

用模糊数学方法选择水电站装机容量

李智杰, 王治中, 刘林章

(杨凌职业技术学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 水电站最优装机容量的选择实质上是一个对多参数、多因素、多属性评价的综合决策问题, 因此, 根据某一个单向目标去选择装机容量, 得到的结果未必客观。通过对小容量水电站的五种装机方法的“定性”分析和“定量”验证, 指出了各种方法间的差异缺陷, 在此基础上, 提出了应用模糊数学方法选择装机容量的设想, 以期弥补传统方法之不足。经实例验证, 采用模糊数学的方法是客观、合理的, 具有一定的可行性。

关键词: 模糊数学; 方法; 水电站; 装机容量

中图分类号: T V734

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0247-02

Choose Installed Capacity of Hydropower Station with Fuzzy Mathematics Method

LI Zhi-jie, WANG Zhi-zhong, LIU Lin-zhang

(Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Choosing installed capacity of hydropower station is actually a decisive problem to evaluate multi-parameters, multi-factors, and multi-attributes. Therefore, it is not objective to choose installed capacity only according to single aspect. The authors put forward differences and shortcomings through qualitative analysis and quantitative test of 5 methods of installation of small-sized hydropower station. Based on this, an idea of choosing installed capacity with fuzzy mathematics method was raised to make up for traditional shortcomings. Living examples proved that this method was objective, rational, and practicable.

Key words: fuzzy mathematics; method; hydropower station; installed capacity

水电站装机容量选择是一个综合性的技术经济比较问题, 装机容量的大小, 涉及到水能资源利用程度、设备利用小时的高低, 以及电站的投资收益、造价、工期、还本年限等众多经济指标的优劣。经对已成电站的统计调查显示, 许多电站规模不是“偏大”就是“偏小”, 几乎难以找到一个在运行上较为适中型的水电站。究其原因除了水能分析、机组选型的人为因素之外, 更重要的是确定水电站装机容量方法的不完善所致。目前所采用的方法大都是“执其一端”, 根据某一个单向目标去选择装机容量, 势必会顾此失彼。本文就是在分析诸多传统选择装机容量方法的基础上提出一个兼顾众多目标因素影响的模糊数学方法, 以期达到克服上述弊端之目的。

1 方法的比较分析

众所周知, 容量较大的水电站, 其装机容量的选择是根据水能计算及径流调节成果, 结合系统负荷特性, 以及水电站调节性能所确定的在设计水平年系统负荷图中的位置, 再根据其保证电量在负荷曲线上确定出其工作容量, 并考虑适当的备用容量后确定出最终装机容量。容量较小的水电站, 无法应用负荷图来选择装机容量。所以通常采用简化的方法, 即保证出力的倍比系数法、年利用小时数法、投资收益最大法、边际成本差值最大法, 目标函数法等。

下面就上述几个简化方法, 作一些对比分析以窥其利弊长短。

1.1 保证出力的倍比系数法

$$N_Y = C \cdot N_P \quad (1)$$

式中: N_Y ——装机容量 kW; N_P ——保证出力, kW; 水能计算的结果; C ——系数规范规定, 一般在 2~5 之间选取。

从式中可以看出, 该方法的极大粗略, C 的选取决定装机容量的大小, 而 C 的选取范围十分宽, 任意性、随意性很大, 导致结果富有较强的弹性。

1.2 装机容量年利用小时数法

$$N_Y = \frac{\bar{E}_{\text{年}}}{h} \quad (2)$$

式中: $\bar{E}_{\text{年}}$ ——水电站站址处的多年平均发电量 (kW·h); h ——装机容量的年利用小时; 规范规定对无调节水电站在 5 500~7 000 h 范围选取。

该方法是根据水能计算结果, 绘制电能累积曲线 $\bar{E}_{\text{年}}-h$, 再根据选定的年利用小时 $h_{\text{年}}$, 在曲线上直接查出装机容量。由于曲线绘制的粗糙, 再加之年利用小时选取的任意性, 导致结果的不客观性较大。

1.3 投资将最大法即投资回收最小年限法

$$I = SE/c_p - \alpha \quad (3)$$

$$T = C_p / (SE - \alpha c_p) \quad (3')$$

式中: I ——投资收益率; T ——投资回收年限, 年; S ——电价元/(kW·h); E ——多年平均发电量, (kW·h); C_p ——工程建设的造价, 元; α ——年运行费率。

该方法仅考虑了投资收益这个惟一条件, 其他因素都未考虑, 水能资源得不到充分利用。

1.4 年费用差值最大法(边际成本费用最小)

$$\Delta C = C_{i-1} - C \tag{4}$$

$$MC = \frac{\Delta C_{\Delta i}}{\Delta E_i} \tag{4'}$$

式中: ΔC ——年费用差值万元; C_i ——第 i 方案的年费用, $C_i = \alpha C_{Pi}$ 万元; C_{i-1} ——第 $i-1$ 方案的年费用万元; MC_i ——第 i 方案的边际成本, 元/(kW·h); ΔE_i ——第 i 方案的电量差值(kW·h)。

该方法考虑了水能资源的充分利用, 其结果可能偏大。

1.5 目标函数法

$$A(N) = e(N) \cdot I(N) \tag{5}$$

式中: $A(N)$ ——目标函数; $e(N)$ ——水能资源利用率; $e = E/E$; $I(N)$ ——投资收益率(见(四)式)。

该方法选择装机的水能资源比用投资收益率法更全面一点, 兼顾了水能资源利用的情况。不过从其表达式看出仅是对投资收益率打一个折扣而已。

1.6 模糊数学方法

水电站装机容量的最优方案确定实际上是一个对多参数多因素的多属性评价的综合决策问题。对于这样的问题求解, 美国控制专家扎德的模糊数学, 不失为对客观世界中模糊性的最好描述。对多因素评价的模糊数学方法描述:

对于多个因素目标 $f_i(x)$ 构成因素集:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x\}$$

通过定义或选择适当的隶属函数 $A(y)$, 构成其决策集:

$$y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$$

在用 r_{ij} 表示 x_i 在 y_i 上的特征值, 即对于每个 x_i 得一个向量 $(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 再以 n 个向量作为行组成 $n \times m$ 矩阵, 即 $R = (r_{ij})_{nm}$ 就是 X 到 y 的模糊关系矩阵:

$$R = \begin{Bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \cdots & r_{nm} \end{Bmatrix}$$

然后通过对多个被评价单向目标因素的重要程度分析, 给以权重分配, 得因素 X_i 的数量指标 a_i , 按其顺序便构成权向量 A , 然后通过模糊线性变换原理, A 和 R 的合成, 即:

$$B = AR$$
$$= (b_1, b_2, \dots, b_K)$$

其中, $b_i = a_1 r_{1j} + a_2 r_{2j} + \dots + a_n r_{nj} = \sum_{k=1}^n a_k r_{kj}$

$$(k = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

显然 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 为决策集上各种决策的可能性系数, 再用最大隶属度原则选 $b_i \rightarrow \max$ 作为最优装机方案。

该方法能全面考虑各个目标因素对总体方案评价的贡献, 兼顾了各个因素对方案的影响, 相对上述几种方法“人为因素”的任意性少一些, 因此所得装机方案较为客观合理。

2 计算实例

SNM 水电站为引水式, 设计水头 65.0 m, 站址处水能理论蕴藏量 $E_0 = 1\,320 \times 10^4$ (kW·h), 经水能计算得保证出力 $N_P = 681$ kW, 有四种装机规模方案可供选择。各方案相应的有关指标具体见表 1。

就上述有关指标, 按上述方法分别确定其装机规模:

2.1 保证出力倍比系数法

$$N_Y = C \cdot N_P = 2.5 \times 681 = 1\,720 \text{ kW}$$

2.2 装机容量年利用小时数法:

$$N_Y = \overline{E} / h_{\text{年}} = \frac{930 \times 10^4}{6\,000} = 1\,550 \text{ kW}$$

表 1 电站装机方案的相关指标

项目	3×500	2×800	3×800	4×800
年均发电量 $E(\times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h})$	825	865	1118	1158
工程总造价/万元	752	783	838	892
年利用小时/h	5433	5406	4658	87.8
水能资源利用率/%	62.5	65.5	84.6	87.7
投资收益率/%	18.5	18.7	24.0	23.1
工程量/万 M^3	3.05	3.15	3.3	3.4
工期/a	1.5	1.5	2.0	2.5

其中 $h_{\text{年}}$ ——按规范规定对无调节水电站在 5 500~ 7 000 h 选取, 选用 6 000 h。 \overline{E} ——经计算 930×10^4 (kW·h)

2.3 投资收益

最大法、年运行费差值法、目标函数法等方法就四个方案分别计算的结果, 见表 2、表 3。

表 2 平均成本和边际成本计算表

装机方案	年费用 $C = 0.067 \times C_P$ /万元	年均发电量 $\times 10^4 (\text{kW} \cdot \text{h})$	平均成本 A/C (元·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	边际成本		
				ΔC_i	ΔE	$MC = \frac{\Delta C_i}{\Delta E}$
3×500	50.40	825	0.061			
2×800	52.46	865	0.060	2.06	40	0.052
3×800	56.15	1118	0.050	3.69	253	0.0146
4×800	59.76	1158	0.052	3.61	40	0.090

表 3 目标函数法计算表

装机方案	水能利用率 $e = E/E_0$ %	投资收益率/% $I = 0.23E/C_P - 0.067$	目标函数 $A(N) = e(N)I(N)$
/kW			
3×500	62.5	18.5	0.1156
2×800	65.5	18.7	0.1225
3×800	85.0	23.9	0.2032
4×800	88.0	23.0	0.2024

2.4 模糊数学方法

在本问题中, 首先分别对四种装机容量方案的各被评价因素工程造价、年利用小时、水能资源利用率、投资收益率、工程量、工期等构成集合, 即

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}$$

式中: u_i ——单项目标因素 $i = 1, 2 \dots 6$ 。

第二步, 建构决策集选择隶属函数, 用 r_{ij} 表示 u_i 在 y_i 上的特征值。

对于隶属函数的确定, 根据指标不同特点或在认的其指标为最优和不能接受的指标, 确定其两个端点 u_{i0} 、 $u_{i\theta}$, 然后以某种关系描述方案或“行”或“不行”的中间过渡过程。

在本问题中, 对被评价因素的隶属函数除了应用特定指标作为端点构成隶属函数之外, 还根据所列方案某种被评价因素的最大值最小值作为端点, 中间过渡部分为简便起见以线性函数关系来描述。

根据上述原则, 选定各指标的隶属函数如下:

(1) 千瓦投资 u_1 , 根据小水电评价指标千瓦造价规定在 2 000~ 6 000 元之间, 因此选千瓦造价 u_1 的隶属函数为:

$$u(u_1) = \begin{cases} \frac{6000 - u_1}{6000 - 2000} & 2000 < u_1 \leq 6000 \\ 0 & u_1 > 6000 \end{cases}$$

(2) 设备利用小时 u_2 , 以大于或等于 6 000 h 作为可接受的设备利用, 小于 2 500 h 则为不可接受的设备利用, 因此选设备利用小时的隶属函数为:

$$u(u_2) = \begin{cases} 1 & 6000 \leq u_2 < 8760 \\ \frac{6000 - u_2}{6000 - 2500} & 2500 \leq u_2 < 6000 \\ 0 & u_2 > 2500 \end{cases}$$

(下转第 251 页)

从表 2 可以看出, 40% 的矿山地质环境质量很差, 53% 的矿山地质环境质量一般, 只有 7% 的矿山地质环境质量较好。矿山地质环境极差与差的矿区在空间上分布于辽宁省的东、西部地区 and 北部、南部的部分地区, 主要与大中型煤矿、铁矿、菱镁矿、滑石矿、有色贵金属矿和部分石灰岩、花岗岩矿石的开发活动有关, 如抚顺煤田、阜新煤田、赛马—绥阳煤矿区、海州五龙煤矿区、清河门煤矿区、抚顺西露天矿区、本溪煤田、南票煤矿区等煤矿区和鞍山周边铁矿区、辽阳弓长岭露天铁矿区本溪歪头山铁矿区。该类矿山规模大、开采时间长、以露天开采为主, 主要的地质环境问题为矿山活动引起的滑坡、崩塌和采矿塌陷以及由此引起的泥石流地质灾害、采矿破坏与占用的土地面积和三废排放引起的环境污染。

矿山地质环境较差的地区主要为小型的有色贵金属矿区和一些小型的煤矿区、铁矿区以及非金属矿区。地质环境问题主要为三废排放引起的环境污染和矿产的开采对土地资源的破坏。矿山地质环境一般的矿区为排山楼金矿、青城子铅锌矿、大石桥菱镁矿、瓦房电金刚石矿和宽甸福利硼铁矿等 10 个矿区, 矿区的三废排放引起的环境污染是主要的地质环境问题。

3 矿山地质环境发展趋势与保护

我省因矿而兴的城镇较多, 这些城镇随着矿山开采规

模、强度的不断扩大, 不可避免的会扩大对环境影响的地域, 产生新的环境问题, 加重已有环境问题的危害程度。有资料表明, 80 年代省内矿山地质灾害主要有崩塌、滑坡、地面塌陷、矿震、矿坑突水等几种, 并集中发生在几个大型露天煤矿。进入 90 年代, 在上述灾害日趋严重的同时, 泥石流、水土流失、大气污染、岩爆、海水入侵等地质灾害也相继出现并时有发生。地面塌陷灾害由采煤矿山扩展至有色金属、滑石、硼、石膏等多个矿种。由三废排放引起的大气污染、地下水、地表水、土壤污染的程度必将日趋加重, 特别是非金属、建材矿山和各种矿产群采区具有点多、面广的特点, 其影响范围几乎涉及城乡各地。

根据辽宁省矿业资源的特点和矿山地质环境问题的实际, 矿山地质环境的治理与保护的基本原则应以 21 世纪辽宁矿业经济发展总体布局—“一中心、一带、三区”, “四个开采规划区”为基础, 坚持“矿产资源开发与矿山生态环境保护并重, 预防为主, 防治结合”和“全面规划、合理开发、化害为利、变废为宝”以及“谁开发、谁污染、谁治理; 谁破坏、谁恢复; 谁使用、谁补偿”和新办矿山与现有矿山区别对待的方针, 建立和完善矿山生态环境保护与恢复治理的政策法规和规划体系和矿山生态环境与地质灾害动态监测体系, 开展矿山生态环境和地质灾害调查评价。通过建立和执行环境

(下转第 254 页)

(上接第 248 页)

(3) 水能资源利用率 u_3 , 水能资源利用率随装机容量增加而增加很快, 而当增加到一定容量时水能增加很慢, 故隶属函数选为升半岭型:

$$u(u_3)=\begin{cases} 1 & u_3 \leq 50 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} (u_3 - \frac{a_1 + a_2}{2}) & 50 < u_3 \leq 96 \\ 0 & u_3 > 96 \end{cases}$$

(4) 投资收益率 u_4 , 投资收益指标每增加一点对方案评价十分敏感, 隶属度增加较快, 即当大到一定值时, 其敏感性会下降, 故隶属函数选为升半型分布:

$$u(u_4)=\begin{cases} 0 & 0 \leq u_4 \leq 10 \\ 1 - e^{-\frac{(u_4 - 10)}{4}} & u_4 > 10 \end{cases}$$

(5) 选定工程量 u_5 的隶属函数为:

$$u(u_5)=\begin{cases} 1 - \frac{u_5}{5} & 0 \leq u_5 \leq 5 \\ 0 & u_5 > 5 \end{cases}$$

(6) 选定工期 u_6 的隶属函数为:

$$u(u_6)=\begin{cases} \frac{3 - u_6}{3 - 1} & 1 \leq u_6 \leq 3 \\ 0 & u_6 > 3 \end{cases}$$

选定各因素指标的隶属函数之后, 于是各方案所对应的被评价因素的隶属度 $\mu(u_i)$ 便构成以下模糊关系矩阵 R:

$$R = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.28 & 0.63 & 0.66 \\ 0.16 & 0.17 & 0.38 & 0.45 \\ 0.49 & 0.50 & 0.51 & 0.50 \\ 0.88 & 0.89 & 0.97 & 0.96 \\ 0.38 & 0.36 & 0.32 & 0.30 \\ 0.75 & 0.75 & 0.50 & 0.25 \end{bmatrix}$$

参考文献:

[1] 李荧. 农村电气化规划指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
[2] 王铭文, 等. 模糊数学讲义[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 1988.
[3] 张振良. 应用模糊数学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.

对上述六个指标进行分析并结合生产单位的具体要求经专家考虑, 赋予以下权向量, 并满足归一化 $\sum_{i=1}^6$ 的条件, 得:

$$C = (0.16, 0.23, 0.26, 0.15, 0.09, 0.11)$$

通过模糊线性变换, 即:

$$B = CR = (0.4529, 0.4623, 0.5501, 0.5376)$$

由此可见, $b_3 = 0.5501 \rightarrow \max$ 所对应的方案 3×800 kW 为最优方案。

3 结 论

经过计算上述六种方法选择装机容量差异是较大的结果见表 4。

表 4 六种方法计算结果对比表

方 法	倍比系数法	年利用小时法	投资收益率法	年运行费值法	目标函数法	模糊数学法
装机容量/kW	1700	1550 kW	3×800	2×800	3×800	3×800
说 明	通常作电能		在形式上虽			
	C 的选取任		然考虑了水			
	意性很大, 再根据年利		考虑了众多			
	无充分根据		能资源利用			
	粗略		因素影响比			
	意性大		情况, 但其较客观、人			
线上选取随		又考虑了投	从成本考	虑, 比较保	实质还是打	为, 随机性
一条		资收益的惟	守一些	一点折扣	较少, 比较	而已的投资
		科学性				科学
						收益因素

表 4 显示, 虽然在其具体值上不同的方法有相同的结果, 但其本质的物理意义和处理问题的角度有根本的不同。对于一些受众多因素影响而难以裁决问题的解决时, 模糊数学方法是可行的, 不失其客观性、科学性和合理性。该方法所得结果是否与客观差异最小, 隶属函数的选取以及各影响因素的权重分配是最为关键的。