

应用逼近理想解法综合评价水环境质量

崔振才 程兴奇 杜守建 曹广占 靳兆荣 郭青芳

(山东水利职业学院, 山东 日照 276825)

摘要 基于传统的逼近于理想解的技术, 根据水环境质量的富营养化程度和待评价的水环境质量检测点(评价方案)的不理想(负理想)与理想(劣与优)这些典型的模糊概念, 提出了基于模糊集合的逼近理想解法(TOPSISFS), 并应用于水环境质量综合评价。TOPSISFS 与模糊神经网络法、投影寻踪模型法、理想区间法相比, 简单、有效, 可广泛应用于多目标决策。

关键词 水环境质量 综合评价 模糊集合 逼近理想解 多目标决策

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2006)04-0050-03

Application of similarity to ideal solution method to comprehensive assessment of water environmental quality

CUI Zhen-cai, CHENG Xing-qi, DU Shou-jian, CAO Guang-zhan, JIN Zhao-rong, GUO Qing-fang

(Shandong Water Polytechnic, Rizhao 276825, China)

Abstract According to the typical fuzzy concepts, such as eutrophication level of water environmental quality and the unideal(negative ideal) and ideal(superior and inferior) water quality stations(evaluation schemes), a technique for order preference by similarity to ideal solution(TOPSIS) based on fuzzy set was presented and was used in the comprehensive assessment of water environmental quality. The result shows that the TOPSIS is more convenient and effectine than fuzzy neural network method, projection pursuit(PP) method and ideal interval method. It can be widely used for multi-objective decision.

Key words water environmental quality; comprehensive assessment; fuzzy set; similarity to ideal solution; multiple objective decision

目前,水环境质量综合评价的方法很多,如多级模糊模式识别模型法^[1]、模糊神经网络法^[2]、投影寻踪模型法(PP法)^[3]、多目标决策理想点法^[4]、多目标决策理想区间法^[5]、灰色理论法^[6]等,每一种方法都各有特点。本文在传统的逼近于理想解的技术^[7](TOPSIS)基础上,根据水环境质量的富营养化程度和待评价的水环境质量检测点(评价方案)的不理想(负理想)与理想(劣与优)这些典型的模糊概念,提出了基于模糊集合的逼近理想解法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution based on Fuzzy Set, TOPSISFS),并应用于水环境质量综合评价。

1 TOPSISFS 方法

1.1 原理

传统的 TOPSIS 是一种基于理想点的决策方法,其基本思路是定义决策问题的最优向量和最劣向量,计算各评价单元与最优向量和最劣向量的距离,并计算各评价单元与最优向量和最劣向量的相对接近度,以此大小排序并决策。

设 X 为论域,即由 n 个待评价方案(或 n 个水环境检测点)组成的方案集,则有:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

式中 x_j 为论域中的方案 $j = 1, 2, \dots, n$ 。

某个待评价方案的不理想(负理想)与理想(劣与优)这一对立的观念在划分过程中并不存在绝对分明的界限,具有中介过渡性,是客观存在的模糊概念,用 \tilde{A} 表示。另一方面,决策是在论域 X 中进行,即在论域中的 n 个方案之间比较,与论域外无关,这是决策的相对性。因此,可建立起论域 X 中的相对负理想解和相对理想解,进而计算待评价方案对 \tilde{A} 的相对接近度作为方案决策比较的标准。

水环境质量的富营养化程度是一个模糊概念。把不同水质级别视为待评价方案,可计算各级别的相对接近度。把 n 个水环境检测点的相对接近度与不同级别的相对接近度比较,以评价水环境检测点的水质级别。

1.2 距离的测度

为度量论域 X 中每一方案靠近理想解和远离理想解的程度,需要用一定的距离测度,本文采用相对接近测度。

设有 m 个评价因素(指标)组成对全体 n 个方案的评价指标集,每一个评价指标对 n 个方案的决策可用指标特征量表示,则有决策矩阵

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} = (y_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

式中 x_{ij} 为第 j 个方案的第 i 个评价指标的指标特征量, $i=1, 2, \dots, m$, $j=1, 2, \dots, n$ 。

一般地,论域 X 中的指标特征量分效益型指标和成本型指标两类,前者越大越理想,后者越小越理想。越大越理想指标对 \tilde{A} 的相对隶属度

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (3)$$

越小越理想指标对 \tilde{A} 的相对隶属度

$$r_{ij}^c = 1 - r_{ij} = \frac{x_{i\max} - x_{ij}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (4)$$

式中 $x_{i\max}$, $x_{i\min}$ 分别为论域 X 中的第 i 个指标的最大值与最小值。

根据式(3)(4)及矩阵(2),可得指标隶属度矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{m \times n} \quad (5)$$

根据优化的相对性,由矩阵(5)建立理想解和负理想解^[8]:

$$z^+ = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_m^+)^T = \max_i (r_{ij}) \quad (6)$$

$$z^- = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_m^-)^T = \min_i (r_{ij}) \quad (7)$$

方案决策应考虑各项指标的不同权重。设 m

项指标的权向量为

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m) \quad (8)$$

式中 w_i 为第 i 个指标的权重。

用欧几里得范数作为距离的测度,则第 j 个方案与理想解的加权距离为

$$L_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m [w_i (r_{ij} - z_i^+)]^2} \quad (9)$$

同理,第 j 个方案与负理想解的加权距离为

$$L_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m [w_i (r_{ij} - z_i^-)]^2} \quad (10)$$

某一评价方案对于理想解的相对接近度为

$$L_j^* = \frac{L_j^-}{L_j^+ + L_j^-} \quad (0 \leq L_j^* \leq 1) \quad (11)$$

式(11)具有明确的物理意义。当待评价方案是理想解时, $L_j^* = 1$; 当待评价方案是负理想解时, $L_j^* = 0$ 。待评价方案越逼近理想解, L_j^* 越接近于 1; 反之,越逼近负理想解, L_j^* 越接近于 0。以 L_j^* 的大小进行排序,对所有待评价方案进行评价和决策。

1.3 计算步骤

- 根据决策问题由式(2)构造决策矩阵 Y 。
- 由式(3)(4)求出评价指标相对隶属度矩阵 R 。
- 通过式(6)(7)建立理想解和负理想解。
- 确定各评价指标的权重。
- 通过式(9)(10)计算待评价方案与理想解和负理想解的加权距离。
- 通过式(11)计算每个方案的相对接近度,并按其大小进行排序。
- 计算水环境质量标准值的相对接近度,确定待评价方案的水质级别。

2 算例

为了说明 TOPSISFS 的可行性,本文直接采用文献[3]的数据对湖泊水质营养化进行综合评价。湖泊水质评价标准及五大湖水样数据见文献[3]。

由文献[3]的数据和式(3)(4)得评价指标隶属度矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0.227 & 1 & 0.909 & 1 \\ 0.043 & 0 & 1 & 0.477 & 0.061 \\ 0.024 & 0.035 & 1 & 0 & 0.059 \\ 0 & 0.299 & 1 & 0.429 & 0.996 \end{bmatrix} = (r_{ij})_{4 \times 5}$$

式中 $i=1, 2, 3, 4$, $j=1, 2, 3, 4, 5$ 。

为了和文献[3, 5]比较,本文取 $W = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$ 。根据式(9)(10)(11)计算五大湖的相对接近度 $L_1^* = 0.024$, $L_2^* = 0.178$, $L_3^* = 1$,

$L_4^* = 0.661, L_5^* = 0.515$ 。因此,五大湖水环境质量的优劣排序为:青海湖 > 巢湖 > 滇池 > 武汉东湖 > 杭州西湖。

五大湖水环境质量对应的级别可按湖泊水质评价标准建立分块隶属度矩阵

$$R' = [R_s \quad R_j]_{m \times (s+j)} \quad (12)$$

式中: R' 为分块矩阵; s 为水质级别数。

R_s 与 R_j 仍由式(3)(4)求得,则

$$R' = \begin{bmatrix} 1 & 0.995 & 0.967 & 0.834 & 0 & 0.804 & 0.842 & 0.971 & 0.956 & 0.971 \\ 1 & 0.990 & 0.937 & 0.740 & 0 & 0.622 & 0.607 & 0.951 & 0.772 & 0.628 \\ 1 & 0.321 & 0.061 & 0.010 & 0 & 0.005 & 0.006 & 0.118 & 0.002 & 0.009 \\ 1 & 0.991 & 0.937 & 0.742 & 0 & 0.402 & 0.568 & 0.956 & 0.640 & 0.954 \end{bmatrix}$$

根据式(9)(10)(11)计算湖泊水质标准级别与五大湖的相对接近度(表1)

表1 湖泊水质标准级别与五大湖的相对接近度

待评价方案	湖泊水质标准级别					五大湖				
	I	II	III	IV	V	杭州西湖	武汉东湖	青海湖	巢湖	滇池
相对接近度	1	0.720	0.635	0.556	0	0.469	0.504	0.653	0.561	0.586

以湖泊水质标准级别的下限作为判别标准,可得五大湖富营养化程度级别。将文献[2-3,5]对五大湖水环境质量的综合评价结果进行比较,见表2。

表2 五大湖水环境质量的综合评价结果对比

评价方法	杭州西湖	武汉东湖	青海湖	巢湖	滇池
TOPSISFS	V	V	III	IV	IV
模糊神经网络	V	IV	III	IV	IV
PP模型	V	V	III	IV	IV
MODMIIM	V	V	III	IV	IV

由表2可以看出, TOPSISFS的评价结果与PP模型和MODMIIM的评价结果完全相同,与模糊神经网络方法相比仅有武汉东湖不同,但TOPSISFS的计算过程比其他方法要简单许多。

3 结论

a. 将TOPSISFS应用于五大湖水环境质量的综合评价中,不仅给出了五大湖水环境质量的优劣排序,还通过对水环境质量评价标准的相对接近度与水环境检测点的相对接近度的比较,给出了五大湖富营养化程度的级别,所得结果科学、合理,具有可比性,与文献[2]的结果比较,仅武汉东湖有区别,与文献[3,5]的结果相同。

b. 基于模糊集合的逼近理想解法,不仅反映了水环境质量富营养化程度和水环境质量优与劣的客观模糊性,而且具有明确的物理概念,比文献[2-3,

5]简单易行、计算方便。

c. TOPSISFS是多目标决策的一种新途径,不仅可应用于水环境质量的综合评价,也可应用于其他多目标的决策问题,如水资源承载能力评价。

参考文献:

[1] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社,1998.

[2] 胡明星,郭达志. 湖泊水质富营养化评价的模糊神经网络方法[J]. 环境科学研究,1998,11(4):40-42.

[3] 金菊良,魏一鸣,丁晶,等. 水质综合评价的投影寻踪模型[J]. 环境科学学报,2001,21(4):431-434.

[4] 陈武,李凡修,梅平,等. 应用多目标决策-理想点法评价水环境质量[J]. 环境工程,2002,20(3):64-65.

[5] 杨晓华,杨志峰,郗建强,等. 水环境质量综合评价的多目标决策-理想区间法[J]. 水科学进展,2004,15(2):202-205.

[6] 曾光明,杨春平. 环境系统灰色理论与方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994.

[7] 胡永宏. 对TOPSIS法用于综合评价的改进[J]. 数学的实践与认识,2002,32(4):572-574.

[8] 崔振才,郭林华,田文苓,等. 水资源系统模糊优化多维动态规划模型与应用[J]. 水科学进展,2000,11(2):186-193.

(收稿日期:2005-08-18 编辑:傅伟群)

(上接第32页)

[2] 徐祖信. 河流污染治理规划理论与实践[M]. 北京:中国环境科学出版社,2003:284-386.

[3] 张细兵,董耀华,殷瑞兰. 河道平面二维水沙数学模型的有限元方法[J]. 泥沙研究,2002(6):60-65.

[4] CHEN Z. A finite element method for the quantum hydrodynamic model for semiconductor devices[J]. Computers Math Applic, 1996,32(7):17-26.

[5] ANDREW M S, HOWARD S W, PAUL G W. Calibration and sensitivity analysis of a river water quality model under unsteady flow conditions[J]. Journal of Hydrology, 2003,277:214-229.

[6] JIANG F, CHEN W P, ZHAO H D, et al. Numerical simulation of water environment pollution induced by the leakage of noxious liquid substance in bulk [C]//State Key Lab Prevention and Control of Explosion Disasters, School of Mechano-Electronics Engineering, Beijing Institute of Technology. Process in safety science and technology IV. Beijing: Science Press, 2004:1280-1285.

[7] CHAU K W, JIANG Y W. Simulation of transboundary pollutant transport action in the Pearl River delta[J]. Chemosphere, 2003,52:615-621.

(收稿日期:2005-01-06 编辑:徐娟)