

模糊数学在中型水电电源优选中的应用

陈健康 曾佑澄*

(成都科技大学水利系)

提 要

本文针对水电电源选择问题的具体特征,应用模糊多因素综合评判理论,提出了水电电源选择的模糊数学优化模型及求取各因素隶属函数和权向量的方法。文末以四川省 1991—2000 年的中型水电站开发程序做为实例分析,得到了较为满意的结果。

一、概 述

目前我国电力供不应求日益严重,尽快开发一批费省效宏的中型水电电源,适当修建一批中型水电站是解决电力供应短缺的有效途径之一。

中型水电站群的开发程序,因其点多、面广,涉及因素众多,是一种比较复杂的大系统问题。要使有限的资金发挥其最大效益,对中型水电站开发做出全面、合理的评价,综合优化其开发程序,意义尤为重要。

二、模型的建立和求解

在电源开发程序优化方面,国内外有关学者曾做了大量的工作,提出了动态规划、0—1 整数规划,网络法等不少好的见解和方法。但这些方法仅能考虑可转换成货币当量的确定性指标。而诸如环境保护、生态平衡、对电力负荷发展的适应程度、水库的调节性能、工程的难易程度、前期工作深度等一系列社会、政治、经济技术方面的定性指标则无法统筹考虑。况且,上述方法所考虑到的定量指标在规划中是近似估算值(如象年运行费、投资、效益等),实际是不确定的、模糊的。有人将上述不确定性因素处理为随机过程,这比确定性模型无疑是前进了一步,但仍不能综合考虑上述定性指标。因此,以往的方法虽然能使某些指标达到较优值,但其忽略因素较多,致使模型失真较大,无法反映事物的本质。

在电源排序这个因素庞杂的大系统问题中,用以往传统方法,在一个压缩了的低维因素空间上来观察问题,会使原来本身明确的概念也变得模糊起来,甚至顾此失彼,漏掉最优解集。若一个过程要用数百个、甚至数千个微分方程来描述,模糊性的影响积累仍可能使这种模糊性达到不容忽略的程度。同时,在电源开发程序问题中仍存在着扎德教授从实践中总结出来的互克性原理:“当系统的复杂性日趋增长时,我们做出系统的特性的精确然而有意义的描述的能力将相应降低,直到达到这样一个阈值,一旦超过它,精确性和有意义性将变成两个几乎互相排斥的特性。”因此,在今天的科学发展

* 感谢水电部成都院周德常、张登仕、戴维勇等工程师热情支持。

中,人们就再也无法回避模糊性、忽略模糊性了。

为此,在中型水电站群开发程序的优化中综合考虑各方面定性及定量因素的模糊性,获得经济上合理,技术上可行的最优开发程序,应用模糊多因素综合评判,是一条值得探索的新途径。

众所周知,在电力系统中,水电站与火电站是联网运行的,中型水电站群的开发程序优化应纳入大系统进行,但目前大系统理论还不甚完善,又鉴于系统的可分性,故把水、火电站分为两个子系统。本文着重研究水电站群子系统中中型水电站群的开发程序优化问题。按优先开发水电,尽量增加水电必需容量,减少火电必需容量的原则,以系统容量及电量需求的预测和水、火电比重的约束来确定各自必须增设的装机容量。故中型水电站群开发程序的优化,实际上包括了电力系统中其它电源的初步排序。

(一) 模糊多因素综合评判数学模型

所谓综合评价(或综合评判),就是对众多因素所影响的事物或现象作出总的评价,即对评价对象的全体,根据所给条件,给每个对象赋予一个非负实数——评价指标,再据此排序选优。

模糊多因素综合评判数学模型的建立及其中所涉及的模糊数学方面的定义、定理推演过程,读者可参阅文献〔1〕。用模糊多因素综合评价方法处理实际问题时,其具体过程一般可归纳为如下几个步骤:

1. 给出备择的对象集: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$;
2. 找出因素集(判据集): $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$;
3. 找出评判矩阵: $R: x \times U \rightarrow [0, 1]$, $r_{ij} = R(x_i, u_j) \in [0, 1]$ 。 r_{ij} 是对象 x_i 在因素 u_j 上的特性指标。显然, x_i 的特性向量为 $R|_{x_i} = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}) \in (0, 1)^m$, 故可视为 U 中的模糊子集;

4. 确定评判函数 $f: (0, 1)^m \rightarrow R$ (全体实数), 记

$$D = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_m);$$

5. 计算评判指标: $D(x_i) = f(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$, $(i=1, 2, \dots, n)$ 。

最后, 将 $D(x_1), D(x_2), \dots, D(x_n)$ 从大到小排序, 按序择优。

已知备择对象集 X , 因素集 U 及评判矩阵 R , 则得评判空间 $S = (X, U, R)$ 。在具体问题的求解中(如中型水电站群开发程序的优化)必须把握第2, 3两步, U 的选取要真实地反映问题的各个侧面, 合理地给出 R 的隶属度。

为了保证评判结果不因变量的微小变动而严重失真, 并反映各判据的特性指标与评判指标之间的基本特性要求, 对评判函数 $D = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_m)$ 有如下三个基本假设:

(I) 正则性: $f(0, 0, \dots, 0) = 0$;

(II) 递增性: 当 $Z_i \leq Z'_i$ 时, $f(Z_1, Z_2, \dots, Z_m) \leq f(Z'_1, Z'_2, \dots, Z'_m)$;

(III) 连续性: $\lim_{Z_i \rightarrow Z_{i0}} f(Z_1, Z_2, \dots, Z_m) = f(Z_{10}, Z_{20}, \dots, Z_{m0})$ 。

这样, 根据不同的条件及实际问题的具体特性, 一般有以下三种常用的评判函数可供选用:

第Ⅰ型: $D_1 = \sum_{i=1}^m a_i Z_i, (a_i \in (0, 1), \sum_{i=1}^m a_i = 1)$.

第Ⅱ型: $D_2 = (b_1 \wedge Z_1) \vee (b_2 \wedge Z_2) \vee \cdots \vee (b_m \wedge Z_m), (b_i \in (0, 1), i=1, 2, \cdots, m)$.

第Ⅲ型: $D_3 = Z_1^{c_1} \wedge Z_2^{c_2} \wedge \cdots \wedge Z_m^{c_m}, (c_i > 0, i=1, 2, \cdots, m)$. 其中, “ $\vee$ 、 $\wedge$ ”分别为取大、取小运算。

因水电电源选择的优化, 是一个全面考虑各种因素及其不同重要程度的综合选优问题, 采用Ⅱ、Ⅲ型的极值化都带有片面性, 因此, 本文选用反映问题较为全面的Ⅰ型数学模型进行中型水电站群开发程序的优化。即:

$$\begin{Bmatrix} D(x_1) \\ D(x_2) \\ \vdots \\ D(x_n) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{Bmatrix}$$

简写为:

$$D' = R_1 \cdot A \quad (1)$$

其中 D' 为评判指标矩阵; R_1 、 A 分别为评判矩阵和权向量。并且 A 必须满足归一化条件。

将评判结果 D' 中的元素按大小排序后, 用下列模型进行系统容量和电量平衡:

$$N_{yH}^t \geq N_{yS}^t - N_{yF}^t \quad (2)$$

$$E_H^t \geq E_S^t - E_F^t \quad (3)$$

平衡过程中考虑如下约束条件:

- (1) 按 D' 中各电站相应指标的大小顺序依次投入;
- (2) 在满足系统负荷要求的前提下, 尽量少装机;
- (3) 在规划期中假定拟建大型水电站基本定型, 且各台机组的既定投入时间不变。

在式(2)、(3)中, N_{yH}^t 、 E_H^t 分别表示从规划期开始年到第 t 年陆续投入的中型水电站的总装机容量及总年发电量; N_{yS}^t 、 E_S^t 分别表示从规划期开始年到第 t 年系统逐年所需的装机容量及年发电量分别减去当年既定投入的大型水电站的装机容量及年发电量后的累积净增值; N_{yF}^t 、 E_F^t 分别表示从规划期开始年到第 t 年陆续投入的火电站的总装机容量和总年发电量。

(二) 模型求解

模糊多因素综合评判数学模型的求解, 主要困难就在于选取各单因素指标的隶属函数和权向量。针对不同的问题, 其隶属函数和权向量是相异的, 在数学上无一定的模式可循, 只有把专业知识与模糊数学理论结合起来, 并从实践中不断总结经验, 才能对各单因素指标确定出较为合理的隶属函数和权重分配。

本文采用扎德教授 1972 年提出的最大、最小隶属函数模型^[2] 近似模拟各单因素定

量指标的隶属函数,具体形式为:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & (f(x) \geq \sup(f)) \\ \left[\frac{f(x) - \inf(f)}{\sup(f) - \inf(f)} \right]^n, & (\inf(f) < f(x) < \sup(f)) \\ 0, & (f(x) \leq \inf(f)) \end{cases} \quad (4)$$

当 $n=1$ 时为一单调不减直线(实例中采用)。

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & (f(x) \leq \inf(f)) \\ \left[\frac{\sup(f) - f(x)}{\sup(f) - \inf(f)} \right]^n, & (\inf(f) < f(x) < \sup(f)) \\ 0, & (f(x) \geq \sup(f)) \end{cases} \quad (5)$$

当 $n=1$ 时为一单调不增直线(实例中采用)。其中 $\sup(f)$ 、 $\inf(f)$ 分别为 $f(x)$ 的上、下界。

上、下界值的不同选取,对最终成果有一定的影响,具体问题中应视实际情况对近似估计的模糊性指标可适当取一范围。本文对净收益、益本比、内部回收率的下界分别取0.0、1.0、10%(最低期望回收率),上界则取其最大值;其它指标的上、下界值系分别取各自计算的最大、最小值,对本问题比较合理。

至于定性指标的隶属函数仍采用专家评分法确定。而模型(1)的权向量 A 则根据各单因素指标的属性和相对重要程度用分层轮次专家评分法(3)予以确定。

用模糊多因素综合评判优化中型水电站群开发程序时,可取所有待选中型水电站为备择集, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 代表第 i 个中型水电站;找出反映电站不同侧面的各单因素指标 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 组成判据集 $U_1 = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$,然后用上述方法求出各单因素指标的隶属度并按一定次序排列组成评判矩阵 R_1 ,再根据权向量 A 用模型(1)在评判空间 $S_1 = (X, U_1, R_1)$ 上合成得评判指标矩阵 D' ,并按大小排序后,用模型(2)、(3)便可获得中型水电站群的优化开发程序(计算框图见文末)。

三、实例分析

本文对四川境内23个中型水电站用模糊多因素综合评判法进行其开发程序优化,规划期为10年(1991~2000年。)

据统计,四川省可供建设2.5~25万千瓦的中型水电站达203+6/2座,总装机容量为1414万千瓦,年发电量814亿度。目前仅开发72.55万千瓦,约占可开发中型水电资源的5%,潜力很大。四川省在1991年到2000年内能投入系统的大型水电站已基本定型(在建的有铜街子、宝珠寺,即将开工的有二滩等)。为了改变四川省电力供应极度紧张的局面,保证工农业生产正常进行,在1991年~2000年建设一批优越的中型水电站是十分必要的。

(一) 实例计算及分析

笔者用模型(1)优化四川省23个拟建的中型水电站(见表1)在1991年~2000年的开发程序。取表1中23个中型水电站为备择对象集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{23}\}$,

表1 四川省拟建中型水电站技术经济指标

指标项目 单位	有效库容	调节性能	装机容量	保证出力	年发电量	淹没耕地	迁移人口	总投资	单位千瓦投资	单位电度投资	总工期	前期工作深度
电站名称	亿米 ³		万千瓦	万千瓦	亿度	亩	人	亿元	元/千瓦	元/度	年	
治勒(南丫河)	2.8200	多年	20.00	14.12	9.080*	867	451	3.500	1750	0.587	5.5	规划
栗子坪(南丫河)			7.20	2.37/6.32	4.612/3.520			0.750	1042	0.16/0.21	5.0	规划
公益马(南丫河)	0.0098	日	7.50	1.69/5.23	4.091/4.630			1.310	1747	0.32/0.28	4.0	规划
姚河坝(南丫河)			6.80	1.52/4.33	3.722/4.150			0.700	1029	0.19/0.17	4.0	规划
太平驿(岷江)			26.00	10.50	17.021			4.250	1635	0.25	6.0	初设
飞仙关(青衣江)	3.8000	季	22.50	6.67	11.920	13100	15500	4.080	1813	0.34	5.0	规划
铜头场(宝兴河)			6.00	1.9	3.904	108	122	0.849	1414	0.22	5.0	初设
渭沱(涪江)			3.00	0.83	1.56			0.776	2587	0.5	4.0	初设
江口(州河)	1.5000	季	5.10	0.63	2.1	3221	3615	1.000	1961	0.47	5.0	初设
东西关(嘉陵江)	0.8200		15.00	5.70	8.800	2280		2.250	1500	0.26	5.0	可行性
马回(嘉陵江)			7.90	2.10	4.600			1.738	2200	0.40	5.0	初设
青居街(嘉陵江)			9.00	3.60	5.300			2.250	2500	0.42	5.0	可行性
苍溪(嘉陵江)			8.60	3.60	4.800			1.548	1800	0.32	5.0	规划
观音岩(嘉陵江)			7.30	3.00	4.200			1.460	2000	0.35	5.0	规划
花滩子(嘉陵江)			25.00	9.80	14.500			5.250	2100	0.36	5.0	规划
“芭石”(龙河)	2.7170	多年	12.45	3.55	4.220	8645	5966	1.250	1004	0.30	5.0	初设
罗江口(州河)	0.0180	季	3.75	0.78	1.780	1926	770	0.596	1588	0.33	5.0	可行性
小关子(青衣江)			8.00	2.70	5.200			1.760	2200	0.34	5.0	规划
沙溪场(嘉陵江)			7.40	3.10	4.100			1.480	2000	0.36	5.0	规划
金银台(嘉陵江)			9.80	4.10	5.500			1.960	2000	0.36	5.0	规划
红岩子(嘉陵江)			6.50	2.80	3.700			1.430	2200	0.39	5.0	规划
金溪场(嘉陵江)			10.00	3.90	5.700			2.000	2000	0.35	5.0	规划
龙门场(嘉陵江)			8.20	3.20	4.800			1.722	880	0.36	5.0	规划

① “芭石”代表龙河上的芭蕉滩及下游相邻石板水两梯级水电站之合成指标；9.080*为冶勒台站本身的年发电量与其建成后给龚咀（低坝）铜街子、南丫河2级、3级已建的四个水电站所增加的年发电量之和。

② 冶勒 飞仙关 铜头场 江口 东西关 芭石 罗江口

单位千瓦淹没耕地 43.0 582 18.0 632 152 694 514

单位千瓦迁移人口 22.6 698 20.3 709 479 2605

x_i ($i=1, 2, \dots, 23$) 代表第 i 个中型水电站。取因素集为 $U_1 = \{u_1, u_2, \dots, u_{15}\}$, 其中 u_i ($i=1, 2, \dots, 15$) 所代表的意义如权向量分层评分方案表 2 所示。

表 2 中的净收益、益本比、内部回收率三项用下列模型计算:

$$NB_i = \sum_{t=1}^N \frac{B_i^t - C_i^t}{(1+R_0)^t} - \sum_{t=1}^{M_i} K_i^t (1+R_0)^t \quad (6)$$

$$BCR_i = \left[\sum_{t=1}^N \frac{B_i^t}{(1+R_0)^t} \right] / \left[\sum_{t=1}^N \frac{C_i^t}{(1+R_0)^t} + \sum_{t=1}^{M_i} K_i^t (1+R_0)^t \right] \quad (7)$$

$$\sum_{t=1}^N \frac{B_i^t - C_i^t}{(1+R_i)^t} - \sum_{t=1}^{M_i} K_i^t (1+R_i)^t = 0 \quad (8)$$

($i=1, 2, \dots, 23$)。

其中, NB_i 、 BCR_i 、 R_i 分别为第 i 个电站 (见表 1) 的净收益、益本比、内部回收率; B_i^t 、 C_i^t 、 K_i^t 分别表示第 i 个电站在第 t 年的毛收益、年运行费、投资; N 表示电站之经济计算期, 本文各电站均取 $N=50$ 年; M_i 表示第 i 个电站的总工期; R_0 表示利率。

表2 权向量分层评分方案

第 一 层					第 二 层				
序 号	评价指标	专家评分意见 权重(Σ100)		均值 X	序 号	评价指标	专家评分意见 权重(分类Σ100)		均值 X
I	总经济分析 指 标	Σ100	Σ100		1	U ₁ 净收益	Σ100	Σ100	
					2	U ₂ 益本比			
					3	U ₃ 内部回收率			
					4	U ₄ 总投资			
II	单位经济 指 标				1	U ₅ 单位千瓦投资	Σ100	Σ100	
					2	U ₆ 单位电度投资			
					3	U ₇ 单位千瓦淹地			
					4	U ₈ 单位千瓦移民			
III	动 能 指 标				1	U ₉ 保证出力	Σ100	Σ100	
					2	U ₁₀ 装机容量			
					3	U ₁₁ 年发电量			
					4	U ₁₂ 利用小时			
IV	其它指标				1	U ₁₃ 电站工期	Σ100	Σ100	
					2	U ₁₄ 水库调节性能			
					3	U ₁₅ 前期工作深度			

式 (6) ~ (8) 将 23 个拟建中型水电站假设在某一年初 (如 1991 年初) 同时投入运行, 并以该年为贴现基准年分别计算各电站的上述经济指标。

按权向量求取方法, 15 位专家评分结果相近, 得权向量为 $A = (0.1072, 0.0836, 0.0872, 0.0754, 0.1195, 0.0896, 0.0587, 0.0523, 0.0683, 0.0505, 0.0683, 0.0263, 0.0348, 0.0366, 0.0417)$ 。

再用前面所述之单因素指标隶属函数的求解方法, 本文针对表 1 中南丫河梯级的联合与单独运行, 分别以 6%、8%、10% 的利率进行了计算, 得到了相应的隶属度矩阵 R_1 。

至此, 在评判空间 $S_1 = (X, U_1, R_1)$ 上分别用相应的模型 (I) 可对上述各种情形进行合成, 并将其评判结果按大小排序后列于表 3, 初步了解各电站的优劣次序。

模型 (I) 基于模糊关系矩阵 R_1 , 并综合了模糊变换和线性规划的思路, 也融入了专家们的意见, 发挥了人在规划决策中的主观能动性, 充分体现了中型水电站群开发排序问题的特点。其成果与水电部成都勘测设计院经详尽分析后所得结论是一致的。因此, 本文推荐在电源开发程序的优化中采用模糊多因素加权综合评判法 (即模型 (I))。

鉴于以上分析, 无论联合运行还是单独运行, 南丫河梯级各电站 (表 1) 在规划期内均需开发 (表 4: 电网在 1991 年~2000 年需增设的水电总装机容量), 笔者以模型 (I) 之梯级联合运行时 $R_0=8\%$ 的优化序列为基准, 考虑到河流梯级开发的技术要求及四川省枯水期严重缺电的实际情况, 拟将南丫河冶勒 (龙头) 水电站提前开发。

表3 模糊多因素加权综合评判成果

梯级联合运行						梯级单独运行					
电站	D($R_0=6\%$)	电站	D($R_0=8\%$)	电站	D($R_0=10\%$)	电站	D($R_0=6\%$)	电站	D($R_0=8\%$)	电站	D($R_0=10\%$)
5	0.7062	5	0.7019	4	0.7014	5	0.7077	5	0.7040	5	0.6990
4	0.6945	4	0.6971	5	0.6963	2	0.6910	2	0.6937	2	0.6984
2	0.6166	2	0.6149	2	0.6133	4	0.6446	4	0.6465	4	0.6497
10	0.5901	10	0.5869	10	0.5831	10	0.5920	10	0.5894	10	0.5862
7	0.5848	7	0.5825	7	0.5800	7	0.5872	7	0.5855	7	0.5837
3	0.5236	3	0.5202	3	0.5159	1	0.5211	1	0.5098	1	0.4927
1	0.5207	1	0.5091	1	0.4917	15	0.5111	15	0.4981	15	0.4782
15	0.5105	15	0.4972	15	0.4771	16	0.4849	16	0.4804	16	0.4741
16	0.4836	16	0.4786	16	0.4718	3	0.4636	3	0.4592	3	0.4532
13	0.4524	13	0.4462	13	0.4376	13	0.4543	13	0.4476	13	0.4394
6	0.4366	6	0.4263	6	0.4112	6	0.4374	7	0.4275	6	0.4127
22	0.4228	22	0.4151	22	0.4040	22	0.4235	22	0.4161	22	0.4054
20	0.4176	20	0.4098	20	0.3986	20	0.4183	20	0.4108	20	0.3998
18	0.4105	18	0.4036	18	0.3937	18	0.4114	18	0.4048	18	0.3952
14	0.4093	14	0.4024	14	0.3928	14	0.4100	14	0.4035	14	0.3942
23	0.3989	23	0.3914	23	0.3806	23	0.3996	23	0.3923	23	0.3818
19	0.3979	19	0.3906	19	0.3804	19	0.3985	19	0.3916	19	0.3816
11	0.3914	11	0.3832	11	0.3716	11	0.3918	11	0.3840	11	0.3726
21	0.3601	21	0.3523	21	0.3412	21	0.3605	21	0.3530	21	0.3422
12	0.3330	12	0.3227	12	0.3074	12	0.3332	12	0.3231	12	0.3079
17	0.3164	17	0.3096	17	0.3000	17	0.3167	17	0.3100	17	0.3006
8	0.2938	8	0.2875	8	0.2787	8	0.2942	8	0.2832	8	0.2795
9	0.2712	9	0.2631	9	0.2515	9	0.2712	9	0.2632	9	0.2518

* 整数 1~23 代表电站 (见表 1)。

于是, 按四川省 1991 年~2000 年的系统电力负荷预测成果 (表 4) 及在规划期电网中水、火电比重的发展趋势, 用模型 (2)、(3) 逐年进行系统容量及电量平衡,

表4 四川电网1991年—2000年电力负荷预测*

年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
网内需装机容量净增值(万千瓦)	11.60	29.20	32.10	18.70	39.90	30.60	0.00	0.00	45.10	78.30
网内需年发电量净增值(亿度)	3.95	12.97	16.30	13.61	20.31	28.64	0.00	0.00	14.06	28.99
水电比重为 50%	装机容量(万千瓦)	5.80	14.60	16.05	9.35	19.95	15.30	0.00	0.00	22.55
	年发电量(亿度)	1.98	6.49	8.15	6.81	10.16	14.32	0.00	0.00	7.03
水电比重为 60%	装机容量(万千瓦)	6.96	17.52	19.26	11.22	23.94	18.36	0.00	0.00	27.06
	年发电量(亿度)	2.37	7.78	9.78	8.17	12.19	17.18	0.00	0.00	8.44

*各数据均为减去当年既定投入的大型水电站后网内所需装机容量及年发电量的净增值。

得1991年~2000年四川省中型水电站群的优化开发程序(如表5)。

表5 1991—2000年四川省拟建中型水电站的优化开发程序 (装机容量单位:万千瓦)

水电比重	年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	合计
60%	投入年份											
	投入容量	太平驿投 1×6.5	太平驿投 2×6.5	太平驿投 1×6.5	姚河坝投 6.8	东西关投 15.0	公益马投 7.5			芭蕉滩和石 板水共投 12.45	苍溪投 8.6 飞仙关投22.5	
	投入容量	冶勒投 2×5.0	冶勒投 2×5.0		栗子坪投 7.2	铜头场投 9.0	花滩子投 25.0				金溪场投10.0 金银台投 9.8	
	累计投入容量	16.5	23.0	6.5	14.0	24.0	32.5	0.0	0.0	12.45	50.9	179.85
50%	投入年份											
	投入容量	太平驿投 1×6.5	太平驿投 2×6.5	太平驿投 1×6.5		姚河坝投 6.8	铜头场投 9.0			公益马投 7.5	芭蕉滩和石 板水共投 12.45	
	投入容量		冶勒投 2×5.0	冶勒投 2×5.0		栗子坪投 7.2				花滩子投 25.0	苍溪投 8.6 飞仙关投22.5	
	累计投入容量	6.5	23.0	16.5	0.0	29.0	9.0	0.0	0.0	32.45	43.55	160.05

(二) 敏感性分析

在电源排序及其它水电经济计算中所采用的利率,为有关部门规定的电力工业投资利润率,其影响因素十分复杂,欲预测适合的利率值极其困难。因此,本文仅通过利率的变动来分析模型(I)的敏感性。由表3可见,无论联合运行还是单独运行,利率为8%的优化序列与利率分别为6%、10%的优化序列基本一致,且相当稳定,故应用模型(I)解决本问题是合理、可信的。

四、结 语

1. 模糊多因素综合评判方法应用于中型水电站群的开发程序优化,仅是笔者的一一个尝试,不当或谬误之处请读者批评指正。

2. 中型水电站工期短,投资小,见效快,能及时补充大型水电站的不足,改善电源布局,完善电网网架。

3. 模糊多因素综合评判法用于本问题较常规方法简单、合理, 考虑问题全面, 有广泛的实用价值。

4. 用最大、最小隶属函数模型(4)、(5)模拟本问题之定量单因素指标隶属函数曲线, 实践证明是合理可行的; 用分层专家轮次评分法确定权向量使该方法与专家们的丰富经验紧密结合。既客观又合理, 体现了人在规划决策中的主观能动性。

作者针对中型水电站群开发程序的优化问题, 用本方法以 FORTRAN 77 标准语言对整个综合评判过程(不含电力电量平衡, 因平衡过程涉及少量分析, 且计算十分简便不必用计算机)设计、编制了一套程序, 并在 MV/6000 计算机上对上述实例计算, 表明该方法占用计算机内存少, 速度快, 主机时间仅需 3 分钟。

具体计算框图(见电算框图所示)有关符号说明如下:

N 表示电站经济计算期, 本例均取 $N=50$ 年;

LP 表示总的电源数;

$N1$ 表示权重评判的第一层指标数;

$N2$ 表示权重评判的第二层指标数;

MN 表示总的单因素指标数;

IE 表示参加评判的专家数;

$M(I)$ 表示第一层中第 I 个指标, 对应于第二层中的条目数;

$NB(I)$ 、 $BCR(I)$ 、 $R(I)$ 、 $K(I)$ 、 $WK(I)$ 、 $EK(I)$ 、 $WD(I)$ 、 $WM(I)$ 、 $NP(I)$ 、 $NY(I)$ 、 $YE(I)$ 、 $CH(I)$ 、 $TP(I)$ 、 $RG(I)$ 、 $BWD(I)$ 分别表示第 I 电站的净收益、益本比、内部回收率、总投资、单位千瓦投资、单位电度投资、单位千瓦淹没土地、单位千瓦迁移人口、保证出力、装机容量、年发电量、利用小时数、总工期、水库调节性能及前期工作深度;

X 表示判别专家意见分歧的标准;

$R0$ 表示经济计算中采用的利率;

$A1(I, J)$ 表示第 I 个专家对第一层的第 J 个指标的评分;

$A2(I, J)$ 表示第 I 个专家对第二层的第 J 个指标的评分;

$A(I)$ 表示归一化后第 I 个单因素指标的权数分配;

$MAX(I)$ 、 $MIN(I)$ 分别表示第 I 个指标的上、下界;

$R1(I, J)$ 表示第 I 个单因素指标对第 J 个备择对象的隶属度;

$BEX(I)$ 表示第 I 个指标的权重评判均值;

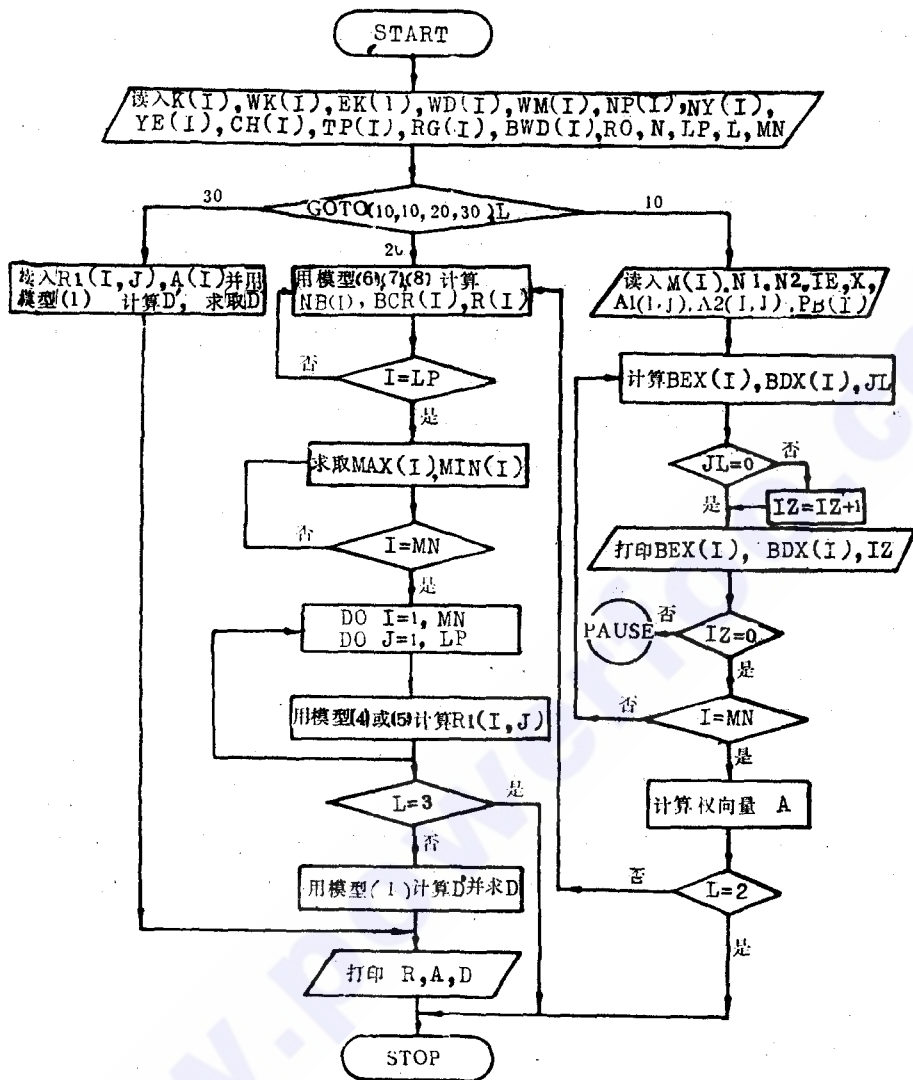
$PB(I)$ 、 $BDX(I)$ 分别表示上次、本次权重评判值的方差;

JL 表示上次与本次权重评判值的方差的差值;

Iz 表示计算情况特征值, 当专家意见分歧不大时, $Iz=0$; 当专家意见分歧较大时, $Iz=1$;

L 表示计算情况特征值, 当同时进行权重, 隶属度计算并求综合评判结果时, 取 $L=1$; 当只进行权重统计计算时, 取 $L=2$; 当只进行隶属度计算时, 取 $L=3$; 在根据已求得的权重, 隶属度计算综合评判结果时, 取 $L=4$;

D' 、 D 分别表示按大小排列前、后的综合评判结果。



电算框图

参考文献

- 〔1〕 陈贻源:模糊数学,华中工学院出版社(1984)。
- 〔2〕 Didier Dubois, Henri Prade, FUZZY SETS AND SYSTEMS Theory and Applications。
- 〔3〕 朱厚生等:Delphi方法与模糊综合评判在水利水电工程方案选择中的应用,华北水利水电学院学报,1985年第2期, P. 35—51。

(上接第42页)

合龙过程中,随龙口的收缩几度出现料物流失,进尺缓慢。但因准备充分,抛投强度亦可达到设计要求,终于11月11日21点30分胜利合龙,共历时19小时。龙口最困难时段流速达5.4米/秒,落差2.4米(凡封四照片),合龙最终河道流量700米³/秒。

截流成功不仅使围堰明年洪期安全渡汛有了可靠的保证,还为提前进入二期基坑,加快铜街子水电站建设奠定了良好的基础。

(唐德远)