

多目标模糊决策在水电站机电设备方案优选中的应用

侯才水

(福建水利电力职业技术学院水利工程系 福建 永安 366000)

摘要 根据多目标模糊决策理论,建立水电站机电设备选择的模糊优化理论模型,结合层次分析法,将该模型应用于某水电站机电设备方案优选中,模型计算出的最优方案与工程实际所采用的一致,有效地解决了机电设备选择多因素和模糊性的困难。实例应用表明,该模型计算简便,模糊决策所得的相对隶属度具有较大的离散性,更易于方案决策优选。

关键词 多目标模糊决策;水电站机电设备;方案优选;层次分析法;模糊优化模型

中图分类号 TV734 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2006)02-0062-03

Application of multi-objective fuzzy decision-making to optimal selection of electromechanical equipment of hydropower stations/HOU Cai-shu(*Department of Hydraulic Engineering, Fujian College of Water Conservancy and Electric Power, Yong'an 366000, China*)

Abstract : An electromechanical equipment optimal selection model for hydropower stations was developed based on the theory of multi-objective fuzzy decision-making. In combination of analytic hierarchy process, the model was applied to a hydropower station, and it effectively overcame the influences of multi-factor and fuzziness on the selection of electromechanical equipment. Practice shows that the model is simple in calculation, and the relative membership degree obtained is of greater discreteness, which makes it easier to optimize schemes and make decisions.

Key words : multi-objective fuzzy decision-making; electromechanical equipment of hydropower station; optimal selection of scheme; analytic hierarchy process; model of fuzzy optimization

众所周知,影响水电站机电设备选择的因素很多,如电站水头(最大净水头 $H_{\max}$ 、最小净水头 $H_{\min}$ 、额定水头 H_r)、装机容量、水能资源的开发利用方式、电站在区域电网中的重要性、发电效益、单位电能投资、工期、生态环境以及机电设备的制造安装工艺、设备能效、投资、使用寿命等。机电设备的选择直接关系到水电站工程功能的实现与效益的发挥,在水电站可行性研究和初步设计阶段,水电站机电设备选择的重点是在各种方案中评选出最优方案,各方案在一系列技术和经济指标上存在不同程度的差异,若仅对主要影响因素(指标)进行对比,然后或以工程投资最经济为主,或凭设备使用年限长为主,或以设备能效高为主等进行水电站机电设备选择,这种比选方法人为因素所占比重较大,往往容易造成判断失误,引起后期设计的不断变更或工程人力、物力及财力的浪费,这就给水电站机电设备优选工作带来了困难。只有综合考虑多因素的影响,才能作出正确的选择,这实际上是多目标模糊决策的问题。

某水电站为低水头河床式水电站,坝址以上流域面积约 7 650 km²,水库总库容约 2 780 万 m³,最大净水头 12.2 m,最小净水头 6.1 m,额定水头 9.5 m,水库具有日调节性能,该工程以发电为主。电站主要建筑物有混凝土重力坝、泄洪闸、发电厂房和开关站等。本文根据多目标模糊决策理论,建立多目标决策模糊优化理论模型,结合层次分析法,将其应用于该水电站机电设备的选择上,取得了较为理想的结果,且具有较强的可靠性和实用性。

1 模型建立

设有 n 个待决策优化的方案组成备选方案集,每个决策优化的方案有 m 个评价因素,即组成评价因素集,若每个评价因素对每一备选方案的评判用特征量表示,则有下面的特征量矩阵^[1]:

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

式中 u_{ij} 为第 j 个备选方案第 i 个评价因素的特征量

($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)。一般情况下它具有两种类型:①“越大越优”型,第 i 因素对第 j 种评语的隶属度计算式为 $r_{ij} = \frac{u_{ij}}{u_{i\max}}$,其中 $u_{i\max}$ 为 u_{ij} 中的最大值;②“越小越优”型,隶属度计算公式为 $r_{ij} = \frac{u_{i\min}}{u_{ij}}$,其中 $u_{i\min}$ 为 u_{ij} 中的最小值。于是,可得到隶属度矩阵:

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

由于各因素对优选方案的影响程度不同,所以评价者对各种因素赋上不同的权重,可以看成是因素集的模糊子集,记 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)^T, 0 \leq a_i \leq 1$ ($i = 1, 2, \dots, m$)。权向量 A 可在综合分析并结合经验评定的基础上运用层次分析法(AHP法)确定。首先引入判断两因素相对重要性权重的尺度与评价规则,见表1^[2]。

表1 判断两因素相对重要性权重的尺度与评价规则

判断尺度	评价规则
1	两因素相比同样重要
3	两因素相比,一个比另一个稍微重要
5	两因素相比,一个比另一个明显重要
7	两因素相比,一个比另一个强烈重要
9	两因素相比,一个比另一个极端重要
2, 4, 6, 8	介于上述两相邻判断尺度中间
1~9的倒数	若指标 i 与 j 比较得判断 a , 则指标 j 与 i 比较得 $1/a$

依据表1,可求出相对于优选方案由各评价因素两两比较得到的判断值构造的判断矩阵。

由式(3)和式(4)计算判断矩阵的最大特征根 λ_1 及对应的归一化特征值 a_i 。

$$a_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{k=1}^m x_{kj}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij} a_j}{a_i} \quad (4)$$

式中 x_{ij} 为 i 因素相对于 j 因素的重要性权重值。

由式 $C_I = \frac{\lambda_1 - m}{m - 1}$ 和 $C_R = \frac{C_I}{R_I}$ (R_I 为随机一致性指标)计算出判断矩阵的一致性指标 C_I 和一致性比率 C_R ,检验判断矩阵是否满足一致性条件(当 $C_R < 0.1$ 时,即认为满足一致性条件),否则就要调整判断矩阵,使之具有满意的一致性。以 λ_1 所对应的归一化后的特征值作为所要求的权重值 a_i ,从而得到权向量 A 。

由于在 n 个方案中优选或排序具有相对意义,

依据模糊数学优化理论,定义系统的优向量和次向量分别为

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_m)^T = (r_{11} \vee r_{12} \vee \cdots \vee r_{1n}, r_{21} \vee r_{22} \vee \cdots \vee r_{2n}, \dots, r_{m1} \vee r_{m2} \vee \cdots \vee r_{mn})^T \quad (5)$$

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T = (r_{11} \wedge r_{12} \wedge \cdots \wedge r_{1n}, r_{21} \wedge r_{22} \wedge \cdots \wedge r_{2n}, \dots, r_{m1} \wedge r_{m2} \wedge \cdots \wedge r_{mn})^T \quad (6)$$

根据模糊优选理论,通过最小二乘法准则构造目标函数

$$\min \{ F(V_j) = V_j^2 \left[\sum_{i=1}^m [a_i (r_{ij} - g_i)]^p \right]^{\frac{2}{p}} + (1 - V_j)^2 \left[\sum_{i=1}^m [a_i (r_{ij} - b_i)]^p \right]^{\frac{2}{p}} \} \quad (7)$$

对目标函数求导,并令其导数为零,得到系统的模糊优化理论模型^[3]为

$$V_j = \left[1 + \frac{\left| \sum_{i=1}^m (a_i |r_{ij} - g_i|)^p \right|^{\frac{2}{p}}}{\left| \sum_{i=1}^m (a_i |r_{ij} - b_i|)^p \right|} \right]^{-1} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

式中: a_i 为评价指标的权重; p 为距离系数, $p = 1$ 时为海明距离, $p = 2$ 时为欧氏距离。通常两种距离计算所得的结论是一致的。

根据模糊优化理论模型(8)计算出 n 个备选方案的优属度,根据最大优属度,即可得到各备选方案的综合优劣排序。

2 某水电站机电设备方案优选

某水电站工程在初步设计时,对水电站机电设备选择影响较大的因素如水电站装机容量、单机容量、水能资源的开发利用方式、电站在区域电网中的重要性、发电效益、工期、生态环境以及机电设备的制造安装工艺、设备能效、投资、使用寿命等因素进行全面分析论证,认为对该工程而言,机电设备的投资、年发电量、单位电能投资、设备能效和使用寿命这5个因素最重要,其他因素对该水电站机电设备选择的影响相对较小。根据工程特点,在初步设计时提出该电站机电设备的4个备选方案,方案1:采用2台G24BN28A-WP-550和SFWG21.5-60/5750相配套的机电设备;方案2:采用3台GZSK111B-WP-550和SFWG15-68/5700相配套的机电设备;方案3:采用3台ZZ560A-LH-450和SF12-56/7000相配套的机电设备;方案4:采用4台GZ990-WP-420和SFWG12.5-48/4950相配套的机电设备。现根据影响水电站机电设备选择的5个主要因素,利用多目

标模糊决策方法对上述 4 个方案进行优选。根据该工程的具体情况,对应不同水电站机电设备选择方案的评价指标组成的特征量矩阵见表 2。

表 2 特征量矩阵

方案	设备投资/ 万元	年发电量/ 万 kW·h	单位电能投资/ (元·(kW·h) ⁻¹)	设备能 效/%	设备 寿命/a
1	12 820	16 795	2.116	90.4	20
2	11 692	16 112	1.953	92.4	17
3	13 485	18 456	2.393	87.3	18
4	12 359	16 370	1.965	85.2	19

显然,设备投资和单位电能投资这 2 项因素是“越小越优”型指标,而年发电量、能效、寿命是“越大越优”型指标,由隶属计算公式可得隶属度矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0.912 & 1 & 0.867 & 0.946 \\ 0.910 & 0.873 & 1 & 0.887 \\ 0.923 & 1 & 0.816 & 0.994 \\ 0.978 & 1 & 0.944 & 0.922 \\ 1 & 0.850 & 0.9 & 0.950 \end{bmatrix}$$

根据层次分析法可求得相对于优选方案由设备投资、年发电量、单位电能投资、设备能效和设备使用寿命 5 个因素两两相对重要性权重值判断矩阵:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 2 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

由式(3)和式(4)计算得判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max} = 5.065$,归一化后的特征向量,即所要求的权向量 $A = (0.358 \ 0.202 \ 0.131 \ 0.167 \ 0.142)^T$ 。

计算一致性指标 $C_I = 0.0163$,当 $m = 5$ 时,查得随机一致性指标 $R_I = 1.12^{[3]}$,计算随机一致性比率

$C_R = 0.015 < 0.1$ 。由此可见,上述判断矩阵具有满意的一致性。

根据式(5)和式(6),系统的优向量和次向量分别为

$$G = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$$

$$B = (0.867 \ 0.873 \ 0.816 \ 0.922 \ 0.850)^T$$

将 R, G, B 和 A 代入式(8)并令 $p = 2$ 求得

$$V = (0.769 \ 0.719 \ 0.424 \ 0.635)$$

同理,当 $p = 1$ 时,结论一致。

根据最大隶属度原则所考虑的 4 个方案的相对优先顺序为:方案 1、方案 2、方案 4、方案 3。因此,水电站机电设备方案 1 为最优,该计算结果与工程实际所采用的方案一致。

3 结 语

多目标模糊决策方法是一种较新的方案优选方法,其多目标模糊决策所得的相对优属度有更大的离散性,更易于方案决策优选。通过对某水电站机电设备方案选择进行实际应用,其结果与实际相符。该方法计算简便,结果合理,具有较强的应用性和可操作性,可为水电站机电设备方案优选提供决策依据。

参考文献:

[1] 彭祖赠. 模糊(Fuzzy)数学及其应用[M]. 湖北:武汉大学出版社,2003.
[2] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用[M]. 大连:大连理工大学出版社,1994.
[3] 尤凤奇. 多层次模糊决策[J]. 闽江学院学报,2003(2):8-12.

(收稿日期 2005-01-22 编辑 骆超)

· 简讯 ·

首届全国水工抗震防灾学术会议将在河海大学召开

由中国水力发电工程学会抗震防灾专业委员会主办的首届全国水工抗震防灾学术会议将于 2006 年 10 月 28 ~ 30 日在南京河海大学召开。会议将就水工建筑物与地基材料动态特性、水工建筑物抗震分析与设计、水工结构现场检测与监测、健康诊断与鉴定、水工建筑物抗震防灾与加固改造及水工结构工程振动、爆炸与冲击等专题,结合国内外近年来的发展和研究工作,进行广泛的学术交流,并将向第 14 届世界地震工程大会推荐优秀学术论文。会议将分以下专题进行交流和研讨:①水工建筑物工程抗震分析理论与方法;②水工建筑物抗震试验研究方法和技术;③水工抗震设计与施工;④水工建筑物场地地震动输入;⑤水工建筑物与地基材料动态特性;⑥水工建筑物抗震防灾与加固改造;⑦水工结构工程振动、爆炸与冲击;⑧结构-水体-地基动力相互作用;⑨水工建筑物现场测试与动力性态检测、健康诊断与鉴定;⑩水工结构隔震、控震技术;⑪水库诱发地震监测和研究;⑫水工结构强震观测、震后调查与分析。本次会议投稿截止日期为 2006 年 7 月 30 日,联系地址:210098 南京市西康路 1 号河海大学水工结构研究所。

(本刊编辑部供稿)