



全国高职高专教育“十一五”规划教材

供配电一次系统

■ 黄益华 王朗珠 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高职高专教育“十一五”规划教材

供配电一次系统

黄益华 王朗殊 主编



高等教育出版社

内容提要

本书着重讲述供配电网络、供配电所及供电设备的基本专业知识,同时对配电线路、供电设备的选择、布置也做了相应的介绍,最后介绍照明电路的基本知识。书中主要内容包括:供配电网络及供配电所的各种接线形式及适用特点,高、低压供电设备的基本结构、功能及技术特性,负荷计算及功率因数的提高,简单配电网的短路电流实用计算,供配电所的布置及主要电气设备、导体的选择及校验,配电线路结构及敷设,照明电路等。

本书可作为高职高专院校、成人高校电力技术类专业的教材,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

供配电一次系统/黄益华,王朗珠主编. —北京:高等教育出版社,2007.7

ISBN 978-7-04-019511-8

I. 供… II. ①黄…②王… III. ①供电—一次系统—高等学校:技术学校—教材②配电系统—一次系统—高等学校:技术学校—教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 079472 号

策划编辑	刘 洋	责任编辑	王莉莉	封面设计	李卫青	责任绘图	朱 静
版式设计	陆瑞红	责任校对	张 颖	责任印制	尤 静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 化学工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 19.5
字 数 480 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 7 月第 1 版
印 次 2007 年 7 月第 1 次印刷
定 价 24.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19511-00

前 言

随着我国教育体制改革的深化和国民经济的发展,对供电技术的要求越来越高,对高职高专培养目标也有了新的要求。为了适应高职高专教学目标的变化,编者广泛地采集和征求各方面的意见,汇集多位长期从事高职高专教学、经验丰富的教师的讲义编写成本教材。

本教材结合现代供电技术的最新现状,结合高职高专学生的培养目标,采用较多的图例和启发式的提问,使读者建立对供电网络及设备的理性认识。书中内容全面简要,结构层次清晰,努力克服理论知识“偏多、偏难、偏深”的倾向,做到理论结合实际,通俗易懂。为了帮助读者加深对知识的理解,每章末尾附有一定数量的思考题,以供选做。

本教材具有专业针对性,若采用理论与实践相结合的教学方法,效果较佳。

本书第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第6章、第12章由重庆电力高等专科学校王朗珠编写,第7章、第9章、第10章、第11章由重庆电力高等专科学校黄益华编写,第8章由重庆电力高等专科学校龚余庆编写。全书由黄益华统稿。

本书由北京交通大学陈力老师审阅。陈老师提出了许多宝贵的意见。本书在编写过程中还得到重庆市杨家坪供电局徐玉芳高级工程师的大力支持。在这里一并表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免存在一些疏漏和错误,希望广大读者指正。

编 者

2007年3月30日

目 录

第1章 供配电系统的基本知识	1	4.6 高压负荷开关	82
1.1 电力系统和供配电系统	1	4.7 自动重合器与自动分段器	83
1.2 供电关系及对供电的要求	11	4.8 低压开关	87
1.3 电力系统中性点运行方式	14	4.9 成套配电装置	98
思考题及习题	17	思考题及习题	106
第2章 负荷计算	18	第5章 互感器	107
2.1 负荷计算的基本概念	18	5.1 互感器的作用	107
2.2 确定计算负荷的方法	23	5.2 电流互感器	107
2.3 确定供配电系统的计算负荷	31	5.3 电磁式电压互感器	116
2.4 照明负荷的计算	32	思考题及习题	124
2.5 工业企业供电系统功率因数 的提高	33	第6章 供配电网络	125
思考题及习题	36	6.1 负荷分级及其对供电的要求	125
第3章 电力变压器	38	6.2 供电网的基本接线形式	127
3.1 电力变压器的分类	38	6.3 工矿企业、城镇高层建筑、农村 供配电网络的特点	134
3.2 变压器的结构	39	思考题及习题	141
3.3 配电变压器	50	第7章 用户变电所	142
3.4 油浸式变压器的运行	53	7.1 用户变电所的作用和分类	142
3.5 干式变压器的运行	56	7.2 变电所主接线	143
思考题及习题	56	7.3 变电所变压器的选择	151
第4章 开关电器	58	7.4 变电所的结构与布置	154
4.1 概述	58	7.5 成套变电站	164
4.2 开关电器中的电弧及灭弧	58	思考题及习题	165
4.3 高压开关	62	第8章 供配电线路	167
4.4 隔离开关	73	8.1 概述	167
4.5 熔断器	75		

8.2 架空线路	168	10.6 互感器的选择	234
8.3 电缆线路	187	10.7 电缆、架空线的选择	240
8.4 供配电线路的运行与维护	193	思考题及习题	244
思考题及习题	199		
第9章 短路电流计算	200	第11章 防雷与接地	246
9.1 短路的基本概念	200	11.1 过电压及其分类	246
9.2 无限大容量供电系统三相 短路分析	202	11.2 防雷设备	250
9.3 无限大容量供电系统三相 短路电流的计算	206	11.3 防雷措施	259
9.4 两相和单相短路电流的计算	214	11.4 接地与接零	263
9.5 低压系统短路电流的计算	215	思考题及习题	268
9.6 短路电流的电动力及发热计算 ...	217		
思考题及习题	218	第12章 电气照明	269
第10章 电气设备选择	220	12.1 照明基本知识	269
10.1 电气设备和载流导体选择的 一般条件	220	12.2 照明电光源	271
10.2 单条矩形母线的选择	222	12.3 照明灯具	276
10.3 支持绝缘子的选择	226	12.4 照度标准及计算	280
10.4 高压开关设备的选择	228	12.5 照明供电系统及其选择	285
10.5 低压开关设备的选择	231	思考题及习题	288
		附录 常用设备的主要技术数据	289
		参考文献	305

第 1 章 供配电系统的基本知识



要求

了解电力系统的组成,了解供配电网络在电力系统中的地位 and 作用及供电的基本要求;掌握供配电系统中性点的运行方式。



知识点

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;供、用电之间的关系及电能质量指标;供配电系统的中性点运行方式。



重点

供配电系统基本概念及作用、电能质量指标、供配电系统的中性点运行方式及保护接地特点。



难点

供配电系统的中性点运行方式及保护接地特点。

1.1 电力系统和供配电系统

1.1.1 电力系统的组成

电力系统就是: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。其功能完成电能的生产、输送、分配和使用,如图 1.1 所示。

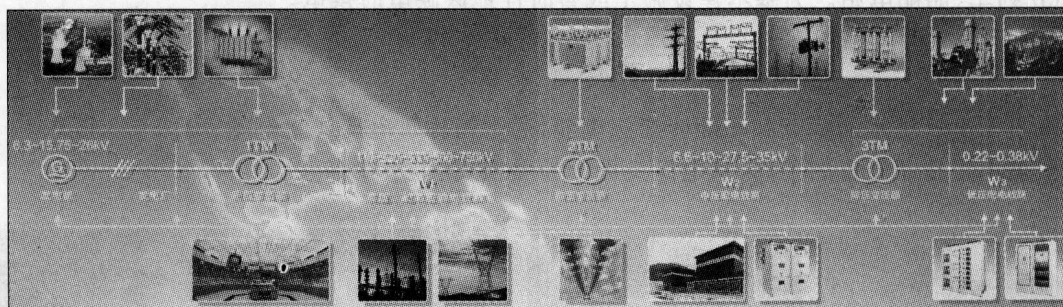


图 1.1 电力系统的简单示意图

1.1.2 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

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

(1) 按使用燃料来分

火电厂分为：汽轮机发电、内燃机发电、燃气轮机发电。

(2) 按生产产品性质来分

火电厂分为凝汽式电厂（只生产电能）如图 1.2 所示、供热式电厂（供电以及供热）、综合利用电厂（供电、供热和生产灰渣水泥、保温材料和磷肥等）。

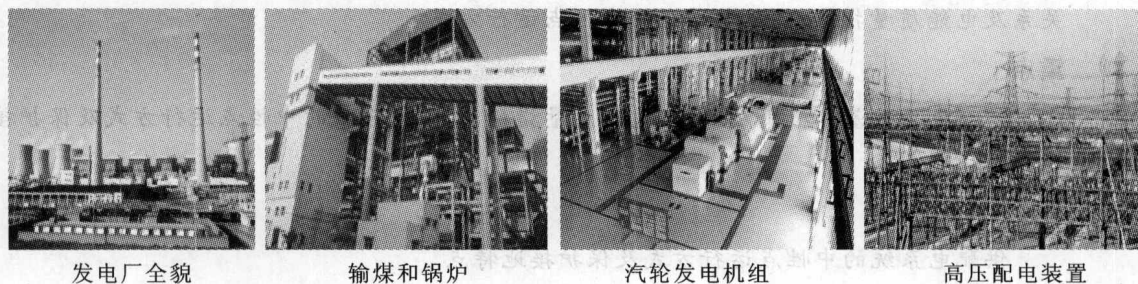


图 1.2 火力发电厂图

(3) 按供电范围来分

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站。

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，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供电。

2. 水力发电厂

水力发电厂把水的势能和动能转变成电能，通常简称水电厂或水电站，如图 1.3 所示。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。

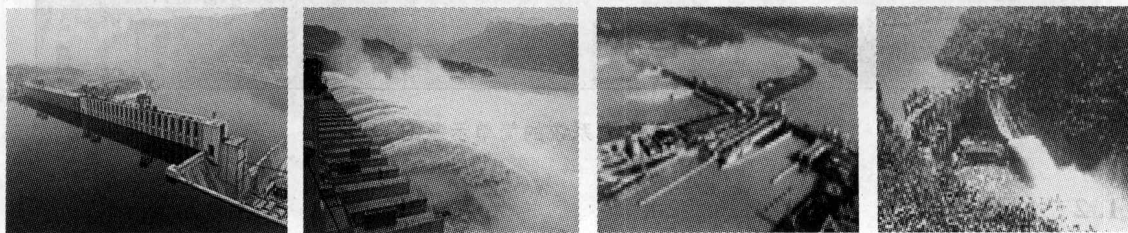


图 1.3 水力发电厂图片

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的,所以为有效而经济地利用水能,需设法集中落差或调节流量,水电厂就是按集中落差或调节流量的方式来建造的。

(1) 按集中落差的方式分类

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、河床式两类。

③ 混合式:上游筑坝形成水库,又通过水渠加大落差。

(2) 按调节流量分类

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:取水口与厂房间设储水池蓄一日(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游抽到上游,蓄能发电,如图 1.4 所示。

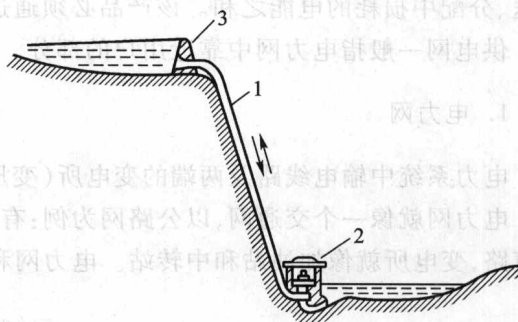


图 1.4 抽水蓄能电厂

1—压力水管;2—厂房;3—坝

我国最大的水电厂为三峡电厂,装机容量为 26 台 70 万千瓦的机组。

3. 核电站

核电厂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。如图 1.5 所示为我国的两个核电站。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。

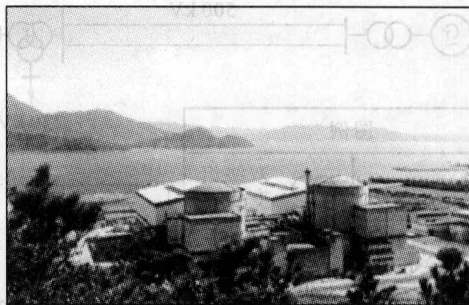
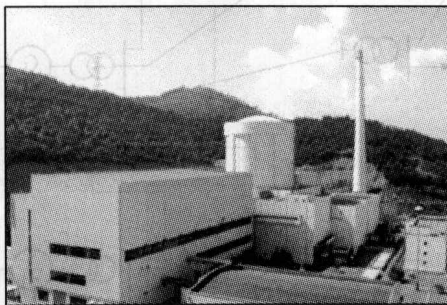


图 1.5 秦山核电站和大亚湾核电站

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。

1 kg 铀-235 所发出的电力约等于 2 700 t(吨)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,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。

1.1.3 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,电能的生产、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所(变压器)组成电力网。

电力网就像一个交通网,以公路网为例:有高速路、国道、普通的公路和加油站。输电线路就像道路,变电所就像加油站和中转站。电力网和电力系统如图 1.6 所示。

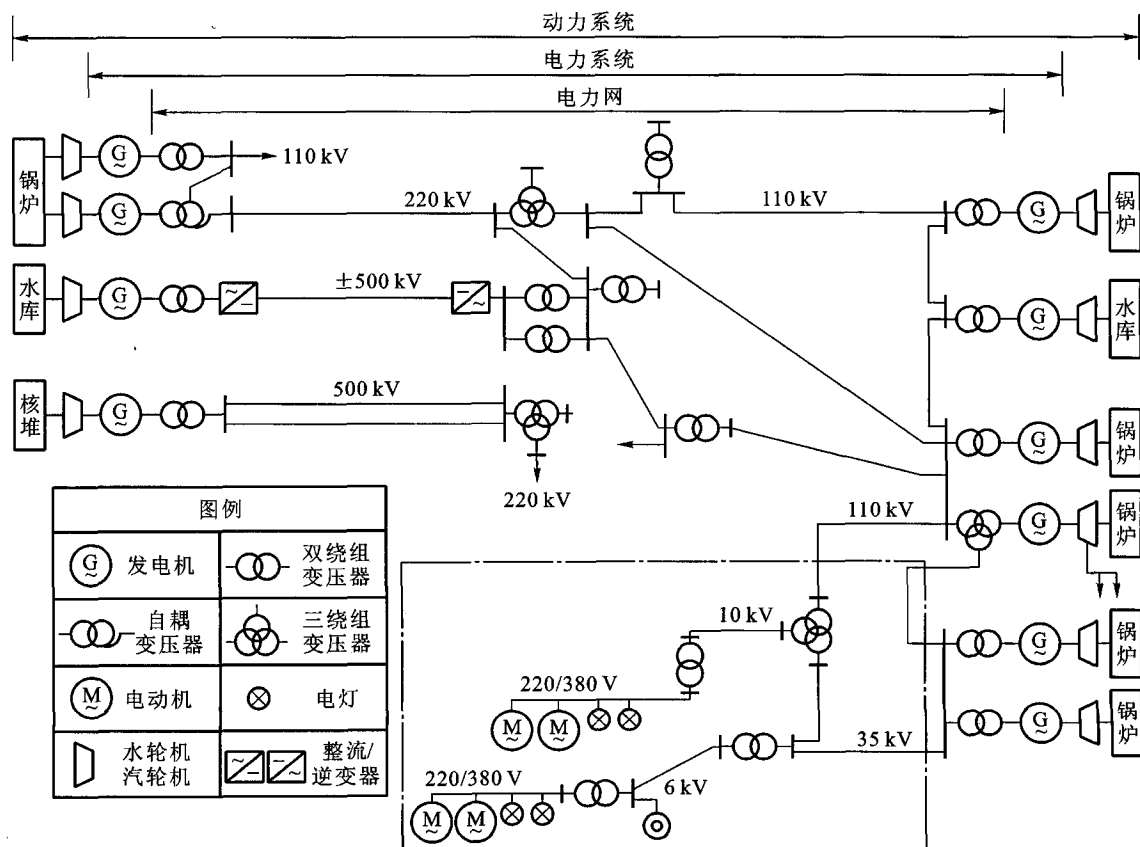


图 1.6 电力系统和电力网示意图

2. 输电网

电力网按其在电力系统中的作用不同,分为输电网和供电网。

输电网是以超高压和高压将大型的发电厂、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公路。如图 1.6 中点画线部分所示为供配电网和用户。

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的技术、经济效益最佳。

按照国家标准 GB 156—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见表 1.1。

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的需要及电力工业的水平,经全面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。各级电压合理输送功率及输送距离范围见表 1.2。

表 1.2 各级电压合理输送功率及输电距离范围

额定电压/kV	输送功率/MW	输送距离/km	额定电压/kV	输送距离/km	输送距离/km
0.38	小于 0.1	小于 0.6	35	2.0 ~ 10	20 ~ 50
3	0.1 ~ 1.0	1 ~ 3	110	10 ~ 50	50 ~ 150
6	0.1 ~ 1.2	4 ~ 15	220	100 ~ 150	200 ~ 300
10	0.2 ~ 2.0	6 ~ 20	500	1 000 ~ 1 500	250 ~ 1 000

由于三相功率 P 和线电压 U 、线电流 I 之间的关系为: $P = \sqrt{3}UI$, 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耗和电压损失, 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, 线路投资也相应增加, 因而对应一定输送功率和输送距离, 均有相应的技术经济上合理的输电电压等级。同时, 考虑设备制造的标准化、系列化等因素, 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 1.7 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% 的电压损失, 因此为了维持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。

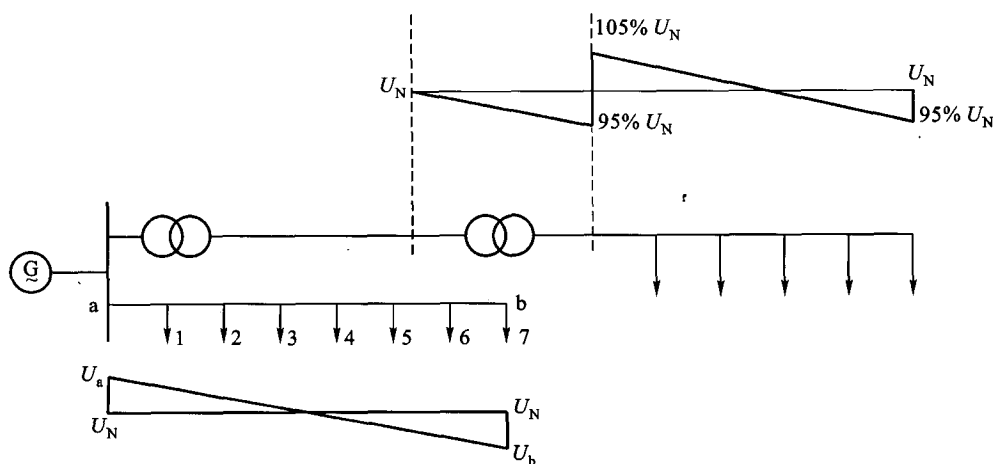


图 1.7 电力系统中的各点电压分布

② 电力变压器的额定电压。

a. 电力变压器一次绕组的额定电压有两种情况:

电力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,而是连接在线路上时,则一次绕组的额定电压应与线路额定电压相同。

b. 变压器二次绕组的额定电压。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。因此分两种情况讨论:

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%。

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 20 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为四个层次——220 kV 及以上高压输电网、110(66、35) kV 高压配电网、10 kV 中压配电网、380/220 V 低压配电网。

我国地域辽阔,城市数量多,城市性质、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(即城市最高一级电压)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 220 kV,次级电压为 110(66、35) kV,中压则为 10 kV。近年来我国一些特大城市,如:北京、上海、天津等,城市最高电压已为 500 kV,次级电压为 220 kV。

② 用电单位的电压。用电单位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,经技术经济比较确定的。

当供电电压为 35 kV 及以上时,用电单位的一级配电电压一般采用 10 kV;当 6 kV 用电设备的总容量较大,选用 6 kV 经济合理时,宜采用 6 kV。低压配电电压应采用 380/220 V。

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

1.1.4 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的线路,它由导线、避雷线、杆塔、绝缘子及金具等元件组成,如图 1.8 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,它由导线、绝缘层、保护层等组成。

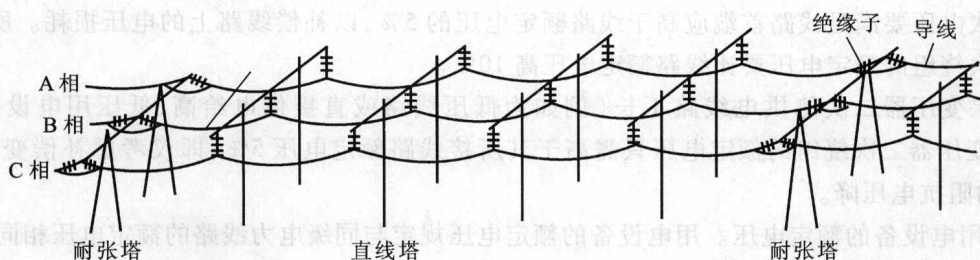
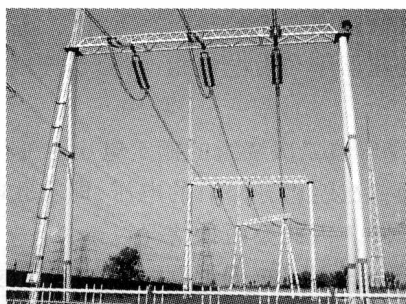
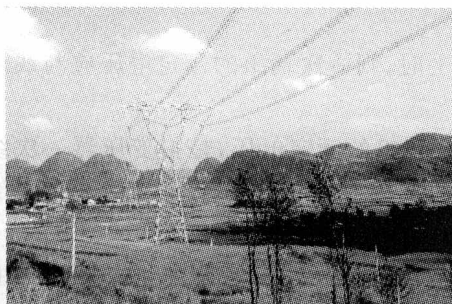


图 1.8 架空线路示意图

1.1.5 变电所

变电所是联系发电厂和用户的中间环节,变电所的主要设备是变压器和高压开关设备,如图 1.9 所示,起着变换电压以及输送电能和分配电能的作用。

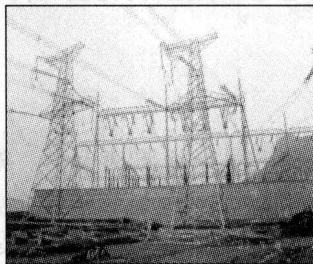
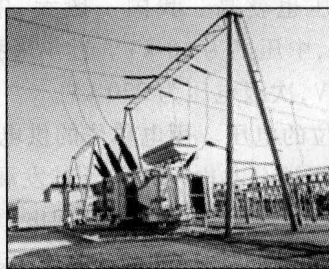
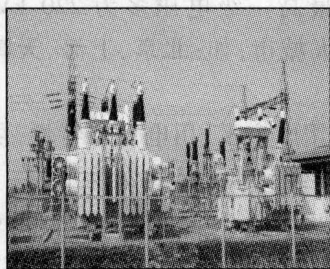


图 1.9 变电所变压器及高压配电装置、出线图

变电所在电力系统中的分类如图 1.10 所示。

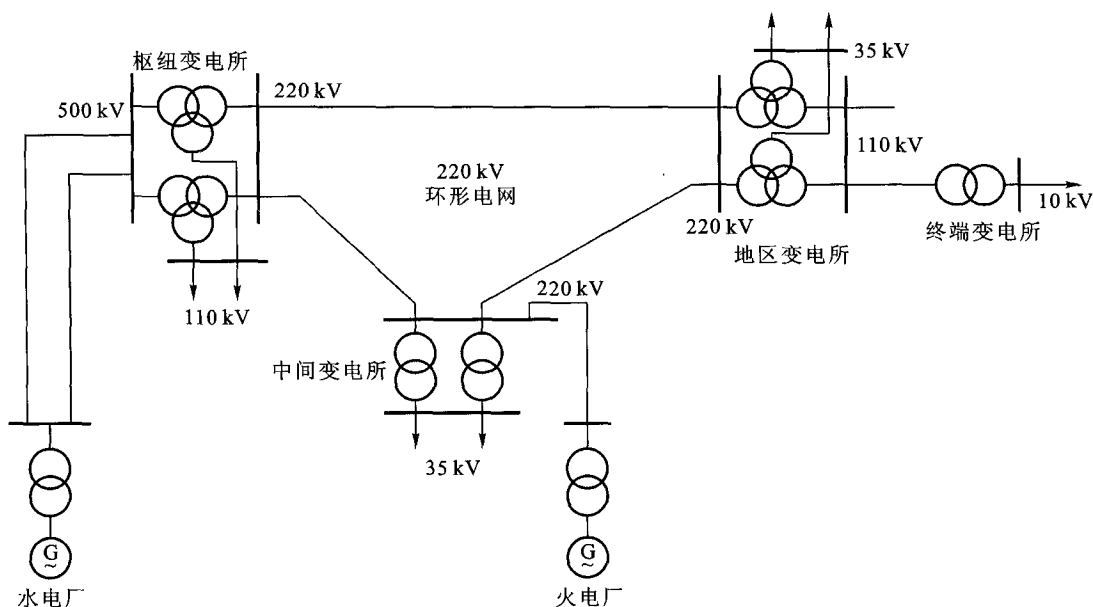


图 1.10 电力系统中的变电所

1. 枢纽变电所

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 330 ~ 500 kV 的变电所,称为枢纽变电所。全部停电后,将引起系统解列,甚至瘫痪。

2. 中间变电所

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

3. 地区变电所

高压侧电压一般为 110 ~ 220 kV。它是向地区用户供电为主的变电所,是一个地区或城市的主要变电所。全部停电后,将使该地区中断供电。

4. 终端变电所

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

1.1.6 供配电系统的组成结构

一般情况下,供配电系统指电压等级为 110 kV 及以下的电网。

供配电系统由终端变电所、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 1.11 所示。

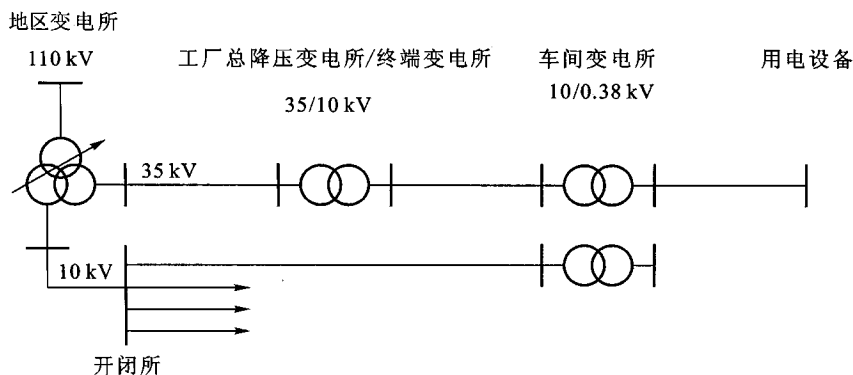


图 1.11 供配电系统的组成

1.1.7 供配电系统电气设备的分类及基本功能

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、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。主要有限流电抗器和分裂绕组变压器。

(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)

导体用于连接各种电气设备、输送电能;绝缘子用于支撑、固定或悬挂裸载流导体使其相间绝缘和对地绝缘。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。

2. 二次设备

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,包括:

- ① 测量仪表,如电压表、电流表、功率因数表等,用于测量电路中的参量值。
- ② 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,例如使断路器跳闸,将故障切除。
- ③ 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。

1.2 供电关系及对供电的要求

1.2.1 供电部门与用户的关系

在电力系统中,供电部门和用户均应加强设备与技术管理,切实执行国家制订的有关保证电力系统安全、经济、合理运行的规程制度。供电部门应指导协助用户做好各项管理工作,并且努力提高服务质量,更好地为用户服务。作为用户,应该高度重视发电、输电、配电和用户之间存在的非常紧密的相互依赖和制约关系,从整个电力系统全局着想,从本单位做起,加强用电技术管理,以促进整个电力系统的安全、经济运行。

1.2.2 对供电系统的基本要求

1. 供电可靠性

用户要求供电系统有足够的可靠性,特别是连续供电,用户要求供电系统在任何时间内都能满足用户用电的需要,即使在供电系统中局部出现故障情况下,仍不能对某些重要用户的供电有很大的影响。因此,为了满足供电系统的供电可靠,要求电力系统至少具备 10% ~ 15% 的备用容量。

2. 电能质量合格

电能质量的优、劣,直接关系到用电设备的安全经济运行和生产的正常运行,对国民经济的发展有着重要的意义。如以上所述,无论是供电的电压、频率,还是不间断地供电,哪一方面达不到标准都会对用户造成不良的后果。因此,要求供电系统确保对用户供电的电能质量。

3. 安全、经济、合理性

供电系统要安全、经济、合理地供电,这同时也是供、用电双方要达到的目标。为了达到这一目标,就需要供、用电双方共同加强运行管理,做好技术管理工作,同时还要求用户积极配合,密切协作,提供必要的方便条件。例如负荷、电量的管理工作等。

4. 电力网的运行调度的灵活性

对于一个庞大的电力系统和电力网,必须做到运行方式灵活,调度管理先进。只有灵活的调度,才能及时解决系统故障,从而达到系统安全、可靠、经济、合理地运行。