

鄂尔多斯盆地富县地区延长组长 6、长 7 段 原油地球化学特征及油源对比

黄彦杰¹, 耿继坤², 白玉彬^{1,3}, 孙兵华⁴, 黄 礼¹

(1. 西安石油大学 地球科学与工程学院, 西安 710065; 2. 大庆油田有限责任公司 国际勘探开发公司, 黑龙江 大庆 163000;
3. 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 西安 710065; 4. 延长油田股份有限公司 富县采油厂, 陕西 延安 716000)

摘要: 运用原油物性、族组成、生物标志化合物、油—源对比等分析指标, 对鄂尔多斯盆地富县地区长 6、长 7 段原油地球化学特征和油源成因进行了分析。富县地区长 6、长 7 段原油物理性质相似, 均为低密度、低黏度的轻质原油; 原油饱和烃平均质量分数为 71.46%, 芳烃平均质量分数为 13.27%, 非烃及沥青质含量相对较低; 原油“饱芳比”值较高, 平均值为 5.43; 正构烷烃呈单峰分布, 低碳数占优, 主峰碳为 nC_{15} ; 生物标志化合物中 C_{30} 藿烷优势明显; 规则甾烷构型均呈反“L”字形分布特征, 以 C_{29} 为主; 原油成熟度相近, 均为成熟原油; 生油母质以低等水生生物为主, 含部分陆生高等植物, 沉积于弱还原的淡水—微咸水陆相沉积环境; 油源对比分析表明, 长 6、长 7 段原油与本区长 7³ 亚段烃源岩亲缘关系较好, 而与长 7 段上部暗色泥岩及湖盆中心志丹长 7³ 亚段烃源岩对比性较差, 亲缘关系不明显, 因此, 认为原油主要来自于本区长 7³ 亚段烃源岩。

关键词: 原油地球化学特征; 油源对比; 长 6 段原油; 长 7 段原油; 富县地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE121.11

文献标识码: A

Geochemical characteristics and oil-source correlation of crude oils in 6th and 7th members of Yanchang Formation, Fuxian area, Ordos Basin

HUANG Yanjie¹, GENG Jikun², BAI Yubin^{1,3}, SUN Binghua⁴, HUANG Li¹

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China;

2. International Exploration and Development Company, Daqing Oilfield Company Ltd, Daqing, Heilongjiang 163000, China;

3. Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an, Shaanxi 710065, China;

4. Fuxian Oil Production Plant, Yanchang Oilfield Company Ltd, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: The geochemical characteristics and oil-source correlation of crude oils in the sixth (Chang 6) and seventh (Chang 7) members of Yanchang Formation in the Fuxian area of the Ordos Basin were studied based on physical properties, group composition, biomarker compounds and oil-source correlation. The Chang 6 and Chang 7 crude oils in the study area are similar in physical properties, both of which are light with a good fluidity. The average mass fraction of saturated hydrocarbons is 71.46%, the average mass fraction of aromatics is 13.27%, and the contents of non-hydrocarbons and asphaltenes are relatively low. The saturated to aromatics ratios of the crude oils are high, averaging 5.43. The n -alkane distribution is dominated by a single peak at C_{15} and low carbon numbers. The C_{30} hopane is prominent in biomarker compounds. The regular sterane distribution is anti-“L” type, that is, dominated by C_{29} . Both of the Chang 6 and Chang 7 crude oils are mature. The sedimentary parent material type is lower hydrobiont and contains some terrestrial higher plants, which are deposited in a weakly reduced freshwater-brine water terrestrial sedimentary environment. The oil-source correlation shows that the Chang 6 and Chang 7 crude oils are closely related to the Chang 7³ source rocks in this area; however, the relationship with the dark mudstones in the upper part of Chang 7 and the Chang 7³ source rocks in the Zhidan area in the basin center is poor. Therefore, it is believed that the crude oil is mainly from the Chang 7³ source rocks in this area.

Key words: geochemical characteristics of crude oil; oil-source correlation; Chang 6 crude oil; Chang 7 crude oil; Fuxian area; Ordos Basin

收稿日期: 2019-10-23; 修订日期: 2020-01-22。

作者简介: 黄彦杰 (1995—), 男, 硕士研究生, 从事油气成藏地质学研究。E-mail: 346324589@qq.com。

通信作者: 白玉彬 (1981—), 男, 博士, 副教授, 从事致密油气成藏机理及分布规律研究。E-mail: baiyubin@xsyu.edu.cn。

基金项目: 西安石油大学研究生创新与实践能力的培养项目 (YCS18212033) 和陕西省教育厅科研计划项目 (18JS090) 联合资助。

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地,蕴含着丰富的油气资源。上三叠统延长组长 6 段和长 7 段致密油非常富集,主要分布于延长组沉积时期三角洲相分流河道砂体中,是鄂尔多斯盆地致密油主要勘探目标。鄂尔多斯盆地原油性质及油源厘定研究一般认为,原油均来自于长 7 段及长 9 段烃源岩,其他层位泥页岩生烃潜力较低,生油作用有限^[1-4]。其中,多数研究集中于盆地中西部,而对盆地东南部富县地区研究较为匮乏。

随着鄂尔多斯盆地致密油勘探开发的不断深入,富县地区展示出了较大的勘探潜力。已有研究成果揭示,富县地区延长组长 2、长 6、长 7 段原油,虽生烃化合物显示有不同成熟度,但均来自长 7 段烃源岩^[5-7]。笔者根据最新的原油和烃源岩地球化学资料,对长 6、长 7 段原油地球化学特征进行研究,并通过油源对比,明确原油来源。

1 区域地质概况

富县地区位于鄂尔多斯盆地东南部,面积约为 350 km²(图 1)。长 7 段沉积时期为湖盆大面积发育的鼎盛时期,水体不断加深,半深湖—深湖沉积大面积发育,水生生物及浮游生物大量繁盛,发育广泛分布的优质烃源岩。富县地区位于沉积中心,

普遍发育深湖—半深湖相泥页岩,为延长组油气藏的形成提供了良好的物质基础^[8](图 1)。长 6 段沉积时期发育主要受控于北东物源的大型曲流河三角洲沉积体系。研究区位于富县三角洲前缘亚相,发育水下分流河道及水下分流间湾亚相^[8]。

研究区发育长 7 段中下部的长 7³亚段富含有机质页岩,其在测井曲线上表现出“高伽马、低电位、高声波时差和高电阻”的“三高一低”特征(图 2)。长 7 段上部的长 7¹、长 7²亚段为半深湖—深湖亚相沉积,暗色泥岩发育,富含有机质泥页岩与不含有有机质泥页岩在测井曲线上较易区分。研究区长 7³亚段烃源岩厚度大,平均厚度 45 m,分布面积广。TOC 含量平均为 5.06%;氯仿沥青“A”含量平均为 0.41%;生烃潜力(S_1+S_2)平均为 13.1 mg/g,干酪根以 I—II₁型为主,生油能力强,镜质体反射率平均为 0.76%,开始进入生油高峰^[9]。

2 原油物性及族组成特征

长 6、长 7 段原油物理性质相似,为同类原油。原油颜色均以黄绿色为主;密度分布在 0.835~0.857 g/cm³,平均为 0.845 g/m³;动力黏度(50 ℃)为 2.73~15.76 mPa·s,平均为 9.05 mPa·s;凝固点为 5~33 ℃,平均为 15.45 ℃。原油整体具有低密度、

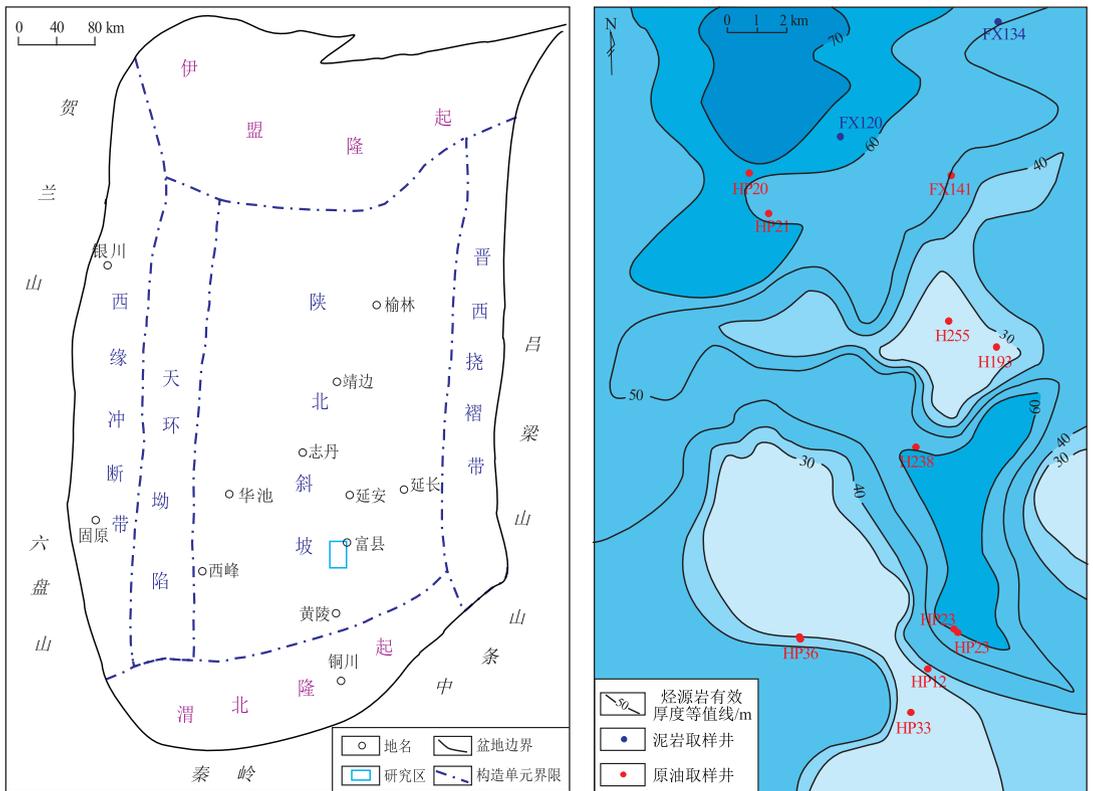


图 1 鄂尔多斯盆地富县地区地理位置及取样井位分布
Fig.1 Location and sampling wells of study area, Fuxian area, Ordos Basin

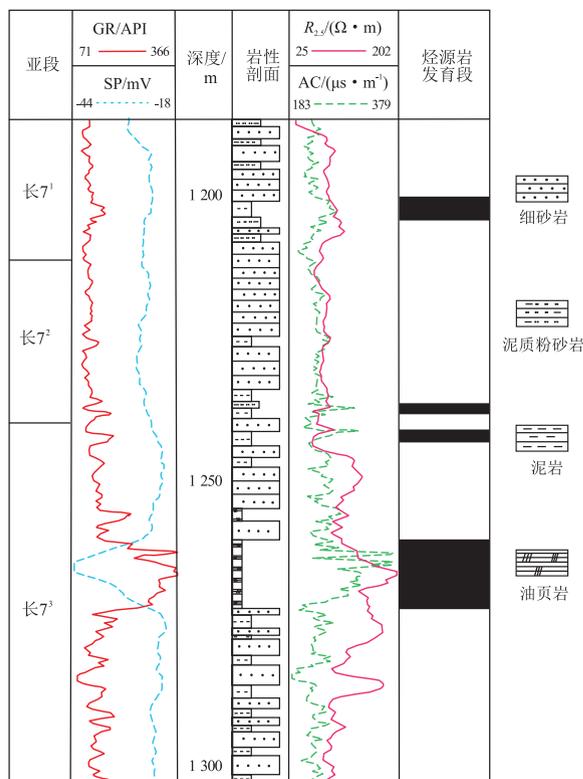


图2 鄂尔多斯盆地富县地区典型井烃源岩电测曲线响应

Fig.2 Petrophysical logging curves of source rocks from typical wells in Fuxian area, Ordos Basin

低黏度、较低凝固点的“三低”特征,为轻质原油。

烃源岩生油母质类型及成因影响原油的族组成^[10]。研究区长6、长7段原油族组分数据表显示(表1):饱和烃含量最高,质量分数为53.04%~79.49%;芳烃质量分数较低,为9.35%~16.22%;非烃及沥青质质量分数较低,分别为2.12%~8.26%及0.32%~19.16%;“饱芳比”较高,为4.33~6.51。反映原油为同类原油,生油母质较好,成熟度较高,并且未经历生物降解作用。

3 原油生物标志化合物特征

3.1 原油饱和和烃气相色谱特征

研究区原油抽提物正构烷烃分布基本一致,碳数分布表现为前单峰形态(图3),峰型完整,主峰碳基本为 nC_{15} ,偏向低分子量烷烃,表明原油

表1 鄂尔多斯盆地富县地区长6、长7段原油族组分数据

Table 1 Group composition of Chang 6 and Chang 7 crude oils in Fuxian area, Ordos Basin

井名	层位	族组成/%				饱/芳比
		饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	
HP12	长6段	71.61	13.36	5.22	2.30	5.36
HP20	长6段	73.66	14.20	5.21	0.32	5.19
HP21	长6段	70.21	16.22	8.26	2.95	4.33
HP23	长6段	73.99	13.94	4.83	4.29	5.31
HP33	长6段	74.71	14.25	3.45	1.84	5.24
HP36	长6段	53.04	9.35	3.74	19.16	5.68
HP193	长6段	72.97	12.93	3.28	4.44	5.64
H238	长7段	71.71	13.49	3.95	3.29	5.32
H255	长7段	79.49	12.22	3.62	0.75	6.51
H141	长7段	73.18	12.71	2.12	0.94	5.76

为同类原油且性质较好,生油母质是以蓝绿藻为主的低等水生生物。 CPI 值与 OEP 值均接近,但不小于1,平均值分别为1.09和1.04,表现为奇偶均势的特点,即原油处于成熟演化阶段。 nC_{21}/nC_{22+} 比值介于1.17~1.80,平均值为1.56,反映原油正构烷烃为单峰形态,说明生油母质以低等水生生物为主,有机质类型好^[11]。 $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 比值分布在1.54~1.97,均值为1.76,说明低碳数链烷烃相对具有优势,反映原油油质较轻,母质沉积环境为还原环境,原油成熟度较高,达到成熟演化阶段(表2)^[12]。

原油姥鲛烷/植烷(Pr/Ph)比值是指示生油岩母质类型及沉积环境的良好参数之一^[13]。强还原、高盐环境沉积物中,植烷往往占据绝对优势,丰度高;在沼泽环境即氧化环境中,姥鲛烷往往具有较强优势^[14]。研究区原油 Pr/Ph 值分布在0.87~1.38,平均为1.1,表现为姥植均势,表明母质来源于还原性淡水—微咸水沉积环境(表2)。原油中 Pr/nC_{17} 值分布在0.19~0.42,平均为0.33; Ph/nC_{18} 值分布在0.14~0.49之间,平均为0.32,分布区间较窄(表2)。长6、长7段原油母源类型相似,以低等水生生物为主,并混有部分陆生植物来源,且

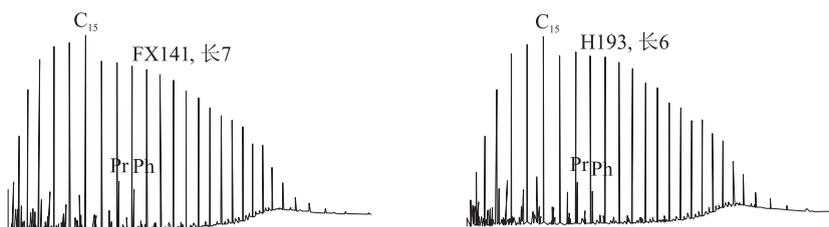


图3 鄂尔多斯盆地富县地区典型井长6、长7段原油饱和和烃气相色谱

Fig.3 Gas chromatography of saturated hydrocarbons in Chang 6 and Chang 7 crude oils in Fuxian area, Ordos Basin

表 2 鄂尔多斯盆地富县地区长 6、长 7 段原油与烃源岩饱和和炔色谱参数

Table 2 Chromatographic parameters of saturated hydrocarbons of Chang 6 and Chang 7 crude oil and source rocks in Fuxian area, Ordos Basin

井名	层位	样品类型	CPI	OEP	nC_{21}/nC_{22+}	$(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$	Pr/ nC_{17}	Ph/ nC_{18}	Pr/Ph	主峰碳数
HP12	长 6 段	原油	1.07	1.04	1.43	1.67	0.34	0.38	0.94	nC_{15}
HP20	长 6 段	原油	1.09	1.01	1.17	1.66	0.35	0.36	0.97	nC_{19}
HP21	长 6 段	原油	1.06	1.03	1.57	1.96	0.30	0.29	1.09	nC_{15}
HP23	长 6 段	原油	1.09	1.05	1.69	1.71	0.34	0.34	1.04	nC_{15}
HP33	长 6 段	原油	1.09	1.05	1.52	1.54	0.37	0.40	0.97	nC_{15}
HP36	长 6 段	原油	1.11	1.05	1.61	1.81	0.42	0.49	0.87	nC_{15}
H193	长 6 段	原油	1.09	1.03	1.55	1.76	0.31	0.25	1.27	nC_{15}
H238	长 7 段	原油	1.11	1.04	1.80	1.97	0.33	0.30	1.16	nC_{15}
H255	长 7 段	原油	1.10	1.04	1.59	1.74	0.31	0.25	1.28	nC_{15}
FX141	长 7 段	原油	1.06	1.03	1.68	1.81	0.19	0.14	1.38	nC_{15}
FX134	长 7 ³ 亚段	黑色油页岩	1.06	1.02	2.31	3.40	0.18	0.12	1.57	nC_{16}
	长 7 ³ 亚段	黑色油页岩	1.09	1.02	1.84	3.21	0.23	0.20	1.20	nC_{17}
FX120	长 7 ¹ 亚段	暗色泥岩	1.13	1.02	0.80	1.97	0.45	0.44	0.84	nC_{21}
	长 7 ¹ 亚段	暗色泥岩	1.08	1.03	3.42	4.12	0.15	0.10	1.56	nC_{15}

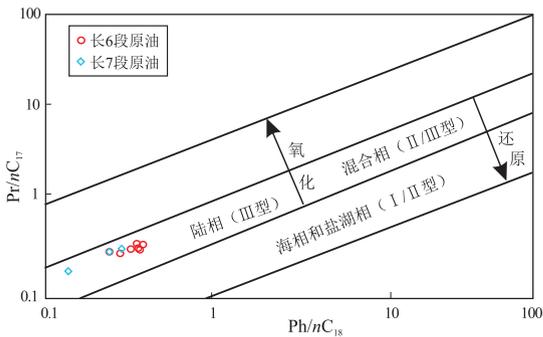


图 4 鄂尔多斯盆地富县地区长 6、长 7 段原油 Pr/ nC_{17} 与 Ph/ nC_{18} 值相关图

Fig.4 Correlation between Pr/ nC_{17} and Ph/ nC_{18} values of Chang 6 and Chang 7 crude oils in Fuxian area, Ordos Basin

成熟度较高(图 4)。

3.2 萜烷类化合物特征

原油样品中萜烷系列丰度高、分布完整,主要以三环萜烷、藿烷类和伽马蜡烷组成,整体呈现出藿烷类系列含量高,三环萜烷系列峰型较低,伽马蜡烷值低的特征。藿烷中比较突出的峰型为 C_{30} -藿烷,其次为 C_{27} -三降藿烷,说明研究区长 6 段、长 7 段原油为同类原油,生油母质类型主要以原核生物(细菌)等为主;三环萜烷类峰值较低说明原油生油母质也含部分细菌和蓝绿藻^[14]。

研究区原油伽马蜡烷指数分布在 0.05~0.29,数值较低,说明原始有机质为陆相沉积环境,沉积水体含盐量较低^[15]。Ts/Tm 比值一般用来辅助判断原油成熟度,成熟度越高比值越大^[16]。研究区原油 Ts/Tm 值分布在 1.95~5.90,平均 3.86,说明原油已经成熟。 C_{31} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 值为

0.49~0.51,已接近平均值,也反映原油达成熟阶段(表 3)^[17]。 C_{29} 降藿烷含量与 C_{30} 重排藿烷含量均较高,反映生油母质含部分陆源有机质贡献,沉积环境为弱还原半深湖相^[17-18]。

原油中四环萜烷和三环萜烷的含量是反映生油母源性质的良好参数^[18]。研究区原油 C_{24} 四环萜烷/(C_{24} 四环萜烷+ C_{26} 三环萜烷)及 C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷比值均小于 1,说明生油母质沉积环境为陆相沉积环境,且陆源有机质贡献较多;2 个参数分布区间较窄,说明研究区原油来自于相同类型的生油母质^[19-20]。

3.3 甾烷类化合物特征

甾烷类化合物一般用于生油母质类型的判别、母质沉积环境的识别及成熟度的判断^[7]。一般情况下, C_{27} 甾烷通常来源于低等水生生物和藻类; C_{29} 甾烷主体以陆生高等植物来源为主,但也有硅藻及褐藻为 C_{29} 甾烷母源的情况^[21]。

研究区长 6、长 7 段原油分布特征明显,表现为同类原油,其中,重排甾烷丰度最高,其次为孕甾烷,升孕甾烷丰度较低。规则甾烷构型均呈反“L”字形分布,表明原油生油母质为陆相混合型母质,以低等水生生物及浮游动物为主,也包括部分陆生高等植物。原油 C_{29} 甾烷含量相对较高,除了部分陆生高等植物来源贡献,也可能是生油母质在排出油气时,受黏土矿物酸性转化的影响^[18]。

甾烷异构化参数 $\alpha\alpha\alpha C_{29} 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 是指示原油成熟度及运移情况的良好生标参数,随着成熟度的增加,二者数值逐渐

表 3 鄂尔多斯盆地富县地区长 6、长 7 段原油与烃源岩萜烯类化合物特征参数统计

Table 3 Characteristic parameters of terpenoids in Chang 6 and Chang 7 crude oils and source rocks in Fuxian area, Ordos Basin

井名	层位	样品类型	A	B	C	D	E	F	G	规则甾烷相对含量/%			H	I	J
										C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉			
HP12	长 6 段	原油	0.67	3.91	0.12	0.59	0.47	0.48	0.56	22.57	32.61	44.83	0.28	0.15	0.19
HP20	长 6 段	原油	0.68	2.61	0.16	0.60	0.46	0.50	0.57	23.04	32.43	44.52	0.25	0.13	0.17
HP21	长 6 段	原油	0.66	2.75	0.16	0.61	0.51	0.51	0.56	19.26	32.34	48.40	0.31	0.20	0.27
HP23	长 6 段	原油	0.66	3.47	0.13	0.59	0.45	0.49	0.57	23.16	32.05	44.79	0.29	0.14	0.19
HP33	长 6 段	原油	0.67	3.60	0.14	0.60	0.47	0.48	0.58	19.99	36.29	43.72	0.29	0.16	0.21
HP36	长 6 段	原油	0.67	1.95	0.29	0.61	0.47	0.50	0.57	19.76	36.29	43.95	0.26	0.12	0.16
H193	长 6 段	原油	0.65	5.90	0.12	0.62	0.35	0.49	0.56	21.51	31.10	47.40	0.30	0.16	0.21
H238	长 7 段	原油	0.65	4.28	0.13	0.61	0.51	0.49	0.56	23.36	31.35	45.30	0.29	0.16	0.21
H255	长 7 段	原油	0.66	4.98	0.11	0.62	0.42	0.49	0.57	21.80	32.57	45.64	0.26	0.15	0.19
FX141	长 7 段	原油	0.66	5.13	0.05	0.57	0.48	0.46	0.55	24.54	32.06	43.40	0.24	0.22	0.31
FX134	长 7 ³ 亚段黑色油页岩		0.62	4.42	0.13	0.61	0.47	0.52	0.52	31.42	32.35	36.23	0.28	0.43	0.46
	长 7 ³ 亚段黑色油页岩		0.63	3.41	0.12	0.59	0.42	0.57	0.55	33.99	28.80	37.21	0.24	0.42	0.43
FX120	长 7 ¹ 亚段 暗色泥岩		0.61	4.77		0.60	0.46	0.40	0.55	35.76	32.48	31.76	0.29	0.47	0.45
	长 7 ¹ 亚段 暗色泥岩		0.57	4.57	0.12	0.62	0.46	0.49	0.30	28.64	33.54	37.82	0.26	0.40	0.39

注: A. $20RC_{29}\alpha\beta/(\alpha\beta+\alpha\alpha)$; B. Ts/Tm ; C. 伽马蜡烷指数; D. C_{24} 四环萜烷/(C_{24} 四环萜烷+ C_{26} 三环萜烷); E. C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷; F. C_{31} 藿烷 $22S/(22R+22S)$; G. $\alpha\alpha C_{29}20S/(20S+20R)$; H. 重排甾烷/规则甾烷; I. 孕甾烷/规则甾烷; J. 孕+升孕/规则甾烷

增大,达到成熟阶段的平衡值分别为 0.52~0.55 和 0.67~0.71^[22]。研究区长 6、长 7 段原油 $\alpha\alpha C_{29}20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 均值分别为 0.57 和 0.66,均接近平衡值,表现为成熟原油的特征(表 3,图 5)^[12]。

原油中重排甾烷和规则甾烷的比值通常作为原油成熟度的专属参数来判别原油是否达到成熟^[22],研究区长 6、长 7 段原油重排甾烷/规则甾烷值分布在 0.24~0.31,表明已达到成熟阶段,成熟度相似,为同类原油(表 3)。

孕甾烷(C_{21})与升孕甾烷(C_{22})对原油生油母质来源具有良好的专属性,不仅能判断其来源,还能指示其沉积环境,反映沉积水体含盐量的高低^[23]。研究区长 6、长 7 段原油孕甾烷/规则甾烷

比值分布在 0.12~0.22,反映沉积水体含盐量低;孕甾烷+升孕甾烷/规则甾烷比值分布在 0.17~0.31,反映生油母质主要以低等水生生物为主,部分含有高等植物,表现为混合型^[22]。

4 油源对比

4.1 原油和烃源岩指纹谱图对比

在原油与不同层位烃源岩生物标志化合物对比谱图(图 6)中也可看出,研究区长 6、长 7 段原油和长 7³亚段烃源岩 C_{30} 藿烷含量较高而 C_{30} 重排藿烷含量均很低,长 7 段烃源岩 $C_{29}Ts$ 含量均比原油 $C_{29}Ts$ 含量高,可能是烃源岩在生成原油之后有部分酸性矿物转化的结果。 Tm 含量较低且相对丰度接近。原油与烃源岩伽马蜡烷含量基本相似。原油和长 7³亚段烃源岩与长 7¹亚段暗色泥岩的 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 甾烷分布特征明显不同,表现为原油和长 7³亚段烃源岩的 C_{27} 甾烷丰度相对较低, C_{29} 甾烷丰度明显偏高(图 6),而长 7¹亚段暗色泥岩则表现为 C_{27} 甾烷含量高, C_{29} 甾烷含量相对较低。可见,富县地区长 6、长 7 段原油与长 7³亚段烃源岩具有亲缘关系,与长 7¹亚段暗色泥岩亲缘关系不明显,推测原油主要来源于长 7³亚段烃源岩。

4.2 正构烷烃特征对比

原油在运移及成藏过程中,由于地质作用或地球化学作用导致其族组成发生变化,但生物标志物分布较为稳定,因为其受生油母质类型和沉积环境控制。因此,使用生物标志物指纹特征进行油

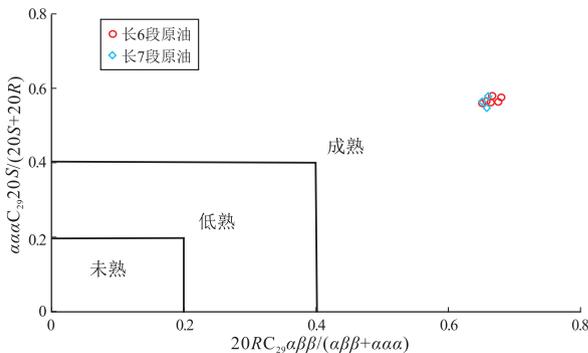


图 5 鄂尔多斯盆地富县地区长 6、长 7 段原油 $\alpha\alpha C_{29}20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 相关图

Fig.5 Correlation between $\alpha\alpha C_{29}20S/(20S+20R)$ and $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ of Chang 6 and Chang 7 crude oils in Fuxian area, Ordos Basin

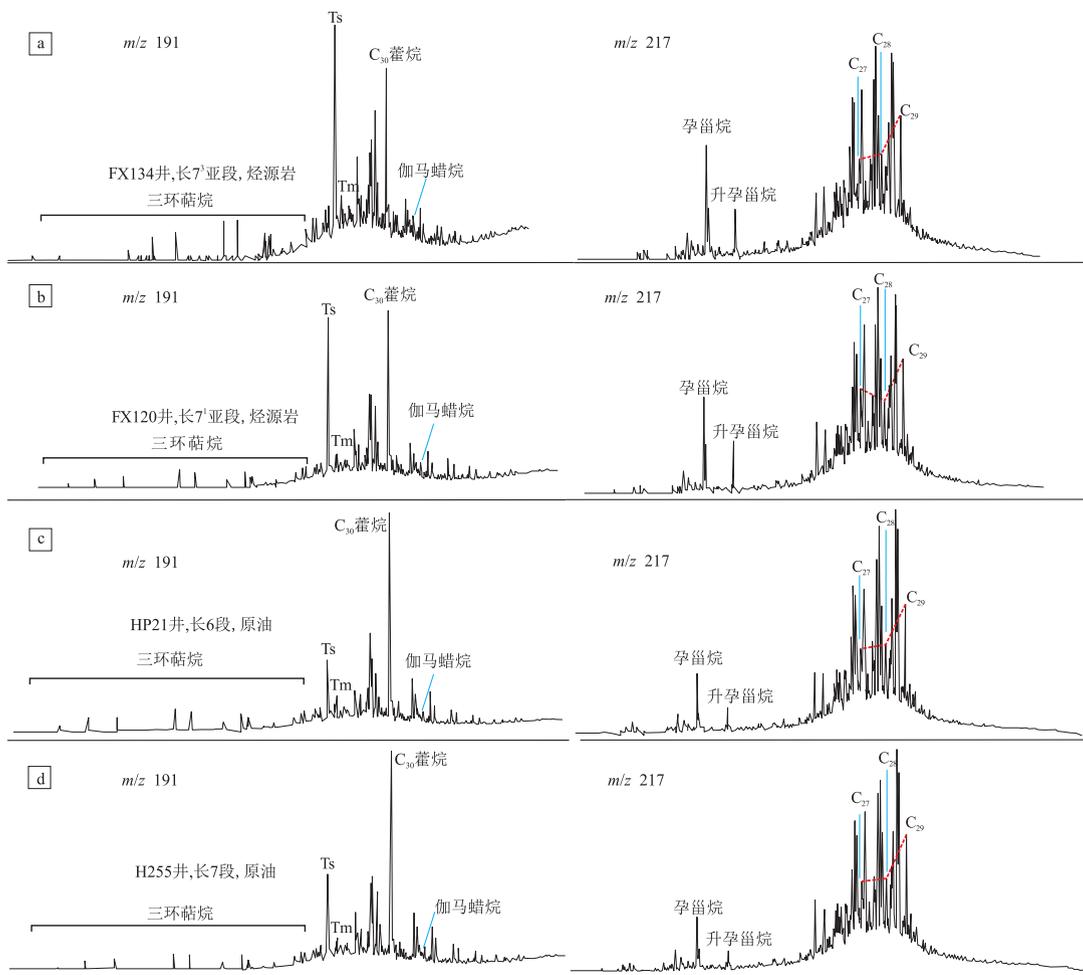


图6 鄂尔多斯盆地富县地区长7段烃源岩(a,b)与长6、长7段原油(c,d)生标化合物对比

Fig.6 Biomarkers of Chang 7 source rocks (a,b) and Chang 6 and Chang 7 crude oils (c,d) in Fuxian area, Ordos Basin

源对比结果较为可靠^[24]。从 Pr/nC₁₇、Ph/nC₁₈ 相关图上看,研究区原油投点与本区长7³亚段烃源岩耦合程度高,投点相对集中;而与长7¹亚段暗色泥岩及志丹长7³亚段烃源岩吻合性较差,表明研究区原油可能为本区长7³亚段烃源岩贡献,并没有进行大规模长距离运移(图7a)。

4.3 甾萜类生物标志物组合特征对比

根据 Ts/Tm 与 $\alpha\alpha\alpha C_{29}S/(S+R)$ 、 $\alpha\alpha\alpha C_{29}20S/(20S+20R)$ 与 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 、重排甾萜/规则甾萜与 C_{31} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 的交会图(图7b-d)可以看出,长6、长7段原油数据点分布非常集中,表明其为单一性质的原油。研究区长7³亚段烃源岩与长6、长7段原油对比耦合程度较好,投点相对集中;而与长7¹亚段暗色泥岩及志丹地区长7³亚段烃源岩差异较为明显。分析认为,研究区长6、长7段原油为本区长7³亚段烃源岩贡献,而非长7段上部暗色泥岩;原油未进行长距离运移,并非来自志丹长7³亚段烃源岩。

通过规则甾萜($C_{27}-C_{28}-C_{29}\alpha\alpha R$)图版(图8)

可知,长6、长7段原油 C₂₉ 甾萜相对含量高,规则甾萜组成分布相对集中,投点密集,分布与长7³亚段烃源岩规则甾萜投点类似,耦合程度好;而原油与长7¹亚段暗色泥岩吻合性差,投点相距较远;与志丹长7³亚段烃源岩差异也较为明显。说明本区原油是本区长7³亚段烃源岩成熟运聚的结果,与长7¹亚段暗色泥岩关系不大,并且与志丹烃源岩没有明显亲缘关系,说明原油未进行大规模长距离运移。

5 结论

(1) 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组长6、长7段原油物理性质与族组成相似,整体呈低密度、低黏度、较低凝固点的特征,表现为油质轻、流动性好,属于轻质原油;具有饱和烃含量高,“饱芳比”高,芳烃、非烃和沥青质含量较低的特征。

(2) 长6、长7段原油生物标志化合物特征相似,成熟度相近,均为成熟原油;生油母质以低等水

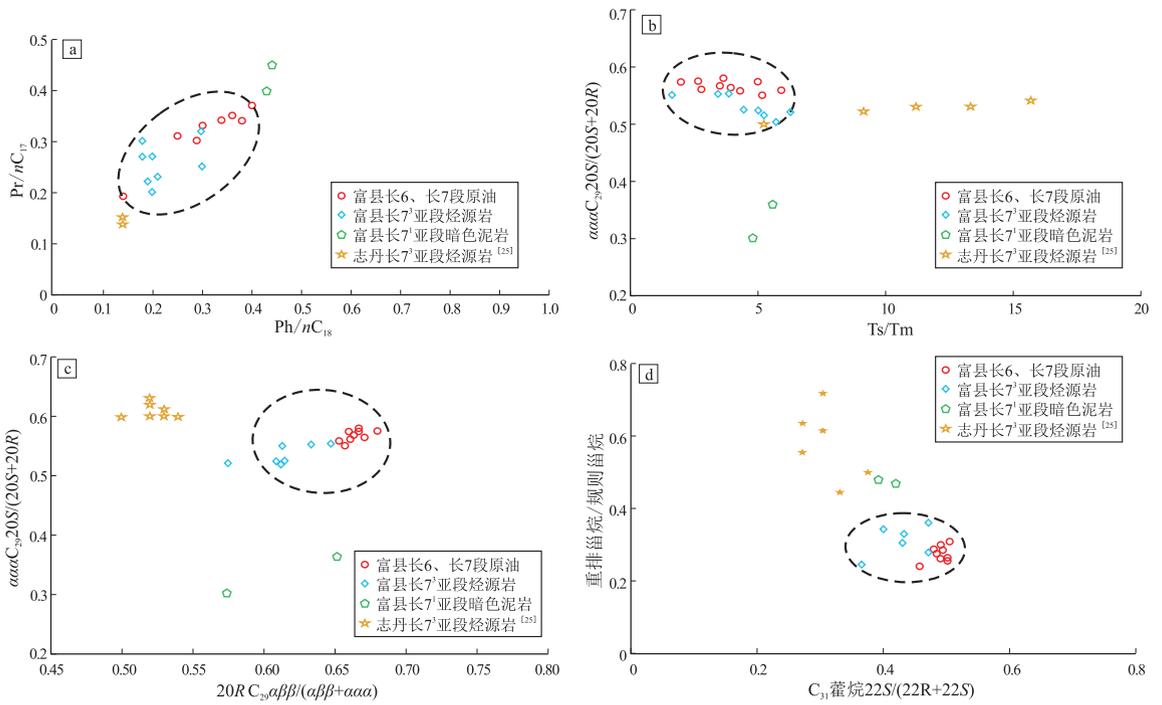


图7 鄂尔多斯盆地富县地区长6、长7段原油与长7段烃源岩及志丹地区长7³亚段烃源岩生物标志化合物特征对比

Fig.7 Biomarkers of Chang 6 and Chang 7 crude oils and Chang 7 source rocks in Fuxian area and Chang 7³ source rocks in Zhidan area, Ordos Basin

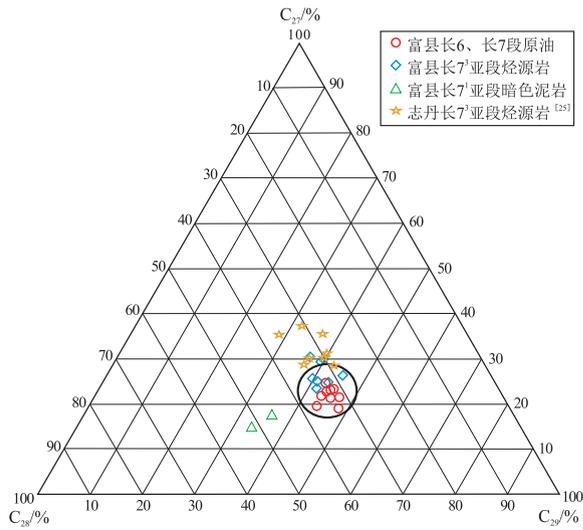


图8 鄂尔多斯盆地富县地区长6、长7段原油与长7段烃源岩及志丹地区长7³亚段烃源岩规则甾烷含量特征对比

Fig.8 Regular sterane distributions of Chang 6 and Chang 7 crude oils and Chang 7 source rocks in Fuxian area and Chang 7³ source rocks in Zhidan area, Ordos Basin

生物来源为主,并有部分陆生植物来源;母源沉积环境为弱还原的淡水—微咸水陆相沉积环境。

(3)富县地区延长组长6、长7段原油主要为本地长7³亚段烃源岩贡献;长7段上部暗色泥岩虽然有辅助作用,但作用较小;与湖盆中心志丹地区长7³亚段烃源岩对比差异明显,没有明显亲缘关系,说明原油未进行大规模长距离迁移。

参考文献:

[1] 段毅,吴保祥,张辉,等.鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及其成因[J].地质学报,2006,80(2):301-310.
DUAN Yi, WU Baoxiang, ZHANG Hui, et al. Geochemistry and genesis of crude oils of the Xifeng oilfield in the Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(2): 301-310.

[2] 张文正,杨华,杨奕华,等.鄂尔多斯盆地长7段优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J].地球化学,2008,37(1):59-64.
ZHANG Wenzheng, YANG Hua, YANG Yihua, et al. Petrology and element geochemistry and development environment of Yanchang Formation Chang-7 high quality source rocks in Ordos Basin [J]. Geochimica, 2008, 37(1): 59-64.

[3] 杨华,张文正,蔺宏斌,等.鄂尔多斯盆地陕北地区长10油源及成藏条件分析[J].地球化学,2010,39(3):274-279.
YANG Hua, ZHANG Wenzheng, LIN Hongbin, et al. Origin of Chang 10 oil reservoir in northern Shaanxi region of Ordos Basin [J]. Geochimica, 2010, 39(3): 274-279.

[4] 李士祥,刘显阳,韩天佑,等.陕北地区延长组长10油层组成藏特征[J].石油与天然气地质,2011,32(5):698-709.
LI Shixiang, LIU Xianyang, HAN Tianyou, et al. Characteristics of hydrocarbon pooling in Chang-10 interval of the Yanchang Fm in the northern Shaanxi province [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 698-709.

[5] 李春荣,刘刚,武小娜,等.富县地区延长组原油地球化学特征[J].中国西部科技,2014,13(7):13-15.
LI Chunrong, LIU Gang, WU Xiaona, et al. Geochemical characteristics of crude oils of the Yanchang Formation in Fuxian area [J]. Science and Technology of West China, 2014, 13(7): 13-15.

- [6] 郭艳琴,李文厚,陈全红,等.鄂尔多斯盆地安塞—富县地区延长组—延安组原油地球化学特征及油源对比[J].石油与天然气地质,2006,27(2):218-224.
GUO Yanqin, LI Wenhou, CHEN Quanhong, et al. Geochemical behaviors of oil and oil-source correlation in Yanchang-Yan'an formations in Ansai-Fuxian area, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 218-224.
- [7] 骆垠山,张哨楠,罗小明,等.鄂尔多斯盆地富县地区延长组原油生物标志物特征及油源对比[J].科技导报,2016,34(2):129-134.
LUO Yinshan, ZHANG Shaonan, LUO Xiaoming, et al. Biomarker characteristics and oil-source correlation of the Yanchang crude oil in Fuxian area, Ordos Basin [J]. Science & Technology Review, 2016, 34(2): 129-134.
- [8] 刘春燕,王毅,胡宗全,等.鄂尔多斯盆地富县地区延长组沉积特征及物性分析[J].世界地质,2009,28(4):491-497.
LIU Chunyan, WANG Yi, HU Zongquan, et al. Depositional features and properties analysis of Yanchang Formation in Fuxian area, Ordos Basin [J]. Global Geology, 2009, 28(4): 491-497.
- [9] 黄彦杰,白玉彬,孙兵华,等.鄂尔多斯盆地富县地区延长组长7段烃源岩特征及评价[J].岩性油气藏,2020,32(1):66-75.
HUANG Yanjie, BAI Yubin, SUN Binghua, et al. Characteristics and evaluation of Chang 7 source rock of Yanchang Formation in Fuxian area, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(1): 66-75.
- [10] 梅博文,刘希江.我国原油中异戊间二烯烷烃的分布及其与地质环境的关系[J].石油与天然气地质,1980,1(2):99-115.
MEI Bowen, LIU Xijiang. The distribution of isoprenoid alkanes in China's crude oil and its relation with the geologic environment [J]. Oil & Gas Geology, 1980, 1(2): 99-115.
- [11] 蔡勋育,朱扬明.川东南官渡构造中侏罗统原油地球化学特征及油源[J].石油实验地质,2006,28(4):380-385.
CAI Xunyu, ZHU Yangming. Geochemical characteristics and source of Middle Jurassic oil from Guandu structure in the southeastern Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(4): 380-385.
- [12] 刘玉华,文志刚,宋焕新,等.鄂尔多斯盆地演武高地镇28井区长3油层组原油地球化学特征及其意义[J].天然气地球科学,2008,19(5):718-721.
LIU Yuhua, WEN Zhigang, SONG Huanxin, et al. Geochemical characteristics and their significance of crude oils from Chang 3 oil layer group of Zhen 28 Well Field, Yanwu Highland [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(5): 718-721.
- [13] PETERS K E, WALTERS C C, MOLDOWAN J M. The biomarker guide (volume 2): biomarkers and isotopes in petroleum systems and earth history [M]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2004: 1-184.
- [14] 杨华,张文正.论鄂尔多斯盆地长7段段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用:地质地球化学特征[J].地球化学,2005,34(2):147-154.
YANG Hua, ZHANG Wenzheng. Leading effect of the seventh member high-quality source rock of Yanchang Formation in Ordos Basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation: geology and geochemistry [J]. Geochimica, 2005, 34(2): 147-154.
- [15] 白玉彬,高振东,李忠锋,等.鄂尔多斯盆地杏子川油田延长组原油地球化学特征与油源探讨[J].石油实验地质,2013,35(5):552-558.
BAI Yubin, GAO Zhendong, LI Zhongfeng, et al. Geochemical characteristics of crude oil and oil-source correlation in Yanchang Formation in Xingzichuan Oilfield, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(5): 552-558.
- [16] PETERS K E, MOLDOWAN J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1993: 110-265.
- [17] HUANG Difan, LI Jinchao, ZHANG Dajiang. Maturation sequence of continental crude oils in hydrocarbon basins in China and its significance [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(1/3): 521-529.
- [18] SEIFERT W K, MOLDOWAN J M. Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1978, 42(1): 77-95.
- [19] HANSON A D, ZHANG S C, MOLDOWAN J M, et al. Molecular organic geochemistry of the Tarim Basin, Northwest China [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(8): 1109-1128.
- [20] BURWOOD R, LEPLAT P, MYCKE B, et al. Rifted margin source rock deposition: a carbon isotope and biomarker study of a West African Lower Cretaceous "lacustrine" section [J]. Organic Geochemistry, 1992, 19(1/3): 41-52.
- [21] MOLDOWAN J M, SEIFERT W K, GALLEGOS E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(8): 1255-1268.
- [22] 朱扬明,张春明,张敏,等.沉积环境的氧化还原性对重排甾烷形成的作用[J].沉积学报,1997,15(4):103-108.
ZHU Yangming, ZHANG Chunming, ZHANG Min, et al. The effect of oxidation reduction nature of depositional environments on the formation of diasteranes [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 103-108.
- [23] 王传远,段毅,车桂美,等.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油地球化学特征及油源分析[J].高校地质学报,2009,15(3):380-386.
WANG Chuanyuan, DUAN Yi, CHE Guimei, et al. Geochemical characteristics and oil-source analysis of crude oils in the Yanchang Formation of Upper Triassic from Ordos Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(3): 380-386.
- [24] 白玉彬,罗静兰,刘新菊,等.鄂尔多斯盆地吴堡地区上三叠统延长组原油地球化学特征及油源对比[J].沉积学报,2013,31(2):374-383.
BAI Yubin, LUO Jinglan, LIU Xinju, et al. Geochemical characteristics of crude oil and oil-source correlation in Yanchang Formation (Upper Triassic) in Wubao area, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(2): 374-383.
- [25] 白玉彬,赵靖舟,赵子龙,等.鄂尔多斯盆地志丹地区延长组长7段致密油成藏条件与成藏特征[J].石油与天然气地质,2013,34(5):631-639.
BAI Yubin, ZHAO Jingzhou, ZHAO Zilong, et al. Accumulation conditions and characteristics of the Chang 7 tight oil reservoir of the Yanchang Formation in Zhidan area, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 631-639.