

# Establishment of the Environmental Background Based on Spatial Analysis

## —A Case Study of Cu in the Groundwater of the Urban Area of Suzhou

Fangyue Yin, Linhua Sun

School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui  
Email: 845328249@qq.com, sunlinh@126.com

Received: Apr. 3<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Apr. 17<sup>th</sup>, 2018; published: Apr. 24<sup>th</sup>, 2018

---

### Abstract

Environmental background is important for the local environmental management. In this study, the groundwater in the urban area of Suzhou has been taken as research object, and the environmental background of Cu has been established through the statistical and spatial methods, based on the analyzing of Cu contents in the systematically collected water samples. The results suggested that the Cu concentrations in the water were low, and all of the samples can meet the requirement of the class I and II water quality. However, the coefficient of variation and the result of normal distribution test indicated the anthropogenic influence, which was further demonstrated by the consistent of the distributions of high Cu areas and the areas with high density of people and transportation. Based on the box plot, the environmental background was calculated to be 1.68 - 11.9  $\mu\text{g/L}$  after outlier removal, whereas it was calculated to be 0 - 22.1  $\mu\text{g/L}$  with spatial analysis (all of the data was firstly transformed by Box-Cox). The results were different because they based on different hypothesis, the former based on the normal distribution whereas the latter did not.

### Keywords

Groundwater, Environmental Background, Spatial Autocorrelation, Statistical Analysis, Normal Distribution

---

## 基于空间分析构建环境背景值

### —以宿州市城区浅层地下水 Cu 含量为例

殷芳月, 孙林华

宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州  
Email: 845328249@qq.com, sunlinh@126.com

收稿日期: 2018年4月3日; 录用日期: 2018年4月17日; 发布日期: 2018年4月24日

## 摘要

环境背景值对于区域环境管理意义重大。本研究以宿州市城区浅层地下水为例,在系统采样并测试其Cu元素含量的基础上,结合数理统计和空间分析方法构建了其环境背景值。结果表明,地下水中的Cu元素含量较低,所有样品均达到I、II类水质标准。但其变异系数和正态分布检验结果表明依然可能存在人为影响,且从Cu含量的空间分布所发现的高含量集中区与人流和交通密集区的一致性也可以证明这一点。基于箱线图方法,在剔除掉异常值后计算出的环境背景值为1.68~11.9  $\mu\text{g/L}$ ,而利用空间分布的方法(数据先进行Box-Cox转换),在剔除掉异常值后计算出的环境背景值为0~22.1  $\mu\text{g/L}$ 。虽然存在一定差距,但二者在理论基础和实用性上存在区别,前者基于环境背景值符合正态分布的假设,而后者则不需要基于这一点。

## 关键词

地下水, 环境背景值, 空间自相关, 数理统计, 正态分布

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

地下水在许多地方都是工农业及城市生活用水的重要水源。然而,由于不合理的开采和利用乃至人为污染,在地下水用量集中的地区,其水质受到了人类活动的明显影响[1]。基于此,与地下水有关的科学问题受到了极大关注,并产生了一系列成果,且主要集中于区域水文地质、水文地球化学、地下水污染、地下水模拟及管理等方面[2] [3] [4] [5] [6]。

环境背景值指研究区域内相对清洁区(人类活动影响相对较小的地区)化学元素的含量及能量值,是确定区域环境是否受到污染的主要参数[7] [8]。对于区域地下水管理而言,其意义重大,因为这是地下水污染程度判断的基础,也是环境保护与治理的目标所在[9]。

宿州市是淮北地区重要的煤炭工业城市,也是地下水开发利用较早、程度较高的城市。其生活工业用水主要取自地下,尤其是浅层和深层孔隙水。近年来,随着城市经济与城市规模的不断发展,工业及生活用水需求不断加大,由此暴露的地下水资源开发与利用问题越来越多,制约了城市的可持续发展及人民群众的健康[10] [11] [12]。

基于地下水对宿州市发展的重要性,本研究以宿州市城区浅层地下水为研究对象,在系统采样并测试其Cu元素含量的基础上,利用数理统计和空间自相关分析方法对其进行了分析,以获取其含量及空间分布特征,并构建其环境背景值,从而为宿州市城区浅层地下水资源保护和利用提供可靠科学依据。

## 2. 材料与方

### 2.1. 研究区简介

宿州市是安徽的北大门,位于黄淮平原南端。北邻江苏徐州市和山东菏泽市,西接河南永城市,东连江苏宿迁市,是承接东部沿海发达地区向内陆辐射的前沿,又是南北经济文化交汇的要冲。市内主要河流有奎河、濉河、沱河、浍河等,水系支流繁多,自西北流向东南内入淮河或直入洪泽湖。区内年降

水量 857 毫米, 平均气温 14.4 摄氏度。宿州市的工业生产和城市生活用水以中深层地下水为主, 农田灌溉、生态环境、乡镇工业用水以浅层地下水为主。正是因为地下水资源对于宿州市发展的重要性, 一系列研究得以投入, 并在水资源量估算、水质评价及离子来源解析等方面取得了一系列的成果[11] [12]。

## 2.2. 采样与测试

本次共采集浅层地下水样品 62 个, 因为基于空间的浅层地下水取样难度很大(因为在城区, 钻井取样会面临场地及经费的问题), 最终采取了“有井就取样”的原则。所有样品均采自生活用井(<30 m), 样品具体分布见图 1。样品采集时先利用井水对实验室清洗过的 2.0 L 聚乙烯瓶再冲洗三遍, 然后接满水样, 接着用优纯级硝酸将样品酸化至  $\text{pH} < 2$  以防止瓶子对元素的吸附, 最后贴上标签, 送实验室进行处理, 并记录其 GPS 位置和现场环境状况(含人流量、生活、工业、交通相关信息[13])。所有样品在测试前进行抽滤( $0.22 \mu\text{m}$  膜), 除去杂物后送仪器测试。Cu 元素含量用原子吸收光谱仪进行测试, 并用标样进行质量控制(实际浓度与测试浓度相关系数为 0.99 以上)。测试在安徽省煤矿勘探工程技术研究中心进行。

## 2.3. 数据分析方法

首先将采集的数据进行统计分析, 利用软件 Mystat 12 来计算最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数及正态分布检验 p 值等, 进而利用 Surfer 11 绘制 Cu 元素含量的空间分布图(数据栅格化采用自然邻近方法), 并与利用 Geoda 1.8.3 获取的空间自相关分析结果相对比。空间自相关分析方法如下:

首先, 为避免 Cu 元素含量的非正态分布对空间聚类产生影响, 对数据进行 Box-cox 转换(Minitab 14)。进而利用转换后的数据建立权重文件, 最后选择局部空间自相关进行分析, 从而获得显著性图和空间聚类图。

目前而言, 确定环境背景值以往常用的方法主要有多种, 包括相对累计频率、正态分布、回归分析、



Figure 1. Sample locations  
图 1. 样品分布

离群测试、迭代标准差等[7] [8], 其中数理统计方法最为常用。其出发点为假设环境背景值样品服从正态分布(或者对数正态分布)。对于本研究而言, 环境背景值的确立包括两个方面: 1) 基于环境背景值符合正态分布的假设, 利用 Mynstat 12 绘制 Cu 元素含量的箱线图, 剔除掉大于箱线图上限的样品(反复进行直到没有异常样品), 然后计算其平均值和标准偏差, 环境背景值范围确定为: 平均值  $\pm 2 \times$  标准偏差。2) 基于空间自相关分析, 其出发点是样品含量相对于其相邻样品没有显著变化。因此, 能作为环境背景值的样品仅考虑空间自相关分析中的非显著性样品(不属于高高、低低、高低、低高聚类的), 然后计算其平均值和标准偏差, 环境背景值范围确定为: 平均值  $\pm 2 \times$  标准偏差。

### 3. 结果与讨论

#### 3.1. 含量特征

依据我国地下水水质现状、人体健康基准值及地下水质量保护目标, 国标(GB/T 14848-93)根据 Cu 含量将地下水质量划分为五类: 反映地下水化学组分的天然背景含量的 I、II 类( $\leq 0.05$  mg/L), 适用于集中式生活饮用水水源及工、农业的 III 类( $\leq 1.0$  mg/L), 适用于农业和部分工业用水(处理后可作为生活用水)的 IV 类( $\leq 1.5$  mg/L)以及不宜饮用的 V 类( $> 1.5$  mg/L)。从本次研究结果来看, 宿州市城区浅层地下水的 Cu 元素含量为 3.15~37.1  $\mu\text{g/L}$  (平均 8.59  $\mu\text{g/L}$ ) (表 1)。与国标相比, 所有样品均达到 I、II 类水质标准。但是, 这能说明宿州市城区浅层地下水中的 Cu 元素未受到人为影响吗?

在环境科学研究中, 变异系数(CV)通常用于分析污染物含量是否受到明显的人为影响程度: 当  $CV < 0.20$  时, 表示人为影响较低; 相反, 当  $CV > 0.80$  时, 表示人为影响较严重[14] [15]。宿州市浅层地下水中 Cu 含量 CV 值为 0.708, 说明其空间变异程度很大, 反映可能存在显著的人为影响。此外, Cu 元素含量的正态分布检验 p 值  $< 0.01$ , 说明不能通过正态分布检验( $p > 0.05$ ), 也说明可能存在人为影响[7] [8]。即使在进行对数转换后, 其 CV 值依然  $> 0.2$ , p 值  $< 0.05$ , 同样说明可能存在人为影响。

#### 3.2. 空间分布特征

利用 Surfer 绘制的宿州市浅层地下水 Cu 元素含量分布图见图 2。从图中可以看出, 宿州市城区浅层地下水中 Cu 元素含量偏高的区域主要集中于研究区中东部及偏西部的三处。经与图 1 采样点相对比可以发现, 宿州市城区浅层地下水中 Cu 元素高含量主要集中在火车站、汽车站及中部商业区。在样品采集过程中发现, 这几个区域普遍具有人流量大且交通相对拥挤的特点。研究表明, 环境中的 Cu 元素除了来自于大自然本身(如岩石风化)外, 一个重要的来源就是来自于汽车的排放及磨损, 与 Pb、Zn 等元素组成典型的交通污染源[13], 因此本文中的高 Cu 区域也可能与交通有关。

#### 3.3. 空间自相关分析

本研究采用局部空间自相关进行。按照 Moran'I 指数的分类[16], 所有的样品可以被划分为两大类: 一是不显著的样品, 二是显著的样品。前者在本研究中被考虑为环境背景值样品, 而后者又可以被划分为高-高、低-低、低-高和高-低四个类别, 分别表征某个样品与周边样品之间在含量上的相对关系。热点: 即高-高表示含量高的样品且其周边样品含量也很高; 冰点: 即低-低表示含量低的样品且其周

**Table 1.** Descriptive statistics of the Cu concentrations ( $\mu\text{g/L}$ )

**表 1.** Cu 元素含量统计结果( $\mu\text{g/L}$ )

元素	样品数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	p 值
Cu	62	3.15	37.1	8.59	6.08	0.708	$< 0.01$

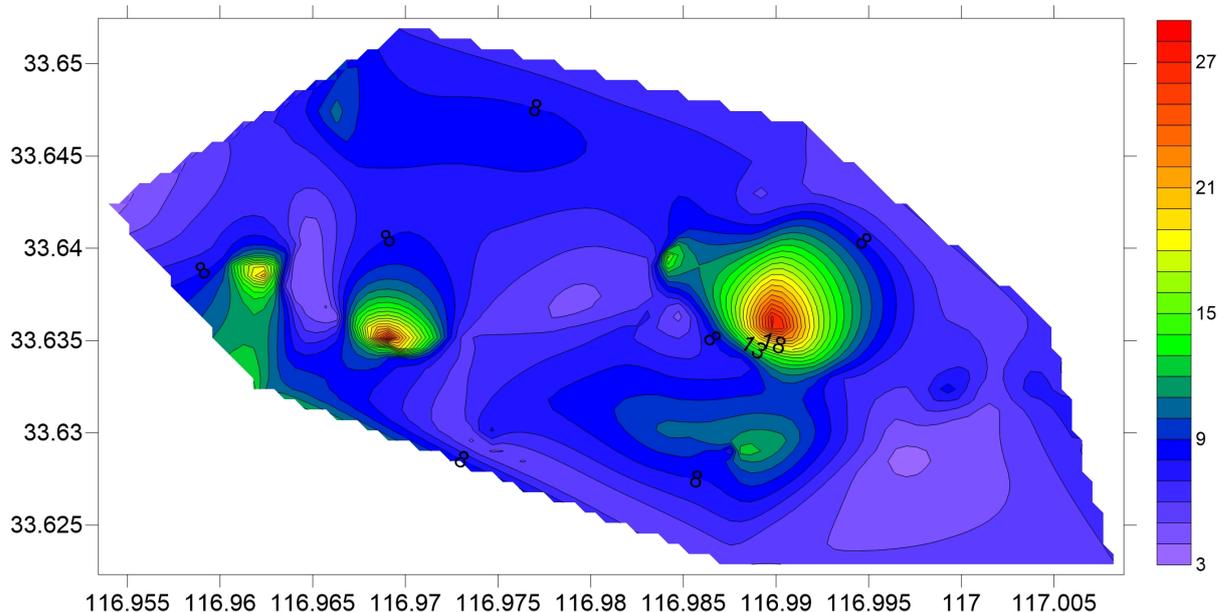


Figure 2. Spatial distribution of Cu concentrations ( $\mu\text{g/L}$ )

图 2. Cu 元素含量空间分布特征( $\mu\text{g/L}$ )

边样品含量也很低；而低 - 高和高 - 低则为异常点，可能与外在其他因素的影响有关[17] [18] [19] [20]。在进行空间自相关分析之前，为了防止因为含量本身的高低差异对空间分析产生影响，利用 Minitab 14 对数据进行了 Box-Cox 转换。空间自相关分析结果见图 3。

从分析结果来看，52 个样品为非显著样品，被划分为高 - 高和低 - 低聚类的样品分别为 2 个和 3 个，被划分为低 - 高和高 - 低异常的样品分别为 2 和 3 个。被划分为高 - 高聚类的样品主要集中于采样区域的最东部，可以称之为“热区”，低 - 低聚类的样品与“热区”相邻近，低 - 高样品同样位于区域，这种情况说明，该区域可能也存在显著的人为影响[17] [18] [19] [20]。经对比，该区域存在一所驾校的练车场，可能与此有关。此外，对于高 - 低样品而言，有 2 个位于火车站 - 汽车站 - 中部商业区之间，另一个也位于前面的热区，这种情况同样反映了人为活动的影响。

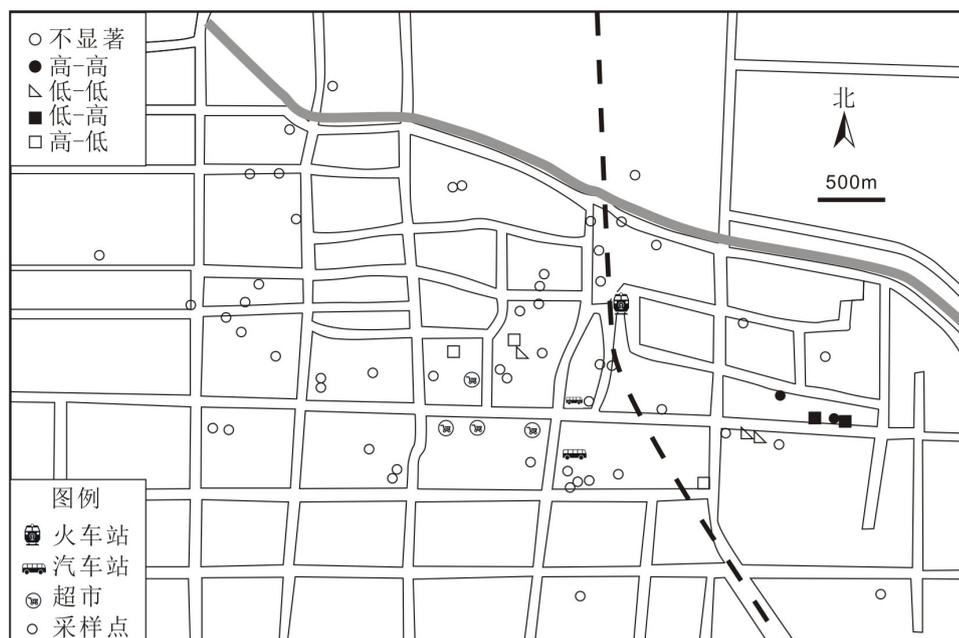
### 3.4. 环境背景值的确立

图 4 为 Cu 元素含量的密度图。从图中可以看出，Cu 元素在含量上表现出双峰式的特征。因此，可以考虑 Cu 元素在未受人为影响时是正态分布的。进一步利用箱线图分析可以发现，对于 Cu 元素而言，存在 6 个异常样品，其含量大于  $13 \mu\text{g/L}$  (图 5)。在剔除掉这个样品后，继续使用箱线图，可以进一步剔除掉一个样品 ( $>12 \mu\text{g/L}$ )。最后剩余 55 个样品，并计算出其平均值为  $6.80 \mu\text{g/L}$ ，标准差分别为  $2.06 \mu\text{g/L}$  (表 2)。因此，利用数理统计方法计算出的背景值为  $1.68\sim 11.9 \mu\text{g/L}$ 。以此为标准，所有样品中有 7 个存在污染。

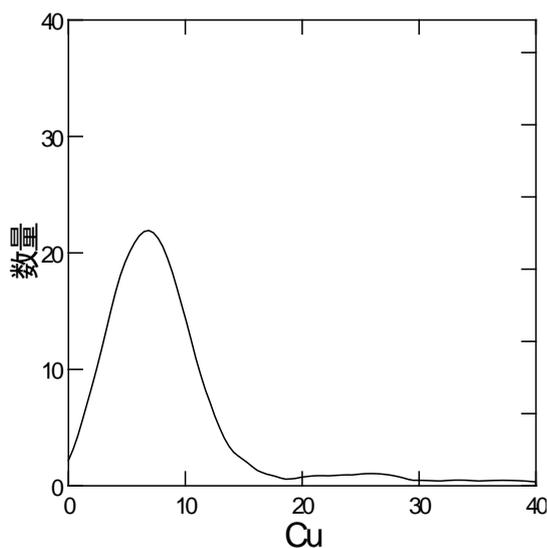
对于空间自相关分析方法而言，对上文属于非显著的 52 个样品数据进行计算，其平均值为  $9.00 \mu\text{g/L}$ ，标准差分别为  $6.53 \mu\text{g/L}$  (表 2)。因此，利用空间自相关分析方法计算出的背景值为  $0\sim 22.1 \mu\text{g/L}$  (小于 0 按 0 计算)。以此为标准，所有样品中有 4 个存在污染。

### 3.5. 对比与讨论

为了对比，我们还用迭代标准差、分布函数方法[21]以及 QQ 图[22]进行了分析。结果表明，迭代标



**Figure 3.** Results of spatial autocorrelation analysis  
**图 3.** 空间自相关分析结果



**Figure 4.** Density plot of Cu concentrations ( $\mu\text{g/L}$ )  
**图 4.** Cu 元素含量密度图( $\mu\text{g/L}$ )

准差计算出的 Cu 元素背景值为  $3.10\sim 9.70 \mu\text{g/L}$ , 而分布函数方法计算出的 Cu 元素背景值为  $3.00\sim 11.3 \mu\text{g/L}$ 。而从 QQ 图(图 6)上来看, 对应 Cu 元素含量为  $11.6 \mu\text{g/L}$  出现拐点, 因此可以将其环境背景值范围大概确定为  $3.15\sim 11.6 \mu\text{g/L}$ 。

从以上几种不同方法得到的结果来看, 所计算出的环境背景值是存在区别的。而导致这一区别的主要原因是几者的出发点不同, 数理统计方法(包括箱线图、QQ 图和迭代标准差、分布函数方法)强调背景值数据的正态分布, 这几个方法计算出的背景值大同小异。相比之下, 空间分析方法则强调背景值的非突变特征(没有空间自相关性)。在针对不同的数据时, 如果能够确定该元素/污染物背景值符合正态分布

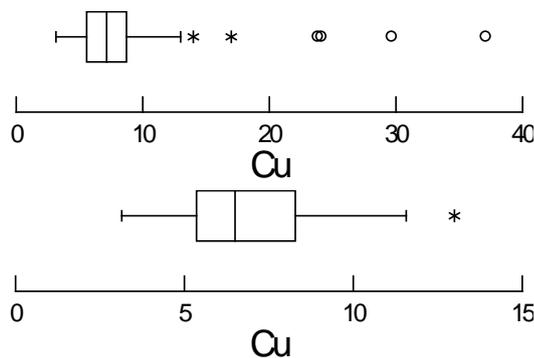


Figure 5. Box plot of Cu concentrations ( $\mu\text{g/L}$ )

图 5. Cu 元素含量箱线图( $\mu\text{g/L}$ )

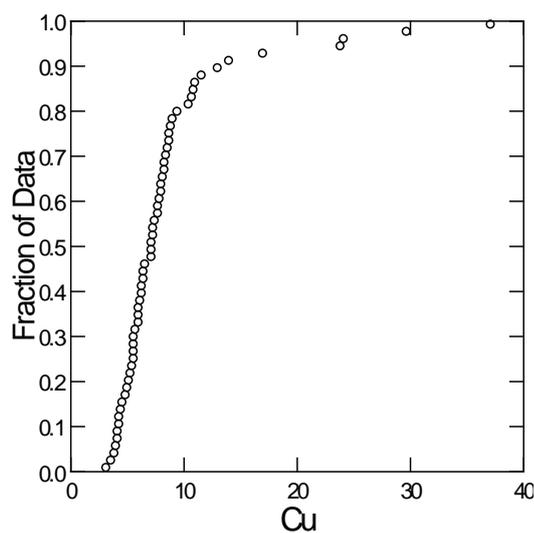


Figure 6. QQ plot of Cu concentrations ( $\mu\text{g/L}$ )

图 6. Cu 元素含量 QQ 图( $\mu\text{g/L}$ )

Table 2. Descriptive statistics of the Cu after outlier removal ( $\mu\text{g/L}$ )

表 2. 剔除异常值后的 Cu 元素含量特征( $\mu\text{g/L}$ )

元素	样品数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	p 值
Cu <sup>1</sup>	55	3.15	11.6	6.80	2.06	0.303	>0.15
Cu <sup>2</sup>	52	3.15	37.1	9.00	6.53	0.726	<0.01

注: 1 和 2 分别为箱线图和空间自相关分析剔除后的样品数据。

规律, 可以考虑用数理统计的方法(或者是在原理上相同的方法, 如迭代标准差和概率分布图方法[21][22])。但如果对于数据的分布形态不确定, 则可以选择使用空间分析的方法。

#### 4. 结论

在系统采样并分析宿州市城区浅层地下水样品 Cu 元素含量的基础上, 对其开展了数理统计分析和空间自相关分析, 获得了如下认识:

1) 所有地下水样品的 Cu 元素含量均达到 I、II 类水质标准, 但中等的变异系数和较低的正态检验 p 值说明地下水环境依然受到了人为影响;

2) Cu 元素含量的空间分布特征表明, 具有高 Cu 元素含量的区域主要集中在火车站、汽车站及中部商业区, 这与区域内人流量大且交通拥挤有关;

3) 利用箱线图计算出的 Cu 背景值为 1.68~11.9  $\mu\text{g/L}$ , 而利用空间自相关分析计算出的背景值为 0~22.1  $\mu\text{g/L}$ 。结果存在差异, 与二者的出发点有关。

## 基金项目

宿州学院大学生科研立项(KYLXLKZD17-22)。

## 参考文献

- [1] 郑春苗, 万力, 王焰新. 中国地下水科学的机遇与挑战[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 魏晓妹. 地下水资源管理与保护[J]. 地下水, 2013, 35(2): 1-4.
- [3] 郭高轩, 辛宝东, 刘文臣, 等. 我国地下水环境背景值研究综述[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(2): 95-98.
- [4] 罗兰. 我国地下水污染现状与防治对策研究[J]. 中国地质大学学报: 社会科学版, 2008, 8(2): 72-75.
- [5] 焦杏春. 地下水水质评价与水资源管理: 水文地球化学与同位素方法的应用研究进展[J]. 地质学报, 2016, 90(9): 2476-2498.
- [6] 杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟. 区域地下水污染风险评价方法研究[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 653-661.
- [7] Reimann, C., Filzmoser, P. and Garrett, R.G. (2005) Background and Threshold: Critical Comparison of Methods of Determination. *Science of the Total Environment*, **346**, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.023>
- [8] Reimann, C. and Garrett, R.G. (2005) Geochemical Background—Concept and Reality. *Science of the Total Environment*, **350**, 12-27. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.047>
- [9] 刘文波, 冯翠娥, 高存荣. 河套平原地下水环境背景值[J]. 地学前缘, 2014, 21(4): 147-157.
- [10] 孙飞. 宿州市地下水资源的调查与分析[J]. 科技信息, 2013(10): 404-405.
- [11] 柳青, 梁华. 电法和数值模拟法在宿州市地下水资源评价中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2014, 11(5): 688-692.
- [12] 林曼利, 彭位华. 宿州市农村地下水重金属含量与健康风险评价[J]. 水资源保护, 2016, 32(6): 110-116.
- [13] Sarkar, D., Datta, R. and Hannigan, R. (2011) Concepts and Applications in Environmental Geochemistry. Vol. 5, Elsevier.
- [14] 赵微, 林健, 王树芳, 刘记来, 陈忠荣, 寇文杰. 变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(4): 1277-1283.
- [15] 代勇, 李章平, 李燕燕, 杨志敏, 陈玉成. 重庆市主城区街道灰尘重金属的污染特征分析[J]. 环境化学, 2015, 34(1): 188-189.
- [16] Anselin, L. (1995) Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, **27**, 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- [17] Moran, P.A.P. (1948) The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, **10**, 243-251.
- [18] Ord, J.K. and Getis, A. (1995) Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*, **27**, 286-306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>
- [19] Diniz-Filho, J.A.F., Bini, L.M. and Hawkins, B.A. (2003) Spatial Autocorrelation and Red Herrings in Geographical Ecology. *Global Ecology and Biogeography*, **12**, 53-64. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00322.x>
- [20] 赵小风, 黄贤金, 张兴榆, 朱德明, 赖力, 钟太洋. 区域COD, SO<sub>2</sub>及TSP排放的空间自相关分析: 以江苏省为例[J]. 环境科学, 2009, 30(6): 1580-1587.
- [21] Nakić, Z., Posavec, K. and Bačani, A. (2007) A Visual Basic Spreadsheet Macro for Geochemical Background Analysis. *Ground Water*, **45**, 642-647. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2007.00325.x>
- [22] Panno, S.V., Kelly, W.R., Martinsek, A.T. and Hackley, K.C. (2006) Estimating Background and Threshold Nitrate Concentrations using Probability Graphs. *Ground Water*, **44**, 697-709. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2006.00240.x>

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5485，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)