

梨树断陷主力烃源岩与油源对比

顾 忆¹, 秦 都², 路清华¹, 李 侃¹, 宋振响¹, 黄党委³

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126;

2. 中国石油化工股份有限公司 东北油气分公司, 长春 130062;

3. 中国石油化工股份有限公司 东北油气分公司 石油勘探开发研究院, 长春 130062)

摘要:通过对梨树断陷不同地区、不同层位烃源岩、原油的地球化学特征分析,明确了主力烃源岩特征和原油地球化学特征。在生物标记化合物、碳同位素分析对比的基础上,认为梨树断陷中的原油主要来源于Ⅱ₁型生烃母质,苏家屯地区有部分Ⅲ型生烃母质来源原油的混入。油源对比表明,梨树断陷原油主要来自沙河子组烃源岩,部分地区有营一段烃源岩的贡献。

关键词:油源对比;原油;烃源岩;梨树断陷;松辽盆地

中图分类号: TE122.1⁺1

文献标识码: A

Correlation of major source rocks and oil sources in Lishu Fault Depression

Gu Yi¹, Qin Du², Lu Qinghua¹, Li Kuang¹, Song Zhenxiang¹, Huang Dangwei³

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China;

2. SINOPEC Northeast Oilfield Company, Changchun, Jilin 130062, China; 3. Research Institute of Petroleum

Exploration and Development, SINOPEC Northeast Oilfield Company, Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: According to the geochemical features of source rocks and crude oils from different strata and different area in the Lishu Fault Depression, the main source rock features and crude oil geochemical characteristics have been concluded. The analyses of biomarker compound and carbon isotope show that crude oils in the Lishu Fault Depression mainly generated from parent materials of type Ⅱ₁, while in Sujiatun area some crude oils which generated from parent materials of type Ⅲ mixed in. Oil and source correlation proves that crude oils in the Lishu Fault Depression mainly generated from the Shahezi Formation, while the 1st member of Yingcheng Formation also contributed in some area.

Key words: oil and source correlation; crude oil; source rock; Lishu Fault Depression; Songliao Basin

梨树断陷位于松辽盆地东南隆起区,是一个发育于晚侏罗世、早白垩世的西断东超、断拗叠置的“箕”状断陷盆地^[1-3]。自 1986 年发现八屋气田以来,已先后发现十屋、四五家子、后五家户、孤家子、太平庄、秦家屯、皮家和七棵树等 9 个油气田,近年又在双龙、苏家屯、金山等地区获得重要突破,梨树断陷已成为近中期中国石化东北油气分公司的重点增储地区。明确梨树断陷主力烃源岩,对梨树断陷油气的进一步勘探开发均有重要意义。

1 地质概况

梨树断陷沉积和沉降中心位于断陷的中西部,沉积厚度向 SE、E、NE 方向减薄,剖面形态均表现

为一个典型的受桑树台断裂控制的“西断东超”的半地堑;可分为桑树台洼陷带、北部斜坡带、中央构造带、东南斜坡带及苏家屯次洼、双龙次洼(图 1)。梨树断陷地层发育齐全,由西部向东部斜坡区逐层超覆,向北部斜坡急剧减薄,断陷层最大厚度达 8 000 m。上覆拗陷层较薄,一般厚度 2 000 m 左右。断陷晚期中央构造带发生反转,顶部剥蚀厚度大,形成拗陷构造残余厚度向四周减薄。由西北到东南发育 3 条 SW-NE 走向的断裂带,皮家走滑断裂带、小宽走滑断裂带和秦家屯走滑断裂带的走滑与反转作用,形成了相应的 3 个油气聚集带:皮家油气聚集带、中央隆起油气聚集带和秦家屯—小城子油气聚集带,由西南到东北呈气藏—油气藏—

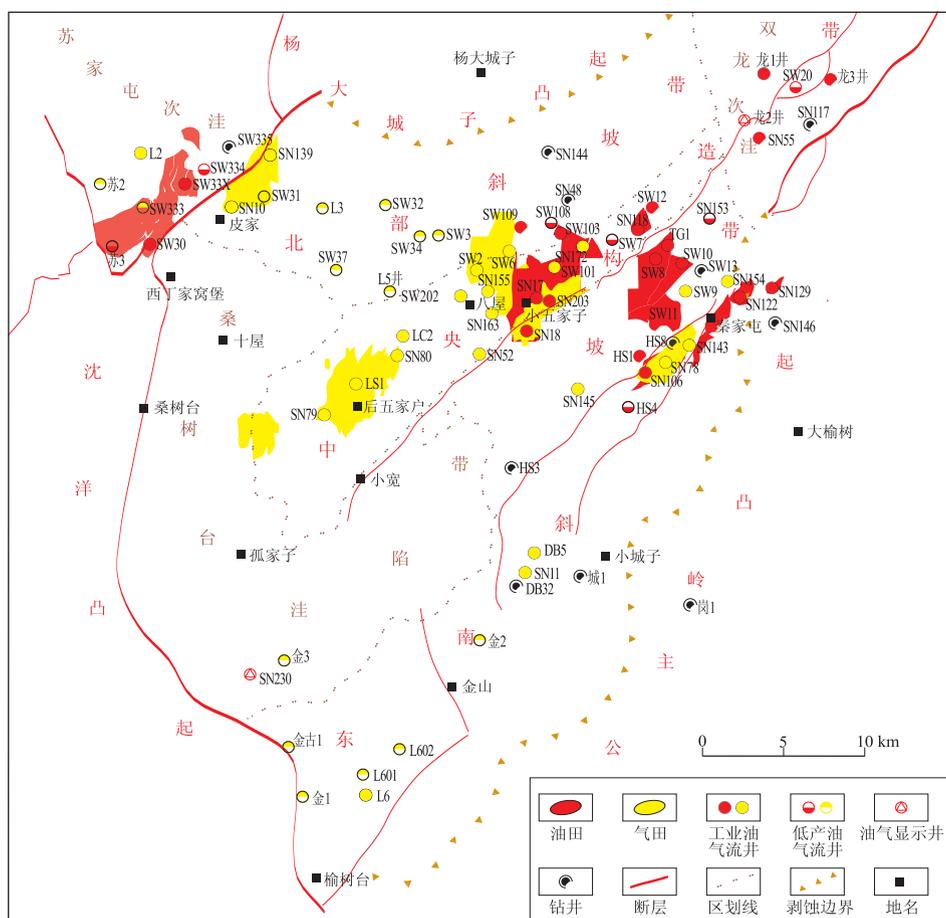


图1 梨树断陷构造分区及油气田分布

Fig.1 Tectonic unit and oilfield location in Lishu Fault Depression

油藏的近 NW 向展布^[4]。

采集了梨树断陷烃源岩样品 130 件、原油样品 49 件,由无锡石油地质研究所实验研究中心分析测试,开展了烃源岩 TOC、热解、族组分、干酪根碳同位素分析,对烃源岩、原油同时开展了轻烃、饱和烃色谱—质谱、芳烃质谱、族组成和饱和烃单体碳同位素分析。在此基础上,对梨树断陷主力烃源岩、原油地球化学特征进行了研究与对比。

2 烃源岩特征

梨树断陷的断陷层主要发育火石岭组、沙河子组、营城组及登娄库组。火石岭组为初始断陷沉积,早期以火山岩和火山碎屑岩沉积为主,晚期以小型断陷相关的滨—浅湖相碎屑岩沉积为主,局部可能有半深湖相碎屑岩沉积,烃源岩局部发育。沙河子组及营城组是快速伸展断陷发育阶段的产物,沉积了一套有利于烃源岩发育的深湖—半深湖相碎屑沉积,为主要的烃源岩发育期^[5-7]。登娄库组为断陷萎缩阶段沉积,发育浅湖相—三角洲相碎屑沉积为主,烃源岩不发育。

2.1 有机质丰度与类型

有机质丰度是衡量烃源岩生烃潜力的重要参数。综合前及本次研究共 1 282 个 TOC 数据点编制的有机碳含量分布频率直方图(图 2)表明, $w(\text{TOC}) > 1.0\%$ 的好烃源岩主要发育在营一段、沙河子组及火石岭组。48 个火石岭组烃源岩样品主要集中在苏家屯(L2)、小城子(DB32)及金岗地区(岗 1)。虽分布较局限,但 $w(\text{TOC}) > 1.0\%$ 的样品达 98%,表明火石岭组在局部地区的生烃潜力也不容忽视。

260 个 TOC 数据点与热解($S_1 + S_2$)含量分布图(图 3)表明,沙河子组明显好于营城组,沙四段是沙河子组中最好的烃源岩,营城组中营一段烃源岩相对较好。从图 4 热解参数表征的有机质类型可以看出,同样是沙河子组好于营城组,以 II₁ 型为主,沙四段最好,部分样品可达 I—II₁ 型。火石岭组烃源岩则为 III 型。

2.2 有机质成熟度

梨树断陷烃源岩热演化程度差异较大,断陷深部自营城组以下全部进入高一过成熟演化阶段,东

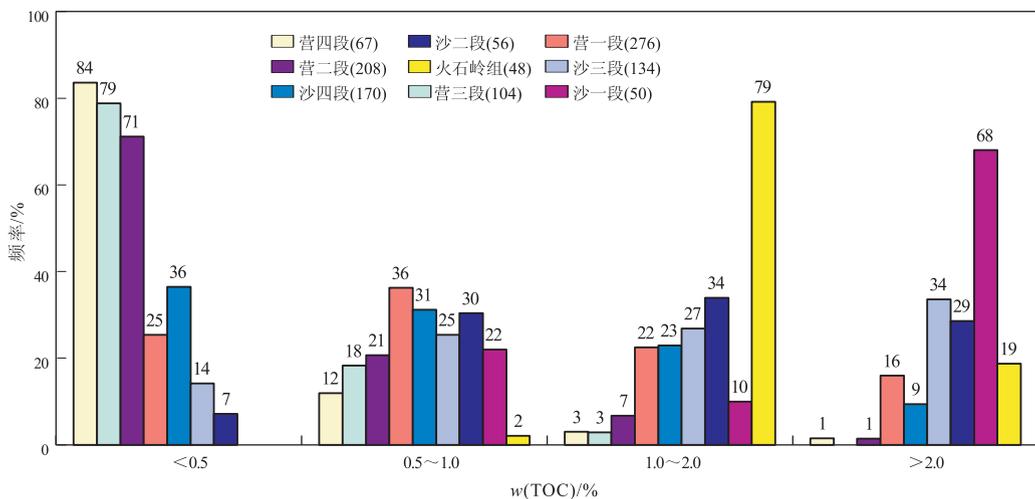


图 2 梨树断陷不同层段 TOC 平均含量

Fig.2 Average TOC content of different strata in Lishu Fault Depression

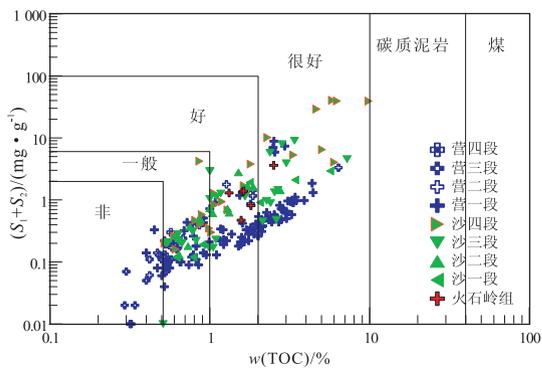


图 3 梨树断陷各层段 TOC 含量与 S₁+S₂ 分布

Fig.3 TOC content and S₁+S₂ distribution of different strata in Lishu Fault Depression

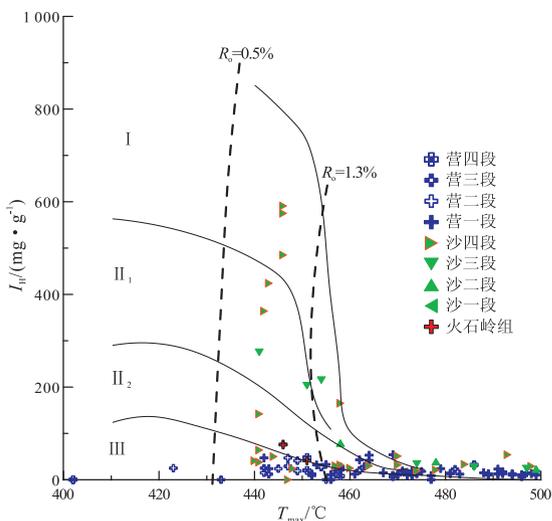


图 4 梨树断陷不同层位烃源岩有机质类型

Fig.4 Organic matter type of source rock from different strata in Lishu Fault Depression

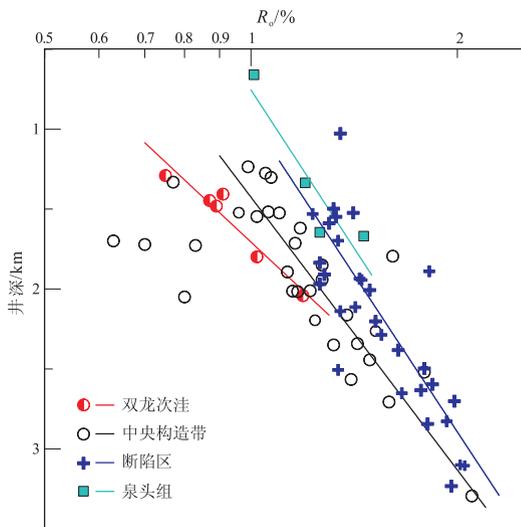


图 5 梨树断陷不同地区烃源岩现今成熟度 R₀ 与埋深关系

Fig.5 Present R₀ vs. burial depth of source rock from different strata in Lishu Fault Depression

R₀ 与埋深呈现良好的对数关系,梨树断陷烃源岩整体处于生油高峰阶段 (R₀ 为 0.7%~1.0%) 和高成熟阶段 (R₀ 为 1.2%~2.0%),但不同构造单元埋深与 R₀ 的关系不尽相同。除双龙次洼外,断陷其他地区 R₀ 与埋深曲线斜率与上覆泉头组相似,显示坳陷层沉积后梨树断陷层地温梯度趋与一致,表明坳陷层的沉积厚度是影响断陷层有机质成熟度的重要因素。双龙次洼坳陷层沉积较薄,实测的高地温梯度可以代表断陷期的古地温梯度。

3 油源对比

3.1 烃源岩地球化学特征

对梨树断陷不同层位 104 件烃源岩样品开展

部秦家屯地区断陷层仍处于生油窗内。实测 112 个梨树断陷不同构造单元 R₀ 数据分析表明 (图 5),

了饱和烃色谱、色—质、芳烃色谱、碳同位素等分析,以期判别不同地区、不同层位烃源岩的沉积环境和油源对比。

依据陆相断陷盆地主要存在2种成烃生物类型,即低等水生生物与陆源高等植物,根据反映烃源岩中有机质的生源输入、沉积环境的轻烃指纹、饱和烃生标、芳烃特征及碳同位素分布,将梨树断陷烃源岩划分为2种类型。

I类烃源岩:干酪根碳同位素小于 $-26‰$,即有机质类型为 II_1 或I型,饱和烃碳同位素小于 $-31‰$,芳烃碳同位素小于 $-29‰$,正构烷烃单体碳同位素分布于 $-30‰ \sim -34‰$;烃源岩轻烃中甲基环己烷小于25%;芳烃三芴系列中硫芴含量大于50%;烃源岩饱和烃规则甾烷呈“V”字型分布,重排甾烷含量高; γ -蜡烷含量低(GI 一般小于0.2), C_{24} 四环萜烷含量高。

II类烃源岩:干酪根碳同位素大于 $-24.5‰$,即有机质类型为III型,饱和烃碳同位素大于 $-29‰$,芳烃碳同位素大于 $-27‰$,正构烷烃单体碳同位素分布于 $-24‰ \sim -26‰$;烃源岩轻烃中甲基环己烷大于65%;芳烃三芴系列中硫芴含量小于50%;烃源岩饱和烃生物标志物规则甾烷呈反“L”字型分布,重排甾烷含量低; γ -蜡烷含量高, C_{24} 四环萜烷含量低。

因此,I类烃源岩的成烃母质以低等水生生物为主,干酪根类型为 II_1 -I型,发育于深湖—半深湖相;II类烃源岩的成烃母质以陆源高等植物为主,干酪根类型以III型为主,主要发育于滨浅湖—沼泽相。

3.2 原油地球化学特征

对梨树断陷不同油气田49件原油样品,开展了原油轻烃指纹、饱和烃色谱、色—质、芳烃质谱和碳同位素分析。

原油地球化学特征表明,原油生烃母质主要为低等水生生物,并有少量陆源高等植物的掺混,具有较轻的碳同位素分布。原油碳同位素小于 $-30‰$ (仅苏家屯SW30井 $\delta^{13}C$ 为 $-29.9‰$,L2井 $\delta^{13}C$ 为 $-22.6‰$,龙山L6井 $\delta^{13}C$ 为 $-29.6‰$),饱和烃规则甾烷分布总体呈不规则“V”字型,重排甾烷含量高, γ -蜡烷含量低($GI < 0.2$), C_{24} 四环萜烷含量高,总体与I类烃源岩地球化学特征类似。苏家屯L2井原油则可能以陆源高等植物为主要生烃母质,明显区别于梨树断陷其他地区。就苏家屯原油来说,总体表现为偏重的族组分碳同位素(饱和烃 $\delta^{13}C$ 偏重 $1‰$,芳烃 $\delta^{13}C$ 偏重 $2‰$),表明有少量III型生

烃母质生成的原油混入。

3.3 油源对比

通过对梨树断陷烃源岩、原油成因类型的地球化学指标的甄别,类异戊二烯烃、饱和烃重排甾烷、规则甾烷、 γ -蜡烷相对含量及稳定碳同位素指标是指示成烃生物生长环境、判断母质类型的良好指标。

图6为Pr/Ph、Pr/nC₁₇、Ph/nC₁₈三角图,明显可以看出原油与高丰度沙四段烃源岩均分布于湖相范围,苏家屯原油的形成环境更偏向于半咸水—咸水沉积。

梨树断陷典型原油5 $\alpha\alpha\alpha$ 规则甾烷分布呈 $C_{27} > C_{28} < C_{29}$, C_{29} 甾烷含量较高(图7),与秦家屯SN121-7号样品(I类烃源岩)类似(图7),且重排甾烷含量高,SN118-11号烃源岩甾烷分布显示的母质类型更好。II类烃源岩样品(SN121-8,SN22-4)则明显 $C_{29} \gg (C_{27} + C_{28})$,且重排甾烷含量低(图7)。

本区原油总体 γ -蜡烷相对含量较高(GI 主要分布于0.2~0.6),而烃源岩一般 GI 均小于0.2(图7)。可以解释的是,目前所采集的样品一般都分布于断陷边缘,而深湖相烃源岩一般位于断陷深部。深湖相的水体分层及半咸水—咸水环境可以引起 γ -蜡烷含量的增大。从断陷边缘SN118-11等高丰度、好类型样品的出现,表明断陷深部深湖相的烃源岩更好。而且从该样品Pr/Ph比值为2.44,显示其沉积环境还原性不强。

碳同位素分布是油源对比的一个重要参数。从原油、烃源岩族组成碳同位素类型曲线(图8)明显可以看出,沙河子组SW12-2、HS8-9号样品与原油关系密切,是梨树断陷油藏的主力烃源。

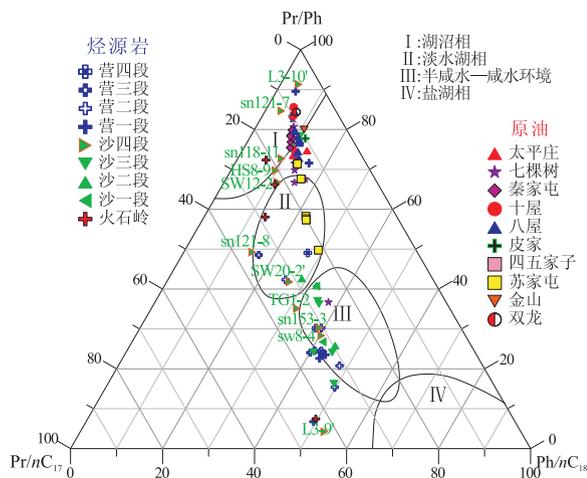


图6 梨树断陷原油、烃源岩类异戊二烯烃对比三角图

Fig.6 Triangle graph of isoprenoid of crude oil and source rock in Lishu Fault Depression

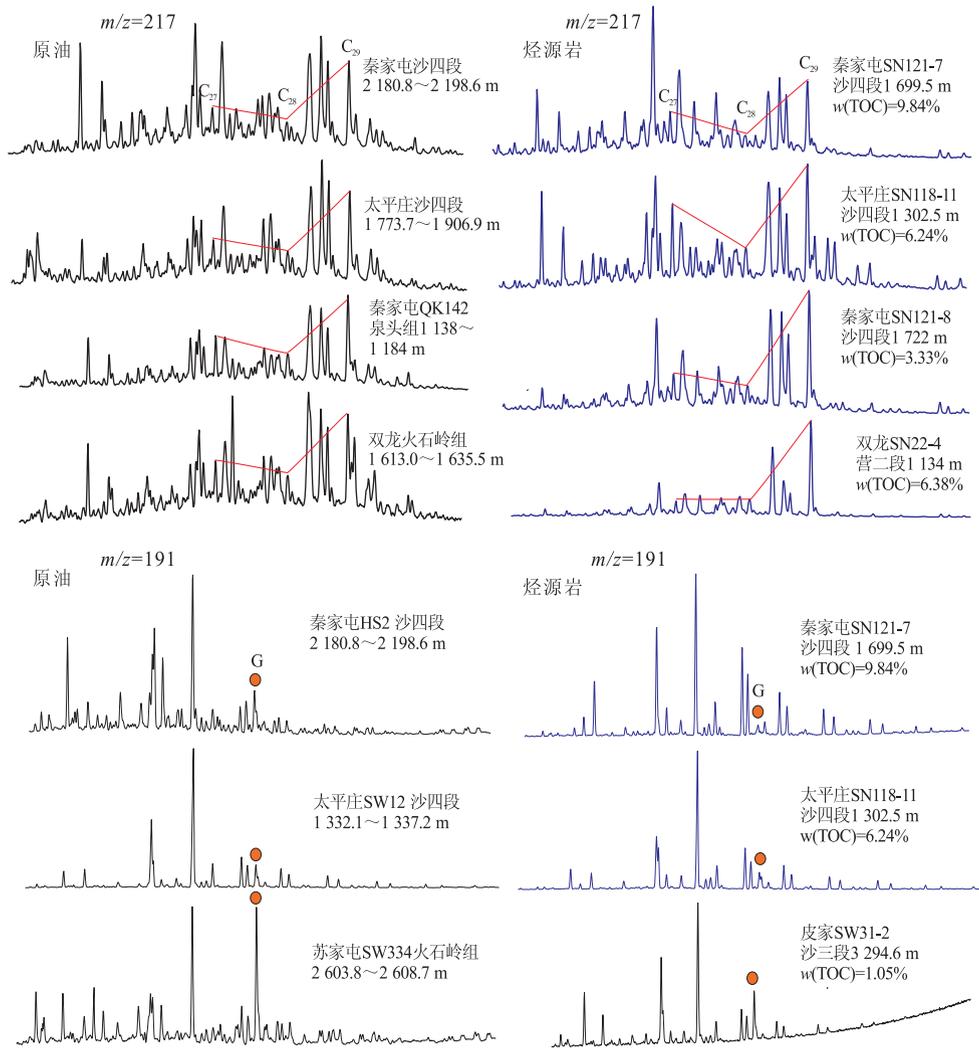


图 7 梨树断陷典型原油、烃源岩质谱图对比

Fig.7 Mass spectra comparison of typical crude oil and source rock in Lishu Fault Depression

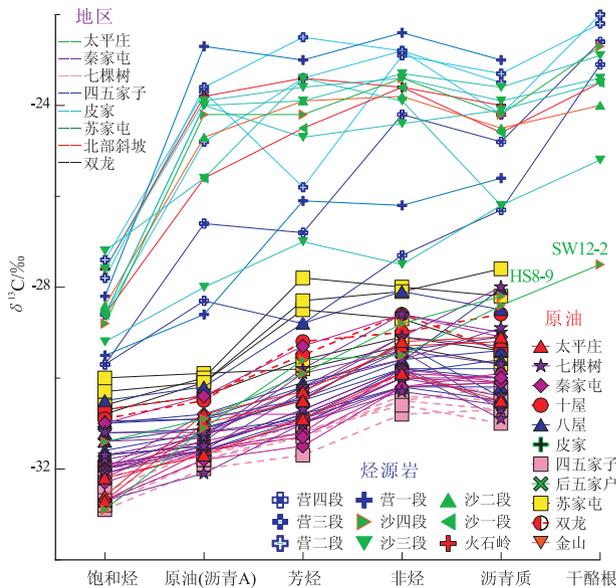


图 8 梨树断陷原油、烃源岩组分碳同位素类型曲线对比

Fig.8 Comparison of carbon isotope type curve of crude oil and source rock in Lishu Fault Depression

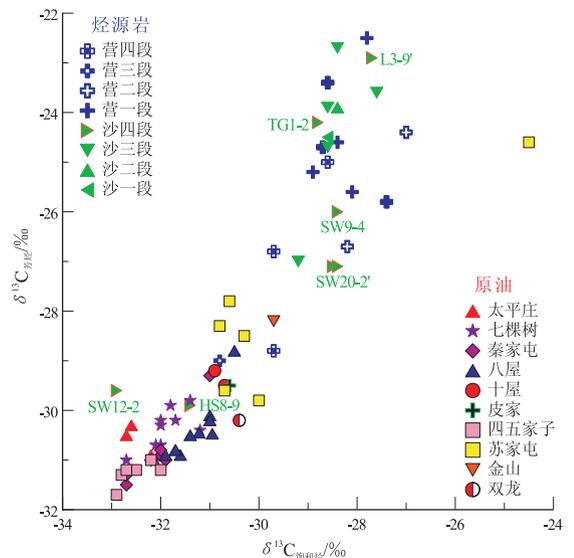


图 9 梨树断陷原油、烃源岩饱和烃、芳烃 $\delta^{13}\text{C}$ 对比

Fig.9 Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ of saturated hydrocarbon and aromatics between crude oil and source rock in Lishu Fault Depression

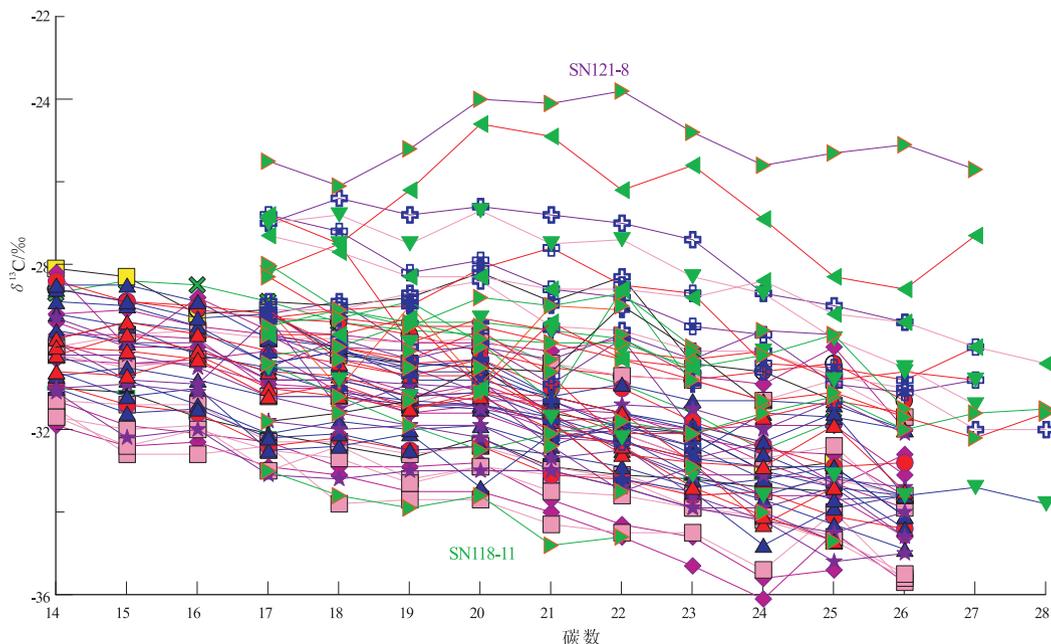


图10 梨树断陷原油、烃源岩正构烷烃单体碳同位素对比

注:图例同图9。

Fig.10 Comparison of individual carbon isotope of *n*-alkanes between crude oil and source rock in Lishu Fault Depression

苏家屯原油 $\delta^{13}\text{C}$ 相对较重,可能受到陆源高等植物输入的影响。

原油、烃源岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 对比图(图9)同样也表现出与图8相似的结果,即四五家子、太平庄、秦家屯、七棵树原油与高丰度的 II_1 型母质有关,苏家屯原油的类型相对较差。

同样,原油、烃源岩正构烷烃单体碳同位素对比(图10)也明显表明,原油主要与母质类型相对好的SN118-11号等样品(I类烃源岩)有关,同时也受SN121-8号类型相对较差(II类烃源岩)形成原油的混入,原油主体以 II_1 型母质为主要来源。

总之,油源对比表明,梨树断陷原油主要来自于 II_1 型优质烃源岩,与沙河子组烃源岩密切相关,特别是沙四段。苏家屯地区原油类型相对较差,但仍然表现为以 II_1 型优质烃源岩为主,但受III型母质形成原油的影响,可能是营一段的贡献。火石岭组烃源岩类型相对较差,以III型为主,可能是东南斜坡带煤型气的主要贡献者。

4 结论

1)梨树断陷发育2类烃源岩。I类烃源岩:干酪根碳同位素小于 -26‰ ,有机质类型为 II_1 或I型,成烃母质以低等水生生物为主,发育于深湖—半深湖相;II类烃源岩:干酪根碳同位素大于 -24.5‰ ,有机质类型为III型,成烃母质以陆源高等

植物为主,主要发育于滨浅湖—沼泽相。

2)油源对比表明,梨树断陷原油主要来源于I类烃源岩(有机质类型以 II_1 型为主);苏家屯地区有II类烃源岩(有机质类型以III型为主)来源原油的混入。

3)沙河子组烃源岩 $w(\text{TOC}) > 0.5\%$ 的样品占79%,其中 $w(\text{TOC}) > 2.0\%$ 的样品占达标样品的34%,有机质丰度高,有机质类型以 II_1 型为主,是梨树断陷的主力烃源岩;营一段在局部地区有贡献。

参考文献:

- [1] 俞凯,闫吉柱,杨振升,等.十屋断陷构造格架演化与油气的关系[J].天然气工业,2000,20(5):32-35.
- [2] 张俊,赵红静,张敏.松辽盆地梨树断陷天然气地球化学特征及成因探讨[J].石油实验地质,2012,34(4):417-421.
- [3] 王洪江,吴聿元.松辽盆地长岭断陷火山岩天然气藏分布规律与控制因素[J].石油与天然气地质,2011,31(3):360-367.
- [4] 周卓明,宋振响,湛小红.梨树断陷油气藏分布特征与成藏模式[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,42(S2):131-140.
- [5] 张玉明.松辽盆地南部十屋断陷北部深层油气成藏条件[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2006,28(3):53-56.
- [6] 张俊.松辽盆地南部梨树断陷营城组烃源岩评价[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2010,32(6):45-48.
- [7] 张俊,张敏.松辽盆地梨树断陷原油成因类型与分布[J].天然气地球科学,2013,24(1):116-122.

(编辑 黄娟)