

文章编号: 1009-3850(2015)01-0025-08

准噶尔盆地古近系生烃潜力与油气源特征研究

张兴雅¹, 马万云², 王玉梅², 王海静², 孙平安^{3,1}, 曹 剑¹

(1. 南京大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210023; 2. 中国石油 新疆油田公司实验检测研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 3. 中国地质科学院岩溶地质研究所国土资源部/广西岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 准噶尔盆地古近系是该盆地的一个潜在勘探层系, 本文研究了研究区古近系烃源岩的生烃潜力及油气源特征。结果表明, 准噶尔盆地古近系发育一定数量和规模的泥质烃源岩, 有机质丰度达到了中等-好质量标准, 类型以 I 型和 II 型为主, 目前主体处于低成熟-成熟演化阶段, 因此具有一定的生烃、生油潜力。这得到了油气源对比研究的印证, 典型油气地球化学特征均表现为油型, 且为低成熟度, 因此只能与古近系烃源岩对应, 从而判断为古近系来源。这些油气主要分布在盆地南缘古近系烃源岩埋深较大区, 表现出在“源控”基础上受成熟度影响的特征。准噶尔盆地古近系的油气勘探应以原油为主, 并且重点目标区在南缘, 特别是四棵树凹陷区。这些基础数据和认识还可供全球其它古近系含油气系统研究类比参考。

关键词: 准噶尔盆地; 湖相烃源岩; 油气源对比; 油气地球化学; 含油气系统; 低熟油气

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

准噶尔盆地是我国西北地区的一个典型大型叠合含油气盆地^[1,2], 几十年来其油气勘探取得了巨大成功, 形成了包括以石炭系^[3,4]、二叠系^[1,5,6]、侏罗系^[7,8]为主的 3 大含油气系统。此外, 近年来

也有一些学者提到过三叠系^[9,10]和白垩系^[11]的含油气系统。相比而言, 古近系以上地层因时代较新, 埋藏相对较浅, 故成熟度较低, 因而关于其含油气系统的研究相对较少^[12,13]。鉴于古近系无论是

收稿日期: 2014-06-27; 改回日期: 2014-07-19

作者简介:



张兴雅, 女, 1988 年生。硕士研究生。主要从事油气地质地球化学研究。E-mail: xingya2012@163.com

通讯作者:



曹剑, 男, 1978 年生, 博士, 教授, 博士生导师。主要从事石油地质学与有机地球化学科研与教学。优秀青年科学基金、青年地质科技奖-银锤奖、全国百篇优秀博士学位论文(提名)获得者。主持国家自然科学基金项目 5 项, 在《AAPG》、《Organic Geochemistry》、《Marine and Petroleum Geology》等领域一流期刊上发表第一(通讯)作者论文 30 余篇。E-mail: jcao@nju.edu.cn

资助项目: 受国家自然科学基金(41322017)和国家重点基础研究发展计划(973)(2012CB214803)联合资助

在国外,还是在国内都是极重要的烃源层系^[14,15],而且准噶尔盆地古近系在勘探过程中也不乏油气显示发现^[12,13,16]。因此关于古近系含油气系统在准噶尔盆地的研究,虽然比较薄弱,但仍然深受勘探家们的关注。

有鉴于此,为给区域成藏规律研究和勘探部署提供参考,本文拟初步从烃源岩和油气源两方面展开分析。研究认识还可供全球其他古近系含油气系统研究类比参考,也可用于邻区对比,反演研究古地理、古环境、古气候等基础科学问题。

1 地质背景与古近系分布

准噶尔盆地古近系地层自下而上包括紫泥泉子组(E_{1-2z})和安集海河组(E_{2-3a}),其中,紫泥泉子组岩性以薄-中厚层棕褐色、灰褐色泥岩、泥质粉砂岩为主;安集海河组岩性以薄-巨厚层灰黑色、灰绿色泥岩为主^[16]。因此,相比较而言,安集海河组为古近系的主力烃源岩。

构造-沉积演化研究表明,古近系安集海河组烃源岩在盆地内广泛分布,且沉积中心靠近南缘天山山前地区^[16,17](图1-2)。因此,古近系最具生烃潜力的地区应在南缘,这是本文的重点研究目标区。

如图1所示,准噶尔盆地南缘研究区在盆地构造单元划分中归属北天山山前冲断带,是在海西期盆地褶皱回返基础上发展起来的一个一级构造单元^[18]。研究区紧靠北天山,与塔里木盆地的库车凹陷隔天山相邻,呈东西长条形分布,又可进一步划分出3个一级构造单元:四棵树凹陷、齐古断褶带、霍玛吐背斜带(图1)。

古近纪安集海河期,准噶尔盆地南缘研究区发生湖侵,近物源区主要发育辫状河及曲流河相,向盆地中心依次发育辫状河三角洲、曲流河三角洲和湖相^[16,17]。其中,如图2所示,湖相分布范围较大,位于奎屯-石河子一线的中段。安集海河组潜在烃源岩的厚度为0~200m,在吐谷鲁-高泉一带最发育,厚度基本上大于150m。四棵树凹陷井下揭示的暗色地层厚度为52~482m,其中暗色泥岩占68%~98%^[19]。在南安集海河剖面,该套烃源岩厚度甚至超过300m。

2 烃源岩地球化学特征与生烃潜力

为了解准噶尔盆地古近系的生烃潜力,对采自盆地南缘研究区的44件典型泥岩样品从有机质丰度、类型和成熟度3个方面,结合地质背景进行了研究,获得44组基础地球化学数据。

2.1 有机质丰度

有机质丰度是评价烃源岩质量的重要依据,高的有机质丰度是烃源岩生烃的物质基础,常见评价指标参数包括有机碳含量(TOC)、岩石热解参数中的产烃潜量($PG = S1 + S2$)、氯仿沥青“A”含量、总烃含量(HC)等。

如图3,准噶尔盆地古近系安集海河组TOC含量总体分布在0.08%~2.22%之间,平均0.66%,有59%样品的TOC含量超过有效烃源岩的下限0.4%,达到湖相烃源岩中等($>0.6%$)和好($>1.0%$)质量标准的样品分别占34%和18%。产烃潜量总体分布在0.02~11.97mg/g之间,平均2.94mg/g,达到中等(>2.0 mg/g)和好(>6.0 mg/g)质

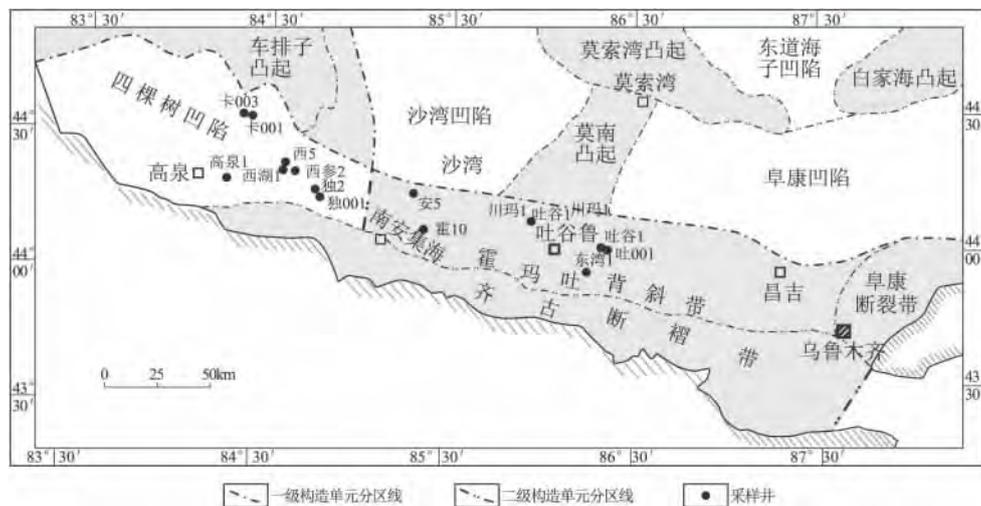


图1 准噶尔盆地南缘构造单元区划分及研究采样井分布概况

Fig. 1 Tectonic division and distribution of the sampling wells in the southern Junggar Basin

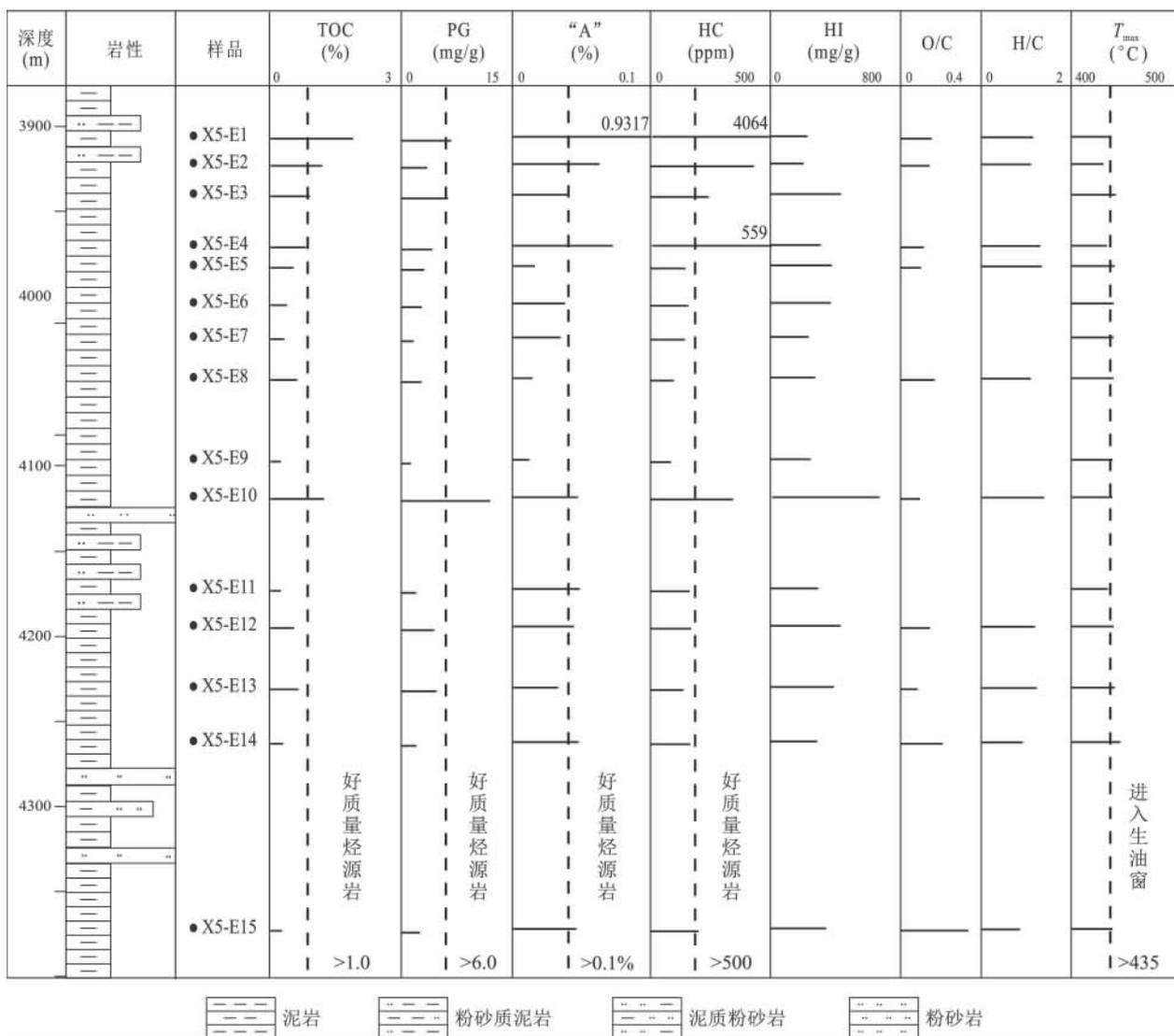


图4 准噶尔盆地南缘西5井古近系安集海河组烃源岩有机地球化学综合评价柱状图

Fig. 4 Stratigraphic variations of representative organic geochemical parameters for the Palaeogene Anjihaihe Formation source rocks through the Xi-5 well in the southern Junggar Basin

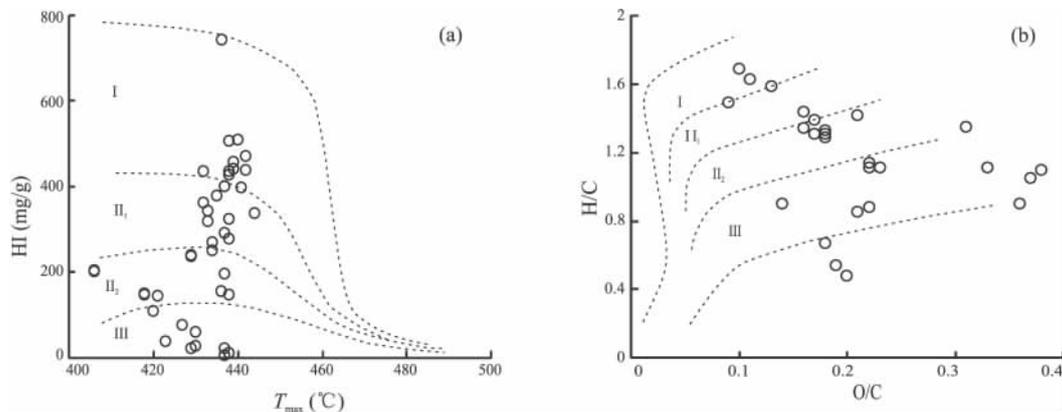


图5 准噶尔盆地南缘古近系泥岩有机质类型判识

(a) HI 与 T_{max} ; (b) 干酪根 O/C 与 H/C

Fig. 5 HI vs. T_{max} and H/C vs. O/C diagrams showing the division of the organic matter types in the Palaeogene mudstones in the southern Junggar Basin

酪根 H/C 和 O/C 原子比相关图,反映出有机质类型同样是以 I 型和 II 型为主,偏腐泥型(图 5b),这与 Rock-Eval 热解参数 HI 的认识一致。

(3) 干酪根碳同位素

古近系泥岩样品的干酪根碳同位素主要分布在 $-27.70\text{‰} \sim -23.60\text{‰}$ 之间,平均 -25.88‰ ,反映以 II 型为主,展示出良好的生烃潜力。

综上所述,准噶尔盆地南缘古近系泥岩的有机质类型总体以倾油的 II~I 型为主,并且不同样品之间展现出一定的非均质性,达到中等-好质量烃源岩标准($\text{TOC} > 0.6\%$)样品的有机质类型总体以 II 型为主,部分样品可达 I 型,反映较为倾油。

2.3 有机质成熟度

高有机质丰度、好有机质类型的烃源岩只有在合适的热演化条件下才会转化为烃类,因此有机质成熟度是评价烃源岩的另一个重要参数,常用指标包括镜质体反射率 R_o 和热解峰温 T_{\max} 等。

准噶尔盆地南缘研究区古近系泥岩样品的 R_o 值分布在 $0.46\% \sim 1.33\%$ 之间,平均 0.54% ,反映主体处于低成熟-成熟热演化阶段。 T_{\max} 值分布在 $406 \sim 444\text{ }^\circ\text{C}$ 之间,平均 $432\text{ }^\circ\text{C}$,有 54% 样品的 T_{\max} 值超过 $435\text{ }^\circ\text{C}$,反映有机质已进入生油窗,与 R_o 值反映的特征一致。

以上实测样品主要取自构造高部位,而真正高效优质的烃源岩应在凹陷区发育,因此在以上实测数据分析的基础上,还进行了凹陷区的烃源岩埋藏-热演化史模拟。选取了位于古近系沉积中心四棵树凹陷的西湖 1 井,分析了烃源岩埋藏-热演化史(图 6)。结果表明,如图 6,古近系在新近纪末才开始进入生烃门限,目前尚整体处于低成熟-成熟演化阶段。由此可见,准噶尔盆地的古近系具有一定的生烃,特别是生油潜力,并且很有可能是低熟-成熟油气。

3 油气源特征

根据以上烃源岩地球化学与生烃潜力的研究,表明准噶尔盆地的古近系具有一定的生烃,特别是生油潜力。为对此进行确证,分析了研究区的油气地球化学特征,进行了油气源对比。结果发现,对于原油,古近系生源油分布范围比较局限,仅见于四棵树凹陷地区,特别是高泉一带。

这类原油在地球化学特征上,全油碳同位素分布在 $-27.8\text{‰} \sim -27.4\text{‰}$ 之间,Pr/Ph 值分布在 $1.15 \sim 1.50$ 之间。在萜烷类地球化学参数中, C_{19} 三环萜

烷丰度不高,相对含量为三环萜烷主峰的 $17\% \sim 29\%$;三环萜烷 C_{20} 、 C_{21} 、 C_{23} 分布型态为山峰型和上升型(图 7a); C_{24} 四环萜烷含量与 C_{26} 三环萜烷相当, $C_{24}\text{TeT}/C_{26}\text{TT}$ 值分布在 $1.01 \sim 1.04$ 之间;检出有伽玛蜡烷,含量中等,伽玛蜡烷/ C_{30} 藿烷比值分布在 $0.18 \sim 0.21$ 之间。在甾烷类地球化学参数中,规则甾烷 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 的分布型态为山谷型,相对含量分别为 $39.45\% \sim 42.21\%$ 、 $19.35\% \sim 21.40\%$ 、 $36.39\% \sim 41.20\%$ 。 C_{27} 相对含量相当于或超过规则甾烷 C_{29} (图 7a); C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 和 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 分别为 $0.17 \sim 0.22$ 、 $0.25 \sim 0.30$ 。

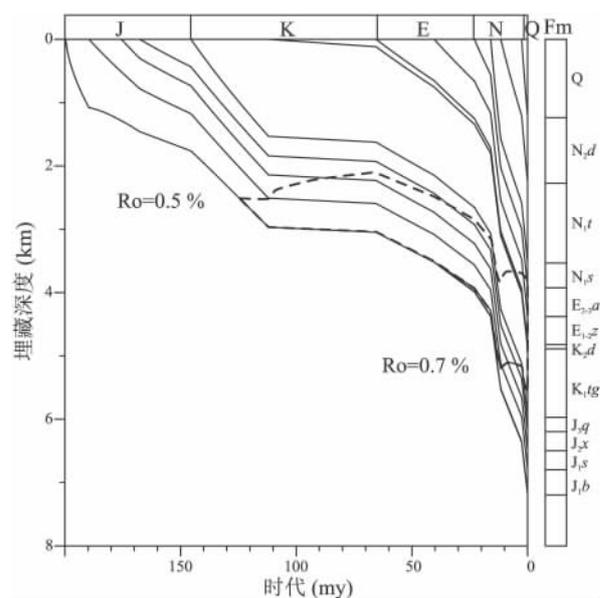


图 6 准噶尔盆地南缘四棵树凹陷西湖 1 井埋藏热演化史图

Fig. 6 Burial-thermal evolutionary history of the source rocks through the Xihu-1 well in the Sikeshu depression, southern Junggar Basin

根据原油的这些地球化学特征,可以判断它们来自于油型干酪根所生^[21],因此理论而言,可能对应着研究区的白垩系和/或古近系烃源岩。据此,进行了油源对比研究,如图 7,发现该类原油生标特征相对更为接近古近系,因此判识为古近系来源。另外,有意义的是,根据 C_{29} 甾烷异构体的两个成熟度参数,发现这类原油仅处于低成熟演化阶段,而四棵树凹陷地区仅古近系烃源岩处于低成熟演化阶段(图 6)。所以从成熟度上来考量,这类原油只可能来自于古近系。据此,综合判断该类原油来自于古近系烃源岩。

此外,在四棵树凹陷,除了以上介绍的典型地

区高泉地区外,还在卡因迪克、西湖和独山子地区的原油中发现了或多或少的古近系生源油混入,但

混入量不大,并且也不象高泉地区属于单一来源端元类型的古近系生源油,主体仍是侏罗系生源油。

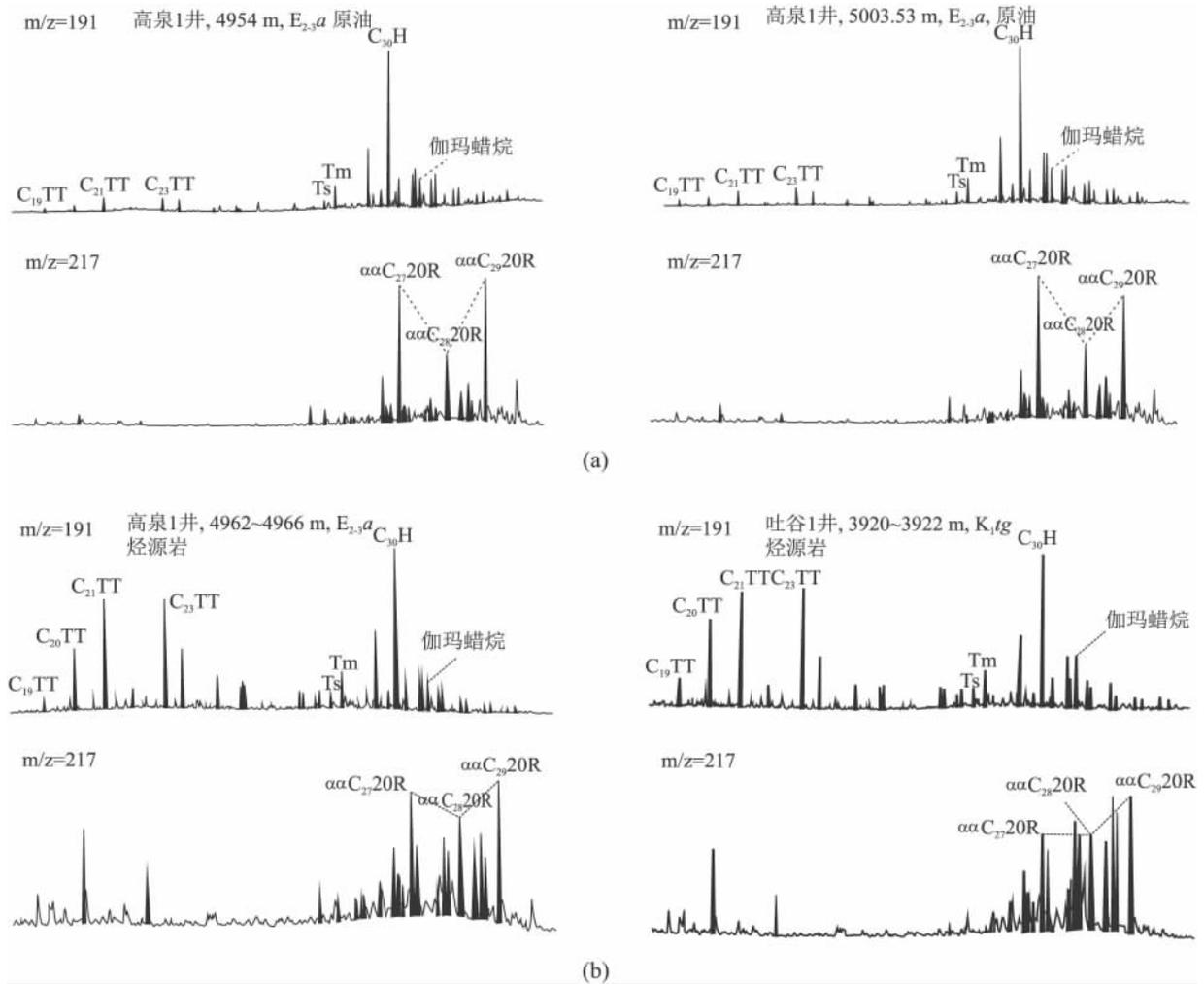


图7 准噶尔盆地南缘古近系原油(a)和烃源岩(b)生标特征

Fig. 7 Chromatograms of the representative biomarkers in the Palaeogene crude oil (a) and source rocks (b) in the southern Junggar Basin

对于天然气,通过对整个准噶尔盆地南缘目前所发现天然气地球化学特征的分析(图8),发现其主体基本为同一来源成因,即来自侏罗系烃源岩的煤型气,除此之外,也有部分为油型气。其成熟度东西向差异明显:西段四棵树凹陷天然气总体处于低成熟-成熟演化阶段;中段安集海和霍尔果斯地区天然气总体处于成熟演化阶段;东段玛纳斯、呼图壁、齐古等地区的天然气则总体处于成熟-高成熟演化阶段。这与侏罗系烃源岩的分布与埋深相对应^[16],反映出“源控”的特征。

有意义的是,在如前所析的古近系原油分布区,即四棵树凹陷,也发现有一些天然气可能为古近系来源。如图8所示,四棵树凹陷区天然气样品的 $\delta^{13}C_1$ 值分布在 -42.1% ~ -34.4% 之间,平均值-

37.0% ,明显轻于其它地区,反映成熟度较低。从烃源岩埋藏-热演化背景来看(图6),只可能对应着古近系烃源岩。乙烷碳同位素为 -29.7% ~ -24.7% ,平均值 -26.8% ,也较轻,反映可能有油型气的混入,也对应着古近系油型烃源岩。典型如卡6井的一个样品,其甲烷碳同位素为 -42.1% ,乙烷碳同位素为 -29.7% ,表现为成熟油型气特征(图8)。

综上所述,可见准噶尔盆地古近系的烃源岩和目前发现的油气主要分布在盆地南缘,特别是四棵树凹陷地区。对比图2古近系烃源岩的等厚图,可以推断,这种油气分布反映出在“源控”的基础上还叠加了成熟度的影响,四棵树凹陷区为目前整个南缘古近系埋深相对最大区^[16]。

综合烃源岩的分布与发育,以及地球化学特

征,可以认为,主要因为成熟度的关系,准噶尔盆地古近系的油气勘探应以原油为主,并且重点目标区在四棵树凹陷区。这一认识应该在一定程度上拓展了准噶尔盆地、特别是淮南地区的勘探领域。研

究表明,准噶尔盆地南缘研究区的油气资源量分别为 $10.77 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $5371 \times 10^8 \text{ m}^3$,迄今为止,油气探明率仅 5% 和 2.38%,说明油气成藏和富集规律尚有待系统查明,潜力还很大^[16, 22]。

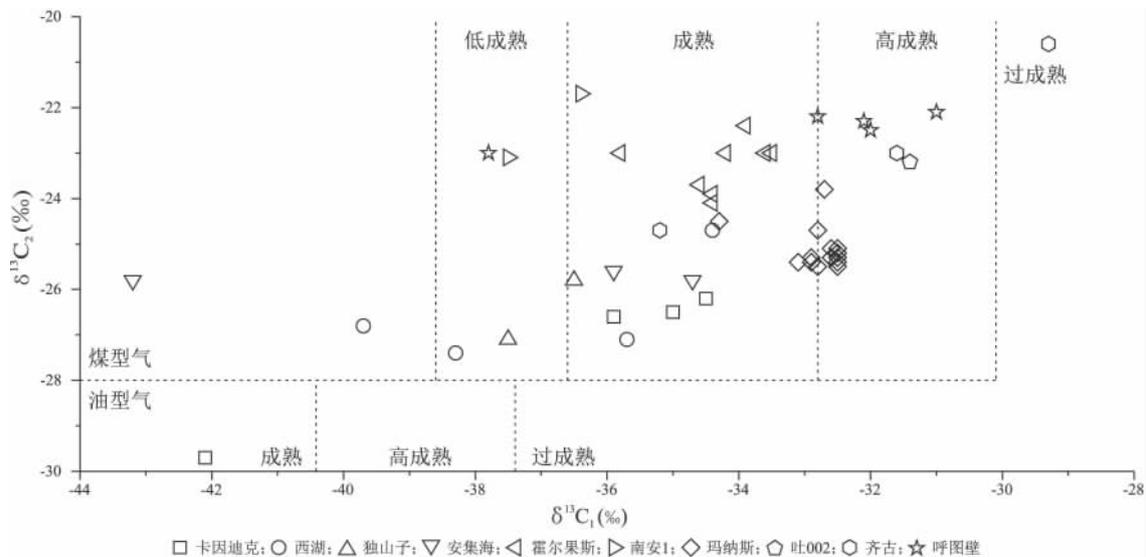


图 8 准噶尔盆地南缘天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 与 $\delta^{13}\text{C}_2$ 相关图

Fig. 8 Correlation between $\delta^{13}\text{C}_1$ and $\delta^{13}\text{C}_2$ values of the natural gas in the southern Junggar Basin

4 结论

(1) 准噶尔盆地古近系泥质烃源岩稳定发育,特别是在盆地南缘地区,有机质丰度达到中等-好,类型以 I 型和 II 型为主,成熟度为低成熟-成熟,因此以生油为主。

(2) 准噶尔盆地南缘地区,特别是在四棵树凹陷,发现了一些来自于古近系的油气,其典型地球化学特征表现为油型干酪根所生,成熟度处于低成熟-成熟阶段。

(3) 准噶尔盆地古近系含油气系统是盆地潜在的勘探领域,以找油为主,油气分布表现出在“源控”的基础上还受成熟度影响的特征,重点目标区在南缘,特别四棵树凹陷区。

参考文献:

[1] CAO J, ZHANG Y J, HU W X, et al. The Permian hybrid petroleum system in the northwest margin of the Junggar Basin [J]. *Marine and Petroleum Geology* 2005, 22(3): 331-349.

[2] 宋杉林, 张春冬, 王琪. 新疆塔河油田石炭系卡拉沙依组储层特征及油气分布 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2002, 22(2): 53-57.

[3] 王绪龙, 赵孟军, 向宝力, 等. 准噶尔盆地陆东一五彩湾地区石炭系烃源岩 [J]. *石油勘探与开发* 2010, 37(5): 523-530.

[4] 何登发, 陈新发, 况军, 等. 准噶尔盆地石炭系烃源岩分布与含油气系统 [J]. *石油勘探与开发* 2010, 37(4): 397-408.

[5] 陶国亮, 胡文瑄, 曹剑, 等. 准噶尔盆地腹部二叠系混源油源组成与聚集特征研究 [J]. *南京大学学报(自然科学版)* 2008, 44(1): 42-49.

[6] 伍新和, 伊海生, 王成善. 准噶尔盆地陆梁油田油气源研究 [J]. *沉积与特提斯地质* 2003, 23(4): 96-102.

[7] 陶国亮, 胡文瑄, 曹剑, 等. 准噶尔盆地腹部侏罗系原油勘探前景探讨 [J]. *地质论评* 2008, 54(4): 477-484.

[8] 龙华山, 王绪龙, 向才富, 等. 准噶尔盆地南缘侏罗系烃源岩评价 [J]. *现代地质* 2013, 27(5): 1070-1080.

[9] 商琳, 刘旭, 卞保力. 准噶尔盆地北三台地区三叠系克拉玛依组沉积相 [J]. *沉积与特提斯地质* 2011, 31(3): 33-38.

[10] 王斌, 吴明, 王绪龙, 等. 准噶尔盆地腹部二叠系烃源岩特征与评价 [J]. *西南石油大学学报(自然科学版)* 2011, 2(33): 12-20.

[11] CAO J, WANG X L, WEI D T, et al. Complex petroleum migration and accumulation in the central region of the southern Junggar Basin, northwest China [J]. *Journal of Earth Science* 2010, 21(1): 83-93.

[12] 庄新明. 准噶尔盆地四棵树凹陷石油地质特征及勘探方向 [J]. *新疆地质* 2006, 24(4): 429-433.

[13] 张枝焕, 向奎, 秦黎明, 等. 准噶尔盆地四棵树凹陷烃源岩地球化学特征及其对车排子凸起油气聚集的贡献 [J]. *中国地质* 2012, 39(2): 326-337.

[14] KLEMME H D, ULMISHEK G F. Effective petroleum source rocks of the world: Stratigraphic distribution and controlling depositional factors [J]. *AAPG Bulletin*, 1991, 12(75): 1809

- 1851.
- [15] 宋芊,金之均.大油气田统计特征[J].石油大学学报(自然科学版) 2000 4(24):11-14.
- [16] 王绪龙,况军,杨海波.准噶尔盆地第三次油气资源评价[R].克拉玛依:新疆油田公司勘探开发研究院,2000.
- [17] 陈业全,王伟锋.准噶尔盆地构造演化与油气成藏特征[J].石油大学学报(自然科学版) 2004 3(28):4-8.
- [18] 阿布力米提,唐勇,苗刚,等.淮南前陆盆地天然气富集规律与勘探目标评价[R].克拉玛依:新疆油田分公司勘探开发研究院,2003.
- [19] 王绪龙,支东明,王屿涛,等.准噶尔盆地烃源岩与油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2013.
- [20] 黄第藩,李晋超,张大江.干酪根的类型及其分类参数的有效性、局限性和相关性[J].沉积学报,1984 3(2):18-33.
- [21] PETERS K E, WALTERS C C, MOLDOWAN J M. The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments, 2nd edition [M]. UK: Cambridge University Press, 2005.
- [22] 靳军,陈新发,支东明.准噶尔盆地南缘前陆斜坡带勘探潜力初探[J].中外能源,2010 4(15):42-45.

Hydrocarbon potential and oil-gas source characteristics of the Palaeogene in the Junggar Basin, Xinjiang

ZHANG Xing-ya¹, MA Wan-yun², WANG Yu-mei², WANG Hai-jing², SUN Ping-an^{3,1}, CAO Jian¹

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, Jiangsu, China; 2. Research Institute of Experiment and Testing, Xinjiang Oil Field Company, CNPC, Karamay 843000, Xinjiang, China; 3. Key Laboratory of Karst Dynamics financed by the Ministry of Land and Resources, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract: The Palaeogene strata are interpreted to be potential target strata for hydrocarbon exploration in the Junggar Basin, Xinjiang. The present paper presents a preliminary study of hydrocarbon-generating potential and oil and gas sources in the Palaeogene strata in the Basin. The results of research show that the mudstones as source rocks occur in quantities and scales in the Palaeogene strata, and are characterized by moderate to higher total organic carbon contents, oil-prone I-type and II-type organic matter, and immature to mature levels in the Junggar Basin. The oil and gas appear significantly in the deeper-seated Palaeogene source rocks in the southern Junggar Basin, and are controlled by source rock maturity and deposition. The future oil and gas exploration in the Junggar Basin should be focused in the southern Junggar Basin, especially in the Sikeshu depression. The results of research in this paper may provide a useful reference for the research of the world-wide Palaeogene petroleum systems.

Key words: Junggar Basin; lacustrine source rock; oil-gas source correlation; petroleum geochemistry; petroleum system; immature oil