

光生物反应器对工业锅炉烟道尾气中二氧化碳的利用

刘小澄¹, 刘永平²

(1. 暨南大学医学院, 广东 广州 510632; 2. 广州南沙资产经营有限公司, 广东 广州 511457)

摘要: 比较了工业化光生物反应器培养微藻的3种主要CO₂利用方式, 阐述了工业锅炉烟道尾气所含多种重金属元素会在藻液中形成重金属离子, 微藻在吸收CO₂的同时也吸附重金属离子的机理。指出当重金属离子在藻液中积累到一定浓度时会造成光生物反应器的微藻生长系统崩溃, 不能直接采用工业锅炉烟道尾气作为工业化封闭式光生物反应器培养微藻系统的碳源供给方式。

关键词: 微藻; 光生物反应器; CO₂; 生物柴油

中图分类号: TQ052; TQ033

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2010)07-0070-05

Recovery and utilization of CO₂ from industrial boiler flue gas by photobioreactor

LIU Xiao-cheng¹, LIU Yong-ping²

(1. Medical college, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

2. Guangzhou Nansha Assets Operation Co., Ltd., Guangzhou 511457, China)

Abstract: In this paper, three major ways for recovery and utilization of CO₂ with algae by using industrial photobioreactor are compared. Heavy metal ions would be formed in the algae liquid from the heavy metal elements which exist in industrial boiler flue exhaust gas, and the mechanism for simultaneous adsorption of both CO₂ and heavy metal ions is indicated. When the content consistency of heavy metal ions is too high, it will crash the growing system of algae, it can't directly use the industrial boiler flue exhaust gas to supply carbon source for algae growing system of the enclosed photobioreactor.

Key words: algae; photobioreactor; CO₂; biodiesel

微藻除以简单分裂方式进行繁殖, 细胞生长周期较短, 易于大规模培养, 只要阳光充足就可以进行大量繁殖的特性外, 还能大量吸收CO₂。以微藻为原料, 既可以生产可再生的生物燃料, 又可以吸收石化燃料所释放的CO₂。

微藻生物柴油作为一种可再生能源, 一方面可解决传统能源不足问题, 另一方面又可解决CO₂造成的环境压力问题。由于对CO₂等温室气体的控制, 已成为大气污染控制的新热点, 国外利用锅炉烟道尾气培养微藻的研究获得了较好的效果^[1-4], 被认为是一种最有希望、经济高效的新方法^[5]。

1 利用工业锅炉烟道尾气培养微藻研究进展

碳是微藻细胞的主要组成成分, 微藻生物质大约含有50%的碳^[6]。研究表明: 微藻吸收CO₂的多少, 是由微藻体内所含脂质、蛋白质和碳水化合物的密度所决定。碳大概占脂质总质量的75%, 占碳水

化合物总质量的40%, 而蛋白质的碳含量在这两者之间。

电厂、水泥厂等工业锅炉的烟道尾气是产生大量CO₂的主要排放源, 将烟道尾气中的CO₂进行回收作为微藻生长的主要原料, 即可以用再生能源解决日益短缺的能源问题, 又可大量消耗工业锅炉产生的CO₂, 实现减排目的。

美国GreenFuel公司用光生物反应器生产微藻, 碳含量占微藻干物质的50%~55%; 而CO₂的消耗量是干物质的1.9倍。GreenFuel公司根据试验结果认为, 建1个占地面积为100公顷的微藻生产系统, 每年消耗的CO₂超过52 000 t^[7]。美国LiveFuels公司开发的光生物反应器试验结果显示, 在白天阳光下反应器内的微藻可以捕获电厂排出废气中80%左右的CO₂^[8]。德国Phytolutions公司光生物反应器实验数据表明, 生产1 t微藻干物质需要吸收2 t的CO₂^[9]。荷兰AlgaeLink NV公司光生物反应器生产微藻的试验结果证明, 生产1 t微藻

收稿日期: 2010-01-27; 修回日期: 2010-05-28

作者简介: 刘小澄(1954-), 女, 大学, 副教授, 主要从事微生物和免疫学的教学和科研工作; 刘永平(1955-), 男, 大学, 高级经济师, 主要从事国际海藻生物柴油技术发展动态, gzhdlp@21cn.com。

干物质需 2.8 t 的 CO_2 [10]。

试验数据表明:由于微藻细胞物质成分和含量不同,对 CO_2 的吸收量也不同,微藻干物质含油量在 30% ~ 50% 时,生产 1 t 微藻生物柴油需要 5 ~ 7 t 的 CO_2 。

2 光生物反应器对烟道尾气中 CO_2 的利用

封闭式光生物反应器利用工业锅炉烟道尾气中 CO_2 培养微藻,主要有 3 种方式:

(1) 光生物反应器和藻液泡沫反应器组成循环系统,从电厂烟道引来的烟道尾气,被注入到 1 个由微藻和盐水组成悬浮液的泡沫反应器中,烟道尾气与悬浮液混合,将 CO_2 吸收到饱和。去除 CO_2 的尾气离开悬浮液,通过烟囱排放到空气中。在泡沫反应器内被吸收形成的饱和溶液 [7,9], 通过管道再注入反应器。微藻在反应器悬浮的藻液中吸收光合作用所需要的 CO_2 , 接触阳光快速生长,反应器内的藻液从反应器另一端排出,在泡沫反应器中再次吸收 CO_2 , 从而形成一个微藻生长所需要的循环系统,典型的系统有德国 Phytolutions 公司的反应器系统。

微藻干物质含油质量分数在 30% ~ 50% 时,反应器中微藻(干物质)密度每增加 1 g/L, 需要从藻液中获得 2 ~ 3 g/L 的 CO_2 , CO_2 在水中的溶解度仅为 1.45 g/L (25℃), 烟道尾气中 CO_2 的溶解速度取决于介质、压力、温度、气泡尺寸和在泡沫反应器中与藻液的接触时间 [11]。在泡沫反应器的温度和压力为固定值时,藻液对烟道尾气中 CO_2 的溶解度随藻液密度的不同,在一个基本固定的范围内波动。

管道式反应器采用饱和 CO_2 培养液为微藻提供碳源的方式,泡沫反应器中的藻液虽然会提高 CO_2 的溶解度,但输送到反应器藻液的 CO_2 浓度在管道中呈梯度减少,反应器管道远端藻液中 CO_2 浓度不能满足密度较高时微藻快速生长所需要的碳源条件。反应器对烟道尾气中 CO_2 利用效率,除受到泡沫反应器中 CO_2 的溶解度影响外,还受到反应器管道长度和藻液循环速度的限制,在单位时间内不能满足微藻密度较大,要快速提高微藻产量(每天收获多次)所需的碳源浓度,因此培养微藻的效率较低。

(2) 从电厂烟道引来的烟道尾气,从光生物反应器底部通过气体分布器被直接注入到倾斜式反应器中,藻液的循环是利用气升原理,通过反应器管道的升气管和下气管形成循环系统。注入的烟道尾气造成导流筒(或导流板)内流体密度比管外低,在静

压差和进入气体的动量作用下在藻液中形成 1 个高混流和高气体含量区域,使藻液携带气泡在反应器内形成循环流动,从而达到良好的气液混合。在下气管,混合藻液在通过气体分离器去除气泡后流回到底部,去除 CO_2 的尾气在反应器顶部通过气体排出装置排放到空气中,典型的系统有美国 GreenFuel 公司的反应器系统。

倾斜式反应器受倾斜角度的影响,管道的长度受到限制。常压下烟道尾气中 CO_2 体积分数仅为 10% ~ 15%, 烟道尾气直接输入反应器,气体滞留在藻液中的时间短,气体产生大量的气泡使 CO_2 的溶解效率大大降低。烟道尾气输入量过低,溶解的 CO_2 浓度不能满足微藻生长的需要。要提高藻液溶解 CO_2 的浓度,需要增大烟道尾气输入量,大量的烟道尾气进入反应器又会造成藻液沸腾,引起的湍流和剪切效应会损伤微藻细胞而影响生长效率 [12-14]。

上述 2 种系统的优点:不需要再投资昂贵的捕集和存储 CO_2 的装置,可以节省 CO_2 作为微藻生长最主要原料所花费的大量费用,生产微藻成本低。缺点:对烟道尾气中的 CO_2 利用率低,不能满足高密度培养微藻所需要的碳源条件,培养微藻的效率低;工业锅炉烟道尾气 CO_2 的含量受煤质和燃烧状况的影响很大,会造成藻液中 CO_2 的溶解度变化范围大且不稳定,在微藻培养过程中对藻液的碳源浓度控制困难。

(3) 光生物反应器和液泵组成循环系统,检测控制装置根据反应器内藻液在不同生长阶段对 CO_2 需要量的参数,自动控制纯 CO_2 气体的输入量。 CO_2 气体伴随藻液输入反应器管道内并形成微小气泡,在藻液流动过程中与微藻充分混合实现气体交换,有效补充微藻细胞光合作用消耗的 CO_2 , 典型的系统有荷兰 AlgaeLink 公司的反应器系统。

这种系统的优点:可以根据微藻在不同的密度下,对所需要的 CO_2 用量进行精确控制,使反应器藻液的碳源浓度可一直保持在最佳参数状态,满足微藻高密度培养对 CO_2 的需求,培养微藻的效率高。另外,应采用纯 CO_2 气体作为培养微藻的碳源供给方式,可以保证 CO_2 作为生产微藻最主要的原料质量的稳定性,使控制系统对 CO_2 变量参数的控制变为常量控制, CO_2 利用率高、控制容易。缺点:需要建设从工厂烟道尾气捕集和存储 CO_2 的装置或从其他地方获得所需要的 CO_2 原料供应, CO_2 原料成本高。

3 光生物反应器对 CO₂ 的质量要求

2007 年,新西兰梅西大学的 Yusuf Chisti 对年产 100 t 微藻生物质,分别采用开放式和封闭式反应器培养微藻,在 2 种生产方式消耗 CO₂ 相同的情况下,对生产微藻生物柴油的成本进行了比较^[15]。2009 年 3 月,加拿大 Alabi A O 等学者以封闭反应器为研究对象,对微藻的培养技术进行了研究,公布了对微藻生物柴油成本的研究报告^[16]。2009 年 6 月美国《生物燃料》月刊,根据生物燃料摘要报告和对 30 多家藻类生物燃料公司微藻生物柴油商业化研究的进展进行了评估,对这些企业生产能力和价格进行了预测分析。在这些研究报告和预测中,对微藻生物柴油成本的研究,都是基于直接利用锅炉烟道尾气,不考虑 CO₂ 成本的情况下进行的。

值得重视的是,电厂锅炉烟道尾气经电收尘和湿法脱硫后仍含有多种重金属成分(表 1,烟气流速 12.7 m/s,烟气流量 454 899 m³/h)^[17],许多藻类具有富集金属的能力,采用藻类吸附技术处理重金属废水的研究,国际上进行了大量研究工作^[18-22]。研究证明:各种微藻具有不同的、特殊的结合金属离子的性质^[23],微藻结合金属离子的能力取决于不同科和不同属的微藻,具有不同的细胞壁成分,使细胞壁上产生不同的金属吸附位点^[24]。

表 1 广州南沙梅山电厂 3[#]锅炉烟道尾气经电收尘和湿法脱硫后重金属含量检测数据

分析项目	质量浓度/ mg·m ⁻³	排放速率/ kg·h ⁻¹	分析项目	质量浓度/ mg·m ⁻³	排放速率/ kg·h ⁻¹
铁	0.0053	0.0024	铬	0.0026	0.0012
铜	0.0018	0.00083	镉	<0.0003	<0.0001
锌	0.0014	0.00065	硒	0.0066	0.0030
钙	0.16	0.071	铅	0.014	0.0066
镁	0.036	0.017	砷	0.21	0.097
镍	0.0023	0.0010	磷	0.15	0.068
硅	<0.002	<0.0007	钒	0.0072	0.0033
锰	0.015	0.0066	氟	3.21	1.46
钼	0.00061	0.00028	铝	11.1	5.04
铍	<0.0003	<0.0001	锗	<0.0003	<0.0001
锡	0.0039	0.0018	镓	0.0046	0.0021
钴	0.00035	0.00016	汞	<0.0004	<0.0002

关于重金属对水生植物毒性作用研究也多有报道^[25-26],微藻大量吸附的重金属会妨碍微藻生物活

性离子的正常运移,微藻就表现出毒性效应,并且吸附量越大毒性效应越强,且呈现明显的剂量效应关系^[27-28],浓度较高时,其生长受到明显抑制^[29-30]。不仅抑制细胞的生长,而且阻碍细胞内各种化合物的代谢过程,对微藻造成无可估量的损伤^[31],文献^[32]中提到 6 种常见重金属离子在不同浓度下对不同藻类的毒性效应。据文献数据可知,重金属对藻类的致毒效应主要表现在:影响藻类的生长代谢、抑制光合作用、减少细胞色素,导致细胞畸变。每 1 种微藻生物体对金属离子浓度都有 1 个灵敏度阈值,超过这一限值,利用微藻吸附重金属离子则是 1 个无效的过程^[33]。

工业化大规模培养微藻的反应器系统,需要长期连续稳定地生产微藻,每次微藻的收获量,通常为反应器内微藻质量的 20%~40%,从藻液中收获微藻后分离出来的藻液需要送回反应器循环使用。对 3[#]锅炉烟道尾气重金属含量检测数据表明,烟道尾气中 24 种重金属元素总质量浓度可达 0.015 g/m³。如果培养微藻所用 CO₂ 全部来自烟道尾气,藻液吸收的重金属总质量浓度已达 6.8 kg/h。

通过吸收烟道尾气获得饱和 CO₂ 培养液为微藻提供碳源的方式,烟道尾气所含多种重金属元素会在藻液中形成大量的重金属离子,虽然微藻在吸收 CO₂ 的同时也吸附藻液中的重金属离子,并随收获的微藻有一部分被带出反应器外,但是封闭式反应器培养微藻的特点,决定了藻液中溶解的重金属离子大部分会长期滞留在藻液中,并随时间推移藻液中重金属浓度不断增加,当重金属离子在藻液中积累到一定浓度时会造成反应器微藻生长系统崩溃。用工业化方式生产微藻,无论任何形式的封闭式光生物反应器,采用吸收工业锅炉烟道尾气获得富含 CO₂ 培养液的办法,即不能满足微藻高产的需要,又存在生长系统崩溃的风险。

用封闭式反应器生产微藻,应采用纯 CO₂ 气体作为培养微藻的碳源供给方式。这就需要建设从工厂烟道尾气捕集 CO₂ 的装置或从其他地方获得所需要的 CO₂ 原料供应,CO₂ 质量要达到 GB/T 6052—1993 或 GB 10621—2006 标准,以保证 CO₂ 作为生产微藻最主要的原料质量的稳定性,使控制系统对 CO₂ 变量参数的控制变为对常量的控制。

4 烟道尾气 CO₂ 捕集技术和成本

(1)我国从工业锅炉烟道尾气中捕集 CO₂ 的技术已非常成熟,技术方案主要有化学吸收法化、物理

吸收、物理吸附法和膜分离法。

化学吸收法是利用 CO₂ 的酸性特点,采用碱性溶液进行酸碱化学反应吸收,然后借助逆反应实现溶剂的再生。物理吸收法不像化学吸收法那样依靠强化学键对 CO₂ 进行捕集,避免了再生时需要投入巨大的能耗,这种技术更适合于具有高压和高 CO₂ 浓度的 IGCC 电站。物理吸附法有变压吸附法、变温吸附法等。变压吸附法是更适合于电厂捕碳的物理吸附技术,原理是利用气体组分在固体材料上吸附特性的差异以及吸附量随压力变化而变化的特性,通过周期性的压力变换过程实现气体的分离或提纯。膜分离法技术还处于发展阶段,但却是公认的在能耗降低和设备紧凑方面具有相当潜力的技术^[34]。

电厂因燃煤质量不同,常压下烟道尾气体中 CO₂ 含量较低(体积分数 10% ~ 15%),捕集 CO₂ 通常选择 MEA 化学吸附法。

(2) 采用纯 CO₂ 培养微藻,是影响微藻生物柴油成本最主要的因素之一。从电厂烟道尾气捕集 CO₂,由于 CO₂ 含量较低回收成本较高。在 CO₂ 的制造成本中,电和蒸汽价格占 CO₂ 生产成本的 75%。以广州地区工业用电平均电价 0.65 元/kWh,工业用蒸汽价格 180 元/t 计算,在电厂烟道尾气 CO₂ 体积分数为 15% 的条件下,CO₂ 生产成本约为 800 元/t 左右^[42]。生产 1 t 生物柴油需要 6.8 t CO₂(微藻含油率为 40%),生产成本约为 5 400 元。国内以酒精厂发酵尾气、化工厂排放富 CO₂ 尾气为原料制高纯度 CO₂ 的生产装置,可以利用本企业的工业废蒸汽,CO₂ 生产成本约为 450 元/t,由于 CO₂ 往往也是酒精厂和化肥厂的生产原料,因此生产微藻所需的 CO₂,应考虑主要从电厂和水泥厂的烟道尾气中收取。这就需要研发捕集 CO₂ 新的技术路线,降低电和蒸汽能耗,使微藻生物柴油在价格上具有市场竞争力。

5 结语

石油是不可再生能源,利用 CO₂ 和微藻生产生物柴油,是解决人类对能源不断增长的需求和对大规模 CO₂ 减排具有战略意义的一项研究。可以预见近几年内,工业化生产微藻生物柴油的研发工作将有重大突破,大规模工业化生产微藻生物柴油将成为可能。同时,CO₂ 作为微藻生物柴油产业最重要的原料将被大量使用。随着新兴微藻工业的建立和发展,利用微藻解决替代能源的比重将逐步增大,

将从工业废气捕集的 CO₂ 大部分用于微藻工业,是微藻生物柴油产业的发展方向。

采用光生物反应器和液泵组成循环系统的工业化微藻培养装置,可以满足微藻在不同密度生长条件下对 CO₂ 的需求。工业锅炉烟道尾气由于存在多种重金属元素成分,无论任何形式的封闭式光生物反应器,采用直接吸收工业锅炉烟道尾气获得富含 CO₂ 培养液的办法,即不能满足微藻高产的需要,又存在生长系统崩溃的风险。采用纯 CO₂ 可以满足高密度培养微藻对 CO₂ 的需求,CO₂ 利用率高、控制容易。

参考文献

- [1] Toshi O. A study for the biological CO₂ fixation and utilization system[J]. *The Science of The Total Environment*, 2001, 277(1/2/3): 21-25.
- [2] Keffer J E, Kleinheinz G T. Use of *Chlorella vulgaris* for mitigation in a photobioreactor[J]. *J Ind Microbio & Biotech*, 2002, 29(5): 275-280.
- [3] Chae S R, Hwang E J, Shin H S. Single cell protein production of *Euglena gracilis* and carbon dioxide fixation in an innovative photobioreactor[J]. *Bioresour Technol*, 2006, 97(2): 322-329.
- [4] Israel A, Gavrieli J, Glazer A, et al. Utilization of flue gas from a power plant for tank cultivation of the red seaweed *Gracilaria cornea* [J]. *Aquaculture*, 2005, 249(1/2/3/4): 311-316.
- [5] 岳丽宏, 陈宝智, 王黎, 等. 利用微藻固定烟道气中 CO₂ 的实验研究[J]. *应用生态学报*, 2002(2): 157.
- [6] 许海朋, 张晓东, 张杰, 等. 利用微藻生产生物柴油的研究进展[J]. *现代化工*, 2008, 28(10): 19.
- [7] Martin L M. GreenFuel Tech opens algae-growing greenhouse. *Green Tech*[EB/OL]. [2008-10-20]. <http://news.cnet.com/8301-11128-3-10070678-54.html>.
- [8] Kevin B. Algae-Based Fuels Set to Bloom. *Technology Review*[EB/OL]. [2006-02-05]. <http://www.cleanmpg.com/forums/showthread.php?t=3436>.
- [9] Rwe's algae project in Bergheim-niederaussem. RWE the energy to lead[EB/OL]. [2009-01-29]. <http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/247480/data/235578/32247/rwe-power-ag/media-center/lignite/blob.pdf>.
- [10] Paul H. In bloom: Growing algae for biofuel. *BBC News*[EB/OL]. [2008-10-09]. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/7661975.stm>.
- [11] InSoo Suh, Choul-Gyun Lee. Photobioreactor engineering: Design and performance[J]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2003, 8(6): 313-321.
- [12] Thomas W H, Vernet M, Gibson C H. Effects of small-scale turbulence on photosynthesis, pigmentation, cell vision, and cell size in the marine dinoflagellate *Gonyaulax polyedra* (Dinophyceae)[J]. *Journal of Phycology*, 1995, 31(1): 50-59.
- [13] Hondzo M, Lyn D. Quantified small-scale turbulence inhibits the

- growth of a green alga[J]. *Freshwater Biology*, 1999, 41(1): 51 - 61.
- [14] Sulivan J M, Swift E, Donaghy P L, *et al.* Small scale turbulence affects the vision rate and morphology of two red-tide dinoflagellates [J]. *Harmful Algae*, 2003(2): 183 - 199.
- [15] Chisti Y. Biodiesel from Microalgae [J]. *Biotechnology Advances*, 2007, 25(3): 294 - 306.
- [16] Alabi A O, Tampier M, Bibeau E. Microalgae technologies and processes for biofuels/bioenergy production in British Columbia- Current technology, suitability and barriers [R/OL]. [2009]. <http://www.globalbioenergy.org/bioenergyinfo/background/detail/en/news/10661/icode/>
- [17] 广州南沙梅山电厂3#锅炉(240 t/h)烟道尾气重金属含量检测数据检测报告[R]. 广州:中国广州分析测试中心, 2008.
- [18] Iman Y, Sherif El, Ashmawy A, *et al.* Biosorption of Cadmium and Nickel by Nile Water Algae [J]. *Journal of Applied Sciences Research*, 2008, 4(4): 391 - 396.
- [19] Torres E, Herrero C, Abalde J, *et al.* Removal of cadmium ions by the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin accumulation and long-term kinetics of uptake [J]. *Bioresource technology*, 1998, 63(3): 13 - 220.
- [20] Tien C J. Biosorption of metal ions by freshwater algae with different surface characteristics [J]. *Procee Biochemistry*, 2002, 38(4): 605 - 615.
- [21] Murphy V, Hughes H, McLoughlin P. Cu(II) binding by dried biomass of red, green and brown macroalgae [J]. *Water research*, 2007, 41(4): 731 - 740.
- [22] Davis TA, Volesky B, Muccib A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae [J]. *Water Research*, 2003, 37(18): 4311 - 4330.
- [23] 孔庆霞, 于金海. 生物吸附水体重金属研究进展 [J]. *中国水产*, 2005(5): 78.
- [24] 朱雪强, 韩宝平. 重金属生物吸附研究进展 [J]. *中国环保产业*, 2004(5): 19.
- [25] Isnard P, Flammarion P, Roman G, *et al.* Statistical analysis of regulatory ecotoxicity tests [J]. *Chemosphere*, 2001, 45(4/5): 659 - 669.
- [26] Sandau E, Sandau P, Pulz O. Heavy metal sorption by microalgae [J]. *Engineering in Life Sciences*, 2004, 16(4): 227 - 235.
- [27] 王丽平, 郑丙辉, 孟伟. 重金属 Cu 对两种海洋微藻的毒性效应 [J]. *海洋环境科学*, 2007, 26(1): 9.
- [28] Ratkevicius N, Correa J A, Moenne A. Copper accumulation, synthesis of ascorbate and activation of ascorbate peroxidase in *Enteromorpha compressa* (L.) Grev. (Chlorophyta) from heavy metal-enriched environments in northern Chile [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2003, 26(10): 1599 - 1608.
- [29] 王长友, 王修林, 孙百晔, 等. Cu、Pb、Zn 和 Cd 对东海原甲藻的生态毒性效应 [J]. *中国环境科学*, 2008, 28(3): 264 - 265.
- [30] 阎春兰, 丁华堆. 镉对集胞藻 PCC6803 生长的影响 [J]. *中南民族大学学报: 自然科学版*, 2008, 27(4): 34 - 36.
- [31] 张健民, 朱启忠, 张小葵, 等. 汞毒害对塔胞藻生长和生理特性影响的研究 [J]. *聊城大学学报: 自然科学版*, 2004, 17(1): 43.
- [32] 邱昌恩. 六种常见重金属对藻类的毒性效应概述 [J]. *重庆医科大学学报*, 2006, 31(5): 776 - 779.
- [33] Gadd G. Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms, *experientia* [J]. 1990, 46(8): 834 - 840.
- [34] 黄斌, 刘练波. 燃煤电站 CO₂ 捕集与处理技术的现状与发展 [J]. *电力设备*, 2008, 9(5): 3 - 4. ■

饮用水除砷技术

对所有生命而言,水是最为重要的物质。德国特殊化学品集团朗盛公司开展“2010 水年”为主题的活动,提供完备的方法与专用技术,强调水的至关重要。作为活动之一,朗盛公司的专家出席于 2010 年 5 月 17—21 日在中国台湾台南召开的第三届“环境中的砷”的会议。

朗盛公司离子交换树脂(ION)业务部技术与化学净化经理 Stefan Neumann 博士在为大会所做的报告中,展示朗盛公司使用复合吸附剂处理饮用水的最新研究成果。以塑料为载体的 Lewatit FO36 级复合吸附剂,经过特殊的纳米尺寸氧化铁改性,达到高效并选择性地除砷。砷酸盐和亚砷酸盐离子通过一个共价键与氧化铁表面结合后被去除。该产品于 2008 年开发成功,2009 年参与开发的专家被授予朗盛生态类创新奖。朗盛公司是世界领先的离子交换树脂制造商之一,未来,尤其是在水处理方面,朗盛公司有望实现超过平均水平的增长。

“我们这次在台湾介绍了这种从含大量二氧化硅的水中去除砷的技术理念,之前人们对此认识很有限。”Neumann 如此解释当前的这一研究领域。实验室试验结果也表明,复合吸附剂可用来填充过滤器滤芯,以及用于软化水的标准滤芯,亦可用于家庭或便携式过滤设备的滤芯。单个仅含约 0.1 L 吸附剂的滤芯,可在 3 个月内用来处理 1 200 L 水。砷的含量即从大约 100 $\mu\text{g/L}$ 减少到低于 10 $\mu\text{g/L}$ 。

Lewatit FO36 使用范围广泛,经该产品处理后的饮用水达到世界卫生组织建议的饮用水砷含量最大允许值低于 10 $\mu\text{g/L}$ 的要求,并且已经在许多国家实现应用。在美国、智利、英国及其他国家的一些地方,由于天然矿物质导致地下水与地面水中砷含量较高,其次,在较小程度上,也可能由人为因素引起,如受到矿业和工业制造中的废水污染。砷对高等生物和人类是具有毒性的。在长期接触的情况下,容易造成皮肤病变及引起其他健康损害,并可能致癌,然而世界上还有数百万人仍然饮用着砷含量超过 50 $\mu\text{g/L}$ 的饮用水。

朗盛公司开发的复合吸附剂能有效地改善这些情况。该产品无尘、流动性好,具有标准晶粒尺寸与优异的机械稳定性,极佳地满足工业水处理的要求。在达到饱和和极限后,它可用碱液再生,从而使之能够反复使用,成为一种生态友好、成本节约型的处理方法。Lewatit FO36 目前在意大利和德国主要用于 3 种设施,从井水里除砷。处理过的水可作为饮用水供几千人安全饮用。

Lewatit FO36 研究发现与现场操作试验的综述刊登在一篇新文章中,该文章不久将在“全球砷问题:安全水生产的挑战”系列第二卷中发表,标题为“环境里的砷”。该多卷专题论文集中研究了“隐性毒药”砷,并调查了从食物链,特别是饮用水中除砷的适用方法。(童)