



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

DIANLI XITONG JICHU

电力系统基础

侯卓生 主 编 ●

陈 芳 副主编 ●



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

DIANLI XITONG JICHU

电力系统基础

主 编 侯卓生
副主编 陈 芳
编 写 马会贤 汤 燕
李 静 张彦迪
主 审 杨春江



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。

全书共分为5章，主要内容包括电力系统的基本概念、电力系统的等值电路及潮流计算、电力系统电能质量与功率平衡、电力系统故障分析以及电力系统稳定运行。每章后均设有思考题与习题，供读者巩固复习所学知识。

本书可作为高职高专电力技术类相关专业教材，也可作为电力行业培训教材，同时可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

电力系统基础/侯卓生主编. —北京：中国电力出版社，2011.6
普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5123-1882-3

I. ①电… II. ①侯… III. ①电力系统-高等职业教育-教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 128904 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 6 月第一版 2011 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 247 千字

定价 17.50 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

教育改革是高等院校各项改革的核心,也是改革人才培养模式的主要立足点,高职高专培养的是高等技术应用型人才,对专业课的改革尤为重要。结合多年来对电力系统基础课程教学改革的经验,强调基础理论和实践应用、简化繁复计算的特点,我们编写了本书。

本课程的先修课程为电路、电机与拖动。本书重点阐明了电力系统的基本概念、基本理论及分析问题的基本方法,详尽分析了电力系统等值电路及潮流计算、功率平衡、故障分析。本书内容力求深入浅出,理论联系实际,并且重点突出、层次分明、逻辑性强,易于讲授、便于自学。建议本书的讲授学时为 56 学时。

通过本课程的学习,既可让学生系统学习有关基础理论,为后续专业课程及相关学习打下基础,又可培养学生综合运用基础知识、解决工程实际问题的能力。

本书由银川科技职业学院侯卓生教授担任主编,陈芳担任副主编,杨春江教授担任主审。本书共分 5 章,其中第一章由马会贤编写,第二章由李静编写,第三章由陈芳编写,第四章由张彦迪编写,第五章由汤燕编写。全书由侯卓生教授负责统稿工作。

由于作者的水平和时间所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 6 月

目 录

前言

第一章 电力系统的基本概念	1
第一节 电力系统概述	1
第二节 电力系统运行的特点和要求	3
第三节 电压的变换和电能的传输	6
第四节 电力网络的接线和电压等级	12
第五节 电力系统负荷	15
第六节 电力系统中性点运行方式	17
本章小结	22
思考题与习题	23
第二章 电力系统的等值电路及潮流计算	25
第一节 电力线路的参数及其等值电路	25
第二节 变压器、电抗器的参数及其等值电路	30
第三节 发电机和负荷的参数及其等值电路	38
第四节 电力系统的等值网络	39
第五节 电力线路和变压器的功率损耗和电压降落	46
第六节 开式网络的潮流分析	53
第七节 简单闭式网络的潮流分析	59
本章小结	68
思考题与习题	69
第三章 电力系统电能质量与功率平衡	72
第一节 电力系统电能质量	72
第二节 电力系统中的有功功率平衡	73
第三节 电力系统有功功率最优分配	75
第四节 电力系统频率特性	78
第五节 电力系统频率调整	79
第六节 电力系统中的无功功率平衡	82
第七节 电力系统的电压管理	89
第八节 电力系统无功电源	92
第九节 电力系统的电压调整	95
本章小结	99
思考题与习题	100
第四章 电力系统故障分析	102
第一节 电力系统故障分析概述	102

第二节	无穷大容量电源供电系统三相短路分析·····	104
第三节	电力系统三相短路电流的实用计算·····	109
第四节	简单电力系统不对称故障的分析与计算·····	116
本章小结	·····	126
思考题与习题	·····	127
第五章	电力系统稳定运行·····	129
第一节	概述·····	129
第二节	同步发电机的功—角特性·····	129
第三节	电力系统运行的静态稳定性·····	132
第四节	电力系统运行的暂态稳定性·····	141
第五节	提高电力系统稳定性的措施·····	148
本章小结	·····	155
思考题与习题	·····	156
参考文献	·····	157

第一章 电力系统的基本概念

第一节 电力系统概述

一、电力系统的基本组成

电力系统通常是由发电机、变压器、电力线路和用户等组成的三相交流系统。

电力系统中的电气设备也称电力系统的元件，它们之间既有区别，又相互作用。发电机产生电能，升压变压器把发电机发出的低压电变换成高压电，由输电线路进行输送，降压变压器把线路中的高压电能变换为低压电能，便于用户使用。由生产、输送、分配和使用电能的电气设备连接在一起组成的统一整体称为电力系统。

确切地说，电力系统是指由发电机、变压器、电力线路、用户的用电设备等在电气上相互连接所组成的有机整体，如图 1-1 所示。

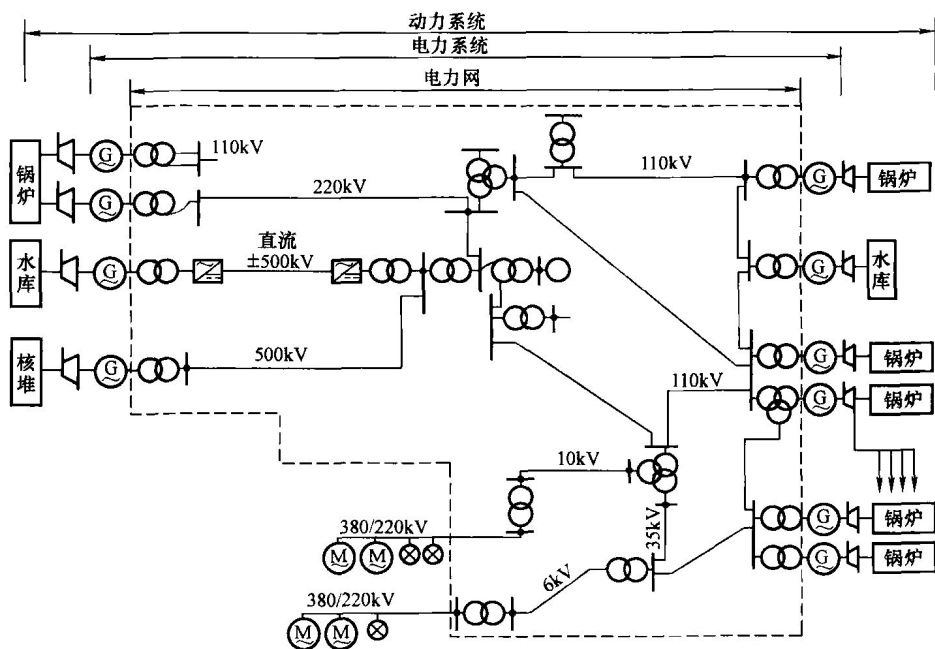


图 1-1 动力系统、电力系统和电力网示意图

⊙—发电机；Ⓜ—电动机；⊗—电灯；▢—换流器；

⊕—双绕组变压器；⊗—三绕组变压器；⊕—自耦变压器；⊕—水轮机、汽轮机

与“电力系统”一词相关的还有“电力网”和“动力系统”。电力网是指由各种电压等级的输、配电线路及由它们所联系起来的各类变电站组成的网路。电力网按其本身结构，又分为开环电力网和闭环电力网。凡用户只能从单方向得到供电的电力网称为开环电力网；凡用户可以从两个或两个以上方向得到供电的电力网称为闭环电力网。动力系统是指电力系统

和发电厂动力部分的总和。

所谓发电厂动力部分，随电厂的性质不同而不同，主要有以下几种：

- (1) 火力发电厂的锅炉、汽轮机、供热网络等。
- (2) 水力发电厂的水库、水轮机。
- (3) 原子能发电厂的反应堆。

电力网是电力系统的一个组成部分，而电力系统又是动力系统的一个组成部分，三者的关系也示于图 1-1 中。

为了便于分析和讨论，我们常用如图 1-2 所示网络来表示简单电力系统。

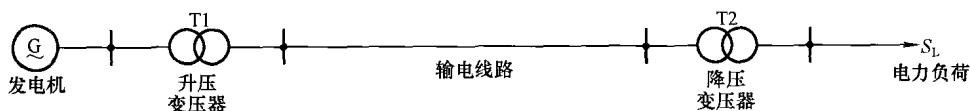


图 1-2 简单电力系统

动力部分是电能产生的发源地。下面以火力发电厂凝汽式汽轮机发电机组为例说明电能的产生过程，图 1-3 所示为凝汽式火力发电厂生产过程示意图。

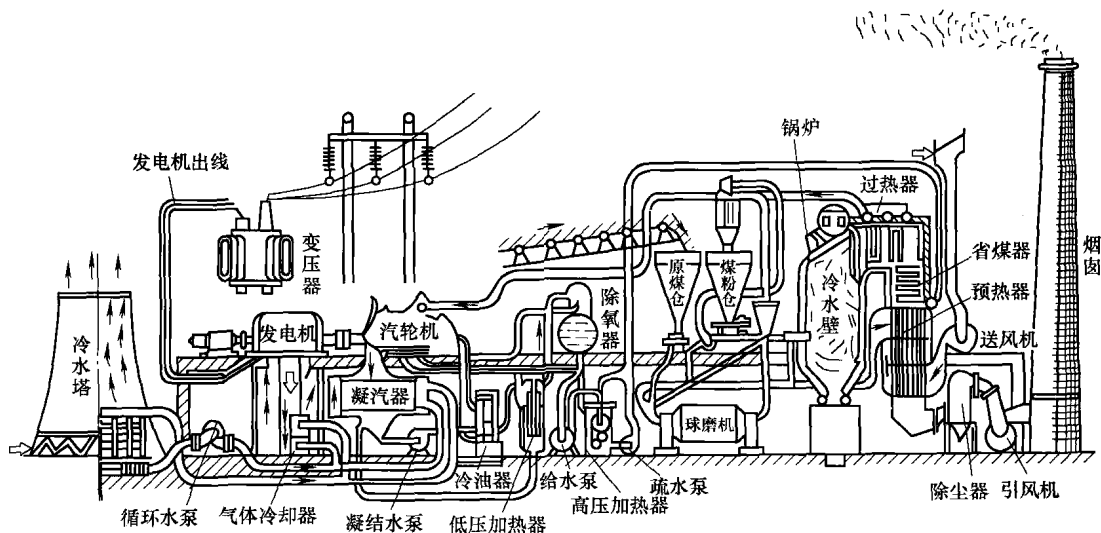


图 1-3 凝汽式火力发电厂生产过程示意图

原煤从煤矿运到电厂后，先存入原煤仓，随后由输煤皮带运进原煤斗，从原煤斗落入球磨机中被磨成很细的煤粉，再由排粉机抽出，随同热空气送入锅炉燃烧室进行燃烧。燃烧放出的热量一部分被燃烧室四周的水冷壁吸收，一部分加热燃烧室顶部和烟道入口处过热器中的蒸汽，余下的热量则被烟气携带穿过省煤器、空气预热器传递给这两个设备内的水和空气。烟气经过除尘器净化处理，由引风机导入烟囱并被排入大气。将燃烧时产生的灰渣和由降尘器收集下来的细灰，用水冲进冲灰沟排出厂外。

燃烧用的助燃空气经送风机进入空气预热器中加热，加热后小部分被送往球磨机作为干燥和运送煤粉的介质，其余部分送入燃烧室参与助燃。

水和蒸汽是把热能转化成机械能的重要物质。净化后的给水先进省煤器进行预热，继而进入汽包，由汽包降入水冷壁管中吸收燃烧室热能后蒸发成为蒸汽。蒸汽通过过热器再次

被加热,变为高温高压的过热蒸汽。过热蒸汽经过主蒸汽管道进入汽轮机膨胀做功,推动汽轮机转子转动,将热能变为机械能。做完功的蒸汽在凝结器中冷却凝结成水。凝结水经除氧器去氧、加热器加热后再由给水泵重新送入省煤器预热,便可作为介质继续循环使用。

凝汽器需要的冷却水由循环水泵送入,冷却水在凝汽器中吸热后,流回冷却塔散热,然后再经循环水泵供给凝汽包。由汽轮机转子带动发电机转子旋转,在发电机中又把机械能转换成电能。发电机发出的电能经变压器升高电压后送入高压电力网。

二、我国电力系统的发展

我国电力工业在新中国成立前虽有 60 多年的历史,但是规模小、技术落后、发展很缓慢。从 1882 年在上海建立了第一个发电厂开始,直到 1948 年,总共留下总容量为 185 万 kW 的发电设备,而年发电量只有 43 亿 kWh,当时占世界第 32 位。

近年来,全国电力工业生产增长快速,各项技术经济指标更加趋于合理。到 2005 年底,全国发电装机容量突破 5 亿 kW 大关。全国共完成发电量为 24 747 亿 kWh,比 2004 年同期增长 12.8%。其中水电 3952 亿 kWh,火电 20 180 亿 kWh,核电 523 亿 kWh。目前我国电力工业居世界第二位。

随着电力工业的不断发展,我国电力系统规模越来越大,发电厂装机容量不断扩大,单机容量为 20 万、30 万、60 万 kW 的机组已成为我国电网主力机型。目前,全国最大的火力发电厂是浙江北仑发电厂,装机容量为 360 万 kW,最大的水力发电厂是三峡水电站,26 台机组已陆续投产发电,单机容量为 70 万 kW,总装机容量为 1820 万 kWh。从电网方面看,电力线路电压等级越来越高,输送距离越来越远。我国 1972 年建成第一回 330kV 线路,1981 年建成第一回 500kV 线路,1989 年建成第一回 ±500kV 直流线路,2005 年 9 月在西北电网建成第一回 750kV (青海官亭—甘肃兰州) 线路。2009 年我国首条 1000kV (山西长治晋东南变电站—南阳—湖北荆门变电站) 投运,实现了华北和华中电网互联,±800kV 特高压直流输电线路(向家坝—上海)正在建设中。各省区的电网都相继连成,仅跨省连接的大电力系统就有 6 个,分别是华北电力系统、东北电力系统、华东电力系统、华中电力系统、西北电力系统和南方电力系统。在不远的将来,将形成以三峡水电站为中心的全国性联合电力系统。

20 世纪 80 年代以来,我国电力需求连续 30 年实现快速增长,年平均增长速度接近 8%。在未来的 20 年,电力需求仍然需要保持 5.5%~6% 的快速增长。2010 年全社会用电达到 25 400 亿~26 600 亿 kWh,需要装机 5.5 亿~5.8 亿 kW;2020 年全社会用电将达到 39 400 亿~43 200 亿 kWh,需要装机 8.2 亿~9.0 亿 kW。电力与经济紧密相关,电力是保证经济发展的重要物质基础,经济发展是电力发展的内在动力。为满足全面建设小康社会的需要,电力发展的任务艰巨、责任重大。

第二节 电力系统运行的特点和要求

一、电能的优点

电能在各种能源中占有特殊的地位,具有许多优点:

- (1) 电能可以很方便地转换成其他形式的能量,如光能、热能、机械能、化学能等。
- (2) 电能便于生产、输送、分配、使用,易于控制。

(3) 自然界中具有丰富的电力资源,如石油、煤、天然气、原子能、水力、太阳能等。由于这些原因,所以电能是被人们广泛使用的一种能源。

二、电力系统运行的特点

任何一个系统都有自己独特的特征。电力系统的运行和其他工业系统比较起来,具有以下明显特点。

1. 电能不能大量存储

电能的生产、输送、分配、消费、使用是同时进行的,每时每刻系统中发电机发出的电能应等于该时刻用户使用的电能,再加上输送这些电能时在电网中损耗的电能。这个产销平衡关系是电能生产最大的特点。

2. 过渡过程非常迅速

电能的传输近似于光速,以电磁波的形式传送,传播速度为 30 万 km/s,“快”是其极大的特点。电能从一处输送至另一处所需要的时间仅为千分之几秒;电力系统从一种运行状态过渡到另一种状态的过渡过程也非常快。

3. 与国民经济各部门密切相关

现代工业、农业、国防、交通运输业等都广泛使用着电能,此外,在人民日常生活中也广泛使用着各种电器,而且各部门电气化程度越来越高。因此,电能供应的中断或不足,不仅直接影响各行业生产,造成人民生活紊乱,而且在某些情况下甚至会造成政治上的损失或极其严重的社会灾难。

由于这些特点的存在,对电力系统的运行提出了严格要求。

三、对电力系统运行的基本要求

评价电力系统性能的指标是安全可靠、电能质量和经济性能。根据电力系统运行的特点,电力系统应满足以下三大要求。

1. 保证安全可靠地供电

电力系统运行首先要满足安全可靠、不间断供电的要求。虽然保证安全可靠、不间断供电是电力系统运行的首要任务,但并不是所有各种负荷都绝对不能停电,一般可按负荷对供电可靠性的要求将负荷分为三级,运行人员根据各负荷的重要程度不同区别对待。

(1) 一级负荷。属于重要负荷,如果对该负荷中断供电,将会造成人身事故、设备损坏、产生大量废品,或长期不能恢复生产秩序,给国民经济带来巨大损失。

(2) 二级负荷。如果对该级负荷中断供电,将会造成大量减产、工人窝工、机械停止运转、城市公用事业和人民生活受到影响等。

(3) 三级负荷。指不属于第一、二级负荷的其他负荷,短时停电不会带来严重后果,如工厂的不连续生产车间或辅助车间、小城镇和农村用电等。

通常对一级负荷要保证不间断供电,应设置两个或两个以上的独立电源,要求电源之间应能够自动切换;对二级负荷,如有可能也要保证不间断供电,应设置两个独立电源,但电源之间可采用手动切换;当系统中出现供电不足时,三级负荷可以短时断电,一般采用一个电源供电即可。当然,对负荷的这种分级不是一成不变的,会随着国家技术经济政策的改变而改变。

2. 保证良好的电能质量

我国先后颁布了有关电能质量的 6 个国家标准,即 GB/T 12325—2008《电能质量 供

电电压偏差》、GB/T 15945—2008《电能质量 电力系统频率偏差》、GB/T 14549—1993《电能质量 公用电网谐波》、GB/T 15543—2008《电能质量 三相电压不平衡度》、GB/T 12326—2008《电能质量 电压波动和闪变》、GB/T 18481—2001《电能质量 暂时过电压和瞬态过电压》。

电力系统的电压和频率正常是保证电能质量的基本指标，电压质量和频率质量一般以偏离额定值的大小来衡量。实际用电设备是按额定电压来设计，若电压偏高或偏低都将影响用电设备运行的技术和经济指标，甚至不能正常工作。一般规定，电压偏移不应超过额定电压的 $\pm 5\%$ 。频率的变化同样影响用电设备正常的工作，以电动机为例，频率降低会引起转速下降，频率升高则转速上升。电力系统运行规定，频率偏移不应超过 $\pm(0.2\sim 0.5)\text{Hz}$ 。

近些年来，随着冶金工业、化学工业及电气化铁路的发展，电力系统的非线性负荷（如整流设备、电解设备、电力机车等）及冲击性负荷（如电弧炉、轧钢机等）使电能的非线性、非对称性和波动性日趋严重。由于大量非线性负荷接入系统，引起谐波比重增大，交流电波形达不到规定的标准，正弦交流电的波形质量一般以谐波畸变率衡量。所谓谐波畸变率是指周期性交流量中谐波含量（减去基波分量后所得的量）的方均根值与其基波分量的方均根值之比（用百分数表示）。谐波畸变率的允许值随电压等级的不同而不同，如110kV供电时为2%，35kV供电时为3%，10kV供电时为4%。

为将电力系统中的冲击性负荷对供电电压质量的影响控制在合理的范围内，按照标准规定，电力系统公共供电点由冲击性功率负荷产生的电压波动允许值：在10kV及以下为2.5%，35~110kV为2%，220kV及以上为1.6%。电压闪变 ΔU_{10} （等值10Hz电压闪变值）允许值：对照明要求较高的白炽灯负荷为0.4%；一般性照明负荷为0.6%。

三相电力系统中三相不对称的程度称为三相不平衡度。用电压或电流负序分量与正序分量的方均根值百分比表示。按标准规定，电力系统公共连接点正常电压不平衡度允许值为2%，短时不得超过4%。

关于电能质量的暂时过电压和瞬态过电压，按国标规定有下列指标：

(1) 系统工频过电压限值。工频过电压限值3~10kV为 $1.1\sqrt{3}$ ，35~66kV为 $\sqrt{3}$ ，110~220kV为1.3。

(2) 操作过电压限值。标准过电压限制110~252kV为3.0，330kV为2.2，550kV为2.0。

由此可知，衡量电能质量的指标是电压偏差、频率偏差、谐波畸变率、三相不平衡度、电压波动和闪变、暂时过电压和瞬态过电压。如果不能满足这些指标要求，无论对用户还是对电力系统本身都会产生不良后果。因此，运行人员必须随时调节电力系统的电压和频率，并在一些地点实施相应限制电压波动措施及谐波治理措施，以保证电力系统的电能质量。

3. 保证电力系统运行的经济性

电力系统运行的经济性主要反映在降低发电厂的能源消耗、厂用电率和电力网的电能损耗等指标上。电能所消耗的能源在国民经济能源总消耗中占的比重很大。要使电能在生产、输送和分配的过程中耗能小、效率高，最大限度地降低电能成本有着十分重要的意义。电能成本的降低，不仅意味着能量资源的节省，还将影响到各用电部门成本的降低，为整个国民经济带来很大益处。而要实现经济运行，除了进行合理的规划设计外，还需对整个系统实施

最佳的经济调度。

以上对电力系统的三条基本要求，前两条必须保证，在保证可靠性、电能质量的前提下力求经济。把以上几点归纳起来可知，保证为用户供应充足、优质而又经济的电力，就是电力系统运行的基本任务。

第三节 电压的变换和电能的传输

发电厂产生的电能向用户输送，输送的电能可以表示为

$$A = Pt = \sqrt{3}UI\cos\varphi t \quad (1-1)$$

式中 A ——发电厂输送的电能，kWh；

P ——输送的有功功率，kW；

t ——时间，h；

U ——输电网电压，kV；

I ——导线中的电流，A；

$\cos\varphi$ ——功率因数。

因为电流在导线中流过，将造成电压降落、功率损耗和电能损耗。电压降落与导线中通过的电流成正比，功率损耗和电能损耗与电流的平方成正比。为降低运行成本，在输送功率不变的情况下，提高电压可以减小电流，不仅可以降低电压降落和电能损耗，还可以选择较细的导线，以节约电网建设投资。当电能输送到负荷中心时，又必须将电压降低，以供各种各样的用户使用。在交流电流系统中，电压的变换（升高或降低）是由电力变压器来实现的。

一、电压的变换

电力变压器的主要作用除了升高或降低电压之外，还有将不同电压等级的电网相联系。

电力变压器的结构和工作原理在电机拖动中已有阐述，此处只作简单介绍。变压器是根据电磁感应原理工作的，其结构是两个（或两个以上）彼此绝缘的绕组绕在一个共同的铁心上，它们之间只有磁的耦合，没有电的直接联系。当一次绕组接通电源时，一次绕组中就有交流电流流过，并在铁心中产生交变磁通，其频率和外加电源电压的频率一样。这个交变磁通同时交链一次、二次绕组，根据电磁感应原理可知，在一次、二次绕组中将产生感应电动势，二次绕组有了电动势便可向负荷供电，实现能量传递。一次绕组和二次绕组感应电动势的频率都等于交变磁通的频率，即一次绕组外加电压的频率。而一次、二次绕组感应电动势的大小之比等于一次、二次绕组匝数之比。因此，只要改变一次或二次绕组的匝数，便可以改变输出电压。这就是电力变压器利用电磁感应作用，把一种电压的交流电能变换成频率相同的另一种电压的交流电能。

变压器按相数可分为单相式和三相式，实际生产的电力变压器大多是三相式。但特大型变压器从运输等方面考虑，有制成单相式的，安装好后再接成三相变压器。

变压器按每相绕组数可分为双绕组变压器和三绕组变压器。前者联络两个电压等级，后者联络三个电压等级。双绕组变压器的结构是高压绕组在外侧，低压绕组在内侧，这主要是从绝缘、调节、出线方便等方面考虑。三绕组变压器的高压侧也是放在外侧，对于升压变压器，低压绕组放在中间层，中压绕组放在内层；对于降压变压器，中压绕组一般放在中间

层，低压绕组放在内层。这主要是由于中间层的绕组因为互感作用而电抗最小，而升压或降压变压器传输电能的方向有所不同。

变压器按绕组的耦合方式可分为普通变压器和自耦变压器。电力系统中的自耦变压器一般设置有第三绕组或补偿绕组，它是一个低压绕组。高压、中压绕组之间存在自耦联系，而低压绕组与高压、中压绕组只有磁的耦合。自耦变压器的损耗小、重量轻、成本低，但其漏抗较小，使短路电流增大。此外，由于高压、中压绕组在电路上相通，过电压保护要求自耦变压器的中性点必须接地。

变压器的高压侧（及中压侧）除了主接头外，还引出有多个分接头，并装有分接开关（电压高，则电流小，易于实现分接头的调节），以改变有效匝数，使变比改变，进行分级调压。图 1-4 所示为用线电压表示的升压、降压变压器分接头电压的基本情况。根据分接开关是否可以带负荷操作，电力变压器又分为有载调压变压器和不加电压时才可切换的无载调压变压器。

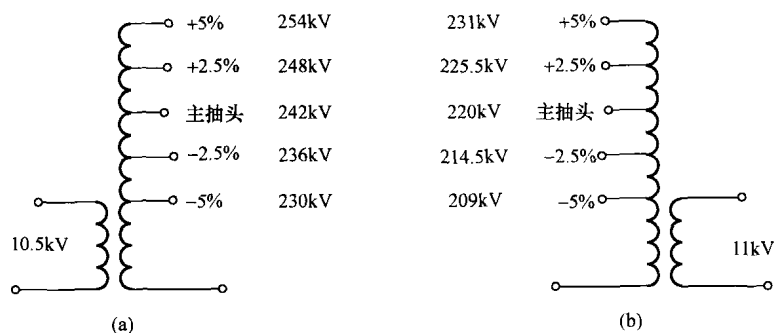


图 1-4 用线电压表示的分接头电压的基本情况

(a) 升压变压器；(b) 降压变压器

在电力系统中，变压器占据着极其重要的地位，无论是在发电厂或变电站，都可以看到各种型式和不同容量的变压器（见图 1-5）。

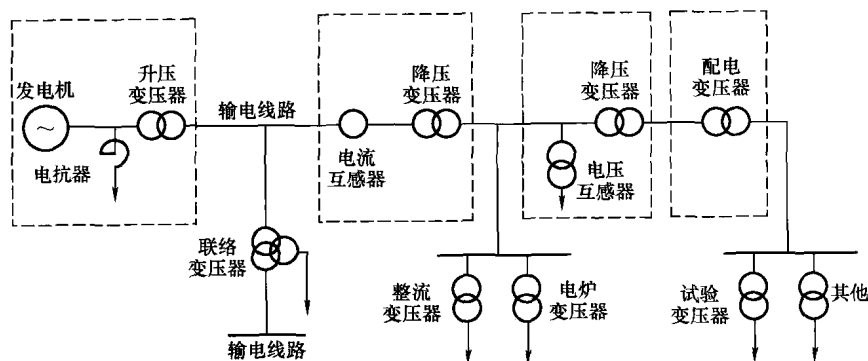


图 1-5 变压器在电力系统中的应用

二、电能的传输

电能的传输是在输电线路上进行的。输电线路按结构分为架空线路和电缆线路两类。架空线路是将裸导线架设到杆塔上，电缆线路一般是将电缆敷设在地下（埋在土中或沟道、管道中）或水底。

1. 架空线路

架空线路具有投资少, 维护检修方便等特点, 因而得到广泛应用, 其缺点是易遭受风雪、雷击等自然灾害影响, 因而发生事故的机会较多。

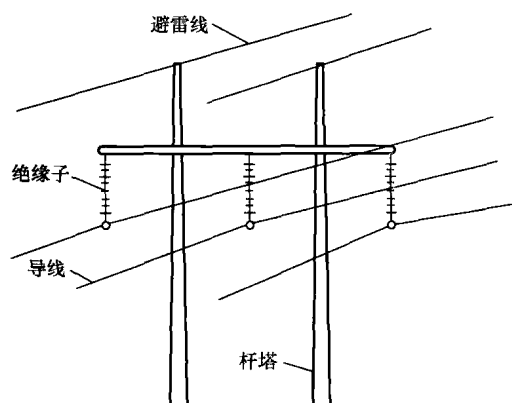


图 1-6 架空线路

架空线路由导线、避雷线、杆塔、绝缘子和金具等主要元件组成, 如图 1-6 所示。

(1) 导线和避雷线。导线和避雷线均采用裸线。导线的作用是传输电能, 避雷线的作用是将雷电流引入大地, 保护电力线路免受雷击, 因此它们都应有较好的导电性能。导线和避雷线均架设在户外, 除了要承受导线自身质量、风力、冰雪及温度变化等产生的机械力作用外, 还要承受空气中有害气体的化学腐蚀作用。所以, 导线和避雷线还应有较高的机械强度和抗化学腐蚀性能。导线常用的材料有铜、铝、铝合金和钢等。

裸导线有单股线和由一种材料或两种材料制成的多股绞线 (见图 1-7)。由于多股绞线柔性好, 机械强度高, 便于制造、安装和保管, 因此架空线路大多数采用多股绞线。为了增加导线的机械强度、减少架空线路的杆塔数目、节约线路的投资, 10kV 以上的线路广泛采用钢芯铝绞线。钢芯铝绞线是由多股铝线绕在单股或多股的钢导线外层而构成的。铝线是主要载流部分, 而机械应力则由钢线和铝线共同承担, 这就可以充分利用铝线导电性能好、钢线机械强度高的优点。在 220kV 以上的输电线路中, 为了改善输电线路参数和减少电晕损耗, 常采用特殊结构的导线, 例如扩径导线和每相由多根多股标准导线构成的分裂导线等, 如图 1-7 所示。

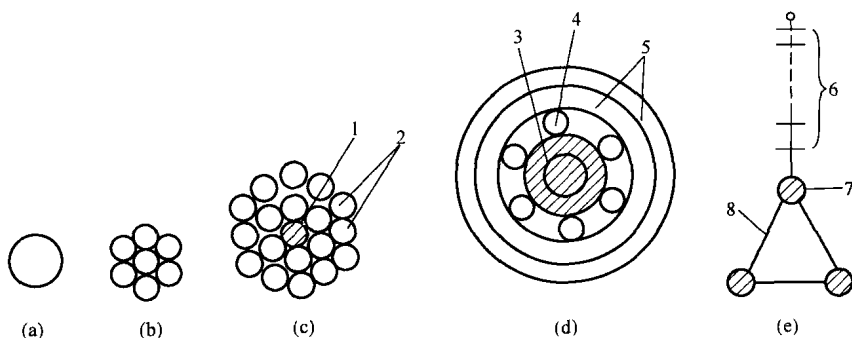


图 1-7 架空输电线路导线的结构示意图

(a) 单股线; (b) 多股绞线; (c) 钢芯铝绞线; (d) 扩径导线; (e) 相分裂导线

1—钢线; 2—铝线; 3—多股钢芯线; 4—支撑层; 5—多层多股绞线;

6—绝缘子串; 7—多股绞线; 8—金属间隔棒

多股导线是按规定标准制造的, 导线的标号用汉语拼音字母和数字表示。例如, LGJ-120/20, 字母 LGJ 表示线型为普通钢芯铝绞线, 数字 120 表示主要载流部分 (对钢芯铝绞线是铝线部分) 的标准截面积为 120mm^2 , 钢 20mm^2 。其他几种常见的线型有: GJ—钢绞

线；LJ—铝绞线；LGJJ—加强型钢芯铝绞线；LGJQ—轻型钢芯铝绞线等。

(2) 杆塔。杆塔用来支持导线和避雷线，并使导线和导线之间、导线与杆塔之间、导线和避雷线之间以及导线与大地之间保持一定的安全距离。按杆塔所承担的任务不同可分为以下几种，如图 1-8 所示。

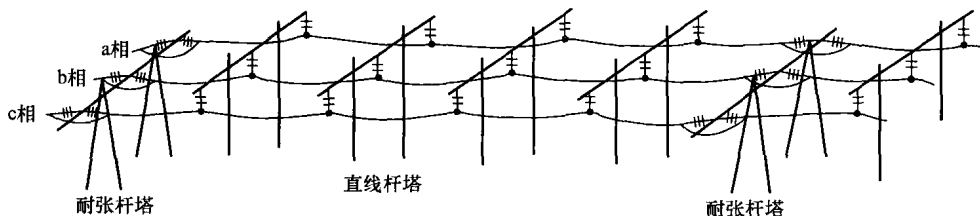


图 1-8 架空线路示意图

1) 直线杆塔。又称为中间杆塔，主要用来悬挂导线，是线路上用得最多的一种杆塔。

2) 耐张杆塔。又称为承力杆塔，主要用来承担线路正常及故障（如断线）情况下导线的拉力，同时又可使线路分段，便于施工和检修，限制故障范围。在耐张杆塔上，绝缘子串不像直线杆塔上那样与地面垂直，而是呈与导线相同的走向。杆塔两边同一相导线是通过跳线来接通的。

3) 终端杆塔。它是最靠近变电站的一座杆塔，用来承受最后一个耐张档距导线的单向拉力。如果没有终端杆塔，则拉力将由变电站建筑物承担，这将增加变电站的造价。

4) 转角杆塔。它是用在线路拐弯处，能承受侧向拉力。拐角较大时做成耐张杆塔的类型，拐角较小时也可做成直线杆塔的类型。

5) 特种杆塔。它是在特殊情况下使用的一种杆塔，如导线换位后用的换位杆塔，跨越河流山谷等跨距很大的跨越杆塔等。

(3) 绝缘子和金具。绝缘子用来支持或悬挂导线并使导线与杆塔绝缘，因此，它必须具有良好的绝缘性能和足够的机械强度。架空线路上用的绝缘子有针式、悬挂式等各种型式（见图 1-9）。针式绝缘子应用在电压不超过 35kV 的线路上，悬式绝缘子可以根据线路电压

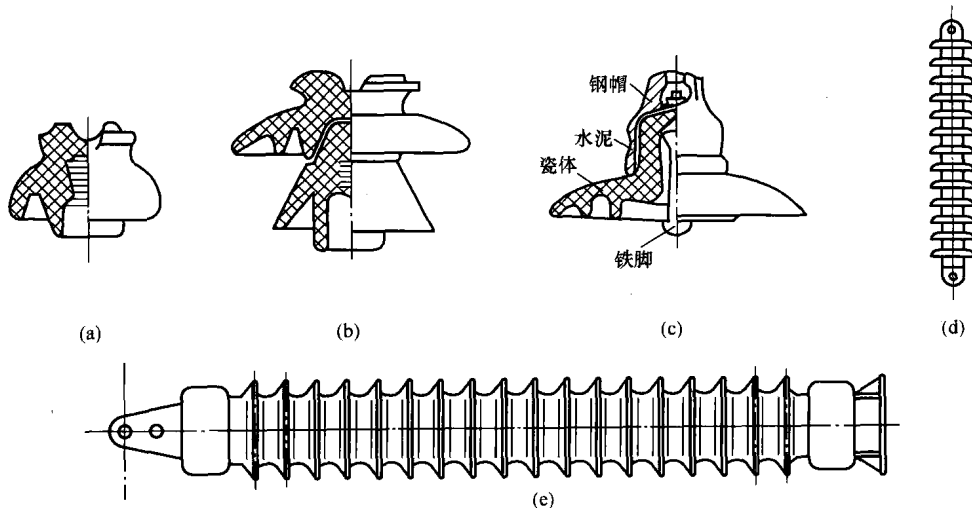


图 1-9 架空电力线路的绝缘子和瓷横担

(a) 10kV 针式绝缘子；(b) 35kV 针式绝缘子；(c) 悬式绝缘子；(d) 棒式绝缘子；(e) 瓷横担

的高低用不同数目的绝缘子组成绝缘子串。当使用 X-4.5 型瓷绝缘子时, 35kV 线路不少于 3 片, 110kV 线路不少于 7 片, 220kV 线路不少于 13 片, 330kV 线路不少于 19 片。棒式绝缘子是实心整块的磁棒, 可以用来代替悬式绝缘子串。磁横担是既起绝缘子作用又起横担作用的磁棒。

金具是用来组装架空线路的各种金属零件的总称, 其种类繁多用途各异。如结合金具用来连接悬式绝缘子串; 连接金具用来连接导线; 固紧金具用来将导线固定在悬式绝缘子串上; 保护金具中的防振锤用以防止导线因振动而损害等。

2. 电缆线路

电缆线路的优点是占地少, 不受外界干扰, 因而比较安全可靠, 不影响地面绿化和整洁; 缺点是工程造价高, 而且故障检查和处理比较困难。电缆线路主要用于一些城市配电线路, 以及跨江过海的输电线路。

电力电缆的结构主要包括导体、绝缘层和保护皮三个部分。

(1) 电缆的导体通常采用多股铜绞线或铝绞线, 以增加电缆的柔性, 使之能在一定程度内弯曲而不变形, 根据电缆中导体数目不同, 可分为单芯、三芯和四芯电缆。单芯电缆的导线截面积总是圆形的; 三芯或四芯电缆的导体截面积除了圆形外, 还有扇形的, 如图 1-10 所示。

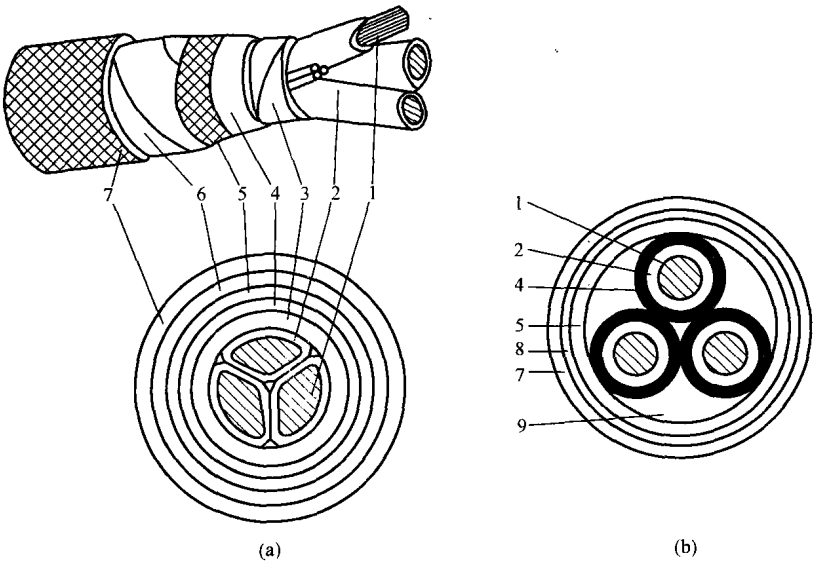


图 1-10 电缆结构示意图

(a) 三相统包型; (b) 分相铅包型

1—导体; 2—相绝缘; 3—纸绝缘; 4—铅包皮; 5—麻衬; 6—钢带铠甲;
7—麻被; 8—钢丝铠甲; 9—填充物

(2) 电缆的绝缘层用来使各导体之间及导体与保护皮之间绝缘。绝缘层使用的绝缘材料种类很多, 如橡胶、聚乙烯、纸、油、气等, 一般多采用油浸纸绝缘及充油、充气绝缘。

(3) 电缆的保护皮用来保护绝缘层, 使其在运输、敷设和运行过程中不受外力损伤, 并防止水分侵入。保护皮在油浸纸绝缘电缆中还有防止绝缘油外流作用。常用的电缆保护皮有铅包皮和铝包皮。为防止外力破坏, 有的电缆最外层还有钢带铠甲。

电缆除按芯数和导体截面形状分类外,还可分为统包型、屏蔽型和分相铅包型。统包型电缆的三相芯线绝缘层外有一共同的铅包皮。这种电缆内部电场分布不均匀,不能充分利用绝缘强度,只适用于 10kV 以下的电缆。屏蔽型电缆的每相芯线绝缘层外都包有金属带。分相铅包型电缆的各相分别铅包。电压为 110kV 及以上的线路多采用充油式或充气式电缆。

三、直流输电

直流输电是将发电机发出的交流电经升压后,由换流设备(整流器)变换成直流,通过直流输电线路送到受电端,再经过换流设备(逆变器)变换成交流,供给受电端的交流系统,如图 1-11 所示。需要改变输电方向时,只需让两端换流器互换工作状态即可。换流设备是直流输电系统的关键部分。早期的换流大多采用汞弧阀,自 20 世纪 70 年代以来新建成的直流输电工程已普遍应用晶闸管换流元件。

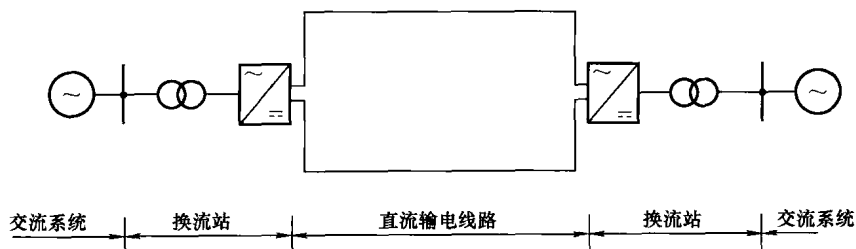


图 1-11 直流输电系统示意图

与交流输电相比较,直流输电的主要优点有:

(1) 造价低。对于架空线路,当线路建设费用相同时,直流输电的功率约为交流输电功率的 1.5 倍;对于电缆线路,直流输电功率与交流输电功率的比值更大。

(2) 运行费用低。在输送功率相等的条件下,直流线路只需要两根导线,交流线路需要三根。所以,直流线路的功率损耗和电能损耗比交流线路约小 $1/3$,由电晕引起的无线电干扰也比交流线路小得多。

(3) 不需串、并联补偿。直流线路在正常运行时,由于电压为恒值不变,导线间没有电容电流,因而也不需要并联电抗补偿。由于线路中电流也是恒值不变,也没有电感电流,因而也不需要串联电容补偿。这一显著优点,特别是对于跨越海峡向岛屿供电的输电线路,是非常有利的。另外,直流输电沿线电压的分布比较平稳。

(4) 直流输电不存在稳定性问题,对由直流线路联系的两端交流系统不要求同步运行。所以直流输电线路本身不存在稳定性问题,输送功率也不受稳定性限制。如果交、直流并列运行,则有助于提高交流输电的稳定性。

(5) 采用直联联络线可以限制互联系统的短路容量。由于直流系统可采用“定电流控制”,用其连接两个交流系统时,短路电流不致因互联而明显增大。

但直流输电存在以下缺点:

(1) 换流站造价高。直流线路比交流线路便宜,但直流系统的换流站则比交流变电站造价高得多。若估计线路造价和年运行费用等经济指标,直流输电与交流输电经济的等价距离,架空线路为 640~960km,电缆线路为 24~48km。

(2) 换流装置在运行中需要消耗无功功率,并且产生谐波。为了向换流装置提供无功功率和吸收谐波,必须装设无功补偿设备和滤波装置。