

# 准噶尔盆地哈拉阿拉特山地区原油成因类型 及风城组烃源岩的发现意义

王圣柱<sup>1,2</sup>, 张奎华<sup>1,2</sup>, 金强<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555;

2. 中国石化胜利油田西部新区研究中心, 山东 东营 257000)

**摘要:**通过对哈拉阿拉特山地区不同地质单元不同层系原油(油砂)色谱、色质等地球化学分析,系统解剖了原油的地球化学特征。根据原油的母质类型、沉积环境、成熟度和C<sub>20</sub>、C<sub>21</sub>、C<sub>23</sub>三环二萜烷分布特征,划分为3种成因类型:Ⅰ类原油分布在浅层超剥带和逆冲推覆带浅部,为风城组烃源岩生成的低熟—成熟油,强烈生物降解,正构烷烃分布不完整,三环二萜烷呈上升型,高伽马蜡烷,富含β-胡萝卜素;Ⅱ类原油分布在逆冲推覆带中深部,为风城组烃源岩早期生成的低成熟油,未(或轻微)遭受生物降解,具有明显的植烷优势;Ⅲ类原油集中分布在哈浅20井区超剥带西山窑组,主要为乌尔禾组烃源岩生成的高成熟油,混有少量风城组烃源岩生成的原油,具有姥鲨烷优势,低伽马蜡烷,低β-胡萝卜素,三环二萜烷呈山峰型。通过山前带地质建模和构造变形分析,提出哈山石炭系逆冲推覆体下发育厚层的风城组烃源岩,其向北可延伸至达尔布特断裂附近,使研究区烃源岩分布扩大了近1 000 km<sup>2</sup>,该认识无疑扩大了研究区的找油范围,对拓展准北缘地区的油气勘探领域具有重要意义。

**关键词:**原油成因类型;油源对比;构造建模;风城组烃源岩;哈山地区

**中图分类号:** TE122.1<sup>+</sup>3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2014)04-0595-08

**引用格式:** Wang Shengzhu, Zhang Kuihua, Jin Qiang. The genetic types of crude oils and the petroleum geological significance of the Fengcheng Formation source rock in Hashan area, Junggar Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(4): 595-602. [王圣柱, 张奎华, 金强. 准噶尔盆地哈拉阿拉特山地区原油成因类型及风城组烃源岩的发现意义[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(4): 595-602.]

## 0 引言

研究区位于准噶尔盆地西北缘哈拉阿拉特山地区(下文简称“哈山地区”)山前逆掩构造带,位于传统认识的下二叠统烃源岩之外<sup>[1]</sup>,与以往已发现的乌夏含油气区带相比更靠近盆缘<sup>[2-3]</sup>,向盆地方向的逆冲推覆作用强烈<sup>[2-4]</sup>,构造特征更为复杂,给油气勘探提出了严峻挑战。在哈山浅层超剥带网毯成藏理论的指导下<sup>[5]</sup>,甩开勘探取得了良好的勘探效果。在超剥带发现了春晖油田和阿拉德油田,侏罗

系累计上报控制及预测石油地质储量超过7 800 × 10<sup>4</sup> t;在逆冲推覆构造带哈浅6井等钻遇下二叠统风城组烃源岩,压裂获得低产中质油流,在推覆体石炭系火山岩见大段的油气显示,上报预测石油地质储量超过5 000 × 10<sup>4</sup> t。目前研究区已初步形成了K、J、T、P、C多层系复式含油的勘探局面,展示出其巨大的勘探潜力。上述勘探进展促使笔者对哈山地区各层系原油的成因类型,尤其是对下二叠统“成盆、成烃”方面的基础石油地质问题进行再思考,以期对研究区的油气成藏演化规律研究奠定基础,为

收稿日期:2013-05-02;修回日期:2013-06-20.

基金项目:国家“十二五”重点科技攻关项目“准噶尔盆地碎屑岩层系大中型油气田形成规律与勘探方向”(编号:2011ZX05002-002)资助。

作者简介:王圣柱(1979-),男,山东济宁人,高级工程师,博士研究生,主要从事油气地球化学、油气成藏研究。E-mail: pillar1979@163.com.

加快准北缘地区的石油地质综合研究和油气勘探提供借鉴。

### 1 地质概况

哈山地区位于准噶尔盆地北缘,南临玛湖生烃凹陷,北以达尔布特断裂与和什托洛盖盆地相接,西部为扎伊尔山,东部为石西凹陷。构造上处于哈拉阿拉特山逆冲推覆走滑构造带前缘,整体上呈NE—SW向展布,有利勘探面积逾1 000 km<sup>2</sup>,地表主要为戈壁,局部为山区,海拔为350~600m(图1)。

研究中运用断层相关褶皱理论与方法,借鉴吸收前人<sup>[2-4,6]</sup>关于该区的构造特征研究成果,综合运用重、磁、电、震及钻井等资料,利用三维地震的多属性分析、水平切片、多尺度相干和三维立体解释等复杂断裂识别技术,在宏观地质结构框架约束下,采用地质模型正演、重震联合反演和平衡剖面技术,建立了哈山逆冲推覆叠加+后期走滑的构造解释模型。自晚古生代至第四纪以来,研究区经历了裂陷伸展盆地、前陆盆地和拗陷盆地多个演化阶段。早二叠世表现为裂陷伸展构造环境,早期火山

活动较为强烈,火成岩普遍发育,中后期火山活动逐渐减弱。早二叠世末期受哈山强烈的逆冲作用影响,盆地性质发生了变化,由裂陷盆地到晚二叠纪前陆盆地转变;之后经过二叠纪末的构造抬升剥蚀,继而向陆内拗陷盆地转变<sup>[4]</sup>。早三叠世地势相对平缓,构造趋于稳定,下三叠统超覆于二叠系之上;三叠纪末受印支运动的影响,乌夏断裂带深大断裂复活,并产生新的次级断裂,研究区强烈逆冲抬升遭受剥蚀。侏罗系—白垩系沉积期继承了三叠纪末的古构造格局,超覆沉积于三叠系或哈山推覆体地层之上,形成现今“南北分带、上下分层、西强东弱”的构造地质特征。平面上自北向南划分为后翼走滑带、逆冲推覆叠加变形带、前缘冲断带和前缘超剥带。自东向西构造变形程度逐渐增强,东部发育多期次高角度叠瓦冲断,造成三叠系、二叠系遭受不同程度的剥蚀,西部石炭系和下二叠统逆冲推覆叠加形成双重构造。剖面上划分为上、下2套地层结构,两者之间以大型的逆冲推覆断裂相分隔,下部地层主要为下二叠统,上部地层主要为石炭系。

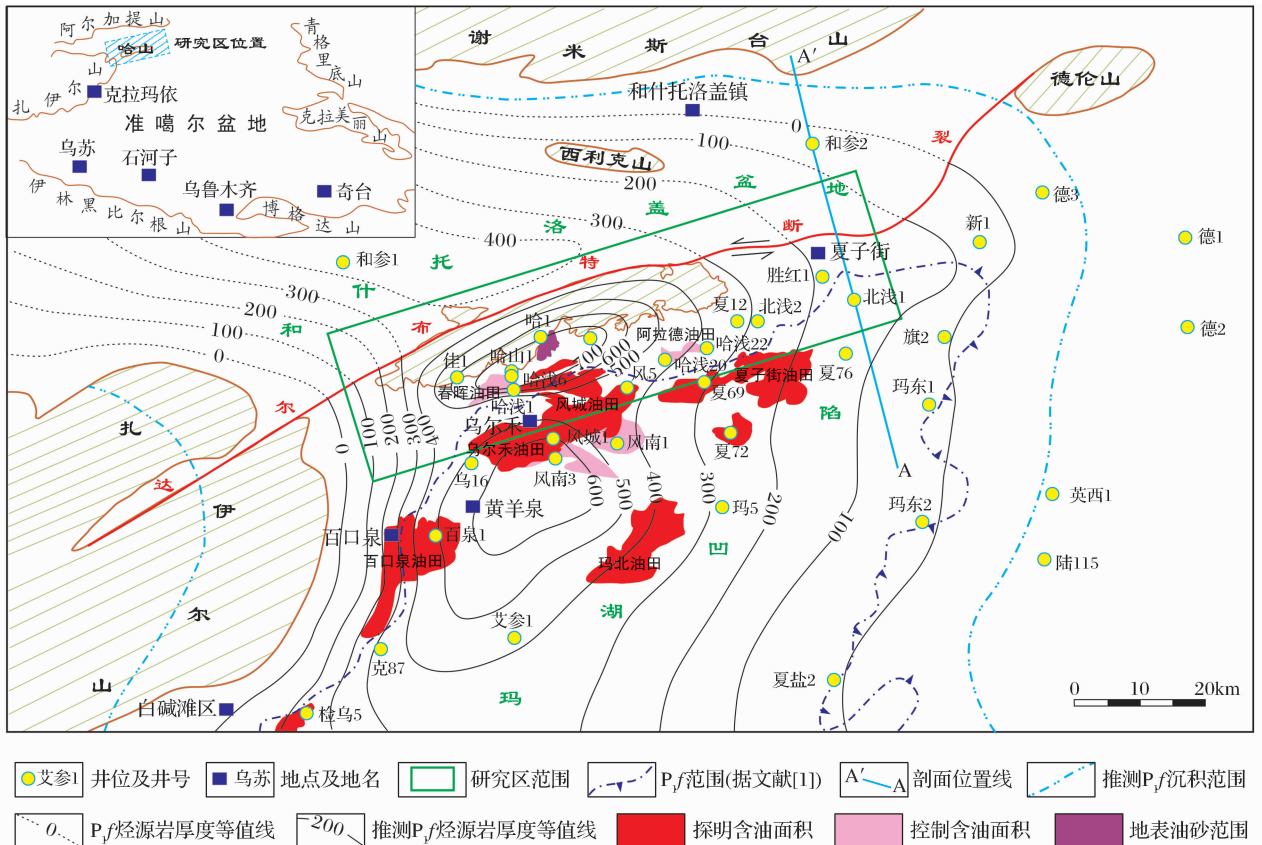


图1 准噶尔盆地北缘哈山地区区域位置

Fig. 1 Regional location map of Hashan area the northern margin of the Junggar Basin

## 2 原油成因类型

### 2.1 原油物性特征

原油物性是原油化学组成的宏观反映。就哈山地区而言,不同层系原油物性的差异较大。根据原油密度、黏度等划分标准<sup>[7]</sup>,研究区存在中质油、普通稠油、超稠油和特稠油 4 种原油。超剥带原油埋深一般为 100~600m,以特稠油、超稠油为主,具有“四高两低”的特点,即高密度、高黏度、高凝固点、低含蜡量和低含硫量。同时由于原油遭受生物降解和

氧化作用影响,酸值为 0.39~7.84mg<sub>KOH</sub>/g,平均为 3.45mg<sub>KOH</sub>/g,属高酸值原油<sup>[8]</sup>。逆冲推覆带原油埋深一般为 500~2 800m,原油品质相对较好,主要为普通稠油和中质原油,其中风城组原油属低含硫、低凝固点正常中质油(表 1)。整体而言,平面上,原油密度和黏度具有“北高南低、西高东低”的特点。纵向上,随着埋藏深度的减小,原油物性呈变差趋势,密度、黏度、凝固点增大。含蜡量随原油类型不同而发生变化,浅部生物降解原油的含蜡量较低,而深部正常原油的含蜡量较高。

表 1 哈山地区不同地质单元原油物性参数

Table 1 Physical characters of oils of different geological units in Hashan area

| 地质单元      | 密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )                 | 黏度(80℃)/(MPa·s)                          | 含硫量/%                            | 含蜡量/%                           | 凝固点/℃                        |
|-----------|--|--|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 超剥带 K、J、T | $\frac{0.953\ 5\sim 1.010\ 4}{0.975\ 9(37)}$ | $\frac{3\ 919\sim 68\ 485}{10\ 995(37)}$ | $\frac{0.15\sim 0.51}{0.38(25)}$ | $\frac{0.82\sim 3.4}{1.36(13)}$ | $\frac{12\sim 51}{38(25)}$   |
| 逆冲推覆带 P、C | $\frac{0.892\ 7\sim 0.913\ 9}{0.904\ 8(6)}$  | $\frac{57.7\sim 476}{263.3(6)}$          | $\frac{0.24\sim 0.38}{0.28(5)}$  | $\frac{3.27\sim 10}{0.59(4)}$   | $\frac{-2\sim -12}{-6.4(5)}$ |

注:  $\frac{0.953\ 5\sim 1.010\ 4}{0.975\ 9(37)} = \frac{\text{数字区间范围}}{\text{平均值(样品个数)}}$

### 2.2 原油地球化学特征

#### 2.2.1 碳同位素特征

研究区原油族组分具有“两低两高”的特点,即低饱和烃、芳烃,高非烃和沥青质。原油(油砂)碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  分析,富集轻碳同位素(<sup>12</sup>C)。饱和烃碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -28.1‰~-32.3‰,平均为 -30.28‰;芳烃碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -28.1‰~-31.0‰,平均为 -29.25‰;非烃碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -27.4‰~-30.4‰,平均为 -28.94‰;沥青质碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -27.4‰~-29.8‰,平均为 -28.65‰,反映出腐泥型母源特征。

#### 2.2.2 原油成因类型

不同沉积环境、不同母质类型烃源岩生成的原油具有不同的生物标志物组合,因此利用生物标志物的分布与组成确定原油成因类型是目前最常用的方法。根据研究区各层系原油(油砂)烷烃、甾烷、藿烷等系列化合物特征差异,划分出 3 种成因类型。

第 I 类原油以哈浅 6 井 119.5m 八道湾组(J<sub>1</sub>b)褐灰色油浸含砾粗砂岩为代表,主要分布在浅层超剥带的三叠系、侏罗系和白垩系[图 2(a)]。该类原油正构烷烃碳数分布极不完整或缺失,饱和烃气相色谱图基线呈明显的“UMC”鼓包,具生物降解现象<sup>[7-9]</sup>,具有植烷优势,Pr/Ph 值为 0.20~1.14,平均为 0.68,富含  $\beta$ -胡萝卜烷,部分样品受生物降解作用的影响, $\beta$ -胡萝卜烷含量明显降低或缺失。甾

烷组成以规则甾烷为主, $\alpha\alpha\alpha 20\text{RC}_{27}\text{-C}_{28}\text{-C}_{29}$  甾烷相对含量  $\text{C}_{27} \ll \text{C}_{28} < \text{C}_{29}$ ,呈上升型分布, $\text{C}_{29}$  甾烷  $20\text{S}/(20\text{S}+20\text{R})$  值为 0.30~0.56,平均值为 0.40, $\text{C}_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  值为 0.34~0.53,平均值为 0.41,为低成熟—成熟原油<sup>[10]</sup>。萜烷是抗生物降解能力较强的一类生物标志物,尤以三环萜烷和伽马蜡烷抗生物降解能力最强<sup>[11]</sup>。该区原油中富含 25-降藿烷系列化合物,三环萜烷系列保存相对较好,三环萜烷/17 $\alpha$ -藿烷值为 0.24~3.47,平均值为 0.90, $\text{C}_{20}$ 、 $\text{C}_{21}$  和  $\text{C}_{23}$  三环二萜烷呈上升型分布;伽马蜡烷含量较高,伽马蜡烷/ $\text{C}_{30}$  藿烷值为 0.25~1.76,平均值为 0.80。 $\text{T}_s$  丰度相对于  $\text{T}_m$  丰度较低, $\text{T}_s/\text{T}_m$  值为 0.04~0.45,平均为 0.12, $\text{C}_{24}$  断藿烷含量较高, $\text{C}_{26}$  三环萜烷/( $2\text{C}_{24}$  断藿烷)值为 0.27~1.12,平均为 0.66。此外,芳烃中三芴系列相对含量可以很好地指示沉积环境的氧化—还原性<sup>[12]</sup>,该类原油硫芴/氧芴值为 2.01~2.13。上述地球化学特征反映了该类原油母源为还原、半咸水—咸水沉积环境特征。

第 II 类原油以哈浅 6 井 2 431~2 786m 风城组(P<sub>1</sub>f)、哈浅 101 井 1 741m 石炭系原油为代表,主要分布在逆冲推覆带中深部[图 2(b)]。该类原油碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -29.86‰~-31.22‰,平均值为 -30.49‰,反映出腐泥型有机质母源特征。其地球化学特征与第一类原油相似,主要差异有 2 点:一是

原油未(或轻微)遭受生物降解,二是原油成熟度较低。该类原油饱和烃气相色谱基线平直,未发生明显的生物降解作用,正构烷烃序列组成完整,具有异常高丰度的姥鲛烷和植烷,其丰度分别高于相邻的  $nC_{17}$  和  $nC_{18}$ ,且植烷优势明显,Pr/Ph 值为 0.30~0.64, $\beta$ -胡萝卜素含量异常高。 $C_{29}$  甾烷 20S/(20S+20R) 值为 0.19~0.28,平均值为 0.23, $C_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  值为 0.17~0.27,平均值为 0.20,属未熟—低熟油<sup>[10]</sup>。萘烷分布中, $C_{24}$  断萘烷含量丰富, $C_{26}$  三环萘烷/( $2C_{24}$  断萘烷) 值为 0.05~0.49,平均为 0.21。脱羟基维生素 E 出现于未成熟或低成熟的烃源岩

或原油样品中,为一类具有水体盐度指示意义的生物标志化合物,其同系物相对含量可作为水体盐度的有效判别指标<sup>[13]</sup>。该类原油芳烃色谱检测到丰富的脱羟基维生素 E 系列化合物(缩写为“MT-TC”),存在  $\delta$ -MTTC、 $\alpha$ -MTTC、 $\beta$ -MTTC 和  $\gamma$ -MTTC 4 种同系物, $\gamma$ -MTTC <  $\beta$ -MTTC, $\alpha$ -MTTC/total-MTTC(MTTCI) 值为 0.86~0.87, $\alpha$ -MTTC/ $\gamma$ -MTTC 值为 40.8~49.1;芳烃中硫芴含量较高,硫芴/氧芴值为 1.05。综合分析,该类原油应为还原性、半咸水沉积环境母质未熟—低熟演化阶段的产物。

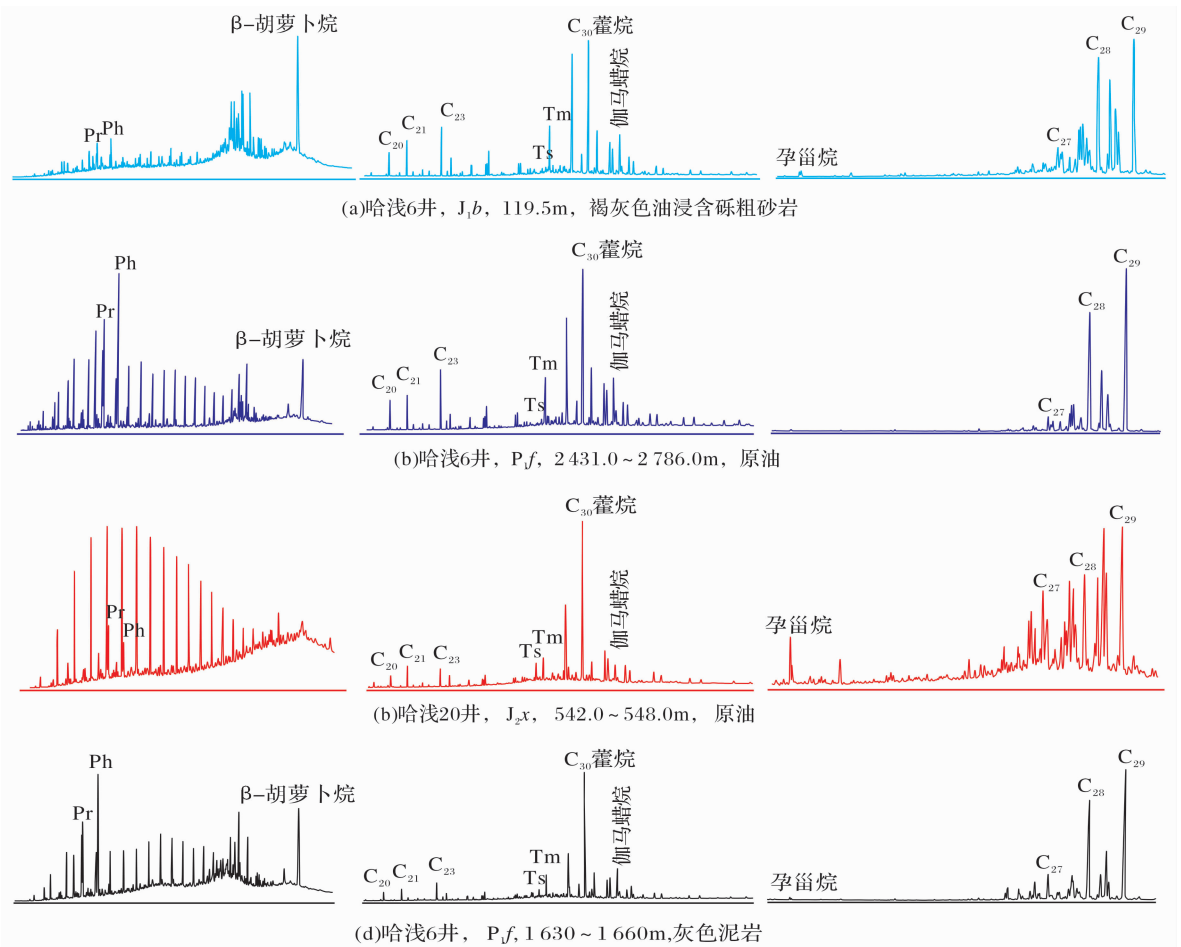


图 2 哈山地区原油与烃源岩地球化学特征谱

Fig. 2 Representative geochemical chromatograms of crude oil and source rock in Hashan area

第Ⅲ类原油以哈浅 20 井 542~548m 西山窑组 ( $J_2x$ ) 原油为代表,主要分布在哈浅 20 井区超剥带西山窑组[图 2(c)]。该类原油碳同位素  $\delta^{13}C$  值为  $-28.97\%$ ,相对前 2 类原油碳同位素明显偏重,且饱和烃、芳烃、非烃和沥青质族组分碳同位素( $\delta^{13}C$ ) 发生反转,呈“N”型分布,推测可能与原油发生混源作用有关。饱和烃气相色谱基线发生明显漂移,但

正构烷烃碳数分布基本完整,呈前单峰型,表现为姥鲛烷优势,且  $\beta$ -胡萝卜素含量甚低,指示母源岩处于弱还原—氧化性原始沉积环境。 $C_{29}$  甾烷 20S/(20S+20R) 值为 0.37, $C_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  值为 0.51,原油成熟度相对较高。萘烷分布特征与第一类原油存在明显差异, $C_{20}$ 、 $C_{21}$  和  $C_{23}$  三环二萘烷分布呈山峰型, $T_s$  含量较高, $T_s/T_m$  值为 0.75,伽马蜡烷含

量相对较低,伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷值为0.12, $C_{24}$ 断藿烷含量较低, $C_{26}$ 三环萜烷/( $2C_{24}$ 断藿烷)值为0.69~1.54,平均为1.17。规则甾烷相对含量 $C_{27}$ 甾烷 $<C_{28}$ 甾烷 $<C_{29}$ 甾烷。上述地球化学指标表明,该原油为2期油气充注的混源,且以第二次为主,主要来源于弱氧化—弱还原、微咸水—淡水沉积环境生烃母质。

## 2.3 油源对比

### 2.3.1 烃源岩特征

目前研究区哈浅6井、哈山1井和哈深斜1井在逆冲推覆带前缘钻遇风城组暗色泥质岩,主要岩性为深灰色白云质泥岩、泥岩、粉砂质泥岩、泥质微晶白云岩夹粉砂岩和凝灰岩,与玛湖凹陷风城组岩性组合特征相似,常见水平层理、微波状层理和纹层理,为还原条件的低能安静水体沉积产物<sup>[14]</sup>。该沉积期火山活动带来的火山营养物质带来了古生产力的繁盛,火山周期性喷发将水体生物周期性快速埋藏及火山物质蚀变的黏土矿物共同为风城组烃源岩的发育提供了极为有利的生成环境和成岩环境<sup>[14-15]</sup>。烃源岩地球化学分析,有机碳含量为0.29%~5.35%,平均为1.35%,氯仿沥青“A”含量为0.0178%~0.7525%,平均为0.2260%,镜质体反射率 $R_0$ 值为0.75%~0.94%,平均为0.85%。干酪根类型为I—II<sub>1</sub>型。饱和烃气相色谱具有植烷优势,Pr/Ph值为0.27~1.28,平均为0.60,富含 $\beta$ -胡萝卜烷。伽马蜡烷含量较高,伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷值为0.11~0.64,平均为0.31,三环萜烷 $C_{20}$ 、 $C_{21}$ 和 $C_{23}$ 呈上升型分布。上述地球化学指标表明该套烃源岩沉积期为还原、半咸水沉积环境,为一套成

熟的优质烃源岩[图2(d)]。

### 2.3.2 油源分析

研究区不同层系的原油与风城组烃源岩地球化学特征相似,哈浅20井 $J_2x$ 原油与乌尔禾组烃源岩的姥鲛烷优势, $C_{20}$ 、 $C_{21}$ 和 $C_{23}$ 三环萜烷呈山峰型、低伽马蜡烷含量、干酪根碳同位素 $\delta^{13}C$ 值较重等特征相似<sup>[16-17]</sup>。

研究认为,第I类原油来自风城组烃源岩,第III类原油主要来源于玛湖凹陷乌尔禾组烃源岩,并混有来源于风城组烃源岩的前期生成的降解油。但不同层系原油与哈浅6井等揭示的风城组烃源岩的地球化学指标对比分析,原油成熟度高于烃源岩成熟度(图3)。第I类和第III类原油 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 值为0.30~0.56, $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 值为0.34~0.53, $C_{31}$ 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 值为0.34~0.62,平均为0.52,反映出原油成熟度相对较高;第II类原油成熟度中等;而烃源岩成熟度最低, $C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值仅为0.19~0.28,平均值为0.23, $C_{29}$ 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 值为0.17~0.33,平均值为0.26, $C_{31}$ 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 值为0.43~0.53,平均为0.48,未达到热演化平衡点,仍处于有机质热演化早期阶段<sup>[18]</sup>。

根据原油运移的地质色层原理,逆冲推覆体石炭系及前缘风城组原油生物标志化合物参数(规则甾烷/17- $\alpha$ 藿烷、三环萜烷/17- $\alpha$ 藿烷等)由深部向浅部规律性变化,反映出原油自下而上垂向运移的特征。因此,石炭系和风城组原油并非来自目前哈浅6井揭示的风城组烃源岩,而应是来自推覆体下埋藏更深的较高成熟度的风城组烃源岩。

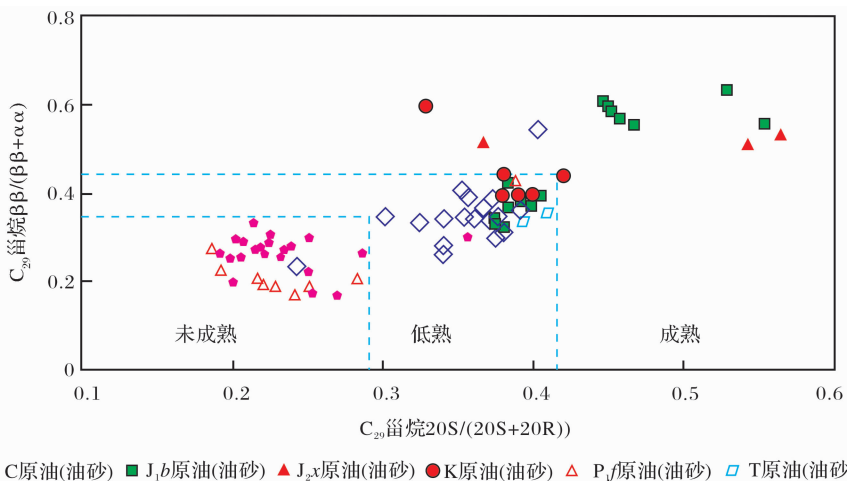


图3 哈山地区原油 $C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值和 $C_{29}$ 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 值相关关系

Fig. 3 Cross plot of  $C_{29}$  sterane  $20S/(20S+20R)$  vs.  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  ratios of the crude oil in Hashan area

### 3 推覆体下风城组烃源岩发现的地质意义

在上述油源认识和山前带构造模型建立的基础上,笔者运用构造几何学和运动学原理开展了复杂构造解析及构造变形复原研究。认为哈山地区早二叠世盆地沉积范围远大于现今盆地残留边界,风城组原始沉积边界可向北推移距离达数十千米,现今哈山 1、哈浅 6 和风 11 等井钻遇的风城组应为后期

逆冲推覆断层由哈山北部“背负”而来。此外,地层对比,由玛湖凹陷向北哈山地区风城组岩性颜色由灰绿色—灰色—深灰色变暗,沉积物粒度变细,反映出水体加深的特征,也佐证了推覆体下部风城组为非边缘相沉积。推测风城组烃源岩至少可以延伸至达尔布特断裂附近,并且烃源岩向北品质呈变好趋势,有利烃源岩分布面积较以往的认识范围扩大了近 1 000km<sup>2</sup>(图 4)。

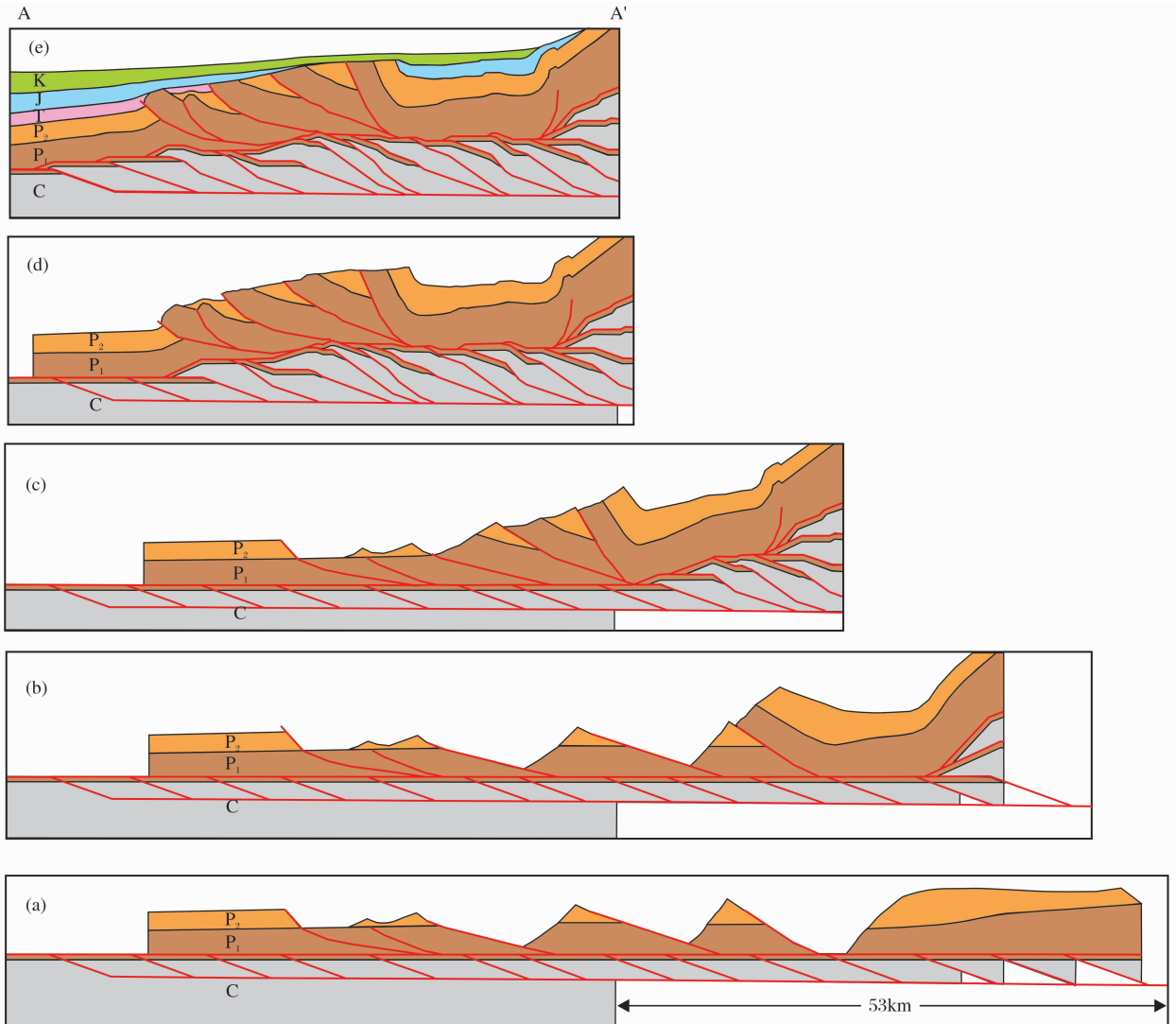


图 4 准北缘哈山地区 Z04BY637 构造变形复原剖面示意

Fig. 4 Structural evolution section of Z04BY637 in Hashan northern of the sloping zone of Junggar Basin

哈山逆冲推覆造成地层的重复叠加和烃源岩厚度的增加,配合该时期火山活动为优质烃源岩的发育提供的有利生成环境和成岩环境<sup>[15]</sup>,火山营养物质带来古生产力的繁盛,以及火山矿物质为烃类的高效转化提供了条件。同时,逆冲推覆使得地层剧烈变形,可形成一系列背斜、断背斜及断鼻等构造圈

闭,断裂、微裂缝发育,大大改善了风城组云质岩和石炭系火成岩储层的储集性能,为形成“自生自储”和“下生上储”的成藏组合提供了优越条件。盆地结构属性分析,风城组沉积期研究区处于裂陷伸展沉积环境,推测达尔布特断裂以北仍可能发育该套烃源岩及成藏组合,这无疑扩大了哈山乃至整个准噶

尔盆地北缘地区的找油领域。

## 4 结论

(1) 研究区存在 3 种成因类型的原油: 第 I 类原油为低熟—成熟演化阶段的生物降解稠油, 主要来源于风城组烃源岩, 第 II 类原油为未熟—低熟演化阶段的正常中质原油, 为风城组烃源岩生烃初期生成的油气, 第 III 类原油为成熟—高熟演化阶段的生物降解稠油, 主要来源于乌尔禾组烃源岩, 混有少量风城组烃源岩生成的油气。

(2) 哈山逆冲推覆体下部仍然发育大套的风城组烃源岩, 并且其至少可以向北延伸至达尔布特断裂附近, 大大提升了准噶尔盆地北缘地区的油气勘探潜力。

### 参考文献 (References):

- [1] Lei Dewen, Abulimiti Yiming, Wen Xiaotao, *et al.* Seismic detection method for identification of fractures in Fengcheng dolomitic limestone in Wuerhe-Xiazijie Fault Belt, Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2011, 32(5): 525-527. [雷德文, 阿布力米提·依明, 文晓涛, 等. 地震方法识别乌夏断裂带风城组白云质灰岩裂缝[J]. *新疆石油地质*, 2011, 32(5): 525-527.]
- [2] He Dengfa, Guan Shuwei, Zhang Nianfu, *et al.* Shrust belt structure and significance for petroleum exploration in Hala' alat Mountain in northwestern margin of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2006, 27(3): 267-269. [何登发, 管树巍, 张年富, 等. 准噶尔盆地哈拉阿拉特山冲断带构造及找油意义[J]. *新疆石油地质*, 2006, 27(3): 267-269.]
- [3] He Dengfa, Yin Cheng, Du Shekuan, *et al.* Characteristics of structural segmentation of foreland thrust belts: A case study of the fault belts in the northwestern margin of Junggar Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 91-101. [何登发, 尹成, 杜社宽, 等. 前陆冲断带构造分段特征——以准噶尔盆地西北缘断裂构造带为例[J]. *地质学前沿*, 2004, 11(3): 91-101.]
- [4] Guan Shuwei, Li Benliang, Hou Lianhua, *et al.* New hydrocarbon exploration areas in footwall covered structures in northwestern margin of Junggar Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(1): 17-22. [管树巍, 李本亮, 侯连华, 等. 准噶尔盆地西北缘下盘掩伏构造油气勘探新领域[J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(1): 17-22.]
- [5] Wang Shengzhu, Zhang Kuihua, Xiao Xiongfei, *et al.* The study on meshwork-carpet hydrocarbon pool-forming characteristic in Hashan area northern of the sloping zone of Junggar Basin [J]. *Journal of Xi'an Shiyu University: Natural Science Edition*, 2012, 27(6): 19-24. [王圣柱, 张奎华, 肖雄飞, 等. 准北缘哈山地区斜坡带网毯式油气成藏规律研究[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2012, 27(6): 19-24.]
- [6] Sun Ziming, Hong Taiyuan, Zhang Tao. Strike-slip-thrust composite structures and its relationships to hydrocarbon in Hala' alat mountains, northern Xinjiang [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2008, 43(2): 309-320. [孙自明, 洪太元, 张涛. 新疆北部哈拉阿拉特山走滑—冲断复合构造特征与油气勘探方向[J]. *地质科学*, 2008, 43(2): 309-320.]
- [7] Wang Yutao. Characteristics of heavy oil biodegradation in the northwestern margin of Junggar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(1): 81-88. [王屿涛. 准噶尔盆地西北缘稠油生物降解特征[J]. *沉积学报*, 1994, 12(1): 81-88.]
- [8] Xie Zhengxia, Wang Weifeng, Chen Gangqiang, *et al.* Properties and study on the alteration of heavy oil of Jurassic in Wuxia area Junggar Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 2009, 27(1): 53-57. [谢正霞, 王伟峰, 陈刚强, 等. 乌夏地区侏罗系稠油性质与稠变机理探讨[J]. *新疆地质*, 2009, 27(1): 53-57.]
- [9] Duan Chuanli, Chen Jianfa. Geochemical characteristics of biodegraded crude oil and their significances [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(2): 278-283. [段传丽, 陈践发. 生物降解原油的地球化学特征及其意义[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(2): 278-283.]
- [10] Mo Xiaoye, Zhang Min, Zhang Jun. Geochemical Characteristics of saturated hydrocarbon and its genesis in Hure Oilfield of western Qaidam Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(2): 278-283. [莫晓旃, 张敏, 张俊. 柴达木盆地尕斯库勒油田原油饱和烃地球化学特征及成因研究[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(5): 848-853.]
- [11] Ma Anlai, Zhang Shuichang, Zhang Dajiang, *et al.* The advances in the geochemistry of the biodegraded oil [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(4): 449-454. [马安来, 张水昌, 张大江, 等. 生物降解原油地球化学研究新进展[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(4): 449-454.]
- [12] Liu Hongjun, Qin Liming, Zhang Zhihuan. Geochemical significance and distribution characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons from the Jurassic source rocks in the Heshituoluogai Basin, northwest Junggar [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(6): 1104-1115. [刘洪军, 秦黎明, 张枝焕. 准噶尔盆地西北部和什托盖盆地侏罗系烃源岩芳烃分布特征及地球化学意义[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(6): 1104-1115.]
- [13] Wang Li, Song Zhiguang. The distribution of methylated-2-methyltrimethyltride-cylchromans and geochemical implication in Nenjiang Formation of the Late Cretaceous from Songliao Basin [J]. *Geochimica*, 2010, 39(5): 469-478. [王丽, 宋之光. 松辽盆地嫩江组脱烷基维生素 E 的分布及其地球化学意义[J]. *地球化学*, 2010, 39(5): 469-478.]
- [14] Liu Wenbin. Study on sedimentary environment of Fengcheng Formation at northwest margin of Junggar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1989, 7(1): 61-68. [刘文彬. 准噶尔盆地西北缘风城组沉积环境探讨[J]. *沉积学报*, 1989, 7(1): 61-68.]
- [15] Sun Yushan, Bai Xinmin, Sang Hong, *et al.* The source and reservoir system analysis of volcanic rock in depositional basin; Taking Fengcheng Formation of Lower Permian in Wuxia

Zhungeer, Xingjiang as an example[J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(4): 212-218. [孙玉善, 白新民, 桑洪, 等. 沉积盆地火山岩油气生储系统分析: 以新疆准噶尔盆地乌夏地区早二叠世风城组为例[J]. *地学前缘*, 2011, 18(4): 212-218.]

[16] Zhang Liping, Wang Shejiao, Qu Hui. Geochemistry of crude oil and oil-source analysis of Junggar Basin[J]. *Petroleum Explorationist*, 2000, 5(3): 30-35. [张立平, 王社教, 瞿辉. 准噶尔盆地原油地球化学特征与油源讨论[J]. *勘探家*, 2000, 5(3): 30-35.]

[17] Wang Xulong, Kang Sufang. Analysis of crude oil origin in

hinterland and slope of northwest margin, Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1999, 20(2): 108-112. [王绪龙, 康素芳. 准噶尔盆地腹部及西北缘斜坡区原油成因分析[J]. *新疆石油地质*, 1999, 20(2): 108-112.]

[18] Bao Jianping, Zhu Cuishan. The effects of biodegradation on biomarker maturity indicators in sequentially biodegraded oils from Liaohe Basin, China[J]. *Science in China: Series D*, 2009, 52 (supplement II): 38-46. [包建平, 朱翠山. 生物降解作用对辽河盆地原油甾萜烷成熟度参数的影响[J]. *中国科学: D辑*, 2008, 38(增刊II): 38-46.]

## The Genetic Types of Crude Oils and the Petroleum Geological Significance of the Fengcheng Formation Source Rock in Hashan Area, Junggar Basin

WANG Sheng-zhu<sup>1,2</sup>, ZHANG Kui-hua<sup>1,2</sup>, JIN Qiang<sup>1</sup>

(1. *College of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266555, China;*

2. *Western New Prospect Research Center, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, China*)

**Abstract:** Based on GC and GC-MS analyses of crude oil (oil sand) samples in different geological unit sand-layers of Hashan area in the northern of Junggar Basin, the geochemical characteristics of crude oil and source rocks were systematically studied. According to organic matter types, sedimentary environment, maturity, and  $C_{20}$ ,  $C_{21}$ ,  $C_{23}$  tricyclic diterpane distribution, the crude oils were divided into three genetic types. The Group I mainly distributed in the marginal overlap zones and the shallow of thrust-napped belt, and they were mainly originated from the Fengcheng Formation and experienced severe biodegradation, and they display characteristics of incomplete distribution of *n*-alkanes, “ascending” type tricyclic diterpanes distribution and high contents of gammacerane and  $\beta$ -carotane. The Group II mainly distributed in the middle and deep of the thrust-napped belt and was generated early in the low-mature stage of Fengcheng Formation source rocks, and the saturated hydrocarbon chromatograms of the oil is distributed fully indicating slight or non-biodegradation with obviously higher content of phytane than pristine and “ascending” type tricyclic diterpanes distribution. The Group III mainly distributed in the Xishanyao Formation in the marginal overlap zones in wellblock of Haqian 20 and was mainly from the high-mature Wuerhe Formation source rocks assisted by the Fengcheng Formation source rocks. The crude oil with pristine prevalence, low contents of gammacerane and  $\beta$ -carotenes and “descending” type distribution of  $C_{20}$ ,  $C_{21}$ ,  $C_{23}$  tricyclic diterpanes. Based on the geological modeling foothill belt and analysis of structural evolution of Hashan, it is believed that the Fengcheng Formation source rocks could extend northward to the Daerbut fault, and the distribution area up to 1 000 km<sup>2</sup> is larger than original, which will give practical guide to expanding the oil and gas exploration domains in the northern Junggar Basin.

**Key words:** Genetic types of crude oil; Oil-source correlation; Structural modeling; The Fengcheng Formation source rocks; Hashan area