

第一章 沼气基础知识

第一节 沼气的来源与自然生态环境

一、沼气的来源与命名

沼气是由厌氧微生物的代谢产生的，沼气发酵是自然界中物质循环的一个极其重要的组成部分。在含腐烂有机物较多的池塘、粪坑以及阴沟里，经常可以看到有气泡从池底冒出，如果用火点燃，便产生蓝色的火焰。由于这种气体常见于池沼中，所以称它为“沼气”，英文为“marsh gas”或“biogas（生物气）”（参见表 1-1）。一些高等动植物体内部已发现了产甲烷菌，其中反刍动物的瘤胃就是一个典型的沼气发生器。在牛的瘤胃中有大量的沼气发酵细菌，并形成甲烷和二氧化碳。一头大乳牛的瘤胃中有 100 升纤维发酵物，每天可产 200 多升甲烷，这些气体在嗝气时放出。

表 1-1

沼气的来源及命名

命名依据		名 称
产生沼气的 地 点	沼泽及池塘	沼气 (Marsh gas)、污泥气 (Sludge gas)
	阴沟	阴沟气 (Culvert gas)
	粪坑	粪料气 (Manure gas)
	矿井和煤层	瓦斯气、煤气、天然气、天然瓦斯气等
研究者	Volta 发现	Volta 可燃气 (Volta Combustible gas)
气体成分	主要为甲烷	甲烷气 (Methane gas)
形成原料	生物质	生物气 (Biogas)
制造方法	自然界形成	沼气、天然气 (Natural gas)
	人工制取	统称为沼气, 国际上一般称之为生物气
国家	印度	哥巴气 (Gobar gas)、牛粪气 (Cow manure gas)

二、产甲烷菌存在的自然界生态环境

在自然界中, 产甲烷菌通常存在于下列七类生态环境中:

1. 淡水沉积物和水稻田

在湖泊、池塘等水体环境中, 补偿浓度 (即光合作用产生的氧量恰好等于水呼吸作用消耗的氧量时的深度) 下层为耗氧水层, 主要厌氧菌类群的垂直分布从上往下依次为光合细菌、硫酸盐还原菌和产甲烷菌。在淡水沉积物中硫酸盐和硝酸盐的数量通常很少, 因而沉积物中动植物残体的分解与厌氧消化器系统很相似, 也属于产甲烷菌的第一类生态环境。很多观察实验都表明, 尽管存在水质和地质条件的差异, 淡水沉积物中产甲烷菌的垂直分布仍具有明显的规律性。即从水层—沉积物的接触面开始, 随着深度的增加, 甲烷浓度也随之增加, 在 2~27 厘米深度之间达到最大值, 深度继续增加则甲烷深度开始下降。可能是在 2~27 厘米这段深度内, 营养条件、氧化还原电位及其他限制性条件均

适合产甲烷菌和生理伴生菌群生长需要的缘故。

水稻田通常吸收有大量的有机物，一旦被水淹没很快转变成厌氧状态。相关研究表明，处于赤道线上的国家，每平方米水稻土壤每年形成的甲烷量可达温带国家的上千倍，但其产甲烷菌的数量并不太多，仅为 102~106 个/克土。我国学者对杭州地区水稻田的研究表明，水稻田的甲烷主要在水稻根系土壤区域生成并由水稻植株释放进入大气。值得一提的是产甲烷菌也参与固氮，某些产甲烷菌具有固氮能力。

2. 海洋和地质深层沉积物

海洋约占地球表面积的 70%，海洋中有机物质也比较丰富，但从海洋释放进入大气的甲烷量却很少。海洋中大多数甲烷来自于非竞争性的甲烷基质，即主要是从甲基化合物生成的。海洋动物的尸体分解后一般可形成单甲胺、二甲胺和三甲胺等化合物，从而在海洋沉积物中形成一条特别的由甲基化合物生成甲烷的代谢途径。海洋沉积物中的产甲烷菌的垂直分布与淡水沉积物相似，在一定浓度范围甲烷浓度也随浓度成线性增加（参见表 1-2）。

表 1-2 不同沉积环境中的产甲烷菌

成岩阶段	样品名称	水深 (米)	埋深 (米)	甲烷菌 富集	菌数 (个/克·TS)	利用基质	形态
未成岩沙泥	海底淤泥	72	0~0.5	+	0.2×10	H ₂ /CO ₂ , 甲酸	杆菌
	含粉沙泥	87	8.0~9.0		2.5×10	H ₂ /CO ₂ , 甲酸	杆菌
	硅质软泥	4 909	表层	+	0.5×10	H ₂ /CO ₂	杆菌
	深海软泥	4 945	表层	+	0.7×10	H ₂ /CO ₂	杆菌
	褐色螺壳软泥		5~7		1.3×10	H ₂ /CO ₂ , 甲酸	球菌

续表

成岩阶段	样品名称	水深 (米)	埋深 (米)	甲烷菌 富集	菌数 (个/克·TS)	利用基质	形态
成岩早期	含碳泥		32~33	+		乙酸	八叠球菌
	泥炭		48~52	+		H ₂ /CO ₂ , 甲酸	杆菌
	灰色含粉沙泥		246.45	+		H ₂ /CO ₂ , 甲酸	球菌
	灰色含粉沙泥		321.56	+		乙酸	八叠球菌
成岩中期	灰色泥岩		454.3	+		H ₂ /CO ₂ , 甲酸	短杆菌
	灰黑色泥岩		380	+		H ₂ /CO ₂ , 甲酸	杆菌
	浅灰色泥岩		520	+		H ₂ /CO ₂ , 甲酸	球菌
	灰色含粉泥岩		1 056	+	0.7 × 10	H ₂ /CO ₂ , 甲酸	杆菌球菌
	浅灰含粉泥岩		1 200	+		乙酸, H ₂ /CO ₂ 甲酸	八叠球菌 杆菌
	灰色泥岩		412	+		H ₂ /CO ₂ , 甲酸	杆菌球菌

3. 地热生态环境

地热环境如温泉、热泉和火山湖等属于简单无机自养生态系统,有些也属于产甲烷菌的生态环境。在陆地的地热区中,微生物生态学家已对温度为 40℃~100℃的温泉、热泉、火山湖等中的微生物进行了一系列研究,产甲烷菌在这些生境中是普遍存在的,在这种情况下,绝大多数产甲烷菌是利用氢还原二氧化碳进行生长的,很少有乙酸营养型产甲烷菌。不过有一例外,在俄罗斯 Kamchatka 热泉中,分离得到了利用乙酸的甲烷丝菌 (*Methanothrix* sp.)。在海洋近海岸的热泉中,分布着嗜热产甲烷菌,已经分离得到的嗜热产甲烷菌有:嗜热自养甲烷球菌 (*Methanococcus thermolithotrophicus*),最适温度为 65℃;杰氏产甲烷球菌 (*Methanococcus jannaschii*),最适温度为 85℃;火源甲烷

球菌 (*Methanococcus igneus*), 最适温度为 88℃; 火热产甲烷菌 (*Methanopyris kandleri*), 最适温度为 105℃等, 所有分离得到的嗜热产甲烷菌均属氢营养型。由于在 100℃以上的环境中证实了存在有发育良好的化能自养微生物群, 从而改变了人们对生命存在的传统观点, 拓宽了生命存在的范围。

4. 动物瘤胃及肠道环境

绝大多数动物的胃肠道内都有产甲烷菌的存在。牛、绵羊、山羊、鹿、麋、北美野牛、羚羊等属瘤胃动物, 瘤胃内温度恒定在 39℃左右, 氧化还原电位可低至 -350 毫伏。在瘤胃气体中, 二氧化碳占 65%, 甲烷占 35%, 瘤胃中的甲烷分压可达 0.35 个大气压。瘤胃液中的微生物浓度很高, 细菌达 10^{10} 个/毫升, 原生动物达 10^6 个/毫升, 并含有少量分解纤维素的厌氧真菌。瘤胃中的产甲烷菌主要是氢营养型产甲烷菌。在白蚁的后肠囊腔中, 存在有产甲烷菌, 有人将白蚁的肠称之为“袖珍瘤胃”。包括人在内的大多数动物都有后肠发酵腔室, 这一场所中存在有产甲烷菌。

5. 中国传统发酵酿酒窖池

中国浓香型白酒是在泥质窖池中酿制而成的, 酿酒窖泥是一类独特的厌氧生态环境。在细菌的空间分布上, 老窖池中的甲烷菌数量随窖泥上、中、下层顺序而表现出递增趋势, 如表1-3所示。老窖泥中除存在产己酸菌的产香功能菌外, 还有产甲烷菌。它们既是生香功能菌, 又是老窖生产性能的指标。窖泥中多种形状(杆状、球状、不规则状等)的产甲烷菌的存在, 说明酒窖中的厌氧环境和各种基质(如二氧化碳、氢气、甲酸、乙酸等)给产甲烷菌的生长与发酵提供了有利条件。

表 1-3 酿酒窖池中厌氧功能菌分布的数量特征

窑 别	层次	产甲烷菌 (个/克土)	产己酸菌 (个/克土)
老窑 1	上	0.00×10	6.41×10^2
	中	1.30×10^2	7.24×10^2
	下	2.50×10^5	7.94×10^4
老窑 2	上	0.30×10	1.30×10
	中	2.03×10^3	4.50×10^2
	下	5.74×10^4	9.88×10^5
新 窑	上	0.00×10	6.20×10^2
	中	0.00×10	1.10×10^3
	下	0.00×10	2.08×10

6. 与原生动物共生

大阿米巴 (Pelomyxo) 和一些纤毛虫细胞内存在有大量分散的产甲烷菌, 在阿米巴鞭毛虫 (*Psalteriomonas lanterna*) 的细胞内有杆状甲烷菌共生。已经从原生动物细胞中分离出了甲酸甲烷杆菌 (*Methanobacterium formicium*) 和内共生甲烷叶状菌 (*Methanoplanus endosymbiosus*), 这两种产甲烷菌均属氢营养型。

7. 湿木

在一些比较坚硬的树木如杨树、榆树、栎树、木棉树、柳树等的树心中, 由于某种原因而含有大量水分, 称之为湿木。湿木的 pH 值偏碱性, 缺氧, 有产甲烷存在, 并能从湿木中产生甲烷气体。相关研究表明, 产甲烷菌的数量为 $10^2 \sim 10^4$ 个/克, 固氮菌的数量为 $10^5 \sim 10^6$ 个/克, 厌氧异养菌的数量为 $10^6 \sim 10^7$ 个/克, 并从湿木中分离得到了嗜树木甲烷短杆菌 (*Methanobrevibacter arboriphilus*)。湿木中的纤维素异常丰富, 但未发现纤维素降解作用。湿木中的产甲烷菌数量虽不多, 但却是产甲烷菌一类独特的生境。

第二节 国际沼气发展史

1630年，比利时布鲁塞尔的医生范海门特（Van Helment）所述的15种气体中就发现有机物腐烂过程中所出现的一种可燃气体，在肠道的气体中亦有这种气体存在，这便是世界上最早认识植物在沼泽和湖沼里腐烂会释放沼气的记录。

1776年，意大利物理学家沃塔（Alessandro Volta）发现沼泽中有“可燃空气”的现象。

1806年威廉·亨利（William Henley）指出，Volta所指的“可燃空气”和甲烷是同一种气体。

1608年胡弗里·戴维（Humphrey Davy）开始用牛粪生产粪料气（manure gas），从装在一真空罐内混有牛粪的稿秆中收集到0.3升 CH_4 和0.6升 CO_2 。

1866年巴斯德（L. Pasteur）的一个学生贝坎姆（Bechamp）第一个明确指出甲烷的形成是一个微生物的过程。

1868年Bechamp证实了甲烷是由微生物作用于含碳化合物而形成的。

1875年波波夫（Popoff）等发现甲烷发酵是一个复杂的微生物过程，同时他们利用河泥加入纤维素物质进行厌氧发酵，结果产生了氢和甲烷。

1883年L. Pasteur的另一个学生高扬（Gayon）成功地记录了动物粪便产生沼气的试验结果，Gayon在 35°C 下消化粪液。从每立方米粪液中得到100升甲烷，Pasteur认为，发酵作用可成为取暖或照明燃料的来源。

19世纪末，莫拉斯（Louis Mouras）在法国建立了世界上第一个自理废水的厌氧消化池。

1896 年在英国一座小城市 Exeter 建立起一座处理生活污水的厌氧消化池，所产污泥气 (sludge gas) 用来照明一条街道。

1900 年在印度 Matunga 的一个麻疯病人收容院建造了从人粪生产沼气的沼气池。

1901 年，孙根 (Söhngen) 对甲烷菌的形态、特征及它们所能进行的转化，提出了比较清楚的概念。

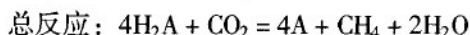
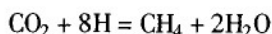
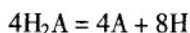
1916 年奥梅梁斯基 (Omelianskii) 分离出第一株产甲烷菌 (现已证明不是一个纯种)——奥梅梁斯基甲烷杆菌 (*Methanobacterium omelianskii*)。

1920 年中华国瑞天然瓦斯库问世。

1925 年莱克 (Lack) 曾指出，沼气发酵过程中，有鞭毛虫、纤毛虫、变形虫等 18 个种，但它们在发酵过程中不起重要作用。

1929 年我国国瑞瓦斯公司成立。

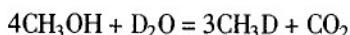
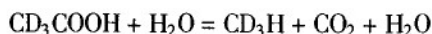
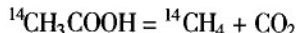
1930 年、1934 年范尼尔 (Van Niel) 等提出了甲烷形成的二氧化碳理论，即：



1936 年 H. A. Barker 首次进行了厌氧发酵，即采用化学合成培养基，培养下水道污泥，获得了能很好地发酵乙醇、丙醇和丁醇的有机体。

1936 年休克莱凯因 (H. Heukelekian) 和海曼 (B. Heinmann) 提出了一个甲烷近似计数的技术。

1948 年布什韦尔 (A. M. Buswell) 提出了甲烷形成的还原理论，即：



1950 年, 亨盖特 (R. E. Hungate) 创建了厌氧技术, 为产甲烷细菌的研究创造了条件。

1956 年巴克 (H. A. Barker) 等证明了乙酸盐的甲烷代谢机理, 即甲基转化为甲烷, 羧基则转化成二氧化碳; 同年 Barker 综合了 Van Niel 和 Buswell 的甲烷形成理论, 提出了由基质直接生成甲烷的机理, 即 Barker 假说。

1956 年 Barker 最早进行了产甲烷菌的分类, 它将产甲烷菌分为 1 个科, 科以下分成 4 个属, 共有 8 个种。

在 20 世纪 50 ~ 60 年代期间, 库克 (Cooke) 在厌氧消化过程中检测到大量的霉菌, 并先后分离出 36 个属的霉菌, 其中尤以半知菌最多, 子囊菌次之, 它认为霉菌和酵母可能参与了消化过程。

1962 年麦克尼 (R. E. McKinney) 提出了厌氧消化过程的两阶段理论, 即产酸阶段和产气阶段。

1964 年沃林 (M. J. Wolin) 等首次发现 *Methanobacterium omelianskii* 能产生维生素 B₁₂。

1965 年亨盖特技术的改进和完善。

1967 年, 布赖恩特 (M. P. Bryant) 采用改进的亨盖特技术, 分离纯化了奥梅梁斯基甲烷杆菌, 并证明它是甲烷杆菌 MOH 菌株和 “S” 有机体的共生体。

1967 年劳伦斯 (Lawrence) 和麦卡蒂 (P. L. McCarty) 提出了厌氧消化过程的三阶段理论, 即水解过程, 产氢产酸过程和产甲烷过程。

20 世纪 60 年代后期, 美国斯坦福大学的 P. L. McCarty 在总结过去厌氧法处理废水工作基础上, 提出了一种特别适用于处理可溶性有机废水的生物反应器——厌氧过滤器 (Anaerobic Filter, 简称 AF)。

1970 年麦克布里德 (McBride) 和沃尔夫 (Wolfe) 从甲烷杆菌 MOH 菌株 (*Methanobacterium* MOH strain) 中发现一种甲基转移

辅酶，其后，一些学者先后发现了产甲烷细菌的七种特殊辅酶。

1971 年美国厌氧消化专家格黑希 (S. Ghosh) 等开发研制了两相厌氧消化工艺 (Two - phase Anaerobic Digester Process)。

1972 年钱瑟曼 (Cheeseman) 等从甲烷杆菌 MOH 菌株中发现 F_{420} (Factor 420)。

1974 年泰勒 (Taylor) 和 Wolfe 确定了 1970 年 McBride 和 Wolfe 从甲烷杆菌 MOH 菌株中发现甲基转移辅酶为 CoM。

1974 年伯捷氏细菌鉴定手册 (Bergey's Manual of Determinative Bacteriology) 第八版将产甲烷菌分为产甲烷菌科 1 个科 (Methanobacteriaceae)、3 个属 (甲烷杆菌属、甲烷球菌属和甲烷八叠球菌属)、9 个种。

1977 年桑尼 (Thaner) 等研究了乙醇氧化的各步自由能变化。

1977 年荷兰瓦赫宁根农业大学水污染控制系的厌氧消化专家莱廷格 (Lettinga) 提出了升流式厌氧污泥床工艺 (Upflow anaerobic sludge blanket, UASB)，首次发现了颗粒污泥的形成，即产甲烷菌的天然固定化。

1977 年伍斯 (Carl. R. Woese) 等提出了古细菌的概念。

1978 年岗撒雷斯 (R. P. Gunsalus) 和 Wolfe 首次从嗜热自养甲烷杆菌 ΔH 菌株 (*Methanobacterium thermoautotrophicum* ΔH strain) 中分离得到 F_{430} (Factor 430)。

1978 年托那本尼 (Tornabene) 等首次分析了产甲烷菌的 lipids。

1979 年伯捷氏细菌鉴定手册将产甲烷菌分为 3 目、4 科、7 属、13 种。

1979 年第一届国际厌氧消化学术讨论会在英国 Cardiff 举行，引起了世界范围的关注和兴趣，以后每 2~3 年召开一次。

1980 年史密斯 (Smith) 指出，在纯培养条件下，所有产甲烷菌都能利用 H_2 和 CO_2 作生长基质，代谢产生甲烷，其中绝大多数还能利用甲酸。

1983年托姆(Thomm)、伍德(Wood)和梅里(Meile)从产甲烷菌中分离得到质粒(plasmid)。

1983年费古逊(Ferguson)和马(Robert Mah)证明了甲酸盐的甲烷代谢机理,即产甲烷菌转化甲酸盐生成甲烷的过程中有氢生成的阶段。

1987年,Carl R. Woese在微生物评论(Microbio. Rev.)杂志上发表的“细菌的进化”(Bacterial Evolution)论文,标志着现代细菌分类学的建立。

1996年,布特(Carol J. Bult)等40位科学家们的大合作完成了第一个产甲烷细菌(*Methanococcus jannaschii*)的基因组测序。

第三节 我国沼气的的发展史

一、池型发展史

19世纪80年代,我国广东潮梅一带民间就开始了制取瓦斯的试验,到19世纪末,出现了简陋的瓦斯库(图1-1)。

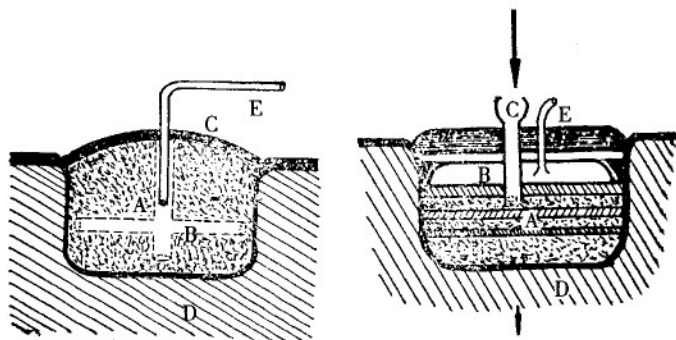


图1-1 我国最早的简陋瓦斯库

中国家用沼气池技术的研究始于 20 世纪初，20 年代中华罗瑞天然瓦斯库问世（又称罗国瑞式沼气池，参见图 1-2），并获得了一定范围的推广应用，此为我国的第一代沼气池。该沼气池主要是矩形结构（少数为圆形），埋置于地下，设有简易搅拌装置，采用水压式贮气方式，发酵原料采用粪便、米糠、麦麸、豆腐渣、酒糟、青草和菜叶等有机物。20~30 年代，这种沼气池在我国十多个省均有分布，一般池容为 5~100 多 m^3 ，池容十几立方米到几十立方米的较普遍。建池材料有水泥、黄砂、石子、青砖、木材和石灰等。当时的沼气用途为点灯照明、煮饭、作燃料发电、烧制灯泡、烘烤饼干、蒸煮医疗器械、生产糕点糖果、作照相光源、烧开水等，并开设有各类瓦斯及其服务公司。罗国瑞式沼气池的产气率一般都高于 $0.4 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{天}$ 。这种池型可以称为我国的第一代沼气池。现今发现的这种池子，经修理之后仍还可以使用。

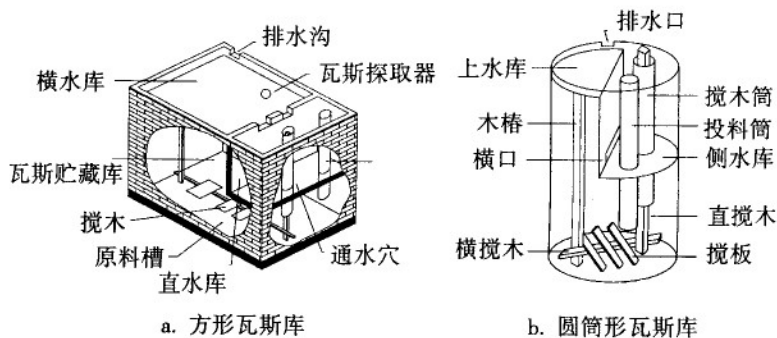


图 1-2 罗国瑞瓦斯库(沼气池)

1958 年，毛泽东主席在视察武汉地方工业品展览会时（参见图 1-3），对发展和利用沼气作了重要指示：“这要好好地推广”。此后掀起了我国第一次大办沼气的热潮，20 世纪 60 年代前后，对沼气池的建造大都土法上马，成功的不多；此后十多年

至 20 世纪 70 年代，形成了以远、大、深为特点的我国第二代沼气池。这种池和第一代沼气池（罗国瑞式沼气）区别很大，技术水平较落后，池子建造不科学和管理不便。目前大都不再使用或改成贮粪池。

1958.4.11



1958 年 4 月 11 日，毛泽东主席在视察武汉地方工业展览馆观看沼气灶演示时，指示“这要好好地推广”。

Being demonstrated of biogas stove on Wuhan local industry exhibition on April 11, 1958, Chairman Mao Zedong instructed “This should be well promoted”.

图 1-3 毛泽东主席关心沼气的推广使用

20 世纪 70 年代以来到 80 年代初，特别是 70 年代后期的第二次大办沼气热潮，对第二代沼气加以改进，为了便于沼气池的管理，把“远、大、深”改为“圆、小、浅”，而且把猪圈、厕所、沼气池结合起来——三结合沼气池，形成我国有特色的第三代沼气池。这种池型具有成本低廉、适应性强、适宜农村推广等特点，成为目前世界公认的主流池型。这类池型采用批量发酵工艺，产量不均衡，产气率一般不高于 $0.3 \text{ 米}^3/\text{米}^3 \cdot \text{天}$ 。

进入 20 世纪 80 年代以来，随着农村经济的不断发展，人民生活的不断提高，对沼气的发展也提出了新的要求。中国第二代领导人邓小平同志强调指出，沼气是一个世界问题（参见图 1-4）。针对第三代沼气池管理不便，产气不均衡，大换料费工费时，池型利用率不高等特点，同时结合“小型、高效及商品化”

的沼气发展方针，全国各地推出了一批小型、高效和商品化沼气池，并很快受到了农户的欢迎，形成了我国第四代沼气池。对于小型、高效、商品化沼气池的具体指标有：常温发酵，平均产气率高于 $0.4 \text{ 米}^3/\text{米}^3 \cdot \text{天}$ ，原料产气率为 $0.25 \sim 0.3 \text{ 米}^3/\text{千克 TS}$ ，发酵容积小于 6 米^3 ，每立方米池容建造成本 150 元左右，管理方便，能进行工厂化生产，保用 10 年以上。

1980.7.10



1980 年 7 月 10 日，邓小平副主席在视察四川省成都市簇桥公社农户的沼气演示时，强调说“沼气很好，是个方向问题，是个世界问题”。

On July 10, 1980, when Vice Chairman Deng Xiaoping visiting a farm household of Cuiqiao commune, Chengdu City of Sichuan Province, and watching the demonstration of biogas stove there, he said emphatically "Biogas is really good, which is an orientation issue and a world issue".

图 1-4 邓小平同志关心沼气的发展

从建池成本上看，现今建造一口户用沼气池，成本约为 1 000 ~ 2 000 元，建池周期为一周左右。在原料充足、年均气温较高的地区，已完全可以解决农户的生活用能。但从经济上分析，单纯的生活用能产生的经济效益并不高，换言之，以仅解决生活用能的沼气发展方式，不足以刺激农村沼气事业的发展。从沼气池商品化方面看，先后出现了 GRC（抗碱玻璃纤维低碱增强水泥）建材工厂化沼气池、钢丝网水泥预制工厂化沼气池、聚氯乙烯红泥塑料沼气池、铁罐沼气池、玻璃钢沼气池等，单从成

本造价上看均不低于现场混泥土施工的户用沼气池。然而，沼气及其残留物的利用将为我们打开沼气事业发展的希望之路。

2000年，云南师范大学、云南省农村能源工程重点实验室等单位研制开发了“4米³商品化户用玻璃钢沼气池及配套工艺技术”（参见图1-5），2002年5月30日，4米³商品化户用玻璃钢沼气池通过了国家科技部委托、云南省科技厅组织的全国专家鉴定，沼气池设计合理，产气率可达0.3~0.4米³/米³·天，性能优越，获得2项国家专利，完全拥有自主知识产权。综合水平居国内领先地位。鉴定委员会一致同意通过鉴定，该项技术成果可以推广应用。这一鉴定成果标志着商品化沼气池的问世，现在已能生产4米³、6米³、8米³等不同大小的商品化玻璃钢沼气池。目前商品化玻璃钢沼气池已在云南省农村推广示范20 000多口，使用效果良好，为我国商品化沼气池的发展迈出了可喜的一步。

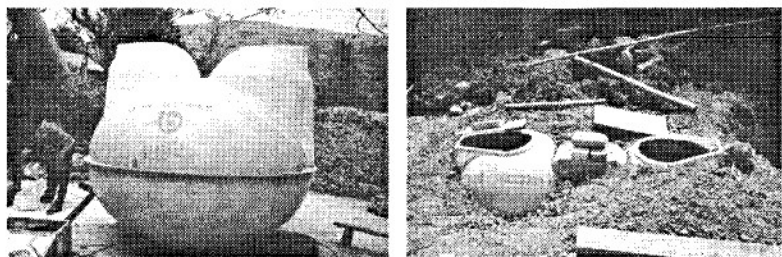


图1-5 4米³商品化户用玻璃钢沼气池

二、沼气微生物研究史

我国对产甲烷微生物的研究始于1978年，当时的技术和条件设备都非常落后。1980年，北京师范学院（现为首都师范大学）的周孟津和杨秀山在国内首次分离获得巴氏甲烷八叠球菌的纯培养物，其后定名为巴氏甲烷八叠球菌BTC菌株（*Methanosarcina barkeri* BTC）。

1980年，美国著名微生物学家、厌氧操作技术的发明人 R. E. Hungate 教授应南京农业大学的邀请来华讲学，传授了由其本人 1950 年建立并逐步完善的厌氧操作技术，这对我国沼气微生物的研究工作起到了推动作用。其后，中国科学院和农业部相继派遣钱泽澍、赵一章和刘聿太等学者赴美国加州大学进修或合作研究，学习 Hungate 厌氧技术。1984 年以来钱泽澍、赵一章、刘聿太、张辉、许宝孝、凌代文、竺建荣、陈革、刘光烨、马光廷、倪水松和陈美慈等分离得到了 10 多种产甲烷菌（参见表 1-4）。

表 1-4 我国学者分离获得的产甲烷菌一览表

菌株	拉丁	分离者	发表时间
甲烷八叠球菌 BTC	<i>Methanosarcina barkeri</i> BTC	周孟津、杨秀山	1980
嗜树木甲烷短杆菌 TC713	<i>Methanobrevibacter arboriphilus</i> TC713	钱泽澍	1984
甲酸甲烷杆菌 TC708	<i>Methanobacterium formicum</i> TC708	钱泽澍	1984
马氏甲烷八叠球菌 C-44	<i>Methanosarcina mazei</i> C-44	赵一章、尤爱达	1984
史氏甲烷短杆菌 H13	<i>Methanobrevibacter smithii</i> H13	赵一章、张辉	1985
史氏甲烷短杆菌 HX	<i>Methanobrevibacter smithii</i> HX	许宝孝	1985
嗜热甲酸甲烷杆菌 CB12	<i>Methanobacterium thermoformicum</i> HB12	赵一章、张辉	1986
甲酸甲烷杆菌 PC03	<i>Methanobacterium formicum</i> PC03	凌代文、王大帮	1987
亨氏甲烷螺菌 JZ1	<i>Methanospirillum hungatei</i> JZ1	钱泽澍、竺建荣	1987
运动甲烷微菌 CC81	<i>Methanomicrobium mobile</i> CC81	陈革、钱泽澍	1987
布氏甲烷杆菌 CS	<i>Methanobacterium bryantii</i> CS	刘光烨、赵一章	1987
嗜热甲烷八叠球菌 CB	<i>Methanosarcina thermophila</i> CB	张辉、赵一章	1987

续表

菌株	拉丁	分离者	发表时间
甲烷杆菌 G-86.1	<i>Methanobacterium</i> G-86.1	马庭光	1987
嗜热自养甲烷杆菌 TH-6	<i>Methanobacterium thermoautotrophicum</i> TH-6	陈美慈、钱泽澍	1988
球状产甲烷菌 SN		倪水松、钱泽澍	1989
拉布雷微粒甲烷菌 Z	<i>Methanocorpusculum</i> Z	赵一章	1989

1980 年刘克鑫和徐洁泉等分离得到肠菌科和芽孢杆菌科中 6 株产氢细菌。1986 年廖连华从污水处理污泥中分离出 1 株中温纤维素分解菌和 1 株纤维二糖梭菌。1987 年谭蓓英从猪粪玉米秸原料的甲烷发酵液中分离出 1 株纤维素分解菌 C 菌株, 刘聿太等分离得到了氧化丁酸盐的沃尔夫互营单胞菌 (*Syntrophomonas wolfei*) 和产甲烷菌的互营培养物。1988 年凌代文等从豆制品废水沼气发酵液中分离出水解性细菌, 获得了优势菌拟杆菌科中的一个新种和可能是双歧杆菌属中的 2 个新种。1989 年钱泽澍和马晓航详细研究了丁酸盐降解菌 *Syntrophomonas wolfei* 和氢营养菌共培养物的组成和互营联合条件。1990 年赵宇华和钱泽澍研究了能降解 20 个碳的硬脂酸的产氢产乙酸菌和产甲烷菌的互营培养物, 闵航获得 1 株嗜热性苯甲酸厌氧降解细菌和产甲烷的共培养物, 并分离得到 1 株能从 H_2/CO_2 形成乙酸又能利用乙酸的硫酸盐还原细菌新种嗜热氧化乙酸脱硫肠状菌 (*Desulfotomaculum thermoacetooxidans*)。

三、综合利用发展过程

自 1980 年以来, 我国农民和沼气科学工作者相继开展了一系列的沼气综合利用研究与实践工作, 取得了显著的社会、生