

杜佰伟, 彭清华, 何江林. 羌塘盆地羌资 3 井索瓦组泥岩生物标志化合物特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 298–305.

Du Baiwei, Peng Qinghua, He Jianglin. Characteristics of biomarker compounds in the mudstone of Upper Jurassic Suowa Formation from QZ3 Well in Qiangtang Basin, northern Tibet[J]. Geology in China, 2016, 43(1): 298–305(in Chinese with English abstract).

羌塘盆地羌资 3 井索瓦组泥岩生物标志化合物特征及其地质意义

杜佰伟 彭清华 何江林

(中国地质调查局成都地质调查中心 四川 成都 610081)

摘要: 本文对羌塘盆地羌资 3 井索瓦组样品开展了详细的有机地球化学特征研究, 探讨了其有机母质来源及形成的沉积环境。样品中检测出丰富的正构烷烃、类异戊二烯烷烃、萜类化合物和甾类化合物。在 GC 图谱上, 主碳数分别为 nC_{17} 、 nC_{18} 、 nC_{23} 或 nC_{25} , OEP 值为 0.4~1.24, Pr/ nC_{17} 值为 0.68~0.99、Ph/ nC_{18} 值为 0.55~0.98, Pr/Ph 为 0.50~0.90。萜类化合物以 C_{30} 藿烷占优势的五环三萜烷为主, 含有三环萜烷和伽马蜡烷。甾类化合物以规则甾烷为主, C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷构成了不对称的“V”字型, $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 的值分别为 0.30~0.49、0.40~0.54。饱和烃色谱/质谱特征表明泥岩有机母质来源于具有水生生物的混合来源, 揭示了其母质形成于一定盐度缺氧还原环境。镜质体反射率与成熟度参数均显示泥岩与沥青处于生油高峰阶段。生物标志物研究显示羌资 3 井沥青与泥岩在母质性质、沉积环境、成熟度等方面有相近的特征, 它们具有较好的亲缘关系。

关键词: 羌塘盆地; 索瓦组; 生物标志化合物; 地质意义

中图分类号: P534.52 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)01-0298-08

Characteristics of biomarker compounds in the mudstone of Upper Jurassic Suowa Formation from QZ3 Well in Qiangtang Basin, northern Tibet

DU Bai-wei, PENG Qing-hua, HE Jiang-lin

(Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: In this paper, the authors carried out detailed research on geochemical characteristics of the Suowa Formation mudstones from Well QZ3. The origin of organic matters and the sedimentary environment were investigated according to the characteristics of biomarkers. Abundant biomarkers, including n-alkanes, isoprenoid, terpanes and steranes from mudstones, were detected by GC and GC-MS. The n-alkanes have nC_{17} , nC_{18} , nC_{23} or nC_{25} as the mean peaks. OEP values vary from 0.4 to 1.24, Pr/ nC_{17} from 0.68 to 0.99, Ph/ nC_{18} from 0.55 to 0.98, and Pr/Ph from 0.50 to 0.90. In the m/z191 GC-MS, C_{30} hopane is most abundant in the terpanes, with the presence of tricyclic terpanes and gammacerane. In the m/z217 GC-MS, regular steranes are characterized by the highest abundances. The regular steranes C_{27} - C_{28} - $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R$ are distributed in the asymmetric “V” shape. $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ values

收稿日期: 2014-12-20; 改回日期: 2015-02-13

基金项目: 中国地质调查局油气专项项目(1212011221106)与国家科技重大专项(2011ZX05004001-006)联合资助。

作者简介: 杜佰伟, 男, 1976 年生, 高级工程师, 长期从事青藏高原石油地质调查研究工作; E-mail: dbw88@163.com。

vary from 0.30 to 0.49 and $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ from 0.40 to 0.54. GC/MS characteristics of saturated hydrocarbon show that organic matter is characterized by mixed sources composed of phytoplankton, suggesting that organic matter is formed in a low-salinity anoxic environment. Different kinds of parameters indicate that the organic matter of the asphalts and mudstones is the peak of oil generation. At the same time, biomarker parameters of the asphalts and mudstones from QZ3 Well show similar characteristics in such aspects as organic matter source, sedimentary environment and maturity. They have very close genetic relationship.

Key words: Qiangtang basin; Suowa Formation; biomarker; geological significance

About the first author: DU Bai-wei, male, born in 1976, senior engineer, mainly engages in the study of petroleum geology; E-mail: dbw88@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 1212011221106) and National Science and Technology Major Project (No.2011ZX05004001-006).

羌塘盆地目前中国勘探程度最低的大型海相沉积盆地,近几年来开展了一些二维反射地震、MT等工作,但资料说服力较差,而在野外地表路线调查、剖面测量等基本石油地质方面则取得了一些进展^[1-8],油气勘探处于盆地远景评价的普查阶段。针对盆地地层随着高原隆升遭受的一系列作用产生的油气评价工作的局限性,在托纳木地区开展了羌资3井的钻探工作,以获得该地区地下石油地质资料。笔者对该井泥岩有机地球化学特征进行了研究,探讨了泥岩及钻遇沥青的生物标志化合物特征及来源指示,希望在了解托纳木地区可能的烃源岩、油气成藏过程或后期遭受破坏等提供地球化学方面的依据。

1 区域地质特征

羌塘盆地位于青海省南部、西藏自治区的北部地区,盆地北以拉竹龙—金沙江缝合带为界,南部边界为班公湖—怒江缝合带,东西则以缺失侏罗纪地层作为盆地界线,其面积约 $22 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[5-7]。盆地总体呈近东西向格局,具有南北分带,东西分区的构造格局^[7-8],由南向北依次为南羌塘拗陷带、中央隆起带和北羌塘拗陷带(图1),总体表现为“两拗夹一隆”构造格架。托纳木地区则位于北羌塘拗陷中南部,处于布若错—多格错仁地层分区,区内主要出露索瓦组、雪山组、康托组及第四系^[9]。

羌资3井位于西藏双湖县雅曲乡托纳木复式背斜带,井口坐标为: $89^\circ 15' 43.9'' \text{ E}$, $33^\circ 36' 23.7'' \text{ N}$,海拔高度 5249.91 m。钻井开口为第四系全新统,终孔地层为上侏罗统索瓦组泥岩,终孔深度为 887.4 m。

羌资3井 0~90.37 m 钻遇第四系,其中, 0~8.58 m 钻遇黄色、浅灰色、紫红色黏土和残留坡积物, 8.58~90.37 m 主要为灰至深灰色薄层—中层状黏土。

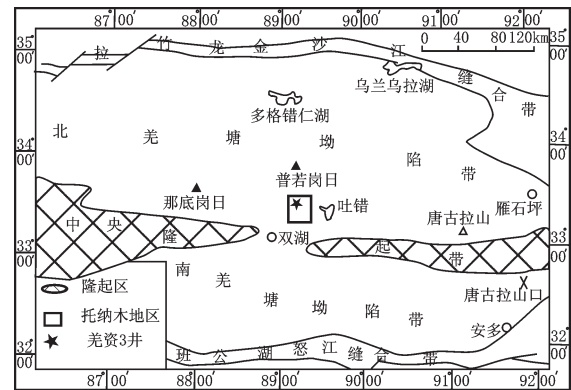


图1 羌塘盆地区域构造及钻井位置

Fig.1 Tectonic setting of the Qiangtang Basin, showing well position

索瓦组(J_3s)地层位于 90.37 m 以下(未钻穿),其中 90.37~312.6 m,为一套粉砂岩、砂岩、泥质粉砂岩为主的陆源碎屑岩组合(图2); 312.6~887.4 m 为深灰色、灰黑色薄层状泥岩、粉砂质泥岩、砂岩与灰、深灰色及灰白色泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩、介壳灰岩、砂屑灰岩、泥晶鲕粒灰岩等不等厚韵律互层(图2)。羌资3井上部粉砂岩、砂岩中见丰富的干沥青显示,下部也偶见沥青与泥岩共存。

笔者从索瓦组样品中选取了9件泥岩和3件沥青使用 Agilent6890-5975c 气相色谱质谱联用仪进行测试,饱和烃色谱-质谱分析按照 GB/T 18606-2001《气相色谱质谱法测定沉积物和原油中生物标志物》执行,以便探讨样品中泥岩中生物标志物的来源、分布特征,了解泥岩有机质来源及地质意义。样品的测试条件: 色谱分析时,载入 99.99% 氦气,进样口温度 300℃,传输线温度 280℃。色谱柱为 HP-5MS 弹性石英毛细柱(60 m×0.25 mm×0.25 mm),在 50℃ 保持 1 min,再以 15℃/min 升至 120℃,以 3℃/min 升至 300℃,保持 25 min。测试方式为全扫描。

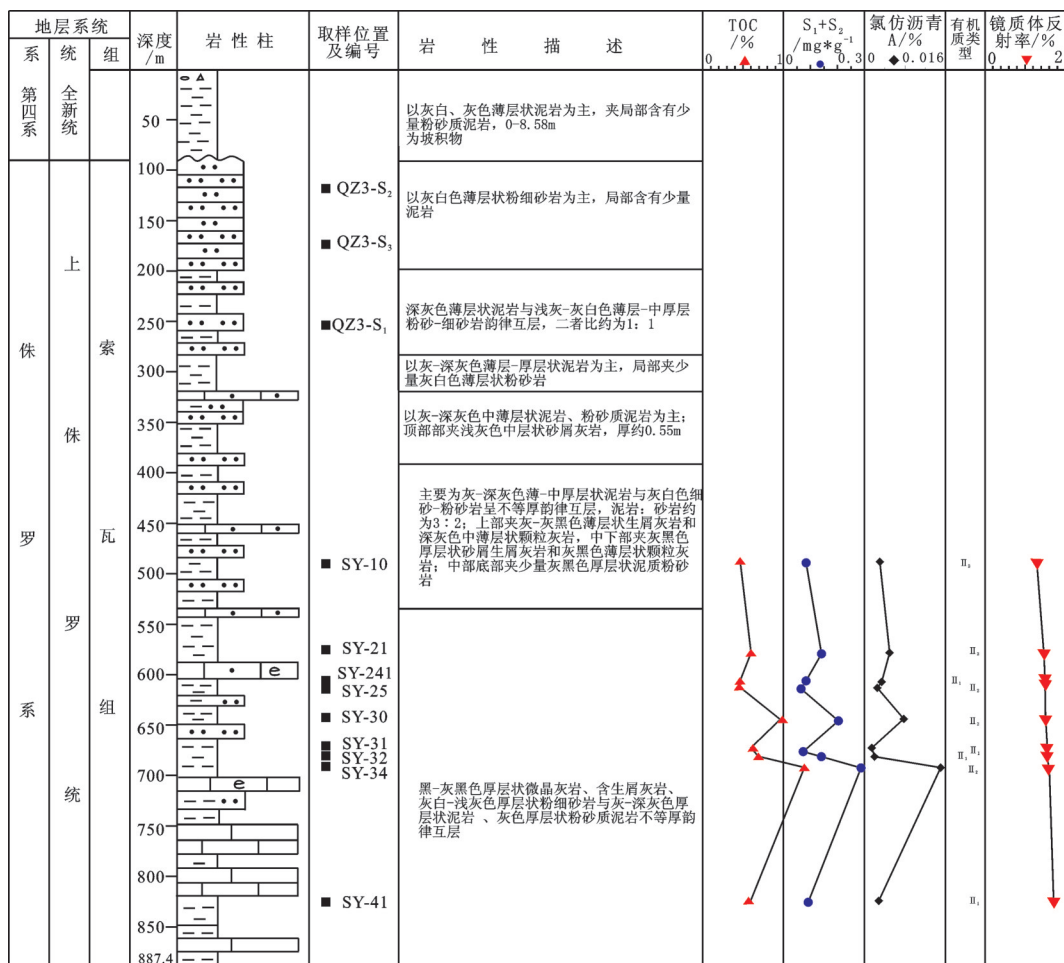


图2 羌塘盆地羌资3井索瓦组地层特征及有机地化样品采集位置

Fig.2 Stratigraphic characteristics of the Suowa Formation and organic geochemical sample position from Well QZ3 in the Qiangtang Basin

2 生物标志物分布特征

索瓦组泥岩有机碳含量介于0.46%~1.26%，平均值0.67%；氯仿“A”含量较低，其含量为0.0009%~0.0151%，平均为0.0044%；岩石热解分析表明生烃潜量(S_1+S_2)非常低，为0.01~0.29 mg/g，均值0.13 mg/g，综合这些参数表明，索瓦组泥岩具备一定的生烃能力。干酪根镜检以腐泥组占绝对优势，其次为惰质组，镜质组含量相对较少。有机质类型主要为II₂型，其次II₁型，这说明索瓦组泥岩有机质类型较好。镜质体反射率(R_o)普遍较高， R_o 值为1.21%~1.78%，平均值1.50%，表明羌资3井(QZ3)井泥岩有机质处在成熟—高成熟阶段。同时，纵向上，随着深度的增加，镜质体反射率 R_o 值有逐渐增大的趋

势。在GC-MS分析中，检测出它们有完整碳数($nC_{10}~nC_{35}$)的正构烷烃、类异戊二烯烷烃、萜类及甾类化合物，结果显示它们没有受到明显的生物降解作用，测试的数据能够反映它们的形成特征：

2.1 饱和烃

一般情况下，饱和烃特征能直接反映母源物质的信息，羌资3井泥岩样品GC图谱中均检出相似分布特征的正构烷烃系列，具有以下特点(表1，图3)：①碳数分布比较完整，从 $nC_{10}~nC_{35}$ 均有分布；②泥岩主碳峰为 nC_{18} 、 nC_{23} 和 nC_{25} ，以 nC_{23} 和 nC_{25} 占多数，反映了样品有机质多种来源的特征；③饱和烃气相色谱分布形态表现为以单峰形态为主；④泥岩具有较低的 $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22+}$ ，比值变化范围为0.29~1.19，均值为0.66，除一件样品大于1.0外，其他样品均小于

表1 羌塘盆地羌资3井索瓦组泥岩与沥青生物标志物参数

Table 1 Biomarker parameters of the Suowa Formation asphalts and mudstones from Well QZ3 in the Qiangtang Basin

野外编号	样品性质	主峰碳	OEP	CPI	Pr/Ph	Pr/nC17	Ph/nC18	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
SY-10	泥岩	25	1.24	0.99	0.52	0.96	0.91	0.48	0.56	0.58	0.18	0.30	0.51	24.54	23.31	52.15
SY-21	泥岩	25	1.10	1.07	0.58	0.71	0.96	0.29	0.45	0.63	0.17	0.46	0.55	50.22	23.48	26.30
SY-241	泥岩	25	1.08	1.06	0.6	0.75	0.92	0.50	0.57	0.54	0.14	0.42	0.42	38.25	19.88	41.87
SY-25	泥岩	23	1.13	1.04	0.78	0.77	0.94	0.52	0.40	0.47	0.12	0.49	0.46	44.37	22.83	32.80
SY-30	泥岩	25	1.13	1.15	0.90	0.83	0.96	0.60	0.55	0.59	0.12	0.45	0.49	48.77	21.29	29.94
SY-31	泥岩	25	1.12	1.05	0.50	0.86	0.98	0.32	0.50	0.59	0.11	0.41	0.45	41.71	22.65	35.64
SY-32	泥岩	18	0.89	1.10	0.58	0.84	0.98	0.95	0.52	0.62	0.11	0.35	0.49	34.95	23.86	41.18
SY-34	泥岩	23	1.10	1.18	0.77	0.68	0.96	0.85	0.52	0.58	0.13	0.38	0.40	43.81	19.24	36.96
SY-41	泥岩	18	0.93	1.04	0.72	0.77	0.99	0.84	0.42	0.61	0.12	0.40	0.50	40.64	23.90	35.45
QZ-S ₁	沥青	18	0.91	1.24	0.82	0.73	0.80	1.12	0.56	0.59	0.22	0.41	0.45	39.47	21.35	39.18
QZ-S ₂	沥青	17	1.00	1.25	0.84	1.36	1.66	1.07	0.55	0.55	0.18	0.41	0.46	43.56	19.19	37.24
QZ-S ₃	沥青	18	0.81	1.15	0.64	0.91	0.93	1.00	0.57	0.62	0.12	0.33	0.44	41.34	20.76	37.90

注: $I = \sum nC_{21} / \sum nC_{22+}$; $II = Ts / (Ts + Tm)$; $III = C_{31}\alpha\beta 22S / (22R + 22S)$; $IV = \gamma$ 蜡烷/ C_{30} Hop; $V = C_{29}\alpha\alpha 20S / (20S + 20R)$; $VI = C_{29}\alpha\beta\beta / (\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha)$; $VII = 5\alpha - C_{27} / (5\alpha - C_{27} + 5\alpha - C_{28} + 5\alpha - C_{29}) (\%)$; $VIII = 5\alpha - C_{28} / (5\alpha - C_{27} + 5\alpha - C_{28} + 5\alpha - C_{29}) (\%)$; $IX = 5\alpha - C_{29} / (5\alpha - C_{27} + 5\alpha - C_{28} + 5\alpha - C_{29}) (\%)$ 。

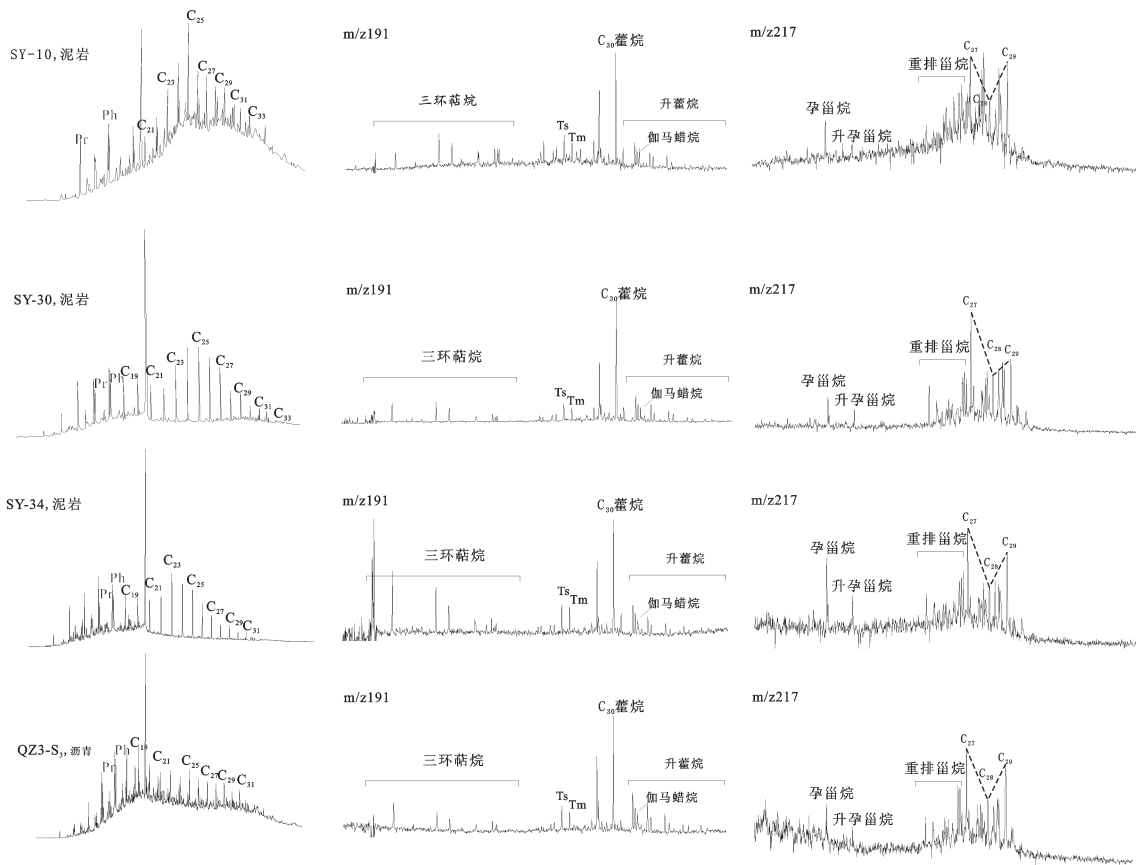


图3 羌塘盆地羌资3井泥岩饱和烃色谱和萜甾烷质量色谱图

Fig.3 Saturated hydrocarbon chromatogram, terpane and sterane mass chromatogram of the mudstones from Well QZ3 in the Qiangtang Basin

1.0, 说明重烃组分占有绝对优势。⑤奇偶优势比 OEP 值介于 0.4~1.24, 平均值为 1.04, 偶碳数优势并不明显(表 1), CPI 平均值 0.98~1.18, 平均 1.04, OEP 和 CPI 值基本趋于平衡值, 表明烃源岩均已进入成

熟阶段。

2.2 类异戊二烯烷烃

姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)是常用的古环境标志物, 经过大量研究认为姥植比(Pr/Ph)可以作为沉积环境

的重要标志^[10-13],氧化条件下显示姥鲛烷占优势,Pr/Ph值较高,而还原环境时,则显示植烷占优势,Pr/Ph值较低^[14-16]。羌资3井样品中均检测出了含量丰富的类异戊二烯烷烃,主要是姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)。各样品的姥植比(Pr/Ph)值均较低,介于0.50~0.90(表1),平均值为0.68,具有明显的植烷优势,揭示了有机质形成于较强的还原环境。另外,Pr/nC₁₇和Ph/nC₁₈分别为0.68~0.99和0.55~0.98,均值分别为0.81和0.92(表1),仅1件样品的值大于1,大部分样品显示正构烷烃占优势的特征。根据Pr/nC₁₇与Ph/nC₁₈的关系图谱可以得出,样品在主要分布在II型区域,总体反映母质的形成环境为还原环境(图4)。

2.3 萜类化合物

QZ-3井索瓦组样品中检出丰富的萜烷类化合物,主要有五环三萜、三环二萜、长链三环萜、四环萜及少量伽马蜡烷等(图3)。样品中五环三萜烷碳数分布范围小于C₃₅,C₃₅以后的藿烷一般难以检出。一般认为藿烷类来源于微生物细菌,同时高丰度的升藿烷还与沉积时期的强烈的细菌活动有关,羌资3井样品中藿烷类化合物含量较高,同时以C₃₀藿烷占据优势,升藿烷从C₃₁~C₃₅均有检出,表明了它们有机质存在微生物细菌的贡献。

三环萜烷主要来源于原生动物的细胞膜或藻类等低等水生生物,与咸水环境关系较为密切^[17-18]。羌资3井索瓦组样品中三环萜烷丰度较低,且数分布为C₁₉~C₂₉,通常以C₂₁或C₂₃为主峰(图3),反映出有

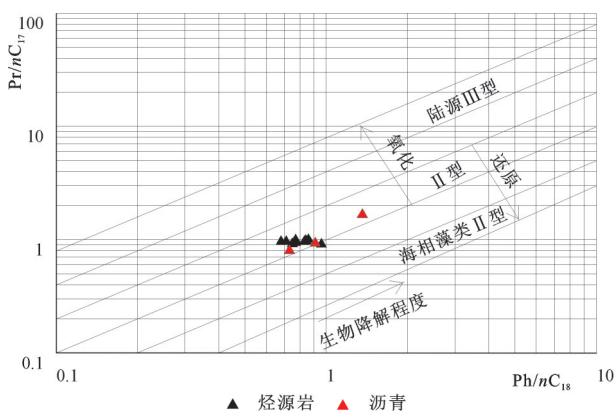


图4 羌塘盆地羌资3井泥岩与沥青Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈判别沉积环境(底图据文献[16])

Fig.4 Determination of organic matter type by Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈ of the Suowa Formation asphalts and mudstones from Well QZ3 in the Qiangtang Basin (base maps after reference [16])

机质母质中低等生物来源含量丰富且可能形成于一定盐度环境。

伽马蜡烷作为C₃₀五环三环萜一种,它的形成与水体分层与环境盐度关系密切^[12],有分层水体标志的纤毛虫是它的重要来源^[19-20],因此,伽马蜡烷常被当作指示沉积环境和盐度的可靠的指标。羌资3井索瓦组烃源岩中都检测出了少量的伽玛蜡烷,且伽玛蜡烷/C₃₀藿烷比值分布范围为0.11~0.18,平均0.13(表1),说明其烃源岩有机母质形成于具有一定盐度的还原环境。

2.4 甾类化合物

一般情况下,甾烷分子结构相对稳定,不同碳数的甾烷不可能发生明显相互转化。因此,甾类化合物常作为研究有机质母质类型及热演化程度的重要参数,羌资3井索瓦组样品中鉴定出的甾烷主要有C₂₇、C₂₈和C₂₉规则甾烷、孕甾烷,还含有一定量的重排甾烷(图3)。其中C₂₇、C₂₈和C₂₉规则甾烷的相对含量分别为24.54%~50.22%、19.19%~23.9%和26.30%~52.15%(表1),平均值分别为40.97%、21.81及37.22%,其均值相对含量明显为C₂₇>C₂₉>C₂₈,在图谱上分布特征呈不对称“V”字型分布(图3)。C₂₇规则甾烷含量高说明有机质主要来源于藻类等低等水生

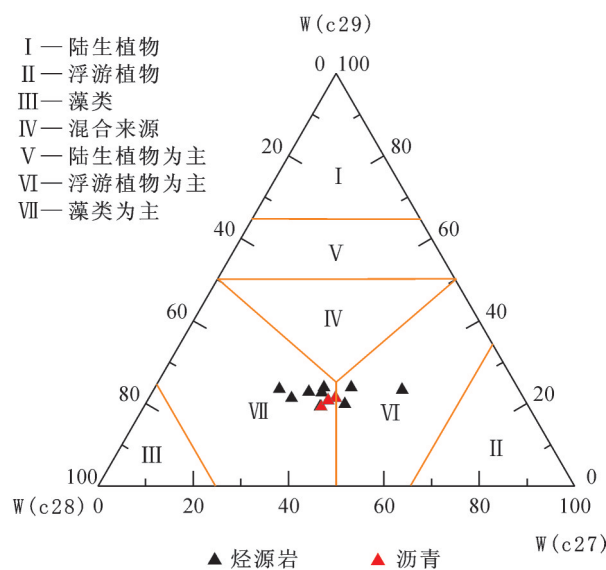


图5 羌资3井索瓦组沥青与泥岩C₂₇、C₂₈、C₂₉规则甾烷相对含量三角图

Fig.5 Triangular diagram of C₂₇, C₂₈ and C₂₉ regular sterane of the Suowa Formation asphalts and mudstones from Well QZ3 in the Qiangtang Basin

生物, 陆生高等生物输入相对较弱。样品中 $\Sigma(C_{27}+C_{28})/\Sigma C_{29}$ 的比值为0.92~2.80, 平均为1.76, 也反映出有机母质中低等水生生物贡献大的特点^[21-22]。同时, 结合 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷三者之间的关系认为, 样品投点均落在以代表藻类(VII)与浮游植物为主(VI)的区域内, 说明了它们的母质来源于藻类、浮游植物等水生生物的混合型来源(图5)。因此, 在索瓦组沉积期, 盆地内生长的各种水生浮游植物、藻类等死亡后在缺氧条件下堆积、腐烂, 为泥岩沉积提供了大量的有机质来源, 也为沥青的最终形成提供了物质基础。

综合上述分析认为, 羌资3井样品形成于还原条件下且具备一定盐度的环境中, 而其有机母质的构成以藻类、浮游植物等水生生物的混合型为特征, 尚不能确定是否有高等植物输入。

3 生物标志物与有机质成熟度的关系

羌资3井索瓦组泥岩镜质体反射率(R_o)质介于1.21%~1.78%, 平均值1.5%(图2), 处于有机质演化程度较高的阶段。纵向上泥岩镜质体反射率随深度的增加而增加, 说明泥岩有机质正常的演化过程。羌资3井奇偶优势比 OEP 值基本上接近1.0, 介于0.40~1.24, 平均值为1.04; CPI 平均值0.98~1.18, 平均1.04左右, 表明烃源岩均已进入成熟阶段。

有机质演化过程一般伴随着甾烷、萜烷分子发生“异构化反应”, 如藿烷的 $\beta\beta$ 型向 $\beta\alpha$ 型和 $\alpha\beta$ 型转换、甾烷的 $\alpha\alpha\alpha$ 型向 $\alpha\beta\beta$ 型, 侧链上R型向R+S型的差向异构化等^[10]。因此, 常用藿烷 $C_{31}\alpha\beta 22S/(22S+22R)$ 、甾烷 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 等不同构型化合物的相对丰度来判断有机质成熟度。有研究认为, 当 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 的数值约为0.25时, 进入生油门限, 当它们各自达到平衡状态($C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R))=0.52\sim 0.55$, $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)=0.7$)时, 此时有机质处于生油高峰时期^[10-12]。羌资3井索瓦组样品中甾烷 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 分别介于0.30~0.49和0.40~0.54, 平均值分别为0.40和0.47, 均大于生油门限值且未达到它们的热演化平衡, 说明有机质处于成熟阶段; 纵向上, 两者的分布特征也较为近似(表1), 数值变化范围较小, 说明它们具有一致或相似的热演化程度。同

时, $Ts/(Tm+Ts)$ 比值也是最常用研究的母质热演化程度的指标^[10-12], Tm 与热演化相关性密切, 而 Ts 则是相对稳定的化合物, 一般情况下, 随热演化程度的增加 $Ts/(Tm+Ts)$ 值逐渐升高, 约在生油阶段晚期该值达到平衡值。羌资3井样品中 $Ts/(Tm+Ts)$ 值为0.4~0.57(表1), 平均值0.51; $C_{31}\alpha\beta 22S/(22S+22R)$ 也常作为研究母质热演化程度的指标, 样品 $C_{31}\alpha\beta 22S/(22S+22R)$ 含量为0.47~0.64, 平均值为0.58。 $Ts/(Tm+Ts)$ 与 $C_{31}\alpha\beta 22S/(22S+22R)$ 均显示有机质已接近生油高峰阶段。上述研究结果显示, 索瓦组样品演化程度处于接近生油高峰阶段。

4 讨论

索瓦组泥岩在埋藏过程中, 达到生油门限以后有机质开始转化为油气, 其生物标志化合物依然保持着烃源岩沉积时的特征, 因此, 研究羌资3井索瓦组泥岩与沥青的生物标志物参数的异同, 可以确定它们是否具备亲缘关系。研究结果显示, 羌资3井索瓦组泥岩与沥青的饱和烃质量色谱图谱($m/z 191$ 、 $m/z 217$)分布具有一定的相关性(图3), 生物标志化合物参数特征也较为相似(表1, 图6)。泥岩与沥青类异戊二烯烷烃、伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷、规则甾烷 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 等参数表明它们母质形成沉积环境与母源输入具有较好的一致性(图4, 图5), 反映了沥青与泥岩之间具有亲缘关系的特点。同时, 泥岩与沥青中反映成熟度的生物标志化合物参数 $Ts/(Ts+Tm)$ 、 $C_{31}\alpha\beta 22S/(22S+22R)$ 、 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 在数值上差异也较小(表1, 图6), 表明羌资3井沥青与泥岩处于相同的成熟演化阶段。

综上所述认为, 羌资3井泥岩与沥青无论是母质类型、沉积环境及成熟度参数均表现出较好的亲缘关系(图6), 沥青很有可能是索瓦组泥岩的达到生油门限以后生成的油气遭到破坏或运移通道中油气的残留部分, 当其轻质组分逸失以后, 形成了如今的沥青。因此, 泥岩与沥青的亲缘关系反映了该套泥岩具备较好的生烃的能力。

5 结论

(1)羌塘盆地羌资3井泥岩和沥青中富含正构烷烃、类异戊二烯烷烃、萜类化合物及甾类化合物。碳数分布比较完整, 从 $nC_{10}\sim nC_{35}$ 均有分布, 表现为

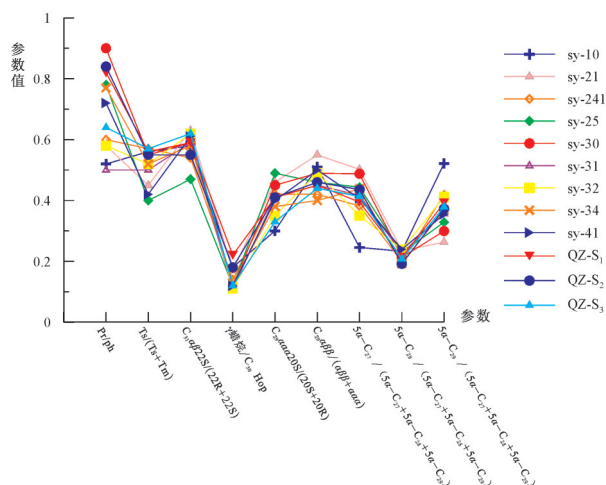


图6 羌塘盆地羌资3井索瓦组沥青与泥岩生物标志化合物参数指纹图

Fig.6 Comparison of biomarkers index fingerprints of the Suowa Formation mudstones and asphalts from Well QZ3 in the Qiangtang Basin

以单峰形态为主;植烷优势非常明显, C_{30} 藿烷占据优势, 普遍存在伽马蜡烷, 规则甾烷为主, 其含量且较为明显的显示甾烷 $C_{27}>$ 甾烷 $C_{29}>$ 甾烷 C_{28} 。

(2)羌塘盆地羌资3井泥岩和沥青生物标志物特征说明其母质来源于藻类、浮游植物等水生生物的混合, 尚不能确定是否有高等植物混合输入。其母质来源形成于具有一定盐度的还原环境, 有利于有机质的埋藏和保存。

(3)镜质体反射率和生物标志化合物均显示羌资3井泥岩有机质处于或接近生油高峰阶段。

(4)羌塘盆地羌资3井泥岩和沥青生物标志化合物特征说明它们具备一定的亲缘关系, 沥青可能是泥岩生成的油气轻组分逸失的产物, 反映了该泥岩具备较好的生烃能力, 这对于北美羌塘坳陷侏罗系油气资源研究具有非常积极的意义。

致谢: 项目在实施过程中自始至终得到了成都地质调查中心王剑研究员、谭富文研究员的指导与帮助; 西藏地勘局地热地质大队在钻井中也给予了大力支持; 在文章撰写过程中与陈文彬高级工程师进行了多次有益的探讨; 同时, 审稿专家及编辑部杨艳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] 杜佰伟, 刘贞才, 彭清华, 等. 青藏高原羌塘盆地托纳木地区雪山

组大规模沥青脉的发现[J]. 地质通报, 2010, 29(12): 1881-1883.

Du Baiwei, Liu Zhencai, Peng Qinghua, et al. Discovery of the extensive asphalt veins from the Xueshan Formation in the Tuonamu area, Qiangtang basin, northern Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(12): 1881-1883(in Chinese with English abstract).

[2] 金玮, 王成善, 伍新和, 等. 藏北羌塘盆地托纳木地区油气成藏条件[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(5): 530-534.

Jin Wei, Wang Chengshan, Wu Xinhe, et al. Condition of hydrocarbon accumulation in Tuonamu area in Qiangtang Basin, northern Tibet[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(5): 530-534(in Chinese with English abstract).

[3] 李亚林, 王成善, 伍新和, 等. 藏北托纳木地区发现上侏罗统海相油页岩[J]. 地质通报, 2005, 24(8): 783-784.

Li Yalin, Wang Chengshan, Wu Xinhe, et al. Discovery of Upper Jurassic marine oil shale in the Tuonamu area, northern Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(8): 783-784(in Chinese with English abstract).

[4] 曾胜强, 王剑, 付修根, 等. 北羌塘盆地长蛇山油页岩剖面烃源岩生烃潜力及沉积环境[J]. 中国地质, 2013, 40(6): 1861-1871.

Zeng Shengqiang, Wang Jian, Fu Xiugen, et al. Hydrocarbon generation potential and sedimentary environment for the source rocks along the Changshe Mountain oil shale section in North Qiangtang Basin[J]. Geology in China, 2013, 40(6): 1861-1871(in Chinese with English abstract).

[5] 谭富文, 王剑, 李永铁, 等. 羌塘盆地侏罗纪末—早白垩世沉积特征与地层问题[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 400-405.

Tan Fuwen, Wang Jian, Li Yongtie, et al. Late Jurassic - Early Cretaceous strata and their sedimentary characteristics in the Qiangtang basin, northern Tibet[J]. Geology in China, 2004, 31(4): 400-405(in Chinese with English abstract).

[6] 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.

Wang Jian, Tan Fuwen, Li Yalin, et al. The Potential of the Oil and Gas Resources in Major Sedimentary Basin on the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese).

[7] 谭富文, 王剑, 王小龙, 等. 西藏羌塘盆地——中国油气资源战略选区的首选目标[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 16-21.

Tan Fuwen, Wang Jian, Wang Xiaolong, et al. The Qiangtang Basin in Xizang as the target area for the oil and gas resources in china[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(1): 16-21(in Chinese with English abstract).

[8] 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.

Wang Jian, Ding Jun, Wang Chengshan, et al. Investigation and

- Evaluation of Petroleum Resources Strategic Area Selection in Qinghai-Tibet plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009(in Chinese).
- [9] 孙忠军, 杨少平, 李亚林, 等. 利用油气化探技术评价青藏高原羌塘盆地海相碳酸盐岩地区构造的含油气性[J]. 地质通报, 2009, 28(11): 1650-1655.
- Sun Zhongjun, Yang Shaoping, Li Yalin, et al. The assessment of petroleum resource potential of marine carbonate region using surface geochemical exploration technique in Qiangtang basin, Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(11): 1650-1655 (in Chinese with English abstract).
- [10] K.E.彼得斯, J.M.莫尔多万. 生物标志化合物指南—古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 译. 北京: 石油工业出版社, 1995: 100-190.
- Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments[M]. Jiang Naihuang, Zhang Shuichang, Lin Yonghan, (trans.). Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 100-190 (in Chinese).
- [11] 王铁冠. 试论我国某些原油与生油岩中的沉积环境生物标志物[J]. 地球化学, 1990, 19(3): 256-263.
- Wang Tieguan, A contribution to some sedimentary environmental biomarkers in crude oils and source rocks in China[J]. Geochimica, 1990, 19(3): 256-263(in Chinese with English abstract).
- [12] Moldowan J.M., Carlson R M K., et al. Rearranged hopanes in sediments and petroleum[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55: 3333-3353.
- [13] Fu Xiugen, Wang Jian, Zeng Yuhong, et al. Geochemical and palynological investigation of the Shengli River marine oil shale (China): implications for paleoenvironment and paleoclimate[J]. Int. J. Coal. Geol, 2009, 78(3): 217-224.
- [14] 傅家漠, 盛国英, 许家友, 等. 应用生物标志化合物参数判识古沉积环境[J]. 地球化学, 1991, (1): 1-12.
- Fu Jiemo, Sheng Guoying, Xu Jiayu, et al. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments[J]. Geochimica, 1991 (1): 1-12(in Chinese with English abstract).
- [15] Powell T, Mckirdy D M. Relationship between Ratio of Pristane to Phytane, Crude Oil Composition and Geological Environments in Australia[J]. Nature, 1973, 243(12): 37-39.
- [16] Shanmugam G. Significance of coniferous rain forests and related organic matter in generating commercial quantities of oil, Gippsland Basin, Australia[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1985, 69(8): 1241-1254.
- [17] Volkman J K, Banks M R, Denwer K, et al. Biomarker composition and depositional setting Tasmanite oil shale from northern Tasmania, Australia [C]//14th International Meeting on Organic Geochemistry. Paris, 1989: 168.
- [18] Philp Rp. Biological markers in fossil fuel production[J]. Mass Spectrometry Reviews, 1985, 4(1): 1-54.
- [19] 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(in Chinese with English abstract).
- [20] 杨平, 汪正江, 印峰, 等. 麻江古油藏油源识别与油气运聚分析: 来自油气地球化学的证据[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 982-994.
- Yang Ping, Wang Zhengjiang, Yin Feng, et al. Identification of oil resource and analysis of hydrocarbon migration and accumulation of Majiang paleo-reservoir: Evidence from oil-gas geochemistry[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 982-994(in Chinese with English abstract).
- [21] 刘招君, 孟庆涛, 柳蓉, 等. 抚顺盆地始新统军屯组油页岩地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2340-2350.
- Liu Zhaojun, Meng Qingtao, Liu Rong, et al. Geochemical characteristics of oil shale of Eocene Jijuntun Formation and its geological significance, Fushun basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(10): 2340-2350(in Chinese with English abstract).
- [22] 林家善, 谢渊, 刘建清, 等. 黔中隆起北部瓮安古油藏储层的新发现及其油源分析[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 995-1001.
- Lin Jiashan, Xie Yuan, Liu Jianqing, et al. New findings and oil-source analysis of the reservoir in Weng'an paleo-oil accumulation on the northern margin of the Qianzhong Uplift[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 995-1001(in Chinese with English abstract).