ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第34卷 第1期
2013年1月15日

目 次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究 …… 窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)
厦门城区大气颗粒物 PM_{10} 中有机酸源谱特征分析 …… 杨冰玉,黄星星,郑桉,刘碧莲,吴水平(8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析 …… 李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO_2 和 NO_x 的影响 …… 王鸿,朱天乐,王美艳(21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较 …… 汪军,王德建,张刚,王远(27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物 …… 陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垛,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)
碱改性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究 …… 张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布 …… 王敏,张洪海,杨桂朋(45)
2010年秋季长江口口外海域CDOM的三维荧光光谱-平行因子分析 …… 闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素a浓度估算与预测 … 李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)
基于HJ1A-CCD数据的高光谱影像重构研究 …… 郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究 …… 徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型 …… 陈丁江,孙嗣旸,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征 …… 李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)
湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用 …… 蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价 …… 张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布 …… 李晋昌,张红,石伟(116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估 …… 张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征 …… 刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选 …… 卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)
海洋细菌 *Marinobacter adhaerens* HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用 …… 王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响 …… 苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响 …… 高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析 …… 王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响 …… 胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响 …… 徐慧纬,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究 …… 曾宪委,刘建国,聂小琴(182)
负载型 TiO_2 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究 …… 张小娜,周少奇,周晓(188)
污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析 …… 吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响 …… 刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N_2O 产生量的影响 …… 韩雪,高大文(204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 …… 谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换 …… 白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立椿,何宝燕,李跃鹏(217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究 …… 夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究 …… 孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析 …… 杨维,赵文吉,宫兆宁,赵文慧,唐涛(237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究 …… 齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评价 …… 于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)
多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用 …… 霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)
利用DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌 …… 吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响 …… 孟瑶,梁红,高大文(271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响 …… 张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响 …… 霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征 …… 董洪芳,于君宝,管博(288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究 …… 方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究 …… 陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟(302)
无定形 $Fe(OH)_3$ 和 Fe_3O_4 共沉淀态 As 的化学提取 …… 陈义萍,王少锋,贾永锋(308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响 …… 李华,黄建国,袁玲(315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究 …… 段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能 …… 李坤权,李烨,郑正,桑大志(328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究 …… 田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展 …… 侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征 …… 何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征 …… 唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析 …… 任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析 …… 庞博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维(379)
低碳交通电动汽车碳减排潜力及其影响因素分析 …… 施晓清,李笑诺,杨建新(385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究 …… 邓俊,徐琬莹,周传斌(395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施 …… 黄锦楼,陈琴,许连煌(401)
《环境科学》征订启事(26) 《环境科学》征稿简则(68) 信息(76,144,301,400) 专辑征稿通知(394)

区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型

陈丁江[1,2], 孙嗣旸[1], 贾颖娜[3], 陈佳勃[1], 吕军[1,2*]

(1. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058; 2. 浙江大学污染环境修复与生态健康教育部重点实验室, 杭州 310058; 3. 浙江省环境保护科学设计研究院, 杭州 310007)

摘要: 基于流域或区域点源和非点源磷入河过程的水文学差异, 以及影响河流持留作用的主要机制, 建立了 描述河流段末磷负荷量与流量和水温之间定量关系的二元统计模型; 通过 逐月的河流水文水质监测数据对模型中 4 个系数的有效校正和验证, 实现了对点源和非点源磷入河过程的准确定量. 与现行的水文估算法相比, 该模型既考虑了河流磷的持留能力及其时间变异性, 也考虑了上游水体输入的磷负荷量, 推进了对磷污染过程的定量认识, 满足了我国以行政区为主要水污染控制管理单元的现实需要. 应用该模型, 计算了浙江长乐江集水区 2004 ~ 2009 年的 总磷(TP)入河量. 结果表明, TP 年入河总量为 $(54.6 \pm 11.9)\ t \cdot a^{-1}$, 其上游水体输入、点源和非点源的入河量贡献率分别为 5% ± 1%、12% ± 3% 和 83% ± 3%. 夏季 5 ~ 6 月和 8 ~ 9 月的 非点源 TP 累计入河量占其全年的 50% ± 9%, 增加了引起下游水体藻类暴发的风险. 河流 TP 持留量为 $(4.5 \pm 0.1)\ t \cdot a^{-1}$, 占年入河总量的 9% ± 2%; 5 ~ 9 月的 TP 累计持留量占全年的 55% ± 2%, 表明河流持留能力对流域或区域磷素迁移转化过程的调控作用不容忽视. 本研究建立的二元统计模型仅需常规的河流水文水质监测数据, 无需专业软件知识, 且计算结果直接来源于实际的河流水文水质测算值, 为实施流域或区域磷污染总量控制策略提供了一种简便、实用、可靠的定量工具.

关键词: 点源; 非点源; 河流持留能力; 入河量; 二元统计模型; 磷

中图分类号: X52 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2013)01-0084-07

Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources

CHEN Ding-jiang[1,2], SUN Si-yang[1], JIA Ying-na[3], CHEN Jia-bo[1], LÜ Jun[1,2]

(1. College of Environmental Science and Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Key Laboratory of Environment Remediation and Ecological Health, Ministry of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. Environmental Science Research & Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Based on the hydrological difference between the point source (PS) and nonpoint source (NPS) pollution processes and the major influencing mechanism of in-stream retention processes, a bivariate statistical model was developed for relating river phosphorus load to river water flow rate and temperature. Using the calibrated and validated four model coefficients from in-stream monitoring data, monthly phosphorus input loads to the river from PS and NPS can be easily determined by the model. Compared to current hydrological methods, this model takes the in-stream retention process and the upstream inflow term into consideration; thus it improves the knowledge on phosphorus pollution processes and can meet the requirements of both the district-based and watershed-based water quality management patterns. Using this model, total phosphorus (TP) input load to the Changle River in Zhejiang Province was calculated. Results indicated that annual total TP input load was $(54.6 \pm 11.9)\ t \cdot a^{-1}$ in 2004-2009, with upstream water inflow, PS and NPS contributing to 5% ± 1%, 12% ± 3% and 83% ± 3%, respectively. The cumulative NPS TP input load during the high flow periods (i. e., June, July, August and September) in summer accounted for 50% ± 9% of the annual amount, increasing the alga blooming risk in downstream water bodies. Annual in-stream TP retention load was $(4.5 \pm 0.1)\ t \cdot a^{-1}$ and occupied 9% ± 2% of the total input load. The cumulative in-stream TP retention load during the summer periods (i. e., June-September) accounted for 55% ± 2% of the annual amount, indicating that in-stream retention function plays an important role in seasonal TP transport and transformation processes. This bivariate statistical model only requires commonly available in-stream monitoring data (i. e., river phosphorus load, water flow rate and temperature) with no requirement of special software knowledge; thus it offers researchers and managers with a cost-effective tool for quantifying TP pollution processes in both district and watershed scales.

Key words: point source; nonpoint source; in-stream retention capacity; input load to river; bivariate statistical model; phosphorus

由氮、磷等营养物过剩引起的湖库、河口、海岸等水体富营养化是国内外普遍关注的水污染问题

收稿日期: 2012-06-19; **修订日期**: 2012-07-31
基金项目: 国家自然科学基金项目(41001120); "十二五"国家科技支撑计划项目(2012BAC17B01); 浙江大学文科海洋交叉项目
作者简介: 陈丁江(1979 ~), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为流域污染物生物地球化学过程, E-mail: chendj@zju.edu.cn
* 通讯联系人, E-mail: jlu@zju.edu.cn

之一[1~3]. 大量实践证明,实施总量控制是遏制水污染、改善水质的有效手段[4,5]. 然而,总量控制方案的制定首先必须明确到底有多少营养物从陆域进入水体、点源和非点源的贡献率各为多少[6~8]. 河流作为上游流域或区域的营养物向下游水体输送的主要通道[5],使得如何准确计算流域或区域的点源和非点源营养物入河量成为实施总量控制策略所需解决的关键科学问题之一.

理论上,点源营养物入河量可直接采用监测手段获得. 然而,许多企业为了降低治污成本,污水超标排放和偷排现象较为普遍[9,10]. 在许多城镇地区,由于缺乏生活污水集污管网和污水处理厂,使得居民区通常分布着为数众多、排污量小的独立排污口. 因此,由于人力和物力的限制,实际中尚很难对流域或区域内所有的点源进行有效监测. 对非点源营养物入河量的计算目前主要依赖数学模型方法. 降雨量差值法[11]、水文分割法[12,13]、水质水量相关法[14]等水文估算方法是应用较为广泛的模型方法之一. 这类水文估算方法主要基于点源与非点源营养物入河过程的水文学差异而建立的,即点源的营养物入河量稳定且与径流过程无关,而非点源营养物入河量则主要依赖于径流过程. 也有学者基于两类污染源的这一水文学差异,建立了分割河流点源和非点源营养物负荷量的统计模型,解决了其他水文估算法在水文期划分或基流分割过程中存在的主观性问题[15,16]. 总体而言,与输出系数法、机理性模型等其他方法相比[8],水文估算方法不仅所需的数据资料较少(仅需河流水文水质监测数据)、操作简单,而且能同时估算点源和非点源污染引起的河流营养物负荷量及其相对污染贡献率. 相对于我国基础数据资料缺乏的现状而言,这无疑提供了一种较为可行的非点源污染定量方法.

然而,现行的水文估算方法仍存在一定的不足. 一方面,这些水文估算方法往往忽略了河流营养物的持留过程. 河流持留能力是指河流生态系统通过自然生态过程及物质循环作用,将水体中氮、磷、有机物等富营养化物质或有害物质予以吸收、转化、再分配,从而使水体净化的能力[1,4]. 大量研究表明,河流年均氮、磷持留量可占入河总量的1% ~ 80%[6,7,17]. 显然,如果忽略了河流营养物持留过程,计算得到的应为点源和非点源污染引起的河流表观负荷量,即低估了实际的入河量. 由于河流水文生态条件的变化,河流营养物持留能力又存在着显著的季节性差异[4,17,18],因此,现行的水文估算法计算得到的点源和非点源污染相对贡献率也存在较大的误差. 另一方面,由于未考虑上游水体输入的营养物负荷量,使得现行的水文估算方法往往只能适用于流域尺度的研究,却不能适用于区域尺度的研究,很难满足我国以行政区为主要水污染控制管理单元的现实需要. 随着政府和公众对保护水环境的需求增加,许多国家和地区对河流的水文水质监测工作在不断加强,使得仅需河流监测数据的水文估算方法将具有更大的应用潜力. 因此,针对以上的不足,对现行水文估算方法进行必要改进,对推进营养物总量控制策略实施具有重要现实意义.

本研究针对点源和非点源营养物入河量计算问题,取现行水文估算方法之长并对其不足进行必要改进,构建一个能同时适用于流域和区域的、考虑河流磷持留能力的二元统计模型,以期为实施河流营养物总量控制提供简便、实用的定量工具.

1　区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型

根据河段营养物输入-输出平衡原理(图 1),某一研究区域河流出口断面中第 i 月的磷负荷量(L_i, kg·月$^{-1}$)是各点源入河量(P_i, kg·月$^{-1}$)、各非点源入河量(N_i, kg·月$^{-1}$)、上游水体输入(U_i, kg·月$^{-1}$)和支流汇入带来的磷负荷量总和减去由取水渠系带走的磷负荷量(C_i, kg·月$^{-1}$),并经过河流持留过程作用后的最终结果. 由于支流输入的磷负荷量往往也主要来自该区域相应的点源和非点源,故而可不单独考虑. 因此,L_i 可表示为[6,7]:

$$L_i = (P_i + N_i + U_i - C_i)R_i \tag{1}$$

式中,R_i 为第 i 月的河流磷持留因子(无量纲).

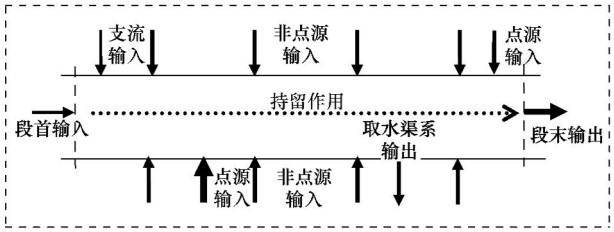

图 1　河段营养物输入-输出平衡示意

Fig. 1　Conceptual diagram of nutrient input-output balance in a river reach

由于非点源污染的发生主要受径流过程的影响,某一区域非点源磷的入河量时间变异性与径流量的变化密切相关[18~21],因而,非点源磷入河量可以近似地表达为河流流量的幂函数[15,16]. 与之相反,来自于工业企业和城镇生活以及大型畜禽养殖场等的点源磷排放量相对稳定,可将一定研究时期

内(即点源磷的排放和污染治理措施无显著变化情况下)逐月的点源磷入河量近似地看成为一个常数[13,15,16,19,22]. 因此,点源和非点源磷入河量分别可以表示为:

$$P_i = A; \quad N_i = BQ_i^C \tag{2}$$

式中,A、B、C 为模型系数(无量纲); Q_i 为第 i 月的平均流量($m^3 \cdot s^{-1}$).

河流营养物持留能力的大小主要取决于河流水体的滞留时间长短、水体与河床的接触面积大小以及水生生物的活性强弱[17,18,21~24]. 由于河流流量的增加不仅降低了营养物参与各种物理作用的几率和生物地球化学反应的时间,而且也减少了单位水体中营养物与河床接触面积,使营养物持留效率呈现随流量增加而降低的趋势[6,17]. 河流水生生物(包括大型水生植物)的生长速率以及各种生物地球化学反应速率均会随着水温的增加而提高,使营养物持留效率呈随水温增加而提高的趋势[4,21~24]. 因此,式(1)中的河流磷素持留因子 R_i 可表示为一个河流流量和水温的单调递减的自然指数函数[7]:

$$R_i = \exp(-Dq_it_i) \tag{3}$$

式中,q_i 和 t_i 分别表示归一化后的河流流量和水温变量(无量纲); D 为模型系数(无量纲). 与水温不同,河流流量与营养物持留能力之间表现为负相关关系,因此,归一化处理前首先对实测的流量值取倒数. 本研究中采用逐月平均流量的倒数和水温分别与研究期内逐月流量的倒数最大值和水温最大值相比的方法,进行数据归一化处理[7].

因此,式(1)可以进一步表示为:

$$L_i = (A + BQ_i^C + U_i - C_i)\exp(-Dq_it_i) \tag{4}$$

式(4)包含4个模型系数,即 A、B、C、D. 系数 A 表示来自研究流域或区域所有点源的磷入河量. 系数 B 表示来自研究区域内所有非点源磷的入河潜力. 系数 C 表示河流流量或径流量对非点源磷入河量的作用大小. 系数 D 表示河流对磷的持留潜力大小. 某一流域或区域在研究时期内对点源和非点源污染调控措施未发生显著变化的情况下,以上4个模型系数可认为是常数. 作为常规监测内容,河流流量、磷浓度以及水温数据获取较为容易. 因此,式(4)实质上是一个含有4个待定系数的、描述河流段末磷负荷量与流量和水温之间定量关系的二元统计模型. 当考虑上游水体输入项 U_i 时,式(4)适用于区域和流域尺度; 当不考虑时,则适用于流域尺度.

本研究采用 Microsoft Excel© 软件中的规划求解模块对二元统计模型系数 A、B、C、D 进行求解. 为了减少求解误差绝对值大小对收敛效率的影响,求解前首先对式(4)左右两边同时取自然对数[7]. 求解的目标函数(O)设为出口断面磷输出负荷量测算值的对数值与模拟值的对数值之间误差绝对值的平均值,根据研究时期内 n 个月的出口断面磷输出负荷量以及流量和水温测算值,并限定各模型系数均大于等于0,求解得到使目标函数 O 达到最小值下的模型系数值:

$$\mathrm{Min}(O) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{abs}[\ln(L_i) - \ln(A + BQ_i^C + U_i - C_i) - Dq_it_i]}{n} \tag{5}$$

2 实例研究

以浙江省嵊州市的长乐江为研究对象[4],河流"源短流急",是我国东南地区农业小流域的典型代表. 本研究河段从位于上游南山水库坝下的河流起始断面至下游雅致桥的出口断面[4,18],集水区面积641 km^2,河长70.5 km,河宽40~70 m,多年平均流量11.8 $m^3 \cdot s^{-1}$,沿河无明显的取水渠系. 2004~2009年[6,18],集水区内的农地(水田、旱地、茶园、苗圃、林地、竹园)、人居地、林地分别占了集水面积的43%±2%、7%±1%、49%±3%,居住人口为(25.7±1.1)万人,农地施用的磷肥量(纯磷)为(1 997±124)$t \cdot a^{-1}$.

2.1 数据来源和分析

2004-01~2009-12,对长乐江干流的起始和段末断面进行了以月为单位的水质监测[4,6,18]. 水样的TP含量采用过硫酸钾消解、钼酸铵分光光度法测定(GB 11893-89). 两个监测断面的逐日流量和月平均水温由浙江省水文局提供. 每个监测日的TP负荷量根据测定的TP浓度与日平均流量乘积获得,从而建立各断面每日的流量与TP负荷量的回归统计方程(起始断面 $R^2 = 0.82^{**}$, $n = 72$; 段末断面 $R^2 = 0.86^{**}$, $n = 72$),再根据河流逐日流量推算两个断面中逐月的累积负荷量[18,21,25]. 由浙江省环境保护科学设计研究院提供的数据资料显示,长乐江集水区内已受监测的11家排污企业和16家规模化畜禽养殖场年均污水排放总量为 200×10^3 $m^3 \cdot a^{-1}$,其中年均TP排放量 <2.0 $t \cdot a^{-1}$.

2.2　模型校验结果

本研究首先采用长乐江 2004 ~ 2007 年逐月的 TP 负荷量、流量、水温数据，根据式(5)，对二元统计模型系数 A、B、C、D 进行了校正，再采用 2008 ~ 2009 年逐月数据进行了验证. 校正得到的模型系数如表 1 所示，河流段末 TP 负荷量的校验结果如图 2 所示. 结果表明，模型对河流 TP 负荷量模拟值能很好地反映测算值的按月变化，两者的决定系数 $R^2 > 0.97^{**}$，Nash-Sutcliffe 系数[7] > 0.90，相对误差 < 10%. 参考已有研究对 SWAT、AGNPS、HSPF 等机制性模型应用结果的总结评价[26]，当河流逐月氮、磷负荷量模拟结果的 Nash-Sutcliffe 系数 > 0.65 时，模型的校验结果为相当满意. 因此，本研究建立的二元统计模型具有较强的数据同化能力，其校验结果可以满足实际研究的需要. 需要指出的是，本实例研究中根据各监测日流量与当日 TP 负荷量之间的回归统计方程推算河流逐月的 TP 负荷量方法[18,21]，由于每月一次的监测结果尚很难反映研究期内所有水文事件的情况(尤其是在河流特别枯水和丰水的情况)，使计算得到的逐月 TP 负荷量存在着一定的误差[25]. 因此，尽管模型的校验结果相当满意，但存在着一定的不确定性. 在今后的研究中，有必要通过提高水质监测频率以提高河流 TP 负荷量的测算精度[25]，从而进一步降低本模型的不确定性. 总体而言，与输出系数法、机制性模型等相比，该模型无需详细的流域性状资料和数据以及专业软件知识，且其模拟结果直接来源于实际的河流水文水质测算值，为我国基础资料缺乏现状条件下实现水污染污染过程定量提供了一种简便、可靠的工具.

表 1　长乐江集水区校正的模型系数、各类源逐年的 TP 入河量以及河流 TP 持留量

Table 1　Calibrated model coefficients, annual TP input load to the river, and in-stream TP retention load in the Changle River catchment

模型系数				TP 入河量/t·a^{-1}				河流 TP 持留量
A	B	C	D	年份	点源	非点源	上游断面	/t·a^{-1}
526.4	306.1	1.01	0.67	2004	6.3	29.1	1.7	4.7
				2005		55.9	3.3	4.4
				2006		37.9	2.2	4.6
				2007		53.0	3.1	4.5
				2008		41.2	2.4	4.5
				2009		56.4	3.4	4.4

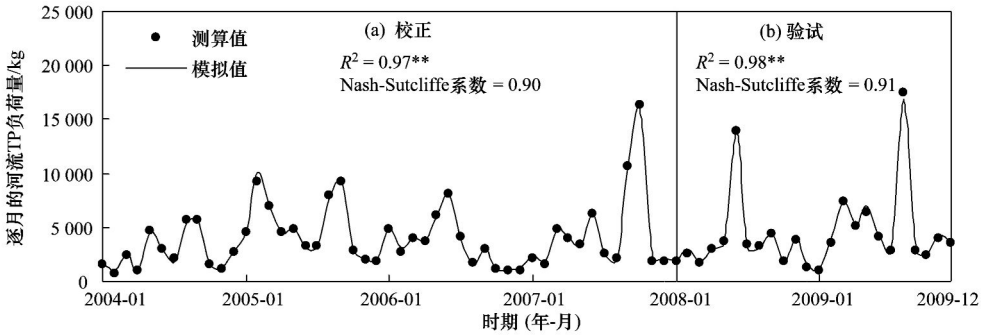

图 2　长乐江集水区应用二元统计模型模拟逐月河流段末 TP 负荷量的校正和验证结果

Fig. 2　Calibration and validation results of the bivariate statistical model for monthly river TP load in the Changle River catchment

2.3　集水区的磷入河量

2004 ~ 2009 年，长乐江集水区 TP 年均入河总量为(54.6 ± 11.9)t·a^{-1}(表 1)，上游断面输入的 TP 负荷量占 5% ± 1%. 尽管本研究中上游断面输入的 TP 负荷量贡献率较小，然而本研究建立的二元统计模型由于考虑了这一输入项，使其能同时满足流域和区域尺度的研究需要，对于我国以行政区为主要水污染控制单元的现状而言具有重要现实意义.

长乐江集水区点源的 TP 年均入河量为 6.3 t·a^{-1}(表 1)，占总入河量的 12% ± 3%. 从逐月的点源 TP 入河量贡献率变化看(图 3)，点源的贡献率随着河流流量的增加而显著降低($R^2 = 0.98^{**}$). 在河流月平均流量 < 4.0 m^3·s^{-1} 的情况下，点源的贡献率 > 30%(图 3)，因此，枯水期控制点源污染仍有必要. 然而，对长乐江集水区内 11 家工业排污企业和 16 家规模化畜禽养殖场的监测结果显示，已监测的点源 TP 年均排放总量 < 2.0 t·a^{-1}，远小于本研究的计算结果，这表明实际中存在着企业超排、

偷排以及生活污水直排等现象. 实地调查结果也表明本研究区内尚无集污管网和相应的污水处理厂,使得沿河的居民区存在着一些独立的生活污水直排口. 随着人们生活水平的提高,家用化粪池在村镇逐渐普及,而这些化粪池往往直接与就近的溪流、沟渠相连,使其成为营养物排放稳定、量少、数量众多的点源[16]. 因此,本研究建立的二元统计模型,能帮助相关管理部门识别可能存在的点源超排、偷排等现象,推进对点源污染的监控.

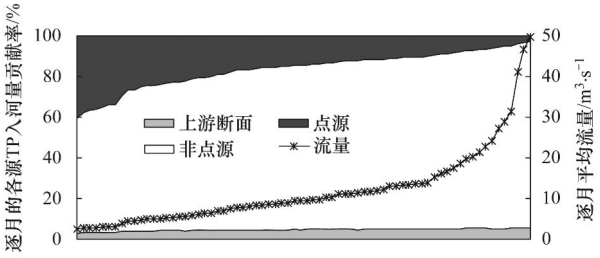

图 3 长乐江集水区河流平均流量增加情况下相应的点源、非点源、上游水体 TP 入河量贡献率月变化趋势

Fig. 3 Changes of monthly TP input contributions for the point source, nonpoint source and upstream inflow with increasing average river water flow rate in the Changle River catchment

长乐江集水区非点源的 TP 年均入河量为 $(45.6 \pm 11.2)\ t \cdot a^{-1}$(表 1),占了总入河量的 83% ±3%,这与实地调查显示长乐江受非点源污染为主的结果相一致[4,6],使得每月的 TP 总入河量分布规律与非点源的相似(图 4). 本模型计算得到的 2004 ~ 2006 年非点源 TP 年均入河量(40.1 $t \cdot a^{-1}$)与采用输出系数法的估算结果 38.3 $t \cdot a^{-1}$ 相接近[4],这也进一步表明了本模型的可靠性. 从每月的变化看,非点源 TP 入河量在夏季 5 ~ 6 月和 8 ~ 9 月的丰水期达到最大值(图 4),这 4 个月的累计入河量占了全年的 50% ±9%. 由于每年 5 ~ 9 月的夏季不仅降雨量集中,产生了较大的营养物入河量,而且水温较高,使得夏季成为我国东南地区下游湖库、河口以及海岸带藻类暴发的主要时期[1~3]. 非点源 TP 入河量的这种时间分布规律无疑增加了引起下游水体藻类暴发的风险. 逐月的非点源 TP 入河量贡献率为 57% ~91%(图 3),且随着流量的增加而显著增加($R^2 = 0.98^{**}$). 因此,非点源是长乐江 TP 污染的关键源,而夏季是 TP 污染控制的关键时期.

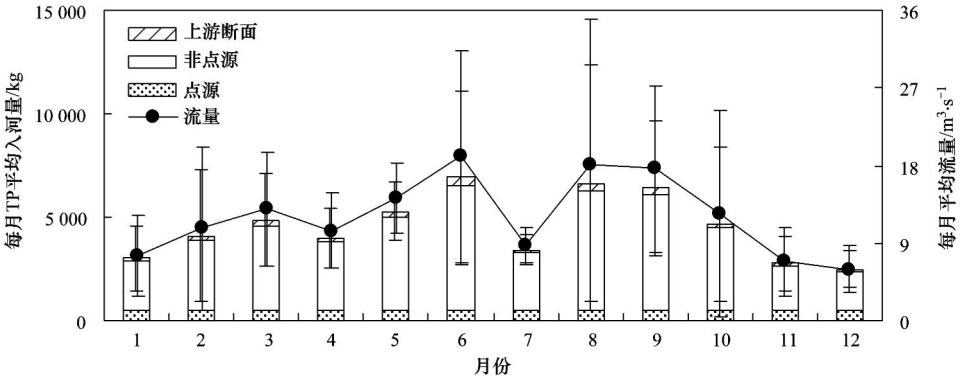

图 4 长乐江集水区点源、非点源、上游水体的 TP 每月平均入河量与河流平均流量的变化关系

Fig. 4 Monthly average TP input loads from the point source, nonpoint source and upstream inflow with changing average river water flow rate in the Changle River catchment

2.4 河流对磷的持留能力

2004 ~2009 年,长乐江年均 TP 持留量为 $(4.5 \pm 0.1)\ t \cdot a^{-1}$,占了 TP 入河量的 9% ±2%,分别与上游水体和点源的 TP 入河量相当(表 1),因此,河流的 TP 持留能力不容忽视. 从每月的分布看(图 5),TP 持留量随着水温的增加而显著增加($R^2 = 0.99^{**}$). 由于河流中包括水生植物在内的水生生物活性及其生长速率和其他反应速率随着温度的增高而提高,促进了对磷的吸收利用[18,21],使得生物吸收利用的部分磷通过食物链传递等方式而最终离开河流生态系统[24]. 因而,河流在每年 5 ~9 月的夏季(大型水生植物生长旺季[18,23])具有较高的 TP 持留量(图 5),其 5 个月的累计持留量占了全年的 55% ±2%,这对缓解下游水体由养分过剩而引起的藻类暴发风险具有现实意义[6,18]. 然而,随着流量的增加,不仅减小了单位水体体积的河床接触面积,而且减少了河流中养分参与各种物理作用几率和生物地球化学反应的时间,从而降低了单位河流养分负荷的持留率[6,17]. 因此,河流逐月的 TP 持留率(r_i,%)随着平均流量(Q_i, $m^3 \cdot s^{-1}$)的增加而显著降低($r_i = 0.527\,9 Q_i^{-0.767\,8}$, $R^2 = 0.70$),且流量的变化能表达 70% 的持留率变异性,这一方面表明由流量增大引起的 TP 入河量增量大于

TP 持留量增量；另一方面，与水温相比，流量是决定 TP 持留率变化的主要因素，使得夏季 5 ~6 月和 8 ~9 月水温较高的丰水期(图 4)具有较低的持留率，从而仍然产生了较大的段末 TP 输出负荷量. 在点源贡献率较大的低流量时期(图 3)，河流具有的较高 TP 持留效率对缓解点源污染具有现实意义. 因此，河流持留能力对流域或区域磷素迁移转化过程具有重要调控作用.

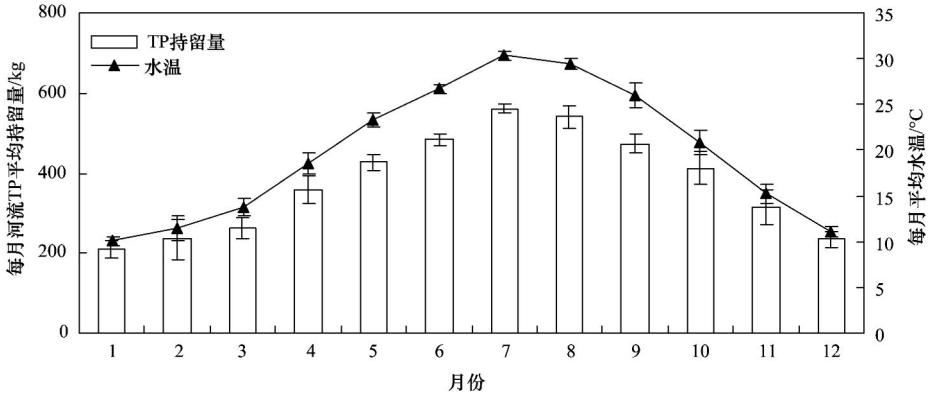

图 5　长乐江集水区每月河流 TP 平均持留量与平均水温的变化关系

Fig. 5　Monthly average in-stream TP retention load with changing average river water temperature in the Changle River catchment

3　结论

(1)建立的二元统计模型仅需常规的河流水文水质监测数据，无需专业软件知识进行求解，且计算结果直接来源于实际的河流水文水质测算值，为研究流域或区域基础资料数据和点源排污监测不足条件下实现非点源污染过程定量、明确点源和非点源污染贡献大小、识别可能存在的点源超排、偷排等现象，提供了一种简便、实用、可靠的方法.

(2)与现行的水文估算法相比，本模型既表达了河流磷持留能力及其时间变异性，也考虑了上游水体输入的影响，不仅深化了对流域或区域磷污染过程的定量认识，而且可以满足我国以行政区为主要水污染控制管理单元的现实需要.

(3)长乐江集水区 TP 年入河总量为(54.6 ± 11.9)$t \cdot a^{-1}$，上游水体、点源和非点源的入河量贡献率分别为 5% ±1%、12% ±3% 和 83% ±3%. 逐月的非点源入河量贡献率均大于 57%，夏季 5 ~6 月和 8 ~9 月的非点源 TP 累计入河量占其全年的 50% ±9%，增加了引起下游水体藻类暴发的风险.

(4)长乐江 TP 持留量为(4.5 ±0.1)$t \cdot a^{-1}$，占年入河总量的 9% ±2%. 每年夏季 5 ~9 月的 TP 累计持留量占全年的 55% ±2%，而点源污染贡献率较大的低流量时期具有较高的 TP 持留率. 河流持留能力在流域或区域磷素迁移转化过程中具有重要调控作用.

致谢：嵊州市农业局和相关乡镇提供了研究区域部分基础数据和资料，本课题组其他成员参与了野外采样和实验分析工作，在此一并致谢.

参考文献：

[1] 陈小锋，揣小明，曾巾，等. 太湖氮素出入湖通量与自净能力研究[J]. 环境科学，2012，**33**(7)：2309-2314.

[2] Chai C，Yu Z M，Song X X，*et al*. The status and characteristics of eutrophication in the Yangtze River (Changjiang) Estuary and the adjacent East China Sea，China[J]. Hydrobiologia，2006，**563**(1)：313-328.

[3] Gao C，Zhang T L. Eutrophication in a Chinese Context：Understanding various physical and socio-economic aspects[J]. AMBIO，2010，**39**(5-6)：385-393.

[4] 陈丁江，吕军，金树权，等. 非点源污染河流的水环境容量估算和分配[J]. 环境科学，2007，**28**(7)：1416-1424.

[5] 陈丁江，吕军，沈晔娜，等. 饮用水水源保护区河流水环境容量计算模型[J]. 环境科学，2008，**29**(9)：2437-2440.

[6] Chen D J，Lu J，Shen Y N，*et al*. Spatio-temporal variations of nitrogen in an agricultural watershed in eastern China：catchment export，stream attenuation and discharge[J]. Environmental Pollution，2011，**159**(10)：2989-2995.

[7] Grizzetti B，Bouraoui F，De Marsily G，*et al*. A statistical method for source apportionment of riverine nitrogen loads[J]. Journal of Hydrology，2005，**304**(1-4)：302-315.

[8] 沈晔娜，吕军，陈军华，等. 水源区河流非点源污染物入河量计算的水质方程反演方法[J]. 环境科学，2010，**31**(8)：1768-1774.

[9] Qian Y，Wen X H，Huang X. Development and application of some renovated technologies for municipal wastewater treatment in China[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering in China，2007，**1**(1)：1-12.

[10] 孙米强，杨忠直. 环境污染治理的博弈分析[J]. 生态经济(学术版)，2006，(2)：108-110.

[11] 蔡明, 李怀恩, 庄咏涛. 估算流域非点源污染负荷的降雨量差值法[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, **33**(4): 102-106.

[12] 施为光, 凌文州. 用实测资料计算流域非点源污染负荷——以四川清平水库为例[J]. 长江流域资源与环境, 1996, **5**(3): 273-277.

[13] 陈友媛, 惠二青, 金春姬, 等. 非点源污染负荷的水文估算方法[J]. 环境科学研究, 2003, **16**(1): 10-13.

[14] 洪小康, 李怀恩. 水质水量相关法在非点源污染负荷估算中的应用[J]. 西安理工大学学报, 2000, **16**(4): 384-386.

[15] Bowes M J, Smith J T, Jarvie H P, *et al*. Modelling of phosphorus inputs to rivers from diffuse and point sources[J]. Science of the Total Environment, 2008, **395**(2-3): 125-138.

[16] Bowes M J, Smith J T, Jarvie H P, *et al*. Changes in point and diffuse source phosphorus inputs to the River Frome (Dorset, UK) from 1966 to 2006[J]. Science of the Total Environment, 2009, **407**(6): 1954-1966.

[17] Alexander R B, Smith R A, Schwarz G E. Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico[J]. Nature, 2000, **403**(6671): 758-761.

[18] Chen D J, Lu J, Wang H L, *et al*. Seasonal variations of nitrogen and phosphorus retention in an agricultural drainage river in East China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2010, **17**(2): 312-320.

[19] 郭胜, 李崇明, 郭劲松, 等. 三峡水库蓄水后不同水位期干流氮 磷时空分异特征[J]. 环境科学, 2011, **32**(5): 1266-1672.

[20] 田耀武, 黄志霖, 肖文发. 三峡库区黑沟小流域非点源污染物输出的动态变化[J]. 环境科学, 2011, **32**(2): 423-427.

[21] May L, House W A, Bowes M, *et al*. Seasonal export of phosphorus from a lowland catchment: upper River Cherwell in Oxfordshire, England[J]. Science of the Total Environment, 2001, **269**(1-3): 117-130.

[22] Edwards A C, Withers P J A. Transport and delivery of suspended solids, nitrogen and phosphorus from various sources to freshwaters in the UK[J]. Journal of Hydrology, 2008, **350**(3-4): 144-153.

[23] Wagenschein D, Rode M. Modelling the impact of river morphology on nitrogen retention-a case study of the Weisse Elster River (Germany)[J]. Ecological Modelling, 2008, **211**(1-2): 224-232.

[24] Ostroumov S A. On some issues of maintaining water quality and self-purification[J]. Water Resources, 2005, **32**(3): 305-313.

[25] Johnes P J. Uncertainties in annual riverine phosphorus load estimation: Impact of load estimation methodology, sampling frequency, baseflow index and catchment population density[J]. Journal of Hydrology, 2007, **332**(1-2): 214-258.

[26] Borah D K, Bera M. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: revivers of application[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2004, **47**(3): 789-803.

HUANJING KEXUE Vol. 34 No. 1
Environmental Science (monthly) Jan. 15, 2013

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China ····· DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, *et al.* (1)
Compositions of Organic Acids in PM_{10} Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere ····· YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, *et al.* (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong ····· LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, *et al.* (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO_x and SO_2 from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption ····· WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region ····· WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, *et al.* (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer ····· CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, *et al.* (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane ····· ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, *et al.* (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea ····· WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010 ····· YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, *et al.* (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters ····· LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, *et al.* (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data ····· GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, *et al.* (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave ····· XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, *et al.* (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources ····· CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, *et al.* (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River ····· LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, *et al.* (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River ····· JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, *et al.* (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir ····· ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, *et al.* (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir ····· LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River ··· ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, *et al.* (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay ····· LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, *et al.* (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin ····· LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, *et al.* (137)
Isolation and Identification of *Marinobacter adhaerens* HY-3 and Its Allelopathy on *Skeletonema costatum* ····· WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, *et al.* (145)
Effects of the Rice Straw on *Microcystis aeruginosa* Analyzed by Different Physiological Parameters ····· SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, *et al.* (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of *Chlorella pyrenoidosa* ····· GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, *et al.* (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility ····· WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, *et al.* (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process ····· HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, *et al.* (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors ····· XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, *et al.* (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron ····· ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO_2 on Malachite Green ····· ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant ····· WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, *et al.* (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge ····· LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, *et al.* (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N_2O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge ····· HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of *Acidithiobacillus ferrooxidans* ····· XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, *et al.* (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu^{2+} and Cd^{2+} Biosorption by *Stenotrophomonas maltophilia* ····· BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, *et al.* (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides ····· XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, *et al.* (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina ····· MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, *et al.* (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City ····· YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, *et al.* (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing ····· QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, *et al.* (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment ····· YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, *et al.* (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA) ····· HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, *et al.* (257)
Isolation of Quizalofop-*p*-ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony *in situ* Hybridization ····· LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, *et al.* (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions ····· MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon ····· ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, *et al.* (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC ····· HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, *et al.* (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in *Suaeda salsa* Wetland in the Yellow River Delta ····· DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland ····· FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, *et al.* (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil ····· CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, *et al.* (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous $Fe(OH)_3$ and Fe_3O_4 ····· CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi ····· LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions ····· DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, *et al.* (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons ····· LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, *et al.* (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis ····· TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, *et al.* (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor ····· HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, *et al.* (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing ····· HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, *et al.* (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient ····· TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, *et al.* (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City ····· REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, *et al.* (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou ····· PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, *et al.* (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors ····· SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing ····· DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands ····· HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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）

2013 年 1 月 15 日　34 卷　第 1 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 34　No. 1　Jan. 15, 2013

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） 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	**Co-Sponsored** by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection 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 北京市 2871 信箱（海淀区双清路 18 号，邮政编码：100085） 电话：010-62941102，010-62849343 传真：010-62849343 E-mail：hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn	**Edited** by	The Editorial Board of Environmental Science（HUANJING KEXUE） P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel：010-62941102, 010-62849343; Fax：010-62849343 E-mail：hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn
出　版	科学出版社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717	**Published** by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, 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 电话：010-64017032 E-mail：journal@mail.sciencep.com	**Distributed** by	Science Press Tel：010-64017032 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 （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：90.00 元　　**国外发行代号**：M 205

国内外公开发行