

# 电渗析中的膜污染及其控制方法研究进展

任洪艳<sup>1,2</sup>, 丛威<sup>1</sup>

(1. 中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室, 北京 100080;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**电渗析作为一种膜分离技术,因其不消耗药品、无废液产生已被广泛用于盐溶液脱盐及环境和生物技术工业领域,但膜污染始终是限制电渗析技术应用的主要因素。从引起电渗析过程中膜污染的物质、膜及料液性质、操作条件等方面分析了膜污染的成因和污染后果,并对电渗析过程中膜污染的分析方法及防治措施进行了较为详细的综述。

**关键词:**电渗析;膜污染;污染分析;污染防治

**中图分类号:**TQ028.8;X502

**文献标识码:**A

**文章编号:**0253-4320(2007)07-0028-05

## Recent advances in membranes fouling and its prevention in electro dialysis

REN Hong-yan<sup>1,2</sup>, CONG Wei<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Biochemical Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100080, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Electro dialysis (ED) as a membrane separation technique without chemical consumption or waste generation has been widely used mainly for desalination of saline solutions and emerges for application in environmental and biotechnological industries. But the main factor that limits its application is membranes fouling. The formation cause of membranes fouling and the fouling effects are analyzed from some aspects such as foulant, the characteristics of membranes and feed solution, operational conditions. The analysis methods and the measures against membranes fouling in electro dialysis are also reviewed in detail.

**Key words:** electro dialysis; membranes fouling; fouling analysis; fouling prevention

在直流电场作用下,离子透过选择性离子交换膜而迁移,从而使电解质离子自溶液中部分分离出来的过程称为电渗析(ED)<sup>[1]</sup>。它以电场作为主要推动力引起离子定向迁移,同时通过离子交换膜的选择性使离子从溶液中分离。其由于具有能耗低、操作简便、使用寿命长、无污染等优点,自 20 世纪 50 年代确立以来已广泛用于各种天然水淡化、海水浓缩制盐、废水处理、食品工业、医药工业以及化工产品精制等多个领域。随着电渗析过程理论研究的深入和离子交换膜制备技术的发展,电渗析技术已经广泛用于分离、纯化、回收多种有机酸(盐)<sup>[2-5]</sup>,尤其在发酵法生产有机酸的过程中显示出其优越性。但是,在电渗析应用过程中膜污染始终是需要关注的问题,这也在一定程度上限制了电渗析技术的进一步拓展。

离子交换膜是电渗析器的关键部件,它是一种由带有活性粒子交换基团的高分子材料制成的薄

膜。电渗析过程中往往由于原水预处理不当等原因造成膜的污染、中毒和老化,从而影响膜的使用寿命、电渗析器的正常运转和出水水质<sup>[6]</sup>。本文将从引起电渗析过程中膜污染的因素、膜污染的分析方法及其防治措施几个方面做一个简要介绍。

## 1 电渗析中膜污染的影响因素

### 1.1 膜性质

电渗析过程中膜污染程度和污染机理与膜的电学性质及物理性质有关,例如膜的电阻、亲水性、离子交换容量和 Z 电位<sup>[7]</sup>。对于亲/疏水性,一般而言,膜的分离体系均为水相体系,亲水性的膜表面与水形成氢键,使之处于有序结构,疏水溶质若要接近膜表面,必须打破这种有序结构,显然不易进行,所以膜面不易被污染;而疏水膜表面上的水无氢键作用,疏水溶质接近膜表面是个增熵自发过程,所以膜易被污染<sup>[8]</sup>。对于荷电性,离子交换膜带有可离解

收稿日期:2007-04-27

基金项目:中国科学院知识创新基金资助项目(KSCX2-YW-G-020)

作者简介:任洪艳(1979-),女,博士生;丛威(1969-),男,博士,研究员,博士生导师,研究方向为发酵清洁生产与光合反应工程,通讯联系人,

010-82627060, weicong@home.ipe.ac.cn。

基团,在水中可以离解出带有电荷的反离子,而在基膜上则留下固定基团,它与溶液中带电荷的大分子物质产生相互作用,膜面易吸附大分子物质而被污染。此外,膜面光滑则不易被污染。

## 1.2 料液成分

污染主要是由于料液中的污染物堆积于膜表面而引起的,从而恶化了膜性能,引起迁移量下降和电阻的增加。

### 1.2.1 有机物

一些有机离子具有低流动性,会渗透到膜的孔隙与膜连接,因而会限制其他离子穿过膜。膜污染后,会导致膜电阻增加,脱盐率和电流效率下降,电耗增加。

#### (1) 腐殖酸

据报道,阳离子交换膜带有负电荷的功能团,因此不容易被污染<sup>[9]</sup>,而阴离子交换膜对水中的带负电荷的胶体和有机物特别敏感。腐殖酸类物质是天然有机物的主要成分,腐殖酸是表面水中由于有机物的自然腐烂而产生的有机物的代表,被认为是膜处理天然水和许多污水过程中的主要污染物。在ED过程中,由于腐殖酸分子中的羧基和酚基带负电荷,在电场作用下向阴离子交换膜移动,又由于腐殖酸分子质量较大不能通过,因此在原子的空间排列影响及电荷相互作用下不渗透至膜内而堆积于膜表面,若腐殖酸的迁移和堆积于稀释液膜表面就会引起阴离子交换膜的污染<sup>[10]</sup>。

关于腐殖酸污染阴离子选择性膜的原因,Komgold等<sup>[11]</sup>阐述了另一种观点,其认为即使是膜表面发生极小限度的极化也会产生 $H^+$ ,就会有不溶性的酸性胶体沉积在稀释液膜表面,在阴离子交换膜侧形成复合膜,增加了阻力,进而产生了更多的 $H^+$ 。但污染的膜在无电流时经 $0.1\text{ mol/L}$ 氢氧化钠循环清洗 $2.5\text{ h}$ 几乎可完全再生。因而Komgold等认为,腐殖酸污染膜不是沉积在膜内而是堆积在膜表面。

Lee等<sup>[7]</sup>则根据Z-电位、电阻和亲水性对阴离子交换膜的污染进行定性。他们发现阴离子交换膜被腐殖酸污染后Z-电位会发生明显改变。这与先前的研究<sup>[12]</sup>发现的结果是一致的,即:腐殖酸堆积膜面影响阴离子交换膜阳离子活性基团的功能,进而减少对阴离子的吸附量,导致Z-电位减小。这些研究表明,通过控制膜表面电荷来减小污染物和阴离子交换膜间的静电作用,从而可减小ED过程中的膜污染。

#### (2) 表面活性剂

十二烷基磺酸(硫酸)盐是很多污水中都含有的污染物,其存在时会使膜特性显著下降。羧酸和阴离子表面活性剂例如十二烷基磺酸钠(SDBS)和十二烷基硫酸钠(SDS)是最常用于研究有机污染的物质。Lindstrand等<sup>[9]</sup>发现,ED膜污染受SDBS的浓度影响很敏感,因为SDBS浓度低时只有少量的十二烷基磺酸根(DBS)离子堵塞迁移通道,仅限制了少量的流动通道;而当SDBS浓度高时,就会由于DBS离子的流动慢而堵塞更多流动通道。因其在膜的矩阵中与离子交换功能位点发生静电作用,和膜内无荷区也可能存在疏水作用,因此表面活性剂污染膜是由于其渗透至膜的孔径内并停留于此,从而限制了其他离子的通过而引起的。

#### (3) 蛋白质

ED除用于水脱盐外,还用于乳清的脱盐和葡萄酒的稳定、蛋白质溶液的净化。在膜处理过程中研究人员早已发现蛋白质会污染膜。大多研究者也选择牛血清白蛋白(BSA)作为考察膜污染的模拟污染物。污染原因如图1<sup>[13]</sup>所示:带负电荷的BSA与阴离子交换膜表面的正电荷间因存在静电吸附和化学吸附作用而聚集于阴离子交换膜表面,形成了凝胶层。此外,Bazinet等<sup>[14]</sup>观察到在双极膜电酸化(BMEA)处理脱脂乳的过程中,为了中和电水解产生的 $OH^-$ ,当阳离子交换膜另一侧的溶液被强酸化(pH约为0.6)时,阳离子交换膜面也会有轻微的蛋白污染存在。

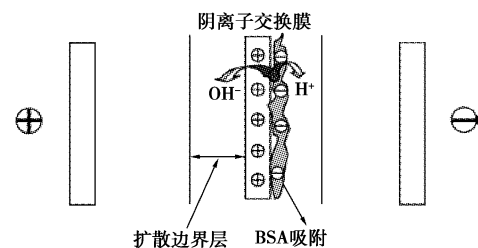


图1 BSA污染阴离子交换膜的可能机制及BSA堆积层的结构变化<sup>[13]</sup>

### 1.2.2 微生物

ED过程常用于回收或浓缩有机酸。目前有机酸生产主要由发酵法获得,为了减小ED膜污染及提高回收率,其中的发酵菌体要先经过预处理除去。如果净化不彻底,有微生物残留,微生物就会进入电渗析器,沉积在离子交换膜上,从而造成膜的污染。微生物还会在隔板空隙中生长繁殖,使膜电阻增加,水流不畅,严重时妨碍电渗析器的正常运行<sup>[6]</sup>。

### 1.2.3 离子

前面所述的大多是阴离子交换膜被污染,因其比阳离子交换膜易被有机物污染。但存在于天然食品和水中的多价金属离子和阴离子,如钙和碳酸盐却是阳离子交换膜的主要污染物<sup>[15]</sup>。这些离子进入电渗析器后能与膜上的活性基团发生反应,固定在膜上成为不可逆污染,从而造成膜“中毒”。另外,在 ED 对饮用水高度脱盐的过程中,Shaposhnik 等<sup>[16]</sup>观察到沉淀物会占据一定的膜表面,因此会增加实际的电流密度,进而会钝化阴离子交换膜。当料液水中的碳酸盐和钙离子的浓度分别为 2.3 mmol/L 和 1.43 mmol/L 时,即 pH 大于 7.38 时,碳酸钙即开始形成水垢,对膜的污染性增强。

此外在氯碱工业中,在膜面和膜内会形成氢氧化钙、氢氧化镁和碳酸钙沉积,进而造成阳离子交换膜的污染。

### 1.3 电渗析操作条件

在电渗析过程中,物料在浓、淡室流动时,离子交换膜和水之间存在一个滞流层。在直流电场的作用下,溶质离子发生定向迁移。当工作电流增加到一定程度时,主体溶液中的离子不能迅速补充到膜的表面,此时膜表面的离子浓度趋于零,引起滞流层中大量水分子的电离,并生成  $H^+$  和  $OH^-$  离子来负载电荷,此现象称为极化,而此时的电流密度也达到了一个极限值,即极限电流密度<sup>[17]</sup>。如果极化现象发生,将引起膜表面产生沉淀,膜电阻明显增大,电流效率、脱盐率也随之下降,产水量降低,并且缩短电渗析器的使用寿命。因此要严格控制操作电流密度,使整个电渗析过程控制在低于极限电流密度下运行。

此外,流量<sup>[18]</sup>和温度<sup>[6]</sup>对极限电流密度也有影响,因此实验时要综合考虑选择适宜的操作条件。

## 2 膜污染的防治方法

### 2.1 料液的预处理

由于电渗析器对进水有一定的要求,因此对于某些复杂料液必须采取有效的预处理,以达到膜组件进水的水质指标。预处理包括化学处理和物理处理,物理处理通常又包括预过滤和离心分离等。

Habova 等<sup>[19]</sup>在用电渗析从发酵液中分离乳酸前,对发酵液进行了超滤除菌、脱色、螯合剂除多价金属离子等预处理操作,以确保电渗析过程的正常运行。化学处理则包括调节料液 pH,使大分子或胶质污染物远离等电点,以减少凝胶层的形成;或加入

絮凝剂进行预絮凝、预过滤<sup>[20]</sup>;而二价离子,如  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  等通过在大分子链上架桥可以形成沉淀,所以人们经常通过离子交换以去除多价离子。化学过程还包括沉淀、聚集、絮凝,或用专门的化学药品抗污或杀菌。Otaki 等<sup>[21]</sup>通过对原水进行紫外照射,也可有效除去由有机微生物增长带来的膜污染。

### 2.2 操作过程的优化

控制操作电流低于极限电流密度,尽可能提高膜面流速也有利于减缓膜污染。适当加厚电渗析器隔板厚度,并向隔室内导入空气泡,借助空气泡的搅拌和清洗作用将污染物质冲出隔室,可防止膜面沉积<sup>[22]</sup>。

此外,电渗析器采用脉冲电流后,改变了膜两边的浓度变化规律,使沉淀不易产生,近几年对此法正在积极研究之中<sup>[21,23]</sup>。传统的直流电是由含有过滤和调整电路的整流器产生的,而脉冲电是通过一个二极管由交流电产生的,使电流仅在一个方向流动。在对含腐殖酸的氯化钠脱盐过程中, Lee 等<sup>[24]</sup>应用脉冲电流干扰阴离子交换膜表面的凝胶层,他们发现在方波电源的最适频率时可增加污染层内的带电荷颗粒的流动性并减小电渗析室内的电阻。但由于不同类型的阴离子交换膜具有不同的性能,如与污染物间的作用、交联度、膨胀性、离子交换能力、膜阻和离子迁移数等,使其最适作用脉冲频率也不同。且采用脉冲电流只能减少生成沉淀物的量,无法完全消除沉淀。

### 2.3 膜面修饰

膜污染后选择性下降(反离子迁移),电压降加速(膜表面电导减小)。因此已有很多关于评价膜抗污染的标准的研究,归纳一下主要有:①膜接触污染物后静态交换能力的改变;②膜选择性的降低;③膜电导的减小;④跨膜堆电压降的增大;⑤膜面电压降的加速。因此可通过膜表面修饰来增强膜的抗污染能力。Amara 等<sup>[25]</sup>通过电镀方法用聚乙烯亚胺来修饰阴离子交换膜,在不同的条件下从污水中分离和浓缩 3 种酸,结果提高了对阴离子的选择性。Sivaraman 等<sup>[26]</sup>用聚乙烯通过电化学方法来修饰阳离子交换膜,提高了对二价阳离子的选择性。Grebnyuk 等<sup>[27]</sup>研究了用大分子表面活性剂来修饰膜,并提出修饰阴离子交换膜较好的物质是带负电荷的高分子化合物,因为其带有与原基膜相反的电荷。另外,要求修饰物不应渗入膜内,且不降低膜的物化性能。修饰后形成的附着层的稳定性也很重要,其取决于修饰物与膜表面间的作用力。

在前面已经提到某些表面活性剂也能对膜造成污染,因此用于表面修饰的表面活性剂的种类、性质及用量应该有一定的要求。即对于修饰物的选择应满足以下几点<sup>[27]</sup>:实用且无毒;溶于水或其他溶剂,可把聚合电解质层附着在阴离子交换膜表面;电荷基团能与膜表面间产生静电作用;具有足够的电荷密度,以便能与大的有机阴离子产生静电排斥作用。

#### 2.4 膜清洗

尽管对料液进行了预处理,并尽可能地优化了操作系统及条件,膜污染现象仍会存在。所以污染膜的在线清洗是必需的。由于污染物多种多样,所以膜的清洗是一个复杂的操作过程,这说明污染膜上沉积物的特性,对于选择最经济和最有效的清洗

剂和清洗方案是十分重要的。

清洗剂的选择还与膜材料的性质有关。在选择清洗方案时应考虑以下因素:清洗设备的要求,膜的类型和清洗剂的相容性,系统的结构材料,污染物的鉴定,对使用过的清洗液的排放条件及由此造成的影响。

总之,污染膜的清洗方法很多,清洗剂的种类也很多,对于不同的污染膜应不断实验以寻找最佳清洗剂和清洗方法。可联合使用多种清洗剂和方法,但应注意多种药剂宜分批使用。清洗方法的选择对膜的寿命延长与应用推广至关重要。

综上所述,电渗析过程中的污染物及可能减小污染的方法可归纳为表1所示<sup>[24]</sup>。

表1 电渗析过程中常见污染物及减小污染的方法<sup>[24]</sup>

种类	描述	污染物	电荷性质	预防污染和清洗的方法
水垢	难溶性盐的沉淀	碳酸钙,一水硫酸钙,硫酸钡,硫酸锶,二氧化硅	非电荷	减小回收率,调节 pH,用柠檬酸或乙二胺四乙酸(EDTA)清洗
胶体	悬浮物在膜表面的凝聚	二氧化硅,氢氧化亚铁,氢氧化铝,氢氧化铬	负电荷	微滤或超滤预处理,提高流速,减小回收率,调节 pH
有机物	有机物附着于膜表面	高分子,蛋白质,乳清,聚合电解质,腐殖酸,十二烷基硫酸钠,藻酸盐	负电荷	微滤或超滤预处理,活性炭预处理,用氢氧化钠清洗

### 3 膜污染的分析方法

常用于膜污染物的分析方法有:SDS-凝胶电泳用于蛋白测定;质谱和气相色谱用于芳香化合物的测定;X射线衍射仪常用于无机污染物的分析;光电子显微镜<sup>[28]</sup>、扫描电镜常用于污染层结构研究;通过测定表面张力与接触电位可以表征膜与污染层的表面特性;电流-电压的关系和电阻抗图谱(EIS)的方法常用于考察 BSA 污染阴离子交换膜的现象<sup>[13]</sup>。

电容波谱已用于对无机污染定性和对其他表面的吸附定性<sup>[29]</sup>。电容作为污染追踪工具比测定直流电阻具有优势,因为电容对膜侧室内溶液的变化很不敏感。在 Watkins 等<sup>[30]</sup>的实验中发现,向无机溶液中添加有机污染物,待直流电阻增加了14%,电容值仍保持不变。另外电容受温度影响不大,在几摄氏度范围内不需温度校正,这对电容波谱法用于实验和工业应用研究中监测膜性能是非常有利的。此外,高效液相色谱也可用于污染物成分的分布测定。Zhu 等<sup>[31]</sup>曾用傅里叶变换红外光谱研究污染前后膜结构的变化,观察了膜、蛋白质及清洗剂间的相互作用。Nyström 等<sup>[32]</sup>采用流动电位法分析了膜污染和清洗。

总之,对膜污染物的分析有多种技术,研究膜污染的新方法也很多,但各有利弊,真正用于实践的很

有限,仍需不断探讨其确切的污染机理,针对具体的污染膜,需综合利用多种分析技术进行分析,以确保获得最准确的污染信息,并寻找适用于不同系统的防治方法,以优化膜的性能,提高膜的寿命。

### 4 结语

综上所述,做好电渗析过程中离子交换膜污染的防治工作需考虑多方面的因素:首先,要分析体系内易污染膜的物质,加强相应的预处理方式,并优化操作条件,改善膜面的流动状态;另外,从近几年的文献中可以看到,对于 ED 过程的膜污染,大多研究者还仅限于制作模拟体系,考察的影响因子相对也较单一,而对于复杂的料液体系及双极膜电渗析过程的膜污染的研究不多。笔者所在实验室就双极膜电渗析技术在发酵行业应用中的膜污染问题进行了研究,针对不同的处理料液及体系特点确定了污染原因及污染机理,通过加强预处理及优化操作条件,在一定程度上延缓了膜污染的发生,为电渗析技术的实际应用提供了依据。

随着膜制备技术的进步、防污染膜的开发及膜污染控制方法的不断完善,电渗析技术将在未来的各个应用领域占有重要位置。

#### 参考文献

[1] 时钧,袁泉,高从■.膜技术手册[M].北京:化学工业出版社,

- 2001:421-423.
- [2] Grib H, Belhocine D, Lounici H, *et al.* Desalting of phenylalanine solutions by electro dialysis with ion-exchange membranes[J]. *J Appl Electrochem*, 2000, 30:259-262.
- [3] Choi J H, Kim S H, Moon S H. Recovery of lactic acid from sodium lactate by ion substitution using ion-exchange membrane[J]. *Sep Purify Technol*, 2002, 28(1):69-79.
- [4] 李学梅, 刘茉娥. 发酵液中乳酸的电渗析法分离[J]. *高校化学工程学报*, 1998, 12(3):231-235.
- [5] Moresi M, Sappino F. Electrodialytic recovery of some fermentation products from model solutions: Techno-economic feasibility study[J]. *J Membr Sci*, 2000, 264(1/2):129-140.
- [6] 张根生, 周长发, 缪道英, 等. 电渗析水处理技术[M]. 北京: 科学出版社, 1981:127, 139, 173.
- [7] Lee H J, Choi J H, Cho J, *et al.* Characterization of anion exchange membranes fouled with humate during electro dialysis[J]. *J Membr Sci*, 2002, 203(1/2):115-126.
- [8] Malgorzata K K, Katarzyna M N, Tjomasz W. Analyse of membrane fouling in the treatment of water solutions containing humic acids and mineral salts[J]. *Desalination*, 1999, 126(1/2/3):179-189.
- [9] Lindstrand V, Sundström G, Jönsson A S. Fouling of electro dialysis membranes by organic substances[J]. *Desalination*, 2000, 128(1):91-102.
- [10] Park J S, Lee H J, Moon S H. Determination of an optimum frequency of square wave power for fouling mitigation in desalting electro dialysis in the presence of humate[J]. *Sep Purify Technol*, 2003, 30(2):101-112.
- [11] Korngold E, de Körösy F, Rahav R, *et al.* Fouling of anion selective membranes in electro dialysis[J]. *Desalination*, 1970, 8(2):195-220.
- [12] Audinos R. Fouling of ion-selective membranes during electro dialysis of grape must[J]. *J Membr Sci*, 1989, 41:115-126.
- [13] Park J S, Choi J H, Yeon K H, *et al.* An approach to fouling characterization of an ion-exchange membrane using current-voltage relation and electrical impedance spectroscopy[J]. *J Colloid Interface Sci*, 2006, 294(1):129-138.
- [14] Bazinet L, Montpetit D, Ippersiel D, *et al.* Neutralization of hydroxide generated during skim milk electroacidification and its effect on bipolar and cationic membrane integrity[J]. *J Membr Sci*, 2003, 216(1/2):229-239.
- [15] Laurent B, Monica A F. Electro dialysis of calcium and carbonate high concentration solutions and impact on composition in cations of membrane fouling[J]. *J Colloid Interface Sci*, 2005, 286(2):639-646.
- [16] Shaposhnik V A, Zubets N N, Strygina I P, *et al.* High demineralization of drinking water by electro dialysis without scaling on the membranes[J]. *Desalination*, 2002, 145(1/2/3):329-332.
- [17] 化学工业部人事教育司, 化学工业部教育培训中心. 电渗析[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997.
- [18] 凌开成, 赵瑞华, 张永奇, 等. 电渗析处理 L-谷氨酸废水[J]. *膜科学与技术*, 2002, 22(4):30-34.
- [19] Habova V, Melzoch K, Rychtera M, *et al.* Electro dialysis as a useful technique for lactic acid separation from a model solution and a fermentation broth[J]. *Desalination*, 2004, 163:361-372.
- [20] Shen J Y, Duan J R, Yu L X, *et al.* Desalination of glutamine fermentation broth by electro dialysis[J]. *Process Biochemistry*, 2006, 41:716-720.
- [21] Otaki M, Takizewa S, Ohgaki S. Control modeling of membrane fouling due to microorganism growth by UV pretreatment[J]. *Wat Sci Tech*, 1998, 138(4/5):405-412.
- [22] Cui Z F, Chang S, Fane A G. The use of gas bubbling to enhance membrane processes[J]. *J Membr Sci*, 2003, 221:1-35.
- [23] Lee H J, Oh S J, Moon S H. Recovery of ammonium sulfate from fermentation waste by electro dialysis[J]. *Water Res*, 2003, 37(5):1091-1099.
- [24] Lee H J, Moon S H, Tsai S P. Effects of pulsed electric fields on membrane fouling in electro dialysis of NaCl solution containing humate[J]. *Sep Purify Technol*, 2002, 27(2):89-95.
- [25] Amara M, Kerdjoudj H. A modified anion-exchange membrane applied to purification of effluent containing different anions: Pre-treatment before desalination[J]. *Desalination*, 2007, 206:205-209.
- [26] Sivaraman P, Chavan J G, Thakur A P, *et al.* Electrochemical modification of cation exchange membrane with polyaniline for improvement in permselectivity[J]. *Electrochimica Acta*, 2007, 52:5046-5052.
- [27] Grebenyuk V D, Chebotareva R D, Peters S, *et al.* Surface modification of anion-exchange electro dialysis membranes to enhance anti-fouling characteristics[J]. *Desalination*, 1998, 115(3):313-329.
- [28] David H, Uday T, Robert F, *et al.* Multiphoton microscopy: New insights into membrane fouling[J]. *Desalination*, 2006, 199(1/2/3):23-25.
- [29] Mullet M, Fievet P, Bouhallab S, *et al.* Study of the adsorption of a hydrophobic peptide onto carbon surfaces by capacitance measurements[J]. *J Membr Sci*, 1997, 128(2):243-254.
- [30] Watkins E J, Pfromm P H. Capacitance spectroscopy to characterize organic fouling of electro dialysis membranes[J]. *J Membr Sci*, 1999, 162(1/2):213-218.
- [31] Zhu H H, Nyström M. Cleaning results characterized by flux, streaming potential and FTIR measurements[J]. *Colloids Surf A: Physicochem Eng Aspects*, 1998, 138(2/3):309-321.
- [32] Nyström M, Zhu H H. Characterization of cleaning results using combined flux and streaming Potential methods[J]. *J Membr Sci*, 1997, 131:195-205. ■

### 《金融时报》与花旗私人银行邀请中国公司展示其改善环境的成效

《金融时报》与花旗私人银行日前再次呼吁中国公司参与新创立的《金融时报》/花旗私人银行环境奖。

该奖项是首个对全球各种规模的公司和企业的环境绩效进行评定的活动。在技术顾问 Trucost 公司的协助下, 评委们将根据销售量, 对各参赛公司在降低碳排放量方面的改进进行评定。世界自然基金会(WWF)首席执行官兼英国国家气象局(Met Office)董事会主席 Robert Napier 评论指出:“中国各类规模的公司都已经开始在经营中应对并适应气候变化, 同时满足有效削减碳排放量的要求。申请参加

评奖的公司将是那些在各自领域最先进的商业领袖。这些公司值得褒奖, 而且该环境奖也将是首个公开表彰这些公司在削减碳排放量方面所取得成就的奖项。我们呼吁中国公司自荐参与这个享有盛誉的评奖活动, 为自己在这方面所采取的措施赢得荣誉”。

环境奖分为 6 类: 削减碳排放量效率最高的大型企业, 分为 3 个地区奖: 欧洲、中东和非洲地区(EMEA), 亚太地区, 美洲地区。削减碳排放量效率最高的中小型企业, 同样分为 3 个地区奖。(李卫才)