

# 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, 张烨 (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)

# HSPF 水文水质模型应用研究综述

李兆富<sup>1</sup>, 刘红玉<sup>2</sup>, 李燕<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

**摘要:** HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 模型采用 FORTRAN 语言编写, 以 Stanford 水文模型为基础, 能够综合模拟径流、土壤流失、污染物传输、河道水力等过程, 并大量应用于气候变化与土地利用变化的流域水环境效应情景模拟。该模型是半分布式水文水质模型的优秀代表, 在国外得到广泛的应用。HSPF 模型包括 PERLND、IMPLND 与 RCHRES 等 3 个主要模块, 分别实现对透水地段、不透水地段与地表水体的水文水质模拟。总体来看, HSPF 模型在国外水文、水质过程模拟, 以及涉及气候变化和土地利用影响的情景分析中发挥重要作用, 但是国内该模型的应用非常有限。HSPF 模型存在的主要问题包括: ①模型中某些方案和算法还有改进和完善的空间; ②模型对数据输入要求较高, 模拟的精度受到空间和属性等数据的限制; ③模型只限于均匀混合的河流、水库和一维水体模拟, 对于复杂流域或水体的模拟研究, 需要与其它模型整合以解决更加综合的问题。目前, 针对发展与完善 HSPF 模型的研究仍在继续, 包括模型平台开发、模型功能扩展、模型校正方法研究、参数敏感性研究等方面。随着我国基础数据的积累及共享程度的提高, HSPF 模型在我国的应用也将更加广泛。

**关键词:** HSPF 模型; 水文水质模拟; 非点源污染; 土地利用; 气候变化; 流域

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2217-07

## Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes

LI Zhao-fu<sup>1</sup>, LIU Hong-yu<sup>2</sup>, LI Yan<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Hydrological Simulation Program-FORTRAN (HSPF), written in FORTRAN, is one of the best semi-distributed hydrology and water quality models, which was first developed based on the Stanford Watershed Model. Many studies on HSPF model application were conducted. It can represent the contributions of sediment, nutrients, pesticides, conservatives and fecal coliforms from agricultural areas, continuously simulate water quantity and quality processes, as well as the effects of climate change and land use change on water quantity and quality. HSPF consists of three basic application components: PERLND (Pervious Land Segment), IMPLND (Impervious Land Segment), and RCHRES (free-flowing reach or mixed reservoirs). In general, HSPF has extensive application in the modeling of hydrology or water quality processes and the analysis of climate change and land use change. However, it has limited use in China. The main problems with HSPF include: ① some algorithms and procedures still need to revise, ② due to the high standard for input data, the accuracy of the model is limited by spatial and attribute data, ③ the model is only applicable for the simulation of well-mixed rivers, reservoirs and one-dimensional water bodies, it must be integrated with other models to solve more complex problems. At present, studies on HSPF model development are still undergoing, such as revision of model platform, extension of model function, method development for model calibration, and analysis of parameter sensitivity. With the accumulation of basic data and improvement of data sharing, the HSPF model will be applied more extensively in China.

**Key words:** HSPF model; simulation of hydrology and water quality; nonpoint source pollution; land use; climate change; watershed

近年来,许多国家已证实农业非点源污染是导致水污染的主要原因之一,非点源污染成为继点源污染之后国际环境问题研究的活跃领域。非点源污染具有分散性、隐蔽性、随机性、不易监测和难以量化等特征,使得对其研究和管理难度较大<sup>[1]</sup>。但它与降雨径流、土壤侵蚀、化学物质迁移等流域水文过程有不可分割的关系,因此对非点源污染的量化研究最为有效的方法是建立模型,进行时间和空间序列上的模拟。自 20 世纪 70 年代,国外就建立了如 NPS、ARM、STORM、ACTMO 模型及 USLE 方程等非

点源污染计算模型; 20 世纪 90 年代后又建立了 HSPF、AGNPS、SWAT、CREAMS、ANSWERS 等模型<sup>[2]</sup>。其中, HSPF 模型是半分布式综合模型的优秀代表,在国外应用广泛<sup>[3]</sup>,但在我国应用较少,仅在少数地区有应用研究<sup>[4~12]</sup>。HSPF 模型是在 1966 年

收稿日期: 2011-09-20; 修订日期: 2011-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171071, 40701174); 江苏省自然科学基金项目(BK200920953); 江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介: 李兆富(1977~),男,博士,副教授,主要研究方向为流域非点源污染、资源利用与环境效应, E-mail: lizhaofu@njau.edu.cn

SWM(Stanford Watershed Model) 斯坦福模型<sup>[13]</sup>基础上发展起来的,经过不断地发展完善已日臻成熟,它不仅能模拟流域内长时间连续的水文和水力过程,也能模拟流域非点源污染和点源污染的演进过程<sup>[14]</sup>,被美国环保署列为推荐模型,广泛用于区域的水资源水环境模拟. 本文旨在介绍 HSPF 模型结构与功能,综述该模型在国内外应用发展以及存在问题,并对模型发展研究进行展望.

## 1 HSPF 模型结构与主要功能

HSPF 模型以 BASINS(Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources) 系统<sup>[15]</sup>为系统平台,能够解决不同时空尺度下点源、非点源污染问题,并且与 Windows 结合成易于操作的 WinHSPF 应用界面. 模型的结构与功能如图 1 所示. 模型主要模块包括透水地段水文水质模块(PERLND)、不透

水地段水文水质模拟模块(Implnd)、以及地表水体水文水质模拟模块(RCHRES). 3 个模块又可按照功能分为若干子模块,各功能模块之间,按一定的层次排列,实现对径流和泥沙、BOD、DO、氮、磷、农药等污染物的迁移转化和负荷的连续模拟. 其中 PERLND 模块适宜于 HSPF 模型的子流域透水部分(耕地、园地、林地等),径流通过坡面流或者其它方式汇入河流或水库中,从而实现该地段水、颗粒沉积物、化学污染物、有机物质的运移. Implnd 模块解决不透水地段(建设用地)水文水质过程模拟. RCHRES 模块模拟单一开放式河流、封闭式渠道或湖泊、水库等水体. 水流以及其它化学元素均为单向流动,入口物质一部分到达出口,余下的滞留;出口接纳既包括入口水流携带的物质,也包括该段流域经溶解、冲刷重新加入的物质. 该复杂过程构成了首尾连成一体的地表水体水文水质模拟模块<sup>[16]</sup>.

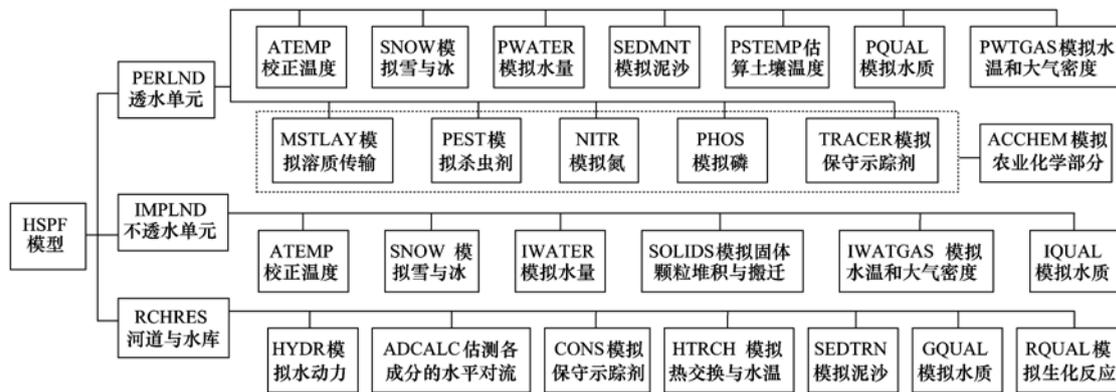


图 1 HSPF 模型结构与功能<sup>[14,16]</sup>

Fig. 1 Structure and function chart of HSPF

除了模型核心组分 WinHSPF, GIS 集成分析工具(BASINS GIS)、工具分析软件(WDMUtil)、决策支持分析工具(GenScn)等做为支撑部分用于模型数据准备与模拟结果分析. 目前, BASINS 采用了开源的 MapWindow 作为 GIS 平台,将 GIS 核心插件与模型整合起来,自动叠加和处理 DEM、土壤、土地利用数据,表征地形、覆被特性,并设定参数,提取河段信息,完成水文响应单元准备,为 HSPF 模型提供完备的空间属性数据信息; WDMUtil 程序主要用于时间序列文件的检验、运行以及 WDM 文件的生成,是气象水文时间序列数据的有效分析处理工具; 决策支持分析工具 GenScn (Generation and Analysis of Model Simulation Scenarios) 是一项人机交互数据处理模型——“产生模拟情景分析模型”. 该工具交互式提供改变输入序列的能力、运行水文模型、观察绘

图形式的结果,用于对输出结果的分析整理和数据的宏观把握,在模型参数调整和情节分析时作为主要参考<sup>[14,16]</sup>.

## 2 国内外 HSPF 模型应用研究进展

HSPF 模型是目前综合模拟径流、土壤流失、污染物传输、河道水力等过程,以及水温、泥沙传输、营养物和化学物相互反应的流域非点源污染模拟模型之一. 模型的模拟结果是径流、沉积物输送、营养物、农药及用户定义的污染成分浓度过程的时间序列、以及流域内某一点水量、水质的时变过程<sup>[2]</sup>. HSPF 模型可以用于连续模拟透水地面、不透水地面、河流或完全混合型湖泊水库的水文和水质过程,并可以设定多种情景,对气候变化与土地利用变化引起的水文水质过程变化进行很好的模拟,为分析人类活

动与全球气候变化导致的水环境效应提供方法。

## 2.1 水文过程与情景变化模拟

斯坦福流域水文模型是世界上最早研制成功的优秀水文模型, HSPF 以 Stanford 水文模型为基础, 具有强大的水文过程模拟功能。研究者利用 HSPF 模型对降雨径流为主的水文过程, 气候变化以及土地利用变化对水文过程的影响开展了很多研究。

许多研究表明, HSPF 模型在不同地区的水文过程模拟中均有很好的表现。Alarcon 等<sup>[17]</sup> 利用 HSPF 模型模拟墨西哥湾北部 Mobile Bay 流域的水文过程, 结果表现很好。HSPF 模型比 FLO-2D 模型在模拟洪峰流量和径流退水周期方面表现较好<sup>[18]</sup>。Hayashi 等<sup>[19]</sup> 成功整合 HSPF 与 PRM (Paddy Runoff Model) 和 LDM (Lake Discharge Model) 模型, 进行了长江流域中下游地区的日径流模拟。Tzoraki 等<sup>[20]</sup> 尝试用 HSPF 模型描述喀斯特流域水文。Kourgialas 等<sup>[21]</sup> 也利用 HSPF 模型模拟了一个洪水频发的喀斯特河流流域的地表和地下水径流水文过程, 模拟结果和野外观测数据具有很好的一致性。Diaz-Ramirez 等<sup>[22]</sup> 研究表明, HSPF 能够用来模拟热带岛屿河流流域水文和泥沙输移过程。

气候变化与土地利用变化对水文过程影响显著, HSPF 可以模拟多种气候、土地利用变化情景对不同水文过程的影响。Göncü 等<sup>[23]</sup> 利用 HSPF 模拟表明, 气候变化将导致土耳其西部河流、水库及流域的降雨径流季节变化更加显著。Choi 等<sup>[24]</sup> 将土地利用变化模型与 HSPF 模型衔接起来, 定量预测流域尺度河道径流对未来城市扩张的响应。Ferrari 等<sup>[25]</sup> 利用 HSPF 模拟矿区开矿增加对洪水的影响, 结果显示洪水规模线性增加。Cho 等<sup>[26]</sup> 使用 HSPF 和 MODFLOW, 模拟 Virginia 流域 8 种土地利用情景对地下水位和河道径流的影响。Al-Abed 和 Abdulla<sup>[27,28]</sup> 等使用 HSPF 模型模拟约旦干旱地区 Zarqa 河流域的水文过程, 评价半干旱流域潜在的降雨与气温变化对水平衡的影响, 进一步分析不同管理措施和气候变化情景对流域水资源的影响。

## 2.2 水质过程模拟与情景分析

HSPF 是少数几个综合流域水文和水质模拟模型之一, 能够模拟来自透水地面、不透水地面的泥沙、营养盐、农药、粪大肠菌群的贡献, 以及在河道和充分混合水体连续水量、水质过程。如 Ribarova 等<sup>[29]</sup> 以保加利亚 Iskar 河为例, 研究表明 HSPF 模型对预测首次洪水营养盐浓度有很好的表现。Chang 等<sup>[30]</sup> 利用 HSPF 模型和实测数据研究了台湾一个

山地流域的水质和非点源污染负荷, 表明大部分参数浓度雨季较高, 尤其是次降雨事件对 P 输出贡献较高。Hunter 等<sup>[31]</sup> 研究了澳大利亚 Great Barrier Reef 河流域土地利用对悬浮物、氮、磷输出通量的影响。Alarcon 等<sup>[32]</sup> 利用 HSPF 模型估算了河道流量及 TN、TP 浓度, 进而分析密西西比滨海地区水文估算结果对土地利用数据及地形的尺度依赖性及敏感性。Duan 等<sup>[33]</sup> 利用 GIRAS 和 NLCD 两种土地利用数据, 使用 HSPF 模拟 Saint Louis 湾土地利用变化对水文和水质参数的影响, 林地减少与裸地增加导致土壤侵蚀加剧, 径流泥沙输出增大, 水质恶化。Lee 等<sup>[34]</sup> 研究表明 HSPF 在城市、农业、林地等单一及复合的土地利用小流域水质模拟中均有很好的表现。Mishra 等<sup>[35]</sup> 研究表明, HSPF 模型在模拟印度某小流域非点源污染物损失模拟中表现很好。Isleib 等<sup>[36]</sup> 选择在波多黎各的 Lake Loiza 和 Lake La Plata 两湖以及流域, 模拟 4 个小的子流域磷和粪大肠杆菌, 研究能否用于检验大尺度流域的假设。Jia 等<sup>[37]</sup> 应用 GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) 方法分析 HSPF 模拟水文和粪大肠菌群在 Moore's Creek 的迁移。Liu 等<sup>[38]</sup> 使用 HSPF 模型, 研究了小流域滨岸带土地利用变化对水文水质的定量影响。结果显示 60 m、90 m、120 m 的滨岸森林或湿地缓冲区能够使年径流量减少 0.26% ~ 0.28%, 硝态氮和亚硝态氮排放减少 2.9% ~ 6.1%, 总磷排放减少 3.2% ~ 7.8%, 研究表明 HSPF 是模拟滨岸带土地利用变化非点源的有效工具。

HSPF 不仅可以很好地模拟自然历史气候及次降雨过程、不同人类土地利用活动条件的水质过程, 而且可以方便地结合气候变化情景模型与土地利用变化模型, 模拟不同情景及管理措施对水质过程的影响。如 Praskievicz 等<sup>[39]</sup> 使用 HSPF 设定了 8 种气候变化情景、2 种土地利用变化情景、4 种综合情景分别模拟气候变化与土地利用变化对水文、泥沙、营养盐输出的影响。Göncü 等<sup>[40]</sup> 利用 HSPF 模拟流域气候变化对悬浮态和溶解态水质要素的影响, 气候变化情景采用 GCM (General Circulations Models) 模拟结果。其研究结果可以为流域管理者制定未来规划和决策不同植被类型分布提供依据, 同时也表明 HSPF 是用于模拟气候变化对水文和水质过程影响的有力工具。Chung 等<sup>[41]</sup> 使用 HSPF 模型和多标准决策技术, 进行可持续性水管理优化。EPA ORD 在美国的 20 个主要河流流域, 使用 HSPF 和 SWAT 模型评价气候变化和城市化对水文和水质的影

响<sup>[42]</sup>. Sun 等<sup>[43]</sup>利用 HSPF 模型估算了滇池地区 Chaida 河流域 TN、TP、SS 的总负荷和非点源负荷,并对减少化肥使用和退耕还林等措施对削减 TN、TP、SS 负荷的效果进行了情景分析.另外,HSPF 被证明能够用于模拟含有大坝及复杂土地利用流域过程和 BMPs 评价,如 Jung 等<sup>[44]</sup>利用 HSPF 估算包含大坝运作和控制 NPS 污染的 BMPs 情景的流域污染物负荷.

### 3 HSPF 模型存在问题与研究展望

#### 3.1 模型存在问题

##### 3.1.1 HSPF 模型内部算法问题

任何模型都不是完美的,仅是现实世界的逼近.HSPF 模型依赖于很多经验关系来表达物理过程,其中的某些方案或算法仍然有改进和完善的空间. Bai<sup>[45]</sup>以模拟水温、溶解氧、示踪剂为例,研究了 HSPF 模型中的对流方案(advection scheme)的质量守恒和恒久不变条件对模型应用的影响. Liu 等<sup>[46]</sup>比较了 HSPF 中的 PQUAL/IQUAL 和 AGCHEM 的 2 种营养盐算法,结果认为,与 AGCHEM 模块相比,PQUAL/IQUAL 算法只是一个简单的负荷算法,不能表达土壤营养盐过程,也不能模拟土壤中营养盐物质交互作用;而 AGCHEM 则能明确地表达土壤中全部的营养盐过程,如施肥、大气沉降、粪肥使用、植物吸收过程、以及转化过程.因此,AGCHEM 模块能评价多样的管理活动,模拟营养物质的交互作用.

##### 3.1.2 HSPF 模型输入数据及参数敏感性分析

HSPF 模型模拟需要大量的空间数据和属性数据,尤其是土地利用数据、高程数据以及气象数据.不同来源的时空数据输入 HSPF 模型,必然会得到不同的结果.对不同来源数据模拟结果的分析,有助于检验模型的可用性和模拟结果对数据的敏感性. Alarcon 等<sup>[47]</sup>以 Mississippi Gulf 的 2 个滨海流域为例,以 USGS DEM、NED、NASA's SRTM、IFSAR 等 4 种高程数据(分辨率各为 300、30、30、5 m)和 USGS GIRAS、NLCD、NASA MODIS MOD12Q1 等 3 种土地利用数据(分辨率各为 400、30、1 000 m)为数据源,研究土地利用和 DEM 分辨率和尺度对河道径流的影响,结果显示 HSPF 估算的河道径流对尺度和数据库的空间分辨率不敏感. Diaz-Ramirez 等<sup>[48,49]</sup>使用 HSPF 模型,选择农业用地为主流域,以 GIRAS、MODIS MOD12Q1、NLCD 等 3 种土地利用数据源,研究土地利用特征对水文和泥沙模拟的影响.结果表明,不同数据库,农业用地特征的差异显示,

泥沙预测比径流预测对土地利用数据集的尺度和分辨率更敏感.不同土地利用数据集也将潜在影响其它与农业活动相关的水质要素. Duan<sup>[50]</sup>选择密西西比滨岸流域的 Wolf 河流域和 Jordan 河流域,研究探索了 HSPF 模型对流域地貌特征的敏感性,结果表明,地形较平的 Wolf 河流域在模拟径流、水温、溶解氧等参数时具有较好的模拟效果.

HSPF 模型对河流流量预测的精度,受到模型所包含的分散的气象数据的影响. NLDAS 以其高空间和时间分辨率,提供了 NOAA 国家气候数据中心站数据的替代品.使用 NLDAS1/8 度小时降雨和蒸散发数据,在 Chesapeake Bay 地区的 7 个流域,对 HSPF 河道流量预测改进.研究结果表明,当 NLDAS 的降雨和蒸散发数据整合到 BASINS 中以后,其中的 5 个流域日河道径流预测有所改进.当流域的气象站很远或不属于类似的气候区域时,使用 NLDAS 数据的改进更明显.使用 NLDAS 分析的相关系数 > 0.8, Nash-Sutcliffe(NS)模型拟合效率 > 0.6,水平衡的误差 < 5%.还发现,河道流量模拟的改进主要来自于 NLDAS 的降雨数据,而蒸散发数据的改进效果不明显. NLDAS 蒸散发数据改进了基流的预测.表明 NLDAS 数据具有改进河流流量预测的潜力,进而有助于 EPA 非点源水质评价决策工具的水质评价<sup>[51,52]</sup>.

HSPF 模拟需要大量的参数,要想得到准确的模拟结果,模型需要广泛的校准,而且模型不同参数组合可能会得到相同的模拟结果.参数不确定性问题几乎是所有模型存在的问题,因此模型应用需要较高的专业知识水平. Patil 等<sup>[53]</sup>整合了 Rosenblueth 方法和敏感性分析,通过 HSPF 模型的参数和结构,研究 HSPF 模型参数不确定性传播. Iskra 等<sup>[54]</sup>针对 HSPF 模型,采用 3 种不确定性方法,18 个参数,比较分析 HSPF 模型不确定性.

##### 3.1.3 HSPF 模型功能及扩展问题

由于模型本身的限制,有些问题不能单靠某个特定的模型完成,需要模型的综合或者二次开发. HSPF 模型限于均匀混合的河流、水库和一维水体模拟.因此对于复杂流域或水体的模拟研究,需要将 HSPF 与其它模型整合以解决更加综合的问题. Xu 等<sup>[55]</sup>综合利用 HSPF 与 CE-QUAL-W2 模型,使用链接方法将上游土地利用变化与下游水质直接关联起来,通过模型校正与检验,很好地模拟了美国弗吉尼亚河流与水库复杂流域的水文和水质过程,并利于评价流域管理规划和对决策制定过程的理解. Liu

等<sup>[56,57]</sup>整合 HSPF、EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code)、WASP (Water Quality Analysis Simulation Program)模型,在 St. Louis Bay 的 3 个支流,研究了 2 种关键径流条件下的氮动态。结果表明,上游支流干旱气候条件下洪峰 TN 平均浓度较高,因此制定 TMDL 时,应以干旱气象条件为准。Jeon 等<sup>[58]</sup>改进 HSPF 模型单一河段分割,对每个子流域分割多河段,模拟稻田 BOD<sub>5</sub> 浓度,研究结果表明,当上游有点源污染输入时,对子流域进行多河段分割很有意义。

### 3.2 研究展望

#### 3.2.1 HSPF 模型研究方向展望

HSPF 模型已经在以美国为主的世界多个国家或地区得到了大量的应用。可以预见,其应用与研究将会越来越广泛。纵观已有研究进展,HSPF 模型将来研究有 2 个主要方向。

一方面,针对发展与完善 HSPF 模型的研究仍将继续,包括模型平台开发、模型功能扩展、模型校正方法研究、参数敏感性研究等方面。目前,HSPF 模型由 EPA 和 USGS 共同支持,以 BASINS 为基础的模型平台在各方面将不断完善。BASINS 空间数据处理最初由 ESRI 公司的 ArcView GIS 支持,现在 BASINS 4.0 版本已改为开源的 MapWindow GIS,将更利于平台功能的开发。HSPF 模型内部结构、功能,也有待于进一步评价检验与拓展;由于模型所需的参数数量很大,不同模拟过程所需参数的敏感性评价研究将对模型使用效率具有重要意义。

另一方面,HSPF 模型的应用研究将会更加广泛。HSPF 模型将在不同的国家和地区,针对气候变化、土地利用变化等多种自然过程或人类活动对水文、水质的影响,以及流域或地区水资源、水环境综合管理问题解决等方面有更多的应用。模型将从模拟单一土地利用变化或气候变化情景,扩展到复杂土地利用、多种气候变化情景及组合,从模拟一维河流流域到河道-水库-湿地组合复杂流域系统,针对分钟-小时-日-月-季-年等多种时间步长、大中小不同空间尺度流域水文水质自然过程,以及人类管理措施的效用评价等水环境综合问题开展应用研究。模型的时空尺度适应性、解决流域系统综合问题的能力等方面都将大大提高。

#### 3.2.2 HSPF 在我国的应用及展望

HSPF 模型在我国应用相对较少,只是近几年在云南滇池流域<sup>[4,5]</sup>、河北大阁河流域<sup>[7]</sup>、广东西丽水库流域<sup>[6]</sup>、东江流域<sup>[9]</sup>等地进行了少量应用研

究。研究结果表明,HSPF 模型在流域水文过程模拟,氮、磷、SS、BOD、DO 等水质要素模拟方面均有较好的表现。普遍存在的问题是,HSPF 模型对输入数据要求较高,需要有连续降雨、蒸发等时间序列数据,同时也要有相应的连续水文水质监测数据来校正模型。因此,我国各地区数据相对短缺的现实,是限制 HSPF 模型在我国广泛应用的主要原因。另外,由于 HSPF 模型基于美国国情开发,在我国应用时,不可避免地具有引进国外模型应用中存在的共性问题。土壤数据、土地利用数据、气象数据的分类、格式等方面都需要进行相应的调整,增加模型输入数据与参数的不确定性分析也是提高 HSPF 模型在我国应用精度的重要环节。

将来随着我国气象、水文、水质数据基地的增多,及其土地利用数据、土壤数据、植被数据等基础空间数据开放共享程度增大,加上不同地区野外实测数据的积累,模型数据限制问题将逐渐弱化。HSPF 模型在流域水文水质过程模拟及水环境管理综合问题的能力将逐渐显现,模型在我国的应用也将更加广泛。

#### 参考文献:

- [1] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶. 非点源污染的管理及控制[J]. 环境科学, 1998, 19(5): 87-91, 96.
- [2] 郝芳华,李春晖,赵彦伟,等. 流域水质模型与模拟[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2008. 260-271.
- [3] Yang Y S, Wang L. A review of modelling tools for implementation of the EU water framework directive in handling diffuse water pollution [J]. Water Resources Management, 2010, 24(9): 1819-1843.
- [4] 邢可霞,郭怀成,孙延枫,等. 基于 HSPF 模型的滇池流域非点源污染模拟[J]. 中国环境科学, 2004, 24(2): 229-232.
- [5] 邢可霞,郭怀成,孙延枫,等. 流域非点源污染模拟研究—以滇池流域为例[J]. 地理研究, 2005, 24(4): 549-558.
- [6] 梅立永,赵智杰,黄钱,等. 小流域非点源污染模拟与仿真研究—以 HSPF 模型在西丽水库流域应用为例[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 64-70.
- [7] 薛亦峰,王晓燕,王立峰,等. 基于 HSPF 模型的大阁河流域径流量模拟[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(10): 103-107.
- [8] 薛亦峰,王晓燕. HSPF 模型及其在非点源污染研究中的应用[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2009, 30(3): 61-65.
- [9] 石赞赞,董延军,李杰,等. 东江流域土地覆被变化的水文响应模拟研究[J]. 人民珠江, 2009, (6): 27-30.
- [10] 张哲. HSPF 水文模型机理及应用研究—以河北太行山区绿化方案制订为例[D]. 石家庄:河北师范大学, 2007.
- [11] 薛亦峰. 基于 HSPF 模型的潮河流域非点源污染模拟研究[D]. 北京:首都师范大学, 2009.
- [12] 刘仙. 基于 BASINS/HSPF 模型的岩溶槽谷区地下水模拟研

- 究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [13] Crawford N H, Linsley R K. Digital simulation in hydrology: stanford watershed model IV[R]. Stanford University Technical Report No. 39. Palo Alto, CA; Stanford University, 1966.
- [14] 董延军, 李杰, 郑江丽, 等. 流域水文水质模拟软件(HSPF)应用指南[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2009. 1-3.
- [15] Lahlou M, Shoemaker L, Choudhury S, *et al.* Better assessment science integrating nonpoint sources – BASINS 2.0 user's manual [R]. EPA-823-B98-006, U. S. E. P. A. Washington, DC; Office of Water, 1998.
- [16] Bicknell B R, Imhoff J C, Kittle J L, *et al.* HSPF version 12.2 user's manual[R]. 2005.
- [17] Alarcon V J, McAnally W, Diaz-Ramirez J, *et al.* A hydrological model of the Mobile river watershed, southeastern USA [J]. Computational Methods in Science and Engineering, 2009, **1148** (1): 641-645.
- [18] Hsu S M, Chiou L B, Lin G F, *et al.* Applications of simulation technique on debris-flow hazard zone delineation; a case study in Hualien County, Taiwan[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2010, **10**(3): 535-545.
- [19] Hayashi S, Murakami S, Xu K Q, *et al.* Daily runoff simulation by an integrated catchment model in the middle and lower regions of the Changjiang basin, China [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2008, **13**(9): 846-862.
- [20] Tzoraki O, Nikolaidis N P. A generalized framework for modeling the hydrologic and biogeochemical response of a Mediterranean temporary river basin[J]. Journal of Hydrology, 2007, **346**(3-4): 112-121.
- [21] Kourgialas N N, Karatzas G P, Nikolaidis N P. An integrated framework for the hydrologic simulation of a complex geomorphological river basin[J]. Journal of Hydrology, 2010, **381**(3-4): 308-321.
- [22] Diaz-Ramirez J N, Perez-Alegria L R, McAnally W H. Hydrology and sediment modeling using BASINS/HSPF in a tropical island watershed[J]. Transactions of the ASABE, 2008, **51**(5): 1555-1565.
- [23] Göncü S, Albek E. Modeling climate change effects on streams and reservoirs with HSPF [J]. Water Resources Management, 2010, **24**(4): 707-726.
- [24] Choi W, Deal B M. Assessing hydrological impact of potential land use change through hydrological and land use change modeling for the Kishwaukee River basin (USA)[J]. Journal of Environmental Management, 2008, **88**(4): 1119-1130.
- [25] Ferrari J R, Lookingbill T R, McCormick B, *et al.* Surface mining and reclamation effects on flood response of watersheds in the central Appalachian Plateau region [J]. Water Resources Research, 2009, **45**: W04407.
- [26] Cho J, Barone V A, Mostaghimi S. Simulation of land use impacts on groundwater levels and streamflow in a Virginia watershed[J]. Agricultural Water Management, 2009, **96**(1): 1-11.
- [27] Al-Abad N, Al-Sharif M. Hydrological modeling of Zarqa River Basin-Jordan using the Hydrological Simulation Program-FORTRAN (HSPF) model [J]. Water Resources Management, 2008, **22**(9): 1203-1220.
- [28] Abdulla F, Eshtawi T, Assaf H. Assessment of the impact of potential climate change on the water balance of a semi-arid watershed[J]. Water Resources Management, 2009, **23**(10): 2051-2068.
- [29] Ribarova I, Ninov P, Cooper D. Modeling nutrient pollution during a first flood event using HSPF software: Iskar River case study, Bulgaria [J]. Ecological Modelling, 2008, **211**(1-2): 241-246.
- [30] Chang C H, Wen C G, Huang C H, *et al.* Nonpoint source pollution loading from an undistributed tropic forest area [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, **146**(1-3): 113-126.
- [31] Hunter H M, Walton R S. Land-use effects on fluxes of suspended sediment, nitrogen and phosphorus from a river catchment of the Great Barrier Reef, Australia [J]. Journal of Hydrology, 2008, **356**(1-2): 131-146.
- [32] Alarcon V J, McAnally W, Ervin G, *et al.* Using MODIS land-use/land-cover data and hydrological modeling for estimating nutrient concentrations[A]. In: Taniar D, Gervasi O, Murgante B, *et al.* (Eds.). Computational science and its applications-ICCSA 2010, Part I, LNCS 6016 [C]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 501-514.
- [33] Duan Z Y, Diaz J N, Martin J L, *et al.* Effects of land-use changes on Saint Louis Bay watershed modeling [J]. Journal of Coastal Research, 2008, (52): 117-124.
- [34] Lee S B, Yoon C G, Jung K W, *et al.* Comparative evaluation of runoff and water quality using HSPF and SWMM [J]. Water Science and Technology, 2010, **62**(6): 1401-1409.
- [35] Mishra A, Kar S, Raghuwanshi N S. Modeling nonpoint source pollutant losses from a small watershed using HSPF model [J]. Journal of Environmental Engineering-ASCE, 2009, **135**(2): 92-100.
- [36] Isleib R R, Thuman A J. Verification of large scale watershed modeling analysis using small subwatershed models [A]. In: Proceedings of the 2010 watershed management conference [C]. Madison, WI: ASCE. 2010. 1405-1416.
- [37] Jia Y B, Culver T B. Uncertainty analysis for watershed modeling using generalized likelihood uncertainty estimation with multiple calibration measures [J]. Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE, 2008, **134**(2): 97-106.
- [38] Liu Z, Tong S T Y. Using HSPF to model the hydrologic and water quality impacts of riparian land-use change in a small watershed [J]. Journal of Environmental Informatics, 2011, **17**(1): 1-14.
- [39] Praskievicz S, Chang H. Impacts of climate change and urban development on water resources in the Tualatin River Basin, Oregon [J]. Annals of the Association of American Geographers, 2011, **101**(2): 249-271.
- [40] Goncu S, Albek E. Model climate change impacts on suspended

- and dissolved water quality constituents in watersheds [ J ].  
Fresenius Environmental Bulletin, 2008, **17**(9B): 1501-1510.
- [41] Chung E S, Lee K S. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques [ J ]. Journal of Environmental Management, 2009, **90**(3): 1502-1511.
- [42] Butcher J B, Parker A, Johnson T, *et al.* Nationwide watershed modeling to evaluate potential impacts of climate and land use change on hydrology and water quality [ A ]. In: Kenneth W P, Donald K, Frevert P E ( Eds. ). Watershed modeling, proceedings of the 2010 watershed management conference [ C ]. Madison, WI: ASCE. 2010. 1078-1089.
- [43] Sun Y F, Wang D Q, Qian D Y, *et al.* Simulation of non-point source pollution with HSPF for the Chaida River Watershed of Lake Dianchi Basin [ A ]. In: ITESS: 2008 proceedings of information technology and environmental system sciences, Pt 2 [ C ]. 2008. 1174-1180.
- [44] Jung K W, Yoon C G, Jang J H, *et al.* Estimation of pollutant loads considering dam operation in Han River Basin by BASINS/Hydrological Simulation Program-FORTRAN [ J ]. Water Science and Technology, 2008, **58**(12): 2329-2338.
- [45] Bai S. Evaluation of the advection scheme in the HSPF model [ J ]. Journal of Hydrologic Engineering, 2010, **15**(3): 191-199.
- [46] Liu Z J, Kingery W L, Huddleston D H, *et al.* Application and evaluation of two nutrient algorithms of Hydrological Simulation Program Fortran in Wolf River watershed [ J ]. Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 2008, **43**(7): 738-748.
- [47] Alarcon V J, O'Hara C G. Scale-dependency and sensitivity of hydrological estimations to land use and topography for a coastal watershed in Mississippi [ A ]. In: Taniar D, Gervasi O, Murgante B, *et al.* Computational science and its applications-ICCSA 2010, Part I, LNCS 6016 [ C ]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 491-500.
- [48] Diaz-Ramirez J N, Alarcon V J, Duan Z, *et al.* Impacts of land use characterization in modeling hydrology and sediments for the Luxapallila Creek watershed, Alabama and Mississippi [ J ]. Transactions of the ASABE, 2008, **51**(1): 139-151.
- [49] Diaz-Ramirez J N, Duan Z Y, McAnally W, *et al.* Sensitivity of the HSPF model to land use/land cover datasets [ J ]. Journal of Coastal Research, 2008, (52): 89-94.
- [50] Duan Z Y. A HSPF model sensitivity study: impacts of watershed topographic characteristics on hydrological and water quality modeling [ A ]. In: TMDL 2010: watershed management to improve water quality proceedings. Baltimore, MD: ASABE, 2010.
- [51] Lee S, Ni-Mesister W, Toll D, *et al.* Assessing the hydrologic performance of the EPA's nonpoint source water quality assessment decision support tool using North American Land Data Assimilation System ( NLDAS ) products [ J ]. Journal of Hydrology, 2010, **387**(3-4): 212-220.
- [52] Nigro J, Toll D, Partington E, *et al.* NASA-modified precipitation products to improve USEPA nonpoint source water quality modeling for the Chesapeake Bay [ J ]. Journal of Environmental Quality, 2010, **39**(4): 1388-1401.
- [53] Patil A, Deng Z Q. Analysis of uncertainty propagation through model parameters and structure [ J ]. Water Science and Technology, 2010, **62**(6): 1230-1239.
- [54] Iskra I, Droste R. Parameter uncertainty of a watershed model [ J ]. Canadian Water Resources Journal, 2008, **33**(1): 5-22.
- [55] Xu Z Y, Godrej A N, Grizzard T J. The hydrological calibration and validation of a complexly-linked watershed-reservoir model for the Occoquan watershed, Virginia [ J ]. Journal of Hydrology, 2007, **345**(3-4): 167-183.
- [56] Liu Z J, Kingery W L, Huddleston D H, *et al.* Modeling nutrient dynamics under critical flow conditions in three tributaries of St. Louis Bay [ J ]. Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 2008, **43**(6): 633-645.
- [57] Liu Z J, Hashim N B, Kingery W L, *et al.* Hydrodynamic modeling of St. Louis Bay estuary and watershed using EFDC and HSPF [ J ]. Journal of Coastal Research, 2008, (52): 107-116.
- [58] Jeon J H, Lim K J, Yoon C G, *et al.* Multiple segmented reaches per subwatershed modeling approach for improving HSPF-Paddy water quality simulation [ J ]. Paddy and Water Environment, 2011, **9**(2): 193-205.

## 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) 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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行