

# 模糊物元模型在区域水资源可持续利用综合评价中的应用

潘 峰, 梁 川, 王志良, 付 强

(四川大学水电学院, 四川 成都 610065)

摘要: 在模糊物元分析的基础上, 结合欧氏贴近度的概念, 提出了基于欧氏贴近度的模糊物元分析方法。在对区域水资源可持续利用进行综合评价时, 把各地区各开发利用阶段作为物元的事物, 以它们的各项评价指标及其相应的模糊量值构造复合模糊物元, 通过计算与标准模糊物元之间的欧氏贴近度, 并采用层次分析法计算各评价指标的权重, 实现对各地区水资源可持续利用的综合评价与排序。该模型被应用到西安市的水资源可持续利用综合评价中, 取得了较好的效果, 对西安市水资源的可持续利用具有重要的指导意义。

关键词: 模糊物元; 欧氏贴近度; 水资源可持续利用; 层次分析法

中图分类号: TV 213.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2003)03-271-05

近年来, 为了评价一个区域的水资源开发利用程度, 各国学者提出了灰色聚类法、模糊综合评价法和人工神经网络评价法等<sup>[1]</sup>, 这些方法各有特点。但是, 在进行区域水资源可持续利用综合评价研究时, 由于各单项评价指标的评判结果往往是不相容的, 直接利用评价标准难以作出确切的评价; 而且由于评价标准是界限明显的量化标准, 这将遗漏一些有用的信息, 甚至会导致错误的结论。我国学者蔡文教授提出的物元分析理论<sup>[2]</sup>, 以促进事物转化、解决不相容问题为核心, 适用于多因子评价问题。本文在物元分析的基础上, 结合模糊集合和欧氏贴近度的概念, 建立了基于欧氏贴近度的模糊物元分析方法。对各地区和各利用阶段构造复合模糊物元, 并计算与标准模糊物元的欧氏贴近度, 从而对各地区水资源开发利用程度进行排序和评定开发利用阶段。同时, 还采用层次分析法计算各评价指标的权系数, 以提高评价结果的准确性。

## 1 基于欧氏贴近度的模糊物元模型

### 1.1 模糊物元和复合模糊物元<sup>[2,3]</sup>

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

$$\underline{R}_{mn} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ c_1 & u_{11} & u_{21} & \dots & u_{m1} \\ c_2 & u_{12} & u_{22} & \dots & u_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_n & u_{1n} & u_{2n} & \dots & u_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

收稿日期: 2002-03-13; 修订日期: 2002-05-24

基金项目: 四川省学术带头人培养基金资助项目 (2200118)

作者简介: 潘 峰(1979-), 男(回族), 安徽亳州人, 四川大学水电学院, 博士, 主要从事水资源及水环境影响评价建模优化方面的研究。E-mail: Lchester@scu.edu.cn

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,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $c_k$  为第  $k$  项特征,  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $u_{ik}$  为第  $i$  个事物第  $k$  项特征对应的模糊量值。

### 1.2 从优隶属度原则

各单项评价指标相应的模糊量值, 从属于标准方案各对应评价指标相应的模糊量值隶属程度, 称为从优隶属度。由此建立的原则, 称为从优隶属原则。由于从优隶属度一般为正值, 可采用下面类型的指标:

$$\text{越大越优型} \quad u_{ik} = X_{ik} / \max X_{ik} \quad (2)$$

$$\text{越小越优型} \quad u_{ik} = \min X_{ik} / X_{ik} \quad (3)$$

式中  $X_{ik}$  为第  $i$  个事物第  $k$  项特征对应的量值;  $\max X_{ik}$ 、 $\min X_{ik}$  分别为各事物中每一项特征所有量值  $X_{ik}$  中的最大值和最小值。

### 1.3 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

$$R_{0n} = \begin{bmatrix} & M_0 \\ c_1 & u_{01} \\ c_2 & u_{02} \\ \vdots & \vdots \\ c_n & u_{0n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

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  $R_{\Delta}$ , 即

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ c_1 & \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{m1} \\ c_2 & \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_n & \Delta_{1n} & \Delta_{2n} & \dots & \Delta_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中  $\Delta_{ij} = (u_{0i} - u_{ji})^2$ ,  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

### 1.4 层次分析法确定权重

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, 表示为  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。本文采用层次分析法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

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

### 1.5 欧氏贴近度和综合评价<sup>[4]</sup>

考虑到本文具有综合评价的意义, 采用  $M(\cdot, +)$  算法, 即先乘后加运算欧氏贴近度  $\Theta_j$ , 则

$$\Theta_j = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \Delta_{ji}} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

式中  $\Theta_j$  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。然后以此来构造欧氏贴近度复合模糊物元  $R_{\Theta}$ , 则

$$R_{\Theta} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ \Theta_j & \Theta_{11} & \Theta_{12} & \dots & \Theta_{1m} \end{bmatrix} \quad (8)$$

欧氏贴近度是表示各方案与标准方案(最优方案)之间的贴近程度, 可以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 应用实例

以西安市及各分区的水资源可持续利用综合评价为例,说明基于欧氏贴近度的模糊物元模型的应用。西安市包括市区、长安等7个分区,本文把各地区与各利用阶段作为事物进行排序,并根据排序结果来评定各地区水资源可持续利用情况。

### 2.1 水资源开发利用阶段

水资源系统是以水为主体构成的一种特定的系统,这个系统是指处在一定范围或环境下,为实现水资源开发利用目标,由相互联系、相互制约、相互作用的若干水资源工程单元和管理技术单元所组成的有机体。其可持续利用是随着社会需求的增长和经济技术水平的提高而不断增加的,区域水资源的开发利用总是在一定的自然条件和社会经济技术条件的约束下进行的,一般要经历3个阶段:①水资源开发利用初始阶段。该阶段水资源开发规模小,开发利用程度低,发展缓慢,经济处于耗水型阶段,但水资源开发潜力巨大;②水资源开发利用发展阶段。该阶段水资源开发已具有一定的规模,经济类型由耗水型逐步向节水型过渡,并开始重视水资源的综合管理,水资源的开发利用仍有较大的潜力;③水资源开发利用饱和阶段。该阶段水资源开发利用程度已接近极限,利用率高,开发潜力小,经济类型是以节水型为主,水资源综合管理达到一定的水平。

### 2.2 水资源开发利用评价指标

影响水资源开发利用的因素很多,根据区域水资源特征和西安市水资源的开发利用特点,设置了以下评价指标,人均占有水量  $x_1, \text{m}^3/\text{人}$ ; 人均供水量  $x_2, \text{m}^3/\text{人}$ ; 水资源开发利用率  $x_3, \%$ ; 灌溉率  $x_4, \%$ ; 地表水控制率  $x_5, \%$ ; 重复利用率  $x_6, \%$ ; 平均灌溉水利用系数  $x_7$ ; 客水利用率  $x_8, \%$ ; 供水量模数  $x_9, \text{万 m}^3/\text{km}^2$ ; 水利工程投资比重  $x_{10}, \%$ ; 得到特征  $c = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$ 。各指标的实测数据详见表1。

表1 西安市各分区各项评价指标值<sup>[5]</sup>

Table 1 Value of each evaluation factor about each area in Xi'an

分区	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
西安市	411.29	264.42	64.29	23.52	7.30	44.40	0.54	2.02	17.17	0.48
市区	145.84	123.38	84.60	44.75	11.56	58.30	0.60	1.98	34.52	0.45
长安	520.80	248.88	47.79	24.07	6.42	48.60	0.55	2.05	13.65	1.82
户县	640.18	412.83	68.33	30.08	1.41	52.70	0.52	2.05	19.21	0.17
周至	783.43	405.85	51.80	13.10	1.83	35.40	0.54	2.01	8.25	0.12
高陵	1169.40	457.98	39.16	65.14	0.10	37.10	0.50	2.08	35.52	0.17
临潼	390.00	267.34	68.55	43.72	52.21	38.20	0.54	2.00	18.93	1.32
蓝田	753.59	628.00	83.33	7.89	5.25	40.50	0.55	0.10	19.22	0.01

把水资源开发利用阶段分为3个阶段。根据文献[5],可以得到这3个阶段各自的评价指标值(表2)。

表2 各开发阶段评价指标值

Table 2 Value of each evaluation index about three phases

阶段	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
初始阶段	389.5	389.5	45.0	13.5	4.5	45	0.50	0.18	9.0	0.09
发展阶段	322.5	300.0	62.5	32.5	15.0	65	0.64	0.60	12.5	0.80
饱和阶段	270.0	225.0	82.5	55.0	27.5	88	0.80	1.10	17.5	1.75

### 2.3 评价模型的建立

根据上述理论和评价指标体系,建立评价模型的步骤如下:

步骤1: 确定复合物元。对西安各分区和水资源利用开发联合体共11个方案,根据表1和表2中的数据确定各方案中10项评价指标的复合物元。

步骤2: 确定从优隶属度。根据步骤1所确定的复合物元,其中对水资源开发利用率、灌溉率等越大越优型指标,采用式(2)计算;对人均占有水量和人均供水量越小越优型指标,采用式(3)计算。

步骤 3: 确定标准方案(最优方案)模糊物元。标准方案模糊物元是根据各项方案中的最大值或最小值确定的。步骤 2 已对各方案指标值进行了从优隶属度的计算, 这里仅取最大值组成标准方案的模糊物元, 即  $u_{0i} = 1.0, i = 1, 2, \dots, 10$ 。

步骤 4: 根据式(5)计算各方案评价指标与标准方案指标之间差的平方值  $\Delta_{ji}$ , 得到差的平方复合模糊物元  $R_{\Delta}$ , 即

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} & \text{西安市} & \text{市区} & \text{长安} & \text{户县} & \text{周至} & \text{高陵} & \text{临潼} & \text{蓝田} & \text{初始阶段} & \text{发展阶段} & \text{饱和阶段} \\ x_1 & 0.4166 & 0 & 0.5184 & 0.5963 & 0.6623 & 0.7661 & 0.3919 & 0.6504 & 0.3913 & 0.3001 & 0.2115 \\ x_2 & 0.2845 & 0 & 0.2543 & 0.4916 & 0.4844 & 0.5338 & 0.2900 & 0.6457 & 0.4668 & 0.3466 & 0.2040 \\ x_3 & 0.0576 & 0 & 0.1893 & 0.0370 & 0.1503 & 0.2885 & 0.0360 & 0.0002 & 0.2191 & 0.0682 & 0.0006 \\ x_4 & 0.4082 & 0.0980 & 0.3975 & 0.2897 & 0.6382 & 0 & 0.1081 & 0.7724 & 0.6285 & 0.2511 & 0.0242 \\ x_5 & 0.7399 & 0.6062 & 0.7692 & 0.9467 & 0.9311 & 0.9962 & 0 & 0.8090 & 0.8350 & 0.5079 & 0.2240 \\ x_6 & 0.2455 & 0.1139 & 0.2005 & 0.1609 & 0.3573 & 0.3346 & 0.3203 & 0.2914 & 0.2388 & 0.0683 & 0 \\ x_7 & 0.1056 & 0.0625 & 0.0977 & 0.1225 & 0.1056 & 0.1406 & 0.1056 & 0.0977 & 0.1406 & 0.0400 & 0 \\ x_8 & 0.0008 & 0.0023 & 0.0002 & 0.0002 & 0.0011 & 0 & 0.0015 & 0.9062 & 0.8344 & 0.5063 & 0.2220 \\ x_9 & 0.2669 & 0.0008 & 0.3792 & 0.2108 & 0.5892 & 0 & 0.2181 & 0.2105 & 0.5574 & 0.4200 & 0.2573 \\ x_{10} & 0.5421 & 0.5666 & 0 & 0.8219 & 0.8725 & 0.8219 & 0.0755 & 0.9890 & 0.9035 & 0.3141 & 0.0015 \end{bmatrix} \quad (9)$$

步骤 5: 用层次分析法确定评价指标的权系数<sup>[6]</sup>。首先, 根据各方案实测值的均值来构造判断矩阵  $J$ , 即

$$J = \begin{bmatrix} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_9 & x_{10} \\ x_1 & 1.00 & 0.86 & 0.50 & 0.76 & 1.61 & 0.65 & 0.52 & 0.53 & 0.71 & 1.04 \\ x_2 & 1.16 & 1.00 & 0.58 & 0.88 & 1.87 & 0.76 & 0.61 & 0.61 & 0.82 & 1.21 \\ x_3 & 2.00 & 1.73 & 1.00 & 1.52 & 3.24 & 1.31 & 1.05 & 1.06 & 1.43 & 2.09 \\ x_4 & 1.32 & 1.14 & 0.66 & 1.00 & 2.13 & 0.86 & 0.69 & 0.70 & 0.94 & 1.37 \\ x_5 & 0.62 & 0.54 & 0.31 & 0.47 & 1.00 & 0.41 & 0.32 & 0.33 & 0.44 & 0.65 \\ x_6 & 1.53 & 1.32 & 0.76 & 1.16 & 2.47 & 1.00 & 0.80 & 0.81 & 1.09 & 1.59 \\ x_7 & 1.91 & 1.65 & 0.95 & 1.45 & 3.08 & 1.25 & 1.00 & 1.01 & 1.36 & 1.99 \\ x_8 & 1.89 & 1.63 & 0.94 & 1.43 & 3.05 & 1.24 & 0.99 & 1.00 & 1.34 & 1.97 \\ x_9 & 1.41 & 1.21 & 0.70 & 1.07 & 2.27 & 0.92 & 0.74 & 0.74 & 1.00 & 1.47 \\ x_{10} & 0.96 & 0.83 & 0.48 & 0.73 & 1.55 & 0.63 & 0.50 & 0.51 & 0.68 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (10)$$

然后, 采用方根法求出判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max} = 10.0$  及其对应的特征向量并归一化, 以得到评价指标的权重集  $W$ ,  $W = (0.0724, 0.0841, 0.1454, 0.0956, 0.0449, 0.1108, 0.1384, 0.1370, 0.1020, 0.0695)$ 。最后进行一致性检验。一致性指标  $CI = 0.0$ , 平均随机性指标  $RI = 1.55$ , 则随机一致性比率  $CR = 0$ 。因为  $CR < 0.10$ , 所以其结果有满意的一致性。确定的权重集  $W$  即为所求的各评价因子的权重。

步骤 6: 计算欧氏贴近度。根据式(9)和得出的权系数  $W$ , 由式(7)计算得到各方案的欧氏贴近度  $\theta_j = (0.5085, 0.6875, 0.5169, 0.4770, 0.3767, 0.4516, 0.6178, 0.3132, 0.3094, 0.4593, 0.6811)$ 。

## 2.4 评价结果分析

根据欧氏贴近度大小进行排序, 西安市及各分区水资源开发利用程度由高到低的排序依次为: 市区、临潼、长安、西安市、户县、高陵、周至、蓝田。因此可作出评价: ①市区和临潼是属于水资源开发利用的饱和阶段。市区的水资源开发利用程度最高, 已经达到了饱和, 这是因为市区的水资源开发利用、人均占有水量等多项指标是最优的; ②长安、西安市、户县和高陵是属于水资源开发利用的发展阶段。西安市处于水资

源开发利用的发展阶段, 水资源开发利用已有一定的规模, 但还有进一步开发的潜力; ③周至和蓝田是属于水资源开发利用的初始阶段。此评价结果与使用模糊综合评价结果基本上是一致的<sup>[5]</sup>。

根据评价结果, 掌握了西安市及各分区的水资源开发利用程度及其潜力, 能为西安市的水资源可持续开发利用提供科学的决策依据, 以此来实现西安市的社会经济可持续和稳定的发展。

### 3 结 论

把欧氏贴近度与模糊物元结合起来, 建立了基于欧氏贴近度的模糊物元模型, 并应用到区域水资源可持续开发利用的综合评价中。同时对各地区方案和各开发利用阶段进行排序和评价, 不仅能得到各地区开发利用程度的排序, 而且能评价出各地区的水资源开发利用是属于哪个阶段。采用层次分析法来确定各评价指标的权重, 具有较强的逻辑性、实用性和系统性, 并能准确地得出各评价指标的权系数, 使模型具有很强的实用性, 评价结果更符合实际情况。

#### 参考文献:

- [1] 贾 嵘, 沈 冰, 蒋晓辉. 区域水资源潜力综合评判[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(5): 44- 49.
- [2] 蔡 文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994. 21- 31, 188- 206, 267- 275.
- [3] 张 斌, 雍歧东, 肖芳淳. 模糊物元分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1- 50.
- [4] 肖芳淳. 模糊物元贴近度聚类分析的研究[J]. 新疆石油地质, 1999, 19(4): 281- 283.
- [5] 贾 嵘, 薛小杰, 薛惠锋. 区域水资源开发利用程度综合评价[J]. 中国农村水利水电, 1999, 11: 22- 24.
- [6] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学技术出版社, 1986. 1- 43.

## Fuzzy matter-element model for evaluating sustainable utilization of regional water resources<sup>\*</sup>

PAN Feng, LIANG Chuan, WANG Zhi-liang, FU Qiang

(College of Hydraulic and Hydroelectric Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** In order to evaluate regional water resources sustainable utilization, the paper puts forward a new method on the basis of the fuzzy matter-element analysis and combined with the concept of Euclid approach degree, regarding the regional samples and the utilization phases as the object of matter-element and constructs the compound fuzzy matter-element with the evaluation factors and their fuzzy value of the object. Through calculating Euclid approach degree between the fuzzy matter-element and the standard (the best) fuzzy matter-element, the writer achieves on development and utilization phase of regional water resources and its optimum order, with the calculation of weight adopting the analytical hierarchy process method and the model applied to the evaluation of water resources sustainable utilization in Xi'an. It provides significant reference for sustainable development of water resources in Xi'an.

**Key words:** fuzzy matter-element; Euclid approach degree; water resources sustainable utilization; AHP method

<sup>X</sup> The project is supported by the Sichuan Science Leader Foundation(No. 2200118).