

文章编号: 1001-8166(2011)05-0499-08

# 油气藏埋存二氧化碳生物转化甲烷的 机理和应用研究进展\*

魏小芳<sup>1,2</sup>, 罗一菁<sup>2\*</sup>, 刘可禹<sup>1,3</sup>, 帅燕华<sup>1</sup>

(1. 中石油勘探开发研究院提高采收率国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国石油大学(北京)重质油实验室, 北京 102249;

3. CSIRO Petroleum, P. O. Box 1130, Bentley, WA 6102, Australia)

**摘要:**埋存 CO<sub>2</sub> 生物转化 CH<sub>4</sub> 技术是利用油、气藏中内源微生物, 以埋存的 CO<sub>2</sub> 为底物, 通过 CO<sub>2</sub> 生物还原途径合成 CH<sub>4</sub> 的生物技术。此技术因兼备 CO<sub>2</sub> 减排的环保意义、生物合成 CH<sub>4</sub> 的再生能源意义、延长油气藏寿命和潜在经济收益等优势有着广泛应用前景。CO<sub>2</sub> 的捕集、埋存和油气藏生物多样性为此技术的实施提供了可行性。油藏中低矿化度的地层水中存在产 H<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的微生物, 一定的成岩阶段生物气藏成因主要源于代谢 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 的甲烷菌。因此, 一定条件下油气藏内源微生物能够生物转化 CO<sub>2</sub>。但是, 油气藏埋存 CO<sub>2</sub> 生物转化 CH<sub>4</sub> 的实现受到各种条件的制约, 包括: 发酵菌群、产 H<sub>2</sub> 菌群和甲烷菌群之间的合作关系; 甲烷菌群结构是否合理; 甲烷菌和硫酸盐还原菌两大菌群之间的竞争和共代谢关系; 以及 CO<sub>2</sub> 还原需要的 H<sub>2</sub> 来源等。相对于已知的代谢途径, 油气藏中 CO<sub>2</sub> 还原途径可能更加复杂。因此, 无论是微生物学家还是石油工程师, 通过调控油气藏参数来实现生物合成 CH<sub>4</sub> 还是一个很大的挑战。目前, 埋存 CO<sub>2</sub> 生物转化甲烷处于研究的实验室探索阶段, 需要突破的瓶颈是寻找合适的油气藏、激活内源微生物实现 CH<sub>4</sub> 的再生, 达到有经济意义的 CH<sub>4</sub> 转化速率和转化率。尽管埋藏 CO<sub>2</sub> 生物转化 CH<sub>4</sub> 是一个仅有 10 年研究历史的新技术, 相信不久的将来, 此项生物技术的广泛应用将会为人类可再生能源和 CO<sub>2</sub> 减排做出贡献。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 生物转化; CO<sub>2</sub> 减排; CH<sub>4</sub>; 提高采收率

中图分类号: P967 文献标志码: A

## 1 引言

2009 年在丹麦首都哥本哈根召开的世界气候大会再次提醒人们温室气体 CO<sub>2</sub> 减排的重要性。CO<sub>2</sub> 捕集、埋存 (Carbon dioxide Capture & Storage, CCS) 是近年来 CO<sub>2</sub> 减排的有效手段之一<sup>[1,2]</sup>。返注的 CO<sub>2</sub> 主要用于地质封存<sup>[3,4]</sup>, 或用于提高石油采收率<sup>[5]</sup>。事实上, 返注的 CO<sub>2</sub> 并没有消失, 不排除再次排放到大气中的可能性。

埋藏 CO<sub>2</sub> 生物转化 CH<sub>4</sub> 技术是利用油、气藏中的内源微生物, 以埋存的 CO<sub>2</sub> 为底物, 通过 CO<sub>2</sub> 生物还原途径合成 CH<sub>4</sub> 的生物技术。生物合成的原料来源于捕集、埋存的 CO<sub>2</sub>, 合成地点是枯竭油气藏, 合成媒介是油气藏内源微生物, 产物是 CH<sub>4</sub>。微生物利用 CO<sub>2</sub> 生物合成 CH<sub>4</sub> 是自然界中 CH<sub>4</sub> 的 3 种生物合成途径之一<sup>[6]</sup>。油、气藏中的微生物、有机质和厌氧环境, 为埋存的 CO<sub>2</sub> 生物转化的实现提供了条件。产甲烷菌的研究随着 Hungate 改进的严格无氧

\* 收稿日期: 2010-05-05; 修回日期: 2011-02-13.

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目“生物气形成的母质来源研究”(编号: 40873031); 中国石油创新基金项目“难动用资源生物成气的可行性研究”(编号: 2009D-5006-01-01) 资助.

作者简介: 魏小芳 (1970-), 女, 河北保定人, 高级工程师, 主要从事石油微生物及其应用研究. E-mail: weixfang@163.com

\* 通讯作者: 罗一菁 (1979-), 女, 安徽肥东人, 讲师, 主要从事微生物分子生物学研究. E-mail: luoyijing@cup.edu.cn

分离技术<sup>[7]</sup>的发展而日趋成熟,分子生物学技术的发展和对产甲烷菌认识的深入,为进一步研究嗜氢甲烷菌提供了技术手段和理论基础。因此,埋存 CO<sub>2</sub> 生物转化 CH<sub>4</sub> 技术具有可行性和应用潜力。

微生物提高采收率 (MEOR)<sup>[8]</sup> 是生物技术和石油工程结合的典范。微生物利用埋存 CO<sub>2</sub> 转化 CH<sub>4</sub> 新技术,在概念上,扩展了微生物提高采收率的内涵;在应用方面,再生 CH<sub>4</sub> 赋予废弃油气藏再次开采的经济价值,延长油气藏开采寿命带来的经济回报,必促使此技术成为应用的热点;环保意义上,CO<sub>2</sub> 的再利用有利于减缓世界气候变暖的步伐。总之,生物技术和油气藏开发技术的结合必定会成为环保、低成本、高收益、具有广泛应用前景和强大生命力的新技术。

## 2 油气藏中甲烷菌的研究进展

地球上的产甲烷菌几乎无处不在<sup>[9]</sup>,其生存环境是绝对的无氧环境,正常生长的氧化还原电位在 -320 mV 以下<sup>[10]</sup>。甲烷菌的研究始于 1899 年<sup>[11]</sup>,1974 年 Bryant<sup>[12]</sup> 首次提出了甲烷菌 (methanotrops) 一词。油藏中甲烷菌的研究最早报道于 1983 年<sup>[13,14]</sup>,随着微生物采油<sup>[15]</sup>、生物气<sup>[16]</sup>、生物圈<sup>[17]</sup> 以及地球化学中生物标记物<sup>[18]</sup> 的研究,人们对油气藏甲烷菌的认识有了很大提高。

近年来,关于油气藏中发现甲烷菌新种<sup>[19,20]</sup> 的报道越来越多,甲烷菌的研究随着研究手段的发展经历了由细胞到基因,由单菌株到菌群结构和关系,由代谢产物到代谢途径的 3 个飞跃性的研究阶段。

研究表明油藏中分布着能够利用 CO<sub>2</sub> 的甲烷菌。Orphan 等<sup>[19]</sup> 认为:部分油藏中分布着嗜热产甲烷菌。微生物提高采收率的研究涉及到了产 CH<sub>4</sub> 和产 H<sub>2</sub> 微生物<sup>[21]</sup>。Magot 等<sup>[22]</sup> 对油田分离的部分甲烷菌及其生存环境和可以利用的底物进行了总结 (表 1)。从表 1 中知道:分离到 11 株甲烷菌,其中 3 种甲烷菌不能以 H<sub>2</sub> 为底物,其余 8 株甲烷菌的代谢途径均为 CO<sub>2</sub> 还原途径。Ollivier 等<sup>[23]</sup> 在法国的 Alsace 油井中分离得到利用 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 的嗜氢甲烷菌命名为 SEBR 4845<sup>T</sup>,此菌能耐受 NaCl 含量高达 12% 的地层水,16S rDNA 序列鉴定结果为耐盐甲烷卵圆形菌属,是菌属新种,基因库中的序列号为 AF0033672。源于不同油田的嗜氢甲烷菌除了上面提到的热自养甲烷杆菌<sup>[24,25]</sup>、伊凡诺夫甲烷杆菌<sup>[14,26]</sup>、石油甲烷盘菌<sup>[23]</sup>、甲烷嗜盐菌<sup>[27]</sup>,还有布

氏甲烷杆菌<sup>[28]</sup>。Li 等<sup>[29]</sup> 利用分子生物学手段分析油藏中菌群,结果表明古菌中分布着嗜热甲烷菌和甲烷古菌。

表 1 油井中分离得到甲烷菌

Table 1 The bacteria of methanogen from oil reservoirs

菌种名称	NaCl 浓度 /重量百分比	温度 /°C	底物			时间
			甲胺	乙酸	氢气	
甲烷杆菌	0~2	25~40	-	-	+	1992
伊凡诺夫甲烷杆菌	0.09	10~55	-	-	+	1983/1997
热聚集甲烷杆菌	2~4	40~70	-	-	+	1989
热自养甲烷杆菌	0~2	30~80	-	-	+	1992
热自养甲烷球菌	0~30	40~70	-	-	+	1998
耐盐甲烷卵圆形菌	5	25~45	-	-	+	1996
热自养甲烷球菌	1.4~2.4	17~62	-	-	+	1988
甲烷嗜盐菌	6	10~50	+	-	-	1997
石油甲烷盘菌	1~3	28~43	-	-	+	1987
马氏甲烷那八叠球菌	0.1~2	10~50	+	+	-	1997
斯氏甲烷八叠球菌	2.4~3.6	20~50	+	-	-	1991

+表示微生物可以利用此物质,-表示微生物不能利用此物质

随着生物气研究的开展,气藏中甲烷菌的认识和研究也更加深入。生物成因甲烷—生物气的研究<sup>[16,30]</sup> 表明:气藏中 CO<sub>2</sub> 加 H<sub>2</sub> 还原是生物气生成途径之一。Whiticar 等<sup>[24]</sup> 提出海相环境中生物源 CH<sub>4</sub> 以 CO<sub>2</sub> 还原为主要形成机制,关德师<sup>[31]</sup> 早在 1990 年关注 CO<sub>2</sub> 途径的生物气成因理论。张辉等<sup>[32]</sup> 研究的 4 个海相沉积样品证实了甲烷菌的营养类型为 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>,提出了进入一定的成岩阶段甲烷菌的类型主要为 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 还原型甲烷菌的观点,但没有给出更多的证据。李明诚等<sup>[33]</sup> 推测柴达木盆地第四系生物气成因之一是 CO<sub>2</sub> 生物还原。Nobel 等<sup>[25]</sup> 也提出深部成岩,CO<sub>2</sub> 是提供甲烷生成过程中所需的碳源。李瑾等<sup>[34]</sup> 通过同位素标记追踪研究生物气中 CO<sub>2</sub> 的还原途径。Ding 等<sup>[35]</sup> 通过生物标记物研究柴达木盆地中古菌的活性和分布的丰度,甲烷菌是古菌中最大的一个类群。陆相沉积物和成岩早期沉积物中产甲烷菌种类包括甲烷杆菌、甲烷八叠菌、甲烷短杆菌和甲烷球菌<sup>[36]</sup>。综上所述,部分油、气藏中蕴藏着利用 H<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的甲烷菌群,这些微生物是 CO<sub>2</sub> 转化为甲烷过程中必不可少的生物媒介。

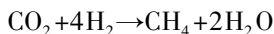
运用分子生物学技术,油、气藏微生物的基因序列和菌群结构方面的研究取得了一些进展。Mochinaru 等<sup>[37]</sup> 分析了日本高温气田甲烷菌的多样性,发现甲烷菌含量高达 4.0×10<sup>4</sup> cell/mL,占总菌量的 16%,古菌基因测序结果表明:70% 的菌种为嗜氢甲烷菌 *Methanothermobacter thermautophilus*,30% 的属

于以乙酸为底物的产甲烷菌——鬃毛甲烷菌。另外的典型例子就是以 CO 为底物的 *Methanosaricina acetivorans* 代谢途径的研究<sup>[27,28]</sup>推断出共生菌的结论。Gray 等<sup>[38]</sup>研究气田地层水结果表明:高矿化度( $9 \times 10^2$ )地层水中存在一定活性的内源嗜氢甲烷菌群,并研究了古菌菌群结构特征。Li 等<sup>[29]</sup>对油藏微生物古菌的群落结构和亲缘性进行了剖析。总之,随着生物技术和分析手段的发展,对油藏微生物特性了解和研究的深入,人们控制微生物反应的能力也随之加强。

### 3 埋存二氧化碳生物转化甲烷机理的研究现状

#### 3.1 埋存 CO<sub>2</sub> 生物转 CH<sub>4</sub> 的机理研究

自然界中碳循环的生物途径主要包括光合作用、好氧化和厌氧发酵作用,合成产物是介于 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 氧化还原电位之间的中间体,或者是 CO<sub>2</sub> 或 CH<sub>4</sub><sup>[39]</sup>。目前已知的甲烷微生物合成途径有 3 种(图 1):第一种是以乙酸为原料的乙酸途径;第二种是以 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 为原料的 CO<sub>2</sub> 还原途径;第三种是以甲基化合物(甲酸、早醇、二甲硫醚和甲硫醇等)为原料的甲烷生物合成途径。一些学者认为 3 种生成途径中以 H<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 为底物的甲烷合成占自然界甲烷合成 30% 左右<sup>[40]</sup>,其代谢途径和合成机理的研究已有 50 年历史<sup>[41]</sup>。CO<sub>2</sub> 微生物转化为 CH<sub>4</sub> 的途径是生物还原反应,反应如下<sup>[42]</sup>:



研究人员利用生物反应器和筛选的微生物实现了利用 CO<sub>2</sub> 合成 CH<sub>4</sub> 的生物过程。1987—1993 年

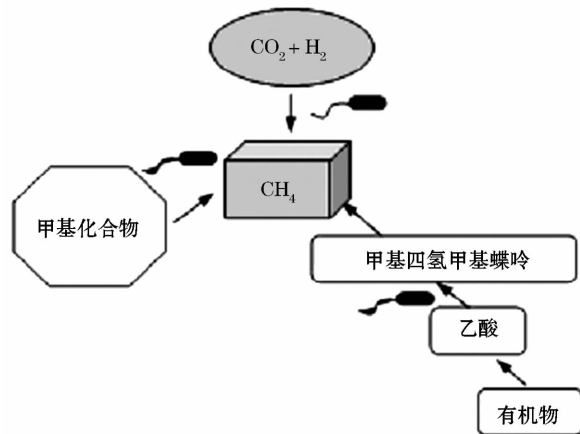


图 1 CH<sub>4</sub> 生物合成生成 3 种途径示意图

Fig. 1 Threemetabolic pathway metabolic pathways of CH<sub>4</sub>

期间,日本的研究人员 Jee 等<sup>[43,44]</sup>、Nishimura 等<sup>[45,46]</sup>、Yano 等<sup>[47]</sup>开展了利用 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 合成 CH<sub>4</sub> 的生物反应器的研究。其中 Jee 等<sup>[43,44]</sup>的固定床生物反应器 CH<sub>4</sub> 转化率最高达到 80%。同一时期,美国阿肯色大学的 Vega 等<sup>[48]</sup>、瑞士的 Gerhard 等<sup>[49]</sup>、加拿大的 Pauss 等<sup>[50]</sup>也进行了类似的研究。此阶段的生物反应器的 CH<sub>4</sub> 转化率持在 60% ~ 80% 范围内<sup>[43~50]</sup>,研究侧重于改进反应器结构、改善填料性能来提高 CH<sub>4</sub> 转化率。这一时期由于分析技术的限制,分离到的目的菌种的研究局限于细胞水平。韩国的 Kim 等<sup>[51]</sup>和 Ju 等<sup>[52]</sup>探讨了 pH 值对 CH<sub>4</sub> 合成的影响。Ju 等<sup>[52]</sup>利用中空纤维生物膜反应器合成 CH<sub>4</sub>,反应器运行时间长达 70 天。意大利的 Villano 等<sup>[53]</sup>利用嗜氢甲烷菌还原 CO<sub>2</sub> 降低氧化还原电位的原理研制生物电池,电池的阴极电位达 -650 mV。

近几年,因 CCS 的开展、微生物研究技术手段的发展,微生物利用埋存 CO<sub>2</sub> 转化 CH<sub>4</sub> 技术成为研究热点。2001 年日本研究人员 Koide 等<sup>[54]</sup>指出:通过人工模拟自然界碳循环,向地下注入 CO<sub>2</sub>,再生的 CH<sub>4</sub> 可以成为具有良好附加值的新能源,部分解决温室气体的排放问题。Koide 等还开展了小规模煤层注入 CO<sub>2</sub> 提高甲烷含量的研究,再生的 CH<sub>4</sub> 赋予贫气煤矿的开采价值。2004 年,我国的夏遵义等<sup>[55]</sup>以柴达木盆地涩北气田岩心微生物开展 CO<sub>2</sub> 转化实验,认为地质环境中产甲烷菌具有利用 CO<sub>2</sub> 的可能,利用微生物实施 CO<sub>2</sub> 地质固定达到减排的目的,实验结果表明油气藏中注入 CO<sub>2</sub> 后,通过底物诱导手段可以激活产甲烷微生物。2006 年日本研究人员 Fujiwar 等<sup>[56]</sup>在 SPE 的亚太油气会议上发表了枯竭油气藏中微生物利用 CO<sub>2</sub> 转化 CH<sub>4</sub> 的文章。2008 年日本九州大学的 Sugai 等<sup>[57]</sup>分离筛选得到日本 Yabase 油田的产甲烷菌和产氢菌。产氢菌能够利用残余油产 H<sub>2</sub>,产甲烷菌利用 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 生物合成 CH<sub>4</sub>。2009 年 Maeda 等<sup>[58]</sup>在提高采收率大会上提出微生物利用油藏中注入 CO<sub>2</sub> 再生 CH<sub>4</sub> 提高采收率的概念,他们开展了实验室内的微生物转化甲烷的探索实验。Otagaki 等<sup>[59]</sup>对油田内源微生物利用注入 CO<sub>2</sub> 转化 CH<sub>4</sub> 的速率和转化率进行了研究,发现 CO<sub>2</sub> 转化率高达 50%,此结果赋予了此项技术诱人的经济前景。

截止到今天,除了 2001 年日本的 Koide 等<sup>[54]</sup>开展了小型煤藏注入实验外,其他公开发表的相关研

究都局限于实验室和基础研究的范围内,包括菌种筛选和评价、油藏 T/P 条件对微生物产甲烷的影响等。综上所述,枯竭油气藏内源微生物利用埋存  $\text{CO}_2$  转化  $\text{CH}_4$  技术研究尚处于探索阶段,研究人员试图找到能够减排  $\text{CO}_2$ 、生物合成  $\text{CH}_4$  和油气藏再次开发三者相结合的绿色环保途径。

### 3.2 甲烷菌群与非甲烷菌群竞争与共代谢关系的研究

甲烷菌群与非甲烷菌群的竞争和共代谢关系以及菌群结构等因素,在  $\text{CO}_2$  还原的生物过程中起着至关重要的作用。一般产甲烷菌不可能单独存在,必须和其他的厌氧或兼性厌氧菌共生才能够完成合成  $\text{CH}_4$  的生物过程<sup>[6,10,40,42,60]</sup>。厌氧环境中,产甲烷菌通常同发酵细菌、产氢产乙酸菌、专性产氢菌等菌群共生,特别是与硫酸盐还原菌群存在共生与竞争的关系<sup>[61]</sup>。Slobodkin 等<sup>[62]</sup> 对不同条件,利用  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  的不同微生物及其代谢产物进行了概括(图 2)。利用  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  的微生物主要包括硫酸盐还原菌(SRB)和产甲烷菌,这 2 类菌群广泛存在于地层中,利用底物时往往形成竞争关系<sup>[63]</sup>。理论上, $\text{H}_2$  利用的竞争,硫酸盐还原菌比甲烷菌有明显的优势<sup>[64]</sup>。而事实上,硫酸根离子浓度受限时,硫酸盐还原菌不能发挥其最大的竞争能力<sup>[65,66]</sup>。硫酸根离子浓度变化,影响利用  $\text{H}_2$  和乙酸的硫酸盐还原菌的分布和活性。硫酸盐还原菌本身对  $\text{H}_2\text{S}$  的毒性很敏感,当  $\text{H}_2\text{S}$  浓度为 40 ~ 50 mg/L 时硫酸盐还原菌受到完全抑制,3 ~ 6 h 后活性不可逆转的丧失<sup>[67]</sup>。同样,利用  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  的甲烷菌在总甲烷菌落中的比例也受到环境条件的限制,甲烷菌群间也存在乙酸途径和  $\text{CO}_2$  还原途径的不同菌群之间竞争与

合作<sup>[68]</sup>。相对于人们的认知,自然界中  $\text{CO}_2$  的生物还原途径可能更加复杂<sup>[27,28]</sup>。因此两大菌群之间以及菌群内部之间的竞争关系,不是几个简单的参数可以描述的。环境的 pH 值<sup>[69]</sup>、温度<sup>[70]</sup> 和底物浓度<sup>[71]</sup> 在菌群竞争中起着很重要的作用。如何利用油气藏优势诱导  $\text{CO}_2$  还原途径的甲烷菌成为优势菌、如何抑制和利用硫酸盐还原菌将是今后研究中的一个重点。

### 3.3 $\text{H}^+$ 来源的研究

$\text{H}_2$  或者  $\text{H}^+$  的供应是  $\text{CO}_2$  转化  $\text{CH}_4$  生物过程中至关重要的因素, $\text{H}_2$  的来源主要有以下 3 种可能的途径:①微生物成因的  $\text{H}_2$  可以来源于有机物和无机物。自然界中产  $\text{H}_2$  微生物可以利用的营养物质也相当广泛<sup>[72]</sup>。Steven 等<sup>[73]</sup> 认为:自然界存在一些仅依赖地下水和岩石生存的产  $\text{H}_2$  微生物。但是,油气藏中的地下水和岩石中是否存在这种微生物还有待于进一步调查研究。②油、气藏中往往含有  $\text{CO}$  或者  $\text{H}_2\text{S}$ <sup>[74]</sup>,  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2\text{S}$  可以通过化学或者是生化反应提供  $\text{H}_2$  源。Maeda 等<sup>[58]</sup> 认为微生物能够利用碳水化合物或烃类化合物生成  $\text{H}_2$ , 而油藏中富含烃类物质。③油、气藏中菌群中往往包含产  $\text{H}_2$  微生物<sup>[75]</sup>。合理的菌群结构、适当的底物诱导激活  $\text{CH}_4$  生物合成菌群以及调控菌群结构,从而实现生物再生  $\text{CH}_4$  的良性循环是此项技术研究的重点部分。

## 4 微生物利用埋存 $\text{CO}_2$ 生物转甲烷技术研究的应用优势和挑战

埋存  $\text{CO}_2$  生物转化  $\text{CH}_4$  的研究是一个涉及石油工程和微生物领域的交叉学科,无论对油藏工程师还是微生物学家,都是一个挑战性的研究方向。首先,乙酸甲烷菌和嗜氢甲烷菌之间的相互关系的研究,如何诱导目的微生物成为油藏优势菌群、如何抑制硫酸盐还原菌群、利用菌群共代谢是今后的研究重点之一。其次,如何控制  $\text{CO}_2$  的生物还原反应方向也具有很大的挑战性。最后, $\text{CH}_4$  转化率的高低决定了此技术的经济价值和应用前景, $\text{CH}_4$  转化率是否具有经济价值是此技术能否付诸应用的关键。

尽管埋存  $\text{CO}_2$  生物转化  $\text{CH}_4$  的研究面临很多挑战,此技术还是具有显著的优势:①现场实施的可行性。CCS 项目的开展为埋存  $\text{CO}_2$  生物转化  $\text{CH}_4$  提供了现场实施的平台<sup>[76]</sup>, 现场应用成本也降到了最低。CCS 提供原料  $\text{CO}_2$  和转化的场所,如何选择合适油气藏、激活内源微生物等前期研发工作都显得

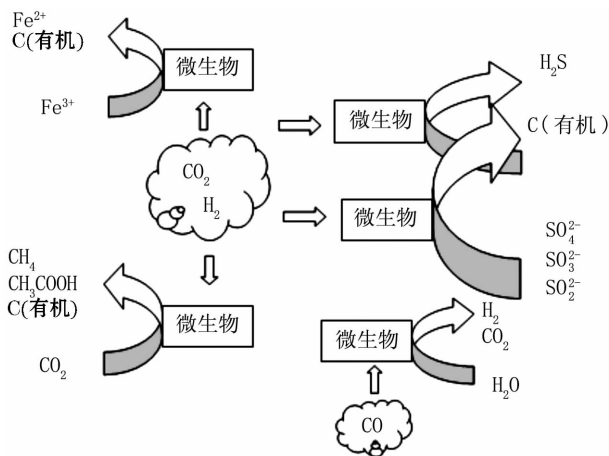


图 2 微生物以  $\text{CO}_2$  为底物代谢的产物<sup>[62]</sup>

Fig. 2 The microbial metabolites with  $\text{CO}_2$ <sup>[62]</sup>

十分紧迫。②埋存 CO<sub>2</sub> 生物转化 CH<sub>4</sub> 技术, 不仅实现了 CO<sub>2</sub> 减排的环保目标, CO<sub>2</sub> 还成为可再生能源, 并且解决了 CO<sub>2</sub> 溶于水后的酸性物质对地层损伤的弊端。③经过开采的油气藏最终还是有一部分石油不可开采<sup>[77]</sup>, 因此适时采用生物技术, 延长油气藏开发寿命, 提高开发油气藏的经济回报率也是此技术的优势。

## 5 内源微生物利用埋存 CO<sub>2</sub> 转化甲烷技术的研究趋势

尽管油气藏埋存 CO<sub>2</sub> 生物转化 CH<sub>4</sub> 技术的研究处于探索阶段, 但是, 此项技术赋予 CO<sub>2</sub> 再生能源的理论意义, 是温室气体 CO<sub>2</sub> 的捕集和减排的新方案。CH<sub>4</sub> 再生的巨大经济前景不仅吸引了众多的研究人员, 而且引起了世界范围的关注和各国政府的支持。微生物利用 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 生物反应器合成 CH<sub>4</sub> 的研究为此奠定了坚实的理论基础, CO<sub>2</sub> 捕集、提高采收率 (CCS-EOR) 和微生物提高采收率 (MEOR) 为此项研究提供了相关研究基础。更重要的是, CCS-EOR 项目的开展为 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 转化提供了场所, 油气藏内源微生物提供了转化的生物媒介。因此, 无论从研究意义、经济意义、环保意义还是应用意义上, 微生物利用 CO<sub>2</sub> 转化 CH<sub>4</sub> 技术的研究都是一个富有生命力和广泛应用前景的新技术。

微生物利用埋存 CO<sub>2</sub> 转化甲烷技术未来的研究主要侧重在以下 3 方面。首先, 如何激活微生物、通过调控底物浓度等参数控制反应还需要进一步的研究; 其次, 油、气藏实际情况复杂, 生物转化途径受到各种因素的制约, 油气藏中埋存 CO<sub>2</sub> 生物转化中 H<sub>2</sub> 原料的来源问题有待解决, 如何维持合理的菌群结构实现生物再生 CH<sub>4</sub> 的良性循环是此技术研究需要突破的瓶颈; 最后, 再生 CH<sub>4</sub> 的转化速率和转化率是否有经济意义是研究的关键。如何提高再生 CH<sub>4</sub> 的转化率和转化速率是此技术研究要解决的一个关键问题。相信不久的将来, 随着油藏开发和生物技术的发展, 此项生物技术可以得到广泛应用, 为人类的能源发展做出一份贡献。

### 参考文献 (References):

[1] Yang Hongqun, Xu Zhenghe, Fan Maohong, et al. Progress in carbon dioxide separation and capture: A review[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20:14-27.

[2] Qian Bozhang, Zhu Jianfang. Present situation together with foreground that CO<sub>2</sub> sequestrate and drive oil in the world[J]. *Energy*

*Environmental Protection*, 2008, 22(1): 1-3. [钱伯章, 朱建芳. 世界封存 CO<sub>2</sub> 驱油的现状与前景[J]. 能源环境保护, 2008, 22(1): 1-3.]

[3] Cheng Changhui. Analysis on status of CCS technique and its prospect in China[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers*, 2010, 23(2): 69-72. [程昌慧. 浅析中国 CCS 项目的现状和前景[J]. 江汉石油职工大学学报, 2010, 23(2): 69-72.]

[4] Xu Zhigang, Chen Daizhao, Zeng Rongshu. Geological storage of CO<sub>2</sub> and commercial utilization[J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(7): 698-707. [许志刚, 陈代钊, 曾荣树. CO<sub>2</sub> 的地质埋存与资源化利用进展[J]. 地球科学进展, 2007, 22(7): 698-707.]

[5] Zhang Weidong, Zhang Dong, Tian Kezhong. Carbon capture and sequestration technology[J]. *Sino-Global Energy*, 2009, 14: 7-13. [张卫东, 张栋, 田克忠. 碳捕集与封存技术的现状与未来[J]. 中外能源, 2009, 14: 7-13.]

[6] Shan Liwei, Feng Guiying, Fan Sanhong. Progress in genome and methanogenesis of methanogens[J]. *Journal of Microbiology*, 2003, 23(6): 42-46. [单立伟, 冯贵颖, 范三红. 产甲烷菌研究进展[J]. 微生物学杂志, 2003, 23(6): 42-46.]

[7] Hungate R E, Macy J. The roll-tube method for cultivation of strict anaerobes[J]. *Bulletins of the Ecological Research Committee*, 1973, 17: 123-125.

[8] Maudgalya S, Knapp R P, McInerney M J, et al. Microbial enhanced-oil-recovery technologies: A review of the past, present, and future[C]//2007 SPE Production and Operations Symposium, Oklahoma City, Oklahoma, U. S. A., 2007.

[9] Smith K S, Ingram-Smith C. Methanosaeta, the forgotten methanogen? [J]. *Trends in Microbiology*, 2007, 15(4): 150-155.

[10] Hao Xianjun, Hong Jianping, Gao Wenjun. Research advances in methanotrops [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2007, 35(1): 111-113. [郝鲜俊, 洪坚平, 高文俊. 产甲烷菌的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(1): 111-113.]

[11] Cowles P B, Rettger L F. Isolation and study of an apparently widespread Cellulose-fermenting anaerobe, Cl. Cellulosivens (N. SP. ?)[J]. *Journal of Bacteriology*, 1931, 21(3): 167-182.

[12] Bryant M P. Methan-producing Bacteria[M]. Baltimore: Williams and Wilkins Company, 1974, Part B: 472-477.

[13] Belyaev S S, Ivanov M V. Bacterial methanogenesis in underground waters[J]. *Ecology Bulletin*, 1983, 35: 273-280.

[14] Ivanov M V, Belyaev S S, Zyakum A M, et al. Microbiological methane formation in oil field development [J]. *Geokhimiya*, 1988, 11: 1 647-1 654.

[15] Rafique M A. Microbially Enhanced Oil Recovery (MEOR) with special emphasis to the "uneconomical reserves" [C]//2008 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, U. S. A., 2008.

[16] Zhang Shuichang, Zhao Wenzhi, Li Xianqi, et al. Advances in biogenic gas studies and play strategies[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(4): 90-96. [张水昌, 赵文智, 李先奇, 等. 生物气研究进展与勘探策略[J]. 石油勘探与开发,

- 2005, 32(4):90-96.]
- [17] Liu Qingchun, Qian Huaisui. International geosphere-biosphere program: Progress and prospect[J]. *Meteorological Science and Technology*, 2005, 23(1): 91-95. [刘清春, 千怀遂. 国际地圈生物圈计划研究进展和展望[J]. 气象科技, 2005, 23(1): 91-95.]
- [18] Hallberg R, Meyers P A. Bacteria, biomineralization, and biomarker molecules-biogeochemical aspects of the evolution and impacts of life on earth[J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2004, 33(8): 537-538.
- [19] Orphan V J, Taylor L T, Hafenbradl D, et al. Culture-dependent and culture-independent characterization of microbial assemblages associated with high-temperature petroleum reservoirs[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, 66(2): 700-711.
- [20] Nilsen R K, Torsvik T. Methanococcus thermolithotrophicus isolated from North Sea oil field reservoir water[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996, 62(2): 728-731.
- [21] Ramkrishna S. Biotechnology in petroleum recovery: The microbial EOR[J]. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2008, 34: 714-724.
- [22] Magot M, Ollivier B, Patel B K C. Microbiology of petroleum reservoirs[J]. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2000, 77: 103-116.
- [23] Ollivier B, Fardeau M, Cayol J, et al. *Methanocalculus halotoerans* gen. nov., sp. nov., isolated from an oil-producing well[J]. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1998, 48: 821-828.
- [24] Whiticar W J, Faber E, Schoell M. Biogenic methane formation in marine and freshwater environment: CO<sub>2</sub> reduction vs. acetate fermentation-Isotope evidence [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, 50: 693-709.
- [25] Noble R A, Henk J F H. Hydrocarbon charge of a bacterial gas field by prolonged metnanogenesis: An example from the East Java Sea, Indonesia [J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 19(1/3): 301-314.
- [26] Lessner D J, Li L, Li Q, et al. An unconventional pathway for reduction of CO<sub>2</sub> to methane in CO-grown *Methanosarcina acetivorans* revealed by proteomic [J]. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of American*, 2006, 103(47): 17 921-17 926.
- [27] Stojanowic A, Hedderich R. CO<sub>2</sub> reduction to the level of formylmethanofuran in *Methanosarcina barkeri* is non-energy driven when CO is the electron donor[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2006, 235(1): 163-167.
- [28] Nobel R A, Henk J F H. Hydrocarbon charge of a bacterial gas field by prolonged metnanogenesis: An example from the East Java Sea, Indonesia [J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 19(1/3): 301-314.
- [29] Li D, Hendry P. Microbial diversity in petroleum reservoirs[J]. *Australia Microbiology*, 2008, 29(1): 25-27.
- [30] Guo Zeqing, Li Benliang, Zeng Fuying, et al. Distribution characteristics and reseach conditions of the biogenetic gas[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(3): 407-413. [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.]
- [31] Guan Deshi. The methanogens surviving situation and biogas[J]. *Nature Gas Industry*, 1990, 10(5): 13-19. [关德师. 甲烷菌的生存条件与生物气[J]. 天然气工业, 1990, 10(5): 13-19.]
- [32] Zhang Hui, Lian Liwen. The composition and distribution of some kinds of anaerobic microorganism in the differet sedimentary environments[J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 1992, 32(3): 182-190. [张辉, 连莉文. 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.]
- [33] Li Mingcheng, Li Jian, Zhang Fengmin, et al. Quantitative research on biogas migration-accumulation and pool-forming in the quaternary of Sanhu area in Qaidam Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(6): 809-815. [李明诚, 李剑, 张凤敏, 等. 柴达木盆地三湖地区第四系生物气运聚成藏的定量研究[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 809-815.]
- [34] Li Jin, Hu Guoyi, Zhang Ying, et al. Study and application of carbon isotope fractionation during the reduction process from CO<sub>2</sub> to CH<sub>4</sub> [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(5): 357-363. [李谨, 胡国艺, 张英, 等. 生物气 CO<sub>2</sub> 还原途径中碳同位素分馏作用研究及应用[J]. 地学前缘, 2008, 15(5): 357-363.]
- [35] Ding Anna, Lu Shuangfang, Feng Zihui, et al. Activity of bacteria and archaea in immature or lower-mature organic matter and new appraisal methods for biogas source rocks[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(1): 59-66.
- [36] Lin Chunming, Li Yanli, Qi Binwen. Research status and exploration potential of biogenic gas[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2006, 8(3): 317-330. [林春明, 李艳丽, 漆滨汶. 生物气研究现状与勘探前景[J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 317-330.]
- [37] Mochimaru H, Yoshioka H, Tamaki H, et al. Microbial diversity and methanogenic potential in a high temperature natural gas field in Japan [J]. *Extremophile*, 2007, 11: 453-461.
- [38] Gray N D, Sherry A, Larter S R, et al. Biogenic methane production in formation waters from a large gas field in the North Sea [J]. *Extremophiles*, 2009, 13: 511-519.
- [39] Zhang Dan. Microbial production and consumption of atmospheric methane [J]. *Journal of Shenyang College of Education*, 2009, 11(4): 108-110. [张丹. 大气甲烷的微生物产生与消耗[J]. 沈阳教育学院学报, 2009, 11(4): 108-110.]
- [40] Zhang Wudi, Song Hongchuan, He Caiyun. Methanogens [J]. *Jiangsu Rural Energy Environmental Protection*, 1997, 2: 3-6. [张无敌, 宋洪川, 何彩云. 产甲烷细菌[J]. 江苏农村能源环境保护, 1997, 2: 3-6.]
- [41] Slobodkin A I, Zavarzina D G, Sokolova T G, et al. Dissimilatory reduction of inorganic electron acceptors bythermophilic anaerobic prokaryotes [J]. *Microbiology*, 1999, 68(5): 600-622.
- [42] Lin Daiyan, Lin Xinjian, Yang Jing, et al. Advance in utilization of methanobacteria for anaerobic digestion studies [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 23(1): 206-110.

- [林代炎, 林新坚, 杨菁, 等. 产甲烷菌在厌氧消化中的应用研究进展[J]. 福建农业学报, 2008, 23(1): 206-110.]
- [43] Jee H S, Nishio N, Nagai S. Continuous CH<sub>4</sub> production from H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> by methanobacterium thermoautrophicum in a fixed-bed reactor[J]. *Fermentation Technology*, 1988, 66(2): 235-238.
- [44] Jee H S, Yano T, Nishio N, *et al.* Biomethanation of H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> by methanobacterium thermoautrophicum in membrane and ceramic bioreactor[J]. *Fermentation Technology*, 1987, 65(4): 413-418.
- [45] Nishimura N, Kitaura S, Mimura A, *et al.* Growth of thermophilic methanogen KN-15 on H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> under bath and continous conditions[J]. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1992, 72(4): 280-284.
- [46] Nishimura N, Kitaura S, Mimura A, *et al.* Cultivation of thermophilic methanogen KN-15 on H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> under pressurized conditions[J]. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1992, 73(6): 477-480.
- [47] Yano T, Aoki K, Nagai S. Kinetics of CH<sub>4</sub> production from H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in a hollow fiber reactor by plug flow reaction model [J]. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1991, 71(3): 203-205.
- [48] Vega J L, Clausen E C, Gaddy J L. Resources, design of bioreactors for coal synthesis gas[J]. *Fermentations Conservation and Recycling*, 1990, 3:149-160.
- [49] Gerhard E, Butsch B M, Marison I W, *et al.* Improved growth and methane production conditions for methanobacterium thermoatrophicum[J]. *Applied Microbiology Biotechnology*, 1993, 40: 432-437.
- [50] Pauss A, Andre G, Perrier M, *et al.* Liquid-to-gas mass transfer in anaerobic processes: Inevitable transfer limitations of methane and hydrogen in the biomethanation process[J]. *Applied Microbiology Biotechnology*, 1990, 56(6): 1 636-1 644.
- [51] Kim I S, Hwanga M H, Janga N J, *et al.* Effect of low pH on the activity of hydrogen utilizing methanogen in bio-hydrogen process [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2004, 29: 1 133-1 140.
- [52] Ju D H, Shina J H, Leeb H K, *et al.* Effects of pH conditions on the biological conversion of carbon dioxide to methane in a hollow-fiber membrane reactor (HF-MBFR) [J]. *Desalination*, 2008, 234: 409-415.
- [53] Villano M, Aulenta F, Ciucci C, *et al.* Bioelectrochemical reduction of CO<sub>2</sub> to CH<sub>4</sub> via direct and indirect extracellular electron transfer by a hydrogenophilic methanogenic culture [J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(9): 3 085-3 090.
- [54] Koide H, Yamazki K. Subsurface CO<sub>2</sub> disposal with enhanced gas recovery and biogeochemical carbon recycling [J]. *Environmental Geosciences*, 2001, 8(3): 218-224.
- [55] Xia Zunyi, Bai Zhiqiang. Discussion on a CO<sub>2</sub> geological sequestration by methanogens in the biogenic gas field in China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(6): 72-74. [夏遵义, 白志强. 利用产甲烷菌进行 CO<sub>2</sub>地质固定在中国生物气田的应用初探[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 72-74.]
- [56] Fujiwara K, Mukaidani T, Kano S, *et al.* Research study for microbial restoration of methane deposit with subsurface CO<sub>2</sub> sequestration into depleted gas/oil fields[C]//The 2006 SPE Asia Pacific oil & Gas Conference and Exhibition. Adelaide, Australia, 2006, doi:10.2118/101248-MS.
- [57] Sugai Y, Niimi T, Sasaki K, *et al.* Screening of oil-degrading and hydrogen-producing microorganisms for microbial conversion of CO<sub>2</sub> into CH<sub>4</sub> in oil reservoir[C]//The CIPC/SPE Gas Technology Symposium 2008 Joint Conference. Albert, Canada, 2008.
- [58] Maeda H, Miyagawa Y, Ikarashi M, *et al.* Development of microbial conversion process of residual oil into methane in depleted oil fields[C]//The 2009 SPE Asia Pacific oil & Gas Conference and Exhibition. Jakarta Indonesia, 2009.
- [59] Otagaki H, Fujiwara K, Hattori Y, *et al.* Verification of microbial activities for microbial restoration of methane deposit with subsurface CO<sub>2</sub> sequestration into the depleted oil fields[C]//The 2009 SPE Asia Pacific oil & Gas Conference and Exhibition. Jakarta Indonesia, 2009.
- [60] Fu Lin, Xin Mingxiu. Ecological diversity and industrial application of methanogens[J]. *China Journal of Applied and Environmental Biology*, 2009, 15(4): 574-578. [傅霖, 辛明秀. 产甲烷菌的生态多样性及工业应用[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(4): 574-578.]
- [61] He Zhengguo, Wang Xiuheng. Diagensisi and biological control of corrosion caused by SRB in reservoirs[J]. *Oilfield Chemistry*, 1999, 16(4): 390-392. [何正国, 王修垣. 油藏中硫酸盐还原菌引起的腐蚀诊断及其生物学防治[J]. 油田化学, 1999, 16(4): 390-392.]
- [62] Slobodkin A I, Zavarzina D G, Sokolova T G, *et al.* Dissimilatory reduction of inorganic electron acceptors by thermophilic anaerobic prokaryotes[J]. *Microbiology*, 1999, 68(5): 522-542.
- [63] Sower K R, Ferry J G. Methanogenesis in the marine environment [J/OL]. <http://www.bmb.psu.edu/faculty/ferry/lab/publications/publications/ENCYCL%20ENVIRON%20MI%20CROBIOL%20v1%20p1913.pdf> Methanotrophic bacteria, 2004: 1 913-1 923.
- [64] Yi Zhengqi, Tan Kaixuan, Zhan Aili, *et al.* Sulfate-reducineria bacteria and its application disposal of industrial wastewater and acid mine drainage[J]. *Journal of Yunnan Normal University*, 2006, 26(3): 39-45. [易正戟, 谭凯旋, 澹爱丽, 等. 硫酸盐还原菌及其在工业和矿山废水治理中的应用[J]. 云南师范大学学报, 2006, 26(3): 39-45.]
- [65] Ingvorsen K, Zehnder A J B. Kinetics of sulfate and acetate uptake by Desulfobacter postgatei[J]. *Applied Environmental Microbiology*, 1984, 47(2): 403-408.
- [66] Oude Elferink, Visser A S J W H, Hulshoff Pol L W, *et al.* Sulfate reduction in methanogenic bioreactors[J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 1994, 15: 119-136.
- [67] Stucki G. Biological sulfuric acid transformation reactor design

- and processing optimization[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 1993, 41(3): 303-315.
- [68] Raskin L, Rittmann B E, Stahl D A. Competition and coexistence of sulfate-reducing and methanogenic populations in anaerobic biofilms[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 1996, 62(10): 3 847-3 857.
- [69] Koster I W, Rinzema A, de Vegt A L. Sulfide inhibition of the methanogenic activity of granular sludge at various pH-levels[J]. *Water Research*, 1986, 20(12): 1 561-1 567.
- [70] Yu Xiaozhang, Peng Xiaoying, Zhou Puhua. Temperature dependency of anaerobic conversion of acetate and propionate by thermophilic inoculum[J]. *Journal of Hunan agricultural university (Natural Science)*, 2005, 31(4): 422-426. [于晓章, 彭晓英, 周朴华. 温度对厌氧嗜热菌群产甲烷能力的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2005, 31(4): 422-426.]
- [71] Patel G B, Khan A W, Roth L A. Optimum levels of sulphate and iron for the cultivation of pure cultures of methanogens in synthetic media[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 1978, 45(3): 347-356.
- [72] Conrad R, Phelps T J, Zeikus J G. Gas metabolism evidence in support of the juxtaposition of hydrogen-producing and methanogenic bacteria in sewage sludge and lake sediments[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1985, 50(3): 595-601.
- [73] Steven T O, McMkinley J P. Lithoautotrophic microbial ecosystem in deep basalt aquifers[J]. *Science*, 1995, 270(5 235): 450-455.
- [74] Feng Liang, Chen Yijian, Zhang Kun, *et al.* Underground anti-explosion monitor system during air drilling[J]. *China Petroleum Machinery*, 2007, 35(5): 35-37, 40. [冯靓, 陈一健, 张昆. 空气钻井井下燃爆监测系统[J]. 2007, 35(5): 35-37, 40.]
- [75] Nandi R, Sengupta S. Microbial production of hydrogen: An overview[J]. *Critical Reviews in Microbiology*, 1998, 24(1): 61-84.
- [76] Preston C K, Eng P. The IEA GHG Weyburn-Midale CO<sub>2</sub> monitoring and storage project: An update on the final phase[C]// IEA-EOR 30th Annual Meeting. Canberra, Australia, 2009.
- [77] Babadagli T. Development of mature oil fields—A review[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2007, 57(3/4): 221-246.

## Research Progress on the Mechanism and Potential Application of CH<sub>4</sub> Bioconversion from CO<sub>2</sub> in Oil and Gas Reservoirs

Wei Xiaofang<sup>1,2</sup>, Luo Yijng<sup>2</sup>, Liu Keyu<sup>1,3</sup>, Shuai Yanhua<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of EOR, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Beijing 100083, China; 2. China University of Petroleum (Beijing) Heavy Oil Laboratory, Beijing 102249, China; 3. CSIRO Petroleum, P. O. Box 1130, Bentley, WA 6102, Australia)

**Abstract:** The bioconversion of CH<sub>4</sub> from the stored CO<sub>2</sub> is a biotechnological solution that the injected CO<sub>2</sub> is metabolized by indigenous microbes in depleted oil or gas reservoirs to produce CH<sub>4</sub> by CO<sub>2</sub> bioreduction pathway. It is potential applied and promising technology due to its environmental friendship for CO<sub>2</sub> storage and sequestration, renewable energy of biogas CH<sub>4</sub>, extended oil and gas reservoirs development period, and the potential profit for enhanced gas or oil recovery. The CO<sub>2</sub> Capture & Storage project and microbial diversity of reservoirs offer the solution feasibility. Hydrogenotrophic mesophilic or thermophilic methanogens are known to be common inhabitants in slightly saline formation water in oil and gas reservoirs. The distribution of CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> methanogens of biogas reservoirs changes with diagenetic stages. It has been shown that CO<sub>2</sub> can be potentially bioconverted to CH<sub>4</sub> in reservoirs under certain conditions. However, oil and gas reservoirs are complicated systems and the bioconversion is constrained by the relationships among the methanogens, fermentative bacteria and hydrogen-producing bacteria. The methanogen community structure and the co-metabolization and competition between the two communities of Sulfate Reduction Bacteria (SRB) and methanogens may also impact the CO<sub>2</sub> reduction. Compared to the discovered knowledge that CO<sub>2</sub> bioreduction pathway is permissible, the process may be quite complicated to be realized in reservoirs. It is difficult to realize the CO<sub>2</sub> bioreduction pathway without synthetic H<sub>2</sub> supply. It is still a big challenge for both microbiologists and petroleum engineers to realize CH<sub>4</sub> bioconversion from CO<sub>2</sub> by parameters control in reservoirs. At present, the CO<sub>2</sub> reduction research is at experimental stage in the laboratory, the breakthrough is to activate the suited reservoirs' microorganism consortium to realize the CH<sub>4</sub> bioconversion in right way, to probe the profitable CH<sub>4</sub> bioconversion rate and production velocity. Though the solution of CH<sub>4</sub> bioconversion from injected CO<sub>2</sub> in depleted oil and gas reservoirs is a fresh technique with less than ten years research history, it is believed that it is quite promising and will be applied for renewable energy and CO<sub>2</sub> sequestration in the near future.

**Key words:** CO<sub>2</sub> Bioconversion; CO<sub>2</sub> Sequestration; CH<sub>4</sub>; Enhanced oil or gas recovery.