



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

发电厂变电所 电气设备

卢文鹏 吴佩雄 主编



中国电力出版社

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



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

发电厂变电所 电气设备

主 编 卢文鹏 吴佩雄
编 写 陈华贵 王志惠 林培玲
主 审 杜文学 张 明



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

全书共有四篇二十章，主要讲述：发电厂和变电所的基本知识、基本理论和基本计算，发电厂和变电所的一次设备、一次接线和配电装置，发电厂和变电所二次回路的基本知识和主要回路，以及发电厂和变电所规划设计的有关知识。本书体现高职教育特色，并紧跟电力工业的发展介绍了相关的新技术和新设备。

本书主要作为电气技术专业的高职教材，也可用作为职工培训的辅导教材，以及电力企业工人和技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂变电所电气设备/卢文鹏, 吴佩雄主编. —北京:
中国电力出版社, 2005.7

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-3436-1

I. 发... II. ①卢...②吴... III. ①发电厂-电气设备-成人教育;高等教育-教材②变电所-电气设备-成人教育;高等教育-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 067619 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005年8月第一版 2005年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 23.5印张 501千字

印数 0001—4000册 定价 29.90元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，同意列为全国电力高等职业教育规划教材，作为高等职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

发电厂变电所电气设备是高等职业院校电气工程类专业的主干课程，具有实践性强、应用性广的特点。学习本课程的目的是使学生成为具有高素质和技术应用型人才，掌握发电厂变电所一、二次系统所必需的中、高级工的专业知识和基本技能，并为以后的学习和工作打下坚实的基础。本教材的编写体现了当前高等职业教育的发展，增加了新技术和新设备内容以满足电力工业不断发展的要求。

因本课程要求较强的实践性，故涉及知识面广。为了便于教学，本书按篇进行划分，把基本知识和理论性较强的内容作为第一篇，以课堂理论讲授为主，可结合发电厂、变电所的认识实习授课；按发电厂和变电所的一、二次系统编写第二、三篇，可结合实习基地或实际设备授课，建议采用一体化或多媒体教学手段，增强学生的感性认识，也可以用讲、练结合的方式；最后增加了发电厂和变电所的规划设计的第四篇，主要是使学生熟悉规划设计的内容，建立先技术后经济的设计思路，熟悉实际工程中设备的选择方法等，本篇可结合课程设计或毕业设计进行，并且规划设计的学习，体现高等职业教育与中等职业教育的区别，是理论与实际结合的练习。第一篇以清楚概念、打好基础为主，第二、三篇以强化应用为目的，第四篇建立发电厂、变电所的整体概念。本书编写以必需、够用为度，比如高压断路器部分减少了油断路器的内容，增加了真空和 SF_6 断路器的内容；而且在编写过程中考虑了不同地区、不同院校的使用，在内容的兼顾性方面作了调整；根据工程实际的需要，参考了《国家电网公司电力安全工作规程（变电站和发电厂电气部分）》，对相应内容作了调整。

本书由卢文鹏、吴佩雄主编，其中第一、二、五、十九章由福建电力职业技术学院的陈华贵编写，第三、四、七章由福建电力职业技术学院的吴佩雄编写，第六、九、十、十一章由保定电力职业技术学院的卢文鹏编写，第八、十六、十七、十八、二十章由福建电力职业技术学院的林培玲编写，第十二、十三、十四、十五章由保定电力职业技术学院的王志惠编写。全书由卢文鹏和王志惠进行统稿，西安电力高等专科学校杜文学和张明主审。

由于编者水平有限，书中难免有些缺点和错误，希望读者批评指正。

编者

2004 - 10

目 录

前言

第一篇 发电厂变电所的基本知识

第一章 电力工业的发展史和电力系统的构成	1
第一节 电力工业的发展简史	1
第二节 电力系统的构成及各部分的作用	3
第三节 电力系统的额定电压及电压等级	5
小结	7
习题	8
第二章 发电厂变电所的概论	9
第一节 发电厂、变电所的类型和作用	9
第二节 电气一次设备、二次设备的功能、范围及图形符号	14
第三节 电气设备的额定电流及额定容量	16
小结	16
习题	17
第三章 电力系统中性点运行方式	18
第一节 中性点不接地的三相系统	18
第二节 中性点经消弧线圈接地的三相系统	21
第三节 中性点直接接地的三相系统	23
第四节 中性点经阻抗接地的三相系统	24
小结	25
习题	25
第四章 电力系统短路及短路电流计算	27
第一节 电力系统短路的概念、种类及危害	27
第二节 短路电流的计算方法	30
第三节 无限大容量系统供电电路内三相短路	38
第四节 有限大容量系统供电电路内的三相短路	42
第五节 简单不对称短路的分析计算	51
第六节 限制短路电流的方法	65
小结	68
习题	69
第五章 电弧的基本理论	71
第一节 电弧的产生及危害	71
第二节 直流电弧的特性及熄灭	72
第三节 交流电弧的特性及熄灭的基本方法	74

小结	77
习题	78

第二篇 发电厂和变电所的一次系统

第六章 发电厂和变电所的一次设备	79
第一节 高压断路器	79
第二节 隔离开关	91
第三节 高压熔断器	95
第四节 高压负荷开关	98
第五节 重合器与分段器	101
第六节 互感器	104
第七节 母线、绝缘子、电力电缆	118
小结	130
习题	131
第七章 发电厂变电所的一次接线	133
第一节 概述	133
第二节 有母线的电气主接线	135
第三节 无母线的电气主接线	141
第四节 发电厂变电所的电气主接线举例	144
第五节 厂用负荷及厂用电接线原则	148
第六节 发电厂变电所自用电接线举例	155
小结	159
习题	160
第八章 配电装置和接地装置	161
第一节 概述	161
第二节 屋内配电装置	164
第三节 屋外配电装置	168
第四节 成套配电装置	172
第五节 接地装置	175
小结	178
思考题	179

第三篇 发电厂和变电所的二次系统

第九章 二次回路图的基本知识	180
第一节 二次回路的分类	180
第二节 二次回路图的阅读及绘制	181
小结	186
习题	186
第十章 操作电源	187
第一节 直流负荷及操作电源	187
第二节 蓄电池组直流系统	188
小结	194

习题	194
第十一章 测量监察回路	196
第一节 互感器和仪表的配置	196
第二节 测量回路图	197
第三节 绝缘监察	198
小结	205
习题	205
第十二章 控制回路	206
第一节 断路器的控制回路	206
第二节 连锁和操作闭锁回路	218
第三节 灭磁开关和变压器冷却装置的控制回路	223
小结	227
习题	227
第十三章 信号回路	229
第一节 发电厂和变电所的信号	229
第二节 事故信号	230
第三节 预告信号	236
第四节 新型中央信号装置介绍	239
小结	240
习题	240
第十四章 同期回路	241
第一节 同期方式和同期点的选择	241
第二节 同期交流回路	242
第三节 准同期装置	245
小结	250
习题	250
第十五章 二次回路接线图	252
第一节 屏面布置图	252
第二节 端子排图及屏背面接线图	255
小结	260
习题	261

第四篇 发电厂和变电所的规划设计

第十六章 原始资料分析和主变压器选择	262
第一节 原始资料的分析	262
第二节 主变压器容量和台数的确定	264
第三节 主变压器型式的选择	266
第十七章 电气主接线的设计	269
第一节 电气主接线设计的原则和要求	269
第二节 电气主接线设计的步骤和经济算法	271
第三节 确定最佳方案及绘制电气主接线图	275
第十八章 厂用电的设计和厂用变压器的选择	276

第一节	厂用电设计的基本原则和要求	276
第二节	厂用变压器的负荷计算和厂用变压器选择	278
第十九章	电气设备的选择	281
第一节	电气设备选择的一般条件	281
第二节	电气设备选择中短路电流实用计算的规定	284
第三节	载流导体和电气设备的选择	285
第二十章	电气布置	303
第一节	发电厂和变电所的电气部分总体布置设计	303
第二节	配电装置布置、设计	305
附录 I	短路电流运算曲线	307
附录 II	电力变压器的技术参数	311
参考文献	320

第一篇 发电厂变电所的基本知识

电力经过 100 多年的发展,已经成为各个行业离不开的能源支柱。发电厂产生的电能,通过变电所的联系、分配,经电力线路提供给广大用户。本篇主要介绍电力工业的发展简史,发电厂和变电所的概述,电力系统一次、二次部分的基本知识,以及用于分析计算的短路电流计算和电弧基本理论。

第一章

电力工业的发展史和电力系统的构成

第一节 电力工业的发展简史

电力是衡量一个国家经济发展的重要标志,也是反映人民生活水平的一个重要指标。电力已成为现代生产的主要能源和动力,工农业生产、交通运输以及城乡生活等许多方面都离不开电力。

虽然电力只有 100 多年的发展历史,但其发展的速度是极其迅速的。电力迅速发展的原因在于它有极大的优越性,可表现为:电能可与各种能量相互转换,便于迅速而经济地输送和分配,便于调节、控制和测量,有利于实现自动化。通常,工业发达国家每 7~10 年装机容量就要增加一倍。从世界各国经济发展进程看,国民经济每增长 1%,需要电力工业增长 1.3%~1.5%,因而电力工业的发展必须优先其他工业部门,整个国民经济才能顺利发展,所以也称电力为工业的先行官。

电力工业起源于 19 世纪后期。世界上第一台火力发电机组是 1875 年建于巴黎北火车站的直流发电机,用于照明供电。1879 年,美国旧金山实验电厂开始发电,这是世界上最早出售电力的电厂。1882 年,美国纽约珍珠街电厂建成发电,装有 6 台直流发电机,总容量是 900 马力 (670kW),以 110V 直流为电灯照明供电。据联合国能源统计资料表明,1997 年世界发电装机总容量 311768 万 kW,其中火电占 64.0%,水电占 18.4%,核电占 17.2%,地热及其他能源发电占 0.4%;总发电量为 139487 亿 kW·h。目前世界上最大单机容量达 130 万 kW,最大电力系统容量超过 10 亿 kW,最高输电电压已达到 1200kV,最远输电距离已超过 1000km。自 20 世纪 70 年代以来,世界各国的电力工业从生产量、建设规模、能源构成到电源和电网的技术都发生了较大变化。进入 20 世纪 90 年代后,电力发展逐渐形成了三个突出的动向,分别是:世界发电量的年增长率趋缓,而一些发展中国家,特别是亚洲国家仍维持较高的电力增长速度;电力技术的发展向高效、环保的更高目标迈进;电业管理体制和经营方式发生变革,由垄断经营逐步转向市场开放。

1893 年我国在上海有了第一座发电厂,容量为 150kW,主要供附近地区的照明负荷用电。1949 年时全国总装机容量只有 184.86 万 kW,年发电量只有 43 亿 kW·h,居世界第 24 位,居亚洲第四位。1996 年,中国发电装机容量和发电量先后超过法国、英国、加拿大、

德国、俄罗斯和日本，跃居世界第二位。截至 2003 年底，全国发电容量达到 1.89 亿 kW，至 2004 年 5 月底，全国发电装机容量已经达到 4×10^8 kW，这两项指标均连续 8 年位居世界第二位；其中，在发电能源比例中火电占 82.9%，水电占 14.%，核电占 2.3%。2004 年 4 月，上海外高桥电厂二期 2 台 90 万 kW 超临界火力发电机组正式移交生产，投入商业运行，成为目前我国最大火电单机容量的机组。我国目前已能制造 600MW 的发电机组，对 1000MW 以上的发电厂已能自行设计和安装。全国形成东北、华中、华东、西北和华北等几个大型电力系统。 ± 500 kV 直流输电工程也投入运行，330、500、750kV 的超高压输变电工程已投入运行。

表 1-1 列出某些典型年份的数据，从中可以看出近几十年我国电力工业发展的概况。可以清楚地看出，我国电力工业发展特别迅速，世界排名稳步上升，我国电力工业也跨入了世界先进行列。1993 年开始全面施工的举世瞩目的长江三峡工程，水力发电厂设计由 26 台 700MW 水轮发电机机组组成，总装机容量将达到 1820 万 kW；截止 2004 年 4 月，三峡电厂已装机发电 8 台 70 万 kW 机组，日发电量超过 1 亿 kW。长江三峡电厂建成后，将出现以三峡电厂为中心、东接上海、南接广州、西达重庆、北至京津唐的一个全国性的大电力系统，为我国现代化事业提供充足、经济、稳定、可靠的电力。

表 1-1 我国电力工业发展概况

年 份	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)	居世界位数
1949	184.86	43	24
1959		430	9
1960	920	565	9
1970		1158	8
1979	5270	2565.5	7
1982	7600	3276.8	6
1985	8500	4073	5
1987	10110	4973	4
1994	19989	9278	3
1996	23654	10794	2
2000	31932.09	13684.8	2
2001	33849	14839	2
2002	35300	16400	2
2003	38450	18462.1	2

在我国电力建设中，应积极发展火电，同时注意发展水电、核电，根据各地的具体实际出发执行水、火并举，因地制宜开发多种能源。我国有丰富的煤炭资源，累计探明储量在 7000 亿 t 以上，居世界第一。但一般煤炭资源离电力用户较远，运输煤炭很不方便，比较经济合理的方法是在煤矿的坑口建大型火电厂，用超高压线路将电能送到远方用户，满足经济发达区的工农业生产的电力需要。在国内外火电厂均占 75% 以上。

水力资源是最清洁、最廉价的可再生能源。我国的水力资源占世界首位，蕴藏量达 68000 万 kW，其中可开发利用的约为 37000 万 kW，分布在黄河、长江和西南地区，一般离

电力用户较远。建造水电站的同时必须解决远距离输电，投资较大的问题，还应考虑水资源的综合利用，水电的合理调度，加强水文预测等其他方面。

原子能的利用是现代科学技术的一项重大成就，到2003年3月为止，全世界有几十个国家先后建成400多座原子能发电厂。我国从20世纪50年代末开始筹划建造原子能发电厂，起步虽早，但几经反复，到20世纪80年代才正式开始建造原子能发电厂。第一座核电站为浙江秦山核电站，于1991年12月13日并网发电，它是我国自行设计、安装的压水堆型核电站，装机容量为30万kW；广东为适应开放特区的需要，和香港合作的包括2台90万kW机组的大亚湾核电站也早已建成发电；至2004年1月全国建成和正在建的核电站已达6座共11台机组，总装机容量为870万kW。

总之，经过几十年稳步的发展，我国电力工业已建成了比较完整的体系。目前，全国各地都有规模不同的各类发电厂，真可谓星罗棋布。这为合理开发和利用各种资源、促进国民经济的全面发展起着极其重要的作用。通过多年的生产实践和技术教育，电力技术人才队伍不断壮大，技术水平不断提高，为进一步发展电力工业打好稳固而扎实的基础。

但是，目前由于装机容量增长速度低于同期国民经济及电力需求增长速度，导致部分地区在充分利用现有发电设备能力的情况下，电力供应依然紧张。有关部门预测，未来的15年中国需新增5亿kW以上的发电装机容量才能满足全面建设小康社会的需要。这意味着未来几年中国电力建设将进入更加快速发展的阶段。同时，还应清醒地看到我国与先进国家仍有很大差距，全国长期缺电的局面还未彻底改变，电力还未起到积极的先行作用，长期以来电力一直处于紧张状态，只有经过艰苦的努力，才能使之适应国民经济发展的需要。因而，摆在电力工作者面前的任务是光荣而艰巨的。

第二节 电力系统的构成及各部分的作用

由于电能易于转换成其他形式的能量，使用便利，输送、分配经济，且便于控制，因此在工农业生产、交通运输以及城乡人们生活等许多方面中广泛地使用。社会离不开电能。

使用电能的单位，称为用户。用电的类型很多，主要分为工业用电、农业用电与生活用电等。工业用电集中、用电量、设备利用率高、对供电可靠性要求高；农业用电分散、用电量小、与气候及季节有关，平时对供电可靠性要求较低，灾害天气时对供电可靠性要求高；生活用电涉及面广、形式多样。随着生产的发展，生活水平的提高，用电量愈来愈大，对供电的可靠性要求也愈来愈高。

电能是经过人为加工而取得的二次能源。将自然能转变为电能的过程称为发电，这一过程一般在发电厂中进行。自然能也称为一次能源，主要来自太阳、地球和地球与其他天体的相互作用。现代，世界各国主要用于发电的一次能源有石油、煤炭、天然气、水力及原子能等。应用这些能源发电的电厂分别称为火电厂、水电厂及原子能电厂（或称核电厂）。此外，还有太阳能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂等。我国幅员辽阔，煤炭、石油、水力、原子能等资源丰富的，这些都为建设大型的、多种类型的发电厂创造了条件。

现代世界上许多国家，将大型火电厂建设在煤炭、石油等能源的产地，以节约燃料运输费用；水电厂建设在江河水流落差较大的河段。而用电负荷中心一般集中在大城市、工业中心、矿山、农业发达地区及交通枢纽等。因此，发电厂和用电负荷中心之间，往往相距几

十、几百甚至数千公里，这就需要用电力线路作为输送电能的通道。通常，将发电厂的电能送到负荷中心的线路叫作输电线路；将负荷中心的电能送到各用户的电力线路叫作配电线路。在负荷中心，一般设有变电所。

在输送与分配电能的过程中，电流在导线中产生电压降落、功率损耗和电能损耗。减少电压降落可以提高电能质量；减少功率损耗可以提高设备利用率；减少电能损耗可以提高供电的经济性。在线路输送功率不变的情况下，提高电压才能减少电压降落、功率损耗和电能损耗。因此，随着电力工业的不断发展，世界各国都在不断地提高输电线路的电压，大力发展超高压远距离输电。将电能用高电压的输电线路送到负荷中心的变电所，然后经过降压、分配和控制，再用配电线路输送给用户（采用较低电压配电主要是由于线路和用电设备的技术经济效益较好）。现阶段，我国输电线路电压在 110kV 及 110kV 以上，配电线路电压主要为 35、10kV 及 0.4kV 等。

电压的升高或降低，是通过变压器完成的。安装变压器及其测量、保护与控制设备的地方称为变电所。用于升高电压的称为升压变电所；用于降低电压的称为降压变电所。

由发电厂中的电气部分、各类变电所及输电、配电线路及各种类型的用电设备组成的统一体，称为电力系统。电力系统包括发、变、输、配、用电等单元，以及相应的通信设备、安全自动设施、继电保护装置、调度自动化设备等。电力系统在我国分为地区级、省级、大区系统，在国外还有跨国电力系统。

电力系统中各种电压的变电所及输配电线路组成的统一体，称为电力网。电力网的任务是输送与分配电能，并根据需要改变电压。电力系统加上各类型发电厂中的热力部分、水力部分、原子反应堆部分等动力部分称为动力系统。

图 1-1 为简单动力系统、电力系统与电力网的示意图。

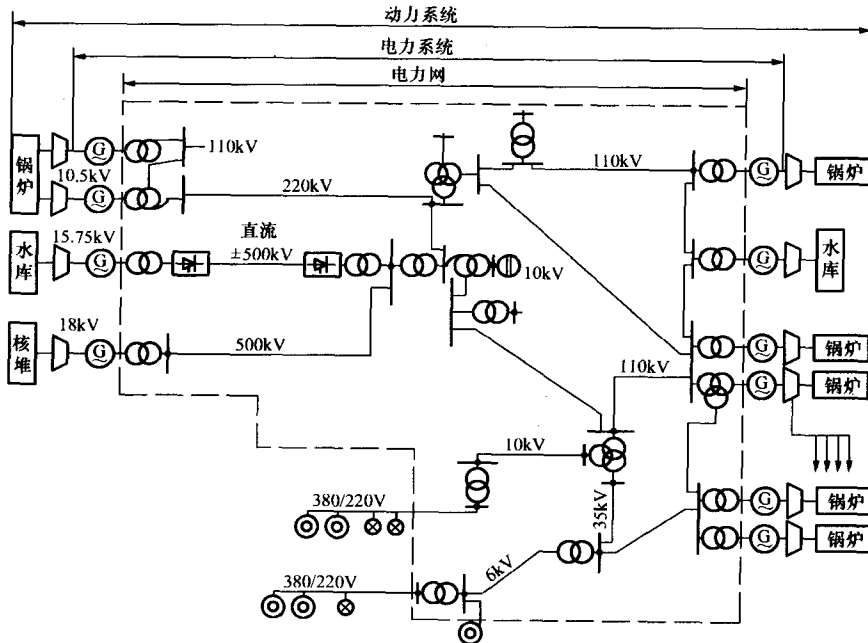


图 1-1 动力系统、电力系统与电力网的示意图

从研究与计算方面考虑,可将电力网分为地方网、区域网、远距离输电网三类。电压为 110kV 以下的电压网,电压较低,输送功率小,线路距离短,主要供电给地方负荷,称为地方网;电压在 110kV 以上的电力网,电压较高,输送功率大,线路距离长,主要供电给大型区域性变电所,称为区域网;输电线路长度超过 300km,电压在 330kV 及其以上的电力网,称为远距离输电网。但电压为 110kV 的电力网属于地方网还是区域网,应从它在电力系统中的作用考虑。

按电压高低可将电力网分为低压网、中压网、高压网、超高压网、特高压网等。电压在 1kV 以下的称为低压网;电压在 1~10kV 的称为中压网;电

压高于 10kV、低于 330kV 的称为高压网;电压高于 330kV、低于 750kV 的称为超高压网;电压在 1000kV 及其以上的称为特高压网。按电力网的接线方式区分,可将电力网分为一端电源供电的电力网(又称为开式网),两端电源供电的电力网(又称为闭式网)及多端电源供电电力网(又称为复杂网)三类,如图 1-2 所示。按电力网在电力系统中的作用可分为系统联络网(又称为网架)与供电网两类。系统联络网主要为系统运行调度服务,供电网主要为用户服务。

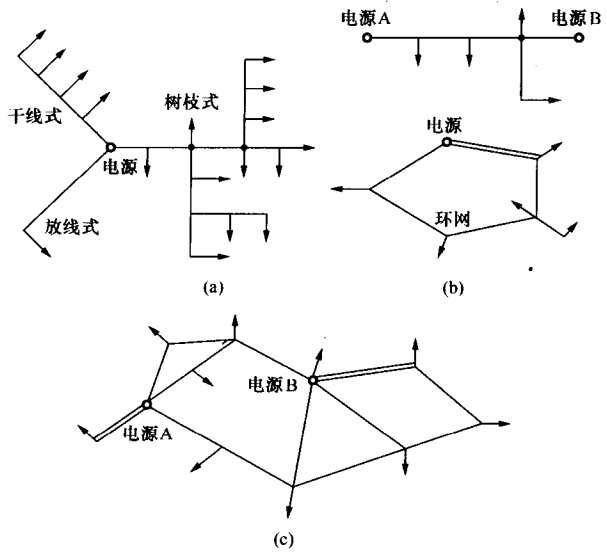


图 1-2 电力网的接线图

(a) 开式网; (b) 两端供电网及环网; (c) 复杂网

第三节 电力系统的额定电压及电压等级

额定电压是国家根据国民经济发展的需要,技术经济合理性及电机、电器制造因素等所规定的电气设备标准的电压等级,是一种标准电压,是电气设备设计时所依据的电压值。在这一电压下工作时,电气设备的经济技术性能能够达到最佳状态,保证可靠长期运行。额定电压是电气设备各参数中的第一参数,常标在设备铭牌及使用说明书上。

为了使电力设备的生产实现标准化、系列化和各元件的合理配套,电力系统中发电机、变压器、电力线路及各种设备等,都是按规定的额定电压进行设计和制造的。

我国规定的额定电压按电压高低及使用范围可分为三类。

第一类额定电压是指 100V 及其以下的额定电压(见表 1-2),主要用于安全动力、照

明、蓄电池及其他特殊设备。其中,交流 36V 只作为潮湿环境的局部照明及其他特殊电力

表 1-2 第一类额定电压(单位:V)

直 流	交 流	
	三 相	单 相
6		
12		
24		12
48	36	36

负荷。

第二类额定电压是 100 ~ 1000V 之间的额定电压 (见表 1-3), 其应用最广、数量最多, 如电动机、工业、民用、照明、普通电器、动力及控制设备等都采用此类电压, 表 1-3 中括号内的电压, 只用于矿井下或其他安全条件要求较高的地方。

表 1-3 第二类额定电压 (单位: V)

受电设备			发电机		变压器			
直 流	三相交流		直 流	三相交流	单 相		三 相	
	线电压	相电压			一次绕组	二次绕组	一次绕组	二次绕组
110	(127)		115	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	230	220	230
	380	220	400	400	380		380	400
440								

第三类额定电压是 1000V 及其以上的电压等级 (见表 1-4)。电力系统的发、供、输、配、用电都采用该电压等级。

表 1-4 第三类额定电压 (单位: kV)

受电设备	线路平均电压	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	
		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

- 注 1. 表中所列均为线电压。
 2. 括号内的电压仅用于特殊地区。
 3. 水轮发电机允许用非标准额定电压。

根据我国国家标准 GB156—80《额定电压》中规定的电力系统电压有 220V、380V、3kV、6kV、10kV、35kV、63kV、110kV、220kV、330kV、500kV、750kV、1000kV 等, 其中 220V 为单相交流电, 其余均为三相交流值。330kV 电压等级只有在西北地区电力系统中采用, 63kV 电压等级只在东北电力系统中采用。

一般城市对中、小企业的供电可采用 10kV 电压等级的配电网络, 对大、中企业的供电可采用 35 ~ 110kV 电压等级的配电网络, 大、中型企业内部可采用 10kV 电压等级的配电网络。35、110kV 电压等级适用于中距离输电; 220 ~ 500kV 电压等级适用于远距离大容量的输

电。大、中容量的电动机可采用 3、6kV 和 10kV 的额定电压等级；小容量的电动机可采用 0.38/0.22kV 的额定电压等级。照明及其他单相负载接在 0.38/0.22kV 三相四线制供电网络的相电压上。直流 220V、110V 电压等级，广泛使用在发电厂、变电所的控制、信号及自动装置回路中。

由表 1-4 中可见，同一电压等级下，各电气设备的额定电压不尽相同，这是因为功率传输过程中要产生电压损耗，使沿线路各点的电压不同，一般是首端电压高于末端电压。规定线路的额定电压与受电设备的额定电压相同，这样所有连接在线路上的受电设备都可在额定电压附近运行。

一般受电设备的允许电压偏移为 $\pm 5\%$ ，沿线路的最大电压损耗为 10%，这样如果线路首端的电压为额定电压的 1.05 倍，末端电压就不会低于额定电压的 0.95 倍，保证各受电设备能在允许电压范围内运行。

发电机一般接在线路的首端，其额定电压应比其所在电力网的额定电压高出 5%，这是考虑到一般电力网的电压损失为 10%，如果线路首端电压比电力网额定电压高 5%，则末端电压比电力网额定电压会低 5%，从而保证末端用电设备工作电压的偏移不会超出允许的范围，一般为 $\pm 5\%$ ，即

$$U_{GN} = 1.05 U_N$$

式中 U_{GN} ——发电机的额定电压；

U_N ——线路的额定电压。

而对于没有直配负荷的大容量发电机，其额定电压按技术经济条件来确定，不受线路额定电压等级的限制。目前，我国发电机额定电压的使用范围为：6.3~10.5kV 用于 100MW 及其以下的小容量机组，13.8kV 用于 125MW 的汽轮发电机和 72.5MW 的水轮发电机，15.75kV 用于 200MW 的发电机，18kV、20kV 分别用于 300MW、600MW 大容量发电机。

变压器的额定电压为各绕组的电压值。变压器一次绕组是接受电能的，其额定电压的确定根据变压器是升压还是降压而有所不同。一般升压变压器是与发电机电压母线或发电机直接相连接，所以升压变压器的一次绕组的额定电压应高出其所在电力网额定电压 5%。降压变压器对电力网而言相当于用电设备，所以其一次绕组的额定电压等于所连接电力网的额定电压（即相当于受电设备的额定电压）。变压器二次绕组是输出电能的，相当于发电机，其额定电压应比线路额定电压提高 5%。考虑到带满负载时，变压器本身绕组有 5% 的电压损失，为了使二次绕组在带额定负荷时实际输出电压仍高于线路额定电压 5%，对二次侧电压等级较高时二次绕组的额定电压应比所接电力网的额定电压高出 10%。只有对于高压侧电压小于 35kV 且阻抗电压百分值小于 7.5%、漏抗较小的变压器，二次绕组所连接线路较短的变压器，以及三绕组变压器连接同步调相机的绕组等，其二次绕组的额定电压才比线路额定电压高 5%。

小 结

虽然电力只有 100 多年的发展历史，但其发展的速度是极其迅速的。电力技术的发展向高效、环保的目标迈进。

使用电能的单位，称为用户。电能是经过人为加工而取得的二次能源。将自然能转变为

电能的过程称为发电，这一过程一般在发电厂中进行。将发电厂的电能送到负荷中心的线路叫作输电线路；将负荷中心的电能送到各用户的线路叫作配电线路。在负荷中心，一般设有变电所。电压的升高或降低，是通过变压器完成的。用于升高电压的称为升压变电所；用于降低电压的称为降压变电所。

由发电厂中的电气部分、各类变电所、输电、配电线路及各种类型的用电器组成的统一体，称为电力系统。电力系统中各种电压的变电所及输配电线路组成的统一体，称为电力网。电力系统加上各类型发电厂中的热力部分、水力部分、原子反应堆部分等动力部分称为动力系统。

额定电压是一种标准电压，是电气设备设计时所依据的电压值。在这一电压下工作时，电气设备的技术经济性能能够达到最佳状态，保证长期可靠运行。我国规定的额定电压按电压高低及使用范围可分为三类。

习 题

1-1 什么叫电力系统、电力网？

1-2 试对电力网进行分类？

1-3 电力设备的额定电压如何定义？电力网、发电机和变压器的额定电压是如何规定的？

1-4 如图 1-3 所示，母线上标出的是电力网的额定电压，试写出图中电力变压器和发电机的额定电压。

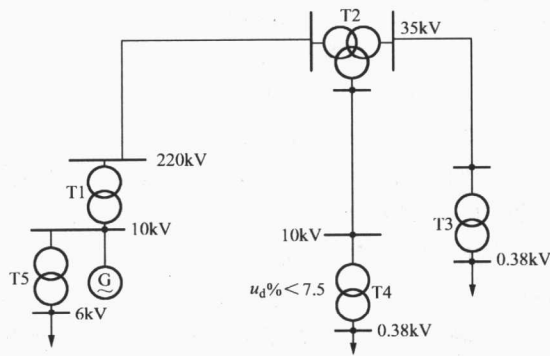


图 1-3 习题 1-4 电路图

发电厂变电所的概述

第一节 发电厂、变电所的类型和作用

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。电厂发出的电能一般还要由变电所升压，经由高压输电线路送出，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过程，下面介绍发电厂和变电所的类型和作用。

一、发电厂类型和作用

发电厂是电力系统的中心环节，根据电厂的装机容量及在电力系统地位的不同，可以分为区域性发电厂、地方性发电厂及自备专用电厂等；根据一次能源形式的不同，可以分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、风力发电厂等。

(一) 火力发电厂

火力发电厂是将燃料的化学能转换成电能的工厂，常见的燃料有固体燃料、液体燃料和气体燃料。

固体燃料主要是煤。我国电力生产以煤为主，而且尽量利用当地的劣质煤来发电，把优质煤炭让给其他部门，发挥更大的作用。

液体燃料主要是石油。液体燃料使用方便，发热量高，一般采用重油发电。但由于石油的用途多，资源比煤少，价格也较高，因此一般我国不建设纯燃油电厂，而是采用煤、油两用。

气体燃料一般为天然气，但目前我国采用天然气作为燃料的电厂较少。

火力发电厂中的原动机大都为汽轮机，现在柴油机和燃气轮机也得到了应用。火力发电厂可以分为以下几种发电厂。

1. 凝汽式火力发电厂

凝汽式火力发电厂通常称火电厂。燃料在炉膛内燃烧发出热量，被锅炉本体内的水吸收后产生高温高压的蒸汽，送到汽轮机，使汽轮机转子高速旋转带动发电机发出电能。已作过功的蒸汽进入汽轮机末端的凝汽器，被冷却水还原为水后又重新送回锅炉。凝汽式电厂中的工质在发电过程中经历了水变成蒸汽、水蒸气变成水的反复循环，从而实现将燃料的化学能转换为热能、热能转换为机械能、机械能转换为电能的过程。在凝汽器中，大量的热量被循环水（即冷却水）带走，所以效率较低，一般只有 30%~40% 左右。典型火电厂的布置如图 2-1 所示。

2. 供热式火力发电厂

供热式火力发电厂通常称热电厂。我国北方地区多建有热电厂，一般建在热用户附近。热电厂与凝汽式火电厂不同，主要是热电厂将部分作过功的蒸汽从汽轮机中段抽出供给电厂附近的热用户，或经热交换器将冷水加热，把热水供给用户。这样，与火电厂相比便可减少了凝汽器中的热量损失，使热电厂的效率提高到 60%~70%。

(二) 水力发电厂

水力发电厂通常称水电厂。水电厂是将水的位能和动能转换为电能的工厂。