

GUANGZHOU ENVIRONMENTAL SCIENCES

Vol.24 No.4

广州环境科学

第二十四卷 第四期



广州市环境科学学会 主办

4

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 宋伟平

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: gzhjks@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

生化+2级过滤+ClO₂处理医院污水的工程实例

..... 甘明强, 王 萍, 徐 婷, 等 (2)

污水中磷酸根的吸附研究进展

..... 项学敏, 卫志强, 周集体, 等 (5)

光合细菌-活性污泥联合处理皂素废水的实验研究

..... 李 莉, 惠云珍 (10)

酸析+Fenton法处理ITO触摸屏油墨废水

..... 韦善统 (13)

基于城市化特征的雨水回收与利用

..... 谢 浩 (15)

浅谈六塘河泗阳河段水环境状况及污染防治对策

..... 庄昌伟, 庄仲昌 (19)

大气环境及污染防治

生物膜法处理低浓度石油化工VOCs试验研究

..... 周质彬 (22)

固体废物及处理

废旧轮胎回收利用对策

..... 许冠英, 彭晓春, 周少奇, 等 (25)

环境监测与分析

水染污生物监测方法的研究及应用

..... 王 平 (32)

环境管理与监理

南沙区工业污染特征与环境保护对策

..... 余永跃, 曹 宇, 张宝春 (36)

环境生态

土壤原生物研究概况及其在土壤环境中的生物指示作用

..... 廖庆玉, 章金鸿, 李 玫, 等 (41)

动态信息与简讯

科学发展 继往开来 再创辉煌——贺广州市环境科学学会成立30周年 (1)

广州中一药业在全国率先推出“药品包装环保回收机制” (18)

《广州环境科学》2009年总目录 (47)

封面摄影

广东科学中心鸟瞰

肖新明

科学发展 继往开来 再创辉煌 ——贺广州市环境科学学会成立 30 周年

广州市环境科学学会 1979 年成立至今已步入“而立之年”!

30 年来,广州市环境科学学会在中国科协、广州市科协和中国环境科学学会以及各级领导的关怀下,在广州市环境保护局的支持和具体指导下,紧密团结大专院校、科研部门、厂矿企事业单位及其广大会员积极拓展国内外环境科学学术交流、调研考察;大力拓展环境保护宣传、教育、科技普及工作;努力为政府决策和企事业提供咨询服务等方面都取得过显著成绩,为繁荣广州市的环境科学事业,为开创广州市的环保工作都作出了不可磨灭的贡献。因此,学会获得过多项殊荣:曾被中国科协评为先进学会、全国科普先进集体;被中国环境学会评为咨询先进单位;自 1983 年起连续 18 年被广州市科协评为先进集体;多次被市环委会授予广州市环保先进集体;还曾被评为广州市环境教育先进集体、广州市巾帼英雄先进集体以及关心青少年科技教育先进集体等等。

早在上世纪 80 年代,学会组织的《珠江广州河段污染调查考察报告》就提出了“开清水之源,截污水之流”,也就是截污处理城市污水的同时,将西江水、北江水引入广州河段,既改善水环境也保障饮用水安全;《荔湾地区环境质量评价研究》及《从荔湾区的污染看广州发电厂的改造方向》就为荔湾区的环境规划及当时广州发电厂原地改造为“热电并供”热电厂提供了科学依据;当年原省委林若书记指示全省荒山绿化造林,学会组织“从化棋杆镇捻仔窝生态林示范点”项目,使昔日荒山野岭变得郁郁葱葱,从而推动了整个从化县荒山绿化造林的工作,受到来粤视察的原全国人大委员长乔石同志的肯定;《广州近郊农业环境污染调查》为当年直至今天的土地改变使用功能及规划提供了参考;与市科协共同组织的《建设广州现代化大都市环境对策调研考察》,更是为广州市的现代化规划建设与实施措施提出了全面的指导意见,从此广州市城市建设的污染问题(包

括城市污水、垃圾、危险废弃物、机动车(船)排气及建筑工地粉尘等)尖锐地提上议事日程;调研报告《广州市市肺——海珠区万亩果园的保护》至今仍在不断完善实施中;协助市环保局国家“七五”科技攻关项目——《广州市环境质量研究》其大量成果为广州市的环保工作提供了坚实的基础;上世纪 90 年代以来,以《广州市环境保护条例》为主线的乃至涉及各环境要素的地方法律法规的制(修)订与实施细则等,广州市环境科学学会都做了大量的组织、承担、参与和协助工作。

1985 年学会创办了《广州环境科学》(季刊)。20 多年来《广州环境科学》成为从广州辐射到华南乃至全国的环境保护工作者、高等院校和科研机构环保科技人员进行环境管理和环保科技交流的“百花齐放、百家争鸣”的园地,现已为全国 18 个图书馆、文献中心和科技情报单位收作馆藏期刊,与 57 个单位作资料交换。《中文科技期刊数据库》、《中国知识资源总库》和中国台湾《华艺线上图书馆》已先后将《广州环境科学》作为全文网络出版期刊载入;广州市环境保护局的“广州环境热线”网站也将《广州环境科学》与其链接。

此外,学会在开展中小学环境教育、环境科学夏(冬)令营、环境保护宣传普及等方面都在全省首开先河。

30 年过去,弹指一挥间。学会成立 30 周年之际欣逢祖国 60 华诞,国家正进一步深化经济、政治体制改革,这将给学会的发展带来更大的挑战和机遇。我们要深入学习和实践科学发展观,发扬“团结、开拓、求实、进取”精神,坚持学会的学术性、群众性、公益性特点,发挥学会的学科广泛、人才荟萃优势,团结广大会员和环保科技工作者,依照学会章程积极开展活动,继往开来,把学会工作推上新台阶,为广州市环境科学技术的繁荣和环保事业的发展再创辉煌!

《广州环境科学》编委会

生化 + 2 级过滤 + ClO₂ 处理医院污水的工程实例

甘明强¹ 王萍² 徐婷³ 张宁¹

(¹ 青岛大学医学院附属医院, 山东 青岛 266003; ² 山东原创建筑设计事务所, 山东 青岛 266071;

³ 青岛城阳区城市规划建设规划管理局, 山东 青岛 266109)

摘 要 某医院采用生物法(接触氧化或膜生物反应器)、2 级过滤、ClO₂ 消毒处理污水。运行时采用生物接触氧化 + ClO₂ 联合工艺,出水的主要污染指标满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)的要求。系统同时提供了 2 套中水处理工艺:①生物接触氧化 + 膜生物反应器 + ClO₂ 消毒工艺;②生物接触氧化 + 砂滤 + 活性炭过滤 + ClO₂ 消毒工艺。经过 2 工艺处理后,出水均可满足《城市杂用水水质标准》(GB/T 18920-2002)的要求。工程的长期运行效果表明,该系统的污染物去除效率较高,出水水质稳定,且操作方式灵活,运行费用较低。

关键词 生物接触氧化 膜生物反应器 ClO₂ 医院污水

青岛某综合性医院污水站始建于 1988 年,由于无法满足现有水量和水质标准的要求,医院于 2007 年 10 月开始对原污水处理设施进行全面改造扩建,一方面扩大现有设施的处理规模,使增加的污水量能得到有效净化;另一方面为节约水源、提高污水处理水平,决定对污水进行资源化利用,为医院争取良好的社会、经济和环境效益。改造扩建后的工程于 2008 年 5 月竣工投入使用,1/2 a 的运行结果表明处理系统对各类污染物均具有较好的处理效果,能够达到相应的污水排放标准和中水回用标准,并且通过了当地环保部门的验收。本文对该污水处理站的有关设计和运行情况进行介绍以供参考。

1 工艺设计

1.1 设计规模、水质与处理要求

污水设计规模为 2 000 m³/d,设计流量为 80 m³/h;回用水设计规模为 2 000 m³/d,近期为 1 000 m³/d,设计流量为 40 m³/h。回用水的设计规模是根据医院远期规划为依据,由于医院的发展十分迅速,医院的档次也快速提升,从长远规划来看,污水的全部回用是可能的。但近期根据实际的需要,回用水的规模确定为 1 000 m³/d。污水的二级排放处理规模确定为 2 000 m³/d,这使污水及中水站土建设施一次性完成。当中水处理规模需要扩大时,只需要增加中水的

过滤和消毒设备即可实现。

污水处理后若不回用则水质应满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)的要求(见表 1 中的“排放污水”指标),而处理后再利用的中水则应达到《城市杂用水水质标准》(GB/T 18920-2002)的要求(见表 1 中的“回用水”指标)。设计的进、出水主要水质指标如表 1 所示。

表 1 设计进、出水主要水质指标

污水类别	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	NH ₃ -N mg/L	SS mg/L	粪大肠菌群 个/L
进 水	600	400	30	400	20 000
排放污水	60	20	15	20	500
回 用 水		10	10		≤3

1.2 处理工艺流程

针对综合性医院的污水特点,并考虑到中水回用^[1-4],该工程的处理工艺流程如图 1 所示,其中虚线表示污泥流程线。

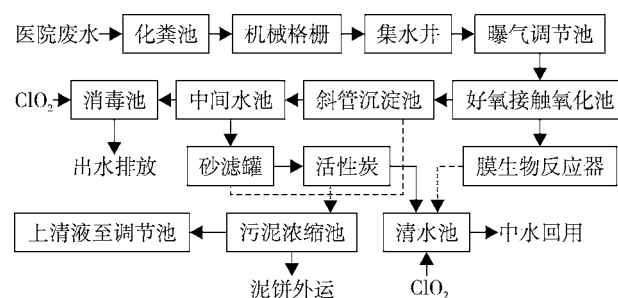


图 1 污水处理工艺流程

1.3 工艺说明

1.3.1 预处理系统

预处理系统主要构筑物包括化粪池、机械格栅、集水井、曝气调节池。污水首先进入化粪池,通过沉淀截留作用及微生物生化作用去除部分污染物;然后污水经过格栅进入集水井,使用潜污泵将水提升进入曝气调节池以调节水量,均化水质。系统设置格栅 1 台,可自动刮渣,其外形尺寸为 $L \times B = 2.0 \text{ m} \times 1.3 \text{ m}$, 栅条间距为 10 mm; 系统设置砖混结构曝气调节池 1 座,其工艺尺寸为 $L \times B \times H = 10.3 \text{ m} \times 11.6 \text{ m} \times 5.1 \text{ m}$, 有效容积为 540 m^3 , 水力停留时间 7 h, 运行时气水比控制为 5:1。

1.3.2 生化处理与消毒系统

生化处理与消毒系统主要构筑物和设备包括好氧接触氧化池、斜管沉淀池、中间水池、消毒池、 ClO_2 发生器及加药系统。污水通过潜污泵由曝气调节池输送至好氧接触氧化池,通过微生物的生化作用去除部分有机污染物和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。泥水混合液进入斜管沉淀池进行泥水分离,上清液进入中间沉淀池,污泥部分回流,部分则进入污泥处理系统。在消毒池内,通过投加 ClO_2 对污水消毒,消毒后污水达标排放。好氧接触氧化池分为 3 格,运行时曝气量逐格递减,内设组合弹性填料 SH-150,工艺尺寸为 $L \times B \times H = 17.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$, 有效容积为 425.0 m^3 , 设计容积负荷(以 COD 计)为 $2.8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 水力停留时间 5.1 h。斜管沉淀池采用钢混结构, 尺寸为 $L \times B \times H = 12.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$, 有效容积 168 m^3 , 水力停留时间 2 h。中间水池为钢混结构, 尺寸为 $L \times B \times H = 5.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$, 有效容积 100 m^3 , 水力停留时间 1.2 h。

1.3.3 中水回用系统

本设计提供了 2 套中水处理工艺: 第 1 套工艺采用 2 级过滤 + ClO_2 消毒, 主要构筑物为砂滤罐 ($D \times H = 2.0 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$, 数量 3)、活性炭过滤罐 ($D \times H = 2.0 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$, 数量 3)、清水池; 第 2 套工艺采用膜生物反应器 + ClO_2 消毒, 主要构筑物为膜生物反应池、清水池(与第 1 套工艺共用)。膜生物反应池有效容积 140 m^3 , 膜材料采用聚乙烯中空纤维膜(孔径为 $0.4 \mu\text{m}$), 以抽吸方式出水。清水池为钢混结构, 尺寸为 $L \times B \times H = 8.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$, 有效容积 288 m^3 。经该系统产生的中水将主要用于绿化、冲厕及滤罐反冲洗。

1.3.4 污泥处理系统

由沉淀池、膜生物反应池、滤罐反冲洗产生的泥水混合物进入污泥浓缩池进行泥水分离, 上清液回流至调节池, 浓缩后污泥定期外运。污泥浓缩池为钢混结构, 尺寸为 $L \times B \times H = 4.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$, 有效容积 80 m^3 。

2 工艺特点、运行效果及运行成本

2.1 工艺特点

本工艺以目前比较成熟或先进的技术为基础, 充分考虑了中水回用及工程的现场情况, 其主要工艺特点可从 3 个角度分析。

1) 从技术角度而言, 本工艺采用了成熟的生物接触氧化作为去除污染物的主要方法, 且为了节约工程占地面积采用了沉淀效率更高的斜管式沉淀池^[5]。对于中水回用, 则提供了 2 套处理工艺: 第 1 套工艺在生物接触氧化处理基础上, 串联了目前较为先进的膜生物反应器进一步去除有机物及 $\text{NH}_3\text{-N}$, 同时完成泥水分离过程^[6]; 第 2 套工艺在斜管式沉淀池进行泥水分离的基础上, 先后经过砂滤和活性炭过滤以进一步去除污染物。2 套回用水处理工艺使运行管理更加灵活。目前回用水主要采用第 2 套工艺运行, 而第 1 套为备用工艺, 仅在第 1 套工艺检修或出现异常状况下使用。消毒工艺采用比液氯更安全的 ClO_2 为消毒剂^[7], 由 ClO_2 发生器提供(Bello Zon CDVa)。另外, 原有调节池被改造为曝气调节池, 一方面可以预曝气改善水质, 另一方面也避免了在调节池中污泥沉积现象的产生。

2) 从工程的平面和高程布置而言, 该工艺体现了如下几个特点: 利用现有的一块高地势区, 将生化处理池和沉淀池布置在高处, 这样使污水经一次提升后即可自流排出, 工艺流畅; 将中间水池设于高地势区, 并采用溢流水, 这样只需要调节回用水泵的流量即可控制回用水的处理规模, 控制管理方便; 将鼓风机房和污泥泵房设于高地势区的地下, 这样从表面上看, 鼓风机房为隐蔽建筑, 使噪声的影响减小, 另一方面对低区而言, 机房又是地上建筑, 可以更好地通风和采光, 也方便了设备管道的安装。生物接触氧化池和膜生物反应池的主体部分位于地下, 既充分利用了空间, 又具有较好的保温作用, 可减轻温度降低对生物处理效率的影响。

3) 本工程设有系统控制室,自动化控制程度较高,工艺安装了在线检测设备,可对 COD、余氯、DO、pH 值、温度和流量进行在线检测,并且提供了可对检测数据进行显示、存储、曲线绘制等操作的计算机软件系统。

2.2 运行效果

废水处理设施经过 1/2 a 运行,设备运转正常,整个工艺系统一直处于稳定状态。处理前后的水质情况见表 2(2008 年 6 月出水结果)和表 3(2008 年 5~11 月运行的平均结果)。表 2 和表 3 的结果表明,除了 SS 略超标外,出水的其他各主要污染指标均小于 GB 18466-2005 标准的限值,而采用 2 套中水处理工艺处理后的回用水均达到了 GB 18466-2005 标准的要求。SS 超标原因是污泥沉降性能不理想,导致少量离散态微生物未沉淀而进入了中间水池,可通过在沉淀前加入少量絮凝剂解决此问题。

表 2 2008 年 6 月运行结果

时 间	污水类别	COD mg/L	BOD mg/L	NH ₃ -N mg/L	SS mg/L	粪大肠菌群 个/L
6 月 2 日	排放污水	52	16	12	26	120
	回 用 水	19	4.0	5.7		<3
6 月 6 日	排放污水	54	10	12	31	115
	回 用 水	16	3.0	4.0		<3
6 月 10 日	排放污水	49	13	11		86
	回 用 水	20	2.9	3.8		<3
6 月 14 日	排放污水	40	8	7	20	90
	回 用 水	14	2.0	2.9		<3
6 月 18 日	排放污水	58	15	9	43	93
	回 用 水	18	5.1			<3
6 月 22 日	排放污水	57	12	10	40	58
	回 用 水	16	4.9	4.8		<3
6 月 26 日	排放污水	60	15	13	41	40
	回 用 水	23	5.7	5.3		<3
6 月 30 日	排放污水	49	11	10	32	87
	回 用 水	15	3.8	4.2		<3

注:回用水采用的是 2 级过滤工艺,其中 COD 为在线监测的日均值,其余为当日单次测量值。

表 3 处理前后水质对照

污水类别	COD mg/L	BOD mg/L	NH ₃ -N mg/L	SS mg/L	粪大肠菌群 个/L
进水	190~420	105~214	9~42	89~380	2 000~17 000
排放污水	54	14	12	37	95
回用水 (膜生物反应器)	22	4.3	4.8		<3
回用水 (2 级过滤)	20	3.8	5.0		<3

2.3 运行成本及效益分析

若不计人工费、设备及材料的折损费,运行成本主要包括电费和药剂费,若按电费 0.5 元/(kW·h)计算,该工程 3 套处理工艺的电费约 0.50~0.68 元/m³。药剂费主要为用于生产 ClO₂ 的化学药品购置费用,按目前市场价计算,药剂费约为 0.12 元/m³。总运行成本为 0.62~0.80 元/m³。

处理设施的建成并投入使用,不仅大幅度减少了污染物排放量,而且减少了自来水使用量,其处理出水完全满足回用要求,如用于绿化、设备冲洗、冲厕等。节约的水费开支可补充运营成本,此外污水处理达标后还可免除超标排污费。因此处理站的建设 and 运行具有良好的环境、社会和经济效益。

3 存在问题

由于空间所限,本次工程没有对原有化粪池进行改造,但 1/2 a 来的运行表明,水量增加使废水在化粪池的水力停留时间缩短,因此粗大杂物的沉降截留效果降低,较多的粗大杂物穿过了机械格栅(栅条间距 10 mm)进入了集水井,并影响了污水提升泵的正常运行。经过论证,医院决定在集水井前增加转鼓式细格栅(栅条间距 4 mm)以解决上述问题。

4 结论

1) 采用好氧生物接触氧化 + ClO₂ 消毒工艺可使医院污水处理后达到《医疗机构水污染物排放标准》的要求,且出水水质稳定;采用好氧生物接触氧化 + 膜生物反应器 + ClO₂ 消毒工艺或好氧生物接触氧化 + 砂滤 + 活性炭过滤 + ClO₂ 消毒工艺对医院污水进行处理,出水水质均可达到《城市杂用水水质标准》的要求。

2) 将生物接触氧化池和膜生物反应池置于地下,可充分利用空间,节约工程占地面积,同时具有较好的保温作用,可减轻冬季温度降低对生物处理效率的影响;处理系统采用 2 套中水处理工艺,增加了系统运行的稳定性和灵活性。

5 参考文献

- [1] 魏先勋. 环境工程设计手册[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2002.
- [2] 李耿,罗伟,庞艳,等. 医院污水深度(中水)处理工程实

(下转第 21 页)

污水中磷酸根的吸附研究进展*

项学敏¹ 卫志强¹ 周集体¹ 王 刃² 杨凤林¹ 王晓坤³

(¹大连理工大学工业生态与环境工程教育部重点实验室, 大连理工大学环境与生命学院, 辽宁 大连 116023;

²大连理工大学化工学院, 辽宁 大连 116023; ³大连理工大学环境工程研究设计所有限公司, 辽宁 大连 116023)

摘 要 磷是农业和工业生产中重要的资源,但由于工业生产和生活污水排放了大量的磷到自然界中,导致水体富营养化等环境问题。污水中磷资源回收的常规方法有化学沉淀法,生物法以及吸附法。文章综述了磷酸根吸附材料的最新研究情况,探讨和评价了各种吸附材料的性能,最后讨论了未来研究的趋势和热点。

关键词 污水 磷酸根 吸附 吸附剂

磷是植物生长的必须营养物质。随着工业发展和生活水平的提高,大量的磷随污水被排放到江河湖泊中,造成一系列环境污染问题。水体的富营养化日益严重使磷回收成为环境治理中亟待解决的问题。如果能将污水中的磷资源进行回收再利用,是解决此问题的根本方法^[1]。在污水的处理技术中,化学法、生物法和吸附法是常用的 3 种方法。其中,吸附法作为一种从低浓度溶液中去除特定溶质的高效低耗方法,特别适用于废水中有害物质的去除。该方法除磷工艺简单、运行可靠,可以作为生物除磷法的必要补充,也可以作为单独的除磷手段^[2]。应用于污水中磷酸根吸附的材料很多,包括无机吸附材料如:蛭石、沸石、煤渣等;有机吸附材料如:活性炭,玉米秆等。本文将对磷酸根吸附材料的最新研究情况进行综述,并对各种吸附材料的性能进行探讨和评价,最后讨论吸附法回收磷资源的研究的趋势和热点。

1 无机吸附材料

无机吸附剂由无机材料制成,包括天然无机材料、经过高温改性或是其他改性的无机材料以及一些复合的无机材料。常用的无机材料有粘土、珍珠岩、蛭石、膨胀页岩和天然沸石等。这些材料具有较大的比表面积,吸附性强,因此成为研究的热点。

1.1 方解石

方解石是最重要的碳酸盐矿物,化学成分为 CaCO_3 , 普通为白色或无色。它化学性能稳定,耐酸

碱性好,吸附性强。

Karageorgiou 等^[3]研究了 pH 值、吸附时间等对方解石吸附 K_2HPO_4 模拟废水中磷酸根(20 mg/L,以 P 计,下同)的影响。结果表明:由于污水的 pH 值是影响磷酸根存在形式的重要因素,因而对吸附效果影响极大。在 pH 值稍低时,磷去除率稍低,大概为 70%~80%;随着 pH 值的升高,磷的吸附率提高,在 pH 值为 12 时,磷的去除率几乎为 100%。此外,在吸附过程的前 15 min,大约 88%~95%的磷得到了去除。在随后的时间内,尽管吸附率仍在提高,但最终的去除率与前 15 min 的去除率没有显著提高。以上结果表明,方解石是一种较好天然吸附剂。

1.2 钢渣

钢渣是钢材生产过程中的副产品。以往对钢渣所导致的环境问题及有效再利用情况关注较少,现在主要将其再用于建筑和冶金工业中^{[4]450}。

对钢渣的吸附性研究,Xiong^{[5]211}最近报道了经磁选获得的钢渣对水中磷酸根的吸附作用,研究温度、吸附剂用量、磷酸根浓度及 pH 值对吸附效果的影响。结果表明:磷吸附量随温度的升高和吸附剂用量增多而增大,但却随磷酸根浓度的升高而减少。当磷浓度为 7.44 mg/L, pH 值为 5.5 时,吸附量达到最大,磷最大吸附容量(以 P 计,下同)为 5.3 mg/g; pH 值低于或高于 5.5 时,磷吸附量下降。

同样的,Lan 等^{[4]449}研究了钢渣对磷酸根的吸附作用,以寻找钢渣的最佳吸附条件。结果表明:当磷

注: * 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2003AA601050)

收稿日期: 2009-06-23, 修改稿收到日期: 2009-10-23

浓度为 50 mg/L, 钢渣的使用量为 7.5 g/L, 吸附时间 2 h, pH 值为 6.5 左右时, 磷酸根的去除率达到 99% 以上, 且吸附等温线符合 Freundlich 模型。

以上研究说明, 由于钢渣具有较大的比表面积 ($2.09 \text{ m}^2/\text{g}$)^[52], 吸附性能较好且廉价, 因此是一种很好的磷吸附材料。但是需进一步研究其吸附性能的长期稳定性, 以论证其工程应用的可行性。

1.3 粉煤灰

粉煤灰是燃煤电厂的副产品^[6], 灰中含有大量 Al、Si 等活性点, 能与吸附质通过化学键结合; 同时粉煤灰比表面积较大, 因此具有一定的吸附能力。粉煤灰废物利用, 将是一种变废为宝的好方法。

杨林锋等^[7]研究了酸改性粉煤灰对含磷废水的去除效果。结果表明: 3 种酸改性粉煤灰中以 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ 混酸改性的粉煤灰脱磷效果最佳。当污水中磷的浓度为 10 mg/L, 吸附时间 2 h, pH 值为 4~11 的试验条件下, 磷的去除率最高可达 99% 以上; 当粉煤灰粒径范围为 0.097~0.080 mm, 吸附效果最佳。

苗文凭等^[8]研究了粉煤灰的改性方法及条件对磷吸附的效果, 获得了粉煤灰用于吸附含磷量为 5 mg/L 的模拟二级出水的 3 种改性方法的最佳条件 (21 °C): ① 0.25 mol/L 盐酸改性的粉煤灰吸附效果最佳, 磷的去除率为 76.0%, 出水含磷 1.20 mg/L; ② 300 °C 下煅烧的粉煤灰吸附效果最佳, 磷的去除率为 93.8%, 出水含磷为 0.31 mg/L; ③ 低火 (119 W) 改性的粉煤灰吸附效果最佳, 磷去除率达 95.4%, 出水含磷 0.23 mg/L。

在国外, Oguz^[9]研究了实验条件 pH 值 (3、8 和 11.5)、温度 (20、30 和 40 °C)、搅拌速率 (150、200 和 250 r/min) 以及吸附剂用量对粉煤灰吸附磷酸根的影响。结果表明: 在一定条件下, 磷的最大吸附容量可达到 71.87 mg/g, 最大去除率为 99%。通过使用 X 射线法研究粉煤灰的吸附机理, 结果表明: 固液界面间离子交换以及沉淀作用在磷酸根吸附过程中作用最大。

Pengthamkeerati 等^[10]最近也报道了经 HCl 改性的粉煤灰 (HCl-treated fly ash, TFA-HCl) 和 NaOH 改性的粉煤灰 (NaOH-treated fly ash, TFA-NaOH) 对水中磷酸根的吸附作用。结果表明: TFA-HCl 比 TFA-NaOH 及未改性的粉煤灰 (fly ash, FA) 有较大的比表面积。磷最大吸附容量为 $\text{TFA-NaOH} > \text{FA} > \text{TFA-HCl}$, 分别为 57.14、23.20 和 6.90 mg/g。实验的结

果与吸附材料中的 CaO 含量及酸碱性有关。TFA-HCl 由于 CaO 含量较低和显酸性, 从而导致以磷酸钙沉淀为主要机制的去除磷酸根能力的下降。相反的, TFA-NaOH 由于具有较高的 CaO 含量及显碱性, 从而具有较好的磷酸根去除能力。因此, 对粉煤灰进行碱改性是提高磷酸根去除能力的有效途径。

1.4 沸石

沸石是含水的碱或碱土金属铝硅酸盐矿物。它内部有无数大小均一的孔穴和通道, 其中存在许多沸石水, 当水分子被除去后, 就形成了一个内表面很大的孔穴, 导致沸石的表面积巨大, 可达 $400 \sim 800 \text{ m}^2/\text{g}$ ^[11]。沸石被用于污水处理中, 正是由于它具有较大比表面积和强选择吸附性^[12]。但是将天然沸石直接加以使用, 吸附能力往往达不到要求。因此对天然沸石进行以提高吸附能力为目标的物化处理是有必要的。

Ning 等^[12]通过室内批量实验研究了沸石负载镧 (La-modified zeolite adsorbent, LZA) 的复合吸附材料对磷酸根的吸附作用。结果表明: LZA 的最大吸附容量为 24.6 mg/g, 且当实验条件为 20 °C, pH 值为 6.0, 磷浓度 1.5 mg/L 及吸附时间 24 h 时, 吸附等温线能够较好的符合 Freundlich 模型。在阴离子干扰的情况下, LZA 对阴离子的选择性吸附顺序为 $\text{PO}_4^{3-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, 这表明该吸附剂对磷酸根具有极好的选择性吸附性。此外, 文章还研究 LZA 在 NaCl 溶液中的再生性, 结果表明: 再生 1~7 次 LZA 的吸附性能都不低于初始的 LZA 性能的 90%, 说明 LZA 的再生性极好。

孟洪等^[13]将沸石与其他添加剂在一定温度下进行活化后, 研究对模拟废水和生活废水的除磷效果。研究结果表明: 活化沸石对含磷废水具有很好的去除效果, 吸附容量可达 4 mg/g 以上。最佳除磷条件是: 沸石粒径 0.5~1.6 mm, 焙烧温度为 300 °C, 废水 pH 值为 4~12, 磷浓度 30 mg/L, 滤速为 3 m/h。

此外, 针对金属氧化物改性后的沸石吸附性能的研究, 李彬等^[14]利用经过镧离子质量浓度 0.5%、pH 值为 10 的溶液浸渍 16 h 以上及后续焙烧处理制得的沸石为吸附剂, 进行静态同步吸附磷酸根试验。结果显示: 进水最佳 pH 值为 4, 最大静态吸附达 25 mg/g; 当进水 pH 值为 4~8, 磷浓度 5 mg/L 时, 出水 pH 值在 6~9 之间, 去除效率达到 99%; 而且吸附剂再生 7 次后对磷的去除率仍然保持在 80% 以上。可见, 金属

化合物改性提高了沸石对磷酸根的吸附性能。

1.5 蛭石

蛭石是一种水合物,富含铝、铁、镁和硅酸盐等成分,经高温灼烧,体积将增大数倍。它的层电荷数较高,具有较大的阳离子交换容量和较强的阳离子交换吸附能力。

为比较蛭石与其他吸附剂对磷的吸附效果,袁东海等^{[15]60}研究了蛭石、沸石、高岭土、蒙脱土、凹凸棒土等材料对溶液中磷的吸附效果及影响因素。结果表明:当磷浓度为 100 mg/L 时,蛭石的磷理论饱和吸附量最大,为 3.473 mg/g,其他依次为凹凸棒土、黄褐土、蒙脱土、下蜀黄土和沸石,高岭土的磷理论饱和吸附量最低,为 0.554 mg/g。影响磷理论饱和吸附量的主要因素是钙含量和胶体氧化铁及氧化铝的含量,pH 值、阳离子交换量和比表面积对磷理论饱和吸附量影响不大,吸附磷的机制主要为化学吸附。但是粘土矿物和粘土磷饱和吸附后,磷的释放量很少,再生率低。

对高温活化蛭石的研究,邓雁希等^[16]将取自新疆的蛭石经过加热活化后处理模拟含磷废水。结果表明,膨胀蛭石对废水中的磷酸盐有明显的去除效果,当废水 pH 值为 7.50~7.60,磷浓度 10 mg/L,蛭石用量为 5 g/L 时,在很短的时间内可使残留液浓度降低到 0.5 mg/L 以下,去除率达 99% 以上。此研究证明了未经处理的蛭石对磷的吸附效果很差,但是通过加热到 700 °C 活化后的膨胀蛭石对磷有较好的去除效果。

1.6 金属氧化物

某些金属氧化物或其水合物,由于其特性,对磷酸根具有吸附能力。近年来,研究者对它们的研究增多,成为一个新热点。

刘丽莉等^{[17]64}以开发新型高效除磷吸附材料为目的,对稀土材料水合氧化铈($\text{CeO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, HCO)进行了吸附除磷的性能评价。实验结果表明,HCO 具有优异的除磷特性,最大吸附容量达 40 mg/g 以上。在较宽 pH 值范围内(2~12),HCO 对磷酸根有较强的吸附能力,但酸性条件(pH 值 =2)更有利于吸附反应的进行;而且对低浓度(1 mg/L)的含磷溶液,HCO 对磷酸根很快达到完全吸附。此外,从实验结果推测,HCO 对磷酸根的主要反应机理趋向于化学专性吸附。

活性氧化铝是一种比表面积大,吸附性能好,耐酸、碱性好,热稳定性好的吸附剂。宁平等^{[18]37}以活性

炭为参照材料,研究了活性氧化铝对水中磷酸根的吸附效果。结果表明: $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 相比活性炭有较高的吸附容量,饱和吸附容量为 10 mg/g,是活性炭的 3~9 倍。 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 吸附磷酸根适宜的 pH 值是 3~4;吸附等温线符合 Freundlich 模型。此外,由于活性氧化铝是一种较为廉价的材料,因此应用于污水处理有较好的潜力和前景。

为比较不同水合金属氧化物对磷的去除效果,丁文明等^{[19]110}以开发新型高效除磷吸附剂材料为目的,以金属水合氧化物 FeH ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 用法下同)、 AlH 、 MnH 、 TiH 、 ZrH 、 CeH 为试验对象,通过它们与水合氧化镧(lan-thanum hydrate, LaH)吸附除磷性能的比较研究,结果发现:LaH 除磷吸附能力高,吸附容量大约为粉末活性氧化铝的 10 余倍。该吸附剂的吸附容量随 pH 值变化显著,在 pH 值为 3 附近达最大值,约为 150 mg/g;此后,随 pH 值的升高,一方面 LaH 的表面由带正电荷转变为带负电荷而使静电吸附作用减弱,另一方面,由于氢氧根浓度的升高,与磷酸根产生竞争,使得 LaH 表面上的磷酸盐沉积得到抑制,导致吸附剂除磷能力降低,从而吸附容量显著下降。

1.7 小结

通过以上无机材料对磷酸根的吸附研究可知:由于材料结构和组分的不同,导致材料对磷酸根吸附性能不同。

1) 对磷酸根吸附能力较强的无机材料有:粉煤灰、沸石和水合氧化铈,水合氧化镧,它们对低、中、高浓度的磷酸根均有很好的吸附性能。其中粉煤灰的磷最大吸附量(Q_{max})可达 71.87 mg/g^{[9]116};沸石 Q_{max} 达 25 mg/g^{[14]57};水合氧化铈 Q_{max} 为 40 mg/g^{[17]65};水合氧化镧 Q_{max} 高达 150 mg/g^{[19]112}。尤其是沸石,它不仅特别适合低磷浓度废水,而且容易再生。吸附机理同时包括了吸附作用和磷酸盐沉积作用是这些材料对磷酸根具有高效吸附能力的原因。

2) 对磷酸根吸附能力最弱的无机材料是蛭石($Q_{\text{max}}=3.5$ mg/g)^{[15]63}。原因是蛭石对磷酸根的吸附作用仅主要限于化学专性吸附。

3) 其他材料钢渣($Q_{\text{max}}=18$ mg/g)^{[4]453}、水合氧化铝($Q_{\text{max}}=10$ mg/g)^{[18]38} 等对磷酸根的吸附性能介于以上两者之间,仍有提高的空间,可通过适当的前处理方法和改变实验条件实现更高的吸附性能。

4) 结合材料来源难易、材料成本高低分析:粉煤灰和沸石无疑是最优的吸附材料,吸附性能高,既廉价又环保。金属氧化物尽管磷吸附性能很高,但其高昂的材料成本(水合氧化铝 8 800 元/t,水合氧化镧 30 000 元/t),限制了它们的工程应用性。

2 有机吸附材料

有机吸附材料由天然材料如木纤维、玉米秆、稻草、木屑、树皮、花生壳等制成。这些材料成本十分低廉,其吸附性也很好,但是对它们吸附磷酸根的研究相对较少。

洗昶华^[20]采用天然高分子聚合物壳聚糖对含磷废水进行吸附处理,考察了壳聚糖前处理的方式、处理时间、pH 值等条件对吸附率的影响,结果表明:壳聚糖前处理最佳 pH 值为 2.0;当水样磷浓度为 10.349 mg/L, pH 值为 6.0~6.2, 处理时间 40~50 min 时,吸附磷的效果最好,吸附率达到 74.14%,磷吸附量为 0.342 mg/g。壳聚糖还可以进行再生,再生利用率为 94.34%。但是壳聚糖对许多金属阳离子及阴离子也有吸附作用,这些离子的竞争会导致壳聚糖对污水中磷的吸附率下降。

王宇等^[21]将化学改性后的玉米秸秆制备阴离子交换剂,研究了改性玉米秸秆对磷酸根的吸附动力学特性,考察了不同 pH 值、温度等条件对改性玉米秸秆吸附磷酸根效果的影响。结果表明:经过化学改性,玉米秸秆表面由带负电荷改变为带正电荷,有利于它对阴离子的吸附。改性玉米秸秆投加量的增大和 pH 值的升高,可提高磷酸根去除率。当改性玉米秸秆投加量为 0.3 g/L, pH 值大于 3 时,去除率达到 90%以上。而温度升高,会降低改性玉米秸秆对磷酸根的最大吸附量。当温度从 20 ℃上升到 40 ℃,改性玉米秸秆对磷酸根的最大吸附量由 40.48 mg/g 减小至 30.24 mg/g。

3 其他吸附材料

在国内,李星等^[22]考察了使用 NaOH 沉淀铁铝溶液结晶生成的铁铝复合吸附剂去除水中痕磷的效能。结果表明:该吸附剂具有高效吸附除磷效果;在同等条件下,它的磷吸附容量为 21 mg/g,明显优于同等条件下氧化铁和活性氧化铝,分别提高近 1.5 和 2.5 倍。这主要是由于该吸附剂具备超细粉体的特征,比表面积(184.45 m²/g)是氧化铁的 9.15 倍,而

Al 元素的嵌入和制备过程中,研磨粉碎导致的晶格错位及微晶化也是其对磷高效吸附的主要原因。

丁文明等^[23]为找到一种除磷的高效吸附剂,通过铁盐与铈盐的混合溶液与碱溶液反应合成了对水溶液中磷酸盐具有高效吸附作用的吸附剂粉末。经正交试验发现,该材料的磷吸附量最高达 33.4 mg/g。盐溶液中铁、铈离子含量是影响除磷效果的最重要因素。当 Ce 含量为 22%左右,进行结晶破碎时,复合除磷剂比表面积最大,而比表面积增大又是高效吸附除磷的主要原因。

董庆洁等^[24]以凹凸棒土和氯化镁为原料,在高温下进行灼烧得到粒状的无机复合物,研究了复合物对水体中磷酸根的吸附性。结果表明:该吸附剂吸附等温线符合 Langmuir 模型,温度升高吸附速率加快。当磷酸根初始浓度为 100 mg/L、吸附温度 20 ℃、pH 值为 5.4 时,可获得最大吸附容量为 34.8 mg/g。

在国外,Biswas 等^[25]研究了经一定处理的柑桔皮凝胶负载铝之后制成的复合吸附材料对磷酸根的吸附作用。结果表明:该复合吸附材料对模拟溶液和天然污水中的磷酸根均有极好的吸附性能,它的磷吸附量最高为 57 mg/g,是作参照的铝铁酸盐磷吸附量的 4 倍。阴离子 Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻ 对复合材料的磷吸附作用干扰极小,表明它对磷酸根的专性吸附性较强。此外,稍低的 pH 值有利于吸附过程的进行,在 pH 值为 3 时,可获得较好的吸附效果。

以上研究表明:通过表面负载或是混合沉淀形成的复合吸附材料,磷吸附性能都能提高,这为开发新型吸附材料提供了一条好途径。

4 讨论

1) 对各种吸附剂吸附磷酸根的性能研究可知,某些天然的吸附材料(如沸石)虽然本身的吸附性能较好,但用适当的方法,如高温或酸碱溶液进行改性后,往往还能提高吸附能力。

2) 吸附剂吸附磷酸根后的再生性,是衡量吸附剂优劣的一个指标,它表征吸附剂的重复使用性能。吸附材料吸附磷饱和后,若具有良好的脱附再生性能,既降低污水处理成本,又可减少废弃吸附材料造成的污染。因此,今后应多开展和加强这方面的研究工作。

3) 对新型材料的发掘和开发,应以廉价低成本、吸附性能好、容易再生为目标。许多的天然材料如粉煤灰、方解石等成本低廉,本身就已经具备良好

的吸附性能,寻找较好的改性方法以更好地提高其吸附能力,成为研究中的热点。

4) 某些人工合成的除磷吸附剂(如水合氧化镧等)有很高的吸附容量,因此其相关研究将成为近年来的重要研究方向。但还需要在进一步深入研究吸附机理,以期研究开发出性能更好的应用工艺。同时,如何降低它们高昂的材料成本也是工程应用过程中不可忽视的问题。

5 参考文献

- [1] Suzkui K, Tanaka Y, Kuroda K, et al. Removal and recovery of phosphorous from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(8): 1573–1578.
- [2] 丁文明, 黄霞. 废水吸附法除磷的研究进展[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2002, (10): 23–27.
- [3] Karageorgiou K, Paschalis M, Anastassakis G N. Removal of phosphate species from solution by adsorption onto calcite used as natural adsorbent[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 139(3): 447–452.
- [4] Lan Y Z, Zhang S, Wang J K, et al. Phosphorus removal using steel slag[J]. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 2006, 19(6): 449–454.
- [5] Xiong J B, He Z L, Mahmood Q, et al. Phosphate removal from solution using steel slag through magnetic separation[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 152(1): 211–215.
- [6] Li Y Z, Liu C J, Luan Z K, et al. Phosphate removal from aqueous solutions using raw and activated red mud and fly ash[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 137(1): 374–383.
- [7] 杨林锋, 霍建平, 郑波, 等. 酸改性粉煤灰去除污水中磷的试验研究[J]. *粉煤灰综合利用*, 2006, (3): 18–20.
- [8] 苗文凭, 林海, 卢晓君. 粉煤灰吸附除磷的改性研究[J]. *环境工程学报*, 2008, (4): 502–506.
- [9] Oguz E. Sorption of phosphate from solid/liquid interface by fly ash[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2005, 262(1–3): 113–117.
- [10] Pengthamkeerati P, Satapanajaru T, Chularuengsoarn P. Chemical modification of coal fly ash for the removal of phosphate from aqueous solution[J]. *Fuel*, 2008, 87(12): 2469–2476.
- [11] 彭会清, 安显威. 吸附法在废水除磷中的应用[J]. *辽宁化工*, 2006, 35(9): 531–533.
- [12] Ning P, Bart H J, Li B, et al. Phosphate removal from wastewater by model-La(III) zeolite adsorbents[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(6): 670–674.
- [13] 孟洪, 彭昌盛, 肖举强, 等. 活化沸石去除水中磷化物的研究[J]. *矿产综合利用*, 2001, (4): 10–14.
- [14] 李彬, 宁平, 陈玉保, 等. 氧化镧改性沸石除磷脱氮研究[J]. *武汉理工大学学报*, 2005, 27(9): 56–59.
- [15] 袁东海, 高士祥, 景丽洁, 等. 几种粘土矿物和粘土对溶液中磷的吸附效果[J]. *农村生态环境*, 2004, 20(4): 60–63.
- [16] 邓雁希, 许虹, 黄玲. 蛭石去除废水中磷酸盐的研究[J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2003, (6): 42–44.
- [17] 刘丽莉, 景有海, 欧阳通. 水合氧化铈吸附水中磷酸根特性的研究[J]. *安全与环境学报*, 2007, 7(2): 64–67.
- [18] 宁平, 刘春玲, 普红平, 等. 活性氧化铝吸附水中的磷酸盐[J]. *有色金属*, 2002, 54(1): 37–39.
- [19] 丁文明, 黄霞, 张力平. 水合氧化镧吸附除磷的试验研究[J]. *环境科学*, 2003, 24(5): 110–113.
- [20] 洗昶华. 壳聚糖对水中磷的吸附处理研究[J]. *化工时刊*, 2008, 22(3): 29–31.
- [21] 王宇, 高宝玉, 岳文文, 等. 改性玉米秸秆对水中磷酸根的吸附动力学研究[J]. *环境科学*, 2008, 29(3): 703–708.
- [22] 李星, 范茜, 杨艳玲. 铁铝复合吸附剂去除水中痕量磷效能及机理[J]. *北京工业大学学报*, 2008, 34(3): 310–313.
- [23] 丁文明, 黄霞. 铁-铈复合除磷剂的合成及高效吸附机理[J]. *中国给水排水*, 2004, 20(9): 5–8.
- [24] 董庆洁, 邵仕香, 李乃瑄, 等. 凹凸棒土复合吸附剂对磷酸根吸附行为的研究[J]. *硅酸盐通报*, 2006, (2): 19–22.
- [25] Biswas B K, Inoue K, Ghimire K N, et al. Removal and recovery of phosphorus from water by means of adsorption onto orange waste gel loaded with zirconium[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(18): 8685–8690.

Advance on Adsorption of Phosphate in Wastewater

Xiang Xuemin Wei Zhiqiang Zhou Jiti Wang Ren Yang Fenglin Wang Xiaokun

Abstract Phosphorus is an important resource for agriculture and industry. However, much of the phosphorus was discharged into water bodies with industrial wastewater and domestic sewage, which was partly responsible for eutrophication. Chemical sedimentation, biological treatment as well as adsorption are usually used for removal of phosphorus from wastewater. Progress of the adsorption material of phosphate was summarized, the function of different adsorbing materials was discussed. The future research trend and hotspot problems were also discussed at the end.

Key words wastewater phosphate adsorption adsorbent

光合细菌 – 活性污泥联合处理皂素废水的实验研究*

李 莉 惠云珍

(郧阳师范高等专科学校化学系, 湖北 丹江口 442700)

摘 要 利用驯化的光合细菌 – 活性污泥联合处理皂素生产废水。实验结果表明:对于 COD 为 25 000~30 000 mg/L 的皂素生产废水,起始 pH 值为 6.5~7.5,温度为 20~30 ℃,投加 5%的接种量($V_{\text{光合细菌}}:V_{\text{活性污泥}}=1:1$),添加适量的 N、P 物质($m(\text{COD}):m(\text{N}):m(\text{P})=200:5:1$),间歇曝气 4 d 的条件下,皂素生产废水的 COD 去除率可达 97.5%。

关键词 光合细菌 活性污泥 皂素废水 COD 去除率

皂素工业是近几年在黄姜人工种植开发成功的基础上发展起来的一个新兴行业^[1]。皂素可用于脑激素类药物,如黄体酮、抗多灵、口服避孕药等的合成,还可用于制取抗肿瘤药物^[2]。皂素由黄姜经发酵、酸解、萃取等工序生产。生产过程中排放的废水含可溶性糖类、色素、果胶质、蛋白脂类等难以生物降解的大分子有机物,具有酸性强、有机物质量浓度高(COD 为 25 000~30 000 mg/L)、硫酸根(或氯离子)浓度高、色度大等特点,其处理难度极大,严重污染环境及水源,也严重浪费资源,对皂素废水治理已成为目前研究的热点和难点^[3]。光合细菌(Photosynthetic Bacteria, PSB),又称有机光合细菌,是以光作为能源、有机物为供氢体,净化有机物的一类微生物。光合细菌生理功能独特,不仅能去除废水中有机污染物,而且有良好的脱氮脱磷功能,其菌体蛋白有多种用途^[4],它与活性污泥结合,形成优势菌群,具有良好的生物降解能力,能更好地降解有机物。本文选择光合细菌 – 活性污泥联合处理皂素废水,利用 SBR 反应器对皂素生产废水进行生物处理研究,以期得到光合细菌 – 活性污泥对皂素生产废水处理的最佳参数。

1 材料与方法

1.1 实验材料与主要仪器

实验用水采自十堰某皂素生产厂的生产废水,其水质指标为 COD 30 050 mg/L、BOD₅ 12 060 mg/L、

SS 280 mg/L、pH 值 1.0。光合细菌为沼泽红假单胞菌,球形红假单胞菌的混合培养液,菌体密度为 96×10^8 个/mL,由广州华农水殖微生物研究所提供。活性污泥取自十堰某污水处理厂。

实验仪器为 KL-1 型 SBR 反应器,TF-1A 型生化培养箱,800 型离心沉淀器,pHS-25 酸度计等。

光合细菌液体培养基:KH₂PO₄、CaCl₂·2H₂O、NH₄Cl、H₃BO₃、FeSO₄·7H₂O、MgSO₄·4H₂O、DL-苹果酸钠、ZnSO₄·7H₂O、Na₂MoO₄·2H₂O、K₂HPO₄、酵母膏、Cu(NO₃)₂·3H₂O、MgCl₂。

1.2 实验方法

1.2.1 逐级驯化光合细菌

由于皂素废水是一种高浓度有机废水,其成分复杂,因此在用光合细菌处理皂素废水之前,需要对菌株进行驯化。适当稀释皂素废水,配成 COD 浓度分别为 4 000~5 000、8 000~10 000、18 000~20 000、28 000~30 000 mg/L 4 个浓度梯度的水样,调节皂素废水 pH 值为 6~7,投加 5%的光合细菌液于 COD 为 4 000~5 000 mg/L 的皂素废水中,在半光照(白天自然光照,夜晚无光照)和微好氧(锥形瓶静置敞口)条件下,培养 4 d,一级驯化后再转入 COD 为 8 000~10 000 mg/L 的皂素废水,补加 5%的菌液,同样条件驯化 4 d,二级驯化后转入 COD 为 18 000~20 000 mg/L 的皂素废水,依次类推,直至转入 COD 为 28 000~30 000 mg/L 的皂素废水进行四级驯化。每阶段水样 COD 去除率趋于稳定后,再进入下一阶段,驯化过

注: * 项目来源: 郧阳师范高等专科学校 2009 年青年项目——黄姜生产皂素废水的处理研究(2009C06)

收稿日期: 2009-08-07, 修改稿收到日期: 2009-08-19

程中控制温度为 20~30 ℃。

1.2.2 驯化的光合细菌处理皂素废水

调节皂素废水 pH 值为 6~7,投加 5%已驯化的光合细菌菌液,半光照、微好氧,培养 4 d,控制温度为 20~30 ℃,每天取其上清液按 4 000 r/min 离心 10 min,测定离心后的上清液 COD,计算 COD 的去除率,上清液为本次实验的最终出水。同样条件下培养处理未投加光合细菌菌液的皂素废水,对比两者 COD 的去除率。

1.2.3 驯化的光合细菌与活性污泥复配处理皂素废水

调节皂素废水 pH 值为 6~7,投加 5%的接种量(驯化的光合细菌与活性污泥复配),培养 4 d,控制温度为 20~30 ℃,每天取其上清液按 4 000 r/min 离心 10 min,测定离心后的上清液 COD,计算 COD 的去除率,上清液为本次实验的最终出水。考察影响微生物处理废水效果的因素有:驯化的光合细菌与活性污泥的配置比例,N、P 物质的影响和光照、溶解氧的影响。最终确定最佳处理工艺。

1.2.4 SBR 工艺处理皂素废水

按照 1.2.3 确定的最佳工艺条件,利用驯化的光合细菌与活性污泥复配处理皂素废水,考察在 SBR 反应器里投加不同量的光合细菌-活性污泥处理皂素废水的效果,确定最优工艺条件。

2 结果与分析

2.1 驯化的光合细菌处理皂素废水

投加和未投加光合细菌液处理皂素废水实验效果见图 1。

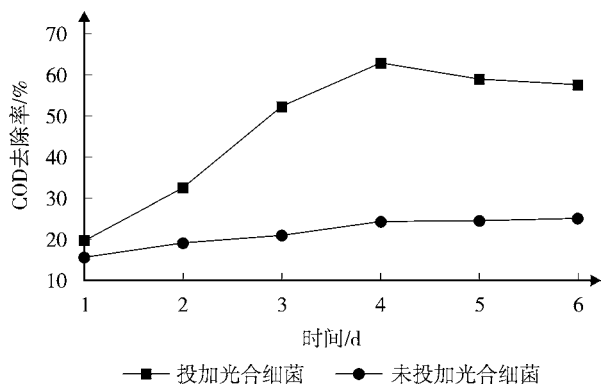


图 1 驯化的光合细菌直接处理皂素废水的实验效果

由图 1 知,投加光合细菌的污水其 COD 的去除率高于未投加光合细菌的废水,由此可初步认为,适

当添加光合细菌有利于提高污水中有机物的降解。投加光合细菌的污水其 COD 的去除率在第 4 天时达到最高,第 5 天以后有所下降。造成第 5 天 COD 去除率下降的原因是由于光合细菌在第 4 天后部分菌体老化、死亡,并产生自溶所致。当然,投加光合细菌的皂素废水其 COD 的去除率不高,处理后的废水水质远远不能满足排放要求(三级 ≤ 300 mg/L),也不利于后续处理。为了提高废水的 COD 去除率,考虑光合细菌与活性污泥复配,使光合细菌发展成优势菌种,更有效地降解有机物。

2.2 光合细菌与活性污泥复配处理皂素废水

2.2.1 光合细菌与活性污泥不同比例复配对 COD 去除率的影响

驯化的光合细菌与活性污泥按不同比例复配($V_{\text{光合细菌}}:V_{\text{活性污泥}}=0:1, 1:1, 1:2, 1:3$),其他培养条件同 1.2.3,对废水的处理效果见图 2。

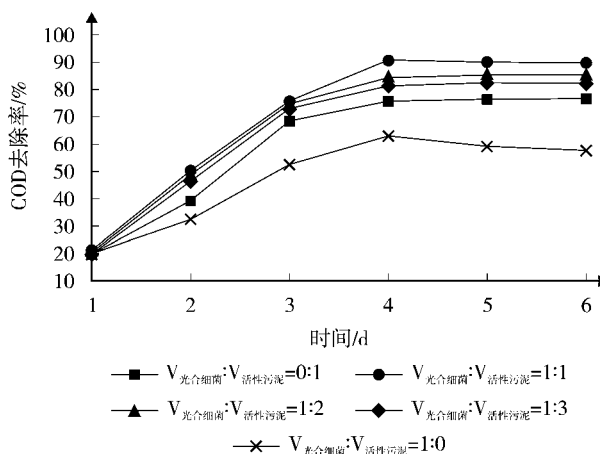


图 2 活性污泥接种量对 COD 去除率的影响

由图 2 知,投加一定比例的活性污泥可以强化光合细菌的处理效果。当 $V_{\text{光合细菌}}:V_{\text{活性污泥}}=1:1$ 时, COD 去除率明显高于单独的光合细菌和单独的活性污泥处理皂素废水,可达 90.5%。这是由于处理废水的活性污泥里的异养微生物首先将高分子有机物转化为低分子物质,当小分子脂肪酸的浓度达到一定程度后,活性污泥处理废水受到一定的抑制,阻碍了有机物继续降解,而此时光合细菌能以低分子物质作为营养基质,继续降解有机物,表现出活性污泥和光合细菌的相互协同和强化作用^[5]。

2.2.2 N、P 物质对 COD 去除率的影响

试验温度为 20~30 ℃,投加 5%的接种量($V_{\text{光合细菌}}:$

$V_{\text{活性污泥}}=1:1$), 半光照, 静置敞口, 培养 4 d, 并在废水中按 $m(\text{COD}):m(\text{N}):m(\text{P})=200:5:1$ ^[6] 补充一定量的 N、P 物质和不补充 N、P 物质进行处理, 比较 2 种情况 COD 去除率的大小, 处理效果见图 3。

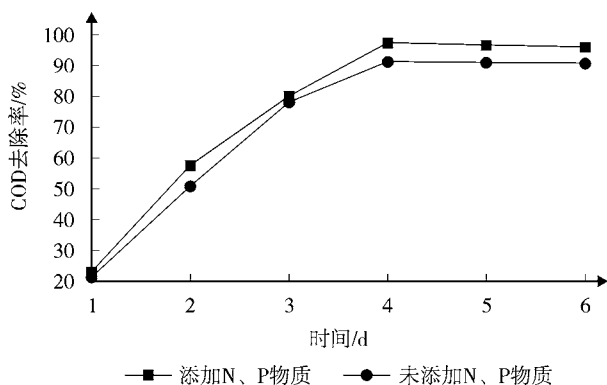


图3 N、P 物质对 COD 去除率的影响

由图3知, 驯化后的光合细菌-活性污泥对试验废水 COD 的最高去除率比不添加 N、P 物质时提高 6.3 个百分点。这是由于 N、P 物质能够影响微生物的生长、代谢、需氧量和沉淀性能, 从而决定了光合细菌-活性污泥对有机污染物的降解速率^[7]。同时, 也说明了皂素废水中 N、P 物质比较贫乏, 所以可适量的添加 N、P 物质。考虑到处理成本, 在后续的试验过程中, N、P 物质的添加量以 $m(\text{COD}):m(\text{N}):m(\text{P})=200:5:1$ 作为水平基准。

2.2.3 光照与曝气条件

调节皂素废水 pH 值为 6.5, 试验温度为 20~30 ℃, 投加 5% 的接种量 ($V_{\text{光合细菌}}:V_{\text{活性污泥}}=1:1$), 同时添加适量的 N、P 物质 ($m(\text{COD}):m(\text{N}):m(\text{P})=200:5:1$), 分别在光照 (40 W 白炽灯距离 30 cm 处光照), 半光照 (白天自然光照, 夜晚无光照) 和黑暗条件下, 考察好氧 (曝气, 控制溶解氧浓度为 0.5~1 mg/L)、微好氧 (静置敞口) 和厌氧 (封口) 条件下光合细菌-活性污泥对皂素废水的处理效果, 经 4 d 后测定其水质变化情况 (见表 1)。

表 1 光照与曝气条件对 COD 去除率的影响 %

反应条件	COD 去除率	反应条件	COD 去除率
光照好氧	90.0	半光照厌氧	78.1
光照微好氧	97.8	黑暗好氧	84.1
光照厌氧	79.3	黑暗微好氧	79.3
半光照好氧	90.1	黑暗厌氧	65.3
半光照微好氧	97.5		

由表 1 知, 光合细菌-活性污泥处理皂素废水在光照微好氧条件下的处理效果最好, COD 去除率为 97.8%。在厌氧条件下降解效果大大降低, 可能是因为皂素废水中溶解氧太少, 光合细菌得不到必需的氧, 无法发挥其高效降解有机物的能力, 因此适量曝气有利于光合细菌有效地处理皂素废水。同时, 一方面考虑到“光阴影”^[8], 另一方面考虑到设备安装及能量消耗等问题, 故选择半光照微好氧条件下处理皂素废水, 在此条件下处理皂素废水其 COD 去除率也较高, 达到 97.5%。

2.3 SBR 工艺处理皂素废水

在 50LSBR 反应器中, 投加 35 L pH 值为 6.5 的皂素废水, 试验温度为 20~30 ℃, 再投加一定量的驯化的光合细菌-活性污泥 ($V_{\text{光合细菌}}:V_{\text{活性污泥}}=1:1$), 添加适量的 N、P 物质 ($m(\text{COD}):m(\text{N}):m(\text{P})=200:5:1$), 间歇曝气 4 d (12 h 曝气, 12 h 静止), 考察接种量比例对皂素废水 COD 去除率的影响, 实验结果见图 4。

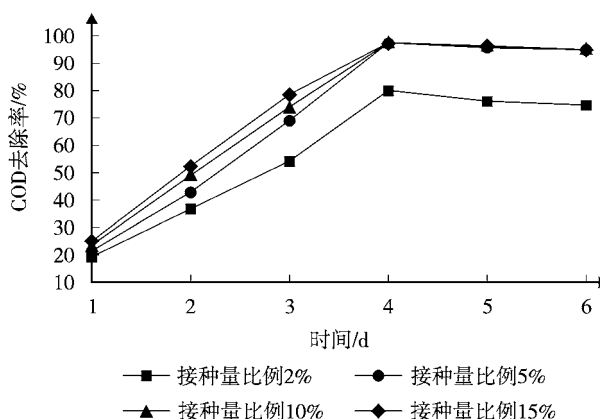


图4 接种量比例对 COD 去除率的影响

由图4知, 接种量比例不变的情况下, 随着处理时间的增加 COD 去除率越来越高, 第4天到最高, 随后开始降低, 这可能是光合细菌等菌体开始死亡、自溶引起的, 这与前面的实验结果一致。处理时间相同的情况下, COD 去除率随着接种量比例的增加而增加, 但 COD 去除率达到 97.5% 以后就增加得很少了。接种量比例过低时, 因为活性微生物过少, 所以 COD 去除率较低, 而接种量比例过高时, 虽然 COD 去除率增加, 但增加量不明显, 而产生的污泥反而增加了。考虑到处理成本, 故选择接种量比例为 5%。

(下转第 40 页)

酸析 + Fenton 法处理 ITO 触摸屏油墨废水

韦善统

(广州茵绿环境科技发展有限公司, 广州 510100)

摘 要 ITO(氧化铟锡)触摸屏产生的油墨废水是一种高浓度的有机废水,但 BOD_5/COD 值仅为 0.07~0.08。针对油墨废水 COD 浓度高且 BOD_5/COD 值低的特点,提出了采用“酸析-Fenton-混凝沉淀”进行处理的工艺方法,经实践证明该工艺处理效果稳定,出水质量可达到广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26-2001)第二时段一级标准。

关键词 触摸屏 油墨废水 酸析 Fenton 试剂 混凝 沉淀

本文所提之工程实例是本人于 2008 年在广州科学城某电子公司完成的工程项目。该电子公司专业生产各种电子设备所用的触摸屏,在采用盐酸、氢氧化钠等对印刷后的工件进行蚀刻的“蚀刻、脱膜”工序中,会产生一定量的油墨废水。该油墨废水中所含的油墨是耐酸油墨,主要成份为压克力单体和压克力低聚物。耐酸油墨的密度为 1.19 ± 0.02 g/mL,吸水率为 0.3%,耐化学药品及溶剂^[1-2]。

1 工程设计

1.1 废水特征

本工程实例属于新建项目,因此在进行油墨废水处理项目设计的过程中,我们只能根据其他同类项目的情况来确定油墨废水的浓度,各项污染物浓度如表 1 所示。后来项目正式投产运行后显示,本表确定的数值与实际情况相符合。

表 1 油墨废水水质参数 mg/L (pH 值除外)

pH 值	COD	BOD_5	SS
10~13	1 200~1 500	80~120	500~600

同时,根据业主单位的估算,总排水量为 $10 \text{ m}^3/\text{d}$ 。但是,排水的波动性较大,基本上是每 2 h 排放 1 次,每次排放 2 m^3 左右。

本项目位于广州科学城,由于整个园区对于排污的要求十分严格,而且项目实施期间,该地区的排水还未纳入城市污水处理厂的集水范围,因此,

项目的排水要求达到广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26-2001)第 2 时段一级标准,各项污染物浓度如下表 2 所示。

表 2 排放水质标准 mg/L (pH 值除外)

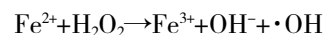
pH 值	COD	BOD_5	SS
6~9	90	20	60

1.2 工艺选择

根据该项目油墨废水的特点,由于 BOD/COD 值仅为 0.07~0.08,可生化性极低,而且该单位没有足够的生活污水,因此首先排除生物处理方法。另外,由于油墨具有一定的可溶性,若仅依靠混凝沉淀也难以去除溶解在水中的污染物质。因此,经过对比分析,决定选用化学氧化的方法进行处理,具体的工艺为“酸析-Fenton-混凝沉淀”,其核心工艺为酸析法和 Fenton 法。

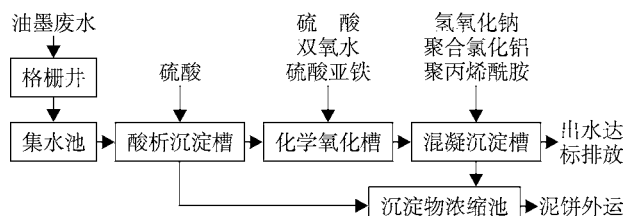
酸析法是目前处理油墨废水最常用的工艺之一,该工艺是先将废水的 pH 值调整为 2~3,废水中的油墨在酸性条件下会析出形成浓胶状凝聚物^[3-4]。酸析法可以去除废水中大量的悬浮状油墨,大幅度降低废水的 COD, COD 去除率可达 80% 左右。

Fenton 法的机理为: H_2O_2 在 Fe^{2+} 的催化作用下能生成具有很强氧化能力的 $\cdot\text{OH}$ 自由基, $\cdot\text{OH}$ 自由基可以无选择地直接与废水中的有机污染物反应,将其降解为 CO_2 和 H_2O ^[5-7]。



Fenton 法就是利用 $\cdot\text{OH}$ 自由基的强氧化能力和 Fe^{2+} 的混凝作用来处理高浓度有机废水,以提高 COD 的去除率。

1.3 工艺流程



油墨废水首先经过格栅隔除粗大的杂质后自流至集水池,然后由泵提升至酸析沉淀槽,同时加入硫酸(H_2SO_4)将 pH 值调节至 2~3 左右。在酸性条件下,废水中的溶解性油墨将会从水中沉析出来,经过沉淀固液分离,沉淀物泵至污泥浓缩池,上清液自流进入化学氧化槽。同时,向化学氧化槽中加入双氧水

和硫酸亚铁,利用其强氧化性裂解油墨的双苯环键,提高 COD 去除率。由于这一反应在 pH 值为 3 左右时,反应速度最快,所以可根据废水的酸碱度向废水中加入适量硫酸,加快反应速度。经过氧化后的出水自流进入混凝沉淀槽的混凝区,首先加入氢氧化钠调节 pH 值为 7 左右,为后续的混凝反应创造条件,再加入聚合氯化铝(PAC)和聚丙烯酰胺(polyacrylamide),最后混合液自流进入沉淀区进行固液分离,沉淀物泵至污泥浓缩池,上清液达标排放。

2 调试运行及结果讨论

2.1 调试运行

调试初期,首先进行现场实验,以确定化学氧化和混凝工序的加药量。为了简化系统的控制环节,在提升泵的出口设置转子流量计,通过阀门将系统的进水量控制为 $2\text{ m}^3/\text{h}$ 。通过现场实验及计算,确定各药剂的添加量如表 3 所示。

表 3 各处理单元药剂添加量

处理单元	药剂	加药量
化学氧化槽	50%硫酸(0.696 g/mL)	由 pH 值控制器控制加药量
	50%硫酸(0.696 g/mL)	由 pH 值控制器控制加药量
化学氧化槽	30%双氧水(0.431 g/mL)	$800\text{ mL}/\text{m}^3$
	10%硫酸亚铁溶液(0.107 g/mL)	$3\ 000\text{ mL}/\text{m}^3$
混凝沉淀槽	50%氢氧化钠液碱(1.330 g/mL)	由 pH 值控制器控制加药量
	10%聚合氯化铝溶液(0.10 g/mL)	$2\ 400\text{ mL}/\text{m}^3$
	0.5%聚丙烯酰胺溶液(0.005 g/mL)	$1\ 200\text{ mL}/\text{m}^3$

经 1 星期的调试试运行后,整个处理系统运行正常,处理效果稳定。最后,环境监测部门取样检测,出水各项指标均达广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26-2001)第 2 时段一级标准,各项污染物浓度如表 4 所示。

表 4 废水处理站进、出水口水质监测结果 mg/L (pH 值除外)

废水类别	pH 值	COD	BOD_5	SS
进水	12.6	1 321	97	513
出水	6.9	64	12	33

环保验收期间,废水处理系统的操作由我单位技术人员亲自操作,系统的控制比较理想,因此系统的出水极为理想。工程通过环保验收后,系统交由业主自行聘请的操作工人进行管理,由于管理上存在

一些不当,但是系统的出水也一直比较稳定,出水的 COD 控制在 $70\sim 80\text{ mg}/\text{L}$ 之间。

2.2 结果讨论

2.2.1 酸析法处理效果

酸析法是由酸析反应槽内设置的 pH 值控制器控制加酸量,将废水的 pH 值控制在 2~3 的范围之内,油墨废水中的感光膜在酸性的条件下会析出形成浓胶状凝聚物^[8]。酸析反应槽处理量为 $2\text{ m}^3/\text{h}$,投加 50%硫酸溶液,反应 15 min,沉淀 90 min。现场的结果显示,经过酸析处理后,原来悬浮及溶解在废水中的大部分油墨在 45~60 min 之内,就会沉淀至沉淀池底部,实现了固液分离的目的。该工艺处理油墨废水, COD 可以由进水的 $1\ 300\text{ mg}/\text{L}$ 降至 $450\text{ mg}/\text{L}$ 以下, COD 去除率可达 65%左右。

(下转第 46 页)

基于城市化特征的雨水回收与利用

谢 浩

(广东工业大学, 广州 510500)

摘 要 在概述雨水回收与利用意义的基础上,指出了我国的现状和存在的问题,阐明了对雨水利用的要求,探讨了在城市建设中雨水利用的几个要点,最后分析了国内外关于雨水回用技术应用中的成功范例。

关键词 城市化 绿色建筑 雨水回收 雨水利用

过去我们在城市建设中,总是强调排水的重要性,然而在城市化迅速发展的今天,我国的水资源面临着严峻的形势。我们应该更新理念,将雨水作为一种资源去回收利用。采用必要的雨水回收利用对于节约水资源是相当有益的。在场地设计中,一方面考虑雨水回渗补充地下水,另一方面通过场地内的竖向设计,收集部分雨水,作为景观用水和绿化用水的补充。从长远看,雨水利用是发展循环经济和改善区域生态环境的有效手段之一,保持经济和社会效益的可持续发展。

1 城市化与我国雨水回收利用的现状

随着我国城市化进程的发展,制约城市可持续发展的干旱缺水、洪涝灾害和水环境恶化问题日益凸显,使得城市原先的水文循环路径发生改变,给城市水生态带来一系列影响,改变了原有城市水体自然循环路径,给城市带来一系列的问题。如导致大部分城市的市区气温比郊区高出 1~3℃,形成“热岛效应”,造成局部天气异常,并且这一现象有逐年增高的趋势;城市的发展不可避免地造成了不透水地面面积的增加,地表雨水径流系数和径流量的提高,地下水入渗量的减少,使得地下水得不到充分涵养;还有部分城市为满足用水量需要而大量超采地下水,造成了地下水枯竭、地下水位不断下降和海水入侵等环境问题,有些地方甚至出现了地面塌陷和沉降等情况。雨水利用能减少地下水开采量,有效补充地下水,防止地下漏斗扩大和地面下沉。雨水利用减少了城市雨水的外排量,直接减少了雨水径流挟带

的污染物数量,使得进入城市水体的面源污染大为减少,促进了城市水环境的改善。另外,随着城市规模扩大发展,城市空间的立体开发得到发展,当蕴藏着巨大自然力的暴雨天气作用于城市,而城市所具有的排水抗灾能力不能与之抗衡时,就造成沥涝灾害,汛期一遇暴雨就积水成灾,影响城市生活,堵塞交通,甚至淹没设施,经济损失巨大。同时,雨洪的肆虐,污水泛滥,加大了城市治污难度,环境恶化。因此,我们急需在城市建立蓄、滞、排相结合的排涝及雨水利用体系^[1]。

现代城市雨水利用已经从上世纪 80 年代开始引起世界各国的重视。我国是一个缺水的国家,许多城市水资源缺乏。目前,雨水利用在我国处于刚刚起步阶段,其技术还不够完善。从整个雨水利用的基本建设成本,以及以后的雨水处理成本来看,有可能雨水利用的价格要高于自来水的价格,而且绝大部分的市民还没有用过雨水,对雨水的可靠性和安全性不放心。由于下雨频率的不均匀性,以及从整体上杂用水量和景观补充水量远大于可收集的雨水量,单独使用雨水实现稳定运行存在困难。一方面,雨水没有被广泛收集,也没有人为地进行雨水土地入渗,而是直接流入下水管道,还有一些没有经过处理就排入了自然水体。另一方面,绿化、景观用水的主要问题是用水成本,很多居住区都规划设计了水景,但一般只在节假日使用,平时不开,主要原因是用水费用太高,使水景达不到规划设计的预期效果。应该说雨水利用还没有引起足够的重视。把雨水作为重要水资源加以收集利用,实行综合治理已经成为一个

重要的新兴课题。政府应加紧制定一系列有关雨水利用的法律法规,尽快出台雨水利用方面的规范,以方便设计人员。如大型公用设施区以及居住小区应建立雨洪处理设施和中水利用系统,否则不予批准。节约用水是当今社会所关注的重要问题,增强节水意识尤为重要。为了节约用水和实现可持续发展,要提高全民回收利用雨水意识。来自屋顶上的降水径流除初期受到轻度污染外,后期释流一般水质良好,对其稍加处理就可以予以利用,如果全民都参加到雨水回收利用这一活动中来,每年就可以节省大量水资源。雨水回收利用虽然资金投入多,收集难度大,但却是非常必要的。雨水利用不仅仅是一种资源的开发和节约,也可实现节水、水资源涵养与保护、减轻城市排水和处理系统的负荷、减少水污染和改善城市生态环境等,同时还能节省市政和居民用水开支^[2]。

2 雨水利用的2种方式

对于雨水的回收利用工程的一般模式是将屋顶雨水通过雨漏管收集,通过分散或集中过滤,除去径流中颗粒物,然后将水引入蓄水池贮蓄,再通过水泵输送至用水单元,一般用于冲洗厕所或灌溉绿地等。建设屋面雨水集蓄与回用系统,如机场、体育场馆、会展中心等场所,屋面积水面积大,雨水收集系统完善,适宜建屋面雨水利用系统。雨水被收集后,要进行一定的处理,其水质应达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002)、《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T 18921-2002)、《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)等国家相关标准的要求,才能应用。根据用途确定雨水处理应该达到的水质,当同时用于多种用途时,其水质应按最高水质标准确定。一般来说,雨水利用包括雨水集蓄净化回用和雨水渗透补充地下水2个方面。前者称为直接利用,后者称为间接利用。

2.1 直接利用

根据雨水汇集区的不同,可将雨水直接利用系统分成屋顶雨水利用、路面雨水利用和绿地雨水利用等方式。

2.1.1 屋面雨水

屋面雨水利用是指将建筑物(构筑物)的屋顶(天台)作为集雨面的雨水收集利用系统。屋面雨水

水质受大气质量、屋面材料、降雨量、降雨间隔等因素的影响。屋面雨水的污染程度与屋面材料有直接关系,沥青油毡是一种主要污染源。因此,在屋面雨水利用规划设计中必须考虑屋面材料的影响,通过采用铝塑板等新型屋面防水材料,可有效地减少雨水中杂质。

2.1.2 路面雨水

路面雨水利用是指将道路、广场作为集雨面的雨水收集利用系统。路面雨水水质受交通量、路面卫生、路面材料、降雨量和降雨间隔等因素的影响。道路和屋顶的污染程度不同,雨水径流水质也有所差异,通常路面雨水水质比屋面雨水要差。由于机动车道的交通量较大,路面污染较重,机动车道的雨水水质相对较差。因此,在路面雨水规划设计中应优先考虑收集自行车道、人行道和小区道路的雨水。

2.1.3 绿地雨水

绿地雨水利用是指将绿地作为集雨面的雨水收集利用系统。绿地对于雨水径流中的污染物有一定的截流和净化作用,收集到的雨水径流水质相对较好。同时,由于绿地的渗透和截流作用会导致绿地雨水径流量明显减小,也许不能保证收集到足够的雨水量。在绿地雨水规划设计中应充分考虑绿地的渗透和截流作用,科学合理地确定雨水利用规模。

2.2 间接利用

雨水间接利用可分为屋顶花园、下凹绿地、透水路面和渗透管沟(井)等方式。

2.2.1 屋顶花园

屋顶花园是指各种建筑物、构筑物的屋顶(天台)上进行绿化、种植花草的统称,一般由防护层、排水层、过滤层、种植层和植被组成。种植层和植被的选择是屋顶花园的关键,种植层土壤必须有一定渗透性并能满足植被生长的需要,植被必须适应当地的气候条件并与种植层土壤性质相匹配。通过植被截留和种植层吸纳雨水,屋顶花园雨水径流量较绿化前大幅降低,仅在遇到暴雨时形成雨水径流。屋顶花园是美化城市、减少面源污染和削减城市雨水径流的重要途径之一^[3]。

2.2.2 下凹绿地

下凹绿地是指低于周围地面适当深度,能够接受周边地面雨水径流的绿地。绿地表层土壤中根系发达、相对疏松,其降雨入渗能力较无草皮的裸地

大,具有便于雨水引入、透水性好和投资少的特点,而且植物根系还能对雨水径流中的悬浮物、杂质等起到一定的过滤、净化作用。通过将普通绿地设计或改造成下凹绿地,适当降低绿地高程,合理处理路面高程、绿地高程和雨水口的关系,不仅可以减少绿化用水,而且增加了雨水渗透量、强化了地下水补给。

2.2.3 透水路面

透水路面是指以透水混凝土、透水沥青、透水砖、草皮砖等透水性建材替代普通混凝土、沥青、釉面砖等传统建材铺装硬化路面、广场、停车场等。透水路面能很快将雨水渗透至路基下,甚至到达地下含水层,不会产生路面积水。这种路面可广泛应用于人行道、小区道路、公园、广场和停车场等轻型路面。

2.2.4 渗透管沟(井)

渗透管沟(井)是指在雨水排放系统中,将传统雨水管改为渗透管(穿孔管)或设置渗水井。汇集的雨水通过渗透管沟(井)进入四周的碎石层,再进一步向四周土壤渗透,多余雨水溢透进入市政排水管道。渗透管沟和渗水井可单独使用,也可同时使用。渗透管沟(井)渗透量大、占地面积小、投资较少,但是对水质有要求,不能含有过多的悬浮物,通常需进行预处理。渗透管沟(井)适用于一些地下水位不高、雨水水质较好的地区。

3 借鉴成功经验

目前,一些发达国家在城市雨水资源化和雨水的收集利用方面有着非常成功的经验和方法。美国的雨水利用大部分是以提高天然入渗能力为目的。美国兴建地下隧道蓄水系统,建立地表回灌系统,既利用了洪水的生态环境功能,同时减轻了防洪地压力。德国联邦和各州有关法律规定,新建或改建开发区必须考虑雨水利用系统。因此,开发商在进行开发区规划、建设或改造时,均将雨水利用作为重要内容进行考虑,尤其在进进行大面积商业开发区建设时,更是结合开发区水资源实际,因地制宜,将雨水利用作为提升开发区品位的组成部分。德国的雨洪收集利用形成了一套完整、实用的理论和技术体系,收集雨水处理后,达到杂用水水质标准,用于街区公寓的厕所冲洗和道路及庭院浇洒。在德国众多城市中,尤其是市中心的街道,人们经常看到一些水沿着街道 2 侧的阴沟,从高处流向低处,这是雨水利用的又一典范。城市街道建设明沟,花费不大,即冲洗了街道,又

收集了雨水,一举多得,而收集到的雨水进入蓄水池进行再处理后,就可以被用来冲刷厕所、浇灌花园草地等。英国 2000 年在伦敦修建了世纪圆顶示范工程,该工程面积 10 万 m^2 ,相当于 12 个足球场大小,设计者将从圆顶盖上收集雨水在芦苇床中进行处理,处理过程包括 2 个芦苇床(每个的表面积为 250 m^2)和 1 个塘(其容积为 300 m^3),将雨水利用与生态有机地结合起来,体现了人与自然的和谐。日本的许多城市在屋顶修建用雨水浇灌的“空中花园”,建有大容量的地下水池来储存雨水,各种雨水人工渗透设施也修建在许多楼前屋后,集蓄的雨水在经过处理后主要用于冲厕、绿化、消防和道路喷洒等^[9]。

我国传统民居中一向注重对雨水的收集再利用,多雨地区将雨水收集作防火和补充饮用水源,干旱地区更是将雨水视作非常珍贵的资源进行收集,用作灌溉及日常生活用水。陕西黄土高原地区的村民经常挖土坑蓄雨水,称为涝池。深圳市梅山苑小区的雨水收集利用包括 2 方面:①收集屋面雨水,排放出初期悬浮物含量较高的雨水后,对剩余大部分雨水进行简单的过滤处理,用作小区景观用水和洗车用水;②收集山体雨水,回用于小区的绿化及景观用水等。由此可降低小区管理成本。南京市苏远大厦有 1 套雨水回收利用系统,系统构成包括 $5\,000 \text{ m}^2$ 的集水屋面、 600 m^3 的集水池、过滤泵和过滤器等装置,还有药剂投加装备、机房及管道。其优点是使雨水尽可能就地消纳,不形成地表径流,加上雨水合理再利用和自动喷灌系统利用雨水绿化,全年收集雨量约 $7\,700 \text{ m}^3$,其中可回用水 $7\,000 \text{ m}^3$,按现行水价 $4.8 \text{ 元}/\text{m}^3$ 计,全年可节约水费 3.36 万元,自来水用量比普通楼宇减少 50% 以上。另外,2008 年北京奥运会主体育场“鸟巢”,有 1 套比较完善的雨水回收与利用系统,“鸟巢”的雨水采用分散收集、集中处理的形式,雨水收集面积约 22 hm^2 。该雨水利用系统,就是把雨水进行收集和处理,获取再生水,从而减少对自来水的消耗。“鸟巢”经初期弃流后的雨水,进入雨水蓄水调节池后进行处理,再被输送到体育场地下的中心蓄水池,处理后进入消防,中水合用水池,再通过加压设备送入回用水管网或用水单位。目前国家体育场共有雨水贮水池 6 座,1 次最多可容纳 $12\,000 \text{ m}^3$ 的雨水,平均每年回收雨水约 $67\,000 \text{ m}^3$,经处理后供水量约 $50\,000 \text{ m}^3$,回用水经过处理后,与市政优质中水联合使用,共同作为零层以下建筑的

卫生间冲厕、停车场冲洗用水、室外道路和绿化浇洒用水等多种用途的水源,而这些用水部位大多遍布在体育场的用地范围。

4 结语

雨水收集利用技术是节水、节能技术的重要组成部分。目前,我国城市化的发展规模已经进入到了一个飞速发展的阶段,这必然面临着将有更多的土地变成建筑用地。在这个过程中,一定要将雨水回收利用作为城市规划的一部分进行设计和建造,争取使雨水这一巨大的财富发挥效益。要结合实际情况来看,统筹规划作出多个设计方案,进行技术经济的对比,最后选择最佳的方案进行建设,尽量降低

建设费用。并且回用雨水应该是政府支持、群众参与共同完成的。总之,推动水资源的可持续发展,还有许多工作要做,其任重而道远。

5 参考文献

- [1] 谢浩. 加强水资源节用管理 实现可持续发展目标[J]. 建筑设计管理, 2008, 3: 18-21.
- [2] 孙坚, 戴斌. 上海居住小区雨水利用现状的分析[J]. 住宅科技, 2006, 9: 29-32.
- [3] 曹秀芹, 车武. 城市屋面雨水收集利用系统方案设计分析[J]. 给水排水, 2002, 1: 14-17.
- [4] 李百战, 何天祺, 郑洁. 绿色建筑概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 113-115.

Rainwater Collection and Utilization on the Basis of Urbanization

Xie Hao

Abstract The importance of rainwater collection and utilization was analyzed; the actuality and some problems were pointed out; the requirement of rainwater utilization was expounded; some key points in rainwater utilization were discussed. Some successful examples of rainwater collection and utilization at home and abroad were introduced.

Key words urbanization green building rainwater collection rainwater utilization

广州中一药业在全国率先推出“药品包装环保回收机制”

国家实施的对购物袋“白色污染”的禁令,使包装环保成为社会热议的话题。在此背景下,广东药企也积极行动起来,他们将企业责任延伸至药品包装的环保上。2008 年世界环境日期间,由我公司联合中华环保联合会共同举办的“我环保,我健康——药品包装环保回收机制”活动在北京人民大会堂正式启动,这场别开生面的活动将成为我国药企开展废旧药品包装环保回收的标志性行动,开创了我国药企积极参与环保公益活动的先河。

废旧药品包装加大了环境压力,随着人们生活水平的提高、健康意识的增强,日常使用的各种药品、保健品逐渐增多,销量每年以 30% 的速度增长,所产生的废旧药盒和药瓶也在大量增加。一项最新调查表明,我国每年产生的药盒、药瓶在千亿个以上。这些废旧药盒和药瓶,如果能够得到回收处理,经过再处理都可以重新利用。以 10 亿个废旧药盒为例,经粗略估算,可以节省逾 6 万 m^3 的木材,可以保护约 32 hm^2 的森林,可以用来制作成 3 亿张 A4 纸。若制成课本,可供 1 000 所小学使用超过 10 a。

“药品包装环保回收机制”是由我公司和中华环保联合会在全国共同开展。消费者只要将家庭留有的由我公司生产的产品包装盒和空药瓶或者购买中一牌消渴丸、前列通片、

胃乃安胶囊、乳核散结片、三七化痔丸、腹可安片等产品,把包装盒或空药瓶通过设立的定点回收零售药店进行回收,便可得到一份奖励。据了解,所有定点回收药店里都放置了我公司提供的药品包装环保回收箱,并设立了专门的工作人员。消费者只要将中一牌药品包装盒或空药瓶投入环保回收箱,然后到工作人员处便可领取奖品。

为开展此项活动,我公司在全国部分药店进行了试回收,在没有任何宣传的情况下,消费者反响十分热烈,其中在老百姓大药房广州江南中店,每天平均可回收 100 多个药盒和药瓶,试回收活动仅 15 d,就回收了 1 500 多个。

我公司是华南地区最大的中成药生产企业,每年销往市场的药盒和药瓶共约 2 亿个,其中仅全国销量最大的口服糖尿病药物“消渴丸”就占到近 1/2。积极树立绿色营销观念,培育绿色文化,把绿色理念植根于企业文化中,树立中成药企业绿色营销的新模式,比如广州中一药业所有产品包装盒上都有一条绿色飘带。这是代表着健康药品和环保药品。我公司今后还将在药材种植与采购、药品生产与加工、药品包装与运输等各个环节都设立环境保护机制,实现全方位的环境保护及资源再生利用,为国家的环境保护事业作出努力。

广州中一药业有限公司

浅谈六塘河泗阳河段水环境状况及污染防治对策

庄昌伟 庄仲昌

(江苏泗阳县环境保护局, 江苏 泗阳 223700)

摘 要 结合近年来对江苏泗阳县城区内河(沟)水质监测和调查,分析六塘河泗阳河段水环境污染现状和成因,并对淮河流域重点控制断面之一的六塘河泗阳河段石渡断面水质达标提出相关对策建议。

关键词 水环境 水质达标 对策 六塘河

六塘河西起骆马湖,向东流经宿迁、泗阳、淮阴、沭阳,至连云港入海,是江苏北部灌溉、排涝的重要河流。六塘河泗阳河段干流长 35 km,除上游来水外,是区间汇水和接纳城镇工业废水和生活污水的主要河道。几年来,随着经济的快速发展和城镇人口的急剧增加,大量工业废水和生活污水排入泗阳河段,致使该河段水质严重恶化,直接影响泗阳县社会经济的发展,同时对六塘河流域的水环境造成严重的影响。本文分析六塘河泗阳河段水污染的现状和成因,并提出污染防治的对策建议。

1 污染现状

据 2001~2008 年监测统计资料表明,六塘河泗阳河段流域内排污量较大,受流域内各种污染源的排污影响,河段水体质量状况较差,生态环境功能严重退化,远不能满足江苏省地表水环境功能区划定的Ⅲ类水功能区划要求。2001~2006 年泗阳河段的控制断面石渡断面全年超过地面水 V 类水质标准,2007 年水质有一定改善,但也只达到地面水 V 类标准的水平。该河段水量季节性变化明显,枯水季节径流量很小,而丰水期雨水增多,河水径流量大,污染物扩散稀释较强,浓度有明显降低^[1]。六塘河泗阳河段水污染的特点主要有以下 4 个方面:

1) 县城河段水质污染严重,主要污染源分布较为集中,以泗阳县城西老工业污染源、城中生活污染源、城东经济开发区新增工业为重点区域,它们是泗阳工业和城镇人口集中地域,排放的废水量大。其等标污染负荷占整个入河污染负荷的 95% 左右,是污

染源的重点治理和控制区。

2) 水体中的主要污染物是 COD、氨氮、挥发酚、石油类,其中以 COD、氨氮的污染最为严重,许多监测断面的 COD、氨氮均超过地面水 V 类标准。

3) 流域北部乡镇工业废水、生活污水排放量逐年增加,未经过处理直接排入水体的现象比较严重,流域水体的污染不断加重。

4) 流域内化肥、农药的施用是面污染源的主要污染物质,大量施用农药、化肥,直接通过降水、径流进入水体,对河段干流和支流的水质有着一定影响。

2 污染成因分析

近年来,泗阳县政府高度重视县城区及六塘河环境综合整治,先后实施了泗塘河、北大沟等六塘河支流的环境整治,以污染减排为抓手,督促排污单位对污水深度治理,建设城市生活污水处理厂,对城区生活污水实施集中治理。经过多年的努力,六塘河环境污染得到有效控制,但由于经济发展和城市人口的聚集增加,新增污染物量较大,整个流域污染状况未得到根本改善,流域整体的污染还比较严重。影响我县区域经济的健康有序发展,成为我县小康社会环境质量指数偏低的直接原因。

2.1 工业废水排放量大,结构性污染突出

随着流域工业尤其是县经济开发区企业的迅速发展,大量工业废水直接或间接排放到河流,虽然企业基本上都已实现达标排放,但由于治理水平较低,废水中仍有大量的污染物进入水体,造成河流水质的污染。

结构性污染突出。据重点污染源统计结果,在流

域工业废水污染源中,化工行业是主要的废水污染源,江苏澳特利化工有限公司年排放废水量接近 100 万 t,其排放的氨氮、COD 占工业污染负荷的 50% 以上。

2.2 城市污水逐年增加

近年来,随着城市化进程的加快、城市人口的增加,城市生活污水排放量逐年增加,而城市污水处理厂建设特别是配套管网建设严重滞后,使城市生活污水成为主要污染源之一。据统计,县城 2007 年生活污水 COD 排放量为 6 000 t, 占入河 COD 总排放量的 76%。目前,县城北污水处理厂,处理设计能力 5 万 t/d, 由于管网不配套, 仅能处理 2.2 万 t/d, 同时因未实施雨污分流导致进水浓度偏低, 年削减 COD 1 000 t 左右, 远低于 2 000 t 的削减能力, 不能达到对生活污水集中处理的目标。

2.3 畜禽水产养殖和农业面源污染不断加重

随着工业污染源治理达标排放和城市生活污水处理厂的建成运行,面源问题日益突出。农用化学物质的不合理使用是造成沿线农村面源污染的主要原因。农药、化肥、地膜的污染不断加重。全县化肥使用量逐年增加。不合理地使用化肥,导致土壤板结、地力下降,加剧水体富营养化。一些畜禽养殖场有机物不合理排放,使地表水受到一定程度的污染,影响到水体质量。

2.4 水资源短缺加剧水质污染

由于受气候干旱、上游闸坝控制等因素的影响,降雨和客水来源持续减少,六塘河泗阳河段水资源日趋短缺,除丰水期短期内有大水量通过,平、枯水期过境流量大多时为县城区工业、生活废水,对接纳的大量工业废水和生活污水起不到稀释和净化作用;废水中的污染物在河床中沉积、形成了二次水污染的隐患;丰水期由于降水形成地表径流汇入河内,使河床中沉积的污染物被冲至下游,易造成下游水体污染的加重或造成突发性污染。在枯水期,大多仅有工业废水和生活污水排入,即使企业达标排放、城市污水处理厂实现对城区生活污水的全部处理,六塘河泗阳河段也难以达到Ⅲ类地表水功能区要求。

3 水污染综合防治对策

通过上述分析可以看出,六塘河泗阳河段水体污染较重,制约我县经济发展和人民生活健康水平的提

高,对下游送清水工程的实施、运行和管理有着重要影响。因此,对六塘河泗阳河段水污染系统进行治理和控制,是改善河流水体质量、保证区域生态环境良性循环和区域资源永续利用的关键措施,是实现经济可持续发展的重要条件,是确保下游饮用水安全、生态县建设的重要内容。搞好六塘河泗阳河段水污染源综合治理,应重点做好以下几个方面的工作。

3.1 加强城市生活污水和工业废水的控制和整治

城市生活污水和工业废水排放量大且污染集中,是流域的主要污染源。必须采取措施加快整治及控制,以防止对水体的污染和生态环境的破坏。从上述分析中可以看出,城市生活污水是引起六塘河泗阳河段水环境恶化的主要原因,必须加快城市污水处理厂及配套管网的建设步伐,科学布局污水截流管网,逐步封堵城区雨水管道的生活污水排污口。同时加强污水处理厂运营管理,提高运营率和生活污水水污染物的削减率,减少入河污染物总量。

1) 积极调整和优化产业结构,进一步加强区域总量控制,大力发展技术含量高、无污染的企业。对现有企业要加快生产设施和工艺流程的更新及改造,减少和控制“三废”的排放量。对达不到治理标准的企业,应坚决关掉。对新上企业,必须严格执行“三同时”制度。加大对现有工业企业污水处理设施的监管,促进企业对污水的深度治理。对一些排污量大不能实现浓度、总量达标的单位坚决实施关停。

2) 搞好城镇建设规划,逐步实施环保型城镇建设模式。在城镇建设规划、设计及实施过程中,必须以保护生态环境、维持生态平衡为前提,搞好科学规划、科学设计、优化布局,并做好对生态环境影响的评价,减少乡镇对六塘河泗阳河段水环境的影响。

3) 发展污水灌溉。将富含营养物质的城市生活污水,经过一定处理,达到灌溉水质标准后,引入农田、林地。这样既能增加土壤肥力,提高农、林产品的产量,又能缓解六塘河流域水资源的供需矛盾,还能避免大量的污染物质进入六塘河,造成水质恶化。

4) 工业企业建立环境管理体系,实行全过程控制。排污企业要建立健全治理设施运行管理的各项规章制度和操作规程,将污染治理设施管理纳入生产经营管理活动之中,定岗定责,保证设施正常运转。继续实行定期巡查、突击检查、运行报告、情况通报、停运审批等行之有效的制度,增加现场检查、监

测频次,逐步实行自动化监控,及时发现和纠正擅自停运治理设施、超标排污等违法行为,确保污染治理设施发挥应有的效益。

5) 建立良好的工作机制,抓住重点依法保护六塘河水环境。每年明确六塘河水环境保护工作要点,并作为生态县建设与环境保护目标责任内容分解至各乡镇和县直有关部门,形成齐心协力、齐抓共管六塘河水环境保护,实现区域污染有效控制。

3.2 采取有效措施,防止面源污染

1) 控制农药、化肥的施用是防止面源污染的有效途径,有毒是农药、化肥的基本特性。六塘河面污染问题亦不容忽视。特别是近年来随着农田农药、化肥施用量的增加,对六塘河水质产生着一定的影响。因此,对六塘河流域面污染的控制十分重要。

2) 大力发展生态农业。要树立大环境生态观念,加大农、林、牧、渔环境污染源管理力度,控制水土、有机质流失和土壤污染,大力推广有机农业和生

态农业,引导农民开发和生产有机食品,推动种植结构的改变。以生态县建设为抓手,全面开展生态农业建设工作。

4 结语

六塘河水污染问题是我县环境问题的一个重要方面,水体污染严重制约着全县国民经济的发展和人民生活水平的提高,并造成重大损失。作为淮河流域及小康社会环境质量考核影响较大的六塘河,对其采取有效措施,加强流域水体污染的控制和治理是当务之急。我们相信随着淮河流域“十一五”防治规划工程的实施和县政府对环境保护的日益重视,六塘河泗阳河段水污染问题会得到有效的控制和治理,生态环境功能将得到充分显现。

5 参考文献

- [1] 徐国芳,冯国章. 区域水资源可持续利用及其评价指标体系研究[J]. 西北农林科技大学学报,2002,30(2):24-27.

Status and Pollution Countermeasures of Liutang River in Siyang District

Zhuang Changwei Zhuang Zhongchang

Abstract Based on the monitoring data and investigation in recent years, the pollution status and causes of Liutang River in Siyang district were analyzed. The corresponding measures to control the water quality in Shidu section of Liutang River were proposed.

Key words water environment water quality standards countermeasure Liutang River

(上接第 4 页)

- 例[J]. 环境科学与管理,2008,33(3):110-113.
[3] 张文超,张建新,石磊,等. 超滤膜-活性炭在大型再生水工程中的应用[J]. 给水排水,2008,34(2):32-35.
[4] 周靖,李焕昌. 医院给排水设计反思[J]. 给水排水,2005,31(2):75-77.
[5] 王白杨,熊树林,胡兆吉,等. 斜管沉淀技术用于脉冲澄清

- 池的改造[J]. 中国给水排水,2006,22(14):19-21.
[6] 张军,吕伟娅,聂梅生,等. MBR 在污水处理与回用工艺中的应用[J]. 环境工程,2001,19(5):9-11.
[7] 郝凤来. 自来水 ClO_2 消毒法的比较优势[J]. 当代医学,2008,(10):119-120.

The Application of Biological Processes, Two-level Filtration and ClO_2 on Hospital Sewage Treatment

Gan Mingqiang Wang Ping Xu Ting Zhang Ning

Abstract The joint applying of biological contact oxidation and ClO_2 disinfection, were applied on hospital sewage treatment. The water quality of the effluent could meet the discharge standard of water pollutants for medical organization (GB 18466-2005). Two treatment processes used for producing reclaimed water were provided including ① bio-contact oxidation, MBR and ClO_2 ; ② bio-contact oxidation, sand filtration, active carbon filtration and ClO_2 . The running tests indicated the effluent meet the water quality standard for urban water consumption (GB/T 18920-2002), the treatment systems have high removal efficiencies, stable water quality, nimble operation mode and lower running cost.

Key words bio-contact oxidation MBR ClO_2 hospital sewage

生物膜法处理低浓度石油化工 VOCs 试验研究

周质彬

(广州环发环保工程有限公司, 广州 510180)

摘 要 生物膜法处理低浓度石油化工类复杂成分挥发性有机废气实验结果显示, 该方法是行之有效的。生物膜填料塔净化该类有机废气具有较高的净化效率, 并且出口浓度达到国家现行排放标准的要求。文章对实验结果及其影响因素进行了探讨和分析。

关键词 生物膜填料塔 石油化工 低浓度有机废气 净化

近年来, 生物膜法净化低浓度挥发性有机废气 (Volatile Organic Compounds, 即 VOCs) 作为一种废气处理的新技术, 由于具有明显的技术和经济优势, 在国内外已受到广泛关注。针对复杂成分的低浓度有机废气既无回收价值又严重污染环境的特点, 采用生物膜法处理具有稳定性好、运行费用低、无二次污染等优点。国内已有相关研究和工业应用表明, 生物膜法净化低浓度有机废气和恶臭气体是行之有效的^{[1]3-6, [2-5]}, 但是该方法在石油化工行业的应用仍然不广泛, 缺少实例。广州环发环保工程有限公司项目组对广州石化厂化工区污水池产生的低浓度挥发性有机废气进行了生物膜法净化处理的可行性试验, 并研究确定适宜该污水池有机废气处理的工艺流程和设计参数。该污水池是汇集广州石化厂各种化工废水的排污集水池, 在集水过程中主要挥发出苯、甲苯、二甲苯以及其他烃类等化工废气, 也可能含有一定的无机气体。本试验目的是考察气源的特点、温度、流量、循环液 pH 值、填料等因素对净化效果的影响。由于废气成分复杂, 试验气体成分无法逐一交待, 主要考察三苯及烃类物质。

1 基本原理

工业有机废气的生物净化过程实质上是利用微生物的生命活动将废气中的有害物质转变成简单无机物及细胞质等的过程。在一定的润湿环境下, 微生物以废气中的有机物为能源, 通过捕捉、吸收、降解并转化为无毒无害的 CO_2 和 H_2O 。在吸收降解的

过程中, 附着在固体填料表面的微生物自身得以生长繁殖并逐步形成一定厚度的生物膜^{[1]8-9}。

2 实验器材和方法

2.1 实验器材

实验使用的菌种是经过专门的筛选和驯化后接种培养出来的, 对有机废气有较好的净化能力。生物膜填料塔由内径为 90 mm 的玻璃管制成, 总高度为 1.6 m, 其中填料分为 2 层, 每层高度为 500 mm。实验装置流程如图 1 所示。

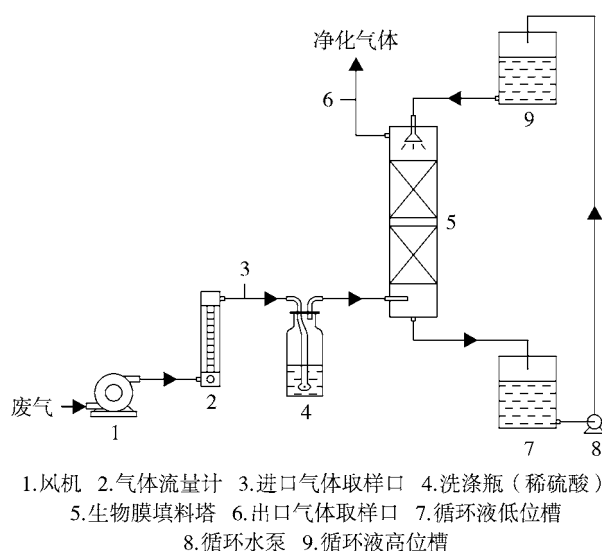


图 1 生物膜填料塔装置流程

2.2 实验方法

实验在常温常压下进行,气源从原有风机采样管处由软管引至实验装置,经过流量计、洗涤瓶和生物膜填料塔后排放。实验气量的大小通过流量计控制。由于气源中含有一定的油质,可能有突发高温出现,而且在实验初期发现气源中含有少量碱性气体对生物膜生长有所影响,因此,在洗涤瓶中加入一定量的稀硫酸,以起到降温、除油、洗涤、中和碱性气体的作用。生物膜塔采用逆流操作,气体从底端进入,循环液在上端喷淋,并通过循环水泵在高、低位水槽之间循环。实验主要以苯、甲苯、二甲苯为对象,其浓度采用气体(苯、甲苯、二甲苯)检测管法进行检测。填料表面的生物膜挂膜情况肉眼透过玻璃塔壁进行观察。

3 实验结果与分析

3.1 生物膜填料塔的挂膜与运行

生物膜的生长成熟与否,微观上,当填料表面

上的生物膜增长到一定厚度并趋于稳定,从生物膜上脱落和自溶的微生物菌体数量与其附着在生物膜上的菌体数量趋于平衡时,生物膜的生长即已趋向成熟;宏观上,生物膜填料塔在其生物挂膜期间的运行阻力降有一个从上升到逐步趋于稳定的变化,这是生物膜生长趋于成熟的外部表现^[18-9]。经对实验室扩大的生物膜填料塔内填料表面生物膜的观测分析得知,生物膜外观呈淡黄色,厚度大约 1~3 mm。由显微镜观测结果表明,生物膜内微生物类群较多,以细菌为主,还有少量真菌、原生动物、微型后生动物等,是一个混杂共生的生态体系。而且,细菌中以短杆菌为优势菌种,在生物膜中主要以片块菌胶团的形态存在。这与相关研究结果是基本一致的^[6-7]。

在实验阶段,采用气流量 0.1 m³/h,停留时间 230 s,循环液流量 18~24 L/h 对生物膜塔进行挂膜,定时对进出口气体浓度取样分析,观察塔内微生物的挂膜情况以及净化效果的变化。如图 2 所示。

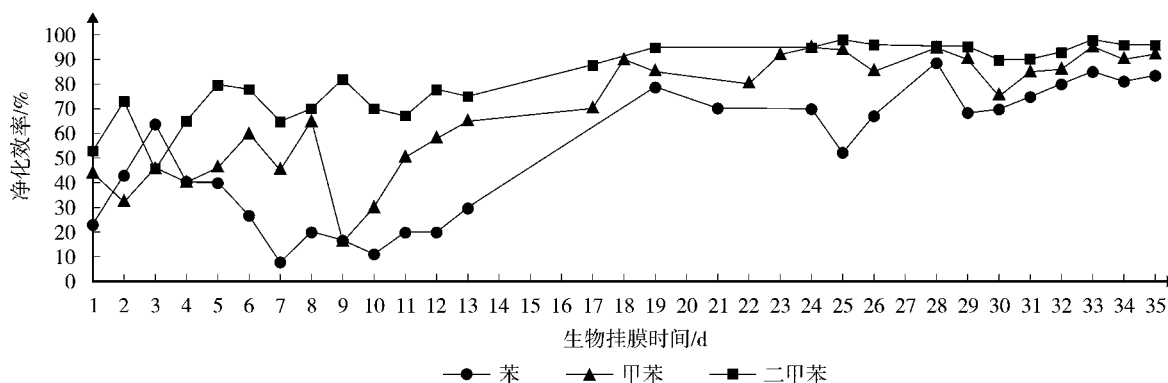


图 2 挂膜时间对净化效率的影响

由图 2 可见,生物膜填料塔的微生物挂膜过程大约需要 20 d 来完成。在实验的前 10 d,由于受碱性气体的影响,微生物对有机废气的净化效果很不稳定,特别是苯的净化效率随时间逐渐降低。之后,通过控制循环液中的 pH 值,生物膜才慢慢生长起来;再过 10 d,微生物已能长成一定厚度的膜,净化效果也逐步上升;随着生物膜继续生长,净化效率趋于稳定,并能保持苯的净化效率大于 85%,甲苯大于 90%,二甲苯大于 95%(进气浓度:苯:40~80 mg/m³;甲苯:200~400 mg/m³;二甲苯:400~1 000 mg/m³)。可以判定,微生物已能较好适应并净化该类废气,生物膜基本上已生长成熟。此时,

净化后的废气排放浓度可达到国家及广东省规定的相关排放标准(苯 < 12 mg/m³、甲苯 < 40 mg/m³、二甲苯 < 70 mg/m³)。

3.2 影响因素

3.2.1 碱性气体及循环液 pH 值的影响

在实验室模拟试验中,循环液的 pH 值应保持中性,随着生物膜的生长,其 pH 值会略有降低,因此,需加碱调整循环液保持中性,微生物也能较快适应环境长成生物膜。然而在前期的现场试验当中,循环液的 pH 值不但没有降低,有时甚至有升高的趋势,加上气源中有机废气的浓度很不稳定,造成生物膜生长缓慢,净化效率也逐步下降。后

来,通过往洗涤瓶中加入稀硫酸洗气和往循环液中加入稀盐酸调节 pH 值,生物膜才得以生长。可见,气源中含有的碱性气体以及循环液 pH 值对微生物的生长起到很大的阻碍和影响。如图 3 所示。实验可知,适宜微生物生长的 pH 值应在 7.0 左右,最高不应超过 7.5。

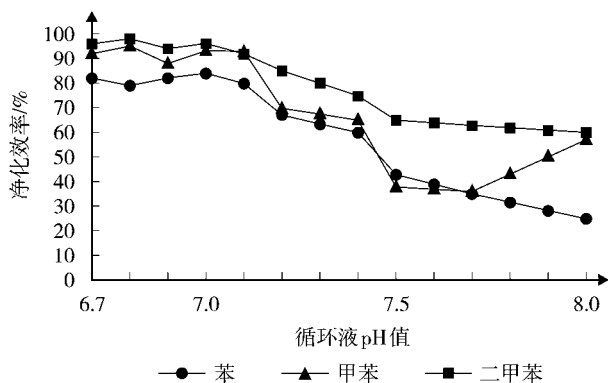


图 3 循环液 pH 值对净化效率的影响

3.2.2 循环液流量的影响

根据资料显示,喷淋液的作用主要是润湿填料表面的生物膜。增大喷淋量对净化效率和生化去除量没有显著影响,反而会使净化效率稍微降低。现场实验证明,增大喷淋量不但对净化效果没有好处,而且会影响微生物的挂膜。特别是在挂膜初期,喷淋量太大会使微生物难以挂膜,挂好的生物膜也很容易被冲脱。因此,喷淋量只需能够润湿填料表面的生物膜即可。另外,定期往循环液槽中加入一定配比的无机营养物(氮、磷),确保微生物生长的营养平衡。

3.2.3 气体流量及停留时间的影响

气体流量与净化效率的关系曲线如图 4 所示。由图中曲线可以看出,随着气体流量的增大,气体在塔内的停留时间减少,生物膜填料塔对三苯废气的净化效率是下降的。造成这一现象的原因是:①随着气体停留时间的减少,不能满足生物膜中微生物对废气分子的捕捉、吸收和生化降解所需的时间要求,许多废气分子尚未与塔内的生物膜接触即被排出塔外;②由于气体流速的增加,气相与生物膜的切线冲刷力必定增加,生物膜对废气分子的吸附结合力也就降低了,造成微生物难以捕捉到废气分子的现象。从曲线的走势和经济角度上考虑,当气体停留时间为 230 s 时,已能保证较高的净化效果,并满足国家和广东省排放标准要求。

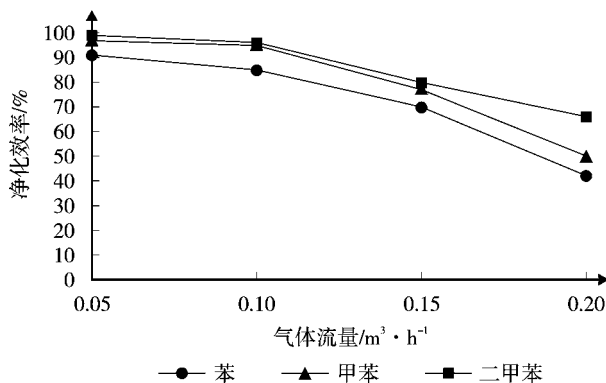


图 4 气体流量对净化效率的影响

3.2.4 填料种类的影响

为了进行比较,本试验选用 4 种不同的填料进行对比研究,分别为轻质陶块、瓷环、不锈钢环和塑料环,其主要技术参数见表 1。

表 1 几种填料的主要技术参数

材质	尺寸 mm	比表面积 m^2/m^3	孔隙率 m^3/m^3	湿填料因子
轻质陶块	D = 10~15	170~200		
瓷环	D×H×δ=10×10×1.5	440	0.70	1 500
不锈钢环	D×H×δ=10×10×0.5	500	0.88	1 000
塑料环	D = 16	364	0.88	320

实验结果显示,轻质陶块对气体净化效率的上升速率最快,生物挂膜约 10 d 时,净化效率就可达 95%(以二甲苯为例,下同);瓷环和不锈钢环则需要约 20 d 时间,净化效率可达 90%;塑料环适用性能最差,挂膜约 30 d 时,净化效率只有 60%。

实验用的轻质陶块是一种轻型的建筑材料,其密度为 200~300 kg/m^3 。因经过高温烧结处理,其表面多孔且强度好,有较强的亲水润湿性和耐腐蚀性。实验期间观察到其表面的生物膜附着速率明显高于其他 3 种填料,从而导致废气的净化效率能够快速上升。因此,轻质陶块是一种优质的适用于生物膜填料塔废气处理的填料^{[11]113-114}。(本文其他影响因素所采用的数据均为轻质陶块做试验所得到的数据。)

3.2.5 其他影响

在现场实验期间,发现天气和气体浓度对净化效率会有一定的影响。阴天时,由于气压较低,有机废气比较难散发,废气的浓度也就明显增大了,对于稳定运行的生物膜填料塔而言,其有效传质面积和微生物对废气的生化去除量是一定的,因此浓度增

(下转第 31 页)

废旧轮胎回收利用对策

许冠英^{1,2} 彭晓春³ 周少奇² 许振成³

(¹广东省废物管理中心, 广州 510630; ²华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510641;

³环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

摘 要 随着汽车工业的迅猛发展, 废旧轮胎产生量越来越多, 其危害越来越大。文章在阐述轮胎的来源、组成及性质的基础上, 分析了废旧轮胎的主要流向及其环境影响, 剖析了当前废旧轮胎在回收利用技术和管理上存在的问题, 提出了污染防治对策。

关键词 废旧轮胎 回收利用 污染防治

随着汽车工业的迅猛发展, 广东省废旧轮胎产生量迅速增加。2000~2007 年, 广东省民用汽车年均增长 16.6%, 2007 年达 506.7 万辆^[1]。粗略估算, 广东省年产生废旧轮胎 2 500~3 000 万条, 按平均 15 kg/条计, 重约 37.5~45 万 t。废旧轮胎资源再生利用价值很高, 但不恰当的贮存和回收利用可能产生环境问题, 影响人类健康。废旧轮胎长期露天堆放, 不仅占用大量土地, 而且极易滋生蚊虫传播疾病, 一旦引发火灾, 污染极其严重; 废旧轮胎在翻新、生产胶粉和再生胶过程中会产生挥发性有机污染物; 废轮胎焚烧回收能量可能产生二噁英、呋喃、多环芳烃以及重金属等污染物。废旧轮胎存在着市场混乱、回收利用和污染防治技术不高、管理缺位等问题, 因此, 如何合理利用废旧轮胎资源、防止环境污染, 成为当前环境管理必须解决的问题。

1 轮胎的组成、来源及性质

轮胎主要由橡胶(包括天然橡胶、合成橡胶)、炭黑、金属、纺织物以及多种有机、无机助剂(包括增塑剂、防老剂、硫黄和氧化锌等)组成。轮胎重量因用途不同而有所差异, 轿车轮胎 6.5~10 kg/条, 厢式车 11 kg/条, 卡车 52.5 kg/条^[23]。其中, 橡胶约占轮胎重量的 45%~48%, 合成橡胶是由天然橡胶(NR)、丁苯橡胶(SBR)、顺丁橡胶(BR)等高分子化合物通过硫发生交联反应生成的, 在轿车轮胎中约占橡胶总量的 60%~70%, 在卡车轮胎中约占 30%~40%。硫在轮

胎中起硬化橡胶并防止其高温变形的作用, 约占轮胎总量的 1%。炭黑用来强化橡胶, 增强摩擦阻力, 约占 22%。加速剂、硬脂酸和氧化锌的作用是控制硬化过程及改善轮胎性能, 氧化锌约占总重的 1%~2%, 加速剂等其他添加剂约占 8%。金属主要是优质钢丝, 主要作用是增强轮胎钢性和强度, 约占 15%~25%^[28,31]。

轮胎中含有《控制危险废物越境转移的巴塞尔公约》中所控制的物质, 如铜化合物、锌化合物、镉、铅及其化合物、硬脂酸以及有机卤化物(氯丁橡胶)等, 这些物质以化合物或合金元素的形式存在于轮胎内, 约占轮胎重量的 1.5%。因此联合国环境署非常重视废旧轮胎的环境管理, 专门制订了《旧轮胎环境无害管理订正技术准则》^[4]。

去除轮胎中的钢丝和纺织物后, 轮胎主要由碳、氢、氮、硫、氧等元素组成, 碳含量高达 80%以上。轮胎不会自燃, 其最低着火温度为 182 ℃, 点燃时间为将 182 ℃保持 65.4 d 之后^[5]。废轮胎具有良好的燃烧特性, 挥发份和易燃组分分别高达 62.2%和 93.73%以上; 发热量高, 低位发热值(LHV)可达 31.6 kJ/g 以上(其中: 轿车 32.8 kJ/g, 卡车 31.6 kJ/g), 高于煤(18.6~27.9 kJ/g)、碳(27.0 kJ/g)、木材(10.2 kJ/g)等的热值, 且具有水分和灰分含量低的优点。轿车和卡车轮胎的性能要求不同, 其化学组成和工业组分略有差异。轮胎的化学元素组成及组分构成见表 1。

表 1 废轮胎橡胶的化学元素组成及组分构成

化学元素名称	化学元素组成			工业组分名称	工业组分组成		
	轿车 ^{[6][45]}	轿车 ^{[7][45]}	卡车 ^{[7][45]}		轿车 ^{[6][45]}	轿车 ^{[7][45]}	卡车 ^{[7][45]}
C	86.4	81.16	85.19	水分	1.3	0.54	0.87
H	8	7.22	7.42	易燃分	—	93.73	94.59
N	0.5	0.47	0.31	灰分	7.1	5.73	4.54
S	1.7	1.64	1.52	挥发分	62.2	—	—
O	3.4	2.07	1.72	固定碳	29.4	—	—
灰分	—	7.44	3.84				

2 废旧轮胎主要流向及环境影响

2.1 主要流向

轮胎在部分磨损，胎体完好且不影响其使用功能时，可经翻新重新使用，延长使用寿命，称为旧轮胎。不能再用于原定制造用途的轮胎称为废轮胎。轮胎报废后，其流向主要有材料利用、能量回收以及填埋、堆存等。废轮胎的流向与市场需求及相关政策法规导向有关，日本、巴西、韩国、美国等国以能量利用为主，中国、墨西哥等国以材料利用为主。各国废轮胎的主要流向见表 2^{[8]、[9][13]、[10]、[11][6]}。

表 2 废轮胎的主要流向

国家及 联合体	产生量	能量回收	工 程 利 用 或物料回收	填埋、堆 存、丢弃	年份
	万条	%	%	%	
美 国	29 200	52	32	16	2007
欧 盟	25 000	41	43	16	2006
中 国	20 000	0	90	10	2007
日 本	8 000	70	15	15	2006
墨 西 哥	3 000	0	90	10	2004
巴 西	2 700	69	13	18	2002
韩 国	2 300	77	16	7	2003
加 拿 大	2 200	20	75	5	2003
澳 大 利 亚	2 000	22	8	70	2006

注：以上不计废旧轮胎的出口量及翻新量。

2.2 堆存

废旧轮胎长期堆存易孳生蚊虫、繁殖鼠类，跨区域转移则增大了蚊虫及疾病传播的范围和非本土物种的引入，增加了生态风险以及控制的难度。上世纪 40 年代，美国将二战期间在亚洲使用的已受到蚊虫侵害的剩余轮胎运回国，结果造成了输入性疾病的传播，人们首次发现报废轮胎和携带疾病的蚊虫之间的关系^[12]。登革热随着旧轮胎的输入在巴西传播，

使这种一度被认为已消灭的疾病，在上世纪 90 年代又再次出现并不断恶化，在 2002 年达到了 79.4 万例的高峰，死亡率高达 4.3%^[13]。

废旧轮胎简单堆存和有序存放，还容易因纵火或雷击等其他偶然因素造成火灾，而且一旦燃起便难以控制和扑灭，并且会持续燃烧很长时间，产生大量烟雾和有毒污染物，污染环境。1990 年发生在加拿大安大略湖的黑格斯维尔火灾，持续长达 17 d，有 1 260 万条轮胎被烧，1 700 人被疏散，约 70 万 L 油类物质渗入土壤，附近的河流也被多环芳烃污染^{[11][2]}。

废轮胎露天燃烧会产生大量的黑烟、二氧化碳以及挥发性有机污染物和有毒有害大气污染物，如多环芳烃、二噁英类、呋喃、氯化氢、苯、多氯联苯、砷化合物、镉、镍、锌、铬和钒等；也会因橡胶的高温分解而产生大量含有锌、镉、铅等重金属和多氯联苯、多环芳烃等持久性有机污染物(POPs)的油类物质，污染土壤、水体；燃烧后的残余物通常也含有重金属和 POPs，处置不当也容易污染土壤和水体^[14]。

2.3 轮胎翻新

轮胎翻新就是将已经磨损的旧轮胎外层经过处理，使之能重新使用的过程。与新轮胎相比，翻新轮胎具有许多优点：①省钱：翻新轮胎价格仅为新轮胎的 20%~50%，在北美，每年因使用翻新卡车轮胎节省约 30 亿美元；②节能：生产每条新轮胎约需 970 MJ 能源，翻新轮胎仅需 400 MJ。③节约原材料，生产每条新轮胎约需要 83.27 L 的石油，翻新卡车轮胎仅需要 26.5 L^[15]。④减排：每条翻新轮胎比新轮胎减少二氧化碳排放 26.4 kg^[16]。⑤延长使用寿命：每翻新一次，可重新获得相当于新轮胎 60%~90%的使用寿命，平均行驶里程 5~7 万 km。通过多次翻新，至少可使轮胎的总寿命延长 1~2 倍^[17]。因此，发达国家非常重视轮胎翻新和再使用。2005 年美国只有

18 家轮胎制造商,48 家轮胎生产厂,但轮胎翻新厂或销售商多达 1 094 家,年翻新轮胎 3 200 万条^[18],翻新率 10.7%。2007 年我国轮胎翻新量 1 200 万条^[19],翻新率约为 6%,与发达国家还有一定的距离,但与以往相比,有较大的进步。根据我国及国际标准,轿车轮胎只能翻新 1 次,载重汽车轮胎也只能进行有限次数的翻新。因此,每年依然有大量的轮胎彻底报废。

轮胎翻新过程的环境影响与翻胎工艺关系密切。目前主要有热硫化法、预硫化法以及聚氨酯法。翻胎硫化过程中溶剂、胶合剂和橡胶化合物所产生的易挥发有机化合物,对环境和人类健康有一定的危害。我国普遍使用的是热硫化工艺,该法在涂胶修补后黏贴的胎冠胶未经预先硫化,在高温高压下用翻胎硫化模具进行硫化成型,长时间高温易使橡胶老化,对胎体的伤害严重,挥发性气体产生量大。目前发达国家普遍使用的预硫化工艺翻胎时胎体不经受高温高压,胎体不易老化,增加了胎体的可翻新次数,延长了胎体的使用寿命,同时,也减少了硫化过程有机污染物的排放。更为环保的聚氨酯弹性体翻胎技术也逐渐成熟并开始得到推广应用,这种技术可大幅提高翻新轮胎的质量,减少对天然胶的依赖及橡胶配合剂对环境的污染^[9]。

2.4 材料利用

2.4.1 原形利用

通过捆绑、剪裁、冲切等方式,可将废旧轮胎改造为填埋场土工布保护层、港口码头及船舶的护舷、防波护堤坝、漂浮灯塔、公路交通墙屏、路标以及海水养殖渔礁、游乐玩具等。原型利用简单实用,但消耗量不大,仅占废轮胎产生量的 1%,只是一种辅助途径。

2.4.2 热解

高温分解是在无氧或氧气浓度极低不会引起燃烧的情况下的热降解过程。废轮胎经高温裂解可提取具有低热值的燃气、低能含量且富含芳烃的油类、炭黑及钢铁等。该方法技术复杂、成本高,易造成二次污染,且回收物质质量欠佳又不稳定。高温分解产生的炭黑杂质多,无法达到轮胎制造所需炭黑的性能要求,商业价值极低;裂解产生的废钢铁由于受到碳污染,不利于钢铁厂的回收利用,销路有限;裂解产生的可燃气有泄漏和爆炸的风险。因此,在世界范围内的应用非常有限。但是,近 2 a 随着能源特别是石油价格的不断升高并持续处于高位,全国均出现

了利用废旧轮胎土法炼油现象,并有蔓延之势^[20],造成了巨大的环境影响和生态破坏。

2.4.3 生产再生胶

再生胶生产是指经过物理、化学处理,使橡胶中的碳硫键和硫硫键断裂,其弹性状态变成具有塑性和粘性的、能够再硫化的橡胶的过程。目前主要的脱硫技术有化学法(动态脱硫法、水油法)、超声波法、微波法和生物法 4 种。我国普遍应用的是动态脱硫技术,但仍存在少量落后的水油法工艺。再生胶具有良好的塑性、收缩性小、流动性好、耐老化性,以及良好的耐热、耐油和耐酸碱性等优点,缺点是吸水性、耐磨性及耐疲劳性差。再生胶生产利润低、劳动强度大、生产流程长、能源消耗大、环境污染严重^[21],因此发达国家早已逐年削减再生胶产量,有计划地关闭再生胶厂。以美国为例,受严格的环保要求限制,再生胶企业污染防治成本往往占生产成本的 10%~30%,而且很难获得环保部门的审批,且与新胶相比,再生胶品质低、价格高,无市场优势,目前仅占废轮胎市场的 1%~2%^[22]^[53-54]。由于历史原因,再生胶生产仍是我国废轮胎回收利用的主要途径,2007 年产量超过 200 万 t,占世界再生胶产量的 85%以上^[19],是名符其实的“再生胶王国”。

动态脱硫是废胶在增塑剂(软化剂和活化剂)、氧、热和机械剪切的综合作用下使硫化橡胶的部分分子链和交联点断裂的过程。软化剂起膨胀和增塑作用,常用的有煤焦油、松焦油、石油系软化剂、裂化渣油。活化剂能缩短再生时间,减少软化剂用量。常用的活化剂为芳香族硫醇及其锌盐和芳香族二硫化物。再生胶生产过程包括粉碎、再生(脱硫)和精炼 3 个工序。在粉碎工序,会有粉尘、纤维及噪声产生;在脱硫工序,由于软化剂是以单环、双环、三环芳烃为主的芳烃油及沥青质等杂环芳烃混系物,因此,在高温塑化过程中,软化剂中易挥发组分就容易分解产生苯、甲苯、二甲苯、苯并芘和 H₂S 等污染物,成为恶臭的主要来源;在精炼工序,密炼和开炼过程均有可能使低熔点的软化剂分解,产生轻组分石油烃、水合物以及苯系物等。国外有研究指出,化学法和超声波法可导致包括苯、甲苯和庚烷等约 50 种有机化合物的排放^[22]^[55]。

2.4.4 生产硫化橡胶粉

硫化橡胶粉是将废轮胎去除金属、纺织物后,碾磨成的分散度良好的橡胶颗粒,性质轻且干燥,具有

很好的表面积。与传统的再生胶相比,胶粉生产污染小,利用率高,可以生产高附加值且能够循环使用的新型产品,例如生产热塑性弹性体替代部分新轮胎材料;生产橡胶制品、防水材料;生产橡塑枕木代替水泥、木材枕木等;生产胶粉改性沥青,替代 SBS 合成橡胶;生产改性混凝土用作公路路面混凝土材料。巴西、美国、西欧早在上世纪 90 年代已经开始使用胶粉改性沥青用于道路路面铺设,但目前为止,由于环保及公众健康原因,使用量并不大,仅占废轮胎产生量的不到 2%。我国胶粉改性沥青混凝土的道路应用刚起步,天津、四川、广东等地均有试验性应用。天津已铺设了 1 km 左右的试验路段,并制订了天津市废轮胎胶粉改性沥青路面技术规程;北京市已铺设了 1 km 左右的试验路段;四川新筑道路建设工程有限责任公司在成都铺设了 1 km 左右的试验路段;香港金邦公司在广东、江苏也铺设了试验路段。目前,交通部的公路司和科技司正联合制订全国胶粉改性沥青施工指南,全面推动胶粉改性沥青在城市道路、高速公路中的应用。胶粉制造工业在我国刚刚起步,但发展很快,2007 年产量达 50 万 t^{[9][11][23]}。总体而言,我国胶粉的应用技术相对滞后,应用市场还比较有限。

生产胶粉的工艺主要有常温破碎法和低温破碎法 2 种。常温破碎时最高操作温度可达 120 ℃,其主要环境影响是噪声、粉尘以及 SO_x、NO_x 的排放,另外,常温破碎耗能较高,达 120~125 kW·h/t;低温破碎是将废轮胎整体或碎块用液氮冷却到 -80 ℃ 以下,再经机械破碎,即可得到粒度分布较广(10~0.2 mm)的胶粉^[24]。低温破碎的唯一缺点是制备液氮的成本高,目前我国还处于实验阶段。

2.5 能量回收

废轮胎具有热值高,水分和灰分含量低等优点,利用轮胎生产衍生燃料(TDF)回收其能量是发达国家目前较为普遍且最为主要的利用方式。水泥厂、发电厂、造纸厂等需要热能的锅炉或窑炉均可成为转化轮胎能量的场所。废轮胎经破碎后,再按一定的比例与其他燃料混合,制成轮胎衍生燃料,供高炉喷吹代替煤、油和焦炭作烧水泥的燃料或代替煤用于火力发电。2005 年,美国水泥窑 TDF 利用量约占 40%,发电厂锅炉 33%,造纸厂锅炉 20%,其他 7%。117 个 TDF 利用设施共协同处理废轮胎 214 万 t,

155 亿条^{[25][19]}。

废轮胎热能回收可能产生二噁英、呋喃等持久性有机污染物以及锌、镉、镍、铅等重金属污染物。由于水泥窑排放的气体量大,超出了监测仪器的监测极限,因而缺乏水泥窑大气污染物潜在环境影响的结论性研究,人们对废轮胎焚烧造成的大气污染物的排放数据仍存在争议。加利福尼亚大学的 Schwartz 教授对加州 4 个燃烧 20% 轮胎作为替代燃料的水泥窑进行的研究表明:二噁英、呋喃、多环芳烃、铅、铬等污染物均有不同程度的增加,其中,多环芳烃最多增加了 2 230%^[26]。由美国波特兰水泥协会资助开展的一项独立研究在对 31 个 TDF 水泥窑大气排放数据分析后认为:TDF 水泥窑二噁英、呋喃排放水平仅及普通燃料(煤、天然气、焦炭)水泥窑的 1/3,颗粒物排放则低 35%,NO_x、CO₂、SO₂、总烃以及金属的排放水平也相对较低(均低于 10%),仅 CO 排放水平稍高^[27]。尽管焚烧处理回收能量的方式消纳了大量的废轮胎,但随着越来越严格的大气排放要求,以及环保团体和公众的强烈反对,欧美国家开始减少或关闭废轮胎焚烧回收热能的设施。

2.6 填埋

填埋作为处置废轮胎的一种方式,正逐渐被其他利用方式所替代。欧盟填埋指令规定 2003 年后禁止整胎填埋,2006 年后禁止轮胎破碎后填埋^[28]。美国许多州也禁止用专门的垃圾填埋场填埋废轮胎。2005 年美国仍有占产生量的 15%,约 59 万 t 的废轮胎被填埋处置^{[25][19]}。

3 国内外管理现状及对策建议

3.1 国外管理经验及我国废旧轮胎管理存在的问题

上世纪 70 年代以来,欧美等发达国家发生多起大的废轮胎火灾事件和废轮胎污染引起的流行性疾病,给当地环境与人民健康造成了很大的危害。因此,发达国家非常重视废旧轮胎的管理,纷纷建立了以生产者和消费者责任延伸制度为基础的综合管理体系,采取一整套政策、法规和经济措施,以经济杠杆和严格的环保标准为手段,促进废旧轮胎的合理流向。在确保废轮胎回收利用方面,采取了严格的市场准入制度、专项基金收费和补偿制度等,促使最大限度地减少废旧轮胎的产生,最大限度地重复利用和回收处理。以美国为例,其废轮胎的管理主要在州

层次,50 个州中有 48 个州制订了废轮胎管理的法规或条例,主要措施有:通过收取汽车税或轮胎处置费等形式建立废轮胎处置基金,对废旧轮胎回收者、利用者以及处置者进行补助或借贷;由州环保局对废旧轮胎的运输、加工利用和处置实施严格的许可制度和登记制度;要求废旧轮胎的经营者、贮存设施及处理者提供资金担保等^[29]。

我国废旧轮胎在管理、回收利用和污染控制技术等方面与发达国家有较大差距。主要表现在:① 缺乏相应的管理政策法规和统一的管理,回收市场混乱,流向不合理;② 缺乏严格的市场准入制度,大多数企业规模小、回收利用和污染防治技术水平低,污染严重;③ 缺乏合理有效的经济政策和激励机制,技术含量较高的回收利用企业税赋过重,回收成本高,面临着困难境地。

广东是全国轮胎翻新发展最快的地区,有翻胎企业 36 家,2005 年全国翻胎量最大的 10 家企业中,广东占 6 家。仅兴宁市就有翻胎企业 10 多家,年产量达 72 万条,其中预硫化翻胎 15 万条^[30],但整体上翻胎质量和技术还有待提高^[31]。生产胶粉方面,东莞市方达环宇环保科技有限公司研制的常温精细胶粉生产工艺已经建立了年产 5 000~15 000 t 微细、精细胶粉的生产线,其技术和设备已经出口到俄罗斯、南美等地^[32]。利用废旧轮胎土法炼油现象仍然屡禁不止,时有见诸报端^[33]。

3.2 对策与建议

3.2.1 开展摸底调查,弄清废旧轮胎的产生及其流向

当前,废旧轮胎的环境管理还没有引起足够的重视。全省废旧轮胎的产生、堆存、流向及污染控制现状等都缺乏基础的数据支持和必要的分析评估。建议由省环保局牵头开展全省范围内的摸底调查,分析评估废旧轮胎各种回收利用方式的环境影响,编制《废旧轮胎回收利用污染防治规划》,提出应予以鼓励、禁止、限制的工艺技术及相应的产业政策。

3.2.2 建立完善的废旧轮胎回收利用政策法规体系,规范市场流向

根据固体废物相关法律法规,制订《广东省废旧轮胎回收利用管理条例》、《广东省废旧轮胎回收利用污染控制技术规范》等地方性法规、标准,完善从废旧轮胎回收、储存、运输、利用等全过程管理和污染控制。采取积极有效的经济政策和激励机制,建立

以旧换新或者抵押金制度和征收轮胎销售税、环保税、废轮胎处置费等制度,一方面强制废旧轮胎回收,另一方面对从事回收利用的有关环节给予补贴。

3.2.3 应大力推广应用回收利用新技术、淘汰落后工艺和装备

加快预硫化翻胎技术、聚氨酯弹性体翻胎技术以及轮辋(毂)翻新技术的推广应用,加速淘汰热硫化翻胎技术及设备;积极推广新的再生胶脱硫技术,采用环境污染小,不释放有毒、有害物的以光、电磁波(微波、远红外、电子束)和超声波等为能源的物理再生方法,以及生物再生和再生活化剂替代等技术方法^[34],加速淘汰静态水油法等落后工艺及产能;加快推进胶粉深加工和制品生产技术,加强胶粉改性沥青应用于道路的探索与应用,在确保环境安全和人体健康的情况下稳步推进;从物质和能量的梯级利用角度来看,目前不鼓励废轮胎热能回收技术的应用。对研究废旧轮胎新工艺、新技术、消除环境污染的单位,在资金、政策上给予支持,以促进回收利用技术的提升。

3.2.4 实施严格的行业准入制度,促进行业规范化、规模化发展

实行废轮胎的贮存、运输和回收利用许可证制度,由省环保局统一实施。针对废旧轮胎回收利用的各个环节,执行更加严格的环保法规,促进废旧轮胎的合理流向。对规范的、符合国家环保要求的回收利用者在经济政策上给予优惠和扶植,对于不能达标的小翻新、小再生胶、小胶粉企业禁止从事废旧轮胎的回收利用,坚决清理关闭土法炼油的小企业,对于屡关屡建的小企业,实施重罚,直至追究法律责任。

3.2.5 开展宣传教育,提高公众环境意识

要加强宣传教育,让公众认识轮胎维护和保养的重要性,轮胎使用到一定程度要送翻胎厂翻新,延长轮胎使用寿命,减少废轮胎的产生;认识到废轮胎回收利用过程中的环境污染和危害性,增强责任感,提高环境意识;认识到土法炼油企业对工人身体健康和周围环境的严重危害,积极配合国家和地方政府取缔这些小企业。

4 结论

综上所述,废旧轮胎的回收利用在节能、节约原材料、节约资金、减少污染排放等方面具有很大的空

间,合理利用废旧轮胎资源,以环境无害化方式回收利用之,是废旧轮胎环境管理的目的。提高废旧轮胎回收利用和污染防治水平,推进经济、无污染的回收利用技术的推广与应用,减少污染,保障环境质量,促进行业向规模化、规范化方向发展,是广东省废旧轮胎环境管理的目标。为实现此目标,广东省应在立法、政策和制度设计、环境管理能力建设、执法等方面进行必要的探索和实践,才能真正使废旧轮胎有合理的流向,减少环境污染。相信随着废旧轮胎相关政策法规标准体系的逐步完善,未来该行业将在节能降耗、污染减排以及发展循环经济等方面做出应有的贡献。

5 参考文献

- [1] 广东统计局. 广东统计年鉴-2008[M],北京:中国统计出版社,2008.
- [2] Hylands K N, Shulman V, Association E T R, et al. Civil engineering applications of tyres[M]. Crowthorne; Transport Research Laboratory, European Tyre Recycling Association, 2003.
- [3] Sharma V K, Fortuna F, Mincarini M, et al. Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment[J]. Applied Energy, 2000, 65(1-4):381-394.
- [4] UNEP. Revised technical guidelines on the environmentally sound management of used tyres[M], Bali Indonesia; Secretariat of the Basel Convention, 2008.
- [5] Simm J D, Wallis M, Collins K J. Sustainable Re-use of Tyres in Port, Coastal and River Engineering: Guidance for Planning, Implementation and Maintenance[R]. Wallingford UK: HR Wallingford Limited, 2005.
- [6] Williams P T, Brindle A J. Aromatic chemicals from the catalytic pyrolysis of scrap tyres[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2003, 67(1):143-164.
- [7] Chen J H, Chen K S, Tong L Y. On the pyrolysis kinetics of scrap automotive tires[J]. Journal of Hazardous Materials, 2001, 84(1):43-55.
- [8] WBCSD. Managing End-of-Life Tires[R]. Geneva Switzerland: World Business Council for Sustainable Development, 2008.
- [9] 钱伯章. 废旧轮胎回收利用的现状与进展[J]. 现代橡胶技术, 2008, (4):8-14.
- [10] RMA. Scrap Tire Markets in the United States: An Update[M]. Washington, DC, U.S.A: Rubber Manufacturers Association, 2008.
- [11] Pehlken A, Essadiqi E. Scrap Tire Recycling in Canada[R]. Ottawa Canada; CANMET Energy Technology Laboratory, 2005.
- [12] Reiter P. Aedes albopictus and the world trade in used tires, 1988-1995: the shape of things to come? [J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 1998, 14(1):83-94.
- [13] Siqueira J B, Martelli C M T, Coelho G E, et al. Dengue and dengue hemorrhagic fever, Brazil, 1981-2002[J]. Emerging Infectious Diseases, 2005, 11(1):48-53.
- [14] Reisman J. Air emissions from scrap tire combustion[R]. Sacramento California; USA EPA's National Risk Management Research Laboratory, 1997.
- [15] Bandag. Efficiencies-Retread Facts[EB/OL]. [2009-05-23]. <http://www.bandag.com/download/PressKit/RetreadFacts.pdf>.
- [16] Reuse C f R. The carbon footprint of retreaded versus new light commercial vehicle tyres[R]. UK: The Centre for Remanufacturing and Reuse, 2008.
- [17] 庾晋, 白杉. 废旧轮胎回收利用现状和利用途径[J]. 橡塑技术与装备, 2003, (9):11-18.
- [18] Woodroffe J, Page O, Blower D, et al. Commercial medium tire debris study[R]. Washington DC USA: The national highway traffic safety administration, 2008.
- [19] 钱伯章. 我国废旧轮胎循环利用产业获得长足发展[J]. 橡胶科技市场, 2008, (11):6.
- [20] 李方. 废胎土法炼油: 可怕的黑色灾难[N]. 中国化工报, 2006-11-14(6).
- [21] 李岩, 张勇, 张隐西. 废橡胶的国内外利用研究现状[J]. 合成橡胶工业, 2003, (1):59-61.
- [22] Lloyd A. Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies[R]. California USA: Sacramento California CalRecovery Inc, 2004.
- [23] 孙妍枫, 杨志成, 张锋, 等. 废旧轮胎橡胶粉沥青混凝土路面设计与应用[J]. 公路, 2009, (3):158-161.
- [24] Reschner K. Scrap Tire Recycling: A Summary of Prevalent Scrap Tire Recycling Methods[R/OL]. [2009-07-27].
- [25] RMA. Scrap Tire Markets in the United States 2005 Edition[R]. Washington DC USA: Rubber Manufacturers Association, 2006.
- [26] Schwartz S. Domestic Markets for California's Used and Waste Tires: Final Report[R]. Berkeley California USA: Division of Environmental Studies, University of California, 1996.
- [27] Richards J, Goshaw D, Speer D, et al. Air Emissions Data Summary for Portland Cement Pyroprocessing Operations Firing Tire-Derived Fuels[R]. Skokie Illinois; USA Portland Cement Association, 2008.
- [28] EU Landfill Directive. Council Directive of 26 April 1999 on the landfill of waste[J]. Official Journal of the European Communities, 1999, 182(16):1-9.
- [29] 钱伯章. 美国废旧轮胎回收利用现状[J]. 橡塑资源利用, 2007, (5):34-35.
- [30] 姜治云. 用科学发展观促进轮胎资源循环利用产业发

展——在协会第五届九次常务理事扩大会议暨废轮胎资源循环利用技术研讨会上的主题发言[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2006, (5): 8-11.

[31] 沈镇平. 广东翻新轮胎合格率仅为 56.3%[J]. 中国橡胶, 2008, 24(23): 47-47.

[32] 刘长. 中国轮胎资源循环利用行业发展及政策导向[J]. 橡塑技术与装备, 2008, (3): 5-15.

[33] 关家玉. “毒气”罩村[N]. 广州日报, 2009-04-23(A17).

[34] 矫淑卿. 废旧轮胎回收利用技术进展[J]. 山东化工, 2006, (5): 25-29.

Recycling and Control Measures of Scrap Tires in Guandong

Xu Guanying Peng Xiaochun Zhou Shaoqi Xu Zhencheng

Abstract More and more scrap tires were generated with the rapid growth of automobile industry in Guangdong, the hazard is becoming more obvious. Based on a review of the sources composing and property of tires, the paper analyzed the main waste flow and its environmental impact of scrap tires at present, and the problem on the technology and management of recycling of scrap tires in China. Finally the paper proposed the control measures of scrap tires of Guangdong.

Key words scrap tires recycling control measures

(上接第 24 页)

大,其净化效率会降低。另外,温度对微生物的活性也有影响,根据资料和现场实验可知,适宜微生物生长的温度为 25~32 ℃,当温度太高时,微生物的活性受到抑制,净化效率也会小幅度波动。

4 结论

1) 生物膜法处理石油化工类复杂成份挥发性有机废气是行之有效的。

2) 微生物能较快适应环境,大约需 20 d 就能成功挂膜,达到稳定的净化效果,并能保持净化效率:苯 > 85%,甲苯 > 90%,二甲苯 > 95%。

3) 微生物对三苯净化效率的比较:苯 < 甲苯 < 二甲苯。

4) 从净化效率和经济角度考虑,当停留时间为 230 s 时,经过净化后的废气浓度已能满足国家规定的相关排放标准。

5) 碱性气体、循环液 pH 值及流量、气体浓度及流量对生物膜填料塔的净化效率有较大的影响,应保持循环液 pH 值为中性,控制好循环液的流量和

气流量。另外,定期往循环液中加入一定的无机营养物质,对微生物的生长起到促进作用。严格控制好以上各影响因素,将有助于生物膜的生长,提高生物膜填料塔的净化性能。

5 参考文献

[1] 孙珮石,杨显万,黄若华. 生物法净化低浓度有机废气技术基础与应用研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2004.

[2] 李章良,孙珮石. 生物法净化处理高流量负荷下低浓度甲苯废气初探[J]. 贵州环保科技, 2003, (8): 11-14.

[3] 陆继来,孙珮石. 低浓度工业废气生物净化技术[J]. 环境工程, 2002, 20(增刊): 133-137.

[4] 王家德,陈建孟,唐翔宇. 有机废气的生物处理概述[J]. 上海环境科学, 1998, 17(4): 21-24.

[5] 孙珮石. 生物化学法净化低浓度有机废气研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2000.

[6] 李琳,刘俊新. 真菌降解挥发性有机污染物的特征与影响因素[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 3(5): 1-5.

[7] 陈建孟,王家德,唐翔宇. 生物技术在有机废气处理中的研究[J]. 环境科学进展, 1998, 6(3): 30-36.

Application of Biological Membrane Process on Treating Low Concentration Petrochemical VOCs

Zhou Zhibin

Abstract Biological membrane process was applied on the treatment of low concentration petrochemical VOCs. Experiment results indicated the efficiency of biofilter on low concentration petrochemical VOCs, and the effluent concentration meet the emission limits. Experiment results and affecting factors were discussed.

Key words biofilter petrochemical low concentration waste gas purify

水污染生物监测方法的研究及应用

王 平

(广州市环境保护科学研究院, 广州 510620)

摘 要 文章介绍了水污染的常规生物监测方法的应用,以及现代生物监测方法的研究进展情况,并指出了我国生物监测技术存在的问题和发展的方向。

关键词 生物监测 水污染 研究 应用

生物监测(biological monitoring)是利用生物个体、种群或群落对环境变化所产生的反应来监测、评价环境质量及其变化。生物监测是环境监测的重要组成部分,能弥补常规物理化学监测的不足,具有重要意义^[1-2]。本文对水污染生物监测方法的研究进展及其应用现状进行简单总结。

1 常规生物监测法

1.1 指示生物监测

当水环境质量发生变化时,指示生物便敏感地呈现出受害症状甚至消亡。观测指示生物个体和种群的变化,可以判断水环境质量的变化。

应激反应是生物界普遍存在的特性,运动或游动能力较强的动物尤为明显。支角类动物大型蚤,对水环境的化学组成变化非常敏感。李志良等^[3]利用大型蚤的运动强度变化预警突发性有机磷水污染获得成功,当水体中敌敌畏/对硫磷浓度达到大型蚤 48 h 半数有效剂量的 1/10 时(即敌敌畏 0.02 $\mu\text{g/L}$, 对硫磷 0.5 $\mu\text{g/L}$),即可对其运动能力产生明显影响(行为强度变化减少 10%)。

回避试验目前受到广泛关注。以水生动物为指示生物,研究其对污染物,特别是有毒污染物的回避反应(以及引起回避的污染物浓度),以期对水体污染进行早期预报和水质评价。研究表明,在人为设计的含有污染水区和非污染水区的迷宫回避装置中,未经训练的鱼类在受到亚致死剂量的有毒污染物刺激时,能主动回避污染水区,游向清洁水区。其他水生动物,如虾、蟹、两栖动物^[4-5]及某些水生昆虫等也

表现出类似的回避反应。

生物的其他行为,包括习性、摄食等变化均可作为水体污染的生物监测指示因子。

1.2 生物累积监测

水体中重金属、有机农药、放射性核素等含量较低时,采用常规理化方法分析比较困难,而许多水生生物往往对水中低浓度污染物有较强的富集能力,根据污染物在生物体内的累积量(残留量)可评价水体的污染程度^[6]。

李丽娜等^[7]研究了无齿相手蟹体内富集的 Cu 含量,显示其可作为长江口滨岸带水体 Cu 污染的生物监测指标;杨小玲等^[8]以贻贝和牡蛎作为生物监测对象,研究渤海近岸水体中丁基锡的污染现状,检出生物体内总丁基锡含量在 23.4~162.4 ng/g 范围。鱼类作为生物累积监测对象已被广泛研究,如 8 种常见淡水鱼类用于测评丙烯腈、乙腈、硫氰酸钠和二甲基甲酰胺 4 种污染物的急性毒性^[9]。基于污染物易在鱼类肝脏中富集的事实,李素文等^[10]研究了不同水质对罗非鱼肝细胞的生物毒性作用,实验所确定的染毒培养时间仅需 18 h。

1.3 生物毒性监测

生物毒性监测是监测生物受到污染物质的毒害作用时所产生的生理机能等变化情况,从而对水体污染状况作出判断。

发光细菌法^[11]利用灵敏的光电测量系统测定毒物对发光细菌发光强度的影响,对污染物进行定量分析;张秀君等^[12]运用发光细菌法对 26 个工业污染

源水样的毒性进行测评(以 HgCl_2 作为参比毒物),结果显示发光细菌法的测评结果与 96 h 鱼类毒性实验结果相一致。

大型蚤的 24LC_{50} 值^[13]、幼虫的生长状况^[14]均可作为生物毒性监测指标。李丽娜等^[15]指出 Pb 对泥螺的 24 h 半致死剂量是 0.275 g/L;水体中同时存在 Pb、Cr、Zn 时,重金属在泥螺体内的富集有一定的协同作用。

淡水富营养化常导致微囊藻毒素污染问题。许敏^[16]研究了水体富营养化的各个阶段,发现毒素峰值总是滞后于生长峰,毒素含量在富营养化水华消退、细胞解体时出现峰值;俞顺章等^[17]用藻类毒素作为指标测评湖水污染取得了一定成果。

1.4 生物群落监测

生物在环境中以种群方式存在,群落监测是生物监测的重要内容。微型生物群落监测法(PFU 法)在群落监测法中占有重要地位。微型生物群落监测法多采用数学模型——生物学指数法来进行水质评价,如多样性指数、相似性指数、生物指数等。根据水域的特征,选择适合地方性生物学指数^[18]。阮惠振等^[19]用周丛原生动物群落结构及模式识别法对珠江广州河段、广州市内 2 个人工湖和广州市郊流溪水库等 3 种水体进行了水环境监测及评价。李凤超等^[20]应用微型生物群落监测法评价白洋淀水质,结果表明,与 20 世纪 90 年代的资料相比,白洋淀水域原生动物的群集种类数急剧下降,而丰度上升了 1.28 倍,内源性污染对白洋淀水质的影响加剧。应用浮游植物群落结构评价水体的富营养化程度也得到应用^[21]。

底栖动物主要有寡毛类、软体动物和水生昆虫及幼虫以及多细胞后生动物等,它们对于维持水域生态系统功能的完整性有着至关重要的作用。人们通过研究底栖动物群落结构变化,以评价水体的污染状态。庄树宏等^[22]应用潮间带无脊椎动物群落监测结果评价烟台海域 Pb 污染。熊金林等^[23]的研究表明,底栖动物种类数、物种多样性与湖泊受污染程度呈负相关关系,密度与污染程度大体上呈正相关。李再培等^[24]对松花江、嫩江河流中的毛翅目幼虫群落进行了调查,发现嫩江上游未受有机污染,生存着清水急流性种类,嫩江下游、松花江中游受轻微的有机污染,出现的毛翅目幼虫多为寡污性种类,而在哈尔滨和齐齐哈尔市区断面有机污染较严重,毛翅目

幼虫未出现,但在接近上述 2 市区的下游水域中偶有耐受有机污染能力稍强的中污性种类出现。

2 现代生物监测方法

2.1 生物大分子标记物

生物大分子标记物包括核酸和蛋白质等。目前核酸分子标记技术包括核酸分子损伤检测技术、报告基因技术、DNA 芯片技术、16S rRNA 检测技术等。细胞分裂时染色体在复制过程中如果受到外界诱变因子的作用,就会产生微核。1982 年,Hoofman 等最早将微核试验用于鱼类,并首次证明了化学诱变剂甲基磺酸乙酯(EMS)能够诱导泥鳅鱼(*Umbra pigma*)外周血红细胞微核的形成。单细胞凝胶电泳(SCGE)是一种在单细胞水平上检测 DNA 链损伤的方法(即彗星试验)。钟远等^[25]通过蚕豆根尖微核技术和彗星试验对扬州市不同水体的遗传毒物污染状况进行了初步调查显示:蚕豆根尖微核试验和彗星试验结果一致,且彗星试验在检测痕量遗传毒物污染方面比蚕豆根尖微核试验更为敏感。

蛋白分子标记物检测技术包括酶分子标记物检测、金属硫蛋白(Metallothionein, MT)检测、热休克蛋白(Heat Shock Protein, HSP)检测、抗氧化剂防御系统的检测等。绿色荧光蛋白是动植物及微生物基因工程研究上广泛的选择标记,可以对遗传修饰生物体(GMOs),尤其是转基因植物的基因标记,从而对转基因动植物存在的潜在生态风险进行监测^[26]。霍传林等^[27]运用鱼体肝脏中的 EROD(72-ethoxyresorufin-O-deethylase)活性作为生态标记物,EROD 活性与多氯联苯(PCBs)类物质浓度之间存在着定量响应关系。

2.2 生物传感器

生物传感器是将生物感应元件与能够产生和待测物浓度成比例的信号传导器结合起来的一种分析装置。生物传感器大致可以分为以下几类:①酶传感器;②组织传感器;③微生物传感器;④免疫和酶-免疫传感器;⑤场效应(FET)生物传感器。

新近开发的 DNA 生物传感器由固定已知核苷酸序列单链 DNA(也称之为 ssDNA 探针)的电极(探头)和换能器 2 部分组成。由于核酸分子杂交的高度特异性及检测方法的高度灵敏性,使得核酸分子杂交技术广泛应用于对环境中微生物的检测,定性、定

量分析它们的存在、分布、丰度和适应性等^[28]。何东海^[29]将乙酰胆碱酯酶固定于 CNBr(溴化氰)活化的 Sepharose 4B(琼脂糖凝胶 4B)上,制成固定化酶传感器敏感元件,监测马拉硫磷的检测限达到 0.5 $\mu\text{g/L}$,与理论值的误差在 10%以内。严珍^[30]用自制的发光菌生物传感器监测海水水质及蔬菜残留农药,取得较好的结果。

总的来说,目前国内在分子生物学监测方面的研究刚刚起步,需要深入发展。

2.3 生态监测

生态监测是采用生态学的各种方法和手段,从不同尺度上对各类生态系统结构和功能的时空格局的度量,主要通过监测生态系统的条件、条件变化、对环境压力的反映及其趋势而获得生态环境参数^[31]。

生态监测指标体系的选择首先要考虑生态类型及系统的完整性,一般来说水文生态站的指标体系包括水文、气象、水质、底质、浮游植物、浮游动物、游泳动物、底栖生物和微生物等 9 个要素。具体指标体系的选择要根据生态站各自的特点、生态系统类型及生态干扰方式,同时兼顾人为指标(人文景观、人文因素等)、一般监测指标(常规生态监测指标、重点生态监测指标等)和应急监测指标(包括自然和人为因素造成的突发性生态问题)。生态监测的大型设备主要有 3S 技术设备(遥感技术 RS、地理信息系统 GIS、地理图像系统 GPS)。

目前我国的生态监测处于起步阶段,牛显春等^[32]对茂名市近岸海域生态环境进行现状调查和监测;梁子安等^[33]对南水北调中线工程水源区进行生态监测,为该区域长期的生态研究数据信息库提供科学依据。

2.4 在线生物监测

在线生物监测是利用对生活在水环境的生物个体行为生态变化或者生物生理变化进行的实时监测技术。在线生物监测原则上可以涉及所有的水生生物,可同时监测处于不同营养级别、不同生活层次、对有毒物质有不同耐受力的生物,获得大量数据。

发光细菌是生物监测的重要指示物。在线监测发光细菌的发光强度,则可以监测废水的急性毒性。发光细菌可以监测重金属、农药、除草剂、酚类化合物、氰化物、抗生素等 30 多种有毒污染物。大型蚤对生活水环境的化学组成变化非常敏感且具有较高的出生率,所以大型蚤是一种标准的毒性试验材料,

并在生活污水、工业废水及生活饮用水源水等在线监测方面发挥重要作用^[37]。

有毒物质对细菌的呼吸有抑制作用,几种重金属在 0.1 mg/L 的浓度下便可抑制细菌的呼吸作用。通过对废水的耗氧量(细菌的呼吸作用)进行在线监测,便可监测出是否有毒性物质。瑞典已使用生物过滤系统中的氧消耗来监测几种工业污染源中废水毒性物质^[34]。

作为新兴技术,生物在线监测尚有一些重要技术问题待解决:①在判定受试生物的运动行为变化上尚没有明确标准;②受试生物的行为运动受到多因素影响,导致结论偏差;③低浓度的水体污染在短时间内影响生物的运动行为有限,给在线生物监测造成一定的难度;④受技术水平的制约,在线生物技术目前还难以对污染物进行定量分析。

3 小结

生物监测涉及的学科领域较广,包括微生物学、植物学、动物学、生态学和计算机技术等。现代生物监测技术研究,应用现代分子生物学方法与技术,对污染水体生物的代谢产物和细胞内大分子进行研究,找出污染物作用的靶位或靶分子并揭示其作用机理,研究与肌体功能和器官损伤有关的活性酶标志物、解毒系统的酶或蛋白、环境污染物对 DNA 的化学修饰作用等,研究制作生物感应元件和生物传感器以便促进在线监测技术进步。宏观方面,由于水环境是一个有机整体,只有从生态系统的角度才能更全面地监测水环境的变化情况,生态监测技术的发展有助于从种群、群落或生态系统水平上把握水域生态的健康状态,并对生态影响趋势作出预报。

4 参考文献

- [1] 厉以强. 生物监测的意义、现状及展望[J]. 环境导报, 1996, (2): 26-27.
- [2] 李江平, 李雯. 指示生物及其在环境保护中的应用[J]. 云南环境科学, 2001, 20(1): 51-54.
- [3] 李志良, 付荣恕, 任宗明, 等. 利用大型蚤运动行为变化预警突发性有机磷水污染[J]. 中国给水排水, 2007, 23(12): 73-75.
- [4] Stansley W, Roscoe D E, Widjeskog L. Effects of lead-contaminated surface water from atrap and skeet rang on frog hatching and development[J]. Environmental Pollution, 1997, 96(1): 69-74.

- [5] Hopkins W A, Roe J H, Congdon J D, et al. Nondestructive induces of trace element exposure in saquamata reptiles [J]. Environmental Pollution, 2001, 115: 1-7.
- [6] 沈治蕊, 卞小红, 赵燕, 等. 南京煦园太湖富营养化及其防治[J]. 湖泊科学, 1997, 12(4): 377-380.
- [7] 李丽娜, 陈振楼, 许世远, 等. 长江口滨岸潮滩无齿相手蟹体内重金属元素的时空分布及其在环境监测中的指示作用[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(1): 10-13.
- [8] 杨小玲, 杨瑞强, 江桂斌. 用贻贝、牡蛎作为生物指示物监测渤海近岸水体中的丁基锡污染物[J]. 环境化学, 2006, 25(1): 88-91.
- [9] 张彤, 金洪钧. 用八种淡水鱼类监测四种污染物的急性毒性[J]. 中国环境监测, 1997, 13(1): 31-34.
- [10] 李素文, 任凤玉, 张鸿卿. 罗非鱼肝细胞作为环境污染生物监测指标的初步研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 1995, 31(1): 115-118.
- [11] Kenneth Wm Thomulka, David J McGee, John H Lange. Use of bioluminescent bacterium photobacterium phosphorous to detect potentially biohazardous materials in water, Bull [J]. Environ Contam Toxicol, 1993, 51(4): 538-544.
- [12] 张秀君, 韩桂春. 发光细菌法监测废水综合毒性[J]. 辽林城乡环境科技, 1998, 18(6): 19-21.
- [13] 李淑烧, 李伟. 大型蚤急性毒性试验在工业污染源监测中的应用研究[J]. 环境保护科学, 2001, 27(5): 28-29.
- [14] 方东, 楼霄. 应用大型蚤监测有毒工业废水和毒物毒性[J]. 江苏环境科技, 1995, (3): 18-21.
- [15] 李丽娜, 陈振楼, 许世远, 等. 长江口滨岸潮滩底栖泥螺受铅污染的急性毒理试验[J]. 海洋湖沼通报, 2005, (2): 88-92.
- [16] 许敏. 微囊藻水华毒素异构体的年度变化及其环境因子的分析[D]. 武汉: 华中师范大学, 2002.
- [17] 俞顺章, 穆丽娜, 刘建玲, 等. 用藻类毒素为指标发现湖水中污染点的研究[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 669-673.
- [18] 郭沛涌, 林育真. 应用微型生物监测水质污染[J]. 山东环境, 1998, (1): 19-20.
- [19] 阮惠扳, 赵汝浓, 黎康汉. 周丛原生动物群落监测水污染的研究[J]. 中山大学学报论丛, 1995, (3): 56-60.
- [20] 李凤超, 沈韞芬, 刘存歧, 等. 应用原生动物群落评价枯水期白洋淀的水质现状[J]. 生态学杂志, 2005, 24(7): 785-789.
- [21] Arhonditsis G, Karydis M, Tsirtsis G. Analysis of phytoplankton community structure using similarity indices a new methodology for discriminating among eutrophication levels in coastal marine ecosystems[J]. Environmental Management, 2003, 31(5): 619-632.
- [22] 庄树宏, 刘雪梅. 烟台不同海域潮间带 Pb 污染的生物监测研究[J]. 海洋通报, 1998, 17(2): 12-16.
- [23] 熊金林, 梅兴国, 胡传林. 不同污染程度湖泊底栖动物群落结构及多样性比较[J]. 湖泊科学, 2003, 15(2): 160-168.
- [24] 李再培, 周晏敏. 水质监测的重要指示生物——毛翅目幼虫[J]. 黑龙江环境通报, 2001, 25(1): 77-78.
- [25] 钟远, 封少龙, 苏庆, 等. 应用蚕豆根尖微核技术和彗星试验监测扬中地表水遗传毒物污染的研究[J]. 癌变·畸变·突变, 2000, 12(1): 18-23.
- [26] 沈宝成, 米湘成, 魏伟, 等. 绿色荧光蛋白及其在 GMOs 生态监测中的应用[J]. 植物学通报, 2007, 24(2): 134-140.
- [27] 霍传林, 王菊英, 韩庚辰, 等. 鱼体内 EROD 活性对多氯联苯类的指示作用[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(1): 5-8.
- [28] Hosein S G, Millette D, Batler B J, et al. Catabolic gene probe analysis of an aquifer microbial community degrading creosote-related polycyclic aromatic and heterocyclic compounds[J]. Microbial Ecot, 1997, 34(2): 81-89.
- [29] 何东海. 利用乙酰胆碱酯酶生物传感器监测海水中有有机磷农药[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [30] 严珍. 发光菌生物传感器在海洋水质监测及蔬菜残留农药检测中的应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2007.
- [31] 张建辉, 吴忠勇, 王文杰, 等. 生态监测指标选择一般过程探讨[J]. 中国环境监测, 1996, 12(4): 3-6.
- [32] 牛显春, 周建敏, 黄艳仙, 等. 茂名近岸海域生态调查和生物监测[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 269-271.
- [33] 梁子安, 李玉英, 刘慧, 等. 南水北调中线水源区生态监测及其富营养化评价[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 175-178.
- [34] Solyom P. Continuous monitoring of acute-toxic substances in wastewater[J]. Prog Wat Technol, 1976, (8): 417-422.

Study and Application of Biological Monitoring in Water Pollution

Wang Ping

Abstract In this article the author introduced the application of traditional biological monitoring and the study on new biological monitoring methods in water pollution, and pointed out the problems and research directions of biological monitoring in our country.

Key words biological monitoring water pollution study application

南沙区工业污染特征与环境保护对策

余永跃¹ 曹 宇² 张宝春²

(¹广州市南沙区环境监测中心, 广州 511458; ²广州市环境保护科学研究院, 广州 510620)

摘 要 文章在分析广州市南沙区 2007~2008 年间的工业污染变化趋势及行业分布特征的基础上,有针对性地提出了优化产业结构、推广清洁生产、制定环保规划、改善生态环境、建立排污权交易市场等 5 个方面的环境保护对策。通过分析探讨,希望为南沙区今后的环境保护工作找到一条科学、合理、符合南沙区实际情况的发展道路。

关键词 工业污染 环境保护 对策 南沙区

南沙区是 2005 年广州市调整新设立的行政区。该区位于广州市最南端,地处珠江虎门水道西岸,是广州城市发展与产业南拓的核心,毗邻港澳,水陆交通便利。南沙区现已形成北部为汽车和重型装备工业、中部为高新科技产业、南部为港口物流和临港工业的总体布局。目前南沙区工业以汽车、钢铁、造船、重型机械装备、石化、高新技术产业及港口物流等产业为主要发展方向,目标是发展成为绿色生态的新型工业港口。2008 年南沙区经济平稳较快增长,全年实现地区生产总值 363.45 亿元,年增长 16.09%;工业总产值 1 001.24 亿元,年增长 15% (数据引自 2008 年度广州市南沙区环境质量报告书)。随着经济的高速发展,伴随而来的是对本地环境的污染和生态破坏影响日益突出,由此而产生全区所共有的环境问题,越来越受当地政府及社会各界的重视。因此搞清楚全区工业污染特征及研究出相应的环境保护对策,是目前南沙区面临的一个重大课题。

1 南沙区产业发展定位及工业污染特征

1.1 南沙区规划功能布局与产业发展定位

根据 2005 年批准实施的《南沙地区发展规划》,南沙区的规划功能总体布局可以概括为“一个中心+四大产业组团”,即南沙区综合服务中心、现代物流业组团、临港产业组团、高新技术产业组团和装备工业组团。全区产业发展的基本定位是采用“一个龙头(产业)、三大产业、四大基地”的结构模式^[1]:

一个龙头——现代物流业;

三大产业——临港工业、高新技术产业、装备工业;

四大基地——汽车基地、造船基地、钢铁基地、石油化工基地。

南沙区属于《广东省国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》的重点建设地区。目前,南沙区正处于产业结构调整 and 转型的紧要关头,淘汰重污染行业和落后生产技术,引进低能耗、轻污染、高产值的环境友好型工业企业和国际先进的生产技术,是南沙区发展的当务之急。

1.2 南沙区工业企业清洁生产情况回顾

根据 2005~2007 年的南沙区环境统计数据显示,南沙区工业企业清洁生产的历史发展情况如表 1 所示(以 2007 年南沙区清洁生产平均水平为划分标准线)。

表 1 南沙区工业企业清洁生产历史发展情况

年份	万元产值 新鲜用水量超过 40 t 的		万元产值 能耗超过 1 t 标准煤的		万元产值 COD 排放量超过 2.3 kg 的		万元产值 SO ₂ 排放量超过 2.5 kg 的	
	企业数 / 个	主要行业	企业数 / 个	主要行业	企业数 / 个	主要行业	企业数 / 个	主要行业
2005	12	造纸	3	电力热力	7	纺织服装	11	电力热力
2006	8	纺织服装	3	造纸	9	纺织服装	7	纺织服装
2007	8	纺织服装	2	纺织服装	8	纺织服装	8	纺织服装

可见, 纺织服装和造纸 2 个行业的清洁生产水平较低, 属于高投入、低产出、高污染行业。南沙区应制定相应的产业规划和计划, 逐步淘汰这 2 个行业, 提高全区的清洁生产总体水平。

1.3 工业污染排放量及发展分析

由于南沙区是广州市于 2005 年新设立的行政区, 2007、2008 年的环境数据系统性、可比性较强, 因此采用这 2 年数据对工业污染排放量的变化情况进行简要分析如下:

南沙区工业污染排放量较大, 2008 年全区工业废水排放量为 2 017 万 t, 工业废气排放量为 139.52 亿 m³, 工业固体废物排放量为 18.39 万 t。与 2007 年相比, 各种工业污染物排放量变化情况见表 2。

表 2 2007~2008 年度南沙区工业污染源排放量对比

年度	废水 万 t/a	COD t/a	氨氮 t/a	废气 亿 m ³ /a	SO ₂ t/a	烟尘 t/a	固废 万 t/a
2007	1 796	862	27	109	2 510	541	20
2008	2 017	858	18	140	1 707	399	18

注: 数据引自《广州市南沙区环境质量报告书》(2007 年度) 及《广州市南沙区环境质量报告书》(2008 年度)。

从 2007、2008 年的南沙区环境统计数据可以看出, 虽然废水、废气排放量有所增加, 但是 COD、SO₂ 等污染物排放量均有所减少, 此外工业固体废物排放量也有所下降。南沙区这 2 a 工业污染物排放量的减少, 与区环境保护部门严抓工业企业污染治理工作是分不开的。

1.4 各行业工业污染排放量分布情况

南沙区排放工业污染物的企业主要有 30 家, 按行业类别可分为纺织服装、食品制造、电力热力、石油化工、精细化工、金属制品、电子设备等 13 大类。根据 2008 年度《广州市南沙区环境质量报告书》, 各行业废水、废气污染物排放量占全区总排放量的比例分别见图 1、图 2。

从 COD、SO₂ 总量控制指标来看, 纺织服装、电子设备、食品制造这 3 类的工业企业是 COD 排放大户, 纺织服装、电力热力这 2 类的工业企业是 SO₂ 排放大户。值得注意的是, 食品制造业的废水排放量及纺织服装、电力热力 2 个行业的废气排放量均不多, 可见其污染物排放浓度较高。

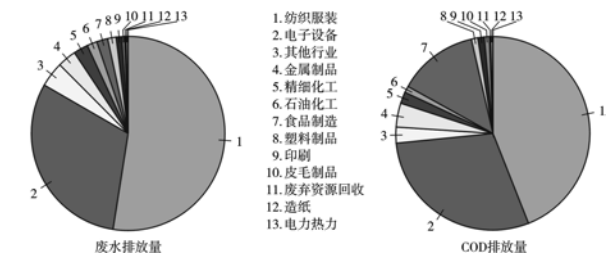


图 1 2008 年度南沙区各行业废水及 COD 排放量所占比例

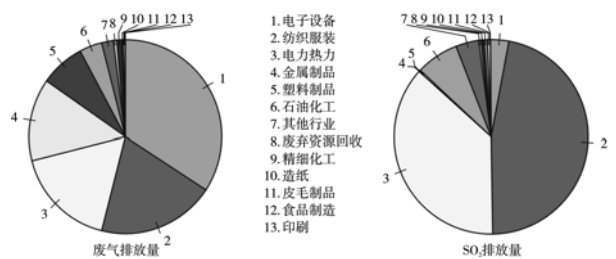


图 2 2008 年度南沙区各行业废气及 SO₂ 排放量所占比例

2 南沙区环境保护与污染控制应采取的基本对策

随着国家日益严格的环保要求, 在不影响城市总体经济和产业发展的前提下, 合理控制环境污染和生态破坏已成了亟待解决的课题。针对南沙区的实际情况, 本文相应提出如下环境保护与污染控制对策, 以探讨适合南沙区的可持续发展道路。

2.1 优化产业结构, 淘汰落后技术

优化产业结构就是变污染型为非污染型结构, 变重污染型为轻污染型结构, 它主要包括行业结构、产品结构、技术结构、规模结构等方面的调整, 提倡大力发展无污染和少危害的行业、项目及产品, 禁止污染严重的项目上马, 严控污染较重的原料的使用及产品的生产与加工^[2]。

为实现广州市未来发展宏观格局的建立, 配合完成广州市从陆地城市向海港城市的转变, 南沙区起着至关重要的作用。在此前提下, 南沙区产业布局应参照其他著名绿色海港城市的模式, 重点发展海港物流、石油化工、钢铁冶炼、汽车制造、电子设备等主流工业产业, 逐步淘汰纺织服装、食品制造等传统型高污染产业, 建立绿色海港城市产业链。

为达成以上目标, 南沙区首先应在对各工业企业排污情况进行分析的基础上, 调整和优化全区的产业结构。加快技术改造, 降低资源消耗, 减少废物

排放,经济增长模式尽快由高投入、高产出的低效型转为低投入、高产出的高效模式。逐步引进资源利用率高、污染物排放量少的行业和企业,淘汰落后的生产工艺和技术,缓解结构性污染的矛盾。改变传统的、高消耗的重型产业结构,将钢铁、石化等重污染企业控制在南沙区南部及小虎岛区域,同时在南沙区中部地区大力发展服务业、商业及高科技产业,相应提高“轻型产业”在全区国民经济中所占比例。

优化产业结构就要积极推进企业增长方式由粗放型的生产经营模式向集约化生产、规模化经营模式的根本转变:①促进企业由资源消耗型向资源高效利用型转变,走生态工业的发展道路,大力促进发展高效益、低消耗、低污染的技术密集型和高附加值型产业,依靠科技进步推动产业结构的不断升级和优化;②调整和优化企业的产品结构,依靠科技进步,开发无废少废、节能节水的新产品和新工艺,淘汰质量差、成本高、污染大的产品;③大力发展第三产业,特别注重发展金融业和旅游业,找到新的经济增长点,从而拉动第二产业产业结构的不断提升与优化。通过优化产业结构,可以使南沙区在相同的经济总量下,大大减少污染物的产生及排放总量。

2.2 积极推广清洁生产技术,加快推进节能减排工作进度

所谓清洁生产,根据联合国环境规划署的定义,是指“将综合预防的环境策略持续地应用于生产过程和产品中,以便减少对人类的危险性”。对生产过程而言,清洁生产包括节约原材料和能源,淘汰有毒原材料并在全部排放物和废物离开生产过程以前,减少它们的数量和毒性。对产品而言,清洁生产策略旨在减少产品在整个生命周期过程(包括从原材料到产品终端处置)中对环境的影响。清洁生产着眼于污染物的全程控制和预防,这是污染控制方式的一种革命性变化^[35]。

南沙区工业企业造成污染的一个原因是资源利用率不高,大量的原材料和能源不能最终转化成最终产品,而是变成了“三废”,从而形成环境污染。在大量资源被浪费同时,地区性资源稀缺问题又越来越严重,因而经济发展越来越受资源约束。一方面是严重浪费和污染,一方面是极度稀缺和不足,显然只有实施清洁生产,提高资源的利用率,才能为我们找到克服上述矛盾并从根本上解决问题的钥匙。通过

推广清洁生产技术,在生产工艺中减少原料中各种资源的使用量,同时也减少过程中污染物的产生量,从而达到节能、节水、减排的目的,实现经济利益与环境保护的双赢。为此,南沙区宜采取下列措施:

1) 加强宣传,改变认识上的误区,让区内各工业企业知道环境保护的重要性以及国内国外的环保压力,增强清洁生产的紧迫感;

2) 实施更加严厉的环境标准,逼迫企业走清洁生产之路;

3) 加强各级政府及职能部门对清洁生产的领导。不仅把清洁生产当作环境保护的一项重要工作,还要当作节约资源和能源、降低生产成本、提高经济效益的一项重要工作,当作工业企业从粗放经营向集约经营转变的关键来抓,当作建立现代企业、实现文明生产的一项重要工作来抓,建立责任制、明确目标、责任到人、强力推进,促进清洁生产全面展开;

4) 建立健全全面推进清洁生产的社会化服务体系。区政府及环保部门应重视清洁生产技术研究和推广,大力支持清洁生产技术的研究与开发,加强交流,收集信息,建立清洁生产信息库,为工业企业提供廉价适用的清洁生产技术;总结适合不同企业特点的生产原则、方法和技术步骤;抓好清洁生产示范项目,为全面推广积累经验。

2.3 制定环境保护规划,落实可持续发展战略

科学、合理的规划是减轻与防治环境污染最经济、最有效的措施之一。合理规划布局应从保护水源、缓解城镇污染、保护资源及生态环境入手,要把它作为环境保护规划的重要篇章,纳入地区经济、社会发展总体规划。通过控制新污染源和调整老污染源的空间位置,充分利用环境容量,在发展经济的同时,减少污染物对环境的影响,达到合理规划的目的^[4]。

南沙区要实现经济效益、社会效益和环境效益的统一,关键是坚持经济建设、城镇建设、环境建设同步规划、同步实施、同步发展的方针。通过制定环境保护规划,统筹协调宏观大循环与微观小循环的关系,把生态绿地建设与工业园区建设有机统一起来。同时区内各工业企业的自身发展也要注意规划和规模,应结合本地区的资源优势,选择市场占有率大、科技含量高、污染能控制的项目。

南沙地区目前仅在2001年隶属于原番禺市时期制定过《广州大南沙地区环境保护规划纲要》,在

2005 年正式设立南沙行政区以后,并未重新制定新的独立行政区环境保护规划。根据南沙区目前的实际情况和未来的发展定位,早日制定本行政区的环境保护规划,是南沙区环境保护工作的迫切要求。

制定南沙区环境保护规划应遵循的具体原则是:根据全区各街镇不同的环境质量进行功能组织,使生活居住区选择在环境质量优良的地段,有污染的工业布置在城市的下风向、下游,或将生产协作关系紧密的企业组织在一起,使其综合利用、化害为利,就能收到花钱少、收益大的效果。通过规划的制订和实施,建立南沙区可持续发展的资源环境支撑体系、统一的资源与环境工作体系、一体化的资源保护和生态建设体系,实现环境治理与资源保护的联动,建立一体化的南沙区资源保护与生态建设长效机制。要建立公共资源统一配置机制,对土地资源、水资源、岸线资源等公共资源进行统一规划、统一开发和统一管理,使公共资源在合理利用的基础上取得最大效益。

2.4 以绿化工程为中心,改善南沙区整体生态环境

南沙区作为广州市重点开发区域,规划建设用地所占比例较大,近年来的大规模建设导致了全区整体生态环境质量的下降。为使地区生态环境有所改善,重点就是要挖掘城镇绿化用地潜力,扩大地面绿化率。根据南沙区作为生态海港的总体布局,其北部地区应作为与番禺区之间的过渡缓冲地带,设绿化生态廊道。同时,应加强对本地区现有的龙穴岛自然保护区、大虎岛自然景观保护区、上下横档岛文物古迹保护区、红树林、滩涂、湿地、黄山鲁水源林地、候鸟栖息地、咸淡水鱼类产卵场、中国对虾养殖保护区、洪奇沥洄游鱼类通道、蕉门水道渔业养殖区等重要生态功能区的保护力度,严格控制周边地区的工业发展规模和产业类别。

在绿化上,除水渠、道路与绿化同步延伸外,并对城镇建设用地进行清理。对建成区规划为绿地的闲置地要限期绿化;对清理拆除违章建筑的空闲土地要尽可能用于绿化;对存量土地和收购储备的土地,在绿化率未达到国务院规定标准的应优先用于绿化。对已有的城镇绿地要严格管理,不得改作他用。对擅自改变绿地用途的应视为违法用地,按有关规定处理并限期恢复。对由于管理不善等原因导致生长差、覆盖率低的绿地要研究原因,有针对性地采取补植、防

治病虫害和科学灌溉、施肥等措施,促使其健康生长,提高覆盖率。此外,应大力推广墙体和楼顶绿化,协调城镇用地矛盾。针对目前城镇土地价值飙升,人地矛盾尖锐的实际,根据外地经验,大力推广墙体和屋顶、阳台等的绿化,走立体绿化的道路,协调人地矛盾,弥补地面绿化不足,改善人们生存条件。在推广中,要注意墙体草坪和屋顶阳台物种的选择,因楼制宜,建设楼房生态花园、果园或菜园,使林立的高楼掩映在翠绿丛中,形成城镇立体绿色景观。

2.5 建立排污权交易市场,引入市场化机制进行污染治理

排污交易最早出现于美国,已走过了 20 多 a 的历程,取得了较大成功。排污权使企业获得了环境物品的产权,从而产生了节约环境物品的动机。企业在利益最大化行为的导向下,会在购买排污权和治理污染之间做出对自己有利的选择,当治理成本高于排污权市场价格时,企业会少治理一部分污染而通过购买排污权来补偿,反之,会加大治理,节余排污权并在市场出售。而且随着技术进步,会不断降低治理成本。那些能获得先进技术的企业会通过治理获利,其动力是在行政推动下难以实现的^[1]。

南沙区作为广州市的经济开发试点地区,工业发展已具规模,且基础设施条件较好,污染控制管理体系基本完备,具有开展排污权交易工作的先天优势。要在南沙区建立排污权交易市场,首先要在现行的排污许可证制度基础上,通过制定相关政策制度,将排污权产权化。按照目前国内的经验,初始排污权宜免费或低价发放,不宜采用拍卖等方式。其次,应加大排污监控措施的力度,采用诸如在线监控等先进技术,实现污染物排放量的准确测定和控制。再次,由于排污权交易在我国仍属于新鲜事物,在广东省尚未开展过类似工作,故针对各企业负责人的宣传教育工作必不可少,只有通过政府大力推广,使企业主动参与到排污权交易的市场中来,才能实质性地开展相关工作,逐步探索出一套科学合理、易于操作、符合南沙区实际的排污权交易体系,真正实现通过引入市场机制进行污染治理的最终目的。

3 参考文献

- [1] 广州市城市规划局南沙分局.南沙地区发展规划[EB/OL]. [2009-05-19].

- [2] 郭镜彬. 番禺区乡镇水环境污染特点与防治污染对策[J]. 环境技术, 2003, (增刊): 63-65.
- [3] 张立富, 张锦梅. 控制和治理乡镇企业污染的对策[J]. 农业经济问题, 2002, (6): 50-53.
- [4] 陈继明. 关于当前小城镇环境保护对策的探讨[J]. 广东科技, 2008, (2): 217-218.

Research on Industrial Pollution Characteristics and Environmental Control Measures in Nansha District

Yu Yongyue Cao Yu Zhang Baochun

Abstract Based on the tendency of industrial pollution and industry distribution of Nansha District from 1997 to 2008, this article proposed some environmental control measures including optimizing the industry structure, cleaner production implementation, formulating environmental planning, improving ecological environment and establishing emissions trading market.

Key words industrial pollution environmental protection countermeasure nansha district

(上接第 12 页)

3 结论

1) 在 SBR 反应器里利用光合细菌-活性污泥处理皂素废水的最佳工艺: 废水 pH 值为 6.5~7.5, 温度为 20~30 ℃, 投加 5% 的接种量 ($V_{\text{光合细菌}}:V_{\text{活性污泥}}=1:1$), 添加适量的 N、P 物质 ($m(\text{COD}):m(\text{N}):m(\text{P})=200:5:1$), 间歇曝气 4 d, 皂素废水处理效果最好, COD 去除率达到 97.5%。

2) 光合细菌菌体不仅对人、畜无毒无害, 而且蛋白质高达 60% 以上, 可将处理废水过程中产生的光合菌体回收, 应用于水产、农业畜牧、饲料添加剂等领域。PSB-活性污泥处理皂素废水产生的污泥很少, 便于处理。

3) 在处理废水过程中, 光合细菌易流失, 为保持光合细菌的优势地位需要不断地添加新鲜菌体。经光合细菌-活性污泥处理的废水最终 COD 值在 1 000 mg/L 左右, 不能达到排放标, 还要配合其他方法进一步处理才能排放。

4 参考文献

- [1] 陈力, 耿海波. 皂素生产废水综合治理技术研究进展[J]. 河北化工, 2007, 30(3): 47-49.
- [2] 江苏医学院. 中药大辞典[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986.
- [3] 李庆新, 蔡鹤生, 周君, 等. UASB+SBR 工艺处理皂素生产废水的快速启动研究[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(5): 78-81.
- [4] 国洁, 罗人明. 光合细菌法在工业废水处理中的应用[J]. 河北工业科技, 2004, 21(1): 45.
- [5] 何建丹. 光合细菌处理生活污水和垃圾渗滤液的研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2005: 14.
- [6] 俞俊棠, 唐孝宜. 生物工艺学[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 1992.
- [7] 刘建党, 李军超, 呼世斌, 等. EM 菌-好氧污泥联合处理皂素生产废水的研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 329-333.
- [8] 黄翔峰, 李春鞠, 章非娟, 等. 光合细菌法处理高浓度有机废水工艺探讨[J]. 中国给水排水, 2005, 21(2): 27-30.

The Joint Applying of Photosynthetic Bacteria(PSB) and Activated Sludge on Saponin Wastewater Treatment

Li Li Hui Yunzhen

Abstract Technical conditions for joint application of photosynthetic bacteria and activated sludge on saponin wastewater treatment were studied. The results showed that, COD removed rate was up to 97.5% under the following conditions, COD value of saponin wastewater: 25 000~30 000 mg/L, pH=6.5~7.5, temperature: 20~300 ℃, inoculation: 5% ($V_{\text{PSB}}:V_{\text{activated sludge}}=1:1$), and treatment period of intermittent aeration: 4 days.

Key words photosynthetic bacteria activated sludge sapoin wastewater COD removed rate

土壤原生动物研究概况及其在土壤环境中的生物指示作用*

廖庆玉^{1,2} 章金鸿² 李 玫³ 卢 彦² 黄晓珊² 徐润林¹

(¹ 中山大学生命科学学院, 广州 510275; ² 广州市环境保护科学研究院生态环境研究所, 广州 510620;

³ 中国林科院热带林业研究所, 广州 510520)

摘 要 土壤原生动物具有丰富的种类和巨大的生物量,在土壤生态系统中具有十分重要的地位。一方面,土壤原生动物是土壤生态系统的重要组成部分,参与食物转化和能量传递等重要环节,极大地促进了植物的生长;另一方面,土壤原生动物作为土壤环境的指示生物,具有比其他土壤动物更独特的优势,如结构简单、呼吸效率高、生命周期短、对污染反应迅速、分布广泛、不受季节和地区差异的限制等。文章根据国内外相关文献,简要概述了土壤原生动物的研究进展以及在土壤生态系统中的应用,并对土壤原生动物在土壤环境监测的生物指示作用前景进行了展望。

关键词 土壤原生动物 指示生物 环境监测

原生动物(Protozoa)是最原始、最简单、最低等的单细胞动物。从形态上来看,原生动物是单一的细胞,但从生理上看,它是非常复杂的,它具有维持生命和延续后代所必需的一切功能,如行动、营养、呼吸、排泄、生殖等,这些功能都是由细胞内化的各种细胞器来承担。所以,原生动物是一个复杂的高度集中的生命单位,是一个完整的有机体^[1]。自由生活的原生动物在地球上分布很广,种类也非常丰富,只要有潮湿水分的地方,就可能有它们的足迹,甚至在空气中还有它们的孢子分布。全世界已被描述并现存的原生动物有 40 000 种,新的物种仍在不断被发现^[2]。由于大多数原生动物分布的地理区系性,以及培养方法上的局限性,目前尚有 70%~80% 的原生动物种类没有被描述^[3],因此推断全球现存原生动物种类数在 100 000 种以上^{[4]229}。本研究概述了自 1893 年 Ehrenberg 首次报道土壤原生动物以来国内外土壤原生动物的研究进展,以及在土壤生态系统中的应用,并对土壤原生动物在土壤环境监测的生物指示作用进行了展望。

1 土壤原生动物的研究概况

土壤原生动物泛指生活在土壤或土壤表面凋落物中的自由生活原生动物。常见的土壤原生动物主要有 4 类:纤毛虫类,异养鞭毛虫类,裸肉足虫类和

有壳肉足虫类^{[5]322},已较为详细描述土壤原生动物包括 400 种纤毛虫、260 种鞭毛虫、200 种有壳肉足虫和 60 种裸肉足虫^{[4]230}。

1.1 国外研究概况

自 1893 年 Ehrenberg 报道了土壤中存在不同种类的原生动物以来,人们就对土壤原生动物这一特殊群落进行着广泛的研究与讨论。1909 年, Russell 等提出了土壤原生动物对细菌的摄食导致土壤肥力下降的假说,由此展开了原生动物与土壤关系的讨论^[6]。1914 年, Martin 等最先对土壤原生动物的活力进行了研究,并首次证实土壤原生动物是一个以土壤为栖息地而相对独立存在的群落^[7]。随后,人们开始重视土壤原生动物的研究。Cutler 等提出土壤原生动物由于刺激了细菌的活力,在细菌群落的调节中起着十分重要的作用^[8-10]。1967 年, Darbyshire 等进一步对根围环境中的原生动物及其与细菌的关系进行了研究,提出原生动物—细菌—植物根围三者之间存在相辅相成的关系^[11]。20 世纪 70 年代末,以 Coleman 等为主的研究人员对原生动物、细菌、植物三者间的关系做了系统的阐述,表明原生动物摄食细菌而释放各类矿质营养是植物受益的主要途径^[12]。直到 20 世纪 80 年代,肉足虫类和纤毛虫类的研究才开始大量兴起,包括肉足虫捕食真菌与控制

注: * 基金项目:国家自然科学基金项目(U0633002)

收稿日期: 2009-07-28, 修改稿收到日期: 2009-10-20

植物发病的可能性研究^[13],纤毛虫和有壳肉足虫的个体生态学^[14],以及土壤原生动物对细菌入侵的应激反应等^[15]。

总体来说,20世纪20~30年代,研究主要集中在对土壤原生动物培养、计数、染色、食性以及和细菌的关系等方面,到40~60年代研究者们开始探索土壤原生动物的定量培养方法。从Cutler提出“最大可能计数”(MPN:most probable number)法起,经过Singh^[16]和Stout^[17]的分别改进,土壤原生动物的培养方法越来越成熟完善,现在的“三级十倍稀释法”经反复验证已得到广泛的认可和应用。原生动物的定量问题解决以后,从80年代开始,以奥地利、美、英等10余个国家为先导,在全球范围内展开了土壤原生动物的生态调查工作^[18-20]。此后,有关土壤原生动物的研究趋于多元化,内容不仅有生态,还涉及毒理、生物监测和环境评估等各个方面。例如,Foissner对澳大利亚、南美洲亚马逊河流域和哥斯达黎加的亚热带常绿雨林和温带雨林中纤毛虫的研究^[21];Bonkowski阐述了蚯蚓和原生动物在土壤食物链中的作用和相互关系^[22];Foissner认为土壤原生动物可作为监测森林植被破坏、土壤环境变化的指示生物^[23];Ekelund等研究了农田土壤中异鞭毛虫和裸肉足虫的生态及数量分布,同时对山毛榉、湿地云杉等不同土层的原生动物、细菌和真菌的分布和相互关系进行了分析^[24]。

20世纪90年代末到现在,随着科技的进步,电脑技术的迅猛发展,以及边缘学科的交叉,显微技术和分子手段的完善等,土壤原生动物的研究方向更加趋于多元化,先前的纯生态研究逐渐转向生态分子交融,野外实地考察转向实验室模拟,并从多方面解释土壤原生动物的形态学,动力学以及功能学上的问题。Finlay等应用计算机软件分别计算了土壤中原生动物的最大可能数量^[25]。Adl通过实验室模拟土壤柱,研究了各种土壤条件下原生动物的移动速度和移动距离,以及在各种土壤中的分布,进而估算土壤原生动物在没有水流作用下,对食物的趋向潜能^[26]。Lara等通过实验培养,比较了受多环芳香烃污染的原生动物与其在正常情况下的分子学差异^[27]。尽管如此,传统的生态学研究工作仍在继续,如英国典型土壤原生动物生物多样性的对比分析^[28],山地草原环境下土壤原生动物的群落结构和动力学研究^[29]等,可以说,这是全球土壤原生动物生态调查工

作的延续。

1.2 国内研究概况

我国位于北纬 $4^{\circ}\sim 53^{\circ}31'$,东经 $73^{\circ}40'\sim 135^{\circ}5'$ 之间,东西横跨湿润、半湿润、半干旱、干旱4区;南北纵越热带、南、中、北亚热带,温带,寒温带,高寒等多种地理气候带,地域辽阔,陆生生态系统也复杂多样,与之相对应的土壤原生动物势必也会多种多样。因此,在我国开展土壤原生动物的研究有着很大的必要性,而且会有很广阔的前景。

然而,我国对土壤原生动物的研究起步较晚,系统性的研究更少。1983年,崔振东研究了长白山针阔混交林带土壤原生动物的群落生态,从此拉开了中国土壤原生动物系统研究的序幕^[30]。此后,尹文英等对衡山、天目山和珞珈山亚热带森林土壤原生动物区系及生态进行了研究^[31],宋微波在1994年研究了青岛地区的土壤原生动物长颈虫属^[32],宁应之等对中国典型地带土壤原生动物进行了研究^[33271-276],徐润林等研究了大鹏半岛的土壤原生动物群落^[34],冯伟松等关于南极菲尔德斯半岛地区土壤原生动物的生态学研究^[35610-615]以及陈素芳有关除草剂对土壤原生动物的影响研究^[36]。

红树林土壤原生动物的研究相对更少,甘慧媚在2005年研究了深圳福田红树林国家自然保护区土壤纤毛虫在不同潮间带不同季节的生态分布,并结合土壤理化指标和污染情况,提出土壤原生动物可以作为红树林里污染监测的指示生物^[37],其他关于红树林环境下土壤原生动物的研究尚未见报道。

2 土壤原生动物在土壤环境中的生态学应用

2.1 原生动物评价污染的生态学基础

原生动物群落对环境因素的改变反应与许多高等生物的反应模型是相一致的。大量的研究结果表明,急剧的环境条件变化,无论这种变化是由重金属污染还是有机污染引起的,都会改变原生动物结构与功能特征。在一个自然的土壤生态系统中,虽然种类有时可能相互替代,但功能之间的关系能够保持相对稳定。如果出现污染冲击或压迫,群落的稳定性就会破坏,种类会减少,种类的多样性指数会下降,随之各种结构与功能参数都会发生改变。如果污染是不严重的和非持久性的,在受损的土壤生态系统中原生动物群落会进行自我调节,最后有可能恢复

到接近于原有的正常平衡状态。不论是野外的生态实验还是室内的毒性试验均表明,原生物群落的稳定性及其对环境变化的反应特征符合生态学的一般规律^[38]。

2.2 土壤原生物对环境因子的响应

土壤环境因子对生存于其中的土壤原生物影响非常大。如水分含量、光照、温度、土壤 pH 值、盐分、O₂ 和 CO₂、土壤机械组成、疏松度、有机质、TN、TP、TK、重金属含量和污染物等。

2.2.1 水分含量

只要有水的地方就有原生物。因此水是原生物最主要的生态限制因子。宁应之等在对中国典型地带土壤原生物生态学的研究中,分析了含水量、温度和土壤 pH 质对原生物丰度的影响,其中含水量的影响最大^{[33]273}。冯伟松等在对南极菲尔德斯半岛地区的土壤原生物研究时发现,土壤原生物密度与土壤含水量呈正相关^{[35]614}。

2.2.2 温度

温度也是影响原生物生活以及限制其分布的重要因子,仅次于含水量。一般原生物生长的温度范围在 0~35 °C 之间,35~40 °C 可以导致其死亡^[39],但土壤鞭毛虫(*Heteromita globosa*)活动力极强,在 1.5 °C 以上都可保持活跃状态^{[5]324}。一些肉足类如棘变形虫(*Acanthamoeba sp*)和纳氏虫(*Naegleria sp*)等可在 37 °C 以上生长,它们的包囊则能在更高的温度下存活,有报道称肾形虫(*Colpoda*)的包囊在 100 °C 放置 3 h 后仍未失去活性。

温度的变化与土壤原生物的活动、新陈代谢及世代时间密切相关。Weisse 在研究环境因子与异养鞭毛虫的生长率关系时,发现温度和生长率之间具有高度线性相关关系($R^2=0.541, P<0.0001$),表明温度是异养鞭毛虫生长率的主要决定因子^[40]。

2.2.3 pH 值

不同土壤中原生物对 pH 值的要求不同。大多数原生物可以在相对宽的 pH 值范围内生存,但最适 pH 值范围比较窄。1967 年,Stout 等研究发现 pH 值范围在 3.5~9.5 是大多数广布土壤原生物的生存范围。Homma 等发现,不同土壤中噬菌性巨大肉足虫(*Vampyrellid sp*)在 pH 值为 7.0 时丰度最大,而在 4.0 或 8.5 时生命活动受到抑制^[41]。

2.2.4 O₂ 和 CO₂

绝大多数土壤原生物是好氧性的,氧气充足的土壤环境中原生物种类多样性要大大高于完全无氧的环境。土壤中有机的分解导致 O₂ 缺乏与 CO₂ 过剩,但 O₂ 的缺乏更明显,因为 O₂ 微溶于水,且扩散缓慢,厌氧生物会暂时存在;CO₂ 易溶于水,对土壤 pH 值会产生影响。Anderson 等发现大气中 CO₂ 浓度的增加可以促使植物根部土壤原生物数量显著增加,从而有利于土壤的矿化,进而促进植物对营养的吸收^[42]。

极端环境条件下的纤毛虫如厌氧纤毛虫,它们可作为土壤氧气状况的指示生物。在以传统物理、化学方法很难监测的周期性或偶然性氧损耗时更为有效。异毛虫是最典型的厌氧土壤环境栖息类群,对缺氧环境有重要指示作用^[43]。

2.2.5 土壤有机质、TP、TN、TK

原生物丰度与土壤有机质、TN 和 TP 均呈极显著或显著的正相关,在一定范围内,有机质、TN 和 TP 的含量越高,原生物丰度就越大^{[33]275, [44]}。原生物的丰度与 TK 呈显著的负相关。在这 4 个因子中,有机质对原生物的影响最大,其次是 TN,再次之是 TP 和 TK。

一些有壳变形虫的数量变化对区别腐殖质类型也有特殊的用途,因为土壤腐殖质的微小变化会使有壳变形虫的种类及数量产生明显区别^[45]。在粗腐殖质中,有壳变形虫的空壳降解速度比在细腐殖质缓慢得多,通过有壳变形虫活体与空壳的比值,可以区分腐殖质的类型。此外,有壳变形虫容易鉴定及计数,在土壤中具有较高的生物量,而且生活方式各异,有明显垂直分布的特点,在陆地生境中是很好的指示生物,所以广泛应用于土壤环境各种生物及非生物监测中。

2.3 原生物作为环境监测指示生物的优势

在污染物毒性实验中,大型底栖无脊椎动物,大型浮游动物、藻类等被作为主要试验材料和指示生物,原生物在污染评价中的作用往往受到忽视。然而,这些较高等的动物不论在实验室的设备选择,还是在野外的样品采集过程中都有很大的局限性。

从种类的多样性、结构的复杂性及分布的广泛性来看,原生物可以作为污染评价理想的指示生物^[46]。一般来讲,一种生物的结构越简单、个体越小、相对的表面积越大、对周围介质的化学作用的体表

保护性就越不完善,对环境变化就越敏感。与较高等生物相比,单细胞的原生动物不仅与它们所生存的环境直接接触,对环境变化具有更短、更迅速的反应时间,而且是土壤生态系统中的重要组成部分,拥有巨大而稳定的生产力。由于原生动物生长繁殖速度快,能够在较短的时间里测试出毒物对其在几个世代水平上生长、繁殖、代谢及其他生理生化特性的影响,使其作为土壤环境的指示生物更加方便,同样的结果相对高等试验动物则需数天、数月甚至数年以上的时间才能获得,而且高等试验动物在实验设备和采样工具及步骤比原生动物复杂昂贵得多。

原生动物和其他微型生物一起组成了许多土壤生态系统生物量的主要部分。按照单位面积或体积计数种类和计算其重量,原生动物和其他微型生物在土壤生态系统中仍然处于优势地位。原生动物另一显著特点表现为:绝大多数原生动物种类为世界性分布,不受季节和地区差异的限制。这些相同的种类作为土壤环境评价的指示生物,使数据的可靠性和可比性程度大大提高,因此是很理想的指示生物。此外,全球范围内土壤原生动物在形态、生态和遗传等方面都比较相似,它们的基因组与大型动物接近,与原核生物相比,原生动物对环境的反应更具有说服力。

总之,由于原生动物结构简单,生命周期短,对污染反应迅速,土壤环境的突然变化能及时从原生动物群落的变化上反映出来。因此在监测评价土壤环境的瞬时变化和长期内的连续变化方面,原生动物作为理想的监测生物具有不可替代的作用^[47]。

3 结语

在我国,水生原生动物在水环境的监测中已得到较广泛应用,已建立了用原生动物群落的结构和功能参数监测水质并预报化学品安全浓度的方法及指标体系。相比而言,由于土壤原生动物种类多、数量大,在研究中存在着鉴定困难、计数费时等分类学和方法学问题,目前用于环境指示的土壤原生动物种类还很少,主要是纤毛虫和有壳根足虫。因此,土壤原生动物用于环境监测才刚刚起步,如何有效地开发和利用这一生物资源,使其作为敏感环境污染指示生物还需要大量深入细致的研究,随着土壤污染生态毒理学的发展,人们对土壤原生动物在生态系统中重要性认识的进一步加深以及土壤原生动物

研究方法的逐步完善,土壤原生动物在土壤环境监测和生态毒理诊断研究中必将发挥更大的作用。

4 参考文献

- [1] 沈韞芬. 原生动物学[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [2] Vickerman K. The diversity and ecological significance of protozoa[J]. *Biodiversity and Conservation*, 1992, 1:334-341.
- [3] Foissner W. Global soil ciliate(Protozoa, Ciliophora) diversity: a probability-based approach using large sample collections from Africa, Australia and Antarctica[J]. *Biodiversity & Conservation*, 1997, 6:1627-1638.
- [4] Coûteaux M M, Darbyshire J F. Functional diversity amongst soil protozoa[J]. *Application of Soil Ecology*, 1998, 10:229-237.
- [5] Ekelund F. Notes on protozoa in agricultural soil with emphasis on heterotrophic flagellates and naked amoebae and their ecology[J]. *FEMS Microbiology Review*, 1994, 15:321-353.
- [6] Russell E J, Hutchinson H B. The effect of partial sterilization of soil on the production of plant food[J]. *Agriculture Science*, 1909, 3:111-114.
- [7] Martin C H, Lewin K R. Some notes on soil protozoa[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1914, B05:77-94.
- [8] Cutler D W, Crump L M, Sandon H A. Quantitative investigation of the bacterial and protozoan population of the soil, with an account of the protozoan fauna[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1922, B211:317-350.
- [9] Cutler D W. The action of protozoa on bacteria when inoculated into sterile soil[J]. *Annals of Applied Biology*, 1923, 10:137-141.
- [10] Cutler D W, Crump L M. Carbon dioxide production in sands and soils in the presence and absence of amoebae[J]. *Annals of Applied Biology*, 1929, 16:472-482.
- [11] Darbyshire J F, Greaves M P. Protozoa and bacteria in the rhizosphere of *Sinapis alba* L., *Trifolium repens* L. and *Lolium perenne* L. [J]. *Canadian journal of microbiology*, 1967, 13:1057-1068.
- [12] Coleman D C, Anderson R V, Cole C V, et al. Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics. IV. Flows of metabolic and biomass carbon[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 1978, 4:373-380.
- [13] Chakraborty S, Old K M. Mycophagous soil amoebae: Interactions with three plant pathogenic fungi[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1982, 14:247-255.
- [14] Foissner W. Soil protozoa: Fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature[J]. *Progress in Protistology*,

- 1987, 2: 69–212.
- [15] Postma J, Van Veen J A. Habitable pore space and survival of *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifoli* introduced into soil[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 1990, 19: 149–161.
- [16] Singh B N. A method for estimation the number of active protozoa in the soil[J]. *Agriculture Science*, 1946, 10: 135–143.
- [17] Stout J D. An estimation of microfaunal population in soils and forest litter[J]. *Soil Science*, 1962, 13: 314–320.
- [18] Finlay B J, Black H I, Brown S, et al. Estimating the growth potential of the soil protozoan community[J]. *Protistology*, 2000, 151: 69–80.
- [19] Foissner W. An updated compilation of world soil ciliates (protozoa, ciliophora), with ecological notes newrecords, and descriptions of new species[J]. *Europe Journal of Protistology*, 1998, 34: 195–235.
- [20] Foissner W. Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples[J]. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 1999, 74: 95–112.
- [21] Foissner W. Soil ciliates (protozoa: ciliophora) from evergreen rain forests of Australia, South America and Costa Rica: diversity and description of new species[J]. *Biology & Fertility of Soils*, 1997, 25: 317–339.
- [22] Bonkowski M, Schaefer M. Interactions between earthworms and soil protozoa: a tropic component in the soil food web[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, 29: 499–502.
- [23] Foissner W. Protozoa as bioindicators in agroecosystems, with emphasis on farming practices, biocides, and biodiversity[J]. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 1997, 62: 93–103.
- [24] Ekelund F, Rønn R, Christensen S. Distribution with depth of protozoa, bacteria and fungi in soil profiles from three Danish forest sites[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33: 475–481.
- [25] Finlay B J, Black H I, Brown S, et al. Estimating the growth potential of the soil protozoan community[J]. *Protistology*, 2000, 151: 69–80.
- [26] Adl S M. Motility and migration rate of protozoa in soil columns[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(2): 700–703.
- [27] Lara E, Berney C, Ekelund F, et al. Molecular comparison of cultivable protozoa from a pristine and a polycyclic aromatic hydrocarbon polluted site[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(1): 139–148.
- [28] Usher M B, Sier A R J, Hornung M, et al. Understanding biological diversity in soil: The UK's soil biodiversity research programme[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33(2): 101–113.
- [29] Esteban G F, Clarke K J, Olmo J L, et al. Soil protozoa—an intensive study of population dynamics and community structure in an upland grassland[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33: 137–151.
- [30] 崔振东. 长白山森林生态系统土壤原生动物的初步研究[J]. *森林生态系统研究*, 1983, (3): 144–153.
- [31] 尹文英. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [32] 宋微波. 长颈虫属两种土壤纤毛虫研究(动基片纲: 刺钩目)[J]. *动物分类学报*, 1994, 19(4): 385–391.
- [33] 宁应之, 沈韞芬. 中国典型地带土壤原生动物的生态学[J]. *动物学报*, 1998, 44(3): 271–276.
- [34] 徐润林, 孙逸湘. 大鹏半岛土壤纤毛虫的群落特点[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 428–430.
- [35] 冯伟松, 余育和. 南极菲尔德斯半岛地区土壤原生动物的生态学研究[J]. *水生生物学报*, 2000, 24(6): 610–615.
- [36] 陈素芳. 除草剂森草净对土壤原生动物的群落的影响研究[D]. 广州: 中山大学, 2003: 1–70.
- [37] 甘慧媚. 潮间带红树林底栖纤毛虫群落的生态研究[D]. 广州: 中山大学, 2005: 1–62.
- [38] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [39] Stout J D, Heal O W. Protozoa, In: *Soil Biology* (Burgess A, Raw F eds)[M]. New York: Academic Press, 1967: 149–195.
- [40] Weisse T. Growth and production of heterotrophic nanoflagellates in a meso-eutrophic lake[J]. *Journal of Plankton Research*, 1997, 19: 703–722.
- [41] Homma Y, Cook R J. Influence of matrix and osmotic water potentials and soil pH on the activity of giant vampyrellid amoebae[J]. *Phytopathology*, 1985, 75: 243–246.
- [42] Anderson O R, Griffin K L. Abundances of protozoa in soil of laboratory-grown wheat plants cultivated under low and high atmospheric CO₂ concentrations[J]. *Protistology*, 2001, 2(2): 76–84.
- [43] Griffiths B S, Ekelund F, Rønn R. Protozoa and nematodes on decomposing barley roots[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1993, 25: 1293–1295.
- [44] Forge T A, Hogue E, Neilsen G. Effects of organic mulches on soil microfauna in the root zone of apple: implications for nutrient fluxes and functional diversity of the soil food web[J]. *Applied Soil Ecology*, 2003, 22: 39–54.
- [45] Smith H G. Diversity of Antarctic terrestrial protozoa[J]. *Biodiversity & Conservation*, 1996, 5: 1379–139.
- [46] Cairns J J R, Schalie W H. Reviews paper biological monitoring part I—Early warning systems[J]. *Water Research*, 1980, 14: 1179–1196.
- [47] Hutner S H. Protozoa as toxicological tools[J]. *Protistology*, 1964, 11(1): 1–6.

Research on Soil Protozoa and Their Bio-indicating Function

Liao Qingyu Zhang Jinhong Li Mei Lu Yan Huang Xiaoshan Xu Runlin

Abstract With abundant species and huge biomass, soil protozoa play a great important role in soil ecosystem. Being an important group in soil ecosystem, soil protozoa not only boost the plant growth in participating food transform and energy transfer, but also become good bio-indicator since their many advantages over other soil animals, such as simple structure, high respiration, short generation time, rapid reaction toward pollutant and widely spread. Based on the current study at home and abroad, this paper gave a review on the research of soil protozoa and their function in soil ecosystem. The application prospect of soil protozoan monitoring on soil environment was also discussed.

Key words soil protozoa bio-indicator environment monitoring

+++++
(上接第 14 页)

2.2.2 Fenton 法处理效果

Fenton 法是在 pH 值 =3 的条件下靠·OH 自由基的强氧化能力快速氧化废水中的溶解性有机物^[9-10]。化学反应槽的处理量为 2 m³/h, 设计反应时间为 90 min。现场实验的结果显示, 经该工艺处理后油墨废水的 COD 可以由进水的 450 mg/L 降至 100 mg/L 以下, COD 去除率可达 80% 左右。

2.2.3 混凝沉淀法处理效果

混凝沉淀法是整个处理工艺的最后环节。首先利用 pH 值控制器将废水的 pH 值调整为 6~9 之内, 再投加聚合氯化铝和聚丙烯酰胺。最终的测试结果显示, 混凝沉淀法可以将进水的 COD 由 100 mg/L 降低至 60 mg/L 左右, 去除效率达到 40%。

3 结束语

采用“酸析-Fenton-混凝沉淀”法处理油墨废水, 可使出水水质稳定达到广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26-2001) 第 2 时段一级标准, 出水 COD 稳定在 60~80 mg/L 之间。该工艺对同类型废水处理工程的设计有借鉴意义。

4 参考文献

- [1] 钟理. 高级氧化处理有机污水技术进展[J]. 工业水处理, 2002, 22(1): 1-4.
- [2] 陆飏, 陈高. 印刷电路板用阻焊油墨的研究[J]. 湖北化工, 2002, (2): 4-6.
- [3] 罗德春, 皇甫浩. 印刷电路板厂高浓度有机废水处理技术研究[J]. 西安公路交通大学学报, 1999, 19(增刊): 77-79.
- [4] 汤茜, 任百祥, 王艳华. Fenton 氧化-混凝-SBR 工艺处理糠醛废水[J]. 化工环保, 2009, (2): 151-153.
- [5] 唐文伟, 曾新平, 胡中华. 芬顿试剂和湿式过氧化氢氧化法处理乳液废水研究[J]. 环境科学学报, 2006, (8): 1265-1270.
- [6] 苏晓, 孙力平, 衣雪松, 等. Fenton 试剂催化氧化嘧啶废水的特性[J]. 环境工程学报, 2009, (4): 707-710.
- [7] 韦朝海. Fenton 试剂催化氧化降解含硝基苯废水的特性[J]. 环境科学, 2001, 22(5): 60-64.
- [8] 王子, 梅平, 王国栋. 混凝-Fenton 氧化处理彩油废水的影响因素[J]. 水处理技术, 2006, (1): 76-79.
- [9] 贾胜娟, 杨春风, 赵东胜. Fenton 氧化技术在废水处理中的研究与应用进展[J]. 工业水处理, 2008, (10): 5-9.
- [10] 徐苏云, 何品晶, 唐琼瑶, 等. Fenton 法处理类长填龄渗滤液的氧化和絮凝作用[J]. 环境科学研究, 2008, 21(4): 20-24.

The Application of Acidolysis-extrusion and Fenton Reagent on Treatment of Ink Sewage from Touch Panel Making

Wei Shantong

Abstract Ink sewage from touch panel making was high concentration organic wastewater, yet it's BOD₅/COD rate was only 0.07~0.08. The processes of acidolysis-extrusion, Fenton reagent and coagulation sedimentation were applied in view of this characteristic. The running tests indicated the effluent quality was stable and reached the second time level grade-I standard of the water pollution emission standard limits (DB 44/26-2001) in Guangdong.

Key words touch panel ink sewage acidolysis-extrusion Fenton reagent coagulation sedimentation

《广州环境科学》2009 年总目录

题 目	作者 (年. 期. 页)	题 目	作者 (年. 期. 页)
·综述·		·大气环境及污染防治·	
植物促生菌应用研究进展 李 玫, 章金鸿, 廖宝文 (2009.01.01)		辅助燃料对垃圾熔融炉温影响的分析研究 潘 红, 梁小平, 董志华, 等 (2009.01.13)	
·水环境及污染防治·		柴油车排气净化技术探讨 明彩兵, 叶代启, 周遗品 (2009.01.17)	
徒骇河沉积物和沿岸土壤对磷酸盐的吸附动力研究 张 菊, 邓焕广, 杨晓霞 (2009.01.06)		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 (2009.03.19)	
TiO ₂ /SiO ₂ 复合体光催化降解染料废水的试验 谭君山, 李凤懿 (2009.01.10)		生物膜法处理低浓度石油化工 VOCs 试验研究 周质彬 (2009.04.22)	
固定化藻类脱氮除磷效果研究 银玉容, 肖凯军, 马伟文, 等 (2009.03.01)		·固体废物及处理·	
炼油厂废渣碱水去除石油类和硫化物的试验研究 任少梅 (2009.03.04)		几种医疗垃圾处理技术综述 余 波, 张 斌, 黄正文 (2009.02.01)	
壳聚糖处理含 Pb ²⁺ 废水研究 彭青林 (2009.03.08)		几种典型危险废物中重金属理化性质研究 曾彩明, 王德汉, 陈沛全 (2009.02.06)	
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 (2009.03.11)		垃圾填埋场渗滤液处理技术现状及展望 游少鸿, 刘 琼, 孙荣翠, 等 (2009.02.10)	
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 (2009.03.15)		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 (2009.03.22)	
生化 + 2 级过滤 + ClO ₂ 处理医院污水的工程实例 甘明强, 王 萍, 徐 婷, 等 (2009.04.02)		危险废物处置场废水处理的方案设计 郝海松 (2009.03.29)	
污水中磷酸根的吸附研究进展 项学敏, 卫志强, 周集体, 等 (2009.04.05)		电子废弃物回收处理技术现状 韩增玉, 张德华, 王晋虎, 等 (2009.03.31)	
光合细菌 - 活性污泥联合处理皂素废水的实验研究 李 莉, 惠云珍 (2009.04.10)		废旧轮胎回收利用对策 许冠英, 彭晓春, 周少奇, 等 (2009.04.25)	
酸析 + Fenton 法处理 ITO 触摸屏油墨废水 韦善统 (2009.04.13)		·噪声及污染防治·	
基于城市化特征的雨水回收与利用 谢 浩 (2009.04.15)		城市噪声环境下宾馆的防噪分析 谢 浩 (2009.01.21)	
浅谈六塘河泗阳河段水环境状况及污染防治对策 庄昌伟, 庄仲昌 (2009.04.19)		·环境监测与分析·	
		高效液相色谱法测定地表水中微囊藻毒素-LR 区 晖, 周志洪, 吴清柱 (2009.01.25)	

题 目	作者 (年. 期. 页)	题 目	作者 (年. 期. 页)
建设项目竣工环保验收监测工作的再认识 江伟军, 孙新宗, 潘 易 (2009.01.27)		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 (2009.03.39)	
室内环境中微生物与挥发性有机化合物相关性的初步探讨 周志洪, 朱大明, 吴爱冬 (2009.02.16)		•环境信息与计算机技术•	
SERES2000 与 HACH AMTAX SC 氨氮在线测试仪的性能比较 罗翠琴 (2009.02.21)		广州市环境监测业务管理系统开发若干问题探讨 陈 洪, 尹红波, 黄 荣, 等 (2009.01.45)	
水染污生物监测方法的研究及应用 王 平 (2009.04.32)		广州市环境监测管理信息化建设中若干问题探讨 陈 洪, 黄 荣, 尹红波, 等 (2009.02.41)	
•环境管理与监理•		Excel Link 在环境噪声监测数据处理中的应用 韩 波, 孙瑞林, 韩 坤 (2009.03.45)	
人水和谐理念下城市河涌整治的环境社会学思考 孙艳军, 岑慧贤, 王树功 (2009.01.30)		•环保产业与清洁生产•	
关于加快番禺区生态环境建设的战略思考 孙艳军, 谢柳青 (2009.02.23)		区域清洁生产评价模式探讨 周悦先, 高艳萍 (2009.02.45)	
ISO 14001 与高校环保型校园建设初探 谢云成 (2009.03.35)		•动态信息与简讯•	
南沙区工业污染特征与环境保护对策 余永跃, 曹 宇, 张宝春 (2009.04.36)		要求今年全市环保工作抓好“六个统筹”、“六个促进” (2009.01.20)	
•环境经济•		谈环保工作: 广州环境质量迟早赶上巴黎 (2009.01.34)	
基于 AHP&MLR 的流程制造企业循环经济综合评价与实证 分析——一项铝加工企业的案例研究 周志方, 肖 序, 李晓青 (2009.02.26)		亚运前完成污水整治 “1 天花 1 亿治污, 是铁的任务” (2009.01.34)	
•环境生态•		本刊已成为《华艺线上图书馆》网络出版期刊 (2009.02.20)	
利用 EDTA 溶液淋洗修复重金属污染土壤 周井刚, 蔡信德, 王永强, 等 (2009.02.32)		广州瑞明电力 2×125 MW 机组脱硝工程技术成果总结推广会 (2009.02.36)	
土壤原生物研究概况及其在土壤环境中的生物指示作用 廖庆玉, 章金鸿, 李 玫, 等 (2009.04.41)		广州市 2 年将投入 24 亿治理大气 (2009.03.18)	
•环境评价•		广佛 2 市全力治污水环境综合整治成效显著 (2009.03.28)	
区域环境风险管理规划探讨——以广州市黄埔区为例 李明光, 张娅兰, 喻怀义 (2009.01.35)		《广州环境科学》 征稿启事 (2009.03.48)	
柳州市社会、经济、资源、环境协调发展评价 魏荣荣, 成官文, 罗介均, 等 (2009.01.40)		科学发展 继往开来 再创辉煌——贺广州市环境科学学会 成立 30 周年 (2009.04.01)	
硫化矿尾矿酸性矿山废水污染及释酸能力预测评价方法 王 飞, 雷良奇, 黄军平, 等 (2009.02.37)		广州中一药业在全国率先推出“药品包装环保回收机制” (2009.04.18)	
		《广州环境科学》2009 年总目录 (2009.04.47)	

CONTENTS

The Application of Biological Processes, Two-level Filtration and ClO_2 on Hospital Sewage Treatment	<i>Gan Mingqiang, Wang Ping, Xu Ting, et al</i> (2)
Advance on Adsorption of Phosphate in Wastewater	<i>Xiang Xuemin, Wei Zhiqiang, Zhou Jiti, et al</i> (5)
The Joint Applying of Photosynthetic Bacteria(PSB) and Activated Sludge on Saponin Wastewater Treatment	<i>Li Li, Hui Yunzhen</i> (10)
The Application of Acidolysis-extrusion and Fenton Reagent on Treatment of Ink Sewage from Touch Panel Making	<i>Wei Shantong</i> (13)
Rainwater Collection and Utilization on the Basis of Urbanization	<i>Xie Hao</i> (15)
Status and Pollution Countermeasures of Liutang River in Siyang District	<i>Zhuang Changwei, Zhuang Zhongchang</i> (19)
Application of Biological Membrane Process on Treating Low Concentration Petrochemical VOCs	<i>Zhou Zhibin</i> (22)
Recycling and Control Measures of Scrap Tires in Guandong	<i>Xu Guanying, Peng Xiaochun, Zhou Shaoqi, et al</i> (25)
Study and Application of Biological Monitoring in Water Pollution	<i>Wang Ping</i> (32)
Research on Industrial Pollution Characteristics and Environmental Control Measures in Nansha District	<i>Yu Yongyue, Cao Yu, Zhang Baochun</i> (36)
Research on Soil Protozoa and Their Bio-indicating Function	<i>Liao Qingyu, Zhang Jinhong, Li Mei, et al</i> (41)