

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

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

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清端,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨

王俊杰, 何江涛*, 陆燕, 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: 针对地下水污染风险评价中的外界胁迫脆弱性评价缺乏有效量化体系这一问题, 通过地下水污染源解析, 提出了基于特征污染物及其对应排放量的量化体系; 通过特征污染物属性解析及利用层次分析法确定研究侧重点, 构建了该体系中的特征污染物量化方法. 将该量化方法应用于北京市地下水污染风险评价, 结果表明, 依据不同研究侧重点得出的 3 种特征污染物危害性计算结果具有明显差异, 并且 3 种危害性排序与对应的 3 种属性排序亦存在差异. 由此表明, 确定研究侧重点的主观倾向对特征污染物危害性计算结果有决定性影响. 此外, 在计算过程中, 以序列值的方式解决 3 种属性的归一化及不同类别特征污染物属性量化结果的统一, 会造成不同特征污染物之间相对属性特征的放大或缩小.

关键词: 地下水污染风险评价; 胁迫脆弱性; 层次分析法; 特征污染物危害性; 属性量化

中图分类号: X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0771-06

Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment

WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, 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: In the light of the problem that stress vulnerability assessment in groundwater pollution risk assessment is lack of an effective quantitative system, a new system was proposed based on representative contaminants and corresponding emission quantities through the analysis of groundwater pollution sources. And quantitative method of the representative contaminants in this system was established by analyzing the three properties of representative contaminants and determining the research emphasis using analytic hierarchy process. The method had been applied to the assessment of Beijing groundwater pollution risk. The results demonstrated that the representative contaminants hazards greatly depended on different research emphasizes. There were also differences between the sequence of three representative contaminants hazards and their corresponding properties. It suggested that subjective tendency of the research emphasis had a decisive impact on calculation results. In addition, by the means of sequence to normalize the three properties and to unify the quantified properties results would zoom in or out of the relative properties characteristic of different representative contaminants.

Key words: groundwater pollution risk assessment; stress vulnerability; analytic hierarchy process; representative contaminants hazards; properties quantification

地下水污染风险评价是保护地下水资源免受外来污染的重要措施与依据^[1,2]. 该评价体系的构成包括以下 2 个基本方面^[3~6]: ①外界胁迫脆弱性评价, 即地表污染源及人类活动作用于地下水环境, 对其造成破坏的一种表征; ②含水层固有脆弱性评价, 即与地表人类活动分开, 基于地层自身属性特征的一种表征. 针对地下水固有脆弱性的研究已有了长足的发展, 目前存在多种评价体系, 如 DRASTIC、GOD、PI 等^[7~10], 并延伸出针对地下水氮素污染及农业活动等的特殊脆弱性评价^[11~15], 为地下水污染风险评价的研究提供了技术基础. 能够对地下水环境造成污染的地表污染源及相关地表人类活动极其复杂^[16], 针对外界胁迫脆弱性的大多数研究, 要么限于对污染源及人为活动、土地利用类型等进行调查分级^[4,17,18], 要么需要依据不同污染源及人为活

动提出不同的污染源评估方法, 需要极其详细的资料, 现实推广性差^[1,19~21], 尚未形成有效的评价参数体系.

本研究通过解析地表污染源构成, 从特征污染物及其对应排放量角度出发, 提出了一种定量表征外界胁迫脆弱性的量化体系, 并以特征污染物的 3 种属性及属性对应的权重方式对特征污染物进行了量化方法研究, 以期为进一步不同污染源胁迫脆弱性的量化评价提供基础.

收稿日期: 2011-05-13; 修订日期: 2011-07-25

基金项目: 环保公益性行业科研项目(200909038-1)

作者简介: 王俊杰(1986~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为地下水环境, E-mail: wjj198635@163.com

* 通讯联系人, E-mail: jtthe@cugb.edu.cn

1 评价方法构建

1.1 地下水污染源解析

现实中的地下水污染源种类繁多、规模各异,并且因研究尺度及研究目的不同,对污染源的取舍、分类亦不相同^[22].以城市尺度为例^[23],为比较不同污染源可能对地下水环境造成污染的程度,将主要污染源按照来源分类,分为工业污染源、农业污染源、生活污染源、城市地表污染水体、加油站及油库、垃圾场等.其中工业污染源、农业污染源、生活污染源可根据研究需要继续进行细化.

构建污染源量化方法过程中,需要考虑到不同类型污染源释放的特征污染物种类及其排放量均不相同,而同一类型污染源释放的特征污染物种类及其对应排放量亦存在不同,如以不同类型企业为主的工业区.污染源排放的特征污染物,按照类型可分为无机特征污染物、有机特征污染物及一些常规的综合指标,如 TDS、COD 等^[22].

在对某污染源筛选特征污染物时,应尽量遵循以下原则.

①作为该污染源排放的主要污染组分,能够反映出该污染源的排放组分特征;②与研究区域地下水中的典型污染组分相吻合;③优先选择我国“水中优先控制污染物”名单所筛选的污染物;④优先选择《地下水质量标准》^[24]及《生活饮用水卫生标准》^[25]中所罗列的物质.

1.2 特征污染物解析

地下水受到污染源污染,归根结底表现为污染源排放的一定数量的特征污染物透过包气带,对地下水环境造成破坏.进入含水层特征污染物的数量与污染源的排放数量有关,而特征污染物对地下水环境的破坏则需考虑其自身属性^[6].

特征污染物对地下水环境的破坏是其一定数量的基础上,通过其自身属性表现出来的.如某种一定数量的特征污染物,其毒性属性体现为其对环境的破坏力,毒性越强,破坏力越大,环境自我修复能力越弱^[6,26].迁移性属性体现为其在地下水环境中的污染范围,迁移性越强,污染范围越大^[27].降解性属性体现为其在地下水环境中的污染持续时间,降解性越差,污染持续时间越长^[28].针对上述 3 种属性,尝试分别找到描述性指标予以量化,进而为不同特征污染物的量化对比提供条件.此外,由于衡量特征污染物对地下水环境造成污染的侧重点(破坏力、污染范围、污染持续时间)不同,必须对这 3 种

属性赋予不同权重加以区别.

1.3 评价公式的建立

基于上述分析,某污染源对地下水环境造成污染能力的评价,可以用如下公式进行定量表征.

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

$$C_{ij} = T_{ij}W_T + M_{ij}W_M + D_{ij}W_D \quad (2)$$

式中, S_j 为污染源 j 对地下水环境造成污染能力的定量表征,称为污染源危害性; C_{ij} 为污染源 j 的第 i 种特征污染物 3 种自身属性的定量表征,称为特征污染物危害性; Q_{ij} 表示风险源 j 排放的第 i 种污染物能够进入地下水环境的数量,称为排放量; T_{ij} 、 M_{ij} 、 D_{ij} 分别为特征污染物 i 的毒性量化指标、迁移性量化指标、降解性量化指标; W_T 、 W_M 、 W_D 分别为毒性、迁移性、降解性属性的权重值.

首先根据研究侧重点确定 3 种属性的权重,并筛选出所需评价污染源的污染特征污染物,在此基础上确定其 3 种属性的量化指标,即可依据公式(2)进行特征污染物的量化.针对不同污染源, Q_{ij} 的算法亦存在差异,本研究中不另做论述.在 C_{ij} 、 Q_{ij} 均确定的基础上,便可利用公式(1)进行污染源危害性的计算、分级,进而评价不同污染源对地下水的胁迫脆弱性.

2 方法中参数的量化

2.1 特征污染物属性权重的计算方法

以层次分析法确定特征污染物 3 种属性的权重值.层次分析法是 Saaty^[29]于 20 世纪 70 年代提出的一种决策方法.它是将半定性、半定量问题转化为定量问题的有效途径,在决策工作中有广泛的应用^[30,31].利用层次分析法计算 3 种属性权重值的过程如下:①根据特征污染物对环境造成污染的侧重点建立层次结构;②构造判断矩阵;③进行层次排序及其一致性检验;④得出 3 种属性权重值.

以 Saaty 提出的 9 级标度法^[32]构造判断矩阵,标度法如表 1 所示.

2.2 特征污染物 3 种属性的量化

特征污染物毒性的量化指标优先参考文献[25]中相应的标准值,如果该标准中不包含对应的特征污染物,则可参考世界卫生组织或别国对应的相关饮用水卫生标准.采用此种方法可以将无机和有机特征污染物的毒性差异有机地整合起来,为下一步的属性量化提供基础.其中,标准中值越高,则认为其毒性越低.

表 1 Saaty 标度法
Table 1 Saaty scale method

标度 a_{ij}	定义	标度 a_{ij}	定义
1	因素 B_i 与因素 B_j 同等重要	9	因素 B_i 比因素 B_j 极端重要
3	因素 B_i 比因素 B_j 略重要	2,4,5,6,8	以上 2 个判断之间的中间状态对应的标度值
5	因素 B_i 比因素 B_j 较重要	1~9 的倒数	因素 B_i 与因素 B_j 比较, $a_{ji} = 1/a_{ij}$
7	因素 B_i 比因素 B_j 非常重要		

特征污染物迁移性的量化指标因污染物类型的差异而有所不同. 无机类特征污染物在地下水中的迁移性主要受到离子交换、氧化还原等作用的影响, 地下水环境的 Eh-pH 条件对无机组分, 尤其是重金属组分迁移性的影响极为重要. 因此, 在筛选出研究区域无机特征污染组分的基础上, 综合讨论无机特征污染组分的迁移性强弱. 有机特征污染物在迁移过程中, 主要受吸附作用的控制, 而有机碳分配系数 ($\lg K_{oc}$)^[6,27] 则是表征有机特征污染物被固相有机碳吸附的重要参数, 可用以衡量有机特征污染物在地下水环境中的迁移性. 综合指标迁移性的确定则依据所筛选的无机、有机特征污染物而定. 一般来说, 地下水环境中无机组分的迁移性强于有机组分, 但无机特征污染物与有机特征污染物的相对迁移性强弱同样依据实际情况而定.

特征污染物降解性的量化主要参考地下水环境中发生的生物降解作用. 对无机特征污染物而言, 地下水环境中最容易发生生物降解的为 NH_4^+ 及 NO_3^- , 其余常见无机特征污染物生物降解作用微弱. 有机特征污染物由于自身的结构差异, 在自然界中的生物降解速率差异极大. 为了统一衡量有机特征污染物的降解性, 本研究利用美国国家环保局开发的有机物结构-活性估算软件 EPI Suite 中的 BioWin3 模块估算有机物在自然环境中的降解速率^[33]. 综合指标降解性的确定同样依据所筛选无机、有机特征污染物而定. 三类特征污染物相对降解性强弱的确定需依具体特性污染物而定.

由于特征污染物的 3 种属性量化值量纲不统一, 数值差异巨大, 因此必须对其进行归一化处理, 使之具有可比性. 此外, 无机及综合特征污染物的迁移性及降解性并无明确的量化参考指标. 鉴于以上状况, 在对无机及综合特征污染物的迁移性及降解性分别进行讨论评定后, 结合其余 3 种属性的量化指标, 分别给出特征污染物针对 3 种属性的排序. 对应的序列值即代表了该特征污染物属性的相对大小. 序列值越高, 代表 3 种属性的危害性越大. 如果量化参考指标数值相同, 则序列值相同, 其余序列值

依次顺延.

3 案例分析及讨论

3.1 特征污染物属性权重值的确定

分别以毒性、迁移性、降解性为侧重点, 确定特征污染物 3 种属性的权重组合. 将 3 种属性两两比较, 认为侧重点最高的属性(定为 A)相比于另 2 种属性(分别定为 B、C)略重要, 剩余 2 种属性(B、C)同等重要. 依此构造判断矩阵, 如表 2 所示.

表 2 特征污染物属性判断矩阵¹⁾

Table 2 Judgment matrix of representative contaminant properties			
	A	B	C
A	1	3	3
B	1/3	1	1
C	1/3	1	1

1) 此矩阵随机一致性指标 CR=0, 通过一致性检验

经计算, A、B、C 的权重值分别为: 0.6、0.2、0.2.

3.2 特征污染物筛选及其属性值的量化

以北京市地下水污染风险评价为例, 针对北京市地下水潜在污染源及北京市地下水污染物, 遵循文中 1.1 节中阐述的筛选原则, 筛选出的特征污染物及其属性参考量化指标等基础信息如表 3 所示. 其中综合特征污染指标 2 项, 无机特征污染指标 5 项, 有机特征污染指标 12 项.

参考文献[25]定出了有关特征污染物的毒性排名. 标准中规定浓度越高, 代表毒性越弱, 则排序越靠前. 其中乙腈参考标准中的氰化物值, 甲基叔丁基醚参考文献[25]中《日本饮用水水质基准》.

有机特征污染物的迁移性参考 $\lg K_{oc}$ 值, 值越大, 代表该物质越难迁移, 排序越靠前. COD 为综合衡量水中有机污染物含量的替代指标, 将其迁移性排在有机特征污染物之后, 无机特征污染物之前. TDS 为衡量地下水中无机离子含量的指标, 主要受迁移性强的离子影响. 无机特征污染物的迁移性普遍强于有机特征污染物. 结合文献[34,35]计算的化学元素在表生水环境中的水迁移系数, 本研究中无机特征污染物及 TDS 迁移强度排序为: $\text{Cl}^- > \text{TDS} > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{Cr}^{6+}$.

表 3 特征污染物基础信息表

Table 3 Basic information of representative contaminants

类型	特征污染物	污染来源	CAS 号	生活饮用水质量标准 /mg·L ⁻¹	lgK _{oc}	降解速率
综合指标	TDS	工业、生活、垃圾场、排污河、农业		1 000		
	COD	工业、生活、垃圾场、排污河、农业		5		
无机指标	Cr ⁶⁺	工业		0.05		
	Cl ⁻	工业、生活、排污河、垃圾场		250		
	SO ₄ ²⁻	工业、生活、排污河、垃圾场		250		
	NH ₄ ⁺ -N	工业、生活、排污河、垃圾场、农业		0.5		
	NO ₃ ⁻ -N	工业、生活、排污河、农业		20		
有机指标	苯并[a]芘	工业、生活、排污河	50-32-8	0.000 01	5.95	1.84
	七氯	农业	76-44-8	0.000 4	4.38	0.53
	四氯化碳	工业	56-23-5	0.002	1.85	1.95
	苯	工业、加油站及油库、排污河	71-43-2	0.01	1.75	2.44
	二氯甲烷	工业	75-09-2	0.02	1.44	2.67
	甲基叔丁基醚	加油站及油库	1634-04-4	0.02	1.35	2.78
	硝基苯	工业	98-95-3	0.017	1.94	2.78
	乙腈	工业	75-05-8	0.05	1.13	3.03
	三氯乙烯	工业	79-01-6	0.07	2.00	2.39
	萘	工业	91-20-3	0.3	2.96	2.33
	甲醛	工业	50-00-0	0.9	0.89	3.16
	乙苯	工业、加油站及油库	100-41-4	0.3	2.23	2.91

有机特征污染物的降解性参考降解速率,值越小,代表该物质越难降解,排序越靠后.认为有机综合指标 COD 最容易降解,NH₄⁺及 NO₃⁻在地下水环境中极易发生硝化、反硝化等生物作用,排序依次位于第二、第三.有机特征污染物在地下环境中容易受到微生物降解,依据计算的降解速率进行排序.剩余无机特征污染物及 TDS 基本不发生降解,认为降解

强度排序为:SO₄²⁻ > Cr⁶⁺ > TDS > Cl⁻.

3.3 特征污染物危害性计算结果与讨论

参考公式(2)将(0.6,0.2,0.2)、(0.2,0.6,0.2)、(0.2,0.2,0.6)3套权重组合分别赋予W_T、W_M、W_D,计算结果如表4所示.计算结果显示:特征污染物数量相同的情况下,分别侧重毒性、迁移性、降解性3种属性计算出的特征污染物危害性结果差

表 4 特征污染物危害性计算结果及排序

Table 4 Calculation results and sequence of representative contaminants hazards

特征污染物	毒性排序	C 值 (侧重毒性)	C 值排序 (侧重毒性)	迁移性 排序	C 值 (侧重迁移性)	C 值排序 (侧重迁移性)	降解性 排序	C 值 (侧重降解性)	C 值排序 (侧重降解性)
COD	4	5.2	1	13	8.8	7	1	4	1
TDS	1	7.8	7	18	14.6	15	18	14.6	12
NH ₄ ⁺ -N	6	7	4	15	10.6	11	2	5.4	2
NO ₃ ⁻ -N	3	5.8	2	17	11.4	12	3	5.8	3
SO ₄ ²⁻	2	7.6	6	16	13.2	13	16	13.2	11
Cr ₆ ⁺	9	11.6	14	14	13.6	14	17	14.8	13
Cl ⁻	2	8.8	10	19	15.6	16	19	15.6	14
乙苯	7	6.2	3	4	5	1	6	5.8	3
甲醛	5	6.2	3	12	9	8	4	5.8	3
乙腈	9	8.6	9	11	9.4	10	5	7	4
硝基苯	11	9.4	11	6	7.4	6	8	8.2	5
甲基叔丁基醚	10	9.4	11	10	9.4	10	7	8.2	5
萘	7	7.2	5	3	5.6	2	12	9.2	6
三氯乙烯	8	8	8	5	6.8	4	11	9.2	6
二氯甲烷	10	9.6	12	9	9.2	9	9	9.2	6
苯	12	10.8	13	8	9.2	9	10	10	7
苯并[a]芘	15	12	16	1	6.4	3	14	11.6	8
四氯化碳	13	11.8	15	7	9.4	10	13	11.8	9
七氯	14	11.8	15	2	7	5	15	12.2	10

异明显,并且与3种属性的排名存在差异.同时兼顾3种属性及属性侧重点不同是产生计算结果差异的直接原因.由此表明不同特征污染物的相对危害性大小会因研究侧重点的主观倾向而产生差异.考虑到供水安全及地下水环境的自我修复,北京市地下水污染风险评价的研究侧重于特征污染物的毒性属性,给出的权重最高,为0.6.并依此进行后续计算.

需要注意的是,某特征污染物对地下水环境的破坏为其危害性计算结果(C)与排放量(Q)的乘积.脱离排放量(Q)进行特征污染物对地下水环境造成破坏大小的讨论没有意义.特征污染物危害性计算结果(C)为评价方法计算过程的中间值.依据特征污染物的研究侧重点并计算出其危害性(C),在得到其排放量(Q)的基础上,便可依据公式(1)计算该污染源的危害性,并与其他污染源的危害性结果进行对比、分级.

4 结论

本研究通过解析地下水污染源的特征污染物构成,为地下水污染风险评价中的外界胁迫脆弱性评价提供了一套可供借鉴的思路.该方法计算出的特征污染物危害性为相对结果,单值并无参考意义.在特征污染物量化过程中,需要针对特征污染物属性的研究侧重点选择相应的权重组合,体现出较强的主观人为性.关于特征污染物3种属性的量化,无法回避不同属性量化结果的归一化问题;无法回避无机、综合特征污染物迁移性、降解性2种属性的量化及其量化后分别与有机特征污染物量化结果的统一问题.以序列值的方式表征属性量化值,不同特征污染物之间的相对属性特征会被放大或缩小.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张丽君. 地下水脆弱性和风险性评价研究进展综述[J]. 水文地质工程地质, 2006, **33**(6): 113-119.
- [3] 李志萍, 谢振华, 林健. 地下水污染风险评价指标体系及方法探讨[J]. 黑龙江大学工程学报, 2010, **37**(3): 115-117.
- [4] 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.
- [5] 张伟红. 地下水污染预警研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [6] 申利娜, 李广贺. 地下水污染风险区划方法研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(4): 918-923.
- [7] Aller L, Lehr J H, Petty R, *et al.* Drastic: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings [R]. Chicago: U. S. Environmental Protection Agency, 1987. 35-62.
- [8] Kattaa B, Al-Fares W, Al Charideh A R. Groundwater vulnerability assessment for the banyas catchment of the syrian coastal area using gis and the riske method [J]. Journal of Environmental Management, 2010, **91**(5): 1103-1110.
- [9] 白利平, 王业耀. 地下水脆弱性评价研究综述[J]. 工程勘察, 2009, **37**(4): 43-48.
- [10] 张昕, 蒋晓东, 张龙. 地下水脆弱性评价方法与研究进展[J]. 地质与资源, 2010, **19**(3): 253-258.
- [11] 姜桂华. 地下水脆弱性研究进展[J]. 世界地质, 2002, **21**(1): 33-38.
- [12] Martínez-Bastida J J, Arauzo M, Valladolid M. Intrinsic and specific vulnerability of groundwater in central Spain: the risk of nitrate pollution [J]. Hydrogeology Journal, 2010, **18**(3): 681-698.
- [13] Ghiglieri G, Barbieri G, Vernier A, *et al.* Potential risks of nitrate pollution in aquifers from agricultural practices in the nurra region, northwestern sardinia, Italy [J]. Journal of Hydrology, 2009, **379**(3-4): 339-350.
- [14] Capri E, Civita M, Corniello A, *et al.* Assessment of nitrate contamination risk: the Italian experience [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2009, **102**(2): 71-86.
- [15] 蔚辉. 北京城近郊“三氮”特殊防污性能评价[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.
- [16] Schwartz F W, Ibaraki M. Groundwater: a resource in decline [J]. Elements, 2011, **7**(3): 175-179.
- [17] 李玲玲. 龙口市平原区地下水污染风险评价研究[D]. 济南: 济南大学, 2010.
- [18] Mimi Z A, Assi A. Intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers: a case study [J]. Journal of Hydrology, 2009, **364**(3-4): 298-310.
- [19] Nobre R C M, Rotunno Filho O C, 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.
- [20] Roselló M J P, Martínez J M V, Navarro B A. Vulnerability of human environment to risk: Case of groundwater contamination risk [J]. Environment International, 2009, **35**(2): 325-335.
- [21] Huysmans M, Madarász T, Dassargues A. Risk assessment of groundwater pollution using sensitivity analysis and a worst-case scenario analysis [J]. Environmental Geology, 2006, **50**(2): 180-193.
- [22] Zaporozec A, Conrad J E, Johansson P O, *et al.* Groundwater contamination inventory: a methodological guide [R]. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2002. 23-37.
- [23] Schmoll O, Howard G, Chilton J, *et al.* Protecting groundwater for health: managing the quality of drinking-water sources [M]. London: IWA Publishing, 2006. 243-372.
- [24] GB/T 14848- $\times \times \times \times$, 地下水质量标准(报批稿)[S].
- [25] GB 5749-2006, 生活饮用水卫生标准[S].

- [26] Vahidnia A, Van Der Voet G B, De Wolf F A. Arsenic neurotoxicity-a review[J]. Human & Experimental Toxicology, 2007, **26**(10): 823-832.
- [27] 王昭, 石建省, 张兆吉, 等. 我国“水中优先控制有机物”对地下水污染的预警性研究[J]. 水资源保护, 2009, **25**(1): 90-94.
- [28] Aronson D, Boethling R, Howard P, *et al.* Estimating biodegradation half-lives for use in chemical screening [J]. Chemosphere, 2006, **63**(11): 1953-1960.
- [29] Saaty R W. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used[J]. Mathematical Modelling, 1987, **9**(3-5): 161-176.
- [30] 王玉华. 江苏省重要生态功能保护区区划研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [31] Şener S, Sener E, Karagüzel R. Solid waste disposal site selection with gis and ahp methodology: a case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, **173**(1-4): 533-554.
- [32] 尚松浩. 水资源系统分析方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007. 147-149.
- [33] 王昭, 石建省, 张兆吉, 等. 华北平原地下水中有有机物淋溶迁移性及其污染风险评价[J]. 水利学报, 2009, **40**(7): 830-837.
- [34] 叶弗谢耶娃, 彼列尔曼, 宁庐. 表生带中铀的水迁移强度[J]. 铀矿地质译丛, 1964, **3**(9): 7-10.
- [35] 罗文斌, 金鸣岐. 水迁移系数与岩溶发育程度之间关系的初步探讨[J]. 中国岩溶, 1985, **1**(Z1): 14-21.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-peí, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《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3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 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

国内外公开发行人