

供配电一次系统

王朗珠 主编



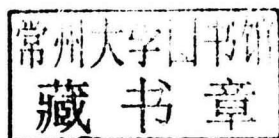
电子科技大学出版社



供配电一次系统

主 编 王朗珠 孙 荣

参 编 向婉芹 涂雪芹 陈乙源 冯彩绒



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

供配电一次系统 / 王朗珠主编. — 成都 : 电子科技大学出版社, 2014. 4

ISBN 978 - 7 - 5647 - 2322 - 4

I. ①供… II. ①王… III. ①供电系统—一次系统②
配电系统—一次系统 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 074646 号

内 容 简 介

本书共 10 学习情境, 内容为电力系统与供配电系统, 电力变压器及运行, 高、低开关电器, 互感器, 供配电网络接线, 变电所一次系统, 电力负荷计算, 短路电流计算, 电气设备选择, 防雷与接地等。

教材紧密结合供配电一次系统运行、维护相关人员的工作职能, 以实际工作中的任务为引导, 帮助学生认识供配电一次系统的工作内容, 工作任务。

供配电一次系统

王朗珠 孙 荣 主编

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦, 邮编: 610051)
策划编辑: 辜守义
责任编辑: 辜守义
主 页: www.uestp.com.cn
电子邮箱: uestp@uestp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 四川川印印刷有限公司
成品尺寸: 185mm × 260mm 印张 14.75 字数 350 千
版 次: 2014 年 4 月第一版
印 次: 2014 年 4 月第一次印刷
书 号: ISBN 978 - 7 - 5647 - 2322 - 4
定 价: 31.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

本套校本教材是重庆电力高等专科学校国家骨干重点建设项目——供用电技术专业建设的成果，是校企合作的产物，是优质核心课程建设的配套教材。

教材由专业建设委员会领头，专兼结合组成教材编写小组。教材的编写思路与“建立工作过程化课程体系”的职业教育课程改革的方向相一致，主要体现职业教育规律，满足企业岗位需求，符合学生就业要求。教材以学习情境或项目教学为编写单位，工作过程为教学顺序，以知识、技能和职业技能鉴定为主要教学内容，并将职业素质教育贯穿其中，以期达到满足理实一体教学模式的需要。

教材在编排上力求目标明确、操作性强、文字简练、图文并茂、通俗易懂。

由于教材采用新的体例，缺点和不足在所难免。实践是检验真理的唯一标准，在具体教学实践中，我们会不断完善和修改，并期待领导、专家及同行提出批评，更希望本校教师创造性地使用，使本套教材更加充实和完善，更加体现我校的特色。

编 者

2013 年 2 月

目 录

学习情境一 电力系统与供配电系统	1
课题一 电力系统与配电系统的组成	1
课题二 供电关系及对供电的要求	11
课题三 电力系统中性点的运行方式	14
学习情境二 电力变压器及运行	18
课题一 变压器结构	18
课题二 三相变压器的连接	26
课题三 变压器的基本技术特性	28
课题四 配电变压器	29
课题五 变压器的运行	31
课题六 干式变压器的运行	34
学习情境三 高、低压开关电器	36
课题一 开关电器中的电弧及灭弧	36
课题二 高压断路器	40
课题三 隔离开关	49
课题四 熔断器	52
课题五 高压负荷开关	59
课题六 自动重合器与自动分断器	60
课题七 低压开关	65
课题八 常用漏电保护装置	72
课题九 成套配电装置	75

学习情境四 互感器	82
课题一 电流互感器	82
课题二 电压互感器（电磁式）	91
学习情境五 供配电网络	99
课题一 负荷分级及其对供电的要求	99
课题二 供、配电网的基本接线形式	101
课题三 工矿企业、农村供配电网络的特点	107
课题四 城镇供配电网	109
学习情境六 变电所一次系统	116
课题一 用户变电所	116
课题二 变电所主接线	118
课题三 变配电所变压器的选择	126
课题四 变电所的结构与布置	130
课题五 组合式变电站	137
学习情境七 负荷计算	140
课题一 计算负荷	142
课题二 确定计算负荷的方法	147
课题三 工业企业供电系统功率因数的提高	155
课题四 年电能消耗量的计算	159
课题五 确定供（配）电系统的计算负荷	160
学习情境八 短路电流计算	163
课题一 短路认识	163
课题二 无限大容量供电系统三相短路分析	166
课题三 无限大容量供电系统三相短路电流的计算	170
课题四 两相和单相短路电流的计算	177
课题五 低压系统短路电流的计算	178

学习情境九 电气设备选择	181
课题一 载流导体的发热和电动力	181
课题二 电气设备和载流导体选择的一般条件	182
课题三 单条矩形母线的选择	185
课题四 支持绝缘子的选择	189
课题五 高压开关设备的选择	192
课题六 低压开关设备的选择	194
课题七 互感器的选择	197
学习情境十 防雷与接地	206
课题一 过电压及其分类	206
课题二 防雷设备	210
课题三 防雷措施	220
课题四 接地与接零	225
参考文献	231

学习情境一 电力系统与供电系统

【学习情境描述】随着我国经济建设和电力事业的不断发展，电能在整个国民经济和人们日常生活中起着举足轻重的作用。电能生产最基本的特点就是不能大规模地储存，电能的生产、输送、分配、使用几乎是在同时进行的。图 1-1 简略的表示了电力工业的整个生产环节。建立对电力生产过程的整体认识，是进入专业学习的第一步。

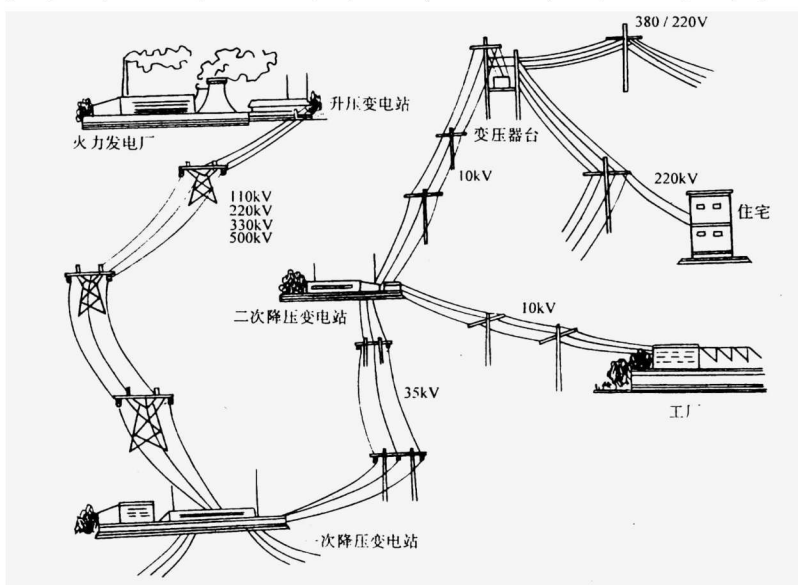


图 1-1 电能生产、输送、分配、使用示意图

【教学目标】了解电力系统的组成，了解供电网络在电力系统中的地位和作用及供电的基本要求；掌握配电系统中性点的运行方式。

【教学环境】包括多媒体图片、场景的最低要求。

【学习任务】根据电力系统的定义及组成单位特点，形成发—输—配—用的整体概念；清楚供、用电之间的关系及电能质量指标；理解配电系统中性点的运行方式。

课题一 电力系统与配电系统的组成

电力系统是由各类发电厂、电力网（变电所、线路）和用户组成的一个统一整体，其功能是完成电能的生产、输电、分配和使用，如图 1-2 所示。

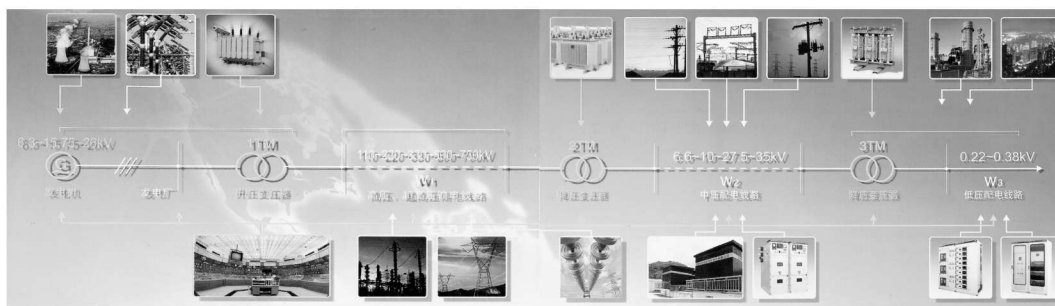


图 1-2 电力系统的简单示意图

1. 发电厂类型

发电厂是电力系统中唯一把各种原始能源，如煤炭、水能、核能等转换成电能的工厂。

根据原始能源的不同，我国的主力发电厂主要分为：火力发电厂、水力发电厂和核电厂。实际中还有一小部分利用天然气、风力、地热、潮汐、垃圾等发电的电厂。

(1) 火力发电厂

我国火力发电厂发电量占全部发电量的 83%，其中燃煤的约占 70%，燃油的约占 25%，利用其他能源的电厂约占 5%。

按燃料来划分：火力发电厂可分为汽轮机发电、内燃机发电、燃气轮机发电三种类型。

按生产产品性质来分：火力发电厂分为凝汽式电厂如图 1-3 所示（只生产电能）、供热式电厂（不仅供电，还给用户供热）、综合利用电厂（不仅供电、供热，还生产灰渣水泥、保温材料和磷肥等）等类型。

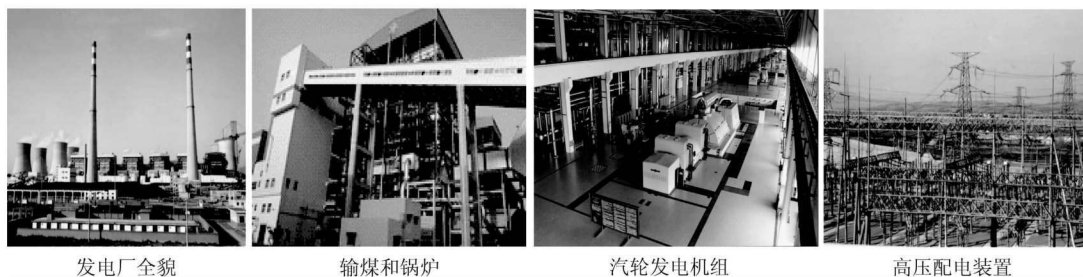


图 1-3 火力发电厂示意图

按供电范围来划分，可分为以下五类：

- 1) 区域发电厂。向大区域面积供电或建在煤炭基地的坑口电厂。
- 2) 地方发电厂。主要向区县城市供电。
- 3) 企业自备电厂。专门供企业所需电能和热能。
- 4) 小型发电厂。利用当地能源发电，供当地工农业用电和城乡居民用电。
- 5) 列车、船舶电站。为基本建设施工或暂时性地区缺电时用电。

目前我国最大单机容量为 1000MW。国外最大火力发电厂是日本的鹿岛电厂，装机为 4400MW，单机容量为 1300MW。

(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，如图 1-4 所示。



图 1-4 水力发电厂示意图

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。

因河流的落差是沿河分布的，流量也是随地点和时间而变化，为有效而经济地利用水能，需设法集中落差和调节流量，水电厂就是按集中落差或调节流量的方式来建造的。

按集中落差的方式可划分为以下三种类型。

1) 引水式：上游筑坝，通过坡降引水隧洞到下游形成落差。

2) 堤坝式：在河流中地形地质条件合适地方修建堤坝抬高上游水位，按电厂位置有坝后式、河床式电厂两类。

3) 混合式：上游筑坝形成水库，又通过水渠加大落差。

按调节流量可划分为以下四种类型。

1) 径流式。无水库调节，河流来多少流量发多少电。

2) 调节池式。取水口与厂房间设贮水池蓄一日（或周）调节水池发电。

3) 水库式。有较大水库能调节年、季或月发电流量。

4) 抽水蓄能电站。电力低谷时用多余电力把水从下库抽到上库，蓄能发电，如图 1-5。

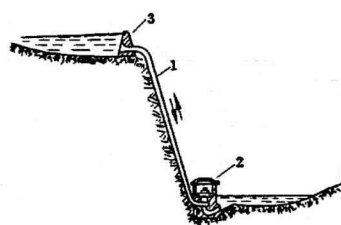


图 1-5 抽水蓄能电厂

我国最大的水电厂为三峡电厂，装机容量为 26 台，70 万 KW 的机组。

(3) 核电站

核电厂是利用核裂变能转化为热能，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。

核反应堆内铀-235 在中子撞击下，使原子核发生裂变，产生的巨大能量主要是以热能形式被高压水带至蒸汽发生器，在此产生蒸汽，送至汽轮发电机组。

1kg 铀-235 约等于 2700 吨标准煤所发出同样多的电力。

(4) 其他发电方式

利用其他一次能源发电的有风力发电、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。



秦山核电站



大亚湾核电站

图 1-6 核电站示意图

2. 电力网、供电网及电压

电能是发电厂制造的“产品”，这是一个特殊产品，不能大量储存，其生产、输送、分配和使用的全过程是同时进行的，即发电厂任何时刻生产的电能等于该时刻用电设备消耗的电能与输送、分配中损耗的电能之和。该产品必须通过中间环节才能送到用户，这个中间环节就是电力网。供电网一般指电力网中靠近用户的部分。

(1) 电力网

电力系统中输电线路及两端的变电站（变压器）组成电力网。

电力网就象一个交通网，以公路网为例：有高速路、国道、普通的公路和加油站。输电线路就象道路，变电站就象加油站和中转站。图 1-7 所示为电力系统和电力网的示意图。

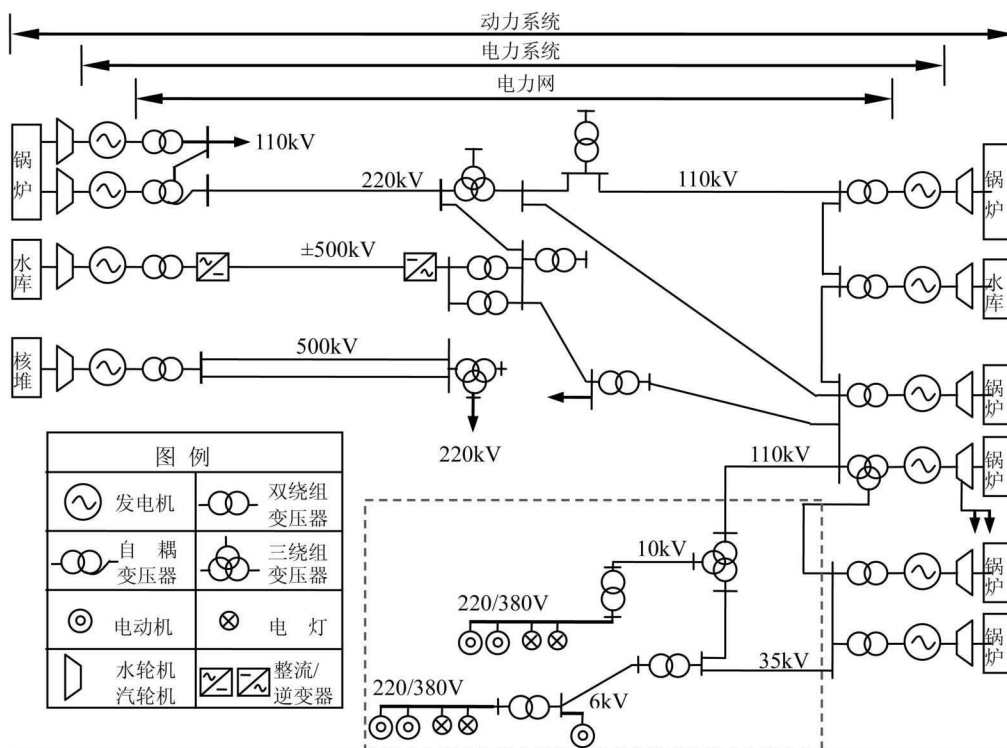


图 1-7 电力系统和电力网络示意图

(2) 输电网

电力网按其在电力系统中作用的不同，分为输电网和供电网。

输电网是以超高压和高压将大型发电厂、变电所或变电所之间连接起来的电网络，所以又称主干网。

(3) 供配电网

直接将电能送到用户的网络称为配电网。

注意：该部分电网才是本书将要讲述的内容。

配电网是电力网的一部分，可以理解为纵横交错的国道和四通八达的普通的公路。图 1-7 虚框部分为供配电网和用户。

(4) 电网的电压

1) 额定电压

为了使电气设备的设计与制造实现标准化、系列化，发电机、变压器、断路器、电动机等各种电器都规定有额定电压。电气设备在其额定电压下运行时，其技术设备、经济效益最佳。

按照国家标准 GB156 - 1993《标准电压》规定，我国三相交流电网、发电机和电力变压器的额定电压如表 1-1 所示。

表 1-1 三相交流电网和电力设备的额定电压

	电网和用电设备 额定电压/kV	发电机额定 电压/kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8, 15.75, 18, 20	13.8, 15.75, 18, 20	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.6
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

2) 电网的额定电压

电网（或电力线路）的额定电压等级是国家根据国民经济发展及电力工业水平的需要，经综合技术、经济分析后确定的。它是确定各类用电设备额定电压的基本依据。

表 1-2 各级电压合理输送容量及输电距离范围

额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)
0.38	小于 0.1	小于 0.6	35	20 ~ 50	2.0 ~ 10
3	0.1 ~ 1.0	1 ~ 3	110	50 ~ 150	10 ~ 50
6	0.1 ~ 1.2	4 ~ 15	220	200 ~ 300	100 ~ 150
10	0.2 ~ 2.0	6 ~ 20	500	250 ~ 1000	1000 ~ 1500

由于三相功率 S 和线电压 U 、线电流 I 之间的关系为： $S = \sqrt{3}IU$ ，所以在输送功率一定时，输电电压愈高，输电电流愈小，从而可减少线路上的电能损失和电压损失，同时又可减小导线截面，节约有色金属。而对于某一截面的线路，当输电电压愈高时，其输送功率愈大，输送距离愈远；但是电压愈高，绝缘材料所需的投资也相应增加，因而对应一定输送功率和输送距离，均有相应技术上的合理输电电压等级。同时，还须考虑设备制造的标准化、系列化等因素，因此电力系统额定电压的等级也不宜过多。

①发电机的额定电压

如图 1-8 所示，由于电力线路允许的电压损耗为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗，因此为了维护线路首端与末端平均电压的额定值，线路首端（电源端）电压应比线路额定电压高 5% ，而发电机是接在线路首端的，所以规定发电机的额定电压高于同级线路额定电压 5% ，用以补偿线路上的电压损耗。

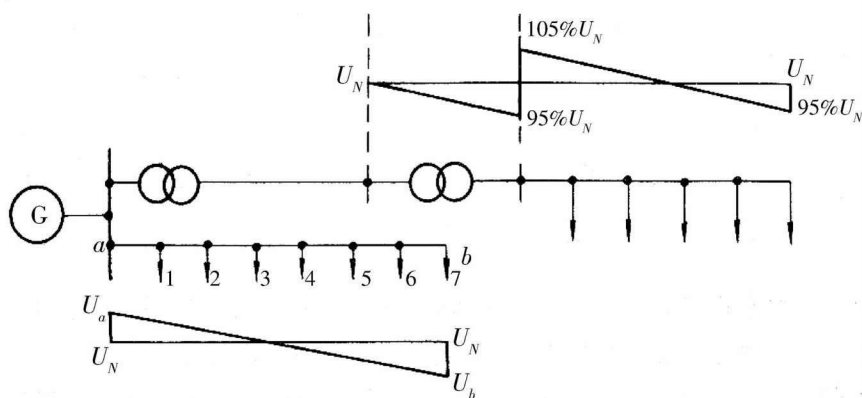


图 1-8 电力系统中的各点电压分布

②电力变压器的额定电压

电力变压器一次绕组的额定电压有以下两种情况：

变压器直接与发电机相连，则其一次绕组的额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级线路额定电压 5% 。

当变压器不与发电机相连，而是连接在线路上，一次绕组的额定电压应与线路额定电

压相同。

变压器二次绕组的额定电压是指变压器一次绕组接上额定电压而二次绕组开路时的电压，即空载电压。而变压器在满载运行时，二次绕组内约有 5% 的阻抗电压降。因此分以下两种情况讨论：

a) 如果变压器二次侧供电线路很长（例如较大容量的高压线路），则变压器二次绕组额定电压，一方面要考虑补偿变压器二次绕组本身 5% 的阻抗电压降，另一方面还要考虑变压器满载时输出的二次电压要满足线路首端应高于线路额定电压的 5%，以补偿线路上的电压损耗。所以，变压器二次绕组的额定电压要比线路额定电压高 10%。

b) 如果变压器二次侧供电线路不长（例如为低压线路或直接供电给高、低压用电设备的线路），则变压器二次绕组的额定电压，只需高于其所接线路额定电压 5%，即仅考虑补偿变压器内部 5% 的阻抗电压降。

③用电设备的额定电压

用电设备的额定电压规定与同级电力线路的额定电压相同。

3) 供用电系统的额定电压

①供电电压

我国自 19 世纪 80 年代以来，通过城网改造，电压等级已逐步走向标准化、规范化，大、中城市电网电压等级基本上分为四个层次——220kV 及以上的高压输电网、110（66、35）kV 高压配电网、10kV 中压配电网、380/220V 低压配电网。

我国地域辽阔，城市数量多、规模差异大，城市用电量和城网与地区电力系统连接的电压等级（既城市最高一级电压）也不尽相同。城市规模大，用电需求量也大，城市与地区电力系统连接的电压也就高。我国一般大、中城市网的最高一级电压多为 220kV，次级电压为 110（66、35）kV，中压则为 10kV；近年来我国一些特大城市（如北京、上海、天津等）的最高电压已为 500kV，次级电压为 220kV。

②用户的供电电压

用户的供电电压是根据用电容量、用电设备特性、供电距离、供电线路的回路数、当地公共电网现状及其发展规划等因素，经技术经济比较而定。

当供电电压为 35kV 及以上时，用户的一级配电电压应采用 10kV；当 6kV 用电设备的总容量较大，选用 6kV 经济合理时，宜采用 6kV。低压配电电压应采用 380/220V。

当供电电压为 35kV，能减少配电电压级数、简化接线、技术经济合理时，配电电压宜采用 35kV。

3. 电力线路

电力线路按结构可分为架空线路和电缆线路两大类。架空线路是将导线通过杆塔架设在户外地面上空，它由导线、避雷线、杆塔、绝缘子及金具等元件组成，如图 1-9 所示。电缆线路一般用在发电机、变压器配电线出线、水下线路、污染严重的地区和因建筑拥挤或要求美观的城市配电线路等处，一般埋在地底下的电缆沟或管道中，如图 1-10 所示。它由导线、绝缘层、保护层等组成。

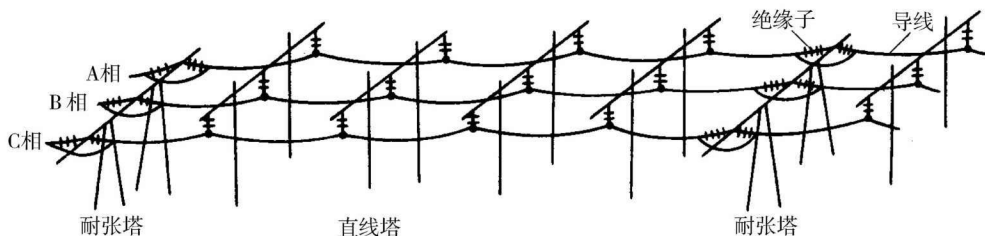
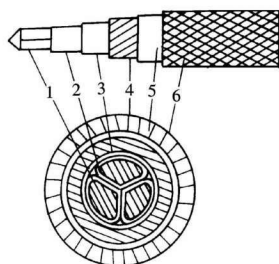


图 1-9 架空线路示意图



(a) 电缆结构



(b) 电缆线路

图 1-10 电力电缆

1 - 导线 (体); 2 - 相绝缘层; 3 - 带绝缘层; 4 - 护套层; 5 - 铠装层; 6 - 外护套层

4. 变电站

变电站是联系发电厂和用户的中间环节，变电站的主要设备是变压器和高压开关站 (如配电设备)，如图 1-11 所示，起着变换电压以输送电能和分配电能的作用。



图 1-11 变电站全景

根据变电站在电力系统中的地位的不同，如图 1-12 所示，可将其分成下列几类：

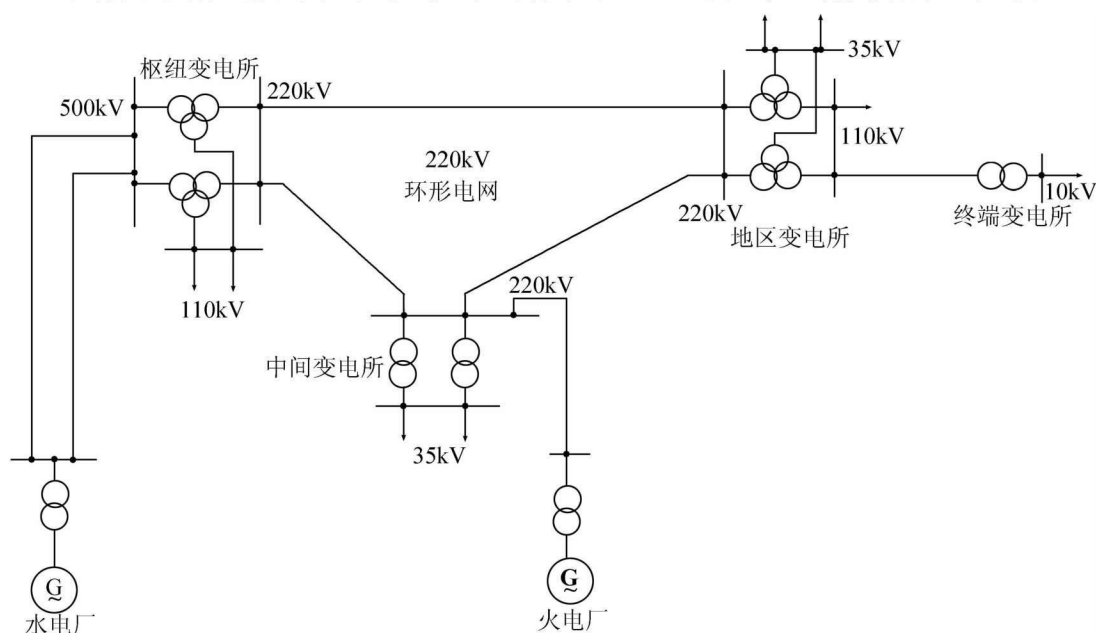


图 1-12 电力系统中的变电站

（1）枢纽变电站

位于电力系统的枢纽点，连接电力系统高压和中压的几个部分，汇集多个电源，电压为 330kV ~ 500kV 的变电站，称为枢纽变电站。全部停电后将引起系统解裂，甚至瘫痪。

（2）中间变电站

高压侧以交换潮流为主，起系统交换功率的作用，或使长距离输电线路分段，一般汇集 2 ~ 3 个电源，电压为 220kV ~ 330kV，同时又降压供给当地用电，这样的变电站主要起中间环节的作用，所以叫中间变电站。全所停电后，将引起区域电网解裂。

（3）地区变电站

高压侧电压等级一般为 110kV ~ 220kV，向地区用户供电为主的变电所（一个地区或城市的主要变电所）。全部停电后，仅使该地区中断供电。

（4）终端变电站

在输电线路的终端，接近负荷点，高压侧电压多为 110kV，经降压后直接向用户供电的变电站，即为终端变电站。全部停电后，只使用户受到损失。

5. 供电系统的组成结构

一般情况下，供电系统指电压等级为 110kV 及以下的电网，由终端变电站、开闭所、高压配电线路、车间变电所、低压配电线路及用电设备组成。如图 1-13 所示。

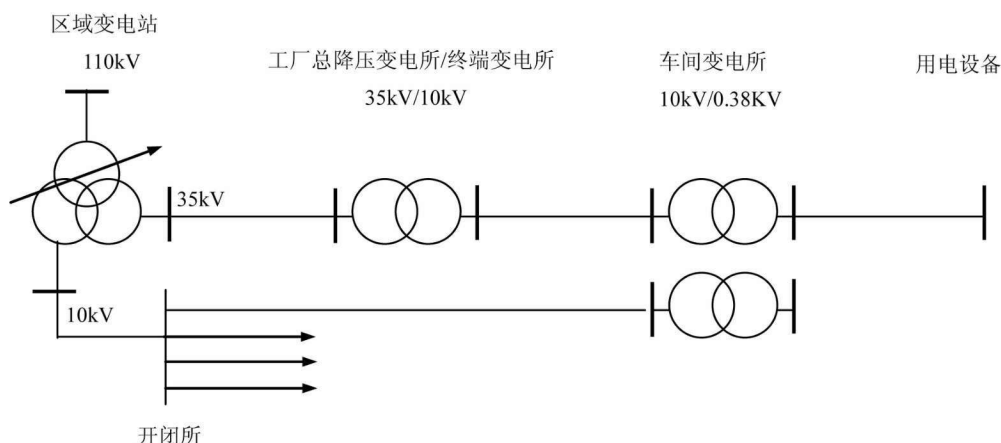


图 1-13 供配电系统的关系图

6. 供配电系统电气设备的分类及基本功能

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、输送、分配、使用电能的设备称为一次设备。这些设备除主体设备发电机、变压器外，还有许多其他设备，统称配电设备。这些配电设备可分为五类：

(1) 开关电器：承担接通与切断电路的设备。主要有高、低压断路器，高压隔离开关，低压闸刀开关，高、低压熔断器等。

(2) 限流电器：限制电力系统中的短路电流，以便选择轻型开关电器，减小载流导体的截面的设备。主要有有限流电抗器及两电压的低压分裂绕组变压器。

(3) 互感器：将一次接线系统的高电压、大电流变换成标准的低电压和小电流，向二次测量、控制及自动装置提供电流、电压信号的设备。主要有电流互感器、电压互感器。

(4) 导体与绝缘子（绝缘套管）：连接各种电气设备、输送电能的导体；支撑、固定或悬挂裸载流导体使其相间绝缘和对地绝缘的绝缘子。主要有母线、架空线、电缆、支持绝缘子、悬式绝缘子、穿墙套管、设备的引线套管等。

(5) 防雷与接地设备：防止过电压损坏设备的绝缘的设备，主要有避雷针和避雷器。

无论是电力系统中性点的工作接地或是保护人身安全的保护接地，均同埋入地中的接地装置相连。

由一次设备组成的电路，称为一次电路（或一次系统）。此外，对一次设备进行测量、控制、监视和保护的设备，称为二次设备。它们包括：

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。例如，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。