

# 生物气源岩评价指标研究现状及展望

穆亚蓬<sup>1,2</sup>, 王万春<sup>1</sup>, 宋振响<sup>1,2</sup>

(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 100049)

**摘要:**生物气成因的特殊性,使得对生物气源岩的评价也有异于常规烃源岩。有利于生物气生成的物质与环境条件包括源岩快速大量沉积、烃源岩处于低温低演化阶段、原始生源中富含甲烷生物潜量高的草本植物、封闭的缺氧环境等。促使有机质转化为生物气的动力则包括产甲烷菌等微生物菌群的联合作用。反映微生物活动及其强度的指标,如地层中的微生物计数、厌氧菌发酵产气模拟试验以及与微生物作用有关的生物标志化化合物的存在及其丰度等,是生物气源岩评价的有效地球化学参数,也是未来需要加强研究的领域。

**关键词:**生物气;源岩;微生物;评价指标

**中图分类号:**TE122.1<sup>+</sup>13

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2008)06-0775-05

## 0 引言

生物气是厌氧微生物在低温下产生的以甲烷为主的气体,是一种重要的洁净能源。据估计世界累计探明的生物气储量,占世界天然气总储量的21.3%<sup>[1]</sup>。随着研究的不断深入,这个比例可能还会有更大的拓展空间<sup>[2]</sup>。由于生物气具有分布广泛、埋藏浅、勘探成本低、易于开发等特点,国内外已将其列为重要的研究和勘探对象<sup>[3]</sup>。然而,生物气研究中还有很多关键性、基础性的问题有待解决,如气源岩的评价方法等。寻找有效评价指标是开展生物气研究工作的重要组成部分。

从源岩条件来看,生物气具有多来源的特点,泥岩、煤、石油都可以成为其气源。这点已被模拟试验所证实<sup>[4-5]</sup>。本文主要涉及常规生物气源岩。已有研究<sup>[2]</sup>表明:生物气源岩的评价不能沿用传统的评价热成因油气资源的方法,也不能搬用评价生油岩和过成熟气的指标,但是究竟什么是控制生物气的主要因素,如何评价生物气源岩,目前还缺乏一套有效而适用的指标。选择适当的生物气源岩评价指标,关系到能否对气源岩进行更科学、更客观的评价,也是今后生物气研究工作中亟待解决的问题<sup>[6]</sup>。

反映生物气源岩优劣的指标,大致可以分为2个方面:一是有利于微生物生存发育的条件,如沉积有机质的保存条件、原始有机质类型、有机质的富集程度以及地层温度等指标<sup>[7]</sup>;二是能够反映微生物活动及其强度的指标,如细菌改造有机质的生物标志化合物指标<sup>[8]</sup>。本文拟就生物气源岩评价指标的研究现状进行探讨。

## 1 利于微生物生存发育的地质及地球化学条件

### 1.1 沉积速度

沉积速度是决定沉积物中生物气丰度的重要因素。大量生物气常常形成和保存于高速沉积的沉积物中,这是因为快速沉积的环境不仅避免了有机质被氧化破坏,同时也减弱了水介质对碳酸盐的补给能力,使硫酸盐还原菌的呼吸作用逐渐消失,产甲烷菌随之活跃起来<sup>[9]</sup>。如在大马南海盆(加拿大东海岸),埋深同为2 m的岩心,沉积速率为134 cm/ka的岩心的甲烷含量为 $21\ 800 \times 10^{-6}$ ,比之沉积速率为20 cm/ka的岩心( $30 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$ )高500倍<sup>[10]</sup>。在近代海洋沉积物中,生物气通常发现于沉

积速率大于 50 m/Ma 的地区<sup>[9]</sup>。近年的勘探实践证明,生物气产区的沉积速率远远高于这个数值。如柴达木盆地东部第四系沉积速度达 800 ~ 1 000 m/Ma<sup>[11]</sup>。同时,快速沉积不仅有利于生物气的生成,而且可以使已生成的生物气能够得到有效的保存<sup>[12]</sup>。

## 1.2 地质时间

地质时间也可以作为衡量甲烷生成量和其储存情况的一个指标<sup>[13]</sup>。对浅层生物气来说,甲烷气随沉积时间增加而增加<sup>[14]</sup>。生物气模拟实验表明,甲烷气量约在 10 000 a 急剧上升,对只有 10 000 a 的地层,即使地层中残留有机碳含量为 0.1%,若保存条件好,生成的甲烷气也足以形成有工业价值的油气藏<sup>[15]</sup>。例如杭州湾沿海平原晚第四纪生物气藏的形成不超过 12 000 a<sup>[16]</sup>,晚第四纪地层总生气量就达到了 2 445.27 亿 m<sup>3</sup><sup>[17]</sup>。

## 1.3 源岩热演化程度

我国生物气源岩主要集中于第四系、第三系和白垩系,国外生物气源岩主要集中于白垩系和第三系,这与未成熟源岩分布是一致的。这一阶段为成岩作用初期,经受的地层温度低,适于微生物大量繁殖。压实作用弱,沉积物中含水量很高,孔渗条件好,微生物有良好的生存活动空间。而且年轻干酪根本身结构疏松,富含 O、N、S 等杂原子,有机质主要部分的活化能很低,容易被微生物分解<sup>[18]</sup>。

西西伯利亚盆地所发现的几个世界级的大气田,沉积物均为松散—弱固结,处于成岩早期;有机质成熟度低,处于未熟—低成熟阶段, $R_o$  值一般在 0.4% 以下,最大值为 0.7%<sup>[2]</sup>。我国迄今发现的生物气主要分布于第三系渐新统至第四系中,有利的生物气源岩埋藏深度一般小于 2 000 m,  $R_o < 0.6\%$ 。未成熟气源岩的规模、组成、有机质丰度等决定了其生气能力和生气强度<sup>[19-20]</sup>。

## 1.4 沉积环境

封闭还原环境是生物气生成必不可少的条件。产甲烷菌是专性厌氧菌,只有在缺氧的还原环境下才能生长。当其生存环境中氧的含量达到 0.1% 时,生长就会受到明显的抑制,最适合产甲烷菌发育的氧化还原电位(Eh)为 -540 ~ -590 mV<sup>[21]</sup>。Cappenberg<sup>[22]</sup> 认为产甲烷菌适合生长在 Eh < -200 mV 的还原环境中。惠荣耀等<sup>[18]</sup>、王跃文<sup>[23]</sup> 认为 Eh 值必须小于 -340 mV 时,才能有利于产甲烷菌的生存和繁衍。

温度是甲烷菌发育的重要因素,产甲烷菌适宜

生存的温度为 35 ~ 75 °C<sup>[24]</sup>。关德师<sup>[25]</sup> 通过实验模拟结合勘探实践提出生物气生成上限温度为 80 ~ 85 °C,主要产气温度为 25 ~ 65 °C。对于早期生物气来说,气源岩所能经历的最高古地温不能超过 80 ~ 85 °C,否则微生物无法存活或活性降低,生化作用会削弱或停止,生物气的生成也将中止。

## 1.5 沉积物中的原始生源输入

研究表明,不同生源有机物的原始甲烷生物潜量不同。所谓原始甲烷生物潜量是指死亡植物和沉积表层样品的生物甲烷产率。以现代植物而论,草本植物的生物甲烷潜量高于木本植物<sup>[26]</sup>。据国内资料报导,草本植物的生物甲烷潜量可达 71.66 ~ 361.69 m<sup>3</sup>/t<sub>干物质</sub><sup>[27]</sup>。红树根作为木本植物的代表,其甲烷生物潜量为 71.2 m<sup>3</sup>/t<sup>[26]</sup>。由于甲烷菌的营养来源主要是纤维素、半纤维素、糖、淀粉、果胶等碳水化合物,这些物质在草本植物中含量最丰富。所以生物气的母质类型主要是半腐殖型和草本腐殖型有机质<sup>[28]</sup>。在寒冷气候下,草本植物比木本植物优先发育,并在搬运过程中损失较少,从而为沉积地区的甲烷菌提供更多的陆源碳水化合物养料<sup>[29]</sup>。这可能也是柴达木盆地第四系生物气聚集的有利条件之一。

## 1.6 气源岩生化产气率

生物气产率大小与其母质组成密切相关,类型好的源岩中可被降解利用的有机质多,反之,类型不好的源岩中可被降解利用的有机质少<sup>[25]</sup>,如天山腐殖物质被微生物利用部分,每吨干物质产甲烷 188.94 m<sup>3</sup><sup>[30]</sup>。通过对现代干草样品、淤泥样、古代泥岩、泥炭样品的模拟实验表明,生物气的产率随沉积埋藏的时间和有机质变质程度的增大而迅速下降<sup>[31]</sup>。这与生物气源岩的演化程度比较低是相吻合的。

## 1.7 气源岩中有机质丰度

生物气源岩由于沉积速率高,沉积厚度大,低有机碳含量也可形成大气田。如柴达木盆地第四系湖相泥岩有机碳含量一般为 0.15% ~ 0.46%,平均含量为 0.3%<sup>[32]</sup>。生物气源岩具有氯仿沥青“A”含量低的特点<sup>[33]</sup>。关平<sup>[34]</sup> 认为氯仿沥青“A”小于  $100 \times 10^{-6}$  为非气源岩,介于  $(100 \sim 300) \times 10^{-6}$  之间为差气源岩,介于  $(300 \sim 1\,000) \times 10^{-6}$  之间为中等气源岩,介于  $(1\,000 \sim 2\,000) \times 10^{-6}$  之间为好气源岩,介于  $(2\,000 \sim 4\,000) \times 10^{-6}$  之间为很好气源岩,大于  $4\,000 \times 10^{-6}$  为极好气源岩。生物气源岩以高非烃+沥青质含量为特征。在保山盆地烃源岩族组分

中,非烃+沥青质含量在 50%~91%之间,非烃含量在 20%~60%之间<sup>[33]</sup>。

## 2 反映微生物活动及其强度的指标

### 2.1 气源岩中微生物存活情况

微生物的存在及其代谢作用是生物气生成的基础条件,也是先决条件<sup>[25]</sup>。如在柴达木盆地第四系 113~1 971 m 深度内,均存在发酵菌、厌氧纤维素分解菌,产甲烷菌则主要分布在 500~1 100 m 的深度范围内<sup>[35]</sup>。在不同的沉积环境中,由于环境条件的选择作用,产甲烷菌组成是不同的<sup>[35-36]</sup>。在海洋沉积物中,甲烷主要来源于 CO<sub>2</sub> 的还原,而在一般的陆相沉积物中,甲烷则主要来自于乙酸的转化<sup>[37]</sup>。模拟实验结果表明进入成岩中晚期阶段,沉积环境中的产甲烷菌基本都是 H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 型<sup>[36-37]</sup>。

### 2.2 细菌改造有机质程度的指标

生物气的形成与细菌对有机质的改造活动有关,并在干酪根中留下痕迹,称之为菌解无定形体。丁安娜<sup>[38]</sup>认为无定形体含量愈高,微生物活性愈强,甲烷气产量愈高。

腐泥化作用是低等浮游群体藻类、草本植物和高等植物富含脂类部分经微生物改造而转变成无定形体的过程。在低演化阶段,微生物活动异常活跃,有机质遭受不同程度的破坏,在还原环境中微生物作用将有机质中的蛋白质、脂肪、碳水化合物分解,破坏了原有有机质结构而形成了无规则外形、大小不等的絮状、海绵状、云雾状的无定形物质<sup>[18,23]</sup>。

腐泥组具有多种母源,除了藻类体外,陆生高等植物、动物遗体及细菌本身都可能成为腐泥组分来源。王跃文<sup>[23]</sup>将腐泥组分作为微生物改造有机质的程度指标,即根据腐泥组分的含量将生物气源岩划分为 4 个等级,Ⅰ类气源岩腐泥组含量大于 30%,Ⅱ类气源岩腐泥组含量为 20%~30%,Ⅲ类气源岩腐泥组含量为 0~20%,不含腐泥组为非生物气源岩。

### 2.3 古细菌起源的类脂生物标记物

产甲烷菌属于古菌类。古细菌起源的类脂生物标记物,包括不规则头对头类异戊二烯烷烃和类异戊二烯基丙三醇二醚,还有更复杂的 C<sub>40</sub>-双植烷和古细菌细胞膜类脂,如丙三醇二烷基丙三醇四醚,也经常在有特殊古细菌活动的沉积物中检测到<sup>[39]</sup>。头对头类异戊二烯烷烃化合物(例如 C<sub>31</sub>—C<sub>40</sub> 头对头类异戊二烯烷烃化合物)是由古细菌合成的<sup>[40]</sup>。类异戊二烯烷烃如五甲基或四甲基二十烷被鉴别为

是甲烷菌的成分<sup>[41]</sup>。Brassell 等<sup>[42]</sup>指出,沉积物和石油中的 2,6,10,15,19-五甲基二十烷(PME)和角鲨烷指示着过去的生物甲烷生成阶段。PME 是产甲烷菌活动的一个明显标志物,PME 浓度越高,产甲烷菌活动越强<sup>[13]</sup>。

### 2.4 呋啉化合物

丁安娜<sup>[43-44]</sup>认为呋啉衍生物的含量可以作为到达生物甲烷形成时的标志。柴达木盆地东部优质生物气源岩的呋啉化合物中,主要含呋啉和甲基呋啉,而未熟—低熟原油中二甲基呋啉丰度相对较高。在厌氧沉积生态系统中,由于微生物降解作用,会导致呋啉类衍生物的总体含量下降,优质生物气源岩比劣质气源岩低 2 个数量级还多<sup>[44]</sup>。这与张春明<sup>[45]</sup>的研究相一致,它认为严重的微生物降解作用极大地降低了呋啉类含氮化合物的浓度,同时也使呋啉类含氮化合物的相对组成发生变化。

### 2.5 甾烷/藿烷值

规则甾烷/17 $\alpha$ (H)-藿烷值反映真核生物(主要是藻类和高等植物)与原核生物(细菌)对源岩的贡献,也可反应细菌的活性及对有机质改造的程度。因为生物体中的甾醇和藿类的含量变化很大,所以只有当甾/藿值变化很大时,才能更好地评价真核生物与原核生物对源岩的贡献。一般情况下,高含量的甾烷以及高的甾/藿值( $\geq 1$ )似乎是主要来源于浮游或底栖藻类生物的海相有机质的特征。相反,低含量甾烷和低的甾/藿值主要指示陆源和/(或)微生物改造过的有机质<sup>[46]</sup>。

丁安娜等<sup>[43]</sup>认为甾/藿值是一个很有效地评价生物气源岩的标准。在成岩作用的早期阶段,菌类活性除了受宏观沉积环境和亚沉积环境控制外,尤其受控于微环境,所以只要多数样品的这一比值小于 1,即可表征菌类活性较强,生物量输入较高,如在柴达木盆地东部地区该比值小于 1 的样品占所分析样品的 86%以上,在松辽盆地滨州浅北部地区占所分析样品的 91%以上<sup>[43-44]</sup>。

### 2.6 有机酸(脂肪酸)的地球化学指标

气源岩中丰富的不饱和脂肪酸,特别是异构脂肪酸系列以及类异戊二烯酸的检出,反映了细菌在源岩中的发育,为生物气的有利气源岩提供了更进一步的证据<sup>[47]</sup>。例如柴达木盆地中检测出丰富的不饱和酸和异构酸,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球化学环境以及气源岩类型较适宜细菌的发育,这种特殊的脂肪酸分布可以指示优质气源岩类型和有利于生成生

物气的地层地球化学环境<sup>[48]</sup>。

关平等<sup>[34]</sup>认为在评价生物甲烷的形成问题时,有机酸的含量应当是一个重要的指标。他根据有机酸含量将气源岩划分为6个等级:有机酸含量小于0.1%为非气源岩;0.1%~0.2%为差气源岩;0.2%~0.5%为中等气源岩;0.5%~1.0%为好气源岩;1.0%~2.0%为很好气源岩;大于2.0%为极好气源岩。

### 3 结论及展望

生物气源岩的评价是生物气资源勘探的基础,也是探讨控制生物气生成的主要因素。寻找一套科学、有效而适用的生物气源岩评价指标,是目前生物气研究亟待解决的问题。生物气源岩的评价应在综合研究的基础上做出分析,既要考虑有机质发育与微生物生存发育的地质与地球化学条件,也要涉及反映微生物活动及其强度的地球化学指标。以草本植物为主的母源物质的快速大量沉积,低温、封闭的缺氧环境以及低的成岩演化阶段,是生物气生成的物质与环境条件;而发酵菌、厌氧纤维素分解菌、产甲烷菌等微生物菌群的发育与繁盛,则是生物气生成的动力条件。正如优质烃源岩存在及其进入成熟演化阶段是原油生成的必不可少的条件一样,对于生成生物气而言,上述2个条件缺一不可。

目前关于生物气生成的地质与地球化学条件的研究,已有相当多的文献报道。对于微生物发育的直接(如微生物计数、微生物接种产气等)依据的研究,也有较多的文献报道,但由于经费限制不能够广泛开展;对于微生物发育的间接(即与微生物作用有关生标)依据的研究,则正处于探索阶段。地层中与微生物作用有关的生物标志化化合物的存在及其丰度,反映了微生物在地层中的活动强度,特别是甲烷古菌的特征标志化化合物的相对丰度,更能够直接与甲烷菌在地层中曾经的生气强度相联系,因此这是生物气源岩评价的有利地球化学指标,也是未来需要加强研究的领域。

#### 参考文献:

- [1] Rice D D, Claypool G E. Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas[J]. AAPG Bulletin, 1981, 65 (1): 5-25.
- [2] 帅燕华, 张水昌, 苏爱国, 等. 生物成因天然气勘探前景初步分析[J]. 天然气工业, 2006, 26(8): 1-4.
- [3] 李先奇, 张水昌, 朱光有, 等. 中国生物成因气的类型划分与研究方向[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(4): 477-484.
- [4] 李明宅, 张洪年, 刘洪, 等. 生物气模拟试验的进展[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 117-122.
- [5] 周寿红, 连莉文, 梁家驷. 柴达木盆地东部第四系生物模拟及其应用[J]. 天然气地球科学, 1990, 1(2): 12-19.
- [6] 陈英, 戴金星, 戚厚发, 等. 关于生物气研究中几个理论及方法问题的研究[J]. 石油实验地质, 1994, 16(3): 209-219.
- [7] 吴川, 陈广浩, 何家雄, 等. 曲靖盆地浅层生物气成藏要素及运聚特征初步分析[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(5): 673-677.
- [8] 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.
- [9] 杨计海, 易平, 黄保家, 等. 莺歌海盆地生物气成藏特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(10): 4-7.
- [10] Rashid M A, Vilks G. Environment controls of methane production in Holocene basins in eastern Canada[J]. Organic Geochemistry, 1977, 1(1): 53-59.
- [11] 周荔青, 刘池阳. 中国新生代生物天然气藏的基本形成模式[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 1-7.
- [12] 林春明, 钱奕中. 浙江沿海平原全新统气源岩特征及生物气形成的控制因素[J]. 沉积学报, 1997, 15(增刊): 70-75.
- [13] Noble R A, Henk Jr F H. Hydrocarbon charge of a bacterial gas field by prolonged methanogenesis: an example from the East Java sea, Indonesia[J]. Organic Geochemistry, 1998, 29 (1-3): 301-314.
- [14] 林春明, 李艳丽, 漆滨汶, 等. 生物气研究现状与勘探前景[J]. 古地质量, 2006, 8(3): 317-330.
- [15] 陆伟文, 海秀珍. 生物气模拟生成实验及地层中生物气生成量的估算[J]. 石油实验地质, 1991, 13(1): 65-76.
- [16] 林春明, 黄志诚, 朱嗣昭, 等. 杭州湾沿岸平原晚第四纪沉积特征和沉积过程[J]. 地质学报, 1999, 73(2): 120-130.
- [17] 林春明, 卓弘春, 李广月, 等. 杭州湾地区浅层生物气资源量计算及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 823-830.
- [18] 惠荣耀, 丁安娜, 张中宁. 生物气源岩地球化学综合评价指标研究[C]// 第十届全国有机地球化学学术会议论文集. 无锡: [出版者不详], 2005: 171-172.
- [19] 郭泽清, 李本亮, 曾富英, 等. 生物气分布特征和成藏条件[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 407-413.
- [20] 关德师. 控制生物气富集成藏的基本地质因素[J]. 天然气工业, 1997, 17(5): 8-12.
- [21] 张顺, 冯志强, 林春明, 等. 松辽盆地新生界生物气聚集及成藏条件[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 18-22.
- [22] Cappenberg T. Interrelation between sulfatereducing and methane-producing bacteria in bottom deposits of a freshwater lake. I. Field observations[J]. Antonie van leeuwenhoek, 1974, 40: 285-295.
- [23] 王跃文. 松辽盆地滨北烃源岩条件评价方法研究与应用[D]. 安达: 大庆石油学院, 2005: 41-44.
- [24] 赵一章. 产甲烷细菌及研究方法[M]. 四川: 成都科技大学出版社, 1997: 35-56.
- [25] 关德师, 戚厚发, 钱贻伯, 等. 生物气的生成演化模式[J]. 石油

- 学报,1997,18(3):31-36.
- [26] 陈安定,刘桂霞,连莉文,等. 生物甲烷形成试验与生物气聚集的有利地质条件探讨[J]. 石油学报,1991,12(3):7-16.
- [27] 姚爱莉. 我国农村常用沼气发酵原料的产气潜力与特性[J]. 中国沼气,1988,6(1):20-24.
- [28] 罗槐章,陆良盆地上第三系未熟烃源岩特征及生物气成因分析[J]. 天然气工业,1999,19(5):21-26.
- [29] 张义纲,陈焕疆. 论生物气的生成和聚集[J]. 石油与天然气地质,1983,4(2):160-170.
- [30] 梁家骥,肖颢,周翥虹,等. 生物气模拟实验[J]. 生物工程学报,1992,8(3):300-304.
- [31] 陆伟文,海秀珍. 生物气模拟生成实验及地层中生物气生气量的估算[J]. 石油实验地质,1991,13(1):65-76.
- [32] 魏国齐,刘德来,张英,等. 柴达木盆地第四系生物气形成机理、分布规律与勘探前景[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):84-89.
- [33] 沈忠民,罗小平,刘四兵,等. 云南保山盆地生物气源岩地球化及环境指示意义[J]. 石油天然气学报,2007,29(4):52-56.
- [34] 关平,王大锐,黄第藩,等. 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.
- [35] 邓宇,张辉,钱贻伯,等. 柴达木盆地东部第四系某钻孔沉积物中厌氧细菌的组成与分布[J]. 沉积学报,1996,14(增):220-225.
- [36] 邓宇,张辉,钱贻伯,等. 南海莺琼盆地沉积环境中几种厌氧细菌的组成与分布[J]. 微生物学报,1998,38(4):245-250.
- [37] 张辉,连莉文,张洪年. 不同沉积环境中几种厌氧细菌的组成与分布[J]. 微生物学报,1992,32(3):182-190.
- [38] 丁安娜,王明明,李本亮,等. 生物气的形成机理及源岩的地球化学特征——以柴达木盆地生物气为例[J]. 天然气地球科学,2003,14(5):402-407.
- [39] Pancost R D, Hopmans E C, Sinninghe Damsté J S, *et al.* Archaeal lipids in Mediterranean cold seeps: molecular proxies for anaerobic methane oxidation[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, 65(10):1611-1627.
- [40] Petrov A A, Vorobyova N S, Zemskova Z K. Isoprenoid alkanes with irregular “head-to-head” linkages[J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16(4-6):1001-1005.
- [41] Vink A, Schouten S, Sephton S, *et al.* A newly discovered norisoprenoid, 2,6,15,19-tetramethylicosane, in Cretaceous black shales[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62(6):965-970.
- [42] Brassell S C, Wardroper A M K, Thompson I D, *et al.* Specific acyclic isoprenoids as biological markers of methanogenic bacteria in marine sediments[J]. *Nature*, 1990, 346:693-696.
- [43] 丁安娜,卢双航,冯子辉,等. 生物气源岩中原核生物改性指标与评价新方法[J]. 石油勘探与开发,2008,35(1):59-66.
- [44] 丁安娜,卢双航,冯子辉,等. 生物气源岩评价方法[C]//第十一届全国有机地球化学学术会议论文摘要汇编. 昆明:[出版者不详],2007:12-12.
- [45] 张春明,赵红静,梅博文,等. 微生物降解对原油中卟啉类化合物的影响[J]. 石油与天然气地质,1999,20(4):341-348.
- [46] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标志化合物指南——古代沉积物和石油中分子化合物的解释[M]. 姜乃煌,张水昌,林永汉,等译. 北京:石油工业出版社,1995:1-126.
- [47] 康晏,王万春,张道伟,等. 柴达木盆地第四系脂肪酸生标的检出及其地质意义[J]. 沉积学报,2006,24(3):456-459.
- [48] 康晏. 柴达木盆地第四系生物气源岩含氧化合物及其碳同位素组成研究[D]. 兰州:中科院兰州地质所,2005:26.

## Present Researches and Prospects of the Evaluation Indicator of Biogenic Gas Source Rocks

MU Ya-peng<sup>1,2</sup>, WANG Wan-chun<sup>1</sup>, SONG Zhen-xiang<sup>1,2</sup>

(1. *Key Laboratory of Gas Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*; 2. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** Because of the special origin of biogenic gas, the evaluation of its source rocks is different from conventional hydrocarbon source rocks. The material and environmental conditions that are favorable to the generation of biogenic gas include the large amounts of quickly deposited source rocks, the low temperature evaluation stage of source rocks, the enrichment of herbs with high biological potential of methane in the original biogenesis and the closed anoxia environment, etc. The power which makes organic matter transform into biogenic gas is the combined action of methanogenic bacteria and correlated microbial flora. The indicators reflecting microbial activity and intensity, such as the counts of micro-organisms, the gas producing experiment with simulated anaerobic fermentation, the existence and abundance of biomarkers related to the microbial activity, are favorable geochemical parameters for the evaluation of biogenic gas source rocks, and are also the research areas to be strengthened in the future.

**Key words:** Biogenic gas; Source rock; Micro-organism; Evaluation indicator.