

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

**2012**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究 ..... 吴起鑫, 韩贵琳 (2145)

成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建 ..... 岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)

太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析 ..... 饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)

环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征 ..... 徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)

南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布 ..... 张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)

青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征 ..... 刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)

城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性 ..... 邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)

基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算 ..... 陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)

浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究 ..... 高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)

福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析 ..... 李雪丁 (2210)

HSPF 水文水质模型应用研究综述 ..... 李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)

城市降雨径流模拟的参数不确定性分析 ..... 黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)

利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度 ..... 姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)

嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定 ..... 谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)

重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价 ..... 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张焯 (2251)

南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究 ..... 郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)

宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究 ..... 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)

影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析 ..... 丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)

大型底栖动物生物评价指数比较与应用 ..... 耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)

青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征 ..... 王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郑伟 (2288)

青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征 ..... 郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)

用物理-生态集成技术局部控制富营养化 ..... 李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)

太湖氮素出入湖通量与自净能力研究 ..... 陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)

富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应 ..... 袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)

巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究 ..... 温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)

南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究 ..... 方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)

东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究 ..... 林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)

嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征 ..... 蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)

电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源 ..... 王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)

基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究 ..... 李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)

渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响 ..... 秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)

崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价 ..... 李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)

白洋淀底泥重金属形态及竖向分布 ..... 李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)

西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究 ..... 刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)

氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制 ..... 刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)

Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性 ..... 张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)

声电氧化处理扑热息痛的研究 ..... 戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)

粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究 ..... 白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)

利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究 ..... 张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)

Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究 ..... 王小蓉, 吴平霄 (2432)

核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究 ..... 武国正, 徐宗学 (2438)

A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究 ..... 翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)

系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究 ..... 蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)

氧化还原介体催化强化 *Paracoccus versutus* 菌株 GW1 反硝化特性研究 ..... 李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)

1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析 ..... 刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)

蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化 ..... 秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)

双季稻田 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放特征及品种筛选研究 ..... 傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄璜 (2475)

闽江河口短叶茳芰湿地 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放对氮输入的短期响应 ..... 牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)

青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征 ..... 彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)

不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律 ..... 吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)

土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响 ..... 吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)

多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应 ..... 潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)

不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究 ..... 梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)

废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究 ..... 伊元荣, 韩敏芳 (2522)

中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析 ..... 卢愿清, 史军 (2528)

《环境科学》征稿简则(2431) 《环境科学》征订启事(2532) 信息(2157, 2271, 2367, 2418)

# 嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定

谢蓉蓉<sup>1</sup>, 逢勇<sup>1,2\*</sup>, 张倩<sup>3</sup>, 陈可<sup>4</sup>, 孙明园<sup>1</sup>

(1. 河海大学环境学院, 南京 210098; 2. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 南京 210098; 3. 中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院, 贵阳 550081; 4. 河海大学力学与材料学院, 南京 210098)

**摘要:** 为保证嘉善地区水环境安全, 在嘉善地区3次大规模野外水文、水质监测基础上, 建立一维水动力及水质模型, 选取嘉善地区3个水环境敏感点(包括国控断面红旗塘大坝、省控断面池家水文站以及陆斜塘水源地)进行水质影响权重分析(包括内外源权重、点面源权重); 通过二级指标体系法, 同时考虑高风险企业影响, 判定水环境敏感点的风险等级。结果表明: ①区域内部污染源对水环境敏感点影响大于区域外部污染源影响, COD内源平均影响权重为55.3%, 氨氮为67.4%, TP为63.1%; 面源影响大于点源影响, COD面源平均影响权重为53.7%, 氨氮为65.9%, TP为57.8%; ②红旗塘大坝和池家水文站为中风险, 陆斜塘水源地除8月为中风险外, 4月和12月均为低风险。本研究成果为保障水环境安全及社会经济安全运行提供决策依据。

**关键词:** 水环境敏感点; 水量模型; 水质模型; 同步监测; 权重; 风险等级

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2244-07

## Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jiashan

XIE Rong-rong<sup>1</sup>, PANG Yong<sup>1,2</sup>, ZHANG Qian<sup>3</sup>, CHEN Ke<sup>4</sup>, SUN Ming-yuan<sup>1</sup>

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Hydrochina Guiyang Engineering Corporation, Guiyang 550081, China; 4. College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** For the safety of the water environment in Jiashan county in Zhejiang Province, one-dimensional hydrodynamic and water quality models are established based on three large-scale monitoring of hydrology and water quality in Jiashan county, three water environmental sensitive spots including Hongqitang dam Chijia hydrological station and Luxie pond are selected to investigate weight parameters of water quality impact and risk grade determination. Results indicate as follows ① Internal pollution impact in Jiashan areas was greater than the external, the average weight parameters of internal chemical oxygen demand (COD) pollution is 55.3%, internal ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) is 67.4%, internal total phosphor (TP) is 63.1%. Non-point pollution impact in Jiashan areas was greater than point pollution impact, the average weight parameters of non-point COD pollutions is 53.7%, non-point  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  is 65.9%, non-point TP is 57.8%. ② The risk of Hongqitang dam and Chijia hydrological station are in the middle risk. The risk of Luxie pond is also in the middle risk in August, and in April and December the risk of Luxie pond is low. The strategic decision will be suggested to guarantee water environment security and social and economic security in the study.

**Key words:** water environmental sensitive spot; water quantity model; water quality model; synchronous monitoring; weight parameters; risk grade

浙江省嘉善县地处我国经济最发达的长江三角洲沪、苏、浙三地的中心区位, 经济地理位置优越。全县总面积506.59 km<sup>2</sup>, 其中水域面积72.40 km<sup>2</sup>, 占14.29%。嘉善县水环境复杂, 受上游江浙来水及下游上海感潮河段双重影响, 嘉善县的水质影响权重及风险等级判定研究对沪、苏、浙两省一市环境保护规划均有相当重要的意义。

环境敏感区, 是指依法设立的各级各类自然、文化保护地, 以及对建设项目的某类污染因子或者生态影响因子特别敏感的区域<sup>[1]</sup>; 文中的“水环境敏感点”指具有控制意义的水体断面, 主要包括国控断面、省控断面以及饮用水源区, 水质受包括上游来

水、内部污染源排放、底泥释放、引流水等多方面的影响, 制约人们的生活与生产。目前国内外对于河流型的水环境敏感区水质影响权重界定的研究并不多, 尹海龙等<sup>[2]</sup>提出上游来水对于下游断面的污染分担率, 谈旭初<sup>[3]</sup>提出同一断面各污染因子的污染分担率。水环境风险评价包括确定风险源、风险受体以及风险源对风险受体的危害程度。德国、奥地利等

收稿日期: 2011-09-18; 修订日期: 2012-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51179053); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07506-006, 2012ZX07506-007)

作者简介: 谢蓉蓉(1987~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为水资源规划与保护, E-mail: xierr1118@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: pangyonghu@163.com

9 个国家的相关研究机构和政府部门设计了“多瑙河突发性事故应急预案系统”<sup>[4]</sup>; Price 等<sup>[5]</sup>对航运突发性污染应急机制开发了决策支持系统,汪立忠等<sup>[6]</sup>从风险管理的角度提出对突发性环境污染事件<sup>[7-9]</sup>进行风险管理;文献<sup>[10,11]</sup>在水体扩散模型的基础上,推导出了一套适用于评估突发性水环境事故危害后果的定量估算公式;文献<sup>[12,13]</sup>对水源地突发性水污染事件风险提出了可行的机制及方案;近年来,流域性风险评价<sup>[14-17]</sup>越来越受到重视,虽然研究方法日趋完善<sup>[18-20]</sup>,但种类繁多难以大规模推广,且事故危害程度的阈值难以确定。

本研究在 3 次大规模野外水文、水质监测基础上,利用 Saint-Venant 方程组建立一维水动力及水质模型模拟嘉善地区水环境,选取嘉善地区 3 个水环境敏感点进行水质影响权重分析,在其基础上,选取二级指标体系法,同时考虑高风险企业影响,对嘉善地区水环境敏感点风险等级进行判定,确定嘉善地区风险评价事故危害程度阈值。

## 1 研究区域水文、水质同步监测及模型建立

### 1.1 水文、水质同步监测

分别在 2010 年 4、8 及 12 月不同水期(即丰、平、枯)进行了 3 次大规模野外水文、水质同步监测。监测期间,水文、水质监测断面每天监测 2 次,每天上午和下午各监测 1 次。每天上午 08:00 开始监测,下午监测时间视涨潮时间而定。第 1 次监测布设 16 个水文监测断面,24 个水质监测断面。第 2、3 次监测根据前 1 次监测的比对和分析,又新增了 3 个监测断面,共计 19 个水文监测断面,25 个水质监测断面(图 1)。

### 1.2 模型建立

嘉善地区模型河网概图见图 1,共设置 14 个边界。河网水动力模型建立在质量和动量守恒定律基础上,描述一维河道非恒定水流运动的 Saint-Venant 微分方程组,以流量  $Q(x, t)$  和水位  $Z(x, t)$  为研究对象,并补充考虑了漫滩和旁侧入流,其基本方程组为:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial A}{\partial x} + g \frac{n^2 |u| Q}{R^{4/3}} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, $Q$  为流量; $x$  为沿水流方向空间坐标; $B_w$  为调蓄宽度,指包括滩地在内的全部河宽; $Z$  为水位;

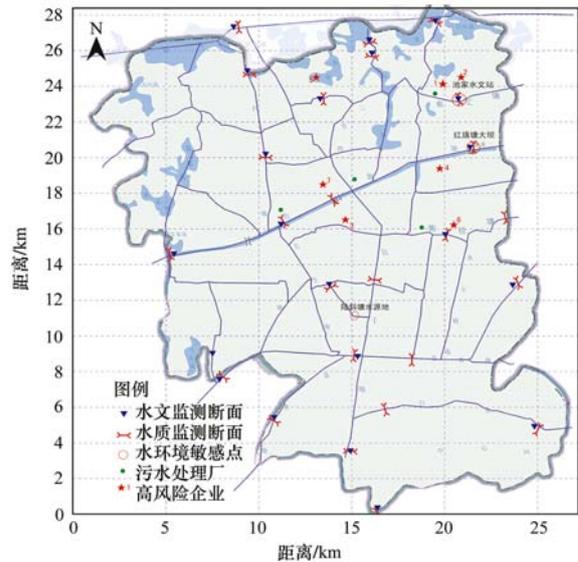


图 1 研究区域(嘉善县)同步监测点、水环境敏感点和重要点源位置示意

Fig. 1 Location of synchronous monitoring spots, water environment sensitive spots and important point source in research area

$t$  为时间坐标; $q$  为旁侧入流流量,入流为正,出流为负; $u$  为断面平均流速; $g$  为重力加速度; $A$  为主槽过水断面面积; $B$  为主流断面宽度; $n$  为糙率; $R$  为水力半径。上述方程组以 Preissmann 四点线性隐式差分格式将其离散,辅以连接条件,形成河道方程,以微段-河段-汉点三级联解方法<sup>[21]</sup>求解。

一维河流水质模型控制微分方程是建立在质量守恒基础上的对流扩散方程,见式(2):

$$\frac{\partial(Ac)}{\partial t} + \frac{\partial(Qc)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( AE_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) - S_c + S \quad (2)$$

式中, $c$  为水流输送物质的断面平均浓度; $Q$  为断面流量; $E_x$  为纵向分散系数; $A$  为断面面积; $K$  为降解系数; $S$  为外部的源或汇项; $S_c$  为与输送物质有关的衰减项, $S_c = K_d \cdot A \cdot c$ , $K_d$  为衰减因子。方程对空间项采用隐式迎风格式,时间项采用前差分对每一单一河道进行离散<sup>[22]</sup>,将整个河网水质浓度离散成节点和断面水质浓度进行数值求解。

### 1.3 模型率定验证

#### 1.3.1 水动力模型率定

根据 2010 年 4、8、12 月的野外水文水质同步监测结果,对水量模型进行率定。采用试错法进行率定,即根据模型内部 9 个水文监测断面实测的水位资料或流量资料,调试各河道的糙率,使得计算水位或流量过程与实测水位或流量相吻合,率定得到河道糙率为 0.018 ~ 0.022。部分验证点位(红旗塘、陆斜塘)流量计算值与实测值的对比如图 2 所示。

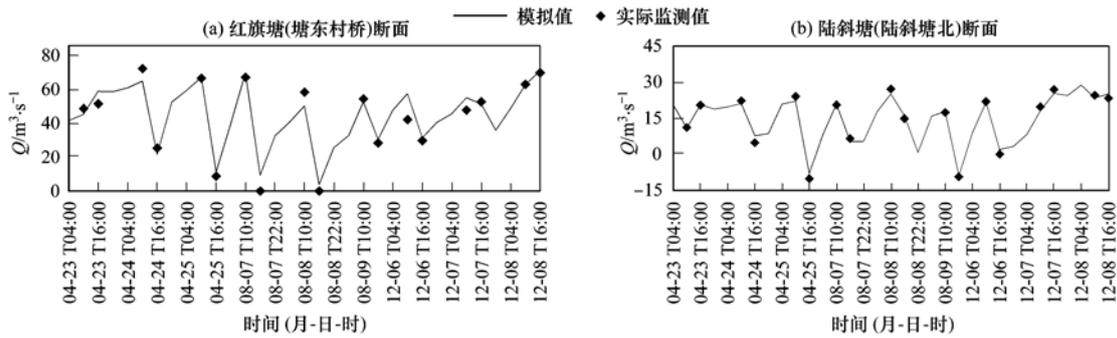


图2 2010年4、8、12月部分验证点位实测流量与计算值比较

Fig. 2 Time series of the simulated discharge and the observed data of partial spots in Jiashan

1.3.2 水质模型率定

根据研究区域污染源及水质污染的特点,选择代表有机污染的污染因子COD、氨氮和TP作为水质模拟对象.在2010年4、8、12月的野外水文水质同步监测基础上,边界条件选用边界断面各时段水质实测值,加入工矿企业和生活废水的点源和面源污染物,对模型内部12个水质监

测断面实测水质进行率定.考虑计算稳定性及精度,取时间步长 $\Delta t$ 为1s,纵向扩散系数为 $2.5\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ .率定得到的COD降解系数为 $0.08\sim 0.12\text{ d}^{-1}$ ,氨氮降解系数为 $0.07\sim 0.1\text{ d}^{-1}$ ,TP降解系数为 $0.04\text{ d}^{-1}$ .部分验证点位(红旗塘、陆斜塘)的COD、氨氮和TP计算值与实测值的对比见图3~5.

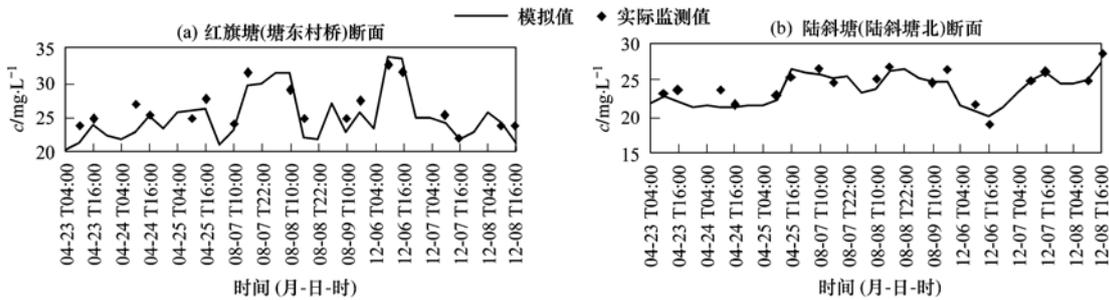


图3 2010年4、8、12月部分验证点位实测COD与计算值比较

Fig. 3 Time series of the simulated concentration of COD and the observed data of partial spots in Jiashan

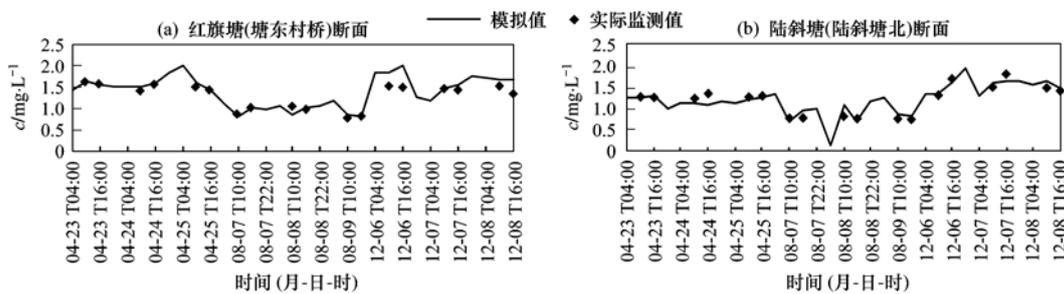


图4 2010年4、8、12月部分验证点位实测氨氮与计算值比较

Fig. 4 Time series of the simulated concentration of ammonia nitrogen and the observed data of partial spots in Jiashan

由图3~5可知,流量与水质两者均吻合较好.通过对9个水文监测断面水量率定和12个水质监测断面水质率定,统计得到流量的平均相对误差为18%,COD、氨氮和TP的平均误差分别为9%、15%以及19%,在建模误差允许范围内.因此建立的流域河网水量、水质模型合理可信,较准确地模拟该流

域水质状况.

2 水质影响权重分析

2.1 水环境敏感点选取及水质影响权重研究方法

水环境敏感点是具有水质控制意义的断面,包括国控断面、省控断面以及水源地.综合考虑嘉善水

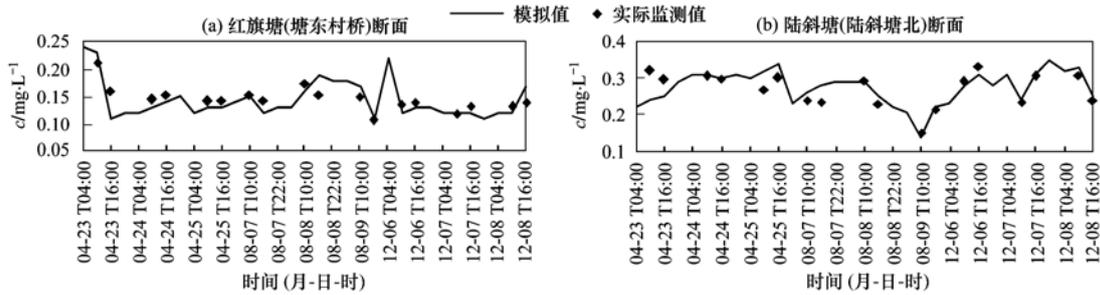


图5 2010年4、8、12月部分验证点位实测TP与计算值比较

Fig. 5 Time series of the simulated concentration of TP and the observed data of partial spots in Jiashan

系特点后,本研究选取3个典型水环境敏感点,分别为国控断面红旗塘大坝、省控断面池家水文站、陆斜塘水源地,具体位置详见图1.

考虑影响水环境敏感点水质的主要因素为:一是研究区域边界来水水质,为外部污染源(外源);二是研究区域内部污染源的排放量(内源),内源另外分为点源(污水处理厂及工业企业)和面源(农村生活污染、农业种植面源污染、畜禽养殖). 各类污染源对水环境敏感点水质影响权重分析计算公式为:

$$\alpha_i = \frac{c_i}{c_i + c_0}; \alpha_0 = \frac{c_0}{c_i + c_0} \quad (3)$$

内源外源权重: $\alpha_i$  为研究区域内部污染源所占的权重, (%);  $\alpha_0$  为研究区域外部污染源所占的权重, (%);  $c_i$  为边界取功能区水质目标时,考虑内部污染源排放情况下按水质模型计算得出的控制断面

水质浓度值, ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ );  $c_0$  为边界取实测水质时,不考虑内部污染源排放情况下按水质模型计算得出的控制断面的水质浓度值, ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

点源面源权重: $\alpha_i$  为研究区域点源污染源所占的权重, (%);  $\alpha_0$  为研究区域面源污染源所占的权重, (%);  $c_i$  为边界取功能区水质目标时,考虑点源污染源排放情况下按水质模型计算得出的控制断面水质浓度值, ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ );  $c_0$  为边界取实测水质时,不考虑点源污染源排放情况下按水质模型计算得出的控制断面的水质浓度值, ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

### 2.2 污染源统计

嘉善污染源资料来自于嘉善县提供的2009年污染源普查资料,根据第一次全国污染源普查系数手册统计得到嘉善地区2009年污染物入河量见表1,从中可知,嘉善地区主要污染为面源污染,COD、氨氮、TP的面源入河量占85%、86%和89%.

表1 2009年嘉善地区污染物入河量<sup>1)</sup>/t·a<sup>-1</sup>

Table 1 River input discharge in Jiashan in 2009/t·a<sup>-1</sup>

| 类别  | 点源            |            |            | 面源         |                | 合计              |
|-----|---------------|------------|------------|------------|----------------|-----------------|
|     | 工业            | 城镇生活       | 农村生活       | 农田         | 畜禽水产           |                 |
| COD | 1 759<br>(10) | 864<br>(5) | 122<br>(1) | 432<br>(3) | 13 864<br>(81) | 17 040<br>(100) |
| 氨氮  | 97<br>(7)     | 94<br>(7)  | 30<br>(2)  | 86<br>(6)  | 1 136<br>(79)  | 1 444<br>(100)  |
| TP  | 34<br>(4)     | 60<br>(7)  | 5<br>(1)   | 37<br>(4)  | 725<br>(84)    | 861<br>(100)    |

1) 括号中数据为百分比

### 2.3 污染源影响权重分析

利用本研究所建立模型,在3次水文、水质同步监测资料的基础上,根据水质影响权重研究方法模拟计算得水环境敏感点内源外源以及点源面源的水质影响权重结果见表2所示.从中可得:①嘉善地区内源对水环境敏感点影响较外源大,尤其是氨氮和TP内源影响平均达到67.4%和63.1%;②COD和TP的面源污染对水环境敏

感点水质影响较外部污染源略大,氨氮的面源影响较大,达到65.9%.相较于面源入河量比例,面源对水环境敏感点影响比例较小,主要是由于水体本底浓度的协同作用.

## 3 风险等级判定

### 3.1 风险等级判定方法

水环境敏感点风险主要包括常规污染因子和特

表 2 内外污染源以及点源面源对水环境敏感点断面水质影响权重计算结果表/%

Table 2 Result of weight parameters of internal and external pollution, point and non-point source for water environmental sensitive spots/%

| 水环境敏感点 | 内源外源权重分析 |      |      |      |      |      | 点源面源权重 |      |      |      |      |      |
|--------|----------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
|        | COD      |      | 氨氮   |      | TP   |      | COD    |      | 氨氮   |      | TP   |      |
|        | 内源       | 外源   | 内源   | 内源   | 内源   | 外源   | 点源     | 面源   | 点源   | 面源   | 点源   | 面源   |
| 红旗塘大坝  | 57.2     | 42.8 | 69.4 | 30.6 | 65.3 | 34.7 | 46.2   | 53.8 | 32.8 | 67.2 | 41.6 | 58.4 |
| 池家水文站  | 55.5     | 44.5 | 67.8 | 32.2 | 65.8 | 34.2 | 47.5   | 52.5 | 37.7 | 62.3 | 44.6 | 55.4 |
| 陆斜塘水源地 | 53.1     | 46.9 | 65.1 | 34.9 | 58.1 | 41.9 | 45.2   | 54.8 | 31.8 | 68.2 | 40.5 | 59.5 |
| 平均     | 55.3     | 44.7 | 67.4 | 32.6 | 63.1 | 36.9 | 46.3   | 53.7 | 34.1 | 65.9 | 42.2 | 57.8 |

殊污染因子两项,常规污染因子选取主要考核指标 COD 和氨氮,采用二级指标体系(见表 3)<sup>[23,24]</sup> 对风险受体(水环境敏感点)进行常规污染因子的风险等级判定,将二级指标体系中各项风险指标风险等级分为极低风险、低风险、中风险、高风险 4 类,各级别评分为 1~4(见表 4),利用层次分析法(analytical hierarchy process, AHP 法)和专家小组法(又称“德尔菲”法, Delphi method)<sup>[25,26]</sup> 确定各指标对于各水环境敏感点的影响权重(见表 3),将各项风险指标评分乘以对应的影响权重加权之和计算出水环境敏感点的综合评分,将所得值域 1~4 进行四等分(见表 4)<sup>[24]</sup>,对应得到不同的风险等级。嘉善在俞汇塘、红

旗塘、太浦河和茜泾塘存在特殊污染因子,考虑其对水环境敏感点的风险影响,选取两者中危险等级较大的等级确定为水环境敏感点的最终风险等级。

表 3 风险等级判定二级指标体系及评判模型权重值<sup>[23,24]</sup>

Table 3 Index and its weight parameters in risk grade determination

| 一级指标      | 风险等级判定二级指标 |      | 指标权重 |       |
|-----------|------------|------|------|-------|
|           | 二级指标       | 一级权重 | 二级权重 |       |
| 风险事故发生风险度 | 企业工艺技术装备   | 0.5  |      | 0.223 |
|           | 管理制度       |      |      | 0.223 |
|           | 应急预防系统     |      |      | 0.256 |
|           | 监控防护情况     |      |      | 0.298 |
| 风险事故危害程度  | 最大水质超标倍数   | 0.5  |      | 0.4   |
|           | 水质超标持续时间   |      |      | 0.3   |
|           | 污染团到达时间    |      |      | 0.3   |

表 4 风险等级判定各指标以及水环境敏感点风险等级指标评分<sup>[24]</sup>

Table 4 Grade system for the risk index and water environmental sensitive spots

| 级别           | 极低风险                     | 低风险                      | 中风险                      | 高风险                    |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 风险等级判定指标     | 1                        | 2                        | 3                        | 4                      |
| 水环境敏感点风险等级指标 | $1.0 < \delta \leq 1.75$ | $1.75 < \delta \leq 2.5$ | $2.5 < \delta \leq 3.25$ | $3.25 < \delta \leq 4$ |

风险事故危害程度判别的主要阈值划分标准的确定方法如下:①最大水质超标倍数主要通过嘉善地区污水处理厂处理能力的调查,氨氮和高锰酸盐指数去除率为 85.3% 和 65.3%<sup>[27]</sup>,换算得到最大水质超标倍数在 2~3 倍左右水厂能够处理达标,将 3 倍以下的超标倍数定义为低风险;②超标持续时间主要是通过对污水处理厂的应急供水能力的调查得到,对突发性风险各个水厂应急供水能力与水厂设计规模和处理池大小有关,基本上平均能应急供水 2~3 h,风险事故能在该时间内及时反馈,故将 3 h 的超标持续时间定义为低风险;③污染团到达时间的阈值与事故应急反应能力有关,通过建立应急反应机制在 0.5 h 内能够反馈污染信息并对污染事故采取相应措施,故将 0.5 h 的污染物到达时间定义为低风险。

对于极低风险、中风险和高风险指标则在低风险指标选取原则上参考相关文献以及结合专家小组法<sup>[24]</sup>得出,嘉善地区风险事故危害程度指标的阈值划分见表 5。

表 5 风险事故危害程度判别阈值划分表

Table 5 Limen for criticality of the accident

| 风险等级 | 最大水质超标倍数 | 超标持续时间 /h | 污染团到达时间 /h |
|------|----------|-----------|------------|
| 极低风险 | $\leq 1$ | $\leq 1$  | $> 2$      |
| 低风险  | (1,3]    | (1,3]     | (0.5,2]    |
| 中风险  | (3,6]    | (3,12]    | (0.1,0.5]  |
| 高风险  | $> 6$    | $> 12$    | $\leq 0.1$ |

### 3.2 风险等级判定结果

本研究在 3 次同步水文、水质监测的基础上,通过所建立的水环境模型,对水环境敏感点水环境事故风险选取 3 种突发性风险工况下进行水环境模型分析:①外源风险:边界连续发生 3 h 最不利条件(水量达到最大、水质最差作为最不利)污染,内部点源、面源正常排放;②内部点源(污水厂)风险:在边界条件正常情况下,研究区域内所有污水处理厂污水未经处理事故排放,连续排放 3 h,内部面源正常排放,污水厂位置见图 1;③内部面源:在边界条件、内部点源均正常排放情况下,选取该月份最大降水量计算内部面源污染,据研究表明降水 15~20

mm 以上即可产生面源污染。

通过对以上 3 种工况下的水环境风险事件的水环境模拟,以陆斜塘水源地为例,其水环境模拟所得的水环境风险指标值见表 6,计算得到的污染等级见表 7。从中可得:①从风险评价因子来看,陆斜塘水源地的氨氮的风险等级与 COD 风险等级基本一

致,但是风险评分略高;②从不同水期来看,丰水期(8 月)较平水期(4 月)和枯水期(12 月)相比风险等级较高;③从风险源来看,面源风险较大,外源和内部点源的风险影响比较平衡,面源的风险变化比较明显,尤其是 8 月氨氮的风险达到中风险。这一结论同样适用于另外 2 个水环境敏感点。

表 6 陆斜塘水源地风险指标模拟值

Table 6 Simulation result of the risk index in Luxie pond

| 月份 | 风险事故      | COD            |              |               | 氨氮             |              |               |
|----|-----------|----------------|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|
|    |           | 最大水质超标<br>倍数/倍 | 超标持续时间<br>/h | 污染团到达时间<br>/h | 最大水质超标<br>倍数/倍 | 超标持续时间<br>/h | 污染团到达时间<br>/h |
| 4  | 外源        | 0.218          | 11           | 4             | 0.92           | 10           | 4             |
|    | 内部点源(污水厂) | 0.126          | 5            | 9.6           | 1.26           | 10           | 9.6           |
|    | 内部面源      | 0.214          | 9            | 0.5           | 1.9            | 7            | 0.5           |
| 8  | 外源        | 0.258          | 13           | 3             | 0.91           | 7            | 3             |
|    | 内部点源(污水厂) | 0.26           | 7            | 6.4           | 1.38           | 11           | 6.4           |
|    | 内部面源      | 0.795          | 7            | 0.5           | 4.29           | 8            | 0.5           |
| 12 | 外源        | 0.264          | 12           | 6             | 1.51           | 7            | 6             |
|    | 内部点源(污水厂) | 0.262          | 9            | 12.8          | 1.77           | 8            | 12.8          |
|    | 内部面源      | 0.479          | 8            | 0.5           | 3              | 14           | 0.5           |

表 7 陆斜塘水源地 COD、氨氮风险评价

Table 7 Risk assessment of COD and ammonia nitrogen in Luxie pond

| 风险源       | COD |     |      | 氨氮  |     |      |
|-----------|-----|-----|------|-----|-----|------|
|           | 4 月 | 8 月 | 12 月 | 4 月 | 8 月 | 12 月 |
| 外源        | 低风险 | 低风险 | 低风险  | 低风险 | 低风险 | 低风险  |
| 内部点源(污水厂) | 低风险 | 低风险 | 低风险  | 低风险 | 低风险 | 低风险  |
| 内部面源      | 低风险 | 低风险 | 极低风险 | 低风险 | 中风险 | 低风险  |

特殊污染因子主要来自于电镀、化工等高风险行业,嘉善地区主要高风险企业排放量见表 8,具体位置见图 1,由表 8 和图 1 可知嘉善地区主要的特殊污染因子为石油类、氰化物和六价铬,主要集中在嘉善下游地区。由于特殊污染因子难以用二级指标

体系进行评价,据化工行业调查,特殊污染因子排放对区域 5 km 范围内敏感农作物有影响<sup>[28]</sup>,红旗塘大坝和池家水文站在高风险企业的影响范围内,故危险等级为中风险,陆斜塘在高风险企业的影响范围外,危险等级定为低风险。

表 8 嘉善地区主要高风险企业信息/kg·a<sup>-1</sup>

Table 8 High risk company in Jiashan/kg·a<sup>-1</sup>

| 序号 | 企业名称           | 接纳水体 | 石油类  | 氰化物   | 六价铬   |
|----|----------------|------|------|-------|-------|
| 1  | 嘉善县俞汇华东村电镀厂    | 俞汇塘  | 2.72 | 120   | 90    |
| 2  | 嘉善县俞汇电镀厂       | 俞汇塘  | 1.31 | 61.06 | 66.44 |
| 3  | 嘉善中天表面处理有限公司   | 红旗塘  | 3.5  | 16.32 | 177.6 |
| 4  | 浙江联展精密五金配件有限公司 | 茜泾塘  | 0.63 | 7.82  | 22.2  |
| 5  | 嘉善县大舜电化厂       | 太浦河  | 0.09 | 4     | 0     |
| 6  | 嘉善县富金电镀有限公司    | 茜泾塘  | 1.9  | 0.085 | 63.45 |
| 7  | 嘉善县红旗镀锌厂       | 红旗塘  | 3.19 | 0     | 0     |

通过 3 次不同水期的同步监测,综合以上 2 种风险判定,得到水环境敏感点不同水期的风险等级见表 9,红旗塘大坝和池家水文站为中风险,作为城镇下游水环境敏感点,风险主要来源于附近高危企业的影响,所以危险等级较高。陆斜塘

除 8 月为中风险外,4 月和 12 月均为低风险,作为饮用水源地,除了汛期(8 月),其他危险等级在可承受范围内。8 月为中风险主要是因为汛期洪水携带大量面源污染物入河所致,所以陆斜塘水源地在汛期尤其要关注。

表 9 水环境敏感点不同水期等级判定结果  
Table 9 Result of risk grade determination in water  
environmental sensitive spots in Jiashan

| 水环境敏感点 | 4 月 | 8 月 | 12 月 |
|--------|-----|-----|------|
| 红旗塘大坝  | 中风险 | 中风险 | 中风险  |
| 池家水文站  | 中风险 | 中风险 | 中风险  |
| 陆斜塘水源地 | 低风险 | 中风险 | 低风险  |

#### 4 结论

(1)水环境敏感点内源影响大于外源影响,COD 内源平均影响权重为 55.3%,氨氮为 67.4%,TP 为 63.1%;面源影响大于点源影响,COD 面源平均影响权重为 53.7%,氨氮为 65.9%,TP 为 57.8%.

(2)红旗塘大坝和池家水文站为中风险,陆斜塘水源地除 8 月为中风险外,4 月和 12 月均为低风险,8 月水源地需要引起关注.

(3)对研究区域水环境敏感点水质影响权重和风险等级判别进行研究,旨在最大限度地减小污染危害和影响范围,为保障水环境安全及社会经济安全运行提供决策依据.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 环境保护部. 建设项目环境影响评价分类管理名录[EB/OL]. [http://www.zhb.gov.cn/info/bgw/bl/200809/t20080905\\_128232.html](http://www.zhb.gov.cn/info/bgw/bl/200809/t20080905_128232.html), 2008-9-2.
- [ 2 ] 尹海龙,徐祖信. 江浙来水对黄浦江水质影响研究[A]. 见:朱德祥,鲁传敬,周连第,等. 第七届全国水动力学学术会议暨第十九届全国水动力学研讨会文集(下册)[C]. 北京:海洋出版社,2005. 1110-1116.
- [ 3 ] 谈旭初. 依据污染分担率划分地表水污染类型的方法[J]. 环境科学与管理,2009,34(4):7-8.
- [ 4 ] Jenkins L. Selecting scenarios for environmental disaster planning[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 121(2): 275-286.
- [ 5 ] Price J M, Johnson W R, Marshall C F, et al. Overview of the oil spill risk analysis (OSRA) model for environmental impact assessment[J]. Spill Science and Technology Bulletin, 2003, 8(5-6): 529-533.
- [ 6 ] 汪立忠,陈正夫,陆雍森. 突发性环境污染事故风险管理进展[J]. 环境科学进展,1998,6(3):14-22.
- [ 7 ] 张维新,熊德琪,陈守煜. 工厂环境污染事故风险模糊评价[J]. 大连理工大学学报,1994,34(1):38-44.
- [ 8 ] 刘国东,宋国平,丁晶. 高速公路交通污染事故对河流水质影响的风险评价方法探讨[J]. 环境科学学报,1999,19(5):572-575.
- [ 9 ] 陈曦,吴以中,宗良纲. 石化企业环境风险等级评价指标体系与评价方法研究[J]. 江西农业学报,2008,20(8):122-125.
- [ 10 ] 徐峰,石剑荣,胡欣. 水环境突发事故危害后果定量估算模式研究[J]. 上海环境科学,2003,22(增刊):64-71.
- [ 11 ] 石剑荣. 水体扩散衍生公式在环境风险评价中的应用[J]. 水科学进展,2005,16(1):92-102.
- [ 12 ] 张羽. 城市水源地突发性水污染事件风险评价体系及方法的实证研究[D]. 上海:华东师范大学,2006. 24-60.
- [ 13 ] 王亚宜,严敏. 城市供水突发事件的应急预案[J]. 浙江工业大学学报,2005,33(6):660-664.
- [ 14 ] 甄宏. 流域风险评价与预警技术研究进展[A]. 见:中国环境科学学会. 中国环境科学学会学术年会论文集[C]. 北京:中国环境科学出版社,2009. 258-263.
- [ 15 ] 李维新,张永春,张海平,等. 太湖流域水环境风险预警系统构建[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(增刊1):4-8.
- [ 16 ] 肖伟华,庞莹莹,张连会,等. 南水北调东线工程突发性水环境风险管理研究[J]. 南水北调与水利科技,2010,8(5):17-21.
- [ 17 ] 余向勇,吴舜泽,张宝杰,等. 跨界地区环境风险识别初探[J]. 环境科学与管理,2011,36(5):169-172.
- [ 18 ] 吴钢,蔡井伟,付海威,等. 模糊综合评价在大伙房水库下游水污染风险评价中应用[J]. 环境科学,2007,28(11):2438-2441.
- [ 19 ] 孙鹏程,陈吉宁. 基于贝叶斯网络的河流突发性水质污染事故风险评估[J]. 环境科学,2009,30(1):47-51.
- [ 20 ] 孙永刚. 环境风险评价研究综述[J]. 林业经济,2011,(6):90-93.
- [ 21 ] 张二俊,张东生,李挺. 河网非恒定流的三级联合解法[J]. 华东水利学院学报,1982,10(1):1-13.
- [ 22 ] Dewey R J. Application of stochastic dissolved oxygen model[J]. Journal of Environmental Engineering, 1984, 110(2): 412-429.
- [ 23 ] 庄巍. 基于 GIS 的长江下游地区水环境容量计算、风险判别及预警-以江苏南京为例[D]. 南京:河海大学,2009. 83-103.
- [ 24 ] 逢勇,徐秋霞. 水源地水污染风险等级判别方法及应用[J]. 环境监控与预警,2009,1(2):1-4.
- [ 25 ] 车礼,胡玉立. 市场调查与预测[M]. 武汉:武汉大学出版社,2000. 197-204.
- [ 26 ] 王凯全,李亚丽,康美华,等. 化工重大危险区域风险因素的评价与控制[J]. 中国安全生产科学技术,2009,5(6):72-75.
- [ 27 ] 许一翁. 嘉善县地表水厂改扩建工程运行总结[J]. 城镇供水,2010,(2):35-37.
- [ 28 ] 宜都兴发化工有限公司. 宜都兴发化工有限公司 50 万吨/年饲料磷酸钙项目环境影响评价信息二次公示[EB/OL]. [http://www.yidu.gov.cn/art/2009/12/24/art\\_41\\_139926.html](http://www.yidu.gov.cn/art/2009/12/24/art_41_139926.html), 2009-12-24.

## CONTENTS

|  |  |
|--|--|
| Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China .....                                  | WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)  |
| Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring .....                          | YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)             |
| Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements .....   | RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)       |
| Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai .....  | XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)            |
| Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China .....                     | ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)     |
| Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao .....  | LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)                |
| Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant .....  | QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)        |
| Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model .....                            | CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)                 |
| Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i> ..... | GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)                            |
| Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years .....  | LI Xue-ding (2210)   |
| Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes .....   | LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)                               |
| Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling .....   | HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)                         |
| Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake .....  | JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)                   |
| Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jiashan .....   | XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)           |
| Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing .....   | ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)     |
| Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China .....   | HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)         |
| Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake .....   | QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)                    |
| Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales .....   | DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)             |
| Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment .....  | GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)         |
| Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau .....   | WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)        |
| Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau .....  | GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295) |
| Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering .....  | LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)               |
| Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu .....  | CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)      |
| Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate .....   | YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)             |
| Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake .....  | WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)                     |
| Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing .....  | FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)    |
| Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants .....                                  | LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)              |
| Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing .....  | CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)         |
| Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area .....                                      | WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)          |
| Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study .....   | LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)         |
| Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay .....  | QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)       |
| Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming .....   | LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)           |
| Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake .....  | LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)             |
| AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors .....  | LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)            |
| Mechanism of NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Removal in Drinking Water Biofilter .....   | LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)                |
| Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane .....  | ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)         |
| Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation .....  | DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)            |
| Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration .....  | BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)                           |
| Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater .....   | ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)    |
| Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN .....  | WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)                                  |
| Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body .....   | WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)                                     |
| Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process .....   | ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)           |
| Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System .....   | JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)                           |
| Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1 .....   | LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)              |
| Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production .....   | LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)      |
| Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i> .....  | QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)             |
| Characterization of CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields .....   | FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)             |
| Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary .....               | MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)          |
| Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province .....   | PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)          |
| Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition .....  | WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)         |
| Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils .....  | WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)             |
| <i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial .....  | PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)            |
| Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops .....  | LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)                       |
| Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid .....  | YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)                                    |
| Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China .....  | LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)   |

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

## 环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年7月15日 33卷 第7期

## ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 15, 2012

|         |   |                  |    |  |
|---------|---|------------------|----|--|
| 主 管     | 中国科学院   | Superintended    | by | Chinese Academy of Sciences  |
| 主 办     | 中国科学院生态环境研究中心   | Sponsored        | by | Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences  |
| 协 办     | (以参加先后为序)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院   | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>School of Environment, Tsinghua University   |
| 主 编     | 欧阳自远  | Editor-in -Chief |    | OUYANG Zi-yuan   |
| 编 辑     | 《环境科学》编辑委员会<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE)<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717   | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China   |
| 印 刷 装 订 | 北京北林印刷厂   | Printed          | by | Beijing Bei Lin Printing House   |
| 发 行     | 科 学 出 版 社<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com  | Distributed      | by | Science Press<br>Tel: 010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com   |
| 订 购 处   | 全国各地邮电局   | Domestic         |    | All Local Post Offices in China  |
| 国外总发行   | 中国国际图书贸易总公司<br>(北京399信箱)  | Foreign          |    | China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China   |

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行