

doi:10.3799/dqkx.2016.069

准噶尔盆地阜东斜坡侏罗系头屯河组原油横向运移

陈君青^{1,2,3}, 庞雄奇^{1,2*}, 庞宏^{1,2}

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. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249
3. 中国石油大学非常规天然气研究院, 北京 102249

摘要: 准噶尔盆地阜东斜坡侏罗系头屯河组油藏是最近几年发现的新油藏, 原油横向运移研究极少。在对阜东斜坡侏罗系地层特征和储层物性特征分析的基础之上, 结合油源对比和油油对比地化研究, 综合分析了原油的二次运移。结果表明: 阜东斜坡侏罗系头屯河组原油主要来自西部阜康凹陷的中一下侏罗统和中二叠统烃源岩的混源, 原油自西向东对侏罗系头屯河组储层进行充注。头屯河二段的地质厚度、砂地比、孔隙度和渗透率条件均好于头屯河三段和头屯河一段, 可能为主要的油气横向运移的输导层。

关键词: 准噶尔盆地; 阜东斜坡; 侏罗系; 头屯河组; 横向运移; 石油地质。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2016)05-0821-11

收稿日期: 2015-08-06

Lateral Migration of Jurassic Toutunhe Formation in Fudong Slope, Junggar Basin

Chen Junqing^{1,2,3}, Pang Xiongqi^{1,2*}, Pang Hong^{1,2}

1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
3. The Unconventional Natural Gas Institute, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract: Few studies have been done on the petroleum lateral migration in the newly discovered oil reservoirs in the Jurassic Toutunhe Formation in the Fudong slope, Junggar basin. The process and mechanisms of the petroleum lateral migration of Jurassic in the Fudong slope were investigated based on the geological analysis of the strata, porosity and permeability of the reservoir rocks and geochemical study on oil-source correlation and oil-oil correlation in this study. The results indicate that hydrocarbons of the Jurassic Toutunhe Formation in Fudong slope were primarily derived from the mixing of the Middle-Lower Jurassic and Middle Permian source rocks of the western Fukang depression and migrated along the axis from west to east. The thickness, sand/strata ratio, porosity and permeability of Toutunhe 2 member are all better than those of Toutunhe 1 member, which makes it the main carrier beds of hydrocarbons lateral migration.

Key words: Junggar basin; Fudong slope; Jurassic; Toutunhe Formation; lateral migration; petroleum geology.

0 引言

油气运移是含油气系统的重要研究内容, 是连接油气生、排、运、聚、散各个环节的纽带 (Magoon and Geological, 1991; Losh *et al.*, 1999; Aydin, 2000)。同时由于油气运移在地质历史过程中留下的痕迹很少, 在

实验室内难以模拟, 再加上油气勘探长期以来以寻找构造圈闭为目标, 对油气运移缺乏关注, 使得油气运移成为石油地质研究中的薄弱环节。近年来, 许多学者对油气运移进行了大量的研究, Piggott and Lines (1990) 在分析 Saskatchewan 的 Dodsland 油田时, 指出了横向运移是非常重要的, 目前发现的大油气田大

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(No.2011CB201100); 国家自然科学基金青年科学基金项目(No.41402107)。

作者简介: 陈君青(1987-), 女, 博士, 主要从事油气成藏机理研究。E-mail: cjq7745@163.com

* **通讯作者:** 庞雄奇, E-mail: pangxq@cup.edu.cn

引用格式: 陈君青, 庞雄奇, 庞宏, 2016. 准噶尔盆地阜东斜坡侏罗系头屯河组原油横向运移. 地球科学, 41(5): 821-831.

部分都经历了长距离的横向运移,该油田油气的横向运移距离可达 300 km; Tissot and Welte(1984)认为油气的横向运移主要受地层的地貌形态控制;而 Miles (1990)在研究北海 Brent 砂岩中油气二次运移的过程中指出油气主要研究物性相对较好的砂体运移,同时强调好的渗透率砂体对油气运移的重要性,油气在渗透率好的薄砂体中(6 m 左右)要比在渗透率差的厚砂体中更容易运移,这一观点也得到了许多地质学者的认可(Rhea *et al.*, 1994; Bekele *et al.*, 1999, 2002);最近, Hindle(1997)在研究法国的巴黎盆地和美国 Williston 盆地的时候,证实了 Tissot and Welte(1984)的观点,并建立了预测油气的二次运移三维模型,他指出油气主要沿着封盖层的表面运移,而且大部分油气主要沿着构造脊方向运移,这里的构造脊相当于鼻状构造.Hao *et al.*(2009)在研究中国大民屯凹陷油气二次横向运移的过程中,也倾向于 Tissot 等学者的观点,指出在非均质的输导层中,油气的二次运移主要受输导层的地貌形态控制.中国准噶尔盆地油气的二次运移也取得了一些进展,前人主要采用油气性质(庞秋维等, 2011)、生物标志化合物(陈建平等, 2003)、含氮化合物(杨斌等, 2005)、流体包裹体(Cao *et al.*, 2006; Jin *et al.*, 2008; Cao *et al.*, 2010)等地球化学指标进行判识.阜东斜坡侏罗系头屯河组油藏为新疆油田最近几年新发现的油藏,目前针对该油田二次横向运移展开的研究工作极少,本文在油源对比的地化方法基础之上,结合输导层的地质条件,采用地质与地化相结合的方法,综合分析原油横向运移,对该地区的油气勘探有重要的指导意义.

1 区域地质背景

阜东斜坡位于准噶尔盆地中央坳陷阜康凹陷的东部,勘探面积约 5 000 km²,东部为北三台凸起,西部为阜康凹陷(图 1).侏罗系沉积时期,阜东斜坡形成了一个由北向南缓倾的巨大斜坡.由于区内受燕山运动的影响较小,白垩纪之后该区构造活动较弱,基本维持了侏罗纪之后的构造格局(张琴等, 2001; 宋博文等, 2014; 田少兵等, 2014).阜东斜坡侏罗系的油气勘探始于 2009 年,上钻了阜东 2 和阜东 5 井,在侏罗系头屯河组人们发现了高产油流.为了进一步拓展阜东斜坡侏罗系头屯河组的勘探成果,2011 年在该区部署探井 13 口,其中 10 口井获得了工业油气流,发现了阜东 7(FD7)、阜东 2(FD2)、阜东 5(FD5)和阜东 8(FD8)四个油气藏(图 1),三级储量约 8 242 × 10⁴ t,资

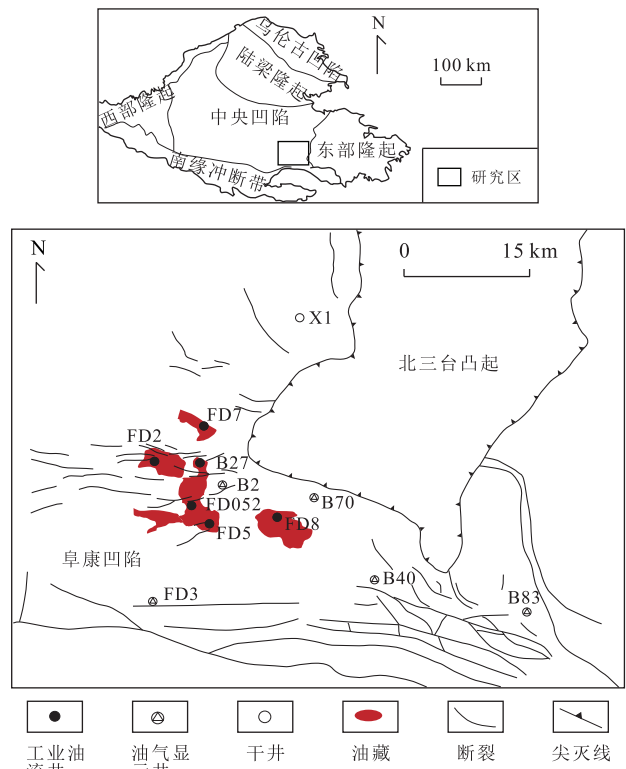


图 1 阜东斜坡侏罗系构造位置及油气藏分布

Fig.1 Geological structures and distribution of oil reservoirs in Jurassic in Fudong slope

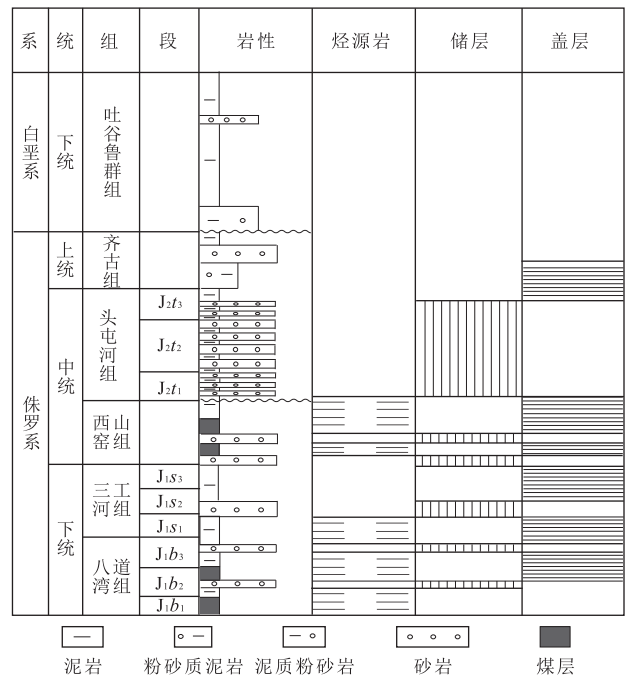


Fig.2 Stratigraphic column of Jurassic strata in Fudong slope

源潜力巨大.

阜东斜坡侏罗系自下而上包括下统的三道湾组

和三工河组、中统的西山窑组和头屯河组及上统的齐古组。侏罗系烃源岩主要有两类 5 套(Qiu *et al.*, 2008),分别为八道湾组泥质烃源岩和煤质烃源岩、三工河组泥质烃源岩以及西山窑组泥质烃源岩和煤质烃源岩(图 2)。侏罗系共发育 6 套储盖组合,其中在阜东斜坡区以头屯河组砂岩储层最为发育,厚度为 80~140 m。上覆泥岩盖层厚度变化相对较大,为 40~100 m。阜东斜坡头屯河组油气藏主要以岩性油气藏为主,油柱高度为 400~482 m,油气藏压力系数为 1.36~1.57,为高压油气藏,油气藏的地层温度为 79~84 °C,地温梯度为 0.025 2 °C/100 m。阜东斜坡侏罗系头屯河组油气藏经历了两期油气充注,分别为早白垩纪—晚白垩纪和早第三纪—现今(Cao *et al.*, 2006)。

2 地层特征

侏罗系头屯河组主要为三角洲前缘沉积,砂体类型以水下分流河道砂体为主(张满郎等, 2000; 张琴等, 2001)。头屯河组自上而下可分 3 段,头屯河组三段、二段和一段(图 2),岩性组合特征及颜色基本相似,主要为灰绿色、绿灰色、灰色泥岩与灰绿色、灰色粉砂岩以及细砂岩互层。头屯河储层岩性以细粒、中细粒、极细粒岩屑砂岩和长石岩屑砂岩为主(张满郎等, 2000)。碎屑成分以岩屑为主,平均含量 80%,其次为石英和长石,其平均含量依次为 8% 和 12%。

岩屑组分又以变泥岩、霏细岩和泥岩为主,填隙物主要为泥质,含量为 1%~5%,偶见方解石。胶结物主要为粘土矿物(钟大康等, 2003)。头屯河组地层厚度和砂岩含量的统计数据表明,头屯河组二段厚度最大,分布范围广,分布在 76~130 m;头屯河三段厚度次之,分布在 61~118 m;头屯河一段厚度最小,分布在 68~97 m(图 3a)。

然而,从砂岩含量的分布特征来看,头屯河组三段砂岩含量变化较大(图 3b),分布在 14%~80%,似乎表明该段储层非均质性很强,且 75% 的地区砂岩含量都小于 50%,表明可能不利于油气的二次横向运移。头屯河组二段和头屯河组一段的砂岩含量比头屯河组三段较为均一,砂岩含量分别分布在 36%~69% 和 24%~59%(图 3c, 3d);但是在头屯河组一段,砂岩含量普遍较低,67% 的地区砂岩含量都小于 50%;而在头屯河组二段,砂岩含量普遍较高,约 80% 的地区砂岩含量都超过了 50%(图 3c, 3d),似乎最有利于油气的二次横向运移。目前阜东地区侏罗系头屯河组发现的油气主要分布在头屯河组二段,似乎也表明了该层段最有利于油气的二次运移和聚集。

从头屯河组主力输导层段平面展布与烃源灶及有利聚集区域的空间匹配关系来看(图 4, 图 5),烃源灶在平面上主要分布在靠近西侧的阜康凹陷(图 4),纵向上主要分布在中下侏罗统和中二叠统(图 5),原油总体有由西向东、由下向上的运移趋势。

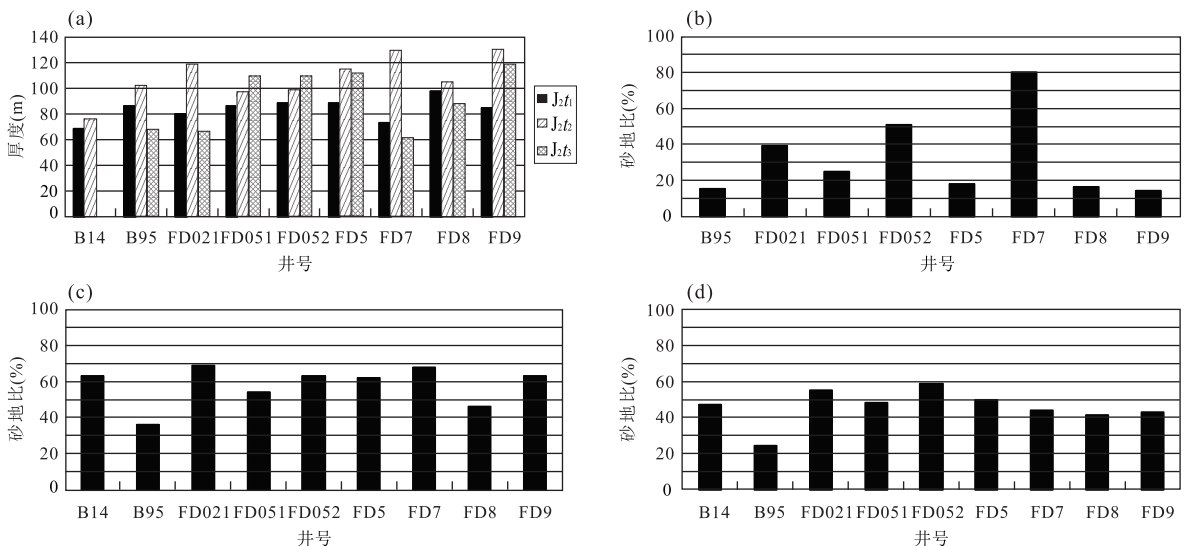


图 3 头屯河组地层厚度与砂岩百分含量柱状图

Fig.3 Histogram showing thickness and sandstone content of member J_2t_3 , J_2t_2 , J_2t_1 in the Toutunhe Formation
a.头屯河组地层厚度柱状图;b.头屯河组三段砂地比柱状图;c.头屯河组二段砂地比柱状图;d.头屯河组一段砂地比柱状图

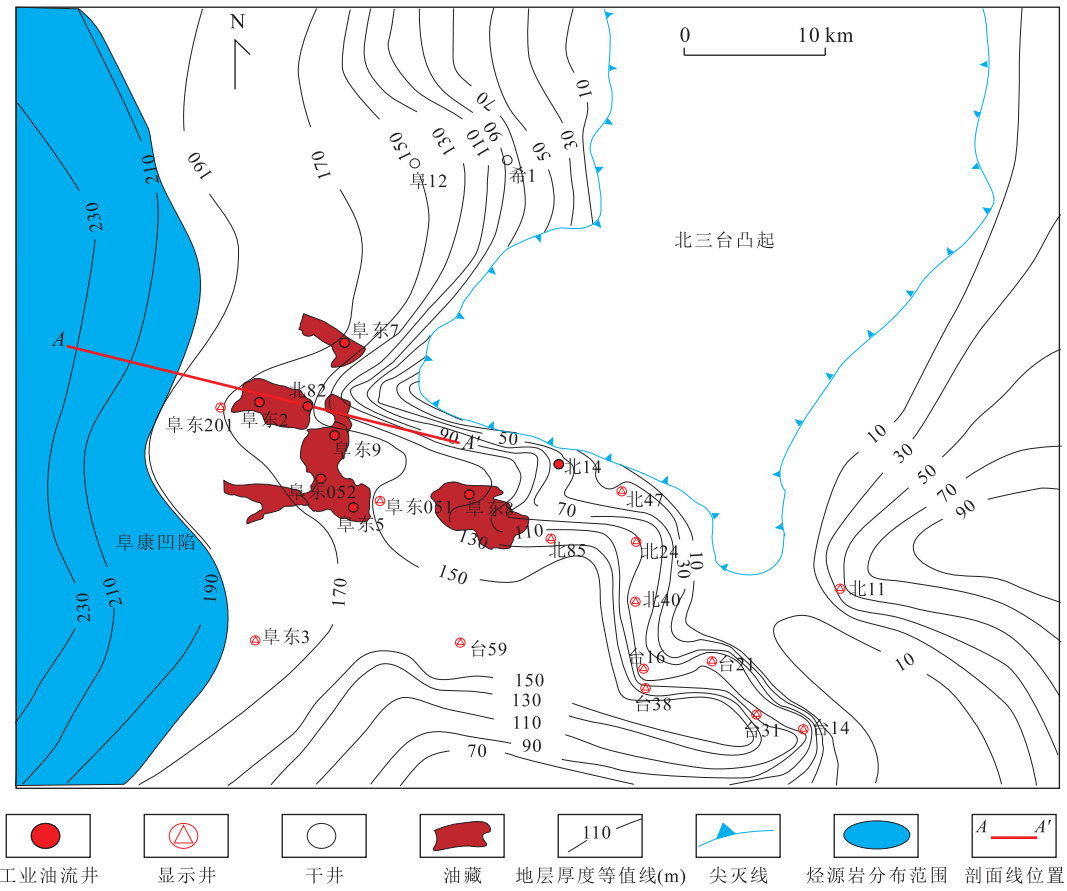


图 4 阜东斜坡侏罗系头屯河组地层厚度、烃源岩与油气藏分布关系配置

Fig.4 Strata thickness, source rock and hydrocarbon reservoirs distribution of the Toutunhe Formation in the Fudong slope

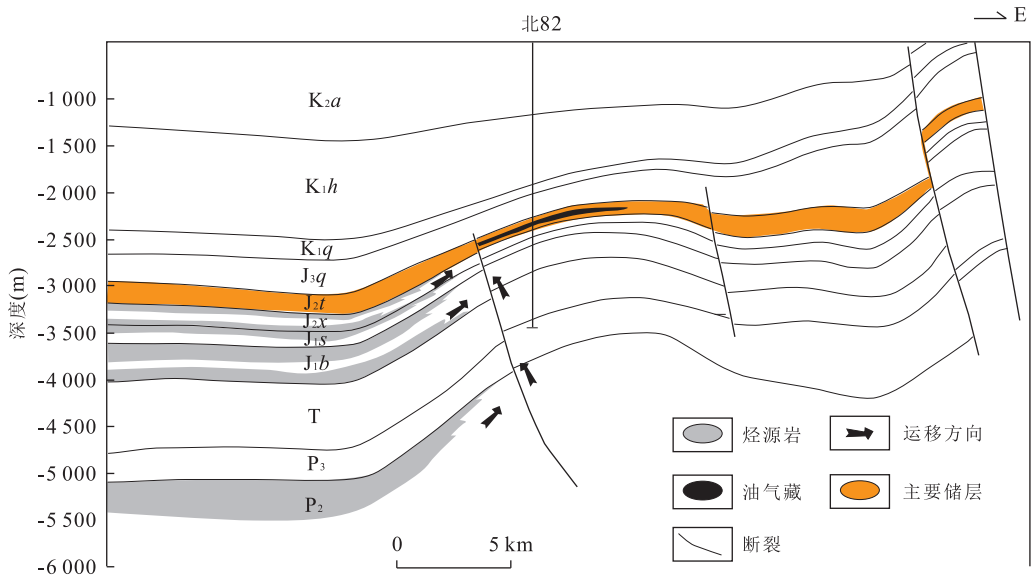


图 5 阜东斜坡侏罗系头屯河组油气运移剖面示意图(剖面位置见图 4)

Fig.5 Section showing the hydrocarbons migration of the Toutunhe Formation in the Fudong slope

P₂.中二叠统;P₃.上二叠统;T.三叠系;J_{1b}.下侏罗统八道湾组;J_{1s}.下侏罗统三工河组;J_{2x}.中侏罗统西山窑组;J_{2t}.中侏罗统头屯河组;J_{3q}.上侏罗统齐古组;K_{1q}.下白垩统清水河组;K_{1h}.下白垩统呼图壁河组;K_{2a}.中白垩统艾里克湖组

3 油源对比和油油对比

油源对比和油油对比是分析原油的来源、成因和二次运移的重要研究方法。一般来说,地质学者会优先选取受成熟度、运移效应和生物降解影响小的指标进行对比(Swefert and Moldowan, 1978; Moldowan *et al.*, 1985; Sofer, 1988; Talukdar *et al.*, 1998; Nie *et al.*, 2001)。前人研究表明,阜康凹陷主要发育中下侏罗统和中二叠统两套烃源岩(丁安娜等, 1996; 陈建平等, 2003; 杨斌等, 2005; 付欢等, 2011)。中下侏罗统烃源岩为河流—沼泽—半深湖相煤系沉积,岩性为灰黑色泥岩和黑色炭质泥岩夹煤层,厚度最大可达500 m,有机质类型以III型为主,部分为II型,有机质丰度为2.0%~5.5%,但热解生烃潜力一般,热解氢指数一般为100~260 mg/g,一般干酪根的H/C原子比低于0.9, $\delta^{13}\text{C}$ 值一般大于-26‰, R_o 一般大于0.7,为成熟—高成熟演化阶段(丁安娜等, 1996; Qiu *et al.*, 2008; 付欢等, 2011)。侏罗系烃源岩抽提物姥鲛烷(Pr)的含量相对较高,植烷(Ph)的含量相对较低,Pr/Ph值通常大于3;伽马蜡烷含量极低,甾烷以 C_{29} 规则甾烷和重排甾烷为主, C_{27} 和 C_{28} 甾烷含量低(陈建平等, 2003)。中二叠统烃源岩为半深湖—深湖沉积,岩性以灰色、黑色泥岩、油页岩及灰色、黑色白云质泥岩为主,烃源岩一般厚50~650 m,有机质丰度为2.3%~15.0%,有机质类

型以I、II型为主,热解氢指数一般为300~700 mg/g,干酪根的H/C原子比大于1.0, $\delta^{13}\text{C}$ 值为-30‰~-26‰, R_o 为成熟—高成熟演化阶段(杨斌等, 2005; 庞秋维等, 2011)。二叠系烃源岩抽提物姥鲛烷(Pr)的含量相对较低,植烷(Ph)的含量相对较高,Pr/Ph值通常小于2;伽马蜡烷含量普遍较高, C_{28} 、 C_{29} 甾烷含量高而 C_{27} 甾烷含量很低(陈建平等, 2003)。阜东斜坡侏罗系头屯河组原油表现为 C_{28} 、 C_{29} 甾烷含量较高, C_{27} 甾烷含量较低,如阜东2井,甾烷 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 的含量分别为57%、35%和8%。原油的碳同位素为-29.97‰~-27.93‰(表1),普遍小于-26‰,似乎表现为二叠系烃源岩的特征。但是从Pr/Ph的分布特征来看,Pr/Ph值普遍大于2.5(表1),似乎倾向于侏罗系烃源岩的特征。尽管Pr/Ph值作为环境指标受到许多质疑(Volkman and Maxwell, 1986),但对于生油窗内的样品,高的Pr/Ph值指示氧化条件下的陆源有机质的输入,低的Pr/Ph值代表缺氧的(通常是超盐度)沉积环境(Peters and Moldowan, 1993)。阜康凹陷侏罗系煤系烃源岩中高的Pr/Ph值与其以沼泽相沉积为主和有机质为陆源输入的特征是一致的,较好地反映了有机质的沉积环境和来源。同时,阜东斜坡侏罗系头屯河组原油中含有中等丰度的伽马蜡烷, γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷为0.08~0.16(表1),表明原油可能来自二叠系和侏罗系烃源岩的混源。依据中下侏罗统烃源

表1 阜东斜坡头屯河组原油地球化学特征

Table 1 Oil geochemical properties of the Toutunhe Formation in the Fudong slope

井号	深度(m)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Pr/Ph	γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷	$C_{29}20\text{S}/(20\text{S}+20\text{R})$	$C_{29}\alpha\beta/\sum C_{29}$	J_{1+2} 混源比例(%)
FD5	3 006~3 024	-28.56	2.74	0.14	0.50	0.42	36.0
FD5	2 990~3 000	-28.78	2.63	0.16	0.48	0.45	30.5
FD1	2 068~2 073	-29.17	1.90	0.08	0.45	0.48	20.7
FD2	3 191~3 229	-28.25	2.64	0.08	0.47	0.50	43.7
FD8	2 594~2 601	-29.97	2.86	0.10	0.50	0.47	0.7
FD7	2 871~2 894	-27.93	3.26	0.10	0.47	0.51	51.7

表2 阜东斜坡头屯河油气藏原油性质

Table 2 Oil properties of the Toutunhe reservoirs in the Fudong slope

井号	深度(m)	密度(g/cm^3)	粘度(50℃)($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	含蜡量(%)
B82	2 887~2 892	0.86	11.00	7.04
FD2	3 191~3 229	0.83	5.38	3.31
FD021	3 620~3 625	0.85	10.56	6.58
FD5	3 006~3 024	0.83	6.71	4.49
FD052	3 038~3 047	0.88	24.54	7.85
FD7	2 871~2 894	0.87	15.40	9.43
FD8	2 594~2 601	0.90	128.30	2.80

岩和中二叠统烃源岩甲烷碳同位素在头屯河组混源油中的甲烷碳同位素相对比率计算,中下侏罗统烃源岩的混源比率为 0.7%~51.7%,且随其向西迁移,中下侏罗统烃源岩的混源比例有逐渐减小的趋势,从生物标志物反映成熟度的两项经典参数看出,阜东斜坡侏罗系头屯河组原油的 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 、 $C_{29}\alpha\beta/\sum C_{29}$ 分别为 0.45~0.50、0.42~0.51 (表 1),为成熟油。

阜东斜坡侏罗系头屯河组原油密度范围分布较广,分布在 0.83~0.90 g/cm³,位于西部 FD2 和 FD5 井的原油密度相对较低,均为 0.83 g/cm³ (表 2);原油的粘度分布范围也较大,分布在 5.38~128.30 mPa·s,原油粘度在东部地区相对较高,在东部的 FD8 井,原油粘度可高达 128.30 mPa·s (表 2);原油的含蜡量中等,分布在 2.80%~9.43% (表 2)。原油物理性质是油气生成、运移、聚集、保存、破坏、调整直至最终成藏,经历一系列地质作用(包括化学、物理作用)最终结果的表现。由于大多数储集层油气都是由一侧注入,随烃源岩的成熟度不断增加,沿充注路径,原油成分相应发生梯度性变化,石油到达的时间越晚,其成熟度越高,越靠近有效烃源岩,宏观上原油密度越轻(Hwang *et al.*, 1994; 林壬子和张敏, 1996; 顾忆等, 2007)。阜东斜坡侏罗系头

屯河组原油密度总体上从西向东逐渐增大(图 6),由于白垩纪之后该区构造活动较弱(张琴等, 2001),头屯河组晚期形成的原油保存条件较好,大部分的原油未发生降解,因此,认为油气的二次横向运移是从西向东,然而在图 6 中,FD2 油藏头屯河组油藏的 FD021 井原油密度出现异常,FD021 到 FD2 井从西向东,表现为原油密度逐渐减小的趋势,通过对 FD021、FD5、FD8 和 FD7 的生物标志化合物的分析,笔者在 FD021 井中检测到了中等丰度的 25-降霍烷,表明 FD021 井原油中混入了白垩纪时期遭受降解的原油,导致 FD021 井原油密度偏重。而位于白家海凸起附近的北 14 井也表现了原油密度较西部的阜东 8 井相对较小的特征,由于构造位置自西向东逐渐增加,原油不可能沿东向西运移,因此,这种现象可能是由于原油的层析作用导致。

在油气运移过程中,由于化学组分的改变,引起分馏作用,必然导致原油的 $\delta^{13}C$ 同位素值在运移过程中降低(李明诚, 1994),同时,受多期油气充注的影响,最先进入储层的油气成熟度较低,而后期进入储层的油气成熟度较高,因此,越靠近烃源岩,原油的成熟度越高,其 $\delta^{13}C$ 同位素值越大。从图 7 中可以看出,阜东斜坡侏罗系头屯河组原油的 $\delta^{13}C$ 同位素值在西部相对较高,而在东部相对较低,表明原油

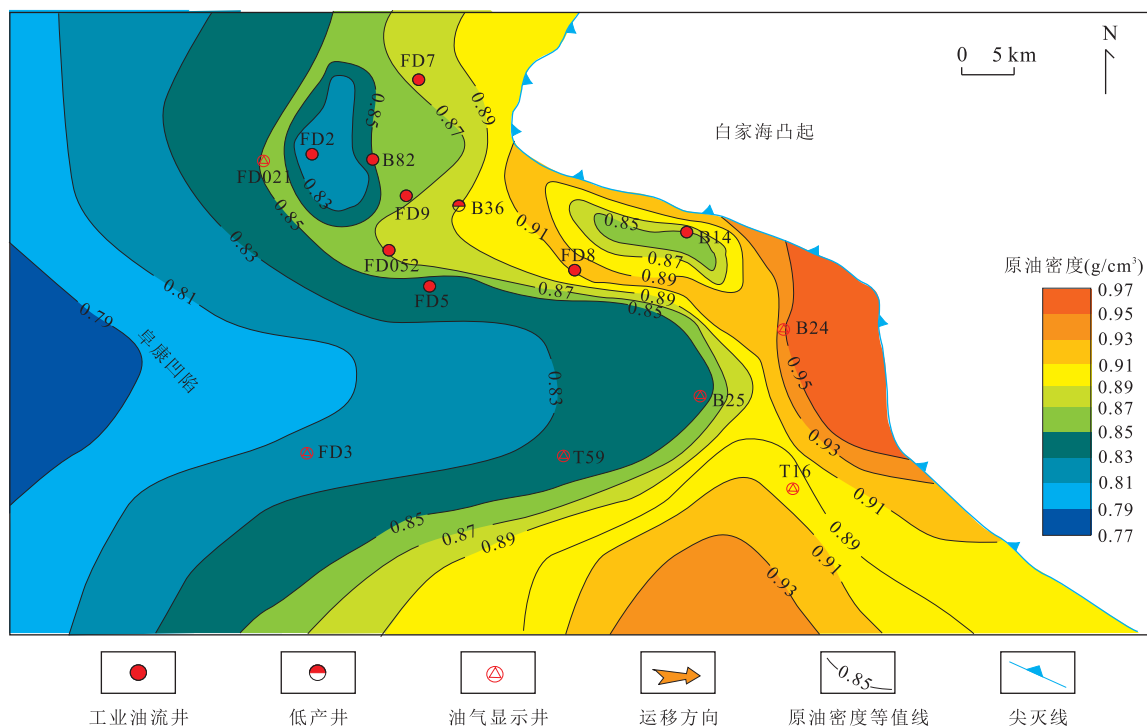


图 6 阜东斜坡头屯河组原油密度等值线

Fig.6 Oil density contour sketch of petroleum in Toutunhe Formation in Fudong slope

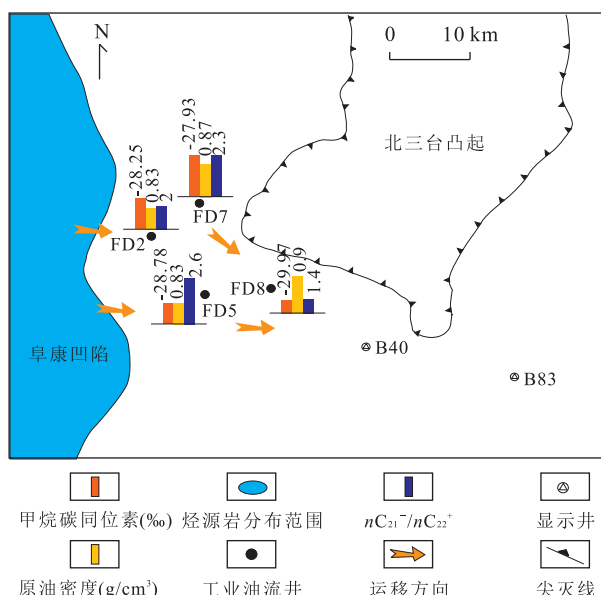


图 7 阜东斜坡头屯河组原油地球化学指标判识油气运移
Fig.7 Oil geochemical characteristics determine migration in Toutunhe Formation in Fudong slope

有自西向东运移的趋势.油气运移过程中地质色层效应也可造成色谱峰型有规律性的变化.一般来说,在运移的过程中,轻质组分增加,重质组分减少, nC_{21}^- / nC_{22}^+ 值会随着运移的增大而增高(荣启宏和王国芝, 2004).而在阜东斜坡侏罗系原油的 nC_{21}^- / nC_{22}^+ 值表现为东低西高的特征,这似乎显示了原油多期充注的特点(图 7),因为原油的轻烃基本上能代表后期充注的原油,从而去掉了早期受降解原油的影响,由于阜东斜坡西部较东部更靠近烃源岩,优先接受了晚期原油的充注,使得现今的 nC_{21}^- / nC_{22}^+ 值表现为西高东低的特征.

4 孔隙度和渗透率

砂体的孔隙度和渗透率是反映流体流动的特征之一,对油气的横向运移起着重要的作用(Miles, 1990).在阜东 2 井侏罗系头屯河组地层中,孔隙度分布在 5.4%~23.7%(图 8a),在头屯河组三段,埋深为 3 075~3 169 m,孔隙度均小于 12%,平均孔隙度为 8.6%;在头屯河组二段,埋深为 3 169~3 319 m,孔隙度增大,最大可达 23.7%,平均孔隙度为 15.7%;在头屯河组三段,埋深大于 3 319 m,孔隙度变小,最小为 5.4%,平均孔隙度为 7.9%.在图 8b 和 8c 中,阜东 9 井和阜东 8 井孔隙度显示了与阜东 2 井相似的变化特征,孔隙度在头屯河组二段相对

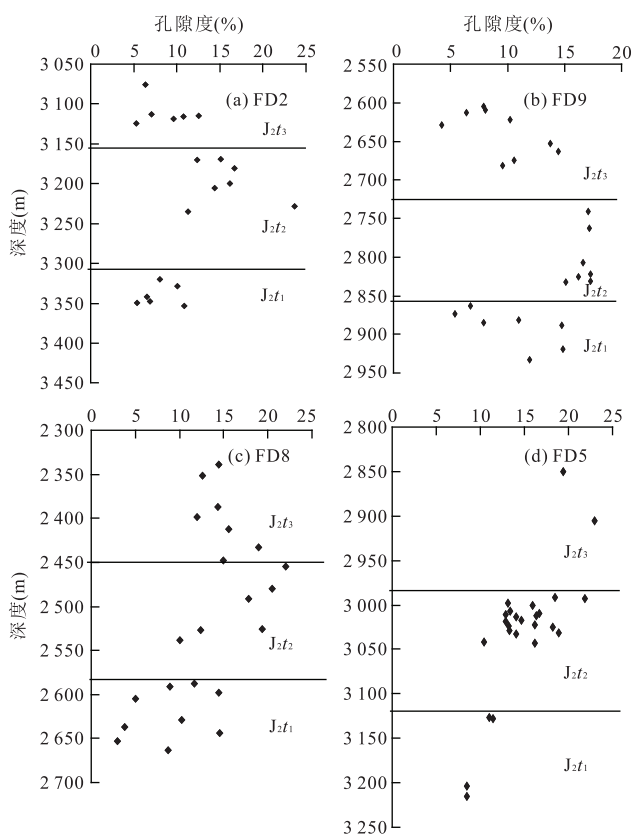


图 8 阜东斜坡侏罗系头屯河组孔隙度随埋深变化
Fig.8 The porosity of the Toutunhe Formation in the Fudong slope changing with the depth

较大,最大孔隙度可达 22%和 17.3%,平均孔隙度为 17%和 16.7%.阜东 9 井头屯河组三段的孔隙度和头屯河组一段相当,平均孔隙度分别为 9.4%和 10%(图 8b);阜东 8 井头屯河组三段孔隙度要大于头屯河组一段,平均孔隙度分别为 14.6%和 8.9%(图 8c).在阜东 5 井侏罗系头屯河组地层中,孔隙度有随着埋深的增加逐渐减小的趋势(图 8d),头屯河组三段孔隙度为 19.4%~23%,平均孔隙度为 21.2%;头屯河组二段孔隙度为 10.4%~21.9%,平均孔隙度为 15.3%;头屯河组一段孔隙度为 8.5%~11.4%,平均孔隙度为 9.8%.阜东斜坡侏罗系头屯河组头屯河组三段埋深分布在 2 338~3 169 m,平均孔隙度为 12.3%,平均渗透率为 $11 \times 10^{-3} \mu m^2$;头屯河组二段埋深分布在 2 448~3 319 m,平均孔隙度为 15.2%,平均渗透率为 $23.7 \times 10^{-3} \mu m^2$;头屯河组三段埋深分布在 2 587~3 353 m,平均孔隙度为 8.8%,平均渗透率为 $3 \times 10^{-3} \mu m^2$.总体来看,阜东斜坡头屯河组地层中头屯河组二段的孔隙度和渗透率要好于头屯河组一段和头屯河组三段,因此,油气可能更倾向于沿着头屯河组二段砂体横向运移.

5 讨论

Hunt(1996)和 Hao *et al.*(2009)认为油气的二次运移通道一般受输导层顶面的构造形态控制,阜东斜坡侏罗系头屯河组目前发现的油气藏均分布在鼻状构造之上(构造脊)(图 9),表明了该地区的油气二次横向运移受控于地层的构造形态.但 Miles (1990)认为油气的运移不是利用所有的输导层,而是沿着有限的砂体孔隙度和渗透率较好的输导层进行运移.在阜东斜坡侏罗系头屯河组地层中目前共发育 3 套砂体,分别为头屯河组三段、头屯河组二段和头屯河组一段,其中,头屯河组二段砂体的孔隙度和渗透率要好于其他两个层段,目前发现的油气藏也主要分布在头屯河组二段,表明了该地区油气二次横向运移同时也受控于输导层的孔隙度和渗透率.总的来看,在阜东斜坡侏罗系地层中,油气的二次横向运移可能主要沿着鼻状构造的孔隙度和渗透率相对较好的砂体进行.前面的研究表明,阜东斜坡侏罗系头屯河组地层中的油气主要来自于西部阜康

凹陷的中一下侏罗统和中二叠统烃源岩的混源,油气从西向东横向运移,但从二叠系地层到侏罗系地层相差了 2 000 多米,表明断裂在烃源岩和储集层之间发挥了重要的作用,是油气垂向运移的主要通道(图 5).

6 结论

在地质和地化条件综合分析的基础之上,本文研究了阜东斜坡侏罗系头屯河组原油的二次运移,得到以下结论:

- (1)阜东斜坡头屯河组原油主要来自西部阜康凹陷中一下侏罗统和中二叠统烃源岩的混源,原油自西向东横向运移;
- (2)通过对阜东斜坡头屯河组地层条件、储层的孔隙度和渗透率综合分析,头屯河组头二段的厚度、砂地比、孔隙度和渗透率均好于头屯河组头三段和头一段,头屯河组头二段可能为原油主要横向运移的输导层;

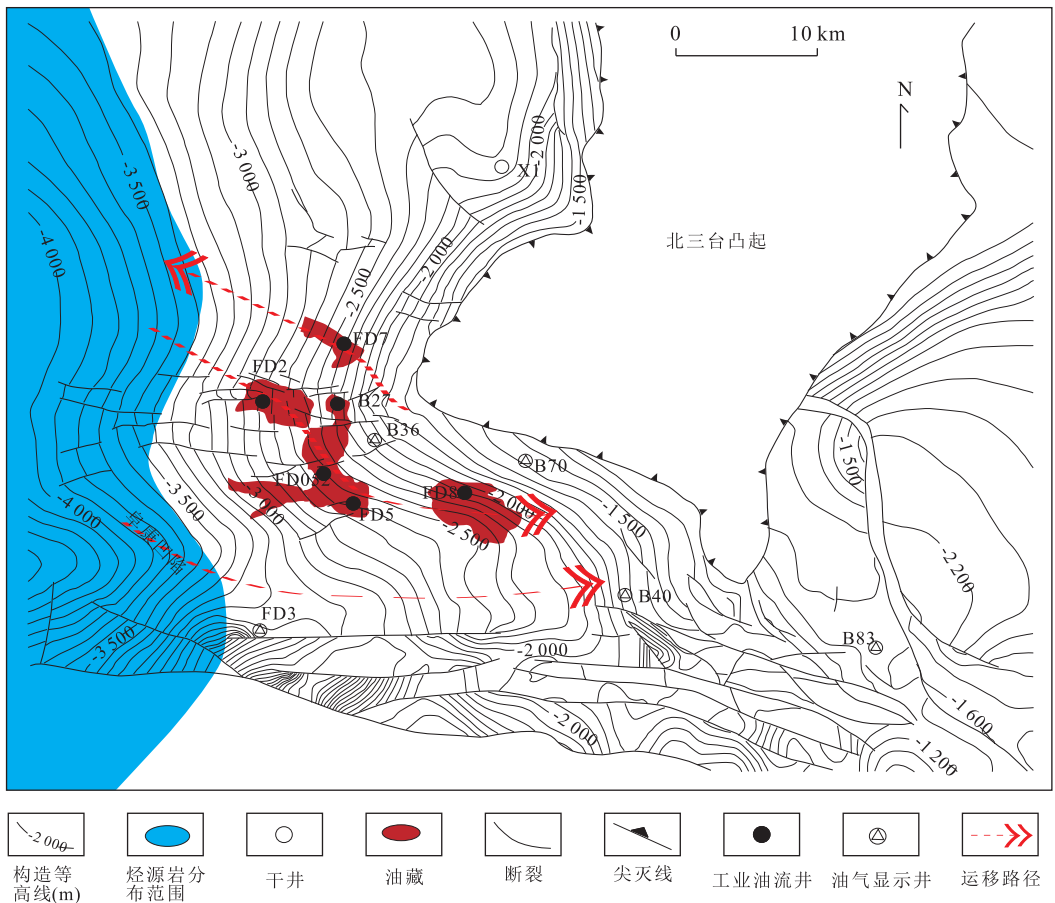


图 9 阜东斜坡侏罗系头屯河组构造等高线与油藏平面分布

Fig.9 The structural contours and the hydrocarbon reservoir distribution of the Toutunhe Formation in the Fudong slope

(3)阜东斜坡头屯河组原油横向运移受地层的构造形态和输导层的物性共同控制.油气沿构造脊(鼻状构造)上的孔隙度和渗透率相对较好的输导层运移.

致谢:感谢新疆油田分公司提供数据支持.

References

- Aydin, A., 2000. Fractures, Faults, and Hydrocarbon Entrapment, Migration and Flow. *Marine and Petroleum Geology*, 17(7): 797—814. doi: 10.1016/s0264—8172(00)00020—9
- Bekele, E., Person, M., de Marsily, G., 1999. Petroleum Migration Pathways and Charge Concentration: A Three-Dimensional Model; Discussion. *AAPG Bulletin*, 83: 1015—1019. doi: 10.1306/e4fd2e5b—1732—11d7—8645000102c1865d
- Bekele, E., Person, M., Rostron, B., et al., 2002. Modeling Secondary Oil Migration with Core-Scale Data: Viking Formation, Alberta Basin. *AAPG Bulletin*, 86(1): 55—74.
- Cao, J., Jin, Z. J., Hu, W. X., et al., 2010. Improved Understanding of Petroleum Migration History in the Hongche Fault Zone, Northwestern Junggar Basin (Northwest China): Constrained by Vein-Calcite Fluid Inclusions and Trace Elements. *Marine and Petroleum Geology*, 27(1): 61—68. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2009.08.014
- Cao, J., Yao, S. P., Jin, Z. J., et al., 2006. Petroleum Migration and Mixing in the Northwestern Junggar Basin (NW China): Constraints from Oil-Bearing Fluid Inclusion Analyses. *Organic Geochemistry*, 37(7): 827—846. doi: 10.1016/j.orggeochem.2006.02.003
- Chen, J. P., Liang, D. G., Wang, X. L., et al., 2003. Oil-Source Identification for the Mixed Oils Derived from Multiple Source Rocks in the Cainan Oilfield, Junggar Basin, Northwest China. Part I: Fundamental Geochemical Features of Source Rocks. *Petroleum Exploration and Development*, 30(4): 20—24 (in Chinese with English abstract).
- Ding, A. N., Hui, R. Y., Meng, Q. X., et al., 1996. Characteristics of Source Rocks and Their Hydrocarbon Formation in Jurassic System, Junggar Basin, Xinjiang. *Petroleum Exploration and Development*, 23(3): 11—18, 97—98 (in Chinese with English abstract).
- Fu, H., Wang, Z. Q., Wang, Z. S., et al., 2011. Geochemical Characteristics of Middle-Lower Jurassic Coal Measures in Fukang Sag. *Petroleum Geology and Engineering*, 25(6): 32—35, 59 (in Chinese with English abstract).
- Gu, Y., Shao, Z. B., Chen, Q. L., et al., 2007. Oil Migration and Accumulation Pattern in the Tahe Oilfield. *Petroleum Geology & Experiment*, 29(3): 224—230, 237 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1001—6112.2007.03.002
- Hao, F., Zou, H. Y., Li, X. G., et al., 2009. Migration and Occurrence of High Wax Oils in the Damintun Depression, Northeast China; Implication for Primary Controls of Petroleum Migration Pathways in Heterogeneous Carrier Beds. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 67(3—4): 105—115. doi: 10.1016/j.petrol.2009.05.004
- Hindle, A. D., 1997. Petroleum Migration Pathways and Charge Concentration: A Three-Dimensional Model. *AAPG Bulletin*, 81: 1451—1481. doi: 10.1306/3b05bb1e—172a—11d7—8645000102c1865d
- Hunt, J. M., 1996. *Petroleum Geochemistry and Geology* (2nd ed.). W. H. Freeman and Company, New York, 627—629.
- Hwang, R. J., Ahmed, A. S., Moldowan, J. M., 1994. Oil Composition Variation and Reservoir Continuity: Unity Field, Sudan. *Organic Geochemistry*, 21(2): 171—188. doi: 10.1016/0146—6380(94)90153—8
- Jin, Z. J., Cao, J., Hu, W. X., et al., 2008. Episodic Petroleum Fluid Migration in Fault Zones of the Northwestern Junggar Basin (Northwest China): Evidence from Hydrocarbon-Bearing Zoned Calcite Cement. *AAPG Bulletin*, 92(9): 1225—1243. doi: 10.1306/06050807124
- Li, M. C., 1994. *Oil and Gas Migration*. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Lin, R. Z., Zhang, M., 1996. Reservoir-Geochemistry—The Latest Progress in Petro-Geochemistry. *Journal of Xi'an Petroleum Institute*, 11: 8—14 (in Chinese with English abstract).
- Losh, S., Eglinton, P. S., Wood, J., 1999. Vertical and Lateral Fluid Flow Related to a Large Growth Fault, South Eugene Island Block 330, Offshore Louisiana. *AAPG Bulletin*, 83: 244—276.
- Magoon, B., L., Geological, U. S., 1991. The Petroleum System—From Source to Trap. *AAPG Bulletin*, 75: 601—655. doi: 10.1306/0c9b0689—1710—11d7—8645000102c1865d
- Miles, J. A., 1990. Secondary Migration Routes in the Brent Sandstones of the Viking Graben and East Shetland Basin: Evidence from Oil Residues and Subsurface Pressure Data. *AAPG Bulletin*, 74(11): 1718—1735.
- Moldowan, J. M., Seifert, W. K., Gallegos, E. J., 1985. Relationship between Petroleum Composition and Depositional

- Environment of Petroleum Source Rocks. *AAPG Bulletin*, 69: 1255 – 1268. doi: 10.1306/ad462bc8 – 16f7 – 11d7 – 8645000102c1865d
- Nie, F. J., Li, S. T., Wang, H., et al., 2001. Lateral Migration Pathways of Petroleum in the Zhu III Subbasin, Pearl River Mouth Basin, South China Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 18(5): 561 – 575. doi: 10.1016/s0264 – 8172(01)00013 – 7
- Pang, Q. W., Wang, Z. Q., Qin, Y., et al., 2011. Tracer Analysis of Hydrocarbon Migration in Baijiahai Arch-Fubei Slope of Junggar Basin. *Journal of Yangtze University (Nat. Sci. Edit.)*, 8(12): 40 – 42 (in Chinese with English abstract).
- Peters, K. E., Moldowan, J. M., 1993. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Piggott, N., Lines, M. D., 1990. A Case Study of Migration from the West of the Canada Basin. Conference on Petroleum Migration, London.
- Qiu, N. S., Zhang, Z. H., Xu, E. S., 2008. Geothermal Regime and Jurassic Source Rock Maturity of the Junggar Basin, Northwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31(4 – 6): 464 – 478. doi: 10.1016/j.jseas.2007.08.001
- Rhea, L., Person, M., de Marsily, G., 1994. Geostatistical Models of Secondary Oil Migration within Heterogeneous Carrier Beds—A Theoretical Example. *AAPG Bulletin*, 78: 1679 – 1691. doi: 10.1306/a25ff25b – 171b – 11d7 – 8645000102c1865d
- Rong, Q. H., Wang, G. Z., 2004. Geochemical Signature of Oil Migration in Southeast Boxing Depression, Jiyang, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 31(5): 517 – 521 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1671 – 9727.2004.05.013
- Seifert, W. K., Moldowan, J. M., 1978. Applications of Steranes, Terpanes and Monoaromatics to the Maturation, Migration and Source of Crude Oils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42(1): 77 – 95. doi: 10.1016/0016 – 7037(78)90219 – 3
- Sofer, Z., 1988. Biomarkers and Carbon Isotopes of Oils in the Jurassic Smackover Trend of the Gulf Coast States, U. S. A.. *Organic Geochemistry*, 12(5): 421 – 432. doi: 10.1016/0146 – 6380(88)90152 – 0
- Song, B. W., Xu, Y. D., Liang, Y. P., et al., 2014. Evolution of Cenozoic Sedimentary Basins in Western China. *Earth Science*, 39(8): 1035 – 1051 (in Chinese with English abstract).
- Talukdar, S., Gallango, O., Ruggiero, A., 1988. Generation and Migration of Oil in the Maturin Subbasin, Eastern Venezuelan Basin. *Organic Geochemistry*, 13(1 – 3): 537 – 547. doi: 10.1016/0146 – 6380(88)90074 – 5
- Tian, S. B., Cai, J. C., Hu, X. Y., et al., 2014. Deep Conductivity Structure in Middle-East Junggar Basin Using MT. *Earth Science*, 39(5): 620 – 628 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3799/dqkx.2014.059
- Tissot, B. P., Welte, D. H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence* (2nd ed.). Springer-Verlag, Berlin, 699.
- Volkman, J. L., Maxwell, J. R., 1986. *A Cyclic Isoprenoids as Biological Markers*. Elsevier, New York.
- Yang, B., Liao, J. D., Han, J., et al., 2005. Geochemical Characteristics of Crude Oil in Santai Area, Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 26(5): 493 – 498 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1001 – 3873.2005.05.006
- Zhang, M. L., Zhu, X. M., Zhang, Q., 2000. The Jurassic Sediments on East Fukang Slope of the Junggar Basin, Xinjiang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(4): 60 – 70 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1009 – 3850.2000.04.006
- Zhang, Q., Zhu, X. M., Zhang, M. L., et al., 2001. Sequence Stratigraphic Frame of Jurassic in East Fukang Slope, Junggar Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(4): 575 – 580 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1000 – 0550.2001.04.016
- Zhong, D. K., Zhu, X. M., Wen, Y. C., 2003. Diagenesis, Porosity Evolution and Secondary Porosity Prediction of Jurassic Sandstone Reservoir in Fudong Slope, Junggar Basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 17(4): 249 – 251 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈建平, 梁狄刚, 王绪龙, 等, 2003. 彩南油田多源混合原油的油源(一)——烃源岩基本地球化学特征与生物标志物特征. *石油勘探与开发*, 30(4): 20 – 24.
- 丁安娜, 惠荣耀, 孟仟祥, 等, 1996. 准噶尔盆地侏罗系烃源岩及油气形成特征. *石油勘探与开发*, 23(3): 11 – 18, 97 – 98.
- 付欢, 王振奇, 王泽胜, 等, 2011. 阜康凹陷中下侏罗统煤系烃源岩地球化学特征. *石油地质与工程*, 25(6): 32 – 35, 59.
- 顾忆, 邵志兵, 陈强路, 等, 2007. 塔河油田油气运移与聚集规律. *石油实验地质*, 29(3): 224 – 230, 237.
- 李明诚, 1994. *石油与天然气运移*. 北京: 石油工业出版社.
- 林壬子, 张敏, 1996. *油藏地球化——石油地球化学的新进展*.

西安石油学院学报:自然科学版,(1):8-14,4.

庞秋维,王振奇,覃毅,等,2011.准噶尔盆地白家海凸起阜北斜坡区油气运移示踪分析.长江大学学报:自然科学版,(12):40-42,11.

荣启宏,王国芝,2004.博兴洼陷东南部石油运移的地球化学标志.成都理工大学学报:自然科学版,31(5):517-521.

宋博文,徐亚东,梁银平,等,2014.中国西部新生代沉积盆地演化.地球科学,39(8):1035-1051.

田少兵,蔡建超,胡祥云,等,2014.准噶尔中东部地区深部电

性结构电磁探测.地球科学,39(5):620-628.

杨斌,廖健德,韩军,等,2005.准噶尔盆地三台地区原油地球化学特征.新疆石油地质,26(5):493-498.

张满郎,朱筱敏,张琴,2000.准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系沉积特征.沉积与特提斯地质,20(4):60-70.

张琴,朱筱敏,张满郎,等,2001.准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系层序地层格架的建立.沉积学报,19(4):575-580.

钟大康,朱筱敏,文应初,2003.准噶尔盆地阜东斜坡侏罗系砂岩成岩作用、孔隙演化及次生孔隙预测.中国海上油气(地质),17(4):249-251.

《地球科学》

2016年6月 第41卷 第6期 要目预告

鄂尔多斯盆地南部延长组层序地层格架中烃源岩特征及控制因素	周翔等
北喜马拉雅佩枯花岗岩年代学、成因机制及其构造意义	王晓先等
龙首山中段地区茂岭花岗岩体 Sr-Nd-Pb 同位素特征及意义	赵亚云等
华夏早古生代俯冲作用(II):大爽高镁-镁质安山岩新证据	彭松柏等
开放潮坪地区 ²¹⁰ Pb _{exc} 测年 CIC 和 CRS 计算模式的选择	王福等
单斜辉石中石英出溶体的显微结构和成因机制	徐海军等
页岩基质微观孔隙结构分析新方法	杨永飞等
豫西滎池地区寒武系第三统馒头组核形石中的 <i>Girvanella</i>	代明月等