GUANGZHOU ENVIRONMENTAL SCIENCE

Vol.31 No.1

广州环境科学

第三十一卷 第一期

广州市环境科学学会 主办

1

2016

2016 年 6 月 30 日出版
粤内登字 A 第 10070 号
内部资料 · 免费交流

广州环境科学（半年刊）
GUANGZHOU HUANJING KEXUE
第31卷 第1期（总第119期）· 2016年6月30日出版 · 1985年12月创刊

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

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：gzhjkx@126.com

印　　刷　广州市天河彩佳印刷厂

厂　　址　广州市天河区迎龙路 260 号
　　龙山工业园 A-3 栋首层

电　　话　（020）61010532

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

土壤修复产业链的发展现状、存在问题及发展前景浅析

程小谷[1] 张展毅[1] 章生卫[1] 吴友明[1] 徐开华[2]
([1]广州市环境保护科学研究院，广州 510620；[2]广州特种承压设备检测研究院，广州 510633)

摘 要 本文分析了《全国土壤污染状况调查公报》结果,简要介绍了我国土壤污染现状,及土壤修复产业链的发展现状,着重分析了土壤调查修复工作中的主要待解决技术瓶颈和问题,结合《土壤污染防治行动计划》(“土十条”)的框架对污染土壤修复行业发展现状和前景进行了简要描绘。

关键词 土壤修复 产业链发展现状 存在问题 发展前景

土壤中的污染物来源广、种类多,一般可分为无机污染物和有机污染物[1]。无机污染物多以重金属为主，也有酸碱度改变导致土壤酸化或盐碱化等情况；有机污染物种类繁多，包括各种挥发性有机污染物(VOC),多环芳烃类等半挥发性有机污染物(SVOC)以及有机农药、多氯联苯等持久性有机污染物(POPs)[2-3]。由于土壤污染具有隐蔽性和滞后性、累积性、不均匀性、难可逆性以及修复的艰巨性等特点[4-5],其危害也不容忽视,土壤污染的危害主要表现在三个方面:① 使农作物减产、农产品质量受损、损失经济效益,长期食用受污染的农产品可能严重危害身体健康;② 影响人居环境安全。未经治理直接开发建设的污染场地会对人群造成长期危害。③ 威胁生态环境安全，使土壤的正常功能受损,污染物还可能转化迁移至地下水、地表水和大气环境,影响其他环境介质,威胁饮用水源和环境空气[6-7]。

近年来,我国土壤污染事件频发,严重影响和危害到人体健康,引起了社会各界的关注,土壤污染逐渐成为大众的关心的又一个热点问题，污染土壤修复工作任重道远。2016年5月,国务院公布《土壤污染防治行动计划》(简称“土十条”),显示了党中央、国务院为切实加强土壤污染防治，逐步改善土壤环境质量的重大决心，同时也给土壤修复市场带来了重大利好。

1 《全国土壤污染状况调查公报》结果分析

2005年4月至2013年12月,我国开展了首次全国土壤污染状况调查,实际调查面积约630万 km^2。调查报告显示,全国土壤环境状况总体不容乐观,全国土壤总的超标率为16.1%，部分地区土壤污染较重,耕地土壤点位超标率为19.4%,耕地土壤环境质量堪忧。在调查的690家重污染企业用地及周边的5 846个土壤点位中,超标点位占36.3%。在调查的81块工业废弃地的775个土壤点位中,超标点位占34 .9%,工矿企业废弃地土壤环境问题突出[8]。

我国土壤污染的主要来源包括:① 工矿企业生产经营活动中排放的废气、废水、废渣;尾矿渣、危险废物等各类固体废物堆放等。汽车尾气排放导致交通干线两侧土壤铅、锌等重金属和多环芳烃污染。② 农业生产活动中污水灌溉,化肥、农药、农膜等农业投入品的不合理使用和畜禽养殖等，导致耕地土壤污染。③ 生活垃圾、废旧家用电器、废旧电池、废旧灯管等随意丢弃,以及日常生活污水排放,造成土壤污染。④ 自然背景值高是一些区域和流域土壤重金属超标的原因[9-10]。

对于无污染、轻微污染的地块需要进行保护,轻度和重度污染的地块可视为安全用地，而重度污染地块应该是未来5~10年我国土壤修复工作需要重点关注和解决的,图1表明,从区域来讲,长江三角洲、珠江三角洲、东北老工业基地、西南、中南地区土壤修复工作值得国家重点关注；而从具体的修复对象上看，我国的土壤修复工作将主要集中在工矿企业、工业园区和农业生产活动用地上。

有学者[11]指出:《全国土壤污染状况调查公报》对

收稿日期：2016-04-28，修改稿收到日期：2016-05-02

图1 我国土壤污染状况分布(数据来源:《全国土壤污染状况调查公报》)

于数据形成的原因缺乏必要的深度分析，公报中表明质量状况时,没有明确评价标准;没有给出对应土壤样点农产品中有关元素的含量，缺乏相关数据则无法判断土壤是否污染；高背景值土壤不应列为污染土壤，在一些地区因母质和自然成土过程所形成的高背景值,通常归属于环境异常;污染或超标点位的原因应该慎重甄别。

现行的《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)存在适用范围小、项目指标少和定值欠合理等问题，即将取代之的《农用地土壤环境质量标准》和《建设用地土壤污染风险筛选指导值》、《土壤环境质量评价技术规范》均在征求意见中,尚未正式发布,造成了土壤环境质量的调查评估工作依据不清，特别是在判定场地是否存在污染并制定修复目标值时,往往遇到无据可依的尴尬局面，为此有部分城市也根据实际相继出台相应的技术规定与政策积极应对。

2 土壤修复产业链的发展情况及存在的问题

近年来,国家及相关部门针对土壤管理方面出台了相关规定及政策、技术规范和标准等，主要包括:《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办[2004]47号)、《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》(环发[2012]140号)、《关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》(国办发[2013]7号)、《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》(环发[2014]66号);《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)、《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)、《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014)、《污染场地土壤修复技术导则》(HJ25.4-2014)和《污染场地术语》(HJ 682-2014);《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》;《2014年污染场地修复技术目录（第一批)》。2016年5月国务院发布的“土十条”更是土壤修复事业的里程碑式的事件。同时全国各地也陆续出台了相关的政策规定及技术规范。

目前，国家正在加快推进土壤污染立法进程与进一步健全土壤污染防治相关标准和技术规范。

2.1 土壤修复行业从业单位

从事土壤修复的机构基本可划分为四类[12]。第一类是集设计与施工于一身的综合型企业；第二类是土壤修复专业技术类企业,包括专项技术公司、检测公司、咨询公司、药剂公司等;第三类是科研院所;第四类是外资企业。目前一些起步较早的企业,尤其是集成技术与工程经验的综合型公司，已成为行业中的佼佼者,在行业起步阶段,这些位于产业链终端的公司更容易获利。科研机构很少涉足工程环节,更多是从事修复技术或设备的研发和小试，而外资企业受到政策的限制，很少直接涉足我国土壤修复工程业务,而是侧重于场地修复的咨询业务。而随着土壤修复市场的规模化发展,包括检测、评估、技术设备研发及修复工程设计施工在内的整个产业链都将迎来旺盛的市场需求。

2.2 场地调查与污染土壤修复工作存在问题的分析

我国现行的场地环境评价和修复的框架及技术标准体系已初步确立，各个阶段的工作内容及相互关系见图2。目前第三方检测机构是土壤环境调查工作中实施土壤检测的主体,专项技术公司、科研机构、综合型企业均有涉足整体的地块调查、风险评估、场地修复技术方案比选等工作,而修复工程施工主要由综合型修复企业完成，在修复工程竣工验收过程则主要由环保部门的下属机构完成。为了保证整个评估与修复过程的工作质量，充分发挥第三方专业评估机构和行业专家的智库支持作用就显得尤为重要。从近年来场地环境调查和污染土壤修复的案例来看,部分存在的问题大致情况列举如表1。

笔者认为,随着国家政策、法规和相关标准规范

表 1　土壤环境调查和修复工作中的主要问题

工作环节	主要待解决技术瓶颈和问题
环境调查	（1）根据用地性质实施分类管理的土壤环境质量标准、土壤质量评价技术规范均未正式颁布，且各地、各类型土壤中物质含量的“本底值”的研究甚少，导致调查结果应用的理据缺失，在一些特定污染物含量处于临界值水平的情况下，对是否存在“污染”的判断时会产生分歧。 （2）场地土壤组成结构和污染物分布存在较大的不均匀性，调查工作更多受限于调查费用及设定时间等，往往采取专业判断布点采样，点位选取的代表性对最终调查结果及污染范围准确性的影响较大。 （3）以往粗放式发展阶段管理水平不高，导致场地历史沿革情况不清及过往生产工艺和原辅材料的消耗等背景资料的缺失，难于判断土壤调查结果与场地利用经历之间的“污染残留”的对应关系。 （4）由于地下水埋深较大，而目前场地调查阶段地下水环境调查相对薄弱，污染来源也难以界定。
风险评估	（1）国家层面的“建设用地土壤污染风险筛选指导值”尚未发布，目前也仅有上海、北京、珠三角等少量地区制定了建设用地中部分污染物的土壤风险筛选值的标准。 （2）“质量标准”的限值与“风险筛选指导值”之间的关系在业界和学术层面仍有争议。 （3）由于土壤环境调查（普查）和研究工作起步较晚、成果不多，或者基于保密原因外界未能取得数据，实际工作中土壤中污染物的区域背景值 / 土壤环境本底值的选取可操作性不强。 （4）暴露情景、暴露评估模型参数、污染物性质参数等关键因子的选取，以及风险控制值的评估计算模式等，更多是参照国际先进国家、地区或组织的经验，在结合我国实际情况予以“本地化”尚有待提高。 （5）地质、地下水文、土壤分类等资料不齐，不同物质在土壤和地下水之间的状态（价态）、迁移、降解机理等“污染行为”研究不清，导致污染范围的划界和修复工程土方量的估算不确定性较大。
确定修复技术	（1）我国土壤修复研究工作起步较晚，自行研发的核心修复技术不多，《污染场地修复技术名录（第一批）》中所列的土壤修复技术在我国成功应用的案例类型不多，一部分还停留在技术研发和小试阶段，少有自主技术和设备能够满足工程应用的要求[13–14]。 （2）场地利用历史的复杂性往往导致多种污染物共存、耦合形成复合型污染，各类修复技术都有其适用的范围和污染类型，同一区域内如何优选和确定修复技术的科技支撑不足，往往只能根据实验室模拟试验的结果作参考，但与工程应用现场的实际情况常有较大出入，修复效果未如理想。 （3）由于城市化进程的加快和“退二进三”，对工业污染场地土壤修复多以异位修复为主，目前采用的技术主要包括挖掘 + 热脱附、挖掘 + 固化稳定化 / 填埋、挖掘 + 水泥窑处置，甚至包括最原始的土壤挖掘 + 转移[15–16]，简单的挖掘固化技术并没有真正的消除污染物，只是将污染物进行了转移或者暂时固定，遗留的土壤和地下水污染的环保管理亟待解决。
修复工程实施	（1）从业人员经验相对缺乏，具有丰富的土壤调查、修复工作经验的专业技术人才储备不足[17]。 （2）由于治理修复工程给予的工期较短，多采用异位修复技术，但施工单位常未能足够重视修复过程土壤的挖掘、运输和基坑积水抽排中产生的二次污染问题，施工过程的环境监管缺乏必要的监测手段[18] 和应急处置预案，可能造成对周围空气或地表水的次生污染问题。 （3）工程实施过程中对清挖和修复效果的监控，往往采用施工单位自检、工程监理单位旁站见证并抽样送检与验收单位取样检测相结合的方式，但由于检测手段、方法不同等原因时有数据差异甚至质疑的情况发生，各方难以达成共识，也对施工进度造成影响。 （4）土壤修复的市场混乱，收益主体抽象，价值以及污染对资产的影响也难以定量评估[19]，实际费用与施工周期超出原预算的情况频发。
验收及跟踪	（1）政府实施监管所需的配套性法律法规、政策体系有待完善，目前仅有《工业企业场地环境调查评估及修复工作指南（试行）》中对于修复工程验收的要求做出原则性规定。 （2）土壤修复工程验收技术规范和土壤中污染物监测分析方法等行业标准的发布工作滞后，工作框架的设计和依据的方法有待完善。 （3）各级环保部门土壤污染物分析测试的实验室能力建设亟待加强。 （4）场地修复后期监管工作也应落实，包括建立场地档案，开展长时间的修复效果的跟踪验证，配套应急预案，同时也为修复技术的改进与优化提供科学支持。

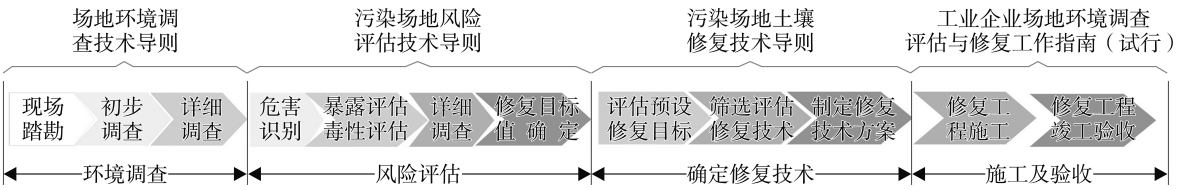


图 2 我国场地环境评价和修复的框架及技术标准体系

的出台，土壤调查及修复行业将获得更多的技术、资金支持，同时行业的关注度将迅速提升。参与到整个行业产业链的各类机构与所有从业人员，只有正视前述的技术瓶颈和问题，建立相关的诚信从业规范并自觉遵守其约束，避免无序甚至恶性竞争，同时加强技术积累和能力提升，以创新引领和驱动行业发展，才能在做好土壤环境质量保护与改善的同时，从根本上实现行业的良性、健康和绿色发展。

3 场地调查及污染土壤修复行业发展预期

为加强土壤污染防治，保护并逐步改善土壤环境质量，现国家层面的“土十条”已颁布实施，各地也将会陆续出台一系列的地方配套政策，土壤调查和修复行业的法律法规、政策标准都将进一步完善并细化。图 3 归纳了“土十条”中有关土壤利用与修复相关的部分内容，可看出国家对土壤修复行业发展规划的框架性理念。

随着“土十条”的实施，预计土壤调查和修复行业的前景比较可观，其发展得益于政策的强烈导向，

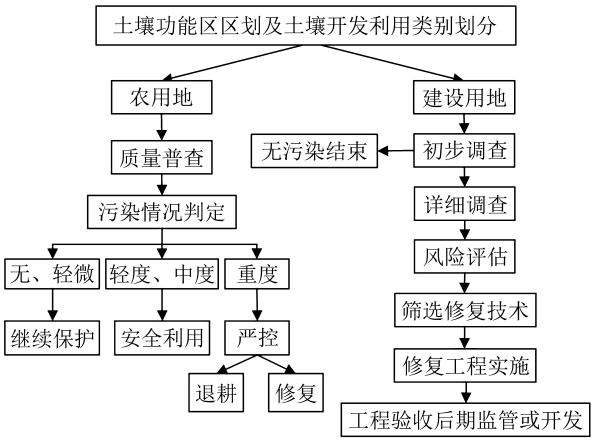


图 3 “土十条”关于土壤利用与修复的框架理念

将在短期内会出现“井喷式发展”，并随着行业从业规范的逐步形成，市场也将会从前期的混乱无序过渡为良性有序状态，土壤修复商业模式也将在摸索过程中逐步成熟。

结合目前我国土壤污染情况、土壤修复行业存在的主要问题，本文尝试从四类从事土壤调查和修复行业的机构视野，简要描绘行业的前景预期，见表 2。

表 2 不同类型的土壤调查与修复企业的前景预期

机构类别	发展前景预期
现有的集设计与施工于一身的综合型企业	（1）将土壤污染修复的关注重点集中在城市工矿企业、工业园区的遗留用地和农业生产活动用地上； （2）尽快筹集资金、搭建团队、引进技术，并抢先完成若干土壤修复项目，并将该项目作为示范性样板工程加大对外宣传；当市场开始迅速增长时，利用现有资金、技术资源迅速抢占新市场； （3）在市场进入中后期，技术能力、管理水平以及配套的设备、服务将逐步成为核心竞争力； （4）注重土壤修复过程中产生的二次污染问题，降低风险；对已完成工程应实施持续跟踪。
土壤修复专业技术类企业	市场将细分出场地调查、风险评估、修复技术方案制定、治理修复、环境监理、治理修复效果的监测验收等产业链的环节服务企业，产业链中还包括提供修复药剂、配套机械设备、第三方检测等。应根据自身人员、技术及所处区域情况，明确发展定位，做细做强其中的的一项或者多项业务，并建立自己的核心技术；综合实力强的也可以选择在整个产业链进行布局。
科研院所	（1）通过自主研发或引进吸收国外发达国家土壤修复行业的成熟技术，借鉴环保和其它行业现有的技术、设备，来提升机构的技术水平和科研开发能力，发挥行业专家的智库作用； （2）协助政府建立土壤环境基础数据库，构建土壤环境信息化管理平台；借助移动互联网 +、物联网、大数据分析等先进技术，拓宽数据获取渠道，实现数据动态更新，协助政府有关职能部门开展土壤污染防治和质量改善行动的管理与评估。

续表 2

机构类别	发展前景预期
外资企业或机构	受宏观政策的导向局限，较难直接参与到具体的土壤调查和修复项目中，可侧重于推介和引进国外先进技术和装备，并利用自身的技术和经验客观、公正、独立开展场地修复的咨询业务。

4　结语

综上所述，我国土壤环境状况总体不容乐观，部分地区土壤污染较重，耕地土壤环境质量堪忧，工矿企业废地、工业园区和农业土壤环境问题突出。场地土壤修复的技术水平、施工能力和管理经验等总体上与发达国家或地区相比仍较落后。随着近年来国家和政府对土壤污染问题的重视，一系列针对土壤污染防治政策的发布，必将给土壤修复市场带来了重大发展契机。相信通过各机构及从业人员的不断努力，在未来 5~15 年内，符合中国国情的“政府主导、企业担责、公众参与、社会监督”的土壤污染防治体系将逐步形成并完善，完成“土十条”所设定的工作目标及主要指标，也将实现“蓝天常在、青山常在、绿水常在”的“美丽中国梦”。

5　参考文献

[1] 魏复盛，陈静生，吴燕玉，等. 中国土壤环境背景值研究[J]. 环境科学，1991(4)：12-19.

[2] 韩冬梅，金书秦. 我国土壤污染分类、政策分析与防治建议[J]. 经济研究参考，2014，43：42-48.

[3] 贾琳，杨飞，张胜田，等. 土壤环境功能区划研究进展浅析[J]. 中国农业资源与区划，2015(1)：107-114.

[4] 薛祖源. 国内土壤污染现状、特点和一些修复浅见[J]. 现代化工，2014(10)：1-6.

[5] 李玲. 土壤污染特点现状以及监测技术浅析[J]. 黑龙江科技信息，2013(23)：34.

[6] 田丰月. 土壤污染的危害与防治[J]. 科技视界，2016(8)：267.

[7] 安婧，宫晓双，陈宏伟，等. 沈抚灌区农田土壤重金属污染时空变化特征及生态健康风险评价[J]. 农业环境科学学报，2016(1)：37-44.

[8] 环境保护部. 全国土壤污染状况调查公报[EB

[9] 邵学新，吴明，蒋科毅. 土壤重金属污染来源及其解析研究进展[J]. 广东微量元素科学，2007(4)：1-6.

[10] 蒋煜峰. 上海地区土壤中持久性有机污染物污染特征、分布及来源初步研究[D]. 上海：上海大学，2009.

[11] 王玉军，刘存，周东美，等. 客观地看待我国耕地土壤环境质量的现状——关于《全国土壤污染状况调查公报》中有关问题的讨论和建议[J]. 农业环境科学学报，2014(8)：1465-1473.

[12] 重金属污染防治与土壤修复行业 2014 年发展综述[J]. 中国环保产业，2015(8)：6-11.

[13] 黄益宗，郝晓伟，雷鸣，等. 重金属污染土壤修复技术及其修复实践[J]. 农业环境科学学报，2013(3)：409-417.

[14] 骆永明. 污染土壤修复技术研究现状与趋势[J]. 化学进展，2009(Z1)：558-565.

[15] 李秀悌，顾圣啸，郑文杰，等. 重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. 环境科学与技术，2013(S2)：203-208.

[16] 李社锋，李先旺，朱文渊，等. 污染场地土壤修复技术及其产业经营模式分析[J]. 环境工程，2013(6)：96-99.

[17] 周启星. 污染土壤修复的技术再造与展望[J]. 环境污染治理技术与设备，2002(8)：36-40.

[18] 张孝飞，陈檣，邓绍坡，等. 污染场地修复过程中挥发性有机物(VOCs)污染研究进展[J]. 生态与农村环境学报，2015(6)：831-834.

[19] 宋云，尉黎，王海见. 我国重金属污染土壤修复技术的发展现状及选择策略[J]. 环境保护，2014(9)：32-36.

Briefly Analysis Development Status, Problems and Development Prospects of Soil Remediation Industry Chain

Cheng Xiaogu　Zhang Zhanyi　Zhang Shengwei　Wu Youming　Xu Kaihua

Abstract　This article briefly describes the present soil pollution situation of our country and the development status of soil remediation industry, main analysis the technical bottlenecks and problems in soil survey and repair work, briefly depict industry development prospects combined with "Earth 10" framework, have a certain reference value to the majority of environmental agencies and practitioners.

Key words　soil remediation　industry chain　development status　problems　development prospects

广州燃煤电厂超低排放运行管理措施探讨

邓 莲 章生卫 庄永强 卓 奋 罗新华
（广州市环境保护科学研究院，广州 510620）

摘 要 对比燃煤电厂超低排放改造工艺和传统燃煤电厂烟气治理工艺的差异，并针对广州市燃煤电厂超低排放技术特点，提出了超低排放技术中脱硝、脱硫和除尘过程应关注的关键控制参数，为企业进行日常运行管理提供依据。

关键词 燃煤电厂 超低排放 运行管理

自2014年以来，我国先后有多家燃煤电厂自主实现烟气中NO_x、SO_2、烟尘三项大气污染物的超低排放，部分地方政府与国家有关部门出台文件要求煤电企业的新建和现有燃煤机组达到超低排放要求。2014年2月，广州市政府常务会议审议通过了《广州市燃煤电厂“超洁净排放”改造工作方案》，实施“50355”工程，即经改造后的广州燃煤电厂大气污染物排放浓度要达到天然气燃气轮机组排放限值($NO_x \leqslant 50$ mg/m^3，$SO_2 \leqslant 35$ mg/m^3，烟尘$\leqslant 5$ mg/m^3)。2015年12月2日，李克强总理主持召开国务院常务会议，决定全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造，大幅降低发电煤耗和污染排放。随后国家制定了《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》(环发[2015]164号)，要求在基准氧含量6%条件下，烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别低于10、35、50 mg/m^{3}的超低排放要求。事实上，据不完全统计，截至2015年5月底，我国宣称实现超低排放的煤电机组规模已超过3 000万KW，另有几亿KW规模的煤电机组处于改造或计划改造中[1]。在已完成改造机组的监测结果或验收情况来看，排放的NO_x、SO_2、烟尘三项大气污染物均可达到国家标准要求。但其能否保持长期稳定超低排放，煤电企业自身的日常运行管理至关重要。由于燃煤电厂超低排放技术与常规燃煤烟气治理技术有所差别，煤电企业应根据自身超低排放的工艺特点，在现有电厂日常运行管理及管理规范等方面做出相应调整。

1 国内燃煤电厂超低排放主要技术方法

国内燃煤电厂超低排放技术方法主要通过集成各种先进高效的脱硝、脱硫、除尘技术，优化工艺流程和相关参数，充分发挥其协同脱除功效来达到超低排放目的。主要采用技术方法有[2-5]：脱硝基本采用低氮燃烧技术+选择性催化还原(SCR)组合方式、增加SCR催化剂的填装层数或是增大催化剂的体积、更换高效催化剂等措施，改造后脱硝效率最高可达到85%~90%；脱硫主要采用石灰石－石膏湿法脱硫技术，包括双循环形式(单塔双循环、双塔双循环等)、托盘塔形式、增加喷淋层等措施，改造后脱硫效率最高可达到99%；除尘主要配套采用低低温静电除尘器、旋转电极、高频电源、三相高压电源等技术，并增设湿式静电除尘器、改造后综合除尘效率最高可达99.95%。

2 广州市燃煤电厂超低排放技术应用现状

至2015年8月，广州市共完成4家共8台燃煤机组的超低排放改造，改造后路线基本为：锅炉→低氮燃烧→选择性催化还原脱硝→静电除尘(+布袋除尘或电袋除尘)→石灰石－石膏湿法脱硫→湿式电除尘器→烟囱(见图1)。具体技术路线及改造内容(见表1)：

3 企业超低排放运行管理

燃煤电厂是实行超低排放监督管理的第一责任人，应树立良好的守法意识及强烈的社会责任感，建立健全保障烟气治理设施稳定可靠运行的管理体系，制定超低排放各工序操作规程，培训相关岗位操

收稿日期：2016-03-01，修改稿收到日期：2016-05-02

表 1　广州燃煤电厂超低排放改造主要内容

单位名称	机组、规模	主要技术路线	改造主要内容		
			脱硝	脱硫	除尘
广州恒运电厂[5]	8、9 号两台 330 MW 机组	锅炉→低氮燃烧→选择性催化还原脱硝→静电除尘→布袋除尘→单塔双循环湿法脱硫→湿式电除尘器→烟囱	采用多维深度分级低 NO_x 燃烧系统(MDSS)，调整原 OFA 顶二次风标高位置和数量,并新增布置两层分离式燃尽风调风器等	改为单塔双循环湿法脱硫	在湿法脱硫系统后增加配备一台金属刚性极板湿式电除尘
广州华润电厂	1、2 号两台 300 MW 机组	锅炉→低氮燃烧→选择性催化还原脱硝→静电除尘→石灰石－石膏湿法脱硫→湿式电除尘器→烟囱	加装催化剂单元,更换损坏和活性降低的催化剂单元等	原脱硫塔浆池高度抬高 6m,改造为五层喷淋层，喷淋区加高 4 m,顶上增加 2 层喷淋层，原 2 层平板式除雾器改为 2 层管式除雾器＋屋脊式除雾器(进口),更换托盘等	原 4 个电场可控硅电源更换为高频电源，增加湿式电除尘,采用塔外分体布置方式
中电荔新	1、2 号两台 300 MW 机组	锅炉→低氮燃烧→选择性催化还原脱硝→静电除尘→电袋复合除尘器→石灰石－石膏湿法脱硫→湿式电除尘器→烟囱	添加一层催化剂,即由原有两层催化剂变为三层催化剂等	吸收塔抬高 5 m,增加两个喷淋层等	保留原一、二电场阴阳极系统,将除尘器尾部位置向后扩建长度 2~3 m 的壳体空间,其空间布置布袋,将布袋加长。湿法脱硫系统后增加湿式电除尘器
旺隆电厂	1、2 号两台 100 MW 机组	锅炉→低氮燃烧→选择性催化还原脱硝→高效双室四电场静电除尘 / 电袋一体除尘器除尘→单塔双循环石灰石－石膏湿法脱硫 / 石灰石－石膏湿法脱硫→湿式电除尘器→烟囱	更换 1 层催化剂,增加 2 套热解炉电加热器等	改造为一炉一塔,1# 机组新建一套单塔双循环湿法脱硫系统，改造 2# 机组现有石灰石－石膏湿法脱硫系统；取消现有 GGH，增加 MGGH 作为烟气换热系统等	在湿法脱硫系统后增加湿式电除尘器

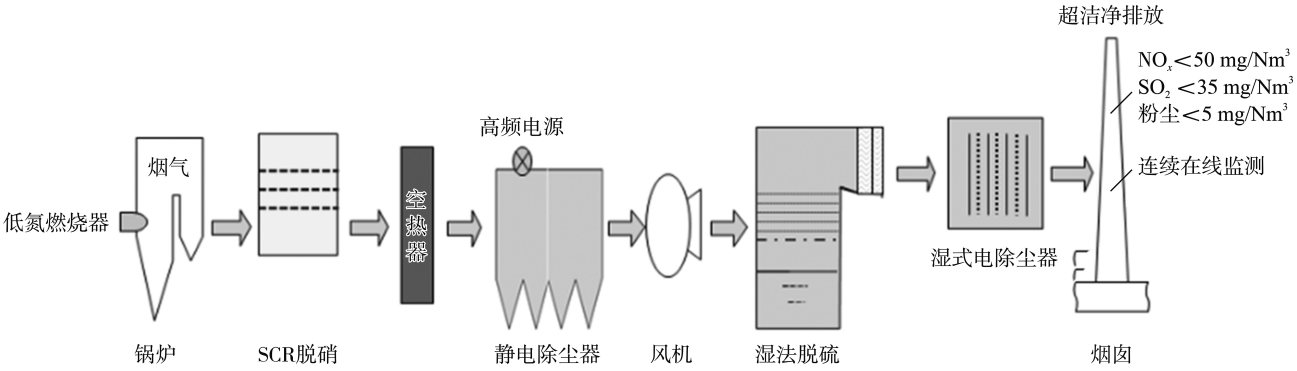


图 1　广州燃煤电厂超低排放基本路线流程

作人员，提供优质的维修保养服务，保持生产设施与环保设施同步高效运行。广州燃煤电厂超低排放运行管理，除了要遵照《火电厂烟气治理设施运行管理技术规范》要求外，还要针对超低排放工艺特点，完善调整现有日常运行管理要求，加强对超低排放改造工艺关键节点参数的运行管理。

3.1 脱硝工艺运行管理

脱硝改造包括低氮燃烧技术改造和选择性催化还原改造两部分。低氮燃烧技术改造主要为调整低氮燃烧的进风方式及优化相关参数。选择性催化还原改造主要采用增加 SCR 催化剂的填装层数或催化剂的体积，催化剂层数一般加装到三层，更换原有损坏或老化的催化剂，对流场与喷氨优化调整等。

3.1.1 低氮燃烧运行管理要点

（1）企业应加强锅炉低氮燃烧技术与提高锅炉热效率的最佳工艺组合参数的探索与优化，做到环境效益与经济效益的双赢。

（2）提高燃烧高挥发分、低氮、低硫、低灰分的优质煤（干燥无灰基挥发份＞36%、收到基灰分＜17%、收到基低位发热值＞22 MJ/kg、收到基氮＜0.9%、收到基硫＜0.8%，尽可能低的汞、铅含量）比例，减小锅炉烟气污染物的产生量。开展不同煤种的混合比例实验，提出适合自身企业锅炉燃烧运行的最佳煤种混合比例。

（3）为满足超低排放要求，低氮燃烧工艺后排烟 NO_x 浓度建议控制在 350 mg/m^3 以下。

（4）锅炉高负荷运转阶段，应合理选择燃烧煤种及匹配，降低煤粉细度 R_{90}；加大燃尽风阀调节角度，减小炉膛火焰上升所带来的 NO_x 生成量增加的影响。

（5）锅炉低负荷运转阶段，应及时调整磨煤机的数量与机台号，调节二次风阀角度与水平摆角，防止结焦。

（6）为了达到全时段 NO_x 超低排放，应加强机组低负荷运行状况下各调整措施的落实及各相关参数的监测控制。

3.1.2 SCR 运行管理要点

（1）安装省煤器超越管。为保障锅炉启停阶段烟气迅速升温、低负荷运行时 SCR 进烟反应温度，需要将锅炉出膛烟气部分超越省煤器直接进入 SCR 反应段，确保全时段的 NO_x 得到处理。

（2）氨气投加控制。投加量根据反应器进出口 NO_x 浓度差调整控制；制氨系统设反应器低温、高温保护以及进出口压差保护，当温度低于 SCR 反应温度时，氨气停止投加；反应器进出压差超过设定值时，氨气也要停止投加。

（3）防止空气预热器积盐堵塞。措施包括：降低燃煤含硫量与灰分；降低氨气逃逸量；采用低 SO_2/SO_3 转化率的脱硝催化剂；提高燃烧效率降低飞灰含碳量；选择合适的空气预热器和吹灰系统；采用低过量空气燃烧方式。

（4）吹灰控制。吹灰采用蒸汽吹扫方式，吹灰频率根据反应器进出压差与脱硝效率调整控制。

3.2 脱硫吸收塔运行管理

多采用石灰石－石膏湿法脱硫技术，燃用煤种多为低硫煤种。部分原有的单塔单循环脱硫改为单塔双循环脱硫，脱硫系统采用的增容改造主要包括：双托盘、增加脱硫塔浆池和喷淋区高度、增加喷淋层或采用交互喷淋、增加浆液输送量、增压风机改造、增设或改进除雾器等。脱硫过程需对脱硫效率、吸收塔浆液 pH 值、吸收塔浆液密度、石灰石浆液密度、除雾器压差等参数进行控制调整。

（1）脱硫效率可以以脱硫后烟气 SO_2 浓度作为控制指标，为了确保净烟气 SO_2 浓度排放在超低排放规定的浓度范围以内，燃煤含硫率应控制在 0.8% 之内，脱硫效率一般要求控制＞98%。

（2）改造后的脱硫吸收塔主要有单塔单循环、单塔双循环、双塔双循环等形式，不同形式的脱硫塔对应浆液 pH 值不同。单塔单循环吸收塔 pH 值范围：5.0~5.5；单塔双循环：塔内浆液 pH 值 4.5~5.0，塔外吸收槽浆液 pH 值 5.5~6；双塔双循环：一级循环浆液 pH 值 4.5~5.0，二级循环浆液 pH 值 5.8~6.4。

（3）吸收塔浆液密度值不但直接影响石膏脱水的效果，也关系到浆液循环泵的能耗，相同条件下，随着吸收塔密度的升高，循环泵的运行电流也升高。为保证喷淋管正常运行，石灰石浆液密度应控制在 1 170 Kg/m^3~1 200 Kg/m^3 之间。

（4）在额定烟气流量下，每级除雾器的压降保证值为不大于 200 Pa，除雾器出口烟气中的雾滴浓度应不大于 75 mg/m^3（标态、干基）。

3.3　除尘运行管理

一般为二级除尘或三级除尘，多采用静电除尘（+ 布袋除尘或电袋除尘）+ 湿式电除尘。除尘系统改造包括在静电除尘器加装高频电源等以提高现有的干式静电除尘器的除尘效率外，控制高比电阻烟尘的反电晕、振打二次扬尘以及细小微粒 $PM_{2.5}$，改进清灰方式。在脱硫塔后管道增设除雾器，更换优化现有除雾器等。除尘系统主要控制的参数包括：各除尘单元的实时进口烟气流量、烟气温度、出口烟气浓度及其历史曲线、出口烟气温度等。

（1）实时查看各除尘单元的烟气温度是否处于正常范围，通常静电除尘器进口端烟气温度＜200℃；布袋除尘器进口烟气温度（经过空气预热器后）＜150℃；湿式电除尘进口端烟气温度＜60℃，排烟温度 45℃~55℃。

（2）静电除尘单元分为多个工作室，每室多个电场，每个室的各个电场应能单独通烟气除尘、单独停风振打清灰、停机维修。检查正常工作的每个电场的操作电压差（通常宽极距电场电压为 50~70 KV，前部电场电压稍低、后部电场电压稍高。如电场电压过低，则应检查电源是否正常、阴极线断线搭上阳极板，应停机维修）、电场火花率（火花率应维持在 150 之内，过高的火花率影响除尘效率）。

（3）核查电除尘器的电压、电流的变化曲线，特别是二次电压和二次电流，了解电除尘器性能改变，是否有设备结构上的故障，电场投运情况，以及是否烟气性质有了变化。

（4）布袋除尘单元分为多个腔室，每个腔室应能单独停风反吹、停机更换布袋及维修。检查正常工作的每个腔室的操作压力差（通常压差为 0.3~0.4 KPa。压差过小，可能存在布袋穿孔，需要该腔室停机更换布袋；压差过大，则应检查脉冲反吹风系统是否正常、布袋是否出现板结需要更换）、清灰参数设定、单元系统出口烟气烟尘浓度等，判断布袋除尘单元的操作状态。

（5）注意保持湿电系统的操作电压及喷淋系统的工作稳定性，当出现电压大幅跳动或无法提升操作电压时，应及时停机检查电源系统与阴极线并上报。

（6）开展湿电阳极材料研究，调整极板水雾喷淋角度，尽量保持集尘板水膜均匀性，避免阳极板出现偏流与干区，提高除尘效果、减小极板腐蚀。

（7）控制循环喷淋水抗微生物制剂加入量，抑制硫还原菌及其他生物菌的生长；保持循环水 pH 值 4~5、氯化物浓度＜14 000 ppm；当循环水检测到氯化物与悬浮物浓度过高时，应加大湿单元外排水量、补充新鲜水，防止喷嘴堵塞与电场内部结构的材料腐蚀、溶质浓度过高对烟尘达标的影响。

（8）优化治理系统设计，保持锅炉低负荷运行阶段的水平衡；按锅炉负荷及时调整配水系统的冲洗周期，各水泵启停阶段均需要反冲洗，防止积灰。

（9）为满足超低排放对烟尘颗粒物浓度要求，湿式电除尘单元正常运转是其关键。通常检查其电场电压（分为 1~2 个电场，每个电场的电压约保持在 40 KV），对应的电流值、火花频率（湿式电除尘火花率较低，接近零）。检查湿式电除尘单元喷淋系统的喷淋量、喷淋液的 pH 值（微酸性）。

（10）检查湿式电除尘器的水喷淋用水量，确保极板的喷淋应能形成均匀的水膜，保持连续清灰。

4　结论

要保持燃煤电厂 NO_x、SO_2、烟尘三种污染物长期稳定超低排放，燃煤企业除了要遵循一般火电厂运行维护管理总体要求之外，还应针对机组超低排放工艺的特性，适当调整煤电机组日常运行管理条例及规范，加强脱硝、脱硫和除尘过程中关键节点参数的控制，在日常运行管理中对超低排放改造机组真正做到有的放矢、实时全面的监控管理。

5　参考文献

[1] 王志轩. 燃煤电厂大气污染物“超低排放”基本问题思考[J]. 环境影响评价，2015，37（4）：14–17.

[2] 赵永椿，马斯鸣，杨建平，等. 燃煤电厂污染物超净排放的发展及现状[J]. 煤炭学报，2015，40（11）：2629–2640.

[3] 赵金龙，胡达清，单新宇，等. 燃煤电厂超低排放技术综述[J]. 电力与能源，2015，36：701–707.

[4] 徐平. 燃煤火电机组超净排放技术路线分析与选择[J]. 华电技术，2015，37：55–58.

[5] 王娴娜，朱林，姜艳靓，等. 燃煤电厂烟尘超低排放技术措施研究[J]. 电力科技与环保，2015，31（4）：47–49.

[6] 刘学军. SCR 脱硝技术在广州恒运热电厂 300MW 机组上的应用[J]. 中国电力，2006（3）：86–89.

Investigation on Operation Management Measures of Ultra-low Emission Coal-fired Power Plant in Guangzhou

Deng Lian Zhang Shengwei Zhuang Yongqiang Zhuo Fen Luo Xinhua

Abstract The differences of ultra-low emissions reformation technology with the traditional flue gas treatment process of coal-fired power plant were contrasted. According to the ultra-low emission technical features of coal-fired power plant in Guangzhou, the key control parameters of denitrification, desulfurization and dedusting process in ultra-low emission technology were proposed. It provided the basis for Coal-fired power plant daily operation and management.

Key words coal-fired power plant ultra-low emissions operation management

垃圾分类 校园先行

——2015 年广州市中小学垃圾分类教育活动成果丰硕

出席会议领导有：广州市教育局科研处处长谷忠鹏（中）、副调研员邱国俊（左）、广州市城管委固废办分类处副处长林宁龙（右），图中谷忠鹏处长作总结性发言。

“2015 年广州市中小学校垃圾分类教育示范基地创建活动”总结座谈会现场。

广州市青科教协副秘书长、广州市中小学劳动技校书记管于琴（左），会议由广州市青科教协环境教育专委会副主任、市第 97 中学副校长陈红燕（右）主持。

2015 年 12 月 29 日，由联合国开发计划署等主办、在人民大会堂召开的“2015 年中国城市可持续发展国际论坛”上，广州市垃圾分类处理项目获得了“2015 年中国城市可持续发展范例奖”。这个鼓舞人心的美誉在论坛中只有三个，人们都赞叹这是来之不易的！毫无疑问，环境保护，教育为本。众所周知，广州市长陈建华向来对垃圾分类工作非常重视，在大家都为建设低碳广州不遗余力之际，正是广大中小学师生通过言传身教，提高环境意识，积极认真践行绿色理念之时。我们可细览此文，也许会领悟其中路向，催人奋进！

一、学校垃圾分类教育“大手拉小手”活动添后劲

根据《广州市教育局关于在全市中小学校广泛开展垃圾分类“小手拉大手”活动的通知》（穗教科〔2014〕132 号）、《广州教育局关于印发广州市中小学校全面创建垃圾分类教育示范基地工作方案的通知》（穗教科〔2015〕80 号）、《广州市教育局关于组织对全市中小学校开展垃圾分类“小手拉大手”活动及全面创建垃圾分类教育示范基地情况进行调研抽查的通知》（穗教科〔2015〕135 号）等文件的精神要求，广州市青少年科技教育协会环境教育专委会从 6 月份通过广州市教育局发文，经过发动、推荐，全市各区共推荐了 30 所参评标杆学校、43 位参评小能手、33 户参评友好家庭。专家们通过对推荐资料的审核，评出广州市天河区华阳小学等 10 所标杆学校、番禺区石基镇前锋小学六（2）班黄新华同学等 20 名垃圾分类小能手和黄埔区怡园小学六（5）班李玥星家庭等 10 户垃圾分类友好家庭。为已经评上广州市级垃圾分类教育示范基地的学校提供了再发展的动力。

二、编纂出版学校垃圾分类教育通用教材——《垃圾分类校园行（小学版）》

1. 组织广州市中小学教育读本《垃圾分类校园行》论证会

2015 年 4 月 24 日，召开了广州市中小学教育读本《垃圾分类校园行》论证会，广州市教育局科研处处长、广州市青少年科技教育协会秘书长谷忠鹏先生主持会议。由华南师大生命科学院副院长、珠江学者李韶山教授、华南师大环境系主任曾丽璇教授、广州大学环境学院陈南教授等组成的专家组，为市级专项读本的推进做好关键性的论证工作。

2.《垃圾分类校园行（小学版）》正式发行

2015 年 11 月组织环境教育专业委员会专家编写的《垃

（下转第 19 页）

某机械加工废水处理工程实例

萧洁韵
（广州蓝碧环境科学工程顾问有限公司，广州　510507）

摘　要　机械加工工业生产废水进水 COD_{Cr}、BOD_5、SS 的质量浓度分别为 80 200 mg/L、40 667 mg/L、518 mg/L。采用“预处理 + 厌氧 + 缺氧 + 好氧 + MBR + 消毒”处理工艺，进水 COD_{Cr}、BOD_5、SS 的去除率达到 99.9%、99.9%、93%，出水指标达到《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）中新建企业一级排放标准。

关键词　机械加工工业废水　破乳　气浮　厌氧　缺氧　好氧　MBR　消毒

一般地，机械加工工业废水主要来源于机械加工过程中的润滑、冷却、传动等系统产生的含油废水，主要含润滑用机油、冷却和传动用的乳化油等，机械零件加工前清洗过程中产生的含油废水，机械加工车间冲刷地面、设备等排出的含油废水等。废水中的油类一般以以下三种形式存在：浮油，其油珠粒径一般在 100 um 以上，经短时间的静置即可浮到水面；分散油，其油珠粒径一般在 10~100 um，经长时间静置澄清也不易完全浮上表面；乳化油，其油珠粒径一般在 1~10 um，这种含油废水一般含有石油、碳酸钠、油酸皂等表面活性剂，处理时必须经过破乳。本工程实例废水类型含有切削液、乳化液废水、含油废水。废水呈碱性，主要污染物为 COD_{Cr}、BOD_5、pH 值、SS、石油类等。

本工程实例针对此类废水的水质和企业生产特性，采用“预处理 + 厌氧 + 缺氧 + 好氧 + MBR + 消毒”处理工艺，该工艺自建成后运行稳定良好，出水达到《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）中新建企业一级排放标准。

1　废水水质水量

设计总水量为 1 000 t/d（其中生产废水水量为 100 t/d，生活污水水量为 900 t/d），废水进水和出水水质指标根据实测值，具体见表 1、表 2、表 3。

表 1　生产废水设计进水水质　mg/L

污染物种类	进水浓度
化学需氧量（COD_{Cr}）	80 200
生化需氧量（BOD_5）	40 667
悬浮物（SS）	518
石油类	7 473

表 2　生活污水设计进水水质　mg/L

污染物种类	进水浓度
化学需氧量（COD_{Cr}）	350
生化需氧量（BOD_5）	150
悬浮物（SS）	100
油类	15

表 3　设计出水水质　mg/L

污染物种类	进水浓度
化学需氧量（COD_{Cr}）	60
氨氮（NH_3-N）	10
悬浮物（SS）	70
油类	5

2　处理工艺流程

针对该废水水质特点，本工程采用“预处理 + 厌氧 + 缺氧 + 好氧 + MBR + 消毒”的组合处理工艺，具体设计工艺流程见图 1。

切削液、乳化液废水和含油废水由于污染物浓度过高，先经过单独预处理后，再与生活污水混合进入生化系统。

切削液、乳化液废水和含油废水预处理：先经过格栅网去除大块浮渣后进入生产废水调节池，调节

收稿日期：2016-01-06，修改稿收到日期：2016-05-02

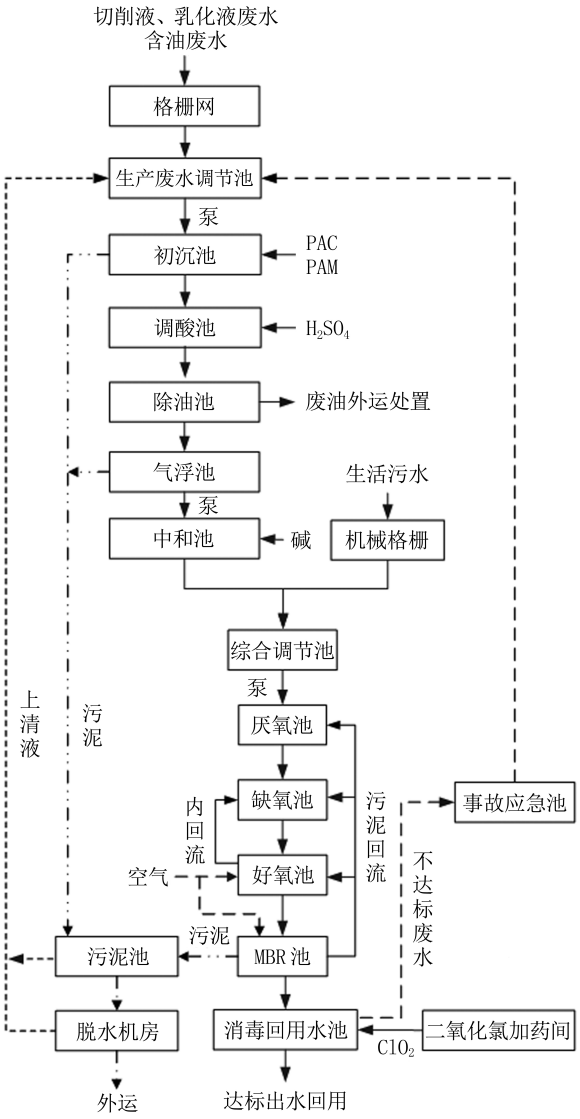


图 1 废水处理工艺流程

废水的水质水量，生产废水调节池的废水通过泵输送至初沉池沉淀，去除部分 SS 后进入调酸池进行酸化破乳，通过投加 H_2SO_4，将 pH 值调节至 2~3，油类物质和一些替他物质会由溶解态或胶体态转化为悬浮态，再通过除油装置，去除水中的大部分油类物质。除油装置出水进入气浮装置，去除废水中部分 SS 及剩余油类物质，并以污泥的形式排到污泥池，废水加碱中和至 6~9 后进入综合调节池，与生活污水混合。

生活污水经机械格栅后进入综合调节池。经除油处理的生产废水与生活污水在综合调节池混合后，泵送至厌氧池，进一步降低出水中的污染物。厌氧池中废水中的大分子难降解有机物被转化成易于降解的小分子物质（如有机酸等），出水进入缺氧池，在兼性微生物的作用下 COD 进一步降低，废水的可生化性提高。随后，缺氧池出水进入好氧池，通过好氧微生物降解废水中的有机污染物。好氧池出水进入 MBR 池，通过 MBR 池后废水中有机物、SS 进一步降低，达到生活杂用水水质标准要求。MBR 池出水后进入消毒池，通过 ClO_2 消毒后排入回用水池，处理达标的污水回用于生产和生活。

废水处理过程中产生的污泥经污泥泵输送至污泥浓缩池，通过板框压滤机的脱水作用压榨成干污泥饼，外运交由有资质的固废处理公司处理。

3 主要构筑物及设计参数

3.1 主要工艺参数

具体见表 4。

表 4 主要工艺参数

名 称	停留时间（h）	参 数
生产废水调节池	24	有效容积：100 m^3
初沉池	—	表面负荷：0.67 $m^3/m^2 \cdot h$
调酸池	1	有效容积：4 m^3
除油池	—	表面负荷：2.0 $m^3/m^2 \cdot h$
气浮池	—	表面负荷：3.0 $m^3/m^2 \cdot h$
综合废水调节池	12	有效容积：500 m^3
厌氧池	56	容积负荷：0.44 $kgCOD/m^3 \cdot d$
缺氧池	14	容积负荷：0.26 $kgCOD/m^3 \cdot d$
好氧池	25	容积负荷：0.22 $kgCOD/m^3 \cdot d$，气水比 28:1

3.2 工艺可行性分析

本工程实例生产企业每日需要处理污水 1 000 t，其中生产废水 100 t/d，生活污水 900 t/d。经过小试发现，如果把切削液、乳化液废水、含油废水和生活污水混合后测定水质，油污会抑制好氧微生物产生 BOD_5 测定值偏小的现象，此外乳化液中的含氮化合

物会引起 NH_3–N 偏大的情况，因此需要对生产废水进行预处理。

切削液、乳化液污染物浓度较生活污水高很多，且生化性很差，需单独进行预处理，再跟生活污水混合。一方面对其污染物稀释，另一方面提高其可生化性，然后一同进入生化处理系统进行处理。

切削液、乳化液预处理工艺先进行格栅拦截大块悬浮物，后调节水质水量提升到初沉池去除废水中的铁屑及其他固态物质，再采用“调酸 + 除油 + 气浮 + 中和”。

切削液、乳化液在调酸池调节 pH 值至 2~3，某些物质会由溶解态或胶体态转化为悬浮态，再利用隔油 + 气浮将其从溶液中分离出来。其处理方法的主要特点是分离速度快、污泥含水率低、占地面积小。

气浮后的废水通过在线 pH 值监测系统，投加碱调节进水的 pH 值至中性，再进入生化系统，保证厌氧系统和好氧系统均能高效率稳定运行。

本工程生产废水水污染物浓度高，而生活污水污染物浓度较低，通过设置调节池混合各种类型废水，降低进水的污染负荷，均匀水质水量，保证后续系统的正常高效运行。

本工程厌氧处理工艺选择“厌氧 + 缺氧工艺”，因为本工程属于 COD 含量较高的废水。厌氧 + 缺氧工艺能够直接处理有机物含量较高的废水，处理出水水质稳定。厌氧 + 缺氧工艺成熟，运行稳定，能长时间持续运行。厌氧污泥经过驯化后，沉降性能极好，能够长时间不间断的稳定运行，处理效果好。再者，厌氧 + 缺氧工艺构筑物结构简单，投资成本与运行费用低，操作简单，满足本工程废水处理的要求。

根据进出水指标的要求，本项目采用的工艺流程应先进成熟、处理效率高（工艺要求不仅能高效去除有机物和悬浮物）、操作管理方便、自动化程度高（日常运行中能实现自动监测和调整运行），并尽可能地节省占地面积和能耗、降低运行费用。

根据本工程的实际情况，在厌氧 + 缺氧池后采用“生物接触氧化 +MBR”处理工艺，工艺成熟，处理效率高，出水水质稳定，运行费用低，并且可实现自动化管理。同时，采用 MBR 工艺，具有出水水质优质稳定，剩余污泥量少，节省占地面积，运行自动化程度高等优点。

本工程实例自 2014 年建成运行至今，系统运行稳定，出水效果好，满足达标排放的要求，因此，从实际运行情况来看，此工艺是经济可行的。

3.3　工艺特点

（1）针对废水特性，采用酸析法破乳预处理工艺，保证后续生化处理系统稳定运行；

（2）“厌氧 + 缺氧 + 好氧 + MBR”处理工艺，工艺成熟，处理效率高，出水水质稳定，运行费用低，并且可实现自动化管理；

（3）MBR 系统占地面积小，运行效果高效稳定，膜元件易清洗，自动化程度高；

（4）系统安装、维修、操作方便，减少人为操作；

（5）系统运行稳定，出水水质好。

4　运行情况

（1）本工程各处理单元运行状况良好，各主要运行单元处理效果（见表 5）：

表 5　各主要运行单元处理效果

主要处理单元	指　标	COD_{Cr}（mg/L）	BOD_5（mg/L）	SS（mg/L）	石油类（mg/L）
生产废水调节池	进水	80 200	40 667	492	7 473
	出水	80 200	40 667	492	7 473
	去除率	0%	0%	0%	0%
初沉池	进水	80 200	40 667	492	7 473
	出水	68 170	34 567	197	7 473
	去除率	15%	15%	60%	0%
酸化隔油池	进水	68 170	34 567	197	7 473
	出水	13 634	6 913	138	1 121
	去除率	80%	80%	30%	85%
气浮池	进水	13 634	6 913	138	1 121
	出水	10 907	5 531	55	112
	去除率	20%	20%	60%	90%
中和池	进水	10 907	5 531	55	112
	出水	10 907	5 531	55	112
	去除率	0%	0%	0%	0%

续表 5

主要处理单元	指标	COD_{Cr} (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	SS (mg/L)	石油类 (mg/L)
综合调节池	进水	1 481	727	91	25
	出水	1 481	727	91	25
	去除率	0%	0%	0%	0%
厌氧池	进水	1 481	727	91	25
	出水	444	218	91	15
	去除率	70%	70%	0%	40%
缺氧池	进水	444	218	91	15
	出水	289	142	91	9
	去除率	35%	35%	0%	40%
好氧池	进水	289	142	91	9
	出水	58	14	91	2
	去除率	80%	90%	0%	75%
MBR 池	进水	58	14	91	2
	出水	46	8	36	2
	去除率	30%	40%	60%	0%

（2）监测站数据。本工程自运行以来，出水稳定，各项出水指标均达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中新建企业一级排放标准，具体出水水质情况（见表 6）。

表 6 出水水质监测数据 mg/L

污染物种类	出水浓度
化学需氧量（COD_{Cr}）	46
生化需氧量（BOD_5）	8
悬浮物（SS）	36
石油类	2

（3）经济分析。本工程总投资 1 890 万，其中土建投资为 756 万，设备及其他投资为 1 134 万。直接处理成本为 5.028 元 /t 废水，其中人工费 1.905 元 /t 废水，电费 2.704 元 /t 废水，药剂费 0.419 元 /t 废水。

5 结语

本工程实例采用“预处理 + 厌氧 + 缺氧 + 好氧 + MBR + 消毒”的组合处理工艺，废水处理系统运行稳定，出水各项指标均达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中新建企业一级排放标准。

6 参考文献

[1] 尹士君. 水处理构筑物设计与计算[M]. 北京：化学工业出版社，2003.

[2] 王绍文. 高浓度有机废水处理技术与工程应用[M]. 北京：冶金工业出版社，2003.

[3] 孙莉英，杨昌柱. 含油废水处理技术进展[J]. 华中科技大学学报：城市科学版，2002，19（3）：87-91.

[4] 田禹，范丽娜. 盐析法处理高浓含油乳化液及其反应机制[J]. 中国给水排水，2004，20（4）：47-49.

Engineering Example of Wastewater Treatment of Mechanical Processing

Xiao Jieyun

Abstract The COD_{Cr}, BOD_5, SS of wastewater influent of mechanical processing were 80 200 mg/L, 40 667 mg/L, 518 mg/L, respectively. The treatment process of combination of pretreatment + anaerobic + hypoxia + aerobic + MBR（membrane bioreactor）+ disinfection were adopted. Removal rate of COD_{Cr}, BOD_5, SS were 99.9%, 99.9% and 93%, respectively. The effluent water quality met the first Class discharging standards for newly built enterprises of integrated wastewater discharge standard（GB 8978-1996）.

Key words industrial wastewater of mechanical processing demulsification air flotation anaerobic hypoxia aerobic MBR disinfection

厌氧 + 好氧组合工艺在酿造废水中的实际运用

庄仲昌
（泗阳城东污水处理有限公司，江苏 泗阳　223700）

摘　要　本文介绍厌氧 + 好氧组合工艺在酿造废水处理工程中的实际应用,分析总结工程设计及运行经验。该工艺具有运行稳定和处理效率高等优点,实现企业良好的经济效益、社会效益和环境效益。

关键词　厌氧 + 好氧组合　酿造废水　经济效益

白酒酿造产生的污水具有高浓高温、富含氮磷、并呈酸性的一种有机废水，废水中主要污染物为糖类、醇类、维生素等物质,BOD_5 值高、可生化性好,具有潜在的资源可利用特性。本项目 6 000 t/d 处理规模投资近 7 660 万,每吨水处理直接成本 4.2 元。

某白酒生产基地现有年产 3.6 万 t 原酒生产车间 20 个,采用预处理 + 两级厌氧 + A2O 工艺,污水处理过程中产生沼气全部回收，通过自建沼气锅炉生产蒸汽用于生产过程中。通过该工艺的稳定运行证明:该工艺技术先进、运行可靠、经济可行。

1　企业生产概况

该厂以优质高粱、小麦、大麦、豌豆等为原料,年产原酒 3.6 万 t,废水的排放总量为 2 600 m^3/d,其中发酵废水 160 m^3/d。

2　处理工艺

2.1　工艺简介

本工程主要采用物化预处理 + 两级厌氧 + A2O 工艺。以物化为预处理和后端深度处理主要手段;以一级 EGSB 和二级 UASB 为厌氧处理的主要装置;以 A2O 为主要好氧生物处理方式。

2.2　废水水质

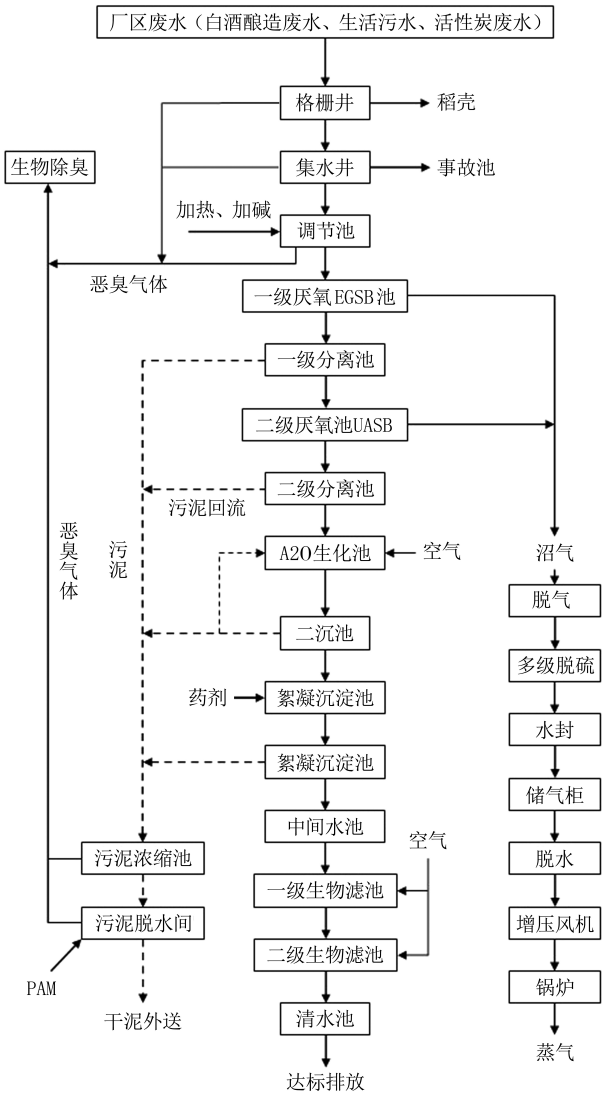
根据项目管理部门提供的相关资料，其进水水质的指标参数如表 1 所示：

表 1　进出水水质指标

废水量（t/d）	污染物名　称	进水浓度（mg/L）	产生量（t/a）	出水浓度（mg/L）	排放量（t/a）	排放标准（mg/L）	备　　注
2 600（生产期 265 天）	pH 值	3.9–4.5（无量纲）		6–9（无量纲）		6–9（无量纲）	处理达到《发酵酒精和白酒工业水污染物排放标准》中（GB 27631–2011）间接排放标准和城东污水处理厂接管标准（即污水排放综合三级标准）后，排入城东污水处理厂深度处理。
	COD	30 030	20 691	380	262	400	
	BOD_5	11 157	7 687	70	48	80	
	SS	3 130	2 156	120	83	140	
	NH_3–N	168	116	8	5.5	30	
	TN	862	594	35	24	35	
	TP	224	119	3	2.1	3	
	色度	190 倍	—	80 倍		80 倍	
其他进水指标:SO_4^{2-}:1 000 mg/L；水温:50℃							

收稿日期：2016–03–05，修改稿收到日期：2016–05–02

2.3 工艺流程示意图



为便于分析，将上述工艺分为污水处理、污泥处理、除臭以及沼气利用系统加以论述。

工艺说明：

2.3.1 污水处理系统

废水排入集水井，设置粗、细格栅以拦截较大的悬浮物，经泵送至调节池，出水先后进入 EGSB、UASB 池。废水中大部分有机物被处理吸收，污泥处于充分的膨胀状态，经过三相分离器把污泥、污水、沼气分离开来。EGSB 出水经一级分离池进行泥水分离后进入进入 UASB 进行二级厌氧处理。通过产甲烷菌，将水中的有机污染物进行分解。UASB 池采用脉冲布水方式进行配水，中温下运行（30℃~35℃），UASB 池出水进入二级分离池进行泥水分离。污泥回流到 UASB 池中，剩余污泥输送到污泥处理设施进行处理[1]。

厌氧系统出水经分离处理后进入 A2O 生化池的厌氧反应器，使高 COD 物质在该段得到部分分解，后进入缺氧段反硝化，再进入氧化降解和硝化反应的好氧段。好氧段部分出水通过回流而进入缺氧阶段，与厌氧段的出水混合，另一部分出水进入二沉池，分离活性污泥后作为出水，污泥直接回流到厌氧段。二沉池污水输送到絮凝沉淀池进行泥水分离，絮凝池出水进入中间水池后进入生物滤池经进行深度处理，二沉、絮凝池污泥输送到污泥处理设施进行处理，尾水进入清水池达标排放。

2.3.2 污泥处理系统

污泥采用连续重力浓缩，将浓缩池的剩余污泥初步减容，污泥再进入除磷浓缩池处理。处理后的污泥再利用离心脱水机对污泥压滤脱水，经离心脱水机脱水处理后，污泥体积减少，含水率可达到 80% 左右，便于外运处置。

2.3.3 除臭系统

污水处理站恶臭气体的主要成分为 H_2S 和 NH_3、厌氧前段恶臭产生量较大，主要采用生物除臭法进行处理。主要是利用微生物的生物化学作用，使污染物分解，转化为无害的物质，同时经同化作用并利用异化作用过程中所产生的能量，使微生物的生物体得到增长繁殖，为进一步发挥处理能力创造有利的条件。

2.3.4 沼气处理利用系统

从厌氧系统收集沼气后经过汽水分离、多级脱硫、储气、二次增压后输送至沼气锅炉用于生产蒸汽。储气采用双膜法气柜，沼气回收利用系统设有多道阻火、防爆以及自排装置，增压风机及风机房均采用防爆设计，确保系统安全可靠。沼气在使用前采用常温 Fe_2O_3 干式脱硫。当脱硫装置出口沼气中 H_2S 浓度为 20 mg/m^3 时，即脱硫剂失去活性时，需要对脱硫剂进行更换处理。

3 主要构筑物及设备

3.1 主要构筑物一览（表 2）

3.2 主要设备及机械一览（表 3）

3.3 各工序处理效果及出水水质（表 4）

表 2　污水处理站主要构筑物一览

项　目	规格(长×宽×高)(m)	参　数	数　量	单　位	备　注
格栅、集水井	1.0×5.0×4.5	容积 25 m^3	2	座	内部防腐
调节池	6.0×5.0×6.5	有效容积 200 m^3	1	座	内部防腐
一级厌氧及分离池	12.5×8.0×15 6.0×8.0×15	有效容积 1 500 m^3 720 m^3	7+1	座	内部防腐
二级厌氧及分离池	12.5×8.0×15 6.0×8.0×15	有效容积 1 500 m^3 720 m^3	6+1	座	内部防腐
综合生化池	58.4×46×5.5	有效容积 13 000 m^3	1	座	—
二沉池	Φ20×4.0	有效容积 1 000 m^3	1	座	—
絮凝搅拌及沉淀池	4.0×4.0×3.5 Φ20×4.0	有效容积 48 m^3 1 000 m^3	1	座	—
两级滤池	5.0×5.0×6.0	有效容积 137 m^3	4	座	—
污泥浓缩池	Φ8×5.0	有效容积 225 m^3	2	座	—
风机房	24×8.0×5	192 m^2	1	间	隔音降噪
污泥脱水间	15×12×8.5	180 m^2	1	间	—
锅炉机房	35×14×6.5	476 m^2	1	间	—

表 3　污水处理站工程主要工艺设备

项　目	规格型号	技术参数	数　量	单　位
粗格栅	GS-1-4.5	宽 1 m,深 4.5 m,10 mm	1	台
潜水搅拌机	QJB2.5/8-400/3-740S	—	2	台
三相分离器	双层 12.5 m	304 不锈钢	32	台
PVFD 集气室	—	—	13	套
空气、混凝搅拌器	—	—	2+1	台
周边传动刮泥机半	半径 10 m、线速度 3 m	—	1	台
曝气、负压风机	BR125-1150	R1150Q9.6N15	10	台
水平、倾斜螺旋输送机	Φ300	—	2	台
机械调速螺杆泵	—	Q1H60	2	台
加药装置	—	—	1	台
4t 沼气锅炉	—	—	4	台
多级脱硫器	—	—	3	台
水　封	—	—	1	台
储气柜	双模储气罐	2 500 m^3	1	座

表 4 各工序处理效果一览 mg/L，pH 值、色度除外

项目 处理单元	pH 值	COD_{Cr}	BOD_5	SS	NH_3-N	TN	TP	色度
进 水	3.9–4.5	30 030	11 157	3 130	168	862	224	190 倍
格栅、调节池	6.0–7.0	28 528(5%)	10 600(5%)	2 504(20%)	83(50%)	431(50%)	123(45%)	—
一级厌氧 EGSB	6.0–7.0	15 690(45%)	5 830(45%)	876(65%)				105 倍(45%)
二级厌氧 UASB	6.0–7.0	1 569(90%)	1 166(80%)	438(50%)				
A2O 生化池	6.0–9.0	314(80%)	128(78%)	175(60%)	10(88%)	69(84%)	30(76%)	75 倍(30%)
二沉池	6.0–9.0	283(10%)	122(5%)	158(10%)	—	—	20(35%)	45 倍(40%)
混凝沉淀池	6.0–9.0	198(20%)	98(20%)	105(30%)	7(30%)	48(50%)	2(90%)	
出 水	6.0–9.0	198	98	105	7	24	2	45 倍
排放标准	6.0–9.0	≤450	≤250	≤300	≤8	≤35	≤3	≤80 倍

注：括号内的数据为该处理单元的去除率。

4 项目经济分析

该生产基地污水处理工程投资费用为 7 660 万元（含沼气综合利用投资）。按现时处理水量，每天可削减 COD_{Cr} 高达 70 余吨，出水优于国家规定的行业排放标准，对促进区域经济发展和生态环境保护都产生积极的作用。

4.1 项目效益分析

通过表 5、表 6 可以得出，项目每年直接运行费用约为 290 万元，加上尾水处理费用 130 万元，仅蒸汽产出 917 万元，完全可以消化污水站运行的生产成本，还有近 500 万元收益。该项目的实施，特别是将再生资源得到有效的利用，实现企业良好的经济效益、社会效益和环境效益。

表 5 运营费用（只计算直接生产成本）

类 别	费 用
人工费用：定员 26 人，年工资福利 30 000 元 / 人	0.52 元 / 吨
耗电量：6 111 kW·h/ d，电价按 0.667 元 / kW·h 计	1.41 元 / 吨
综合药剂费（含污泥处理）	0.732 元 / 吨
尾水委托处理费	1.54 元 / 吨
合计	4.202 元 / 吨

注：污泥外运、设备折旧及维修、水质监测等费用暂未列入。

表 6 项目效益分析

类 别	效 益 分 析
蒸汽产出	按照厌氧系统每去除 1 kg COD 产生 0.3（$N.m^3$）沼气。工程可日产沼气 14 000（$N.m^3$），使用自建沼气锅炉，燃烧 85 m^3 沼气生产出 1 吨蒸汽，蒸汽单价 210 元 / 吨，整个基地每年可少支出蒸汽费用：14 000/85*210*265=917 万元

5　讨论与建议

（1）白酒酿造废水处理的核心是厌氧系统，维护、培养高适应能力和降解能力的优势菌群至关重要。尤其关注厌氧系统进水的各项条件，其中 pH 值、水温、SS 等指标较为关键，硫化物指标也不容忽视；加强运行过程中挥发酸、碱度、容积负荷等指标的调控，准确实施系统内排泥、回流等操作；系统的停启需把握好节奏，停须“缓”、启需“早”，提前做好物料准备，按照先厌氧后好氧次序，处理负荷逐步增加，厌氧启动则越早越稳妥。

（2）过程控制中，严格遵守操作规程，密切关注生化系统溶解氧、污泥回流比、ORP 等控制性指标，关注营养组合比指标，避免出现生化系统碳源不足或营养比失衡的情况，影响好氧系统除磷脱氮的效果。如果在调节池设置添加营养物质或控制好厌氧回流装置，将会有更好的处理效果。

（3）白酒酿造废水的色度一般都比较高，与酿酒原料谷物中含有木质素、单宁物质有关，与原水 pH 值、硫化物等指标也都相关[2]。因考虑处理成本，现时工程实践中常投加二氯和次氯来进行脱色处理，受投加物质制备条件和药剂稳定性的影响，运行效果很一般。如果从厌氧、好氧反应池中加入一些脱色性能效果好的菌种，或在后端化学除磷工序选用具有脱色除磷复合功能的混凝药剂，不仅减少人工、物料投入，而且处理效果更佳。

6　参考文献

[1] 贾晓凤，王晓睿，买文宁. 酒精废水处理工程的设计与运行[J]. 工业用水与废水，2004，35（6）：73–74.

[2] 王富花，陈秀清. 白酒酿造中废水处理方法及工程治理措施[J]. 酿酒科技，2013，12（3）：22–23.

Practical Application of Anaerobic + Aerobic Combined Process in Brewing Wastewater

Zhuang Zhongchang

Abstract　This paper introduced practical application of anaerobic + aerobic combined process in brewing wastewater treatments engineering, and summarized the experience of engineering design and operation. The process had the advantages of stable operation, high treatment efficiency and reached good economic benefit, social benefit and environmental benefit of enterprises.

Key words　anaerobic + aerobic combined process　brewing wastewater　economic benefit

（上接第 10 页）

圾分类校园行（小学版）》（书号：ISBN978–7–218–10450–8），由广东人民出版社正式发行，本书是市教育局、市城管委联合委托编写。并已派发至全市 1000 多所小学和各区教育管理部门。

三、组织广州市第三批学校申报垃圾分类教育示范基地考核活动

2015 年 11–12 月，在广州市教育局科研处的具体指导下，广州市青少年科技教育协会委托环境教育专委会分两次组织 12 批专家，对 289 所创建、升级的申报评比学校和 239 所复评学校以及 2 所突击检查单位，共 530 所学校提交的电子资料进行审核，也组织专家和一线垃圾分类教育专项工作负责干部到各区进行现场抽检，综合两次的考核情况，在 2015 年新申报的单位中，就有 87 所学校被认定为“广州市垃圾分类示范基地”；有属于第 1、2 批的 171 所市级垃圾分类示范单位复评获得通过；在 2015 年总认定为市级垃圾分类示范基地的学校共有 258 所。其总数较第 1、2 批总数 249 所有进步。考核工作有力地推动广州市教育系统垃圾分类教育工作，尤其是增城、花都、白云等区域有明显的进步，该区域的教育、环保等部门充分与地方城管等力量合作，提早进行检查、考核和培训，整体水平有了明显的提升。

四、在 2016 年广州市低碳校园系列科技教育活动中，首次增设垃圾分类教育案例征集和评比活动

根据《广州市教育局关于举办 2015 年广州市低碳校园系列科技教育活动的通知》（穗教科〔2015〕120 号）文件精神，通过前期宣传、学校参与，2015 年广州市低碳校园系列科技教育活动共收到来自广州市各中小学的学校垃圾分类教育实践活动案例 141 份。经组织专家评审，评出垃圾分类教育实践活动案例一等奖 13 项、二等奖 29 项、三等奖 42 项。从这些案例可以看出，广州市各中小学、幼儿园积极开展形式多样、行之有效的垃圾分类教育活动，广大师生对于垃圾分类有实践的自觉性，有宣传教育的共鸣，更有许多创新的做法。现将其中优秀案例进行汇编，提供给各学校借鉴，提升垃

（下转第 24 页）

水中痕量铊分析的研究进展

聂珊珊
（广州市环境保护科学研究院，广州 510620）

摘 要 对近年国内外痕量铊分析技术的研究进展进行综述，并对分光光度法、催化分光光度法、原子吸收光谱法、电感耦合等离子体质谱法等方法进行了重点讨论和介绍，并提出今后发展的重点方向是进一步研究各种高效的痕量铊分离富集技术和电感耦合等离子体质谱法与其他技术的联用。

关键词 铊 水 毒性 形态 萃取 分析

铊(Tl)是一种典型的重金属元素，其毒性超过了铅、镉和砷，一般认为致死量为12 mg/kg[1]。自然界中铊广泛分布于各种矿石矿物中，在水体中铊的含量普遍较低，低于ng/L[2]。矿产资源的开发利用，使得含铊矿物暴露于地表，在表生作用下，其中的Tl容易被释放并进入水体中[3]。铊在水体中是以两种氧化态形式存在：Tl(Ⅰ)和Tl(Ⅲ)。为了有效地揭示水中痕量、超痕量铊的赋存形态，开展高效、简单、快速的铊形态分析检测技术至关重要。

由于近几年检测技术的快速发展，环境介质中铊的各种分析方法如分光光度法、原子吸收光谱法、电感耦合等离子体质谱法、电化学分析法等方法在水中痕量铊形态分析方面有了一定的进展，电感耦合等离子体质谱法及其联用技术在这些技术中表现突出。本文根据近年来国内外最新的研究成果，综述了水中痕量铊的形态分析测定方法，总结归纳了现存方法的研究进展，并提出今后发展的重点方向是进一步研究各种高效的痕量铊分离萃取技术和电感耦合等离子体质谱法与其他技术的联用。

1 分光光度法

1.1 常规分光光度法

常规分光光度法具有操作简便、准确度高、测量范围宽、选择性高等优点，但利用该方法测定Tl的介质条件要求较严格，灵敏度较低，且重金属离子对测定会有一定的干扰。在常规分析方法中，通常是先用溴水或H_2O_2等氧化剂将Tl(Ⅰ)转换成Tl(Ⅲ)，然后再用Tl(Ⅲ)氧化各种有机试剂来间接测定水样中的Tl。Nagaraja等[4]则是采用在不需要萃取和调节pH值与温度的情况下，在磷酸介质和盐酸丙咪嗪存在下，Tl(Ⅲ)与3-甲基-2-苯并噻唑啉酮腙盐酸盐反应准确快速测量Tl的方法。但Ba^{2+}、Pb^{2+}、Fe^{3+}、Br^-会干扰Tl的测定。而利用在酸性-胶束介质中Tl(Ⅰ)的弱氧化性则能直接测定水样中的痕量Tl[5]。Garima等[7]利用分光光度法测定了水中的Tl^{3+}，检测限为0.002 9 μg/ml，相对误差为0.16%。

分光光度法虽然操作简便，但其易受其他离子的干扰，灵敏度较低。将分光光度法与萃取技术相结合可减少其他离子的干扰，同时提高灵敏度。

1.2 催化动力学分光光度法

动力学分光光度法是以测定反应速度为基础，在反应过程中添加催化剂，利用分光光度法进行检测，具有灵敏度高、设备简易、操作简便等优点。Tabatabaee[8]研究了在酸性介质中，Tl(Ⅰ)催化亚甲基蓝与抗坏血酸反应的催化动力分光光度法，检出限为90 ng/L。

由于显色剂和催化动力学分光光度法的不断发展，以及分光光度法和分离富集技术的联用，分光光度法测水样中痕量铊的灵敏度和精确度逐渐得到提高，但其在铊的形态分析和抗干扰能力方面还有待进一步研究。

2 原子吸收光谱法

原子吸收光谱法是金属分析的一种重要方法，

收稿日期：2016-04-01，修改稿收到日期：2016-05-02

包括火焰原子吸收光谱法、石墨炉原子吸收光谱法、电热原子光谱法、氢化物原子化法、冷蒸气原子化法、金属器皿原子化法等，具有准确、快速、应用广泛等优点。

2.1　萃取手段

原子吸收光谱法测定样品中铊具有较高的准确性，但样品分析时其受基体干扰严重、灵敏度较低。因此，利用原子吸收光谱法测定样品中痕量铊之前，一般要经过萃取分离。萃取方法主要包括液相萃取、固相萃取、浊点萃取和液相微萃取。

常见的液相萃取体系主要为螯合物萃取体系及离子缔合物萃取体系两种。液相萃取试剂大都为有机试剂，包括二苯卡巴胺、二安替比林甲烷、溴化十六烷三甲胺、甲基异丁酮、三苯基甲醇、硫代磷酸脂、乙酸丁酯、4–氨基苯并–15–冠醚–5 等，对测定痕量铊的灵敏度有一定的提高，但其操作繁琐且具有一定的污染风险。

固相萃取是基于离子交换的原理达到对水样中 Tl 的浓缩与分离富集的目的，具有富集因素高、操作简单、分离速度快、溶剂消耗低、基质干扰小等特点。近年来用于固相萃取的材料有离子交换树脂、巯基棉纤维[9]、活性炭[10]、泡沫塑料[11]、微晶萘[6]、石墨化炭黑[12] 和纳米材料等。传统的固相萃取分离手段是离子交换树脂和吸附法，其中痕量 Tl 的吸附剂主要有泡沫塑料和活性炭等[10]。泡沫塑料性能优于离子交换树脂，且具有一定的分离选择性和很高的浓缩倍数，但操作比较繁琐。活性炭对许多杂质金属元素都具有很强的吸附能力，会干扰 Tl 的测定。铊痕量分析较为理想的富集材料是纳米材料，其具有吸附能力强、分离速率快和操作简便等优点，包括碳纳米管[13]、纳米 Al_2O_3[14]、纳米 TiO_2[15]、纳米孔 Tl(Ⅲ)离子印迹聚合物等[16] 纳米材料。

浊点萃取[17] 被认为是一种新型的液 – 液萃取技术，用于溶液相共价键和不带电荷的疏水性化合物的分离与富集，具有操作简单、应用范围广、富集效率高及环境友好等特点。而混合胶束浊点萃取法是在阳离子或阴离子表面活性剂与非离子型表面活性剂混合的基础上形成的，与单一的表面活性剂相比，具有较高的表面活性，已被用于 Tl 的痕量分析[18]。

液相微萃取法是一种分离富集铊的绿色分析化学(GAC)方法，包括单滴微萃取[19]、中空纤维液相微萃取、分散液 – 液微萃取、凝固漂浮有机滴微萃取等[20]。单滴微萃取用于痕量铊的测定时，具有简单、成本低、有机溶剂消耗低和富集系数高的优点。而分散液 – 液微萃取分离富集铊时间较短[20]。

2.2　原子吸收光谱法

火焰原子吸收法可直接用于测定 Tl 含量较高的废水，但灵敏度较低。由于利用火焰原子化进行分析时仅有 10%的试液被原子化，90%则由废液管排出，较低的原子化率成为提高其灵敏度的主要障碍。石墨炉原子化装置可以有效的提高原子化效率，使灵敏度提高 10~200 倍。

电热原子吸收光谱法(ETAAS)因其灵敏度较高、取样少、操作简便等优点而广泛应用于水中 Tl 的测定。电热原子吸收光谱法与萃取手段相结合不仅提高了预浓缩的速度，还减少了样品消耗和污染风险、提高灵敏度和选择性。碳纳米管 –ETAAS 测定痕量 Tl(Ⅲ)的方法则把碳纳米管作为吸附剂的基板，将其耦合到 ETAAS 连续流动系统中进行测定，检出限为 9 ng/L，这种方法也可用于超痕量 Tl[21] 的测定；陈海婷[22] 以吡咯烷基二硫代氨基甲酸铵为螯合荆，聚乙二醇辛基苯基醚作为表面活性剂，建立了浊点萃取预富集 – 电热原子吸收光谱法，检出限为 70 ng/L。

随着萃取技术的发展，萃取材料的富集因数增大。因而，样品中的铊经过富集浓缩后，原子吸收光谱法的灵敏度和抗干扰能力大为提高。但其受基体干扰较严重。因此，在测定时需加入一定的基体改进剂。

3　电化学分析法

电化学分析法在 19 世纪首先引入分析领域，具有灵敏度高、操作简便、成本低廉的优点。伏安法被认为是最敏感的电分析技术，适合于许多金属和有机物痕量水平的测定。悬汞电极或汞膜电极是伏安法最常见的电极材料。由于汞的毒性和挥发性均较大，长期使用对工作者和环境带来很大的危害。

铋膜电极由于具有铋和铋盐的毒性较小，其相邻峰间也具有极好的分辨率且背景电流几乎不受溶解氧影响的优点，正在逐渐替代汞电极。Jorge 等[23] 使用旋转圆盘铋膜电极，以醋酸盐缓冲液作为支持电解质，采用阳极溶出伏安法测量水中的痕量 Tl(Ⅰ)，检出限为 1.08×10^{-8} mol/L。与汞电极相比，铋膜电极

灵敏度较低，但实际测定时可通过与其他技术相结合的方法来提高其灵敏度。Korolczuk 等[24] 在流动体系中利用铋膜电极阳极溶出伏安法，以 EDTA 溶液作为支持电解质，通过阴离子交换树脂消除外来离子的干扰来测定水样中的痕量 Tl(Ⅰ)。流动系统的应用避免了在络合剂存在下铋膜与空气接触而被腐蚀，检测限为 6×10^{-10} mol/L，相对误差为 3.9%。

纳米材料由于拥有巨大的比表面积和一定的导电性，既有利于铊的富集又将材料本身的特性（如高导电性）引入到电极界面，提高了测定的灵敏度。采用铋纳米粉体的表面改性厚膜石墨电极方波阳极溶出伏安法分析痕量铊时，铋纳米粉体电极对铊的氧化有明确的响应，检测限为 30 ng/L[25]。

由于铋膜电极和纳米技术的运用，电极的导电性得到增强，从而使电化学分析法的灵敏度得到一定的提高，减少了汞电极的使用，降低了汞电极对人体和环境的危害。

4 分子荧光光谱法

目前，分子荧光分析法已经发展成为一种十分重要且有效的光谱化学分析手段。邓湘舟等[26] 利用共振散射法测定水中 Tl(Ⅲ)，检测限为 1.2 μg/L，可以通过加入 NaF 溶液消除 Fe^{3+} 的干扰。吴惠明等[27] 用活性炭吸附去除其它离子干扰后，在 pH4.0 的缓冲体系中，Tl 与桑色素会发生较灵敏的荧光反应，相对标准误差为 2.95%。催化动力学荧光法[28] 采用的是在氢钾邻苯二甲酸–盐酸溶液中，以 Tl 催化过氧化氢氧化 3–对氯苯基–5–(2'–胂酸)若丹宁的反应的方法，检出限为 0.26 ng/L。

5 电感耦合等离子体质谱法

电感耦合等离子体质谱分析技术是由 20 世纪 80 年发展起来的，具有检测限极低、动态线性范围极宽、多元素分析及同位素分析、抗干扰性强、测定速度快、精密度高等特点[29]。

目前电感耦合等离子体质谱分析仪（ICP–MS）包括双聚焦扇形磁场高分辨等离子体质谱仪、多接收器磁扇形等离子体质谱仪（MC–ICP–MS）、等离子飞行时间体质谱仪以及等离子体离子阱质谱仪等[30]。以上质谱分析仪除具有 ICP–MS 的基本特点外，还具有灵敏度高和质量分辨率高等优点。MC–ICP–MS 用于测定海水中 Tl 的浓度时，检测限为 9.37 ± 0.02 pg/g。与热电离质谱分析法相比，MC–ICP–MS 同位素比值测定的精度能达到 0.001%[31]。

ICP–MS 结合萃取手段可进一步提高灵敏度。混合胶束浊点萃取 – 电感耦合等离子体质谱分析法[32] 可用于测定饮用水、污水和海水中的超痕量 Tl，检测限为 0.02 ng/L。由于利用了混合胶束，避免了螯合剂及外部电解质的添加，从而增强了抗干扰能力。

ICP–MS 与离子色谱、高效液相色谱、电热汽化、激光烧蚀、微波消解等技术的联用是元素化学形态分析和定量分析的有效手段。Karlsson 等[33] 运用离子色谱 – 电感耦合等离子体质谱分析法测定水样中 Tl，Tl(Ⅰ)和 Tl(Ⅲ)的检测限可分别为 9.0 ng/L 和 0.7 ng/L。

由于高效液相色谱能够有效分离性质相近的成分，而电感耦合等离子体质谱分析法具有极高灵敏度，将两者联用可以有效地对 Tl 进行形态分析[34]。高效液相色谱 – 电感耦合等离子体质谱法分析测定了海水和饮用水中的 Tl，检测限为 2 ng/L[35]。此外，电热汽技术因溶液雾化的优点而作为样品引入技术，有效提高样品的引入效率，但成本较高。而高分辨率感应器电感耦合质谱分析法只需将样品稀释 10 倍就可以直接测量 Tl，检出限为 0.3 ng/L[36]。

与其他方法相比，电感耦合等离子体质谱法及其联用技术在灵敏度、准确度和抗干扰能力等方面有一定的优势，并能准确地分析水样中的 Tl(Ⅰ)和 Tl(Ⅲ)。

6 流动注射法与其他方法的结合

流动注射分析法是由丹麦的 Ruzicka 和 Hansen 率先提出的一种新技术，摆脱了溶液化学分析平衡理论的束缚，使非平衡条件下的化学分析成为可能，具有操作简单、分析速度快、重现性良好、所需试剂量少等优点。流动注射法与其他方法相结合可大大节省试剂，并能提高测定的选择性和灵敏度。Zenon 等[37] 以 EDTA 溶液为支持电解质，利用流动注射微分脉冲阳极溶出伏安法测定水样中 Tl，检测限为 0.05 ng/L。由于采用流动注射进样，流程简单，也没有光度法检测中可能存在折射光的干扰。

7 展望

铊在水中的污染情况已逐渐引起人们的关注，其分析检测技术目前取得了一定进展。在这些分析

技术中，电感耦合等离子体质谱法，几乎克服了所有传统分析方法的缺点，如：样品前处理复杂，不能进行 Tl(Ⅰ)和 Tl(Ⅲ)同时测定，仪器的灵敏度低等。在某种程度上可以取代分光光度法、原子吸收光谱法和电化学分析法等方法。现有方法中真正涉及水样中 Tl 形态分析的不多。因此，今后的发展方向应是进一步深入研究各种高效痕量铊分离技术和电感耦合等离子体质谱法与其他技术的联用，实现对各种形态痕量铊的直接、快速、高选择性的分离和分析。

8　参考文献

[1] Hongguo Zhang, Dayu Chen, Senlin Cai, et al. Research on Treating Thallium by Enhanced Coagulation OxidationProcess[J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14(9): 1322-1324.

[2] T.Shimizu, S.Kozawa, H.Kawaguchi, et al. Determination of ultratraces of thallium in natural waters by graphite furnace atomic absorption spectrometry after solvent extraction and back extraction[J]. Nippon Kagaku Kaishi, 1998(4): 247-251.

[3] 邓红梅，陈永亨，刘涛，等. 铊在土壤－植物系统中的迁移积累[J]. 环境化学，2013，32(9)：1749-1757.

[4] P.nagaraja, N.Ghllab Saeed Al-Tayar, A.Shivakumar, et al. Spectrophotometric Determination of the Trace Amount of Thallium in Water and Urine Samples by Novel Oxidative Coupling[J]. Reaction.E-Journal of Chemistry2009, 6(4): 1153-1163.

[5] Ancy Sebastian Parakudyil, Ajai Kumar Pillai, Sunita B.Mathew. Sensitive spectrophotometric determination of thallium(I) using rho-damine B hydrazide in micellar medium[J]. Anal. Methods, 2011, 3: 1546.

[6] 耿新华，邓湘舟，伍永丽，等. 负载罗丹明 B 的微晶萘固相萃取分离铊(Ⅲ)[J]. 冶金分析，2015，35(4)：73-76.

[7] Garima PP, Ajaya KS, Surendra P, et al. Development of surfactant assisted kinetic method for trace determination of thallium in environmental samples[J]. Microchem J, 2015, 118: 150-157.

[8] M.Tabatabaee, M.R.Shishehbore, H.Bagheri, et al. Thallium determination using catalytic redox reaction between methylene blue and ascorbic acid[J]. Environ.Sci.Tech., 2010, 7(4): 801-806.

[9] Arabinda K.Das, Milli Dutta. Determination of thallium in water samples[J]. Microchemical Journal, 2007, 86: 2-8.

[10] 刘峰，秦樊鑫，胡继伟，等. 活性炭吸附－石墨炉原子吸收光谱法测定环境水样中痕量铊[J]. 分析试验室，2009，28(9)：56-58.

[11] 杨春霞，陈永亨，彭平安，等. 铊的分离富集技术[J]. 分析测试学报，2002，21(3)：94-99.

[12] Yin ke Li, Yong fang Peng, Yinhai Ma, et al. Solid phase extraction and flame atomic absorption spectrometry for the determination of trace thallium[J]. Asian Journal of Chemistry, 2009, 21(6): 4593-4598.

[13] Pablo H.Pachecoa, Raúl A.Gil, Patricia Smichowski, et al. Martineza.L-Tyrosine immobilized on multiwalled carbon nanotubes: A new substrate for thallium separation and speciation using stabilized temperature platform furnace-electrothermal atomic absorption spectrometry[J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 656: 36-41.

[14] 黄婷. 测定痕量铊的纳米氧化铝吸附分离－镉试剂 2B 分光光度法[J]. 安康学院学报，2011，23(6)：103-105.

[15] Lei Zhang, Ting Huang, Na Liu, et al. Sorption of thallium(Ⅲ) ions from aqueous solutions using titanium dioxide nanoparticles[J]. Microchim Acta, 2009, 165: 73-78.

[16] Mohammad Hossien Arbab-Zavar, Mahmoud Chamsaz. Synthesis and characterization of nano-pore thallium(Ⅲ)ionim printed polymer as a new sorbent for separation and preconcentration of thallium[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 185: 38-43.

[17] 肖宇，郑波，张克荣. 非螯合物浊点萃取－石墨炉原子吸收法测定水中痕量铊(Ⅲ)[J]. 分析化学，2007，35(11)：1654-1656.

[18] Noorbasha N.Meeravali, Shiuh-Jen Jiang. Ultra-trace speciation analysis of thallium in environmental water samples by inductively coupled plasma mass spectrometry after a novel sequential mixed-micellecloud point extraction[J]. J.Anal.At. Spectrometry, 2008, 23: 555-560.

[19] Mahmoud Chamsaz, Mohammad Hossien Arbab-Zavar, Abolfazl Darroudi, et al. Preconcentration of thallium(Ⅰ)by single drop microextraction with electrothermal atomic absorption spectroscopy detection using dicyclohexano-18-crown-6 as extractant system[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 167: 597-601.

[20] Aristidis N.Anthemidis, Kallirroy-Ioanna G. Ioannou. Sequential injection ionic liquid dispersive liquid-liquid microextraction for thallium preconcentration and determination with flame atomic absorption spectrometry[J]. Anal Bioanal Chem, 2012, 404: 685-691.

[21] Raúl A.Gil, Pablo H.Pacheco, Patricia Smichowski, et al. Speciation analysis of thallium using electrothermal AAS following on-line preconcentration in a microcolumn filled with multiwalled carbon nanotubes[J]. Microchim Acta, 2009, 167: 187-193.

[22] 陈海婷，陈建国，林力，等. 浊点萃取电热原子吸收光谱法测定水中痕量铊[J]. 分析实验室，2009，28(11)：60-62.

[23] E.O.Jorge,M.M.M.Neto,M.M.Rocha. A mercury-free electrochemical sensor for the determination of thallium(I)based on the rotating-disc bismuth film electrode[J]. Talanta,2007,72:1392-1399.

[24] Mieczyslaw Korolczuk,Weronika Surmacz,Katarzyna Tyszczuk. Determination of Thallium in a Flow System by Anodic Stripping Voltammetry at a Bismuth Film. Electrode[J]. Electroanalysis,2007,19(21):2217-2221.

[25] Gyoung Ja Lee,Hi Min Lee,Young Rang Uhm,et al. Square-wave voltammetric determination of thallium using surface modified thick-film graphite electrode with Bi nanopowder[J]. Electrochemistry Communications,2008,10:1920-1923.

[26] 邓湘舟,吴颖娟,耿新华,等. 罗丹明 6G 共振光散射法测定废水中铊[J]. 冶金分析,2014,34(4):42-46.

[27] 吴惠明,李锦文,陈永亭,等. 桑色素荧光光度法测定铊[J]. 理化检验 - 化学分册,2007,43(8):653-657.

[28] Ge Shenguang,Dai Ping,Yu Jinghua,et al. Determination of thallium(III)with novel arsenoxyl phenylazo rhodanine after preconcentration and separation[J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry,2010,90:1139-1147.

[29] Leticia B.Escudero,Rodolfo G.Wuilloud,Roberto A. Olsina. Sensitive determination of thallium species in drinking and natural water by ionic liquid-assisted ion-pairing liquid-liquid microextraction and inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. J Hazardous Mater,2013,244-245:380-386.

[30] 胡忻. 电感耦合等离子体质谱技术在环境领域的应用[J]. 化学分析计量,2009,18(2):84-86.

[31] Sune G.Nielsen,Mark Rehkämper,Joel Baker,et al. Chemical The precise and accurate determination of thallium isotope compositions and concentrations for water samples by MC-ICPMS[J]. Geology,2004,204:109-124.

[32] Meeravali,Noorbasha N Jiang,Shiuh-Jen. Microwave assisted mixed-micelle cloud point extraction of Au and Tl from environmental samples without using a chelating agent prior to ICP-MS determination[J]. Journal of analytical atomic spectrometry,2008,23,1365-1371.

[33] U.Karlsson,A.Düker,S.Karlsson. Separation and Quantification of Tl(I)and Tl(III)in Fresh Water Samples[J]. J.Environ.Sci.Heal.A,2006,41:1155-1167.

[34] 苏宇亮. 高效液相色谱 - 电感耦合等离子体质谱联用技术在水质分析中的应用[J]. 理化检验 - 化学分册,2009,45(5):617-620.

[35] Yun-Ling Chu,Ruoh-Yun Wang,Shiuh-Jen Jiang. Speciation Analysis of Thallium by Reversed-phase Liquid Chromatography-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry[J]. Jnl Chinese Chemical Soc,2012,59:219-225.

[36] Philipp Böning,Bernhard Schnetger. Rapid and accurate determination of thallium in seawater using SF-ICP-MS[J]. Talanta,2011,85:1695-697.

[37] Zenon Lukaszewski,Monika Jakubowska,Wlodzimierz Brzezinski,et al. Flow-injection differential-pulse anodic stripping voltammetry as a tool for thallium monitoring in the environment[J]. Electroanalysis,2010,22(17-18):1963-1966.

Progress in Analysis of Trace Thallium in Water

Nie Shanshan

Abstract The recent development of analysis techniques of trace thallium was reviewed. Some analysis techniques were emphatically discussed and introduced, including conventional spectrophotometry method, catalytic kinetic spectrophotometry, atomic absorption spectrometry, inductively coupled plasma mass spectrometry et al. It put forward that the future development of analysis technology of trace thallium should focus on further studying efficient extraction methods of trace thallium and the hyphenated techniques of inductively coupled plasma mass spectrometry.

Key words thallium water toxicity speciation extraction analysis

(上接第 19 页)

圾分类教育活动在学校实施过程的有效性和在家庭、社区中的带动与辐射作用,其旨在推动广州市中小学校垃圾分类行动的蓬勃开展。

同时,还把获得一等奖的 13 份案例汇编成《低碳校园分类先行》——2015 年广州市中小学垃圾分类教育优秀案例汇编,在低碳校园论坛上进行交流,扩大了教育影响力。

五、召开垃圾分类工作专题总结会,为继续向纵深发展开路

2015 年 12 月 31 日,召开了 2015 年广州市学校垃圾分类教育示范基地、"小手拉大手"活动考核总结座谈会,广州市教育局科研处处长、广州市青少年科技教育协会秘书长谷忠鹏先生主持会议,广州市城市管理委员会固废办分类处林宁龙副处长和任亚兰主任科员出席会议,并做出了具体的业务指导。会上,广州市教育局科研处邱国俊副调研员就调研创建垃圾分类教育示范基地和开展"小手拉大手"有关情况作了汇报,各区教育局负责垃圾分类教育工作负责人均作了

(下转第 41 页)

亚运前珠江广州河段前航道水环境影响因素分析

魏鸿辉
（广州市环境监测中心站，广州　510030）

摘　要　本文分析亚运前珠江广州河段前航道河道沿程排放污水,包括河涌污水和排放口污水,以及境内外上游来水等水污染物贡献程度,并预测识别广州亚运会珠江前航道主要水环境影响因素,提出前航道水环境保障的对策建议,为亚运水环境保障提供技术支撑。

关键词　珠江广州河段　前航道　污染源　河涌污染

城市水系是城市发展之源,也是城市文明的载体和城市灵性所在。珠江广州河段包括西航道、前航道、后航道、黄埔水道,河段总长82.55 km,其中西航道、前航道、后航道曾是广州市的重要水源地。珠江广州河段前航道(简称前航道)是广州市中心城区主要水体,流域范围内是广州市城市化集中发展地带,广州亚运会开幕式所在地海心沙及其周边区域是广州新城市中轴线的核心地带(见图1)。珠江前航道水环境质量保障是关系到市民生活环境和广州城市形象的极其重要的工作。为实现绿色亚运承诺,广州市不断加大前航道水环境综合治理工作，全力保障亚运会水环境质量,以建设水更清、城更美的新广州。

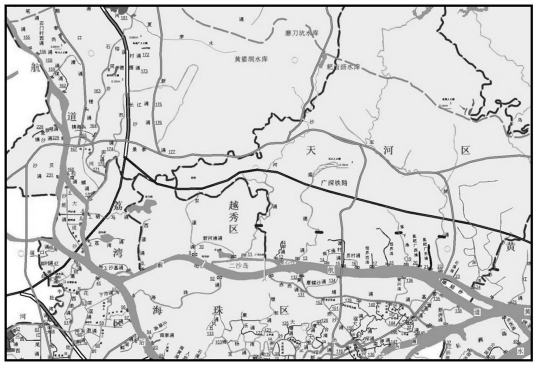


图1　珠江广州河段前航道水系

随着广州市近30年社会经济高速发展、城市规模的不断扩大、人口的快速增长,水资源需求大量增加,排入珠江广州河段的废污水量也相应增加,水污染所导致的水质性缺水成为制约广州市可持续发展的一个重要因素[1,2],前航道水环境质量一度受到中心城区人口和社会经济发展所带来污水排放的巨大压力[3]。本文以前航道沿程水污染源和排放数据为基础,分析前航道水环境污染来源和贡献程度,并预测识别亚运珠江前航道主要水环境影响因素，提出前航道水环境综合治理的对策建议，为亚运水环境保障提供基础支持。

1　研究地区概况

广州市濒临南海,属南亚热带季风气候区,具有温暖多雨、光热充足、温差较小、夏季长、霜期短等气候特征。降水量年内分配不均,冬春少,夏秋多,降雨多集中于汛期(4月至9月),占全年的80.6%。广州片水系河网纵横交错，其径流主要来自流溪河、北江,广州片河网属强潮河段,受潮汐影响显著,潮汐为不规则半日潮，河道汛期既受上游流溪河的洪水和来自北江分流洪水的影响,又受东江洪水的顶托,更受来自珠江口伶仃洋的潮汐作用，在上游径流和下游潮汐的共同作用下，洪潮交汇，水流形态十分复杂。

珠江广州河段前航道起于白鹅潭，西接上游西航道来水,向东流经中心城区荔湾、越秀、天河、海珠等区,最后于黄埔区长洲岛附近进入黄埔航道。河段总长约23 km,平均水深5.13 m,多年平均径流流速0.035 m/s,多年平均径流量为88.5 m^3/s。汇入前航道的主要河涌有沙基涌、西濠涌、东濠涌、新河浦涌、沙

收稿日期：2016-03-02，修改稿收到日期：2016-05-02

河涌、猎德涌、员村涌、程界西涌、程界涌、棠下涌、氮肥厂东涌、车陂涌、海珠涌、赤岗涌、黄埔涌、磨碟沙涌、琶州涌、黄基涌、新洲涌等 19 条。2003 年实施珠江环境综合整治以来，前航道水质不断改善，2010 年珠江广州河段全年全河段水质达到Ⅳ类，丰水期达到Ⅲ类[4]。

2 前航道污染因素分析

2.1 污染排放构成

影响河道水质的因素主要有水文条件、气候条件、水质基础状况、水生态系统、流域土地利用情况和污染排放情况等。其中污染排放情况是最重要的因素之一，也是人类活动最易影响的因素，因此重点从污染排放方面分析影响前航道水质的因素。

从污染来源途径看，影响前航道水环境的污染主要来自河道沿程排放污水、上游来水及河道底泥。根据分析结果，沿程排放污水占比例最高，境内和境外上游来水也占有一定比例。沿程污水和上游来水进入前航道的化学需氧量之比约为 6:4，氨氮约为 82。由于河道底泥污染的复杂性本文不作定量分析。河道沿程接纳污水按其来源又分为河涌污水、排放口污水和地表径流。河道沿程接纳污水以生活污水占绝对优势[5]，其中生活污水中 COD 和氨氮分布占 97.6%和 97.8%。上游来水中境内污染贡献占 63%，境外来水占 37%（见表 1）。

表 1 前航道主要污染源污染贡献

污染因素	废水排放量（10^4 m^3/d）		化学需氧量（t/d）				氨氮（t/d）		
	河涌污水	排放口污 水	河涌污水	排放口污 水	地表径流	上游来水	河涌污水	排放口污 水	上游来水
生活源	37.94	64.00	83.89	18.60	—	—	10.22	0.72	—
工业源	1.08	1.01	1.54	0.99	—	—	0.05	0.20	—
合 计	39.02	65.01	85.43	19.59	30.77	90.20	10.27	0.92	2.30

2.2 河道沿程排水

前航道沿程排水主要来自与前航道相连的河涌、直接向前航道排水的排污口及地表径流。

2.2.1 河涌污水

通过河涌排入前航道的污水主要是未经处理的生活污水和工业废水总量为 39.02 万 t/d，其中生活污水占 97.2%、工业废水占 2.8%。从各河涌污水排放总体情况看，排放量最大的是车陂涌，其次为沙河涌、黄埔涌和赤岗涌。生活污水排放量较大的有车陂涌、黄埔涌、沙河涌、赤岗涌。工业废水排放量较大的有车陂涌、程界涌、沙河涌和棠下涌，即天河区的东南和西部区域，占河涌工业废水排放的 91.7%。

前航道两岸是广州市中心区域，生活污水处理系统相对完善，汇水区的生活污水大部分经污水管网收集进入污水厂。但由于污水管网系统尤其是支管建设尚未完善，还有少量生活污水未收集处理。河涌集水区内总人口约 296.1 万，生活污水产生量为 110.44 万 t/d，其中污水厂处理量为 72.50 万 t/d，未经处理直排河涌的生活污水占有一定比例。随着城市化进程的加快和产业布局的调整，尤其是近年来“退二进三”战略的实施，中心城区工业企业数量逐步减少，河涌集水区内工业企业主要是农副食品加工业、汽车修理业、化学品制造业，工业废水排放量所占比例较小，对前航道水质影响有限（见表 2）。

2.2.2 排放口污水

经过珠江环境综合整治，目前直接向前航道排放污水的排污口只有 2 个。污水排放总量为 65.01 万 t/d，其中处理后的生活污水占 98.4%、工业废水占 1.6%。其中猎德污水处理厂收集处理了大量污水，有效改善了前航道的水环境质量。然而，污水厂作为污染治理设施，虽然能去除污染物质，但其处理后的排水仍然含有污染物，并且由于水量大，排水中的污染物总量也较大，对水环境的影响不容轻视。据统计，猎德污水处理厂污水处理量为 64 万 t/d，经处理后全部达标排放，排水中 COD、氨氮含量分别为 18.60 t/d、0.72 t/d。

2.3 地表径流

地表径流是影响城市河流水环境的污染源之一，

表 2　前航道周边河涌污染排放情况

河涌名称	废水排放量(10^4 m^3/d)			化学需氧量(t/d)			氨氮(t/d)		
	生活污水	工业污水	合计	生活污水	工业污水	合计	生活污水	工业污水	合计
猎德涌	1.47	0.02	1.49	3.04	0.05	3.09	0.37	0	0.37
沙河涌	5.79	0.18	5.97	11.52	0.1	11.62	1.42	0	1.42
东濠涌	0.95	0	0.95	1.88	0	1.88	0.23	0	0.23
西濠涌	0.09	0	0.09	0.17	0	0.17	0.02	0	0.02
车陂涌	11.23	0.38	11.61	25.35	0.82	26.17	3.12	0.02	3.14
棠下涌	2.68	0.11	2.79	6.04	0.23	6.27	0.75	0	0.75
程界涌	0.35	0.32	0.67	0.78	0.23	1.01	0.09	0.02	0.11
海珠涌	3.04	0.01	3.05	6.53	0	6.53	0.78	0	0.78
赤岗涌	3.50	0.06	3.56	10.06	0.11	10.17	1.21	0.01	1.22
黄埔涌	5.96	0.00	5.96	13.23	0	13.23	1.59	0	1.59
磨碟沙涌	1.51	0.00	1.51	2.73	0	2.73	0.33	0	0.33
琶洲涌	1.37	0.00	1.37	2.55	0	2.55	0.31	0	0.31
合　计	37.94	1.08	39.02	83.89	1.54	85.43	10.22	0.05	10.27

随着城市化进程的加快，城市不透水下垫面面积呈上升趋势，径流的入河量增加明显。前航道横贯广州市中心城区，汇水区面积大，城市化程度高，雨水径流量大，除少部分下渗至地下，其余大部分经地面汇流入前航道[6]。

根据研究文献[7]采用城市不同下垫面的降雨径流年均污染负荷方法进行估算估算前航道地表径流污染负荷。由于地表径流排污的随机性通常采用年污染负荷，即将每次降雨径流全过程的污染物平均值(EMC)与总降雨径流量(降雨量与汇水面积之积)的乘积累加，得到年均污染负荷。广州市中心城区年均降雨量 1 700 mm，前航道的汇流面积约 11 202 km^2，考虑截污工程，估算得到未截污的汇流面积为 4 858 km^2，不同下垫面类型比例（按屋面：路面：草坪）为 4:4:2。则前航道汇水区地表径流 COD 年均污染负荷为 11 231 t/d，平均日负荷为 30.77 t/d。城市降雨径流对水环境造成的影响不容忽视。

2.4　上游来水

珠江广州河段西航道在白鹅潭分为两支，南支称为后航道，北支称为前航道，因此前航道的上游即西航道。西航道的来水可分为两部分，一是本地来水，包括上游的我市流溪河、白坭河等以及西航道沿程汇入河涌；二是境外来水，包括上游的佛山西南涌、水口水涌等。

近年监测表明西航道承接的本地来水和境外来水水质较差，西航道进入前航道的来水水质达不到水环境功能要求。据测算上游进入前航道的污染物中，COD、氨氮净通量分别为 90.2 t/d、2.3 t/d。初步估算，西航道进入前航道的污染物中，本地来水综合贡献占 63%(其中上游占 57%，沿程汇入水占 6%)，境外来水综合贡献占 37%。

3　亚运水环境预测分析

2010 年广州市大力推进污水治理和河涌综合整治工程，全市共投入 486 亿元开展 581 项治水工程，其中前航道有关的整治工程 164 项，投资 140 亿元。按照整治计划，到亚运前，前航道 12 条关联河涌的 1 064 个排污口，可完成截污 1 053 个，仅车陂涌有 11 个排污口未截污；猎德污水厂四期、沥滘二期建成投运，污水处理能力达到 120 万 t/d、40 万 t/d。

到亚运举办前，前航道北岸生活污水排放和工业废水排放在短期内稳定，猎德厂污水处理量将达

到87.64万t/d,按现状处理水平计算(猎德厂平均排放浓度分别为27.36 mg/L、1.05 mg/L),该厂COD排放量23.98 t/d,氨氮排放量0.92 t/d。由于前航道北岸、南岸污水全部进入猎德、沥滘污水厂,除车陂涌未截污的排污口和错截、漏截等,河涌污水排放量降低到基本为0。其它地表径流、上游来水及河道底泥污染基本保持不变。

根据上述分析,到亚运举办前排入前航道的污水将减少15.38万t/d(主要为河涌排水),化学需氧量排放量减少80.05 t/d(主要为河涌排水和猎德污水处理厂增加的削减量),氨氮减少10.07 t/d。分析可见,即使生活污水全部收集处理,前航道生活污水厂尾水排放也不容忽视;在前航道本地污染来源基本控制的情况下,境内外上游来水污染物成为重要影响因素之一。

4 问题与建议

前航道两岸为广州中心城区,汇水区内人口众多、经济总量大,污染物产生量大,在采取最严格的治理措施前提下,生活污水COD和氨氮排放量仍有26.46 t/d、1.19 t/d。猎德污水厂目前执行国家一级A标准(出水COD浓度限值为50 mg/L,氨氮浓度限值为8 mg/L),仍达不到地表水Ⅴ类标准限值。另一方面,污水厂尾水排放量大且集中,对前航道水环境仍带来一定冲击。

前航道区域的河涌补水主要依靠珠江潮水和沿程汇入的雨水、污水,河涌截污后,河涌水量将大幅度减少,部分河涌甚至会断流。前航道汇水区是广州城市集中建设区域,亚运会场周边也是广州新城市中轴线核心城市景观,由于城市硬化地表覆盖面积的持续增加,地表径流对前航道影响不容忽视。由于前航道水环境影响因素复杂,目前治理措施主要针对工业、生活等污染排放因素,要全面改善水环境,还需进一步研究采取系统、全面、综合的整治措施。

鉴于改善水环境的复杂性、长期性,建议开展系统的水环境整治规划,采取多方面措施综合整治,全面考虑对生活污水、工业废水、雨水径流、上游来水、河涌底泥等的治理,必要时实施水生态修复工程[8]。由于河涌截污造成水量减少,还需采取补水、蓄水等措施。鉴于污水厂排水口对附近水体水质的影响,需要进一步研究优化猎德污水厂等排放口设置,从改善全市水环境的角度统筹考虑,尽量减少对前航道等中心城区水体的影响。在完善污水收集处理系统基础上,考虑污水处理厂深度处理,进一步降低污水厂的排水浓度。

5 参考文献

[1] 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.

[2] 罗家海,莫珠成,杨丹菁,等. 广州市感潮河段西航道水源水体富营养化限制因素的研究[J]. 广州环境科学,2005,20(3):1-3.

[3] 李志琴,游江峰,张娅兰,等. 广州市水环境问题及"十二五"水污染防治对策[G]. 中国环境科学学会学术年会论文集,2010:339-344.

[4] 广州市环境保护局. 2010年广州市环境状况通报[EB/OL]. [2011-07-23]. http://wenku.baidu.com/view/20fb77d080eb6294dd886ce9.html.

[5] 江涛,黎坤,柯栋. 珠江广州段水环境问题与保护对策[J]. 湖泊科学,2004,16(3):282-284.

[6] 马跃良,王云鹏,贾桂梅. 珠江广州河段水体污染的遥感监测应用研究[J]. 重庆环境科学,2003,25(3):13-16.

[7] 任玉芬,王效科,韩冰. 城市不同下垫面的降雨径流污染[J]. 生态学报,2005,25(12):3225-3230.

[8] 郭涛,余慧,罗家海,等. 广州市饮用水源地安全管理策略研究[J]. 环境科学与管理,2010,35(10):14-16.

Analysis of Influence Factors for Water Environment in Front Channel of Guangzhou Reach of the Pearl River before the 16th Asian Games

Wei Honghui

Abstract In this paper, discharge of sewage along Front Channel of Guangzhou reach of the Pearl River before the 16th Asian Games were analyzed and their contributions for influence for water environmental were calculated, including pollution of urban river surge and discharge outlet and domestic and foreign upstream water pollution. Main influence factors of water environment in the 16th Asian Games were recognized. Furthermore, environment management measures were suggested, which technologically supported for environmental protection of Guangzhou Asian Games.

Key words Guangzhou reach of the pearl river front channel pollution sources pollution of urban river surge

辛硫磷对泥鳅肝细胞谷草转氨酶的影响

张彬彬
（滨州医学院生物科学实验中心，山东 烟台　264003）

摘　要　研究了 5 种不同浓度的辛硫磷处理液对泥鳅肝细胞谷草转氨酶(GOT)的影响。结果表明:低浓度的辛硫磷处理液对泥鳅肝细胞中的 GOT 活性起诱导作用,而高浓度则起抑制作用。建议以泥鳅肝组织 GOT 活性变化作为水环境监测的生物指标,从而达到评价水生生态环境的目的。

关键词　辛硫磷　泥鳅　肝脏　谷草转氨酶

目前国内尚未见辛硫磷对泥鳅等鱼类的生物功能影响方面的研究报道。本次试验以泥鳅为生物受体,研究辛硫磷对泥鳅肝脏中谷草转氨酶(GOT)及其活性的影响,进而得到化学农药污染的水域中辛硫磷对于泥鳅及人类的安全浓度,期望能为我国江河水质的安全检验及环境保护提供相关的理论基础。

1　材料和方法

1.1　试验材料

试验所用泥鳅购自烟台市烟大水产市场，平均体长 15.15 cm,平均体重(31.4 ± 1.9) g;辛硫磷,有效成分量 40%，产自山东省盛邦鲁南农药有限公司;转氨酶试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。

1.2　试验方法

通过急性中毒试验,运用蓝宇工作室 Version1.01,LD50 数据处理软件计算 24 h 的半数致死浓度为 81.52 μl/L，95%置信区间为 77.84~98.35 μl/L；48 h 的半数致死浓度为 67.98 μl/L,95%置信区间为 19.02~72.26 μl/L;安全浓度为 14.18 μl/L。以急性中毒试验为依据,根据 24 h 内泥鳅不出现死亡和明显异常为标准,确定最高染毒浓度为 56.80 μl/L。采用等比数列设置慢性浓度组分别为 3.55、7.10、14.20、28.40、56.80 μl/L 共 5 个浓度组(每个浓度组设置 3 个平行组)。另设不加辛硫磷的对照组。试验期间每个浓度组每 24 h 更换一次处理液。在 24 h、48 h、96 h 分别取各浓度组中有活力的泥鳅肝脏对谷草转氨酶活性进行测定，肝脏组织匀浆的制备和转氨酶活力的测定按照南京建成生物工程研究所提供的方法进行。

2　结果与分析

辛硫磷对鲫鱼肝细胞谷草转氨酶活性的影响运用统计软件 IBM SPSS19,采用析因设计的方差分析。

辛硫磷处理后 GOT 活性变化见表 1。由表 1 可以看出,5 个浓度组测得的酶活力均高于对照组,反映了短时间苯磺隆处理可诱导 GOT 升高,加强对毒物的排出。但每组的 96 h 的酶活力均低于同一浓度组 48 h 的酶活力,反映出肝细胞长期处于辛硫磷这一不良的状态下，功能开始下降，说明鲫鱼肝中 GOT 活力与染毒质量浓度和时间长短有关。

表 1　不同时间不同浓度辛硫磷对泥鳅肝脏谷草转氨酶的活力的影响

组别	24 h	48 h	96 h
CK	14.529 ± 1.223^{a}	14.547 ± 1.253^{a}	14.547 ± 1.253^{a}
1	39.793 ± 2.041^{bA}	90.420 ± 9723^{bB}	109.553 ± 8.317^{cC}
2	73.621 ± 17.112^{bA}	123.01 ± 17.669^{cB}	99.286 ± 6.476^{bcAB}
3	132.460 ± 30.346^{cA}	91.261 ± 7.779^{bA}	90.988 ± 18.554^{bcA}
4	177.927 ± 29.144^{cB}	151.525 ± 6.398^{dB}	82.236 ± 2.416^{bA}
5	142.595 ± 32.199^{cB}	136.37 ± 6.330^{cdB}	78.532 ± 1.243^{bA}

注：相同一列小写字母不同代表相应组间差异有统计学意义(P<0.05),同一行大写字母不同代表相应时间点间差异有统计学意义(P<0.05)。

基金资助：滨州医学院科技计划项目，项目编号:BY2014KJ16
收稿日期：2016-04-01，修改稿收到日期：2016-05-02

经析因设计的方差分析，不同浓度间差别有统计学意义（F=114.84，P<0.001），不同的时间点差别有统计学意义（F=69.58，P<0.001），且浓度与时间之间存在交互作用（F=14.37，P<0.001），即不同浓度不同时刻 GOT 的变化是不同的。

由图 1 可以看出，对照组 GOT 酶活力基本不变，在同一处理液浓度下，随着时间的增加，1、2 组 GOT 酶活力明显高于对照组，并呈现先升高再降低的趋势，3、4、5 组酶活力呈现降低的趋势，其中 5 组酶活力已低于对照组。在同一处理时间下，随着浓度的增加，GOT 活性是先升高后降低。

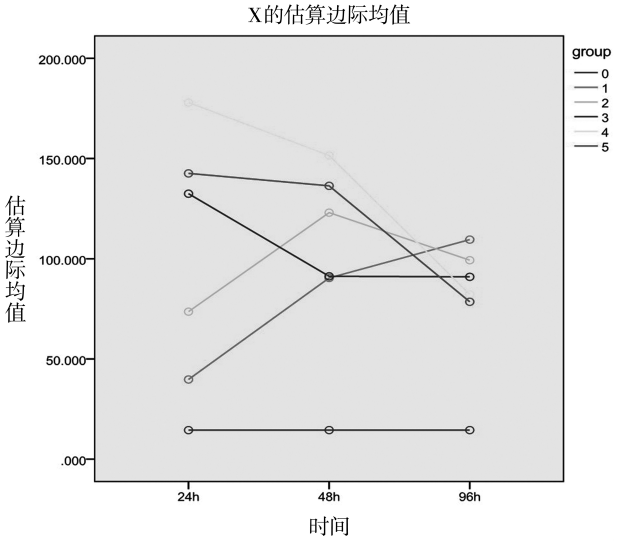


图 1 GOT 不同时间不同浓度酶活力比较

3 结论

谷草转氨酶是存在于生物体内的一种重要的转氨酶，并参与蛋白质代谢活动[1]。谷草转氨酶活性的高低可以反映出生物体内氨基酸代谢状况[2]，也可以反映出肝胰腺功能。泥鳅消化的主要腺体是肝胰脏，同时肝胰脏也是尿素合成的重要场所，并且有解毒功能[3]。如果谷草转氨酶活性明显提高，就会加快尿素生成，以减少氨基酸代谢产物对机体的毒害作用[4]，本文通过对谷草转氨酶活性的测定，其结果表明此酶的活性在 24 h、48 h 都明显高于对照组，说明短时间内用辛硫磷处理可诱导谷草转氨酶活性的提高，以此加强对毒物的排出。96 h 处理组此酶的活力较 24 h 和 48 h 开始出现下降趋势，并且随着浓度组的升高，活力也逐渐变小，这是由于肝细胞长期处于不良的状态下，功能开始衰弱下降。

根据实验结果，谷草转氨酶因参与辛硫磷化学农药的代谢，其活性被诱导从而发生变化，在一定时间段和一定浓度范围内，谷草转氨酶的活性随辛硫磷浓度的增加及时间的延长而升高，但当时间继续延长，高浓度组的活性又呈下降趋势，这显示谷草转氨酶活性和辛硫磷化学农药液浓度以及暴露时间存在一定的剂量、时间效应关系。将泥鳅谷草转氨酶活性变化，作为水域农药污染检测的生物标志物是可行的。

4 参考文献

[1] 沈盎绿，沈新强. 柴油对斑马鱼超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的影响[J]. 海洋渔业，2005，27（4）：314–318.

[2] 贾秀英，陈志伟. 镉对鲫鱼组织转氨酶和过氧化氢酶活性的影响[J]. 环境污染与防治，1997，19（6）：4–5，48.

[3] 陈家长，孟顺龙，胡庚东，等. 低浓度阿特拉津对鲫鱼过氧化氢酶（CAT）活性的影响[J]. 农业环境科学学报，2008，27（3）：1151–1156.

[4] 张宗炳，冷欣夫，刘殉，等. 杀虫药剂毒理及应用[M]. 化学工业出版社，1993：68–80.

Effects of Phoxim on Hepatocyte GOT of Loach

Zhang Binbin

Abstract The effect of five different concentrations of phoxim on hepatocyte glutamic oxalacetic transaminase（GOT）of Loach was studied. The results showed that the activities of GOT were induced by the lower concentration treatment, but restrained by the higher concentration treatment. The activity change of hepatocyte GOT of Loach could be used as biological indicator to evaluate the aquatic ecosystem.

Key words phoxim loach hepar GOT

RMA2 和 RMA4 在大沙河水库水质模拟中的应用研究

费继宏　马晓鸥　许江波　陈妍娜
（五邑大学化学与环境工程学院，广东 江门　529020）

摘　要　使用 RMA2 和 RMA4 模型对大沙河水库水文水质状况进行模拟，对模型主要参数进行了率定。模拟结果表明，当 Peclet 取 15，糙率取 0.045，COD 降解系数为 0.0055 时，运行 RMA2、RMA4 模型运算得到的 COD 浓度分布与实测结果基本吻合；模拟了入库支流富食河发生环境污染事件导致 COD 浓度激增时对取水口水质的影响，模拟结果可为大沙河水库水质预警提供科学依据。

关键词　RMA2　RMA4　大沙河水库　模拟　参数率定　预警

当今，水库作为重要的饮用水源，肩负着向周边城乡生产和生活供水的重担。然而，由于水库周边人类生活、生产经营活动日益频繁，水库集雨区范围内化肥农药用量增加，导致排入水库的污染物增多，水库水质出现富营养化等污染问题，影响供水安全。

建立水库水质模拟系统是实现水质预警和防控的可行措施。水质模型主要有有限体积法（FVM）、有限差分法（FDM）和有限元法（FEM）三种形式。其中有限元法能较好地适用于几何形状不规则的边界和地形复杂多变的计算区域，有较高的精度。SMS 软件中的 RMA2 和 RMA4 模型，是基于有限元法的模拟手段。RMA2 模型用于模拟水流的时空变化；RMA4 模型以 RMA2 的计算结果为基础，模拟水库内污染物的时空分布情况。骆辉煌等[1] 通过 RMA2 和 RMA4，模拟分析不同情境下五里湖水质变化情况。陈跃燕等[2] 对镇江内江进行水动力水质模拟，结合水环境容量，提出水污染治理措施。

运用 RMA2 和 RMA4 建立研究对象的水质模型，关键要依据研究对象的特征对模型参数进行合理率定，以及验证所建立模型的适用性。

考虑大沙河水库库区复杂多变的地形，有限元法更适合大沙河水库的水质模拟。本论文采用 RMA2 和 RMA4 建立大沙河水库的水文水质模型，讨论主要参数取值，并模拟不同情况下污染物的分布情况，为大沙河水库水质预警和水污染物总量控制决策提供科学依据。

1　大沙河水库概况

大沙河水库位于广东开平市西北部，地处恩平、新兴、开平 3 市的交汇处，也是开平市龙胜、马岗、大沙 3 镇交界处。地理位置在东经112°25′47″~112°42′97″、北纬 22°33′~22°55′之间。集雨面积 217 km^2，水库面积 16.3 km^2，内有岛屿 152 个，正常库容 1.57 亿 m^3，总库容为 2.58 亿 m^3。

大沙河水库水深状况较复杂，本论文中，水深由河床高程和水位共同确定。大沙河水库河床高程数据通过地理空间数据云中下载的 DEM 数据插值而成，并以.xyz 格式的文件导入到 SMS 软件中。各插值点的值转换成高程数据后，生成的大沙河水库河床高程等高线分布如图 1 所示（单位：m）。

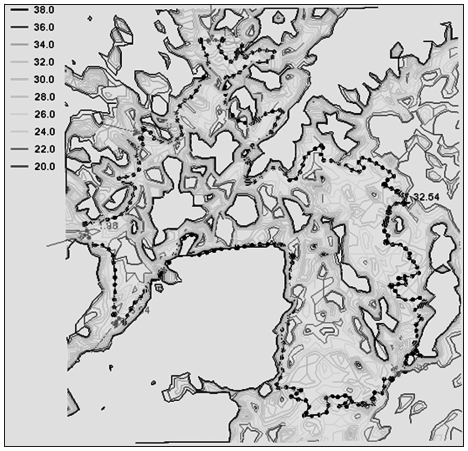


图 1　大沙河水库河床高程等高线

收稿日期：2016-03-02，修改稿收到日期：2016-05-02

水深为河床到水位的距离，由库区等高线分布可知，大沙河水库库区多山地地形，库区内有岛屿存在，水位不同时，岛屿干湿状况不同，计算区域将发生变化。

2 RMA2 模型参数的率定

二维水动力数值模型 RMA2 由美国于 1973 年开发，经过 30 多年的不断发展与完善逐渐成熟，在国际水环境数值模拟中得到广泛应用。RMA2 模型主要用于模拟河流、湖泊、水库水动力过程。

2.1 RMA2 的基本控制方程

RMA2 的基本控制方程是质量守恒方程以及 x、y 方向的动量守恒方程，形式如下：

质量守恒方程：

$$\frac{\partial h}{\partial t}+h\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)+u\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \quad (1)$$

x 方向的动量守恒方程：

$$h\frac{\partial u}{\partial t}+hu\frac{\partial u}{\partial x}+hv\frac{\partial u}{\partial y}-\frac{h}{\rho}\left[E_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+E_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right]+gh\left[\frac{\partial a}{\partial x}+\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{gun^2}{h^{1/3}}(u^2+v^2)^{1/2}-\xi v_a^2\cos\psi-2h\omega v\sin\Phi=0 \quad (2)$$

y 方向的动量守恒方程：

$$h\frac{\partial v}{\partial t}+hu\frac{\partial v}{\partial x}+hv\frac{\partial v}{\partial y}-\frac{h}{\rho}\left[E_{yx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+E_{yy}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right]+gh\left[\frac{\partial a}{\partial y}+\frac{\partial h}{\partial y}\right]+\frac{gvn^2}{h^{1/3}}(u^2+v^2)^{1/2}-\xi v_a^2\sin\psi+2h\omega u\sin\Phi=0 \quad (3)$$

式中：h 为水深；t 为时间；u、v 分别为 x、y 方向上的流速；ρ 为流体的密度；E 为涡动粘滞系数；g 为重力加速度；α 为河床高程；n 为糙率系数；ξ 为风应力系数；v_a 为风速；ψ 为风向；ω 为地球自转角速度；Φ 为当地纬度。

控制方程通过运用加权余量的伽辽金有限单元法求解，求解过程采用隐式格式，联立方程组利用牛顿拉夫逊非线性迭代求解。

2.2 主要参数

模型参数的取值，对模拟结果的准确性和可靠性有较大的影响。数学模型的建立过程中，由于缺乏水动力和水质实测资料，无法通过实测数据对模型进行验证。模型参数取值的正确性只能通过经验判断、敏感性分析等来验证。以全年期大沙河水库数据，探讨参数敏感性问题。

2.2.1 涡动粘性扩散系数

涡动粘性扩散系数，也称为紊流交换系数，主要通过两种方法来设定。一种是直接设置涡动粘性扩散系数；另一种是通过设定 Peclet 数实时调整涡动粘性扩散系数，RMA2 模型中，Peclet 数的推荐范围为 15~50 之间。

本论文主要通过设置 Peclet 数调整涡动粘性扩散系数，涡动粘性扩散系数 E 与单元平均流速、流体密度、单元长度及 Peclet 数的关系如下：

$$E=\frac{\rho u d_x}{P} \quad (4)$$

式中：P 为 Peclet 数，无量纲数；ρ 为流体密度；d_x 为单元平均长度；u 为单元平均流速。

2.2.2 糙率

糙率又称粗糙系数，用 n 表示。它反映对水流阻力影响的一个无量纲数。边界越光滑，糙率越小；边界越粗糙，糙率越大。糙率的影响因素大致分为两类，一类是河床的粗糙程度、植被等；另一类是水深、流量、泥沙等。

2.2.3 干湿交换

RMA2 模型对计算区域内是否有水通过设置干湿参数进行判别。当某一单元任意节点的水深小于或等于设定的参数时，RMA2 模型判定该单元无水流通过，从而把该单元去除，形成新的边界。当某一单元所有节点均大于设定的参数时，RMA2 模型把该单元加入计算区域。

全年期时，大沙河水库库区地形与网格单元如图 2、图 3 所示，图中阴影部分为库区内的岛屿，不纳入计算范围。

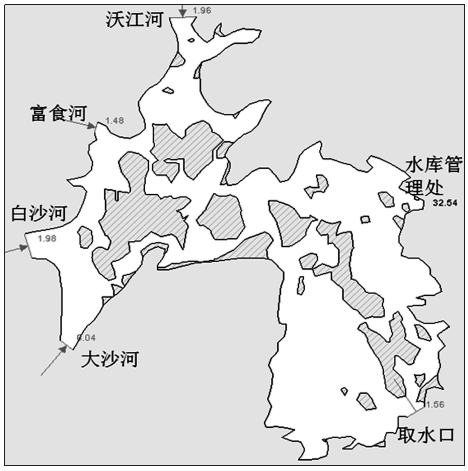


图 2 大沙河水库地形

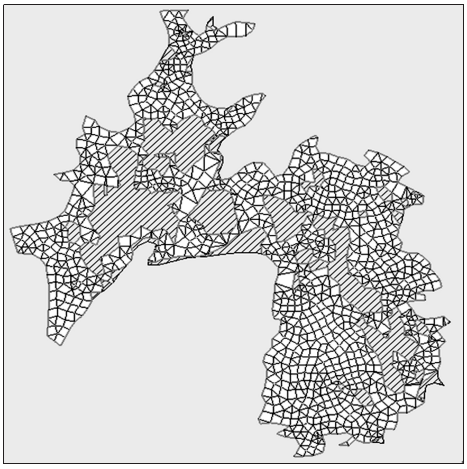


图 3　大沙河水库网格单元

2.2.4　其他参数

其他参数一般为模型默认数值：水温默认设置为 20℃，水的密度为 1 000 kg/m^3。

2.3　模型参数率定

2.3.1　糙率率定

不同河床的糙率各不相同，根据廖威林等[3] 对糙率的取值研究：河道糙率为 0.03，草地糙率为 0.04，泥地糙率为 0.05，山地糙率为 0.045，丛林糙率为 0.08，大沙河水库的糙率取值介于此范围较为合理。

设定 P=15，糙率系数 n 分别取 0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08 时库区水流最大流速及各单元流速标准差如表 1 所示。

表 1　相同 Peclet 数不同糙率时最大流速

糙率 n	最大流速（m/s）	标准差
0.03	0.05437	0.00414
0.04	0.05311	0.00412
0.05	0.0526	0.0041
0.06	0.05223	0.00409
0.07	0.05198	0.00408
0.08	0.05178	0.00407

由以上数据得出，大沙河水库的水文模型问题中，糙率 n 在此范围内的取值对整个库区的流速无明显影响，参数敏感性不强。结合大沙河水库库区山地地形，水库糙率为 0.045 较合理。

2.3.2　Peclet 数率定

取 n=0.045，P 分别为 15、20、30、40、50 时库区水流最大流速及各单元平均流速标准差如表 2 所示。

表 2　相同糙率不同 Peclet 时最大流速

P 系数	最大流速（m/s）	标准差
15	0.05437	0.00414
20	0.05448	0.00413
30	0.05405	0.00413
40	0.05392	0.00413
50	0.05321	0.00413

由以上数据可以得出，Peclet 数的建议取值范围内库区流速相近，参数敏感性不强。在大沙河水库水文模型中，Peclet 数在 RMA2 推荐的范围内取值合理。Peclet 系数越大，涡流粘度越小，流场图将表现出不稳定状态；Peclet 系数越小，涡流粘度越大，库区流速分布越趋于平稳，不会形成涡流。因此，Peclet 数可在 15~50 内选取，本文预选 Peclet 数为 15。

综上，RMA2 模型 Peclet 数取值为 15，糙率 n 的取值为 0.045，模型运行结果将作为运行 RMA4 模型的条件。

3　RMA4 模型参数的率定

RMA4 模型是建立在二维水动力 RMA2 运行结果基础上，计算污染物扩散和表达污染物浓度分布的模型。

3.1　RMA4 模型的基本方程

RMA4 模型方程如下：

$$\frac{\partial(hc)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(huc)+\frac{\partial}{\partial y}(hvc)=\frac{\partial}{\partial x}\left(hD_x\frac{\partial c}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hD_y\frac{\partial c}{\partial y}\right)+S_i+S_{D_y} \quad (5)$$

其中：c 为所指定污染物的断面平均浓度；h 为水深；u、v 分别为 x、y 方向的平均流速；D_x、D_y 为 x，y 方向的扩散系数；S_i 为组分反映项。

3.2　主要参数

RMA4 模型的主要参数有两个：扩散系数和降解系数。

3.2.1　扩散系数

扩散系数 D 的赋值方法有两种。一种是直接设

置扩散系数；另一种是通过设置 Peclet 数的方式赋值。Peclet 数与扩散系数的关系式如下：

$$P=\frac{ud_x}{D} \quad (6)$$

$$D_x=\frac{E_{xx}}{\rho} \quad (7)$$

$$D_y=\frac{E_{yy}}{\rho} \quad (8)$$

式中：P 为 Peclet 数；u 为平均流速；d_x 为单元长度；D、D_x、D_y 为扩散系数；E_{xx}、E_{yy} 为涡动粘度系数；ρ 为密度。

RMA4 以 RMA2 为基础，RMA4 模型中的扩散系数可以通过代入 RMA2 已率定的 Peclet 数求解。

3.2.2 降解系数

降解系数的物理意义为每天或每小时污染物在水中降解掉的百分率。降解系数与浓度之间关系式如下：

$$\frac{C(t)}{C(t_0)}=e^{-K(t-t_0)} \quad (9)$$

其中：$C(t)$为 t 时刻物质浓度；$C(t_0)$为 t_0 时刻物质浓度；K 为降解系数。

不同水体的降解系数各不相同，国内对降解系数进行了大量的研究。张亚丽等[4] 探讨了淮河支流枯水期、平水期和丰水期时 COD 的综合降解系数，提出各时期建议值。韩慧毅等[5] 对东风水库大量监测数据资料进行估算，分析率定 COD 降解系数范围为 0.00054~0.0127。

3.3 模型参数率定

各入库支流 COD_{Cr} 浓度的监测数据如表 3 所示。

表 3 大沙河水库各入库支流 COD_{Cr} 监测数据

入库支流	沃江河	富食河	白沙河	大沙河
浓度(mg/L)	72	26	15	17

在各支流入库 COD_{Cr} 量不变以及库区 COD_{Cr} 本底值为 14 mg/L 且浓度均匀分布的条件下，选取降解系数 K 为 0、0.0025、0.005、0.0075 时，运行 RMA4 模型。达到稳定状态时，各监测点的 COD_{Cr} 实测数据与 RMA4 模型运行结果如表 4 所示。

大沙河水库库区 COD_{Cr} 的降解系数 K 值为 0.0055 时，浓度场分布与实际监测结果相近，库中浓度偏大。大沙河水库的降解系数 K 的率定值为 0.0055 较合理，能满足模型运行的需要。

表 4 不同衰减系数时各监测点计算值与实际值

监测点	库尾	库中	水库管理处	取水口
实测值	16	15	16	13
K=0.0045	16.32	17.72	16.8	14.81
K=0.005	16.27	17	16.29	13.9
K=0.0055	16.25	16.23	15.95	13.1
K=0.006	16.17	15.72	15.89	12.31

4 环境应急事件时水库水质模拟

大沙河水库属于集中式生活饮用水源，其水质应达到《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)Ⅱ类标准，COD_{Cr} 浓度在 15 mg/L 以下。环境应急事件发生会导致入库某支流的污染物浓度急剧上升，对水库水质产生重大影响。通过模拟污染物扩散情况，可以预测环境应急事件对水库水质的影响，为水质预警和防控提供依据。

假设环境应急事件发生后，富食河入库 COD_{Cr} 浓度急剧上升到 300 mg/L，并持续 2 天，随后 COD 浓度逐渐递减，20 天后恢复正常。其入库浓度与时间关系如图 4 所示。在其他支流入库 COD 浓度维持不变(详见表 3)，该环境应急事件对取水口水质影响的模拟结果如图 5 所示。

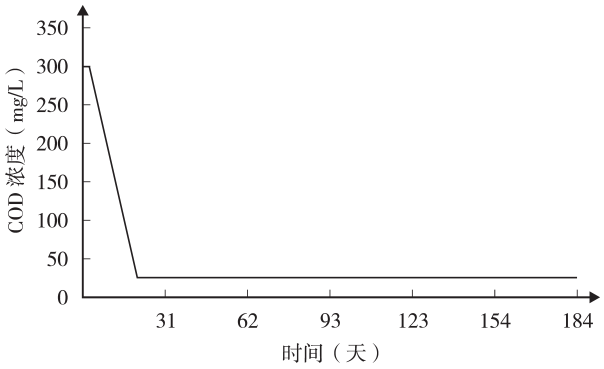


图 4 富食河入库 COD 浓度与时间关系

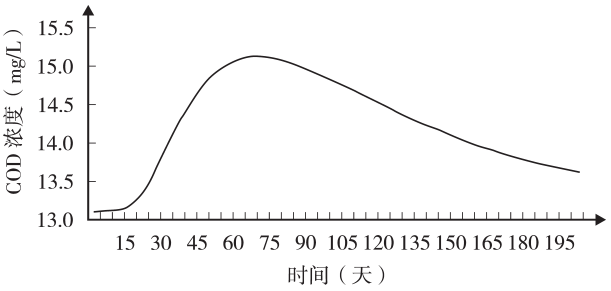


图 5 环境风险事件发生后取水口 COD_{Cr} 浓度与时间关系

由图表可知，富食河 COD 浓度大幅度提升后，水库取水口 COD_{Cr} 浓度明显升高。事件发生后第 55 天时取水口水质指标超过《地表水环境质量标准（GB 3838-2002）》Ⅱ类标准，对供水安全产生了影响；在第 68 天 COD_{Cr} 浓度达到最大。第 85 天恢复正常，风险持续 30 天。

5　结语

通过合理率定模型参数，RMA2 和 RMA4 模拟大沙河水库水质污染物 COD 扩散情况，与实测结果基本相符，说明 RMA2 和 RMA4 模型能满足大沙河水库水质模拟需要。

采用 RMA2 和 RMA4 模拟环境应急事件发生导致入库污染物浓度急剧上升时大沙河水库水质的动态变化情况，可预先判断环境应急事件对水库水质的影响范围、影响程度、持续时间等，为大沙河水库水质预警提供科学依据。

通过 RMA2 和 RMA4 模拟各入库支流污染物总量变化对库区水质的影响，其结果还可作为大沙河水库污染物总量控制的依据。

6　参考文献

[1] 骆辉煌，廖文根，李狮，等. RMA2 和 RMA4 在我国浅水湖泊中的适用性研究[R]. 北京：中国水利水电科学研究院水环境研究所，2003.

[2] 陈跃燕，储金宇. SMS 在镇江内江水质模拟与预测中的应用[D]. 镇江：江苏大学，2007.

[3] 廖威林，周小文，何勇彬，等. 城市地区水库溃坝洪水演进模拟[J]. 长江科学院院报，2014，31（10）：98-103.

[4] 张亚丽，申剑，史淑娟，等. 淮河支流污染物综合降解系数动态测算[J]. 中国环境监测，2015，31（2）：64-67.

[5] 韩慧毅，赵凯，辛江，等. 东风水库 COD 氨氮衰减系数分析[J]. 水生态环境，2011（4）：41-42.

Research on Application of RMA2 and RMA4 Models in Water Quality Simulation in Dashahe Reservoir

Fei Jihong　Ma Xiaoou　Xu Jiangbo　Chen Yanna

Abstract　This thesis simulated hydrology status and water quality state of Dashahe Reservoir with RMA2 and RMA4 models and estimated the value of main parameters of models. Simulation results showed that the concentration distribution of COD were basically consistent with the measured results by running the RMA2 and RMA4 models with P was 15, roughness was 0.045 and K was 0.0025. This thesis also simulated the influence of the increasing drastically concentration of COD to water quality of the water intake when the environmental pollution incidents happened in Fushi river, which provided scientific evidences for water quality forewarning in Dashahe reservoir.

Key words　RMA2　RMA4　dashahe reservoir　simulation　parameter calibration　forewarning

“2016 年广州科技活动周活动”暨“环境医学专业委员会 2016 年年会”召开

5 月 20 日，广州市环境科学学会在越秀区疾病预防控制中心五楼会议室举办了 2016 年广州科技活动周活动——蚊媒病毒疾病防治专题讲座。接着，召开了广州市环境科学学会医学专业委员会 2016 年年会。

在专题讲座活动中，南方医科大学公共卫生与热带医学学院教授、广东省有害生物防制协会会长陈晓光先生讲授了登革热、寨卡病的防治——蚊媒控制与环境治理，广州市疾病预防控制中心消毒杀虫科严子锵教授讲授了登革热、寨卡病毒传播媒介的科学控制，深入浅出地讲述了对蚊子传播病毒疾病的预防及控制方法，有助于个人、家庭、企业和社区日常对疾病的预防、暴发期对疾病控制。有 100 多位预防医学领域的工作人员参加了讲座活动。

在 2016 年年会上，医学专业委员会总结了“十二五”的工作情况，对 2016 年工作计划进行了讨论研究。2016 年环境医学专业委员会将进一步加强组织建设、重视学术交流活动、继续做好科普工作。

原中山医科大学公共卫生学院院长、原广州市环境科学学会医学专业委员会主任、80 多岁高龄的陈成章教授参加了讲座及年会并致辞，给在座年轻一辈、二辈的环境医学工作者予鼓励和鞭策。

广州市环境科学学会供稿

危险废物贮存环境影响后评估工作的技术评估要点

师 波
（广州市环境技术中心，广州 510180）

摘 要 本文简述了广州市危险废物贮存环境影响后评估工作的背景,讨论了环境影响后评估工作中的现存问题,提出了环境影响后评估报告的技术性评估要点。

关键词 危险废物 环境防护距离 后评估

环境保护部于2013年6月8日发布了《关于发布〈一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准〉(GB 18599-2001)等3项国家污染物控制标准修改单的公告》(公告2013年第36号),其中《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2001)第6.1.3条的"场界应位于居民区800米以外,地表水域150米以外"修改为:"应依据环境影响评价结论确定危险废物集中贮存设施的位置及其与周围人群的距离,并经具有审批权的环境保护行政主管部门批准,可作为规划控制的依据"。因此,广东省环境保护厅发布了《广东省环境保护厅关于危险废物贮存环境防护距离有关问题处理意见的通知》(粤环函〔2013〕1041号)及《广东省环境保护厅关于危险废物贮存环境防护距离有关问题处理意见的补充通知》(粤环函〔2014〕1289号),文件要求各地要对辖区内涉及危险废物贮存环境防护距离问题的企业进行梳理,并通知相关企业按照相应处理意见完善相关手续。

广州市持有《危险废物经营许可证》的企业共27家,均在2013年原危废贮存标准修改前建成投产,其中24家与居民点的距离小于原800米的环境防护距离规定,这些危废持证企业环评批复文件中未明确环境防护距离的,均应开展危险废物贮存环境防护距离后评估工作。目前这些危废持证企业均自行委托环评单位开展有关环境防护距离后评估工作,并编制环境影响后评估报告。

1 环境影响后评估工作中存在的问题

1.1 现有技术标准不完善

"环境影响后评估"在法规中没有该概念,不属于"产生不符合经审批的环境影响评价文件的情形",不属于《环境影响评价法》规定的实施后评价范畴。环境保护部的通知和广东省环境保护厅的两份函是开展"环境影响后评估"工作的唯一依据。

1.2 后评估报告评价对象混淆、思路不清

后评估报告评价对象为已建成的项目,通过对现有合法运行项目概况、环评审批及环保验收等情况进行回顾性评价,结合验收期间污染源的监测数据和对现有项目周边环境质量进行调查的基础上,确定危废企业的环境防护距离;后评价工作是针对项目建设、运行过程中产生不符合经审批的环境影响评价文件的情形,采取改进措施,并报原审批部门备案;建设项目环境影响评价是针对新建、改扩建项目实施后可能造成的环境影响进行分析、预测和评估,提出预防或减轻不良环境影响的对策和措施。许多环评单位易将后评估报告评价对象与后两者(后评价、建设项目环境影响评价)混淆,导致思路不清楚,以至进行不必要的环境影响预测、环境经济损益、环境监理等评价分析。

1.3 企业开展后评估工作的目的不明确

从事危险废物经营活动的企业,要进行环境影响后评估工作,对贮存环境防护距离进行论证,并报经有审批权的环境保护行政主管部门出具备案意见后,方可申请续发《危险废物经营许可证》,因此企业开展后评估工作的目的是确定环境防护距离,进而申请续发《危险废物经营许可证》。许多企业不清楚

收稿日期:2016-04-03,修改稿收到日期:2016-05-02

开展后评估工作的目的，与后评价工作混为一谈，误以为通过开展后评估工作就可以一次性解决企业现有的所有环保问题。

2　环境影响后评估报告的技术性评估要点

2.1　企业现状回顾性评价

2.1.1　企业概况

包括企业地理位置、平面布置及四至情况，企业发展历史，现有项目环评审批及环保验收情况，历年环评批复的落实情况，核准经营类别、范围、规模以及与环评批复内容的相符性，近三年实际处理产品及规模。

2.1.2　现有工程分析

企业现有生产工艺流程及产物环节分析，原辅材料用量及储存量，处理产品的来源及成分检测，根据危废经营许可证上的年处理规模核算全厂物料平衡和水平衡，环保问题的投诉与处罚情况。

2.1.3　现有污染源及污染防治措施

废水主要为生产废水、生活污水及初期雨水，统计近三年废水监测数据，大部分危废企业位于市政排水管网无法接驳的地区，废水需经企业自建的污水处理设施处理达到广东省《水污染物排放限值》(DB44/26–2001)要求后外排到附近的河涌或者循环使用不外排。

废气污染源分为有组织废气源和无组织废气源，有组织废气经处理达到广东省《大气污染物排放限值》(DB44/27–2001)要求后，需经不低于 15 米高的排气筒排放；无组织废气需明确产生工序和排放量。

噪声主要来源于机械生产设备，设备须布置在专用的设备房内并进行吸声、隔声及减震等治理措施，确保厂界噪声达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348–2008)要求。

固体废物分为一般工业废物、危险废物和生活垃圾。其中一般工业废物由厂家回收或循环利用；危险废物须设置临时堆放场所，交有资质的单位处理处置；生活垃圾交由环卫部门处理。

2.1.4　存在的环境问题

通过工程分析，找出企业现状废水、废气、噪声和固体废物处理中存在的问题及环境风险，提出整改措施。例如，企业生活污水经三级化粪池预处理后直接排入已超标无容量的河涌，则应改进污水处理工艺后，确保生活污水达到广东省《水污染物排放限值》(DB44/26–2001)一级标准后排放，或者企业内部利用不外排。

2.2　企业所在地环境质量现状

为了解企业运营对周边环境质量现状产生的影响，须委托有资质单位对企业所在地的地表水、地下水、大气、声和土壤环境质量现状进行监测，要合理布置监测点位，合理选择监测项目及采样时间和频次，最终对监测项目是否达到环境质量标准要求进行评价(见表 1)。

表 1　危废企业所在地环境质量现状监测与评价

评价因子	监测点位	监测项目	评价标准
地表水环境	纳污水体上、下游	pH 值、DO、COD_{Cr}、BOD_5、SS、LAS、氨氮、总大肠杆菌等常规项目，六价铬、总铬、镉、镍、氰化物、锌、铅、汞、铜等(涉及危废集中焚烧)，石油类、挥发酚等(涉及废矿物油处理)	《地表水环境质量标准》(GB 3838–2002)
地下水环境	企业所在地和周围敏感点	pH 值、总硬度、溶解性总固体、高锰酸盐指数、氨氮、硫酸盐、硝酸盐(以氮计)、亚硝酸盐(以氮计)等	《地下水质量标准》(GB/T 14848–93)
大气环境	企业所在地和周围敏感点	SO_2、NO_2、PM_{10} 等常规项目以及特征污染物	《环境空气质量标准》(GB 3095–2012)、《工业企业设计卫生标准》(TJ36–79)等
声环境	企业厂界四周	连续等效 A 声级 Leq	《声环境质量标准》(GB 3096–2008)
土壤环境	企业所在地和周围敏感点	pH 值、铜、锌、铅、砷、镍、铬、镉、汞等重金属，石油类、有机碳、苯、甲苯等有机物	《土壤环境质量标准》(GB 15618–1995)(有机物类)、《土壤重金属风险评价筛选值 珠江三角洲》(DB44/T 1415–2014)(重金属类)

2.3 确定环境防护距离

在现状的合法经营规模前提下，审查后评估报告提出的大气环境防护距离、卫生防护距离、事故风险防护距离的合理性，分析环境防护距离的可达性。

2.3.1 大气环境防护距离

根据《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2008）推荐模式中的大气环境防护距离模式计算各无组织源的大气环境防护距离。计算出的距离是以污染源中心点为起点的控制距离，超出厂界以外的范围，即为现有项目大气环境防护区域。当无组织源排放多种污染物时，应分别计算，并按计算结果的最大值确定其大气环境防护距离；对于属于同一生产单元的无组织排放源，应合并作为单一面源计算并确定其大气环境防护距离。

2.3.2 卫生防护距离

根据《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T 13201-91)中的公式计算卫生防护距离，确定在正常生产条件下，无组织排放的有害气体(大气污染物)自生产单元(生产区、车间或工段)边界到居住区满足 GB 3095 与 TJ36 规定的居住区容许浓度限值所需的最小距离。

2.3.3 事故风险防护距离

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2004)，对现有项目运行期间发生的可预测突发性事件或事故引起有毒有害、易燃易爆等物质泄漏，或突发事件产生的新的有毒有害物质，所造成的对人身安全与环境的影响和损害，进行评估，根据泄漏量或火灾爆炸范围，结合现有的应急与减缓措施确定合理的防护距离。

对于危废持证企业，重大事故一般为有毒有害物质的泄漏及引发的火灾、爆炸。在条件允许的情况下，可利用安全评价数据开展环境风险评价，但环境风险评价关注点是事故对厂界外环境的影响，不同于安全评价。

2.3.4 环境防护距离及其可达性

由大气环境防护距离、卫生防护距离、事故风险防护距离组成的最大包络线范围即为企业危险废物贮存的环境防护距离，后评估报告须说明该包络线范围内是否存在常住居民居住场所、农用地以及其他环境敏感对象，明确企业厂界到最近居民点的直线距离，并提出规划调整的建议。需注意环境防护距离是从污染源中心点(即生产单元)算起的最大包络线范围，不是从企业厂界算起。

3 技术评估工作程序

主要工作程序为技术初审——专家评审——报告修改——技术审查合格后出具意见。其中，技术初审针对企业现有项目是否有重大环境制约因素；专家评审需到企业进行现场踏勘，专家现场进行提问并出具专家组意见，专家涉及废水、废气、固废、生态及综合评价等专业；技术审查重点包括工程分析内容是否清楚、环境现状评价及环境防护距离计算是否符合环评技术导则要求、环境防护距离是否可达等。

4 参考文献

[1] 冯美兰. 建设项目环境影响评价技术评估的问题探讨[J]. 环境，2008(S1)：136-137.

[2] 季文佳，王琪，刘茂昌，等. 危险废物贮存的大气环境健康风险评价[J]. 环境工程，2010，28：309-312.

Discussion on the Technical Points of Environmental Impact Post-assessment of Hazardous Waste Storage

Shi Bo

Abstract This paper described the background of environmental impact post-assessment of hazardous waste storage in Guangzhou, and discussed the existing problems in environmental impact post-assessment, then provided the technical points of environmental impact post-assessment report.

Key words hazardous waste environment protection zone post-assessment

广州市重金属重点监控企业监测信息公开实施效果分析

吴 艳
（广州市环境监测中心站，广州 510030）

摘 要 广州市2013年对外公开本市重金属重点监控企业监测信息,促进了企业重金属治污减排和产业升级,实现达标排放,取得明显效果。

关键词 信息公开 效果 重金属 重点监控企业 广州市

重金属污染因具有毒性、易通过食物链在植物、动物和人体内累积,对生态环境和人体健康构成严重威胁。随着工业快速发展,涉重金属企业重金属排放对生态环境和人体健康影响越来越大,2011年2月,我国制定了第一个“十二五”国家规划[1],确定国家总量控制重金属包括汞、镉、铬、铅、砷五类,并提出将对重点地区、重点行业进行集中治理。2013年7月,环境保护部印发了《国家重点监控企业污染源监督性监测及信息公开办法(试行)》,重金属重点监控企业监督性监测信息纳入公开范围，极大地促进涉重金属企业提升环保责任,自觉治污减排,实现达标排放,接受全社会监督,取得明显效果。

1 监测信息公开情况

1.1 企业名单动态更新

珠三角金属表面处理及热处理加工业、皮革及其制品业、印制电路板制造业废水重金属排放量占总量的90%[1]。重金属因对生态环境和人体健康影响大，社会关注度高，综合考虑企业排放重金属种类、数量和浓度等，2013年、2014年广州市重金属重点监控企业23家,2015年重金属重点监控企业50家,2016年重金属重点监控企业31家。

1.2 执行标准

2013年广州市19家重金属重点监控企业废水监测执行《电镀污染物排放标准》(GB 21900–2008)，4家重金属重点监控企业执行《水污染物排放限值》(DB44/26–2001)。粤环〔2012〕83号文《广东省环境保护厅关于珠江三角洲地区执行国家排放标准水污染物特别排放限值的通知》，要求现有电镀企业自2012年12月31日起实施《电镀污染物排放标准》(GB 21900–2008)水污染物特别排放限值。

2014年4月,粤环〔2014〕25号文《广东省环境保护厅关于珠三角地区执行电镀水污染物排放标准的意见》,要求现有企业总镍、总铜、氨氮、总氮、总磷、化学需氧量6项水污染指标暂时执行《电镀污染物排放标准》(GB 21900–2008) 水污染物排放限值(即表2标准),其余14项水污染物指标继续执行粤环〔2012〕83号文相关规定。

2015年9月起,27家电镀企业开始执行《电镀水污染物排放标准》(DB44/1597–2015)。

2015年起实施的重金属重点监控企业废气执行《大气污染物排放标准》(DB/27–2001)。

1.3 公开内容

按照重金属重点监控企业废水执行标准，公开企业名称、所在区县、评价标准、监测日期、排污口名称、标准限值、必测指标监测结果和达标评价、选测指标监测结果和达标评价,见图1。

1.4 公开形式

每季度第一个月在广州市环境保护行政主管部门官方网站公开上季度重金属重点监控企业监督性监测结果。

2 监测信息公开效果

2.1 强化规范监测

收稿日期：2016–04–26，修改稿收到日期：2016–05–02

广州市　　年国控企业（重金属重点监控企业）监督性监测结果（第　季度　月废水）

行政区	企业名单	评价标准	监测结果（mg/L）												
			监测日期	排污口名称	必测指标							选测指标			
					铅	汞	镉	六价铬	总铬	砷	达标评价	镍	铜	锌	达标评价
			标准限值												

备注:1、表中有“ND”表示未检出,括号中数值为该项目检出限。2、根据广东省环境保护厅《关于珠江三角洲地区执行国家排放标准水污染物特别排放限值的通知》(粤环〔2012〕83号),电镀行业自2012年12月31日起执行《电镀污染物排放标准》(GB 21900-2008)表3水污染物特别排放限值。3、根据《广东省环境保护厅关于珠江三角洲地区执行电镀水污染物排放标准的意见》(粤环〔2014〕25号)(4月9日文),现有项目的总镍、总铜、氨氮、总氮、总磷、化学需氧量6项水污染指标暂时按照《电镀污染物排放标准》(GB 21900-2008)水污染物排放限值(即表2标准)执行,其余14项水污染物指标继续执行粤环〔2012〕83号文相关规定。4、行业标准不覆盖的一类重金属污染物必测指标套用广东省《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)

图1　广州市重金属重点监控企业监督性监测结果公开形式

公开监督性监测结果强化了环境管理的公众参与和监督。超标信息常常引起媒体和企业关注，要求监测部门严格实施规范监测，关注监测全过程，保证监督性监测质量。① 收集监督性监测过程中企业的生产工况和治污工况；改进现场记录表，增加监测点位图、生产流程图等信息；加强现场设备校准、现场空白等现场质控手段。② 在现行检测方法确认的基础上，进一步提取评价方法和管理规范的内在关键的环境监测信息，确保监督性监测工作做到位。③ 重视监测报告的编写,关注监测数据合理性，三级审核到位，最大程度地保障监测报告的准确性。

2.2　增强监测结果运用

公开监督性监测结果促进环境管理和执法部门及时、快速地运用监测结果环境执法,有效地预防监测部门不能及时将监测结果通报给管理和执法部门，或者管理和执法部门收到超标监测报告后不采取监管措施，切实地发挥监测为环境管理服务的效能,有效地督促企业“有法必依”。

2.3　促使企业自觉治污

粤环〔2012〕83号文《广东省环境保护厅关于珠江三角洲地区执行国家排放标准水污染物特别排放限值的通知》,部分重金属监测项目浓度限值收紧至原来的1/2甚至1/5,2013年重金属重点监控企业超标数量明显增加。南方都市报2013年7月9日GA07版以“两企业排放废水铬均超标200多倍”为题报道：根据市环保局近日公布的前两季度污染源监督性监测结果,问题最严重的是重金属污染,番禺区是重金属污染的重灾区，从化有两企业重金属超标过百。报道对环境管理部门及企业都造成非常大的舆论压力。市、区两级环保职能部门开展了对超标企业的跟踪调查，加大了对辖区内的重金属企业的监管；企业自身也提高了对重金属污染物达标排放的重视,积极改善排污设施。经过努力,近几年广州市重金属超标情况大幅改善，以番禺区为例,从2013年到2015年,超标企业数大幅减少,超标项目的超标倍数也大为降低,见表1。从化两家超标严重的企业,经过整改,从2014年起监测结果全部达标。

表1　番禺区2013–2015年重金属监督性监测结果公开企业废水超标情况

监测年份	公开企业（家次）	超标企业（家次）	超标项目(超标倍数范围)
2013年	60	32	六价铬(0.08~8.41),总铬(0.04~28.0),镍(0.10~230),铜(0.21~2.07),锌(0~0.19)
2014年	60	11	六价铬(0~0.20),总铬(0~1.52),镍(0.91~9.68),铜(0.14~0.62),锌(0.53~0.86),铅(0~5.71)
2015年	60	4	六价铬(0~1.76),铜(0~0.58),铅(0.70~1.40)

3　几点思考

3.1　坚持服务导向

排污监测信息公开有利于提高公众的环境意识,加强环境管理的公众参与和监督,促使污染者重视环境保护,加强污染治理,避免政府部门的环境决策失误[2]。为实现这一目的,排污监测信息公开不仅服务公众,同样服务企业,环境监管部门需要进行环境管理政策和污染物排放标准释疑，污染防治和治理技术指导,既调动公众参与的积极性,又提升企业环保责任心,促进环保工作的深入发展。

3.2　提高时效性

环境执法需要企业排污监测数据作为技术依据,需要严格按照污染物排放标准和监测规范获取排污监测数据，实现排放废水样品保存和处理的时间要求,按照《国家重点监控企业污染源监督性监测及信息公开办法(试行)》具体时限规定开展工作。

3.3　做好舆论引导

在公开监督性监测结果时，应提前做好舆论热点预判和准备,以积极主动的态度,做好舆论引导应对工作。“政府必须着力规范和加强污染源环境监管信息公开，通过有力措施保障公众对环境污染信息的知情权,强化公众对企业排污行为的监管,对公众参与环境保护的行为进行有效的引导”[3]。

4　参考文献

[1] 广东省环境保护厅. 广东省重金属污染综合防治“十二五”规划[R]. 2011.

[2] 李富贵,熊兵. 环境信息公开及在中国的实践[J]. 中国人口.资源与环境,2005,15(4):22-25.

[3] 陈向国. 污染源监管信息公开瓶颈正在被打破[J]. 节能与环保,2013(8):38-39.

Status and Thinking of Information Disclosure on Supervisory Monitoring of Heavy Metal Intensive Monitored Enterprises in Guangzhou City

Wu Yan

Abstract　Supervisory monitoring information of heavy metal intensive monitored enterprises in Guangzhou city announced every season since 2013. This policy contributed to the heavy metal pollution abatement and industrial upgrading, and achieved remarkable results.

Key words　information disclosure　effect　heavy metal　intensive monitored enterprises　Guangzhou city

(上接第 24 页)

汇报,与考核专家组相互探讨各区各校的工作亮点和需要完善改进的工作位点。广州市教育局科研处处长谷忠鹏在总结时提出如下五点指导性意见:

(一)要进一步提高对垃圾分类的思想认识。

针对管理层、校领导和经办人这三个层面分别作出明确要求。他指出这项工作是硬指标,环境教育是一个长期过程,也是教书育人应有之义,当今发达国家的学生也无例外。我们应立足于主动开展,考核检查规定区级以上的,要有 90% 以上达到要求。

(二)进一步加强组织管理,区、市级都要加强统筹,抓准抓好。

要领导小组来统一布置处理,做到闻风而动,利用网络开展工作。建议各区象增城区的做法那样,抓常规、抓落实。抓好组织工作,形成工作活力和抓手。

(三)进一步推动日常工作，部署应有工作的提前量,同时要发挥积极性,做好检查工作。

(四)抓好工作计划的落地和落实,注重实际工作的效果。

有关垃圾分类工作评价表中所指的“三率”,这是非常重要的内容,也是实际效果之一,要关注其落地到位,注重学生行为习惯的养成。

(五)通过多方面形成整体合力。

1. 从市教育局到区教育局及到学校这三级,要无缝对接;

2. 与城管委要紧密配合,使工作计划安排统筹推进;

3. 要做好检查与评估等项工作。

其中,各区教育局层面要根据市的要求,研究区内如何推进,组织学习交流和有效开展。学校要抓各项工作的落实,与社区等相关部门形成合力联动推进。市城管方面的相关部门全程推进,各区城管委层面可统筹协同工作。这样,市、区教育局及城管委、与学校、与社区联动,小手联大手就会形成一个整体合力来共同推进。

年当岁末，通过总结座谈会认真探讨的精神感动了人们,相信也为新一年的工作奠定了坚实的基础。

(黄润潮、陈红燕 / 文　胡志耀、罗海燕 / 摄影)

广州市放射工作人员个人剂量监测现状与问题初探

马卫江
（广州市环境监测中心站，广州 510030）

摘 要 本文对广州市近年来230余从事放射工作人员的个人剂量监测数据进行分析,着重辨别出现的异常数据,并对核技术利用单位及其放射工作人员个人剂量计(TLD)使用过程存在的问题进行探讨,为辐射环境监管提出对策和建议。结果表明,受测单位的个人防护情况优于全国平均水平,受测单位严格遵守监测规范可提高个人剂量监测的质量,通过分析个人剂量历史监测数据,结合现场 X-γ 辐射剂量率监测,能够及时发现和纠正个人剂量监测过程中存在的问题。个人剂量监测数据真伪辨别是确保放射工作人员个人剂量计正确使用的有效方法。

关键词 环境监测 个人剂量 TLD

放射工作人员的外照射个人剂量监测能够反映放射工作人员的受照剂量，为评价放射工作人员的健康状况和放射工作场所的防护效果等提供依据。个人剂量监测的目的在于，一是为评价和改善辐射防护效能提供依据；二是对人体受照剂量做出定量的测量[1];三是当个人剂量监测结果显示受到过量照射时,环保和卫生部门介入调查,及时启动必要的防护管理措施,以利于场所安全和人员健康,避免核技术利用项目对环境造成辐射污染。

根据张良安[2]的分析,中国 X 射线诊断、核医学和放射治疗的从业人员个人剂量均高于全球范围内相同职业从业人员,可见我国放射从业人员辐射防护状况受到防护知识普及不理想、防护设备落后等因素影响,差于全球平均水平。广东省职业病防治院[3]对某医院年度个人剂量监测数据分析发现，在工作条件和环境符合要求的情况下，临床介入和心内科等科室医护人员的个人剂量值远高于其他科室。目前个人剂量监测技术先进,管理完善,越来越受到管理部门重视，仍然存在各种因素破坏个人剂量的正常进行[4]。

随着环保法规和辐射防护知识的宣传普及,放射工作人员和核技术应用项目相关人员自身防护意识提高,个人剂量监测工作越来越受到重视,但个人剂量监测工作过程出现的各种问题依然存在。本文通过对核技术应用单位放射工作人员个人剂量监测情况及其存在的问题进行分析和探讨，为加强辐射环境监管提出对策建议。

1 监测现状

据统计,截至 2014年12月,广州市放射源Ⅰ类 有502枚、Ⅱ类有369枚、Ⅲ类有19枚、Ⅳ类有425枚、Ⅴ类有177枚,共计1 192枚;射线装置Ⅰ类有0台、Ⅱ类有361台;全市放射性工作场所214个,其中甲级0个,乙级145个,丙级69个[5]。按照卫生部《放射工作人员健康管理规定》,核技术利用单位放射工作人员须进行个人剂量监测，严格执行标准限值(20 mSv/a)[6],确保辐射工作人员的健康安全。

近两年我们受广州市13家核技术利用单位委托,先后对上述单位进行共61厂次230余人次的个人剂量监测,其中核技术应用项目包括密封放射源、射线装置，涉及探伤企业、医院和塑料生产企业等。监测结果显示，所有监测对象年剂量当量处于0.16~0.87 mSv/a之间，表明上述受测单位的个人防护情况优于全国平均水平(1.01 mSv/a)[2],监测统计结果见表1。

2 存在问题

通过监测数据分析和现场调查，个人剂量监测存在的主要问题如表2。

具体问题分析如下：

收稿日期：2016-04-25，修改稿收到日期：2016-05-02

表 1　个人剂量年剂量当量监测统计结果　　mSv/a

单位类别	监测数量	核技术应用项目类型	最大值	最小值	均值
工业企业	9 家	Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；Ⅱ类、Ⅴ类密封放射源	0.72	0.16	0.42
医　　院	3 家	Ⅲ类射线装置	0.87	0.20	0.51
事业单位	1 家	Ⅲ类射线装置；Ⅴ类密封放射源	0.63	0.34	0.45

表 2　个人剂量监测存在的主要问题

存在问题	出现次数	是否有效纠正	占监测厂次(%)
错误使用	4	是	6.5
不及时寄回	23	否	37.7
监测周期不连续	6	否	10.0
监测意识不强	—	—	—

(1) 错误使用个人剂量计

个人剂量监测时剂量计的佩戴有严格的规范要求，有些单位的辐射工作人员和管理人员没有仔细阅读剂量计使用说明，造成个人剂量计佩戴错误。例如，有的生产线工人长期将本人的剂量计放置于放射源旁边，或者工作时忘记佩戴剂量计等，花都区某医院某医生经常将剂量计放置于 CT 机房内，而不是工作时随身佩带，监测结果显示该医生三个月的累计剂量远远高于其他五名医生剂量，达到 0.42 mSv，具体数值见表 3。上述情况均会造成错误的剂量估算，影响正常的个人剂量监测程序。

表 3　某医院个人剂量监测结果　　mSv

	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度
张某	0.07	0.04	0.42	0.07
杨某	0.12	0.08	0.06	0.12
袁某	0.04	0.08	0.05	0.04
沈某	0.06	0.08	0.03	0.06
袁某	0.14	0.07	0.02	0.14
黄某	0.06	0.04	0.03	0.06

(2) 不及时寄回剂量计

由于很多核技术利用单位个人剂量监测工作不是专人负责，人员流动性较大，经常造成剂量计没有及时寄回，对个人剂量监测和剂量估算造成影响。本次开展的 61 厂次监测中，出现 23 厂次延时寄回剂量计的现象。

(3) 监测周期不连续

部分核技术利用单位对个人剂量监测认识不足，对相关的知识和法规不了解，往往在一个监测周期(一年为一个周期，三个月一次，全年监测四次)尚未完成就终止监测，造成监测周期不完整，对个人剂量估算造成影响。不乏一些单位为了办理行政审批需要，当取得一次个人剂量报告后就停止监测。

(4) 放射工作人员个人剂量监测意识不强

在对一些单位进行剂量率监测时，发现部分放射工作人员在进行可能受到照射的操作时，未佩戴个人剂量计。表现出部分单位或放射工作人员对辐射防护不够重视，尤其是通过个人剂量监测对其开展的项目进行可行性监测时，这种情况将严重影响评估结果。

3　对策与建议

针对以上个人剂量监测存在的问题，提出对策与建议如下：

(1) 如何正确判断是错误使用剂量计导致监测结果异常。首先应该对该单位个人剂量的历史数据进行调查，并将异常的个体与同期其他个体的监测数据进行比较，判断监测数据异常是由于错误使用剂量计还是过量照射引起的。其次是查阅该单位射线装置或放射源的剂量率监测数据(有条件的情况下)，查看放射工作人员可能出现点位是否存在较高的剂量率而导致个人剂量监测数据异常。最后对该单位项目负责人和高剂量的工作人员进行问询调查。

花都区某医院四个季度的个人剂量监测结果如前表 3 显示，张某第三季度的监测结果与本人其他三个季度和其他人员同季度相比明显较高，通过查阅该医院的验收报告，该医院射线装置周围各敏感点位剂量率值为 200 nSv/h，开机与关机状态下 γ 辐射剂量率差值在 1~8 nSv/h 的范围，变化幅度不大，个人剂量监测数据不合理。经过问询发现，张某曾故

意将剂量计放置在 CT 机房内，严重影响监测结果。

（2）对于不及时寄回剂量计的情况，由专人督促被监测单位积极配合工作，并由辐射监管部门严格监督其个人剂量监测报告情况，杜绝此类情况出现。

（3）监测周期不完整与核技术利用单位不了解个人剂量监测的意义和监测方式的特殊性，对个人剂量监测工作不够重视有关。监测人员应尽量向被监测单位人员宣贯辐射防护知识和个人剂量监测知识。目前已越来越重视个人剂量监测在辐射防护评价中的作用，这在一定程度上也促使核技术应用单位更加重视个人剂量监测工作，监测周期不完整的情况也将得到改善。

（4）针对放射工作人员个人剂量监测意识不强的情况，在寄送个人剂量计时，随剂量计一起寄出个人剂量计的使用说明；在对核技术应用单位进行现场辐射监测时，向放射工作人员进行相关法规教育和辐射防护知识宣传，使其认识到个人剂量检测是对自身保护的有效手段。

4 结论

（1）近两年开展的核技术利用单位个人剂量监测结果表明，所有监测对象个人剂量年剂量当量不超过 1 mSv，被监测单位的个人防护情况优于全国平均水平。

（2）通过分析个人剂量历史监测数据，结合核技术利用项目现场 X–γ 辐射剂量率数据，能够及时发现和纠正个人计量监测过程中存在的问题。

（3）加强辐射防护监管力度，并加强辐射防护知识培训和宣传，提高核技术利用单位辐射防护意识，有效的提高个人剂量监测的质量，从根源上杜绝个人剂量监测存在的问题。

5 参考文献

[1] 谭汉云，黄润玲. 广州市个人剂量监测管理现状及对策[J]. 中国辐射卫生，2007(3)：16.

[2] 张良安，马吉增，潘自强. 全国职业照射个人剂量监测与评价学术研讨会论文汇编[G]，太原：中国辐射防护学会，2004.

[3] 贾育新，刘小莲，麦维基，等. 2007 年度广东省某医院放射工作人员个人剂量监测结果分析[J]. 河南预防医学，2008，19(3)：183–184.

[4] 徐韬，范晨阳，李晨嫣. 放射工作人员个人剂量监测的管理体会[J]. 中国辐射卫生，2006，15(4)：421.

[5] 广州市环境保护产业协会. 辐射管理数据库中辐射安全许可证持证单位及应用放射源单位核准报告[D]. 2014.

[6] GB18871–2002，电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].

The Status and Problems of Personal Dose Monitoring of Radiation Workers in Guangzhou City

Ma Weijiang

Abstract This paper analyze the personal dose monitoring data of more than 230 person engaging in radioactive monitoring in Guangzhou, judge the authenticity of suspicious personal dose data, and study the abnormal case of using TLD. The result shows that if the monitored department strictly abide the specification to use TLD, the quality of personal dose monitoring will improved obviously. Analyzing the X–γ radiation dose rate and personal dose monitoring data in history can evaluate the correctness of using TLD.

Key words environmental monitoring personal dose TLD

广州市环境科学学会举办“生物与环境”科普宣教活动

2016 年 1 月 27 日，广州市环境科学学会带领广州市第九十七中学高中学生和生物、化学老师约 100 人，到中山大学生命科学学院大学城校区国家重点实验室、省重点实验室和教育部重点实验室进行观摩学习。

中山大学生命科学学院生态系副主任周婷副教授，为师生们进行了一场“荷的环境及人文效应”生态讲座。周婷教授具体介绍了不同品种的荷花在生态环境中的重要作用和差异。同学们认真聆听，积极思考，并当场与周教授进行了互动，并获得了非常有纪念意义的小礼品。广州市第九十七中学陈红燕副校长也代表学校向中大生命科学学院赠送了交流旗。

随后，师生们在中山大学志愿者的带领下，参观了生命科学学院的国家、教育部以及省级重点实验室。参观过程中，同学们对实验室的工作表现出了非常浓厚的兴趣。在实验室老师的演示下，同学们了解学习到如何进行细胞影像观察与分析，并通过与科研人员的交流，感受到所有高大上的研究都是在日复一日、年复一年的重复工作中，一步一步累积，方可获得今日巨大的成就。通过一天的观摩活动，同学们对大学的了解又进了一步，更明确自己日后的奋斗目标。

广州市环境科学学会供稿

广州地区中学生环保知识与环境意识调查分析

刘 一[1] 杨慧华[2] 曾国华[3] 黄赛飞[4] 罗文兰[2]
([1]仲恺农业工程学院教学科研基地管理中心，广州 510225；[2]广州市第九十八中学，广州 510280；
[3]广州市南石中学，广州 510280；[4]广州市南武中学，广州 510235)

摘 要 通过对广州城区中学生环保知识、环境意识情况调查发现,大多数学生具备一定的环保知识和环境意识,但仍然有相当一部分学生环境意识比较淡薄,环保行为缺少。因此,加强中学生的环境教育非常重要。

关键词 中学生 青少年 环保知识 环境意识

随着经济的快速发展,我国环境问题日益突出。环境的恶化,不仅影响经济持续、良好的发展,更影响中国梦的顺利实现。青年学生作为国家未来建设的主力军,将在我国的环保工作中有着决定性影响。因此,通过对广州地区中学生环保知识、环境意识与环保行为情况调查,了解广州地区中学生环保知识、环境意识与环保行为的基本情况，为改进和加强青年学生环境教育提供参考。

1 调查对象、方法和内容

1.1 调查对象

调查对象为广州市普通中学初中年级学生。

1.2 调查方法

调查于2015年7月进行。调查采用问卷的形式,通过文献研究并结合工作经验,编写了《中学生环保知识、环境意识调查问卷》。调查共发放问卷380份,收回有效问卷362份,有效收回率95.3%。

1.3 调查内容

问卷包括环保认知、环保行为与环境意识、环保知识获得及对环境教育的态度三个方面,共22个问题,每个问题给出3~5个不等的选项,选项设计尽量有明显可判断的差别。问卷还设计了“提高环境意识的建议”,让学生写出自己对中学生环境教育的想法和建议。

(1)环保认知。包括环境问题分类,环境问题归因,废旧电池危害等。

(2)环保行为与意识。主要是日常生活中的环保行为与意识,如是否使用塑料购物袋、垃圾分类处理、纸张重复使用、节约用水用电等。

(3)环保知识获得及对环境教育的态度。包括报刊、广播、电视、学校教育等对个人环保知识和环境意识的影响等。

2 结果与分析

2.1 环保认知

对于什么是当前最严重的环境问题,40.1%的学生选择空气污染,26.5%的学生选择生活垃圾污染,21.8%的选择水污染，大体与成年人的情况类似,可能与普通人接触环境问题的机会相关。对于我国环境问题总体仍在继续恶化这一情况,71.5%的学生选择知道,是一个比较高的比例。对于环境污染的原因,66.0%的学生归因于人类对环境保护的态度,认为环保意识在环境保护中的作用占主要地位,其他如人口增加、企业利润、经济增加和消费增加等客观原因的分别是13.8%、10.5%、9.7%。对于废旧电池对环境的危害,64.9%的学生选择知道,32.3%的学生只知道一点。

对于环保问题，认为自己非常了解和比较了解的学生有60.0%,了解一点的有38.1%,不了解的有1.4%。对自己的环保知识,51.4%的学生认为一般,认为比较丰富的有32.3%,认为丰富的只有12.4%,说明学生对环保问题的了解和知识整体还好，但还有很大提升空间。

收稿日期：2016-03-20，修改稿收到日期：2016-05-02

2.2 环保行为与环境意识

在环保行为与环境意识的调查中，对塑料购物袋，40.1%的学生知道其为白色垃圾并拒绝使用，48.6%的学生知道其为白色垃圾，但没有做到不使用，这说明做到与知道还有一定差距。对一次性餐具，59.9%的学生认为不利于环境保护，尽量少使用，但也有28.2%的学生有就用或要求使用(表1)，这说明学生的环境意识还不够强。对于节水节能，82.3%的学生选择注意或非常注意，但对重复使用纸张，经常这样做的只有38.1%，偶尔做的有47.6%，从不做的有13.8%，这可能与学生对纸张的使用方式主要为作业本或试卷，而成年人对纸张的使用主要是打印纸这一客观情况有关。对于废旧电池的处理，74.3%的学生选择分类回收，16.6%选择扔到垃圾桶，而8.0%的学生不清楚该如何丢弃，这与是否知道废弃电池对环境的危害的结果相似。当询问如果学校有垃圾分类或废旧电池回收箱，你会否将垃圾分类并将废旧电池回收时，52.8%的学生选择一定会，27.9%的学生选择也许会，14.9%的选择看情况，态度不够明确。

表1 学生使用一次性餐具环保意识调查

选 项	所占比例(%)
A. 既卫生又方便，主动要求使用	11.3
B. 不在乎，有就用，没有就不用	16.9
C. 不利于环境保护，尽量少使用	59.9
D. 不利于环境保护，坚决不用	11.3

你对一次性餐具有什么看法，外出就餐时会经常使用吗?

对于环境保护与每个人的关系，有54.1%的学生认为与自己关系密切，但也有29.8%的学生认为只与自己有一点关系，这说明有相当部分的学生对环保的重要性了解还不够，环保行动、环保意识有待提高。对于如果周围有人不爱护环境，69.1%的学生选择以爱护环境的实际行动影响他们，22.9%选择不管别人，但严格要求自己。

2.3 环保知识获得及对环境教育的态度

对于环保信息和环保知识的获得，40.6%的学生选择了学校教育，广播电视、网络、他人影响和其他途径分别为23.5%、21.0%、11.9%和8.3%(表2)，说明学校教育是青年学生接受环境教育的主要途径。对于环境话题，82%的学生选择很少或有时候家人、朋友之间会谈到，说明环保问题在家庭和社会生活中的重视程度尚不够，整体环境意识还有待加强。对于环境教育的方式，学生首选参与式活动，能够参与的方式更受学生欢迎，其次是课堂讲座、新闻媒介和阅读环保书籍，比例分别是38.1%、23.8%、20.1%和17.7%(表3)，这为我们在开展相关活动时的方式选择上提供了很好的参考。

对学校组织的环保活动，一定参加的有20.2%，55.8%选择尽可能参加，21.3%的学生选择不一定参加，说明学生虽然对环保问题感兴趣，但在具体参与时的积极性却并不高，这对我们环保宣传和环境教育提出了警示。对于目前的环保宣传，非常满意、满意、一般的比例分别是15.2%、38.1%、40.1%，评价不高。

表2 学生环境保护信息获取渠道调查

选 项	所占比例(%)
A. 学校教育	40.6
B. 他人影响	11.9
C. 电视广播	23.5
D. 网络	21.0
E. 其他途径	8.3

表3 学生环境保护教育的接受方式调查

选 项	所占比例(%)
A. 新闻媒介	20.4
B. 课堂讲座	23.8
C. 参与式活动	38.1
D. 阅读环境保护书籍	17.7

2.4 提高环境意识的建议

学生对提高环境意识的建议主要集中在三个方面：

（1）举办环保活动。包括环保讲座，主题活动，提倡阅读环保书籍，黑板报增加环保内容等。

（2）落实环保行动。包括垃圾分类，节约用水，少用一次性餐具等。

（3）加强环保宣传。建议在新闻等公众更为关注的平台中增加环保内容，尽量让环境意识深入学生心中。学生还对简单开几次会这样所谓的环保活动行为表示不满。

这些意见和建议一方面表达了青年学生对环境教育的理解，另一方面也给出了学生更需要的环境教育方式。

3　归纳与推定

3.1　环保认知不够

调查表明，学生对环保问题比较了解的只有 3/5，一半的学生自认环保知识一般，表明学生的环境教育还有很大提升空间。

3.2　环境意识不强，行动脱节

调查结果有一个明显的特点，就是学生的环境意识与环保行为滞后于环保知识，有一定环保知识，但环境意识不强，环保行动脱节，结果就是环保效果不理想。

3.3　环境教育不够，接受环境教育积极性不高

调查显示，学生获得环保知识的主要途径是学校的被动式教育，自觉学习的程度不高。对于环保活动，选择一定参加的学生仅有 1/5，一半的学生选择尽可能参加，显得很勉强。

4　意见与建议

根据以上调查结果，对中学环境教育提出以下几项建议：

4.1　环境教育应贯穿于学校各学科教学中

义务教育阶段环境教育的主要方法是“渗透”[1]，即把环境教育渗透到化学、生物、地理、自然、物理和社会等各学科的教学之中。在中学阶段，化学、生物、地理等几门学科与环境问题都有密切关系。

4.2　加大环境教育宣传力度

探索有效的宣传方式，加大环境教育宣传力度，首先要扩大环境教育宣传的知识面及受众的覆盖面，其次要保证宣传的频率，保证宣传的系统性和持续性，营造全员参加环保的积极氛围。在宣传方式上，一方面可采用学生们更乐于接受的方式，如观看环境教育电影或视频、定期组织由环保人士、环保专家进行的专题讲座；另一方面，充分利用学生喜欢的方式，如广播电视、报刊杂志及网络等开展环境教育。

4.3　开展环保活动，获得环保技能

中学环境教育应具有参与性和实践性，学生对真实的环境问题，可以通过多种实际行动，如指导学生运用简易仪器进行空气、水、噪音监测等，学生通过自己动手动脑，获得环保知识、培养环境意识和环境科技探究能力。

4.4　坚持创建绿色学校活动，营造有利于环境教育的氛围

建设绿色学校是目前中学环境教育的重要方式，也取得了良好的实践成效。绿色学校建设有多方面的内容：一，建立完善的环境教育（或称绿色教育）体系。二，营造浓厚的绿色校园文化，等等。在绿色校园文化的渗透和影响下，更容易培养学生的环境意识、环境伦理和环境素养。

5　结语

当今，随着科学技术的迅速发展，我们已经拥有了许多保护和改善环境的技术和方法，但这些技术和方法的实施，很大程度上取决于民众的环境意识[2]。解决环境问题不单纯是环保技术的创新和资金的投入，更主要的是如何有效提升民众的环境意识[3]，环境保护，教育先行。

6　参考文献

[1] 周谷平，袁玉华. 日本中小学环境教育实施策略新探[J]. 当代教育科学，2004（15）：35–37.

[2] 谭正琦. 云南高校学生环保意识状况调查与探讨[J]. 环境科学导刊，2007，26（增刊）：49–51.

[3] 叶军，李文婷，张立波，等. 城乡居民“环境意识”的调查与分析[J]. 经济问题探索，2010（12）：64–67.

Investigation on the Environmental Protection Knowledge and Environmental Awareness of Middle School Students in Guangzhou

Liu Yi Yang Huihua Zeng Gguohua Huang Saifei Luo Wenlan

Abstract Based on investigation on middle school students' environmental protection knowledge and environmental awareness in Guangzhou, it found that most of the students had a certain environmental protection knowledge and environmental awareness and still quite a few students were relatively weak in environmental awareness and lack of environmental protection behavior. So strengthening to the environmental education of middle school students was very important.

Key words middle school student teenager environmental protection knowledge environmental awareness

示范基地常抓不懈 垃圾分类成效显著

——2016 年我市学校垃圾分类教育工作会议见闻

会议召开现场

中小学校(幼儿园)代表领奖合影

获奖代表与颁奖领导合影

市教育局领导作指导性讲话

与会代表会场聆听讲话

为响应市“爱护环境”主题月实践活动计划,推动我市中小学校、幼儿园垃圾分类教育工作,增强广大中小学生环境意识,落实绿色发展理念。4 月 28 日,市教育局召开了 2016 年广州市学校垃圾分类教育工作会议,回顾总结近年学校垃圾分类教育工作,部署推进下阶段全市学校校垃圾分类教育以及中小学生“我的环保节日”讲演大赛、“低碳校园”等环境教育工作。各区教育局、广州市青科教协会等单位和 2015 年垃圾分类教育“小手拉大手”活动标杆学校、友好家庭、小能手代表, 以及新认定为市级垃圾分类教育示范基地的中小学校、幼儿园的代表参加了会议。

会上,在 2015 年垃圾分类教育“小手拉大手”活动中表现出色的 10 所中小学校(幼儿园)、20 名中小学生(幼儿)、10 户家庭被评为标杆学校、小能手和友好家庭并获颁证书,广州大学附属中学、花都区新华街棠澍小学、天河区南国学校韩洋同学、海珠区江南二小郭维展的妈妈齐丽敏家长等单位和个人分别作为标杆学校、小能手和友好家庭代表做了经验交流发言,258 所中小学校、幼儿园被认定为广州市学校垃圾分类教育示范基地,有效期从 2016 年 1 月至 2017 年 12 月。市教育局邵国良副巡视员、科研处谷忠鹏处长,市城管委分类管理处林宁龙副处长等领导出席, 并为 2015 年广州市垃圾分类“小手拉大手”活动标杆学校、友好家庭和小能手以及新评为市级垃圾分类教育示范基地的中小学校、幼儿园代表颁发证书和牌匾。

会上,市教育局邵国良副巡视员全面总结了全市开展垃圾分类教育所取得的成绩,同时,也实事求是地指出了工作中存在的问题,强调要客观分析学校垃圾分类教育工作面临的形势和任务,切实加大工作力度;并充分阐述了开展垃圾分类教育重要性和紧迫性, 要求将其摆上应有的议事日程;还就改进工作的方式方法,提出了具体的要求。

会议透露,在今后的一段时期,市教育系统垃圾分类教育“小手拉大手”标杆学校、小能手和友好家庭评选好活动将每年开展一次,学校垃圾分类教育示范基地每两年重新认定一次,以确保全市中小学校、幼儿园垃圾分类教育工作常抓不懈、持续推进。

广州市环境科学学会供稿(陈红燕、黄润潮/文 琚鸿/摄影)

GUANGZHOU ENVIRONMENTAL SCIENCE

Vol.31 No.1 Jun.2016

CONTENTS