

文章编号: 0253-9985(2005)06-0778-08

柴达木盆地第四系脂肪酸分布特征 与生气潜力的关系

康 晏^{1,2}, 王万春¹, 张道伟³, 任军虎^{1,2}

(1 中国科学院地质与地球物理研究所气体地球化学重点实验室, 甘肃兰州 730000)

2 中国科学院研究生院, 北京 100039

3 中国石油青海石油管理局勘探开发研究院, 甘肃敦煌 736202)

摘要: 通过研究柴达木盆地涩北地区第四系 540~1 490 m 纵向剖面上泥岩可溶有机质中的脂肪酸(甲酯)类化合物, 发现在层段 1 200~1 381 m 内正构脂肪酸的偶奇优势指数有非常剧烈的变化, 这是由有机质输入和细菌作用为主导的多种因素造成的; 在层段 796~810.8 m、1 188.24~1 210 m、1 291.54~1 300.74 m 内脂肪酸的几种生标指数如脂肪酸含量、偶奇优势指数以及组成分散性指数的值都为谷值, 这是由于在这几个层段内有机质输入类型以水生生物型为主, 因而易被细菌降解, 说明以内源有机质输入类型为主的源岩生气潜力较高; 在 1 188.24~1 210 m 层段内发现了丰富的不饱和酸和异构酸, 说明在这个层段内地化环境以及气源岩类型较适宜细菌的生存发育。这种特殊的脂肪酸分布可能指示了优质气源岩类型。

关键词: 脂肪酸; 细菌; 生物气; 第四系; 柴达木盆地

中图分类号: TE125.2 **文献标识码:** A

Relationship between distribution of fatty acids and gas-generating potential in Quaternary in Qaidam basin

Kang Yan^{1,2}, Wang Wanchun¹, Zhang Daowei³, Ren Junhu^{1,2}

(1 Key laboratory of Gas Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu;

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing; 3 Exploration and Development Research

Institute of Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu)

Abstract Fatty acids (methyl ester) of dissoluble organic matter in Quaternary mudstone samples obtained from 540–1 490 m interval in Sebei area of Qaidam basin are analyzed through GC-MS. Even-odd predominance index of normal fatty acids varies greatly in 1 200–1 381 m interval. It is caused by various factors, of which the input of organic materials and bacterial action are dominant. In intervals of 796–810.8 m, 1 188.24–1 210 m and 1 291.54–1 300.74 m, several biomarker indexes of fatty acids, such as content of fatty acids, even-odd predominance index and component dispersancy index, are at their valleys, as the major organic matters input in these intervals are of aquatic organism type, which are easy to be degraded by bacteria. All these indicate that source rocks dominated by indigenously sourced organic matter type have relatively high gas generating potential. Abundance of unsaturated acid and isomeric acid are discovered in 1 188.24–1 210 m interval, indicating that the geochemical environment and type of gas source rock in this interval are suitable for living and

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB209102); 国家自然科学基金项目(40072049); 中国科学院兰州地质所创新基金项目

第一作者简介: 康晏, 男, 27岁, 硕士, 有机地球化学

收稿日期: 2005-07-27

growth of bacteria. This specific fatty acid distribution might indicate high quality gas source rocks

Key words fatty acid; bacteria; biogas; Quaternary; Qaidam basin

生物气是沉积有机质经细菌作用厌氧发酵的最终产物^[1]。沉积物中有机质转化一般经过 3 个阶段: 第一阶段为有机单体分解为还原态有机化合物; 第二阶段为还原态有机化合物降解为 CO_2 和乙酸; 第三阶段为产甲烷阶段^[2]。产甲烷菌生成甲烷主要通过两种代谢途径: 二氧化碳还原和乙酸发酵^[1]。

短链脂肪酸对生物气生成非常有利。在厌氧沉积环境中, 产甲烷菌能直接利用短链脂肪酸, 如甲酸、乙酸等^[3]。在淡水沉积物中, 乙酸发酵生成的甲烷占主要成分^[4]; 在盐度较高的沉积物如海相沉积物中, 乙酸先被细菌转化成 CO_2 , 进而被产甲烷菌利用而生气^[5]。

沉积物中还存在中、长碳链 ($> \text{C}_{12}$) 脂肪酸, 主要来源于菌藻类和陆源高等植物^[6]。地层中的脂肪酸普遍有较强的抗降解能力, 但最终还是在生化作用下被降解^[7-8]。沉积物中长碳链脂肪酸可被细菌群落降解为短链脂肪酸, 而短链脂肪酸则是产甲烷菌能够利用的有效有机质。因此, 研究长链脂肪酸在生物气生成中所起的作用以及长链脂肪酸在生物气气源岩中的地化特征意义较大。

本文通过研究处于成岩作用早期的生物气气源岩中正构脂肪酸的含量和 H/L (高低碳数脂肪酸丰度比值)、 CDI (正构脂肪酸组成分散性指数)、 CPI_A (正构脂肪酸偶奇优势)、 EOP_f (正构脂肪酸偶奇优势) 等生标指数在纵向剖面上的变化特征以及这几个生标指数发生异常的层段上脂肪酸的分布特征, 结合样品的地质背景及地化环境, 探讨了脂肪酸在评价生物气气源岩中所起的作用。

1 样品和实验

1.1 样品地质背景

柴达木盆地是印支运动之后发展起来的中、新生代山间地块型盆地。盆地东部三湖地区西起船形丘构造、东至霍布逊湖、北邻陵间断裂、南到昆仑山前, 面积约 $30\,000\text{ km}^2$, 是新生代晚期形成的大型沉积拗陷^[9]。第四系为巨厚的咸水-半咸

水湖泊沉积, 其热演化尚处于未成熟的成岩作用阶段, R_o 小于 0.5% ^[10], 沉积物压实差。因此, 柴达木盆地三湖地区第四系蕴藏着巨大的生物气资源, 2002 年已探明加控制天然气储量接近 $3\,000 \times 10^8\text{ m}^3$ ^[9]。为研究不同产气层内气源岩中脂肪酸的变化特征, 在柴达木盆地三湖地区涩北气田采集了第四系 600~1 700 m 不同深度的钻孔岩心样品 16 块。所采样品主要为深灰色或灰色泥质岩以及碳质泥岩, 它们均为浅湖-滨湖环境下的沉积产物。富含有机质的暗色泥岩在较浅的地层较易生成生物气^[11]。

1.2 实验方法

岩样用氯仿和甲醇的混合液 (3:2) 浸泡 12 h 以除去岩样表面的现代污染物, 然后在通风橱内自然干燥。干燥后的样品粉碎到 100 目以下, 用氯仿经索氏抽提 48 h, 采用活化铜粉除去硫。氯仿沥青“A”用活化 4 h 后的氧化铝 ($400\text{ }^\circ\text{C}$) 和硅胶 ($150\text{ }^\circ\text{C}$) 的混合物过层析柱, 采用精制石油醚分离饱和烃, 二氯甲烷分离芳烃, 甲醇分离非烃。非烃和沥青质采用 20% 的三氟化硼-甲醇溶液进行甲酯化, 然后用乙醚萃取甲酯化后的可溶有机质, 用蒸馏水分离三氟化硼。甲酯化后的可溶有机质用色谱 (GC6890N) - 质谱 (MSD5973N) 联用仪分析鉴定。气相色谱采用 DB-5 毛细管柱 ($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$), 从 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 程序升温至 $290\text{ }^\circ\text{C}$, 升温速率为 $4\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, 恒温 40 min , 载气为高纯氮, 流量 $1.2\text{ mL}/\text{min}$, 线速度 $40\text{ cm}/\text{s}$ 。质谱仪用离子源 (EI) 的电离能为 70 eV , 在温度 $230\text{ }^\circ\text{C}$ 进行离子化。杆温 $150\text{ }^\circ\text{C}$, GC-MS 系统在全扫描模式下运作, 扫描范围为质荷比 (m/z) 20~750。

2 结果与讨论

2.1 脂肪酸的检出和分布特征

在研究过程中我们把非烃中的脂肪酸和沥青质中的酸放在一起考虑, 这样检出的脂肪酸可反映两种组分的生标信息, 检出的生物标志化合物比单纯分析一种组分更多、更全面。柴达木盆地涩北地区 540~1 490 m 纵向剖面上的泥岩可溶有机质中检出了正构一元酸 (甲酯) 系列、正构二元酸 (甲酯) 系列、异构一元酸 (甲酯) (如 $iso\text{-C}_{14:0}$,

iso-C_{15:0}, *iso*-C_{16:0}, *iso*-C_{17:0}, *iso*-C_{18:0}, *iso*-C_{22:0}, *iso*-C_{24:0}, *iso*-C_{25:0}, *iso*-C_{26:0}, *iso*-C_{27:0})、反异构酸 (如 *anteiso*-C_{15:0}, *anteiso*-C_{17:0}, *anteiso*-C_{25:0})、不饱和酸 (甲酯) (如 *n*C_{16:1} Δ^7 , *n*C_{18:1} Δ^{11} , *n*C_{18:1} Δ^9 , *n*C_{18:2} $\Delta^{13,16}$, *n*C_{20:1} Δ^{11} , *n*C_{22:1} Δ^{13} (注: C_{14:0}指碳数为 14 并且不含双键的脂肪酸; C_{20:1} Δ^{11} 指碳数为 20, 在第 11 个碳数上有一个双键的不饱和酸)。多数样品的正构一元脂肪酸 (甲酯) 碳数分布范围在 C₁₄—C₃₂, 少数样品在 C₁₂ (或 C₁₃, C₁₄)—C₃₄ (或 C₂₈, C₃₀, C₃₃), 属中—长碳链脂肪酸。16 个样品的正构脂肪酸 (甲酯) 大都以双峰型分布, 前峰群以 C₁₆ 或 C₁₈ 为主峰, 后峰群以 C₂₄ 或 C₂₆ 为主峰。

2.2 生标指数在纵向剖面上的变化

2.2.1 正构脂肪酸含量丰度比值 (H/L)

岩样中脂肪酸 (甲酯) 质量百分含量的计算是通过质量色谱图中峰面积积分, 得到脂肪酸 (甲酯) 在非烃和沥青质中的百分含量, 然后再根据非烃和沥青质占岩样质量的百分含量计算得到。柴达木盆地第四系源岩中正构一元脂肪酸 (甲酯) 所占的比例较大, 正构一元酸 (甲酯) 在非烃和沥青质中的质量百分含量为 7.83% ~ 78.13%, 脂肪酸 (甲酯) 在岩样中的绝对含量在 $1.67 \times 10^{-6}\%$ ~ $1.330 \times 10^{-6}\%$, 其在岩样中的质量百分含量在纵向剖面上的变化趋势如图 1 所示。脂肪酸 (甲酯) 的含量在 796 ~ 810.8 1 188.24 ~ 1 210 及 1 377.00 ~ 1 490 m 层段都为谷值, 在 1 240.88 ~ 1 249.00 和 1 291.54 ~ 1 300.74 m 层段为峰值。高、低碳数脂肪酸丰度比值 (H/L) 是反映内源藻类、细菌与外源高等植物相对输入量的指标, 较低

的 H/L 值表明内源有机质输入的相对增加, 同时也往往指示湖泊具有较高的生产力^[12]。 H/L 值在 796 ~ 810 1 188 ~ 1 210 及 1 377 ~ 1 490 m 层段也为谷值 (图 1), 在 1 291.54 ~ 1 300.74 m 层段 H/L 为峰值。

脂肪酸的含量和 H/L 在纵向上的变化一起对比可明显看出有机质在不同层段输入量的变化以及不同层段上脂肪酸的主要输入类型。脂肪酸含量和 H/L 值在 796 ~ 810.8 1 188.24 ~ 1 210 及 1 377.00 ~ 1 490 m 层段内同为谷值 (图 1), 说明在这几个层段以内源藻类、细菌等水生生物沉积为主, 并且正构脂肪酸含量也较低。脂肪酸含量和 H/L 在 1 291.54 ~ 1 300.74 m 层段同为峰值, 表明该时期湖泊中内源有机质含量下降, 湖泊生产力降低, 外源高等植物有机质输入比例增加, 以陆源高等植物来源的脂肪酸占优势。

层段 1 128.86 ~ 1 135.86 m 脂肪酸为谷值, 说明有机质输入量减少; 但这个层段 H/L 值为峰值, 表明在这个层段陆源高等植物型脂肪酸在总的脂肪酸中所占的比重较大, 说明在这个层段陆源高等植物输入增加。而在 1 240.88 ~ 1 249.0 m 处脂肪酸含量为峰值, 说明有机质输入增加; 但 H/L 值却为谷值, 说明这个层段菌藻类水生生物的输入占优势。

2.2.2 正构脂肪酸偶奇优势 (CPI_A 及 EOP_f)

CPI_A 和 EOP_f 都是表征正构脂肪酸偶奇优势的指标。不过 EOP_f 用 C₂₀ 以上的主峰碳 (C_i) 前、后的正烷酸计算, 计算公式为: $EOP_f = \frac{1}{4} (C_{i-2} +$

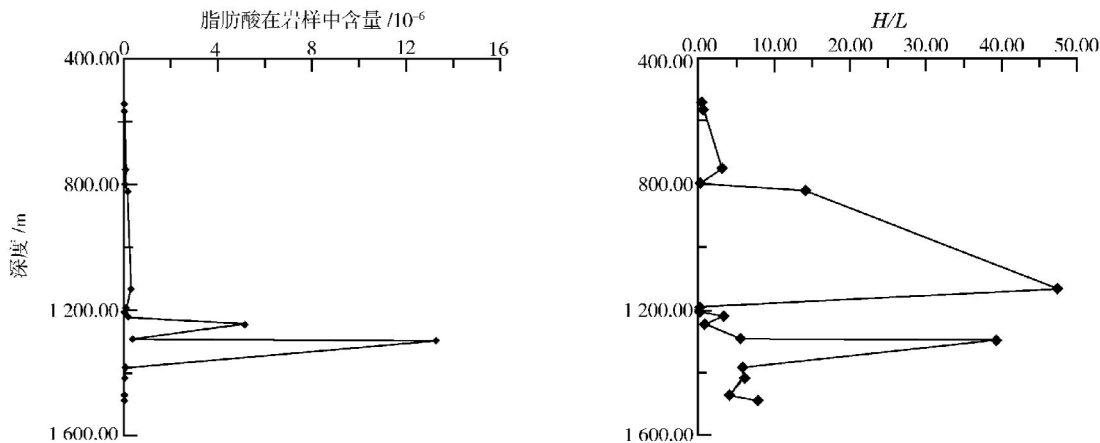


图 1 脂肪酸 (甲酯) 含量和高、低碳数脂肪酸丰度比值 (H/L) 在纵向上的变化

Fig. 1 Vertical variations of fatty acid (methyl ester) contents and abundance ratio of high carbon to low carbon fatty acid (H/L ratio)

$6C_i + C_{i+2}) / (C_{i-1} + C_{i+1})$, 所用的碳数范围较小; 而 CPI_A 的计算则包含了所有碳数的脂肪酸, 所用的碳数范围较大, 其计算公式为: $CPI_A = \frac{1}{2} [(\sum C_{16-30} / \sum C_{15-29}) + (\sum C_{16-30} / \sum C_{13-27})]$ 。

对于降解比较严重的样品, 用 EOP_f 计算可以避免由于短链脂肪酸降解较严重而所受的影响; 而 CPI_A 可反映所有碳数范围内的偶奇优势情况。一般认为, 源岩脂肪酸的偶奇优势与源岩的母质类型和沉积环境有关^[12], 不同沉积环境的 CPI_A 平均值有明显差异, 而且物源和沉积环境的影响有时可超过热力作用本身的影响^[13]。

所分析样品的 CPI_A 和 EOP_f 值均表明, 样品正构脂肪酸总体上都有强偶碳优势 (图 2)。大部分样品的 CPI_A 和 EOP_f 值大于 1, 只有一个样 CPI_A 和 EOP_f 值小于 1; CPI_A 和 EOP_f 值在 796~810.8 1 188.24~1 210 和 1 291.54~1 300.74 m 层段都为谷值。在热演化较高的沉积物中, 偶奇优势一般随着深度的增加而趋向于 1^[13]。分析样品 CPI_A 和 EOP_f 值在 542~1 200 m 层段内总体上有随着深度的增加呈逐渐增大的趋势。在 1 200~1 381 m 层段内, CPI_A 和 EOP_f 值有非常剧烈的变化, 变化幅度可从 2 增加到 90 左右; 在 1 400 m 以下, CPI_A 和 EOP_f 值的变化幅度逐渐减小, 趋于稳定, 但其值仍大于 1。

由于所取样品成熟度低, 因而热演化因素导致样品 CPI_A 和 EOP_f 值这种变化的可能性不大, 我们认为主要是细菌参与了脂肪酸的降解或者是细菌的遗体对脂肪酸偶奇优势的贡献所致。在 542~1 200 m 深度范围, 随着深度增加, 源岩的地

化条件逐渐适宜细菌的大量生成, 其对原始有机质的改造逐渐加剧, 大量新陈代谢后的细菌遗体被保存在气源岩中, 造成源岩中原始有机质偶奇优势的逐渐增大。Alongi 认为^[14], 在某些沉积物中, 由细菌遗体贡献的沉积有机质可占岩样重量的 1% 左右, 微生物对源岩有机质的贡献可达到 50%。在 1 200~1 381 m 深度范围内 CPI_A 和 EOP_f 值有非常剧烈的变化。多种因素造成了样品 CPI_A 和 EOP_f 的这种变化。这个层段处于第四系, 沉积环境为盐湖相, 有机质丰度较低, 结合前人对近岸浅海沉积相对生物气生成及聚集的研究^[15], 湖平面的进退也可能造成泥岩有机质含量和类型的变化。随着湖水的进退, 这个层段有机质输入量和输入类型变化可能较为剧烈。另外, 这个层段地温处于 50~60 °C, 根据生物气模拟试验^[16], 33~55 °C 为生物气生气高峰阶段, 所以另一个重要因素可能是其源岩地化环境较适宜细菌的生存发育, 造成细菌遗体大量聚集在这个层段, 导致源岩 CPI_A 和 EOP_f 增大。这个层段 CPI_A 和 EOP_f 的剧烈变化应是这两种主导因素和其他因素综合作用的结果。而在 1 400 m 深度以下, CPI_A 和 EOP_f 则越来越小, 这可能说明热演化开始起作用, CPI_A 和 EOP_f 值逐渐趋于稳定; 但由于其源岩成熟度不高, 因而其值仍远远大于 1。

2.2.3 组成分散性指数 (CDI)

组成分散性指数 CDI 的计算公式为

$$CDI = [\sum (x_i / 100)^2]^{-0.5} \quad (i = 8, 9, \dots, 36)$$

其中, x_i 为单个脂肪酸占全部脂肪酸的百分数。

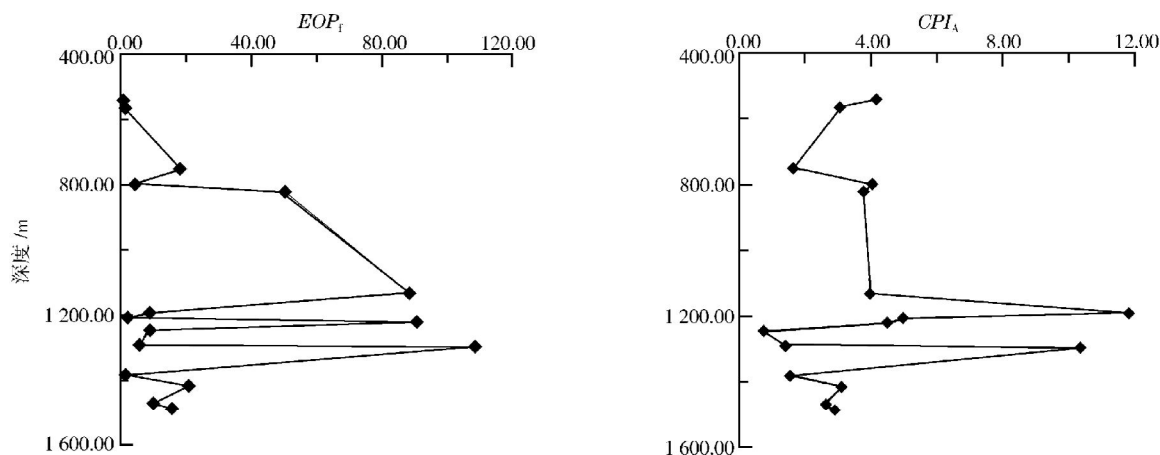


图 2 偶奇优势 (CPI_A 及 EOP_f) 在纵向上的变化

Fig. 2 Vertical variations of CPI_A and EOP_f

组成分散性指数 CDI 反映各单个脂肪酸丰度的差异程度。 CDI 随岩样所处环境的不同, 其值也不同。周友平等^[13]研究了不同环境之下岩样的 CDI 值后认为, 沼泽环境的 CDI 值比海洋湖泊环境高; 热作用能使脂肪酸在丰度上趋于接近化; 不同类型环境的 CDI 值有重叠。所分析样品的 CDI 值在 3.18~45.96, CDI 值在纵向上的变化趋势如图 3 所示。如前所述, 由于沉积环境对 CDI 值影响较小, 而样品都为咸水-半咸水湖相沉积的第四系生物气气源岩, 因此样品正构脂肪酸的 CDI 值如此大的变化很可能说明细菌在适宜的盐度和温度下, 对所分解不同物源类型有机质的喜好不同导致改造程度也不同。如在层段 500~1 130 m 内, 温度逐渐增加, 细菌发育环境也逐渐改善, CDI 值逐渐增大; 而在 1 130~1 400 m, CDI 值有急剧的变化, 并且在 1 188.24~1 210 和 1 291.54~1 300.74 m 层段出现了峰值, 说明细菌生存环境有很大变化; 而到 1 500 m 之后, CDI 值变化幅度很小且趋于平稳, 说明细菌活动逐渐减弱。

上述几个生标指数的分析表明, 在 796~810.8, 1 188.24~1 210 和 1 291.54~1 300.74 m 层段内源岩脂肪酸含量和 H/L 值、 CPI_A 都为谷值。柴达木盆地第四系沉积物在 799~1 300 m 深度范围内盐度较低*, 为 14.23‰~18.21‰, 这个范围适宜细菌生存; 温度在 39~60.5℃, 也适宜细菌发育^[17]。对柴达木盆地涩北气田气源岩的研究表明, 涩北地区第四系下更新统七个泉组 K_1-K_{13} 有 3 个主要生气层段, 即气层组 K_1-K_5 , K_7-K_{10}

和 $K_{10}-K_{12}$ ^[18]; 对该地区有机酸的研究也表明^[19], 有机酸在气层组 K_5-K_6 , K_6-K_7 和 K_7-K_8 最多, 属有利生气层。上述生标指数发生异常的层段正处于气层组 K_1-K_5 和 K_7-K_{10} , 属主要生气层段, 并且有机酸也最多。由于脂肪酸提供了生物气要求的富氢又富氧的基质^[12], 并且脂肪酸的物源以易降解的菌藻类水生生物为主, 所以脂肪酸被细菌群落大量利用而遭受降解, 其降解后形成的短链有机酸成为产甲烷菌利用的基质。这些生标指数在纵向上的变化可能主要是由于生物气气源岩中细菌作用的结果, 指示了生物气气源岩的生气潜力状况。

2.3 异常层段上的脂肪酸分布

如前所述, 几种脂肪酸生标指数在 796~810.8, 1 216~1 224 和 1 291~1 300 m 层段都有异常。这几个深度范围内脂肪酸的质量色谱图分别见图 4、图 5 和图 6。

796~810.8 m 深度范围内脂肪酸碳数范围为 $C_{14}-C_{28}$, 呈双峰型分布, 前、后峰群分别以 C_{16} 和 C_{26} 为主峰碳 (图 4), 属典型的水生生物来源的菌藻类沉积; 但也检出了细菌来源的异构酸^[20, 21], 如 $iso-C_{15:0}$ 和 $iso-C_{16:0}$ 。值得注意的是, 陆源高等植物来源脂肪酸的偶奇优势不是很明显, 这可能说明陆源高等植物也可被细菌降解。

1 216~1 224 m 层段内脂肪酸系列碳数范围为 $C_{13}-C_{34}$, 呈不明显的双峰形, 前峰群主峰碳为 C_{18} , 后峰群主峰碳为 C_{24} (图 5), 属典型的菌藻类水生生物沉积。样品中不饱和酸和异构酸异常丰富, 不饱和酸检出有 $nC_{18:1}$, $nC_{21:1}$ 和 $nC_{24:1}$, 异构酸检出有 $iso-C_{14:0}$, $iso-C_{15:0}$, $iso-C_{16:0}$, $iso-C_{17:0}$, $iso-C_{18:0}$, $iso-C_{22:0}$, $iso-C_{25:0}$ 和 $iso-C_{26:0}$ 。不饱和酸和异构酸一般被认为是细菌来源的脂肪酸类^[20, 21]。如此丰富的不饱和酸和异构酸在生物气气源岩中出现, 说明样品中细菌非常发育或者曾经非常发育, 同时样品所处层段的地化环境以及气源岩类型较适宜细菌的生存发育。这种特殊的脂肪酸分布可能指示优质气源岩类型和利于生成生物气的地化环境。由上面脂肪酸的分布可看出, 这些层段脂肪酸输入类型以水生生物来源为主, 这种类型的脂肪酸在生物气的生成过程中较易为细菌群落利用。

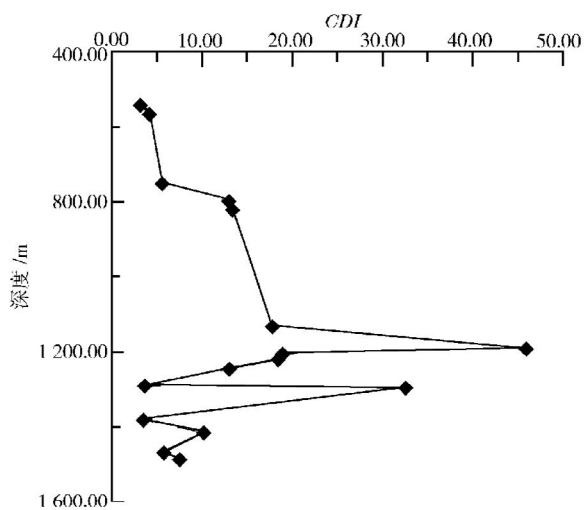


图 3 组成分散性指数 (CDI) 在纵向上的变化趋势

Fig. 3 Vertical variations of CDI

* 范连顺. 柴达木盆地东部第四系生物气成藏条件与勘探目标选择. 1999

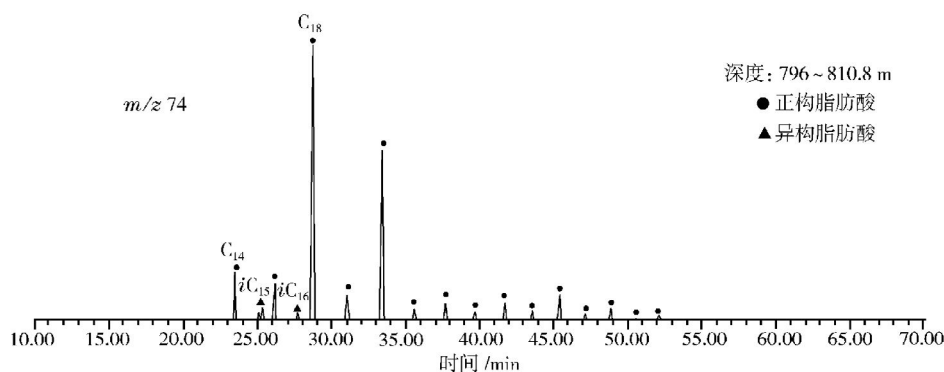


图 4 796~810.8 m 深度范围内样品脂肪酸质量色谱

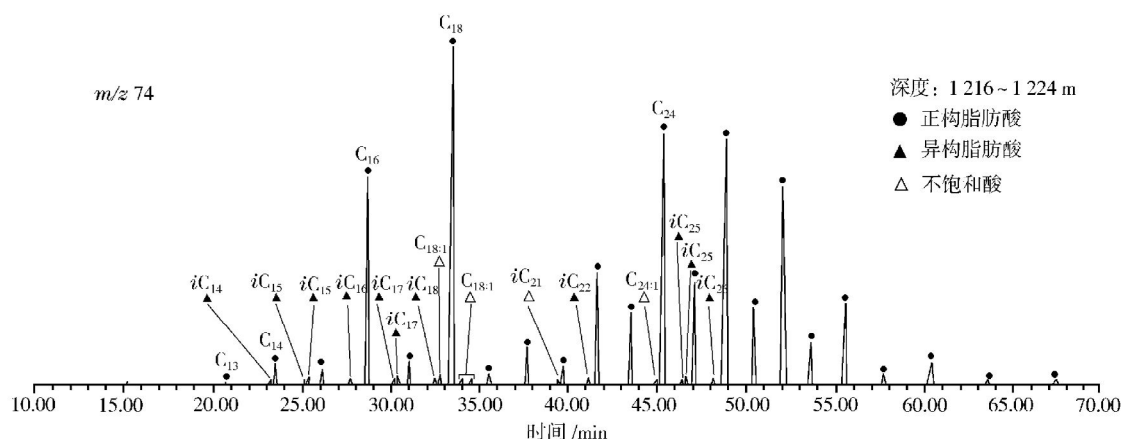
Fig. 4 Mass chromatogram for m/z 74 of fatty acids in the samples obtained from 796~810.8 m interval

图 5 1216~1224 m 深度范围内样品脂肪酸质量色谱

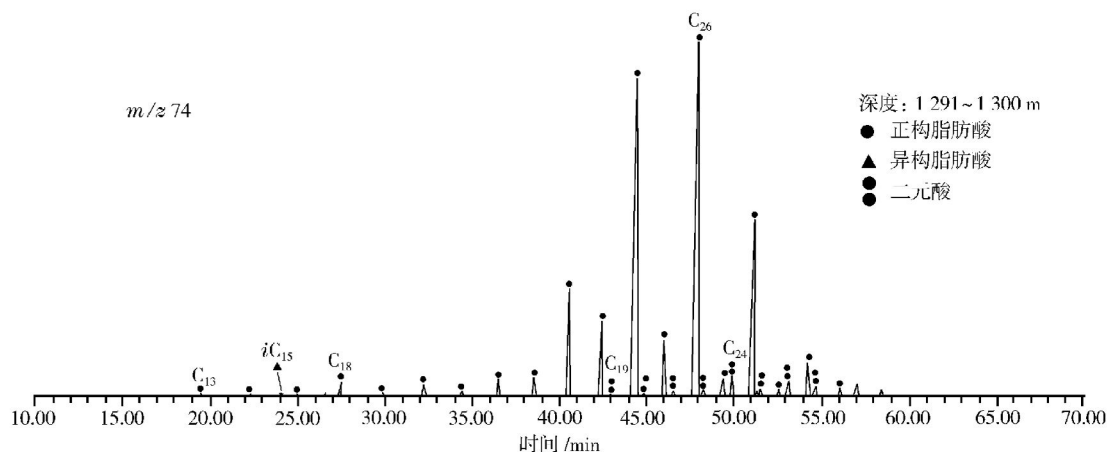
Fig. 5 Mass chromatogram for m/z 74 of fatty acids in the samples obtained from 1216~1224 m interval

图 6 1291~1300 m 深度范围内样品脂肪酸质量色谱

Fig. 6 Mass chromatogram for m/z 74 of fatty acids in the samples obtained from 1291~1300 m interval

在 1291~1300 m 层段内的正构脂肪酸系列碳数范围为 C_{13} — C_{32} , 呈不明显的双峰形, 前、后峰群主峰碳分别为 C_{16} 和 C_{26} , 属典型的陆源高等植物沉积。在该脂肪酸系列中还检出了典型的陆源高等植物来源的二元脂肪酸系列, 碳数范围为 C_{19} — C_{29} , 主峰碳为 C_{24} (图 6)。该深度脂肪酸含

量也较高 (图 1), 表明了陆源高等植物来源脂肪酸的稳定性; 但也有人认为这种类型的脂肪酸仍然可被降解^[8]。这种陆源高等植物沉积来源的脂肪酸的不易降解与可降解特性, 可以有效地保存地层中的有机质, 使地层中的细菌能够利用这些有机质持续产气。

3 结论

通过分析柴达木盆地涩北地区第四系纵向剖面上生物气气源岩脂肪酸的含量及分布特征、脂肪酸的 H/L , CDI , CPI_A , EOP_f 等生标指数和盐度、地温梯度等因素与生物产气率之间的关系, 获得了以下主要认识。

1) 生物气气源岩中正构脂肪酸的含量、类型以及正构脂肪酸 H/L , CDI , CPI_A , EOP_f 等生标指数的异常对生物气气源岩的生气潜力状况和细菌发育情况具有指示作用。

2) 热降解使正构脂肪酸的 CPI_A , EOP_f 及 CDI 指数趋于定值, 而细菌降解却使这些指标在纵向上有较大的变化幅度, 而且这些指标的变化与源岩的地化环境如盐度、温度有关。由于地化环境的不同使得细菌在不同的深度改造有机质的程度不同, 从而造成这些指标在纵向剖面上的变化。

3) 地层中中、长碳链脂肪酸能在细菌作用下被降解, 并且最终成为产甲烷菌利用的基质。其中菌藻类和水生生物来源的脂肪酸在生物气的生成过程中较易为细菌群落利用; 而陆源高等植物来源脂肪酸的不易降解和最终可降解特性, 可以有效地保存地层中的有机质, 使地层中的细菌能够利用这些有机质持续地产气。

致谢: 样品分析过程中得到中国科学院地质地球物理所孟仟祥研究员、丁万仁工程师的帮助, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- Whiticar M J, Faber E, Schoell M. Biogenic methane formation in marine and freshwater environments: CO_2 reduction vs acetate fermentation— isotope evidence [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, 50: 693–709
- 柯益华, 杨新凯, 方治华. 厌氧消化过程细菌四种群生态系统数学模型 [J]. *中国沼气*, 1997, 15(4): 16–19
Ke Yihua, Yang Xinkai, Fang Zhihua. Mathematical models of ecological system of four microbial population in anaerobic digestion process [J]. *China Biogas*, 1997, 15(4): 16–19
- Cooper J E. A postulated role of fatty acid in petroleum formations [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1963, 27: 1113–1127
- Manuel C, Nicolas B, Jean P D. Effects of nitrogen oxides and denitrification by *Pseudomonas stutzeri* on acetotrophic methanogenesis by *Methanosarcina mazei* [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 1998, 25: 271–276
- Kotelnikova S V, Pedersen K. Distribution and activity of methanogens and homoacetogens in deep granitic aquifers at Aspö and Rock Laboratory, Sweden [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 1998, 26: 121–134
- Cranwell P A. Monocarboxylic acids in lake sediments: indicators derived from terrestrial and aquatic biota of paleoenvironmental trophic levels [J]. *Chemical Geology*, 1974, 14: 1–14
- Victor F, Canacho I, Leslie A A, et al. Fatty acid reactivities in sediment cores from the northern Gulf of California [J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34: 425–439
- Vincent G, Peter B, Jaap S, et al. Anaerobic biodegradation of lipids of the marine microalga *Nannochloropsis salina* [J]. *Organic Geochemistry*, 2001, 32: 795–808
- 党玉琪, 张道伟, 徐自远, 等. 柴达木盆地三湖地区第四系沉积相与生物气成藏 [J]. *古地学报*, 2004, 6(1): 110–118
Dang Yuqi, Zhang Daowei, Xu Ziyuan, et al. Sedimentary facies and biogenic gas pool in the Quaternary of Sanhu area in Qaidam basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(11): 110–118
- 周翥虹, 周瑞年, 管志强. 柴达木盆地东部第四系气源岩地化特征与生物气前景 [J]. *石油勘探与开发*, 1994, 21(2): 30–36
Zhou Zhuhong, Zhou Ruinian, Guan Zhiqiang. Geochemical properties of source materials and biogas prospects of the Quaternary gas in east of Qaidam basin [J]. *Petroleum Exploration & Development*, 1994, 21(2): 30–36
- 黄泽新, 罗小平. 洞庭湖盆地第四系生物气地质特征及远景分析 [J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17(1): 62–67
Huang Zexin, Luo Xiaoping. Geological characteristics of Quaternary biogas in Dongtinghu basin and its prospects [J]. *Oil & Gas Geology*, 1996, 17(1): 62–67
- 丁安娜, 宋桂侠, 惠荣耀, 等. 松辽盆地滨北地区生物气源岩酸性含氧化合物的分布及其地球化学意义 [J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(1): 51–57
Ding Anna, Song Guixia, Hui Rongyao, et al. Distribution of acidic oxygen-bearing compounds and its geochemical significance in source rocks of biogas: Binbei area, Songliao basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(1): 51–57
- 周友平, 史继扬, 向明菊, 等. 可溶一元正脂肪酸分布模式表征参数有效性评价 [J]. *中山大学学报 (自然科学版)*, 1998, 37(增刊): 114–118
Zhou Youping, Shi Jiyang, Xiang Mingju, et al. The validity evaluation of parameters for distribution model of monosaturated fatty acid in depositional environment differentiation [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1998, 37(S0): 114–118
- Alongi. The role of soft bottom benthic communities in tropical mangrove sediments [J]. *Microbial Ecology*, 1989, 15: 59–78
- 林春明, 李从先. 钱塘江口地区冰后期沉积特征与生物气聚集 [J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18(4): 332–335
Lin Chunming, Li Congxian. Sedimentary characters and biogas accumulation in postglacial stage of Qiantangjiang river mouth re-

- gion[J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 332-335
- 16 李明宅, 张洪年, 刘华. 生物气模拟试验的进展[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 117-122
Li Mingzhai, Zhang Hongnian, Liu Hua. Advances in simulated test of biogas[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 117-122
 - 17 Machel H G. Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction[J]. Applied Geochemistry, 1995, 10: 373-389
 - 18 彭作林, 惠荣耀. 柴达木盆地天然气赋存条件及资源预测[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1991. 162-232
Peng Zuolin, Hui Rongyao. Occurrence of natural gas in Qaidam basin and resources assessment[M]. Lanzhou: Gansu Science & Technology Press, 1991. 162-232
 - 19 关平, 王大锐, 黄第藩. 柴达木盆地东部生物气与有机酸地球化学研究[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(3): 41-45
Guan Ping, Wang Dairui, Huang Difan. The study on the characteristics and evolution regularity of product of gas under pyrolysis simulation experiments[J]. Petroleum Exploration & Development, 1995, 22(3): 36-40
 - 20 段毅, 崔明中, 罗斌杰, 等. 我国海洋沉降颗粒物质的有机地球化学研究——(iv) 有机质通量及烃类化合物和脂肪酸分布特征[J]. 中国科学 (D 辑), 1997, 27(5): 44-446
Duan Yi, Cui Mingzhong, Luo Binjie, et al. Organic geochemical studies of sinking particulate material in China sea area——(I) organic matter fluxes and distributional features of hydrocarbon compounds and fatty acids[J]. Science in China (Series D), 1997, 27(5): 442-446
 - 21 De L J W, Frewin N L. Organic carbon as a paleoenvironmental indicator in the marine realm[A]. In: Marine paleoenvironmental analysis from fossils[C]. Geological Society Special Publication, 1995, 83: 43-71

(编辑 李 军)

(上接第 777 页)

- 29 王良书, 李成, 施央申. 塔里木盆地大地热流密度分布特征[J]. 地球物理学报, 1995, 38(6): 855-856
Wang Liangshu, Li Cheng, Shi Yangshen. Distribution of terrestrial heat flow density in Tarim basin, western China[J]. Acta Geophysica Sinica, 1995, 38(6): 855-856
- 30 王钧, 汪缉安, 沈继英, 等. 塔里木盆地的大地热流[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(4): 399-404
Wang Jun, Wang Jifan, Shen Jiying, et al. Heat flow in Tarim basin[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(4): 399-404
- 31 王良书, 李成, 刘绍文, 等. 塔里木盆地北缘库车前陆盆地地温梯度分布特征[J]. 地球物理学报, 2003, 46(3): 403-407
Wang Liangshu, Li Cheng, Liu Shaowen, et al. Geotemperature gradient distribution of Kuqa foreland basin, northern Tarim, China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 46(3): 403-407
- 32 Hu S B, O'Sullivan P B, Raza A, et al. Thermal history and tectonic subsidence of the Bohai basin, northern China: a Cenozoic rifted and local pull-apart basin[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2001, 126: 221-235
- 33 Bumhan A K, Sweeney J J. A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, (53): 2649-2657
- 34 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造样式[J]. 中国科学, 2003, 33(1): 38-46
Tang Liangjie, Jia Chengzao, Pi Xuejun, et al. Style of salt-related structure in Kuqa foreland folding and thrusting belts, Tarim basin, northwest China[J]. Science in China (Series D), 2003, 33(1): 38-46

(编辑 李树森)

“中国石油学会天然气专业委员会 2005 年学术年会”在三亚召开

2005 年 11 月 23 日至 27 日, 由中国石油学会天然气专业委员会主办、中海油湛江分公司承办的“中国石油学会天然气专业委员会 2005 年学术年会”在三亚召开。来自中石化、中海油、中石油、陕西省天然气股份有限公司及部分石油院校的 100 余名代表参加会议, 中国工程院邱中建院士、胡见义院士、西南石油学院李士伦教授等应邀出席会议并作主题报告。会议共收到论文 100 余篇, 大会主题报告 8 篇, 分会交流 45 篇。会议就鄂尔多斯、准噶尔、塔里木、四川、南海西部等大、中型含油气盆地中各类型气田勘探开发、地面工程中一些新的技术和研究成果进行交流和研讨。本次年会的主题是“以科技进步推动天然气工业协调、快速、持续发展, 充分发挥天然气清洁能源在国民经济发展中的重要作用”。

(游瑜春 郑荣臣)