

技术进展

微生物燃料电池及其应用研究进展

詹亚力, 张佩佩, 闫光绪, 王嘉麟, 郭绍辉

(中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室, 北京 102249)

摘要:简单叙述了微生物燃料电池(MFC)的基本结构及运行原理,从 MFC 的阳极微生物、阴极结构等方面介绍了 MFC 的发展现状和研究重点,分析了 MFC 在替代能源、生物传感器和开发新型水处理工艺等方面的应用前景,指出进一步的研究重点应放在改善电极电化学性能、提高电池输出功率密度和降低电池成本等方面。

关键词:燃料电池;微生物;新能源;生物传感器;水处理

中图分类号:TM911.45

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2007)01-0013-05

Progress in microbial fuel cell and its application

ZHAN Ya-li, ZHANG Pei-pei, YAN Guang-xu, WANG Jia-lin, GUO Shao-hui

(State Key Laboratory of Heavy Oil, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: The structure and principle of microbial fuel cell (MFC) are reviewed, and the development status and the research hotspot are introduced in respect of anodic microbial, the structure of cathode etc. The prospect for its application in new alternate energy resource, microbial sensor and water treatment is analyzed, and it is pointed out that the future research should be focused on improving the electrochemical properties of electrode, increasing the output power of cell, and decreasing the cost.

Key words: fuel cell; microbial; new energy resource; microbial sensor; water treatment

微生物燃料电池(MFC)是一种以微生物为阳极催化剂,将化学能直接转化成电能的装置。利用 MFC 不仅可以直接将水中或者污泥中的有机物降解,而且同时可以将有机物在微生物代谢过程中产生的电子转化成电流,从而获得电能。因此,无论是利用 MFC 输出电能的特点进行新型能源的开发,还是利用 MFC 电流与水中有机物之间的定量关系进行新型污水水质检测方法的研究,以及利用 MFC 的特殊环境对特殊性能的微生物进行驯化,对 MFC 的研究均具有重要的理论意义和应用价值。本文将从电池基本结构、微生物驯化和应用研究等方面对微生物燃料电池的研究现状和应用前景进行综述及分析。

1 基本结构和运行原理

与其他类型燃料电池类似,微生物燃料电池的基本结构为阴极池加阳极池。根据阴极池结构的不同,MFC 可分为单池型和双池型 2 类;根据电池中是否使用质子交换膜又可分为有膜型和无膜型 2 类。

其中单池型 MFC 由于其阴极氧化剂直接为空气,因而无需盛装溶液的容器^[1-3],而无膜型燃料电池则是利用阴极材料具有部分防空气渗透的作用而省除了质子交换膜^[2,4]。

MFC 的阳极材料通常选用导电性能较好的石墨、碳布和碳纸等材料,其中为提高电极与微生物之间的传递效率,有些材料经过了改性^[5]。阴极材料大多使用载铂碳材料,也有使用掺 Fe³⁺ 的石墨^[1]和沉积了氧化锰的多孔石墨^[6]作为阴极材料的报道。

MFC 基本工作原理为^[7]:①在阳极池,水溶液中或污泥中的营养物在微生物作用下直接生成质子、电子和代谢产物,电子通过载体传送到电极表面。随着微生物性质的不同,电子载体可能是外源的染料分子、与呼吸链有关的 NADH 和色素分子,也可能是微生物代谢产生的还原性物质,如 S²⁻ 和 H₂ 等^[8]。②电子通过外电路到达阴极,质子通过溶液迁移到阴极。③在阴极表面,处于氧化态的物质(如氧气等)与阳极传递过来的质子和电子结合发生还原反应。

收稿日期:2006-11-06

基金项目:中国石油天然气集团公司石油科技中青年创新基金资助项目(05E7021)

作者简介:詹亚力(1970-),男,博士生,副教授,主要研究方向为“三废”处理与综合利用,010-89733335, wylzhan@cup.edu.cn;郭绍辉(1958-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为“三废”处理与综合利用。

2 阳极微生物的研究进展

2.1 微生物的筛选与分类

自 20 世纪 70 年代 MFC 概念正式提出以来,微生物的筛选一直是 MFC 的研究重点。目前,已用于 MFC 的微生物根据其电子传递途径的差异可以分为 2 类:第 1 类微生物,如 *Desulfovibrio desulfuricans*、*Proteus vulgaris* 和 *Escherichia coli*^[9] 等,代谢产生的电子需要外源中间体的参与才能传递到电极表面;第 2 类微生物,如 *Geobacter*^[10]、*Shewanella putrefaciens*^[11]、*Rhodospirillum rubrum*^[12] 等,代谢产生的电子可通过细胞膜直接传递到电极表面。通常用第 1 类微生物接种的 MFC 称为间接 MFC,用第 2 类微生物接种的 MFC 称为直接 MFC。

2.2 微生物驯化与鉴定

MFC 研究中使用的微生物菌种大多为单一菌种,直接来自于微生物菌种库,而近年来的研究结果表明,直接来自天然厌氧环境的混合菌接种电池,可以使电流输出成倍增加^[1],且在阳极表面富集了优势微生物菌属^[13]。因此,探讨微生物的驯化过程、底物性质与电池性能的关系及优势微生物鉴定是近年来 MFC 研究的热点。

目前,微生物驯化过程的常规操作是:在厌氧条件下,直接用天然厌氧环境中的污泥、污水或污水处理厂的活性污泥接种 MFC,将外电路连通后观察 MFC 各种性能的变化,定期更换培养液,直到 MFC 性能稳定。Kim 等^[14] 尝试考察了接种体的预处理方式对混合菌接种的 MFC 性能的影响。研究结果表明,如果接种体在加入到 MFC 前先行除去产甲烷菌,然后接种,不利于 MFC 功率的提高;而如果采用 Rabaey 等^[15] 开发的驯化方法,则可以提高 MFC 的放电功率。

对 MFC 富集的微生物进行鉴定,除必要的形态观察外,多直接采用 16S rDNA 进行分析。研究结果显示,使用不同营养盐喂养的 MFC 中的优势微生物种属各不相同。使用河水喂养的 MFC 中 *Beta*-*proteobacteria* 占主导地位(46.2%),而使用人工污水培养的 MFC 中 *Alpha*-*proteobacteria* 占主导地位(64.4%),而且在使用河水喂养的 MFC 中还获得了未培养菌^[16];从使用淀粉加工废水喂养的 MFC 中分离出属于 *Clostridium* 子群的厌氧菌 EG3^[17];在使用含醋酸的人工废水喂养的 MFC 中分离出属于 *Aeromonas hydrophila* 的 PA3^[18];使用海底污泥培养时,阳极表面 *Geobacteraceae* 富集了 100 倍,用河口污

泥驯化时,在阳极表面类似于微生物 *Desulfovibrio* 种属的基因系列占了绝大多数,而由淡水污泥驯化时,阳极表面大多数基因系列则与铁还原菌 *Geothrix fermentans* 密切相关^[13]。

2.3 微生物代谢和电子传递过程

2.3.1 微生物代谢过程

Rabaey 等^[7] 认为,阳极电势的高低决定了微生物代谢的途径:当阳极电势较高时,微生物利用呼吸链进行代谢,电子和质子通过 NADH 脱氢酶、辅酶 Q 和色素进行传递;当阳极电势下降,且溶液中没有硝酸盐、硫酸盐和其他电子受体时,溶液中主要发生的是发酵过程。而像醋酸、丁酸这样的发酵产物则可以在更低的阳极电势下由 *Geobacter* 种群微生物代谢,将电子传递到电极。而阳极电势的高低可以通过调节外电阻,控制溶液中氧气、硝酸盐、硫酸盐和其他电子受体的浓度来控制。

2.3.2 电子传递过程

电子从微生物到电极的传递主要有 3 种方式:由细胞膜直接传递、通过中间体传递及以上 2 种传递方式同时存在的传递^[19]。

(1) 由细胞膜直接传递电子

对于无需外源中间体的直接 MFC,电子从微生物细胞膜直接传递到电极。在电子传递过程中,作为呼吸链重要组成部分的、位于细胞膜上的色素是实际的电子载体^[11]。因此,对于此类 MFC,要提高电池输出功率,关键在于提高细胞膜与电极材料的接触效率。目前被认为由细胞膜直接传递电子的微生物有 *Geobacter metallireducens*、*Aeromonas hydrophila*、*Rhodospirillum rubrum* 和 *Shewanella putrefaciens* 等^[13, 16-18]。

(2) 由中间体传递电子

由中间体传递电子的过程为:处于氧化态的中间体进入细胞内,与呼吸链上的还原产物 NADH 耦合后,转变成还原态的中间体;还原态的中间体被微生物排泄出体外,在电极表面失去电子被氧化。

理想的中间体应该能被细菌吸收和排泄,对微生物没有毒性,氧化态和还原态均比较稳定,能够与 NADH 相连接^[20]。此外,理想外源中间体的氧化还原电势应高于色素和 NADH 等细胞内氧化还原电对的电势,同时应低于电极材料的氧化还原电势^[9]。Park 等^[20] 研究发现,将中间体通过化学键固定在石墨电极表面可以提高电池的输出电流密度。

在有关 MFC 的早期研究中,研究的重点在于选择合适的外源中间体以提高电池的输出功率。通

常, MFC 中使用的中间体大多是人工合成的染料物质, 如亚甲蓝、中性红等^[9]。Rabaey 等^[21]的研究结果表明, 微生物自身代谢也可以产生中间体。他们在 *Pseudomonas aeruginosa* 接种的 MFC 中检测出了抗菌物质绿脓菌素 (pyocyanin) 和 phenazine-1-carboxamide, 将这些物质用于由其他微生物接种的 MFC 时, 同样可以明显提高电池的电流输出。值得注意的是, *Pseudomonas aeruginosa* 仅在 MFC 中代谢产生中间体, 在普通的厌氧条件下没有中间体产生。

3 阴极池的研究进展

微生物燃料电池的阴极氧化剂主要有空气、溶氧、铁氰化物、二氧化锰等, 其中用溶氧作为氧化剂的研究较多, 而直接用空气作为氧化剂的 MFC 由于简化了电池结构, 在近几年得到了较大发展。当用氧气作为阴极氧化剂时, 阴极反应与直接甲醇燃料电池和氢气燃料电池相似, 因此在组建 MFC 时, 可以直接参考已有电池的研究成果来选择阴极材料。目前, 阴极材料多使用载铂石墨、碳布或碳纸等。

Oh 等^[22]考察了电极材料、阴极性质、阴极面积和溶解氧浓度等因素对电池输出功率的影响。结果显示, 用铁氰化钾溶液作为电子受体比用溶氧缓冲溶液作为电子受体时的电池输出功率高 50% ~ 80%。当用溶氧作为电子受体时, 载铂阴极比无载铂阴极产生的电池电压高 166 mV (分别为 302 mV 及 136 mV), 纯氧曝气 (O_2 质量浓度 38 mg/L) 比空气曝气 (O_2 质量浓度 7.9 mg/L) 时产生的最大电池功率高 15.8% (分别为 0.110 mW 和 0.095 mW)。对使用溶氧作为阴极氧化剂的电池来说, 阴极面积的变化也会引起电池电压的变化, 但对以铁氰化钾溶液为阴极氧化剂的电池而言, 阴极面积对电池电压的影响很小。Rhoads 等^[6]用生物矿化的氧化锰沉积在石墨电极表面作为阴极氧化剂, 经测量其标准氧化还原电势达 (384.5 ± 64.0) mV。当其与由 *Klebsiella pneumoniae* 接种、2-羟基-1,4-萘醌为中间体、葡萄糖溶液为营养液组成的阳极组合成 MFC 时, 电池输出的电流密度比用氧气作为氧化剂时的高 2 个数量级。

4 质子交换膜

在传统的燃料电池中, 质子交换膜是不可缺少的重要组件, 其作用在于有效传输质子, 同时抑制反应气体的渗透, 但在 MFC 中是否需要保留质子交换膜则是研究人员关注的课题。最近的研究结果显

示^[2], 对于空气阴极 MFC 来说, 取消质子交换膜虽然降低了电池库仑效率, 但明显提高了电池的最大输出功率。这主要是由于取消质子交换膜以后, 氢离子易于进入阴极表面, 降低了电池的内电阻, 进而提高了电池的输出功率; 但同时由于没有质子交换膜的阻拦, 氧气很容易进入阳极池, 更多有机物通过好氧过程降解, 从而使用于转化成电能的有机物减少。

在已有的 MFC 中, 大多采用商业化的质子交换膜, 专门针对 MFC 进行膜材料开发的研究较少。Grzebyk 等^[23]在自行合成质子交换膜的基础上, 考察了质子交换膜中二乙烯基苯 (DVB) 的比例与 MFC 性能之间的关系。Park 等则尝试考察了陶瓷膜在 MFC 的应用效果^[1]。

5 微生物燃料电池应用研究进展

已有研究结果显示, 微生物燃料电池在以下方面具有应用开发前景: ①替代能源; ②传感器; ③污水处理新工艺; ④利用微生物燃料电池的特殊环境进行未培养菌的富集。

5.1 替代能源

生物质制氢被认为是未来氢燃料电池的原料来源, 而 MFC 与生物质制氢的共同特点是均以生物质作为原料, 但在生物质制氢过程中, 葡萄糖等生物质中还有相当部分的氢未被利用, 而且氢气还只是从生物质获取能源的中间产品, 而 MFC 则可以直接将葡萄糖中的氢全部消耗并转化成 H_2O , 生物质转化成能源的效率较高。正是由于 MFC 能够直接将生物质转化成电能, 因此 Wilkinson 展望了用食物直接喂养机器人的可能性^[24]。

迄今为止, 虽然已报道的 MFC 中双池型电池的输出功率密度最大^[25], 但由于双池型 MFC 的阴极为铁氰化钾溶液, 需要连续曝气, 操作复杂, 因此, 近几年直接利用空气作为阴极的单池型燃料电池令人关注。2001 年, Park 等^[1]首先报道了用掺 Fe^{3+} 的石墨为阴极、掺 Mn^{4+} 的石墨为阳极、陶瓷膜为质子交换膜、活性污泥接种的单池型 MFC 的性能, 该电池的输出功率密度达到 788 mW/m^2 。自 2003 年起, Liu 等^[2]和 Booki 等^[3]报道了以载铂碳布为阴极材料、碳纸为阳极材料的单池型 MFC 的性能。通过调整电池结构和各种操作参数, 使电池的输出功率密度达 1330 mW/m^2 。

由以上结果可见, MFC 作为新型能源开发的主要问题在于需进一步提高电池的输出功率密度及电

极电子的传递效率。相信经过深入研究, MFC 为一些只需要较小电量就能运行的遥控装置提供能源是可能的。

5.2 微生物传感器的开发

BOD₅ 被广泛用于评价污水中可生化降解的有机物含量, 但由于传统的 BOD 测定方法需要 5 天的时间, 因此, 出现了大量关于 BOD 传感器的研究, 其中以 MFC 工作原理为基础的 BOD 传感器的研究也是研究人员关注的焦点。利用 MFC 工作原理开发新型 BOD 传感器的关键在于: ① 电池产生的电流或电荷与污染物的浓度之间呈良好的线性关系; ② 电池电流对污水浓度的响应速度较快; ③ 有较好的重复性。

目前, 正在研究的 MFC 型传感器全部为有质子交换膜的双池型结构, 电池的阴极多为溶氧的磷酸盐缓冲溶液, 阳极为待测的水溶液。Kim 等^[26]在用自行设计的 BOD 传感器分批测定溶液 BOD 的浓度时发现, 电池转移电荷与污水浓度之间呈明显的线性关系, 相关系数达到 0.99, 标准偏差为 3% ~ 12%; 电池在低浓度时响应时间少于 30 min; 连续测定 BOD 质量浓度小于 100 mg/L 的溶液时^[27], 电流与浓度呈线性关系, 3 次电流测定的差值小于 10%; 且当 MFC 的阳极处于“饥饿”状态后喂养新鲜污水, MFC 的电流能够恢复; 当电池中的污水浓度发生变化时, 电流需要滞后 1h 达到稳定。Moon 等^[28]通过改变污水流动速度和电池阳极容积的方式, 使电流响应时间缩短到了 5 min。

考虑到实际污水中存在硝酸盐和硫酸盐等具有高氧化还原电势的电子受体, 它们会降低 MFC 的电流响应信号, Chang 等^[29]尝试在阳极池中加入叠氮化物和氰化物等呼吸抑制剂, 达到了消除硝酸盐和硫酸盐影响的效果, 结果显示, 通过加入呼吸抑制剂, 使 MFC 型 BOD 传感器可用于准确测量含氧和含硝酸盐的贫营养地表水中的 BOD 含量。

此外, MFC 作为贫营养水体(如地表水、污水处理厂排出液等)的传感器电池的主要障碍在于 O₂ 通过阴极和质子交换膜的扩散速率大, 在阴极的还原速率低, 因此导致电池输出电流的输出信号很小。Kang 等^[30]有针对性地对 MFC 的阴极进行了改进, 明显提高了 MFC 电流输出的重复性和信噪比。

5.3 作为水处理的新工艺

目前, 以有机污水为燃料、回收利用污水中有机质的化学能一直是 MFC 研究中的主要目的, 但在研究中, 对于 MFC 处理后污水水质的监测结果使研究

人员对以 MFC 工作原理为基础, 开发新的污水处理工艺产生了浓厚兴趣。

2004 年, Jang 等^[4]研究发现, 用 MFC 处理由葡萄糖和谷氨酸配制的 COD_{Cr} 质量浓度为 300 mg/L 的人工污水, COD_{Cr} 的去除率可达到 90%。Logan 等^[2-3]直接用以空气为阴极的 MFC 处理生活污水, COD_{Cr} 去除率达到 80%。Jang 等^[4]用柱塞流蛇形管道电池处理含不同底物的污水, 实现了连续处理污水、连续产生电流。值得注意的是, MFC 在厌氧降解有机物的同时, 污水 pH 保持中性, 且溶液中没有常规厌氧环境发酵产生的 CH₄ 和 H₂ 等。因此, MFC 可以作为污水的常规处理手段, COD_{Cr} 去除率可以达到与一般厌氧过程同样的效果, 但 MFC 不会使污水水质发生酸化, 也不会产生具有爆炸性的危险气体, 因此具有很好的开发前景。

综上所述, MFC 在替代能源开发、微生物传感器研究和水处理工艺开发方面均具有良好的应用前景, 但在改善电极电化学性能、提高电池输出功率密度和降低电池成本等方面还需要继续深入探索。相信随着 MFC 研究的不断深入, MFC 的工业化应用将为期不远。

参考文献

- [1] Park D H, Gregory Z J. Improved fuel cell and electrode designs for producing electricity from microbial degradation [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2003, 81(3): 348 - 355.
- [2] Liu H, Logan B E. Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane [J]. *Environ Sci Technol*, 2004, 38(14): 4040 - 4046.
- [3] Booki M, Logan B E. Continuous electricity generation from domestic wastewater and organic substrates in a flat plate microbial fuel cell [J]. *Environ Sci Technol*, 2004, 38(21): 5809 - 5814.
- [4] Jang J K, Pham T H, Chang I S, *et al.* Construction and operation of a novel mediator- and membrane-less microbial fuel cell [J]. *Process Biochemistry*, 2004, 39: 1007 - 1012.
- [5] Aleen R M, Bennetto H P. Microbial fuel-cells: Electricity production from carbohydrates [J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 1993, 39/40: 27 - 40.
- [6] Rhoads A, Beyenal H, Lewandowski Z. Microbial fuel cell using anaerobic respiration as an anodic reaction and biomined manganese as a cathodic reactant [J]. *Environ Sci Technol*, 2005, 39(12): 4666 - 4671.
- [7] Rabaey K, Verstraete W. Microbial fuel cells: Novel biotechnology for energy generation [J]. *Trends in Biotechnology*, 2005, 23(6): 291 - 298.
- [8] Willner I, Arad G, Katz E. A biofuel cell based on pyrroloquinoline quinine and microperoxidase -11 monolayer-functionalized electrodes [J].

- Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1998, 44: 209 - 214.
- [9] Ieropoulos I A, Greenman J, Melhuish C, *et al.* Comparative study of three types of microbial fuel cell[J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2005, 37: 238 - 245.
- [10] Bond D R, Holmes D E, Tender L M, *et al.* Electrode reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments[J]. *Science*, 2002, 295: 483 - 485.
- [11] Kim H J, Park H S, Hyun M S, *et al.* A mediator-less microbial fuel cell using a metal reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens* [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2002, 30: 145 - 152.
- [12] Chaudhuri S K, Lovley D R. Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells[J]. *Nat Biotechnol*, 2003, 21: 1229 - 1232.
- [13] Holmes D E, Bond D R, O'Neil R A, *et al.* Microbial communities associated with electrodes harvesting electricity from a variety of aquatic sediments[J]. *Microbial Ecology*, 2004, 48: 178 - 190.
- [14] Kim J R, Min B, Logan B E. Evaluation of procedures to acclimate a microbial fuel cell for electricity production[J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2005, 68: 23 - 30.
- [15] Rabaey K, Lissens G, Siciliano S D, *et al.* A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency [J]. *Biotechnology Letters*, 2003, 25: 1531 - 1535.
- [16] Phung N T, Lee J, Kang K H, *et al.* Analysis of microbial diversity in oligotrophic microbial fuel cells using 16SrDNA sequences[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2004, 233: 77 - 82.
- [17] Park H S, Kim B H, Kim H S, *et al.* A novel electrochemically active and Fe(III)-reducing bacterium phylogenetically related to clostridium butyricum isolated from a microbial fuel cell[J]. *Anaerobe*, 2001(7): 297 - 306.
- [18] Pham C A, Jung S J, Phung N T, *et al.* A novel electrochemically active and Fe(III)-reducing bacterium phylogenetically related to *Aeromonas hydrophila*, isolated from a microbial fuel cell[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2003, 223: 129 - 134.
- [19] Ieropoulos I, Greenman J, Melhuish C, *et al.* Energy accumulation and improved performance in microbial fuel cells [J]. *Journal of Power Sources*, 2005, 145: 253 - 256.
- [20] Park D H, Kim S K, Shin I H, *et al.* Electricity production in biofuel cell using modified graphite electrode with neutral red[J]. *Biotechnology Letters*, 2000, 22: 1301 - 1304.
- [21] Rabaey K, Boon N, Hofte M, *et al.* Microbial phenazine production enhances electron transfer in biofuel cells[J]. *Environ Sci Technol*, 2005, 39(9): 3401 - 3408.
- [22] Oh S, Min B, Logan B E. Cathode performance as a factor in electricity generation in microbial fuel cells [J]. *Environ Sci Technol*, 2004, 38(18): 4900 - 4904.
- [23] Grzebyk M, Pozniak G. Microbial fuel cells (MFCs) with interpolymer cation exchange membranes [J]. *Separation and Purification Technology*, 2005, 41: 321 - 328.
- [24] Wilkinson S. "Gastrobots": benefits and challenges of microbial fuel cells in food powered robot applications [J]. *Autonomous Robots*, 2000(9): 99 - 111.
- [25] Rabaey K, Lissens G, Siciliano S D, *et al.* A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency [J]. *Biotechnology Letters*, 2003, 25: 1531 - 1535.
- [26] Kim B H, Chang I S, Gil G C. Novel BOD (biological oxygen demand) sensor using mediator-less microbial fuel cell [J]. *Biotechnology Let*, 2003, 25: 541 - 545.
- [27] Chang I S, Jang J K, Gil G C, *et al.* Continuous determination of biochemical oxygen demand using microbial fuel cell type biosensor [J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2004, 19: 607 - 613.
- [28] Moon H, Chang I S, Kang K H, *et al.* Improving the dynamic response of a mediator-less microbial fuel cell as a biochemical oxygen demand (BOD) sensor [J]. *Biotechnology Letters*, 2004, 26: 1717 - 1721.
- [29] Chang I S, Moon H, Jang J K, *et al.* Improvement of a microbial fuel cell performance as a BOD sensor using respiratory inhibitors [J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2005, 20: 1856 - 1859.
- [30] Kang K H, Jang J K, Pham T H, *et al.* A microbial fuel cell with improved cathode reaction as a low biochemical oxygen demand sensor [J]. *Biotechnology Letters*, 2003, 25: 1357 - 1361. ■

空气产品公司和中国石化组建合资公司携手服务中国南京市场

全球多种气体和化工产品制造公司——空气化工产品公司 2006 年 12 月 19 日宣布,计划与中国石油化工集团公司(简称中国石化)的子公司——中国石化集团资产管理有限公司下属的南京化学工业有限公司(简称南京化工)一起成立一家合资公司,共同生产氢气、氧气、氮气和液态产品。近日,双方已在北京就此签订意向书。

空气产品公司和南京化工将在南京共同建造并运营一座空分工厂和制氢工厂。该工厂计划于 2009 年投产,每天氢气产能将超过 1 亿标准立方英尺(1 立方英尺 = 0.0283 m³),从而满足南京化工和其他南京地区用户对气体产品的需求。

空气产品公司总裁 John McGlade 表示:“我们衷心感谢中国石化和南京化工对空气产品公司的信任并选择我们成为其合作伙伴。合资公司意向书的签署见证了双方共同合作的一个伟大的开始。我也非常期望能通过这个合资项目

建立起双方成功的合作关系”。

中国石化集团资产管理有限公司副总经理兼董事冷泰民先生表示:“该项目反映了全球经济发展的新趋势,符合中国石化资源优化重组的要求,有利于促进本地经济的进一步发展”。

南京化工总经理袁建宁先生表示:“此意向书的签署是双方在工业气体领域建立战略合作伙伴关系的一个新的里程碑”。

早在 1997 年,空气产品公司就为南京化工提供了一座空分工厂。从那时起,双方就开始合作为南京市场提供液态产品。此次新设立的工厂将为下游生产链制造氨、己内酰胺、苯胺及其他化工产品提供生产所需的氢气。空气产品公司是全球领先的氢气生产商和分销商,并以其氢气产销的可靠性和安全性在业内享有盛誉。(王恽峰)