

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



DIANLI XITONG YUANDONG
YU DIAODU ZIDONGHUA

电力系统远动 与调度自动化

孟祥萍 主 编
李林琳 邢顺涛 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

Electrical Engineering

电力系统及其自动化专业系列教材

PLAQUE DE COUVERTURE
DES LIVRES DE LA SÉRIE

电力系统运动 与调度自动化

王德明 主编

（北京）中国电力出版社



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

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



DIANLI XITONG YUANDONG
YU DIAODU ZIDONGHUA

电力系统远动 与调度自动化

主 编 孟祥萍
副主编 李林琳 邢顺涛
编 写 纪 秀
主 审 盛寿麟



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。

全书共分为六章，主要内容包括绪论、数据采集与处理、数据通信基础及信息传输规约、变电站自动化、配电自动化和电网调度自动化。每章末均附有习题。本书涵盖了电力系统远动及调度自动化各个主要方面的基本概念和原理，以介绍基础知识为主，使读者能够对电力系统远动及调度自动化有较为完整、系统的了解和认识。

本书主要作为普通高等学校电气信息类相关专业的本科生教材，也可作为高职高专及函授学生的参考教材，并可供从事电力系统运行、设计和科研工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统远动与调度自动化/孟祥萍主编. —北京: 中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 6052 - 2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 138537 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

*

2007 年 9 月第一版 2007 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 196 千字

定价 13.60 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

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。本书为新编教材。

电力系统运动与调度自动化技术是电力系统现代化调度和管理的主要技术手段之一，用以保证电力系统的安全、优质和经济运行。本书系统地介绍了运动与调度自动化的基本原理和主要功能。

全书内容共分六章。第一章介绍电力系统运动的功能、运动信息及传输模式、运动系统和调度自动化系统的关系以及调度自动化系统的功能。第二章介绍遥测量的采集与处理（包括各类电量变送器的工作原理、电力系统运动数据预处理）及遥信量的采集。第三章介绍数据通信的基本概念、传输规约的分类、循环式传输规约、问答式传输规约、IEC 60870—5—101 传输规约和电力系统信息传输协议简介。第四章介绍变电站自动化概述、变电站自动化的基本功能、变电站自动化的系统结构和变电站自动化的通信技术。第五章介绍配电自动化及其相关概念和馈线自动化及其实现方式。第六章介绍我国电网调度自动化的发展及高级应用软件等内容。每章末还附有习题。

本书由长春工程学院孟祥萍主编，长春工程学院李林琳和邢顺涛为副主编。第一、六章由孟祥萍编写，第二~五章及习题由李林琳、邢顺涛共同编写，纪秀参加了第六章的编写。全书由西安交通大学盛寿麟教授主审，对本书的内容提出了许多宝贵意见，在此对他的支持和帮助表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中难免有不妥与疏漏之处，恳请读者批评指正。

作 者

2007年4月



目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 远动系统的概念	1
第二节 电网调度自动化概述	10
习题	18
第二章 数据采集与处理	19
第一节 遥测量的采集与处理	19
第二节 遥信量的采集	31
习题	32
第三章 数据通信基础及信息传输规约	33
第一节 数据通信的基本概念	33
第二节 传输规约的分类	37
第三节 循环式传输规约 (CDT)	44
第四节 问答式传输规约	53
第五节 IEC 60870—5—101 传输规约	57
第六节 电力系统信息传输规约简介	63
习题	70
第四章 变电站自动化	72
第一节 变电站自动化概述	72
第二节 变电站自动化的基本功能	76
第三节 变电站自动化的系统结构	81
第四节 变电站自动化的通信技术	83
习题	90
第五章 配电自动化	91
第一节 配电自动化概述	91
第二节 馈线自动化及其实现方式	96
习题	107
第六章 电网调度自动化	108
第一节 我国电网调度自动化的发展	108
第二节 电网调度自动化应用软件	110
习题	124
参考文献	125

第一章 绪 论

第一节 运动系统的基本概念

电力系统运动是为电力系统调度服务的远程监视与控制技术。运动技术起源于20世纪30年代,首先应用于铁路运输系统,40年代用于电力系统,50年代末在我国的电力系统中得到应用。现代的电力系统是一个在地域上分布辽阔而在电气上联成一体的大系统,由于电能难于储存且能源中心和负荷中心一般相距甚远,必须应用运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。运动技术是对分散在相距较远的生产单位及生产设备,为完成同一生产任务,服从一个调度机构指挥,收集信息、实现生产过程的监视与控制而产生的一门技术。它将各个发电厂、变电站的运行工况(包括开关状态、设备的运行参数等)转换成便于传输的信号形式,加上保护措施以防止传输过程中的外界干扰,经过调制后,由通信通道传送到调度端。在调度端经过反调制,如无干扰就还原为原来对应于发电厂、变电站工况的一些信号并显示出来,供给调度人员监视之用。调度端的各种调度命令也可以通过类似过程下发到发电厂和变电站,对设备进行各种参数修改、控制和调节。运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。

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。

一、电力系统运动的功能

所谓运动(Telecontrol)是指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(Telemetering);是指应用远程通信技术,传输被测变量的值。

遥信即远程指示;远程信号(Teleindication; Telesignalization)是指对如告警情况、开关位置或阀门位置这样的状态信息(开关信号)的远程监视。

根据受控设备的不同,远程控制可分为遥控和遥调。

遥控,又称远程命令(Telecommand),是应用远程通信技术使运行设备的状态产生变化,如对断路器的控制。

遥调,又称远程调节(Teleadjusting),是应用远程通信技术,完成对具有两个以上状态的运行设备的控制,如机组出力的调节、励磁电流的调节、有载调压变压器分接头的位置调节等。

由此可见,运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。所谓“四遥”是遥测、遥信、遥控、遥调技术的简称,是电力系统运动要完成的基本功能,所以,运动技术是“四遥”的结合。

二、远动信息的传输内容

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。

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值。

(1) 模拟量：电气设备的各种参量，如母线电压、电流、有功功率、无功功率等。它们经过各种变送器的转换变成统一规格的直流电压（如 $0\sim 5V$ ， $0\sim \pm 5V$ ）或直流电流（如 $0\sim 1mA$ ， $0\sim 10mA$ ）输入到远动设备，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、电能累加器和变压器分接头位置所反映的水位、系统频率、电气量的功率角，发（耗）电量以及变压器分接头位置等。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：电能量的测量是以脉冲的形式传送的，脉冲电能表将采集到的脉冲量传送给远动设备，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，SF₆ 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水工信息，雨量、气温等一些非电量，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，继电保护的动作状态，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“0”或“1”便可以表示出一个遥信对象的两种不同状态（断开或闭合）。遥信信息通常由运行设备的辅助触点提供。

遥测信息和遥信信息是上行信息。上行信息可以是发电厂、变电站向调度中心传送，也可以是从下级调度中心向上级调度中心转发的信息。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。第一次远动终端装置 RTU (Remote Terminal Unit) 收到主站来的遥控命令时并不执行，而是检查通道上送来的信息有无误码，控制对象是否正确，断路器的位置是否与遥控命令一致等。如果全部正确，则 RTU 将接收到的信息照原样送回主站。主站收到 RTU 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 收到正确遥控执行命令后就执行遥控命令，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 and 励磁电流的设定

值, 改变有载调压变压器分接头的位置, AGC 的设定点调节等。

发送的调节命令可以采取返送校核, 也可以不采取返送校核, 子站接收遥调命令后直接执行。

遥调命令有两种形式:

(1) 设定值形式。由调度端向厂站端发送控制被控对象的一个数值, 厂站端接收执行后并输出显示。一般传送一个数字量下去, 由执行元件去执行闭环调节。

(2) 升降命令形式。将调度端发送过来的升/降调节命令, 转换成升/降的步进信号, 用以调节变压器的分接头位置以及水电厂的闸门等。

遥控信息和遥调信息是下行信息。下行信息可以从调度中心向发电厂、变电站传送, 也可以是从上级调度中心通过下级调度中心转送的信息。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。远动信息的传输方式如图 1-1 所示。

调度中心与各场站之间的信息以数字形式传输。一个数据串表示一定的信息, 称为信息字。一般形式下, 若干个信息字组成一数据帧。在数据通信网络中, 若干数据帧组成信息报文, 在网络中传输时, 一个报文又可以分割成若干个报文分组, 依次传送。

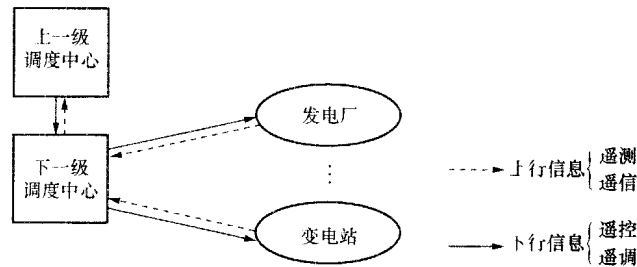


图 1-1 远动信息的传输方式

三、信息的传输模式

在电力系统中由于发电厂、变电站和调度所之间一般相距较远, 所以信息传送采用串行方式。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, 子站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, 一帧一帧地循环向主站传送。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。这种传输模式不论情况如何, 如用户数据毫无变化, 也照样不断地循环向主站发送数据, 因此在正常情况下信道的利用率不高且传输信息的有效率较低。

(2) 问答式传输模式也称 Polling 方式, 是调度端掌握通信的主动权, 由调度端主动地按顺序依次“调用”各厂站的信息; 作为厂站端, 仅在自己受到调度端的“召唤”时, 能够送出自己的信息。调度端可以按需要指定 RTU 发送某一帧或某种类型的远动数据, 回答信息串的长度是可变的; RTU 有问必答, 无问不答。

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，这就可大大压缩数据块的长度，从而提高数据传送的速度

四、通信方式

当前，在电力系统中应用的通信方式有电力线载波通信、微波通信、光纤通信、卫星通信等。

1. 电力线载波通信

电力线载波通信 (Power Line Carrier, PLC) 是将信息调制在高频载波信号上通过电力线进行传输，主要传输继电保护、数据采集与数据监控 (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA) 和语音通信所需的信息。

电力线载波通信的设备有在调度端安装的多路载波机 (称主站设备)、在变电站各 RTU 处安装的变电站载波机 (称子站设备) 和高频通道。高频通道主要由高频阻波器 (简称阻波器)、耦合电容器和结合滤波器组成。阻波器是用以阻止高频载波信号向不需要的方向传输的设备；耦合电容器的作用是将载波设备与线路上的高电压、操作过电压和雷击过电压隔开，以防止高电压进入通信设备，同时使高频信号能够顺利耦合到线路上；结合滤波器是与耦合电容器相配合将载波信号耦合到线路上去，并抑制干扰进入载波机的设备。电力线载波通信原理框图如图 1-2 所示。

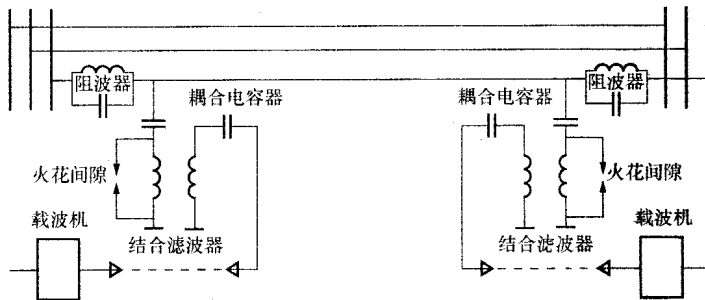


图 1-2 电力线载波通信原理框图

在发送端，将要传输的信息经调制器转换成上音频段内 (2.7~3.4kHz) 的数字调频信号后，进入电力载波机完成频率搬移，之后，将载波信号经耦合电容器和结合滤波器送入电力线传输。在接收端，通过耦合电容器和结合滤波器将调制信号从电力线上分离出来，载波机将接收到的信号复原为上音频信号，再经调制解调装置将信号提取出来，为防止高频信号进入变电站，还必须加装阻波器。由于电力线载波通信直接利用电力线作信道，覆盖各个电厂和变电站等电业部门，不另外增加线路投资，且结构坚固，所以得到广泛应用。

2. 微波通信

微波中继通信是一种重要的远距离通信方式，信息主要利用微波中继设备传送。利用微波传送信息时，先要把信息送入微波设备专用载波机，再由微波设备发出去，接收过程正好相反。它具有通信容量大、通信质量高等特点。微波是频率较高的无线电波，它除了具有无线电的一般性质外，由于它的波长很短，所以还具有自己的一些特点，如似光性。它在自由空间像光线一样自由传播，具有方向性。传播过程中遇到介质会发生反射和折射现象。这种通信方式是以直线传播的方式来发射电磁波，所以对环境要求较高，如有山峰和楼房阻挡就需要加中继站或架设铁塔避开。

3. 光纤通信

光纤通信是以光波作为信息载体,以光导纤维作为传输介质的先进通信手段。目前光纤通信技术已经成熟,并且已经在电力系统中广泛应用。

光纤通信系统由电端机、光端机、中继器、光缆等设备组成。电端机完成对信息源的处理,如多路复用和复接分接等;光端机的发送端内含有光源,它完成将电信号转化为光信号,并输入光纤传到远方;光端机的接收端内含有光检测器,它完成将来自光纤的光信号还原为电信号,并输入到电端机的接收端,对于光端机可以选用自愈式光端机,当光缆出现故障时,自愈式光端机可以自动选择路由,当故障消失后自动恢复;中继器完成将经过长距离传输后被衰减和畸变的光信号放大、整形和再生成一定强度后,继续传向远方。

按照光纤的种类来划分,光纤通信系统可分为以下两种。

- (1) 多模光纤通信系统,采用多模光纤,传输容量小,一般在 140Mb/s 以下。
- (2) 单模光纤通信系统,采用单模光纤,传输容量大,一般在 140Mb/s 以上。

在用调度自动化中的 RTU 和调度端通信时,应当选用质量稳定、传输速率高的单模光纤通信系统。光纤通信系统较其他通信方式的优势在于它对电磁干扰不敏感,这对于电力系统是尤为重要的。当故障过电压、雷电和开关变位时,有时会出现强大的电磁干扰,而光纤通信系统一般不会受这类干扰的影响,这样可以保证在故障情况下的正常通信。

光纤通信的最大特点是信道容量大、速率高,在一根光纤中可同时传输几百甚至上千路信号,可传输实时图像,而且抗干扰性好,通信质量高,使用持续时间长。在电力系统通信规划中,一般考虑将光纤通信系统作为主干网或者重要通道来使用。

除上述几种通信方式外,卫星通信也在电力系统中得到应用。

4. 卫星通信

卫星通信是利用位于同步卫星轨道的通信卫星作为中继站来转发或发射无线电信号,在地面站间进行通信。与其他通信方式(地面微波、无线扩频、光纤等)相比,卫星通信的优点是其与距离无关,不受地形环境和通信距离的限制;由于卫星通信的广播特性,通信覆盖面积大,可以非常经济地实现点对多点的连接;通信容量大;卫星信道属于无线恒参信道,通信质量高且稳定;卫星系统只管两端,不管中间,因此操作维护简便。

五、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,它包括对必须的过程信息的采集、处理、传输和显示、执行等全部的设备与功能。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 (Substation)。

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),它是受主站监视或受主站监视且控制的站。

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。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 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。

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量输入进行计数,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

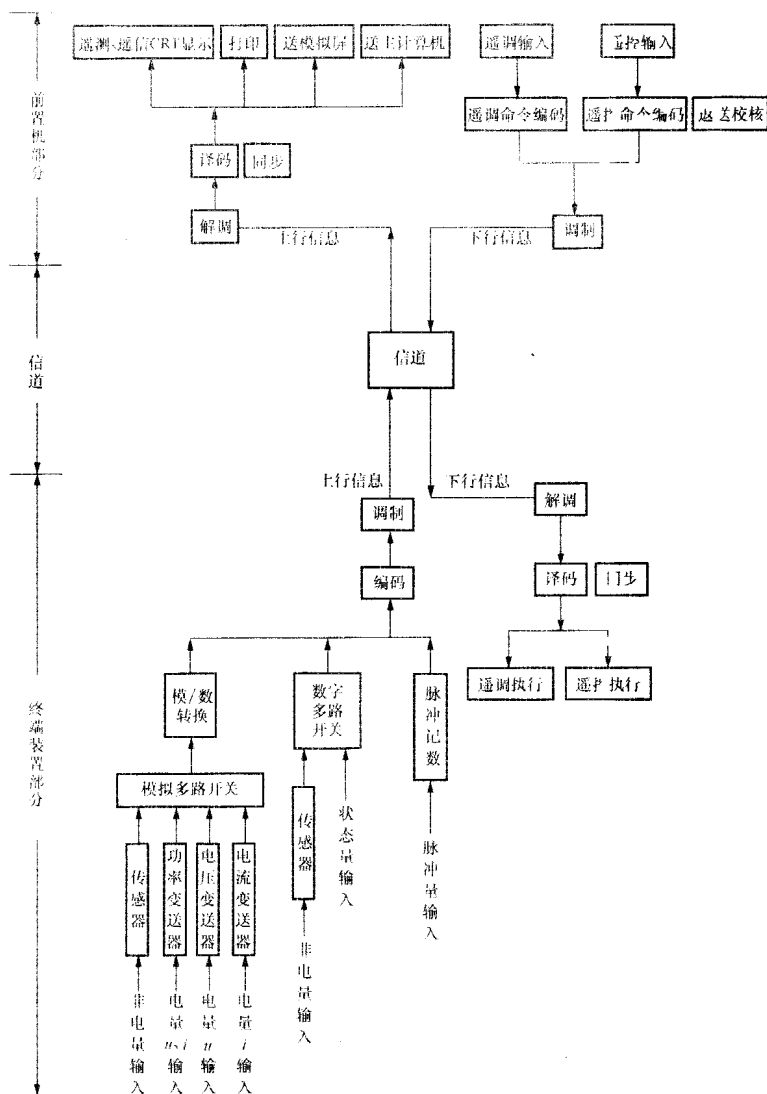


图 1-3 远动系统的功能结构框图

测信息字和遥信信息字，向前置机传送。

前置机是缓冲和处理输入或输出数据的处理机。它接收 RTU 送来的实时运动信息，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信信息字和遥调信息字向 RTU 传送。

RTU 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 通常采用一对 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。

六、RTU 的功能

远动终端装置 RTU 是电网监视和控制系统中安装在发电厂或变电站的一种远动装置, 它负责采集所在发电厂或变电站电力运行状态的模拟量和状态量, 监视并向调度中心传送这些模拟量和状态量, 执行调度中心发往所在发电厂或变电站的控制和调度命令。

RTU 的主要功能如下。

- (1) 采集数据量并向远方发送, 带有光电隔离。
- (2) 采集状态量并向远方发送, 带有光电隔离, 遥信变位优先传送。
- (3) 直接采集系统工频电量, 实现对电压、电流、有功、无功的测量并向远方发送, 可计算正反向电度量。
- (4) 采集脉冲电度量并向远方发送, 带有光电隔离。
- (5) 接收并执行遥控及返校。
- (6) 通道监视。
- (7) 接收并执行遥调。
- (8) 接收并执行校时命令 (包括 GPS 对时功能选配)。
- (9) 与两个及两个以上的主站通信。
- (10) 采集事件顺序记录并向远方发送。
- (11) 提供若干种通信规约, 每个接口可以根据远方/当地设置传输不同规约的数据。
- (12) 接受远方命令, 选择发送各类信息。
- (13) 可转发多个子站远动信息。
- (14) 当地显示功能, 当地接口有隔离器。
- (15) 支持与扩频、微波、卫星、载波等设备的通信。
- (16) 选配及多规约同时运行, 如 DL451—1991 CDT 规约, 同时应支持 Polling 规约和其他国际标准规约 (如 DNP3.0、SC1801、101 规约)。
- (17) 可通过电信网和电力系统通道进行远方设置。

七、远动网络配置的基本模式

远动系统中主站与子站之间通过信道传送远动信息。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, 常用的远动配置有如下几种基本模式, 如图 1-4 所示。

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, 如图 1-4 (a) 所示, 这是一种最基本的一对一方式。

2. 多路点对点配置 (Multiple Point-to-Point Configuration)

主站与若干子站通过各自的链路相连, 如图 1-4 (b) 所示, 在这种配置中, 主站能同时与各个子站交换数据。

3. 多点星形配置 (Multipoint-Star Configuration)

主站与若干子站相连。在这种配置中, 任何时刻只允许一个子站向主站传送数据。主站

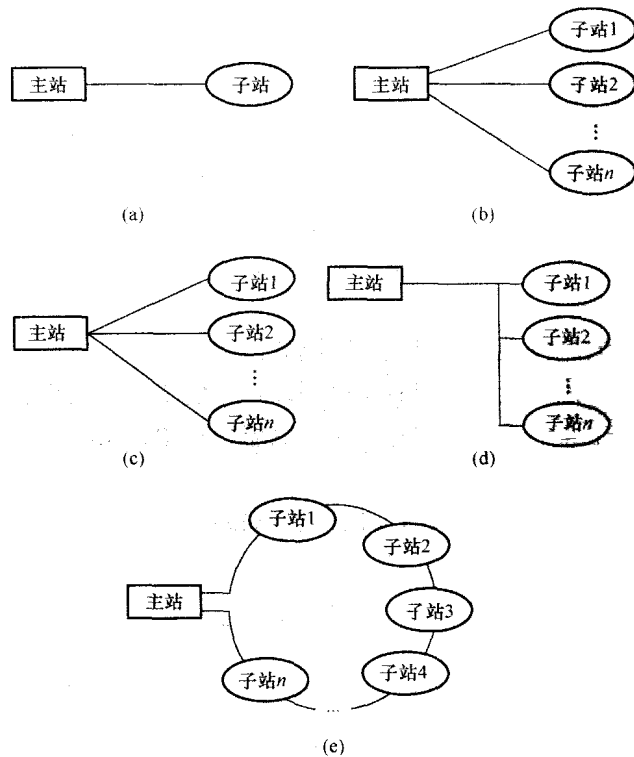


图 1-4 远动配置的模式

- (a) 点对点配置; (b) 多路点对点配置; (c) 多点星形配置;
(d) 多点共线配置; (e) 多点环形配置

可选择一个或若干个子站传送数据, 也可向所有子站同时传送全局性的报文, 如图 1-4 (c) 所示。

4. 多点共线配置 (Multi-Party Line Configuration)

主站通过一公共链路与若干子站相连。在这种配置中, 同一时刻只允许一个子站向主站发送数据, 主站可选择一个或若干个子站传送数据, 也可向所有子站同时传送全局性的报文, 如图 1-4 (d) 所示。

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不同的链路与每一子站通信, 所有站之间的通信链路形成一个环形。在这种配置中, 主站可用两条不同的路径与各个子站通信, 因此当信道在某处发生故障时, 主站与子站之间的通信仍可正常进行, 通信的可靠性得到了提高, 如图 1-4 (e) 所示。

将以上几种基本配置组合起来, 可以构成各种混合的配置。

监控系统是为调度服务的, 为了与调度的分层管理方式相适应, 远动系统亦按分层方式配置。各层根据所分配的职责实现数据采集、传送等功能。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。

八、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、通信等数据有差错或不及时, 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

带来严重后果。对生产系统运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。

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。

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 。(简称误码率) 来衡量码元传输的可靠性。它是指接收错误的码元数在传送码元总数中所占的比例, 即误码率是指码元在传输系统中被传错的概率, 用来衡量码元传输的可靠性。

影响数据传输可靠性的另一因素是信息被丢失。对此, 通常用信息丢失率和信息丢失漏检率来衡量。信息丢失率 R_L 表达式为

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

信息丢失而未被检出的称为信息丢失漏检率 R_{RL} , 其表达式为

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

残留差错率是指未检出的差错报文数或字符数与发送报文总数或字符总数之比。IEC/TC-57 从残留差错率出发, 把远动系统在允许的残留差错率情况下, 将数据从源站传送到目的站的能力, 称为数据完整性 (Data Integrity), 并以此作为衡量数据传输可靠性的一种尺度。残留差错率与信道误码率 P 和抗干扰编码的具体措施有关。IEC/TC-57 按 $P_e < 10^{-4}$ 时的残留差错率, 将数据完整性级别分为三个等级, 见表 1-1。

表 1-1 数据完整性级别

数据完整性级别	残留差错率
11	$\leq 10^{-6}$
12	$\leq 10^{-10}$
13	$\leq 10^{-14}$

残留差错率与信道误码率 $P_e < 10^{-4}$ 时的残留差错率, 将数据完整性级别分为三个等级, 见表 1-1。

2. 准确度

调度控制中心所采集的数据应根据实际需要满足一定的准确度要求。远动系统中传送的各种量值, 要经过各种环节, 难免会引入误差。以遥测为例, 经变送器、模/数转换等一直

到显示要经过不少环节, 对遥测的总准确度会有影响。总准确度是指信息经变换 (模数变换、数模变换等) 和处理等各种环节后, 信息源和受信者之间数值的偏差。

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 1-2。

表 1-2 总准确度级别

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

3. 实时性

远动系统对远动信息传输的实时性要求,用容许的“总传送时间”来表示。总传送时间是指从发送端的事件发生开始,到接收端呈现出相应的信息为止的总延迟时间,包括发送端外围输入设备(如中间继电器、变送器)和接收端相应的外围输出设备(如信号灯、显示仪表)产生的延迟时间。

对于遥测,按其重要性和变动的快慢,可将容许的总传送时间分为几个等级。例如,对于重要的、变动快的遥测量可定为3s,对于不重要的、变动较慢的遥测量可定为10s或更长些。对于遥信,因反映的信息可能与系统事故有关,因而开关位置状态改变(即变位)的总传送时间一般要求不大于3s。

对于遥控和遥调命令,总传送时间一般允许不大于4s。

第二节 电网调度自动化概述

电力系统是由发、输、配、用电等设备和技術组成的一个将一次能源转换为电能,并输送和分配到客户的统一系统。由于电能不易大量储存,而客户的用电是随机的,其生产和消费过程是在同一瞬间完成的,要时刻保持供需平衡,也就是说发、输、配电各环节和用电是同步进行的。其次,现代的电力系统是一个在地域上分布辽阔而在电气上联成一体的大系统。电力工业生产的特点决定了发供电生产运行必须实行集中统一调度管理。

调度系统包括各级调度机构、电网内的变电站和发电厂的运行值班单位。这里变电站泛指变电站、换流站、变频站和开关站。发电厂包括火力发电厂、水力发电厂(站)、核电厂以及利用其他各种能源进行电力生产的发电厂。

为了合理监视、控制和协调日益扩大的电力系统的运行状态,使发、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。调度中心是对电力系统中发电厂、变电站、线路等进行调度控制的中心。

一、我国的五级调度

我国电力调度机构分为国家电力调度中心(国调)、大区电网调度中心(网调)、省电力调度中心(省调)、地区电力调度(地调)中心和县电力调度(县调)中心五个级别(如图1-5所示)。各级调度间实现分层控制,信息逐级传送,实现计算机数据通信,即把整个电力系统的监视和控制功能分配给不同级别的调度控制中心去完成,各级调度控制中心将有关信息报送上一级,以接受上一级的管理;按照电力系统“统一调度,分级管理”的原则,各级调度有其明确的管理范围及主要职责。

1. 国家级调度

国家调度(国调)的调度自动化系统为EMS(Energy Management System)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。具体功能包括以下几点。

(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。

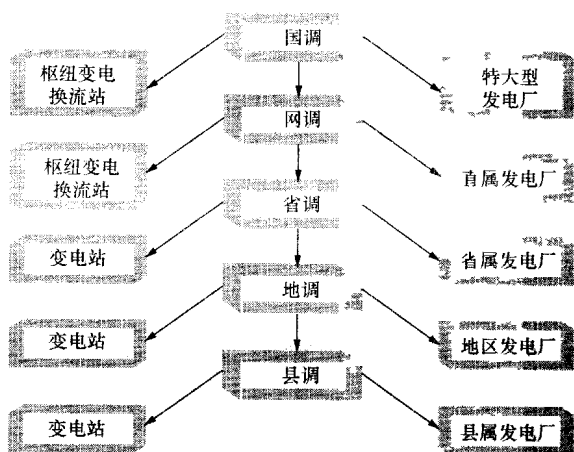


图 1-5 电力系统分层控制示意图

(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。

2. 大区级调度

大区网调（网调）负责超高压网的安全运行，负责电网的安全、稳定、优质和经济运行，执行与其他大区电网的互供电协议，协调各省、地区调度中心的运行工作，并重点管理区域性电网的骨干网架及跨省联络线和必要的骨干电厂等。

网调的调度自动化系统也是 EMS 系统。具体功能包括以下几点。

(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，并上报和上传。

(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. 省级调度

省级调度（省调）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。独立省网和大区网作为一个独立控制区域，是与相邻省网实行联络线控制的省级调度，其功能要求包括以下几点。

(1) 实现电网的数据收集、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