



高等院校自动化新编系列教材

# 工业企业供电

GONGYE QIYE GONGDIAN

任彦硕 苑薇薇 主编

黄志钢 主审



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)



高等院校自动化新编系列教材

# 工业企业供电

	任彦硕	苑薇薇	主编	
邱新芸	曾慧琴	孙金根	刘云静	参编
		黄志钢	主审	

北京邮电大学出版社  
·北京·

## 内 容 简 介

本书是工科院校“工业企业供电”课程的教材。全书共分9章,全面介绍了工业企业供配电系统的构成、理论分析、计算和基本的工程设计方法。主要内容有:电力系统及工业企业供配电系统的构成,电力系统的运行方式,电力负荷、各种功率及电能的计算方法,短路电流计算方法,配电系统中的主要电气设备,10 kV变电所,供电线路的设计,变电所综合自动化,电力系统的防雷、接地与安全用电,电力安全操作规程。

本书较好地兼顾了基础理论与工程应用之间的关系,既可作为本科自动化专业学生的专业课教材,也可作为工程技术人员的参考用书,还可作为注册电气工程师的考试与培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业企业供电/任彦硕,苑薇薇主编. —北京:北京邮电大学出版社,2010.2

ISBN 978-7-5635-2116-6

I. 工… II. ①任…②苑… III. 工业用电—供电 IV. TM727.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第179802号

---

书 名: 工业企业供电

编 者: 任彦硕 苑薇薇

责任编辑: 陈岚岚

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: 北京市梦宇印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.5

字 数: 431千字

印 数: 1—3 000册

版 次: 2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷

---

ISBN 978-7-5635-2116-6

定 价: 30.00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

随着现代科学技术的飞速发展,传统的供电设备正在被更新,网络技术在电力系统中得到了广泛的应用,无人值守的智能型变电站也悄然兴起,供电技术正在发生着日新月异的变化。高等学校《工业企业供电》教材的内容也应当及时更新,以适应现代供电技术的要求。本教材正是为适应这样的要求而编写的。

全书共分9章,第1章介绍电压、电能质量、中性点运行方式等诸多概念。第2章、第3章介绍电力负荷及短路电流计算。第4章介绍配电系统中常用的一次设备及二次设备。第5章介绍10 kV变电所一次系统及二次系统设计,包括变电所中的高低压电气设备选择,改善功率因数的方法,变电所的操作电源、自动装置、继电保护、电能计量。第6章介绍配电系统的架空线及电线电缆的选择、敷设以及低压电气线路的设计。第7章介绍变电站综合自动化技术。第8章介绍电力系统的防雷、接地与安全用电。第9章介绍安全用电和安全操作规程。

本书由任彦硕、苑薇薇主编。邱新芸编写第1~3章;苑薇薇编写第4章、第5章和第9章;曾慧琴编写第6章;孙金根编写第7章;刘云静编写第8章。全书由黄志钢主审,黄老师对本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

本教材的特色是供电技术面广,实用性强,内容丰富,注重理论联系工程实际。另外,针对学生在学习容易出现难点问题,加大了例题及习题量,使学生更容易掌握难点知识。

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

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 电力系统的构成 .....	1
1.2 电力系统的电压及电能质量 .....	7
1.3 中性点运行方式 .....	8
1.3.1 中性点不接地的三相系统 .....	8
1.3.2 中性点经消弧线圈接地的三相系统.....	11
1.3.3 中性点直接接地系统.....	11
思考题和习题 .....	12
<b>第 2 章 电力负荷及其计算</b> .....	13
2.1 电力负荷及负荷曲线.....	13
2.1.1 日负荷曲线.....	13
2.1.2 年负荷曲线.....	13
2.2 计算负荷及其确定方法.....	14
2.2.1 计算负荷.....	14
2.2.2 计算负荷的确定方法.....	15
2.3 供电系统中的功率损耗和电能损耗.....	23
2.3.1 供电系统功率损耗.....	24
2.3.2 供电系统电能损耗.....	25
思考题和习题 .....	28
<b>第 3 章 短路电流及其计算</b> .....	29
3.1 短路的一般概念.....	29
3.1.1 系统短路的形式.....	29
3.1.2 无穷大容量电力系统三相短路的物理过程.....	29
3.2 无穷大容量电力系统三相短路电流的计算.....	34
3.2.1 欧姆法短路电流的计算.....	34
3.2.2 标幺值法短路电流的计算.....	36
3.2.3 无穷大容量电力系统三相短路电流的计算.....	41
3.3 无穷大容量电力系统两相和单相短路电流的计算.....	42
3.3.1 两相短路电流的计算.....	42

3.3.2 单相短路电流的计算	42
3.4 系统短路的稳定度校验	46
3.4.1 短路电流的电动力效应	46
3.4.2 短路电流的热效应	49
3.4.3 按最大短路电流的力稳定和热稳定校验	51
思考题和习题	52
<b>第4章 配电系统中的主要电气设备</b>	<b>53</b>
4.1 一次设备	53
4.1.1 电力变压器	53
4.1.2 高压断路器	57
4.1.3 高压隔离开关	66
4.1.4 低压断路器	67
4.1.5 低压开关	74
4.2 二次设备	76
4.2.1 常用的保护继电器	76
4.2.2 互感器	86
4.2.3 接触器	91
4.2.4 电力系统中常用的主令电器	95
思考题和习题	98
<b>第5章 10 kV 变电所</b>	<b>100</b>
5.1 10 kV 变电所的电气主接线	100
5.1.1 10 kV 变电所的电气主接线设计	100
5.1.2 电气主接线中一次设备的选择	110
5.2 10 kV 高压配电柜	120
5.2.1 固定式高压开关柜	120
5.2.2 移开式高压开关柜	121
5.2.3 10 kV 高压配电柜的部分一次线路方案	122
5.2.4 微机测控保护屏	125
5.3 变电所的操作电源	126
5.3.1 直流操作电源	126
5.3.2 交流操作电源	129
5.4 高压配电柜的二次回路	130
5.4.1 高压配电柜的继电保护回路	130
5.4.2 高压配电柜的控制和信号回路	131
5.4.3 高压配电系统的二次小母线	136
5.5 二次回路的工程图	137
5.5.1 二次回路原理图、展开图及安装接线图	137

5.5.2 二次设备和连接导线的表示法 .....	138
5.6 变电所的自动装置 .....	140
5.6.1 备用电源自动投入装置 .....	141
5.6.2 自动重合闸装置 .....	143
5.7 高压配电柜的继电保护与定值整定 .....	146
5.7.1 配电线路的继电保护 .....	146
5.7.2 配电变压器的保护 .....	160
5.8 电力变压器 .....	164
5.9 变电所的低压配电系统 .....	167
5.9.1 低压配电系统的主接线方式 .....	167
5.9.2 低压一次电气设备的选择 .....	167
5.10 低压开关柜 .....	171
5.10.1 固定式低压开关柜 .....	171
5.10.2 抽屉式低压开关柜 .....	172
5.11 低压侧功率因数的提高 .....	173
5.11.1 功率因数的计算 .....	173
5.11.2 无功功率补偿容量的计算 .....	174
5.11.3 无功功率补偿的实施 .....	176
5.12 变电所的电能计量 .....	179
思考题和习题 .....	181
<b>第 6 章 供电线路与电缆 .....</b>	<b>184</b>
6.1 导线及电缆的选择 .....	184
6.1.1 导线及电缆的规格 .....	184
6.1.2 导线及电缆的选择条件 .....	187
6.1.3 按发热量选择导线和电缆截面 .....	190
6.1.4 中性线和保护地线截面的选择 .....	193
6.1.5 按允许电压损失选择导线和电缆截面 .....	194
6.2 架空线路 .....	199
6.2.1 电杆、拉线及横担 .....	199
6.2.2 线路绝缘子和金具 .....	201
6.2.3 架空线路的敷设 .....	202
6.3 电力电缆的敷设 .....	204
6.3.1 电缆直埋敷设 .....	204
6.3.2 电缆排管敷设 .....	205
6.3.3 电缆在电缆沟中敷设 .....	205
6.3.4 电缆在电缆桥架中敷设 .....	206
6.3.5 电缆敷设的一般原则 .....	206
思考题和习题 .....	207

<b>第 7 章 变电站综合自动化</b> .....	209
7.1 概述 .....	209
7.1.1 变电站综合自动化的发展过程 .....	209
7.1.2 变电站综合自动化的优越性 .....	211
7.1.3 变电站综合自动化的基本功能 .....	213
7.2 变电站综合自动化信息的测量和采集 .....	218
7.2.1 变电站综合自动化相关的信息 .....	218
7.2.2 变电站模拟量的测量和采集 .....	219
7.2.3 变电站状态量信息的采集 .....	220
7.2.4 实时时钟的建立 .....	221
7.3 变电站微机保护 .....	221
7.3.1 微机保护的优越性 .....	221
7.3.2 微机保护的硬件系统 .....	222
7.3.3 微机保护的软件算法 .....	225
7.3.4 微机保护的功能编号 .....	226
7.3.5 微机保护器的应用 .....	227
7.4 变电站综合自动化系统 .....	232
7.4.1 变电站综合自动化系统的结构 .....	232
7.4.2 变电站综合自动化系统的软件 .....	233
7.4.3 变电站综合自动化系统的技术指标 .....	234
7.4.4 变电站综合自动化系统的运行与维护 .....	235
思考题和习题 .....	237
<b>第 8 章 防雷、接地与安全用电</b> .....	238
8.1 过电压与防雷 .....	238
8.1.1 雷电形成的原理与过电压的危害 .....	238
8.1.2 接闪器防雷 .....	241
8.1.3 避雷器、浪涌保护器防过电压 .....	245
8.1.4 架空线的防雷保护 .....	247
8.1.5 变电站的防雷保护 .....	248
8.2 电气接地 .....	249
8.2.1 接地的一般概念 .....	250
8.2.2 电气装置的接地与接地电阻 .....	252
8.2.3 接地电阻的计算与测量 .....	252
8.2.4 接地装置的布置与安装 .....	254
8.2.5 低压配电系统的接地保护与等电位联结 .....	255
8.3 安全用电 .....	258
8.3.1 安全电流、安全电压及其他相关因素 .....	258



---

8.3.2 电气安全的防护措施 .....	259
8.3.3 安全操作规程 .....	259
8.3.4 触电急救 .....	260
思考题和习题 .....	260
<b>第9章 电力安全</b> .....	<b>261</b>
9.1 倒闸操作 .....	261
9.2 变配电所的操作规程与运行维护 .....	264
9.2.1 变配电所的操作规程 .....	264
9.2.2 变配电所的运行维护 .....	265
思考题和习题 .....	267
<b>参考文献</b> .....	<b>268</b>

# 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互相转换,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不可分的联系。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,还有一个需要变换电能电压的问题;电能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。

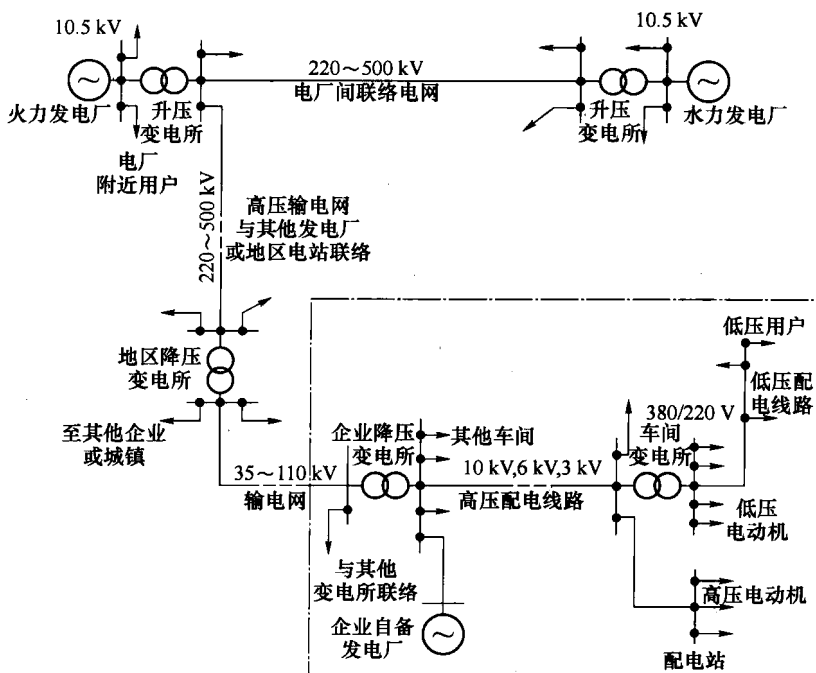


图 1-1 电力系统示意图

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。根据所利用能量形式的不同，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。下面将对火力、水力和原子核能发电厂作一简单介绍。

#### (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)3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。

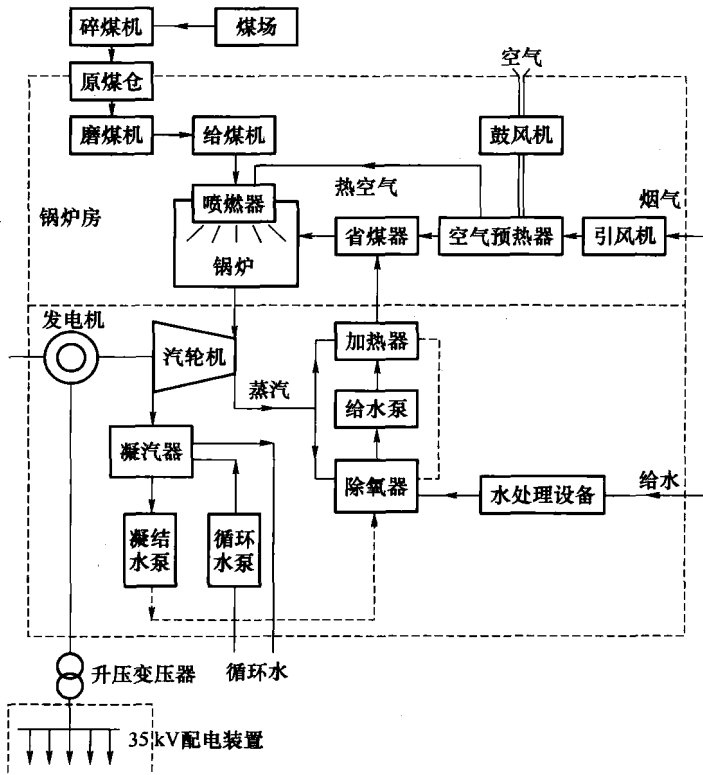


图 1-2 凝汽式汽轮机发电厂生产过程示意图

给水在进入锅炉之前，需经过化学处理成软化水后，再进入除氧器以便清除水中的氧气。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,此时汽温和汽压大大降低。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,由汽轮机中段抽出后直接供出,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。

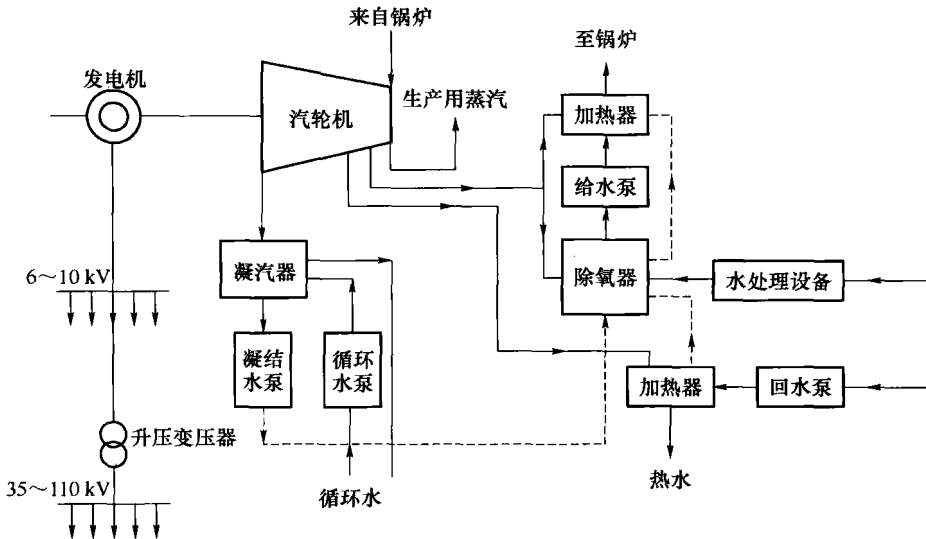


图 1-3 汽轮机兼供热式发电厂生产过程示意图

热电厂中由于利用了汽轮机的一部分抽汽使进入凝结器的排汽量减少,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,进入凝结器中的排汽量越少,其效率越高。热电厂是建立在热用户附近,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电压供给附近的用户,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、小城镇和地质勘察等供电,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。这种水力发电厂称为堤坝式水力发电厂。它又可分为坝后式和河床式两种。坝后式水力发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)大容量水电站;河床式水力发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)的中小容量的水力发电厂。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一堤坝,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站。

水力发电厂的生产过程比较简单,易于实现全盘自动化,检修工作人员少,较火力发电厂工作人员少得多。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

它和一般的火力发电厂的基本原理大致相同,所不同的是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,用天然铀、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3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(含量占0.006%)铀-234。中子的速度不论如何,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所吸收,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以前就会穿出铀块,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照我们的需要自如地进行调节,让原子能在里面平稳地产生,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。

原子能发电厂的运行是高度自动化的,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。

原子能发电厂所需要的原料极少。例如,一个 500 kW 的原子能发电厂在一昼夜内仅消耗 30 克铀,而其他同容量的凝汽式火力发电厂却要消耗 100~110 吨煤。原子能发电厂可以建成凝汽式发电厂或兼供热式发电厂。由于原子能发电厂铀的消耗量极小,所以它可以建立在距离水力资源和产煤区较远的用电中心或用热中心。

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来看,国外逐渐减少矿物燃料发电厂的比重,让水力发电厂发挥尖峰负荷调节作用,加速原子能发电站的建设,作为最有前途的大规模发电能源。

## 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,仅用以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,并与高压输电网路连接起来,将电能送向远方。降压变电所多半设在受电侧,它将高压的电能适当降压后,对某地区或某用户进行供电。就供电范围的不同,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(中央变电所)和车间变电所。

### (1) 区域变电所

它主要是从 110 kV 以上(如 154 kV、220 kV、330 kV)的网路受电,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,与相应电压级的网路联系起来,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

这种变电所多由 35~110 kV 网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

它是对工业企业输送电能的枢纽中心,故也可称它为中央变电所。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 网路直接受电,经过一台或几台电力变压器降为 3~10 kV 对企业内部供电。一个大型联合钢铁企业,可能建设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

车间变电所主要从总降压变电所引出的 3~10 kV 厂区高压配电线路受电,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。

除车间变电所外,其他大型变电所通常多建成屋外部分与屋内部分。在一般情况下,35 kV 及其以上的电气设备(电力变压器以及开关设备等)多建于户外,所用的电气设备都需采用户外型的;10 kV 及其以下的电气设备则宜设置在户内。但在沿海或有腐蚀性尘埃的企业中,即使电压为 35~110 kV 也有建于户内的,以防腐蚀设备,影响供电可靠性。可见,变电所的占地面积一般来说是比较大的,如 1976 年某地建成 66 kV/10 kV 具有两台 16 000 kV·A 的变压器某总降压变电所,占地总面积为 5 250 m<sup>2</sup>,屋内设备建筑面积为 483 m<sup>2</sup>。从中可以看出,绝大部分占地面积为户外设备占用。这对场地有限的企业来说是很不利的,并且由于户外设备布置分散,敞露于露天,不仅受天气影响,容易发生故障,而且维护运行也很不便。因此,近年来在国内外,把有的 35~550 kV 的电气设备(除电力变压器以外),制成成套设备并且密封在金属外壳之中(称其为金属全封闭型成套电气设备),它的金属外壳与其中的带电设备之间有非常良好的绝缘。根据需要可以将金属全封闭型成套电气设备三相组合构成复杂的大型变电所。这样一来它的占地面积可以大大减少,而且除电力变压器以外,所有其他电气设备都可以安装在户内,既便于维护实现自动化,又提高了供电可靠程度。如我国引进的某企业总降压变电所,它有三条 110 kV 的电缆进线、三台 70 000 kV·A 的变压器,将 110 kV 降为 10 kV,总占地面积还不超过 600 m<sup>2</sup>。

### 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到用户。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

它的电压一般不超过 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网路为地方电力网,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。

### 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 电力系统的电压及电能质量

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都必须统一规定,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。

标准电压等级是根据国民经济发展的需要,考虑技术经济上的合理性以及电机、电器的制造水平等因素,经全面分析研究而制定的。我国国家标准所规定的工频交流单相和三相标准电压等级列于表 1-1 中。

表 1-1 标准额定电压

用电设备及线路	发电机	变压器			
		单相		三相	
		一次绕组	二次绕组	一次绕组	二次绕组
三相交流/V	三相交流	100 V 以上 1 000 V 以下标准额定电压/V			
127	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	230	220	230	220	230
380	400	380	400	380	400
1 000 V 以上标准额定电压/kV					
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
—	15.75	—	—	15.75	—
35	—	—	—	35	38.5
66	—	—	—	66	72.6
110	—	—	—	110	121
154	—	—	—	154	169
220	—	—	—	220	242
330	—	—	—	330	363
500	—	—	—	500	550

注:① 括号中的电压只用于矿井和其他保安条件要求较高的地方。

② 表中电压均指线间电压。

表 1-1 中给出的标准额定电压中,为什么发电机、变压器一次绕组与二次绕组和用电设备都不一致呢?这是因为用电设备接在电力线路上,电力线路与用电设备的额定电压应当是一致的,但是,电力线路在实际传送电能时有负载电流流过,线路上便产生了电压损失。为了保证加于用电设备的实际电压等于或近于额定电压,必须使网路首端电压高于网路的额定电压,用以补偿网路上的电压损失。因此,发电机额定电压必须比相应电力网和用电设

备额定电压高出 5%。例如,用电设备的额定电压为 10 kV,则发电机的额定电压为 10.5 kV。至于变压器二次绕组的额定电压高出用电设备额定电压 10%,这是因为电力变压器二次额定电压均指空载时的电压而言。当变压器满载供电时,变压器本身的一、二次线圈也引起一定的电压损失,故变压器满载时二次的端电压较空载时约低 5%,但比用电设备或电力网络的额定电压尚高出 5%左右,用以补偿网路上的电压损失。另外,由于变压器均连接在与其一次绕组额定电压相应的电力网末端,性质上属于电力网的一个负载,故变压器一次绕组额定电压与用电设备相同。从表 1-1 中也可看出,变压器一、二次绕组额定电压比用电设备却只高出 5%,如 3.15 kV、6.3 kV、10.5 kV 等。一次绕组为这种电压的变压器是专为直接接在发电机电压母线上而制造的,多为升压变压器。二次绕组仅高出用电设备额定电压 5%的变压器,是考虑到变压器副边的供电线路很短或变压器的短路电压值较小时采用的一种变压器。

电力网的额定电压虽然规定得和用电设备额定电压相一致,但严格地说,电力网从始端到末端由于电压损失的影响,各处电压是不一样的,并且受用户负荷变化的影响,电力网上的电压也不能维持恒定。例如,由一个变压器通过配电线路对三个负荷供电,三个负荷的位置分别在线路始端、末端和其中点处。由于线路上有电压损失,三个负荷处的端电压很明显是不相等的,始端负荷的端电压高于网路的额定电压,末端负荷的端电压常常低于网路的额定电压,只有中点处负荷的端电压有可能接近网路的额定电压。为了简化起见,在计算中常用线路的平均额定电压等级来代替额定电压。所谓平均额定电压就是电力网始端的最大电压(指变压器的空载电压)和末端用电设备额定电压的平均值。

在工业企业供电系统中,通常把 1 000 V 以上的电压称为高压,1 000 V 以下的电压称为低压。但就安全角度来看,通常把一线对地电压在 250 V 以上的电压称为高压,对地电压在 250 V 以下者称为低压。在车间内人们经常可能接触到电气设备,为了安全起见,均应以低压运行。因此,当前车间内配电系统广泛采用 380/220 V 中点接地的系统对电气设备进行供电。这是因为 380/220 V 中点接地的系统,当正常或一线发生接地时,其正常相线对地电压为 220 V。必须指出,即使是低压系统、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 中性点运行方式

在三相电力系统中电源侧中性点的工作状态有两种情况:一种为中性点非直接接地系统,通常称为小电流接地系统;另一种为中性点直接接地系统,通常称为大电流接地系统。前者又分为中性点不接地和中性点经消弧线圈接地两种系统。

#### 1.3.1 中性点不接地的三相系统

三相电力网中性点不接地的系统如图 1-4 所示,三相导体沿线路全长对地都分布有电容。为了讨论方便起见,认为均匀分布的电容以集中于线路中间的电容  $C$  来代表,各相导体间的电容较小,略去不计,且三相系统为对称的。在正常运行时,各相导线对地电压为相电压  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ ,中性点的电位为零,电源各相的电流  $\dot{i}_A$ 、 $\dot{i}_B$ 、 $\dot{i}_C$  分别等于各相负载电流