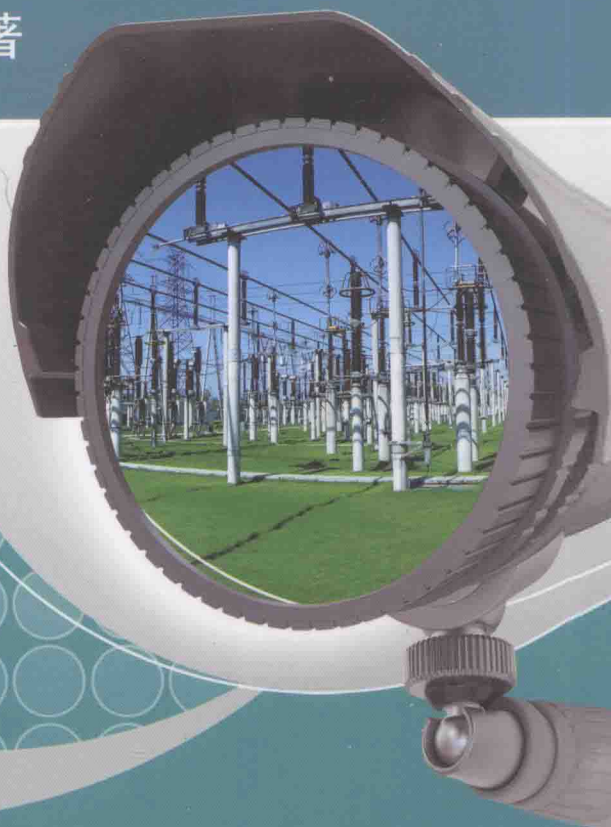


监控技术

在发电厂与变电站中的应用

唐涛 江平 柏嵩 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

监控技术

在发电厂与变电站中的应用

唐 涛 江 平 柏 嵩 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以监控技术的发展变化为纲,采用原理论述和工程案例互为映衬与补充的方式,重点阐述了监控技术在发电厂和变电站中的应用。

全书共计14章。其中第1章概论和第2章厂站微机监控系统的数据通信为理解全书的基础;第3~6章论述了不同时期、不同条件下各类变电站监控系统的结构形态、技术参数、功能特征、软硬件设计及其具体应用案例;第7章介绍了厂站视频监控系统;第8章介绍了各类发电厂电气监控系统;第9、10章描述了与厂站微机监控系统密切相关的后台系统和附属设备;第11~14章则主要探讨了监控系统在各种发电厂和变电站的应用案例及相关的工程应用问题。

本书可供变电站、发电厂及诸如石化、采矿、冶金、交通运输、市政公用、环保、管线等大型工矿企业供配电专业领域的工程技术人员参考,也可作为高等学校相关专业的本科生和研究生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

监控技术在发电厂与变电站中的应用/唐涛,江平,柏嵩编著. —北京:中国电力出版社,2014.3

ISBN 978-7-5123-6940-3

I. ①监… II. ①唐… ②江… ③柏… III. ①发电厂—电力监控系统—研究②变电所—电力监控系统—研究 IV. ①TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 223318 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)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年3月第一版 2014年3月北京第一次印刷

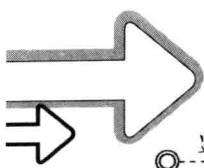
787毫米×1092毫米 16开本 34.75印张 942千字

印数 0001—3000册 定价 88.00元

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



前言

监控技术是一门在国民经济诸多行业有着广阔应用前景的新兴技术,电力系统中的发电厂和变电站是国内较早采用这项技术以提高生产率的重要工业领域之一。20 世纪下半叶开始的远动“四遥”技术,其后出现的厂站微机远动装置以及正在广泛应用的网络型厂站监控系统,充分展示了该项技术顽强的生命力以及对于保证电力系统安全可靠运行所蕴涵的价值。

本书作者长期从事厂站监控与自动化领域的研发、设计、制造、系统集成、工程实施等工作,亲身参与了我国从第一代起多套微机远动装置的研发和若干大型监控与自动化工程的组织、管理与实施,同时也接触了众多国外大型跨国电气电子公司的产品,具有较丰富的理论知识和实际经验,这对于写作本书十分有利。大家在繁忙的工作之余,悉心收集整理了国内外的相关文献资料,结合自身的研究成果,分析了大量国内外的工程案例,完成了本书的撰写工作。

本书具有以下特点:

(1) 全书以监控技术的发展变化为纲,论述了不同时期厂站监控系统的不同结构形态、技术参数、功能特征、软硬件设计及其具体应用案例。

(2) 本书在材料的组织、酝酿过程中,力求做到一般原理、规则的论述和工程应用两方面内容的相互平衡,以便读者既能了解这一技术领域的来龙去脉,又能通过实际案例的分析体会理论与实践相互融合的精妙。

(3) 本书除在保证传统能源的发电厂与变电站监控系统的描述外,对目前发展迅速的绿色环保能源(例如风力发电、光伏发电)等相关领域的监控技术及其应用也做了较为深入的分析与探讨。

(4) 数字技术的发展促进了智能电网、物联网的兴起,本书专列一章,阐述数字化变电站的构成,包括智能化电气设备、过程层电子光学互感器以及联系这些部分的技术规范,为有兴趣的读者了解这方面内容提供了较为丰富的素材。

(5) 本着真实性、先进性、典型性、多样性等原则,本书精心选择了具有广泛代表性的部分厂站监控系统的工程案例呈现给读者,其中大部分案例都是作者亲身参与组织管理或参与调试的项目,从中低压变电站监控系统到高压、超高压、特高压变电站监控系统都有涉及,其中 500kV 超高压变电站的工程应

用案例中还包括智能化实验间隔等新颖内容。发电厂监控系统工程案例部分除了传统的火电网控系统、厂用电监控系统外，还包括了垃圾发电、风光储输一体化新能源监控系统以及液化天然气发电厂（LNG）等诸多最新工程案例。此外，还列出了工程项目实施过程中的厂内测试验收（FAT）和现场测试验收（SAT）的详细规范，这不仅为广大活跃在厂站施工建设现场的工程技术人员提供了这类工程项目的验收参考依据，也为提高这类工程的设计施工质量有所裨益。

本书既可作为高等学校相关专业高年级学生和研究生学习参考书，也可供变电站、发电厂以及诸如石化、采矿、冶金、交通运输、市政公用、环保、管线等大型工矿企业的供配电专业领域的工程技术人员参考。

本书由唐涛、江平、柏嵩、张建周、赵晓冬、骆健、吕良君、朱颂怡、杨仪松、付斌杰、刘双、江宏、高志远、顾坚、张国秦、朱红彬、龙良雨、杨贤勇、唐祥等共同编写，唐涛负责总策划并统稿。

在本书的写作过程中，得到了国网电力科学研究院、国电南瑞科技股份有限公司、南京中德保护控制系统有限公司等单位的支持与帮助，其中奚国富、季侃、王军等在本书的写作过程中给予了关注与鼓励，谨此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和缺点之处，诚恳希望广大读者批评指正。

编 者

2013年11月于南京

目 录

前言

第1章 概论	1
1.1 监控技术的发展历程	1
1.2 调度自动化系统	5
1.3 国外厂站监控自动化系统技术规范简介	15
1.4 厂站监控技术的发展趋势	21
第2章 厂站微机监控系统的数据通信	30
2.1 数据通信的基本概念和术语	30
2.2 数据编码与接口	39
2.3 数据链路控制	57
2.4 厂站微机监控系统数据通信中采用的规约	71
2.5 数据通信中的调制解调器	77
第3章 集中式厂站微机监控系统	86
3.1 概述	86
3.2 集中式厂站微机监控系统的结构	91
3.3 集中式厂站微机监控系统的软件设计	115
3.4 集中式厂站微机监控系统的应用	123
第4章 分散式厂站微机监控系统	128
4.1 概述	128
4.2 间隔层单元	131
4.3 主控单元	158
第5章 网络型厂站微机监控系统	177
5.1 概述	177
5.2 网络的概念和结构	178
5.3 网络协议	191
5.4 网络型厂站微机监控系统的体系结构及应用	206
第6章 数字化变电站	214
6.1 概述	214

6.2	数字化变电站监控与自动化系统的结构	218
6.3	智能化电气设备	228
6.4	数字化变电站 IEC 61850 标准	238
6.5	数字化变电站应用举例	248
第7章	厂站视频监控系统	252
7.1	概述	252
7.2	厂站视频监控系统的硬件组成及其功能	255
7.3	厂站视频监控系统的软件设计	264
7.4	视频监控系统的应用举例	271
第8章	发电厂电气监控系统	274
8.1	发电厂概述	274
8.2	火力发电厂电气监控系统	278
8.3	水力发电厂电气监控系统	289
8.4	风电场电气监控系统	299
8.5	光伏电站监控系统	311
第9章	厂站微机监控系统的后台系统	323
9.1	概述	323
9.2	基于 Windows 的厂站后台监控系统的设计	329
9.3	基于 Unix 的厂站后台监控系统的设计	340
9.4	继电保护及故障信息管理系统	349
9.5	操作票专家系统	356
9.6	变电站程序化操作	360
第10章	厂站微机监控系统的附属设备	372
10.1	防误装置	372
10.2	模拟屏	379
10.3	电压—无功功率自动调节	383
10.4	对时	389
10.5	发电厂自动发电控制装置 (AGC)	398
第11章	厂站微机监控技术的工程应用问题	403
11.1	微机监控的电磁兼容技术	403
11.2	厂站微机监控系统的检测技术与工程验收	413
11.3	厂站微机监控系统的死机问题分析及对策	419
11.4	厂站微机监控系统的软件测试技术	422
11.5	厂站微机监控系统常见故障的诊断与处理及预防措施	426
第12章	监控与自动化系统中低压变电站的应用	434
12.1	概述	434

12.2	分散式变电站监控与自动化系统在 110kV 站应用举例	440
12.3	分散式变电站监控与自动化系统在石化工业中的应用举例	452
12.4	分散式变电站监控与自动化系统在城市地铁供电系统中的应用举例	459
第13章	厂站微机监控系统在高电压等级变电站的应用	464
13.1	高压及超高压/特高压系统一般概述	464
13.2	NSC2000 厂站监控与自动化系统在 220kV 高压变电站应用举例	474
13.3	SICAM/NSC 厂站监控系统在 500kV 超高压变电站应用举例	477
13.4	NS2000 监控与自动化系统在 1000kV 特高压变电站应用举例	488
第14章	厂站微机监控系统在发电厂的应用	500
14.1	概述	500
14.2	城市垃圾发电厂电气监控工程应用举例	502
14.3	风光储输一体化新能源监控系统工程应用举例	509
14.4	燃气电厂及其升压站微机监控系统工程应用举例	525
附录	专用名词与术语	538
参考文献		544



概 论

1.1 监控技术的发展历程

1.1.1 早期的远动技术

早期的远动技术可以追溯到 20 世纪的 40 年代至 70 年代期间，是在自动电话交换机和电子技术基础上逐步发展起来的。最早用于电力工业的远动设备是由电话继电器、步进器和电子管为主要元器件组成的。随着半导体技术的发展，20 世纪 60 年代开始出现晶体管无触点式远动设备，70 年代出现集成电路远动设备，这一阶段的远动设备有如下主要特点：

- (1) 不涉及软件，设备都是由硬件制造的，即为非智能硬线逻辑方式。
- (2) 核心硬件是晶体管以及中小规模集成电路芯片，其中晶体管开始采用锗管，后来过渡到硅管；而集成电路芯片开始采用 PMOS 技术的芯片，后来发展为采用 CMOS 技术和 TTL 技术的芯片。
- (3) 其设计理念是面向整个发电厂或变电站，而不是面向发电厂或变电站内的电气间隔或元件，因此均采用集中组屏方式。
- (4) 置于厂站端的终端设备与置于远方控制中心或调度中心的接收设备均为一对一方式。
- (5) 远动设备内部各部分之间以并行接口技术为主，很少或几乎不使用串行接口技术。
- (6) 与远方控制中心或调度中心之间的通信以电力线载波技术为主，且多为复用。
- (7) 大部分远动设备只完成“二遥”功能，即遥测与遥信，少部分设备具有遥测、遥信、遥控、遥调的“四遥”功能。

早期远动设备由以下三部分组成：

1. 被控站远动设备

被控站远动设备包括远动主设备、调制解调器 (Modem) 和过程设备三部分。过程设备又包括信息输入设备 (如变送器)、信息输出设备 (如执行盘) 以及调节器。在数据通信中，远动设备相当于数据终端设备 (Data Terminal Equipment, DTE)，调制解调器相当于数据电路终端设备 (Data Circuit Terminating Equipment, DCE)，习惯上又把被控站远动设备称为远动终端 (Remote Terminal Unit, RTU)。

过程设备面向电力生产过程，它把强电特性的信息转换为电子技术能处理的小信号或把电子技术能处理的小信号转换为强电特性信息。厂站的各种告警、状态和位置信号经过光电隔离转换之后送入主设备，测量量来自电压互感器 (TV) 和电流互感器 (TA)，经变送器转换为直流电压或电流信号后送 A/D 转换，再经主设备的组合逻辑和时序逻辑电路处理之后，按规约发往控制站。如果有遥控或遥调命令，则由控制站发出，被控站接收后输出给执行盘、调节器以

控制电力生产过程。

2. 控制站远动设备

控制站远动设备包括远动主设备、调制解调器以及人机设备三部分。人机设备有模拟屏、数字显示设备、打印机、记录仪表及控制操作台等。

控制站远动设备又称主站，它接收被控站送来的遥测、遥信信息，经处理后反映到模拟屏、数字显示设备、打印机及记录仪表上，调度员通过操作控制台发出命令，送往被控站，进行遥控、遥调操作。

3. 远动通道

远动通道包括控制站和被控站的调制解调器和传输线路。远动通道又称数据电路，通常通过远程通信系统来实现。

国内早期远动设备的代表产品有 WYZ 系列及 SZY 系列。

1.1.2 中期的远动（监控）技术

20 世纪 80 年代到 90 年代初，由于微处理器芯片（CPU）和各种作为外围电路的大规模集成电路的出现与运用，远动设备从早期方式进入了中期发展阶段。同时它又与个人计算机（PC）相结合，出现了数据采集与监控系统（Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA 系统）。广义的 SCADA 系统不仅包括前面所述的远动设备，也包括调度自动化中的完整的主站系统。这意味着远动将向提高传输速度、提高编译码的检纠错力、应用智能控制技术对所采集的数据进行预处理和正确性校验等方向发展。这样“远动”一词也逐渐为“监控”所取代，因此今后本书在使用远动或监控这两个术语时不再加以特别说明与解释。

中期的远动技术有如下主要特点：

- (1) 以单或多微处理芯片 CPU（8/16/32 位）和嵌入式软件为核心。
- (2) PC 机的应用极大地提高了远动设备的应用水平，拓宽了人机联系的范围和远动技术的应用空间。
- (3) 在采用多处理器设计时，设备内部逐渐从以并行接口技术为主转向以串行接口技术为主。
- (4) 设计理念仍然面向全厂或全站，所以仍然采用集中组屏方式。
- (5) 厂站端内的终端设备与远方控制中心或调度中心的接收设备逐步从一对一方式发展为一对 N 方式，即位于控制中心或调度中心的一台或两台前置接收设备可以接收多达 32 个以上的厂站端设备。
- (6) 与远方控制中心或调度中心之间的通信方式除了电力线载波之外，还有其他诸如微波、特高频、邮电线路、光纤等多种方式。
- (7) 远动功能由“二遥”发展到“四遥”，且增添了若干附加功能。

图 1-1 所示为典型的中期远动系统的基本构成，图下部示出了远动接口，归纳起来共有 3 种远动接口，即被控站的远动设备与过程设备的接口、控制站和被控站的远动设备（DTE）与调制解调器（DCE）接口、控制站的远动设备与人机设备接口。这些设备上的输入/输出接口必须具有符合标准规定的物理特点。

1. 远动设备与过程设备接口

远动设备与过程设备接口的信号可以归纳为两种：

(1) 数字式输入信号。数字式输入信号分电流型和电压型两种。国际电工委员会（IEC）推荐电压型使用值为直流 12、24、48、60V，不推荐使用交流信号。根据国内外实际使用情况来看，为了防止低阈值电平下可能使抗干扰减弱而导致遥信信号误发，普遍倾向于采用 48V 及以

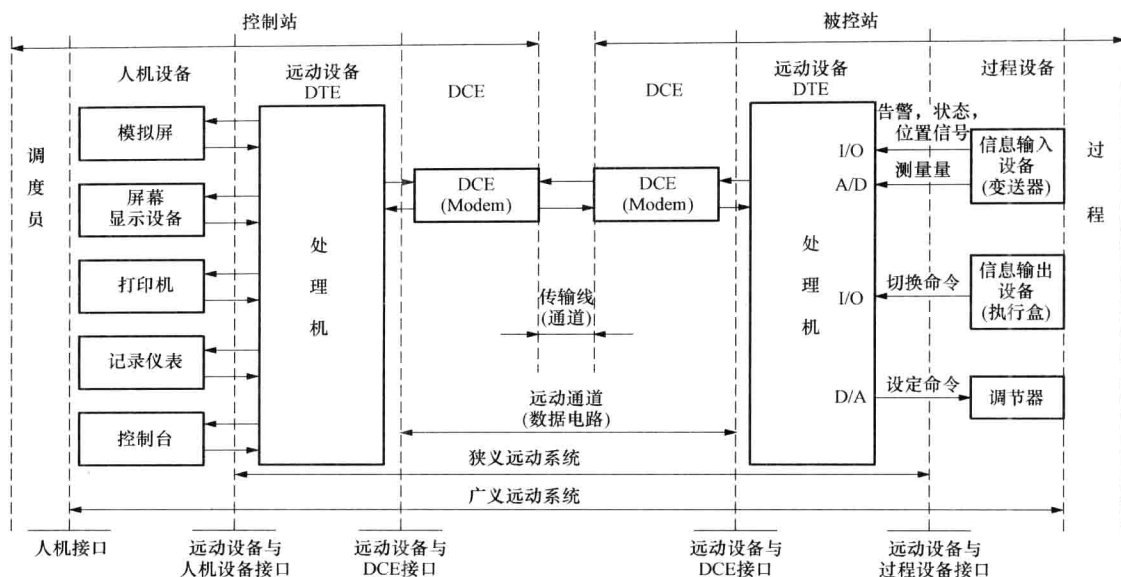


图 1-1 典型的中期远动系统的基本构成

DTE—数据终端设备；DCE—数据电路终端设备；Modem—调制解调器；
I/O—输入/输出；A/D—模/数转换器；D/A—数/模转换器

上的电压，110V 和 220V 也已在实际中使用。如果设备的电源也采用 110V 或 220V 直流供电，还可节省一个电源。电流型数字信号输入，由于实际使用较少，因此不在此介绍。

数字式输出信号主要采用继电器触点方式输出。触点类型分为动合与动断。或同时输出动合与动断。触点容量较灵活，以接通容量和断开容量加以区分，其断开容量又根据分断电阻性负荷容量或电感性负荷容量而有不同。

(2) 模拟式输入与输出信号。模拟式输入与输出信号也分为电流型与电压型两种。电流型使用值为 0~5mA、0~10mA、4~20mA、-5~5mA、-10~10mA；电压型使用值为 0~1V、0~5V、0~10V、-1~1V、-5~5V、-10~10V。IEC 推荐使用电流型。

2. 远动设备 (DTE) 与调制解调器 (DCE) 接口

远动设备与调制解调器接口信号线分发送线与接收线。

(1) 发送线：

- 1) 103 线——发送数据线。
- 2) 102 或 102a 线——信号地线或公共回线。
- 3) 106 线——DCE 已就绪线。
- 4) 105 线——请求发送线。
- 5) 113 或 114 线——发送信号定时线（同步系统用）。

(2) 接收线：

- 1) 104 线——接收数据线。
- 2) 102 或 102b 线——信号地线或公共回线。
- 3) 107 线——数据组已就绪线。
- 4) 109 线——数据通道载波检测线。
- 5) 110 线——数据质量检测线。

6) 115 线——接收信号定时线（同步系统用）。

上述接口线的功能、电气特性及连线插针分配均应符合国际标准要求。

3. 远动设备与人机设备接口

远动设备与人机设备接口分为 A 类和 B 类。

(1) A 类。A 类接口包括灯、开关、记录器与毫安表等，这些均属数字式或模拟式输出或输入类型，其接口要求与远动设备与过程设备接口的要求相同。

(2) B 类。有屏幕显示器、打印机、模拟屏与控制台等，这些均为串行或并行的数字式传输通道接口，接口要求按所配外部设备的要求。

中期远动设备的代表产品有 MWY 系列、DFY 系列、N4F 系列以及 $\mu 4F$ 、SC1801、GR90 等。

1.1.3 当前的厂站监控与自动化技术

20 世纪末到本世纪初，由于半导体芯片技术、通信技术以及计算机技术飞速发展，远动技术也已从早期、中期发展到当前的厂站监控与自动化技术阶段。其主要特点如下：

(1) 以 IEC 关于变电站的结构规范为标准，真正以分层分布式结构取代传统的集中式结构。

(2) 把厂站分为三个层次，即厂站层（Station level）、间隔层（Bay level）及过程层（Process level）。在设计理念上，不是以整个厂站作为设备所要面对的目标，而是以电气间隔和电气元件作为设计的对象与依据。对于中、低压系统物理结构和电气特性完全独立，功能上既考虑测控又涉及继电保护等测控保护综合单元对应一次系统中的间隔出线或发电机、变压器、电容器、电抗器等电气元件；对于高压与超高压系统，则以独立的测控单元对应高压或超高压系统中的间隔和元件。随着技术的进步，在高压或超高压系统中的间隔层采用测控保护综合单元成为可能。

(3) 厂站层主单元的硬件以高档、32 位字长 CPU 和 DSP 为基础的工业级模件作为核心，配有大容量内存、闪存及电子固态盘和嵌入式软件。

(4) 现场总线的兴起以及光纤通信的应用，为功能上的分布和地理上的分散提供了物质基础。

(5) 网络，尤其是基于 TCP/IP 的工业以太网，在厂站监控与自动化系统中发挥出越来越重要的作用。

(6) 智能电子装置（IED）的大量运用，诸如继电保护装置、自动装置、电源、“五防”装置、电子电能表等，均可视为 IED 而纳入一个统一的厂站监控与自动化系统之中。

(7) 与继电保护、各种 IED 相比，远方调度控制中心交换数据所使用的规约与国际接轨化程度更高。

由于采用了分层分布式的结构，使得传统上相对独立的远动和继电保护逐步融合与统一，继电保护技术和远动技术都上升到一个完全崭新的高度，其传统概念与内涵也有了质的不同，这种技术称为厂站自动化技术，由此而诞生的系统（不是一个装置）称为厂站自动化系统，目前还在继续发展之中。本书中的监控系统一般不涉及继电保护，而自动化系统则包含监控系统、继电保护系统两部分内容。

数字式变电站技术虽然采用了光电技术的互感器和 IEC 61850 规约，但在体系结构上仍然属于厂站监控与自动化技术这一范畴。

厂站监控与自动化系统的代表产品，国外有 LSA 系列、SICAM 系列、SCS 系列等，国内有 CSC 系列、NSC 系列、RCS 系列及 NS 系列等。

1.2 调度自动化系统

1.2.1 厂站微机监控（远动）系统与调度自动化的关系

厂站微机监控（远动）系统的发展历程始终都伴随着调度自动化的发展与进步。因此，可以把厂站微机监控（远动）系统看作为实现调度自动化的一个必不可少的手段与工具。

电力生产是发输电与用电同时进行的连续生产过程。电力系统分布地域辽阔，是一个庞大复杂的生产体系，电力系统的安全性、稳定性与经济性越来越重要。

远动技术能把远方厂站的测量量和断路器的开闭状态的信号及时传送到调度所，通过模拟屏或计算机显示出电力系统运行的情况，使调度员能及时了解所发生的事件。西方发达国家在第二次世界大战后就进入了远动调度阶段，我国在 20 世纪 60 年代开始在电力系统调度中使用远动技术。

当电力系统发展到数百万或上千万千瓦容量时，监控（远动）系统收集远方厂站数据可达数千个或上万个，模拟屏相应增大，其中的遥测仪表和信号灯数量繁多，调度员目不暇接，难以准确判断电力系统的运行状况以及所发生的事故。这就有必要将调度的职能与权限加以分层，从而使该层次调度控制中心所管辖的厂站数以及可收集的数据量控制在一个相对合理的范围之内，而各层次之间的数据交换则使用转发或网络的方式加以解决，这就提高了调度的管理水平和工作效率。国际上从 20 世纪 60 年代起出现以电子计算机为基础的电力系统调度自动化系统。计算机有丰富的软、硬件资源，通过屏幕显示器以多幅画面的形式显示或打印机打印成记录，为调度员减少了许多繁琐的工作，也提高了调度的效率。我国电力系统调度采用计算机技术开始于 20 世纪 70 年代，80 年代得到普遍推广。

20 世纪 60 年代以来国际上出现了多次大面积停电事故，特别是 1963 年 11 月 9 日和 1977 年 7 月 13 日两次纽约大停电事故以及 1978 年 12 月 19 日法国的大停电事故以后，要求调度自动化系统功能从经济调度为主转向以安全控制为主。随着计算机软、硬件能力的增强，进一步开发了功能更强的应用软件包，即状态估计、在线潮流计算、安全分析、事故模拟等高级应用软件，使调度自动化系统由初期的安全监视功能上升到能进行安全分析辅助决策的功能。当系统处于紧急状态时，帮助调度员迅速处理事故，使系统能很快恢复到正常状态。

从以上分析不难看出，以计算机为基础的调度自动化系统是一个范围广大的系统，而厂站微机监控系统仅仅是它的一个重要组成部分，二者既相互依存、相互促进，又各自具有独立存在与发展的空间。

1.2.2 电力系统调度的分层结构

随着电力系统容量的日益增大、系统电压等级的升高，一次接线的规模越来越庞大而复杂，系统内的发电厂、变电站的数目也越来越多。对于这样一个地域辽阔的系统，如采用一个调度控制中心的设计，则该中心的计算机系统可能出现负荷过重、通道拥塞、数据过多等不利于调度管理的局面，将这样一种集中调度控制方式改变为分层调度控制方式势在必行。世界各国电力系统都采用分层调度控制，全系统的监控任务分属于不同层次，下一层调度组织除了完成本层次的调度控制任务外，还要接受上一层调度组织的调度命令并向其传送有关的信息。国际电工委员会标准（IEC 60870-1-1）提出典型分层结构中就将电力系统调度控制中心分为主调度中心（MCC）、区域调度中心（RCC）及地区调度中心（DCC），如图 1-2 所示。

采用分层调度控制有如下优点：

1. 与行业组织结构相适应

调度控制任务有全国性的，也有局部性的，大量的局部性调度控制任务可由下层相应的调

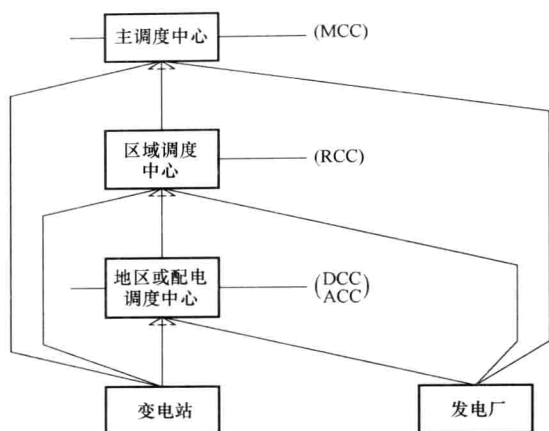


图 1-2 电力系统分层控制结构

只调度中、低压变电站以及一些小电厂。除上述 5 层外，近年来因无人值班站兴起而诞生了集控中心以及大型工矿企业的能源调度中心。随着我国行政体制的改变和调整，这种分层结构也可能发生相应的变化。例如目前出现的省直管县模式，有可能导致县调的进一步加强而地区调度则有可能逐渐淡化。

2. 系统结构更为经济、安全、合理

设想一个庞大复杂且地域辽阔的电力系统如果只有一个调度控制中心，由该中心与下辖的相距几十到几百千米的成百上千座发电厂与变电站交换信息，如果采用点对点的星形通信方式，其通信系统的建设将是一笔相当可观的开支，其可靠性也未必能令人满意；其次这成百上千座厂站的重要性也不尽相同，其中有枢纽厂站，也有一般的终端站，都按照一样的级别来交换信息，显然是不合理的。而采用分层设置调度控制中心的办法就能有效地避免上述缺陷。

对于系统中的一些枢纽性厂站，可以把它们设计成同时与 2 个或 3 个调度控制中心交换信息，让这些调度控制中心能分享系统中的一些关键信息，而且一旦某一层次的系统发生故障时，还可让其他调度控制中心来取代或弥补该中心的作用，从而提高了整个系统的可靠性与安全性。

3. 改善了系统的响应时间

在电力系统调度中，对实时性的要求非常重视，断路器变位、保护动作、重要遥测量的越限告警以及事故处理、负荷调度、不正常运行状态的改善与消除都必须在一定的时间内完成。显然一个集中式的包揽一切的调度控制中心会因为处理器或计算机的负荷太重而无法达到实时响应的指标。采用分层调度在物理上改善了系统结构，减轻了计算机的负荷，使许多调度控制任务可由不同层次的调度自动化系统来处理，消除了数据的拥塞，减少了数据的无效传递，加快了处理速度并改善了整个系统的响应时间。

发电厂和变电站装有远动终端 (RTU) 或微机监控系统直接采集实时信息并控制与调节当地设备，只有涉及全网性的信息才向调度控制中心传送。上层作出决策后再向下发送控制或调节命令，此外，调度控制中心集中来自下面厂站的信息经过适当处理、编辑之后根据需要可以向更高层次的调度控制中心转发。

1.2.3 调度自动化系统的基本结构与功能

现代调度自动化系统物理上由三部分组成，它们分别是位于调度控制中心的主站系统，位于发电厂和变电站的厂站系统以及连接二者的远动通信系统，如图 1-3 所示。

度机构来完成，而跨地区甚至跨大区调度则可以由上层相应调度机构来完成，以便于协调和平衡，且有些调度控制任务也只能由上层机构来完成。此外，电力系统不断扩大与发展，运行信息量大量增加，分层调度控制方式使运行信息的采集分散化，各层次根据各自分担的调度控制任务采集相应的运行信息，这就大大压缩了信息量的传输与处理，降低了系统成本，提高了调度效率。

根据我国的实际情况，调度控制机构一般分为 5 个层次，即国调、网调、省调（中调）、地调与县调；前 3 层一般可以调度发电厂和大型高压与超高压变电站，后 2 层一般

1.2.3.1 主站系统

主站系统是整个调度自动化系统的核心，它是一套完整的计算机系统，对来自远方厂站的各种信息进行处理、加工，其结果通过人机联系子系统呈现给调度人员或通过执行子系统直接进行远方控制、调节操作。

1. 主站系统的结构

主站系统由计算机硬件系统和软件系统组成。

(1) 计算机硬件系统。可以采用从简单的单台计算机直至多台不同类型的计算机组成的复杂系统，相应的配置方式有集中式的单机或双机系统、分层式的多机系统、网络式的分布系统。

1) 集中式配置是由一台计算机执行所有数据采集、人机联系和应用程序的功能。为了提高可靠性，设置一台备用计算机，构成双机系统。这种配置适合小型调度控制中心，也是早期普遍使用的方式，现在已很少应用。

2) 分层式配置是把数据采集和通信等实时性较强的任务由独立的前置处理机来完成，其他人机联系和应用程序则由主计算机来完成。前置机和主计算机之间具有高速数据通道实现信息交换。此处，计算机硬件系统可分为三个层次，如分成前置机、主控机和后台机，其中主控机担任 SCADA 任务，后台机担任安全分析和经济调度等任务。为提高可靠性，各层次的计算机都双重化，这就是典型的四机或六机系统，20 世纪 70~80 年代大量采用这种配置。图 1-4 所示的能量管理系统就是采用典型的主机—前置机分层系统，主机和前置机采用以太网相连，都是双机冗余，一台在线，一台备用。

3) 分布式配置是把各项功能进一步分散到多台计算机上，由单局域网络或双局域网络 (LAN) 将各计算机连接起来，各台计算机通过 LAN 交换数据。备用机也同样连接在 LAN 上，可随时承担同类故障机或预定的其他故障机的任务。如果这种系统在硬件接口和软件接口中都遵循一定的国际标准或工业标准，使不同厂家的产品容易互联，容易扩充，就可称为开放系统 (Open System)，其典型配置如图 1-5 所示。它在 20 世纪 90 年代初由德国西门子公司开发并用于当时的中国国家调度通信中心。

(2) 计算机软件系统分为三个层次，即系统软件、支持软件和应用软件。

1) 系统软件包括操作系统、语言编译和其他服务程序，是计算机制造厂家为方便用户使用计算机而提供的管理和服务性软件。

2) 支持软件主要有数据库管理、人机联系管理、备用计算机切换管理等服务性软件，是为了计算机的实时、在线应用而开发的，对应用软件起支持作用。

3) 应用软件是最终实现调度自动化各种功能的软件，包括 SCADA 软件、自动发电控制和经济运行软件、安全分析和对策软件等。

2. 主站系统的功能

主站系统按功能划分有数据采集与监控 (SCADA) 系统、能量管理系统 (Energy Management System, EMS) 及配电自动化系统 (Distribution Automation System, DAS)。

(1) SCADA 系统的功能。实施对电力系统在线安全监视，具有参数越限和开关变位告警、显示、记录、打印制表、事件顺序记录、事故追忆、统计计算及历史数据存储等作用；还可对电

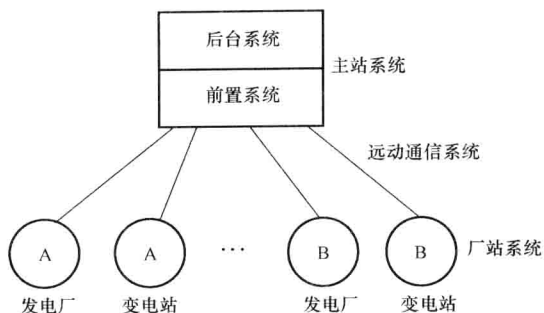


图 1-3 调度自动化系统的结构

A—远方终端单元 (RTU)；B—微机监控系统或厂站自动化系统

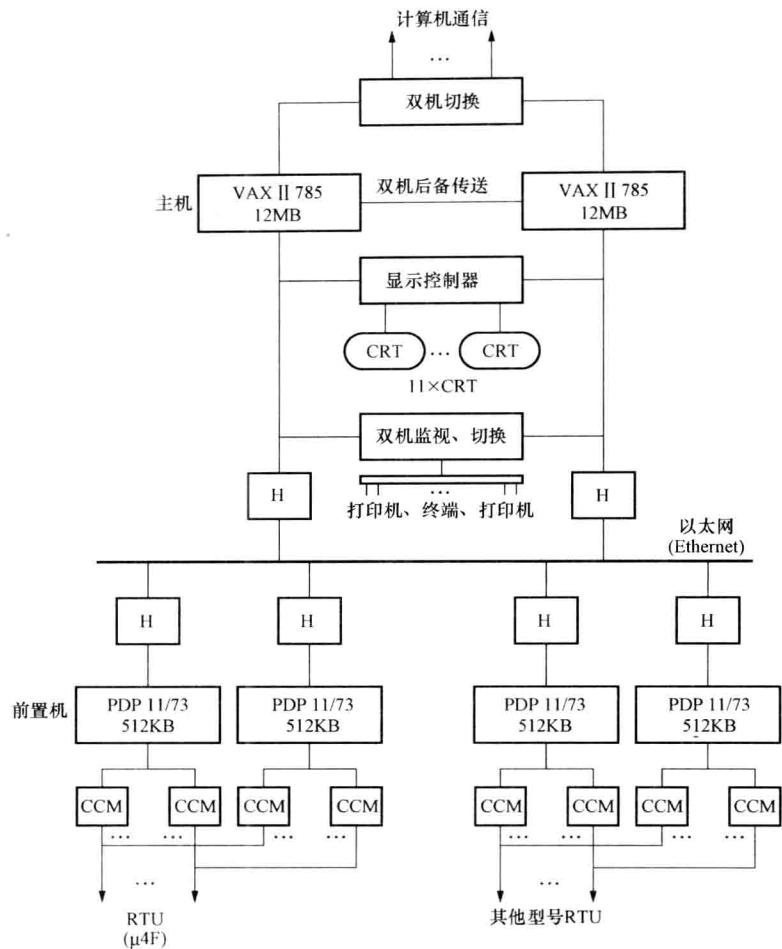


图 1-4 WESDAC-32 能量管理系统配置图
CCM—通信控制器；H—以太网接口

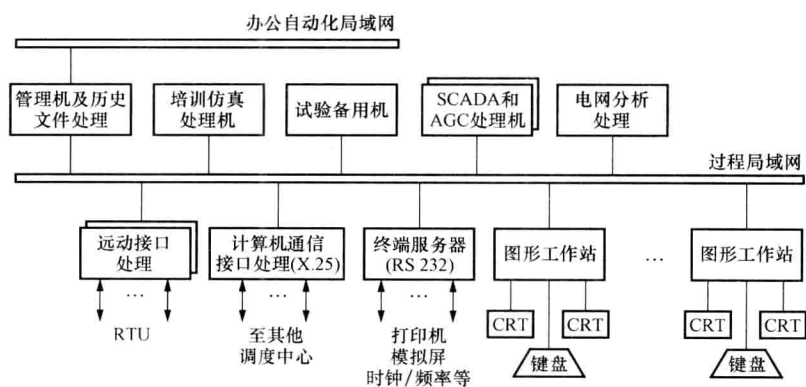


图 1-5 分布式系统

力系统中的设备进行远方操作与调节，例如断路器的分/合，变压器分接头、调相机、电容器等设备的调节与投切。SCADA 功能是对各级调度中心都适用的基本功能。具体指标如下：

- 1) 断路器变位信号传送到主站时间应不大于 1s, 显示器上应在 3s 内反映。
- 2) 遥测数据采集周期: 重要量 3s, 次要量 6s, 一般量 20s, 变化量 (如电能脉冲计数值) 若干长时间。
- 3) 事件顺序记录站间分辨率不大于 20ms, 站内分辨率不大于 10ms。
- 4) 遥测总误差不大于 1.5%。
- 5) 画面调出响应时间不大于 3~5s。
- 6) 远动终端设备平均无故障时间不小于 8760h。
- 7) 系统可用率不小于 99.8%。

(2) EMS 的功能。在 SCADA 功能的基础上进一步实现自动发电控制和经济调度控制 (Automatic Generation Control/Economic Dispatching Control, AGC/EDC)、安全分析 (Security Analysis, SA) 和对策等。AGC/EDC 实现在线闭环控制, 它根据电力系统频率调整和经济调度的要求, 由调度控制中心的主站系统计算机直接控制各个调频电厂发电机组的出力, 其他非调频电厂按日负荷曲线或按经济调度的要求运行, 经济调度计算时要考虑线损修正。对互联电网则按联络线净功率和频率偏移进行控制。安全分析和对策是在实时网络结构分析和状态估计基础上按 $N-1$ 原则或预定的多重事故组合进行事故预想, 在出现不安全的情况下提出对策, 使调度人员能够预先采取措施提高电力系统的安全运行水平, 实现正常状态下的预防性控制。在电力系统已经发生线路或设备的过负荷或电压越限等不正常状态时, 计算机可提出恢复正常约束的校正措施, 供调度人员决策参考。为了实现以上功能, 除了要有相应的软件以外, 还要求有较强的计算机处理能力和较方便的数据库和人机联系的支持, 因此也把具有 EMS 的调度自动化系统称为高档系统。

(3) DAS 的功能。位于供电或配电网调度控制中心的自动化系统称为配网自动化系统, 一般具有 SCADA 功能。随着配网自动化的发展, 开发和完善了一些传统的功能, 如电压/无功控制、负荷管理、操作前安全性校核、故障识别和隔离、恢复供电以及设备管理等。近年来还出现了若干新的功能, 如辅助配网故障识别与查找的配电图资系统 AM (Automatic Mapping) / FM (Facility Management) / GIS (Geographic Information System) 以及需方管理 (Demand Side Management, DSM) 等。

1.2.3.2 厂站系统

厂站系统的硬件配置一般有两种方式: 一种是传统的微机型远动终端; 另一种是本书讨论的厂站微机监控系统与自动化系统。图 1-6 所示为典型的微机型厂站远动终端硬件结构框图。

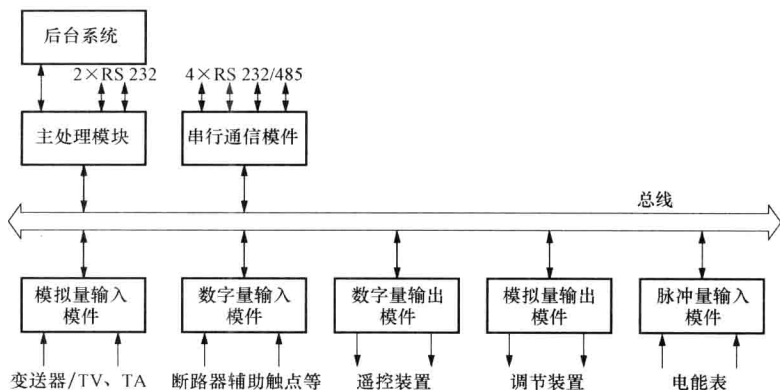


图 1-6 典型的微机型厂站远动终端硬件结构框图