

文章编号: 1000-0550(2017)03-0611-10

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.03.018

# 羌塘盆地二叠系白云岩油苗地球化学特征及意义

陈文彬<sup>1,2</sup>, 付修根<sup>1,2</sup>, 谭富文<sup>1,2</sup>, 曾胜强<sup>1,2</sup>, 冯兴雷<sup>1,2</sup>, 宋春彦<sup>1,2</sup>, 王东<sup>1,2</sup>

1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都 610081

2. 国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 成都 610081

**摘要** 通过采集羌塘盆地中央隆起带二叠系展金组白云岩油苗及烃源岩样品, 对其族组成、饱和烃、芳烃色谱—质谱以及单体碳同位素进行了研究, 并进行了油源对比。研究表明: 白云岩油苗中饱和烃含量最高, 其次为非烃, 芳烃和沥青质含量较低, 饱芳比大于1; 白云岩油苗的正构烷烃主要为前高单峰型分布特征, 碳数分布范围  $nC_{15} \sim nC_{36}$ , 主峰碳为  $nC_{17} \sim nC_{20}$ ,  $nC_{21} / nC_{22}$  值为 1.0~4.56,  $C_{27} - C_{28} - C_{29}$  规则甾烷表现为不规则的“V”型的分布并且  $C_{29}$  甾烷占优势, 升藿烷从  $C_{31} \sim C_{35}$  均有检出, 显示出白云岩油苗的生烃母质主要来源于藻类和细菌等低等水生生物; 白云岩油苗的 Pr/Ph 值为 0.91~1.30, 伽马蜡烷指数值为 0.42~0.88, 三萜系列化合物中以硫蒽含量最高(平均 67.39%)而氧蒽含量(平均 7.89%)较低, 4-MDBT/DBT 比值为 0.97~4.26, (2+3)-MD-BT/DBT 值为 0.37~1.62, 表明白云岩油苗生烃母质为形成于具有一定盐度还原环境为的海相页岩; 白云岩油苗的 OEP 值接近平衡值 1, 甾烷烷异构参数  $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S / \alpha\alpha\alpha(20S+20R)$ 、 $C_{29}\alpha\beta\beta / (\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$  和  $C_{31} 22S / (22S+22R)$  等接近或达到平衡值, 芳烃标志物成熟度参数  $MPI_1$ 、 $F_1$  和 4,6/1,4-DMDBT 计算出的等效镜质体反射率表明白云岩油苗为成熟原油。白云岩油苗的生物标志物和展金组泥岩具有较好对比性, 反映了白云岩油苗主要来源于展金组烃源岩; 其单体碳同位素与二叠系展金组烃源岩分布形式和变化趋势基本相似, 但也有一定的差异, 反映了其具有混合来源的特点。

**关键词** 生物标志化合物; 单体碳同位素; 油源对比; 二叠系; 白云岩油苗; 羌塘盆地

**第一作者简介** 陈文彬, 男, 1979 年出生, 硕士, 高级工程师, 油气地球化学, E-mail: cdcwenbin@qq.com

**中图分类号** P618.13 **文献标识码** A

羌塘盆地是青藏高原最大的海相含油气盆地, 具有巨大的油气资源潜力<sup>[1]</sup>。迄今为止, 羌塘盆地已发现大约 200 余处地表油气显示, 表明盆地内曾经发生过大量的生烃过程, 已有的资料显示这些油气点均主要发现于中生代侏罗系和三叠系地层中<sup>[2]</sup>, 关于羌塘盆地古生代地层中的液态油苗则少有报道。笔者所在的项目组在羌塘盆地中央隆起带角木茶卡地区发现了一套含油白云岩(图 1), 其赋存的层位为下二叠统展金组, 野外实地观测白云岩残余厚度 10 m 左右, 主要为细—粉晶结构, 其颜色较黑, 敲碎可闻到散发的强烈的油味, 镜下包裹体分析也显示含有大量的油气包裹体<sup>[3]</sup>, 这显示羌塘盆地中部二叠系曾经发生过油气成藏过程, 在后期的构造运动中由于遭受破坏而出露地表。对其族组分、饱和烃、芳烃及单体碳同位素等特征进行了研究, 初步探讨了白云岩油苗的来源, 为该地区油气勘探提供地球化学依据。

## 1 地质背景

羌塘盆地位于青藏高原背部, 它是在前古生界结

晶基底和古生界褶皱基底之上发育起来的以中生界海相沉积为主的一个残留盆地<sup>[4]</sup>, 以可可西里—金沙江缝合带和班公湖—怒江缝合带为界, 由北至南依次可划分为北羌塘拗陷、中央隆起带和南羌塘拗陷<sup>[5]</sup>(图 1)。本文研究的二叠系白云岩油苗即位于羌塘盆地中央隆起带。据研究, 二叠系最大埋深可达 5 500 m 左右, 其中晚侏罗世晚期—早白垩世早期为轻质油的主要成藏期, 中新世中期为天然气的主要成藏期<sup>[3]</sup>。从区域上来看, 展金组主要分布在主要隆起带角木日—知塞一带, 总体为一套浅海斜坡相沉积环境, 其岩性为灰黑—黑色泥岩和粉砂质泥岩、灰绿色块状火山角砾岩以及浅灰色粉晶和细晶白云岩, 地层中产有丰富的生物化石, 包括蜓类、苔藓虫、腕足类、海百合茎、海绵化石和珊瑚类等, 其时代为早二叠世。

## 2 样品采集与分析

本次研究的 10 件含油白云岩样品均来自地表露头(表 1), 为了便于油源对比, 我们还采集了可能烃

收稿日期: 2016-04-15; 收修改稿日期: 2016-05-19

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160159, 1212011221114, GZH201400301); 国家自然科学基金(41172098) [Foundation: China Geological Survey Project, No. DD20160159, 1212011221114, GZH201400301; National Natural Science Foundation of China, No.41172098]

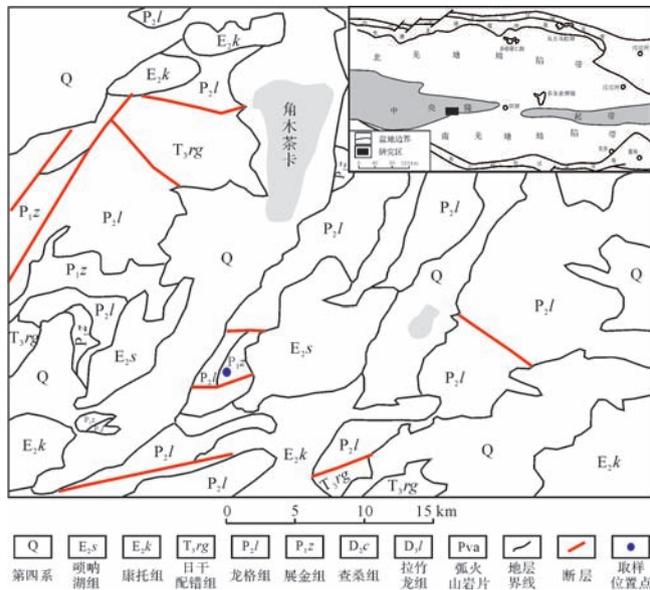


图1 羌塘盆地中央隆起带二叠系白云岩油苗位置图

Fig.1 Location of Permian dolomite oil seepages in Central uplift belt in Qiangtang Basin

源岩样品。样品的分析测试全部由中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司勘探开发研究院生油实验室完成。

**饱和烃芳烃生物标志物分析:**岩样进行索氏抽提72 h,用硅胶、氧化铝色层柱进行族组分离,正己烷、苯、无水乙醇作为冲洗剂,得到饱和烃、芳烃和非烃。GC分析采用美国HP-6890气相色谱仪,进样温度290℃,检测器温度300℃,HP-5型石英弹性毛细管柱(25 m×0.32 mm×0.17 μm),氮气为载气。初温60℃,恒温5 min,升温速率为4℃/min,终温290℃,恒温40 min。GC-MS分析采用MAI95S色谱—质谱联用仪,离子源温度180℃,电子能量70 eV。HP-5型石英弹性毛细管柱(50 m×0.32 mm×0.17 μm),80℃恒温5 min,升温速率为8℃/min,升温至120℃,再以2℃/min升温至300℃,恒温21 min。芳烃的起始温度50℃,以3℃/min的升温速率升至300℃,恒温30 min,其他同上。

**单体碳同位素分析:**在德国Finnigan公司生产的最新型MAT253型稳定同位素比值质谱仪上进行碳同位素测定,色谱柱与GC分析一致,仍为HP-5型30 m×0.25 mm×0.25 μm硅熔毛细柱,氮气为载气。升温程序:起始温度60℃,保留时间1 min,以15℃/min的升温速率升至110℃,保留时间1 min,以3℃/min的升温速率升至290℃,恒温30 min。色谱进样口温度为290℃,无分流进样。 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对于PDB

标准,其同位素测定误差小于 $\pm 0.5\text{‰}$ 。

### 3 有机地球化学特征

#### 3.1 氯仿沥青“A”含量与族组成

本次研究的样品均为含油白云岩样品,为了降低现代有机质的污染,在样品采集过程中均是采集新鲜面的样品。据杨平等<sup>[6]</sup>对黔中隆起含沥青白云岩的研究表明,不含沥青白云岩中有机质含量非常低,平均有机碳含量仅0.02%;而含沥青白云岩中有机碳含量平均为1.10%,可见白云岩中自身有机质的贡献非常小,仅占1.8%左右,来自烃源岩贡献的有机质比例可达98.2%以上。

族组成分析结果表明:10件白云岩油苗样品的氯仿沥青“A”含量普遍较低,为0.004 1%~0.024 9%,平均0.012 5%(表1)。族组成分析结果表明:饱和烃质量分数最高,含量为41.73%~54.45%,平均52.01%;芳香烃含量为8.53%~16.41%,平均11.27%;非烃含量24.88%~39.08%,平均32.39%;沥青质质量分数最低,为2.43%~6.62%,平均4.25%;饱芳比较高,为3.32~6.17之间,均大于1(表1)。

#### 3.2 正构烷烃、类异戊二烯烃特征

地表样品由于长期暴露地表,极易受到微生物降解而使得相关化合物结构发生改变<sup>[7]</sup>。Peters *et al.*<sup>[8]</sup>认为,正构烷烃最易遭受生物降解,然后是类异戊二烯烃、藿烷、规则甾烷、重排甾烷、和芳香甾烷,卟啉化合物则最难降解。研究的羌塘盆地二叠系白云岩油苗样品正构烷烃较为完整,同时各个白云岩油苗样品中均能检测到丰富的姥鲛烷和植烷、甾烷和萜烷等(图2),说明白云岩油苗样品没有受到明显生物降解作用,因此生物标志物的参数能够用于研究。

10个白云岩油苗样品中的正构烷烃主要为单峰型,碳数分布范围为 $n\text{C}_{15} \sim n\text{C}_{36}$ ,主峰碳数较低,为 $n\text{C}_{17} \sim n\text{C}_{20}$ (表2,图2), $(n\text{C}_{21} + n\text{C}_{22}) / (n\text{C}_{28} + n\text{C}_{29})$ 比值1.56~3.08,轻重比 $(n\text{C}_{21-} / n\text{C}_{22+})$ 值在1.0~4.56之间(表2),均大于1,显示白云岩油苗中轻烃组分占优势。一般认为,有机质以陆生植物为主的有机质中具有奇碳优势,尤其富含 $n\text{C}_{27}$ 、 $n\text{C}_{29}$ 和 $n\text{C}_{31}$ ,它们主要来源于表皮角质蜡,由高等植物直接合成;奇偶优势不明显的中等分子量( $n\text{C}_{15} \sim n\text{C}_{21}$ )的正构烷烃可能只是藻类等低等水生生物来源<sup>[9-10]</sup>,研究的白云岩油苗中轻烃占主要优势,这反映出了其生烃母质以藻类等低等水生生物为主的特征。奇偶优势值

表1 羌塘盆地白云岩油苗及可能烃源岩有机地球化学数据

Table 1 Geochemical parameters of dolomite oil seepages and the potential source rocks in Qiangtang Basin

样品编号	岩性	TOC/%	氯仿沥青“A”/%	饱和烃/%	芳烃/%	非烃/%	沥青质/%	饱/芳
JM-Y1	含油白云岩	—	0.006 4	51.49	10.45	34.33	3.73	4.93
JM-Y2	含油白云岩	—	0.008 7	51.24	9.45	34.33	4.98	5.42
JM-Y3	含油白云岩	—	0.010 1	52.61	8.53	33.65	5.21	6.17
JM-Y4	含油白云岩	—	0.012 8	54.45	16.41	24.88	4.26	3.32
JM-Y5	含油白云岩	—	0.004 1	47.13	10.34	39.08	3.45	4.56
JM-Y6	含油白云岩	—	0.007 2	50.65	10.39	35.71	3.25	4.87
JM-Y7	含油白云岩	—	0.013 5	53.93	14.64	28.93	2.50	3.68
JM-Y8	含油白云岩	—	0.024 9	53.96	10.55	33.06	2.43	5.11
JM-Y9	含油白云岩	—	0.023 1	52.89	9.09	31.40	6.62	5.82
JM-Y10	含油白云岩	—	0.014 6	52.41	12.86	28.62	6.11	4.08
ZJ-1	黑色泥岩	0.95	0.014 3	43.09	11.51	41.99	3.41	3.74
ZJ-2	黑色泥岩	0.78	0.011 3	48.29	14.05	33.47	4.19	3.43

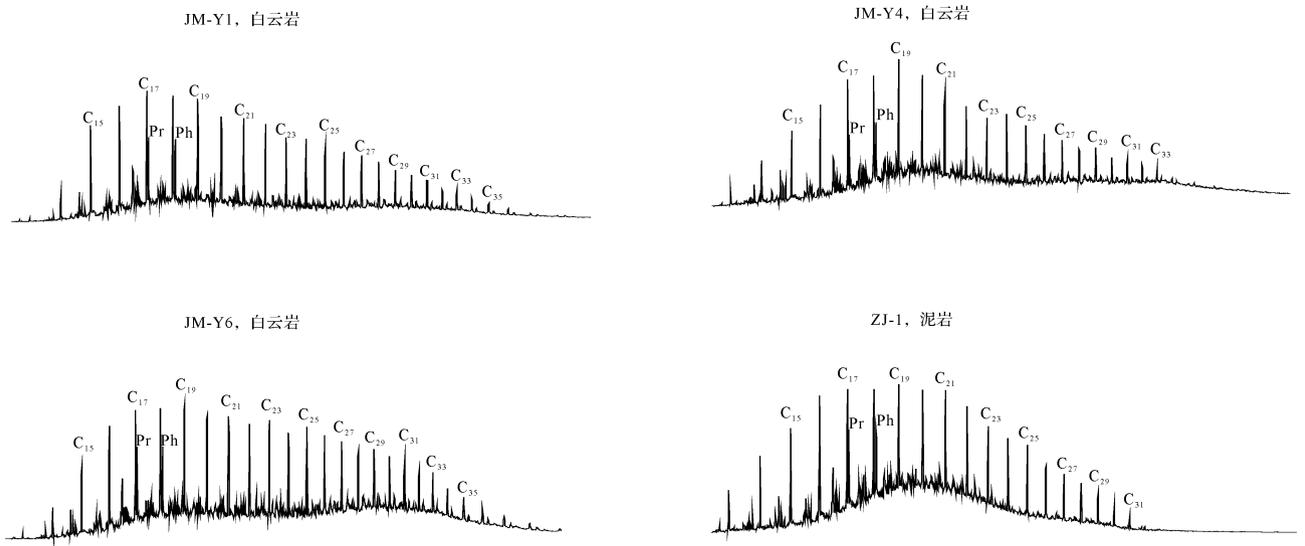


图2 羌塘盆地二叠系白云岩油苗及可能烃源岩饱和和烃色谱图

Fig.2 Gas chromatograms of saturated fractions of dolomite oil seepages and the potential source rocks in Qiangtang Basin

表2 羌塘盆地白云岩油苗及正构烷烃和类异戊二烯烃分析结果

Table 2 Data of saturated hydrocarbon and isoprenoid hydrocarbon of dolomite oil seepages in Qiangtang Basin

样品编号	主峰碳	CPI	OEP	$nC_{21-}/nC_{22+}$	$nC_{21}+nC_{22}/nC_{28}+nC_{29}$	Pr/Ph	Pr/ $nC_{17}$	Ph/ $nC_{18}$
JM-Y1	17	0.96	0.93	1.42	1.78	1.12	0.63	0.56
JM-Y2	18	0.96	0.92	1.12	1.76	1.01	0.66	0.57
JM-Y3	17	1.02	0.97	1.90	1.77	1.30	0.90	0.86
JM-Y4	19	1.06	1.02	1.53	2.02	1.25	0.93	0.81
JM-Y5	20	0.97	0.95	1.00	1.85	1.12	0.80	0.67
JM-Y6	19	1.01	0.89	1.06	1.79	0.91	0.42	0.40
JM-Y7	19	1.01	0.91	1.52	2.28	0.96	0.61	0.58
JM-Y8	17	0.88	0.97	4.56	3.38	1.17	0.65	0.65
JM-Y9	19	0.97	0.98	3.34	2.78	1.13	0.66	0.64
JM-Y10	17	1.06	0.94	2.94	2.38	1.23	0.42	0.42
ZJ-1	19	1.04	0.98	1.43	2.66	0.95	0.72	0.88
ZJ-2	17	0.96	0.95	1.19	2.35	0.92	0.64	0.57

(OPE)为0.88~1.06 均值0.99,接近平衡值1,反映出白云岩油苗具有成熟有机质特征。

白云岩油苗样品中还检出了姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)(图2、表2)。Didyk<sup>[11]</sup>, Powell<sup>[12]</sup>, McKridry

*et al.*<sup>[13]</sup>的研究认为姥鲛烷和植烷比值(Pr/Ph)可以反映源岩母质沉积古环境,Peters *et al.*<sup>[14]</sup>则认为高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(<0.6)则代表缺氧条件,且通常是超盐或碳酸盐沉积环境。研究的羌塘盆地中部二叠系白云岩油苗样品的Pr/Ph比值0.91~1.30,平均值1.12(表2),表明了白云岩油苗的生烃母质形成于较还原的环境。Pr/nC<sub>17</sub>值为0.43~0.93,均值0.67,Ph/nC<sub>18</sub>值0.40~0.86,均值为0.62,表现出正构烷烃占优势。在Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub>图上(图3),白云岩油苗样品在主要分布在II型区域,这说明白云岩油苗生烃母质主要来源海相低等水生生物输入。

### 3.3 甾类化合物

研究的白云岩油苗样品提取物鉴定出的甾烷主要包括C<sub>21</sub>+C<sub>22</sub>孕甾烷系列,C<sub>27</sub>-C<sub>28</sub>-C<sub>29</sub>规则甾烷系列,还检测出很少量的重排甾烷(图4)。白云岩油苗样品中C<sub>27</sub>规则甾烷含量为30.9%~41.9%,均值37.4%;C<sub>29</sub>甾烷含量较高,为32.7%~49.1%,均值41.3%,C<sub>28</sub>甾烷含量12.9%~28.1%,均值21.6%(表3),总体上,C<sub>27</sub>、C<sub>28</sub>和C<sub>29</sub>规则甾烷呈不对称的“V”字

形分布特征,这些值分布在一个较小的范围内(图5),除个别样品外,白云岩油苗样品表现出C<sub>29</sub>规则甾烷占优势。这种C<sub>29</sub>甾烷优势也常见于下古生界和更老时代的石油与源岩中,可能来源于浮游绿藻<sup>[15-16]</sup>,而现生浮游绿藻的确具有C<sub>29</sub>甾醇优势<sup>[17]</sup>。

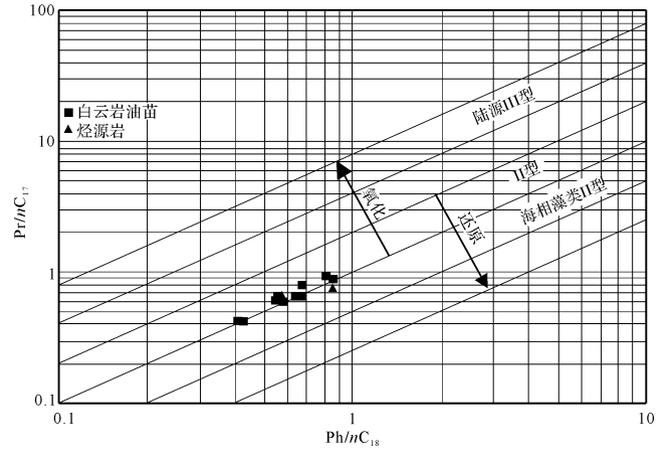


图3 羌塘盆地白云岩油苗及可能烃源岩Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub>关系图

Fig.3 Cross plot of Pr/nC<sub>17</sub> to Ph/nC<sub>18</sub> of Permian dolomite oil seepages in Qiangtang Basin

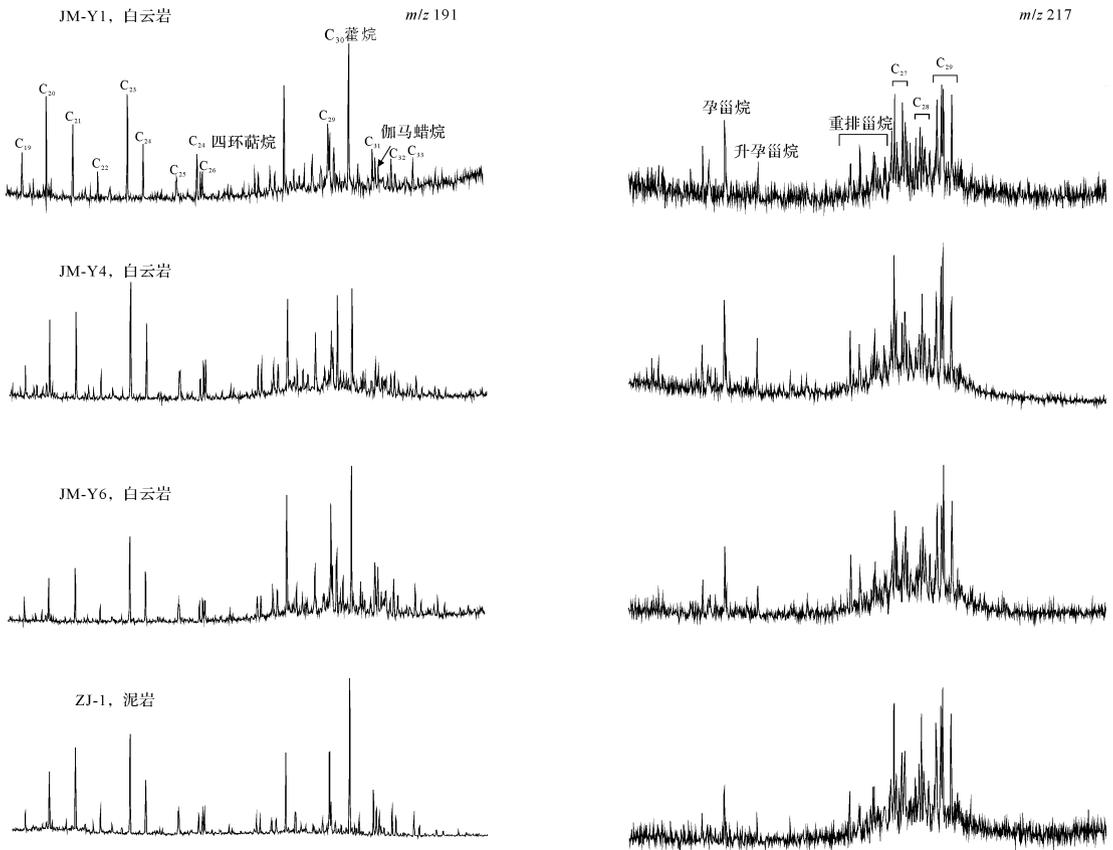


图4 羌塘盆地白云岩油苗及可能烃源岩甾烷、萜烷分布特征图

Fig.4 Distribution of steranes and terpanes of dolomite oil seepages and the potential source rocks in Qiangtang Basin

表3 羌塘盆地二叠系白云岩油苗甾烷和萜烷标志物分析结果

Table 3 The parameters of biomarkers of Permian dolomite oil seepages in Qiangtang Basin

样品编号	规则甾烷/%			C <sub>29</sub> ααα20S /(20S+20R)	C <sub>29</sub> αββ/ (ααα+αββ)	C <sub>24</sub> 四环萜烷 /C <sub>26</sub> 三环萜烷	T <sub>m</sub> /T <sub>s</sub>	C <sub>31</sub> 22S/ (22S+22R)	γ 蜡烷/ C <sub>30</sub> 藿烷
	C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>						
JM-Y1	41.9	12.9	45.3	0.48	0.53	1.06	0.15	0.57	0.56
JM-Y2	40.7	25.2	34.1	0.48	0.55	0.69	0.29	0.49	0.42
JM-Y3	32.8	18.7	48.6	0.47	0.54	0.72	0.22	0.52	0.48
JM-Y4	30.9	22.6	46.5	0.50	0.60	0.84	0.17	0.56	0.59
JM-Y5	32.9	18.0	49.1	0.51	0.60	0.71	0.16	0.60	0.49
JM-Y6	40.6	17.2	42.1	0.51	0.58	0.64	0.15	0.51	0.46
JM-Y7	40.1	27.2	32.7	0.50	0.60	0.66	0.23	0.52	0.43
JM-Y8	40.7	17.5	41.8	0.47	0.53	0.68	0.25	0.53	0.42
JM-Y9	36.5	25.5	38.0	0.48	0.56	0.76	0.35	0.56	0.88
JM-Y10	37.1	28.1	34.8	0.49	0.53	0.69	0.25	0.57	0.66
ZJ-1	36.6	21.0	42.4	0.45	0.58	0.64	0.28	0.61	0.44
ZJ-2	34.0	24.5	41.5	0.48	0.50	0.67	0.22	0.58	0.53

C<sub>29</sub>ααα20S/ααα(20S+20R)和C<sub>29</sub>αββ/(ααα+αββ)是常用的甾烷成熟度参数。一般认为,C<sub>29</sub>5α,14α,17α(H)-甾烷在C-20上的异构化使得20S/(20S+20R)比值随着成熟度的增加从0升至约0.5(平衡值约为0.52~0.55);而20S和20RC<sub>29</sub>规则甾烷在C-14和C-17位上的异构化作用使得αββ/(ααα+αββ)比值随着成熟度的增加从接近于0增加到0.7左右(平衡值约为0.67~0.71)<sup>[18]</sup>。白云岩油苗的甾烷成熟度参数C<sub>29</sub>ααα20S/ααα(20S+20R)比值为0.47~0.51,平均值0.49,C<sub>29</sub>αββ/(ααα+αββ)比值为0.53~0.60,平均值0.56(图6),总体反映出油苗处在成熟阶段。

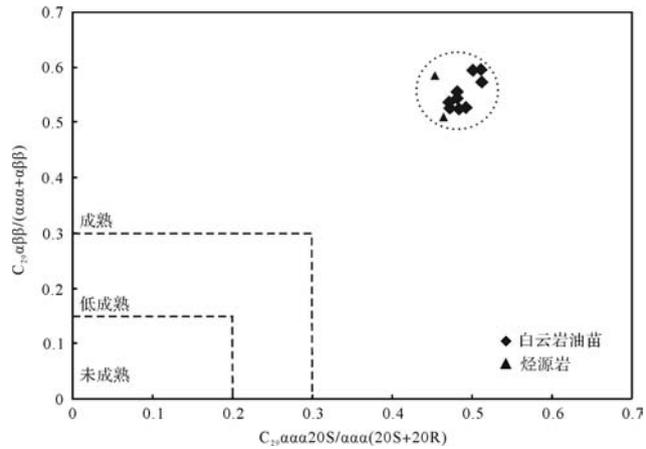


图6 羌塘盆地白云岩油苗与可能烃源岩C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)与C<sub>29</sub>αββ/(ααα+αββ)关系图

Fig.6 Cross plot of C<sub>29</sub>20S/(20S+20R) steranes versus C<sub>29</sub>ββ/(αα+ββ) steranes of dolomite oil seepages and the potential source rocks in Qiangtang Basin

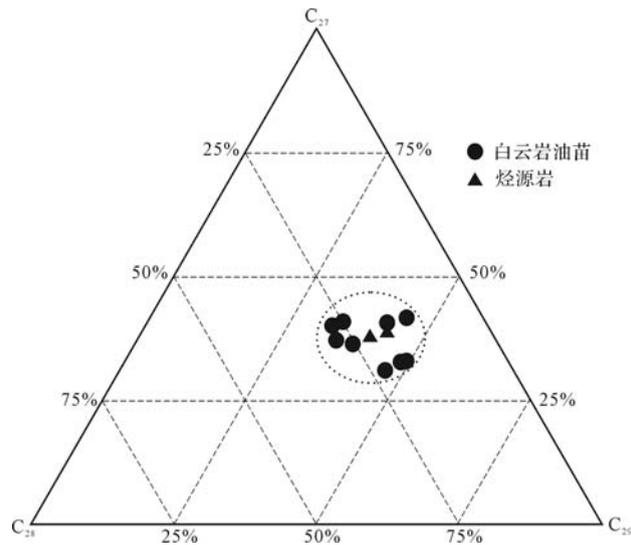


图5 羌塘盆地白云岩油苗和可能烃源岩规则甾烷相对组成图

Fig.5 Relative compositions of regular steranes of dolomite oil seepages and the potential source rocks in Qiangtang Basin

### 3.4 萜类化合物

白云岩油苗中均检出了五环三萜烷、三环萜烷和少量四环萜烷(图4)。三环萜烷主要来源于微生物<sup>[19]</sup>或藻类等<sup>[20]</sup>,研究的白云岩油苗样品中三环萜烷均以C<sub>23</sub>为主峰,C<sub>21</sub>、C<sub>23</sub>和C<sub>24</sub>呈现倒“V”字型分布,反映了海相原油的特征,同时也反映了油苗生烃母质来源于藻类等低等水生生物。C<sub>24</sub>四环萜烷主要是藿烷或藿烯(藿烷前驱物)中的五员环由于受热力作用或生物降解作用断裂而形成<sup>[14]</sup>,一般在陆源有机质中含量较高,海相原油中较低,另外细菌生源输入也存在生物合成四环萜烷的途径<sup>[13]</sup>,白云岩油苗样品中C<sub>24</sub>四环萜烷/C<sub>26</sub>三环萜烷比值0.64~1.06,总

体较低,与朱扬明研究的塔里木海相原油一致<sup>[21]</sup>, JM-Y1 样品值大于 1,可能反映了微生物生源对油苗母质的影响(表 3)。Ts/Tm 值主要取决于油源和成熟度,与沉积环境的氧化还原性也有一定关系,另外对黏土催化剂反应也很敏感<sup>[8]</sup>,白云岩油苗样品的 Tm/Ts 值为 0.15~0.35,并且 Tm/Ts 值与  $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$  呈负相关(图 7),表明其主要与成熟度有关,部分样品的 Tm 及 Ts 有差异,还可能与油苗沉积环境的氧化还原性或催化作用有关。

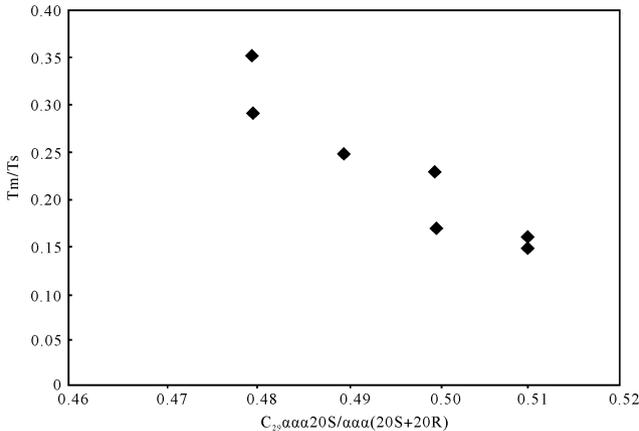


图7 羌塘盆地二叠系白云岩油苗  $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ -Ts/Tm 相关图

Fig 7 Cross plot of  $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$  and Ts/Tm of Permian dolomite oil seepages in Qiangtang Basin

白云岩油苗样品中藿烷以  $C_{30}$  占优势,升藿烷从  $C_{31}\sim C_{35}$  均有检出,且相对丰度依次降低,表明了白云岩油苗生烃母质中藻类低等生物的贡献<sup>[8]</sup>。 $C_{31}17\alpha(H)$ -升藿烷  $22S/(22S+22R)$  值为 0.49~0.63,平均值 0.56(表 3),一般认为,其值在 0.50~0.54 范围内表明进入生油阶段,当比值为 0.57~0.62 则表明已达到或超过主要的生油阶段<sup>[18]</sup>,研究的白云岩油苗样品的该参数介于 0.49~0.60,均值 0.54,反映了其处在成熟阶段。白云岩油苗样品中还检测出了一定含量的伽马蜡烷(图 4),丰富的伽马蜡烷提示沉积物沉积时期存在着水体分层,水体分层通常是高盐度所致<sup>[22-23]</sup>,微生物学研究也表明,生活于化跃面及其底部厌氧环境中的纤毛虫是伽马蜡烷的重要来源,它能生成大量的伽马蜡烷先质物四膜虫醇<sup>[24]</sup>,研究的白云岩油苗样品中的伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷值在 0.42~0.88,平均 0.54,可能反映了白云岩油苗的生烃母质沉积时期水体分层的特征。

### 3.5 芳烃标志物

芳烃化合物作为原油重要组分,能提供有机质来

源、沉积环境和成熟度等方面的信息。白云岩油苗样品中检出了联苯、萘、菲、芴、二苯并呋喃、二苯并噻吩和芳香甾烷等系列化合物,其中菲系列化合物含量较高,其次为二苯并噻吩系列。菲(P)及甲基菲(MP)系列化合物的相关比值常用来进行成熟度评价,通过计算,白云岩油苗的甲基菲值  $MPI_1$  分布在 0.44~0.98,均值为 0.65,采用 Radke *et. al.* 的经验公式  $R_1 = 0.60 \times MPI_1 + 0.40$ <sup>[25-26]</sup> 计算得到等效镜质体反射率  $R_1$  值为 0.67%~0.79%之间,平均值为 0.75(表 4),表明白云岩油苗为成熟原油。Kvaiheim 提出了用甲基菲异构体相对丰度计算的成熟度参数  $F_1$  [ $F_1 = (3-MP+2-MP)/(1-MP+2-MP+3-MP+9-MP)$ ] 和  $F_2$  [ $F_2 = 2-MP/(1-MP+2-MP+3-MP+9-MP)$ ],并提出了计算等效镜质体反射率的经验公式  $R_2 = 2.242 \times F_1 - 0.166$ <sup>[27]</sup>,通过计算其等效镜质体反射率  $R_0$  分布范围为 0.82%~1.04%,平均值为 0.97%,也表明白云岩油苗为成熟原油。Chakhmakhchev 及罗健等研究表明,烷基二苯并噻吩化合物也可作为有机质热演化程度的良好指标<sup>[28-29]</sup>,研究的白云岩油苗的 4,6/1,4-DMDBT 值为 1.85~2.60,换算成等效镜质体反射率  $R_3$  为 0.83%~0.93% ( $R_3 = 0.14 \times 4,6/1,4-DMDBT + 0.57$ ),这与前面甲基菲指数算得的结果基本一致,也表明白云岩油苗为成熟原油。

芳香烃中三芴系列化合物(芴(F)、硫芴(SF)和氧芴(OF))是判断原油母质原始沉积环境的良好指标,它的基本骨架都是由一个五元环和两个芳核组成,它们可能来自相同的先体。芴中五元环的 C-9 碳原子属于  $\alpha$  碳原子,其化学性质活泼,在还原环境中可能被硫取代成硫芴,在弱氧化—氧化环境中被氧化为氧芴<sup>[30-31]</sup>。分析结果表明(表 4),羌塘盆地中央隆起带二叠系白云岩油苗均呈现的硫芴占绝对优势,其相对百分含量为 39.06%~87.21%,平均 67.39%,氧芴含量很低,为 1.42%~19.12%,平均 7.89%,这与羌塘盆地侏罗系海相原油三芴系列组成相似<sup>[32]</sup>,指示白云岩油苗生烃母质来源于还原环境。Hughes *et al.*<sup>[33]</sup> 通过 Pr/Ph-DBT/P 相关性研究了原油与其烃源岩的沉积环境及岩性,在 Pr/Ph-DBT/P 图中(图 8),研究的样品位于 3 区,反映出白云岩油苗源于海相页岩。MDR4(4-MDBT/DBT)和 MDR2,3((2+3)-MDBT/DBT)是区分海相油和湖相油的有效指标,湖相油中 4-MDBT/DBT 比值多小于 1.0,海相油中该比值则大于 1.2;湖相油中(2+3)-MDBT/DBT 比值多数小于 0.5,海相油中该比值则大于 0.6<sup>[34-35]</sup>。分

表4 羌塘盆地二叠系白云岩油苗芳烃标志物分析结果

Table 4 The parameters of aromatic biomarkers of Permian dolomite oil seepages in Qiangtang Basin

样品编号	DBT/P	MPI <sub>1</sub>	R <sub>1</sub> /%	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> /%	4,6/1,4- DMDBT	R <sub>3</sub> /%	F/%	SF/%	OF/%	MDR-2,3	MDR-4
JM-Y1	0.18	0.63	0.78	0.52	0.28	1.00	2.32	0.90	17.25	81.33	1.42	1.01	1.96
JM-Y2	0.16	0.65	0.79	0.52	0.28	1.00	2.25	0.89	22.48	75.61	1.91	1.11	1.93
JM-Y3	0.12	0.63	0.78	0.54	0.29	1.04	1.85	0.83	37.73	57.32	4.95	0.82	1.40
JM-Y4	0.11	0.62	0.77	0.54	0.29	1.04	1.90	0.84	47.86	39.06	13.08	0.58	1.07
JM-Y5	0.17	0.56	0.74	0.5	0.28	0.96	2.60	0.93	11.19	87.21	1.60	1.37	2.51
JM-Y6	0.19	0.55	0.73	0.49	0.27	0.93	2.46	0.92	11.77	86.35	1.88	1.50	2.88
JM-Y7	0.27	0.44	0.67	0.49	0.27	0.93	2.07	0.86	11.12	81.67	7.21	0.48	1.34
JM-Y8	0.18	0.62	0.77	0.51	0.27	0.98	2.09	0.86	36.56	46.84	16.60	0.63	1.75
JM-Y9	0.23	0.52	0.71	0.52	0.28	1.00	2.12	0.87	25.06	63.83	11.11	0.37	0.97
JM-Y10	0.37	0.55	0.73	0.44	0.24	0.82	2.12	0.87	26.21	54.67	19.12	0.64	2.09
ZJ-1	0.18	0.51	0.71	0.52	0.28	1.00	2.43	0.91	22.77	72.65	4.58	0.96	1.79
ZJ-2	0.20	0.58	0.73	0.54	0.27	1.04	2.51	0.92	24.72	67.38	7.90	0.89	1.49

析结果表明羌塘盆地二叠系白云岩油苗 4-MDBT/DBT 比值为 0.97~4.26, 平均 2.29, 其中绝大多数油苗大于 1.2; (2+3)-MDBT/DBT 比值为 0.37~1.62, 平均 0.97, 并且其中绝大多数油苗大于 0.6, 亦表明白云岩油苗生烃母质主要为海相成因。

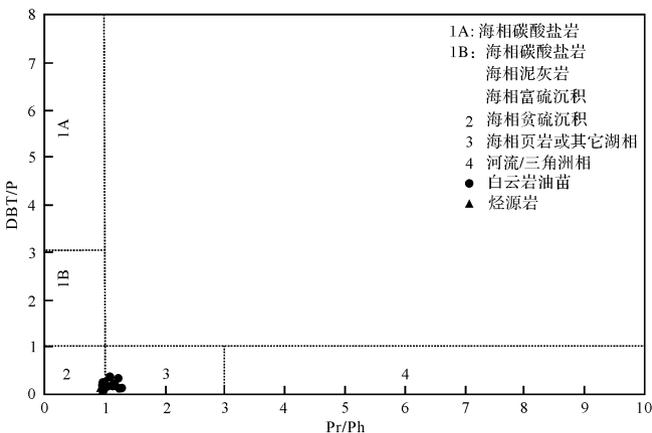


图8 羌塘盆地二叠系白云岩油苗 Pr/Ph-DBT/P 相关图  
Fig.8 Cross plot of Pr/Ph to DBT/P of Permian dolomite oil seepages in Qiangtang Basin

### 3.6 单体烃碳同位素特征

原油和烃源岩的单体碳同位素组成主要受沉积环境和母质类型的影响, 有机质的热演化程度及生物降解等影响较小<sup>[36]</sup>。图9给出了羌塘盆地中部二叠系白云岩油苗的正构烷烃和姥鲛烷、植烷的单体烃碳同位素分布特征曲线, 可以看出用于研究的3件样品的单体烃碳同位素组成普遍较轻, 并且他们具有基本相似分布形式, 从 C<sub>16</sub>到 Ph, 白云岩油苗的 δ<sup>13</sup>C 值呈现逐渐变轻的趋势, 从 Ph 到 C<sub>24</sub>, 白云岩油苗的 δ<sup>13</sup>C 值呈现先变重而后又变轻的趋势, C<sub>24</sub>之后, 白云岩油

苗的 δ<sup>13</sup>C 值又有变重的趋势, 这说明白云岩油苗可能具有相同的来源。

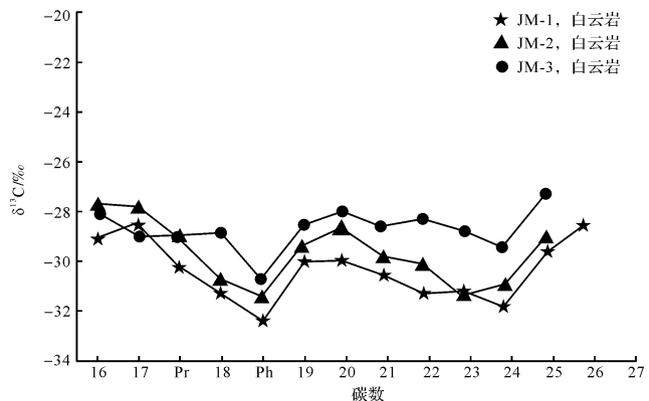


图9 羌塘盆地二叠系白云岩油苗单体碳同位素分布特征  
Fig.9 Carbon isotopic compositions of n-alkanes and isoprene of Permian dolomite oil seepages in Qiangtang Basin

## 4 油源对比

从前面的研究可以看出, 羌塘盆地中部二叠系白云岩油苗的族组成均以较高饱和烃含量和高饱芳比为特征, 主峰碳和 Pr /Ph 较低, 均具前高单峰型的正构烷烃分布形态; 白云岩油苗甾烷、萜烷的分布特征也表明油苗母质来源于低等藻类等水生生物, DBT/P-Pr/Ph 关系图表明油苗母质来源于海相页岩, 生物标志物成熟度参数 C<sub>29</sub>ααα20S / ααα(20S+20R)、C<sub>29</sub>αββ / (ααα+αββ) 和 C<sub>31</sub>22S / (22S+22R) 及芳烃成熟度参数表明, 白云岩油苗处在成熟阶段。从已有的研究结果来看, 二叠系展金组发育的暗色泥岩很可能是白云岩油苗的母源, 其有机碳含量较高, 0.62%~1.42%, 平均 1.15%, 为中等—好烃源岩, 有机质来源

以海相低等水生生物为主,镜质体反射率 0.89%~1.44%,平均 1.1%,处在成熟—高成熟阶段<sup>[37]</sup>。从二叠系展金组与白云岩油苗的生物标志物参数的对比来看(图 3,5,6,7),它们具有较好的对比性,表明白云岩油苗可能来自二叠系展金组烃源岩。

单体烃碳同位素将油源对比提高到了分子级别,其相对于全油和族组分同位素更加精确。图 10 给出了羌塘盆地中央隆起带二叠系展金组 2 件烃源岩样品和白云岩油苗样品的单体烃碳同位素分布特征曲线对比图,可以看出展金组烃源岩样品的单体烃碳同位素组成也较轻,并且与白云岩油苗的分布形式和变化趋势基本相似,但是  $nC_{17}$ 、Ph 的碳同位素组成的差别比较大,其超过 3‰ 的差别表明了白云岩油苗混合来源的特征,即白云岩油苗除主要来自二叠系展金组烃源岩外,还可能存在其他来源,需要进一步研究。

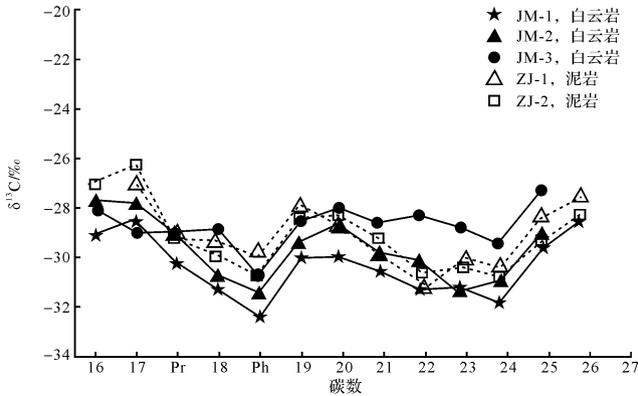


图 10 羌塘盆地中部白云岩油苗与展金组烃源岩单体烃碳同位素对比图

Fig.10 Carbon isotopic compositions of n-alkanes and isoprene of Permian dolomite oil seepages and Zhanjin Formation source rocks in Qiangtang Basin

## 5 结论

(1) 羌塘盆地中央隆起带二叠系白云岩油苗的正构烷烃主要为前高单峰型,主峰碳数较低, $nC_{21}/nC_{22+}$  值为 1.0~4.56,轻烃组分占优势, $C_{27}-C_{28}-C_{29}$  规则甾烷表现为不规则的“V”型的分布并且  $C_{29}$  甾烷占优势,藿烷以  $C_{30}$  占优势,升藿烷从  $C_{31} \sim C_{35}$  均有检出,显示出白云岩油苗的生烃母质主要来源于藻类等低等水生生物。

(2) 羌塘盆地中央隆起带二叠系白云岩油苗的 Pr/Ph 值为 0.91~1.30,伽马蜡烷指数值在 0.42~0.88,三萜系列化合物中以硫萜含量最高(平均 67.39%)而氧萜含量(平均 7.89%)很低,显示出其生

烃母质形成于具有一定盐度的还原环境;4-MDBT/DBT 比值为 0.97~4.26, (2+3)-MDBT/DBT 值为 0.37~1.62,表明白云岩油苗生烃母质为海相页岩。

(3) 羌塘盆地中央隆起带二叠系白云岩油苗的 OEP 值接近平衡值 1,甾萜烷异构参数  $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20S / \alpha\alpha\alpha(20S + 20R)$ 、 $C_{29} \alpha\beta\beta / (\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$  和  $C_{31}$  藿烷  $22S / (22S + 22R)$  等接近或达到平衡值 1,表明其处在成熟阶段;芳烃标志物成熟度参数  $MPI_1$ 、 $F_1$  及 4,6/1,4-DMDBT 计算出的等效镜质体反射率均表明白云岩油苗为成熟原油。

(4) 羌塘盆地中央隆起带二叠系白云岩油苗的生物标志物和展金组烃源岩具有较好对比性,反映了白云岩油苗主要来源于展金组烃源岩;白云岩油苗单体碳同位素与二叠系展金组烃源岩分布形式和变化趋势基本相似,但是还存在一定的差异,反映了其混合来源的特点。

致谢 样品的分析测试得到了华北油田勘探开发研究院马顺平高级工程师的大力帮助,审稿专家也提出了宝贵建议,在此表示诚挚谢意!

## 参考文献 (References)

- [1] 王剑,丁俊,王成善,等. 青藏高原油气资源战略选区调查与评价[M]. 北京:地质出版社,2009:417-419. [Wang Jian, Ding Jun, Wang Chengshan, et al. The investigation and evaluation of the oil and gas resources strategy constituency in the Qinghai-Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 417-419.]
- [2] 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.]
- [3] 占王忠,格桑旺堆,陈文彬,等. 羌塘盆地角木茶卡地区中二叠统储集层流体包裹体及油气成藏特征[J]. 新疆石油地质, 2015, 36(2): 140-144. [Zhan Wangzhong, Gesang Wangdui, Chen Wenbin, et al. Fluid inclusion and hydrocarbon accumulation of middle permian reservoir in Jiaomuchaka area in Qiangtang Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2015, 36(2): 140-144.]
- [4] 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,2004:32-88. [Wang Jian, Tan Fuwen, Li Yalin, et al. The potential of the oil and gas resources in major sedimentary basins on the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 32-88.]
- [5] 王成善,伊海生. 西藏羌塘盆地地质演化与油气远景评价[M]. 北京:地质出版社,2001:83-128. [Wang Chengshan, Yi Haisheng. The geological evolution and prospective oil and gas assessment of the Qiangtang Basin in northern Tibetan Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 83-128.]

- [6] 杨平, 谢渊, 汪正江, 等. 秀山上寒武统古油藏地球化学特征及油源分析[J]. 地球化学, 2010, 39(4): 354-363. [Yang Ping, Xie Yuan, Wang Zhengjiang, et al. Geochemical characteristics and oil source correlation of Upper Cambrian paleo-reservoir in Xiushan[J]. *Geochimica*, 2010, 39(4): 354-363. ]
- [7] 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. ]
- [8] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南: 古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 译. 北京: 石油工业出版社, 1995: 178-187. [Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. Jiang Naihuang, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 178-187. ]
- [9] Tissot B P, Welte D H. Petroleum Formation and Occurrence[M]. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1984: 1-538.
- [10] 马立元, 尹航, 陈纯芳, 等. 鄂尔多斯盆地红河油田原油地球化学特征及油源分析[J]. 沉积学报, 2015, 33(2): 416-425. [Ma Liyuan, Yin Hang, Chen Chunfang, et al. Research of geochemistry characteristics and source of crude oils from the Honghe oilfield in the Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33(2): 416-425. ]
- [11] 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.
- [12] Powell T G, McKirdy D M. Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environment in Australia[J]. *Nature*, 1973, 243(124): 37-39.
- [13] Mackenzie A S, Hoffmann C F, Maxwell J R. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France-III. Changes in aromatic steroid hydrocarbons[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45(8): 1345-1355.
- [14] Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. The biomarker guide: biomarkers and isotopes in petroleum systems and earth history[M]. 2nd ed. Cambridge University Press, 2008: 1-708.
- [15] Huang W Y, Meinschein W G. Sterols as ecological indicators[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43(5): 739-745.
- [16] Grantham P J. The occurrence of unusual C<sub>27</sub> and C<sub>29</sub> sterane predominances in two types of Oman crude oil[J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 9(1): 1-10.
- [17] 孟凡巍, 周传明, 燕夔, 等. 通过 C<sub>27</sub>/C<sub>29</sub> 甾烷和有机碳同位素来判断早古生代和前寒武纪的烃源岩的生物来源[J]. 微体古生物学报, 2006, 23(1): 51-56. [Meng Fanwei, Zhou Chuanning, Yan Kui, et al. Biological origin of early Palaeozoic and Precambrian hydrocarbon source rocks based on C<sub>27</sub>/C<sub>29</sub> sterane ratio and organic carbon isotope[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2006, 23(1): 51-56. ]
- [18] 陈文彬, 廖忠礼, 付修根, 等. 北羌塘盆地布曲组烃源岩生物标志物特征及意义[J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 808-814. [Chen Wenbin, Liao Zhongli, Fu Xiugen, et al. Biomarker characteristics and significance of hydrocarbon source rocks in Buqu Formation of the North Qiangtang Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(5): 808-814. ]
- [19] Ourisson G, Albrecht P, Rohmer M. Predictive microbial biochemistry—from molecular fossils to procaryotic membranes[J]. *Trends in Biochemical Sciences*, 1982, 7(7): 236-239.
- [20] Philp R P. Biological markers in fossil fuel production[J]. *Mass Spectrometry Reviews*, 1985, 4(1): 1-54.
- [21] 朱扬明, 梅博文, 傅家谟, 等. 塔里木原油饱和烃生物标志物分布特征[J]. 江汉石油学院学报, 1997, 19(3): 24-29. [Zhu Yangming, Mei Bowen, Fu Jiamo, et al. Distribution characteristics of saturated hydrocarbon biomarkers in oils from Tarim Basin[J]. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 1997, 19(3): 24-29. ]
- [22] Schoell M, Hwang R J, Carlson R M K, et al. Carbon isotopic composition of individual biomarkers in gilsonites (Utah)[J]. *Organic Geochemistry*, 1994, 21(6/7): 673-683.
- [23] Damsté J S S, Kenig F, Koopmans M P, et al. Evidence for gammacerane as an indicator of water column stratification[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(9): 1895-1900.
- [24] 张立平, 黄第藩, 廖志勤. 伽马蜡烷—水体分层的地球化学标志[J]. 沉积学报, 1999, 17(1): 136-140. [Zhang Liping, Huang Difan, Liao Zhiqin. Gammacerane-geochemical indicator of water column stratification[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(1): 136-140. ]
- [25] Radke M, Willsch H, Leythaeuser D, et al. Aromatic components of coal: relation of distribution pattern to rank[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1982, 46(10): 1831-1848.
- [26] Radke M, Welte D H, Willsch H. Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: influence of the organic matter type[J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10(1/2/3): 51-63.
- [27] Kvalheim O M, Christy A A, Telnæs N, et al. Maturity determination of organic matter in coals using the methylphenanthrene distribution[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51(7): 1883-1888.
- [28] Chakhmakhchev A, Suzuki M, Takayama K. Distribution of alkylated dibenzothiophenes in petroleum as a tool for maturity assessments[J]. *Organic Geochemistry*, 1997, 26(7/8): 483-489.
- [29] 罗健, 程克明, 付立新, 等. 烷基二苯并噻吩——烃源岩热演化新指标[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 27-31. [Luo Jian, Cheng Keming, Fu Lixin, et al. Alkylated dibenzothiophene index—a new method to assess thermal maturity of source rocks[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(3): 27-31. ]
- [30] 李水福, 何生. 原油芳烃中三苄系列化合物的环境指示作用[J]. 地球化学, 2008, 37(1): 45-50. [Li Shuifu, He Sheng. Geochemical characteristics of dibenzothiophene, dibenzofuran and fluorene and their homologues and their environmental indication[J]. *Geochimica*, 2008, 37(1): 45-50. ]
- [31] 朱扬明, 张洪波, 傅家谟, 等. 塔里木不同成因原油芳烃组成和分布特征[J]. 石油学报, 1998, 19(3): 33-37. [Zhu Yangming,

- Zhang Hongbo, Fu Jiamo, et al. Distribution and composition of aromatic hydrocarbon in various oils from Tarim Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1998, 19(3): 33-37. ]
- [32] 陈文彬, 廖忠礼, 伊海生, 等. 南羌塘扎仁地区白云岩油苗芳烃地球化学特征[J]. *断块油气田*, 2010, 17(6): 694-697. [ Chen Wenbin, Liao Zhongli, Yi haisheng, et al. Aromatic geochemistry characteristics of dolomite oil seepage in Zaring area of South Qiangtang Basin [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2010, 17(6): 694-697. ]
- [33] Hughes W B. Use of thiophenic organosulfur compounds in characterizing crude oils derived from carbonate versus siliciclastic sources [M]//Palacas J G. *Petroleum Geochemistry and Source Rock Potential of Carbonate Rocks*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1984, 18: 181-196.
- [34] 张敏, 张俊. 塔里木盆地原油噻吩类化合物的组成特征及地球化学意义[J]. *沉积学报*, 1999, 17(1): 121-126. [ Zhang Min, Zhang Jun. Composition characteristics and geochemical significance of thiophene-type compounds for crude oils in Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(1): 121-126. ]
- [35] 贺训云, 姚根顺, 蔡春芳, 等. 黔南坳陷油苗芳烃地球化学特征及意义[J]. *地球化学*, 2012, 41(5): 442-451. [ He Xunyun, Yao Genshun, Cai Chunfang, et al. Aromatic hydrocarbons distribution in oil seepages from the southern Guizhou depression, SW China: geochemical characteristics and geological implications [J]. *Geochimica*, 2012, 41(5): 442-451. ]
- [36] Clayton C J, Bjerøy M. Effect of maturity on  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios of individual compounds in North Sea oils [J]. *Organic Geochemistry*, 1994, 21(6/7): 737-750.
- [37] 曹峻锋, 宋春彦, 付修根, 等. 羌塘盆地羌资5井二叠系展金组烃源岩基本特征[J]. *海相油气地质*, 2015, 20(2): 15-20. [ Cao Junfeng, Song Chunyan, Fu Xiugen, et al. Basic characteristics of Permian Zhanjin source rock in well Qiangzi-5 in Qiangtang Basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2015, 20(2): 15-20. ]

## Geochemical Characteristics and Significance of Permian Dolomite Oil Seepages in Qiangtang Basin

CHEN WenBin<sup>1,2</sup>, FU XiuGen<sup>1,2</sup>, TAN FuWen<sup>1,2</sup>, ZENG ShengQiang<sup>1,2</sup>, FENG XingLei<sup>1,2</sup>, SONG ChunYan<sup>1,2</sup>, WANG Dong<sup>1,2</sup>

1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China

2. Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land Resources, Chengdu 610081, China

**Abstract:** Dolomite oil seepages and hydrocarbon source rocks of Permian Zhanjin Formation were collected systematically from Central uplift belt area in Qiangtang Basin. Based on the analytical data of group component, biomarkers and carbon isotopic compositions of n-alkanes and isoprene, the author analyzed the geochemical characteristics of Permian dolomite oil seepages, and the oil-source rock correlation was also studied in the paper. The results indicated that the Permian dolomite oil seepages are high fraction saturated hydrocarbons, followed by non hydrocarbon, aromatics and asphaltene fraction are low. The ratio of saturates/aromatics of dolomite oil seepages are more than 1.0. The alkanes of dolomite oil seepages are composed of  $n\text{C}_{15}$ - $n\text{C}_{36}$ , with  $n\text{C}_{17}$ ~ $n\text{C}_{20}$  as the main peaks, and characteristics of single peak distribution. The  $n\text{C}_{21}$ / $n\text{C}_{22}$  ratios from 1.0 to 4.56, the regular sterans  $\text{C}_{27}$ - $\text{C}_{28}$ - $\text{C}_{29}$  distributed with irregular "V" shape and predominance of  $\text{C}_{29}$ , homohopane were detected from  $\text{C}_{31}$ ~ $\text{C}_{35}$ , indicating dolomite oil seepages of hydrocarbon material sources were in algae and other lower aquatic organisms. The Pr/Ph values range of dolomite oil seepages were between 0.91 to 1.30, and gammacerane/ $\text{C}_{30}$  hopane values were from 0.42 to 0.88, the content of dibenzothiophene were the highest (average 67.39%) and low dibenzofuran content (average 7.89%). 4-MDBT/DBT values of dolomite oil seepages were 0.97 to 4.26, (2+3)-MDBT/DBT values were 0.37 to 1.62, showing dolomite oil seepages hydrocarbon material sources were formed in marine shale with certain salinity reduction environment. The OEP values,  $\text{C}_{29}\alpha\alpha\alpha 2\text{OS}/\alpha\alpha\alpha (2\text{OS}+2\text{OR})$  values,  $\text{C}_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$  values and  $\text{C}_{31}2\text{S}/(2\text{S}+2\text{R})$  values etc., closed to equilibrium values 1, aromatic maturity parameters  $MPI_1$ ,  $F_1$  and 4,6/1, 4-DMDBT calculated from the equivalent vitrinite reflectance showed that dolomite oil seepages were mature crude oil. The biomarkers of oil seepages are closely correlated to the Zhanjin Formation black mudstone, reflecting that the oil seepages were mainly originated from the Zhanjin Formation. However, carbon isotopic compositions of n-alkanes and isoprene exists some differences between oil seepages and Zhanjin Formation black mudstone, indicating a mixture of sources.

**Key words:** Biomarkers; carbon isotopic compositions of n-alkanes and isoprene; oil source correlation; Permian dolomite oil seepages; Qiangtang Basin