

程序化的未确知测度模型 用于水环境质量评价

张卫兵 姚建 汤乐 彭艳

(四川大学建筑与环境学院, 成都 610065)

摘要 未确知测度模型用于水环境质量评价具有合理性。为使模型更加完善,提出将未确知测度模型建立过程标准化,使其具有通用性。并针对水质评价指标众多致评价过程复杂、计算量大的情况,利用 MATLAB 软件将标准化后的未确知测度模型设计为既定的程序,依靠计算机模拟来实现水质评价。通过对浮桥河水库水质的评价结果及与其他多种方法的对比,表现出标准化模型的客观性、合理性, MATLAB 程序的实用性、快捷性。程序化的未确知测度模型标准化后可进行推广。

关键词 水环境质量 评价 未确知测度模型 标准化 MATLAB 程序化

中图分类号 X824 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2014)01-0392-05

Application of programmed unascertained measure model in water environmental quality assessment

Zhang Weibing Yao Jian Tang Le Peng Yan

(College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract The unascertained measure model for water environmental quality assessment was reasonable. In order to make the model to be more perfect, we made the establishment process of unascertained measure model standardized, which could be used in every general assessment system. And in the case of multi-index water quality assessment, which led to heavy complication and large calculations, it set the unascertained measure model of standardization on to the established procedure by using MATLAB software, which relied on computer simulation to achieve water quality assessment. Through the Fuqiao River Reservoir water quality assessment, and the contrasts of many other methods, it shows the objectivity and rationality of the standardized model, and the practicability and promptness of MATLAB procedure. And this programmed model can be extended.

Key words water environment quality; assessment; unascertained measure model; standardized; MATLAB; procedured

由于水质评价指标较多,传统的单因子评价法不能准确客观反映其他指标对整体水质的影响。一些学者专家提出了层次分析法^[1]、综合指数法^[2]、主分量分析法^[3]等方法,然而考虑到水体的流动性,水质同时受到多种不确定因素的影响,系统总体表现出未确知性^[4]。因此,近些年来模糊综合评价^[5]、神经网络综合评价^[6]、灰色聚类法^[7]和未确知测度模型^[8]等方法多被应用于水质评价。其中,未确知测度模型正是在考虑评价信息“未确知性”的基础上提出的,其对水质的评价能合理地反映出水环境质量状况。

传统的未确知测度模型^[8]需要对每个指标设计一个测度函数,工作量大。虽然郭奇^[9]、余春

雪^[10]、钱树芹等^[11]对未确知测度模型进行了改进,但仍存在着未考虑多级标准与监测值相同的情况下,对指标未确知测度如何定义,以及指标众多、计算量大、且容易出错等问题。本研究综合考虑这些问题,提出建立完善的(标准化)水质评价未确知测度模型,再利用 MATLAB 软件将模型程序化。由于 MATLAB 具有数据处理能力强、易于上手、编写简单、软件扩充性好等优点^[12],可使评价过程更加简便、快捷、准确地实现。标准化后的模型考虑到了评价指标监测值与多级标准相同的情况,可准确判断

收稿日期:2013-03-07; 修订日期:2013-03-22

作者简介:张卫兵(1989~),男,硕士研究生,主要从事环境评价与规划。E-mail: 840533445@qq.com

指标的评价值,而样本排序能更加准确地反映出水质状况。

1 水环境质量评价未确知测度模型的标准化

未确知测度模型最早由刘开第等^[8]于 2000 年应用于水环境质量评价中,模型主要建立过程包括:单指标测度函数建立、单指标测度计算、指标权重确定、多指标综合测度计算、样本识别和样本排序。郭奇等^[9]对模型进行了测度函数统一,但并未考虑多级标准与监测值相同的情况下,如何对指标测度进行定义;宿程远等^[13]对指标赋权方法进行了改进,但利用的是传统的未确知测度方法,需要对每个指标设计一个测度函数,对于指标较多的情况,工作量大;余春雪等^[10]对分类标准进行了规范,具有创新性、实用性,但测度函数比较复杂,且最后未对水质进行评分排序,一定程度上不能横向对比水质优劣。综合考虑这些情况,为使模型更完善、实用,对水质评价未确知测度模型的建立过程进行了标准化,包括对单指标测度函数进行了统一,考虑指标监测值与多级评价标准相同的情况,并加入样本排序。

1.1 分类标准的建立

设有 m 个水质样本 x_1, x_2, \dots, x_m , 即评价对象空间为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, i 表示第 i 个评价样本; 每个样本有 n 个水质指标, 构成指标空间 $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$, j 表示第 j 个评价指标, x_{ij} 表示第 i 个样本第 j 个指标的监测值 ($1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$); 每个指标有 k 个评价等级, 即构成评价空间 $C = (c_1, c_2, \dots, c_k)$, p 表示第 p 个评价等级, c_{jp} 表示第 j 个指标的第 p 个评价等级 ($1 \leq j \leq n, 1 \leq p \leq k$)。对于地表水质评价等级我们认为是有顺序的, 即 c_1 级好于 c_2 级、 c_2 级好于 c_3 级、 \dots 、 c_{k-1} 级好于 c_k 级, 从而认定 $c_1 > c_2 > \dots > c_k$ 。根据已知的《地表水环境质量标准》^[14], 可得出 n 个指标的 5 个等级对应的标准值, 可表示为矩阵的形式, 即分类标准矩阵:

$$(c_{jp})_{n \times k} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1k} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nk} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: 满足 $c_{j1} \leq c_{j2} \leq \dots \leq c_{jk}$ 或者 $c_{j1} \geq c_{j2} \geq \dots \geq c_{jk}$ 。

1.2 单指标未确知测度的建立

计算第 i 个样本的第 j 个指标的监测值 x_{ij} 属于 c_p 等级的未确知测度 $u_{ijp} = u(x_{ij} \in c_p)$ 。根据“未确

知隶属函数的构造方法”^[4], 水质评价标准状态变化平缓, 呈线性函数变化, 因此, 单指标测度函数采用线性函数。不妨先假定 $c_{j1} > c_{j2} > \dots > c_{jk}$, 得到单指标未确知测度函数 ($c_{j1} \leq c_{j2} \leq \dots \leq c_{jk}$ 的情况, 测度函数相反):

$$\begin{cases} \text{当 } x_{ij} \geq c_{j1} \text{ 时取 } u_{ij1} = 1, u_{ij2} = \dots = u_{ijk} = 0 \\ \text{当 } x_{ij} \leq c_{jk} \text{ 时取 } u_{ijk} = 1, u_{ij1} = \dots = u_{ijk-1} = 0 \\ \text{当 } c_{jp} \geq x_{ij} \geq c_{jp+1} (1 \leq p \leq k-1) \text{ 时取} \\ u_{ijp} = \frac{x_{ij} - c_{jp+1}}{c_{jp} - c_{jp+1}}, u_{ijp+1} = \frac{c_{jp} - x_{ij}}{c_{jp} - c_{jp+1}} \\ u_{ijl} = 0 (l < p \text{ 或 } l > p+1) \end{cases} \quad (2)$$

可知, 很多指标的多级标准相同 (例如氟化物的一类、二类、三类标准都为 1.0 mg/m^3)。此时当指标监测值与标准相同时, 即:

$$\begin{aligned} x_{ij} = c_{jl} = c_{j1} = \dots = c_{jp}, \text{ 我们一般取 } u_{ijp} = 1, \\ u_{ij1} = u_{ij2} = \dots = u_{ijp-1} = u_{ijp+1} = \dots = u_{ijk} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

根据未确知测度函数可计算出各样本单指标未确知测度矩阵:

$$(u_{ijp})_{jk} = \begin{pmatrix} u_{i11} & u_{i12} & \dots & u_{i1k} \\ u_{i21} & u_{i22} & \dots & u_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{in1} & u_{in2} & \dots & u_{ink} \end{pmatrix} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

1.3 指标权重的确定

各指标在水质评价过程中的重要性是不相同的, 为了能更客观地反映指标的重要程度, 本文采用客观赋权法来确定各指标权重

$$w_{ij} (w_{ij} > 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n):$$

$$\sum_{j=1}^n w_{ij} = 1 \quad (5)$$

借用信息熵的概念来定义指标 I_j 的峰值:

$$V_{ij} = 1 + \frac{1}{\log_2 k} \sum_{p=1}^k u_{ijp} \log_2 u_{ijp} \quad (6)$$

式中: k 为评价等级数目, u_{ijp} 为单指标测度, V_{ij} 的大小反映了指标 I_j 的重要性程度。由此可定义指标 I_j 的权重为:

$$w_{ij} = \frac{V_{ij}}{\sum_{j=1}^n V_{ij}} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

1.4 多指标综合未确知测度的计算

由样本的单指标测度及权重可得出样本的多指

标综合测度:

$$u_{ip} = \sum_{j=1}^n w_{ij} u_{ijp} \quad i = 1, 2, \dots, m; p = 1, 2, \dots, k$$

多指标综合测度矩阵:

$$(u_{ip})_{m \times k} = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1k} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{m1} & u_{m2} & \cdots & u_{mk} \end{pmatrix} \quad (1 \leq i \leq m; 1 \leq p \leq k) \quad (8)$$

式中: m 为样本数目, k 为评价等级数目, $(u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1k})$ 为样本 x_i 的综合测度评价向量。

1.5 样本识别

由于空间 (c_1, c_2, \dots, c_k) 的有序性, 利用置信度识别准则来判断水质所属级别。置信度 λ 在 $(0.5 < \lambda \leq 1)$ 之间取值, 代入计算:

$$k_i = \min_p \left\{ p: \sum_{l=1}^p u_{il} \geq \lambda, p = 1, 2, \dots, k \right\} \quad (9)$$

则认为评价样本 x_i 属于 c_{k_i} 类。

按照正态分布的数学函数特性, 随机变量的采样值落在标准偏差内的的概率为 68.3%, 因此, 评价过程中置信度一般取 $\lambda = 0.6$ 或 0.7 , 评价结果可靠性较高。

1.6 样本排序

采取算分值的方法, 计算每个样本的得分, 按照得分大小对评价样本的水质状况进行排序, 采用以下评分准则进行计算:

$$q_{x_i} = \sum_{p=1}^k n_p u_{ip} \quad (10)$$

式中: q_{x_i} 为样本 x_i 的总得分。

由于 $c_1 > c_2 > \dots > c_k$, 令 c_p 的分值 n_p 按照公差为 -1 的等差数列进行取值。

2 程序设计

考虑到模型在实际运用过程中指标较多的情况, 为使计算过程更加简单、快捷, 本文利用 MATLAB 软件来实现标准化模型对水质的整个评价过程。通过编写“M-File”文件, 设计输入、输出过程。为使程序更具通用性(与样本、指标数目和变量的数值大小无关), 设计过程中充分考虑了程序的可扩展性, 在“评价标准”、“评价指标及数目”、“置信度 λ 取值”部分可根据实际研究需要输入数据, 程

序部分亦可进行修改、调整, 从而能更好地应用于多种评价方向。

程序按照模型的建立过程来设计, 包括单指标测度计算、指标赋权、多指标综合测度计算、样本识别、样本排序五大模块。运行 MATLAB 软件, 连续点击工具栏的“File”菜单、“Open”, 调用编写好的程序文件——“未确知测度模型.m”程序的源代码如下(只介绍数据的调入、变量赋值以及结果输出部分), 其中“%”作为注释, 注释并不编译执行:

$m =$ ‘赋值’; $n =$ ‘赋值’; $k =$ ‘赋值’; % 根据实际数据进行赋值

$\lambda =$ ‘赋值’; % 置信度赋值

$np =$ ‘赋值’ % 指标各等级得分赋值

$x(:;) = \text{zeros}(m, n)$; % 监测数据, m 个样本, n 个指标

$c(:;) = \text{zeros}(n, k)$; % 指标标准, 每个指标有 k 个等级

$u(:; , ;) = \text{zeros}(m, n, k)$; % 样本单指标测度

% 调用数据(样本各指标的监测值、标准矩阵)

$x(:;) = \text{load}('C:\text{表 1(数据)}.txt')$; % 提前编写好监测数据, 此处直接调用, 也可直接输入

$c(:;) = \text{load}('C:\text{表 2(标准)}.txt')$; % 提前编写好标准数据, 此处直接调用, 也可直接输入

% 计算单指标未确知测度 $u(:; , ;)$

……%(省略)

$\text{fprintf}(' \% 6.4f \% 6.4f \% 6.4f \% 6.4f \% 6.4f \backslash n', \text{www}')$; % 输出多指标综合测度矩阵

$\text{fprintf}(' \text{第} \% d \text{ 个样本属于第} \% d \text{ 类} \backslash n', i, pp)$; % 输出样本识别结果

$\text{fprintf}(' \text{第} \% d \text{ 个样本得分} \% 6.4f \backslash n', \text{position}(i), \text{scores}(i))$;

% 输出样本得分结果及排序

3 实例应用

以浮桥河水库 5 个监测点的水质实测数据进行评价, 评价指标包括 DO(溶解氧)、COD(化学需氧量)、COD_{Mn}(高锰酸盐指数)、BOD₅(五日生化需氧量)、TP(总磷)、NH₃-N(氨氮)和 TN(总氮), 水质监测数据^[15]如表 1 所示, 水质评价标准根据国家相关标准^[14]如表 2 所示。

表 1 浮桥河水库水质监测数据
Table 1 Monitoring values of indexes in Fuqiao River Reservoir (mg/L)

样 本	指标 I _j						
	DO	COD	COD _{Mn}	BOD ₅	TP	NH ₃ -N	TN
x ₁	9.74	35	7.2	5	0.073	0.46	0.681
x ₂	9.71	9	3.2	1	0.061	0.41	0.652
x ₃	9.86	18	4.8	2.2	0.05	0.33	0.609
x ₄	9.83	11	3	1.5	0.052	0.38	0.127
x ₅	9.73	14	3.5	3	0.06	0.4	0.524

表 2 地表水环境质量标准
Table 2 Environmental quality standards for surface water (mg/L)

指 标		级别 c _p				
		1 类	2 类	3 类	4 类	5 类
I ₁	DO	7.5	6	5	3	2
I ₂	COD _{Cr}	15	15	20	30	40
I ₃	COD _{Mn}	2	4	6	10	15
I ₄	BOD ₅	3	3	4	6	10
I ₅	TP	0.02	0.1	0.2	0.3	0.4
I ₆	NH ₃ -N	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
I ₇	TN	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0

将表 1、表 2 数据写成文本文档‘表 1(实测数据) .txt’、‘表 2(标准) .txt’存储于‘C: ’下 ,便于程序直接调入。

```
% 在程序输入数据处输入:
x(: ; ) = load( C: \表 1( 数据) .txt );
c(: ; ) = load( C: \表 2( 标准) .txt );
% m = 5( 样本数) ; n = 7( 指标数) ; k = 5( 等级数)
% 本文取置信度 λ = 0.7 取 np = 6 - p
程序运行结果为:
多指标综合测度
```

$$(u_{ip})_{5 \times 5} = \begin{pmatrix} 0.273\ 0 & 0.310\ 1 & 0.197\ 2 & 0.159\ 6 & 0.060\ 1 \\ 0.678\ 9 & 0.286\ 4 & 0.034\ 7 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 \\ 0.529\ 3 & 0.324\ 8 & 0.145\ 9 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 \\ 0.841\ 4 & 0.158\ 6 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 \\ 0.458\ 5 & 0.534\ 1 & 0.007\ 4 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 \end{pmatrix}$$

第 1 个样本属于第 3 类;
第 2 个样本属于第 2 类;
第 3 个样本属于第 2 类;
第 4 个样本属于第 1 类;
第 5 个样本属于第 2 类。
第 1 个样本得分为 3.5762;
第 3 个样本得分为 4.3835;
第 5 个样本得分为 4.4512;

第 2 个样本得分为 4.6442;
第 4 个样本得分为 4.8414。
样本识别及得分排序如表 3 所示。为了比较 ,表中还列出了文献 [12]、[15] 分别用指标规范值未确知测度法、传统模糊综合评价、熵权属性识别法、数据驱动权重属性识别法对样本水质作出的评价结果。
对照结果可以看出 ,这 5 种方法所作出的评

表 3 程序计算结果及多种方法评价结果
Table 3 Calculation results and a variety of evaluation results

项 目	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
级 别	3	2	2	1	2
得 分	3.5762	4.6442	4.3835	4.8414	4.4512
排 序	得分排序: X ₄ > X ₂ > X ₅ > X ₃ > X ₁				
多种方法评价结果	指标规范值未确知测度法	3	2	2	2
	传统模糊综合评价	4	2	3	2
	熵权属性识别法	3	2	3	1
	数据驱动权重属性识别法	3	2	3	2

价结果基本一致。另外,本研究在作出评价的同时,给每个样本进行了打分,可以看出,虽然置信度准则判断出样本 x_2 、 x_3 、 x_5 均为2类水质,但是根据排序情况可知水质 x_2 好于 x_5 , x_5 好于 x_3 ,进一步判断了水质优劣。

4 结 论

本研究将未确知测度模型建立过程标准化,充分考虑了指标监测值与多级标准相同的情况,以及加入样本排序,使得模型更加完善。另外,通过利用MATLAB软件将标准化模型程序化,可根据需要改变参数,快速实现结果,使得程序化的未确知测度模型更具有实用性、快捷性。通过对浮桥河水库水质评价结果可以看出,本次评价结果与其他几种方法的评价结果基本一致,相比之下,标准化模型通过对样本排序进一步提高了水质的分辨率,程序化的未确知测度标准化模型用于水质评价具有合理性、客观性、快捷性。同样,程序化的未确知测度标准化模型可应用于大气、城市环境评价等多个方面。

参 考 文 献

- [1] 苏德林,武斌,沈晋. 水环境质量评价中的层次分析法. 哈尔滨工业大学学报, 1997, 29(5): 105-107
Su D. L., Wu B., Shen J. The water environmental quality assessment of the analytic hierarchy process. Journal of Harbin Institute of Technology, 1997, 29(5): 105-107 (in Chinese)
- [2] 郭树宏,林志杰,洪小琴,等. 基于熵权的综合指数法在海水水质评价中的应用. 环境科学与管理, 2009, 34(12): 165-167
Guo S. H., Lin Z. J., Hong X. Q., et al. On the application of composite index method based on entropy authority to the water quality evaluation. Environmental Science and Management, 2009, 34(12): 165-167 (in Chinese)
- [3] 李祚泳,邓新民,洪继华. 主分量分析法用于湖泊富营养化评价的相互比较. 环境科学学报, 1990, 10(3): 311-317
Li Z. Y., Deng X. M., Hong J. H. Application of principal component analysis on comparison of eutrophication assessment of lakes. Acta Scientiae Circumstantiae, 1990, 10(3): 311-317 (in Chinese)
- [4] 刘开第,李万庆,庞彦军. 未确知集. 数学的实践与认识, 2006, 36(10): 197-204
Liu K. D., Li W. Q., Pang Y. J. Unascertained set. Mathematics in Practice and Theory, 2006, 36(10): 197-204 (in Chinese)
- [5] Li Z. Y., Deng X. M., Zhang H. J. Application of hamming distance to trophic status evaluation of a lake. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 57(2): 169-172
- [6] 李祚泳,邓新民. 人工神经网络在水环境质量评价中的应用. 中国环境监测, 1996, 12(2): 36-39
Li Z. Y., Deng X. M. Application of artificial neural network to the assessment of water environment quality. Environmental Monitoring in China, 1996, 12(2): 36-39 (in Chinese)
- [7] 丁进宝,程永平. 灰色聚类法用于水质富营养化评价的尝试. 中国环境监测, 1991, 7(4): 23-27
Ding J. B., Cheng Y. P. The attempt at water quality eutrophication evaluation by grey clustering method. Environmental Monitoring in China, 1991, 7(4): 23-27 (in Chinese)
- [8] 刘开第,庞彦军,张博文. 水环境质量评价的未确知测度模型. 环境工程, 2000, 18(2): 58-60
Liu K. D., Pang Y. J., Zhang B. W. Programmed unascertained measure model in water environmental quality assessment. Environmental Engineering, 2000, 18(2): 58-60 (in Chinese)
- [9] 郭奇,李亚. 未确知测度模型及在环境质量评价中的应用. 上海环境科学, 2002, 21(1): 53-55
Guo Q., Li Y. Application of the unascertained measuring model and its application to environment quality assessment. Shanghai Environmental Sciences, 2002, 21(1): 53-55 (in Chinese)
- [10] 余春雪,李祚泳,汪嘉杨. 指标规范值的未确知测度模型用于地表水水质评价. 水文, 2011, 31(3): 51-55
Yu C. X., Li Z. Y., Wang J. Y. Surface water quality evaluation using unascertained measure model based on normalized index values. Journal of China Hydrology, 2011, 31(3): 51-55 (in Chinese)
- [11] 钱树芹,高秋霖. 改进的未确知测度评价模型在水环境质量评价中的应用. 环境保护科学, 2011, 37(6): 106-113
Qian S. Q., Gao Q. L. Application of improved unascertained measurement model in water environmental quality assessment. Environmental Protection Science, 2011, 37(6): 106-113 (in Chinese)
- [12] 宋新山,邓伟,张琳. MATLAB 在环境科学中的应用. 北京: 化学工业出版社, 2008
- [13] 宿程远,张建昆,陈孟林,等. 基于未确知测度模型的漓江水质综合评价. 安徽农业科学, 2008, 36(25): 11080-11081
Su C. Y., Zhang J. K., Chen M. L., et al. Comprehensive evaluation on the water quality of Lijiang river based on the unascertained measure model. Journal of Anhui Agri. Sci., 2008, 36(25): 11080-11081 (in Chinese)
- [14] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准. GB3838-2002. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [15] 王乐娟,邹志红. 改进属性识别法在水质评价中的应用. 环境工程学报, 2008, 2(4): 553-556
Wang L. J., Zou Z. H. Application of improved attributes recognition method in water quality assessment. Chinese Journal of Environment Engineering, 2008, 2(4): 553-556 (in Chinese)