

准噶尔盆地滴南凸起东段油气成因及来源

李林^{1,2}, 陈世加³, 杨迪生², 路俊刚³,
邹红亮², 袁波², 刘超威³, 张焕旭³, 徐怀民¹

(1. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249; 2. 新疆油田公司 勘探开发研究院
地球物理研究所, 乌鲁木齐 830013; 3. 西南石油大学 资源与环境学院, 成都 610500)

摘要:准噶尔盆地滴南凸起东段业已形成规模油藏, 原油密度高、粘度大, 区域上存在多个生烃凹陷, 纵向上存在多套源岩, 均具供烃可能性。对原油物性和地球化学特征进行综合分析, 指出该区原油碳同位素较轻, C_{28} 甾烷丰度较高, 轻烃成熟度高于本身和五彩湾凹陷的二叠系烃源岩, 原油和储层抽提物饱和和炔色谱不完整, 轻组分和正构烷烃严重损失, 是东道海子凹陷二叠系来源的成熟阶段产物并遭生物降解。对天然气组分的组成和碳同位素特征分析, 表明天然气为干气, 乙烷碳同位素较重, 甲烷碳同位素较轻, 并与生物降解油伴生, 为原油菌解气与石炭系高—过成熟阶段产物混合的结果。下一步勘探应向东道海子凹陷延伸, 构造下倾部位保存条件好, 且降解稠油可与致密储层共同封堵形成岩性圈闭, 捕获凹陷较高成熟阶段油气。

关键词:原油; 生物降解; 原油菌解气; 滴南凸起东段; 准噶尔盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Hydrocarbon origin and source in east section of Dinan salient of Junggar Basin

Li Lin^{1,2}, Chen Shijia³, Yang Disheng², Lu Jungang³,
Zou Hongliang², Yuan Bo², Liu Chaowei³, Zhang Huanxu³, Xu Huaimin¹

(1. College of Earth Sciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. Geophysical Research Institute, Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Urumqi, Xinjiang 830013, China; 3. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract: Oil reservoirs with certain scale have been formed in the east section of Dinan salient, the Junggar Basin. The crude oils are characterized by high density and high viscosity. Several hydrocarbon-generation sags have been found in the region. Many sets of source rocks exist in the longitudinal direction, and they all have hydrocarbon supplying possibility. According to the physical and geochemical properties of crude oils, it has been concluded that the crude oils in the study area are characterized by light carbon isotope and high abundance of C_{28} sterane. The sterane has higher maturity than crude oils themselves and Permian source rocks from the Wucaiwan Sag. The saturated hydrocarbon chromatograms of crude oils and reservoir extracts are incomplete with severe damage of light components and n -alkanes, which can be explained by biodegradation effect on mature hydrocarbon sourced from Permian of the Dongdaohaizi Sag. The analyses of natural gas compositions and carbon isotopes have indicated that the natural gas is dry gas with heavier ethane carbon isotope and lighter methane carbon isotope, and is associated with biodegraded oil. It is the mixture of crude oil degraded by bacteria and the product of high-over mature stage of Carboniferous. The next exploration direction should be extended to the Dongdaohaizi Sag, and the preserve conditions in the downward inclined part of structure are better. The common plugging of degraded heavy oil and tight reservoir could form lithologic trap, which is beneficial to capture oil and gas of high mature stage in the sag.

Key words: crude oil; biodegradation; crude oil degraded by bacteria; east section of Dinan salient; Junggar Basin

滴南凸起东段从20世纪80年代开始钻探, 目前已在多口井发现高产工业油流(滴12、滴2和滴20井), 产层主要是侏罗系八道湾组, 探明石油

地质储量近 500×10^4 t。

滴南凸起东段周缘存在五彩湾凹陷、滴水泉凹陷和东道海子凹陷多个生烃凹陷, 纵向上存在石炭

系、二叠系和侏罗系等多套源岩,均具有供烃的可能性,原油成因及来源存在争议^[1-3]。该区构造位置较高,保存条件较差,在构造下倾部位却存在天然气,天然气特征与周缘构造存在较大差异,其成因及来源尚不明确,这些问题业已成为制约该地区下一步勘探的重要因素。

1 地质概况

滴南凸起东段位于克拉美丽山前,近盆地边缘,构造上属于滴南凸起上倾部位,为一向西倾的单斜^[3],北西为滴水泉凹陷,南面为五彩湾凹陷,南西方向为东道海子凹陷,临近千亿方储量的克拉美丽气田和彩南—五彩湾亿吨级油气田(图1)。

本区的构造格局形成于石炭纪末期,至早三叠世高部位一直处于剥蚀夷平阶段;中晚三叠世该区开始再次接受沉积,印支末期的构造运动又使三叠系遭受强烈剥蚀,在凸起高部位几近缺失。在持续隆起的区域背景下沉积的侏罗系中下统,形成了具有披覆性质的构造,侏罗纪末期的燕山运动对其影响剧烈,使该区再次隆升遭受削蚀,致使侏罗系上统及中统部分地层缺失,甚至下统也遭受部分削蚀。白垩系超覆沉积在侏罗系的夷平面之上,部分继承了侏罗系的构造形态,且更加宽缓,受喜马拉雅运动的影响,呈由东向西倾没的单斜形态。

该地区地层遭受多期剥蚀,部分地层缺失,自

上而下钻揭地层依次为白垩系艾里克湖组、吐谷鲁群,侏罗系西山窑组、三工河组、八道湾组和石炭系,构造高部位缺失二叠系、三叠系、上侏罗统及部分中侏罗统地层。

2 烃源岩及其产物特征

区域上,滴南凸起东段周缘存在多个生烃凹陷,垂向上存在侏罗系、石炭系和二叠系等多套烃源岩,均具供烃的可能性。

石炭纪,陆东地区整体为一连通的沉积盆地,残留海相沉积^[4-5],烃源岩分布面积广,有机质丰度高,有机质类型以Ⅲ型为主,生烃能力强^[6-9]。受多期火山喷发的高温烘烤,源岩演化程度较高,目前普遍处于高一过成熟阶段^[8-9]。该源产物在陆东地区分布广泛,原油以碳同位素重(普遍重于 -27‰)、 C_{28} 甾烷丰度较低(小于20%)、轻烃成熟度高为特征,天然气以组分组成干、甲烷碳同位素均较重为特征,主要以干气藏、凝析气藏和轻质油藏(天然气散失)形式存在,滴南凸起北分支的克拉美丽气田油气均为典型的石炭系来源^[10]。

早中二叠世,陆南凸起、石西凸起和白家海凸起出现雏形,陆东地区分隔成几个连通不畅的沉积盆地^[11],不同凹陷源岩生烃特征存在差异。陆东地区中下二叠统主要以半深湖—深湖沉积为主,源岩岩性以灰色、深灰色、灰黑色、黑色油页岩、泥岩

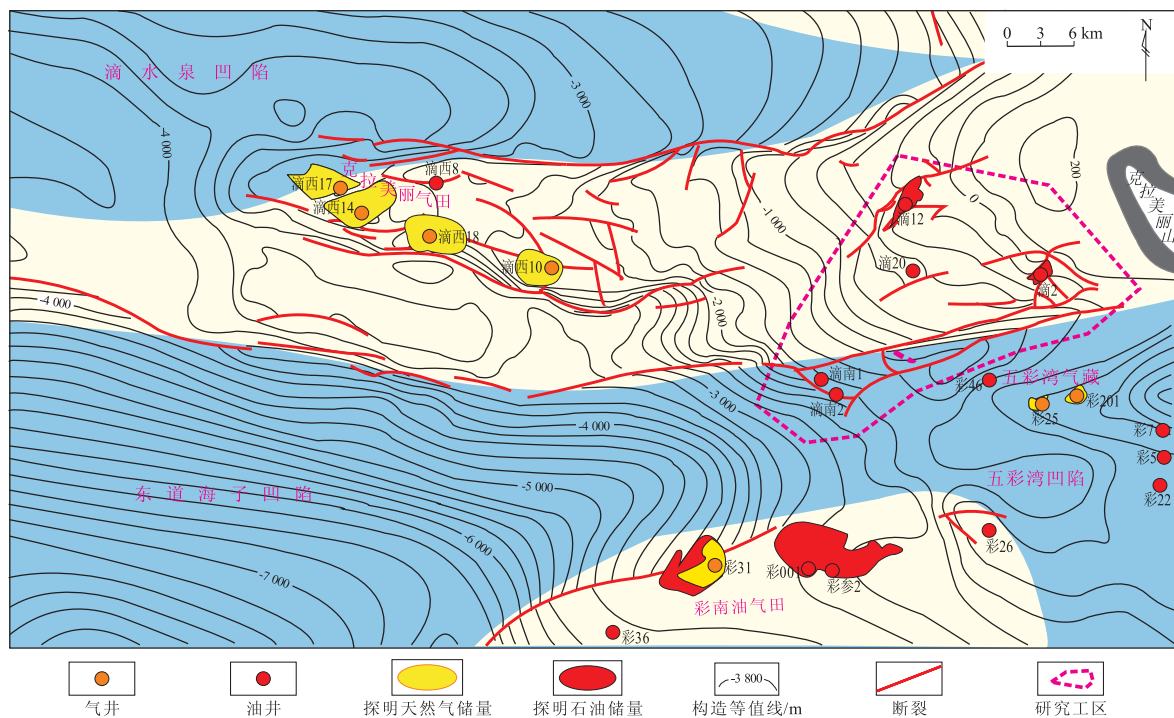


图1 准噶尔盆地滴南凸起东段构造位置

Fig. 1 Location of east section of Dinan salient, Junggar Basin

和云质泥岩为主^[7,12],沉积厚度大,分布广。其有机质类型以腐泥型为主,有机质丰度高,是陆东地区供烃量最大的层段^[7,12]。该源产物分布非常广泛,在滴南凸起、白家海凸起和沙帐断褶带均发现大规模油气藏。受燕山构造运动的影响,不同凹陷源岩演化程度存在差异。目前,东道海子凹陷和阜康凹陷二叠系源岩已达生烃高峰期,凹陷深部已达高成熟阶段;五彩湾凹陷二叠系源岩尚处于低—未成熟阶段。二叠系来源油普遍具碳同位素较轻(普遍轻于-30‰)、C₂₈甾烷丰度高(大于30%)、姥植比较小的特征,天然气具组分偏湿、甲烷碳同位素均较轻的特征^[12-13]。但是滴水泉凹陷缺失中下二叠统地层,只存在上乌尔禾组(P_{3w}),以河流—滨浅湖沉积为主,岩性以灰褐色、褐红色、褐色、灰色粉砂质泥岩、泥岩、含砾泥岩夹浅灰色泥质粉砂岩、含砾粗砂岩为主,生烃能力很差^[3]。

早中侏罗世陆东地区主要为河流—沼泽—滨浅湖相煤系沉积,发育深灰色、灰黑色、黑色泥岩、粉砂质泥岩、黑色碳质泥岩夹煤层^[12],分布广泛,煤层和暗色泥岩厚度大,最大可达650 m。侏罗系源岩有机质丰度普遍很高,但有机质类型主要以Ⅲ型为主,来源油以碳同位素较重、C₂₈甾烷丰度低、

姥植比大(一般大于3)为特征。成1井侏罗系八道湾组原油为典型侏罗系源岩产物^[3],彩南油田也发现了侏罗系来源产物的混合油^[13]。侏罗系源岩成熟度普遍较低,主体处于低—未成熟阶段。

3 原油成因及来源

3.1 原油物性特征

滴南凸起东段构造高部位原油密度主体分布在0.88~0.9 g/cm³,粘度为20.11~128.38 mPa·s,凝固点为10~26℃,含蜡量为1.39%~7.67%(表1),与周缘构造原油对比,具有密度大、粘度和凝固点较高的特征。

3.2 原油地球化学特征

3.2.1 原油的生物降解

(1) 饱和烃色谱

如图2所示,滴南凸起中段原油和储层抽提物饱和烃色谱保存不完整,正构烷烃遭受重大损失,说明原油遭受过较为严重的生物降解^[14-16]。但构造不同部位原油降解程度存在差异,构造高部位和构造下倾部位浅层原油降解程度较强,但是处于构造低部位的滴南1井深层(2900 m以下)储层抽提物饱和烃色谱完整(图3),说明保存条件较好。

表1 准噶尔盆地滴南凸起东段原油与周缘其他构造原油物性特征对比

Table 1 Comparison of crude oil properties in east section of Dinan salient and periphery structures, Junggar Basin

区块/井号	层位	油密度/ (g·cm ⁻³)	粘度/ (mPa·s)	凝点/℃	含蜡/%	
滴南 凸起 东段	滴2	J _{1b}	0.90	128.38	10	5.56
	滴12	J _{1b}	0.88	20.11	12	7.67
	滴20	J _{1b}	0.89	34.3	26	1.39
	滴南1	P _{2p}	0.84	5.99	13	8.76
	滴南2	P _{2p}	0.83	4.98	17	7.82
滴南 凸起 中段	南分支滴西9— 滴西13井区	J-K	0.75~0.85 0.81(13)	0.5~8.4 3.84(6)	-67.4~27 1.2(13)	4.44~17.77 8.62(13)
		C	0.7~0.82 0.77(24)	0.3~2.4 0.88(15)	-57.4~19.1 -8.3(24)	0.1~9.64 3.5(24)
五彩湾油气田	C	0.74~0.80 0.77(23)	0.3~5.4 1.23(11)	-19.1~10 -5.6(23)	0.68~8.09 3.92(23)	
彩南油气田	J	0.74~0.85 0.82(119)	2.5~15 3.95(74)	-51.9~28 9.7(118)	0.14~22.3 11.6(118)	

注:表中分式意义为: $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

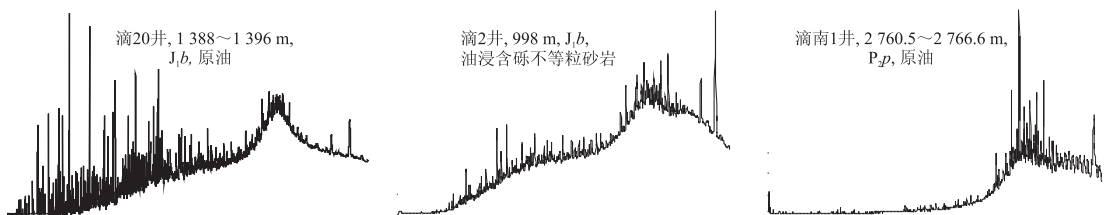


图2 准噶尔盆地滴南凸起东段储层抽提物和原油饱和烃色谱

Fig. 2 Saturated hydrocarbon chromatogram of reservoir extract and crude oil in east section of Dinan salient, Junggar Basin

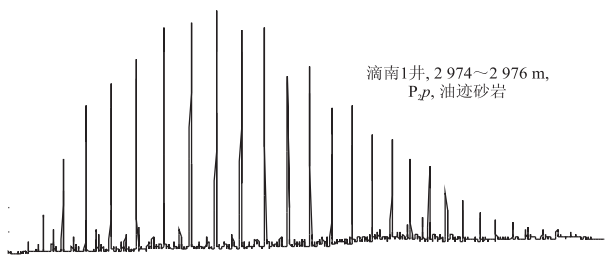


图3 准噶尔盆地滴南凸起东段构造下倾部位深层储层抽提物饱和烃色谱
Fig. 3 Saturated hydrocarbon chromatogram of deep reservoir extract in downward inclined part of east section of Dinan salient

(2) 萜烷分布特征

根据 Peters 等^[17]对原油中不同生物标志化合物抗生物降解能力的研究,当生物降解达到6级的时候, $m/z=177$ 色质图上会出现 25-降藿烷,此时甾烷及藿烷会出现降解的特征。

如图4所示,工区原油未检测出 25-降藿烷,说明其降解程度未达到6级,甾藿烷还未降解。

3.2.2 原油来源

(1) 原油碳同位素

原油碳同位素受油藏次生变化影响较小,是油气

源对比常用的指标。有机质类型不同,原油碳同位素也不同,类型好的有机质生成的原油碳同位素比类型差的有机质生成的原油碳同位素轻,原油碳同位素较对应干酪根碳同位素一般轻 2‰~3‰左右^[18]。

工区侏罗系原油碳同位素明显较轻,主要分布在轻于-30‰范围内。与不同层位烃源岩抽提物碳同位素对比,其与二叠系平地泉组源岩产物一致,明显轻于石炭系和侏罗系源岩产物(图5),说明工区侏罗系原油为典型的平地泉组来源产物。

(2) 甾烷分布特征

地质体中的甾烷类烃主要是由藻类、浮游动植物、高等植物等真核生物的甾醇在成岩作用中衍生而来,是油源对比的强有力参数^[17,19]。不同有机质组成的原油其 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷丰度存在差异。

工区原油甾烷分布特征基本一致, C_{28} 和 C_{29} 甾烷丰度相当,均较高, C_{27} 甾烷丰度较低(图6)。与准噶尔盆地陆东地区不同层位烃源岩特征进行对比,其与二叠系平地泉组产物基本一致,与侏罗系和石炭系源岩产物明显不同(图7),说明该区原油主要为二叠系平地泉组来源。

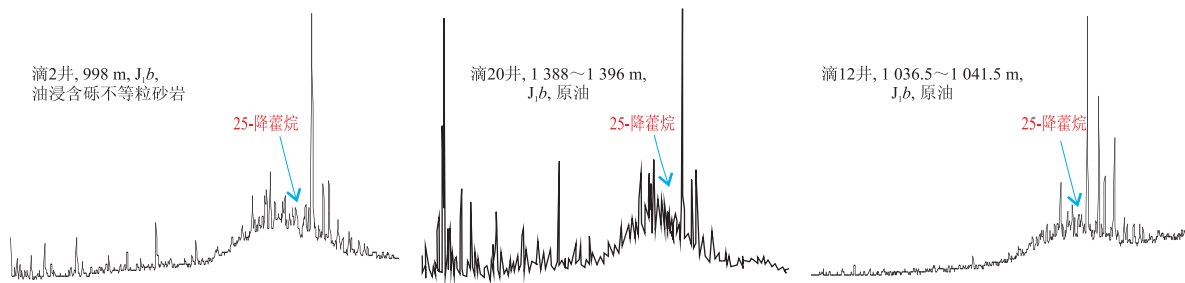


图4 准噶尔盆地滴南凸起东西段原油和储层抽提物萜烷($m/z=177$)分布特征
Fig. 4 Distribution characteristics of terpanes ($m/z=177$) of crude oil and reservoir extract in east and west sections of Dinan salient, Junggar Basin

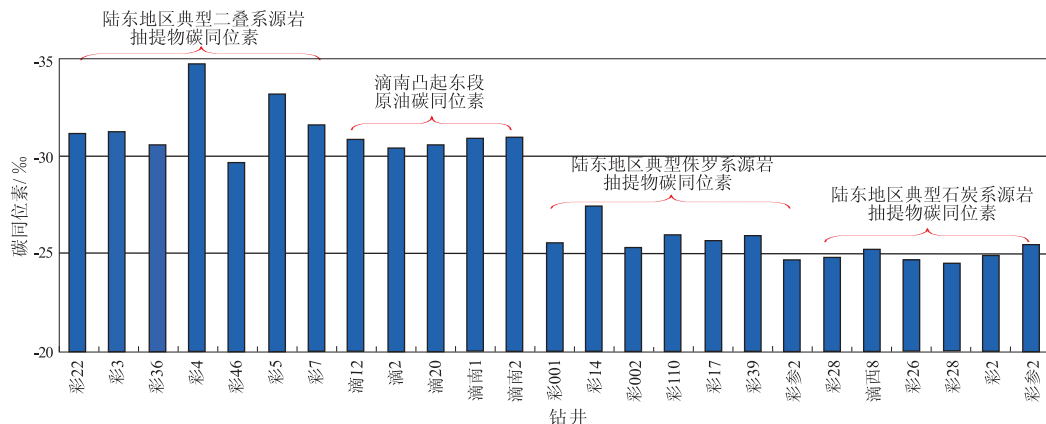


图5 准噶尔盆地滴南凸起东段原油碳同位素与陆东地区不同烃源岩抽提物碳同位素对比
Fig. 5 Comparison of carbon isotope of crude oil in east section of Dinan salient and different source rock extracts in Ludong area, Junggar Basin

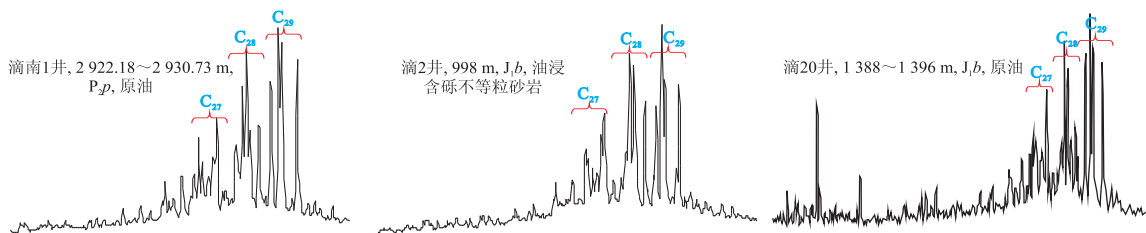


图 6 准噶尔盆地滴南凸起东西段原油和储层抽提物甾烷分布特征

Fig. 6 Distribution characteristics of steranes of crude oil and reservoir extract in east and west sections of Dinan salient, Junggar Basin

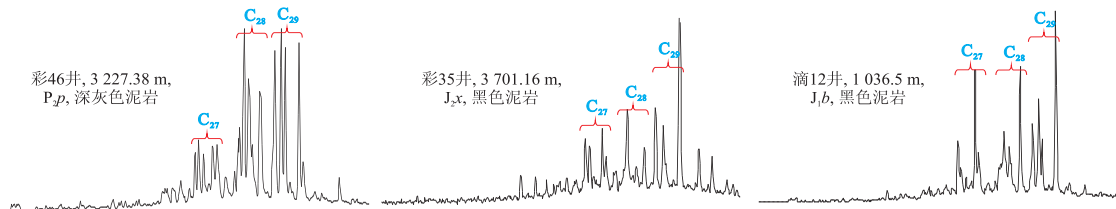


图 7 准噶尔盆地陆东地区二叠系、石炭系和侏罗系烃源岩抽提物甾烷分布特征

Fig. 7 Distribution characteristics of steranes of Permian, Carboniferous and Jurassic source rocks in Ludong area, Junggar Basin

3.2.3 原油成熟度特征

工区原油虽然存在较为严重的生物降解特征,但是并未出现 25-降藿烷,说明其降解级别不高,甾烷和藿烷还未开始降解,应用甾烷异构化参数可有效判识其演化程度。

工区原油成熟度参数 $C_{29}20S/20(S+R)$ 主要分布在 0.38 ~ 0.53 范围内, $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 为 0.41 ~ 0.64,基本达到平衡,说明该区原油已达成熟阶段(图 8)。但相对而言,该区本身烃源岩抽提物成熟度较低,甾烷异构化尚未达到平衡,烃源岩干酪根镜质体反射率为 0.55% ~ 0.78% (表 2),处于低—未成熟阶段,说明滴南凸起东段原油不是其本身来源产物,应来自埋藏深度更大、演化程度更高的烃源岩。

结合工区周缘不同凹陷烃源岩演化特征,五彩湾凹陷二叠系烃源岩演化程度与滴南凸起东段本身源岩基本一致,目前主体尚处于低—未成熟阶段

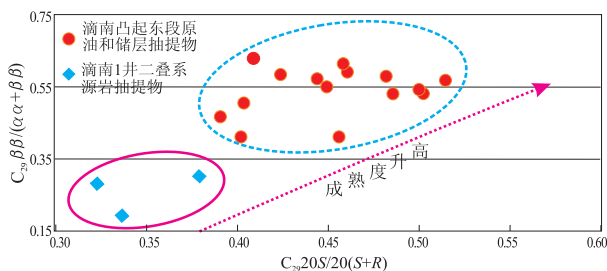


图 8 准噶尔盆地滴南凸起东段原油、储层抽提物与滴南 1 井源岩抽提物甾烷成熟度参数对比

Fig. 8 Maturity parameter comparison of steranes of crude oil, reservoir extract in east section of Dinan salient and source rock extract in well Dinan1, Junggar Basin

(表 2),明显低于滴南凸起东段原油成熟度,说明工区原油不是来自五彩湾凹陷。而滴水泉凹陷二叠系烃源岩不发育,说明滴南凸起东段原油主要来自东道海子凹陷。

综上所述,工区原油属于典型的二叠系平地泉

表 2 准噶尔盆地滴南凸起东段构造低部位平地泉组烃源岩干酪根镜质体反射率

Table 2 Kerogen vitrinite reflectance of Pingdiqian Formation source rocks in lower part of east section of Dinan salient, Junggar Basin

井号/区块	深度/m	层位	样品类型	样品描述	干酪根镜质体反射率 R_o /%
滴南 1	2 655.59	P_2p	岩心	深灰色泥岩	0.7
滴南 1	2 675.55	P_2p	岩心	深灰色泥岩	0.78
滴南 3	2 276 ~ 2 278	P_2p	岩屑	灰黑色泥岩	0.55
滴南 3	2 390 ~ 2 392	P_2p	岩屑	灰黑色泥岩	0.6
滴南 3	2 402 ~ 2 406	P_2p	岩屑	灰黑色泥岩	0.67
滴南 3	2 436 ~ 2 440	P_2p	岩屑	灰黑色泥岩	0.63
五彩湾凹陷	1 657.97 ~ 3 292	P_2p	岩心	(深)灰色、黑色泥岩、云质泥岩和凝灰质泥岩	0.55 ~ 0.98 0.71(31)

组来源的成熟阶段的产物,源区为东道海子凹陷,因后期构造运动,保存条件较差,原油遭受生物降解导致密度变高、粘度变大。

4 天然气特征及其成因

滴南凸起东段构造高部位(滴12井和滴2井)为典型的油藏,试油获高产油流,未见气,但处于构造较低部位的滴20井除获高产工业油流外,还获得 $0.0298 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的日产气,这也是该区发现的唯一含气井。

从天然气组分组成特征来看,该区天然气甲烷含量为94.98%,重烃(C_{2+})含量为1.96%,干燥系数(C_1/C_{1+})为0.96,属于典型的干气。根据生烃理论^[20-21],油藏应与湿气伴生,该区原油与干气相伴生,预示着原油伴生气(湿气)已经遭到散失,而后油藏受到一定规模的干气气侵^[21],致使天然气组成发生变化。

从天然气碳同位素特征来看,该区甲烷碳同位素分别为-43.6‰和-25.67‰,按照碳同位素分馏原理^[21-25],应属于典型的腐殖型有机质来源的成熟阶段产物。结合区域烃源岩分布及其生烃特征,陆东地区石炭系烃源岩已到高一过成熟阶段,而侏罗系烃源岩尚未成熟,均无法生成这种甲烷碳同位素特征的天然气^[21],而且其甲烷碳同位素差值较大,也说明其存在多源或同源多期气的混合^[20-21]。

原油地球化学特征表明,该区原油普遍存在生物降解,而且油藏埋藏深度较小,主要分布在小于2000 m深度范围内,符合原油菌解气的生成条件^[19,23-25]。而且,该区天然气组成干、甲烷碳同位素较轻也是典型的原油菌解气的特征^[23-25]。说明该区天然气主要是二叠系来源油遭生物降解的产物,但是其乙烷碳同位素较重,与降解原油碳同位素不同,说明其还存在石炭系来源气的混合。

5 下一步勘探方向

原油成因及来源研究业已表明,滴南凸起东段原油主要来自东道海子凹陷二叠系源岩,构造下倾部位的滴南1井储层抽提物饱和烃色谱完整,说明保存条件较好,下一步勘探应往东道海子凹陷方向延伸。

此外,滴南1井二叠系中上部及其以上地层原油遭受较严重生物降解,导致原油粘度较大,加之斜坡区储层物性较差(表3),沥青与致密岩可形成封堵带^[19,26-28],在构造下倾方向形成岩性圈闭,封堵来自东道海子凹陷二叠系和石炭系来源的成熟

表3 准噶尔盆地滴南1井二叠系储层物性参数统计
Table 3 Statistical table of reservoir property parameters of Permian in well Dinan1, Junggar Basin

深度/m	岩性	层位	有效孔隙度/%	水平渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
2 646.71	细砾岩	P ₂ P	14.22	3.74
2 647.11	粗砂岩	P ₂ P	15.99	3.69
2 666.78	砂砾岩	P ₂ P	12.87	1.44
2 670.48	细砾岩	P ₂ P	10.75	2.08
2 906.7	中砂岩	P ₂ P	6.64	0.66
2 906.7	中砂岩	P ₂ P	14.12	0.36
2 922.7	粗砂岩	P ₂ P	14.88	3.26
2 927.36	中砂岩	P ₂ P	10.42	0.08
2 973	粉砂岩	P ₂ P	12.65	0.11

度较高的油气,形成岩性油气藏。

6 结论

1) 陆东地区石炭系源岩有机质丰度和演化程度较高,分布广泛,具有较强供烃能力。二叠系烃源岩在滴水泉凹陷不发育,五彩湾凹陷成熟度较低,供烃源岩主要分布在东道海子凹陷。侏罗系源岩演化程度普遍较低,供烃能力有限。

2) 滴南凸起东段原油碳同位素较轻,普遍小于-30‰,C₂₈甾烷丰度较高,为典型的二叠系源岩产物。储层抽提物和原油成熟度高于其本身和五彩湾凹陷二叠系源岩,应主要来自东道海子凹陷。原油和储层抽提物饱和烃色谱不完整,正构烷烃和轻组分大量损失,存在较强生物降解。工区原油为东道海子凹陷二叠系源岩生烃高峰期产物,并遭生物降解,导致原油密度和粘度普遍较高。

3) 该区油气伴生天然气组分干,乙烷碳同位素重、甲烷碳同位素轻,与生物降解油伴生,为原油菌解气与石炭系高一过成熟天然气混合的结果。

4) 下一步勘探应往东道海子凹陷延伸,在构造下倾部位保存条件好,且降解稠油可与致密储层共同封堵形成岩性圈闭,捕获凹陷较高成熟阶段油气。

参考文献:

- [1] 向宝力,王绪龙,杨迪生,等. 陆东—五彩湾地区石炭系烃源岩成熟史差异与油气分布[J]. 新疆石油地质,2010,31(2): 122-124.
- [2] 赵孟军,王绪龙,达江,等. 准噶尔盆地滴南凸起—五彩湾地区天然气成因与成藏过程分析[J]. 天然气地球科学,2011,22(4): 595-600.
- [3] 陈世加,李林,路俊刚,等. 环克拉美丽山前带重点区块油气来源与成藏[R]. 乌鲁木齐:新疆油田公司勘探开发研究院地质所,2010.
- [4] 康志宏. 准噶尔盆地古生代沉积演化特征[J]. 地质力学学

报,2011,17(2):158-162.

[5] 康玉柱. 准噶尔盆地古生界油气前景与勘探方向[J]. 新疆石油地质,2010,31(5):449-454.

[6] 徐兴友. 准噶尔盆地东部克拉美丽地区石炭系烃源岩研究[J]. 油气地质与采收率,2005,12(1):38-42.

[7] 张义杰,齐雪峰,程显胜,等. 准噶尔盆地晚石炭世和二叠纪沉积环境[J]. 新疆石油地质,2007,28(6):673-675.

[8] 王绪龙,赵孟军,向宝力,等. 准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系烃源岩[J]. 石油勘探与开发,2010,37(5):523-528.

[9] 国建英,李志明. 准噶尔盆地石炭系烃源岩特征及气源分析[J]. 石油实验地质,2009,31(3):275-278.

[10] 杨迪生,陈世加,李林,等. 克拉美丽气田油气成因及成藏特征[J]. 天然气工业,2012,32(2):27-31.

[11] 赖世新,韩晓黎,曲伟,等. 准噶尔盆地三南—滴水泉凹陷及其周缘石炭系勘探前景[J]. 新疆石油地质,2009,30(3):297-300.

[12] 陈建平,梁狄刚,王绪龙,等. 彩南油田多源混合原油的油田(一):烃源岩基本地球化学特征与生物标志物特征[J]. 石油勘探与开发,2003,30(4):20-24.

[13] 陈建平,梁狄刚,王绪龙,等. 彩南油田多源混合原油的油田(二):原油地球化学特征、分类与典型原油油田[J]. 石油勘探与开发,2003,30(5):34-37.

[14] 李秀鹏,于洁. 准噶尔盆地乌夏断裂带稠油类型及成因机理[J]. 断块油气田,2012,19(2):182-186.

[15] 高波,周雁,刘全有,等. 湘西王村古油藏沥青地球化学特征及成因探讨[J]. 石油实验地质,2011,33(1):61-65.

[16] 卓勤功,赵孟军,谢会文,等. 库车前陆盆地大北地区储层沥青与油气运聚关系[J]. 石油实验地质,2011,33(2):193-196.

[17] Peters K E, Moldowan J M. The biomarker gride: interpreting

molecular fossils in petroleum and ancient sediments, prentice Hall[M]. New Jersey:Englewood Cliffs,1993:10-265.

[18] 李林,陈世加,杨迪生,等. 准噶尔盆地石东地区油气成因及来源[J]. 石油实验地质,2011,33(5):536-539.

[19] 路俊刚,陈世加,王绪龙,等. 严重生物降解稠油成熟度判识:以准噶尔盆地三台—北三台地区为例[J]. 石油实验地质,2010,32(4):373-376,386.

[20] 蒂索 B P,威尔特 D H. 石油生成与分布[M]. 郝石生,译. 北京:石油工业出版社,1982.

[21] 陈世加,付晓文,沈昭国,等. 天然气分段捕获原理及在成藏研究中的应用[J]. 西南石油学院学报,2001,23(5):4-7.

[22] 帅燕华,邹艳荣,彭平安. 天然气甲烷碳同位素动力学模型与地质应用新进展[J]. 地球科学进展,2003,18(3):405-411.

[23] 徐永昌. 天然气成因理论及应用[M]. 北京:科学出版社,1994:84-102.

[24] 周兴熙,王红军. 略论天然气甲烷碳同位素的累积效应[J]. 石油勘探与开发,1999,26(1):10-12.

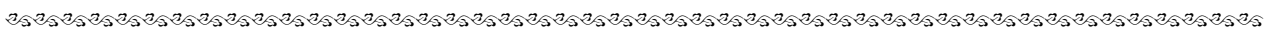
[25] 李艳霞,赵靖舟,刘新社,等. 鄂尔多斯盆地东部上古生界不同含气组合天然气地球化学特征[J]. 石油实验地质,2012,34(1):72-77.

[26] Head I M, Jone D M, Larter S R. Biological activity in the deep subsurface and the origin of heavy oil[J]. Nature,2003,426:344-352.

[27] Aitken C M, Jones D M, Larter S R. Anaerobic hydrocarbon biodegradation in deep subsurface oil reservoirs[J]. Nature,2004,431:291-294.

[28] 陈世加,范小军,路俊刚,等. 沥青对储集层物性及油气富集的影响[J]. 石油勘探与开发,2010,37(1):70-75.

(编辑 黄娟)



(上接第479页)

[13] 金之钧,蔡立国. 中国海相层系油气地质理论的继承与创新[J]. 地质学报,2007,81(8):1017-1023.

[14] 金之钧. 我国海相碳酸盐岩层系石油地质基本特征及含油气远景[J]. 前沿科学,2010,4(1):11-23.

[15] 戴少武,贺自爱,王津义. 中国南方中、古生界油气勘探的思路[J]. 石油与天然气地质,2001,22(3):195-202.

[16] 戴少武. 中国南方油气晚期成藏勘探实践及讨论[J]. 天然气工业,2004,24(1):7-9.

[17] 杨方之,闫吉柱,苏树安,等. 下扬子地区海相盆地演化及油气勘探选区评价[J]. 江苏地质,2001,25(3):134-141.

[18] 邱旭明. 下扬子海相中、古生界地质结构特征及选区评价[J]. 江汉石油学院学报,2001,23(增):13-15.

[19] 郭念发,赵红格,陈红,等. 下扬子地区海相地层油气赋存条件分析及选区评价[J]. 西北大学学报:自然科学版,2002,32(5):526-530.

[20] 马永生,郭彤楼,付孝悦,等. 中国南方海相石油地质特征及勘探潜力[J]. 海相油气地质,2002;7(3):19-27.

[21] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气形成与富集规律[J]. 中国科学:地球科学,2011,41(7):910-926.

[22] 金之钧,王清晨. 中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测[M]. 北京:科学出版社,2007:325-329.

[23] 罗璋. 余杭泰山古油田[J]. 浙江地质,1995,11(1):63-67.

[24] 王守德,郑冰,蔡立国. 中国南方古油藏与油气评价[J]. 海相油气地质,1997,2(1):44-50.

(编辑 徐文明)