

供电与 电力牵引技术

Gongdian Yu Dianli Qianyin Jishu

◎ 钱显毅 著



北京交通大学出版社
<http://www.bjtup.com.cn>

供电与电力牵引技术

钱显毅 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书的主要内容包括供电与电力牵引两个方面,分为12章:供电与电力负荷计算、功率因数补偿技术、三相短路电流及其计算、高压电器设备选择、电力线路、供电系统的保护、供电系统的信息化、电力系统CAD软件开发应用、轨道交通供电系统、接触网、电力牵引与电气计算、电力监控系统。符合《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》的要求。

本书可作为大学本科电力、电气、机电、自动化、轨道交通等专业卓越工程师、创新型人才、实用型人才的培养用书,也可作为电力系统和电力牵引等方面的相关工程技术人员解决工程实际问题和科研的参考用书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

供电与电力牵引技术 / 钱显毅著. —北京: 北京交通大学出版社, 2014. 5
ISBN 978-7-5121-1915-4

I. ① 供… II. ① 钱… III. ① 牵引供电系统 IV. ① TM922.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第104790号

责任编辑: 郭碧云

出版发行: 北京交通大学出版社 电话: 010-51686414

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街44号 邮编: 100044

印 刷 者: 北京艺堂印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印张: 18 字数: 449千字

版 次: 2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-1915-4/TM·55

印 数: 1~2000册 定价: 39.00元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

安全可靠的电力供应是保障人民生活和各项事业的基础,同时电力消费水平也是各国社会经济发展的重要标志。2012 年,我国发电量 49 377.7 亿千瓦时,占全球 21.94%,发电总量已据世界第一,接近于美、日两国发电之和。我国目前主要采用煤炭燃烧发电,是 PM2.5 增加的最主要原因,发电量大,说明污染严重。同时,电力在传输过程中的损耗严重,仅 2012 年 1 月 4 日一天,电力在传输过程中的损耗就达 11.5 亿千瓦时。此外,城市汽车排放也是造成 PM2.5 增高的原因之一。因此,节能电力传输、提高电能利用效率、发展轨道交通是减少环境污染,提高生活质量的重要措施,具有重要的长远和现实意义。许多专业技术人员和高校科研教学都急需相关资料。

本书主要内容包括供电与电力牵引两方面的内容。为了扩大本书的适用范围,并考虑到相关工程技术人员解决工程实际问题时参考和培养工程应用型人才的需求,在著书的过程中,作者参考了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》。

本书具有以下特点。

1. 特色鲜明,实用性强,方便读者自学。部分章节中安排有阅读材料,方便相关工程技术人员自学,将每个知识点和关键技术与相关学科紧密结合,适用不同基础的相关工程技术人员解决实际工程问题时参考和学生学习之用。

2. 重点突出,简明清晰,结论表述准确。对非重点内容的公式不求严格的证明过程,但对其原理表述清晰,结论准确,不但有利于帮助学生建立重点内容的数理模型,还有利于专业技术人员进行理论分析和科研参考。

3. 难易适中,适用面广,符合因材施教。适用于不同的工程技术人员研究、学习和参考,也可用于普通高校教学,尤其适用于卓越工程师人才的培养。

4. 系统性强,强化应用,注重动手能力的培养。在确保知识系统性的基础上,调研并参考了相关行业专家的意见。因此本书特别适用于作为创新型、实用型人才的培养用书。

本书是常州工学院钱显毅教授主持江苏省高校自然科学的研究项目和长期从事供电与电力牵引方面的教学与研究的基础上著写而成的。

由于各方面的原因,书中难免存在错误,欢迎各位同仁多提宝贵意见,如需要交流和使用科研教学资料,请通过 QQ: 1239535278 与作者联系。

作者
于常州工学院
2014 年 5 月

目 录

第 1 章 供电与电力负荷计算	1
1.1 电力系统	2
1.1.1 发电厂	3
1.1.2 变电站	5
1.1.3 电力网	6
1.1.4 电能用户	6
1.2 工业企业供电系统	7
1.2.1 企业降压变电站	7
1.2.2 车间变电站	8
1.2.3 工业企业的配电线路	8
1.3 电力系统的额定电压	8
1.3.1 3 kV 以下的设备与系统的额定电压	9
1.3.2 3 kV 以上的设备与系统的额定电压及最高电压	9
1.4 供电质量的主要指标	11
1.4.1 电压	11
1.4.2 频率	11
1.4.3 可靠性	12
1.5 负荷曲线与负荷计算	13
1.5.1 负荷曲线	13
1.5.2 企业年电能需要量	14
1.5.3 负荷计算	15
1.6 用电设备的负荷计算公式	15
1.6.1 按需用系数法确定计算负荷	16
1.6.2 按二项式法确定计算负荷	20
1.6.3 单项用电设备组计算负荷的确定	21
1.7 功率损耗和电能损耗	22
1.7.1 供电系统的功率损耗	22
1.7.2 供电系统的电能损耗	23
1.8 工业企业负荷计算公式	25
1.8.1 工业企业负荷计算公式	25
1.8.2 按需用系数法确定企业计算负荷	25
1.8.3 按估算法确定企业计算负荷	25
1.8.4 无功补偿后企业计算负荷的确定	26
1.9 特高压输电	26

第2章 功率因数补偿技术	29
2.1 功率因数	29
2.1.1 功率因数	30
2.1.2 企业供电系统的功率因数	30
2.1.3 提高负荷功率因数的意义	31
2.1.4 供电部门对用户功率因数的要求	31
2.2 提高功率因数的方法	31
2.2.1 正确选择电气设备	32
2.2.2 电气设备的合理运行	32
2.2.3 人工补偿提高功率因数	32
2.3 并联电力电容器组提高功率因数	33
2.3.1 电容器并联补偿的工作原理	33
2.3.2 电容器并联补偿的电容器组的设置	34
2.3.3 补偿电容器组的接线方式	35
2.4 高压集中补偿提高功率因数的计算	35
2.5 简单线性电器的功率因数提高方法	38
2.5.1 影响功率因数的主要因素	38
2.5.2 功率因数引起的实际功率变化曲线	39
2.5.3 低压网无功补偿的一般方法	40
2.5.4 采用适当措施,设法提高系统自然功率因数	41
2.5.5 功率因数的人工补偿	41
第3章 三相短路电流及其计算	43
3.1 短路的原因、形式和危害	44
3.2 供电系统的短路过程分析	45
3.3 短路电流的计算	48
3.4 短路电流的效应	58
第4章 高压电器设备选择	62
4.1 电器设备选择的原则	62
4.2 开关电弧	64
4.3 高压开关设备的选择	68
4.4 母线及绝缘子选择	82
4.5 限流电抗器及选择	86
4.6 仪用互感器	88
第5章 电力线路	98
5.1 电力线路概述	98
5.2 架空线路导线的截面选择方法	102
5.3 电力电缆芯线截面选择与计算	111
5.4 电力电缆安装运行与维护	115

第 6 章 供电系统的保护	117
6.1 继电保护装置	117
6.1.1 继电保护装置的作用和任务	117
6.1.2 继电保护装置的基本原理和组成	117
6.1.3 对继电保护装置的基本要求	118
6.1.4 继电保护的发展和现状	119
6.2 继电保护装置的电源	119
6.2.1 蓄电池组直流操作电源	119
6.2.2 整流型直流操作电源	120
6.2.3 交流操作电源	122
6.3 电流互感器的误差曲线及连接方式	123
6.3.1 电流互感器的误差	123
6.3.2 电流互感器的 10%误差曲线	123
6.3.3 电流互感器的接线方式	124
6.4 供电系统单端供电网络的保护	126
6.4.1 过电流保护	126
6.4.2 电流速断保护	130
6.4.3 中性点不接地系统的单相接地保护	130
6.5 变压器的保护	133
6.5.1 变压器的过电流、速断和过负荷保护	134
6.5.2 瓦斯保护原理	135
6.6 高压电动机的过电流保护	135
6.6.1 电动机的过负荷保护及相间短路保护	136
6.6.2 高压电动机纵差保护	137
6.7 低压配电系统的保护	138
6.7.1 低压熔断器保护	138
6.7.2 低压断路器保护	140
6.8 供电系统备用电源自动投入与自动重合闸装置	141
6.8.1 备用电源自动投入装置 (APD)	141
6.8.2 自动重合闸装置	142
6.9 供电系统的防雷与接地	143
6.9.1 雷电冲击波的基本特征	143
6.9.2 防雷装置	145
6.9.3 工厂供电系统的防雷	147
6.9.4 接地保护	148
6.9.5 电力系统的中性点接地	152
6.10 我国电力系统保护发展与现状	152
第 7 章 供电系统的信息化	156
7.1 供电系统信息化的基本功能	156

7.2 变电所信息化系统的结构和硬件配置	159
7.2.1 变电所信息化系统的结构	159
7.2.2 变电所信息化系统的硬件配置	160
7.3 供电系统的微机保护	166
7.3.1 微机保护的构成	166
7.3.2 微机保护的软件设计	167
7.3.3 微机电流保护应用举例	167
7.4 变电站信息化系统的应用	168
7.4.1 RCS-9000 系统结构	168
7.4.2 RCS-9000 功能的实现	169
7.4.3 RCS-9000 的主要特点	169
7.5 智能电能表	170
7.5.1 智能电能表的功能	170
7.5.2 智能电能表的结构与管理	171
7.5.3 智能电能表在用电需求管理系统中的应用	171
7.6 电力行业如何实现全过程控制与管理	172
第 8 章 电力系统 CAD 软件开发应用	174
8.1 电力系统 CAD 软件	174
8.1.1 软件工程	174
8.1.2 电气 CAD 软件的特点及开发要求	176
8.2 CAD 应用软件的开发方法	177
8.2.1 程序设计原则	177
8.2.2 CAD 系统开发过程	178
8.3 CAD 软件的文档组织	182
8.3.1 CAD 的文档规范	182
8.3.2 CAD 软件说明书类型与格式	184
8.4 电力系统 CAD 软件开发步骤	185
8.4.1 电力系统及供电 CAD 的分类开发	186
8.4.2 电力系统及供电 CAD 系统总体目标和结构框图	186
8.4.3 电力系统及供电 CAD 实施步骤	187
第 9 章 轨道交通供电系统	188
9.1 轨道交通	188
9.2 轨道交通供电系统	192
9.3 轨道交通供电系统的组成	198
9.4 轨道交通供电系统的特点	204
9.5 有轨电车	216
第 10 章 接触网	220
10.1 接触网概述	220
10.2 柔性接触网	222

10.3	刚性接触网	232
10.4	接触轨	237
10.5	接触轨故障分析	247
第 11 章	电力牵引与电气计算	248
11.1	电力机车牵引特性	248
11.2	牵引计算	253
11.3	馈线电流	255
11.3.1	负荷过程法	255
11.3.2	同型列车法	258
11.3.3	概率分布法	260
11.4	牵引网电压	263
11.4.1	牵引网的额定电压	263
11.4.2	电压波动对牵引过程的影响	263
11.5	CRH 系列动车组简介	265
第 12 章	电力监控系统	268
12.1	电力监控系统的基本组成功能	268
12.2	电力监控系统的硬件构成	270
12.3	电力监控系统的软件构成	272
12.4	视频监控系统在电力行业中的应用	274
	参考文献	277

第1章

供电与电力负荷计算

电力系统是由发电、变电、输电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费系统。它的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置（主要包括锅炉、汽轮机、发电机及电厂辅助生产系统等）转化成电能，再经输、变电系统及配电系统将电能供应到各负荷中心，通过各种设备再转换成动力、热、光等不同形式的能量，为地区经济和人民生活服务。由于电源点与负荷中心多数处于不同地区，也无法大量储存，故其生产、输送、分配和消费都在同一时间内完成，并在同一地域内有机地组成一个整体，电能生产必须时刻保持与消费平衡。因此，电能的集中开发与分散使用，以及电能的连续供应与负荷的随机变化，就制约了电力系统的结构和运行。据此，电力系统要实现其功能，就需在各个环节和不同层次设置相应的信息与控制系统，以便对电能的生产和输运过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度，确保用户获得安全、经济、优质的电能。

建立结构合理的大型电力系统不仅便于电能生产与消费的集中管理、统一调度和分配，减少总装机容量，节省动力设施投资，且有利于地区能源资源的合理开发利用，更限度地满足地区国民经济日益增长的用电需要。电力系统建设往往是国家及地区国民经济发展规划的重要组成部分。

电力系统的出现，使用高效、无污染、使用方便、易于调控的电能得到广泛应用，推动了社会生产各个领域的发展变化，开创了电力时代，发生了第二次技术革命。电力系统的规模和技术水准已成为一个国家经济发展水平的标志之一。

在电能应用的初期，由小容量发电机单独向灯塔、轮船、车间等的照明供电系统，可看作是简单的住户式供电系统。白炽灯发明后，出现了中心电站式供电系统，如1882年T. A. 托马斯·阿尔瓦·爱迪生在纽约主持建造的珍珠街电站。它装有6台直流发电机（总容量约670千瓦），用110伏电压供1300盏电灯照明。19世纪90年代，三相交流输电系统研制成功，并很快取代了直流输电，成为电力系统大发展的里程碑。

20世纪以后，人们普遍认识到扩大电力系统的规模可以在能源开发、工业布局、负荷调整、系统安全与经济运行等方面带来显著的社会经济效益。于是，电力系统的规模迅速扩大。世界上覆盖面积最大的电力系统是前苏联的统一电力系统，它东西横跨7000千米，南北纵贯3000千米，覆盖了约1000万平方千米的土地。

我国的电力系统从20世纪50年代开始迅速发展。截至2012年年底，全国发电装机容量达到114491万千瓦，同比增长7.8%。其中：水电24890万千瓦（含抽水蓄能2031万千瓦），占全部装机容量的21.7%；火电81917万千瓦（含煤电75811万千瓦、气电3827

万千瓦), 占全部装机容量的 71.5%; 核电 1 257 万千瓦; 并网风电 6 083 万千瓦; 并网太阳能发电 328 万千瓦。

电力在传输过程中, 传输损耗占很大的比例, 减少电力传输过程中的损耗, 不仅有利于节约能源, 更重要的是有利于保护环境。根据世界银行收集的数据, 印度、巴西、俄罗斯、中国、美国和日本过去 40 年 (1971—2010 年) 电力传输和分配过程中的损失率如图 1-1 所示。损失率为传输和配电所导致的电力损失占当年总发电量的比例。

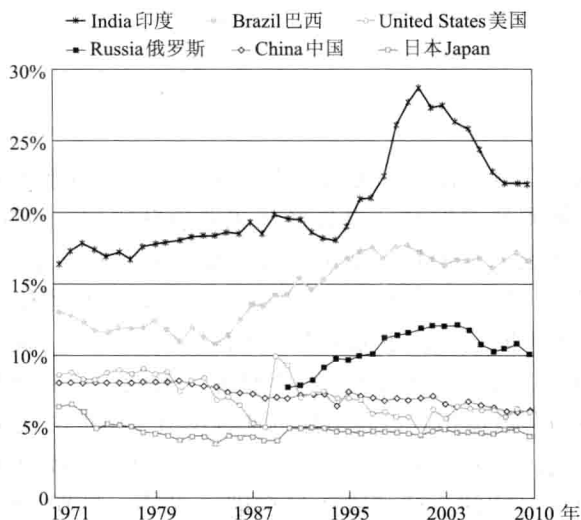


图 1-1 电力传输和分配过程中损失率

从图 1-1 可以看出, 我国电能在传输过程中, 损耗大约 8.5%, 并呈现逐年下降的趋势。但依然很严重。根据相关部门网站, 2013 年元旦过后, 全国日发电量继续保持高位, 1 月 4 日达到 153.13 亿千瓦时, 突破 2012 年日最大发电量 7 月 12 日的 152.81 亿千瓦时, 仅 1 月 4 日一天 24 小时, 电力传输过程中的损耗就达 11.5 亿千瓦时。因此, 研究如何减少电能在传输过程中的损耗意义重大。

1977 年 7 月 13 日夜, 由于纽约州的哈得逊河谷遭受雷雨袭击, 酿成了长时间大面积的停电事故, 其中包括占地 600 平方英里, 人口约 832 万的负荷密度高的纽约市, 造成的社会影响极大, 估计损失达 100 亿美元以上。因此, 供电安全也是电力传输的重要研究课题。

我国目前, 高速铁路、动车和轨道交通高速发展, 有大量的电力牵引方面的问题值得研究。本书主要研究减少供电损耗、供电安全和电力牵引等问题。

1.1 电力系统

预计 2020 年后, 风能、太阳能等新能源发电系统将快速发展。

我国风电建设重点在“三北”(西北、华北北部和东北)地区规划和建设大型和特大型风电场。按照规划, 2015 年和 2020 年风电规划容量分别为 1 亿千瓦和 1.8 亿千瓦。

太阳能集中在甘肃、青海、新疆等地。“十二五”期间, 国家将在甘肃敦煌、青海柴达

木盆地和西藏拉萨建设大型并网型太阳能光伏电站示范项目,在内蒙古、甘肃、青海、新疆等地选择荒漠、戈壁、荒滩等空闲土地,建设太阳能热发电示范项目。

到2015年太阳能发电规划容量200万千瓦左右,到2020年太阳能发电规划容量将跃升至2000万千瓦左右。

此外,颇有争议的特高压电网,在“十二五”期间将得以快速建设。按照电力“十二五”规划,2015年,华北、华东、华中特高压交流电网将形成“三纵三横”网架结构,建成锦屏—江苏、溪洛渡—浙江、哈密—河南、宁东—浙江等交直流输电工程,将西部、北部大型能源基地电力送至华北、华东、华中负荷中心。建成青藏直流联网工程,实现西藏电网与西北电网联网,满足西藏供电要求。

目前,中国也有很多发电厂开发除太阳能,风能以外的可再生能源发电项目。提高环境保护型能源发电及提高电力系统的效率,减少电能在传输过程中损失,可以充分有效地节约资源,当环境保护型电能广泛使用后,可以大大减少PM2.5的排放,有利于人民健康。

清洁能源发电量大幅增长,2012年中国共消纳清洁能源电量10662亿千瓦时,同比增长28.5%,占全部上网电量的21.4%,较去年同期提高3.9个百分点。

近代一切大规模工农业生产、交通运输和人民生活都需要大量的电能。电能是由发电厂生产的,而发电厂多建立在一次能源所在地,距离城市和工业企业可能很远,这就需要将电能输送到城市或工业企业,之后再分配到用户或生产车间的各个用电设备。为了保证电能的经济输送、合理分配,满足各电能用户安全生产的不同要求,需要变换电能的电压。下面简要介绍电能的生产、变压、输配和使用几个环节的基本概念。

1.1.1 发电厂

发电是将其他形式的能量转化为电能的过程;发电厂是生产电能的工厂,又称发电站。它把其他形式的一次能源,如煤炭、石油、天然气、水能、原子核能、风能、太阳能、地热能、潮汐能等,通过发电设备转换为电能。

由于所利用一次能源的形式不同,发电厂可分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂、风力发电厂和太阳能发电厂等。我国电能的获得当前主要是火电,其次是水电和原子能发电,至于其他形式的发电,所占比例都较小。

(1) 火力发电,是指以煤、油、天然气等为燃料的发电。其中,原动机多为汽轮机,个别也有用柴油机和燃气轮机的。火力发电厂又可分为凝汽式火电厂和热电厂。

(2) 水力发电,是把水的位能和动能转变成电能的发电。主要可分为堤坝式和引水式水力发电厂。如正在建设中的三峡水电站即为堤坝式水力发电厂,建成后坝高185m,水位175m,总装机容量为1768万千瓦,年发电量可达840亿千瓦时,居世界首位。

(3) 原子能发电厂又称核电站,如我国秦山、大亚湾核电站,是利用核裂变能量转化为热能,再按火力发电厂方式发电的,只是它的“锅炉”为原子核反应堆。

(4) 风能发电,即把风能转变为电能,是风能利用中最基本的一种方式。风力发电机一般由风轮、发电机(包括装置)、调向器(尾翼)、塔架、限速安全机构和储能装置等构件组成。风力发电机的工作原理比较简单,风轮在风力的作用下旋转,把风的动能转变为风轮轴的机械能,发电机在风轮轴的带动下旋转发电。

(5) 太阳能发电。

① 光生伏特效应：假设光线照射在太阳能电池上并且光在界面层被接纳，具有足够能量的光子可以在 P 型硅和 N 型硅中将电子从共价键中激起，致使发电子-空穴对。界面层临近的电子和空穴在复合之前，将经由空间电荷的电场结果被相互分别。电子向带正电的 N 区运动，空穴向带负电的 P 区运动。经由界面层的电荷分别，将在 P 区和 N 区之间发作一个向外的可测试的电压。此时可在硅片的两边加上电极并接入电压表。对晶体硅太阳能电池来说，开路电压的典型数值为 $0.5 \sim 0.6 \text{ V}$ 。经由光照在界面层发作的电子-空穴对越多，电流越大。界面层接纳的光能越多，界面层即电池面积越大，在太阳能电池中组成的电流也越大。

太阳光照在半导体 p-n 结上，形成新的空穴-电子对，在 p-n 结电场的作用下，空穴由 n 区流向 p 区，电子由 p 区流向 n 区，接通电路后就形成电流。这就是光电效应太阳能电池的工作原理。

② 太阳能发电方式：太阳能发电有两种方式，一种是光—热—电转换方式，另一种是光—电直接转换方式。

- 光—热—电转换方式。通过利用太阳辐射产生的热能发电，一般是由太阳能集热器将所吸收的热能转换成工质的蒸气，再驱动汽轮机发电。前一个过程是光—热转换过程；后一个过程是热—电转换过程。与普通的火力发电一样，太阳能热发电的缺点是效率很低而成本很高，估计它的投资至少要比普通火电站贵 $5 \sim 10$ 倍。

- 光—电直接转换方式。该方式是利用光电效应，将太阳辐射能直接转换成电能，光—电转换的基本装置就是太阳能电池。太阳能电池是一种由于光生伏特效应而将太阳光能直接转化为电能的器件，是一个半导体光电二极管，当太阳光照到光电二极管上时，光电二极管就会把太阳的光能变成电能，产生电流。许多个电池串联或并联起来就可以成为有比较大的输出功率的太阳能电池方阵了。太阳能电池是一种大有前途的新型电源，具有永久性、清洁性和灵活性三大优点。太阳能电池寿命长，只要太阳存在，太阳能电池就可以一次投资而长期使用；与火力发电、核能发电相比，太阳能电池不会引起环境污染。

(6) 核裂变发电。核裂变，又称核分裂，是指由重的原子，主要是指铀或钚，分裂成较轻的原子的一种核反应形式。原子弹、裂变核电站或核能发电厂的能量来源都是核裂变。其中铀裂变在核电厂最常见，加热后铀原子放出 $2 \sim 4$ 个中子，中子再去撞击其他原子，从而形成链式反应而自发裂变。

裂变只有一些质量非常大的原子核，如铀 (yóu)、钚 (tǔ) 和钚 (bù) 等才能发生核裂变。这些原子的原子核在吸收一个中子以后会分裂成两个或更多个质量较小的原子核，同时放出两个或三个中子和很大的能量，又能使别的原子核接着发生核裂变……使过程持续进行下去，这种过程称作链式反应。原子核在发生核裂变时，释放出巨大的能量，称为原子核能，俗称原子能。1 千克铀-235 的全部核的裂变将产生 20 000 兆瓦小时的能量（足以让 20 兆瓦的发电站运转 1 000 小时），与燃烧 2 500 吨煤释放的能量一样多。

核电站的关键设备是核反应堆，它相当于火电站的锅炉，受控的链式反应就在这里进行。核裂变过程释放出大量能量，将水加热成高温高压的水蒸气而发电。

(7) 核聚变发电。核聚变反应堆的原理很简单，只不过对于人类当前的技术水准，实现起来具有相当大的难度。

物质由分子构成,分子由原子构成,原子中的原子核又由质子和中子构成,原子核外包覆与质子数量相等的电子。质子带正电,中子不带电。电子受原子核中正电的吸引,在轨道上围绕原子核旋转。不同元素的电子、质子数量也不同,如氢和氢同位素只有1个质子和1个电子,铀是天然元素中最重的原子,有92个质子和92个电子。核聚变是指由质量轻的原子(主要是指氢的同位素氘和氚)在超高温条件下,发生原子核互相聚合作用,生成较重的原子核(氦),并释放出巨大的能量。1千克氘全部聚变释放的能量相当于11 000吨煤炭。其实,利用轻核聚变原理,人类早已实现了氘氚核聚变——氢弹爆炸,但氢弹是不可控制的爆炸性核聚变,瞬间能量释放只能给人类带来灾难。

如果能让核聚变反应按照人们的需要,长期持续释放,才能使核聚变发电,实现核聚变能的和平利用。如果要实现核聚变发电,那么在核聚变反应堆中,第一步需要将作为反应体的氘-氚混合气体加热到等离子态,也就是温度足够高到使得电子能脱离原子核的束缚,让原子核能自由运动,这时才可能使裸露的原子核直接接触,这就需要达到大约10万摄氏度的高温。

第二步,由于所有原子核都带正电,按照“同性相斥”原理,两个原子核要聚到一起,必须克服强大的静电斥力。两个原子核之间靠得越近,静电产生的斥力就越大,只有当它们之间互相接近的距离达到大约万亿分之三毫米时,核力(强作用力)才会伸出“强有力的手”,把它们拉到一起,从而放出巨大的能量。质量轻的原子核间静电斥力最小,也最容易发生聚变反应,所以核聚变物质一般选择氢的同位素氘和氚。氢是宇宙中最轻的元素,在自然界中存在的同位素有氘、氘(重氢)、氚(超重氢)。在氢的同位素中,氘和氚之间的聚变最容易,氘和氘之间的聚变就困难些,氘和氘之间的聚变就更困难了。因此人们在考虑聚变时,先考虑氘、氚之间的聚变,后考虑氘、氘之间的聚变。重核元素,如铁原子也能发生聚变反应,释放的能量也很多,但是以人类目前的科技水平,尚不足满足其聚变条件。

为了克服带正电原子核之间的斥力,原子核需要以极快的速度运行,要使原子核达到这种运行状态,就需要继续加温,直至上亿摄氏度,使得布朗运动达到一个疯狂的水平,温度越高,原子核运动越快,以至于它们没有时间相互躲避。然后就简单了,氘的原子核和氚的原子核以极大的速度,赤裸裸地发生碰撞,结合成1个氦原子核,并放出1个中子和17.6兆电子伏特能量。反应堆经过一段时间的运行,内部反应体已经不需要外来能源的加热了,核聚变的温度足够使原子核继续发生聚变。这个过程只要将氦原子核和中子及时排除出反应堆,并及时将新的氘和氚的混合气输入到反应堆内,核聚变就能持续下去;核聚变产生的能量一小部分留在反应体内,维持链式反应,剩余大部分的能量可以通过热交换装置输出到反应堆外,驱动汽轮机发电。这就和传统核电站类似了。

1.1.2 变电站

变电站又称变电所,是变换电能电压和接受电能与分配电能的场所,是联系发电厂和用户的中间枢纽。它主要由电力变压器、母线和开关控制设备等组成。变电站如果只有配电设备等而无电力变压器,仅用以接受和分配电能,则称为配电站。凡是担负把交流电能转换成直流电能的变电站统称为变流站。

变电站有升压和降压之分。升压变电站多建立在发电厂内,把电能电压升高后,再进行

长距离输送。降压变电站多设在用电区域,将高压电能适当降低电压后,对某地区或用户供电。降压变电站就其所处的地位和作用又可分为以下三类。

地区降压变电站又称为一次变电站,位于一个大的用电区或一个大城市附近,从 220 ~ 500 kV 的超高压输电网或发电厂直接受电,通过变压器把电压降为 35 ~ 110 kV,供给该区域的用户或大型工业企业用电。其供电范围较大,若全地区降压变电站停电,将使该地区中断供电。

终端变电站又称为二次变电站,多位于用电的负荷中心,高压侧从地区降压变电站受电,经变压器电压降到 6 ~ 10 kV,对某个市区或农村城镇用户供电。其供电范围较小,若全终端变电站停电,只是该部分用户中断供电。

企业降压变电站又称企业总降压变电站,与终端变电站相似,它是对企业内部输送电能的中心枢纽。而车间变电站用于接受企业降压变电站所提供的电能,电压降为 220/380 V,对车间各用电设备直接进行供电。

1.1.3 电力网

电力网是输电线路和配电线路的统称,是输送电能和分配电能的通道。电力网是把发电厂、变电站和电能用户联系起来的纽带。它由各种不同电压等级和不同结构类型的线路组成,从电压的高低可将电力网分为低压网、中压网、高压网和超高压网等。电压在 1 kV 以下的称低压网,1 kV 到 10 kV 的称中压网,高于 10 kV 低于 330 kV 的称高压网,330 kV 及以上的称超高压网。

1.1.4 电能用户

所有的用户单位均称为电能用户,其中主要是工业企业。据 1982 年的资料统计,我国工业企业用电占全年总发电量的 63.9%,是最大的电能用户。因此,研究和掌握工业企业供电方面的知识和理论,对提高工业企业供电的可靠性,改善电能品质,做好企业的计划用电、节约用电和安全用电是极其重要的。

为了提高供电的可靠性和经济性,现今广泛地将各发电厂通过电力网连接起来,并联运行,组成庞大的联合动力系统。其中由发电机、变电站、电力网和电能用户组成的系统称为电力系统,如图 1-2 所示。发电机生产的电能,受发电机制造电压的限制,不能远距离输送。发电机的电压一般多为 6.3 kV、10.5 kV、13.8 kV、15.75 kV,少数大容量的发电机也有采用 18 kV 或 20 kV 的。这样低的电压级只能满足自用电和给附近的电能用户直接供电。要想长距离输送大容量的电能,就必须把电能电压升高,因为输送一定的容量,输出电压越高,电流越小,线路的电压损失和功率损失也都越小。因此,通常使发电机的电压经过升压达 330 ~ 500 kV,再通过超高压远距离输电网送往远离发电厂的城市或工业集中地区,再通过那里的地区降压变电站将电压降到 35 ~ 110 kV,然后再用 35 ~ 110 kV 的高压输电线路将电能送至终端变电站或企业降压变电站。

对于用电量较大的厂房或车间,可以直接用 35 ~ 110 kV 电压将电能送到厂房或车间附近的降压变电站,变压后对厂房或车间供电。这对于减少网络损耗和电压损失,保证电能品质具有十分重要的意义。

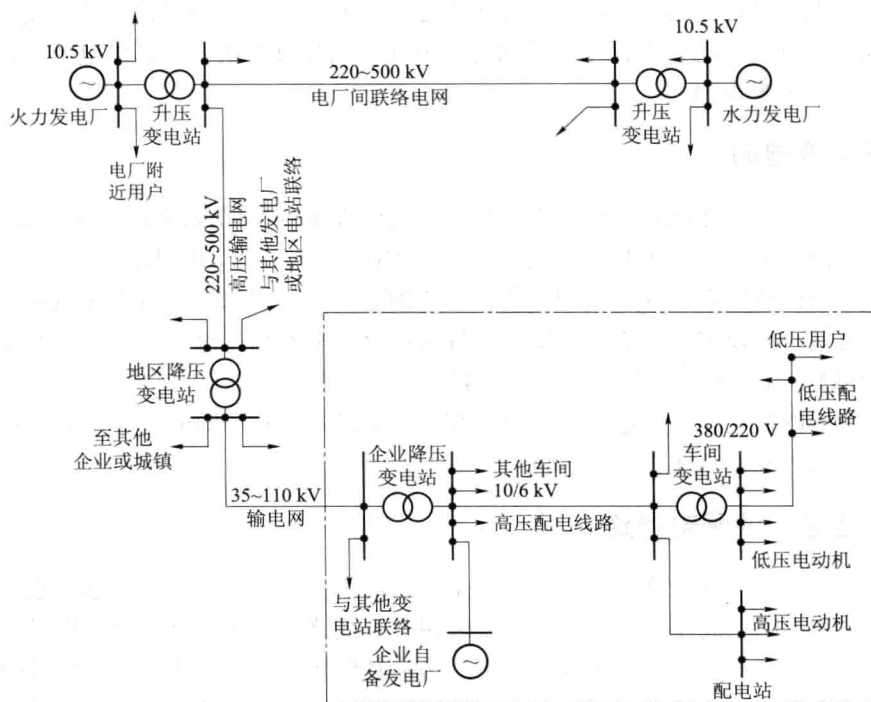


图 1-2 电力系统示意图

1.2 工业企业供电系统

2012 年全社会用电量达 4.96 万亿千瓦时，其中轻、重工业用电量占全社会用电量的比重分别为 12.27% 和 60.45%，工业企业用电量占全社会用电量合计 72.72%，也就是 3.61 万亿千瓦时，因此研究工业企业用电，具有重要的意义。

工业企业供电系统由企业降压变电站、高压配电线路、车间变电站、低压配电线路及用电设备组成，如图 1-2 中的点画线框内部分所示。工业企业供电系统一般都是联合电力系统的一部分，其电源绝大多数是由国家电网供电的，但在下述情况时，也可以建立工业企业自用发电厂：

- ① 距离系统太远；
- ② 本企业生产及生活需要大量热能；
- ③ 本企业有大量重要负荷，需要独立的备用电源；
- ④ 本企业或所在地区有可供利用的能源。

对于重要负荷不多的工业企业，作为解决第二能源的措施，发电机的原动机可利用柴油机或其他小型动力机械。大型企业或工业区若符合上述条件②时，一般建设热、电并供的热电厂，机组台数不超过两台，容量一般不超过 25 000 kW/台。

1.2.1 企业降压变电站

一般来说，大型工业企业均设立企业降压变电站，把 35 ~ 110 kV 电压降为 6 ~ 10 kV

电压向车间变电站供电。为了保证供电的可靠性,企业降压变电站多设置两台变压器,由一条、两条或多条进线供电,每台变压器的容量为几千到几万千伏安。其供电范围由供电容量决定,一般在几千米以内。

1.2.2 车间变电站

在一个生产厂房或车间内,根据生产规模、用电设备的布局及用量大小等情况,可设立一个或几个车间变电站。几个相邻且用电量都不大的车间,可以共同设立一个车间变电站,变电站的位置可以选择在这几个车间的负荷中心附近,也可以选择在其中用电量最大的车间内。车间变电站一般设置1~2台变压器,特殊情况最多不宜超过3台。单台变压器容量通常均为1000 kV·A。车间变电站将6~10 kV的高压配电电压降为220/380 V,对低压用电设备供电。这样的低电压,供电范围一般只在500 m以内。对车间的高压用电设备,则直接通过车间变电站的6~10 kV母线供电。

1.2.3 工业企业的配电线路

工业企业的高压配电线路主要作为工业企业内输送、分配电能之用,通过它把电能送到各个生产厂房和车间。高压配电线路目前多采用架空线路,因为架空线路建设投资少且便于维护与检修。但在某些企业的厂区内,由于厂房和其他构筑物较密集,架空敷设的各种管道在有些地方纵横交错,或者由于厂区的个别地区扩散于空间的腐蚀性气体较严重等因素的限制,在厂区内的部分地段确实不宜敷设架空线路。此时可考虑在这些地段敷设地下电缆网路。最近几年来,由于电缆制造技术的迅速发展,电缆质量不断提高且成本下降,同时为了美化厂区环境以利于文明生产,现代化企业的厂区高压配电线路已逐渐向电缆化方向发展。

工业企业低压配电线路主要用以向低压用电设备供电。在户外敷设的低压配电线路目前多采用架空线路,且尽可能与高压线路同杆架设以节省建设费用。在厂房或车间内部则应根据具体情况确定,或采用明线配电线路,或采用电缆配电线路。在厂房或车间内,由动力配电箱到电动机的配电线路一律采用绝缘导线穿管敷设或采用电缆线路。

对矿山来说,井筒及井巷内的高低电压配电线路均应采用电缆线路,沿井筒壁或井巷壁敷设,每隔2~4m用固定卡加以固定。在露天采矿场内多采用移动式架空线路,但对高低压移动式用电设备,如电铲、钻机等应采用橡套电缆供电。

车间内电气照明线路和动力线路通常是分开的,一般多由一台配电用变压器分别供电,如采用220/380 V三相四线制线路供电,动力设备由380 V三相线供电,而照明负荷则由220 V相线和零线供电,但各相所供应的照明负荷应尽量平衡。如果动力设备冲击负荷使电压波动较大,则应使照明负荷由单独的变压器供电。事故照明必须由可靠的独立电源供电。

工业企业低压配电线路虽然距离不长,但用电设备多,支路也多,设备的功率虽然不大,电压也较低,但电流却较大,导线的有色金属消耗量往往超过高压配电线路。因此,正确解决工业企业低压配电系统的问题,是一项既复杂又重要的工作。

1.3 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,对发电、供电、受