

## 技术进展

# 微生物燃料电池最新研究进展

范德玲<sup>1</sup>, 王利勇<sup>1</sup>, 陈英文<sup>1</sup>, 祝社民<sup>2</sup>, 沈树宝<sup>1</sup>

(1. 南京工业大学国家生化工程技术研究中心, 江苏 南京 210009;

2. 南京工业大学材料科学与工程学院, 江苏 南京 210009)

**摘要:**介绍了微生物燃料电池(MFC)的原理、组成和特点,并针对MFC功率密度过低、构造成本高等问题,从筛选优势产电微生物、改善MFC的构造、优化电极材料以及提高电子传递效率等方面进行了介绍,同时还提到了提高产电性能的各种途径,最后对MFC的发展前景进行了展望。

**关键词:**微生物燃料电池;功率密度;提高产电

中图分类号:TQ035

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2011)06-0014-05

## New progress in microbial fuel cells

FAN De-ling<sup>1</sup>, WANG Li-yong<sup>1</sup>, CHEN Ying-wen<sup>1</sup>, ZHU She-min<sup>2</sup>, SHEN Shu-bao<sup>1</sup>

(1. National Engineering Research Centre for Biochemistry, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

2. College of Material Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

**Abstract:** The mechanism, composition and characteristics of microbial fuel cell (MFC) are summarized. Widely applications of MFCs are limited because of their too low power densities and very high fabrication cost. Based on the problems mentioned above, this paper reviews the screening of the bacterial strains that benefit the electricity generation obviously, improvement of the structure of MFC, optimization of the electrode materials, improving the efficiency of electron transfer, etc. Various ways of improving power generation are proposed as well. The potential applications of MPC in the future is prospected finally.

**Key words:** microbial fuel cell (MFC); power density; power improving

目前,解决日趋严重的环境污染问题和发展清洁能源是人类社会能够完成可持续发展的两大根本性问题。微生物燃料电池将生物质化学能转化为电能,是一种具有经济效益和可持续发展的过程。微生物燃料电池是很值得重视的一种清洁能源。微生物燃料电池在很多方面有很好的应用前景,可以发展为廉价、长效的电能系统,将废水中的有机污染物转变成电能,并同时处理废水,还可以成为新型的人体起搏器,或作为介体微生物传感器。微生物电池除了具有很高的能量转化效率外,还有其他燃料电池不具备的若干特点:①燃料来源多样化;②操作条件温和;③无污染,可实现零排放;④无需能量输入;⑤能量利用的高效性;⑥生物相容性。

## 1 基本原理

通常MFC反应器主要由3部分组成:阴阳电极、质子交换膜和反应室。以附着于阳极的微生物

作为催化剂,以淀粉、糖类、醇类、半光氨酸、蛋白质等有机物质等为燃料,燃料在微生物的催化作用下产生电子和质子,产生的电子通过细胞膜相关组分或者通过氧化还原介体传递给阳极,再经过外电路到达阴极,由此产生外电流;质子通过质子交换膜或直接通过电解质到达阴极,在阴极得到电子被还原。以葡萄糖作底物的燃料电池为例,其阴阳两极反应如图1所示。

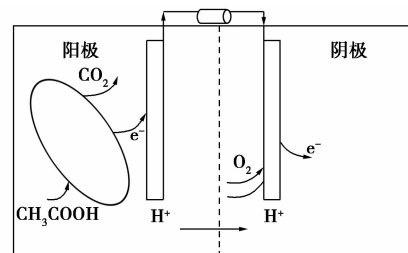


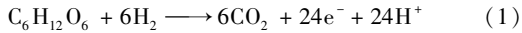
图1 微生物燃料电池及工作原理

阳极反应:

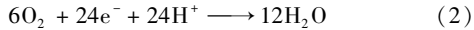
收稿日期:2011-01-19

基金项目:国家“973”项目(2009CB724700);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-003-02-05);江苏省环境工程重点实验室开放课题(KF2009003);江苏省环保科技项目(2009002);南京工业大学青年教师学术基金项目(39708014);江苏省科技厅资助项目(BE2010196);江苏省环保厅资助项目(2009002)

作者简介:范德玲(1988-),女,硕士生,从事环境电化学、工业水污染控制、酶工程、环境工程等方面的研究;沈树宝(1957-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事酶工程、多肽合成、环境工程的研究,通讯联系人,025-83587349, zsbshen@126.com。



阴极反应:



影响 MFC 性能的主要因素有产电微生物、阴极催化剂、阳极、阴极、反应器及操作参数优化等,下面从筛选优势产电微生物、改善 MFC 的构造、优化电极材料以及提高电子传递效率等方面提高产电的研究进展做一评述,以期对微生物燃料电池的研究进展有一个全面的概括。

## 2 产电微生物

在厌氧条件下氧化有机物并且把氧化过程中产生的电子传递到电极上产生电流,同时在电子传递过程中获得能量生长繁殖的微生物叫产电微生物。

### 2.1 希瓦氏菌

希瓦氏菌因其呼吸类型的多样性而得到广泛关注,Logan 等<sup>[1]</sup>以半胱氨酸为燃料产电,用 16SrDNA 序列分析技术对阳极微生物群落进行分析。结果显示,希瓦菌在电极上高度富集,最大功率密度达到  $0.019 \text{ W/m}^2$ 。

### 2.2 假单胞菌

Rabaey 等<sup>[2]</sup>以绿脓杆菌为阳极微生物,以铁氰化钾为阴极电子受体,功率密度达到  $3.1 \sim 4.2 \text{ W/m}^2$ ,研究表明假单胞菌可以通过自身分泌物或代谢产物作为电子传递介质。

### 2.3 泥细菌

泥细菌是一类重要的产电微生物。*G. sulfurreducens* 是在单一底物的 MFC 中产电能力最高的菌种。Yi 等<sup>[3]</sup>将石墨阳极置于外加电压  $-400 \text{ mV}$  下分别接种野生菌 *G. sulfurreducens* 和 DL-1, 5 个月 after 在生物膜上分离出菌种 KN400。KN400 菌种产电 ( $7.6 \text{ A/m}^2$ 、 $3.9 \text{ W/m}^2$ ) 比 DL-1 ( $1.4 \text{ A/m}^2$ 、 $0.5 \text{ W/m}^2$ ) 的效率高,这是由于与 DL-1 相比 KN400 菌种有丰富的微生物纳米导线,较低的内阻 ( $0.015 \Omega/\text{m}^2$ )。到目前为止,已成为产电呼吸代谢研究的模式菌株是 *G. sulfurreducens*,其全基因组序列的测序已经完成,同时具有较好的遗传信息背景。

### 2.4 混合菌群

相对于纯菌,混合菌具有阻抗环境冲击能力强、利用基质范围广、降解底物速率和能量输出效率高的优点。李凤祥等<sup>[4]</sup>分别以生活污水和以厌氧发酵液作为产电菌群接种源,比较得出:产电菌群影响 MFC 驯化周期和运行周期,以厌氧发酵液作为产电

菌群接种源的微生物燃料电池使驯化周期缩短,运行周期增加;使 COD 去除率提升了 25%,电压输出提高了约 300%。因此选择优势产电菌种是提升微生物燃料电池性能的重要基础。

## 3 电池结构及对电极材料的优化

### 3.1 双室 MFC

双室 MFC 反应器由一个阴极室和一个阳极室组成,中间由质子交换膜(PEM)隔开。PEM 的使用一方面将阳极室和阴极室分隔开,传递质子,阻止阴极室内氧气扩散到阳极室;另一方面增加了质子扩散的阻力,增加了反应器的成本。

研制优良的 PEM 膜对 MFC 的研究至关重要。Zhang 等<sup>[5]</sup>比较了阳离子交换膜燃料电池(CEM MFC)和阴离子交换膜燃料电池(AEM MFC)的产电效果。研究表明,CEM 膜的使用相对于 AEM 膜会导致 pH 梯度和溶液导电性的变化较大,并且在阴极上有盐析出现。Rozendal 等<sup>[6]</sup>认为通过膜把反应器阴极和阳极隔离开,会造成阴极 pH 的上升,由此产生的 pH 梯度是电势损失的主要原因。因此,改变电池结构,省去昂贵的质子交换膜,同时减小内阻、增大功率输出是当前研究的重点。

### 3.2 单室 MFC

与双室 MFC 反应器显著不同的是:①阴极和阳极在同一反应室;②阴极和 PEM 直接压在一起制成二合一电极,阴、阳极与膜压制制成三合一电极;③通过去除质子交换膜减小反应器的内阻,能进一步提高 MFC 的电输出,降低了运行费用。单室 MFC 与双室 MFC 相比:单室 MFC 的内阻小于双室 MFC 的内阻,单室 MFC 的功率密度大于双室 MFC 的功率密度。

### 3.3 升流式 MFC

升流式 MFC 由直径 6 cm 的 2 个圆柱形树脂玻璃组成,阴极室位于阳极室顶部,采用较大孔隙的网状玻璃碳作为阳极,以防止生物膜堵塞。在两室间设置与水平线呈  $15^\circ$  角的质子交换膜,以防止气泡的积聚<sup>[7]</sup>。最近,You 等<sup>[8]</sup>构建升流式空气阴极 MFC,以葡萄糖为底物,能持续产电,筛区面积  $30 \text{ cm}^2$ ,功率密度最大达到  $(25 \pm 4) \text{ W/m}^3$ ;筛区面积  $60 \text{ cm}^2$ ,功率密度最大达到  $(49 \pm 3) \text{ W/m}^3$ 。根据电化学阻抗谱法分析得出筛区面积增加,获得较大功率密度主要是由于构建升流式 MFC 减小了欧姆内阻,提高了产电。使用升流式空气阴极 MFC 一方面为空气阴极 MFC 提供了新的方法和前景,另一方面

运行成本低、体积负荷高,更适合与污水处理工艺耦联。

### 3.4 对阳极的优化

阳极肩负着附着微生物并传递电子的作用,是决定 MFC 产电能力的重要因素。目前,MFC 的阳极主要是石墨、碳纸、碳毡。虽然有多种材料可以作为阳极,但是不同材料对电池性能的影响存在差异。梁鹏等<sup>[9]</sup>考察了以碳纳米管、活性炭和柔性石墨为阳极材料的 3 种微生物燃料电池的产电性能,结果表明以碳纳米管为阳极的 MFC 产电功率密度最大,库仑效率最高,碳纳米管阳极内阻和欧姆内阻均低于柔性石墨和活性炭阳极,主要是由于碳纳米管阳极可容纳更多微生物,导电性更好。

最近研制出了一种不使用贵金属(铂)的、高性能的碳化钨阳极,能很好协调阳极界面上的催化作用。Rosenbaum 等<sup>[10]</sup>以碳化钨为阳极构造了 MFC,测得电流密度上升到 3 mA/cm<sup>2</sup>,碳化钨具有电化学活性和化学稳定性,是作为微生物燃料电池阳极的良好材料。

对阳极材料的改性可以提高产电性能。Cheng 等<sup>[11]</sup>用氨气预处理过的碳布作为 MFC 的阳极,结果表明,预处理过的碳布产生的功率密度为 1.64 W/m<sup>2</sup>,明显大于未预处理过的碳布的功率密度。这是因为高温氨气处理阳极材料可以使阳极比表面积增加,更有利于细菌的吸附。最近,Feng 等<sup>[12]</sup>比较了另外 3 种方式:热处理、酸处理、热-酸处理。结果表明,热-酸处理阳极功率密度达到 1.37 W/m<sup>2</sup>,比未处理的高 34%,功率密度比只用酸处理的高 25%,比只用热处理的高 7%。X 射线光电子谱(XPS)分析显示热-酸处理后阳极的 N/C 明显增高,电化学阻抗法(EIS)分析表明,热-酸处理降低了欧姆内阻,产电性能显著提高。

### 3.5 对阴极的优化

Pt 是最广泛的高效催化剂,但价格昂贵,不适用于 MFC 的大规模应用。因此,研究者们开始关注非贵金属催化剂。最近 Liu 等<sup>[13]</sup>比较了以 Co/Fe/N 碳纳米管、Co/Fe/N 石墨、Pt/C 作为阴极催化剂 MFC 的产电效果。结果表明,Co/Fe/N 碳纳米管作为催化剂最大产电功率最高达到 751 mW/m<sup>2</sup>,是 Pt/C 催化剂的 1.5 倍,Co/Fe/N 碳纳米管作为催化剂具有应用前景,为 MFC 阴极的高效发展奠定了基础。

由于催化剂容易失效、需要经常替换、成本高等缺点,限制了微生物燃料电池的进一步发展。因此

研究者们致力于开发一种能够可持续发展的生物阴极微生物燃料电池。

崔康平等<sup>[14]</sup>采用不锈钢金属丝阳极构建了管状单室无质子交换膜空气阴极微生物燃料电池(MFC),比较了硝酸钾、硫酸钠、氯化铁作为电子受体对固体电极接受和传输电子影响作用,结果表明室内的电子受体的氧化还原电势越高,对接受和传输电子影响越大,固体电极接受电子的能力介于 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 之间,接近 Fe<sup>3+</sup>。

## 4 提高产电能力的其他途径

### 4.1 缓冲液

投加缓冲液的作用:一方面微生物活性得以增强,提高了产电能力;另一方面使溶液具有一定的离子强度,有利于传导所产生的电子,减小了极化效应。赵庆良等<sup>[15]</sup>在废水污泥中投加缓冲液,结果表明,MFC 输出电压和 TCOD 去除率(20.1%)要明显高于无缓冲液的情况。然而使用不同缓冲液,产电性能也不同。Nam 等<sup>[16]</sup>比较了 2-(N-吗啉代)乙磺酸(MES)、4-羟乙基哌嗪乙磺酸(HEPES)、哌嗪-N,N-双(2-乙磺酸)(PIPES)和磷酸盐缓冲液的产电效果,结果表明,当 pH = 7 时,PIPES 和磷酸盐缓冲液的产电性能最好;当 pH 与缓冲液的酸碱度相近时,缓冲能力最大,提高了电池功率密度。

### 4.2 底物种类

底物种类是影响 MFC 产能的重要因素之一。宋天顺等<sup>[17]</sup>以厌氧污泥作为初始接种体,考察了不同底物乙酸、乙醇、丁二酸、蔗糖、葡萄糖对电池性能的影响,其中,丁二酸的功率密度最小(0.235 W/m<sup>2</sup>),葡萄糖的功率密度最大(0.669 W/m<sup>2</sup>)。不同底物的电子传递速度不一致主要是由于混合菌对不同底物的利用能力存在差异。

## 5 MFC 最新研究方向

### 5.1 微生物电解池(MEC)

最近,一种新型的利用废水产氢技术——微生物电解池(MEC)受到了国内外学者的极大重视。MEC 制氢技术可以利用废弃生物质、高浓度有机废水为原料,不仅实现废物处理,而且能够高效产氢,与传统的制氢技术相比具有绿色、节能、环保的特点,符合可持续发展战略的要求<sup>[18]</sup>。Jeremiasse 等<sup>[19]</sup>构建了阳极和阴极都以微生物为催化剂的 MEC,在外加电源 0.5 V 条件下,电流密度达到 1.4 A/m<sup>2</sup>。Ye 等<sup>[20]</sup>构建了单室微生物电解池,研究

表明,外加电压高时产氢性能比外加电压低时的好。高外加电压可以缩短反应时间,阳极暴露于空气中至少 30 min 可以显著抑制甲烷的产生,增加氢气的产出。在 1.0 V 下电流密度为 5.7 A/m<sup>2</sup>,阴极氢回收和库仑效率分别为 63.4% 和 69.3%。氢浓度高的主要原因是电化学活性和微生物的活性高。

## 5.2 用于淡化盐水微生物脱盐池(MDC)

目前的海水淡化技术不仅需要高压,而且消耗大量的电能。研究者们改进了一种微生物燃料电池,这是一种能将海水或者盐水淡化,同时产生电能的装置。Cao 等<sup>[21]</sup>构建了以醋酸为底物,不同初始浓度的盐水(5、20、35 g/L)的 MDC,最大功率密度达到 2 W/m<sup>2</sup>,脱盐率达到 90%。

## 5.3 同时实现硝化和产电

谢珊等<sup>[22]</sup>在双室型微生物燃料电池的阴极室接种硝化菌,同时实现了硝化和产电 2 个过程。硝化过程产生的额外的质子有效地避免了阴极 pH 升高,并且充分利用曝气的溶解氧,运行稳定期间 MFC 的最大电流为 47 mA,最大功率密度为 45.50 W/m<sup>3</sup>。

## 5.4 自然光下可再生的 MFC

付乾等<sup>[23]</sup>利用碘离子(I<sup>-</sup>)可以在太阳光照条件下和氧气反应生成多碘离子的特性,以多碘离子(I<sup>3-</sup>)作为阴极电子受体,结果表明,多碘离子作阴极电子受体时 MFC 的产电效率要明显高于以铁氰酸钾为电子受体;并且在太阳光照条件下,多碘离子可以利用太阳能快速循环再生。

## 5.5 在环境污染治理研究中的应用

由于在资源化过程和环境污染降解中具有优越性,MFC 已经被广泛用于环境和污染物的治理:①脱氮、脱硫。You 等<sup>[24]</sup>在阴极室添加好氧活性污泥,并以氨氮为电子供体,不仅实现了 NH<sub>3</sub>-N 的去除,而且起到了一定的缓冲作用,降低了 MFC 的内阻,提高了产电性能。Zhao 等<sup>[25]</sup>构建的 MFC 中以硫酸盐还原菌(*desulfovibrio desulfuricans*)为催化剂,硫化物被氧化为元素硫沉淀于电极表面,最大输出功率密度为 5.1 W/m<sup>2</sup>,硫酸盐的去除率可达 99%。②有机污染物(偶氮类染料)降解。Liu 等<sup>[26]</sup>用 *Klebsiella pneumoniae* L17 催化阳极底物,阴极以偶氮染料为电子受体。研究表明在较低 pH 条件下,偶氮染料能够被有效地降解,还原速度为 0.298 mol/min,产电输出达到 0.035 W/m<sup>2</sup>。③Song 等<sup>[27]</sup>构建了单室微生物燃料电池(MFC),以苯二甲酸(TA)作为电子供体,菌株 PA-18 作为生物催化

剂。结果表明,化学需氧量从 500 mg/L 到 3 500 mg/L,最大功率密度达到 0.16 W/m<sup>2</sup>。这种新颖的技术为 PTA 废水处理回收电能提供了经济路线。

## 6 结语与展望

随着全球能源短缺及污染的日益严重,MFC 技术具有潜在的重要应用前景。由于输出功率密度太低,因此还需要在以下几个方面进一步研究,推动其商业化应用:

(1)加强产电微生物研究,利用基因工程、诱变等技术筛选能与电极有较强的电化学反应作用的产电菌,提高产电效果。

(2)优化电极材料,寻求利于微生物吸附的多孔疏松材料,通过预处理阳极材料提高微生物在电极表面的富集密度。

(3)进一步优化反应器的结构,减少欧姆内阻,以增大输出功率,与污水处理工艺耦联。

(4)研究可以替代 Pt 的廉价催化剂。要想使这一技术尽快走向商业化,需要充分发挥各学科的优势联合进行攻关。

MFC 具有广泛的应用开发前景,但是燃料电池输出功率低束缚了 MFC 发展,因此,解决 MFC 发展的瓶颈因素,应依托生物电化学、生物传感器、纳米材料、基因工程等技术。深入研究非贵金属催化剂、阴阳极材料的优化、质子交换膜的改善、微生物的筛选与培育、生物膜固化技术、MFC 结构的研究与开发,相信 MFC 在不久的将来必定得到更快的发展。

## 参考文献

- [1] Logan B E, Murano C, Scott K, *et al.* Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell [J]. *Water Res*, 2005, 39 (5): 942 - 952.
- [2] Rabaey K, Boon N, Siciliano S D, *et al.* Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer. *Appl Environ Microbiol*, 2004, 70(9): 5373 - 5382.
- [3] Yi H, Nevina K P, Kima B C, *et al.* Selection of a variant of *Geobacter sulfurreducens* with enhanced capacity for current production in microbial fuel cells [J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2009, 24(12): 3498 - 3503.
- [4] 李凤祥,周启星,李白崑,等.产电菌群及电子受体对微生物燃料电池性能的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(12): 3070 - 3074.
- [5] Zhang X Y, Cheng S A, Huang X, *et al.* Improved performance of single-chamber microbial fuel cells through control of membrane deformation [J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2010, 25(7): 1825 - 1828.
- [6] Rozendal R A, Hamelers H V M, Molenkamp R J, *et al.* Perform-

- ance of single chamber biocatalyzed electrolysis with different types of ion exchange membranes[J]. *Water Res*, 2007, 41(9): 1984 - 1994.
- [7] He Z, Minteer S D, Angenent L T. Electricity generation from artificial wastewater using an up flow microbial fuel cell[J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39(14): 5262 - 5267.
- [8] You S J, Zhao Q L, Zhang J, *et al.* Increased sustainable electricity generation in up-flow air cathode microbial fuel cells[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2008, 23(7): 1157 - 1160.
- [9] 梁鹏, 范明志, 曹效鑫, 等. 碳纳米管阳 MFC 产电特性的研究[J]. *环境学*, 2008, 29(8): 2356 - 2360.
- [10] Rosenbaum M, Zhao F, Schroder U, *et al.* Interfacing Electrocatalysis and Biocatalysis with Tungsten Carbide: a High-Performance, Noble-Metal-Free Microbial Fuel Cell *Chem Int Ed*, 2006, 45(40): 6658 - 6661.
- [11] Cheng S A, Logan B E. Ammonia treatment of carbon cloth anodes to enhance power generation of microbial fuel cells[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2007, 9(3): 492 - 496.
- [12] Feng Y J, Yang Q, Wang X, *et al.* Treatment of carbon fiber brush anodes for improving power generation in air-cathode microbial fuel cells[J]. *J Power Sources*, 2010, 195(7): 1841 - 1844.
- [13] Liu D, Zhou M, Liu C. Development of high performance of Co/Fe/N/CNT nanocatalyst for oxygen reduction in microbial fuel cells[J]. *Talanta*, 2010, 81(1/2): 444 - 448.
- [14] 崔康平, 金松. 微生物燃料电池阳极室内电子受体竞争的研究[J]. *环境科学研究*, 2010, 23(20): 90 - 93.
- [15] 赵庆良, 姜璐秋, 王琨, 等. 处理剩余污泥与同步产电的研究[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2010, 31(6): 780 - 785.
- [16] Nam J Y, Kim H W, Lim K H, *et al.* Variation of power generation at different buffer types and conductivities in single chamber microbial fuel cell[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2010, 25(5): 1155 - 1159.
- [17] 宋天顺, 叶晔捷, 徐源, 等. 直接微生物燃料电池的影响因素[J]. *化学工程*, 2009, 37(12): 51 - 55.
- [18] 王利勇, 陈英文, 沈树宝, 等. 废水同步生物处理与微生物电解池产氢的研究进展[J]. *现代化工*, 2010, 9(30): 31 - 35.
- [19] Jeremiasse A W, Hubertus V M Hamelers, Cees J N Buisman. Microbial electrolysis cell with a microbial biocathode[J]. *Bioelectrochemistry*, 2010, 78(1): 39 - 43.
- [20] Ye Y, Wang L, Chen Y, *et al.* High yield hydrogen production in a single-chamber membrane-less microbial electrolysis cell[J]. *Water Sci Technol*, 2010, 61(3): 721 - 727.
- [21] Cao X, Huang X, Liang P, *et al.* A New Method for Water Desalination Using Microbial Desalination Cells[J]. *Environ Sci Technol*, 2009, 43(18): 7148 - 7152.
- [22] 谢珊, 陈阳, 梁鹏, 等. 好氧生物阴极同时硝化和产电[J]. *环境科学*, 2010, 31(7): 1601 - 1606.
- [23] 付乾, 李俊, 朱恂, 等. 自然光照条件下可再生的 MFC 体系[J]. *技术科学*, 2010, 40(10): 1208 - 1213.
- [24] You S J, Ren N Q, Zhao Q L, *et al.* Improving phosphate buffer-free cathode performance of microbial fuel cell based on biological nitrification[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2009, 24(12): 3698 - 3701.
- [25] Zhao F, Rahunen N, Varcoe J R, *et al.* Activated carbon cloth as anode for sulfate removal in a microbial fuel cell[J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, 42(13): 4971 - 4976.
- [26] Liu L, Li F B, Feng C H, *et al.* Microbial fuel cell with an azo-dye-feeding cathode[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2009, 85(1): 175 - 183.
- [27] Song T S, Xu Y, Ye Y, *et al.* Electricity generation from terephthalic acid using a microbial fuel cell[J]. *Journal of chemical technology and biotechnology*, 2008, 84(3): 356 - 360. ■

## 沙特基础工业公司重点投资中石化聚碳酸酯合资公司， 并新建技术及创新中心，加速亚洲业务发展

2011年5月17日，沙特基础工业公司(SABIC)重申其不断拓展亚洲业务的承诺，宣布将在中国和印度投资建立2个技术与创新中心，以及1个生产聚碳酸酯的新项目。

沙特基础工业公司董事长萨乌德·本·萨那延·阿尔-萨乌德亲王殿下在广州表示：“这些新投资举措表明了沙特基础工业公司进一步拓展亚洲市场的决心，以及对客户、合作伙伴和员工的重视。除了投资项目，沙特基础工业公司还不断致力于优化资产、扩大亚洲地区办公网点，发掘机会，寻求新的合作伙伴关系。”萨乌德亲王殿下目前正在国内访问，与政府部门和私营机构领导进行一系列会见，并对沙特基础工业公司参与2011国际橡塑展给予支持。

亚太地区是沙特基础工业公司发展最快的区域，自1985年建立以来保持着两位数的高增长率。如今亚太地区已经成为沙特基础工业公司全球业务增长最强劲的引擎。

沙特基础工业公司副董事长兼首席执行官穆罕默德·阿尔-马迪在2011国际橡塑展期间举办的新闻发布会上表示：“我们在亚太地区的强劲表现表明了我们成为这一重要地区的首选石化供应商的决心。作为沙特基础工业公司发展计划的一部分，我们进行了一系列基础设施建设工作，包括覆盖13个主要市场的办公室、生产线和技术及创新机构，拥有2000多名员工。我们始终专注于帮助客户创造提升全球生活品质的产品。”(童志勇)