

模糊物元模型在梯级水库补偿效益方案评价中的应用

谢小平^{1,2} 黄 强¹ 蔺蕾蕾¹ 张洪波¹ 吕玉洁¹

(1.西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室 陕西 西安 710048;
2.黄河上游水电开发有限责任公司 青海 西宁 810003)

摘要 在模糊物元分析的基础上 结合欧氏贴近度的概念 建立了基于欧氏贴近度的黄河干流梯级水库补偿效益方案评价的模糊物元模型 采用主客观赋权法计算评价指标的权重 计算结果表明 模糊物元模型的评价结果是合理的、可行的 该模型不仅可以用于补偿效益评价 也可用于水资源 环境 承载力评价以及区域生态环境评价等多指标决策问题的研究。

关键词 模糊物元模型 主客观赋权 欧氏贴近度 补偿效益评价

中图分类号 :TV697.1 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2007)03-0276-05

补偿效益评价(evaluation of compensation benefits ECB)是根据补偿效益评价标准和各方案的效益指标值 对效益方案进行排序 为水库梯级滚动开发、效益分配等提供科学的决策依据 对梯级水电可持续发展具有重要意义^[1]。在近年来的相关研究中 相继建立了多种补偿效益综合评价模型 目前较为流行的综合评价方法是模糊综合评价法、灰色评价法、人工神经网络、专家会议法、Delphi 法等 每种模型各有优缺点 黄河干流梯级水库电站的补偿效益 不仅要考虑发电和供水 而且要考虑防洪、防淤 在非汛期还要考虑防凌 是一个典型的多目标问题 由于补偿效益方案的评价指标的评判结果往往不相容 直接利用评价标准难以做出确切的评价 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 本文在物元分析的基础上^[2] 结合模糊集合和欧氏贴近度以及主客观赋权法的概念 建立了基于欧氏贴近度的模糊物元模型 为补偿效益评价问题研究提供了一种新方法。

1 补偿效益等级评价

1.1 模糊物元

给定事物的名称 M 它关于特征 C 有量值为 v 以有序三元组 $R=(M, C, v)$ 作为描述事物的基本元 称为物元 如果其中量值具有模糊性 则称之为模糊物元^[3] 记作:

$$R = \begin{bmatrix} M \\ C \quad u(x) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: R ——模糊物元; M ——事物; C ——事物的特征; $u(x)$ ——与事物特征 C 相应的模糊量值 也即事物 M 对于其特征 C 相应量值的隶属度 对于补偿效益方案评价而言 M 就是评价方案; C 是评价指标; $u(x)$ 则是评价方案 M 对于评价指标 C 相应指标值的隶属度。

1.2 复合模糊物元

若补偿效益方案有 M 个 任一方案有 n 项评价指标 $C_1, C_2, \dots, C_n$ 与其相应的模糊量值分别为 $u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_n)$ 则称 R 为 n 维模糊物元 若以 R_m 表示 m 个评选方案 n 维复合模糊物元 并以 M_j 表示第 j 个评选方案 C_i 表示第 j 个方案第 i 项评价指标 与其相应的模糊量值为 $u(x_{ij})$ ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$) 则有

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & u(x_{11}) & u(x_{21}) & \dots & u(x_{1m}) \\ C_2 & u(x_{12}) & u(x_{22}) & \dots & u(x_{2m}) \\ & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_n & u(x_{n1}) & u(x_{n2}) & \dots & u(x_{nm}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.3 补偿效益从优隶属度原则

对于补偿效益,由于定量指标的计量单位各不相同,不具有可比性,因此,在确定指标实际值之后,还必须解决指标间的可综合性问题,即进行指标的无量纲化处理,通过一定的数值变换来消除指标间的量纲影响。从本质上讲,指标无量纲化过程也就是求解隶属函数的过程,各种无量纲化公式,即是指标的隶属函数。求定量指标隶属度的无量纲化方法多种多样,本文采用从优隶属度法对指标进行量化。

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度,称之为从优隶属度。由此建立的原则称为从优隶属度原则。由于各评价指标特征值对于方案评价不尽相同,有的越大越优,有的越小越优,因此,对于不同的隶属度应采用不同的计算公式:

越大越优型
$$u(x_{ij}) = x_{ij} / \max(x_{ij}) \quad (3)$$

越小越优型
$$u(x_{ij}) = \min(x_{ij}) / x_{ij} \quad (4)$$

式中: x_{ij} ——第 j 个补偿方案第 i 项指标对应的量值; $\max(x_{ij})$ 、 $\min(x_{ij})$ ——各评价方案中每一项评价指标所有量值 x_{ij} 中的最大值和最小值。

1.4 标准模糊物元与差平方复合模糊物元

由 2 式可以构造标准补偿效益方案 n 维模糊物元 R_{0n} ,其中各项由 R_{mn} 内各评价方案从优隶属度中的最大值或最小值加以确定,则可得

$$R_{0n} = \begin{bmatrix} & M_0 \\ C_1 & U_{01} \\ C_2 & U_{02} \\ & \vdots \\ C_n & U_{0n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

若以 Δ_{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

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{1m} \\ C_2 & \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{2m} \\ & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_n & \Delta_{n1} & \Delta_{n2} & \dots & \Delta_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中 $\Delta_{ij} = [U_{0j} - u(x_{ij})]^2$, $i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, m$ 。

1.5 补偿效益评价指标权重复合物元

在补偿效益方案综合评价中,常需要以权重系数衡量各评价指标的重要程度。目前,权重的确定方法有很多,根据确定途径大致可分为两类:一类是基于决策者的经验或偏好,通过对各个属性进行比较而赋权的方法,称为主观赋权法,如层次分析法(AHP法)等;另一类是基于各方案相应各属性的数据而确定的方法,称客观赋权法,如主成分分析法、熵值法、变异系数法等。主观赋权法会由于决策者的经验缺乏和个人偏好,使决策带有主观随意性,而客观赋权法虽然利用了完善的数学理论知识,却忽视了决策者的主观信息,因此这两种方法各有长处和短处,本文采用主客观赋权法。

1.5.1 主观权重的确定方法——层次分析法^[4]

用层次分析法确定评价指标的主观权重,其主要步骤如下:

- a. 建立层次结构模型。
- b. 构造判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。

c. 层次单排序并进行判断矩阵的一致性检验. 求判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 及其对应的特征向量 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 经归一化后即为一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值, 并对其进行一致性检验.

d. 层次总排序及一致性检验. 计算同一层次所有因素对整个总目标相对重要性的排序权值, 称层次总排序. 它是用下一层次各个因素的权重和上一层次因素的组合权值, 得到最下层因素相对于整个总目标的相对重要性.

e. 得出权重结论. 由多个专家打分后, 得到各自的层次总排序计算结果, 将其综合得到评价指标体系各指标的最终权重 $w' = \{w'_1, w'_2, \dots, w'_n\}$.

1.5.2 客观权重的确定方法——变异系数法

当某项指标与特征值之间的差异性越大, 该指标在综合评价中的作用越大, 其权重也应越大; 反之, 当某项指标的特征值之间的差异性越小, 该指标在综合评价中的作用越小, 其权重也就越小. 所以, 可以根据各项评价指标值之间的差异性, 利用变异系数这一参数, 来确定各项评价指标的权重^[5]. 其计算公式如下:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij} \tag{7}$$

$$D_i = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \tag{8}$$

$$\delta_i = \frac{D_i}{\bar{x}_i} \tag{9}$$

$$\theta_i = \frac{\delta_i}{\sum_{i=1}^n \delta_i} \tag{10}$$

式中 $\bar{x}_i$ ——评价矩阵中第 i 个指标的均值; D_i ——评价矩阵中第 i 个指标的均方差; δ_i ——第 i 个指标的变异系数; θ_i ——第 i 个指标的权重.

1.5.3 主客观权重

为了全面反映评价指标的重要性, 将专家们对各指标给出的主观权重 w'_i 与客观权重 θ_i 相结合^[6], 最终确定各指标的权重为

$$w_i = \alpha w'_i + \beta \theta_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{11}$$

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n u(x_{ij}) w'_i}{\sqrt{(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n u(x_{ij}) w'_i)^2 + (\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n u(x_{ij}) \theta_i)^2}} \tag{12}$$

$$\beta = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n u(x_{ij}) \theta_i}{\sqrt{(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n u(x_{ij}) w'_i)^2 + (\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n u(x_{ij}) \theta_i)^2}} \tag{13}$$

式中 $u(x_{ij})$ ——规范化的模糊物元值; w_i ——主客观组合权重, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$; $\alpha^2 + \beta^2 = 1$, $\alpha, \beta > 0$.

1.6 欧氏贴近度和综合评价

考虑补偿效益综合评价的意义, 采用先乘后加运算欧氏贴近度 ρH_j , 则

$$\rho H_j = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \Delta_{ij}} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \tag{14}$$

式中 ρH_j 为第 j 个评价方案与标准方案(最优方案)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:

$$R_{\rho H} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ \rho H_j & \rho H_1 & \rho H_2 & \dots & \rho H_m \end{bmatrix}$$

欧氏贴近度是表示各方案与标准方案(最优方案)之间的贴近度, 可以根据欧氏贴近度的大小对各个补偿方案进行优劣排序^[5].

2 工程实例分析

以黄河干流梯级水库补偿效益分配方案综合评价为例, 介绍模糊物元模型的具体应用过程.

黄河干流梯级水库补偿效益主要体现在社会、生态环境和经济效益 3 个方面,所以应从这 3 方面建立评价指标体系.其中,社会指标从各库水资源存量及凌期控制断面流量 2 个方面衡量,经济指标可以从缺水量(x_8)、梯级电量(x_9) 2 方面来衡量,生态指标从非汛期生态基流(x_6)和汛期冲沙水量(x_7) 2 方面衡量.在保证社会指标、生态环境指标的条件下,尽可能获得较大的社会效益,即尽可能小的缺水量,尽可能大的梯级电量.

本文通过分析现状水平年黄河干流梯级水库补偿效益的 6 个分配方案,建立评价指标体系,试用模糊物元分析方法对 6 个分配方案进行分析、计算、评价,选出最优补偿效益方案.各方案原始指标值见表 1^[7].

表 1 各方案原始指标值
Table 1 Original indexes of each scheme

方案	社会指标					生态环境指标		经济指标	
	各库水资源存量(调度期末水位)/m		凌期控制断面防凌保证率/%			非汛期生态基流	汛期冲沙水量	缺水量	梯级电量
	龙羊峡 x_1	刘家峡 x_2	小浪底 x_3	兰州 x_4	花园口 x_5	$x_6/亿 m^3$	$x_7/亿 m^3$	$x_8/亿 m^3$	$x_9/亿 kW \cdot h$
1	2 577	1 734	257.5	94.0	92.39	88.44	135.3	36.75	309.2
2	2 554	1 729	258.9	76.6	96.74	113.01	160.5	75.26	322.8
3	2 595	1 726	260.5	92.4	92.39	115.30	162.7	94.95	330.5
4	2 586	1 723	261.1	75.5	96.74	109.50	158.3	80.73	328.8
5	2 572	1 726	261.5	90.8	98.92	110.76	147.0	68.52	327.9
6	2 564	1 729	245.4	89.7	88.05	66.57	125.8	91.57	290.5

评价步骤如下:

a. 构造复合物元.将表 1 中的各待评区域均视为物元的事物,由这 6 个方案与其相应的 9 个评价指标及其属性值可以构造复合物元.

b. 确定从优隶属度.在步骤 a 所确定的复合物元中,指标 x_8 为越小越优型指标,采用式(4)计算从优隶属度;其他指标为越大越优型指标,根据式(3)计算从优隶属度.由此,可以构造复合模糊物元 $R_{6 \times 9}$.

$$R_{6 \times 9} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ C_1 & 2577 & 2554 & 2595 & 2586 & 2572 & 2564 \\ C_2 & 1734 & 1729 & 1726 & 1723 & 1726 & 1729 \\ C_3 & 257.5 & 258.9 & 260.5 & 261.1 & 261.5 & 245.4 \\ C_4 & 94.0 & 76.6 & 92.4 & 75.5 & 90.8 & 89.7 \\ C_5 & 92.39 & 96.74 & 92.39 & 96.74 & 98.92 & 88.05 \\ C_6 & 88.44 & 113.01 & 115.30 & 109.50 & 110.76 & 66.57 \\ C_7 & 135.3 & 160.5 & 162.7 & 158.3 & 147.0 & 125.8 \\ C_8 & 36.75 & 75.26 & 94.95 & 80.73 & 68.52 & 91.57 \\ C_9 & 309.2 & 322.8 & 330.5 & 328.8 & 327.9 & 290.5 \end{bmatrix}$$

c. 计算标准模糊物元.标准模糊物元 $R_{0 \times 9}$ 是由步骤 b 所确定的复合模糊物元 $R_{6 \times 9}$ 内各评价样本从优隶属度中的最大值或最小值加以确定的.这里选取最大值组成标准模糊物元,则有 $U_{0j} = 1$.

d. 确定差平方复合模糊物元.根据式(6)计算标准模糊物元 $R_{0 \times 9}$ 与复合模糊物元 $R_{6 \times 9}$ 中相应各项差的平方 Δ_{ij} ,再由计算所得的 Δ_{ij} 组成差平方复合模糊物元 R_{Δ} .

e. 确定评价指标权重.使用层次分析法求得各评价指标的主客观权重为 $w'_i = (0.104\ 491\ 0.078\ 332\ 0.059\ 664\ 0.106\ 066\ 0.082\ 5\ 0.181\ 744\ 0.141\ 356\ 0.184\ 575\ 0.061\ 525)$,限于篇幅,这里不详细介绍计算步骤.使用变异系数法求得各评价指标客观权重 $\theta_i = (0.007\ 247\ 0.002\ 746\ 0.029\ 889\ 0.119\ 969\ 0.053\ 38\ 0.241\ 604\ 0.128\ 0.355\ 11\ 0.062\ 05)$.

根据式(12)和(13),可求出 $\alpha = 0.741\ 678$, $\beta = 0.670\ 756$,则得出主客观权重 $w_i = \alpha w'_i + \beta \theta_i = (0.082\ 36\ 0.059\ 939\ 0.064\ 3\ 0.159\ 137\ 0.096\ 993\ 0.296\ 853\ 0.190\ 7\ 0.375\ 09\ 0.087\ 25)$.

f. 计算欧氏贴近度.根据式(14)计算欧氏贴近度 ρ_{H_j} ,得到

$$R_{\rho H} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ \rho_{H_j} & 0.850\ 59 & 0.677\ 61 & 0.623\ 97 & 0.655\ 87 & 0.711\ 78 & 0.552\ 45 \end{bmatrix}$$

由各补偿方案欧氏贴适度计算结果可以看出,在待评的6个评价方案中,各补偿效益方案由优到劣的排序依次为方案1、方案5、方案2、方案4、方案3、方案6。此评价结果与利用层次分析法与利用突变评价法进行分析评价得出的最终方案排名基本相同,但该模型求解方法简单,使用更加方便,计算结果更加精确。

3 结 论

基于补偿效益概念的模糊性和单项指标评价结果的不相容性,在物元分析的基础上,结合模糊集理论和欧氏贴适度概念,建立了黄河干流梯级水库补偿效益方案评价的模糊物元模型。评价结果表明:模糊物元模型评价结果是合理的、可信的。该评价结果为实现黄河梯级水电的可持续发展、获得更大的补偿效益提供决策依据。

模糊物元模型物理概念清楚、计算过程简单,具有一定的推广和实用价值。该模型不仅可以用于补偿效益评价,也可用于水资源(环境)承载力评价以及区域生态环境评价等多指标决策问题的研究。

参考文献:

- [1] 畅建霞,黄强,田峰巍.黄河上游梯级电站补偿效益研究[J].水力发电学报,2002,79(4):11-17.
- [2] 蔡文.物元模型及其应用[M].北京:科学技术文献出版社,1994.
- [3] 张斌,雍歧东,肖芳淳.模糊物元分析[M].北京:石油出版社,1997.
- [4] 介玉新,胡韬,李青云,等.层次分析法在长江堤防安全评价系统中的应用[J].清华大学学报:自然科学版,2004,44(12):1634-1637.
- [5] 时光新,王其昌,刘建强.变异系数法在小流域治理效益评价中的应用[J].水土保持通报,2000,20(6):17.
- [6] 王中兴,李桥兴.依据主、客观权重集成最终权重的一种方法[J].应用数学与计算数学学报,2006,20(1):87-92.
- [7] 郭文献,徐建新,卢双宝.模糊物元分析法在供水工程方案评价中的应用[J].人民黄河,2005,27(11):42-44.

Fuzzy matter-element model for evaluating compensation benefits of cascade reservoirs

XIE Xiao-ping^{1,2}, HUANG Qiang¹, LIN Lei-lei¹, ZHANG Hong-bo¹, LÜ Yu-jie¹

(1. Key Laboratory of Water Resources and Eco-Environment in Northwest China, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Huanghe Hydropower Development Co., Ltd., Xi'ning 810003, China)

Abstract :On the basis of fuzzy matter-element analysis, a fuzzy matter-element model for evaluation of compensation benefits of cascade reservoirs on the mainstream of the Yellow River was established by combination with the concept of Euclid approach degree. In order to obtain an accurate evaluation result, the objective and subjective synthetic approach was used to calculate the weights of evaluation indexes. The result shows that the fuzzy matter-element model is effective not only for evaluation of the compensation benefit, but also for multi-index decision making in evaluation of water resources bearing capacity, regional ecological environment, and so on.

Key words :fuzzy matter-element model; objective and subjective synthetic approach for right determination; Euclid approach degree; evaluation of compensation benefit