

文章编号: 0253-9985(2006)03-0340-08

普光气田沥青地球化学特征及成因

蔡勋育¹, 朱扬明², 黄仁春¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 南方勘探开发分公司 勘探开发研究院, 云南 昆明 650200)

(2. 浙江大学 地球科学系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 系统的地球化学分析表明, 普光气田飞仙关和长兴组气藏沥青为古油藏原油经热裂解成气的残留物。其有机元素组成以贫氢、富氧、富硫为特征, 属高热演化且受硫酸盐热化学还原作用影响的焦沥青类。它们的碳同位素变化在 $-25.60\% \sim -27.78\%$ 之间, 与本区上二叠统烃源岩干酪根相当 ($-26.50\% \sim -29.20\%$), 两者具有成因关系。这些沥青的饱和烃中正烷烃系列碳数分布完整, 没有遭受过严重生物降解作用的迹象。它们呈植烷优势, Pr/Ph 值小于 1.0。甾烷系列中 C_{27} 化合物占优势, 检出 C_{30} 和 C_{26} 甾烷; 萜烷中三环萜烷丰富, 伽马蜡烷含量较高。这表明有机质来源以水生生物为主, 是在还原环境中沉积的海相烃源层。沥青的芳烃组成独特, 富含四、五环芳烃化合物, 且以萤蒎、芘、屈和苯并萤蒎等无烷基取代的母体芳烃化合物为主, 反映出沥青裂解成气过程中的有机质芳构化作用。芳烃分布模式及甲基菲指数显示, 这些沥青已达高演化阶段, 相当的镜质体反射率在 2.0 以上。

关键词: 有机元素; 碳同位素; 生物标志物; 芳烃; 沥青; 普光气田; 四川盆地

中图分类号: TE125.2 文献标识码: A

Geochemical behaviors and origin of reservoir bitumen in Puguang gas pool

Cai Xunyu¹, Zhu Yangming², Huang Renchun¹

(1. Research Institute of Southern Exploration and Development Division Company, SINOPEC, Kunming, Yunnan 650200)

(2. Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027)

Abstract Systematic geochemical analyses show that the reservoir bitumen in Feixianguan and Changxing Formations in Puguang gas pool are residuals of the original oil in fossil oil pools after they have been thermally cracked into gas. The organic elementary compositions of the bitumen are characterized by poor hydrogen and rich oxygen and sulfur, suggesting that it is of pyrobitumen as a result of high maturity and TSR. The bitumen has $\delta^{13}C$ values ranging from -25.60% to -27.78% and fits isotopically with kerogen in the Upper Permian source rocks (-26.5% to -29.2%), indicating a genetic relationship between them. The n-alkanes with a complete range of carbon number are observed in the saturated hydrocarbons of the bitumen and no evidences of severe biodegradation occur. They exhibit a phytane predominance with Pr/Ph ratios less than 1.0, predominance of C_{27} compounds occur in the steranes with detectable C_{30} and C_{26} steranes, and the terpanes are characterized by abundant tricyclic terpanes and gammacerane. All these indicate that aquatic organism-dominated marine source rocks have been deposited in a reducing environment. As a result of aromatization of organic matter during the thermal cracking of original bitumen into gas, the aromatic hydrocarbons in the bitumen are characterized by abnormally abundant tetra- and penta-cyclic compounds, and predominated by parent aromatic compounds without alkyl chain, such as fluoranthene, pyrene, chrysene, benzo[a]fluoranthene etc. The distribution pattern and MPI index of aromatic hydrocarbons reveal a high thermal evolution for the bitumen with a corresponding R_o value of over 2.0%.

Key words organic element; carbon isotope; biomarker; aromatic hydrocarbon; bitumen; Puguang gas pool; Sichuan basin

收稿日期: 2006-04-27

第一作者简介: 蔡勋育 (1963-), 男 (汉族), 教授级高级工程师、博士, 油气勘探及研究

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2005CB422100)

普光气田位于四川盆地东部宣汉-达县断褶带的东北段, 是我国迄今发现的最大的整装海相碳酸盐岩大气田^[1]。在普光气田及相邻构造上, 中、下三叠统飞仙关组和上二叠统长兴组气藏储层中普遍含有沥青^[2-3]。由于天然气与沥青在成因上有密切联系, 所以研究沥青的地球化学性质是揭示该地区天然气成因与来源的重要途径。为此, 本文在对普光气田飞仙关组、长兴组及邻区须家河组 10 余个固体沥青样品进行元素、生物标志物和碳同位素等分析的基础上, 结合烃源岩资料, 剖析其地球化学特征及成因, 为本区的油气勘探提供科学依据。

1 沥青的产状及类型

普光气田主要储层为下三叠统飞仙关组和上二叠统长兴组鲕粒白云岩层^①。气藏中的固体沥青属于后生储层沥青, 在成因上为焦沥青类。岩心和镜下观察发现, 区内固体沥青有多种产出形态。在普光飞仙关组气藏中沥青主要存在于晶间和粒间孔隙中, 在长兴组中沥青主要充填在溶洞(孔)内, 而毛坝气藏中则有大量沥青分布于裂缝里^[4]。此外, 在上三叠统须家河组砂岩层也普遍见有沥青脉。现今这些沥青近乎不溶, 用二氯甲烷浸泡萃取的抽提物极少。在储集岩热解分析中, 其可溶烃峰很低, 产率指数在 0.1 以下, 远低于

于正常的储层原油 (一般大于 0.5), 表明它们经历过强烈的热蚀变作用。

2 沥青的有机元素和碳同位素组成

2.1 元素组成

普光、毛坝气田的须家河、飞仙关和长兴组沥青元素分析结果表明, 除普光 2 井飞仙关组 1 个样品因混有部分储集岩碎屑外, 其他沥青均较纯, 含碳量都在 50% 以上, 变化在 59.62% ~ 89.50% 之间。不同层位沥青在氢、氧、硫 3 种元素与碳的相对含量上有明显变化。飞仙关和长兴组沥青以贫氢、富氧、富硫为特征, 其 H/C 原子比仅 0.14 ~ 0.37, O/C 和 S/C 原子比分别为 0.12 ~ 1.12 和 0.033 ~ 0.075。相比较而言, 须家河组沥青中氢较多, 氧和硫较少, H/C 原子比相对较高, 变化范围为 0.45 ~ 0.61, O/C 和 S/C 原子比较低, 分别为 0.02 ~ 0.06 和 0.005 ~ 0.010, 显著低于飞仙关和长兴组沥青。在这些元素比值的分布图上, 两者呈不同的点群 (图 1)。

这些沥青元素组成之间的差异主要与两方面的因素有关。一是热演化程度的差别。与下部地层相比, 须家河组沥青热演化程度相对较低, 因而其氢的含量要高一些; 飞仙关和长兴组沥青埋深大, 热演化程度更高而更为贫氢。二是受气藏中

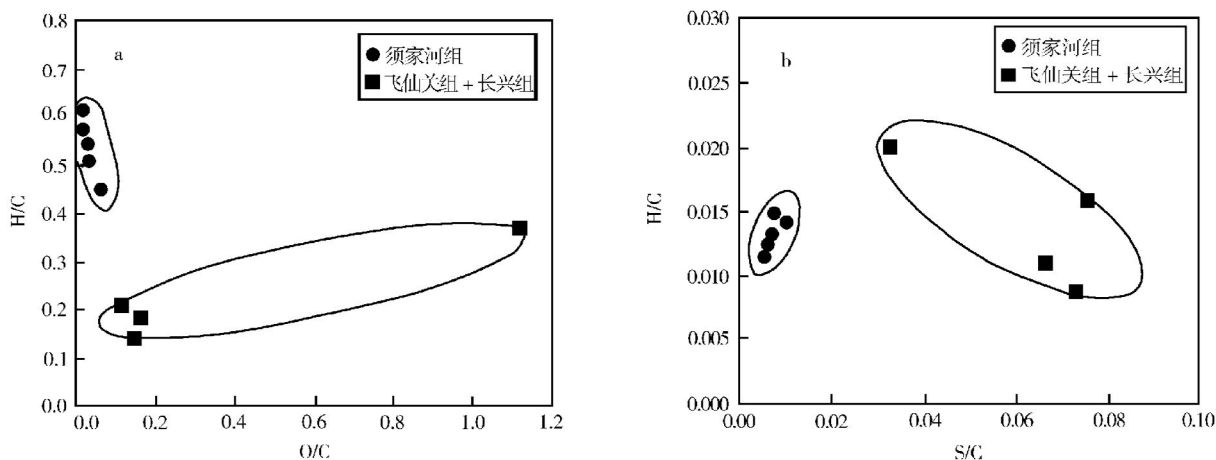


图 1 宣汉-达县地区气藏固体沥青有机元素组成

Fig. 1 Organic elementary composition of solid bitumen in gas reservoirs in Xuanhan-Daxian region

① 黄藉中, 陈盛吉, 宋家荣, 等. 四川盆地碳酸盐发育区主要烃源岩分布及有机质演化研究. 成都: 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司勘探开发研究院, 1995

发生的硫酸盐热化学还原作用的影响。在此过程中不断形成的低价硫可能与沥青相结合,同时沥青被氧化,导致其硫和氧的含量增加。这些层位沥青的氮含量没有明显差别,它们的 N/C 原子比变化在 0.009~0.020 之间,表明氮的含量主要取决于原始原油的组成,受成藏期后次生作用的影响较小。

2.2 碳同位素组成

普光气田所分析的飞仙关和长兴组沥青碳同位素变化在 -25.60‰ ~ -27.78‰ 之间,分布范围小于川东石炭系的储层沥青 (-24.34‰ ~ -29.66‰),明显重于震旦系灯影组储层固体沥青(平均值为 -35.25‰)^[5~7],意味着其原始烃源岩性质不同。大量分析资料表明,正常原油的碳同位素比相应源岩干酪根轻 1‰ ~ 2‰ ,而固体沥青的碳同位素要比其原始原油重 2‰ ~ 3‰ ^[8]。这样,固体沥青的 $\delta^{13}\text{C}$ 值要高出烃源岩干酪根 1‰ ~ 2‰ 。川东北地区毛坝 3 河坝 1 和川岳 84 井的上二叠统烃源岩干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -26.50‰ ~ -29.20‰ ,比所研究的沥青低 1‰ ~ 2‰ ,由此可证实这些沥青的原始油源来自该套烃源层。为了比较,笔者同时分析了本区须家河组沥青样品。须家河组沥青碳同位素明显重于飞仙关和长兴组沥青,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布在 -22.97‰ ~ -24.38‰ 范围内,表明两者具有不同的烃源。须家河组沥青可能为自生自储沥青。

来源于不同类型成油母质的原油(沥青),其饱和烃和芳烃组分的碳同位素组成及两者间的差值有明显区别。图 2 是川东地区各时代烃源岩和

普光 2 井飞仙关组沥青及寒武系沥青的饱和烃、芳烃 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布范围。图中的直线 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{芳}} = 1.14 \delta^{13}\text{C}_{\text{饱}} + 5.46$) 是 Sofer^[9] 依据大量原油数据统计回归出来作为区分海相与陆相原油的分界线。实际上,这种用碳同位素组成划分原油类型的方法并非区分原油源岩的沉积相,而是区分其有机质类型。海相沉积中有机质来源主要为水生生物,其饱和烃和芳烃组分可能源于相似的原始生物生化成分的演化,因而两者的碳同位素值比较接近,相应的数据点在该图版中位于直线的下方;而陆相地层中,富含芳香结构的陆源高等植物在有机质来源中占有重要比例,因而芳烃的碳同位素要明显重于饱和烃组分,相应的数据点落在直线的上方。

普光 2 井飞仙关组 2 个沥青的饱和烃和芳烃碳同位素值分别为 -28.60‰ 、 -28.10‰ 和 -28.80‰ 、 -28.00‰ ,数据点落在图中的海相有机质范围,为其海相成因提供了佐证。在图 2 中还可看到,典型海相成因的寒武系源岩及沥青和奥陶系、志留系、下二叠统等烃源岩的数据点均在海相有机质区域,说明这种区分海、陆相有机质的方法是合理的。

3 饱和烃生物标志物及其地球化学意义

3.1 正烷烃与类异戊二烯烃

普光 2、普光 6、毛坝 3 等井飞仙关组、长兴组及须家河组的沥青样品经粉碎后用氯仿进行浸泡萃取,沥青可溶物用柱层析方法分离出饱和烃和芳烃组分,分别进行了 GC-MS 分析。分析结果表明,这些沥青有完整碳数的正构烷烃分布(图 3),碳数一般在 C_{13} — C_{30} 范围,说明它们没有受到明显的生物降解作用。虽然在色谱图上基线出现较平缓的鼓包,但并不是生物降解所致。从它们低碳数化合物较少的情况看,可能是热裂解作用使正烷烃损失较多所造成的。这些沥青正烷烃的主峰碳数在 C_{20} 左右,由于它们已经遭受过热降解作用,不具有表征有机质来源的地球化学意义。

这些沥青的类异戊二烯烃系列化合物含量较高, $\text{Ph}/m\text{C}_{18}$ 比值在 0.4~0.9 之间,表明含叶绿素的有机质对其成烃母质贡献较大。它们均呈植烷

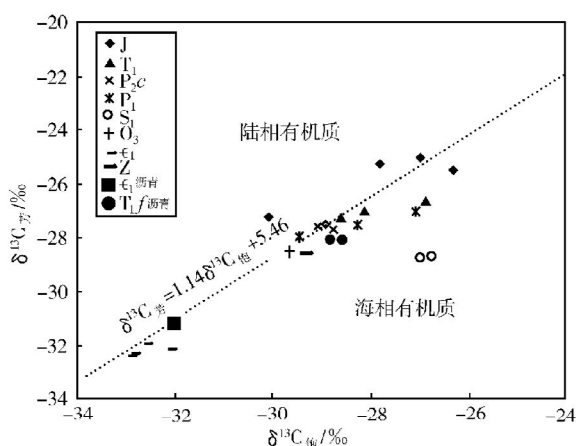


图 2 川东地区烃源岩和沥青饱和烃、芳烃碳同位素值分布
Fig. 2 Carbon isotope values of aromatic vs. saturated hydrocarbons of bitumen and source rocks in eastern Sichuan basin

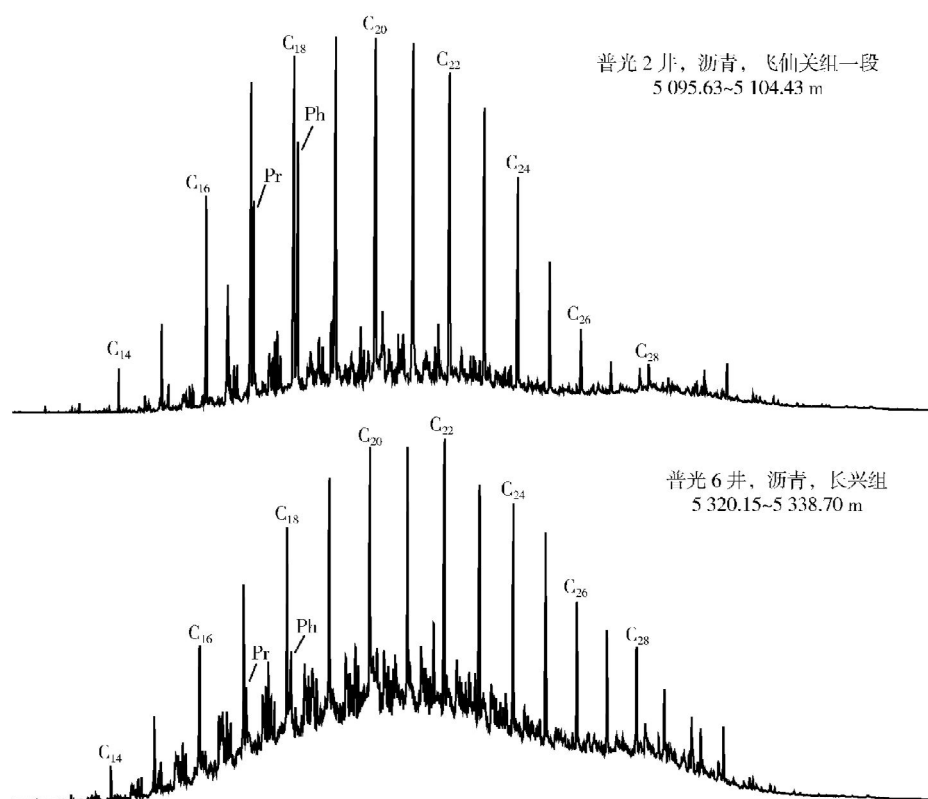


图 3 宣汉-达县地区沥青饱和烃气相色谱

Fig. 3 Gas chromatogram of saturated hydrocarbons in bitumen in Xuanhan-Daxian region

优势, Pr/Ph 比值大都在 0.6 左右, 意味着这些沥青的原始烃源来自沉积于还原环境中的有机质。

3.2 甾烷

GC-MS 分析表明, 飞仙关组、长兴组沥青甾烷系列中 C_{27} 化合物占优势, C_{27} — C_{29} 甾烷呈不对称的“V”字型分布, 说明它们成油母质的有机质来源中水生生物贡献较大。同时, 笔者注意到在普光 2 井飞仙关组沥青之间甾烷的碳数分布有所不同。飞仙关组二段和飞仙关组一段下部储层沥青中 C_{27} 甾烷相对含量高于飞仙关组一段中、上部样品, 前者的 C_{27}/C_{29} 甾烷比值在 1.1 左右, 而后者大都在 1.0 以下。这说明该古油藏中可能曾有两期不同油源的原油注入。这种差别还反映在孕甾烷相对含量上, 飞仙关组二段和飞仙关组一段下部储层沥青中其含量要明显低于飞仙关组一段中、上部样品。成熟度参数的对比显示, 它们的孕甾烷含量高低并非成熟度不同所致, 可能是有机质来源或沉积环境性质上的差异。

在此值得指出的是, 这些沥青甾烷的异构化率似乎尚未达到其平衡值, 它们的 $C_{29}S/(S+R)$ 比值均在 0.5 上下。这与邻近烃源岩的有机质热

演化程度不一致。实测的飞仙关组源岩 R_o 值已达到 2.0% 左右^[10-11]。这种情况也见于烃源岩可溶抽提物中。对于这样的异常现象 (有人称为倒转) 目前尚无法作出合理的解释。不过, 该现象提醒我们在应用生物标志物确定成熟度时要考虑这个问题。

为了检测一些具指相和断代意义的生物标志物, 本研究选取一些沥青饱和烃样品进行 GC-MS-MS 分析。在这些样品中检测到 C_{30} 甾烷和 C_{26} 甾烷。 C_{30} 甾烷有两类: 一类是 24-异丙基胆甾烷, 另一类是 24-正丙基胆甾烷。不同时代地层中这两类 C_{30} 甾烷有不同的含量。震旦系和下寒武统海相地层中以 24-异丙基胆甾烷为主, 而寒武纪之后的海相地层中以 24-正丙基胆甾烷为主^[12]。这两种 C_{30} 甾烷在湖相样品中均未检测到, 因而是判识海相有机质的特殊生物标志物。

本区这些沥青中检测到的主要是 24-正丙基胆甾烷, 说明其源岩时代在寒武纪之后, 同时也证实这些沥青源于海相烃源岩。 C_{26} 甾烷有 21-、24-和 27-降胆甾烷 3 个系列, 21-和 27-降胆甾烷在海相和陆相原油及生油岩中均有, 而 24-降胆甾烷只在海相地层中检出。在本样品中也检

测到 24-降胆甾烷, 这进一步证实这些沥青来自海相有机质。

3.3 萜烷

普光气藏飞仙关组和长兴组沥青样品中萜烷含量较丰富。由于成熟度高, 它们的三环萜烷含量很高, 在长兴组样品的 m/z 191 质量色谱图上其峰高超过藿烷。这个系列化合物主要来源于细菌和其他微生物, 通常来源于有机质类型较好的源岩原油 (沥青) 中其相对含量较高。与孕甾烷的含量变化相似, 普光 2 井飞仙关组沥青中三环萜烷相对含量也存在差别。飞仙关组二段和飞仙关组一段下部储层沥青中其相对含量较低, 而在飞仙关组一段中、上部样品中较高。在碳数分布上, 这些沥青之间也存在一定差别。长兴组沥青中 C_{23} 三环萜烷相对含量很高, 表征水生生物有机质来源; 而部分飞仙关组沥青中 C_{21} 化合物 (C_{20} 中可能混有污染峰) 含量与 C_{23} 相当, 可能与成熟度或烃源岩类型不同有关。

沥青的五环三萜烷中, 伽马蜡烷的含量较高。在 m/z 191 质量色谱图上其峰高与 C_{31} 藿烷相近, 表征原始有机质的沉积水体咸度较高, 也可作为沥青来源于海相地层的一个佐证。

它们的藿烷分布没有显示出特殊性, C_{31} 以上化合物随碳数增加呈递减型分布模式, 表明它们并非来源于典型的强还原环境中的碳酸盐烃源岩, 可能源于泥质岩。值得探讨的是, 这些沥青中均存在含量较高的 25-降藿烷系列化合物。该系

列化合物常被认为是由藿烷经微生物的降解作用而来, 在许多遭受过严重生物降解的原油中确实检测到高含量的这类化合物。但一些学者对该系列化合物的成因提出质疑。他们指出, 25-降藿烷在一些生物降解原油中没有被检出, 而在一些生油岩中却以一定的含量存在。对此, Blanc 和 Conna^[13] 得出的结论是, 25-降藿烷是原油和生油层中原本就存在的生物标志物, 之所以在降解油中含量高, 是因为生物降解作用选择性地消耗了更易降解的规则藿烷所致, 并非由藿烷的脱甲基作用形成。

本区沥青样品中均检出了含量较高的 25-降藿烷系列化合物 (图 4)。据此, 前人在相关研究报告中认为这些沥青经历过生物降解作用。实际上, 这种观点是有误的。因为在本区各层位烃源岩中普遍存在该系列化合物 (图 4), 表明这些化合物不是由于生物降解作用而来。之所以在这些沥青和烃源岩中存在这类化合物, 是因为成熟度高的缘故。根据实测的 R_o 值和芳烃化合物成熟度参数, 宣汉-达县地区飞仙关组沥青和邻近层位的烃源岩有机质已处于高成熟或过成熟演化阶段。与规则藿烷相比, 25-降藿烷的热稳定性更高。据分子热力学计算, C_{25} -甲基在藿烷分子结构中占据有位阻的位置, 这个甲基的失去会释放 21 kJ/mol 的能量; 因而在高热演化的这些沥青中这类化合物的相对含量就较高。这进一步说明这些沥青没有遭受过明显的生物降解作用, 与它们有完整的正烷烃分布相吻合。

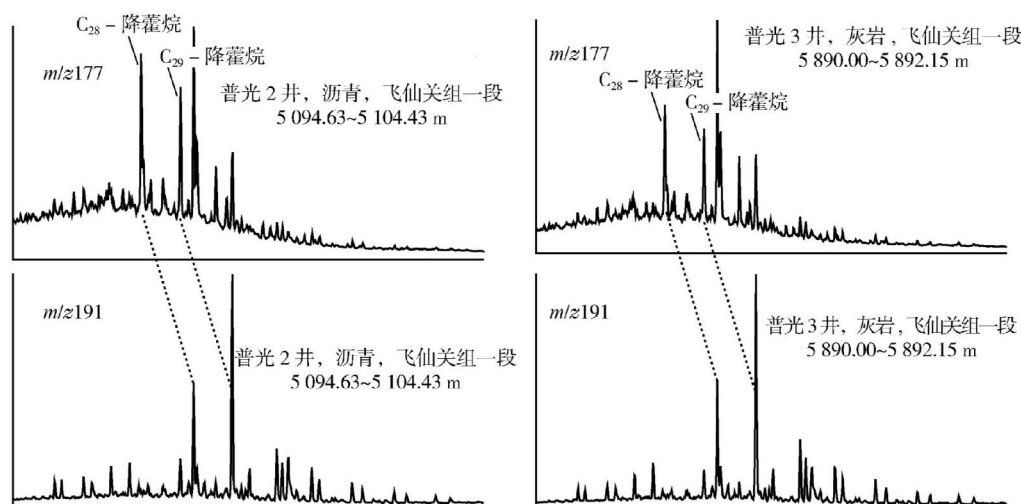


图 4 普光构造飞仙关组沥青和烃源岩 25-降藿烷分布

Fig. 4 Distribution of 25-norhopanes of the bitumen and source rock in Feixianguan Fm in Puguang gas pool

4 芳烃组成特征及演化程度

芳烃化合物是原油和生油岩中有机质的重要组成部分,一般占 20% ~ 30%。目前检测到的芳烃种类繁多、结构多样,包含着丰富的地球化学信息,广泛被应用于区分有机质母质类型、沉积环境和确定热演化程度。地质体中芳烃化合物基本上都是沉积有机质的热演化产物,不像饱和烃生物标志物那样与生物先质物有明确的对应关系。在一般的成熟生油岩和原油中,芳烃大都以萘、菲系列为主,两者总量常在 50% 以上;在海相碳酸盐岩和蒸发岩及其原油中,含硫有机物通常占有较高的相对含量。

令人感兴趣的是,本区沥青的芳烃化合物组成与一般的原油不同。它们的萘、菲系列化合物较少,而以四、五环芳烃化合物为主(图 5)。四环芳烃主要有萤蒽、芘、屈和苯并[a]蒽等,五环芳烃主要有苯并萤蒽、苯并[a]芘、苯并[e]芘、芴等。这样的芳烃组成在地质样品中并不多见。同时我们注意到,本区烃源岩芳烃也具有相似的组成特征。这说明在高温演化阶段,伴随有机质不断裂解成气,残余有机质需通过芳构化作用以达到氢原子分配的平衡。在这种过程中,低碳环数的芳烃可能发生脱氢稠合,并使芳烃化合物侧链断裂逐渐失去烷基,从而导致具有较高热稳定性的无侧链多环母体芳烃化合物得以富集。在可溶物的族组分中,这些高演化程度的沥青及源岩芳烃组分的含量一般都比饱和烃高,有的样品饱/芳比值可低至 0.2,反映了这种芳构化作用的存在。

地质体中,烷基以 α 取代的芳烃化合物由于存在位阻效应而不稳定,在热演化过程中要向更稳定的 β 取代化合物转变,因而这两类结构的芳烃化合物相对比值可作为有机质的成熟度参数。与饱和烃相比,芳烃的成熟度参数有更宽的化学动力学范围。一般的甾、萜烷异构化率在达到生油高峰前就达到其平衡值,而芳烃成熟度参数可延伸通过生油窗,适用于高演化阶段的成熟度确定。在繁多的芳烃成熟度参数中,甲基菲指数是应用最广的指标。

甲基菲指数 (MPI_1) 主要基于菲 (P) 和 4 个甲基菲异构体 (3-MP, 2-MP, 9-MP, 1-MP) 之间的比值,计算公式为: $MPI_1 = 1.5(2-MP + 3-MP) / (P + 1-MP + 9-MP)$ 。Radke 等^[8] 的研究表明,生油岩中 MPI_1 与镜质体反射率 (R_o) 具有线性关系:在 R_o 小于 1.35% 时, $R_o = 0.6MPI_1 + 0.4$ (R_o 为换算的镜质体反射率);当 R_o 大于 1.35% 时, $R_o = -0.6MPI_1 + 2.3$ 。

图 6 为普光 2 井飞仙关组沥青及毛坝 2 井同层位烃源岩芳烃的菲系列分布图。图中显示,沥青的菲化合物含量最高,甲基菲、二甲基菲和三甲基菲化合物含量依次减少,呈高演化的分布模式^[14]。在甲基菲系列中, α 取代的 9-MP 和 1-MP 化合物(后两个峰)显著低于 β 取代的 3-MP 和 2-MP 化合物(前两个峰),表征相当高的热演化程度。这些飞仙关组沥青由 MPI_1 指数换算的镜质体反射率 (R_o) 值在 2.00% 上下。毛坝 2 井飞仙关组三段灰岩的菲系列化合物分布与这些沥青相似。该烃源岩样品换算的 R_o 值为 1.91%, 接近实测的 R_o 值(为 2.18%), 可佐证该参数表征的沥青成熟度。

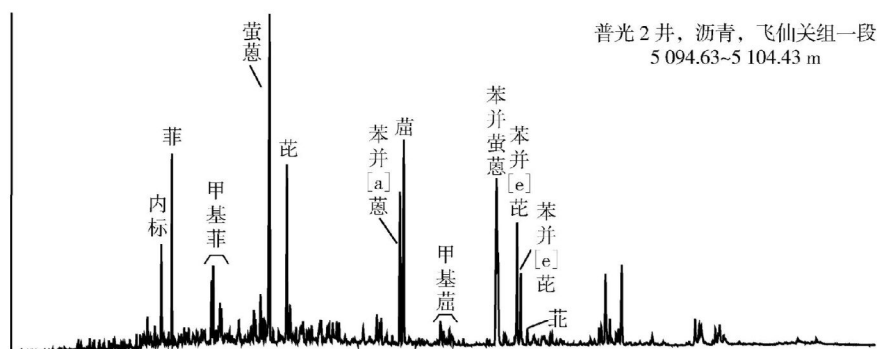


图 5 普光构造飞仙关组沥青芳烃化合物分布

Fig. 5 Distribution of aromatic hydrocarbons of the bitumen in Feixianguan Fm in Puguang gas pool

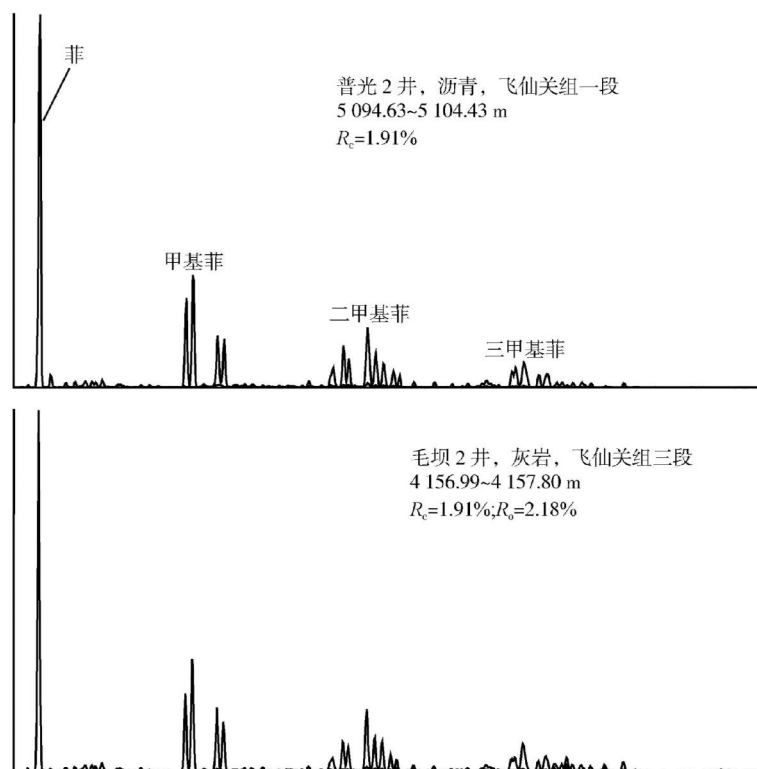


图 6 飞仙关组沥青和烃源岩菲系列化合物分布

Fig. 6 Distribution of phenanthrenes of the bitumen and source rock in Feixianguan Fm in Puguang gas pool

5 结论

1) 普光气田飞仙关组和长兴组储层沥青为古油藏原油经裂解成气之后的残留物。其有机元素组成以贫氢、富氧、富硫为特征,属高热演化且受碳酸盐热化学还原作用影响的焦沥青类。碳同位素与本区上二叠统烃源岩干酪根相当,证实两者具有成因关系。

2) 沥青的饱和烃中正烷烃系列碳数分布完整,表明它们没有遭受过严重的生物降解作用,其所含的 25-降藿烷是高成熟所致。生物标志物组合表征,本区沥青源于有机质来源以水生生物为主,沉积在还原环境中的海相烃源层。

3) 沥青的芳烃化合物组成独特,富含四、五环芳烃化合物,且以萤蒎、芘、屈和苯并萤蒎等无烷基取代的母体芳烃化合物为主,反映出沥青裂解成气过程中的有机质芳构化作用。

参 考 文 献

- 1 马永生,郭旭升,郭彤楼,等.四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示[J].地质论评,2005,51(4):477~480
Ma Yongsheng Guo Xusheng Guo Tonglou et al Discovery of the large-scale Puguang gas field in the Sichuan basin and its enlightenment for hydrocarbon prospecting[J]. Geological Review, 2005, 51(4): 477~480
- 2 马永生,蔡勋育,李国雄.四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J].地质学报,2005,79(6):858~865
Ma Yongsheng Cai Xunyu Li Guoxiong Basic characteristics and concentration of the Puguang gas field in the Sichuan basin [J]. Acta Geologica Sinica 2005, 79(6): 858~865
- 3 王金琪.四川盆地油气地质特征[J].石油实验地质,2004,26(2):115~120
Wang Jinqi Characteristics of petroleum geology in the Sichuan basin [J]. Petroleum Geology & Experiment 2004, 26(2): 115~120
- 4 蔡勋育,马永生,李国雄,等.普光气田下三叠统飞仙关组储层特征[J].石油天然气学报,2005,27(1):43~45
Cai Xunyu Ma Yongsheng Li Guoxiong et al Reservoir characteristics of Feixianguan in Puguang gasfield [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(1): 43~45
- 5 王兰生,陈盛吉,杨家静,等.川东石炭系储层及流体的地球化学特征[J].天然气勘探与开发,2001,24(3):28~38
Wang Lansheng Chen Shengji Yang Jiajing et al Geochemical characteristics of Carboniferous reservoirs and fluids in eastern Sichuan basin [J]. Natural Gas Exploration and Development 2001, 24(3): 28~38
- 6 黄籍中,冉隆辉.四川盆地震旦系灯影灰岩黑色沥青与油气勘探[J].石油学报,1989,10(1):27~36
Huang Jizhong Ran Longhui Bitumen and oil gas exploration in Sinian "Dengying limestone" in Sichuan basin [J]. Acta Petrolei Sinica 1989, 10(1): 27~36
- 7 谢增业,李剑,单秀琴,等.川东北罗家寨飞仙关组气藏成藏过程及聚集效率[J].石油与天然气地质,2005,26(6):765~769

- Xie Zengye, Li Jian, Shan Xiuqin, et al. Reservoir process and accumulation efficiency of Feixianguan Formation gas pool in Luoizahai northeast Sichuan basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 765– 769
- 8 Machell H G, Krouse H R, Sassen R. Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction [J]. Applied Geochemistry, 1995, 10(4): 373– 389
- 9 Sofer Z. Stable carbon isotope composition of crude oils application to source depositional environments and petroleum alteration [J]. AAPG Bulletin, 1984, 68(1): 31– 49
- 10 蔡勋育, 韦宝东, 赵培荣. 南方海相烃源岩特征分析 [J]. 天然气工业, 2005, 25(3): 20~ 22
- Cai Xunyu, Wei Baodong, Zhao Peirong. Characteristics of the marine hydrocarbon source rocks in South China [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(3): 20– 22
- 11 沃玉进, 肖开华, 周雁, 等. 中国南方海相层系油气成藏组合类型与勘探前景 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 11~ 16
- Wu Yujin, Xiao Kaihua, Zhou Yan, et al. Types of marine plays in southern China and exploration prospects [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 11– 16
- 12 McCaffrey M A, Moldovan JM, Lipton P A, et al. Paleoenvironmental implications of novel C₃₀ steranes in Precambrian to Cenozoic age petroleum and bitumen [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1994, 58(1): 529– 532
- 13 Blanc P, Connan J. Origin and occurrence of 25-norhopanes a statistical study [J]. Organic Geochemistry, 1992, 18(6): 813– 828
- 14 范善发, 周中毅, 韩林, 等. 塔里木古地温与油气 [M]. 北京: 科学出版社, 1990, 52~ 55
- Fan Shanfa, Zhou Zhongyi, Han Lin, et al. Paleotemperature and oil & gas in Tarim basin [M]. Beijing Science Press, 1990, 52– 55

(编辑 李 军)

(上接第 339 页)

- 21 解习农, 李思田, 胡祥云, 等. 莺歌海盆地底辟带热流体输导系统及其成因机制 [J]. 中国科学, 1999, 44(7): 247~ 256
- Xie Xinong, Li Sitian, Hu Xiangyun, et al. The hydrothermal conveying system and its formation mechanism of diapiric zone in Yinggehai basin [J]. Science in China, 1999, 44(7): 247– 256
- 22 Calkwell J. Marine multicomponent seismology [J]. The Leading Edge, 1999, 18(11): 1 274– 1 288
- 23 Kommedal JH, Ackers M, Gunnar P. Processing the Hod 3D multicomponent OBS survey: comparing parallel and orthogonal acquisition geometries [J]. The Leading Edge, 2002, 21(8): 795– 802
- 24 周文. 裂缝性油气储集层评价方法 [M]. 成都: 四川科技出版社, 1998, 39~ 60
- Zhou Wen. The evaluation method of fractured reservoirs [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1998, 39– 60
- 25 钟嘉猷. 试验构造地质学及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1998, 201~ 218
- Zhong Jiayou. Experimental tectonic and its application [M]. Beijing Science Press, 1998, 201– 218
- 26 黄捍东. 碳酸盐岩裂缝油气预测的地球物理方法研究 [D]. 成都: 成都理工学院博士学位论文, 2000, 23~ 27
- Huang Handong. Study of geophysical prospecting method for predicting oil and gas in fractured carbonates [D]. Chengdu: Chengdu Technology University, 2000, 23– 27
- 27 刘殊, 杨继友. 一个可能的生物礁预测 [J]. 石油物探, 2004, 43(1): 20~ 25
- Liu Shu, Yang Jiyu. A possible organic reef [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(1): 20– 25

(编辑 李 军)

“中国西部复杂油气藏地质与勘探技术研讨会”在长沙召开

“中国西部复杂油气藏地质与勘探技术研讨会”于 2006 年 5 月 14 日至 15 日在湖南长沙顺利召开。中国科学院院士王铁冠教授、中国工程院院士康玉柱教授应邀莅临大会, 并就“塔河油田油气成藏地球化学特征”和“新疆前陆盆地构造特征与油气分布”两个学术问题作了精彩发言。

在为期两天的会议上, 共有约 40 名专家、代表进行了大会发言, 就关心的热点问题展开了深入的讨论, 如: 多旋回盆地、前陆盆地演化以及复杂构造变形; 碎屑岩及碳酸盐岩的层序地层学、沉积模式; 二次生烃热模拟与再生烃源、碳酸盐岩生烃、油源对比以及复杂的油气成藏运聚模式; 喜马拉雅运动对油气成藏的影响; 特殊油气储层的成因及预测; 低阻砂岩储层以及碳酸盐岩缝洞型储层描述与评价等。

通过两天的交流和讨论, 本次会议达成了以下共识: 1) 中国西部无论是大型的多旋回叠合盆地、前陆盆地, 还是中、小型的山间盆地、残留盆地, 都蕴藏着丰富的油气资源, 但是资源的分布有待进一步研究落实; 2) 西部诸多盆地具有特色鲜明的成藏特征, 如多套烃源岩、丰富的储集岩石类型和多种类型的圈闭, 具备形成大、中型油气田的优越成藏条件, 但是盆地之间的相互差异较大; 3) 西部油气成藏富集规律虽然已从不同方面、不同层面进行了探讨和总结, 有效地指导了过去的勘探工作, 但理论的滞后性依然存在; 4) 西部的油气勘探评价技术已经成为西部勘探的战略问题, 技术的成功运用不仅有利于油气的发现, 也将促进理论的形成和完善, 但技术的成功运用特别需要跨学科的交流与合作; 5) 西部存在丰富的后备勘探目标, 勘探潜力巨大, 但对勘探风险的认识尚不充分, 圈闭的可靠性与有效性的分析评价都有待加强; 6) 更加清楚认识到西部盆地的复杂性, 也进一步明确了地质理论和勘探技术的努力方向。因此地质理论和勘探技术创新将是西部油气勘探取得重大突破的关键。

(包书景, 徐向华)