

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2012.05.005

改进的灰色聚类法在地下水质量评价中的应用

李亚松, 张兆吉, 费宇红, 钱 永, 孟素花, 郭春艳

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061)

摘要:选择 50 项地下水评价指标, 利用灰色聚类法对滹沱河冲洪积扇平原区地下水质量状况进行评价, 发现由于参评指标中痕量指标较多, 导致评价结果失真。通过修正其聚类权的计算方法将原有方法加以改进, 得出结论: 区内绝大多数地区水质状况良好, 影响区域地下水质量的指标主要为溶解性总固体、总硬度、硝酸盐氮等无机指标, 水质较差区主要分布在城区、城镇周围区、排污河道两侧、地表污染水体分布区及引污水灌溉农田地区。指出工农业发展及人类活动加剧是造成研究区水质变化的主要原因。

关键词:地下水质量评价; 灰色聚类法; 聚类权

中图分类号: P641.12

文献标识码: A

文章编号: 1004-6933(2012)05-0025-04

Application of an improved grey clustering method to groundwater quality evaluation

LI Ya-song, ZHANG Zhao-ji, FEI Yu-hong, QIAN Yong, MENG Su-hua, GUO Chun-yan
(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: The grey clustering method was used to evaluate the quality of groundwater in the Hutuo River alluvial fan plain, based on 50 evaluation indices. Anamorphic evaluation results were obtained due to a high proportion of trace indices. The grey clustering method was improved by revising the method for calculating the clustering weights. It was concluded that the water quality was good in most areas; the main indices that influenced the groundwater quality were the total dissolved solids, total hardness, and nitrate nitrogen; the water quality was poor in downtown and surrounding areas, on both sides of drainage rivers, in polluted water areas, and in farmland irrigation areas; and the development of industry and the intensity of human activities were the main causes of water quality change in the study area.

Key words: groundwater quality evaluation; grey clustering method; clustering weight

地下水不仅是供给人们日常用水的主要来源, 同时也是复杂的生态环境系统中敏感的组成因子之一, 地下水的变化往往会影响生态环境系统的天然平衡状态^[1]。鉴于地下水在生物圈和地质环境中的特殊地位, 对地下水质量进行全面合理的评价显得尤为重要。

国内学者前期进行的区域地下水质量评价, 其评价指标体系多为常规指标, 如溶解性总固体、总硬度、耗氧量和三氮等^[2-5], 评价结果只代表地下水的一般质量。随着地下水有机污染工作的开展, 越来

越多的有机指标可以被检测出来, 目前, 全世界已在水中测定出 2221 种有机化学污染物, 其中 765 种存在于自来水中, 20 种已被确认为致癌物, 23 种为可疑致癌物, 18 种为促致癌物, 56 种为诱变物质^[6]。经调查发现, 不同的有机化合物还对人体各器官及系统有不同的危害, 如: 三氯乙烯刺激皮肤, 对肺、肝、肾等内脏器官有损害; 苯刺激皮肤、眼睛, 对神经系统、免疫功能、胃肠有损害^[7]。很多有机污染物在地下水环境中很难通过自然降解过程去除, 很可能长期存在并发生累积, 所以将有机毒理指标引

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2010CB428804-1); 国土资源大调查项目(1212010634600)

作者简介: 李亚松(1983-), 男, 研究实习员, 研究方向为水文地质环境地质。E-mail: liyasong712@126.com

通讯作者: 张兆吉, 研究员。E-mail: zhaoji99@263.net

入评价指标体系就显得尤为重要。已经有学者就内梅罗指数法和模糊数学法等人在综合指标评价中的问题进行了研究^[8-10],但是对于同样应用较为广泛的灰色聚类法,则鲜有报道。

灰色聚类法是目前地下水质量评价工作中较为常用的方法,但当评价指标体系中痕量指标较多时,其评价结果容易失真。笔者通过修正其聚类权的计算方法将原有方法加以改进,得到改进后的灰色聚类评价法评价结果同模糊数学综合评价法相乘相加算子的评价结果有较好地一致性,可以较好地反映区域地下水质量状况。

1 研究区概况

研究区位于海河流域子牙河水系滹沱河冲洪积扇,主要包括石家庄市以及下属6区17个市县。研究区面积约6000 km²,地势平坦,地面标高由山前的100 m降至扇缘的50 m左右,地面坡降0.25%~0.1%。研究区属暖温带半湿润半干旱大陆型季风气候区,1956—2002年多年平均气温13.3℃,平均降水量为531.4 mm。降水量具有年内和年际变化不均匀的特点,6—8月份降水量占全年降水量的70%~80%。包气带多为层状非均质黄色、黄褐色亚砂土、粉细砂、中粗砂及亚黏土组成,其下伏含水层为上更新统—全新统砂卵石层^[11]。研究区天然条件下地下水主要接受大气降水入渗补给,主要排泄方式为人工开采。

研究区是全国著名的工业中心及产粮基地。自20世纪80年代以来,工矿企业不断增多,并且其大都建立在透水性好、水量充足的河流两岸,河床多为砂性土,大量工业及生活废水通过无防渗的沟渠排入河流,使得污染物连续渗漏,以直接或间接方式进入地下含水层,造成地下水,特别是浅层地下水的污染。此外,随着农业生产的发展、人口的增长和人民生活水平的提高,对水资源的需求量越来越大,地下水的持续过量开采已经在局部地区形成了水位降落漏斗,地下水位的不断下降引发了一系列的环境地质问题,其中代表性的是水质变差、地面沉降等等^[12]。

2 案例研究

2.1 评价数据来源

研究以“滹沱河冲洪积扇地下水污染调查评价”项目为依托,按照《地下水污染调查评价规范》中相关要求^[13],在太行山前滹沱河冲洪积扇平原区共采集地下水样品508个,样品测试单位为国土资源部水文地质环境地质专业测试中心,平行样品测试单位为上海澳实分析检测公司,所有样品的采集

和测试均进行了严格的质量控制。

2.2 参评指标体系及评价标准

综合对比实验室测试项目及《地下水污染调查评价规范》,确定参评指标体系为50项(表1),评价标准为1993年制订、2007年修订的GB/T14848—2007《地下水质量标准》^[14]。

表1 评价指标体系

分类	指标名称	
	有机指标(28项)	无机指标(22项)
常规指标(18项)	三氯甲烷、四氯化碳	锰、铜、锌、氯离子、硫酸根离子、总硬度、溶解性总固体、耗氧量、砷、镉、铬、铅、汞、硒、氟离子、硝酸根离子
非常规指标(32项)	1,1,1-三氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯丙烷、溴二氯甲烷、一氯二溴甲烷、溴仿、氯乙烷、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯、氯苯、邻二氯苯、对二氯苯、苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯、总六六六、 γ -BHC(林丹)、总滴滴涕、六氯苯、苯并(a)芘	铵离子、钠、亚硝酸根、钡、钼、镍

2.3 评价方法原理

灰色聚类评价法的基本思路就是以灰数的白化函数生成为基础,将收集的聚类对象观测值的分散信息,按照灰类进行归纳,计算水体水质中各因子的实测浓度与各级水质标准的灰度(关联度),然后根据灰度大小确定水体水质的级别。对处于同类水质的不同水体可通过其与该类标准水体的灰度大小进行优劣比较。

2.3.1 评价流程

a. 记 $i=1,2,\dots,n$ 为聚类样本,即各个测点或断面;记 $j=1,2,\dots,m$ 为聚类指标,即各评价指标;记 $k=1,2,\dots,p$ 为灰类别,即按某一标准的分级。

将滹沱河冲洪积扇508个采样点作为聚类样本(即 $i=1,2,\dots,508$),把50项评价指标作为聚类指标(即 $j=1,2,\dots,50$),GB/T14848—2007按《地下水质量标准》可以分为5个灰类(即 $k=1,2,\dots,5$)。

b. 给出聚类白化数 X_{ij} 。聚类白化数 X_{ij} 为各样品的测试结果,本文将各个采样点上各项检测指标的实测值作聚类白化数 X_{ij} 。

c. 根据选取的分级标准,构造出白化函数。

对I级水的白化函数,即 $k=1$:

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1 & X_{ij} \leq C_{j1} \\ \frac{C_{j2} - X_{ij}}{C_{j2} - C_{j1}} & C_{j1} < X_{ij} \leq C_{j2} \\ 0 & X_{ij} > C_{j2} \end{cases} \quad (1)$$

对Ⅱ级至Ⅳ级水的隶属函数,即 $k=2,3,4$:

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1 - \frac{C_{jk} - X_{ij}}{C_{jk} - C_{jk-1}} & C_{jk-1} \leq X_{ij} \leq C_{jk} \\ \frac{C_{jk+1} - X_{ij}}{C_{jk+1} - C_{jk}} & C_{jk} < X_{ij} \leq C_{jk+1} \\ 0 & X_{ij} < C_{jk-1}, X_{ij} > C_{jk+1} \end{cases} \quad (2)$$

对Ⅴ级水的隶属函数,即 $k=5$:

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 0 & X_{ij} < C_{j4} \\ 1 - \frac{C_{j5} - X_{ij}}{C_{j5} - C_{j4}} & C_{j4} \leq X_{ij} \leq C_{j5} \\ 1 & X_{ij} > C_{j5} \end{cases} \quad (3)$$

式中: Y_{ijk} 为*i*水样中第*j*个污染因子对*k*级标准的白化函数; C_{jk} 为*j*污染因子*k*级标准限值。

当 X_{ij} 给定,可以用以上白化函数求出*i*水样中第*j*个污染因子分别对各级水的灰类,然后按聚类指标所属类别,确定不同的白化函数。

d. 聚类权的确定。考虑量纲的影响,应对原始数据进行无量纲化处理,可以使用平均标准方法或背景值方法,即各因子的污染分级标准值分别除以其对应的平均标准值或Ⅱ类水标准值。以前一种处理方法为例,设处理后的第*j*个污染因子对应*k*级标准的处理结果为 R_{jk} ,则聚类权的计算公式为

$$N_{jk} = \frac{5R_{jk}}{\sum_{j=1}^m R_{jk}} \quad (4)$$

式中: N_{jk} 为第*j*个污染因子第*k*个灰类的权重。

e. 聚类系数的计算。聚类系数是通过灰数白化函数的生成而得到的,它反映了聚类样本对灰类的亲疏程度,其计算公式为

$$F_{jk} = \sum_{j=1}^m Y_{jk} N_{jk} \quad (5)$$

式中: F_{jk} 为第*i*个样本关于第*k*个灰类的聚类系数。

将所得出的聚类系数进行归一化处理,按最大隶属原则,最大值所对应的灰类即为此样本所属类别^[15]。

2.3.2 评价结果分析

评价后发现,评价结果全部为Ⅰ类水,显然不符合客观实际。主要是由于评价指标中大部分为痕量指标,用传统方法计算聚类权值,造成了聚类系数在Ⅰ类水处聚集,导致评价结果失真。

2.3.3 改进聚类权

鉴于上述情况,需使得聚类权在相同指标不同灰类及相同灰类不同指标间都可以有梯度关系,故对聚类权的计算方法修正如下。

a. 计算相同级别对于不同指标的权重。首先将各指标的单位统一化,假定指标*i*的*j*级标准值为

K_{ij} ,相同级别不同指标的权重为 M_{ij} :

$$M_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{ij}}{K_{ij}} \quad (6)$$

b. 计算相同指标不同级别的权重。由于有机指标在Ⅱ类和Ⅲ类标准值间跨度很大,故将参评指标分为有机指标和无机指标两类,分别按下式进行运算得出各指标不同级别的均权值 N_{ij} 。

$$N_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^m \frac{K_{ij+1}}{K_{ij}}}{n} \quad (7)$$

式中: n 为无机指标(有机指标)个数。

c. 将两权重复合运算,归一化后得到聚类权值 P_{ij} :

$$P_{ij} = M_{ij} \cdot N_{ij} \quad (8)$$

2.3.4 修正结果分析

利用修正后的聚类权计算聚类系数后得出,评价结果失真的现象得以消除,计算各水质级别样品数占样品总数的比例可知,地下水质量主要为Ⅱ类水和Ⅲ类水,超Ⅲ类水占样品总数的29.6%(表2)。由评价结果分布图(图1)可以看出,超Ⅲ类水点主要分布在城区、城镇周围区、排污河道两侧及引污水灌溉农田地区,符合野外污染源荷载调查对该区地下水质量状况的预判,因此利用改进的灰色聚类法可以对区域地下水质量做出较为客观的评价。

对主要超标因子进行分析可知,影响区域地下水质量的指标主要为溶解性总固体、总硬度、硝酸盐氮等无机指标,可以得出,工农业发展及人类活动加剧是造成本区水质变化的主要原因,可以得出,工农业发展及人类活动加剧是造成本区水质变化的主要原因,为保证本区地下水资源的可持续利用,应在一定程度内限制工业用水量、规范工业排污量、提高农业工作中农药、化肥的使用效率等。

表2 评价结果对比 %

评价方法	Ⅰ类水	Ⅱ类水	Ⅲ类水	Ⅳ类水	Ⅴ类水
原灰色聚类评价法	100	0	0	0	0
改进的灰色聚类评价法	6.50	36.10	27.80	8.30	21.30

3 结 论

由评价结果分布图(图1)可以得出,区内绝大多数地区水质状况良好,影响区域地下水质量的指标主要为溶解性总固体、总硬度、硝酸盐氮等无机指标,水质较差区主要分布在城区、城镇周围区、排污河道两侧、地表污染水体分布区及引污水灌溉农田地区。可以得出,工农业发展及人类活动加剧是造

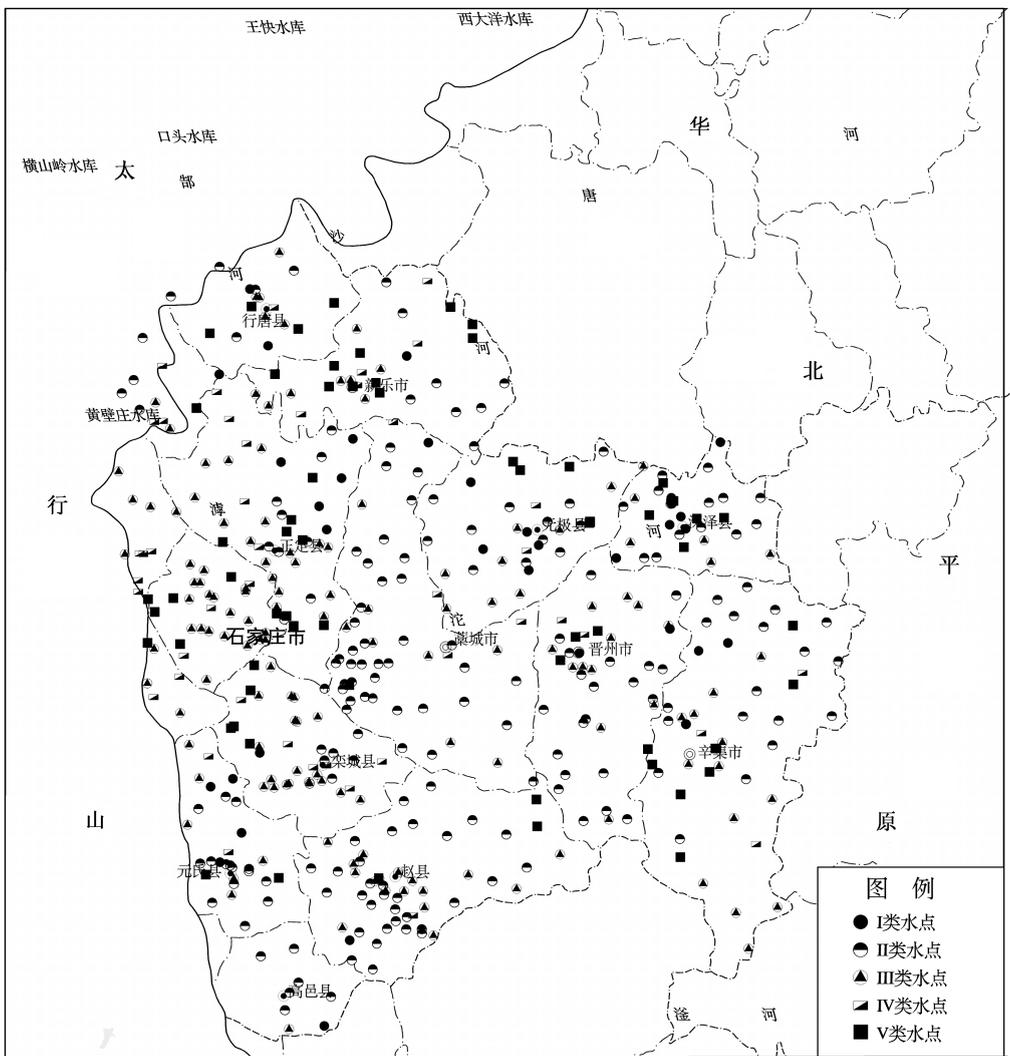


图1 评价结果分布

成本区水质变化的主要原因,为保证本区地下水资源的可持续利用,应在一定程度内限制工业用水量、规范工业排污量、提高农业工作中农药、化肥的使用效率等。

参考文献:

[1] 王大纯,张人权. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社,1995.

[2] 叶巧文,张新政. 基于灰色聚类的水质评价方法[J]. 五邑大学学报:自然科学版,2003,17(4):4-7.

[3] 张祖亮. 灰色聚类法在地下水质量评价中的应用[J]. 云南环境科学,2004,23(1):60-62.

[4] 贺北方,王效宇,贺晓菊,等. 基于灰色聚类决策的水质评价方法[J]. 郑州大学学报:工学版,2002,23(1):10-13.

[5] 沃飞,陈效民,吴华山,等. 灰色聚类法对太湖地区农村地下水水质的评价[J]. 安全与环境学报,2006,6(4):38-41.

[6] 蒋金花. 水体有机污染物对人体健康的影响[J]. 国外医学·卫生学分册,2003,30(6):321-325.

[7] PATRICK R, FORD E, QUARLES J. Groundwater

contamination in the USA[M]. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1987:538.

[8] 李亚松,张兆吉,费宇红,等. 内梅罗指数评价法的修正及其应用[J]. 水资源保护,2009,25(6):48-50.

[9] 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.

[10] 曹建峰,平建华, SUMARE O, 等. 改进 BP 神经网络在地下水环境质量评价中的应用[J]. 水利水电科技进展,2006,26(3):21-23.

[11] 张光辉,费宇红,王金哲,等. 300 年以来太行山前平原地下水补给演化特征与趋势[J]. 地球学报,2003,24(3):261-266.

[12] 毕二平,母海东,陈宗宇,等. 人类活动对河北平原地下水水质演化的影响[J]. 地球学报,2001,22(4):365-368.

[13] DD2008-01,地下水污染调查评价规范[S].

[14] GB/T14844-2007,地下水质量标准[S].

[15] 邓聚龙. 灰色聚类基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1987.

(收稿日期:2011-07-15 编辑:高渭文)