

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究	王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)
北京城区 PM _{2.5} 中致癌重金属季节变化特征及其来源分析	陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)
北京地区冬春 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 污染水平时空分布及其与气象条件的关系	赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)
北京市 PM _{2.5} 可吸入颗粒物反演及其时空分布分析	王艳慧,肖瑶 (428)
杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征	谢小芳,孙在,杨文俊 (436)
春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征	王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽峰,杨洋 (442)
南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征	吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳娟 (451)
忻州市环境空气 PM ₁₀ 中有机碳和元素碳污染特征分析	史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)
广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征	青宪,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)
燃煤电厂锅炉 PM _{2.5} 排放危害度评价模型建立及案例分析	史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)
中国南海大气降水化学特征	肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)
临安本底站酸雨长期观测特征分析	李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)
北京城区大气氮湿沉降特征研究	贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)
烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势	贾龙,徐永福 (495)
祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征	董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)
生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究	羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)
生物滴滤塔处理苯酚气体研究	何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶纪宏,罗雨薇,魏在山 (520)
国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究	楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)
翻堆频率对猪粪条垛堆肥过程温室气体和氨气排放的影响	赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合峰 (533)
CuBr ₂ 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究	胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)
浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究	张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)
基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例	贾海峰,郭羽 (555)
北京平原区第四系地下水污染风险评价	郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)
不同季节辽河口营养盐的河口混合行为	张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)
太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征	马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)
亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价	陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)
潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究	白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)
凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响	周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国峰 (597)
不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响	田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)
溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用	李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)
四环素光催化降解特性与选择性研究	宋晨怡,尹大强 (619)
微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究	符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)
市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全	杨赛,周启星,华涛 (633)
膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究	李彬,王志刚,安莹,吴志超 (643)
臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究	刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)
厌氧生物法处理果胶废水的研究	陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)
氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究	赵兴兴,于水利,王哲 (663)
平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能	胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)
基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征	王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)
广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价	郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳钊 (684)
中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究	张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)
废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价	周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704)
深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究	章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)
洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策	谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)
施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响	曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)
螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征	尹雪,陈家军,吕策 (733)
<i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 的锰氧化特性研究	周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)
$n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$ 对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响	陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)
杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究	龚婵娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)
鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究	赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)
黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究	朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)
3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究	王艳,马泽民,吴石金 (770)
新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价	李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)
黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫排放动态研究	李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)
农田土壤 N ₂ O 产生的关键微生物过程及减排措施	朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)
《环境科学》征订启事 (691) 《环境科学》征稿简则 (800) 信息 (489,519,591,791)	

北京平原区第四系地下水污染风险评价

郭高轩^{1,2}, 李宇³, 许亮¹, 李志萍¹, 杨庆¹, 许苗娟¹

(1. 北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195; 2. 中国科学院大学地球科学学院, 北京 100049; 3. 北京市地质矿产勘查开发局, 北京 100195)

摘要: 简述了我国近年来在地下水污染调查与评价方面的工作进展, 指出了存在的若干问题. 探讨了地下水污染风险评价中的相关概念, 并重点论述了地下水污染风险评价与污染评价、脆弱性评价及质量评价的异同. 针对北京市平原区的特点, 选取了地下水污染评价、地下水质量评价、地下水系统脆弱性评价、地下水系统污染源荷载这 4 个指标作为评价因子. 采用专家打分法确定 4 个评价因子权重. 北京平原区地下水污染风险高、较高、中等、较低、低污染风险区的面积分别为 1 232.1、699.3、1 951.4、2 644、133.2 km². 平原区西部及近郊一带污染风险性较高, 地下水系统较高的脆弱性和较强的地下水污染源荷载共同作用的结果. 在平原东南通州地区, 主要是由于历史污染源的存在使得地下水污染的风险较高.

关键词: 风险评价; 第四系地下水; 污染评价; 脆弱性; 污染源荷载; 北京平原

中图分类号: X523; X820.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2014)02-0562-07

Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain

GUO Gao-xuan^{1,2}, LI Yu³, XU Liang¹, LI Zhi-ping¹, YANG Qing¹, XU Miao-juan¹

(1. Hydrogeology and Engineering Geology Team of Beijing, Beijing 100195, China; 2. College of Earth Science, University of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China; 3. Beijing Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Beijing 100195, China)

Abstract: Firstly, advances in investigation and evaluation of groundwater pollution in China in the last decade were presented, and several issues in the field which hinder the development of groundwater environment were pointed out. Then, four key concepts in risk assessment of groundwater pollution were briefly described with more emphasis on the difference between groundwater pollution assessment and groundwater quality assessment in this paper. After that, a method on risk assessment of groundwater pollution which included four indicators, the pollution assessment, the quality assessment, the vulnerability and the pollution load of groundwater, was presented based on the regional characteristics of Beijing Plain. Also, AHP and expert scoring method were applied to determine the weight of the four evaluation factors. Finally, the application of this method in Beijing Plain showed the area with high, relative high, medium, relative low and low risk of groundwater contamination was 1 232.1 km², 699.3 km², 1 951.4 km², 2 644 km², and 133.2 km², respectively. The study results showed that the higher risk in the western region was likely caused by the higher pollution load and its higher vulnerability, while the relatively high risk in the southeast of Beijing plain area, the Tongzhou District, is mainly caused by historical pollution sources.

Key words: risk assessment; quaternary groundwater; contamination assessment; vulnerability; pollution sources load; Beijing Plain

近年来,城市化进程的不断加快、工农业经济粗放式的发展,致使许多地区地下水水质持续恶化、地下水污染面积不断扩大、深度不断加深、污染组分更加复杂、程度持续扩展呈蔓延之势. 地下水污染事故频发,生产生活供水安全受到了严重威胁,地区经济持续发展已受到严重制约^[1-3].

在过去近 10 年间我国实施了一大批不同精度的地下水环境调查与评价项目,先后在华北平原、长江三角洲平原、珠江三角洲平原、淮河流域、下辽河平原、安徽平原、河南平原、江苏平原、山东平原、银川盆地、关中盆地等地开展了系统的无机有机地下水污染调查与评价项目^[4-10]. 许多高等院校和科研院所也相继投入大量的人力、财力以此为课题开展了相关实验、场地尺度下的评价研究等工

作^[11-14]. 这种产学研结合的模式使得我国起步相对较晚的地下水污染防控与修复工作取得了一定的进展. 不仅基本摸清了我国近 55 万 km² 范围内的地下水水质状况、而且基本掌握了地下水污染的分布范围和污染特征,有的地区甚至开展了分层的监测和评价^[15-18]. 一些规范^[19,20]、污染防治规划^[21]和防治工作方案^[22]也相继颁布和出台. 然而令人遗憾的是,由于我国“多龙治水”局面的长期存在,至今许多部门仍然是谈地下水污染“色变”. 这在一定程度上限制了该领域的快速进展.

收稿日期: 2013-05-29; 修订日期: 2013-09-28

基金项目: 北京市地下水污染调查项目(PXM2009-158305-074498)

作者简介: 郭高轩(1979~),男,博士研究生,高级工程师,主要研究方向为水文、环境地质, E-mail: ggx2008@qq.com

地下水污染具有极强的隐蔽性,一旦发生,其治理周期很长、费用极高、难度极大。事实上,地下水污染风险性评价已在国外得到了广泛的应用^[23~25],成为了地下水污染调查、评价、修复和管理工作的有效手段。其调查与科研成果也会在第一时间向公众公布,以获取环境保护的最大效益。在大众关注度日益升高和网络讯息极度发达的今天,人们对地下水环境、供水安全等领域的关注度之高前所未有,并且相比较摸清现状,大众更关注地下水环境的未来——未来应该首先在哪些污染风险较高的地区合理规划产业布局、科学开展污染防控措施、稳步实施治理污染措施等。

本文首先介绍地下水环境研究领域的几个基本概念,并阐述了其异同。选取 2007~2009 年北京地区实施的地下水污染调查与评价项目的数据,选取一定的评价方法开展了北京地区地下水污染风险性评价,以期为不断变化发展的城乡一体化进程中,科学合理划分集中水源保护区、地下水分质供水、保障饮用水安全、有侧重有步骤科学实施地下水污染防控工程提供基础支撑。

1 相关概念

地下水作为许多地区重要的饮用水水源,不仅政府管理部门高度重视,广大群众的关注度也伴随着越来越多的地下水环境事件的涌现越来越高。为使这个涉及多学科、多部门相互交叉的系统工程被更多的人进一步深入了解,在此,对地下水环境调查与评价工作的部分概念及其差异进行简述。

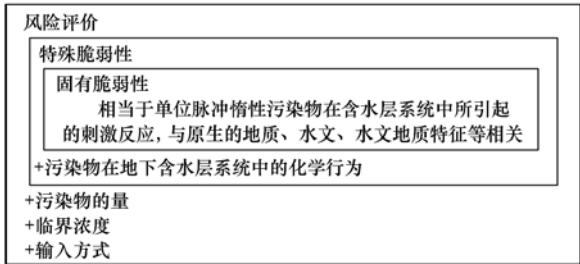
地下水质量评价:根据水的用途、确定一定的评价参数、质量标准,采用合适的评价方法,对环境水域中的水质或水域的综合体的质量所进行的定性或定量的评价。目前地下水最常用的是按照 GB/T 14848-1993(新标准已于 2007 年上报待批),选取一项指标或多项指标对地下水质量现状进行分级评价,方法通常有内梅罗指数法、模糊数学、灰色理论法等。

地下水污染评价:按照一定的评价规范,根据评价区特点选取一项或多项指标,对由于人类活动引起的地下水水质的恶化程度进行分级,用以评判研究地下水相比较其天然状态恶化的程度。污染评价结果以污染程度区划图来体现,污染程度重的地区表明水质恶化“远离”其天然状态越远。

地下水脆弱性评价:也有学者称为“地下水防污性能评价”。通常依据评价区水文地质条件,选择

合适的模型,有针对性地选取一定指标来评判研究区内地下水系统对人类活动和(或)自然的敏感性。它作为地下水系统的固有属性,一般不考虑外界污染源种类、输入强度、毒性大小等因素的影响。评价多采用 DRASTIC 模型^[26]、GOD 模型^[27]和 SINATACS 模型^[28,29]等,基本都是选择一定的评价因子,并赋以不同的权重值,进行计算。评价结果表明天然地下水系统自身抵御外来污染能力高低。脆弱性越高,顾名思义,越易遭受污染。

地下水污染风险评价:是指含水层中地下水由于人类活动而遭受污染到不可接受水平的可能性,是地下水脆弱性与人类活动造成的污染荷载之间相互作用的结果。不仅需要考虑地下水系统本身阻止污染物进入系统的能力,还需要考虑污染活动存在的可能。例如:一个地区含水层脆弱性很高,但是系统周边没有明显的污染物进入含水层从而无污染风险;而另一个区域含水层脆弱性能很低(即防污性能很高),但是其地表存有强度高、毒性大的污染输入,从而导致其污染风险就有可能很大^[30]。Foster^[31]对二者的关系进行了比较明确的探讨(图 1)。



据文献[31]修改

图 1 地下水污染风险性评价与地下水脆弱性评价之关系
Fig. 1 Relationship between contamination risk assessment and groundwater vulnerability assessment

可以看出,地下水质量评价与污染评价截然不同,前者是为了评判地下水是否满足一定供水功能与用途,后者则表征的是过去人类活动和自然因素综合作用下,地下水系统对外界刺激的响应。

地下水污染风险性评价不同,它不仅考虑了地下水水质的现状、污染的轻重,而且对外同时考虑了系统外部人为污染源输入的强度,它是一种从一开始就应该考虑并进行滚动并逐步深入的工作,其评价结果则更侧重未来,具有很强的综合性和先行性。只有准确科学地评判地下水系统面临的污染风险,管理、开发利用部门才能和大众一道,少走亡羊补牢的弯路,发挥地下水资源的最大效益。

2 研究区概况

北京平原区是典型的由永定河、潮白河温榆河、蓟运河、大石河和拒马河等河流相互作用叠置塑造而成的山前缓倾斜冲洪积平原。地势上西北高,东南低。第四纪松散堆积物构成了巨大的孔隙水储水空间,其厚度自山前不足 10 m 到东南部逐渐增厚,最厚处达 1 000 m。含水层也由山前单一的砂卵砾石层逐渐过渡到砾砂、砂质黏土互层的多层结构含水层以埋藏深度基本可以划分为 3 层。区域上地下水自西北、北部流向东南,详细的地质、水文地质条件描述已有多篇文献详述^[32,33],限于篇幅,在此不再重复。历史悠久的北京城就坐落在永定河巨大的冲洪积扇之上,人类活动十分密集。据不完全统计,北京地区河道内大部分已是再生水,各级垃圾场近 500 余处,大小加油站超过 1 000 个、各类经济技术开发区 20 余个。

3 数据与方法原理

3.1 数据

自 2003 年以来,北京地区开展过多批次不同精度下有关地下水环境方面的工作。文献[34,35]的工作精度为 1:25 万,工作区不包含延庆区。文献[33]工作精度 1:10 万,同样不包含延庆区。2007~2009 年,北京市政府实施了整个平原区(含延庆区)1:5 万精度的地下水污染调查与评价工作。在浅、中、深层含水层中的共计 1 035 眼水井中开展了丰、枯水期(2007 年枯水期一次,2008 年丰、枯期各一次)系统采样工作,共采集地下水水样 3 400 余组,49 项无机指标在北京市地质工程勘察院水质化验室完成,44 项有机指标由中国地科院水文地质环境地质研究所水质分析中心完成测试。本次污染评价所用数据为 661 件浅层地下水水样(图 2)。

3.2 方法原理

本文根据北京市地质、水文地质条件、污染源荷载分布,选取 4 项评价指标,进行地下水污染风险评价,以期遏止地下水污染态势进一步加剧,科学合理的布置地下水污染防治工程提供科学支撑。

进行地下水污染风险评价时需要构建评价指标体系,在遵循指标全面性和独立性原则以及可操作的基础上,要尽量选择那些关键性的、具有综合性和有代表性的指标,从而使得其物理含义明确,易于计算和分析。

针对北京地区的特点,本研究选取以下指标计

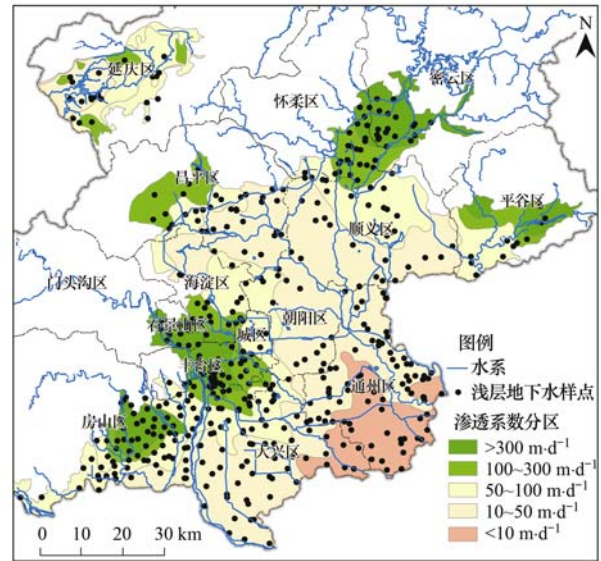


图 2 浅层地下水采样点及渗透系数分区图

Fig. 2 Distribution of shallow groundwater samples and classification of hydraulic conductivity in Beijing Plain

算地下水系统污染风险综合指数 R (图 3):

$$R = b_1 \times B_1 + b_2 \times B_2 + b_3 \times B_3 + b_4 \times B_4$$

式中, R 为地下水系统污染风险综合指数; B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 为指标因子分值; b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 为因子权重。

地下水污染现状 B_1 : 与地下水质量现状评价不同, 污染评价是依据地下水环境的背景值(或者对照值)进行的^[17]。事实上, 不妨将地下水污染现状看作是地下水系统对人类在过去几十年(甚至上百年)里开展的一场多期次、多种类物质输入的溶质运移实验的响应。污染的程度愈重, 就在一定程度上证明了其遭受污染的风险愈高, 已遭受污染的劣质水向四周扩散的“二次污染”所带来的风险也就愈大。按照严重污染、重度污染、中度污染、轻度污染和未污染依次评分为 10、7、5、4、1。

污染源荷载评价 B_2 : 在污染源种类多, 排放强度大、毒性大危害大的地区自然其污染风险就越高。污染源荷载的计算不仅涉及污染源种类、毒性大小, 而且与其输入强度密切相关^[36]。按照污染源荷载大、较大、中等、一般、较小依次打分为 10、7、5、4、1。

地下水脆弱性评价 B_3 : 脆弱性越强的地方防污性能越差, 越有利于污染物的输入, 污染风险也就越高。按照防污性能的差、较差、略差、中等、较好依次打分为 10、7、5、4、1。

地下水现状质量评价 B_4 : 是反映地下水价值水平的重要因子, 质量越好的地下水, 其价值水平越

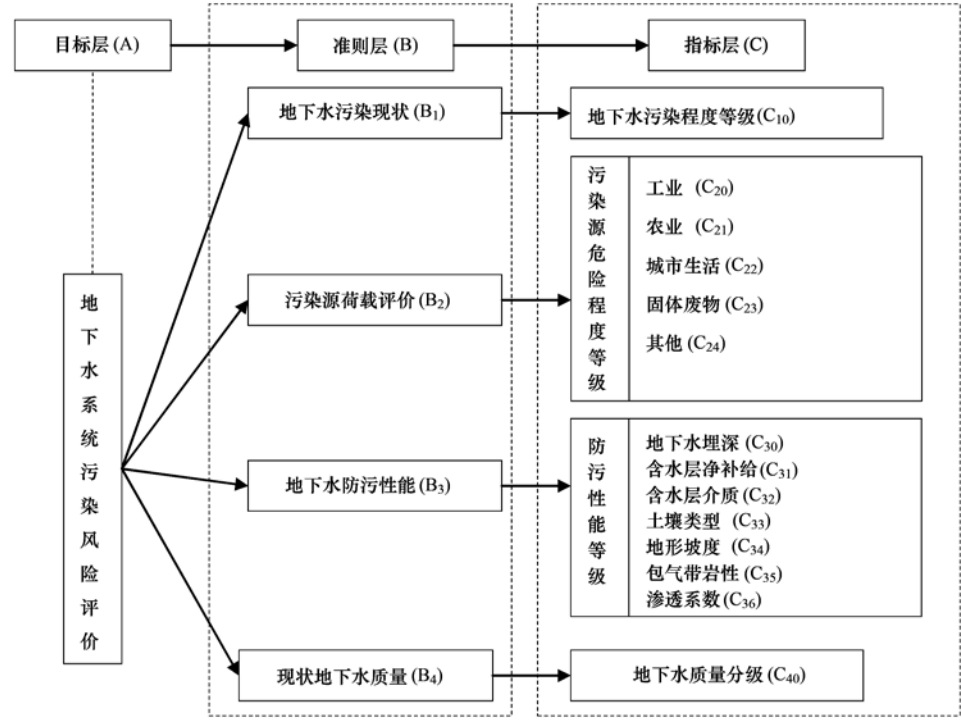


图 3 Index system of groundwater pollution risk assessment in Beijing Plain

高,污染后造成的损失也就越大,相应地其遭受污染的风险就越高,这里主要体现了其作为供水水源的重要性,是一个体现水源价值水平的指标. 按照极差、较差、较好、良好和优良依次打分为 10、7、5、4、1.

3.3 确定权重

本研究采用专家打分法确定各评价因子权重,分为了使评价结果更贴近实际,笔者通过 Email、电话、研讨会等形式邀请来自科研院所、生产单位和管理部门等 78 位从事水文地质、环境地质研究工作的专家(职称均为高工、副教授以上)对 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 进行打分,保证了专家意见的独立性和客观性. 权重总分为 100 分,分数越高,代表该因子越重要,即带来的污染风险愈大. 图 4 为 78 个样本的统计结果,经归一化处理,四因子的权重为 [0.18, 0.36, 0.31, 0.15]. 可以看出,无论是生产单位还是科研院所,基本都将“污染源”因子确定的权重最高,其次是地层的天然防护性能、污染评价结果以及地下水质量评价结果.

4 实例研究

选择影响和控制北京地区地下水质量的主要指标总硬度、溶解性总固体、锰、氨氮、铁、氟、硝酸

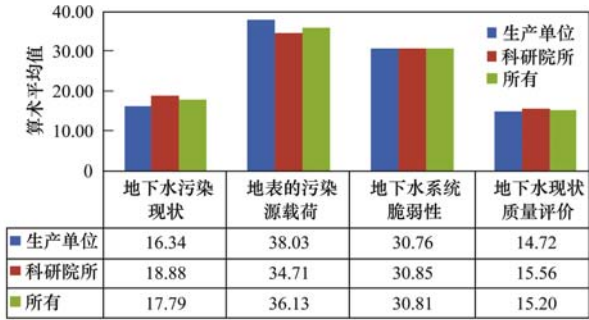


图 4 地下水污染风险评价专家打分法权重
Fig. 4 Weights for different factors in the risk assessment of groundwater based on the expert scoring method

盐、亚硝酸盐、氯离子、硫酸根离子 10 项作为评价因子^[18],以 20 世纪 60 年代左右浅层地下水水质作为对照值,采用文献[20]中的评价方法,得到平原区污染评价分区图(图 5). 图 6 是在 1 000 m × 1 000 m 网格上,按照工业、农业、城市生活、固体废物和其它五大类别污染源,考虑了强度和危害性等因素的平原区污染源荷载分级^[20]. 图 7 则是利用广泛采用的 DRASTIC 模型,选取地下水埋深(D)、含水层净补给(R)、含水层介质(A)、土壤类型(S)、地形坡度(T)、包气带岩性(I)、渗透系数(C)这 7 个因子确定的平原区地下水防污性能评价结果. 图 8 则是根据 2008 年在平原区所采集的 661

个浅层地下水水样进行的综合质量评价结果^[21]。

在制作了4个指标要素层之后,在 Arcgis 系统中进行叠加计算(图9)^[18]。统计分析结果可知平

原区低和较低污染风险的面积分别为 133.2km² 和 2 644 km²,而较高和高污染风险区的面积分别为 699.3 km² 和1 232.1 km²(表1)。

表1 平原区地下水污染风险评价结果统计表

Tabel 1 Statistics of risk assessment of quaternary groundwater contamination in Beijing Plain					
分类	低污染风险	较低污染风险	中等污染风险	较高污染风险	高污染风险
面积/km ²	133.2	2 644	1 951.4	699.3	1 232.1
百分比/%	2	39.7	29.3	10.5	18.5

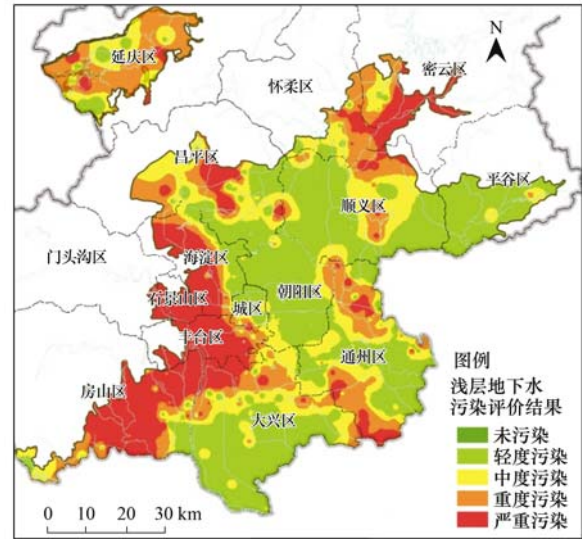


图5 北京市平原区地下水污染评价结果
Fig. 5 Assessment of shallow groundwater contamination in Beijing Plain

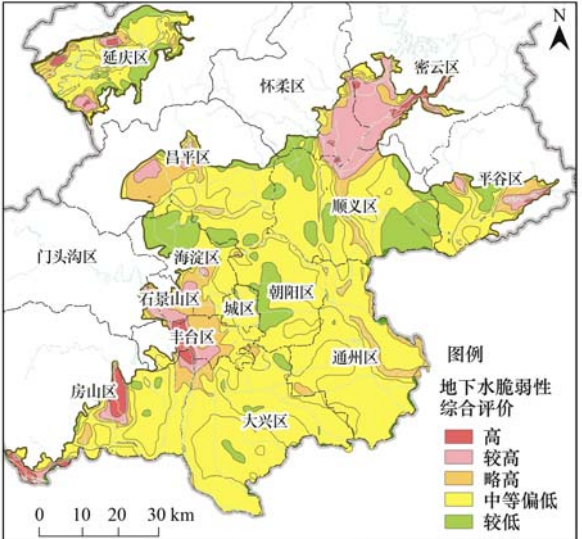


图7 北京市平原区地下水防污性能
Fig. 7 Assessment of groundwater vulnerability in Beijing Plain

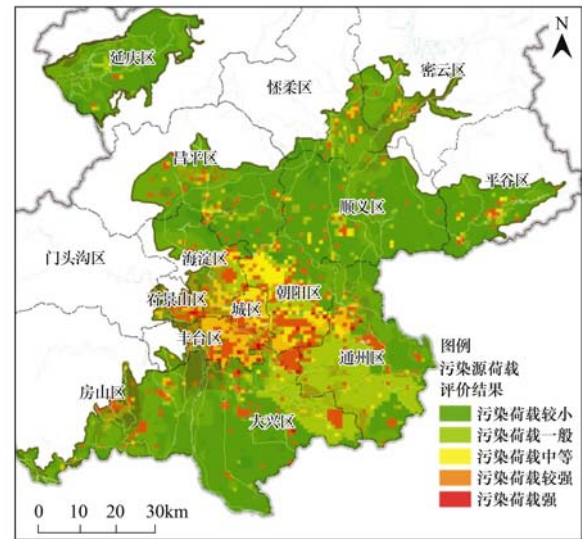


图6 北京市平原区污染源荷载评价结果
Fig. 6 Load assessment of contamination source in Beijing Plain

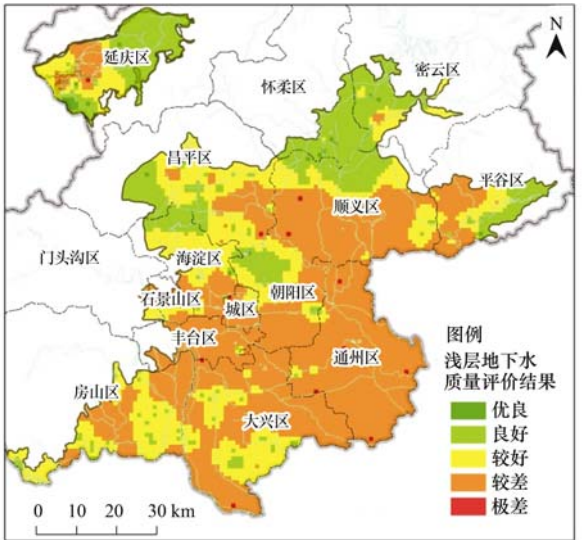


图8 北京市平原区浅层地下水质量结果
Fig. 8 Assessment of shallow groundwater quality in Beijing Plain

图9是本次平原区第四系地下水风险性评价结果.从中可以看出平原区高污染风险区、较高污染风险区主要有3处。

第一处位于城区及西郊一带,覆盖了永定河冲洪积扇约 600 km². 本区的西部地区是第四系地下水的补给区,多由较粗颗粒的砂卵砾石、砂砾层组成,含水层系统的脆弱性高;而中东部地区,在城区

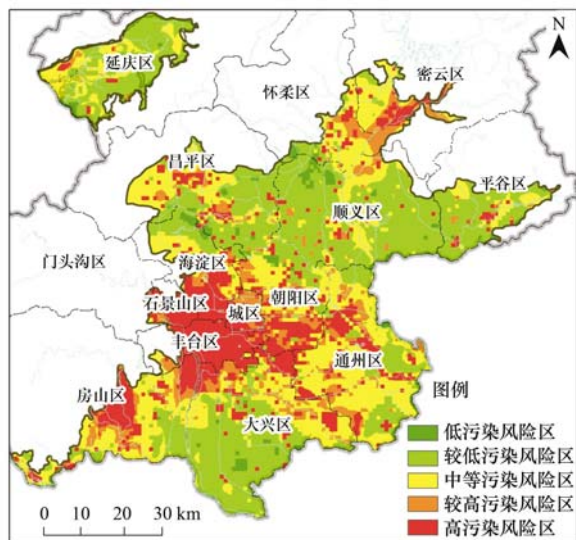


图9 北京市平原区地下水污染风险评价结果

Fig. 9 Results of risk assessment of quaternary groundwater contamination in Beijing Plain area

高人口密度引发的生活污染和污水灌溉的双重作用下,地表污染源荷载较重,从而使得本区的污染风险较高。

第二处污染风险较高的区域位于潮白河冲洪积扇的上游北房-河南寨一带,面积约 70 km²。本区的特点是地下水的天然防护性能较差,含水层上下水力联系较好,加之地下水污染程度较重,地下水现状质量评价级别较差,这些因素综合作用下造成了较高的污染风险。

第三处污染风险较高的区域位于拒马河、大石河冲洪积扇的上游地区,面积约 90 km²。造成本区较高污染风险的因素主要是地下水污染程度较重,加之位于冲洪积扇的中上游,地层颗粒粗大,地下水上下贯通,水力联系密切致使地下水系统脆弱性较高。此外,在各郊区县城的居民聚居区存在个别较高污染风险的区域,如平谷县城、顺义县城、昌平县城等,这主要是由于较高的污染荷载所致。

在平原区的东南部,由于地层结构主要由细颗粒的黏土、砂质黏土和黏质砂土组成,厚度较大,含水层的天然防护性能较好,所以,除永定河冲洪积扇下游外,大部分都属于较低污染风险区。永定河冲洪积扇的下部之所以风险较高,一方面是由于历史污水灌溉引起,另一方面本区域多处化工厂、垃圾场使得污染源危险性较高,因此使得风险也较高。中等污染风险区主要位于高污染风险区和低污染风险区之间,分布比较零散。

5 结论

(1)地下水污染风险评价是依据当下现实状况为未来更好的进行地下水的开发、保护与管理的一项带有预判性的工作。我国近年来地下水污染态势进一步加剧,范围不断扩大,程度不断加深,污染组分更加复杂,诸多地区的供水安全已受到严重威胁,许多地区因此不得不花费巨资进行改水工程,教训极其惨痛。因此,有侧重有针对性地开展地下水污染风险评价工作刻不容缓。

(2)本研究根据北京平原区的特点,选取了地下水污染现状、地表污染源荷载、地下水脆弱性评价及地下水现状质量 4 项指标,对其权重进行了探讨和对比,最终得到平原区污染风险高、较高、中等、较低、低污染风险区的面积分别为 1 232.1、699.3、1 951.4、2 644、133.2 km²。在平原区西部、北部冲洪积扇的中上游地区,由于单一的粗颗粒的含水层结构使得其防护性能较低,局部地区较高的污染源荷载是造成当地地下水污染风险高的主要原因。

(3)专家打分确定因子权重的结果具有较好的一致性——无论是生产单位还是科研院所,各方面专家都给予了污染源荷载最高的权重,其次是地下水系统自身的防污性能。这再次验证了对于污染治理的共识,即“去源”或者“除源”是首要对策,才是根本。其次才是调整开采方案和加强防护等措施。

致谢:本项工作历时三载,本单位许多同志为野外采样和数据分析付出了艰辛的汗水。在专家打分确定评价因子权重时,本单位和其他单位的教授、专家给予大力支持,在此一并表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 全国地下水污染调查评价可行性研究报告通过专家论证[EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/cgjz/sgh/ywdongtai/17299.htm>
- [2] 张新钰,辛宝东,王晓红,等.我国地下水污染研究进展[J].地球与环境,2011,39(3):415-422.
- [3] 薛禹群,张幼宽.地下水污染防治在我国水体污染控制与治理中的双重意义[J].环境科学学报,2009,29(3):74-481.
- [4] 中国地质科学院水文地质环境地质研究所.华北平原区地下水污染调查评价报告[R].2009.
- [5] 江苏省地质调查研究院.长江三角洲地区地下水污染调查评价[R].2009.
- [6] 中国地质科学院水文地质环境地质研究所.珠江三角洲地区地下水污染调查评价[R].2009.
- [7] 南京地质矿产研究所.淮河流域平原区地下水污染调查评价综合研究与专题研究[R].2010.

- [8] 沈阳地调中心. 下辽河平原区地下水污染调查评价综合研究与专题研究[R]. 2010.
- [9] 沈阳地调中心. 东北平原地下水污染调查评价综合研究及专题研究[R]. 2011.
- [10] 中国地质调查局. 全国地下水污染调查评价可行性研究报告[R]. 2012.
- [11] 王志强, 武强, 邹祖光, 等. 地下水石油污染曝气治理技术研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(4): 754-760.
- [12] 杨乐巍. 土壤气相抽提(SVE)现场试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [13] 赵勇胜. 地下水污染场地污染的控制与修复[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, **37**(2): 303-310.
- [14] 吴永锋, 钟佐桑, 汪民, 等. 污水快速渗滤处理系统对某些微量有机污染物的净化[J]. 环境科学, 1996, **17**(6): 60-62.
- [15] 陈鸿汉, 何江涛, 刘菲, 等. 北京地下水有机污染调查报告[R]. 北京: 中国地质大学(北京)地调院, 2003. 61.
- [16] 赵微, 林健, 郭高轩, 等. 北京市地下水环境分层监测和专项监控网的建立[J]. 南水北调与水利科技, 2012, **10**(2): 83-87.
- [17] 郭高轩. 北京市平原区地下水分层质量评价[J]. 中国地质, 2012, **39**(2): 518-523.
- [18] 辛宝东, 郭高轩, 陆海燕, 等. 北京市平原区地下水污染调查报告[R]. 2010.
- [19] 文冬光, 林良俊, 孙继朝, 等. 区域性地下水有机污染调查与评价方法[J]. 中国地质, 2008, **35**(5): 814-819.
- [20] 中国地质调查局. 地下水污染地质调查规范(DD2008-01)[S]. 2008.
- [21] 环境保护部. 全国地下水污染防治规划[R]. 2011, 1-84.
- [22] 环境保护部、国土资源部、水利部和住房和城乡建设部. 华北平原地下水污染防治工作方案[R]. 2013. 1-21.
- [23] Bruner, Brenda G. Use of geographic system technology to assess vulnerability to shallow groundwater contamination[M]. Univ. Microfilms, Ann Arbor, M Z, U. S., 1996.
- [24] Squillace P J, Scott J C, Moran M J, *et al.* VOCs, Pesticides, nitrate, and their mixtures in groundwater used for drinking water in the united states[J]. Environmental Science & Technology, 2002, **36**(9): 62-73.
- [25] Worrall F, Besien T. The vulnerability of groundwater to pesticide contamination estimated directly from observations of presence or absence in wells[J]. Journal of Hydrology, 2005, **303**(1-4): 92-107.
- [26] Aller L, Bennett T, Lehr J H, *et al.* DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings[M]. U. S. Environmental Protection Agency, Ada, OK, EPA/600/2-87-036, 1987. 445.
- [27] Gogu R C, Dassargues A. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods[J]. Environmental Geology, 2000, **39**(6): 549-559.
- [28] Nobre R C M, Filho O C R, Mansur W J, *et al.* Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2007, **94**(3-4): 277-292.
- [29] 孙才志, 潘俊. 地下水脆弱性的概念、评价方法与研究前景[J]. 水科学进展, 1999, (4): 444-449.
- [30] 钟佐桑. 地下水防污性能评价方法探讨[J]. 地学前缘, 2005, **12**(S1): 3-11.
- [31] Foster S S D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy[C]. TNO Hydrological Research, Delft, The Netherlands, Committee, 1987. 12-18.
- [32] 蔡向民, 栾英波, 郭高轩, 等. 北京平原第四系的三维地质结构[J]. 中国地质, 2009, **36**(5): 1021-1029.
- [33] 北京市地质矿产勘查开发局. 北京市平原区多参数立体地质调查报告[R]. 2008.
- [34] 林健, 王翊虹, 陈鸿汉, 等. 北京市平原区地下水环境调查报告[R]. 2006.
- [35] 林健, 陈忠荣, 赵薇, 等. 华北平原区地下水污染调查评价报告[R]. 2009.
- [36] 杨庆, 林健, 陈忠荣. 北京市地下水污染源荷载影响评价[J]. 环境监测管理与技术, 2012, **24**(4): 9-13.

CONTENTS

Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China	WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> (401)
Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM _{2.5} and Source Analysis in Beijing	TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (411)
Temporal and Spatial Distribution of PM _{2.5} and PM ₁₀ Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing	ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> (418)
Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM _{5.0} Inhalable Particulate in Beijing	WANG Yan-hui, XIAO Yao (428)
Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring	XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun (436)
Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (442)
Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (451)
Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ in Xinzhou City	SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (458)
Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou	QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> (464)
Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis	SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> (470)
Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea	XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> (475)
Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data	LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> (481)
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area	HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (490)
Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation	JIA Long, XU Yong-fu (495)
Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China	DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> (504)
Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area	QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> (513)
Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> (520)
Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends	LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> (526)
Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting	ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (533)
Oxidation of Mercury by CuBr ₂ Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition	HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> (541)
Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian	ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> (547)
Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study	JIA Hai-feng, GUO Yu (555)
Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain	GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> (562)
Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary	ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (569)
Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary	MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (577)
Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area	CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> (585)
Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands	BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> (592)
Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i>	ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> (597)
Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water	TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> (605)
Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite	LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (611)
Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride	SONG Chen-yi, YIN Da-qiang (619)
Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System	FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> (626)
Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety	YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao (633)
Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment	LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> (643)
Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter	LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (651)
Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process	CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> (657)
Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes	ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe (663)
Biosorption Characteristics of Cu ²⁺ by Spent Substrate of <i>Pleurotus</i> Oyster	HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> (669)
Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition	WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> (678)
Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> (684)
Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China	ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> (692)
Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site	ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> (704)
Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China	ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> (711)
Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River	TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> (719)
Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants	ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> (727)
Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites	YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce (733)
Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1	ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (740)
Effects of the Ratio of NO ₃ ⁻ -N to NO ₂ ⁻ -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture	CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> (746)
Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou	GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (753)
Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhammolipid Reverse Micelles	ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> (759)
Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea	ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> (764)
Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i>	WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin (770)
Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System	LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (780)
Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary	LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> (786)
Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies	ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> (792)

《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)

2014年2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 15, 2014

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