

雅砻江流域梯级电站群联合优化调度研究

张家平

(雅砻江流域水电开发有限公司集控中心,四川成都 610051)

摘要:流域梯级电站群水电联合调度是一种先进的、高效率的调度模式。随着我国大中型流域水电梯级滚动开发建设的不断深入,各流域水电开发公司为追求综合效益最大化,在确保电网安全稳定运行的前提下,逐渐形成对梯级水库和电站进行统一水电联合调度管理的模式。作者总结出雅砻江公司集控中心在水电联合调度过程中采取的优化调度原则,并建立以发电收益最大化为目标的数学模型,寻求最优化联合调度方式,提高水资源利用率和电站的经济效益。

关键词:雅砻江流域;梯级电站群;联合调度;优化;效益

中图分类号:[TM622];TV697.1+2

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)06-0090-03

1 雅砻江流域梯级电站群联合调度背景

随着雅砻江流域水能资源“四阶段开发战略”的逐步实施,官地电站于2012年3月底投产,锦东电站于2012年12月底投产,锦西电站于2013年8月投产,至2015年雅砻江下游梯级水电站开发将全面完成,从上游至下游,将依次形成锦西、锦东、官地、二滩、桐子林水电站群。2012年雅砻江公司集控中心正式投运,集控中心实现了对流域梯级水电站群的统一调度和远程集中控制。如何发挥龙头水库的调节作用、优化利用水能资源、增加梯级发电量,是目前面临的重要课题。雅砻江流域集控中心通过研究实践,总结流域梯级电站群水电联合优化调度的方法和规律,为科学合理利用水资源、增加梯级发电量做出了重大贡献。2013年雅砻江公司流域电站年累计发电量达383.4326亿kWh,完成年计划电量的122.42%,较去年同期多发199.5323亿kWh。

2 流域梯级电站群联合调度优化的内涵

流域梯级电站群水电联合优化调度是指,为了挖掘梯级水电生产的潜力和效益,将同属某一流域水力联系紧密的水电站组成梯级电站群,利用各水库的不同水文与库容特性,改变有调节能力水库和电站的运行方式,通过梯级电站对水资源的各自利用方式,提高整个梯级的发电能力,充分发挥水资源的综合利用效益,并统一组织各梯级的生产和管理,实现企业效益最大化。流域梯级电站群的联合调度具有两层含义:一是梯级之

间联系紧密,是不可分割的整体,必须实施联合调度;二是水库调度和电力调度是一种互动关系,要确保方案最优、效益最大,势必要求水、电联合,下达联合调度指令,即水电联合调度。梯级电站群的联合调度是实现水电联合调度的基础和前提,水电联合调度是电站综合效益得以充分发挥的保障,是流域梯级联合优化调度的核心。

3 雅砻江流域梯级电站群联合优化调度原则

雅砻江公司集控中心实行水库调度和发电调度同台值班方式,在调度过程中则遵循“水电互动,方案最优”的调度规则,即先根据水情预测及水库综合运用方式,初步确定梯级电站发电负荷及机组的运行方式,之后再结合电网负荷需求及电站机组情况,由调度决策系统依据当时的防洪、电网负荷等限制条件,确定最优的水库、发电调度方案。在确定水电联合优化调度方案时,根据日常运行经验,总结出水电优化调度原则,指导日常集控运行工作。

3.1 以水定电,出入库平衡

对于同一流域的上下游水电站,一般存在较为严密的水力联系,特别对于上游为季调节及以上调节水库、下游为日调节水库的两个直接水力联系的电站,上游电站的下泄流量能直接指导下游电站制定最优发电计划,因此,雅砻江公司采用上下游电站匹配运行的方法,以提高发电效益,即上游电站下泄流量已知,采用“以水定电”的方式优化下游电站的运行。

3.2 水库适时蓄水

收稿日期:2014-10-31

在流域水电联合优化调度的过程中,汛初水库蓄水时可先蓄调节能力较小的水库,而龙头水库后蓄,从而提高梯级电站的引用水头;汛后则龙头水库先开始加大发电,对下游各梯级水库进行补偿调节,使梯级电站枯季的发电能力有大幅度的提高,相应提高流域径流的水量利用率。

3.3 合理控制库水位

梯级水电站群间存在着水头的联系,下游水库若库水位过高,则抬高了上游水电站尾水位,降低上游水库发电水头,减少发电量;下游水库若库水位过低,则自身发电水头亦可能偏低,也导致发电收益减少。

3.4 锦西、锦东两电站视为一个电源点

锦西、锦东两电站采用“一库两站”设计,在联合调度过程中将其视为一个电源节点进行控制,锦东机组投运情况跟随锦西机组投运情况变化而变化,最大限度地发挥电站在电网中承担的发电、调峰、调频、事故备用和黑启动等重要作用,并实现减少弃水和提高发电总量的目标。

3.5 下游日调节水库维持在略低于额定水位

雅砻江流域上游锦西水库库容较大,属于年调节水库,而下游锦东水库正常蓄水位为 1 646 m,死水位为 1 640 m,两者之间仅相差 6 m,属于日调节水库。当锦东水库入库流量小于本站机组发电流量与生态流量(考虑到锦东拦河闸坝下游生态环境的要求,设置生态流量泄放洞,满足下游生态用水)之和时,可能导致水位急剧下降至死水位。但如果水库水位过高,当发生机组甩负荷时,水库水位会迅速上升,甚至导致锦东闸坝溢流。故为使水库水位维持在正常水位动态平衡范围内,实际运行时锦东水库维持略低于额定水位。

3.6 流域电站负荷调整设置优先级

理想情况下,流域梯级电站群水电联合调度最优化的方案是采用下游日调节水库电站发电流量与生态流量之和等于入库流量的运行方式。实际上,为了保证始终满足发电流量的要求,往往会采取入库流量略大于发电流量的运行方式。在这样的运行方式下,涉及到上下游电站机组负荷调整时,为了充分利用水资源,减少弃水,并维持日调节水库水位正常,增负荷的优先级按照先下游电站后上游电站的顺序进行,减负荷的优先级则相反。

3.7 实时调度过程中进行适时调整

雅砻江公司集控中心在做发电计划曲线时采取以水定电、出入平衡的原则,但在实际发电过程中由于水情预报等因素难免出现误差,运行值班人员作为实时调度者,可采取相关手段进行适时调整,如:锦西、锦东电站作为一个电源点,当水库出入不平衡时,可将锦西、锦东电站负荷分配进行适当调整;长时间运行经验表明,电站机组间的负荷分配相差越大,电站耗水率则越大,故在实时调度过程中,尽量使机组间负荷分配均衡;另外,由于锦东电站设置生态流量洞,在实时调度过程中,可灵活运用生态流量洞,当锦东水库水位偏高时,及时调整生态流量洞开度,调整锦东库水位,保证水库出入平衡。

4 梯级电站群联合调度数学模型及其求解

以雅砻江流域锦西、锦东电站为对象,研究水电联合优化调度数学模型,并应用于指导日常调度工作,取得良好的效果。目标函数调度准则为:在给定用水量的条件下,同时满足负荷约束、出力约束、库容约束、发电流量约束、水量平衡以及梯级水库的其他限制条件等约束,决定一个调度期内(设定为 1 d)各时段各电站的发电量,实现梯级电站发电总量最大化。目标函数假定时段 1 为发电量计算公式的初始时段,则最大发电量为初始时段内锦西、锦东的发电总量加下一时段两电站的发电量。

4.1 目标函数

$$E_i(V_{y,t}, V_{e,t} = Q_{y,t} Q_{e,t}^{\max} | E_{y,1}(V_{y,1}, Q_{y,1}) + E_{e,1}(V_{e,1}, Q_{e,1}) + E_{t-1}(V_{y,t-1}, V_{e,t-1}) | 1, 1, 2, \dots, TE_t(V_{y,t}, V_{e,t}) = Q_{y,t} Q_{e,t}^{\max} | E_{y,1}(V_{y,1}, Q_{y,1}) + E_{e,1}(V_{e,1}, Q_{e,1}) + E_{t-1}(V_{y,t-1}, V_{e,t-1}) | 1, 2, |_{t=0} = 0 \quad (1)$$

4.2 约束条件

(1) 系统负荷约束:

$$P_{i,t} \leq p_{i,t} \leq p_{i,t}, i = y, e; t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

(2) 出力约束:

$$N_{i,t} \leq N_{i,t} \leq N_{i,t}, i = ye; t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

(3) 发电流量约束:

$$Q_{i,t} \leq Q_i \leq Q_{i,t}, i = y, e; t = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

(4) 库容约束:

$$V_{i,t} \leq V_{i,t} \leq V_{i,t}, i = y, e; t = 1, 2, \dots, T \quad (5)$$

(5) 水量平衡约束:

$$V_{i,t} = V_{i,t-1} + a(Q_{i,t-1} - Q_{i,t-1} - Q_{s,t-1}), i =$$

$$y, e; t = 1, 2, \dots, T$$

$$Q_{e,t} = Q_{y,1-t} \quad (6)$$

(6)其他约束条件。包括水库的库容特性、水库水位流量特性、电站的最优发电流量特性及电站日用水量限制等。水库水位、可投运机组台数、型号等参数已知。

式中 $E_t(V_{y,t}, V_{e,t})$ 表示梯级水库从时段初水库蓄水量出发,从时段 1 到时段 t 时刻的最优发电量; V_y, V_e 表示流域两水库 t 时刻各自的蓄水量; Q_y, Q_e 表示流域两水库 t 时刻各自的发电流量; T 为调度周期; $P_{i,t}, p_{i,t}$ 分别表示 i 水库 t 时刻的系统负荷下限与上限; $N_{i,t}, N_{i,t}$ 分别表示 i 水库 t 时刻的出力下限与上限; $Q_{i,t}, Q_{i,t}$ 分别表示 i 水库 t 时刻的发电流量下限与上限; $V_{i,t}, V_{i,t}$ 分别表示 i 水库最小与最大蓄水库容; a 为单位转换系数; T 为时滞系数。

4.3 寻优和求解方法

动态规划法和粒子群算法是解决多阶段优化问题常用的方法之一,本文拟采用动态规划法对梯级电站水库优化模型进行求解。以动态规划原理来解决梯级调度水库联合调度问题。首先把梯级各水库的蓄水量作为状态,以时段径流量作为参量,以出力作为决策变量,从而使多维函数求极值的问题,化简为多个求解一维极值的问题,进而使目标函数可解。

5 雅砻江流域梯级电站群水电联合优化调度的效益

锦西水库具有年调节能力,与下游锦东、官地、二滩、桐子林水电站联合调度,可增加五座梯级电站多年平均年发电量 60 亿 kWh,平枯期电量 70 亿 kWh,枯水年平枯期平均出力 136.1 万 kW,从而使四川电网 2020 年水平水电站群的枯水年枯水期平均出力由 1 273.2 万 kW 增加到 1 560 万 kW,增幅达 22.5%,届时四川系统水电站群的调节性能将得到较大改善。待下游全部机组投产

并正常运行后,其装机容量占当年四川电网系统总容量 9.4%,占当年水电总装机容量的 16.8%,不仅可为电力系统提供 174 亿 kWh 的洁净电力,还具有 360 万 kW 火电(调峰能力为 30%)的容量效益。根据 2015 年平衡分析结果,雅砻江公司担任系统的调峰容量约占系统最大峰谷差的 19%,其调峰效益系数为目前国内单机容量 30 万 kW 机组的 2 倍多,雅砻江公司梯级水电站联合调度的实施,可显著提高电网运行安全性。

6 结语

流域梯级电站群水电联合调度是一种先进的、高效率的调度模式。随着我国大中型流域水电梯级滚动开发建设的不断深入,各流域水电开发公司为追求综合效益最大化,在确保电网安全稳定运行的前提下,逐渐形成对梯级水库和电站进行统一水电联合调度管理的模式。笔者围绕雅砻江流域梯级电站群水电联合优化调度的原则,寻找联合调度运行的最优化策略,提出“统一调度、以水定电、出入平衡”和“区别化调整负荷”的运行策略,从而实现流域梯级电站群经济效益的最大化,旨在为流域梯级电站群实施联合调度提供参考思路。

参考文献:

- [1] 张文选,张雪桂. 三峡梯级与清江梯级水库联合调度补偿效益初探[J]. 湖北水力发电,2007(2).
- [2] 王益芬. 水电站水库优化调度研究[J]. 水力发电,2000(5).
- [3] 马光文,刘金焕,李菊根. 流域梯级水电站群联合优化运行[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [4] 马光文. 流域梯级水电站联合优化调度的必要性及对节能减排的作用. 中国三峡.
- [5] 朱江. 乌江流域梯级水电站水库群联合调度初探. 水电自动化与大坝监测,2005.

作者简介:

张家平(1985-),男,江苏丰县人,本科,工程师,从事水电站集控运行工作。

(责任编辑:卓政昌)

金沙江梨园水电站工程通过水电总院蓄水验收

金沙江梨园水电站工程蓄水验收会议于 2014 年 11 月 7 日在昆明召开。验收委员会同意,金沙江梨园水电站工程 2014 年 11 月中旬择机下闸蓄水。梨园水电站位于云南省丽江市玉龙县与迪庆州香格里拉县交界的金沙江中游河段,为金沙江中游河段规划的第三个梯级,上邻两家人水电站,下接已建阿海水电站。工程开发任务以发电为主,兼有防洪、旅游等综合效益。工程属一等大(1)型工程,水库正常蓄水位 1 618 米,相应库容 7.27 亿立方米,死水位 1 605 米,调节库容 1.73 亿立方米。电站装机容量 240 万千瓦,多年平均发电量 94.74 亿千瓦时。