

GUANGZHOU ENVIRONMENTAL SCIENCES

Vol.24 No.3

# 广州环境科学

第二十四卷 第三期



广州市环境科学学会 主办

3  
2009

首届穗版内部资料优秀奖  
《中文科技期刊数据库》入编期刊  
《中国知识资源总库》入编期刊  
《华艺线上图书馆》入编期刊

## 《广州环境科学》编委会

(按姓氏笔画排序)

主任 傅家谟

副主任 甘海章 赖光赐

委员 王作新 刘攸弘 齐雨藻

朱锡海 陈成章 汪晋三

李萍萍 余国扬 吴政奇

吴乾钊 林锦河 骆世明

姚继业 曾凡棠 彭绍盛

主编 甘海章

栏目编辑 王仁宇 王良焱 尹伊伟

刘攸弘 李战隆 施性清

黄卓尔

责任编辑 熊晓琪 蔡梅茜

主管单位 广州市环境保护局

主办单位 广州市环境科学学会

编辑出版 《广州环境科学》编辑部

地址 广州市广卫路2号之一

广卫商务大厦1608室

邮政编码 510030

电 话 (020)83355374

E-mail: gzhjkx@126.com

印 刷 广州市财隆彩色印刷有限公司

广东省连续性内部资料出版物

登记证粤内登字A第10070号

内部资料 · 免费交流

## 目 次

### 水环境及污染防治

固定化藻类脱氮除磷效果研究 银玉容, 肖凯军, 马伟文, 等 (1)

炼油厂废渣碱水去除石油类和硫化物的试验研究 任少梅 (4)

壳聚糖处理含  $Pb^{2+}$  废水研究 彭青林 (8)

利用共基质代谢提高活性污泥法处理焦化废水 COD 的效率 景 雪 (11)

高压脉冲放电技术对地表水消毒杀菌的应用研究 杨胜凡, 梁建军, 常向东, 等 (15)

### 大气环境及污染防治

湿式脱硫塔除雾器冲洗喷嘴冲洗流量研究 吕留根, 黄 蕾, 杨 柳, 等 (19)

### 固体废物及处理

广东省危险废物管理现状及防治对策 许冠英, 周少奇, 许振成 (22)

危险废物处置场废水处理的方案设计 郝海松 (29)

电子废弃物回收处理技术现状 韩增玉, 张德华, 王晋虎, 等 (31)

### 环境管理与监理

ISO14001 与高校环保型校园建设初探 谢云成 (35)

### 环境评价

层次分析法与模糊综合评价法在城市生态系统健康评价中的应用 李艳利, 李东艳, 李艳粉 (39)

### 环境信息与计算机技术

Excel Link 在环境噪声监测数据处理中的应用 韩 波, 孙瑞林, 韩 坤 (45)

### 动态信息与简讯

广州市2年将投入24亿治理大气(18) 广佛2市全力治污水环境综合整治成效明显(28)

### 封面摄影

广东科学中心鸟瞰 肖新明

## 固定化藻类脱氮除磷效果研究

银玉容<sup>1</sup> 肖凯军<sup>2</sup> 马伟文<sup>1</sup> 施召才<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510006; <sup>2</sup> 华南理工大学轻化工研究所, 广州 510640)

**摘要** 藻类固定在活性炭上用于去除人工配制污水中的氮、磷等污染物。试验结果表明藻类对氮、磷和浊度的去除率分别达到 50%、41.9% 和 98.2%, 氮、磷和浊度相应达到较好去除效果的时间分别为 12、60、60 h。

**关键词** 藻类 固定化 污水处理 脱氮除磷

水体的富营养化是越来越严峻的世界性环境问题之一, 是水体衰老的一种体现, 也是湖泊分类演化的一个指标。富营养化的水体是因为水中营养性物质主要是氮、磷等元素大量进入湖泊、河口、海湾等水体, 使藻类及其他浮游动物迅速繁殖, 造成水中溶解氧量下降, 水质恶化, 鱼类及其他生物大量死亡。随着我国工农业的发展, 大量营养物质倾入水体中, 使得富营养化短时间内出现, 对我国的经济建设已产生极大影响。对于氮、磷营养元素, 在我国目前废水的一、二级处理都很难去除, 如生活污水的 C/N 比为 5:1 左右, 污水经二级生化处理后, 碳的去除率虽可达 95% 以上, 而氮的去除率仅为 20%~30%<sup>[1]</sup>。

### 1 固定化藻类生物技术在污水处理中的应用

传统的脱氮除磷方法有多种, 如物理法、化学法、生物法等, 但存在去除效果不明显、成本高、易造成二次污染等问题。固定化藻类生物技术近年来引起了人们的重视。利用藻类处理污水始于 20 世纪 60 年代, 利用污水培养藻类既可以廉价高效地去除污水中的营养物质和有害金属等污染物质, 还可以产生大量的藻类, 这些生物量可以作为饲料、肥料或燃料等加以利用。采用固定化藻类细胞处理污水具有藻细胞密度高、反应速度快、去除效率高、藻细胞易于收获、净化后的水可再利用等优点, 是一项重要的生物工程技术, 在污水处理中有广阔的应用前景。

藻类固定化方法主要有: ① 吸附法。吸附法是

通过藻类在载体表面附着生长来固定藻类。丝状藻类具有较强的侵入集落能力, 适合吸附固定; ② 包埋法。包埋法将藻细胞包裹在胶体中, 胶体允许底物和产物扩散通过。一些合成物(聚丙烯酰胺、聚氨基甲酸乙酯、聚乙烯醇等)和天然聚合物(胶原蛋白、琼脂、纤维素、海藻酸盐、角叉菜胶等)被用作包埋基质; ③ 半渗透膜捕捉。半渗透膜可从主体溶液中分离保留藻细胞, 并固定在膜上, 同时允许可溶性底物通过。藻类固定中常用的半渗透膜是中空纤维, 该方法有望克服各种凝胶载体不稳定、易被分解的缺点。

与悬浮藻处理氮、磷元素相比, 固定化藻具有浓度高、微生物流失少、产物易分离、反应速度快、易培养和控制、运行可靠等优点。近年来有一些关于固定化的栅藻处理污水的研究报道, 如安晓雯等<sup>[2]</sup> 将藻细胞离心收获后制成直径为 4 mm 的固定化胶球处理人工合成污水, 在藻龄初期有不错的效果。马沛明等<sup>[3]</sup> 运用聚乙烯网固定武汉某造纸厂下游藻类培养, 露天下处理循环的人工合成污水。张恩栋等<sup>[4]</sup> 取排污口栅藻于室温下将浓缩藻液与 60 000 mg/L 的藻酸钠溶液等体积混合, 用自制模具将藻胶混合液涂于不锈钢筛网上, 处理人工污水。

### 2 固定化藻类脱氮除磷效果试验

本试验采用聚乙烯网和活性炭固定藻类处理人工合成污水, 研究固定化藻类对氮、磷的去除效果。

#### 2.1 材料和方法

### 2.1.1 人工污水的配制

按表 1 称取药品,配制成 20 L 人工污水。

表 1 人工污水配方 mg

药品名称	质量	药品名称	质量
NaNO <sub>3</sub>	7 500	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1 750
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	750	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	750
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	250	NaCl	250
EDTA	500	KOH	310
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	49.8	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	114.2
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	88.2	MnCl <sub>2</sub>	14.4
MoO <sub>3</sub>	7.1	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	15.7
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	4.9		

### 2.1.2 试验装置

本试验装置如图 1 所示。

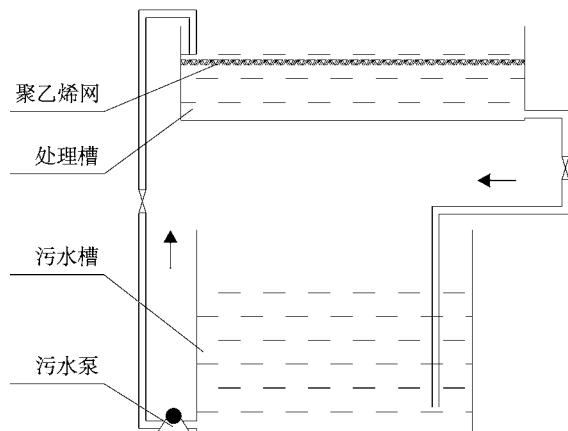


图 1 试验装置

### 2.1.3 藻类固定化试验

初期将一定量筛网(网孔尺寸 2 mm × 5 mm)置于湖中,作为藻类附着的载体。待 10 d 左右,从湖中取出筛网,将附着藻类的筛网放入桶中,并装入适量湖水,以防止藻类死亡。清洗网上黏附的其他杂质,将处理好的附着藻类的筛网放入人工污水中,并在网上均匀的播撒一层活性炭颗粒(直径 2.4 mm,长度 8~10 mm)后,露天培养,定期加入配置好的人工污水,以保证藻类有充足的营养生长。定时测定水的 pH 值与水温。若出现 pH 值变化,加入适量酸碱溶液调至中性。长时间的日照也会使水温偏高,故也需要适时将藻类移至阴凉处降温。

要适时将藻类移至阴凉处降温。

### 2.1.4 固定化藻类的脱氮除磷试验

待藻类培养结束即可开始进行去除氮、磷试验。将附着藻类的筛网以及均匀分布其上的活性炭放入试验装置的处理箱中,处理箱上方用了 4 盏 40 W 的白炽灯光照,循环通入处理污水。整个处理过程持续 72 h,每隔 2 h,取样测定水中的氮、磷以及浊度。

### 2.1.5 测定方法

总磷:过硫酸钾消解——钼酸铵分光光度法<sup>[5]246~248</sup>;

总氮:过硫酸钾氧化——紫外分光光度法<sup>[5]255~257</sup>;

浊度:HACH2100 浊度仪。

## 2.2 结果与讨论

### 2.2.1 藻类固定化

本试验过程共分为 2 个阶段,第一阶段为藻类的获得与培养,第二阶段为测定藻类去除污水中氮、磷等污染物能力的试验。

整个露天培养过程大约持续 10 d,筛网上的藻类由少量附着逐渐生长成为完全覆盖整个筛网。培养开始前藻类的附着量还很少,且没有开始繁殖,颜色为淡黄色;经过 5 d 培养后,可观察到藻类有明显的生长繁殖,颜色也开始变为绿色;经过 10 d 培养后,可观察到藻类生长旺盛,整个筛网上已全部附着上藻类,呈现出浓绿色。

### 2.2.2 固定化藻类去除浊度效果

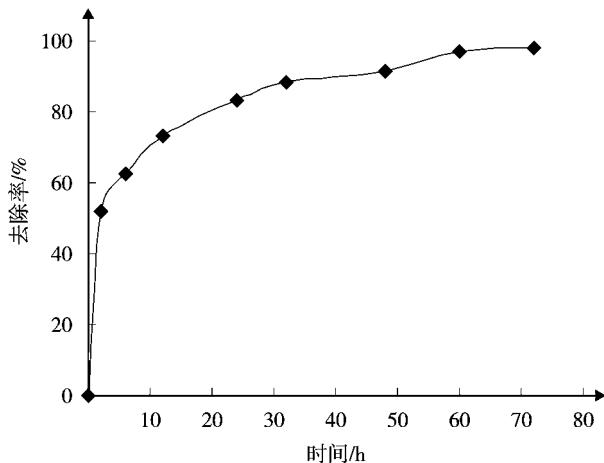


图 2 浊度去除率变化

由图 2 可知,经过 48 h 培养的藻类在初期生长旺盛,此时模拟污水的浊度也很高,故此时去除效果好,去除率高。以后由于藻类系统已吸附大量悬浮

物,藻类吸附悬浮物的能力降低,所以,浊度去除率趋于稳定。60 h 时浊度的去除率达到 98.2%,说明藻菌系统对去除水中的悬浮物的效果是相当好的。

### 2.2.3 固定化藻类去除总氮效果

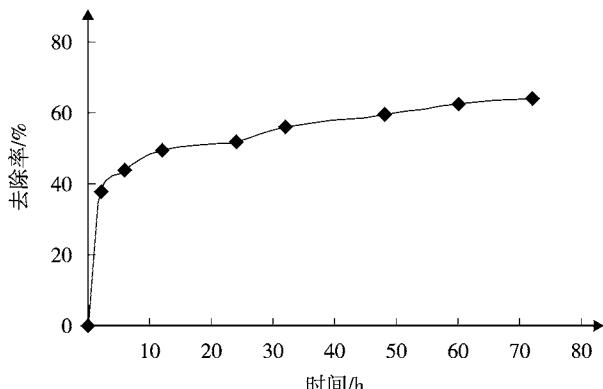


图 3 总氮去除率变化

从图 3 可以看出,总氮去除率在 12 h 时就达到 50% 左右,在往后的时间里去除率增加较少。这是因为:①活性炭的吸附作用,使藻菌系统一开始就吸附了较多的氮,以供藻菌系统利用;②可能藻菌系统中菌类生长不太好,使氮去除较差。

### 2.2.4 固定化藻类去除总磷效果

从图 4 可知,在藻类生长很旺盛时,去除率就会很高,曲线也相对较陡。故总磷去除率是和藻类的生长周期密切相关的,而不是像总氮在前期去除效率高,以后变化不大。60 h 时总磷的去除效率达 41.9%,说明固定化藻类对总磷有一定的处理效果。

## 2.3 结论

本研究采用固定化藻类与活性炭的联合工艺处

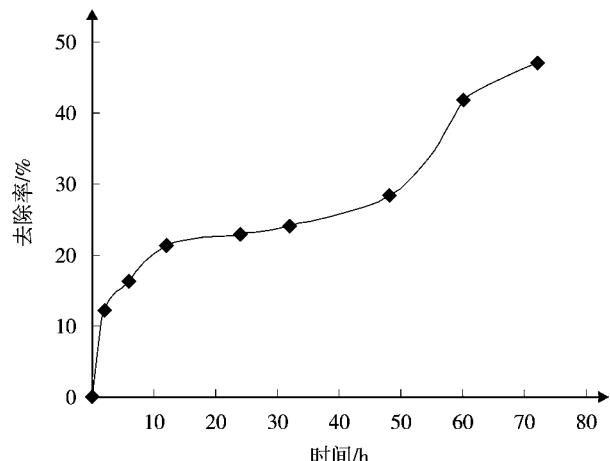


图 4 总磷去除率变化

理污水,通过 72 h 的循环工艺试验,藻类对总氮、总磷和浊度都具有较好的去除效果。在 60 h 期间,磷和浊度的去除效果都达到最佳。说明了藻类和活性炭在联合处理污水的过程中能够产生协同的作用。

## 3 参考文献

- [1] 王翠红,辛晓芸,徐建红,等. 固定化藻细胞去除氨氮的研究[J]. 河南科学,1999,(6):103-107.
- [2] 安晓雯,张恩栋,王起华. 固定化栅藻对市政污水中氮、磷营养盐的深度净化[J]. 中南民族大学学报,2006,(12):14-17.
- [3] 马沛明,况琪军,刘国祥,等. 底栖藻类对氮、磷去除效果研究[J]. 武汉植物学研究,2005,23(5):465-469.
- [4] 张恩栋,王冰,王起华,等. 固定化的栅藻深度脱氮和除磷能力[J]. 植物生理学通讯,2006,(12):1037-1040.
- [5] 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:243-257.

## Removal of Nitrogen and Phosphorus in Artificial Wastewater by Immobilized Algal on Granular Active Carbon

Yin Yurong Xiao Kaijun Ma Weiwen Shi Zhaocai

**Abstract** Algae was immobilized on granular active carbon and used for nitrogen, phosphorus and other pollutants removal from artificial wastewater. Experiment results show that the removal efficiency of nitrogen, phosphorus and turbidity by immobilized algae was 50.0%, 41.9% and 98.2% respectively, the time for maximum removal efficiency of nitrogen, phosphorus and turbidity was 12, 60 and 60 h respectively.

**Key words** algae immobilization wastewater treatment nitrogen and phosphorus removal

# 炼油厂废渣碱水去除石油类和硫化物的试验研究

任少梅

(广州市花都区环境监测站, 广州 510800)

**摘要** 通过试验研究, 在停留时间为 8 h 左右, 生物曝气滤池(BAF)工艺对碱水二级处理效率高, 碱水经过处理后, 石油类的平均去除率达到 89%, 硫化物的平均去除率达到 99%。研究结果表明, BAF 是一种高效的处理方法, 适合炼油厂碱水的净化治理。

**关键词** 碱水 生物曝气滤池 石油类 硫化物

炼油厂生产装置所排放的碱渣废水, 其 pH 值常达 11 以上, 一般称为碱水。该废水的排放量约占炼油厂污水处理量的 10%, 是石化行业中很难降解的废水, 其主要污染物为 COD、BOD<sub>5</sub>、石油类、酚、硫化物、氨氮等物质, 是原油炼制及加工过程中产生的, 具有水量大、浓度高、污染物种类多等特点。按照“清污分流, 污污分流, 分而治之”的原则, 对炼油厂碱水这一污染物浓度高且生化性差的污水进行必要的预处理, 提高其可生化性, 既可降低其污染程度, 又可避免它对污水生化系统的冲击, 确保污水处理系统的正常运行。

## 1 试验方法与装置

### 1.1 处理方法

该试验于 2007 年进行, 用于试验的生物曝气滤池(BAF)工艺位于广州市花都区的某炼油厂内, 该厂有一套较为完善的碱水处理设施。BAF 工艺是 20 世纪 90 年代初由法国 OTV 公司开发的污水处理新工艺<sup>[1]</sup>, 目前已在欧美和日本等发达国家广为流行,

该工艺具有有机物容积负荷高、水力负荷大、水力停留时间短、出水水质高, 因而所需占地面积小、基建投资少、能耗及运行成本低等优点, 它可广泛应用于城市污水、小区生活污水、食品加工、酿造等有机废水处理, 具有去除 SS、COD、BOD<sub>5</sub>、硝化与反硝化、脱氮除磷、除去 AOX(有机卤化物)的功能。

### 1.2 工艺流程

工艺流程见图 1。碱水进入中和池首先进行中和, 中和剂为 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。出水由水泵抽进一级生物反应器, 从一级生物反应器底部进入, 经过处理后从顶部排出, 设备中的填料为拉西环。排出的水从二级生物反应器底部进入, 经过处理后再从顶部排出, 设备中的填料为陶粒, 处理后的水再进入出水贮槽由管道排出。当废水进入设备上部, 并通过颗粒层下向流动时, 气泡释放氧。当介质层截留的悬浮固体增多、生物膜变厚, 介质层的水头损失随处理的进行而增加或是出现颗粒穿透时, 设备停止运行, 进行反冲洗清除滤料层中的过量污泥, 并使其排出反应器。

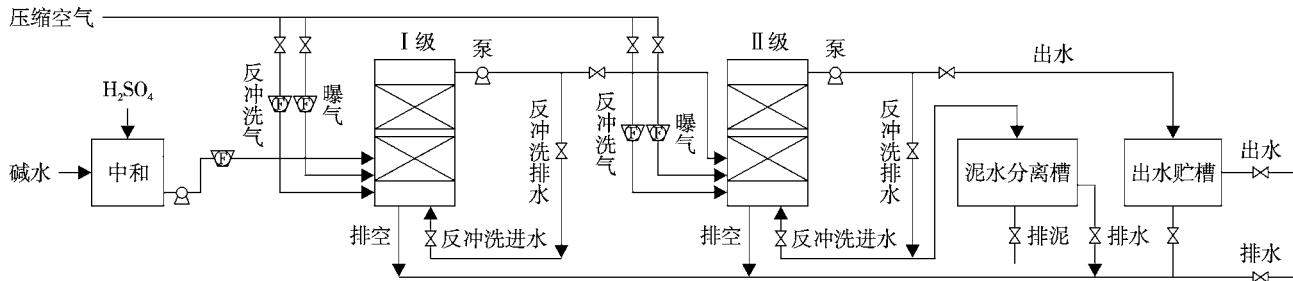


图 1 BAF 工艺流程

### 1.3 工艺原理

BAF 生物曝气滤池解决了生物膜法处理水溢流不够清澈的问题,该工艺包括生物膜和过滤,不需要二沉池。它是一种新型的高负荷浸没式固定生物膜三相反应器,集中了现有污水生化处理 2 类方法:活性污泥法和生物膜法各自的优点,并将生化反应和物理过滤(即生物降解去除  $BOD_5$  和固液分离去除 SS)2 种处理过程合并在同一个反应器中完成。

### 1.4 BAF 填料

该炼油厂的 BAF 工艺选用江西萍乡生产的轻质生物拉西环和陶粒作为生物曝气滤池的填料。这种环柱形的拉西环和球型的陶粒是用江西特殊的土质烧结而成,表面粗糙、微孔发达、比表面积大;具有吸附能力强、微生物容量大的优点。根据一、二级 BAF 反应器的功能和菌类不同,确定用于一级 BAF 反应器的拉西环的一些物理参数是:粒径为  $6\text{ mm} \times 6\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ (外径  $\times$  高度  $\times$  壁厚),真密度为  $2.5\sim 2.7\text{ g/cm}^3$ ,堆密度为  $0.75\sim 0.80\text{ g/cm}^3$ ,空隙率为  $70\%\sim 75\%$ ;用于二级 BAF 反应器的陶粒的一些物理参数是:粒径为  $4\text{ mm} \times 6\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ ,真密度为  $1.7\sim 1.9\text{ g/cm}^3$ ,堆密度为  $0.85\sim 0.95\text{ g/cm}^3$ ,空隙率为  $45\%\sim 50\%$ 。

### 1.5 微生物的培养和驯化

采用生活污泥进行微生物的培养和驯化,由于碱水系统在长期运行中其管线、塔器中都会产生少量的硫化菌,硫杆菌等微生物,而采用的生物陶粒的多孔表面又极易为这些微生物附着生长,所以在试验中对一级反应器没有人为地进行微生物的引种,利用碱水中原来的微量菌种即可。将碱水引入运行,生物膜基本培养完成,反应器即开始正常运行。经过 15 d 的培养,微生物驯化成功。同时,镜检发现:生物膜中的菌胶团结构良好,其中含大量的微生物<sup>[2]</sup>。也可现场肉眼观察培养和驯化的微生物,鉴别废水降解情况。

### 1.6 系统的反冲洗

反冲洗周期的长短主要和水力负荷、有机负荷有关,也受反冲洗强度和时间的影响,所以掌握适合的反冲洗强度和反冲洗时间相当重要。一级反应器和二级反应器的有机负荷高,污泥负荷大,反冲洗的周期较长。通过几个月的稳定运行,可得出一级

BAF 反应器和二级 BAF 反应器的反冲周期约为 3~5 d。实验中对一级及二级 BAF 反应器均采用气-水联合反冲,效果良好;一级 BAF 反应器反冲洗强度:气量为  $72\sim 96\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,水量为  $15\sim 20\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,冲洗时间约 5~10 min;二级 BAF 反应器反冲洗强度:气量为  $72\sim 96\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,水量为  $15\sim 20\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,冲洗时间约 5~10 min。

### 1.7 分析测定方法

2 项目的分析方法均采用国家标准分析方法<sup>[3]</sup>。

- 1) 石油类:紫外分光光度法;
- 2) 硫化物:碘量法。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 水质分析

本试验分为 3 个阶段进行,每个阶段运行时间为 2 个月。各阶段的进水水质如表 1。

表 1 碱水水质情况 mg/L

阶段	硫化物		石油类	
	范围	平均值	范围	平均值
第 1 阶段	837~968	908	113~149	131
第 2 阶段	979~1 266	1 083	81~157	125
第 3 阶段	663~2 672	1 544	107~140	130

碱水的污染物基本以溶解态和胶体态存于污水中,其中不少是难降解的物质。从表 1 可知,硫化物浓度很高,基本上都超出了正常范围,大多超过了  $1000\text{ mg/L}$ ,平均达  $1 178\text{ mg/L}$ ,最高可达  $2 672\text{ mg/L}$ ;石油类含量也较高,大多在  $100\text{ mg/L}$  以上,平均为  $129\text{ mg/L}$ 。

### 2.2 第 1 阶段试验结果与分析

进水流量  $0.5\text{ m}^3/\text{h}$ ,曝气量为  $36\text{ m}^3/\text{h}$ ,气水比为 72:1。

#### 2.2.1 对石油类的去除效果

BAF 对石油类的去除效果如表 2 所示。

从表 2 可知,在流量为  $0.5\text{ m}^3/\text{h}$  和水力停留时间为 16 h 的条件下,碱水石油类从进水浓度为  $130\text{ mg/L}$  左右降解到出水浓度为  $23.3\text{ mg/L}$  左右,石油类的去除率为 82% 左右,说明曝气生物滤池对碱水石油类去除效果显著。

表2 第1阶段试验 BAF对石油类的去除效果

监测序次	原水 mg/L	一级 mg/L	二级 mg/L	去除率 %
1	149	49.3	23.5	84.2
2	142	50.9	25.7	81.9
3	129	54.8	19.1	85.2
4	125	34.6	22.8	81.8
5	127	45.7	23.8	81.3
6	113	38.4	25.1	77.8
平均值	131	45.6	23.3	82.0

### 2.2.2 对硫化物的去除效果

BAF对硫化物的去除效果如表3所示。

表3 第1阶段试验 BAF对硫化物的去除效果

监测次数	原水 mg/L	一级 mg/L	二级 mg/L	去除率 %
1	968	13.2	6.40	99.3
2	953	5.70	4.25	99.6
3	926	5.40	3.40	99.6
4	884	15.6	4.42	99.5
5	880	5.00	4.80	99.5
6	837	15.5	5.65	99.3
平均值	908	10.1	5.00	99.5

从表3可知,碱水硫化物从进水浓度为910 mg/L左右降解到出水浓度为5.00 mg/L左右,硫化物的去除率为99.5%左右,说明曝气生物滤池对硫化物达到很好的去除效果。

### 2.3 第2阶段试验结果与分析

进水流量1.0 m<sup>3</sup>/h,曝气量为36 m<sup>3</sup>/h,气水比为36:1。

#### 2.3.1 对石油类的去除效果

BAF对石油类的去除效果如表4所示。

从表4可知,在流量为1.0 m<sup>3</sup>/h和水力停留时间为8 h的条件下,碱水中石油类从进水浓度为125 mg/L降解到出水浓度为7.0 mg/L左右,石油类的去除率为94.2%左右。虽然流量升高1倍,停留时间减少1/2,但由于此阶段在二级间歇式投加碱,调节系统pH值为7左右,驯化培养二级微生物,所以出水浓度相应降低,去除率提高,说明在生物曝

表4 第2阶段试验 BAF对石油类的去除效果

监测序次	原水 mg/L	一级 mg/L	二级 mg/L	去除率 %
1	157	42.0	6.73	95.7
2	146	29.3	6.73	95.4
3	137	38.2	7.17	94.8
4	135	42.7	7.43	94.5
5	96	31.2	7.05	92.7
6	81	30.6	6.50	92.0
平均值	125	35.7	6.94	94.2

气滤池二级注入碱对碱水中的石油类有很好的去除效果。

#### 2.3.2 对硫化物的去除效果

BAF对硫化物的去除效果如表5所示。

表5 第2阶段试验 BAF对硫化物的去除效果

监测序次	原水 mg/L	一级 mg/L	二级 mg/L	去除率 %
1	1 266	5.41	2.46	99.8
2	1 106	11.3	7.06	99.4
3	1 084	15.5	10.4	99.0
4	1 047	14.1	7.06	99.3
5	1 014	8.00	4.24	99.6
6	979	18.4	2.35	99.8
平均值	1 083	12.12	5.60	99.5

从表5可知,碱水中硫化物从进水浓度为1 080 mg/L左右降解到出水浓度为5.60 mg/L左右,硫化物的去除率为99.5%左右。此阶段出水浓度及去除率的值与前一阶段相差不大。

### 2.4 第3阶段试验结果与分析

进水流量1.5 m<sup>3</sup>/h,曝气量为36 m<sup>3</sup>/h,气水比为24:1。

#### 2.4.1 对石油类的去除效果

BAF对石油类的去除效果如表6所示。

从表6可知,在流量为1.5 m<sup>3</sup>/h和水力停留时间为5 h的条件下,碱水中石油类从进水浓度为123 mg/L左右降解到出水浓度为10.0 mg/L左右,石油类的去除率为92%左右。此阶段也在二级注入碱,调节系统pH值,驯化培养二级微生物。但由

表 6 第3阶段试验 BAF 对石油类的去除效果

监测序次	原水 mg/L	一级 mg/L	二级 mg/L	去除率 %
1	139	22.9	3.49	97.5
2	132	18.0	4.00	97.0
3	140	50.5	15.37	89.0
4	134	33.5	10.37	92.0
5	127	44.0	7.62	94.0
6	107	94.9	19.05	82.2
平均值	123	43.97	10.00	91.9

于流量比上一阶段增大  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , 停留时间减小 3 h, 所以出水浓度比前一阶段提高  $3.0 \text{ mg/L}$ , 去除率也降低 2 个百分点。

#### 2.4.2 对硫化物的去除效果

BAF 对硫化物的去除效果如表 7 所示。

从表 7 可知, 碱水中硫化物从进水浓度为  $1544 \text{ mg/L}$  左右降解到出水浓度为  $7.2 \text{ mg/L}$  左右, 硫

表 7 第3阶段试验 BAF 对硫化物的去除效果

监测序次	原水 mg/L	一级 mg/L	二级 mg/L	去除率 %
1	2 672	18.8	3.3	99.9
2	2 243	14.8	0.98	100
3	1 635	13.2	1.88	99.9
4	1 339	17.9	9.88	99.3
5	711	29.7	10.8	98.5
6	663	33.4	16.5	97.35
平均值	1 544	21.3	7.22	99.2

化物的去除率为 99.2% 左右。说明在此阶段二级注入碱, 对碱水中硫化物的降解效果与前一阶段相当。

### 3 结论

从以上 3 阶段运行结果分析可知, 当碱水流量逐渐增大, 停留时间逐渐减小, 碱水进水浓度相当时, 出水浓度会逐渐增大, 即去除效率下降。若流量及停留时间一定时, 在生物曝气滤池二级处理系统中注入一定量的碱, 调节系统的 pH 值, 驯化培养二级微生物, 石油类和硫化物的出水浓度会相应降低, 去除率也会相应提高。说明在二级系统中注入一定量的碱(间歇式投加), 调节 pH 值到适当的值(pH 值调节为 7 左右), 可使石油类和硫化物的降解达到较好的效果。通过实验数据分析, 获得最合适的工艺参数: 流量为  $1.0\sim1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , 停留时间为 5~8 h, 气水比为 24~36:1。

由于硫化菌和硫杆菌在好氧状况下具有极高的活性的特点, 形成高效的生物催化氧化床, 使碱水中的硫化物浓度得以大幅度降低, 其平均去除率达到了 99%。同时硫化物的大量去除也为其他微生物造成一个可生长繁衍的环境, 使得碱水中的酚、石油类及其他烃类污染物都得到降解。从实验结果中可以看到: 石油类的处理效果也很理想, 其平均去除率也达到 89%。通过预处理, 可以看见硫化物和石油类等污染物指标已经明显降低, 从而利于后续深化处理达标排放目的。

### 4 参考文献

- [1] Leglise J P, Gilles P Moreaud H. A New Development in the Biological Aerated Filter Bed Technology[M]. Las Vegas Nevada USA:[s.n.], 1980:15-17.
- [2] 钟华文, 张均正, 李晓明, 等. 二段 BAF 工艺处理炼油厂汽提废水的研究[J]. 工业水处理, 2004, 24(2):2.
- [3] 国家环保总局. 水和废水检测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002:491-495, 132-133.

## Study on the Petroleum & Sulphide Eliminate from Refinery Waste Residue and Alkaline Wastewater

Ren Shaomei

**Abstract** The experimental study found that the efficiency of secondary treatment of alkaline wastewater by means of BAF is relatively high when the residence time is about 8 hours. The average removal rate of petroleum and sulphide in alkaline wastewater had reached to 89%, 99% respectively after treatment. The results showed that BAF is an efficient and appropriate purification treatment measure of the alkaline wastewater from Refinery.

**Key words** alkaline wastewater biological aerated filter petroleum sulphide

# 壳聚糖处理含 $Pb^{2+}$ 废水研究\*

彭青林

(长沙理工大学化学与生物工程学院, 长沙 410076)

**摘要** 文章研究壳聚糖对  $Pb^{2+}$  的吸附特性, 改变壳聚糖分子量、壳聚糖用量、吸附时间以及体系 pH 值等不同的吸附条件, 考察壳聚糖对废水中  $Pb^{2+}$  的去除效果。用分子量为  $1.23 \times 10^5$  质量分数为 1% 的壳聚糖 0.8 mL, 吸附时间为 60 min, pH 值为 5.5~6.5, 温度为 25 ℃ 时, 对  $Pb^{2+}$  浓度为 100 mg/L 的  $Pb^{2+}$  去除率可达 99.5%。

**关键词** 壳聚糖 废水  $Pb^{2+}$

铅是有毒的重金属, 在人和动植物中具有蓄积稳定性, 进入人体后很难排除, 停留体内对人的中枢神经系统和骨骼造成伤害, 被列为控制排放的第一类污染物。目前国内外含铅废水的处理方法主要有中和沉淀法<sup>[1-2]</sup>、离子交换法<sup>[3]</sup>、吸附法<sup>[4-5]</sup>、絮凝法<sup>[6]</sup>、生物处理<sup>[7]</sup>、人工湿地<sup>[8-10]</sup>等。最常用的是中和沉淀法, 但铅是两性物质, 会随环境的 pH 值变化再度溶解, 若将该固体废物用填埋处理则增加了二次污染的风险。本文通过甲壳素改性制得不同分子量的壳聚糖, 研究不同条件下壳聚糖对  $Pb^{2+}$  吸附特性, 测试吸附产物的浸出性, 发现吸附产物稳定性好, 在很大程度避免了“二次污染”的危险, 为含铅废水的处理提供新思路。

## 1 实验部分

### 1.1 试剂与仪器

甲壳素: 上海圣宇化工有限公司生产;  $Pb^{2+}$  标准溶液按常规配置, 浓度为 1.0 mg/L; 缓冲溶液: HAC-NaAC (pH 值为 5.5~6.5); 实验中其他试剂均为分析纯。铅的测定<sup>[11]</sup>: 二甲酚橙分光光度法 (721 分光光度计)。酸度计: pH-3C 型, 上海雷磁; 磁力加热搅拌器: 江苏塘皇电子仪器厂 (81-1 型); 乌氏黏度计: 上海玻璃厂。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 壳聚糖的制备与分子量的测定

将甲壳素加热不同时间得到脱乙酰度不同的壳聚

糖<sup>[12]</sup>。称取该壳聚糖加入  $H_2O_2$  溶液, 50 ℃ 加热一定时间得不同分子量壳聚糖, 用乌氏黏度计测量分子量<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.2 模拟废水的实验

用  $Pb(NO_3)_2$  配制成含  $Pb^{2+}$  质量浓度为 100 mg/L 的模拟废水, 每次取 250 mL 装入 500 mL 锥形瓶实验, 用 10% 的 NaOH 和 (1+9) HCl 调节溶液 pH 值, 通过改变试验条件如吸附剂的用量、吸附时间、吸附温度和体系 pH 值, 找出壳聚糖去除  $Pb^{2+}$  的最佳条件。并通过浸出实验测  $Pb^{2+}$  浓度以比较沉淀物的稳定性。

## 2 实验结果及讨论

### 2.1 吸附实验

#### 2.1.1 不同分子量吸附剂对 $Pb^{2+}$ 的影响

按 1.2.2 配制实验废水, pH 值控制在 7.0, 恒温振荡器 (100 r/min) 温度调节为 25 ℃, 加入不同分子量壳聚糖各 0.5 mL, 经 24 h 吸附后不同分子量的壳聚糖对  $Pb^{2+}$  的吸附影响如图 1。

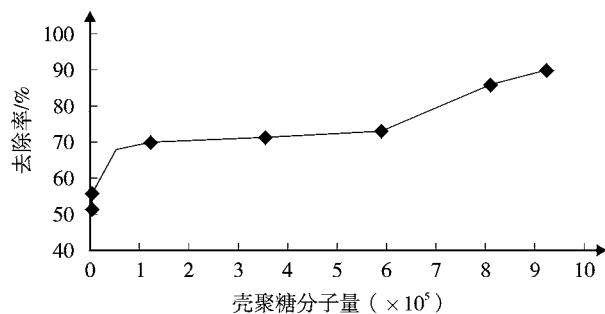


图 1 不同分子量壳聚糖对  $Pb^{2+}$  去除率的影响

注: \* 基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (07jj6019)

收稿日期: 2009-05-11

结果表明当分子量增大对  $Pb^{2+}$  的吸附影响不明显。其原因可由衍射图 2 可知, 分子量为  $0.07 \times 10^5$  时, 衍射峰最明锐, 说明此时分子结晶程度最高, 分子结构紧密有序, 导致金属离子很难被壳聚糖吸附, 吸附量稍微有所降低。

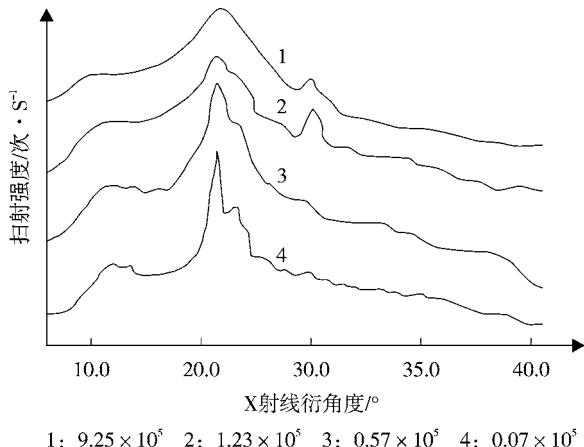


图 2 不同分子量壳聚糖的 X-射线衍射图

### 2.1.2 壳聚糖用量对 $Pb^{2+}$ 去除率的影响

取分子量为  $1.23 \times 10^5$  的壳聚糖作为实验用品(后面实验同此), 用  $0.1\text{ mol/L}$  的 HAC 溶解, 配成质量分数为 1% 的溶液, 按条件进行实验。实验结果如图 3。从图 3 可以看出当壳聚糖投加量小于  $0.8\text{ mL}$  时的去除率随着投加量的增大而增大, 但投加量超过  $0.8\text{ mL}$  后去除率增加不大, 所以选壳聚糖用量为  $0.8\text{ mL}$  作为后续实验用量。

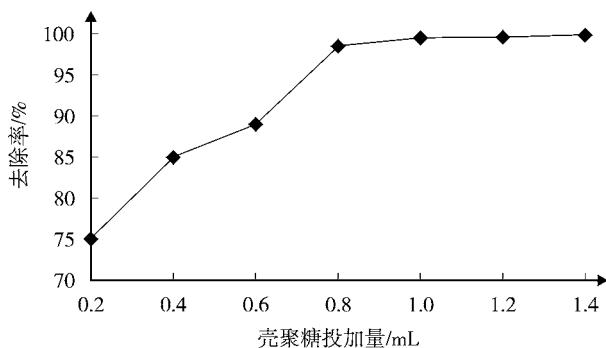


图 3 壳聚糖投加量对  $Pb^{2+}$  去除率的影响

### 2.1.3 废水 pH 值的影响

用  $10\%$  的  $NaOH$  和  $(1+9)HCl$  调节溶液  $pH$  值, 吸附  $24\text{ h}$  后结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 壳聚糖对  $Pb^{2+}$  的吸附量受溶液的  $pH$  值影响较大。随着溶液  $pH$  值的升高壳聚糖对  $Pb^{2+}$  的吸附量也增大, 当  $pH$  值 =  $5.8\sim 6.5$  有较高

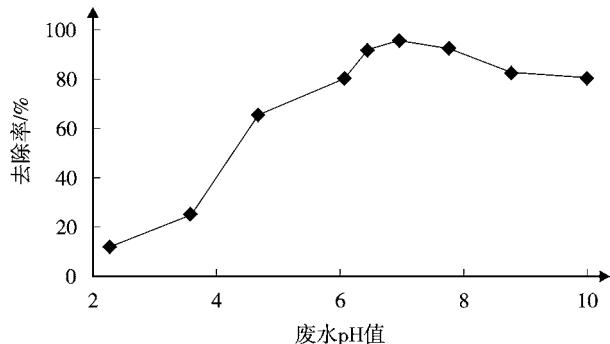


图 4 不同  $pH$  值对  $Pb^{2+}$  去除率的影响

去除率, 最大达到  $99.5\%$ ; 然后,  $pH$  值再升高时, 吸附量反而下降。这是因为  $Pb^{2+}$  和溶液中  $H^+$  对壳聚糖的吸附是相互竞争的。当溶液  $pH$  值低时, 氢离子浓度较高, 在与  $Pb^{2+}$  的竞争吸附中占优势<sup>[14]</sup>,  $H^+$  先与壳聚糖中  $-NH_2$  形成  $-NH_3^+$ , 使  $Pb^{2+}$  的吸附受到抑制; 当溶液  $pH$  值升高时, 氢离子浓度降低, 这时  $Pb^{2+}$  在吸附过程中占优势, 优先被壳聚糖吸附, 从而吸附量增加, 但溶液  $pH$  值超过一定值时,  $Pb^{2+}$  主要以  $Pb(OH)_2$  形式存在,  $Pb^{2+}$  浓度大幅度减少, 吸附量也随之减少。

### 2.1.4 吸附时间的影响

表 1 是  $Pb^{2+}$  浓度为  $100\text{ mg/L}$ , 壳聚糖投加量为  $0.8\text{ mL}$ ,  $pH$  值为  $6.2$ , 温度  $25\text{ °C}$  时, 吸附时间对  $Pb^{2+}$  吸附的影响。由表 1 可知, 随着吸附时间的增加,  $Pb^{2+}$  去除率有所提高, 在前  $60\text{ min}$  去除率增加较快, 随后增加不明显。这是因为随着吸附时间的增加, 壳聚糖上的  $-NH_2$  和  $-OH$  与  $Pb^{2+}$  全部形成了螯合物, 自由  $Pb^{2+}$  浓度变小, 壳聚糖对  $Pb^{2+}$  的吸附几乎达到饱和。考虑吸附效率, 选  $60\text{ min}$  为后续吸附时间。

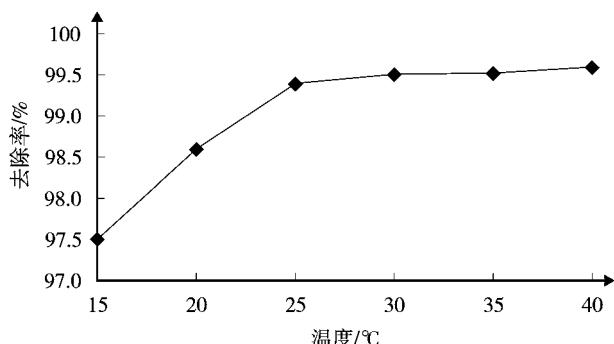
表 1 吸附时间对  $Pb^{2+}$  去除率的影响

吸附时间 /min	去除率 /%	吸附时间 /min	去除率 /%
20	76.5	80	99.28
40	89.2	100	99.37
60	99.1	120	99.5

### 2.1.5 反应温度对 $Pb^{2+}$ 去除率的影响

改变温度,  $Pb^{2+}$  浓度为  $100\text{ mg/L}$ , 壳聚糖投加量为  $0.8\text{ mL}$ ,  $pH$  值调为  $6.2$ , 反应时间为  $60\text{ min}$ , 考察温度对  $Pb^{2+}$  的去除率的影响。

由图 5 可知, 随着温度的升高,  $Pb^{2+}$  的去除率由  $97.5\%$  上升至  $99.5\%$ , 以后虽有缓慢提升, 但不明显。此现象说明由于温度的升高, 分子运动速度有所提高, 吸附率增加。但在过高温度条件下, 又有一定的

图5 温度对  $\text{Pb}^{2+}$  去除率的影响

解脱现象导致吸附率增加不明显。

## 2.2 $\text{Pb}^{2+}$ 浸出实验比较

将壳聚糖与  $\text{Pb}^{2+}$  在上述最佳实验条件下制得的产物及与加入  $\text{NaOH}$  制得的沉淀物于  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘干,称重,加入蒸馏水,液/固质量比控制为 50,调节 pH 值为 5.5~6.5,室温下搅拌 8 h,静置 16 h,过滤,用 721 分光光度计测定滤液中  $\text{Pb}^{2+}$  含量。结果 2 种沉淀  $\text{Pb}^{2+}$  的浸出量分别为 186.5 和 45 683 mg/kg,后者是前者的 245 倍。由此可见,用壳聚糖处理含  $\text{Pb}^{2+}$  沉淀物稳定且环境安全性高。主要是因为壳聚糖的  $-\text{NH}_2$  和  $-\text{OH}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  离子形成稳定的五环状螯合物<sup>[15]</sup>,使壳聚糖形成交联的高聚物很难解离出自由离子从而进入溶液。

## 3 结论

壳聚糖对  $\text{Pb}^{2+}$  具有很高的吸附性,但与其分子量大小无关,与溶液温度关系较小。

在本实验条件下,当分子量为  $1.23 \times 10^5$ 、质量分数为 1%、壳聚糖的用量为 0.8 mL,吸附时间为 60 min、温度为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、pH 值为 5.5~6.5 时,对  $\text{Pb}^{2+}$  浓度为 100 mg/L 的  $\text{Pb}^{2+}$  去除率可达到 99.5%。通过浸出实验比较,壳聚糖对  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附稳定性比普通的中和沉淀法好,是一种值得推广的方法。

## Experimental Study of Lead( II ) Removal from Wastewater by Chitosan

Peng Qinglin

**Abstract** A new product called "Chitosan" is used to removal lead( II ) from wastewater. The effects of the molecular weight and dosage of Chitosan, pH, adsorption time and temperature in different condition had been studied. The results showed that if the molecular weight, mass fraction of Chitosan is  $1.23 \times 10^5$  and 1%, when the dosage of Chitosan is 0.8 mL and the concentration of lead( II ) in wastewater is 100 mg/L, the optional pH range, time and temperature of adsorption is 5.5~6.5, 60 min and  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectively and the  $\text{Pb}^{2+}$  adsorption rate can nearly reach to 99.5%.

**Key words** chitosan wastewater lead( II )

## 4 参考文献

- [1] 李忠国,李金惠,段华波. 钡盐共沉法处理酸性含铅废水[J]. 环境工程学报,2007,(11):51~54.
- [2] 金焰,李敦顺,曹阳. 铁氧体沉淀法处理模拟含铅废水[J]. 化学与生物工程,2006,23(7):45~48.
- [3] Fethiye Gode, Erol Pehlivan. Removal of  $\text{Pb}^{( II )}$  from aqueous solution by two Lewatit-anion exchange resins[J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, B119: 185~192.
- [4] 王桂仙,张启伟. 改性竹炭对含铅废水吸附处理的效果研究[J]. 广东微量元素科学,2008,15(3):27~30.
- [5] Makhlof L, Saidani B, Hammache H. Removal of Lead Ions from Acidic Aqueous Solutions by Cementation on Iron [J]. Water Res, 2000, 12(6):38~42.
- [6] 许先国. 含铅废水絮凝处理的试验研究[J]. 能源环境保护,2008,22(2):19~21.
- [7] 王士龙,张虹,朱孔秀,等. 活性污泥处理含铅废水的试验研究[J]. 材料保护,2002,35(4):25~29.
- [8] Deng L P, Su Y Y, Su H, et al. Sorption and Desorption of Lead( II ) Form Wastewater by Green Algae *Cladophora fascicularis*[J]. Hazard. Mater., 2007, 143(12):220~225.
- [9] 周海兰. 人工湿地在重金属废水处理中的应用[J]. 环境科学与管理,2007,(9):34~37.
- [10] Sony Y, Fitch M, Burken J, et al. Lead and zinc reanoval by laboratory-scale constructed wetlanls[J]. Water Environment Research, 2001, 5 (2):47~54.
- [11] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:324~326.
- [12] Muzzarelli RAA. Chitin[M]. New York : Pergamon press, 1977:134.
- [13] 赵立明,全哲山,金海善,等. 壳聚糖粘均分子质量的测定[J]. 延边大学医学学报,2005,28(1):65.
- [14] 陈志华. 壳聚糖的改性及对活性染料和金属离子的吸附性能研究[D]. 福州:福建师范大学,2005.
- [15] 徐颖,张方. 重金属捕集剂处理含铅废水的试验研究[J]. 河海大学学报,2006,29(5):75~78.

# 利用共基质代谢提高活性污泥法处理焦化废水 COD 的效率

景雪

(广州市中绿环保有限公司, 广州 510530)

**摘要** 焦化废水中含有大量的有机污染物, 通过实验发现, 采用常规活性污泥法处理, 进水 COD 为 2 000 mg/L 左右时, 出水 COD 在 350~700 mg/L 之间, COD 的去除率仅为 60%~70%, 难以达到国家排放标准。根据共代谢机理, 向焦化废水生化处理系统中投加共代谢初级基质, 促进难降解有机物被微生物降解, 从而使 COD 的去除率提高到 75%~85%。

**关键词** 共基质代谢 焦化废水 初级基质 化学需氧量

焦化废水是难处理的工业废水, 主要是由于焦化废水中含有大量的难降解有机污染物, 例如吡啶、萘、蒽、吲哚等多环和杂环化合物<sup>[1][2]</sup>。这些有机污染物不能作为微生物的唯一碳源和能源, 必须有另外的化合物同时提供碳源或能源时, 有机物才能被降解。而这些有机物都属于生物难降解有机污染物, 即微生物分解速度慢、分解不彻底, 甚至不能直接分解利用的物质, 通过上述现象被生物利用称为共基质代谢<sup>[1][2]</sup>。本研究以焦化废水生化处理为工程背景, 向普通活性污泥系统中投加初级代谢基质, 研究焦化废水中有机物在共基质代谢作用下的去除效果, 为实际生产运行提供可靠依据。

## 1 试验设备及实验条件

### 1.1 试验设备和工艺流程

试验设备和工艺流程如图 1。

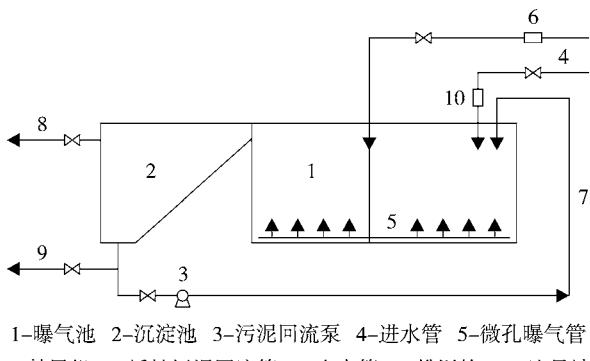


图 1 实验设备与工艺流程

本次试验设备废水处理量为 50 L/h, 气 / 液比 50:1, COD 检测取水量 300 mL。

### 1.2 废水水质及接种污泥

试验用水引自辽宁本钢焦化厂废水处理车间活性污泥二段曝气池进水, 该废水已经过蒸氨、隔油、气浮, 稀释等预处理, 各项水质指标如表 1。

表 1 焦化废水水质指标 mg/L (pH 值除外)

指 标	平均浓度	指 标	平均浓度
COD	1 840	焦 油	60
氨 氮	70	硫化物	50
挥发酚	350	pH 值	7.5
氰化物	20		

试验活性污泥取自该厂二沉池回流污泥, 活性污泥各项指标如表 2。

表 2 焦化废水处理系统中的活性污泥指标

活性污泥指数 mg/g	活性污泥灰分 %	活性污泥浓度 g/L
90.91~113.39	7.87~10.24	3.0~4.5

### 1.3 本实验选用的初级基质

1) 淀粉废水, 主要成分为可溶性淀粉, COD 平均浓度为 15 488 mg/L;

2) 玉米浆发酵液, 主要成分为多糖类物质, COD 平均浓度为 294 272 mg/L。

#### 1.4 水质分析方法

出水 COD 分析方法采用重铬酸钾法<sup>[2]</sup>。

### 2 实验过程及结果

#### 2.1 单一焦化废水生化处理效果

向实验设备中引入焦化废水,接种活性污泥,接种量为活性污泥 30 min 时,沉降比为 30%,控制温度为 28 ℃,pH 值为 7.5,补充磷酸二氢钾,调节鼓风量使曝气池中溶解氧在 2.0~4.0 mg/L,在 HRT 分别为 5、10、15、20、25 h 测混合出水 COD,出水 COD 随时间的变化,反应进行至 25 h 以后 COD 变化不大。处理结果如表 3,出水 COD 随时间变化如图 2 所示。

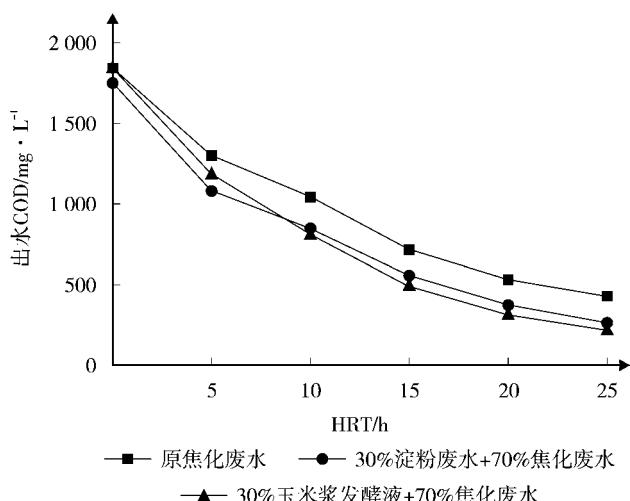


图 2 焦化废水在改良前后生化处理效果

表 3 在未经改良情况下焦化废水中 COD 的处理效果

时间 h	出水浓度 mg/L	去除率 %	时间 h	出水浓度 mg/L	去除率 %
0	1 840	—	15	720	60.87
5	1 299.84	29.36	20	528.48	71.28
10	1 043.15	43.31	25	445.46	75.79

#### 2.2 淀粉废水与焦化废水共代谢处理效果

加入淀粉废水,分别按照淀粉废水总 COD 占混合后废水总 COD 的 10%、20%、30%、40%、50% 的量投加,同时测定相同条件下各组相同浓度的淀粉废水 COD 随时间的变化。将所测得的混合废水 COD 减去淀粉废水的 COD 得到焦化废水的 COD 值,结果如表 4 所示,出水 COD 随时间变化如图 2 所示。

#### 2.3 玉米浆发酵液与焦化废水共代谢处理效果

加入玉米浆发酵液,分别按照玉米浆发酵液 COD 占混合后废水总 COD 的 10%、20%、30%、40%、50% 的量投加,同时测定相同条件下各组相同浓度的玉米浆发酵液 COD 随时间的变化值。将所测得的混合废水 COD 减去玉米浆发酵液的 COD 得到焦化废水的 COD 值,结果如表 5 所示,出水 COD 随时间变化如图 2 所示。

对于改良前单一焦化废水的处理效果可以用一级动力学方程拟合:  $C=1840e^{-0.0564t}$ ;  $r^2=0.9871$ , 样本决定系数接近于 1, 说明实验所得曲线与一级动力学方程拟合程度很好。

表 4 淀粉废水与焦化废水共同代谢处理 COD 效果

时间 h	10% 淀粉废水 +90% 焦化废水*		20% 淀粉废水 +80% 焦化废水		30% 淀粉废水 +70% 焦化废水		40% 淀粉废水 +60% 焦化废水		50% 淀粉废水 +50% 焦化废水	
	出水浓度 mg/L	去除率 %	出水浓度 mg/L	去除率 %	出水浓度 mg/L	去除率 %	出水浓度 mg/L	去除率 %	出水浓度 mg/L	去除率 %
0	1 816	—	1 786.9	—	1 750.85	—	1 704.97	—	1 645.5	—
5	1 171.45	35.49	1 143.67	36.00	1 075.99	38.54	1 118.79	34.38	1 080.31	34.35
10	1 019.43	43.86	939.17	47.44	848.1	51.56	972.63	42.95	936.36	43.10
15	657.21	63.81	620.79	65.26	549.5	68.62	632.7	62.89	626.41	61.93
20	468.25	74.22	436.16	75.59	371.67	78.77	441.42	74.11	419.89	74.48
25	372.41	79.49	328.98	81.59	267.74	84.71	361.4	78.80	354.25	78.47

注: \* 按 COD 的含量计,以下同。

表 5 玉米浆发酵液与焦化废水共同代谢处理 COD 效果

时间 h	10%玉米浆发酵液 +90%焦化废水		20%玉米浆发酵液 +80%焦化废水		30%玉米浆发酵液 +70%焦化废水		40%玉米浆发酵液 +60%焦化废水		50%玉米浆发酵液 +50%焦化废水	
	出水浓度 mg/L	去除率 %								
	1 839.6	—	1 837.1	—	1 835.05	—	1 832.37	—	1 828.57	—
5	1 196.84	34.94	1 189.51	35.25	1 181.59	35.61	1 298.326	29.15	1 295.46	29.15
10	987.33	46.33	871.31	52.57	804.32	56.17	1 024.21	44.10	995.75	45.54
15	639.06	65.26	550.04	70.06	487.85	73.41	689.57	62.37	675.2	63.07
20	454.86	75.27	372.41	79.73	317.35	82.71	498.24	72.81	472.15	74.18
25	347.23	81.12	269.08	85.35	220.74	87.97	385.7	78.95	395.21	78.39

### 3 实验结果分析

当 HRT 为 25 h 时, 单一焦化废水的 COD 去除率为 75.79%; 通过加入初级基质共代谢后, 焦化废水 COD 去除率有所提高, 具体如表 6 所示。

表 6 HRT 为 25 h 时 COD 去除率比较结果

淀粉废水 / 玉米 浆发酵液投加量	加入淀粉废水后		加入玉米浆发酵液后	
	去除率 / %	增加百分点	去除率 / %	增加百分点
加入 10% (COD)	79.49	3.7	81.12	5.33
加入 20% (COD)	81.59	5.8	85.35	9.56
加入 30% (COD)	84.71	8.92	87.97	12.18
加入 40% (COD)	78.80	3.01	78.95	3.16
加入 50% (COD)	78.47	2.68	78.39	2.6

由表 6 的对比结果可知, 当投加淀粉废水或玉米浆发酵液后, 作为初级代谢基质, 补充了 C 源, 促进微生物的生长代谢, 提高了活性污泥活性, 促使焦化废水中原来不能降解的化合物被微生物利用, 提高了焦化废水 COD 的去除率。

由图 2 的 COD 随时间变化曲线分析得出: 在反应进行的最初 0~5 h 内, COD 的去除比较迅速, 而在 5~10 h 内 COD 的去除变慢, 在曲线上出现平缓阶

段, 10~15 h 内 COD 的去除又变快, 在 15~25 h 的时间段反应再次变慢, 这是由于在最初的 5 h 内, 微生物主要利用焦化废水中易降解的部分物质, 包括苯酚、甲基苯酚、二甲基苯酚、间苯二酚、乙苯、甲苯、二甲苯等<sup>[3][17]</sup>, 因此降解速率较快; 在 5~10 h 内, 微生物在利用易降解物质的同时开始利用一部分难降解的物质, 包括吡咯、吡啶、萘、呋喃、喹啉、咪唑<sup>[3][17]</sup>, 微生物通过活性酶脱氢和氧化, 促使这些难降解物质打开苯环, 转化成多元有机酸和酯类, 这个过程反应速率低, 因此总的降解过程平缓; 在 10~15 h 内, 开始将转化而来的有机酸和酯类等中间产物降解, 导致去除率又开始变快; 15 h 以后, 易降解物质的量减少, 剩余的是焦化废水中微生物不能利用或很少利用的有机物, 包括所吲哚、苯并呋喃、咔唑、三联苯、C<sub>4</sub>C<sub>5</sub> 烷基苊等<sup>[3][17]</sup>, 所以降解速率又变慢。

对淀粉废水和焦化废水共同代谢效果进行一级动力学方程拟合, 结果如表 7。

对玉米浆发酵液和焦化废水共同代谢效果进行一级动力学方程拟合, 结果见表 8。

一级动力学反应速率常数和 COD 的最终去除率说明随着初级基质投加量的增加, 对焦化废水 COD 去除效率表现为先增加后减小的特征, 而且存在最佳值, 当投加初级基质的 COD 占混合后废水

表 7 淀粉废水和焦化废水共同代谢效果试验曲线一级动力学方程拟合结果

混合废水类别	一级动力学方程	反应速率常数 K	样本决定系数 $r^2$
10%淀粉废水 +90%焦化废水	$C=1.816e^{-0.0614t}$	0.061 4	0.979 8
20%淀粉废水 +80%焦化废水	$C=1.786.9e^{-0.0652t}$	0.065 2	0.990 5
30%淀粉废水 +70%焦化废水	$C=1.750.85e^{-0.0721t}$	0.072 1	0.993 3
40%淀粉废水 +60%焦化废水	$C=1.704.97e^{-0.0610t}$	0.061 0	0.977 4
50%淀粉废水 +50%焦化废水	$C=1.645.5e^{-0.0606t}$	0.060 6	0.974 5

表8 玉米浆发酵液与焦化废水共同代谢效果试验曲线一级动力学方程拟合结果

混合废水类别	一级动力学方程	反应速率常数 $K$	样本决定系数 $r^2$
10%玉米浆发酵液 +90%焦化废水	$C=1.839.6e^{-0.0649t}$	0.0649	0.9618
20%玉米浆发酵液 +80%焦化废水	$C=1.837.1e^{-0.0764t}$	0.0652	0.9905
30%玉米浆发酵液 +70%焦化废水	$C=1.835.05e^{-0.0857t}$	0.0857	0.9975
40%玉米浆发酵液 +60%焦化废水	$C=1.832.37e^{-0.063t}$	0.0630	0.9624
50%玉米浆发酵液 +50%焦化废水	$C=1.828.57e^{-0.0624t}$	0.0624	0.9877

COD 的 30% 时, 焦化废水 COD 去除率的促进效果最好, 初级基质的投加量不足时, 补充的 C 源和能源不够, 微生物代谢不够旺盛, 对难降解物质的利用效率低, 而当补充的初级代谢基质过多时, 微生物存在着过多的对这种容易利用的初级基质的依赖而其利用难降解有机物的能力受到了抑制, 功能微生物种群衰退, 影响处理效果。

图 2 可见投加玉米浆发酵液作为初级基质, 焦化废水的 COD 随时间变化曲线表现出与淀粉废水共代谢相同的趋势和特征, 投加玉米浆发酵液对促进焦化废水的 COD 去除率的效果更好, 这是由于玉米浆发酵液的主要成分为多糖, 此外还含有多种有机酸、矿物质等营养元素, 更容易被微生物利用, 促进微生物生长繁殖和代谢。

#### 4 结论

1) 通过向普通活性污泥法处理焦化废水中投加初级共代谢基质可以提高活性污泥的活性, 促进活性污泥生长代谢, 消除有毒有害化合物对微生物的抑制, 提高焦化废水 COD 的去除率。

2) 初级基质的最佳投加量应该为投加的初级

基质 COD 占混合后废水总 COD 的 30%, 投加量过少促进效果不明显, 投加量过多会造成活性污泥中功能微生物种群退化, 并且会过多消耗曝气池中有限的溶解氧, 影响处理效果。

3) 以多糖为主要成分的玉米浆发酵液共代谢效果比成分单一的淀粉废水好, 更能促进焦化废水 COD 的去除, 效果显著。

4) 投加共代谢初级基质后, 一定要保证合适的运行条件, 如温度、pH 值、污泥回流比等, 尤其是曝气池中溶解氧量, 应保证曝气池中溶解氧量在 2.0~4.0 mg/L 之间, 这是共代谢作用促进焦化废水 COD 降解率提高的关键因素。

#### 5 参考文献

- [1] 林红, 张志杰. 焦化废水中难降解有机污染物生物降解的研究进展[J]. 陕西环境, 1998, 5(3): 27~29.
- [2] 国家环境保护总局, 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [3] 何苗, 张晓健, 瞿福平, 等. 焦化废水中芳香族有机物及杂环化合物在活性污泥法处理中的去除特性[J]. 中国给水排水, 1997, 13(1): 14~17.

## Using Co-substrate Metabolism to Increase the COD Removal Efficiency of Activated Sludge Treatment of Coking Wastewater

Jing Xue

**Abstract** Coking wastewater contains a large number of organic pollutants. This study found that if use the conventional activated sludge process, when the influent COD was 2 000 mg/L or so, the effluent COD was between 350~700 mg/L, COD removal efficiency is only 60%~70%, it is difficult to meet the national discharge standard. According to co-metabolism mechanism, we add primary substrate into the coking wastewater biochemical treatment system, in order to promote the microbial degradation of refractory organics, so that the COD removal efficiency increased to 75%~85%

**Key words** co-metabolism coking wastewater primary substrate chemical oxygen demand

# 高压脉冲放电技术对地表水消毒杀菌的应用研究<sup>\*</sup>

杨胜凡 梁建军 常向东 秦玉芳

(后勤工程学院军事供油工程系, 重庆 400016)

**摘要** 文章提出利用高压脉冲放电技术对饮用水源地的地表水进行消毒杀菌。介绍了高压脉冲放电的工作原理, 分析了高压脉冲放电技术应用于饮用水源地的地表水消毒的作用机理, 总结了大肠杆菌杀灭效果随放电电极极间距离的变化规律。实验结果表明, 高压脉冲放电技术对于细菌特别是大肠杆菌的杀灭率相当高, 可达 95% 以上。

**关键词** 高压脉冲放电技术 地表水 消毒

我国目前 95% 以上的自来水厂都是采用常规方法处理自来水, 其中仍将氯作为水处理的主要消毒剂。我们知道常规的处理方法是不能完全杀死水中的病毒和某些细菌的, 而且氯化消毒很容易生成更加有害的“三致物质”(致癌、致畸、致突变)——三氯甲烷<sup>[1-2]</sup>。高压脉冲放电技术是将放电产生的综合效应即高温高压、紫外线、空化流、冲击波、超临界水、自由基等来氧化和杀灭水中的病菌和浮游生物, 从而到达对地表水进行消毒的目的。此技术具有杀菌彻底、处理效果好、无二次污染, 拥有广阔的应用前景。

## 1 高压脉冲放电的工作原理

高压脉冲放电将电能直接转换为其他多种形式的能如机械能、光能、热能等, 其工作原理如图 1 所示。该装置由脉冲电流发生器 A 和反应室 B 组成。脉冲电流发生器 A 由调压变压器 1、高压变压器 2、高压硅堆 3、限流电阻 4、脉冲电容器 5、空气开关 6 组成; 反应室 B 包括电极 7、9 以及反应室壳体 8。通常, 正电极常做成尖状, 负电极根据工作特点的不同, 可以做成尖状或板状。

当高压脉冲电流发生装置在水中放电时, 强大的电流在极短的时间(μs 级)向放电通道输入, 形成电子雪崩, 巨大的脉冲电流( $10^3\sim10^5$  A)使通道内形成高能密度( $10^2\sim10^3$  J/cm<sup>3</sup>), 由此引起局部高温( $10^4\sim10^5$  K)。这样, 在放电过程中, 放电通道内完全由稠密的等离子体所充满, 且辐射出很强的紫外线(波长为 75~185 nm)。同时, 由于瞬间高温加热的结

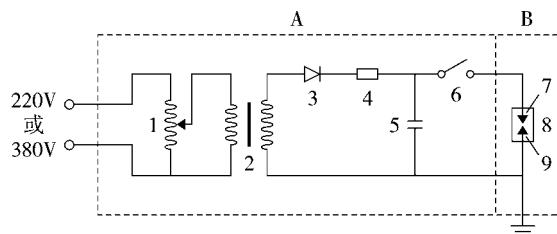


图 1 高压脉冲放电的工作原理

果, 放电通道内的压力急剧升高, 可达到 3~10 GPa, 从而等离子体通道以较大的速度( $10^2\sim10^3$  m/s)迅速向外膨胀, 完成整个击穿过程。

高压脉冲放电等离子体的产生、发展、泯灭的基本物理过程包括了电能向热能、光能、力能、声能等其他形式能量的转变, 全部过程大约需要  $10^{-4}\sim10^{-2}$  s。由于等离子体通道内的高温、高压以及充满了大量的离子、自由基等粒子, 使得在等离子体通道内的有机物分子及病菌被高温热解和在自由基的氧化作用下发生化学降解。同时, 由于高温、高压等离子体通道的产生, 伴随着强烈的紫外光及巨大的冲击波, 使得在等离子体通道及其外部区域的液体中引起多种物理化学反应过程, 即为紫外线光解, 高温热解, 空化流降解, 冲击波降解, 超临界水和自由基高级氧化。

综上所述, 水中高压脉冲放电等离子体降解有机物和杀灭病菌的过程相当复杂, 是一个多种氧化相互交替的过程, 它包括物理作用下有机物的直接降解和化学作用下活性物质对有机物的高级氧化降解<sup>[3]</sup>。

注: \* 基金项目: 后勤工程学院青年基金资助项目(YQ08-43602)

收稿日期: 2009-05-14, 修改稿收到日期: 2009-08-03

## 2 水中高压脉冲放电的作用机理

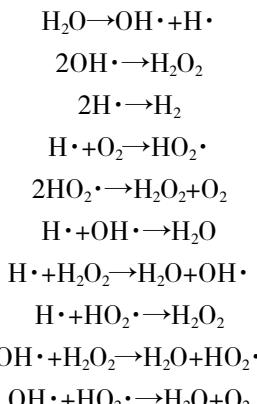
高压脉冲放电对液体具有强大的综合作用,在杀菌消毒方面主要有:

1) 高压脉冲放电能产生强大的超声波,频率为10~40 kHz,高压脉冲装置放电时,在距离声源1 m处的声压约为 $2 \times 10^6$  Pa,这有助于杀灭细菌和病毒。

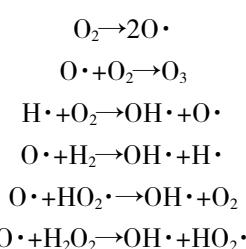
2) 高压脉冲放电产生的高温、高压、紫外线、冲击波、空化流、超临界水和自由基等,它们对悬浮在液体中的微生物(包括各种藻类微生物)发生毁灭性的破坏作用,几乎能杀死各种细菌甚至病毒,能把细菌的细胞组织彻底破坏甚至分成单个的碎片,几乎能破坏任何细菌结构。

### 2.1 水中高压脉冲放电发生的化学反应

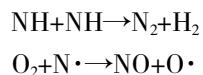
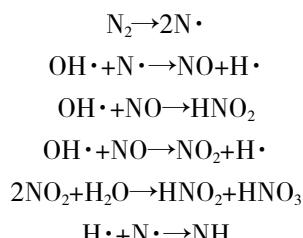
当水中进行高压脉冲放电时,高能电子与水分子发生激烈的非弹性碰撞,发生了一系列的化学反应,产生了大量的自由基和氧化产物<sup>[4]</sup>。



在氧气饱和的水溶液中,还会产生下列反应:



当有氮气存在时:



### 2.2 自由基的氧化

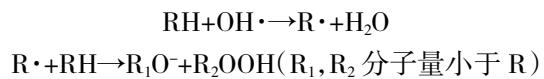
如前所述,由于高压脉冲放电的作用,在水溶液中产生了局部的高浓度的氧化剂(如 $\text{OH} \cdot$ 、 $\text{H} \cdot$ 、 $\text{O} \cdot$ 和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 等),它们能直接氧化水中化学污染物。在含有聚合物的多相体系中,高压脉冲放电产生的强大压力和紊乱,可使大分子主链上的碳键断裂,产生自由基。自由基含有未配对电子,化学性质活泼,很容易进一步反应变成稳定分子,从而使常规条件下难处理的污染物降解。

表1是几种氧化剂的标准还原电位及相对氧化能力的比较。

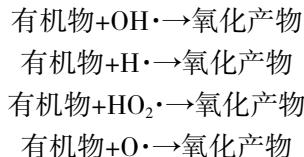
表1 几种氧化剂的标准还原电位及相对氧化能力

氧化剂	还原反应	标准还原电位/V	相对氧化能力
过氧化氢	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1.77	1.30
臭氧	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	2.07	1.52
羟自由基	$\text{OH} \cdot + \text{H}^+ + \text{e} = \text{H}_2\text{O}$	2.80	2.05
氟	$\text{F}_2 + 2\text{e} = 2\text{F}^-$	3.06	2.24

由表1可知, $\text{OH} \cdot$ 和 $\text{F}_2$ 的标准还原电位均很高, $\text{OH} \cdot$ 是常用氧化剂中最强的氧化剂。 $\text{OH} \cdot$ 的电子亲和能力为569.3 kJ,容易攻击高电子云密度的有机分子部位,形成易氧化的中间产物; $\text{OH} \cdot$ 容易加成有机分子碳的双键上, $\text{OH} \cdot$ 能脱去有机分子上的一个氢,形成 $\text{R} \cdot$ 自由基, $\text{R} \cdot$ 能被水中溶解氧进一步氧化成 $\text{ROO} \cdot$ ,而 $\text{ROO} \cdot$ 也是强氧化剂,这样自由基不断产生不断氧化,大大增强了它的氧化效率<sup>[5]</sup>。即发生如下理化反应:



当有机物存在时,就会被高压脉冲放电产生的各种自由基氧化:



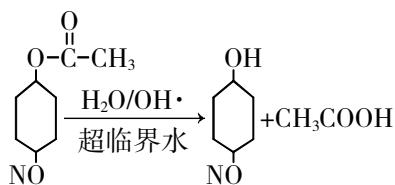
### 2.3 超临界水氧化

高压脉冲放电产生的高温、高压超过了水的临界点( $T_c=647$  °K,  $P_c=221$  Pa)时,水中存在着局部的

暂态的超临界水,超临界状态下水的物理、化学性质(如粘性、离子积、密度、热容量等)发生了很大的变化,这些变化均有利于大幅度增加大多数化学反应的反应速度。

超临界水对有机物和氧具有很高的溶解性,因此,在化学反应状态下能存在含有均相混合物的单相态,这就消除了通常高温、高压下化学反应的相间转移,从而大大加速了氧化速度。

如对硝基苯醚乙酯的  $\text{OH}\cdot$  氧化和超临界水氧化反应如下:



超临界水被认为是氧化有机化合物的良好介质,是处理污水的最新技术。然而,大规模应用超临界水氧化技术的障碍恰好正是超临界水的强氧化性所带来的强腐蚀性,大大减小了它的应用的经济性和可行性。而高压脉冲放电产生的超临界水是局部性的,液体是在常温常压下进行反应,避免了超临界水对反应容器的腐蚀。因此,通过高压脉冲放电利用超临界水的强氧化能力是一种很有前途的处理有害有机化合物和杀菌消毒的新方法。

### 3 高压脉冲放电消毒地表水的实验研究

#### 3.1 放电间距对杀菌效果的影响

脉冲电容器的容量为  $C = 1.5 \mu\text{F}$ , 初始极间距为  $d=15 \text{ mm}$ , 反应室容积为  $45 \text{ L}$ , 向内注入约  $30 \text{ L}$  的未经消毒的江水(只经过沉淀和过滤), 接通电源缓慢升高电压至  $30 \text{ kV}$  开始放电, 当放电达到预定次数时关闭电源取水样;然后在反应室内重新注入同样的水,增大极间距放电相同次数再取水样;如此重复几次,将所取的各水样进行大肠杆菌指标化验,将各化验结果对应不同极间距连成曲线,如图 2 曲线 1(曲线 1 表示放电距离从  $15 \text{ mm}$  逐渐增大对杀菌效果的影响),结果表明随着放电距离的不断增大(增大到  $90 \text{ mm}$  左右时)大肠杆菌的杀灭率越高。

再将脉冲电容器的容量改为  $C=0.5 \mu\text{F}$ , 初始极间距为  $d=80 \text{ mm}$ , 放电电压为  $45 \text{ kV}$ ;重复以上各步骤,将所取的各水样进行大肠杆菌指标化验,将各结

果对应不同极间距连成曲线,如图 2 曲线 2(曲线 2 表示放电距离从  $80 \text{ mm}$  逐渐增大对杀菌效果的影响),结果表明当放电距离在  $80\sim90 \text{ mm}$  时大肠杆菌杀灭率最高,随着放电距离的增大杀菌效果越差。综合曲线 1、2 可知放电距离在  $80\sim90 \text{ mm}$  杀菌效果最好。

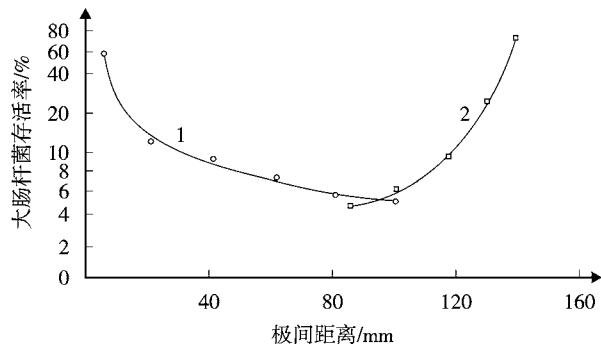


图 2 极间距离对大肠杆菌杀灭效果的影响

从图 2 中曲线 1 和曲线 2 可以看出,当放电参数确定后,大肠杆菌的杀灭率达到  $95\%$  左右时,对应的放电电极极间距为  $80\sim90 \text{ mm}$ , 从而由最佳杀菌效果确定了最佳放电距离。

#### 3.2 放电次数与杀菌效果的关系

通过一系列实验确定一组比较优化的放电参数,然后进行放电实验。本实验选择的放电参数为:电容  $C=1.5 \mu\text{F}$ , 放电电压  $V=30 \text{ kV}$ , 极间距离  $d=85 \text{ mm}$ 。通过实验,可以得出脉冲放电次数对杀灭大肠杆菌以及总微生物量的影响,如图 3 所示。由实验结果可知,当放电次数达到 50 次时,大肠杆菌的杀灭率可达  $95\%$  以上;当放电次数达到 100 次时,细菌总数的杀灭率可达  $90\%$  以上。

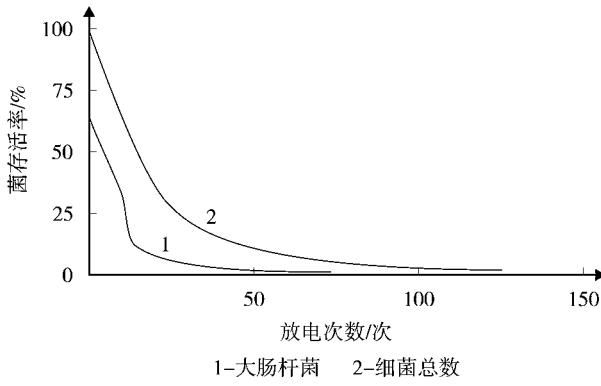


图 3 杀菌效果与放电次数的关系

由图 3 可知,由最佳的杀菌效果确定了脉冲放电次数,这样我们在进行杀菌消毒时放电进行到一

定次数时就达到了预期的杀菌效果,而不会继续放电以至于造成能源浪费,节约了成本。

#### 4 结语

1) 利用高压脉冲放电产生的综合效应,即高温热解,冲击波降解,空化流降解,紫外线光解,自由基和超临界水高级氧化,这些效应可以杀灭水中细菌和病毒,杀灭浮游生物,大大提高地表水的消毒和杀菌效果,并且不会产生氯化消毒所带来的致癌物质。

2) 电极的安装应沿着水管的水流方向安设多对电极,这样可以提高水处理效果。

3) 反应室的容积越小,处理的水量就越少,杀菌和消毒效果就越好,但也不能选得太小,否则很不经济,变成无实用意义的研究,这点在设计时应充分考虑。

4) 选择比较优化的一组放电参数进行放电实验,当放电电极极间距离为80~90 mm时对大肠杆菌的杀灭率达到95%左右;当脉冲放电进行到50次时大肠杆菌的杀灭率到达了95%以上;当脉冲放电进

行到100次时细菌总数的杀灭率也达到了90%以上,这说明将高压脉冲放电技术用于地表水的杀菌消毒是相当成功的。

5) 水处理过程中,脉冲放电的频率不能太高,一般控制在3 s左右放电1次比较合适,否则脉冲电容器会因为不断地充电和放电而缩短使用寿命,从而增加设备成本。

#### 5 参考文献

- [1] 孙治荣,李保华,胡翔,等. Pd-Ni/GC电极电化学还原水中三氯甲烷的研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1249-1254.
- [2] 廖振方. 饮用水及工业废水的电液压脉冲净化及处理装置[J]. 贵州环保科技, 1999, 5(3): 3-5.
- [3] 朱曙光, 丁媛媛, 宋泽政. 高压脉冲液相放电废水处理技术的研究进展[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(4): 7-10.
- [4] 杨世东, 史富丽, 马军, 等. 水中高压脉冲放电机理与效能[J]. 工业水处理, 2005, 25(8): 5-8.
- [5] 刘芳, 黄海涛. 高压脉冲放电等离子体水处理中的放电方式及其应用[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(7): 1-4.

## Study on the Disinfection of Drinking Water by High-voltage Pulse Discharge

Yang Shengfan Liang Jianjun Chang Xiangdong Qin Yufang

**Abstract** The disinfection of surface water by high-voltage pulse discharge technology is presented in this paper. The working principle of high-voltage pulse discharge is introduced. The disinfection mechanism of surface water by high-voltage pulse discharge technology is analyzed. The rules changing with distance between discharge electrodes of the colibacillus removal effect is summarized. The experimental results show that the killing rate of bacteria and colibacillus by high-voltage pulse discharge technology is considerably high and even over 95 percent.

**Key words** high-voltage pulse discharge technology surface water disinfection

## 广州市2年将投入24亿治理大气

随着2010年亚运会的临近,广州市的环境保护工作越来越引起市民关注。亚运环保工作正在有序进行,今明2年广州将安排6亿财政资金专门用于加强空气污染整治,撬动企业投入约18亿元,总计投入24亿元治理空气污染。

监测数据表明,近年来广州的空气质量不断改善。今年1~5月全市环境空气质量优良天数比例比去年同期上升0.62%,灰霾天数减少37 d。但不少市民还是感觉到广州的空气质量与自己的要求有差距。按照《广州市2008~2010年空气污染综合整治实施方案》,广州市将力争在尽可能不采取或少采取非常规措施,各国控监测点和主要亚运场馆监测点亚运期间每天的二氧化硫、二氧化氮和可吸入颗粒物浓度均优于国家二级标准。2010年广州空气质量优良天数将力争达

到96%,也就是351 d。

广州市民投诉的环境问题中,饮食业油烟污染一直占大头,实际上油烟污染对整个城市的污染影响并不大,但对周边居民来说却很严重,这也是市民觉得广州环境不佳的原因之一。据悉,2008年广州市环保部门责令餐饮业完成关停或整改290家,工商部门取缔违法饮食店档2430家。今年1~5月12369环保热线接餐饮业污染投诉698件次,比去年同期下降26.45%。

造成能见度低的另一个原因是灰霾。广州已经着手对形成灰霾的重要原因氮氧化物和可挥发性有机物(VOC)进行治理,减少城市灰霾。

摘自《广州环保网》2009-09-18

## 湿式脱硫塔除雾器冲洗喷嘴冲洗流量研究

吕留根<sup>1</sup> 黄蕾<sup>1</sup> 杨柳<sup>2</sup> 顾中铸<sup>2</sup> 金定强<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>洛阳理工学院土木工程系, 河南洛阳 471023; <sup>2</sup>南京师范大学动力工程学院, 南京 210042;

<sup>3</sup>国电环境保护研究院, 南京 210031)

**摘要** 国内外除雾器冲洗喷嘴一般均采用实心锥喷嘴, 冲洗流量是其最重要的设计参数之一。加工了不同喷嘴芯旋度、排放口长度和排放口倒角半径的系列喷嘴, 经过大量试验, 系统地研究了冲洗喷嘴冲洗流量的变化规律, 为冲洗喷嘴的设计和改进提供了重要依据。

**关键词** 湿法烟气脱硫 除雾器 冲洗喷嘴 冲洗流量

烟气脱硫是减少  $SO_2$  排放最经济、最有效的手段。烟气脱硫工艺有很多种, 但在我国已运行、在建和已签定合同的烟气脱硫工艺中, “石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺”占 90%以上。吸收塔系统是整个脱硫系统的核心, 除雾器是脱硫系统中的关键设备, 其作用是将脱硫后的烟气中携带的浆雾清除, 保证再热器管束的清洁和脱硫风机的正常运转。除雾器通常由除雾器本体和冲洗系统 2 个部分组成, 冲洗系统的作用是定期冲洗由除雾器捕集的液滴和粉尘, 保持叶片表面的清洁 (有些情况下起保持叶片表面潮湿的作用), 防止叶片结垢, 维持系统正常运行<sup>[1]</sup>。用工艺水进行除雾器的冲洗有 2 个目的, 即防止除雾器堵塞和保持吸收塔中所需水位。冲洗喷嘴是冲洗系统中最重要的执行部件, 其冲洗特性参数主要有冲洗流量、扩散角、冲洗水量和均匀度等。冲洗流量关系着除雾器叶片是否完全冲洗, 还起着维持吸收塔内液位的作用。国内外冲洗喷嘴一般均采用实心锥喷嘴, 冲洗水经喷嘴喷出后, 其形状为实心锥形<sup>[2-3]</sup>。对喷嘴冲洗流量进行系统研究, 不仅对冲洗喷嘴的设计和改进具有重要指导意义, 而且对吸收塔系统调试运行也有重要参考价值。

### 1 试验概况

#### 1.1 试验系统

除雾器冲洗试验台主要由冲洗水泵、管路、调节阀、流量计、压力表、喷嘴、水量分布测定装置等组成

(见图 1)。水泵将地下水池中的清水经调节阀、流量计和压力表打入喷嘴, 经喷嘴喷出后落入水池。使用调节阀控制冲洗流量, 通过流量计读出冲洗流量, 从压力表读出冲洗水压。

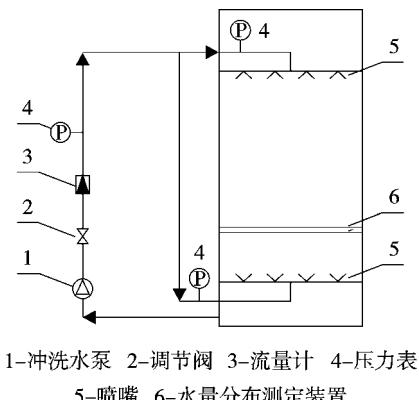


图 1 除雾器冲洗试验台系统

#### 1.2 试验用喷嘴

实心锥喷嘴主要由喷嘴外体和喷嘴芯组成, 根据文献[4-6]和运行经验, 影响喷嘴冲洗特性的结构因素有喷嘴芯旋度  $X$ 、排放口长度  $L$  和排放口倒弧角  $R$ 。试验研制了喷嘴芯旋度变化的系列喷嘴(X30L9R1.5、X33L9R1.5 和 X36L9R1.5, 喷嘴编号 X30L9R1.5 表示喷嘴芯旋度  $X$  为  $30^\circ$ , 排放口长度  $L$  为 9 mm, 排放口倒弧角半径  $R$  为 1.5 mm); 在排放口长度为 7 mm 时, 研究了排放口倒弧角半径分别为 1.5、2.5 和 3.5 mm 的情况。试验用喷嘴如图 2。

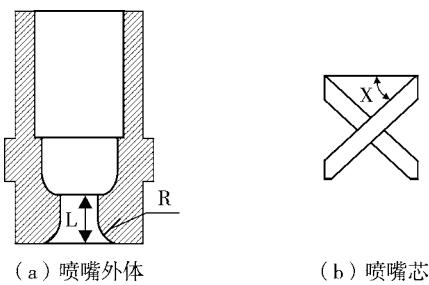


图2 喷嘴结构示意

## 2 试验结果与分析

### 2.1 冲洗流量排放系数分析

冲洗喷嘴的冲洗流量即体积流量, 表示单位时间内流经喷嘴液体体积的大小, 它是冲洗喷嘴最基本、最重要的设计参数之一。如果忽略重力的影响, 根据贝努利方程可得出喷嘴排放口处的速度  $V$  与压力  $P$  的关系为:

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

式中:  $\Delta P$ —喷嘴入口与排放口的压差, 它近似等于冲洗水压  $P$ , kPa;  
 $\rho$ —冲洗水密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

理论上, 体积流量等于喷嘴排放口速度  $V$  与排放口面积  $A$  的乘积, 但是, 实际的体积流量小于理论流量。引入一个排放系数  $C_d$ , 定义为实际流量与理论流量之比。于是, 冲洗流量  $Q$  可以表示为:

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

式中:  $A$ —排放口面积( $A = \pi r^2$ ),  $\text{m}^2$ 。

由表1可以看出: 随着喷嘴芯旋度的增加, 排放系数增加; 而随着排放口长度的减小和排放口倒角半径的变大, 排放系数变化不大。可以得出: 冲洗流量与喷嘴芯旋度的关系比较密切, 而受排放口长度和排放口倒角半径的影响较小。

表1 试验中各喷嘴的排放系数值

喷嘴编号	排放系数	喷嘴编号	排放系数	喷嘴编号	排放系数
X36L9R1.5	54.671	X33L9R1.5	51.632	X30L9R1.5	46.531
X36L7R1.5	54.590	X33L7R1.5	51.232	X30L7R1.5	47.285
X36L7R2.5	56.431	X33L7R2.5	51.353	X30L7R2.5	47.256
X36L7R3.5	56.956	X33L7R3.5	51.571	X30L7R3.5	47.532

由式(2)可以看出, 冲洗流量与压力的平方根近

似呈线性关系, 为了绘制冲洗流量和冲洗水压平方根的曲线的方便, 式(2)可以继续写为:

$$Q = B \sqrt{P} \quad (3)$$

式中:  $Q$ —冲洗流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$B$ —系数;

$P$ —冲洗水压, kPa。

### 2.2 冲洗流量变化规律

图3是喷嘴芯旋度变化时冲洗流量曲线的比较, 由图中任1条曲线可以看出: 冲洗流量与冲洗水压的平方根近似呈线性关系, 压力越大, 冲洗流量越大。这是因为在不考虑能量损耗的理想情况下, 喷嘴冲洗流量的大小与排放口冲洗水流速成正比, 而冲洗水流速与冲洗水压的平方根近似呈线性关系。

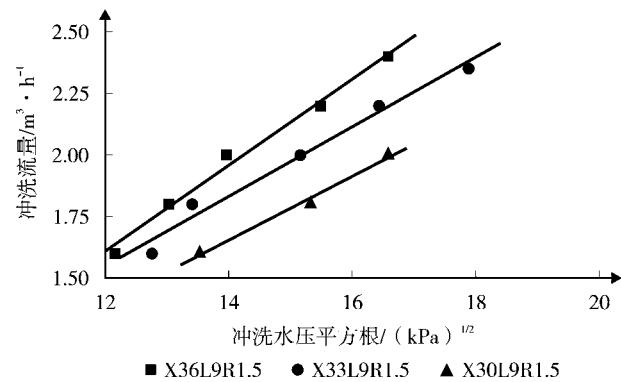


图3 喷嘴芯旋度对冲洗流量的影响

对比图3中3条曲线, 可以得到: 在相同压力下, 随喷嘴芯旋度增加, 冲洗流量增加; 随喷嘴芯旋度增加, 喷嘴冲洗流量曲线斜率增加。说明冲洗流量对压力的敏感程度随喷嘴芯旋度的增加而提高, 即喷嘴芯旋度越大, 改变相同的压力, 流量改变越大。原因是一方面, 喷嘴芯旋度增加, 喷嘴内冲洗水的有效流通截面积增大, 有利于冲洗水的轴向流动; 另一方面, 旋度增加, 冲洗水在喷嘴内处于旋流状态的水柱越长, 不利于冲洗水的轴向流动。2个方面是相互矛盾的, 试验结果表明前者起主导作用, 且旋度越大, 这种主导作用越明显。

图4是喷嘴排放口长度变化时的冲洗流量变化曲线, 图5是喷嘴排放口倒角半径变化时的冲洗流量变化曲线。可知: 2个图中曲线的斜率几乎相同, 曲线也几乎重合, 说明改变排放口长度和排放口倒角半径对冲洗流量几乎没有影响。

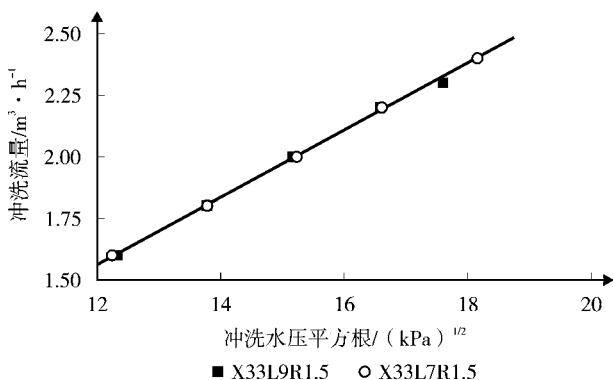


图4 排放口长度对冲洗流量的影响

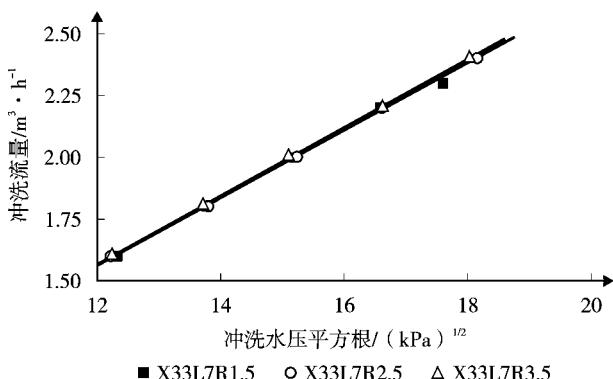


图5 排放口倒角半径变化对冲洗流量的影响

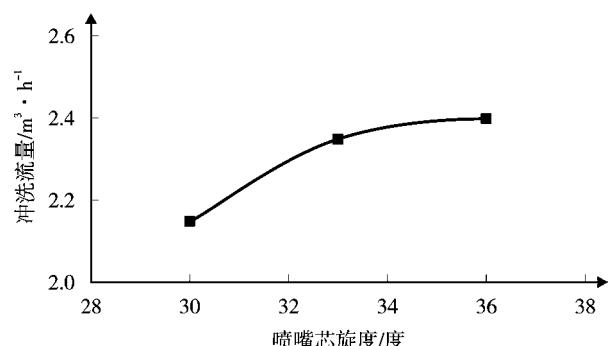


图6 喷嘴芯旋度对最大冲洗流量的影响

图6是喷嘴芯旋度变化时最大冲洗流量的变化曲线。对于喷嘴芯旋度一定的喷嘴,对应有一个最大流量,当超过这个流量时,冲洗水压和冲洗流量产生剧烈波动,导致喷嘴工作不稳定。由图6可知,喷嘴芯旋度越大,其最大流量越大,但增加的趋势随喷嘴芯旋度的增加而变得平缓。这说明,增加喷嘴芯旋度对增加最大冲洗流量是有限度的,当喷嘴芯旋度增加到一定程度,流量增大的效果就不明显,如果要获得更大的冲洗流量,就要改变排放口的直径。

### 3 结论

- 1) 冲洗喷嘴的冲洗特性主要与喷嘴自身的结构有关,优化冲洗喷嘴的结构,可以提高其冲洗特性。
- 2) 冲洗流量与冲洗水压近似呈线性关系,压力越大,冲洗流量越大;随喷嘴芯旋度增加,其冲洗流量曲线斜率增加,且其最大流量也增加。
- 3) 改变冲洗喷嘴排放口长度和排放口倒角半径对冲洗流量影响不明显。
- 4) 对于结构参数一定的冲洗喷嘴,其最大流量的增加是有限度的,如果想获得更大的冲洗流量,就要改变排放口直径。

### 4 参考文献

- [1] 金定强. 脱硫除雾器设计[J]. 电力环境保护, 2001, 17(4): 16-18.
- [2] 武文江. 石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术[M]. 北京: 水利水电出版社, 2006.
- [3] 钟秦. 燃煤烟气脱硫脱硝技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [4] 曾庭华, 杨华, 马斌, 等. 湿法烟气脱硫系统的安全性及优化[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [5] 姚增权, 马进. 简式旋流喷嘴设计[J]. 电力环境保护, 2002, 18(3): 1-7.
- [6] 侯凌云, 侯晓春. 喷嘴技术手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004.

## Study on the Flushing Flux for Flushing Nozzles of a Demister in Wet Desulphurization Tower

Lv Liugen Huang Lei Yang Liu Gu Zhongzhu Jin Dingqiang

**Abstract** Solid wimble nozzles are commonly used as flushing nozzles at home and abroad, and the flushing flux is one of the most important indexes of the flushing nozzle. A series of nozzles with different characteristics such as angle of nozzle core, outlet length and outlet turbination are machined, the variation principles of flushing flux are studied systematically through numerous experiments and provided some referential material for the design and improvement of flushing nozzles.

**Key words** WFGD demister flushing nozzle flushing flux

## 广东省危险废物管理现状及防治对策

许冠英<sup>1,2</sup> 周少奇<sup>2</sup> 许振成<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 广东省废物管理中心, 广州 510630; <sup>2</sup> 华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510640;

<sup>3</sup> 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

**摘要** 文章在分析广东省危险废物产生量、类别、分布的基础上, 阐明了废物流向、利用、处置以及管理现状。针对当前危险废物管理存在的问题, 根据可持续发展原则, 提出了建立危险废物管理多目标评价指标体系和综合管理措施的对策建议。

**关键词** 危险废物 可持续 现状 目标 措施 广东省

近年来, 由于危险废物引起的公共健康影响和越境转移问题使其持续成为世界热点话题<sup>[1]</sup>。作为改革开放最早的地区之一, 随着经济社会的快速发展, 广东也较早地遇到危险废物管理问题。我国危险废物管理滞后于废水、废气的管理, 直到上世纪 90 年代中后期涉及危险废物管理的法律法规、鉴别标准、污染控制标准、方法标准和技术导则等才逐步完善起来<sup>[2]</sup>。广东省危险废物管理法规制度建设和管理实践走在全国前列, 特别是近年来, 不断完善各项管理制度, 积极推进危险废物处置产业化, 加快集中处置设施建设, 促进危险废物的减量化、资源化、无害化, 取得了明显的成就。但也存在着执法力度不够, 企业守法意识薄弱, 危险废物集中处置设施建设严重滞后, 集中处置率低, 综合利用和处置技术水平不高等问题。因此, 如何深入剖析当前危险废物管理存在的问题, 科学评价各项管理措施的实施效果, 安全有效地管理和处置危险废物, 成为环保部门亟待解决的一个重要课题。

### 1 危险废物的产生及其流向

#### 1.1 工业危险废物的产生及其流向

随着广东省产业结构向高级化和适度重型化方向调整, 全省工业危险废物产生量增长趋势明显, 2007 年达 93.9 万 t<sup>[3,6]</sup>, 占全国 8.7%, 居第 3 位, 2000~2007 年年均增长 8.3%, 低于同期国民生产总值(GDP)13.6% 的年均增速, 但无论增速还是产生总量均居全国前列。表 1 列出了 2000~2007 年全省危

险废物的产生和处理情况。

表 1 广东省危险废物产生及处理情况<sup>\*</sup> 万 t

年 份	产生量	贮存量	综合利 用量 <sup>**</sup>	处置量 <sup>**</sup>	排放量
2000	53.9	0.26	29.95	21.57	0.015
2001	52.5	0.86	29.2	23.16	0.063
2002	44.6	0.158	17.34	27.09	0.085
2003	61.5	0.14	32.4	29.05	0.092
2004	58.5	0.08	26.78	33.91	0.085
2005	129.9	0.05	89.3	40.54	0.01
2006	129.6	1.49	91	37.11	0
2007	93.9	1.2	57.7	35	0
年均增减率 /%	8.3	24.4	9.8	7.2	—

注: \* 2000~2002 年数据来源于广东省环境统计资料汇编 (2001~2003 年历年); 2003~2007 年数据来源于中国环境统计年鉴(2004~2008 年历年)。

\*\* 在“综合利用量”和“处置量”中含有综合利用和处置往年量。

从表 1 可以看出, 广东危险废物综合利用量增长较快, 年均增长 9.8%, 其综合利用率从 2000 年的 55.6% 增至 2007 年的 61.4%。但由于集中处置设施建设进展较慢, 虽然处置量年均增长率达 7.2%, 但处置率反倒有所下降, 从 2000 年的 40% 降至 2007 年的 37.3%。

#### 1.2 工业危险废物的主要类别与分布

广东工业危险废物产生量大、种类繁多、性质复杂,具有分布上相对广泛和数量上相对集中的特点。

### 1.2.1 工业危险废物类别比例

从产生的工业危险废物种类来看,广东省工业危险废物产生类别涉及《国家危险废物名录》所列49类中的42类,但数量上主要集中在废碱(HW35)、含铜废物(HW22)、废酸(HW34)、废矿物油(HW08)4类,4类废物占全省总量的54.5%。广东省工业危险废物主要类别见图1。

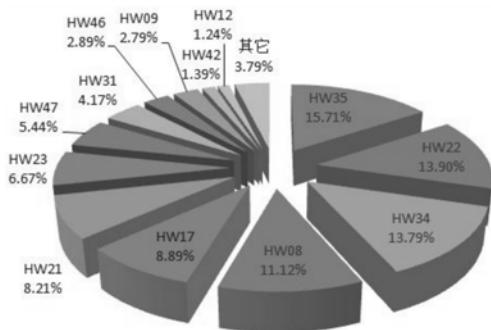


图1 广东省工业危险废物类别比例

### 1.2.2 工业危险废物主要行业来源

从行业分布来看,广东省工业危险废物几乎来自于国民经济的所有38个大类行业。其中,通信设备、计算机及其他电子设备制造业和石油加工、炼焦及核燃料加工业、有色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品制造业、黑色金属冶炼及压延加工业等5大重化工业产生的工业危险废物占全省总产生量的78.09%。危险废物行业分布情况见图2。

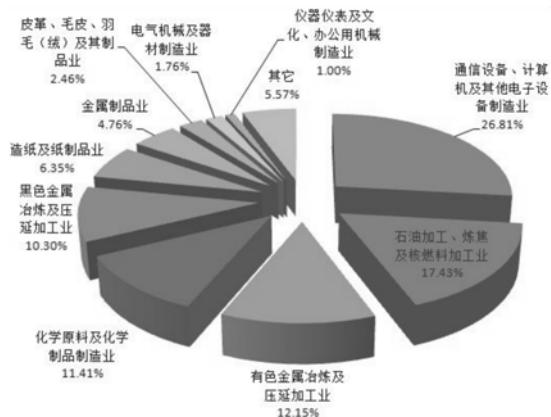


图2 广东省危险废物主要行业分布

### 1.2.3 工业危险废物的区域分布

从区域分布来看,广东省危险废物主要集中在经济发达的珠三角地区,占总产生量的75.6%,其次依次为粤西、山区和粤东,分别占12.5%、10.2%和1.7%。从城市分布来看,危险废物产生量排名前6位的城市分别是广州、东莞、深圳、佛山、茂名、韶关6市,这些城市工业发达,重化工业所占比例较大,其危险废物产生量占全省的76.4%。

### 1.2.4 工业危险废物产生规模分布

在调查统计的4810家危险废物产生企业中,从产生规模来看,年产生量500 t以上的危险废物重点产生源企业244家,占全省产生企业总数的5%,产生量却占全省的67.7%,其余4566家企业产生量仅占32.3%。

## 1.3 非工业源危险废物

非工业源危险废物指医疗卫生、环境治理、机动车维修以及家庭等社会流通领域产生的废物,主要包括医疗废物、焚烧厂飞灰以及机动车维修产生的废矿物油、废铅酸电池等。

医疗废物主要来源于医疗卫生机构病房的固定病床和门诊。2007年广东省医疗机构有床位234 179张,床位使用率为75.8%,年诊疗总人次达47 551.9万人次<sup>[4]</sup>。据对全省上千家不同规模的医疗机构医疗废物产生情况调查,广东省床位医疗废物产生系数平均为0.6 kg/(床·d),门诊医疗废物产生系数平均为0.04 kg/(人次·d),采用《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术规范》(HJ/T177-2005)推荐的计算方法,预计2007年全省医疗废物产生量达5.8万t,2010年将达7万t。

生活垃圾焚烧厂飞灰中含有高浓度的重金属和高当量毒性的二噁英等污染物,因而被列入《国家危险废物名录》。广东省现有垃圾焚烧厂15座,2007年生活垃圾焚烧处置量389.6万t<sup>[3,89]</sup>,平均日焚烧11 508 t。生活垃圾焚烧处理后产生的固体残渣大约占垃圾重量的30%~35%,其中底渣占25%~30%,其余是飞灰,占5%左右<sup>[5]</sup>。估计2007年焚烧飞灰产生量达19.48万t,2010年将达37.7万t。

机动车维修和拆解行业也是危险废物的重要来源之一,估计该行业年产生废铅酸蓄电池达6万t,废矿物油3万t。

## 2 危险废物的管理与处置现状

### 2.1 危险废物管理现状

#### 2.1.1 制订法规规章,完善管理制度

近年来,广东省先后颁布了《广东省固体废物污染环境防治条例》、《广东省危险废物转移联单管理暂行规定》、《关于加强危险废物持证经营单位管理的通知》、《关于印发“广东省危险废物持证经营单位属地管理指导性意见”等 4 项危险废物管理制度的通知》、《关于发布“广东省高危废物名录”的通知》等一系列具有地方特色的法规、规定,规范危险废物管理,打击各种违法活动,为推进循环经济,建立循环型社会打下了坚实基础。

为推进危险废物处置产业化进程,广东省制订了《广东省危险废物处置收费管理办法》、《关于医疗废物集中处置收费管理问题的通知》,以及《广东省危险废物综合处理示范中心危险废物处置收费标准》等一系列收费政策,完善危险废物处置收费机制,促进设施建设的多元化、多渠道投资体系,以其解决危险废物处置设施建设资金短缺问题。2003 年省政府颁布的《广东省固体废物污染防治规划》,提出了危险废物管理的目标及对策措施,为集中处置设施建设提供了政府资金投入保障。

#### 2.1.2 多次开展普查,摸清危险废物“家底”

摸清危险废物产生及其流向,对于促进集中处置设施建设,提高利用、处理、处置技术水平,防治环境污染,保障人体健康具有重要意义。为此,自 2005 年起,广东连续 3 a 开展了危险废物调查。2005 年上半年开展了全省危险废物和医疗废物处置设施普查,调查全省处置设施建设及污染防治情况;2005 年下半年至 2006 年开展了全省危险废物和严控废物产生源普查,旨在摸清危险废物的产生及流向;2007 年开展了全省重点行业危险废物申报登记试点工作,目的是摸清化工行业危险废物的产生及管理情况。通过这 3 a 的摸底调查,基本掌握了全省工业危险废物的“源、量、流”的变化情况,初步建立了较完善的危险废物信息库,也发现了不少危险废物管理中存在的问题,提出了改进的措施和建议。

#### 2.1.3 初步建成了危险废物管理信息平台

为促进危险废物管理信息化,提高管理效率,科学评估各项管理制度的实施情况,广东省开发建设

了基于网络、面向省、市、县 3 级环保部门和企业的危险废物管理信息平台,集成了危险废物申报登记、转移联单、经营许可证管理 3 大业务系统,企业用户可以在线申报其危险废物产生、转移及处置情况,各级环保部门可根据权限在线审核、审批危险废物管理业务,也可汇总统计相关数据。信息平台促进了危险废物相关信息的共享与交换,减少了信息不对称性,提高了管理效率,方便了企业。目前信息平台正在佛山、惠州 2 市试运行,预计年内将在全省推广。信息平台二期拟增加 GIS(地理信息系统)分析、危险废物转移过程 GPS(全球定位系统)实时监控以及事故应急管理等功能模块。

### 2.2 危险废物处理处置设施建设现状

2000 年以前,广东省危险废物处置设施以产废企业自建为主。2003 年国家 5 部委联合发布《关于实行危险废物处置收费制度,促进危险废物处置产业化的通知》(2003.11.18)以来,集中处置设施建设加快,产业化、市场化水平不断提高,截至 2007 年底,危险废物集中(利用)处置量占产生总量的 71%,企业自行处置量占 29%。获得“广东省危险废物经营许可证”的企业共 111 家,拥有集中(利用)处置设施 174 座,核准处置能力 279 万 t,其中焚烧 1.7 万 t,填埋 15 万 t,综合利用 262.3 万 t,可利用或处置《国家危险废物名录》49 类中的 39 类。获许可证企业主要分布在广州、惠州、韶关、茂名、东莞、深圳等 6 市,其中广州市最多,有 24 家。获证企业分布与危险废物产生量分布基本一致。2007 年,集中处置设施共处置危险废物 66.78 万 t,其中焚烧 1.04 万 t,填埋 3 万 t,物理化学处理 0.59 万 t,综合利用 58.53 万 t,贮存 3.62 万 t。

除东莞、珠海、惠州、揭阳、汕尾 5 市在建外,截至 2007 年底,全省其余 16 个地级及以上市均已经建成医疗废物集中处置设施,核准焚烧处置能力 5 万 t/a,实际集中焚烧处置 3.15 万吨,集中焚烧处置率达 54.3%。

根据省政府发布的《广东省环境保护与生态建设“十一五”规划》,2010 年末,广东省将投资 22.3 亿元,建设危险废物集中处置设施 6 座,新增处理能力 40 万 t/a;投资 1.2 亿元新增医疗废物安全处置处理能力 180 t/d。届时,广东将初步建成以集中处置设施为主,企业自建处置设施为补充的覆盖全省的危险

废物处置网络。

### 2.3 存在问题

#### 2.3.1 危险废物申报登记制度不够完善

申报登记制度是最基本的危险废物管理制度之一,是环保部门获取企业废物产生及其流向信息,科学制订废物预防战略的重要手段。但长期以来,我国危险废物申报登记制度依托于环境统计和排污申报登记,并不是数据收集的重点,统计企业数量少,统计指标仅限于工业危险废物产生量、利用量、贮存量、排放量和处置量5项,远远不能满足当前危险废物全过程管理的需要。同时,许多危险废物产生源企业环保意识不强,守法意识淡薄,少报、漏报甚至不报现象严重,申报登记制度执行率不理想,以2007年开展的化工行业危险废物申报登记试点工作为例,执行率不到50%。

#### 2.3.2 危险废物集中处置设施建设进度滞后

按照《广东省固体废物污染防治规划》(2003—2010)和《广东省环境保护规划》(2006—2020),2010年前,广东省将建设5大危险废物集中处置中心和1个废旧显示器和含CFC(氯氟烃)压缩机处理处置示范基地,但因征地、选址、处置技术、管理模式、投资成本等原因,截至目前,全省仅建成深圳和广东省(惠东)2个,其他处置中心还在建设或筹建中。焚烧和安全填埋处置能力较低,许多危险废物无合适的出路,全省仅生活垃圾焚烧处理厂飞灰就达19.48万t,远远超过了安全填埋场处置能力,大部分飞灰只能经稳定化/固化处理后送生活垃圾卫生填埋场,带来较大的污染隐患。

#### 2.3.3 危险废物管理能力不足,执法能力亟待加强

目前省级管理部门编制仅12人,除深圳、广州、珠海、惠州等8市外,大部分地级市环保部门没有专门的固体废物管理机构,也没有设立专职的管理人员岗位,危险废物的监督管理处于被动应付状态,执法能力和力度均不足。随着危险废物产生量不断增大,种类逐渐增多,跨市转移量不断增加,监管难度和工作量越来越大,对管理队伍建设提出了新的要求,需要投入大量的人力物力,建设完备的执法监督体系,加强执法能力;需要提高管理人员的业务素质,打造“思想素质好、业务水平高”的专业队伍。

#### 2.3.4 综合利用水平参差不齐,处置技术亟待提高

许多综合利用设施处置规模小,核准规模不超

过1000t/a;且利用的废物种类单一,70%的企业仅能利用一类废物,且大多集中于回收利用价值较高、工艺简单的废矿物油、含铜废液、表面处理废物等类别。含铜废物、废矿物油等类废物处理、利用能力严重过剩,设施低水平重复建设,市场竞争激烈,无序竞争、恶性竞争现象严重。以含铜废液(HW22)为例,全省有HW22综合利用资质的企业32个,其中有27个是专门利用HW22的,核准总规模超过60万t,远远超过了其实际产生量。为降低成本,许多企业将其中的铜回收后,废水中高浓度的氨氮不加处理就直接排放,二次污染严重。生活垃圾焚烧飞灰、热处理含氰废物等废物类别却因利用价值不高,处置能力不足,无合适的出路。全省仅有的4座焚烧处置规模明显偏小,平均单台(套)处置能力不足5000t/a,技术水平较低,一些指标达不到国家有关的技术要求。

由于经济原因,许多医疗废物集中处置单位不愿意收集偏远地区的医疗废物,其收集范围覆盖率还仅限于城市或其近郊区,还没有覆盖大量农村及乡镇地区,因此,广东医疗废物集中焚烧处置率还较低;一些早期的医疗焚烧炉超龄服役,设施工艺相对落后,已经不能达到国家相关标准规范的要求,亟待升级改造。

## 3 危险废物管理对策与措施建议

### 3.1 建立可持续的废物管理目标评价体系

危险废物管理的首要目的是保障人民群众生命健康和环境安全。要实现这一目的,必须综合采取政策、法律法规、技术、经济等手段,充分调动政府、企业、公众等各相关方的积极性,建立可持续的管理体制。可持续的危险废物管理应是环境可持续性、经济可承受性、技术可行性和社会可接受性等几方面的统一,是一个多目标优化过程。不注重源头减量、只关注最终处置设施建设的管理模式是不可持续的,设施建设永远赶不上废物产生量的增长速度。危险废物管理的多目标性,也使得考核其可持续能力的指标的多样性。因此,必须重新审视危险废物从产生到处置的全过程,建立贯穿废物生命周期的多目标评价指标体系,作为判断废物管理可持续能力和废物管理实施效果的定量评价工具,并根据评价结果,不断提出改善措施。

考虑到危险废物管理涉及其从产生到处置的全

过程,管理措施涉及技术、经济、政策等方面,将废物管理目标分为目标层、控制层、指标层3个不同层级,组成树型结构的指标体系。目标层是最高层,即危险废物管理的可持续能力;控制层包括7类指标,其中,污染预防、减量化、资源化、无害化4类指标涵

盖危险废物从产生到处置的全过程;环境管理、社会经济发展、环境政策则涵盖危险废物管理的主要措施和手段。每类指标又分别确定若干个具体目标,再根据不同的目标设立终极指标。可持续的危险废物管理目标体系框架建议如表2所示。

表2 可持续的危险废物管理目标框架体系

目标层	控制层	指 标 层
危险废物管理 可持续能力	污染预防	单位产品有害物质使用率(%);产生危险废物的重点产品绿色设计实施率(%)
	减量化	单位工业产值危险废物产生量(t/万元);重点企业危险废物管理计划执行率(%);重点产生源企业清洁生产审核实施率(%)
	资源化	危险废物综合利用率(%);危险废物厂内回收利用率(%)
	无害化	危险废物集中处置率(%);危险废物集中处置设施 BAT(最佳可行技术)实施率(%);危险废物经营单位清洁生产审核实施率(%);危险废物经营单位 ISO14000 认证实施率(%)
	环境管理	危险废物申报登记制度执行率(%);危险废物应急预案制度执行率(%);单位废物产生量环境管理人员(人/万吨);重点企业 ISO14000 认证实施率(%)
	社会经济发展	单位危险废物处置成本(元/t);单位危险废物处置建设总投资(元/t);危险废物经营单位年投诉率(%)
	环境政策	绿色采购执行率(%);获得《危险废物经营许可证》企业税收优惠政策执行率(%);危险废物处置产业循环经济试点企业覆盖率(%);危险废物经营单位清洁生产审核资金补助率(%)

### 3.2 促进危险废物预防与减量化

危险废物处置设施建设投资和运营成本均较高,而一旦发生环境污染,清除污染的成本往往是废物控制和预防成本的10~100倍<sup>[6]</sup>,因此世界各国均将废物的预防和减量化作为废物管理的首要措施。通过立法支持和鼓励企业开展绿色设计、清洁生产和环境审计,尽量采用无毒、无害或低毒的原料替代毒性大、危害严重的原料,采用资源利用率高、污染物产生量少的工艺和设备,尽可能防止和减少危险废物的产生;政府应推进清洁生产和行业BAT的应用,开展废物减量化技术的引导与示范;鼓励企业建立废物最小化俱乐部,开展业内废物减量化技术交流;争取3a内分期分批完成全省年产生量500t以上的重点产生源企业和111家危险废物经营单位的清洁生产审核工作。

### 3.3 提高危险废物利用和处置水平

通过制订和发布技术规范,引导企业采用先进的技术方法,淘汰工艺落后、技术粗糙、污染控制薄弱的利用和处置设施,促进企业上规模、上水平。据悉,由省环保局组织编制的《电路板厂废弃污泥湿

法集中利用技术导则》、《电路板含铜蚀刻废液集中利用技术导则》等技术规范已编制完成并将于近期发布;《废矿物油回收利用污染控制技术规范》、《感光材料废物回收利用污染控制技术规范》等规范正在编制过程中。相信通过标准、规范的发布和实施,可以淘汰落后产能和过剩的利用处置能力,规范行业市场,提升行业整体回收利用和污染防治技术水平。

增加科研投入,鼓励科研院所与企业联合开展科研,加快危险废物减量化、资源化和无害化技术研究,提高危险废物处理技术和装备水平;鼓励开展国际合作与技术交流,引进、消化、吸收先进实用的技术设备,提升危险废物处理技术和装备水平;增加对医疗废物集中焚烧处置设施改造升级的资金投入,加大对高压蒸汽灭菌法、微波灭菌法和化学消毒法等非焚烧处置方式在广大农村地区的推广和应用,确保医疗废物安全处置。重点应加强以下几个方面技术和设备研究:年处理能力1万t以上的危险废物焚烧成套技术装备、年处理1万t以上的无机危险废物的物理化学(含固化)处理成套设备、危险废物水泥窑协同处置关键技术等。

### 3.4 推进区域危险废物集中处置设施建设

危险废物集中处置设施投资大、投资回收期长、市场回报率低,运行成本高,企业投资建设的积极性不高,建设进展缓慢,处置能力远远滞后于危险废物管理的需要。为改变这一状况,应从加强监管和创新管理模式入手,积极推进集中处置设施建设。危险废物集中处置设施是区域基础设施的重要组成部分,特别是随着珠三角改革与发展的一体化进程,应该按照统筹规划、合理布局的原则,推进一体化发展。首先,要加强监管,敢于打破因行政区划造成的废物流转障碍,充分利用省危险废物信息交换平台,促进废物流的合理有序流向;其次,积极探索多元化、多渠道的投资运营和处置模式,如提高可燃性危险废物的焚烧和热处理所占比例,加快危险废物安全填埋场建设,促进危险废物物理化学处理、固化/稳定化处理技术的推广和应用,鼓励改造并采用生产水泥的旋转窑炉附烧或专烧危险废物等;再次,制订危险废物行政代处置制度实施办法,保障集中处置设施正常运行。对于不履行法定义务,逾期不处置或者处置不符合国家有关规定的危险废物产生单位,要加大执法和管理力度,通过征收行政代处置费用的方式,促进危险废物的规范化处置。

### 3.5 加强管理队伍和管理能力建设

根据环保部文件要求和管理业务量测算,要达到基本的管理要求,省级固体废物管理部门至少应达到40人以上。为满足废物管理的需求,省废物管理中心也正在调整职能,充实管理技术人员。各地也需要建立专职的固体废物管理机构,强化管理职能,配备专门的管理人员,加强人员培训,提高管理人员素质。

在监管手段上,借助广东省固体废物管理信息平台,完善各项管理制度,及时分析和掌握危险废物的变化趋势及流向,提高危险废物污染事故应急和辅助决策能力。同时,建立面向公众的信息共享和发布平台,促进公众参与。

### 3.6 落实各项管理制度,加大执法力度

以落实申报登记、转移联单、经营许可3项危险废物基本管理制度为重点,依照固体废物相关法律法规,强化产废单位申报登记管理,摸清广东省危险废物种类、数量和流向;加强危险废物转移管理,未

经批准不得转移,切实掌握和控制废物流向;加强经营许可证管理,严查和杜绝非法经营现象,对于不按环保要求回收处理危险废物或处理不达标的,要依法查处,甚至吊销经营许可证;加强对产废企业自建设施的监管力度,将其纳入监管范围,防止以自建设施处置为名非法倾倒。

加大对不依法申报、非法转移、无证经营等违法现象的执法力度,完善对违法现象的举报制度,鼓励公众参与监督和群众举报,营造良好的社会舆论监督氛围,减少和杜绝违法现象。

### 3.7 建立危险废物管理风险基金制度

加大管理和执法力度,建立以危险废物处置企业交纳的风险预防金为主,危险废物违法处罚罚款和政府财政补贴为补充的风险基金制度,设立专项基金,用于危险废物污染场地清除、环境修复和受害者人身财产损失补偿等费用<sup>[7]</sup>。要特别引起重视的是,在当前国际金融危机影响下,一些危险废物产生企业倒闭,危险废物长期堆存在厂内,增加了污染隐患和环境风险,需要清理和消除污染,这更凸显建立环境风险基金的必要性。

### 3.8 提高全民法律意识,鼓励公众参与

加强对危险废物重点产生源企业和经营企业的培训,提高企业守法意识;通过网络、报纸、电视等媒介进行广泛宣传,引起全社会对危险废物及其危害和防治的重视;建立相关机制,鼓励相关协会和非政府组织积极参与危险废物管理的宣传、培训和技术交流。

## 4 结论与建议

危险废物从产生到处置的各个环节都存在着环境风险,必须综合采用技术、经济、政策等多种手段,促进政府、企业、公众的广泛参与,才能有效预防和减少危害,保障人体健康和环境安全。尽管广东在危险废物管理法规、制度和规范标准建设,处置设施建设以及管理信息化方面取得了较大的成绩,但也存在管理制度不完善、监管能力不足、利用和处置技术水平低等问题。要实现可持续的废物管理目标,首先应建立多目标的废物管理评价指标体系,科学评估各项政策和措施的有效性和可持续能力。其次,建立适当的激励政策和运行机制,促进各相关方的共同参与,如鼓励产废企业开展清洁生产,促进废物预防

和源头减量；通过“政策引导、标准规范、社会参与、政府监管”模式鼓励企业提高利用和处置技术水平；通过收费政策保障，建立多元化、多渠道的投资运营体制，促进废物集中处置设施建设；通过加强管理队伍和管理能力建设，加大执法和监管力度，为处置设施建设环境安全提供保障等。

## 5 参考文献

- [1] Orloff K, Falk H. An international perspective on hazardous waste practices[J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2003, 206(4-5): 291-302.
- [2] 李金惠. 危险废物管理与处理处置技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 5-6.
- [3] 国家统计局, 环境保护部. 中国环境统计年鉴-2008[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [4] 中华人民共和国卫生部. 2008 中国卫生统计年鉴[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2008.
- [5] Cho C, Lee S. Comparative study for the stabilization of heavy metals in the solid waste incineration ashes[C]/ICIPEC organizing committee, Korean Society of Environmental Engineers. Proceeding of ICIPEC. Jeju Korea: ICIPEC, 2002: 421-429.
- [6] Silva M A R, Mater L, Souza-Sierra M M, et al. Small hazardous waste generators in developing countries: use of stabilization/solidification process as an economic tool for metal wastewater treatment and appropriate sludge disposal[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 147(3): 986-990.
- [7] 温雪峰, 胡华龙. 我国危险废物利用处置产业化现状[J]. 新材料产业, 2007, (5): 25-30.

## Analysis on Managing Status and Protective Strategy of Hazardous Wastes in Guangdong Province

Xu Guanying Zhou Shaoqi Xu Zhencheng

**Abstract** Basing on the generation, type, distribution of hazardous waste in Guangdong Province, this article analyzed the flows, utilization, disposal and management status of hazardous waste. According to the current problems in the management of hazardous waste and principles of sustainable development, some countermeasures and proposals such as multi-objective evaluation index system of hazardous waste management and comprehensive management measures have been proposed.

**Key words** hazardous wastes sustainable status target measures Guangdong province

## 广佛2市全力治污水环境综合整治成效明显

8月27日,省政府召开广州、佛山水环境整治现场会,研究部署进一步加强广佛区域水环境整治工作,为广州2010年亚运会的成功举办创造良好环境。副省长林木声出席会议并讲话。

近年来,广州、佛山2市大力推进区域水环境整治工作,取得明显成效:①饮用水源安全得到保障。广州市饮用水源水质达标率连年上升,由2004年的26.4%上升到2008年的81%。佛山市划定和扩大西江引水工程等水源地保护区范围,加大监管整治力度,保证了饮用水源地水质良好。②水环境综合整治成效明显。广州市完成了珠江前航道和28条(段)河涌截污,以及56条河涌综合整治,珠江广州河段水质有所改善,优于V类。佛山市近3年来整治内河涌222条,长度超过400 km,佛山水道基本消除黑臭。③加快生活污水处理设施建设。2市共建成污水处理厂51座,日污水处理能力

358.5万t。④联防联治机制基本形成。2市签订了同城化建设环境保护合作协议,分别成立了水环境整治工作领导机构,基本建立了区域共同治污工作机制。

广州、佛山2市政府和有关部门将切实采取有力措施,加强珠江综合整治,特别是下大力气抓紧抓好广佛区域水环境整治工作,实现珠江水变清。重点要抓好6个方面工作:①全面落实珠江综合整治目标责任。②加强饮用水源保护的协调合作。③加强跨界河流污染综合整治工作。④加快污水处理设施建设,确保今年内建成所有中心镇和县级市城区污水集中处理设施,并完善配套管网,提高管网收集率,充分发挥污水处理厂的效能。⑤加强环境执法,消除污染隐患。⑥严格环保准入,健全建设项目分级审批、联合审批、审批备案等制度,从源头上控制污染。

摘自《广东环保网》2009-09-18

## 危险废物处置场废水处理的方案设计

郝海松

(盐城市科技局情报所, 江苏 盐城 224002)

**摘要** 针对危险废物处置场废水的特点, 以盐城宇新固体废物处置公司为例, 根据该公司厂区每日产生废水的水质及水量, 并考虑到初期雨水量, 制定了以物化为主的处理工艺, 该工艺具有投资小、处理成本低、占地面积小、易于操作管理等优点, 处理后出水水质可达到国家一级排放标准。

**关键词** 危险废物处置场 废水处理 方案设计

盐城宇新固体废物处置公司是盐城市唯一一家具有危险废物处置资质的单位, 用于接纳处置盐城市范围内产生的危险废物, 主要包括医疗废物、农药废物、精馏残渣、废酸、废碱、重金属类废物、有机树脂类废物、有机溶剂废物等, 处置规模为 3 000 t/a, 以裂解炉焚烧处置为主。

### 1 水量、水质及排放标准

#### 1.1 废水水量

该项目需处理的废水主要由冲洗废水、实验室废水、厂区生活污水组成, 考虑到初期雨水量, 本方案设计处理规模为 25 m<sup>3</sup>/d。具体废水来源见表 1。

表 1 废水量统计

项 目	冲洗废水	实验室废水	生活污水	其它废水
废水量 /m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup>	10	2	5	3

#### 1.2 废水水质及排放标准

冲洗废水主要包括场地、车辆及容器的冲洗所产生的废水, 废水中含有部分重金属; 实验室废水也含有少量的重金属; 生活污水主要含有有机污染物。出水水质需满足国家一级排放标准。进出水水质见表 2。

表 2 进出水水质 mg/L

项目	进水	出水	项目	进水*	出水
COD	300~400	100	Cr <sup>6+</sup>	0.1~0.4	
BOD <sub>5</sub>	30~40	20	Cr <sup>3+</sup>	0.1~0.8	
SS	100~200	30	Pb <sup>2+</sup>	0.3~0.7	
石油类	50~100	10	Zn <sup>2+</sup>	0.2~0.6	

注: \* 废水含有少量的重金属, 已达标。

### 2 废水处理工艺流程

废水中主要含油类、有机物及少量重金属离子, 根据水质特点, 考虑水量较小, 采用以物化为主的处理工艺。废水处理工艺流程如图 1 所示。

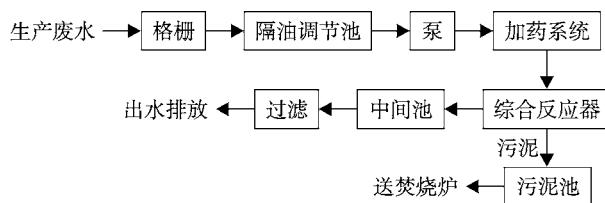


图 1 废水处理工艺流程

### 3 主要工艺及设备

#### 3.1 隔油调节池

根据废水排放水量、水质的变化情况, 水处理前应设隔油调节池进行调节, 隔油调节池前设格栅, 以截流大颗粒悬浮物质, 格栅为不锈钢材质或 PVC 板制作; 在隔油调节池的前端, 设隔油池, 以去除冲洗水带来的浮油; 调节池尺寸为 2.5 m × 4 m × 2.5 m, 总有效停留时间约为 20 h; 调节池提升泵采用耐腐泵。

#### 3.2 加药系统

冲洗废水中含有部分有机物、无机物等, 通过加药后进入后续反应器后, 可以降低后续处理的负荷, 降低废水处理成本。

#### 3.3 综合反应器

综合反应器集混凝、反应、沉淀于一体,实现对废水的有效处理。反应器所用的固定过水填料,具有结构强度高、使用寿命长、性能好等优点。将混凝反应与沉淀处理过程通过优化设计结合在一个反应器中,混凝反应采用硫酸亚铁或聚合氯化铝作为混凝剂,反应器对难降解物质有很好的去除作用,且设备具有管理方便、维护量少、故障率低、负荷承受能力高等优点。与传统设备相比,处理反应器耐冲击负荷能力强、占地少、管理方便、处理效率高。

### 3.4 过滤罐

综合反应器出水经过快速压力过滤罐去除残余的悬浮物,以确保达标排放。

### 3.5 污泥池

处理过程产生少量污泥,污泥经污泥泵排放至污泥池,污泥池起到浓缩和贮存作用;污泥排放管道为PP材质,泥斗排泥阀采用全塑隔膜阀、双阀设置,污泥定期清理送焚烧炉进行焚烧。

建(构)筑物和主要设备(处理规模为25 t/d)的技术参数见表3、表4。

表3 建(构)筑物一览

建(构)筑物名称	尺寸/m	结构形式	有效容积/m <sup>3</sup>
格栅井	1×1×1.2	砖砼	1.2
隔油池	2.2×1×2.0	砖砼	4.4
调节池	2.5×4×2.5	砖砼	25
污泥池	2×2×2	砖砼	8

## 4 运行费用

电费(E1):处理站总装机容量6.85 kW,最大运

表4 主要设备及概算

设备名称	单位	数量	技术特征	概算/万元	说明
格栅	套	1	粗格栅	0.8	
加药装置	套	2		1.8×2=3.6	
提升泵	台	4	Q=5 m <sup>3</sup> /h, H=0.16 MPa, N=0.75 kw	0.25×4=1	2用 2备
污泥泵	台	2	Q=15 m <sup>3</sup> /h, H=0.1 MPa, N=1.5 kw	0.36×2=0.72	1用 1备
综合反应器	台	1	Φ1 800 mm×2 500 mm	6.8	
过滤罐	套	2	Φ600 mm×1 500 mm	2.8×2=5.6	
液位控制器	套	1		0.18	
配电控制系统	套	1		0.8	

行功率3.2 kW,以0.55元/kW·h计,每天运行8 h,则:E1=1.76元/h=14元/d。

药剂费(E2):E2=10元/d。

人工费(E3):处理站配备人员暂定1名,月工资按800元计,则:E3=800÷30=26元/d。

每日的运行成本:E=E1+E2+E3=50元/d。

相当每m<sup>3</sup>废水的处理成本约为2.0元。

## 5 结论

本方案采用物化处理为主的处理工艺,混凝反应采用硫酸亚铁或聚合氯化铝作为混凝剂,产生的污泥送裂解炉焚烧,整个工艺具有投资小、处理成本低、占地面积小、易于操作管理等优点,适用于日处理量较小、进场废物种类少的危险废物处置场,对同类废水处理项目具有一定参考价值。

# The Design of Waste Water Disposal in Hazardous Waste Disposal Site

Hao Haisong

**Abstract** This article took Yancheng solid waste disposal company as an example, in view of the characteristics of the waste water in hazardous waste disposal sites. According to the quality and quantity of the daily wastewater output in the factory district of the company and the initial volume of the rainwater, the author formulated a materialization-based processing craft. The processing craft has many advantages, such as less investment, low-cost processing, smaller occupied area and easy operation. Besides, the quality of the water after processing could achieve the emission standard I at the national level.

**Key words** hazardous waste disposal site waste water processing project design

## 电子废弃物回收处理技术现状<sup>\*</sup>

韩增玉 张德华 王晋虎 黄彬  
(昆明理工大学环境科学与工程学院, 昆明 650093)

**摘要** 文章主要介绍了电子废弃物回收利用问题, 综述了目前几种重要的常规废电子废弃物处理回收技术, 即物理处理技术、化学处理技术及生物处理技术, 并对这些技术方法做了简要的分析。

**关键词** 电子废弃物 回收处理技术 物理处理 化学处理 生物技术

按照一般的说法, 电子废弃物是指在电子元、器件和构件制造中产生的废品、残料以及报废的电子计算机、印刷电路板、连接器等电子产品<sup>[1]</sup>。在过去几十年里, 电子信息技术突飞猛进, 电子产品的种类和数量剧增且更新频繁, 大量废旧电子产品被淘汰。对于被淘汰的电子产品, 如果不妥善处理, 将对环境造成严重威胁。另一方面, 电子废弃物含有大量的金、银、钯、铂等贵金属和铜、铁、铅、锡、镍、锑等普通金属, 还有塑料等有机材料, 具有重要的回收利用价值。因此, 如何加强对这些电子废物的处理并回收有用物质, 已成为国内外共同关注的热点问题。

### 1 电子废弃物回收处理方法

电子废弃物类型复杂, 种类多样, 组成的各种构件的物质的成分和含量相差很大, 这就使得它们的回收利用具有一定的难度。但是, 其物质种类却有相同之处, 即含大量的贱金属、非金属、贵重金属和树脂。这些物质的物理特性, 包括密度或比重、导电性、磁性和韧性等存在一定的差异, 这就决定了应采用的分离手段。

电子废弃物中回收处理技术可以概括为物理法、化学法和生物法。物理法主要有拆卸、破碎、分选等方法。化学法一直是广泛应用于处理电子废弃物的成熟方法。化学法又可分为火法冶金、湿法冶金等工艺。生物法实质是利用细菌浸取电子废物中的金属。其中物理法主要是辅助手段, 是其他方法的预处

理阶段。生物技术方法现在仍处于研究中, 目前应用最多的就是化学法中的湿法冶金及化学法和物理法联合应用。

#### 1.1 物理法

物理方法是根据废电路板中各组分物理性能的不同而实现回收的一种手段。主要的物理回收方法如图 1<sup>[2]</sup>。

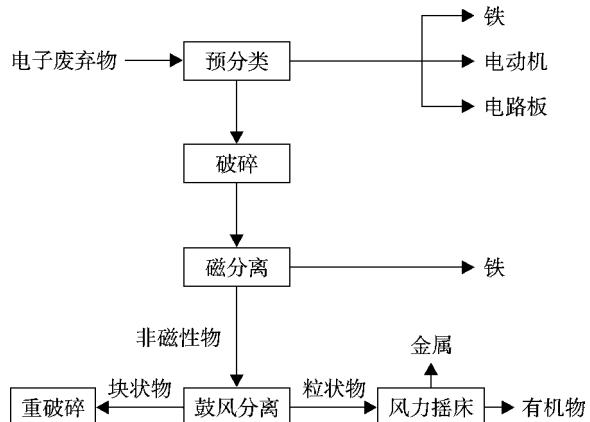


图 1 电子废弃物物理回收方法

##### 1.1.1 破碎

破碎的目的是使废电路板中的金属尽可能的单体解离, 以便于提高分选效率。研究发现<sup>[3][2]</sup>, 一般破碎到 0.6 mm 时, 金属基本上可以达到 100% 的解离, 但破碎方式和级数的选择还要看后续工艺而定。瑞典的 Scandinavian Recycling AB (SR) 开发了一种旋

注: \* 基金项目: 云南省自然科学基金项目(2003E0028M)  
收稿日期: 2009-04-08, 修改稿收到日期: 2009-06-05

转式破碎机，在中间转筒周围安装一套能够自由旋转的压碎环，依靠压碎环与设备内壁之间的剪切作用破碎物料。日本 NEC 公司<sup>[4]</sup>分别采用剪切破碎机和特制的具有剪断和冲击作用的磨碎机，将废电路板磨碎成 0.1~0.3 mm 左右的碎块回收；德国的 Daimler Benz Ulm 研究中心<sup>[5]</sup>采用旋转切刀将废电路板切成 2 cm × 2 cm 的碎块，然后通入低温液氮送入锤磨机碾压成细小颗粒进行回收。

### 1.1.2 分选

分选主要利用电子废弃物中材料的磁性、电性和密度等物理性质的差异实现不同组分的分离。密度分选、磁电分选是常用的 2 种分选技术。目前应用较广的有风力摇床技术、浮选分离技术、旋风分离技术、浮沉法分离及涡流分选技术等。德国 Kamet Recycling GmbH 公司<sup>[3][23]</sup>通过破碎、重选、磁选、涡流分离的方法获得铁、铝、贵金属和有机物等组分。德国 Daimler Benz Ulm 研究中心<sup>[6]</sup>研制了一种分离金属和塑料的电分选机，在控制的条件下可以分离尺寸小于 0.1 mm 的颗粒，甚至能够从粉尘中回收贵金属。目前这种处理工艺已经实现机械化和自动化，其工艺过程见图 2。

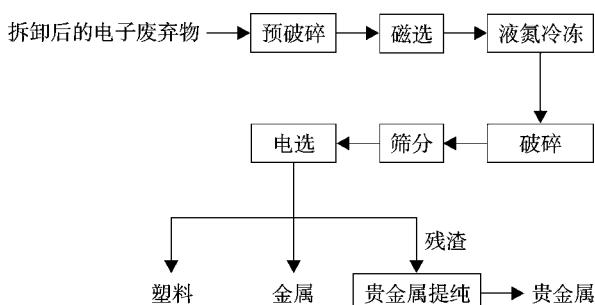


图 2 废电路板处理工艺

## 1.2 化学法

化学处理技术的基本原理是利用电子废弃物中各种成分的化学稳定性不同进行不同的提取工艺。

### 1.2.1 火法冶金

热处理法主要包括焚化法、真空裂解法、微波法等。通常的电子废弃物主体部分都是由热固性的环氧树脂玻璃纤维复合材料制成的，这种材料不但具有不溶和不熔的特点，而且含有高浓度的溴化阻燃剂、重金属等多种成分，给再生利用带来很大的困难。其主要的工艺流程如图 3<sup>[7]</sup>。

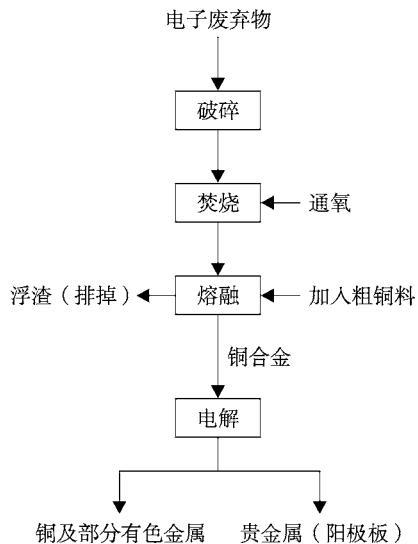


图 3 火法冶金工艺流程

### 1.2.1.1 焚化法

焚化法是先将电子废弃物破碎至一定粒径，送入一次焚化炉中焚烧，将其中的有机成分分解，使气体与固体分离。焚烧后的残渣即为裸露的金属或其氧化物及玻璃纤维，经粉碎后可由物理和化学方法分别回收。含有机成分的气体则进入二次焚化炉燃烧处理后排放。

### 1.2.1.2 裂解法

裂解在工业上也叫干馏。是将电子废弃物置于容器中在隔绝空气的条件下加热，控制温度（通常是 300~900 °C）和压力，使其中的有机物质被分解转化成油气，经冷凝收集后可回收。与电子废料的焚烧处理不同，真空热解过程是在无氧的条件下进行的，因此可以抑止二噁英、呋喃的产生，废气产生量少，对环境污染小<sup>[8]</sup>。彭科等<sup>[9]</sup>研究表明，废电路板的裂解可分为 3 个阶段：300 °C 以下质量基本没有发生变化；300~360 °C 时，某种单一成分开始分解，质量急剧减少；360~900 °C 时，多种成分发生一系列复杂反应，质量减少得比较缓慢。

### 1.2.1.3 微波处理技术

微波加热与传统加热方法有显著差异，具有高效、快速、资源回收利用率高、能耗低等显著优点。微波回收法的过程是：先将电子废弃物破碎，然后用微波加热，使有机物受热分解。加热到 1 400 °C 左右使玻璃纤维和金属熔化形成玻璃化物质，这种物质冷却后，金、银和其他金属就以小珠的形式分离出来，回收利用，剩余的玻璃物质可回收用作建

筑材料<sup>[10]</sup>。

### 1.2.2 湿法冶金

湿法冶金是目前应用较广泛的处理电子废弃物的方法。湿法冶金技术基本原理主要是利用金属能够溶解在硝酸、硫酸和王水等其他酸液中的特点,将金属从电子废物中脱除并从液相中予以回收。湿法冶金与火法冶金相比具有废气排放少,提取金属后残留物易于处理,经济效益显著,工艺流程简单等优点。图4是一套应用较广泛的从电子废弃物中提取贵金属的工艺流程<sup>[11]</sup>。

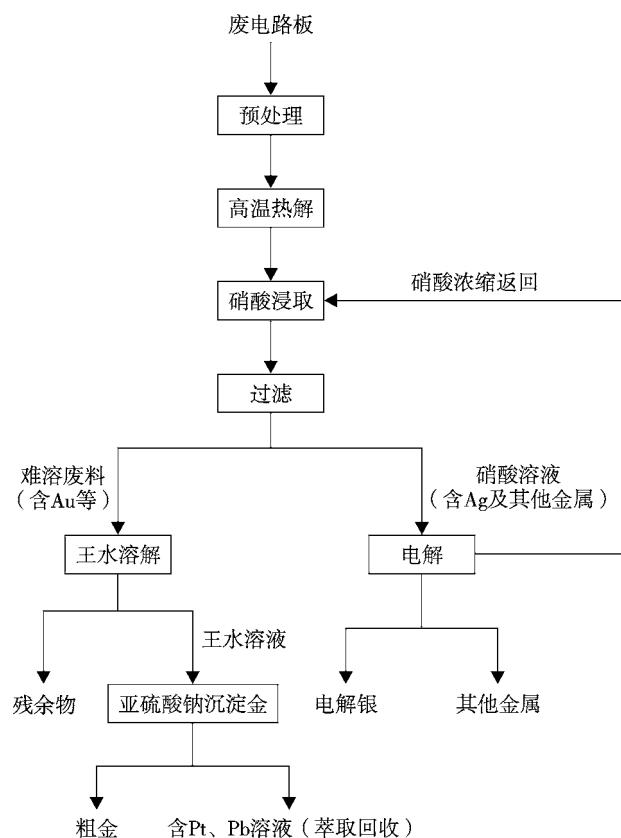


图4 湿法冶金主要工艺流程

#### 1.2.2.1 洗法

该法主要用于回收电子废弃物中的贵金属、稀有金属和部分有色金属,常用的化学试剂有各种无机酸、碱、氧化剂以及某些有络合能力的有机试剂或几种试剂的混合溶液。洗法回收,是将含贵金属的电子废弃物用强酸或强氧化剂处理,先得到贵金属的剥离沉淀物和含铜以及其他价值比较低的金属废酸溶液;再对贵金属的剥离沉淀物进行处理(如用王水等),分别将其还原成金、银、钯等金属产品;含有高

离子浓度铜离子的废酸溶液,可回收为硫酸铜或电解铜<sup>[12]</sup>。但此法通常会产生大量的有毒废水、废气或废渣,处理不当经常会导致二次污染。

#### 1.2.2.2 溶蚀法

溶蚀法常用于回收含贵金属的接点、合金底材。将电子废弃物置于溶蚀液中,在适当的氧化还原电位值控制下使底材溶蚀,而贵金属不溶,因此可以将其回收。工业上回收含有铜的电子废弃物时常用此法,并且在适当的电位控制下溶蚀液可经  $\text{Cl}_2$  处理后循环使用。福州大学魏喆良等<sup>[13]</sup>根据此原理研制出废电路板的乙二胺络合浸镀银工艺。

### 1.3 生物技术

利用细菌浸取金等贵金属是20世纪80年代开始研究的提取物料中低含量贵金属的新技术。该技术利用某些微生物在金矿物表面的吸附作用及微生物的氧化作用来解决难浸金矿石的选冶问题。微生物吸附金可以分为利用微生物的代谢产物来固定金离子和利用微生物直接固定金离子2种类型<sup>[14]</sup>。前者是利用细菌产生的硫化氢固定金,当菌体表面吸附了金离子达到饱和状态时,能形成絮凝体沉降下来;后者是利用三价铁离子的氧化性使金等贵金属合金中的其他金属氧化成可溶物而进入溶液,使贵金属裸露出来便于回收。生物技术提取金等贵金属具有工艺简单、费用低、操作方便的优点,但是浸取时间较长,浸取率较低,目前未真正投入使用。

## 2 几种方法的比较

上述几种常规方法中,机械法虽然具有环境友好的突出优点,但由于采用机械法需要高质量的大型处理设备,因此投资很大,并且由于电子废弃物中成分复杂,全自动的拆解分离技术尚未形成,手工拆解费用太高,以至于在劳动力价格较高的发达国家,只能整体转移到欠发达国家处理。对于火法冶金,虽然也能得到较高的金属回收率(通常其回收率高达90%以上),但存在着焚烧电子废弃物如印刷线路板上的粘结剂和其他有机物等时会产生大量有害气体形成二次污染,而且大量浮渣的排放增加了二次固体废弃物;此外,处理耗能大,处理设备昂贵,经济效益不高。因此火法冶金的应用从效益与经济方面综合考虑不太适合。生物技术方法现在仍处于研究中,

其浸取时间较长,浸取率较低。而对于湿法回收工艺,由于该技术具有废气排放少、处理后的残留物易于处理、经济效益显著、工艺流程简单等突出优点,因此目前它比机械法和火法冶金技术应用前景要广泛些。且在20世纪80年代后,人们对环保的重视和从电子废物中回收有价资源的兴起,许多科研工作者开始从事这方面的研究<sup>[15]</sup>,使湿法冶金技术得到日趋完善。

### 3 结语

随着社会的发展和科学技术的不断进步,人们对电子废弃物二次资源处理的要求也越来越高。但真正做到对电子废弃物中所有材料资源化,处理过程中无害化的工艺方法还没有出现。未来处理电子废弃物技术的发展趋势应该是:处理形式产业化,资源回收最大化,处理技术科学化。针对电子废弃物来源广、成分范围波动大、多金属共存甚至多种金属和多种非金属材料(如多种有机高分子材料)共存的特点,必须研究涉及其分离、提纯与资源再循环再利用过程的化学理论问题,包括宏量金属的物理分离和化学分离,微量贵重金属的高效富集和提取,体系多组分性能差异及其选择性调控原理,为电子废弃物二次资源的高效循环利用和无害化回收提供理论指导和技术支持。

### 4 参考文献

- [1] 国家环境保护总局.环发[2003]43号关于加强废弃电子电气设备环境管理的公告[EB/OL].[2009-04-08].
- [2] Shunli Zhang, Eric Forssberg. Mechanical separation oriented characterization of electronic Scrap[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1997, 21: 247-269.
- [3] Melchiorre M, Jakob R. Electronic scrap recycling[J]. Micto-electronics Journal, IEEE, 1996, 28(8-10): 21-24.
- [4] Yokoyama S, Iji M. Recycling of printed writing board waste[M]. Proceedings of 1993 IEEE/Tsukuba International Workshop on Advanced Robotics. IEEE, 1993: 55-58.
- [5] Shunk Zhang, Eric Forssberg. Intelligent liberation and classification of electronic scrap[J]. Powder Technology, 1999, 105: 295~301.
- [6] Melchiorre M, Jakob R. Neuartiges Verfahren zur aufbereitung von eleetronicschrott-ein bertrag zur wirtschaftlichen rohst-ofgewtnnung[J]. Galvanotechnik, 1996, 87(12): 4136-4140.
- [7] 胡天觉,曾光明,袁兴中.从家用电器废料中回收贵金属[J].中国资源综合利用,2001,(7):12-15.
- [8] 李爱民.有害固体废物热解焦油特性研究[J].重庆环境科学,2003,25(5):20-23.
- [9] 彭科,奚波.印刷电路板基材热解实验研究[J].环境污染治理技术与设备,2004,5(5):34-37.
- [10] 佟志芳,毕诗文.微波加热在冶金领域中应用研究现状[J].材料与冶金学报,2004,3(2):117-120.
- [11] B W Dunning, Jr. Precious metals recovery from electronic scrap and solder used in electronics manufacture[R]. Washington, D C: U S Bureau of Mines, 1986: 44-56.
- [12] 朱萍,古国榜.从印刷电路板废料中回收金和铜的研究[J].稀有金属,2002,26(3):214-216.
- [13] 魏皓良,唐电.印刷电路板的乙二胺络合浸镀银工艺[J].福州大学学报:自然科学版,2007,35(4):616-619.
- [14] King R B, Long G M, Sheldon J K. Practical environmental bioremediation[M]. Florida: CRC Press, 2000.
- [15] S. Martinez a, P. Navaxro b, A M sastre. The solvent extraction system AU(Ⅲ)-HCl-Cyanex471X[J]. Hydrometallurgy, 1996, 43: 1-12.

## The Present Situation of Electronic Wastes Disposal Technology

Han Zengyu Zhang Dehua Wang Jinhu Huang Bin

**Abstract** This article mainly introduced the problems of electronic wastes disposal, summarized several kinds of important conventional recycling techniques at present, including physical treatment technology, chemical treatment technology and biological treatment technology and some brief analysis for these techniques also have been made.

**Key words** electronic wastes technologies of recycling and disposal physical treatment chemical treatment biological technology

# ISO14001 与高校环保型校园建设初探<sup>\*</sup>

谢云成

(重庆文理学院, 重庆 402160)

**摘要** 文章以重庆文理学院环境管理体系为例, 初步探索高校环保型校园建设的方法与途径。高校环保型校园建设首先要从学校发展定位和校园规划的理念入手, 把建设“生态型”作为学校办学定位的重要内容, 树立可持续发展的校园规划观念, 统筹校园空间划分、校园建筑、绿化美化和环境保护, 在日常运行中要以环境因素为控制对象, 采用目标管理、运行控制、应急响应 3 种主要控制方式, 落实环保责任, 完善监控机制, 使学校成为鸟语花香、生机勃勃、持续发展的育人高地、环保示范高地。

**关键词** ISO14001 高校 环境管理体系建设

在全面贯彻科学发展观的今天, 最美丽的大学也应该是最环保的大学。在高校学生规模迅速扩大的今天, 解决人地关系的矛盾, 实现校园环境建设与可持续发展, 越来越受到许多高校的关注<sup>[1]</sup>。诚然, 许多高校的校园建设匠心独运, 但是相当多的高校校园建设过程中对环境保护缺乏深入的思考。以重庆文理学院为代表的一些高校, 在校内全面贯彻 ISO14001 环境管理体系, 实现了办学定位与环境方针、校园建设与环境规划、绿化美化与环保责任、环境教育与全员参与的协调发展。本文以重庆文理学院为例, 探索高校环保型校园建设的理念、思路与方法。

## 1 高校环保型校园建设的必要性

高校环保型校园是指采用科学发展、可持续发展观念进行环境教育和环境管理, 将生态型、环保型作为办学目标, 通过环境体系建设和管理使大学成为生态文明和文化传承中心。主要包括环境管理体系建立、学校校园建设远景规划、学校环境建设运行和管理、大学为生态文明应作的基本义务等。高校环保型校园建设的必要性主要体现在以下几个方面:

### 1.1 为落实科学发展观提供机制上的保证

宣传环境保护, 提高全民环保意识是高校教育教学重要任务之一, 整合与学校可持续发展相关各方面工作, 为落实科学发展观和学校可持续发展提

供机制上的保证。

高校引入和建立环境管理体系, 最直接的效益就是节能降耗, 降低学校的运行和管理成本, 节能效益、生态效益凸现, 重庆文理学院 ISO14001 环境管理体系运行几年来, 每年为学校节约运行成本 20%~30%。

### 1.2 改善校园的环境质量, 提升师生环保意识

ISO14001 标准的实施强调全过程的环境管理与控制, 学校管理者可将环保目标责任制等制度和学校自身制定制度有机结合, 采取期末质量目标责任考核和节能降耗措施, 改善学校环境质量。通过定期对院系和职能部门师生的环境宣传教育及开展环保活动, 促进各二级部门主动改善环境, 使各部门间逐渐形成物质、能量、信息链和相互共生的关系, 减少污染物的产生和排放, 节约能源, 使校园环境质量和污染控制得到明显改善。师生员工环境保护意识明显增强, 通过以上活动必将推动大学向环保型高校目标迈进。

### 1.3 高校环保型校园建设有利于高校长远发展

ISO14001 标准要求任何单位引入环境管理体系, 必须公开自己单位的环境方针和环境目标、计划。高校建立环境管理体系体现学校高度重视环保意识和节约意识, 以及高校强烈的社会责任感、环境道德观和环境伦理观, 对提升学校的美誉度、知名度和影响力是相当重要的, 有利于学校长远发展。

注: \* 基金项目: 重庆文理学院科研资助项目“ISO14001 与高校校园环境建设体系研究”(项目号: Y2008YJ42) 的研究成果。

收稿日期: 2009-04-07, 修改稿收到日期: 2009-07-24

## 2 建设环保型高校的路径与方法

ISO14001 标准的宗旨是对环境管理体系提出规范性要求,一切组织的环境管理体系必须遵照该标准的要素、规定和模式。该标准自 1996 年颁布以来,以其全新的环境管理理念在企业得到推广和运用。创建环保型高校,从确定学校的环境方针和目标到所有人员的环境职责要求,从师生培训到学校效能核算,从学校自身到合作单位,都要进行系统的规范,并付诸实施,通过它来达到使学校环境管理和教育教学质量得到升华和提高,从而赢得社会的尊重和认可<sup>[2]</sup>。所以我们创建环保型高校必须引入 ISO14001 环境管理模式来实现创建目标。

### 2.1 建设环保型高校的基本路径

1) 将 ISO14001 环境管理体系纳入学校管理体系中,形成制度化和程序化,按制定的文件和程序进行规范管理,并与期末目标指标考核直接挂钩。

2) 制定学校环境管理规划和方针,并使全校师生员工熟悉了解,鼓励他们全员参与。

3) 规范学校环境行为,理顺环境管理思路,健全规章制度。

4) 将环境管理体系理念融入到学校校园建设、课程、人才培养方案和宣传等日常活动中去,让学校成为培养具有环境素质人才的场所。

### 2.2 建设环保型高校的基本方法

建立环境管理体系的基本步骤:初始准备 - 初始环境评审 - 制定环境规划、方针 - 建立管理组织机构 - 建立监测系统、纠正措施、执行程序 - 建立体系文件 - 运行控制 - 评审和持续改进<sup>[3]</sup>。

#### 2.2.1 建立和完善学校环境管理机构

环境管理机构是高校实现其环境方针、目标与考核指标的组织保证,坚强的组织机构和务实的领导班子是顺利开展 ISO14001 环境管理体系建设的前提。需要有专门负责的工作机构和人员,明确工作职责、责任和管理权限。组织架构是:最高管理者(校长或书记)- 质量管理部 - 体系中相关的学校职能部门和各二级教学单位。重庆文理学院成立由党委书记直接管理的质量管理部(正处级单位),主要负责体系建立、实施、保持、协调、督察和落实;二级学院和职能部门领导担任部门环境建设第一责任人,下设体系运行和体系建设管理办公室,做好监控和记录,实行

每天有工作记录,每周有工作检查,双周有质量通报,半学期有质量小结,学期有质量考核的监控体系。

#### 2.2.2 制定学校环境规划、环境方针和环境目标指标

环境规划是学校环境管理和建设的指南。环境方针是学校整体环境管理工作的行动纲领和准则,是学校环境规划的总体意图和原则陈述。环境目标指标是为实现环境方针而提出的在一定时期内必须达到的环保总体目标,以及分阶段、分部门的具体要求和具体措施、责任单位、资源保证和完成时间表等。所以环境规划应纳入学校的发展计划中,认真制定并且确保环境规划落实是 ISO14001 环境管理体系实现的前提。重庆文理学院制定了“十一五”校园环境建设规划,学校发展目标:把学校建设成为“学习型、服务型、集约型、生态型、发展型的多科性”大学。明确提出建设“生态型、环保型”的环境目标。学院坚持“依法办学、质量立校、关注顾客、诚信服务、尊重自然、保障健康、控制风险、持续改进”的 32 字环境管理方针<sup>[4]</sup>,充分考虑建筑造型、色彩、道路景观、庭院设计个性化、协调性与生态性,体现校园建设的文化内涵和品位,以创设最佳育人环境。环境建设中主要协调、处理好 3 个关系,即质量、成本与安全效益的关系;投入、发展与风险控制的关系;建设、环保与校园环境文化的关系。同时加强校园环境建设管理专业队伍的建设,根据需要适时引进高水平的环境建设管理专业人才。

#### 2.2.3 开展体系宣传和人员培训工作

人是实施工作的核心要素。ISO14001 标准注重培训与全员参与,多种形式的培训应贯穿体系运行的始终。通过培训使全校教职工,特别是决策层、管理层和重要岗位的教职工充分认识 ISO14001 环境管理体系对工作的指导性和重要性,全面理解体系。通过对体系系统学习全面提升全校师生的环境意识、生态意识和环境管理水平。学校每年定期对不同岗位要开展不同的培训工作,不同的培训对象,培训的侧重点要有区分,通过培训,要让他们明白自己的职责和知道如何去做;同时对人员变动和岗位调整的员工进行业务培训,让他们尽快适应工作。同时学校与国培认证培训(北京)中心联合开设针对全校学生的内审员培训的文理基础选修课,每学期举行 1 次,可获得学分,加强对全体师生体系知识的教育和宣传。

目前主要开展 4 类专题培训:

1) 面向全体教职员的基础知识培训;

- 2) 面向各类管理人员的基本方法培训;
- 3) 面向体系管理骨干的专项技术培训;
- 4) 面向各级领导干部的管理制度培训。

通过培训消除了师生员工的心理困惑和认识误区,更新了观念,推广了方法,切实提高了各级管理人员的“学习与思考、调研与策划、执行与实施、记录与跟踪、整改与进步”等 5 种能力。

#### 2.2.4 建立健全运行管理制度与文件控制程序

管理制度与文件控制程序是实现学校环境方针、目标指标的手段,环境管理体系文件包括:保持体系运行的 ISO14001 标准要求的 11 个管理程序;环境方针、目标和指南;对环境管理体系的覆盖范围的描述;对环境管理体系主要要素及其相互作用的描述,以及相关文件的查询途径;本标准要求的文件,包括记录;组织为确保对涉及重大环境因素的过程进行有效的策划、运行和控制所需要的文件,包括记录。目前,重庆文理学院建立了一套层次分明、文件化的制度体系,共分 4 个层次(简称“个十百千”):1 本管理手册;37 个程序文件;358 个作业文件;上千种记录。实现了学校管理制度的系统化、程序化、透明化,减少了工作环节、消除了程序重叠、理清了管理接口。

体系运行过程中,严格执行体系文件的规定,不断开展自查,对发现问题及时落实责任、尽快整改。同时加强记录,各类记录是体系运行的见证和情况的最直接反映,所以一定要规范记录,来促进体系的不断完善和优化,通过运行过程管理与工作目标指标量化考核有机融和,提高全体教职工的重视程度。根据目标管理与过程管理相结合的原则,我们设计了目标管理与工作质量考核制度。具体的操作是:以目标管理为主,兼顾过程控制,层层分解、人人有责,学校验收、奖优罚劣。重庆文理学院环境管理体系的运行概况如图 1 所示。

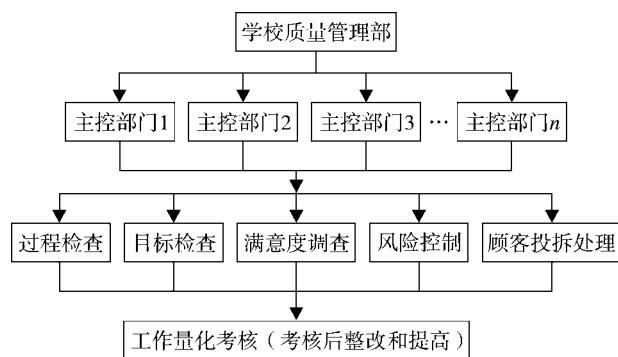


图 1 环境体系运行管理示意

#### 2.2.5 环境因素识别

环境因素识别是建立环保型高校的基础。通过调查了解本校情况,考察本校校园水、气、声、固体废物及污染治理、校园绿化及生态效益、道路建筑布局以及教学区和办公区的采光、通风等情况。识别重大环境因素和环境影响,发现存在问题的过程,定期开展环境因素识别与评价,做好全校环境因素清单。该院在全面调查的基础上制定学校环境风险应急计划,确立学校危险源因子和重大风险因子,组织开展环境事故的应急演练,安排专项环保资金落实环境整治项目,下达节能降耗指标,制定节能降耗方案,加强节能减排,做好各种影响环境的预案,把环境影响控制在最低限度。防止和减少环境事故发生,同时保证在污染事故和其他可能造成环境危害的事故和灾害发生时有效的减少人员、财产等各方面损失,近几年无一例事故发生。

#### 2.2.6 定期开展环保型高校内审和外审

学校应当及时检查和评价环境管理工作的绩效,以确保环境方针和目标指标的实现,通过定期开展内部审核和邀请社会第三方机构进行监督审核,目的是检查本校环境管理体系是否符合标准要求,是否在实际的管理当中使用,能否起到环境管理作用。具体操作由学校质量管理部通过编制审核计划、检查表和检查程序方案等一系列文件来支持,无论是外审还是内审,要求做好记录。这是创建环保型高校的第一手资料,也是撰写审核报告的依据,同时也是为了保证体系运行的有效性和持续性。整个程序是对体系的回顾总结、反馈和持续改进,对发现问题及新情况及时调整体系,包括规范性评价。

### 3 实践

重庆文理学院自开展该体系认证以来,主要取得以下效果:

- 1) 校园环境质量全面改善,环境污染得到有效控制,师生环境意识明显提高;
- 2) 教学质量全面提升,办学实力全面增强;
- 3) 学校社会影响力日益扩大,招生生源和学生就业位居同类高校前列;
- 4) 管理思想的内涵更加丰富,规章制度的制定更加科学。环境质量责任的落实更加到位。

近年来,该管理模型荣获 2005 年国家教学成果二等奖。同年学校被教育部授予“依法治校示范校”,

是全国获此殊荣的 23 所高校中唯一一所重庆高校。学校被重庆市人民政府命名为“重庆市园林式单位”，自办的自来水厂被评为“重庆市六佳水厂”。广大学生和家长普遍认为学校是“读书佳境，求学圣地”。该校管理模型的成功探索，同时得到了上级领导、主管部门、专家学者、兄弟高校和新闻媒体的高度评价，学校的社会影响日益扩大。迄今，已经有全国 70 余所兄弟高校到校专程学习考察。中央电视台、《光明日报》、《中国教育报》、《科技日报》、《大公报》(香港)以及《红旗》画刊、《中国新闻》均专题报道。《高等教育研究》2006 年第 6 期《大学校长与战略》一文，着重介绍了该校实施“三标(ISO9001 质量管理体系、ISO14001 环境管理体系、GB/T28001 职业健康安全管理体系)一体”、建设质量文化的情况及经验。

#### 4 结论与建议

高等学校作为一个社会组织，没有理由不积极关注环境生态这一重要的发展问题，更应积极地承担环境保护的责任。高校具有建立环保型高校得天独厚的优势：人文环境好，师生整体素质高，师生环保意识强。创建环保型高校校园具有重要意义，推进高校环保型校园建设是高校义不容辞的责任。

高校引入 ISO14001 系列标准，必然会对高校的环境建设和管理发展带来全新的活力和充沛的动力<sup>[5]</sup>。通过体系建立必然节省管理成本，提高管理效能，转变传统管理理念，提高学校的社会影响力和知名度，

增强学校社会竞争力。实践证明高校推行 ISO14001 是可行的、必要的。

高校建立环境管理体系是落实科学发展观和可持续发展的具体体现，创建高校环境管理体系是大学办学观念的根本转变，大学应成为创建生态文明的基本单位和文化中心，承载着全民环境教育的重任。所以必须加强学校管理者对 ISO14001 体系培训和认识，提高他们质量管理意识，积极推广高校环保型校园先进经验和做法。

质量是高等教育永恒的主题，建设环保型校园的出发点和最终归宿是保证学校的教育质量，ISO14001 作为质量文化应纳入学校的战略管理当中。根据重庆文理学院的经验，我们认为质量文化是学校发展的核心战略，作为一种战略设计，一种整体运作，建设环保型高校是永远不懈追求的发展目标。

#### 5 参考文献

- [1] 张江雪,李亮,王姣娥,等.高校校园绿化环境指标体系构建[J].城市环境与城市生态,2003,16(6):204-206.
- [2] 周溢. ISO14001 在创建“绿色大学”中的运用[J]. 高等理科教育,2005,(5):112-115.
- [3] 陈其杨,杨华. ISO14000 标准理解与认证实务[M]. 广州: 广东经济出版社,2003.
- [4] 重庆文理学院. 重庆文理学院“十一五”发展规划及 2020 年远景目标[EB/OL]. [2009-04-07]. [http://www.cqwu.edu.cn/fz\\_sy.php](http://www.cqwu.edu.cn/fz_sy.php).
- [5] 胡歆. 以 ISO14001 推进生态城市建设[J]. 城市环境与城市生态,2003,16(增刊):68-70.

## ISO14001 and Environmentally-sound Construction of College Campus

Xie Yuncheng

**Abstract** Chongqing University of Arts and Sciences is the sole average university in China to have gained accreditation of the quality management system certification of ISO9001, the environmental management system certification of ISO14001, and the occupation-al health & safety management system certification of GB/T28001. This paper takes the construction the environmental management system certification of ISO14001 for example, and gives a preliminary discussion on some methods and paths for environmentally-sound construction of college school. Environmentally-sound construction of college school begins with the development localization and the layout of a college campus. The construction takes constructing "ecological" campus as an important part of the development localization, take the re-responsibility of the sustainable development of the layout of a college campus, well-planned the campus space subdivision, campus building, tree-planting and environmental protection. The construction takes the environmental factors as the control object in its routine operation, adopts management by objectives, operation control, security emergency response to carry out green responsibilities, to implement quality management mechanisms. It is designed to turn college campus into a place full of flowers perfume and birds singing, a place full of vigor, a campus of sustainable development and model communities.

**Key words** ISO14001 high school construction of environmental management system

## 层次分析法与模糊综合评价法在城市生态系统健康评价中的应用

李艳利<sup>1</sup> 李东艳<sup>1</sup> 李艳粉<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454000; <sup>2</sup>焦作大学化工与环境工程学院, 河南 焦作 454000)

**摘要** 文章采用层次分析法与模糊数学相结合的方法构建了相对较为完整的城市生态系统健康评价体系, 以焦作城市为例, 对 2000~2006 年间的城市生态系统健康进行了评价。结果表明, 连续 7 a 的评价结果分别为病态、病态、不健康、不健康、不健康、亚健康、亚健康, 焦作城市生态系统健康状况随着时间的推移而不断改善。并且明确了焦作城市生态系统健康状况的影响因子, 为焦作城市生态规划与保护提供科学依据。

**关键词** 城市生态系统健康评价 活力 组织结构 恢复力 服务功能

近年来, 人类正以前所未有的规模和强度影响着环境, 致使生态系统的健康受到越来越大的损害, 并由此危及到人类健康。因而, 城市生态系统健康评价的研究受到学者们的关注。目前, 对于城市生态系统健康状况, 主要通过构建相应的指标体系、建立适宜的模型来评价。Jerry 等<sup>[1]</sup>应用驱动力-压力-状态-暴露-影响-响应模型, 探讨了建立城市生态系统健康评价指标体系的理论、方法, 但没有提出明确的可量化的指标及相应的评价模型。郭秀锐等<sup>[2]</sup>以活力、组织结构、恢复力、生态系统功能的维持、人群健康状况作为评价要素, 采用模糊数学方法构建了广州城市生态系统的健康评价模型, 并对广州、北京、上海 3 个城市的总体健康进行了分析, 但该工作仍存在时间上跨度不大的问题。曾勇等<sup>[3]</sup>采用主成分分析确定出城市生态系统健康评价的主要指标和权重, 针对评价标准不确定性问题建立了模糊优选评价模型, 并开展了上海市案例研究。官东杰等<sup>[4]</sup>采用因子分析法赋予指标权重, 应用模糊数学方法构建评价模型, 对重庆市城市生态系统健康状态进行了实例研究。苏美蓉等<sup>[5]</sup>运用集对分析方法, 对北京、大连、上海、武汉、厦门、广州等城市 1995~2003 年的城市生态系统健康进行了评价。本文针对目前此类研究中指标评价标准的不确定性和不完整性问题, 拟结合定性和定量分析建立一套相对完整的评价指标体系和评价方法, 并应用到焦作城市生态系统健

康评价研究的实际案例中, 以便为城市生态系统健康良性运行与适应性管理及实现城市生态与经济社会的协调发展提供科学依据。

### 1 城市生态系统健康的概念和评价方法

#### 1.1 城市生态系统健康的内涵

对生态系统健康评价的研究, 崔保山等<sup>[6]</sup>总结了湿地生态系统的概念、湿地生态系统健康诊断指标及研究趋势以及湿地生态系统健康恢复的研究进展。王小艺等<sup>[7]</sup>从农业生态系统健康学说的形成与发展、危及农业生态系统健康的胁迫因子、农业生态系统健康的评价方法与指标等方面综述了农业生态系统健康学的研究概况。肖风劲等<sup>[8]</sup>根据国家的遥感及气象资料, 在生态系统健康评价的基础上, 以活力、组织、恢复力为指标, 对中国森林生态系统的健康进行评价。目前对于生态系统健康的概念, 比较公认的是通过活力、组织结构和恢复力 3 个特征进行定义。但城市生态系统是受人类活动干扰最强烈的地区, 它已经演化为一种高度人工化的自然-经济-社会复合的生态系统。它更加强调生态系统能维持对人类的服务功能以及人类自身健康及社会经济健康不受损害。由此, 城市生态系统健康作为自然-经济-社会复合生态系统是稳定的和可持续的, 对外界不利因素具有抵抗力; 从社会经济角度, 具有持

续提供城市居民完善的生态服务功能的能力。

## 1.2 构建评价指标体系

本文根据城市生态系统健康的内涵和人类活动对生态系统服务功能的影响,本着综合性、代表性、层次性、可比性、可操作性等原则,从城市生态系统的活力、组织结构、维持恢复力、生态系统服务功能、人群健康等方面,提出评价城市生态系统健康的评价指标体系。

1) 目标层:U=城市生态系统健康评价

2) 准则层(一级指标): $A_1$ =活力,  $A_2$ =组织结构,  $A_3$ =恢复力,  $A_4$ =维持生态系统服务功能,  $A_5$ =人群健康。

3) 要素层(二级指标): $B_1$ =经济水平,  $B_2$ =经济效率,  $B_3$ =经济结构,  $B_4$ =社会结构,  $B_5$ =自然结构,  $B_6$ =废物处理能力,  $B_7$ =物质循环利用率,  $B_8$ =环保投资,  $B_9$ =生活质量,  $B_{10}$ =环境质量,  $B_{11}$ =身体健康,  $B_{12}$ =人口素质。

4) 指标层(三级指标): $C_1$ =人均GDP(万元),  $C_2$ =年GDP增长率(%),  $C_3$ =万元GDP能耗(以标准煤计, t/万元),  $C_4$ =万元GDP水耗(t/万元),  $C_5$ =第三产业占GDP比重(%),  $C_6$ =信息产业占GDP的比重(%),  $C_7$ =旅游收入占GDP的比重(%),  $C_8$ =建成区人口密度(万人/km<sup>2</sup>),  $C_9$ =第三产业人口比例(%),  $C_{10}$ =老龄人口比例(%),  $C_{11}$ =自然保护区覆盖率(%),  $C_{12}$ =森林覆盖率(%),  $C_{13}$ =人均占有公共绿地面积(m<sup>2</sup>),  $C_{14}$ =工业废水达标排放率(%),  $C_{15}$ =环境噪声

达标区覆盖率(%),  $C_{16}$ =城市生活污水处理率(%),  $C_{17}$ =工业用水重复利用率(%),  $C_{18}$ =工业固废综合利用率(%),  $C_{19}$ =环保投资占GDP比重(%),  $C_{20}$ =恩格尔系数(%),  $C_{21}$ =登记失业率(%),  $C_{22}$ =城市人均住房面积(m<sup>2</sup>),  $C_{23}$ =燃气普及率(%),  $C_{24}$ =每万人拥有病床数(张),  $C_{25}$ =人均道路面积(m<sup>2</sup>),  $C_{26}$ =集中式饮用水源水质达标率(%),  $C_{27}$ =区域环境噪声平均值(dB(A)),  $C_{28}$ =交通干线噪声平均值(dB(A)),  $C_{29}$ =空气综合污染指数,  $C_{30}$ =人均期望寿命(a),  $C_{31}$ =人口自然增长率(‰),  $C_{32}$ =孕产妇死亡率(1/10万),  $C_{33}$ =0~4岁儿童死亡率(‰),  $C_{34}$ =人口平均受教育年限(a),  $C_{35}$ =万人在校大学生数(人)。

## 1.3 评价标准

城市生态系统健康评价标准是较难解决的问题。本文在确定城市生态系统健康标准时,依据国家对健康城市的要求和国家环保局对健康城市建设的标准确定,将城市生态系统健康评价的标准划分为5个等级:病态、不健康、亚健康、健康、很健康。参考国内外公认的健康城市、生态城市、国际化大都市标准,以及国内的园林城市、环保模范城市的建议值作为很健康的标准值。

很健康级别的标准确定之后,以全国最低值作为病态的限定值,再于很健康与病态标准值之间平均划分3个等级,分别作为健康、亚健康、不健康级别的标准。具体的分级标准见表1。在进行评价时,选用的标准则取区间范围的平均值。

表1 城市生态系统健康评价分级标准

要素	具体指标	序号	单位	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
活力	人均GDP	1	万元	<0.7	0.7~4	4~6	6~14	14~20
	年GDP增长率	2	%	<2	2~6	6~8	8~10	10~13
	万元GDP能耗(以标准煤计)	3	t/万元	>2	2~1.5	1.5~1	1~0.5	<0.5
	万元GDP水耗	4	t/万元	>45	45~40	40~35	35~25	<25
组织结构	第三产业比重	5	%	<20	20~40	40~60	60~70	70~80
	信息产业占GDP比重	6	%	<5	5~10	10~15	15~20	20~25
	旅游收入占GDP比重	7	%	<1	1~4	4~6	6~10	10~16
	建成区人口密度	8	万人/km <sup>2</sup>	>4	4~3	3~2	2~1	<1
	第三产业人口比例	9	%	<20	20~40	40~60	60~70	>70
	老龄人口比例	10	%	>12	12~8	8~6	6~4	<4
	自然保护区覆盖率	11	%	<1	1~3	3~8	8~15	>15
	森林覆盖率	12	%	<30	30~35	35~40	40~45	45~50
	人均占有公共绿地面积	13	m <sup>2</sup> /人	<4	4~6	6~10	10~18	>18

续表 1

要素	具体指标	序号	单位	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
恢 复 力	工业废水达标排放率	14	%	< 70	70~80	80~90	90~95	> 95
	环境噪声达标区覆盖率	15	%	< 45	45~50	50~55	55~60	> 60
	城市生活污水处理率	16	%	< 20	20~40	40~60	60~80	> 80
	工业用水重复利用率	17	%	< 10	10~40	40~60	60~80	> 80
	工业固废综合利用率	18	%	< 30	30~50	50~70	70~95	> 95
维持生态系统服务功能	环保投资占 GDP 比重	19	%	< 0.8	0.8~1.2	1.2~2.8	2.8~4	> 4
	恩格尔系数	20	%	> 50	50~40	40~35	35~30	30~25
	登记失业率	21	%	> 5	5~4	4~3	3~2	< 2
	城市人均住房面积	22	m <sup>2</sup>	< 10	10~15	15~20	20~30	> 30
	燃气普及率	23	%	< 50	50~70	70~90	90~98	> 98
	每万人拥有病床数	24	张	< 20	20~40	40~60	60~80	> 80
	人均道路面积	25	m <sup>2</sup>	< 6	6~10	10~15	15~20	20~28
	集中式饮用水源水质达标率	26	%	< 50	50~80	80~90	90~95	> 95
	区域环境噪声平均值	27	dB(A)	> 85	85~70	70~50	50~45	< 45
	交通干线噪声平均值	28	dB(A)	> 100	100~80	80~65	65~55	< 55
人群健康状况	空气综合污染指数	29		> 6	6~4	4~2	2~0.5	< 0.5
	人均期望寿命	30	a	< 55	55~60	60~70	70~80	> 80
	人口自然增长率	31	%	> 5.0	5.0~4.0	4.0~2.0	2.0~1.0	< 1.0
	孕产妇死亡率	32	1/10 万	> 40	40~30	30~20	20~15	< 15
	0~4 岁儿童死亡率	33	%	> 20	20~15	15~12	12~10	< 10
	人口平均受教育年限	34	a	< 4	4~8	8~10	10~13	> 13
	万人在校大学生数	35	人	< 50	50~150	150~300	300~450	> 450

#### 1.4 权重的计算方法

各指标权重的确定——层次分析法。

层次分析法（简称 AHP 法）是美国运筹学家 Satty 在 20 世纪 70 年代提出的一种多目标决策方法，决策者通过将复杂问题分解成若干层次和若干因素，在各因素之间进行简单的比较和运算，就可以得出不同方案重要性程度的权重，为最佳比例的选择提供依据<sup>[9]</sup>。

层次分析法的步骤：

- 1) 建立指标层次结构；
- 2) 构造判断矩阵求出特征根、特征向量；
- 3) 计算判断矩阵得一致性并检验一致性。

#### 1.5 评价模型

本文应用模糊数学方法拟定的城市生态系统健康评价模型为：

$$H=W \times R \quad (1)$$

式中：H 为城市生态系统健康诊断结果，

$W = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5)$ ,  $\omega$  为 5 个健康评价要素（活力、组织结构、恢复力、服务功能、人群健康）对总体健康程度的权矩阵，R 为各生态系统健康评价要素对各级健康标准的隶属度矩阵。

$$R = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & R_{14} & R_{15} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{24} & R_{25} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & R_{34} & R_{35} \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & R_{44} & R_{45} \\ R_{51} & R_{52} & R_{53} & R_{54} & R_{55} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$R_{ij}$  为第  $i$  个要素对第  $j$  级标准的隶属度；

$$R_{ij} = \begin{pmatrix} \omega_{i1} & \omega_{i2} & \cdots & \omega_{ik} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{1j} \\ r_{2j} \\ M \\ r_{kj} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$k$  为每一个评级指标包含的指标个数；

$\omega_{ik}$  为第  $i$  要素中第  $k$  个指标对该要素的权重；

$r_{kj}$  为第  $k$  个指标对第  $j$  级标准的相对隶属度。

## 2 案例研究

### 2.1 健康状态的确定

将焦作城市 2000~2006 年现状值带入模型, 对其进行城市生态系统健康评价。

焦作城市 2000~2006 年带入指标值得到的隶属度矩阵分别为:

$$R_{2000} = \begin{pmatrix} 0.7778 & 0 & 0.16665 & 0.05555 & 0 \\ 0.44842 & 0.28779 & 0.20111 & 0.03408 & 0.02857 \\ 0.35711 & 0.2795 & 0.03907 & 0.18895 & 0.13532 \\ 0.06979 & 0.3283 & 0.33946 & 0.01333 & 0.25 \\ 0.52225 & 0.37775 & 0.09375 & 0.00625 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_{2001} = \begin{pmatrix} 0.77529 & 0.00502 & 0 & 0.1185 & 0.10119 \\ 0.33959 & 0.38183 & 0.2159 & 0.03408 & 0.02857 \\ 0.28568 & 0.11893 & 0.22106 & 0.13821 & 0.09321 \\ 0.07021 & 0.35443 & 0.26541 & 0.03 & 0.25 \\ 0.5 & 0.37896 & 0.11479 & 0.00625 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_{2002} = \begin{pmatrix} 0.77242 & 0.00538 & 0 & 0.06666 & 0.15554 \\ 0.30391 & 0.16135 & 0.4299 & 0.10485 & 0 \\ 0.20569 & 0.24892 & 0.4339 & 0.12643 & 0.10071 \\ 0.07979 & 0.61794 & 0.27899 & 0.02333 & 0 \\ 0.33763 & 0.43738 & 0.09375 & 0.065 & 0.06625 \end{pmatrix}$$

$$R_{2003} = \begin{pmatrix} 0.76867 & 0.00943 & 0 & 0 & 0.2219 \\ 0.33778 & 0.16014 & 0.27729 & 0.22476 & 0 \\ 0.06542 & 0.30955 & 0.227 & 0.29834 & 0.09964 \\ 0.16845 & 0.57595 & 0.25108 & 0.01708 & 0 \\ 0.28458 & 0.47168 & 0.1125 & 0.065 & 0.06625 \end{pmatrix}$$

$$R_{2004} = \begin{pmatrix} 0.75651 & 0.02159 & 0 & 0 & 0.2219 \\ 0.37892 & 0.17299 & 0.20236 & 0.29112 & 0 \\ 0.12284 & 0.2032 & 0.27564 & 0.27666 & 0.12161 \\ 0.14666 & 0.61275 & 0.27066 & 0.01458 & 0 \\ 0.256 & 0.50025 & 0.12344 & 0.03854 & 0.0416 \end{pmatrix}$$

$$R_{2005} = \begin{pmatrix} 0.7461 & 0.03199 & 0 & 0 & 0.222 \\ 0.34742 & 0.16192 & 0.19355 & 0.32479 & 0 \\ 0.10285 & 0.13014 & 0.3687 & 0.25399 & 0.14428 \\ 0.02604 & 0.28752 & 0.40817 & 0.17917 & 0.1 \\ 0.25281 & 0.56531 & 0.17188 & 0.01 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_{2006} = \begin{pmatrix} 0.73225 & 0.04555 & 0 & 0 & 0.2222 \\ 0.35172 & 0.15671 & 0.14349 & 0.30437 & 0.04512 \\ 0 & 0.07135 & 0.40549 & 0.18135 & 0.34176 \\ 0.026 & 0.20334 & 0.49359 & 0.03125 & 0.25 \\ 0.14113 & 0.62806 & 0.20781 & 0.02969 & 0 \end{pmatrix}$$

赋予每个评价要素的权重的权矩阵为:

$W = (0.206 \ 0.109 \ 0.206 \ 0.368 \ 0.109)$ , 可得 7 a 的城市生态系统健康评价结果:

$$H_{2000} = (0.36528 \ 0.25094 \ 0.19944 \ 0.05967 \ 0.12299)$$

$$H_{2001} = (0.33591 \ 0.23889 \ 0.17925 \ 0.06832 \ 0.14638)$$

$$H_{2002} = (0.30078 \ 0.34505 \ 0.24913 \ 0.06688 \ 0.06001)$$

$$H_{2003} = (0.30165 \ 0.34653 \ 0.18165 \ 0.09933 \ 0.07352)$$

$$H_{2004} = (0.30432 \ 0.34518 \ 0.19201 \ 0.09829 \ 0.07537)$$

$$H_{2005} = (0.19250 \ 0.21850 \ 0.26600 \ 0.15475 \ 0.11230)$$

$$H_{2006} = (0.21413 \ 0.18445 \ 0.30346 \ 0.08527 \ 0.21310)$$

按照最大隶属度原则, 焦作市 2000~2006 连续 7 a 的评价结果分别为: 病态、病态、不健康、不健康、不健康、亚健康、亚健康。

### 2.2 生态系统健康的要素分析

#### 2.2.1 活力

对焦作城市 2000~2006 年的活力要素进行比较 (见图 1), 其健康水平: 2006 年 > 2005 年 > 2004 年 > 2003 年 > 2002 年 > 2001 年 > 2000 年。说明其经济发展一年比一年好。

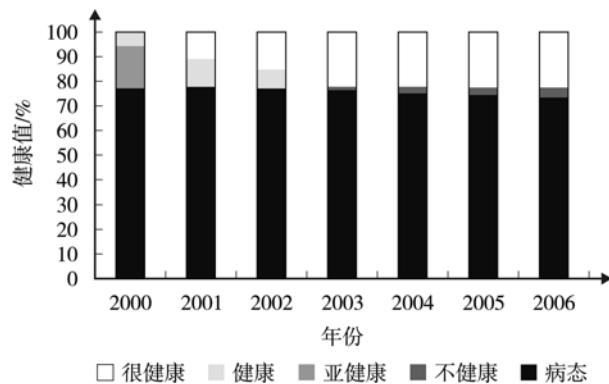


图 1 焦作城市生态系统健康活力要素评价结果

#### 2.2.2 组织结构

对焦作城市的组织结构要素进行比较 (见图 2), 其健康水平: 2002 年 > 2001 年 > 2003 年 > 2005

年>2006年>2004年>2000年。其中,2002年和2001年的健康水平分别处于亚健康和不健康水平,其余5a均处于病态水平。

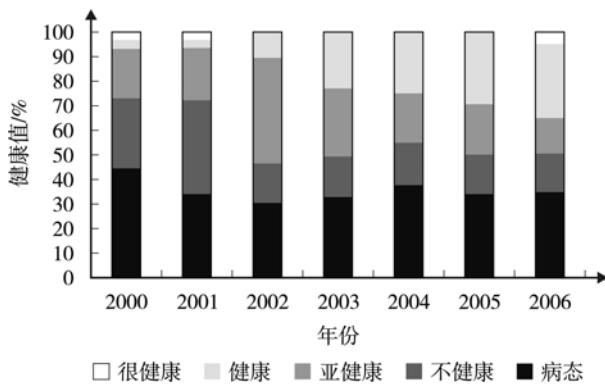


图2 焦作城市生态系统健康组织结构要素评价结果

### 2.2.3 恢复力

对焦作城市2000~2006年的恢复力进行比较(见图3),其健康水平:2006年>2005年>2004年>2003年>2002年>2001年>2000年。

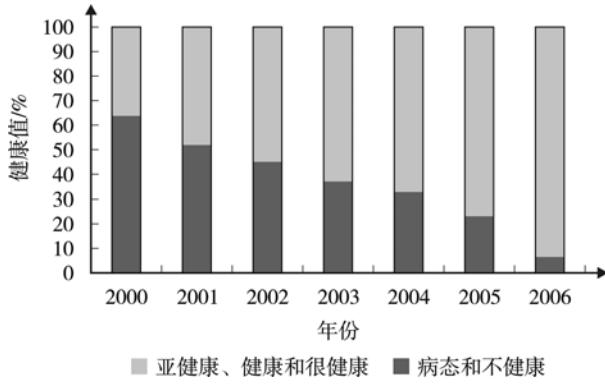


图3 焦作城市生态系统健康恢复力要素评价结果

### 2.2.4 维持生态系统服务功能

对焦作城市2000~2006年的维持生态系统服务功能要素进行比较(见图4),其健康水平:2006年>2005年>2000年>2001年>2002年>2004年>2003年。其中,2006年、2005年、2000年的健康水平均处于亚健康水平,其余4a的健康水平均处于不健康水平。总体上人们的生活质量和环境质量都有一定程度的提高,其中个别指标有波动。从原始数据来看,表现在空气综合污染指数和集中饮用水水质达标率。

### 2.2.5 人群健康

对焦作城市2000~2006年的人群健康要素进行

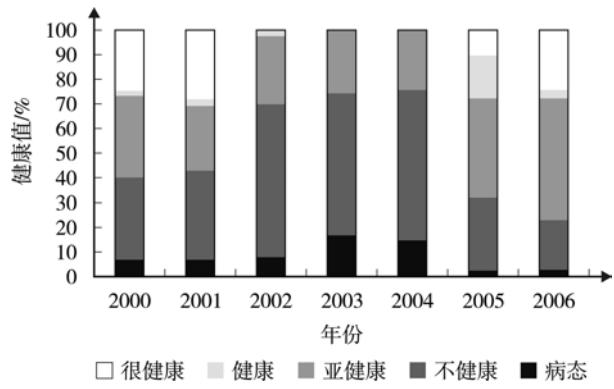


图4 焦作城市生态系统服务功能要素评价结果

比较(见图5),其健康水平:2006年>2005年>2004年>2003年>2002年>2001年>2000年。其中2006、2005、2004、2003、2002的健康水平均处于不健康水平,而2001和2000年的健康水平均处于病态水平。

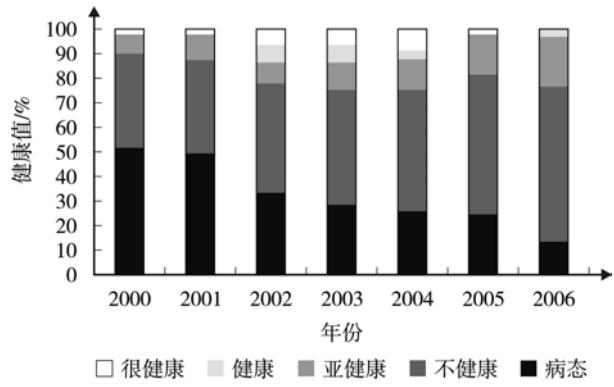


图5 焦作城市生态系统人群健康要素评价结果

## 3 焦作城市健康状况水平分析

最近这几年,焦作市的人均GDP年年增加,GDP的增长率也逐年在提高,经济总量在增长的同时经济效率也在加快前进的步伐,在经济的发展过程中更注重了环保的投入,随之而来的是工业废水达标排放率、城市生活污水处理率、环境噪声达标区覆盖率以及工业用水重复利用率和工业固废综合利用率的升高。经济的发展还使得人们的生活水平提高,恩格尔系数在下降,人均住房面积从2000年的9.69 m<sup>2</sup>增加至2006年的25 m<sup>2</sup>。燃气普及率也达到2006年的75%。另外失业率维持在3.6%以内。同时经济的增长和人们生活水平的提高还带来了人群健康及素质的提高,儿童死亡率和孕产妇死亡率在下降,人均期望寿命及人口平均受教育年限也在增加,

尤其是从2001年开始,焦作市河南理工大学新校区的基本建成,使万人在校大学生数显著增加。正是这一系列的变化促使了上述健康状况的变化。

但同时还应看到虽然经济效率在提高,但总体的经济效率还是较低,万元GDP能耗和水耗相对于国家平均水平还有较大的差距,这也是造成焦作市整体健康水平不高的重要原因。另外信息产业及高科技产业以及社会服务业等投入不足,社会的老龄化问题日趋严重,城市的森林覆盖率和人均绿地面积较低,人均道路面积不能满足需要,城市生活污水处理率较低以及空气污染指数较高等,正是由于这些问题的存在,目前焦作市的健康水平还处在一个亚健康状态,要想使其向更好的方向发展还得付出加倍努力。

#### 4 结论

本文将生态系统健康的理论运用于城市生态系统健康评价的研究,根据城市生态系统的组成、结构、功能的分析,运用模糊综合评价法来对焦作市的健康状况进行评价,研究分析了焦作市提高城市生态系统健康水平的对策。得出了如下结论:

1) 从活力、组织结构、恢复力、维持生态系统服务功能、人群健康等5个要素,选取了35个指标来全面反映城市生态系统健康的内涵,通过用层次分析法确定各指标的权重,然后采用模糊综合评价方法建立了评价模型。评价结果为:焦作市2000~2006年连续7a的评价结果分别为:病态、病态、不健康、不健康、不健康、亚健康、亚健康。这7a

城市整体的健康水平是不断提高的。

2) 从各要素来看,活力和恢复力以及人群健康状况是逐步提高的。其中恢复力增速最快,其次是活力和人群健康。而组织结构和维持生态系统服务功能这2个要素的健康水平年间波动较大。

3) 影响焦作城市生态系统健康的有利因素是恢复力和维持生态系统服务功能,不利因素是活力和组织结构。

4) 应该调整城市的产业结构,提高第三产业的比例,提高城市的能源利用效率和废物处理能力。

#### 5 参考文献

- [1] Jerry M S, Mariano B, Annalee Y, et al. Developing ecosystem health in centro habana: a community-based approach[J]. *Ecosystem Health*, 2001, 7(1): 15~26.
- [2] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 2002城市生态系统健康评价初探[J]. *中国环境科学*, 2002, 22(6): 525~529.
- [3] 曾勇, 沈根祥, 黄沈发, 等. 上海城市生态系统健康评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(2): 208~212.
- [4] 宫东杰, 苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究[J]. *环境科学学报*, 2006, 26(10): 1716~1722.
- [5] 苏美蓉, 杨志峰, 王红瑞, 等. 一种城市生态系统健康评价方法及其应用[J]. *环境科学学报*, 2006, 26(12): 2072~2080.
- [6] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展[J]. *生态学杂志*, 2001, 20(3): 31~36.
- [7] 王小艺, 沈佐锐. 农业生态系统健康评估方法研究概况[J]. *中国农业大学学报*, 2001, 6(1): 84~90.
- [8] 肖风劲, 欧阳华, 傅伯杰. 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用[J]. *地理学报*, 2003, 58(6): 803~809.
- [9] 杨小波, 吴庆书. 城市生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

## The Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Evaluation for the Assessment of Urban Ecosystem Health

Li Yanli Li Dongyan Li Yanfen

**Abstract** The article brought forth a set of relatively integrated urban ecosystem health evaluation indexes system on the basis of analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation. The urban ecosystem health of JiaoZuo from 2000 to 2006 had been evaluated. The assessment results of JiaoZuo from 2000 to 2006 were illness level, illness level, unhealthy level, unhealthy level, unhealthy level, sub-healthy level and sub-healthy level respectively. The healthy level of JiaoZuo had increased in the period. Furthermore, this article made clear the influencing factors of urban ecosystem health of JiaoZuo, which provided a scientific basis for programming and protecting urban ecology of Jiaozuo.

**Key words** urban ecosystem health evaluation vigor organizational structure resilience maintenance services

## Excel Link 在环境噪声监测数据处理中的应用

韩波<sup>1</sup> 孙瑞林<sup>2</sup> 韩坤<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>北海市环境监测中心站, 广西北海 536000; <sup>2</sup>湖北省环境科学研究院, 武汉 430072)

**摘要** 通过 Excel Link 将 Matlab 和 Excel 结合在一起, 介绍了一种新型的环境数据统计方法, 为避免烦琐计算、提高工作效率提供了一种新的思路。

**关键词** Matlab Excel Excel Link 环境监测 数据统计

环境数据统计计算、数据库处理以及图表分析是环境数据统计工作最重要的组成部分。由于这些工作特别是数据处理存在着多变性以及人为介入性, 尽管在 Excel 中有许多的统计函数, 但运用这些统计函数对数据进行计算时往往采用统计函数“填埋单元格”的方式计算<sup>[1-2]</sup>, 这种数据统计形式一旦数据变量和样本数量发生变化, “填埋单元格”的计算公式需要重新设置或复制到相应的单元格里, 这就使得“填埋工作”变得十分烦琐, 每次数据处理都需要花费一定的时间, 不能有效地解决日常多变的数据统计问题。

Matlab<sup>[3]</sup> 是一种功能强、效率高、便于进行科学和工程计算的交互式软件包。在 Matlab6.x 以上版本中仅在统计工具箱中的功能函数就达 200 多个, 功能足以超出了 Excel 及任何其他的统计软件, 如何在 Excel 和 Matlab 之间实现数据共享呢? Matlab 提供了一个集成 Excel 和 Matlab 的插件 Excel Link, 通过连接 Excel 和 Matlab, 便可以在 Excel 工作表中使用 Matlab 的计算和图形功能, 来弥补 Excel 数据处理方式和统计功能的不足。

### 1 Matlab 和 Excel 的数据共享环境

Excel Link 对系统的要求为 Windows 2000, Windows XP, Excel 2000, Excel 2003 等, 安装 Excel Link 的方法如下:

- 1) 启动 Excel;
- 2) 选择工具→加载宏→浏览;
- 2) 在文件夹 matlabroot/toolbox/exlink 下找到文

件 exclink.xla;

3) 回到加载宏对话框, 确认已选中所选项, 选择确认。现在 Excel Link 宏已加载;

4) 查看 Matlab 命令窗口按钮;

5) 查看 Excel 窗口上的 Excel Link 工具栏。

工具栏为 putmatrix, getmatrix, evalstring 3 个操作按钮。见图 1 所示的 Excel 窗口, 此时 Matlab 命令窗体已经打开, 说明 Excel 与 Matlab 链接成功。

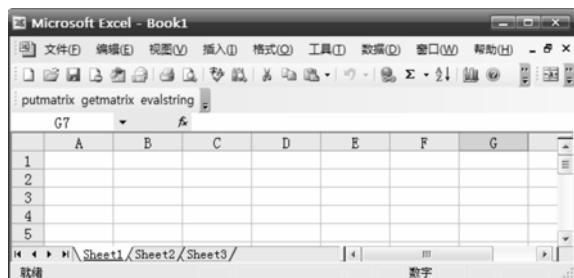


图 1 加载 Excel Link 后的 Excel 界面

### 2 Excel VBA 编程环境要用到的 Excel Link 主要函数

Excel Link 提供了数据管理函数用于在 Excel 和 Matlab 之间传递数据和在 Excel 中执行 Matlab 命令, 见表 1<sup>[4]</sup>。

### 3 应用实例

下面以某市环境噪声监测数据为例, 介绍 Excel link 在环境监测数据处理中的应用。监测数据共样本数为 208 个(图中浏览数据是冻结窗格的结果)已保存在 Excel 的“sheet1”工作表中, 如图 2 所示。

表1 Excel Link 数据管理函数

函 数	作 用
Matlabfn	执行 Matlab 命令给出 Excel 数据
Matlabsub	执行 Matlab 命令给出 Excel 数据并指定输出目录
MLAppendMatrix	从 Excel 工作表的数据在 Matlab 中创建新矩阵或向 Matlab 中的矩阵追加数据
MLDeleteMatrix	删除 Matlab 矩阵
MLEvalString	Matlab 求值命令
MLGetFigure	将 Matlab 当前的图形导入 Excel 的 Spreadsheet
MLGetMatrix	在 Excel 工作表中写 Matlab 矩阵目录
MLGetVar	在 Excel VBA 变量中写 Matlab 矩阵的列表
MLPutMatrix	用 Excel 工作表中的数据创建或覆盖 Matlab 矩阵
MLPutVar	从 Excel VBA 变量创建或覆盖 Matlab 矩阵
MLShowMatlabError	被 MLEvalString 用来返回标准的 Excel Link 错误或完整的 Matlab 错误
MLStartDir	启动后指定当前 Matlab 工作目录
MLUseFullDesktop	指定是否使用完全 Matlab 桌面或仅仅命令窗口

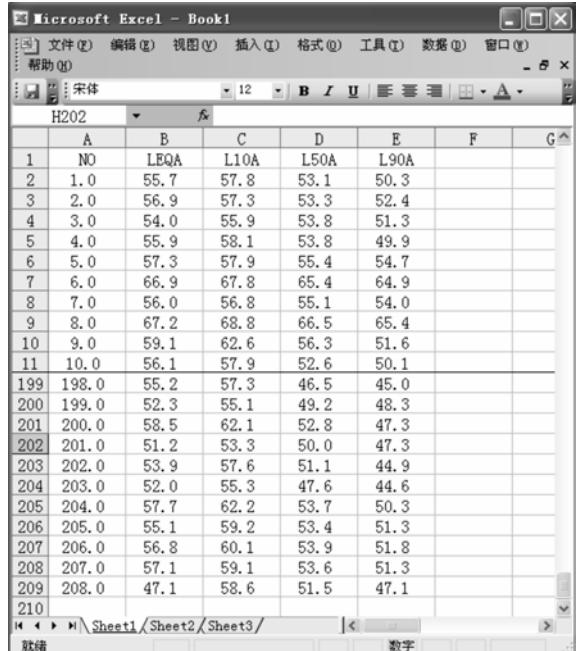


图2 噪声监测数据

现需要计算“sheet1”工作表中数据变量的平均值、几何均值、标准差、最小值、最大值、偏度、峰度、

百分位数(5%、25%、50%、75%、95%)、变量的相关系数,然后将计算结果输出到空白的“sheet2”工作表中。基于上述的需求在 Excel 内置模块中输入的计算程序(带标识“%”的文字部分是对同一行语句的注释)如下:

```

Sub 统计()
Dim adata, n, p As Object
Sheets("Sheet1").Select
%获取数据区域行数和列数
rr=Range("A1").CurrentRegion.Rows.Count
cc=Range("A1").CurrentRegion.Columns.Count
t=64+cc
%定义数据区域对象
Set adata=Sheet1.Range("B2:" & Chr(t) & rr & "")
Set p=Sheet1.Range("B1:" & Chr(t) & 1 & "")
Set n=Sheet1.Range("A2:" & Chr(65) & rr & "")
%将数据区域对象送到 matlab 工作区
Mlevalstring "clear"
Mlputmatrix "data", adata
Mlputmatrix "n", n
Mlputmatrix "p", p
%计算相关系数 x、均值 x1、几何均值 x2, ..., x8
百分位数等参数
Mlevalstring "x=corrcoef(data)" %计算相关系数
Mlevalstring "x1=mean(data)" %计算平均值
Mlevalstring "x2=geomean(data)" %计算几何均值
Mlevalstring "x3=std(data)" %标准差
Mlevalstring "x4=min(data)" %最小值
Mlevalstring "x5=max(data)" %计算最大值
mlevalstring "x6=kurtosis(data,0)" %计算偏度 K
mlevalstring "x7=skewness(data,0)" %计算峰度
Mlevalstring "x8=prctile(data,[5 25 50 75 95])" %计算百分位数
%将 Matlab 的计算结果送到 Excel 的“sheet2”工作表中
Sheets("Sheet2").Select
Cells.Select
Selection.ClearContents
a=Array("统计项", "平均值", "几何均值", "标准差", "最小值", "最大值", "峰度", "偏度", "5%", "25%", "50%", "75%", "95%", "相关系数 R")
For i=1 To 14

```

```

Range("a" & i & "")=a(i-1)
Next
Mlgetmatrix "p", "B1"
For i=1 To 8
  ii=i+1
  Mlgetmatrix "x" & i & "", "B" & ii & ""
Next
Mlgetmatrix "x", "B15"
MATLABRequest
End Sub

```

程序编辑完成后保存一个 Excel 文件, 这里起名为“统计”文件。运行上面模块, 计算结果如图 3 所示(图中的深色框中为变量之间的相关系数)。

	A	B	C	D	E	F	G																							
1	统计项	LEQA	L10A	L50A	L90A																									
2	平均值	56.1	58.6	53.6	50.8																									
3	几何均值	55.9	58.4	53.4	50.5																									
4	标准差	4.5	4.6	4.7	5.0																									
5	最小值	44.6	44.8	40.8	38.5																									
6	最大值	67.8	70.2	67.1	65.9																									
7	峰度	0.57966	0.705462	0.679844	0.392715																									
8	偏度	0.048687	0.017881	0.188313	0.407454																									
9	5%	47.57	50.91	45.89	43.6																									
10	25%	53.8	56.3	51.15	47.3																									
11	50%	56.3	58.45	53.4	50.35																									
12	75%	58.4	60.6	56.1	53.7																									
13	95%	64.58	67.83	62.3	60.01																									
14	相关系数R	<table border="1"> <tr> <td>1</td><td>0.960257</td><td>0.940859</td><td>0.866759</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>0.960257</td><td>1</td><td>0.909899</td><td>0.823684</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>0.940859</td><td>0.909899</td><td>1</td><td>0.951618</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>0.866759</td><td>0.823684</td><td>0.951618</td><td>1</td><td></td><td></td></tr> </table>					1	0.960257	0.940859	0.866759			0.960257	1	0.909899	0.823684			0.940859	0.909899	1	0.951618			0.866759	0.823684	0.951618	1		
1	0.960257	0.940859	0.866759																											
0.960257	1	0.909899	0.823684																											
0.940859	0.909899	1	0.951618																											
0.866759	0.823684	0.951618	1																											
15																														
16																														
17																														
18																														
19																														

图 3 噪声监测数据的计算结果

## 4 结论

### 4.1 在 Excel 中使用 Excel Link 的优点

1) 利用 Excel 的强大优势——编辑处理环境

数据。

2) Matlab 统计函数十分简单, 实例模块中设置了 9 个统计量的数据处理函数, 对更复杂的数学计算同样在模块中设置对应的统计函数即可。

3) 任何输入或数据库导入到 Excel 中的数据只要按图 2 二维表方式保存数据, 无论变量和数据的多少, 程序都能够完成“现场”处理, 不需要对模块作任何修改就能得出图 3 计算结果。

### 4.2 在 Excel 中使用 Excel Link 的扩展

以上介绍了 Excel Link 插件的具体应用, 都已通过其他的实例进行了验证。若对上述模块进行扩充, Excel link 插件在环境数据统计中还有更多的应用:

1) 在环境评价中的应用: 多元回归分析、主成分分析、因子分析、聚类分析、判别分析、对应分析、典型相关分析等。

2) 在环境规划中的应用: 线性规划、二次规划、非线性规划、多目标规划、0-1 规划等。

3) 在环境污染预测中的应用: 曲线拟合、人工神经网络等。

## 5 参考文献

- [1] 李刚. Excel 数组公式在环境统计中的应用 [J]. 中国环境监测, 2006, 22(6): 54-56.
- [2] 徐风才, 江行久. Excel 在水文分析计算中的特殊应用 [J]. 东北水利水电, 2004, 22(1): 19-20.
- [3] 许国根, 许萍萍. 化学化工中的数学方法及 Matlab 实现 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 1-16.
- [4] 苏金明, 刘宏, 刘波. Matlab 高级编程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 234-242.

## The Application of Excel Link in the Data Processing of Environmental Noise Monitoring

Han Bo Sun Ruilin Han Kun

**Abstract** This article link Matlab and Excel together by means of Excel Link, introduced a new statistical method for environmental data, which could avoid complicated calculation and improve the work efficiency and also provide a new way of thinking.

**Key words** Matlab Excel Excel Link environmental monitoring data processing

## 《广州环境科学》征稿启事

《广州环境科学》创刊于1985年,是由广州市环境科学学会主办的环境保护综合性科技刊物,为广大从事环保工作的专家、学者、科技人员、管理干部及大专院校师生,提供发表论文进行学术交流的窗口。

### 1 本刊欢迎下列来稿

- 1) 有关环境自然科学、环境社会科学、环境科学技术等方面论文、研究报告、资料介绍等。
- 2) 有关国内外环境科学的发展动态、综述、专论等。

### 2 本刊主要栏目

专论、综述、水环境及污染防治、大气环境及污染防治、噪声及污染防治、固体废物及处理、环境监测与分析、环境管理与监理、环境与可持续发展、环境经济、环境生态、环境医学、环境法规、环境教育、环境伦理学、环境评价、环境信息与计算机技术、动态与信息简讯等。

### 3 稿件要求和注意事项

- 1) 论点明确、数据可靠、层次清楚、文字准确简练。全文一般不超过6000字(包括图、表、参考文献所占篇幅),并有中英文摘要(200字以内)和关键词(3~8个)。
- 2) 文稿请发送电子文件(5号字体、word格式)或提供A4纸打印件。
- 3) 来稿只附最必要的图表和照片。插图务求线条光洁,照片务必清晰,表格使用三线表(栏头取消斜线,省略竖分隔线)。图、表置于文内有关段落处。
- 4) 来稿条理分明,编号层次采用以下系统:1、2、3、……;1.1、1.2、1.3……;1.1.1、1.1.2、1.1.3……;1)、2)、3)……。
- 5) 文中计量单位一律采用中华人民共和国法定计量单位,量和单位的使用执行GB 3100~93《国际单位制及其应用》的规定。
- 6) 参考文献必须源自公开出版物。本刊文后参考文献的标注体系采用顺序编码制,即引文采用序号标注,参考文献表按引文的序号排列。根据国家标准(GB/T 7714~2005)的规定,其著录格式如下:

#### ① 专著

主要责任者。(人名1,人名2,人名3,等。如果是3位以内作者,作者的名字全部书写,人名之间用“,”分隔,最后一位的名字后不用“,”而用圆点号;4位及以上的只书写前3位的名字,人名之间用“,”分隔,最后加“等。”,以下同)题名:其他题名信息[文献类型标志]。其他责任者。版本项。出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期]。获取和访问路径。

#### ② 专著中的析出文献

析出文献主要责任者。析出文献题名[文献类型标志]。析出文献其他责任者//专著主要责任者。专著题名:其他题

名信息。版本项。出版地:出版者,出版年:析出文献的页码[引用日期]。获取和访问路径。

#### ③ 连续出版物

主要责任者。题名:其他题名信息[文献类型标志]。年,卷(期)~年,卷(期)。出版地:出版者,出版年[引用日期]。获取和访问路径。

#### ④ 连续出版物中的析出文献

析出文献主要责任者。析出文献题名[文献类型标志]。连续出版物题名:其他题名信息,年,卷(期):页码[引用日期]。获取和访问路径。

#### ⑤ 专利文献

专利申请者或所有者。专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志]。公告日期或公开日期[引用日期]。获取和访问路径。

#### ⑥ 电子文献

主要责任者。题名:其他题名信息[文献类型标志/文献载体标志]。出版地:出版者,出版年(更新或修改日期)[引用日期]。获取和访问路径。

7) 文中要分清容易混淆的外文字母(如a,  $\alpha$ ;  $\beta$ , B; C, c; K, k; S, s; P, p; O, o; V, v等),注意标明字母符号的正斜体、大小写、上下标。量符号用斜体,其中矩阵、矢量符号用黑斜体,计量单位用正体。

### 4 稿件处理

1) 编辑部在收到稿件4个月内给予答复,恕不退稿。4个月内未收到录用通知,作者可自行处理。来稿文责自负。编辑部有权对稿件作必要的修改,必要时退请作者修改,作者若不允许本刊对文稿作文字及内容上的修改,请在来稿时声明。请勿一稿两投。

2) 为适应我国信息化建设,扩大本刊及作者知识信息交流渠道,本刊已被有关文献检索刊物和光盘出版等网络出版机构收录(见本刊封二),作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期刊物(第一作者2本,其他作者各1本)。如作者不同意文章被网络机构收录,请在来稿时向本刊声明,本刊将做适当处理,否则视为同意。

### 5 稿件投寄

欢迎全国各地从事环境保护工作的专家、学者、科技人员、管理人员和大专院校师生赐稿。来稿请注明作者真实姓名、通信地址、电话、邮编、电子邮箱地址。来稿请寄:广州市广卫路2号之一广卫商务大厦1608室《广州环境科学》编辑部(邮编:510030),电子文件发至我编辑部电子邮箱:gzhjx@126.com

电话:(020)83355374

传真:(020)83358372

# GUANGZHOU ENVIRONMENTAL SCIENCE

Vol.24 No.3

Sep.2009

## CONTENTS

Removal of Nitrogen and Phosphorus in Artificial Wastewater by Immobilized Algal on Granular Active Carbon	Yin Yurong, Xiao Kaijun, Ma Weiwen, et al (1)
Study on the Petroleum & Sulphide Eliminate from Refinery Waste Residue and Alkaline Wastewater	Ren Shaomei (4)
Experimental Study of Lead( II ) Removal from Wastewater by Chitosan	Peng Qinglin (8)
Using Co-substrate Metabolism to Increase the COD Removal Efficiency of Activated Sludge Treatment of Coking Wastewater	Jing Xue (11)
Study on the Disinfection of Drinking Water by High-voltage Pulse Discharge	Yang Shengfan, Liang Jian jun, Chang Xiangdong, et al (15)
Study on the Flushing Flux for Flushing Nozzles of a Demister in Wet Desulphurization Tower	Lv Liugen, Huang Lei, Yang Liu, et al (19)
Analysis on Managing Status and Protective Strategy of Hazardous Wastes in Guangdong Province	Xu Guanying, Zhou Shaoqi, Xu Zhencheng (22)
The Design of Waste Water Disposal in Hazardous Waste Disposal Site	Hao Haisong (29)
The Present Situation of Electronic Wastes Disposal Technology	Han Zengyu, Zhang Dehua, Wang Jinhu, et al (31)
ISO14001 and Environmentally-sound Construction of College Campus	Xie Yuncheng (35)
The Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Evaluation for the Assessment of Urban Ecosystem Health	Li Yanli, Li Dongyan, Li Yanfen (39)
The Application of Excel Link in the Data Processing of Environmental Noise Monitoring	Han Bo, Sun Ruilin, Han Kun (45)