

模糊物元模型在评价区域水环境承载力中的应用

姚玉鑫¹, 张 英¹, 鲁斌礼¹, 金新华¹, 任立民¹, 潘建民², 徐兆辉²

(1 湖州市环境保护监测中心站, 浙江 湖州 313000 2 湖州市环境保护局, 浙江 湖州 313000)

[摘要] 基于区域水环境承载力的模糊性以及评价指标的多样性, 在分析湖州地区水环境承载力时, 以模糊物元分析和层次分析法为基础, 结合欧氏贴近度概念, 用水环境代表事物, 评价因素代表特征, 建立了复合模糊物元矩阵, 对水环境承载能力进行综合评价与排序. 根据湖州地区的相关统计资料, 建立了水环境承载力评价指标体系, 分析了湖州近几年以及将来的水环境承载力变化趋势, 得出该地区水环境承载能力与生态市目标还有一段距离. 并与其它方法加以比较, 进一步说明模糊物元分析法更具有可信度.

[关键词] 水环境承载力, 模糊物元, 欧氏贴近度, 层次分析法

[中图分类号] X 824 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2007) 02-0082-05

Application of Fuzzy Matter-Element Model to the Water Environmental Bearing Capacity

Yao Yuxin¹, Zhang Ying¹, Lu Binli¹, Jin Xinhua¹, Ren Limin¹, Pan Jianmin², Xu Zhaohui²

(1 Huzhou Environment Protection Monitoring Station Huzhou 313000, China

2 Huzhou Environment Protection Bureau Huzhou 313000 China)

Abstract In order to evaluate the bearing capacity of water environment in Huzhou, this paper introduces fuzzy matter-element model and AHP method, combines with the concept of Euclid approach degree, regarding the water environment as the object of matter elements and the evaluation factors as character, and constructs the compound fuzzy matter element. Based on the stat datum of Huzhou, this paper constitutes the evaluation index system and analyzes the water environmental bearing capacity trend of Huzhou, then elicits that the water environmental bearing capacity of Huzhou still has a gap from that of the zoology city objective. Compared to other method, it can be concluded that the application of fuzzy matter-element model method for evaluating region water environment is feasible and reliable.

Key words the bearing capacity of water environment, fuzzy matter-element model, euclid approach degree, AHP method

0 引言

区域水环境承载能力是在一定区域、人口、水资源条件下, 结合一定的经济水平和社会生产条件, 水环境所能维持人口、经济、资源发展的支持能力. 所以区域水环境承载力描述的是一种水环境承受人类社会经济活动的能力^[1-3]. 影响区域水环境承载力的因素很多, 既有水环境质量方面的因素, 又与人口、经济、水资源密不可分. 可以说区域水环境承载力在概念上是内涵明确、外延模糊, 是一个涉及多指标的评价问题^[2, 4]. 基于此, 本文采用模糊物元模型对区域水环境承载力进行评价.

1 模糊物元分析原理

1.1 模糊物元和复合模糊物元

模糊物元^[5, 6]是把有序的三元组即“事物、特征、模糊量值”作为描述事物的基本元. 给定事物的名称 N , 它关于特征 C 有量值为 v , 以有序三元 $R = (N, C, v)$ 组作为描述事物的基本元, 简称物元. 如果其中量

收稿日期: 2006-12-10
作者简介: 姚玉鑫(1967-), 高级工程师, 主要从事环境污染控制和环境监测的研究. E-mail: yaoyx16@ yahoo.com.cn

值 v 具有模糊性, 便称为模糊物元. 如果事物 N 有 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n 和相应的模糊量值 V_1, V_2, \dots, V_n , 称 R 为 n 维模糊物元, 简记为 $R = (N, C, V)$. 如果 m 个事物的 n 维物元组合在一起, 便构成 m 个事物 n 维复合物元 R_{mn} . 若将 R_{mn} 的量值改写为模糊物元量值, 称为 m 个事物 n 维复合模糊物元, 记作

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & U_{11} & U_{21} & \dots & U_{m1} \\ C_2 & U_{12} & U_{22} & \dots & U_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_n & U_{1n} & U_{2n} & \dots & U_{mn} \end{bmatrix}, \tag{1}$$

式中, R_{mn} 为 m 个事物 n 维复合模糊物元; M_i 为第 i 个事物, $i = 1, 2, \dots, m$; C_j 为第 n 项特征, $j = 1, 2, \dots, n$; U_{ij} 为第 i 个事物第 j 项特征对应的模糊量值.

本文采用从优隶属度原则对 U_{ij} 进行标准化, 即采用下面类型的指标:

$$\text{越大越优型 } U_{ij} = X_{ij} / X_{j\max} \tag{2}$$

$$\text{越小越优型 } U_{ij} = X_{ij} / X_{j\min} \tag{3}$$

式中, X_{ij} 为第 i 个事物第 j 项特征对应的量值; $X_{j\max}, X_{j\min}$ 分别为各事物中每一项特征所有量值 X_{ij} 中的最大值和最小值. 由此可以得到 m 个事物 n 项特征的相对优隶属度矩阵

$$X_{mn} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{m1} \\ C_2 & X_{12} & X_{22} & \dots & X_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_n & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}. \tag{4}$$

1.2 标准模糊物元与差平方复合模糊物元

由式 (1) 可以构成标准方案的 n 维模糊物元 R_{0n} , 其中各项由 R_{mn} 中各方案从优隶属度中的最大值或最小值确定, 则得到

$$R_{0n} = \begin{bmatrix} M_0 \\ C_1 & U_{01} \\ C_2 & U_{02} \\ \dots & \dots \\ C_n & U_{0n} \end{bmatrix}. \tag{5}$$

事实上, 若采用最大值确定, 则 $U_{0i} = 1, i = 1, 2, \dots, n$. 若以 $\Delta_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 表示标准模糊物元 R_{0n} 与复合模糊物元 R_{mn} 中各项差的平方, 则组成差平方复合模糊物元 R_{Δ} , 即

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{m1} \\ C_2 & \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_n & \Delta_{1n} & \Delta_{2n} & \dots & \Delta_{mn} \end{bmatrix}, \tag{6}$$

$$\Delta_{ji} = (U_{0i} - U_{ji})^2, \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m).$$

1.3 权重的确定

本文采用层次分析法^[7,8]来确定各评价指标间的相对重要性次序, 从而得到各评价指标的权重, 并且在合成之前归一化, 即:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \quad (\omega_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n). \tag{7}$$

具体方法如下:

(1) 建立层次结构模型: 包括目标层、准则层和指标层.

(2) 构造判断矩阵: 以 A 表示指标, $U_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 分别表示参评的各个特征, U_j 表示 U_i 对 U_j 相对重要性数值 ($j = 1, 2, \dots, n$), U_{ij} 的取值依据如表 1 所示.

(3) 计算指标权重: 根据判断矩阵计算出最大特征根所对应的特征向量, 并将向量进行归一化处理, 其值即为所求的各指标权重.

(4) 权值合理性检验: 用公式 $CR = C_i / R_i$ 来检验, 其中 C_i 为判断矩阵的一般一致性指标, 由公式 $C_i = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 给出 (λ_{\max} 为矩阵最大特征根); R_i 为判断矩阵的平均随机一致性指标. 当 $CR < 0.1$ 时, 可认为判断矩阵具有满意的一致性, 说明权数分配合理.

1.4 欧氏贴近度

由于本文具有综合评价的意义, 采用 $M(a, +)$ 算法, 即先乘后加运算欧氏贴近度 θ_j , 则

$$\theta_j = 1 - \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n \omega_i \Delta_{jp}} \quad (j = 1, 2, \dots, m),$$

(9)

式中, θ_j 为第 n 个方案与标准方案之间的相互接近程度, 其值越大, 表示两者越接近, 反之, 则相差越大; ω_i 为权重, 是评价一个事物 N 的优劣时, 以权系数来衡量各评价指标的重要程度.

以此来构造欧氏贴近度复合模糊物元 R_{θ} , 则

$$R_{\theta} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ \theta_j & \theta_1 & \theta_2 & \dots & \theta_m \end{bmatrix}.$$

(9)

欧氏贴近度是表示各方案与标准方案之间的贴近程度, 可根据欧氏贴近度的大小对各方案进行优劣排序, 并可进行分类.

2 环境承载能力分析实例

2.1 评价指标体系的确定

水环境承载力评价指标体系的建立是水环境承载力研究中的一个关键问题. 影响区域水环境承载能力的因素很多, 涉及到水环境系统的各个方面. 在全面分析水环境承载能力的各影响因素基础上, 结合湖州市的实际情况, 提出了以下 6 项指标作为评价因子: 人均 GDP (万元/人·年) X_1 、万元 GDP 综合耗水量 (m^3 /万元) X_2 、万元 GDP COD 排放强度 (kg /万元) X_3 、废污水处理率 (%) X_4 、水质优良率 (%) X_5 、人均水资源可利用量 (m^3 /人) X_6 . 数据如表 2 所示, 其中 X_6 采用国际丰水线标准.

2.2 评价模型的建立

将表 3 中各年份下的水环境承载力样本, 构造复合物元.

2.3 确定从优隶属度

由于各指标在量值上含义不同, 所以在计算从优隶属度前先采用归一法原则进行量化处理. 指标 X_2 、 X_3 按越小越优计算, 其它指标按越大越优计算.

2.4 差平方复合物元确定

计算各评价样本模糊物元与标准样本模糊物元指标之间差的平方, 这里取最大值组成标准样本模糊物元, 即 $U_{0i} = 1, i = 1, 2, \dots, 6$ 得到差平方复合物元 R_{Δ} .

2.5 评价指标权重确定

评价指标权重即各指标对水环境承载能力的贡献值的大小, 是一个重要环节. 采用层次分析法评价各

表 1 判断矩阵标度及其含义

Table 1 Judgment matrix scale and the signification	
标度	含义
1	表示因素 U_i 与 U_j 比较, 具有同等重要性
3	表示因素 U_i 与 U_j 比较, U_i 比 U_j 稍微重要
5	表示因素 U_i 与 U_j 比较, U_i 比 U_j 略显重要
7	表示因素 U_i 与 U_j 比较, U_i 比 U_j 强烈重要
9	表示因素 U_i 与 U_j 比较, U_i 比 U_j 极端重要
2, 4, 6, 8	分别表示相邻判断 1~3, 3~5, 5~7, 7~9 的中值, 倒数表示因素 U_i 与 U_j 比较的判断, 即: $U_{ji} = 1/U_{ij}$

表 2 区域水环境承载力评价指数表

Table 2 The evaluating index of water environmental bearing capacity						
年 指标	2002	2003	2004	2005	2010	生态市 目标
X_1	1.50	1.64	1.91	2.30	4.17	3.3
X_2	260	236	189	163	109	150
X_3	8.84	7.39	5.65	3.78	2.95	5.0
X_4	2.29	18.7	34.2	47.76	65	70
X_5	37.5	65.3	69.5	50.7	70	100
X_6	1301	1817	831	910	1015	3000

指标权重.

- (1) 建立目标树, 如图 1所示.
- (2) 判断矩阵的建立. 第一层子目标和第二层子目标的判断矩阵分别如表 3和表 4所示.

表 3 第一层子目标判断矩阵

Table 3 The judgment matrix of the first subobject

	水环境	水资源	经济
水环境	1	2	2
水资源	1/2	1	2
经济	1/3	1/2	1

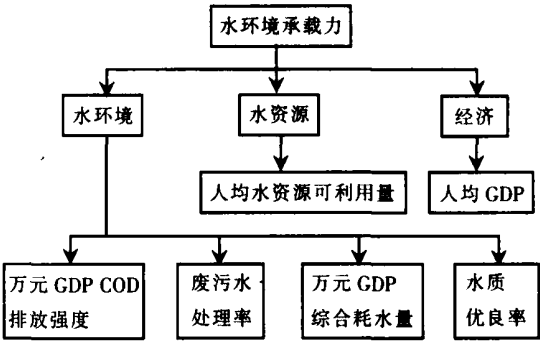


图 1 目标树
Fig.1 Object tree

表 4 第二层子目标判断矩阵

Table 4 The judgment matrix of the secondly subobject

	万元 GDP综合耗水量	万元 GDP COD排放强度	废污水处理率	水质优良率
万元 GDP综合耗水量	1	1/2	1/3	1/3
万元 GDP COD排放强度	2	1	1/2	1/3
废污水处理率	3	2	1	1/2
水质优良率	3	3	2	1

(3) 计算第一层指标权重. 根据 1.3 计算所得第一层指标权重 (其中水资源、经济分别采用人均水资源可利用量和人均 GDP 指标分析) 为水环境 (0.539 6)、水资源 (0.297)、经济 (0.163 4); 同理可得万元 GDP 综合耗水量 (0.105 1)、万元 GDP COD 排放强度 (0.164 4)、废污水处理率 (0.284 8)、水质优良率 (0.445 7), 经检验, 均具有满意的一致性.

2.6 计算欧氏贴近度

根据式 (9) 计算欧氏贴近度如下:

$$R_{\text{PI}} = \begin{bmatrix} 2002 & 2003 & 2004 & 2005 & 2010 & \text{生态市目标} \\ \text{PI}_j & 0.322\ 9 & 0.484\ 1 & 0.447\ 5 & 0.488\ 6 & 0.609\ 5 & 0.838\ 1 \end{bmatrix}.$$

由各样本欧氏贴近度计算结果对水环境承载能力进行排序, 依次为: 2002 < 2004 < 2003 < 2005 < 2010 < 生态市目标. 据此可以看出, 该地区水环境承载能力与生态市目标还有一段距离. 在未来较长的一段时间内, 需通过经济发展、调整产业结构等降低万元 GDP 耗水量及 COD 排放量、提高废污水处理率、改善水质以及提高人均水资源可利用量等措施, 进一步提高该地区的水环境承载能力.

为了与其它方法相比较, 本文研究了矢量模法 (按常规法取等权重) 对该区域水环境承载力进行评价, 评价结果如下: 0.247 3 (2002 年)、0.337 0 (2003 年)、0.357 4 (2004 年)、0.409 6 (2005 年)、0.582 9 (2010 年)、0.612 2 (可持续标准). 对其进行排序: 2002 < 2003 < 2004 < 2005 < 2010 < 可持续标准, 与模糊物元评价水环境承载能力的排序基本相似. 但可以看出, 用矢量模法进行评价, 其评价结果逐渐递增, 且递增幅度相差很小, 如 2010 年与生态市可持续标准相比, 生态市目标明显高于 2010 年各项指标, 但环境承载能力递增幅度却很小; 而模糊物元法结合层次分析确定权重则充分考虑了各指标对水环境承载力贡献的程度, 较准确地反映了该区域水环境承载力情况.

3 结束语

水环境承载能力是一个不确定性问题. 本文应用基于欧式贴近度的模糊物元分析法对水环境承载能力进行综合评价与排序, 同时, 还采用层次分析法确定水环境承载能力影响因素的指标权重来进一步提高评价结果的准确性. 但是, 影响水环境承载能力的因素很多, 且选取影响因素存在一定的主观性, 需要在今后的研究中尽可能多地收集资料, 充分考虑各因素, 以期能更准确地表达水环境承载能力.

[参考文献] (References)

- [1] 唐剑武, 郭怀成, 叶文虎. 环境承载力及其在环境规划中的初步应用 [J]. 中国环境科学, 1997, 17(1): 6- 9.
Tang Jianwu Guo Huaicheng Ye Wenhua. Environmental bearing capacity and its application on environmental planning [J]. China Environmental Science 1997, 17(1): 6- 9 (in Chinese)
- [2] 龙腾锐, 姜文超. 水资源 (环境) 承载力的研究进展 [J]. 水科学进展, 2003, 14(2): 249- 253.
Long Tengruì Jiang Wenchao. Advances in water resources and water environmental carrying capacity [J]. Advances in Water Science, 2003, 14(2): 249- 253 (in Chinese)
- [3] 陈加兵, 章宪. 福州市辖区综合环境承载力研究 [J]. 福建地理, 2002, 17(4): 19- 22.
Chen Jiabing Zhang Xian. Study on comprehensive environmental bearing capacity in fuzhou city [J]. Fujian Geography, 2002, 17(4): 19- 22 (in Chinese)
- [4] 张文国, 杨志峰. 基于指标体系的地下水环境承载力评价 [J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 541- 544.
Zhang Wenguo Yang Zhifeng. Assessment on bearing capacity of ground water environment based on indicator system [J]. AGTA Science Circumstantiae, 2002, 22(4): 541- 544 (in Chinese)
- [5] 张斌, 雍岐东, 肖芳淳. 模糊物元分析 [M]. 北京: 北京石油工业出版社, 1997.
Zhang Bin Yong Qidong Xiao Fangchun. Fuzzy Matter-Element Analyse [M]. Beijing: Beijing Oil Industry Press, 1997. (in Chinese)
- [6] 蔡文. 物元模型及其应用 [M]. 北京: 北京科学技术文献出版社, 1994.
Cai Wen. Matter-Element Analyse and Application [M]. Beijing: Beijing Scientific and Technical Documents Press, 1994 (in Chinese)
- [7] 任善强, 雷鸣. 数学模型 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1998.
Ren Shanqiang Lei Ming. Math Model [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1998 (in Chinese)
- [8] 钟美, 李建波, 王丽昆. 层次分析法在评价某企业报酬要素权重中应用 [J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2004, 29(1): 137- 141.
Zhong Mei Li Jianbo Wang Likun. Application of analytic hierarchy process to detemining the weights of reward factors in some enterprises [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology: Science and Technology Edition, 2004, 29(1): 137- 141. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]