

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第9期

Vol.9 No.9

中国科学院 主办
生态环境研究中心
科学出版社 出版

9
2015

目 次

水 污 染 防 治

紫外线消毒对3种大肠杆菌的灭活效果和耐药性影响	张崇森 庄凯 巨欣 王晓昌(4097)
强化除磷型 A/O-MBR 工艺运行稳定性	任金柱 李军 王朝朝 刘彬 高金华 常江(4102)
超声波紫外线一体化推流式反应器中试装置用于污水消毒	郭浩 周瑛 周晓琴 李子富 闫圆圆 靳昕(4107)
Ca ²⁺ 强化短程硝化颗粒污泥培养	吕永涛 贾燕妮 鞠恺 赵洁 苗瑞 王磊(4112)
猪场废水厌氧自电解处理过程中关键参数优化	王云 朱能武 沈伟航 李小虎 吴平霄(4117)
碳纳米管稳定纳米 Fe ₃ O ₄ 的制备及降解染料橙 II	邓景衡 李佳喜 余侃萍 谢建国(4125)
湿式过氧化氢氧化活性艳蓝 KN-R	贺玲 刘红玉 杨春平 彭艳蓉 曾光明 王鹏 刘芬(4131)
草皮缓冲带对洱海流域面源污染的削减效果	胡威 王毅力 储昭升(4138)
共培养条件下黄菖蒲和狭叶香蒲对铜绿微囊藻光合系统的影响	陈国元 李青松 谢莆尧 陈燕虹(4145)
Fenton 试剂协同 TiO ₂ 光催化降解三氯乙酸及协同机理	王芬 赵宝秀 李想 李伟江 杨龙(4153)
城市大型缓流景观水体流场模拟及人工循环水动力优化	贾泽宇 郑剑锋 孙力平 于静洁(4159)
短程硝化反硝化工艺处理低 C/N 餐厨废水	张周 赵明星 阮文权 缪恒锋 任洪艳 黄振兴(4165)
改性天然菱铁矿去除水中六价铬	周晓倩 郭华明 赵凯(4171)
2种载体对厌氧同步消化、反硝化的影响	冉春秋 邹学军 范立明 崔玉波 周集体(4178)
基于有效去除铅(II)的中孔炭乙二胺改性及影响因素分析	杨美蓉 李坤权 徐恩兵 乔小朵 潘根兴 郑正(4185)
城市污水处理过程中不同形态氮类营养物的转化特性	金鹏康 宋利 任武昂(4193)
曝气对潜流人工湿地中木本植物的影响	陈永华 吴晓芙 纪智慧 马群 陈明利(4199)
变权组合模型在景观水体水质模拟中的应用	赵加斌 赵新华 彭森(4206)
鱼菜共生系统氮素迁移转化的研究与优化	邹艺娜 胡振 张建 谢慧君 梁爽(4211)
基于虚拟治理成本法的生态环境损害量化评估	蔡锋 陈刚才 彭枫 杨清玲 赵士波 鲜思淑 吴飞(4217)
漂浮型可见光催化剂 Fe-N-TiO ₂ /FP-CTS 的制备及其对溶解性柴油的降解	黄嘉瑜 王学江 卜云洁 张晶 马荣荣 赵建夫(4223)
非晶态 Co _{0.5} Ni _{0.5} Fe ₂ O ₄ 的制备及对水中五氯苯酚的吸附	孙梦圆 崔春月 吴娟 宋姿蓉(4228)
pH 对同步硝化反硝化生物膜内溶解氧分布的影响	黄胜娟 荣宏伟 林孟霞(4233)
稻壳制备介孔状二氧化硅的光催化性	穆浩荣 张玲玲 白淑琴(4239)
玉米秆碳源去除地下水硝酸盐	李同燕 李文奇 胡伟武 冯传平(4245)
提高低 C/N 值农村生活污水中 TN 的去除效果	匡武 王翔宇 周其胤 杨远盛(4252)
油田聚驱采出液乳化特性及其破乳-絮凝	翁艺斌 阎光绪 李敏 翟星月 郭绍辉 张佩佩(4259)
西安某人工湖水质时空分布特征及其荧光特性	于佳真 王晓昌 薛涛 陈荣(4265)
改性钙基蒙脱土酸性条件下吸附油酸钠	任瑞晨 张乾伟 石倩倩 李彩霞 王秀兰 孟媛媛(4273)
天然沸石对海水中氨氮的吸附特性	王文华 赵瑾 张晓青 成玉 王静 张雨山 李陆杨(4281)
微孔曝气器脉冲式充氧效果	徐鹏 单继宏 金晓航 于江忠 孙毅 张建中(4287)
厌氧、好氧、厌氧/好氧交替状态对活性污泥性质的影响	杨波 单晓明 田晴 李方 马春燕(4293)
城市人工湖的生态治理	徐后涛 赵凤斌 张玮 王丽卿 郑小燕(4300)
载钴催化剂的制备及对染料降解	李洁冰 李玉龙 Asif Hussain 王瑾 李登新(4309)
低温季大型表流湿地对微污染水体脱氮效果及优化运行	左倬 仓基俊 朱雪诞 成必新 胡伟 商志清 卿杰(4314)
沸石负载高锰酸钾去除低浓度氨氮	郭华 王军林 张小燕 王娜 刘俊良(4321)
2-乙基蒽醌修饰石墨毡催化电极电化学降解土霉素废水二级出水	李贵霞 岳琳 潘贵芳 刘艳芳 李伟 李再兴(4326)
抗菌剂三氯卡班在水溶液中的光降解	冯振涛 刘海津 汪应灵 冯家豪(4333)
磁性水滑石快速吸附水体中 Cu(II) 离子	张琪 罗琳 张嘉超 刘武嫦 胡伟斌(4339)
零价铁对水中六价铬还原性能及沉淀污泥中铬的固定化	陈忠林 李金春子 沈吉敏 王斌远 樊磊涛(4345)
椰壳活性炭对水中 N-DBP 前体物的吸附	张一凡 金腊华 周元(4353)

混凝和活性炭吸附深度处理制药废水中有机物去除特征	崔凤国	杨 鹏	张伟军	王东升(4359)
Fenton 试剂氧化处理火炸药污染土壤淋洗液	薛江鹏	王建中	赵泉林	王中友 叶正芳(4365)
微波法对吸附扑热息痛废水活性炭的再生	吴 坚	夏洪应	彭金辉	张利波 郑照强 张声洲(4371)
ES 稳定重金属污染底泥效果	蒋玉广	袁珊珊	杨 伟	梁静波 巢军委(4376)
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i> 脱硫性能及限制性因素影响			冯守帅	陈金才 杨海麟(4385)
曝气速率对附加微通道湍流促进器 SMBR 流体动力学性能的影响			解 芳	王建敏 刘进荣(4391)
H ₂ O ₂ /Fe ⁰ 、H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ 、H ₂ O ₂ /Fe ³⁺ 3种体系处理印染废水			姚 兴	颜幼平 冯 霞(4398)
以游泳馆污水为处理对象的 SBR 中不同污泥负荷下氨氧化菌群落的演变				
.....	薛士琼	孙宝盛	于凤庆	王明圆 李 恺 薛圆圆(4403)
环糊精改性蛭石对水中 Cr(VI) 的吸附			张太亮	吴 凤 阳 萍 欧阳斌(4409)
滤材的表面改性对淤泥脱水过程中渗透性能的影响			浩 婷	王 曦 周 颜 吴 燕(4415)
不同混凝剂处理低温低浊水				洪 云 徐 慧(4421)
SMBBR 工艺不同填料处理生活污水	李卫平	李 杰	朱浩君	杨文焕 敬双怡 殷震育 刘 燕(4427)

大气污染防治

煤矿井下高压喷雾雾化特性研究	王鹏飞	刘荣华	汤 梦	张 文 桂 哲(4433)
露天堆场防风抑尘网遮蔽效果的数值模拟			潘武轩	宋翀芳 何鸿展(4440)
TEPA/TETA 改性 SBA-15 对 CO ₂ 吸附性能的影响			魏建文	和凯凯 孟令硕 廖 雷(4447)
改性粉煤灰基吸附剂烟气脱汞			郑慧敏	刘清才 王 铸 孟 飞 牛德良(4453)
改性 Fe ₂ O ₃ 脱硫剂脱除 H ₂ S 反应特性	沈洪波	张 辉	刘应书	李皓琰 张 贺 郝智天(4458)
一株鱼粉加工硫化氢恶臭气体脱除菌株的分离与鉴定			孙佩璇	娄永江 庄荣玉 严小军(4465)
北京市近 12 年空气污染变化特征及其与气象要素的相关性分析	谢志英	刘 浩	唐新明	李腾腾 张文君(4471)
循环灰加湿量对密相塔半干法脱硫效率的影响			韩剑宏	黄永海 卢熙宁 童震松(4479)
折流式反应器空气净化效果			刘 鹏	郑 洁 宋雪瑞 王小艳(4483)

固体废物处置

市政污泥干化动力学研究	范海宏	武亚磊	李斌斌	马 增(4488)
响应曲面法优化 CO ₂ 活化制备夏威夷坚果壳基活性炭	程 松	张利波	夏洪应	彭金辉 张声洲 周朝金(4495)
胞外聚合物对生物浸出线路板金属粉末中铜的作用			杨 崇	朱能武 崔佳莹 吴平霄(4503)
微波超声协同处理废弃印刷线路板中非金属			蔡丽楠	殷 进 张 桐 孔晓露(4509)
水淬钢渣碳化固定 CO ₂	涂茂霞	雷 泽	吕晓芳	赵宏欣 王丽娜 张军玲 陈德胜 宋文婉 齐 涛(4514)
O ₂ /CO ₂ 气氛下市政污泥混煤燃烧及动力学特性			邵志伟	黄亚继 严玉朋 刘长奇(4519)
提高硅钙渣胶凝活性的热活化实验			杨志杰	孙俊民 张战军 苗瑞平(4526)
医疗废物处理中生物指示剂湿热灭菌动力学方程			靳登超	李 阳 鲍振博 刘 娜(4531)
三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌	谭显东	王君君	王 浪	羊依金 郭俊元 彭 兰 覃璐琳(4535)
3 种畜禽粪便产气特性差异分析			陈 芬	李 伟 刘奋武 张吴平 李筱梅 卜玉山(4540)
黑曲霉固态发酵三七渣产纤维素酶			黄 凡	谭显东 胡 伟 羊依金 林巧玉 任晓霞(4547)
常温下好氧颗粒污泥的形成过程及除污性能			姚 力	信 欣 郭 毅 宋 幻 李 姣(4553)
垃圾填埋场 HDPE 膜漏洞密度及其影响因素的统计分析			徐 亚	能昌信 刘玉强 刘景财 董 路(4558)
富集同型产乙酸菌污泥厌氧产酸			王 晋	李习伟 符 波 杨 彦 刘 和(4565)

土壤污染防治

海泡石及其复配原位修复镉污染稻田	梁学峰	韩 君	徐应明	谭适娟 雷 勇 罗文军(4571)
水泥固封镉污染土离子释放规律与微观结构				董祯琴 陆海军 李继祥(4578)

环境生物技术

嗜酸氧化亚铁硫杆菌脱煤矸石中硫影响因素的筛选及条件优化				
.....	赵尚明	何 环	于忠琦	黄冠华 冷云伟 陶秀祥(4585)
高岭土固定 GY2B 优化其降解性能			李跃武	吴平霄 李丽萍 党 志(4591)

环境 监 测

成都市道路细颗粒物污染特征	袁小燕	叶芝祥	杨怀金	张 菊(4598)
基于远程图像色度的点源水质监测方法			李 文	杨守波 罗学科(4603)
海洋石油工程新型溢油监测系统研究			隋迎光	彭吉友 刘志明 任 华(4609)

基于虚拟治理成本法的生态环境损害量化评估

蔡锋¹ 陈刚才¹ 彭枫^{1*} 杨清玲² 赵士波² 鲜思淑³ 吴飞¹

(1. 重庆市环境科学研究院, 重庆 401147; 2. 重庆市环境监测中心, 重庆 401147;
3. 重庆麻柳沿江开发投资有限公司, 重庆 401147)

摘要 以某减水剂泄漏事件为例, 采用模拟治理的方法, 从小试模拟费用、电费、人工费、设备租用费、药剂费、场地租用费和污泥处置费等方面核算了泄漏混合废水的虚拟治理成本, 并利用 ToxScreen-II 毒性分析仪对混合废水模拟治理前后急性毒性变化情况进行研究, 验证了模拟治理方法的有效性, 再根据受污染区域的环境功能敏感程度和事件具体情况, 采用虚拟治理成本乘以相应的倍数得出了事件的生态环境损害量化数额。

关键词 虚拟治理成本法 模拟治理 生态环境损害 量化评估 急性毒性

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2015)09-4217-06

Quantitative assessment of eco-environmental damage based on virtual disposal cost approach

Cai Feng¹ Chen Gangcai¹ Peng Feng¹ Yang Qingling² Zhao Shibo² Xian Sishu³ Wu Fei¹

(1. Chongqing Research Academy of Environment Science, Chongqing 401147, China; 2. Chongqing Environment Monitoring Center, Chongqing 401147, China; 3. Chongqing Malu Riverside Development and Investment Co. Ltd., Chongqing 401147, China)

Abstract Take water reducing agent spill as example, we calculated the virtual disposal cost of spilled wastewater from small experiment, electricity, labor, equipment rental, agents, venue rental and sludge disposal by the method of simulation disposal. Then, laboratory experiments were conducted to investigate the changes of mixed wastewater acute toxicity before and after simulation disposal, which confirmed the effectiveness of simulation disposal method. Considering function area sensitivity and specific situation of the incident, we used the virtual disposal cost of spilled wastewater multiplied by corresponding coefficient to calculate the quantitative amount of eco-environmental damage.

Key words virtual disposal cost approach; simulation disposal; eco-environment damage; quantitative assessment; acute toxicity

当前,我国环境污染形势严峻,突发性水污染事件频发^[1-3],以复杂混合泄漏污染物为特征的河水环境污染问题日益突出,严重威胁到我国的生态环境安全。

准确地定量评估突发性水污染事件的生态环境损害对遏制环境污染行为,保障受损的环境资源得到及时的恢复补偿具有重要意义。欧美等发达国家的许多学者已经在这一领域作了大量的研究,创新性地发展出一系列丰富的适合各国国情的量化方法和理论模型^[4-19]。我国也有许多学者尝试将国外的经验方法引入到中国^[20-23],但生态环境损害的价值评估难度很大,评估结果的不确定性很高,阻碍了环境损害评估工作的进一步推广。张红振等^[24]在比较分析美国、欧盟、日本等环境损害评估国际实践经验的基础上,系统梳理了各国相关技术导则和评估

方法。牛坤玉等^[25]总结了美国自然资源评估相关的法律法规和技术导则,并介绍了目前美国所采用的最主要的自然资源损害评估方法。2014年10月,环境保护部公布了《环境损害鉴定评估推荐方法(第II版)》^[26],2014年12月,又公布了《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》,明确在突发环境事件发生后,可以采用虚拟治理成本法计算生态环境损害,得出的结果可以作为生态环

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07104-001)

收稿日期:2015-01-29; **修订日期:**2015-04-23

作者简介:蔡锋(1984—),男,硕士,工程师,主要从事环境应急、环境风险与损害鉴定评估研究工作。

E-mail: caifeng1984@foxmail.com

* 通讯联系人, E-mail: 22576783@qq.com

境损害赔偿的依据^[27]。2014年12月30日,江苏省高级人民法院成功依据虚拟治理成本法二审判决江苏常隆农化有限公司等六家公司赔付1.6亿元的环境修复费用^[28]。

所谓虚拟治理成本,是指按照现行的治理技术和水平治理排放到环境中的污染物所需要的支出。由于水环境具有流动性强、环境损害不易表征等特点,当损害现场无法复原、环境基线难以确定时,按照一定的技术规范,可以采用虚拟治理成本法对生态环境损害进行量化^[26]。

按照《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》的要求,污染物的虚拟治理成本采用突发环境事件发生地的工业企业或污水处理厂单位污染物的治理平均成本,但对于复杂混合的泄漏污染物,由于其成分复杂,难以获取治理平均成本。为此,本文以某减水剂泄漏事件为例,摸索一种利用虚拟治理来获取虚拟治理成本的方法,为准确量化生态环境损害奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 主要仪器及试剂

主要仪器:ToxScreen-II 毒性分析仪(以色列,CheckLight公司)。

主要试剂:冻干发光细菌、存储缓冲液、重金属缓冲液、有机物缓冲液。

1.2 事件概况和泄漏物质分析

2014年3月6日某减水剂搅拌站生产废水收集池的搅拌轴出现故障,无法收集废水,随后其搅拌楼的水剂秤出现故障,约100 kg的减水剂与生产废水混合后进入沉渣池,由于沉渣池满容,导致该混合废水外溢,并通过站外水沟进入A江造成水体污染,混合废水泄漏量约200 t。

该事件外泄减水剂为氨基磺酸盐高效减水剂,是一种单环芳烃型高效减水剂,主要由对氨基苯磺酸、单环芳烃衍生物苯酚类化合物和甲醛在酸性或碱性条件下加热缩合而成。主要配方成分为:苯酚、对氨基苯磺酸、甲醛、氢氧化钠、葡萄糖酸钠和丙酮。

1.3 虚拟治理方案设计

虚拟治理成本是指假设污染物在未进入外环境前已经得到治理而应花费的成本,但在该事件中,混合废水所含污染物成分复杂,更无法获取当地同类污染物的实际治理成本,故作者采用模拟治理的方式来获取混合废水的虚拟治理成本,设计方案如下:

采用投加混凝剂(聚合氯化铝)的方式来模拟处置泄漏的混合废水,模拟处置过程为:租用搅拌机1台,污泥泵1台、压滤机1台和足够处理200 t混合废水的场地,并聘用2名劳工,将混凝剂(聚合氯化铝)一次性投加到该200 t混合废水中,每搅拌2 h后关闭搅拌机2 h(在关闭搅拌机期间用污泥泵抽取底部含水污泥压滤成饼),预计处置时间为1 d。

在实际处置过程中,处置单位根据原水不同的情况,在投加混凝剂前需通过模拟实验求得最佳投加量,因此该200 t混合废水的虚拟治理成本主要包括小试模拟费用、电费、人工费、设备租用费、药剂费(混凝剂)、场地租用费和污泥处置费。

1.4 小试模拟实验设计

1.4.1 实验目的

(1)判断采用投加混凝剂(聚合氯化铝)的方法能否降低水质毒性至可接受水平;

(2)若是处理方法有效,得出混凝剂的最佳投加量。

1.4.2 实验设计

(1)情形1:混合废水(该混合废水的原水样,样品号1-1)。

(2)情形2:混合废水+聚合氯化铝(分别在100 mL混合废水中投加聚合氯化铝0.1 g、0.2 g、0.3 g……,充分混匀反应后静置24 h,分别取上清液,样品2-1、样品2-2、样品2-3……),比较得出最佳投加量。

(3)情形3:混合废水+聚合氯化铝(将情形2中最佳投加量方案离心后所得固体加入100 mL纯水,充分混匀后静置24 h,取上清液,样品3-1)。

(4)将上述样品进行发光菌急性毒性测试,评价处理效果。

1.4.3 实验方法

(1)发光细菌活化

向冻干发光细菌中加入1 mL存储缓冲液,快速摇匀,4℃静置培养1 h,待用。

(2)急性毒性快速判定

取0.8 mL待测水样,加入0.2 mL缓冲液(重金属缓冲液、有机物缓冲液各做一组实验,下同),再加入10 μL已活化的菌液,混匀后在20℃下静置1 h后,测量其发光强度RLU。同上述步骤用实验室纯水做对照实验,根据样品的相对抑光率IC(%)判定其毒性。

$$IC = (1 - RLU_{\text{样品}} / RLU_{\text{对照}}) \times 100\% \quad [29,30]$$

若相对抑光率 $IC(\%) < 50$,则表示水样无急性毒性,若 $IC(\%) \geq 50$,则表示水样具有急性毒性。

(3)急性毒性强度判定方法

将急性毒性快速判定结果为有毒的样品做进一步的急性毒性强度判定实验。取 0.8 mL 待测水样,加入 0.2 mL 缓冲液,混匀后设定该初始水样浓度为 C ,用稀释缓冲液(按缓冲液与纯水按 1:4 的体积比配置)分别配置浓度梯度为 100% C 、50% C 、25% C 、12.5% C 、6.25% C 、3.125% C 的系列样品,并以稀释缓冲液做对照实验,求得系列样品的相对抑光率 $IC(\%)$,用 Excel 软件对系列浓度及其相对抑光率进行曲线拟合,并根据曲线拟合公式求算水样的 $IC_{50}(\%)$ (半抑制浓度,即 $IC(\%)$ 为 50 时所对应的样品浓度),根据 IC_{50} 值判定毒性强度。根据 Bulich 等人提出的毒性强度分级标准^[31], IC_{50} 值小于 25 时毒性强度为极毒性;在 26 ~ 50 之间为中毒性;在 51 ~ 75 之间为毒性;在 76 ~ 100 之间为微毒性;大于 100 为无毒性。

1.5 生态环境损害的量化评估

在获取该混合废水的虚拟治理成本后,根据受污染区域的环境功能敏感程度分别乘以相应的倍数作为环境损害的量化数额。根据《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》,对于 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类地表水,分别取 > 8 倍、6 ~ 8 倍、4.5 ~ 6 倍、3 ~ 4.5 倍及 1.5 ~ 3 倍作为量化环境损害数额的相应倍数。

2 结果与分析

2.1 小试模拟实验结果分析

2.1.1 急性毒性快速判定结果

急性毒性快速判定结果见表 1。

表 1 急性毒性快速判定结果

Table 1 Fast judgement results of acute toxicity

样品号	重金属毒性		有机物毒性	
	IC (%)	毒性快速判定结果	IC (%)	毒性快速判定结果
1-1	93.7	有毒性	95.8	有毒性
2-1	74.6	有毒性	89.9	有毒性
2-2	36.4	无毒性	57.2	有毒性
2-3	18.5	无毒性	22.1	无毒性
3-1	13.6	无毒性	16.7	无毒性

2.1.2 急性毒性强度判定结果

将水样 1-1、2-1、2-2 做进一步的急性毒性强度判定试验(其中水样 2-2 只做有机物毒性),用 Excel

软件对各个水样的系列浓度及其相对抑光率进行曲线拟合,各个水样的曲线拟合结果见图 1 ~ 图 5。

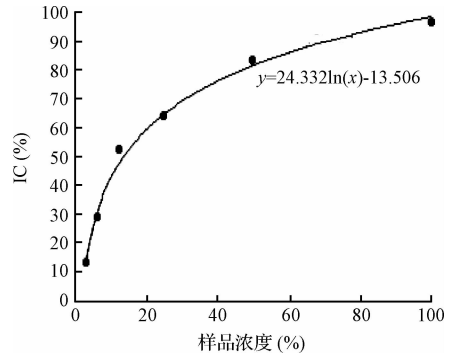


图 1 水样 1-1 系列浓度(有机物缓冲液)与 $IC(\%)$ 曲线拟合结果

Fig. 1 Fitting curve of sample 1-1 (organic buffer solution) with $IC(\%)$

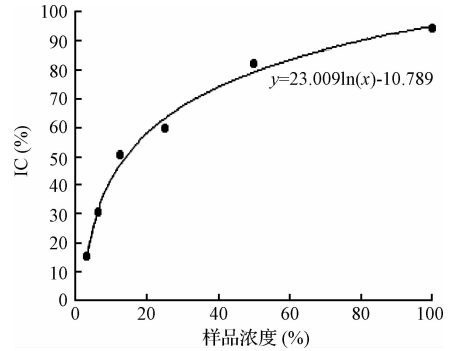


图 2 水样 1-1 系列浓度(重金属缓冲液)与 $IC(\%)$ 曲线拟合结果

Fig. 2 Fitting curve of sample 1-1 (metal buffer solution) with $IC(\%)$

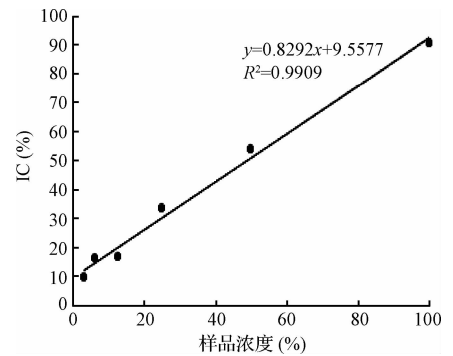


图 3 水样 2-1 系列浓度(有机物缓冲液)与 $IC(\%)$ 曲线拟合结果

Fig. 3 Fitting curve of sample 2-1 (organic buffer solution) with $IC(\%)$

根据曲线拟合结果求算各个水样的 $IC_{50}(\%)$,再根据 IC_{50} 值判定毒性强度(见表 2)。

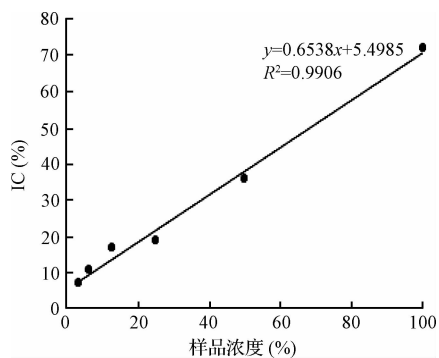


图4 水样 2-1 系列浓度(重金属缓冲液)与 IC (%) 曲线拟合结果

Fig. 4 Fitting curve of sample 2-1 (metal buffer solution) with IC (%)

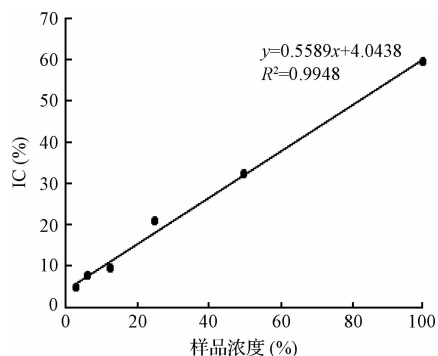


图5 水样 2-2 系列浓度(有机物缓冲液)与 IC (%) 曲线拟合结果

Fig. 5 Fitting curve of Sample 2-2 (organic buffer solution) with IC (%)

表2 急性毒性强度判定结果

Table 2 Judgement results of acute toxicity intensity

样品号	重金属毒性		有机物毒性	
	IC ₅₀ (%)	毒性强度判定结果	IC ₅₀ (%)	毒性强度判定结果
1-1	14.0	极毒性	13.6	极毒性
2-1	68.1	毒性	48.8	中毒性
2-2	—	—	82.2	微毒性

2.1.3 小试模拟实验结果分析

在 100 mL 混合废水中投加 0.3 g 混凝剂(聚合氯化铝)后,急性毒性(重金属毒性和有机毒性)消失,且生成的沉淀物在纯水浸泡 24 h 后仍无急性毒性释放到水体,故确定混凝剂(聚合氯化铝)在该混合废水中的最佳投加量为 3 g/L(可以近似考虑为 3 kg/t)。

2.2 混合废水虚拟治理成本核算

该混合废水的虚拟治理成本主要包括小试模拟费用、电费、人工费、设备租用费、药剂费(混凝剂)、

场地租用费和污泥处置费。

2.2.1 小试模拟费用

小试模拟费用可以用实验模拟过程的原材料成本估算,由于实验模拟过程共消耗了 3 支发光细菌干粉(4 550 × 3 = 13 650 元),黄、白灭菌枪头各 1 包(Axygen, 88 × 2 = 176 元)和 1.5 mL 灭菌管 1 包(Axygen, 70 元),故小试模拟费用为 13 650 + 176 + 70 = 13 896 元。

2.2.2 药剂费(混凝剂)

根据小试模拟实验结果,处理该混合废水的最佳混凝剂(聚合氯化铝)投加量为 3 g/L(近似为 3 kg/t),聚合氯化铝采用当地市场单价 1 900 元/t(即 1.9 元/kg),可以得出需要投加的混凝剂费用为 1.9 元/kg × 3 kg/t × 200 t = 1 140 元。

2.2.3 电费

由于污泥泵和压滤机开机运行的时间很短,其电费可以忽略不计;搅拌机按开机 12 h 核算,采用当地工业用电电价约 0.85 元/(kWh),可得电费约为 0.85 元/kWh × 5 kW × 12 h = 51 元。

2.2.4 人工费

模拟治理过程中聘用了 2 名劳工工作 1 天,按照当地的劳工工资 150 元/(人·d),人工费为 150 元/(人·d) × 2 人 × 1 d = 300 元。

2.2.5 污泥处置费

使用聚合氯化铝处置废水约产生 1/3 重量的含水沉淀物(含水量达 95% 以上),该含水沉淀物用压滤机压滤成饼,可除去约 95% 的水分,可得最终污泥量为:200 t/3 × (1 - 95%) = 3.3 t。该污泥按填埋方式,处置成本为 760 元/t,则污泥处置费为 760 元/t × 3.3 t = 2 508 元。

2.2.6 设备租用费和场地租用费

模拟治理过程中租用了罐车 1 辆(用于混合废水的转运),5 kW 搅拌机一台,5 kW 污泥泵一台和压滤机一台,租用时间为 1 d,设备租用费按 5 800 元计算。模拟治理过程中租用了足够处置 200 t 混合废水的场地,租用时间为 1 d,场地租用费按 5 000 元计算。

2.2.7 虚拟治理成本核算

将以上项目核算结果相加,可得该混合废水的虚拟治理成本为 28 695 元。

2.3 生态环境损害的量化评估

该事件造成的生态环境损害采用虚拟治理成本法来量化。由于该混合废水的受纳水体 A 江相关河段为 III 类水域,根据倍数确定原则,该事件的生态

环境损害数额应取虚拟治理成本的4.5~6倍,即生态环境损害量化数额在129 127.5~172 170元之间。考虑到企业在事发后及时展开污染处置工作,有效地防止了事件影响的进一步扩大,建议选取下限4.5倍作为生态环境损害的核算倍数,因此,该事件的生态环境损害量化数额建议值为129 127.5元。

3 讨论

该事件泄漏混合废水含有苯酚、对氨基苯磺酸、甲醛、氢氧化钠、葡萄糖酸钠、丙酮等多种污染物,成分复杂,且具有急性水质毒性,难以直接获取事件发生地工业企业或污水处理厂集中处理该类废水的实际成本。采用模拟治理的方法来核算泄漏混合废水的虚拟治理成本,具有核算过程简洁、容易操作等特点,便于评估机构操作使用。

混凝法在水处理领域应用较早,是废水处理常用方法之一,从图1~图5、表1及表2可以看出,该混合废水水样在未添加混凝剂(聚合氯化铝)时,表现出重金属毒性和有机物毒性,且急性毒性强度均为极毒性。在实验范围内,随着聚合氯化铝添加量的增加,水样急性毒性强度逐渐降低,说明采用投加混凝剂(聚合氯化铝)的方法能有效降低该混合废水的水质毒性。采用该方法模拟治理混合废水,具有使用简单、设备投资少、处理效果好、能有效降低废水中污染物等特点,建议在复杂混合废水泄漏事件中推广使用。

4 结论

(1)本文通过设计一套虚拟治理方案,采用模拟治理的方法解决了因混合废水成分复杂,无法获取当地同类污染物的实际治理平均成本,而无法计算虚拟治理成本的问题。

(2)本文利用ToxScreen-II毒性分析仪对混合废水模拟治理前后急性毒性变化情况进行研究,通过设计小试模拟实验验证了模拟治理方法的有效性,得出了混凝剂的最佳投加量,并以此作为计算小试模拟费用和药剂费的依据。

(3)本文通过小试模拟费用、电费、人工费、设备租用费、药剂费、场地租用费和污泥处置费核算了该混合废水的虚拟治理成本为28 695元,再根据受污染区域的环境功能敏感程度和事件的具体情况乘以相应的倍数(该事件建议取4.5倍),得出该事件的生态环境损害量化数额建议值为129 127.5元。

参考文献

- [1] 陈飞,王罗春,武文燕,等. 2006-2012年中国城市水源地突发性水污染事件的统计分析. 上海电力学院学报, **2014**, 30(1): 62-70
Chen Fei, Wang Luochun, Wu Wenyan, et al. Statistical analysis of emergency water pollution incidents in China urban water sources during 2006-2012. Journal of Shanghai University of Electric Power, **2014**, 30(1): 62-70 (in Chinese)
- [2] 赵艳民,秦延文,郑丙辉,等. 突发性水污染事故应急健康风险评估. 中国环境科学, **2014**, 34(5): 1328-1335
Zhao Yanmin, Qin Yanwen, Zheng Binghui, et al. Emergency health risk assessment of water pollution accident. China Environmental Science, **2014**, 34(5): 1328-1335 (in Chinese)
- [3] 韩晓刚,黄延林. 我国突发性水污染事件统计分析. 水资源保护, **2010**, 26(1): 84-86
Han Xiaogang, Huang Tinglin. Statistical analysis of sudden water pollution accident. Water Resources Protection, **2010**, 26(1): 84-86 (in Chinese)
- [4] Carson R., Navarro P. Fundamental issues in natural resource damage assessment. Natural Resources Journal, **1988**, 28(1): 815-836
- [5] Reed M. The physical fates component of the natural resource damage assessment model system. Oil and Chemical Pollution, **1989**, 5(2-3): 99-123
- [6] Reed M., French D. A transportable system of models for natural resource damage assessment. Environmental Software, **1992**, 7(4): 191-201
- [7] Mazzotta M. J., Opaluch J. J., Grigalunas T. A. Natural resource damage assessment: The role of resource restoration. Natural Resources Journal, **1994**, 34(1): 154-178
- [8] Jones C. A. Use of non-market valuation methods in the courtroom: Recent affirmative precedents in natural resource damage assessments. Water Resources Update, **1997**, 109(1): 10-18
- [9] Morey E. R., Breffle W. S., Rowe R. D., et al. Estimating recreational trout fishing damages in Montana's Clark Fork River basin: Summary of a natural resource damage assessment. Journal of Environmental Management, **2002**, 66(2): 159-170
- [10] Ando A. W., Khanna M. Natural resource damage assessment methods: Lessons in simplicity from state trustees. Contemporary Economic Policy, **2004**, 22(4): 504-519

- [11] Lin A. The unifying role of harm in environmental law. *Wisconsin Law Review*, **2006**, 3(1): 898-985
- [12] Roach B., Wade W. W. Policy evaluation of natural resource injuries using habitat equivalency analysis. *Ecological Economics*, **2006**, 58(2): 421-433
- [13] Winter G., Jans J. H., Macrory R., et al. Weighing up the EC environmental Liability directive. *Journal of Environmental Law*, **2008**, 20(2): 163-191
- [14] Tietenberg T., Lewis L. *Environmental and Natural Resources Economics*. USA: Addison Wesley, **2009**: 35-47
- [15] Hoang Y. P. Assessing environmental damages after oil spill disasters: How courts should construe the rebuttable presumption under the Oil Pollution Act. *Cornell Law Review*, **2010**, 96(6): 1469-1502
- [16] French-Mccay D. Oil spill modeling for ecological risk and natural resource damage assessment//2011 International Oil Spill Conference. USA: Applied Science Associates, Incorporation, **2011**: 1-9
- [17] Peterman S. CERCLA's unrecoverable natural resource damages; Injuries to cultural resources and services. *Ecology Law Currents*, **2011**, 38(1): 17-24
- [18] Sutton-Grier A. E., Moore A. K., Wiley P. C., et al. Incorporating ecosystem services into the implementation of existing us natural resource management regulations: Operationalizing carbon sequestration and storage. *Marine Policy*, **2014**, 43: 246-253
- [19] Dennis Lemly A. Teratogenic effects and monetary cost of selenium poisoning of fish in Lake Sutton, North Carolina. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **2014**, 104: 160-167
- [20] 刘兵红. 自然资源损害赔偿制度的国际考察及启示. *生态经济*, **2013**, (4): 157-160
Liu Binghong. The revelation from oversea investigation on regimes for compensation of natural resources damage. *Ecological Economy*, **2013**, (4): 157-160 (in Chinese)
- [21] 於方, 刘倩, 齐霖, 等. 借他山之石完善我国环境污染损害鉴定评估与赔偿制度. *环境经济*, **2013**, (11): 38-47
- [22] 蔡锋, 李新宇, 陈刚才, 等. 次级河流水污染事件应急处置程序及环境损害评估技术路线. *环境工程学报*, **2014**, 8(9): 3658-3664
Cai Feng, Li Xinyu, Chen Gangcai, et al. Emergency response procedures and technique route for environmental damage assessment in sudden tributaries pollution incidents. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **2014**, 8(9): 3658-3664 (in Chinese)
- [23] 张红振, 王金南, 牛坤玉, 等. 环境损害评估: 构建中国制度框架. *环境科学*, **2014**, 35(10): 4015-4030
Zhang Hongzhen, Wang Jinnan, Niu Kunyu, et al. Environmental damages assessment: Establishment of system framework in China. *Environmental Science*, **2014**, 35(10): 4015-4030 (in Chinese)
- [24] 张红振, 曹东, 於方, 等. 环境损害评估: 国际制度及对中国的启示. *环境科学*, **2013**, 34(5): 1653-1666
Zhang Hongzhen, Cao Dong, Yu Fang, et al. Environmental damage assessment: International regulations and revelation to China. *Environmental Science*, **2013**, 34(5): 1653-1666 (in Chinese)
- [25] 牛坤玉, 於方, 张红振, 等. 自然资源损害评估在美国: 法律、程序以及评估思路. *中国人口·资源与环境*, **2014**, 24(增刊): 345-348
Niu Kunyu, Yu Fang, Zhang Hongzhen, et al. Natural resource damage assessment: Experience in the United States. *China Population, Resources and Environment*, **2014**, 24(S1): 345-348 (in Chinese)
- [26] 环境保护部. 环境损害鉴定评估推荐方法(第II版)(环办[2014]90号)[EB/OL]. [2014-10-24]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201411/t20141105_291159.htm
- [27] 环境保护部. 突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法(环办[2014]118号). [EB/OL]. [2014-10-31]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201501/t20150108_293973.htm.
- [28] 环境保护部环境规划院环境风险与损害鉴定评估研究中心. 开展环境损害鉴定评估与赔偿有据可依. [EB/OL]. <http://www.caep.org.cn/ReadNews.asp?NewsID=4433>. 2015-01-08/2015-01-09
- [29] Hastings J. W., Potrikus C. J., Gupta S. C., et al. Biochemistry and physiology of bioluminescent bacteria. *Advances in Microbial Physiology*, **1985**, 26(1): 235-291
- [30] 阴琨, 吕天峰, 梁宵, 等. 生物综合毒性分析仪的毒性测试方法及适用范围研究. *中国环境监测*, **2010**, 26(4): 48-51
Yin Kun, Lü Tianfeng, Liang Xiao, et al. Study on toxicity testing methods and application range of biological toxicity analyzer. *Environmental Monitoring in China*, **2010**, 26(4): 48-51 (in Chinese)
- [31] Bulich A. A., Isenberg D. L. Use of the luminescent bacterial system for the rapid assessment of aquatic toxicity. *ISA Transactions*, **1981**, 20(1): 29-32