

基于随机赋权法的水电项目综合评价方法及其应用

徐长义¹, 钟登华¹, 曹广晶²

(1. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072; 2. 中国长江三峡工程开发总公司, 湖北 宜昌 443002)

摘要 针对大型水电项目建设的特点, 提出了水电项目的多目标综合评价方法. 该方法采用随机赋权法确定权重, 并与 Monte-Carlo 法模拟相结合, 分析权重的变化对综合评价结果的影响, 并可进行多方案比较分析. 将该方法应用于金沙江乌东德水电站的正常蓄水位选择, 结果表明该方法是可行的, 可为规划阶段项目方案的选择提供决策依据.

关键词 水电项目 综合评价方法 随机赋权法 Monte-Carlo 法

中图分类号 F407.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2008)03-0418-05

截止 2006 年底, 我国水电装机容量规模达到 1.28 亿 kW. 根据国家可再生能源发展规划, 今后 15~20 年将是我国水电开发的高潮期, 规划到 2010 年水电装机容量达到 1.6 亿 kW, 到 2020 年水电装机容量达到 3.0 亿 kW^[1]. 水电项目具有工程规模庞大、结构复杂、投资巨大、建设周期长、涉及面广、影响深远等特点, 一方面它可以促进所在地区的经济社会发展, 另一方面也不可避免对局部生态环境造成一定的影响, 这不仅使项目决策的难度增大, 而且对决策的正确性提出了更高的要求. 为尽量减小和避免各种不利影响和风险, 有必要在项目规划和可行性研究阶段对工程的经济效益、社会效益和生态环境效益进行系统的综合评价. 进行水电项目综合评价有如下几项关键技术: 评价指标体系的建立、指标权系数的确定、评价指标的量化和评价指标的合成等^[2-3]. 系统综合评价是个复杂的过程, 评价的客观性和准确性很大程度上取决于上述 4 项关键技术是否科学合理. 近年来, 众多学者在提高系统评价的简便性和可信性方面做了大量的工作, 如主成分分析法、层次分析法、模糊综合评价法、人工神经网络等技术在各行各业的应用, 这些都推动了综合评价理论、方法和实践的创新^[3]. 针对水电项目规划和可行性研究阶段的特点, 本文提出了一种基于随机赋权法的多目标综合评价方法.

1 水电项目综合评价指标体系的建立

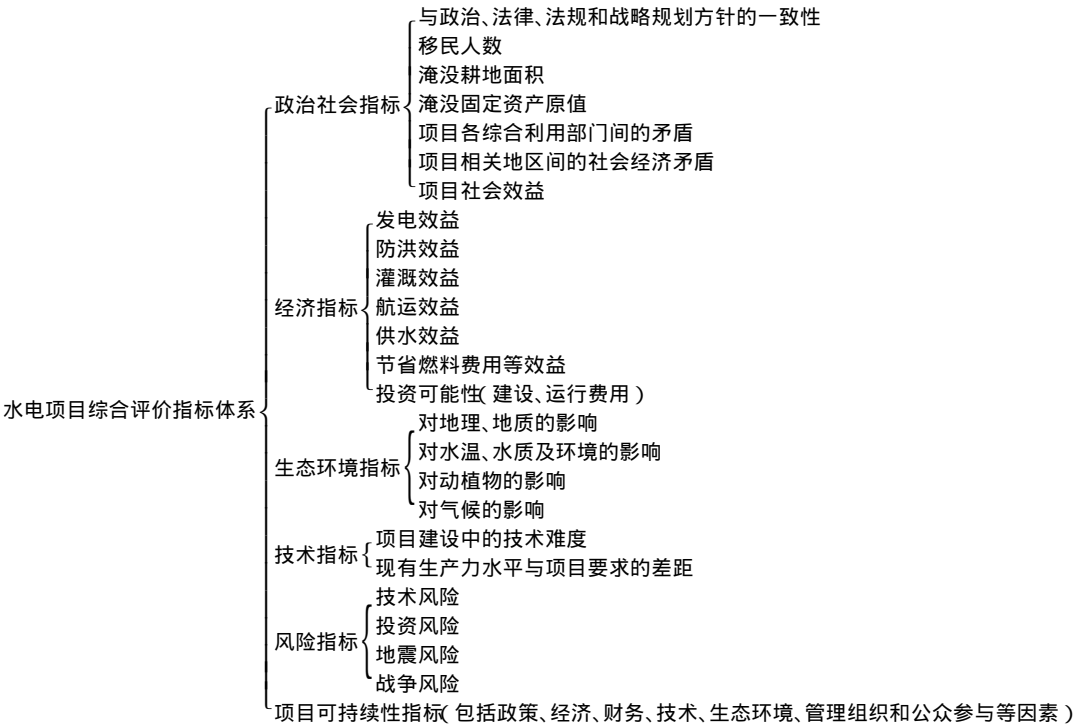
评价指标体系的建立是系统综合评价方法的应用基础, 指标体系的选择关系到综合评价的结论, 因此建立一个能客观、全面地描述系统特征的综合评价指标体系是科学评价的前提. 在建立综合评价指标体系时, 要遵循完全性、客观性、非相容性、简洁性等原则, 要收集大量、全面、翔实的资料, 尽可能从客观的角度确定评价指标. 表 1 为一般情况下的水电项目综合评价指标体系, 对于具体工程项目, 表中指标可针对实际情况进行增补和删减.

2 评价指标权重的确定

综合评价方法应用实践可知, 权重的选择对决策结果的影响很大, 决定了多目标综合评价的精度, 而权重往往体现个人的主观感受和经验, 是通过直觉、经验等超理性活动产生的结果, 具有一定的随机性. 为了合理地确定权系数, 人们提出了变权及主客观赋值方法^[4-7]; 对于多属性权值, Yu 等^[8]提出了一种基于概率理论的交互二元模糊赋权方法, 熊文涛等^[9]利用已有的客观赋权方法, 提出了基于灵敏度分析的多属性权值确定方法. 然而, 用精确的权重来反映指标在评价中的重要性反而不够精确^[10], 为此笔者对综合评价方法数学模型中权重的确定过程进行了改进, 引入随机权重的概念, 并通过模拟手段对评价结果与权重变化间的关系

表 1 一般情况下的水电项目综合评价指标体系

Table 1 Indices of comprehensive evaluation for hydropower projects



进行进一步的分析.下面给出确定权重 $a_i(i = 1, 2, \dots, m)$ 的具体步骤:

a. 由于认识上的限制,对权重的选择有一定的不确定性.评价人选择权重等往往是根据个人经验或偏好确定一个范围,然后在这个范围内随机地取值,因此,权重的选择具有一定的随机性.为了更加真实地反映权重确定的过程,在给指标的重要程度打分时,不要求给出具体分值,而是给出一个区间.邀请 s 位熟悉决策问题的专家对指标 i 的重要程度进行打分,可得到 s 个区间值 $[x_j, y_j]_i$,其中 $j = 1, 2, \dots, s$.在对每个因素打分时,要先将总分 100 大致地在 n 个因素中给以适当的分配,并力求打出的 n 个区间的中心之和与 100 相近.用区间取值代替精确的数值可以有效避免后者的盲目性,使权重分数的取值更趋于合理.

b. 找出 s 个区间的最小值 $x_{\min} = \min\{x_j\}_i$ 和最大值 $y_{\max} = \max\{y_j\}_i$,设 $w = y_{\max} - x_{\min} + 1$,为区间 $[x_{\min}, y_{\max}]_i$ 上的每个整数值,统计其出现的频率 p_k 和累积频率 $P_k, P_k = P_{k-1} + p_k$,其中 $P_0 = 0, k = 1, 2, \dots, w$.

c. 在综合评价时,生成一个 $[0, 1]$ 之间的随机数 q_j ,对应找到 k 使得 $P_k > q_j > P_{k-1}$,得到权重 $a_i = x_{\min} + k - 1$.

d. 同理得到 m 个指标的权重分数,组成向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$.

e. 将向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 归一化,仍采用此记号,就得到了权重向量 a_i 就是指标 i 的权重.

当然,这里只是确定了权重组合的一种可能,在进行综合评价时,要采用 Monte-Carlo 法^[11-12]对各种权重组合进行模拟,以观察评价结果的变化情况.当评价结果波动很大时,说明各决策者对评价指标的认识很不一致,应重新进行协调,然后再作评价.

3 基于随机赋权法的水电项目综合评价方法

3.1 建立综合评价指标体系

根据水电站投资的影响因素,依照表 1 显示的水电项目综合评价通用指标体系,针对具体工程项目,选取适当指标,建立综合评价指标集合

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\} \tag{1}$$

3.2 评价指标值的确定及处理

方案评价指标可分为定量指标和定性指标.将 n 个方案的 m 个指标量化,定性指标和定量指标分别按照下面的方法进行规范化处理,得到指标值矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{2}$$

a. 定量指标的量化. 评价指标体系中各定量指标, 因度量不一致, 具有不可公度性. 为了便于比较, 必须对各指标值进行一致处理, 通过规范化换算统一到 $[0, 1]$ 范围内. 各指标量化的方法随评价指标的类型有所不同, 分为效益型、成本型、固定型、区间型、偏离型和偏离区间型等类型.

b. 定性指标的量化. 如社会效益、政治影响中的有些评价指标是定性指标, 难以得到定量值, 决策人只能对这些目标给出定性的估计和判断. 对这类指标常可采用模糊评分法、区间打分法、变异系数法和 AHP 法等确定. 下面引入模糊隶属度的概念来对这些目标量化. 将指标因素按照实际需要划分为 m 个等级, 分别记为 $v_1, v_2, \dots, v_m, v_1 > v_2 > \dots > v_m$ 且 $v_1, v_2, \dots, v_m \in [0, 1]$, 则构成一个评语的有限集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$. 对指标 i 评定采用“民意测验”等办法, 每个评价人选择一个等级, 然后统计每个评价等级出现的频率 r_{ik} , 则方案 j 对指标 i 的隶属度等于出现频率最大的评价等级值, 即 $\mu_{ij} = v_k$, 其中 $r_{ik} = \max\{r_{il}\}, l = 1, 2, \dots, m$, 或者取为平均值, 即

$$\mu_{ij} = \sum_{l=1}^m r_{il}v_l \tag{3}$$

3.3 指标权重的确定

采用随机赋权法为每个评价指标确定权值, 得权重:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_m) \tag{4}$$

3.4 投资方案综合评价

在评价指标已经量化, 权重已经确定后, 就可以用指标合成技术建立总体性能评价函数. 合成的模型一般可分为加法模型、乘法模型、函数模型、最大隶属度模型、加权和模型等. 由于加权和模型考虑了组成元素之间相对重要程度, 而且以权值的形式融入公式中, 使得评价过程具有很好的合理性. 本文采用加权和模型作为综合评价的合成模型. 用加权和法求得 n 个方案的综合评价价值:

$$B = AR = (a_1, a_2, \dots, a_m) \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \tag{5}$$

3.5 进行多次综合评价模拟分析

重复 3.3, 3.4, 进行多次综合评价仿真计算, 然后分析评价结果的分布情况及与权重的关系.

4 工程实例

乌东德水电站是金沙江下游河段规划建设的 4 个水电梯级(乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝)中的最上游梯级. 坝址所处河段的右岸隶属云南省昆明市禄劝县, 左岸隶属四川省会东县. 乌东德水电站上距攀枝花水文站 213.9 km, 下距白鹤滩水电站 182.5 km, 控制流域面积 40.61 万 km^2 , 占金沙江流域面积的 86%, 多年平均流量 3810 m^3/s , 多年平均径流量 1200 亿 m^3 . 《长江流域综合利用规划简要报告(1990 年修订)》中乌东德水电站的水库正常蓄水位为 950 m, 电站装机容量 5600 MW. 在预可行性研究工程规模论证中, 乌东德水电站正常蓄水位专题研究选取 950 m, 970 m, 975 m, 980 m 共 4 个方案进行比较, 主要分析论证提高正常蓄水位的可能性和可行性, 涉及对库区成昆铁路的影响及对策、建设征地及移民安置规划、生态与环境影响研究、地形地质条件与枢纽工程方案设计等内容.

4.1 建立综合评价指标体系

在进行初步筛选分析的基础上, 主要从对成昆铁路的影响、对攀枝花市的影响、对库区淹没土地及移民安置的影响、对生态环境的影响、工程技术方案的可靠性和经济效益角度, 对上述 4 个方案进行评价. 因此建立综合评价指标集合 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7\} = \{\text{成昆铁路加固防护和改建工程的投资, 对攀枝花市的影响, 库区淹没土地面积, 需要安置移民数量, 对生态环境的影响, 工程技术方案的可靠性, 单位电能投资}\}$.

4.2 评价指标量化

需要注意的是,大部分指标可以得到具体的值,但有些定性指标,由于水电项目的特殊性,仍需要在大量定量和定性信息的基础上借助经验来判断,如对攀枝花市的影响、对生态环境的影响等,其合理性或可行性仍需进一步判断。

4.3 权重确定

下面以成昆铁路加固防护和改建工程的投资(u_1)指标为例,说明权重的确定过程。首先请 10 位专家对指标拟定权重,对指标采用百分制进行评分,每个评分人给出一个权重区间(表 2),统计得到各个权重值发生的频率和累计频率,绘出图 1。从图 1 可以看出,权重值的分布近似于正态分布,当统计值较多时可以用一些经验分布拟合,以方便在仿真中产生权重值。

表 2 指标 u_1 权重分值

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
区间	[8 ,11]	[10 ,14]	[8 ,12]	[7 ,13]	[10 ,14]	[7 ,12]	[10 ,15]	[7 ,11]	[6 ,12]	[9 ,13]

4.4 方案评价

本文对 4 种方案进行了 1000 次模拟,为了全面分析,对每次仿真结果进行了排序,并赋以相应的分值。模拟中除了统计每个方案成为最优方案的次数,也要统计其 1000 次模拟的总分数。结果表明,这 2 项指标都是方案 1 最优,2 种结果一致。但有时 2 种结果可能会不同,有的方案成为最优方案的次数较多,但其对权重的变化比较敏感,因此评价结果的波动也很大,所以总分数反倒不是最高。对于这种情况,应该慎重地选择权重,使权重值更为准确地反映各决策人的判断。

4.5 结果分析

设计单位初步推荐的乌东德水电站正常蓄水位方案为 980 m 方案,而本文计算得出最优方案为 950 m 方案,主要是考虑对成昆铁路、攀枝花市、库区淹没土地及移民安置以及生态环境等影响因素造成的。由于各正常蓄水位方案的单位电能投资差距较小,所以无论各因素权重如何调整,方案 2、方案 3 和方案 4 成为较优方案的可能性很小。这也说明,水电项目规划方案应尽量避免“高坝大库”,尽量将其对移民和生态环境的影响降低到最低限度。

5 结 论

- a. 针对权系数确定中的随机性,利用随机赋权法确定权重,并与 Monte-Carlo 法模拟结合,提出了基于随机赋权法的水电项目多目标综合评价方法,全面考虑了水电项目投资决策多因素、多目标、多指标的特点,概念清晰,逻辑严密,且计算方法较为简单易行。
- b. 采用基于随机赋权法的水电项目多目标综合评价方法对乌东德水电站正常蓄水位的 4 个方案进行了评价,验证了该方法的可行性,可为规划阶段项目方案的选择提供决策依据。
- c. 一般的水电工程都具有多目标性、各目标之间的相异性和矛盾性以及影响因素的多样性,要求决策分析不仅要考虑经济因素,而且要充分研究、分析工程建设的政治社会因素、技术条件、自然条件、生态环境保护、资源开发有效利用等“非经济因素”。乌东德水电站实例应用表明,水电项目规划方案应尽量避免“高坝大库”,尽量将其对移民和生态环境的影响降低到最低限度。

参考文献:

[1] 彭程. 21 世纪中国水电工程 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
[2] 史海珊,何似龙. 水电工程建设系统综合评判方法 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.

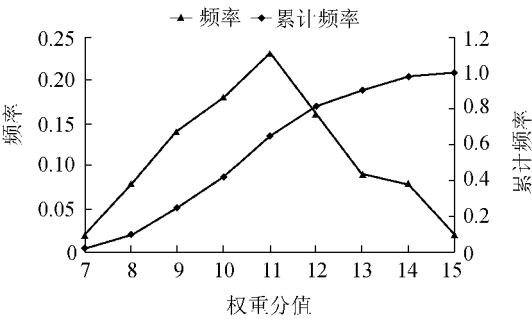


图 1 指标 u_1 的权重分值累计分布曲线
Fig.1 Integral distribution curve of the weights of u_1

- [3] 李振富, 杨业. 水电站投资方案综合评价模型研究[J]. 水力发电学报, 2003(3):1-10.
- [4] MA Jian, FAN Zhi-ping, HUANG Li-hua. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 112(2):397-404.
- [5] 梅绍祖. 模糊控制与变权的确定[J]. 系统工程理论与实践, 1995, 15(5):78-82.
- [6] 叶新霞, 张瑶兰, 周旭云. 水利工程安全评价的主客观融合赋权模型初探[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(增刊):42-43.
- [7] DOGAN S Z, ARDITI D, GUNAYDIN H M. Determining attribute weights in a CBR model for early cost prediction of structural systems[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2006, 130(10):1092-1098.
- [8] YU Hong-fu, TIEN Zu-wu. A probabilistic approach to multiple attribute decision making with fuzzy preference information on alternatives[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2004, 4(4):179-186.
- [9] 熊文涛, 刘三阳, 李卫华. 一种基于灵敏度分析的多属性权值确定方法[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(12):92-95.
- [10] 李景茹. 区间型多目标决策权重确定及合理性判别[J]. 深圳大学学报 理工版, 2005, 22(2):173-176.
- [11] AMAR J G. The Monte Carlo method in science and engineering[J]. Computing in Science and Engineering, 2006, 8(2):9-19.
- [12] JIN Xin, ZHANG A X. Reclaiming quasi-Monte Carlo efficiency in portfolio value-at-risk simulation through fourier transform[J]. Management Science, 2006, 52(6):925-938.

Comprehensive evaluation method for hydropower projects based on stochastic weight assignment and its application

XU Chang-yi¹, ZHONG Deng-hua¹, CAO Guang-jing²

(1. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China ;

2. China Three Gorges Project Corporation, Yichang 443002, China)

Abstract : In consideration of the characteristics of large-scale hydroelectric projects, a multi-objective comprehensive evaluation method is established. Combining the stochastic weight assignment method for weights calculation and the Monte-Carlo simulation method, this method is used to analyze the effects of the changes of weights on evaluation results, which can be used in comparative analysis of multiple programs. The method has been applied to the selection of the normal water level for the Wudongde Hydropower Station on the Jinsha River, proving its feasibility and providing a basis for choosing programs at the planning stage.

Key words : hydropower project ; comprehensive evaluation method ; stochastic weight assignment method ; Monte-Carlo method