

# 渤海湾盆地沾化凹陷富林洼陷 油气来源及分布规律研究

王秀红

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:**通过对渤海湾盆地沾化凹陷富林洼陷原油的生物标志物分布与组合特征分析,认为该区主要存在3类原油;Ⅰ类原油主要分布于东次洼,呈植烷优势,伽马蜡烷含量高,重排甾烷与4-甲基甾烷含量较低,来源于东次洼本身的沙四下亚段烃源岩;Ⅱ类原油分布于中次洼洼陷内部,具有姥鲨烷优势、伽马蜡烷含量低、重排甾烷含量高的特征,纵向上不同储层油气来源存在差异,其中浅部储层油气来源于孤南洼陷沙三下亚段烃源岩,深部储层油气主要来自于富林洼陷沙三下亚段烃源岩;Ⅲ类原油分布于中次洼断裂带附近,成熟度较低,姥鲨烷优势,伽马蜡烷含量中等, C<sub>28</sub> 甾烷含量丰富,孕甾烷和重排甾烷含量较低,为孤南洼陷沙一段与富林洼陷沙三下亚段烃源岩所形成的混源油。

**关键词:**生物标志物;油气来源;分布规律;富林洼陷;沾化凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.1<sup>+</sup>14

文献标识码:A

## Hydrocarbon origin and distribution regularity in Fulin sub-Sag, Zhanhua Sag, Bohai Bay Basin

Wang Xiuhong

(Geoscience Research Institute, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257015, China)

**Abstract:** Based on the studies of biomarker distribution and composition of crude oils in the Fulin sub-Sag of the Zhanhua Sag of the Bohai Bay Basin, there are 3 types of crude oil in the study area. The crude oils of type I mainly exist in the east of the sub-sag, characterized by low Pr/Ph ratio, high gammacerene content as well as low diasterane and 4-methyl-sterane contents. They are originated from source rocks in the upper subsection of the 4th member of the Shahejie Formation in the east of the sub-sag. The crude oils of type II mainly locate in the center of the sub-sag, featured by high Pr/Ph ratio, low gammacerene content and high diasterane content. The origin for oil and gas is different vertically. Hydrocarbon in the middle and shallow reservoirs is mainly originated from source rocks in the lower subsection of the 3rd member of the Shahejie Formation in the Gunan sub-Sag while hydrocarbon in the deep reservoir is mainly originated from source rocks in the lower subsection of the 3rd member of the Shahejie Formation in the Fulin sub-Sag. The crude oils of type III mainly distribute around fault belts in the central sub-sag, featured by low maturity, high Pr/Ph ratio, medium gammacerene content, high C<sub>28</sub> sterane content as well as low pregnane and diasterane contents, which show mixed-oil characteristics of source rocks from both the 1st member of the Shahejie Formation in the Gunan sub-Sag and the lower subsection of the 3rd member of the Shahejie Formation in the Fulin sub-Sag.

**Key words:** biomarkers; hydrocarbon origin; distribution regularity; Fulin sub-Sag; Zhanhua Sag; Bohai Bay Basin

富林洼陷位于渤海湾盆地沾化凹陷的东南端,由垦利和垦东2条断裂带控制形成北断南超、东断西超的洼陷形态(图1)。该洼陷勘探面积约360 km<sup>2</sup>,东部以垦东断层、垦利断裂带与垦东—青坨子凸起以及垦利潜山相接,西、南超覆在陈家庄凸

起东段,内部被孤西断层和垦东6断层分割,分为西、中、东3个次洼<sup>[1-3]</sup>;自1973年发现工业油流以来,陆续在垦利及富林洼陷内等多个地区取得勘探突破<sup>[4-5]</sup>。截止目前,该区已发现奥陶系—馆陶组的9套含油层系,呈现了较大的含油规模,有望

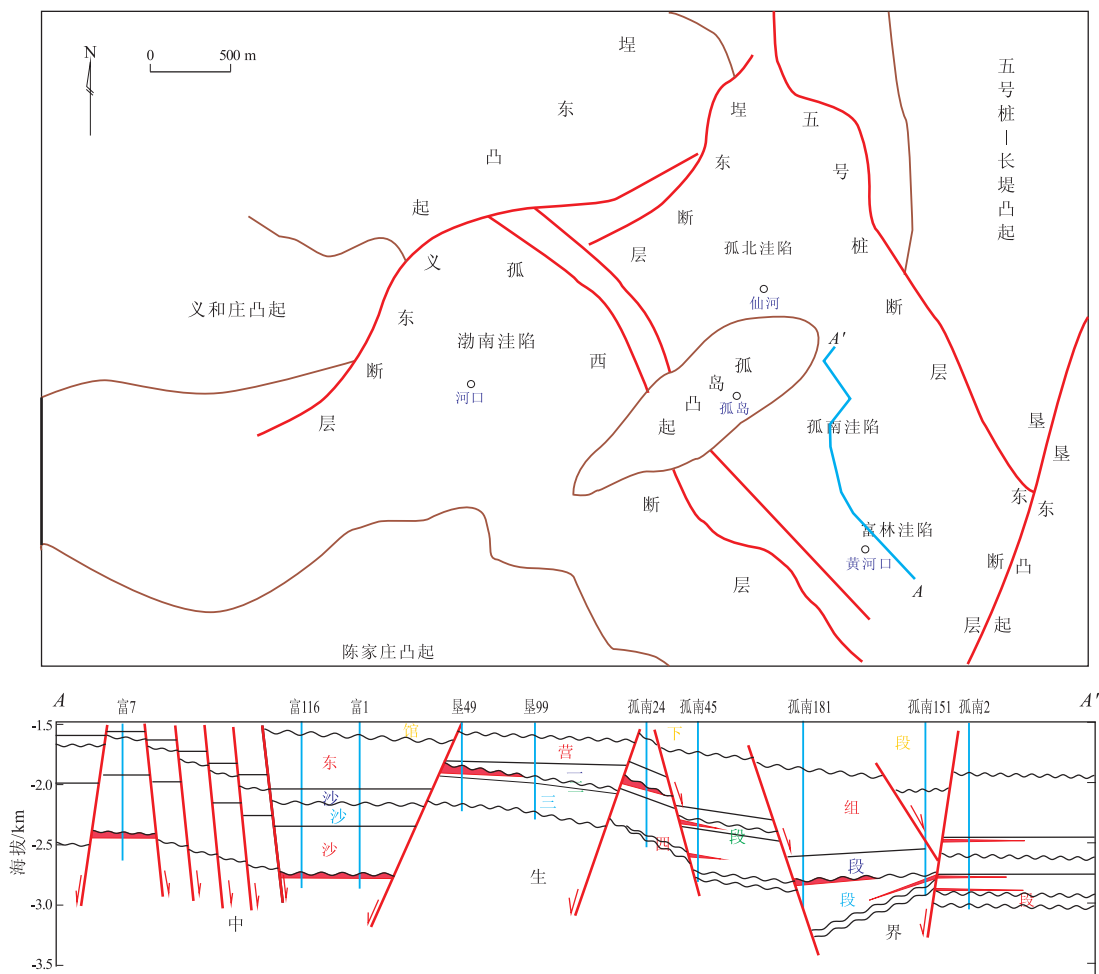


图1 渤海湾盆地沾化凹陷富林洼陷构造位置与油藏分布

Fig.1 Tectonic location and reservoir distribution in Fulin sub-Sag, Zhanhua Sag, Bohai Bay Basin

成为沾化地区中长远资源接替的重要阵地。但是目前已发现的油气主要分布在新近系<sup>[6-7]</sup>,分布极不均衡,并且油气藏绝大部分为构造油藏,油气储量占98%,其他油气藏类型勘探程度仍较低,具较大的勘探潜力。该区油源丰富,存在多个供烃单元,油气来源非常复杂。本文对该区油气来源及分布规律进行了研究,以期对成藏规律的剖析及今后勘探目标的优选提供参考。

### 1 烃源岩发育及成烃特征

根据优质烃源岩是成烃主要贡献者的原则,沾化凹陷总体上发育3套主力烃源岩,分别为沙四上亚段、沙三下亚段、沙一段。由特定沉积环境所造成的有机质组成、来源、类型、富集程度等因素的差异,决定了他们之间成烃特征的差异。主要表现为咸水—盐湖相沙四上亚段烃源岩与半咸水沙一段烃源岩具有早期生烃和多阶段生烃的特点,生烃持续阶段长,生烃率高,而淡水—微咸水沙三段烃源岩仅存在一个成熟生烃高峰,具有集中生烃的特点<sup>[8-11]</sup>。

富林洼陷具有沉降晚、抬升早、埋深浅的特点,因此有效烃源岩分布面积小、埋藏浅,并且由于构造分割强烈,各次洼油源条件严重不均。沙三下亚段与沙四上亚段烃源岩为富林洼陷的主力生油层系。其中西次洼烃源岩最大埋深3 000 m,生烃门限以下最大地层厚度800 m,沉降中心呈北西向条带展布;但有效烃源岩面积小、烃源岩中没有渗透性储层匹配,目前尚无该次洼较大量排烃的证据。中次洼位于垦利断层下降盘,沙三段烃源岩最大埋深3 700 m,生烃门限以下最大地层厚度1 500 m,主力烃源岩中有较好储层匹配,由此中次洼成为富林洼陷生油中心。东次洼沉降中心北东向展布,烃源岩最大埋深3 500 m,生烃门限以下最大地层厚度1 100 m。

毗邻区域也有向富林洼陷周边高地供烃的可能性,其中孤南洼陷相距最近,也是其重要的油源之一。与富林洼陷不同的是,孤南洼陷沙三下亚段与沙一段烃源岩为其主力烃源岩<sup>[12]</sup>。从沉积特征来看,孤南洼陷东次洼是主要的生油中心,洼内和

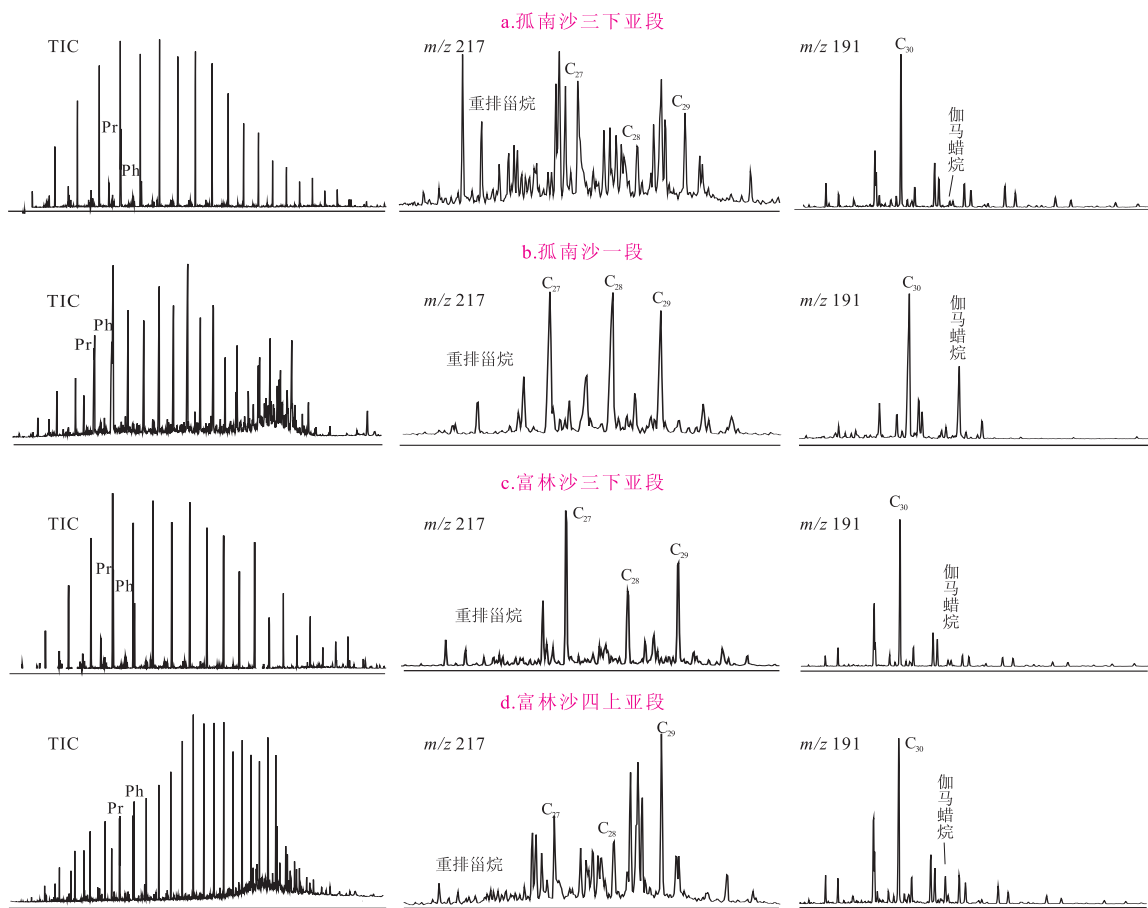


图2 渤海湾盆地孤南洼陷与富林洼陷烃源岩萜烷和甾烷质量色谱

Fig. 2 Mass chromatogram of hopane ( $m/z$  191) and sterane ( $m/z$  217) of typical source rocks from Gunan and Fulin sub-Sags, Bohai Bay Basin

周围是岩性油藏最有利区域,西次洼也可以生成成熟的油气,也是勘探的有利区域之一。

由于沉积环境的差异,各套烃源岩形成的烃类从地化特征上具有明显不同<sup>[13-15]</sup>。根据4套烃源岩的氯仿抽提物饱和烃色谱、质谱分析结果(图2),富林洼陷沙四上亚段源岩形成于缺氧咸水沉积环境中,饱和烃类异戊二烯烃具植烷优势,Pr/Ph通常小于0.5,萜烷类化合物表现出高伽马蜡烷的特点,甾烷类化合物具有低重排规则甾烷和4-甲基甾烷、高甲藻甾烷的特点。沙三下亚段烃源岩的类异戊间二烯烃表现出高姥鲛烷,Pr/Ph一般在1以上,最小不低于0.5,萜烷类化合物具有少量伽马蜡烷,通常 $\gamma$ -蜡烷/C<sub>30</sub>藿烷小于0.2,甾烷类化合物则表现出高重排规则甾烷和4-甲基甾烷的特点。在孤南洼陷,沙三下亚段烃源岩除成熟度略高等细微差异外,沉积环境与生标特征与富林洼陷相似;而沙一段形成于更加咸化还原的沉积环境中,生标特征表现为 $\gamma$ -蜡烷含量高,Pr/Ph值低,C<sub>28</sub>甾烷丰富的特点。

总体而言,富林洼陷断块发育复杂,油源空间分布明显的差异是影响油源判识的关键问题,体现

了陆相断陷盆地成烃成藏组合关系的典型特征。

## 2 原油类型及其来源分析

本次研究在富林洼陷及周边地区遴选了多个油砂及原油样品,平面上很好地覆盖了整个研究区,纵向上取样层系包括奥陶系至馆陶组9个层系,油藏类型涉及洼陷中心的岩性油藏、构造岩性到边缘的构造油藏等多种类型。油砂抽提物和原油经常规族组分离后,进行饱和烃色谱以及饱和烃、芳烃色谱—质谱分析。根据原油类异戊二烯烃、甾烷类和萜烷类化合物的指相差异,结合成藏区的生储盖条件,将富林—垦利断裂带的原油划分为3种成因类型。

第I类原油具有明显的植烷优势,可见 $\beta$ 胡萝卜烷,反映出沉积环境以较强的还原环境为主; $\gamma$ -蜡烷含量较高,重排甾烷与4-甲基甾烷含量较低,与富林洼陷盐湖相沉积的沙四上亚段烃源岩有亲缘关系(图3A)。该类原油仅在东次洼内深部储层(Es<sup>4</sup>,Mz)零星分布,油气以近距离、垂向运移或自生自储为主。

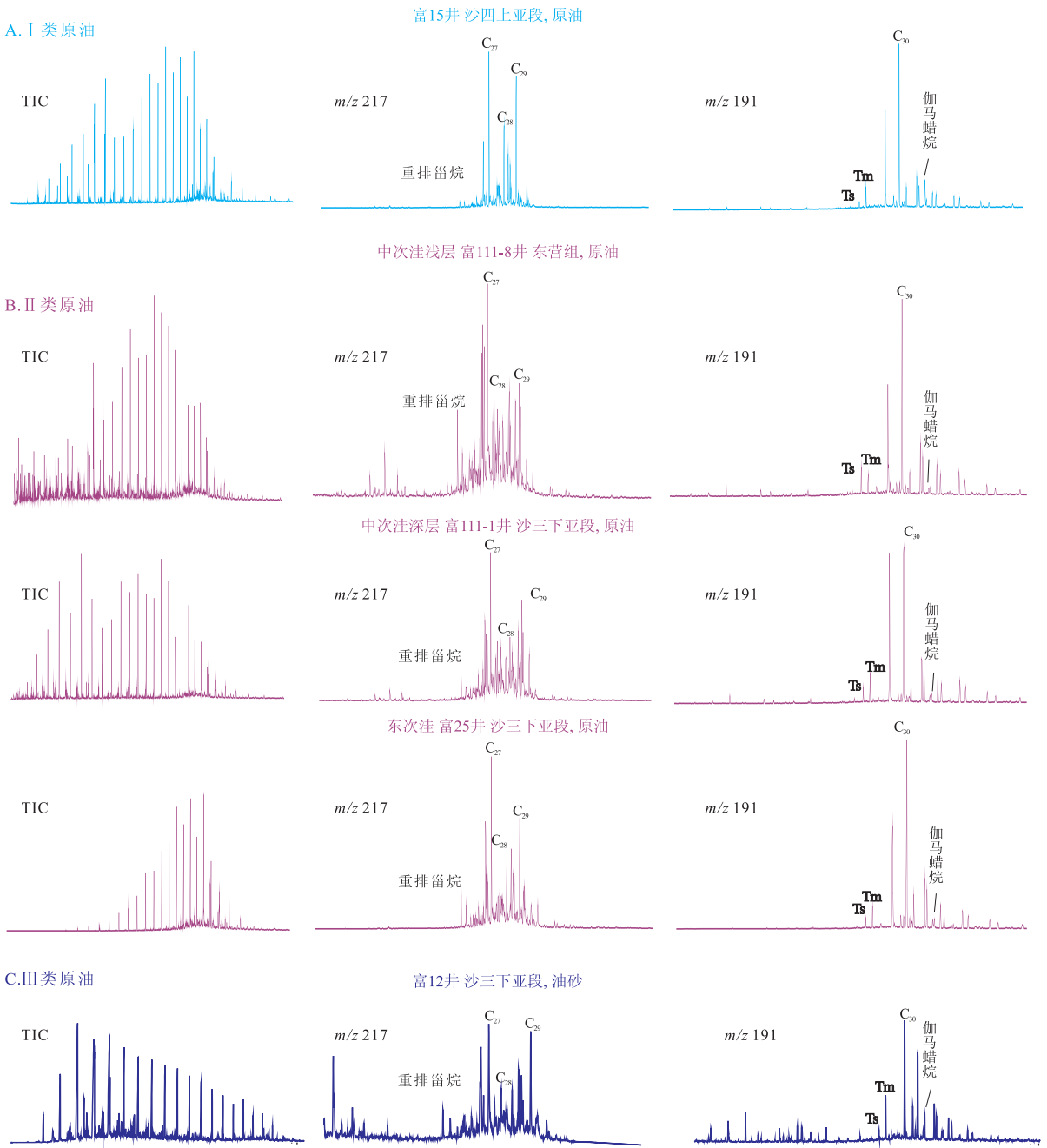


图3 渤海湾盆地富林洼陷三类原油萜烷和甾烷质量色谱  
 Fig. 3 Mass chromatogram of hopane ( $m/z$  191) and sterane ( $m/z$  217) of 3 types of crude oils from Fulin sub-Sag, Bohai Bay Basin

第 II 类原油具有如下几方面典型特点(图 3B):①大部分样品具有明显的姥鲛烷优势,反映了沉积环境以弱还原弱氧化为主;②伽马蜡烷含量低, $\gamma$ -蜡烷/ $C_{30}$  藿烷一般小于 0.2,说明了母源以淡水湖相沉积为主;③甾烷  $C_{27}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{29}$  的相对含量一般为  $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ ,少部分为  $C_{29} > C_{27} > C_{28}$ ,重排甾烷与 4-甲基甾烷含量一般较高;④萜烷质量色谱图上奥利烷的出现,也说明了陆源母质的混入。上述整体表现为沙三下亚段的特征,该类原油主要分布在中次洼—垦利断裂带附近,储层由浅至深均

有分布,但是不同储层间又存在明显差异,中次洼浅层原油成熟度与  $T_s/T_m$  比值依次高于中次洼深层与东次洼,体现出油源的差异。

为了进一步明确中次洼深浅层油气来源,本文将富林洼陷各次洼及孤南洼陷的沙三下亚段烃源岩特征进行了精细对比。从图 4 中可以看出,尽管整体上都反映淡水的沉积环境,但是也存在细微差异。其中富林西次洼沙三下亚段烃源岩成熟度较低,  $T_s/T_m$  值较高,中次洼沙三下亚段烃源岩成熟度较高,  $T_s/T_m$  值较低,东次洼沙三下亚段烃源岩成熟度

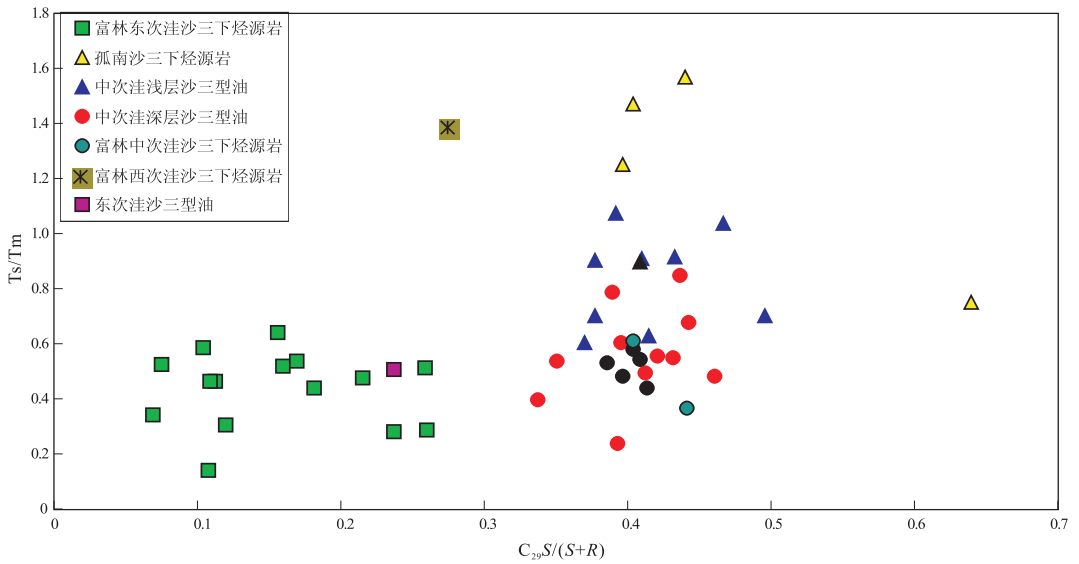


图4 渤海湾盆地富林洼陷各次洼沙三下亚段烃源岩特征对比

Fig.4 Features of source rocks from lower subsection of 3rd member of Shahejie Formation in Fulin sub-Sag, Bohai Bay Basin

较低,  $T_s/T_m$  值低; 孤南洼陷沙三下亚段烃源岩成熟度与  $T_s/T_m$  值均较高。由此可以推测, 富林洼陷中次洼浅层的沙三型原油应来自于孤南洼陷沙三下亚段烃源岩, 而中次洼深层的沙三型原油应来自于中次洼沙三下亚段烃源岩, 东次洼的沙三型原油主要来自东次洼本身的沙三下亚段烃源岩。

第Ⅲ类原油生标特征表现为成熟度较低,  $C_{28}$  甾烷含量丰富, 伽马蜡烷含量较高, 具有孤南洼陷沙一段烃源岩的特征。同时, 姥鲛烷相对植烷优势, 孕甾烷含量降低, 含有重排甾烷, 三环萜烷含量低,  $C_{33}$  升藿烷大于  $C_{34}$ ,  $C_{35}$  升藿烷, 随碳数增大丰度呈阶梯状下降的正常分布, 又具有了沙三段烃源岩的特征。从而可推断其油源为孤南洼陷沙一段与富林洼陷沙三下亚段烃源岩所形成的混源油 (图 3C)。该类原油仅在垦利断裂带附近的富 12 井的沙三下亚段储层中有所发现。

通过对比, 可以看出研究区目前发现的油藏多为近源成藏, 中次洼由于断裂比较发育, 油气依靠断层输导运移, 而东次洼油气以近距离、垂向运移为主。

### 3 油气分布规律及有利勘探方向

本区不但油气来源复杂, 油气分布规律也非常不均衡<sup>[16-17]</sup>。从平面上来看 (图 5), 中次洼显然是富林洼陷油气资源最丰富的区带。前期发现的富林洼陷及其周边油气藏几乎全部集中分布于中次洼生油中心陡侧、垦利断层两侧最有利的构造圈闭中和主力生油岩中的断层—岩性圈闭中, 油气以沙三段来源为主。而东次洼油气显示较少, 目前发现的油气主要来自于沙四段烃源岩, 以中生界储层

为主。可见, 东次洼油气富集程度明显受储层发育情况控制, 但东次洼断层发育, 垦东断裂带下降盘发育一定规模的扇体沉积, 应该具备形成中型断层—岩性隐蔽油藏带的储盖、圈闭条件。因此在富林洼陷东部地区进行断裂输导能力分析, 加强储层发育情况研究, 有望在沙三中亚段及其上部地层中发现油藏。

从纵向上来看, 由于有效烃源岩埋深浅、成熟度较低、生烃期晚、油气成藏期晚, 油气以近距离、垂向运移或自生自储为典型特征, 因此, 富林洼陷内油气主要集中在沙三下亚段烃源岩以下的储层。上部烃源岩埋深小, 为无效烃源岩, 主要生烃的部分在沙三段中下部和沙四段暗色泥岩, 而上部无效烃源岩成为区域性的盖层, 加之富林洼陷内断层的封闭性较好, 属洼陷内底部运聚、半封闭的成藏系统。所以,

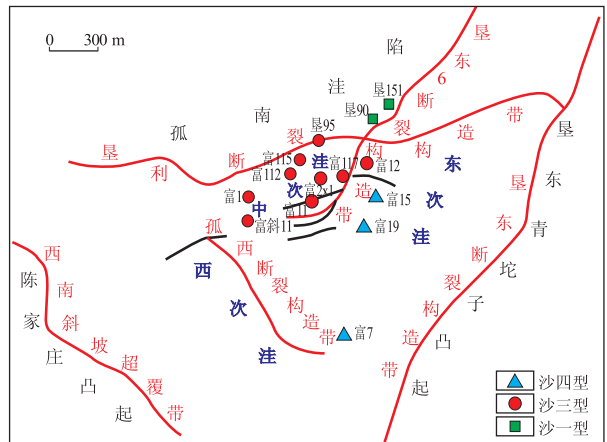


图5 渤海湾盆地富林洼陷油气来源及平面分布

Fig.5 Source and distribution of oil and gas in Fulin sub-Sag, Bohai Bay Basin

富林洼陷内的勘探方向集中在下部储集体。

### 4 结论

1) 孤南洼陷发育沙三下亚段与沙一段烃源岩,其中东次洼为富林地区主要供烃者,富林洼陷本身主要发育沙三下亚段、沙四上亚段 2 套主力烃源岩,但有效烃源岩分布面积小、埋藏浅,各次洼油源条件分布不均,中次洼是主要生油中心。

2) 富林地区原油划分为 3 种类型: I 类原油来源于东次洼沙四上亚段烃源岩, II 类原油来源于沙三下亚段烃源岩, III 类原油为混源油。

3) 受源储配置关系的控制,中次洼成为富林洼陷油气资源最丰富的区带,油气以沙三型原油为主,而东次洼油气显示较少,目前发现的油气主要来自于沙四上亚段烃源岩,以中生界储层为主,加强断层输导能力与储层发育的研究,有望取得更大的突破。

#### 参考文献:

[1] 乐大发,侯帅军. 济阳拗陷沾化凹陷富林洼陷成藏条件[J]. 石油与天然气地质,2008,29(4):433-443.

[2] 李胜利,于兴河,陈建阳,等. 沾化凹陷  $R_0$  分布规律影响有机质成熟度的因素[J]. 地质力学学报,2005,11(1):90-96.

[3] 朱之锦,宋志强,郭学民,等. 富林洼陷油气成藏条件与分布规律研究[J]. 西南石油学院学报,2002,24(5):7-10.

[4] 褚庆忠,张树林. 渤海湾盆地垦利断裂带构造与油气关系研

究[J]. 地球学报,2004,25(1):73-78.

[5] 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营:石油大学出版社,1992:133-134.

[6] 方旭庆,蒋有录,石砥石. 济阳拗陷沾化地区断裂特征及其与成藏要素和油气分布的关系[J]. 油气地质与采收率,2012,19(2):1-4.

[7] 高树新,任怀强,杨少春. 渤海湾盆地济阳拗陷陈家庄凸起东段北斜坡油源特征及成藏分析[J]. 石油实验地质,2007,29(1):68-73.

[8] 褚庆忠. 渤海湾盆地垦利断裂带油气成藏模式[J]. 新疆石油地质,2010,31(3):232-234.

[9] 褚庆忠,张雪勇,王长江. 断裂构造与油气运聚关系研究:以沾化凹陷垦利断裂带为例[J]. 河南石油,2003,17(1):9-14.

[10] 张林晔,张春荣. 低熟油生成机理及成油体系[M]. 北京:地质出版社,1999:93-110.

[11] 王志杰. 高青—平方王潜山带原油地化特征及油源分析[J]. 断块油气田,2012,19(3):289-293.

[12] 袁东山,张枝焕,曾艳涛,等. 沾化凹陷渤南洼陷沙四段烃源岩有机相[J]. 天然气地球科学,2006,17(1):125-132.

[13] 杜振川,刘红梅,魏魁生. 孤南富林洼陷层序分析与盆地演化[J]. 河北建筑科技学院学报,2001,18(1):66-68.

[14] 朱之锦,姜晓健,廖林. 富林洼陷油气运移研究[J]. 油气地质与采收率,2004,11(1):28-30.

[15] 朱光有,金强,丁浩,等. 济阳拗陷沾化断陷湖盆沙河街组生烃系统特征[J]. 天然气工业,2004,23(增刊):10-12.

[16] 王乐闻,刘四兵,王鹏,等. 沾化凹陷烃源岩地球化学特征分析[J]. 重庆科技学院学报:自然科学版,2011,13(6):26-28.

[17] 李胜利,于兴河,陈建阳,等. 渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷地层流体压力分布规律及其对油气成藏的影响[J]. 地质力学学报,2006,12(1):37-42.

(编辑 徐文明)

(上接第 150 页)

[10] 徐振中,陈世悦,王永诗. 渤海湾地区中生代构造活动与沉积作用[J]. 中国地质,2006,33(1):201-211.

[11] 张善文,隋凤贵,林会喜,等. 渤海湾盆地前古近系油气地质与远景评价[M]. 北京:地质出版社,2009:360-397.

[12] 范柏江,刘成林,庞雄奇,等. 南堡滩海油气成藏主控因素研究[J]. 断块油气田,2011,18(2):162-164.

[13] 陈洁,鹿坤,冯英,等. 东濮凹陷不同环境烃源岩评价及生排

烃特征研究[J]. 断块油气田,2012,19(01):35-38.

[14] 刚文哲,仵岳,高岗,等. 渤海湾盆地南堡凹陷烃源岩地球化学特征与地质意义[J]. 石油实验地质,2012,34(1):57-61.

[15] 李欣,闫伟鹏,崔周旗,等. 渤海湾盆地潜山油气藏勘探潜力与方向[J]. 石油实验地质,2012,34(2):140-144.

[16] 田世峰,高长海,查明. 渤海湾盆地冀中拗陷潜山内幕油气成藏特征[J]. 石油实验地质,2012,34(3):272-276.

(编辑 徐文明)