

文章编号: 1672-3031(2009)02-0147-05

# 自动化学科发展前沿研究

张毅, 龚传利

(中国水利水电科学研究院 自动化研究所, 北京 100038)

摘要: 对当前水利水电自动化控制系统与技术研究的热点和发展趋势进行了调研, 调研主要包括: 大型水电站综合自动化系统、梯级集控中心自动化系统和大型引水工程调度自动化系统。本文介绍了当前水利水电自动化领域的发展动态和值得关注点, 汇集了近年来国内外主要权威学术刊物、学术交流会发表论文的内容和要点, 重点是为满足大型和特大型水利水电工程的建设需要, 开展的自动化控制系统与技术的探索和研究开发工作, 并对今后的研究发展方向进行了讨论。

关键词: 自动化系统; 大型电站; 计算机监控系统; 梯级集控中心; 大型引水工程

中图分类号: TV736

文献标识码: A

## 1 研究背景

我国水利水电工程正在经历一个前所未有的大规模建设阶段, 随着一批大型和特大型水利水电工程的建设, 各类水利水电工程对自动化控制系统的需求将非常广泛, 为水利水电自动化与信息化技术的应用和发展开辟了广阔的空间, 水利水电自动化控制系统和技术将是今后研究和发展的主要方向。为促进未来我国自动化控制系统的相关研究与国际先进水平发展同步, 在系统总体设计与应用技术方面居国际先进水平, 满足我国水利水电建设可持续发展需要, 开展国际科学技术发展动态调研具有重要的现实意义。本文根据当前国际水利水电自动化学科的发展趋势, 结合本所的工作和研究方向, 对当前国际水利水电自动化控制系统与技术研究的热点和重点问题进行综述, 包括: 大型和特大型水电站计算机监控系统、梯级水电站远方集控中心自动化系统、蓄能电站控制系统、大型引水工程调度自动化系统等水利水电工程控制领域。

## 2 学科发展动态和值得关注点

2.1 大型水电站综合自动化系统 21世纪我国水电开发建设进入到了一个高速发展时期, 并向着大机组与全流域梯级滚动开发的方向发展, 我国水电站综合自动化系统也获得了前所未有的快速发展机遇, 并随着三峡右岸、龙滩等一批单机容量为70万kW的特大型水电站相继建成投产发电, 以及三峡上游单机容量为100万kW梯级电站的建设, 巨型机组特大型水电站综合自动化系统的研制开发也成为本学科的发展方向和当前的关注点。

实施水电站综合自动化系统可显著提高水电站自动化水平及安全运行水平, 为实现电站无人值班(少人值守), 流域梯级电站远方集中控制和优化调度提供强有力的技术保障, 目前我国几乎所有新建水电站都同步实施了综合自动化系统工程。水电站计算机监控系统是综合自动化系统的核心和基础, 目前我国主要大中型水电站计算机监控系统均采用更符合我国国情的国内厂家开发的系统。我国水电站计算机监控系统从20世纪80年代开始, 经历了初期以常规为主、计算机为辅的试点模式, 到取消常规的全计算机监控实用化模式; 系统结构也从全厂集中式结构, 发展为比较适合水电站的分层分布

收稿日期: 2009-04-10

作者简介: 张毅(1963-), 男, 湖北人, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事水电站计算机监控系统研制与开发。

E-mail: jskfb@iwhr.com

式开放系统结构。经过 20 多年的努力和发展,系统功能和性能指标得到了很大提高,计算机监控系统在水电站也获得了广泛应用,技术也逐步趋于成熟,已经可以比较好地实现电站的本地和远方集中控制、安全监视、优化运行等功能,并满足水电站 无人值班(少人值守)的发展需要。

巨型机组特大型电站对计算机监控系统的要求与常规的系统相比,主要应进一步考虑下列几个方面的问题:(1)机组单机容量加大后,机组及电站在电力系统中的地位和重要性进一步提高,应进一步提高控制系统的可靠性,避免由于控制设备的可靠性对发电可靠性以及电网安全的不利影响;(2)机组单机容量提高后,发电机的电压、电流进一步加大,电磁干扰强度进一步提高,控制系统电子设备的抗电磁干扰能力应更强;(3)发电机、水轮机等重要设备的监测点会更多、更全面,附属设备数量也会增加,监控系统海量数据实时采集与处理能力应更强;(4)由于机组及电站的重要性,控制系统的性能指标要求应进一步提高,如数据采集周期、事故处理响应时间、控制响应时间等;(5)自动化、智能化程度应进一步提高。

由于常规电站计算机监控系统在满足巨型机组特大型电站的技术要求上存在一定差距,近年来,为满足巨型机组特大型电站在系统高可靠性,特别是海量数据的实时采集与处理等方面越来越高的技术要求,国内一些单位相继开展了功能更加强大、性能指标更高的面向巨型机组特大型电站的新一代计算机监控系统的探索和研究开发。

陈国庆<sup>[1]</sup>对按照国际标准设计的三峡左岸电站综合自动化系统进行了全面综述,对其计算机监控系统、调速系统、励磁系统、继电保护、故障录波、图像监控等自动化系统和设备的配置作了概述性总结。王德宽等<sup>[2]</sup>介绍了最新研制开发的面向巨型机组特大型电站的新一代水电厂计算机监控系统的设计原则,还对主要的新功能和新型人机界面、WEB 发布系统、历史库与报表系统等创新点作了简要介绍。该系统在三峡右岸电站已成功投运。张毅等<sup>[3]</sup>在提出特大型电站系统设计原则和开发方向基础上,重点对系统网络结构、全冗余分布式实时数据库结构、软件功能结构进行了介绍和分析,通过采用信息分流和功能分布,解决了巨型机组特大型电站计算机监控系统可靠与实时性难题。杨春霞等<sup>[4]</sup>重点介绍了三峡右岸电站计算机监控系统现地控制单元(LCU)的结构和功能实现,所有 18 套 LCU 由施耐德 Unity Quantum 可编程逻辑控制器(PLC)、工控机及触摸屏、ABB SYNCHROTACT S 系列同期装置、Bitronics 交流采样、SINEAXDME 系列变送器、Power one 系列交直流输入电源等构成,采用双机热备冗余 CPU+ 冗余远程输入输出(RIO)总线+ RIO 模块的结构形式。

方景家等<sup>[5]</sup>介绍了目前仅次于三峡的我国第二大水电站 龙滩水电站的计算机监控系统,该系统采用全分布开放式双光纤以太环网结构,系统庞大、结构复杂。为保证系统安全可靠,分为主站级和现地控制单元级,其中主站级采用双服务器冗余设置,现地控制单元级采用双 CPU 冗余设置。该文简要介绍了龙滩水电站计算机监控系统的系统结构、系统功能和主要特点,并就目前尚需改进和解决的问题作了归纳和总结。杨叶平等<sup>[6]</sup>通过对巨型机组的数据采集与控制等关键技术立项进行深入研究,确定了采用多线程并行网络通讯技术的方案,解决巨型机组采集的实时性问题。采用多服务器负荷平衡管理与互备冗余技术,提高系统数据采集的可靠性与实时性,同时通过对 PLC 冗余优化策略的研究,实现了网络和现地控制单元 CPU 的快速自动切换。

杨继德<sup>[7]</sup>介绍了 ABB 公司在国内大型抽水蓄能电站计算机监控系统中的最新应用,针对大型抽水蓄能电站对计算机监控系统在开放性、高效性和稳定可靠性的要求,给出了 ABB 公司提供的—个解决方案,对监控系统结构、配置及抽水蓄能机组控制软件设计作了较详细的介绍。傅新芬等<sup>[8]</sup>通过对大型抽水蓄能电站计算机监控系统及控制技术的总结和分析,讨论了系统设计原则、结构和配置,并对实际应用的有关问题提出建议。

黄家志等<sup>[9]</sup>根据三峡左岸电站 AGC AVC 功能设计与运行经验,简要介绍了左岸监控系统 AGC AVC 的系统组成、分配原则和调节方式;着重介绍了实现大型发电机组 AGC AVC 功能应考虑和避免的问题,并对 AGC AVC 功能投运后发现的问题和改进措施进行了探讨。龚传利等<sup>[10]</sup>介绍 AGC 程序对于三峡这样超大型电站负荷平稳调节采取的特殊措施,不仅考虑各种防误措施,还通过引入有功补偿调节策略,来保证三峡这样超大型机组开机、停机、跨越振动区过程中平稳调节,减少可能造成的电网负荷波动。

修正等容量有功分配策略兼顾了效率优化和减少机组磨损,水头滤波处理考虑了相关情况,并采用相应措施防止出现水头异常、双机切换、功能切换、机组调节失败造成偏离有功设定值。对于AVC采用自学习自适应方法寻找调差系数。以上方法均已经过三峡电站实际运行验证。

特大型水电站综合自动化系统一般都具有系统庞大,主辅设备多,结构复杂的特点,三峡左岸电站计算机监控系统采用技术引进消化与吸收,右岸电站采用国内研发具有自主知识产权的监控系统,有力推动了我国计算机监控系统总体技术水平的提高,采用国产化计算机监控系统的三峡右岸、龙滩等一批单机容量为70万kW的水电站相继建成投产发电,标志着我国水电站计算机监控系统技术已达到国际先进水平。

**2.2 梯级集控中心自动化系统** 目前我国进行流域梯级电站集中控制中心建设已成为发展趋势,各流域水电开发公司均进行了集控中心的规划,现已有部分流域梯级电站集中控制中心建成投入运行,如三峡梯级调度中心、黄河上游梯级电站集中控制中心、乌江梯级电站集中控制中心、大渡河流域集中控制中心等。其他流域梯级电站集控中心也都在建或拟开工建设。

梯级集控中心自动化系统包括电调自动化系统和水调自动化系统,电调自动化系统主要实现流域梯级电站的信息采集与处理、运行监视,满足梯级水电站操作控制、生产调度、集中监控需要。水调自动化系统是梯级集控中心自动化系统的一个重要组成部分,主要进行与水库运行有关的监视、预报、调度和管理。该系统基于对历史资料的收集整理,通过实时水文、气象和水库运行信息的自动采集,利用数据库管理技术,进行在线水文预报、调洪演算、优化调度和水务综合管理等,提供满足防洪、发电及其他综合利用要求的水库调度决策方案,同时支持水电厂和电网的经济调度。

为有效实现流域梯级电站集中控制,满足大型梯级水电站及流域水电站群远方集中控制与优化调度管理的要求,近年来国内一些单位相继开展了这方面的研究和开发工作。

王桂平等<sup>[11]</sup>介绍了三峡梯级调度计算机监控系统按照梯级各电站联合调度、统一对外、无人值班(少人值守)的原则进行设计,并对三峡梯级调度计算机监控系统的系统平台引进、国内合作开发的建设模式,系统的结构、功能及特点进行了较为详细的介绍。张新军<sup>[12]</sup>介绍了三峡梯级调度AGC的功能设计与实现。三峡梯级调度中心由ABB公司和中国水利水电科学研究院共同承建,三峡梯级联合优化运行采用分层优化的原则来实现,梯级自动发电控制(AGC)由中国水利水电科学研究院开发完成,并利用华中科技大学的数字梯级调度决策支持系统制定梯级电站优化经济运行发电计划。文章重点介绍了三峡梯级AGC的功能、特点、约束条件、优化原则和方法,以及三峡梯级AGC闭环试验结果和分析。

朱辰等<sup>[13]</sup>进行了梯级水电站集控中心计算机监控的系统软件研究和开发,简要介绍了集控中心系统所采用的面向对象、三层结构、分布式对象等新技术,以及集控中心监控系统的控制安全性考虑等实现要点。王峥赢等<sup>[14]</sup>介绍了基于H9000CAS平台开发的黄河上游梯级水电站集控中心电调自动化系统,该系统已实现了对6个梯级电站的远方集中控制,远期目标为25个电站。文章介绍了系统网络设计、系统结构及主要功能,并对系统的主要特点进行了说明。

建设流域梯级集控中心自动化系统必须满足2个基本条件,首先是流域各梯级水电站均已实施计算机监控系统工程,并满足水电站无人值班(少人值守)的技术要求;其次要建有可靠的通信网络系统,以满足集控中心至各梯级水电站的梯级调度计算机网络系统的需要。

随着一批流域梯级集控中心自动化系统的建设与投运,系统在实现电站现地无人值班(少人值守),远方统一集中实时监控、联合优化调度和管理方面获得了广泛应用,在技术上也有了很大提高,梯级集控中心自动化系统将是当前及今后一段时期的研究与关注重点,今后流域梯级集控中心自动化系统的发展趋势是:逐步将流域梯级枢纽水情测报、梯级调度管理、闸门控制和决策支持等系统统一构成梯级枢纽联合调度决策支持系统。

**2.3 大型引水工程调度自动化研究** 随着我国大型长距离调水工程的建设,全线统一优化调度、泵站闸站远程监控、全线自动化运行管理等一批关键技术成为研究开发热点,长距离梯级泵(闸)站引水工程自动化系统及相关技术装备的研发将是今后研究发展的主要方向。

刘晓岩等<sup>[15]</sup>针对黄河下游引黄涵闸工程,介绍了远程监控自动化系统建设方案。黄河引黄涵闸远程监控系统采用一体化建设方案,使5级监控体系成为一个整体,确保监测数据的连续性、可靠性和引水量计算的准确性。系统实现了远程监测、控制和监视3项功能,为实现黄河水量统一调配、自动化、信息化管理及保障黄河不断流提供了重要技术措施。李鹏等<sup>[16]</sup>介绍了H9000计算机监控系统在大张庄泵站的应用。大张庄泵站计算机监控系统是按无人值班(少人值守)的原则设计,采用可编程逻辑控制器(PLC)直接接入以太网的方式来实现水泵机组及泵站35kV变配电系统、励磁系统、辅机系统等的运行管理,文中介绍了该系统的结构、功能及现场应用情况。徐继华<sup>[17]</sup>介绍了梯级泵站计算机监控系统的发展与应用,包括大型梯级泵站计算机监控系统功能、网络结构、仿真与培训系统以及大型梯级泵站经济安全运行等内容。随着跨流域梯级引水工程和跨流域梯级排灌工程规模的大型化,泵站工程越来越复杂,必须进行全系统的优化调度运行研究。

现代梯级泵站调水工程中泵站装机功率大,提高泵站效率有利于降低调水运营成本,提高调水经济效益。为此,我国一些专家学者针对泵站经济运行问题进行了较多的研究,为泵站经济运行调度打下了较好的基础。陈守伦等<sup>[18]</sup>通过建立相应的数学模型,采用动态规划的方法确定泵站各时段的抽水量及各时段总流量在机组之间的合理分配,可使泵站的经济效益得到明显提高。刘正祥等<sup>[19]</sup>对于多机组的多级泵站,以总能耗最小为目标函数,用动态规划法确定每级泵站的机组最优开机组合,然后模拟了系统的运行,同时考虑了级间的合理调配与站内机组的优化组合,可使泵站的经济效益得到明显的提高。金明宇等<sup>[20]</sup>建立了大型引水工程各梯级站水位优化调度数学模型,使得整个系统总能耗最少。

目前,大型长距离输水工程的数据采集、远方监控和全线统一自动化调度技术已获得广泛应用,系统软硬件的可靠性已有了质的提高,国内也已开发建设了一批大型引水工程全线泵(闸)站计算机监控系统工程,初步实现了全线自动化调度运行。随着南水北调等大型工程的建设,对自动化调度系统提出了更高的要求,为提高调度决策自动化和系统安全运行水平,仍需要进一步开展系统总体结构、网络通信、全线统一优化调度及现地无人值班技术研究,提高大型输水工程自动化系统的性能和实用化水平。

### 3 研究发展方向

近10年来,我国水利水电自动化控制系统取得了快速发展和技术进步,系统总体技术已达到国际先进水平,并获得国内广大用户的认可。针对三峡枢纽以上流域单机容量为100万kW梯级电站的建设,应继续开展巨型机组特大型电站综合自动化系统关键技术的研究工作,研究探讨改进系统结构、网络结构,优化系统配置,并通过采用新产品、新技术和最新研究成果,提高监控系统的可靠性和实时响应性能。

在国际市场方面,应进一步提高国产水电站自动化控制系统在国际水电市场的知名度,针对国外水电站的特点和实际需求,改进和完善系统结构、功能和性能指标,提高系统的竞争力,加大在国际市场,特别是东南亚和非洲水电站的市场占有率。

在流域梯级电站集控中心自动化系统方面,应在建立流域数据中心和远方集控的基础上,开展数据挖掘和数据共享综合利用工作,提高流域梯级调度管理的现代化水平,充分发挥水利工程的防洪减灾与兴利效益,开发满足防洪、发电及其他综合利用要求的流域水库调度决策支持系统,同时协调与电网的调度关系,实现流域梯级水电站优化调度和电网的经济调度。

在长距离引水工程调度自动化系统方面,应结合我国南水北调等大型水利工程建设需要,开展全线调度自动化系统运行管理关键技术的实用化研究和开发,提高我国全线统一优化运行管理和调度决策的自动化水平。

为使电源结构更加合理和多样化,我国正在加快大型抽水蓄能电站的建设,目前,大型抽水蓄能电站计算机监控系统基本上全部采用国外进口产品,价格高且不利于运行维护,售后服务困难,而国产化系统已基本具备实现大型蓄能电站计算机监控系统的能力和水平,但缺乏应有的应用业绩,因此今后本学科重点研究内容和发展方向之一应放在根据抽水蓄能电站机组控制的特点,开发蓄能机组的有关流

程控制软件,并结合具体蓄能电站工程进行应用。重点研究内容包括:大型蓄能电站计算机监控系统模式与结构,有关流程控制软件技术及大型蓄能电站自动发电控制技术。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 陈国庆. 三峡左岸电站综合自动化系统综述[J]. 水电自动化与大坝监测, 2003, 27(6): 10- 13.
- [ 2 ] 王德宽, 袁宏, 王峥赢, 等. H9000 V4.0 计算机监控系统技术特点概要[J]. 水电自动化与大坝监测, 2007, 31(3): 16- 18.
- [ 3 ] 张毅, 王德宽, 王桂平, 等. 面向巨型机组特大型水电站监控系统的研制开发[J]. 水电自动化与大坝监测, 2008, 32(1): 24- 29.
- [ 4 ] 杨春霞, 李建辉, 张捷, 等. 三峡右岸电站计算机监控系统配置及 LCU 功能实现[J]. 水电自动化与大坝监测, 2007, 31(4): 1- 6.
- [ 5 ] 方景家, 李先梧. 龙滩水电站计算机监控系统[J]. 红水河, 2007, 26(2): 115- 120.
- [ 6 ] 杨叶平, 张毅, 袁宏, 等. 三峡右岸巨型发电机组数据采集与控制技术研究及实现[J]. 水利水电技术, 2008, 39(4): 69- 72.
- [ 7 ] 杨继德. ABB 公司在国内大型抽水蓄能电站计算机监控系统中的最新应用[C] 第一届水力发电国际会议论文集(第一卷). 2006: 560- 566.
- [ 8 ] 傅新芬, 吴毅. 大型抽水蓄能电站计算机监控系统及控制技术[C] 第一届水力发电国际会议论文集(第二卷). 2006: 28- 33.
- [ 9 ] 黄家志, 谢秋华. 三峡左岸电站 AGC AVC 功能设计与运行经验[J]. 水电自动化与大坝监测, 2006, 30(5): 8- 12.
- [ 10 ] 龚传利, 黄家志, 姚志凌. 三峡右岸电站 AGC 安全性策略[J]. 水电自动化与大坝监测, 2008, 32(1): 34- 36.
- [ 11 ] 王桂平, 袁宏, 张新军, 等. 三峡梯调中心计算机监控系统[J]. 水电自动化与大坝监测, 2004, 28(2): 17- 19.
- [ 12 ] 张新军. 三峡梯级调度 AGC 的功能设计与实现[J]. 水电自动化与大坝监测, 2005, 29(1): 11- 13.
- [ 13 ] 朱辰, 施冲, 王伟. 梯级水电站集控中心计算机监控系统软件研究[C] 第一届水力发电国际会议论文集(第一卷). 2006: 554- 559.
- [ 14 ] 王峥赢, 王桂平, 周民, 等. 黄河上游集控中心电力调度自动化系统设计及实现[C] 第一届水力发电国际会议论文集(第一卷). 2006: 606- 612.
- [ 15 ] 刘晓岩, 朱辰华, 王恒斌. 黄河下游引黄涵闸远程监控自动化系统建设方案[J]. 中国水利, 2003(22): 74- 76.
- [ 16 ] 李鹏, 梁力, 董宇波, 等. H9000 V3.0 计算机监控系统在大张庄泵站的应用[J]. 水电自动化与大坝监测, 2002, 26(05).
- [ 17 ] 徐继华. 梯级泵站计算机监控系统的发展与应用[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(5): 35- 36.
- [ 18 ] 陈守伦, 苗钧, 徐青, 等. 泵站日优化运行调度研究[J]. 水电能源科学, 2003, 21(3): 82- 83.
- [ 19 ] 刘正祥, 蒋丽娟, 张平燕. 动态规划、模拟技术在多级泵站优化调度中的应用[J]. 灌溉排水, 2000, 19(2): 62- 68.
- [ 20 ] 金明宇, 徐青, 陈守伦. 大型引水工程梯级水位优化模型研究[J]. 水电自动化与大坝监测, 2004, 28(1): 67- 69.

## Investigation report on frontier development of automation control system for water resources and hydropower projects

ZHANG Yi, GONG Chuan-li

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** An investigation was carried out on the development frontier and technology progress in the field of automation control systems for water resources and hydropower projects. The content of the investigation and research includes integrated automation systems for large-scale hydropower stations, automation control systems for cascade centralized control centers and automation dispatch systems for large-scale water diversion engineering projects. A state-of-art report of the investigation is presented in this paper. A numbers of technical and academic papers published in authoritative journals and academic conferences at home and abroad are reviewed and summarized. A discussion for further research and development trend is given.

**Key words:** automation control system; large-scale hydropower station; computer supervision and control system; cascade centralized control center; large-scale water diversion engineering

(责任编辑:王成丽)