

# 水利水电规划方案优选的灰色 决策模型\*

刘正才

(河南省鲇鱼山水库)

**摘要:** 本文建立了水利水电规划方案优选的灰色局势决策和灰色关联分析排序模型。在与模糊优选模型比较分析的基础上,利用模糊优先关系定序法综合排序,确定了方案的优选结果。

**关键词:** 水利规划, 模型法, 灰色决策

水利水电规划方案优选,涉及到水利水电工程的投资与效益、水能资源的合理开发与利用、生态环境的保护等诸多因素,是工程规划中一个较复杂的综合技术经济问题。

1965年美国控制论专家 L.A.Zadeh 创立了模糊集合论。近年来,模糊数学的理论与方法得到了广泛的应用,并开始应用到水利水电规划方案的评判与优选。

1982年,我国著名学者邓聚龙教授在国际上发表了“灰色系统的控制问题”的论文,标志着灰色系统理论诞生。短短的几年,研究与应用日趋广泛,收到了显著的经济效益和社会效果。本文拟采用灰色系统理论中的灰色局势决策和关联分析排序(优势分析)理论与方法,进行水利水电规划方案的优选。并将灰色排序决策模型与模糊优选模型进行系统地比较分析,以寻求既不丢失各方法的独立信息,又能满足决策一致性的综合办法。使模糊集和灰色系统理论与方法更好地结合,并应用于水利水电规划方案的优选实践中去。

## 1 灰色局势决策排序模型

当决策模型中含有灰元,或一般决策模型与灰色模型相结合而进行的决策,称为灰色决策。

一个多目标局势决策,在不同目标下的局势效果,样本量纲不同,要求也不同。为此,可设计出一种计量的方法,以统一量纲要求,这种计量即效果测度。

对于“越大越优”、“越多越优”这一类要求的目标,可采用上限效果测度:

$$r_{ij} = \frac{u_{ij}}{\max_j \max_i u_{ij}} \quad (1)$$

\* 收稿日期: 1989.11.01

对于“越小越好”、“越少越优”这一类要求的目标,可采用下限效果测度:

$$r_{ij} = \frac{\min_i \min_j u_{ij}}{u_{ij}} \quad (2)$$

其中 $u_{ij}$ 为某目标的局势效果样本。

求出效果测度 $r_{ij}$ 后便可建立综合效果测度矩阵:

$$r = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

设每列为一种方案,则用均值法求各方案的平均综合效果测度:

$$\bar{r}_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} / n \quad (3)$$

$$\text{最大效果测度元有: } r^* = \max_j \bar{r}_j \quad (4)$$

$r^*$ 即为最优局势,在方案优选中即为最优方案,同时依 $\bar{r}_j$ 大小可作方案的优劣排序。

## 2 优势分析原理

灰色系统理论中的关联分析法,是系统发展态势的量化比较分析,这种比较是系统统计数据列几何形状关系的比较。认为诸统计数据列所构成的曲线几何形状越接近,也就是变化态势越接近,关联度就越大。将以曲线间差值的大小,作为关联程度的衡量尺度。

定义:设参考序列和比较序列分别为:

$$x_0(k) = \{ x_0(1), x_0(2), \cdots, x_0(n) \}, \quad k = 1, 2, \cdots, n$$

$$x_j(k) = \{ x_j(1), x_j(2), \cdots, x_j(n) \}, \quad j = 1, 2, \cdots, m$$

$x_0$ 为被考察对象的序列称为参考序列; $x_j$ 为与 $x_0$ 比较关联程度的序列,称为比较序列。

记 $x_0$ 与 $x_j$ 的关联系数 $\xi_i(k)$ ,则绝对值关联系数:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_j(k)|}{|x_0(k) - x_j(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_j(k)|} \quad (5)$$

式中 $\xi$ 称为分辨系数,通常取 $\xi < 0.5$ 为宜。

由于关联系数 $\xi_i(k)$ 很多,信息过于分散而不便于比较,为此有必要将各个关联系数集中为一个值,按平均值求得关联度:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (6)$$

对于关联分析的规划方案评判,首先要构成诸方案的技术经济指标数据列,如:

$$\begin{aligned} \{x_1\} &= \{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)\} \\ \{x_2\} &= \{x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(n)\} \\ &\vdots \\ \{x_m\} &= \{x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)\} \end{aligned}$$

其中  $x_1, x_2, \dots, x_m$  分别表示 1 到  $m$  个方案。对非量化的技术经济灰数指标作白化权函数的量化处理。至于作这种量化处理时，取何种白化函数，可视指标的具体性质去确定。

为了对方案优劣进行排序，需从技术经济指标的诸多方案列里选出最佳值构成最优参考数据列，即：

$$\{x_0\} = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\} = \{x_i(1), x_j(2), \dots, x_k(n)\}$$

$i, j, k \in [1, m]$  的自然数域。这里  $\{x_0\}$  中的  $x_i(1), x_j(2), \dots, x_k(n)$  是被比数据列中的最佳值。

然后，计算各规划方案以技术经济指标为元素构成的数据列对最优参考数据列的关联度，所得关联序即为各规划方案的优劣排序。

### 3 模糊优先关系定序原理

参加优选的方案集  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ，在各种评判方案结果集  $C$  下分别建立优先关系：

(1) 单因素  $C_k$  下的优先关系

定义： $R^k = [r_{ij}^k]$

$$\text{其中: } r_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{若 } x_i \text{ 优于 } x_j \\ 0.5 & \text{若 } x_i, x_j \text{ 几乎无差别} \\ 0 & \begin{cases} x_j \text{ 优于 } x_i \\ x_i, x_j \text{ 不可比较} \\ i = j \end{cases} \end{cases} \tag{7}$$

(2)  $C$  下的优先关系及非支配解

定义： $R = [r_{ij}]$ ，其中  $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^m r_{ij}^k \tag{8}$$

(不考虑各方法评判结果的权重值)

我们在  $\min \max$  一致意义下找非支配解集  $X_M$ ， $X_M$  定义具有下列性质的元素集合：

$$\text{设: } \bar{r}_j = \max_i r_{ij} \quad \bar{r} = \min_j \max_i r_{ij} = \min_j \bar{r}_j$$

$$x_i \in X_M, \quad \text{当且仅当 } \bar{r}_i = \bar{r}$$

而且  $1 - \bar{r}$  为  $x_i$  至少优于所有其余参评方案的程度。同时， $X_M$  一定是非空的，当  $r_{ij}$  是协商矩阵，且  $\bar{r} < 0.5$  时， $X_M$  是单点集。

求得非支配解集后,划去  $R$  的  $i$  行  $j$  列 ( $x_M \in X_M$ ),同理可寻次优,依此可得参评集上一个总排序。

这里已建立了优先关系矩阵,可以将  $R$  的行元素之和,即  $RS_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}$  作为  $x_i$  的优先序数和。同样将  $R$  的列元素之和,即  $CS_j = \sum_{i=1}^n r_{ij}$  作为  $x_j$  的劣序数和。如果这些结果一致或基本相吻合时,所得结果置信度才较高。否则,当它们相差较大时,要进一步分析,力求决策科学合理,使结论令人满意。

## 4 实例分析

本文引用文献[6]同一算例。

某电站所在地区电网现有装机容量 13 万千瓦左右,由省电网送电 10 万千瓦,网内没有调峰容量,按该系统规划要求,到目标年负荷有较大增加,按规划水平年份的电力电量平衡计算结果,需增加工作容量 8 万千瓦,年发电量 4.3 亿度。现以该电网规划增加 8 万千瓦发电工作容量为计算依据,求该电站合理的装机容量值,该电站的四个比较方案的指标值如下表所示:

表 1

项 目	方 案			
	方案一 2×8750 千 瓦	方案二 3×8750 千 瓦	方案三 4×8750 千 瓦	方案四 5×8750 千 瓦
动态投资受益率 $b_1$	23	20.5	18	15
可调峰系数 $b_2$	0.5	0.58	0.72	0.9
水能利用率 $b_3$	0.61	0.74	0.84	0.89
系统年替代费用(万元) $b_4$	1196.6	1094.2	999.65	928.1
淹没土地(亩) $b_5$	350	520	690	1020
工程总投资(万元) $b_6$	2050	2680	3354	4100
工期(年) $b_7$	2.5	3	4	4.5
移民人口(人) $b_8$	0	0	35	420
年综合利用效益(万元) $b_9$	0	0	20	30

### 4.1 指标权重的确定

本文利用一种实用决策方法——层次分析法确定各指标的权重值。层次分析法(简称 AHP)于七十年代中期由美国著名运筹学家匹兹堡大学教授 T.L.Saaty 所创立,近年来应用与研究日趋广泛和活跃。

AHP 把复杂的问题分解为各个组成因素,将这些因素按支配关系分成有序的递阶层次结构,通过两两比较的方式确定层次中诸因素相对重要性,然后综合人的判断以决定各因素相对重要性总的排序。

对因素两两比较采用 1~9 的标度,标度 1、3、5、7、9 分别表示两个因素相比,一

个因素比另一个因素同样、稍微、明显、强烈、极端重要。2、4、6、8 分别表示相邻判断的中值。因素  $i$  与  $j$  比较得判断  $b_{ij}$ , 且  $b_{ji} = 1/b_{ij}$ 。对  $n$  个元素 (一般不超过 9 个为宜) 通过两两相比较得到判断矩阵  $A = (b_{ij})_{n \times n}$ 。

下面利用方根法对判断矩阵进行计算:

$$(1) M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2) \bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$$

(3) 对向量  $\bar{W}_i$  归一化得权重向量:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad \text{最大特征根: } \lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

一致性检验指标:  $C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$       随机一致性比率:  $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$

(其中 R.I. 为平均随机一致性指标, 可查文献[4])

当  $C.R. < 0.10$  时即认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则需进行调整修订。

按上述方法对表 1 中各项指标进行两两比较, 得判断矩阵  $A_0$ 。

因  $\lambda_{\max} = 9$ ,  $C.R. = 0$ , 满足一致性要求。即得规划方案中九项指标的权重向量为:

$$W = [0.095, 0.048, 0.190, 0.048, 0.095, 0.190, 0.048, 0.095, 0.190]$$

	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	W
$b_1$	1	2	$\frac{1}{2}$	2	1	$\frac{1}{2}$	2	1	$\frac{1}{2}$	0.095
$b_2$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0.048
$b_3$	2	4	1	4	2	1	4	2	1	0.190
$b_4$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0.048
$b_5$	1	2	$\frac{1}{2}$	2	1	$\frac{1}{2}$	2	1	$\frac{1}{2}$	0.095
$b_6$	2	4	1	4	2	1	4	2	1	0.190
$b_7$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0.048
$b_8$	1	2	$\frac{1}{2}$	2	1	$\frac{1}{2}$	2	1	$\frac{1}{2}$	0.095
$b_9$	2	4	1	4	2	1	4	2	1	0.190

#### 4.2 规划方案排序分析

##### 4.2.1 灰色局势决策

根据各指标特性按(1)、(2)式求出下述效果测度矩阵:

$$r = \begin{bmatrix} 1 & 0.556 & 0.685 & 0.776 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0.891 & 0.644 & 0.831 & 0.848 & 0.673 & 0.765 & 0.833 & 1 & 0 \\ 0.783 & 0.800 & 0.944 & 0.928 & 0.507 & 0.611 & 0.625 & 0.917 & 0.667 \\ 0.652 & 1 & 1 & 1 & 0.343 & 0.500 & 0.556 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T$$

$$A_1 = W \cdot r = [0.717, 0.659, 0.744, 0.693]$$

得方案优劣排序结果为:  $r_3 > r_1 > r_4 > r_2$ .

#### 4.2.2 灰色优劣分析

从规划方案中找出最优参数列:

$$\{x_0\} = \{23, 0.9, 0.89, 928.1, 350, 2050, 2.5, 0, 30\}$$

以表1中各方案的指标为元素的比较参数列,按(5)式求出各比较参数列与最优参数列 $\{x_0\}$ 的关联矩阵:

$$r = \begin{bmatrix} 1 & 0.997 & 0.998 & 0.333 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.817 \\ 0.992 & 0.999 & 1 & 0.655 & 0.649 & 0.333 & 0.998 & 1 & 0.913 \\ 0.992 & 1 & 1 & 0.901 & 0.657 & 0.333 & 0.998 & 0.949 & 0.985 \\ 0.992 & 1 & 1 & 1 & 0.605 & 0.333 & 0.998 & 0.709 & 1 \end{bmatrix}^T$$

$$A_2 = W \cdot r = [0.932, 0.818, 0.825, 0.805]$$

得方案优劣排序结果为:  $r_1 > r_3 > r_2 > r_4$ .

#### 4.2.3 模糊优选模型

文献[6]已求出模糊矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0.69 & 0.20 & 0.46 & 0.38 & 0.75 & 0.69 & 0.75 & 1 & 0 \\ 0.38 & 0.55 & 0.82 & 0.73 & 0.49 & 0.36 & 0.25 & 0.92 & 0.67 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T$$

$$A_3 = W \cdot R = [0.523, 0.514, 0.594, 0.476]$$

得方案优劣排序结果为:  $r_3 > r_1 > r_2 > r_4$ .

#### 4.2.4 比较分析与模糊优先关系定序

从上述计算结果可以明显看出,模糊优选模型中各个指标的隶属度计算简便实用,但最小指标的隶属度均为零,损失信息较多,且方案优选结果的隶属度相差较小,往往会给优选造成困难。灰色局势排序模型利用信息较充分,但有时计算效果测度容易失效;灰色关联分析优选结果分辨率较高,但关联度易受数据列中极值的影响(当然还可作规格化处理)。鉴于上述种种方法各有利弊,所以,采用模糊优先关系定序法进行综合排序(视以上三种优选结果的可靠性均等):

	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$RS_i$
$r_1$	0	3	1	3	7
$r_2$	0	0	0	2	2
$r_3$	2	3	0	3	8
$r_4$	0	1	0	0	1
$CS_i$	2	7	1	8	

由此可见, 规划方案的最终排序为  $r_3 > r_1 > r_2 > r_4$ , 即第三方案为相对最优方案。(当然, 若指标权重变化较大, 方案优劣次序可能随之发生变化, 这显然是合理的。)

## 5 结 论

本文通过灰色局势决策及灰色优势分析等排序模型与模糊优选模型的比较分析, 指出了各方法的优缺点, 并提出了以模糊优先关系定序原理法综合确定水利水电规划方案的优劣排序。计算简便实用, 而且, 可应用于其它工程的方案优选。

## 参 考 文 献

- (1) 邓聚龙. 灰色控制系统. 华中工学院出版社, 1985
- (2) 邓聚龙. 灰色预测与决策. 华中工学院出版社, 1986
- (3) 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 华中工学院出版社, 1987
- (4) 许树柏. 层次分析法原理. 天津大学出版社, 1988
- (5) 陈贻源. 模糊数学. 华中工学院出版社, 1984
- (6) 陈守煜. 水利水电规划方案模糊优选模型. 水电能源科学, 1(1989)
- (7) 刘正才. 灌溉工程模糊层次综合评判分析. 辅导层次分析法学术研讨会议, (1988年9月天津)
- (8) 刘正才. 灰色马尔柯夫模型在经济趋势预测中的应用研究. 水能技术经济, 3(1988)

## A Grey System Decision Model of Optimum Selection of Hydraulic and Hydroelectric Planning Projects

Liu Zhengcai

**Abstract:** In this paper, has been set up a model of grey system decision and grey relation analysis for hydraulic and hydroelectric planning projects. Besides, analysis and compare on it with optimization model of by fuzzy sets. Moreover, to discuss merits and demer its of every means. Synthesition determine result of projects of optimum selection. This model can be used for the optimization of other engineering projects.

**Keywords:** planning for water resources development, modeling, grey decision