

21世纪农村电气化小水电实用技术丛书

21c

变电站与水电站
综合自动化

崔明 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

农村电气化小水电实用技术丛书

变电站与水电站 综合自动化

崔 明 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面介绍了变电站与水电站综合自动化系统。全书共分三篇：基础篇、变电站篇和水电站篇。基础篇讲述变电站与水电站自动化的基础知识、可靠性、电源系统以及数据采集与通信；变电站篇详细介绍变电站自动化微机保护控制装置、数据通信系统和无人值班变电站；水电站篇重点介绍水电站自动化系统基础、原理，机组辅助设备自动化，视频监控系统以及水情测报系统。

本书可供从事变电站、水电站自动化设计、运行和维护的设计人员和工程技术人员查阅、使用，亦可供大中专院校水电和电力相关专业师生学习、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电站与水电站综合自动化/崔明主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2005

(21世纪农村电气化小水电实用技术丛书)

ISBN 7-5084-2771-8

I. 变... II. 崔... III. ①变电所—自动化技术
②水力发电站—自动化技术 IV. ①TM63②TV736

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第023249号

书 名	21世纪农村电气化小水电实用技术丛书 变电站与水电站综合自动化
作 者	崔明 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 21.25印张 504千字
版 次	2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

电力作为一种方便、实用、清洁的能源已经渗透到经济、社会和生活的各个领域，是整个人类社会发展的不可缺少能源之一。电力工业作为国民经济的基础产业，对促进经济社会的发展和人类的进步，提高人民的生活质量和水平具有不可代替的作用。农村电力网（简称农网）是电力发展的重要组成部分，变电站与水电站实现综合自动化，是农网实现现代化和可持续发展的基础。

变电站与水电站实现综合自动化是电站二次系统的重大变革，其装置形式、功能配置以及操作方法都发生了根本变化。因此，对于从事变电站与水电站综合自动化相关的电力工作者，就有必要了解变电站与水电站综合自动化的技术和原理，熟悉其功能、特性，进而熟练地操作应用它。基于上述原因，编者根据多年从事电力系统（变电站、水电站）自动化设备的研究和生产经验，理论和实践相结合，并参考了大量文献编成此书。本书结合变电站与水电站综合自动化的实践，贯穿理论联系实际的原则，系统地介绍了变电站与水电站综合自动化系统的技术和原理以及发展方向，自动化装置的功能、特性以及操作程序等，具有较强的适用性和可读性。

湖南省水利厅高级工程师黄长征对本书书稿提了许多宝贵的意见。水情测报系统一章的编写得到了桃源县水电局局长傅光正的大力支持和帮助，谭建军、肖宏佳参与了本书的部分编写工作，在此表示忠心感谢。

由于作者水平有限，书中错误和缺点在所难免，希望读者批评指正。

编 者

2005年3月

目 录

前言

基 础 篇

第一章 变电站与水电站综合自动化基础知识	1
第一节 综合自动化的基本概念及主要内容	1
第二节 综合自动化的现状和发展	1
第三节 嵌入式计算机系统	9
第四节 计算机网络与计算机通信	14
第五节 可编程控制器	20
第二章 数据采集与通信	46
第一节 数据采集和处理技术	46
第二节 数据通信技术	53
第三章 综合自动化的可靠性	61
第一节 概述	61
第二节 干扰来源和窜入微机弱电系统的途径	61
第三节 抗干扰措施	64
第四节 综合自动化系统的自动检测技术	67
第四章 电源系统	71
第一节 蓄电池的分类及应用与维护	71
第二节 不间断电源 (UPS)	80
第三节 智能高频开关电源系统	102

变 电 站 篇

第一章 变电站综合自动化基础	111
第一节 变电站综合自动化基本概念	111
第二节 变电站综合自动化系统的基本特征	115
第三节 变电站综合自动化硬件原理	116
第四节 变压器微机保护、监视与控制	135
第五节 输电线路微机保护、监视与控制	142
第六节 无功补偿及电力电容器微机保护、监视与控制	150
第七节 备用电源自动投入装置	157

第八节 小电流接地故障检测	159
第二章 变电站综合自动化的数据通信系统	161
第一节 综合自动化系统数据通信的基本概念	161
第二节 综合自动化系统的通信内容及通信功能	167
第三节 综合自动化系统的串行通信	170
第四节 变电站信息传输规约	173
第三章 无人值班变电站	179
第一节 无人值班变电站的模式与设计的要求	179
第二节 变电站自动化设计	180
第三节 电力调度自动化	185
第四节 配电网自动化	196
第五节 信息管理自动化	201
第六节 远方自动抄表技术	205

水 电 站 篇

第一章 水电站综合自动化系统基础	221
第一节 计算机监控的基本概念	221
第二节 水电站微机保护	231
第三节 水轮机调速器	237
第四节 发电机励磁调节器	248
第五节 水电站综合自动化系统的可靠性和抗干扰措施	256
第六节 水电站综合自动化元件概述	267
第二章 水电站综合自动化系统原理	273
第一节 数据采集和处理	273
第二节 人机联系	276
第三节 微机同步装置	286
第四节 机组的顺序操作	288
第五节 自动发电控制和自动电压控制	298
第三章 机组辅助设备自动化	303
第一节 水轮发电机组辅助设备的意义及内容	303
第二节 水轮发电机组的油系统	304
第三节 水轮发电机组的气系统	308
第四节 水轮发电机组的供水系统	310
第五节 水电站的排水系统	316
第四章 视频监控系统	318
第一节 视频监控系统的现状	318
第二节 视频监控系统的发展	321
第三节 数字视频监控系统的软件	322

第四节	数字视频监控系统实例简介	322
第五章	水情测报系统	324
第一节	水情测报系统	324
第二节	水电站枢纽及防汛	327

基 础 篇

第一章 变电站与水电站综合 自动化基础知识

第一节 综合自动化的基本概念及主要内容

由输电设施、配电设施和各种类型的发电厂以及用电设备组成的电能生产与消费系统称为电力系统。电力系统由发电、输电、变电、配电和用户等5个部分组成。综合自动化系统是综合应用现代电子技术、通信技术、计算机技术、网络技术和图形技术等与系统设备相结合,将电力系统在正常和事故情况下的监测、保护、控制和供电企业的工作管理有机融合在一起的综合性先进技术。在此主要介绍变电站和水电站微机综合自动化系统。

变电站与水电站综合自动化的主要内容有:

- (1) 电气量和非电气量的采集,电气设备的状态监视、控制和调节。
- (2) 实现电站正常运行的监视和操作,保证电站正常运行和安全。
- (3) 发生事故时,由继电保护和故障录波装置等完成瞬态电气量的采集、监视和控制,并迅速切除故障设备和完成事故后的恢复正常操作。
- (4) 电气设备控制及安全操作闭锁。
- (5) 历史数据的保存和查询,事故追忆,各种报表的统计、查询和打印,实时曲线和历史曲线的查询和打印。
- (6) 数据的打包和远方通信。

第二节 综合自动化的现状和发展

一、变电站自动化的现状和发展

(一) 变电站自动化的现状

变电站二次设备按功能分为四大模块:继电保护及自动装置;仪器仪表及测量控制;当地监控;远动。四大模块功能各自不同发展及其功能相互渗透,为变电站自动化提供了两种基本实现模式:保护加集中 RTU 模式,面向功能;保护加分散 RTU 模式,面向

对象。

1. 保护加集中 RTU 模式，面向功能

(1) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；中央信号盘及控制盘与继电保护及自动安全装置通过接点连接；有人值班，定时抄录运行记录；变电站运行有异常时通过电话与调度联系。

(2) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；中央信号盘及控制盘与继电保护及自动安全装置通过接点连接；集中 RTU。其功能如下：

1) 数据采集功能。完成模拟量采集如电流、电压、有功、无功等，完成脉冲量采集如电能（电能表通过脉冲与 RTU 连接），完成数字量采集如档位等，完成信号量采集（其中继电保护及自动安全装置也通过接点与 RTU 连接）。

2) 控制功能。控制开关、分级头等。

3) 通信功能。与当地监控通信，与远方调度通信；有人值班，运行当地监控，定时抄录运行记录；变电站运行有异常时通过 RTU 及电话与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

(3) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；集中 RTU。其功能如下：

1) 数据采集功能。完成模拟量采集如电流、电压、有功、无功等，完成脉冲量采集如电能（电能表通过脉冲与 RTU 连接），完成数字量采集（其中继电保护及自动安全装置通过串口与 RTU 通信），完成信号量采集。

2) 控制功能。控制开关、分级头等。

3) 通信功能。与当地监控通信，与远方调度通信；有人值班，运行当地监控，变电站运行有异常时通过 RTU 及电话与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

(4) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；集中 RTU。其功能如下：

1) 数据采集功能。完成模拟量采集如电流、电压、有功、无功等，完成脉冲量采集如电度（电度表通过脉冲与 RTU 连接），完成数字量采集（其中继电保护及自动安全装置通过串口与 RTU 通信），完成信号量采集。

2) 控制功能。控制开关、分级头等。

3) 通信功能。与远方调度通信；无人值班，变电站运行有异常时通过 RTU 与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

(5) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；集中 RTU，模块式设计。其功能如下：

1) 数据采集功能。智能模拟量采集模块，智能脉冲量采集模块，智能数字量采集模块（其中继电保护及自动安全装置通过串口与 RTU 通信），信号量采集模块。

2) 控制功能。智能控制量输出模块。

3) 通信功能。与远方调度通信；无人值班，变电站运行有异常时通过 RTU 与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

2. 保护加分散 RTU 模式，面向对象

(1) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；分散 RTU，面向对象，单元式设计。其功能如下：

1) 数据采集功能。完成模拟量采集如电流、电压、有功、无功等，完成脉冲量采集如电能，完成数字量采集，完成信号量采集。

2) 控制功能。控制开关、分级头等。

3) 通信功能。与当地监控通信；继电保护及自动安全装置通过串口与当地监控通信；当地监控与调度通信；有人值班，运行当地监控，变电站运行有异常时通过当地监控及电话与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

(2) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；分散 RTU，面向对象，单元式设计。其功能如下：

1) 数据采集功能。完成模拟量采集如电流、电压、有功、无功等，完成脉冲量采集如电能，完成数字量采集，完成信号量采集。

2) 控制功能。控制开关、分级头等。

3) 通信功能。与前置采集机通信；继电保护及自动安全装置通过串口与前置采集机通信；前置采集机与当地监控及调度通信，前置采集机可以采用两台，互相切换，当地监控也可以采用两台或多台；有人值班，运行当地监控，变电站运行有异常时通过前置采集机及电话与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

(3) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；分散 RTU，面向对象，单元式设计。其功能如下：

1) 数据采集功能。完成模拟量采集如电流、电压、有功、无功等，完成脉冲量采集如电能，完成数字量采集，完成信号量采集。

2) 控制功能。控制开关、分级头等。

3) 通信功能。与前置采集机通信；继电保护及自动安全装置通过串口与前置采集机通信；前置采集机与调度通信；无人值班，变电站运行有异常时通过前置采集机及电话与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

(4) 继电保护及自动安全装置独立运行；仪器仪表独立运行；分散 RTU，面向对象，单元式设计。其功能如下：

1) 数据采集功能。完成模拟量采集如电流、电压、有功、无功等，完成脉冲量采集如电能，完成数字量采集，完成信号量采集。

2) 控制功能。控制开关、分级头等。

3) 通信功能。通过总线网与当地监控及远方调度通信；继电保护及自动安全装置通过总线网与当地监控及远方调度通信；有人或无人值班，运行当地监控，变电站运行有异常时通过远动及电话与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

(5) 继电保护及自动安全装置与分散 RTU 合二为一。其功能如下：

1) 继电保护及自动安全装置功能。

2) 数据采集功能。完成模拟量采集如电流、电压、有功、无功等，完成脉冲量采集如电能，完成数字量采集，完成信号量采集。

3) 控制功能。控制开关、分级头等。

4) 通信功能。通过串口或总线网与当地监控及远方调度通信；仪器仪表独立运行；有人或无人值班，运行当地监控，变电站运行有异常时通过远动及电话与调度联系，调度可以远方监视变电站运行情况和遥控变电站设备。

除了以上两大模式外可能还有其他种类，如安装方式就地化、某些功能分散化等，但都可归为以上两大模式。第一大模式对老站改造特别适合，第二大模式是正在发展的模式。

(二) 变电站自动化的发展

1. 分层分布成为潮流

变电站自动化系统纵向分层：站级层、网络层、就地层；每层按功能或安装位置横向分布。

(1) 站级层横向按功能分布为当地监控和继保功能及远方监控和继保功能。站级层功能分布的形式取决于网络层的结构。

当地监控功能作为当地运行人员的人机交互窗口，以图形显示、报表打印、语音报警等各种方式实现当地“四遥”即对系统运行状况如潮流、电能、开关状态等进行实时监控，按需及“五防”要求控制开关及刀闸的跳合，按需调节档位，以及有关 MIS 系统。

当地继保功能作为当地继保人员的人机交互窗口，也可以图形显示、报表打印、语音报警等各种方式对继保及自动安全装置的运行状况如装置是否故障、定值是否改变、采样是否准确等进行实时监控，根据运行需要决定保护投退和定值修改，故障发生后通过故障录波进行故障分析和诊断。

当地监控和继保功能可以各自独立，也可以合二为一。

远方监控和继保功能是当地监控和继保功能通过通信在远方实现，是无人值班变电站的前提条件。远方监控和继保功能同样可以各自独立即通过不同的通道和规约分别接至调度和继保，也可以合二为一即通过同一通道接至远方终端。

站级层基本要求是：①可靠性，不能死机、能够自动恢复等；②开放性，模块化设计便于剪裁、适合不同远方规约要求。

(2) 网络层完成信息传递和对时功能，通过信息交换，实现信息共享，减少变电站设备的重复配置，简化设备之间的互联，从整体上提高变电站自动化系统的安全性和经济性。目前有两种通信机制：POLLING 通信机制及 CSM A/CD 通信机制。POLLING 拓扑结构可以是星形网也可以是总线网，以 485 为代表。CSM A/CD 拓扑结构一般为总线网，以 LON 为代表。可通过 485 转 LON 的转接器及 LON 的计算机串口卡或总线卡完成这两种网络的互换。

网络层基本要求是：①可靠性，抗干扰能力强、任一节点损坏不能影响整个网络等；②开放性，兼容其他外部设备，适合不同通信介质及规约要求；③实时性，实时传递信息。

(3) 就地层主要是继保、监控设备层，可组屏也可分布在各继电保护小间内即安装在开关柜上，继保、监控既可以各自独立也可以合二为一。它对相关一次设备进行保护、测量和控制，协调就地层、站级层、远方终端的操作要求，对采集的信息进行处理上送，

并在站级层、远方终端控制失效的情况下仍能完成保护、测量和控制功能。

保护及自动装置基本要求是：①可靠性，该动作时应动作，不该动作时不动作；②选择性，首先由故障设备或线路本身的保护动作，如其拒动时由相邻设备或线路的保护动作；③灵敏性，保护装置对保护范围内的故障应具备必要的灵敏系数；④速动性，尽快切除故障，提高系统稳定性，减轻损坏程度等。

测量控制装置基本要求是：①可靠性，抗干扰能力强，控制被控对象时，其他对象不能乱动；②准确性，模拟量测量、脉冲量测量、开关量测量、数字量测量达到规定精度要求。

(4) 三层之间的关系。站级层、网络层、就地层既相互独立又相互联系，站级层功能的实现依赖于网络层和就地层的完好性；就地层功能的实现，特别是继电保护及安全自动装置的功能的实现不可依赖于网络层和站级层的完好性。

(5) 整体性能的考虑。必须满足如下 10 项基本要求：可靠性、开放性、实时性、选择性、灵敏性、速动性、准确性、经济性、方便性、统一性。

2. 现场设备功能的相互渗透

随着变电站自动化的发展，各专业技术相互渗透，问题的处理需各专业人员协同配合。

(1) 低周减载的分散化。低周减载分散到 220kV 出线、110kV 出线、66kV 出线、35kV 出线、10kV 出线、220kV 主变的中低压侧后备保护、110kV 主变的中低压侧后备保护、35kV 主变的低压侧后备保护等，形成低周减载的网络。

(2) 小电流接地选线的分散化。众所周知，小电流接地选线的基本原理如下：

1) 对中性点不接地系统采用：比较基波零序电流大小；比较基波零序功率方向；比较基波零序电流方向；比较基波电流最大值方向。

2) 对中性点经消弧线圈接地系统采用：比较五次谐波电流大小；比较五次谐波功率方向；比较五次谐波电流方向；比较五次谐波电流最大值方向。

将小电流接地选线分散到出线保护中，不能独立完成选线功能，需依赖就地层所有出线保护装置、网络层、站级层的完好性，将所有出线同时刻信息汇总后，作出正确判断，同时刻信息的条件可以采用 $3U_0$ 的同时出现来满足。

将小电流接地选线分散到出线保护中，可独立实现自动或手动接地探索，通过跳闸和重合闸进行。

(3) 同期操作的分散化。传统自动同期重合闸，由保护装置的同期检测回路及软件共同实现。

传统开关的手动或遥控同期操作，由手动或遥控继电器切换同期点的电压及同期点的合闸操作回路和同期判别装置共同实现。传统的集中同期方式接线复杂。可将手动或遥控同期功能分散到保护装置中，或分散到单元式测控装置中。

(4) 母线保护的分散化。传统母线保护需把母线所有的 TA 二次集中到母线保护装置中，母线保护的出口需连接到母线上各元件的跳闸回路，接线复杂。

母线保护能否分散到线路保护中，通过专用网络传递信息，实现母线保护功能，采用 GPS 同步。已成为争论的焦点。

(5) 故障录波的分散化。故障录波的作用为：分析继电保护及安全自动装置的动作为；分析故障过程、故障类型、故障水平、故障远近等。

故障录波的分散化不影响变电站自动化的可靠性，怎么分散才能达到故障录波的应有作用需考虑。

目前利用继电保护及安全自动装置提供的数据来替代故障录波不恰当，其理由为：故障录波的完好性依赖于继电保护及安全自动装置的完好性，自己不能证明自己；分散式故障录波从模拟量输入、开关量输入、数据采集、数据的分析判断以及电源都独立于继电保护及安全自动装置。

重要的变电站在独立的分散故障录波出来之前，需采用集中式故障录波。

(6) 电压和无功的控制。电压和无功的控制一般采用调整变压器分接头，投切电容器组、电抗器组、同步调相机等方式实现。操作方式有：手动、遥控、自动。

目前电压和无功的控制功能有两种实现方式：①专门的电压和无功控制设备；②站级层根据就地层通过网络层提供的电压、无功、抽头、开关状态等信息由软件完成。

(7) “五防”操作及操作票。防误闭锁方式基本有：简单的挂锁、机械连锁、电磁锁、程序锁及微机防误系统等。

防误系统与站级层的当地监控及远动主站通信，确保当地监控与远动对断路器、电动刀闸的控制操作经防误系统允许；防误系统出具操作票；就地操作经五防锁控制。

将“五防”功能由就地层本身实现，达到本单元“五防”功能。

将“五防”功能由当地监控和远动主站本身实现，达到系统级“五防”功能。

(8) GPS 对时问题。传统 GPS 对时是由 GPS 同站级层对时，通过网络层对就地层设备广播对时，此方法缺点是就地层设备对广播对时的响应不一致，导致对时精度不能真正满足 SOE 的要求，需将 GPS 直接对就地层设备对时。

(9) 保护测控一体化。低压设备或农网设备，可将保护、测控合二为一，TA 回路分开，保证精度要求。

一体化装置需优先满足继电保护及安全自动装置的四性要求。一体化装置的出现要求用户体制适当调整。

未来有可能将智能仪表、电源等同以上功能一体化。

3. 现场设备安装方式的就地化

就地层设备直接下放到开关柜，没有开关柜的直接采用专用柜体安装到一次设备现场。

就地层设备需达到几项要求：温度、湿度适用范围；抗干扰能力；抗振动能力；对灰尘、风霜雨雪环境的要求等。

4. 远方调度的新发展

不再满足于“四遥”功能，向遥视、电力 MIS、电力市场（经济调度）、智能调度（自动决定运行方式、自动恢复送电等）方向发展。

需对远动规约进一步扩充，才能满足远方调度的新发展。

5. 远方继电保护进一步发展

远方监视继电保护及安全自动装置的运行情况，包括：装置是否发生故障、采样是否

正确、定值是否变化、自检是否正常等；远方修改保护定值，远方投退保护，远方故障录波，远方故障测距，远方故障探索，远方故障分析等。远方继电保护可以同远动共通道也可以不共通道，其规约不同于远动规约，需有关部门尽早制定，或同远动规约合并，以便远方继电保护的发展。

二、水电站自动化的现状与发展

(一) 我国水电站运行现状

1. 机组运行管理现状

目前，国内大部分水电站的管理仍处在机组起停听从调度命令，设备运行维护需要现场巡回，设备消缺需要专业人员，生产管理处在劳动密集型的现状。有的水电站需采用人工记录来反映设备的运行情况，每天召开运行、维护等人员参加的会议进行机组管理的协调。机组临近自动化的水平比较低，机组运行管理手段与国际水平相比有较大的差距。

2. 机组维护检修现状

机组维护人员每天要查阅运行人员的设备缺陷记录簿，根据记录簿记载的情况进行设备消缺工作。机组检修在每年春秋两季各小修一次，大修每3~5年定期进行一次的计划检修，缺乏机组运行的自动监控资料及其他一些原因，没有实施科学的机组状态检修。

3. 大坝运行安全监测现状

水电站大坝是承受巨大负载的结构复杂的建筑物，其安全是关系国计民生的大事。随着高坝大库容建设的增多，运行的时间延长，工程老化已日趋突出，大坝的安全越来越引起人们的关注。目前，大坝和基岩变形监测的数据采集方式，有用人工进行观测数据采集的，如水平位移、垂直位移、挠度、转角、接缝、内部埋设、渗漏量、扬压力等项目，所采用的仪器有精密水准仪、精密经纬仪、精密垂线仪、千分尺、比例电桥、压力表、量杯等观测仪器。条件好的电站能够部分实现自动化采集观测数据，把观测设备安装到采集现场并与机房的主机相连接，实现自动定期的进行数据采集。如坝体的挠度、水平位移、转角、内部埋设仪器扬压力、渗漏量等项目。根据大坝和基岩的原型观测资料的分析，来评估大坝的运行状态。由于低温潮湿的自然条件使设备运行环境差，采集数据的准确性及精度、可靠性存在着不同程度的差异，对大坝的运行状态评估不够及时，评估不够精确，不同程度地影响大坝的安全运行。国内投产水电站正在强化大坝的风险意识，加强坝安全管理的法制建设，坚持实施定期检查制度，对大坝存在的隐患及时进行消除缺陷，进一步提高大坝的安全运行管理水平。

4. 气象信息采集现状

电力系统的一些大型水电站，均已安装了卫星云图接受处理系统，有的调度通信中心还与当地中心气象台一起建立了短期天气预报工作站和气象通信通道，可随时接收气象数值预报信息和传真图，大部分水电站是委托地方的气象台做流域的气象预报服务，在水库洪水预报和调度中起到了参考作用。但现有的气象预报产品还远远满足不了水库调度的实际需要，预报的准确率尚有待于进一步提高。

5. 水情测报系统现状

在20世纪80年代，我国选择长江陆水水库流域和东北第二松花江丰满水库流域为试点，首次从国外引进和建立水情自动测报系统以来，逐步开展了水情自动测报工作，并进

行了系统的自行开发研制工作，到目前为止，全国已有 400 多个流域建立了水情测报系统，其中大部分为国产设备。经过多年的运行实践，效果普遍较好。水情自动测报系统的建设，虽然改变了原有水情资料收集的落后手段，但需进一步普及应用和站点的加密布设，提高流域降水数据的可靠性和准确性。

6. 水库洪水预报的现状

除了部分水库已研制和建立了洪水预报模型，具有较高的预报精度外，大部分水库所采用的预报方案还是 20 世纪六七十年代的经验，如产流仍采用降雨—前期影响雨量—径流量相关图，流域汇集采用经验单位线，河道洪水演算采用相应水位法或马斯京根法，没有采用任何实时校正方法与技术，洪水预报精度有待进一步提高，否则无法满足水库防洪兴利调度自动化的要求。

7. 水电站通信现状

我国电力系统水电站运行的一些信息和汛期防洪调度，通过微波和电力载波，由各个水电站传到总调度中心和防汛部门。但大部分水电站的通信现状急需改善，目前汛期与水电站的联系一般采用邮电部门的直拨电话、系统微波电话或移动电话的方式。许多部门和单位每到汛期，还沿用多年来打电话询问水库及发电运行情况的老办法。这种做法难以及时掌握水库和运行的全面情况，给调度和水电站的安全管理工作带来许多不利因素，无法优化水量和电量的正确合理性，不能为调度决策提供快速可靠的科学依据。

8. 计算机利用现状

在水电站综合自动化中要完成大量的数据采集、处理、存储、计算、图表输出、分析决策等一系列的操作，这些都需应用计算机技术。目前水电站的计算机应用和管理水平还相对较低。电力系统所属水电站的条件要好些，但水电站的自动化硬软件系统，大多数都采用各自独立开发或引进开发的模式。尽管国内有些水电站进行了综合自动化改造，但在实际应用中也没有很好地发挥应有的功能，严重地制约了计算机性能的发挥，浪费了大量的人力物力和信息资源。

(二) 水电站自动化的发展

随着计算机技术的发展，计算机系统在水电站监控系统中的作用及其与常规设备的关系也发生了变化。

1. 以常规控制为主、计算机为辅 (CASC)

早期计算机价格比较昂贵，人们对它的可靠性不信任，水电站的直接控制功能仍由常规控制装置来完成，计算机只起监视、记录打印、经济运行计算、运行指导等作用。采用此方式的优点是：对计算机可靠性的要求不是很高，即使计算机部分发生故障，水电站的正常运行仍能维持，只是性能方面有所降低。缺点是：功能和性能都比较低，并对整个水电站自动化水平的提高有一定的限制，目前新建水电站已很少采用这种方式。

2. 计算机与常规控制装置双重监控方式 (CCSC)

随着计算机系统可靠性的提高和价格的下降以及人们对计算机实施监控的信任度的提高，计算机直接参加控制已被人们渐渐地接受，但对它还是不够放心，所以出现了计算机与常规控制装置双重监控方式。采用这种方式的优点是：两套完整的控制系统，一套是以常规控制装置构成的系统，一套是以计算机构成的系统，相互之间基本上是独立的。两套

控制系统之间可以切换，互为备用，可靠性有保证。缺点是：由于需要两套完整的控制系统，投资比较大；两套系统并存，相互之间要切换，二次接线复杂，可靠性反而有所降低。目前新建水电站很少采用这种控制方式。

3. 以计算机为基础的监控方式（CBSC）

随着计算机系统的可靠性进一步提高和价格的进一步下降，出现了以计算机为基础的监控系统。采用这种方式，使得常规控制部分大大简化，平时都采用计算机控制。因此，对计算机系统的可靠性要求就比较高，这可采用冗余技术来解决，保证系统某一单元或局部环节发生故障时，整个系统和电站还能继续运行。同时，中控室仅设置计算机监控系统的值班员控制台，模拟屏已成为辅助监控手段，可以简化甚至取消。这种控制方式是国内外水电站采用的主要计算机控制方式。

4. 取消常规设备的全计算机控制方式

随着计算机技术的进一步发展和水电站综合自动化系统运行经验的累积，出现了以计算机为唯一监控设备的全计算机控制方式，实际上它是 CBSC 方式的延伸。此时，取消了中控室常规的集中控制设备，机旁也取消了自动操作盘。中控室还保留模拟显示屏，但其信息取自计算机系统，不考虑在机组控制单元（计算机型的）发生故障时进行机旁的自动操作。这种控制方式，对计算机系统可靠性提出更高的要求，冗余度进一步要求提高。虽然这种方式投资比较大，但它有良好的应用前景。

第三节 嵌入式计算机系统

一、嵌入式技术的特点

（一）嵌入式系统的含义与特点

广义地说，一个嵌入式系统是一个有特定功能或用途的计算机软硬件的集合体；分为硬件和软件部分。其技术分为嵌入式硬件技术和软件技术两部分。嵌入式技术发展的最高形式——片上系统（Soc）将是这些技术的集大成者。狭义的嵌入式仅指装入另一些设备并控制该设备的专用计算机系统，包括目标机和宿主机两部分，其中的目标机是一种功能单一，处于从属地位的计算机。

嵌入式系统的最大特点是其所具有的目的性或针对性，即每一套嵌入式系统的开发设计都有其特殊的应用场合和特定功能。这也是嵌入式系统与通用计算机系统的最主要区别。另外，嵌入式技术与实时性有着天然的联系：嵌入式系统是为特定的目的而设计的，且常常受到空间、成本、存储、带宽的条件限制，需最大限度地而在硬件和软件上“量身定做”，以提高效率，这样的结果最终导致了实时性的增强。以上这两方面的特点，一般会带来缩短开发周期，降低成本等好处。

（二）嵌入式硬件技术

单片机曾是构成嵌入式硬件平台的主要器件之一。嵌入式硬件技术的发展已不限于以往的单片机，单板机或 PLC 的范畴，各种新型器件被广泛地使用。

1. 嵌入式处理器

目前嵌入式系统中的处理器分为微处理器、微控制器、DSP 处理器等几大类，应用最

广泛的还是各种档次的 8/16/32/64 位控制器, IntelX86、RISC 芯片、DSP 芯片等高性能微处理器的应用逐渐开始引人注目。

2. 存储器与外围设备

传统的 RAM 存储器有 SRAM、DRAM, ROM 存储器有掩膜 ROM、PROM、EPROM; 新兴的混合型存储器 (如 EEPROM、FLASH、NVRAM 等) 显得更合适嵌入式系统的要求。其中采用代码驻留或就地运行技术 (XIP)、用大块的 FLASH 来代替磁盘驱动器构成的“电子盘”或“固态盘”, 在工业过程中有着很好的应用前景。

嵌入式系统的外围设备根据集体的设计要求而定, 一般有微型打印机、不同用途的串行通信口、微型键盘、微型显示器等。现在的嵌入式系统在构成、调试、运行等诸多方面对灵活性要求很高, 例如其嵌入式软件要求可在本地加载运行, 也可利用串口从网络下载运行, 在不过多地增加设计负担的同时, 适当地留有硬件冗余或灵活性是较明智的选择。

3. 开发调试

嵌入式系统的开发与调试是与硬件密切联系的, 它与商业用的软件开发不同, 实际应用中, 人们常常用在线仿真器 (in-circuit emulator) /JTAG、示波器、逻辑分析仪、ROM 仿真器、设备编程器模拟器来开发或调试硬件。

(三) 嵌入式软件技术

1. 嵌入式实时操作系统 (RTOS)

嵌入式的 RTOS 是整个嵌入式系统的核心。RTOS 从应用形式上可分为集成式多任务 RTOS (如 Intel 的 iRMX)、网络型 RTOS (如 QNX、AMAX 等) 与嵌入式 RTOS (如 Microtec Research 公司的 VRTX、Intel 的可嵌入到 51 系列与 96 系列单片机的 DCX51 与 DCX96 分布式控制系统、iRMA EMB、Windows CE Sun 公司的 Java OS 朗讯公司的 Inferno 和嵌入式 Linux 中科院的 Easy Embedded OS 等; 后者如 WindRiver 公司的 Vxworks/Tornado、ISI 公司的 pSoS 与 PRISM +、Quantum 公司的 QNX、ATIN 公司的 Nucleus 等)。这些嵌入式 RTOS 一般都有以下特点:

(1) 可裁剪的微内核结构、高效的多任务优先级管理、微妙级的中断处理 (Windows 下的中断最快是 $55\mu\text{s}$ /次), 更加有利于工业控制效率的提高。

(2) 支持多处理器并行处理及任务间通信 (这一优点对于电力系统的并行计算也有可借鉴之处)。

(3) 共享内存, 有利于实时数据库的实现。

(4) 灵活的引导方式 (支持从 ROM/FLASH 本地盘/网络引导), 引导操作系统事件更短, 甚至可以一上电在秒级内就跳转到用户程序处。

(5) 支持多种信号 (二进制互斥、记数的、有优先级的) 等。

从以上特点可以看出, 在工业控制等领域, 以嵌入式 RTOS 作为软件平台将比 Windows、UNIX、OS/2 等 OS 有其特殊优势。

2. 嵌入式实时数据库

RTD 的主要目标是通过估计及优化的任务调度策略, 减少事务处理超过时限情况的发生。多用于金融、电信、网管等领域。在工业领域常用的实时数据库有: PI、Infoplus、PCAP、GPDMS 等基于此目的的分布式实时数据库通常采用 Client/Server 方