

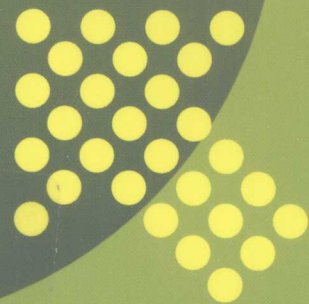
21世纪高等学校规划教材



DIANLI XITONG YUANDONG  
JI DIAODU ZIDONGHUA

# 电力系统远动 及调度自动化

张明光 主 编  
陈玉武 牛群峰 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

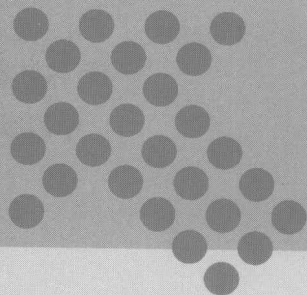
21世纪高等学校规划教材



DIANLI XITONG YUANDONG  
JI DIAODU ZIDONGHUA

# 电力系统远动 及调度自动化

州大学图书馆  
藏书章



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材，主要阐述了电力系统运动技术和调度自动化技术。

全书共分 7 章：第一章主要介绍电力系统运动与调度自动化的基本概念；第二章介绍运动终端的功能、软硬件配置、遥测信息和遥信信息的采集、遥控和遥调、运动终端故障检测与诊断以及电量变送器的的工作原理；第三章介绍数据预处理及常用软件算法；第四章介绍运动信息的抗干扰编码；第五章介绍电网数据通信系统构成、电网数据通信方式和通信规约；第六章介绍能量管理系统的硬件软件配置及系统构成和能量管理系统的高级应用软件；第七章介绍配电管理系统，包括配电自动化功能与构成、变电站自动化、馈线自动化原理、配电管理系统和需方用电管理系统构成、配电网高级应用软件等。每章末均附有思考与练习题。

本书可以作为高等学校电气工程及其自动化专业的本科教材，也可作为高职高专和函授用教材及从事调度自动化工作的工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统运动及调度自动化/张明光主编. —北京：中国电力出版社，2010.2

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9978 - 2

I. ①电… II. ②张… III. ①电力系统运行-运动技术-高等学校-教材②电力系统调度-自动化-高等学校-教材 IV. ①TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 002006 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://j.c.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2010 年 4 月第一版 2010 年 4 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 453 千字

定价 29.60 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
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

本书是根据高等学校电力工程专业教学指导委员会制订的教学大纲编写的。编写本书的出发点与目的是根据当前高等教育注重多方面综合、宽口径发展的教学需要,从教学角度出发,紧密结合电力系统对安全、可靠、质量合格和经济运行的要求,以基本原理的分析与应用为主,系统介绍了电力系统远动及调度自动化的基本原理和主要功能。

全书共分七章:第一章介绍电力系统远动的功能、远动信息及传输模式、远动系统及调度自动化系统的功能和结构;第二章介绍远动终端的功能、软硬件配置、遥测信息和遥信信息的采集、遥控和遥调、远动终端故障检测与诊断以及电量变送器的工作原理;第三章介绍电力系统数据的预处理与常用软件算法;第四章介绍远动信息的抗干扰编码,首先阐述抗干扰编码的基本原理、循环码的编译码原理及方法,然后介绍远动信息常用的编译码方法;第五章介绍电网数据通信系统构成、电网数据通信方式和通信规约;第六章介绍能量管理系统的硬件软件配置及系统构成、电力系统状态估计、安全分析、经济调度、发电控制、EMS与电力市场关系等;第七章介绍配电管理系统,包括配电自动化功能与构成、变电站自动化、馈线自动化原理、配电管理系统和需方用电管理系统构成、配电网高级应用软件等。每章末均附有思考与练习题。

本书由兰州理工大学张明光教授主编,兰州理工大学陈玉武老师和河南工业大学牛群峰老师为副主编。第一章、第四章、第六章、第七章由张明光编写,并负责统稿;第二章由河南工业大学王莉编写;第三章由兰州理工大学陈玉武编写;第五章由河南工业大学牛群峰编写。全书由西安交通大学盛寿麟教授主审,并对本书的内容提出了许多宝贵意见,在此对其表示衷心的感谢。在编写本书的过程中参考和使用了部分文献和技术资料,在此向有关作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2010年2月

## 目 录

前言	
<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 电力系统的运动功能.....	1
第二节 运动系统的基本结构及主要性能指标.....	2
第三节 运动信息及其传输方式.....	5
第四节 电力系统调度自动化系统结构与功能.....	7
第五节 电力系统调度自动化系统的发展 .....	15
思考与练习题 .....	18
<b>第二章 运动装置的功能模块及多微机运动装置</b> .....	19
第一节 运动终端 (RTU) 的功能和结构 .....	19
第二节 遥测量的采集和处理 .....	22
第三节 遥信量的采集和处理 .....	47
第四节 遥信变位及遥测量越限比较 .....	51
第五节 遥控与遥调 .....	54
第六节 多微处理机运动装置 .....	63
第七节 故障检测与故障诊断 .....	66
思考与练习题 .....	69
<b>第三章 数据预处理与常用软件算法</b> .....	70
第一节 模拟信号的数字化处理 .....	70
第二节 数字滤波 .....	90
第三节 变电站综合自动化系统软件常用算法 .....	96
思考与练习题.....	107
<b>第四章 抗干扰编码</b> .....	109
第一节 概述.....	109
第二节 抗干扰编码的基本原理.....	110
第三节 线性分组码.....	112
第四节 循环码.....	115
第五节 循环码的抗干扰能力.....	122
第六节 BCH 码 .....	124
第七节 运动信息的 CRC 校验 .....	126
思考与练习题.....	131
<b>第五章 数据通信与运动通信规约</b> .....	132
第一节 数据通信概述.....	132
第二节 循环式传输规约.....	145

第三节	问答式传输规约	151
第四节	IEC 60870-5-101 传输规约	156
第五节	计算机网络与局域网	162
	思考与练习题	174
<b>第六章</b>	<b>能量管理系统 (EMS)</b>	<b>175</b>
第一节	概述	175
第二节	EMS 的体系结构	177
第三节	电力系统状态估计	189
第四节	电力系统安全分析	196
第五节	电力系统负荷预测 (LF)	203
第六节	自动发电控制与经济调度 (AGC/EDC)	207
第七节	调度员模拟培训系统 (DTS)	214
第八节	EMS 与电力市场	216
	思考与练习题	225
<b>第七章</b>	<b>配电管理系统 (DMS)</b>	<b>227</b>
第一节	配电管理系统 (DMS) 概述	227
第二节	变电站自动化	234
第三节	馈线自动化	246
第四节	配电 SCADA 系统	258
第五节	配电网图资地理信息系统 AM/FM/GIS	263
第六节	负荷控制 (LC) 与需方用电管理 (DSM)	271
第七节	配电管理系统 DMS 的高级应用软件	279
	思考与练习题	286
<b>附录</b>	<b>电力系统常用缩写术语</b>	<b>288</b>
<b>参考文献</b>		<b>290</b>

## 第一章 绪 论

### 第一节 电力系统的运动功能

电力系统由发电厂、输电线、变电站（所）和各种不同类型的负荷等组成，由各级调度中心对系统的运行进行控制和管理。现代电力系统是一个在地域上分布辽阔而在电气上连成一体的大系统，由于电能难于储存且能源中心和负荷中心一般相距甚远，必须应用远动技术来管理和监控众多发电厂、变电站（厂站端）的设备和元器件的运行工况。为了保证系统的正常工作，构成系统的各部分必须在一个调度中心的统一指挥下协调工作。为此，调度中心要随时了解系统各部分在生产过程中的实际情况，并在此基础上做出对生产过程进行指挥的策略。为了使调度工作既满足实时性好，又保证可靠性高，必须借助远动技术实现调度管理。

远动技术起源于 20 世纪 30 年代，50 年代末在我国的电力系统中得到应用。远动技术是对分散相距较远的生产单位及生产设备，为完成同一生产任务，服从同一调度中心指挥，收集信息、实现生产过程的监视与控制而产生的一门技术。远动技术是一门综合性的应用技术，它的基本原理包括数据传输原理、编码理论、信号转换技术原理、计算机原理等。远动技术是调度管理和现代科技的产物，因此它随着科学技术，特别是计算机技术的迅猛发展而不断更新换代。

**远动 (telecontrol):** 利用远程通信技术进行信息传输，实现对远方运行设备的监视和控制。

**遥测即远程测量 (telemetry):** 应用远程通信技术，传输被测变量的值。

**遥信即远程指示，远程信号 (teleindication, telesignalization):** 对告警情况、开关位置或阀门位置这样的状态信息的远程监视。

**遥控即远程命令 (telecommand):** 应用远程通信技术，使运行设备的状态产生变化。

**遥调即远程调节 (teleadjusting):** 对具有两个以上状态的运行设备进行远程控制。

**电力系统调度中心的任务:** 一是合理地调度所属各发电厂的出力，制订运行方式，从而保证电力系统的正常运行，安全经济地向用户提供满足质量要求的电能；二是在电力系统发生故障时，迅速排除故障，尽快恢复电力系统的正常运行。为此，调度中心必须随时了解发电厂及变电站的实时运行参数及状态，分析收集到的实时数据，作出决策，再对发电厂及变电站下达命令，实现对系统运行方式的调整。早期的电力系统调度主要依靠调度中心和各厂站之间的电话联系，这种调度手段信息传递的速度慢，且调度员对信息的汇总、分析费时、费工，它与电力系统中正常操作的快速性和出现故障的瞬时性相比，调度工作的实时性极差。20 世纪 50 年代远动技术进入电力系统后，便由安装在调度中心和各厂站端的远动装置借助远动信道自动传递信息。厂站端的远动装置实时地向调度中心的装置传送遥测信息和遥信信息，这些信息直观地显示在调度中心的屏幕显示器上和调度模拟屏上，使调度员随时看到系统的实时运行参数和系统运行方式，实现对系统运行状态的有效监视。在需要的时候，调度员可以在调度中心操作，完成向厂站中的装置传送遥控命令或遥调命令。这些命令输出

到厂站的自动控制装置后，实现对某些开关的操作或对发电机的出力进行调节等。

由此可见，远动技术在电力系统中的应用，使调度员在调度中心借助遥测和通信功能，便能监视远方运行设备的实时运行状况；借助遥控和遥调功能，可以完成对远方运行设备的控制，即实现远程监视和远程控制，简称远程监控。所谓“四遥”就是遥测、通信、遥控、遥调技术的简称，是电力系统远动要完成的基本任务，所以远动技术就是“四遥”的结合。由于远动装置中信息的生成、传输和处理速度非常快，适应了电力系统对调度工作的实时性要求。远动技术在电力系统中的应用，使电力系统的调度管理工作进入了自动化阶段。

## 第二节 远动系统的基本结构及主要性能指标

### 一、远动系统 (telecontrol system)

远动系统是指对广阔地区的生产过程进行监视和控制的系统，它包括对必需的过程信息

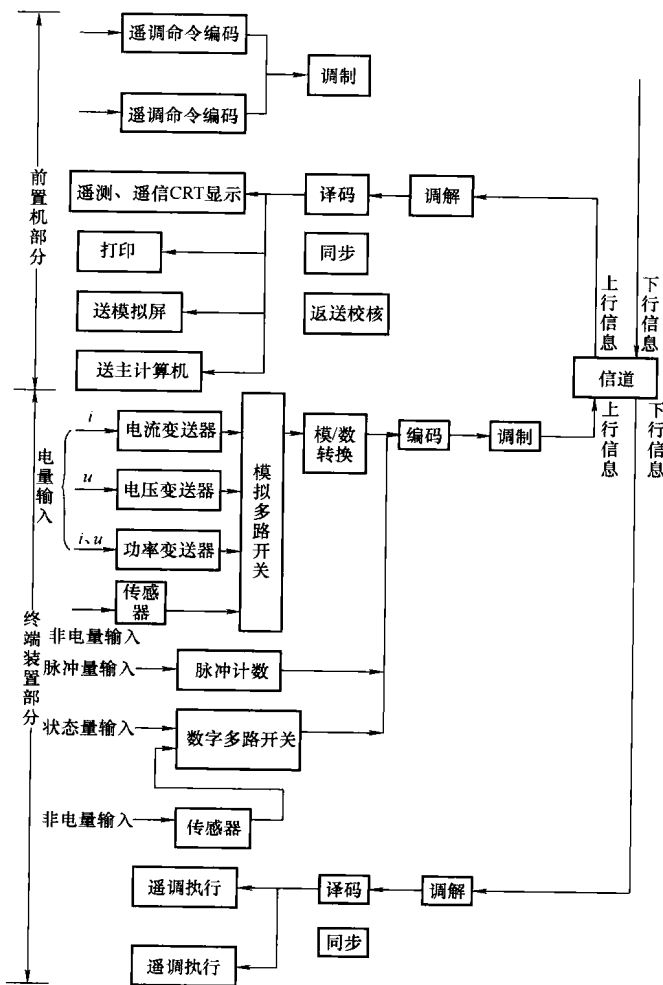


图 1-1 远动系统的功能结构框图

进行采集、处理、传输、显示和执行等的全部设备与功能。构成远动系统的设备包括厂站端远动装置、调度端远动装置和远动信道。

按习惯称呼的调度中心和厂站在远动术语中称为主站 (master station) 和子站 (slave station)。主站也称控制站 (Controlling Station)，它是对子站实现远程监控的站；子站也称受控站 (Controlled Station)，它是受主站监视的或受主站监视且控制的站。计算机技术进入远动技术之后，安装在主站和子站的远动装置分别被称为前置机 (front-end processor) 和远动终端装置 (Remote Terminal Unit, RTU)。图 1-1 所示为远动系统的功能结构框图，图中上半部分表示前置机的功能和结构，下半部分表示 RTU 的功能和结构。

前置机是缓冲和处理输入或输出数据的处理机。它接收 RTU 送来的实时远动信息，无干扰时经译码后还原出被测量的实际大小值和被监视对象的实际状态，显示在调度室的 CRT 上和调度模



拟屏上,也可以按要求打印输出。这些信息还要向主计算机传送。另外,调度员通过键盘或鼠标操作可以向前置机输入遥控命令和遥调命令,前置机按规约组装出遥控信息字和遥调信息字向 RTU 传送。

RTU 对各种电量变送器送来的 0~5V 直流电压分时完成 A/D 转换,得到与被测量对应的二进制数值,并由脉冲采集电路对脉冲输入进行计数,得到与脉冲量对应的计数值,还把状态量的输入状态转换成逻辑电平“0”或“1”。再将上述各种数字信息按规约编码成遥测信息字和遥信信息字,向前置机传送。RTU 还可以接收前置机送来的遥控信息字和遥调信息字,经译码后还原出遥控对象号和控制状态,遥调对象号和设定值经返送校正正确后(对遥控)输出执行。

前置机和 RTU 在接收对方信息时,必须保证与对方同步工作,因此收发信息双方都有同步措施。远动系统中的前置机和 RTU 是一对  $N$  的配置方式,即主站的一套前置机要监视和控制  $N$  个子站的  $N$  台 RTU,因此前置机必须有通信控制功能。为了减少前置机的软件开销,简化数据处理程序,RTU 应统一按照部颁远动规约设计。同时为了保证远动系统工作的可靠性,前置机应为双机配置。

如上所述,远动技术是将电力系统的数据、命令从一端送到另一端去显示、记录或控制执行。远动技术的传送方式分为两大类,即循环式传送方式和问答式传送方式。

(1) 循环式传送方式。以厂、站端的远动装置为主,周期性地采集数据,并且周期性地以循环的方式向调度端发送数据。常用在点对点的远动装置中,由厂、站点端传送遥测、遥信量给调度端。

(2) 问答式传送方式。以调度中心为主,由调度中心发出查询命令,厂、站端按发来的命令工作,被查询的厂、站向调度中心传送数据或执行命令。未收到查询命令时,厂、站端的远动装置处于静止状态。

远动配置 (telecontrol configuration) 是指主站与若干子站以及连接这些站的传输链路的组合体。常用的远动配置按工作方式分类可分为以下几种类型,如图 1-2 所示。

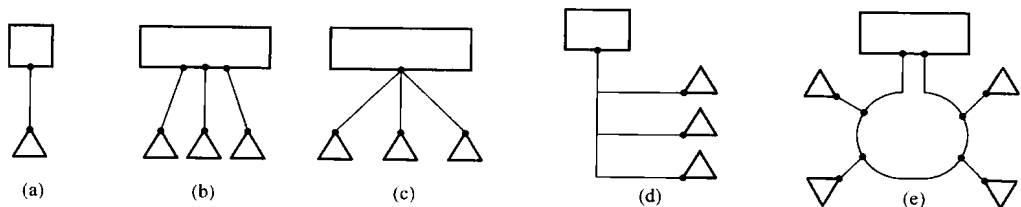


图 1-2 远动配置的类型

(a) 点对点; (b) 多路点对点; (c) 多点星形; (d) 多点共线; (e) 多点环形

□—主站; △—子站

(1) 点对点配置 (point-to-point configuration)。主站与子站之间通过专用的传输链路相连接的一种配置。

(2) 多路点对点配置 (multiple point-to-point configuration)。控制中心或主站通过各自链路与多个子站相连的一种配置,主站与各子站可同时交换数据。

(3) 多点星形配置 (multipoint-star configuration)。控制中心或主站与多个子站相连接的一种配置。任何时刻只许一个子站传输数据到主站;主站可选择一个或多个子站传输数

据，也可向全部子站同时传输全局性报文。

(4) 多点共线配置 (multi-partyline configuration)。控制中心或主站通过一条公共链路或多个子站相连的一种配置。任何时刻只许一个子站传输数据到主站；主站可选择一个或多个子站传输数据，也可向全部子站同时传输全局性报文。

(5) 多点环形配置 (multipoint-ring configuration)。所有站之间的通信链路形成环状，控制中心或主站可以通过两条不同的路径与每一子站通信。

以上五种配置中：多点共线配置可以节省通信链路，但远动信息的传输只能采用问答传输模式；多点环形配置使主站和子站之间有两条通信链路，可以提高传输的可靠性。对不同结构的电网，可以根据实际情况，在各个局部选择不同的远动配置，由多种远动配置的组合，比如多点星形和多点共线，构成一个混合配置的完善的远动系统。

远动系统是调度自动化系统的重要组成部分，它是实现调度自动化的基础。

## 二、远动系统的主要性能指标

调度控制中心依靠远动系统采集数据，进行监视和控制。如果远动提供的遥测、通信等数据差错或不及时，就有可能导致调度控制中心判断或决策失误，影响到系统的运行，甚至带来严重后果。对电力系统远动的基本要求是可靠、准确和及时。

### 1. 可靠性

远动系统的可靠性包括系统设备运行的可靠性和数据传输的可靠性两个方面。

(1) 系统设备运行的可靠性。远动系统或装置的可靠性是指它在规定的时间内和使用条件下完成所要求的功能的能力。可靠性一般可用“平均故障间隔时间”和“可用率”来衡量。

1) 平均故障间隔时间为功能部件、设备或系统在规定寿命期限内相邻两次故障之间的工作时间的统计平均值。国外的远动装置平均故障间隔时间已达到 30 000h，国内要求 10 000h 以上。

2) 可用率  $A$  是设备或系统处于良好状态的可用时间所占的百分数，即

$$A = \frac{\text{可用的运行时间}}{\text{可用的运行时间} + \text{故障及维修的停运时间}} \times 100\%$$

(2) 数据传输的可靠性。即使远动装置处于良好的工作状态，数据在信道上传送时由于干扰等原因可能使收到的码元与发送的不同，从而出现了差错，通常用码元差错率  $P_e$ 。(简称误码率) 来衡量码元传输的可靠性。它是指接收到的错误的码元数在传送的码元总数中所占的比例，即

$$\text{码元差错率 } P_e = \frac{\text{出现差错的码元数}}{\text{传输的码元总数}}$$

信噪比为 17dB 时码元差错率 (即误码率) 不大于  $10^{-5}$ 。

影响数据传输可靠性的另一因素是信息丢失，通常用信息丢失率 ( $R_L$ ) 和信息丢失漏检率 ( $R_{RL}$ ) 来衡量，即

$$\text{信息丢失率 } R_L = \frac{\text{报文丢失数}}{\text{发送的报文总数}}$$

$$\text{信息丢失漏检率 } R_{RL} = \frac{\text{未被检出的报文丢失数}}{\text{发送的报文总数}}$$

### 2. 准确度

调度控制中心所采集的数据根据实际需要应满足一定的准确度要求。远动系统中传送的

各种量值要经过各个环节，难免会引入误差。以遥测为例，经变送器、模/数转换等一系列环节后，对遥测的总准确度会有影响。总准确度用偏差对满刻度的百分比表示，IEC/TC-57 对总准确度级别的划分见表 1-1。

表 1-1 总准确度级别的划分

总准确度级别	满量程的总体误差 (%)	总准确度级别	满量程的总体误差 (%)
A1	5.0	A4	0.5
A2	2.0	AX	特定等级
A3	1.0		

### 3. 实时性

调度中心需要电力系统的实时信息，特别是在电力系统故障时，要求迅速地获得故障信息以及及时处理故障。实时性常用“传输时延”来衡量，它是指从发送端事件发生到接收端正确地收到该事件信息的这一段时间间隔。例如，典型的最大容许时延，在正常传送遥测、遥信时为 2~10s，在状态变化（例如开关跳闸）时为 0.5~5s，在传送遥控、遥调等命令时为 0.1~2s。

通常把遥测、遥信、遥控及遥调对象的数量叫做远动装置的容量。首先远动装置的容量要满足电力系统运动化的要求。此外，遥测、遥信、遥控及遥调的功能也要扩大，例如现代电力系统要求遥测功角、电能等，遥信要求变位优先传送，并有时间记录等功能。随着技术的发展，远动装置还要完成事件记录、数据处理等功能。

## 第三节 远动信息及其传输方式

### 一、远动信息的传送内容

远动的遥测、遥信、遥控和遥调功能通过传送远动信息实现。远动信息包括遥测信息、遥信信息、遥控信息和遥调信息等。

#### 1. 遥测信息

将发电厂、变电站的各种运行参数传送到主站端。遥测量一般有模拟量、数字量、脉冲计数量和其他测量量。

(1) 模拟量。电气设备的各种运行参数，如母线电压、系统频率、流过电力设备（发电机、变压器）及输电线的有功功率、无功功率和电流等。这些量都是随时间作连续变化的模拟量。对电流、电压和功率量，通常利用互感器和变送器把要测量的交流强电信号变成 0~5V 或 0~10mA 的直流信号后送入远动装置；也可以把实测的交流信号转换成幅值较小的交流信号后，由远动装置直接对其进行交流采样，经过多路转换开关输入到 A/D 转换器，转换成 10 位或 12 位（包括符号位）的数值，传送到主站。

(2) 数字量。主要是水位计、数字频率计、功角转换器、电能累加量、系统频率、发（耗）电量等。这些量经过相应的变送器直接以数字状态输入到远动设备接口部件。

(3) 脉冲计数量。电能量的测量采用脉冲输入方式，由计数器对脉冲计数实现测量或把脉冲作为特殊的遥信信息用软件计数实现测量，并传送到远动设备，由远动设备对脉冲进行累加。

(4) 其他测量值。诸如变压器油温、SF<sub>6</sub> 组合电器气体压力、密度、热工量的温度、压力水电厂闸门的开度等一些非电量，这些量的测量主要使用传感器设备，将其转换成规定范围内的直流信号或数字量后送入远动装置。

## 2. 遥信信息

遥信信息包括发电厂、变电站中断路器和隔离开关的合闸或分闸状态、主要设备的保护继电器动作状态、自动装置的动作状态以及一些运行状态信号，如厂站设备事故总信号、发电机组开或停的状态信号、远动及通信设备的运行状态信号等。遥信信息所涉及的对象只有两种状态，因此用一位二进制数的“0”或“1”便可以表示出一个遥信对象的两种不同状态。遥信信息通常由运行设备的辅助接点提供。

遥测信息和遥信信息从发电厂、变电站向调度中心传送，也可以从下级调度中心向上级调度中心转发，通常称它们为上行信息。在上行信息中还可以传送事件顺序记录、系统对时功能中的返送时钟报文、遥控的返送校核信息等。

## 3. 遥控信息

遥控信息是指传送改变运行设备状态的命令，如发电机组的启停命令、断路器的分合命令、并联电容器和电抗器的投切命令等。电力系统对遥控信息的可靠性要求很高，为了提高控制的正确性，防止误动作，在遥控命令下达后，必须进行返送校核。当返送命令校核无误之后，才能发出执行命令。第一次远动终端装置 RTU 收到主站发来的遥控命令时并不立即执行，而是检查通道上来的信息有无误码、控制对象是否正确、断路器的位置是否与遥控命令所要求的相适应等。如果全部正确，则 RTU 将收到的信息照原样送回主站。主站收到 RTU 返送的信息并与第一次发出的信息相比较，如果一致，表明一切正常。调度员再按一下“执行”键，RTU 正确收到遥控执行命令后才执行遥控命令，即选择—返送校验—执行的过程。

## 4. 遥调信息

遥调信息是指传送改变运行设备参数的命令，如改变发电机有功出力或励磁电流的设定位、改变变压器分接头的位置等。发送的遥调命令可以采取返送校核，也可以不采取返送校核，子站收到遥调命令后直接执行。

遥控信息和遥调信息从调度中心向发电厂，变电站传送，也可以从上级调度中心通过下级调度中心转送，称为下行信息。这些信息通常由调度员人工操作发出命令，也可以自动启动发出命令，即所谓的闭环控制。例如为了保持系统频率在规定范围内，并维持联络线上的电能交换，调节发电机出力的有功发电控制（AGC）功能，就是闭环控制的例子。在下行信息中，还可以传送系统对时功能中的设置时钟命令、召唤时钟命令、设置时钟校正值命令，以及对厂站端远动装置的复归命令、广播命令等。

电力系统的远动信息见表 1-2。

表 1-2 电力系统的远动信息

传 送 方 向	类 别	信 息 名 称
发电厂或变电站 ↓ 调度控制中心	遥测信息	线路潮流（有功、无功功率）或电流 变压器潮流（有功、无功功率）或电流 发电机出力（有功、无功功率） 负荷（有功、无功功率） 母线电压、频率、功角、水库水位、电能量

续表

传 送 方 向	类 别	信 息 名 称
发电厂或变电站 ↓ 调度控制中心	遥信信息	断路器分、合闸状态 各类开关分、合状态 继电保护和自动装置动作状态 发电机开、停状态
	其他信息	事件顺序记录 转发其他厂站信息 返送校核信息 RTU 工作状态信息 事故追忆信息 故障录波信息
调度控制中心 ↓ 发电厂或变电站	遥控信息	断路器操作信息 电动隔离开关操作命令 机组启、停操作命令 并联电容器投切操作命令
	遥调信息	发电厂或机组有功出力给定值 发电厂或机组无功出力给定值 变压器分接头位置
	其他信息	对时信息 查寻信息 RTU 远方诊断 RTU 参数设置

## 二、信息的传输方式

远动信息的传输可以采用循环式传输模式或问答式传输模式。

(1) 循环式传输模式也称 CDT (Cyclic Data Transmission) 方式。在这种传输模式中, 厂站端将要发送的远动信息按规约的规定组成各种帧, 再编排帧的顺序, 一帧一帧地循环向调度端传送。信息的传送是周期性的、周而复始的, 发端不顾及收端的需要, 也不要求收端给予回答。这种传输模式对信道质量的要求较低, 因为任何一个被干扰的信息可望在下一循环中得到它的正确值。

(2) 问答式传输模式也称 polling 方式。在这种传输模式中, 若调度端要得到厂站端的监视信息, 必须由调度端主动向厂站端发送查询命令报文。查询命令是要求一个或多个厂站传输信息的命令。查询命令不同, 报文中的类型标志取不同值, 报文的字节数一般也不一样。厂站端按调度端的查询要求发送回答报文。用这种方式可以做到调度端询问什么, 厂站端就回答什么, 即按需传送。由于它是有问才答, 要保证调度端发问后能收到正确的回答, 因而对信道质量的要求较高, 且必须保证有上下行信道。

问答式传输模式的优点是比较灵活; 节省通道, 同一通道可传送上行、下行信号; 通道适应能力强, 能适应不同类型的通道结构, 如点对点、星形和环形结构; 为保证实时性, 采用“变化传送”的方式, 即每次查询回答的数据, 将发生变化的那些监测点的信息上报给主站, 这样可大大压缩数据块的长度, 从而提高数据传送的速度。

## 第四节 电力系统调度自动化系统结构与功能

电力系统由发电厂、输变电系统、配电系统和各种不同类型的负荷等组成, 由各级调度

中心对系统的运行进行控制和管理。电力系统是一个大系统，而电能的生产、输送及分配是在一个地域广阔、涉及各行各业区域内进行的，加上电磁过程的快速性，因此对电力系统运行控制的有效性提出了非常高的要求。对电力系统运行的基本要求如下：

- (1) 保证安全可靠地发供电；
- (2) 要有合格的电能质量；
- (3) 要有良好的经济性。

电力系统运行的可靠性及其电能的质量与电力系统的自动化水平有密切的联系。要实现这些基本要求，除了提高电力设备的可靠性水平、配备足够的备用容量、提高运行人员的素质、采用继电保护和自动装置等外，采用电网调度自动化系统也是一个极为重要的措施。电力系统的自动化系统由信息就地处理的自动化系统和信息集中处理的自动化系统两部分组成。

信息就地处理的自动化系统的特点是对电力系统的情况作出快速反应。如高压输电线上发生短路故障时，继电保护能够快速而及时地切除故障，保证系统稳定；而同步发电机的励磁自动调节系统在电力系统正常运行时可以保证系统的电压质量和无功功率的平衡，在故障时可以提高系统的稳定水平；按频率自动减负荷装置能在电力系统出现严重的有功缺额时，快速切除一些较为次要的负荷，以免造成系统的频率崩溃。但由于信息就地处理的自动化系统获得的信息有局限性，因而不能从全局的角度来处理问题。如频率及有功功率自动调节装置虽然可以跟踪负荷的变化，但不能实现有功出力的经济分配。另外，信息就地处理自动装置一般只能“事后”处理出现的事件，而不能“事先”从全局的角度对系统的安全性作出全面而精确的评价，所以有其局限性。

从现代电力系统的运行要求来看，仅依靠信息就地处理的自动化系统还不能保证电力系统的安全、优质、经济运行，因为这些装置往往都是根据局部的、事后的信息来处理电力系统的故障，而不能从全局的、事先的信息来预测、分析系统的运行情况和处理系统中出现的情况，所以电网监控与调度自动化系统有着它独特的、不可取代的作用。电网监控与调度自动化系统又称信息集中处理的自动化系统，可以通过设置在各发电厂和变电站的远动终端（RTU）采集电网运行的实时信息，通过信道传输到设置在调度中心的主站（MS），主站根据收集到的全局信息对电网的运行状态进行安全性分析、负荷预测以及自动发电控制、经济调度控制等。当系统发生故障，继电保护装置动作切除故障线路后，调度自动化系统便可将继电保护和断路器的动作状态采集后送到调度员的监视器屏幕和调度模拟屏显示器上。调度员在掌握这些信息后可以分析故障的原因，并采取相应的措施使电网恢复供电。但是由于信息的采集、传输需要一定时间，所以目前在发生系统故障时还不可能依靠信息集中处理系统来切除故障。

信息就地处理系统和信息集中处理系统各自有其特点，互相补充而不能互相替代，但以往这两个系统的联系不够紧密。随着微机保护、变电站综合自动化等技术的发展，两个信息处理系统之间的相互联系必然会更加紧密。如微机保护的定值可以远方设置，并随着系统运行状态的改变，可以使保护的整定值总是处于最佳状态。可以预料，随着计算机技术和通信技术的发展，电力系统的自动化技术将发展到一个新的水平。

继电保护、安全自动装置、安全稳定控制系统、电网调度自动化系统、电力专用通信网系统、电力市场技术支持系统等现代化技术手段，是保证电力系统在进入电力市场时代后安

全、优质、经济运行的支柱，是现代电力系统运行必不可少的手段。

### 一、电网调度自动化系统的基本结构

电网调度自动化系统按其功能可以分成如下 4 个子系统，如图 1-3 所示。

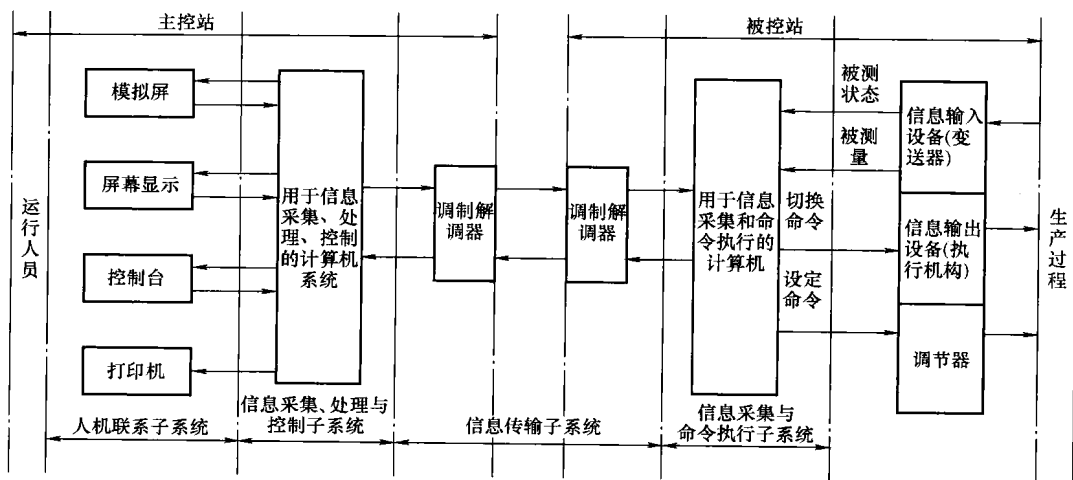


图 1-3 调度自动化系统的结构

#### 1. 信息采集与命令执行子系统

该子系统是指设置在发电厂和变电站中的远动终端、遥控、遥调执行屏等。远动终端与厂站计算机配合可以实现“四遥”功能，包括采集并传送电力系统运行的实时参数及事故追忆报告；采集并传送电力系统中继电保护的動作信息、断路器的状态信息及事件顺序报告(SOE)；接收并执行调度员从主站发送的命令，完成对断路器的分闸或合闸操作；接收并执行调度员或主站计算机发送的遥调命令，调整发电机功率。除了完成上述“四遥”的有关基本功能外，还有一些其他功能，如系统统一定时、当地监控等。

#### 2. 信息传输子系统

完成主站和远动终端之间的信息交换及各个调度中心之间的信息交换。信息传输子系统是一个重要的子系统。信号传输质量往往直接影响整个调度自动化系统的质量。

由于电网调度自动化系统中的主站和远动终端之间一般都有较远的距离，因而信息传输子系统也是一个重要的子系统。信息传输子系统按其信道的制式不同，可分为模拟传输系统和数字传输系统两类。

对于模拟传输系统（其信道采用电力线载波机、模拟微波机等），远动终端输出的数字信号必须经过调制（数字调频、数字调相）后才能传输。模拟传输系统的质量指标可用其衰减频率特性、相移频率特性、信噪比等来反映，它们都将影响到远动数据的误码率。

对于数字传输系统（其信道采用数字微波、数字光纤等），低速的远动数据必须经过数字复接设备才能接到高速的数字信道。随着通信技术的发展，数字传输系统所占的比重将不断增加，信号传输的质量也将不断提高。

#### 3. 信息采集、处理与控制子系统

该子系统由两部分组成，发电厂和区域变电站内的监控系统收集分散的面向对象的

RTU 的信息，完成管辖范围内的控制，同时将经过处理的信息发往调度中心，或接收控制命令并下发 RTU 执行。调度中心收集分散在各个发电厂和变电站的实时信息，对这些信息进行分析和处理，结果显示给调度员或产生输出命令对对象进行控制。

#### 4. 人机联系子系统

电网调度自动化技术的发展，并没有使人的作用有所削弱，恰恰相反，高度自动化技术的发展要求调度人员在先进的自动化系统的协助下，充分深入和及时地掌握电力系统实时运行状态，作出正确的决策和采取相应的措施，使电力系统能够更加安全、优质、经济地运行。为了有效地达到上述目的，应该使被控制的电力系统及其控制设备（调度自动化系统）与运行人员构成一个整体。从电力系统收集到的信息，经过计算机加工处理后，通过各种显示装置反馈给运行人员。运行人员根据这些信息作出决策后，再通过键盘、鼠标等操作，对电力系统进行控制，这就是人机联系。系统越复杂、规模越大，对人机联系子系统的要求也就越高。

人机联系子系统的常用设备一般包括显示器、调度模拟屏、键盘和鼠标、有声报警、制表打印设备、屏幕拷贝设备、记录型仪表等。

## 二、电力系统的分层调度

电能的产、输、配和用均在一个电力系统中进行的，我国目前已建成五个大电网（华北、东北、华东、华中、西北电网）以及一些省网，并且在大网之间通过联络线进行能量交换（如三峡、葛洲坝到上海的 500kV 输电线将华东和华中两大电网联系起来）。受现行电网运行、管理体制的制约，我国电网实行五级分层调度管理；国家调度控制中心、大区电网调

度控制中心、省电网调度控制中心及地、县电网调度控制中心。

电网调度管理实行分层管理，因而调度自动化系统的配置也与之相适应，信息分层采集、逐级传送，命令也按层次逐级下达。为了保证电力系统能安全、经济、高质量运行，对各级调度都规定了一定的职责与功能。

根据发展，我国电网调度中心目前分为五级（见图 1-4）：国家级调度中心（简称国调），跨省、自治区、直辖市级调度中心（简称网调），省、自治区、直辖市级调度中心（简称省调），省辖市级调度中心（简称地调），县级调度中心（简称县调）。

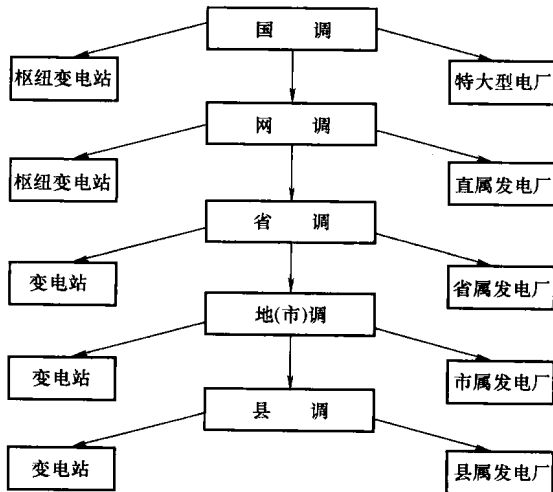


图 1-4 电网分层控制示意

#### 1. 国调

国家调度中心通过计算机数据通信网与各大区电网控制中心相连，协调、确定大区电网间的联络线潮流和运行方式，监视、统计和分析全国电网运行情况，并根据系统运行情况对所辖枢纽变电、换流站和特大型电厂进行监视控制。其主要任务包括：

(1) 在线收集各大区电网和有关省网的信息，监视大区电网的重要监测点工况及全国电网运行概况，并作统计分析和生产报表；



(2) 进行大区互联系统的潮流, 稳定、短路电流及经济运行计算, 通过计算机数据通信校核计算结果的正确性, 并向下传达;

(3) 处理有关信息, 参与电网规划及各种技术经济指标制订和审查, 作中期、长期安全经济运行分析。

## 2. 网调 (大区级调度)

网调按统一调度、分级管理的原则, 负责跨省大电网的超高压线路的安全运行, 并按规定的发用电计划及监控原则进行管理, 提高电能质量和运行水平。具体任务包括:

(1) 实现电网的数据收集和监控、经济调度以及有实用效益的安全分析;

(2) 进行负荷预计, 制订开停机计划和水火电经济调度的日分配计划, 闭环或开环地指导自动发电控制;

(3) 省(市)间和有关大区电网的供/受电量计划编制和分析;

(4) 进行潮流、稳定、短路电流及离线或在线的经济运行分析计算, 通过计算机数据通信校核各种分析计算结果的正确性并上报、下传;

(5) 进行大区电网继电保护定值计算及其调整试验;

(6) 大区电网中系统性事故的处理;

(7) 大区电网系统性的检修计划安排;

(8) 统计、报表及其他业务。

## 3. 省调

省级调度按统一调度、分级管理的原则, 负责省内电网的安全运行监控、操作、事故处理和无功/电压调整, 并按照规定的发电计划及监控原则进行管理, 提高电能质量和运行水平。其具体任务包括:

(1) 实现电网的数据收集和监控、经济调度以及有实用效益的安全分析;

(2) 进行负荷预测, 负责省网的安全运行, 编制省网的运行方式, 制订开停机计划、水火电经济调度的日分配计划和设备检修计划并下发, 闭环或开环地指导自动发电控制;

(3) 地区间和有关省网的供/受电量计划的编制和分析;

(4) 进行潮流、稳定、短路电流及离线或在线的经济运行分析计算, 通过计算机数据通信校核各种分析计算结果的正确性并上报、下传。

## 4. 地调

负责区内运行监视, 遥控、遥调操作, 事故处理和无功/电压调整, 与省调和县调交换实时信息。负责所辖地区的用电负荷管理及负荷控制。

## 5. 县调

县级调度主要监控 110kV 及以下农村电网的运行, 其主要任务有以下两点:

(1) 指挥系统的运行和倒闸操作;

(2) 充分发挥本系统的发供电设备能力, 保证系统的安全运行和对用户连续供电。

## 三、调度原则

随着我国社会经济的发展 and 文化的进步, 我国的电网调度取得了前所未有的发展, 以《中华人民共和国电力法》(简称《电力法》) 和《电网调度管理条例》的发布施行为标志, 我国的电网调度进入了依法调度的新时期。我国电网调度的基本原则是统一调度、分级管理、分层控制。