

高等学校 **电气工程及其自动化专业** 应用型本科系列规划教材

# 供配电系统

GONGPEIDIAN XITONG

主 编 贾渭娟 罗 平  
副主编 沈国杰 朱光平  
主 审 李佑光



重庆大学出版社  
<http://www.cqup.com.cn>

## 内容提要

本书为“电气工程及其自动化专业应用型本科系列规划教材”之一。本书从应用的角度出发,内容有9章,第1章概要地介绍了供配电系统基础知识;第2章讲述电力负荷及其计算;第3章讲述变配电所及其一次系统;第4章讲述短路故障的分析计算;第5章讲述电气设备的选择与校验;第6章讲述供配电系统继电保护;第7章讲述供配电系统的二次回路和自动装置;第8章讲述供配电系统的电气安全、接地及防雷;第9章讲述照明技术。

本书具有“重基础,突出典型应用”特点,符合应用型本科对人才培养的需求。

### 图书在版编目(CIP)数据

供配电系统/贾渭娟,罗平主编.—重庆:重庆大学出版社,2016.8  
高等学校电气工程及其自动化专业应用型本科系列规划教材

ISBN 978-7-5624-9973-2

I. ①供… II. ①贾… ②罗… III. ①供电系统—自动化技术—高等学校—教材②配电系统—自动化技术—高等学校—教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第187395号

## 供配电系统

主 编 贾渭娟 罗 平

副主编 沈国杰 朱光平

策划编辑:杨粮菊

责任编辑:文 鹏 邓桂华 版式设计:杨粮菊

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆长虹印务有限公司印刷

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17.25 字数:431千

2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 978-7-5624-9973-2 定价:39.00元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

本书为“电气工程及其自动化专业应用型本科系列规划教材”之一,是电气工程及其自动化专业的一门专业基础课教材。水电相关的专业也可选用,教材内容可根据专业要求和教学时数自行取舍。

近年来大量应用型本科院校迅猛发展,但是应用型本科院校的教材建设相对落后,本书就是针对应用型本科院校的特点发展而编写的,具有“重基础,突出典型应用”的特点。本书从应用的角度出发,深入浅出,图文并茂,结合例题进行讲解,使得教材内容具有实用性,符合应用型本科对人才培养的需求。

本书概要地介绍了供配电系统的基本知识;系统地讲述了电力负荷计算、变配电所及其一次系统、短路故障分析计算、电气设备选择与校验、继电保护和二次回路及自动装置;讲述了电气安全和照明技术。为便于学生复习和自学,每章末附有思考题和习题。为配合教学和习题需要,书末还附录了一些技术数据图表。

本书由贾渭娟主编,负责全书的构思和统稿工作。本书共分9章,其中第1,7章由罗平编写;第2,3,5章和附录由贾渭娟编写;第4,6章由李佑光编写;第8,9章由沈国杰编写。李佑光教授不但完成了相应的编写工作,还对全书进行了仔细审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此深表感谢!在本书编写过程中,参考了许多相关的教材和文献,在此向所有作者表示诚挚的谢意!同时,本书的出版得到了重庆大学出版社的大力协助,在此一并向他们致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请使用本书的广大师生和读者批评指正,本人不胜感激!

编者  
2016年4月

# 目 录

第 1 章 概论 .....	1
1.1 供配电系统的意义及课程任务 .....	1
1.2 供配电系统概况 .....	2
1.2.1 电力系统 .....	2
1.2.2 供配电系统 .....	9
1.3 电力系统的电能质量 .....	13
1.3.1 电力系统的电压 .....	13
1.3.2 电力系统的电能质量 .....	17
1.4 电力系统的运行状态和中性点运行方式 .....	21
1.4.1 电力系统的运行状态 .....	21
1.4.2 电力系统的中性点运行方式 .....	22
1.5 低压配电系统的接地形式 .....	25
本章小结 .....	26
思考题与习题 .....	26
第 2 章 电力负荷及其计算 .....	28
2.1 工厂负荷与负荷曲线 .....	28
2.1.1 负荷分级与供电要求 .....	28
2.1.2 用电设备的工作制 .....	32
2.1.3 负荷曲线 .....	33
2.1.4 与负荷曲线和负荷计算有关的物理量 .....	34
2.2 三相用电设备组计算负荷的确定 .....	36
2.2.1 概述 .....	36
2.2.2 设备容量的计算 .....	36
2.2.3 单台用电设备的负荷计算 .....	37
2.2.4 需要系数法计算负荷 .....	37
2.2.5 二项式系数法计算负荷 .....	39
2.3 单相用电设备组计算负荷的确定 .....	40
2.4 供配电系统的电能损耗 .....	41
2.4.1 供配电系统的功率损耗 .....	41
2.4.2 供配电系统的电能损耗 .....	42

2.5	全厂计算负荷及年耗电量的计算	43
2.5.1	全厂计算负荷确定	43
2.5.2	工厂的功率因数和无功补偿	45
2.5.3	工厂年耗电量的计算	47
2.6	尖峰电流的计算	48
2.6.1	单台用电设备的尖峰电流	48
2.6.2	多台用电设备的尖峰电流	48
	本章小结	48
	思考题与习题	49
<b>第3章</b>	<b>变配电所及其一次系统</b>	<b>50</b>
3.1	变配电所的任务和类型	50
3.1.1	变配电所的任务	50
3.1.2	变配电所的类型	50
3.2	电气设备中的电弧问题	52
3.2.1	概述	52
3.2.2	电弧的产生	52
3.2.3	电弧的熄灭	52
3.3	供配电系统常用的一次设备	53
3.3.1	概述	53
3.3.2	高压一次设备	53
3.3.3	低压一次设备	60
3.3.4	电力变压器	66
3.3.5	电流互感器	68
3.3.6	电压互感器	72
3.3.7	避雷器	73
3.4	变配电所的电气主接线图	75
3.4.1	概述	75
3.4.2	电气主接线的基本方式	76
3.4.3	变配电所电气主接线的设计原则	78
3.5	变配电所选址和布置	83
3.5.1	变配电所所址的选择	83
3.5.2	变配电所的总体布置	84
	本章小结	85
	思考题与习题	86
<b>第4章</b>	<b>短路故障的分析计算</b>	<b>87</b>
4.1	短路的原因、后果及其形式	87

4.1.1	短路故障原因 .....	87
4.1.2	短路的后果 .....	87
4.1.3	短路的形式 .....	88
4.2	无限大容量系统三相短路分析计算 .....	88
4.2.1	电力系统各元件电抗标么值的计算 .....	89
4.2.2	无限大容量系统三相短路的暂态分析 .....	90
4.2.3	无限大容量系统三相短路稳态电流计算 .....	93
4.3	不对称故障的分析计算 .....	96
4.3.1	对称分量的基本概念 .....	96
4.3.2	电力系统中各主要元件的序电抗 .....	97
4.3.3	不对称短路的计算 .....	99
4.3.4	纵向不对称故障的分析计算 .....	103
4.4	低压电网故障电流计算的特点 .....	105
4.4.1	低压电网特点 .....	105
4.4.2	低压电网中各主要元件的阻抗 .....	105
4.4.3	低压电网三相短路电流的计算 .....	106
	本章小结 .....	107
	思考题与习题 .....	107
<b>第5章</b>	<b>电气设备的选择与校验 .....</b>	<b>109</b>
5.1	选择电气设备的原则 .....	109
5.1.1	按正常工作条件选择 .....	109
5.1.2	按短路情况校验 .....	110
5.2	开关设备的选择与校验 .....	110
5.2.1	高压开关设备的选择与校验 .....	110
5.2.2	低压开关设备的选择与校验 .....	111
5.3	变压器及互感器的选择与校验 .....	112
5.3.1	变电所主变压器台数和容量的选择 .....	112
5.3.2	电流互感器的选择和校验 .....	113
5.3.3	电压互感器的选择和校验 .....	114
5.4	熔断器的选择与校验 .....	115
5.4.1	熔断器熔体额定电流的选择 .....	115
5.4.2	熔断器的选择和校验 .....	116
5.4.3	前后熔断器之间的选择性配合 .....	116
5.5	导线截面的选择与校验 .....	117
5.5.1	线路的结构和敷设 .....	117
5.5.2	导线截面选择和校验条件 .....	120
5.5.3	按发热条件选择导线和电缆截面 .....	121

5.5.4 按允许电压损失选择导线和电缆截面面积	122
5.5.5 按经济电流密度选择导线截面	125
5.6 母线的选择与校验	126
5.6.1 母线的材料、类型和布置方式	126
5.6.2 母线的选择和校验	127
本章小结	129
思考题与习题	130
<b>第6章 供配电系统继电保护</b>	<b>131</b>
6.1 概述	131
6.1.1 供配电系统继电保护的 task 与要求	131
6.1.2 电力系统继电保护的基本原理及分类	133
6.1.3 继电保护装置的基本结构与配置原则	133
6.2 基于单端信息的输电线路继电保护	135
6.2.1 单侧电源辐射网络线路相间短路	135
6.2.2 单侧电源辐射线路相间距离保护	144
6.2.3 双侧电源复杂网络线路相间短路保护	147
6.2.4 基于单端信息的线路接地故障保护	150
6.3 变压器的差动保护	160
6.3.1 变压器差动保护原理	160
6.3.2 变压器比率制动差动保护	162
6.4 变压器相间过电流保护特点	165
6.4.1 并列运行变压器过电流保护	165
6.4.2 低电压启动的过流保护	166
6.4.3 复合电压启动的方向过流保护	166
6.5 变压器的接地保护	167
6.5.1 变压器中性点直接接地的零序电流保护	167
6.5.2 自耦变压器接地保护的特点	168
本章小结	168
思考题与习题	169
<b>第7章 供配电系统的二次回路和自动装置</b>	<b>170</b>
7.1 二次回路及其操作电源	170
7.1.1 二次回路概述	170
7.1.2 直流操作电源	171
7.1.3 交流操作电源	173
7.2 二次回路的接线图	175

7.2.1	二次回路原理图	176
7.2.2	二次回路展开图	176
7.2.3	二次回路安装接线图	177
7.2.4	二次回路图的阅读方法	182
7.3	断路器的控制回路和信号回路的选择	184
7.3.1	概述	184
7.3.2	电磁操动机构的断路器控制及信号回路	186
7.3.3	弹簧操作机构的断路器控制及信号回路	189
7.4	中央信号装置的选择	190
7.4.1	概述	190
7.4.2	中央事故信号装置	191
7.4.3	中央预告信号装置	192
7.5	电测量仪表与绝缘监察装置	194
7.5.1	电测量仪表	194
7.5.2	绝缘监察装置	196
7.6	供配电系统常用自动装置与远动化	199
7.6.1	自动重合闸装置(ARD)	199
7.6.2	备用电源自动投入装置(APD)	200
7.7	变电站综合自动化系统简介	202
7.8	智能变电站简介	206
	本章小结	209
	思考题与习题	209

<b>第8章</b>	<b>供配电系统电气安全、接地及防雷</b>	<b>211</b>
8.1	电流对人体的作用	211
8.1.1	人体触电的原因以及危害	211
8.1.2	触电因素对人体的伤害程度及触电防护	212
8.2	电气安全及触电急救	212
8.2.1	安全用电的措施	212
8.2.2	触电急救处理	213
8.3	电气装置的接地	214
8.3.1	接地的有关概念	214
8.3.2	接地装置的设置	217
8.4	过电压与防雷保护	218
8.4.1	过电压、雷电及其危害	218
8.4.2	防雷装置与措施	220
	本章小结	221
	思考题与习题	221



第9章 照明技术 .....	222
9.1 概 论 .....	222
9.1.1 照明技术概念 .....	222
9.1.2 照明方式和总类 .....	223
9.1.3 照明质量 .....	224
9.2 常用电光源和灯具 .....	225
9.2.1 常用的电光源 .....	225
9.2.2 常用灯具及布置 .....	229
9.3 照度标准和照度计算 .....	232
9.3.1 照度标准 .....	232
9.3.2 照度计算 .....	232
9.4 照明供电系统及设计基础 .....	236
9.4.1 照明电压的选择 .....	236
9.4.2 照明系统供电方式 .....	236
9.4.3 照明供电系统设计基础 .....	237
本章小结 .....	238
思考题与习题 .....	238
本书常用字符表 .....	239
附录 常用电气设备的技术数据 .....	242
参考文献 .....	264

# 第 1 章 概 论

本章概述电力系统和供配电系统的有关基本知识,为学习本课程奠定初步的基础。首先简要讲述供配电系统的意义及课程任务,其次介绍电力系统和供配电系统的基本知识,最后重点讲述电力系统的电压和电能质量及电力系统的中性点运行方式和低压配电系统的接地形式。

## 1.1 供配电系统的意义及课程任务

电能是人们日常生活中扮演着越来越重要的角色,社会的各行各业都离不开电能。电能是一种清洁、高效、安全、便捷及优质的二次能源,合理使用电力可以节约一次能源。电能易于能量转换,便于远距离输配,易于调整和控制、管理和调度,易于实现生产过程自动化,耗费较低,利于提高经济效益。因此,电能已广泛应用于国民经济、社会生产和人民生活的各个方面,电能已成为现代工业生产和人们生活的主要能源和动力。

如今,电能是工业、农业、国防、交通等部门不可缺少的动力,成为改善和提高人们物质、文化生活的重要因素,一个国家电力工业的发展水平已是反映其国民经济发达程度的重要标志之一。我国电力工业得到迅猛发展,为实现现代化打下了坚实基础。我国已建成并投入运行交流 1 000 kV 特高压输电线路、直流  $\pm 800$  kV 特高压输电线路,达到世界领先水平。2011 年年底,我国发电机装机容量达 105 577 万千瓦(kW),居世界第 2 位,发电量达 46 037 亿度(kW·h),居世界第 1 位。工业用电量已占全部用电量的 70%~80%,是电力系统的最大电能用户。电能消费即电气化程度已成为表征一个国家现代化进程和人民生活水平的重要标志。电能的合理、正确使用,关系到整个国民经济的发展。因此,搞好电能的生产和供应就显得特别重要。供配电系统的任务就是向用户和用电设备供应和分配电能。作为一名工业电气技术人员应该掌握安全、可靠、经济、合理的供配电能和使用电能的技术。

在工厂里,电能虽然是工业生产的主要能源和动力,但是它在产品成本中所占的比重一般

很小(除电化工业外)。例如,在机械工业中,电费开支占产品成本的5%左右。从投资额来看,一般机械类工厂在供电设备上的投资,也仅占总投资的5%左右。电能工业生产中的重要性,并不在于它在产品成本中或投资额中所占比重的多少,而在于工业生产实现电气化以后可以大大增加产量,提高产品质量,提高劳动生产率,降低劳动成本,减轻工人劳动强度,改善工人的劳动条件,有利于实现生产过程自动化。另外,如果工厂的电能供应突然中断,则对工业生产可能造成严重的后果。例如,某些对供电可靠性要求很高的工厂,即使是极短时间的停电,也会引起重大设备损坏,或引起大量产品报废,甚至可能发生重大的人身伤亡事故,给国家和人民带来经济上甚至政治上的重大损失。

因此,工厂供配电工作对于发展工业生产,实现工业现代化,具有十分重要的意义。由于能源节约是工厂供配电工作的一个重要方面,而能源节约对于国家经济建设具有十分重要的战略意义,因此必须做好工厂供配电工作。

做好供配电工作,对于促进工业生产、降低产品成本,实现生产自动化和工业现代化及保障人民生活有着十分重要的意义。供配电工作要很好地为国民经济服务,并切实搞好安全用电、节约用电和计划用电(俗称“三电”)工作,就必须达到下列基本要求:

①安全。在电能的供应、分配和使用中,不应发生人身事故和设备事故。

②可靠。应满足电能用户对供电可靠性即连续供电的要求。

③优质。应满足电能用户对电压和频率等供电质量的要求。

④经济。供配电应尽量做到投资少,年运行费低,尽可能减少有色金属消耗量和电能损耗,提高电能利用率。

⑤合理。在供配电工作中,应合理地处理局部和全局、当前和长远等关系,既要照顾局部和当前利益,又要有全局观念,能照顾大局,适用发展。例如,计划供用电的问题,就不能只考虑一个单位的局部利益,更要有全局观点。按照统筹兼顾、保证重点、择优供应的原则,做好供配电工作。

本课程的任务主要讲述供配电系统相关的基本知识和基本理论,使学生掌握供配电系统的设计和计算方法、管理和运行技能,为学生今后从事供配电技术工作奠定必要的基础。本课程实践性较强,学习时应注重理论联系实际,培养实际应用能力。

## 1.2 供配电系统概况

供配电系统是电力系统的电能用户,也是电力系统的重要组成部分,供配电系统的任务就是向用户和用电设备供应和分配电能。用户所需的电能,绝大多数是由公共电力系统供给的,故在介绍供配电系统之前,先介绍电力系统的相关知识。

### 1.2.1 电力系统

#### (1) 电力系统的组成

电能是由电力系统中发电厂生产的,但为了充分利用动力资源,降低发电成本,发电厂往往远离城市和电能用户。例如,火力发电厂大多建在靠近一次能源的地区,水力发电厂一般建在水利资源丰富的、远离城市的地方,核能发电厂厂址也受种种条件限制。因此,电能必须通

过输电线路输送到城市或工业企业。为了减少输电的电能损耗,输送电能时要升压,采用高压输电线路将电能输送给用户,同时为了满足用户对电压的要求,输送到用户之后还要经过降压,而且还要合理地将电能分配到用户或生产车间的各个用电设备。如图 1.1 所示的从发电厂到用户的输送电过程,即是电力系统组成示意图。

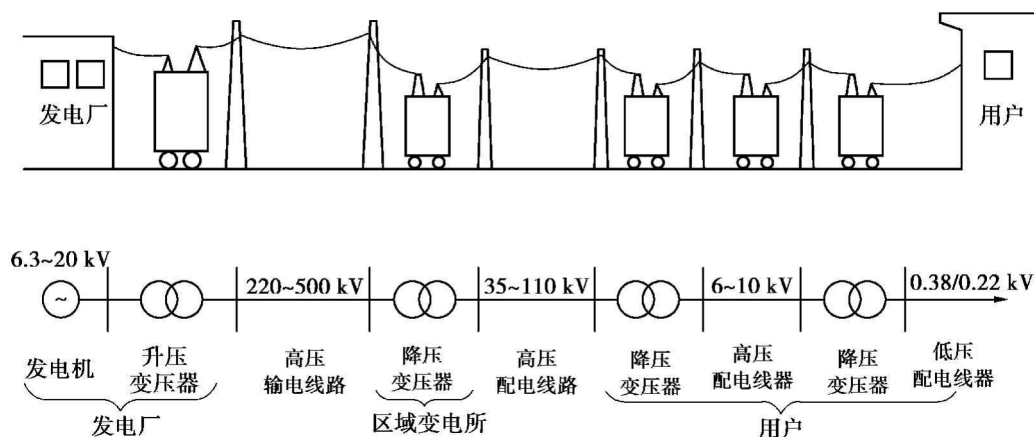


图 1.1 从发电厂到用户的输送电过程示意图

电能的生产、输送、分配和使用的全过程,几乎是同时进行的,即发电厂在任何时刻生产的电能等于该时刻用电设备消耗的电能与变换、输送和分配环节中损耗的电能之和。因此,各个环节必须连接成为一个整体。将各种类型发电厂中的发电机、升压降压变压器、输电线路,以及各种用电设备组联系在一起构成的统一的整体就是电力系统,用于实现完整的发电、输电、变电、配电和用电,如图 1.2 所示为电力系统示意图,即电力系统是由发电厂(站)、变电所(站)、电力线路和电力(能)用户组成的一个发电、输电、变配电和用电的整体。

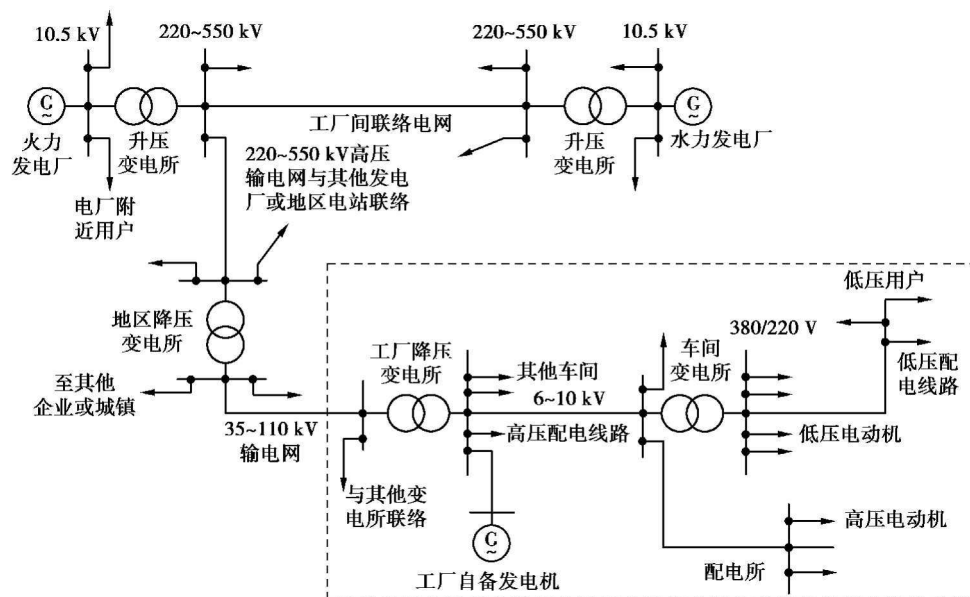


图 1.2 电力系统示意图

随着电能应用的普及,电力部门通常要把不同类型的发电厂在公共电网上并联运行。如

图 1.3 所示为大型电力系统的系统简图。建立大型的电力系统,可以更经济合理地利用动力资源,提高运行的经济性,减少电能损耗,降低发电成本,保证供电的电能质量,并大大提高供电可靠性,有利于整个国民经济的发展。

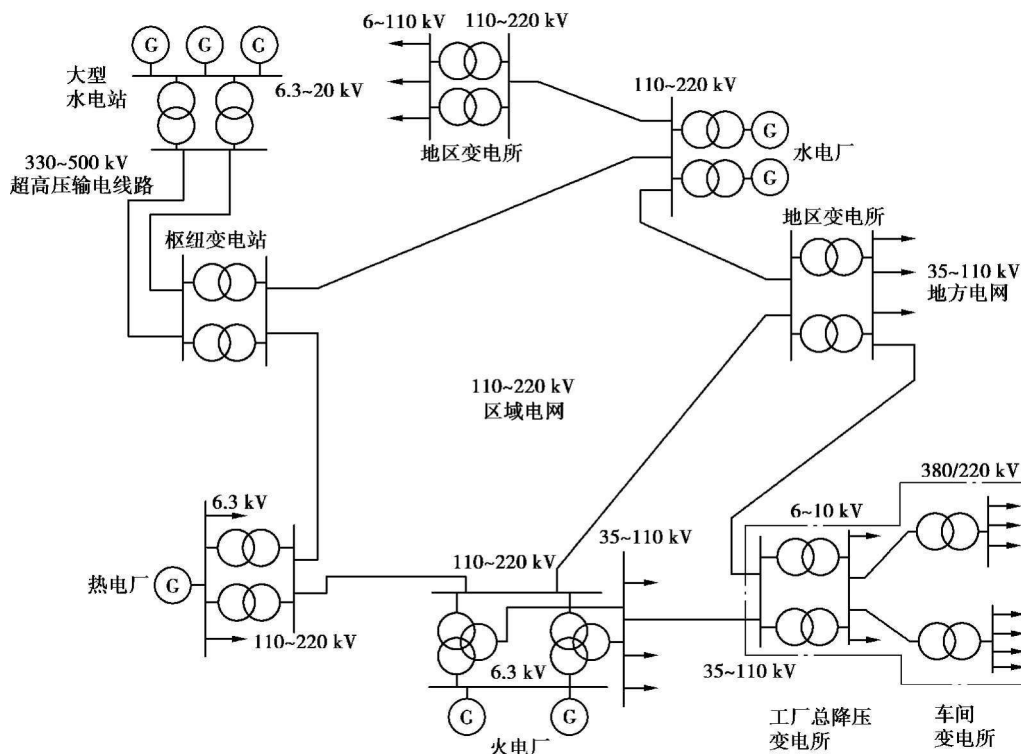


图 1.3 大型电力系统的系统简图

### 1) 发电厂

发电厂将各种一次能源转化为电能。按照其所利用一次能源的不同,可分为火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂。此外,还有太阳能、风力、地热和潮汐发电厂等类型。目前,我国火力发电厂的装机容量比重最大,占总装机容量的 70% 以上,水力发电厂的装机容量约占 20%,其他发电厂的装机容量约占 10%。

①火力发电厂 火力发电厂(又称为火电站或火电厂)将煤炭、石油、天然气等燃料的化学能转换为电能,其主要设备有锅炉、汽轮机、发电机。发电过程为:燃料在锅炉的炉膛内充分燃烧,将锅炉内的水变成高温高压的蒸汽,推动汽轮机转动,使与之联轴的发电机旋转发电。其能量的转换过程是:燃料的化学能→热能→机械能→电能。我国火力发电厂燃料以煤炭为主,随着西气东输工程的竣工,将逐步扩大天然气燃料的比例。火电厂分两类:一类是凝汽式火电厂,一般建在燃料产地,容量可以很大;另一类是兼供热能的火电厂(称为热电厂或热电站),一般建在大城市及工业区附近,容量不大。现代火电厂一般都考虑了“三废(废水、废气、废渣)”的综合利用,不仅发电,还可供热。

由于煤、天然气和石油是不可再生能源,且燃烧时会产生大量的  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , 氮氧化物,粉尘和废渣等,对环境和大气造成污染。因此,我国正发展超临界火力发电,逐步淘汰小火力发电机组,加快水电站和核电的建设,大力发展绿色能源。

②水力发电厂 水力发电厂(又称为水电站或水电厂)将水的位能转换为电能,主要由水库、水轮机和发电机组组成。发电过程为:水库中的水有一定位能,通过压力水管将水引入水轮机,推动水轮机转子旋转,带动与之联轴的发电机发电。其能量的转换过程是:水的位能→机械能→电能。水电厂根据水流形成的方式不同,可分为堤坝式水电厂、引水式水电厂和抽水储能式水电厂等。水力发电具有发电成本较低、不产生污染、运行维护简单等优点,同时还兼有防洪、灌溉、航运、水产养殖等综合效益,因此具有较高的开发价值。

③原子能发电厂 原子能发电厂(又称为核能发电厂或核电站)利用核能来生产电能,其生产过程与火电厂大体相同,只是以核反应堆(原子锅炉)代替了燃煤锅炉,以少量的核燃料代替了大量的煤炭。其能量的转换过程是:核燃料的裂变能→热能→机械能→电能。由于核能是巨大的能源,而且核电站的建设具有重要的经济和科研价值,因此世界上很多国家都很重视核电站的建设,核电占整个发电量的比重逐年增长。

④其他类型发电厂 以太阳能、地热、风力、潮汐等为一次能源的发电厂容量较小,分布在离这些一次能源较近的区域。太阳能是一种十分安全、经济、无污染且取之不尽的能源。太阳能发电厂利用太阳光能或太阳热能来生产电能,它建造在常年日照时间长的地方。风能是一种取之不尽、清洁、价廉和可再生的能源。风力发电厂利用风力的动能来生产电能,它建造在常年有稳定风力资源的地区。地热发电厂利用地表深处的地热能来生产电能,它建造在有足够地热资源的地区。潮汐发电厂利用海水涨潮、落潮中的动能、势能来生产电能,它实质上是一种特殊类型的水电厂,通常建在海岸边或河口地区。

## 2) 变电站

变电站是联系发电厂和电能用户的中间环节,其功能是接受电能、变换电压和分配电能。

为了实现电能的远距离输送和将电能分配到用户,需将发电机电压进行多次电压变换,这个任务由变电站完成。变电站由电力变压器、配电装置和二次装置等构成。按变电站的性质和任务不同,可分为升压变电站和降压变电站,除与发电机相连的变电站为升压变电站外,其余均为降压变电站。升压变电站主要是为了满足电能的输送需要,将发电机发出的电压变换成高电压,一般建在发电厂内。降压变电站主要是将高电压变换为一个合适的电压等级,以满足不同的输电和配电要求。一般降压变电站多建在靠近用电负荷中心的地方,按其在电力系统中的地位 and 作用不同,降压变电所又分为枢纽变电所、中间(区域)变电所、地区变电所、工厂变电所、车间变电所、终端变电所和用户变配电所。

有一种仅用于接受电能和分配电能而不变换电能电压的场所,电压等级高的输电网中称为开关站,中低压配电网中称为配电所或开闭所,在站或所内只有开关设备,而没有变压器。在直流输电系统中还必须配有换流站,换流站是用于交流电与直流电相互转换的场所。换流站分整流站和逆变站。葛洲坝换流站是中国第一条 500 kV 超高压直流工程的送端站。

①枢纽变电站 枢纽变电站位于电力系统的枢纽点,汇集着电力系统中多个大电源和多回大容量的联络线,连接着电力系统的多个大电厂和大区域,变电容量大。其电压等级(指其高压侧,下同)一般为 330 kV 及以上,且其高压侧各线路之间往往有巨大的交换功率。全站停电后将造成大面积停电,或引起系统解列甚至系统崩溃/瓦解的灾难局面。枢纽变电站对电力系统运行的稳定和可靠性起到重要作用。

②中间变电所 中间变电所一般位于系统的主干环行线路中或系统主要干线的接口处,其电压等级一般为 220 ~ 330 kV,高压侧与枢纽变电所连接,以穿越功率为主,在系统中起交

换功率的作用或使高压长距离输电线路分段。它一般汇集有 2~3 个电源和若干线路,中压侧一般是 110~220 kV,供给所在的多个地区用电并接入一些中、小型电厂。这样的变电所主要起中间环节作用,当全所停电时,将引起区域电网的解列,影响面也比较广。

③地区变电所 地区变电所主要任务是给某一地区的用户供电,一般从 2~3 个输电线路受电。它是一个地区或一个中、小城市的主要变电所,电压等级一般为 110~220 kV,全所停电后将造成该地区或城市供电的紊乱。

④工厂变电所 工厂变电所是大、中型企业的专用变电所,它对工厂内部供电。接受地区变电所的电压等级为 35~220 kV,通常有 1~2 回进线,电压降为 6~10 kV 电压向车间变电所和高压用电设备供电。为了保证供电的可靠性,工厂降压变电所大多设置两台变压器,由单条或多条进线供电,每台变压器容量可从几千伏安到几万伏安。供电范围由供电容量决定,一般在几千米以内。

⑤车间变电所 车间变电所将 6~10 kV 的高压配电电压降为 380/220 V,对低电压用电设备供电。供电范围一般在 500 m 以内。

⑥终端变电所 终端变电所位于输电线路终端,接近负荷点,高压侧电压多为 110 kV 或者更低(如 35 kV),经过变压器降压为 6~10 kV 后直接向一个局部区域用户供电,不承担功率转送任务,其全所停电的影响只是所供电的用户,影响面较小。

⑦用户变配电所 用户变配电所是直接供给用户负载电能的变配电所。它位于高低压配电线路,高压为 10 kV(有的为 35 kV),低压为 0.38 kV 或 0.66 kV。配电所只配不变。

### 3) 电力线路

电力线路将发电厂、变电站和电能用户连接起来,完成输送电能和分配电能的任务。电力线路有各种不同的电压等级,通常将 220 kV 及以上的电力线路称为输电线路,110 kV 及以下的电力线路称为配电线路。交流 1 000 kV 及以上和直流  $\pm 800$  kV 及以上的输电线路称为特高压输电线路,220~800 kV 输电线路称为超高压输电线路。配电线路又分为高压配电线路(35~110 kV)、中压配电线路(1~35 kV)和低压配电线路(1 kV 以下),前者一般作为城市配电网骨架和特大型企业供电线路,中者为城市主要配网和大中型企业供电线路,后者一般为城市和企业的低压配网。

电力线路按照线路架设方法来分,有架空线路和电缆线路两类。架空线路应用广泛,而电缆线路主要用于一些城市配电线路以及跨江过海的输电线路。按照输送电流的种类来分,有交流输电线路和直流输电线路两类。直流输电主要用于远距离输电,连接两个不同频率的电网和向大城市供电。它具有线路造价低、损耗小、运行费用少、调节控制迅速简便和无稳定性问题等优点,但换流站造价高。

### 4) 电能用户

电能用户又称为电力负荷。在电力系统中,所有消耗电能的用电设备或用电单位均称为电能用户。电能用户按行业可分为工业用户、农业用户、市政商业用户和居民用户等。

用户有各种用电设备,它们的工作特征和重要性各不相同,对供电的可靠性和供电的质量要求也不同。因此,应对用电设备或负荷分类,以满足负荷对供电可靠性的要求,保证供电质量,降低供电成本。

### (2) 动力系统、电力系统和电力网的关系

为了提高供电的可靠性和经济性,将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。如图 1.4 所示为动力系统、电力系统和电力网三者之间的关系示意图。

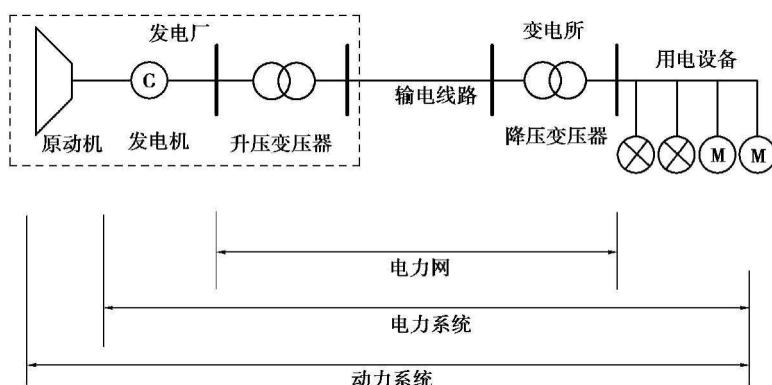


图 1.4 动力系统、电力系统和电力网示意图

### 1) 动力系统

与电力系统相关联的有动力系统。由电力系统、发电厂动力部分及热能系统组成的整体称为动力系统。发电厂动力部分及热能系统包括火力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网、用热设备,水力发电厂的水库、水轮机,原子能发电厂的核反应堆、蒸发器等。动力系统是将电能、热能的生产与消费联系起来的纽带。

### 2) 电力系统

电力系统是动力系统的一部分,由发电机、配电装置、变电站、输电线路及用电设备组成。电力系统的功能是由各个组成环节分别完成电能的生产、变换、输送、分配和消费等任务。

### 3) 电力网(电网)

电力网是电力系统的重要组成部分,由各类变电站和各种不同电压等级的电力线路连接起来组成的统一网络,其作用是将电能从发电厂输送并分配至电能用户。

电力网按其功能的不同可分为输电网和配电网。输电网的电压等级一般在 220 kV 及以上,是输送电能的通道;配电网的电压等级一般在 110 kV 及以下,是分配电能的通道。

电力网按其供电范围、输送功率和电压等级的不同可分为地方电网、区域电网以及超高压远距离输电网络(又称远距离网)3类。地方网是指电压为 110 kV 及 110 kV 以下的电网,其电压较低,输送功率小,输电距离几十千米以内,主要分布在城市、工矿区、农村等,主要供电给地方变电所,又称为配电网。区域网则把范围较大的发电厂联系起来,且传输功率比较大、输电线路较长、用户类型较多。区域网主要是电压为 220 kV 的电力网。随着经济发展和城市规模的扩大,220 kV 线路进市区也很多见。远距离网是指供电距离在 300 km 以上,电压在 330 kV 及以上的电网,负责将远距离电源中心的电能输送到负荷中心区。同时,超高压电网往往还联系几个区域电力网以形成跨省、跨地区的互联电网,甚至形成跨国电网。

## (3) 电力系统的特点

### 1) 发电与用电同时实现

由于电能难于存储,电力系统运行时就要求经常保持电源和负荷间的功率平衡;由于发电与用电同时实现,则电力系统中的各环节间联系紧密。因此,电力系统是一个有机的整体,不论变换能量的原动机或发电机,或输送、分配电能的变压器、输配电线路以及用电设备等,只要其中任何一个元件故障,都将影响电力系统的正常工作。



### 2) 与社会、经济生活关系紧密

现代工业、农业、交通运输等广泛依靠电力来进行生产,其他第三产业同样依靠电力进行经济活动。在人们的日常生活中广泛使用各类家用电器。随着科学技术的进步,社会、经济生活中的各个环节的电气化、自动化、信息化程度越来越高,对电能的依赖程度也越来越高。因此电力系统故障不仅影响人们的日常生活、造成经济损失,甚至会酿成极其严重的社会性灾难。曾经发生的大停电事故证实了这一点。

### 3) 暂态过程迅速

电是以光速传输的,电力系统的运行方式发生变化时,系统的电磁暂态过程和机电暂态过程都很迅速。电力系统暂态过程的时间尺度往往只能用微秒( $\mu\text{s}$ )、毫秒( $\text{ms}$ ),甚至用纳秒( $\text{ns}$ )。电力系统中的正常调整和切换、故障时的切除和故障后的恢复等一系列操作,仅仅靠人工手动操作是无法达到满意效果的,甚至是不可能的。只有采用信息技术、自动化技术,配合各种自动装置才能保证迅速、准确地完成各项调整和切换操作任务。

### 4) 电力系统发展是持续扩展和完善的过程

经济发展,电力先行。由于电力需求的持续增长,因此电力系统也随之不断扩展和完善。许多新开发的电力能源中心往往远离负荷中心,需要建设高电压、大容量的输电线路来提高电网的输电能力。电力系统是不断地在原有系统上增加新设备来发展和完善的。

## (4) 对电力系统的基本要求

根据电力系统的特点,决定了以下对电力系统的基本要求。

### 1) 保证可靠持续的供电

最大限度地满足电力用户的用电需求,可靠持续的供电,是电力系统运行中十分重要的任务。保证可靠持续的供电,首先要保证系统各元件的工作可靠性,要求对电力设备除正常运行维护外,还应进行定期的检修试验。系统还要确保有足够的备用容量,以便在检修或事故等情况下使用。另外,电力系统要提高运行水平,防止误操作的发生,在事故发生后应尽量采取措施以防止事故扩大。特别是在事故发生后,对于某些重要用户(矿井、连续生产的化工厂、钢铁厂、市政中心、电视新闻中心、交通枢纽、医院等)仍要保证供电不发生中断。而对于一些次要用户,可以容许不同程度的短时停电。

### 2) 保证良好的电能质量

电能是商品,作为商品质量是至关重要的。目前电能质量指标主要包括电压偏差、电压波动和闪变、三相电压不平衡、频率偏差和谐波等。电网实际电压与额定电压之差称为电压偏差,实际电压偏高或偏低对用电设备的良好运行都有影响。电网电压方均根值随时间的变化称为电压波动,由电压引起的灯光闪烁对人眼、脑产生的刺激效应称为电压闪变。当电弧炉等大量冲击性负荷运行时,剧烈变化的负荷电流将引起线路的闪变,从而导致电网发生电压波动。电压波动不仅引起灯光闪烁,还会使电动机转速脉动、电子仪器工作失常等。三相电压不对称指3个相电压幅值和相位关系上存在偏差。三相不平衡主要由电力系统运行参数不对称、三相用电负荷不对称等因素引起。供配电系统的不对称运行,对用电设备及供配电系统都有危害,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。当电网电压波形发生非正弦畸变时,电压中出现高次谐波。高次谐波的产生,除电力系统自身的背景谐波外,在用户方面主要由大功率交变设备、电弧炉等非线性用电设备所引起。高次谐波的存在将导致供配电系统能耗增大、电气设备尤其是静电电容器过流及绝缘老化加快,并会干扰自动化