

文章编号 :1007-649X(2000)01-0066-03

# 小型水电站厂内运行优化方法

马跃先,马细霞,程大鹏

(郑州工业大学水利与环境工程学院,河南 郑州 450002)

摘 要:针对目前已建成的小型水电站资源利用不充分,机组总体效率较低的现象,提出了一种适合小型水电站运行特点的厂内经济运行优化方法,该方法以机组的实际动力特性为依据,既避免了由于曲线转换和拟合带来的误差,又可以将电站引水系统和尾水系统由于不同组合方式所出现的不确定因素纳入优化设计之中,使计算结果更加准确可靠.经实际电站的应用表明,该方法不仅可以提高电站管理的技术含量,而且使电站的经济效益有明显的提高.

关键词:小型水电站;资源利用;优化方法;经济运行

中图分类号:TV 734 文献标识码:A

## 0 引言

我国已建成的小型水电站有 5 万多座,总装机超过 1500 万 kW,由于种种原因,导致重建轻管现象严重,对厂内优化运行所产生的效益重视不足,科技投入较少.到目前为止,仍有绝大多数小型水电站对厂内优化运行问题缺乏认识.虽然少数电站在设计时,根据等流量微增率原理<sup>[1]</sup>绘制了厂内经济运行总图来指导电站运行,但由于该方法考虑问题单一,误差较大,且应用繁琐,几乎没有电站真正应用.随着电子计算机应用的普及,也有个别电站借鉴大电站的经验,用非线性规划或动态规划法<sup>[1~3]</sup>来解决厂内优化运行问题,结果仍然不能令人满意.其主要原因是:(1)这两种方法都需要将机组的动力特性曲线反复转换拟合,计算误差较大;(2)无法将引水系统不同的布置型式、尾水位控制方式及机组随机检修等相关因素纳入优化运行设计之中,造成了应用的局限性;(3)在实际应用时,灵活性较差,使用麻烦.因此,目前亟需研制一种计算精确、操作简单、适用性强的中小型水电站厂内优化运行模型来指导电站的实际运行.

## 1 厂内优化运行数学模型的建立

小型水电站由于单站规模较小(负荷小于

25000 kW),普遍不承担电力系统中负荷波动的瞬时调整任务,通常以定负荷或定流量两种方式运行.所谓定负荷运行方式,即电力系统在供电相对紧张或富裕这两种极端情况下,由电管部门向电站下达发电指标,电站按该指标运行.定流量运行方式就是电力系统对电站没有具体的负荷要求,该电站根据自己的水量调度需要,自主发电.

定负荷运行方式的目标函数为电站的总负荷  $N$  一定,寻求电站的总引用流量  $Q$  最小,即

$$Q = \min\{Q_1(N_1, H_1) + Q_2(N_2, H_2) + \dots + Q_n(N_n, H_n)\} = \min\left\{\sum_{i=1}^n Q_i(N_i, H_i)\right\}. \quad (1)$$

其约束条件为:

(1) 机组出力约束

$$N_{i \min} \leq N_i \leq N_{i \max}; \quad (2)$$

(2) 机组流量约束

$$Q_{i \min} \leq Q_i(N_i, H_i) \leq Q_{i \max}; \quad (3)$$

(3) 电站出力平衡约束

$$\sum_{i=1}^n N_i = N = C. \quad (4)$$

定流量运行方式的目标函数为电站总引用流量  $Q$  一定,寻求电站的总出力  $N$  最大,即

$$N = \max\{N_1(Q_1, H_1) + N_2(Q_2, H_2) + \dots + N_n(Q_n, H_n)\} = \max\left\{\sum_{i=1}^n N_i(Q_i, H_i)\right\}, \quad (5)$$

收稿日期:1999-10-07;修订日期:1999-11-10

作者简介:马跃先(1957-),男,河南省内乡县人,郑州工业大学副教授,硕士,主要从事水利发电方面的研究.

其对应约束条件为：

(1) 出力约束

$$N_{i \min} \leq N(Q_i, H_i) \leq N_{i \max}; \quad (6)$$

(2) 流量约束

$$Q_{i \min} \leq Q_i \leq Q_{i \max}; \quad (7)$$

(3) 流量平衡约束

$$\sum_{i=1}^n Q_i = Q = C. \quad (8)$$

式中： $i$  为电站机组编号， $i=1, 2, \dots, n$ ； $Q_i, H_i, N_i$  分别为某工况下第  $i$  台机组的工作流量、工作水头和对应出力； $Q_{i \min}, Q_{i \max}$  分别为第  $i$  台机组最小、最大可能引用流量，它们是工作水头  $H_i$  的函数； $N_{i \min}, N_{i \max}$  分别为第  $i$  台机组最小、最大可能出力，它们既受单机容量的限制，又是工作水头  $H_i$  和工作流量  $Q_i$  的函数。

## 2 对两种不同运行方式问题的求解

### 2.1 第 $i$ 台机组的工作水头

电站某台机组的工作水头  $H_i$  为上游水位  $Z_{\text{上}}$  和下游水位  $Z_{\text{下}}$  之差再扣除对应引水系统的水头损失  $\Delta h_i$ ，可表示为

$$H_i = Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}} - \Delta h_i. \quad (9)$$

当电站的引水系统为联合供水时， $\Delta h_i$  为引水系统过流量的函数，它不仅和引水系统的特征尺寸、形状及布置方式有关，而且和不同机组运行的组合方式有关，如果运行机组的组合方式共有  $K$  种，对某一种组合，引水系统水头损失的一般形式为

$$\Delta h_i = f(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)_k. \quad (10)$$

如果引水系统为单元供水，则为式(10)的一种特例，即

$$\Delta h_i = f(Q_i).$$

在水电站尾水渠上不设控制闸门的情况下，水电站的尾水位仅与尾水渠的特征尺寸及发电引用总流量  $Q$  有关，即

$$Z_{\text{下}} = f(Q).$$

若在尾水渠上设置闸门，则下游尾水位和控制方式有关，其一般形式为

$$Z_{\text{下}} = f(Q, \gamma).$$

### 2.2 机组动力特性曲线

机组在电站投入运行以后，随着时间的推移，其原始理论动力特性均会发生不同程度的变化，为了使计算准确可靠，应以机组当前的实际动力特性为依据。实际动力特性曲线是通过在机组不

同工况下进行实测，再经过对理论动力特性修正后得出的。

$$\eta_i = f(Q_i^1, n_1^1),$$

式中， $Q_i^1 = Q_i f(D_1^2 \cdot H_i^{\frac{1}{2}})$ ；

$$n_1^1 = n D_1 / H_i^{\frac{1}{2}}.$$

### 2.3 电站机组间负荷及流量合理分配

第  $i$  台机组出力计算公式为

$$N_i = 9.81 Q_i H_i \eta_i \eta_{\text{电}}.$$

通过联立式(1)(2)(3)和式(4)，运用递推原理求解，可得出电站定负荷运行方式下，机组的最优开机顺序及实现机组间负荷的最佳匹配。

同理对式(5)(6)(7)和(8)联立求解，可得出电站定流量运行方式下，机组的最优开机顺序及实现机组间流量的最佳匹配。

现就电站机组间流量合理分配计算方法简述如下(以电站装机 4 台为例)：

第一步：根据电站引用流量  $Q$ ，调用水库下游尾水位流量关系曲线子程序，求得下游尾水位。

第二步：根据电站引用流量  $Q$  及机组最大过水能力，初估电站开机台数。

第三步：根据初定的电站开机台数，选择以下计算。

(1) 初定开 1 台机：根据电站出力最大原则，分别计算出引用流量  $Q$  下各台机组的出力，并从中选出最大出力。若该最大出力小于最大单机容量，则与该出力相应的开机方式即为最优开机方式，否则应开 2 台机组。

(2) 初定开 2 台机，或经计算发现应开 2 台机：因电站装机 4 台，所以有 6 种开机方式，即  $1^{\#} + 2^{\#}$ ， $1^{\#} + 3^{\#}$ ， $1^{\#} + 4^{\#}$ ， $2^{\#} + 3^{\#}$ ， $2^{\#} + 4^{\#}$ ， $3^{\#} + 4^{\#}$ 。最优开机方式及最优流量分配仍根据电站出力最大原则确定，因此需对 6 种开机方式分别计算各种流量分配情况下的电站出力，然后从中选出最大出力。若该最大出力小于最大 2 台单机容量之和，则与该出力相应的开机方式和流量分配即为电站最优开机方式和最优流量分配；否则应开 3 台机组。

(3) 开 3 台机或开 4 台机：电站开 3 台机或开 4 台机厂内优化运行计算方法与开 2 台机相似，不再赘述。

## 3 结语

(1) 电站无论采用哪种运行方式，只要向计

算机输入电站的上游水位和负荷指标(或发电总流量),经优化计算,在数秒钟之内,便可给出该方式下电站最优运行的操作指令,管理人员按指令进行操作.

(2)根据同样原理,可进行梯级电站或电站群之间厂内优化运行设计.

(3)该方法已在数座电站进行了实际应用,获得了良好的效果,平均可提高效益 5% 左右.

参考文献：

[ 1 ] 董子敖.水库群调度与规划的优化理论和应用技术 [ M ]. 济南 :山东科学技术出版社 ,1989.

[ 2 ] 虞锦江.水电站经济运行[ M ]. 北京 :水利电力出版社 ,1984.

[ 3 ] 许自达.水电站水库调度与运行管理[ M ]. 北京 :水利电力出版社 ,1994.

[ 4 ] 马跃先.简化调保计算方法.郑州工学院学报 ,1992 , 13( 3 ) 54 - 59.

Optimum Method for the Operation of the Small - scale Hydropower Plant

MA Yue - xian , MA Xi - xia , CHENG Da - peng

( College of Hydraulc & Environmental Engineering ,Zhengzhou University of Technology ,Zhengzhou 450002 ,China )

**Abstract** :In view of the general phenomena of insufficient resource utilization and inefficient unit operation ,an optimal method of power plant economic operation which is fit for the operation characteristic of the small hydropower station has been presented in this paper. On the basis of actual power features of units ,this method avoid errors for curve transformation and imitation as well as bring the indefinite factor arising from different combination way of diversion and tail - race system of hydropower station. It makes the calculation result more accurate and reliable. Proved by practical application of the hydropower station ,this method not only improves the technique content of hydropower station manage ,but also promotes clearly economic benefit.

**Key words** :small-scale hydroelectric station ; utilization of resources ; optimum method ; economic operation