

水电站群装机容量优化选择的探讨

(采用线性规划法)

鄢建华

(成都科技大学)

为实现十二大提出到本世纪末全国工农业年总产值翻两番的宏伟目标,必须最经济地迅速开发能源。因此,在所规划的一个地区、同时期内兴建若干座水电站,便是一个很现实的问题。在这种情况下,对水电站群整体优化设计进行一些探讨,显然是十分必要的。

根据一个地区的国民经济和电力建设规划,已知某设计水平年时,要求保证新增水电总装机容量至少为 $N_{总}$ 千瓦,经过规划选点选出最现实可行的 n 座水电站同时兴建,并初估可在不超过该地区最大可能筹集到的资金 K 条件下建成。这时我们建议可采用水电站群的“总年利润最大”为准则,以确定水电站群各电站的最优装机容量值;并建立数学模型如下:

$$\text{目标函数} \quad b_1 N_1 + b_2 N_2 + \dots + b_i N_i + \dots + b_n N_n = B \Rightarrow \max \quad (1)$$

$$\text{约束条件} \quad N_1 + N_2 + \dots + N_i + \dots + N_n \geq N_{总} \quad (2)$$

$$C_1 N_1 + C_2 N_2 + \dots + C_i N_i + \dots + C_n N_n \leq K \quad (3)$$

$$\text{非负条件} \quad 0 \leq N_i \leq N_{极i} \text{ 或 } N_{工i} \leq N_i \leq N_{极i}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

式中 b_i ——为第 i 水电站装机千瓦的纯利收入(元/千瓦);

B ——为水电站群总的年纯利润收入(总年利润)(元);

N_i ——为第 i 水电站的装机容量(千瓦);

C_i ——为第 i 水电站的装机千瓦投资(元/千瓦);

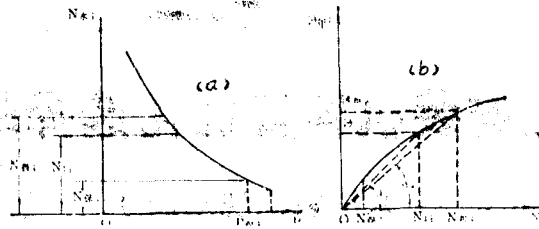
$N_{工i}$ ——为第 i 水电站的最大工作容量(千瓦);

$N_{极i}$ ——为第 i 水电站的极限装机容量(千瓦)。

规划或初设阶段采用线性规划法解上述数学模型时,必须是 b_i 和 C_i 两值为常量,并建议按下述方法确定出 $N_{工i}$ 和 $N_{极i}$ 范围内的 b_i 、 C_i 平均值作为常数。

根据第 i 水电站由初步电力电量平衡与动能经济计算等所得成果,已知该电站的水流容量保证率曲线以及装机容量与年发电量关系曲线,如图1所示。

图1中同时表示出:设计保证率 $P_{保i}$ 相应的保证出力 $N_{保i}$,最大工作容量 $N_{工i}$ 与相应的年发电量 $\Theta_{工i}$,以及极限装机容量 $N_{极i}$ 与相应年发电量 $\Theta_{极i}$ 。则第 i 座水电站平均每千瓦纯利收入 b_i 可按下式计算:



a) 第*i*水电站水流容量保证率曲线 b) 第*i*水电站装机容量和年发电量关系曲线
图1 第*i*水电站水流容量保证率曲线和装机容量与年发电量关系曲线

$$b_i = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \mathbb{I}_i}{N_{\mathbb{I}_i}} + \frac{\partial \text{极}_i}{N_{\text{极}_i}} \right) (r_i - e_i) = T (r_i - e_i) \quad (5)$$

式中 $T = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \mathbb{I}_i}{N_{\mathbb{I}_i}} + \frac{\partial \text{极}_i}{N_{\text{极}_i}} \right)$ ——为第*i*水电站平均每千瓦年发电量(度/千瓦),

实质上就是该电站平均装机容量年利用小时数;

r_i ——为该地区电价(元/度);

e_i ——为第*i*电站的电能成本(元/度)。

第*i*水电站投资 A_i 可用图2表示,并用下式表达:

$$A_i = A_{0i} + N_i \text{tg} \alpha = A_{0i} + N_i a_i \quad (6)$$

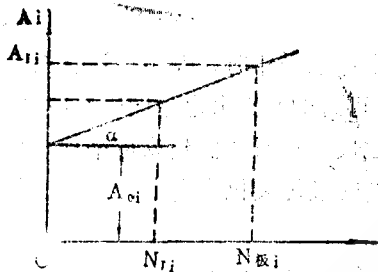


图2 第*i*水电站装机容量和投资关系曲线

式中

A_{0i} ——第*i*水电站投资 A_i 中的固定投资部

$N_i \text{tg} \alpha$ 或 $N_i a_i$ ——第*i*水电站投资 A_i 中随装

机容量变化而变化的部分;

a_i ——为第*i*水电站的增加千瓦投资。

第*i*水电站平均装机千瓦投资 C_i 可按式计算:

$$C_i = \frac{1}{2} \left(\frac{A_{0i} + N_{\text{极}_i} a_i}{N_{\text{极}_i}} + \frac{A_{0i} + N_{\mathbb{I}_i} a_i}{N_{\mathbb{I}_i}} \right) = a_i + \frac{A_{0i}}{2} \left(\frac{1}{N_{\text{极}_i}} + \frac{1}{N_{\mathbb{I}_i}} \right) \quad (7)$$

上述数学模型当 $n \geq 3$ 时,应采用单纯形法求解(1)、(2),但 $n=2$ 可采用简单的图解法求解。今以下述两座水电站组成的水电站群为例,进行装机容量的优化选择。

〔例〕据某地区设计水平年的负荷要求,至少需新增总容量 $N_{\text{总}} = 65000$ 千瓦的水电装机,初估可在总投资 K 不超过 90000000 元条件下同时建成。水电站 I 平均装机容量利用小时数为 4000 度/千瓦,每度电纯利收入 $(r_i - e_i) = 0.05$ 元/度,平均每千瓦纯利收入 $b_i = 4000 \times 0.05 = 200$ 元/千瓦,平均装机千瓦投资 $C_i = 1000$ 元/千瓦, $N_{\text{极}_i} = 40000$ 千瓦。水电站 II 平均每千瓦纯利收入 $b_2 = 6000$ 度/千瓦 $\times 0.05$ 元/度 = 300 元/千瓦,平

均装机千瓦投资 $C_2=1600$ 元/千瓦, $N_{极2}=35000$ 千瓦。试求出两座水电站的最优装机容量 N_1^* 、 N_2^* 各为多少?

[解] 首先列出数学模型如下:

$$200N_1 + 300N_2 = B \implies \max \quad (1)'$$

$$N_1 + N_2 \geq 65000 \text{ 千瓦} \quad (2)'$$

$$1000N_1 + 1600N_2 \leq 90000000 \text{ 元} \quad (3)'$$

$$N_{\perp 1} \leq N_1 \leq 40000 \text{ 千瓦}, N_{\perp 2} \leq N_2 \leq 35000 \text{ 千瓦} \quad (4)'$$

1. 根据非负条件和约束条件, 确定可行解区域。

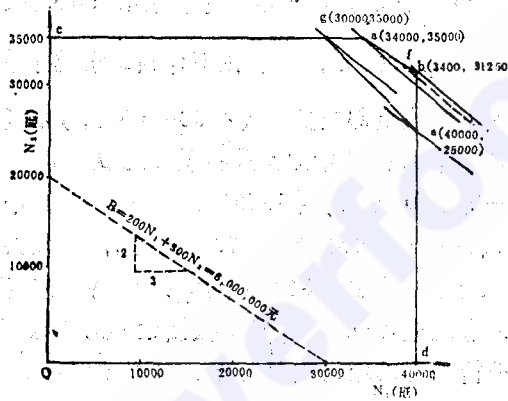


图3 线性规划图解法求最优解

据公式(4)', 通过 $N_1=40000$ 千瓦在图3作垂直线 bd , 通过 $N_2=35000$ 千瓦在图3作水平线 ac 。b点座标如下:

$$N_1 = 40000 \text{ 千瓦};$$

$$\begin{aligned} \text{由公式(3)'} N_2 &= \frac{90000000 - 40000 \times 1000}{1600} \\ &= 31250 \text{ 千瓦}, \end{aligned}$$

点座标如下:

$$N_2 = 35000 \text{ 千瓦};$$

$$\begin{aligned} \text{由公式(3)'} N_1 &= \frac{90000000 - 35000 \times 1600}{1000} \\ &= 34000 \text{ 千瓦}. \end{aligned}$$

由公式(2)': 当 $N_1 + N_2 = 65000$ 千瓦, 如 $N_1 = 40000$ 千瓦, 则 $N_2 = 25000$ 千瓦, 得出图3的e点; 如 $N_2 = 35000$ 千瓦, 则 $N_1 = 30000$ 千瓦, 得出图3的g点。满足约束条件和非负条件的解答点, 不能选取在 $abeg$ 四边形范围之外, 故四边形 $abeg$ 为可行解区域。据线性规划定理, 可行解区为凸多边形或凸集时, 其最优解应在该区的“极点”或“角”上达到。

2. 求最优解, 即极大化B值

$$\text{由公式(1)'} N_2 = -\frac{200}{300} N_1 + \frac{B}{300}, \text{ 故可以斜率为 } -\frac{2}{3} \text{ 或平行于图中虚线 } B =$$

$200N_1 + 300N_2 = 6000000$, 通过 a 、 b 、 e 、 g 四个极点画出四条平行线。显然, 其中离原点 o 最远的一条平行线, 是 B 值极大化的直线, 直线上极点 b 的座标值(N_1 , N_2)便是目标函数的最优解。即 $B = 200 \times 40000 + 300 \times 31250 = 17375000$ 元为总年利润最大值。其余三点的 B 值比较如下:

极点 a 的 $B = 200 \times 34000 + 300 \times 35000 = 17300000$ 元;

极点 g 的 $B = 200 \times 30000 + 300 \times 35000 = 16500000$ 元;

极点 e 的 $B = 200 \times 40000 + 300 \times 25000 = 15500000$ 元。

按“地区内两电站总年利润最大”为准则确定的最优装机容量值为 $N_1^* = 40000$ 千瓦, $N_2^* = 31250$ 瓩; 最优资金分配为: 水电站 I 投资 $40000 \times 1000 = 40000000$ 元, 水电站 II 投资为 $31250 \times 1600 = 50000000$ 元, 而且在不计利息情况下有 $\frac{90000000}{17375000} = 5.18$ 年。

即只需5年左右的时间就可回收全部投资。(40000- $N_{工1}$)和(31250- $N_{工2}$)部分的容量, 视各电站具体的调节能力, 可作为备用容量或重复容量。

在可行区域内任取一靠近 b 的点 f (39600, 31500), 也作出一条平行线(图3中虚线), 则 f 点的 $B = 200 \times 39600 + 300 \times 31500 = 17370000$ 元, 即比 $B_{max} = 17375000$ 元少5000元。因此得出 $N_1^* = 40000$ 千瓦, $N_2^* = 31250$ 千瓦的最优装机方案, 可作为进一步分析的基础。由于可行解区内最靠近极点 b 的还有若干很接近 B_{max} 的点, 例如点 f (39600, 31500)等等, 也是值得进一步分析采用的经济次优方案, 故必要时可进一步结合机型和台数选择以及定性分析(如政治因素等), 根据更全面的要求对装机容量值进行适当调整, 最后确定决策方案。

结 束 语

本文建议的水电站群装机容量优化选择方法, 概念明确, 应用方便, 既决定了最优装机容量值, 同时又决定了最优资金分配及其回收年限。由公式(5)和公式(7)表明, 实际上 b_i 和 C_i 是随装机容量变化而变化的变量, 则上述数学模型便成为非线性模型。下一步我们除将考虑货币的时间价值以及作出 b_i 、 c_i 等变化时的敏感性分析以外, 还将探讨用非线性规划法决定水电站群装机容量优化选择问题。

参 考 文 献

- (1) [美] 罗道福·J·阿奎拉著, 张必恭等译《规划设计施工中的系统分析与设计》第五章, 1981年建筑工业出版社。
- (2) 沈泰昌等编著《系统工程基础》第三章, 1981年, 国防工业出版社。