

生物标志物组合与苏北金湖凹陷 阜二段 (E_f₂) 沉积环境研究

包建平 王铁冠

(江汉石油学院)

于一女

(江苏石油勘探局地质科学研究所)

摘要 阜二段生油岩可以分为两类: 一类以具有正构完烃的偶碳优势为特征, 伴随有强烈的植烷优势, 以及高丰度的 β -胡萝卜烷、伽玛蜡烷和脱羟基维生素 E, 显示出强还原条件下半咸水介质的沉积特征; 另一类则具有正构烷烃奇碳优势, 植烷优势不明显, 且 β -胡萝卜烷和伽玛蜡烷含量很低, 未检测出脱羟基维生素 E 系列的标志物, 属于水体还原程度和 (或) 含盐度较低条件下的一种产物。

主题词 偶碳优势 植烷优势 伽玛蜡烷 β -胡萝卜烷 脱羟基维生素 E

第一作者简介 包建平 男 27岁 助教 石油地质有机地球化学

生物标志物的组合特征, 是研究沉积环境的良好标志。由于沉积条件 (水介质的含盐度、氧化还原程度以及原始有机母质输入) 的差异, 在不同沉积环境中的沉积物, 可能具有明显不同的生物标志物组合特征, 这些特征可以反映在正构烷烃分布、植烷 / 姥鲛烷 (Ph / Pr)、伽玛蜡烷的奥利烷丰度等标志上。笔者对苏北盆地金湖凹陷下第三系阜宁组生油岩的有机地球化学研究中发现: 阜二段生油岩的生物标志物组合特征具有明显的两重性, 这表明其沉积环境曾发生过较大的变化。

一、样品与实验条件

样品来源

金湖凹陷是苏北盆地的一个次级构造单元, 其中发育着一套湖河相碎屑岩系自下而上依次为: 下第三系阜宁组 (E_f)、戴南组 (E_d) 和三垛组 (E_s), 以及上第三系盐城组 (N_y) 和第四系东台组 (E_d)。沉积史的研究认为, 第三纪曾发生过两次海侵, 但是, 从沉积学的角度来看, 地层剖面中迄今尚未发现膏盐沉积, 似乎仍属于正常湖河相沉积。常规有机地球化学的研究结果认为, 该凹陷阜宁组二段油气生成潜力最大。它是一套以灰黑色泥岩为主, 夹有少量泥灰岩、油页岩和粉砂岩的湖相沉积, 厚达 300m 以上。其中所含的微古生物以美丽中华金星介和能拟星介为主。本文所研究的样品采自金湖凹陷 6 口不同的井, 层段均属阜二段, 岩性以灰色—深灰色泥岩为主, 其镜质体反射率值介于 0.5—0.6% 间, 处于低演化阶

段, 热演化的影响是次要的。

实验条件

饱和烃色谱分析应用菲尼根 TSQ-45GC/MS/MS/DS 系统。色谱柱为 SE-54 石英弹性毛细柱 (长 30m, 内径 0.25mm); 分流比 20:1。程序升温从 100—220℃, 4℃/min, 220—300℃, 2℃/min, 进样器温度 300℃。质谱电子能量 70eV。

芳烃色谱分析所用仪器, 色谱柱均同于饱和烃。程序升温 100—300℃, 3℃/min; 分流比 20:1。

二、结果与讨论

正构烷烃

正构烷烃的碳数分布是一个经典的有机地球化学指标, 不仅可以反映母质输入的差异, 而且还能够体现沉积环境的特征。以陆源高等植物输入为特征的有机质, 具正构烷烃奇碳优势, 主峰碳分别为 n-C₂₇、n-C₂₉ 和 n-C₃₁, 而在含盐和碳酸盐岩沉积及盐湖环境中, 正构烷烃常呈偶碳优势。

阜二段生油岩中, 正构烷烃的分布有两种类型, 其一呈现出奇碳优势 (OEP > 1), 主峰碳分别为 n-C₂₇、n-C₂₉ 或 n-C₃₁, $(n-C_{21}+n-C_{22}) / (n-C_{28}+n-C_{29}) < 1$, 具有典型的陆源高等植物来源的类脂物特征。另一类则具偶碳优势 (OEP < 1), 主峰碳数为 n-C₂₂ 和 n-C₂₈, 呈双峰态分布, $(n-C_{21}+n-C_{22}) / (n-C_{28}+n-C_{29}) > 1$, 与某些膏盐盆地沉积, 如江汉盆地潜江组 (E_q) 和新沟组 (E_x) 中正构烷烃分布特征相似 (表 1)。

表 1 阜二段生油岩中饱和烃参数

Table 1 Parameters of saturated fraction in the source rocks

| 样品号 | 碳数 | 主峰 | OEP | $\frac{n-(C_{21}+C_{22})}{n-(C_{28}+C_{29})}$ | Pr/Ph | Pr/n-C ₁₇ | Ph/n-C ₁₈ |
|-----|----------------------------------|-----------------|------|---|-------|----------------------|----------------------|
| 1 | C ₁₄ -C ₄₁ | C ₂₂ | 0.75 | 1.43 | 0.14 | 0.56 | 2.24 |
| 2 | C ₁₅ -C ₃₇ | C ₂₀ | 0.73 | 1.37 | 0.15 | 0.56 | 4.77 |
| 3 | C ₁₅ -C ₃₇ | C ₂₂ | 0.45 | 1.09 | 0.12 | 0.86 | 6.17 |
| 4 | C ₁₅ -C ₃₉ | C ₃₁ | 1.59 | 0.34 | 0.34 | 0.73 | 1.76 |
| 5 | C ₁₆ -C ₄₀ | C ₂₂ | 0.42 | 1.10 | 0.09 | 0.49 | 3.82 |
| 6 | C ₁₅ -C ₃₇ | C ₂₂ | 0.54 | 1.11 | 0.05 | 0.56 | 3.98 |
| 7 | C ₁₅ -C ₄₀ | C ₂₀ | 0.91 | 1.20 | 0.39 | 0.61 | 1.41 |
| 8 | C ₁₅ -C ₃₉ | C ₃₁ | 3.08 | 0.76 | 0.40 | 0.69 | 1.31 |
| 9 | C ₁₅ -C ₃₉ | C ₃₁ | 2.91 | 0.51 | 0.80 | 0.94 | 1.14 |
| 10 | C ₁₆ -C ₃₉ | C ₂₉ | 1.90 | 0.51 | 0.38 | 0.60 | 0.53 |
| 11 | C ₁₅ -C ₄₁ | C ₂₈ | 0.71 | 0.93 | 0.14 | 0.24 | 0.93 |
| 12 | C ₁₅ -C ₃₃ | C ₃₇ | 2.28 | 0.52 | 0.81 | 0.70 | 0.90 |
| 13 | C ₁₆ -C ₃₇ | C ₃₁ | 3.70 | 0.58 | 0.54 | 0.57 | 0.94 |
| 14 | C ₁₅ -C ₄₀ | C ₂₂ | 0.87 | 1.12 | 0.25 | 0.55 | 1.92 |

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。强还原、高含盐度环境的沉积物中, 常具有强烈的植烷优势; 在还原环境中, 植烷优势仍可保持; 而在弱氧化—弱还原的沼泽环境中, 则表现为强姥鲛烷优势。

阜二段生油岩中, 偶碳优势 ($OEP < 1$) 与植烷优势 ($Ph/Pr > 1$) 密切相关。如具明显偶碳优势的 6 号样品中, 植烷丰度是姥鲛烷丰度的 20 倍; 而在具奇碳优势的生油岩中, 植烷优势明显减弱。通过比较可以发现, 随着样品中 OEP 值的增大, Ph/Pr 和 $Ph/n-C_{18}$ 值趋于减小。且在 $OEP < 1$ 的样品中, Ph/Pr 均大于 6, $Ph/n-C_{18}$ 都小于 1 这可能说明高丰度植烷的产生是与特定的沉积环境有关。

姥鲛烷和植烷通常是由叶绿素中的植醇侧链衍生来的。在还原环境中, 主要形成植烷, 而在弱氧化环境中则大呈产生姥鲛烷。此外, 古细菌也可能是类异戊二烯烷烃的重要生源, 高盐度水体中常见的植烷高丰度则与嗜盐菌类脂物的贡献有关。

由此可推测, 尽管在某些时候陆源物质的输入是主要的, 且水体淡化, 还原程度降低。但从总体上看, 阜二段属于良好还原环境的产物。异常高丰度植烷伴随着偶碳优势下构烷烃的出现, 意味着沉积盆地中水体含盐度的质变, 以及在这种极端环境下嗜盐菌的高度繁衍。我国东部其它膏盐, 沉积中的高植烷优势可能也与此有关。

β -胡萝卜素

类胡萝卜素是生物体内常见的色素组分, 在地质体中保留下来的则是其衍生物。据文献报道, 这类化合物只发现于某些特定环境形成的, 沉积物中, β -胡萝卜素是最常见的成员之一。在阜二段生油岩的饱和烃馏分中检测到了这一化合物, 且在具正构烷烃偶碳优势的样品中, β -胡萝卜素的丰度相当可观, 而在具明显奇碳优势的生油岩中, 这一化合物的含量很低。这表明强还原环境有利于类胡萝卜素的保存及向 β -胡萝卜素的转化。而在弱还原或弱氧化环境中, 类胡萝卜素易于遭到降解破坏

伽玛蜡烷

高浓度伽玛蜡烷的存在, 往往与高盐度沉积环境有关。阜二段生油岩抽提物的饱和烃馏分中, 普遍检测出了伽玛蜡烷, 但在不同样品中, 伽玛蜡烷的丰度相差悬殊。图 1 是前述具两种不同正构烷烃分布模式的生油岩中, 部分 m/z 191 质量色谱图。该图清楚地展示出伽玛蜡烷与藿烷系列的分布面貌。

前文提及阜二段生油岩可分为两类: 一类以正构烷烃偶碳优势为特征, 这类生油岩中伽玛蜡烷丰度也很高, 明显超过了 C_{30} 藿烷的丰度; 但在另一类具奇碳优势的样品中, 其伽玛蜡烷含量明显低于前者, 且丰度远低于 C_{30} 。伽玛蜡烷的这一分布模式与植烷优势的分布模式吻合。即在植烷优势很强的生油岩中, 伽玛蜡烷 / (C_{30} 藿烷 + C_{30} 莫烷) 值大于 1; 反之, 在植烷优势相对较弱的样品中, 伽玛蜡烷 / (C_{30} 藿烷 + C_{30} 莫烷) 值都小于 0.4。由此可见, 样品中伽玛蜡烷含量与 OEP 值和 Pr/Ph 值间似乎存在某种负相关性, 即 OEP 值和 Pr/Ph 值越小, 伽玛蜡烷丰度越高, 反之则越小。显然, 生油岩中伽玛蜡烷丰度与正构烷烃偶碳优势和植烷优势间存在着某种内在的成因联系。

目前的研究认为, 伽玛蜡烷可能是适宜在咸水型环境中繁衍的某种原生动物的四膜虫醇演化来的。文献中报道的高丰度伽玛蜡烷经常与盐湖或含盐度较高的环境有关。笔者认

为, 金湖凹陷阜二段中那类高丰度的伽玛蜡烷的生油岩也应是湖水咸化期的产物, 而低丰度伽玛蜡烷则形成于湖水相对淡化时期。

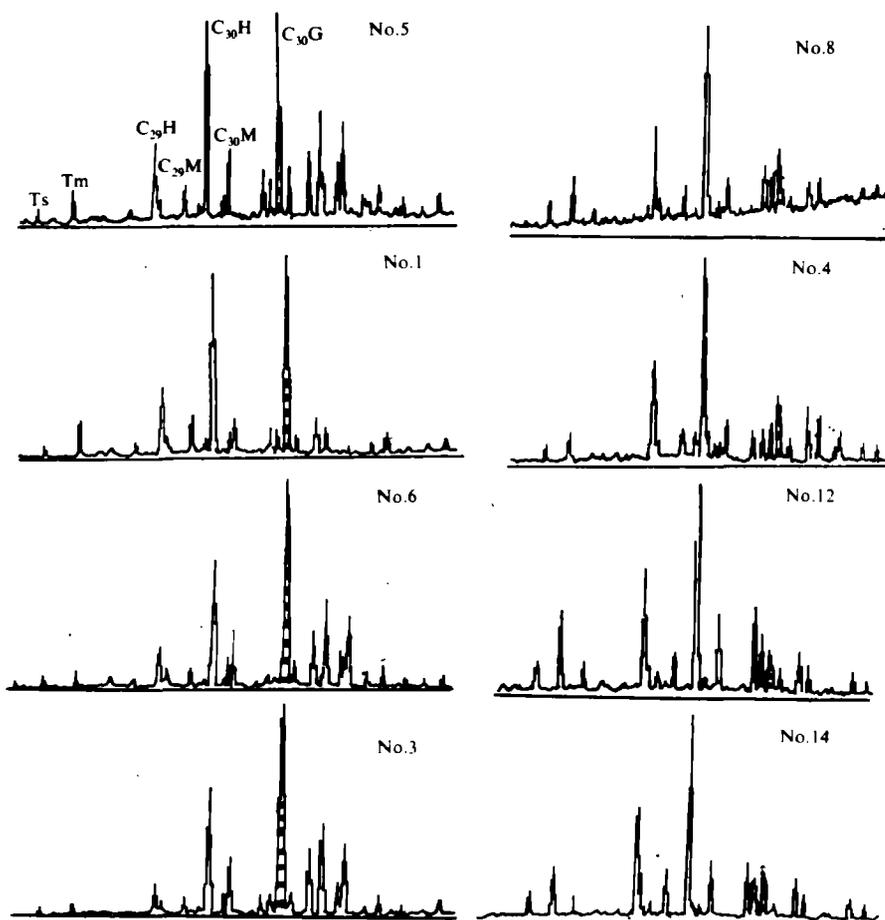


图 1 部分 m/z 191 质量色谱图

展示了 17α (H)、 21β (H) - 藿烷 (H)、 17β (H)、 21α (H) - 莫烷 (M) 和伽玛蜡烷 (G, 即黑白相间峰) 在生油岩中的分布

Fig.1 Partial mass chromatograms of 191,

showing 17α (H) 21β (H) -Hopanes (H), 17β (H) 21α (H) -moretanes (M) and gammacerane (G, peak with black slants) distribution in the source rocks

值得注意的是, 伴随着高丰度伽玛蜡烷的出现, 其藿烷系列亦呈现出一种特殊的分布模式, 即其 C_{32} 二升藿烷的丰度远远超过了 C_{31} 升藿烷, 且 C_{32} 二升藿烷十二升莫烷的总丰度大于 C_{30} 藿烷+莫烷的丰度。这种异常现象可能与形成高伽玛蜡烷的沉积环境有某种联系。

脱羟基维生素 E

脱羟基维生素 E 常发现于演化程度较低的高盐环境的沉积中, 它也是一个反映水介质盐度的标志物。

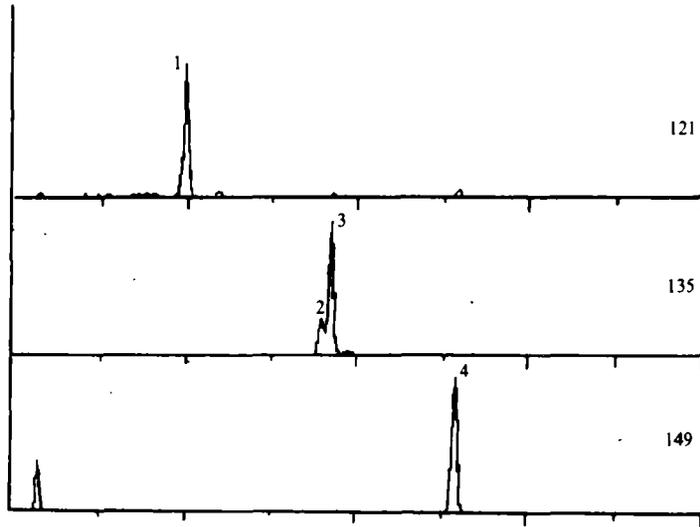


图2 No.3样品中芳烃馏分总离子流图

(峰1、2、3和4依次为 δ -、 β -、 γ -和 α -脱羟基维生素E)

Fig.2 Total ion current of aromatic fraction from No.3 sample
(peak no.1, 2, 3 and 4 are δ -, β -, γ - and α -dehydroxytocopherols in turn)

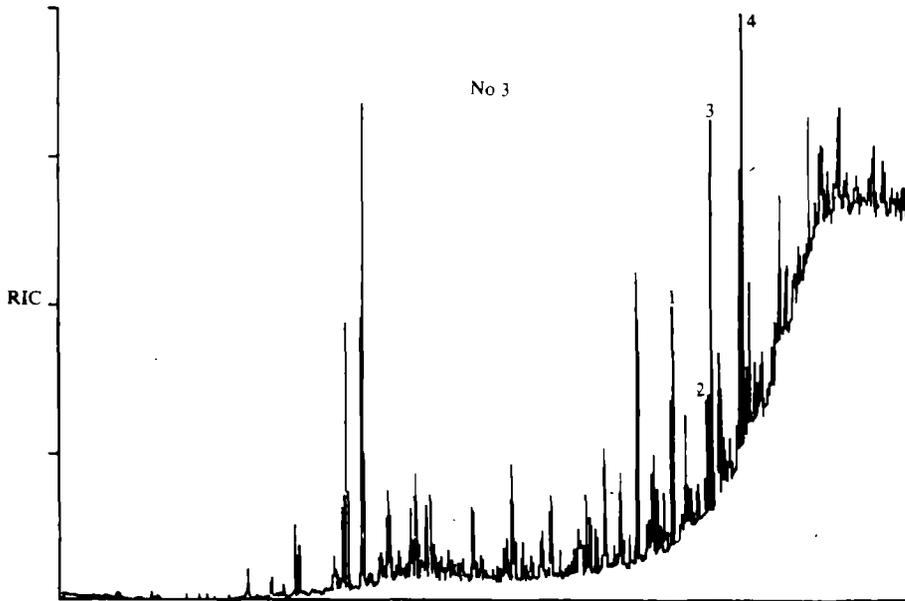


图3 脱羟基维生素E的质量色谱图(图中峰号与图2相对应)

Fig.3 Mass chromatogram of dehydroxytocopherols where peak numbers
are in accord with that in Fig.2.

在阜二段某些生油岩的芳烃馏分中, 笔者检测到了 α -、 β -、 γ -和 δ -型脱羟基维生素 E (图 2 和图 3), 而且这些标志物仅出现于那些具正构烷烃偶碳优势, $Pr/Ph < 1$, 伽玛蜡烷丰度高的样品中, 其在芳烃馏分中的丰度相当可观; 而在正构烷烃 $OEP > 1$ 的样品中, 则未检测到这一系列标志物。这一分布规律与文献报道的情况是相吻合的。盛国英等 (1987) 认为这一系列化合物是高盐环境的产物, 强还原条件有利于维生素 E 的保存。阜二段生油岩中脱羟基维生素 E 分布上的差异也是由生油岩形成时沉积环境的变化造成的, 而沉积环境中水介质的盐度可能是个主要因素。

结 论

金湖凹陷阜二段生油岩可分为两类: 一类具有正构烷烃奇碳优势、具陆源高等植物有机质来源的特征; 另一类则具正构烷烃偶碳优势, 反映出咸水介质中的沉积特征。

正构烷烃的偶碳优势、强植烷优势和高丰度的伽玛蜡烷与脱羟基维生素 E 可以作为高盐度环境沉积特征的可靠生物标志物组合。

阜二段生油岩中生物标志物组合特征的差异, 表明古湖盆沉积环境的水介质条件曾发生过明显变化。具正构烷烃偶碳优势的那类生油岩是湖水咸化时期的产物; 而具奇碳优势的生油岩则是湖水淡化期沉积的。

王培荣教授, 赵红和朱翠山等同志协助完成了样品的色质分析, 谨此致谢。

收稿日期: 1989年7月31日

参 考 文 献

- (1) 盛国英等, 1987, 中国科学B辑, 第4期, 423-428页
- (2) 李任伟等, 1988, 沉积学报, 第4期, 108-119页
- (3) Didyk B.M. et al., 1978, Nature, V.272, p.216-222.
- (4) Goossens H. et al., 1984, Nature, V.312, p.440-442.
- (5) Grimalt J. and Algaiges J., 1987, Geochim.Cosmochim.Acta, V.51, p.1379-1384.
- (6) Jiang Z.S. and Fowler M.G., 1986, Org.Geochem.V.10, p.831-839.
- (7) Nishimura M. and Baker E.M., 1986, Geochim.Cosmochim.Acta, V.50, p.299-305.
- (8) Damste S. et al., 1987, Geochim.Cosmochim.Acta, V.51, p.2393-2400.
- (9) Watts C.D. et al., 1977, Adv.Org.Geochem.1975, p.391-414.

Biomarker Assemblage and Study on Sedimentary Environments of Member 2 of Funing Formation, Lower Tertiary, Jihu Sag, Subei Basin

Bao Jianping Wang Tieguan

(Jiangnan Petroleum Institute)

Gan Yinu

(Geoscience Institute of Jiangsu Petroleum Exploration Bureau)

Abstract

The features of biomarker assemblage in the saturate and aromatic fractions of source rocks from Member 2 of Funing formation, Lower Tertiary, Jihu, Subei Basin have been systematically studied, and the obvious differences in biomarker components are indicated which would clearly show the changes of sedimentary environments during their deposition.

Based on n-alkane distribution and biomarker assemblage, source rocks from Member 2 of Funing Formation may be divided into two types:

One is characteristic of even carbon predominance in n-alkane distribution with a very strong phytane preference. The content of β -carotane preserved and formed under reducing conditions is high, gammacerane usually indicating a hypersaline environment is enriched, and dehydroxytocopherol, reflection the paleosalinity of sedimentary basin has been identified in the aromatic fraction of the same source rocks, all of them show that these source rocks may be referred to a strong reduced, brackish deposit, implying a salinized period during the lake lifetime.

Another is of odd carbon predominance in n-alkane distribution, its phytane preference relatively less, the abundances of β -carotane and gammacerane is much lower, and dehydroxytocopherol is not detected. Therefore, it is characterised by normal lacustrine deposits and formed during a freshening period.