37.
- [25] 杜佰伟, 陈明, 李忠雄, 等. 羌塘盆地龙尾湖地区中侏罗统布曲组烃源岩评价[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 45-47.
Du Baiwei, Chen Ming, Li Zhongxiong, et al. Evaluation of source rocks in Buqu Formation, middle Jurassic, Longweihu area, Qiangtang Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(1): 45-47.
- [26] 赵利杰, 蒋有录, 刘华, 等. 饶阳凹陷烃源岩热演化特征及其与油藏分布的关系[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(4): 1-4.
Zhao Lijie, Jiang Youlu, Liu Hua, et al. Thermal evolution of Paleogene source rocks and relationship with reservoir distribution in Raoyang sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(4): 1-4.
- [27] 胡春余, 史文东, 田世澄, 等. 青南洼陷烃源岩地球化学特征及资源潜力[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(1): 40-43.
Hu Chunyu, Shi Wendong, Tian Shicheng, et al. Geochemical characteristics and source potential of the source rocks in Qingnan Subsag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(1): 40-43.
- [28] 黄正吉. 中国近海优质烃源岩的发育特征及古生态标志[J]. 中国石油勘探, 2012, (5): 10-16, 26.
Huang Zhengji. Growth and Paleocological marker of high-grade source rocks in China Marginal Seas[J]. China Petroleum Exploration, 2012, (5): 10-16, 26.
- [29] 高阳. 东营凹陷北部沙四段下亚段盐湖相烃源岩特征及展布[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(1): 10-15.
Gao Yang. Characteristics and distribution of salt lake source rocks from lower submember of 4th member of Shahejie formation, north Dongying depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1): 10-15.
- [30] 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 1-4.
Jin Qiang. Importance and research about effective hydrocarbon source rocks[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(1): 1-4.
- [31] 任拥军, 杨景楠, 邱隆伟, 等. 大王北洼陷烃源岩有机地球化学特征[J]. 高校地质学报, 2010, 16(1): 63-72.
Ren Yongjun, Yang Jingnan, Qiu Longwei, et al. Organic geochemical characteristics of source rocks in Dawangbei subsag[J]. Geological Journal of China Universities, 2010, 16(1): 63-72.
- [32] 金强, 武爱俊, 金凤鸣, 等. 武清凹陷大孟庄洼槽烃源岩地震属性预测与评价[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(4): 34-37.
Jin Qiang, Wu Aijun, Jin Fengming, et al. Estimation of source rocks by seismic attributes in the Damengzhuang sag, Wuqing depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(4): 34-37.

编辑 经雅丽