



高职高专“十二五”规划教材

工厂供配电技术

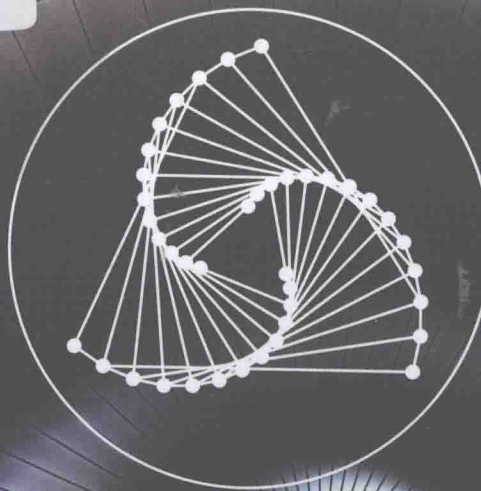
李俊秀 主编
马应魁 主审

姜桂林 刘石红 副主编

GONGCHANG
GONGPEIDIAN
JISHU



化学工业出版社



高职高专“十二五”规划教材

工厂供配电技术

李俊秀	主 编
姜桂林 刘石红	副主编
马应魁	主 审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以工厂 10kV 供配电系统为背景,以技术应用、技能培养为主线,按照工学结合的教学组织原则,系统地介绍了工厂供配电的知识、技术和相关技能。全书分 12 章和 1 个附录,包括电力系统与工厂供配电系统、电力负荷及其计算、工厂供配电的一次设备、变配电所电气主接线、短路电流及其计算、电气设备的选择与校验、供配电系统的保护装置、二次回路与自动装置、电气接地与电气安全、工厂电气照明、供电的技术管理和电气运行与检修试验等内容。每个章节相对独立,又互为体系,内容覆盖面宽,选择性强,可满足不同层次、不同专业教学的需求。

本书理论联系实际,突出技术应用、技能培养的主线,内容丰富,实用性强。可作为应用型本科、高职高专和中等职业学校电气自动化技术、工业电气自动化、机电设备维修与管理 and 电气技术等相关专业的教材,也可供从事工厂供配电系统设计、运行和管理的工程技术人员参考和作为培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

工厂供配电技术/李俊秀主编. —北京: 化学工业出版社, 2014. 1

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-19060-4

I. ①工… II. ①李… III. ①工厂-供电系统-高等职业教育-教材②工厂-配电系统-高等职业教育-教材
IV. ①TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 276534 号

责任编辑: 廉 静

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 宋 夏

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 371 千字 2014 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

电力,是现代工业生产的主要能源和动力,是人们生活重要的基础资源。随着我国工业现代化的飞速发展和人们生活水平的日益提高,对电力的需求与日俱增,这不仅使企业供配电系统和民用电网快速发展,也要求有更多的电气技术人员从事供配电系统和设备的运行、维护、检修与管理工作。如何对电力进行合理的分配,有效的控制,使之安全、可靠地运行,同时又能节约电能,是企业用电必须要解决的问题。

工厂供配电技术是研究电力供应、分配和控制技术的一门专业课程。本课程的任务,是培养学生掌握中小型工业企业 10kV 及以下供配电系统设计、安装、维护、检修和试验所必需的技术和技能,具有安全用电、计划用电、节约用电的基本知识和系统运行管理的初步能力。

为了适应新形势下高职教育对技术技能型人才培养的要求,本书以技术应用、技能培养为主线,按照工学结合的教学组织原则,系统地介绍了工厂供配电的知识、技术和相关技能。全书分 12 章和 1 个附录,包括电力系统与工厂供配电系统、电力负荷及其计算、工厂供配电的一次设备、变配电所电气主接线、短路电流及其计算、电气设备的选择与校验、供配电系统的保护装置、二次回路与自动装置、电气接地与电气安全、工厂电气照明、供电的技术管理和电气运行与检修试验等内容。教材的特点是:

- 目标明确 以培养高技能应用型电气技术人才为教学目标,理论以“够用”为度,技能培养贯穿始终。

- 工学结合 教学内容以工厂 10kV 供配电系统为背景,理论联系实际,突出了工厂供配电系统运行、维护、试验、检修等实际操作技能的培养。

- 适用性强 每个章节相对独立,又互为体系,内容覆盖面宽,选择性强,可满足不同层次、不同专业教学的需求。

- 技术先进 体现了新技术、新设备、新标准的渗透及应用。

全书共有 12 章和 1 个附录。其中第 1 章~第 3 章由李俊秀编写,第 12 章由刘瑞涛编写,第 4 章和第 5 章由刘石红编写,第 6 章和第 10 章由杨敏跃编写,第 7 章由姜桂林编写,第 8 章和第 9 章由林蒙丹编写,第 11 章和附录由李泉编写。姜桂林、刘石红担任副主编,李俊秀教授任主编,并负责全书的统稿工作。本书由马应魁教授主审。

本书在编写过程中,得到了中国化工教育协会、化学工业出版社及许多院校和个人的大力支持和帮助,在此一并表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 电力系统与工厂供配电系统	1	3.2.1 电力变压器概述	22
1.1 电力系统	1	3.2.2 电力变压器的容量及过负荷能力	25
1.1.1 发电厂	1	3.2.3 电力变压器并列运行的条件	25
1.1.2 变电所	2	3.2.4 电力变压器的选择	26
1.1.3 电力网	2	3.3 互感器	26
1.1.4 电能用户	2	3.3.1 电流互感器	27
1.1.5 电力系统	3	3.3.2 电压互感器	30
1.1.6 电力系统中性点的运行方式	3	3.4 高压开关与保护电器	32
1.2 电力网的额定电压	4	3.4.1 高压隔离开关	32
1.2.1 电力网的电压等级	4	3.4.2 高压负荷开关	33
1.2.2 电压等级的选择	5	3.4.3 高压断路器	34
1.3 工厂供配电系统	6	3.4.4 高压熔断器	37
1.3.1 对工厂供电的基本要求	6	3.4.5 高压开关柜	39
1.3.2 工厂供配电系统简介	6	3.5 低压开关与保护电器	40
思考题与习题	7	3.5.1 低压刀开关	40
第 2 章 电力负荷及其计算	8	3.5.2 低压负荷开关	40
2.1 电力负荷的概念	8	3.5.3 低压断路器	41
2.1.1 电力负荷	8	3.5.4 低压熔断器	43
2.1.2 负荷分级及对供电的要求	8	3.5.5 低压配电屏	45
2.2 用电设备工作制	9	思考题与习题	46
2.3 负荷曲线	9	第 4 章 变配电所电气主接线	47
2.3.1 负荷曲线的类型及绘制	9	4.1 概述	47
2.3.2 与负荷曲线有关的物理量	10	4.2 电气主接线的基本形式	47
2.4 电力负荷的计算	11	4.2.1 单母线主接线	47
2.4.1 计算负荷的概念	11	4.2.2 双母线主接线	49
2.4.2 用需要系数法确定计算负荷	11	4.2.3 桥式主接线	49
2.4.3 用二项式法确定计算负荷	14	4.2.4 环网主接线	50
2.4.4 单相用电设备计算负荷的确定	16	4.3 工厂变配电所电气主接线	51
2.4.5 供配电系统功率损耗的计算	17	4.3.1 总降压变电所电气主接线	51
2.4.6 尖峰电流的计算	18	4.3.2 配电所电气主接线	51
2.5 工厂计算负荷的确定	19	4.3.3 车间变电所电气主接线	52
2.5.1 按逐级计算法确定工厂计算负荷	19	4.4 工厂电力线路	54
2.5.2 按需要系数法确定工厂计算负荷	20	4.4.1 电力线路的接线方式	54
2.5.3 按估算法确定全厂计算负荷	20	4.4.2 架空线路的结构与敷设	57
思考题与习题	21	4.4.3 电缆线路的结构与敷设	58
第 3 章 工厂供配电的一次设备	22	4.4.4 车间线路的结构与敷设	61
3.1 概述	22	4.4.5 配电线路电气安装图	62
3.2 电力变压器	22	思考题与习题	65

第 5 章 短路电流及其计算	66	7.3.3 电力变压器的瓦斯保护	119
5.1 概述	66	7.3.4 电力变压器的差动保护	120
5.2 无限大容量系统三相短路的过程	67	7.3.5 电力变压器的单相短路保护	122
5.2.1 无限大容量电力系统	67	7.4 高压电动机的继电保护	122
5.2.2 短路电流的变化过程	68	7.4.1 高压电动机保护的设置	122
5.3 三相短路电流的计算	70	7.4.2 高压电动机的过电流保护	123
5.3.1 采用欧姆法进行短路计算	70	7.4.3 高压电动机的差动保护	123
5.3.2 采用标么值法进行短路计算	74	7.4.4 高压电动机单相接地保护	124
5.3.3 两相和单相短路电流的计算	77	7.5 微机保护装置	124
5.4 短路电流的效应	78	7.5.1 微机保护系统的组成	125
5.4.1 短路电流的电动效应和动稳定度	78	7.5.2 微机保护装置的功能	126
5.4.2 短路电流的热效应和热稳定度	79	7.5.3 微机保护装置的应用	127
思考题与习题	80	7.5.4 RGP601 通用型微机保护装置	127
第 6 章 电气设备的选择与校验	81	思考题与习题	131
6.1 电气设备选择的原则	81	第 8 章 二次回路与自动装置	132
6.2 高压开关电器的选择	82	8.1 二次回路概述	132
6.3 互感器的选择	83	8.2 二次回路操作电源	133
6.3.1 电流互感器的选择	83	8.2.1 直流操作电源	133
6.3.2 电压互感器的选择	84	8.2.2 交流操作电源	134
6.4 导线和电缆截面的选择	85	8.3 电气测量回路	134
6.4.1 按允许发热条件选择导线和电缆 截面	85	8.3.1 对电气测量仪表的一般要求	135
6.4.2 按经济电流密度选择导线截面	87	8.3.2 供电系统中测量仪表的配置	135
6.4.3 线路电压损耗的计算	87	8.3.3 电气测量回路的接线	135
6.4.4 按机械强度条件校验导线截面	90	8.4 断路器控制回路	138
6.5 保护电器的选择	92	8.4.1 概述	138
6.5.1 熔断器的选择	92	8.4.2 灯光监视的断路器控制回路	139
6.5.2 低压断路器的选择	94	8.5 变电所信号装置	141
6.5.3 电动机综合保护装置简介	97	8.6 供配电系统自动装置	143
思考题与习题	97	8.6.1 备用电源自动投入装置	143
第 7 章 供配电系统的保护装置	99	8.6.2 线路自动重合闸装置	145
7.1 保护装置概述	99	8.7 二次回路接线图	148
7.1.1 保护装置的任务	99	8.7.1 原理接线图	148
7.1.2 对保护装置的基本要求	99	8.7.2 展开式接线图	148
7.1.3 常用保护继电器	100	8.7.3 安装接线图	148
7.1.4 保护装置的接线方式	103	思考题与习题	152
7.2 高压配电网的继电保护	105	第 9 章 电气接地与电气安全	154
7.2.1 概述	105	9.1 供配电系统的接地	151
7.2.2 带时限的过电流保护	105	9.1.1 电气接地和接地装置	151
7.2.3 电流速断保护	111	9.1.2 接地的类型	155
7.2.4 单相接地保护	113	9.1.3 接地装置的装设	158
7.3 电力变压器的继电保护	116	9.2 电气安全	159
7.3.1 电力变压器保护的设置	116	9.2.1 触电事故及其影响因素	159
7.3.2 电力变压器的过电流保护	116	9.2.2 电气安全的措施	160
		9.3 过电压与防雷保护	164

9.3.1 过电压	164	附录	217
9.3.2 防雷保护装置	164	附表 1 民用建筑用电设备组的需要系数及功率因数参考值	217
9.3.3 供配电系统的防雷措施	167	附表 2 工业用电设备组的需要系数、二项式系数及功率因数参考值	218
思考题与习题	169	附表 3 部分企业的需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时参考值 ..	218
第 10 章 工厂电气照明	170	附表 4 并联电容器的无功补偿率 (Δq_C) ..	219
10.1 电气照明的基本知识	170	附表 5 部分并联电容器的主要技术数据 ..	219
10.1.1 电气照明及照明方式	170	附表 6 部分 10kV 级电力变压器的主要技术数据	219
10.1.2 光的概念	170	附表 7 部分高压断路器的主要技术数据 ..	220
10.2 常用电光源和灯具	172	附表 8 部分 10kV 高压隔离开关技术数据 ..	221
10.2.1 常用电光源的类型及特性	172	附表 9 LQJ-10 型电流互感器的主要技术数据	221
10.2.2 常用灯具的类型及选择	174	附表 10 部分 DW 型低压断路器的主要技术数据	222
10.3 照度计算	177	附表 11 DZ10、DZ20 系列低压断路器的技术数据	222
10.3.1 照明的照度标准	177	附表 12 RM10 型低压熔断器的主要技术数据	223
10.3.2 照度的计算	177	附表 13 RT0 型低压熔断器的主要技术数据	223
10.4 照明供配电系统	179	附表 14 电力变压器配用的高压熔断器规格	223
10.4.1 照明供配电系统的接线方式	179	附表 15 绝缘导线和电缆的电阻和电抗值 ..	223
10.4.2 照明配电系统导线的选择	180	附表 16 导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数	224
思考题与习题	181	附表 17 LJ 型铝绞线、LGJ 型钢芯铝绞线和 LMY 型硬铝母线的主要技术数据	225
第 11 章 供电的技术管理	183	附表 18 10kV 常用三芯电缆的允许载流量及校正系数	226
11.1 供配电系统的无功补偿	183	附表 19 部分绝缘导线明敷、穿钢管和穿塑料管时的允许截流量	227
11.1.1 提高功率因数的意义	183	附表 20 架空裸导线的最小截面积	230
11.1.2 系统功率因数的确定	184	附表 21 绝缘导线芯线的最小截面积	230
11.1.3 提高功率因数的方法	184	附表 22 GL-11、15、21、25 型电流继电器的主要技术数据	231
11.1.4 采用并联电容器补偿功率因数 ..	185	附表 23 部分电力装置要求的工作接地电阻值	231
11.2 供配电系统的电能节约	188	附表 24 GGY-125 型工厂配照灯的主要技术数据	231
11.2.1 节约电能的意义	188	参考文献	232
11.2.2 节约电能的一般措施	188		
11.3 供配电系统电能质量的调控	190		
11.3.1 供电频率及调整措施	190		
11.3.2 供电电压及调整措施	190		
11.3.3 供电可靠性及要求	194		
思考题与习题	194		
第 12 章 电气运行与检修试验	196		
12.1 电气运行与倒闸操作	196		
12.1.1 变电所的运行管理	196		
12.1.2 变电所的倒闸操作	197		
12.2 供配电系统的巡检与维护	199		
12.2.1 电力变压器的运行维护	199		
12.2.2 配电装置的运行维护	200		
12.2.3 配电线路的运行维护	200		
12.3 电气检修与试验	202		
12.3.1 电力变压器的检修试验	202		
12.3.2 配电线路的检修试验	209		
思考题与习题	215		

第 1 章

电力系统与工厂供配电系统

1.1 电力系统

电能不仅是现代工业生产的主要能源和动力，而且直接影响着国民经济的发展和人民的生活。电能是由发电厂生产出来的（发电）；发电厂一般建在一次能源所在地，距离城市和工业用户比较远，这就有一个电能输送的问题（输电）；为了实现电能的经济输送和满足用户对工作电压的要求，就需要在电能输送的过程中变换电能电压（变电）；为了解决用户对用电的需求，还有一个合理分配电能的问题（配电）；电能不能大量存储，电能从生产到使用几乎是同一时间完成的，因此电能用户（用电）也是电力系统重要的一个环节。图 1-1 表明了电力系统从发电到用电的整个过程。

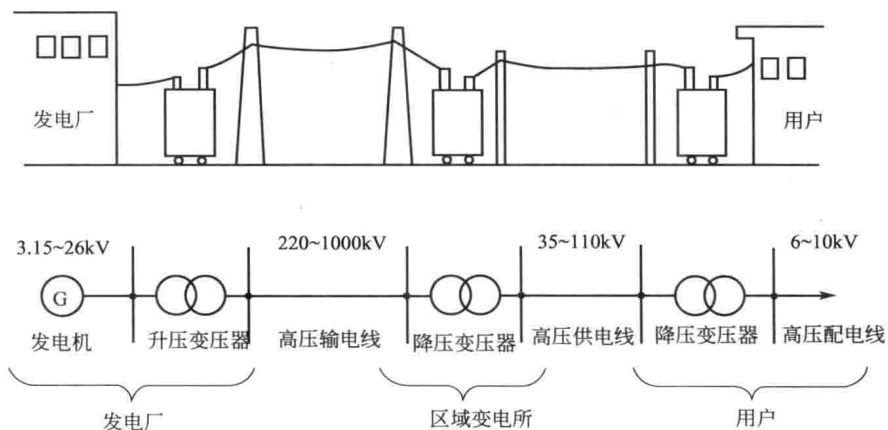


图 1-1 发电到用电过程示意图

1.1.1 发电厂

发电厂是生产电能的工厂，又称发电站。发电厂是将自然界中的各种一次能源，如煤炭、石油、天然气、水能、核能、风能、地热、潮汐、太阳能等，通过发电设备转换为电能。发电厂按其利用的一次能源不同，分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等类型。目前我国以火力发电和水力发电为主，其次是核能发电和其他形式的发电，风力发电和太阳能发电等新能源发电具有更广阔的发展前景。

① 火力发电厂（火电厂） 火电厂是利用煤炭、石油、天然气等作为燃料生产电能的工厂。其生产电能的过程是：燃料的化学能通过锅炉转换为热能→热能通过汽轮机转换为机

机械能→机械能通过发电机转换为电能。火电厂又分为凝汽式火电厂和热电厂。

② 水力发电厂（水电站） 水电站是利用水流的位能和动能生产电能的工厂。其生产电能的过程是：水流的位能和动能通过水轮机转换为机械能→机械能通过发电机转换为电能。水电站可分为堤坝式、引水式和混合式。我国三峡水电站即为堤坝式水电厂，总装机容量达 2250 万千瓦，年发电量约 1000 亿度，居世界首位。

③ 核能发电厂（核电站） 核电站是利用原子核的裂变能来生产电能的工厂。其生产电能的过程与火电厂基本相同，只是以核反应堆代替了燃煤锅炉，以核燃料代替了煤炭。核电站能量的转换过程是：核裂变能→热能→机械能→电能。我国已建成了浙江秦山、广东大亚湾和岭澳等多座大型核电站。

④ 新能源发电 新能源发电是指利用风力、地热、太阳能等可再生能源生产电能。风能是清洁的可再生能源；地热发电不消耗燃料，运行费用低；太阳能是安全、经济、无污染的能源。因此，发展新能源发电大有可为。

1.1.2 变电所

变电所又称变电站，是接受电能、变换电能电压和分配电能的场所。变电所由电力变压器、母线、开关设备和配电装置等组成。变电所如果只有配电设备而无电力变压器，仅用于接受电能和分配电能，则称为配电所。

变电所按其性质和任务不同，分为升压变电所和降压变电所。升压变电所建在发电厂内，用于将电能电压升高后进行长距离输送。降压变电所建在用电区域，用于将电能电压降低后对某地区或用户供电。

降压变电所按其地位和作用不同，可分为枢纽变电所、区域变电所和用户变电所。

① 枢纽变电所 枢纽变电所位于电力系统的枢纽点，连接电力系统的几个部分，汇集多个电源，变电容量大，出线回路多，电压等级一般为 330~1000kV。

② 区域变电所 区域变电所用于对一个大的用电区域供电，从 220~1000kV 超高压电网或发电厂接受电能，将其变换为 35~110kV 向该区域用户供电。

③ 用户变电所 用户变电所包括工厂总降压变电所和车间变电所。工厂总降压变电所位于用户的负荷中心，从区域变电所 35~110kV 母线受电，将其变换为 6~10kV 向各个车间供电。车间变电所从总降压变电所 6~10kV 母线受电，将其变换为 220V/380V 低压，直接对车间各用电设备供电。

1.1.3 电力网

不同电压等级的电力线路与其所连接的变电所，统称为电力网，简称电网。电力网是联系发电厂和电能用户的中间环节，是输送和分配电能的通道。

电力网按其电压高低可分为低压网、中压网、高压网和超高压网。电压低于 1kV 的称为低压网；1~20kV 的称为中压网；35~220kV 的称为高压网；330~1000kV 的称为超高压网。

电网或系统，往往以电压等级来区分，如 10kV 电网或 10kV 系统，实际上是指与这一电压等级相关的整个供电网络。

1.1.4 电能用户

所有的用电单位均称为电能用户。电能用户可分为工业电能用户和民用电能用户。我国工业用电占全年总发电量的 60% 以上，是最大的电能用户。

1.1.5 电力系统

电能从生产到供给用户使用，一般都要经过发电、输电、变电、配电和用电几个环节，这在客观上就形成了电力系统，并且电能生产具有以下特点。

① 同时性 电能不能大量存储。电能生产、输送、分配以及使用的全过程，几乎是同时进行的。

② 集中性 电能是一种特殊的商品。电能的生产必须集中统一，有统一的质量标准；统一的调度管理；统一的生产和销售。

③ 快速性 电力系统中各元件（如线路和设备）的投入和切除，几乎是在瞬间完成的。因此，要保证电力系统安全、可靠地运行，除要求电气运行人员具备相关的技术和业务能力外，还必须装设完善的保护和自动装置。

④ 先行性 电力工业发展的速度（发电量）应大于国民经济总产值的增长速度，才能保证国民经济的持续发展。

为了提高供电的可靠性和经济性，将各发电厂、变电所和电能用户通过电力网连接起来，形成的联合电网，就是电力系统，如图 1-2 所示。

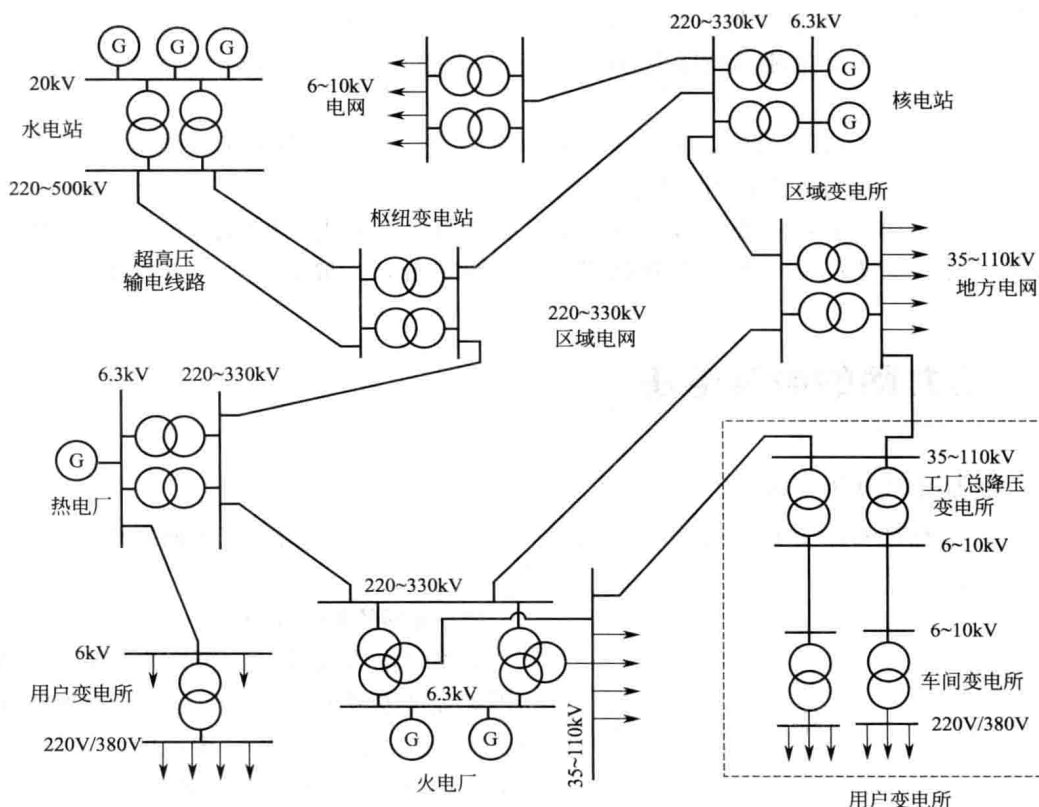


图 1-2 电力系统示意图

1.1.6 电力系统中性点的运行方式

电力系统中，作为供电电源的发电机和变压器的中性点有三种运行方式：中性点直接接地运行、中性点不接地运行和中性点经消弧线圈接地运行，如图 1-3 所示。中性点直接接地系统称为大电流接地系统，中性点不接地或经消弧线圈接地的系统称小电流接地系统。

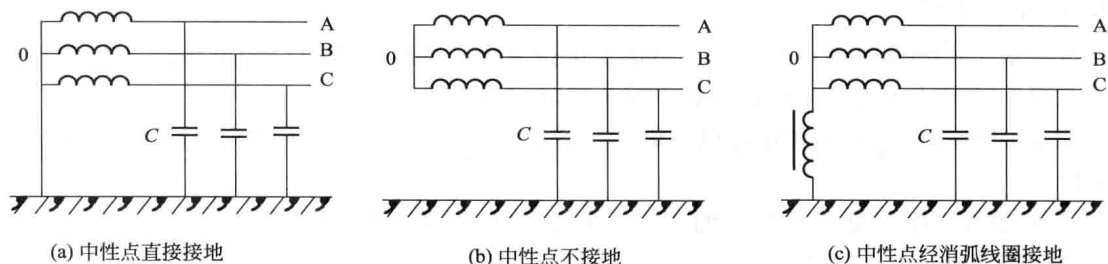


图 1-3 电力系统中性点运行方式

① 中性点直接接地系统 该系统供电可靠性低，因为一旦发生单相接地，就形成了单相短路，将使供电中断。但接地时系统电压不会升高，设备绝缘按相电压设计，可降低系统造价；对低压系统，还可降低触电的危险程度。

② 中性点不接地系统 该系统供电可靠性高，因为发生单相接地时，虽然非接地相对地电压上升为线电压，但三相线电压仍然对称，对负荷用电无影响，系统允许继续运行 1~2h。但系统中非接地相对地电容电流增大了 $\sqrt{3}$ 倍，接地电流为正常电容电流的 3 倍。

③ 中性点经消弧线圈接地系统 该系统的运行特点与中性点不接地系统相同。不同点是通过消弧线圈的电感电流对线路电容电流进行了补偿，从而有效防止了接地电流引起的弧光短路。

我国 3~66kV 的电力系统，尤其是 3~10kV 系统，为提高系统运行的可靠性，一般采用中性点不接地的运行方式；当单相接地电流大于规定值（3~10kV 系统大于 30A，20kV 以上系统大于 10A）时，一般采用经消弧线圈接地的运行方式。我国低压系统和 110kV 及以上的电力系统，为了低压配电和降低超高压系统造价，一般采用中性点直接接地的运行方式。

1.2 电力网的额定电压

1.2.1 电力网的电压等级

按照国家标准 GB/T 156—2007《标准电压》规定，我国三相交流电网和电力设备的额定电压如表 1-1 所示。

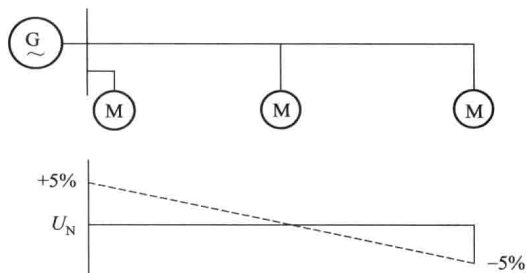


图 1-4 用电设备和发电机的额定电压

(1) 电网的额定电压

电网（电力线路）的额定电压，是国家根据国民经济发展的需要和电力工业发展的水平，经全面的技术经济分析后确定的，它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

(2) 用电设备的额定电压

由于用电设备直接与电力线路相连，所以用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。实际上，负荷电流会在电路上产生压降，使

得线路上的电压随着线路的延伸略有降低，如图 1-4 中虚线所示。因此，用电设备的额定电压等于线路的平均电压，即电网的额定电压 U_N 。

表 1-1 我国三相交流电网和电气设备的额定电压

kV

分类	电网和用电设备额定电压	发电机额定电压	电力变压器额定电压	
			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	3,3.15	3.15,3.3
	6	6.3	6,6.3	6.3,6.6
	10	10.5	10,10.5	10.5,11
	—	13.8,15.75,18, 20,22,24,26	13.8,15.75,18, 20,22,24,26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.5
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
750	—	750	825(800)	
1000	—	1000	1100	

(3) 发电机的额定电压

电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗。因此，为了维持线路的平均电压在额定值，线路首端（电源端）的电压应比线路额定电压高 5% ，而线路末端的电压可比线路额定电压低 5% ，如图 1-4 所示。所以发电机额定电压规定高于同级电网额定电压 5% 。

(4) 电力变压器的额定电压

① 电力变压器一次绕组的额定电压 如果变压器直接与发电机相连时，如图 1-5 中的变压器 T1，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压 5% ；如果变压器直接与线路相连时，如图 1-5 中的变压器 T2，变压器相当于线路上的用电设备，其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

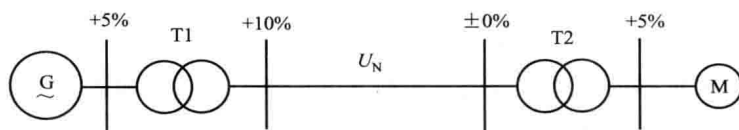


图 1-5 电力变压器的额定电压

② 电力变压器二次绕组的额定电压 如果变压器二次侧供电线路较长，如图 1-5 中变压器 T1，其额定电压应高于同级电网额定电压的 10% ，以补偿变压器二次绕组内阻抗压降和线路上的电压损耗；如果变压器二次侧供电线路较短时，如图 1-5 中变压器 T2，其额定电压只需高于电网额定电压的 5% ，以补偿变压器二次绕组内 5% 的阻抗压降。

1.2.2 电压等级的选择

在我国电力系统中，220kV 及以上电压等级主要用于大型电力系统输电的主干线；110kV 多用于区域电网输电线路；35~110kV 电压等级用于对大型用户供电；6~10kV 电

压等级用于对中小用户供电，从技术经济指标来看，最好应采用 10kV 供电；220V/380V 电压等级用于低压系统的配电，其中 380V 主要用于对三相动力设备配电，220V 用于对照明设备及其他单相用电设备配电。表 1-2 给出了在不同电压等级下，电力线路经济的输送功率和输送距离。

表 1-2 不同电压等级电力线路的经济输送功率和输送距离

额定电压/kV	输送功率/kW	输送距离/km	额定电压/kV	输送功率/kW	输送距离/km
0.22	≤50	0.15	10	200~2000	6~20
0.38	≤100	0.6	35	2000~10000	20~50
3	100~1000	1~3	110	10000~50000	50~150
6	100~1200	4~15	220	100000~500000	100~300

1.3 工厂供配电系统

工厂供配电系统，是指工业用户所需的电力从进厂到用电设备的整个供配电系统。工厂供配电系统，一般由总降压变电所或高压配电所、车间变电所、高低压配电线路、变配电设备和用电设备等组成。

1.3.1 对工厂供电的基本要求

电能，是现代工业生产的主要能源和动力。《工厂供配电技术》是研究工业用户所需电能的供应、分配和控制的应用技术。为了保证工厂的正常生产，工厂供配电系统应满足以下四项基本要求。

- ① 安全 在电能的供应和使用中，不应发生人身事故和设备事故。
- ② 可靠 应满足电力用户对供电可靠性即连续供电的要求。
- ③ 优质 应满足电力用户对电压和频率质量等方面的要求。
- ④ 经济 应使供配电系统的投资小，运行费用低，电能利用率高。

1.3.2 工厂供配电系统简介

(1) 总降压变电所

工厂总降压变电所，简称“总降”。工厂总降压变电所，从区域变电所接受电能，把 35~110kV 电压降为 6~10kV，再向厂区车间变电所供电。

为了保证供电的可靠性，总降压变电所通常有两条或多条电源进线，装设两台或多台电力变压器，采用桥式或双母线主接线。电力变压器容量可从几千到几万千伏安，供电范围由供电容量决定，一般在 10km 以内。

(2) 高压配电所

高压配电所，又称为“开闭所”或“开关站”。一般从 6~10kV 电网接受电能，不变换电能电压，直接向高压用电设备和车间变电所供电。

(3) 车间变电所

车间变电所，从总降压变电所或高压配电所接受电能，将 6~10kV 的电压降为 220V/380V，对低压用电设备直接供电。

车间变电所，一般有 1~2 条电源进线，装设 1~2 台电力变压器，采用单母线或单母线分段主接线。单台变压器的容量通常为 1000kV·A 及以下，供电范围一般在 500m 以内。

(4) 高低压配电线路

工厂高低压配电线路，用于厂内供电和配电。

厂区 6~10kV 线路，多为高压电缆线路，采用电缆沟或电缆桥架敷设，受外界因素影响小，供电可靠性高。高压配电线路用于从总降压变电所或高压配电所向车间变电所及高压用电设备配电，并配有完善的继电保护装置或微机保护装置及自投装置，大大提高了高压系统运行的可靠性。

厂区 220V/380V 线路，多为低压电缆线路，采用电缆沟敷设、明敷或穿管敷设。低压配电线路用于从车间变电所向低压动力箱、照明配电箱、低压动力设备及单相用电设备配电，每条线路都配有控制与保护设备，能满足安全、可靠供电的要求。

(5) 变配电设备及用电设备

变配电设备包括电力变压器、高低压开关设备、保护设备、测量设备、补偿设备、高压开关柜和低压配电屏等。

工厂用电设备以动力设备为主，如空压机、通风机、水泵、破碎机、球磨机、搅拌机、制氧机以及润滑油泵等生产机械的拖动电动机，其次是各种电焊设备、起重设备、电热及电镀设备、照明设备和仪器仪表等。

思考题与习题

- 1-1 什么是电力系统？电力系统由哪些环节组成？
- 1-2 什么是电力网？变电所的功能是什么？
- 1-3 电能生产有什么特点？为什么要建立大型联合电网？
- 1-4 工厂供配电系统由哪些部分组成？各部分的功能是什么？
- 1-5 如何确定电网中发电机、用电设备和电力变压器的额定电压？
- 1-6 电力系统额定电压等级有哪些？如何选择电力系统中的电压等级？
- 1-7 电力系统中性点有哪几种运行方式？小电流接地系统和大电流接地系统运行的特点是什么？
- 1-8 工厂高、低压供电系统各采用什么运行方式？为什么？
- 1-9 对工厂供电的基本要求是什么？什么是安全性和可靠性？
- 1-10 试确定图 1-6 所示供电系统中发电机和变压器的额定电压。

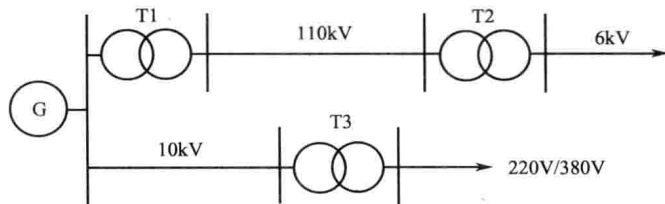


图 1-6 题 1-10 图

第 2 章

电力负荷及其计算

2.1 电力负荷的概念

2.1.1 电力负荷

电力负荷也称为电力负载，是指耗用电能的用电设备或用电单位（用户），有时也把用电设备或用电单位所耗用的电功率或电流大小称为电力负荷。工厂各种用电设备都是电力负荷，根据其用途和用电特点不同，可分为以下几类。

① 动力负荷 拖动生产机械的电动机都属于动力负荷。如水泵、通风机、压缩机、搅拌机等，这些设备一般都是长期连续运行，且负荷基本均匀稳定；金属切削机床多数也是长期连续运行，但其设备利用率较低；起重机、卷扬机、吊车等设备是间歇性工作的，负荷变化较大。动力负荷在工厂总负荷中所占比例大，可达 70% 以上。

② 电焊电镀负荷 电焊设备也是间歇工作的，其工作时间和停歇时间不断交替，负荷不稳定。电镀设备是长期连续工作的，需要直流工作电源，负荷电流稳定。

③ 电热负荷 电阻加热炉、电弧炉、感应炉、红外线加热、微波加热和等离子加热等都属于电热负荷。电热设备多数是长期连续工作方式，除电弧炉外，负荷比较稳定。

④ 照明负荷 照明设备属于单相负荷，长期连续工作。除白炽灯、卤钨灯的功率因数为 1 外，其他类型灯具（如荧光灯和各种气体放电灯）的功率因数均较低，一般在 0.5 左右。照明负荷在工厂总负荷中所占比例小，通常在 10% 左右。

不同类型的负荷其工况及用电情况不同，所消耗的有功功率和无功功率也不同，所以从供电系统取用电能的需要系数和功率因数是不同的。

2.1.2 负荷分级及对供电的要求

工厂电力负荷，按 GB 50052—1995《供配电系统设计规范》规定，根据其对供电可靠性的要求及中断供电所造成的损失或影响程度，将电力负荷分为三级。

① 一级负荷 一级负荷是特别重要的负荷，一旦中断供电，将会造成人身伤亡事故，或发生中毒、爆炸和火灾事故，或在政治、经济上造成重大损失，如重大设备损坏、连续生产过程打乱造成大量产品报废等。

一级负荷要求由两个独立电源供电，对特别重要的一级负荷，还应增设应急电源。

② 二级负荷 二级负荷是重要的负荷，中断供电一般不会造成人身伤亡事故，但会在政治、经济上造成重大损失，或影响重要场所的正常工作，如大型会议中心、大型商场和交通枢纽等。

二级负荷要求由两回线路供电，两回线路应引自不同的变压器或母线段。

③ 三级负荷 三级负荷属于一般负荷，对供电无特殊要求，允许较长时间停电。

三级负荷一般采用单回路供电。

2.2 用电设备工作制

工厂用电设备的种类很多，用途及用电情况也不尽相同，为便于统计设备功率，按其工作情况将其分为连续工作制、短时工作制和断续周期工作制三种。

(1) 连续工作制

连续工作制的设备长期连续运行，负荷比较稳定，如动力负荷、电热电镀负荷、照明负荷等。

(2) 短时工作制

短时工作制设备的工作时间较短，停歇时间较长，如机床工作台调整电动机、拖动电动机阀门的电动机等负荷。由于这部分设备负荷所占比例小，在计算设备功率时，直接按连续工作制设备考虑。

(3) 断续周期工作制

断续周期工作制设备的工作呈现一定的周期性，时而工作时而停歇，如此反复，且工作周期一般不超过 10min，如吊车负荷和电焊机负荷等。在计算其设备功率时，需要按其等效的设备功率计入。等效设备功率的计算与其负荷持续率有关。

负荷持续率，也称暂载率，它表示在一个工作周期内，工作时间占整个工作周期的百分比，即

$$\epsilon = \frac{t}{T} \times 100\% = \frac{t}{t+t_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中， ϵ 为负荷持续率； t 为工作时间； t_0 为停歇时间； T 为工作周期。

由于吊车电动机铭牌的额定暂载率不一定相同，如 15%、25%、40% 和 60% 等，电焊设备铭牌的额定暂载率也有 20%、40%、50%、65%、75% 和 100% 等多种，而且其铭牌额定容量 P_N ，是对应于某一额定暂载率 ϵ_N 的，所以在计算这类设备的设备功率时，需要按等效发热的原则进行等效换算。

如果设备在额定暂载率 ϵ_N 下的额定功率为 P_N ，则换算到要求的暂载率 ϵ 下的设备功率 P_e 为

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon}} \quad (2-2)$$

2.3 负荷曲线

2.3.1 负荷曲线的类型及绘制

负荷曲线是表示电力负荷随时间变动情况的一种图形。负荷曲线通常绘制在直角坐标系中，横坐标表示负荷变动的的时间（一般以小时为单位），纵坐标表示负荷大小（有功功率或无功功率）。

负荷曲线按负荷对象分，有工厂的、车间的或某台设备的负荷曲线；按负荷的功率性质分，分为有功和无功负荷曲线；按所表示负荷变动的的时间分，有年的、月的、日的和工作班的负荷曲线。

用户的负荷曲线可以是依点连成的负荷曲线，也可以是梯形的负荷曲线。负荷曲线多绘制成梯形，横坐标一般按半小时分格，以便确定“半小时最大负荷”。图 2-1 是某用户日有功负荷曲线。

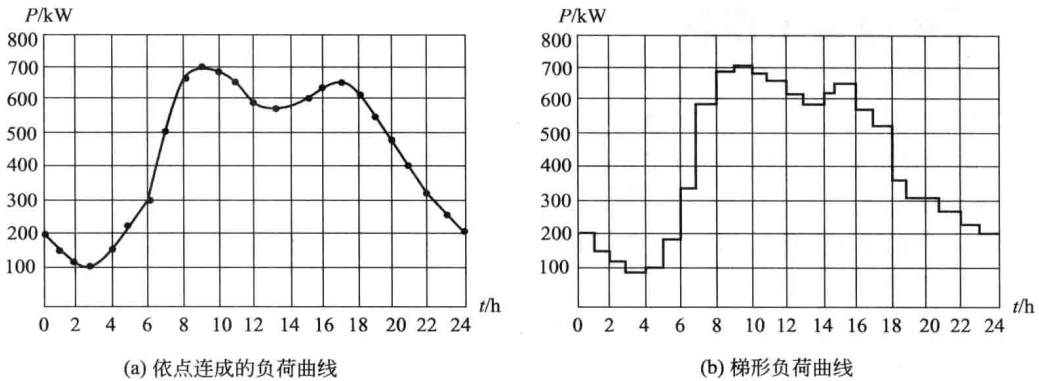


图 2-1 日有功负荷曲线

2.3.2 与负荷曲线有关的物理量

(1) 年最大负荷和年最大负荷利用小时

年负荷曲线，通常以每日持续半小时的最大负荷为依据，并按从大到小的顺序依次排列绘制，如图 2-2 所示。

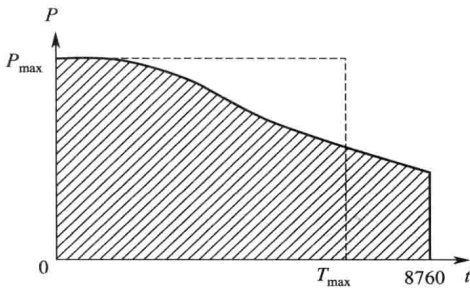


图 2-2 年负荷曲线与 T_{\max}

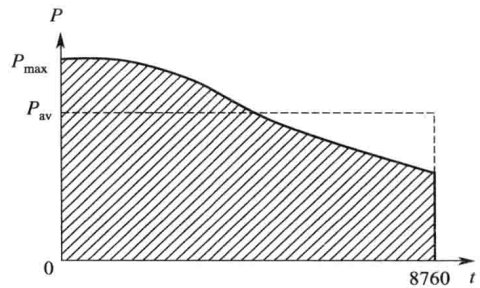


图 2-3 年负荷曲线与年平均负荷

① 年最大负荷 P_{\max} 年负荷曲线上的最大负荷就是年最大负荷（图 2-2 中的 P_{\max} ），它是全年负荷最大的工作班（这一工作班的最大负荷不是偶然出现的，而是全年至少出现过 2~3 次）消耗电能最多的半小时平均负荷 P_{30} 。

② 年最大负荷利用小时 T_{\max} 年最大负荷利用小时是一个假想时间，在 T_{\max} 时间内，电力负荷假设按年最大负荷 P_{\max} 持续运行所耗用的电能（矩形面积），恰好等于实际电力负荷全年所耗用的电能 W_a （曲线下阴影面积），如图 2-2 所示，则

$$T_{\max} = \frac{W_a}{P_{\max}} \quad (2-3)$$

年最大负荷利用小时是反映电力负荷特征的一个重要参数，它与用户的生产班制有一定的关系。对一班制工厂， $T_{\max} = 1800 \sim 3000\text{h}$ ；两班制工厂， $T_{\max} = 3500 \sim 4800\text{h}$ ；三班制工厂， $T_{\max} = 5000 \sim 7000\text{h}$ 。