

文章编号: 0253-2697(2014)01-050-08 DOI:10.7623/syxb201401005

伊犁盆地二叠系烃源岩地球化学特征及其地质意义

谢其锋¹ 周立发² 刘 羽¹

(1. 福州大学紫金矿业学院 福建福州 350108; 2. 西北大学地质学系 陕西西安 710069)

摘要: 虽然伊犁盆地在经历不同程度油气勘探后取得了一系列成果,但一直没有突破性进展,为此,在结合前人研究基础上,通过干酪根、饱和烃气相色谱、饱和烃质谱和碳同位素等分析技术,综合评价二叠系烃源岩有机质成熟度、有机质类型和沉积环境。研究表明:塔姆其萨依组烃源岩属于半深湖—深湖相沉积,具单一有机质来源,有机质类型以 II₁ 型为主,有机质成熟度适中,为区内较有利烃源岩;晓山萨依组烃源岩属于海陆交互相沉积,具多种有机质来源,有机质处于高成熟—过成熟阶段,为区内有利烃源岩。

关键词: 烃源岩;有机质成熟度;有机质类型;沉积环境;二叠系;伊犁盆地

中图分类号: TE112.113 **文献标识码:** A

Geochemistry and geological signification of Permian source rocks in Yili Basin

Xie Qifeng¹ Zhou Lifan² Liu Yu¹

(1. College of Zijin Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: Although a series of achievements has been obtained through different degrees of exploration, there remains no obvious breakthrough in oil-gas exploration in the Yili Basin. In such cases, combined with previous studies, a series of field geological survey for hydrocarbon source rocks through collecting hydrocarbon source rock are carried out samples from typical geological sections, and comprehensively evaluated the maturity, type and depositional environment of Permian hydrocarbon source rocks by analyzing kerogen and measuring saturated hydrocarbons and carbon isotopes of source rocks with gas chromatography and mass spectrometer. The results indicated that source rocks in the Tamuqisayi Formation are semi-deep and deep lake deposits and their organic matter is mainly type II₁, with a single source and moderate maturity, being a more favorable source rock in the study area. While source rocks in the Xiaoshansayi Formation are paralic deposits, with a variety of organic sources and at a highly mature or overmature stage, being also a favorable source rock in the study area.

Key words: source rock; organic maturity; organic type; depositional environment; Permian; Yili Basin

1 地质概况

伊犁盆地位于中国新疆西部边陲,行政区划上隶属于伊犁哈萨克自治州,面积约 $2.85 \times 10^4 \text{ km}^2$;大地构造上归属于天山造山带中的伊犁—中天山微地块,是天山造山带中的山间盆地。盆地北靠博罗霍洛山和科古琴山,南临哈尔克山和卡特斯格山^[1]。盆地西部与哈萨克斯坦及吉尔吉斯斯坦接壤,东部收敛于南、北天山接合部,呈西宽东窄、向西开口的三角形(图 1)。

伊犁盆地是中、新元古代变质基底、石炭纪裂谷火山岩系变形基底和二叠纪以来的沉积盖层 3 个不同成

盆期原型盆地叠置的产物。二叠系自下而上包括下统乌郎组、中统晓山萨依组、哈米斯特组和塔姆其萨依组以及上统巴斯尔干组。根据地层发育和出露情况,二叠系地层可划分为 5 个区:①温泉地层小区,下统为陆相基性至酸性火山喷发岩,上统为陆相碎屑岩,顶部为红色岩相;②博罗霍洛山地层小区,仅有小面积出露在最东段,为山间盆地型堆积;③伊宁地层小区,广泛分布,下统为火山岩系,上统为山麓或河湖相碎屑岩;④巴伦台地层小区,没有地层出露;⑤科古琴山地层小区,同样无地层出露(图 2)。

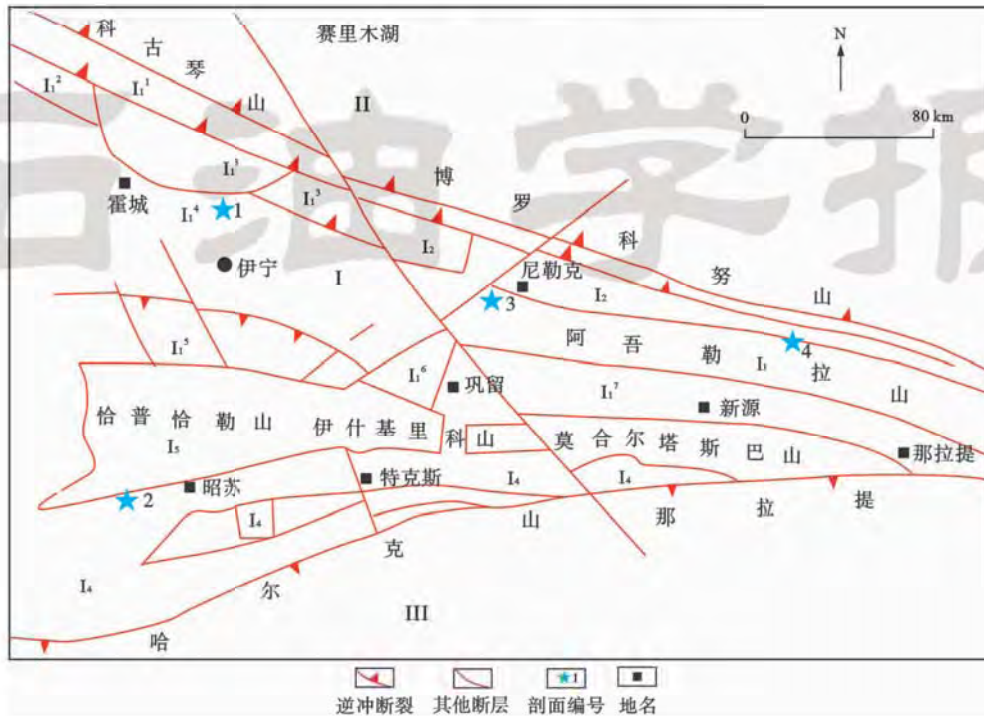
伊犁盆地二叠系下部地层厚度横向变化较大,上部

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214601,2002CCC01400)、全国油气资源战略选区项目(XQ-2007-02)、福建省教育厅科技项目(JA13057)和福州大学人才基金项目(2013-XY-31)资助。

第一作者及通信作者: 谢其锋,男,1981年9月生,2003年获焦作工学院学士学位,2012年获西北大学博士学位,现为福州大学紫金矿业学院讲师,主要从事矿产普查与勘探专业的教学与科研工作。Email: xieqf@fzu.edu.cn

地层厚度则相对稳定。二叠系可见有油浸砂岩、沥青、沥青脉、晶洞沥青和天然气等。伊参 1 井在钻井过程中发现有油气显示,宁 1 井、宁 4 井则获得了低产油气流。这些油气显示说明研究区曾经发生过油气的生成、运移和聚集。近期,该区的研究工作主要集中在固体矿产资

源调查上,而对油气资源的评价则相对较为薄弱,仅局限于部分地区或单井上,且缺乏对二叠系烃源岩的精细研究^[2-4]。为此,通过典型野外地质剖面 and 钻井分析数据,综合评价伊犁盆地二叠系烃源岩,并依此优选出有利烃源岩分布区,为研究区的油气资源评价提供参考和指导。



注:1 为潘津布拉克剖面,2 为阿克苏剖面,3 为群吉萨依剖面,4 为阿克苏剖面;I 为伊犁盆地;I₁ 为伊宁—巩乃斯叠合断拗陷, I₁¹ 为北缘断坡带, I₁² 为北缘同生断陷带, I₁³ 为霍城断凸区, I₁⁴ 为中央注陷带, I₁⁵ 为南部斜坡带和南缘逆冲断阶带, I₁⁶ 为雅玛渡—白石墩凸起, I₁⁷ 为巩乃斯凹陷; I₂ 为尼勒克断陷; I₃ 为阿吾勒拉斯块隆起; I₄ 为昭苏断陷; I₅ 为恰普恰勒山逆冲推覆山地; II 为科古琴—博罗科努早古生代陆内造山带; III 为哈尔克—那拉提早-中古生代活动陆缘碰撞带。

图 1 伊犁盆地构造单元划分
Fig. 1 Structural units division of Yili Basin

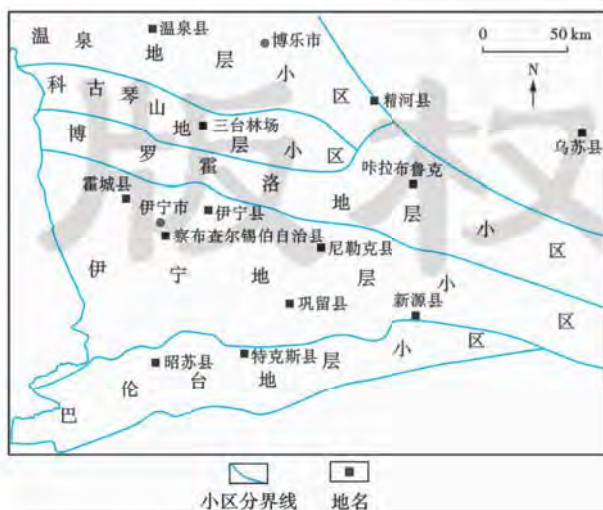


图 2 伊犁盆地二叠系分区
Fig. 2 Permian strata division in Yili Basin

2 样品采集及测试

样品主要采自野外露头 and 钻井岩屑。样品的分析测试在大陆动力学国家重点实验室完成。利用盐酸和氢氟酸分离干酪根,用甘油将获得的干酪根湿样制成薄片,用荧光和透射光照射,检测有机质显微组分。烘干后的样品用有机玻璃粉压制成光片,在油浸状态下测定其抛光后的反射率。采用 YS 全自动多功能抽提仪测定氯仿沥青“A”含量,然后利用柱状层析分离族组分,气相色谱分析仪为 HP6890,色谱柱为 HP-5 型毛细管,载体为氦气,进样口温度为 300℃,分流比 30:1,升温程序为:柱始温 80℃,升温速率 5℃/min,柱终温 310℃,恒温 18 min,检测器温度为 320℃^[5]。碳同位素组成由多接收器等离子质谱仪测试。

3 地球化学特征

3.1 有机质丰度

塔姆其萨依组烃源岩主要为灰—深灰色碳质泥岩,夹劣质煤线,有机碳含量(TOC)为0.07%~30.43%,平均2.83%;生烃潜量($S_1 + S_2$)为0.02~17.35 mg/g,平均8.89 mg/g。晓山萨依组烃源岩主要为灰黑色泥岩,夹少量煤线,TOC为0.08%~1.22%,平均0.45%; $S_1 + S_2$ 为0.06~2.57 mg/g,平均0.41 mg/g。

塔姆其萨依组烃源岩的氯仿沥青“A”均值为1.0%,其中潘津布拉克剖面均值为3.2%。晓山萨依组烃源岩的氯仿沥青“A”均值为0.02%,其中群吉萨依地区最高,其他地区都低于烃源岩下限标准。

3.2 有机质类型

前人对有机质类型已开展过研究,认为烃源岩有机质类型以腐殖型干酪根为主^[5]。

本次采集的野外露头样品和宁3井岩屑样品分析结果显示,最高热解峰温(T_{max})为426~461℃,平均444℃,处于凝析油阶段(相当于 R_o 为1.0%~1.5%)。氢指数(HI)为11.63~217.24 mg/g,平均39.14 mg/g;氧指数(OI)为26.40~102.27 mg/g,平均56.16 mg/g。从图3可以看出,伊犁盆地二叠系烃源岩有机质类型以Ⅲ型为主,少量为Ⅱ₂型。

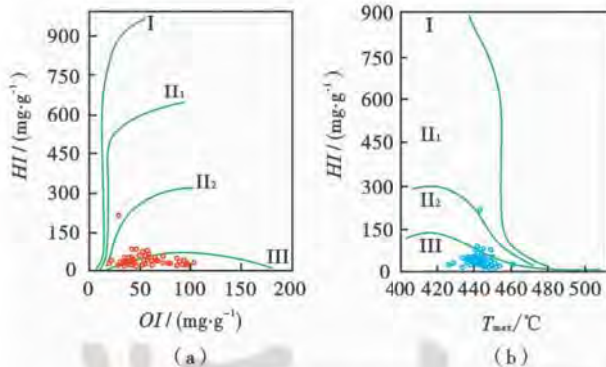


图3 伊犁盆地二叠系烃源岩有机质类型

Fig. 3 Organic matter type of Permian source rocks in Yili Basin

甾烷的分布形式可反映生源特征。陆源高等植物有机质具有较高的 C_{29} 甾烷,在三类规则甾烷的20R构型组成中,甾烷呈反“L”型分布;而低等水生生物有机质具有较高的 C_{27} 甾烷,甾烷呈“V”型或偏“V”型分布^[6]。从图4可以看出, C_{29} 甾烷含量较高,说明有机质主要来源于陆源高等植物,为腐殖型或偏腐殖型。

综合以上分析,塔姆其萨依组、晓山萨依组分别属于好烃源岩和中等烃源岩,区域上潘津布拉克地区优于群吉萨依地区;有机质类型以Ⅲ型为主,少量为Ⅱ₂型,有机质主要来源于腐殖型或偏腐殖型陆源高等植物。

3.3 有机质成熟度

虽然烃源岩成熟过程中受生烃母质及后生作用影响较大,但抗生物降解能力相对较强,因此可利用不同三降藿烷的比值以及三环藿烷与 $17\alpha(H)$ -藿烷的比值来反映有机质成熟度的相对大小。通过应力分子力学对6种藿烷的形成进行了分析,在烃源岩有机质后生作用阶段, C_{27} - $17\alpha(H)$ -三降藿烷(T_m)稳定性比 C_{27} - $18\alpha(H)$ -三降藿烷(T_s)要差,随着原油成熟度的增加, $T_s/(T_s + T_m)$ 的比值也随之增大^[7]。三环藿烷/ $17\alpha(H)$ -藿烷比值随着有机质成熟度的增加不断升高^[8],其原因是在成熟度升高时,相应干酪根产生的三环藿烷比藿烷多^[9]。在加热水解过程中,原油中三环藿烷/ $17\alpha(H)$ -藿烷比值排出后会增大,这可能是由于二者运移速度及岩石对其中一方吸附力改变的缘故。用氧化铝柱模拟石油运移的实验表明,三环藿烷和5,14,17(H)-甾烷比藿烷流出要快,因此该参数也受到油气运移的影响^[8]。

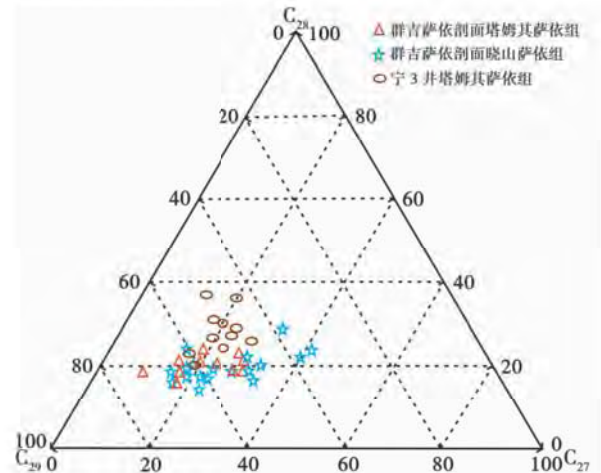


图4 伊犁盆地二叠系烃源岩三类规则甾烷分布

Fig. 4 Regular steranes distribution of Permian hydrocarbon source rocks in Yili Basin

在潘津布拉克地区,塔姆其萨依组烃源岩的三环藿烷/ $17\alpha(H)$ -藿烷比值最低,平均仅为0.13;而 $T_s/(T_s + T_m)$ 比值虽同样具有此特点,但其差异性没有三环藿烷/ $17\alpha(H)$ -藿烷比值明显(图5),这说明潘津布拉克地区二叠系烃源岩有机质成熟度最低。

伊犁盆地各个地区二叠系烃源岩有机质成熟度整体差别不大,对比各个地区的 R_o 可以发现,晓山萨依组的 R_o 较高,为0.7%~2.5%,平均1.9%,处于高成熟—过成熟阶段;而塔姆其萨依组的 R_o 较低,为0.6%~1.4%,平均0.9%,处于低成熟—成熟阶段。晓山萨依组成熟度较高,这可能由于剖面位于当时的沉积中心,沉积厚度较大,因而热演化程度较高;另外,也可能是海西末期岩浆侵入,从而使得沉积盆地局部地温梯度升高所致。

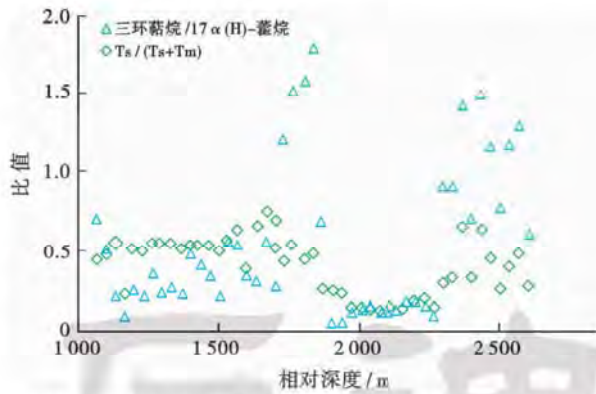
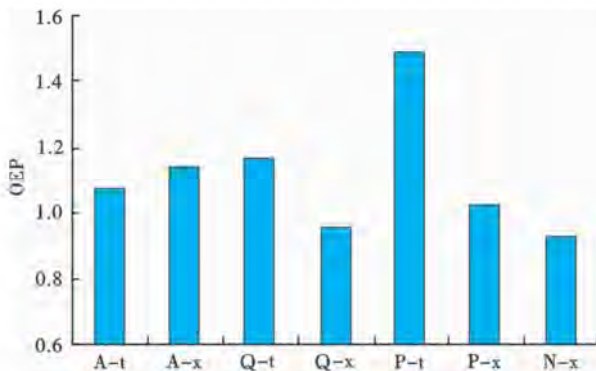


图 5 伊犁盆地二叠系烃源岩饱和烃不同地化指标

Fig. 5 Different geochemical ratios of saturated hydrocarbon of Permian source rocks in Yili Basin

伊犁盆地二叠系烃源岩奇偶优势(OEP)值介于 0.65~2.20。伊宁凹陷东部晓山萨依组、中部宁 3 井塔姆其萨依组 OEP 平均为 1.0,具有较高的成熟度(图 6)。OEP 值在不同地区存在一定差异。在伊宁凹陷东部群吉萨依和潘津布拉克地区,塔姆其萨依组 OEP 平均值分别为 1.17 和 1.49, R_o 平均为 0.6% 和 0.9%,显示 OEP 值与 R_o 值都相对较低,且具有较好的一致性,因此,可通过 OEP 和 R_o 值来探讨有机质成熟度。

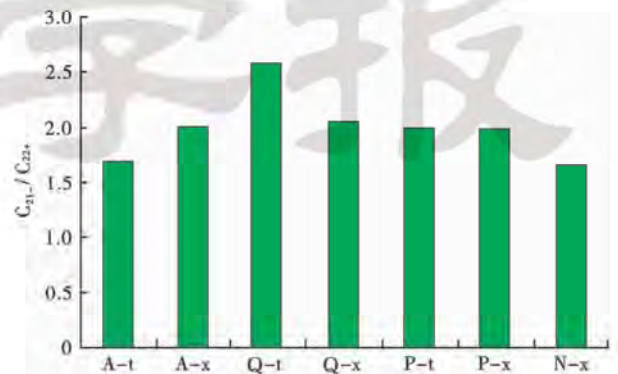


注: A-t 为阿克苏剖面塔姆其萨依组, A-x 为阿克苏剖面晓山萨依组, Q-t 为群吉萨依剖面塔姆其萨依组, Q-x 为群吉萨依剖面晓山萨依组, P-t 为潘津布拉克剖面塔姆其萨依组, P-x 潘津布拉克剖面晓山萨依组, N-x 为宁 3 井晓山萨依组。

图 6 伊犁盆地二叠系烃源岩奇偶优势指数

Fig. 6 OEP values of Permian hydrocarbon source rocks in Yili Basin

C_{21-}/C_{22+} 轻重比是反映有机质成熟度的重要参数,随着成熟度的增加,其轻重比也逐渐增大。群吉萨依地区晓山萨依组和塔姆其萨依组 C_{21-}/C_{22+} 轻重比平均分别为 2.05 和 2.58;伊宁凹陷东部晓山萨依组和塔姆其萨依组 C_{21-}/C_{22+} 轻重比平均分别为 1.99 和 2.36,各个组的均值相差不大,显示其成熟度均较高(图 7),其中,塔姆其萨依组有机质成熟度要高于晓山萨依组。



注:地层代号(A-t, A-x, Q-t, Q-x, P-t, P-x, N-x)同图 6。

图 7 伊犁盆地二叠系烃源岩 C_{21-}/C_{22+} 轻重比

Fig. 7 Ratios of C_{21-}/C_{22+} of Permian hydrocarbon source rocks in Yili Basin

芳烃是烃源岩抽提物的重要组分,通过对其组成、分子结构、热稳定性的研究,可以获取烃源岩生源环境、有机质类型及原油成熟度等方面的信息^[10-11]。二叠系野外露头样品中,芳烃仅约占总烃的 20%,检测出的芳烃化合物也较少,仅在塔姆其萨依组部分样品中分离出少量芳烃化合物。芳烃中以萘、菲及硫芴三大系列为主,未检测出氧芴、联苯等系列化合物(表 1)。

萘、菲、芘、蒽、苊系列化合物都是用来判断烃源岩有机质沉积环境的重要参数。低萘系列化合物在陆相原油中远低于海相原油^[12],菲、芘、蒽、苊系列化合物都是典型的以高等植物为母源的化合物^[13-14]。群吉萨依地区塔姆其萨依组萘含量稍高,平均 7.93%;菲含量平均高达 53.52%,远高于海相原油的 30%;芘含量最小可为 3.51%,芘含量最小为 1.57%,均指示了其母质来源为陆相高等植物。

表 1 伊犁盆地二叠系烃源岩芳烃组成

Table 1 Composition of aromatics from Permian hydrocarbon source rocks in Yili Basin

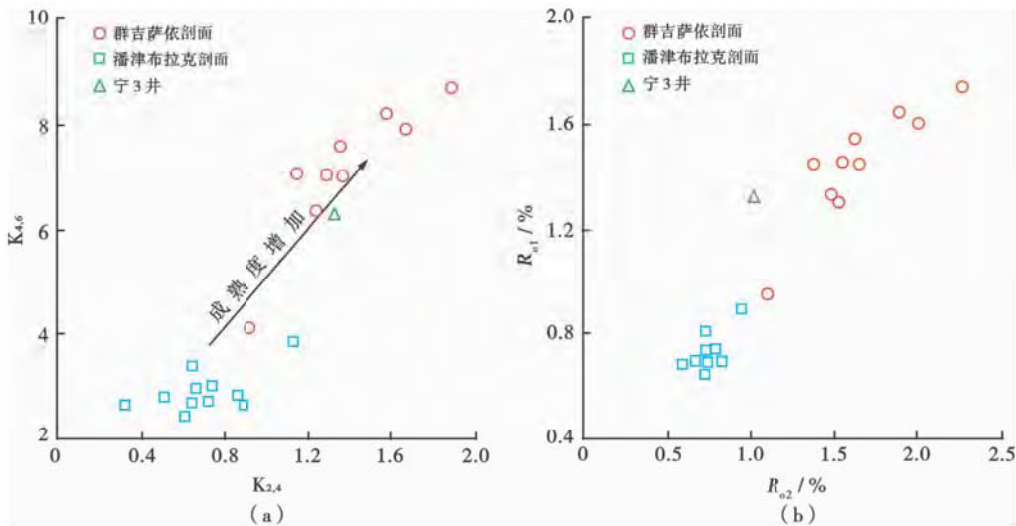
地区/井号	萘/%	菲/%	硫芴/%	芴/%	苊/%	苯并萘并噻吩/%	蒽烯/%	芘/%	其他/%
群吉萨依	7.93	53.52	2.94	3.98	3.51	0.65	0.16	1.57	27.20
潘津布拉克	3.39	13.49	1.65	0.77	3.58	0.24	0.52	2.23	74.16
宁 3 井	1.38	43.53	1.67	0.70	11.21	2.46	0.21	8.48	32.60

芳烃中三芴系列化合物(硫芴 SF-二苯并噻吩、氧芴 OF-二苯并呋喃、芴-吡咯类化合物)被认为是烃源岩沉积环境的良好指标,较高含量的芴和氧芴指示陆相淡水及海相沉积环境,也可指示母源来源于相同母质^[15]。研究区样品中硫芴含量最高仅 2.94%,而海相原油硫芴含量约为 20%,未检测出氧芴,这说明二叠系烃源岩的母质来源属于同一陆相高等植物。

甲基二苯并噻吩 4 个异构体中,2-M、3-M、4-M 二苯并噻吩热稳定性要强于 1-M 二苯并噻吩,其比值与成熟度相关性较好,但其在生油窗内同步增加达到生油高峰后,比值将发生逆转并出现一定程度的变化^[16]。在伊宁凹陷东部群吉萨依地区,甲基二苯并噻吩的 2 个成熟度参数 MDR 及 MDR-4 平均值分别为 3.71 和 2.64,而在凹陷北部潘津布拉克地区,其平均值分别为 0.89 和 0.78,在凹陷中部宁 3 井,其平均值

分别为 5.37 和 1.17。MDR 及 MDR-4 分布特征显示,伊犁盆地伊宁凹陷东部成熟度整体较高,中部次之,北部最差。

芳烃色质烷基二苯并噻吩系列分析显示, $K_{4,6}$ 参数与 $K_{2,4}$ 参数在伊宁凹陷东部群吉萨依地区平均分别为 6.23 和 3.40,在潘津布拉克地区平均分别为 1.12 和 0.84,中部宁 3 井平均分别为 5.35 和 1.57 [图 8(a)]。 $K_{4,6}$ 所反映 R_o 在东部、北部及中部分别为 1.44%、0.73%、1.32%; $K_{2,4}$ 值所反映的 R_o 在凹陷东部、北部及中部分别为 1.65%、0.75%、1.01% [图 8(b)]。从各地区的 R_o 分布来看,伊宁凹陷东部、中部的 R_o 较高,大约 1.6% 以上,达到高演化阶段;而北部 R_o 仅 0.8%,尚未达到生油高峰阶段。因此,无论是 $K_{2,4}$ 还是 $K_{4,6}$ 参数,整体与 R_o 的评价具有较好的一致性。



注: R_{o1} 代表的是 $K_{4,6}$ 所反映 R_o 值; R_{o2} 代表的是 $K_{2,4}$ 所反映 R_o 值。

图 8 伊犁盆地原油芳烃 $K_{4,6}$ 、 $K_{2,4}$ 以及成熟度相互关系

Fig. 8 $K_{4,6}$, $K_{2,4}$ and maturity of aromatics from crude oil in Yili Basin

3.4 有机质沉积环境

3.4.1 饱和烃组成

饱和烃组成特征是判断烃源岩成熟度和有机质来源的标志之一,同时也可作为油-源对比的“指纹”化合物,其中碳数分布形式、类异戊二烯烷烃分布等是有效的地球化学对比指标^[17-18]。具有亲缘关系的油气、烃源岩常有相似的碳数分布曲线,但由于饱和烃易遭受生物降解而影响其使用性^[19]。通过野外露头样品和宁 3 井岩屑饱和烃气相色谱分析(图 9),二叠系烃源岩具有以下特征:①饱和烃正构烷烃系列分布齐全,色谱图的基线比较平直;碳数范围一般分布于 C_{13} — C_{35} ,但不同地区碳数分布存在差异,在潘津布拉克地区,部分样品碳数集中分布于 C_{13} — C_{27} ,缺少大分子量高碳

数正构烷烃,反映相对较好的生源有机质沉积环境。②不同地区不同层位烃源岩饱和烃正构烷烃主峰碳存在差异;所有样品都存在碳数较低的 C_{17} 主峰碳;晓山萨依组和塔姆其萨依组都存在一个高碳数次峰,整体形成双峰结构。

主峰碳与原始沉积母质有关。碳数较低的正构烷烃,其有机质一般来源于细菌、藻类,主峰碳介于 C_{15} — C_{21} ;而碳数较高的正构烷烃,其有机质一般来源于高等陆生生物,主峰碳一般分布于 C_{25} — C_{29} 。从主峰碳来看,伊宁凹陷东部二叠系烃源岩具海陆交互双重有机质来源特征。

饱和烃色质显示,在三环萜烷系列组成中,既存在以 C_{21} 化合物占优势,形成 C_{21} 、 C_{23} 至 C_{24} 递减的阶梯状

分布模式[图 10(a)],也存在以 C_{23} 占优势,形成 C_{21} 、 C_{23} 、 C_{24} 倒“V”字型分布模式[图 10(b)],这反映二叠系烃源岩有机质的双源性。

C_{24} 四环萜烷是由藿烷或藿烷前驱物中的五圆环 E 环受热作用或生物降解作用断裂形成的, C_{24} 四环萜烷丰度高一般指示海相沉积环境^[20]。研究区 $(C_{20} + C_{21}) / (C_{23} + C_{24})$ 三环萜烷比值及 C_{24} 四环萜烷 / $(C_{24}$ 四

环萜烷 + C_{26} 三环萜烷) 比值显示(图 11),潘津布拉克地区塔姆其萨依组沉积环境最好,其次是群吉萨依地区,而其他地区具一定的相似性,可能受其较高的成熟度影响。

3.4.2 碳同位素组成

群吉萨依剖面塔姆其萨依组饱和烃 $\delta^{13}C$ 分布于 $-23.3\text{‰} \sim -30.2\text{‰}$,中值为 -28.3‰ ;芳烃 $\delta^{13}C$ 分布

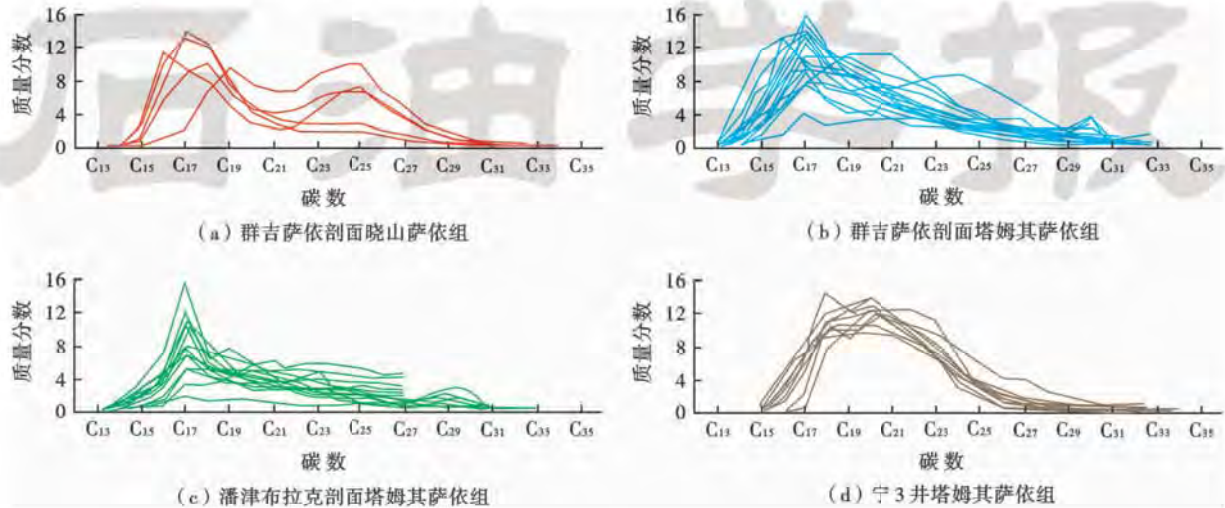


图 9 伊犁盆地二叠系饱和和烃色谱对比

Fig. 9 Comparison of Permian saturated hydrocarbons chromatography in Yili Basin

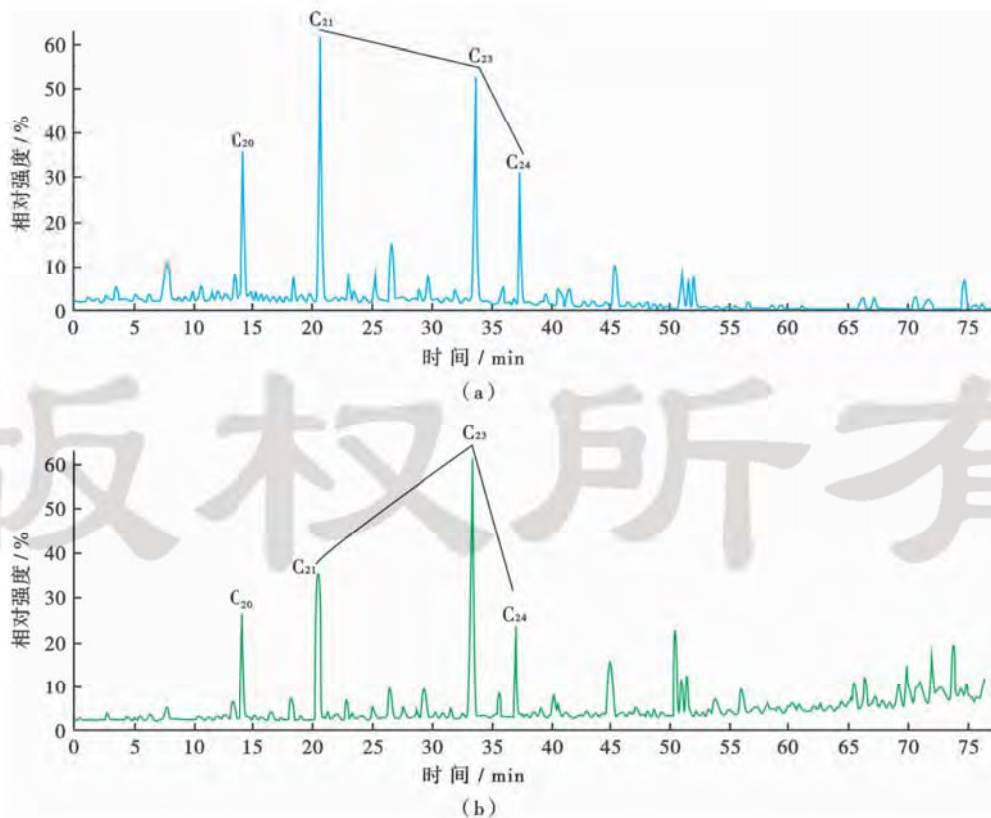


图 10 伊犁盆地二叠系烃源岩饱和和烃色谱质谱图

Fig. 10 Saturated hydrocarbon chromatography mass spectrometry of Permian hydrocarbon source rocks in Yili Basin

于 $-22.2\% \sim -27.9\%$, 中值为 -26.8% ; 非烃 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-22.6\% \sim -28.8\%$, 中值为 -28.0% ; 沥青质 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-22.5\% \sim -29.1\%$, 中值为 -26.1% 。饱和烃、原油、芳烃、非烃及沥青质变化幅度较小, 仅有 2 个样品出现异常, 显示为相对稳定的陆相近煤相有机质沉积环境。

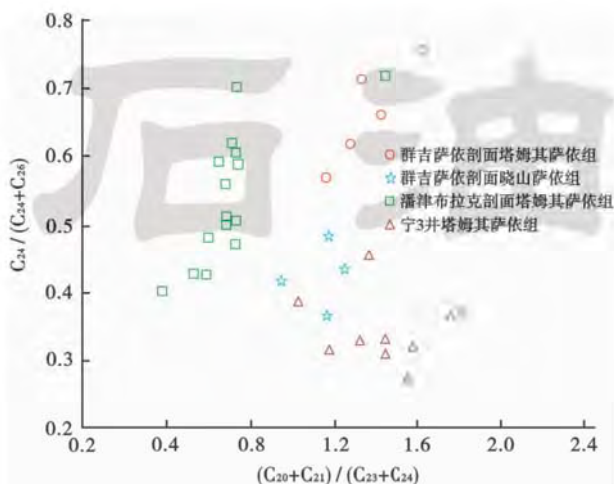


图 11 伊梨盆地二叠系烃源岩 $(\text{C}_{20} + \text{C}_{21}) / (\text{C}_{23} + \text{C}_{24})$ 与 $\text{C}_{24} / (\text{C}_{24} + \text{C}_{26})$ 关系

Fig. 11 Relationship between ratios of $(\text{C}_{20} + \text{C}_{21}) / (\text{C}_{23} + \text{C}_{24})$ and ratios of $\text{C}_{24} / (\text{C}_{24} + \text{C}_{26})$

群吉萨依剖面晓山萨依组饱和烃 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-27.9\% \sim -28.2\%$, 中值为 -28.1% ; 芳烃 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-23.6\% \sim -25.3\%$, 中值为 -24.1% ; 非烃 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-24.5\% \sim -30.4\%$, 中值为 -27.3% ; 沥青质 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-24.9\% \sim -30.6\%$, 中值为 -28.1% ; 除 1 个泥晶灰岩样品外, 饱和烃、原油、芳烃、非烃及沥青质变化幅度较小。

潘津布拉克地区塔姆其萨依组饱和烃 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-29.7\% \sim -31.8\%$, 中值为 -30.1% ; 芳烃 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-27.7\% \sim -30.2\%$, 中值为 -27.6% ; 非烃 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-27.5\% \sim -30.5\%$, 中值为 -29.1% ; 沥青质 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 $-25.6\% \sim -28.9\%$, 中值为 -26.1% 。饱和烃、原油、芳烃、非烃及沥青质变化幅度较小, 显示其沉积环境较为稳定。

按照碳同位素热动力学分馏机制, $^{12}\text{C}-^{12}\text{C}$ 键的热断开速度常数比 $^{12}\text{C}-^{13}\text{C}$ 键及 $^{13}\text{C}-^{13}\text{C}$ 键大, 因此, 在有机质热演化过程中, $^{12}\text{C}-^{12}\text{C}$ 键比 $^{12}\text{C}-^{13}\text{C}$ 键及 $^{13}\text{C}-^{13}\text{C}$ 键更容易断开, 从而造成族组分碳同位素组成有如下变化规律: 饱和烃 $\delta^{13}\text{C} < \text{原油} \delta^{13}\text{C} < \text{芳烃} \delta^{13}\text{C} < \text{非烃} \delta^{13}\text{C} < \text{沥青质} \delta^{13}\text{C}$ [21]。根据研究区二叠系烃源岩族组分碳同位素分析结果, 塔姆其萨依组总体上存在饱和烃 $\delta^{13}\text{C} < \text{全油} \delta^{13}\text{C} < \text{芳烃} \delta^{13}\text{C} < \text{非烃} \delta^{13}\text{C}$, 而晓山

萨依组不同组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 存在反转现象, 多数样品的非烃 $\delta^{13}\text{C}$ 与沥青质 $\delta^{13}\text{C}$ 较轻, 可能与有机质类型或有机质热演化程度不同有关。伊宁凹陷北部潘津布拉克地区及东部群吉萨依地区塔姆其萨依组碳同位素最轻, 这可能与有机质成熟度不高有关, 也不排除与原始有机质沉积环境相对较好有关; 宁 3 井二叠系烃源岩芳烃、非烃及沥青质碳同位素组成较重, 这与碳同位素热动力学分馏有关, 高分子量化合物富集重碳同位素, 烃源岩的成熟度相对较高。

4 结论

(1) 伊犁盆地二叠系有机质类型以 III 型为主, 少量为 II₂ 型, 来源于腐植型或偏腐植型陆源高等植物。塔姆其萨依组烃源岩为半深湖—深湖相沉积环境, 有机质沉积环境好, 具单一的有机质来源, 有机质成熟度中等, 为研究区内较为有利的烃源岩。晓山萨依组烃源岩具有海陆交互特征, 有机质处于高成熟—过成熟阶段, 为区内有利烃源岩。

(2) 饱和烃 $\text{C}_2 - / \text{C}_{22}$ 、轻重比、OEP 值及芳烃组成研究表明, 伊犁盆地二叠系晓山萨依组烃源岩具较高的成熟度, 塔姆其萨依组烃源岩成熟度相对低, 潘津布拉克及群吉萨依地区的有机质成熟度总体不高, 且具有以伊宁凹陷为中心自西向东逐渐减小的趋势; 正构烷烃、主峰碳分布特征揭示二叠系烃源岩有机质具有双源性, 以陆相高等植物为主, 少量来自海相。

(3) 伊犁盆地二叠系烃源岩沉积环境有陆相、海相和海陆交互相, 其中湖相环境是有利的烃源岩沉积区。区域上, 潘津布拉克地区塔姆其萨依组烃源岩形成环境要优于群吉萨依地区, 且沉积环境相对较为稳定。

参考文献

- [1] 张国伟, 李三忠, 刘俊霞, 等. 新疆伊犁盆地的构造特征与形成演化[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 203-214.
Zhang Guowei, Li Sanzhong, Liu Junxia, et al. Structural feature and evolution of Yili Basin, Xinjiang[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(4): 203-214.
- [2] 刘武生, 贾立城. 伊犁盆地沉积建造特征及其与砂岩型铀矿的关系[J]. 世界核地质科学, 2011, 28(1): 1-5.
Liu Wusheng, Jia Licheng. Sedimentary formation features and it's relationship with sandstone-type uranium ore formation in Yili Basin[J]. World Nuclear Geoscience, 2011, 28(1): 1-5.
- [3] 熊绍云, 余朝丰, 李玉文, 等. 伊犁盆地石炭统阿克沙克组沉积特征及演化[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 797-805.
Xiong Shaoyun, Yu Zhaofeng, Li Yuwen, et al. Sedimentary characteristics and evolution of the Lower Carboniferous Akeshake Formation in the Yili Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 797-805.

- [4] 谢其峰,周立发,马国富,等.南祁连盆地三叠系烃源岩有机地球化学特征[J].北京大学学报:自然科学版,2011,47(6):1034-1040.
Xie Qifeng, Zhou Lifa, Ma Guofu, et al. Organic geochemistry of Triassic source rocks in the southern Qilian Basin[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2011, 47(6): 1034-1040.
- [5] 苗建宇,周立发,马维民,等.伊犁盆地二叠系烃源岩特征[J].西北大学学报:自然科学版,2001,31(5):412-414.
Miao Jianyu, Zhou Lifa, Ma Weimin, et al. Permian system hydrocarbon source rocks in Yili Basin[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2001, 31(5): 412-414.
- [6] 李玉文,余朝丰,熊绍云,等.伊犁盆地石炭系石油地质特征与勘探潜力[J].海相油气地质,2011,16(3):30-37.
Li Yuwen, Yu Zhaofeng, Xiong Shaoyun, et al. Petroleum geology characteristics and exploration potential of Carboniferous rocks in Ili Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2011, 16(3): 30-37.
- [7] Kolaczowska E, Slougui N 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(4/6): 1033-1038.
- [8] 王培荣,朱俊章,方孝林,等.一种新的原油轻烃分类法——塔里木盆地原油分类及其地化特征[J].石油学报,1998,19(1):24-28.
Wang Peirong, Zhu Junzhang, Fang Xiaolin, et al. A new classification of crude oils on light hydrocarbons—the classification and geochemical feature of crude oils from Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(1): 24-28.
- [9] Mackenzie A S, Hoffmann C F, Maxwell J R. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France-III. changes in aromatics steroid hydrocarbons[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45(8): 1345-1355.
- [10] Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1993: 170-176.
- [11] 陈致林,李素娟,王忠.低-中成熟演化阶段芳烃成熟度指标的研究[J].沉积学报,1997,15(2):192-197.
Chen Zhilin, Li Sujuan, Wang Zhong. A study on maturity indicators of some aromatics in Lower-Midmature thermal evolution zones[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 192-197.
- [12] 孟仟祥,吉利明,李玉兰,等.松粉热降解芳烃生物标志物特征及其地球化学意义——残渣抽提物研究[J].沉积学报,1999,17(增刊1):825-830.
Meng Qianxiang, Ji Liming, Li Yulan et al. Distribution of aromatic hydrocarbons in remain extracts from pinus pollen thermal experiment[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(S1): 825-830.
- [13] 周文,吴庆余,王睿勇,等. 砾石藻热模拟产物中芳烃生物标志物分布[J]. 科学通报, 2000, 45(22): 2438-2446.
Zhou Wen, Wu Qingyu, Wang Ruiyong, et al. Distribution of the aromatic hydrocarbon biomarkers in the thermal simulation products of cocolith[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(22): 2438-2446.
- [14] 徐濂. 芘的质谱鉴定及其有机地球化学意义[J]. 石油与天然气地质, 1982, 3(4): 351-359.
Xu Lian. Mass spectrometric characterization of perylene and its significance in organic geochemistry[J]. Oil & Gas Geology, 1982, 3(4): 351-359.
- [15] 赵师庆,王飞宇,董名山.论“沉煤环境-成煤类型-煤质特征”概略成因模型——I.环境与煤相[J].沉积学报,1994,12(1):32-38.
Zhao Shiqing, Wang Feiyu, Dong Mingshan. Discussion on the “Sedimentary environment-type of coal-forming-characteristic of coal quality” rough genetic model I. environment and coal facies[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(1): 32-38.
- [16] 张枝焕,曾艳涛,张学军,等.渤海湾盆地沾化凹陷渤南洼陷原油地球化学特征及成藏期分析[J].石油实验地质,2006,28(1):54-58.
Zhang Zhiluan, Zeng Yantao, Zhang Xuejun, et al. The geochemistry characteristics and accumulation-history of crude oil in the Bonan sub-sag of the Zhanhua sag, the Bohaiwan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(1): 54-58.
- [17] Brassell S C, Eglinton G, Mo F J. Biological marker compounds as indicators of the depositional history of the Maoming oil shale[J]. Organic Geochemistry, 1986, 10(4/6): 927-941.
- [18] Wolff G A, Lamb N A, Maxwell J R. The origin and fate of 4-methyl steroid hydrocarbons I, 4-methyl steranes[J]. Geochem Cosmochim Acta, 1986, 50(6): 335-342.
- [19] 傅家谟,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,1991,20(1):1-12.
Fu Jiemo, Cheng Guoying, Xu Jiayou, et al. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments[J]. Geochimica, 1991, 20(1): 1-12.
- [20] Popp B N, Laws E A, Bidigare R R, et al. Effect of phytoplankton cell geometry on carbon isotopic fractionation[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1998, 62(1): 69-77.
- [21] 王铁冠,钟宁宁,侯谈杰,等.低熟油气形成机理与分布[M].北京:石油工业出版社,1995:56-581.
Wang Tieguan, Zhong Ningning, Hou Dujie, et al. Genetic mechanism and occurrence of immature hydrocarbon[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 56-581.

(收稿日期 2013-06-16 改回日期 2013-09-10 编辑 汪建国)