

文章编号:0253-9985(2010)03-0375-06

渤海海域新近系稠油油藏原油特征及形成机制

郭永华,周心怀,李建平,凌艳玺,杨俊敏

[中国海洋石油(中国)有限公司 天津分公司,天津 300452]

摘要:近10余年来,在渤海海域新近系发现了一系列大中型油气田及一批小型油气田和含油构造,累计各级石油地质储量达20多亿方。其中,绝大部分油田属稠油油田。研究表明:1)渤海地区稠油油藏的分布与其埋藏深度有明显的负相关关系,稠油油藏分布的深度下限约为2 000 m;2)渤海地区已发现稠油油藏原油的性质明显具有“三高两低”的特点,即高密度、高粘度、高沥青胶质含量、低凝固点和低气油比,地下原油粘度普遍在70~500 mPa·s范围,胶质含量是制约稠油粘度的关键因素;3)渤海地区新近系油藏均为下生上储型,原油主要来自生烃凹陷中的古近系沙河街组烃源岩,部分地区有古近系东营组三段烃源岩的贡献,断裂活动、晚期成藏、多期充注、微生物降解等特点突出;4)油藏内部近油源通道附近和油藏高部位是原油密度和粘度相对较低区域,与油藏后期的油气充注以及近油藏底部水体的氧化等综合作用有关。

关键词:原油胶质;断裂活动;生物降解;新近系;稠油;渤海海域

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Crude features and origins of the Neogene heavy oil reservoirs in the Bohai Bay

Guo Yonghua, Zhou Xinhui, Li Jiangping, Ling Yanxi and Yang Junmin

(Tianjin Branch Company of CNOOC, Tianjin, 300452, China)

Abstract: During the past 10 years, a number of oil/gas fields of various scale and oil/gas-bearing structures have been found in the Neogene of the Bohai Bay. The initial oil in place is as high as 2 billion cubic meters. Most of them are heavy oil fields. A detailed research of these fields gives the following conclusions. (1) The distribution of these heavy oil reservoirs is in apparent negative correlation with their burial depth. Their lower limit of occurrence is at about 2 000 m. (2) The crude samples from these reservoirs are high in density, viscosity (in-situ oil viscosity within 70–500 mPa·s) and bitumen-colloid content (a key factor controlling viscosity), but low in freezing point and gas oil ratio. (3) Oil was mainly generated by the source rocks of the Palaeogene Shahejie Formation in the hydrocarbon kitchen. In some areas, source rocks in the third member of the Palaeogene Dongying Formation also contributed some oil to the reservoirs. The generated oil migrated upwards to and accumulated in the reservoirs above the source rocks. These reservoirs feature in active faulting, late pooling, multiple-stage charging, and microbiological degradation. (4) Crude density and viscosity are relatively low at the top of these reservoirs and near the migration paths, a phenomenon closely related to late oil charging and oxidation of water bodies at the bottom of the reservoirs.

Keywords: crude colloid, faulting activity, microbiological degradation, Neogene, heavy oil, Bohai Bay

自20世纪90年代中期以来,先后在渤海海域地区新近系发现了秦皇岛32-6、蓬莱19-3等一系列大中型油气田及一批小型油气田和含油构造,累计发现各级石油地质储量达20多亿方。其中,绝大部分油田属稠油油田。稠油和稠油油田已成为较长一段时间以来渤海地区油气勘探与开

发的主旋律(图1)。因此,认真研究和掌握渤海海域这些已发现各类油气田(尤其是稠油油田)原油的特点与成因机制,是摸清渤海海域新近系稠油油田油气的成藏特征以及油气藏中稠油的分布规律,进而做好渤海地区油气勘探、开发的关键问题之一^[1~7]。

收稿日期:2010-03-31。

第一作者简介:郭永华(1965—),男,硕士、高级地质师,油气勘探地质与油气地球化学。

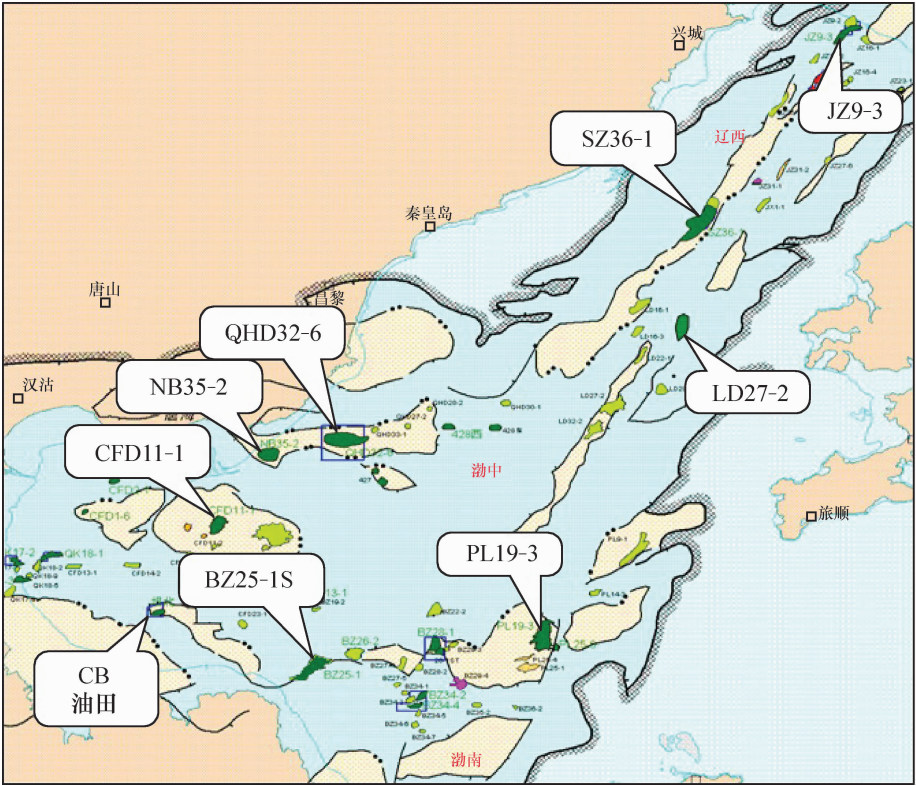


图 1 渤海地区主要稠油油田分布示意图

Fig. 1 Distribution of heavy oil fields in the Bohai Bay

1 渤海海域稠油油田原油基本特征

1) 渤海海域稠油油藏的分布与其埋藏深度有明显的负相关关系。

通过渤海海域众多油田 500 多个原油样品的统计分析发现,原油密度与其埋藏深度在总体趋势上呈现明显的负相关关系。也即油藏埋藏愈浅,油藏原油总体表现相对偏重、偏稠,轻质油气出现的概率愈低。从渤海海域已发现稠油油藏的分布来看,渤海海域稠油油藏分布的深度下限约为 2 000 m,一般浅于 1 800 m。渤海海域埋深小于 2 000 m 的稠油油藏占新近系已发现油藏的 95% 以上,而埋深大于 2 000 m 则基本上无稠油油藏存在(图 2)。

2) 渤海地区新近系稠油明显具有“三高两低”的特点。

渤海地区古近系稠油明显具有“三高两低”的特点,即原油密度高($0.94 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$)、地下原油粘度高($70 \sim 500 \text{ mPa} \cdot \text{s}$)、沥青胶质含量高($30\% \sim 50\%$)、凝固点低(-20°C)和气油比低

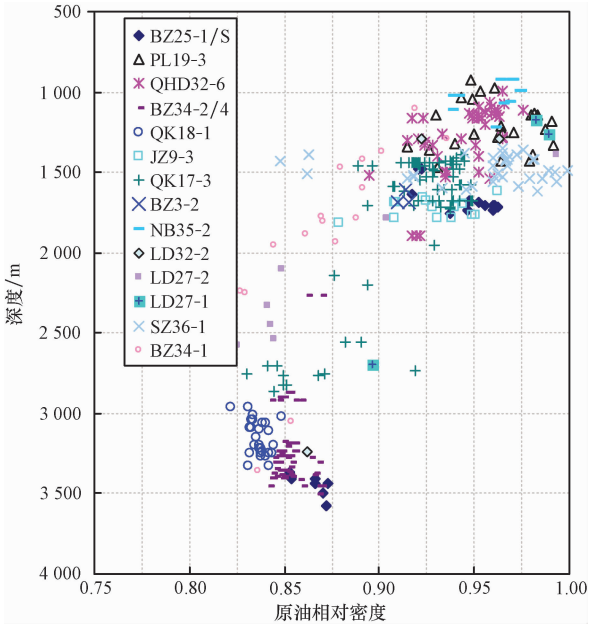


图 2 渤海地区原油密度与油藏埋深的关系

Fig. 2 Relationship between crude oil density and reservoir burial depth in the Bohai Bay

($20 \sim 40 \text{ m}^3/\text{m}^3$)。稠油中较高的胶质、沥青质含量,尤其是胶质含量的显著增加(表 1;图 3),已成

表1 南堡35-2油田原油物性数据(部分)

Table 1 Incomplete statistics of the physical properties of crude oil samples from Nanpu 35-2 oilfield

井号	取样日期	取样井段/m	层位 油组	密度 (20℃)/ (g·cm ⁻³)	相对 密度/ °API	粘度 (50℃)/ (mPa·s)	含硫 量,%	含蜡 量,%	胶质含 量,%	沥青质 含量,%	凝固 点/℃	初馏 点/℃
NB35-2-X	1996-6-29	1 025.5~1 054.0	Nm ^下 (I)	0.938 9	18.67	196.0	0	4.42	30.85	5.81	-21	189
NB35-2-X	1996-7-3	1 025.5~1 054.0	Nm ^下 (I)	0.942 4	18.11	284.0	0	6.37	32.08	6.36	-15	235
NB35-2-X	1996-6-25	1 109.0~1 142.0	Nm ^下 (II)	0.939 0	18.65	196.0	0	5.11	31.57	5.93	-20	174
NB35-2-Y	1997-2-16	930.0~940.0	Nm ^下	0.970 1	13.87	2 645.0	0.432	8.10	39.30	6.20	4	284
NB35-2-Y	1997-2-18	930.0~940.0	Nm ^下	0.970 7	13.78	2 501.0	0.431	6.20	38.50	6.40	4	281
NB35-2-Y	1997-2-12	990.0~994.0	Nm ^下	0.9740	13.29	3 260.0	0.476	5.50	39.70	6.90	6	279
NB35-2-Y	1997-2-3	990.0~999.5	Nm ^下	0.974 5	13.22	3 381.0	0.508	4.50	40.80	6.30	8	299
NB35-2-Y	1997-1-30	1 067.0~1 076.0	Nm ^下 (I)	0.969 4	13.97	2 145.0	0.375	6.20	38.20	6.10	4	287
NB35-2-Z	1998-6-17	1 223.0	Nm ^下 (III)	0.961 7	15.13	957.6	0.287	3.60	39.80	2.90	-12	241
NB35-2-Z	1998-7-18	929.0~995.0	Nm ^下	0.964 4	14.73	1 789.0	0.310	2.50	43.10	7.20	2	275
NB35-2-Z	1998-7-8	1 069.0~1 080.0	Nm ^下 (I)	0.965 8	14.51	2 010.0	0.311	2.40	43.50	6.60	3	250

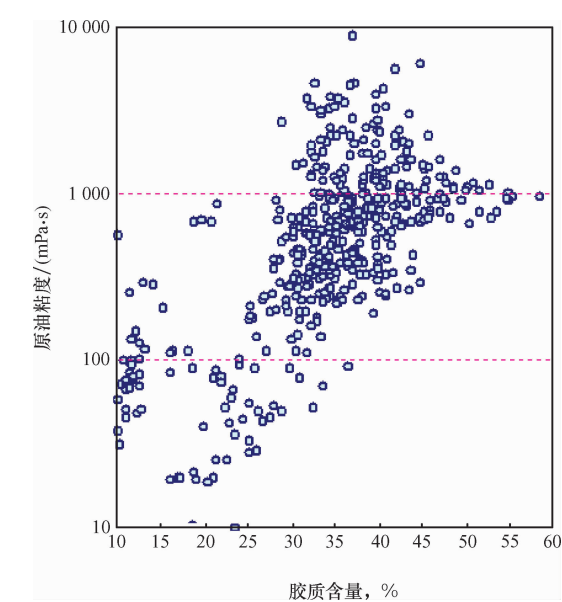


图3 渤海地区稠油胶质含量与密度的关系

Fig. 3 Relationship between colloid content and density of heavy oil in the Bohai Bay

为影响原油性质、制约稠油流动性的重要因素,也应是稠油降粘研究重点关注的课题之一。

3) 渤海地区新近系稠油油藏均为下生上储型。

渤海海域主要的烃源岩为古近系沙河街组 and 东营组下段地层。油源对比结果表明,目前渤

海海域已发现的新近系油藏原油主要来自生烃凹陷中的古近系沙河街组烃源岩;原油的生物标志化合物分布以 $\alpha\alpha\alpha-R-C_{27}$ 甾烷优势为主,中等4-甲基- C_{30} 甾烷、 C_{30} 甲藻甾烷及重排甾烷含量,以及中等-较高的 γ -蜡烷含量;原油甾烷 $C_{29}\alpha\alpha S/(S+R)$ 比值普遍大于0.4,成熟原油总体特征明显(图4a,图5)^[1]。部分地区有东营组下段烃源岩的贡献;生物标志化合物分布表现为 C_{27} 甾烷优势或与 C_{29} 甾烷均势,较低的4-甲基- C_{30} 甾烷、 C_{30} 甲藻甾烷和 γ -蜡烷含量;原油多为低熟原油(图4b,图5)。

4) 渤海地区稠油油藏分为高凸起型和低凸起型两大类。

从稠油油藏的分布与成藏因素来讲,渤海地区稠油油藏又大致可分为高凸起型和低凸起型两大类。油藏埋藏浅、油田范围内断裂活动性较强是它们的共性(图6)。

高凸起型稠油油藏泛指位于盆地高凸起区的油藏和凹陷中具有一定构造背景的新近系稠油油藏。因这类油藏主要发育在(高)凸起区或埋深很浅,故称之为高凸起型。这类油藏的共性是成藏较晚,盖层为新近系地层,但上覆地层泥岩封盖条件相对较差,断裂活动较强。这类稠油油藏是渤海地区新近系的主力油藏,如秦皇岛36-2、蓬莱19-3、蓬莱9-1、旅大27-2油田等^[1]。

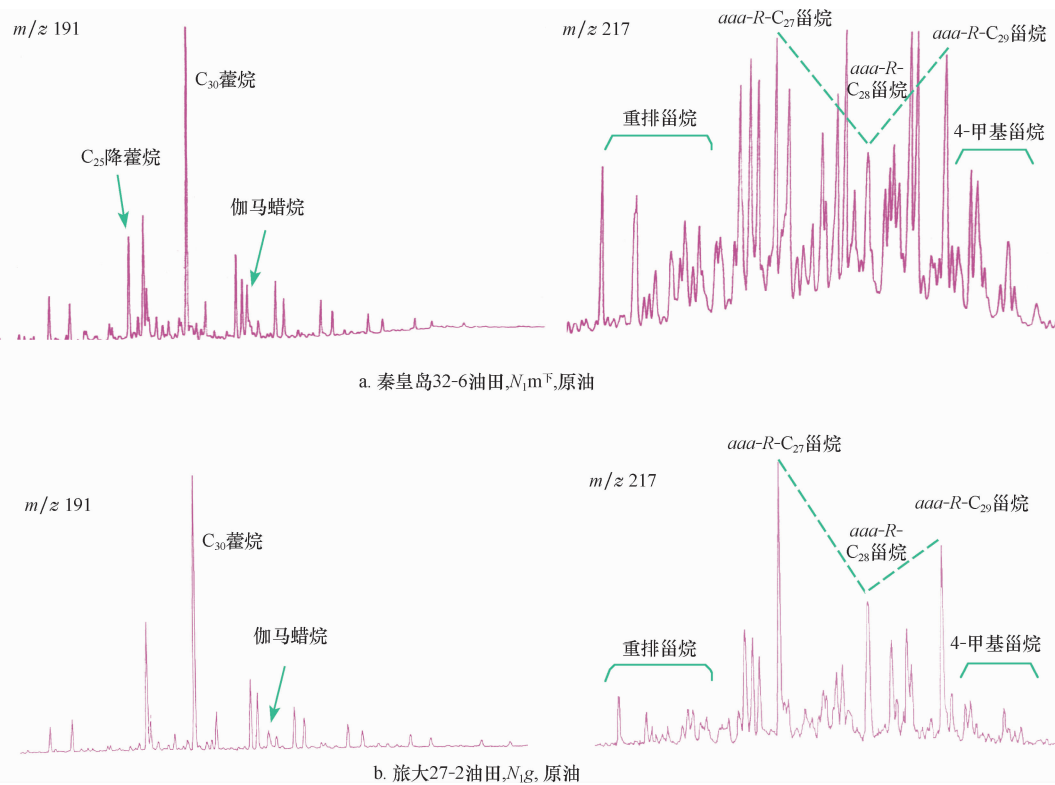


图 4 渤海海域新近系原油生物标志物甾烷、藿烷特征谱图

Fig. 4 Spectrograms showing the biomarkers such as sterane and hopane in the Neogene crude samples from the Bohai Bay

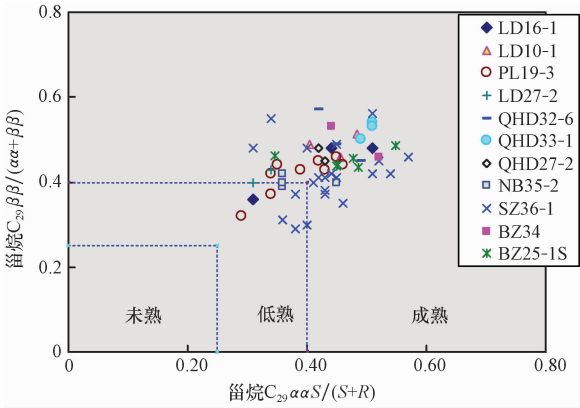


图 5 渤海海域新近系原油成熟度分析

Fig. 5 Analysis on the Neogene crude maturity in the Bohai Bay

低凸起型稠油油藏是指发育在凸起背景上的古近系稠油油藏,这类油藏的共同特点是储集层多数为古近系地层,盖层为古近系加新近系地层,但长期处于浅埋状态。凸起的背景和断裂活动既是它们成藏的重要因素,也是这类油藏原油变稠的主要原因。渤海的埕北油田、锦州 9-3 油田、绥中 36-1 油田等即为此类油藏。

2 渤海海域新近系油藏稠油成因分析

1) 强烈的断裂活动与微生物降解是渤海海域新近系稠油油藏形成的主要原因。

众所周知,渤海湾盆地是断陷盆地,断裂活动性强,断层发育是盆地的基本特色。尤其是新近纪末期至第四纪以来,强烈的新构造运动控制了渤海湾盆地油气的再分配以及新近系油气的成藏。其中,断裂及其活动是形成新近系油气藏的主要通道和动力,也是导致油藏圈闭开启、轻质油气大量散失、地表和地层水的渗流活动使原油遭受不同程度的降解和改造以致油质变稠的主要原因(图 7)。原油化学组成的典型变化是含蜡量降低,正构烷烃损失明显或消失,酸值升高,及 C₂₅降藿烷含量从无到有、由低至高(图 8)。所含烃类气体多以原油生物降解成因的甲烷为主,CH₄ 含量大于 95%^[8~15]。

2) 活跃的边(底)水是油藏中原油非均质和稠化的另一重要因素。

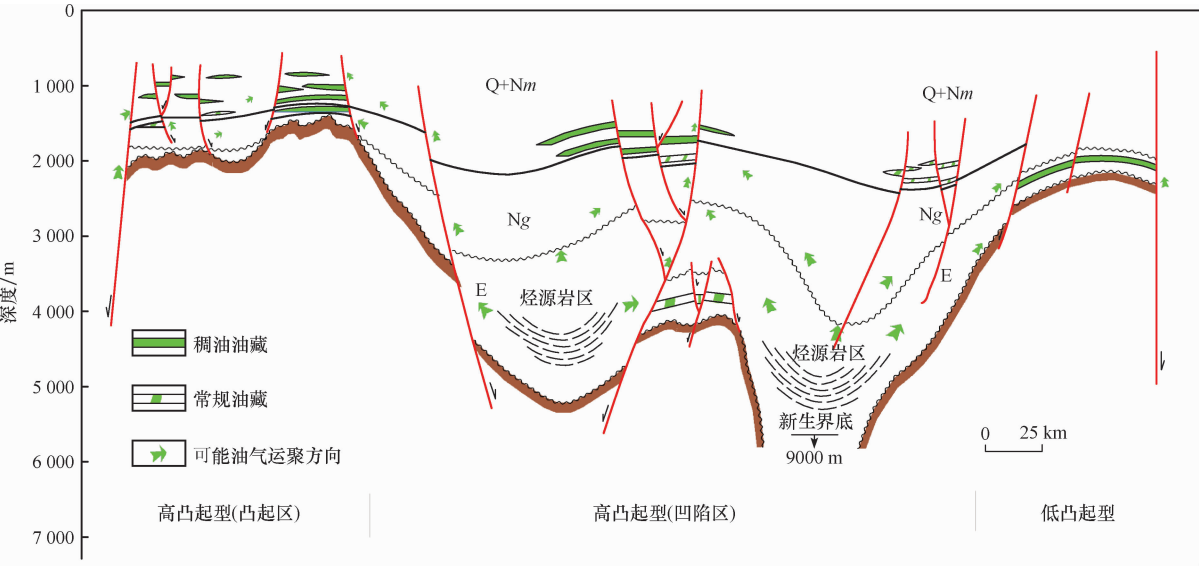


图6 渤海地区稠油油藏分布与成藏分类模式

Fig. 6 Distribution and classification of heavy oil reservoirs in the Bohai Bay

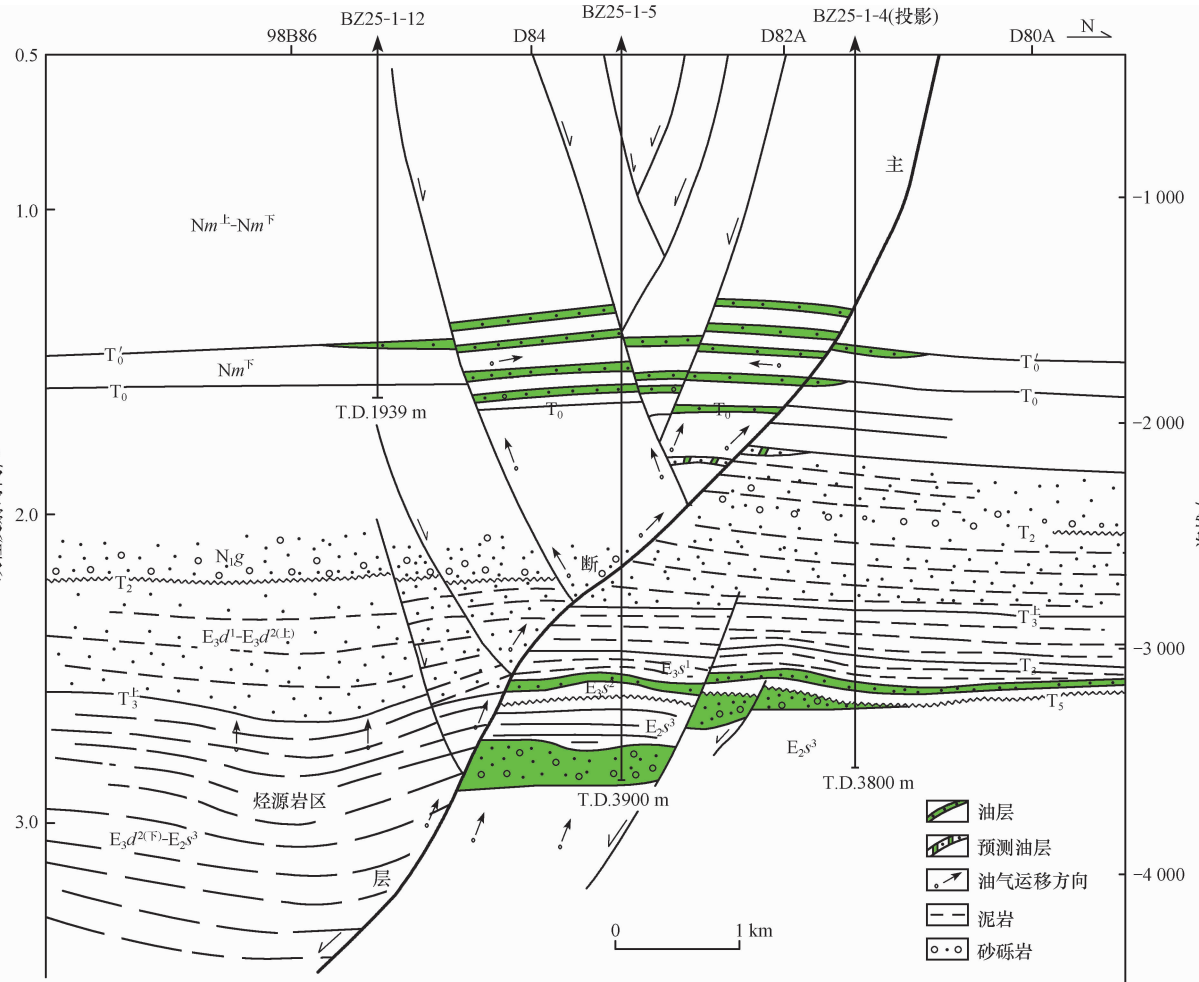


图7 渤中25-1南油田油气成藏模式

Fig. 7 Hydrocarbon pooling model for Bozhong-25-1-Nan oilfield

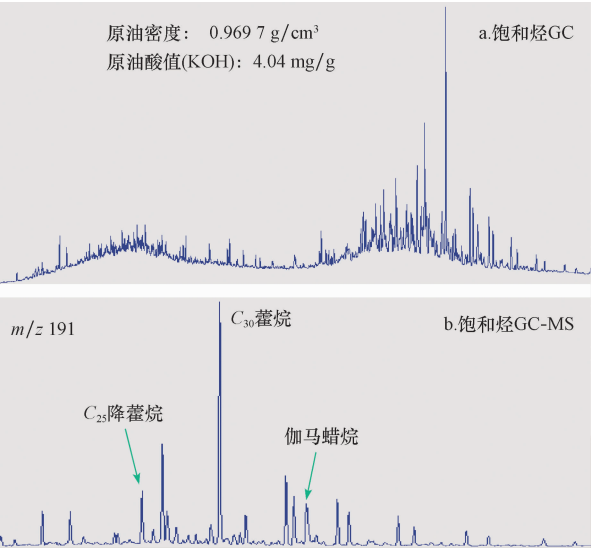


图 8 渤海海域新近系典型稠油化学特征
Fig. 8 Chemical behaviors of typical heavy oil
in the Neogene of the Bohai Bay

SZ36-1 油田地层原油粘度等值线图通常情况下,同一油藏高部位原油的品质要高于低部位或边部,近底水稠油油藏原油微生物降解程度也明显高于油藏的高部位。一方面,这是油藏内部原油重力分异作用的影响;另一方面,活跃底水对油气的溶解、氧化以及微生物的富集则是加速油藏边部原油稠化的主要原因^[1,9,10]。油藏形成的时间愈早,油藏边部稠化现象也就愈明显。如渤海地区的绥中 36-1 油田,位置较低的边部原油

地层粘度可以是高部位原油地层粘度的几十倍,甚至上百倍(图 9)。

另外,在稠油油藏内部油源通道附近,由于新鲜油气的不断充注补给,原油的密度和粘度相对偏低,原油品质偏好。

3 结论

1) 渤海地区稠油油藏的分布与其埋藏深度有明显的负相关关系。稠油油藏分布的深度下限约为 2 000 m。

2) 渤海地区已发现稠油油藏原油的性质明显具有“三高两低”的特点,即高密度、高粘度、高沥青胶质含量、低凝固点和低气油比。地下原油粘度普遍在 70 ~ 500 mPa · s 范围,胶质含量是制约稠油粘度的关键因素。

3) 渤海地区新近系稠油油藏均为下生上储型。原油主要来自生烃凹陷中的古近系沙河街组烃源岩,原油伽马蜡烷和 4-甲基甾烷含量较高,成熟度较高;部分地区有古近系东营组三段烃源岩的贡献,原油伽马蜡烷和 4-甲基甾烷含量较低,成熟度偏低。

4) 按稠油油藏的成藏与分布特征又可分为高凸起型(凸起区和凹陷区)和低凸起型两类。其中,高凸起型稠油油藏泛指位于盆地高凸起区的油藏和凹陷中具有一定构造背景的新近系稠油油藏,这类油藏是渤海地区的主力稠油油藏。

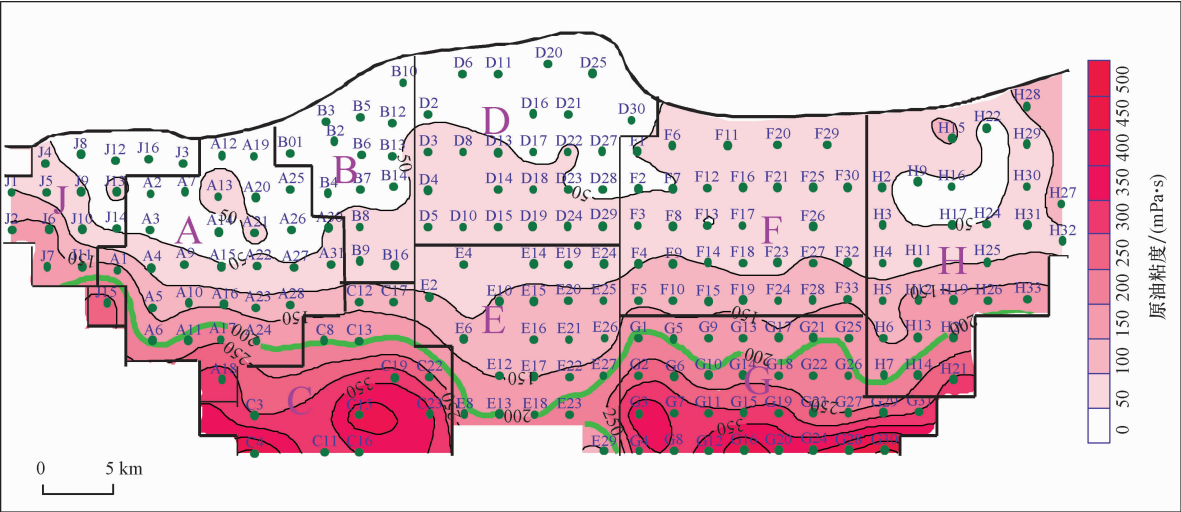


图 9 绥中 36-1 油田地层原油粘度等值线(据张迎春,2003)
Fig. 9 Contour of in-situ crude viscosity in Suizhong-36-1 oilfield

势,已测算的圈闭资源量近 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在长岭牧场上倾方向发育有系列火山岩岩性圈闭,其营城组火山岩岩性圈闭面积大,其中的褚家窑营城组火山岩岩性圈闭面积达 50 km^2 ,测算的圈闭资源量近 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。说明天然气勘探前景大,但目前尚未突破工业气流关,还需进一步研究和勘探。

参 考 文 献

1 罗静兰,林潼,杨知盛,等. 松辽盆地升平气田营城组火山岩相及其储集性能控制因素分析[J]. 石油与天然气地质,2008,29(6):748~757

2 谢晓安,周卓明. 松辽盆地深层天然气勘探实践与勘探领域[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):113~119

3 王云龙,金光植,李中英,等. 松辽盆地南部深层油气聚集带特征及成藏规律[J],大庆石油地质与开发,2004,23(4):5~6

4 赵志魁,赵占银,曹跃,等. 吉林探区深层天然气勘探前景[J].

中国石油勘探,2003,8(3):6~12

5 李晶秋,苗宏伟 李立立,等. 松辽盆地南部长岭断陷深层碎屑岩天然气成藏特征及主控因素[J]. 中国石油勘探,2009,4(8):34~39

6 米敬奎,张水昌,王晓梅,等. 松辽盆地高含 CO_2 气藏储层包裹体气体的地球化学特征[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):68~73

7 王颖,李锡瑞,曹跃,等. 松辽盆地南部长岭断陷二氧化碳成藏期次[J]. 中国石油勘探,2009,4(8):34~39

8 徐颖新,尚华,李秀珍,等. 火山岩地震解释技术在松辽盆地长岭断陷深层天然气勘探中的应用[J]. 石油地球物理勘探,2008,43(增刊1):63~69

9 鲁雪松,王兆宏,魏立春,等. 松辽盆地二氧化碳成因判识与分布规律[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):97~101

10 陈波,黄发木,夏永涛,等. 松辽盆地深层断陷发育特征与油气富集[J]. 石油与天然气地质,2008,29(4):428~432

(编辑 高 岩)

(上接第 380 页)

5) 强烈的断裂活动与微生物降解是渤海海域新近系稠油油藏形成的主要原因。油藏内部油源通道附近和油藏高部位原油密度和粘度相对较低,油藏低部位和靠近油水界面的原油质偏重,这种现象与油藏后期的油气充注以及近油藏底部水体的氧化等综合作用有关。

参 考 文 献

1 王启军,陈建渝. 油气地球化学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1987. 220~225

2 菲尔谱 R P. 化石燃料生物标志物[M]. 北京:科学出版社,1987. 178~187

3 陈建渝,李永福,毕研鹏,等. 垦西地区稠油分布及成因浅析[J]. 复式油气田,1998,(2):28~33

4 林青,郭永华. QHD32-6-3 井明化镇组原油非均质性及其石油地质意义[J]. 中国海上油气,2004,16(6):365~368

5 沈扬,李茂榕. 准噶尔盆地车排子凸起稀、稠油反序分布成因探讨[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):66~71

6 李素梅,庞雄奇,高先志,等. 辽河西部凹陷稠油成因机制[J]. 中国科学(D辑:地球科学),2008,38(增刊I):138~149

7 朱芳冰,肖伶俐,唐小云. 辽河盆地西部凹陷稠油成因类型及

其油源分析[J]. 地质科技情报,2004,23(4):55~58

8 胡守志,张冬梅,唐静,等. 稠油成因研究综述[J]. 地质科技情报,2009,28(2):94~97

9 徐志明,姜平. 原油水洗作用与高凝固点原油的成因探讨[J]. 地球化学,2000,29(6):556~561

10 李春光. 东营凹陷稠油油藏成因机制探讨[J]. 特种油气藏,1996,3(1):1~5

11 马安来,张水昌,张大江,等. 生物降解原油地球化学研究新进展[J]. 地球科学进展,2005,20(4):449~454

12 倪春华,包建平,王鹏辉,等. 生物降解原油的油源对比研究新进展[J]. 新疆石油地质,2005,26(6):711~714

13 王万春,李钜源,唐洪三,等. 济阳坳陷孤岛油田微生物降解原油伴生气成因特征[J]. 石油与天然气地质,2007,28(3):427~432

14 谈玉明,冯建辉,张云献,等. 白音查干凹陷达尔其油田原油的分类与生物降解作用[J]. 石油与天然气地质,2004,25(4):437~443

15 Connan J. Biodegradation of crude oils in reservoirs [A]. In: Brooks J, Welte D, eds. Advances in petroleum geochemistry[M]. London: Academic Press, 1984. 299~335

(编辑 李 军)