

羌塘盆地胜利河油页岩芳烃分布特征及意义

姜德民¹, 季长军²

(1. 江苏省地质矿产局第三地质大队, 江苏 镇江 212000;

2. 中国地质科学院, 北京 100037)

摘要: 羌塘盆地沉积了多套富含有机质的海相黑色岩系。虽然针对黑色岩系的研究取得了系列成果,但关于胜利河油页岩的沉积环境、有机质来源、热演化程度和生物降解程度等系列问题仍需进一步讨论。本文针对胜利河油页岩开展了芳烃色谱、质谱分析,讨论胜利河油页岩中芳烃化合物分布特征和意义。研究结果显示:1)胜利河油页岩样品中含有154种芳烃类化合物,其中含量最高的是菲系列化合物,其次是芴系列化合物,其他系列化合物含量较少;芳烃化合物分布具有典型前锋型特征。2)芳烃化合物组成以及相对丰度指示胜利河油页岩生油母质主要来源于低等海生生物,同时检测到一定含量源自于高等植物先质的1,2,5-TMNR、1,2,5,6-TeMNR、海稀松和联苯等化合物,表明高等植物对胜利河油页岩形成有一定贡献,但极其有限。3)高丰度的硫蒽和9-甲基菲系列化合物显示胜利河油页岩形成于高还原条件的海相环境,同时O/(O+C)芴系列与S/(S+C)芴系列关系图、硫蒽系列/氧芴系列与Pr/Ph关系图也证实了这一点。4)MPI₁、R_c、BF/BeP、4-MDBT/ΣMDBT、DBT/(DBT+MDBT)等成熟度参数综合显示胜利河油页岩处于低成熟—成熟阶段。

关键词: 芳烃化合物;油页岩;胜利河;羌塘盆地

中图分类号: P593 **文献标识码:** A

0 引言

羌塘盆地作为青藏高原油气勘探最有前景区域,在近年来的地质调查工作中发现了大量的油气显示点,除了大量分布在古油藏中的液态油苗、干沥青外,还有毕洛错油页岩和胜利河油页岩。区内油气显示的饱和烃生物标志化合物分布特征已有人做了较为系统的研究^[1-9],但对芳烃地球化学特征的研究则很薄弱。

芳烃作为原油/烃源岩中一个重要的组成部分,其具有丰富的地球化学信息。芳烃化合物各种类型参数被计算并用于反映烃源岩中生油母质来源、热演化程度、生物降解作用和沉积环境等的评估;另外,芳烃具有较饱和烃更强的抗生物降解能力,其在

有机质热演化程度评估方面具有更明显优势^[1]。因此,本文针对胜利河油页岩开展了芳烃色谱、质谱分析,以芳烃生物标志化合物分布特征为着眼点,系统研究了样品中芳烃的分布和组成特点,明确其地质意义,并结合前人研究成果,力图探讨胜利河油页岩的成因,以期为了解羌塘盆地油页岩分布规律以及评估非常规油气勘探远景提供参考。

1 地质背景

羌塘盆地位于青藏高原北部,盆地北以可可西里-金沙江断裂构造带为界,南以班公湖-怒江断裂构造带为界,东西以侏罗纪地层歼灭为界^[2]。盆地内部构造复杂,整体上成“一隆二坳”的格局,其中隆起进而可以划分为西部隆起、中央隆起和东部隆起。

收稿日期: 2019-10-09; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 姜德民(1986—),工程师,硕士,地质学(沉积学)专业,从事地质矿产勘查工作。通信地址:江苏省镇江市京口区中山东路64号,江苏省地质矿产局第三地质大队;邮政编码:212000;E-mail:553043966@qq.com

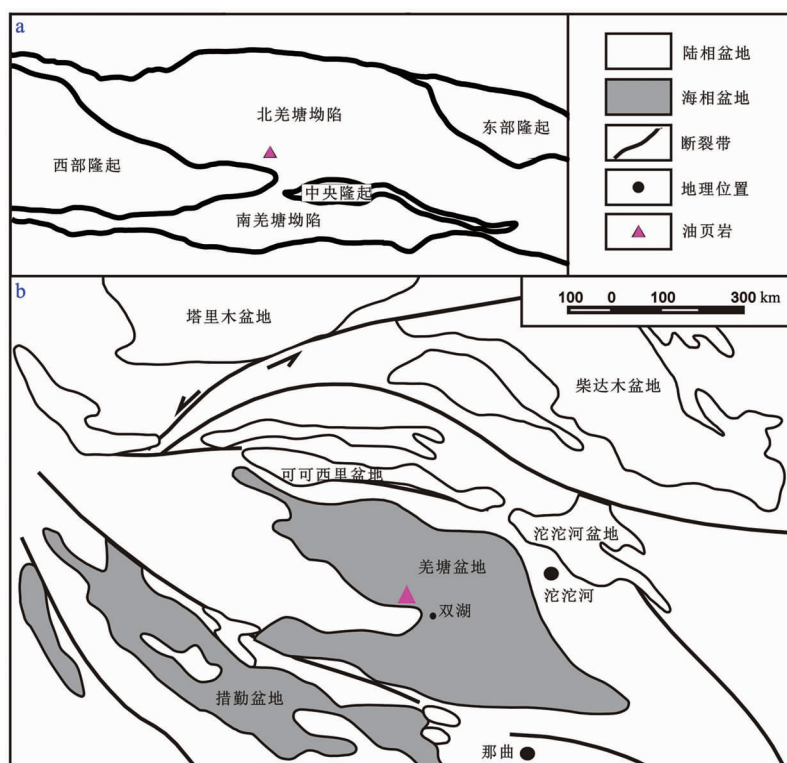


图1 研究区地理位置及采样点

Fig. 1 Geographical location of the study area and sampling points

研究区位于北羌塘坳陷(图1a),采样位置为胜利河西岸胜利河油页岩地表出露点(图1b)。该套油页岩累计厚度超过8 m,走向长超过34 km,宽9 km,岩石新鲜面为灰褐色—黑褐色,可见大量草莓状黄铁矿,油页岩叶片状产出,遇火可燃,水浸有油花^[3],其灰分含量为55.23%,焦油含量为11.0%,有机碳含量介于15.05%~20.34%之间,平均17.695%,以 II_1 和 II_2 干酪根为主,镜质体反射率(R_0)值为0.37%~0.9%,平均值为0.58%。与国内其它油页岩相比,该油页岩具有较高产油潜力^[4]。

胜利河油页岩 Re-Os 同位素年龄为 $101 \text{ Ma} \pm 24 \text{ Ma}$,与其伴生的泥灰岩中见早白垩世 *Cicatricosisporites* 为主的孢粉化石组合,另见双壳 *Modiolus bipartitus* 及腹足类化石^[5]。沉积岩相、古地理研究表明,在晚侏罗世—早白垩世期间,北羌塘盆地主体处于一个巨大向北西开口的相对闭塞的海湾环境,发育了河流—三角洲、海湾(潮坪—潟湖)和浅海—陆棚等沉积相组合^[6]。油页岩(段)沉积期,胜利河地区处于潮湿的热带—亚热带环境,大量淡水的注入以及高的生产力等综合因素,控制了油页岩的形成,其分布主要位于局限海湾—潟湖的边缘带^[7]。饱和烃生物标志化合物研究表明,胜利河油页岩生物母质主

要以浮游植物为主,沉积于水体相对闭塞的高还原环境,热演化程度较低^[8-9]。

2 分析结果与讨论

通过对胜利河油页岩样品芳烃化合物的色谱—质谱分析,检测到了8个系列的大约154种芳烃化合物。

2.1 芳烃总体分布特征

芳香化合物由于馏出时间先后差异依次在质量谱图上形成3个峰群:萘系列化合物峰群(二环化合物)、菲系列化合物峰群(三环化合物)、其它多环芳烃和芳香甾萜烷类峰群(四、五环化合物)。依据三个峰群的相对丰度可将质量谱图划分为3种类型:前锋型(以第一、第二峰群为主)、后峰型(以第三峰群为主)、双峰型(以第一、第三峰群为主)。胜利河油页岩中芳烃质量谱图中第二峰群菲系列化合物相对丰度表现出绝对优势,而第一峰群萘系列化合物和第三峰群的芳香甾萜系列化合物相对丰度较低,具有前锋型分布特征(图2),这种分布特征类似于海相原油^[10-11]。有研究表明,生物降解作用和运移

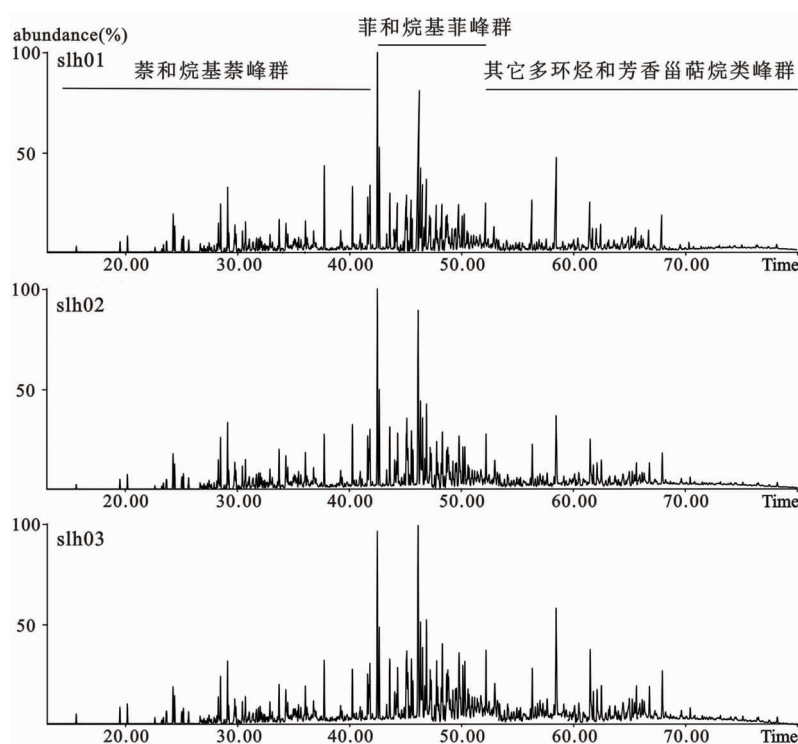


图 2 胜利河油页岩芳烃化合物在质量谱图上的分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of aromatics in mass spectra diagram of Shenglihe oil shale

过程的分馏效应常常会产生“鼓包”,即芳烃化合物在质量谱图上表现为曲线的基线偏离横坐标,形成隆起;随着降解作用增强,基线隆起幅度增高,常规芳烃的含量降低,三芳甾烷系列含量增加。从芳烃化合物质量谱图和芳烃化合物分布特征可以看出,生物降解作用和运移分馏对胜利河油页岩芳烃分布影响可忽略不计。

2.2 萘系列化合物

样品中检测出了一定丰度的萘系列化合物:萘(N)、甲基萘(MN)、二甲基萘(DMN)、三甲基萘(TMN)、四甲基萘(TeMN)、五甲基萘(PMN)和乙基萘(EN),其中二甲基萘、三甲基萘和四甲基萘含量较高,萘、乙基萘含量较少,具 $TMN > TeMN > DMN > MN > PMN$ 分布规律(图 3)。在萘系列化合物中还有少量的呋达烯,该物质被认为是源于高等植物的杜松醇或法呢醇等先质演变而来;同时,也检测到一定含量的 1,2,5-三甲基萘、1,2,5,6-四甲基萘,其中 1,2,5-三甲基萘在萘系列中相对含量在 4.16%~4.70%之间,1,2,5,6-四甲基萘在四甲基萘系列中相对含量在 9.01%~9.74%之间,该类化合物可以由双环二萜刺柏酸或五环三萜香树素先质成岩演化而来,而这两类先质仅分布于高等植物

之中,因此可作为判断高等植物生源输入的生物标志化合物^[12]。海、陆相环境下,1,2,5-三甲基萘相对含量具有很明显差异,陆相环境下该化合物含量是海相环境下的一倍,湖相油和煤成油的 1,2,5-三甲基萘分别占本系列的 9.5%和 12.5%,而海相中只有 5%±。对比研究发现,这两个参数与塔里木盆地海相原油中的对应值相当(分别为 5%±和 <10%)^[13],同时 1,3,5,7-TeMN、1,3,6,7-TeMN、1,4,6,7-TeMN 明显比陆相原油高,因此胜利河油页岩沉积于有少量高等陆源植物输入的海相环境。

由于热效应会使具有更高空间张力的 $\alpha\alpha$ 构型发生重排生成更加稳定的 $\beta\beta$ 构型,因此通过反映异构体相对丰度变化指标能够对沉积物成熟度进行评价,并据此提出了 DNR 指数。陈志林等^[14]认为 DNR 是沉积物的低-中熟热演化阶段的有效成熟度指标,而三甲基萘(TMN)和四甲基萘(TeMN)中的 $\beta\beta$ 和 $\alpha\alpha$ 构型的比值可以确定低-高熟整个热演化阶段原油和生油岩的成熟度,它不受运移过程中分馏效应的影响。胜利河油页岩样品中 TMN 和 TeMN 异构体比值分布见图 4,所有样品都投影在低成熟区与成熟区交集处,表明该油页岩处于低成熟-成熟阶段。

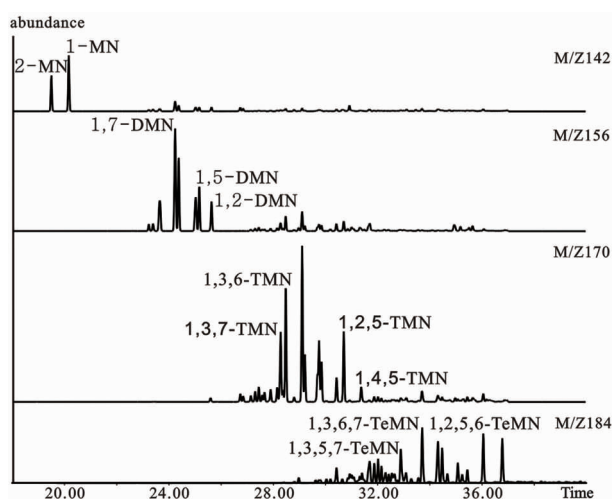


图3 胜利河样品萘系列中
不同甲基数化合物分布

Fig. 3 The distribution of compounds with different methyl number of the naphthalene series of Shenglihe oil shale samples

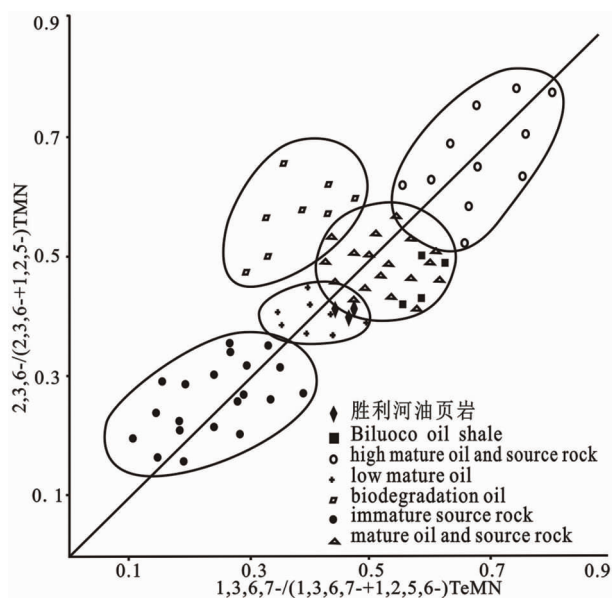


图4 三甲基萘和四甲基萘成熟度数
(图版引自文献[15])

Fig. 4 Degree of maturity of trimethylnaphthalene and tetramethylnaphthalene

2.3 菲系列化合物

菲系列化合物在芳烃中的相对含量最高,高的菲系列化合物甚至成为芳烃在总烃中的相对含量很大的直接原因;而高含量的菲与藻类密切相关,藻中含有菲系列化合物的前体物^[16-17]。胜利河油页岩样品中检测出大量菲(P)、甲基菲(MP)、二甲基菲(DMP)、三甲基菲(TMP)和极少量的乙基菲(EP)

等菲系列化合物。其中,甲基菲具有9-甲基菲>1-甲基菲>2-甲基菲>3-甲基菲的模式,近似倒“V”字形分布(见图3);9-甲基菲相对丰度极高,仅次于菲;9-甲基菲、1-甲基菲相对丰度远远高于3-甲基菲和2-甲基菲。通常认为高的9-甲基菲与海生低等水生生物输入有关,是海相沉积环境的标志,它基本上不受成熟度的改造,这点与菲在海相沉积物中容易富集、相对丰度较高的结论相印证^[18]。同时,胜利河油页岩样品中都检测出高含量的菲系列化合物可能跟藻类生源有关。萜烯和海松烯由于是高等植物树脂演变而成,往往被认为是陆源高等植物输入的标志;在胜利河油页岩中虽未检测到萜烯,但海松烯在芳烃组分中有一定含量(图5),这表明胜利河油页岩虽形成于海相环境,但陆源高等植物对沉积有机质还是有一定的贡献。

由于β位甲基菲较α位甲基菲稳定,随热演化程度的增高,在菲系列化合物内部,β位甲基菲化合物所占比例会增加,因此形成了系列判断有机质热演化程度的甲基菲指数(MPI_I)作为成熟度指标。胜利河油页岩中的MPI_I以及由此计算出的R_c的值分别介于0.39~0.43和0.66~0.68之间,这比南堡凹陷地区成熟阶段原油值低^[19],表明油页岩的热演化大致为低成熟阶段。Kvalheim等^[20]提出了甲基菲分布分数(MPDF),即甲基菲比值F1=(3-MP+2-MP)/(1-MP+2-MP+3-MP+9-MP)、F2=(2-MP)/(1-MP+2-MP+3-MP+9-MP)。经计算得到胜利河油页岩的F1和F2值,其F1值介于0.26~0.27之间;F2值在0.14~0.15之间变化。F1和F2相关性分析表明油页岩处于低成熟阶段(图6)。由F1计算得到油页岩等效镜质体反射率(R_o)值为0.43%~0.44%,同样表明油页岩处于低成熟阶段。

2.4 三萜化合物系列

三萜系列化合物作为芳烃生物标志化合物广泛分布在原油和烃源岩中,特别是在碳酸盐岩地层和海相原油中硫萜系列化合物相对丰度极高,该类化合物记录着重要的生源物沉积环境和热演化信息。通常认为在成岩作用过程中,硫萜系列化合物形成于强还原沉积环境,由高支链类异戊二烯含硫化合物演化而成,且随着热演化程度的增加,甲基二苯并噻吩发生由1-MDBT和(2+3)-MDBT向4-MDBT转化的甲基重排和由MDBT向DBT转化的去甲基作用。胜利河油页岩样品中三萜化合物有一定含量,其分布特征为:DBT<4-MDBT;4-MDBT虽为主峰,但

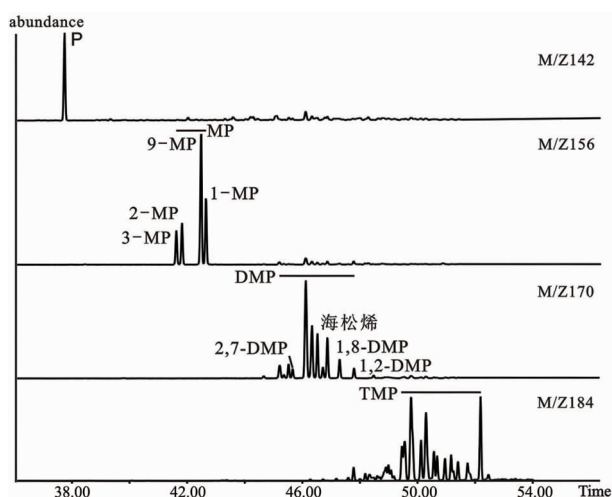


图 5 胜利河油页岩样品菲系列中不同甲基数化合物分布

Fig. 5 The distribution of compounds with different methyl number of phenanthrene series of Shenglihe oil shale samples

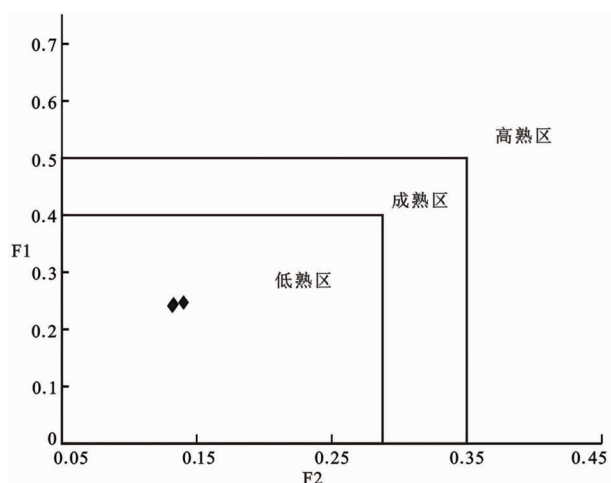
图 6 胜利河油页岩样品甲基菲分布分数相关图^[21]

Fig. 6 Correlation diagram of distribution fraction of methyl phenanthrene of Shenglihe oil shale samples

$\Sigma\text{DMDBT} > \Sigma\text{MDBT}$, MDBT 呈现 $4\text{-MDBT} > (2+3)\text{-MDBT} > 1\text{-MDBT}$ 模式, 形成“V”字形分布。三芴化合物的这种分布特点与塔里木盆地奥陶系为主力油源的所有原油分布类似; 但反映成熟度的两个参数 $4\text{-MDBT}/\Sigma\text{MDBT}$, $\text{DBT}/(\text{DBT} + \text{MDBT})$ 的变化范围分别为 $0.50 \sim 0.52$ 和 $0.11 \sim 0.12$, 其比值远远低于塔里木盆地高成熟-过成熟度奥陶系原油对应参数^[22], 相比大港油田成熟阶段的奥陶系碳酸盐岩及西藏措勤盆地地下白垩统成熟阶段海相灰岩略低^[23], 表明胜利河油页岩处于低成熟-成熟阶段。

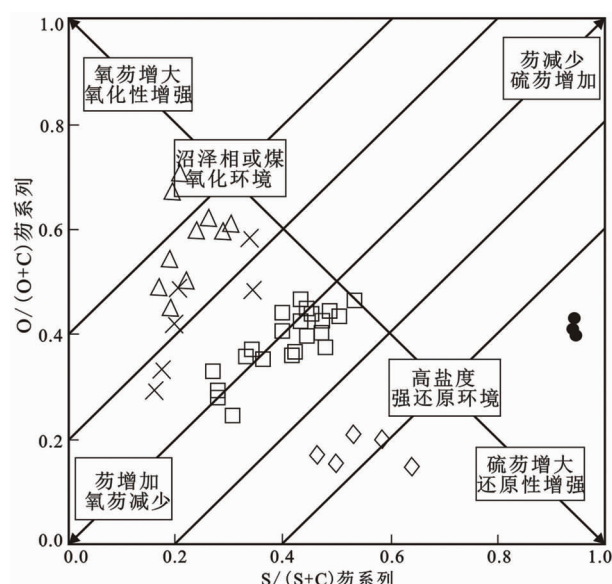


图 7 胜利河油页岩 O/(O+C) 芴系列—S/(S+C) 芴系列图解

Fig. 7 Relationship between O/(O+C) fluorene series vs S/(S+C) fluorene series of Shenglihe oil shale
(图中样品点符号含义见图 8 中说明)

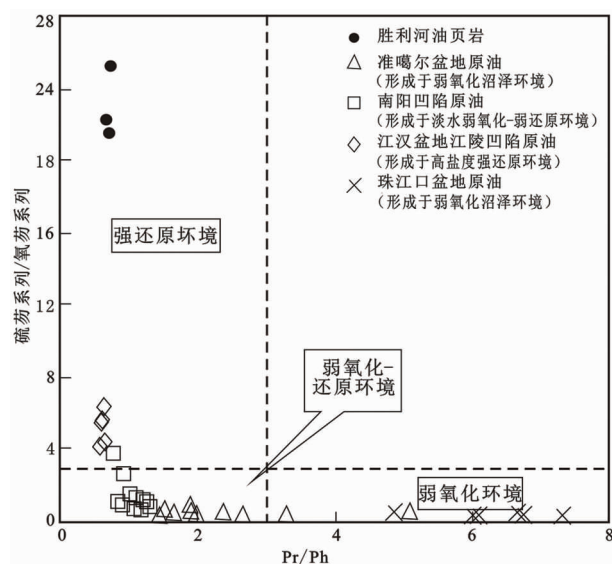
图 8 硫芴系列/氧芴系列—Pr/Ph 关系图^[26]

Fig. 8 Relationship diagram between sulfur fluorene series/oxygen fluorene series vs Pr/Ph

有研究^[24]表明, 氧芴和硫芴与氧化和还原两种截然不同的沉积环境有关, 这是因为源于同一母质的三芴系列化合物中, 芴中五元环的 C-9 碳原子属于 α 碳原子, 其化学性质活泼, 在还原环境中可能被

硫取代成硫茛,在弱氧化-氧化环境中被氧化成氧茛。当然,热演化会导致氧茛和硫茛向更稳定的茛转化,无疑有机质热演化程度和三茛原始含量、三茛化合物热稳定性共同决定了三茛化合物的相对含量。因此,在有机质低演化程度的条件下,应用茛、氧茛和硫茛的相对含量来确定氧化/还原环境更为可靠^[25]。胜利河油页岩三茛化合物中,茛平均含量仅有 9.4%,反映出低热演化程度,这跟芳烃热演化参数反映出的结论一致;同时三茛化合物含量反映出胜利河油页岩形成于高还原海相环境(见图 7、图 8)。胜利河油页岩样品中硫茛在三茛系列化合物中的相对含量较高,高达 80% 以上的硫茛含量可能与藻体还原硫有关,指示着大量藻类生物输入,与油页岩形成密切相关。

2.5 多环芳烃化合物系列

多环芳烃化合物在原油及岩石提取物中普遍存在,它们可以作为生源、成熟度、沉积环境的标志研究;虽然原生多环芳烃在地质历史中比较难以保存,但以苯并萤蒎和苯并芘系列为代表的由生物前身经地质作用形成的多环芳烃能够得以保存。胜利河油页岩中都存在一定量的多环芳烃,但含量比较低;芘未能被检测出来,苯并萤蒎/苯并(e)芘比值为 0.35~0.39。苯并萤蒎和苯并(e)芘都有 5 个环,但 5 个环都是六元环的苯并(e)芘显然较仅有一个五元环的苯并萤蒎稳定,故苯并萤蒎/苯并(e)芘随着油页岩热演化程度增加而减少,该值可以作为有机质演化程度研究的指标。胜利河油页岩中该比值与胜利油区、柴达木盆地狮 20 井的成熟原油和生油岩相当,这表明油页岩已经达到了成熟阶段。通常认为,芳烃化合物中的联苯系列化合物由源自于高等植物的木质素演化而来。胜利河油页岩中联苯系列化合物的相对丰度在 0.98%~1.26% 之间变化,低含量的联苯系列化合物表明陆源高等植物输入对胜利河油页岩形成贡献有限。

3 结语

(1)通过对胜利河油页岩样品芳烃化合物的色谱-质谱分析,检测到了:萘系列(m/z 128~198)、菲系列(m/z 178~220)、屈系列(m/z 228~256)、多环芳香系列(m/z 202~252)、三茛系列(m/z 166~226)、联苯系列(m/z 154~182)、三芳甾系列(m/z 231~245)、苯并藿烷系列(m/z 191 等 8 个系列,大

约 154 种芳烃化合物。

(2)芳烃化合物中高的菲含量、高硫茛含量以及系列沉积环境判别图综合显示,胜利河油页岩形成于高还原条件下的海相环境,尤其是闭塞的海湾或潟湖环境有利于其发育。

(3)芳烃化合物物源参数指示有机质来源于低等水生动植物,尤其是藻类对其形成贡献比较大,同时具有高等植物先质来源的化合物也被检测出来,表明高等陆源植物对油页岩也有一定贡献。

(4)芳烃成熟度指标显示,胜利河油页岩处于低成熟—成熟阶段。

参考文献:

- [1] 季长军,伊海生,夏国清,等. 羌塘盆地隆鄂尼地区油苗芳烃分布特征及意义[J]. 沉积学报, 2014, 32(2): 391-398.
- [2] 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: 180-233.
- [3] 付修根,王剑,汪正江,等. 藏北羌塘盆地胜利河油页岩干酪根特征及碳同位素指示意义[J]. 地球学报, 2009, 30(5): 643-650.
- [4] 李忠雄,何江林,熊兴国,等. 藏北羌塘盆地上侏罗-下白垩统胜利河油页岩特征及其形成环境[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(2): 264-272.
- [5] 王剑,付修根,杜安道,等. 羌塘盆地胜利河海相油页岩地球化学特征及 Re-Os 定年[J]. 海相油气地质, 2007, 12(3): 21-26.
- [6] 王剑,付修根,李忠雄,熊松. 北羌塘盆地油页岩形成环境及其油气地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2010(3): 11-17.
- [7] 曾胜强,王剑,陈明,等. 北羌塘盆地索瓦组上段的时代、古气候及石油地质特征[J]. 现代地质, 2012, 26(1): 10-21.
- [8] 何江林,王剑,付修根,等. 羌塘盆地胜利河油页岩有机地球化学特征及意义[J]. 沉积学报, 2010, 28(3): 626-634.
- [9] 付修根,王剑,汪正江,等. 藏北羌塘盆地海相油页岩沉积环境[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(5): 529-533.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Alexander R, Larcher A V, Kagi R I, Price P L. The use of plant-derived biomarker for correlation of oils with source rocks in the Cooper/Eromango basin systems, Australia [J]. APEA, 1988, 28: 310-323.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Ji Changjun, Xia Guoqing, Yi Haisheng, et al. Aromatic Hydrocarbons of the Biluo Co Oil Shales in Shuanghu Area, Northern Tibet Plateau and its Implications [J]. Oil Shale, 2014,

- 31(4): 351-364.
- [16] 妥进才. 柴达木盆地第三系芳烃的地球化学——二环芳烃与多环芳烃的关系[J]. 石油实验地质, 1996, 18(4): 406-412.
- [17] 宋长玉, 金洪蕊, 刘璇, 王忠. 烃源岩中甲基菲的分布及对成熟度参数的影响[J]. 石油实验地质, 2007(2): 183-187.
- [18] 张立平, 黄第藩. 某些海相烃源岩中多环芳烃的组成特征[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(2): 10-14.
- [19] 梅玲, 张枝焕. 南堡凹陷原油芳烃地球化学特征[J]. 石油天然气学报, 2009(2): 11-44.
- [20] Kvalheim O M, Christy A A, Telnæs N, Bjørseth A. Maturity determination of organic matter in coals using the methyl-phenanthrene distribution [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1987, 51(7): 1883-1888.
- [21] 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.
- [22] 张润合, 杨斌. 噻吩类化合物——判识海相原油类型和评价高演化碳酸盐岩烃源岩成熟度的理想生物标志物[J]. 海相油气地质, 1998(2): 6-10.
- [23] 任拥军, 李瑞雪. 西藏措勤盆地白垩统海相灰岩的芳烃地球化学特征[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 282-286.
- [24] 林壬子, 王培荣, 藏允键, 等. 矿物燃料中多环芳烃的石油地球化学意义[C]//有机地球化学论文集. 北京: 地质出版社, 1987: 129-140.
- [25] 周文, 吴庆余, 王睿勇, 等. 颗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.
- [26] 李水福, 何生. 原油芳烃中三芴系列化合物的环境指示作用[J]. 地球化学, 2008, 37(1): 45-50.

Distribution characteristic of aromatic hydrocarbon and the significance of Shenglihe oil shale in Qiangtang Basin

JIANG Demin¹, JI Changjun²

(1. The Third Geological Brigade of Jiangsu Geology & Mineral Exploration Bureau, Zhenjiang 212000, Jiangsu, China;

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The organic-rich marine sediments, commonly referred to as black shales were deposited in Qiangtang basin. Although serial achievements about the black shales have been remarkable, the depositional environment, source of organic matter, thermal maturity and biodegradation are still a matter of discussions. In this paper, study on chromatogram and mass spectrum of aromatic hydrocarbon in Shenglihe oil shale, the aromatic hydrocarbon distribution characteristics and significance are carried out. The result shows that 1) the oil shale contains 154 kinds of aromatic hydrocarbon of which the majority are phenanthrene series, then Terfluorene series and the other kinds less and the aromatic carbonates are characterized by frontier distribution; 2) the aromatic hydrocarbon composition and the relative abundance is the indicator of their derivation from lower class of marine organism and on the other hand is detected a certain amount of the higher class plant-derived 1,2,5-TMNR, 1,2,5,6-TeMNR and pimanthrene and Biphenyl et al, which are the indicator of very limited contribution of the higher class of plants; 3) The high abundance of DBT and 9-MP series indicate that the Shenglihe oil shale is deposited in marine reducing sedimentary environment and at the same time the ratio of O/(O+C) vs S/(S+C) and the ratios of S/O vs Pr/Ph also confirm this conclusion. The maturity parameters, such as MPI₁, R_c, BF/BeP, 4-MDBT/ΣMDBT, DBT/(DBT+MDBT) and so on, indicate that the organic matter remains at low maturity-maturity.

Key Words: aromatic hydrocarbon; oil shale; Shenglihe; Qiangtang Basin