

Electric Power Technology

普通高等教育“十一五”规划教材 (高职高专教育)  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI GONGCHENG

# 电力工程

唐顺志 主 编  
向文彬 邓书蕾 副主编



中国电力出版社

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

普通高等教育“十一五”规划教材 (高职高专教育)  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI GONGCHENG

# 电力工程

主 编 唐顺志  
副主编 向文彬 邓书蕾  
编 写 李 媛 刘 赞  
主 审 张东英 李 霜

江苏工业学院图书馆  
藏书章



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（高职高专教育）。

本书较全面地叙述了电力系统、发电厂变电站电气设备、高电压技术以及继电保护的基本知识。全书共分14章，包括概述、电力网的参数与等值电路、简单电力系统的潮流分析、电力负荷、电力系统的有功平衡与频率的调整、电力系统的无功平衡与电压的调整、短路电流计算、电力系统的稳定性、开关电器、互感器、母线及绝缘子、电气主接线、电气设备选择、电力系统过电压及其防护和电力系统继电保护。

本书可作为高职高专电力技术类专业的教学用书，也可作为电力系统变配电职工的培训用书，还可供从事发电厂、变电站设计、运行、管理等工作的工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电力工程/唐顺志主编. —北京: 中国电力出版社, 2008  
普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育  
ISBN 978-7-5083-6916-7

I. 电… II. 唐… III. 电力工程—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 040026 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2008年5月第一版 2008年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 450千字

定价 29.60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。

本书根据教育部审定的高职高专电力类专业课程的教学大纲和国家电网公司电力类专业人才培养计划编写,可作为高职高专电力类专业教学用书。

本书体现了高职高专教育的性质、任务和培养目标;符合高职高专教育的特点与规律,有较强的高职高专教育特色;突出以能力为核心、素质为本位、就业为导向的基本原则;力求做到适用为准、够用为度,同时又兼顾了近年来电气方面新技术的发展。本书既可作为电力类(非电力工程)专业的学历教学用书,也可作为相关电力岗位的职业资格与技能岗位培训用书。

电力工程是一门理论性以及适用性都很强的电力类专业基础课程,作为高职高专教材,本书总结了重庆电力高等专科学校、广西水利电力职业技术学院以及其他兄弟院校自开设电力工程课程以来,长期讲授本课程的教学经验,并按电力类三年制高职高专电气类专业对电气部分所需的专业知识与技能进行编写,重点体现了电气部分的技术性、实践性以及适用性,突出基本知识与基本技能。本书以电能的生产、输送为干,以电力系统运行的安全、可靠、经济运行为枝,将“发电厂变电所电气设备”、“电力系统分析”、“高电压技术”以及“继电保护”等传统专业课的内容有机地融合成一体,基本覆盖了电力系统的基本内容。各专业可根据自己的实际情况来选择、安排教学内容,书中带\*部分为选学内容。

本书由唐顺志担任主编,向文彬、邓书蕾担任副主编。全书分三篇共14章,第1、2、5章由李媛编写,第4、6、7章由邓书蕾编写,第8、9、10章由刘赞编写,第3、11、12章由向文彬编写,唐顺志编写概述及第13、14章并负责全书的统稿。

华北电力大学电气与电子工程学院张东英教授以及重庆电力高等专科学校电气教研室主任李霜副教授主审了全书并提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

本书在编写过程中得到了重庆电力高等专科学校电力工程系领导和全体教师的支持,电力工程系黄益华主任在本书的编写和统稿过程中做了大量的协调工作,在定稿过程中花费了很多心血。重庆电力高等专科学校电气教研室、继电保护教研室、线路教研室全体教师阅读了初稿,特别是“电气工程”课程教学小组,在编写过程中,提出了许多修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2007年11月

## 目 录

前言	
概述	1
0.1 电力系统的组成与特点	1
0.2 电力系统的接线方式	3
0.3 发电厂、变电所(站)类型	5
0.4 电力系统的额定电压	8
0.5 电力系统中性点的接地方式	10
0.6 电力工业发展现状与前景	13
习题	14

## 第 1 篇 电力系统分析

第 1 章 电力网参数和等值电路	15
1.1 电力线路的结构	15
1.2 电力线路的参数及等值电路	19
1.3 变压器的参数和等值电路	24
* 1.4 标幺制	30
1.5 电力系统的等值电路	33
习题	37
第 2 章 简单电力系统的潮流分析	38
2.1 概述	38
2.2 电力网的功率损耗	39
2.3 电力网中电压的计算	41
2.4 开式网络的潮流分析	43
2.5 闭式网络的潮流分析	45
习题	49
第 3 章 电力负荷	51
3.1 电力负荷及负荷曲线	51
* 3.2 电力负荷整形技术	54
习题	56
第 4 章 电力系统有功功率平衡和频率调整	57
4.1 概述	57
4.2 电力系统有功功率的平衡	58
4.3 电力系统的频率特性	59
4.4 电力系统的频率调整	62

* 4.5 电力系统有功功率的经济分配 .....	67
习题 .....	69
<b>第 5 章 电力系统的无功平衡和电压调整 .....</b>	<b>71</b>
5.1 概述 .....	71
5.2 电力系统的无功功率平衡 .....	74
5.3 电力系统的电压管理 .....	76
5.4 电力系统的几种主要调压措施 .....	77
习题 .....	83
<b>第 6 章 短路电流计算 .....</b>	<b>84</b>
6.1 短路的基本概念 .....	84
6.2 无限大功率电源供电的三相短路分析 .....	86
6.3 三相短路电流的实用计算 .....	89
6.4 电力系统不对称短路 .....	91
习题 .....	93
<b>第 7 章 电力系统的稳定性 .....</b>	<b>95</b>
7.1 概述 .....	95
7.2 简单电力系统的静态稳定分析 .....	97
7.3 提高电力系统静态稳定性的措施 .....	102
7.4 简单电力系统的暂态稳定性分析 .....	104
7.5 提高电力系统暂态稳定性的措施 .....	107
习题 .....	114

## 第 2 篇 电气设备

<b>第 8 章 开关电器 .....</b>	<b>115</b>
8.1 开关电器的用途和分类 .....	115
8.2 开关电器的电弧产生及灭弧 .....	116
8.3 高压断路器 .....	119
8.4 隔离开关 .....	130
8.5 高压熔断器 .....	135
8.6 高压负荷开关 .....	138
8.7 低压开关电器 .....	141
习题 .....	156
<b>第 9 章 互感器 .....</b>	<b>157</b>
9.1 互感器概述 .....	157
9.2 电压互感器 .....	158
9.3 电流互感器 .....	165
9.4 互感器的配置 .....	171
习题 .....	172

<b>第 10 章 母线及绝缘子</b> .....	173
10.1 母线 .....	173
10.2 绝缘子 .....	177
习题 .....	180
<b>第 11 章 电气主接线</b> .....	181
11.1 电气主接线的形式 .....	183
* 11.2 典型主接线的举例分析 .....	194
11.3 自用电接线 .....	199
习题 .....	205
<b>第 12 章 电气设备选择</b> .....	207
12.1 电气设备的发热和电动力计算 .....	207
12.2 电气设备选择的一般条件 .....	215
12.3 单条矩形母线的选择 .....	216
12.4 高压断路器的选择与校验 .....	219
12.5 高压隔离开关的选择 .....	220
12.6 互感器的选择 .....	221
习题 .....	223

### 第 3 篇 电力系统过电压与继电保护

<b>第 13 章 电力系统过电压及其防护</b> .....	224
13.1 雷云放电的物理过程及雷电参数 .....	225
13.2 防雷设备 .....	228
13.3 输电线路防雷措施 .....	237
13.4 发电厂、变电所防雷保护 .....	241
* 13.5 电气二次系统防雷保护 .....	246
13.6 防雷接地与等电位连接 .....	249
13.7 电力系统内部过电压 .....	253
习题 .....	256
<b>第 14 章 电力系统继电保护</b> .....	257
14.1 继电保护概述 .....	257
14.2 输电线路阶段式保护 .....	260
14.3 高频保护 .....	268
14.4 输电线路自动重合闸 .....	271
14.5 母线保护 .....	273
14.6 发电机、变压器保护配置 .....	277
习题 .....	282
<b>附录 I 高压断路器和隔离开关的主要技术参数</b> .....	283
<b>附录 II 常用电气参数</b> .....	286
<b>参考文献</b> .....	288



## 概 述



### 本章要求

全面了解电力系统的组成；了解电力系统的接线方式；了解电力线路结构；掌握电力系统的运行特点与要求；掌握电力系统中性点的运行方式；熟悉电力系统的额定电压系列。



### 知识点

- (1) 电力系统的基本组成、运行特点、基本要求。
- (2) 电力系统中性点的运行方式。
- (3) 电力系统的接线方式。
- (4) 电力系统的额定电压。
- (5) 发电厂、变电所分类。
- (6) 电力工业发展现状与前景。



### 重点、难点

- (1) 电力系统中性点的运行方式。
- (2) 电力系统各设备的额定电压。
- (3) 电力系统的接线方式。

## 0.1 电力系统的组成与特点

### 0.1.1 电力系统的组成

电能是各行各业生产建设和居民生活的重要能源。由于它易于输送，便于集中、分配和控制，容易转换为其他形式的能量，因此电能得到了广泛的应用。电力工业是国民经济中的先行行业，是衡量一个国家现代化水平的标志之一。

发电厂把其他形式的能量转换成电能，电能经过变压器和不同电压的输电线路输送并被分配给用户，再通过各种用电设备转换成适合用户需要的各种能量。这些生产、输送、分配和消耗电能的各种电气设备连接在一起而组成的整体称为电力系统。

电力系统中加上各种类型的发电厂，如火电厂的汽轮机、锅炉、供热管道和热用户，水电站的水轮机和水库等，就称为动力系统。

电力网是电力系统中输送和分配电能的部分，包括升、降压变压器和各种电压等级的输电线路。

在交流电力系统中，发电机、变压器、输配电设备都是三相的，这些设备之间的连接情况，可以用电力系统接线图表示。为简单起见，电力系统接线图都画成单线，图 0.1 所示为动力系统、电力系统和电力网示意图。



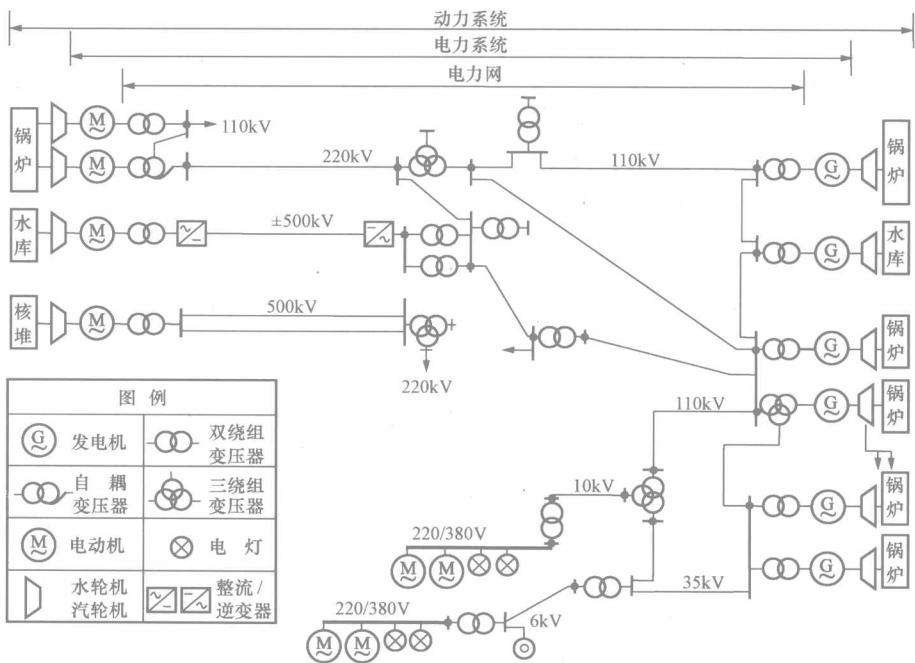


图 0.1 动力系统、电力系统和电力网示意图

### 0.1.2 电力系统的特点和运行的基本要求

#### 1. 电力系统的特点

电力系统是由电能的生产、输送、分配和消费各环节组成的一个整体。与别的工业系统相比较，电力系统的运行具有以下明显特点：

(1) 电能不能大量存储，目前尚不能大量地、廉价地存储电能，即发电厂发出的功率必须等于该时刻用电设备所需的功率、输送和分配环节中的功率之和。

(2) 电力系统的暂态过程非常短暂，电力系统从一种运行状态到另一种运行状态的过渡极为迅速。

(3) 与国民经济中各部门及人民生活有着极为密切的关系，供电的突然中断会带来严重的后果。

#### 2. 电力系统运行的基本要求

根据电力系统的特点，人们对电力系统运行的基本要求如下：

- (1) 保证供电的安全可靠性；
- (2) 保证良好的电能质量；
- (3) 保证电力系统运行的经济性。

保证安全可靠的发、供电是电力系统运行的首要要求。在运行过程中，供电的突然中断大多由事故引起。因此，必须从各个方面采取措施以减少和防止事故的发生，例如，要严密监视设备的运行状态和认真维修设备以降低事故发生的可能、要不断提高运行人员的技术水平以防止人为事故的发生。为了提高系统运行的安全可靠性，还必须配备足够的有功功率电源和无功功率电源、完善电力系统的结构、提高电力系统的抗干扰能力、增强系统运行的稳定性、利用现代化通信技术和计算机技术对系统的运行进行安全监视和控制等。

电压和频率是电气设备设计和制造的基本技术参数，也是衡量电能质量的两个基本指标。我国采用的额定频率为 50Hz，正常运行时允许的偏移为  $\pm 0.2 \sim \pm 0.5\text{Hz}$ 。用户供电电压的允许偏移约为额定值的  $\pm 5\%$ 。电压和频率超出允许偏移时，不仅会造成废品和减产，还会影响用电设备的安全，严重时甚至会危及整个系统的安全运行。

频率主要取决于系统中的有功功率平衡，系统发出的有功功率不足，频率就降低。电压则主要取决于系统中的无功功率平衡，无功功率不足，电压就偏低。因此，要保证良好的电能质量，关键在于系统发出的有功功率和无功功率都应满足在额定电压下的功率平衡要求，电源要配置得当，还要有适当的调整手段。

电能生产的规模很大，消耗的能源在国民经济能源总消耗中占的比重也很大，而且电能又是国民经济中大多数生产部门的主要动力。因此，提高电能生产的经济性具有十分重要的意义。

为了提高电力系统运行的经济性，必须尽量降低发电厂的煤耗率（水耗率）、厂用电率和电力网的损耗率。也就是说，要求在电能的生产、输送和分配过程中减少耗费、提高效率。为此，应做好规划设计，合理利用能源；采用高效率、低损耗设备；采取措施降低网损；实行经济调度等。

上述三个方面的要求是互相联系、相互制约的。一个不安全的系统是谈不上优质和经济的，电能质量低的系统也不会是安全和经济的。但是，有时候安全和优质的要求也可能同经济性发生矛盾。因此，对于一个具体的系统，当采取措施以满足上述三个方面的要求时，要有全面的考虑。

## 0.2 电力系统的接线方式

### 0.2.1 电力系统接线图

电力系统接线图分为电力系统地理接线图和电力系统电气接线图。

电力系统地理接线图按比例地显示电力系统中各发电厂和变电所的相对地理位置，反映各条电力线路按一定比例的路径以及它们相互间的连接，但它不能完全显示各电力元件之间的连接情况，如图 0.2 所示。

电力系统电气接线图主要显示系统中各电力元件之间的电气联系，但它不能反映各发电厂、变电所的相对地理位置，如图 0.3 所示。通常这两种接线图互相配合使用。

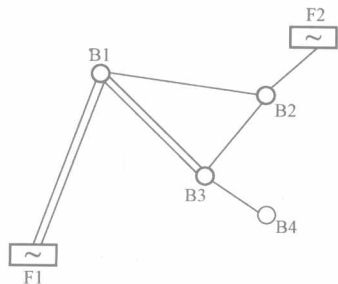


图 0.2 电力系统地理接线图

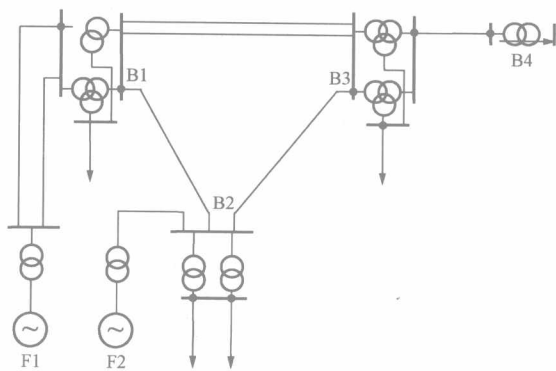


图 0.3 电力系统电气接线图

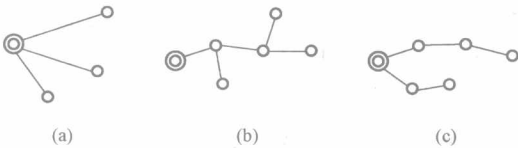
电力系统的接线方式对于保证安全、优质和经济地向用户供电具有非常重要的作用。电力系统的接线包括发电厂的主接线、变电所的主接线和电力网的接线。发电厂和变电所的主接线在第 11 章的课程中学习，这里只介绍电力网的接线。

为满足区别接线方式不同的需要，电力网还可分为单端电源供电网（又称为开式网）、两端电源供电网（包括环网）和多端电源供电网（又称为复杂网）。

### 0.2.2 电力系统基本接线方式

电力网的接线按供电可靠性可分为无备用和有备用两类。

在无备用接线的网络中，每一个负荷只能靠一条线路取得电能，单回路放射式、干线式和链式网络即属于这一类（见图 0.4）。这类接线的特点是简单、设备费用较少、运行方便。



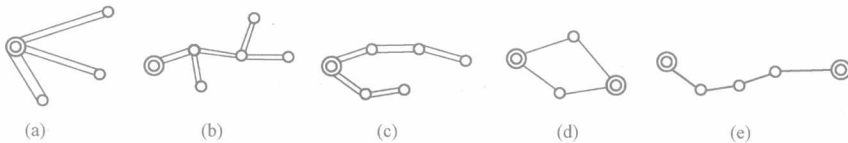
(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 链式

图 0.4 无备用接线图

(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 链式

但是其供电的可靠性比较低，任一段线路发生故障或检修，都要中断部分用户的供电。在干线式和树状网络中，当线路较长时，线路末端的电压往往偏低。

在有备用的接线方式中，最简单的一类是在上述无备用网络的每一段上都采用双回线路（见图 0.5），这是一类最常见的有备用网络。一般来说，环形网络的供电可靠性是令人满意的，也比较经济，但是其运行调度比较复杂。



(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 链式；(d) 环形供电；(e) 两端供电

图 0.5 有备用接线图

(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 链式；(d) 环形供电；(e) 两端供电

另一种常见的有备用接线方式是两端供电网络，其供电可靠性相当于有两个电源的环形供电网络。

对于上述有备用网络，根据实际需要也可以在部分或全部线路采用双回路。在环形供电网络和两端供电网络中，每一个负荷点至少通过两条线路从不同的方向取得电能，具有这种接线特点的网络又称为闭式网络。

在电力系统中，各部分电力网担负着不同的职能，因此对其接线方式的要求也不一样。电力网按其职能可以分为输电网络和配电网络。

输电网络的主要任务是将大容量发电厂的电能可靠而经济地输送到负荷集中地区。输电网络通常由电力系统中电压等级最高的一级或两级电力线路组成。系统中的区域发电厂（经升压站）和枢纽变电所通过输电网络相互连接。对输电网络接线方式的要求主要是：输电网络应有足够的可靠性、要满足电力系统运行稳定性的要求、要有助于实现系统的经济调度、要具有对运行方式变更和系统发展的适应性等。

用于连接远距离负荷中心地区的大型发电厂的输电干线和向缺乏电源的负荷集中地区供电的输电干线常采用双回线路或多回线路。位于负荷中心地区的大型发电厂和枢纽变电所一般通过环形网络互相连接。

配电网的任务是分配电能。配电线路的额定电压一般为 0.4~35kV, 有些负荷密度较大的大城市也采用 110kV, 甚至 220kV。配电网的电源点是发电厂(或变电所), 相应电压级的母线, 负荷点则是低一级的变电所或者直接为用电设备。

配电网采用哪一类接线, 主要取决于负荷的性质。无备用接线只适用于向第三级负荷供电。对于第一级和第二级负荷占较大比重的用户, 应由有备用网络供电。

实际电力系统的配电网比较复杂, 往往是由各种不同接线方式的网络组成的。在选择接线方式时, 必须考虑的主要因素是, 满足用户对供电可靠性和电压质量的要求, 运行要灵活方便, 要有好的经济指标等。一般都要对多种可能的接线方案进行技术、经济比较后才能最终确定。

### 0.3 发电厂、变电所(站)类型

发电厂是把各种天然能源, 如煤炭、水能、核能等转换成电能的工厂。电能一般还要由变电所升压, 经高压输电线路送出, 再由变电所降压才能供给用户使用。为了便于了解电能的生产, 有必要先了解发电厂和变电所(站)的类型。

#### 0.3.1 发电厂类型

##### 1. 火力发电厂

火力发电厂是指用煤(包括用油和天然气)作燃料的发电厂。火力发电厂中的原动机, 大都为汽轮机, 也有个别地方采用柴油机和燃气轮机。火力发电厂又可分为以下几种。

(1) 凝汽式火电厂。凝汽式火电厂中由锅炉产生的蒸汽, 送入汽轮机, 带动发电机发出电能。已做过功的蒸汽, 排入凝汽器冷却成水, 又重新送回锅炉。在凝汽器中, 大量的热量被循环水带走, 所以凝汽式火电厂的效率较低, 只有 30%~40%。凝汽式火电厂简称火电厂。火电厂的典型布置图如图 0.6 所示。

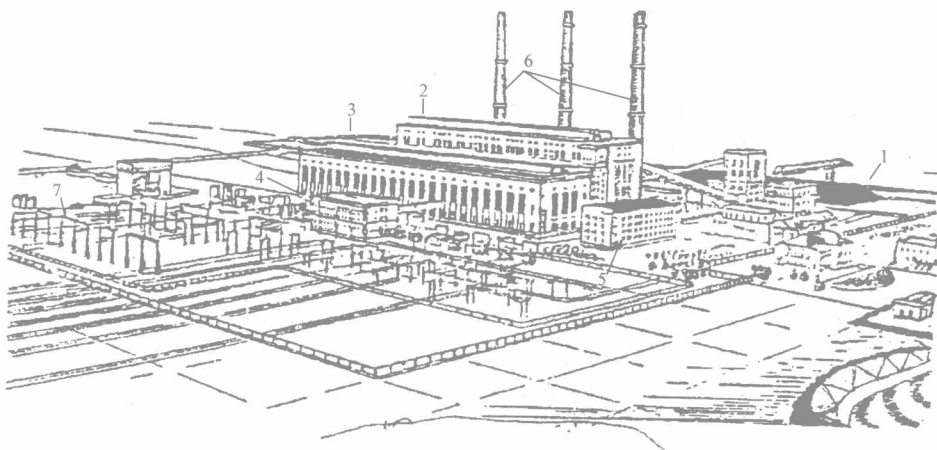


图 0.6 火电厂的典型布置图

1—煤场; 2—锅炉房; 3—汽轮机房; 4—主控制室; 5—办公楼; 6—烟囱; 7—屋外高压配电装置

(2) 热电厂。热电厂与凝汽式火电厂的不同之处在于：汽轮机中一部分做过功的蒸汽，从中段抽出并供给热用户，或经热交换器将水加热后再把热水供给用户。这样，便可减少被循环水带走的热量损失，现代热电厂的效率高达 60%~70%。

## 2. 水力发电厂

水力发电厂把水的位能和动能转变成电能，通常简称水电厂或水电站。根据水力枢纽布置的不同，水电厂又可分为堤坝式、引水式等。

(1) 堤坝式水电厂：水电厂在河床上游修建拦河坝，将水积蓄起来，抬高上游水位，形成发电水头，这种开发模式称为堤坝式。堤坝式水电厂又可分为坝后式和河床式两种。

1) 坝后式水电厂：这种水电厂的厂房建筑在坝的后面，全部水压由坝体承受。水库的水由主压力水管引入厂房，转动水轮发电机发电。坝后式水电厂适合于高、中水头的情况，如图 0.7 所示。

2) 河床式水电厂：这种水电厂的厂房和挡水堤坝连成一体，厂房也起挡水作用，因其修建在河床中，故名河床式。水头一般为 20~30m，如图 0.8 所示。

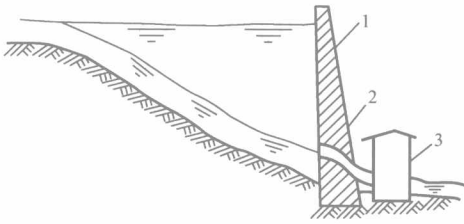


图 0.7 坝后式水电厂

1—坝；2—主压力水管；3—厂房

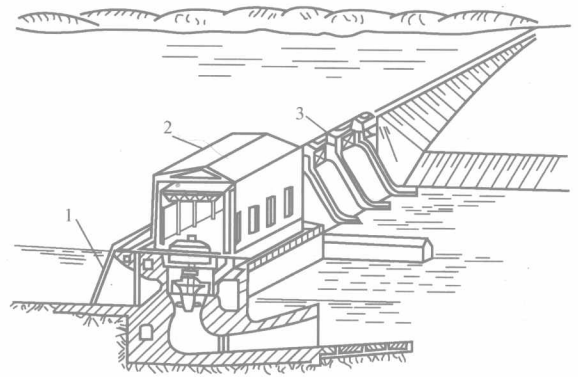


图 0.8 河床式水电厂

1—进水口；2—厂房；3—溢流坝

(2) 引水式水电厂：这种水电厂建筑在山区水流湍急的河道上，或河床坡度较陡的地方，由引水渠道造成水头，而且一般不需修坝或只修低堰，如图 0.9 所示。

(3) 抽水蓄能电厂。这是一种特殊形式的水电厂，如图 0.10 所示。

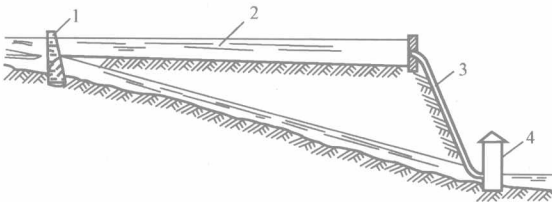


图 0.9 引水式水电厂

1—低堰；2—引水渠道；3—压力水管；4—厂房

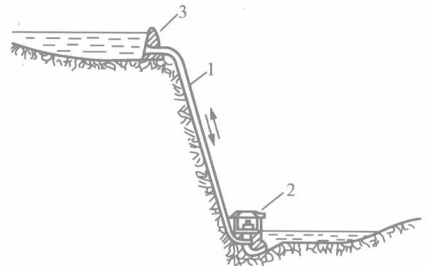


图 0.10 抽水蓄能电厂

1—压力水管；2—厂房；3—坝

### 3. 核电厂

核电厂是利用核裂变将原子能转化为热能，再按火电厂的发电方式，将热能转换为电能，它的原子核反应堆相当于锅炉。核反应堆中，除装有核燃料外，还以重水或高压水作为慢化剂和冷却剂，所以，核反应堆又可分为重水堆、压水堆等。图 0.11 所示为压水堆核电厂发电方式示意图。

核反应堆内铀-235 在中子的撞击下，原子核发生裂变，产生的巨大能量主要以热能形式被高压水带至蒸汽发生器中，在此产生蒸汽，并送至汽轮发电机组中。1kg 铀-235 约等于 2700t 标准煤所发出的电力。

#### 4. 其他发电方式

利用其他一次能源发电的，还有风力发电、潮汐发电、地热发电、太阳能发电等。此外，还有直接将热能转换成电能的磁流体发电等。

#### 0.3.2 变电所分类

变电所是电力网的重要组成部分，它的任务是汇集电源、升降电压、分配电能。它除了可以按升压、降压进行分类外，还可以按设备布置的地点分为户外变电所和户内变电所及地下变电所等。

按照变电所在电力系统中的地位和作用可将其划分为以下几种。

##### 1. 系统枢纽变电所

枢纽变电所位于电力系统的枢纽点，它的电压是系统的最高输电电压，目前电压等级有 220、330（仅西北电网）、500kV 和 750kV，枢纽变电所连成环网，全所停电后，将引起系统解列，甚至导致整个系统瘫痪，因此对枢纽变电所的可靠性要求较高。

枢纽变电所主变压器容量大，供电范围广。

##### 2. 地区一次变电所

地区一次变电所位于地区网络的枢纽点，是与输电主网相连的地区受电端变电所，其任务是直接从主网受电，并向本供电区域供电。全所停电后，可引起地区电网瓦解，从而影响整个区域供电。电压等级一般采用 220kV 或 330kV。

地区一次变电所主变压器容量较大，出线回路数较多，对供电的可靠性要求也比较高。

##### 3. 地区二次变电所

地区二次变电所由地区一次变电所受电，直接向本地区负荷供电，其供电范围小，主变压器容量与台数视电力负荷而定。

全所停电后，只有本地区中断供电。

##### 4. 终端变电所（变电站）

终端变电所位于输电线路终端，接近负荷点，经降压后直接向用户供电。全所停电后，只是终端用户停电。

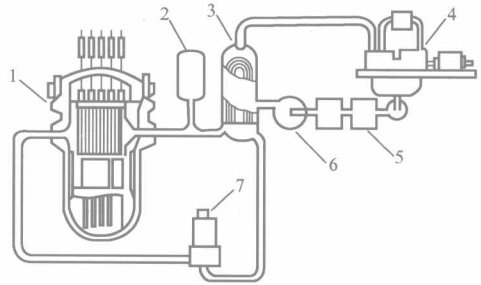


图 0.11 压水堆核电厂发电方式示意图  
1—核反应堆；2—稳压器；3—蒸汽发生器；4—汽轮发电机组；5—给水加热器；6—给水泵；7—主循环泵

### 0.3.3 发电厂、变电所电气设备简述

#### 1. 一次设备

为满足生产需要，发电厂、变电所中安装有电气设备。通常把生产和分配电能的设备，如发电机、变压器和断路器等称为一次设备。它们包括以下几类：

(1) 生产和转换电能的设备，如发电机将机械能转换成电能，电动机将电能转换成机械能，变压器将电压升高或降低，以满足输、配电需要。这些设备都是发电厂中最重要的设备。

(2) 接通或断开电路的开关电器，如断路器、隔离开关、熔断器、接触器之类，它们用于正常或事故时，闭合或断开电路。

(3) 限制短路电流和防御过电压的电器，如限制短路电流的电抗器和防御过电压的避雷器等。

(4) 接地装置，无论是电力系统中性点的工作接地还是保护人身安全的保护接地，均同理入大地的接地装置相连接。

(5) 载流导体，如裸导体、电缆等，它们按设计的要求，将有关电气设备连接起来。

#### 2. 二次设备

二次设备是对上述一次设备进行测量、控制、监视和保护用的设备。它们包括以下几类。

(1) 仪用互感器，如电压互感器和电流互感器，可将电路中的电压或电流降至较低值，供给仪表和保护装置使用。

(2) 测量表计，如电压表、电流表、功率因数表等，用于测量电路中的参量值。

(3) 继电保护及自动装置，这些装置能迅速反应不正常情况并进行监控和调节，如作用于断路器跳闸，将故障切除。

(4) 直流电源设备，包括直流发电机组、蓄电池等，供给保护和事故照明的直流用电。

## 0.4 电力系统的额定电压

### 0.4.1 电力系统的额定电压等级

为了标准化、系列化地制造电力设备，且便于设备的运行、维护、管理，电气设备都是按照指定的电压进行设计和制造的，这个指定的电压称为电气设备的额定电压。当电气设备在此电压下运行时，其技术与经济性能最好。我国国家标准 GB156—2006《额定电压》规定的电力系统额定电压等级见表 0.1。对于其中数据有以下说明：

表 0.1 额定电压等级 (单位: kV)

受电设备	线路平均额定电压	交流发电机	变 压 器	
			一次绕组	二次绕组
3	3.15	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
		13.8	13.8	
		15.75	15.75	



续表

受电设备	线路平均额定电压	交流发电机	变 压 器	
			一次绕组	二次绕组
		18	18	
35	37		35	38.5
(60)	(63)		(60)	(66)
110	115		110	121
220	230		220	242
(330)	(345)		(330)	(363)
500	525		500	550

(1) 从表 0.1 中可以看到, 在同一个电压级别下, 各种设备的额定电压并不完全相等。为了使各种互相连接的电气设备都能运行在有利的电压下, 各电气设备的额定电压之间有一个相互配合的问题。

(2) 电力线路的额定电压和用电设备的额定电压相等, 有时把它们称为电网的额定电压, 如 35、220kV 等。

(3) 发电机的额定电压比电网的额定电压高 5%。这是因为发电机总是接在电力网的首端, 而且发电机可能带有直馈负荷, 若考虑沿线路的电压损耗为 10%, 则应使末端的电压不低于额定值的 95%。

(4) 变压器具有发电机和负荷的双重性。一次侧接电源相当于负荷, 其额定电压与电网的额定电压相等, 但直接与发电机连接时, 其额定电压与发电机的额定电压相等。二次侧相当于发电机, 其额定电压规定应比电网的额定电压高 5%, 但由于变压器二次侧额定电压定义为空载电压, 当变压器满载时内部电压损耗约为额定电压的 5%, 为使正常运行的变压器二次侧电压较电网额定电压高 5%, 因此变压器二次侧额定电压应比电网电压高 10%; 如果变压器的短路电压小于 7.5% 或直接与用户连接, 则规定比网络的额定电压高 5%。

#### 0.4.2 电力网电压等级的选择

在电力系统中, 三相交流输电线路传输的有功功率为

$$P = \sqrt{3}UI \cos\varphi \quad (0.1)$$

即输送功率一定时, 输电电压越高, 电流越小, 可采用较小截面的导线。但电压越高, 输电线路对绝缘的要求越高, 电气设备的绝缘投资就越大。因此, 对应一定的输电距离和输送功率, 应有一个在技术、经济上均较合理的电压。

各级电力网电压等级的选择可参照表 0.2。

表 0.2 各级电力网电压等级的经济输送容量、输送距离与适用地区

额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	适用地区
0.38	0.1 以下	0.6 以下	低压动力与三相照明
3	0.1~1.0	1~3	高压电动机
6	0.1~1.2	4~15	发电机电压、高压电动机
10	0.2~2.0	6~20	配电线路、高压电动机
35	2.0~10	20~50	县级输电网、用户配电网
110	10~50	30~150	地区级输电网、用户配电网

续表

额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	适用地区
220	100~200	100~300	省、区级输电网
330	200~500	200~600	省、区级输电网、联合系统输电网
500	400~1000	150~850	省、区级输电网、联合系统输电网

## 0.5 电力系统中性点的接地方式

电力系统的中性点是指星形连接的变压器或发电机的中性点。电网中性点的接地方式直接影响电网供电的可靠性及电网本身的安全，随着电网的发展，特别是在城市区域内，由于对环境要求高，架空线路不容易发展，使用电力电缆的越来越多，这就导致电网单相接地电容电流不断增大。在接地故障中，弧光接地过电压是最严重的一种过电压现象，由于过电压事故而造成的大面积停电现象在全国范围内也多次出现。目前，我国电力系统常见的中性点主要有三种接地方式，即中性点不接地（中性点经小电阻接地）、中性点经消弧线圈接地和中性点直接接地。前两种又称为非直接接地。

### 0.5.1 中性点不接地方式

中性点不接地三相系统的等值电路和相量图如图 0.12 所示。在正常运行时，三相电力系统各相对地电压  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$  是对称的，其大小为相电压；如果线路经过完整换位，三相相对地电容相等，都等于  $C_0$ ，则各相对地电容电流对称，三相电容电流相量和为零，地中没有电容电流，中性点对地电压  $\dot{U}_N = 0$ 。

当发生 C 相单相金属性接地故障时，接地相电压为零，中性点对地电压升高为相电压，未接地相对地电压也升高为相电压的  $\sqrt{3}$  倍，变为线电压，如图 0.12 所示。

即

$$\begin{aligned}\dot{U}_{Cd} &= 0 \\ \dot{U}_N &= -\dot{U}_C \\ \dot{U}_{Bd} &= \dot{U}_N + \dot{U}_B = -\dot{U}_C + \dot{U}_B \\ \dot{U}_{Ad} &= \dot{U}_N + \dot{U}_A = -\dot{U}_C + \dot{U}_A \\ U_{Ad} &= U_{Bd} = \sqrt{3}U_{ph}\end{aligned}$$

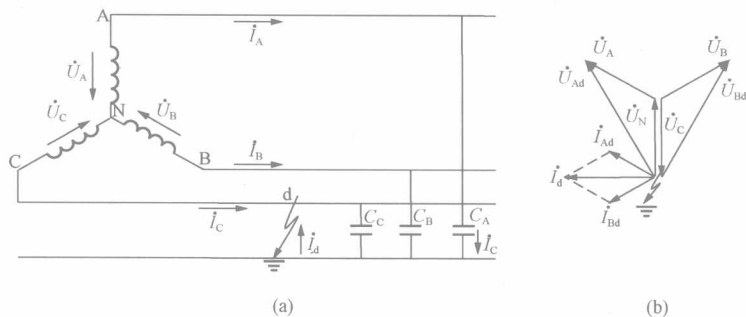


图 0.12 中性点不接地三相系统的等值电路和相量图

(a) 等值电路；(b) 相量图