



电力系统通信
科普丛书

谈德茂 编

电力系统微波通信

水利电力出版社



15.2
P-3

电力系统通信科普丛书

电力系统微波通信

谈德茂 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要内容分为三个部分：第一部分是在介绍电力生产常识的基础上，概述微波通信在电力生产中的地位和作用；第二部分是介绍微波通信的一般概念；第三部分是本书重点，结合电力系统通信实际，着重讲解模拟微波中继通信和数字微波中继通信的一般原理。

本书系科普读物，可供电力系统的管理干部、各部门从事通信专业的工人学习和了解微波通信技术时参考。

电力系统通信科普丛书

电力系统微波通信

谈德茂 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3.625印张 79千字

1987年7月第一版 1987年7月北京第一次印刷

印数0001—6900册 定价0.68元

书号 15143·6410

前 言

电能是发展国民经济的重要能源，电力生产在整个社会生产中占有十分显著的地位。为了适应四化建设和人民生活的需要，必须努力扩大电力生产的能力，进一步提高电能生产的质量。

为了确保电力工业安全经济地发供电，必须建立与电力系统相适应的通信系统，即电力系统通信。我国的电力系统通信几乎包括了各种通信方式，不仅采用了普通的音频电话、明线载波、电缆载波、短波、特高频等通信方式，而且还采用了微波、光缆、卫星等先进通信方式。电力系统通信中还有独特的输电线载波、架空地线载波等特殊通信方式。现在，正在积极应用程控交换技术，把各种通信方式和电路连接起来，进行电话、数据等信息交换，构成一个完整的通信网。因此，电力系统通信必将是一个先进的、综合型的专业通信网络。

我们编写的这套“电力系统通信科普丛书”共分四册：《电力系统通信基础》、《电力系统载波通信》、《电力系统微波通信》、《电力系统电话交换技术》，各册之间互相关联又自成系统。本书的读者对象主要是电力工业中的领导干部、电力通信专业工人，也可供工程技术人员及有关专业院校的师生参考。

本书是《电力系统微波通信》，主要包括：电力生产基本过程，微波通信在电力生产中的地位和作用，微波通信一般概念，模拟微波中继通信，数字微波中继通信，电力

系统通信网建设构想等。重点在模拟微波中继通信和数字微波中继通信两部份。

本书业经水利电力部调度通信局郑平原工程师审阅，提出了不少宝贵建议和意见，谨表衷心感谢。

由于编者的水平所限，书中一定有不少欠缺和问题，敬请读者批评指正。

编 者

1986年7月

目 录

前 言

第一章	电力生产简介.....	1
第二章	微波通信在电力生产中的地位和作用.....	8
第三章	微波通信的一般概念.....	13
第四章	模拟微波中继通信.....	47
第五章	数字微波中继通信.....	64
第六章	电力系统通信网的建设.....	98

第一章 电力生产简介

电力系统微波通信是为电力生产服务的。在介绍电力系统微波通信以前，应当首先了解它的服务对象——电力生产。

一、电力工业是发展国民经济的先行官

电，是自然界中的一种能量形式。

电能与其它形式的能量相比，具有许多优越性，主要有：

（一）比较灵活

电能可以方便地转换成其它形式的能量，如转换成机械能（电动机械的转动）、热能（电炉生热）、光能（电灯发光）、化学能（蓄电池充电）等等。而其它形式的能量，也可以较为方便地转换成电能，如由水力的位能、风力的动能、各种燃料的化学能以及太阳能、原子能等都可以较为方便地转换成电能，也就是人们常说的水力发电、风力发电、火力发电以及太阳能发电、原子能发电等等。

（二）便于输送

电能通过变电设备和输电线路可以方便地输送到距离发电厂几百、甚至上千公里以外的用电单位，即所谓远距离输电。

（三）易于控制

电能从发电，经变电、输电，直至用电的整个电力生产过程中，较易实现有效而精确的自动控制，即所谓电力生产自动化。

8710724

同时，电能不仅是实现工业现代化、农业现代化、科学技术现代化和国防现代化的重要动力，而且也是现代社会生活中所必须的能源，如日常生活中的电灯、电话、电影、电视以及各类家用电器，都离不开电。所以，电力工业对于现代化建设和人们的社会生活有着十分重要的关系和影响，电力工业被誉为发展国民经济的先行官。

二、电力系统

电力生产与其它部门的生产相比，最大的特点是：产品（即电能）不能大量贮存。就是说，生产的电能必须根据不断变化着用户需要（称为电力负荷）随时进行调节，使电能的生产量与用户的需要量之间保持平衡。

由于电能的生产和用户的消耗几乎是在同一时刻内连续进行的，因此，从发电厂发电，经变电站变电，通过输电线路，至用户负荷之间，必然构成一个有机的整体。由两个以上的发电厂、变电站、输电线路和许许多多用户连接成一个有机的电力生产联动体，称为电力系统。组成电力系统进行电能生产，具有运行安全、经济合理和优质供电等效益。电力系统的组成，可以是小范围地区性的，可以是较大范围区域性的，也可以是更大范围全国性的，甚至是国际性的。一般地说，电力系统越大，技术指标越可靠，经济效益越高。

电力系统的分类，按其系统的最高电压等级分，有110kV、220kV、330kV、500kV等电力系统（kV是电压单位“千伏”的代表符号，1kV=1千伏）。我国目前以110kV和220kV的电力系统居多。若按其系统的装机容量分，有大容量电力系统和中小容量电力系统。根据我国目前情况，装机容量在百万千瓦以上的称为大容量电力系统，百万

千瓦以下的称为中小容量电力系统。

三、发电厂的生产过程

发电厂，就是生产电能的工厂。由于在发电过程中利用的能源形式不同，使用的发电设备也不完全一样。例如有利用煤、石油、天然气等燃料的化学能进行发电的火力发电厂，利用水位高低落差的位能进行发电的水力发电厂，利用地下热水进行发电的地热发电厂，利用核裂变原子能进行发电的原子能发电厂等许多类型。我国目前以火力发电为主，加速水力发电，积极发展原子能发电。

下面以燃煤火力发电厂为例，简单介绍火力发电厂的生产过程。

原煤由输煤皮带运至原煤斗，即落入到磨煤机中，原煤经磨煤机磨成粉末后，通过粗粉和细粉分离器，利用离心作用将细粉析出，准备燃烧。由煤粉仓给出的细煤粉与一次风机的风混合后，送至喷嘴，吹进炉膛燃烧。煤粉燃烧时放出大量的热能，使装在水冷壁管中的水沸腾，并蒸发为汽。汽经汽包、过热器，使之具有一定的温度和压力，即高温高压蒸汽。高温高压蒸汽通过管道被送至汽轮机室，驱动汽轮机旋转。旋转的汽轮机轴带动发电机的转子旋转，发电机便发出电来了。发电机发出的电能被输送到电压母线上，除一部分供发电厂本身用电和直接分配给本地区用户以外，大部分则由变压器升压后，经高压输电线路，向远方用户输电。由此可见，燃煤火力发电厂，实质上是将煤的化学能（炭）转换成电能的工厂，发电的生产过程也就是“能量转换”的过程，并可归纳如图1的方框图所示。

从图1所示的能量转换关系中可以看出，从输入煤到输出电，大体经历了三大过程：由燃料（煤）的化学能通过锅

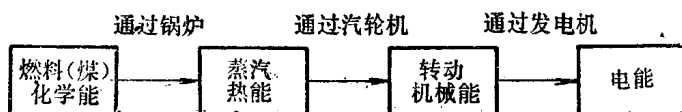


图 1 燃煤火电厂发电生产过程方框图

炉设备，转换成高温高压蒸汽热能的过程；由高温高压蒸汽的热能通过汽轮机，转换成转动机械能的过程；由汽轮机的转动机械能通过发电机，转换成电能的过程。

当然，发电厂里还有其它许多辅助装置和机械，以及与之相应的生产过程，无非是为了使电能在生产过程中的能量转换关系更为充分和有效，做到安全、可靠、经济地进行电能生产，这里就不一一介绍了。

关于水力发电的生产过程，可简述如下：水力发电，一般是在河流中拦河筑坝，形成水库。利用河流的水力作为发电的能源。水力发电厂的基本生产过程是：从水库引水，冲动水轮机旋转，将水的位能转换成水轮机转动的机械能；水轮机轴带动发电机转子旋转，将水轮机转动的机械能转换成发电机输出的电能。水的流量越大，上下水位的落差越大，水力发电的能量也越大。

四、输变电的生产过程

发电机的出口电压比较低，一般为6.3kV、10.5kV、13.8kV、20kV等。为了把电能输送到远离发电厂的用户地区，必须尽量减小线路损耗，提高输电效率。在输送相同的电能情况下，电压等级越高，线路电流越小，线路损耗越小。为此，必须利用升压变压器将电压升高后，如升高至110kV，或220kV、330kV、500kV等，再经过输电线路将电能送出。而在用户方面，若电压过高，一是非常危险，二

是很不经济，故在用电之前，又需利用降压变压器把电压降低。图 2 为 110kV 输变电生产过程示意图。

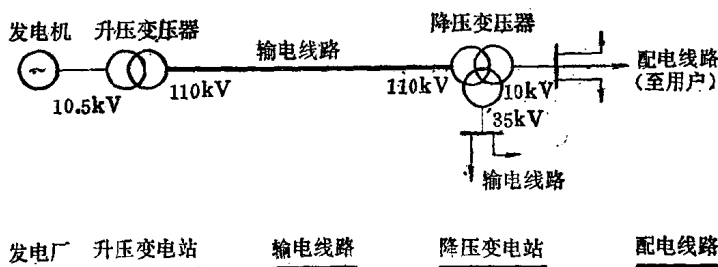


图 2 110kV 输变电生产过程示意图

（一）变电站

变电站的主要任务是变换电压，同时还兼有集中和分配电能、控制电能流向和调整电压的作用。变电站的电压通常是以它的主要变压器高压侧的电压等级表示的，如 110kV 变电站或 220kV 变电站等。

变电站内起电压变换作用的设备是变压器。用以同电力系统连接的变压器称为主变压器，而专供变电站内自用电源的变压器称为站用变压器。主变压器的总容量就是变电站的容量，单位为“千伏安”，用符号“kVA”表示。

变电站内的设备除变压器外，还有用于闭合或断开电路的开关设备，汇集电流的母线，计量和控制用的电流互感器和电压互感器，继电保护装置以及调度、通信、防雷等设备。

（二）输电线路

输电线路的任务是输送电能，并由它把发电厂、变电站和用户连接起来，构成电力系统。输电线路的工作电压一般

在 35kV 以上。至于由变电站向用户负荷或城乡供电的线路，常称为配电线路，其工作电压一般在 35kV 以下。

我国目前输电线路的工作电压标准等级有：35kV、60kV、110kV、220kV、330kV、500kV 等。

五、电能的质量

作为电力生产的产品即电能供给用户时，如同其它部门生产的产品一样，必须保证质量。衡量电能质量的主要指标有：电压标准和容许偏差、频率标准和容许偏差和不间断供电。

（一）电压标准和容许偏差

我国对用电负荷的供电电压分为低压供电和高压供电两种，其中低压供电：单相 220V，容许偏差 $\pm 5\%$ 、 -10% ；三相 380V，容许偏差 $\pm 7\%$ 。高压供电：三相 3kV、6kV、10kV、35kV、60kV、110kV、154kV 等，对于 10kV 及以下，容许偏差为 $\pm 7\%$ ；对于 35kV 及以上，容许偏差 $\pm 5\%$ 。

供电电压超出容许偏差值会造成危害。若电压过高，会使灯泡等电器的寿命缩短，使变压器、电动机等电机电器设备的铁芯过热；若电压过低，会使灯泡等电光源发暗，使电动机的电流过大，线圈温度升高，甚至烧毁，同时还会使线路损耗增大。

（二）频率标准和容许偏差

频率也叫周波。

我国电力系统的额定频率为 50Hz。一般说来，对于中小容量电力系统，其频率的容许偏差值为 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，即运行频率在 49.5~50.5Hz；对于大容量电力系统，频率的容许偏差值为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，即运行频率在 49.8~50.2Hz。

电能的频率超过容许偏差值时也会造成危害。若频率过

低或过高，将会使电钟走动变慢或变快而不准确（如频率降低至49Hz运行时，电钟一昼夜将慢29min），使电动机的转速变慢或变快，影响工业产品的数量和质量（如对冶金、化工、机械、纺织等工业部门的影响是产量下降；使电子计算机发生误计算；使通信产生信号失真等）。特别是当电力系统长期处于低频率运行时，还会使汽轮机失去动平衡，发生叶片断落事故，直接影响发电厂的生产，严重时引起恶性循环，造成发电全停事故。

（三）不间断供电

供电突然中断，不仅要造成用户生产停顿，而且在化工、冶炼等工业部门引起生产设备爆炸或凝结等破坏性事故。

我国是社会主义国家，实行计划供用电。在电能供不应求的情况下，为了确保重要用户的用电，保证电能质量，常常采用“限电”措施，即临时切断对次要用户的供电。

第二章 微波通信在电力生产中的 地位和作用

一、电力系统生产调度

在电力系统中，发电厂、变电站、输电线路的数量是很多的，而且分布在广大的地区。在发电—变电—输电—用电这个联动体中，任何一个环节发生故障，都将危及电能的正常生产和消耗。例如，某变电站的主变压器发生短路故障时，若保护失灵，将导致发电机因过电流而烧毁，不仅损坏了电力设备，而且破坏了电能的正常生产。同时，随着电力系统的日益扩大和不断发展，南电北调，东电西行，也会经常发生。因此，为了有效地组织和指挥电力系统生产运行，保证电能质量，必须实行统一的调度管理，例如制订本系统内有关电力设备的检修计划，防患于未然；协调本系统内发、供电的合理经济运行；当某电力设备故障时，指挥及时处理，尽量缩短抢修时间，缩小事故范围等等，使整个电力系统达到安全、经济、可靠地生产。为此，必须建立一个调度、组织和指挥生产的专门机构——调度所（室）。

根据电力系统容量的大小和复杂程度，调度机构采用分级管理的体制，即地区范围内的地区调度，省、市、自治区范围内的中心调度，跨省、市、自治区范围内的联网调度和全国范围内的中央调度。我国目前已有地区调度机构一百六十多个，中心调度机构二十三个，电网调度机构七个，正在积极建设全国性的中央调度机构，以适应国民经济发展的需要。

二、电力系统通信

在电力系统中，为了实现有效的生产调度和管理，各级调度管理机构之间，各调度管理机构与所属发电厂、变电站和供电部门等电力生产单位之间，必须保持畅通的联系，以便调度人员随时掌握本系统内各种电力设备的工作状况，随时向有关电力生产单位发布调度指挥命令；同时，各发电厂、变电站和供电部门等电力生产单位必须及时、准确地将执行调度指挥命令的情况向上级调度人员汇报。各级调度管理机构之间，各调度管理机构与所属电力生产单位之间的生产联系和工作联系，是靠通信实现的。为区别于其它部门的通信，我们把为电力系统生产服务的通信称为电力系统通信。因此，电力系统通信是电力生产中必不可少的组成部分。

由于发电机、变压器等电力设备和输电线路在电力生产过程中构成为统一的联动体，其中任一设备或线路发生故障，若处理稍有迟缓或处理不当，就会在很短的时间内波及整个电力系统，破坏电能的正常生产和消耗，甚至引起整个电力系统瓦解、崩溃，不仅使电力系统本身遭致损失，而且殃及用电部门的正常生产，特别是国防、交通、冶炼、化工、医疗等科技生产单位，酿成巨大的政治影响和数以亿元计的经济损失。为了确保电力系统正常生产，特别是一旦发生事故时，力争缩小事故范围，缩短处理事故的时间，必须借助于有效的通信，进行及时、准确的调度指挥。所以说，电力系统通信，不仅是电力生产中的必不可少的组成部分，而且地位十分重要。

为了适应水电事业的发展需要，根据电力生产的特点，确定在水电部门建立专用的通信系统和组织机构，并规定：

任何情况下，不得侵占调度通信；为确保调度通信畅通，调度机构与重要发电厂、变电站之间应装备两种以上的通信工具（或方式）；新建电力生产单位，在通信设施没有完备以前不得投入运行等等。

电力系统通信除主要满足生产调度外，还必须满足电力系统行政管理部门的通信需要，以利工作中请示汇报，互通情况，保证各级、各单位、各部门之间的工作协调一致，以及为水利电力基建指挥、水文防汛、检修工程等生产服务，为继电保护、自动远动、图像传送、数据交换和电子计算机控制等提供信息传输通道。

三、微波通信在电力系统中的应用

电力系统通信所采用的方式、方法和体制，几乎包括了我国目前所有的通信方式、方法和体制。此外，输电线载波通信则是电力系统所特有的、大量使用的一种有线通信方式。目前，全国已拥有十七万多话路公里的容量。

必须指出，输电线载波通信虽具有经济、比较可靠、与电力系统分布基本一致等优点，但因其电力设备和输电线路的固有干扰（如电晕、绝缘子放电、谐波能量等）大，通信质量较差；同时，又因可供使用的频带宽度较窄，仅在50~400kHz频段内开辟通道，致使在同一个电力系统中的通信容量受到限制，频率分配已趋饱和。

随着大电厂、大机组、大电网的兴建，超高压长距离输电等新技术的采用，以及生产调度、行政管理水平的提高，对电力系统自动化程度提出了更高的要求，并向着以电子计算机控制为中心的综合自动化方向发展。而电力系统自动化的发展，又对电力系统通信提出了相应的、更高的要求。以电力系统生产调度自动化为例，必须把调度机构所需要的有

关发电厂、变电站的电力设备和线路的运行参数（如电压、功率、频率等），表示电力设备和线路运行状态（如开关位置、继电保护动作等）的信号从远方传送到调度室，甚至需经电子计算机处理后，通过屏幕显示器显示出各种工作参数、图形或表格，或由打印机打印成文件，或输入调度模拟盘，进行安全运行监视，以及当发电厂、变电站装备了各种自动调整设备后，还可利用远动系统与电子计算机的互相配合，作数据计算和处理，实现更高水平的自动、远动调整和控制。这都有赖于通信和由通信部门提供信号传输通道，而且所传输的信息又是多种多样的，除调度电话外，还有各种自动、远动信号；除语音形式外，还有图像和数据；除模拟信号外，还有数字信号等等。简言之，随着电力系统生产和管理的现代化，对通信提出了大容量（以话路公里计）、高质量（用可靠性、稳定度衡量）和传输多种信息的要求。显然，作为电力系统通信中有线类的主要通信方式——输电线载波通信是远远不能适应的。

微波通信是一种无线通信方式，频带很宽，目前已使用的频段为300MHz至3000GHz，通信容量很大，仅一个波道便可传送数以百计路以上的电话，多波道运行时可传送的容量则更可观。微波通信所传送的信息，几乎不受电力系统本身干扰的影响，故传输的质量较高。同时，微波通信还具有同时传送电话、电报、图像、数据等多种信息的功能。因此，微波通信已在电力系统中获得了广泛的应用。自一九六三年起，首先在东北电力系统中应用，现已遍及各大电网和部分省电网。至一九八三年，已建成投产的微波电路近30条，长6000余公里，容量达12万话路公里。在“六、五”计划期间，续建和新建微波电路主干线20条左右，长8000余公