



普通高等教育“十二五”规划教材(高职高专教育)
2010年度高职高专国家精品课程配套教材
机电控制技术国家级实训基地建设成果

水电站机组自动化 运行与监控

主编 洪 霞 汤晓华
主审 吴 耕 黄胜伟

SHUIDIANZHAN JIZU ZIDONGHUA
YUNXING YU JIANKONG



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高等教育“十二五”规划教材(高职高专教育)
2010年度高职高专国家精品课程配套教材
机电控制技术国家级实训基地建设成果

水电站机组自动化 运行与监控



主编 洪 霞 汤晓华
编写 杜 波 郭小进 段新红
主审 吴 耕 黄胜伟



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书内容设计以水电站水力发电工作过程为主线,反映水轮发电机组值班员、水电站自动装置检修工职业岗位能力需求,全书内容围绕水轮发电机辅助设备系统、机组现地控制单元、调速系统、励磁系统以及上位机监控系统的自动控制等方面展开,在突出自动化理论的同时,强调引入水电站现场最新技术的应用。本书的编写体现了高等职业教育课程改革的经验,设计的每一个学习单元均反映完整的工作任务,且相对独立,便于读者学习使用。

本书案例选取来源于典型水电企业,资源以2010年国家级精品课程“水电站机组自动化运行与监控”为支撑,资源立体、丰富,形式从二维到三维,从文、图到动画、视频。配套光盘资源完整、实用。

本书可作为高职高专院校机电设备运行与维护、水电站动力设备运行与管理等专业的教学用书,也可作为水力发电企业技术培训参考教材,还可供企业专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水电站机组自动化运行与监控 / 洪霞, 汤晓华主编. —北京: 中国电力出版社, 2013. 9

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5123-4657-4

I. ①水… II. ①洪… ②汤… III. ①水轮发电机-发电机组-运行-自动化技术-高等教育-教材②水轮发电机-发电机组-监控系统-高等教育-教材 IV. ①TM312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 148570 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 9 月第一版 2013 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 324 千字

定价 48.00 元 (含 1CD)

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



21 世纪，我国和世界经济的发展都翻开了新的一页，经济的增长依赖于能源的配套供应。水利资源作为可再生清洁能源受到高度重视，成为我国能源的重要组成部分，在能源平衡和能源可持续发展中占有重要地位。从能源持续保障和环境保护出发，我国制定了优先开发水电的方针。21 世纪，我国水电发展将进入黄金时期。我国水力资源丰富，目前全国已有各类水电站十余万座。

溯江而上

高职高专机电设备运行与维护、水电站动力设备运行与管理专业属于水利大类专业，在不同时期为水力发电行业培养了许多优秀的人才。随着三峡、金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、乌江等长江上游流域水电开发的推进，我们溯江而上，通过多种形式的大量调查发现，水电站的建设运营、水电控制设备安装调试与运行这两大领域成为专业的主要服务方向。伴随着三峡等巨型水电工程进入发电阶段，社会对低碳绿色电力普遍关注，国家加快了对水电资源的开发，水电企业的技术在向综合自动化方向发展，管理模式朝着集控模式延伸，岗位设置趋于机电合一、运维一体，如何满足水电行业、企业对高端技术技能人才的需求，成为摆在专业面前的现实问题。

定位未来

水电站机组自动化运行与监控是机电设备运行与维护专业（水电站方向）“双证融通”的专业技术核心课程，与水轮发电机组值班员、水电站自动装置检修工职业标准所要求的应知、应会相对应，与学生毕业后从事的水电站运行、维护等岗位对接，可喻为该专业的一个落脚点。本教材以水力发电工作过程为主线，围绕职业标准的应知、应会要求，将现代先进的发电机主辅设备的自动化技术、监控技术与发电工作过程融为一体。以各个自动化控制系统的实现为主线，每一个单元即为一个工作任务或者为一个系统。教材突出综合自动化的概念，强调引入水电站现场最新技术应用，强调水轮发电机组及辅助设备自动化技术、可编程控制器应用技术、检测技术、现代电气控制技术、信息的综合应用。

启示思路

教什么？在哪里教？老师怎样教？学生怎样学？带着这些问题和一些同仁、企业专

家一起进行探讨,碰撞出火花,于是就有了一个大胆的想法,“电站进校园、运行在课堂”,在水电仿真机上教、在企业的车间里教,让知识融会贯通;按照这样一个新的思路,本教材内容选取与水轮发电机组的各主辅系统一致,按照水电站机组自动化系统来组织教材内容,包括:水轮发电机辅助设备油、水、气系统,机组现地控制单元,调速系统,励磁系统,上位机监控系统的自动化运行与维护等。

创新特色

教材力求在讲清基本概念、基本理论的基础上,强调工程实际应用,教材注重内容的实用性、针对性、时代性、先进性,将龙头企业最新的技术成果、典型水电站实际工程案例纳入教材。笔者尝试从工程的角度来培养学生,按照专业对应的职业特征,培养他们的工程素养,培养他们分析问题、解决问题的能力。教材的编写邀请了四川映秀湾水力发电总厂、国电广西水电开发有限公司、葛洲坝水电站、浙江天煌科技实业有限公司专家的参与。教材配有资源丰富的辅助教学包。水电站机组自动化运行与监控课程荣获了2010年国家级精品课程。立体化教学资源由纸质教材、多媒体光盘和国家精品课程网站(www.whetc.sgcc.hb.cn/jpkc)三部分组成。

课程网络从专业角度来建设学生自主学习资源库,课程资源立体、丰富,形式从二维到三维,从文、图到动画、视频,建设了图纸库、图片库、标准库、虚拟动画库、FLASH库、视频库、试题库等丰富的助学资源。数字助学资源翔实,建立了作业指导书、电子课件、参考教案、虚拟三维教学模型等助教资源。网站的课程资源建设是基于专业的整体积累与收集,数字助教、助学资源达10G之多。

本教材由武汉电力职业技术学院洪霞编写第一章、第二章、第四章,并整理配套光盘,天津中德职业技术学院汤晓华编写第三章、第五章、第六章、第七章,武汉电力职业技术学院郭小进参与了第六章第三节的编写,浙江天煌科技实业有限公司段新红参与了第七章的编写,四川映秀湾水力发电总厂吴耕、国电广西水电开发有限公司黄胜伟、葛洲坝水电站大江电厂杜波、湖北黄龙滩水力发电厂王虎、浙江天煌科技实业有限公司黄华圣为本教材提供了图文资料。本教材由洪霞、汤晓华共同统稿,吴耕、黄胜伟审阅了本教材。

教材编写中参阅了大量文献资料,得到了水电行业许多同行的支持,在此表示感谢。有智者曾经说过:你要是等到尽善尽美,你就不可能完成任何一本书的写作。在这本教材的写作过程中,编者虽然付出了艰辛的劳动,但是对如何把知识用通俗有趣的语言表达出来,总是感到力不从心。由于编者水平有限,时间仓促,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013年4月8日



前言

第一章 水电站自动化技术概论	1
习题与思考	21
第二章 辅机设备系统的自动控制	22
第一节 油系统的自动控制	23
第二节 技术供水系统的自动控制	33
第三节 技术排水系统的自动控制	39
第四节 气系统的自动控制	46
第五节 主阀的自动控制	52
习题与思考	66
第三章 水轮发电机组的现地控制	68
第一节 水轮发电机组的运行参数测量	69
第二节 水轮发电机组的现地控制系统	80
第三节 发电机的同期并列	109
习题与思考	121
第四章 水轮机调速器的自动控制	123
第一节 水轮机调节系统的基本任务及原理	124
第二节 微机调速器的系统结构与硬件原理	127
第三节 调速器机械液压控制装置	133
第四节 微机调速器的工作过程与软件实现	138
第五节 故障分析及处理	143
习题与思考	147

第五章 水轮发电机励磁的自动控制	148
第一节 认知同步发电机励磁系统	149
第二节 功率整流单元	151
第三节 起励与灭磁单元的运行	160
第四节 自并励自动励磁调节器及功能	166
第五节 自并励励磁系统的调节及限制保护	169
第六节 自并励励磁系统的运行	172
习题与思考	175
 第六章 水电站计算机监控系统	 177
第一节 水电站计算机监控系统认知	178
第二节 水电站计算机监控上位机系统功能	188
第三节 水电站计算机监控系统网络与通信	194
第四节 水电站视频监控系统	200
第五节 自动发电控制 (AGC)	205
第六节 自动电压控制 (AVC)	207
第七节 上位机设备操作实例	210
习题与思考	215
 第七章 水电站机组自动化控制系统实训	 217
第一节 THESPC-1 型发电厂集控自动化综合实训系统介绍	218
第二节 微机调速系统调试实训	222
第三节 微机励磁系统调试实训	224
第四节 同步发电机准同期并网运行实训	228
第五节 上位机监控系统实训	232
 参考文献	 235

第一章

水电站自动化技术概论

本章导读

现代水电站自动化依据“无人值班、少人值守”进行设计和建设。水电站自动化的任务就是完成对水轮发电机组、辅助设备的自动控制，对机组及辅助设备的运行工况的监视，对主要电气设备的控制、监视和保护，对水工建筑物运行工况的控制和监视。围绕“无人值班、少人值守”，水电站自动化的基础自动化、水轮机调节系统、发电机励磁系统、计算机监控系统都经历了几代的发展历程，向着数字化、智能化水电站的方向发展。



一、引言

近年来,水电产业得到了飞速发展。截至 2009 年底,全国水电装机容量为 1.97 亿 kW, 占发电装机总容量的 23%, 年发电量约 5500 亿 kWh, 水力发电作为清洁能源, 在我国的能源结构中占据了重要地位。

我国 20 世纪 90 年代以前设计修建的水电站基本上是在建立多人值班的基础上, 其特征是: 自动化程度低, 监控设备分散, 用人众多, 管理水平低。进入 20 世纪 90 年代后, 国内外在水电站自动控制上普遍采用计算机监控技术, 或利用计算机控制系统与电站常规控制系统相结合对水电站设备进行控制, 或利用计算机监控系统直接对水电站设备进行监控。“十五”计划明确提出要求新建水电站都要按“无人值班、少人值守”进行设计和建设, 对 20 世纪 90 年代以前建设的水电站, 要按总体目标做出更新改造计划, 在 2010 年前全部实现“无人值班、少人值守”。近几年, 我国电网中水电站的自动化水平发生了巨大的变化, 大量采用先进自动化技术的水电站正在兴建或已经并网发电, 有些还实现了无人值班。

水电站的中控室负责管理和控制整个电厂的正常运行, 为了保证运行可靠性和经济性, 必须收集全厂各设备的实时运行资料, 以便及时作出响应。譬如说: 实时采集发电机组和全厂公用设备的运行状态、运行参数, 对电厂各控制点和监视点进行自动安全监测、越限报警, 实现厂内自动发电控制和自动电压调整等, 而计算机监控系统正是基于以上理念, 充分利用成熟的计算机控制技术、通信技术、可编程控制器 (PLC)、网络技术将各台机组现地控制单元 (LCU)、励磁调节器、调速器等连接起来, 集中监控水电站各台机组的运行, 以实现整个电厂的经济运行。图 1-1 为某水电站的中央控制室, 图 1-2 展示了某水电站发电机地板层控制设备的布局。



图 1-1 某水电站中央控制室



图 1-2 某水电站发电机地板层

随着水电站“无人值班、少人值守”模式的推广, 对水电站的生产运行和管理提出了更高的要求, 信息技术、计算机技术、网络技术的飞速发展, 给水电站自动化系统无论在结构上还是功能上, 都提供了一个广阔的发展舞台。水电站自动化适应新形势的需要, 发展成为一个集计算机、控制、通信、网络、电力电子为一体的综合系统。水电站计算机监控系统的性能大大优于常规的自动控制系统, 所以又被称为水电站计算机综合

自动化系统。

水电站计算机监控系统是指整个水电站设备的控制、测量、监视和保护均由计算机系统来完成。它代替了常规控制设备，监视测量表计，完成机组的开停机控制、断路器等开关设备的控制，完成电厂的优化运行、自动发电控制（AGC）、自动电压控制（AVC），电站机组、变压器、线路等各种运行设备参数的在线监视，越限参数报警、记录，历史参数查询，事故追忆，报表打印，完成监控系统设备的自检，是实现对整个电厂所有设备进行控制、测量、监视和保护的自动控制系统。葛洲坝二江电站计算机监控系统见图 1-3。

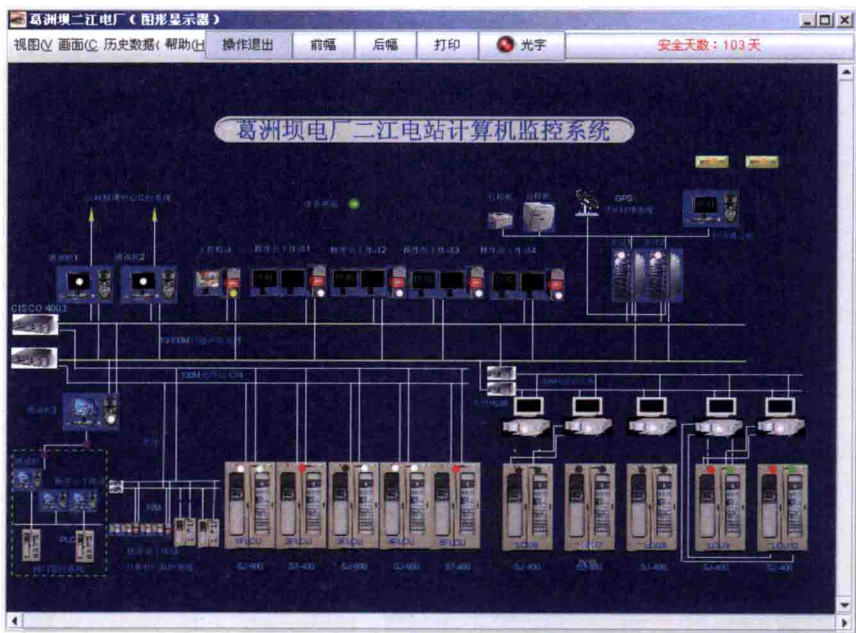


图 1-3 葛洲坝二江电站计算机监控系统图

水电站综合自动化系统是利用计算机及自动化技术实现整个水电生产过程的自动化运行的综合控制系统，它担负自动监测机组及其辅助设备的状态，发出拟定的报警信号、执行自动操作任务。水电站自动化就是要使水电站生产过程的的操作、控制和监视，能够在无人（或少人）直接参与的情况下，按预定的计划或程序自动地进行。水电站自动化程度是水电站现代化水平的重要标志，同时，自动化技术又是水电站安全经济运行必不可少的技术手段。水电站自动化具有提高工作的可靠性、提高运行的经济性、保证电能质量、提高劳动生产率、改善劳动条件等作用。

二、水电站综合自动化的内容

水电站综合自动化的内容，与水电站的规模及其在电力系统中的地位和重要性、水电站的型式和运行方式、电气主接线和主要机电设备的型式和布置方式等有关。总的来

说，水电站综合自动化包括完成对水轮发电机组运行方式的自动控制，完成对水轮发电机组及其辅助设备运行工况的监视，完成对辅助设备的自动控制，完成对主要电气设备的控制，完成对水工建筑物运行工况的控制和监视几个方面。

(一) 完成对水轮发电机组运行方式的自动控制

对水轮发电机组运行方式的自动控制包括：一方面，完成发电机转速、频率、机端电压的控制，实现开停机和并列、发电转调相和调相转发电等的自动化，使得上述各项操作按设定的程序自动完成；另一方面，自动维持水轮发电机组的经济运行，根据系统要求和电站的具体条件自动选择最佳运行机组数，在机组间实现负荷的经济分配，根据系统负荷变化自动调节机组的有功和无功功率，等等，如图 1-4 所示。

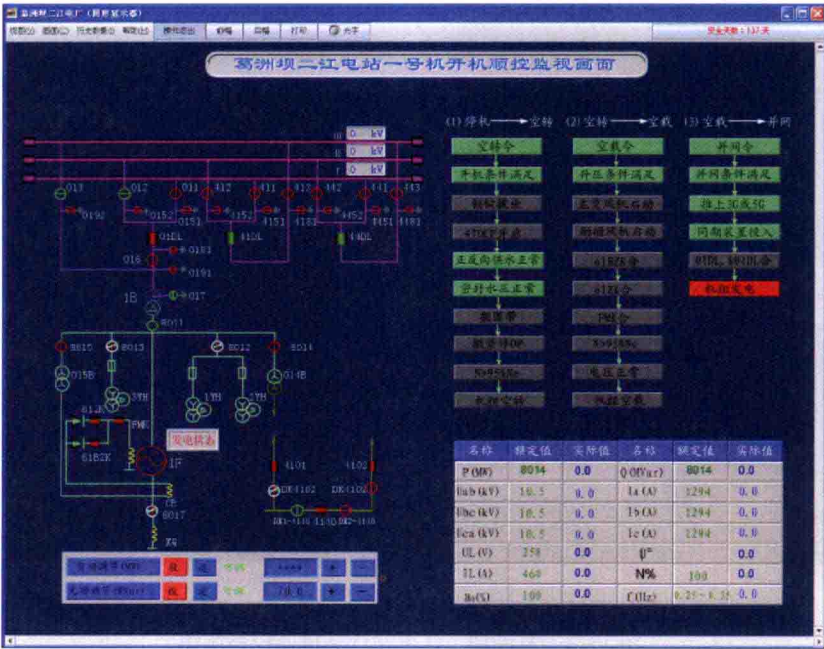


图 1-4 机组运行监控界面

(二) 完成对水轮发电机组及辅助设备的运行工况的监视

对水轮发电机组及辅助设备运行工况的监视包括：对发电机定子和转子回路各电量的监视，对发电机定子绕组和铁芯以及各轴承温度的监视，对机组润滑和冷却系统工作的监视，对机组调速系统工作的监视，等等。出现不正常工作状态或发生事故时，迅速而自动地采取相应的保护措施，如发出信号或紧急停机。机组运行轴承瓦温监视图见图 1-5。

(三) 完成对辅助设备的自动控制

对辅助设备的自动控制包括对各种油泵、水泵和空气压缩机等的控制，并在发生事故时自动地投入备用的辅助设备。



图 1-5 机组运行轴承瓦温监视图

(四) 完成对主要电气设备 (如发电机、变压器、母线及输电线路等) 的控制、监视和保护

对主要电气设备的控制、监视和保护包括：监视厂用电、开关站线路、母线电压、电流、有功、无功以及直流系统的状态数据；监视开关站、厂用电开关、断路器、隔离开关的位置；厂用电系统断路器的分/合操作；发电机出口断路器、开关站母联断路器、主变压器低压侧、主变压器高压侧、线路出线断路器、隔离开关的操作；发电机、母线、断路器、变压器、线路的保护。机组运行油系统监视图见图 1-6，电气主接线监视图见图 1-7。

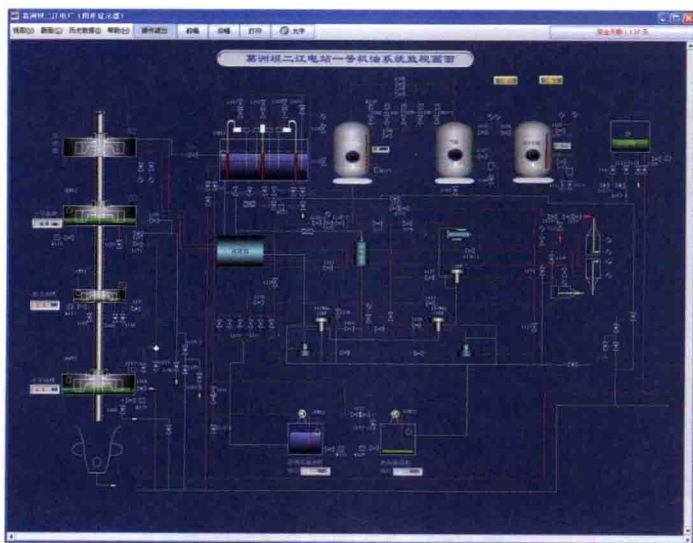


图 1-6 机组运行油系统监视图



图 1-7 电气主接线监视图

(五) 完成对水工建筑物运行工况的控制和监视

对建筑物运行工况的控制和监视包括：闸门工作状态的控制和监视，拦污栅是否堵塞的监视，上下游水位的测量监视，引水压力管的保护（指引水式电站），等等。水位闸门系统监视图见图 1-8。



图 1-8 水位闸门系统监视图

现代计算机技术、网络技术、信息技术的发展赋予了现代化水电站综合自动化新的内涵。它不仅要实现水电站运行过程的自动控制、报表的自动生成与打印等基本功能，更主要的是体现其高速强大的网络功能，通过高速网络实现网络节点的信息传输交换，实现资源共享。充分利用网站资源，开发出符合水电站特征的应用软件，是现代化水电站所追求的目标。此外，还应该将专家系统、培训仿真、多媒体与工业电视、状态检修均纳入现代化水电站综合自动化的范畴。工业电视监控图见图 1-9。

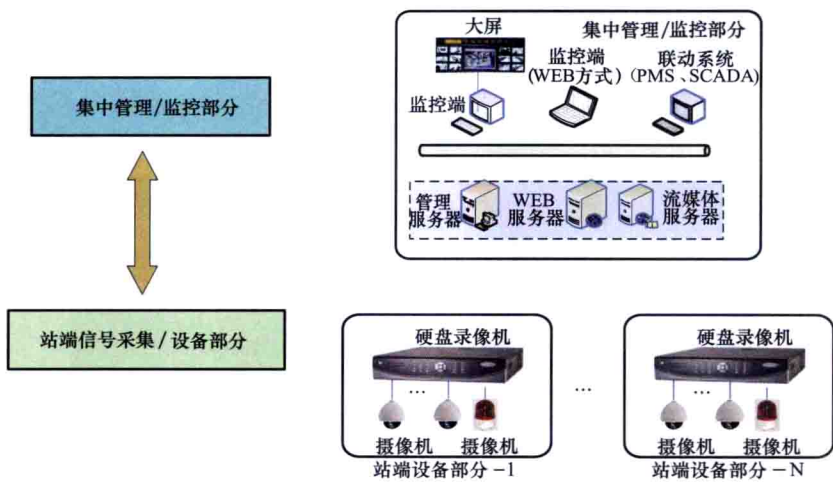


图 1-9 工业电视监控图

三、水电站机组自动化的发展

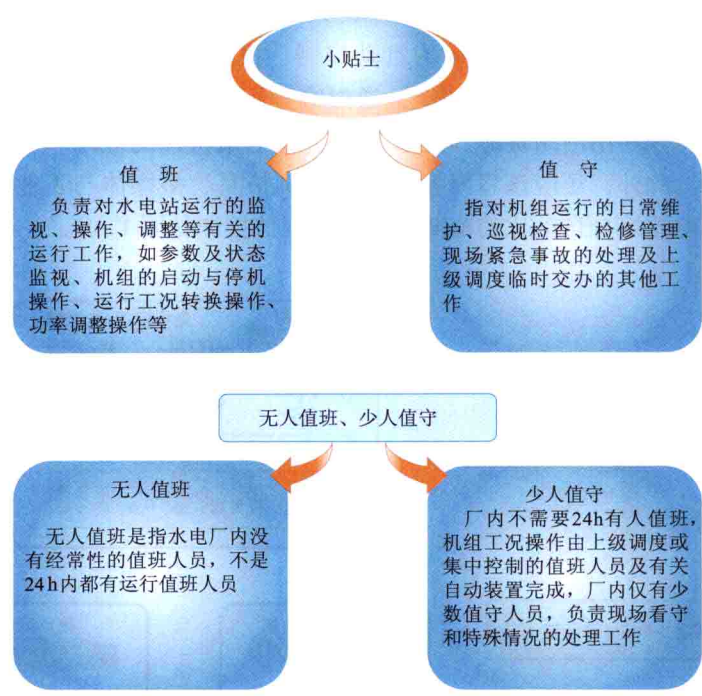
(一) 水电站计算机监控技术的发展

我国水电站计算机监控技术的研究与开发起步于 20 世纪 80 年代初。当时的水电部安排了一批科研试点单位，如富春江水电站的计算机监控系统于 1984 年 11 月正式投入运行，成为我国第一套水电站计算机监控系统，并采用动态规划法实现了经济运行。

到 20 世纪 90 年代初，葛洲坝、紧水滩、石泉、龙羊峡、新安江、古田等水电站的计算机监控系统先后投入使用。

1994 年，电力系统开展水电站“无人值班，少人值守”试点及“创一流水电站”工作，一个以计算机监控系统为核心的水电站自动化改造热潮蓬勃兴起，为监控系统技术的发展创造了良好的局面。

在 2000 年前后，龙羊峡、贵州东风、乌江渡、新安江、紧水滩、隔河岩等近百个大、中型水电站监控系统投入运行，西北电网水库调度、白山梯级、乌溪江、清江梯级等电调、水调、梯级集控中心也投入运行。其中白山梯级电站远方集中控制系统在国际上首次采用 110km 无中继超长距离的 100Mbit/s 光纤快速以太网，实现了大型水电机组



的远方实时监控，成为我国水电监控技术进入快速以太网时代的里程碑。梯级电站远方集中控制系统图见图 1-10。

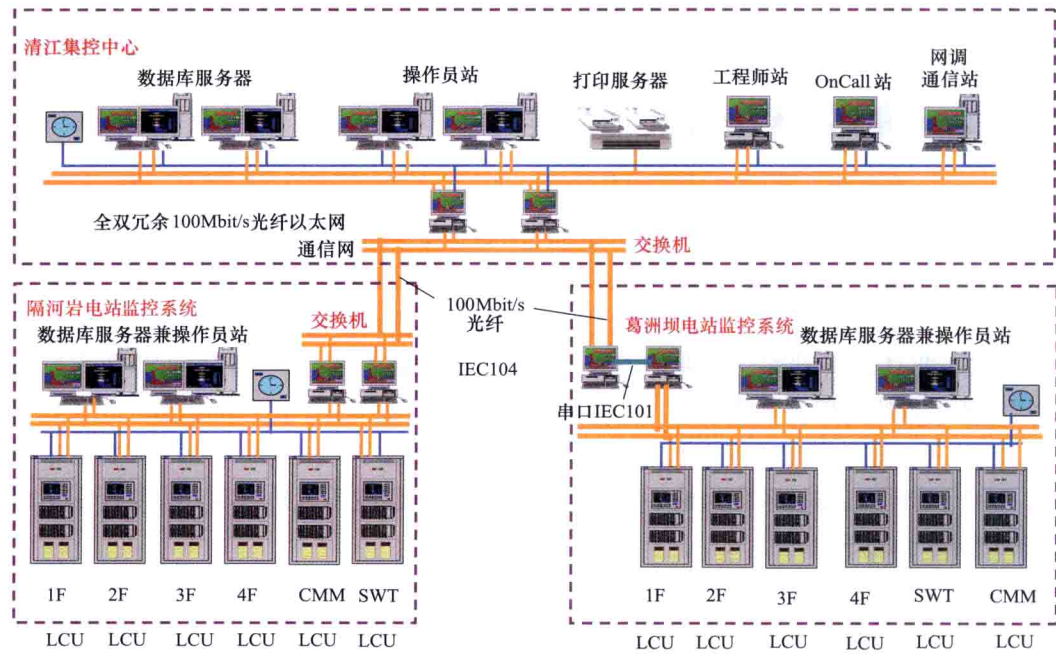


图 1-10 梯级电站远方集中控制系统图

在该阶段, 分层分布开放系统成为水电站综合自动化及监控系统的基本模式, 大量采用开放的硬件和软件产品, 软件和硬件标准化程度高, 可靠性好, 满足了水电站“无人值班、少人值守”的要求。典型的工程有白山电厂梯级远方集控系统、紧水滩电站监控系统等。

2000 年初, 随着国内水电站运行管理的目标进一步由“无人值班、少人值守”向无人值班发展, 要求进一步完善计算机监控系统的功能, 提高可靠性, 满足无人值班电站的要求。

为了配合无人值班电站建设, 主要解决了下列几个关键技术:

(1) PLC 直接上网技术。在系统结构采用了 PLC 直接接入以太网的方式, 使 LCU 及监控系统的可靠性大幅度提高, 完全满足了水电站无人值班运行时对监控系统可靠性的要求。

(2) 系统的开发工具软件进一步完善, 交互图形开发系统、数据库开发系统、综合计算工具软件、控制闭锁工具软件进一步提高了系统开发集成效率和质量。

(3) 基于以太网的对外通信发展十分迅速, 串行通信技术在主站对外通信、LCU 与智能设备通信中应用仍十分普及, 通信规约库进一步完善, IEC 870-5-101/102/103/104、DNP3.0、TASE-2 规约等国际标准通信规约普遍应用。

(4) 在 AGC/AVC 等高级应用软件的应用方面有较大进步, 白山、乌溪江等梯级水电站实现了联合 AGC, 东江水电站实现了 AGC/AVC, 龙羊峡、乌江渡等近 20 个水电站实现了调度远方 AGC。

(5) 三峡巨型机组时代的监控系统。随着三峡电厂左岸电站首台机组 2003 年 7 月发电, 三峡电厂右岸电站、龙滩等一批特大型水电站的建设也全面展开, 进入建设高潮, 标志着中国水电建设进入巨型机组特大型电站时代。三峡电厂中控室见图 1-11。

与常规电站相比, 巨型机组特大型电站计算机监控系统应进一步考虑下列问题:

① 巨型机组特大型电站在电力系统中的重

要性进一步提高, 提高控制系统的可靠性, 避免由于控制设备的可靠性影响发电可靠性及电网安全。② 巨型机组的强电磁场对控制系统电子设备的电磁干扰。③ 发电机、水轮机等重要设备的监测点急剧增加, 监控系统海量数据实时采集与处理能力。④ 考虑到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 海量报警信息的智能化处理与辅助运行技术水平应进一步提高。

三十年来, 在一代代水电人的努力下, 我国的水电建设事业得到空前的发展, 以计算机监控系统为代表的自动化技术迅速推广普及, 技术水平不断向世界先进水平迈进。



图 1-11 三峡电厂中控室

围绕现场无人值班，水电站必备的自动化系统包括：计算机监控系统、水情测报系统、通信系统、生产管理系统、闸门控制系统、辅机控制系统、图像监控系统、火灾报警系统、安全防盗系统等，其中计算机监控系统和通信系统是最重要的系统。首先水电站的主设备必须稳定可靠，其次监控系统必须对水电站进行全面的监视与控制，控制系统也必须稳定可靠，在发生任何故障时，应具有足够的备用冗余，确保电厂设备的安全，不失控。因此，不断研究开发新型结构的监控系统，提高系统的可靠性，开发新的分析功能，提高监控系统的智能化水平。水电站水情测报系统图见图 1-12。

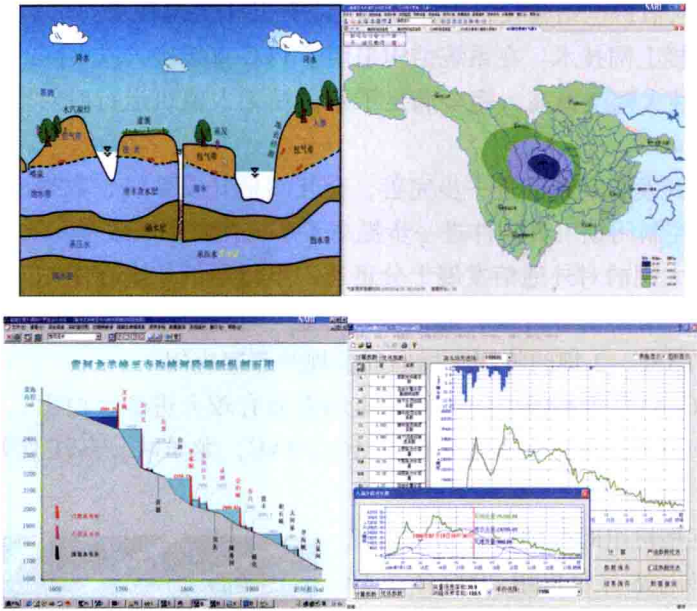


图 1-12 水电站水情测报系统图

跨平台技术及信息标准化技术将进一步发展，与其他系统信息透明共享，各控制系统构成的信息孤岛之间的界线将逐渐模糊，向统一信息平台发展，透明水电站、数字水电站、智能水电站将由概念逐步变为现实。

现代水电站计算机监控系统的主要技术特点体现在以下几方面：

(1) 强大的数据采集与处理功能。针对特大型电站海量数据的高可靠性与高实时性采集，采用了主进程、多子进程及多线程技术；PLC 数据扫描周期的多重数据传送请求与处理；成功开发了多数据采集服务器的负荷平衡管理技术，各服务器同时工作，负荷分担，有效地提高了系统数据采集的实时性。

在数据处理方面的主要改进包括：高精度、宽数据表示范围；数据属性更加丰富，如可定义事故、故障、重要点、语音报警点以及统计点等属性；利用条件闭锁系统，实现了智能报警；完善重复报警处理机制以及数据趋势报警功能，等等，使系统使用更加符合运行人员的习惯，操作更加便捷。

(2) 完善的安全性与可靠性措施。为确保系统高可靠性，各层的重要设备均采取双