

# 山区-平原梯级系统水利调度优化方法

姚俊杰<sup>1</sup>, 夏国团<sup>2</sup>, 温进化<sup>3</sup>

(1. 余姚市水利局, 浙江 余姚 315400; 2. 余姚市水利学会, 浙江 余姚 315400;  
3. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020)

**摘要:**在介绍山区-平原梯级系统构型和性态特点的基础上,探讨了山区-平原梯级系统水利调度优化的简易方法和结合群智能算法与连锁改正的方法,分析了山区-平原梯级系统水利调度优化中具体问题的处理。山区-平原梯级系统水利调度优化方法在余姚地区应用结果表明,供水能力有明显提高,总可供水量由原来的3.93亿m<sup>3</sup>提高到4.54亿m<sup>3</sup>,多年平均年可供水量增加了6100万m<sup>3</sup>,增幅高达15.5%。

**关键词:**水利调度;梯级系统;对偶构型;连锁改正;群智能算法

**中图分类号:**TV213.9

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-7647(2013)S1-0003-02

余姚市节水型社会技术支撑体系研究课题成果获得浙江省水利科技创新一等奖,其中水资源优化调度是一项重要内容。通过研究建立山区水库-平原河网三级对偶系统模型,并给出了具体解法,达到了较好的效果<sup>[1]</sup>。山区-平原梯级系统的水利调度是人们经常碰到的一项实际工作,富有实际意义。本文总结了这方面的实践经验和研究成果,并介绍最优解的求法及有关问题的处理。

## 1 系统构型与性态特点

### 1.1 系统构型

一般来说,无论是径流还是洪水,总体上都是从山区流向平原,这正似地球化学景观,在重力的作用下,元素的迁移总是从分水岭到斜坡、再到河谷,最终到河网。与地形地貌相应,从水利调度的角度,它的结构是一个梯级系统。当山区和平原拥有较多水利工程和水域时,它便是一个大的梯级系统,属于大系统。但不管如何,简化到一级梯级系统时,其整体的拓扑结构是一个对偶构型。

### 1.2 性态特点

山区-平原梯级系统与其他系统一样,有着诸多性态。但它作为对偶构型,最主要的性态特点是紧密的耦合性,其本质是由于这种系统存在着明显的反馈机制。调度决策时,上游要兼顾到下游,下游要考虑到上游。众所周知,由两座水库组成的梯级系

统,尽管这只是一级梯级,是最简单的梯级系统,但对它进行优化,必须采取繁琐的上下库“连锁改正”方法,远比优化两座并联水库的调度问题要难。一个大的梯级系统情况更加复杂,对它的优化一般是多目标的,优化过程中需进行的模拟计算也往往是宽领域的。

## 2 水利调度的优化

山区-平原梯级系统水利调度优化,目前有半经验半理论的方法,虽然它不属于严格的优化方法,但简单、实用,也有一定的价值;严格优化的方法,能求得最优解,当然具有更多的优点<sup>[2-3]</sup>。

### 2.1 简易方法

建立由山区和平原组成的梯级模型。以平原子系统的缺水(向量)作为对山区子系统的需水(向量);山区子系统的供水(向量)和洪水弃水(向量),作为平原子系统的来水(向量),进行迭代调节计算。直至两次迭代值之差在允许范围内结束,从而求得第一轮平衡解。用0.618法等简单方法,优选平原子系统的需水量,仿照上述步骤,相继求得第二轮、第三轮,……,第 $n$ 轮平衡解。其中总可供水量最大的平衡解便是山区-平原梯级系统的最优解。

优化过程中,向子系统内各水库、河区的取水量(向量)可采用简单的等动态空库系数法确定:

$$\beta_i = (V_{i\text{兴}} - V_{i\text{死}}) / W$$

式中: $\beta_i$ 、 $V_{i兴}$ 、 $V_{it}$ 分别为第*i*座水库或河区的动态空库系数、兴利库容和*t*时刻蓄水量; $W$ 为多年平均年径流量。如果径流量采用分期平均径流量,则动态空库系数也是分期的。一般说来,分期动态空库系数法可以进一步提高精度。

余姚市把山区-平原梯级系统划分为水库群和平原河网两个子系统。水库群子系统进一步划分为姚东、姚中、姚北3个低一级子系统,河网子系统也相应划分为姚东、姚中、姚北3个低一级的子系统。求解结果表明供水能力有明显提高,总可供水量由原来的3.93亿 $m^3$ 提高到4.54亿 $m^3$ ,多年平均年可供水量增加了6100万 $m^3$ ,增幅高达15.5%。

## 2.2 结合群智能算法与连锁改正的方法

连锁改正是梯级水库调度中的常用方法,因为上游水库调度方案的变化直接改变了下游水库的入流,必须同时改正。结合群智能算法与连锁改正的方法,其步骤如下:

a. 先拟定上游子系统和下游子系统的初始调度策略(可用调度图表示)。

b. 对下游子系统的调度策略保持不变,对上游子系统的策略用群智能算法(如粒子群、遗传、模拟退火等算法)进行优化,求得第一轮第一步优化策略。

c. 在b的基础上,对由b求得的上游子系统的第一轮第一步的优化策略保持不变,对下游子系统用群智能算法进行优化,求得第一轮第二步优化策略,从而完成第一轮的优化。

d. 重复以上步骤,进行第一轮,第二轮,……,第*k*轮的优化,当相邻两轮的目标函数值在允许范围内,完成优化工作,求得了山区-平原梯级系统水利调度的最优解。

在上述过程中都需作相应的连锁改正。

作为一种水利调度优化方法,它适用于防洪调度、兴利调度和防洪兴利综合调度,适用于单目标水利调度,也适用于多目标水利调度,适用于确定性问题,同样适用于随机性问题。

## 3 有关问题处理

### 3.1 简易方法的变式

根据具体情况,可以灵活采用不同的形式。如仅对某一子系统(如上游子系统或山区子系统)优化,另一子系统不作优化。此时,不进行严格优化的子系统,可以采用等动态空库系数法或有关经验性模拟方法。这样处理,前者反映了空库容、来水量和弃水量之间的统计规律,后者利用了长期实践中积累的经验,因此不仅仍然比较简单,而且也往往有比较好的效果。

### 3.2 群智能算法与连锁改正方法联合使用

群智能算法能处理多维问题,但维数很高时,会遇到困难。这种情况下,可以引入大系统分解-协调、线性规划、动态规划等方法来解决。对应用群智能算法的连锁改正法,不管决策向量维数的大小,都必须正确理解目标函数的概念,把握好目标函数值的计算(切忌漏计)。有关问题,可以采用泛函或拓扑中的有关理论来论证,如不动点、不变嵌入等。

### 3.3 水力模拟

水利调度优化离不开模拟分析计算,其中水力模拟计算更是一项重要的工作。随着考虑生态要求以及防洪、供水、灌溉、发电和航运等需求的多目标综合调度的逐步推广,需要应用环境水力学和生态水力学的成果,进一步扩大模拟内容和深化模拟的深度<sup>[4]</sup>。对山区子系统的某些河段和平原子系统的某些河网,应该在模拟渐变非定常流的基础上,采用TVD或KFVS等方法模拟急变非定常流动。通过对水跃(激波)的模拟进一步掌握系统河道(河网)的复氧条件。模拟的要素除了通常的水位、流速、流量,还应扩展到物质的运输、能量的传递(主要是热量)。对某些水域应从环境和生态的要求上进行二维更为精细的浅水动力模拟。为从资源、环境、经济和生态上,对水利调度方案进行全面、深入的比选,提供科学依据。

## 4 结 语

山区-平原梯级系统广泛存在,对这些系统水利调度的优化具有很大的使用价值。目前对这种调度系统,特别是规模很大的梯级系统的结构和性态还缺乏深刻的认识,特别在性态方面,如形态拓扑量、标度性、渐进稳定性、结构稳定性、鲁棒性、灵敏性、随机性(行为)和趋极性等。通过对它的深入研究,进一步掌握规律,一定能提高对这种类型系统的水利调度科学水平和调控能力。

### 参考文献:

- [1] 夏梦河,姚俊杰,奕永庆.余姚市水资源优化配置与调度的大系统模型及其解法[J].浙江水利科技,2008(1):22-24.
- [2] 水利部长江流域规划办公室,河海大学,水利部丹江口水利枢纽管理局.综合利用水库调度[M].北京:水利电力出版社,1981.
- [3] 叶秉和.水资源系统优化规划和调度[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [4] 李玉梁,李玲.环境水力学的研究进展与发展趋势[J].水资源保护,2002(1):2-7.

(收稿日期:2012-09-21 编辑:熊水斌)