

# 柳江流域梯级水库调度系统的设计开发与应用

潘小溱, 莫明海, 韦喜榴

(中国广核美亚电力控股有限公司, 广东 深圳 518031)

**摘要:**介绍了柳江流域梯级水库调度系统的设计原则和应用方法。水库调度管理是水电站管理的核心,目前单库优化调度比较成熟,但在同一条河流上各梯级电站实现上下游协同调度、最大程度地发挥整个流域的整体效益方面实践尚少。流域梯级水库调度系统利用现代信息化手段,通过集中采集上下游电站的发电量、发电水头等数据,协调调频、调峰的关系;采取库容补偿、水文补偿等方式,减少水库弃水和单位电能发电耗水量;统一整编、整体预报,开展联合优化调度,以获得比单库优化调度更优的经济效益,实现全流域发电、防洪、航运等多项综合效益提升,对梯级水电站运营的先进管理模式进行了有效探索,可为实现流域梯级电站调度综合最优化管理提供一定的借鉴。

**关键词:**柳江流域;梯级;水库调度系统;设计开发

**中图分类号:**TV21;TV737;TV12;TV697

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2015)02-0071-04

## 1 系统开发的背景

该流域梯级水库调度系统是为广西柳江流域所属水电站设计开发的。柳江是珠江水系——西江左岸的重要支流。柳江流域具有丰富的水资源,多年平均径流总量达 588 亿  $m^3$ ,水力资源理论蕴藏量为 455.8 万 kW,其中可开发量为 193.4 万 kW。其干流规划 9 个梯级电站,有 3 个电站在贵州省境内,有 6 个电站在广西壮族自治区境内(以下简称电厂 1、电厂 2、电厂 3、电厂 4、电厂 5、电厂 6),总装机容量为 95.45 万 kW,但各梯级水电站之间的调节能力较弱。因此,需要建设一个流域梯级水库调度系统,利用现代信息化手段,实现同一条河流上下游联合优化调度,促进全流域发电、防洪、航运等多项综合效益提升,最大程度地发挥整个流域的整体效益。

## 2 系统应用的意义和目标

(1) 水务综合管理对流域梯级水库调度提出了内在和现实的要求。

该流域中,电厂 1、电厂 2、电厂 4 已具有厂级水调系统,可独自向广西中调实时上传数据;电厂 3 尚无水调系统,需通过人工输入数据上传中调;其中电厂 1 与电厂 2 已实现水情数据共享。为了保证各水电站安全度汛、安全通航、调节水资源,迫切需要建设一个覆盖柳江流域各梯级电站的水调系统,对各水库运行进行水务综合管理。

(2) 流域内其它调节水库的建设为梯级水库

联合调度优化提供了有利条件。

随着流域内电厂 5、电厂 6 两个水库的建成和电厂 2、电厂 4 两个电站完成扩机后,可充分运用龙头水库的调蓄能力进行科学合理的单站及梯级联合优化调度,实现对天然入库径流进行有计划的蓄泄,达到既能满足市场需要,又能充分利用水能资源、保证电站安全稳定运行的目的,以获取更大的经济效益。

电站经济运行的最主要任务是如何在最优水头下、最大限度地利用上游来水,而同流域中各电站优化的主要任务是找到相互匹配的各水头和需用流量,即:

$$N = \sum_{i=1}^n KQ_i H_i$$

式中  $N$  为流域中各电站出力之和; $K$  为常数; $Q$  为电站引用流量; $H$  为电站水头; $i$  为电站个数; $n$  为电站总数。

上述各参数均为变量。由于现代气象预报、测量技术以及大数据处理的发展,使得寻求流域电站综合效益最大化成为可能。

(3) 现代成熟的计算机通信技术可以保证流域梯级水库调度系统的实现。

为实现各梯级电站的统一协同调度,必须实现对需要的数据集中采集、统一整编、整体预报、联合调度。采用现代先进、成熟的计算机及通信技术,可以及时、准确地获取流域中各水库及其相关水系的水文、气象和水库运行信息,根据各水库

收稿日期:2014-12-11

水情预报及各电站的运行特性,运用“补偿调度的常规模型”和“发电量最大模型”制定水库调度方案,协调上下游之间的发电量、发电水头以及调频、调峰之间的关系,通过库容补偿、水文补偿,减少水库弃水和单位电能发电耗水量,以实现对各电站水库的综合管理,保证各水电站安全度汛、充分利用水资源,同时保证电网安全、优质、经济的运行。

### 3 系统架构设计

#### (1) 系统设计原则。

首先,软硬件顶层设计应遵循安全、可靠、开放、实用、可扩展的原则。硬件配置应考虑到计算机技术的发展,同时从使用的角度出发,其应具有经济、实用且维护方便的特点。系统软件均采用商业化软件和模块化的设计思路,建立在统一而完整的数据库平台上,通过数据库接口软件和用户接口软件,在统一的图形界面和用户浏览器窗口下进行集中的数据库管理,实现各种计算及应用、统计分析和管理的功能。

其次,系统不仅要满足各梯级电站的接入,预

留电厂 5、电厂 6 等电站的接入口,并应满足以下三点要求:①达到广西中调水调自动化系统实用化验收的标准;②提高流域优化调度及地区调度管理水平;③系统关键技术达到国内领先水平。

#### (2) 网络结构和安全控制设计。

柳江流域梯级水库优化调度系统采用交换式局域网结构,构成功能分布的开放系统,将流域中的电厂 1、电厂 2、电厂 3、电厂 4 接入到系统中,并预留电厂 5、电厂 6 等电站的接入口,满足用户方便地对系统进行维护、扩容和升级等方面的要求。

对数据库服务器采用计算机集群系统,以提高系统的可靠性。系统采用基于客户机/服务器(C/S)和浏览器/服务器(B/S)相结合的模式,以及手机 APP 服务器多层结构。所有人机工作站均支持各种功能的操作界面。中心服务器采用两台相同配置的服务器,构成双机集群系统,完全实现故障的自动切换,其网络结构见图 1。

安全控制方面,根据电力二次系统安全防护

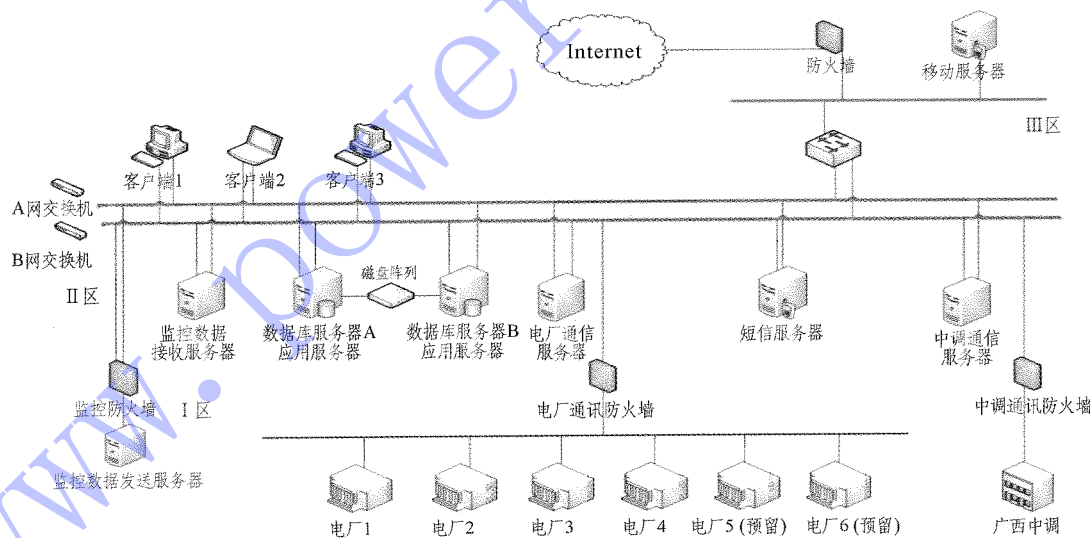


图 1 梯级水库调度系统网络结构示意图

规定(如图 1 所示),在 I 区与 II 区之间通过防火墙进行逻辑隔离,设置适当的访问控制。系统的数据采集不会影响到机组监控系统的稳定与安全;同样,机组的监控系统也不会干扰数据的采集。同理,系统与中调及各电厂数据交换的通信亦通过防火墙进行控制。

该系统可以实现正反向安全隔离数据传输。

应该具有 II 区系统数据可以通过正向隔离装置传输到安全 III 区的功能,同时可以实现反向安全隔离数据传输;III 区系统数据通过反向隔离装置传输到安全 II 区的功能。安全 III 区的文件为 E 语言格式的纯文本文件,反向隔离装置支持对 E 语言文件的内容与格式进行强内容过滤。正、反向传输软件均符合《电力二次系统安全防护规定》,

达到数据库动态同步、手工数据补传、网上实时数据同步、报警、辅助配置工具、数据同步及数据验证六点要求,满足电网调度的最新要求。

(3)数据库设计。

梯级水库调度系统是历史数据和实时数据并存的系统。数据库作为系统最底层的一个核心部分,不仅需要存储并管理长时间的历史数据,还要提供实时数据,因此,系统必须具有高性能和高可靠性。鉴于其中的历史数据与其它很多系统存在数据交换关系,因此,该系统必须具有良好的开放性和安全性。

基于数据的一致性、实时性、可靠性要求高,数据的存储必须严格按照数据库标准要求,严控不合格数据进入数据库,以减少数据检索时间,因

此而需要使用比较可靠、稳定、技术成熟且应用广泛的商用数据库软件。同时,鉴于各电站系统的客户端及服务器端大都采用美国微软操作系统,因此,最终系统选择使用微软公司的 MSSQL Server 软件。

为保证数据的集中控制和数据库中数据的逻辑结构与应用程序相互独立,数据物理结构的变化不影响数据的逻辑结构,系统采用了分布式数据库群设计,为每个电厂设计了一个专门用于存储本电厂的数据库。系统设计了一个管理数据库,用于保存梯级电站的相关配置及不属于某个电厂的数据。所有数据库通过一个数据库服务组件联系在一起,通过该数据库组件提供本系统或其它系统的数据调用。数据库架构见图 2。

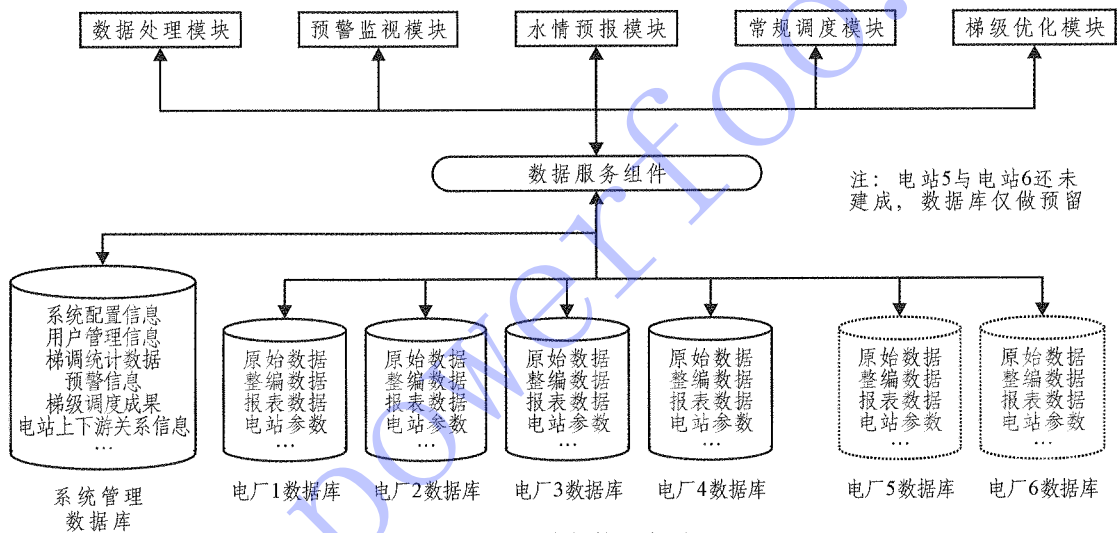


图 2 数据库架构示意图

4 系统具有的功能与实现

(1)数据自动采集处理系统。

数据自动采集处理系统包括电厂、中调、雨量等数据的采集、水务计算、数据发布、安全监视等功能,获取水文、气象及防汛信息,在数据库管理系统中存储管理,通过人机界面中雨量分布图、报表、棒图、过程线等控件组成实时流域图,进行汛情实时监视和报警。作为梯级水库调度系统的基础功能,该采集系统需要长期在线运行。

首先,系统需要对各电站、广西中调、气象数据库不同类型的数据进行在线实时采集、合理性校验及交换,必须保证及时和准确。所采集的数据包括实时的水位、流量、雨量、机组出力及电字和工况、闸门的开度等。雨量数据作为梯级水情

预报的必要数据,可直接从广西中调气象数据库采集,实时查询流域的当前小时平均雨量。

系统通过从各电厂采集到的水位、电量等实时原始数据,从监控系统中采集到的机组闸门信息,从广西中调采集到的雨量数据以及向上级广西中调报送的业务信息,在系统 MIS 网上发布并通过短信发布相关信息。系统数据流程各项联系情况见图 3。

其次,系统需要对流域中的电厂 1、电厂 2、电厂 3、电厂 4 进行水务计算。通过水量平衡原理,采用系统水情数据、机组运行数据及闸门运行数据等,依据库容曲线、计算公式和不同的算法,按指定的时间间隔自动定时进行计算,给出入库流量、出库流量、泄洪流量、耗水率等一系列结果并

提供给生产人员调度使用。

第三,数据查询和发布功能。集控中心的值班人员在客户端通过数据的查询获得相应的数据显示,了解当前系统的运行情况。系统采用的数据可以用曲线图和表格方式显示,通过单个图元

或多个图元的组合实现水情、水调、防汛等应用需要的实时数据监视、实时或历史图形和数据列表查询。数据发布包含三个方面内容:一是向广西中调发布各电厂实时及整编的水库水情水调数据;二是在内部 MIS 网发布实时的水库水情水调

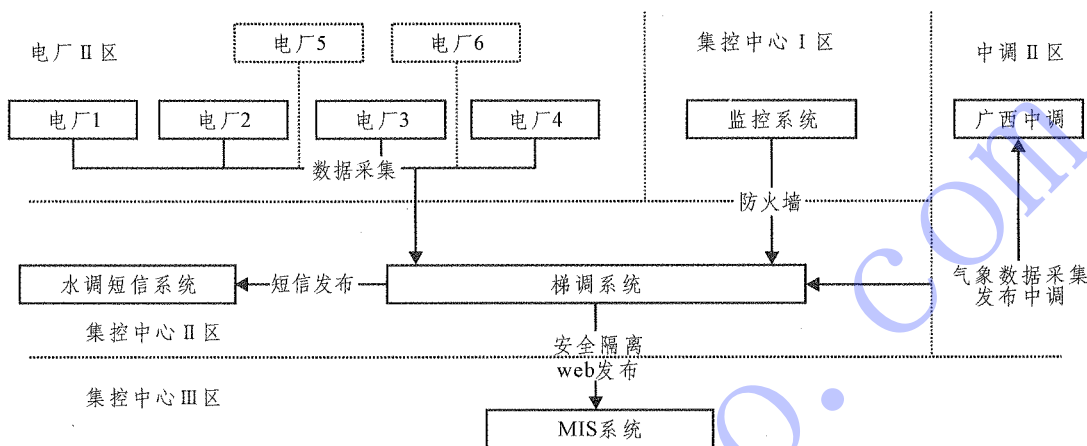


图3 采集到的数据流向示意图

信息;三是每日定时或在一定条件下自动触发水调短信,报告实时的水库水情水调信息。

第四,安全监控报(预)警功能。通过安全监控报(预)警,实时监视系统中各种动态水情数据、应用软件、各个网络节点情况,根据预先设定好的报警项目、预警限值和级别,发现有异常时即自动报警。报警方式可以选择监视屏幕画面闪烁报警、语音报警及短信通知报警,运行人员依靠监视画面,可以直接监视流域内各电站的水位变化曲线、雨量分布情况、闸门工况、机组运行、网络状态、水库运行、来水趋势等情况。

#### (2)柳江流域梯级水库联合调度系统。

调度系统是在确保大坝安全的前提下,利用采集的数据和计算结果处理好发电与来水之间的关系,充分运用梯级水库的调蓄能力,寻求科学合理的单站和梯级联合优化运行策略,制作发电计划,实现对天然入库径流进行有计划地蓄泄,达到充分利用水能资源、电站安全稳定运行、获取更大经济效益的目的。

本系统通过对各水电站的优化调度,合理安排水量的调配,实现流域梯级电站的水量水头有效补偿;通过5 d 区间入库流量的滚动预报,提高下游水电站的水能利用程度;系统通过长期计划和调整计划保证流域梯级电站的出力、电量满足

电网安全运行和经济运行的需求;通过及时调整,争取雨洪资源得到更加充分的运用。

首先,建立流域洪水预报功能。基于该流域内的电站均为径流式的情况,以电厂1 入库,电厂2、电厂3 和电厂4 区间为预报对象,建立以小时为时段的短期洪水预报。

其次,建立梯级防洪调度功能。根据流域洪水预报、历史洪水、不同频率的设计洪水数据以及水情测报的实时数据,基于水调系统和洪水调度模型,根据规划设计确定或上级主管部门核定的水库安全标准和下游防护对象的防洪标准、防洪调度方式及各防洪特征水位等需求和约束,实现利用水库的蓄泄能力对入库洪水进行蓄泄控制、拦蓄洪水、削减洪峰、根除或降低洪水灾害,使洪水造成的损失最小,以保障大坝和下游的防洪安全。在制定防洪调度方案功能时,根据入库洪水过程线、水位库容曲线、泄洪建筑物的型式尺寸及调度规则等已知的基本资料,推求下泄流量和库水位,结合闸门的启闭规则,将下泄流量分配到各闸门,形成闸门开度的决策支持方案。

第三,建立梯级发电调度功能。根据梯级防洪调度方案,处理好发电和防洪之间的关系,充分运用龙头水库的调蓄能力,建立起科学、合理的单

(下转第89页)

换岗操作,操作过程自动记录并可查询打印。

系统设有随机查询值班功能(可以设定查询频次,如每8 h 3次等)。在监控管理正常监控界面下会弹出请确认画面,并有语音提示。如值班人员在岗可按确认键;如值班人员在预设时间内没有操作,系统自动记录为漏岗。

#### 4.11 系统用户资料的录入、维护及新用户的添加

在以系统管理员的权限进入系统后,可以实现对用户基本资料、用户详细资料、建筑消防设施系统信息的录入、修改和维护,可以实现新增加建筑消防设施系统的在线添加和管理。

#### 4.12 中心自动校时

系统自动接收GPS对时信号,锁定标准时间,全网自动校时,可确保监控中心系统和用户端协议转换器(传输设备)的时间与标准时间一致,累计误差不大于5 s。

#### 4.13 远程Web的查询与统计

Web查询统计系统共分为“实时数据浏览”、“查询”和“统计”三大功能模块。实时数据浏览”部分包括对火警、故障、巡检、误报等当前信息的浏览功能;查询部分可提供对报警信

(上接第74页)

站和梯级联合优化运行策略。发电调度模式有多种,可以分为长期、中期、短期发电计划。对于梯级内的电站基本为径流式电站的情况,可实现短期发电调度功能,以满足采用15 min、30 min或1 h为时段制定未来1 d至数日(大于5 d)的发电计划的需要,调度对象包括电厂1、电厂2、电厂3、电厂4。

## 5 结语

柳江流域梯级水库优化调度系统以全流域调度多发电、提高水能利用率、增加效益为目的,已在各梯级水电站运行中成功应用。在该系统运行中,通过采用数学模型进行梯级水库群优化调度研究,建立以水定电或以电定水的梯级水库群发电优化调度模型,动态规划,逐步优化算法,逐次逼近,从而使梯级调度水平不断提升。

水库调度系统实施以来,结合水电站管理和水电清洁能源开发的实际情况,充分挖掘龙头水

息、巡检信息、其它信息全方位、多条件的复合查询;统计部分可分为分类列表统计和综合图形统计,分别以表格和图形的方式提供丰富、直观的数据统计结果。

## 5 项目建设的意义

实施监测水洛河流域各电站消防设施的运行状态,可以及时甄别火警信息,发现故障,进而保证电站的安全运行;变分散为集中、变被动为主动,进而实现对水洛河流域沿线各级水电站自身独立消防设施的统一管理和维护;及时发现火警、快速反应,避免并减少火灾的发生;强化人员管理,适合少人值守模式;降低消防人员的工作强度并提高其工作效率;有效降低综合管理成本、提高消防整体管理水平,实现多系统功能有机结合。本次联网采用的国产海湾协议转换器,实现了在保证不改动原有各电站已投运设备的前提下,通过协议转换,实现了集控中心对各个电站运行情况

#### 作者简介:

谭小林(1974-),男,四川罗江人,副总经济师,工程师,从事水电工程建设开发技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

库调蓄的巨大潜力,各电站超额完成了2014年发电计划的15%~25%,实现经济效益达几千万元,为落实国家清洁能源发展规划、实现国家节能减排“双目标”作出了应有的贡献。

#### 参考文献:

- [1] 水电厂计算机监控系统基本技术条件,DL/T578-2008[S].
- [2] 电网水调自动化系统功能规范,DL/T316-2010[S].
- [3] 水文情报预报规范,GB/T 22482-2008[S].
- [4] 实时雨水情数据库表结构与标识符标准,SL323-2005[S].
- [5] 水力发电厂自动化设计技术规范,DL/T5081-1997[S].

#### 作者简介:

潘小溱(1962-),女,江苏泰州人,工程师,学士,从事水电厂信息化技术工作;

莫明海(1977-),男,广西柳江人,助理工程师,从事水电厂运行与维护工作;

韦喜榴(1967-),男,广西宜州人,高级工程师,从事水库运行管理工作。

(责任编辑:李燕辉)