

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI XITONG YUANDONG

电力系统远动

(第二版)

四川大学 柳永智 刘晓川 编著



中国电力出版社

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

电与电能	丁坚勇
电工电子学	李海
电路	唐巍
电路(少学时)	张长富
电力电子技术	石新春等
电力电子技术	李先允
电气工程概论	熊信银
电气信息技术基础	夏安邦
电气设备绝缘试验与检测	李卫国等
电力系统基础(第二版)	杨以涵
电力系统分析基础	韦钢
电力系统稳态分析(第三版)	陈珩等
电力系统暂态分析(第三版)	李光琦
电力系统仿真技术与实验	孙元章
电力系统电磁兼容技术	李景禄
电力系统自动控制与装置	李啸聰
电力系统控制与电网调度自动化	王士政
电力系统继电保护原理(第四版)	贺家李
输变电系统及其保护控制	朱永利
电力系统规划	程浩忠
电力系统远动(第二版)	柳永智等
电力专业英语基础	冯俊宝
农村电力网规划	朴在林
电力工程基础	温步瀛
工厂供电	刘学军
高电压技术(第二版)	赵智大
电力系统接地技术	杜松怀
电力法	周凤翱

ISBN 7-5083-4836-2



9 787508 348360 >

定价: 23.10 元

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI XITONG YUANDONG

电力系统远动

(第二版)

四川大学 柳永智 刘晓川 编著
西安交通大学 盛寿麟 主审



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书主要阐述电力系统远动的基本原理和实用技术。全书共分九章，主要内容
包括：电力系统远动概况，远动信息传输规约，远动信息的信道编译码，远动信息
的时序及同步，远动信息的信源编码，电量变送器，远动信息传输的基本原理，远
动系统的组成及工作原理，电网调度自动化系统。

本书可以作为高等学校电气工程及其自动化专业、电力系统及其自动化方向的
教材，也可作为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

电力系统远动/柳永智, 刘晓川编著. —2 版. —北
京: 中国电力出版社, 2006

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 7-5083-4836-2

I. 电... II. ①柳... ②刘... III. 电力系统运行—
远动技术—高等学校—教材 IV. TM732

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 114952 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

2003 年 1 月第一版

*

2006 年 10 月第二版 2006 年 10 月北京第五次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 395 千字
印数 12001—15000 册 定价 23.10 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

本书是根据高等学校电力工程类专业教学指导委员会制定的教学大纲编写的。全书共分九章。第一章介绍电力系统远动的功能、远动信息的内容及传输、远动系统的组成和调度自动化系统的组成。第二章介绍远动信息传输系统、串行通信及传输控制规程、远动信息的循环式传输规约和问答式传输规约。第三章介绍远动信息的信道编译码,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码方法。第四章介绍远动信息的时序、帧同步和位同步原理及远动装置中如何实现同步。第五章介绍遥信信息、遥测量、脉冲量的采集及处理,遥控和遥调的实现原理及方法。第六章介绍传统电量变送器和交流采样的原理及实现方法。第七章介绍远动信息的传输,包括二进制移频键控、移相键控及常用远动信道。第八章介绍远动系统,包括 RTU 的软、硬件设计和主站的设计,还介绍了变电站自动化系统的功能及结构。第九章介绍电网调度自动化系统。

本书的第五章、第六章和第八章的第 1~4 节由四川大学刘晓川编写,其余内容由四川大学柳永智编写,并负责统稿。全书由西安交通大学盛寿麟教授主审,审稿中对本书的内容提出了许多宝贵意见,在此对盛寿麟教授的支持和帮助表示衷心的感谢。

在编写本书的过程中,曾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。

本书可以作为高等学校电气工程及其自动化专业、电力系统及其自动化方向的教材,也可作为从事电网调度自动化工作人员的参考书。

限于作者水平,书中难免有不妥与错误之处,恳请读者批评指正。

作 者

2006 年 8 月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 电力系统远动的功能	1
第二节 远动信息及传输模式	2
第三节 远动系统	5
第四节 调度自动化系统	7
第二章 远动信息传输规约	11
第一节 远动信息传输系统	11
第二节 串行通信及传输控制规程	13
第三节 远动信息的循环式传输规约	15
第四节 远动信息的问答式传输规约	20
第三章 远动信息的信道编译码	33
第一节 抗干扰编码的基本原理	33
第二节 奇偶校验码	36
第三节 循环码的编译码原理	38
第四节 循环码的检错及纠错能力	43
第五节 系统循环码的编译码电路	46
第六节 系统循环码的编译码算法	49
第七节 远动信息的CRC校验	55
第四章 远动信息的时序及同步	60
第一节 远动信息的时序	60
第二节 帧同步	62
第三节 位同步	63
第四节 同步的性能	67
第五章 远动信息的信源编码	69
第一节 遥信信息的采集和处理	69
第二节 遥测量的采集	77
第三节 遥测信息的处理	92
第四节 脉冲量的采集和处理	97
第五节 遥控和遥调	102
第六章 电量变送器	113
第一节 交流电流变送器和交流电压变送器	113
第二节 功率变送器	116
第三节 交流采样原理及算法	124

第四节	被测电量的交流采样	133
第五节	电量变送器的主要性能指标	139
第七章	远动信息的传输	142
第一节	数字通信	142
第二节	数字调制与解调	144
第三节	二进制移频键控	152
第四节	移相键控	158
第五节	常用远动信道	164
第八章	远动系统	171
第一节	实时系统的中断管理	171
第二节	远动终端的硬件结构	178
第三节	远动终端的软件结构	195
第四节	系统复位及故障自检	204
第五节	远动系统主站	208
第六节	任务管理	211
第七节	变电站自动化系统	217
第九章	电网调度自动化系统	225
第一节	计算机网络基础	225
第二节	电网调度自动化系统	230
第三节	电网调度自动化系统的软件模块	238
第四节	前置机工作站	244
第五节	调度工作站	246
第六节	远动工作站	248
第七节	调度自动化系统的性能指标	249
参考文献		252

第一章 概 述

现代生活中有许许多多的大型工业生产系统,比如电力系统、石油系统、铁路系统等,组成大型工业生产系统的生产设备及生产部门多,且分散在相距甚远的广阔地区。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机构的统一指挥下协调工作。为此,调度机构要随时了解系统各部分在生产过程中的实际情况,并在此基础上作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,必须借助运动技术实现调度管理。

运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。运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。

第一节 电力系统运动的功能

远动(telecontrol)的含义是: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):对诸如告警情况、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控制的远程命令。

现代电力系统由发电厂、变电所、输电线路和用电设备等组成。它包括了发电、输电、配电和用电四个环节,即电能从生产到消费的全过程。电难于储存,因此在电能生产中,总是需要多少就生产多少,必须随时保证生产和消费之间的功率平衡。然而用电负荷由许多工厂的用电设备和千家万户的家用电器组成,这些设备的启停是随机的,使得电力系统的用电负荷时刻都在变化。为了使发电、供电等环节随时跟踪用电负荷的变化,并保证对用户的供电质量,同时提高电力系统运行的安全性和经济性,电力系统中除配备必要的自动装置外,还设有国家调度、大区网调、省级调度和地区调度等各级调度中心,由它们监视控制发电、输电和配电网的运行情况。

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,制定运行方式,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所的实时运行参数及状态,分析收集到的实时数据,作出决策,再对发电厂及变电所下达命令,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联系电话,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遥信功能,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,简称为远程监控。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 远动信息及传输模式

一、远动信息内容

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。

遥测信息传送发电厂、变电所的各种运行参数,它分为电量和非电量两类。电量包括母线电压、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。非电量包括发电机机内温度以及水电厂的水库水位等。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 $0\sim 5\text{V}$ 或 $0\sim 10\text{mA}$ 的直流信号后送入远动装置。也可以把实测的交流信号变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。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。对于非电量,只能借助其他传感设备(如温度传感器、水位传感器),将它转换成规定范围内的直流信号或数字量后送入远动装置,后者称为外接数字量。

遥信信息包括发电厂、变电所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、变电所向调度中心传送,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。

遥控信息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。

遥调信息传送改变运行设备参数的命令，如改变发电机有功出力 and 励磁电流的设定值，改变变压器分接头的位置等。

遥控信息和遥调信息从调度中心向发电厂、变电所传送，也可以从上级调度中心通过下级调度中心转送，称它们为下行信息。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，调节发电机出力的自动发电控制（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。

二、远动信息的传输模式

远动信息的传输可以采用循环传输模式或问答传输模式。

循环数字传输模式也称 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，也不要求收端给以回答。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。

问答传输模式也称 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，对信道质量的要求较高，且必须保证有上下行信道。

三、远动信息的编码

远动信息在传输前，必须按有关规约的规定，把远动信息变换成各种信息字或各种报文。这种变换工作通常称作远动信息的编码，编码工作由远动装置完成。

采用循环传输模式时，远动信息的编码要遵守循环传输规约的规定。我国原电力部颁发的循环式传输规约的信息字格式见图 1-1。按规约规定，由远动信息产生的任何信息字都由 48

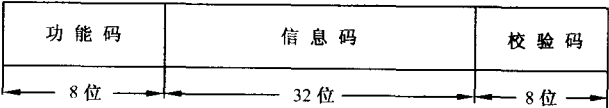


图 1-1 循环式传输规约的信息字格式

位二进制数构成，即所有的信息字位数相同。其中前 8 位是功能码，它有 2^8 种不同取值，用来区分代表不同信息内容的各种信息字，可以把它看作信息字的代号。最后 8 位是校验码，采用 CRC（Cyclic Redundancy Check）校验。校验码的生成规则是：在信息字的前 40 位（功能码和信息码）后面添加 8 个零，再模二除以生成多项式 $g(x) = x^8 + x^2 + x + 1$ ，将所得余式取非之后，作为 8 位校验码。校验码是信息字中用于检错和纠错的部分，它的作用是提高信息字在传输过程中抗信道干扰的能力。信息码用来表示信息内容，它可以是遥测信息中模拟量对应的 A/D 转换值、电能量的脉冲计数值、系统频率值对应的 BCD 码等，也可以是遥信对象的状态，还可以是遥控信息中控制对象的合/分状态及开关序号或者是遥调信息中的调整对象号及设定值……。信息内容究竟属于哪一种值，可根据功能码的取值范围进行区分。

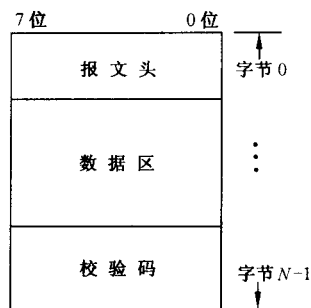


图 1-2 问答式传输
规约的报文格式

问答式传输规约中的报文 (Message) 格式见图 1-2。报文头通常有 3~4 个字节, 它指出进行问答的双方中 RTU 的地址 (报文中识别其来源或目的地的部分); 报文所属的类型; 报文中数据区的字节数。数据区表示报文要传送的信息内容, 它的字节数和字节中各位的含义随报文类型的不同而不同, 且数据区的字节数是多少, 由报文头中的有关字节指出。校验码按照规约给定的某种编码规则, 用报文头和数据区的字节运算得到。它可以是一个字节的奇偶校验码, 也可以是一个或两个字节的 CRC 校验码。问答式传输规约的报文格式与循环式传输规约的信息字格式比较, 最明显的差别是, 问答式传输规约中, 不同类型的报文,

报文的总字节数不同, 即报文的长度不同, 且报文长度的变化总是按字节增减, 即八位八位地增加或减少。

四、常用远动信道

信道是信号传输时经过的通道。传输远动信号的通道称为远动信道。我国常用的远动信道有专用有线信道、复用电力线载波信道、微波信道、光纤信道、无线电信道等。信道质量的好坏直接影响信号传输的可靠性。

采用专用有线信道时, 由远动装置产生的远动信号, 以直流电的幅值、极性或交流电的频率在架空明线或专用电缆中传送。这种信道常用作近距离传输。

电力线载波信道是电力系统中应用较广泛的信道形式。当远动信号与载波电话复用电力线载波信道时, 通常规定载波电话占用 0.3~2.3kHz (或 0.3~2.0kHz) 音频段, 远动信号占用 2.7~3.4kHz (或 2.4~3.4kHz) 的上音频段。由远动装置产生的用二进制数字序列表示的远动信号, 经调制器转换成上音频段内的数字调频信号后, 进入电力载波机完成频率搬移, 再经电力线传输。收端载波机将接收到的信号复原为上音频信号, 再由解调器还原出用二进制数字序列表示的远动信号。由于电力线载波信道直接利用电力线作信道, 覆盖各个电厂和变电所等电业部门, 不另外增加线路投资, 且结构坚固, 所以得到广泛应用。

微波信道是用频率为 300MHz~300GHz 的无线电波传输信号。由于微波是直线传播, 传输距离一般为 30~50km, 所以在远距离传输时, 要设立中继站。微波信道的优点是频带宽, 传输稳定, 方向性强, 保密性好。它在电力系统中的应用呈上升趋势。

信号在光纤信道中的传输过程是: 发端将电信号转变成光信号, 让光信号沿着光导纤维 (通常用光缆) 传输, 收端再将光信号还原为电信号。光导纤维传输信号的工作频率高, 光纤信道具有信道容量大, 衰减小, 不受外界电磁场干扰, 误码率低等优点, 它是性能比较好的一种信道。

无线电信道由发射机、发射天线、自由空间、接收天线和接收机组成。在无线电信道中, 信号以电磁波在自由空间中传输。因为它利用自由空间传输, 不需要架设通信线路, 因而可以节约大量金属材料并减少维护人员的工作量。这种信道在地方电力系统中应用较多。

除上述几种信道外, 卫星通信也在电力系统中得到应用。

第三节 远 动 系 统

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的采集、处理、传输和显示、执行等全部的设备与功能。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。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 缩写成 RTU)。图 1-3 是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,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,经返送校核正确后(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。

二、远动系统配置的基本模式

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。常用的远动配置有下面一些类型。

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,见图 1-4 (a)。

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,见图 1-4 (b)。

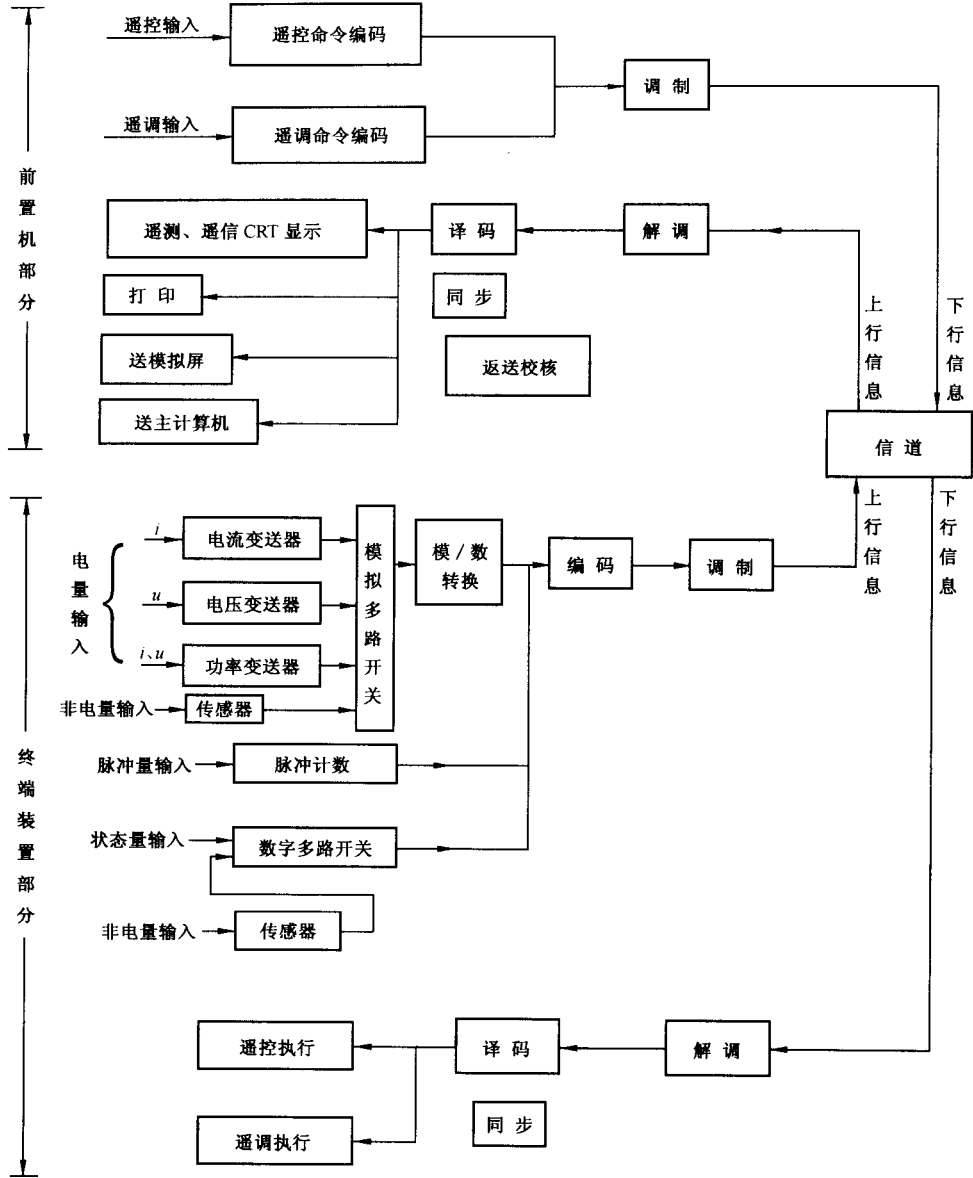


图 1-3 远动系统的功能结构框图

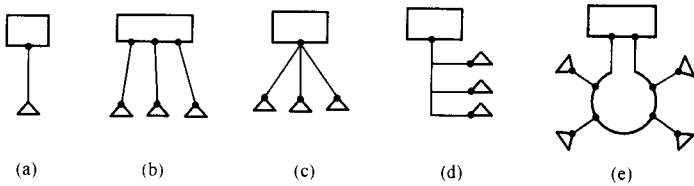


图 1-4 远动配置的类型

(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

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，见图 1-4 (c)。

4. 多点共线配置 (multi-partyline configuration)

控制中心或主站通过一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，见图 1-4 (d)。

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，见图 1-4 (e)。

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。

第四节 调度自动化系统

一、调度自动化系统的功能

远动技术在电力系统中的应用，使电力系统的调度工作进入自动化阶段。当远动装置从布线逻辑的全硬件装置发展到计算机化的微机远动装置后，特别是在实现调度自动化的工作中，对计算机技术的广泛应用，便出现了电力系统的调度自动化系统。调度自动化系统由远动子系统、计算机子系统和人机联系子系统组成，见图 1-5。远动子系统负责收集各发电厂、变电所的各种信息，将其传送到调度中心，完成对信息的预处理。同时也可将调度中心的控制命令传送到发电厂或变电所。计算机子系统是以计算机为基础的信息处理系统，它对远动子系统收集到的基础数据作进一步加工处理、分析、计算，为调度人员监视、分析系统运行状态以及对系统运行进行控制提供依据。人机联系子系统包括屏幕显示器、打印机、键盘、鼠标、调度模拟屏等设备，用于向调度人员显示和输出信息，也可以输入调度人员的控制命令。

调度自动化系统按其功能的不同，划分为数据采集和监控系统 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisi-

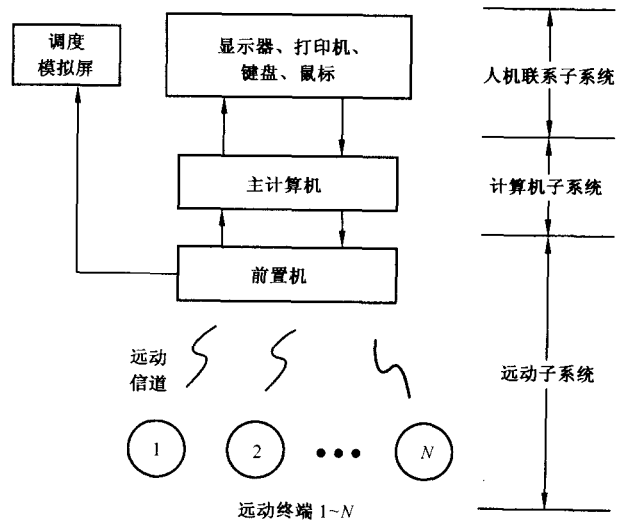


图 1-5 调度自动化系统的组成

tion) 和能量管理系统 EMS (Energy Management System)。

SCADA 系统是完成对广阔地区的生产过程进行数据采集、监视和控制的系统,实现对系统的安全监控。它是完成信息收集、处理和控制功能的自动化系统,它通过人机联系子系统的屏幕显示(CRT)和调度模拟屏对电网运行进行在线的安全监视,并有越限告警、记录、打印制表、事故追忆、本系统的自检、远动通道状态的监测等功能,对电网中重要开关进行遥控,对有载调压变压器分接头、调相机、静电电容器等无功功率补偿设备进行自动调节或投切,实现电压监控。依靠 SCADA 系统,调度员可以掌握系统当前的运行工况,实现遥控操作,完成记录、统计、制表等调度日常工作。SCADA 系统的发展,把原来独立存在的频率和有功功率自动调节系统,以 AGC/EDC 软件包的形式和 SCADA 系统结合,使 SCADA 系统增加了自动发电控制(AGC)和经济调度(EDC)功能。

随着电力系统规模的不断扩大,电网结构也更加复杂,系统运行的安全性尤为重要。为了保证电力系统能够安全运行,调度自动化系统不能仅限于对系统正常运行状态下的安全监控,还应该依靠计算机子系统,对系统在实时状态下以及预测的未来状态下的安全水平进行分析和判断,能在正常和事故情况下及时而正确地作出控制决策。这就是电力系统的安全分析(SA)工作。安全分析和对策是在实现网络拓扑结构分析和状态估计的基础上,进行在线潮流计算,目前主要是静态的安全分析。在 SCADA 系统中发展了网络拓扑、状态估计、负荷预测、在线潮流、安全分析、在线调度员培训模拟(DTS)等电力系统高级应用软件(PAS)后,调度自动化系统从 SCADA 系统升级为能量管理系统 EMS。使调度工作从经验型调度上升到分析型调度,提高了电力系统运行的质量、安全性和经济性。

在调度自动化系统形成的前期,主站计算机大多采用双前置机、双后台机的配置方式,称集中式调度自动化系统。这种系统主要着眼于为调度员提供方便,是面向调度员的。当计算机网络技术应用到调度自动化系统之后,主站的计算机从集中式发展为分布式的网络结构,出现了分布式的调度自动化系统。使远动子系统采集到的实时数据和计算机子系统对数据的处理结果,不仅仅供调度室使用,还可以通过网络传送到调度中心的各业务部门,甚至全电力公司,扩大了实时信息的使用范围。

二、调度自动化系统的分层控制

由于电力系统规模大、地域分布辽阔,不可能由一个调度中心对全系统进行集中控制,必须按系统的实际情况,实行分级的控制和管理。我国电力系统的调度控制机构分为五个级别:国家调度,大区网调,省级调度,地区调度和县级调度。由此形成了五级调度自动化系统,各级担负不同的功能。

国家调度的调度自动化系统为 EMS 系统。国家调度通过计算机数据通信与各大区电网控制中心相连,协调、确定大区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。具体功能是:

(1) 在线收集各大区网和有关省网的信息,监视大区电网的重要测点工况及全国电网运行概况,并作统计分析、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的正确性,并向下传送。

(3) 处理所收集的有关信息,作中长期安全、经济运行分析,并提出对策。

大区网调的调度自动化系统也是 EMS 系统。大区网调按统一调度,分级管理原则,负

责超高压网的安全运行，并按规定的发用电计划及监控原则进行管理，提高电能质量和经济运行水平。具体功能有：

- (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、制定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）间和有关大区网的供受电量的计划编制和分析。
- (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的正确性，并上报和下传。

省级调度的调度自动化系统负责省网的安全运行，并按规定的发电计划及监控原则进行管理，提高电能质量和经济运行水平。独立省网和大区网内作为一个独立控制区域，与相邻省网实行联络线控制的省级调度，其功能要求是：

- (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、制定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) 地区间和有关省网的供受电量的计划编制和分析。
- (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的正确性，上报和下传并提供给运行方式部门作为计划编制依据。

由大区网调统一调度的省级调度，若不存在与相邻省网的联络线控制问题，则除离线的经济调度外，不需要自动发电控制功能，其余功能与上面所述的独立省网的功能相同。

地区调度自动化系统一般为 SCADA 系统，对容量大、地域广、站点多且分散的地区调度，除少量直接监控站点外，宜采用由若干个集控站将周围站点信息汇集、处理后送地区调度的方式，避免信息过于集中，处理困难，并有利于节省通道，简化远动制式，促进无人站的实施。地区调度自动化系统的具体功能是：

- (1) 实现所辖地区的安全监控。
- (2) 对所辖有关站点（直接站点和集控站点）的开关远方操作、变压器分接头的调节和电力电容器的投切等。
- (3) 用电负荷管理和自动投切。

县级调度是近年来随着农村电气化的发展而建立起来的。县级电网正在逐步改进和完善，初步建立的通信系统为实现调度自动化提供了基本条件。根据县级电网供电量和供电方式的差别，以及按五年规划末的最大供电负荷和电网结构形式，县级电网调度所可以分为超大型、大型、中型、小型四个等级。等级划分必须同时具备县网容量和厂站数两个条件。县级调度自动化系统的基本功能是：数据采集、安全监控、功率总加、电能量总加、汉字制表打印、汉字 CRT 显示及操作、模拟屏显示、数据转发。负荷管理对县级调度较为重要，应在调度自动化系统中实现。

网调、省级调度、地区调度和县级调度都必须具有向上级调度传送本地区信息或转送上级调度所辖厂、站有关信息的功能。

调度自动化系统采用分层控制，大大减少了信息传输量，从而减轻了上级调度中心的负担，使系统的响应速度和可靠性提高，设备的投资降低，系统的可扩展性更好。

三、调度自动化系统基本指标

调度自动化系统按功能划分为 SCADA 系统和 EMS 系统。本书主要介绍电力系统远动,所以对调度自动化系统中的 AGC/EDC、SA 等 PAS 功能不作介绍,书中后续章节所提到的调度自动化系统,均指完成安全监控的 SCADA 系统,即地调、县调大量使用的调度自动化系统。

调度自动化系统是保证供电质量,使电网安全经济运行的重要手段。调度自动化系统只有达到实用水平,并成为生产力,才能充分发挥其效益。SCADA 系统的基本指标包括以下内容:测量量的综合误差及遥测合格率;开关量的遥信正确率,遥控遥调正确率,站间事件顺序记录分辨率;屏幕显示的分辨率;通信道的传输速率,频谱,工作方式,通信规约,误码率;远动终端的工作方式,遥测、遥信、遥控、遥调容量,站内事件顺序记录分辨率,A/D、D/A 转换误差;模拟屏接口方式;系统响应的时间指标,如开关变位传至主站的时间、遥测全系统扫描时间、画面响应时间、遥控遥调命令响应时间等;系统可用率及平均无故障运行时间;地区负荷总加完成率;直接调度的变电所远动装置安装投运率;不停电电源可维持供电的时间等。