

GUANGZHOU ENVIRONMENTAL SCIENCE

Vol.26 No.3

# 广州环境科学

第二十六卷 第三期



广州市环境科学学会 主办

3

2011



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

责任编辑 刘攸弘 辛东平 杨 华

黄润潮 黄卓尔 琚 鸿

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 广州市吉祥路 95 号

邮政编码 510030

电 话 (020)83355374

E-mail: gzhjks@126.com

印 刷 广州市天河彩佳印刷厂

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

### 综述

污泥处理与资源化利用技术方法研究综述

..... 郑立柱 (1)

### 环境监测与评价

2008 年广州夏季臭氧浓度分布特征及其与能见度相关性研究

..... 张 涛, 陶 俊, 张展毅, 等 (4)

基于 VBA 灰色预测模型预测北海市南流江水质

..... 韩 波, 孙 利 (8)

深圳市两次霾天气过程分析

..... 张 丽, 施何俊, 李 磊, 等 (10)

### 水环境及污染防治

粘土复合聚合氯化铝铁处理高藻水中藻类的实验

..... 杜华琴, 张 骥 (14)

### 固体废弃物管理

餐厨垃圾资源化处理技术

..... 王妮娜, 郑立柱 (20)

### 环境管理

广州市番禺区市桥河水环境综合整治经验探讨

..... 何丽英, 胡应成 (23)

机动车排气简易工况法检测与安全管理

..... 何志明, 张小雯, 邓 南 (28)

苏州地区灰霾天气污染防治对策的探讨

..... 陈美丹, 杨积德, 周 静 (32)

### 环境工程

水质修复集成技术在广东国际划船中心赛道水质保障应急中的应用

..... 罗家海, 吴友明, 卓 奋, 等 (35)

富硅改良剂治理砷污染水稻田的试验

..... 廖俊峰 (41)

发酵米糠处理废水 Cr(VI) 的研究

..... 盛 姣, 冯 贤, 曾桂华, 等 (45)

### 动态信息与简讯

深圳践行绿色大运诺言 引入碳平衡机制 坚持低碳节能理念 ..... (19)

全省重金属污染综合防治工作会议在广州召开 ..... (27)

环保部:“十一五”主要污染物总量减排任务全面完成 ..... (34)

广东省环境保护和污染减排政策措施落实情况汇报会在广州召开 ... (40)

《广州环境科学》征稿启事 ..... (48)

### 封面摄影

莲花山石场古遗

戴晓虹

# 污泥处理与资源化利用技术方法研究综述

郑立柱

(陕西理工学院化学与环境科学学院, 陕西 汉中 723001)

**摘 要** 污泥既是污染物又是一种资源,污泥中所含的有机物是有效的生物能源。因此,污泥的处理与资源化相结合,将成为最好的选择。本文从污泥堆肥、生产建材、回收能源 3 个方面对近 5 a 来污泥资源化利用的技术方法进行了综述。

**关键词** 污泥处理 资源化利用 技术方法

随着工业生产的发展和城市人口的增加,工业废水与生活污水的排放量日益增多,污泥的产出量迅速增加。大量积累的污泥,不仅占用大量土地,而且其中的有害成分如重金属、病原菌、寄生虫、有机污染物及臭气将成为影响城市环境卫生的一大公害。传统的污泥处理方法为填埋、焚烧、土地利用等<sup>[1]</sup>,这些方法不仅运行费用高(约占污水处理厂总运行费用的 20%~50%<sup>[2]</sup>),而且不能完全消除污泥对环境的危害。因此如何妥善地处理污泥是全球共同关注的课题,当今的共识是将污泥视为一种资源加以有效利用,在治理污染的同时变废为宝。

## 1 污泥的堆肥资源化

污泥与调理剂(如木屑、秸秆、树叶等)及膨胀剂(如废旧橡胶,塑料,小石子等)在一定条件下进行堆沤,经过高温堆肥进行生物发酵处理后,可以把有机废物转化为稳定性较高的腐殖质。一方面借助堆肥产生的高温有效地杀死病原微生物及各种蠕虫卵,另一方面通过添加反稀释剂、调理剂、膨胀剂以改善污泥的胶体团粒结构,降低重金属含量,得到一种比较干净、性质稳定的物质,从而大大提高肥料的利用价值。

污泥堆肥的一般工艺流程主要分为前处理、一次发酵、二次发酵和后处理 4 个过程。前 3 个过程处理方法和运行参数的不同会影响污泥堆肥的效果。陈玲等<sup>[3]</sup>以污泥静态堆肥工艺为基础,针对脱水污泥进行动态好氧堆肥处理工艺,研究了控制参数和评价参数变化规律。在优化工艺条件下,通过添加适量的木屑和回流物料,控制物料初始含水率在

60%±2%时,堆肥处理可以实现顺利升温并在>55℃维持 4 d,100%杀灭了病原菌;14 d 反应周期结束时,物料含水率显著降低,水溶性有机质降解 50%左右,出料松散且无臭味,堆肥产品腐熟的卫生学指标达到了我国农业行业标准《畜禽粪便安全使用准则》(NY/T1334-2007)标准(蛔虫卵死亡率 95%~100%;粪大肠菌值  $10^{-1}$ ~ $10^{-2}$ ;苍蝇堆肥中及堆肥周围没有活的蛆、蛹或新孵化的成蝇)和美国 EPA 污泥产品 A 类标准。陈大勇等<sup>[4]</sup>为了研究外源微生物对营养土堆制过程的影响,选择复合微生物菌剂(HBH-II)开展了污泥堆制营养土的试验。结果表明:复合微生物制剂的添加大幅度提高了碱解氮、有效磷含量及发芽指数,而对总磷、钾含量的增加率贡献较小;菌剂中存在对氮、磷元素转化非常活跃的微生物种群,能够将非碱解氮成分转化为碱解氮、固态氮转化为气态氮,还能提高非有效磷转化为有效磷的效率。欧阳建新等<sup>[5]</sup>研究了黄孢原毛平革菌与枯草芽孢杆菌复合菌剂在剩余污泥静态强制通风好氧堆肥中的作用。结果表明:根据堆肥过程中的温度变化,复合菌剂的变化导致堆体细菌数量明显高于空白堆体,且堆体中的嗜热真菌在高温期显著增多,促进了有机物的降解,加速了堆体的腐熟。此外,李承强<sup>[6]</sup>,沈建兵<sup>[7]</sup>,杨文卿<sup>[8]</sup>,隆晓<sup>[9]</sup>亦研究过添加不同辅料和微生物菌体对堆肥效果的影响,并取得了很好的成果。

由于污泥的进一步腐殖化,挥发性成分减少而臭味减少,重金属有效态的含量也会降低,植物可利用的速效养分含量有所增加,成为一种比较稳定的物质,从而大大提高了肥料的利用价值。杨玉荣等<sup>[10]</sup>为

了研究污泥堆肥对草坪草生长的影响,找出降低草坪生产成本的新途径,用城市污泥种植草坪草,6个月后,测定其生物量,草坪高度及叶绿素含量。结果表明堆肥作基质使草坪草获得了良好的生物效应,5%~10%堆肥施用比例范围内,随着堆肥施用量的增加,草坪草的地上生物量增加,叶片叶绿素含量增加,草坪的外观颜色明显优于对照处理。黄雅曦等<sup>[11]</sup>研究污泥农用对作物及土壤环境的影响,在各种施肥处理施用1a的情况下,玉米收获后各处理间土壤重金属含量值差距微小,与土壤基础含量差异均不显著;施用消化污泥、污泥堆肥、污泥肥料的处理,土壤中作物所需养分含量增加;改善了作物的生长性状,各处理小麦和玉米均比对照显著增产。

污泥堆肥化技术经过近几十年的发展,取得了很大的进步,但仍存在许多问题尚待研究,具有很大的提高潜力。污泥经堆肥化处理后,虽然解决了其易腐烂发臭、含水量高、含有病原菌和寄生虫等有害特性,但其中的重金属、盐分、及难降解有机毒物等未从根本上去除,要使污泥成为安全、有用的资源,还应对上述几个问题进行深入研究。使其卫生学指标符合《畜禽粪便安全使用准则》。

## 2 污泥生产建材的资源化

污泥中除了重金属和有机物外,还含有20%的硅、铁、铝、钙等元素。过去生产建材都是以污泥焚烧灰做原料,近年来为了节约投资,充分利用污泥自身的热值,节省能耗,直接利用污泥作原料生产建材。俞锐等<sup>[12]</sup>对杭州四堡污水处理厂的陈污泥、消化污泥以及7个污水处理厂的未消化污泥的热值、热失重、焙烧后的化学成分等进行了测试,并进行了不加助熔剂和添加助熔剂的两种焙烧试验,结果显示污泥具有建材化利用的价值。

对于污泥建材化工艺,一方面要求污泥含水率尽量降低,另一方面要求脱水污泥的成分符合建材原料的比例。这就需要污泥在脱水过程中加入脱水性能好、可调整污泥成分、提高污泥无机化程度的化学试剂来保证建材的质量。吕锦玲等<sup>[13]</sup>对10种不同型号的絮凝剂的污泥脱水性能进行了比较试验。在同样的条件下,使用干粉絮凝剂和乳液絮凝剂,压滤脱水后的泥饼含水率能够达到79.38%和77.09%,表现出单位用量少,絮凝效果佳,生产成本低等优点。邴光梅等<sup>[14]</sup>研究了调理剂对剩余污泥脱水性能的影响,结果表

明,合理应用无机低分子调理剂可以达到与有机高分子调理剂相近的调理效果且不会增加调理成本。对于污泥的建材化利用来说,无机低分子调理剂在满足脱水工艺要求的基础上,可以调节污泥成分,并适当降低污泥的有机物含量,使之更符合污泥建材化的要求。王齐<sup>[15]</sup>、岳燕飞等<sup>[16]</sup>均对污泥掺和其他物质纸杯建材的工艺和相关技术要求做了研究。

## 3 污泥的能源回收

污泥中大量的有机质蕴涵着巨大的能量,挖掘其能量并避免污泥中有毒、有害物质对环境的二次负面影响,对解决污泥的处置问题及缓解当今能源压力具有现实意义。污泥的燃料化技术是一种适合处理所有污泥,能利用污泥中的有效成分,实现其减量化、无害化、稳定化和资源化的污泥处理技术,是当前污泥处理技术研究开发的一大方向。

### 3.1 污泥制燃料

目前在污泥制燃料的技术方案中,将污泥浓缩脱水后,掺入引燃剂、疏松剂、固硫剂及粘结剂混合制成污泥合成燃料的方案最为广泛,而掺量则影响污泥燃料的质量。张长飞等<sup>[17]</sup>提出不干化直接将脱水污泥制成燃料的技术路线并进行实验,结果表明:干污泥、煤、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  掺混比例为1:0.4:0.03:0.1,合成燃料含水率为40%,成型效果良好,发热量为4342 kJ/kg,具有显著社会效益。舒展等<sup>[18]</sup>通过实验和热力计算确定了污泥和煤的掺合物的低位发热值,最后通过对不同污泥和煤的混合比例进行模拟锅炉燃烧实验,分析比较得出将污泥与煤混烧掺比在6%~30%内是较合理可行的。

### 3.2 污泥作为微生物燃料电池原料

微生物燃料电池是一种新型的生物反应器,它是一种在电化学技术的基础上发展起来的以微生物为催化剂将储存在有机物中的化学能转变成为电能的装置。微生物燃料电池除了具有一般燃料电池效率高、无污染等优点之外,还具有原料来源广泛、反应条件温和等特点。利用活性污泥为原料制微生物燃料电池为污泥资源化的发展提出了一条新的思路,贾斌等<sup>[19]</sup>利用厌氧污泥作为接种体在不加入任何营养元素的条件下,经过20d启动了单室无膜微生物燃料电池,启动成功后对剩余污泥作为燃料产电特性以及底物的变化进行了研究。结果表明:当负

载电阻为 500  $\Omega$  时产生了最大的电压为 358 mV, 当负载电阻为 1 000  $\Omega$  时最大电压为 495 mV, 最大功率密度达到 44 mW/m<sup>2</sup>, 内阻为 300  $\Omega$ , 污泥 COD 随时间的变化为先增大然后维持稳定最后逐渐减小, 总糖含量的变化为先增大后减小。郑晓等<sup>[20]</sup>考察了以剩余污泥为燃料的微生物燃料电池可能影响输出功率密度的相关因素。结果表明: 采用 NaCl 为离子添加剂时, 随着投加量的增加, 输出功率密度相应增加; 而采用 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 为离子添加剂时, 输出功率密度则先增加后降低; 稀释比增加或减少, 输出功率密度均相应降低。

### 3.3 污泥厌氧消化制沼气

厌氧消化是利用无氧环境下生长于污水、污泥中的厌氧菌菌群的作用, 使有机物经液化、气化而分解成稳定物质, 病菌寄生虫卵被杀死, 固体达到减量和无害化的方法。污泥消化过程分两个阶段: 第一阶段是酸性消化阶段, 即高分子有机物首先在胞外酶的作用下水解与酸化; 第二阶段是碱性消化阶段, 即专性厌氧菌将消化过程第一阶段由兼性厌氧菌产生的中间产物和代谢产物分解成二氧化碳、甲烷。影响厌氧消化过程的因素主要有: 厌氧条件、pH、温度、污泥的成分、水率、氨氮、搅拌、添加剂和抑制剂等。刘晓玲等<sup>[21]</sup>应用高固体浓度厌氧消化工艺在中温条件下, 探讨了高固体浓度厌氧消化工艺转化污泥产沼气的可行性。结果表明: 沼气和 CH<sub>4</sub> 的累积产量在整个厌氧消化期间经历产气高峰、相对稳定和结束 3 个阶段, 累积产气量分别达 121.3 L 和 80.3 L, 且沼气和甲烷的产量在厌氧消化过程中并未受到总酸、乙酸、丙酸和氨氮明显的影响。高瑞丽等<sup>[22]</sup>研究了餐厨垃圾的不同添加量对剩余污泥厌氧消化性能的影响。结果表明: 当剩余污泥与餐厨垃圾质量比为 2:1 时, 混合有机废弃物中沼气产量和甲烷含量均达到最大值, 每克挥发性固体(VS)产生了 156.56 mL 沼气, 甲烷体积分数为 67.52%。潘志勇等<sup>[23]</sup>通过对一套建设在实地的有效容积 30 m<sup>3</sup> 的污泥厌氧消化装置进行的中试研究, 分析了在当地环境下当地污泥消化比较适宜的温度、pH 值、投配率以及产气量的规律。此外, 李建政等<sup>[24-25]</sup>研究了污泥消化过程中其影响产氢量的各种因素。

沼气在发酵产生过程中, 可能产生某些杂质气体, 如 H<sub>2</sub>S 等, 不仅对人的身体健康有很大的危害,

对管道、仪表及设备还具有很强的腐蚀性。因此, 需要对沼气进行净化, 并进行脱硫, 可以采用生物法和物化法 2 种方法对沼气脱硫。以往物化法广泛用于 H<sub>2</sub>S 的去除中, 且有着丰富的实际经验, 但运行费用高, 投资大, 容易产生二次污染。生物法设备简单, 能耗低, 产生的二次污染少, 适合处理低浓度气态污染物。沼气净化后还需要注意对气体的储存, 防止泄露, 因甲烷属于温室气体, 极易对大气产生危害。

## 4 结语

污泥的处置与无害化, 以及作为再生资源的有效利用是世界各国共同关注的问题。污泥的处置与利用应当兼顾到环境效益、社会效益和经济效益。目前世界上污泥的处置方法各有利弊, 我国是发展中国家, 经济基础薄弱, 应该寻找适合我国国情的污泥处置方法, 对我国污泥产生量大、污染日趋严重的现状, 污泥处置应遵循稳定化、无害化、减量化和资源化的原则, 其中污泥的资源化利用是最佳处置途径。

## 5 参考文献

- [1] 普大华, 吴学伟. 城市综合污水处理厂污泥处理技术及应用[J]. 广州环境科学, 2006, 21(4): 14-16.
- [2] 张新华, 朱维斌, 张龙江. 污泥处置技术探讨[J]. 四川环境, 2003, 22(2): 35-38.
- [3] 陈玲, 赵建夫, 李宇庆, 等. 城市污水厂污泥快速好氧堆肥技术研究[J]. 环境科学, 2005, 26(5): 192-195.
- [4] 陈大勇, 王里奥, 林登发, 等. 复合微生物菌剂对污泥堆肥营养学指标的影响[J]. 中国给水排水, 2010, 26(1): 20-23.
- [5] 欧阳建新, 施周, 崔凯龙, 等. 微生物复合菌剂对污泥好氧堆肥过程的影响[J]. 中国环境科学, 2011, 31(2): 253-258.
- [6] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 等. 不同填充料污泥好氧堆肥的性质变化及腐熟度[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 60-65.
- [7] 沈建兵, 蔡映杰, 潘飞. 正交试验确定啤酒厂污泥堆肥最优工艺参数[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(11): 6483-6485.
- [8] 杨文卿, 邓旋, 许兢, 等. 一种新型可控堆肥反应器系统的快速好氧堆肥实验[J]. 环境工程学报, 2010, 4(12): 2883-2887.
- [9] 隆晓, 王远, 许超. 城市生活污水与底泥混合堆肥试验研究[J]. 环境科技, 2011, 24(2): 10-12.
- [10] 杨玉荣, 魏静, 李倩茹. 城市污泥堆肥对草坪草生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 5586-5587.
- [11] 黄雅曦, 李季, 李国学, 等. 施用污泥堆肥对玉米产量及土壤性质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(9): 43-49.
- [12] 俞锐, 叶青, 叶文. 城市污泥建材化的相关测试及研究[J]. 中国给水排水, 2004, 20(11): 1-5.

# 2008 年广州夏季臭氧浓度分布特征及其与能见度的相关性研究

张 涛<sup>1</sup> 陶 俊<sup>2</sup> 张展毅<sup>1</sup> 冯志诚<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>广州市环境保护科学研究院, 广州 510600; <sup>2</sup>环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

**摘 要** 2008 年 6 月 1 日 ~ 8 月 31 日, 利用 TE49I 型臭氧监测仪、TE43I 型氮氧化物监测仪和 TE42I 型二氧化硫监测仪, 在线观测(每 5 min)广州城区夏季环境空气  $O_3$ 、 $NO_x$ 、 $SO_2$  浓度, 同步应用芬兰 Vaisala MAWS 自动气象站以及 PWD22 现时天气现象传感器实时观测相对湿度、降雨量、辐射强度以及大气能见度等参数, 探索广州城区夏季臭氧浓度分布特征并探索了其与能见度的相互关系。结果表明, 臭氧季平均浓度为  $0.04 \pm 0.03 \text{ mg/m}^3$ ; 在晴朗的天气下, 温度、辐射强度与  $O_3$  浓度成正比, 风速、相对湿度与  $O_3$  浓度成反比。 $O_3$  对能见度的直接影响作用较小, 但光化学烟雾引起的能见度下降主要与  $O_3$  氧化产生的二次气溶胶有关。

**关键字** 臭氧 能见度 吸收系数 空气质量

臭氧( $O_3$ )是氧气( $O_2$ )的同素异形体, 但具有不同的特性。大约有 90% 存在于平流层中, 只有 10% 存在于对流层, 它作为一种微量反应气体, 在大气化学反应中充当着重要的氧化剂。地面臭氧是光化学反应的重要标识物, 是由氮氧化物( $NO_x$ )和非甲烷总烃(NMHC)等在适当的光照、温度、湿度等气象条件下反应形成的<sup>[1]</sup>。由于臭氧的强氧化性, 它不仅对人体器官, 尤其是肺部有伤害, 而且高浓度的臭氧还会影响到农作物的生长<sup>[2,3]</sup>。臭氧会加剧空气中颗粒物的生成和长大, 颗粒物的散色与吸光作用会引起能见度的降低。臭氧对能见度的影响作用主要体现在对气-粒转化过程的影响。这主要是因为臭氧的光离解是大气 HO 自由基的重要来源, 而 HO 及臭氧的强氧化性, 能氧化空气中的  $SO_2$ 、 $NO_x$  转化成硫酸盐、硝酸盐等二次气溶胶粒子。

近年来, 随着广州及周边地区经济的高速发展所带来的大量污染物质排放到大气, 导致了严重的空气污染, 其中光化学烟雾是主要空气污染问题之一。目前, 科研人员对地面臭氧浓度变化规律<sup>[4-7]</sup>、臭氧与气象条件的相互关系<sup>[8-12]</sup>、臭氧形成机理<sup>[13,14]</sup>以及对臭氧浓度的预测模型<sup>[15,16]</sup>等研究都取得了长足的进展。但在广州地区, 针对臭氧浓度与能见度相互影响的研究还鲜有报道。

本研究利用华南环境科学研究所大气观测研究站作为本次实验的观测点, 从 2008 年 6 月 1 日 ~

8 月 31 日进行对大气空气质量及气象因子进行观测, 获得了广州城区臭氧浓度及其他相关因子的连续观测数据, 分析了 2008 年夏季广州城区臭氧浓度分布特征, 并探讨了其与能见度的相互影响, 希望能为开展城市相关的大气污染防治工作提供科学依据。

## 1 实验与方法

### 1.1 采样地点

采样地点设广州市华南环境科学研究所综合大楼顶( $23^{\circ}07'N$ ,  $113^{\circ}21'E$ ), 距离地面约 50 m, 采样点周围是集中居住区, 2 km 范围内无明显大气污染源, 周围无建筑物遮挡视野比较开阔, 观测数据在一定程度上代表广州城市区域大气污染水平。

### 1.2 数据采集、分析及质量保证

2008 年 6 月 1 日 ~ 8 月 31 日利用 TE49I 型臭氧监测仪( $O_3$ ——紫外吸收光度法)、TE43I 型氮氧化物监测仪( $NO_x$ ——化学发光法)和 TE42I 型二氧化硫监测仪( $SO_2$ ——紫外荧光法), 在线观测每 5 min  $O_3$ 、 $NO_x$ 、 $SO_2$  浓度, 同步芬兰 MAWS 自动气象站以及 PWD22 现时天气现象传感器(红外前向散射原理)实时观测相对湿度、降雨量、辐射强度以及大气能见度等参数。观测期间, TE49I、TE43I 和 TE42I 型监测仪每天均进行零点检查和跨度检查, 以保证数据的准确可靠。

2 结果与讨论

2.1 夏季臭氧浓度统计

根据观测期内监测数据统计结果可得表 1。由表 1 可知,夏季 O<sub>3</sub> 月平均浓度分别为 0.03 ± 0.05 mg/m<sup>3</sup>, 0.04 ± 0.06 mg/m<sup>3</sup>, 0.05 ± 0.05 mg/m<sup>3</sup>, 均明显低于已报道的北京上甸子背景站(0.105 mg/m<sup>3</sup>, 2004 年 6 月)<sup>[10]</sup> 及北京城区(0.08 mg/m<sup>3</sup>, 2005 年 6 月; 0.07 mg/m<sup>3</sup>, 2005 年 7 月; 0.05 mg/m<sup>3</sup>, 2004 年 8 月)<sup>[14]</sup> O<sub>3</sub> 的月平均浓度, 这可能是因为广州地区夏季较北京地区天气多为阴雨天气, 阻碍了太阳辐射照射这一臭氧生成条件的缘故。本研究中夏季季平均浓度为 0.04 ± 0.03 mg/m<sup>3</sup>, 这一结果略低于王雪梅等<sup>[6]</sup> 于 1999 年夏季广州市环境监测中心站的数据(0.05 mg/m<sup>3</sup>)。

| 表 1 夏季 O <sub>3</sub> 浓度统计表 | mg/m <sup>3</sup> |      |      |
|-----------------------------|-------------------|------|------|
|                             | 6 月               | 7 月  | 8 月  |
| 均值浓度                        | 0.03              | 0.04 | 0.05 |
| 最高浓度                        | 0.30              | 0.36 | 0.29 |
| 标准偏差                        | 0.05              | 0.06 | 0.05 |
| 小时数                         | 636               | 675  | 700  |
| 超标小时数                       | 11                | 24   | 25   |

由国家空气质量标准臭氧小时浓度二级标准可知(0.20 mg/m<sup>3</sup>)<sup>[17]</sup>, 6 月、7 月和 8 月臭氧浓度超标小时数分别为 11 次、24 次、25 次。

2.2 臭氧浓度与气象因子逐日变化

图 1 为 O<sub>3</sub> 日均浓度与风速、温度、辐射强度、相对湿度及降雨量等气象因子的逐日变化。由图 1 可知, O<sub>3</sub> 浓度与温度、辐射强度的变化趋势相似, 与相对湿度变化趋势近似呈反比, 这主要是因为高温、高辐射强度和低相对湿度往往是在晴朗天气下, 而充足的光照利于 O<sub>3</sub> 的产生。6 月 20 日~6 月 25 日和 7 月 23 日~8 月 21 日可以发现当 O<sub>3</sub> 浓度与风速呈现相反的变化趋势, 这说明了空气对流有利于 O<sub>3</sub> 的扩散。结合表 1 和图 1 可以发现, 6 月的 O<sub>3</sub> 均值和超标小时数均小于 7 月和 8 月, 这一点主要是因为 6 月份阴雨天气较多, 光照不足, 从而减缓了 O<sub>3</sub> 前体物转化成 O<sub>3</sub> 的反应速率。

综上所述, 在晴朗的天气下, 温度、辐射强度与 O<sub>3</sub> 浓度成正比, 风速、相对湿度与 O<sub>3</sub> 浓度成反比<sup>[11, 12]</sup>。

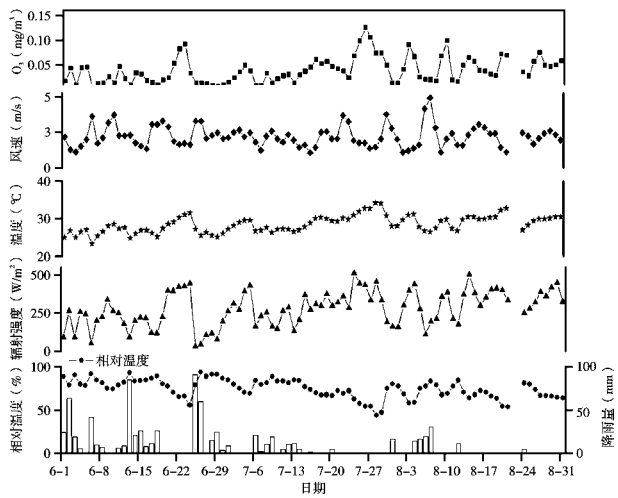


图 1 O<sub>3</sub> 与气象因子逐日变化

2.3 臭氧与氮氧化物、二氧化硫、能见度、PM<sub>2.5</sub> 浓度日变化

图 2 为 O<sub>3</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 浓度的日变化, 由图可知, 臭氧浓度变化趋势明显, 白天 08:00~20:00 有个明显的变化过程。在午后 14:00 左右, O<sub>3</sub> 浓度达到最大值, 为 0.11 mg/m<sup>3</sup>, 在早上 06:00 左右, O<sub>3</sub> 浓度最小, 为 0.01 mg/m<sup>3</sup>。这与北京上甸子本底站所得出的结果一致<sup>[10]</sup>。NO<sub>2</sub> 经过光照转化为 NO, 同时释放出激发态的 O 与 O<sub>2</sub> 反应生成 O<sub>3</sub>, 随即不稳定的 O<sub>3</sub> 与 NO 发生反应得到 NO<sub>2</sub>。

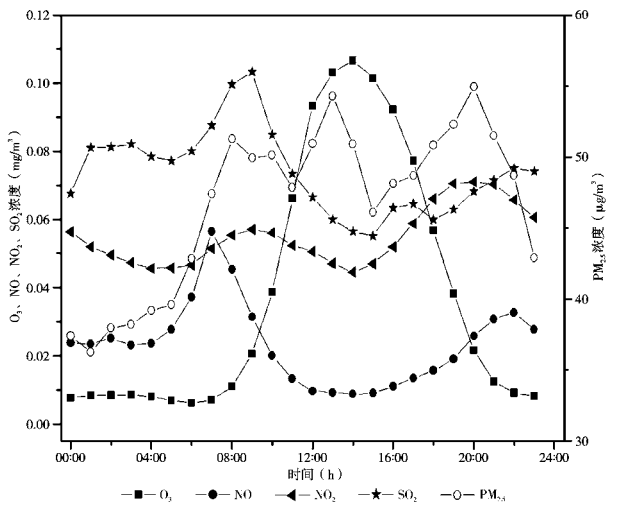


图 2 O<sub>3</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 浓度的日变化

根据长期的观测发现, 广州早上机动车排放急剧增加, 工业生产或者生活相关排放增加, NO 浓度

在 06:00~07:00 有一个明显的上升趋势,在 07:00 左右达到最大值  $0.06 \text{ mg/m}^3$ 。随着光照强度的不断增强,空气中的  $\text{NO}_2$  持续发生光化学反应生成  $\text{O}_3$ ,  $\text{O}_3$  浓度在 08:00 左右开始逐步升高,并在午后 14:00 达到最大值,同时  $\text{NO}$  也达到了全天最低值  $0.01 \text{ mg/m}^3$ ,这也印证了光化学反应中  $\text{O}_3$  与  $\text{NO}$  之间此长彼消的紧密关系。

$\text{O}_3$  也能参与  $\text{SO}_2$  的液相氧化过程,这是大气  $\text{O}_3$  的另一个重要的汇<sup>[5,18,19]</sup>。 $\text{PM}_{2.5}$  在午后 13:00 出现一个明显的峰值,这一点可能是由于光化学反应所生成的某些氧化物如过氧乙酰硝酸酯(PAN)等二次气溶胶能促进颗粒物的产生。大气中  $\text{O}_3$  的源和汇不仅仅只是这些,其中 NMHC、CO 等物质也是  $\text{O}_3$  参与光化学反应重要的源和汇<sup>[13,20]</sup>。由于本次观测缺少 NMHC、CO 等数据,所以还有待继续深入研究。

## 2.4 个例分析

### 2.4.1 连续晴朗天气下 $\text{O}_3$ 与能见度等逐日变化

监测期内,8月26日~8月31日有一个连续的晴朗天气过程,图3为这段时期内  $\text{O}_3$  与  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、能见度以及  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的逐日变化。由图3可知,晴朗天气下  $\text{O}_3$  的日变化基本一致,而  $\text{NO}$  在夜间的变化趋势比白天更为明显,且浓度值高于白天,这主要是因为夜间交通源、工业源等排放的  $\text{NO}$  不参与光化学反应循环的积累过程。

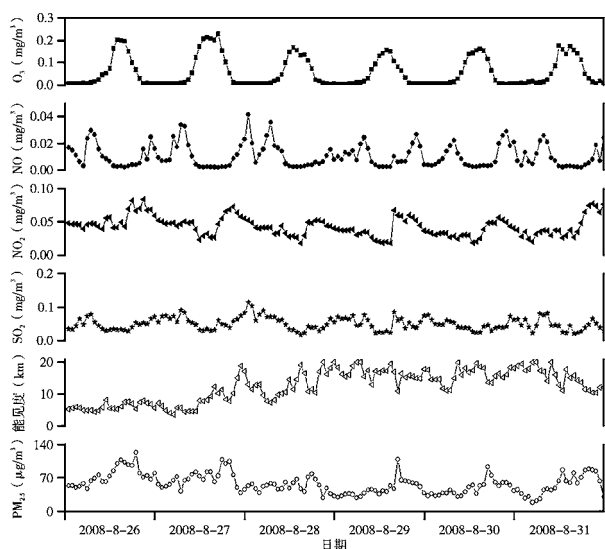


图3 连续晴朗天气下  $\text{O}_3$  与  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、能见度、 $\text{PM}_{2.5}$  变化

### 2.4.2 连续晴朗天气下 $\text{O}_3$ 与能见度等相关性

表2、表3分别为白天与夜间  $\text{O}_3$  与  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、能见度、 $\text{PM}_{2.5}$  浓度小时值的相关性(以每天的 06:00 和 19:00 来划分白天与夜间)。

表2 白天  $\text{O}_3$  与  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、能见度、 $\text{PM}_{2.5}$  浓度相关性 ( $n=84$ )

|                   | $\text{O}_3$ | $\text{NO}$ | $\text{NO}_2$ | $\text{SO}_2$ | 能见度     | $\text{PM}_{2.5}$ |
|-------------------|--------------|-------------|---------------|---------------|---------|-------------------|
| $\text{O}_3$      | 1            |             |               |               |         |                   |
| $\text{NO}$       | -0.769*      | 1           |               |               |         |                   |
| $\text{NO}_2$     | -0.221*      | 0.101       | 1             |               |         |                   |
| $\text{SO}_2$     | -0.631*      | 0.806*      | 0.353*        | 1             |         |                   |
| 能见度               | 0.062        | -0.259*     | -0.509*       | -0.265*       | 1       |                   |
| $\text{PM}_{2.5}$ | 0.392*       | -0.354*     | 0.590*        | -0.168*       | -0.606* | 1                 |

\*  $\alpha=0.01$  水平上,相关性显著(双侧检验)。

表3 夜间  $\text{O}_3$  与  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、能见度、 $\text{PM}_{2.5}$  浓度相关性 ( $n=60$ )

|                   | $\text{O}_3$ | $\text{NO}$ | $\text{NO}_2$ | $\text{SO}_2$ | 能见度     | $\text{PM}_{2.5}$ |
|-------------------|--------------|-------------|---------------|---------------|---------|-------------------|
| $\text{O}_3$      | 1            |             |               |               |         |                   |
| $\text{NO}$       | -0.349*      | 1           |               |               |         |                   |
| $\text{NO}_2$     | 0.337*       | 0.260*      | 1             |               |         |                   |
| $\text{SO}_2$     | -0.314*      | 0.259*      | -0.090        | 1             |         |                   |
| 能见度               | -0.157       | 0.007       | -0.423*       | -0.028        | 1       |                   |
| $\text{PM}_{2.5}$ | 0.522*       | 0.117       | 0.773*        | -0.067        | -0.587* | 1                 |

\*  $\alpha=0.01$  水平上,相关性显著(双侧检验)。

由表2、表3可知,白天与夜间时  $\text{O}_3$  与  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、能见度、 $\text{PM}_{2.5}$  浓度的相关性系数有明显的不同,分别为 -0.769、-0.221、-0.631、0.062、0.392 和 -0.349、0.337、-0.314、-0.157、0.522。其中白天  $\text{O}_3$  与  $\text{NO}_2$  的相关性变化最大,白天为显著负相关,而夜间则为显著正相关,这说明了白天时光照对  $\text{NO}_2$  反应生成  $\text{O}_3$  有明显的促进作用,而在夜间由于光化学反应的中止,这段时间  $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_2$  不进行交换反应,使得它们浓度都趋于稳定状态,如图3所示。不论白天与夜间,  $\text{O}_3$  与能见度的相关性系数均未达到显著水平,这说明了  $\text{O}_3$  对能见度的直接影响作用较小,光化学烟雾引起的能见度下降主要与  $\text{O}_3$  氧化产生的二次气溶胶有关<sup>[21]</sup>。因此要研究  $\text{O}_3$  对能见度的关系还要深入开展二次气溶胶的研究,尤其是对吸光系数高的光化学产物的研究。

## 3 结论

(1) 广州城区夏季  $\text{O}_3$  月平均浓度分别为  $0.03 \pm$



$0.05 \text{ mg/m}^3$ ,  $0.04 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$ ,  $0.05 \pm 0.05 \text{ mg/m}^3$ , 6 月  $\text{O}_3$  平均浓度明显低于 7 月和 8 月, 这主要与 6 月份雨水天气较多有关。

(2) 在晴朗的天气下, 温度、辐射强度与  $\text{O}_3$  浓度成正比, 风速、相对湿度与  $\text{O}_3$  浓度成反比。

(3) 臭氧浓度变化趋势明显, 白天 08:00~20:00 有个明显的变化过程, 在午后 14:00 浓度达到最大, 为  $0.11 \text{ mg/m}^3$ 。光化学反应所生成的某些氧化物如过氧乙酰硝酸酯(PAN)等二次气溶胶可能会促进颗粒物的产生。

(4)  $\text{O}_3$  对能见度的直接影响作用较小, 光化学烟雾引起的能见度下降主要与  $\text{O}_3$  氧化产生的二次气溶胶有关。要研究  $\text{O}_3$  对能见度的关系还要深入开展二次气溶胶的研究, 尤其是对吸光系数高的光化学反应产物的研究。

#### 4 参考文献

- [1] 唐孝炎, 张远航, 邵敏, 等. 大气环境化学[M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 232-233.
- [2] Wei Y, Stanley T O. Air pollutants, oxidative stress and human health[J]. Mutation Research, 2009, 674: 45-54.
- [3] 周康群, 冯岩. 臭氧对广州主要栽培蔬菜生长的影响[J]. 华中农业大学报, 2001, 20(4): 344-347.
- [4] Geng F H, Tie X X, Xu J M, et al. Characterizations of ozone,  $\text{NO}_x$ , and VOCs measured in Shanghai[J]. China Atmospheric Environment, 2008, 42: 6873-6883.
- [5] 张倩. 北半球地面臭氧的分布和变化特征分析[D]. 合肥: 中国科技大学, 2006.
- [6] 王雪梅, 韩志伟, 雷孝恩. 广州地区臭氧浓度变化规律研究[J]. 中山大学报, 2008, 42(4): 106-109.
- [7] 白建辉, 王明星, 等. 鼎湖山地面臭氧、氮氧化物变化特征的分析[J]. 环境科学学报, 1999, 19(3): 262-265.
- [8] Wang T, Wu Y Y, Cheung T F, et al. A study of surface ozone and the relation to complex wind flow in Hong Kong[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 3203-3215.
- [9] Permadi D A, Kim Oanh N T. Episodic ozone air quality in Jakarta in relation to meteorological conditions[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42: 6806-6815.
- [10] 刘洁, 张小玲, 张晓春, 等. 上甸子本底站地面臭氧变化特征及影响因素[J]. 环境科学研, 2006, 9(4): 19-25.
- [11] 徐家骝, 朱毓秀. 上海市光化学污染气象指标的研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(5): 28.
- [12] 周艳明, 刘厚凤, 吴保庆. 边界层臭氧浓度变化特征及相关因子分析[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(1): 63-66.
- [13] Tu J, Xia Z G, Wang H S, et al. Temporal variations in surface ozone and its precursors and meteorological effects at an urban site in China[J]. Atmospheric Research, 2007, 85: 310-337.
- [14] 安俊琳. 北京大气臭氧浓度变化特征及其形成机制研究[D]. 南京信息工程大学博士学位论文, 2007.
- [15] Barrero M A, Grimalt J O, Cantón L. Prediction of daily ozone concentration maxima in the urban atmosphere[J]. Chemo-metrics and Intelligent Laboratory Systems, 2006, 80: 67-76.
- [16] 高东峰, 张远航, 曹永强. 应用 OBM 模型研究广州臭氧的生成过程[J]. 环境科学研究, 2007, 20(1): 47-51.
- [17] 环境保护部. 环境空气质量标准(征求意见稿)[S]. GB3095-2010.
- [18] Stein A F, Lamb D. The sensitivity of sulfur wet deposition to atmospheric oxidants[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34: 1681-1690.
- [19] 段玉森. 上海市大气能见度研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [20] 解鑫, 邵敏, 刘莹, 等. 大气挥发性有机物的日变化特征及在臭氧生成中的作用——以广州夏季为例[J]. 环境科学学报, 2009, 29(1): 54-62.
- [21] Jenkin M E, Clemitshaw K C. Ozone and other secondary photochemical pollutants: chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer[J]. Atmospheric Environment, 2000, (34): 2499-2527.

## The Concentration Characteristic of Ozone and its Correlation with Visibility in Guangzhou Urban during 2008 Summer

Zhan Tao Tao Jun Zhang Zhanyi Feng Zicheng

**Abstract** Based on measuring the ambient concentrations of  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , and  $\text{SO}_2$ , and meteorological data in urban Guangzhou during June 1 to August 31, 2008, the concentration characteristic of  $\text{O}_3$  and its impact on visibility were studied. The results indicated that the mean concentration of  $\text{O}_3$  was  $0.04 \pm 0.03 \text{ mg/m}^3$ . On non-precipitation days, the concentration of  $\text{O}_3$  was in direct ratio with temperature and radiation, while was in inverse ratio with wind speed and relative humidity. The influence on the visibility from the second aerosols formed in photochemical oxidation with  $\text{O}_3$  was more obvious than the  $\text{O}_3$  itself.

**Key words** ozone visibility absorption coefficient air quality

# 基于 VBA 灰色预测模型预测北海市南流江水质

韩 波 孙 利

(北海市环境监测中心站, 广西 北海 53600)

**摘 要** 本文提出一种基于 VBA 在 Excel 下编写宏程序实现灰色预测的方法, 程序简短, 节省内存, 操作简单, 运算快速, 适用于大批量数据处理。该模型应用于北海市南流江水质预测, 预测结果与实测值相吻合。

**关键词** 灰色预测 VBA Excel 水质污染

灰色预测<sup>[1]</sup>以时间序列数据为基础, 通过对规律性不明显的原始数列进行转换, 对规律性明显的生成数据列进行回归处理, 然后对原始数列的动态发展趋势进行预测。灰色预测涉及矩阵运算, 郝文辉、曹玉珍等<sup>[2,3]</sup>提出基于 Matlab 矩阵数学软件来实现, 但此软件占用较大的计算机内存。严明、陈青山等<sup>[4,5]</sup>提出基于 Excel 实现矩阵运算, 将参数矩阵展开为数学公式, 然后将公式的各项填埋到相应的单元格。在 Excel 单元格输入计算公式, 通用性和可读性较差, 当列数据样本增加或减少后, 需重新修编单元格计算公式。本文通过 Excel 内置 VBA 编程环境进行程序开发, 结合 INTERCEPT(截距)和 SLOPE(斜率)两个函数实现水质污染的灰色预测。

## 1 灰色预测模型

灰色预测模型 GM(1,1)是单变量一阶微分方程模型, 其离散时间响应呈近似指数函数规律。

设  $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), L, X^{(0)}(n)\}$  为原始时间序列,  $X^{(1)}(t)$  为累加生成序列。

$$X^{(1)}(t) = \sum_{m=1}^t X^{(0)}(m), t = 1, 2, L, n \quad (1)$$

GM(1,1)的白化微分方程为:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u \quad (2)$$

式中,  $a$  为待辨识参数, 亦称发展系数;  $u$  为待辨识内生变量, 亦称灰作用量。

设待辨识向量  $\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix}$ , 按最小二乘法求得

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T y \quad (3)$$

式中

$$B = \begin{vmatrix} -\frac{1}{2}(X^{(0)}(1)+X^{(0)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(X^{(0)}(2)+X^{(0)}(3)) & 1 \\ L & L \\ -\frac{1}{2}(X^{(0)}(n-1)+X^{(0)}(n)) & 1 \end{vmatrix}$$

$$y = \begin{vmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ L \\ X^{(0)}(n) \end{vmatrix}$$

可得灰色预测的离散时间响应函数为:

$$X^{(1)}(t+1) = \left( X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

$X^{(1)}(t+1)$  为累加预测值, 可还原为:

$$\hat{X}^{(0)}(t+1) = \hat{X}^{(1)}(t+1) - \hat{X}^{(1)}(t), (t = 1, 2, 3L n) \quad (5)$$

## 2 运用 Excel VBA 编制计算程序

### 2.1 Excel 计算表设计

数据输入和计算均在工作表中完成, 第一列依次设为“序列号”、 $x^{(0)}$ (用户输入序列数据)、 $x^{(1)}$ (累加生成)、 $\bar{x}^{(1)}$ (累加生成的平均值)、 $\bar{x}^{(1)}(t+1)$ (累加生成的预测值)、 $\bar{x}^{(0)}(t+1)$ (累加生成预测值的还原值)、残差、 $u$ (内生变量)和  $a$ (参数)。在工作表中添加一个按钮(名称属性取名“灰色预测”), 建立“灰色预测”的 Excel 文件。

表 1 南流江 2001~2011 年主要水质指标的预测与实测结果比较

mg/L

| 年度   | 溶解氧  |      |       | 高锰酸盐指数 |      |       | 氨氮    |       |        |
|------|------|------|-------|--------|------|-------|-------|-------|--------|
|      | 实测值  | 预测值  | 残差    | 实测值    | 预测值  | 残差    | 实测值   | 预测值   | 残差     |
| 2001 | 7.54 | 7.54 | —     | 3.67   | 3.67 | —     | 0.247 | 0.247 | —      |
| 2002 | 6.52 | 6.82 | -0.30 | 2.79   | 2.66 | 0.13  | 0.397 | 0.357 | 0.040  |
| 2003 | 6.93 | 6.77 | 0.16  | 1.82   | 2.77 | -0.95 | 0.339 | 0.363 | -0.024 |
| 2004 | 7.06 | 6.72 | 0.33  | 3.02   | 2.88 | 0.14  | 0.274 | 0.369 | -0.094 |
| 2005 | 6.07 | 6.68 | -0.61 | 2.96   | 2.99 | -0.03 | 0.324 | 0.375 | -0.051 |
| 2006 | 6.80 | 6.63 | 0.17  | 4.09   | 3.12 | 0.97  | 0.558 | 0.381 | 0.176  |
| 2007 | 6.99 | 6.58 | 0.41  | 3.43   | 3.24 | 0.19  | 0.326 | 0.388 | -0.062 |
| 2008 | 6.76 | 6.54 | 0.22  | 3.46   | 3.37 | 0.09  | 0.516 | 0.395 | 0.121  |
| 2009 | 6.49 | 6.49 | 0.00  | 3.17   | 3.51 | -0.34 | 0.293 | 0.401 | -0.108 |
| 2010 | 6.06 | 6.45 | -0.39 | 3.42   | 3.65 | -0.23 | 0.409 | 0.408 | 0.001  |
| 2011 |      | 6.40 |       |        | 3.80 |       |       | 0.415 |        |

2.2 VBA 程序设计

工作表的计算程序采用 VBA 宏语言编写,先在 Excel 工具菜单中打开 Visual Baics 编辑器,然后在 VBE 属性窗口中插入一个模块,在模块代码窗口内依次输入截图 1 所示的代码。

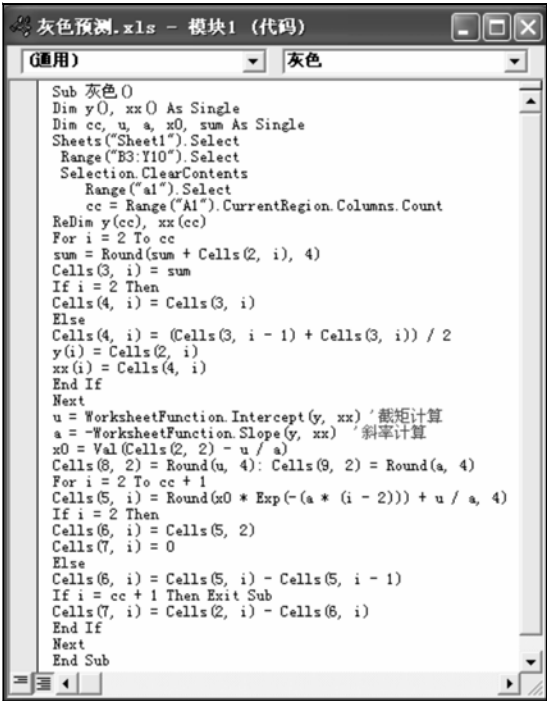


图 1 灰色预测代码清单

3 应用实例

南流江是北海市的主要河流,水质污染主要化

学指标包括溶解氧、高锰酸盐指数和氨氮等。溶解氧、高锰酸盐指数和氨氮的预测模型分别为:

溶解氧: $X^{(1)}(t+1)=(X^{(0)}(1)-985.23)e^{-0.007t}+985.23$

高锰酸盐指数: $X^{(1)}(t+1)=(X^{(0)}(1)+61.505)e^{-0.04t}-61.505$

氨氮: $X^{(1)}(t+1)=(X^{(0)}(1)+20.553)e^{-0.017t}-20.553$

以上述模型对北海市南流江 2001~2010 年期间溶解氧、高锰酸盐指数及氨氮的年均统计数据进行灰色预测,结果列于表 1。结果表明,地表水污染物的预测结果与实测值吻合较好。

4 小结

本文程序在 Excel 软件 VBA 编程环境中实现水质污染灰色预测,程序简短,节省内存,占用机时少。只需要输入时间序列数据,操作简单,运算快速,适用于大批量数据处理。

5 参考文献

[1] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1990.  
[2] 郝文辉,任改娟,贡长青. 基于 MATLAB 的灰色模型对秦皇岛市区地下水水位的预测[J]. 中国环境管理干部学院学报,2010,20(2):61-64.  
[3] 曹玉珍,莫翠云. 基于 MATLAB 的灰色模型在广州市降尘预测中的应用[J]. 中国环境监测,2006,22(5):54-56.  
[4] 严明,廖铁军. 基于 Excel 的灰色模型在土地利用规划中的应用[J]. 安徽农业科学,2007,36(12):3627-3628.  
[5] 陈青山,王声湧. 应用 Excel 完成性病 GM 模型的预测和评价[J]. 疾病控制杂志,2003,7(5):451-453.

## 深圳市两次霾天气过程分析

张 丽<sup>1</sup> 施何俊<sup>2</sup> 李 磊<sup>1</sup> 江 崑<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 深圳市国家气候观象台, 广东 深圳 518040; <sup>2</sup> 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275)

**摘 要** 利用深圳国家基本气象站常规气象资料、大气成分监测数据和深圳市环境监测中心站的空气质量资料,对 2010 年 12 月 20~21 日、28~29 日发生在深圳市的两次霾天气过程的空气污染、环流形势、气象要素、大气成分以及 Hysplit 模式反演等特征。结果表明:这两次霾天气过程的首要污染物是二氧化氮( $\text{NO}_2$ )。大尺度天气系统稳定为霾的发生提供了有利的大气环流条件。地面受弱高压脊控制,气压梯度小,风场弱,有利于污染物的累积和霾的维持。大气成分站数据分析发现, $\text{NO}_2$  的日变化曲线呈双峰型,峰值出现在上下班高峰期,表明  $\text{NO}_2$  浓度的增加与汽车尾气排放密切相关。Hysplit 模式反演污染物的后向轨迹表明这两次污染过程中均有外来污染物的输入,来自广州、东莞、惠州、河源等。

**关键词** 霾 大气成分 光化反应 深圳市

霾是大量极细微的干尘粒等均匀地浮游在空中,使水平能见度小于 10.0 km 的空气普遍浑浊现象。《中华人民共和国气象行业标准》中霾观测的判识条件规定:能见度小于 10.0 km,排除降水、沙尘暴、扬沙、浮尘、烟幕、吹雪、雪暴等天气现象造成的视程障碍。相对湿度小于 80%,判识为霾;相对湿度 80%~95%时,按照地面气象观测规定的描述或大气成分指标进一步判识。当大气成分监测站以下指标超过限制时,可作为判识霾的参考依据。 $\text{PM}_{2.5}$  限值为  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$  限值为  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,气溶胶散射系数和吸收系数之和的限值为  $480 \text{ Mm}^{-1}$ 。

近年来霾天气越来越受到公众和政府的关注。2011 年第 26 届世界大学生运动会在深圳举办,霾天气对体育项目和运动员水平的发挥有不同程度的影响。国内外已有不少学者对霾天气进行了分析和研究。如 Husar、Malm、Bret A 等<sup>[1-3]</sup> 人对美国灰霾的形成、来源、化学成分和长期变化趋势等方面作了比较深入的探讨。吴兑等<sup>[5-7]</sup> 对珠江三角洲地区的城市灰霾天气的研究指出,采用空气相对湿度 90%来区分灰霾和雾更合理;邓雪娇、曹春燕等<sup>[9-10]</sup> 对深圳市灰霾气候特征、成因和典型天气过程进行分析。本文对深圳发生的两次霾天气过程的空气污染、环流形势、气象要素、大气成分以及 Hysplit 模式反演等特征进行了天气动力学分析,进而对霾的成因进行全面深入的分析,客观地反映霾的本质特征。对做好

霾天气的监测、预报和预警,做好大运会的气象服务保障有着重要的意义。

### 1 资料来源和研究方法

所用的资料为 2010 年 12 月 15~30 日深圳国家基本气象站的逐日气象要素观测资料、风廓线资料;深圳市气象局竹子林大气成分站黑碳浓度、浊度、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、氮氧化物浓度逐时资料和深圳市环境监测中心站的  $\text{NO}_2$ 、可吸入颗粒物逐日实测资料。

Hysplit 模式是由美国国家海洋和大气局(NOAA)等开发的质点轨迹、扩散及沉降分析的综合系统。该模式的平流和扩散计算采用拉格朗日法,通常采用诊断风场和边界层高度等要素,逐一计算示踪粒子的空间位移和拉格朗日轨迹,并进一步模拟污染物在区域内的动态扩散过程。

### 2 霾事件概况

2010 年 12 月 20~22 日、28~29 日深圳市全市范围内出现了轻微污染天气,深圳国家基本气象站也同时观测到了霾现象。在短期内连续出现两次的轻微污染天气,引起了各方的重视。深圳在 1961 年首次记录到霾,整个 20 世纪 60、70 年代霾出现概率非常小,90 年代后开始急剧增多,到 2010 年霾日多达 115 d。深圳市霾的季节变化明显,集中出现在 9 月至翌年 3 月,概率达 75%,4~8 月是霾天气较少



的时期,出现概率仅为 25%。

12 月 20~22 日 API 指数最大达 129,最低能见度 3 km;12 月 28~29 日 API 指数高达 124,最低能见度 6 km。通过深圳市环境监测中心站监测资料分析发现这几日  $\text{NO}_2$  浓度值超过可吸入颗粒物,成为首要污染物。

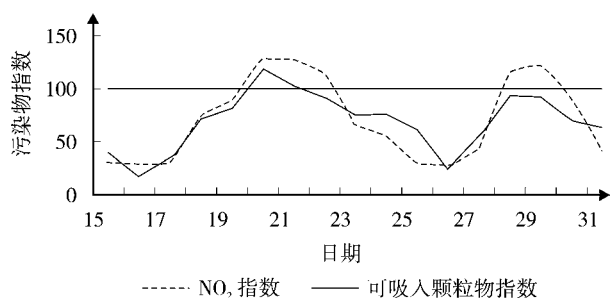


图 1 2010 年 12 月 15~31 日空气污染指数时间变化

### 3 天气背景分析

#### 3.1 环流形势场

2010 年 12 月 20~22 日、28~29 日,华南地区高空受槽前西南气流影响。地面受弱高压脊控制,气压梯度小、风场弱,有利于污染物的累积和霾天气的维持。大尺度天气系统的稳定,弱气压场为深圳霾天气的发生提供了比较稳定的大气环流条件。

#### 3.2 气象要素特征

12 月 20~22 日逐时本站气压较低,均在 1 006~1 010 hPa 之间变化,气压梯度小(图 2)。风向变化大,但平均风速很小 1.0~3.0 m/s,污染物不易扩散。12 月 22 日开始,随着风速逐渐增大,轻微污染天气结束。12 月 28、29 日气压再次下降,在 1 010~1 012 hPa 之间,风速 1.0~2.0 m/s,再次出现了轻微污染天气。能见度与可吸入颗粒物浓度成负相关,灰霾天气,能见度差,日照时数少。但 12 月 28、29 日平均能见度大于 10 km,日照时数 8 h,与颗粒物浓度较低有关。

#### 3.3 大气层结特征

大量研究表明,有逆温层存在,可使污染物在地面上停滞积聚,加剧空气污染的程度,近地层出现逆温还有利于雾霾的形成<sup>[4,8]</sup>。利用石岩风廓线资料分析这两次污染过程的大气层结特征(图 3)。12 月 22 日在 600~1 000 m 之间出现了逆温层。而 12 月 28 日在 900 m 出现了逆温层。

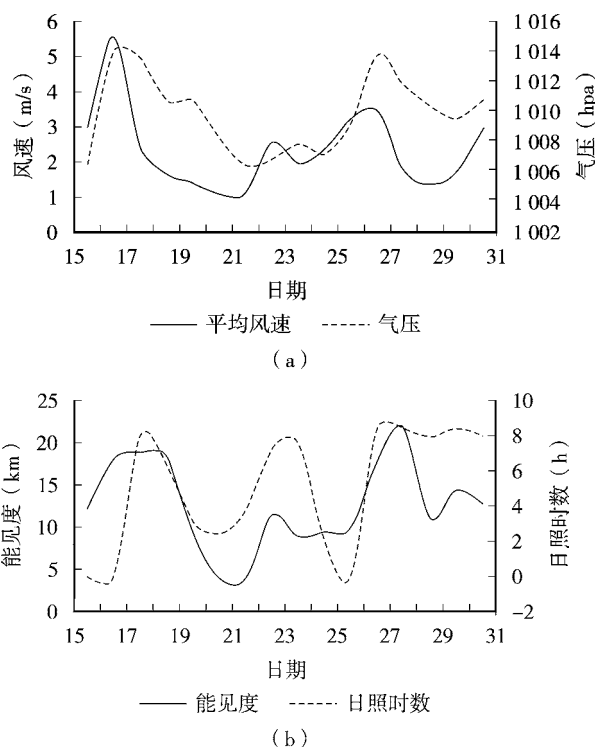
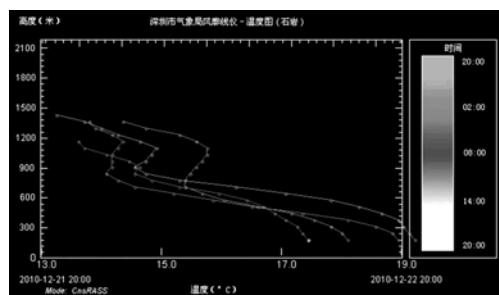
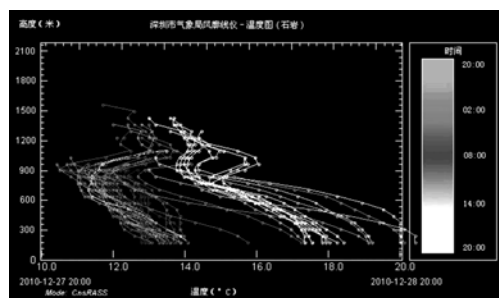


图 2 2010 年 12 月 15~30 日气象要素变化



2010 年 12 月 22 日

(a)



2010 年 12 月 28 日

(b)

图 3 石岩风廓线垂直温度变化

### 4 污染物轨迹反演

利用 Hysplit 模式模拟这两次过程污染物的 24 h

后向轨迹,模拟用的气象背景场是美国的 REANAL-Ysis(global, 1948-present)数据。从近地面 100 m 高度两条不同时刻的后向轨迹分析(图 4)可见,2010 年 12 月 20~21 日这次过程的污染物来源主要是深圳西北方向的城市,如广州、东莞等地;12 月 28~29 日这次过程的污染物来源主要是深圳西北向的城市,如惠州、河源等地。

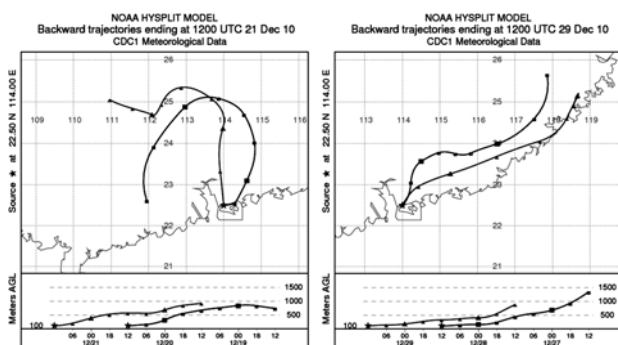


图 4 Hysplit 模拟 2010 年 12 月 20~21 日(左)、28~29 日(右) 污染物后向轨迹(纵坐标为离地高度/m;横坐标为时间)

## 5 大气成分分析

黑碳浓度、浊度、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  浓度在 12 月 20~21、28~29 日明显升高。臭氧是光化学反应的主要生成物,其浓度大小与太阳辐射强度成正比,在午后 16:00 达到最高值 25 ppb(图 6),远没有达到光化学烟雾臭氧浓度限值  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。并且臭氧浓度在 12 月 20~21、28~29 日,处于低值区(图 5)。表明这两次过程中空气污染过程与煤、石油等化石燃料的燃烧和汽车尾气排放有关,与光化学污染关系不大。

$\text{NO}_2$  日变化曲线呈双峰型(图 6)。峰值出现在 9:00~10:00 和 20:00,正是上下班高峰期,大量的尾气排放和稳定的天气系统导致  $\text{NO}_2$  浓度的增加和累积。 $\text{NO}_2$  浓度的增加与太阳辐射和光化反应关系不大。午后太阳辐射最强时, $\text{NO}_2$  处在低谷处;夜晚  $\text{NO}_2$  浓度反而更高。

## 6 总结和讨论

(1) 大尺度天气系统的稳定,地面受弱高压脊控制,气压梯度小,风场弱  $1.0\sim3.0 \text{ m/s}$ ,并在近地面 900 m 附近出现逆温层,均有利于霾的形成,是霾维持的一个重要条件。

(2) 深圳本地污染物如黑碳浓度、浊度、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  浓度明显升高, $\text{NO}_2$  的日变化呈双峰型,峰值出

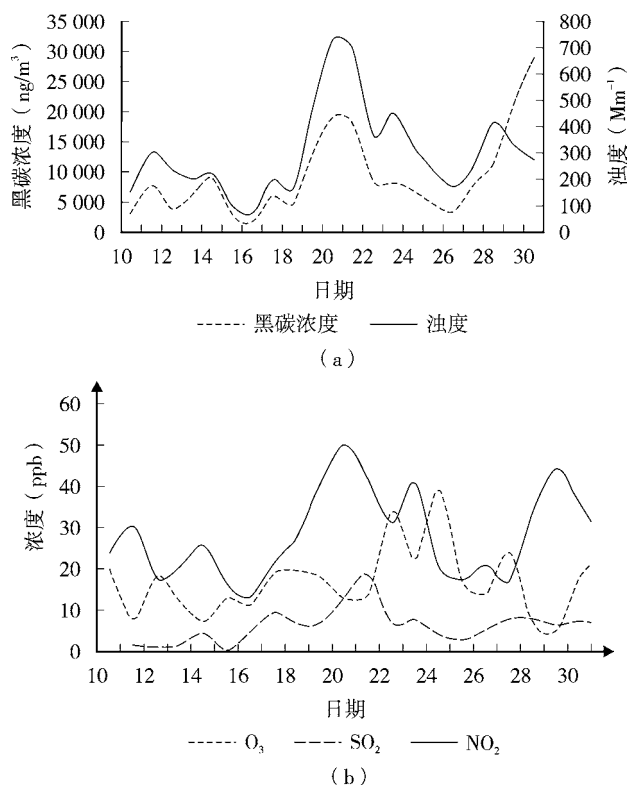


图 5 2010 年 12 月 10~31 日污染气体浓度时间变化

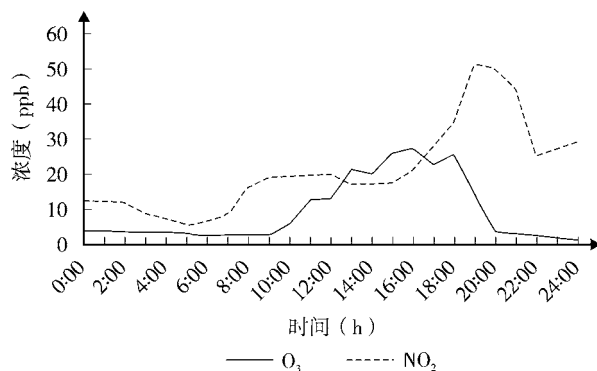


图 6 2010 年 12 月 20 日  $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$  小时变化曲线

现在 9:00~10:00 和 20:00,正是上下班高峰期,表明在稳定的天气系统下,高峰期汽车尾气无法及时扩散和稀释,导致  $\text{NO}_2$  和颗粒物浓度的增加和累积,是形成这两次污染的直接原因。

(3) Hysplit 模式模拟污染物的后向轨迹,结果表明这两次污染过程中均有外来污染物的输入,分别来自广州、东莞、惠州、河源等。

## 7 参考文献

- [1] Husar R B, Holloway J M, Poll D E, et al. Spatial and temporal pattern of eastern U.S.haziness:a summary[M]. Atmospheric

- Environment, 1981, 15: 1919–1928.
- [2] Malm W C. Characteristics and origins of haze in the continental United States[J]. Earth–Science Review, 1992, 33: 1–36.
- [3] Bret A Schichtel, Rudolf B Husar, Stefan R Falke, et al. Haze trend over the United States[M]. Atmospheric Enviroment, 2001, 35: 5205–5210.
- [4] 刘爱军, 杜尧东, 王惠英. 广州灰霾天气的气候特征分析[J]. 气象, 2004, 30(12): 68–71.
- [5] 吴兑. 关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论[J]. 气象, 2005, 31(4): 3–7.
- [6] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. 气象, 2006, 32(4): 9–15.
- [7] 吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究[J]. 气象学报, 2006, 64(4): 510–517.
- [8] 耿建生, 丁爱萍, 陈佩君. 南通市一次连续空气污染过程的气象特征分析[J]. 广州环境科学, 2006, 21(3): 18–21.
- [9] 江崑, 曹春燕. 2003 年深圳市灰霾气候特征及影响因素[J]. 广东气象, 2004, 4: 14–15.
- [10] 邓雪娇, 黄健, 吴兑. 深圳地区典型大气污染过程分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(Suppl.): 7–11.

## Analysis of Two Haze Processes in Shenzhen

Zhang Li Shi Hejun Li Lei Jiang Yin

**Abstract** According to meteorological observation data and atmospheric composition data from Shenzhen National basic meteorological stations as well as air pollution data from Shenzhen Environmental Monitoring Center, the cause of two haze processes were analyzed, happened on Dec. 20–21 and Dec. 28–29, 2010. The results show that: The first pollutants was nitrogen dioxide ( $\text{NO}_2$ ) in these two haze processes. Large scale weather system provided a relatively stable atmospheric circulation conditions for the processes. The weak ground high pressure ridge, small pressure gradient and weak wind speed were beneficial to the accumulation of pollutants and the maintenance of haze. Analysis of atmospheric composition data found that  $\text{NO}_2$  changes on the curve of the twin peaks in the rush hour. It showed that the increasing of the  $\text{NO}_2$  was closely related with car exhaust emission. Hysplit model retrieved the spread of pollutants track show the two pollution processes includes foreign pollutants from Guangzhou, Dongguan, Huizhou, Heyuan, etc.

**Key words** haze atmospheric composition photochemical reaction

(上接第 3 页)

- [13] 吕锦玲, 陈建中. 几种絮凝剂在污泥脱水中应用的比较研究[J]. 广州环境科学, 2005, 20(4): 14–16.
- [14] 邴光梅, 金宜英, 李欢, 等. 无机调理剂对污泥建材化的影响研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(13): 82–84.
- [15] 王齐. 城镇污水处理厂污泥建材利用工艺研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [16] 岳燕飞. 污水污泥外掺页岩粉煤灰改性及陶粒制备[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [17] 张长飞, 葛仕福, 赵培涛, 等. 污泥燃料化技术研究[J]. 环境工程, 2010, 28(增刊): 377–380.
- [18] 舒展, 许绿丝. 制革污泥与煤掺烧的试验研究[J]. 能源与环境, 2007, 6: 17–19.
- [19] 贾斌, 刘志华, 李小明, 等. 剩余污泥为燃料的微生物燃料电池产电特性研究[J]. 环境科学, 2009, 30(4): 1127–1131.
- [20] 郑晓, 刘志华, 李小明, 等. 剩余污泥生物燃料电池输出功率密度的影响因素[J]. 中国环境科学, 2010, 30(1): 64–68.
- [21] 刘晓玲, 李十中, 刘建双, 等. 应用高固体浓度厌氧消化工艺转化污泥产沼气研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(5): 955–963.
- [22] 高瑞丽, 严群, 阮文权. 添加厨余垃圾对剩余污泥厌氧消化产沼气过程的影响[J]. 生物加工过程, 2008, 6(5): 31–35.
- [23] 潘志勇, 刘宇, 曹仕兴, 等. 污泥处理过程中的沼气回收试验[J]. 能源技术, 2009, 30(5): 276–279.
- [24] 李建政, 张妮, 李楠, 等. HRT 对发酵产氢厌氧活性污泥系统的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(11): 1840–1843.
- [25] 李建政, 李楠, 张妮, 等. 活性污泥的连续流发酵产氢实验研究[J]. 化工学报, 2004, 55(增刊): 75–79.

## The Techniques for Sludge Treatment and Resource Utilization

Zheng Lizhu

**Abstract** The sludge is both pollutants and a kind of resources, containing organic matter which is effective biological energy. Therefore, the combine of sludge treatment and recycling will be a best choice. The research works in the past five years on the sludge used in compost, building materials, and energy recycle have been reviewed.

**Key words** sludge treatment resource utilization techniques

# 粘土复合聚合氯化铝铁处理高藻水中藻类的实验

杜华琴 张 骥

(广州市污水治理有限责任公司, 广州 510655)

**摘 要** 研究应用粘土复合聚合氯化铝铁(PAFC)絮凝法去除城市湖泊中藻类。结果表明,粘土复合 PAFC 比单独使用 PAFC 或粘土对藻类有更好的去除效果,最佳投加量为 9 ml/L,对叶绿素和浊度的去除率分别达到 93.75%和 90.09%(白粘土)、90.63%和 93.18%(硅藻土)。与单独投加 PAFC 相比,加入粘土改善了絮体的性能,减少了絮体体积。实验确定了絮凝的最佳工艺及 pH 值范围。最佳 pH 值以小于 8 为佳;合适的快搅速度是 300 rpm,快搅时间为 2 min;慢搅速度为 30 rpm,慢搅时间为 15 min;以先投加粘土后投加 PAFC 为佳。

**关键词** 粘土 复合聚合氯化铝铁(PAFC) 高藻水 城市湖泊

我国是世界上多湖泊国家,湖泊水资源总量达到 6 380 亿  $\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>。由于近 30 a 来经济的高速发展和 不适当的湖泊资源开发利用,这些湖泊多数已经富 营养化或正在富营养化中,严重制约了我国社会和 经济的可持续发展<sup>[2]</sup>。本课题在研究广东省局部水 域藻生。物量预测模型的基础上<sup>[3,4]</sup>,进一步研究了 粘土复合聚合氯化铝铁(PAFC)对广州市内湖泊中 高藻水的处理效果。

粘土作为一种廉价易得的材料,因其特殊的表面化学性质和吸附能力,在国际上受到了高度的重视,已将粘土的应用从海水领域延伸至淡水中的藻类的絮凝去除<sup>[5-7]</sup>。聚合氯化铝铁是一种无机高分子絮凝剂,具有混凝效果好、沉降速度快和稳定性好等优点<sup>[8]</sup>,已经广泛应用于对河水和生活污水中的磷、浊度、藻类等的去除<sup>[5-11]</sup>。将粘土同 PAFC 复合作为絮凝剂在早期就有研究<sup>[12]</sup>,比较了聚合氯化铁与粘土复合 PAFC 絮凝剂对重金属和腐殖酸的去除能力以及对其处理下水道污水的效能进行了研究<sup>[13,14]</sup>。本文针对广州市内湖藻类,通过将 PAFC 与多种粘土复合,探讨其对天然水体中藻类的絮凝去除能力。通过比较复合前后的 PAFC 对藻类的絮凝去除率以及粘土单独的絮凝除藻能力,同时比较絮状体体积以及沉降性能,探讨粘土复合 PAFC 絮凝中的影响因素,从而使粘土复合 PAFC 絮凝藻类技术得以推广。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

(1) 试剂:  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  广州化学试剂厂;  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  台山市粤侨试剂塑料有限公司。

(2) 粘土矿物: 四氧化三铁、三氧化二铁、硅藻土购买自上海福晨化工; 高岭土来自景德镇高岭土矿; 高粘凹凸棒石购买自明光市志强矿业有限公司; 活性白土由广东地质矿业公司提供; 其余购买自化工市场。粘土矿物经烘干后磨碎,过 200 目筛子,干燥保存。

(3) 实验用水: 实验用水取自广州大学城内湖的湖水,其中蓝藻门(*Cyanophyta*)占 95%,包括水花微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)、铜绿微囊藻(*Merismopedia aeruginosa*)、点状平裂藻(*Merismopedia punctata*)、中华平裂藻(*Merismopedia sinica*)、不整齐蓝纤维藻(*Dactylococcopsis irregularis*)、中华尖头藻(*Raphidiopsis sinensis*)等。原水 pH 值为 8.5~9.2,叶绿素 a 含量为 133.92~145.08  $\mu\text{g/L}$  取回水静置去除沉淀,调 pH 值为 6.5,备用。

(4) 分析仪器: ZR3-6 混凝实验搅拌机(深圳中润水工业科技发展有限公司); 雷磁 PHS-3C pH 计(上海精科); Thermo Scientific Evolution 300UV-Vis 分光光度计(艾德豪克国际技术有限公司)。

### 1.2 实验方法

(1) PAFC 的制备: 将摩尔浓度均为 1 mol/L 的



$\text{AlCl}_3$  和  $\text{FeCl}_3$  溶液按铝:铁 = 9:1 的比例加入到烧杯中, 在室温下中速搅拌(200 rpm)15 min, 在剧烈搅拌下(300 rpm)按碱化度  $B=1.8$  滴加  $\text{NaOH}$  (1 mol/L) 溶液, 完成后继续搅拌 120 min, 定容 500 mL 熟化后置冰箱保存<sup>[8,15-17]</sup> ( $[\text{Fe}+\text{Al}]\text{T}=0.50$  mol/L)。实验时稀释 10 倍。

(2) 凝聚实验: 取水样 500 mL 加入到 800 mL 烧杯中, 投加粘土预先搅拌 30 s (150 rpm) 混合均匀, 再投加 PAFC 快搅(300 rpm) 2 min, 慢搅(30 rpm) 15 min, 静置 30 min, 于液面下 3 cm 处取样, 测定浊度和叶绿素 a 含量。

(3) pH 值对粘土复合 PAFC 凝聚藻类的影响: 调节水样的 pH 值分别为 3、4、5、6、6.5、7、7.5、8、8.5、9、11, 分别投 60 mg/L 高岭土和 7 mL/L 的 PAFC 进行混凝搅拌实验, 静置 30 min 取样测定浊度和叶绿素 a 含量。

(5) NTU 的测定: 参照《水和废水检测分析方法(第 3 版)》中推荐的测定方法。

(6) 叶绿素 a 的测定<sup>[18]</sup>: 取水样 50 mL, 抽滤(用 0.45  $\mu\text{m}$  的滤膜), 带样品的滤纸放入玻璃试管中, 并置于暗处, 用 10 mL 90% 乙醇在暗处静置萃取 18~24 h, 用蒸馏水调 0, 以 90% 的乙醇作空白, 在波长 665 nm 和 750 nm 处测吸光度值, 然后滴入 1 滴 1 mol/L 盐酸, 加盖, 摇匀, 5~10 min 内再测两个波长处吸光度值。其换算公式如下:

$$\text{Chla} = \frac{27.9 \times [(E_{655} - E_{750}) - (A_{655} - A_{750})] \times V_{\text{乙醇}}}{V_{\text{水样}}} \quad (1)$$

式中:  $E_{655}$ 、 $E_{750}$ ——乙醇萃取液酸化前的吸光度值;

$A_{655}$ 、 $A_{750}$ ——乙醇萃取液酸化后的吸光度值;

$V_{\text{乙醇}}$ ——乙醇萃取液的体积, mL;

$V_{\text{水样}}$ ——水样的过滤体积, L。

测定结果用  $\mu\text{g/L}$  表示。

(7) 絮体体积的测定: 实验取 500 mL 水样, 强化混凝后, 静置, 小心弃去上层清液, 将底部矾花移入量筒中, 静置沉降 4 h, 读取体积读数。

(8) 藻类的去除率: 藻类的去除率以叶绿素 a 去除率表示; 当粘土加入过量时, 会引起水中浊度的增加, 本文增加浊度指标表征絮凝剂的絮凝效能。具体计算公式如下:

$$\eta(\%) = (1 - C/C_0) \times 100\% \quad (2)$$

其中  $\eta$  为叶绿素或浊度的去除率;  $C_0$  和  $C$  分别表示絮凝实验前和实验后水样中叶绿素 a 浓度

( $\mu\text{g/L}$ ) 或浊度(NTU)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 粘土和 PAFC 对藻类的凝聚作用

图 1(a) 是当粘土用量为 1 g/L 时不同种类粘土对藻类的絮凝沉降性能, 可以看出, 未经过改性的粘土对藻类基本没有去除效果, 即使处理效果最好的滑石粉, 其对藻类的去除率也仅为 42.3%。这对于高藻水的处理是基本没有意义的。粘土本身具有一定的吸附能力, 但是与藻细胞吸附后形成的絮体细小, 无法有效的沉淀, 从而大大降低了粘土对叶绿素和浊度的去除效率。图 1(b) 是单独投加 PAFC 对原水中叶绿素和浊度的去除效能, 由图可以看出, 单独投加 PAFC 对原水中的叶绿素和浊度有较好的去除效能, 在用量为 12 mg/L 时对叶绿素和浊度的去除率能分别达到 87.50%、92.42%, 随着 PAFC 用量的继续增大, 虽然絮凝产生的絮状体也逐渐细小紧实, 易于沉降, 但其对叶绿素和浊度的去除率增加不大。本文将 PAFC 的用量增大到 20 mL, 并没有发生絮凝效能下降的现象。PAFC 拥有较宽的投加范围, 过量的投加后不易发生混凝恶化现象<sup>[19]</sup>。

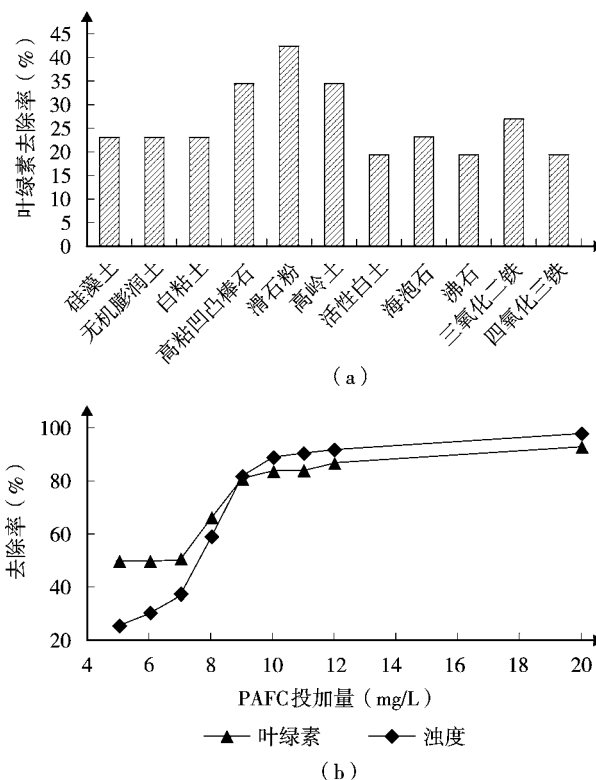


图 1 不同种类粘土以及 PAFC 单独投加对叶绿素的去除率

PAFC 在水解过程中会通过羟基桥连形成多核多羟基络合物(正电多核络离子),该络合物比仅由  $Al^{3+}$  水解形成的羟基络合物具有更强的电中和能力和架桥吸附能力<sup>[11,15]</sup>;同时 PAFC 的基本组成为分子长链,具有较高的相对分子质量和独特的桥联结构形式,故具有较明显的吸附性能<sup>[20]</sup>。

## 2.2 粘土的加入对 PACF 絮凝藻类的影响

图 2 考察了粘土的不同投量对叶绿素和浊度去除效果的影响,其中粘土为白粘土,PAFC 为 7 ml/L。结果表明,少量的粘土就能提高 PAFC 对藻类的去除效率,随着粘土用量的增加,其对叶绿素和浊度的去除率有一定的提高,在用量为 60 mg/L 时达到最大。粘土同 PAFC 之间可能通过吸附、离子交换和插入作用结合,粘土经过 PAFC 改性后可以有效增强其对有机物质的捕获能力<sup>[13]</sup>,也能有效的捕获藻细胞<sup>[21]</sup>,从而提高了其对叶绿素和浊度的去除效率,并能有效的改善沉淀絮体的性能。

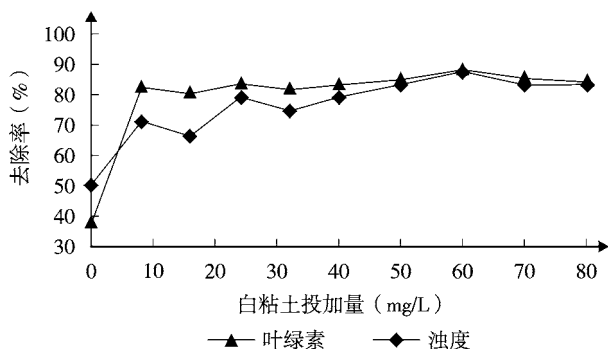


图 2 粘土的投加量对絮凝效能的影响

为此,本文研究了不同粘土加入量对絮体体积的影响,其中粘土为白粘土,PAFC 为 7 ml/L。由图 3 可以看出,粘土加入能改善沉淀物的性能,较大的减少絮体的体积。PAFC 絮凝藻类后产生的絮体体积较大,为极为松散的大体积絮状物和少量极细碎的小颗粒,不易沉降;添加粘土后,絮体密实,体积小,分布均匀,能很好的沉降。改性粘土能有效的捕获藻细胞并同 PAFC 紧密的结合使得絮凝藻类后的絮状体拥有更加复杂的结构<sup>[21]</sup>,从而能有效的改善沉淀絮体的性能,使其迅速沉降,同时极大的减小了絮体的体积,达到了对高藻水中藻类的有效处理的目的。这在实际应用中可减少污泥的体积。但当粘土用量持续增大时,在沉淀物中能明显看出白色未凝聚的粘土颗粒沉降,同时可能增加水中浊度,应投入适当

量的粘土。图 3 中,当粘土的用量为 60 mg/L 时絮体的体积最小,而当继续添加粘土后,絮体体积又呈现上升的趋势。

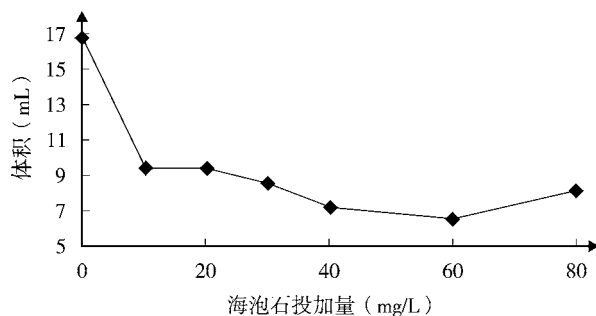


图 3 粘土的加入对絮体体积的影响

## 2.3 粘土复合 PAFC 对藻类的凝聚作用

对不同类型的粘土复合 PAFC 絮凝藻类进行实验,得出图 4。由图 4 可知,粘土的加入对 PAFC 对藻类絮凝能力有较大的提高,并随着用量的增加而逐渐增强。粘土的种类对絮凝效果有一定的影响,在本文所用粘土中,白粘土和硅藻土的效果高于其他粘土,也明显高于单独使用壳聚糖的处理效果。在 PAFC 用量为 5 ml/L 时,白粘土的加入能将 PAFC 对叶绿素和浊度的去除率由 50%和 25%提高到 75%和 63.64%;在 PAFC 用量为 6 ml/L 时,硅藻土的加入能将 PAFC 对叶绿素和浊度的去除率由 50%和 30.6%提高到 75%和 73.48%;单独投加 PAFC 的最佳投加量为 12 ml/L,其对叶绿素和浊度的去除率为 87.5%和 92.42%,而投加粘土后,复合的 PAFC 的最佳投加量为 9 ml/L,其对叶绿素和浊度的去除率分别可以达到 93.75、90.09%(白粘土)和 90.63%、93.18%(硅藻土),相较于单独投加 PAFC,粘土的加入降低了絮凝的最佳投加量。在 PAFC 用量较小时(5 ml/L),粘土的种类对絮凝效果有一定的影响,其中沸石复合 PAFC 后的处理效果甚至低于单独使用 PAFC,但随着 PAFC 投加量的增加,各种粘土的絮凝能力趋于一致。本文将 PAFC 复合粘土的用量增大到 20 mL,同单独投加 PAFC 一样,并没有发生絮凝效能下降的现象。

## 2.4 药剂投放顺序对粘土复合 PAFC 絮凝效能的影响

图 5 为白粘土(60 g/L)和 PAFC(7 ml/L)的不同投加顺序对其去除叶绿素和浊度的影响,其中 1# 为先添

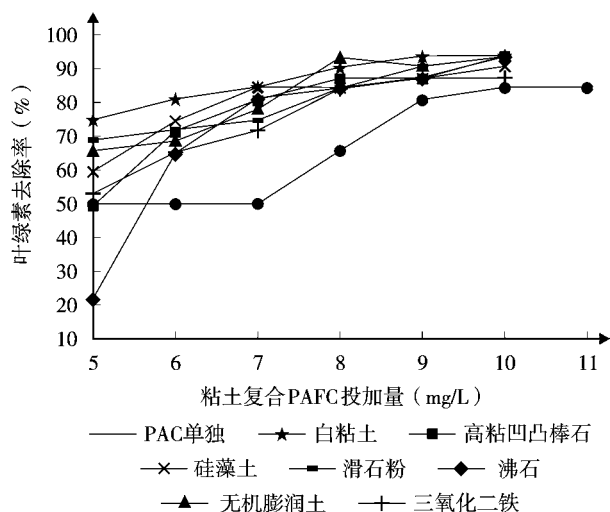


图4 不同类型粘土复合PAFC对藻类的去除

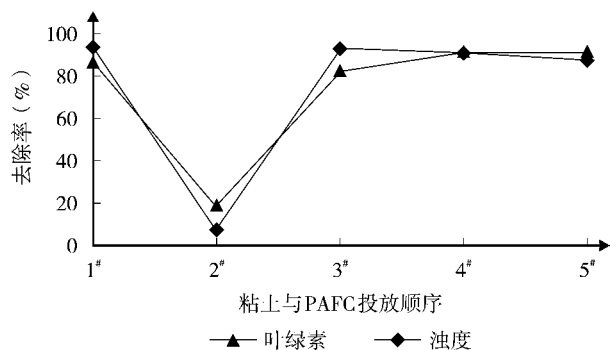


图5 药剂投放顺序对粘土复合PAFC絮凝效能的影响

加粘土(转速为150 rpm时)再添加PAFC(300 rpm时);2#为PAFC同粘土混合后静置30 min后添加(150 rpm时);3#为PAFC同粘土混合后立即添加(150 rpm时);4#为先添加PAFC(150 rpm时)再添加粘土(300 rpm时);5#为先添加PAFC(300 rpm时)再添加粘土(30 rpm时)。由图可以看出,将PAFC同粘土混合静置30 min后再投加会极大的降低粘土复合PAFC对叶绿素和浊度的去除效率。粘土本身会引起PAFC的絮凝<sup>[7]</sup>,两者混合后,PAFC同粘土发生凝聚沉降,消耗了大量的铝铁多核络离子,已经成型的絮体对藻细胞基本没有去除能力,因此粘土与PAFC不能长时间混合。其他四种投加顺序对絮凝效果影响不大,考虑到药剂投加的便利和絮凝效果的影响,选择第一种投加方式进行本文的实验,即在转速为150 rpm时投加粘土,转速300 rpm时投加PAFC。

## 2.5 搅拌参数对粘土复合PAFC絮凝效能的影响

在混凝实验中,搅拌参数是絮凝剂的絮凝性能的

影响因素之一,本文通过改变慢速搅拌时间和快速搅拌时间以及快速搅拌速度来寻找PAFC絮凝去除藻类的最佳实验条件。其中白粘土为60 g/L,PAFC为7 ml/L。图6(a)是不同快速搅拌时间和速度对PAFC絮凝对叶绿素和浊度去除率的影响,可以看出,在快搅速度较慢时(100 rpm),PAFC的絮凝效能较低;在速度为300 rpm时,PAFC对叶绿素的去除率达到最大,搅拌时间为2 min最佳。以铝盐为絮凝剂的絮凝过程中,胶体粒子与瞬间形成的絮凝剂形态间的传送非常重要,絮凝剂必须以尽快的速度分散于水中,以便生成的水解形态可以吸附在粒子上以引起胶体的脱稳<sup>[2]</sup>。慢搅时间以15 min适宜(图6(b)),延长或缩短慢搅时间都使得叶绿素和浊度的去除率下降。长时间的慢搅可能会引起已经形成的絮状体重新分散开了,从而降低了PAFC的絮凝效能。

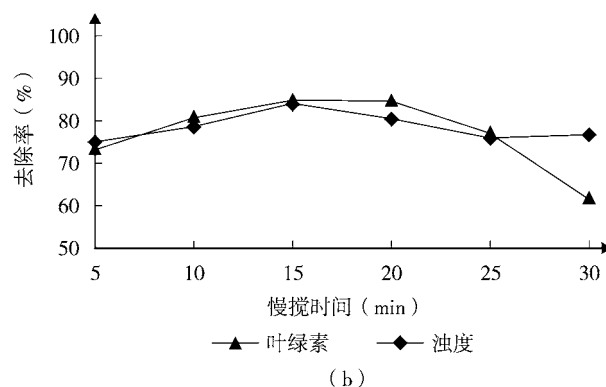
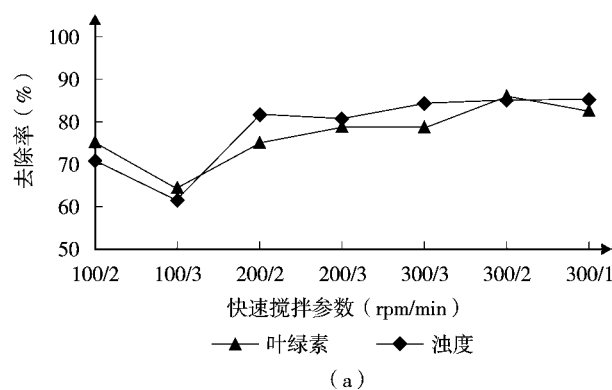


图6 搅拌参数对粘土复合PAFC絮凝效能的影响 (快搅时间和速度(a),慢搅时间(b))

## 2.6 pH值对粘土复合PAFC絮凝效能的影响

PAFC中 $\text{Fe}^{3+}$ 的稳定和其水解产物以及絮凝作用都受pH值的影响<sup>[23]</sup>,图2是水中pH值对粘土复合PAFC絮凝效能的影响。由图可以看出,在pH值

小于7时,pH值对粘土复合PAFC絮凝去除叶绿素和浊度的影响较小;在pH值大于8时叶绿素和浊度的去除率急剧下降。在PAFC中,铝、铁聚合物不是单独存在,而是 $\text{Al}^{3+}$ 和 $\text{Fe}^{3+}$ 规则排列,由链节重复有序排列成高分子,其在水中的存在状态决定于溶液的pH值,在pH值小于7时,PAFC在溶液总水解状态主要是高电荷的铝铁多核络离子;在pH值大于7时,PAFC的水解形态逐渐转变为低电荷的氢氧化物凝胶物,当pH值高于8.4后,水解后则生成了金属氢氧化物负离子, $\xi$ 电位由正变负<sup>[23,24]</sup>。水中的藻细胞是带负电的,当pH值小于7时,高电荷的铝铁多核络离子通过电中和作用和架桥吸附作用<sup>[11,15]</sup>对藻细胞进行絮凝沉降,当pH值继续升高,低电荷的氢氧化物凝胶物可能通过粘结架桥絮凝和卷扫沉淀作用而使藻细胞聚沉,但当pH值大于8后,带负电的PAFC对藻细胞的絮凝沉降性能急剧下降。

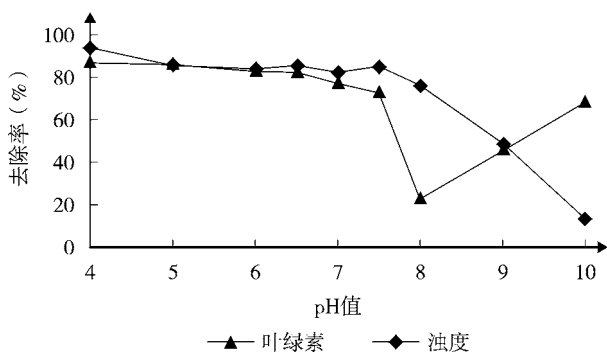


图7 pH值粘土复合PAFC絮凝效能的影响

### 3 结论

(1) 在本文实验条件下,未经改性的粘土对高藻水处理效率很低甚至没有处理效果,其中去除效率最高的滑石粉也仅为42.3%,这对高藻水的处理是基本没有意义的。单独投加PAFC对藻类有较好的去除效果,其最佳投加量为12 mg/L,对叶绿素和浊度的去除率能分别达到87.50%、92.42%。

(2) 粘土的加入能有效的提高PAFC对藻类的去除效能,其最佳投加量降低为9 ml/L,对叶绿素和浊度的去除率分别可以达到93.75%、90.09%(白粘土)和90.63%、93.18%(硅藻土)。粘土的种类对絮凝效果有一定的影响,在实验所用粘土中,以白粘土和硅藻土为最佳。同时粘土的加入极大的改善了絮体的性能,单独投加PAFC所产生的絮体蓬松,加入粘

土后,絮体密实均匀,体积也相应减少。

(3) 本文探讨了粘土复合PAFC絮凝去除藻类的影响因素,其中搅拌参数在快速搅拌300 rpm、搅拌时间为2 min、慢速搅拌30 rpm、搅拌时间为15 min时最佳;粘土同PAFC的投加顺序以粘土先投加,PAFC后投加较好;复合絮凝在酸性和中性条件下效果较好,在碱性条件下效果急剧下降。

### 4 参考文献

- [1] 金相灿. 湖泊富营养化研究中的主要科学问题[J]. 环境科学学报, 2008, 28(1): 21-23.
- [2] 刘鸿亮. 湖泊营养物控制的国家战略[J]. 环境保护, 2007, 7B: 16-19.
- [3] 王志红, 崔福义, 韦朝海, 等. 局部湖区两种藻类藻生物量的综合因子预测模型[J]. 环境科学学报, 2006, 26(8): 1379-1385.
- [4] 王志红, 崔福义. 局部水域绿藻硅藻综合因子生长速率模型[J]. 深圳大学学报: 理工版, 2007, 24(2): 206-211.
- [5] 俞志明, 邹景忠, 马锡年. 一种去除赤潮生物更有效的粘土种类[J]. 自然灾害学报, 1994, 3(2): 105-109.
- [6] Zhimin Y, Jing-zhong Z, Xin-nian M. Application of clays to removal of red tide organisms I. Coagulation of red tide organisms with clays[J]. Chin. J. Oceanol. Limnol, 1994, 12(3): 193-200.
- [7] Richard H. Pierce, Michael S. Henry. Removal of harmful algal cells (*Karenia brevis*) and toxins from seawater culture by clay flocculation[J]. Harmful Algae, 2004, 3: 141-148.
- [8] 孟红旗, 雷国元, 王光辉. 聚合氯化铝铁的性质与羟铁比的关系及其混凝除藻性能的研究[J]. 武汉科技大学学报, 2003, 26(4): 363-366.
- [9] 胡俊虎, 刘喜元, 李晓宏, 等. 复合型絮凝剂聚合氯化铝铁(PAFC)的合成及其应用[J]. 环境化学, 2007, 26(1): 35-38.
- [10] 郑怀礼, 张海彦, 刘克万, 等. 用于市政废水除磷的聚合氯化铝铁絮凝剂研究[J]. 水处理技术, 2006, 32(6): 34-36.
- [11] 邹有红, 李文兵, 周蓬蓬, 等. 聚合氯化铝铁去除微污染水体中藻类的研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(1): 108-112.
- [12] Baoyu Gao, Qinyan Yue, Jing Miao. Evaluation of polyaluminum ferric chloride (PAFC) as a composite coagulant for water and wastewater treatment[J]. Water science and technology, 2002, 47(1): 127-132.
- [13] J Q Jiang, Z Zeng, P Pearce. Preparation and Use of Modified Clay Coagulants for Wastewater[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2004, 158: 53-65.
- [14] Jia-Qian Jiang, Zhiqiang Zeng, Pete Pearce. Evaluation of modified clay coagulant for sewage treatment[J]. Chemosphere, 2004, 56: 181-185.



- [15] 孔爱平,王九思,刘剑,等. 复合絮凝剂聚合氯化铝铁的制备及其对黄河水的絮凝作用[J]. 石化技术与应用,2008,26(6):574-576.
- [16] 童扬. 强化混凝去除给水中藻类的研究[D]. 南京:南京理工大学,2005.
- [17] 胡勇有,宁寻安,周勤,等. 聚合氯化铝铁的混凝性能[J]. 环境科学与技术,2001,24(2):9-11.
- [18] Hu XW, Dong YY, Zhang XP, et al. The Measurement of Anabaena flosaquae with Visible Spectrophotography[J]. J Hua Zhong agri. Univerisity, 2002, 21(3):295-297.
- [19] 胡勇有,顾国维. 新型混凝剂聚合氯化铝铁的混凝特性[J]. 水处理技术,1993,19(5):281-285.
- [20] 王宝罗. 高效净水剂聚合氯化铝铁晶体的制备及表征[J]. 化学世界,2007,6:327-330.
- [21] Jia-Qian Jiang, C G Kim. Comparison of Algal Removal by Coagulation with Clays and Al-based Coagulants[J]. Separation Science and Technology, 2008, 43(7):1677-1686.
- [22] 常青,傅金镒,酆兆龙. 絮凝原理[M]. 兰州:兰州大学出版社,1993:126-130.
- [23] 高宝玉,王秀芬. 聚合氯化铝铁絮凝剂的性能研究[J]. 环境化学,1994,13(5):415-420.
- [24] 胡勇有,顾国维. 聚合氯化铝铁的混凝特性及作用机理[J]. 同济大学学报,1993,21(3):343-348.

## Flocculation and Removal of Algae in Urban Lake Water by Chitosan-modified Clays

Du Huaqin Zhang Ji

**Abstract** The flocculation and removal of algae in urban lake water by PAFC-modified clays was studied. The algal removal efficiency was greatly improved after the modification with clay. The optimum total loading was 9 ml/L, and the corresponding Chlorophyll- $\alpha$  and turbidity removal rates were 93.75% and 90.09% (with white clay), and 90.63% and 93.18% (with diatomite), respectively. Compared with PAFC alone, the PAFC-modified clays may increase the density of flocs, reduce the volume of flocs, and improve the size distribution of flocs. The algal removal efficiency was better when the pH is less than 8. The appropriate rapid stirring speed was 300 rpm and stirring time was 2 min, while the appropriate slow stirring speed was 30 rpm and stirring time was 15 min. The proper feeding order is clay added first and then PAFC.

**Key words** clay PAFC algae-bloom water urban lake

## 深圳践行绿色大运诺言 引入碳平衡机制 坚持低碳节能理念

中国环境报记者 刘晶 深圳报道 深圳第 26 届世界大学生夏季运动会日前胜利闭幕。大运会期间,深圳完全践行了绿色大运的诺言,环境质量优良。

深圳市环境质量优良得益于积极推进重点废气污染源治理,全市现役 11 台燃油机组全部完成油改气,实现二氧化硫零排放。淘汰燃烧高污染原料的锅炉 690 台,改用清洁能源 208 台。全市 256 家加油站、6 座储油库和 150 辆油罐车全部完成油气回收改造,污染物排放削减幅度达到 95% 以上,全市每年可削减油气污染物排放约 1.2 万 t。

深圳坚持“绿色大运,低碳深圳”原则,在大运会中引入“碳平衡”机制,结合现有场馆维修开展节能改造,并在新建场馆设计及建设过程中大量采取低碳节能措施。如大运中心采用了清水混凝土技术、太阳能光热和光电技术、绿色节能

建材使用、中水回用等至少 16 项低碳节能减排技术。大运村使用了封闭式垃圾自动收集系统,每日垃圾收集量达 6.3 t,实行封闭式、无污染、自动化的垃圾收运管理,是城市垃圾收集方式革命性的突破。

环保的细节在大运会的举办过程中比比皆是,如投放 2 011 台新能源汽车作为公共交通,开展网络虚拟火炬传递,开闭幕式不放焰火烟花,用 1 100 万个回收的矿泉水瓶搭建开幕式舞台和座位,把从国内外征集的大运海报加工成演员的服装等。

据大运会组委会新闻发言人黄国强介绍,大运会结束后,深圳市将继续加大力度抓好环境建设,加大治污力度,使城市更加美好。比如,继续加大新能源汽车投放力度,不断完善公共交通建设等。

摘自《中国环境报》2011-09-01

# 餐厨垃圾资源化处理技术

王妮娜 郑立柱

(陕西理工学院化学与环境科学学院, 陕西 汉中 723000)

**摘 要** 简单介绍了国外及港台澳餐厨垃圾的处理情况, 分析了我国餐厨垃圾处理现状及利害, 介绍了餐厨垃圾厌氧发酵、堆肥处理、饲料制造等处理方法, 并对我国餐厨垃圾处理工作提出两点建议。

**关键词** 餐厨垃圾 处理技术 资源化 厌氧发酵 堆肥技术

随着我国人民生活水平的不断提高, 粮食产量不断增加, 在老百姓餐桌丰富的同时剩菜剩饭也不断增加, 对环境增加了新的压力。对于这些餐厨垃圾, 我们如何才能将它们无害化处理, 不至于对环境造成破坏, 对人民健康产生危害, 餐厨垃圾资源化处理, 无疑是最好的处理办法, 不但可以变废为宝, 而且还可以实现可持续发展<sup>[1]</sup>。随着垃圾分类收集方式的推广, 无害化处置的需要, 从源头及时收运和资源化技术工艺的发展成熟, 餐厨垃圾资源再生便开始变为现实。

## 1 餐厨垃圾的概念及特点

餐厨垃圾又名泔水, 一般指家庭、宾馆、饭店以及企事业单位、各大院校等公共食堂产生的食物下料和食物残余, 还有畜产业、渔业食品加工行业也大量产生有机废弃物, 它主要包括谷物类、蔬菜类、肉类、动植物油、水、杂物等。

餐厨垃圾的主要特点: ① 产生量大; ② 含水量高(80%~90%); ③ 含油量高; ④ 杂物成分复杂; ⑤ 有机物含量高(90%以上, 以干基计); ⑥ 易腐烂, 腐烂时散发恶臭气浓; ⑦ 餐厨垃圾产生源复杂; ⑧ 随着地区、季节、饮食习惯的不同, 产出的餐厨垃圾组分、营养成分和纤维含量也会生变化。

## 2 国外及港、澳、台餐厨垃圾处理现状

目前较发达国家餐厨垃圾处理方法倾向于向资源化、减量化、无害化方向发展。即使一些国家暂时没有成熟的技术, 也建立了独立的餐厨垃圾管理体系。

在美国、日本等发达国家, 餐厨垃圾处理早已实现了法制化和产业化, 成立了一项成熟的环保产业<sup>[2]</sup>。20 世纪 60 年代, 美国成功地研制出家庭食物垃圾处理机, 其原理是通过高速运转的刀片将装在一个封闭内胆里的各种食物垃圾切碎, 再将搅拌物冲入下水道, 这既解决了水道堵塞带来的麻烦, 也解决了倾倒家庭食物垃圾和存放的烦恼。日本的餐厨垃圾处理机用于处理餐厨垃圾, 主要是利用微生物来降解餐厨垃圾, 使餐厨垃圾转化为水和二氧化碳。

我国台湾已经实现餐厨垃圾利用的“零剩余”处理技术。该项技术, 不仅对废油脂加以回收利用, 而且把餐厨废弃物中占 95% 以上的含水非油脂类的废物经高温好氧发酵和脱水处理, 制作成优质的蛋白颗粒饲料; 剩余的液体废弃物, 利用微生物在有阳光或黑暗环境下, 将液体废弃物中如短脂肪酸和其他有机质转换为含高油脂和高蛋白质的藻类饲料, 供应贝类、虾类水产养殖部门, 极大提高了资源化利用率。澳门每天产生 500 t 左右的餐厨垃圾, 目前几乎全部采用焚化的方式处理, 虽然达到了无害化处理的要求, 但是处理成本相当高。香港餐厨垃圾的日产生量约 1 000 t, 包括餐饮业的餐饮垃圾和家庭的厨余垃圾。香港制定了相关法规规范, 强化对酒楼饭店、餐饮企业的监督管理, 开展登记工作, 制止无证收运和经营餐厨垃圾, 实行定点回收、统一贮运, 力求源减量, 接受专业贮运和处置。采取适当的工艺技术路线, 提高无害化、资源化水平, 将餐厨垃圾加工为工业油脂、生物柴油、脂肪酸(皂粉)、脂肪醇等油脂化工系列产品以及蛋白饲料, 实现资源

化利用的目的。

3 目前我国主要的餐厨垃圾处理方式及产生的危害

3.1 未经无害化处理直接用作家禽与家畜的饲料喂养

餐厨垃圾因其含有大量的蛋白、脂肪、有机物及动植物油等营养成份,因此可以用来喂养家禽。但是因存放期间可能产生的病毒、致病菌、病原微生物,将会造成疾病的传播、交叉感染等隐患,并容易引发新的污染<sup>[9]</sup>。

3.2 任意丢弃或者填埋

家庭、中小型餐馆最常见的餐厨垃圾处理的方法就是丢弃到的垃圾站点或者下水管。这些夹带着汤汁和腐败饭菜的餐厨垃圾堆弃后,如果不及时处理,会滋生蚊蝇、病菌,破坏环境,甚至威胁到人们的正常生活。餐厨垃圾进入下水管还可能引起下水管道堵塞,发生化学变化引起管道受损。

3.3 回收提炼地沟油

部分不法商贩将回收的餐厨垃圾,提炼废弃油脂(地沟油)后,掺入食用油中再出售。这种地沟油的原料里混有大量的污水、垃圾、洗涤剂、病菌和有害化学成分,一般人很难辨别正常食用油与地沟油<sup>[4]</sup>的区别,人食用后会引起头昏、头痛、恶心、腹泻等病症。所以探寻合理的处理餐厨垃圾方法来遏制和消除不法分子用餐厨垃圾提炼地沟油是必须的。

4 餐厨垃圾资源化处理的主要方式

4.1 厌氧发酵

利用厌氧发酵产生沼气,不仅可以降低生活成本而且具有很大的经济效益。厌氧发酵处理餐厨垃圾的原理是将餐厨垃圾经收集、分拣、粉碎及高温预处理后进行厌氧消化,得到可供餐馆使用的沼气和消化残余物,残余物再经离心机分离和烘干得到一种可用的饲料。一般的,有机物 C/N 比在 13/1~28/1 都是厌氧消化可接受的范围<sup>[9]</sup>。如果 C/N 过高,容易导致过酸化,系统缓冲能力差;而 C/N 比过低,容易导致总氨氮浓度过高,从而会对后续产沼气过程产生抑制作用。营养元素含量及比例是有机固体废弃物的原料特性之一,其中 C/N 比例是影响该有机废弃物厌氧消化效果的重要因素之一。从表 1 来看,

餐厨垃圾的 C/N 比例在厌氧消化可接受范围之内是进行厌氧消化的理想基质。

表 1 餐厨垃圾化学成分表 %

| 化学元素 | C     | H    | O     | N    | S   | Cl   |
|------|-------|------|-------|------|-----|------|
| 餐厨垃圾 | 43.52 | 6.22 | 34.50 | 2.79 | 0.3 | 0.21 |

餐厨垃圾厌氧发酵处理技术主要包括餐厨垃圾生物制氢与厌氧甲烷化两大类。餐厨垃圾生物制氢技术是厌氧能源化处理的一种,同时也是目前国内研究的重要方向,生物制氢主要利用光合细菌产氢和发酵产氢法,反应条件温和能耗低,因而受到关注。然而目前餐厨垃圾生物制氢技术还处在试验室研究阶段,绝大部分试验还只是通过发酵瓶等简易的装置来实现。因此,餐厨垃圾生物制氢技术的工程化应用还有很长的一段路要走。沼气发酵技术具有成本低廉,产品资源化效率高,易于实现工程应用的特点,是目前处理餐厨垃圾并进行工程应用的最佳技术,也是使用最广泛的技术。

4.2 餐厨垃圾堆肥处理

目前堆肥法主要是采用生物转化技术,将餐厨垃圾通过蒸发、干燥、磨碎等工序转变为有机复合肥和生物肥料“蚯蚓粪”。堆肥化技术主要有:好氧堆肥、厌氧堆肥及蚯蚓堆肥等。好氧堆肥技术是一种将传统好氧堆肥技术与外加生物菌种强化作用结合起来的堆肥技术,具有技术先进可靠,处理周期短,产品可作成复合肥及其操作过程简单、运行成本低、物料停留时间短等优点。

厌氧堆肥处理垃圾源于中国农村的沼气发酵,但是由于敏感的厌氧菌对 pH 值和温度等环境条件要求苛刻,并且较易受有毒物质的影响,因而难以保证发酵过程的稳定性<sup>[9]</sup>,进而影响产气的稳定性。

蚯蚓堆肥是根据蚯蚓在自然生态系统中,具有促进有机物质分解转化的功能的基础上发展起来的一项生物处理技术。蚯蚓在其新陈代谢过程中吞食大量有机物质,并将其与土壤混合,通过砂囊的机械研磨作用和肠道内的生物化学作用促进有机质分解转化<sup>[7]</sup>,蚓体可提取蚓激酶和蛋白饲料添加剂,蚓粪可做高效生物有机肥。

由于餐厨垃圾中含有大量的有机营养成分,餐厨垃圾饲料化具有相当的优势。出于安全性考虑,多数国家均禁止直接用餐厨垃圾作动物饲料。餐厨垃

圾作饲料必须进行处理,消除病毒污染,然后再进行利用。处理过程是将餐厨垃圾脱水后进行干燥消毒,粉碎后制成干饲料,通过微生物的代谢活动对原料中的有机物进行分解和转化。餐厨垃圾饲料化技术具有产率高、周期短、能耗低等特点,因而日益受到重视,是开辟蛋白质饲料资源<sup>[8]</sup>的一条重要途径。然而餐厨垃圾无害化处理后的饲料化存在巨大的安全隐患<sup>[9]</sup>,其潜在的危害并不比直接用餐厨垃圾饲喂畜禽低,国际上对餐厨垃圾生产饲料一直存在争议,所以餐厨垃圾转化为饲料的技术目前仍然没有普遍推广。相比之下堆肥的处理成本相对较低,技术成熟,而且处理工艺简单,堆肥是应用最广泛的生物处理方法。

## 5 结语

餐厨垃圾是放错位置的资源,只要我们采取正确的处理办法就可以变废为宝,发展循环经济,不断推动餐厨垃圾的回收处理和资源化利用工作,提高餐饮服务业、单位食堂的环境卫生。要建设资源节约型、环境友好型社会,必须采取措施治理餐厨垃圾。对餐厨垃圾处理工作提出两点建议:

(1) 国家给各大高校、规模较大的食堂提供餐厨垃圾处理设备,使其正确处理餐厨垃圾;投资建设餐厨垃圾回收处理的设备企业,提倡社会上的各大

餐馆有偿回收餐厨垃圾。

(2) 市、区有关部门将定期或不定期对各单位的餐厨垃圾处理情况进行检查,对措施有力、处理效果好的单位给予表彰和适当的奖励,对治理措施不力、餐厨垃圾污染严重的单位限期整改,对不积极整改或整改不力的,将按有关规定进行处罚。

## 6 参考文献

- [1] 任海平. 第四期中国现代化研究论坛论文集[C]. 北京, 2006.
- [2] 何晟. 浅析餐厨垃圾利用处置不当产生的危害[J]. 环境卫生工程, 2010, 18(4): 14-15.
- [3] 马定国, 舒晓波, 刘影, 等. 江西省森林生态系统服务功能价值评估[J]. 江西科学, 2003, 21(3): 211-216.
- [4] 曹文明, 薛斌, 杨波涛, 等. 地沟油检测技术的发展与研究[J]. 粮食科技与经济, 2011, 36(1): 41-44.
- [5] BURTONCH, TUNERC. Manure management[M]. UK: Silsoe Research Institute. 2003: 281-282.
- [6] 高云峰, 江文涛. 北京市山区森林资源价值评价[J]. 中国农村经济, 2005(7): 19-29.
- [7] 康艳, 刘康, 李团胜, 等. 陕西省森林生态系统服务功能价值评估[J]. 西北大学学报, 2005, 35(3): 352-354.
- [8] 黄庆耀. 开发蛋白质饲料资源发展浓缩饲料工业[J]. 湖北畜牧兽医, 1985(1).
- [9] 卞荣星, 戴成吉, 张令钢, 等. 探析餐厨垃圾无害化处理后的饲料化问题[J]. 饲料广角, 2009(9): 26-30.

# Food Residue Resource Processing Technology

Wang Nina Zheng Lizhu

**Abstract** The overseas processing of food residue is introduced. The current situation of food residue processing in China is analyzed, and resources processing measures are suggested according to the characteristics of food residue, such as anaerobic fermentation, composting processing, feed manufacturing, etc.

**Key words** food residue resource technology anaerobic fermentation

(上接第9页)

# VBA-Based Grey Model for Water Pollution Forecast of Nanliu River in Beihai

Han Bo Sun Li

**Abstract** A grey model is set up based on matlab and excel, suitable for quick treatment of data base. It has been used to deal with the monitoring data of water quality for Nanliu river in Beihai, and the predictive data is in good agreement with the monitoring data.

**Key words** grey model VBA Excel water quality

# 广州市番禺区市桥河水环境综合整治经验探讨

何丽英 胡应成

(广州市番禺区环境科学研究所, 广州 511400)

**摘 要** 污染河涌治理与生态修复是当前政府花大力气推行的民心工程。广州市番禺区提出“彻底截污是根本、铁腕治污是关键、调水增容是保障”的河涌综合整理念,从组织保障、规划协调、资金保证、工程质量和进度保证等方面细化治理工程管理,在近 3 a 的时间内完成了市桥河综合整治一期工程,达到了“堤固、水清、岸绿、面洁、景美”的预期效果,水环境得到改善,水生态基本得到修复,整治工作取得了初步成效。

**关键词** 污染河涌 综合整治 经验 市桥河

随着社会经济及城市建设的迅速发展,城市人口急剧增加,城市污染物排放量大幅增加,而环境保护基础设施建设严重滞后,污染物未经有效处理就排入水体,造成内河涌水质日趋恶化,严重影响城市的环境质量。我国大多数城市河涌普遍遭到严重污染,一些河涌沦为城市的污水排放沟。因此,城市河涌污染治理与生态修复是保障城市健康、持续发展的必要条件和重要任务<sup>[1]</sup>。

城市河涌与人民的生产、生活密切相关,为提高市民生活质量,改善居住环境,达到人与自然的和谐统一,综合整治城市河涌逐步受到各地政府部门的高度重视,列为民心工程加以推进,不惜投入大量的人力、物力和财力,但大多收效甚微。例如,广州市在河涌整治方面走过不少弯路,从 1997~2007 年对市内的东濠涌、猎德涌、海珠涌和沙基涌进行整治,历经 10 a 河水仍然黑臭<sup>[2-3]</sup>。

广州市番禺区从 2007 年开始对市桥河进行综合整治,整治工作分两个阶段,至 2010 年底一期工程完成,达到了“堤固、水清、岸绿、面洁、景美”的预期效果,水环境明显改善,水生态基本上得到修复,整治工作取得了初步成功。本文主要对番禺区市桥河综合整治一期工程过程中的一些做法和经验加以探讨。

## 1 市桥河流域概况和水环境综合整治效果

### 1.1 市桥河流域概况

市桥河流域位于番禺区的中心地带,北自石壁开始,向南流经屏山、都那、碧桂园,在南山峡转而向东流经沙湾镇、市桥中心城区、大龙街、石碁镇和石楼镇,在观音沙尾汇入沙湾水道下游,干流全长 38.6 km,流域面积 232.12 km<sup>2</sup>。市桥河的支流较多,其中较大的支流有龙湾滘、莲湖涌、丹山河、沙陇运河、沙墟涌、大龙涌等。

市桥河的上游是广州南站(高铁站)、中游是市桥中心城区、下游是广州亚运城,是番禺区经济最发达、污染源最集中、污染问题最突出的区域。

### 1.2 市桥河水环境综合整治的效果

市桥河流域近年来是广州市重点发展的区域,但由于历史原因,整体发展布局不合理,产业结构粗放,污染治理设施落后,水流排泄不畅,导致水环境不断恶化,整治前市桥城区河段水质已劣于地表水 V 类标准<sup>[4]</sup>,大部分支流发黑发臭。

番禺区环保部门于 2009 年建设市桥城区河段水质自动监测站,较完整地记录了市桥河综合整治一期工程完成前后水质变化情况(见表 1)。

(1) 一期工程完成前,2009 年和 2010 年枯水期的监测数据显示,市桥河水质相当恶劣,COD、溶解氧、氨氮和总磷 4 个监测指标全部远远超出《环境质量标准》(GB3838-2002)的 IV 类标准,均处于劣 V 类状态。

(2) 一期工程完成后,2011 年枯水期的监测数

\* 基金项目: 2010 年番禺区科技计划项目(2010-专-14-40)

收稿日期: 2011-10-08, 修改稿收到日期: 2011-12-07

表 1 市桥城区河段水质自动监测站枯水期记录数据分析 mg/L

| 时 间                 | 指 标               | COD   | 溶解氧   | 氨氮   | 总磷   |
|---------------------|-------------------|-------|-------|------|------|
|                     | GB3838-2002 之Ⅳ类标准 | ≤30   | ≥3    | ≤1.0 | ≤0.2 |
| 2009 年<br>(一期工程完成前) | 有效监测天数            | 89    | 89    | 77   | 89   |
|                     | 超标天数              | 89    | 89    | 77   | 89   |
|                     | 实测均值              | 60.22 | 0.60  | 5.26 | 0.72 |
|                     | 均值超标倍数            | 1.01  | 4.00  | 4.26 | 2.60 |
| 2010 年<br>(一期工程完成前) | 有效监测天数            | 88    | 83    | 88   | 88   |
|                     | 超标天数              | 79    | 83    | 88   | 88   |
|                     | 实测均值              | 41.15 | 0.26  | 6.86 | 0.99 |
|                     | 均值超标倍数            | 0.37  | 10.54 | 5.86 | 3.95 |
| 2011 年<br>(一期工程完成后) | 有效监测天数            | 90    | 90    | 90   | 90   |
|                     | 超标天数              | 0     | 49    | 77   | 80   |
|                     | 实测均值              | 12.76 | 2.38  | 1.94 | 0.42 |
|                     | 均值超标倍数            | 0.00  | 0.26  | 0.94 | 1.1  |

据显示,水质得到了明显改善,COD 达到地表水Ⅳ类标准,溶解氧、氨氮和总磷的超标天数和超标幅度大大减少,整治工作取得了初步成功。

(3) 一期工程完成后,溶解氧、氨氮和总磷仍然超标,从污染物来源看,这与市桥河各支流污水的汇入有关。二期工程主要针对各支流进行,目前已经启动,将于 2016 年完成。

2 市桥河水环境综合整治的行动措施

番禺区政府结合多年的河涌整治实践,于 2007 年提出“彻底截污是根本、铁腕治污是关键、调水增容是保障”的河涌整治新理念,编制并报番禺区人大常委会通过了《番禺区河涌综合整治工作方案》,据此开展了规模浩大的河涌综合整治行动。

2.1 截污减排

水环境整治的根本任务是要实现对污染源的控制,而污水收集系统的收集率决定了对污染源的集中控制程度,也是最终影响水质达标的关键所在。控源首先要对现有污染源进行彻底截污,规划的污水处理厂必须按期建设,并保证已建成的污水处理厂正常运行;其次要控制新增污染源,重点污染企业要实行有计划搬迁,并要严格审批新的水污染型项目<sup>[9]</sup>。

番禺区在河涌综合整治工作中强调污水处理厂厂区和截污管网建设同步进行。番禺区于 2006 年编制了《污水治理总体布局整合规划》,对全区污水处理厂的布局、规模、工艺方案比选、污泥处置等作

出了安排。2007 年全区规划的 9 个污水处理厂进入全面建设阶段,到 2010 年 9 个污水处理厂的一期工程全部完成并投入运营,其中前锋净水厂完成了二期工程,处理规模达到了 20 万 m<sup>3</sup>/d,全区污水处理率达到了 60%。根据规划,到 2020 年全区污水处理厂总体规模达到 182 万 m<sup>3</sup>/d,污水处理率可达到 100%。

番禺区注重截污的彻底性,做到污水全部纳入管网,不允许在自然河涌边设置排污口。在实际的操作过程中,截污管网的建设是最难实施和推进的,它涉及到的不仅仅是工程的技术问题,更多的是征地拆迁等问题,特别是建设较早又没有对排水管网合理规划的建筑密集区域。为做到管网布设范围的全覆盖,防止出现污水收集的空白区域,实现全面截污的预期效果,番禺区主要采取了“城市污水收集管网”与“沿河大截排”相结合的措施。城市污水收集管网的主要任务是保护城市地面的清洁,而沿河大截排系统的主要任务是将尽可能多的污水送进污水处理厂。

“沿河大截排”作为合流制改造为分流制过程中的过渡产物,正在成为越来越多城市整治水环境的有效手段。市桥河综合整治采取的“沿河大截排”是在河涌两侧各铺设一条截污管道,在污水排口建设截流井,通过管道将污水送进污水处理厂。为了达到良好的效果,同时减少征地拆迁带来的实施难度,在老城区或城市建设密集区,针对沿河周边不同条件,采取了沿河近旁道路走向截排、河道内截污箱涵截



排、双层河道截排、局部顶管施工截排、总口截排等截污方法<sup>[6]</sup>。

根据《番禺区河涌综合整治工作方案》，未来污水收集系统改造全部完成后，将截流设施拆除，截污管成为城市污水管道，不会出现重复建设和浪费问题。通过沿河大截排系统建设不仅大幅度提高了污水收集率，而且改变因污水收集系统建设滞后带来的“污水横流”或者污水处理厂建成后“无水可治”的尴尬局面，在短时间内迅速提高了污水收集率、处理率和负荷削减率。

## 2.2 治污减排

### 2.2.1 布局减排

实践证明，保留足够比例的自然下垫面是保持流域具有一定的清洁基流、减小面源污染负荷和维持河流健康的基本条件。番禺区在河涌综合整治工作中依法坚守水源保护区、自然保护区等环境敏感区域的控制红线，红线内的区域不允许新建、扩建任何类型的建设项目，已建项目逐步关停清退；广州南站、亚运城等重点区域内的各类企业和人口按照规划要求逐步实施了搬迁。布局减排的主要措施：

(1) 清查违法用地，恢复土地原貌。番禺区 2008 年涉及违法用地共计 6.48 km<sup>2</sup>，这些用地所形成的污染源没有相应的配套设施，基本处于无控制状态，对环境的影响很大。番禺区开展了整治违法用地专项行动，对流域内非法用地进行了彻底清理，责令恢复耕地或者土地原貌，并建立长期监督机制防止回潮。

(2) 清理环境敏感区内违法违规项目。番禺区于 2008 年底前完成了对沙湾水道水源保护区内的各类企业和排污口的清理整顿工作，一是对位于二级水源保护区内的陈涌、蚬涌、草河村及古东工业区的电镀企业和太石工业区的部分企业等；二是按照《防洪法》的要求，对各河流、河涌两岸 40~50 m 防洪控制区内的工业企业、违章建筑进行了清理拆迁；三是按照规划要求，对广州南站、亚运城等区域进行了拆迁、整顿，关闭了番龙油库、华达造纸、伟安洗水、嘉盛皮革、京毅染整等企业和石壁村工业区等较大水污染源。

通过上述清理整顿消除“布局性污染”，削减了 COD、氨氮、总磷污染负荷 0.54 t/d、0.013 t/d、0.001 t/d，分别占市桥河流域现状点源污染负荷的 0.73%、0.17%和 0.10%。

### 2.2.2 结构减排

产业结构不合理、生产方式粗放是导致资源环境代价过大的主要原因。产业结构优化升级，可从源头控制环境污染<sup>[7]</sup>。番禺区产业结构调整主要围绕以下 3 个方面进行：

(1) 停止审批电镀、化工、印染等重污染项目（无论大小）。

(2) 招商选资，集中财力、精力引进规模大、科技含量较高、产业链条长、环境污染少的龙头企业，逐步将科技含量低、附加值低、高能耗、对周边环境影响大的工业项目外迁，并利用发达的交通、物流网络条件，实现生产的外包，减轻区内能源和环保压力。

(3) 实施“退二进三”、“腾笼换鸟”、“双转移”战略，近 2 a 全区已安排“退二”工业企业 28 家、“腾笼换鸟”项目 52 个、“双转移”工业企业 50 多家，将退出或转移出来的土地用于发展第三产业或培育科技含量高、管理手段先进、与现代服务业相融合的“先进制造业”骨干项目。目前番禺区的三次产业结构为 4.5:41:54.5，第三产业已占绝对优势。在第二产业内部，番禺区的发展方向已转变为汽车及配件、船舶及配套、数字家庭和数字电视、生物医药、动漫游戏、珠宝首饰、数控机床、输配变电、灯光音响等主导行业，原有的铸造、玻璃、印染、制鞋、化工、电镀等行业逐步萎缩，产业结构大大优化升级<sup>[8]</sup>。

(4) 番禺区环保部门依据污染源普查和工业小区现状调查摸底情况，分批下达限期整治计划。对于不符合环保要求的工业项目，严重影响河涌水质、严重污染扰民、严重污染环境的违法企业和工业小区，以铁的手腕坚决予以从严从重处罚；对于有环保手续但存在较大环境污染隐患的工业企业，或不能稳定达标排放或属于低端劣势的企业，由政府责令其搬迁或关停；对能耗高、污染严重、治理无望的企业一律关停。

从 2008~2010 年番禺区环保部门发出整改通知 524 份，发出处罚决定书 583 份，责令关停企业 586 家，其中自动关停 161 家，送法院强制执行 327 家。通过上述措施，市桥河流域削减 COD、氨氮、总磷污染负荷 4.94 t/d、0.102 t/d、0.008 t/d，分别占市桥河流域现状污染负荷的 6.70%、1.35%和 0.63%。

### 2.2.3 管理减排

加强环境监管、遏制违法排污是改善环境质量的重要手段。通过区域限批、行业限批、企业限批等

措施,严把新、扩建项目审批关;实行严格的总量控制和排污许可,所有新增项目的总量指标必须通过流域内企业“点对点”清退削减获得,严格执行“总量控制前置”,实现“增产减污”;加强环境监管能力建设,对重点企业、重点河段完善在线监控管理系统,严厉打击环境违法行为,杜绝偷排漏排和超标超量排污,至2009年底环保部门对300多家重点污染企业安装了在线监测监控装置;实行严格的供水控制制度并足额征收污水处理费,推行节约用水和中水回用;改进政绩考核制度,落实地方政府对环境质量负责的“一票否决”法定责任。重新核发排污许可证,严格实施排污许可制度,环保部门于2008年底完成了排污许可证的核发工作。2009年起市桥河流域内所有排污单位做到持证排污,未获许可的排污单位不得生产,未达到许可证规定的限产限排,真正做到“持证排污、无证取缔”和“按证排污、超排处罚”。

#### 2.2.4 工程减排

市桥河流域污染源主要以居民生活污水和企业员工生活污水为主,改善河流水质的关键措施是“工程减排”,重点是城镇污水截排系统与集中式骨干污水处理厂的建设,并对无法进入集中污水厂的分散废水采取有效的处理措施。

番禺区在市桥河流域建设了三个集中式骨干污水处理厂,即上游的钟村污水处理厂,中游的中部污水处理厂,下游的前锋净水厂,污水收集率分别达到85%、90%和80%。

对于污水无法进入截排系统的区域,要求所有企业及居民小区必须自建污水处理设施达到一级A标准排放。对于截排区域外的较大村庄,如横江、莲湖等,利用河涌边的洼地建设人工湿地水质净化系统。

#### 2.3 调水增容

为解决水环境的污染问题,我国对保护和治理水环境提出了七字方针——“保、截、治、引、排、管、用”。其中“引”指引清冲污增容,主要是引清洁的江河水对河涌进行冲刷,提高河涌水环境自净能力,缓解河涌水质污染状况。引清冲污过程主要通过水闸和抽水泵房等水利枢纽工程来实现,让上游清洁的外江水源往下游流动,形成单向流,减少污染物在河涌内滞留回荡的时间,并加大河涌的水环境容量,加速污染物的稀释和降解。通过水闸群的优化调度实现引清冲污增容是一种切实可行、治理河涌污染的

有效措施。

2008年水务部门在市桥河实施水闸群联合调度工程,在其支流龙湾滘口建设龙湾水闸,保障沙湾水道的清水可单向补充到市桥河;2010年市桥河干流下游的雁洲水闸建成,退潮时开闸,涨潮时关闸,使得下泄的污染物不能回溯。雁洲水闸雍高了市桥河水位,大大增加河涌的水量,既能形成景观水位,还增强了水体的自净能力,增大水体环境容量,最大限度地发挥出水利工程措施改善水质的作用。

### 3 市桥河水环境综合整治的保障措施

#### 3.1 组织保障

组织保障是治河的重要基本条件,为了减少治河存在的体制、协调问题,借鉴国内外水务改革经验,区政府以番禺区水利局为基础组建区水务局,对涉水事务一体化管理。成立区“惠民一号”工程办公室来统领河涌综合整治工作,协调水务、市政、环保等职能部门的工作。

#### 3.2 规划协调

番禺区政府按照打造“文化古邑、水乡新城”的目标,对市桥河流域的保护提高到城市总体规划和土地利用总体规划的高度,做好城市规划与河涌整治规划的协调,以及河涌整治规划与旅游、市政、文化等部门规划的协调。

#### 3.3 资金保证

市桥河综合整治预算需要资金达15亿元以上(全区河涌综合整治预算需要资金105亿元),且未包含河涌边房屋拆除费用,也未包括市民对水文化的要求等建设费用。尽管河涌综合整治需要的资金庞大,但番禺区较好地解决了这一问题。除区级财政外,利用亚运城市建设契机向广州市争取到市级资金,同时以BOT、BT等形式来获得社会融资以及世行贷款。

#### 3.4 工程质量和进度保证

番禺区为了确保河涌综合整治工程的建设质量和进度,除了在合同签订、经费预付等方面制订了一整套严格的管理办法外,还注重将以下几项工作制度化:选择合适的设计单位、严把设计审批关、提前做好征地拆迁工作、加强对设计单位和施工单位的监督及管理。

## 4 结语

番禺区利用将近 3 a 的时间完成了市桥河水环境综合整治一期工程,达到了“堤固、水清、岸绿、面洁、景美”的预期效果,水环境明显改善,水生态基本得到修复,整治工作取得了初步成功。番禺区提出的“彻底截污是根本、铁腕治污是关键、调水增容是保障”的河涌整治理念以及组织保障、规划协调、资金保证、工程质量和进度保证等创新做法无疑是成功的。

## 5 参考文献

- [1] 黄民生,陈振楼.城市内河污染治理与生态修复——理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2010.
- [2] 孟浩亮.广州主城四河涌的历史演变与景观生态重塑研究[D].广州:华南理工大学,2010.
- [3] 孙艳军,王树功,胡应成,等.城市重污染河涌综合整治与污染减排措施探讨[J].热带地理,2009,29(3):207-212.
- [4] 喻婷,房怀阳,曾凡棠.广州市番禺区市桥河流域水质分析与评价[J].中国农村水利水电,2009(12):38-48.
- [5] 赵英林,刘画眉.中山市岐江河水环境治理[J].武汉大学学报:工学版,2005,38(1):9-11.
- [6] 焦圆圆,黄奕龙,孙翔.广州市番禺区河涌污染成因及综合治理措施[J].中国农村水利水电,2009(10):47-52.
- [7] 胡春力,张思纯.完善我国战略环评中产业结构的环境影响评价内容及方法[J].环境保护,2008,415(20):16-19.
- [8] 何丽英,张骏.快速城市化地区解决环境问题的实践探索——以广州市番禺区为例[J].襄樊学院学报,2011,32(2):51-54.

# The Comprehensive Environment Regulation of Shiqiao River in Panyu

He Liying Hu Yingcheng

**Abstract** The government has paid much attention on the environment management and ecosystem repair in the polluted urban rivers. The comprehensive regulation engineering has been implemented for almost three years on Shiqiao River in Panyu District of Guangzhou with the principles of "thoroughly cut dirty is root, iron wrist cure dirty is key, adjust water to increase permit is guarantee", and the aim is to realize "solid dike, pure water, green shore, sweep surface, beautiful view". The water environment has been obviously improved, and the water ecosystem has been basically repaired.

**Key words** polluted river comprehensive regulation experience Shiqiao river

## 全省重金属污染综合防治工作会议在广州召开

9月29日,全省重金属污染综合防治工作会议在广州召开,主要任务是总结全省重金属污染综合防治工作,部署贯彻落实《广东省重金属污染综合防治“十二五”规划》和下一阶段重点工作。副省长林木声出席会议并讲话,会议由广东省环境保护厅厅长李清主持。会上,李清厅长向全省各地级以上市政府及省重金属污染防治联席会议成员单位,汇报了当前广东省重金属污染防治工作进展情况及下一步工作计划。

林木声指出,近年来,我省重金属污染防治管理工作机制不断健全,政策制度体系不断完善,资金保障能力不断增强,执法监管力度不断加大,取得了良好成效。

林木声强调,做好当前和今后一段时期我省重金属污染防治工作,要以贯彻《广东省重金属污染综合防治“十二五”规划》为契机,以“优布局、调结构、抓整治、强监管、保安全”为工作主线,大力实施落后产能淘汰工程、重金属污染源综合整治工程、污染防治技术示范工程、历史遗留污染治理工

程和监管能力建设工程等五大重点工程,着力解决影响群众健康的重金属污染问题,努力确保完成重金属污染减排任务,坚决打好重金属污染综合防治攻坚战和持久战。要突出做好四个方面的工作:一是量化防控目标,编制和实施好重金属污染防治规划。各地要摸清辖区内重点重金属污染物排放情况,科学制定总量减排目标;按照一区一策、分区指导的原则,结合各地实际编制本地区具体的实施方案,抓好落实。二是优化产业结构,从源头上防控重金属污染。淘汰落后产能,严格项目准入,强化清洁生产,降低污染产生强度,控制新增污染物的排放。三是强化综合治理,切实解决突出的重金属污染问题。围绕重金属重点污染物、重点区域、重点行业和企业等四个重点,多管齐下,综合治理,务求实效。四是突出日常监管,严格防范重金属污染风险。突出对我省12个重点区域、8大重点行业和600家重点企业的日常监管,通过不断加大检查和执法力度,确保完成《规划》确定的整治任务目标。

广东环保公众网(省环保宣教中心)

# 机动车排气简易工况法检测与安全管理

何志明 张小雯 邓 南  
(广州市环境监测中心站, 广州 510030)

**摘 要** 应用简易工况法检测机动车排气, 车辆处于动态加载状态, 给人员、设备、车辆等带来安全隐患。本文剖析简易工况法检测活动的安全隐患, 提出相应的管理与安全防范措施, 杜绝安全事故的发生。

**关键词** 简易工况法 机动车排气检测 安全管理 防范措施

任何时候安全生产都是最重要的, 安全是保证生产良好开展的第一要素。在用车简易工况法排气检测工作也不例外。由于简易工况法排气检测时, 测试车辆在底盘测功机上处于动态加载与高速运行状态, 测功机转鼓的高速运转、车辆的高速运行及设备给车辆的加载等给检测人员与设备带来了严重的安全隐患, 如何防范与杜绝简易工况法排气检测安全事故的发生已成为监管部门及检测部门极其重要的一项工作。

## 1 简易工况法简介

### 1.1 简易工况法

《点燃式发动机汽车排气污染物排放限值及测量方法》(GB18285-2005)规定了瞬态、简易瞬态和

稳态 3 种点燃式汽车简易工况法排气检测方法, 3 种检测方法的差异情况见表 1<sup>[1-2]</sup>。虽瞬态工况法的测量结果准确、可靠, 但由于设备非常昂贵, 检测成本过高难以为地方接受而基本没有在我国在用车排气监管工作中得到应用, 也即我国采用简易工况法排气检测的地区, 就点燃式汽车来说基本采用简易瞬态工况法或稳态工况法作为排气监管的主要检测方法。

对于压燃式汽车, 《车用压燃式发动机和压燃式发动机汽车排气烟度排放限值及测量方法》(GB3847-2005)仅规定了加载减速法一种工况检测方法<sup>[3]</sup>。

为方便表述, 本文所指简易工况法均包括了简易瞬态工况法、稳态工况法和加载减速工况法 3 种检测方法, 见表 1。

表 1 3 种点燃式汽车简易工况测试方法的异同

| 方法名称    | 优缺点   |
|---------|---|
| 瞬态工况法   | 1. 采用 CVS 作流量测量, 氢火焰离子法和化学发光法测量 HC 和 NO <sub>x</sub> , 设备原理与新车基本相同, 测量精度高, 测量结果为测试循环的排放总量, 即测量单位为 g/km;<br>2. 采用新车城市测试循环中的一个十五工况循环作为测试循环, 与新车检测方法的相关性好;<br>3. 设备昂贵, 约为简易瞬态法或稳态法设备的近 10 倍。 |
| 简易瞬态工况法 | 1. 与瞬态法的区别是采用简单的流量计(V <sub>mas</sub> )替代 CVS, 采取传统不分光红外线和电化学法测量 HC 和 NO <sub>x</sub> , 测量精度相对瞬态法较低, 测量结果和测量单位同瞬态法;<br>2. 测试循环与瞬态工况法的测试循环相同, 也即与新车检测方法的相关性较好;<br>3. 设备成本大幅降低, 稍贵于稳态法设备。    |
| 稳态工况法   | 1. HC 和 NO <sub>x</sub> 的测量方法与简易瞬态法相同, 没有排气流量测量装置, 测量结果为排气浓度;<br>2. 测量循环为 25 km/h 和 40 km/h 两个稳定速度, 因此与新车检测方法的相关性较差;<br>3. 设备成本最低。  |

1.2 简易工况法设备的构成

图 1 是简易工况法排气设备的构成图，基本由底盘测功机、排气分析仪(简易瞬态与稳态设备)或不透光烟度计(加载减速设备)、环境参数仪、司机助等几个基本部分组成<sup>[4]</sup>。对于简易瞬态法设备还配备有排气流量装置，用于测量车辆的排气流量以计算在测试循环过程中的排放总量，这也是简易瞬态与稳态法间的本质区别之一。

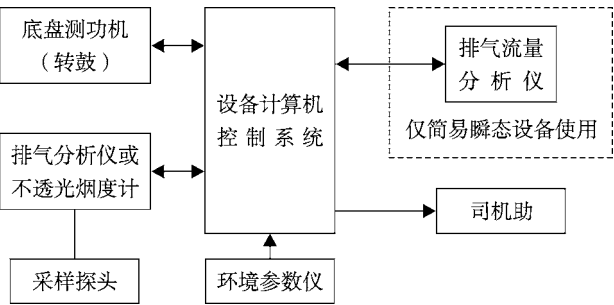


图 1 简易工况法设备构成

1.3 简易工况法排气检测流程

简易工况法利用底盘测功机模拟车辆在道路上的行驶阻力，测量车辆在特定运行工况法下或模拟行驶工况法下的排气状况，即转鼓模拟车辆行驶阻力，分析仪或烟度计测量其排气浓度或不透光烟度值，简易瞬态测设备的流量计则测量车辆的排气流量，设备软件则按标准与规范要求控制加载和设备间的协同工作,并同时检测过程进行监控、对检测结果进行分析处理等，检测员则按司机助显示器提示操作车辆。

图 2 是简易工况法排气检测的一般流程图。如图 2 所示，检测流程的第一步就是车辆安全性能的检查，也即只有在车辆安全性能满足排气检测技术要求后才允许开展检测工作。

2 简易工况法排气检测安全结点分析

2.1 简易工况法排气检测特点

我们知道，传统双怠速法和自由加速烟度法排气检测时,车辆处于静止状态,虽启动了发动机,但没有给车辆挂档，也即双怠速法和自由加速烟度法是一种无负载排气检测方法，相对来讲检测操作较安全。而简易工况法检测则需要底盘测功机模拟车

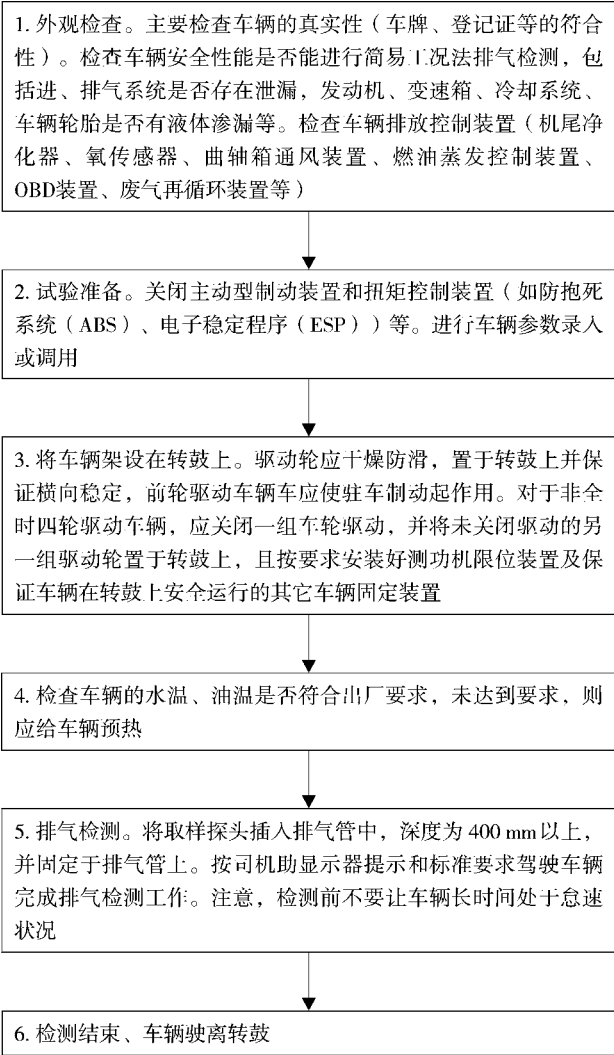


图 2 简易工况法排气检测流程

辆在道路上的行驶阻力，检测过程是车辆的驱动轮置于底盘测功机的转鼓上，并处于高速运行状况下进行排气检测，也即简易工况法是一种带负载检测方法,特别是加载减速法,其检测过程是处于车辆最大负荷下进行,相对来讲,车辆的检测工况相对较恶劣,检测的安全隐患也增多。也正因为简易工况法排气检测处于一种动态模拟与带负载状态下进行排气检测，检测结果更加有效地反映出车辆的实际排放状况,检测方法相对来讲更加科学、有效。

2.2 简易工况法排气检测主要安全结点

由于进行简易工况法排气检测时，车辆处于动态加载工作状态,使得其安全隐患明显增多,其主要安全结点如下：

(1) 由于简易工况法排气检测时需要检测员在高速运行的车辆和高速运转的测功机旁进行检测操作,特别是许多车辆的排气管设计不合理,导致采样探头的拔插非常困难,检测时,一些车辆无法将采样探头固定在排气管上,即使能勉强固定但当车辆高速运行时也会脱落,此时检测员往往是采取将采样探头绑在一根枝杆上用人工方式保证采样探头插入排气管,如不小心就有可能对检测员的人身安全带来危害。

(2) 由于简易工况法排气检测对环境要求不高,检测场地大多处于开放状态,如没有专人维持场地安全秩序,检测无关人员,特别是车主和个别好奇人员因关心检测结果就有可能在检测场地穿插,随时都有可能导致他们出现人身安全事故的发生。

(3) 检测员安全意识淡薄,或因长期没有发生事故导致安全意识放松,检测前不对车辆的安全性进行认真检查,也不按要求对测试车辆进行必要的安全固定。

(4) 技术业务不熟悉,对设备的承载能力不了解,对车辆的性能状态以及标准规定不熟悉。如将测试车辆的额定功率与测功机吸收功率不匹配或驱动轴单轴总质量超过测功机的允许最大单轴载重车辆驶上测功机检测;误将全时四轮车作为普通车辆进行检测;不关闭非全时四轮驱动车的一组车轮驱动,或错将非全时四轮车被关闭的车轮组置于转鼓上进行检测;不关闭 ABS、ASR、ESP、ATC 等防抱死、防滑、电子稳定或自动牵引力控制系统进行检测等。

### 3 防范措施建议

#### 3.1 加强安全意识教育与安全管理工作

简易工况法因其处于动态加载测试,相对传统排气检测方法增加了许多安全隐患,对此,监管部门及检测机构应加强安全意识教育和安全监督管理工作。检测机构管理人员应高度重视安全管理工作,提高检测站工作人员的安全意识,应在加强安全教育的基础上,制定切实可行的安全管理制度,检测机构应设立安全责任人,检测场地应设置专门的安全员负责安全工作。只有当所有人员真正对检测安全的重要性有了充分认识,并在检测过程中得到真正重视,安全才有可能得到真正保障。

#### 3.2 加强检测场地的管理

检测站应按国家有关规范要求划定危险区,危险区的划定应保证检测发生意外时不会危及他人人身和财产安全为原则。

(1) 应在检测线前划定足够的空间和距离作为非工作人员禁入区间,以保证检测时车辆即使处于高速运行突然发生前冲(离开转鼓)也不致发生人身安全事故。同样也应在车辆两侧及测功机附近划定安全危险区,并在危险区的周边设立明显的安全警示标志及护栏,提示车主及闲杂人员不要禁入危险区内。

(2) 冷却风机、司机显示器及其它检测辅助设备原则上应放在检测车辆的前方两侧,以防止车辆前冲时损坏这些设备。此外,也应在检测区域内设置安全注意事项以提示工作人员注意安全操作。

(3) 应设立有客户等候区域和检测车辆临时停放地,应明确标示待检车辆区域和已检车辆区域,并有明显标识引导车主将车辆停放至指定位置。

(4) 原则上各检测线应平行建设,如受场地限制需要在同一检测通道建设两条以上检测线时,两条线间的前后距离应大于检测时车辆发生前冲之安全距离,如达不到安全距离要求时同一通道的检测线不应同时开展检测业务。

(5) 应安排专人负责检测现场的安全调度,指挥车辆的驶入与驶出,防止车辆在检测线前发生拥堵及碰撞,以保证检测车辆的安全。

此外,检测时应不允许任何人在转鼓旁逗留,及在检测车辆的前面横穿和停留,检测站也应按有关要求配备必要的安全消防设施。

#### 3.3 加强检测业务学习

为保证检测工作安全有序开展,监管部门与检测机构应加强检测人员的业务培训工作,检测员也应加强自身的业务学习,使每个检测员都能熟悉检测业务、熟悉相关标准与法规、熟悉车辆的一般结构,熟悉设备的能力范围,做到:

(1) 当车辆安全性能不满足排气检测要求时不应开展检测工作。对于加载减速法还应重点按国标 GB3847-2005 附录 J 之附件 JA 要求进行车辆预检,只有在车辆的各项性能满足检测安全要求后才允许进行检测<sup>[2]</sup>。

(2) 当车辆发出的最大功率、驱动轴重等超过



底盘测功机的最大吸收功率或最大允许轴重时,不应进行检测工作。

(3) 检测前应按标准要求关闭车辆的 ABS、ASR、ESP、ATC 等特殊装置,应注意总质量大于 3 500 kg 的点燃式车辆、全时四轮驱动车辆以及紧密型多驱动轴及额定功率超过 450 kW 的特重型压燃式车辆等均不能进行简易工况法排气检测。

(4) 检测时应保证发动机机油量足够,应保证车身任何部件不能与车轮或传动轴相接触。

#### 4 检测过程中应注意的其它事项

(1) 为保证检测安全,每条检测线应按标准要求配备 3 名检测人员负责检测工作,应保证配备 2 名具有检测资质检测员负责仪器操作和车辆驾驶外,还应按 GB3847-2005 附录 J2.1 要求配备 1 名辅助人员在检测线旁进行安全检查、一旦发现检测过程出现异常,应马上提示检测员停止检测工作。

(2) 检测场地应配备必要的安全设施,检测时应使用车轮挡挡住测试车辆的非驱动轮及使用设备配套的牵拉装置固定车辆以防止检测过程出现车辆前冲情况。

(3) 驾驶车辆上检测线时,应首先停止转鼓运转,升起转鼓举升装置,并尽可能将检测车辆垂直驶上检测设备的转鼓,将车辆的驱动轮置于转鼓上,并安装好车轮限位装置,以防止车辆左右摆动和侧滑。

(4) 应仔细检查车辆的轮胎情况,应保证轮胎压力合适,没有老化和出现打滑现象,不会因轮胎太旧、胎压过高等承受不了检测过程中的高温造成爆胎。

(5) 引导车辆及开展检测工作时,检测员应注意检测线左右车辆的行驶,驾驶车辆时也应注意左

右行人和车辆。

(6) 检测过程中,检测员也应用眼、耳等随时注意车辆的工作情况,一旦发现异常应立即停止检测,并尽快使车辆处于静止状况。负责采样探头拔插人员应尽量离开转鼓和车轮远些,必须保证自己处于一个安全的工作距离范围。

(7) 如在 3 min 内不能完成加载减速工况法检测,则应立即停止检测工作以避免对测试车辆产生损坏。

#### 5 结束语

安全是保证生产有序、有效、良好开展的第一要素,安全生产源于管理者的高度重视,源于生产工作者的认真负责和安全意识的不断提高,源于各项安全制定与安全措施的有效落实。简易工况法也不例外,只要我们的检测机构、检测人员能做到安全警钟长鸣,就能杜绝安全事故的发生。

#### 6 参考文献

- [1] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. GB18285-2005 点燃式发动机汽车排气污染物排放限值及测量方法(双怠速法及简易工况法)[S]. 北京:中国环境科学出版社,2005.
- [2] 双菊荣,黄如娜. 实施简易工况法排气检测若干问题探讨[J]. 环境科学与管理,2007,32(5):133-136.
- [3] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. GB3847-2005 车用压燃式发动机和压燃式发动机汽车排气烟度排放限值及测量方法[S]. 北京:中国环境科学出版社,2005.
- [4] 双菊荣,李志忠. 广州市机动车排气实施简易工况法检测的条件分析[J]. 广州环境科学,2005,20(2):23-26.

## Safety Management in the Simple Operating Detection of Vehicle Exhaust

He Zhiming Zhang Xiaowen Deng Nan

**Abstract** In the simple operating detection of vehicle exhaust, there are hidden dangers to the operator, equipment, and vehicle, due to the vehicle is under working conditions. The hidden dangers have been discussed, and safety measures are suggested to avoid accidents.

**Key words** simple operating detection measurement of vehicle exhaust safety management protection measures

## 苏州地区灰霾天气污染防治对策的探讨

陈美丹 杨积德 周 静  
(苏州市环境科学研究所, 江苏 苏州 215007)

**摘 要** 本文阐述了苏州地区灰霾天气的现状,并结合  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  的监测结果,分析不同季节出现灰霾天气的原因。对造成灰霾天气的颗粒物污染提出了防治措施,同时提出增强灰霾监测能力,建立灰霾监测预警体系并不断完善环境空气质量评价指标体系。

**关键词** 灰霾  $PM_{2.5}$  污染防治 苏州地区

由于经济规模的迅速扩大和城市化进程的加快,原来少见的灰霾天气已成为一种常见现象,都市灰霾状况日趋严重。在中国气象局发布的《霾的观测和预报等级(2010 年)》中,灰霾天气被这样定义:“大量极细微的干尘粒等均匀地浮游在空中,使水平能见度小于 10 km 的空气普遍混浊现象,霾使远处光亮物体微带黄、红色,使黑暗物体微带蓝色<sup>[1]</sup>。

国外针对灰霾天气及大气颗粒物的研究相对较早,主要集中在大气颗粒物的组分、浓度及来源研究,且主要针对  $PM_{2.5}$  方面的研究。世界卫生组织以及美国、日本等国家已对空气中允许的  $PM_{2.5}$  含量作出明确规定。美国环保局(MSEPA)于 1997 年就颁布了  $PM_{2.5}$  的空气质量标准,2006 年又将  $PM_{2.5}$  日均质量浓度限值标准由  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  提高到  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,大致相当于世界卫生组织第三阶段过渡时期的目标<sup>[2]</sup>。世界卫生组织《空气质量准则》(2005 年版)指出:当

$PM_{2.5}$  年均浓度达到  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  时,人的死亡风险将比  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  时大约增加 15%<sup>[3]</sup>。

### 1 苏州地区灰霾天气现状

苏州地处经济发达的长江三角洲,区域经济建设规模日益扩大,城市群迅速膨胀,城市化使得地表状况发生重大变化,导致人类活动排放的污染物稀释扩散能力越来越差,灰霾状况日渐严重,灰霾天气已成为一种灾害性天气现象。

根据苏州市气象台统计结果显示:1956~1979 年,苏州市灰霾天气十分罕见,其中 14 a 全年无灰霾天气;1991~2000 年苏州平均灰霾天数为 71 d。2009 年 7 月至 2010 年 6 月期间,苏州市区灰霾就有 167 d,见表 1。以至于造成苏州市空气优良天数占全年比例有所上升,但公众对空气质量仍存在不满意的现象。

表 1 2009 年 7 月 ~ 2010 年 6 月苏州灰霾天气统计结果

| 年月     | 2009.7 | 2009.8 | 2009.9 | 2009.10 | 2009.11 | 2009.12 | 2010.1 | 2010.2 | 2010.3 | 2010.4 | 2010.5 | 2010.6 | 合计  |
|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 灰霾天数/d | 5      | 7      | 4      | 15      | 23      | 21      | 19     | 18     | 16     | 15     | 10     | 14     | 167 |

随着城市发展进程的加快,人口增多、车辆增加和城市小气候变迁,造成城市环境空气不断恶化,蓝天逐渐被城市灰霾现象所取代,而颗粒物污染是造成城市环境空气质量下降的主要原因。从现行城市环境空气质量日报结果分析,环境空气质量二级以上天数的首要污染物都是可吸入颗粒物。根据环境

监测部门对空气中  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  的监测结果,见图 1。

由图 1 可见, $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  的值冬季较高,也是灰霾最易出现的季节,这可能是因为苏州市冬季冷空气活动频繁,空气干燥,气压稳定,风力微弱,夜间地面辐射降温,近地面易形成逆温层,地面附近的灰尘、汽车尾气难以扩散或稀释,从而导致颗粒物

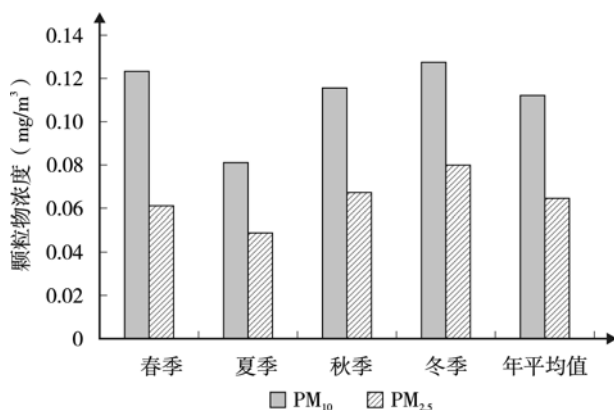


图1 PM<sub>2.5</sub>与PM<sub>10</sub>季、年平均值监测结果

浓度较高<sup>[4]</sup>。夏季生产活动频繁,城区气温较高,容易形成城市热岛效应,城市热岛环流可能使郊区的污染物流向城区,颗粒物的浓度较高,同时夏季是一年中太阳辐射最强的时候,大气光化学反应比较强烈,易形成细颗粒,另一方面夏季降水较多,对大颗粒物有一定的冲刷作用<sup>[5]</sup>,而细颗粒受降水的清除作用比较不明显,所以夏季PM<sub>10</sub>中PM<sub>2.5</sub>所占比例比其他季节高,达60.5%。

## 2 污染防治的对策

### 2.1 加强大气颗粒物污染防治

从城市扬尘、机动车排气污染、工业废气污染、秸秆焚烧等方面源头抓起,制定相应的对策措施,从根本上减轻城市空气颗粒物污染问题。

(1) 建立健全城市扬尘污染防治机制,全面推行“绿色施工”,严格控制各类建筑施工扬尘。

采取绿化和硬化相结合的防尘措施,减少路面破损和路面施工;实施高效清洁的清扫作业方式;加大对渣土运输车辆管理,严禁非密闭渣土车、带泥车和撒漏车量进入城市道路。

(2) 建立机动车排气监管信息网络体系,将数据及时集中传输至省级监管平台,实现省、市、县、检测站四级数据互联、互通、互享;通过视频、数据在线传输、实时统计分析等自动化、智能化和网络化的操控手段,实现对各检测站的远程监控和环保标志的自动核发等功能。各级环保部门要建立与之相适应的机动车排气污染监管中心,配备专业人员和装备,对机动车排气污染防治工作实施统一监管。

(3) 实行全行政区域禁止露天焚烧秸秆。鼓励

推广秸秆粉碎还田技术、秸秆沤堆造肥技术,对现有秸秆气化工程实行物业化管理,确保工程有效运转。

### 2.2 增强灰霾监测能力,建立灰霾预警体系

(1) 环境监测部门在二氧化硫、二氧化氮、可吸入颗粒物等3项常规指标基础上,逐步增加细颗粒物、臭氧、挥发性有机物、黑炭等指标。

(2) 开展灰霾污染成因及复合型污染综合防治技术研究,开展灰霾形成机理、大气污染事件预警预报和防治对策关键技术研发。根据灰霾形成机制研究,逐步建立区域大气能见度、灰霾天气监测、预报、预警体系。根据低能见度对经济社会活动的影响程度和灰霾天气对人体健康的影响程度,逐步建立应急响应机制,动态调控不利气象条件生成区域的社会生产和区域交通等活动,尽可能降低低能见度和灰霾天气的危害性。

(3) 加强部门合作,开展大气污染预报数值模拟和大气污染突发事件应急技术研究,建立大气监测预报预警信息服务系统,依托环境质量、气象信息等发布系统发布有关信息,服务广大公众。

### 2.3 完善空气质量标准

为适应我国社会经济发展需求,必须制定具有多学科科学基础,能综合反映大气质量、观感、舒适度与污染控制导向的灰霾标准。

在我国,可吸入颗粒物国家标准是年平均浓度100 μg/m<sup>3</sup>,是世界卫生组织标准的5倍。而形成灰霾的主要成分——空气动力学等效直径小于2.5 μm的大气颗粒物,没有列入监测指标,这恰恰是灰霾的诱因之一。建议将PM<sub>2.5</sub>作为衡量空气质量的标准之一,纳入空气评价体系。

## 3 结语

为了城市能良性的、长期的、健康的发展,以及工业、建筑业和其他产业等的发展能与环境保护、大气保护相协调,让人民群众能够呼吸到新鲜的空气,政府和公众都必须对灰霾天气的污染引起足够的重视,政府应该积极探索防治对策,采取有效的措施进行防治和控制。

## 4 参考文献

- [1] 中央气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,1979:22-27.

- [2] 剧海东,陈秉衡,汪宏.上海市城区大气颗粒物污染对居民健康危害的经济学评价[J].中国卫生经济,2004,23(2):8-11.
- [3] 王伟.中国  $PM_{2.5}$  污染状况和污染特征的研究[J].环境科学研究,2000,13(1):1-5.

- [4] Andre Nel. Air pollution-related illness: effects of particles[J]. Science, 2005, 308(5723): 804-806.
- [5] 吴兑,邓雪娇,毕雪岩,等.细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降[J].热带气象学报,2007,23(1):1-6.

## On the Control of Haze Pollution in Suzhou

Chen Meidan Jide Yang Zhou Jing

**Abstract** The current situation of dust-haze pollution in Suzhou was discussed. The dust-haze appeared in different seasons was analyzed according to  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  monitoring. Measures were suggested to deal with the particulate pollution. It is necessary to strengthen the dust-haze monitoring, to set up a monitoring-and-warning system and a perfective air quality evaluation index system for haze pollution.

**Key words** dust-haze  $PM_{2.5}$  pollution preventions

## 环保部：“十一五”主要污染物总量减排任务全面完成

昨日,环境保护部新闻发言人陶德田向媒体通报,环境保护部会同发展改革委、统计局、监察部近日联合完成了2010年度及“十一五”各省、自治区、直辖市和五大电力集团公司主要污染物总量减排情况的考核工作。结果表明,国家确定的“十一五”主要污染物总量减排任务全面完成,但也发现个别企业问题严重,决定实行挂牌督办和进行处罚。

陶德田说,2010年,各地区、各部门认真贯彻落实党中央、国务院节能减排工作的决策部署,综合运用法律、经济、技术、行政等手段,不断加大工作力度,污染减排取得重大进展。2010年,全国化学需氧量排放总量1238.1万吨,比2009年下降3.09%;二氧化硫排放总量2185.1万吨,比2009年下降1.32%。与2005年相比,化学需氧量和二氧化硫排放总量分别下降12.45%和14.29%,均超额完成10%的减排任务。31个省、自治区、直辖市和新疆生产建设兵团以及国家电网公司和华能、大唐、华电、国电、中电投五大电力集团公司都较好地完成了《“十一五”期间全国主要污染物排放总量控制计划》下达的总量控制任务。

从主要减排措施来看,2010年,全国新增燃煤脱硫机组装机容量1.07亿千瓦,新增城市污水日处理能力1900万立方米。到“十一五”末,全国累计建成运行燃煤电厂脱硫设施5.32亿千瓦,火电脱硫机组装机容量比例从2005年的12%提高到82.6%,电力行业30万千瓦以上火电机组占火电装机容量比重从2005年的47%提高到70%以上;累计新增城市污水日处理能力超过6000万立方米,城市污水日处理能力达到1.25亿立方米,城市污水处理率由2005年的52%提高到75%以上;累

计关停小火电机组7682.5万千瓦,提前一年半完成关闭5000万千瓦的任务;钢铁、水泥、焦化及造纸、酒精、味精、柠檬酸等高耗能高排放行业淘汰落后产能均超额完成任务。

陶德田指出,经核实,仍有个别企业在污染减排工作中存在突出问题。根据有关规定,决定:对污水处理设施无故不运行、长期低负荷运行、出水超标排放的天津市天津创业环保集团股份有限公司咸阳路污水处理厂、山西省太原市排水管理处污水净化三厂(殷家堡污水处理厂)、内蒙古自治区通辽市木里图污水处理厂、江苏省扬州市江都沿江汇同水处理发展有限公司、河南省周口市鹏鹞水务有限公司(沙南污水处理厂)、广西壮族自治区防城港市污水处理厂、新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市米东区污水处理厂等7家单位实行挂牌督办,责令限期整改,整改不到位或逾期未完成整改任务的,将暂停所在城市新增化学需氧量排放建设项目的环评审批;对脱硫设施运行不正常、烟气在线监测数据作假、未按期完成整改任务的内蒙古霍煤鸿骏铝自备电厂、江苏连云港新海发电有限公司、河南民权发电有限公司、河南能信热电有限公司、湖南石门发电有限公司、广东省东莞市三联热电厂、四川乐山海虹发电有限公司、甘肃西固热电公司等8家单位实行挂牌督办,责令限期整改,由有关部门扣减停运时间所发电量的脱硫电价款并按规定予以相应罚款。

陶德田强调,环境保护部将督促和跟踪挂牌督办企业认真整改。对整改不到位或因工作不力造成重大社会影响的,监察机关将追究有关人员的责任。

摘自《人民网》2011-08-30

## 水质修复集成技术在广东国际划船中心赛道 水质保障应急中的应用

罗家海 吴友明 卓 奋 罗新华 彭 林 李 睿 郭小磊 廖庆玉 郭 涛  
(广州市环境保护科学研究院, 广州 510620)

**摘 要** 本文介绍了亚运划船赛道特定河道和水质的条件下, 进行水质应急修复和保障所用技术。该技术是多种技术措施的优化集成技术, 其应用为水质修复研究提供了较好的案例。本技术集成为第 16 届亚运会亚残会的成功举办提供了技术保障。

**关键词** 水质修复 集成技术 赛道 应用

广东国际划船中心为第 16 届亚运会及亚残运会划船比赛场馆, 赛道水质保障非常重要。划船中心位于竹料流溪河畔, 处于流溪河与头坡坑的交汇处, 赛场占地面积约 93 万  $\text{m}^2$ , 拥有竞赛中心、新闻中心、运动员公寓、集训楼、餐厅、艇库、体育馆等建筑设施, 建有符合国际标准的赛场, 赛道长 2 350 m、宽 162 m, 平均水深约 3.5 m, 赛道内总库存水量约为 130 万  $\text{m}^3$ , 赛道内安装有自动启航设备、电子计时系统等各种设备, 可供赛艇、皮划艇比赛使用。赛道平面示意图见图 1。

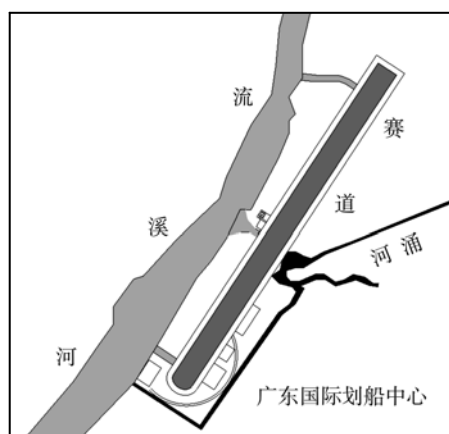


图 1 广东国际划船中心赛道总平面示意

赛道为一条人工开挖渠, 由于历史原因, 附近的泄洪河涌良田坑污水直接排入划船中心赛道, 之后

再汇入流溪河。尽管良田坑应急排水渠已建成并投入使用, 但由于赛道过去长期接纳良田坑排水, 加上近年良田坑河涌水质较差(劣 V 类), 河涌污水进入赛道后河面增宽, 流速变得较缓慢, 造成赛道局部底泥淤积比较严重。根据 2010 年 6~9 月的监测结果, 赛道内水体水质较差, 达不到比赛水质标准要求。

为了保证划船中心在亚运会期间赛事用水的水质, 第一阶段首先实施了关闭良田坑流入赛道的水闸、封闭河涌泄洪口、赛道局部清淤、赛道重新换水、封闭赛道水体等一系列工程措施, 但由于当时时间比较紧, 加上赛道清淤采用传统清淤方式(用挖土机进行水下清淤), 难于保证清淤效果, 大量底泥残留在赛道内。第二阶段是水质保障阶段, 按照划船中心的要求, 赛道注满水后将于 2010 年 10 月 15 日实施封闭直至亚残运会闭幕, 赛道水体封闭时间约为 60 d。在赛道水体封闭过程中, 由于赛道内大量残留底泥的存在, 底泥内的营养物质(氮、磷)在一定条件下又会释放到水体中, 导致藻类大量繁殖而引起水质的恶化。如何保障水质持续达标成为赛道水质保障的一大难题。为了保障赛道水质符合赛事用水的要求, 除了保证粪大肠菌群数达到 III 类水、透明度不小于 25 cm 外, 还必须根据赛道实际条件, 采取科学有效、合理可行的水质保障技术措施, 有效控制赛道底泥内营养物(氮、磷)的释放速率, 最大限度降低赛道水体中的总氮和总磷浓度, 确保水质达标。

1 水质污染来源分析

1.1 外源影响

由于地理和历史排污的原因，排污河涌头坡坑（与良田坑汇合）污水直接排入划船中心赛道后再汇

入流溪河，由于赛道过去长期接纳头坡坑河涌排水，加上近年头坡坑河涌水质较差（劣Ⅴ类），造成赛道内水体水质基本上属于Ⅴ类水，满足不了比赛对水质的要求，加上河涌排水流经赛道后河面增宽，流速变得较缓慢，造成赛道局部底泥淤积比较严重，见表 1。

表 1 河涌水质监测结果 mg/L (pH 值除外)

| 日期               | 监测点位  | COD  | 氨氮   | 透明度 | 浊度(度) | pH 值 | SS | TP   |
|------------------|-------|------|------|-----|-------|------|----|------|
| 2010 年 10 月 11 日 | 闸口外河涌 | 17.1 | 5.46 | 8   | 96    | 7.89 | 31 | 0.44 |
| 2010 年 10 月 12 日 | 闸口外河涌 | 19.9 | 5.76 | 15  | 54    | 7.40 | 33 | 0.75 |

1.2 内源影响

划船中心赛道虽然已进行局部清淤，清淤方式靠挖土机进行水下清淤，由于淤泥流动性较好，这种传统的清淤方式清淤效果并不理想，清除清淤后不稳定淤泥残留量大。因此，即使做到完全控制了外源性营养物质的输入，赛道内的营养物质负荷仍然很大。底部淤泥中累积了大量的营养物质和污染物质，底泥的氧化还原状态直接影响赛道上覆水体水质。当底层氧化还原环境发生变化时，底泥中的营养物质和污染物质会重新释放到水体，促进藻类的繁殖，易引起水质恶化。因此，即使在外源营养物被完全切断之后，如果不采取相应的水质保障措施，底泥释放的营养物质仍然能够导致水质恶化。中山大学利锋等人对佛山水道污染底泥进行污染物释放进行了动态模拟试验，试验结果表明，污染程度较高的底泥对上覆水  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP 浓度的贡献分别为 0.65 mg/L 和 0.067 mg/L。如按上述试验结果推算，底泥氮、磷的释放对上覆水  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP 浓度的贡献分别占Ⅲ类水质标准值的 65%和 33.5%，说明即使在外源污染完全被控制后，如赛道残留的污染底泥量较大、营养物质较丰富，如果没有采取有效措施抑制底泥中营养物的释放，赛道水质仍会超过Ⅲ类标准甚至恶化的可能。

2 水质修复集成技术分析

根据赛船中心和周围水体的实际情况，在第一阶段所采取的技术措施基础上，经过技术优化分析，提出采用物理－化学的水质修复集成技术，以保障和维持水质达标。

2.1 控制外源技术

2.1.1 截断外部输入性污染源

为了截断外部输入性污染源，2010 年 9 月 23 日关闭了良田坑与赛道相连的排水闸和封闭泄洪口，关闸后划船中心的水质有了明显的改善。可见，截断外部输入性污染源，可以改善赛道水质。

但由于排水闸关闭不严，仍然有渗漏，水闸附近的赛道水质受污染较明显。为了杜绝外界河涌污染对赛道水体的污染，对排水闸渗漏现象进行了必要的防护措施，因此在赛道内靠近水闸处设置了 2 台 20 m<sup>3</sup>/h 的水泵向外抽水，杜绝了高污染的河涌水对赛道水质的影响。经过连续抽水，水闸附近的水体水质得到改善，这为保障划船中心水质合格奠定了基础。

2.1.2 减轻流溪河水体污染源，严控上游排污

由于对划船中心水体补水的主体是流溪河，流溪河的水质情况将直接影响，划船中心水体的水质，只有严格保障了流溪河的水质达到甚至优于Ⅲ类水，才能保障划船中心亚运会期间的水质达到Ⅲ类水的要求。

流溪河流域广阔，流域内有许多的工业污染源、农业污染源和生活污染源，都对流溪河的水质构成一定威胁，只有严格控制上游各类污染源的排污量，减轻流溪河的污染负荷，才能保障流溪河的水质达标，从而保障划船中心赛道用水水质的达标。

2.2 水质监控应变技术

由于船中心的比赛时间跨度较大，水质保障的时间较长，准确的监测数据是水质保障成功的重要基础，在此期间，加强了对赛道水体和赛道周边水体水质情况的监测，尤其是对藻类及影响藻类繁殖的指标进行监测。

主要监测指标：pH 值、DO、水温、COD、透明度、TN、TP、游浮植物、叶绿素 a、藻类计数。



监测点:1# 连通口赛道旁、2# 连通口赛道旁、3# 连通口赛道旁、1# 连通口赛道对岸、2# 连通口赛道对岸、3# 连通口赛道对岸、竹料大桥。

监测频率:每天一次。

为分析划船中心水体藻类大量繁殖的可能性大小,本研究将蓝藻繁殖的生态特点与划船中心水体水质现状进行比较,试图找出控制藻类繁殖的技术措施,比较结果列于表 2。

表 2 蓝藻繁殖的生态特点与划船中心水质现状比较

|       | 蓝藻繁殖的生态特点   | 划船中心水质现状   | 技术措施                              |
|-------|---|--|-----------------------------------|
| 温度因子  | 蓝藻繁殖对温度敏感,在水温 17 ℃ 以下时,不会大量发生。当水温上升到 28 ℃ 时,由于其它藻类的生长受到抑制,蓝藻很容易形成优势种群而大量爆发                                  | 温度范围估计:18~28 ℃<br>平均值:25 ℃   |                                   |
| pH 值  | 藻类喜欢偏碱性的水体,高 pH 值(pH 值在8.0~9.5)会促进蓝藻的发生   | 7.28~7.68  | 尽量将水体 pH 值调节到 7.5 或以下             |
| 氮磷比   | 蓝藻既可以利用水体中的氮,又具有更高的利用磷的能力,低氮磷比或含磷较高的富营养化水体都可能导致蓝藻的大量生长。适当提高氮磷比可在一定程度上抑制蓝藻的生长<br>蓝藻(铜绿微囊藻)生长的最适氮磷比值(为 11.18) | 一般水中 N/P > 16 时,总无机磷(TIP)是限制因子;N/P < 16 时溶解无机氮(DIN)将成为限制因子。<br>本中心水中 N/P 估计将 < 16,所以溶解无机氮(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ,NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ,NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 和尿素)将成为限制因子 | 1. 适当提高水中的 N/P 比<br>2. 降低水中 P 的含量 |
| 磷含量   | 当水体中的磷浓度在 0.02 mg/L 以上时,对水体的富营养化就起明显的促进作用   |  | 降低水中 P 的含量,控制在 0.02 mg/L 以下       |
| 生态关系  | 蓝藻与其它藻类同处一个营养级,所需的营养物质和空间资源类似,竞争导致了藻类之间残酷的生存竞争  |  | 增加水体生物多样性,如增加绿藻和硅藻比例              |
| 水体含氧量 | 水流速度小,溶氧量恢复缓慢,水体自净能力差,为蓝藻的生长、迅速繁殖提供了条件  |  | 增加水体的含氧量                          |

根据监测的结果,及时分析赛道水体的水质变化,对可控的指标采取相应的水质保障应变技术措施应对,如水质消毒等。

为了解底泥释放对上覆水的影响,采底泥进行释放实验,结果见图 2、图 3,表明底泥中污染物的释放在 20 d 后基本趋于稳定,因此底泥中氮磷的释放对上覆水的影响随着时间的推移而逐步消减。与此同时,对影响氮释放影响因子进行了分析(表 3),有针对性采取了控制措施。

2.3 赛道注水换水技术

尽管现有国内外有不少的物理工程措施对河道湖泊的污染水体进行修复,但由于划船中心的条件限制(已经挖过泥,已经没有条件对河道底部进行处理,同时时间紧迫),循环过滤法、人工曝气复氧、水力循环法、底泥疏浚、机械除藻、底泥表面覆盖(主要采用塑料、粗砂、佛石、粉煤灰等)等处理手段已经没有实施的条件。相对而言,赛道连续注水是安全可

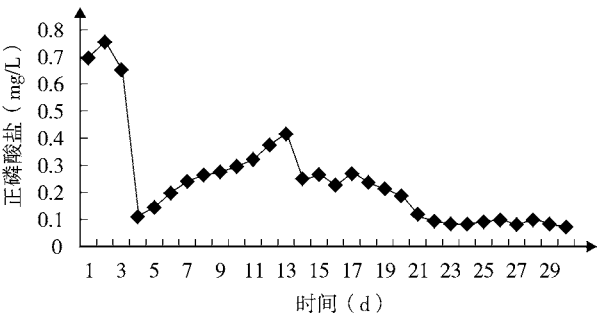


图 2 底泥磷释放规律及对上覆水的影响

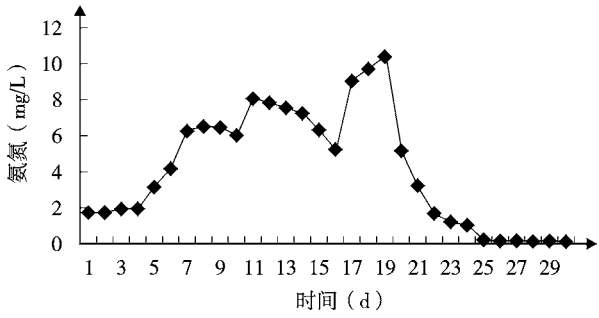


图 3 底泥氮释放规律及对上覆水的影响

表 3 内源氮释放的主要因子分析

| 内源氮释放的主要因子 |  | 现状                                     | 拟采用的技术                          |
|------------|--|--|---------------------------------|
| 温度         | 温度可以通过改变微生物活性而抑制或加速沉积物不同形式氮的释放率。夏天容易发生水华。有研究表明,25℃沉积物中氨氮的释放速率是15℃的1.3倍。  | 温度范围估计:18~28℃<br>平均值:25℃               | 自然                              |
| pH 值       | 有研究表明,pH 值在3.0~6.0时,酸性环境不利于氨化细菌活动,氮释放不明显;pH 值<3时,氮释放量减少;6.0<pH 值<8.0 氨化细菌活跃,氮释放量最大;pH 值继续增大时,微生物活性降低,氮释放量急剧减少,可在70%以下。   | 7.28~7.68                              | 尽量将水体 pH 值调节到6.0以下或8.0以上        |
| DO         | 无论 DO 高低,底泥总是向水体释放氮,厌氧时溶出无机氮,在部分为氨氮;好氧时溶出硝态氮。当 DO < 1.5 mg/L 时,硝酸盐氮与亚硝酸盐氮释放量几乎为0,而氨氮释放量几乎达到10 mg/(m <sup>2</sup> ·d);当 DO > 2.8 mg/L 时,氨氮释放量急剧下降,转为硝态氮,同时好氧时氮的需求量大而释放氮营养盐量少。 | DO:2.3~5.4 mg/L<br>(氨氮 2.23~5.19 mg/L) | 保持适当的 DO,根据水温一般控制在4.0~10.0 mg/L |
| 水力扰动       | 实验结果表明,水体受扰动后加速了底泥氮向水体的释放速率,上覆水中总氮、氨氮含量增加20%~30%,同时增加 DO 的含量,促进氮营养盐释放。   | 连通流溪河                                  | 静水注水,但不许有水力扰动                   |
| 水生植物       | 沉水植物可以降低间隙水中营养盐的释放,遏制因水力扰动使沉积物再悬浮和溶解扩散。  | 植物较少                                   | 时间紧,无条件种植                       |
| 底栖生物       | 通过底栖生物的扰动会促进沉积物中氨氮与硝酸盐氮向上覆水的释放。  | 底栖生物较少                                 | 作用不大                            |

靠、较易实施的工程措施。注水换水主要有连续注水换水和定期注水换水两种:

连续的注水是利用安装在赛道 1<sup>#</sup> 连通口水泵将优质流溪河水泵入赛道,在保持赛道水位波动不大的条件下连续注水换水。为初步了解连续注水的水量及效果,利用水质模型进行了模拟计算,采用的 2 m<sup>3</sup>/s 的流量,淹没流入水,溢流出水。根据设计方案,分别进行了 6、8、10、50、72、150 h 的模拟。结果表明,由于流速较小,72 h 在入水口的左侧和出水口对面出现了静水区,但河道整体在 72 h 后还是有流速梯度,混合效果较好,不易出现边界流的现象,注入的清水可以有效的到达河道的大多数地方;至 150 h 后,入水口的左侧和出水口对面出现了静水区减小,忽而大部分河道都有流速梯度,注入的清水可以到达河道的绝大多数地方,换水效果较理想。

根据模拟计算结果,采用连续注水稀释的工程措施,是可以有效地引入流溪河水,替换赛道中的原水,从而能有效控制赛道水体中氮磷的浓度。

定期注水换水,是关闭位于流溪河下游的人和坝排水闸,从李溪坝上游调水,将上游优质流溪河水注入赛道。全面换水能够最大限度地降低水中营养盐和有机物浓度,是比较理想的工程措施。

在亚运会比赛之前,由于封闭赛道、安装注水换水水泵不具备工程施工条件和时间,因此,在赛事期间无法实现连续注水换水措施。在亚运会和亚残会期间,仅利用两会停赛期进行了一次定期注水换水,但鉴于划船中心赛道已经安装水下设备后,对水深有严格的要求,注水换水水量受到很大的限制,注水换水水量仅占赛道水量的 10% 左右。

2.4 化学修复技术

投加磷沉淀剂可以有效地降低水中的磷含量,减少水体发生污染的概率,在减少水体磷浓度的同时,可以提高水体的透明度,对水质的改善有一定帮助。

底泥原位钝化技术主要通过向水体投加底泥钝化药剂,控制底泥中磷的释放,有效减少底泥释放进入上覆水中的污染物质,减低出现内源污染的概率,对赛道保障赛道水体水质达标有积极作用。

投加藻类抑制剂对控制水体藻类过度繁殖、提高水体的透明度,效果十分明显。由于广州冬季温度较高,如果水质出现异常,水体出现藻类异常的风险较大,因此,必须采用有效的措施控制水中的藻类的过度繁殖。

针对赛道水质现状及赛事对水质的要求,通过

模拟实验,向赛道水体投加了复合水处理剂,这种复合水处理剂具有杀菌、抑藻和底泥钝化作用。投加方式为固定投加和流动投加两种方式。固定投加是利用岸边的固定投药装置在赛道注水同步投药;流动投加采用游艇进行移动式投加,利用游艇的螺旋桨充分搅拌使药剂与水体快速混合。

经过采取一系列物理化学优化措施后,赛道水质稳定,满足赛事对水质的要求,并保持达到流溪河竹料大桥断面水质水平(图4~图7)。

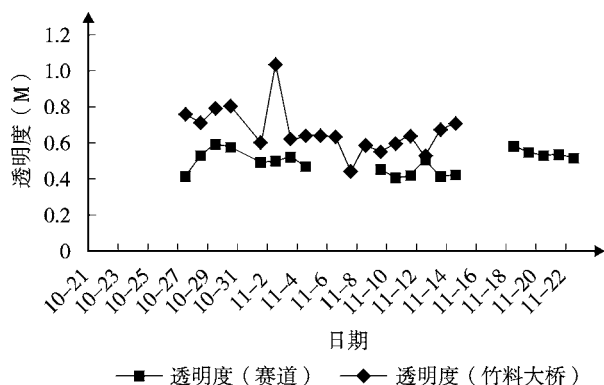


图4 透明度水质监测结果

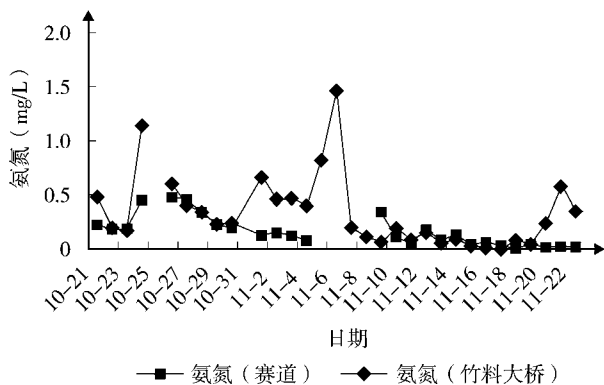


图5 氨氮水质监测结果

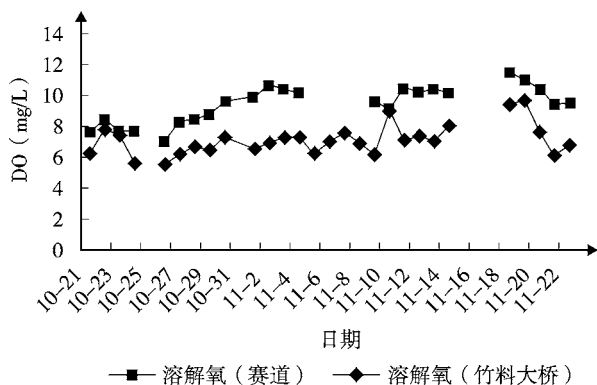


图6 溶解氧水质监测结果

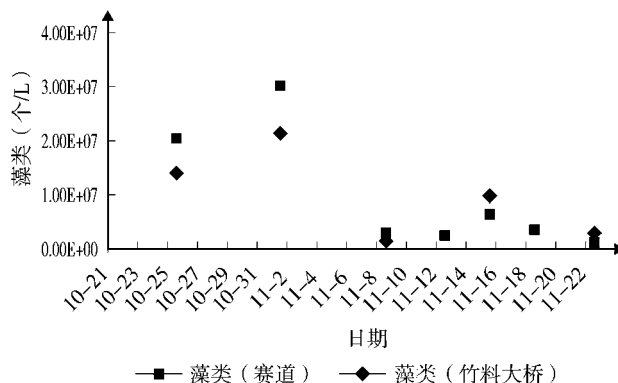


图7 藻类水质监测结果

### 3 结论与讨论

(1) 本研究主要针对亚运划船赛道特定河道和水质的条件下,进行水质应急修复和保障,所采用的技术是在对各种技术措施优化分析基础上的集成技术。尽管是特殊的典型个案,但其研究结果证明单一的水质修复技术往往难以解决目前的水质问题,而应该采用集成技术,本研究方法可为水质修复研究提供较好的研究示范。

(2) 本研究在切断外界污染源头的条件下,在采用定期注水换水实施条件受到较大限制,效果难于保障的情况下,根据赛道水质的动态变化情况,采用向赛道水体投加了复合水处理剂的化学修复技术作为划船中心赛道水质应急保障集成技术,实践证明,赛道水质在赛事期间能够稳定达到比赛水质要求。

(3) 本研究的技术集成为第16届亚运会亚残会的成功举办提供了技术保障,为政府部门制定水质改善方案提供了技术支持。

### 4 参考文献

- [1] 戴树桂. 环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,1997:120-122.
- [2] 利锋,温琰茂,朱娉婷,等. 城市污染河道沉积物中 AVS 与 Cr 的生物积累研究[J]. 环境科学,2009,30(3):875-881.
- [3] 于军亭,张帅,张志斌,等. 环境因子对浅水湖泊沉积物中氮释放的影响[J]. 山东建筑大学学报,2010,25(1):58-61.
- [4] 罗家海. 广州市水资源面临的问题及对策[J]. 广州环境科学,1997,12(2):1-5.
- [5] 罗家海. 珠江广州河段局部水体溶解氧低的主要原因分析[J]. 环境科学研究,2002,15(2):8-11.
- [6] 罗家海. 珠江广州河段水体中三氮的转化分析[J]. 广州环境科学,2003,18(3):1-3.
- [7] 罗家海,莫珠成. 广州河段西航道水源地水体富营养化限

制因素的研究[C]//中国海洋学会赤潮研究与防治专业委员会,广东海洋学会.第一届中国赤潮研究与防治学术研讨会论文摘要汇编.广州:广东海洋学会,2004:38-39.

[8] 罗家海.广州市石井河水质污染及其对水源的影响分析[J].

重庆环境科学,2002,24(5):70-72.

[9] 罗家海.流溪河水质模拟[J].广州环境科学,1994,9(3):18-21.

## Application of Integrated Technology on Water Quality Protection and Restoration to the International Boating Center of Guangdong

Luo jiahai Wu youming Zhuo fen Luo xinhua Peng lin Li rui Guo xiaolei Liao qingyu Guo tao

**Abstract** An integrated technology on water quality protection and restoration applied to the boating tracks of the 16<sup>th</sup> Asian Games is introduced. The integrated technology is built up after analyzing and modifying a variety of measures. The application of the technology is a good case in the research of water quality restoration.

**Key words** water quality restoration integrated technology track application

### 广东省环境保护和污染减排政策措施落实情况汇报会在广州召开

9月5日上午,省政府在广州召开广东省环境保护和污染减排政策措施落实情况汇报会,广东省副省长林木声出席并主持会议。

省环保厅厅长李清向国家检查组汇报了我省环境保护和污染减排政策措施落实情况。李清指出,“十一五”以来,我省认真贯彻落实党中央、国务院的决策部署,以促进经济发展方式转变为主线,以“加快转型升级、建设幸福广东”为核心任务,充分发挥环境保护优化经济增长,污染减排倒逼产业转型升级的积极作用,为促进加快经济发展方式转变探索我省科学发展新道路发挥了积极作用,主要表现在:一是高度重视,建立健全环境保护促进经济发展方式转变的工作机制。全省各级党委政府、各部门对环保在经济发展中的地位和作用形成了共识,积极支持,齐抓共管,协力推动环保事业发展。二是实行环保分区控制分类指导,引导全省产业合理布局。通过以环保规划引导经济发展,以珠三角环保一体化推动重大产业合理布局,以规划环评优化产业发展,以统一规划、统一定点促进重污染行业整合升级。三是通过大力实施工程减排、结构减排、监管减排,全力推进污染减排,为经济转型升级提供环境容量。四是提高环保准入门槛,促进产业绿色升级。五是加强环境综合整治,确保环境安全。六是强化环境执法,维护群众环境权益。

李清表示,“十一五”以来,我省环境保护工作取得明显成效:一是近几年来,我省坚持以环境保护促进加快经济发展方式转变,加大产业结构调整力度,经济增长方式转变初见成效。单位GDP化学需氧量和二氧化硫排放强度均比“十

五”期末下降60%以上,单位GDP能耗居全国第二低,单位工业增加值能耗全国最低。二是“十一五”期间,我省在GDP年均增长12.4%的同时,超额25%完成“十一五”污染减排任务。三是全省环境质量稳中转好。今年上半年,全省21个地级以上城市空气质量全部达到国家二级标准,饮用水源水质全部达标。四是“十一五”以来,我省制定3部地方性环法规、3部环保政府规章,颁布实施了18项地方性环境标准,初步建立了符合我省省情的地方环境法律和标准体系。

李清强调,下一阶段,我省环保工作将以“加快转型升级、建设幸福广东”为核心任务,为促进加快经济发展方式转变、保持经济社会平稳较快发展、当好科学发展排头兵发挥积极作用,并重点在5个方面下功夫:一是继续在抓准入促转变上下功夫。二是继续在抓减排促转变上下功夫。三是继续在抓整治促转变上下功夫。四是继续在抓监管促转变上下功夫。五是继续在抓落实促转变上下功夫。

听取报告后,本次检查组组长住房城乡建设部总规划师唐凯对广东省环境保护和污染减排政策措施落实情况给予了充分地肯定,并希望广东在环境保护工作中走出新路,作出示范。从9月6日开始,检查组将赴韶关、清远进行检查。

省环保厅党组副书记、巡视员王子葵,党组成员、省纪委、省监察厅派驻省环境保护厅纪检组组长、监察专员李慎武,总工程师陈锐成,党组成员,环境监察局局长周全以及我省省直单位有关负责人、省环保厅各处室和直属单位负责人参加了会议。

广东环保公众网(省环保宣教中心)

# 富硅改良剂治理砷污染水稻田的试验

廖俊峰

(中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275)

**摘 要** 采用水培实验和大田种植的方法研究硅对水稻吸收砷的影响,以及对水稻生物量的影响。在水培实验中,施加硅后水稻各部分的砷含量均明显下降,茎部最高降幅达到 75%。在大田试验中,施加富硅改良剂后,籽实的砷含量下降 44%,籽实重量上升了 21%。富硅改良剂治理砷污染水稻田具有良好的应用前景。

**关键词** 富硅改良剂 砷污染 水稻田 土壤

随着我国工业化的快速发展,伴随着水和空气的严重污染,污染水和有毒物渗入土壤,使我国大约 10% 的农田重金属严重超标<sup>[1]</sup>。由于水稻田独特的厌氧化学环境,易于吸附砷化合物的铁氧和铁氢氧化物,从而变得易于溶解并释放出更多不易被植物利用的游离态的砷化合物<sup>[2]</sup>。如何治理水稻田的砷污染,防止水稻从土壤中摄入过多的砷已成为目前亟需解决的问题。

## 1 富硅改良剂治理被砷污染的水稻田土壤的原理

三价砷元素和硅在化学性质上有很多相似点。例如三价砷在土壤中存在的主要形态  $\text{As}(\text{OH})_3$  和原硅酸  $\text{Si}(\text{OH})_4$  在分子结构上较为相似,因此作者大胆认为三价砷元素和硅可能是通过同一吸收通道为水稻所吸收。通过文献查阅得知,水稻根部细胞上的水溶性蛋白 Lsi1(OsNIP2;1)是水稻根从外界环境吸收硅的主要途径,而 Lsi1 变异将使砷的吸收下降 68%<sup>[3]</sup>。所以,若对水稻根部施加过量的硅,使水稻根部周围的硅浓度远高于砷浓度,就会抑制水稻根部通道蛋白 Lsi1 对砷的吸收。另外,硅还能促进水稻的根系生长,增强活力,提高其对水分和养分的吸收量;并能使叶片增厚,维管束加粗,植株健壮<sup>[4]</sup>。因此,对水稻根部施加硅不仅能抑制砷的吸收而且对水稻的生物量和籽实产量增长也将有利。

## 2 试验材料和方法

### 2.1 试验材料

采用的富硅改良剂是粉煤灰和钢渣,它们价格低廉、来源广泛,且已有较长时间的应用经验。早在 20 世纪 50 年代,日本就将钢渣作为硅肥用以改良退化的稻田<sup>[5]</sup>,德国则施用钢渣作为提高土壤肥力的根本措施<sup>[6]</sup>。因此,将这两种工业副产品用于污染治理,以废治废,对于治理水稻砷污染和相关工业的废料处置,预计均会有良好的效果。

### 2.2 试验方法

将实验的水稻分为水培与大田试验两部分。第一部分实验使用较为便于控制水稻生长条件的水培方式进行,水稻种子取自金稻种业的天优 116 品种,水培实验部分在进行完全水培之前使用石英砂进行 15 d 的育苗,然后以每盆 6 株的密度移苗至 10 个 2 L 培养盒中。水培实验所使用的营养液采用全量 Hoagland 营养液。其各成分的浓度为:0.3 mM  $\text{CaCl}_2$ , 2.0 mM  $\text{KNO}_3$ , 0.5 mM  $\text{MgSO}_4$ , 0.5 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0.5 mM  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 10.0  $\mu\text{M}$   $\text{Fe-EDTA}$ , 0.1  $\mu\text{M}$   $\text{MnNa}_2\text{MoO}_4$ , 20.0  $\mu\text{M}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 1.0  $\mu\text{M}$   $\text{MnCl}_2$ , 2.0  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4$ , 2.0  $\mu\text{M}$   $\text{ZnSO}_4$ , 0.1  $\mu\text{M}$   $\text{NiSO}_4$ 。营养液分为含硅和无硅 2 种,含硅培养液中  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  浓度为 0.1 mM。经过 3 个月的培植后在水稻的生殖生长期分别采用无硅 Hoagland 营养液和 2 倍硅浓度(0.2 mM)的 Hoagland 营养液处理无硅和施硅对照组。培养液中的砷形态为亚砷酸,使用 1 mL 移

液枪添加;根据加砷量的不同,共设5个浓度阶梯,分别对应砷浓度0、1、10、100、1 000 ppb。处理完毕后收割水稻,进行相关测定。

考虑到第一阶段实验中水培环境与实际应用上可能仍有差异,因此设计第二阶段大田实验以检验实际应用中硅对水稻砷吸收的影响。本次实验的水稻分在3块大田内种植,同样采用天优116水稻种子进行实验。第1块大田内没有施加任何改良剂,为空白对照组,第2块大田施加粉煤灰改良剂,第3块大田施加钢渣改良剂。由于富硅改良剂对土壤pH值有较大的影响,因此本实验中改良剂施加剂量分别为每亩3(钢渣)/0.45(粉煤灰)t,以保证土壤pH值均能维持在适合水稻生长的范围(5.5~6.5)内。经过4个月的种植,收割后将每块田的水稻根、地上部和稻米均分为3份保存,并消解后分析其硅和砷的含量。

### 3 结果与分析

#### 3.1 水培实验结果分析

##### 3.2.1 水培实验水稻砷含量

通过ICP-OES法测得的水稻组织的砷含量如图1所示。

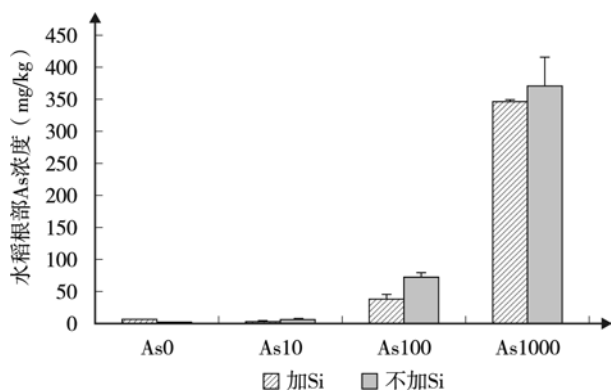


图1 水培水稻根部砷浓度

在本次实验中的砷浓度在2对照组中对比比较明显,加硅实验组中水稻的砷浓度较空白对照组均有明显下降。对于地上部分而言,砷处理效果随水培营养液中砷浓度上升成正比(图2),环境砷浓度为1 000 ppb时,加硅处理组中的砷浓度仅为空白对照组的1/4。而根部的砷处理效果则呈现相反的效果,当环境中砷浓度较低时,加硅组的处理效果更为理想(图1)。

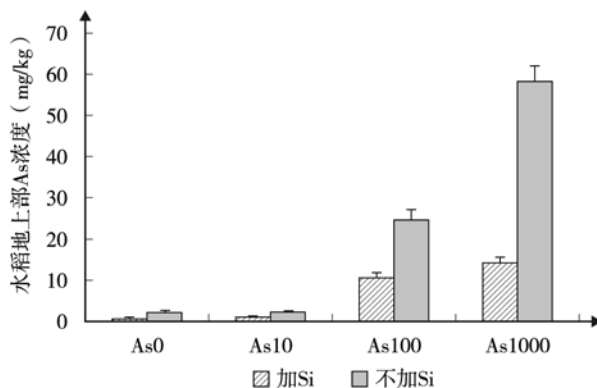


图2 水培水稻地上部砷浓度

##### 3.2.2 植物硅含量

通过NaOH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>高压消解法测得的水稻硅含量如图3所示。

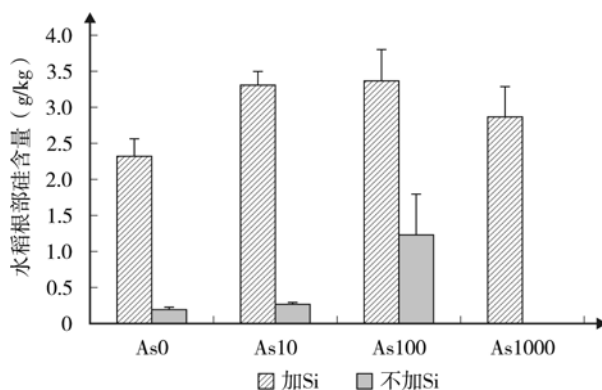


图3 水培水稻根部硅浓度

本实验中水稻地上部和地下部的硅随砷的浓度变化规律较为复杂。根部除长势不大好的As0对照组外其他组内的硅浓度变化不大,整体上呈下降趋势(图3)。而地上部除As0组之外其余组内的硅浓度随组间砷浓度升高而下降(图4)。

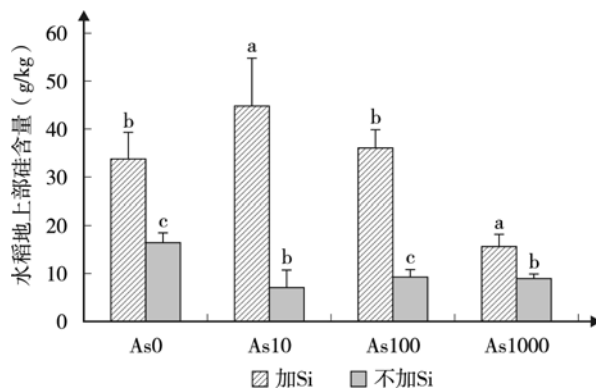


图4 水培水稻地上部硅浓度



### 3.2 大田试验结果与分析

#### 3.2.1 大宝山土壤砷全量和有效态砷的含量

通过 ICP-OES 法测得的土壤全量以及有效态砷含量如图 5 所示。

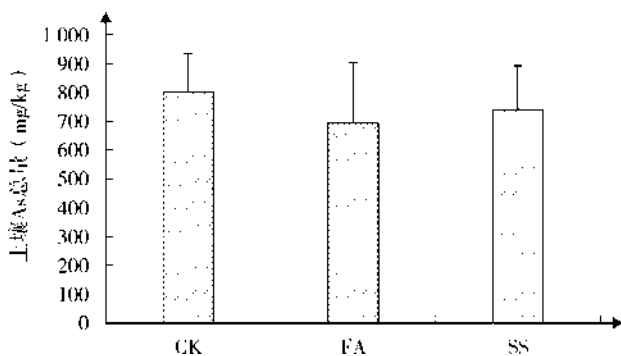


图 5 大宝山土壤砷含量

测定值与预期相一致,3 对照组中的土壤由于在同一区域,土壤全量砷变化不大。由于这两种富硅改良剂能通过物理化学作用使砷利用性降低(图5)。因此使用改良剂的对照组中的土壤有效态砷较空白组有所下降。测得的土壤有效态砷含量在 100~1 000 ppb 之间(图 6),说明属于受到砷污染较为严重的土壤,并表明其与之前实验中 As100 和 As1000 组有对比参考价值。

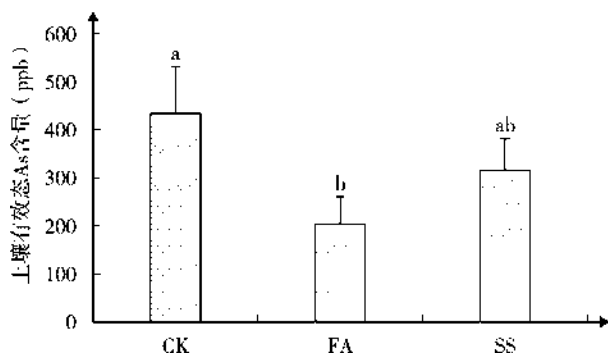


图 6 大宝山土壤有效态砷含量

#### 3.2.2 生物量

经过烘干之后的水稻地上部分和稻米的生物量图 7 所示。

3 对照组之间的生物量较为明显,施加富硅改良剂的 2 对照组相较空白组来看,其地上部生物量分别提升了 45%和 60%(图 7),籽实的生物量也提

高了 21%和 33%,有良好的增产效果(图 8)。表明富硅改良剂对于水稻有较为可观的促生效果。

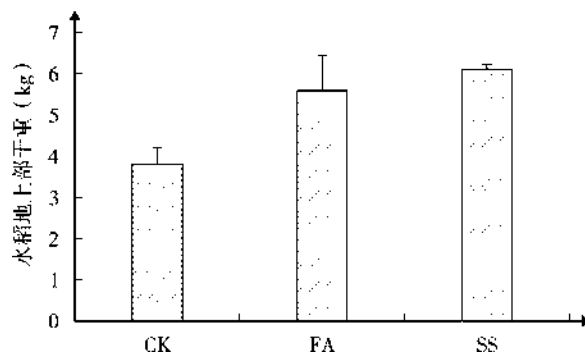


图 7 大田水稻地上部干重

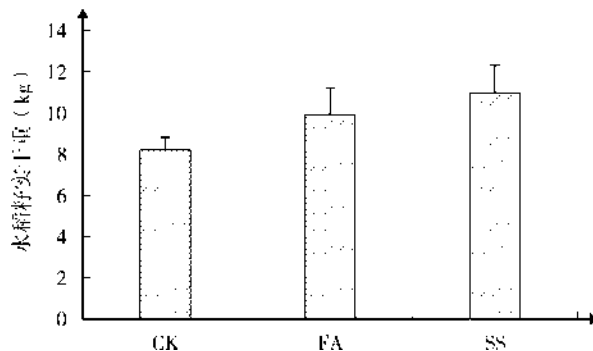


图 8 大田水稻籽实干重

#### 3.2.3 水稻的砷含量

通过 ICP-OES 法测得的砷含量如图 9 所示。

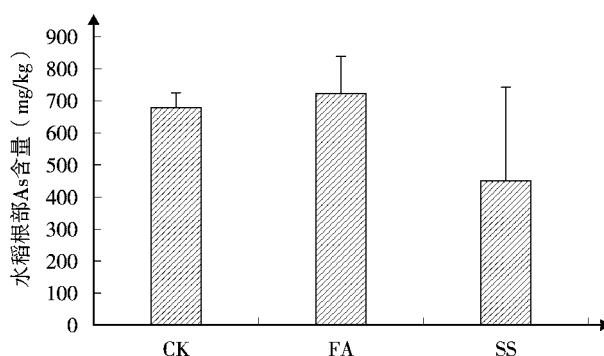


图 9 大田试验水稻根部砷含量

从结果来看,采用钢渣和粉煤灰改良剂的大田中水稻砷吸收较空白对照组效果并不如水培实验中那么明显。除了采用粉煤灰改良剂土的水稻中部分地下部的砷含量较空白对照组略高之外,其余组平均值均较空白对照组有所下降(图 10)。地上部分施

用粉煤灰和钢渣改良剂的水稻砷积累相比空白对照组平均下降了 11% 和 3%，钢渣改良剂的效果并不是很明显(图 10)；而地下部分中施用粉煤灰的水稻中砷含量反而较对照组略高，由于其组内波动不大所以可以基本排除实验失误的可能(图 9)。但采用钢渣的对照组中砷浓度下降显著，仅为空白组测定值的 55%(图 9)。而对于与人类密切相关的稻米部分，采用粉煤灰和钢渣的土壤中培育出的 3 组水稻含砷量平均组分别较空白对照组下降了 44% 和 45%，两种改良剂均具有较为理想的治理效果(图 11)。

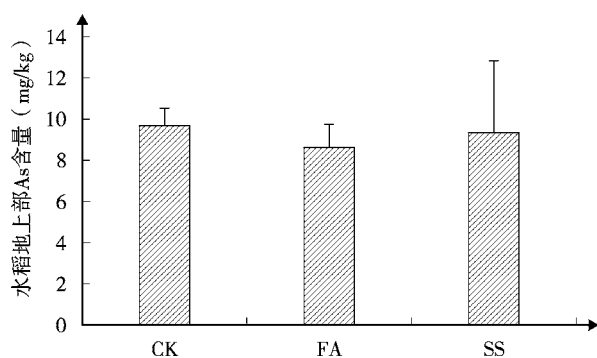


图 10 大田试验水稻地上部砷含量

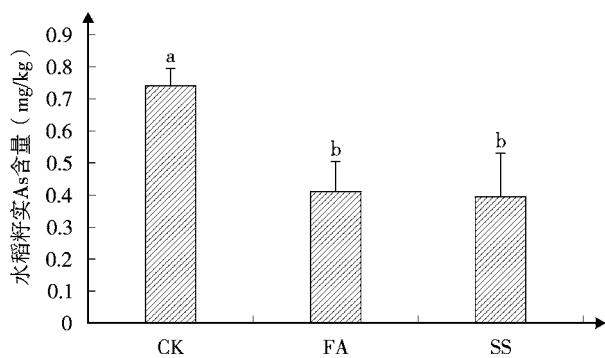


图 11 大田试验水稻籽实砷含量

### 3.2.4 水稻的硅含量

通过  $\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}_2$  高压消解法测得的水稻硅含量如图 12 所示。

与水稻中砷含量相比，硅含量呈现出了与其较为明显的规律性，硅含量较高的植物组织其相对的砷含量较低，如采用钢渣改良剂的水稻地下部，其硅含量较空白组和钢渣对照组分别提升了 6% 和 19%，为三者中最高(图 12)，而其砷含量也为三者中最低。与之相似的还有采用粉煤灰改良剂的水稻地上部(图 13)。而对于稻米部分，相较于砷含量较为明显

的降低，稻米硅含量的增多并不十分明显，粉煤灰组和钢渣组的水稻硅提升仅为 18% 和 9%，相较于砷吸收的下降量而言小很多(图 14)。

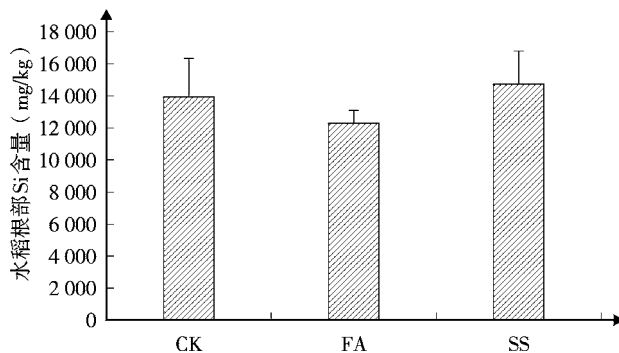


图 12 大田实验水稻根部硅含量

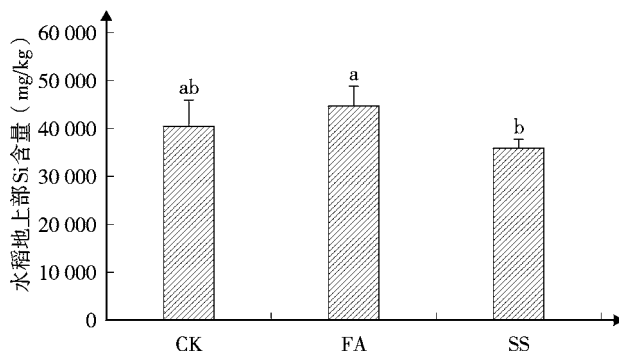


图 13 大田试验水稻地上部硅含量

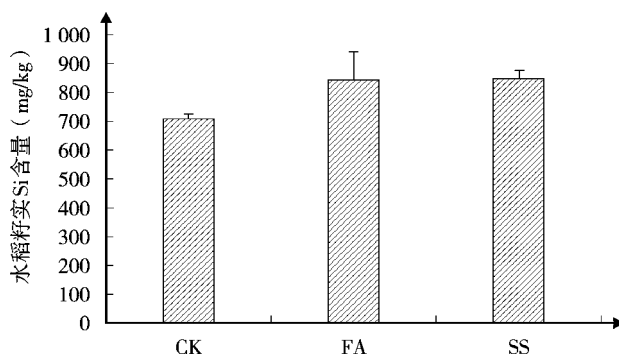


图 14 大田试验水稻籽实硅含量

## 4 结论

(1) 硅在防治土壤砷污染方面有较大潜力，对水稻直接施加硅酸钠，可导致植株地上部砷的吸收降低大约 25%~75%，这与其他学者对无法吸收硅和砷的 *Lsi1* 突变种的研究结果其砷含量的下降幅度较一致<sup>[6]</sup>，表明砷和硅在被水稻根部吸收的过程

(下转第 47 页)

## 发酵米糠处理废水 Cr(VI) 的研究

盛 姣<sup>1</sup> 冯 贤<sup>2</sup> 曾桂华<sup>1</sup> 郭海彦<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 长沙环境保护职业技术学院, 长沙 410004; <sup>2</sup> 玉林出入境检验检疫局, 广西 玉林 537000)

**摘 要** 发酵米糠可用于处理工业废水中 Cr(VI)。研究了发酵米糠的浓度、溶液温度、pH 值、Cr(VI) 的浓度、处理时间等因素对发酵米糠处理 Cr(VI) 效果的影响。对于浓度低于 40 mg/L 的 Cr(VI) 溶液, 在 60 ℃、pH 值为 2 条件下, 用 10 g/L 发酵米糠处理 40 min, Cr(VI) 去除率可达 95.7 %。

**关键词** 发酵米糠 Cr(VI) 工业废水

目前电镀行业排放大量含铬电镀废水, 造成严重的水体污染<sup>[1,2]</sup>。六价铬毒性大, 对有机体有很强的腐蚀与破坏作用, 并能致畸、致突变和致癌<sup>[3]</sup>。利用微生物对米糠进行发酵处理可制备发酵米糠吸附剂, 本文对其处理 Cr(VI) 的性能进行了初步研究。

### 1 试验方法

#### 1.1 仪器

在 721 型分光光度计, PHS-3C 型数字 pH 值计, 232 型饱和甘汞电极, HJ-26 型多头磁力搅拌器, 分析天平, 电热恒温水浴锅, 电热干燥箱, YXT-1 型离心沉淀机, 恒温培养箱, 250 mL 磨口三角瓶。

#### 1.2 试剂

Cr(VI) 标准溶液(100 mg/L), 盐酸溶液(1 mol/L), NaOH 溶液(1 mol/L)。

#### 1.3 Cr(VI) 浓度的测定

应用二苯碳酰二肼分光光度法(GB/T7467)测定 Cr(VI) 的含量。

## 2 结果与讨论

#### 2.1 吸附饱和现象

用不同浓度的发酵米糠对 Cr(VI) 溶液(100 mg/L) 处理 2 h, 吸附试验结果见图 1。低浓度时, 随着发酵米糠用量的增加, Cr(VI) 的吸附率也随之增大; 当浓度达到 10 g/L 后, 发酵米糠对 Cr(VI) 的吸附趋于稳

定, Cr(VI) 的吸附率达到 87.4%。结果表明, 发酵米糠与 Cr(VI) 的混合液出现吸附饱和现象, 当吸附剂达到一定浓度后, 即使吸附剂的用量增加, Cr(VI) 的吸附率也没有多大的变化。

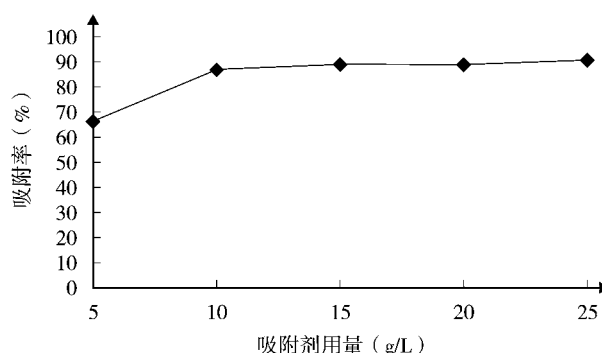


图 1 吸附剂的用量对吸附性能的影响

#### 2.2 溶液温度对吸附性能的影响

用浓度为 10 g/L 的发酵米糠, 对不同温度条件下的 Cr(VI) 进行吸附处理, 试验结果见图 2。发酵米糠对 Cr(VI) 的吸附率随溶液温度的升高而增大, 当溶液的温度达到 60 ℃ 后, 发酵米糠对 Cr(VI) 的吸附趋于稳定且吸附率达到 86.8%。

#### 2.3 pH 对发酵米糠吸附性能的影响

浓度为 100 mg/L 的 Cr(VI) 溶液, 温度为 60 ℃, 不同 pH 值条件下 10 g/L 发酵米糠吸附处理 2 h, 试验结果见图 3。溶液 pH 值对发酵米糠吸附 Cr(VI) 影响较大, 吸附率随 pH 值的升高而逐步减小。这可

能与溶液中六价铬的化学形态有关(pH 值较低时主要以  $\text{HCrO}_4^-$  形态存在,而 pH 值较高时主要以  $\text{CrO}_4^{2-}$  形态存在),在较低 pH 值条件下 Cr(VI) 的氧化性较强,易被还原为三价铬而被络合。事实上,当 pH 值为 2 时 Cr(VI) 的吸附率可高达 93.1%。

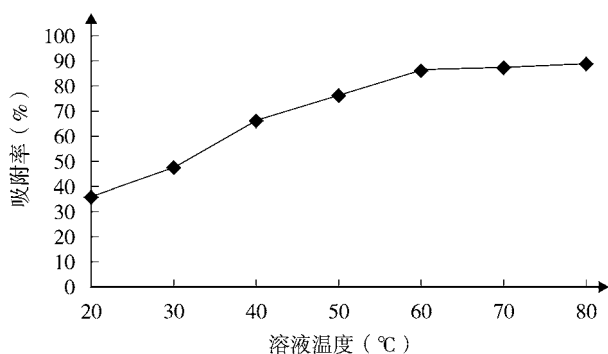


图2 溶液温度对吸附性能的影响

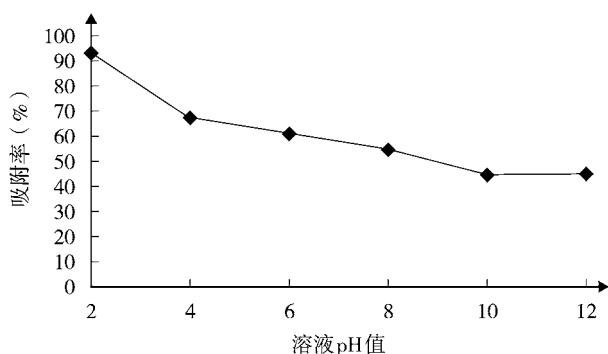


图3 pH 值对吸附性能的影响

## 2.4 溶液浓度对吸附性能的影响

用 10 g/L 的发酵米糠对不同浓度的 Cr(VI) 溶液 (pH 值 = 2, 60 °C) 进行吸附处理 2 h, 结果见图 4。发酵米糠对 Cr(VI) 的去除率随着 Cr(VI) 浓度的增加而增大, 但吸附率却在减小。发酵米糠适合于处理低浓度 Cr(VI) (浓度低于 40 mg/L)。

## 2.5 处理时间对吸附平衡的影响

用 10 g/L 发酵米糠对 40 mg/L 的 Cr(VI) 溶液 (pH 值 = 2, 60 °C) 进行处理, 结果见图 5。发酵米糠对 Cr(VI) 的吸附率随时间的延长而增大, 但 40 min 之后吸附率基本稳定 (95.7%)。

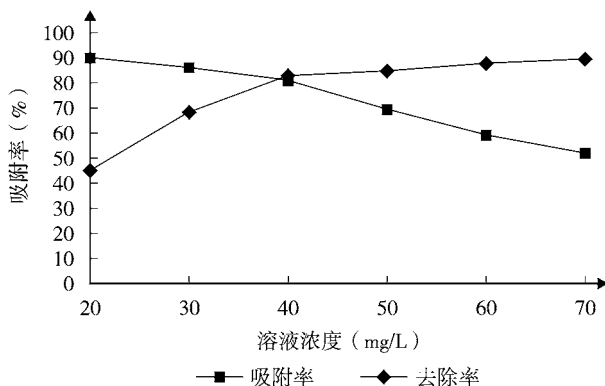


图4 溶液浓度对吸附性能的影响

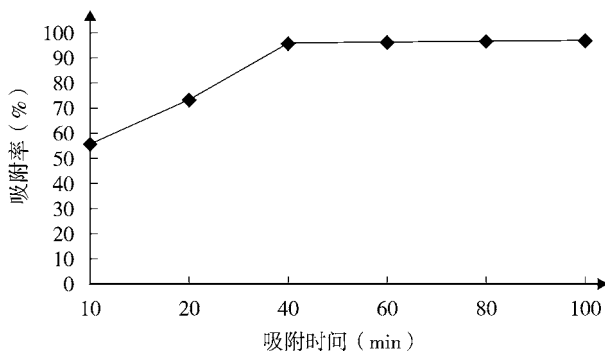


图5 吸附时间对吸附平衡的影响

## 3 小结

发酵米糠富含活性物质, 具有还原性和络合性, 可与 Cr(VI) 反应并形成络合物。初步研究结果表明, 浓度为 10 g/L 的发酵米糠, 对浓度低于 40 mg/L 的 Cr(VI) 处理 40 min (pH 值 = 2, 60 °C), 去除率可达 95.7%。

由于原材料丰富且对人、畜和水生生物无毒副作用, 环境相容性较好, 成本低廉, 发酵米糠在 Cr(VI) 废水处理领域具有良好的应用前景。发酵米糠处理 Cr(VI) 的作用机理有待进一步探索。

## 4 参考文献

- [1] 胡传炘. 表面处理技术手册[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2009.
- [2] 杨莉丽, 康海彦, 李娜, 等. 离子交换树脂吸附  $\text{Cr}^{6+}$  的动力学研究[J]. 离子交换与吸附, 2004, 20(2): 138-143.
- [3] Ozdemir G, Ceyhan N, Ozturk T, et al. Biosorption of chromium(VI) cadmium(II) and copper(II) by *Pantoea* sp TEM[J]. Chemical Engineering Journal, 2004, 102(3): 249-253.

## Treatment of Cr(VI) in Wastewater with Fermented Rice Bran

Sheng Jiao Feng Xian Zeng Guihua Guo Haiyan

**Abstract** The fermented rice bran may be used to treat the Cr(VI) in wastewater. The effects of the dosage of fermented rice bran, temperature, pH, concentration of Cr(VI), and time on the treatment of Cr(VI) were investigated. The results showed that, under the conditions of fermented rice bran at 10 g/L, 60 °C, and pH=2, 95.7% of the Cr(VI) in less than 40 mg/L can be removed within 40 min.

**Key words** fermented rice bran Cr(VI) wastewater treatment

(上接第 44 页)

中存在着竞争关系。

(2) 大田实验中水稻各部分中呈负相关关系的砷含量和硅含量表明:水稻在向地上部转运营养元素的过程中,砷和硅的吸收同样也有竞争关系。在实际应用方面,虽然缺乏直接的施用富硅改良剂的前人研究作为参考,不过 Bogdan 等的研究表明在其实验田中,2006 年水稻砷含量较 2005 年下降了 40%~50%,这应该与 2006 年较高的气温导致的水稻砷吸收与转运增加所致<sup>[7]</sup>。结合本实验结果可以间接说明,硅对水稻砷吸收在实际应用中表现出了抑制效果。

(3) 富硅改良剂对水稻籽实中砷含量的抑制效果十分明显,施加粉煤灰和钢渣改良剂的实验组中,水稻籽实砷含量较对照组分别下降 44% 和 45% 水稻籽实产量较上升了 21% 和 34%。

(4) 施加富硅改良剂的大田中,其种植出的水稻地上部分和地下部分中的砷含量下降并不明显,这可能是因为富硅改良剂中的硅可利用性并没有水培实验中直接施加的硅酸钠高所致,在后续的实验,将考虑将粉煤灰和钢渣与偏碱性的肥料,如氨水等一同施用,以提高改良剂中硅的可利用性。

本实验采用的富硅改良剂均为工业副产品,其价格低廉并且具有较为广泛的可利用性<sup>[4,5]</sup>。综上所述,富硅改良剂具有较为良好的应用前景。

## 5 参考文献

- [1] 中国农田重金属超标严重[N]. 参考消息,2011-11-8(16).
- [2] Yu-Hong Su, Steve P McGrath, Fang-Jie Zhao. Rice is more efficient in arsenite uptake and translocation than wheat and barley[J]. Plant and Soil. 328(1-2):27-34.
- [3] Jian-Feng Ma, Kazunori Tamai, Naoki Yamaji, et al. A silicon transporter in rice[J]. Nature, 2006:440,688-691.
- [4] 刘邦达. 钾硅肥对甘蔗增产增糖效应[J]. 甘蔗糖业, 1990, 1: 22-24.
- [5] 奥田东. 土壤肥料综说[M]. 东京: 株式会社养贤堂, 1977: 187-188.
- [6] 臧惠林. 钢渣在我国南方水稻土壤施用效果的初步研究[J]. 土壤, 1987, 18(6):299-303.
- [7] Bogdan, K and M K Schenk(2008). Arsenic in Rice(*Oryza sativa* L.) Related to Dynamics of Arsenic and Silicic Acid in Paddy Soils[J]. Environmental Science & Technology, 42(21): 7885-7890.

## Treatment of Arsenic-Polluted Paddy Field with Silicon-Rich Modifying Agent

Liao Junfeng

**Abstract** Silicon-rich modifying agent was used to reduce the arsenic uptake of rice growing in the arsenic-polluted field. The rice growing in the arsenic-polluted water, in which sodium silicate was added, showed considerably less arsenic accumulation, with up to 75% arsenic uptake reduction in rice shoots. The grain obtained from the field treated with silicon-rich agent is 21% more than the control group, while the arsenic accumulation is 44% lower than the control group. The silicon-rich soil amendment is of considerable potential in repairing arsenic contaminated paddy soil.

**Key words** silicon-rich soil amendment arsenic pollution paddy field soil

## 《广州环境科学》征稿启事

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

### 1 本刊欢迎下列来稿

1) 有关环境自然科学、环境社会科学、环境科学技术等方面的论文、研究报告、资料介绍等。

2) 有关国内外环境科学的发展动态、综述、专论等。

### 2 本刊主要栏目

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

### 3 稿件要求和注意事项

1) 论点明确、数据可靠、层次清楚、文字准确简练。全文一般不超过6000字(包括图、表、参考文献所占篇幅),并有中英文摘要(200字以内)和关键词(3~8个)。

2) 文稿请发送电子文件(5号字体、word格式)或提供A4纸打印件。

3) 来稿只附最必要的图表和照片。插图务求线条光洁,照片务必清晰,表格使用三线表(栏头取消斜线,省略竖分隔线)。图、表置于文内有关段落处。

4) 来稿条理分明,编号层次采用以下系统:1、2、3、……;1.1、1.2、1.3、……;1.1.1、1.1.2、1.1.3、……;1)、2)、3)、……。

5) 文中计量单位一律采用中华人民共和国法定计量单位,量和单位的使用执行GB 3100-93《国际单位制及其应用》的规定。

6) 参考文献必须源自公开出版物。本刊文后参考文献的标注体系采用顺序编码制,即引文采用序号标注,参考文献表按引文的序号排列。根据国家标准(GB/T 7714-2005)的规定,其著录格式如下:

#### ① 专著

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

#### ② 专著中的析出文献

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

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

#### ③ 连续出版物

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

#### ④ 连续出版物中的析出文献

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

#### ⑤ 专利文献

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

#### ⑥ 电子文献

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

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

### 4 稿件处理

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

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

### 5 稿件投寄

欢迎全国各地从事环境保护工作的专家、学者、科技人员、管理人员和大专院校师生赐稿。来稿请注明作者真实姓名、通信地址、电话、邮编、电子邮箱地址。来稿请寄:广州市吉祥路95号《广州环境科学》编辑部(邮编:510030),电子文件发至我编辑部电子邮箱:gzhjks@126.com

电话:(020)83355374

传真:(020)83358372



## CONTENTS

|   |   |
|---|---|
| The Techniques for Sludge Treatment and Resource Utilization  |   |
| .....   | <i>Zheng Lizhu</i> (1)                                |
| The Concentration Characteristic of Ozone and its Correlation with Visibility in Guangzhou Urban during 2008 Summer |   |
| .....   | <i>Zhan Tao, Tao Jun, Zhang Zhanyi, et al</i> (4)     |
| VBA-Based Grey Model for Water Pollution Forecast of Nanliu River in Beihai   |   |
| .....   | <i>Han Bo, Sun Li</i> (8)                             |
| Analysis of Two Haze Processes in Shenzhen  |   |
| .....   | <i>Zhang Li, Shi Hejun, Li Lei, et al</i> (10)        |
| Flocculation and Removal of Algae in Urban Lake Water by Chitosan-modified Clays                                    |   |
| .....   | <i>Du Huaqin, Zhang Ji</i> (14)                       |
| Food Residue Resource Processing Technology   |   |
| .....   | <i>Wang Nina, Zheng Lizhu</i> (20)                    |
| The Comprehensive Environment Regulation of Shiqiao River in Panyu  |   |
| .....   | <i>He Liying, Hu Yingcheng</i> (23)                   |
| Safety Management in the Simple Operating Detection of Vehicle Exhaust  |   |
| .....   | <i>He Zhiming, Zhang Xiaowen, Deng Nan</i> (28)       |
| On the Control of Haze Pollution in Suzhou  |   |
| .....   | <i>Chen Meidan, Jide Yang, Zhou Jing</i> (32)         |
| Application of Integrated Technology on Water Quality Protection and Restoration to the International               |   |
| Boating Center of Guangdong   | <i>Luo jiahai, Wu youming, Zhuo fen, et al</i> (35)   |
| Treatment of Arsenic-Polluted Paddy Field with Silicon-Rich Modifying Agent   |   |
| .....   | <i>Liao Junfeng</i> (41)                              |
| Treatment of Cr(VI) in Wastewater with Fermented Rice Bran  |   |
| .....   | <i>Sheng Jiao, Feng Xian, Zeng Guihua, et al</i> (45) |