

高等院校自动化系列规划教材

曾慧琴	苑薇薇	古正准	顾鹏冲	主编
	孙金根	刘云静	段洪军	参编
			黄志钢	主审

工业企业 供电

(第2版)

GONGYE QIYE
GONGDIAN



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等院校自动化系列规划教材

工业企业供电

(第2版)

		苑薇薇	古正准	顾鹏冲	主编
邱新芸	曾慧琴	孙金根	刘云静	段洪军	参编
				黄志钢	主审



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书是本科院校“工业企业供电”课程的教材,是高等院校自动化新编系列教材之一。全书共9章,全面介绍了工业企业供电系统的知识。主要包括:供配电系统构成、供配电系统中常用电气设备、工业企业用电负荷统计与计算、供配电系统短路电流计算、供配电系统继电保护和微机保护、继电保护和微机保护装置的参数整定、10 kV变电所设计、工业企业配电线路设计、变电所综合自动化、工业企业配电系统防雷保护与接地、用电安全常识以及供配电系统操作规程等。

本教材紧密追踪现代工业企业供电技术,更新了传统教材的内容,全面介绍了工业企业供电的新技术、新设备和新知识,注重分析、计算与设计相结合。本书既可作为自动化及相关专业本科生的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工业企业供电 / 苑微微, 古正准, 顾鹏冲主编. --2 版. --北京: 北京邮电大学出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5635-5156-9

I. ①工… II. ①苑… ②古… ③顾… III. ①工业用电—供电—高等学校—教材 IV. ①TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 173611 号

书 名: 工业企业供电(第2版)

著作责任者: 苑微微 古正准 顾鹏冲 主编

责任编辑: 刘 佳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.75

字 数: 440 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2010年2月第1版 2017年8月第2版 2017年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-5156-9

定 价: 38.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

随着科学技术突飞猛进的发展,电力工业日新月异,工业企业供电技术不断涌现新面貌。传统的供电设备已经被新技术的供电设备所取代,老的油浸式变压器、油断路器已经被干式变压器、真空断路器和六氟化硫断路器所取代,电力电缆线路被广泛应用,箱式变电站以其结构简洁、占地少、安装可以深入负荷中心等特点在工业企业供电中得到广泛的应用。计算机技术、通信技术和网络技术在电力系统中的应用产生了智能电网,传统的继电保护正被微机保护、综合保护所取代。供电技术的日新月异催促着工业企业供电技术教材的全面更新,剔除老旧内容,编入新技术、新设备、新知识已是必然,本书正是适应这种形势而改编的,以期将最新的供电技术和供电知识传授给学生。

全书共 9 章,第 1 章介绍电力系统、电网电压等级、供电质量、中性点运行方式等电网基础知识;第 2 章介绍电力负荷统计与计算;第 3 章介绍短路电流计算;第 4 章介绍工业企业供电常用的一次和二次设备;第 5 章介绍 10 kV 变电所设计,包括高低压电气设备选择,功率因数提高,变电所操作电源、自动装置、继电保护和电能计量;第 6 章介绍工业企业供电系统中的电力线路敷设、导线截面选择,以及低压配电线路设计;第 7 章介绍变电所综合自动化技术;第 8 章介绍电力系统防雷与接地;第 9 章介绍安全用电和操作规程。

本书由沈阳理工大学苑薇薇、国家电网冀北电力有限公司秦皇岛供电公司古正准和唐山钢铁集团威尔自动化有限公司顾鹏冲共同主编。东北大学秦皇岛分校邱新芸编写第 1~3 章;沈阳理工大学苑薇薇编写第 4~5 章;青岛理工大学曾慧琴编写第 6 章;沈阳理工大学孙金根编写第 7 章;东北大学秦皇岛分校刘云静编写第 8 章;东北大学秦皇岛分校段洪军编写第 9 章。全书由沈阳理工大学黄志钢主审。

本教材的特色是知识新颖,理论结合实际,实用性强。

在本书的编写过程中,参考了许多相关文献,在此向所有作者致以诚挚的谢意!

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电力系统的构成	1
1.2 电力系统的额定电压	6
1.3 供电质量的主要指标	8
1.3.1 电压	8
1.3.2 频率	8
1.4 中性点运行方式	9
1.4.1 中性点不接地的三相电力系统	9
1.4.2 中性点经消弧线圈接地的三相电力系统	11
1.4.3 中性点直接接地的三相电力系统	12
1.5 企业供配电设计的主要内容	13
1.5.1 变配电所设计的主要内容	13
1.5.2 配电线路设计的主要内容	13
思考题和习题	13
第 2 章 电力负荷及其计算	15
2.1 电力负荷及负荷曲线	15
2.1.1 日负荷曲线	15
2.1.2 年负荷曲线	15
2.2 计算负荷及其确定方法	16
2.2.1 计算负荷	16
2.2.2 计算负荷的确定方法	17
2.3 供电系统中的功率损耗和电能损耗	25
2.3.1 供电系统功率损耗	26
2.3.2 供电系统电能损耗	27
思考题和习题	30
第 3 章 短路电流及其计算	31
3.1 短路的一般概念	31
3.1.1 系统短路的形式	31
3.1.2 无穷大容量电力系统三相短路的物理过程	31

3.2 无穷大容量电力系统三相短路电流的计算	36
3.2.1 欧姆法短路电流的计算	36
3.2.2 标幺值法短路电流的计算	38
3.2.3 无穷大容量电力系统三相短路电流的计算	43
3.3 无穷大容量电力系统两相和单相短路电流的计算	44
3.3.1 两相短路电流的计算	44
3.3.2 单相短路电流的计算	44
3.4 系统短路的稳定度校验	48
3.4.1 短路电流的电动力效应	48
3.4.2 短路电流的热效应	51
3.4.3 按最大短路电流的力稳定和热稳定校验	53
思考题和习题	54
第4章 配电系统中的主要电气设备	55
4.1 一次设备	55
4.1.1 电力变压器	55
4.1.2 高压断路器	59
4.1.3 高压隔离开关	68
4.1.4 低压断路器	69
4.1.5 低压开关	76
4.2 二次设备	78
4.2.1 常用的保护继电器	78
4.2.2 互感器	88
4.2.3 接触器	95
4.2.4 电力系统中常用的主令电器	99
思考题和习题	101
第5章 10 kV 变电所	103
5.1 10 kV 变电所的电气主接线	103
5.1.1 10 kV 变电所的电气主接线设计	103
5.1.2 电气主接线中一次设备的选择	113
5.2 10 kV 高压配电柜	123
5.2.1 固定式高压开关柜	123
5.2.2 移开式高压开关柜	124
5.2.3 10 kV 高压配电柜的部分一次线路方案	125
5.2.4 微机测控保护屏	128
5.3 变电所的操作电源	129
5.3.1 直流操作电源	129
5.3.2 交流操作电源	132

5.4 高压配电柜的二次回路	133
5.4.1 高压配电柜的继电保护回路	133
5.4.2 高压配电柜的控制和信号回路	134
5.4.3 高压配电系统的二次小母线	139
5.5 二次回路的工程图	140
5.5.1 二次回路原理图、展开图及安装接线图	140
5.5.2 二次设备和连接导线的表示法	141
5.6 变电所的自动装置	143
5.6.1 备用电源自动投入装置	144
5.6.2 自动重合闸装置	146
5.7 高压配电柜的继电保护与定值整定	149
5.7.1 配电线路的继电保护	149
5.7.2 配电变压器的保护	163
5.8 电力变压器的选择	167
5.9 变电所的低压配电系统	170
5.9.1 低压配电系统的主接线方式	170
5.9.2 低压一次电气设备的选择	170
5.10 低压开关柜	174
5.10.1 固定式低压开关柜	174
5.10.2 抽屉式低压开关柜	175
5.11 低压侧功率因数的提高	176
5.11.1 功率因数的计算	176
5.11.2 无功功率补偿容量的计算	177
5.11.3 无功功率补偿的实施	179
5.12 变电所的电能计量	182
思考题和习题	184
第 6 章 供电线路与电缆	187
6.1 导线及电缆的选择	187
6.1.1 导线及电缆的规格	187
6.1.2 导线及电缆的选择条件	190
6.1.3 按发热量选择导线和电缆截面	193
6.1.4 中性线 and 保护线截面的选择	196
6.1.5 按允许电压损失选择导线和电缆截面	198
6.2 架空线路	203
6.2.1 电杆、拉线及横担	203
6.2.2 线路绝缘子和金具	205
6.2.3 架空线路的敷设	206
6.3 电力电缆的敷设	208

6.3.1 电缆直埋敷设	208
6.3.2 电缆排管敷设	209
6.3.3 电缆在电缆沟中敷设	209
6.3.4 电缆在电缆桥架中敷设	210
6.3.5 电缆敷设的一般原则	210
思考题和习题	211
第7章 变电站综合自动化	213
7.1 概述	213
7.1.1 变电站综合自动化的发展过程	213
7.1.2 变电站综合自动化的优越性	215
7.1.3 变电站综合自动化的基本功能	217
7.2 变电站综合自动化信息的测量和采集	222
7.2.1 变电站综合自动化相关的信息	222
7.2.2 变电站模拟量的测量和采集	223
7.2.3 变电站状态量信息的采集	224
7.2.4 实时时钟的建立	225
7.3 变电站微机保护	225
7.3.1 微机保护的优越性	225
7.3.2 微机保护的硬件系统	226
7.3.3 微机保护的软件算法	229
7.3.4 微机保护的功能编号	230
7.3.5 微机保护器的应用	231
7.4 变电站综合自动化系统	237
7.4.1 变电站综合自动化系统的结构	237
7.4.2 变电站综合自动化系统的软件	237
7.4.3 变电站综合自动化系统的技术指标	239
7.4.4 变电站综合自动化系统的运行与维护	240
思考题和习题	242
第8章 防雷、接地与安全用电	243
8.1 过电压与防雷	243
8.1.1 雷电形成的原理与过电压的危害	243
8.1.2 接闪器防雷	246
8.1.3 避雷器、浪涌保护器防过电压	251
8.1.4 架空线的防雷保护	253
8.1.5 变电站的防雷保护	254
8.2 电气接地	256
8.2.1 接地的一般概念	256

8.2.2 电气装置的接地与接地电阻	258
8.2.3 接地电阻的计算与测量	259
8.2.4 接地装置的布置与安装	261
8.2.5 低压配电系统的接地保护与等电位联结	261
8.3 安全用电	265
8.3.1 安全电流、安全电压及其他相关因素	265
8.3.2 电气安全的防护措施	265
8.3.3 安全操作规程	266
8.3.4 触电急救	266
思考题和习题	266
第9章 电力安全	267
9.1 倒闸操作	267
9.2 变配电所的操作规程与运行维护	270
9.2.1 变配电所的操作规程	270
9.2.2 变配电所的运行维护	271
思考题和习题	273
参考文献	274

第1章 绪 论

电能国民经济各部门和社会生活中被广泛地应用,因为电能可以方便而经济地远距离输送与分配,又可以方便地和其他各种能量进行转换,在使用时也易于操作和控制,而且它和新兴的科学技术有着密切、不可分割的联系。电能是由发电厂生产的,而发电厂多数建立在一次能源所在地,可能距离城市及工业企业很远,因此存在电能的输送问题;由于各种电能用户对工作电压的不同要求,还需要变换电能电压;电能输送到城市或工业企业之后,由于电能用户或生产车间在布局上经常是分散的,因而又存在电能的合理分配问题。

1.1 电力系统的构成

电力系统由发电厂、变电所、输电网、配电网和电力用户等组成,它们之间的关系如图1-1所示。系统中的输电网和配电网统称为电力网,是电力系统的重要组成部分。发电厂将一次能源转换成电能,经过电力网将电能输送和分配到电力用户的用电设备,从而完成电能从生产到使用的整个过程。

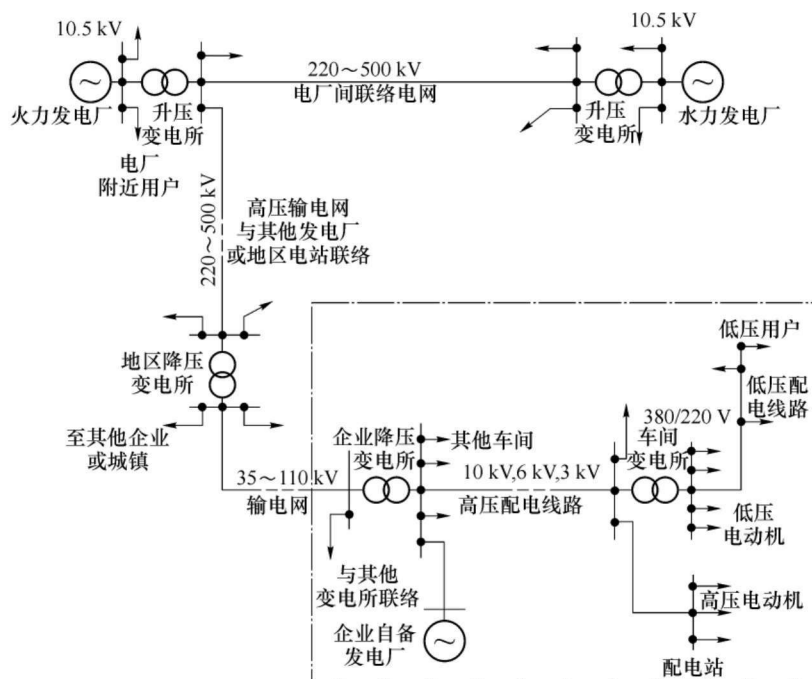


图 1-1 电力系统示意图

电力系统还包括保证其安全、可靠运行的继电保护装置、安全自动装置、调度自动化系统和电力通信等相应的辅助系统(一般称为二次系统)。现将电力系统中电能的生产、变换、

输送、分配和使用等几个环节的基本概念说明如下。

1. 发电厂

发电厂是生产电能的工厂,它能把各种形态的一次能源(如煤炭、石油、天然气、水能、原子核能、风能、太阳能、地热、潮汐能等)通过发电设备转换为电能。根据所利用能量的形式不同,发电厂有火力发电厂、水力发电厂、原子核能发电厂、风力发电厂和其他类型的发电厂,如太阳能发电厂、地热发电厂等。目前,我国电力结构仍以火电为主,火电装机容量占总装机容量的74%以上。火电占总发电量的80%以上,水电占发电量的14%,核电站总发电量的2%。下面简单介绍火力、水力和核能发电厂。

(1) 火力发电厂

在火力发电厂中,将燃料的化学能转变成电能。所用燃料有固体(主要为煤)、液体(多为重油)和气体(天然气、煤气或焦炭气)三种。火力发电厂根据原动机的不同又可分为汽轮机发电厂、蒸汽机发电厂、内燃机发电厂和燃气轮机发电厂。当前大容量的发电厂多为汽轮机发电厂,而汽轮机发电厂又可分为凝汽式和兼供热式(简称热电厂)。

凝汽式汽轮机发电厂的生产过程如图1-2所示。为了使固体燃料充分燃烧,将煤从煤场送入碎煤机压成碎块后,由运输皮带送入原煤仓,然后由磨煤机磨成煤粉,送入煤粉仓内。煤粉仓中的煤粉由给煤机运出,并由鼓风机供给的热空气经喷燃器吹入炉膛。煤粉在炉膛中以悬浮状态充分燃烧,产生高温。煤粉燃烧时所需要的空气,是由鼓风机从外部吹入,经烟道预热器、被烟气加热后,再进入炉膛。这样既可以减少烟气的热损失,又提高了炉膛的温度。

给水在进入锅炉之前,需经过化学处理成软化水后,再进入除氧器以清除水中的氧气。水在锅炉中被加热,变成蒸汽,经过管道引进汽轮机,推动汽轮机转动而带动发电机。发电机发出的电能,经升压变压器升压后送至母线上,再对远距离的用户供电。

在汽轮机中作过功的蒸汽被排入凝汽器,此时气温和气压大大降低。进汽和出汽的蒸汽压力差越大,其热能转变为机械能的效率就越高。为此利用大量的循环水,将不断进入凝汽器的排出汽迅速冷却并凝结成水,由凝结水泵送入给水系统,再经给水泵打入锅炉,这样构成水汽的循环系统。

凝汽式发电厂有很多热量未被充分利用,大部分热量被循环水带走而损失掉了,因此这种发电厂的效率最高也不超过30%~40%。

为了充分利用热能,近年来在大的工业区和城市附近修建了汽轮机发电兼供热式发电厂,简称热电厂,其生产过程如图1-3所示。它不仅向用户提供电能,还供给热能,即向某些工业企业和城市供给蒸汽和热水。向用户供出的蒸汽和热水是利用汽轮机中段的抽汽。工业企业中所需要的蒸汽,由汽轮机中段抽出直接供出,生产和生活上所需的热水,是利用抽汽经加热器使水加热,由水泵将热水再送入热力网,供给用户。抽汽在加热器中凝结成的水再由水泵送入除氧器。

热电厂中由于利用了汽轮机的一部分抽汽使进入凝汽器的排汽量减少,也减少了被循环水所带走的热量,因此热、电联合生产效率可达60%~70%或更高。这主要取决于供出蒸汽量的多少,即供出蒸汽量越多,进入凝汽器中的排汽量越少,其效率越高。热电厂一般建在热能用户附近,因为所供出的蒸汽和热水不能输送太远,这种热电厂生产出来的电能主要是用发电机供给附近的用户,同时为了供电给远方用户或与电力系统连接,在厂内也建立

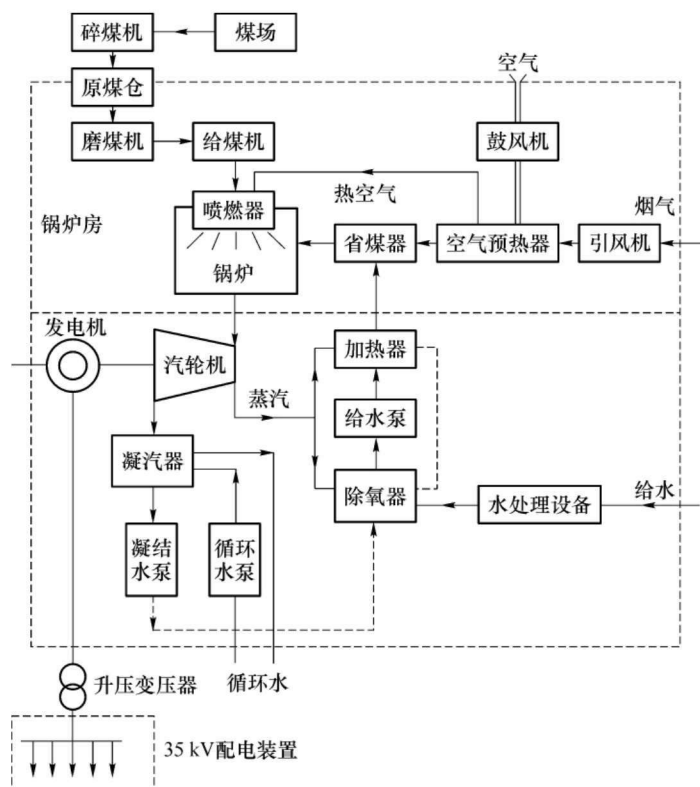


图 1-2 凝汽式汽轮机发电厂的生产过程示意图

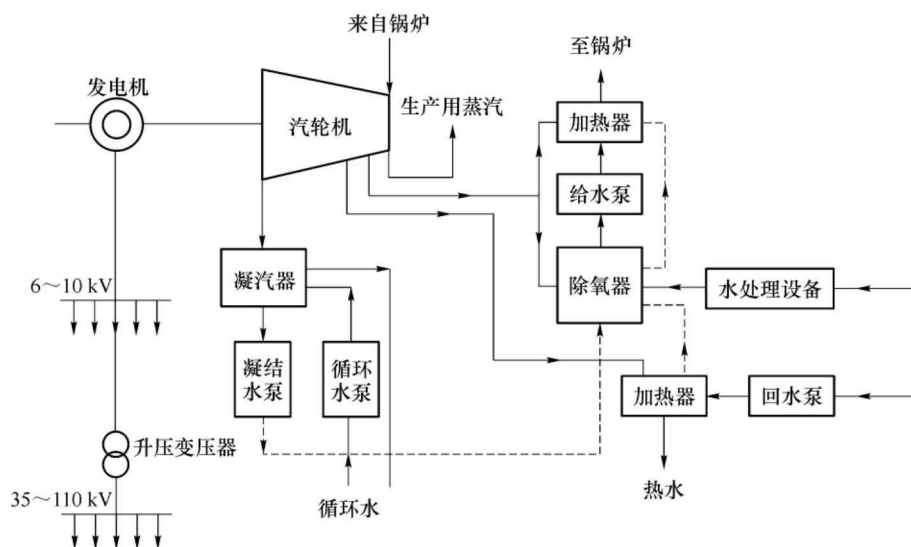


图 1-3 汽轮机兼供热式发电厂生产过程示意图

了升压变电所。

蒸汽机发电厂和内燃机发电厂多用于向农业、林业、小城镇和地质勘查等供电,容量一般都不大。燃气轮机发电厂是利用重油或煤粉在燃气轮机内直接燃烧的能量的一种新型热

力发动机,它带动发电机将热能转换成电能。

(2) 水力发电厂

水力发电厂也称为水电站,它是利用河水从上游流到下游时水流的位能转换为电能。发电机的原动机是水轮机,通过水轮机将水能转换为机械能。水轮机再带动发电机,将机械能转换成电能。

水力发电厂总容量与水的流量及水头的大小成正比。在河水流量一定时,要获得较大的发电容量,必须有较高的水头(落差),因此必须用人工的方法使上下游形成较大的集中落差。常用的方法是在河流上修建拦河坝,形成水库,抬高上游水位,即可形成大的水位差。这种水电厂称为堤坝式水电厂,它又可分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂的厂房建筑在拦河坝后面,它不承受水的压力,因而适于高水头(高于20~30 m)大容量水电厂;河床式水电厂的厂房与拦河坝相接,成为坝的一部分,它适于低水头(低于30~35 m)的中小容量水电厂。另一种集中落差的方法是利用引水道。在有相当坡度的弯曲河段上游筑堤坝,挡住河水,然后用引水道将水直接引至河段的末端。因此,这种发电厂称为引水式发电厂。在某些情况下,也可将上述两种方式结合,由堤坝和引水道分别集中一部分落差,这种电厂又称为混合式水电厂。

水力发电厂的生产过程比较简单,易于实现全盘自动化,检修工作人员也较少,水力发电厂不消耗燃料,所需自用电也少,年运行费用较低。但是水力发电厂建设投资大,建设工期较长,运行中受自然水的情况影响较大。

在系统中与其他类型发电厂并联工作的水力发电厂,可以担负正常负荷。由于水轮机能很好地适应负荷变化,因此它也宜于担任系统中的尖峰负荷和用以调整频率。这样可以提高火力发电厂的效率,减少其燃料消耗,使整个系统运行的经济性提高。此外水轮发电机组启动迅速、运行灵活,因此水力发电厂担负系统中的事故备用也很恰当。

另一种水力发电厂是利用潮汐能发电的潮汐发电厂,它是在海湾入口处修筑堤坝,将海湾与海洋隔开。涨潮时,海洋水位高于海湾,将海洋的水放入海湾发电。落潮时海洋的水位下降,低于海湾的水位,可以将海湾的水放回海洋进行发电。我国海岸线很长,港湾交错,蕴藏着丰富的潮力资源,利用潮汐发电的潜力是很大的。

(3) 原子能发电厂

原子能发电厂和一般的火力发电厂的基本原理大致相同,所不同的是原子能发电厂利用原子核反应堆和蒸汽发生器代替一般火力发电的锅炉设备,而发电设备仍为普通汽轮机和发电机。反应堆主要由燃料元件、减速剂、反射层、载热剂、堆内支承结构、反应堆外壳、控制棒以及再生区和实验孔道等组成。燃料元件是产生热量的部件,由天然铀、低浓铀或高浓铀等核燃料制成。为了增加传热面积,燃料元件通常做成一根根的圆棒、圆管或薄片,外面再包以铝、锆或不锈钢,然后一根或几根组成一束,按一定的几何形状排列在反应堆的正中。有时核燃料也做成疏松的粉末或糊状液体、构成液体的均匀反应堆。天然铀有三种同位素,即含量占0.712%的铀-235和含量占99.282%的铀-238,以及微量的(占0.006%)铀-234。不论中子的速度如何,只要打中铀-235的原子核,都可能引起分裂,使中子的数目增加。刚从原子核中分裂出来的中子速度很高,一旦碰到铀-238时,情况就不一样了,在大多数场合下,中子均被铀-238吸收,不能引起分裂。因此必须设法使中子速度变慢(靠减速剂的作用),逃过铀-238的吸收,以便更多地和铀-235作用,产生分裂。另外,将有很大一部分中子

在还没有碰到原子核之前就会穿出铀块,跑到外面去,为此设置反射层使中子重新返回。再者,铀块里往往有一些杂质(如硼等),吸收中子极厉害,它们吃掉中子以后,也会使中子减少,这些情况对链式分裂反应都是不利的。为了使链式分裂反应能够继续进行,一个中子引起核分裂以后,起码要有一个新的中子来维持这种核反应,不然,核分裂的数目就会越来越少,反应就会停止。相反,如果中子数目一下子增加过多,核分裂太快,产生的热量过多,又会引起像原子弹那样的爆炸。因此,必须有一种能够控制的设备(控制棒),使反应堆的速度和产生的能量能够按需要自如地进行调节,让原子能在里面平稳产生,这种设备就是反应堆。反应堆的类型较多,当前多利用轻水堆建成发电厂,轻水堆又分为沸水堆式(BWR)和压水堆式(PWR)两种。

原子能发电厂运行高度自动化,它的控制系统根据电站负荷大小,不断地对反应堆进行调节。负荷增加时,控制棒自动提升,让反应堆核分裂加强;负荷减少时,控制棒自动跟着下降;当出现事故时,控制棒能迅速自动地插入反应堆,将核分裂关断。

当前世界各国的电力主要依靠燃烧煤、石油或天然气的火力发电厂,以及利用水力资源的水电站和利用核燃料的原子能发电厂供应。水力发电由于受到水力资源的限制,许多国家已开发得差不多了,而原子能发电站却在逐渐增多。从能源的利用和发展角度来看,逐渐减少矿物燃料发电比重,让水力发电厂发挥尖峰负荷调节作用,加速原子能电站的建设,且将其视为最有前途的发电能源。

2. 变电所

变电所是接受电能与分配电能并改变电能电压的枢纽,是发电厂到用户之间的重要环节之一,它主要由电力变压器与一些配电设备构成。如果只有配电设备而无电力变压器,仅用于接受电能与分配电能,则称其为配电站或开闭所。在一般情况下,配电站多结合在变电所之中。

变电所有升压和降压之分。升压变电所一般都是和大型发电厂结合在一起,也就是在大型发电厂电气部分中装有升压变压器,把发电厂电压升高,并与高压输电线路连接起来,将电能送向远方。降压变电所多半设在受电侧,它将高电压的电能适当降压后,对某地区或某用户进行供电。就供电的范围不同,变电所可分为区域变电所和地方变电所。在工业企业中又可分为总降压变电所和车间变电所。

(1) 区域变电所

区域变电所主要是从 110 kV 以上(如 220 kV、330 kV、500 kV、750 kV)的线路受电,将电压降为 35~110 kV 供给大区域,如几个工业区、城市和农村用户等。区域变电所中多半装设三绕组降压变压器,将高电压降为 35 kV 和 66~110 kV 两种不同的电压,与相应电压等级的线路联系起来,供给不同距离的用户。它的供电范围较大,是系统与发电厂联系的枢纽,故有时称之为枢纽变电所,起着强力枢纽作用。

(2) 地方变电所

地方变电所多由 35~110 kV 线路从区域变电所受电,有的也由本地发电厂直接受电。它的作用是将 35~110 kV 电压降为 6~10 kV,对某个市区或某个工业区进行供电,其供电范围较小(一般约为数千米)。

(3) 总降压变电所

总降压变电所是对工业企业输送电能的枢纽中心,它与地方变电所的情况基本相同,也是从区域变电所单独引出的 35~110 kV 线路直接受电,经过一台或几台电力变压器降为 6

~10 kV 对企业内部供电。一个大型联合钢铁企业,可能建几个甚至一二十个总降压变电所,分别对企业各供电区域(各厂或各车间)进行供电。小型企业设置一个或者几个小型企业共设一个总降压变电所。企业中究竟设置多少个总降压变电所,主要视企业的需要容量以及供电范围而定。

(4) 车间变电所

车间变电所负责从总降压变电所引出的 6~10 kV 厂区高压配电线路受电,并将电压降为低压 380/220 V,对各用电设备直接供电。车间变电所并不一定对整个车间供电。在当前钢铁联合企业大型车间内,可能设置几个甚至十几个车间变电所,这也要视车间容量与其供电范围而定。

3. 电力网

电力网是传送并分配电能的网络,它的具体任务是将发电厂生产的电能输送并分配给用户。电力网按其特征、用途、电压的高低和供电范围可以分为许多类型,例如直流和交流电力网,城市、农村、工厂电力网,以及区域电力网和地方电力网等。

(1) 地方电力网

地方电力网的电压一般不超过 110 kV,供电距离不超过 50 km。可以认为区域变电所二次出线以后的线路为地方电力网,例如一般工业企业、城市和农村电力网等。

(2) 区域电力网

电压在 110 kV 以上,供电距离在几十千米甚至几百千米以上的电力网,称为区域电力网。通常可以认为从发电机出口到区域变电所为区域电力网。

近年来,伴随着中国电力发展步伐的不断加快,区域电力网得到迅速发展,电网系统运行电压等级不断提高,网络规模也不断扩大,全国已经形成跨省的大型区域电网,并基本形成了完整的长距离输电电网网架。目前我国已建设多条 500 kV、750 kV 超高压交流输电线路及 100 万伏直流输电线路,我国电网已走在世界前列。

4. 电能用户

包含工业企业在内的所有用电单位均称为电能用户。目前我国电能用户除了工业企业电能用户外还包括轻工业电能用户、重工业电能用户、农业电能用户、交通运输电能用户和市政生活电能用户等。工业企业是电力部门的最大电能用户,研究和掌握工业企业供电方面的知识和理论,在改善电能品质、提高供电可靠性的前提下,做好工业企业的计划用电、节约用电和安全用电是当前电气工作者的重要职责。

1.2 电力系统的额定电压

为使电气设备生产标准化,便于大量成批生产,使用中又易于互换,所以对发电、输电以及用电等所有设备的额定电压必须统一规定,且应分成若干标准等级;电力网的额定电压必须与电气设备的额定电压相对应,也应分成相应电压等级。

电力网额定电压等级是根据国民经济发展需要和电力工业发展水平,考虑技术经济上的合理性,结合电气设备的制造水平等因素,经全面分析论证,由国家统一制订和颁布的,我国公布的三相交流电力网的额定电压见表 1-1。

表 1-1 我国三相交流电力网和用电设备的额定电压

(单位:kV)

分类	电力网和用电设备的额定电压	发电机的额定电压	电力变压器的额定电压	
			一次绕组	二次绕组
1 kV 以下	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
1 kV 以上	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, 20,22,24,26	13.8,15,75,18, 20,22,24,26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.6
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
	750	—	750	825

注：表中交流电压均指线电压。

由表 1-1 可以看出,在同一电网电压等级下,发电机、变压器一次绕组与二次绕组和用电设备的额定电压都不一致,为了使各种互相连接的电气设备都能在有利的电压水平下运行,各类电气设备的额定电压之间应相互配合。

1. 用电设备的额定电压

电力网输送电能时,在变压器和电力线路等元件上将产生电压损失,由于线路上的电压损失,电网电压分布往往是始端高于末端,但成批生产的用电设备不可能按设备使用处线路的实际电压来制造,而只能按线路始端与末端的平均电压即电网的额定电压来制造,因此,用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。

2. 发电机的额定电压

电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$,为了使线路的平均电压维持在额定值,应使线路始端电压比额定电压高 5% ,以补偿线路上的电压损失,由于发电机多接于线路始端,因此其额定电压规定比同级电力网额定电压高出 5% 。

3. 变压器的额定电压

(1) 电力变压器一次绕组的额定电压

一次绕组的额定电压分两种情况:①当变压器一次侧直接与发电机相连时,其一次绕组额定电压与发电机额定电压相同,即高于同级电网额定电压 5% ;②当变压器一次侧直接与电网相连时,相当于用电设备,其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压

二次绕组的额定电压也分两种情况。

① 当变压器二次侧供电线路较长,例如为较大的高压电网时,其二次绕组额定电压应

比相连电网额定电压高 10%,其中有 5%用于补偿变压器满负荷运行时绕组内部约 5%的电压降,因为变压器二次绕组的额定电压是指变压器一次绕组加上额定电压时二次绕组开路的电压;此外,变压器满负荷时输出的二次电压还要高于电网额定电压 5%,以补偿线路上的电压损耗。

② 当变压器二次侧供电线路不长,例如为低压电网或直接供电给高低压用电设备时,其二次绕组额定电压只需高于电网额定电压 5%,仅考虑补偿变压器满负荷时绕组内部 5%的电压降。

在工业企业供电系统中,通常把 1 kV 以上的电压称为高压,1 kV 以下的称为低压。但就安全角度来看,通常把相线对地电压在 250 V 以上的电压称为高压,对地电压在 250 V 以下的称为低压。在车间内人们可能经常接触到电气设备,为了安全起见,均应以低压运行。因此,当前车间配电系统广泛采用 380/220 V 中性点接地系统。这是因为 380/220 V 中性点接地系统,当正常或一相线发生接地时,其正常相线对地电压为 220 V。必须指出,即便是低压系统、低压设备,当维护运行不当,违反安全操作规程时,也会发生事故甚至造成人身伤亡,因此在运行维护中必须严格遵守安全操作规程。

1.3 供电质量的主要指标

工业企业供电质量的主要指标有电压、频率。

1.3.1 电压

由于供电系统存在阻抗、用电负荷的变化和用电负荷的性质等因素,加在用电设备端的实际电压在幅值、波形及对称性上都与用电设备的额定电压之间存在偏差。当偏差较大时对用电设备的危害很大。

对于日常照明用的白炽灯而言,当加于灯泡的电压低于额定电压的 10%时,发光效率下降 30%以上,不仅影响工人的身体健康,也会降低劳动生产效率;当加于灯泡的电压高于额定电压的 10%时,灯泡寿命将缩减一半。当供电电压波形发生非正弦畸变时,电压中出现高次谐波,高次谐波的存在将导致供电系统能耗增大、电气设备绝缘老化加快,并且干扰自动化装置和通信设施的正常工作。供电系统的不对称运行,对用电设备及供电系统都有危害,低压系统的不对称运行还会导致中性点偏移,从而危及人身和设备安全。

由于上述各类用户的工作情况均与电压的变化有着极为密切的关系,所以在运行中必须规定电压的允许变化范围,也就是电压的质量标准。国家标准 GB/T 12325—2008《电能质量 供电电压偏差》中规定:35 kV 及以上供电电压的正、负偏差的绝对值之和为额定电压的 10%;20 kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$;220 V 单相供电电压允许偏差为额定电压的 $+7\%$ 、 -10% 。

1.3.2 频率

频率是影响供电质量的另一个指标。我国规定电力系统标称频率(也称工频)为 50 Hz,国际上标称频率有 50 Hz 和 60 Hz 两种。除此之外,工业企业的有些场合需要采用较高的频率,来减轻工具的重量、提高生产效率等。例如汽车制造装配车间采用频率为