

文章编号 :1007-649X(2000)04-0036-03

小型水电站水库优化调度新模型探讨

马细霞,苗 丽

(郑州工业大学水利及环境工程学院,河南 郑州 450002)

摘 要 :针对目前水电站水库优化调度计算中,电站出力系数和水头损失近似取值或计算导致优化计算结果并非真正最优的问题,提出了小型水电站水库优化调度新模型.该模型以水库优化调度模型为主模块,以水电站厂内优化运行子模块.在用动态规划求解主模块过程中,调用水电站厂内优化运行子模块.由于子模块以机组的实际动力特性为依据,而且将电站引水系统和尾水系统由于机组组合方式不同所出现的不确定因素纳入优化设计之中,可有效地解决电站出力系数和水头损失近似计算的问题,且计算结果更加准确、可靠.

关键词 :水库优化调度 ; 电厂优化运行 ; 动态规划

中图分类号 :TV 213.9 文献标识码 :A

目前,国内外对水电站水库优化调度的模型很多,特别是利用动态规划法建立的各类动态规划模型,如确定性动态规划模型^[1~4]、随机性动态规划模型^[5]、模糊动态规划模型等应用极为广泛.这些模型在求解过程中,电站出力采用公式 $N = AQH$ 计算, H 为水电站工作水头, A 为出力系数, Q 为发电流量. H 通常取为电站上、下游水位差,而忽略或近似计算水头损失. A 为水轮机机组效率和发电机效率的函数,通常取一个常数,在 6.5~8.0 之间.实际上,水电站水库在实时调度过程中,同一发电流量下,由于开机顺序不同、机组流量分配不同等,各机组水头损失并不相同,机组工作水头和工作效率必不相同, H 、 A 采用定值存在一定误差.基于以上原因,以往优化调度模型确定出的最优放水流量并非是最优解,而且,对于一些电站在某些最优放水流量下运行,有可能发生机组在低效率区工作的情况.为提高水电站水库优化调度成果的精度,使计算结果更加准确可靠,本文将电站厂内优化运行计算作为子模块,对小型水电站水库优化调度方法进行了探讨.

1 数学模型的建立

取某年内离散时段 t 为阶段变量, $t = 1, 2, \dots, T$; 水库蓄水量 $V(t, i)$ 为状态变量, i 代表状

态离散点, $i = 1, 2, \dots, m$; 水电站各时段发电流量 $Q_p(t, i)$ 为决策变量,则小型水电站水库优化调度的确定性动态规划数学模型为:

(1) 目标函数

$$f = \max_i \sum_{t=1}^T N(t, i) \cdot \Delta t;$$

(2) 递推方程(逆时序)

$$F(t, i) = \max_{ii} (N(t, i) \cdot \Delta t + F(t+1, ii));$$

(3) 约束条件

① 水量平衡约束为

$$V(t+1, ii) = V(t, i) + (Q(t) - Q_p(t, i) - W(t, i));$$

② 库容约束为

$$V_{\min} \leq V(t, i) \leq V_{\max}(t);$$

③ 下泄流量约束为

$$0 \leq Q_p(t, i) \leq Q_{p\max};$$

④ 出力约束为

$$0 \leq N(t, i) \leq NY;$$

⑤ 机组出力公式为

$$N_k(t, i, k) = 9.81 \eta_{\text{水}}(t, i, k) \eta_{\text{电}}(t, i, k) \cdot Q_k(t, i, k) H_k(t, i, k);$$

⑥ 总流量约束为

$$\sum_{k=1}^{m_0} Q_k(t, i, k) = Q_p(t, i);$$

收稿日期:2000-06-17; 修订日期:2000-08-15

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(004042800)

作者简介:马细霞(1964-),女,河南省叶县人,郑州工业大学副教授,硕士,主要从事水文水资源方面的研究.

万方数据

⑦机组流量约束为

$$0 \leq Q_d(t, i, k) \leq Q_{d\max}(k);$$

⑧机组出力约束为

$$0 \leq N_d(t, i, k) \leq N_{d\max}(k);$$

⑨机组总出力约束为

$$\sum_{k=1}^{m_0} N_d(t, i, k) = N_d(t, i, j);$$

⑩定流量运行方式下, 电站最大出力为

$$N(t, i) = \max_j (N_d(t, i, j))$$

式中:

$V_{\max}(t)$ —— t 时段初水库最高允许蓄量;

V_{\min} ——水库死库容;

$N(t, i)$ —— t 时段水库蓄水状态从 $V(t, i)$

转移到 $V(t+1, ii)$ 时的电站出力;

$Q_d(t, i, k)$ —— t 时段电站发电流量为

$Q_p(t, i)$ 时, 第 j 种机组流量分配方案下, 第 k 台机组发电流量;

N_Y ——电站装机容量;

m_0 ——电站机组台数;

$Q_{p\max}$ ——电站最大过水能力;

$Q_{d\max}(k)$ ——电站第 k 台机组最大过流量,

它随机组单位转速、单位流量而变化, 计算过程中由机组特性曲线确定;

$N_{d\max}(k)$ ——电站第 k 台机组单机容量;

$N_d(t, i, j)$ —— t 时段电站发电流量为 $Q_p(t, i)$ 时, 第 j 种机组流量分配方案下的电站总出力;

$N_d(t, i, k)$ —— t 时段电站发电流量为 $Q_p(t, i)$ 时, 第 j 种机组流量分配方案下, 第 k 台机组的出力;

$H_d(t, i, k)$ —— t 时段电站发电流量为 $Q_p(t, i)$ 时, 第 j 种机组流量分配方案下, 第 k 台机组的工作水头;

$W(t, i)$ —— t 时段水库可能发生的弃水量;

$F(t, i)$ ——水库蓄水状态从 $V_p(t, i)$ 出发, 未来时段均采用最优策略, 连续运行所得的电能效益;

$\eta_{wk}(t, i, k)$ —— t 时段电站发电流量为 $Q_p(t, i)$ 时, 第 j 种机组流量分配方案下, 第 k 台机组的水轮机效率。它随机组单位转速、单位流量而变化, 计算过程中由机组特性曲线确定。

2 模型求解

2.1 程序框图

模型求解程序框图见图 1 2。

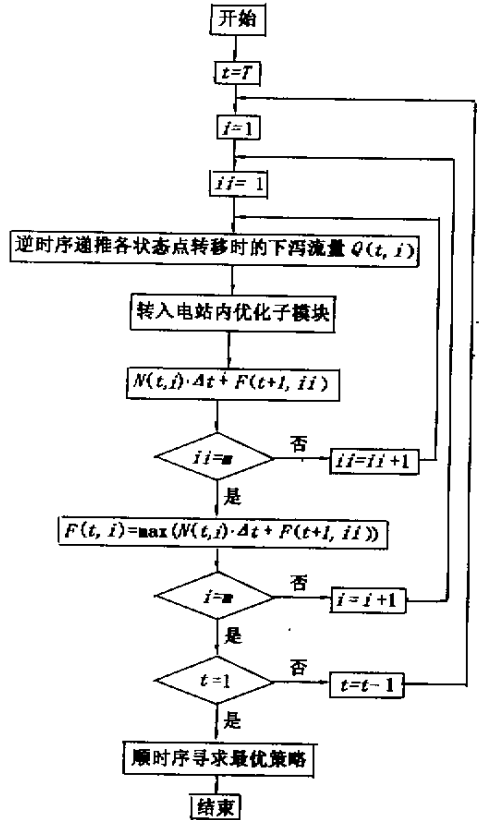


图 1 水电站水库优化调度主模块程序框图

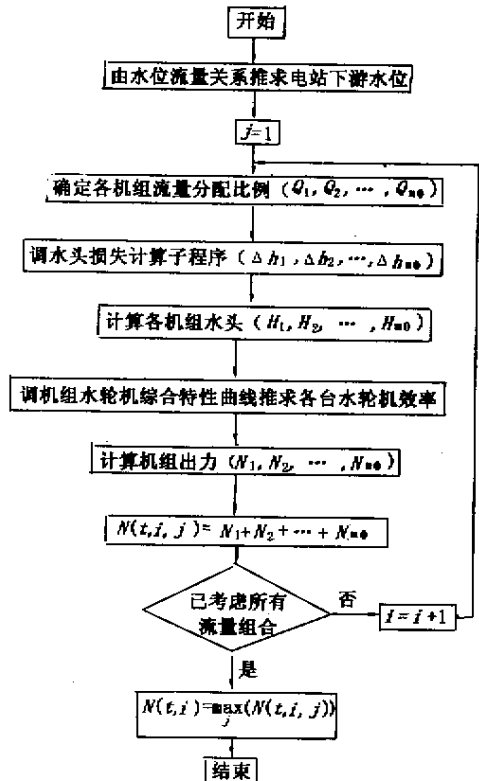


图 2 电站厂内优化运行子模块程序框图

2.2 求解步骤

2.2.1 求年内各时段各状态点的局部最优目标值

采用动态规划逆时序解法递推,依次循环状态变量和阶段变量,在水位、流量、出力等约束条件下,应用递推方程进行递推,求得与局部最优目标值相应的出力、发电流量、开机台数、机组流量、水位、库容等.在逐时段递推过程中,对每一个时段,由水量平衡方程求得状态转移过程中的发电流量后,调用电站厂内优化运行子模块,确定出该发电流量及水库上游平均水位下,电站最大出力、开机台数、机组发电流量及机组出力.

2.2.2 寻求最优决策序列

采用顺时序法,依次逐时段寻求最优决策及与该决策相应的出力、发电流量、开机台数、机组流量、库水位、库容等,由此得出水库运行的最优轨迹.

3 结束语

本文提出的小型水电站水库优化调度新模型,将水库优化调度的动态规划模型与水电站厂内优化运行模型有机地结合起来,是对以往单一的水库优化调度方法和水电站厂内优化运行方法的改进,使优化计算成果更加准确可靠.

本文所用水库优化调度模型为确定性动态规划模型,对于其它类型的水库优化调度模型,本文

提出的新模型求解方法仍然适用.

小型水电站厂内优化运行计算,以机组的实际动力特性为依据^[6],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,有利于提高计算成果的精度.

小型水电站单站规模较小(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,常以定流量方式运行.由于电站厂内优化运行考虑了所有机组的各种组合及机组间的流量分配方案,所以适用于装机台数较少(不多于 10 台)的电站.

参考文献:

- [1] 虞锦江.水电站经济运行[M].北京:水利电力出版社,1984.
- [2] 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.
- [3] 马细霞,贺北方,马竹青,等.综合利用水库最优调度函数研究[J].郑州工学院学报,1995,16(3):17-21.
- [4] 张勇传.优化调度理论在水库调度中的应用[M].长沙:湖南科技出版社,1985.
- [5] 董子敖.水库群调度与规划的优化理论和应用技术[J].济南:山东科学技术出版社,1989.
- [6] 马跃先,马细霞,程大鹏,等.小型水电站厂内运行优化方法[J].郑州工业大学学报,2000,21(1):66-68.

Discussion on a New Optimal Operation Model of the Small - scale Hydroelectric Station

MA Xi - xia , MIAO Li

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

Abstract :In view of the approximate calculation hydroelectric station output power coefficient and head of water loss leading to the fact that the optimal reservoir operation result is not optimum solution , a new optimal operation model of small - scale hydroelectric station is proposed . In this model , the optimal reservoir operation model is regarded as main pattern and the power plant optimal operation model is regarded as sub - pattern . In the course of solving the main pattern by dynamic programming , the sub - pattern has been moved . On the basis of actual power feature of unit , this method brings the indefinite factor arising from different combination way of diversion and tail - race system of hydropower station into design . And the calculation results turn out to be more accurate and reliable .

Key words :optimal operation of hydroelectric station ; optimal power plant operation ; dynamic programming