

# 基于模糊-集对分析的水电项目方案综合评价

章恒全, 王慧

(河海大学商学院, 江苏南京 211100)

**摘要:** 针对水电工程项目方案评价中的主观性和随意性所引起的投资风险,以某水电站的4个项目方案为例,建立基于模糊综合评价法的水电工程项目方案指标评价体系。在此基础上,结合模糊综合评价法构建隶属度函数与集对分析反映同、异、反系统的特点,提出了基于模糊-集对分析的评价模型。同时,由变异系数法客观确定了指标权重,通过划分方案指标的评价等级并构造联系度函数而得到集对联系度与集对势,给出了水电项目各方案综合水平发展趋势与不确定排序,从而提高了项目方案的优选效率并降低了业主或投资方投资风险。

**关键词:** 水电项目; 方案评价; 模糊综合评价法; 集对分析; 变异系数法

中图分类号: TV214; C934

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)02-0128-04

## Comprehensive evaluation of hydropower project scheme based on analysis of fuzzy-set pair

ZHANG Hengquan, WANG Hui

(Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** Aimed at the investment risk which is brought from the subjectivity and randomness of owners or investors in evaluation of hydropower project scheme, taking the four project schemes of hydropower station for example, the paper established the evaluation index system of hydropower project based on method of fuzzy comprehensive evaluation. On the basis, combining method of fuzzy comprehensive evaluation, the paper constructed membership function and fuzzy-set pair analysis which reflected the characteristics of same-indefinite-contrary system. Then it put forward the evaluation model based on analysis of fuzzy-set pair. Meanwhile, the weight of each index was determined by variation coefficient method. The connection degree and set pair potential were gotten through classifying plan index level of evaluation and constructing connection degree function. The paper finally gave the development trend and uncertainty rank of comprehensive level of every scheme of hydropower project so as to heighten the optimization efficiency of project scheme and reduce the investment risk of owner or investor.

**Key words:** hydropower project; evaluation of scheme; method of fuzzy comprehensive evaluation; set pair analysis; method of variation coefficient

随着能源短缺、环境污染程度的加深,清洁再生的水电资源成为国家乃至企业投资的重点领域之一,水电建设投资呈现出迅速发展的局面。水电站项目方案的评价与选择不但关乎水电站的建设质量,也关系着投资企业的投资成败,乃至水电站周边城镇的长远发展。

在我国,最常用的项目方案综合评价体系是模糊综合评价模型,该模型已应用于项目风险评估、优化选址、工程评标等研究领域中<sup>[1-3]</sup>。本文在该方法的基础上,运用变异系数法客观确定指标权重并结合集对分析理论,建立基于模糊-集对分析的水

电项目方案综合评价模型。与传统方案相比,该模型能从同异反系统的辩证角度分析并处理确定性与不确定性因素之间的联系与转化,达到更具全面性、综合性、效率性的项目方案评价研究。

## 1 水电项目模糊-集对分析模型

### 1.1 模糊-集对理论

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评标方法,是以模糊数学为基础,运用隶属度理论对受到多种因素制约的事物做出综合性的定量评价。它能较好地处理评价数据模糊不确定性的问题,但并

不能判断评价等级的发展趋势<sup>[4]</sup>。在此基础上,本文结合了集对分析的评价方法。集对分析理论由我国学者赵克勤于 1989 年提出,该理论将确定性分成“同一”与“对立”两个方面,而将不确定性称为“差异”,从同、异、反三方面分析事物及其系统。同、异、反三者互相联系、互相影响,又在一定条件下互相转化,同时引入联系度的概念来描述问题的各种不确定性,以数学计算来定量解决不确定性问题<sup>[5-6]</sup>。所谓集对是指有一定关系的两个集合所组成的对子,在这个集合系统中,通过表达式将这两个集合的不确定性与确定性联系起来,在联系与制约的共同作用下体现出集对的特性。表达式如下:

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j = a + bi + cj \quad (1)$$

式中: $\mu$  为集对联系度; $N$  为集对特性总数; $S$  为相同的特性总数; $P$  为对立的特性总数; $F$  为既不相同也不对立的特性总数,且  $F = N - S = P$ ;  $i$  为差异度系数, $j$  为对立度系数,且  $i, j \in [-1, 1]$ ,一般取  $i = -1$ ;  $a = S/N$ ,  $b = F/N$ ,  $c = P/N$  分别代表同一

度、差异度、对立度。

本文按照综合模糊评价法中通过构造隶属函数来求取指标关系矩阵的方法,设置了依据项目方案评价等级而设定的联系度函数,将待评价的各方案指标值分别代入联系度函数,并结合变异系数法客观确定的各指标权重,来计算并对比分析各方案关于指定等级的联系度。同时通过计算各方案联系度的集对势,预测评价结果的发展趋势。

### 1.2 模型建立的具体步骤

(1) 确定方案评价因素集  $V$ 。设某决策问题制定的方案集为  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_M\}$ , 影响方案优劣的因素有  $t$  个, 因素集记为  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_t\}$ ; 再按某规则  $P$  将其划为  $n$  个子集  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , 并满足  $v_i \cap v_j = \phi, (i \neq j)$ , 且  $v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik_i}\}, t = \sum_{i=1}^n K_i$ 。按照此规则, 根据《国内水电站技术经济指标》等文件并结合小水电项目的特点情况, 建立了水电项目方案评价指标体系, 见图 1。

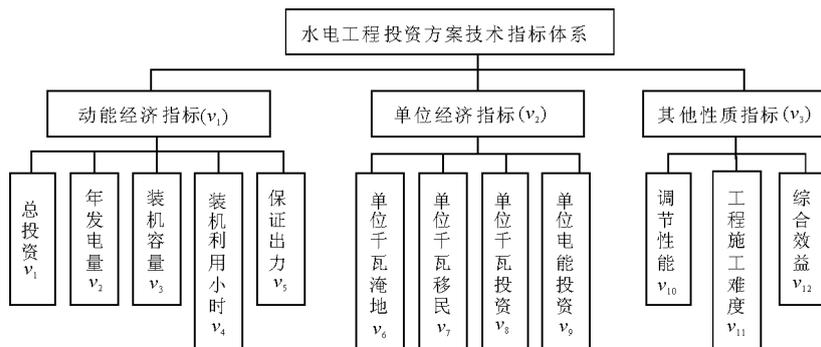


图 1 水电工程项目方案综合评价指标体系

(2) 确定方案评价等级集合  $U$ 。将方案评价等级设为 3 级: I 级、II 级、III 级, 对应记为  $U = \{u_1, u_2, u_3\}$ , 在此基础上, 根据各方案的各个指标进行综合评价。

(3) 确定指标权重  $\omega$ 。本文采用变异系数法进行计算, 以保证权重系数的客观性和可操作性。变异系数法 (Coefficient of variation method)<sup>[7-9]</sup> 是直接利用各项指标所包含的信息量确定权重, 减小因主观因素而造成的偏差, 是一种动态而客观的赋权方法。此方法的基本思想是: 在评价指标体系中, 指标取值中差异越大的指标, 也就是越难以实现的指标, 则该指标在综合评价中的作用就越大; 反之, 若该指标系列值差别较小, 则该指标在综合评价中的作用也会越小。确定权重的具体步骤如下: ① 计算第  $j$  项指标的均值  $\bar{d}_j$ :  $\bar{d}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_{ij}$ ; ② 计算第  $j$  项指标的

均方差  $S_j$ :  $S_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (d_{ij} - \bar{d}_j)^2}$ ; ③ 计算变异系数  $\hat{\sigma}_j$ :  $\hat{\sigma}_j = S_j / |\bar{d}_j|$ ; ④ 计算权重  $\omega_j$ :

$$\omega_j = \hat{\sigma}_j / \sum_{j=1}^n \hat{\sigma}_j, \quad \sum_{j=1}^n \omega_j = 1。$$

(4) 确定集对分析的联系度矩阵  $R$ 。集对分析法有别于隶属度法, 它是一种“宽域式”的函数结构, 可以充分提高信息的利用率。通过构造方案与评价等级的联系度函数  $i_{u_1}(x), i_{u_2}(x), i_{u_3}(x)$ <sup>[10]</sup> 以确定每个方案的各个指标分别对于 3 个评价等级的联系度, 从而形成联系度矩阵  $R$ 。当评价指标对方案评价起到正向作用时, 即评价等级 I、II、III 对应的指标值域分别为  $[S_{j(2)}, S_{j(1)}]$ ,  $[S_{j(3)}, S_{j(2)}]$ ,  $[S_{j(4)}, S_{j(3)}]$ , 则联系度函数分别为:

$$i_{u_1}(x) = \begin{cases} 1, & x_j \in [S_{j(2)}, S_{j(1)}] \\ \frac{x_j - S_{j(3)}}{S_{j(3)} - S_{j(2)}}, & x_j \in [S_{j(3)}, S_{j(2)}] \\ 0, & x_j \in [S_{j(4)}, S_{j(3)}] \end{cases}$$

$$i_{u_2}(x) = \begin{cases} 1, & x_j \in [S_{j(3)}, S_{j(2)}] \\ \frac{(S_{j(1)} + S_{j(2)}) - 2x_j}{S_{j(1)} - S_{j(2)}}, & x_j \in [S_{j(2)}, \frac{1}{2}(S_{j(1)} + S_{j(2)})] \\ \frac{2x_j - (S_{j(3)} + S_{j(4)})}{S_{j(4)} - S_{j(3)}}, & x_j \in [\frac{1}{2}(S_{j(3)} + S_{j(4)}), S_{j(3)}] \\ 0, & x_j \in [\frac{1}{2}(S_{j(1)} + S_{j(2)}), S_{j(1)}] \text{ 或} \\ & [S_{j(4)}, \frac{1}{2}(S_{j(3)} + S_{j(4)})] \end{cases}$$

$$i_{u_3}(x) = \begin{cases} 1, & x_j \in [S_{j(4)}, S_{j(3)}] \\ \frac{S_{j(2)} - x_j}{S_{j(2)} - S_{j(3)}}, & x_j \in [S_{j(3)}, S_{j(2)}] \\ 0, & x_j \in [S_{j(2)}, S_{j(1)}] \end{cases}$$

当评价指标对方案评价起到负向作用时,即评价等级 I、II、III 对应的指标值域分别为  $[S_{j(1)}, S_{j(2)}]$ ,  $[S_{j(2)}, S_{j(3)}]$ ,  $[S_{j(3)}, S_{j(4)}]$ , 则联系度函数分别为:

$$i_{u_1}(x) = \begin{cases} 1, & x_j \in [S_{j(1)}, S_{j(2)}] \\ \frac{S_{j(3)} - x_j}{S_{j(3)} - S_{j(2)}}, & x_j \in [S_{j(2)}, S_{j(3)}] \\ 0, & x_j \in [S_{j(3)}, S_{j(4)}] \end{cases}$$

$$i_{u_2}(x) = \begin{cases} 1, & x_j \in [S_{j(2)}, S_{j(3)}] \\ \frac{2x_j - (S_{j(1)} + S_{j(2)})}{S_{j(2)} - S_{j(1)}}, & x_j \in [\frac{1}{2}(S_{j(1)} + S_{j(2)}), S_{j(2)}] \\ \frac{(S_{j(3)} + S_{j(4)}) - 2x_j}{S_{j(4)} - S_{j(3)}}, & x_j \in [S_{j(3)}, \frac{1}{2}(S_{j(3)} + S_{j(4)})] \\ 0, & x_j \in [S_{j(1)}, \frac{1}{2}(S_{j(1)} + S_{j(2)})] \text{ 或} \\ & [\frac{1}{2}(S_{j(3)} + S_{j(4)}), S_{j(4)}] \end{cases}$$

$$i_{u_3}(x) = \begin{cases} 1, & x_j \in [S_{j(3)}, S_{j(4)}] \\ \frac{x_j - S_{j(2)}}{S_{j(3)} - S_{j(2)}}, & x_j \in [S_{j(2)}, S_{j(3)}] \\ 0, & x_j \in [S_{j(1)}, S_{j(2)}] \end{cases}$$

(5) 计算联系度  $\mu$ 。根据以上计算,评价结果的联系度表达式为:

$$\mu = WRE = WR[1, i, j] \tag{2}$$

(6) 计算联系度的集对势。集对势  $shi(H) = a/c$  是定性分析和比较表达度的一个重要指标,反映方案与设定目标在同、异、反联系中存在的同一趋势。根据  $a、b、c$  之间的关系来确定集对势的大小,具体见表 1。

(7) 列出最终评价结果。根据集对势的大小对各项目方案进行综合性的评价排序,根据差异度  $b$  的情况进行方案的不确定性评价,综合而全面地分析结果。

表 1 集对分析判定结果总览表

态势名	系数关系	态势名	系数关系	态势名	系数关系	态势名	系数关系
强同势	$a > c, c > b$	弱同势	$a > c, a > b > c$	准同势	$a > c, b = 0$	微同势	$a > c, b > a$
强均势	$a = c, a > b$	弱均势	$a = c, b = a$	准均势	$a = c, b = 0$	微均势	$a = c, b > a$
强反势	$a < c, 0 < b < a$	弱反势	$a < c, a < b, b < c$	准反势	$a < c, b = 0$	微反势	$a < c, b > c$

## 2 实证分析

### 2.1 背景介绍

某水电站工程要确定一个建设方案,现有  $A_1, A_2, A_3, A_4$  4 个待选项目方案,利用 12 个技术指标进行评价优选,得到的相关数据见表 2。其中,9 个定量指标均为具体的定量数据,而调节性能、工程施工难度与综合效益是评审专家进行逐项对比、严格考察分析后给出的定性评价结果。

定性指标难以进行计算,无法与定量指标进行对比,现利用不同等级的标准分值进行指标量化。则评价集 = {很好(很难),好(难),一般,差(简单),很差(很简单)} 对应的定量指标集 = {9,7,5,

表 2 各方案的主要技术经济指标

万 kW, 亿 kW·h,  $m^2$ , 人, 亿元, 元, h

主要技术指标	作用	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
装机容量	+	1745	1786	1653	1610
保证出力	+	737.8	934.1	851.5	633.5
年发电量	+	1010.3	1068.5	1000.1	935.8
单位千瓦淹地	-	3.1333	3.2	2.2667	2.20
单位千瓦移民	-	0.0081	0.0082	0.0057	0.0058
总投资	-	336.18	355.89	343.26	324.18
单位千瓦投资	-	1927	1993	2077	2014
单位电能投资	-	0.3328	0.3331	0.3432	0.3464
装机年利用小时	+	5784	5996	6065	5820
调节性能	+	很好	很好	好	差
工程施工难度	-	难	简单	一般	很难
综合效益	+	很好	很好	好	一般

3,1},由此定量化的标准分值可明确方案定性指标的定量值。

### 2.2 指标权重的确定

根据变异系数法求解权重的步骤,求得的指标权重情况如图 2。

从图 2 的柱形图(1)中可以看出,水电站保证出力权重明显最大,说明各项目方案的水电站保证出力水平差别较大,因此,在优选中应重点考虑保证出力水平。而水电工程总投资最大相差 31.7 万元,只占最高投资额的 8.91%,因此,总投资所占权重较低,这也说明了建设业主或投资方在优选方案时,应改变重点关注总投资额的做法,而是结合项目具

体情况而综合考虑。同理,由柱形图(2)和(3),也可以直观地对各指标重要度进行排序。12 个指标权重值的具体情况如下:

$$w = (0.026, 0.089, 0.029, 0.107, 0.106, 0.021, 0.017, 0.011, 0.012, 0.216, 0.23, 0.136)$$

### 2.3 联系度与集对势的计算

业主及相关专家须制定方案评价准则与等价划分标准,作为审阅并评价各个方案的准备工作,根据该水电站项目现场情况并结合相关资料,制定的具体情况如表 3。

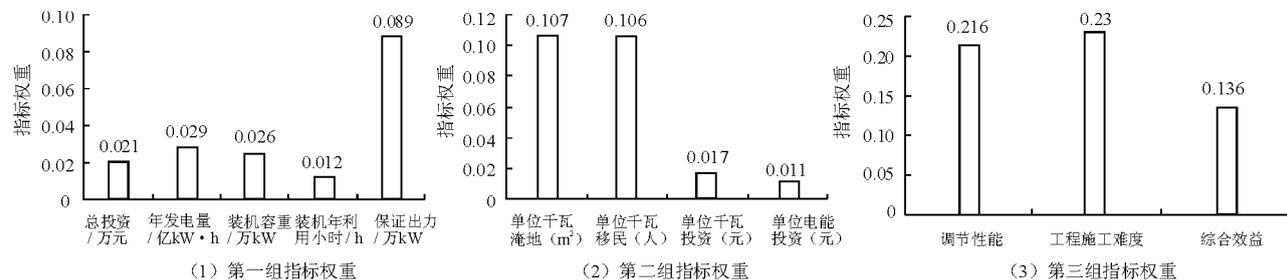


图 2 评价体系的各指标权重

表 3 方案评价的评价准则与等级划分

万 kW, 亿 kW·h, m<sup>2</sup>, 人, 亿元, 元, h

项目方案	装机容量	保证出力	年发电量	单位千瓦淹地	单位千瓦移民	总投资
I 级	[1760,1840]	[850,1000]	[1060,1160]	(1.66,2.33]	(0.004,0.0055]	(300,330]
II 级	[1680,1760]	[700,850]	[960,1060]	(2.33,3.00]	(0.0055,0.007]	(330,350]
III 级	[1600,1680]	[550,700]	[860,960]	(3.00,3.67]	(0.007,0.0085]	(350,370]

项目方案	单位千瓦投资	单位电能投资	装机年利用小时	调节性能	工程施工难度	综合效益
I 级	(1850,1950]	(0.31,0.33]	[6000,6200)	(7,9]	[1,3)	(7,9]
II 级	(1950,2050]	(0.33,0.35]	[5800,6000)	(3,7]	[3,7)	(3,7]
III 级	(2050,2150]	(0.35,0.37]	[5600,5800)	[1,3]	[7,9)	[1,3]

依据联系度函数公式以及上述的评价等级划分表,将各个方案的 12 个指标分别代入即可得到联系度矩阵 R,再结合相应的指标权重,利用公式(2)即可得到各方案评价结果的联系度,如下:  $\mu_{A_1} = 0.451 + 0.480i + 0.549j$ ;  $\mu_{A_2} = 0.757 + 0.355i + 0.243j$ ;  $\mu_{A_3} = 0.701 + 0.943i + 0.390j$ ;  $\mu_{A_4} = 0.520 + 0.597i + 0.712j$ 。

### 2.4 评价结果分析

将上述评价结果依次对照表 1,可得方案 A<sub>1</sub> 为弱反势,即方案 A<sub>1</sub> 的综合水平在与评价等级 I 的同异反联系中存在着较弱的反向变化发展趋势;同理可知,A<sub>2</sub> 为弱同势,A<sub>3</sub> 为微同势,A<sub>4</sub> 为弱反势。因而,由集对势即方案综合水平的整体发展趋势,可知方

案评价的排序为 A<sub>2</sub> > A<sub>3</sub> > A<sub>1</sub> > A<sub>4</sub>。另一方面,从差异度即不确定项 b 的角度来看,b 值越大则综合水平越不稳定,即存在一定隐患,由此可知方案评价的优劣排序为 A<sub>2</sub> > A<sub>1</sub> > A<sub>4</sub> > A<sub>3</sub>。因而从集对势与差异度(不确定性)的综合考虑方面而言,方案 A<sub>2</sub> 为最优选择。

## 3 结 语

本文运用模糊-集对分析方法对水电项目方案的综合水平进行评价,借鉴了模糊综合评价法中的隶属度函数来确定模糊不确定性的优点,运用了集

计结果表明:塑料空心板防蒸发率达 87.88%,防蒸发效果明显,能够高效利用平原水库水面的无效蒸发,提高水库水资源利用率。试验在实践中可行,具有较高的应用价值,在环境保护方面,我们在做防蒸发试验的同时,对塑料空心板可能影响到的水域做了水质监测,水质监测正常,说明塑料板短时间内对水质没有影响,对水库长久的影响,由于时间限制,还待研究。

### 参考文献:

- [1] Assouline, S, Narkis K, Or D. Evaporation suppression from water reservoirs: Efficiency considerations of partial covers[J]. *Water Resources Research*, 2011, 47(7): 1-8.
- [2] Alvarez V M, Baille A, Martinez J M, et al. Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces[J]. *Agricultural Water Management*, 2006(4):

229-239.

- [3] 郭永昌,梁菊蓉.我国田间灌溉技术节水效果比较[J]. *水利科技与经济*, 2011, 17(3): 77-78.
- [4] 李娟,杨万龙.渠灌区管道输水节水灌溉技术的研究与推广[J]. *节水灌溉*, 2009(5): 41-43.
- [5] 吴旭春,周和平,张俊强.新疆灌溉农业发展与节水潜力研究[J]. *中国农村水利水电*, 2006(2): 24-27.
- [6] 严新军,侍克斌,诸葛伍荪.干旱区平原水库防蒸发节水试验初探[J]. *新疆农业科学*, 2004, 41(4): 228-232.
- [7] 吴邦信,陈天祥,孙海健.单分子膜水面阻蒸发技术的绿色化学[J]. *环境保护*. 2003(11): 11-13.
- [8] 杨方清,杨廷友.雨水集蓄利用工程中预制板衬砌材料及植物防蒸发技术[J]. *中国农村水利水电*, 2005(5) 79-80.
- [9] 侍克斌.在新疆实行水库节水的设想[C]//中国力学学会力学与西部开发会议,乌鲁木齐,2001.
- [10] 严新军.内陆干旱区平原水库防蒸发节水试验研究[D].新疆:新疆农业大学,2004.

(上接第 131 页)

对分析法中的联系度函数来确定与不确定性进行同异反辩证分析,结合了变异系数法对指标权重确定的客观性与便捷性,最终通过计算相应的联系度和集对势而对各方案进行了综合评价与发展趋势的预测。

实例分析表明,各方案应根据本身的发展趋势特点,通过改善某些指标值而向“强同势”努力,提高指标中最薄弱的方面以降低指标的不确定性。该方法为项目方案的评价与优选提供了新的思路,但在评价等级的划分问题中,还需要不断完善并予以研究。

### 参考文献:

- [1] 康燕燕.基于模糊综合评判的企业信息化项目风险评估模型[J]. *技术经济与管理研究*, 2009(5): 28-30.
- [2] 李海华,赵红泽,李海强,等.基于模糊层次分析法的煤矿工程评标指标权重确定[J]. *煤炭技术*, 2013, 32(2): 54-56.

- [3] 王照亮,马平.基于模糊层次分析法的风电场优化选址决策[J]. *可再生能源*, 2013, 31(2): 39-42+47.
- [4] 吴忠广.基于模糊-集对分析的公路施工安全评价模型[J]. *中国安全生产科学技术*, 2012, 8(11): 156-160.
- [5] 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.
- [6] 宋岩,王彬,李宁,等.基于集对分析理论的小城镇灾害易损性的评价方法[J]. *河南科学*, 2012, 30(5): 661-664.
- [7] 何玉春,谢明勇,龙德江.基于变异系数法的灰色关联模型在水电工程投资方案优选中的应用[J]. *水资源与水工程学报*, 2009, 20(2): 127-129.
- [8] 何美丽,刘浪,王宏伟.基于集对分析的工程评标未知权重多属性决策[J]. *中南大学学报(自然科学报)*, 2012, 43(10): 4057-4062.
- [9] 杨尚阳,张龙杰,杨婵婵,等.基于集对分析同一度的公路路线方案优选模型[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2008, 8(3): 115-119.
- [10] 胡信布,袁治平等.基于集对分析的学习型组织建设成熟度评估研[J]. *运筹与管理*, 2013, 22(1): 126-131.