



全国高职高专教育“十一五”规划教材

供配电技术

曾令琴 主 编
李小雄 副主编



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高职高专教育“十一五”规划教材

供配电技术

曾令琴 主 编

李小雄 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书为全国高职高专教育“十一五”规划教材。内容按照实用模块划分,包括供配电技术基础知识、供配电系统一次设备、工厂供配电系统电气主接线、供配电二次回路和继电保护、变配电技术与倒闸操作、负荷计算和设备的选择与校验、高层民用建筑供电及安全技术和供配电系统综合自动化共计八个教学模块。知识体系上围绕基本知识、基本理论、运行维护及工程实用技术进行了详尽的论述,并配有贴近实际工程的例题解析及应用举例。为体现理论和实用并重,每个模块后都设有与知识相呼应的技能训练。

全书知识内容全面、先进,突出了实用性,技能训练题目注重了针对性和应用性,语言通俗易懂,知识体系深浅适度。

本书可作为高职高专院校、应用型高等学校电气技术、自动化等专业的教材,也可作为电视大学、函授学院以及其他从事供配电工作的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术/曾令琴主编. —北京:高等教育出版社, 2008. 11

ISBN 978-7-04-024593-6

I. 供… II. 曾… III. ①供电-高等学校:技术学校-教材②配电系统-高等学校:技术学校-教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 122759 号

策划编辑 孙杰 责任编辑 许海平 封面设计 张志奇 责任绘图 朱静
版式设计 王莹 责任校对 王超 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 人民教育出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16
印张 15.25
字数 360 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2008年11月第1版
印次 2008年11月第1次印刷
定价 21.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24593-00

前 言

为适应新形势下人才的需求,适应我国电力系统不断发展的需要,同时也为提高从事电力工程技术人员的业务水平、技能水平与综合素质,我们组织编写了本教材。

本教材涵盖了“工厂供电”、“电气一次系统”、“电气二次系统”和“继电保护”等相关课程诸多内容,为区别于现有的“供配电技术”教材,在本书编写之前组织人员前往各类电厂(站)、供电局、变电站、工厂变电室及施工现场进行了大量的现场考查和实地调研,广泛征求电力系统工程技术人员对课程建设的意见,围绕教材内容与企业工程技术人员进行多次商榷,其间开封火电厂的王新华总工程师、姚玉峰高级工程师及开封供电局秦宝才总工程师等为本书提出了很好的建设性意见和建议。同时我们还和常州工学院的唐志平教授、郑州电力高等专科学校的靳建峰教授、李红艳教授,广东水利电力职业技术学院的钱武教授、吴靓等同行们就课程建设与教材建设诸多方面的问题展开了广泛的交流。在此向他们表示衷心的感谢!

本书是以实际工程任务导入、按照工学结合的教学模式编写的。教材共设八个教学模块:供配电技术基础知识、供配电系统一次设备、工厂供配电系统电气主接线、供配电二次回路和继电保护、变配电技术与倒闸操作、负荷计算和设备的选择与校验、高层民用建筑供电及安全技术、供配电系统综合自动化。每个模块由任务引入、相关知识、相关技能3个部分组成,并配有相应的技能训练。教材内容遵循“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,以“掌握概念、强化应用、培养技能”为重点,以“精选内容、降低理论、加强基础、突出应用”为主线,坚持基本知识点的学习,在相关知识的学习中注重培养学生分析问题、解决问题的能力。按照高职学生认知过程和接受能力的规律,注重理论与工程实际紧密联系,强调工学结合。结合现场参观、实验环节和课程设计等技能训练,突出对学生综合能力及创新能力的培养。

本教材由黄河水利职业技术学院的曾令琴副教授担任主编,并编写了模块一和模块六;李小雄博士担任副主编,并编写了模块八;刘玉宾编写了模块四;李开先编写了模块二;范文军编写了模块五,李杰编写了模块七;郑州电力高等专科学校的靳建峰编写了模块三。全书由曾令琴统稿,丛保银担任主审。

由于编者实践经验有限,编写过程中难免出现疏漏和不妥,恳请广大读者和供配电方面专家提出宝贵意见,使我们在今后能够对本教材不断完善和补充。

编 者

2008年7月

目 录

模块一 供配电技术基础知识	1
任务导入	1
相关知识	1
1.1 国内外供配电技术发展概况及电力系统的组成	1
1.1.1 国内外供配电技术发展概况	1
1.1.2 电力系统的组成	2
问题与思考	4
1.2 发电厂、变电站类型	4
1.2.1 发电厂类型	4
1.2.2 变电站(所)类型	5
问题与思考	6
1.3 电力系统中性点运行方式	6
1.3.1 中性点直接接地方式	6
1.3.2 中性点不接地方式	6
1.3.3 中性点经消弧线圈接地运行方式	8
问题与思考	9
1.4 电力系统的供电质量及其改进措施	9
1.4.1 用户对供电质量的基本要求	9
1.4.2 供配电的电能质量	10
1.4.3 提高电能质量的措施	11
问题与思考	12
1.5 供配电电压的选择	12
1.5.1 供配电系统电力变压器的额定电压	13
1.5.2 电压等级划分及适用范围	13
1.5.3 工矿企业对配电电压的选择	13
问题与思考	14
1.6 工厂供配电系统的构成	14
1.6.1 工厂供配电系统的	

构成	14
1.6.2 工厂供配电系统布置	15
问题与思考	17
相关技能	17
技能训练	17
工厂供配电系统参观实习	17
模块二 供配电系统一次设备	19
任务导入	19
相关知识	19
2.1 电力变压器	19
2.1.1 电力变压器的结构及各部件的功能	19
2.1.2 电力变压器的联结组别	21
2.1.3 电力变压器台数的选择、容量的确定及过负荷能力	22
2.1.4 电力变压器的并联运行条件	24
问题与思考	25
2.2 高、低压一次设备	25
2.2.1 电弧的产生及其灭弧的方法	25
2.2.2 高、低压熔断器	27
2.2.3 高、低压开关设备	28
2.2.4 电压、电流互感器	32
问题与思考	37
2.3 低压配电屏和组合式成套变电站	37
2.3.1 低压配电屏	37
2.3.2 组合式成套变电站	39
问题与思考	40
相关技能	40
技能训练	40
一、高压一次设备的认识实习	40
二、变配电站的送电与停电操作	41

三、电力变压器的运行维护	41
四、变配电站值班人员对电气设备的巡查	43
模块三 工厂供配电系统电气主接线	45
任务导入	45
相关知识	45
3.1 35 kV/10 kV 变配电站电气主接线	45
3.1.1 变配电站对电气主接线的评价和基本要求	45
3.1.2 变配电站对电气主接线的选择原则及主要配置	46
3.1.3 电气主接线有关基本概念	47
问题与思考	49
3.2 常用电气主接线方式及特点	49
3.2.1 单母线接线和单母线分段接线	49
3.2.2 双母线接线	50
3.2.3 桥式接线	51
3.2.4 10 kV/0.4 kV 变电站的电气主接线	52
问题与思考	55
3.3 低压配电网的基本接线方式	55
3.3.1 放射式接线	55
3.3.2 树干式接线	55
3.3.3 变压器-干线式接线	56
3.3.4 环形接线	56
3.3.5 链式接线	57
问题与思考	57
3.4 供配电线路母线、导线和电缆的选择	57
3.4.1 母线、导线和电缆形式的选择	57
3.4.2 母线、导线和电缆截面积的选择	58
3.4.3 热稳定与动稳定校验	62
问题与思考	62
相关技能	62
技能训练	63
一、电气图基本知识	63
二、电气图读图训练	69

三、照明工程图和动力配电图的识读训练	73
模块四 供配电二次回路和继电保护	77
任务导入	77
相关知识	77
4.1 供配电系统的二次回路	77
4.1.1 二次回路的操作电源	78
4.1.2 电测量仪表与绝缘监测装置	82
4.1.3 中央信号装置	85
4.1.4 高压断路器控制及信号回路	90
问题与思考	93
4.2 供配电系统的继电保护	93
4.2.1 供配电系统继电保护的任 务、要求及基本原理	93
4.2.2 常用的继电保护及其 接线方式	95
4.2.3 高频保护装置	108
问题与思考	112
相关技能	112
技能训练	113
一、二次回路识读图训练	113
二、检查二次回路的接线和 电缆走向	116
三、抄表	117
四、各种继电器的认识和实验	120
模块五 变配电技术与倒闸操作	122
任务导入	122
相关知识	122
5.1 电力系统静动稳定及其保持的 基本措施	122
5.1.1 电力系统静稳定	123
5.1.2 电力系统的动稳定	124
问题与思考	125
5.2 电力系统经济运行方法和 措施	126
5.2.1 电力网的经济运行	126
5.2.2 发电厂的经济运行	127
5.2.3 变配电站的经济运行	127
问题与思考	127

5.3 变配电站一次系统的防误操作装置	128	负荷	149
5.3.1 机械闭锁	128	6.2.3 按二项式法确定计算负荷	153
5.3.2 电磁闭锁	128	6.2.4 工厂电气照明负荷的确定	155
5.3.3 电气闭锁	128	6.2.5 全厂计算负荷的确定	156
5.3.4 红绿牌闭锁	129	问题与计算	157
5.3.5 微机闭锁(微机模拟盘)	129	6.3 工厂供电系统的电能损耗及无功补偿	157
5.3.6 防误装置	129	6.3.1 线路的电能损耗	157
问题与思考	130	6.3.2 变压器的电能损耗	158
5.4 断路器的运行	130	6.3.3 工厂的功率因数和无功补偿	159
5.4.1 高压断路器的正常运行	130	问题与思考	165
5.4.2 高压断路器的技术监督	131	6.4 尖峰电流的计算	165
5.4.3 断路器正常运行的巡视检查	132	6.4.1 单台用电设备尖峰电流的计算	165
5.4.4 断路器的特殊巡视	133	6.4.2 多台用电设备尖峰电流的计算	165
问题与思考	134	问题与计算	166
5.5 电气倒闸操作	134	6.5 短路故障和短路电流计算	166
5.5.1 运行人员在倒闸操作中的责任和任务	134	6.5.1 短路故障的原因和种类	166
5.5.2 倒闸操作现场必须具备的条件	134	6.5.2 短路电流的计算概述	168
5.5.3 设备倒闸操作的规定	135	6.5.3 采用有名值法进行短路计算	169
5.5.4 倒闸操作标准设备名称及操作术语	138	6.5.4 采用标么值法进行短路计算	171
问题与思考	138	6.5.5 两相短路电流的计算	174
相关技能	138	6.5.6 单相短路电流的计算	175
技能训练	139	问题与计算	175
模拟工厂供电倒闸操作实训	139	6.6 供配电系统电气设备的选择与校验	176
模块六 负荷计算和设备的选择与校验	145	6.6.1 电气设备选择校验的条件	176
任务导入	145	6.6.2 电气设备的选择和校验	177
相关知识	146	问题与思考	184
6.1 工厂的电力负荷和负荷曲线	146	相关技能	185
6.1.1 企业用电设备的工作制	146	技能训练	185
6.1.2 负荷曲线	146	一、工厂供配电系统设计基本	
问题与思考	148		
6.2 电力负荷的计算	149		
6.2.1 计算负荷的概念	149		
6.2.2 按需要系数法确定计算			

知识	185	技能训练	207
二、工厂供电系统的设计	187	接地电阻测量实训	207
模块七 高层民用建筑供电及安全技术 ...	190	模块八 供配电系统综合自动化	209
任务导入	190	任务导入	209
相关知识	190	相关知识	209
7.1 高层民用建筑的配电系统	190	8.1 综合自动化系统概述	209
7.1.1 建筑物的分类	190	8.1.1 供配电站综合自动化的基本概念	209
7.1.2 电力负荷	190	8.1.2 变配电站综合自动化系统	210
问题与思考	191	8.1.3 变配电站综合自动化通信系统	213
7.2 高层民用建筑的供电电源及变压器的选择	191	8.1.4 工程方案实例	216
7.2.1 高层民用建筑的供电电源	191	问题与思考	218
7.2.2 变压器的选择	192	8.2 无人值班变配电站	218
7.2.3 高层民用建筑的配电系统	192	8.2.1 无人值班变配电站在配电网自动化中的地位和作用	219
问题与思考	193	8.2.2 无人值班变配电站的几种常规模式	219
7.3 高层民用建筑的接地保护	193	8.2.3 无人值班变配电站的应用特点	220
7.3.1 接地的类型和作用	193	8.2.4 实现无人值班的变配电站必须采取的措施	220
7.3.2 保护接地方式	194	8.2.5 无人值班变配电站应具有的基本条件	221
7.3.3 低压接地制式对地安全技术的基本要求	195	8.2.6 无人值班变配电站的发展方向	222
7.3.4 接地系统实例分析	195	问题与思考	223
问题与思考	196	8.3 变配电站无人值班管理	223
7.4 建筑电气安全技术	196	8.3.1 变配电站无人值班管理模式	223
7.4.1 防雷保护技术	197	8.3.2 调度关系和职责划分	224
7.4.2 电涌保护技术	199	8.3.3 集控站运行管理	225
7.4.3 漏电保护技术	200	8.3.4 操作队运行管理	228
问题与思考	202	问题与思考	230
7.5 火灾自动报警与消防联动控制系统	202	相关技能	230
7.5.1 火灾自动报警系统的组成及工作原理	202	技能训练	231
7.5.2 火灾自动报警系统的设备设置	202	参观实习	231
7.5.3 火灾探测器	203	参考文献	232
7.5.4 火灾自动报警系统的形式	205		
7.5.5 消防联动控制系统	205		
问题与思考	207		
相关技能	207		

模块一 供配电技术基础知识

供配电系统是电力系统的一个重要组成部分，包括电力系统中的区域变（配）电站和用户变（配）电站，涉及电力系统电能发、输、配、用的后两个环节，其运行特点、要求和电力系统基本相同。学习供配电技术，就是让从业者了解电力的供应和分配问题，获得工厂供配电的基本原理、实际应用、运行维护等方面的基础知识和基本技能。

任务导入

当前我国经济建设飞速发展，作为先行工业的电力系统，其建设步伐异常迅猛。随着三峡电厂的建成，我国电网将以三峡为中心，连接华中、华东、川渝构成大规模中部电网；初步形成以华北电网为中心，包括西北、东北、山东构成大规模北部电网；南方电网也将随着龙滩、小湾水电站及贵州煤电基地的开发，进一步加强我国南部电网的结构，增加云南外送的电力，最终形成全国统一的特大规模电网。作为电力系统从业技术人员，通过对供配电系统基础知识的学习，来了解国内外供配电技术的发展概况及电力系统的组成，建立电力系统相关基本概念，了解电力系统的运行特点，熟悉供电质量及其改善措施，掌握电力用户供配电电压的选择，熟悉工厂供配电系统的基本结构。

相关知识

1.1 国内外供配电技术发展概况及电力系统的组成

1.1.1 国内外供配电技术发展概况

自从20世纪初发明三相交流电以来，供配电技术朝着高电压、大容量、远距离、高自动化的目标不断发展，20世纪后半叶供配电技术发展更加迅速。20世纪70年代，欧美各国对交流1000 kV特高压输电技术进行了大量的研究、开发，前苏联早在1985年就建成了世界上第一条1150 kV的工业用输电线路，日本随后在20世纪90年代初也建成了1000 kV的输电线路。我国在近50年的时间内，供配电技术也取得了突破性的进展，目前全国已有东北、华北、华东、华中、西北、南方、川渝7个跨省电网，还有山东、福建、新疆、海南、西藏5个独立省（区）电网。网内220 kV输电线路合计全长120 000 km，330 kV输电线路7 500 km，500 kV输电线路20 000 km。特别是华中与华东两大电网之间，通过500 kV葛洲坝至上海直流输电线路实行互联，其输电线路的建设规模和增长速度在世界上也是少有的。

我国大部分能源资源分布在西部地区，由于东部沿海地区经济发达，则电力负荷增长迅速。在社会主义市场经济的新形势下，加强电网建设、拓展电力市场、提高电力工业整体效益刻不容缓。预计2010年，我国电力装机容量将达到6.7亿千瓦，全社会用电量将达到3.09万

亿千瓦时。2020年，装机容量将达到10亿千瓦，全社会用电量将达到4.6万亿千瓦时。中国电力工业的这种跨越式发展，使得发电装机容量和发电量先后超过法国、加拿大、德国、英国、俄罗斯、日本等较为发达国家，跃居世界第二位。

随着我国经济建设的迅猛发展，中国电力需求相应大幅增长，电力供不应求的紧张局面不断出现。为满足经济增长对电力的需求，国家采取有力措施，加大电力建设投资，计划全国每年发电规模在1500万千瓦以上，2007年底全国发电装机容量已经达到了7.13亿千瓦，220 kV及以上输电线路长度达32.7万公里，变电容量达11.44亿千伏·安。“西电东送、南北互供、全国联网”的发展战略，为我国电力系统的发展带来了极大的发展空间。

1.1.2 电力系统的组成

电能是一种使用方便、清洁、易于控制和转换的优质能源，由一次能源转换而来。电能的传输、转换和分配是通过电力系统得以实现的。因此，在学习供配电技术之前，首先要掌握电力系统的相关知识。

由于电能的生产、输送、分配和消费是在同一时间完成，又不能大量储存，因此各个环节必须连接成一个整体。由发电厂、升压变电站、高压输电网、区域变电站、高压配电网和电能用户等组成的发电、输电、变配电和用电的整体称为电力系统，如图1.1所示。

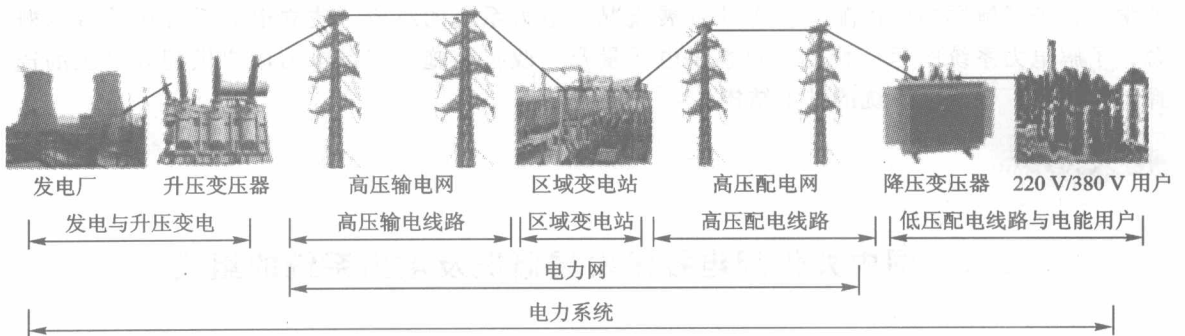


图 1.1 电力系统组成示意图

1. 电力系统的基本概念

(1) 动力系统

随着电能应用的普遍化，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。由电力系统加上发电厂的动力部分及其热能系统和热能用户组成的电能与热能的整体称为动力系统。动力系统是电能、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，由一个发电厂的发电机及配电装置、变电站、输配电线路及用户的用电设备组成。电力系统的功能是完成电能的生产、输送和分配。

(3) 电力网

电力网是电力系统的一部分，由各类变电站和各种不同电压等级的输配电线路连接起来组成的统一网络，其作用是输送和分配电能。

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110 kV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。随着电力系统规模的扩大，配电网的电压等级将逐步相应地提高。

2. 电力系统的结构

电力系统通常由许多发电厂并列起来组成。

电力系统包括发电厂电气部分、电力网及电能用户，是一个由输配电线路连接形成的整体。按照发电方式的不同，发电厂主要分为火力发电厂、水力发电厂、核电站及其他类型的发电厂等。

按供电范围的大小和电压等级的高低，电力网可分为地方电力网、区域电力网和超高压输电电网三种类型。一般情况下，地方电力网电压不超过 35 kV，区域电力网电压为 110 ~ 220 kV，电压为 330 kV 及以上的为超高压远距离输电电网。

变电站分为升压变电站和降压变电站两类，但按其作用和地位又可分为枢纽变电站、区域枢纽变电站和终端变电站。

3. 电力系统额定电压

第一类：100 V 以下额定电压，用于蓄电池和安全照明用具等电气设备。

第二类：大于 100 V、小于 1 000 V 的额定电压，用于一般工业和民用电气设备。

第三类：1 000 V 以上的额定电压，用于高压电气设备。

国家规定电力网的额定电压为 500 kV、220 kV、110 kV、63 kV、35 kV、10 kV。为保证电力设备端电压不超过额定电压的 $\pm 5\%$ ，通常允许发电机额定电压比电力网额定电压高 5%，末端受电变电站端电压比电力网额定电压低 5%。

4. 电力系统的特性

(1) 电力系统是一个有机的整体

电力系统中任何一个主要设备运行情况的变化，都将影响整个电力系统的正常运行。

(2) 电力系统时刻处在动态平衡的相对稳定之中

发电厂发出的交流电不能直接储存，决定了电能的生产、输送、分配和使用必须同时进行，而且要保持动态平衡。由于能量的转换是以功率的形式表现出来的，所以要时刻保持电力系统有功功率和无功功率的平衡。

① 有功功率平衡：发电厂发出的有功功率，扣除厂用电和网损之后，要与用户消耗的有功功率完全相等。如果发出的有功功率多了，系统的频率就会升高；反之就会降低。我国规定频率标准为 50 Hz、装机容量在 3 000 MW 以上的电网，频率偏差不得超过 ± 0.2 Hz。

② 无功功率平衡：无功功率产生于“容性装置”中（如发电机、调相机、电力电容器及高压输电线路的充电电容等），消耗在“感性装置”中（如异步电动机、电抗器、输电线路的电抗等）。无功功率的平衡体现在电压水平上，无功功率过剩电压升高，无功功率不足电压降低。电压过高、过低都会对电气设备和电力系统自身的安全产生很大的危害。无功功率严重不足时还能造成“电压崩溃”，使局部电力网瓦解。

(3) 随机变化、实时调整

电力系统的运行状态是不断变化的动态，除了设备的计划停送电外，异常和事故对系统的冲击是随机的。正常情况下电力系统的负荷和机组出力的变化也是随机的。

① 电力系统负荷变化的随机性：电力系统的总负荷是由千千万万个电能用户的用电负荷

叠加起来构成的。在用电负荷的高峰（上午和晚上）和低谷（中午和夜间）之间，负荷之差可达最大负荷的 30% ~ 50%。

② 发电出力的随机性：发电机组的出力不是固定不变，有时需要人为调整。当频率波动时，机组在调整器的作用下，出力会有摆动。在主机异常或辅机故障时，机组出力也会出现大幅度下降等。

由于电力系统的上述随机变化，电力系统要求各级调度部门必须运用一切手段不断进行调节和控制，以维持电力系统的电力平衡，保证电力系统的频率和中枢点电压合格。

问题与思考

1. 何谓动力系统？何谓电力系统？何谓电力网？
2. 某发电厂的发电机总发电量可高达 3 000 MW，所带负荷仅为 2 400 MW。问余下的 600 MW 电能到哪里去了？
3. 电力系统为什么要求“无功功率平衡”？如果不平衡，会出现什么情况？

1.2 发电厂、变电站类型

1.2.1 发电厂类型

电能是二次能源，由其他形式的一次能源转化而来。目前，人类能够用来转化电能的一次能源主要有：煤炭、石油及其产品、天然气等燃烧释放的热能；水由于落差产生的动能；核裂变释放的原子能；风的动能；太阳能、地热能、潮汐能等。

根据发电厂使用一次能源的不同，目前发电厂类型主要有以下几种。

1. 火电厂

火力发电厂简称火电厂，是以煤、石油、天然气为燃料，燃料燃烧时的化学能被转换成热能，再借助汽轮机等热力机械将热能转换成机械能，最后由同轴连接的发电机将机械能转换成电能。

火电厂又分为凝汽式电厂和热电厂两种类型。

凝汽式电厂仅向用户供出电能。我国多数凝汽式电厂建在各煤矿、煤炭基地附近，或建在铁路交通便利的地方，这类火电厂发出来的电能，通过高压输电线路送到用电负荷中心。

热电厂不仅向用户供电，同时还向用户供蒸汽或热水。由于供热距离不宜太远，所以热电厂多建在城市和用户附近。热电机组的发电出力与热力用户的用热有关，用热量多时热电机组相应多发电，用热少时热电机组发出的电能相应减少。热电厂的建立能减少烟尘的排放，有利于城市的环境保护。

火电厂的热效率不高，一般为 40% 左右。

2. 水电厂

水力发电厂简称水电厂，其发电原理为：将高处江河湖泊的水采用适当的方法引至下游的水电厂，利用水的落差使位能转换成动能，推动水轮机旋转，带动与水轮机同轴的发电机运转发出电能。水电厂的生产过程如下：由拦河大坝维持水的高水位，再经压力管进入螺旋形蜗

壳，推动水轮机转动，将水的位能转换为机械能，由水轮机带动发电机旋转，于是将机械能转换成电能。做过功的水，经过尾水管再往下游排泄。水电厂发出的电能，除少量厂用之外，大部分经升压变压器升压后输送至用电负荷中心。

水力发电的生产过程要比火力发电生产过程简单。据统计，目前我国的水力资源开发量还不足 10%，在电力供应依然紧张的今天，显然大力开发水力发电资源十分必要。

3. 核能发电站

核能发电站也称原子能电厂（简称核电站），其发电原理为：利用原子能反应堆代替火电厂的锅炉，原子反应堆中的核燃料不断发生裂变产生热能，利用这种热能产生高温、高压蒸汽，蒸汽送到汽轮机中，推动与汽轮机同轴的发电机运转发出电能。

核电站用的一次能源主要是二氧化铀，其原动机与火电厂相同，因此发电原理与火电厂基本相同，只是在结构上稍有差异。

核电站的主要优点是：可以大量节省煤炭、石油、天然气等燃料，有利于减少二氧化硫及灰尘等有害物质对城市的污染。

4. 其他发电厂

以地热、风力、潮汐等为一次能源的发电厂容量较小，这类发电厂分布在离这些一次能源较近的区域，发电量占总发电量的极小一部分。

图 1.2 所示为典型发电厂外貌。

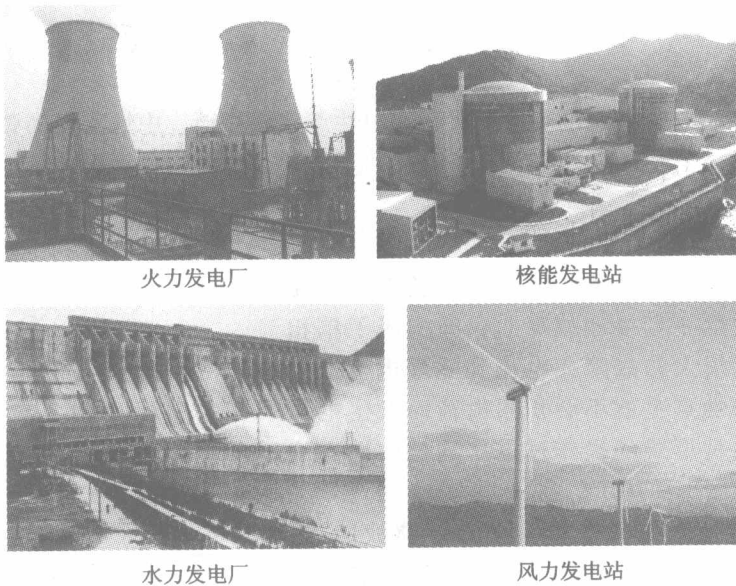


图 1.2 典型发电厂外貌

1.2.2 变电站（所）类型

发电厂通常建立在一次能源丰富或传输便利的地域，与电力用户有一定的距离。为了经济、可靠、快速地把电能从发电厂输送至用户，必须经过变电站升高电压，因此，升压变电站

一般安装在发电厂中，不另设变电站。由于高压危险，在距离用户较近时，还需把传送的高压降低，电网中的降压变电站的作用就是在传递电能的同时降低电压。所以，变电站是电力供应的中间转运站，用来提高或降低电压，向用电单位输送和分配电能。

从规模上分，变电站有枢纽变电站、地区重要变电站和一般变电站。

1. 枢纽变电站

枢纽变电站的一次电压通常为 330 kV 和 500 kV，二次电压为 220 kV 或 110 kV。

2. 地区重要变电站

地区重要变电站的一次电压通常为 220 kV 和 330 kV，二次电压为 110 kV、35 kV 或 10 kV。

3. 一般变电站

一般变电站的一次电压大多是 110 kV，二次电压为 10 kV 或以下等级。

为了提高系统的供电质量，变电站一般应建设在负荷中心，尽可能靠近用电多的地方。如果变电站远离用户，不仅电能损耗大、造成用户端电压不足，而且频率会不稳定，影响供电质量。

问题与思考

1. 一次能源包括哪些？电能是一次能源吗？
2. 枢纽变电站和一般变电站有哪些区别？
3. 热电厂和凝汽式电厂有什么不同？这类火力发电厂通常建在哪些地方？

1.3 电力系统中性点运行方式

在电力系统中，中性点工作接地方式有：中性点直接接地、中性点经消弧线圈接地和中性点不接地三种。

1.3.1 中性点直接接地方式

中性点直接接地的系统称为大接地电流系统，在这种系统中，当发生一点接地故障时，即构成了单相接地系统，将产生很大的故障相电流和零序电流。中性点直接接地，中性点上就不会积累电荷而发生电弧接地过电压，其各种形式的操作过电压均比中性点绝缘电网电压低，如图 1.3 所示。

中性点直接接地系统发生单相接地短路故障时，单相短路电流非常大，特别是瞬间接地短路，必须通过继电保护装置动作切除故障部分，故障排除后再合闸恢复正常供电。我国 110 kV 及以上电压等级的电力系统均属于大接地电流系统。

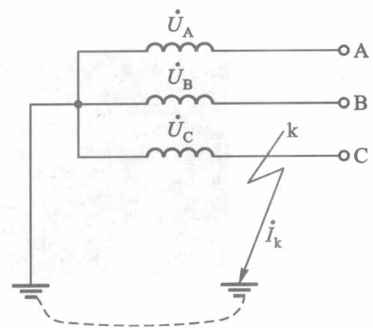


图 1.3 中性点直接接地系统单相接地情况

1.3.2 中性点不接地方式

1. 中性点不接地系统的正常运行

中性点不接地系统正常运行时，电力系统的三相导线之间及各相对地之间，沿导线全长都分布有电容，这些电容在电压作用下将有附加的电容电流通过。为了便于分析，可认为三相系统是对称的，对地电容电流可用集中于线路中央的电容来代替，相间电容可不予考虑。

设电源三相电压分别为 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C ，且三相导线换位良好，各相对地电容相等，如图 1.4 所示。此时各相对地分布电压为相电压，三相对地电容电流分别为 \dot{I}_{AC} 、 \dot{I}_{BC} 、 \dot{I}_{CC} 。可以认为三相系统是对称的，中性点 N 点的电位应为零电位。

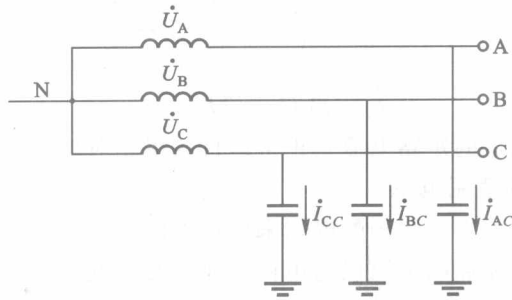


图 1.4 中性点不接地系统

2. 中性点不接地系统的单相接地

当中性点不接地系统由于绝缘损坏发生单相接地时，各相对地电压和电容电流的情况将发生明显变化。下面以金属性接地故障为例进行分析。

金属性接地又称为完全接地。设 C 相在 k 点发生单相接地，此时 C 相对地电压为零。而中性点对地电压不再为零

$$\dot{U}_N = -\dot{U}_C$$

B 相对地电压为

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_C$$

A 相对地电压为

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_C$$

中性点不接地系统单相接地情况如图 1.5 所示。

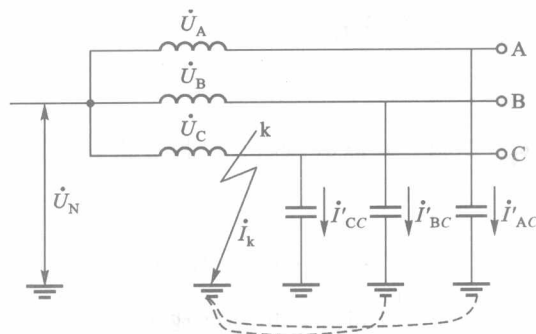


图 1.5 中性点不接地系统单相接地情况

显然, 中性点不接地系统发生单相接地故障时, 线电压不变而非故障相对地电压升高到原来相电压的 $\sqrt{3}$ 倍, 即升至为线电压数值。因此, 非故障相对地电压的升高, 又造成对地电容电流相应增大, 各相对地电容电流分别升为 \dot{I}'_{AC} 、 \dot{I}'_{BC} 、 \dot{I}'_{CC} , C相在k点的对地短路电流为 \dot{I}_k , 而 $\dot{I}'_{CC}=0$, 则

$$\begin{aligned}\dot{I}_k &= -(\dot{I}'_{AC} + \dot{I}'_{BC}) \\ \dot{I}'_{AC} &= \frac{U'_A}{X_C} = \frac{\sqrt{3}U_A}{X_C} = \sqrt{3}\dot{I}_{AC} \\ \dot{I}_k &= \sqrt{3}\dot{I}'_{AC} = 3\dot{I}'_{AC}\end{aligned}$$

结论: 单相接地时接地点的短路电流是正常运行的单相对地电容电流的3倍。

3. 中性点不接地系统的适用范围

中性点不接地运行方式一直是我国配电网采用最多的一种方式。该接地方式在运行中如发生单相接地故障, 其流过故障点的电流仅为电网对地的电容电流。当35 kV、10 kV电网限制在10 A以下时, 若在接地电流很小的瞬间, 故障一般能自动消除, 此时虽然非故障相对地电压升高, 但系统还是对称的, 故在电压互感器发热条件许可的情况下, 允许带故障连续供电2小时, 为排除故障赢得了时间, 相对提高了供电的可靠性, 这也是中性点不接地系统的主要优点。另外, 中性点不接地系统不需要任何附加设备, 投资小, 但要装设绝缘监视装置, 以便发现单相接地故障后能迅速处理, 避免单相故障长期存在, 以致发展为相间短路或多点接地事故。在这种系统中, 电气设备和线路的对地绝缘应按能承受线电压设计, 而且应装交流绝缘监察装置。当发生单相接地故障时, 可立即发出信号通知值班人员。

目前, 我国中性点不接地系统的适用范围是:

- ① 电压等级在500 V以下的三相三线制系统。
- ② 3~10 kV系统接地电流小于或等于30 A时。
- ③ 20~35 kV系统接地电流小于或等于10 A时。
- ④ 与发电机有直接电气联系的3~20 kV系统, 如要求发电机带单相接地故障运行, 则接地电流小于或等于5 A时。

如果系统不满足上述条件, 通常采用中性点经消弧线圈或直接接地的运行方式。

1.3.3 中性点经消弧线圈接地运行方式

中性点经消弧线圈接地运行方式如图1.6所示。

当系统发生单相接地(设C相)短路故障时, C相短路电流为 \dot{I}_k , 流过消弧线圈的电流为 \dot{I}_L , 且

$$\dot{I}_k + \dot{I}'_{AC} + \dot{I}'_{BC} - \dot{I}_L = 0$$

因此, $\dot{I}_k = \dot{I}_L - (\dot{I}'_{AC} + \dot{I}'_{BC})$ 。由此可知, 单相接地短路电流是电感电流与其他两相对地电容电流之差, 选择适当大小消弧线圈电感 L , 可使 \dot{I}_k 值减小。

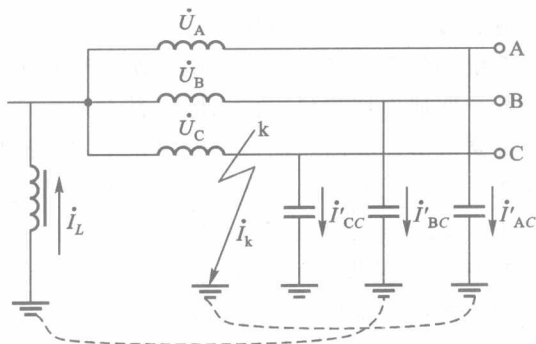


图 1.6 中性点经消弧线圈接地运行方式及单相接地情况

中性点采用经消弧线圈接地运行方式，就是在系统发生单相接地故障时，消弧线圈产生的电感电流补偿单相接地电容电流，以使通过接地点电流减小能自动灭弧。消弧线圈接地方式在技术上不仅拥有了中性点不接地系统的所有优点，而且还避免了单相故障可能发展为两相或多相故障，产生过电压损坏电气设备绝缘和烧毁电压互感器等危害。

在各级电压网络中，当发生单相接地故障时，通过故障点的总的电容电流超过下列数值时，必须安装消弧线圈。

- ① 对 3 ~ 6 kV 电网，故障点总电容电流超过 30 A。
- ② 对 10 kV 电网，故障点总电容电流超过 20 A。
- ③ 对 22 ~ 66 kV 电网，故障点总电容电流超过 10 A。

变压器中性点经消弧线圈接地的电网发生单相接地故障时，故障电流也很小，所以它也属于小接地电流系统。在这种系统中，消弧线圈的作用就是用电感电流来补偿流经接地点的电容电流。

问题与思考

1. 中性点不接地系统若发生单相接地故障时，其故障相对地电压等于多少？此时接地点的短路电流是正常运行的单相对地电容电流的多少倍？
2. 电力系统中性点接地运行方式有哪几种？采用中性点不接地系统有何优缺点？

1.4 电力系统的供电质量及其改进措施

供电电能的质量是以频率、电压和波形来衡量的。电能的质量直接影响工农业等各方面用户的工作质量，同时也影响电力系统自身设备的效率和安全。因此，了解和熟悉供电质量对用户的影响是必要的。

1.4.1 用户对供电质量的基本要求

保证供电质量，对于促进工农业生产，降低产品成本，实现生产自动化和工业现代化有着十分重要的意义。用户对电能质量的评估有以下几个方面。

1. 安全性指标