

DIANLI XITONG TONGXIN JISHU

# 电力系统通信技术

许建安 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 电力系统通信技术

许建安 主编



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书以数字通信为背景,以电力系统通信为主线,介绍了现代通信的基本原理、通信系统技术指标及通信技术在电力系统中的应用等。全书共9章,主要有:绪论、电力系统自动化概述、数字通信基础、差错控制编码、光纤通信、电力载波线通信、微波中继通信、计算机通信网、电力系统复用保护通道。本书概念清楚,反映了现代电力系统通信的新技术与成果,以及在电力系统应用的基本内容。

本书可作为从事电力系统通信技术人员的参考用书,也可作为高等院校相关专业的教材,还可作为电力系统通信的培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力系统通信技术/许建安主编. —北京:中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978-7-5084-4698-1

I. 电… II. 许… III. 电力系统—通信技术—教材  
IV. TM73

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第117883号

书 名	电力系统通信技术
作 者	许建安 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	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 9.75印张 231千字
版 次	2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	18.00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

通信技术和计算机技术的飞速发展，已经进入了崭新的信息时代。通信技术在电力系统中的应用也发生了根本性的变化，使电力系统的继电保护、自动控制、调度自动化以及数据传送等采用了许多新原理和新技术。鉴于此，本书介绍了通信技术基础及其在电力系统中的应用。

本书编写的指导思想是力求简明，较全面地介绍数字通信的基本理论、光纤通信原理、载波通信原理、微波中继通信、计算机网络和电力系统保护复用通道，并着力反映通信技术的新发展。

本书分为九章：绪论、电力系统自动化概述、数字通信基础、差错控制编码、光纤通信、电力线载波通信、微波中继通信、计算机通信网和电力系统复用保护通道。在编写过程中，注重理论联系实际，力求概念清楚、问题阐述深入浅出。

本书第二章、第九章由黄宗仁编写，第六章、第七章由叶德福编写，其余部分由许建安编写。

由于作者的水平有限，书中的缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

作者

2007年7月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 通信与通信系统.....	1
第二节 消息、信息量和信道容量.....	3
第三节 通信系统的主要质量指标及分类.....	5
第四节 电力通信网及其特点.....	6
<b>第二章 电力系统自动化概述</b> .....	8
第一节 电力系统自动控制简介.....	8
第二节 电力系统调度自动化简介.....	9
第三节 电力系统的分级控制和各级调度职责.....	10
第四节 电网调度自动化系统功能简介.....	11
第五节 电力系统信息监测基本技术.....	13
第六节 远动终端的构成及其功能.....	20
<b>第三章 数字通信基础</b> .....	24
第一节 数字通信及其特点.....	24
第二节 信源编码与信道编码.....	26
第三节 数字基带传输.....	36
第四节 PCM 信号的时分复用.....	42
第五节 数字调制与解调.....	48
<b>第四章 差错控制编码</b> .....	50
第一节 差错控制编码的基本原理.....	50
第二节 常用的简单编码.....	56
第三节 线性分组码.....	58
第四节 循环码.....	63
<b>第五章 光纤通信</b> .....	69
第一节 光纤通信概述.....	69
第二节 光纤与光缆.....	71
第三节 光纤的导光原理.....	73
第四节 光纤的非线性.....	81
第五节 光源与光纤通信器件.....	82

第六节	光纤通信系统 .....	88
第七节	SDH 传输技术基础 .....	93
<b>第六章</b>	<b>电力线载波通信 .....</b>	<b>97</b>
第一节	载波通信原理 .....	97
第二节	电力线载波通信系统 .....	100
第三节	电力线载波机的主要功能部件 .....	110
<b>第七章</b>	<b>微波中继通信 .....</b>	<b>113</b>
第一节	微波通信的概念和特点 .....	113
第二节	数字微波通信系统的组成 .....	114
第三节	微波站设备 .....	115
第四节	抗衰落技术 .....	119
<b>第八章</b>	<b>计算机通信网 .....</b>	<b>122</b>
第一节	计算机网络概述 .....	122
第二节	网络通信协议 .....	124
第三节	存取控制技术 .....	126
第四节	网络互联 .....	132
<b>第九章</b>	<b>电力系统复用保护通道 .....</b>	<b>140</b>
第一节	概述 .....	140
第二节	电力系统远方保护的要求及通道工作方式 .....	141
第三节	复用保护通道基本原理 .....	143
第四节	调度通信网络实现远方保护的信号传递 .....	146
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>149</b>

# 第一章 绪 论

通信对现代社会具有重要意义。包括通信在内的信息产业的发展，给我们的日常生活和社会活动带来了许多方便。电力工业的发展也离不开通信技术。随着电力系统自动化的广泛应用，电力通信系统已成为电网安全、稳定、经济运行的三大支柱之一。在未来电力市场的发展中，电力通信网将充当越来越重要的角色。

## 第一节 通信与通信系统

### 一、通信与通信网

通信的目的是传送信息，即把信息源产生的语言、文字、数据、图像等信息快速、准确地传给收信者。

最普遍的通信就是电话。现代通信的概念已远不只是简单的电话通信，而是利用多种终端传输各种各样的信息，如数据、图像等。同时，通信的信息可以共享，通信的地理范围已基本不受任何限制，从技术上说，地球上任意两点间均可进行通信。

上述目标的实现，依赖于充分融入计算机的通信网络的存在，如电缆通信网、光纤通信系统、微波通信系统、卫星通信系统、移动通信系统、计算机网络等，从通带上可分成宽带和窄带，从传输速度上可分成高速和低速。利用这些的性能，便可以在通信网上实现各自业务不同、目的不同的通信任务。

### 二、通信系统的基本组成与分类

#### 1. 通信系统的基本组成

通信系统由信源（信息发送者）、信宿（信息接收者）和处理信息的各种设备共同组成。图 1-1 所示是通信系统的组成模型。

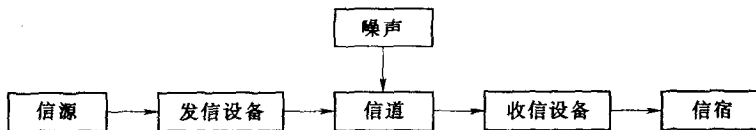


图 1-1 通信系统组成

信息源，简称信源。信源和信宿可以是人，也可以是机械设备（如计算机、传真机等），因而既可以人与人通信，也可以实现人机通信或机与机通信。信源发出的信号可以是话音信号，也可以是数据、符号、图像等非话信号。

发信设备对信源发出的信息进行加工处理，使之变换为适合信道传输的形式，同时将信号功率放大，从信道发送出去。



信道是信息的传输媒体，可分为有线信道和无线信道两大类。现代的有线信道包括电缆和光缆，无线信道即无线电传输信道，将电磁频谱划分为不同频段，利用不同性能的设备 and 配置方法，组成不同的无线通信，如微波通卫星通信、移动通信等。不同的信道传输性能不同，传送的信号形式也不同。话音信号可通过常规的电缆信道直接传输；若用光缆传送，必须将话音信号转换为光信号，才能传送；若用微波传送，则需要对话音信号进行调制加工，将信号频谱移到微波系统的射频段上去。发信设备对信源的信息加工、处理，其目的就是完成这些变换。通常信号传输一般都要经过很长的距离，无论是有线还是无线信道，都会使信号逐渐衰减，因此，发信设备中还包含有功率放大器。

在传输过程中，自然界存在的各种干扰噪声也同时作用在信道上，如雷电、电晕、电弧等电磁现象引起的干扰脉冲。干扰噪声对信号的传输质量影响很大，甚至将有效信号完全淹没。

收信设备除了对接收到的信号与发信设备的信号进行解调外，还应具有强大的干扰抑制能力，准确地恢复原始信号。

图 1-1 是一个单向点对点通信系统模型。电力系统的通信系统大多数是双向的，即两端都有信源和信宿，也就是说两端都设置有发、收信设备。为了实现多点间的通信，需要利用交换设备、网络连接设备将上述多个双向系统连接在一起。

从信息学观点可将通信系统分成信息生成、信息传递及信息存储三大模块，如图 1-2 所示。信息生成模块的功能包括信息的创造、处理、加工、编辑、分析、计算、合成等。信息传递模块的功能包括信号处理、收集、交换、发送、接收等。信息存储模块的功能包括信息的寄存、建库、查询、检索、展示等。

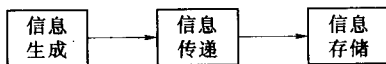


图 1-2 通信系统广义模型

## 2. 通信系统的分类

按传输通信系统可分为模拟通信系统和数字通信系统；按传输媒体可分为有线通信系统和无线通信系统。虽然数字通信需要的带宽大，但由于高效编码和

调制技术、数字压缩技术等飞速发展，以及光纤的广泛应用，数字通信系统正在迅速取代模拟通信系统。作为传输媒质，与电缆相比，光纤在带宽、传输损耗、抗干扰能力及原材料资源等方面的突出优势，将成为未来通信系统的主要方式。

## 三、通信技术的发展

1837 年，莫尔斯发明有线电报；1876 年，贝尔利用电磁原理发明了电话机；1864 年，麦克斯韦预言了电磁波的存在；1887 年，赫兹通过实验证实了这一预言，这为现代无线电通信技术提供了理论根据；1895 年，马可尼发明无线电报；进入 20 世纪，电子管、晶体管出现，促使通信技术迅速发展；1977 年，第一条光纤通信线路投入运行。通信技术与计算机技术、图像技术的结合，使通信技术进入崭新阶段，促使通信业向数字化、智能化、综合化、宽带化和个人化的方向发展。特别是通信网络的互联互通，将导致网络业务数据化、网络技术宽带化、网络设施光纤化、网络接入无线化、网络应用分组化，并形成三网合一的形势。

我国的通信网络，除了电信部门管理、运营的公用通信网外，还有铁路、电力、军队等部门专用的通信网。在总量得到空前发展的同时，我国通信网的技术装备水平也已基本





上与发达国家同步。

## 第二节 消息、信息量和信道容量

### 一、消息、信号和信息

消息是由信源产生的，它具有不同的形式和内容，如气象中的温度与天气的变化、电话和广播中的语音、计算机的数据等。消息是对事物物理状态的变化进行描述的一种具体形式，这种状态具有人们能感知的物理特性。虽然消息的物理特征不同，但可概括为两大类：一类为模拟消息，如电话中的语音，它们随时间连续变化，因而又称为连续消息；另一类为数字消息，表现为数字脉冲或字符序列，如电报中的文字、计算机输出的数据等，因而又称为离散消息。不管连续消息还是离散消息，它们都具有一个共同特点：消息随时间在随机地变化。消息不能直接传输，为了传输消息，首先应把要传送的消息，通过不同的传感器转换成电压或电流信号，再通过信道将信号传送到通信系统的另一方。因而信号是由消息转换来的可以被传输和处理的具体形式，是消息的运载工具。由消息转换成的信号惟一对应着消息的变化。由于消息有模拟消息和数字消息，所以信号同样有模拟信号和数字信号。信号随着消息而变化。消息或信号随机变化，人们无法预测，这种“不可预测”的变化，就是“待知”消息的本质内容，即消息所含的信息。

信息就是消息或信号随机变化中的“不确定性”，是消息中所含的待知的本质内容。信息是一个含义广泛、抽象的概念。各种随机变化的消息都会有一定量的信息，如社会科学中的经济信息、生活信息、科研信息、气象信息等。

### 二、信息量

消息中包含的信息的大小用信息量来度量。消息中所含的信息量大小与消息发生的概率有密切关系。从直观上讲，一件事发生的概率越小，越使人们感到意外和惊奇，则这件事包含的信息量就越大。当一个消息发生的概率为 1 时，即为必然的事件，则消息所含的信息量为零。若消息出现的概率接近为零，则此消息含有的信息量就趋于无穷大。显然，消息中包含的信息量与消息出现的概率的倒数成比例。

信息论中定义消息包含的信息量为消息出现概率的倒数的对数，即

$$I = \log_a \frac{1}{P} = -\log_a P \quad (1-1)$$

式中  $I$ ——信息包含的信息量；

$P$ ——消息出现的概率；

$a$ ——对数的底。

$a$  取值不同，信息量的单位不同。当  $a$  为 2 时，信息量的单位为比特 (bit)；当  $a$  为 10 时，单位为哈特莱 (Hartley)；当  $a$  为  $e$  时，单位为奈特 (nat)。一般情况下，采用 bit 为信息量单位。例如，当消息量出现概率  $P=1/2$  时，则此消息包含的信息量为 1bit。若有独立  $M$  个等概率出现的消息，每个消息出现的概率为  $1/M$ ，则消息的信息量为

$$I = \log_2 \frac{1}{P} = \log_2 M \text{ (bit)} \quad (1-2)$$



从工程的角度讲,也可以对信息量进行定义。所谓从工程的角度,就是用传输消息时所需的最少的二进制脉冲的数目来衡量消息中包含信息量的大小。因此,信息量在工程上的定义是指传输该消息时所需的最少二进制脉冲数。当有两个互相独立等概率出现的消息要传输时,要区别这两种消息,最少需要1位二进制脉冲。若要传输四个独立等概的消息之一,则至少需2位二进制脉冲,即消息具有2bit的信息量。若有 $M$ 个等概的消息之一要传送,且满足 $M=2^k$  ( $k=1, 2, 3, \dots$ )时,此消息需用 $k$ 个二进制脉冲传送,该消息的信息量为

$$I = \log_2 M = \log_2 2^k (\text{bit}) \quad (1-3)$$

### 三、平均信息量

一般来说,信源可以产生多个独立的消息(符号),每个消息发生的概率可能并不相等,所以每个消息的信息量也不相同。这种情况下,通常每个消息所含信息量的统计平均值,称为信源的平均信息量。

信源的平均信息量的计算是由每个消息的信息量按概率加权求和得到的,如一个信源由 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 三种符号组成,出现 $A$ 的概率为 $P(A)$ ;出现 $B$ 的概率为 $P(B)$ ;出现 $C$ 的概率为 $P(C)$ ,则信源的平均信息量为

$$\bar{I} = -[P(A)\log_2 P(A) + P(B)\log_2 P(B) + P(C)\log_2 P(C)] \quad (1-4)$$

更一般地说,在由 $n$ 个独立的符号 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 所构成的信源中,每个符号出现的概率分别为 $P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)$ ,且 $\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1$ ,则此信源的平均信息量为

$$H(x) = -\sum P(x_i)\log_2 P(x_i) \quad (1-5)$$

式中  $H(x)$ ——信源的平均信息量,由于 $H(x)$ 的定义与热力学中熵的定义相似,所以称为信源熵,单位为bit/符号。

### 四、香农信道容量

信源的信息通过信道传输到接收端,在给定的信道条件下,信道容量是指信道所能传输的最大信息速率,即

$$C = \max R \quad (1-6)$$

式中  $C$ ——信道容量;

$R$ ——信息传输速率。

信源发出的离散消息(符号)通过信道传送到接收端。信道中的信息传输速率与信源的平均信息量、符号发送的速率以及信道中的干扰有关。由于信道存在干扰,传输的信息就会丢失,接收到的信息量会减少。

在无干扰信道中,信道会无丢失地传输信源发出的所有信息。此时,信道的信息传输速率为

$$R = rH(x) \quad (1-7)$$

式中  $H(x)$ ——信源的平均信息量;

$r$ ——信源每秒发送的符号个数。

若信道中存在干扰,这时接收端收到的每个符号的平均信息量应是信源的平均信息量



减去信道传输中丢失的信息量，即

$$H_R(x) = H(x) - H(x|y) \quad (1-8)$$

式中  $H_R(x)$  —— 接收到一个符号的平均信息量；

$H(x|y)$  —— 发送一个符号时，在有干扰信道中丢失的平均信息量。

若信道传输符号的速率为  $r$  (符号个数/s)，则有扰信道中的信息传输速率为

$$R = r[H(x) - H(x|y)] \quad (1-9)$$

式中的  $H(x|y)$  与信道的统计特性有关。

根据信道容量的定义，离散信道的信道容量应为

$$C = \max R = \max\{r[H(x) - H(x|y)]\} \quad (1-10)$$

对于连续信道而言，假设信道噪声功率为  $N$  (W)，信道的带宽为  $B$  (Hz)，信号的平均功率为  $S$  (W)，则信道容量为

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad (1-11)$$

式 (1-11) 就是著名的香农 (Shannon) 公式。香农公式在通信原理中是一个极其有用的公式，它把通信系统追求的有效性和可靠性结合了起来，使之既可以互相制约，又可以互相转换。

## 第三节 通信系统的主要质量指标及分类

### 一、通信系统的主要质量指标

评价一个通信系统的质量，最主要的是该系统的有效性和可靠性。有效性是指在给定的信道内能传送多少信息；可靠性是指接收信号的准确程度。

#### 1. 信息传输速率

信息传输速率是指在给定信道内单位时间能传输的比特数或码元数。比特数称为信息速率，单位 bit/s；码元数称为码元速率，单位为波特 (Baud)。信道的传输速率与其带宽成正比，带宽越大的信道，所容许的传输速率也越高。

#### 2. 误码率

误码率是数字通信的最主要的质量指标，用于衡量在数字传输过程中接收错误的码元数 (或比特数) 占传输总码元数 (或总比特数) 的比率。 $P_e$  用于表示误码率， $P_b$  用于表示误比特率，其定义为

$$P_e = \frac{\text{接收错误码元数}}{\text{传输总码元数}} \times 100\% \quad (1-12)$$

$$P_b = \frac{\text{接收错误比特数}}{\text{传输总比特数}} \times 100\% \quad (1-13)$$

一个码元由若干个比特构成。对于同一次传输过程，其  $P_e$  和  $P_b$  一般是不相同的。数字通信系统对误码率的要求很严格。

### 二、通信系统分类

各种通信系统由于使用的波段、传输的信号、调制的方式等不同，所以种类繁多。为进一步了解各类通信系统的特点，可按以下不同角度，将通信系统进行分类：



(1) 按消息的传输媒质划分，即按传输信道的不同，可分为两大类：一类是信号沿导线传输的通信系统，称为有线通信系统；另一类是信号通过空间自由传播的通信系统，称为无线通信系统。无线通信系统根据使用的波段不同又分长波通信、中波通信、短波通信和微波通信系统等。

(2) 按消息和信号的特点，即按传送消息的物理特征分类，可分为电话通信、电报通信、图像通信和数据通信等。

(3) 按传输信号的特征分类，可分为模拟通信和数字通信。

(4) 按调制方式，即按载波参数的变化不同，可分为调幅、调频和调相。对数字通信系统来说，又称为幅度键控(ASK)、移频键控(FSK)和移相键控(PSK)。有时，信源输出的信号不需要调制，而直接进行传输，这类系统称为基带传输系统。相应地，把包含有调制和解调过程的通信系统称为载波传输系统。

(5) 从消息传输的方式来划分，可分为单工通信、半双工通信和全双工通信系统。

单工通信系统中，消息只能单方向传输，如图 1-3 (a) 所示。广播、无线寻呼和遥控系统属于单工通信系统。

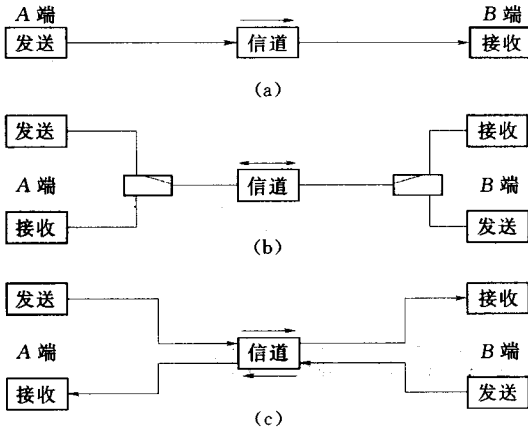


图 1-3 通信方式示意图

(a) 单工; (b) 半双工; (c) 全双工

半双工通信系统中，通信两端都可以发送和接收，但不能同时进行。即系统中要么 A 端发 B 端收，要么 B 端发 A 端收，如图 1-3 (b) 所示。

全双工通信系统中，通信的双方可同时发送和接收消息，即消息可同时在两个方向上传递，如图 1-3 (c) 所示。

(6) 按信道复用方式划分，可分为频分复用、时分复用、码分复用和波分复用通信系统。数字通信系统中采用时分复用，而光纤通信系统中常用波分复用方式。

## 第四节 电力通信网及其特点

### 一、电力通信网的作用

改革开放以来，我国电力工业和电力系统的发展取得了举世瞩目的成就，装备水平日益提高，自动化技术已在发电、输电、变电、用电等各个环节广泛应用。电力工业和电力系统现代化发展进程，极大地推动了电力通信的发展。自 1978 年国家根据电力生产的特殊需求，批准建设电力专用通信网以来，在我国迅速形成了覆盖全国的电力通信网。

电力通信网的主要作用为：传送电力系统远动、保护、负荷控制、调度自动化等运行、控制信息，保障电网的安全、经济运行；传输各种生产指挥和企业管理信息，为电力系统的现代化提供高速率、高可靠的信息传输网络。



现代电网建设、运行和管理已越来越依赖于电力通信网，电力通信系统和安全稳定控制系统、电网调度自动化系统共同构成了电网安全、稳定、经济运行的三大支柱，成为现代化电网赖以生存的重要组成部分。

## 二、电力通信网的特点

电力系统的特殊性表现在电力生产的不容许间断性、事故出现的快速性以及电力对国民经济影响的严重性。电力生产是连续的，发电功率需经电网送出；电力系统事故，特别是输电线路故障，往往是在瞬间发生，并且不可预知；一旦供电中断，给国民经济和社会生活带来严重的影响。

为了保证电力系统的安全运行，就需要有一个有效、可靠的控制系统，能及时发现系统故障，并迅速采取相关应急措施。电力通信系统具有如下特点：

(1) 实时性。所谓实时性也就是要求信息传输延时必须很小，这是电力系统事故的快速性所要求的。若发生事故不能及时发现，或发现事故后控制命令不能及时下达，将会造成更大的损失。

(2) 可靠性。要求信息传输必须高度可靠、准确，不能出错。

(3) 连续性。由于电力生产的不间断性，电力系统的许多信息是需要占用专门信道，长期连续传送。

(4) 信息量较少。鉴于电力通信网的特殊用途，主要是传送电力系统的生产、控制、管理信息，因此网上传输的信息量比公用网少，通信网络也只需伸至基层变电所。随着电力市场和电能自动计费的兴起，这种格局将逐渐改变。

(5) 网络建设可利用电力系统独特的资源。电力系统可利用高压输电线进行载波通信，利用杆塔架设光缆等。

## 三、我国电力通信的现状

目前，以数字微波为干线、覆盖全国的电力通信网络已初步形成，光纤通信、卫星通信、移动通信、数字程控交换以及数字数据网等新兴的通信技术也获得相当水平的应用。

电力载波通信是电力系统特有的通信方式，载波通信主要用于话音、保护和远动信息的传输。

光纤通信技术在电力系统的应用起步较晚，但发展十分迅速。光纤通信突出的优点是具有非常高的抗强电磁干扰的能力，同时带宽大，能实现视频传输，在无人值守的变电站进行“遥测、遥信、遥控、遥调和遥视”具有独特的意义。特别是电力特种光缆的应用，给电力系统通信提供了独特手段。

数据传输和交换是电力系统通信的主要业务之一，现已在北京、武汉、上海三地建立了传输速率为 384kbit/s 的高速分组交换网，为调度自动化信息的传递及不同速率、不同类型计算机终端之间的通信和数据资源共享提供服务。

## 第二章 电力系统自动化概述

### 第一节 电力系统自动控制简介

电力系统自动化就是根据电力系统自身的规律，应用自动控制原理，采用自动装置来自动实现电力生产的安全可靠运行。电力系统自动化是应用各种具有自动检测、决策和控制功能的装置，通过信号系统和数据传输系统对电力系统各元件、局部系统或全系统进行就地或远方的自动监视、调节和控制，保证电力系统安全经济运行，并保障电能质量。

#### 一、电力系统自动监视和控制系统

电力系统自动监视和控制系统主要是为科学调度服务的。电力系统发电厂、变电站的实际运行状况，线路的有功、无功潮流，以及母线电压等信息，可通过装设在各厂站的运动装置送至调度所。信息送至调度所后，由调度中心的运行人员和计算机系统，对当前系统运行状态进行分析计算，将计算结果和决策命令通过远动的下行通道送至各个厂站，从而实现电力系统的安全经济运行。电力调度的主要任务是控制整个电力系统的运行方式，使整个电力系统在正常运行状态下能满足安全生产和经济地向用户供电的要求，在事故状态下能迅速消除故障的影响和恢复正常供电。

#### 二、电厂动力机械自动控制系统

电厂动力机械自动控制系统主要是为电厂的机械自动控制服务的。电厂动力机械随电厂的类型不同而有所区别，火电厂的机组自动控制主要有计算机监视和数据系统、机炉协调主控系统、锅炉自动控制系统、汽机自动控制系统、电气控制系统以及辅助设备自动控制系统等。水电厂则需要控制水轮机、调速器以及发电机励磁自动控制系统以及辅助设备自动控制等。

#### 三、变电站自动控制系统

随着微机监控技术在电力系统和电厂自动化系统中的不断发展，微机监控监测技术已引入变电站。目前，变电站已实现了远方监视控制，远动和继电保护也实现了微机化。无人值守变电站综合自动化的功能包括变电站的远动、继电保护、远方操作、测量以及故障、事故顺序记录和运行参数打印等功能。

#### 四、电力系统自动装置系统

电力系统自动装置目的是为保证电力系统安全可靠、经济运行，主要包括发电机的自动并列装置、自动调节励磁装置、自动解列装置、低周减载装置、自动重合闸装置、继电保护装置等。

#### 五、计算机在水电站自动化中的应用

水电站自动化是一门涉及多种学科和新技术的综合科学技术，随着计算机性能的不断



提高,价格的不断降低,计算机在水电站生产过程控制、自动化中的应用越来越广泛。20世纪80年代,我国水电站自动化应用计算机技术从科研试验走上实用推广的战略目标。

计算机的应用之所以受到如此的关注,并得以如此高速的发展,其本质在于它具有完成自动化功能的性能条件,即具有大的存储容量、快的运算速度和高的精度等。实践已经证明,水电站应用计算机对提高自动化水平,保证安全运行,提高经济效益,改善劳动条件,促进技术进步都具有十分重要的意义。用计算机自动化系统与常规自动化设备相比,计算机可以模拟各种复杂的控制规律,实现系统高质量的控制效果;可以不改变控制设备而方便地修改控制器的模型结构和参数。计算机具有记忆和判断能力,它能综合生产过程中的多种情况,作出最佳的选择,实现最优控制。计算机具有分时操作能力,它可以满足多个回路的控制任务,用以代替多台常规控制设备的功能。能及时地发现生产过程中潜在的各种故障,不失时机地给以预报和处理。能实时进行生产过程计划调度、经济核算等。

## 第二节 电力系统调度自动化简介

电力系统调度自动化系统已经历了几个不同的发展阶段。在早期,电力系统调度中心无法及时了解和监视各个电厂或线路的运行情况。远动技术的采用使电力系统的信息能直接进入调度中心,调度员可以及时掌握系统的运行状态,及时发现电力系统的事故,为调度计划和运行控制提供了科学依据,但仍不能满足现代工业和人民生活对电能质量及供电可靠性的越来越高的要求,以及人们对系统运行经济性越来越高的重视。要全面解决这些问题,就需要对大量数据进行复杂的计算。到了20世纪60年代,数字计算机首先用于电力系统的经济调度,并取得了显著的效益。但是,在20世纪60年代中期,西方一些国家的电力系统曾相继发生了大面积的停电事故,引起世界的震动。人们开始认识到,安全问题比经济调度更加重要。因此,人们将目光转向计算机系统,认为计算机系统应首先参与电力系统的安全监视和控制。这样,就出现了能量管理系统 EMS (Energy Management System)。

能量管理系统是以计算为基础的现代电力系统的综合自动化系统,主要针对发电和输电系统,用于大区电网和省级电网的调度中心。根据能量管理系统的技术发展,配电管理系统 DMS (Distribution Management System) 主要针对配电和用电系统,用于10kV以下的电网。用户侧管理 DSM (Demand Side Management) 属于负荷自我管理,其原理是用户按电价躲避峰荷用电,但分时电价 TOU (Time of Use) 应由配电管理系统提供。EMS的发展主要基于计算机技术和电力系统应用软件技术两方面。

20世纪40年代出现的数据采集与监控系统 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 将电网上各厂站的数据集中显示到电力系统模拟盘上,使整个电力系统运行状态一目了然地展现在调度员面前,同时还能将开关变化和数值超限及时地报告给调度员,大大减轻了调度员监视电力系统运行状态的负担,增强了调度员对电力系统的感知能力。

20世纪50年代出现的自动发电控制 AGC (Automatic Generation Control), 包括了



负荷频率控制 LFC (Load Frequency Control) 和经济调度 EDC (Economic Load Dispatching Control) 两大部分, 将调度员从频繁的操作中解放出来。

早期在线分析主要是解决网损修正问题, 但 20 世纪 60 年代中期的几次大的系统瓦解事故将安全分析提上了日程。负荷预测、发电计划和预想故障分析为调度员提供了辅助决策工具, 增强了调度员对电力系统分析和判断的能力。

自动化技术在 20 世纪 60~70 年代经历了由模拟技术转向数字技术, 整个数据收集过程, 包括远程终端 RTU (Remote Terminal Unit)、通道和发电厂控制器逐步由模拟型发展成数字型, 在调度中心的数据收集、自动发电控制和网络分析等功能均由数字计算机完成。

随着计算机硬件的简化和多机的应用, 必须采用公用软件。公用软件的发展集中表现在数据库、人机界面 MMI (Men Machine Interface) 和通信技术几个方面。数据库技术的发展使数据能为更多的应用软件服务, 人机交互技术由初期以打印为主改为显示器 CRT (Cathode Ray Type) 为主, 由字符型走向全图型, 响应速度越来越快, 画面编辑越来越方便, 表现能力越来越强。20 世纪 90 年代发展的视窗、平滑移动、变焦以及三维图形等技术大大方便了调度员使用能量管理系统, 使他们在调度室的屏幕上能形象而直观地观察和控制电力系统, 从而缩短了与电力系统之间的距离。随着计算机、微机技术的飞速发展, 调度自动化正日新月异, 许多新领域、新方向都在研究之中。

根据我国电网“十五”规划, 基本要实现“五化”目标: 主干通道光纤化、信息传输网络化、电网调度智能化、运行指标国际化和手段现代化。

### 第三节 电力系统的分级控制和各级调度职责

#### 一、电力系统的分级调度

电力系统是一个分布广、设备量大、信息参数多的系统。电能的生产、输送、分配和消费均在一个电力系统中进行的。我国已建立了五个大电网以及一些省网, 并且在大电网之间通过联络线进行能量交换。电力部门的运行管理是分层次进行的, 各省电业局, 各市、县供电局均有其管辖的范围, 它的运行方式和出力、负荷的分配受到上级电力部门的管理, 同时又要管理下一级电力部门, 以保证整个电力系统能够安全、经济、高质量地供电。

随着电力体制改革进程的不断深入, 实施厂网分开, 组成发电企业和电网企业, 组建国家电力监管委员会, 设立五大发电集团, 即中国国电集团公司、中国华能集团公司、中国大唐集团公司、中国华电集团公司和中国电力投资公司, 以及两大电网公司, 即国家电网公司、南方电网公司。其目的是改革现行的不合理电力体制、打破垄断、引入竞争、提高效益、降低成本, 促进电力工业的持续、快速、健康发展。

电网调度实行分级管理, 因而调度自动化系统配置也必须与之相适应, 信息分层采集、逐级传送, 命令也按层次逐级下达。分级调度可以简化网络的拓扑结构, 使信息的传送变得更加合理, 从而大大节省了通信设备, 并提高了系统运行的可靠性。为了保证电力系统的安全、经济、高质量地运行, 各级调度都具有一定的职责。





## 二、各级调度的职责

(1) 国家调度中心的职责是：负责跨大区电网联络线的调度管理；掌握、监督和分析全国各电网运行状况；审查、协调各电网的月发电、用电计划，并检查、监督其执行情况；监督各电网的计划用电和水电站水库水位计划和执行情况；配合有关部门制定年度发用电计划及煤耗、厂用电、线损等技术经济指标；参加全国电网发展规划、系统设计和工程设计的审查。

(2) 大区电网调度中心的职责是：负责所辖电网的安全稳定运行；制定大区主电网运行方式或核准省网与大区主网相关部分的运行方式；编制全网月发电计划或省网间联络线送电月计划和直调发电厂的月发电计划，编制下达日调度计划；核准省网计划外送电，做好全网经济调度工作；指挥管辖设备的运行操作和系统性事故处理；领导全网的频率调整和主电网的电压调整，并负责考核；监督省网间联络线的送受电力、电量计划或省网发用电计划执行情况，并指挥省网调整计划；参加制定年度发用电计划和各项有关技术经济指标，批准管辖范围内主要供电设备的检修；负责全网计划用电和负荷管理工作；按要求向国调、省调或地调传送实时信息。

(3) 省级电网调度中心的职责是：在保证全网安全、经济的前提下，负责本网的安全运行；参加全网运行方式计算分析，负责编制本网运行方式，与网调管辖有关部分应报网调核准；编制本网发、供电设备检修计划；根据上级调度下达的联络线出力、电量计划和直调厂发电计划或本网发电调度计划，编制本网和调度管辖的独立核算发电厂的发电计划；负责管辖设备的运行、操作、事故处理以及无功、电压调整；监督本网计划用电执行情况；按规定向网调、地调传送实时信息。

(4) 地区电网调度中心的职责是：负责管辖范围的运行操作和事故处理；负责管辖范围的设备检修计划；监督本地区和用户的计划用电执行情况；负责管辖范围的电压和无功功率调整；按规定向省调、县调传送实时信息。

(5) 县级电网调度中心的职责是：负责管辖范围的运行操作和计划管理；负责管辖范围的设备检修计划；监督本地区和用户的计划用电执行情况；按规定向地调传送实时信息。

## 第四节 电网调度自动化系统功能简介

由于各级调度中心的职责不同，对其调度自动化系统的功能要求也是不同的。另外，调度自动化系统的功能也有层次之分，其高一级的功能往往是建立在某一级基础功能之上。

### 一、数据采集和监控 (SCADA) 系统

SCADA 是调度自动化系统的基础功能，也是地区或县级调度自动化系统的主要功能。它包括以下几个方面：

(1) 数据采集。包括模拟量、状态量、脉冲量和数字量等。

(2) 信息的显示和记录。包括系统或厂站的动态主接线、实时的母线电压、发电机的有功和无功功率、线路的潮流、实时负荷曲线、负荷日报表的打印记录、系统操作和事件