

# 流域梯级水电站集控运行效益分析

马青

(雅砻江流域水电开发有限公司,四川成都 610051)

**摘要:**首先阐述了流域梯级水电站集控运行的内涵及生产管理体系,包括组织体系、管理模式、运行模式等,在此基础上,从水资源利用、流域安全防洪渡汛、机组及电网安全运行、调度决策效率、降低工程造价和生产成本以及对节能减排的贡献作用等方面,分析了流域梯级水电站集控运行的效益。

**关键词:**梯级水电站;集控运行;水资源;节能

**中图分类号:**TV697;TP183

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2013)06-0074-05

## 1 流域梯级水电站集控运行的内涵<sup>[1]</sup>

流域梯级水电站集控运行是指流域水电开发公司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,通过梯级水电站对水资源的各自利用方式,提高整个梯级的供电能力,充分发挥水资源的综合利用效益并统一组织各梯级水电站的生产和管理,实现效益最大化。

流域梯级水电站的集控运行具有两层含义:一是梯级之间联系紧密,是不可分割的整体,必须实施集控运行;二是水量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,下达集控运行指令。梯级水电站的集控运行是实现水量和电力联合调度运行的基础和前提,梯级水电站集控运行是枢纽综合效益得以充分发挥的保障。

流域梯级水电站集控运行的效益日益受到人们的广泛关注。蔡治国<sup>[2]</sup>提出将原先以常规调度为基准的考核思路改为以优化调度为基准,提出了“理论最大发电量”和“发电完成率”的概念。白小勇<sup>[3]</sup>对黄河上游梯级水电站群的节水增发考核进行了研究,提出了梯级水电站增发评价方法。赵永生<sup>[4]</sup>对水电厂水能利用提高率考核问题进行了研究;黄炜斌<sup>[5]</sup>介绍了联合国关于梯级水电站联合运行的效益评价办法等。但是,这些研究更多关心的是水量利用率及节水增发等指标,尚缺乏对流域梯级水电站集控运行综合

效益的分析评价。

## 2 流域梯级水电站集控运行体系

### 2.1 组织体系

流域梯级水电站集控运行的实现,要求梯级电站群设置唯一的流域集控机构,对外统一接受有关部门的调度指令,对内负责梯级的防洪、发电等综合运用的统一调度等。各梯级电站建立与流域集控机构的调度、通信、监控等的网络连接,直接接受流域调度中心的调度命令,该命令由梯级枢纽监控系统完成。

流域梯级调度机构作为企业内一个新兴的职能部门,其成立必将改变企业原有的组织结构和电力生产组织管理关系;同时,流域梯级集控运行的实现也可能使企业员工工作内容、工作制度、工作地点等发生一定的改变。

### 2.2 管理模式

传统电力体制下,电厂(机组)的发电调度由电网公司负责,企业发电设备的安全性、可靠性、稳定性及投运率等成为电网考核企业的主要指标,进而造成发电企业的中心工作主要是围绕发电设备的运行、维修、检修及水工建筑物的完好开展工作,形成以保证电厂设备完好为核心的生产管理体系。在这种体制下,发电企业的水库调度只能对电网调度及企业生产组织指挥机构起参谋作用,而不能发挥决策作用,从而造成水电企业“重电,轻机,不管水”的生产管理模式。

流域梯级水电站集控运行将对发电企业原有的生产管理体制进行改革,发电企业的中心工作不仅仅限于保证设备完好和可靠,而是追求企业

收稿日期:2013-08-08

的综合效益最大化;流域集控机构成为流域开发公司的生产调度控制中心和生产信息中心;整个生产过程为:流域集控机构首先对来水过程进行准确的预测,在满足防洪需要和保证水资源综合利用要求的前提下,依据调度规程编制调度计划,待电网对调度计划调整批准后再组织实施。在实时调度过程中则遵循“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,初步确定梯级水电站的发电负荷及机组的运行方式,之后再根据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、航运等限制条件,确定最优的水库、发电调度方案;为实现水调、电调间的“无障碍联系”,减少沟通环节,提高实时调度的应急响应效率,可实行水库调度和发电调度的同台值班方式。

### 2.3 运行方式

流域梯级水库、电站的远程集中监控和统一管理是流域梯级集控运行的实现途径。只有将各梯级水库、电站的运行状态信息等集中于统一的流域集控机构,才能为流域梯级的集控运行提供信息基础和决策依据。流域梯级水电站集控运行以实现梯级电站的远程集控生产模式为前提。在这种生产模式下,流域集控机构成为各梯级电站的远方集控运行中心,所有梯级电站调度控制指令均由流域梯级集控机构下达并远程执行,现场仅保留少数值守人员,即采取“无人值班、少人值守”的运行方式。

远程集控生产模式下,先进可靠的梯级调度业务系统是梯级电站集控运行实现的关键。只有建立了完善的水库调度、电力监控、通信、水情自动测报系统等现代化程度高的自动化系统,才能保证远程集控的顺利实施。流域梯级集控系统作为水电企业的生产调度管理系统,需接入电网调度系统,因此其必须符合电网要求的规程、规范,满足电网对调度自动化系统的安全性、可靠性、稳定性和时效性要求。此外,流域梯级集控系统与企业内的生产关系、行政体系密切相关,必须结合企业生产调度关系,形成梯级自动化调度的能力。流域集控运行框架见图1。

### 3 流域梯级水电站集控运行效益分析

近几年来,国内各大流域以及中小流域发电公司积极探索流域梯级水电站的集控运行,并均

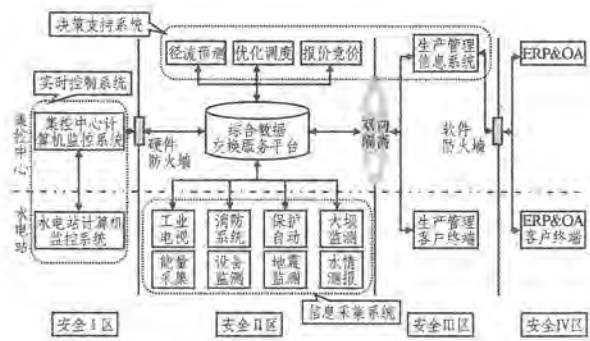


图1 流域集控运行框架示意图

已成立了流域梯级集控机构。各流域梯级集控机构基本上是建立以企业内部梯级调度为龙头的统一调度体系,并在筹建实施过程中统一规划设计,分步实施,在实际调度工作中逐步完善提高。从目前的实施效果看,流域梯级水电站集控运行的实施,不仅给企业带来了不同程度的效益的提高,而且获得了巨大的经济效益和社会效益。

#### 3.1 提高了流域水资源利用率

大多数流域梯级水电站设有龙头调节水库。流域梯级水电站联合优化运行,可以使龙头水库的调节作用得到更加充分的发挥,在流域梯级各电站防洪和发电统一考虑的情况下,提高河流梯级水电站水资源的利用率,如雅砻江下游锦屏一级水库,该水库正常蓄水位以下库容为77.65亿 $m^3$ ,调节库容49.1亿 $m^3$ ,库容系数为13%,具有年调节能力。作为流域干流河段梯级电站的控制性水库,与下游的锦屏二级、官地、二滩、桐子林水电站集控运行,可使雅砻江下游设计枯水年枯水期平均流量由367 $m^3/s$ 提高到678 $m^3/s$ ,提高程度达85%,流域径流得到了充分利用。在流域联合电力调度的过程中,汛初水库蓄水时可先蓄调节能力较小的水库,龙头水库后蓄,从而可以提高梯级电站的引用水头;汛后,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,减少弃水,可使梯级电站枯季的发电能力有大幅度的提高,从而相应提高了流域径流的水量利用率。

#### 3.2 有利于流域安全防洪渡汛

传统的单库洪水调度时,各电站分别采集库区流域内的降雨、来水情况,信息不能及时共享。上游水库的开闸信息数小时后才通知下一级电站,由于不能实时掌握上一级电站来水情况导致调节性能差的水库较难实现预泄操作,极有可能

为了保证大坝安全出现河道水位陡涨陡落的人工洪水事件,从而给下游河道及人民群众生命财产造成损失。流域梯级水库联合防洪调度可利用各梯级水库调节性能的不同,充分发挥龙头水库、大型水库的调节优势,由集控中心对一场洪水统一调度,有利于综合考虑上下游影响因素,利用各水库的不同水文与库容特性,结合天气、水情信息,实施汛限水位动态控制,对洪水进行预泄、拦尾、削峰、错峰调度,并可改变上游有调节水库的运行方式,方便、灵活地运用各电站开停机,为有弃水风险的水库错峰,妥善处理各水库的蓄泄关系,在保证各水电站自身防洪安全的前提下集控运行,可以提高流域梯级整体的防洪能力。如乌江梯级水电站集控运行的实施,有效提高了梯级水电站防洪渡汛的能力。其龙头水库洪家渡调节库容为 33.61 亿  $m^3$ ,在汛期通过预留较大的防洪库容,减少了下游东风水库入库洪水的峰量值;而乌江渡水库的调节库容为 13.5 亿  $m^3$ ,通过预留 1~2 亿  $m^3$  库容,采用预报调度方式和提前预泄措施,大大降低了构皮滩水电站坝前的洪峰流量,从而保证了构皮滩水电站汛期施工的安全。

另外,随着流域梯级水电站联合优化运行的实施,全流域洪水预报和局部流域的洪水预报成果不仅可以为各梯级水电站的防洪渡汛提供可靠的信息,而且使流域梯级集控机构成为全流域的水情信息中心,有利于防洪调度方案的快速实施。

### 3.3 有利于电网安全运行

流域梯级水电站群往往具有多级电站、装机容量大等特点。流域梯级水电站的联合优化调度可以通过具有年调节性能的水库拦蓄丰水期来水,减少无益弃水,补充枯水期水量以提高枯期发电量,缓解丰枯期电力供需矛盾,提高电网运行安全性,如雅砻江下游锦屏一级水电站与锦屏二级、官地、二滩、桐子林水电站集控运行,可增加五座梯级电站多年平均年发电量 60 亿  $kW \cdot h$ ,平枯期电量 70 亿  $kW \cdot h$ ,枯水年平均枯期平均出力 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,四川电网水电站群的调节性能将得到较大改善,将大大缓解四川电网丰枯期的供需矛盾。另外,流域梯级水电站可联合调频、调峰,共同承担系统备

用,如清江隔河岩、高坝洲梯级电站主要承担湖北、华中电网调峰、调频和备用任务,2003~2005 年两站调峰率分别为 93.2% 和 84.4%,其中隔河岩电站单机年均启停次数为 549 次,高坝洲电站单机年均启停次数为 621 次,而同期华中电网水电平均启停次数仅为 191 次,可见,梯级电站集控运行对保障电网安全经济运行具有重要作用。

### 3.4 提高调度决策效率

首先,众多河流梯级开发使得梯级水电站数目剧增,必将加重电网调度中心发、供电调度工作的任务,若所有梯级电站都由电网调度中心直接调度,其任务将极其繁重;其次,各梯级所在流域均有自己的水文气象特性,而掌握一个流域的水文气象特性需要经过较长时间的摸索,但各电网调度中心的发、供电调度本身任务已非常繁重,再要求电网调度人员去掌握各梯级所在流域水文气象特性是不现实的,也是不必要的。因此,通过设立流域梯级集控中心,电力调度部门即可将梯级日负荷曲线下达给流域集控中心,如四川的田湾河梯级水电站、火溪河梯级水电站,四川电网调度部门将每日 96 点负荷曲线下放给这两个流域集控中心,集控中心再分解至各梯级电站,决定各梯级电站的开停机,从而可以减轻电网调度的工作量,提高调度决策的效率。

### 3.5 符合电力体制改革的需要

随着电力体制改革形势的逐步明朗,厂网分开及竞价上网的逐步实施,电网对电力的调度将逐步从原来的微观管理走向宏观控制,即对各发电公司的电力调度将采用总负荷曲线控制的方式,使各发电公司的电力调度管理更加灵活。水电厂的水库调度任务已不再是单纯的防洪调度,企业须按市场经济规律的要求对防洪、发电、航运等进行协调控制和管理,利用水库运用水位的允许变幅,统一制定梯级电站的发电计划,降低水耗,实现电力生产利润最大化;同时,还要优化梯级枢纽的发电调度和检修计划,以满足电力市场对机组和负荷控制的要求。

另外,电力体制改革的推进将促进电力交易实时竞价体系的形成。竞价上网是关系到电量合同和电价协议签订的重要环节。为迎接这一改革需要,争取主动,流域梯级电站必须通过水电联合优化调度设置水电结合的实时调度用以应对电价



实时交易。实时调度通过对水情信息的充分掌握,以及对售电能力和发电能力的信息收集,有效地根据电力市场的动态信息、未来水情做好发电计划并实施最优运行方式,提升水电等可再生清洁能源开发企业在电力市场中的竞争力。

### 3.6 有利于水电机组安全运行

流域梯级水电站集控运行可以进一步优化流域梯级电站机组的运行方式,减少单机在电力系统中旋转备用的运行时间和机组空载运行机率,在满足系统负荷需求的情况下,联合躲避机组振动区。当流域某个电厂中机组出现故障时,通过梯级调度可使梯级电站中的其它机组自动实时地顶上去,以减少机组带病作业的机率,从而减少机组故障出现的机会,有利于机组的安全稳定运行,提高机组运行的可靠性。

### 3.7 有利于降低工程造价和生产运行成本

流域梯级电站集中控制运行,只需要在流域集控中心或分中心建设诸如水情自动测报系统、水调自动化系统、计算机监控系统及通讯系统等,而不需要在每个受控水电站中建设上述系统,从而可以大大降低水电站工程建设造价。另外,亦便于实施人、财、物集中管理,能有效节约人力、物力资源,降低生产成本,达到减人增效的目的。集控中心作为公司下属各梯级电站监视、控制和调度管理中心,可实现对各电站的遥控、遥调、遥测、遥信、遥视以及梯级经济运行和调度管理,不仅可以精简水库调度人员、发电运行值班人员,减少相关管理岗位人员数量,达到精简运行维护人员的目的,还可以通过集控模式实现流域梯级各电站的备品备件和相关装置、设备的共享,从而消除了备品备件和物资材料的重复储备现象,降低生产成本。

### 3.8 有利于改善员工工作环境

流域梯级电站大多处于偏远的、环境及气候条件较差的地区,有些处于高海拔地区,流域梯级水电站集控中心往往建设在都市,实施异地远程集中控制,通过“五遥”的实施和“无人值班”(少人值守)的集中控制运行管理,能有效地把电站运行人员从边远艰苦的环境中解脱出来,真正实现企业“以人为本”的发展观。

### 3.9 增加清洁能源电量,对节能减排的贡献作用突出

水能是清洁的可再生能源,充分利用水能资源,可以节约有限的矿产能源,保持资源利用的可持续性,是可持续能源发展战略的重要组成部分。流域梯级水电集控运行,可显著增加梯级水电站的发电量,如大渡河干流梯级,规划开发电站20余座,总装机容量近3000万kW。通过梯级水电站集控运行,能够获得显著的发电效益和节能减排效益,全梯级多年平均发电量可由单独调度运行的1053亿kW·h,提高到1123亿kW·h,增长6.6%,保证出力由4790MW增长到10830MW,增加126%,其中枯期电量由195亿kW·h增加到413亿kW·h,增加112%(图2)。实施梯级水电站集控运行调度,可以通过水电增发发电量,减少火电发电量和煤耗量以及CO<sub>2</sub>的排放量。按全国平均煤耗0.334kg/kW·h计算,大渡河流域梯级电站实施集控运行后一年可增发电量70亿kW·h,可替代一个140万kW级的火电站,减少标煤233.8万t,减少CO<sub>2</sub>排放614.9万t。

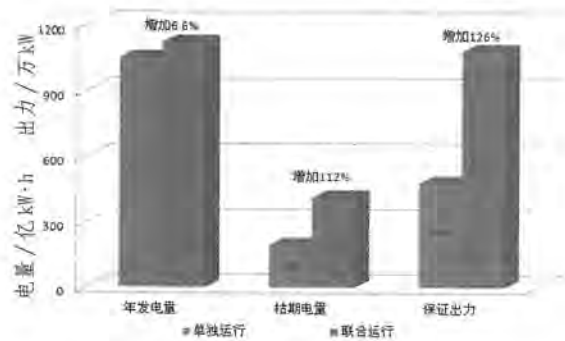


图2 单站运行与联合运行效益比较示意图

### 3.10 提高河流水资源综合利用效益

流域梯级水电站集控运行,可以提高梯级水库供水灌溉、航运及环境保护效益。如长江干流被称为“黄金水道”,枯水期三峡电站承担电力系统调峰进行日调节,调峰时电站出力变化大,电站下泄流量不稳定,因此下游河道水量流速变化不定,对航运影响大。其下游的葛洲坝水库通过与三峡水库集控运行,进行反调节,可改善下游河段由于三峡水库调峰产生的不恒定流对航运的不利影响,使长江下游河段流量变化趋于平缓,从而改善枯期长江河道的航运条件,提高河流水资源的利用效益。

## 4 结语

流域梯级集控运行是流域梯级水电建设发展的必然趋势。流域梯级集控运行,一方面可以有效降低流域梯级电站运行维护人员的工作强度,节约人力资源,逐步实现流域梯级所有电站的无人值班运行模式,达到减人增效的目的;另一方面,可以提高流域的防洪能力。而且通过合理分配各电站的发电负荷,可以提高流域水资源的综合利用效率。实施流域梯级电站集控运行,符合建设资源节约型、环境友好型社会的要求,是实现节能减排目标的重要途径,对贯彻落实科学发展观,促进又好又快发展具有重要意义。因此,在条件具备的情况下,应积极探索实施流域梯级水电站的集中控制运行。

#### 参考文献:

- [1] 陈云华,马光文.多市场下流域水电定价理论与优化运营[M].北京:中国电力出版社,2010.
- [2] 蔡治国,曹广晶,郑 瑛.梯级水电站经济运行评估新方法研究与应用[J].水力发电学报,2011,30(2):15-19.

- [3] 白小勇,冉本银,李广辉.黄河上游梯级水电站群节水增发考核[J].水电自动化与大坝监测,2007,31(1):25-28.
- [4] 赵永生,赵遵廉,纪昌明.水电厂水能利用提高率考核问题探讨[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(1):40-43.
- [5] 黄炜斌,马光文,赵庆绪,等.基于联合国CDM方法学的水电站优化调度效益评价[J].水力发电学报,2013,32(2):84-88.
- [6] 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.
- [7] Wester, Philippus, Boundaries of Consent: Stakeholder Representation in River Basin Management in Mexico and South Africa, World Development Volume:31, Issue:5, May, 2003.
- [8] Lanini, S., Courtois, N., Socio-hydro-system modeling for integrated water-resources management—the Hérault catchments case study, southern France, Environmental Modeling and Software Volume: 19, Issue: 1172. November, 2004.

#### 作者简介:

马 青(1989-),女,四川成都人,硕士,从事水电经济分析及财务管理管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第49页)

的序号1的检测项目可使用塞尺进行直接测量,其它几项检测项目采用传统的测量方法和常规量具是不易进行直接测量的,为此,验收检测使用了较为先进的全站仪工业测量系统对闸门的静态形体尺寸及动态模拟起降试验进行了检查。全站仪是通过测量目标的测量得到测量目标所在点的三维坐标数据,电脑通过测量软件采集测量数据进行坐标生成与转换,最后通过分析计算得到所需的测量结果。从2000年10月至2001年11月,按照合同要求及三峡质量标准对我厂生产的24套反弧门分别进行了静态检测和动态模拟起降试验,全部顺利通过了专家组的验收。通过严格细致的静态和动态检测表明,其主要项和一般项的质量指标全部达到合同文件和三峡工程质量标准的规定,其中很多项还优于三峡工程质量标准,专家组认为这是“史无前例”的。三峡开发总公司领导指出:夹江厂生产的“24套反弧门代表着船闸系统钢结构中国的最高水平”。

(8)为确保反弧门防腐的涂装质量,根据其结构特点,采取在下料阶段或单元构件拼焊阶段

进行“预防腐”处理,即喷砂除锈后在涂装车间保养底漆。对门叶结构和支臂圆弧包板等封闭或半封闭的内腔,防腐涂装在结构拼焊过程中穿插进行。

(9)我们在反弧门施工过程中加强了质量监督和检验工作,加强了对工序的过程质量控制,尤其是在门叶、支臂的焊接过程中,设置适量的监测点,随时对焊接变形情况进行监控,以便及时对焊接程序进行调整或采取其它相应的对策。通过精心施工,严密监测,使制造质量得到了充分保证。

#### 4 结 语

三峡工程永久船闸输水廊道反向弧形工作闸门制造荣获了中国水利水电建设集团公司科技进步二等奖。反弧门的制造成功,保证了三峡工程永久船闸的按期建成,并为今后同类产品的制造积累了宝贵的经验。

#### 作者简介:

李 谦(1962-),男,天津市人,副总工程师,工程师,从事水电工程设备制造技术及管理工作。

(责任编辑:李燕辉)