

基于模糊数学的凉州区农村水质评价模型研究

王尚涛, 张建生

(甘肃农业大学 工学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为了使凉州区农村安全饮水向科学化、合理化的方向发展, 本文根据武威市凉州区农村的地域特征及实际情况, 在以往各类水质评价模型的基础上, 综合考虑其合理性和不足之处, 运用模糊数学方法建立凉州区农村地表水水质模糊综合评价模型。在证明该模型科学、合理的同时, 也分析了凉州区农村饮水安全方面存在的不安全因素, 提出了解决武威市凉州区农村饮水安全问题的建议和措施。

关键词: 水质评价; 模糊数学; 凉州区; 模型; 研究

中图分类号: TV213.4; X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)01-0117-03

Research on the fuzzy evaluation model of water quality in rural areas of Liangzhou County

WANG Shangtao, ZHANG Jiansheng

(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to make the rural drinking water safety in Liangzhou County develop scientifically and reasonably, according to the regional features and actual situations of Liangzhou county in Wuwei City, based on the previous water quality evaluating models, the paper considered the rationality and shortcoming, the fuzzy synthetic evaluating model for Liangzhou County surface water quality was established by fuzzy mathematics method. It also analyzed the insecurity factors of rural water - drinking safety in Liangzhou county while testified the scientific and rationality of this model, and presented the suggestion and measures for solving the existent problems.

Key words: water quality evaluation; fuzzy mathematics; Liangzhou county; model; research

水,是生命之源,也是人类赖以生存和发展的基础。农村饮水安全问题直接关系到广大人民群众的根本利益,解决广大农民群众的饮水安全问题,是实现全面建设小康社会、构建社会主义和谐社会的重要内容。

水体,是一个多元复杂体系,具有高度的综合性和随机性。影响水质情况的物理化学因素很多,规律性也不尽相同,而且一些评价指标本身又难以量化,这些都给水质评价带来了许多模糊性和不确定性。在进行水质综合评价的时候,由于评价标准必须是界限明显的量化标准,但指标的选择、权重、污染程度、范围等都具有模糊性,所以,在自然界人们不能确立一个准确的水质分级界限,这就会造成一些有用的信息的遗漏,甚至得到错误结果。另外,其各自评判结果经常是独立和不相容的,因此,目前逐渐形成了多因子综合评价法、综合指数法、属

性识别法、人工神经网络法和模糊数学法等综合评价方法^[1-3]。而模糊数学方法正好能够处理这些不透明的信息,最大限度地采用所有信息,从而得出较为客观的评价,其结果也基本真实反映了实际情况。

自从1965年美国控制论教授Zadeh L. A. 提出模糊集合的概念以来,模糊数学在世界上得到了前所未有的发展,同时也被广泛运用于生产和生活实践中^[4]。本文则根据模糊数学的原理建立了水质模糊综合评价模型^[5],并应用该模型对凉州区农村地表水进行了水质评价,评价结果与客观实际吻合度较高。

1 研究区基本情况概述

凉州区位于甘肃省西部,河西走廊东端,武威绿洲的中心。区境东与内蒙古自治区阿拉善右旗相接,南与古浪县、天祝藏族自治县相靠,西与南裕固

收稿日期:2011-06-30; 修回日期:2011-08-06

作者简介:王尚涛(1985-),男,甘肃平凉人,在读硕士,主要研究方向为水利工程与水环境工程。

通讯作者:张建生(1964-),男,甘肃静宁人,教授,硕导,主要研究方向为水利工程与水环境工程。

族自治县相连,北与永昌县、民勤县相邻,西南部为山区,中北部为走廊平原区,东部为沙漠区。属大陆性温带干旱气候,具有寒冷、干燥、多风的特征^[6]。干旱天数 120 d,降水量 160 mm,蒸发量 2 020 mm。多年平均径流量为 9 亿 m³,多年平均渠首引进量 6.8 亿 m³,地下水可开采量 2.861 亿 m³(包括重复利用),实际可利用水资源总量为 9.661 亿 m³,水资源人均占有量约 740 m³(不包括重复利用),亩均可利用水资源为 640 m³。全区农村人畜饮水较困难,农村饮水安全问题较为突出。

2 凉州区农村水质模糊综合评价模型

2.1 评价指标体系的确立

根据水环境质量等级分类标准,选择若干个代表性水质监测指标作为评价因子,建立评价指标体系。评价指标体系中共设置 m 个评价因子,所选中的评价因子为 P_i ,则建立的评价指标体系 A 满足: $A = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_m\}$ 。

2.2 评价集的建立

根据《地表水环境质量标准》(GB 3838 - 2002),按照地表水保护目标和水域功能,将地表水水质分成了五类,故确定评价集为: $F = \{I, II, III, IV, V\}$ 。

2.3 模糊评判矩阵的构建

假定有 m 个参与水质评价的评价因子, n 个水质评价标准,由于水质分级标准和水质污染程度都是模糊的,因此,用隶属度来划定分级界限比较合理。设 b_{ij} 表示第 i 种污染物的环境质量数值可以被评价为第 j 类环境质量的的可能性(即 i 对 j 的隶属度,它们的关系即为隶属函数),这样就构成了水质评价因子与水质类别的模糊评判矩阵 B :

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: m 代表评价因子数,即 $i = 1, 2, \dots, m$; n 代表水体级别,即 $j = 1, 2, 3, 4, 5$ 。

通过对隶属函数的计算来确定隶属度,隶属函数一般采用右半梯形分布来描述。按照《地表水环境质量标准》(GB 3838 - 2002)的规定,各水之类别的隶属度 b_{ij} 应根据下式计算:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i \leq y_j \\ \frac{y_{j+1} - x_i}{y_{j+1} - y_j} & y_j < x_i < y_{j+1} \\ 0 & x_i \geq y_{j+1} \end{cases} \quad (2)$$

式中: x_i 为水质评价因子 P_i 的监测值。 y_j 为水质评价因子 P_i 的第 j 类水质标准值。

2.4 指标权重计算

安全评价指标的权重有着复杂的结构,而且指标权重是衡量指标评价体系中某一因子对这一水质污染程度影响相对大小的量。因此,指标权重系数越大,该因子对水质的影响程度就越大。目前,确定评价指标权重的方法一般有主观赋权法和客观赋权法 2 种,主观赋权法由专家根据经验和主观判断得出,客观赋权法则是由数据信息经过一定的处理形成。主观赋权法经常受专家自身素质和经验的影响,往往会造成评价结果的偏差^[7-10]。对此,从饮水安全的实际需要以及水的用途出发,考虑采用评价因子贡献率的方法确定指标权重,通过计算超标比来计算指标权重值,这样可以尽量消除各指标权重计算的人为因素的干扰,使评价结果更科学,合理,贴近实际。

对于偏大型分布指标如 DO 等,其指标权重为:

$$\theta_i = \frac{\bar{y}_i}{x_i} \quad (3)$$

式中: θ_i 为无量纲数,表示某水质评价因子的实测值相对于水质标准的超标倍数; x_i 为水质评价因子 P_i 的监测值; \bar{y}_i 为水质评价因子 P_i 各类水质标准限值的均值。

但是对于一般的偏小型分布指标,如 COD、BOD₅ 等,其权重指标的计算式一般定义为:

$$\theta_i = \frac{x_i}{y_i} \quad (4)$$

式中各项的含义同(3)式。

当每个水质评价指标的超标比都计算完后,再将其进行归一化处理,便可以算出每个评价指标的权重:

$$w_i = \frac{\theta_i}{\sum \theta_i} \quad (5)$$

由此即可以得到权重集: $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_m\}$

2.5 确立凉州区农村水质模糊综合评价模型

在确立了模糊评判矩阵 B 和权重集 W 后,便能得到下面的模糊综合评价模型:

$$X = W \cdot B = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_m\} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix}$$

$$= (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (6)$$

在模糊综合评价模型建立之后,再根据最大隶属度原则,若 $x_j = \max(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, 则该评价对象的水质级别应该对应为第 j 类。

3 凉州区农村水质模糊综合评价模型的应用

3.1 建立模糊评判矩阵 B

根据凉州区农村的水环境条件,利用已有的监测数据,选择 DO、COD、 F^- 、Cr、Pb、Cu 6 项代表性较强的评价指标作为水质评价因子,即得到了评价指标体系:

$$A = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_m\}$$

$$= \{DO, COD, F^-, Cr, Pb, Cu\}$$

根据《地表水环境质量标准》(GB3838 - 2002),按照地表水保护目标和水域功能,将地表水水质分成了五类,故确定评价集为: $F = \{I, II, III, IV, V\}$ 。水质评价中所用的各指标标准值如表 1。凉州区农村地表水水质评价指标监测数据如表 2。

按 2.3 描述的方法确定 5 个样本的模糊评判矩阵,例如样本 1 的模糊评判矩阵为:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.948 & 0.052 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.725 & 0.275 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.675 & 0.325 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

表 3 评价因子指标权重值归一化结果

指标	样品 1		样品 2		样品 3		样品 4		样品 5	
	θ_i	w_i								
DO	0.570	0.289	0.606	0.235	0.548	0.169	0.617	0.187	0.599	0.193
COD	0.636	0.322	0.658	0.255	0.723	0.233	0.649	0.196	0.726	0.234
F^-	0.267	0.135	0.667	0.259	1.000	0.309	0.783	0.237	0.958	0.309
Cr	0.385	0.195	0.269	0.104	0.154	0.048	0.404	0.122	0.231	0.074
Pb	0.091	0.046	0.273	0.106	0.682	0.211	0.727	0.220	0.545	0.176
Cu	0.029	0.015	0.105	0.041	0.131	0.040	0.128	0.039	0.043	0.014
$\sum \theta_i$	1.978		2.578		3.238		3.308		3.102	

表 4 凉州区农村各水样模糊综合评价结果

样品	I	II	III	IV	V	评价结果
1	0.534	0.364	0.017	0.000	0.000	I
2	0.626	0.329	0.046	0.000	0.000	I
3	0.253	0.206	0.417	0.124	0.000	III
4	0.548	0.309	0.144	0.000	0.000	I
5	0.277	0.238	0.393	0.070	0.000	III

按此方法即可得到样品 2 ~ 5 的模糊评判矩阵。

表 1 GB 3838 - 2002 中各项指标标准值 mg/L

指标	I	II	III	IV	V
DO \geq	7.50	6.00	5.00	3.00	2.00
COD \leq	15.0	15.00	20.00	30.0	40.00
$F^- \leq$	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50
Cr \leq	0.01	0.05	0.05	0.05	0.10
Pb \leq	0.01	0.01	0.05	0.05	0.10
Cu \leq	0.01	1.00	1.00	1.00	1.00

表 2 凉州区农村水质评价指标 mg/L

指标	1	2	3	4	5
DO	8.24	7.75	8.58	7.62	7.85
COD	15.26	15.80	17.35	15.58	17.46
F^-	0.320	0.800	1.200	0.94	1.150
Cr	0.020	0.014	0.008	0.021	0.012
Pb	0.004	0.012	0.030	0.032	0.024
Cu	0.023	0.084	0.105	0.102	0.034

3.2 计算指标权重

按 2.4 所描述的方法,根据各水质评价因子的超标比可以计算出每一个样品各评价因子的权重值,再进行归一化处理所得结果如表 3 所示。

3.3 凉州区农村水质模糊综合评价

将 3.1 所得的各单因素模糊评判矩阵 B 和 3.2 所得的指标权重集 W 代入 2.5 建立的水质模糊综合评价模型中进行计算,便可以得到模糊综合评价集 X 。凉州区农村各样品的模糊综合评价结果见表 4。

4 结果分析及讨论

(1) 从各样品的模糊综合评价结果表可以看出,样品 3 和样品 5 的水质都已达到了 III 级,这说明此区域水质污染已经不容忽视,而其他三个样品水质较好,达到了 I 级,在这里从水污染治理的迫切

下,不仅呼吸作用会受到抑制,污泥的表现产率也会受到影响。实验表明: Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Ni^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Ni^{2+} 三者共存总浓度分别为5、5、10 mg/L内对污泥的产率影响不是很大,系统可以稳定运行;3者共存总浓度分别为5、3、3 mg/L内,对 COD_{Cr} 的去除率没有影响,MLSS都可以稳定的增加,当总浓度大于10 mg/L后,好氧活性污泥系统对有机物的降解明显下降,系统无法正常运行。

(2)SOUR的测定显示: Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 在任意两种离子共存的情况下对微生物呼吸作用的抑制。 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 浓度在1.5 mg/L, SOUR降到最低7mgO₂/mgVSS·h。大于1.5 mg/L,重金属对微生物的抑制达到最大。 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 共存的情况下对微生物的呼吸有协同抑制的作用。

参考文献:

[1] 李军,杨秀山,彭永臻.微生物与水处理工程[M].北京:化学工业出版社,2002.

- [2] 曹相生,龙腾锐,孟雪征,等. Mn^{2+} , Mo^{6+} 和 Zn^{2+} 对活性污泥内胞外聚合物组分的影响[J]. 环境科学学报, 2004, 25 (2): 70 - 73.
- [3] Salt D E, Blaylock M, Kumar N P B A, et al. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metal from the environment using plants[J]. Biotechnology, 1995, 13: 468 - 474.
- [4] Dilek F, Gokcay C F, Yetist U. Combined effects of Ni and Cr on activated [J]. Wat. Res, 1998, 32: 303 - 312.
- [5] 孟雪征,赖震宏,龙腾锐. 金属离子对好氧活性污泥活性的影响[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(6): 43 - 45.
- [6] 王秀衡,任南琪,王爱杰,等. 铁锰离子对硝化反应的影响效应研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35 (1): 122 - 125.
- [7] 顾征帆,吴蔚. 太湖底泥中重金属污染现状调查与评价[J]. 甘肃科技, 2005, 21(12): 21 - 22.
- [8] 成新. 太湖流域重金属污染亟待重视[J]. 水资源保护, 2002, 18(4): 39 - 41.

(上接第 119 页)

性和饮水安全性要求出发,将样品 1 和 2 定义为 II 级。在影响凉州区农村水质的各个因素中,通过对指标权重的计算分析可以得出,对凉州区农村水质影响较大的因素分别是 F^- 、 COD 、 DO ,这与凉州区农村水环境的实际情况高度吻合,这说明相对于传统的水质综合评价模型,模糊综合评价模型计不但算简便,而且较为科学、合理,在实践中也较为实用。

(2)通过对凉州区农村水环境的实际情况进行分析、计算可以看出:虽然凉州区一部分地区水质情况较好,但仍然有部分地区水质情况欠佳,为改善这种现状,建议采取以下措^[11]:首先要因地制宜,采取合理有效的技术方案,切实加强对凉州区农村水质的保护;其次必须加强水源保护监测,以保证水源水质达标;最后还要制定合适的方针政策,加强领导管理,通过报纸,网络等媒体大力宣传农村饮水安全的重大意义,提高群众及相关部门的意识。相信通过以上提议,可以促使凉州区农村安全饮水向更加科学、合理的方向发展。

参考文献:

[1] 张先起,梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1057 - 1061.

- [2] 金菊良,周玉良,魏一鸣. 基于遗传程序设计的水质评价模型[J]. 水电能源科学, 2004, 22(2): 1 - 5.
- [3] 席新林,许兆义,鄢贵权,苏艺. 基于 Matlab 三种模糊算子的地下水水质评价模型[J]. 水资源与水工程学报, 2004, 15(4): 39 - 47.
- [4] Yin Y Y, Huang G H, Hi Pel K W. Fuzzy relation analysis form ulticriter ia water resources management[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1999, 1 (15): 41 - 47.
- [5] 王金保,侯得印. 水质模糊综合评价模型的建立与应用[J]. 中国给水排水, 2006, 22(20): 101 - 104.
- [6] 周正善. 凉州区农村饮水安全现状及对策研究[J]. 水利建设与管理, 2009(2): 77 - 79.
- [7] 汤梦玲,谢可翔,李志建. 水质评价模型选择综合分析与探讨[J]. 资源调查与环境, 2005, 26(3): 221 - 227.
- [8] 李伯华,张博野,乔花芳. 江汉平原农村饮水安全指数评价研究[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2008, 5(2): 67 - 81.
- [9] 陈强,杨晓华. 基于熵权的 TOPSIS 法及其在水环境质量综合评价中的应用[J]. 环境工程, 2007, 25(4): 75 - 77.
- [10] 王文强. 综合指数法在地下水水质评价中的应用[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(1): 54 - 55.
- [11] 周扬,欧阳峰. 农村饮水安全问题与解决对策[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(3): 84 - 86.