

中国新生界咸水湖相烃源岩和 原油生物标志物组合特征

张枝焕¹ 杨藩² 李东明¹ 方朝亮¹

1(石油大学 北京 102200) 2(青海石油管理局勘探开发研究院 甘肃敦煌 636200)

提 要 我国广泛发育着新生界咸水湖盆,这些湖盆具有独特的沉积环境和生油气条件。咸水湖相烃源岩及其所形成烃类的地球化学特征,既不同于淡水湖相,又不同于海相烃源岩及原油的地球化学特征。介绍了我国咸水湖相中烃源岩及原油的生物标志物组合特性、形成条件及其地球化学意义。

关键词 咸化湖相 沉积环境 地球化学 烃源岩 原油 生物标志物

第一作者简介 张枝焕 男 35岁 副教授 博士生 有机地球化学

在不同的沉积环境中,由于沉积期间水介质条件及有机质输入的不同,可能具有明显不同的生物标志物组合特征。在一定条件下,大量单一的或有限属种的生物聚集能够产生丰富的一种或少数几种具诊断性的生物标志物^①。如果在石油和沥青中存在相当浓度的某些生物标志物,就可推测其母岩有机物沉积时的环境条件,即在特定的沉积环境,沉积岩(物)中的有机质及原油的化学组成具有一定的组合特征。我国广泛发育新生界咸化湖,这些湖盆的地球化学条件既不同于淡水湖盆,又不同于海洋,因此咸水湖盆中的生物体富集组合、保存和转化条件都与淡水湖泊和海洋存在差异,造成了咸水湖盆生油岩及原油具有独特的生物标志物组合特征。

1 烃源岩及原油中饱和烃分布特征

1.1 正构烷烃组成

一般认为高分子量的正构烷烃来源于高等植物蜡,而低分子量的正构烷烃主要来源于藻类等低等水生生物。我国咸水湖相未熟-低熟原油和生油岩中正构烷烃普遍具有偶碳优势,如江汉盆地^②、柴达木盆地^{③,4)}、晋县凹陷^⑤等。江汉盆地、柴达木盆地第三系内陆半咸水-盐湖相原油与生油岩中,正构烷烃 CPI 值显著偏低(0.78~0.60),即在 $nC_{20} \sim nC_{28}$ 范围内呈现出明显的偶碳优势特征^⑥。据黄杏珍等研究^④,柴达木盆地西部中区和北区正构烷烃偶碳优势十分明显, CPI 为 0.833~0.97,均小于 1.0;南区偶碳优势减弱,说明柴达木盆地第三系生油岩及原油中正构烷烃分布受沉积时盐度的控制,随盐度增大,偶碳优势变得突出。李任伟^⑥总结了我国内陆盐湖相生油岩地化特征后认为具有偶碳优势是蒸发岩

盆地沉积岩正构烷烃组成的一大特征。

关于盐湖环境偶数碳正构烷烃的成因机理有几种不同的解释:(1) 在高盐度强还原条件下,蜡中的正脂肪酸类、植醇类以及植烷酸的还原作用超过了脱羧作用,从而造成正构烷烃分子的偶碳优势;(2) 在超盐度环境中细菌活动可能产生偶碳优势的 $C_{20} \sim C_{30}$ 正构烷烃的富含有机质的沉积;(3) 沉积物中偶碳优势的正脂肪酸在方解石等催化剂存在的条件下加热,则发生 β 位 C-C 键裂开,丢失两个碳原子形成偶数碳正构烷烃;(4) 来自某些特定的生物,这些生物为蒸发岩环境的典型生物。

nC_{22} 优势在我国咸水湖相环境中比较普遍,比如,在洪泽凹陷管镇次凹阜四段,靠近沉积中心的兴隆 1 井生油岩饱和烃馏份中正构烷烃具很高的 nC_{22} ^②;济阳拗陷沙河街组沙四段生油岩饱和烃中 nC_{22} 含量可达 10%~50%;柴达木盆地原油及生油岩饱和烃中 C_{22} 正构烷烃丰度很高,为主峰或次主峰^④。

在未熟-低熟原油和生油岩中正构烷烃组成往往具双峰态,如柴达木盆地第三系生油岩中饱和烃具有较明显的两个主峰碳;东濮凹陷沙河街组未成熟生油岩中正构烷烃也由两个峰构成,一个是 C_{23} 以前为低碳数群,其主峰为 C_{18} 或 C_{20} ,在 C_{23} 以后为高碳群,其主峰碳为 C_{28} 或 C_{29} ^⑤,这与我国咸化程度较低的陆相和海相有机质正构烷烃特征是不同的。

1.2 类异戊间二烯烷烃

我国内陆咸水湖相生油岩及原油中,一般都具有明显的植烷优势。例如,晋县凹陷 pr/ph 变化于 0.11~0.50 之间^⑦;江汉盆地潜江组从潜一段到潜四段的生油岩中,pr/ph

① 梁狄刚.冀中拗陷油气生成.华北油田勘探开发研究院(内刊,1983),下同。

② 侯读杰.洪泽凹陷阜宁组生油岩研究.江苏石油管理局,江汉石油学院(内刊,1994),下同。

③ 黄醒汉.东濮凹陷第三系石油地质综合研究论文集.华东石油学院(内刊,1986),104~120,下同。

收稿日期:1997-08-05 收修改稿日期:1997-12-11

变化于0.13~0.25之间^[2]。柴达木盆地第三系原油中植烷占绝对优势,其含量占烷烃含量的2.6%~7.7%,占植烷系列化合物的23%~48%。与原油一样,生油岩具明显的植烷优势,且往往与正构烷烃偶碳优势相伴生^[4](图1)。关于姥鲛烷、植烷的成因目前有几种不同的看法:一般认为在氧化环境中,叶绿素植醇侧链开裂,植醇继而氧化、脱羧基,可产生姥鲛烷;而在还原环境中,叶绿素侧链开裂后,植醇被还原而形成植烷。近年来,又发现了植烷和姥鲛烷的一些新来源。Goossens^[6]报道了沉积物中的 α -维生素E经热解产生 Δ 姥鲛烯,进而转化成姥鲛烷。Chappe等^[9]提出古细菌中C₄₀二植烷基丙二醇二醚的选择性降解,可以生成植醇,古盐湖环境下有利于古细菌大量繁殖形成植烷。王铁冠^[5]认为高盐度环境不仅有利于增强还原条件,而且有利于喜盐古细菌的繁衍,从而提高植烷的补充来源。

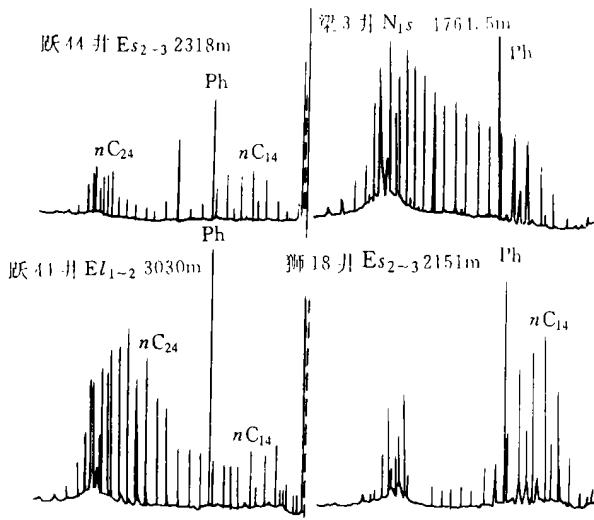


图1 柴达木盆地西部地区第三系生油岩中饱和烃的气相色谱

(据青海油气区石油地质志编写组,1990,层位有修改)

Fig. 1 Gas chromatogram of the saturated hydrocarbons from the Tertiary source rocks in the west of the Qaidam Basin

在咸水湖相生油岩和原油中还存在较丰富的更高碳数的类异戊间二烯烷烃。例如,在晋县凹陷E_{S1}-E_k组含膏泥岩和江汉盆地潜江组原油中^[6,10]都发现过*i*C₂₁-*i*C₂₅高碳数类异戊间二烯烷烃。在这些化合物中,*i*C₂₅类异戊间二烯烷烃尤其丰富,比如,东濮凹陷沙三段生油岩中规则C₂₅-类异戊间二烯烷烃含量超过了正构烷烃,2 × *i*C₂₅ / (*n*C₂₂ - *n*C₂₃) 高达3.68,而咸度较低沙三段生油岩不具这一特征。C₂₅类异戊间二烯烷烃是一种高盐环境的标志物。这类化合物可能与某些喜盐细菌有关^[5]。

1.3 萜类化合物

1.3.1 倍半萜类及二萜类化合物

在许多咸水湖相生油岩中都检出了C₁₄-C₁₆倍半萜烷,

这些化合物大都代表高等植物生源。环状二萜类的酸、烃、醇、酚均系高等植物树脂和支持组织的主要成分,尽管海生生物特别是藻类也产生环状二萜类,但二萜类与倍半萜等生物标志物同时出现,仍可反映高等植物的贡献。我国许多咸水湖盆,如舞阳、安宁和者北盆地盐湖相生油岩中发现了二萜烷化合物,含量一般很低^[9]。但在江汉盆地潜江组生油岩中发现相当丰富的三环二萜烷化合物^[10]。在柴达木盆地早2井盐湖相沉积剖面中还检测出了一系列碳数少于C₂₀由松香酸、海松酸和弥罗酸等天然树脂酸所形成的三环二萜类化合物^[9]。

1.3.2 长侧链三环萜烷和长侧链四环萜烷

在我国咸水湖相盆地沉积岩中普遍富含有三环萜烷系列化合物,其碳数可达C₂₉^[6]。在柴达木盆地第三系生油岩及原油中均含有长侧链三环萜烷,其含量虽然不高,但分布完整,从C₁₉-C₃₀(缺C₂₇)均存在^[4,11](图2)。东濮凹陷也发现三环萜类,其中C₂₃含量最高^[6]。关于长侧链三环萜烷的成因现在有许多不同的假说:(1)在缺氧条件下,由规则的类异戊二烯醇转化成三环六类异戊二烯醇,构成微生物的稳定成分,再由三环六类异戊二烯醇进一步还原形成常规三环萜烷;(2)某些原核生物的细胞膜成分,即三环六类异戊二烯醇作为前体物形成C₃₀-三环萜烷,整个系列是由C₃₀三环萜降解的产物;(3)由于石油中已经检测出更高碳数的常规三环萜烷系列同系物,至少应有部分三环萜烷来自于碳数更高的类异戊二烯醇;(4)浮游生物可能是三环萜烷的前体物;(5)常规的三环萜烷生源母质的微生物不仅包括细菌,也可能包括某些藻类。

据李任伟^[6]研究,盐湖相生油岩中还发现C₂₄四环萜烷。一般认为C₂₄四环萜烷与藿烷17,21碳位链开裂有关,与藿烷的分布相似。尽管在海相环境中也发现了C₂₄四环萜烷,但并不意味着这类化合物是海相环境(或海侵)的标志物。在塔里木陆相生油岩中就富含四环萜烷,在柴达木盆地第三系原油及生油岩中也检出丰富的C₂₄四环萜类^[4]。

1.3.3 五环三萜类化合物

我国咸水湖相生油岩中广泛分布各种藿烷化合物。未成熟的盐湖相生油岩中还含有C₃₁-C₃₅藿烯化合物,藿烯主要来源于细菌,藿17(21)-烯是高盐环境的生物标志物^[2]。我国盐湖相成因的原油及生油岩中C₃₁-C₃₅的升藿烷系列的分布,多具有C₃₃到C₃₅含量增大的趋势,如柴达木盆地西部北区生油岩样品中沉积盐度较低,自C₃₁-C₃₅含量依次降低,而中区特别是狮子沟和咸水泉地区沉积物的盐度较高,自C₃₁开始依次降低,至C₃₃后又升高呈C₃₅ > C₃₄ > C₃₃(图3)。

相对于藿烷系列化合物,非藿烷类五环三萜烷在咸水湖相生油岩及原油中的分布更具地质环境意义。咸水湖相沉积的生油岩中,伽玛蜡烷相对含量普遍很高,一般都超过了C₃₁升藿烷,有时甚至接近或超过 α - β -C₂₉降藿烷^[7]。江汉盆地潜江组盐湖相生油岩中伽玛蜡烷显得更突出,有些峰高接近,甚至超过了 α - β -C₂₉藿烷^[7]。江汉王4-11-13井潜二段生

油岩中伽玛蜡烷与 α - β -C₃₀ 藿烷峰高比值高达 1.3, 它为藿烷中最强峰^[10]。东濮凹陷下第三系盐湖相生油岩中也含有很高的伽玛蜡烷, 伽玛蜡烷/ α - β -C₃₀ 藿烷峰面积比值达 2.50~3.94。在冀中晋县凹陷、柴达木盆地生油岩及原油中也富含伽玛蜡烷。柴达木盆地第三系生油岩及原油中的伽玛蜡烷对 C₃₀ 藿烷与藿烷比值普遍大于 0.2, 盆地西部北区最高值为 0.58, 狮子沟一带最高达 1.12; 原油中该比值普遍高于 0.47, 最高达 1.14^[1]。Peters 和 Moldowan^[1] 提出, 伽玛蜡烷代表了盐湖相或非海相环境, 其含量随生油岩沉积时水体盐度的增加而增加。伽玛蜡烷曾被认为主要来自陆源蕨类植物中的伽玛蜡烷-3 β 醇。但也有资料表明, 伽玛蜡烷来源于四膜虫醇, 在原生动物、真菌、蕨类及红假单胞中都含有四

膜虫醇, 它们可以分布在盐湖或咸水环境, 也可以分布在海相沉积物中。尚慧芸等^[7] 在研究盐湖相生油岩中伽玛蜡烷含量异常高的原因时提出了三种可能: (1) 在盐湖中有一种既抗盐、又有丰富四膜虫醇的原生动物, 为生油岩提供了伽玛蜡烷的前驱物质; (2) 鉴于在一些陆生植物中发现有四膜虫醇的存在, 这些四膜虫醇在一定程度上溶于水, 溶解四膜虫醇的地表水、地下水以及河水汇集在湖盆中, 湖水盐度大有利于这些化合物浓度增加, 作为 C₃₀ 藿烷主要生源的蓝绿藻和细菌, 由于湖水中盐度高, 不如盐度较低的湖水中发育繁殖得快, 致使伽玛蜡烷的前驱物的含量优势增强; (3) 某些植物中的萜类化合物, 如芒柄蜡素, 在硫酸、盐酸催化作用下, 经过氧化还原作用变成四膜虫醇, 在盐湖沉积物中含有复杂

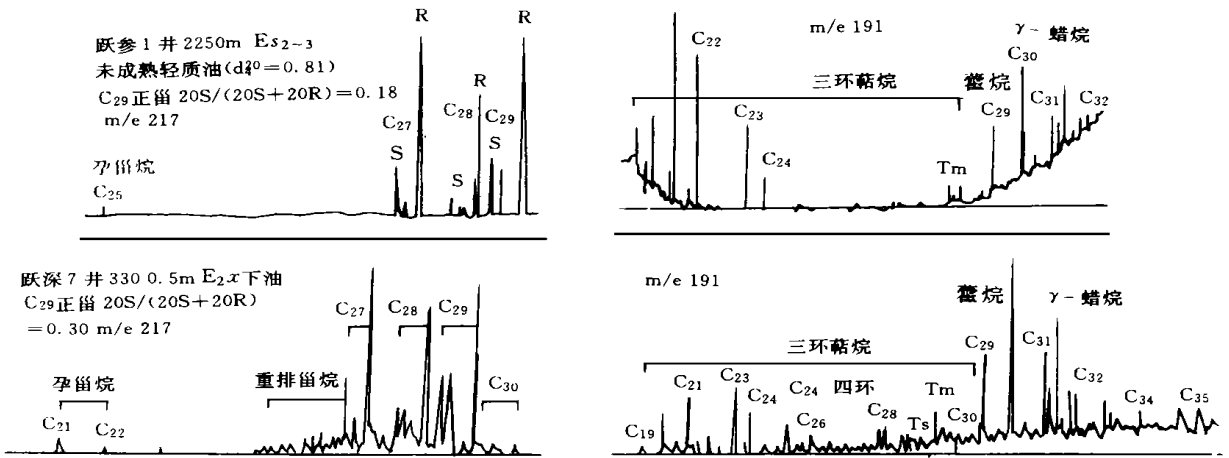


图2 柴达木盆地上第三系未成熟原油的甾萜烷化合物分布 (据青海油气区石油地质志编写组, 1990, 修改)

Fig.2 Sterane and terpane distributions of Neogene immature crude oil in the Qaidam Basin

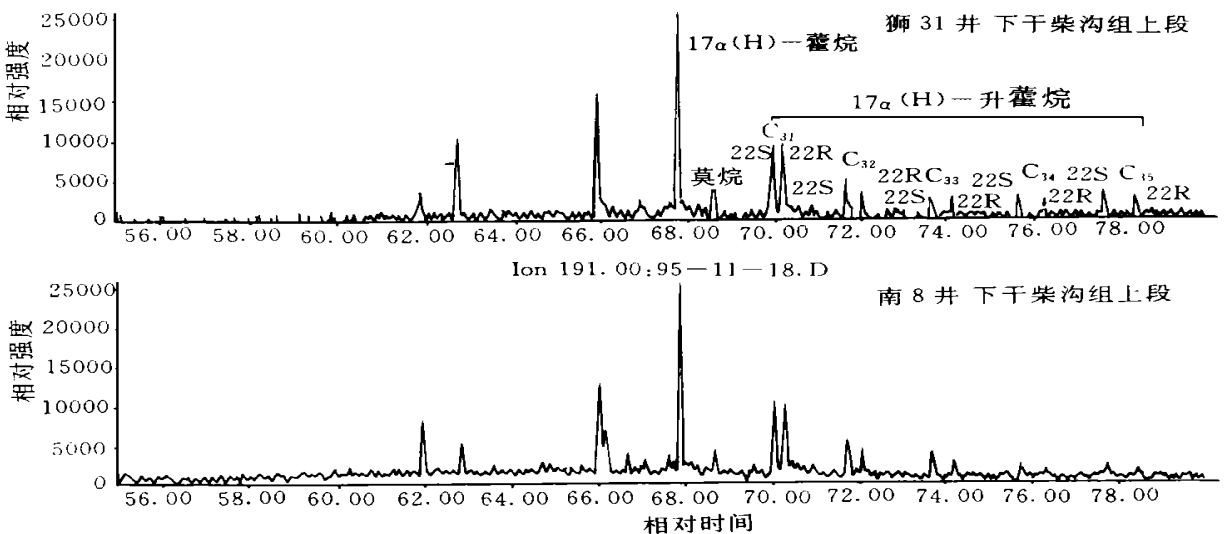


图3 柴达木盆地部分原油五环三萜烷分布

Fig.3 Pentacyclotriterpane distribution for some crude oils in the Qaidam Basin

的无机盐类,在成岩过程中又经过氧化-还原反应,或许会使某些萜类化合物转化成为伽玛蜡烷的前驱物——四膜虫醇,致使生油岩及原油中伽玛蜡烷的含量增加。黄杏珍等^[4]以柴达木盆地第三系原油和生油岩中伽玛蜡烷与 $5\alpha^{20}RC_{27}$ 甾烷含量呈正相关关系、随 C_{27} 甾烷含量的增长而增长,又缺失奥利烷和伽玛羽扇烷等资料为据,作出了“伽玛蜡烷来自在盐度超过真盐水环境下生长的低等动物”而“不是来自高等植物”的推断。

尽管有关伽玛蜡烷的成因还需作进一步的探讨,而且海相地层中也有伽玛蜡烷被检测出的报导,但它的高丰度仍不失为陆相(尤其是咸湖环境)生油岩或原油的标志。正如杨志琼等^[10]所指出:伽玛蜡烷比 $17\alpha(H)$ 、 $18\beta(H)$ 藿烷更高的现象与海相地层相比是有明显区别的,可以是盐湖相原油的一个特色。

在我国咸水湖相生油岩及原油中发现有奥利烷、羽扇烷等化合物。在晋县凹陷 $E_{s1} - E_k$ 组几乎所有的样品都发现了来源于高等植物的奥利烷,有些样品中还检出了螺旋三萜烷。江汉盆地潜江组生油岩中也分布有奥利烷和螺旋三萜烷^[7]。柴达木盆地上一中新统盐湖相生油岩中,一些陆源高等植物的标志物更为突出,在该盆地小梁山凹陷南翼山地区几个岩样,不仅奥利烷、螺旋三萜烷的相对含量非常高,而且检出了丰度较高的羽扇烷^[10]。奥利烷主要母质为 β 香树素,羽扇烷主要来源于 24-羟基桦木,螺旋三萜烷主要由奥利烷断链转化而成,这些醇化合物可以作为陆相生油岩的生物标志物。

盐湖相生油岩中还分布有不同立体化学构型的芒柄花烷和锯齿烷。王铁冠^[5]据渤海湾盆地黄骅坳陷、江汉盆地、柴达木盆地及陕甘宁盆地不同沉积环境生油岩及原油分析,锯齿烷和芒柄花烷的不同构型可以反映沉积环境,这些化合物可以作为区别陆相盐湖与海相蒸发盐环境的标志。现在检出的芒柄花烷均见于陆相沉积,锯齿烷也有海相成因的可能。他认为 I 型的锯齿烷仅见于淡水沉积环境, III 型芒柄花烷仅限于低盐度的古环境,而 II 型锯齿烷与 II 型芒柄花烷可见于淡水环境或半咸水—盐湖环境。

1.4 甾烷类化合物

在我国咸水湖相生油岩及原油中甾烷化合物中已经检出 $C_{19} - C_{23}$ 和 $C_{27} - C_{29}$ 两个系列,如柴达木盆地第三系生油岩及原油中甾烷化合物的分布主要有 $C_{21} - C_{22}$ 孕甾烷、 $C_{27} - C_{29}$ 规则甾烷及重排甾烷和 4-甲基甾烷及 C_{30} 甾烷,其中规则甾烷具有 $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ 的特征。此外该盆地重排甾烷含量都不高,相对于规则甾烷含量不超过 21%^[4]。重排甾烷是甾醇和甾烯在成岩作用阶段形成的,这一过程发生在成岩作用早期,在酸性介质下经催化作用使甾烷骨架上的氢在分子内发生重排反应而形成。在咸水湖盆地中由于水体盐度较大,属咸性环境,不利于发生重排作用,故重排甾烷的含量较低。此外,碱性介质中富含碳酸盐矿物,当水体进一步咸化时,则出现硫酸盐和氧化盐矿物。这些矿物的催化能力很强,与粘土

矿物相比,发生甾烷内分子重排作用相对较慢。咸水湖盆原油及生油岩的甾烷化合物中,特别突出的是孕甾烷和升孕甾烷的含量很高,例如,晋县凹陷 $E_{s1} - E_k$ 组盐湖相地层中,孕甾烷与 $20RC_{27}$ 和 C_{29} 等高碳数正规甾烷的相对丰度有时可达 1.0 以上。江汉盆地潜江组和柴达木盆地上新统,孕甾烷系列同样明显^[7,10]。柴达木盆地原油和生油岩中孕甾烷非常突出^[6,4]。

我国盐湖相生油岩中 $C_{28} - C_{29}$ -甲基甾烷分布很普遍^[6],在柴达木盆地第三系原油和生油岩中分布有 $C_{28} - C_{30}$ 4-甲在甾烷, C_{30} 重排 4-甲基甾烷,在少数样品还分布有以 m/e 217 为基峰的 C_{30} 甾烷。4-甲基甾烷的含量与沉积的水体盐度有关,在早第三纪盐度最高的狮子沟地区,4-甲基甾烷含量也最高^[4]。Sscenck^[12]曾提出这类化合物可能是由高盐环境中某些未知的前身物衍生而来的。最近研究认为其前身物是 4-甲基甾醇,甲藻纲沟鞭藻含有丰富的 4-甲基甾醇,在海陆相地层均有分布。

东濮凹陷盐湖相生油岩中也富含 4-甲基甾烷, C_{30} 4-甲基甾烷与 $C_{29} - 20R$ 甾烷比值高达 2.86。在低碳数甾烷中除了 $C_{21} 5\alpha$ 和 5β 、 $C_{22} 5\alpha$ 和 5β 外,还含有 C_{22} 4-甲基甾烷和 C_{23} 甾烷^[6]。在苏北洪泽凹陷戴一段和阜四段生油岩中也发现有 4-甲基甾系列化合物^[13]。4-甲基甾烷曾经被视为淡水藻类的产物,淡水湖相沉积的茂名、抚顺油页岩曾发现有大量 $C_{27} - C_{29}$ 4-甲基甾烷。目前在咸水湖环境中发现的 4-甲基甾烷。目前在咸水湖环境中发现了 4-甲基甾烷,说明其未必是淡水藻类的产物。但在海相生油岩确实未见 4-甲基甾烷的报道,说明其可能成为陆相沉积的标志。

我国第三系盐湖相沉积中还发现了 C_{30} 规则甾烷,该类化合物曾被认为是海相沉积物的特征生物标志物^[14],柴达木盐湖相生油岩中检出了 C_{30} 规则甾烷^[4],在苏北及临清凹陷高盐环境沉积岩中也发现了 C_{30} 规则甾烷。说明 C_{30} 规则甾烷是海相生物标志物的结论可能需要重新探讨。

甲藻甾烷曾经被认为是海相环境的标志物^[1]。目前,在我国咸水—半咸水湖相地层中也检出了丰富的甲藻甾烷,例如,陈致林等^[15]在胜利油田下第三系生油岩和原油中发现了甲藻甾烷,并提出了甲藻甾烷不仅是一种海相环境的生物标志物,而且也是湖相咸化、半咸化沉积环境的标志物。胜利油田高含甲藻甾烷的第三系的沙一段和沙四段生油岩中含甲藻,如沾化凹陷沙一段生油岩中普遍高含薄球藻、菱球藻等甲藻,沙四段生油岩主要含有弗兰甲藻。在苏北盆地及临清凹陷高盐环境沉积岩中也检出了甲藻甾烷。

2 杂原子化合物及芳香烃化合物

2.1 含硫化合物

我国咸水湖相生油岩及原油中常含有硫化物,包括烷基噻吩、烷基四氢噻吩、烷基苯并噻吩、硫代环己烷、含硫甾烷及含硫藿烷等。江汉盆地潜江凹陷盐湖相生油岩中富含上述含硫化合物^[6]即为一例。在江汉盆地膏盐沉积环境的石

油芳烃馏份中也鉴定出各系列的烷基噻吩类及烷基四氢化噻吩类含硫化合物^[16]。据姜乃煌等研究^[17],在盐湖相样品中,短链的烷基二苯并噻吩易检出,特别是4-甲基二苯并噻吩,即使在成熟度较高的原油及生油岩中也能见到。这些短链的烷基二苯并噻吩与菲的比值也与沉积环境有关,盐湖地层比较高,是很好的盐湖相地层的指示物^[6,7]。而海相生油岩中菲及甲基菲含量很高^[17]。

2.2 脱羟基维生素 E

我国盐湖相未一低成熟生油岩中广泛分布有脱羟基维生素 E,盛国英等^[16]在江汉、晋县凹陷中发现甲基、二甲基脱羟基维生素 E。王铁冠^[6]在苏北下第三系阜宁组部分原油和生油岩中检测出了脱羟基维生素 E。由于这类化合物在样品中分布与正构烷烃 OEP、pr/ph 低比值及伽玛蜡烷的分布具有很好的正相关,说明脱羟基维生素 E 可作为指示强还原咸水环境的标志物。脱羟基维生素 E 存在常常与环境的古水体盐度有关,而且 α 脱羟基维生素 E/ δ 脱羟基维生素 E 可以反映沉积时的古水体盐度,此比值越低,古水体盐度越高。近年来研究表明脱羟基维生素 E 的存在与来源于高等植物的有机质关系不大,某些适宜在高盐介质中繁衍的低等生物可能是主要来源,且还原的环境可保证维生素 E 的保存和向脱羟基维生素 E 的转化^[5]。

3 卞啉化合物

国内外大量分析资料表明,陆相泥岩中镍卞啉含量高于钒卞啉,而海相碳酸盐岩及原油中,则以钒卞啉为主,且比镍卞啉含量高数倍至数十倍。我国第三系咸水湖相生油岩及原油中也主要含有镍卞啉。据杨志琼等研究^[10],江汉盆地原油及生油岩中富集镍卞啉而未检出钒卞啉,在原油灰分中,镍卞啉远大于钒卞啉含量,由此他们认为江汉盆地原油是典型的陆相原油。又据江断纲^[2],潜江凹陷潜江组 31 个原油卞啉分析鉴定结果表明,潜一段原油富含镍卞啉,其含量达 164.8×10^{-6} ,潜二段和潜三段原油镍卞啉分别为 164.8×10^{-6} 和 37.1×10^{-6} ,而未检出钒卞啉。柴达木盆地第三系典型盐湖相生油岩及原油中只有镍卞啉而无钒卞啉, $V/Ni < 0.03$ ^[4]。说明我国咸水湖相原油中的卞啉含量与海相生油岩及原油相差甚大,不具海洋(海侵)环境特征。

4 结论

我国咸水湖相烃源岩及原油的生物标志物组合特征既不同于淡水湖相,又不同于海相源岩和原油。一方面既存在反映高等植物来源的奥利烷、 γ 羽扇烷、芒柄花烷和锯齿烷等,又存在反映高盐度强还原环境的高丰度的 β 胡罗卜烷、孕甾烷、升孕甾烷、 C_{23} 三萜烷和 C_{24} 四萜烷,显示规则甾烷/重排甾烷高值,有一定含量的脱羟基维生素 E;另一方面,在具陆相源岩和原油中固有的镍卞啉绝对优势和伽玛蜡烷相

对高值的同时,在盐度增高影响下也表现出一些与海相源岩和原油貌似相同的生物标志物组合特征,比如,正构烷烃偶碳优势、植烷优势与 $\delta^{13}C$ 高值并存,出现 C_{30} 甾烷,24-异丙基胆甾烷和 $C_{35} > C_{34} > C_{33}$ 升藿烷分布特征。

参 考 文 献

- Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Prentice Hall, Inc, 1993. 111~210
- 江继刚. 江汉盆地咸水湖相潜江组油气生成, 石油学报, 1981, 2(4): 83~92
- 黄第藩, 李晋超, 周翥虹等. 陆相有机质演化和成烃机理. 北京: 石油工业出版社, 1984. 35~73
- 黄杏珍, 邵宏舜, 顾树松等. 柴达木盆地的油气形成与寻找油气田方向. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993. 233~304
- 王铁冠. 生物标志物地球化学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 55~65
- 李任伟. 蒸发盐环境沉积有机质和生油岩研究. 北京: 海洋出版社, 1993. 62~148
- 曾宪章, 梁狄刚. 中国陆相原油和生油岩生物标志物. 兰州: 甘肃省科学技术出版社, 1989. 253~258
- Goosens J, De leeuw J W, Schenck P A, Brassell S C. Tocarpherols as likely precursors of pristane in ancient sediments and crude oils. Nature, 1984, 312: 440~442
- Chappe G, Albrecht P. Polar lipids of archaeobacteria in sediment and petroleum. Science, 1982, 217: 65~66
- 杨志琼, 童育英, 樊兆安. 江汉盐湖盆地原油及生油岩中生物标志化合物的特征及其地质意义. 石油与天然气地质, 1983, 4(3): 269~282
- 青藏油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十四·青藏油气区). 北京: 石油工业出版社, 1990. 105~152
- Schenck P A. 作为沉积环境指标的生物标志物. 见: 中国科学院地球化学研究所有机地球化学研究室研究年报——生物标志物和干酪根. 贵阳: 贵州人民出版社, 1986. 172~182
- 侯杰杰, 王铁冠. 陆相油气地球化学研究. 北京: 中国地质出版社, 1995. 25~31
- Moldowan J M, Seifer W K, Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1985, 69: 1255~1268
- 陈致林, 李素娟. 甲藻甾烷——一种物源和沉积环境的生物标志物. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 60~64
- 盛国英, 傅家谟, Brassell S C, Eglinton 等. 膏盐盆地高硫原油芳烃馏份中特征标志物的检出. 见: 中国科学院地球化学研究所有机地球化学研究室研究年报——生物标志物和干酪根. 贵阳: 贵州人民出版社, 1986. 50~60
- 姜乃煌, 黄第藩, 宋孚庆等. 不同沉积环境地质中芳烃分布特征, 石油学报, 1994, 4(3): 43~49

(Continued on page 131)

- System·Palaeontology, London(Palaeont·Ass·London), 1991, 44:225~260
- 12 Cumings E R·Reefs or bioherms? Geol·Soc·Amer·Bull., 1932, 43:331~352
- 13 Hallock P, Schlager W·Nutrient excess and the demise of coral reef and carbonate platforms·Palaios, 1986, 1(4):34~36
- 14 Henrich R·Facies, Dolomitization and Karstification of Lagoon Carbonates: Triassic of the Northern Alps·Facies, 1984, 11:109~156
- 15 James N P, Cuffey R J·Middle Ordovician coral reefs: Western Newfoundland·In: Geldsetzer H H J, James N P, Tebbutt G E, eds·Reefs, Canada and Adjacent Area·Can·Soc·Petrol·Geol·Mem., 1988, 13:192~195
- 16 Kershaw S·Classification and Geological Significance of Biostromes·Facies, 1994, 31:81~92
- 17 Leinfelder R M, Kranutter R, Latenser R, et al·The Origin of Jurassic Reefs: Current Research Developments and Results·Facies, 1994, 31:1~56
- 18 Wilson J L·Carbonate Facies in Geologic History·Springer-Verlag, 1975. 1~471

The Reef Complexes of Ningqiang Formation, Telychian, Ningqiang-Guangyuan Area

Li Yue Chen Xu

(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

The uplifting of whole Yangtze platform occurred by the end of Llandovery (Telychian), except several bays around the margin of the platform. The Ningqiang Formation consists of more than 2000 m shales and limestones with faunas from upper *griestoniensis* Zone to *spiralis-grandis* Zone. The limestones within this unit may be subdivided into 8 stages according to their origination in ascending order. Reef complexes developed at different sites on limited carbonate platforms. Reefs, biostromes and lime-mud-mounds cropped out in the different subfacies of the reef complexes. The important reef complexes' building organisms include corals, bryozoans, pelmatozoans, algae and stromatoporoids, and the attaching-reefal organisms are brachiopoda, nutiloidea, trilobite, etc. The features of the reefal organisms are changable in temporal and spatial distribution. Analysis of typical reef complexes indicate that they are variable in association, shape and growth process. The termination of all limited platforms and reef complexes depends on the covering of mudstones.

Key words reef complexes Ningqiang Formation Telychian Ningqiang Guangyuan

(Continued from page 123)

Biomarker Assemblage Characteristics of Source Rocks and Associated Crude Oils in Saline Lake Facies of Cenozoic in China

Zhang Zhihuan¹ Yang Fan² Li Dongming¹ Fang Zhaoliang¹

¹(University of Petroleum, Beijing 102200)

²(The Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Qinghai Petroleum Administrative Bureau, Dunhuang Gansu 736200)

Abstract

Saline lakes of Cenozoic are extensively developed in China. There are unique sedimentary environment and condition of hydrocarbon generation in these saline lakes. The geochemical characteristics of source rocks and hydrocarbons generated from saline lakes sedimentary environment are different to those generated from freshwater lacustrine facies and those generated from marine facies. It is all introduced that biomarker assemblage characteristics, generating condition and geochemical significance of source rocks and crude oils in saline lakes.

Key words saline lake source rock crude oil sedimentary environment geochemistry biomarker