

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.02.018

基于组合决策的黄河流域水量调度方案评价方法

董增川¹,马红亮²,王明昊²,王森林¹

(1. 河海大学研究生院,江苏 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:为定量评价黄河流域水量调度方案的优劣,选出水资源综合效益最大的方案,结合黄河流域实际特点,选择可供水量、利津入海水量、龙羊峡水库期末水位等10项指标为评价体系,在模糊优选法、灰色关联分析法、集对分析法等评价方法的基础上建立了组合决策模型,综合考虑各方案在不同评价方法下的优劣顺序,帮助决策者做出准确判断和选择。结果表明,组合决策方法克服了单一决策方法的不足,能够综合考虑各评价指标的重要性,较为科学合理地确定出最优方案。

关键词:组合决策;水量调度;方案评价;模糊优选;灰色关联分析;集对分析

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)02-0089-06

Evaluation on water regulation scheme in Yellow River Basin based on portfolio decision-making model

DONG Zengchuan¹, MA Hongliang², WANG Minghao², WANG SenLin¹

(1. Graduate School of Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China.)

Abstract: In order to evaluate the water regulation scheme in the Yellow River Basin quantitatively and single out a scheme in which the comprehensive benefit of water resources is maximum, considering the actual characteristics of the Yellow River Basin, 10 indicators such as the available water supply, the amount of water into sea from Lijin, the final water level of Longyangxia Reservoir, etc. were singled out to constitute the evaluation system. A portfolio decision-making model was established based on such evaluation methods as fuzzy optimization, grey correlation analysis and set pair analysis, etc. The excellence order of all kinds of water regulation schemes under different evaluation methods was considered to help decision-makers make accurate judgments and choices. The results show that, with the portfolio decision-making model which overcomes the shortcomings of the single decision-making method, we can consider the importance of each evaluation indicators comprehensively and determine the best scheme scientifically and reasonably.

Key words: portfolio decision-making model; water regulation; scheme evaluation; fuzzy optimization; grey correlation analysis; set pair analysis

多属性决策^[1]问题是决策方案有限的多目标决策问题,也称之为离散的多目标决策问题,主要用来解决具有多个属性的有限决策方案的排序或优选问题。在确定各属性权重大小时,目前使用的方法有很多。例如,贾伟召等^[2]将有序二元比较量化法应用到土地定级划分中,孟宪萌等^[3]将熵值法应用到水质综合评价中,但是这些方法或具有较强的主观随意性,或过于依赖指标数据之间的内在规律,而

忽略了各属性的含义,不能将主客观统一起来,应用中存在很大的局限性。

此外,在黄河流域水量调度方案的编制过程中,根据不同的约束条件和计算方法,可以生成相应的调度方案,各种调度方案之间并没有直接的优劣支配关系,决策者要直接从中选择最佳方案则会比较困难。而在实际运行中,决策者必须从这几种调度方案(几组解)中做出最优选择,最终选择的解为最

作者简介:董增川(1963—),男,教授,主要从事水文水资源方面的研究。E-mail:dongzengchuan@163.com

佳协调解。因此,如何从这些非劣解中求出最终的决策方案是进一步通过多属性决策评价要解决的问题。多属性决策的一般过程如图 1 所示。

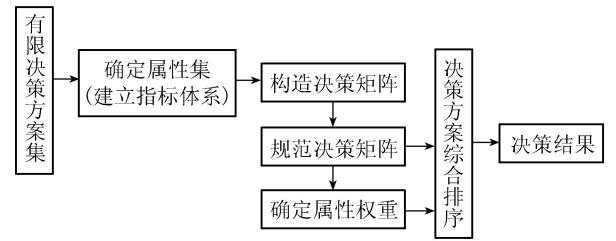


图 1 多属性决策的一般过程

1 水量调度方案评价的一般步骤

黄河流域水量调度方案的编制,应当统筹兼顾流域内生活用水、生产用水、生态用水以及流域上下游、左右岸的关系,综合考虑年度 8 大区间预报来水情况、各水库实际蓄水情况以及沿黄各省(区)申报用水、发电、防凌、调水调沙等因素,科学合理分

$$X = \begin{bmatrix} 291 & 275.23 & 35.3 & 159.86 & 161.27 & 2580.17 & 1725.22 & 256.22 & 104.91 & 94.22 \\ 320 & 273.42 & 33.86 & 159.76 & 157.33 & 2580.11 & 1724.96 & 250.45 & 121.64 & 82.69 \\ 325 & 273.97 & 28.53 & 159.73 & 158.63 & 2580.13 & 1724 & 247.51 & 131.36 & 83.42 \\ 350 & 272.12 & 32.4 & 159.66 & 152 & 2580.14 & 1726.2 & 249.6 & 138.81 & 66.72 \end{bmatrix}^T$$

1.1 决策矩阵的规范化

设多属性决策问题有 n 个决策方案 $X_1, X_2, \dots, X_n$, m 个目标 $G_1, G_2, \dots, G_m$, 其中: X_j 为第 j 个决策方案, G_i 为第 i 个目标。设方案 $X_j(j=1, 2, \dots, n)$ 在目标 $G_i(i=1, 2, \dots, m)$ 下的属性值为 x_{ij} , 则 $m \times n$ 个 x_{ij} 构成备选方案的决策矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 。由于各决策属性间存在不可公度性(即没有统一的度量标准)和矛盾性,各属性的单位、量纲和数量级往往是不相同的,如果直接利用原始决策矩阵进行方案排序,会无从着手;或者决策方案不科学,造成决策结果不合理。为了消除这种差异对决策结果的影响,在求解多属性决策问题时,首先应对决策矩阵进行规范化(标准化)处理。其实质是利用一定的数学变换把量纲、性质各异的属性值转化为可以综合处理的“量化值”,一般是把各属性值都统一变换到 $[0, 1]$ 范围内。

决策属性的类型一般有 4 种,即效益型(越大越好)、成本型(越小越好)、固定型(越接近某个固定值越好)和区间型(以落到某个固定区间为佳)。常用的规范化方法有向量规范化法、线性变换法、极差变换法等。其中极差变换法是目前多属性决策问题求解中用得最多的决策矩阵规范化方法,其变换式为

对于成本型指标:

配有限的黄河水资源,实现黄河水资源的节约、高效、可持续利用,最大限度地发挥黄河水资源的综合效益。针对黄河流域水量调度的实际特点,考虑可供水量、发电量、调水调沙水量、凌期兰州断面水量、凌期花园口断面水量、龙羊峡水库期末水位、刘家峡水库期末水位、小浪底水库期末水位、非汛期干流供水、非汛期入海水量 10 个目标,建立黄河流域水量调度方案评价体系。其中,可供水量是指在黄河流域干、支流多年平均天然年径流量中,除必需的河道输沙入海水量外,可供城乡居民生活、农业、工业及河道外生态环境用水的最大水量;发电量是指调度期内龙羊峡、刘家峡、万家寨、三门峡、小浪底五大水库的合计发电量;调水调沙水量是指 6 月下旬小浪底水库可用于调水调沙的水量;凌期断面水量是指该断面在凌汛期的过水断面水量;水库期末水位是指该水库 6 月底的水库水位。本文随机选取 4 个年度水量调度方案建立下面的决策矩阵 X :

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

对于效益型指标:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min i}}{x_{\max i} - x_{\min i}} \quad (2)$$

式中: $x_{\max i}, x_{\min i}$ 分别为第 i 个属性 G_i 的最大特征值和最小特征值。

对于区间型指标:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{|x_{ij} - x_{i1}|}{\max_k |x_{kj} - x_{i1}|} & x_{ij} < x_{i1} \\ 1 & x_{i1} \leq x_{ij} \leq x_{i2} \\ 1 - \frac{|x_{ij} - x_{i2}|}{\max_k |x_{kj} - x_{i2}|} & x_{ij} > x_{i2} \end{cases} \quad (3)$$

式中, x_{i2} 和 x_{i1} 分别为固定区间的上下边界值,该区间为指标 i 的最佳取值范围。

对于固定型指标,其计算公式与式(3)相同,此时 $x_{i2} = x_{i1}$ 。

1.2 指标权重的选取

目前关于属性权重的确定方法很多,主要分为主观赋权法、客观赋权法、组合赋权法 3 类。主观赋权法是根据决策者(专家)主观上对各属性的重视程度来确定属性权重的方法,其原始数据由专家根据经验主观判断而得到。客观赋权法^[4]是根据某属性

下各方案属性值差异的大小来确定该属性权重的大小,差异越大,则该属性的权重越大,反之则越小。

主观赋权法的决策或评价结果具有较强的主观随意性,客观性较差,同时增加了对决策分析者的负担,应用中有很局限性。客观赋权法没有考虑决策者的主观意向,依赖于实际的问题域,因而通用性和决策人的可参与性较差。针对主、客观赋权法各自的优缺点,笔者在权重的选取上采用主客观综合赋权法(或称组合赋权法),它既可兼顾到决策者对属性的偏好,又力争减少赋权的主观随意性,使属性赋权达到主观与客观的统一。组合赋权法两种常用的方法是“乘法”集成法、“加法”集成法。分别表示为

“乘法”集成法:

$$w_i = \frac{a_i b_i}{\sum_{i=1}^m a_i b_i} \tag{4}$$

“加法”集成法:

$$w_i = \alpha a_i + (1 - \alpha) b_i \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \tag{5}$$

式中: w_i 表示第 i 个指标的组合权重; a_i, b_i 分别为第 i 个属性的客观权重和主权重。 α 为权重系数,它表示主观权重的重要程度。

1.2.1 有序二元比较量化法

本文利用专家经验知识的二元比较量化方法去

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 0.50 & 0.42 & 0.54 & 0.44 & 0.55 & 0.28 & 0.63 & 0 & 0 \\ 0.24 & 0.21 & 0.33 & 0.27 & 0.25 & 0 & 0.22 & 0.21 & 0.22 & 0.23 \\ 0.28 & 0.3 & 0 & 0.19 & 0.31 & 0.18 & 0 & 0 & 0.34 & 0.22 \\ 0.48 & 0 & 0.24 & 0 & 0 & 0.27 & 0.5 & 0.15 & 0.44 & 0.55 \end{pmatrix}^T$$

再根据标准化决策矩阵 R 计算出各评价指标的输出熵为 $H = (0.76, 0.75, 0.77, 0.72, 0.77, 0.72, 0.75, 0.65, 0.76, 0.72)$;进而确定各目标的熵权系数为 $W = (0.08, 0.10, 0.09, 0.10, 0.09, 0.11, 0.10, 0.13, 0.09, 0.11)$ 。

1.2.3 组合权重

用 $w_1 = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m)$ 表示有序二元对比模型确定的主权重, $w_2 = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_m)$ 为熵值法确定的客观权重,则本文采用的组合权重为 $w_i = 0.55a_i + 0.45b_i$,其中 a_i, b_i 分别为第 i 个属性的客观权重和主权重。

计算可得指标的综合权重向量为: $w = (0.12, 0.11, 0.07, 0.08, 0.07, 0.13, 0.07, 0.11, 0.12, 0.12)$ 。

1.3 单一评价方法

1.3.1 模糊优选

设系统中 m 个目标的权重向量为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$,满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i$ 为目标 i 的权重。决策 j 可用向量表示为 $r_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})^T$ 。则它与优等

确定主权重^[5]。即将 m 个目标进行二元比较重要性定性排序,经过一致性检验判断与调整得到排序一致的二元对比标度矩阵 E 。根据标度矩阵 E 各行元素值之和,从大到小排列,得到关于优的排序次数,再以排序第 1 位的目标作为标准,与其他目标进行重要性程度的比较,可得非归一化目标权向量 $w' = (w_1', w_2', \dots, w_m')$,然后进行归一化计算。由此,计算黄河流域水量调度方案优选的主观权重为: $w = (0.15, 0.12, 0.05, 0.06, 0.05, 0.15, 0.04, 0.1, 0.15, 0.13)$ 。

1.2.2 熵值法

信息论中,信息熵是系统无序程度的度量,信息是系统有序程度的度量,两者绝对值相等,符号相反。熵是信息论中最重要的基本概念,它表示从一组不确定事物中提供信息量的多少^[6]。熵技术就是利用决策矩阵和各指标的输熵来确定各指标的权系数的一种方法。

对于问题中 4 个方案中 10 个指标的多指标决策问题的决策矩阵 X ,首先将决策矩阵 X 转变成为标准化决策矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$,利用公式(1)、(2)对 X 进行规范化处理,得到:

$$d_{jg} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (w_i (r_{gi} - r_{ij}))^2}$$

它与劣等决策的差异即距劣距离为

$$d_{jb} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (w_i (r_{ij} - r_{bi}))^2}$$

式中, r_{gi} 和 r_{bi} 分别表示目标 i 对应的优等决策和劣等决策。

为了求解决策 j 相对隶属度 u_j 的最优值,建立如下的优化准则:决策集的加权距优距离平方与加权距劣距离平方之和为最小,即目标函数为

$$\min \left\{ F(u_j) = \sum_{j=1}^n \left[u_j^2 \left[\sum_{i=1}^m (w_i (r_{gi} - r_{ij})) \right]^2 + (1 - u_j)^2 \left[\sum_{i=1}^m (w_i (r_{ij} - r_{bi})) \right]^2 \right] \right\}$$

求目标函数式的导数,令导数 $\frac{dF(u_j)}{du_j} = 0$ 。根据隶属度矩阵优选最优决策方案,应用模糊优选理论,方案 j 对于理想最优方案的相对隶属度为

$$u_j = \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^m [w_i(r_{gi} - r_{ij})]^2}{\sum_{i=1}^m [w_i(r_{ij} - r_{bi})]^2}} \quad (6)$$

由公式(1)、(2)可得到多目标相对优属度矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.55 & 1 & 0 & 0 \\ 0.49 & 0.42 & 0.79 & 0.5 & 0.57 & 0 & 0.44 & 0.34 & 0.49 & 0.42 \\ 0.58 & 0.59 & 0 & 0.35 & 0.72 & 0.33 & 0 & 0 & 0.78 & 0.39 \\ 1 & 0 & 0.57 & 0 & 0 & 0.5 & 1 & 0.24 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T$$

应用模糊优选理论,将矩阵 R 与上节中所得权重 W 代入模糊优选模型公式(6),依次可求得每一种方案的相对优属度。从而求得各方案对于最优方案的隶属度向量为 $U=(u_1,u_2,u_3)=(0.273,0.101,0.121,0.280)$,即方案4为最优方案。

1.3.2 灰色关联分析

灰色系统理论认为,人们对客观事物的认识具有广泛的灰色性,即信息的不完全性和不确定性,因

$$R = \begin{bmatrix} 0.905 & 1.006 & 1.085 & 1.001 & 1.025 & 1.000 & 1.000 & 1.021 & 0.845 & 1.152 \\ 0.995 & 0.999 & 1.041 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 0.998 & 0.980 & 1.011 \\ 1.011 & 1.001 & 0.877 & 1.000 & 1.008 & 1.000 & 0.999 & 0.986 & 1.058 & 1.020 \\ 1.089 & 0.994 & 0.996 & 0.999 & 0.966 & 1.000 & 1.001 & 0.995 & 1.118 & 0.816 \end{bmatrix}^T$$

用灰色关联分析法对黄河流域水量调度方案进行评价时,关键在于准确合理地确定参考方案,它是关联度分析的基础,本文中参考方案为各评价指标均达到最优时的方案。由选取的方案评价指标可知,除了非汛期入海水量外,其他指标均是越大越好,由此,可得理想方案为: $X_0=(1.089,1.006,1.085,1.001,1.025,1.000,1.001,1.021,1.118,0.816)$ 。第 j 种方案的第 i 个指标与第 i 个理想指标的关联系数可表示为

$$\xi_{ij} = \frac{\min_i \min_j |r_j^0 - r_{ij}| + 0.5 \max_i \max_j |r_j^0 - r_{ij}|}{|r_j^0 - r_{ij}| + 0.5 \max_i \max_j |r_j^0 - r_{ij}|}$$

各关联系数构成黄河流域水量调度方案各指标的评判矩阵 E ,再根据评价指标权重向量 w 可得到综合评判矩阵 $R=E \cdot w=(r_1,r_2,r_3,r_4)=(0.779,0.785,0.797,0.937)$ 。关联度 r_j 的大小反映了该方案与参考方案的接近度,关联度 r_j 最大,则说明该方案越优于其他方案。根据计算结果, $r_4>r_3>r_2>r_1$,关联度 r_4 最大,即方案4为最优方案。

1.3.3 集对分析

集对分析(set pair analysis, 简记为 SPA)是赵克勤^[8]提出的一种系统分析方法,近年来的研究和应用日趋广泛。集对分析方法采用集对分析联系度(同异反联系度)来描述模糊、随机、中介和信息不完全导致的各种不确定性,从而把对不确定性的辩

从而求得各方案对于最优方案的隶属度为 $U=(u_1,u_2,\cdots,u_n)$,即可得方案的排序。按隶属度最大原则,相对隶属度最大的决策 $\max(u_j)$ 就是满意决策,便是优选对象。

而由客观事物所形成的是一种灰色系统。即部分信息已知、部分信息未知的系统^[7]。决策者对于各个水量调度方案的认识也是灰色的,因此可以借助于灰色理论来研究黄河水量调度多方案决策问题。

在决策矩阵 X 中,由于各评价指标的单位和量纲不同,因此首先应对决策矩阵进行规范化处理。本文所采用的规范化方法为取各指标与其平均值的比值,由此得到标准化矩阵 R :

证认识转换成一个具体的数学工具。

现有10位专家对4个方案的评价结果如表1所示:

表1 统计评价结果

方案	支持(a_k)	弃权(b_k)	反对(c_k)
方案1	8	0	2
方案2	9	1	0
方案3	9	0	1
方案4	8	2	0

若第 k 个决策方案的同异反联系度表示为

$$u_k = a_k + b_k i + c_k j$$

则4个方案的同异反联系度矩阵可表示为

$$H = \begin{bmatrix} 0.8 & 0 & 0.2 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 0 & 0.1 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

设 $a_0 = \max\{a_k, k=1,2,\cdots,n\}$, $c_0 = \min\{c_k, k=1,2,\cdots,n\}$, $b_0 = 1 - a_0 - c_0$,由 a_0, b_0, c_0 组成的同异反联系度 $u_0 = a_0 + b_0 i + c_0 j$ 所表示的决策方案称为理想决策方案。从而得到理想决策方案为 $u_0 = a_0 + b_0 i + c_0 j = 0.9 + 0.1 i$ 。同理,取 $a_{k0} = a_0 - a_k$, $c_{k0} = c_k - c_0$ 分别为第 k 个决策方案与理想方案的同一度差异和对立度差异,取 $b_{k0} = (1 - a_k)(b_k - b_0)$ 为它们的差异度差异。这样,称 $u_{k0} = a_{k0} + b_{k0} i + c_{k0} j$ 为第 k 个决策方案与

理想决策方案优化的差异度,本问题中优化的联系度差异矩阵为

$$E = \begin{bmatrix} 0.1 & -0.02 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.01 & 0.1 \\ 0.1 & 0.02 & 0 \end{bmatrix}$$

从集对分析的观点可知,1 个决策方案与理想方案的差异度越小越好。而且经过上面对差异 a_{k0} , b_{k0} , c_{k0} 的优化取值,它们对决策方案优劣的程度基本相同,从而避免了人为的加权计算处理对决策方案评价优选的影响,所以可以直接选取 $l_k = a_{k0} + b_{k0} + c_{k0}$ ($k=1,2,\cdots,n$) 作为第 k 个决策方案与理想决策方案的总差异,从而得到各方案的总差异矩阵 $L = (l_1, l_2, l_3, l_4) = (0.28, 0.00, 0.09, 0.12)$, 因此,方案的优劣排序为方案 2, 方案 3, 方案 4, 方案 1。由总差异的物理意义可知,总差异最小者即为最优决策方案,所以本问题中最优方案为方案 2。

1.4 组合决策评价方法

对某一具体的多属性决策问题,可以利用多种决策方法进行求解,但由于不同的决策方法其理论依据各不相同,使用的决策信息也不一样,因此用它们来解决同一决策问题往往会得到不同的决策结果,有时差别还会很大。由前面的计算可得 3 种方法对黄河流域水量调度方案的排序结果见表 2。

表 2 不同方法的评价排序

方法比选	水量调度方案排序			
	第 1 名	第 2 名	第 3 名	第 4 名
模糊优选法	方案 4	方案 1	方案 3	方案 2
灰色关联法	方案 4	方案 3	方案 2	方案 1
集对分析法	方案 2	方案 3	方案 4	方案 1

由表 2 可知,3 种方法得到的排序不一样,其中模糊优选和灰色关联法认为方案 4 为最优,集对分析法认为方案 2 为最优,不能直接判断方案 4 与方案 2 哪个最优,下面用组合决策的方法对其进行组合决策,选出最优方案。所谓组合决策,就是将多种决策方法(模型)同时用于解决同一问题,而后对所得到的几种决策结果进行综合比较,并利用适当的模型、方法将这些决策结果集结为一个更加符合实际的决策结果的过程。由于组合决策方法综合利用了各种决策方法所提供的有用信息,充分体现了各种决策方法的决策结果及优点,因此得到的最终决策结果更加客观可信,大大提高了决策的准确性和科学性。

在组合决策中,常用的组合方法有:平均法、Borda 法^[9] 和 Copeland 法。本文采用 Copeland 法。该方法表示在 S 种排序方法所得的排序结果中,若认为方案 A_i 优于方案 A_j 的方法个数大于认为方案

A_j 优于方案 A_i 的方法个数,则记为 A_iSA_j ;若两者个数相等,则记为 A_iEA_j ;否则记为 A_jSA_i 。即定义

$$M_{ij} = \begin{cases} 1 & A_iSA_j \\ 0 & A_iEA_j \\ -1 & A_jSA_i \end{cases} \quad (7)$$

定义方案 A_i 的净得分为 $c_i = \sum_{j=1, j \neq i}^m M_{ij}$, 按 c_i 的值由大到小对方案 A_i ($i=1,2,\cdots,m$) 进行排序。若对 A_i 及 A_j 有 $c_i = c_j$, 则 A_i 与 A_j 并列。利用 Copeland 法对其进行组合决策。根据式(7)定义,得各方案评价总得分如表 3 所示。

表 3 各方案评价总分

方案比选	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	总分
方案 1	0	-1	-1	-3	-5
方案 2	1	0	-1	-1	-1
方案 3	1	1	0	-1	1
方案 4	3	1	1	0	5

最后,各方案的净得分为 $C = (c_1, c_2, c_3, c_4) = (-5, -1, 1, 5)$, 则方案 4 即为最优方案。

2 结果分析

从从属度排序结果来看,黄河水量调度最好的方案是发电量较多,水库期末水位较大,非汛期供水量较多的方案。方案 4 为最优方案,这与决策人的主观愿望相一致,同时,这也与黄河流域水量调度在满足防凌、生态要求的前提下,尽量为沿途各省区多供水,多发电的经济效益最大化目标是一致的。另一方面也说明,该评价方法的建立是合理的,它能为黄河流域水量调度方案的优选提供一定的指导意义,对于黄河流域水量调度方案多目标决策提供一定的参考信息。

3 结 语

a. 针对主、客观赋权法各自的优缺点,提出了基于有序二元比较量化法和熵值法的组合赋权方法。该方法同时基于指标数据之间的内在规律和专家经验对决策指标进行赋权,能够克服主观赋权法和客观赋权法的不足,即兼顾到决策者对属性的偏好,又力争减少赋权的主观随意性,使属性的赋权达到主观与客观的统一,进而使决策结果真实、可靠,得到能够较为全面反映各指标真实属性的权重值。

b. 在多种单一决策方法的基础上,建立组合决策模型,计算实例表明,采用的组合决策评价法能够较为客观、准确地反映各调度方案的优劣,达到方案优选的目的。与其他方法相比较,组合决策方法能够综合考虑各决策方法所提供的有用信息,弥补了

各单一决策方法由于理论依据或适用范围不同所造成的决策缺陷,能够帮助决策者做出准确判断和选择,使决策结果更加客观可信,大大提高了决策的准确性和科学性。

c. 利用组合决策评价方法对黄河流域水量调度各方案进行了评价与优选。结果表明,该评价方法的建立是合理的,它能为黄河流域水量调度方案的优选提供一定的指导意义,对于黄河流域水量调度方案等多目标决策问题提供一定的参考。

参考文献:

[1] 王强,沈永平,陈英武. 多属性决策支持向量机模型与算法[J]. 控制与决策,2006,21(12):1338-1342. (WANG Qiang, SHEN Yongping, CHEN Yingwu. Model and algorithm for multiple attribute decision making based on support vector machine[J]. Control and Decision, 2006, 21(12):1338-1342. (in Chinese))

[2] 贾伟召,张绍良,朱建华. 二元对比排序法在土地定级中的应用[J]. 国土资源科技管理,2003,12(4):67-72. (JIA Weizhao, ZHANG Shaoliang, ZHU Jianhua. Application of dualistic contrast compositor method in land gradation[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2003,12(4):67-72. (in Chinese))

[3] 孟宪萌,胡和平. 基于熵权的集对分析模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报,2009,40(3):257-261. (MENG Xianmeng, HU Heping. Application of set pair analysis model based on entropy weight to comprehensive evaluation of water quality [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009,40(3):257-261. (in Chinese))

[4] 秦旭宝,董增川,费如君,等. 基于逐步优化算法的水库防洪优化调度模型研究[J]. 水电能源科学,2008,26(4):60-62. (QIN Xubao, DONG Zengchuan, FEI Rujun, et al. Research for optimal flood dispatch model for

reservoir based on POA[J]. Water Resources and Power, 2008,26(4):60-62. (in Chinese))

[5] 曹永强,王本德,刘金禄. 基于二元对比定权法的水质评价模型及其应用[J]. 水电能源科学,2002,20(3):19-21. (CAO Yongqiang, WANG Bende, LIU Jinlu. Water quality assessment model based on dualistic factor contrast for indexes weight calculation and its application [J]. Water Resources and Power, 2002, 20(3):19-21. (in Chinese))

[6] 高凯,郭跃,姜瑞华. 基于熵权灰度关联法的重庆市生态系统健康评价[J]. 广西师范学院学报:自然科学版,2009,26(1):72-77. (GAO Kai, GU Yue, JIANG Ruihua. Assessment of urban ecosystem health in Chongqing based on the entropy and gray correlation method[J]. Journal of Guangxi Teachers Education University: Natural Science Edition,2009,26(1):72-77. (in Chinese))

[7] 李瑞杰,李德竹,梅润雨,等. 基于集对分析和可变模糊集的区域抗旱能力评价模型[J]. 水资源保护,2013,29(5):59-64. (LI Ruijie, LI Dezhu, MEI Runyu, et al. Regional drought-resistant ability assessment model based on set pair analysis and variable fuzzy set [J]. Water Resources Protection,2013,29(5):59-64. (in Chinese))

[8] 赵克勤. 基于集对分析的方案评价决策矩阵与应用[J]. 系统工程,1994,12(4):67-72. (ZHAO Keqin. An applications of the scheme-appraisal decision matrix based on set pair analysis [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering,1994,12(4):67-72. (in Chinese))

[9] 王晓敏,胡毓达. 群体决策的模糊 Borda 数规则[J]. 系统工程理论方法应用,2003,12(1):14-19. (WANG Xiaomin, HU Yuda. The fuzzy Borda number rule for group decision making [J]. Systems Engineering-theory Methodology Applications, 2003, 12(1):14-19. (in Chinese))

(收稿日期:2014-08-31 编辑:高渭文)

(上接第 64 页)

[8] 王鑫,马炳娜,张毅. 武汉城市圈水资源利用状态分析[J]. 水电与新能源,2011(3):34-37. (WANG Xin, MA Bingna, ZHANG Yi. Analysis of water resources utilization status of Wuhan City Circle[J]. Hydropower and New Energy,2011(3):34-37. (in Chinese))

[9] 李长健,陈捷. 武汉城市圈水生态环境保护的路径选择[J]. 安徽农业科学,2012,40(28):13966-13968. (LI Changjian, CHEN Jie. The path choice of water ecological environment protection of Wuhan City Circle [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(28):13966-13968. (in Chinese))

[10] 黄彧. 武汉城市圈水资源承载力综合评价研究[D]. 武汉:华中师范大学,2012.

[11] SMEETS E, WETERING R. Environmental indicators: typology and overview [R]. Copenhagen: European Environmental Agency, 1999.

[12] 周念清,赵露,沈新平,等. 基于压力驱动模型评价长株潭地区水资源脆弱性[J]. 同济大学学报:自然科学版,2013,41(7):1061-1066. (ZHOU Nianqing, ZHAO Lu, SHEN Xinping, et al. A DPSIR model for vulnerability assessment of water resources system in Chang-Zhu-Tan Area[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2013,41(7):1061-1066. (in Chinese))

[13] 申锦标,吕跃进. 一种基于向量贴近度的组合赋权方法[J]. 重庆工学院学报:自然科学版,2009,23(2):75-77,89. (SHEN Jinbiao, LYU Yuejin. A combination weighting method based on the close-degree of vector[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology: Natural Science, 2009,23(2):75-77,89. (in Chinese))

[14] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2007:73.

[15] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2007:149.

(收稿日期:2014-04-10 编辑:高渭文)