

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

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

我国4个WMO/GAW本底站大气CH ₄ 浓度及变化特征	方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳	(2917)
我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源	李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙	(2924)
2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析	李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海	(2932)
厦门市冬春季灰霾期间大气PM ₁₀ 中多环芳烃的污染特征及来源分析	钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红	(2939)
气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用	王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J	(2946)
松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征	张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超	(2953)
河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究	赵亚娟,龚巍巍,栾胜基	(2960)
印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选	马英歌	(2967)
烹调油烟中挥发性有机物的排放初探	何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕	(2973)
生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究	胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟	(2979)
分期布液生物滴滤床净化H ₂ S废气性能研究	刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪	(2987)
粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究	孟阳,王书肖	(2993)
太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价	刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁	(3000)
巢湖水质与流域农业投入的关联性研究	张燕,高翔,张洪	(3009)
巢湖十五里河水花生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性	李如忠,李峰,周爱佳	(3014)
巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价	刘恩峰,杜臣昌,羊向东,沈吉	(3024)
巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性	陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼	(3031)
丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究	雷沛,张洪,单保庆	(3038)
水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响	刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤	(3046)
平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究	杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波	(3051)
江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析	刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功	(3057)
太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价	甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩	(3064)
南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究	刘静,路风,杨廷钊,徐娜,王田妮	(3070)
珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系	何洪威,周达诚,王保强,梁艳红	(3076)
东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价	王若师,许秋瑾,张炯,魏群山,颜昌宙	(3083)
深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究	孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉	(3089)
福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响	高文华,杜永芬,王丹丹,高抒	(3097)
渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨	蔡文倩,刘录三,乔飞,林岍璇,周娟	(3104)
地下水污染防治区划体系构建研究	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮	(3110)
北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(3117)
川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO ₃ ⁻ 的存储和运移	杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风	(3124)
改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究	董锡臻,石宝友,解岳,王东升	(3132)
水溶液中臭氧和溴离子的反应研究	俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇	(3139)
HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布	张晗,董秉直	(3144)
不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOCs)产生机制研究	卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才	(3152)
不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响	况烨,周琰,王清萍,陈祖亮	(3160)
多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水	李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶	(3167)
三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究	徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮	(3172)
改性花生壳对水中镉的动态吸附研究	龙腾,易筱筠,党志	(3177)
硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能	王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军	(3182)
海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型	罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰	(3189)
营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复	张著,高大文,袁向娟,勾倩倩	(3197)
生物表面活性剂强化污泥水解的研究	易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平	(3202)
厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定	刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波	(3208)
阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究	李绍峰,朱静,李铁晶	(3214)
农业废物堆肥中高产漆酶菌株的分离鉴定及酶学性质研究	任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明	(3220)
糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定	李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云	(3228)
餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析	刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕	(3236)
共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究	吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳	(3241)
<i>Geobacter sulfurreducens</i> 对汞的甲基化及其影响因素研究	邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳	(3247)
单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应	武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷	(3253)
金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价	杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新	(3261)
环境激素氯菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响	董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵	(3266)
地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究	金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳	(3272)
焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化特征	刘敬勇,孙水裕	(3279)
城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例	于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞	(3288)
NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析	连静,刘俊新	(3295)
《环境科学》征订启事(3037)	《环境科学》征稿简则(3151)	信息(2999,3030,3096,3227)

北京市平原区地下水污染防控区划不确定性分析

陆燕, 何江涛*, 王俊杰, 刘丽雅, 张小亮

(中国地质大学水资源与环境学院, 水资源与环境工程北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 地下水污染防控区划对地下水保护、污染有效防治和管理有着重要的意义. 以北京市平原区为背景建立了以污染风险评价、地下水价值和地下水源保护区三者叠加分析的地下水污染防控区划, 为了得到更准确的地下水污染防控区划, 本研究对其进行了不确定性分析. 通过改变毒性、迁移性和降解性的权重值和地下水污染风险、地下水价值和地下水源保护区的权重值对其进行敏感性分析, 研究结果表明, 地下水污染风险、地下水价值和地下水源保护区的权重值比毒性、迁移性和降解性的权重值更为敏感.

关键词: 防控区划; 风险评价; 地下水价值; 地下水源保护区; 不确定性分析

中图分类号: X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-3117-07

Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain

LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, LIU Li-ya, ZHANG Xiao-liang

(Beijing Key Laboratory of Water Resources and Environmental Engineering, School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Groundwater pollution prevention mapping has important meaning to groundwater protection, pollution prevention and effective management. A mapping method was built through combining groundwater pollution risk assessment, groundwater value and wellhead protection area zoning. To make the method more accurate, two series of uncertainty analysis were performed and discussed. One was performed by changing the weights of the toxicity, mobility and degradation of pollutants, and the other was by changing the weights of groundwater pollution risk, groundwater value and wellhead protection area zoning. The results showed that the weights of groundwater pollution risk, groundwater value and wellhead protection area zoning were more sensitive than the weights of toxicity, mobility and degradation of pollutants.

Key words: groundwater pollution prevention and control zoning; pollution risk assessment; groundwater value; groundwater source protection area; uncertainty analysis

长期以来, 由于对地下水污染缺乏足够重视, 尤其是对于具有独特埋藏条件的地下水^[1], 缺乏对于污染地下水空间分布的有效识别和重要污染防控区域明确界定, 造成防控重点区域不准确, 防控技术与工程措施针对性不强, 成为制约地下水保护、污染有效防治和管理的重要瓶颈问题. 因此进行准确的地下水污染防控区划有非常重要的意义.

地下水保护区划分是补充地下水管理的方法^[2], 将有助于节省饮用水的生产, 并给予指导, 造福社会的活动用户^[3]. 地下水保护区发展历史上使用过各种不同的概念和原则^[4,5], WHO^[6]早在 1988 年就提出地下水保护策略和划分地下水污染防护区, 划分防护区目的是为了拥有足够的时间来进行应急响应, 以防补给区受到污染^[7]. 在保护区内, 限制或禁止运输和储存危险物质、废物处理场、污水处理、工业活动、集约农业、畜牧业和挖掘方面的活动^[8]. 爱尔兰当地政府和环保机构^[9]在 1999 年提出保护地下水实际有效的方法是建立基于地下水污染评价的地下水保护体系. 地下水保护区域的大

小和形状取决于水文地质含水层系统的特点^[10], 王焰新^[11]提出地下水污染防治区划就是通过对自然地理与经济社会概况、土地利用状况、水文地质条件、地下水资源的开发利用、地下水环境问题分析等的调查, 考虑土地利用和污染源类型、分布来确定污染荷载的风险性; 在此基础上, 划分不同级别, 并根据不同级别提出相应的污染预防和控制措施.

由于防控区划体系涉及固有防污性能评价、污染源荷载、土地利用、地下水价值等多个因素, 体系复杂, 因此, 存在着诸多不确定性因素. 为了尽量弄清和减少不确定性因素对既定方案的影响, 需要对其进行不确定性分析^[12], 分析不确定性因素对评价结果的影响程度. 不确定性分析是决策分析中常用的一种方法, 指对决策方案受到各种事前无法控制的外部因素变化与影响所进行的研究和估计.

收稿日期: 2011-11-26; 修订日期: 2012-03-12

基金项目: 环保公益性行业科研项目(200909038-1)

作者简介: 陆燕(1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为地下水环境, E-mail: lunalyan@163.com

* 通讯联系人, E-mail: jthe@cugb.edu.cn

不确定性分析被运用于很多专业领域,在经济管理领域应用最为广泛^[13],水文地质和环境污染中也有较多的应用,比如在地下水模拟^[14]、污染源识别^[15]、海洋环境^[16]领域中都有很多学者进行了不确定性分析研究. 不确定性分析与风险分析的区别是,前者主要针对评估中所预测的参数的变化的可能性无法用概率表达的定量估计情况,后者则主要针对评估中所预测的参数的变化发生能用概率描述的变化发生的可能性的情况^[17~19]. 敏感性分析是不确定性分析的一种方法,是指在保持其他条件不变的前提下,研究单个风险要素的变化可能会对结果产生的影响. 敏感分析应用广泛,主要是在求得某个模型的最优解后,研究模型中某个或若干个参数允许变化到多大,仍能使原最优解的条件保持不变,或者当参数变化超过允许范围,原最优解已不能保持最优性时,提供一套简洁的计算方法,重新求解最优解. 敏感性分析计算简单且便于理解,本研究将通过敏感度分析,从许多风险因素中找出敏感因素,计算其影响程度^[20].

1 地下水污染防控区划

本文以北京市平原区为背景研究地下水污染防

控区划,其由地下水污染风险评价、地下水价值评价^[21~23]和地下水源保护区评价^[24~26]三部分构成. 以地下水风险评价、地下水价值、地下水源保护区为评价指标,每个指标根据其特征赋予评分,各指标赋不同权重,根据下面的模型公式计算指数值,完成地下水防治区划分.

$$P = W_r \times R_w + V_r \times R_v + B_r \times R_b \quad (1)$$

式中, P 为地下水污染防治区划综合指数; W_r 、 V_r 、 B_r 分别为地下水污染风险、地下水价值、地下水源保护区的指标等级划分, R_w 、 R_v 、 R_b 为地下水污染性、地下水价值、地下水源保护区的权重值. 根据层次分析,认为地下水污染性比地下水价值微小重要,比水源保护区稍微重要;地下水价值比水源保护区微小重要,计算得到 R_w 、 R_v 、 R_b 分别为 0.549 9、0.240 2、0.209 8.

地下水污染风险评价旨在评估地下水遭受污染的风险,地下水源保护区和地下水价值旨在反应当前地下水环境状况及针对地下水保护制定的相关政策. 地下水风险评价由污染源潜在危害性和地下水易污性叠加评价得出,具体如图 1 所示.

地下水污染源潜在危害性的具体研究方法见文献^[27],以 S 指标来量化该污染源对地下水的潜在

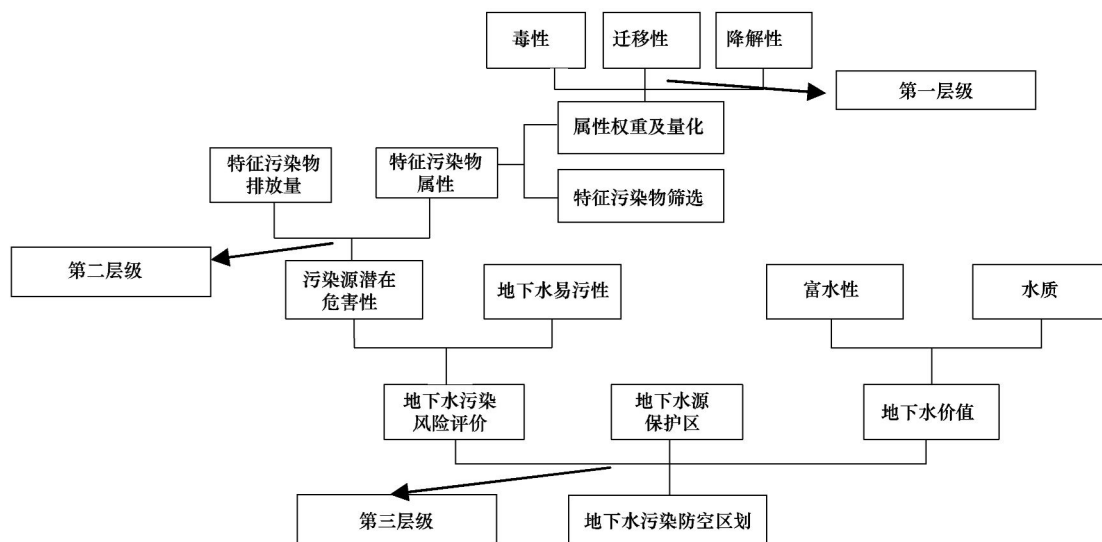


图1 地下水污染防控区划框架

Fig. 1 Frame of groundwater pollution protection and control zoning

危害程度,其计算公式为:

$$S_j = \sum_{i=1}^n l_{ij} \times Q_{ij} \quad (2)$$

$$L_{ij} = T_{ij}W_T + M_{ij}W_M + D_{ij}W_D \quad (3)$$

式中, S_j 表示研究区第 j 种污染源的潜在危害性,无量纲; l_{ij} 是 L_{ij} 进行归一化处理后的值,无量纲; L_{ij} 表

示第 j 种风险源排放的第 i 种污染物的特性表征,无量纲,也称为污染物危害性; Q_{ij} 表示第 j 种风险源排放的第 i 种污染物的排放量,为了便于下文的计算,单位为 $t \cdot a^{-1}$; T_{ij} 、 M_{ij} 、 D_{ij} 分别为特征污染物 i 的毒性量化值、迁移性量化值、降解性量化的值; W_T 、 W_M 、 W_D 分别为毒性、迁移性、降解性的权重

值,根据层次分析认为毒性比迁移性和降解性比较重要,迁移性和降解性同等重要,权重分别为 0.526 7、0.236 7、0.236 7。

将研究区域利用 ARCGIS 9.3 剖分成 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的网格,防控区划的结果在 ARCGIS 里按照综合指数值分成了 4 个等级(1~4),一级(1~1.5),二级(1.5~2),三级(2~3),四级(3~4),四级区域地下水污染风险等级、地下水价值等级及地下水源保护区等级均处于较高级别,因此需要重点进行控制,一级和二级区域地下水污染风险等级、地下水价值等级及地下水源保护区等级较低,因此进行防护即可,将 4 个等级命名为一般防护区、重点防护区、一般控制区和重点控制区。所占的网格数分别为:2 345、2 193、1 915、529。具体结果如图 2 所示。

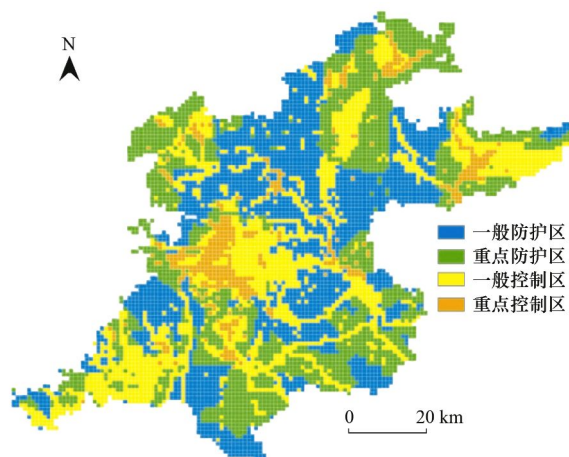


图 2 北京市平原区地下水污染防治区划

Fig. 2 Groundwater pollution prevention and control zoning in Beijing Plain

2 不确定性分析

本研究的地下水污染防治区划方法,存在不确定性因素,它们对最终的区划结果可能有着不同程度的影响。为了尽量弄清和减少不确定性因素对防控区划的影响,选取了其中一部分不确定性因素对其进行分析。

地下水污染防治区划综合指数 $P = W_r \times R_w + V_r \times R_v + B_r \times R_b$, R_w 、 R_v 、 R_b 为地下水污染性、地下水价值、地下水源保护区的权重值,他们的变化会影响综合指数 P 的变化,所以选取其作为不确定性因素进行分析, W_r 、 V_r 、 B_r 代表地下水污染风险、地下水价值、地下水源保护区的指标等级,也是不确定性因素,但是地下水价值 V_r 、地下水源保护区 B_r 不是本研究的重点内容,因此没有选择对其进行研

究,对地下水污染风险 W_r 进行讨论,地下水风险有 2 个影响因素:污染源潜在危害性和地下水易污性,地下水易污性不是本研究的重点因此没有选择其进行

讨论,污染源潜在危害性 $S_j = \sum_{i=1}^n L_{ij} \times Q_{ij}$, 式中 Q_{ij} 表示第 j 种风险源排放的第 i 种污染物的排放量,为定量,因此不作为不确定性因素,污染物危害性 $L_{ij} = T_{ij}W_T + M_{ij}W_M + D_{ij}W_D$, 式中 T_{ij} 、 M_{ij} 、 D_{ij} 分别为特征污染物 i 的毒性量化值、迁移性量化值、降解性量化的值,反映了污染物本身的特性,为确定值, W_T 、 W_M 、 W_D 分别为毒性、迁移性、降解性的权重值,也是不确定性因素,故将其也作为重点的不确定性因素进行讨论。

因此本研究从以下两方面进行分析:①毒性、迁移性和降解性三者的权重;②地下水风险性、地下水自身价值和地下水源保护区三者之间的权重。为了对比两者对防控区划影响的程度,利用敏感度系数来进行衡量。敏感度系数^[28,29]可以使敏感性分析的结果量化,增加其操作性。

敏感度系数 = 评价指标相对基本方案的变化率/不确定因素变化

评价指标相对基本方案的变化率在本研究中指的是防控区划等级网格变化平均变化率,不确定因素变化则是指权重变化率。敏感度系数 > 0 表示评价指标与不确定因素同方向变化;敏感度系数 < 0 表示评价指标与不确定因素反方向变化。敏感度系数绝对值较大者敏感度系数高。敏感度系数高,表示评价结果对该不确定因素敏感程度高,提示应重视该不确定因素对原评价结果的影响^[30]。

2.1 变化毒性、迁移性和降解性的权重

将变化范围设在 5%,将毒性、迁移性和降解性三者的权重各自增加 5%,其它一概不进行改变。原方案中毒性、迁移性和降解性的权重分别为 0.526 7、0.236 7 和 0.236 7,因此更改后的三套方案 A、B、C 中毒性、迁移性和降解性的权重为 0.553 0、0.236 7 和 0.236 7; 0.526 7、0.248 5 和 0.236 7; 0.526 7、0.236 7 和 0.248 5。根据公式(3)算得的 25 种特征污染物的危害性变化如表 1 所示。

将 L 除以 25 个 L 之和得到归一化值 l 。根据公式(2)计算方案 A、B、C 中污染源的潜在危害性 S , 根据计算结果作图,得到各污染源分级结果与原始基本一致,这说明权重值变化的幅度没有对结果产生影响,这可能与 S 本身的计算方法有关系,因为影响污染源的潜在危害性计算结果的主要是污染物排

放量,且与成图方法有关系,图形显示的是分级结果 内部分级并无较大影响. 污染源潜在危害性结果如而非计算的具体数据,所以方案 A、B、C 对污染源 图 3 所示. 地下水污染防控区划如图 4 所示.

表 1 特征污染物危害性变化

Table 1 Changes in hazards of representative contaminants						
污染物名称	方案 A 的 L	方案 A 的 L 变化 /%	方案 B 的 L	方案 B 的 L 的变化 /%	方案 C 的 L	方案 C 的 L 变化 /%
SO ₄ ²⁻	7.260 3	0.73	7.468 0	3.61	7.254 9	0.66
烷基苯磺酸	8.054 4	3.03	7.852 9	0.45	7.935 8	1.51
COD	7.972 6	1.68	8.089 4	3.17	7.852 7	0.15
NO ₃ ⁻	8.366 3	1.28	8.533 2	3.30	8.297	0.43
乙苯	8.527 8	2.86	8.361 8	0.86	8.397 3	1.28
二氧化氯	8.605 2	2.19	8.574 8	1.83	8.503 7	0.98
NH ₄ ⁺	9.158 3	2.35	9.160 6	2.38	8.971 3	0.26
甲醛	9.709 1	1.65	9.811 5	2.73	9.610 3	0.62
萘(石油类)	9.948 0	2.44	9.758 3	0.49	9.912 2	2.07
TDS	11.914 6	0.22	12.172 3	2.39	12.172 3	2.39
三氯乙烯	12.949 9	2.93	12.664	0.66	12.758 7	1.41
Cl ⁻	12.941 1	0.41	13.184 2	2.30	13.184 3	2.30
乙腈	13.502 9	3.01	13.273 5	1.26	13.202 6	0.72
Fe	14.682 0	1.64	14.681 7	1.64	14.693 5	1.72
氰化钾(氰化物)	15.159 8	2.68	15.037 0	1.84	14.835 8	0.48
MTBE	15.398 7	3.18	15.066 7	0.95	15.054 9	0.87
二氯甲烷	15.635 4	3.13	15.291 6	0.86	15.315 3	1.01
硝基苯	15.794 7	3.45	15.362 7	0.62	15.410	0.93
Mn	16.894 2	2.07	16.776 7	1.36	16.812 2	1.57
对三氟甲基苯酚(挥发酚)	17.137 5	3.50	16.617 2	0.36	16.747 5	1.14
苯	17.294 5	3.30	16.859 8	0.71	16.907 2	0.99
Cr ⁶⁺	17.763 5	2.27	17.569 7	1.16	17.640 7	1.57
七氯	18.480 2	3.54	17.871 9	0.13	18.084 9	1.33
苯并[a]芘	18.559 9	3.68	17.913 3	0.07	18.126 4	1.26
四氯化碳	18.557 7	3.22	18.084 8	0.59	18.191 3	1.18

2.2 变化地下水风险性、地下水价值和地下水源保护区的权重

将变化范围同样设在 5%,将地下水风险性、地下水价值和地下水源保护区的各自权重分别增加 5%,原权重为 0.549 9、0.240 2 和 0.209 8. 因此更改后的三套方案 E、F、G 里地下水风险性、地下水自身价值和地下水源保护区的权重分别为 0.577 4、0.240 2 和 0.209 8; 0.549 9、0.252 2 和 0.209 8; 0.549 9、0.240 2 和 0.220 3. 由此得到的地下水污染防控区划如图 5 所示.

六套方案地下水污染防控区划各级别的网格数和变化率如表 2 所示.

敏感度系数 = 网格平均变化率/5%

方案 A、B、C、E、F、G 的敏感度系数分别为 0、0.487 5、0.487 5、0.482 5、2.895 5、2.582、0.457 5. 由此可以看出方案 E、F、G 相对于方案 A、B、C 的敏感度系数较大,说明地下水风险性、地下水自身价值和地下水源保护区三者权重较毒性、迁移性和降解性三者的权重和更改污染指标量更为敏感.

表 2 地下水污染防控区划各级别的网格数及其变化率

Table 2 Grid number and its change rate at all levels of groundwater pollution and control zoning				
项目	一般防护区	重点防护区	一般控制区	重点控制区
原始方案	2 345	2 193	1 915	529
方案 A	2 345(0)	2 193(0)	1 915(0)	529(0)
方案 B	2 377(1.36%)	2 188(0.23%)	1 860(2.87%)	557(5.29%)
方案 C	2 377(1.36%)	2 188(0.23%)	1 860(2.87%)	557(5.29%)
方案 E	1 789(23.8%)	2 746(25.2%)	1 880(1.83%)	567(7.18%)
方案 F	1 789(23.8%)	2 746(25.2%)	1 906(0.47%)	541(2.27%)
方案 G	2 345(0)	2 190(0.14%)	1 880(1.83%)	567(7.18%)

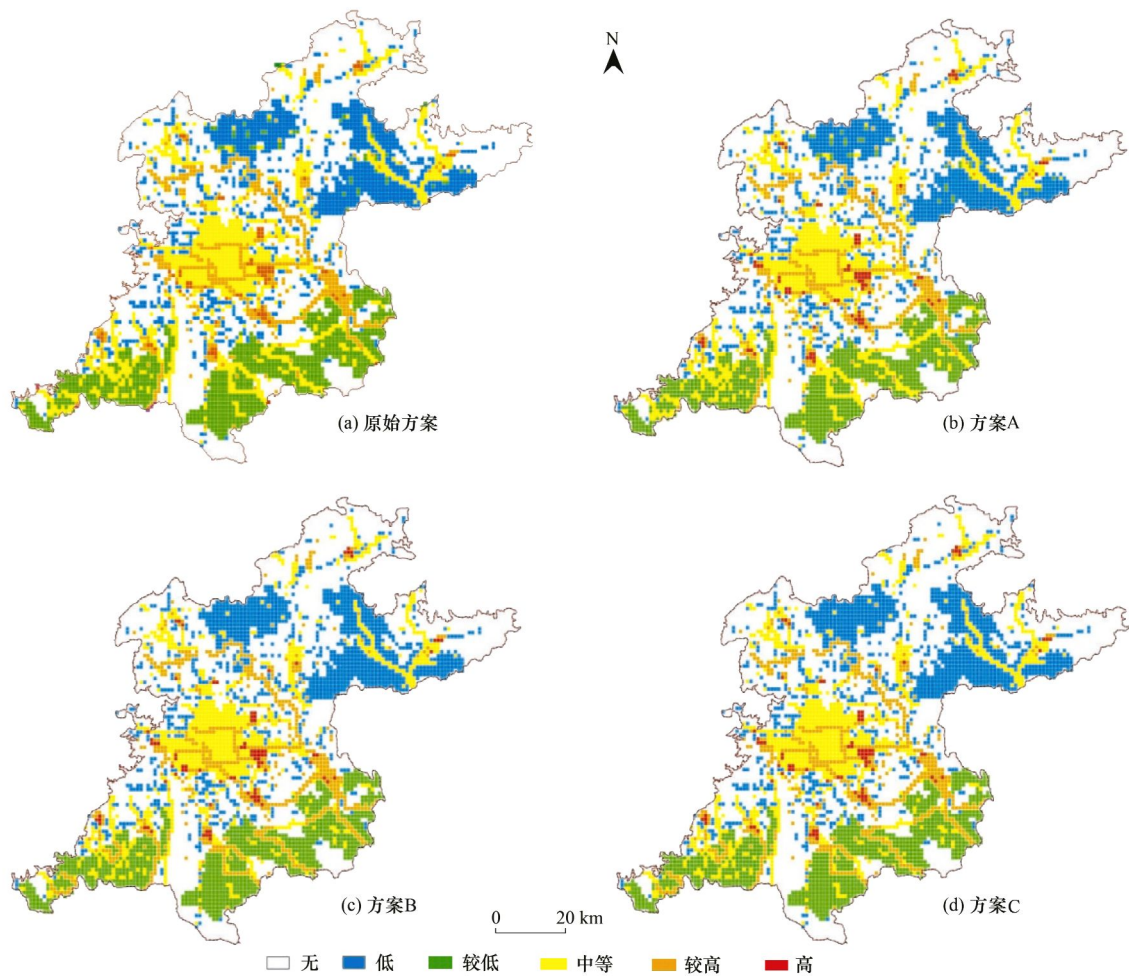


图3 原始方案和方案A、B、C的污染源危害性分级

Fig. 3 Hazard classification of pollution sources in the original and A, B, C scheme

总体上看,北京市平原区地下水污染防治区划图能够综合反映出该区域目前的地下水状况,符合实际情况,能够为下一步地下水预防、监管措施的制定、相关保护与治理工作的开展提供依据.北京市平原区防治级别最高(重点控制区)的大部分区域位于城八区西部、平原区北部及东北部,这些区域地下水污染风险等级、地下水价值等级及地下水水源保护区等级均处于较高级别;在本研究的地下水防控区划体系中,毒性、迁移性和降解性三者的权重是针对污染源潜在危害性评价过程中的参数,属于整个评价体系的最底层,而地下水风险性、地下水价值和地下水水源保护区三者权重是针对最终防控区划评价的参数,属于整个评价体系的最高层次(图1).因此,这种不确定性的结果主要是源自于方法构建的3个层次特征.在第一层级中,毒性、迁移性和降解性三者的权重影响特征污染物属性;在第二层级中,特征污染物属性与污染物排放量相乘

得到污染源危害性,在这一层级中,污染物排放量的数值较大,因此特征污染物属性量化这一复杂过程中涉及的毒性、迁移性和降解性评估则显得影响较小.也正因为此,合理确定最高层次地下水风险性、地下水价值和地下水水源保护区的权重就显得尤为重要.本方法中权重的确定是根据层次分析,认为地下水污染风险性比地下水价值微小重要,比水源保护区稍微重要;地下水价值比水源保护区微小重要计算确定的.

3 结论

为了对北京市平原区地下水污染防控区划进行更为准确的分析,对其进行不确定性分析,通过改变毒性、迁移性和降解性的权重值和地下水污染风险、地下水价值和地下水水源保护区的权重值进行敏感性分析,研究结果表明地下水污染风险、地下水价值和地下水水源保护区的权重值比毒性、迁移性和

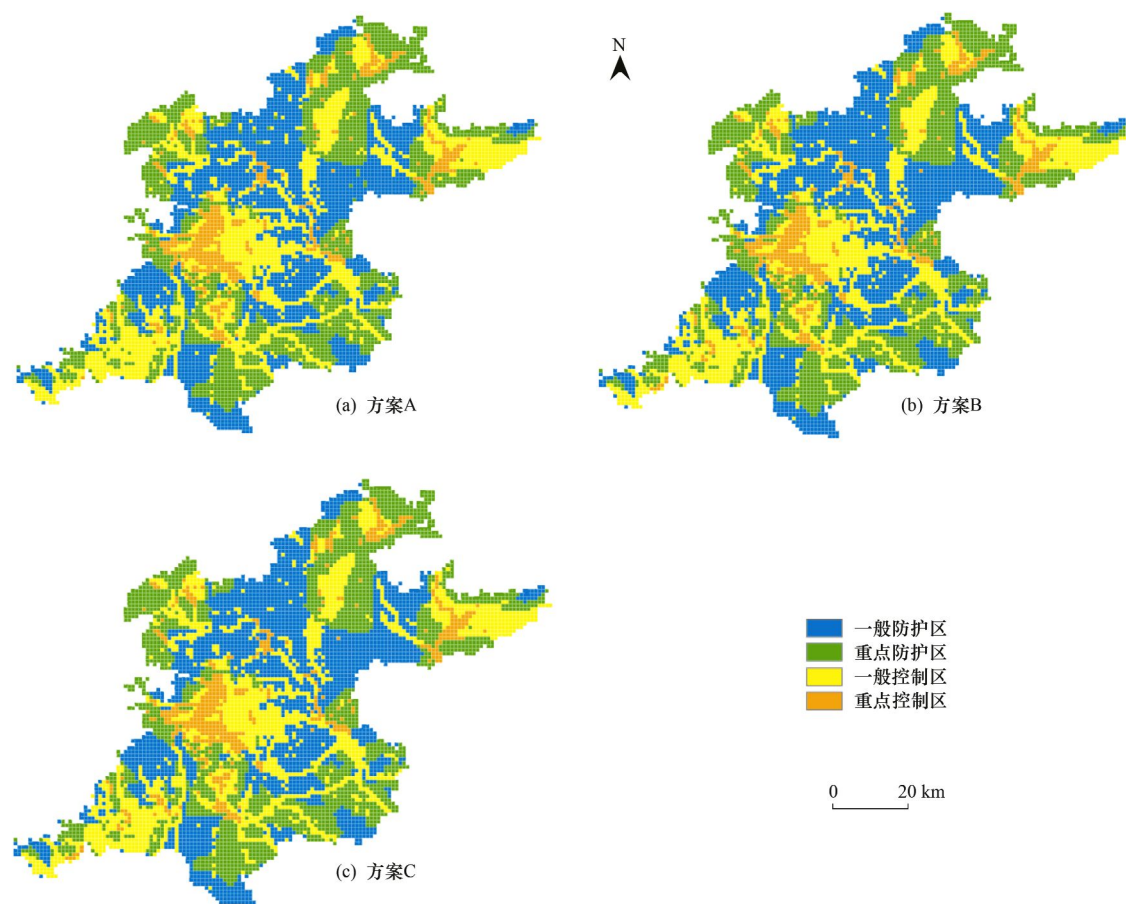


图4 方案A、B、C的地下水污染防治区划

Fig. 4 Groundwater pollution prevention and control zoning in scheme A, B, C

降解性的权重值更为敏感,毒性、迁移性和降解性三者的权重针对污染源潜在危害性评价过程中的参数,属于整个评价体系的最底层,而地下水风险性、地下水自身价值和地下水源保护区三者权重是针对最终防控区划评价的参数,属于整个评价体系的最高层次。因此这种不确定性的结果主要是源自于方法构建的3个层次特征。也正因为此,合理确定最高层次地下水风险性、地下水自身价值和地下水源保护区的权重就显得尤为重要。

参考文献:

- [1] Cleary T C, Cleary R W. Delineation of wellhead protection areas; theory and practice[J]. *Water Science and Technology*, 1991, **24**(11): 239-250.
- [2] Jaco N, Xu Y, Okke B, *et al.* Benefit and implementation of groundwater protection zoning in south Africa [J]. *Water Resources Management*, 2009, **23**(14): 2895-2911.
- [3] World Health Organization guidelines for drinking-water quality [R]. Geneva: World Health Organization, 2006. 85-89.
- [4] Sukhija B S, Reddy D V, Nagabhushanam P, *et al.* Characterisation of recharge processes and groundwater flow mechanisms in weathered-fractured granites of Hyderabad (India) using isotopes [J]. *Hydrogeol*, 2006, **14**(5): 663-674.
- [5] Escolero O A, Marin L E, Steinich B, *et al.* Development of a protection strategy of karst limestone aquifers; the Merida Yucatan, Mexico case study[J]. *Water Resources Management*, 2002, **16**(5): 351-367.
- [6] Foster S S D, Hirata R. Groundwater pollution risk assessment: A methodology using available data [R]. Peru, Lima: Pan American Centre for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), 1988. 1-10.
- [7] Zaporozec A, Conrad J E, Hirata R, *et al.* Groundwater contamination inventory [R]. United States of America: UNESCO, 2002. 99-105.
- [8] Mathess G, Foster S S D, Skinner A C, *et al.* Theoretical background, hydrogeology and practice of groundwater protection zones[R]. Verlag Heinz Heise; International Contributions to Hydrogeology, 1985. 204.
- [9] Groundwater Protection Schemes[R]. Ireland: Department of the Environment and Local Government, 1999. 9.
- [10] Pochon A, Tripet J, Kozel R, *et al.* Groundwater protection in fractured media: a vulnerability-based approach for delineating protection zones in Switzerland [J]. *Hydrogeol*, 2008, **16**(7): 1267-1281.
- [11] 王焰新. 地下水污染与防治[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007. 277-280.

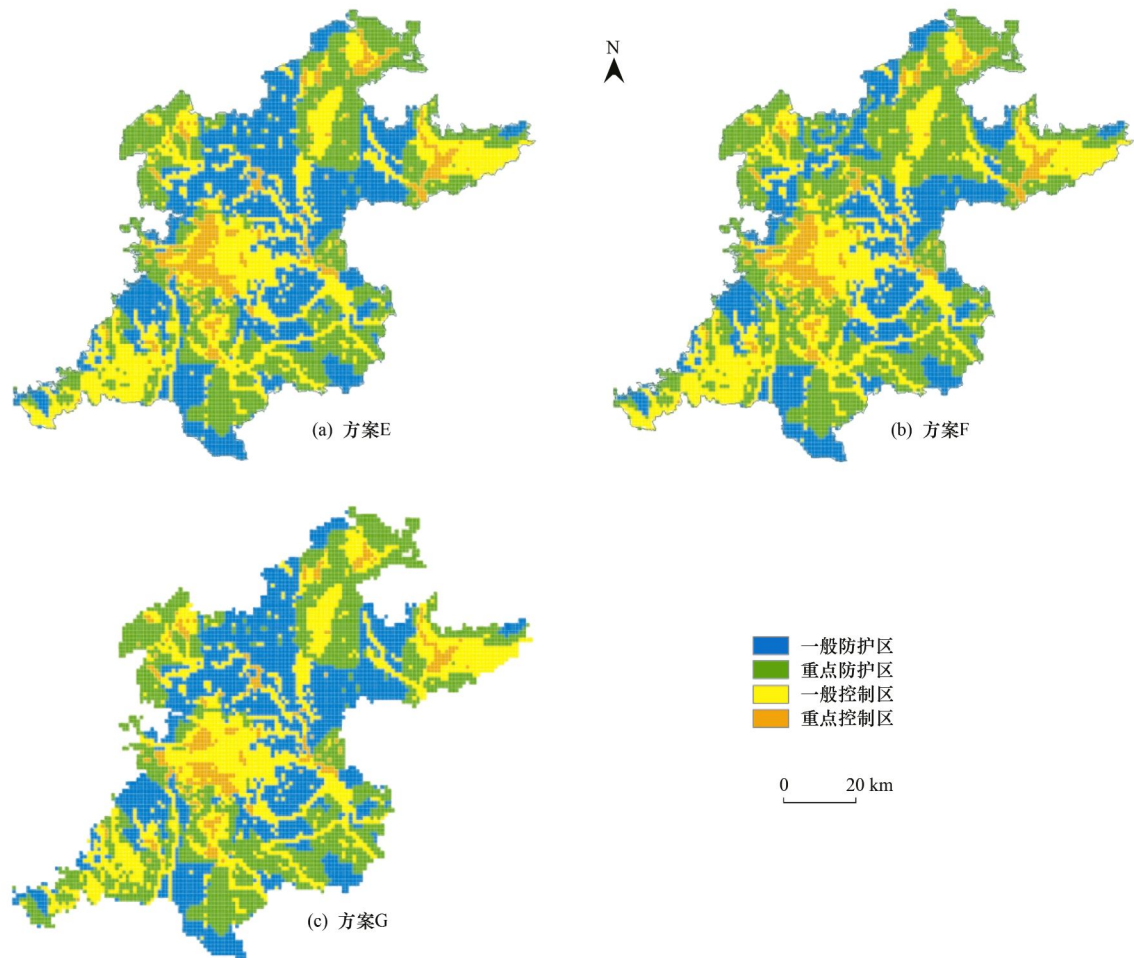


图5 方案E、F、G的地下水污染防治区划图

Fig. 5 Groundwater pollution prevention and control zoning in scheme E, F, G

- [12] Xu Y, Van Tonder G J. Capture zone simulation for boreholes located in fractured dykes using the linesink concept[J]. *Water SA*, 2002, **28**(2): 165-169.
- [13] 李延忠. 企业经济管理不确定性分析方法[J]. *中国科技信息*, 2011, (7): 92-93.
- [14] 吴吉春, 陆乐. 地下水模拟不确定性分析[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2011, **47**(3): 227-234.
- [15] 王伟明, 郑一, Arturo K. 概率配点法在流域非点源污染不确定性分析中的应用[J]. *农业环境科学学报*, 2010, **29**(9): 1750-1756.
- [16] 黄海, 笪良龙, 张林. 基于蒙特卡罗方法的海洋环境不确定性仿真[J]. *计算机仿真*, 2007, **24**(9): 308-311.
- [17] 杨蕤. 不确定性分析在公路工程经济评价中的应用[J]. *西部探矿工程*, 2011, (2): 216-218.
- [18] 李杰. 道路工程经济分析与决策[M]. 北京: 人民交通出版社, 1995. 86-90.
- [19] 卢丽荣. 论不确定性分析在水利工程经济评价中的应用[J]. *水利经济*, 2003, **21**(5): 48-50.
- [20] 陆燕, 何江涛, 王俊杰, 等. 北京平原区地下水污染源识别与危害性分级[J]. *环境科学*, 2012, **33**(5): 1526-1531.
- [21] 江剑, 董殿伟, 杨冠宁, 等. 北京市海淀区地下水污染风险性评价[J]. *城市地质*, 2010, **5**(2): 14-18.
- [22] Saidi S, Bouri S, Ben Dhia H, *et al.* Assessment of groundwater risk using intrinsic vulnerability and hazard mapping: Application to souassi aquifer, tunisian sahel [J]. *Agricultural Water Management*, 2011, **98**(10): 1671-1682.
- [23] Council N R. Valuing ground water: Economic concepts and approaches [M]. Washington, DC, USA: National Academy Press, 1997.
- [24] 张丽君, 曹红, 马颖. 地下水源保护区划分方法的探讨[J]. *辽宁城乡环境科技*, 2006, **26**(2): 9-10.
- [25] 张保祥. 黄水河流域地下水脆弱性评价与水源保护区划分研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2006.
- [26] Exposito J L, Esteller M V, Paredes J, *et al.* Groundwater protection using vulnerability maps and wellhead protection area (whpa): A case study in mexico [J]. *Water Resources Management*, 2010, **24**(15): 4219-4236.
- [27] Gümüstekin A. Build-Operate-Transfer Model for Investment Projects: A Comparison with Social Benefit Cost Analysis[D]. Ankara: Middle Est Technical University, 1992. 77-186.
- [28] 赵虎林. 投资项目财务评价新指标“敏感度系数”计算的讨论[J]. *化工技术经济*, 2004, **22**(1): 35-36.
- [29] 陈程. 基于敏感性分析法的电力项目技术经济评价[J]. *中国电力教育*, 2010, (24): 253-254.
- [30] 李华东, 张木亮. 敏感度系数应用问题探析[J]. *决策管理*, 2008, (7): 73.

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《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9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol.33 No.9 Sep. 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