

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0697-08

藏北南羌塘盆地扎仁地区油苗地球化学特征及意义¹

付修根^{1,2} 廖忠礼¹ 王剑¹ 陈文彬¹

(1. 中国地质调查局成都地质矿产研究所 成都 610082 2. 中国地质科学院 北京 100037)

摘要 扎仁地区地处南羌塘盆地南缘,属油气研究的“空白区”,结合羌塘盆地扎仁区块 1:5 万石油地质构造详查,重点研究了位于该区的地表油苗的生物标志化合物和分子碳同位素特征,并且进行了油源对比。研究资料揭示了原油有机质母质为菌藻类和高等植物,特别是藻类为原油的形成作出了贡献;原油形成于还原—弱还原的咸水环境,显示成熟原油的特征。原油的生物标志物特征和中侏罗统夏里组烃源岩具有亲缘关系,反映了原油主要来源于夏里组烃源岩,但其单体碳同位素特征又与夏里组烃源岩存在一定的差异,反映了混合来源的特征。

关键词 生物标志物 单体碳同位素 油源对比 南羌塘盆地

第一作者简介 付修根 男 1976 年出生 在读博士生 油气地球化学及沉积大地构造学 E-mail fuxiugen@sehu.com

中图分类号 P593 文献标识码 A

西藏羌塘盆地位于藏北高原“无人区”,南北宽 300 km,东西长 640 km,面积 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[1]。其所属的西藏特提斯域与波斯湾等油气富集区同处于一个大地构造单元,该区油气赋存条件与勘探前景一直为世界所瞩目^[2]。

南羌塘盆地扎仁地区地处南羌塘盆地南缘,行政区划属西藏自治区那曲地区双湖特别行政区。区内发现油苗和油气显示点多处,比较重要的是隆鄂尼—扎仁古油藏带(扎仁古油藏北带)和巴尔扎—晓嘎晓那一巴格底加日古油藏带(扎仁古油藏南带),这两个古油藏带均产于中侏罗统布曲组地层中,属自生自储型古油藏^[3]。这些古油藏的存在充分说明了羌塘盆地存在大规模的油气聚集和成藏过程,显示了该盆地具有较好的油气远景。2006 年,我们在扎仁地区(地理坐标为: $N32^{\circ}42' \sim 32^{\circ}53'$, $E89^{\circ}10' \sim 89^{\circ}29'$)完成 1:5 万石油地质构造详查,重点剖析了该区各古油藏特征。本文报道了各古油藏(油苗)原油的分子地球化学特征以及它们所反映的母质性质、形成环境和成熟度,进而进行了油源对比。

1 区域地质背景及古油藏特征

扎仁区块在地层区划分上属于羌塘地层区之南羌塘地层分区,构造上处于羌塘陆块之南羌塘拗陷南缘。测区东部为埋深 7 km 的土门凹陷,南部为比洛错—其香错凸起,测区即处于上述凹陷和凸起的过渡

部位。区内断裂构造不发育,主要断裂为一条呈北西—南东展布的扎仁断裂(图 1),该断裂延伸约 50 km,为一条规模较大的压扭性断层。

区内出露的地层主要为上三叠统土门格拉组(T_3t)碎屑岩(测区北部边缘),中侏罗统布曲组(J_2b)灰岩、白云岩,夏里组(J_2x)碎屑岩夹灰岩,上侏罗统索瓦组(J_3s)灰岩、白云岩,古近系纳丁错组(E_3n)中基性火山岩以及新近系康托组(N_1k)碎屑岩。其中,中侏罗统夏里组、布曲组地层在区内大面积出露,其他各组仅零星分布。

隆鄂尼—扎仁古油藏带呈 NWW 向展布,东西长约 16 km,南北宽约 1.5 km,其空间展布范围大致与王成善等^[1]命名的比隆错—昂达尔错古油藏带之北带一致。测区内主要产于扎仁中侏罗统布曲组地层中,在扎仁(见于 ZP2 和 ZRbP 剖面^[3],图 1),见多个含油层位,最大厚度 180 m,累计厚度 248.04 m。含油层主要赋存于灰白色晶粒白云岩中,风化表面呈褐—褐黄色,油浸后呈灰黑色,白云岩总体呈丘状地貌,具有一定的分层性。沥青(原油)主要分布于白云岩颗粒间,岩石敲碎后新鲜断面散发出强烈的油味。在隆鄂尼,含油层白云岩赋存于生物礁组合中,生物礁层中可识别出一系列海绵类、苔藓虫及藻类等造礁生物^[4]。该古油藏含油白云岩荧光颜色单调,主要呈黄绿色和黄色,少数为兰色及橙黄色,荧光强度高,

¹ 国家油气专项“青藏高原油气资源战略选区调查与评价(科油[2004])”和国家自然科学基金(批准号:40472070)联合资助。

收稿日期:2007-09-24 收修改稿日期:2007-11-13

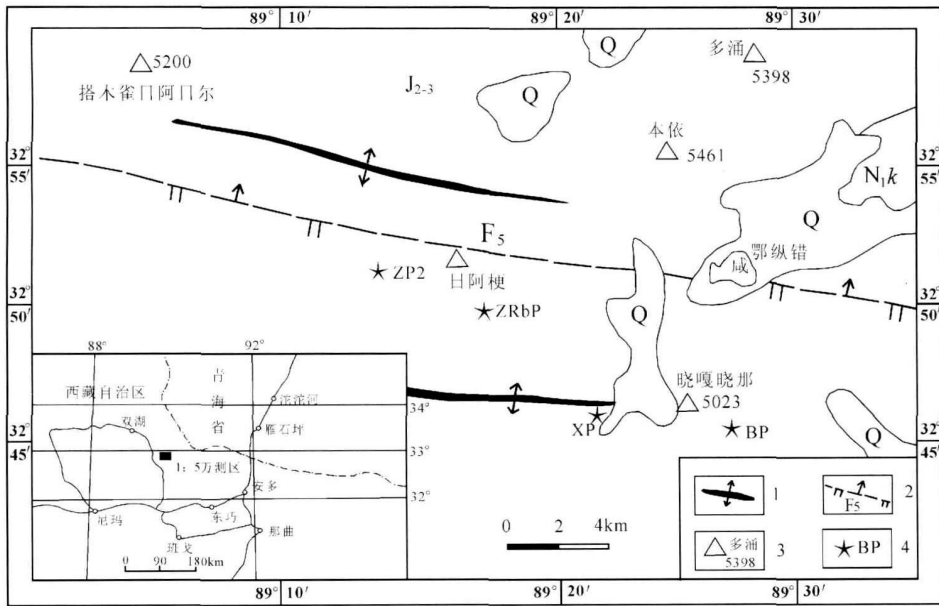


图 1 扎仁地区古油藏位置图

Q - 新近系; N_{1k} - 康托组; J_{2-3} - 中上侏罗统; 1 - 背斜; 2 - 断裂; 3 - 高地及海拔; 4 - 古油藏位置及控制剖面

Fig 1 Location of paleo-oil-reservoirs in the Zaring area

Q - Neogene; N_{1k} - Kangtuo Formation; J_{2-3} - Middle-Upper Jurassic; 1 - Anticline; 2 - Fault

3 - Highland and altitude; 4 - Location of paleo-oil-reservoir and its control section

以油质沥青为主, 与前人的研究成果一致^[1]。

巴尔扎—晓嘎晓那—巴格底加日古油藏带呈 NWW 向展布, 东西长约 5 km, 南北宽约 1 km, 其空间展布范围大致与王成善等^[1]命名的比隆错—昂达尔错古油藏带之南带一致。测区内主要产于巴格底加日中侏罗统布曲组地层中 (见于 XP 和 BP 剖面, 图 1), 向西可与比隆错油页岩和油浸石膏相连, 在巴格底加日 (BP 剖面^[3]) 见两个含油层位, 厚度分别为 28.54 m 和 45.70 m。含油层岩石为灰白色白云岩, 风化表面呈灰色, 油浸后呈灰—灰黑色, 地貌上为一近于直立的陡崖, 岩层分层性明显, 单层厚度为 70~200 cm, 白云岩表面见有油渍和油斑, 并见有黑色沥青膜。在野外溶洞及溶孔中基本见不到沥青充填, 仅在镜下的微孔或微缝隙中见有少量的沥青, 反映了该古油藏具有多期成藏的特点, 但以早期成藏作用为主, 后期成藏规模较小。白云岩荧光特征也证实了这一点, 早期沥青呈深褐色、黑褐色, 浸染于白云岩颗粒边缘, 晚期沥青呈淡黄色, 主要充填于微孔或微缝隙中。

2 样品的采集与分析方法

油样采自扎仁地区各油苗显示点, 包括扎仁古油藏南带 (即 XP—BP 带) 和扎仁古油藏北带 (即 ZP2—

ZRbP 带), 为了便于比较, 隆鄂尼古油藏的油样也被采集, 另外, 为了便于油源对比, 我们对扎仁地区各主要烃源岩层进行了系统采样。

样品的抽提以及饱和烃的测定均是在中国科学院广州地球化学研究所有机分析测试中心完成的。饱和烃生物标志化合物的分析是在 Finnigan Voyager 型色谱—质谱联用仪上进行。色谱柱为 DB5—MS 型毛细管 (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm), 氦气作载体。升温程序: 饱和烃的起始温度 35°C, 以 10°C/min 升至 120°C, 然后再以 3°C/min 升至 300°C, 恒温 30 min。离子源温度为 200°C, 色谱质谱温度为 250°C。质谱扫描方式为全扫描 (Full Scan) 和多离子检测 (MID) 方式。

正构烷烃碳同位素测定也是在中国科学院广州地球化学研究所有机分析测试中心完成的。将饱和烃溶液浓缩至 0.5 mL, 加入尿素的甲醇饱和溶液 2 mL, 在冰箱中放置 3 天, 取出滤液, 沉淀为尿素络合的正构烷烃部分, 用超纯水洗脱, 正己烷萃取三遍, 收集至小瓶中, 加入纯化过的无水硫酸钠脱水, 过滤, 保存于封闭小瓶中, 放入冰箱待测单体碳同位素。滤液为溶解的异构部分, 用正己烷将其萃取, 收集保存于冰箱中待用。

单体正烷烃测试在同位素质谱 Delta XL Plus 同位素质谱上进行。色谱柱为 DB5-MS 型毛细管柱 (50 m × 0.32 mm × 0.25 μm), 氦气作载体。升温程序: 起始温度 60°C, 保留时间 1 min, 以 15°C/min 升至 110°C, 保留时间 1 min, 然后以 3°C/min 升至 290°C, 恒温 30 min, 色谱进样口温度为 290°C, 无分流进样。

3 结果与讨论

3.1 各油苗点原油的母质性质及形成环境

南羌塘各油苗点原油正构烷烃系列主要有两种不同的分布模式 (图 2), 第一种为前峰型, 包括样品 D5053、D2014、YP-15Y1、YP-15Y2、YP-15Y2-1、D8016-Y1、D8040 和 D1-Y2。该类型的原油主要分布在扎仁古油藏的南带和北带, 主峰碳为 nC_{17} , 碳数范围 $nC_{13} \sim nC_{31}$, C_{21-}/C_{21+} 比值为 1.62 ~ 2.90, 显示轻烃组分占绝对优势的特征, 这种特征常被解释为水生生物为主的生物母质的贡献。所有前峰型油样中, 主峰碳为 nC_{17} , 显示藻类生物在这些原油的形成过程中起着重要的作用^[5]。第二种为双峰型, 该类型的原油主要分布于隆鄂尼古油藏带, 前峰为 nC_{17} (或 nC_{18}), 后峰为 nC_{27} (或 nC_{26}), 碳数分布范围为 $nC_{13} \sim nC_{31}$, 除一件样品具有略微偏低的 C_{21-}/C_{21+} 比值 (0.97) 外, 其余样品的 C_{21-}/C_{21+} 比值为 1.58 ~ 1.59, 显示轻烃组分略占优势的特征。原油中 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值通常用来研究母质类型、形成环境和成熟度^[6,7]。南羌塘各油苗点原油的这两个比值

分布在一个较窄的范围内 (表 1), 反映它们来自一个类似的生物母源, 其大小指示原油母质为混合型。

规则甾烷的分布可以提供原油母质信息^[8]。南羌塘各油苗点原油 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 含量分别为 35% ~ 43%、29% ~ 32% 和 29% ~ 35% (表 1), 除一件样品具有大致相等的 C_{27} 和 C_{29} 含量外 (表 2), 其余样品均具有 $C_{27} > C_{29}$ 的特征, 表明这些原油的母质由陆生植物和水生生物构成, 并且水生生物是原油形成的重要贡献者。南羌塘各油苗点原油中含有 4-甲基甾烷。4-甲基甾烷的来源一般认为与藻类有关^[9], 但也存在细菌之中^[10], 本文所研究的各油样中均检测到一定含量的 4-甲基甾烷, 可能主要与甲藻类对原油的贡献有关。

南羌塘各油苗点原油中均检测出了一定含量的藿烷系列、三环萜烷系列和少量的四环萜烷 (图 2), 其相对丰度大多具有五环三萜烷 > 三环萜烷 > 四环萜烷的特征。三环萜烷一般认为来源于原生动物的细胞膜^[11], 但也可能来源于藻类^[12], 此外, 有证据表明一些 $C_{19} \sim C_{20}$ 三环萜烷来源于高等植物^[13]。南羌塘各油苗点原油中检出的三环萜烷系列以 $C_{20} \sim C_{21}$ 三环萜烷含量最高, 并且反映细菌来源的升藿烷 ($C_{31} \sim C_{35}$) 含量很低 (图 2), 结合其它生物标志物参数, 南羌塘各油苗点原油萜类化合物的这些特征表明了水生藻类、浮游动物以及高等植物的多重贡献, 并且水生生物尤其藻类在这些原油的形成过程中起着重要的作用。

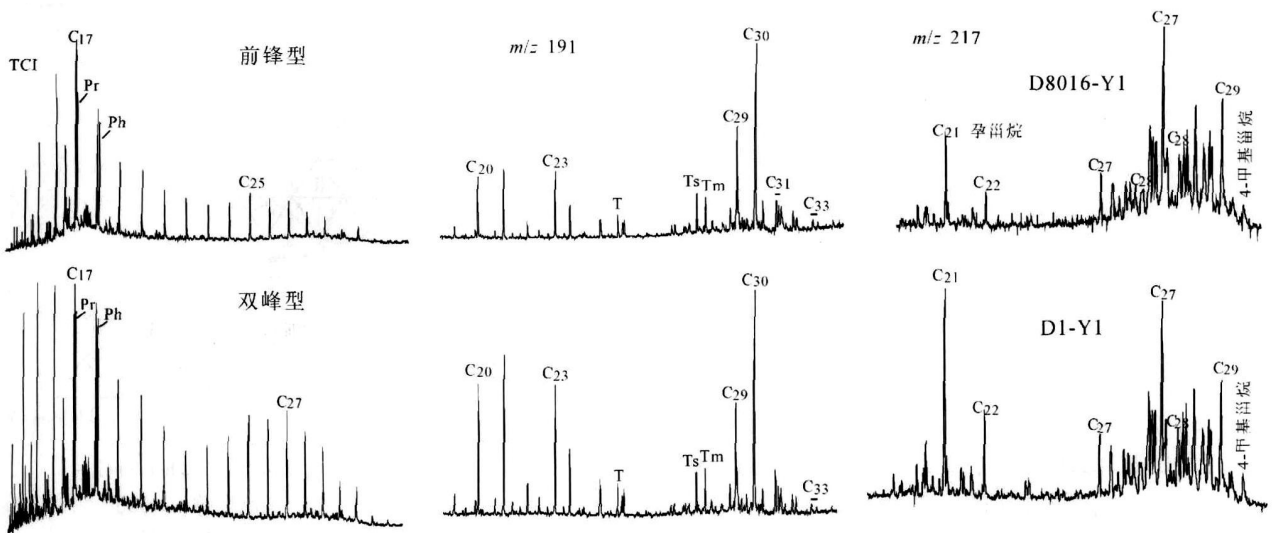


图 2 南羌塘各油苗点饱和烃色谱和萜烷、甾烷质量色谱图 (m/z 191, m/z 217)

Fig. 2 Saturated hydrocarbon chromatogram, terpane and sterane mass chromatogram (m/z 191, m/z 217) of oil seepages in the southern Qiangtang depression

表1 南羌塘各油苗点原油正构烷烃和类异戊二烯烃分析资料

Table 1 Analytical data of *n*-alkanes and isoprenoid alkanes of oil seepages in the southern Qiangtang Depression

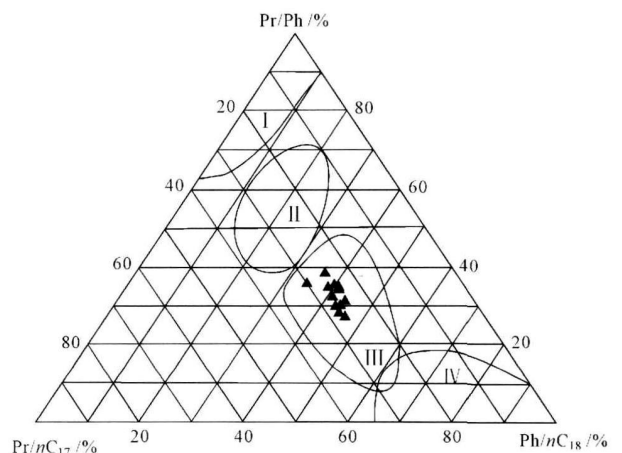
| 样号 | 隶属范围 | 碳数范围 | 主峰碳数 | OEP | C ₂₁ - /C ₂₁ + | Pr/Ph | Pr/nC ₁₇ | Ph/nC ₁₈ |
|-----------|---------|--------|----------|------|--------------------------------------|-------|---------------------|---------------------|
| BP-12Y1 | 扎仁古油藏南带 | 13~ 31 | C17和 C27 | 1.00 | 1.58 | 0.60 | 0.60 | 1.02 |
| BP-14Y2 | | 13~ 31 | C17 | 1.02 | 1.62 | 0.71 | 0.57 | 1.00 |
| D5053 | | 13~ 31 | C17 | 1.01 | 2.80 | 0.69 | 0.62 | 1.01 |
| D2014 | | 13~ 31 | C17 | 2.36 | 2.90 | 0.98 | 0.65 | 0.93 |
| YP-15Y1 | 扎仁古油藏北带 | 13~ 31 | C17 | 1.00 | 2.06 | 0.72 | 0.55 | 0.81 |
| YP-15Y2 | | 13~ 31 | C17 | 1.00 | 1.65 | 0.62 | 0.58 | 0.90 |
| YP-15Y2-1 | | 13~ 31 | C17 | 1.01 | 2.01 | 0.76 | 0.54 | 0.86 |
| D8016-Y1 | | 13~ 31 | C17 | 1.02 | 2.00 | 0.80 | 0.57 | 0.96 |
| D8040 | | 13~ 31 | C17 | 1.04 | 2.13 | 0.84 | 0.60 | 1.01 |
| D1-Y1 | 隆鄂尼古油藏 | 13~ 31 | C17和 C27 | 1.02 | 1.59 | 0.64 | 0.63 | 1.01 |
| D1-Y2 | | 13~ 31 | C17 | 0.99 | 1.97 | 0.75 | 0.63 | 0.96 |
| D1-Y3 | | 13~ 31 | C18和 C26 | 0.86 | 0.97 | 0.75 | 0.64 | 0.73 |

表2 南羌塘各油苗点萜烷、甾烷分析资料

Table 2 Analytical data of terpane and sterane of oil seepages in the southern Qiangtang depression

| 样号 | 伽马蜡烷 / αβ-C ₃₀ 藿烷 | Ts/ (Ts+ Tm) | C ₃₁ 藿烷-22S / C ₃₂ 藿烷-22S/ (S+ R) (S+ R) | | 三环萜烷 / 藿烷 | C ₂₉ 甾烷-20S / (20S+ 20R) | C ₂₉ 甾烷 ββ / (αβ + ββ) | 规则甾烷相对含量 /% | | |
|-----------|---------------------------------|-----------------|---|-----------------|--------------|--|--------------------------------------|-----------------|----|----|
| | | | C ₂₇ | C ₂₈ | | | | C ₂₉ | | |
| BP-12Y1 | 0.15 | 0.50 | 0.56 | 0.54 | 0.65 | 0.43 | 0.63 | 35 | 30 | 35 |
| BP-14Y2 | 0.14 | 0.53 | 0.55 | 0.56 | 0.71 | 0.45 | 0.61 | 36 | 32 | 33 |
| D5053 | 0.16 | 0.50 | 0.55 | 0.56 | 0.90 | 0.45 | 0.65 | 39 | 29 | 32 |
| D2014 | 0.16 | 0.52 | 0.58 | 0.55 | 1.50 | 0.44 | 0.61 | 39 | 32 | 29 |
| YP-15Y1 | 0.11 | 0.50 | 0.58 | 0.57 | 1.37 | 0.41 | 0.64 | 38 | 32 | 31 |
| YP-15Y2 | 0.16 | 0.50 | 0.60 | 0.55 | 0.99 | 0.40 | 0.65 | 37 | 32 | 31 |
| YP-15Y2-1 | 0.16 | 0.51 | 0.58 | 0.58 | 0.81 | 0.44 | 0.63 | 38 | 32 | 30 |
| D8016-Y1 | 0.12 | 0.51 | 0.60 | 0.59 | 0.58 | 0.42 | 0.63 | 43 | 29 | 29 |
| D8040 | 0.14 | 0.54 | 0.54 | 0.51 | 1.10 | 0.39 | 0.58 | 39 | 31 | 29 |
| D1-Y1 | 0.14 | 0.50 | 0.61 | 0.58 | 1.07 | 0.43 | 0.65 | 38 | 33 | 29 |
| D1-Y2 | 0.13 | 0.49 | 0.62 | 0.56 | 0.80 | 0.41 | 0.66 | 37 | 29 | 34 |
| D1-Y3 | 0.13 | 0.53 | 0.59 | 0.55 | 0.80 | 0.37 | 0.60 | 39 | 30 | 31 |

南羌塘各油苗点原油的 Pr/Ph 比值为 0.60~0.98 均小于 1, Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 也小于或略大于 1, 反映了一种还原—弱还原的环境。在 Pr/Ph-Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈ 图解上 (图 3), 各油苗点原油均落入半咸水—咸水环境形成的原油区, 表明这些原油的有机质沉积时成的水体环境, 但与典型的盐湖环境存在一定的差异。各油苗点原油样品中均检测出了一定含量的伽马蜡烷 (图 2), 但其丰度较低; 各样品中伽马蜡烷 /αβ-C₃₀藿烷比值较高, 介于 0.11~0.16 之间 (表 2), 低于盐湖成因的原油中伽马蜡烷 /αβ-C₃₀藿烷比值 (如柴达木西部盐湖成因的原油的伽马蜡烷 /αβ-C₃₀藿烷比值为 0.27~1.00^[14]), 远高于淡水成因的原油中伽马蜡烷 /αβ-C₃₀藿烷比值 (如鄂尔多斯西峰油田淡水成因的原油的伽马蜡烷 /αβ-C₃₀藿烷比值为 0.04~0.06^[14]), 表明这些原油的形成环境不同于典型的盐湖环境, 但盐度条件明显高于淡水。

图3 南羌塘各油苗点原油的 Pr/Ph-Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈ 图解 (底图据侯读杰等, 2003)

iv. 湖沼相成因原油; ③. 淡水湖相成因原油;

④. 半咸水—咸水成因原油; ⑤. 盐湖相成因原油

Fig 3 Pr/Ph-Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈ diagram of oil seepages in the southern Qiangtang depression

值得注意的是 D2014 油样, 该样品具有更高的 C_{21-}/C_{21+} 值 (2.90) 和 P_r/Ph 值 (0.98), 而三环萜烷 / 藿烷值也明显高于其它油样, 表明该油样可能具有不同于其它油样的油源特征。

3.2 原油的成熟度

原油的成熟度是研究其成因的一个重要指标, 许多生物标志化合物参数则是可以用来判断烃源岩的成熟度。南羌塘各油苗点原油的 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 和 $\beta\beta/(\alpha\beta+\beta\beta)$ 比值分别为 0.37~0.45 和 0.58~0.66 (表 2), 均未达到平衡值 (分别为 0.52~0.55 和 0.67~0.71^[15]), 考虑到甾类化合物所反映的有机质成熟度往往比实际情况低^[16], 推测这些原油大多处于成熟阶段。其它生物标志物参数: C_{31} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 、 C_{32} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 、 $T_s/(T_s+T_m)$ 、三环萜烷 / 藿烷等反映的成熟度特征证实了上述推测。各油苗点原油的 C_{31} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 比值为 0.54~0.62, C_{32} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 比值为 0.51~0.59 (表 2), 接近或达到平衡时的 S/R 值 (0.57~0.60^[15]), 表明这些有机质处于成熟阶段。各油苗点原油的 $T_s/(T_s+T_m)$ 为 0.49~0.53, 尽管 $T_s/(T_s+T_m)$ 比值与源岩密切相关^[17], 同时也受沉积环境的影响^[18], 但更多的资料表明, $T_s/(T_s+T_m)$ 值主要与成熟度有关^[19~21], 本研究中, $T_s/(T_s+T_m)$ 与 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\beta+\beta\beta)$ 呈明显的负相关关系 (图 4), 其相关系数为 -0.96, 与 C_{31} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 值也呈一定的负相关关系, 其相关系数为 -0.55, 表明 $T_s/(T_s+T_m)$ 可能主要与成熟度有关, 其值大小指示成熟原油的特征。随着原油成熟度的增加, 三环萜烷 / 藿烷比值不断升高, 南羌塘各油苗点原油的三环萜烷 / 藿烷比值为 0.58~1.50, 与南羌塘海相成熟烃源岩的三环萜烷 / 藿烷值 (0.33~1.22) (未发资料) 相近, 反映了研究原油为成熟原油。

3.3 原油的生物降解程度

原油的生物降解程度是油源对比中各生物标志物参数是否有效的依据, 烃中的成分不同, 抗生物降解作用的能力也不同。Peters 等^[13] 的研究表明, 生物降解难易顺序为: 正烷烃 > 无环异戊二烯烷烃 > 藿烷 (有 25-降藿烷) > 甾烷 > 藿烷 (无 25-降藿烷) > 重排甾烷 > 芳香甾烷 > 卟啉。在轻度生物降解情况下, 首先是正烷烃被消耗, 其次是类异戊二烯烷烃; 轻度到中等程度生物降解并不能引起甾、萜烷类化合物组成的变化; 但在较严重的生物降解情况下, 也可造成甾、萜烷类化合物组成发生变化。据此, Peters 等^[13] 将生物

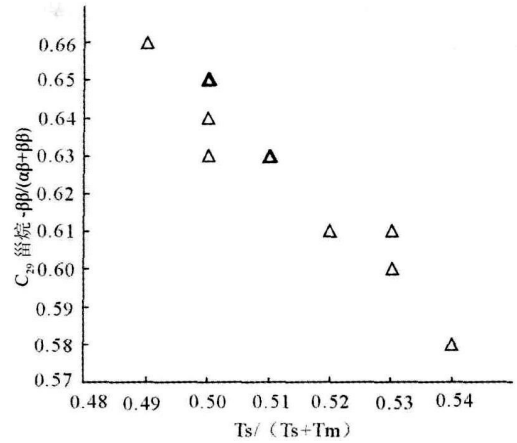


图 4 南羌塘各油苗点原油的 $T_s/(T_s+T_m)$ 与 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\beta+\beta\beta)$ 相关图

Fig 4 Cross plots of $T_s/(T_s+T_m)$ vs C_{29} sterane $\beta\beta/(\alpha\beta+\beta\beta)$ of oil seepages in the southern Qiangtang depression

降解程度分为 5 种程度 10 个级别。南羌塘各油苗点原油正构烷烃呈明显的“驼峰”分布 (图 2), 显示遭到明显的生物降解作用。然而, 饱和烃气相色谱分析表明, 所有样品中尽管部分正构烷烃已被破坏, 但普遍检测出一系列可清晰分辨的连续、完整、高丰度的 $C_{15} \sim C_{31}$ 正构烷烃色谱峰, 姥鲛烷 (P_r) 和植烷 (Ph) 也无明显改变 (图 2), 表明其生物降解程度为轻微 1~2 级。

3.4 单体碳同位素特征

图 5 给出了南羌塘各油苗点原油正构烷烃及姥鲛烷、植烷碳同位素组成分布曲线, 可归纳为以下两种不同的分布模式。第一类碳同位素 (正构烷烃) 组成的分布范围为 $-28.98\% \sim -30.67\%$ (图 5a), 包括样品 D2014。该类型原油与其它原油单体碳同位素的显著差异在于低碳数链烷烃 (特别是 $C_{15} \sim C_{17}$) 的碳同位素组成更富 ^{12}C , 其最大 3.69% 的差异指示了不同油源的输入。第二类碳同位素 (正构烷烃) 组成的分布范围为 $-26.88\% \sim -31.19\%$, 包括样品 BP-12Y1、BP-14Y2、D5053、YP-15Y1、YP-15Y2、YP-15Y2-1、D8016-Y1、D804Q、DI-Y1、DI-Y2 和 DI-Y3。该类型原油的低碳数与中等碳数链烷烃碳同位素的差异并不明显, 高碳数链烷烃碳同位素略为偏负, 呈明显的右倾型 (图 5b)。原油正构烷烃碳同位素的这些特征与生物标志物所反映的特征是一致的, 上文的研究已经证实, D2014 油样具有不同于其它油样的生物标志物特征, 其 C_{21-}/C_{21+} 、 P_r/Ph 和三环萜烷 / 藿烷值均略高于其它油样, 表明它们的形成环境以及生物母质的输入略有不同, 而它们单体正构烷烃碳同位素组成的差异也证实了这一

论断。值得指出的是, 尽管两类原油在低碳数链烷烃的碳同位素组成上存在明显的差异, 但其中等碳数和高碳数链烷烃碳同位素组成的差异并不明显, 表明第一类原油可能具有混合油源输入的特征。

各油苗点原油的姥鲛烷和植烷碳同位素组成的变化范围较窄, 分别为 $-28.08‰ \sim -29.48‰$ 和 $-28.17‰ \sim -29.82‰$, 并且同一个油样中姥鲛烷和植烷碳同位素组成的差异也不明显, 表明它们具有相同或相近的来源。

3.5 油源分析

对于隆鄂尼古油藏原油的油源问题, 前人已作过一定的研究, 赵政璋等^[22]的研究表明, 隆鄂尼古油藏原油的分子地球化学特征与中侏罗统夏里组页岩之间具有较好的相关性, 反映了该古油藏的原油来自夏里组烃源岩。王成善等^[11]利用单体烃碳同位素以及生物

标志物参数分别进行了对比, 结果表明, 隆鄂尼古油藏的单体烃碳同位素曲线与比洛错油页岩的单体烃碳同位素曲线几乎完全重合, 并且二者均具有高的重排甾烷含量和相近的升藿烷指数, 表明该古油藏的原油主要来源于下侏罗统烃源岩。本文研究的南羌塘各油苗点(包括隆鄂尼古油藏、扎仁古油藏北带和扎仁古油藏南带)其生物标志物特征与夏里组烃源岩较为接近, 二者具有很好的可比性(图 6), 表明这些古油藏中的原油可能来自夏里组烃源岩。但值得指出的是, 各油苗点原油的单体碳同位素(正构烷烃)组成的分布范围为 $-26.88‰ \sim -31.19‰$, 而夏里组烃源岩单体碳同位素组成的分布范围为 $-26.38‰ \sim -31.95‰$, 尽管大部分原油样品与夏里组烃源岩的单体碳同位素随碳数分布曲线几乎重合, 但对于 D2014 原油样品, 其低碳数链烷烃具有明显偏负的碳同位素组成(图 7), 其最高

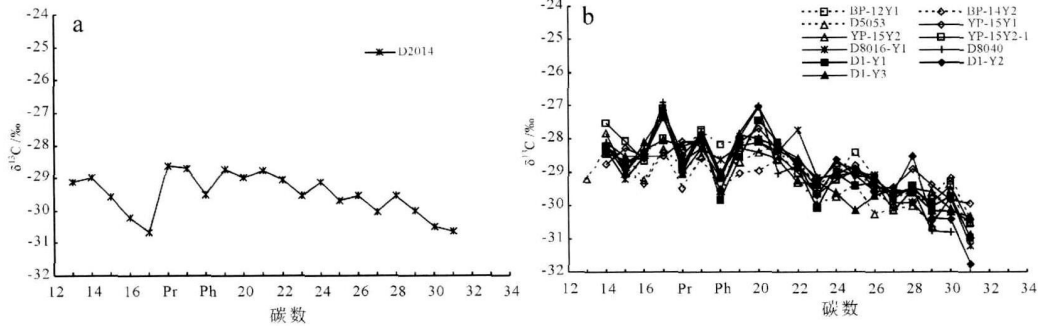


图 5 南羌塘各油苗点原油正构烷烃碳同位素组成

Fig. 5 Compound specific C-isotope composition and distribution of *n*-alkanes in various crude oils of oil seepages in the southern Qiangtang depression

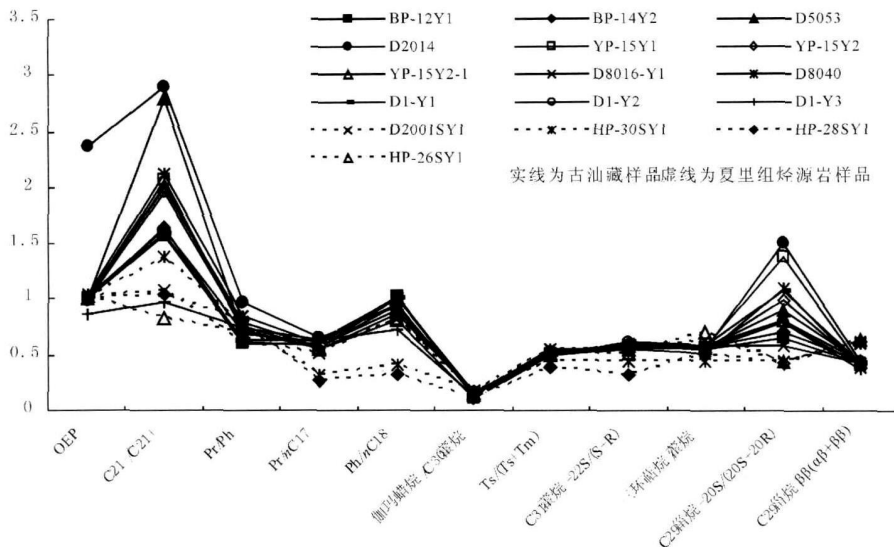


图 6 南羌塘盆地夏里组烃源岩与各油苗点原油生物标志物对比

Fig. 6 Comparison of biomarkers between the Xiali Formation hydrocarbon source rocks and oil seepages in the southern Qiangtang depression

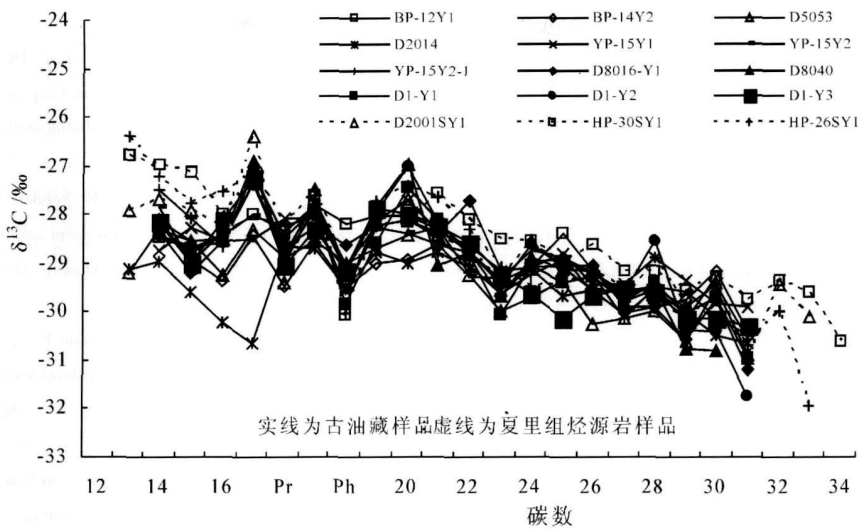


图 7 夏里组烃源岩与各油苗点原油单体碳同位素对比

Fig 7 $\delta^{13}\text{C}$ values of *n*-alkanes from the Xiali Formation hydrocarbon source rocks and oil seepages in the southern Qiangtang depression

4.3% 的差异表明了不同油源输入的特征。值得注意的是, D2014 原油低碳数链烷烃碳同位素组成的这种特征与比洛错油页岩单体碳同位素组成特征完全相似(另文), 因此, 比洛错油页岩对于南羌塘各古油藏的形成也有一定的贡献作用。

4 结论

(1) 扎仁地区各油苗点原油正构烷烃以前高后低的单峰型为主, $\text{C}_{21-}/\text{C}_{21+}$ 比值为 0.97~2.90, 甾烷显示 $\text{C}_{27} > \text{C}_{29}$ 的特征, 反映细菌来源的升藿烷 ($\text{C}_{31} \sim \text{C}_{35}$) 含量很低, 表明原油的母质为菌藻类和高等植物, 特别是藻类为原油的形成作出了贡献。

(2) 扎仁地区各油苗点原油的 Pr/Ph 比值为 0.60~0.98, 伽玛蜡烷含量较低, 伽玛蜡烷/ $\alpha\beta\text{-C}_{30}$ 藿烷比值为 0.11~0.16, 反映了原油形成于还原—弱还原的咸水环境, 但盐度条件并不是太高, 与典型的盐湖环境存在一定的差异。

(3) 扎仁地区各油苗点原油的 C_{31} 藿烷 $22\text{S}/(22\text{S} + 22\text{R})$ 和 C_{32} 藿烷 $22\text{S}/(22\text{S} + 22\text{R})$ 参数接近或达到平衡值, $\text{T}_{\text{s}}/(\text{T}_{\text{s}} + \text{T}_{\text{m}})$ 值适度, 三环萜烷/藿烷比值为 0.58~1.50, 说明原油为成熟原油, 但成熟度并不是太高, 未达到高成熟或过成熟。

(4) 扎仁地区各油苗点原油的生物标志物特征和中侏罗统夏里组具有亲缘关系, 反映了原油主要来源于夏里组烃源岩, 但其单体碳同位素特征又与夏里组烃源岩存在一定的差异, 反映了混合来源的特征。

致谢 参加本次野外工作的还有贵州省地调院的熊兴国、贺永忠、岳龙、朱勋、易成兴、吴滔以及中国地质调查局成都地质矿产研究所的刘建清, 在此表示感谢。

参考文献 (References)

- 王成善, 伊海生, 刘池洋, 等. 西藏羌塘盆地古油藏发现及其意义 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25 (2): 139-143 [Wang Chengshan, Yi Haisheng, Liu Chiyang, et al. Discovery of paleo-oil-reservoir in Qiangtang basin in Tibet and its geological significance [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25 (2): 139-143]
- 蔚远江. 藏北羌塘查郎地区中生代岩相古地理初探 [J]. 沉积学报, 2002, 20 (2): 230-237 [Wei Yuanjiang. Preliminary research on the Mesozoic lithofacies-paleogeography in the Chalangka area, Qiangtang basin, northern Tibet [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20 (2): 230-237]
- 付修根, 廖忠礼, 刘建清, 等. 南羌塘盆地扎仁地区中侏罗统布曲组沉积环境特征及其对油气地质条件的控制作用 [J]. 中国地质, 2007, 34 (4): 599-605 [Fu Xiugen, Liao Zhongli, Liu Jianqing, et al. Sedimentary environment of the Middle Jurassic Bi Qu Formation and its controls on petroleum geology in the Zaring area, southern Qiangtang Basin [J]. Geology in China, 2007, 34 (4): 599-605]
- 伍新和, 王成善, 伊海生, 等. 西藏羌塘盆地烃源岩古油藏带及其油气勘探远景 [J]. 石油学报, 2005, 26 (1): 13-17 [Wu Xinhe, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. Fossil-reservoir of hydrocarbon rock in Qiangtang basin of Tibet and exploration perspective of oil and gas [J]. Acta Petroleologica Sinica, 2005, 26 (1): 13-17]
- Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence [J]. New York: Springer-Verlag, 1984: 699
- Peters K E, Fraser T H, Amris W, et al. Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83 (12): 1927-1942

- 7 Hanson A D, Zhang S C, Mokolowan J M, *et al* Molecular organic geochemistry of Tarim basin Northwest China[J]. AAPG Bulletin 2000 84 1109-1128
- 8 Mokolowan J M, Seifert W K, Gallegos E J Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks[J]. AAPG Bulletin 1985 69 1255-1268
- 9 Boreham C J, Summons R E, Roksandic Z, *et al* Chemical molecular and isotopic differentiation of organic facies in the Tertiary lacustrine Duaringa oil shale deposit Queensland, Australia[J]. Organic Geochemistry, 1994 21(6/7): 685-712
- 10 Philip R P, Fan P, Lewis C A, *et al* Geochemical characteristics of oils from Chaidamu Shanggaming and Jiangnan basins China[J]. Journal of Southeast Asian Earth Science, 1991 5 (1-4): 351-358
- 11 Ourisson G, Albrecht P, Rohmer M. Predictive microbial biochemistry—from molecular fossils to prokaryotic membranes[J]. Trends in Biochemical Sciences 1982 7 236-239
- 12 Volkmann J K, Banks M R, Denwer K, *et al* Biomarker composition and depositional setting of tasmanite oil shale from northern Tasmania Australia[C]. 14th International Meeting on Organic Geochemistry Paris 1989 Abstract 168
- 13 Peters K E, Walters C C, Mokolowan J M. The Biomarker Guide (second edition): ④ Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History[M]. Cambridge University Press 2005 483-701
- 14 段毅, 吴保祥, 张辉, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及成因[J]. 地质学报, 2006, 80 (2): 301-310 [Duan Y J, Wu Baoxiang, Zhang Hui, *et al*. Geochemistry and genesis of crude oils of the Xifeng oilfield in the ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica 2006 80 (2): 301-310]
- 15 Seifert W K, Mokolowan J M. Use of biological markers in petroleum exploration[C]// Johns R B, ed. Methods in Geochemistry and Geophysics 1986, 24 261-290
- 16 Inan S, Yakim M N, Guliev I S, *et al* Deep petroleum occurrences in the Lower Kura Depression, South Caspian Basin Azerbaijan: an organic geochemical and basin modeling study[J]. Marine and Petroleum Geology, 1997, 7/8 731-762
- 17 Mokolowan J M, Sundaraman P, Schoell M. Sensitivity of biomarker properties to depositional environment and/or source input in the Lower Toarcian of SW-Germany[J]. Organic Geochemistry, 1986 10 915-926
- 18 Mello M R, Telneas N, Gaglianone P C, *et al* Organic geochemical characterization of depositional paleoenvironments of source rocks and oils in Brazilian marginal basins[J]. Organic Geochemistry, 1988 13: 31-45
- 19 Seifert W K. Steranes and terpanes in kerogen pyrolysis for correlation of oils and source rocks[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1978, 42: 473-484
- 20 Kolaczowska E, Sbuguini E, Watt D S, *et al* Thermodynamic stability of various alkylated, dealkylated, and rearranged 17 α - and 17 β -hopane isomers using molecular mechanics calculations[J]. Organic Geochemistry, 1990 16 1033-1038
- 21 南青云, 刘文汇, 腾格尔, 等. 塔河油田原油甾萜烷系列化合物地球化学再认识[J]. 沉积学报, 2006 24 (2): 294-299 [Nan Qiangyun, Liu Wenhui, Tengge, *et al*. Geochemical characters recognition for steranes and hopanes from oils of Tahe oilfield[J]. Acta Sedimentologica Sinica 2006 24 (2): 294-299]
- 22 赵政璋, 李永铁, 王岫岩, 等. 羌塘盆地南部海相侏罗系古油藏例析[J]. 海相油气地质, 2002, 7(3): 34-36 [Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Wang Xiuyan, *et al*. A case analysis of the Jurassic marine destroyed reservoirs in southern part of Qiangtang Basin, Qinghai-Tibet Plateau[J]. Marine Oil and Gas geology, 2002, 7(3): 34-36]

Geochemistry and Significance of Oil Seepages in the Zaring Area of the Southern Qiangtang Depression, Northern Tibet

FU Xiugen^{1,2} LIAO Zhongli¹ WANG Jian¹ CHEN Wenbin¹

(1. Chendu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610082

2 Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037)

Abstract Located on the southern margin of the southern Qiangtang depression, the Zaring area is a “gap area” for hydrocarbon investigation. Detailed reconnaissance of 1:50,000 petroleum geological structures was carried out in the Zaring block of the Qiangtang Basin, and according to the reconnaissance results the authors analyze biomarkers and molecular carbon isotopic composition of oil seepages in this area, and the oil/source correlation was also discussed in this paper. The data indicate that the oil-forming matrices are algae and higher plants, especially with an important contribution of algae to the formation. The crude oils were formed under weak reduction-reduction and salt water environment. The crude oils are mature. The biomarkers of crude oils are closely correlated to those of the Xiali Formation hydrocarbon source rocks, reflecting that crude oils were mainly originated from the Xiali Formation. However, compound specific C-isotope composition exists some differences between crude oils and Xiali Formation hydrocarbon source rocks, indicating a mixture of sources.

Key words biomarkers, carbon isotopic composition of individual n-alkanes, oil/source correlation, southern Qiangtang depression