

基于模糊综合评价的地下水质量评价研究

王 垠

(辽宁省阜新水文局, 辽宁 阜新 123000)

【摘要】 本文利用几种典型的水质评价模型来全面分析试验区域的地下水质量,取样的地下水来自于试验区域的浅层地下水和深层地下水第二含水组,并依据水质的分析数据来评价地下水的品质。研究发现,导致地下水水质总体质量差的主要因素为原生组分超出标准,这些原生组分除了常规组分外,还包括氟、锰、铁等微量组分。本文采用的评价方法为模糊数学法,研究认为试验区域地下水的品质以 I ~ III 类为主。

【关键词】 地下水; 水质; 模糊综合评价

中图分类号: TV211.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2017)06-0039-04

Evaluation and research on underground water quality based on fuzzy comprehensive evaluation

WANG Yin

(Liaoning Fuxin Hydrology Bureau, Fuxin 123000, China)

Abstract: In the paper, the quality of groundwater in test area is comprehensively analyzed by using several typical water quality evaluation model. The sampled underground water is obtained from the shallow underground water and deep underground water No. 2 aquifer group in the test area. The underground water quality is evaluated according to the analysis data of water quality. The studies show that main factors leading to poor overall quality of underground water include the follows: native components are beyond the standard, and the native components mainly include fluoride, manganese, iron and other trace components besides normal components. The fuzzy mathematics method is adopted as the evaluation method in the paper. It is believed in the study that the quality of the underground water in test area is mainly based on class I ~ III.

Key words: underground water; water quality; fuzzy comprehensive evaluation

水作为一种基础资源,对于地球生命的存在乃至整个社会的存续来说都是不可或缺的。其中地下水作为水资源的重要构成,具有供水稳定、水质优良等天然优势,对于人们的生产、生活、生态都有重要的作用。在已有的研究成果中,对地下水水质的评价不多,已有的研究重点为水质的分布情况,对于水质的评价局限在功能方面,对于污染机理的研究比较少,少量对污染机理的研究多是聚集在铅、氨、氮这些微量组分上,而这

两种微量组分是影响地下水水质的非主要组分。本研究借鉴已有的研究成果,利用几种典型的水质评价模型来全面分析并评价试验区域的地下水质量,研究能够主导影响地下水水质的要素,掌握试验区域地下水的品质状况,并研究主要超标组分在空间上的分布,找到分布的规律以及组分之间存在的关系。本文的研究意义在于通过科学地评价地下水的品质,揭示出当前地下水的总体品质状况,有利于地下水资源的合理开发^[1-2]。

1 地下水在水源中的地位

区域供水水源包括地表水和地下水。其中地下水是最稳定的供水来源,在总供水量中占比达到了30%,每年平均开采 7.36 亿 m³。在地域广泛的非城市区域,供水主要来源于地下水。所以地下水对于维持社会稳定、保证经济发展具有保障作用。

2 地下水开发利用存在的问题

2.1 水位连续大幅降低

由于长期大量开采地下水,市区及其他区域的地下水水位下降严重,尤其北大港水库以南的第四系含水层处于疏干或半疏干的状态。近几年随着对深层水利用的减少,各组含水层的水位有所回升,但是在没有其他水源的地方,水位的下降还是比较严重,城建区年水位的平均降幅为 2~3m,近海地区年水位的平均降幅达到 2m 以上。

2.2 出现水质恶化现象

2.2.1 垃圾堆放场通过河道污染浅层淡水

如果垃圾堆放场没有经过无害化处理,垃圾被雨水浇淋后就会滤出含有有毒、有害、有机、无机成分的液体,并含有多种病毒和细菌,这些液体污染地表水、地下水,甚至是包气带土层。在城市的市区或者郊区,已经找不到没有受过污染、达到饮用水标准的浅层淡水。此外,没有经过处理的工业废水在流进河道后,通过污染河水间接地污染了地下水,出现河岸两侧浅层地下水大范围污染的现象。

2.2.2 上覆咸水对深层淡水的污染

经过一定的地史时期,浅部地层受到大陆盐渍化以及海进的共同作用,浅部地层的水分逐渐变成了浅层地下咸水,在阜新市主要分布在中南。虽然浅层咸水对深层地下水的影响比较小,主要作用在对邻层的越流补给上,但随着地下水开采量的增加,水位呈现出持续下降的趋势,导致深层淡水和上覆咸水之间的越流程度增加,使咸水出现下渗,最终使深层水的水质降低。此外,机井成井的技术不佳也会导致出现井管

锈蚀、止不住水、管外上下串通、破裂或错口等现象,使地表的咸水流进深层,增加了淡水中硫酸盐、氯离子等物质的含量。

3 通过取样检查、检验数据的可靠性

为查明地下水的水质现状,对试验区域进行了浅层地下水和深层承压水第二含水组水质调查,共布置采样点 122 个,其中浅层地下水采样点 52 个,深层承压水第二含水组采样点 70 个,采样点位置平均分布,兼顾重点开采地区并控制整个研究区。

阴阳离子平衡检查是依据电解液为电中性的这一条件,即溶液中的正离子电荷总数等于负离子总数。实际上地下水是一种复杂的电解溶液,因此遵循电中性条件。实际应用中常用此来检查水样分析结果的误差,其表达式见式(1):

$$E = \frac{\sum Zm_c - \sum Zm_a}{\sum Zm_c + \sum Zm_a} \times 100 \quad (1)$$

式中 E ——电荷平衡误差,%;

m_c, m_a ——阳离子和阴离子的摩尔浓度;

Z ——离子的电荷数。

由于地下水中除了常量组分外,还有微量组分,因此 E 的绝对值 < 5% 是允许的。

表 1 试验区域水样数据可靠性检测结果

	样本总数	合格样本数	合格比例/%
浅层地下水	54	45	83.3
承压水第二含水组	68	65	66.1
总计	122	110	90.1

根据试验区域水样数据可靠性检测结果(见表 1)可知,检测出承压水第二含水组水样的合格率是 66.1%,浅层地下水合格的水样占比达 83.3%,与浅层地下水相比,第二含水组的分析结果可靠性更大,本次试验对水质的分析基本可靠。

4 模糊性综合评价

4.1 模糊数学基本模型

已知一个有限集合 X

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \quad (2)$$

X 中的元素 $x_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$ 表示评价对象。

又已知一个有限集合 K

$$K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_m\} \quad (3)$$

K 中的元素 $k_i (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ 表示不同的评价指标。

令 u_i 为第 i 个评价指标 $k_i \in K$ 的隶属函数, 即

$$u_i = u(k_i), u_i \in [0, 1] \quad (4)$$

则 U 为一个有限的模糊子集, 即

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (5)$$

探求模糊集合 B 的过程就是利用数学来描述模糊评判问题, 即

$$B = [b_1, b_2, b_3, \dots, b_n] \quad b_j \in [0, 1] \quad (6)$$

在这个模糊集合里, 元素 b_j 为综合对象的评价指数, 综合对象包含了 j 个被评价对象。由于隶属函数 u_i 适用于所有的评价对象 x_j , 因此得出代表模糊关系的评价矩阵 R , 即

$$R: U \times X \rightarrow [0, 1] \quad (7)$$

$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中 $r_{ij} = R(x_j, u_i) \in [0, 1]$, 即对于第 i 个评价指标, 这 j 个被评价对象分别的隶属度。

给定一个模糊向量

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\} \quad (9)$$

权重矩阵 A 里的元素 $a_k (k = 1, 2, \dots, m)$ 表示第 k 个模糊算子在评价中的权重:

$$\sum_{k=1}^m a_k = 1 \quad a_k \in [0, 1] \quad (10)$$

构建完权重矩阵和评判矩阵, 采用复合运算的方法来评价, 即模糊子集 B :

$$B = AR = (b_j)_n = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_n) \quad (11)$$

4.2 构建模糊关系矩阵 R

关系矩阵中隶属函数 r_{11} 代表的是因素指标对应的评价等级, 该隶属度函数代表的是各个指标相对的评价等级, 推算分析时不仅要参照多个评价标准, 还要

分别对照评价的指标值。

u_i 为集合的隶属函数, 选用比较成熟的“降半梯形分布图”来确定函数, 即

$$u_{11} = \begin{cases} 1 (x \leq a_1) \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} (a_1 < x < a_2) \\ 0 (x \geq a_2) \end{cases} \quad (12)$$

$$u_{21} = \begin{cases} 0 (x \leq a_1) \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} (a_1 < x < a_2) \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} (a_2 < x \leq a_3) \end{cases} \quad (13)$$

$$u_{31} = \begin{cases} 0 (x \leq a_2, x \geq a_4) \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} (a_2 < x \leq a_3) \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} (a_3 < x \leq a_4) \end{cases} \quad (14)$$

$$u_{41} = \begin{cases} 0 (x \leq a_3, x \geq a_5) \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} (a_3 < x \leq a_4) \\ \frac{a_5 - x}{a_5 - a_4} (a_4 < x \leq a_5) \end{cases} \quad (15)$$

$$u_{51} = \begin{cases} 0 (x \leq a_4) \\ \frac{a_5 - x}{a_5 - a_4} (a_4 < x \leq a_5) \\ 1 (x \geq a_5) \end{cases} \quad (16)$$

式中 x ——被评价组分的实测浓度;

$a_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ ——I类, II类, IV类, IV类, V类地下水水质标准浓度代表值。

4.3 确定组分的权重集

组分的权重代表组分对于水质的影响程度, 除了实测数据以外, 该权重还与允许浓度相关, 代表公式为:

$$W_i = \frac{x_i}{s_i} \quad (17)$$

$$S_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (18)$$

式中 x_i ——各组分的实测值的均值;

s_i ——各组分各等级代表值 (a_i) 的算术平均值;

n ——分级数。

对所求得各单项组分权重进行归一化处理,即

$$\bar{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (19)$$

4.4 评价结果

对水质的评价存在模糊的特点,由于水在地下相互串联,地下水的水质过程是逐渐改变的,因此地下水水质的等级划分没有完全的质变。按照该特性,借鉴已有的模糊综合评价理论,构建起针对水质评价的模

糊数学模型,按照最大隶属度的原则来评估水质的等级。进行水质模糊性综合评价的流程为:首先,列举可被选择的对象集合;然后,列举影响因素的集合;第三,构建评价水质的矩阵公式;第四,明确评价水质的函数公式;最后,计算评价的各项数据^[3-5]。

本研究以《地下水质量标准》(GB/T 14848—1993)作为依据,将Ⅲ类地下水的水质纳入评估的指标。此外,还借鉴了国内外其他相关标准及划分等级的相关案例,按照供用水的水质实际状况来明确地下水各组分的分级类别以及标准界值。表2即为各评价组分的等级范围以及代表值。

表2 水质评价分级

单位:mg/L

评价组分	I类		II类		III类		IV类		V类	
	等级范围	代表值	等级范围	代表值	等级范围	代表值	等级范围	代表值	等级范围	代表值
Cl ⁻	<250	150	250~500	400	500~1200	800	1200~2500	1900	>2500	3000
SO ₄ ²⁻	<250	150	250~500	400	500~1200	800	1200~2500	1900	>2500	3000
NH ₄ ⁺	<0.2	0.1	0.2~1.0	0.6	1.0~2.0	1.5	2.0~4.0	3.0	>4.0	5.0
NO ₃ ⁻	<20	10	20~30	25	30~50	40	50~80	65	>80	100
NO ₂ ⁻	<0.02	0.01	0.02~0.1	0.06	0.1~0.2	0.15	0.2~0.4	0.3	>0.4	0.5
F ⁻	<1.0	0.5	1.0~2.0	1.5	2.0~3.0	2.5	3.0~4.0	3.5	>4.0	4.5
Fe	<0.3	0.15	0.3~1.5	0.9	1.5~3.0	2.2	3.0~5.0	4.0	>5.0	6.0
Mn	<0.1	0.05	0.1~1.0	0.6	1.0~2.0	1.5	2.0~4.0	3.0	>4.0	5.0
IDS	<1000	500	1000~2000	1500	2000~3000	2500	3000~5000	4000	>5000	6000

按照构建的模糊数学评估模型^[6-7],有10处取样点的浅层地下水符合I类水质,占比为21.74%;有16处取样点的浅层地下水符合II类水质,占比为34.78%;有10处取样点的浅层地下水符合III类水质,占比为21.74%;有3处取样点的浅层地下水,占比为4.35%;有8处取样点的浅层地下水,占比为17.39%。有15处取样点的深层地下水符合I类水质,占比为22.73%;有12处取样点的深层地下水符合II类水质,占比为18.18%;有16处取样点的深层地下水符合III类水质,占比为24.24%;有14处取样点的深层地下水符合IV类水质,占比为21.21%;有9处取样点的深层地下水符合V类水质,占比为13.64%。水质评价结果统计详见表3。

表3 水质评价结果统计

等级	I类	II类	III类	IV类	V类
浅层地下水	10	16	10	2	8
比例/%	21.74	34.78	21.74	4.35	17.39
深层地下水	15	12	16	14	9
比例/%	22.73	18.18	24.24	21.21	13.64

5 结论

研究表明,模糊数学模型的评价结果符合水质的特点,并着重描述了地下水中主要超标组分是如何恶化地下水水质的,此外还将其他非主要超标组分纳入影响要素,评价结果能够有效、科学地反映水质的演变情况。因此,该方法的评价结果符合当前地下水的开发利用情况,可以将该方法的评价结果应用到相应的领域或研究中。◆