

文章编号:0253-9985(2011)05-0642-09

辽河滩海地区原油地球化学特征及成因类型

杨伟伟¹, 柳广弟¹, 王延山², 高岗¹, 冯渊³

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油 辽河油田勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010; 3. 中国石油 长庆油田分公司, 陕西 西安 710021)

摘要:辽河滩海地区为辽河油田油气生产的重要后备接替区, 该区原油包括正常油、稠油和超稠油。稠油和超稠油主要分布于浅层, 与生物降解、氧化作用有关。根据原油的沉积环境、母质类型和成熟度特征, 将原油划分为4类: I类为伽马蜡烷含量相对较高、姥/植比相对较低和“V”字形规则甾烷分布的成熟原油, 分布在笔架岭油田和月海油田中浅层; II类成熟度偏高, 低伽马蜡烷和“L”形规则甾烷分布, 分布于月海油田相对深层的沙街组三段; III类具有高三环萜烷、高伽马蜡烷和“L”形规则甾烷分布的特征, 为海南11和葵花16东营组三段原油, 处于滩海东部生烃凹陷两侧; IV类以较低成熟度、低伽马蜡烷和高姥/植比区别于前3类原油, 分布在葵花岛油田东营组。4种成因类型的原油指示辽河滩海地区存在多套有效烃源岩, 月海油田深层和滩海东部葵花岛油田东营组仍具有广阔的勘探前景。

关键词:原油成因类型; 生物标志物; 成熟度; 辽河滩海

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Geochemical behaviors and genetic types of crude oil in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfield

Yang Weiwei¹, Liu Guangdi¹, Wang Yanshan², Gao Gang¹ and Feng Yuan³(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Liaohe Oilfield Company, Panjin, Liaoning 124010, China;
3. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710021)

Abstract: Tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfield are important regions for production replacement. The crude oil types in the study area includes normal oil, heavy oil and super-heavy oil, of which the later two are mostly distributed in the shallow layers and are related to biodegradation and oxidation. According to sedimentary environment, organic matter types and maturity, the crude oils are grouped into 4 types. Type I is mature oil with relatively high content of gammacerane, low Pr/Ph and ‘V’ normal sterane, and occurs in the middle to shallow reservoirs of Bijialing and Yuehai oilfields; Type II is high mature oil with low content of gammacerane and ‘L’ normal sterane, and occurs in the relatively deep third member of Shahejie Fm in Yuehai oilfield; Type III features in high contents of tricyclic terpane, and gammacerane and ‘L’ normal sterane, and occurs in the 3rd member of Dongying Fm of Hainan-11 and Kuihua-16 oilfields on both sides of the hydrocarbon kitchen; Type IV is relatively low mature oil with low content of gammacerane but high Pr/Ph, and occurs in the Dongying Fm of Kuihuadao oilfield. The four genetic types of crude oil indicate that there are several favorable source rocks developed in the tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfield, and the deep layer of Yuehai oilfield and the Dongying Fm of Kuihuadao oilfield still have great petroleum potential.

Key words: genetic type of crude oil, biomarker, maturity, tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfield

收稿日期: 2010-09-17; 修订日期: 2011-08-20。

第一作者简介: 杨伟伟(1985—), 女, 博士研究生, 油气成藏。

1 石油地质概况

辽河滩海地区处于辽东湾北部,西起辽宁省西部葫芦岛,东至辽宁省营口市鲅鱼圈连线以北,海图水深 5 m 以内的范围^[1-3](图 1)。由陆滩、海滩、潮间带和极浅海 4 部分组成,矿权登记面积为 3 475 km²。经过十几年的勘探,辽河滩海地区已发现太古宇、古生界、中生界、古近系沙河街组四段(E_2s^4)、沙河街组三段(E_2s^3)、沙河街组二段(E_3s^2)、沙河街组一段(E_3s^1)、东营组三段(E_3d^3)、东营组二段(E_3d^2)、东营组一段(E_3d^1)和新近系馆陶组(Ng)等 11 套含油气层系,以及太阳岛、葵花岛、笔架岭和月海 4 个油气田^[2]。前人对该区油气进行了大量研究,但主要涉及到油气成藏条件及其控制因素^[1-13],明显缺乏对原油地球化学

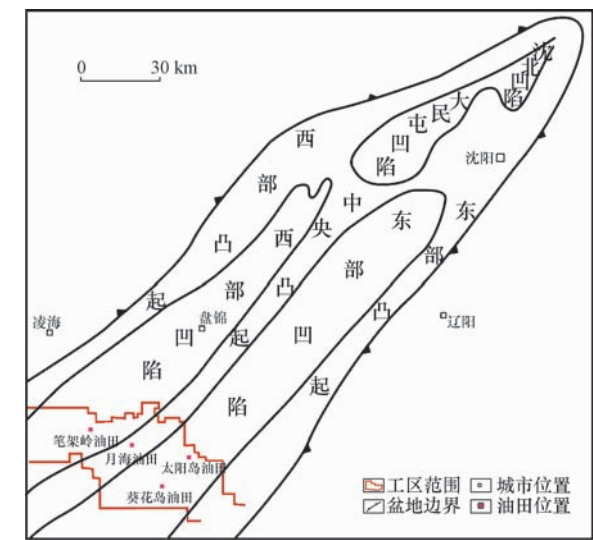


图 1 辽河滩海地区构造位置与油田分布
Fig. 1 Map showing tectonic zonation and oilfield distribution in tidal zone and shallow water area of Liahe oilfields

特征及成因类型的认识,还不能满足油气精细勘探挖潜的需要。本文在研究原油地球化学特征的基础上,按照生源、母质沉积环境和成熟度对该区原油成因类型进行了划分,从而为有效烃源岩的预测,尤其是盆地中心无井区烃源岩的确认和油气运移与成藏机理的研究提供有机地球化学依据。

2 样品与实验

研究共采集 19 个原油和 4 个油砂样品,主要分布于笔架岭(4 个)、月海(9 个)和葵花岛油气田(10 个),这些样品几乎遍布各含油层系(Ng, Ed, Es, Mz, Pt)(表 1)。此外,收集原油密度、粘度与族组成资料,便于研究原油宏观地球化学特征。

实验流程:首先采用超声冷泡方法将油砂样品进行分离,再用二氯甲烷与甲醇(93:7)混合溶液抽提 72 h,然后将原油样品与油砂抽提物沉淀沥青质,可溶部分用氧化铝/硅胶柱层析进行族组分分离,最后分别用石油醚、二氯甲烷和甲醇来洗脱饱和烃、芳烃和非烃组分。采用美国 Thermo 公司生产的 Finnigan Trace-DSQ 气相色谱质谱联用仪,完成对原油和油砂抽提物的饱和烃色谱-质谱(GC-MS)分析。条件:采用 HP-5MS 弹性石英毛细管柱(长 60 m,内径 0.25 mm),载气为氦气。升温程序:初温 50℃ 持续 1 min;以 20℃/min 升温至 120℃;以 4℃/min 升至 250℃;再以 3℃/min 升至 310℃ 保持 30 min。质谱电离能量 70 eV。

3 原油地球化学特征

3.1 宏观特征

辽河滩海地区原油物性差异较大,包括正常油、稠油和超稠油,原油密度在 0.797 0 ~ 1.041 5 g/cm³之间,粘度在 1.5 ~ 59 070.0 mPa · s

表 1 辽河滩海地区样品采集与产层分布
Table 1 Map showing sampling locations and pay zone distribution in tidal zone and shallow water area of Liahe oilfields

采样地	样品类型	产层	样品数/个	采样井号
笔架岭油田	原油	E_3d^3, E_3s^1	4	架 13-2、架 4-1、架 5-4、辽海 4-1-1
	油砂	E_3d^1, E_3d^2	2	月东 6、月东 8
月海油田	原油	Ng, E_3d^3, E_2s^3, Mz	7	月东 301、月东 603、辽海 10-1-1、海南 11、海南 1、仙鹤 4
	油砂	E_3d^1, E_3d^2	2	月东 6、月东 8
葵花岛油田	原油	E_3d^2, E_3d^3, Pt	8	葵东 1、葵东 103、葵花 7、葵花 9、葵花 16、燕南 3、辽海 18-1-1
	油砂	E_3d^2	2	葵东 101

之间。原油物性在平面上和纵向上的分布都有一定的规律性,总体上表现为由深到浅、由凹陷中心向边缘,原油密度和粘度逐渐增大。根据原油的密度和粘度特征可以将研究区原油大致分为两个族群(图 2,图 3)。第一类,原油密度大于 $0.930\ 0\ \text{g}/\text{cm}^3$,粘度大于 $50\ \text{mPa}\cdot\text{s}$,属于稠油和超稠油。主要分布在葵花岛和月海油气田的浅层,垂向上埋深一般小于 $1\ 800\ \text{m}$,只有月海油田

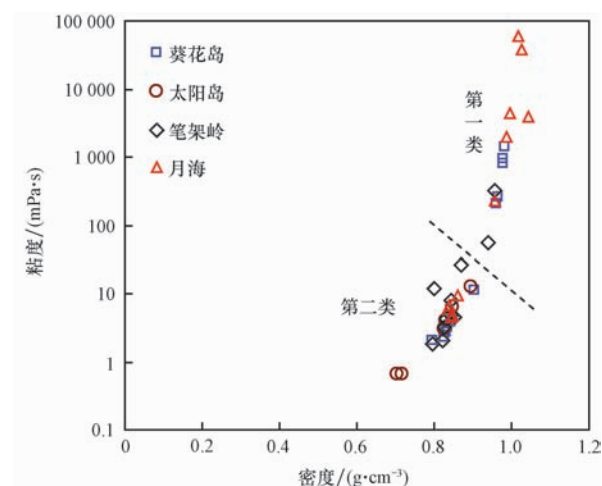


图 2 辽河滩海地区原油密度-粘度相关图

Fig. 2 Crude oil density vs. viscosity in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfields

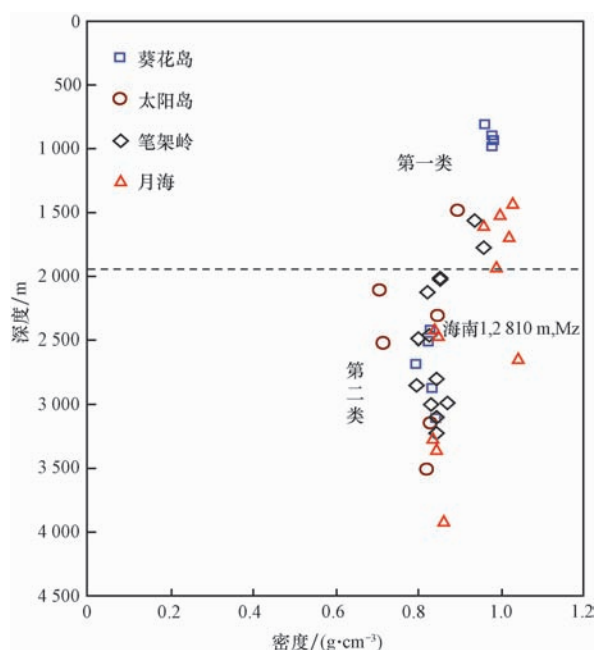


图 3 辽河滩海地区原油密度-深度相关图

Fig. 3 Crude oil density vs. depth in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfields

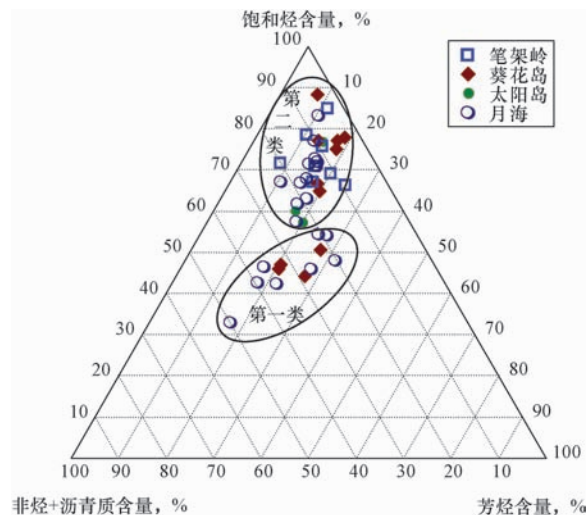


图 4 辽河滩海地区原油族组成特征

Fig. 4 Ternary plot showing group compositions of crude oil in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfields

的海南 1 井稠油在深于 $2\ 800\ \text{m}$ 的地层中(图 2); 第二类,原油密度小于 $0.930\ 0\ \text{g}/\text{cm}^3$,粘度小于 $50\ \text{mPa}\cdot\text{s}$,属于正常原油,在辽河滩海地区各油田均有分布,垂向上埋深一般大于 $1\ 800\ \text{m}$ (图 2,图 3)。

从原油的族组成特征分布图(图 4)亦可以明显地将辽河滩海地区原油划分为两个族群:第一类,表现为饱和烃含量低(饱和烃含量大都低于 55% ,最低为 30%),芳香烃、非烃和沥青质含量高的特点,主要分布在月海油田和葵花岛油田的浅层;第二类,表现为饱和烃含量相对较高(饱和烃含量大都高于 60% ,最高达 90%),芳香烃、非烃和沥青质含量低的原油,在辽河滩海地区各油田均有分布,埋深一般大于 $1\ 800\ \text{m}$ 。

原油族组成特征与物性特征具有很好的一致性,即原油的饱和烃含量愈低,芳香烃、非烃和沥青质含量愈高,原油的密度和粘度愈大,对应于稠油和超稠油,主要分布于中央低凸起构造带上的月海油田和滩海东部凸起构造带上的葵花岛油田的浅层(浅于 $1\ 800\ \text{m}$),主要与油气藏保存条件较差和次生改造作用有关。

3.2 烃类组成与分布特征

在原油饱和烃气相色谱图(图 5)中,除了生物降解油外,辽河滩海地区原油饱和烃分布既有“单峰”型,也有“双峰”型。同时,由原油饱和烃色谱图(图 5)可以清楚地看到,原油遭受生物降

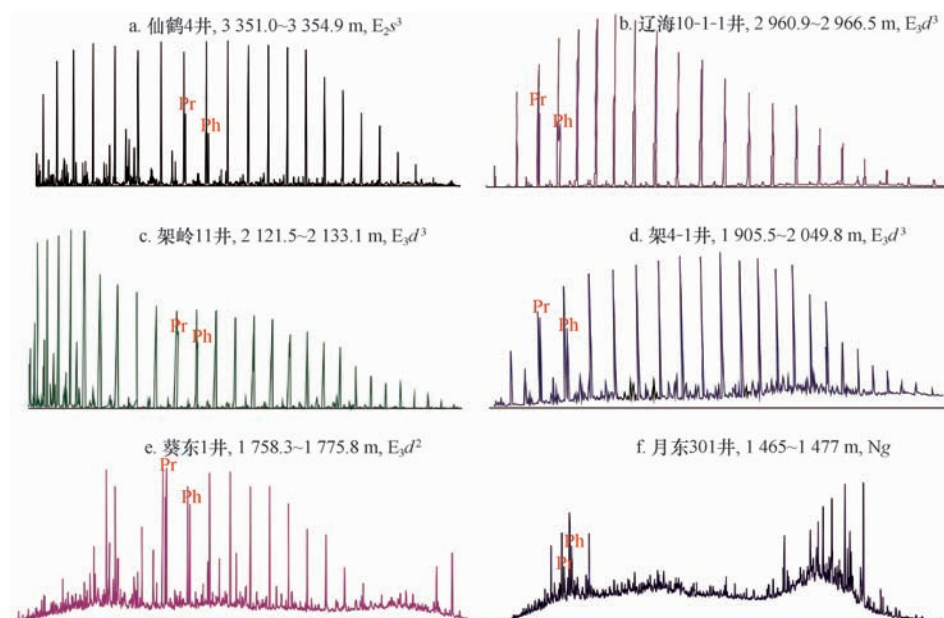


图5 辽河滩海地区原油饱和烃色谱

Fig. 5 The chromatogram of saturated hydrocarbons from crude oil in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfields

解的程度随深度变浅而逐渐加深,从正构烷烃的少量损失,异戊间二烯烷烃相对含量变大,直至正构烷烃和异戊间二烯烷烃逐渐消失,只保留甾、萜类化合物,甚至甾、萜类化合物也受到影响。深层正构烷烃系列完整的原油对应于正常原油,而浅层正构烷烃降解型原油属于稠油和超稠油,表明浅部原油由于保存条件差、微生物活动比较活跃,原油受到了微生物降解作用的影响。

原油 Pr/Ph 值分布范围在 1.29 ~ 2.71 之间(表 2),普遍显示姥鲛烷优势(图 5),指示研究区母源处于弱还原-氧化原始沉积环境。不过部分月海油田和葵花岛油田原油的姥鲛烷和植烷含量由于受到了微生物降解作用,Pr/Ph 比偏低或者含量太低无法计算其比值,不能作为有效指标。原油奇偶优势不太明显,正构烷烃奇偶优势指数 *OEP* 值大都接近平衡值 1,只有葵花岛油田葵花 7、葵花 9 和辽海 18-1-1 东营组二和东营组三段原油的成熟度偏低,*OEP* 值在 1.16 ~ 1.38(表 2)。表明研究区原油总体为成熟油,个别原油成熟度偏低。

虽然辽河滩海地区浅层原油遭受了不同程度的生物降解作用,损失了正构烷烃和姥、植烷,生物降解程度轻微至中等^[14-16]。只有个别样品甾烷特征受到影响,多数样品表现为甾、萜烷分布完整,可进行生物标志物指纹对比。原油中的甾类化合物包括孕甾烷、重排甾烷和 C_{27} — C_{29} 规则甾烷

系列,以规则甾烷系列为主要成分,其次为重排甾烷系列,低分子量孕甾烷系列含量较低,未见有 4-甲基甾烷系列化合物。

比较分析原油的 C_{27} , C_{28} , C_{29} 规则甾烷分布特征发现,研究区不同区块原油样品的 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 规则甾烷分布差别很大, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 甾烷/ C_{29} 甾烷的比值分布在 0.6 ~ 2.4(表 2),表明研究区存在着多种生源构成的原油,反映了多油源特征。辽河滩海地区原油甾烷异构化程度有高有低, $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S + 20R)$ C_{29} 甾烷比值分布范围为 0.18 ~ 0.48,多数为 0.3 ~ 0.4; $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha) 20RC_{29}$ 甾烷比值分布范围为 0.27 ~ 0.57,大多数介于 0.4 ~ 0.5(表 2;图 6),说明研究区已发现原油虽然均已成熟,但不同地区不同层系原油的成熟程度存在差异。其中月海油田仙鹤 4 井沙河街组三段原油甾烷异构化程度最高,反映其成熟度偏高,其油源岩演化程度较高;葵花岛油田葵花 7、葵花 9 和辽海 18-1-1 东营组二段和东营组三段原油的甾烷异构化程度偏低, $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S + 20R)$ C_{29} 甾烷比值仅为 0.18 ~ 0.29,与 *OEP* 值一致(表 2),反映其成熟度偏低。重排甾烷化合物的浓度可受多种因素影响,成熟度已被证明是重要的影响因素,仙鹤 4 井沙河街组三段原油成熟度较高,其重排甾烷含量也较高(图 7b)。

表 2 辽河滩海地区原油基本地球化学参数

Table 2 Basic geochemical parameters of crude oils in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfields

原油类型	油田名称	井号	层位	深度/m	Pr/Ph	OEP	C ₂₇ /C ₂₉	20S	$\alpha\beta\beta$	G/C ₃₀ H	Ts/Tm	Tri/Pent
正常原油	笔架岭	架 4-1	E ₃ d ³	1 977.7	1.45	1.03	1.12	0.30	0.38	0.23	1.49	0.10
正常原油	笔架岭	架 5-4	E ₃ d ³	1 895.2	1.59	1.10	1.27	0.29	0.41	0.20	1.38	0.13
正常原油	笔架岭	架 13-2	E ₃ s ¹	2 593.0	1.75	1.09	1.04	0.36	0.53	0.29	2.79	0.20
正常原油	笔架岭	辽海 4-1-1	E ₃ s ¹	2 481.0	1.65	1.01	1.38	0.31	0.38	0.15	1.70	0.12
正常原油	月海	辽海 10-1-1	E ₃ d ³	2 963.7	1.29	1.12	1.12	0.34	0.40	0.19	1.41	0.04
正常原油	月海	仙鹤 4	E ₂ s ³	3 353.0	1.38	0.96	2.34	0.46	0.57	0.03	2.36	0.13
正常原油	月海	海南 11	E ₃ d ³	2 433.9	1.34	0.98	1.99	0.32	0.39	0.15	1.52	0.30
正常原油	葵花岛	葵花 16	E ₃ d ³	2 820.2	1.75	1.00	1.81	0.39	0.49	0.25	1.16	0.43
正常原油	葵花岛	葵花 7	E ₃ d ^{3(上)}	2 684.5	1.97	1.16	0.90	0.18	0.27	0.07	0.75	0.06
正常原油	葵花岛	葵花 9	E ₃ d ²	2 512.8	2.13	1.21	0.82	0.26	0.28	0.10	1.19	0.23
正常原油	葵花岛	辽海 18-1-1	E ₃ d ²	2 154.9	2.17	1.38	0.62	0.29	0.32	0.05	0.70	0.05
正常原油	葵花岛	辽海 18-1-1	E ₃ d ²	2 171.9	2.16	1.25	0.64	0.28	0.31	0.06	0.68	0.04
生物降解稠油	月海	月东 301	Ng	1 422.0		0.99	3.07	0.36	0.40	0.23	2.12	0.38
生物降解稠油	月海	月东 301	Ng	1 471.0	0.79		1.67	0.39	0.46	0.15	1.58	0.24
生物降解稠油	月海	月东 603	Ng	1 605.5		0.54	1.59	0.40	0.44	0.14	1.63	0.19
生物降解稠油	月海	海南 1	Mz	2 810.0	0.51	0.99	0.69	0.26	0.36	0.99	1.43	
生物降解稠油	葵花岛	葵东 1	E ₃ d ²	1 767.1	1.35	0.89	1.48	0.40	0.44	0.09	0.81	0.15
生物降解稠油	葵花岛	葵东 103	E ₃ d ²	1 714.6	1.95	0.81	1.79	0.38	0.42	0.10	1.12	0.19
生物降解稠油	葵花岛	燕南 3	Pz	2 005.5		0.96				0.66	1.63	0.64

注: Pr/Ph 为姥鲛烷/植烷; OEP 为正构烷烃奇偶优势指数; C₂₇/C₂₉ 为 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 甾烷/ C₂₉ 甾烷; 20S 为 $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S + 20R)$ C₂₉ 甾烷; $\alpha\beta\beta$ 为 $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha) 20RC_{29}$ 甾烷; G/C₃₀H 为伽马蜡烷/C₃₀-藿烷; Ts/Tm 为 18 α (H)-三降藿烷/ 17 α (H)-三降藿烷; Tri/Pent 为三环藿烷/五环藿烷。

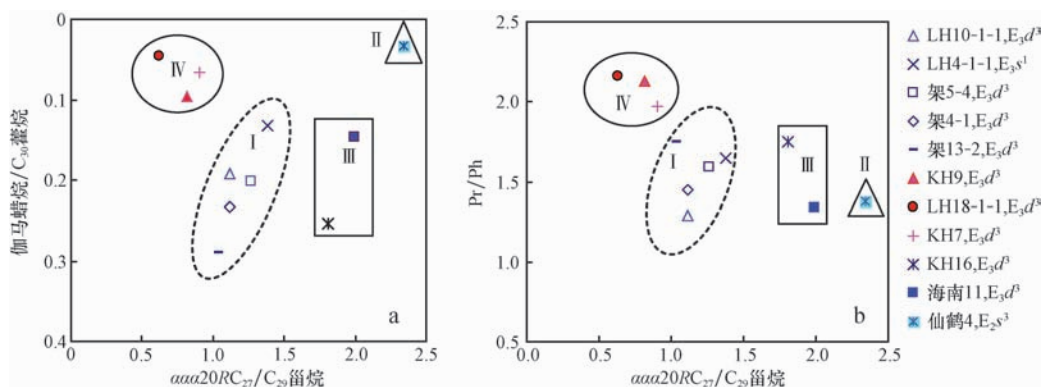


图 6 辽河滩海地区原油成因类型划分

Fig. 6 Genetic types of crude oils in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfields

原油的藿烷化合物以五环三藿烷系列(藿烷)为主,低分子量三环藿烷系列含量相对较低(图 6),可能与生源中藻类和微生物所占比例较低有关^[17]。三环藿烷/五环藿烷比值的分布范围主要为 0.04~0.24,葵花 16 井和海南 11 井东营组三段原油的偏高(分别为 0.30 和 0.43)(表 2)。原油的三环藿烷系列特征相似,表现为以 C₂₁ 或 C₂₃ 三环藿烷为主峰的分布形式。藿烷系列的主要特征是,以 17 α ,21 β (H)-C₃₀藿烷为主峰,C₃₁—C₃₅藿

烷相对丰度依次降低,并含有一定量的新藿烷和重排藿烷。辽河滩海原油三降新藿烷 Ts 具有随着成熟度增加而增加的趋势,如成熟度较高的仙鹤 4 井沙河街组三段原油 Ts/Tm 值较大(表 2)。

此外,原油中均含有一定含量的伽马蜡烷,据前人研究,伽马蜡烷的含量高、低可以反映母源岩沉积时水体分层程度与水体盐度,含量高表明沉积水体偏咸或水体分层明显^[7-19]。整体上笔架岭油田和月海油田原油的伽马蜡烷含量较高,伽马

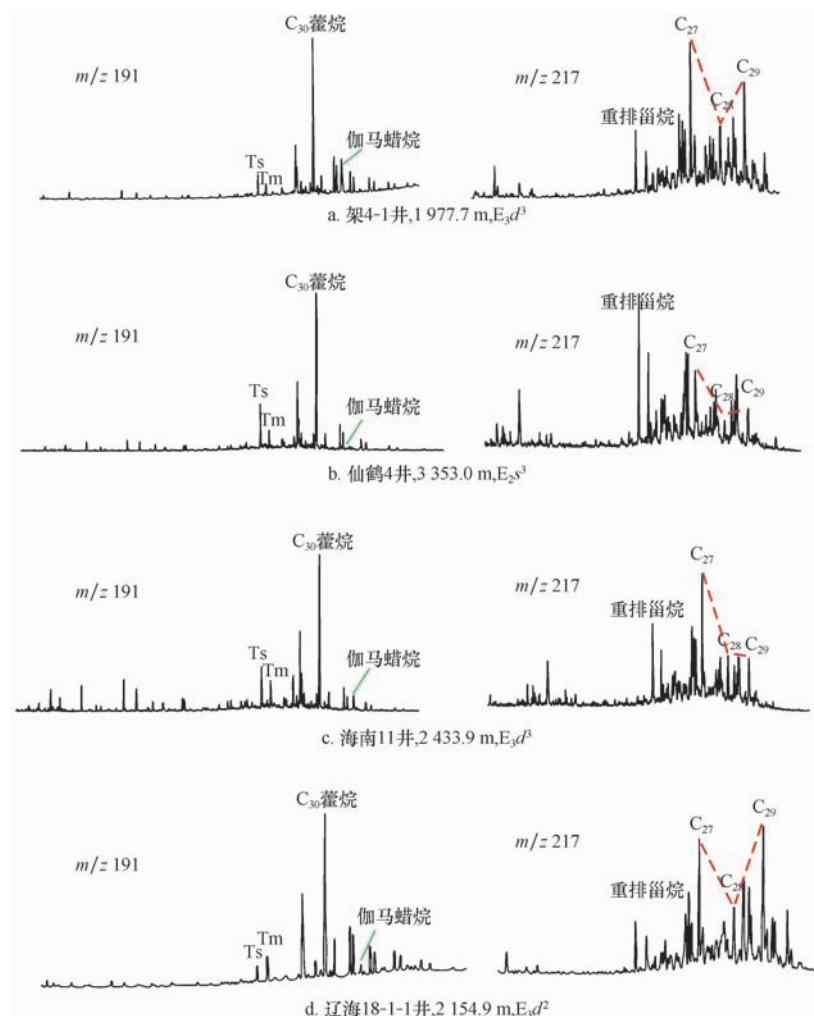


图7 辽河滩海地区原油萜烷与甾烷色谱-质谱

Fig. 7 The terpene and sterane chromatography mass spectrometry of saturated hydrocarbons from crude oil in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfields

蜡烷/ C_{30} -藿烷值一般大于0.15(表2);而葵花岛油田东营组二、东营组三段原油伽马蜡烷含量普遍较低,伽马蜡烷/ C_{30} -藿烷值一般小于0.1(表2)。由此说明了不同地区原油母源的原始沉积水体性质不同。

4 原油成因类型

综合辽河滩海地区原油物性、族组成、生物标志化合物特征的研究结果,根据原油的沉积环境、母质类型和成熟度等特征可将研究区原油划分为4类(图6)。

I类:笔架岭油田和月海油田中浅层(沙河街组一段、东营组及其上部层系)原油,包括正常原油和生物降解稠油、超稠油。以架4-1井东营组

三段原油为代表(图7a),其主要特征是伽马蜡烷含量相对较高,姥/植比相对较低,伽马蜡烷/ C_{30} -藿烷值在0.15~0.30之间,姥/植比在1.25~1.75之间(生物降解稠油除外),反映其母源岩形成于偏还原环境中; $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 规则甾烷指纹分布呈“V”字形, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 略占优势;原油OEP值接近于1,并且甾烷异构化程度较高, $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)C_{29}$ 甾烷比值为0.29~0.36, $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)20RC_{29}$ 甾烷比值为0.38~0.53,为成熟油。

II类:为月海油田沙河街组三段相对深层原油,以仙鹤4井深达3350m原油样品为代表(图7b)。其标志性特征为:原油成熟度高, $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)C_{29}$ 甾烷比值为0.46,重排甾烷含量最高,不同于其他类型原油; $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$,

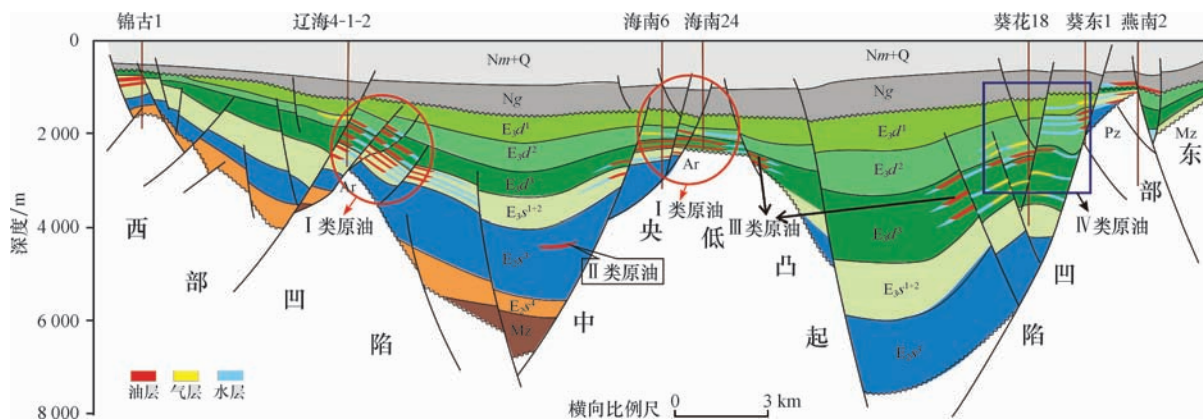


图 8 辽河滩海地区原油成因类型分布

Fig. 8 Distribution of genetic types of crude oil in tidal zone and shallow water area of Liaohe oilfields

$\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 规则甾烷指纹分布为“L”形, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 明显占优势; 伽马蜡烷含量较低, 伽马蜡烷/ C_{30} -藿烷值为 0.03, 明显低于 I 类原油。

Ⅲ类: 此类原油仅有两个油样, 分别为海南 11 和葵花 16 东营组三段原油 (图 7c)。显著特征是三环萜烷含量相对较高, 三环萜烷/五环萜烷值分别为 0.30 和 0.43, 指示藻类和微生物生源输入较高^[14-15, 17-19]; 伽马蜡烷含量相对较高, 与 I 类原油相似; $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 规则甾烷指纹分布为“L”形, 与 II 类原油相似。仔细分析发现, 这两个油样分别位于辽河滩海地区东部凹陷两侧的月海油田和葵花岛油田, 指示月海原油与葵花岛油田部分原油同源, 反映了东部生烃凹陷的双向供烃特征。

Ⅳ类: 为葵花岛油田东营组二段和东营组三段原油, 以辽海 18-1-1 东营组二段原油为代表 (图 7d)。典型特征是: 原油成熟度较低, OEP 值在 1.16 ~ 1.38 之间, 甾烷异构化指数 $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S + 20R)C_{29}$ 甾烷比值仅为 0.18 ~ 0.29, 同时与成熟度相关的参数 Ts/Tm 分布于 0.68 ~ 1.19, 多为 $Ts < Tm$, 与前 3 类原油明显不同; 伽马蜡烷含量相对较低, 伽马蜡烷/ C_{30} -藿烷值小于 0.1, 与 I 类、Ⅲ类原油不同; $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 规则甾烷呈现出“V”字形分布, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 略占优势的特征; 姥/植比相对较高, 均大于 1.9 (生物降解油除外), 与伽马蜡烷含量较低相对应, 说明其源岩形成于偏氧化环境中, 沉积水体盐度低。

受构造和沉积演化控制, 辽河滩海地区形成了沙河街组三段、沙河街组一段和东营组三段 3 套烃源岩^[1, 20]。从不同成因类型原油的分布特征

来看 (图 8), 辽河滩海西部地区存在两种成因类型原油: 中浅层的 I 类原油与深层成熟度较高的 II 类原油, 说明西部凹陷至少存在两套有效烃源岩层系。因此除了目前勘探程度较高的中浅层之外, 深层也具有勘探潜力。东部地区的原油类型主要是 IV 类成熟度偏低的原油, 含油层系为东营组, 结合其烃源岩热演化史分析^[21], 深部沙河街组三段和沙河街组一段烃源岩均已进入高演化阶段的生气期, 东营组三段烃源岩进入生油窗, 但演化程度较低, 因此, 滩海东部东营组三段泥岩应为 IV 类原油的源岩。此外, Ⅲ类原油的分布说明了东部生烃凹陷具有双向供烃的特征, 中央低凸起构造带的有利位置使其原油具有双向来源, 是辽河滩海地区油气最为富集的区块。

5 结论

根据原油的沉积环境、母质类型和成熟度特征将辽河滩海地区原油划分为 4 类, I 类原油为伽马蜡烷含量相对较高、姥/植比相对较低和“V”字形规则甾烷分布的成熟原油; II 类原油, 以高成熟度、低伽马蜡烷和“L”形规则甾烷分布为特征; Ⅲ类原油表现为高三环萜烷、高伽马蜡烷和“L”形规则甾烷分布特征; IV 类原油以成熟度较低、低伽马蜡烷和高姥/植比区别于前 3 类原油。从不同成因类型原油的分布特征来看, 辽河滩海西部地区的笔架岭油田和中央低凸起构造带上的月海油田大都为 I 类原油, 月海油田深层沙河街组三段存在 II 类原油; Ⅲ类原油为海南 11 和葵花 16 东营组三段原油, 处于滩海东部生烃凹陷两侧, 证实

了辽河滩海东部凹陷的双向供烃特征;Ⅳ类原油分布于滩海东部地区葵花岛油田东营组,为新勘探层系。多种成因类型原油的存在表明辽河滩海地区存在多套有效烃源岩,月海油田及其深层和葵花岛油田东营组仍具有较大的勘探潜力。

参考文献

- [1] 孙洪斌, 谢文彦. 辽河滩海油气勘探与开发[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
Sun Hongbin, Xie Wenyan. Petroleum exploration and development of Liaohe Offshore[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- [2] 李晓光, 张凤莲, 邹丙方, 等. 辽东湾北部滩海大型油气田形成条件与勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
Li Xiaoguang, Zhang Fenglian, Zou Bingfang, et al. The forming conditions and exploration of large oilfields in the northern part of Liaodong Wan[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.
- [3] 孟卫工. 辽河盆地滩海地区东营组沉积特征与演化[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 567-575.
Meng Weigong. Sedimentary features and evolution of the Dongying Formation in the tidal area of the Liaohe Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 567-575.
- [4] 龙胜祥, 张绪建, 谢文彦. 辽河滩海葵花岛构造带断裂发育特征及其与油气关系[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(3): 81-90.
Long Shengxiang, Zhang Xujian, Xie Wenyan. Fault development and its relation to petroleum in Kuihuadao structure zone of Liaohe offshore area[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1996, 16(3): 81-90.
- [5] 赵会民, 吕炳全, 刘雪松, 等. 海南油田东营三段沉积微相及其与油气的关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(3): 238-242.
Zhao Huimin, Lu Bingquan, Liu Xuesong, et al. Sedimentary microfacies and its relation to hydrocarbon of the third member of Dongying in the Hainan oil field[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2002, 32(3): 238-242.
- [6] 邹丙方, 吴兴录, 陈鸿雁. 辽河滩海地区笔架岭构造带天然气成藏特征[J]. 特种油气藏, 2002, 9(3): 6-8.
Zou Bingfang, Wu Xinglu, Chen Hongyan. Characteristics of forming of natural gas pool in Bijialing structural belt of Liaohe tidal zone[J]. Special Oil and Gas Reservoir, 2002, 9(3): 6-8.
- [7] 孙洪斌, 咎立新. 辽河滩海地区石油地质特征及勘探潜力[J]. 特种油气藏, 2002, 9(3): 1-6.
Sun Hongbin, Zan Lixin. Geological characteristics and exploration potential in Liaohe tidal zone[J]. Special Oil and Gas Reservoir, 2002, 9(3): 1-6.
- [8] 方世虎, 徐怀民, 郭召杰, 等. 辽河滩海地区西部凹陷成藏条件与成藏模式[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 223-228.
Fang Shihu, Xu Huaimin, Guo Zhaojie, et al. Hydrocarbon pool-forming conditions and accumulation models in the west sag of Tanhai area, the Liaohe Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2004, 26(3): 223-228.
- [9] 李明阁. 太阳岛-葵花岛构造带油气成藏模式及勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2005, 4: 34-50.
Li Mingge. Forming pattern of oil-gas reservoirs and exploration potential in Taiyangdao-Kuihuadao structure belt[J]. China Petroleum Exploration, 34-50.
- [10] 郭金瑞. 太阳岛-葵花岛构造带天然气成因及成藏地质规律[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(2): 9-11.
Guo Jinrui. Gas genesis and reservoir formation rules of Taiyangdao-Kuihuadao structural belt[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2006, 25(2): 9-11.
- [11] 王永生, 王延斌, 刘国丰, 等. 葵花岛油田构造特征[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(6): 707-709.
Wang Yongjian, Wang Tingbin, Liu Guofeng, et al. Structural characteristics in Kuihuadao oilfield, Liaohe Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(6): 707-709.
- [12] 徐长贵, 朱秀香, 史翠娥, 等. 辽东湾坳陷古近系东营组泥岩对油气藏分布的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 431-437.
Xu Changgui, Zhu Xiuxiang, Shi Cui'e, et al. Control of the Dongying Formation mudstone upon the distribution of hydrocarbon accumulations in the Liaodong Bay Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 431-437.
- [13] 刘小平, 周心怀, 吕修祥, 等. 渤海海域油气分布特征及主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 497-509.
Liu Xiaoping, Zhou Xinhui, Lü Xiuxiang, et al. Hydrocarbon distribution features and main controlling factors in the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 497-509.
- [14] Pu F, Philip R, Zhenxi L, et al. Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbons of crude oils and source rocks from different sedimentary environments[J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(1): 427-435.
- [15] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南—古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 等, 译. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [16] 郭永华, 周心怀, 李建平, 等. 渤海海域新近系稠油油藏原油特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 375-385.
Guo Yonghua, Zhou Xinhui, Li Jianping, et al. Crude features and origins of the Neogene heavy oil reservoirs in the Bohai Bay[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 375-385.
- [17] 任军虎, 王万春, 康晏. 有机地球化学指标的分析[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(3): 266-270.

- Ren Junhu, Wang Wanchun, Kang Yan. The analysis of organic geochemistry indexes[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2006, 25(3): 266–270.
- [18] 李素梅, 姜振学, 董月霞, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷原油成因类型及其分布规律[J]. 现代地质, 2008, 22(5): 817–823.
- Li Sumei, Jiang Zhenxue, Dong Yuexia, et al. Genetic type and distribution of the oils in the Nanpu Depression, Bohai Bay Basin[J]. Geoscience, 2008, 22(5): 817–823.
- [19] 包建平, 朱翠山, 倪春华. 北部湾盆地不同凹陷原油生物标志物分布与组成特征[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 646–652.
- Bao Jiangping, Zhu Cuishan, Ni Chunhua. Distribution and composition of biomarker in crude oils from different sags of Beibuwan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 646–652.
- [20] 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.

(编辑 高岩)

(上接第641页)

- [10] 宋岩, 王喜双. 新构造运动对天然气晚期成藏的控制作用[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(2): 103–106.
- Song Yan, Wang Xishuang. The controlling action of modern structure movement on the late accumulation of natural gas[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(2): 103–106.
- [11] 田立新, 余宏忠, 周心怀, 等. 黄河口凹陷油气成藏的主控因素[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(3): 319–321.
- Tian Lixin, Yu Hongzhong, Zhou Xinhui, et al. Major control factors of petroleum accumulation in Huanghekou Sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(3): 319–321.
- [12] 周心怀, 牛成民, 滕长宇. 环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 469–482.
- Zhou Xinhui, Niu Chengming, Teng Changyu. Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neotectonic movement around the central Bohai Bay[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 469–482.
- [13] 陈斌, 邓运华, 郝芳, 等. 黄河口凹陷BZ34断裂带油气晚期快速成藏模式[J]. 石油学报, 2006, 27(1): 37–41.
- Chen Bin, Deng Yunhua, Hao Fang, et al. Late-stage rapid petroleum accumulation model of BZ34 fault zone in Huanghekou Sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1): 37–41.
- [14] 彭文绪, 孙和风, 张如才, 等. 渤海海域黄河口凹陷近源晚期优势成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 510–517.
- Peng Wenxu, Sun Hefeng, Zhang Rucai, et al. Late-stage near-source preponderant hydrocarbon pooling pattern in the Huanghekou Sag of the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 510–517.
- [15] 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海湾地区X型正断层及油气意义[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1080–1088.
- Yu Yixin, Zhou Xinhui, Tang Liangjie, et al. X-pattern normal faults in the Offshore Bohai Bay Basin and its significance on hydrocarbon[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(8): 1080–1088.
- [16] 薛永安, 王应斌, 赵建臣. 渤海上第三系油藏形成特征与规律分析[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5): 1–7.
- Xue Yongan, Wang Yingbin, Zhao Jianchen. Pool forming characteristics and regularity of the Upper Tertiary reservoirs in Bohai Bay[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(5): 1–7.
- [17] 邓运华. 张-扭断裂与油气运移分析—以渤海油区为例[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(2): 33–37.
- Deng Yunhua. Tensional-shear faults and analysis of oil and gas migration—taking Bohai oil province for example[J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9(2): 33–37.
- [18] 邓运华. 渤海湾盆地上第三系油藏类型及成藏控制因素分析[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 13(6): 359–364.
- Deng Yunhua. Types and accumulation controls of Neogene oil reservoirs in Bohai Bay Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2003, 13(6): 359–364.

(编辑 张亚雄)