

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.06.008

改进的模糊综合评价法在长春市地下水水质评价中的应用

刘子剑¹, 崔斌², 张楠³

(1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130021; 2. 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100124;
3. 香港科技大学土木及环境工程学院, 香港 999077)

摘要:采用改进的模糊数学综合评价法对吉林省长春市东南部生态区和西南部工业区的地下水水质进行评价。结果表明,长春市西南部工业区的地下水水质为Ⅳ类,影响水质的主要因素是重金属离子,需要采取有效措施防止地下水污染;长春市东南部生态区的地下水水质为Ⅱ类,综合水质优于西南部工业区。

关键词:地下水;水质评价;改进的模糊综合评价法;长春市

中图分类号:X824 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2014)06-0040-04

Application of improved fuzzy mathematical comprehensive evaluation method to evaluation of groundwater quality in Changchun City

LIU Zijian¹, CUI Bin², ZHANG Nan³

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130021, China;
2. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;
3. Department of Civil and Environmental Engineering, Hongkong University of Science and Technology, Hongkong 999077, China)

Abstract: An improved fuzzy mathematical comprehensive evaluation method was used to evaluate the groundwater quality in the southeastern ecological region and the southwestern industrial region of Changchun City, in Jilin Province. The results show that the groundwater quality in the southwestern industrial region of Changchun City reached the grade IV level, and the main factors influencing the water quality were heavy metal ions. Therefore, effective measures should be taken to prevent groundwater pollution in this region. In addition, the groundwater quality in the southeastern ecological region of Changchun City reached the grade II level, superior to that of the southwestern industrial region.

Key words: groundwater; water quality evaluation; improved fuzzy mathematical comprehensive evaluation method; Changchun City

地下水水质状况受多种因素的综合影响,具有局部范围的不稳定性和不均匀性,因此难以依据单因子指数进行定性评价^[1-2]。水质类别具有渐变性、模糊性等特点,只根据某一项指标的监测结果往往不能做出准确的评价^[3]。模糊数学评价法是根据给出的评价标准和实测值,经过模糊变换对事物做出评价的一种方法,因此可以用于解决模糊、不明确的环境评价问题^[4]。

运用模糊数学综合评价法将定性评价转化为定量评价,可以充分表征各影响因子对总体水环境的

影响程度^[5-6]。然而,传统的模糊评价法不能很好地解决评价因子与水质等级间复杂的非线性关系,因为评价所用的效用函数和权重需要人为设计,这限制了评价模型的通用性,也影响了评价的最终结果^[7-9]。对隶属函数和分配权重的计算方式进行适当改进,既可以刻画界限的模糊性,又可较为准确地反映出多污染因子对水质的影响,更适合客观地确定水质级别^[10]。笔者应用模糊数学的基本理论,应用改进的隶属函数和权重计算方式,分别对受一汽工业区工业活动影响的长春市西南部工业区(以

下简称西南部工业区)和长春市东南部净月潭国家森林公园周边区域(以下简称东南部生态区)地下水水质的各项监测指标值进行合成计算,以期得到相应的水质综合评价级别。

1 改进的模糊数学综合评价模型

1.1 计算评价因子的隶属度并建立模糊关系矩阵

在水质评价中,为了突出某一质量浓度较高的污染物对水质的影响,一般采用 Nemerow 法对各监测点的污染物质量浓度进行计算,所得的污染物质量浓度值能够较好地体现系列水样中某监测指标的整体情况^[11]。污染物质量浓度计算公式为

$$\rho_i = \sqrt{(\rho_{\max}^2 + \bar{\rho}^2)/2}$$
 (1)

式中: ρ_i 为污染物质量浓度,mg/L; $\rho_{\max}$ 为各监测点污染物质量浓度最大值,mg/L; $\bar{\rho}$ 为各监测点污染物质量浓度平均值,mg/L。

各项评价因子对水质评价集的隶属度,可以通过对该因子质量浓度的分级代表值 e_{ij} 建立隶属函数的方式得到^[12-14]:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 - r_{i(j-1)} & e_{ij} < \rho_i < e_{i(j+1)} \\ \frac{e_{i(j+1)} - \rho_i}{e_{i(j+1)} - e_{ij}} & e_{i(j-1)} < \rho_i < e_{ij} \\ 0 & \rho_i \leq e_{i(j-1)} \text{ 或 } \rho_i \geq e_{i(j+1)} \end{cases}$$
 (2)

式中: r_{ij} 为评价因子 i 对于 j 类水质标准的隶属度; e_{ij} 为评价因子质量浓度的分级代表值,其确定方式是: e_{i1} 取水质标准第一类的值, e_{i2} 取水质标准第一类和第二类的平均值, e_{ij} 取水质标准最高限值。

将各项评价因子对水质评价集的隶属度排列成 $i \times j$ 阶矩阵,可以得到相应的隶属度 $R^{[15]}$:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1j} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ij} \end{bmatrix}$$
 (3)

表 1 不同区域的地下水常规监测指标实测质量浓度值

分析区域	监测点位	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{Cu})$	$\rho(\text{Mn}^{2+})$	$\rho(\text{Zn})$	$\rho(\text{Cd})$	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$	$\rho(\text{NO}_3\text{-N})$
东南部生态区	中海水岸	0.62	0.0032	未检出	0.4723	未检出	34.65	0.3148
	北海公园	0.93	0.0245	未检出	0.3733	未检出	47.10	0.0987
	会展中心	0.72	0.0273	0.0485	0.1654	0.0057	74.27	2.3992
	净月收费站	1.80	0.0381	0.0592	0.1634	0.0065	49.46	4.1174
	东边孙	0.76	0.0123	0.0597	0.0854	未检出	51.90	0.0693
	红咀子村	1.01	0.0136	0.0543	0.1187	0.0073	54.58	4.7763
	小河沿子河	1.55	0.0223	0.0564	0.3793	0.0022	66.71	0.2633
	赛得广场	1.28	0.0273	0.0467	0.4648	0.0061	86.08	4.2248
西南部工业区	大房身	0.26	0.0345	0.0704	0.1481	0.0237	87.74	9.2849
	万顺堡	2.81	0.0216	0.8353	0.0848	0.0078	65.76	0.6824
	高新	0.58	0.0068	0.8146	0.0538	未检出	134.02	0.3407
	飞跃路	4.27	0.0017	0.7512	0.1422	未检出	102.61	0.8608
	大三家子	1.48	0.0004	0.3033	0.0934	未检出	16.75	7.2780
	孟家屯	2.33	未检出	0.8075	0.2878	0.0196	90.05	6.9573
	岱山公园	0.81	0.0137	0.5516	0.5154	0.0073	90.05	0.1612
	九院	1.37	0.0190	未检出	3.1080	0.0040	64.92	8.8055

1.2 计算评价因子的权重

地下水水质标准共分为 5 类,选取参与评价的因子质量浓度基点值 s_i 为中间类别的标准限值(或中间两类别限值的均值),作为权重向量的参考因子。考虑到每个参与评价的因子对水质影响的贡献率不同,需要对每个参与评价的因子赋予不同的权重,组成评价因子的权重向量 W :

$$W = (w_1, w_2, \cdots, w_i) = \left(\frac{\rho_1}{s_1}, \frac{\rho_2}{s_2}, \cdots, \frac{\rho_i}{s_i} \right)$$
 (4)

式中: w_i 为第 i 个评价因子的权重。由于本次评价中所考虑的污染因子均属于数值越大污染越重型^[16],因此, $w_i = \frac{\rho_i}{s_i}$ 。

对权重向量 W 进行归一化处理,即令 $a_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i$,得到归一化处理后的权重向量,即评价因子的权重向量为 $A = (a_1, a_2, \cdots, a_i)$ 。

1.3 综合评判

将所求得的权重向量与隶属度进行复合计算,得到综合评判结果 Y ,即,

$$Y = A \times R = (y_1, y_2, \cdots, y_n)$$
 (5)

2 实例分析

2.1 计算隶属度并建立模糊关系矩阵

分别在西南部工业区和东南部生态区选取 8 个典型地下水水质监测点,在平水期监测其常规监测指标质量浓度,监测结果见表 1。

由不同区域污染物的实测质量浓度值,同时依据 GB/T14848—1993《地下水质量标准》对地下水水质的划分,可计算各种污染因子质量浓度的分级代表值和基点值,计算结果见表 2。

表 2 污染因子质量浓度分级代表值、综合实测值和基点值

mg/L

数据类别	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{Cu})$	$\rho(\text{Mn}^{2+})$	$\rho(\text{Zn})$	$\rho(\text{Cd})$	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$	$\rho(\text{NO}_3\text{-N})$
东南部生态区综合实测值	1.49	0.030	0.050	0.380	0.00570	73.43	3.67
西南部工业区综合实测值	3.26	0.030	0.550	2.230	0.01000	110.91	7.23
e_{i1}	1.00	0.010	0.050	0.050	0.00010	50.00	2.00
e_{i2}	1.50	0.030	0.050	0.275	0.00055	100.00	3.50
e_{i3}	2.30	0.075	0.075	0.750	0.00550	200.00	12.50
e_{i4}	6.50	1.250	0.550	3.000	0.01000	300.00	25.00
e_{i5}	10.00	1.500	1.000	5.000	0.01000	350.00	30.00
s_i	3.00	1.000	0.100	1.000	0.01000	250.00	20.00

根据隶属函数和表 2 的相关数据,计算单因子指标对各级水质的隶属度,并建立模糊关系矩阵:

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.98 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.79 & 0.21 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.53 & 0.47 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.98 & 0.02 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$R_B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.77 & 0.23 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.34 & 0.66 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.89 & 0.11 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.59 & 0.41 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

下标 A、B 分别代表东南部生态区和西南部工业区,以下同。某一监测指标按不同水质级别划分出现相同分界限值时,其分级代表值和隶属度的计算暂按最优水质级别认定。

2.2 确定评价因子的权重

参考东南部生态区和西南部工业区监测指标综合实测质量浓度值和评价因子基点值,可分别计算得到东南部生态区和西南部工业区评价因子的权重向量:

$$W_A = (0.50, 0.03, 0.51, 0.38, 0.57, 0.29, 0.18)$$

$$W_B = (1.09, 0.03, 5.51, 2.23, 1.43, 0.44, 0.36)$$

对 W 进行归一化处理后的东南部生态区和西南部工业区评价因子的权重向量为

$$A_A = (0.20, 0.01, 0.21, 0.15, 0.23, 0.12, 0.07)$$

$$A_B = (0.10, 0.00, 0.50, 0.20, 0.13, 0.04, 0.03)$$

2.3 综合评判

将归一化处理后得到的权重向量与模糊关系矩阵进行复合运算,得到相应的综合评判结果:

$$Y_A = A_A \times R_A = (y_1, y_2, \dots, y_n) = (0.2738, 0.4592, 0.2654, 0, 0)$$

$$Y_B = A_B \times R_B = (y_1, y_2, \dots, y_n) = (0, 0.0572, 0.0932, 0.7169, 0.1329)$$

由此得到东南部生态区和西南部工业区的地下水水质评价结果分别为Ⅱ类和Ⅳ类。

3 结果与讨论

分别采用内梅罗单因子指数评价法、模糊综合评价法和改进的模糊综合评价法对吉林省长春市东南部生态区和西南部工业区的地下水进行各监测项目水质的综合评价,评价结果见表 3。

由表 3 可知,相比内梅罗单因子指数评价法,利用模糊综合评价法评价各监测项目的水质级别,评价结果较为稳定,表明模糊综合评价法可以较为充分地表征各污染因子对总体水环境的作用,能客观地表征水质的总体污染程度。而相比传统的模糊综合评价法,利用改进的模糊综合评价法评价地下水水质,各项影响因子的水质级别相差较小,表明改进的模糊综合评价法使得各影响因子之间的关联程度明显加大,频率的累积使最终的综合评价结果更加受制于各影响因子的整体影响,在紧密联系各影响因子的同时,又不会因某一单个影响因子的过大浮动而对水质评价级别产生明显的干扰,从而使评价的结果能够更真实地反映当地的水质情况。

在改进的模糊综合评价法中,权重的确定以

表 3 不同区域不同评价方法的水质评价类别结果

区域	评价方法	COD	Cu^{2+}	Mn^{2+}	Zn^{2+}	Cd^{2+}	SO_4^{2-}	$\text{NO}_3\text{-N}$
东南部生态区	内梅罗法	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
	模糊综合评价法	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	I	Ⅱ
	改进模糊综合评价法	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	I	Ⅱ
西南部工业区	内梅罗法	I V	Ⅱ	I V	I V	V	Ⅲ	Ⅲ
	模糊综合评价法	I	Ⅱ	I V	V	V	Ⅱ	Ⅱ
	改进模糊综合评价法	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	I V	Ⅱ	Ⅲ

GB/T 14848—93《地下水质量标准》为依托,将权重值 w_j 的确定隐含在相关标准中,利用标准中间限值,充分考虑不同影响因子的水质级别分级跨度情况,更好地表征了标准值越大污染物污染度越小这一客观事实,较为合理地分配了各影响因子在水质综合评价中所占的权重。同时,通过引入分级代表值,较好地体现了同一影响因子不同水质分类级别间分级限的相互倍数关系,使综合评判结果时更为稳定、科学。

4 结 论

采用改进的模糊综合评价法对吉林省长春市西南部工业区和东南部生态区的地下水水质进行评价,结果显示:西南部工业区的地下水水质为Ⅳ类,造成该区域水质级别较低的主要原因是水体中重金属浓度偏高,需要采取有效措施控制该地区的水体污染;东南部生态区的地下水水质为Ⅱ类,综合水质优于西南部工业区。

参考文献:

[1] 王淞,林香民. 模糊数学在地表水水质评价中的应用[J]. 能源与环境, 2006(2):45-47. (WANG Song, LIN Xiangmin. Fuzzy mathematics in surface water quality assessment [J]. Energy and Environment, 2006(2):45-47. (in Chinese))

[2] 丛鑫. 模糊数学在水质评价中的应用[J]. 东北水利水电, 2007, 25(7):55-56, 63, 72. (CONG Xin. Application of fuzzy mathematics in appraisal of water quality [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast, 2007, 25(7):55-56, 63, 72. (in Chinese))

[3] 章磊,曹贯中,于浩,等. 改进模糊综合评价法在水质评价中的应用[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(9):176-178, 194. (ZHANG Lei, CAO Guanzhong, YU Hao, et al. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation in water quality assessment [J]. Environmental Science and Management, 2011, 36(9):176-178, 194. (in Chinese))

[4] 林乔元. 我国造纸工业碱法制浆水污染的防治[J]. 中国造纸, 2003, 12(9):62-68. (LIN Qiaoyuan. Alkaline pulping water pollution control in China [J]. China Pulp & Paper, 2003, 12(9):62-68. (in Chinese))

[5] 柳军. 模糊综合评价在水环境质量评价中的应用研究[D]. 重庆:重庆大学, 2003.

[6] 李进,陈益滨,师伟,等. 模糊综合评价法在地下水水质评价中的应用[J]. 地下水, 2006, 28(2):4-5, 22. (LI Jin, CHEN Yibin, SHI Wei, et al. Application of fuzzy comprehensive evaluation method for groundwater quality evaluation [J]. Ground Water, 2006, 28(2):4-5, 22. (in Chinese))

[7] 尹静章,傅静,谢营,等. 改进的模糊数学评价法在德州

市地下水水质评价中的应用[J]. 治淮, 2010(12):22-25. (YIN jingzhang, FU jing, XIE ying, et al. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation method in groundwater quality evaluation of Dezhou City [J]. Zhi Huai, 2010(12):22-25 (in Chinese))

[8] 孙宝权,董少杰,邵作玖,等. 探讨模糊评价法在水质评价中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2009, 7(3):127-128, 141. (SUN Baoquan, DONG Shaojie, SHAO Zuojie, et al. Application of fuzzy method in evaluation of water quality [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2009, 7(3):127-128, 141. (in Chinese))

[9] 束龙仓,邱汉学. 济宁市开采层地下水水质的 Fuzzy 综合评判及 FORTRAN 程序[J]. 长春地质学院学报, 1988, 18(4):431-440. (SHU longcang, QIU hanxue. Fuzzy comprehensive method and the devised fortran program evaluating the quality of groundwater from producing in Jining City [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1988, 18(4):431-440. (in Chinese))

[10] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1990.

[11] 肖长来,梁秀娟,卞建民,等. 水环境监测与评价[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.

[12] 闫欣荣. 模糊数学在黑河水质评价中的应用[J]. 西安文理学院学报:自然科学版, 2011, 14(2):54-56. (YAN Xinrong. Application of fuzzy mathematics in the water quality evaluation of Heihe River [J]. Journal of Xi'an University of Arts & Science: Natural Science Edition, 2011, 14(2):54-56. (in Chinese))

[13] 宣卓. 模糊综合评价法在水质评价中的应用[J]. 绿色科技, 2012, 12(2):156-158. (XUAN Zhuo. Application of fuzzy comprehensive evaluation in water quality assessment [J]. Journal of Green Science and Technology, 2012, 12(2):156-158. (in Chinese))

[14] 凌敏华,左其亨. 水质评价的模糊数学方法及其应用研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(1):34-36. (LING Minhua, ZUO Qiting. Mathematical methods in evaluation of water quality and its application [J]. Yellow River, 2006, 28(1):34-36. (in Chinese))

[15] 傅金祥,陈喆,马兴冠,等. 改良模糊综合评价法在水质评价中的应用[J]. 环境工程, 2011, 29(6):120-123, 127. (FU Jinxiang, CHEN Zhe, MA Xingguan, et al. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation method in water quality assessment [J]. Environmental Engineering, 2011, 29(6):120-123, 127. (in Chinese))

[16] 孙才志,廖资生. 水质模糊评价中污染因子赋权方法的改进及应用[J]. 勘察科学技术, 1998(6):3-6. (SUN Caizhi, LIAO Zisheng. Revising method of granting pollutants weight and its application in water quality fuzzy assessment [J]. Investigation Science and Technology, 1998(6):3-6. (in Chinese))

(收稿日期:2014-06-18 编辑:彭桃英)