

陈文彬, 付修根, 谭富文, 等. 藏北羌塘盆地上三叠统典型剖面烃源岩地球化学特征研究[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1151-1160.
Chen Wenbin, Fu Xiugen, Tan Fuwen, et al. Geochemical characteristics of Upper Triassic source rocks from typical sections in Qiangtang Basin, northern Tibet [J]. Geology in China, 2015, 42(4): 1151-1160(in Chinese with English abstract).

藏北羌塘盆地上三叠统典型剖面 烃源岩地球化学特征研究

陈文彬 付修根 谭富文 冯兴雷 曾胜强

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:依据露头样品和测试数据,从有机质丰度、有机质类型及成熟度方面对羌塘盆地上三叠统烃源岩特征进行了评价。结果表明:沃若山和扎那陇巴剖面有机质丰度较高,为中等—好烃源岩,有机质类型以Ⅱ₂型为主,处在高成熟阶段,以生成凝析油和湿气为主;而藏夏河剖面 and 肖茶卡剖面有机质丰度低,生烃能力较差,有机质类型为Ⅱ₂型,处在过成熟阶段,主要生成干气。总体来看,羌塘盆地上三叠统存在中等—好烃源岩,尤其是盆地凹陷区,可能存在好的烃(气)源岩,这对于羌塘盆地以后的油气勘查具有重要意义。

关键词:羌塘盆地;上三叠统;烃源岩;地球化学特征

中图分类号:TE122.1¹³ 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2015)04-1151-10

Geochemical characteristics of Upper Triassic source rocks from typical sections in Qiangtang Basin, northern Tibet

CHEN Wen-bin, FU Xiu-gen, TAN Fu-wen, FENG Xin-lei, ZENG Sheng-qiang

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: According to the outcrop samples and analytical data of Upper Triassic source rocks from Qiangtang Basin, the authors evaluated the hydrocarbon generation capacity based on the abundance of organic matter, the type of organic matter and maturity of organic matter. The result reveals that the abundance of organic matter is high in Woruoshan section and Zanalongba section, and the rocks are medium-good source rocks, the type of the organic matter is II₂, the maturity is high and it mainly generates condensate and moisture. The abundance of organic matter is low in Duoseliangzi section and Xiaochaka section, and it has poor generation capacity, the type of organic matter is II₂, the maturity is over-maturity and it mainly generates dry gas. Overall, the Upper Triassic source rocks in Qiangtang Basin have good hydrocarbon generation capacity, especially in the depression area. The results achieved by the authors have important significance for the future exploration in Qiangtang Basin.

Key words: Qiangtang Basin; Upper Triassic; source rocks; geochemical characteristics

收稿日期:2014-07-17; 改回日期:2014-11-18

基金项目:国家油气专项“青藏高原重点盆地油气资源战略选区”项目(XQ-2009-1)、天然气水合物试采专项“羌塘盆地天然气水合物资源勘查(形成条件及控矿因素研究)”(GZHL20110309)及国家自然科学基金(41172098)联合资助。

作者简介:陈文彬,男,1979年生,高级工程师,硕士,从事沉积学及油气地球化学研究;E-mail: cdcwenbin@qq.com。

About the first author: CHEN Wen-bin, male, born in 1979, senior engineer, master, engages in the study of sedimentology and geochemistry of oil and gas; E-mail: cdcwenbin@qq.com.

羌塘盆地是中国陆域勘探程度最低的含油气盆地,也是青藏高原面积最大、最有可能取得战略突破的盆地。它位于著名的特提斯构造域中段,与盛产油气的中东在大地构造、地史演化、沉积充填及油气地质条件等方面具有相似之处,迄今为止已发现了200多处油气显示,表明其具有良好的油气勘探前景^[1-3]。从近几年研究成果来看,羌塘盆地上三叠统暗色泥岩厚度大,分布广,是羌塘盆地重要的烃源岩之一^[4]。然而,对于这套烃源岩地球化学特征的研究很少,也缺乏钻井资料,制约了对其生烃潜力的全面认识。针对该领域的勘探现状和存在问题,本次选取羌塘盆地上三叠统4条具有代表性剖面为研究对象,系统采集了烃源岩样品,通过有机质丰度、有机质类型、有机质热演化及生物标志化合物等研究,对其生烃能力进行了评价,旨在为该区油气资源评价提供依据。

1 地质背景

羌塘盆地位于青藏高原中北部,处于东经85°~95°、北纬32°~35°范围内,其南北宽300 km,东西长

640 km,面积 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。大地构造位于可可西里—金沙江缝合带和班公湖—怒江缝合带之间^[5-6]。盆地内主要发育三套地层,即泥盆系—中三叠统海相碳酸盐岩、砂泥岩夹火山岩、硅质岩组合,上三叠统一白垩系滨浅海碎屑岩、台地碳酸盐岩、三角洲相碎屑岩夹膏盐岩组合,以及古近系—新近系陆相碎屑岩组合。盆地内构造复杂,根据航磁异常和大地电磁基底测深资料,可以将羌塘盆地划分为北羌塘坳陷、中央隆起和南羌塘坳陷三个次级构造单元(图1)^[7]。

用于研究的烃源岩样品均取自羌塘盆地的地表露头,由北向南依次包括北羌塘坳陷藏夏河剖面和沃若山剖面、中央隆起带肖茶卡剖面以南羌塘坳陷及扎那拢巴剖面(图1),其时代大致都属于晚三叠世诺利期。

2 烃源岩剖面岩性特征

藏夏河剖面位于羌塘盆地双湖地区藏夏河地区,为上三叠统藏夏河组(T_3zch),岩石组合为砾岩、砂岩、泥岩(页岩)不等厚互层,砂岩以灰绿色岩屑石英砂岩为主,见有平行层理。砾岩、砂岩和泥岩常

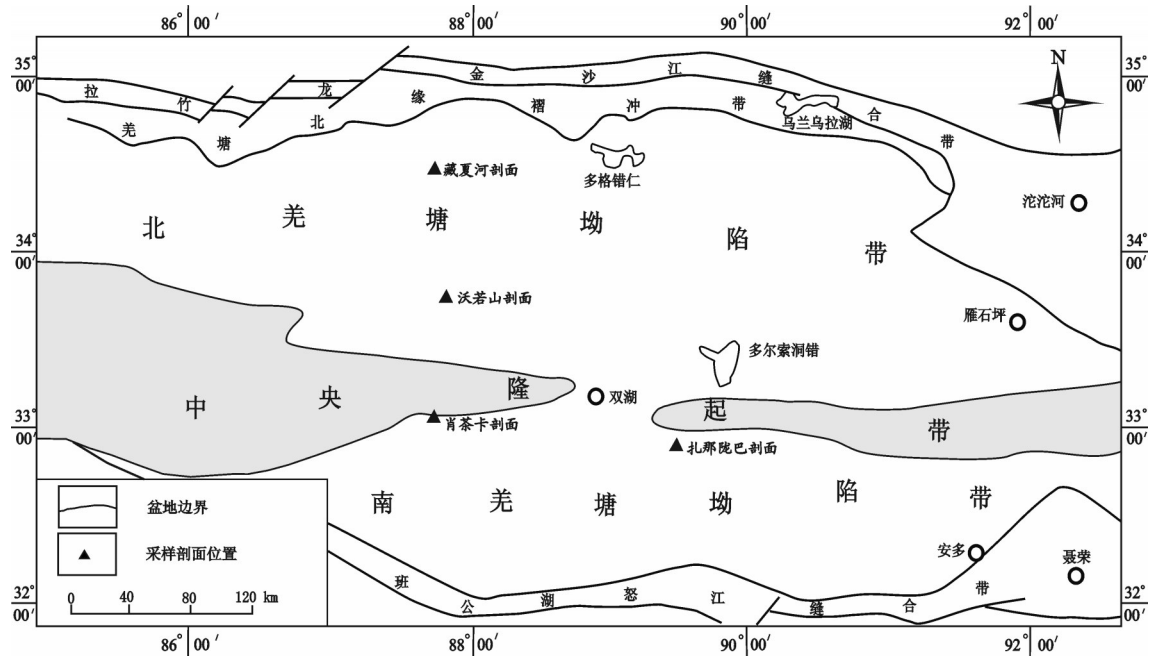


图1 羌塘盆地构造区划及烃源岩采样位置图

Fig.1 Classification of structural units and sampling sites in Qiangtang Basin

常构成向上变粗的粒序层理,单个粒序层理厚 50 cm。该剖面累计厚度大于 626 m。

沃若山剖面位于北羌塘坳陷中沃若山附近,为上三叠统土门格拉组(T_3t)的一套三角洲相含煤陆源细碎屑岩夹碳酸盐岩,岩性为灰至黑色泥岩、粉砂质泥岩及泥质粉砂岩、页岩夹粉细砂岩,局部层位见黑色炭质泥岩和煤线,地层中可见大量植物化石如 *Equisetites cf. ferganensis* Soward 等,孢粉也很丰富,地层厚度大于 972 m。

肖茶卡剖面位于羌塘盆地双湖地区肖茶卡一带。肖茶卡剖面的采样地层为上三叠统扎那组(T_3zn)。其岩性为浅灰色砾岩、灰黄色中—粗粒砂岩夹灰黑色—深灰黑色泥岩、粉砂质泥岩及泥质粉砂岩。该剖面全长大于 200 m。

扎那陇巴剖面位于南羌塘鄂纵错北的扎那陇巴,为上三叠统土门格拉组(T_3t)的一套三角洲相的浅灰至浅灰红色粗—中细粒的石英岩屑砂岩,粉—细粒石英岩屑砂岩、岩屑砂岩及岩屑粉砂岩与灰色、灰黑色泥岩、泥质粉砂岩组成,砂岩中发育平行层理及低角度交错层理,泥岩中发育水平层理。在剖面顶部及中下部夹多层煤线,岩石中产硅化木和丰富的化石,主要有双壳类等,孢粉也很丰富,该剖面地层厚度大于 465.13 m。

3 烃源岩地球化学特征

3.1 有机质丰度

有机质丰度是评价烃源岩质量的重要依据之一,常用的评价有机质丰度的指标有机碳含量(TOC)、岩石热解参数中的产烃潜量(S_1+S_2)、氯仿沥青“A”含量、总烃含量(HC)等。本文用于研究样品均为地表露头样品,由于长期遭受风化侵蚀,同时

羌塘盆地上三叠统埋藏较深,烃源岩经历了高、过成熟热演化,样品可溶组分氯仿沥青“A”、生烃潜量等受影响较大^[8],针对这些情况,本文选用受风化作用和成熟度影响较小的有机碳含量作为主要评价指标进行评价。

从测试的结果来看,肖茶卡剖面 and 藏夏河剖面样品有机碳含量较低,沃若山剖面 and 扎那陇巴剖面样品有机碳含量较高(表 1,图 2)。

肖茶卡剖面有机碳含量分布范围为 0.17%~0.49%,平均值为 0.36%,为非烃源岩—差烃源岩;藏夏河剖面有机碳含量分布范围为 0.03%~0.4%,平均值为 0.28%,仅 1 件样品达到差烃源岩级别,其余有机碳含量在 0.4%以下,为非烃源岩;沃若山剖面有机碳含量分布范围为 0.63%~1.50%,平均值为 1.02%,有机碳含量总体较高,达到中等—好烃源岩级别;扎那陇巴剖面有机碳含量分布范围为 0.40%~1.57%,平均值为 0.84%,有机碳含量总体较高,除 1 件样品有机碳含量刚达到烃源岩标准外,其余为中等—好烃源岩标准。

从可溶有机质丰度指标来看(表 2),所有 40 件样品氯仿沥青“A”含量分布范围为 0~0.02%,平均值为 0.005%,总体上含量较低,且大部分样品低于 0.015%的烃源岩标准的下限(表 2);产烃潜量(S_1+S_2)分布范围为 0.001~0.82 mg/g,也都小于烃源岩最低标准,这与羌塘盆地侏罗系遭受了风化的样品情况类似^[9],因此利用可溶组分指标判别有机质丰度已失去原有意义。

3.2 有机质类型

由于羌塘盆地上三叠统烃源岩样品受热演化和风化程度普遍较高,热解参数和可溶有机组分反映有机质类型可信度低,而干酪根显微组分和干酪

表 1 羌塘盆地上三叠统烃源岩有机质丰度综合数据

Table 1 Integrated organic abundance data of Upper Triassic source rocks in Qiangtang Basin

剖面	层位	有机碳/%	氯仿沥青“A”/%	S_1 /(mg/g)	S_2 /(mg/g)	S_1+S_2 /(mg/g)
肖茶卡	T_3zn	0.17~0.49	0~0.002	0~0.198	0.001~0.187	0.001~0.385
		0.36(12)	0.001(12)	0.017(12)	0.019(12)	0.036(12)
藏夏河	T_3zxh	0.03~0.40	0.001~0.007	0.001~0.004	0~0.004	0.001~0.006
		0.28(11)	0.004(11)	0.002(11)	0.001(11)	0.003(11)
沃若山	T_3t	0.63~1.50	0~0.02	0.002~0.009	0.01~0.04	0.012~0.044
		1.02(11)	0.012(11)	0.004(11)	0.02(11)	0.024(11)
扎那陇巴	T_3t	0.40~1.57	0.004~0.012	0~0.01	0.13~0.81	0.13~0.82
		0.84(6)	0.006(6)	0.007(6)	0.33(6)	0.336(6)

注:表中分式含义:分子为最小值~最大值;分母为平均值(样品数)。

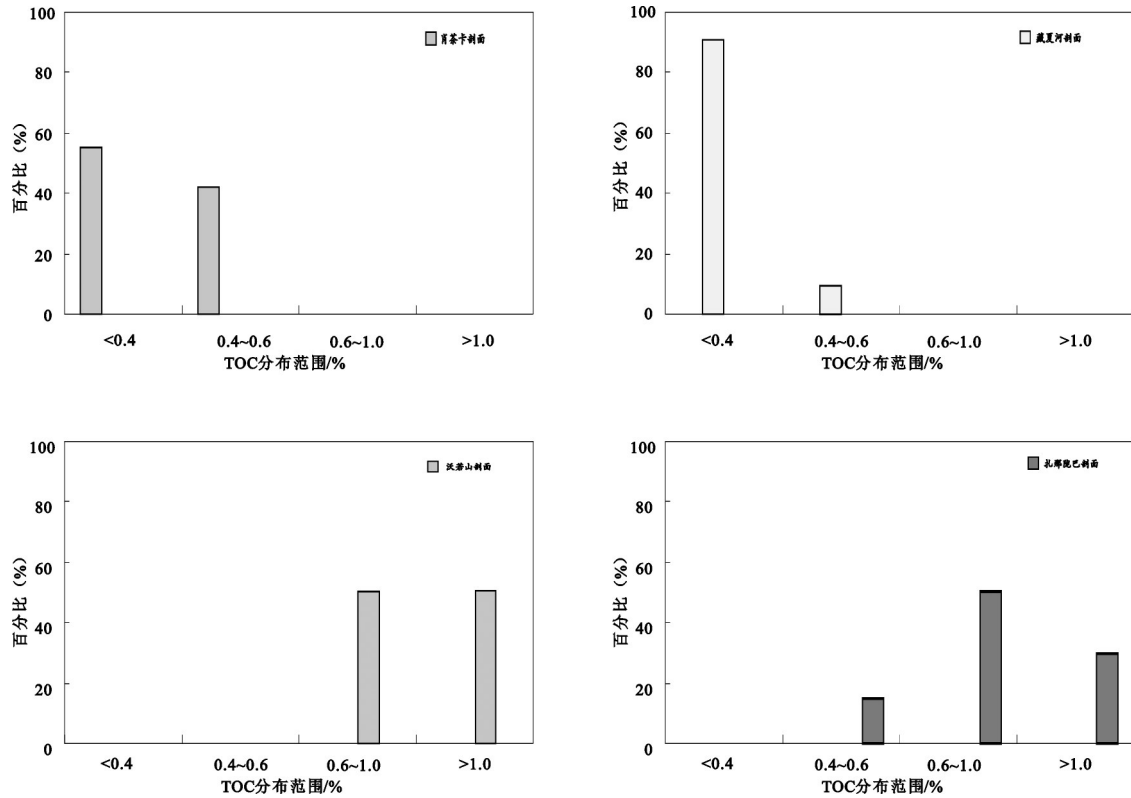


图2 羌塘盆地上三叠统烃源岩TOC分布图

Fig.2 TOC distribution of Upper Triassic source rocks in Qiangtang Basin

表2 羌塘盆地上三叠统烃源岩有机质类型分析结果

Table 2 The analyses of organic matter type of the Upper Triassic source rocks from Qiangtang Basin

剖面	层位	有机显微组成 / %				类型 指数	有机质 类型
		腐泥组	壳质组	镜质组	惰质组		
肖茶卡	T _{3zn}	53~68		0~10	32~45	8.5~36	II ₂
		61(12)	-	0.84(12)	38.16(12)	22.20(12)	
藏夏河	T _{3zxh}	55~73		0~5	27~45	10~46	II ₂ -II ₁
		63(11)	-	1(11)	35.81(11)	26.61(12)	
沃若山	T _{3t}	51~57		10~19	27~36	5.25~16.5	II ₂
		54(11)	-	13.9(11)	31.9(11)	11.84(11)	
扎那陇巴	T _{3t}	57~70	0~2	14~21	15~24	18.75~45	II ₂ -II ₁
		61(6)	1.16(6)	18.16(6)	19.5(6)	28.45(6)	

注:类型指数(TI)=[腐泥组%×100+壳质组×50+镜质组×(-75)+惰质组×(-100)]/100;分式含义:分子为最小值~最大值;分母为平均值(样品数)。

根碳同位素相对稳定,受风化及热演化程度影响较小,因此本文评价烃源岩有机质类型主要采用干酪根镜检和干酪根碳同位素。

根据干酪根镜检结果,研究区的样品中有机显微组成主要以腐泥组为主,其含量为51%~73%,平均值为59.72%;其次是惰质组,其含量为15%~45%,

平均值为33%。镜质组次之,含量0~21%,平均值13.48%。各剖面几乎不含壳质组,仅在扎那陇巴剖面有发现,但是含量很少(表2)。一般认为,腐泥组主要来自低等水生植物浮游类、藻类和部分浮游动物^[10-11],在滞氧环境形成,是生成油气的最主要有机质类型。从显微组分组成三角图可见,羌塘盆地上

三叠统烃源岩干酪根大部分位于腐泥组附近(图3),说明藻类体是上三叠统源岩的主要生烃母质。根据干酪根类型指数(TI)计算结果,研究区烃源岩 TI 为5.25~46(表2),表明羌塘盆地上三叠统烃源岩有机质类型主要为腐泥腐殖型(II_2 型),其中藏夏河剖面 and 扎那拢巴剖面还含有少量的 II_1 型有机质,这反映出研究区烃源岩有机质类型总体较好。

羌塘盆地上三叠统烃源岩干酪根元素分析表明, H/C 原子比分布范围为0.11~1.96,平均值为0.50; O/C 原子比范围为0.01~0.72,平均值为0.09。将所有样品投在范氏(Van Krevelen)图上,扎那陇巴剖面样品主要落于 II 型区域,与干酪根镜鉴结果基本一致,而其他剖面样品则主要位于 I 型和 III 型干酪根区间(图4),这与前面干酪根显微组分鉴定结果(主要为混合型)不符。已有的研究表明,干酪根元素(C 、 H 、 O)易受到地表风化作用^[12]和有机质热演化程度的影响^[13],风化作用主要影响 O/C 原子比,在风化过程中,由于 O 的相对增加和 C 的相对减少,导致了 O/C 原子比变大;随着埋深增加、温度升高,干酪根中的 C 元素含量将不断升高,而 O 元素含量则逐渐减少,而 H 元素的含量常常在早期有所升高,之后快速下降^[14]。本文研究的样品中,藏夏河剖面、沃若山剖面和肖茶卡剖面的样品 H/C 、 O/C 原子比值均较小(图4),更可能是受到了有机质热演化程度的影响。

烃源岩的干酪根碳同位素主要取决于它们的

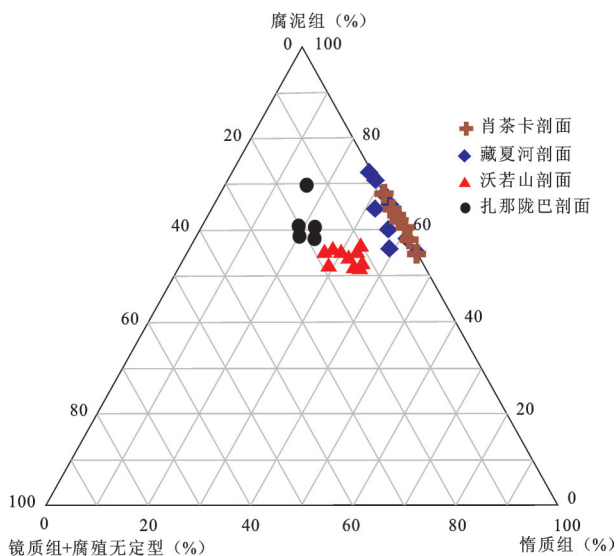


图3 羌塘盆地上三叠统烃源岩干酪根显微组分三角图
Fig.3 Maceral triangular plots of kerogen for Upper Triassic source rocks from Qiangtang Basin

母源生物的碳同位素组成及沉积环境,因此,烃源岩干酪根有机碳同位素($\delta^{13}C_{org}$)常用来判断烃源岩母质类型^[15-16]。一般认为,干酪根碳同位素小于 -28‰ 的为 I 型有机质,干酪根碳同位素大于 -24‰ 的为 III 型有机质,干酪根碳同位素介乎其间的为 II 型有机质,其中 $-28\text{‰}\sim-26\text{‰}$ 的为 II_1 型,干酪根碳同位素 $-26\text{‰}\sim-24\text{‰}$ 的为 II_2 型^[17]。

羌塘盆地上三叠统烃源岩干酪根碳同位素分布(图5)显示:扎那组烃源岩干酪根碳同位素值为 $-25.6\text{‰}\sim-24.5\text{‰}$,平均值 -25.16‰ ,表现有机质类型主要为 II_2 型;藏夏河组烃源岩碳同位素值介于 $-25.7\text{‰}\sim-25.0\text{‰}$,平均值 -25.27‰ ,表现有机质类型主要为 II_2 型;沃若山土门格拉组烃源岩碳同位素值为 $-26.16\text{‰}\sim-25.45\text{‰}$,平均值 -25.78‰ ,表现有机质类型主要为 II_2 型,少量 II_1 型;扎那陇巴土门格拉组烃源岩干酪根碳同位素介于 $-25.30\text{‰}\sim-21.30\text{‰}$,平均值 -24.31‰ ,表现有机质类型主要为 II_2 型。上述分析表明羌塘盆地上三叠统烃源岩有机质类型主要为 II_2 型,有机质类型较好,这也与干酪根镜检的结果基本一致。

一些生物标志物也可以表明有机质来源,如姥烷和植烷以及规则甾烷的分布等。本文所研究

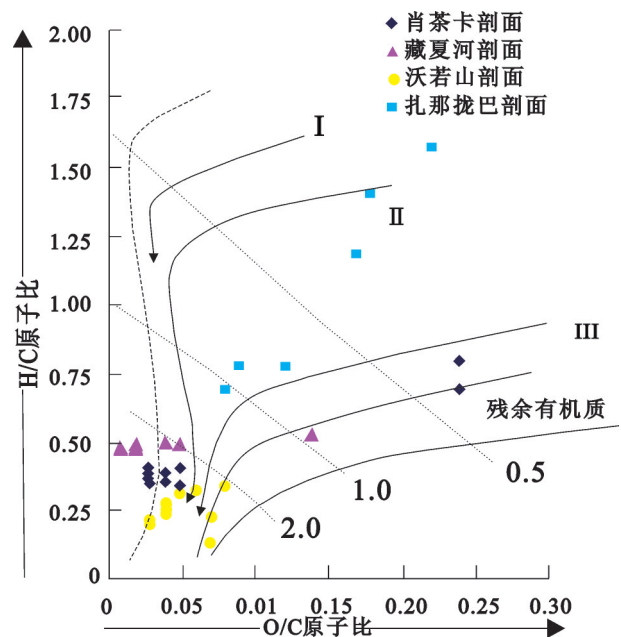


图4 羌塘盆地上三叠统烃源岩干酪根元素分析范氏图
Fig.4 Van Krevelen diagram of kerogen elements of Upper Triassic source rocks from Qiangtang Basin

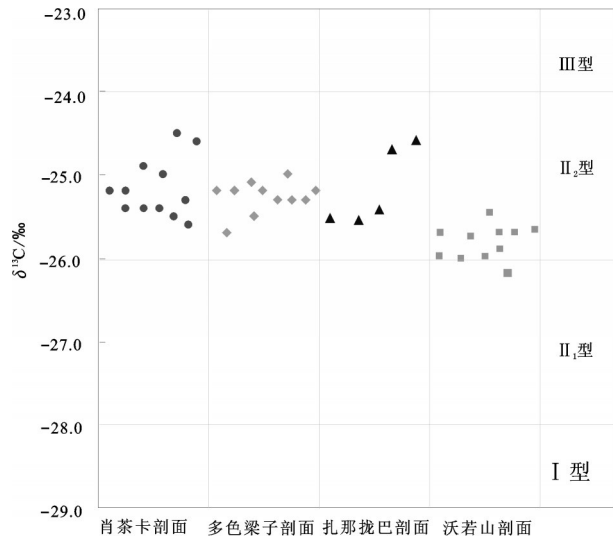


图5 羌塘盆地上三叠统烃源岩干酪根碳同位素分布图
Fig.5 Kerogen carbon isotope distribution of Upper Triassic source rocks in Qiangtang Basin

的烃源岩样品均检测到了姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph),姥鲛烷和植烷比值(Pr/Ph)也是常用的判断沉积物古环境的标志之一,高Pr/Ph值(> 3.0)表明了在有氧条件下陆源有机物质的输入,而低值(< 0.8)则代表缺氧,且通常是超盐或碳酸盐沉积环境^[18-21],研究的样品中Pr/Ph值均较低,为0.22~0.93,所有样品均小于1,反映了缺氧或者超盐的环境。同时在Pr/nC₁₇-

Ph/nC₁₈相关图上^[22-23](图6),所有样品均落在II型分布区域,这说明烃源岩母质来源既有海相低等水生生物输入,又有高等陆源植物的输入,这与前面干酪根镜鉴的结果有机质类型主要为II₂型一致。一般认为C₂₇甾醇主要来源于浮游动物,C₂₈甾醇来源于浮游植物,C₂₉甾醇则在陆源植物中富集^[24-25],所以常规甾烷三角图可以用来判断沉积物或者石油中有机质来源及沉积环境,尽管最近的研究表明C₂₉甾醇也可能存在于如硅藻等微藻类中,但是甾烷的三角图解对反映沉积物和石油中的有机质来源仍然有用^[26]。研究的样品在C₂₇-C₂₈-C₂₉甾烷相对组成关系图(图7)中,大多落在混合来源的生物母源范围内,表明样品有机质为混合来源,与干酪根显微鉴定结果吻合。

3.3 有机质热演化程度

烃源岩样品Ro分析结果表明(图8),肖茶卡剖面Ro范围为2.32%~2.42%,平均值2.36%,已达到过成熟阶段。藏夏河剖面Ro范围为2.08%~2.45%,平均值2.20%,已达到过成熟阶段。沃若山剖面Ro范围为1.46%~1.78%,平均值1.62%,已达到高成熟阶段。扎那陇巴剖面Ro范围为1.42%~1.52%,平均值1.47%,达到高成熟阶段。

烃源岩样品T_{max}研究表明:肖茶卡剖面和藏夏河剖面已达过成熟阶段,沃若山剖面和扎那陇巴剖

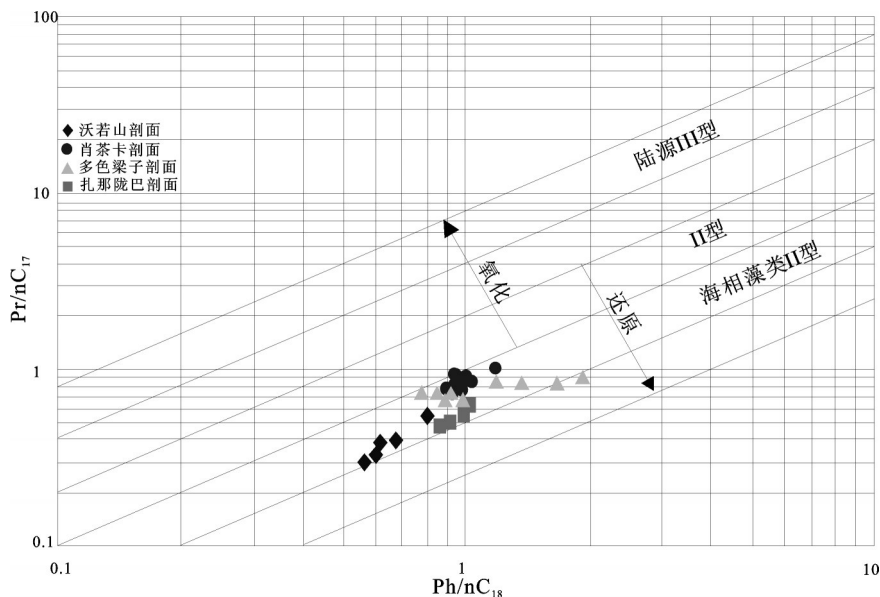


图6 羌塘盆地上三叠统烃源岩Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈关系图
Fig.6 Cross plot of Pr/nC₁₇ versus Ph/nC₁₈ for Upper Triassic source rocks from Qiangtang Basin

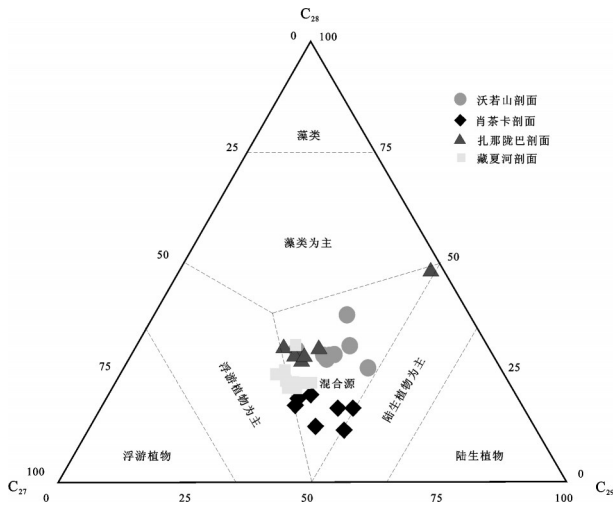


图7 羌塘盆地上三叠统烃源岩甾烷三角图
Fig.7 Ternary diagram showing C₂₇-C₂₈-C₂₉ regular sterane compositions of the Upper Triassic source rocks samples

面已达高成熟阶段(图6),这与镜质体反射率Ro分析结果也基本一致。

烃源岩有机质成熟度的研究是油气地质研究的一个重要方面,许多生物标志化合物参数则是可以用来确定研究烃源岩的成熟度,如C₂₉ααα20S/ααα(20S+20R)和C₂₉αββ/(ααα+αββ)是常用的甾烷成熟度参数。一般认为,生油门限(Ro约为0.6%)两参数值约为0.25,到生油高峰(Ro约为0.8%)达到平

衡,前一比值达到0.52~0.55,后一比值达到0.7左右^[27-28]。研究的样品在C₂₉αα20S/(20S+20R)和C₂₉ββ/(αα+ββ)关系图解(图9)中,样品全部落在成熟区范围内,显示成熟有机质特征,但是与前面Ro反映的成熟度不一致。Ts/(Tm+Ts)比值一般认为受成熟度的影响,随成熟度的增加Ts/(Tm+Ts)值逐渐升高,且这种变化可以一直会持续到较高成熟阶段,约在生油阶段晚期该值达到0.5^[29]。另据研究表明^[30],Ts/(Tm+Ts)比值同样也受有机相的影响,沉积的Eh较低时,Ts/(Tm+Ts)比值高;沉积的Eh较高时,Ts/(Tm+Ts)比值低。分析结果表明,研究样品中该参数值在0.31~0.64间变化,平均值0.50,绝大部分样品该值在0.5以上,反映其具有较高成熟度,与Ro反映的其处在高成熟-过成熟阶段基本一致。

据赵政璋、王剑等对羌塘盆地埋藏热演化史的研究^[1,8],羌塘盆地侏罗系—三叠系烃源层曾经发生过两次大的油气生成过程:第一次大量生成发生在侏罗系晚期—白垩系晚期,主要是古埋藏深度和古地温的作用结果,当时T₃烃源岩大部分已经进入成熟阶段;第二次大的油气生成和运移发生在N₂沉积时期至Q构造隆升和变形时期,影响因素有三个方:一是部分地区E—N沉积厚度再次使烃源岩达到历史最大古埋藏深度或最大古地温,二是N₂时期至现今的构造隆升和变形作用,三是局部地区的N₂

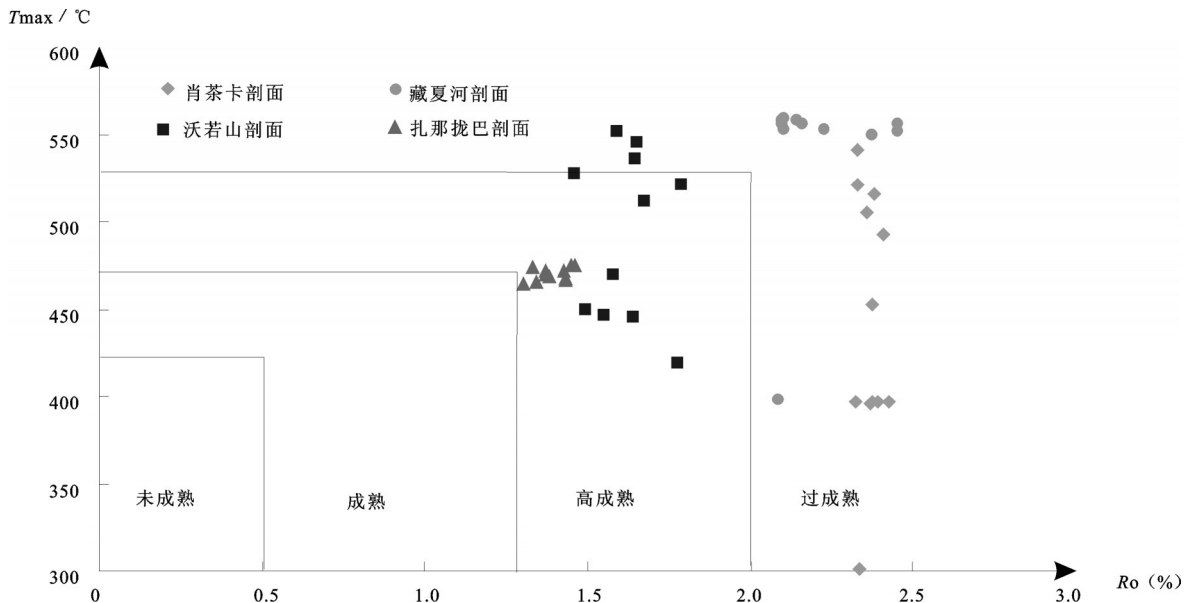


图8 羌塘盆地上三叠统烃源岩Ro-Tmax图
Fig.8 Relation between Ro and Tmax for Upper Triassic source rocks from Qiangtang Basin

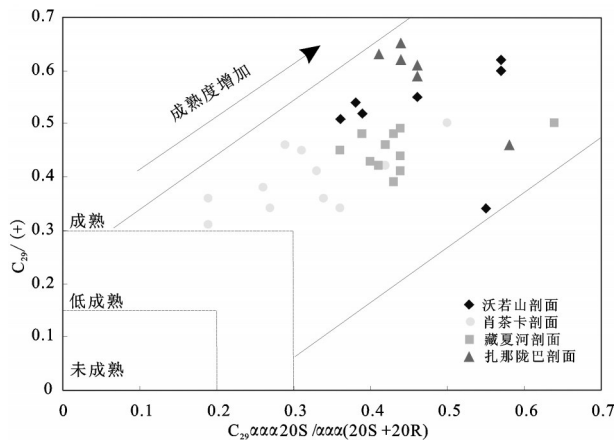


图9 羌塘盆地上三叠统烃源岩 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 与 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 关系图

Fig.9 Cross plot of $C_{29}20S/(20S+20R)$ steranes versus $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ steranes for Upper Triassic source rocks from Qiangtang Basin

晚期至现今的深成热流作用,在此时期内, T_3 烃源岩从原来的成熟—过成熟演变到现在的高成熟—过成熟阶段,主要生成的是凝析气和干气。从羌塘盆地上三叠重点剖面的研究结果来看,目前有机质处于高成熟—过成熟阶段,应该主要是第二次油气生成的结果。

4 讨论

长期以来,人们普遍认为,青藏高原特别是羌塘盆地侏罗系烃源岩具有较高的生烃潜力,尤其是以南羌塘地区发现了大规模侏罗系的白云岩古油藏带^[11],许多学者认为油源来自侏罗系烃源岩生成^[32-33]。然而,值得注意的是,羌塘盆地中生代油气藏由于经历了白垩纪和新近纪以来的隆升剥蚀作用,侏罗系大面积出露于地表,区域性盖层在相当范围内缺失,因此,侏罗系油气藏的保存条件总体较差,不利于形成油气藏。

而上三叠统在羌塘盆地主要分布在盆地边界或者中央隆起带附近,在盆地中央均未出露,深埋于地下,其保存条件要远远好于侏罗系。通过有机质丰度、有机质类型及有机质热演化程度的分析,其分布在中央隆起带附近的沃若山和扎那隍巴的上三叠统烃源岩为一套较好的烃源岩。羌塘盆地北部为北羌塘坳陷,南部为南羌塘坳陷,二者之间

为中央隆起,呈现“两坳夹一隆”的构造格局。在此构造背景下,各构造单元内部又呈凹凸相间的次级构造样式,因此在盆地凹陷区的有机质丰度因沉积环境可能会有所好转,极有可能存在具有良好的生烃潜力的烃源岩。目前在羌塘盆地中部发现了大量天然气泄漏形成的泥火山^[34],在角木茶卡地区发现了二叠系古油藏^[35],很有可能与这套烃(气)源岩有关。同时,上三叠统烃源岩有机质热演化主要处于高成熟—过成熟阶段,以生成凝析油和干气为主,预示着具有较好生烃潜力。

5 结论

(1)羌塘盆地上三叠统烃源岩以沃若山和扎那隍巴剖面发育的土门格拉组含煤系地层烃源岩有机质丰度较高,为中等—好级别的烃源岩;而肖茶卡剖面扎那组和藏夏河藏夏河组烃源岩有机质丰度总体较低,生烃能力较差,为差烃源岩或非烃源岩。

(2)羌塘盆地晚三叠世烃源岩显微组分以腐泥组含量最高,有机质类型较好,以 II_2 型为主。

(3)羌塘盆地上三叠统烃源岩有机质成熟度处于高成熟—过成熟阶段,其中扎那隍巴和沃若山处于高成熟阶段,以生成凝析油和湿气为主;藏夏河和肖茶卡则处在过成熟阶段,以生成干气为主。

(4)羌塘盆地上三叠统烃源岩有机质丰度、有机质类型和热演化程度反映存在中等—好烃源岩,尤其是盆地凹陷区,有可能存在好的烃(气)源岩,这对于羌塘盆地以后的油气勘查具有重要意义。

致谢: 审稿专家及编辑部李亚萍老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 王剑, 谭富文, 李亚林, 等. 青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析[M]. 北京:地质出版社, 2004: 38-42.
Wang Jian, Tan Fuwen, Li Yalin, et al. The Potential of the Oil and Gas Resources in Major Sedimentary Basins on the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 140-198(in Chinese with English abstract).
- [2] Sengor A M C. Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications[J]. Nature, 1979, 279: 590-593.
- [3] 丘东洲, 谢渊, 李晓清, 等. 亚洲特提斯域岩相古地理与油气聚集地质特征[J]. 海相油气地质, 2009, 14(2): 41-51.
Qiu Dongzhou, Xie Yuan, Li Xiaqing, et al. Geological

- characteristics of lithofacies paleogeography and hydrocarbon accumulation in Asian Tethyan Tectonic Domain[M]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 14(2): 41–51 (in Chinese with English abstract).
- [4] 胡明毅, 龚文平, 文志刚, 等. 羌塘盆地三叠系、侏罗系石油地质特征和含油远景评价[J]. *石油实验地质*, 2000, 22(3): 245–249.
Hu Mingyi, Gong Wenping, Wen Zhigang, et al. Petroleum geological characteristics and oil-prospect evaluation of the Triassic and the Jurassic in the Qiangtang basin, Tibet[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 2000, 22(3): 245–249(in Chinese with English abstract).
- [5] 郑洪伟, 贺日政, 杨贵. 羌塘地体内部双湖—冈玛错—龙木错构造带地质与地球物理特征[J]. *中国地质*, 2012, 39(5): 1229–1235.
Zheng Hongwei, He Rizheng, Yang Gui. Geological and geophysical characteristics of Shuanghu–Gangmacuo–Longmucuo structural belt in Qiangtang area[J]. *Geology in China*, 2012, 39(5): 1229–1235(in Chinese with English abstract).
- [6] 胡培远, 李才, 苏犁, 等. 青藏高原羌塘中部蜈蚣山花岗岩片麻岩锆石 U–Pb 定年——泛非与印支事件的年代学记录[J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 1050–1061.
Hu Peiyuan, Li Cai, Su Li, et al. Zircon U–Pb dating of granitic gneiss in Wugong mountain area, central Qiangtang, Qinghai–Tibet Plateau: Age records of Pan–African movement and Indo–China movement[J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 1050–1061 (in Chinese with English abstract).
- [7] 陈文彬, 伊海生, 谭富文, 等. 南羌塘侏罗系烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素特征[J]. *中国地质*, 2010, 37(6): 1740–1746.
Chen Wenbin, Yi Haisheng, Tan Fuwen, et al. Carbon isotope characteristics of the components of chloroform bitumen “A” of Jurassic hydrocarbon source rocks in south Qiangtang basin[J]. *Geology in China*, 2010, 37(6): 1740–1746(in Chinese with English abstract).
- [8] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原海相烃源层的油气生成[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 175–213.
Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, et al. Petroleum generation of the Marine Source Rocks on the Qinghai–Xizang Plateau[M]. Beijing: Science Press, 2000: 175–213(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈文彬, 廖忠礼, 刘建清, 等. 西藏南羌塘盆地侏罗系烃源岩地球化学特征[J]. *现代地质*, 2010, 24(4): 654–661.
Chen Wenbin, Liao Zhongli, Liu Jianqing, et al. Geochemistry of the Jurassic source rocks in the south Qiangtang basin, Tibet[J]. *Geoscience*, 2010, 24(4): 654–661(in Chinese with English abstract).
- [10] 傅家谟, 秦匡宗, 王廷芬, 等. 干酪根地球化学[M]. 广州: 广东科技出版社, 1995: 443–468.
Fu Jiamo, Qin Kuangzong, Wang Tingfen, et al. Kerogen Geochemistry[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1995: 443–468(in Chinese with English abstract).
- [11] Burnham A K, Sweeney J J. A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance[J]. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1989, 53(10): 2649–2657.
- [12] 孟元林, 肖丽华, 杨俊生, 等. 风化作用对西宁盆地野外露头有机质性质的影响及校正[J]. *地球化学*, 1999, 28(1): 42–50.
Meng Yuanlin, Xiao Lihua, Yang Junsheng, et al. Influences of weathering on organic matter of outcrop and correcting methods in Xining basin[J]. *Geochimica*, 1999, 28(1): 42–50(in Chinese with English abstract).
- [13] 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 65–77.
Lu Shuangfang, Zhang Min. Petroleum Geochemistry[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 65–77(in Chinese with English abstract).
- [14] 王启军, 陈建渝. 油气地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988: 97–176.
Wang Qijun, Chen Jianyu. Petroleum Geochemistry[M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1988: 97–176(in Chinese with English abstract).
- [15] Bjoroy M, Hall P B, Moe R P. Stable carbon isotope variation of nalkanes in Central Graben oils[J]. *Organic Geochemistry*, 1994, 22: 355–381.
- [16] 王大锐. 油气稳定同位素地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 179–183.
Wang Darui. Stable Isotope Geochemistry of Oil And Gas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 179–183(in Chinese with English abstract).
- [17] 丁文龙, 李超, 苏爱国, 等. 西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩综合地球化学剖面研究及有利生烃区预测[J]. *岩石学报*, 2010, 27(3): 878–896.
Ding Wenlong, Li Chao, Su Aiguo, et al. Study on the comprehensive geochemical cross section of Mesozoic marine source rocks and prediction of favorable hydrocarbon generation area in Qiangtang basin, Tibeta[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 27(3): 878–896(in Chinese with English abstract).
- [18] Didyk B M, Simoneit B R T, Brassell S C, et al. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation [J]. *Nature*, 1978, 272(5650): 216–222.
- [19] Ten Haven H L, Rullkötter J, Leeuw D, et al. Pristane/phytane ratio as environmental indicator [J]. *Nature*, 1988, 333(6174): 604.
- [20] Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. The Biomarker Guide (vol 1): Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History [M]. 2nd ed. Cambridge: University of Cambridge press, 2005: 1–471.
- [21] Powell T, Mckirdy D M. Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environments in

- Australia[J]. *Nature*, 1973, 243: 37–39.
- [22] Shanmugan G. Significance of coniferous rain forests and related oil, Gipp sland Basin, Australia[J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 69: 1241–1254.
- [23] Barakat A O, Mostafa A, El-Gayar M S, et al. Source dependent biomarker properties of five crude oils from the Gulf of Suez, Egypt[J]. *Organic Geochemistry*, 1997, 26(10): 441–450.
- [24] Huang W Y, Meinschein W G. Sterols as ecological indicators[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1979, 43(5): 739–745.
- [25] Summons R E, Volkman J K, Boreham C J, et al. Dinosterane and other steroidal hydrocarbons of dinoflagellate origin in sediments and petroleum[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51(11): 3075–3082.
- [26] Riboulleau A, Schnyder J, Riquier L, et al. Environmental change during the Early Cretaceous in the Purbeck–type Durlston Bay section (Dorset, Southern England): A biomarker approach [J]. *Org. Geochem.*, 2007, 38(11): 1804–1823.
- [27] Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. *The Biomarker Guide (vol 2): Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History* [M]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 1–708.
- [28] Seifert W K, Moldowan J M. Use of biological markers in petroleum exploration [M]//Johns R B. *Methods in Geochemistry and Geophysics (vol 24)*. Amsterdam: Elsevier, 1986: 261–290.
- [29] 任拥军, 纪友亮, 李瑞雪. 南祁连盆地石炭系可能烃源岩的甾萜烷地球化学特征及意义[J]. *石油实验地质*, 2000, 12(4): 341–345.
Ren Yongjun, Ji Youliang, Li Ruixue. Geochemical characteristics and significance of steranes and terpanes in the carboniferous potential source rocks of the South Qiliang Basin[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 2000, 12(2): 341–345(in Chinese with English abstract).
- [30] Moldowan J M, Fago F J. Structure and significance of a novel rearranged monoaromatic steroid hydrocarbon in petroleum[J]. *Nature*, 1984, 308: 439–441.
- [31] 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(in Chinese with English abstract).
- [32] 陈文彬, 廖忠礼, 刘建清, 等. 西藏羌塘盆地扎仁地区白云岩油苗地球化学特征[J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(2): 214–218.
Chen Wenbin, Liao Zhongli, Liu Jianqing, et al. Geochemical characteristics of dolomite oil seepage in Zaring Area, Qiangtang basin of Tibet[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(2): 214–218(in Chinese with English abstract).
- [33] 季长军, 伊海生, 陈志勇, 等. 西藏羌塘盆地羌D2井原油类型及其勘探意义[J]. *石油学报*, 2013, 34(6): 1070–1076.
Ji Changjun, Yi Haisheng, Chen Zhiyong, et al. Crude oils types of the Well Qiang D2 in Qiangtang Basin, Tibet and its exploration significance[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(6): 1070–1076 (in Chinese with English abstract).
- [34] 解超明, 李才, 李林庆, 等. 藏北羌塘中部首次发现泥火山[J]. *地质通报*, 2009, 28(9): 1319–1324.
Xie Chaoming, Li Cai, Li Linqing, et al. First discovery of mud volcanoes in central Qiangtang, northern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(9): 1319–1324(in Chinese with English abstract).
- [35] 宋春彦, 曹俊峰, 王剑, 等. 羌塘盆地角木茶卡地区二叠系古油藏的发现及基本特征[J]. *新疆地质*, 2014, 32(1): 87–91.
Song Chunyan, Cao Junfeng, Wang Jian, et al. The discovery and basic characteristics of ancient reservoir in Permian of Jiaomuchaka area, Qiangtang basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2014, 32 (1): 87–91(in Chinese with English abstract).