

文章编号: 1001-6791(2001)03-0390-05

综合利用小水库群简易优化调度

朱颖元

(福州大学土木建筑工程学院, 福建 福州 350002)

摘要: 提出一种以弃水量最小为目标函数的水库群简易优化调度方法——动态空库系数法。任一时刻某水库的空库系数反映该水库在该时刻的蓄水能力和供水能力。本法用时段初各水库空库系数的大小决定水库群的蓄放水次序, 在满足约束条件下, 时段末保持各水库的空库系数相等, 由此尽可能地拦蓄径流, 使弃水量最小。

关键词: 小水库群; 综合利用; 优化调度; 动态空库系数

中图分类号: TV 697.1⁺2 **文献标识码:** A

1 模型的建立

设由具有一定调节能力的小水库群共同为用水部门供水。其中, 各水库参数已定(如正常蓄水位、死水位、防洪限制水位、兴利库容、渠道设计引水能力、渠道利用系数等), 调节期各水库的天然来水量已知, 各用水部门参数已定(如城市设计用水量及其过程、农作物的需水量及其过程、水电站的设备参数、动能指标等)。水库群的最优运行目标函数可表示为^[1]

$$\text{ob.} \quad \min S = f(X, Y) \quad (1)$$

$$\text{约束条件:} \quad \text{s.t.} \quad G(X, Y) = 0 \quad (2)$$

$$X_a \leq X \leq X_b$$

式中 $f(X, Y)$ 是水库群的最小弃水函数; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 是一组决策变量; $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ 是一组参数; X_a 、 X_b 是 X 的上、下限。

优化模型的求解, 就是在约束条件下使目标函数达到最小, 此时决策变量值就是最优解。目前最常用的方法是动态规划法^[2,3], 但动态规划法较复杂, 对综合利用小水库群而言一般较难实现。本文采用一种简易的优化调度法——等 β 调度法, 以此决策小水库群的蓄放水次序, 使弃水量最小。

2 等 β 调度法

2.1 动态空库系数 β

$$\text{定义动态空库系数 } \beta: \quad \beta = (V_{\text{兴}} - W) / \bar{W} = V_{\text{空}} / \bar{W} \quad (3)$$

式中 $V_{\text{兴}}$ 为水库的兴利库容; W 为某时刻水库蓄水量; $V_{\text{空}}$ 为该时刻水库空库库容; $\bar{W}$ 为水库多年平均径流量。

收稿日期: 2000-05-08; 修订日期: 2000-09-28

作者简介: 朱颖元(1950-), 男, 福建泉州人, 福州大学土木建筑工程学院副教授, 主要从事工程水文及水资源、环境影响评价的教学与研究。

动态空库系数 β 的大小反映水库某时刻空库程度, 亦反映该时刻水库的调蓄能力。 β 越大, 表示水库蓄水能力越大, 供水能力越小。设有两水库, 某时刻空库系数为 β_1 、 β_2 。若 $\beta_1 > \beta_2$, 说明 β_1 库蓄水能力大, 对可能的来水, 其弃水的机会较小, 但库中存蓄的水量较少, 供水能力较小。而 β_2 库弃水的机会较大, 但库中所存蓄的水量较多, 供水能力较大。当 $\beta_1 = \beta_2$, 则两库供蓄水能力相同。因此, 调度原则为: β 小者先供水, β 大者先蓄水; 当 β 相等时, 则同时供蓄水。在供蓄水的过程中, 保持时段末各水库的 β 相等, 故称为等 β 调度法。但在供蓄水的过程中, 各时刻的 β 是变化的, 故又称为动态的。按此方法进行调度, 可使水库群尽可能多地拦蓄径流, 使弃水量最小, 充分利用水资源。

2.2 水库供水过程计算

设时段内水库群供水量(即放水量)为 $W_{\text{供}}$, 时段初水库蓄水量为 $W_{\text{初}}$ 。计算中供水取正, 蓄水为负。

(1) 若时段初 $\beta_{1\text{初}} = \beta_{2\text{初}}$, 按等 β 放水, 时段末保持 $\beta_{1\text{末}} = \beta_{2\text{末}}$ 。各库供水量及时段末水库蓄水量为

$$\begin{cases} W_{\text{供}} = \Delta W_{1\text{供}} + \Delta W_{2\text{供}} \\ \Delta W_{2\text{供}} = \frac{\bar{W}_2}{W_1 + W_2} W_{\text{供}} \\ \Delta W_{1\text{供}} = W_{\text{供}} - \Delta W_{2\text{供}} \\ W_{1\text{末}} = W_{1\text{初}} - \Delta W_{1\text{供}} \\ W_{2\text{末}} = W_{2\text{初}} - \Delta W_{2\text{供}} \end{cases} \quad (4)$$

(2) 若时段初 $\beta_{1\text{初}} \neq \beta_{2\text{初}}$, 设 $\beta_{1\text{初}} < \beta_{2\text{初}}$, 先由 β_1 库供水。

①若时段末仍然 $\beta_{1\text{末}} \leq \beta_{2\text{初}}$, 则时段内供水量全部由 β_1 库供给。各库供水量及时段末水库蓄水量为

$$\begin{cases} W_{\text{供}} = \Delta W_{1\text{供}} + \Delta W_{2\text{供}} \\ \Delta W_{1\text{供}} = W_{\text{供}} \\ \Delta W_{2\text{供}} = 0 \\ W_{1\text{末}} = W_{1\text{初}} - \Delta W_{1\text{供}} \\ W_{2\text{末}} = W_{2\text{初}} \end{cases} \quad (5)$$

②若时段末 $\beta_{1\text{末}} > \beta_{2\text{初}}$, 先由 β_1 库供水至 $\beta'_1 = \beta_{2\text{初}}$, 放水量为

$$\Delta W'_{1\text{供}} = (\beta_{2\text{初}} - \beta_{1\text{初}}) \bar{W}_1 \quad (6)$$

然后两库按等 β 放水, 供水结束时保持 $\beta_{1\text{末}} = \beta_{2\text{末}}$ 。各库供水量及时段末水库蓄水量为

$$\begin{cases} W_{\text{供}} = \Delta W_{1\text{供}} + \Delta W_{2\text{供}} \\ \Delta W_{2\text{供}} = \frac{\bar{W}_2}{W_1 + W_2} (W_{\text{供}} - \Delta W'_{1\text{供}}) \\ \Delta W_{1\text{供}} = W_{\text{供}} - \Delta W_{2\text{供}} \\ W_{1\text{末}} = W_{1\text{初}} - \Delta W_{1\text{供}} \\ W_{2\text{末}} = W_{2\text{初}} - \Delta W_{2\text{供}} \end{cases} \quad (7)$$

2.3 水库蓄水过程计算

水库群蓄水过程计算与供水计算的原理一样, 但蓄放水的次序相反。若时段初 β 相等,

按等 β 蓄水;若时段初 β 不相等, β 大者先蓄,蓄到 β 相等时,两库再按等 β 蓄水,时段末保持 β 相等。

等 β 调度法可以推广到 n 个水库的小水库群,根据时段初 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 的大小确定其蓄放水次序。一般可先按水库群的分布及供水的区域分为几组并联的小库群,先用各组总的 β 值判别组间的蓄放水次序,然后再在组内按各水库 β 的大小确定蓄放水次序。

在实际运行调度时,由于各水库的来水量一般无法预测,在这种情况下,调度时可暂时不考虑来水量,直接根据时段初各水库 β 的大小决策放水次序,并随时根据 β 大小的变化调整放水次序,仍然可得到较优的效果。

3 计算实例

3.1 工程概况

福建福清市东皋水库群由位于三条独立入海小溪上的三座小(1)型水库用渠道相连组成,其中糖果块水库地势最高,东皋水库最低,庄上水库居中。枢纽包括东皋自来水厂、东皋水电站、东皋抽水泵站和引水渠道等(图1)。水库群是以供水为主,兼有灌溉、发电等任务的综合利用小水库群,主要担负元洪开发区的供水任务。

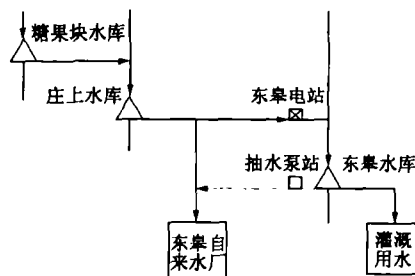


图1 东皋水库群示意图

3.2 水库群运行概况

目前三座水库运行方式为:糖果块水库通过渠道引水至庄上水库(渠道设计引水能力 $1 \text{ m}^3/\text{s}$),由庄上水库进行水量分配,通过长 3.6 km 渠道将水引至压力前池,分两管,一条将水送到东皋自来水厂,另一条直接通到东皋电站。当庄上水库供水不足时(供东皋自来水厂),由位于东皋水库库区内的抽水泵站抽水补充水量。抽水泵站设计抽水能力为 $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ 。东皋电站位于东皋水库库区内,高程在库面以上,利用庄上水库作余水发电,发电后尾水流入东皋水库。电站装机容量 $125 \text{ kW}/\text{台}$,设计水头 60 m 。东皋水库为下游东皋等村农田灌溉供水。

按东皋水库管理处制定的防洪抢险预案,东皋水库汛限水位 32.5 m ,庄上水库汛限水位 120.5 m ,糖果块水库汛限水位与正常蓄水位齐平,为 258.9 m 。

3.3 水库群优化调度方案

东皋水库位于东皋自来水厂和东皋电站高程以下,无法为水厂自流供水,为保证正常供水,当糖果块水库和庄上水库有余水时,首先充蓄水库,两库蓄满后,若庄上水库还有余水则供东皋电站发电,无余水则停机。当庄上水库无法满足水厂用水时,则从东皋水库库区内的抽水泵站抽水补给自来水厂。所以只须确定糖果块水库和庄上水库联合运行的蓄放水次序,使总弃水量最小,即

$$\min S = S_{\text{糖}} + S_{\text{庄}} \quad (8)$$

式中 S 为弃水量。

约束条件:

(1) 水库的水量平衡 $\bar{Q}_{\text{入}} \Delta t - \bar{Q}_{\text{出}} \Delta t = W_{\text{末}} - W_{\text{初}}$ 式中, $\bar{Q}_{\text{入}}$ 为时段平均入流量; $\bar{Q}_{\text{出}}$ 为时段平均出流量; $W_{\text{末}}$ 为时段末水库蓄水量; $W_{\text{初}}$ 为时段初水库蓄水量; Δt 为计算时段。

糖果块水库 $\bar{Q}_{\text{糖入}} \Delta t - \bar{Q}_{\text{糖出}} \Delta t = W_{\text{糖末}} - W_{\text{糖初}}; \bar{Q}_{\text{糖入}} \Delta t = \bar{Q}_{\text{糖天}} \Delta t; \bar{Q}_{\text{糖出}} \Delta t = \Delta W_{\text{糖供}} + S_{\text{糖}}$

庄上水库 $\bar{Q}_{\text{庄入}} \Delta t - \bar{Q}_{\text{庄出}} \Delta t = W_{\text{庄末}} - W_{\text{庄初}}; \bar{Q}_{\text{庄入}} \Delta t = \bar{Q}_{\text{庄天}} \Delta t + \Delta W_{\text{糖供}}; \bar{Q}_{\text{庄出}} \Delta t = \Delta W_{\text{庄供}} + S_{\text{庄}}$

(2) 水库蓄水量不大于兴利库容 (汛期则不大于汛限水位相应的调节库容) $0 \leq W \leq V_{\text{兴}}$

糖果块水库 $0 \leq W_{\text{糖}} \leq 89.1 \text{ 万 m}^3$

庄上水库 $0 \leq W_{\text{庄}} \leq 237 \text{ 万 m}^3$ (4~6月); $0 \leq W_{\text{庄}} \leq 254 \text{ 万 m}^3$ (7~3月)

(3) 水库时段供水量应小于或等于蓄水量与入流量之和 $0 \leq \Delta W_{\text{供}} \leq W_{\text{初}} + \bar{Q}_{\text{入}} \Delta t$

糖果块水库 $0 \leq \Delta W_{\text{糖供}} \leq W_{\text{糖初}} + \bar{Q}_{\text{糖天}} \Delta t$

庄上水库 $0 \leq \Delta W_{\text{庄供}} \leq W_{\text{庄初}} + \bar{Q}_{\text{庄天}} \Delta t + \Delta W_{\text{糖供}}$

(4) 水库群供水量应满足需水量 $\sum \Delta W_{\text{供}} = W_{\text{水厂}} + W_{\text{电站}}$

式中 $\Delta W_{\text{供}}$ 为净供水量, 渠道利用系数 0.9。

①当糖果块水库和庄上水库蓄水量大于需水量时:

庄上水库有弃水 $\Delta W_{\text{糖供}} + \Delta W_{\text{庄供}} = W_{\text{水厂}} + W_{\text{电站}}$

庄上水库无弃水 $\Delta W_{\text{糖供}} + \Delta W_{\text{庄供}} = W_{\text{水厂}}$

式中 发电用水量 $W_{\text{电站}}$ 是发电量的函数, $0 \leq W_{\text{电站}} \leq W_{\text{max}}$, W_{max} 是电站满发装机容量相应的用水量, 本例为 90 万 m^3 。

②当糖果块水库和庄上水库供水量小于水厂需水量时, 则由抽水泵站从东皋水库内抽水补偿水厂不足的那部分水量: $\Delta W_{\text{糖供}} + \Delta W_{\text{庄供}} + \Delta W_{\text{抽}} = W_{\text{水厂}}$

(5) 东皋水库作为自来水厂的补偿水源, 同时供下游东皋等村灌溉用水, 其运行约束条件:

①水量平衡: $\bar{Q}_{\text{东入}} \Delta t - \bar{Q}_{\text{东出}} \Delta t = W_{\text{东末}} - W_{\text{东初}}; \bar{Q}_{\text{东入}} \Delta t = \bar{Q}_{\text{东天}} \Delta t + W_{\text{电站}}; \bar{Q}_{\text{东出}} \Delta t = \Delta W_{\text{抽}} + \Delta W_{\text{东灌}} + S_{\text{东}}$

②水库蓄水量不应大于兴利库容 (汛期则不应大于汛限水位相应的调节库容):

$0 \leq W_{\text{东}} \leq 196 \text{ 万 m}^3$ (4~6月); $0 \leq W_{\text{东}} \leq 209 \text{ 万 m}^3$ (7~3月)

③水库的供水量应小于蓄水量与入流量之和: $\Delta W_{\text{抽}} + \Delta W_{\text{东灌}} \leq W_{\text{东初}} + \bar{Q}_{\text{东入}} \Delta t$

若需水量大于水库的蓄水量与入流量之和, 此时先保证东皋自来水厂的用水, 有余水时才供给水库下游灌溉用水。

3.4 需水量预测

本区水资源紧缺, 随开发区经济的高速发展, 对水量的需求逐年增加。根据本区经济发展资料统计, 以 2000 年东皋自来水厂日供水 5 000 t 为基数, 年需水量递增 25% 计, 至 2005 年, 日净供水量为 1.53 万 t。东皋水库下游设计年灌溉用水量 240 万 m^3 。设计需水过程见表 1。

表 1 设计水平年需水过程表

Table 1. Design water requirement and its time distribution

万 m^3

月 份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年
水厂用水	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	558
灌溉用水	9.36	6.84	15.9	18.7	23.4	31.7	26.5	39.6	32.1	17.8	8.74	9.36	240

3.5 计算结果

本水库群无实测径流资料, 利用水文比拟法将邻近小流域赤桥水文站 24 年实测流量资料, 并用实测降水量进行修正, 推算出各水库的来水过程, 按上述方法进行计算。水量利用系数 0.807, 自来水厂供水保证率 95.8%, 灌溉保证率 75.0%, 东皋水电站多年平均发电量 9.79 万 kwh, 装机年利用小时数 783 h。为验证计算结果的可靠性, 利用多阶自回归月径流随机模型^[4]生成赤桥水文站 500 年径流系列进行复核, 结果与上述相近。

4 结 语

综合利用水库群的调度运行不仅关系到水库群综合效益的发挥, 而且关系到供水供电的经济性、可靠性和安全性。本文提出的等 β 调度法, 方法简单, 操作容易, 适用于综合利用小水库群的调度运行, 可提高水库群的运行管理水平, 使有限的水资源发挥最大的经济和社会效益。

参考文献:

- [1] 王本德. 水电系统规划、管理决策方法论[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997. 69 - 77.
- [2] 董子敖. 水库群调度与规划的优化理论和应用[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1989. 135 - 152.
- [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. 102 - 105.
- [4] 刘权授, 方乐润. 多阶自回归月径流随机模型及其应用[J]. 水文, 1988, (5): 6 - 10.

A Simplified Optimal Operation Model for Comprehensive Utilization Multiple Reservoir System

ZHU Ying-yuan

(College of Civil Engineering and Architectures, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: A simplified optimal operation model for multiple reservoir system, dynamic emptying storage coefficient method, is introduced by least surplus water in this paper. The emptying storage coefficient of a reservoir at any time indicates the ability of water storage and supply of the reservoir at that time. Based on this method, the storage and draft orders of a multi-reservoir system are determined by the factors of every reservoir of the system in the initial of a time interval, and the emptying storage coefficients of every reservoir are kept equal at the end of the interval under constraints. In this way, the runoff can be retained in reservoirs as much as possible and waste water will be minimized. The model is simple and easy, and can be used for small multiple reservoir system with multi-purpose.

Key words: small multi-reservoir system; comprehensive utilization; optimal operation; dynamic emptying storage coefficient