

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第4期

Vol.34 No.4

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

唐山大气颗粒物中水溶性无机盐的观测研究	苗红妍, 温天雪, 王丽, 李杏茹, 王跃思 (1225)
鼎湖山 PM ₁₀ 中水溶性离子浓度特征分析	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 刘全 (1232)
北京夏冬季霾天气下气溶胶水溶性离子粒径分布特征	黄怡民, 刘子锐, 陈宏, 王跃思 (1236)
深圳市 PM ₁₀ 化学组成与时空分布特征	云慧, 何凌燕, 黄晓峰, 兰紫娟, 李响, 曾立武 (1245)
福州城市及郊区冬、夏两季大气中多环芳烃特征研究	易志刚, 黄幸然, 毕峻奇, 郭萍萍, 郑丽丽 (1252)
河西走廊及兰州地区典型有机氯农药的大气残留及时空分布特征	丁中原, 毛潇萱, 马子龙, 田慧, 郭强, 黄韬, 高宏, 李军, 张干 (1258)
淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算	薛文博, 王金南, 杨金田, 雷宇, 燕丽, 贺晋瑜, 韩宝平 (1264)
香溪河秋季水-气界面温室气体通量日变化观测及影响因素分析	黄文敏, 朱孔贤, 赵玮, 余博识, 袁希功, 冯瑞杰, 毕永红, 胡征宇 (1270)
变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响	赵微, 林健, 王树芳, 刘记来, 陈忠荣, 寇文杰 (1277)
基于 ArcSWAT 模型的长乐江流域非点源氮素污染源识别和分析	邓欧平, 孙嗣咏, 吕军 (1284)
西安周边河流溶解无机碳浓度及同位素组成初探	郭威, 李祥忠, 刘卫国 (1291)
滇池流域宝象河暴雨径流初始冲刷效应	郭怀成, 向男, 周丰, 王永华, 李发荣, 朱翔, 毛国柱, 于书霞, 李娜, 盛虎, 杨永辉, 何成杰, 王翠榆 (1298)
三峡库区沉积物秋冬初的磷释放通量估算	牛凤霞, 肖尚斌, 王雨春, 刘德富, 黎国育, 王亮, 纪道斌, 杨正健 (1308)
海南东部河流、河口及近岸水域颗粒态重金属的分布及污染状况	辛成林, 任景玲, 张桂玲, 郭亚平, 张国玲, 刘素美 (1315)
黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征	吴斌, 宋金明, 李学刚 (1324)
扎龙湿地沉积物重金属空间分布特征及其潜在生态风险评价	叶花香, 臧淑英, 张丽娟, 张玉红 (1333)
上海市典型疏浚泥重金属生态风险评价	唐庆丽, 程金平, 高昊旻, 姚磊, 蒋真毅, 吴旻, 谢翠松, 梁海, 王鹤, 皮帅帅, 余朝毅 (1340)
我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析	张灿, 陈虹, 余忆玄, 王立军, 韩建波, 陶平 (1345)
江苏某地长江、太湖水源水及出厂水中有机物雌激素活性的比较	金涛, 吕学敏, 曾一凡, 张冰冰, 马鲲鹏, 姜朴, 唐非 (1351)
北京市污水处理厂中邻苯二甲酸酯污染水平及其归趋	周益奇, 刘云霞 (1357)
降解 DMF 引起污泥毒性及其毒性空间分布特性研究	胡园园, 杨娜, 丁毅, 徐文璐, 陈秀荣, 艾奇峰, 陈善佳, 王利鹏, 黄华 (1363)
渤海湾有机锡污染对野生脉红螺的生态风险	安立会, 张燕强, 宋双双, 刘玥, 高俊敏, 陈浩, 赵兴茹, 雷坤, 郑丙辉 (1369)
巨牡蛎 (<i>Crassostrea</i> sp.) 对燃煤电厂脱硫海水中汞的生物累积	刘锡尧, 袁东星, 陈耀瑾 (1374)
咪唑盐离子液体对蚯蚓急性毒性及体重影响研究	黄若男, 范军杰, 涂宏志, 谭凌燕, 刘惠君, 徐冬梅 (1380)
铝盐混凝除砷影响因素及机制研究	陈桂霞, 胡承志, 朱灵峰, 童华卿 (1386)
混凝和活性炭吸附去除微污染源水中 DON 的研究	刘冰, 余国忠, 古励, 赵承美, 李清飞, 翟慧敏 (1392)
活性炭催化臭氧氧化扑热息痛的机制研究	王佳裕, 戴启洲, 鱼杰, 颜亦舟, 陈建孟 (1402)
氯酚溶液的 γ 辐照还原降解研究	彭云霞, 何仕均, 龚文琪, 王建龙 (1411)
C/N 比对反硝化过程中亚硝酸盐积累的影响分析	袁怡, 黄勇, 邓慧萍, 盛学敏, 潘杨, 李祥 (1416)
以甲醇为碳源生物反硝化过程释放一氧化二氮的试验研究	翟晓峰, 蒋成爱, 吴光学, 曾运涛 (1421)
固体纤维素类废物作为反硝化碳源滤料的比选	李斌, 郝瑞霞 (1428)
基于能源回收的城市污水厌氧氨氧化生物脱氮新工艺	卢健聪, 高大文, 孙学影 (1435)
多模式厌氧/缺氧/好氧污水处理工艺的稳态与动态模拟	周振, 吴志超, 王志伟, 杜兴治, 蒋玲燕, 邢灿 (1442)
高氨氮废水与城市生活污水短程硝化系统菌群比较	赵志瑞, 马斌, 张树军, 李滨, 白志辉, 王晓辉, 庄国强, 张洪助 (1448)
活性污泥絮体的分形结构分析	阮晓东, 刘俊新 (1457)
负荷交替法快速培养好氧硝化颗粒污泥的研究	沈娜, 杨昌柱, 濮文虹, 罗应东 (1464)
预加不同比例不同粒径好氧颗粒对 SBR 中好氧颗粒污泥形成的影响	熊光城, 濮文虹, 杨昌柱 (1472)
同时回收氮磷提高碱性发酵污泥脱水性能的机制研究	张超, 陈银广, 顾国维 (1479)
利用流式细胞仪分选技术研究湖泊真核超微藻的遗传多样性	谢薇薇, 龚伊, 王张伟, 孔繁翔, 史小丽 (1485)
阿魏酸和香豆素对铜绿微囊藻的化感作用	郭亚丽, 傅海燕, 黄国和, 高攀峰, 柴天, 严滨, 廖欢 (1492)
象山港国华电厂强增温海域浮游动物群落结构和多样性的时空特征	朱艺峰, 黄简易, 林霞, 杨莹, 邢超, 严小军 (1498)
环氧树脂降解嗜盐菌的筛选及其处理高盐环氧树脂废水的特性研究	王进, 徐真, 彭书传, 夏明山, 岳正波, 陈天虎 (1510)
铜绿假单胞菌胞内酶粗提液对十溴联苯醚的降解	史广宇, 尹华, 叶锦韶, 彭辉, 张娜, 何宝燕 (1517)
酵母提取物对葡萄糖发酵生产生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 的影响	黄翔峰, 王凯, 黎明霞, 王彩林, 陆丽君, 刘佳 (1524)
玉米秸秆厌氧降解复合菌系的微生物群落结构	乔江涛, 郭荣波, 袁宪正, 师晓爽, 许晓晖, 范晓蕾, 邱艳玲 (1531)
红霉素对产甲烷菌的抑制及其驯化	刘子旭, 孙力平, 李玉友, 邱春生 (1540)
4 种 NAPLs 污染物在二维砂箱中的指进锋面形态特征研究	杨宾, 李慧颖, 伍斌, 杜晓明, 李发生 (1545)
污灌区土壤中多环芳烃的垂直分布及可能来源	姚林林, 张彩香, 李佳乐, 廖小平, 王焰新 (1553)
呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价	郭伟, 孙文惠, 赵仁鑫, 赵文静, 付瑞英, 张君 (1561)
水稻光合同化碳在土壤不同粒径、密度分组中的分配特征	李苗苗, 聂三安, 陈晓娟, 罗璐, 朱捍华, 石辉, 葛体达, 童成立, 吴金水 (1568)
亚热带不同稻田土壤微生物量碳的剖面分布特征	盛浩, 周萍, 袁红, 廖超林, 黄运湘, 周清, 张杨珠 (1576)
施用堆腐有机肥对水稻土中六氯苯脱氯降解影响	刘翠英, 蒋新 (1583)
螯合剂和生物表面活性剂对 Cu、Pb 污染壤土的淋洗修复	刘霞, 王建涛, 张萌, 王力, 杨亚提 (1590)
不同温度下烧制的秸秆炭对可变电荷土壤吸附 Pb(II) 的影响	蒋田雨, 姜军, 徐仁扣, 周立祥, 王世梅 (1598)
绿色木霉改性玉米秸秆溢油吸附剂的制备及其性能研究	蓝丹琳, 彭丹, 郭楚玲, 朱超飞, 薛秀玲, 党志 (1605)
改性与成型层状氢氧化镁铝对不同水体中 PO ₄ ³⁻ 的脱除性能	邢坤, 王海增 (1611)
羧基化碳纳米管载铂催化剂对微生物燃料电池阴极氧还原性能的影响	涂丽杏, 朱能武, 吴平霄, 李平, 吴锦华 (1617)
新型生物质活性炭烟气脱硫研究	刘洁岭, 汤争光, 陈杰, 蒋文举, 江霞 (1623)
城市工业行业能源消费强度等级划分方法及应用	毛建素, 马兰 (1628)
厦门城市化进程中的居民食物碳消费及其环境负荷	闫祯, 崔胜辉, 李桂林, 任引, 徐礼来 (1636)
《环境科学》征订启事 (1283) 《环境科学》征稿简则 (1332) 信息 (1350, 1509, 1582, 1644) 专辑征稿通知 (1523)	

变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响

赵微, 林健, 王树芳, 刘记来, 陈忠荣, 寇文杰

(北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195)

摘要: 北京市平原区地下水系统可以分为6个子系统。由于各子系统的水文地质条件不同, 人类活动对其影响程度也不同。为评价人类活动对各子系统的影响, 以2011年9月地下水样品数据做基础, 选取水质相对较差的第一和第二含水层组为评价层位, 考虑总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氨氮等13项人为活动影响指标, 采用变异系数法确定各指标的权重, 以及参考国家标准确定各指标评价分值的方法, 叠加计算各水样的综合分值, 评价平原区地下水水质状况。以地下水子系统为评价单元, 以各类型水质分区为评价要素, 对比分析各子系统受人类活动影响程度。评价结果表明, 人类活动对第一含水层组的影响大于第二含水层组, 永定河地下水子系统和潮白河地下水子系统受影响大于其他地下水子系统。

关键词: 人类活动; 地下水子系统; 变异系数法; 影响程度; 综合指数

中图分类号: X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)04-1277-07

Influence of Human Activities on Groundwater Environment Based on Coefficient Variation Method

ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shu-fang, LIU Ji-lai, CHEN Zhong-rong, KOU Wen-jie

(Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing 100195, China)

Abstract: Groundwater system in the plain area of Beijing can be divided into six subsystems. Due to the different hydrogeological conditions of the subsystems, the degrees to which human activities affect the subsystems are also diverse. In order to evaluate the influence of human activities on each subsystem, the first and second aquifer with relatively poor water quality were chosen to be the evaluating positions, based on the data of groundwater sampled in September, 2011. With respect to human activities affect index such as total hardness, TDS, sulfate and ammonium, variation coefficient methods were used to calculate the weight of each index. Then scores were obtained for each index with national standard as reference, and superposition calculations were used to gain comprehensive scores, finally the groundwater quality conditions were evaluated. Contrast analyses were used to evaluate the incidence of human activities with groundwater subsystems as evaluation unit and water quality partitions as evaluation factors. The results indicate that the influence of human activities on the first aquifer is greater than that of the second aquifer, the Yongding river groundwater subsystems and the Chaobai river groundwater subsystems are affected more than other groundwater subsystems.

Key words: human activities; groundwater sub-system; coefficient variation method; influence degree; synthetic index

水是人类赖以生存的不可缺少的宝贵资源, 地下水因其水质良好, 分布广泛, 变化稳定及便于利用等原因, 成为人类理想的供水水源^[1]。北京市地下水开采量占全市供水量的 2/3 左右^[2], 自 1999 年以来北京连续干旱, 地表水资源严重短缺, 地下水的重要性日益显著; 因城市快速发展而产生的人为污染和超量开采改变了地下水环境^[3]。

本次以地下水子系统为评价单元, 采用变异系数确定权重的方法评价地下水水质状况。目前, 基于变异系数权重方法在水资源评价、地表水质量评价等方面有所应用, 索晓波等^[4]应用变异系数权重 TOPSIS 法对水资源进行综合评价; 王芸^[5]应用变异系数权重的灰色关联投影法对地表水进行了水质评价; 门宝辉等^[6]基于变异系数权重建立了水质评价属性识别模型, 对地表水进行了水质评价, 但在地下水水质评价方面应用不多。本次在以上研究的基

础上, 应用变异系数权重, 参照文献^[7], 探索适合地下水质量评价的新方法, 参照评价结果, 对比分析人类活动对地下水环境的影响程度。

1 研究区概况

北京市位于华北平原的西北部, 西北和东北群山环绕, 东南是缓缓向渤海倾斜的大平原。北京地区地下水是一个极为复杂的大型地下水系统, 平原区地下水主要为第四系松散孔隙水, 由于平原区由不同的河流冲洪积作用形成, 各河流作用的强弱不同, 沉积物性质不同, 形成的水文地质特征不同, 因此将平原区地下水划分为6个地下水子系统。并根据地层沉积规律、时代特征, 地下含水层结构等特

收稿日期: 2012-07-09; 修订日期: 2012-09-21

基金项目: 北京市财政专项经费项目(PXM2011_158305_108974)

作者简介: 赵微(1979~), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为地下水环境监测与评价, E-mail: zhaoweimsb@163.com

征,将地下水含水层划分为4个含水层组.

1.1 地下水系统划分

北京平原区由永定河、潮白河及拒马河等河流冲洪积作用形成,由于各河流作用的强弱及沉积物的性质,控制着含水层的富水性、分布面积等,不同的冲洪积平原形成了各自的水文地质特征. 根据不同地区含水层的水文地质特征的差异,将平原区自东向西划分为6个子系统,分别为蓟运河(沟河、错

河)冲洪积扇地下水子系统、潮白河地下水子系统、温榆河冲洪积扇地下水子系统、永定河地下水子系统、大石河-拒马河冲洪积扇地下水子系统、永定河上游山间盆地地下水子系统^[8],见图1.

1.2 含水层组划分

依据地层沉积规律、时代特征,地下含水层结构,并结合地下水开发利用现状,在垂向上将平原区第四系自上而下划分4个含水层组^[9],见表1和图1.

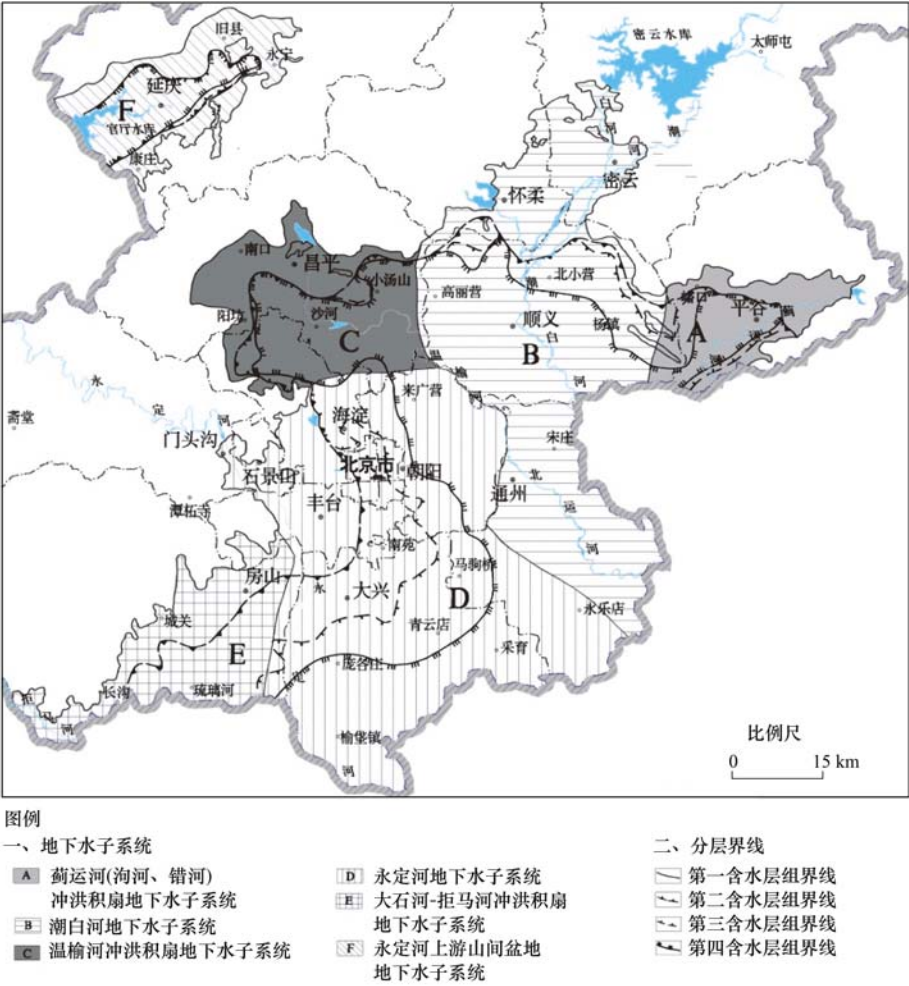


图1 地下水系统及含水层组划分示意

Fig. 1 Classification of groundwater systems and aquifers

表1 地下水含水层位划分表

Table 1 Classification of groundwater aquifers

分层	划分原则	分布面积/km ²
第一含水层组	潜水及承压水分布区含水层底板埋深小于50 m的浅层具有微承压性质的含水层组	6 528
第二含水层组	承压水区,含水层组底界深度80~120 m,局部地区以基岩作为底界	4 770
第三含水层组	承压水区,含水层组底界埋深150~180 m,局部地区以基岩作为底界	3 995
第四含水层组	承压水区,含水层组底界埋深300 m,局部地区为第四系基底	3 068

2 评价方法选取

2.1 常用评价方法

目前地下水质量评价方法分为单因子评价法和综合评价法^[10,11],其中综合评价法包括内梅罗指数法、模糊综合评价法、灰色聚类法^[12]、灰色关联度

法、人工神经网络^[13]、遗传算法、多元回归模型、逻辑斯谛曲线(Logistic)模型、主成分分析法^[14]、集对分析法、物元可拓法等^[15]地下水综合评价法中常用的为内梅罗指数法和模糊综合评判法,但均存在一定的缺点和不足. 内梅罗指数法是地下水质量标准(GB/T 14848-93)中推荐的方法,其优点是突出了最大分指数对环境质量的影响,但是当有两个以上的分指数都超过1时,用内梅罗公式计算所得到的综合评分值偏低^[16];当参评指标较为复杂,且痕量指标较多时,由于未考虑权重因素、评价结果易于受极值影响,物理意义不明确^[17]. 模糊评判法应用隶属函数刻画水环境质量的分级界线的模糊性,比较客观地反映实际情况,但强调极值作用,信息损失多,权重值的科学性不够明确.

2.2 变异系数确定权重的评价方法

由于水质系统是一个由多因子构成的复杂系统,水质评价受诸多指标因子的影响,从而多数评价方法在进行水质评价时均表现出一定的局限性. 鉴于此,本研究引入变异系数确定权重的方法进行水质评价. 利用变异系数确定各指标的权重,较为客观地反映评价指标的相对重要程度,避免专家赋权重的偏好性,削弱极值指标对评价结果的影响.

一般来讲,在地下水中,人为输入物质在空间上具有离散程度高、波动性大的特征^[18],也就是说人类活动对地下水环境的影响,在空间上具有较大的差异,表现在水化学指标离散程度高、波动性大,即污染指标的方差较大(在数理统计中,方差用于描述随机变量对于数学期望值的偏离程度). 本研究根据均方差、变异系数确定各评价指标的权重,根据各指标权重,计算各水样的综合评分值,对比分析不同地下水子系统受人类活动影响程度大小.

各监测点综合评分值 F 的计算公式如下:

$$F = \sum_{i=1}^m A_i Z_i$$

式中, A_i 为第 i 项指标的权重, $\sum_{i=1}^m A_i = 1$; $A_i = \frac{\delta_i}{\sum \delta_i}$; δ_i 为第 i 项指标的变异系数,无量纲; $\delta_i = \frac{S}{\bar{c}_i}$; S 为第 i 项指标特征值的均方差, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $S = \sqrt{\sum (c_i - \bar{c})^2 / n}$; $\bar{c}_i$ 为第 i 项指标的平均浓度值, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\bar{c}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}$; Z_i 为第 i 项指标的评价分值,确定方法参照《中华人民共和国地下水质量标准

准》(GB/T 14848-93)中单项指标评价分值的划定结果,见表2.

表2 单项指标评价分值

Table 2 Assessment score of single index					
类别	I类	II类	III类	IV类	V类
Z_i	0	1	3	6	10

3 水质综合评价

在选定水质评价方法的基础上,选取评价数据和评价层位,确定评价指标.

3.1 评价层位和数据的选取

3.1.1 评价层位的确定

根据“北京市平原区地下水环境监测网运行(2011年)”年度报告监测成果,采用《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)推荐的内梅罗指数法评价结果,北京市平原区第三和第四含水层组水质较好,大部分地区水质以良好为主,仅第三含水层组的通州和顺义局部地区水质出现了较差和极差区,受人类活动影响较小^[19]. 因此本次仅选取第一和第二含水层组进行评价.

3.1.2 评价数据筛选

评价数据参考2011年9月采样及测试数据,其中第一和第二含水层组采样井数分别为376个和227个. 采样点分布位置见图2.

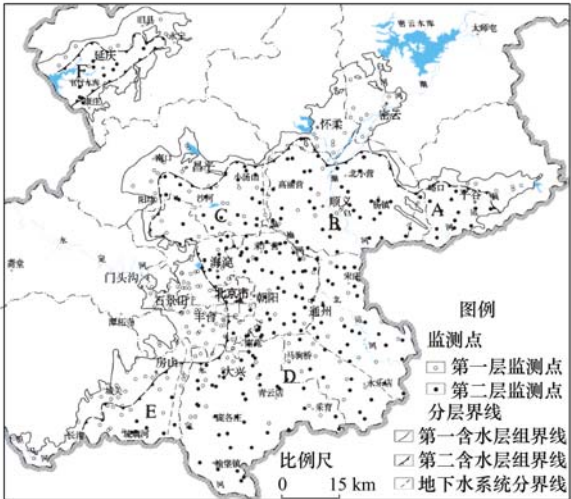


图2 采样点分布位置

Fig. 2 Sampling site distribution

3.2 评价指标选取

评价指标选取2011年9月测试指标中的pH、总硬度、溶解性总固体、氯化物、硫酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、高锰酸盐指数、汞、铬(六价)、挥发性酚类、氰化物共13项.

3.3 水质综合评价

3.3.1 计算变异系数

根据评价数据,对平原区第一和第二含水层组

各指标的变异系数进行计算,由于汞均未检出,变异系数为0,不参与计算;其他指标变异系数计算结果见表3.

表3 第一和第二含水层组变异系数计算结果

Table 3 Coefficient of variation for the first and second aquifer group

分层	pH	总硬度	溶解性总固体	氯化物	硫酸盐	硝酸盐	亚硝酸盐	氨氮	高锰酸盐指数	铬(六价)	挥发性酚类	氰化物
第一层	0.031	0.436	0.443	0.846	0.935	1.468	6.863	5.132	0.814	1.77	2.294	4.328
第二层	0.028	0.458	0.404	0.973	0.895	1.912	6.625	6.943	1.231	2.060	2.611	3.636

指标的变异系数是刻画指标分辨信息的能力(即指标的区分度),变异系数越大,表明该指标在各个决策单元中的分布变异性越大,指标的信息分辨能力就越强;反之则越弱,应予以剔除.

根据变异系数计算结果,删除变异系数较

小、对评价结果影响不大的指标 pH,简化指标体系.

3.3.2 确定权重

根据计算公式,除 pH 外 11 项指标的权重计算结果见表4.

表4 第一和第二含水层组权重计算结果

Table 4 Weights for the first and second aquifer group

分层	总硬度	溶解性总固体	氯化物	硫酸盐	硝酸盐	亚硝酸盐	氨氮	高锰酸盐指数	铬(六价)	挥发性酚类	氰化物
第一层	0.017 2	0.017 5	0.033 4	0.036 9	0.058 0	0.270 9	0.202 6	0.032 1	0.070 0	0.090 5	0.170 9
第二层	0.016 5	0.014 6	0.035 0	0.032 3	0.068 9	0.238 8	0.250 2	0.044 4	0.074 2	0.094 1	0.131 0

3.3.3 计算水质综合评分值

根据对第一、第二含水层组水质综合评分值计算,两层地下水中 F 值介于 1.0 ~ 3.822 之间, F 值越小,表明水质越好. 经统计,40% 的点 $F < 1.5$, 90% 的点 $F < 2.5$, 综合评分值出现的频率状况见图3.

根据 F 值统计结果,本次划分 4 个区间,见表5.

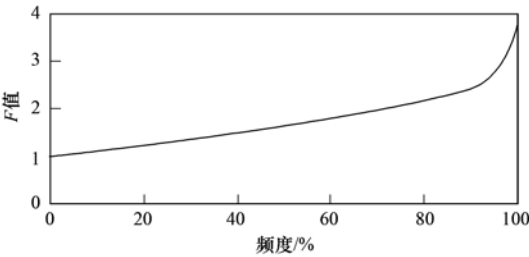


图3 浅层和中层地下水综合评分值频度统计

Fig. 3 Frequency statistics of synthetical assessment score for shallow and middle aquifers

表5 综合评分值区间

Table 5 Intervals of synthetical assessment score

分类	I类区	II类区	III类区	IV类区
F 值	< 1.5	$1.5 \sim < 2$	$2 \sim < 2.5$	> 2.5

3.3.4 影响程度对比

根据对浅层和中层地下水水质综合评分值的计算,应用 MAPGIS 的空间分析功能,采用 Kring 泛克

立格法进行网格化,生成平面等值线;结合水文地质条件、地下水流动特征等因素对等值线进行适当的人工调整,绘制浅层和中层的地下水水质综合分区图,见图4和图5.

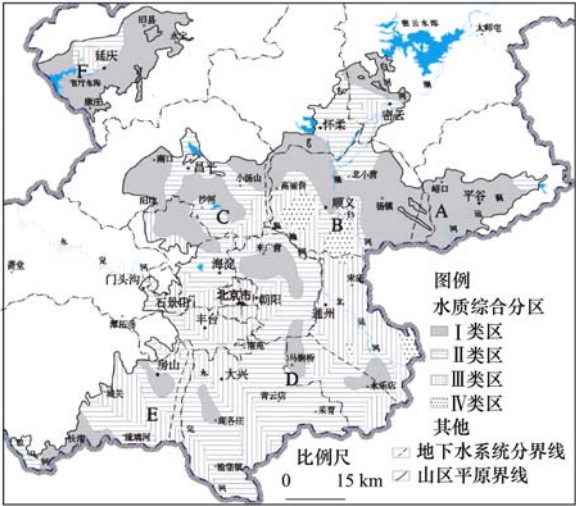


图4 第一含水层组水质评价分区

Fig. 4 Water quality zones for the first aquifer

由第一和第二含水层组水质综合分区图可以看出,在垂向上,第一含水层组的水质明显劣于第二含水层组. 在水平上,蓟运河子系统、永定河上游山间盆地子系统、温榆河子系统水质相对较好;潮白河子系统中下游的顺义西南、通州东部,永定河子系统的城近郊区西南部、大兴部分地区以及大石河子系统的房山城关及其下游地区水质较差.

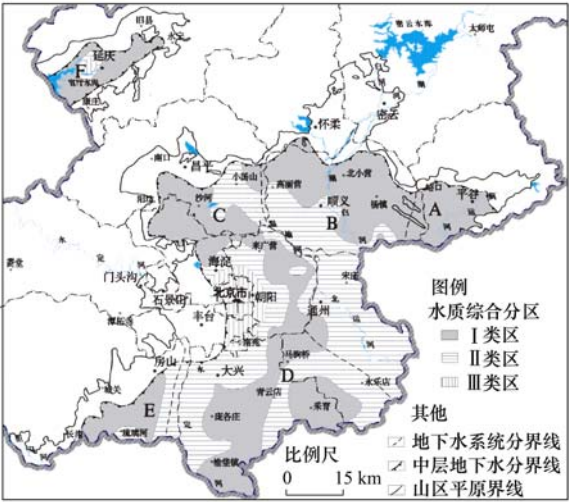


图5 第二含水层组水质评价分区
Fig. 5 Water quality zones for the second aquifer

4 影响程度对比

王金哲等^[20]在“人类活动对浅层地下水干扰程度定量评价及验证”中采用加权综合指数法,进行人类活动对浅层地下水影响程度的量化评价. 该方法是将与评价目标有关的各种要素综合整理在一起,从中遴选出主要影响要素,然后确定各主要要素的相对重要性,给出定量指标;通过数学方法求解,加权测定研究对象受主要影响要素的影响状况. 邓新发^[21]采用因子加权综合评判法对松阳县地质灾害易发区进行了评价.

本研究参考上述方法,选取各地下水子系统水质评价类型分区为评价要素,确定各分区的相对重要性进行加权计算,评价各子系统受人类活动影响程度,即统计各类水质分区面积所占比例,根据经验对各水质分区赋以不同权重(表6),叠加计算影响程度综合指数,根据综合指数计算结果进行对比. 本次选取的评价指标均为人类活动影响指标,因此水质较差的地区即为受人类活动影响较大的地区.

影响程度综合指数 R 计算公式:

$$R = \sum_{i=1}^n a_i X_i$$

式中, a_i 为不同水质类型分区权重; X_i 为水质分区

表6 不同水质类型分区权重赋值

分类	I 类区	II 类区	III 类区	IV 类区
权重	0.1	0.2	0.3	0.4

所占比例; n 为水质分区类别数.

4.1 水质分区面积统计

根据第一和第二含水层组水质综合评价结果,各地下水子系统不同水质分区所占比例见图6和图7.

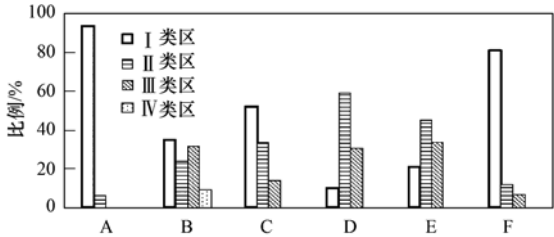


图6 第一含水层组水质分区面积所占比例统计
Fig. 6 Ratio of groundwater quality distribution area in the first aquifer

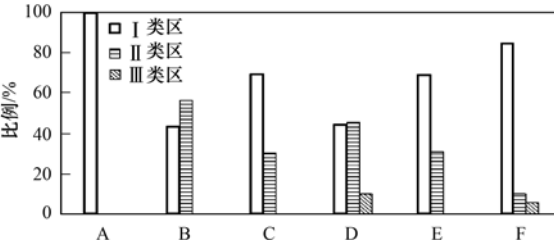


图7 第二含水层组水质分区面积所占比例统计
Fig. 7 Ratio of groundwater quality distribution area in the second aquifer

根据统计结果,第一含水层组中蓟运河和永定河上游山间盆地子系统水质较好,其他子系统Ⅲ类和Ⅳ类区面积所占比例较大;第二含水层组中蓟运河子系统水质最好,永定河上游山间盆地子系统水质Ⅰ类区所占比例较大,其他子系统则以Ⅰ类和Ⅱ类区为主.

4.2 影响程度综合指数计算

根据公式,各地下水系统影响程度综合指数计算结果见表7.

表7 综合指数计算结果

Table 7 Calculated results of composite index

分层	蓟运河子系统 (A)	潮白河子系统 (B)	温榆河子系统 (C)	永定河子系统 (D)	大石河子系统 (E)	永定河上游山间盆地子系统 (F)
第一层	10.65	21.57	16.21	22.07	21.31	12.55
第二层	10.00	15.71	13.04	16.58	13.10	12.10
均值	10.32	18.64	14.62	19.33	17.20	12.32

综合分析第一和第二层地下水子系统综合指数,北京市平原区地下水受人类活动影响程度从大到小依次为永定河子系统(D)、潮白河子系统(B)、大石河子系统(E)、温榆河子系统(C)、永定河上游山间盆地子系统(F)、蓟运河子系统(A)。

4.3 原因分析

第一含水层组受人类活动影响明显大于第二含水层组,主要是由于第一含水层组的补给来源多为大气降水,且包气带岩性多为砂或砂砾石,地表污染物极易在大气降水淋滤作用下进入含水层造成地下水污染。

永定河、潮白河和大石河子系统受人类活动影响较大,其中永定河子系统影响较大的地区主要分布在城近郊区中南部,受首钢及城区老工业基地工业废水排放及城区密集人口生活污水排放的影响,影响指标主要为硝酸盐氮、总硬度及挥发性酚类。潮白河子系统受影响较大的地区主要分布在顺义西南部和通州东部,主要是由于该地区为还原环境,地表污染物进入地下水造成氨氮、亚硝酸盐氮等物质的还原,使其浓度高于其他地区,影响指标主要为氨氮、亚硝酸盐氮和总硬度;另外密云十里堡地区水质较差,初步认为受该地区再生水利用的影响,影响指标主要为硝酸盐氮。大石河子系统受人类活动影响较大的地区主要分布在房山城关地区,受燕山石化工业和生活污水排放的影响,影响指标主要为硝酸盐氮、硫酸盐和氯化物。

5 结论

(1)人类活动对地下水环境的影响主要反映在第一含水层组,永定河地下水子系统和潮白河地下水子系统受影响大于其他地下水子系统。

(2)应用变异系数确定权重的水质评价方法,可客观地体现离散程度高指标的重要程度,加强微量检出指标的重要性,弱化总硬度、溶解性总固体等常规指标的影响;并可在多数指标无背景数据的情况上进行影响程度的对比分析,方法相对简单,具有一定的实用性。但由于该方法提高了微量指标的权重,因此评价结果极易受微量指标浓度的影响,应尽量确保测试结果的精确性;同时,水质评价结果受监测井分布的影响,应注意评价数据的选取,确保水质评价样品分布均匀并具有代表性。

(3)通过对评价结果和污染原因的分析,可以表明应用变异系数确定权重的方法较合理,可在参评指标多,背景资料较少的情况下用于地下水水质

现状评价及污染评价。

参考文献:

- [1] 唐克旺,侯杰,唐蕴. 中国地下水质量评价(1)——平原区地下水水化学特征[J]. 水资源保护, 2006, 22(2): 1-5.
- [2] 姜体胜,杨忠山,王明玉,等. 北京市南口地区浅层地下水水化学时空变化特征分析[J]. 地球与环境, 2011, 39(2): 203-208.
- [3] 郇环,王金生,翟远征,等. 北京平原区永定河冲洪积扇地下水水化学特征与演化规律[J]. 地球学报, 2011, 32(3): 357-366.
- [4] 索晓波,门宝辉. 变异系数权重 TOPSIS 法在水资源综合评价中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2007, 5(5): 45-47.
- [5] 王芸. 基于变异系数权重的灰色关联投影法在水质评价中的应用[J]. 地下水, 2010, 32(2): 61-63.
- [6] 门宝辉,梁川. 基于变异系数权重的水质评价属性识别模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(10): 1373-1375, 1378.
- [7] GB/T14848-93, 中华人民共和国地下水质量标准.
- [8] 张安京,叶超,李宇,等. 北京地下水[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008. 35-38.
- [9] 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.
- [10] Lambrakis N, Antonakos A, Panagopoulos G. The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research[J]. Water Research, 2004, 38(7): 1862-1872.
- [11] Reghunath R, Murthy T R S, Raghavan B R. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India[J]. Water Research, 2002, 36(10): 2437-2442.
- [12] Suk H, Lee K K. Characterization of a ground water hydrochemical system through multivariate analysis: Clustering into ground water zones[J]. Ground Water, 1999, 37(3): 258-366.
- [13] Rogers L L, Dowl F U. Optimization of groundwater remediation using artificial neural networks with parallel solute transport modeling[J]. Water Resources Research, 1994, 30(2): 457-481.
- [14] Helena B, Pardo R, Vega M, et al. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis[J]. Water Research, 2000, 34(3): 807-816.
- [15] 白玉娟,殷国栋. 地下水水质评价方法与地下水研究进展[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(3): 115-119, 123.
- [16] 时光新,姜运轩,陈学山. 基于变异系数的地下水环境质量评价模型及应用[J]. 地下水, 2002, 24(3): 147, 166.
- [17] 李亚松,张兆吉,费宇红,等. 地下水质量综合评价方法优选与分析——以滹沱河冲洪积扇为例[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(1): 6-10.
- [18] 程东会,陈鸿汉,何江涛,等. 北京城近郊区地下水人为影

- 响和水-岩作用指示性指标研究[J]. 水文地质工程地质, 2007, 35(5): 37-42.
- [19] 林健, 赵微, 江岳, 等. 北京市平原区地下水环境监测网运行 2011 年度成果报告[R]. 北京: 北京市水文地质工程地质大队, 2012. 57-61.
- [20] 王金哲, 张光辉, 母海东, 等. 人类活动对浅层地下水干扰程度定量评价及验证[J]. 水利学报, 2011, 42(12): 1445-1451.
- [21] 邓新发. 因子加权综合评判法在评价地质灾害易发区中的应用[J]. 西部探矿工程, 2010, (1): 142-144.

欢迎订阅 2013 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊.

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等.

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等.

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续.

《环境科学》2013 年为大 16 开本,90 元/册,全年 12 期.

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjlx@rcees.ac.cn;网址:www.hjlx.ac.cn

CONTENTS

Water-soluble Inorganic Salts in Ambient Aerosol Particles in Tangshan	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Li, <i>et al.</i> (1225)
Characterization of Water-soluble ions in PM _{2.5} at Dinghu Mount	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1232)
Characteristics of Mass Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions During Summer and Winter Haze Days of Beijing	HUANG Yi-min, LIU Zi-rui, CHEN Hong, <i>et al.</i> (1236)
Characterising Seasonal Variation and Spatial Distribution of PM _{2.5} Species in Shenzhen	YUN Hui, HE Ling-yan, HUANG Xiao-feng, <i>et al.</i> (1245)
Characteristics of PAHs in the Atmosphere in Winter and Summer in the Urban and Suburban of Fuzhou	YI Zhi-gang, HUANG Xing-ran, BI Jun-qi, <i>et al.</i> (1252)
Seasonal Variation and Spatial Distribution of Typical Organochlorine Pesticides in the Atmosphere of Hexi Corridor and Lanzhou, Northwest China	DING Zhong-yuan, MAO Xiao-xuan, MA Zi-long, <i>et al.</i> (1258)
Simulation of Air Pollution Characteristics and Estimates of Environmental Capacity in Zibo City	XUE Wen-bo, WANG Jin-nan, YANG Jin-tian, <i>et al.</i> (1264)
Diurnal Changes in Greenhouse Gases at Water-Air Interface of Xiangxi River in Autumn and Their Influencing Factors	HUANG Wen-min, ZHU Kong-xian, ZHAO Wei, <i>et al.</i> (1270)
Influence of Human Activities on Groundwater Environment Based on Coefficient Variation Method	ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1277)
Nitrogen Non-Point Source Pollution Identification Based on ArcSWAT in Changhe River	DENG Ou-ping, SUN Si-yang, LÜ Jun (1284)
Study on the Content and Carbon Isotopic Composition of Water Dissolved Inorganic Carbon from Rivers Around Xi'an City	GUO Wei, LI Xiang-zhong, LIU Wei-guo (1291)
First Flush Effects of Storm Events of Baoxiang River in Lake Dianchi Watershed	GUO Huai-cheng, XIANG Nan, ZHOU Feng, <i>et al.</i> (1298)
Estimation of Releasing Fluxes of Sediment Phosphorous in the Three Gorges Reservoir During Late Autumn and Early Winter	NIU Feng-xia, XIAO Shang-bin, WANG Yu-chun, <i>et al.</i> (1308)
Distributions and Pollution Status of Heavy Metals in the Suspended Particles of the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	XIN Cheng-lin, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (1315)
Environmental Characteristics of Heavy Metals in Surface Sediments from the Huanghe Estuary	WU Bin, SONG Jin-ming, LI Xue-gang (1324)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Zhalong Wetland	YE Hua-xiang, ZANG Shu-ying, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (1333)
Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals of the Typical Dredged Mud in Shanghai	TANG Qing-li, CHENG Jin-ping, GAO Hao-min, <i>et al.</i> (1340)
Pollution Characteristics of Heavy Metals in Sludge from Wastewater Treatment Plants and Sludge Disposal in Chinese Coastal Areas	ZHANG Can, CHEN Hong, YU Yi-xuan, <i>et al.</i> (1345)
Comparison of the Estrogenic Activity of Organic Compounds in Source Water and Finished Water from the Yangtze River and Taihu Lake in Certain Areas of Jiangsu Province	JIN Tao, LÜ Xue-min, ZENG Yi-fan, <i>et al.</i> (1351)
Occurrence and Fate of Phthalates in Wastewater Treatment Plants in Beijing, China	ZHOU Yi-qi, LIU Yun-xia (1357)
Research on Sludge Toxicity Caused by DMF Biodegradation and Toxicity Spatial Distribution in Sludge Flocs	HU Yuan-yuan, YANG Na, DING Yi, <i>et al.</i> (1363)
Study on the Ecological Risk of Wild Veined Rapa Whelk (<i>Rapana venosa</i>) Exposed to Organotin Compounds in Bohai Bay, China	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, SONG Shuang-shuang, <i>et al.</i> (1369)
Bioaccumulation of Mercury in <i>Crassostrea</i> sp. Exposed to Waste Seawater Discharged from a Coal-fired Power Plant Equipped with a Seawater Flue-gas Desulfurization System	LIU Xi-yao, YUAN Dong-xing, CHEN Yao-jin (1374)
Effects of Imidazolium Chloride Ionic Liquids on the Acute Toxicity and Weight of Earthworm	HUANG Ruo-nan, FAN Jun-jie, TU Hong-zhi, <i>et al.</i> (1380)
Influencing Factors and Mechanism of Arsenic Removal During the Aluminum Coagulation Process	CHEN Gui-xia, HU Cheng-zhi, ZHU Ling-feng, <i>et al.</i> (1386)
Removal of DON in Micro-polluted Raw Water by Coagulation and Adsorption Using Activated Carbon	LIU Bing, YU Guo-zhong, GU Li, <i>et al.</i> (1392)
Mechanism of Catalytic Ozonation for the Degradation of Paracetamol by Activated Carbon	WANG Jia-yu, DAI Qi-zhou, YU Jie, <i>et al.</i> (1402)
Reductive Degradation of Chlorophenols in Aqueous Solution by Gamma Irradiation	PENG Yun-xia, HE Shi-jun, GONG Wen-qi, <i>et al.</i> (1411)
Effect of C/N Ratio on Nitrite Accumulation During Denitrification Process	YUAN Yi, HUANG Yong, DENG Hui-ping, <i>et al.</i> (1416)
Nitrous Oxide Emission During Denitrification for Activated Sludge Acclimated with Methanol as the Organic Carbon	ZHAI Xiao-feng, JIANG Cheng-ai, WU Guang-xue, <i>et al.</i> (1421)
Comparison and Optimization of Cellulose Carbon Source for Denitrification Filter	LI Bin, HAO Rui-xia (1428)
A Novel Municipal Wastewater Treating Process for Energy Production and Autotrophic Nitrogen Removal Based on ANAMMOX	LU Jian-cong, GAO Da-wen, SUN Xue-ying (1435)
Modeling and Dynamic Simulation of the Multimode Anaerobic/Anoxic/Aerobic Wastewater Treatment Process	ZHOU Zhen, WU Zhi-chao, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1442)
Comparing Microbial Community of High Ammonia Wastewater and Municipal Sewage in a Partial Nitrification System	ZHAO Zhi-rui, MA Bin, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (1448)
Analysis of the Fractal Structure of Activated Sludge Flocs	RUAN Xiao-dong, LIU Jun-xin (1457)
Rapid Cultivation of Aerobic Nitrifying Granular Sludge with Alternate Loading Method	SHEN Na, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1464)
Acceleration of the Formation of Aerobic Granules in SBR by Inoculating Different Proportions and Different Diameters of Mature Aerobic Granules	XIONG Guang-cheng, PU Wen-hong, YANG Chang-zhu (1472)
Mechanisms of the Improvement in Dewaterability of Alkaline Fermented Sludge by Simultaneous Ammonium and Phosphate Recovery	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang, GU Guo-wei (1479)
Use of Flow Cytometric Sorting to Assess the Diversity of Eukaryotic Picophytoplankton of Lakes	XIE Wei-wei, GONG Yi, WANG Zhi-xue, <i>et al.</i> (1485)
Allelopathy Effects of Ferulic Acid and Coumarin on <i>Microcystis aeruginosa</i>	GUO Ya-li, FU Hai-yan, HUANG Guo-he, <i>et al.</i> (1492)
Spatiotemporal Characteristics of Zooplankton Community Structure and Diversity in the Strong Temperature Increment Seawaters near Guohua Power Plant in Xiangshan Bay	ZHU Yi-feng, HUANG Jian-yi, LIN Xia, <i>et al.</i> (1498)
Screening of Epoxy-degrading Halophiles and Their Application in High-salt Wastewater Treatment	WANG Jin, XU Zhen, PENG Shu-chuan, <i>et al.</i> (1510)
Biodegradation of Decabromodiphenyl Ether by Intracellular Enzyme Obtained from <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SHI Guang-yu, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1517)
Influence of Yeast Extract on the Fermentation of Glucose by the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, WANG Kai, LI Ming-xia, <i>et al.</i> (1524)
Phylogenetic Analysis of Methanogenic Corn Stalk Degrading Microbial Communities	QIAO Jiang-tao, GUO Rong-bo, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (1531)
Inhibition of Methanogenium by Erythromycin and Its Domestation	LIU Zi-xu, SUN Li-ping, LI Yu-you, <i>et al.</i> (1540)
Sand Box Study on Fingering Front Morphology for NAPLs Infiltrated in Homogeneous Porous Media	YANG Bin, LI Hui-ying, WU Bin, <i>et al.</i> (1545)
Vertical Distribution and Possible Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sewage Area Soil	YAO Lin-lin, ZHANG Cai-xiang, LI Jia-le, <i>et al.</i> (1553)
Characteristic and Evaluation of Soil Pollution by Heavy Metal in Different Functional Zones of Hohhot	GUO Wei, SUN Wen-hui, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1561)
Distribution Characteristics of Rice Photosynthesized Carbon in Soil Aggregates of Different Size and Density	LI Miao-miao, NIE San-an, CHEN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1568)
Profile of Soil Microbial Biomass Carbon in Different Types of Subtropical Paddy Soils	SHENG Hao, ZHOU Ping, YUAN Hong, <i>et al.</i> (1576)
Effect of Composting Organic Fertilizer Supplies on Hexachlorobenzene Dechlorination in Paddy Soils	LIU Cui-ying, JIANG Xin (1583)
Remediation of Cu-Pb-Contaminated Loess Soil by Leaching with Chelating Agent and Biosurfactant	LIU Xia, WANG Jian-tao, ZHANG Meng, <i>et al.</i> (1590)
Effects of Different Temperatures Biochar on Adsorption of Pb(II) on Variable Charge Soils	JIANG Tian-yu, JIANG Jun, XU Ren-kou, <i>et al.</i> (1598)
Preparation and Performance Investigation of <i>Trichoderma viride</i> -Modified Corn Stalk as Sorbent Materials for Oil Spills	LAN Zhou-lin, PENG Dan, GUO Chu-ling, <i>et al.</i> (1605)
Removal of PO ₄ ³⁻ from Solution, Wastewater and Seawater by Modification and Granulation Magnesium and Aluminium Layered Double Hydroxide	XING Kun, WANG Hai-zeng (1611)
Influence of Carboxylic Carbon Nanotube Supported Platinum Catalyst on Cathode Oxygen Reduction Performance of MFC	TU Li-xing, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1617)
Flue Gas Desulfurization by a Novel Biomass Activated Carbon	LIU Jie-ling, TANG Zheng-guang, CHEN Jie, <i>et al.</i> (1623)
Method for Grading Industrial Sectors in Energy Consumption and Its Application	MAO Jian-su, MA Lan (1628)
Dynamics and Environmental Load of Food Carbon Consumption During Urbanization: A Case Study of Xiamen City, China	YAN Zhen, CUI Sheng-hui, LI Gui-lin, <i>et al.</i> (1636)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年4月15日 34卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 4 Apr. 15, 2013

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行