

不同地下水水质评价方法的比较及实例应用

张晓叶^{1,2}, 张永祥^{1,2}, 任仲宇^{1,2}, 王慧峰^{1,3}, 段智隆^{1,2}

(1. 北京工业大学 建筑与工程学院, 北京 100124; 2. 水质科学与水环境恢复工程北京市重点实验室, 北京 100124; 3. 北京市朝阳区水务局, 北京 100026)

摘 要: 为真实准确地反映地下水水质情况, 分别介绍了 F 值法、内梅罗指数法、模糊综合评价法的基本原理, 以 2013 年北京市某地区地下水枯水期 6 例水样为例, 进行评价分析。结果表明: F 值法使用便捷, 结果直观, 应用广泛, 但会造成一定的不连续性, 缺失Ⅲ类水。内梅罗指数法运算简洁, 但过于突出最大污染因子, 并且没有准确的地下水质量类别划分依据。模糊综合评价法虽然计算过程复杂, 但是计算结果更加准确。经过 3 种方法的分析比较可以为实际工程中地下水评价方法的合理选择提供一定的技术指导。

关键词: 地下水; F 值法; 内梅罗指数法; 模糊综合评价法; 地下水水质评价

中图分类号: X824 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2014)02-0098-04

Comparison and practical example of assessment method in different groundwater qualities

ZHANG Xiaoye^{1,2}, ZHANG Yongxiang^{1,2}, REN Zhongyu^{1,2}, WANG Huifeng^{1,3}, DUAN Zhilong^{1,2}

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Beijing Key Laboratory of Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing 100124, China;

3. Water Authority of Chaoyang District of Beijing, Beijing 100026, China)

Abstract: In order to accurately reflect the condition of groundwater quality, this paper introduced the basic principle of three assessment methods including F-value, Nemero index and fuzzy comprehensive evaluation method. Taking six types of groundwater sample collected from dry season of Beijing in 2013 for example, it carried out assessment and analysis. The results show that F value method uses simple, results are intuitively displayed and widely applied, but it can cause some discontinuity and lack of class Ⅲ water. The calculation method of Nemero index is simple, but it extremely emphasizes on the largest pollution factor, and there is no accurate basis for groundwater quality category. Although the calculation process of fuzzy comprehensive evaluation method is complex, but the result is more accurate. The comparison and analysis of three methods can provide technical guidance for the rational choice of evaluation methods of groundwater in practical project.

Key words: groundwater; F-value method; Nemero method; fuzzy comprehensive evaluation method; water quality assessment of ground water

随着工业化、城市化的发展, 水质恶化已经成为人类社会面临的严峻问题。其中地下水作为城市生活的重要水源, 面临着严重的威胁。因此水质监测与评价, 是反映水体污染状况与程度, 进行水资源保护与利用的重要途径与手段。马成有针对内梅罗指数法进行两次改进, 仇茂龙等对比分析了国内外水质评价方法, 高振凯等采用模糊综合评价法对宁

夏地区地下水进行了综合评价^[1-3]。水质评价方法如何能科学准确地反映区域内水质状况已经成为水环境领域的研究热点^[4]。

1 水质评价方法

地下水质量评价是对区域内的水环境要素进行综合分析, 对水质优劣进行定量评价, 来判断该地下

水等级的过程。目前颁布的《地下水质量标准》(GB/T14848-93)^[5]中根据地下水的不同用途把地下水水质分为了五个等级。目前常用的水质评价方法有 F 值法、内梅罗指数法和模糊综合评价法^[6-7]。

1.1 F 值法

F 值法是《地下水质量标准》(GB/T14848-93)中推荐使用的地下水综合评价法。计算步骤:

- (1)首先进行各单项组分判定,根据规范中地下水质量分类指标划出组分所属质量类别;
- (2)根据各组分类别,确定其评价分值 F_i (共 V 类),各类别分值见表 1。

表 1 单项指标评价分值

类别	I	II	III	IV	V
F_i	0	1	3	6	10

(3)利用下列公式,计算综合分值 F :

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \tag{1}$$
$$F = \sqrt{\frac{\bar{F}^2 + F_{\max}^2}{2}} \tag{2}$$

式中: $\bar{F}$ 为各单项组分评分值 F_i 的平均值; $F_{\max}$ 为单项组分评分值 F_i 的最大值; n 为单项组分项数。

(4) 根据所求 F 值,确定地下水质量级别。地下水质量分级见表 2。

表 2 地下水质量分级表

级别	优良	良好	较好	较差	极差
F	0.8	0.8~2.5	2.5~4.25	4.25~7.2	7.2

1.2 内梅罗指数法

内梅罗指数法是一种突出最大值的计权重型综合评价法,是地下水质量评价中广泛使用的一种方法。单项组分指数值最大不一定对水质的影响最大,所以本文为了削弱最大值对评价结果的影响,采用的是内梅罗指数修正公式^[8]。计算步骤:

- (1)计算各评价因子指数。首先根据该区域地下水的用途判断地下水的水质量标准等级,然后用各评价因子实测值除以对应因子的某级别的水质标准。

$$F_{j\max} = \max \{ x_i / C_{ij} \} \tag{3}$$
$$\bar{F}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i / C_{ij}}{n} \tag{4}$$

式中: x_i 为第 i 种评价因子的实测浓度; C_{ij} 为第 i 种评价因子在 j 种标准下的标准值。

- (2) 评价因子权重值 W_i 计算。将各评价因子的评价标准 C_i 由小到大排列,找出最大值 $C_{i\max}$,并用 $C_{i\max}$ 同 C_i 相比较。

$$R_i = \frac{C_{i\max}}{C_i} \tag{5}$$

$$W_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \tag{6}$$

式中: R_i 为第 i 种评价因子的相关性比值; W_i 为第 i 种污染因子的权重值。

- (3) 计算内梅罗指数 P :

$$F'_{j\max} = \frac{F_{j\max} + F_w}{2} \tag{7}$$

$$P_j = \sqrt{\frac{(F'_{j\max})^2 + (\bar{F}_j)^2}{2}} \tag{8}$$

式中: P_j 为内梅罗指数; F_w 为权重值 W_i 最大的污染因子的 x_i 与 C_{ij} 比值。

1.3 模糊综合评价法

模糊评价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方法。模糊综合评价法通过建立因子集、评价集、隶属度函数和权重集等模糊集合,进行水环境评价^[9]。计算步骤:

- (1)建立因子集和评价集。考虑影响水质的污染因素,建立评价因素集合: $U = \{u_1, u_2, \cdots, u_n\}$; 根据地下水评价等级,建立评价集 $V = \{I, II, III, IV, V\}$ 。

- (2)建立隶属度函数。隶属函数是单项水质指标进行模糊评价的依据,因此确定各评价因子对各级标准的隶属函数是模糊综合评价法的关键。污染因子对各级水的隶属函数如下:

对 I 级水 ($j = 1$) 时,隶属函数为:

$$y_{i1} = \begin{cases} 1 & x_{ki} \leq C_{i1} \\ \frac{C_{i2} - x_{ki}}{C_{i2} - C_{i1}} & C_{i1} < x_{ki} < C_{i2} \\ 0 & C_{i2} < x_{ki} \end{cases} \tag{9}$$

对 II 级至 IV 级水 ($j = 2, 3, 4$) 的隶属函数:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{C_{ij} - x_{ki}}{C_{ij} - C_{ij-1}} & C_{ij-1} \leq x_{ki} \leq C_{ij} \\ \frac{C_{ij+1} - x_{ki}}{C_{ij+1} - C_{ij}} & C_{ij} < x_{ki} < C_{ij+1} \\ 0 & x_{ki} < C_{ij-1} \text{ 或 } C_{ij+1} < x_{ki} \end{cases} \tag{10}$$

对于 V 级水 ($j = 5$) 的隶属函数:

$$y_{i5} = \begin{cases} 0 & x_{ki} \leq C_{i4} \\ 1 - \frac{C_{i5} - x_{ki}}{C_{i5} - C_{i4}} & C_{i4} < x_{ki} < C_{i5} \\ 1 & C_{i5} < x_{ki} \end{cases} \quad (11)$$

根据上述隶属函数公式,可以求出各单项污染因子对各级水质标准的隶属度。因此确定一个 $i \times 5$ 阶模糊关系矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{15} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{25} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{n5} \end{bmatrix}$$

(3) 确定污染物权重。模糊综合评价法中要考虑各指标的高低差别对水质污染与人体健康影响的不同,对各评价因子赋予权重,也叫做模糊权归一化处理。一般权重的确定采用污染物浓度超标加权法,计算公式如下:

$$w_{ki} = \frac{x_{ki}}{S_i} \quad (12)$$

$$S_i = \frac{1}{n}(C_{i1} + C_{i2} + \cdots + C_{in}) \quad (13)$$

$$a_{ki} = \frac{w_{ki}}{\sum_{n=1}^n w_{ki}} \quad (14)$$

式中: w_{ki} 为因子权重; a_{ki} 为第 k 个样本中第 i 个评价因子的权重值,计算得到 $1 \times n$ 的模糊权重矩阵 A ,即 $A = (a_1, a_2, \cdots, a_n)$

(4) 模糊综合运算。将权重矩阵 A 与模糊矩阵 R 带入公式,求出结果后进行分析与评价。

$$B = A \cdot R \quad (15)$$

2 实例应用

本文随机抽取 2013 年北京市某地区地下水枯水期水样 6 例。考虑污染物对水质的影响以及对人体的危害选取 pH、总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、铁、锰、锌、高锰酸钾、硝酸盐、氨氮、氟化物 12 个指标作为评价因子^[10],水质数据见表 3。

表 3 2013 年北京市某地区地下水水质数据											mg/L	
序号	pH	总硬度	溶解性 总固体	硫酸盐	氯化物	铁	锰	锌	高锰酸 盐指数	硝酸盐	氨氮	氟化物
1	8.1	390	558	87.0	76.5	0.57	0.03	0.031	0.70	0.72	0.16	0.4
2	8.1	580	882	138.0	135.0	0.04	0.01	0.011	0.58	24.80	0.02	0.2
3	8.0	278	360	50.6	26.1	0.03	0.01	0.006	0.38	0.63	0.02	0.4
4	8.3	121	285	37.6	10.6	0.23	0.05	0.091	0.49	0.15	0.42	0.3
5	8.4	246	405	50.4	41.3	0.03	0.01	0.058	0.32	5.16	0.12	0.6
6	8.4	56.2	240	28.0	6.93	0.09	0.02	0.006	0.42	0.15	0.08	0.6

分别采用 F 值法、内梅罗指数法、模糊综合评价法 3 种方法进行水质评价。各方法水质评价结果见表 4~6。各指标分类标准见《地下水质量标准》(GB/T14848-93)^[1]。

表 4 F 值法评价地下水水质结果				
序号	$\bar{F}$	$F_{\max}$	F	水质分类
1	1.4167	6	4.3593	Ⅳ
2	1.7500	10	7.1785	Ⅳ
3	0.2500	1	0.7289	Ⅰ
4	0.8333	6	4.2834	Ⅳ
5	0.8333	3	2.2016	Ⅱ
6	0.2500	3	2.1287	Ⅱ

表 5 内梅罗指数法评价地下水水质结果					
序号	$\bar{F}_j$	$F_{\max j}$	F_w	P_j	水质分类
1	0.6613	6	4.3593	1.0566	Ⅳ
2	0.6542	10	7.1785	0.8800	Ⅲ
3	0.2857	1	0.7289	0.4374	Ⅰ
4	0.5641	6	4.2834	1.2586	Ⅳ
5	0.3927	3	2.2016	0.4910	Ⅱ
6	0.2823	3	2.1287	0.4942	Ⅱ

表 6 模糊综合评价法评价地下水水质结果						
序号	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	水质分类
1	0.1270	0.2633	0.5063	0.1034	0	Ⅲ
2	0.0591	0.1970	0.2456	0.3047	0.1936	Ⅳ
3	0.2954	0.5338	0.1709	0	0	Ⅱ
4	0.2115	0.1013	0.2904	0.3041	0.0926	Ⅳ
5	0.2133	0.4204	0.3114	0.0549	0	Ⅱ
6	0.4129	0.1869	0.3160	0.0842	0	Ⅰ

3 讨论分析

为了便于对比分析,将 3 种方法的综合评价结

果列于表 7。通过比较可以看出同一水样不同方法的评价结果略有不同,且除 2 号水样外,F 值法与内梅罗指数法评价结果大体相同,仅与模糊综合评价法稍有差异。

表 7 3 种方法综合评价结果

序号	F 值法	内梅罗指数法	模糊综合评价法
1	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ
2	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ
3	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
4	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
5	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
6	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ

经分析, F 值法在计算过程中人为划定各评价因子的等级,赋予不同的分值 F_i 。在一定程度上使 F_i 值不能准确代表地下水各监测指标的真实水质情况。如两水样硝酸盐含量分别为 20、21 mg/L 时,浓度仅相差 1 mg/L,但按标准打分分别为 3(Ⅲ类)和 6(Ⅳ类),说明浓度相差很小的情况下,分值却相差较大。实例中 2 号水样硫酸浓度为 138 mg/L,《地下水质量标准》(GB/T14848-93)中Ⅱ类水硫酸盐浓度范围为 50~150 mg/L,确定 2 号水样为Ⅱ类,但可以看出 2 号水样硫酸盐浓度更接近Ⅲ类水的下限(三类水硫酸浓度为 150~250 mg/L)。这使 F 值法不能准确地反映对水质分界极限的接近程度。同时 F 值法突出最大污染因子的影响,如水样各评价因子中只有一项 F_i 值偏高,即使其他评价因子 F_i 值低,但综合评价 F 值也会偏高。另外,通过表 4 的计算数据,还可以发现有 $F = 0.72 F_{\max}$ 的线性关系。这些问题会使 F 值法的计算结果缺失Ⅲ类水。综合这些问题, F 值法虽然公式简单,计算方便,但在实际应用过程中要仔细斟酌。

内梅罗指数法是 F 值法的优化,引入评价因子指数,把人为评定污染因子等级并评分的过程改为用污染因子实测值与对应等级标准值的比,这样可减少人为评定的偶然性,评价指数更能准确地反映污染因子的污染程度。考虑到污染因子的危害性与排放标准有成反比例的关系,对内梅罗指数法进一步优化,计算各污染因子的权重值 W_i ,同时将权重值最大的评价因子指数引入内梅罗公式计算,本例中锰的 W_i 最大,所以将锰的评价指数引入公式,这样可减少最大污染因子的影响,使评价结果更加客

观准确。内梅罗指数法的缺点在于只给出了指数计算方法,缺乏准确的指数划分等级的依据。因此使用内梅罗指数法时,采用不同的等级划分方法得到的地下水等级也会有所不同。

模糊综合评价法与 F 值法比较,充分的考虑了水质分界线的过渡,数据更加具有连续性。计算了每种污染因子对各级水质标准的隶属程度,而非某一级标准,这样使结果更加科学准确。但是该方法计算复杂,在需要评价水样过多时,计算困难,需要计算机编程辅助完成。

4 结 语

本文通过 F 值法、内梅罗指数法、模糊综合评价数法对 2013 年北京市某地区枯水期 6 例水样进行评价过程中,发现 3 种方法在实际应用中各有优缺点。经过上述分析可以得出在实际应用中,不能过分强调某种水质评价方法的优越性,而要根据研究区域的具体情况,合理地选用最适合评价方法,使评价结果更能准确真实地反映该区域的水质情况。

参考文献:

[1] 马成有. 地下水环境质量评价方法研究[D]. 长春: 吉林大学,2009.

[2] 仇茂龙,刘玲花,邹晓雯,等. 国内外水源地下水水质评价标准与评价方法的比较[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2013,11(3):176-182.

[3] 高振凯,耿新新,海 玮,等. 基于模糊综合评判的吴灵灌区地下水水质评价[J]. 人民黄河,2013,35(8):53-55+59.

[4] 苏耀明,苏小四. 地下水水质评价的现状与展望[J]. 水资源保护,2007,23(2):4-9+12.

[5] 国家技术监督局. GB/T14848-93. 地下水质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2003.

[6] 谢洪波. 焦作市地下水质量综合评价及污染预警研究[D]. 西安:长安大学,2008.

[7] 张新钰,辛宝东,刘文臣,等. 三种地下水水质评价方法的对比分析[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(3):113-118.

[8] 关云鹏. 利用内梅罗指数法模型评价地下水水质的探讨[J]. 山西水利科技,2012(1):81-84.

[9] 万金保,李媛媛. 模糊综合评价法在鄱阳湖水质评价中的应用[J]. 上海环境科学,2007,26(5):215-218.

[10] 林 沛. 北京市城近郊区地下水水质评价与趋势分析[D]. 长春:吉林大学,2004.