

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI
世纪高职高专电子技术规划教材

供配电技术

曾令琴 主 编
李 伟 赵渝青 副主编

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供
电子教案
习题解答

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专电子技术规划教材

供配电技术

曾令琴 主编

李 伟 赵渝青 副主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

供配电技术 / 曾令琴主编. —北京: 人民邮电出版社,
2008.10

21 世纪高职高专电子技术规划教材
ISBN 978-7-115-18062-9

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 081137 号

内 容 提 要

全书共分 8 章, 内容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。本书内容围绕供配电基本知识、基本理论、运行维护及工程实用技术进行详细的论述, 配有贴近实际工程的例题解析及应用举例, 并附有相应技能训练内容。

本书可作为高职高专院校电气自动化专业的教材, 也可供从事供配电工作的工程技术人员学习参考。

21 世纪高职高专电子技术规划教材

供 配 电 技 术

-
- ◆ 主 编 曾令琴
 - 副 主 编 李 伟 赵渝青
 - 责任编辑 潘春燕
 - 执行编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.25
字数: 348 千字 2008 年 10 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2008 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18062-9/TN

定价: 24.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

为适应我国电力系统不断发展形势下对人才的需求，培养业务技术、技能水平与综合素质均较高的电力工程技术人员，我们组织编写了《供配电技术》一书。

为使本书更加实用，编写人员前往各类电厂（站）、供电局、变电所、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，与此同时结合供配电运行人员对岗位技能的要求，和企业工程技术人员进行多次广泛而深入的讨论。形成本书如下的特点。

1. 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。在重点培养实际工作技能的同时，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。

2. 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。

3. 为便于教师的使用及读者的学习，本书提供课程标准、课程教学大纲及教学课件。利用课件尽量把供配电设备及现场情景引进课堂，向学生充分展示供配电当前的主流技术和未来发展趋势，增加学生的学习兴趣和认知能力。

本书由黄河水利职业技术学院曾令琴担任主编，河南职业技术学院李伟、温州职业技术学院赵渝青担任副主编。曾令琴编写了第1章、第3章和第6章，郑州铁路职业技术学院朱锦编写了第2章，李伟编写了第4章和第5章，赵渝青编写了第7章和第8章。全书由曾令琴统稿，丛保银主审。

在本书编写过程中，开封火电厂王新华总工、姚玉峰高工及开封供电局秦宝才总工对本书的编写提出了很多宝贵的意见和建议，许多高等院校的同行们对本书也给予了很多帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者实践经验有限，书中难免出现疏漏和不妥，恳请广大读者和供配电专家提出宝贵意见。

编 者
2008年5月

目 录

第 1 章 供配电技术基础知识	1	2.2.1 电弧的产生及其灭弧的方法	23
1.1 国内外供配电技术发展概况及 电力系统的组成	1	2.2.2 高、低压熔断器	25
1.1.1 国内外供配电技术发展概况	1	2.2.3 高、低压开关设备	26
1.1.2 电力系统的组成	2	2.2.4 电压、电流互感器	31
1.2 发电厂、变电所类型	4	2.3 低压配电屏和组合式成套 变电所	35
1.2.1 发电厂类型	4	2.3.1 低压配电屏	35
1.2.2 变电所类型	5	2.3.2 组合式成套变电所	37
1.3 电力系统中性点运行方式	6	技能训练一 变电所的送电与停电 操作	38
1.3.1 中性点直接接地方式	6	技能训练二 电力变压器的运行 维护	38
1.3.2 中性点不接地方式	7	技能训练三 变电所值班人员对 电气设备的巡查	40
1.3.3 中性点经消弧线圈接地方式	8	第 3 章 工厂供配电系统电气主接线	42
1.4 电力系统的供电质量及其改进 措施	9	3.1 35kV/10kV 变配电所电气 主接线	42
1.4.1 用户对供电质量的基本要求	9	3.1.1 变配电所对电气主接线的 评价和基本要求	42
1.4.2 供配电的电能质量	10	3.1.2 变配电所对电气主接线的 选择原则及主要配置	43
1.4.3 提高电能质量的措施	11	3.1.3 电气主接线有关基本概念	44
1.5 供配电电压的选择	11	3.2 常用电气主接线方式及特点	46
1.5.1 供配电系统电力变压器的 额定电压	12	3.2.1 单母线接线和单母线分段 接线	46
1.5.2 电压等级划分及适用范围	12	3.2.2 双母线接线	47
1.5.3 企业对配电电压的选择	13	3.2.3 桥式接线	48
1.6 工厂供配电系统的构成	13	3.2.4 10kV/0.4kV 变电所的电气 主接线	48
1.6.1 工厂供配电系统的构成	14	3.3 低压配电网的基本接线方式	51
1.6.2 工厂供配电系统布置	14	3.4 供配电线路母线、导线和电缆的 选择	53
第 2 章 供配电系统一次设备	17	3.4.1 母线、导线和电缆形式的 选择	53
2.1 电力变压器	17		
2.1.1 电力变压器的结构组成及 各部件的功能	17		
2.1.2 电力变压器的连接组别	19		
2.1.3 电力变压器台数的选择、 容量的确定及过负荷能力	20		
2.1.4 电力变压器的并联运行条件	22		
2.2 高、低压一次设备	23		

3.4.2 母线、导线和电缆截面的 选择·····	54	5.3.3 电气闭锁·····	120
3.4.3 热稳定与动稳定校验·····	57	5.3.4 红绿牌闭锁·····	121
技能训练一 电气图基本知识·····	58	5.3.5 电脑闭锁(模拟盘)·····	121
技能训练二 电气图读图训练·····	63	5.3.6 防误装置·····	121
技能训练三 照明工程图和动力配 电图的识读训练·····	67	5.4 断路器的运行·····	122
第4章 供配电二次回路和继电保护 ·····	71	5.4.1 高压断路器的正常运行·····	122
4.1 供配电系统的二次回路·····	71	5.4.2 高压断路器的技术监督·····	123
4.1.1 二次回路的操作电源·····	72	5.4.3 断路器正常运行的巡视检查·····	124
4.1.2 电测量仪表与绝缘监视装置·····	76	5.4.4 断路器的特殊巡视·····	125
4.1.3 中央信号装置·····	79	5.5 电气倒闸操作·····	126
4.1.4 高压断路器控制及信号回路·····	82	5.5.1 运行人员在倒闸操作中的 责任和任务·····	126
4.2 供配电系统的继电保护·····	86	5.5.2 倒闸操作现场必须具备的 条件·····	126
4.2.1 供配电系统继电保护的任 务及基本原理·····	86	5.5.3 设备倒闸操作的规定·····	127
4.2.2 常见的继电保护及其 接线方式·····	87	5.5.4 倒闸操作标准调 and 名称及 操作术语·····	129
4.2.3 高频保护装置·····	100	技能训练 模拟工厂供电倒闸操作 实训·····	130
技能训练一 二次回路识读图训练·····	104	第6章 负荷计算和设备的选择与校验 ·····	136
技能训练二 检查电气二次回路的 接线和电缆走向·····	107	6.1 工厂的电力负荷和负荷曲线·····	137
技能训练三 抄表·····	108	6.1.1 企业用电设备的工作制·····	137
技能训练四 各种继电器的认识和 实验·····	111	6.1.2 负荷曲线·····	137
第5章 变配电技术与倒闸操作 ·····	114	6.2 电力负荷的计算·····	140
5.1 电力系统静动稳定及其 保持的基本措施·····	114	6.2.1 计算负荷的概念·····	140
5.1.1 电力系统静稳定·····	115	6.2.2 按需要系数法确定计算负荷·····	140
5.1.2 电力系统的动稳定·····	115	6.2.3 按二项式法确定计算负荷·····	145
5.2 电力系统经济运行方法和 措施·····	118	6.2.4 工厂电气照明负荷的确定·····	147
5.2.1 电力网的经济运行·····	118	6.2.5 全厂计算负荷的确定·····	147
5.2.2 发电厂的经济运行·····	119	6.3 工厂供电系统的电能损耗及 无功补偿·····	149
5.2.3 变电所的经济运行·····	119	6.3.1 线路的电能损耗·····	149
5.3 变电所一次系统的防误操作 装置·····	119	6.3.2 变压器的电能损耗·····	150
5.3.1 机械闭锁·····	120	6.3.3 工厂的功率因数和无功补偿·····	150
5.3.2 电磁闭锁·····	120	6.4 尖峰电流的计算·····	156
		6.4.1 单台用电设备尖峰电流的 计算·····	156
		6.4.2 多台用电设备尖峰电流的 计算·····	157

6.5 短路故障和短路电流计算 ····· 157	7.5.1 火灾自动报警系统的组成及 工作原理 ····· 193
6.5.1 短路故障的原因和种类 ····· 158	7.5.2 火灾自动报警系统的设备 设置 ····· 193
6.5.2 短路电流的计算概述 ····· 160	7.5.3 火灾探测器 ····· 194
6.5.3 采用欧姆法进行短路计算 ····· 161	7.5.4 火灾自动报警系统 ····· 196
6.5.4 采用标幺值法进行短路计算 ····· 163	7.5.5 消防联动控制系统 ····· 196
6.5.5 两相短路电流的计算 ····· 166	技能训练 接地电阻测量实训 ····· 198
6.5.6 单相短路电流的计算 ····· 166	第 8 章 供配电系统综合自动化 ····· 200
6.6 供配电系统电气设备的选择与 校验 ····· 167	8.1 供配电系统综合自动化概述 ····· 200
6.6.1 电气设备选择校验的条件 ····· 167	8.1.1 供配电系统综合自动化的 基本概念 ····· 200
6.6.2 电气设备的选择和校验 ····· 168	8.1.2 变电站综合自动化系统 ····· 201
技能训练一 工厂供配电系统设计 基本知识 ····· 176	8.1.3 变电站综合自动化 通信系统 ····· 204
技能训练二 工厂供配电系统的 设计 ····· 178	8.1.4 工程方案实例 ····· 206
第 7 章 高层民用建筑供电及安全技术 ····· 181	8.2 无人值班变电站 ····· 208
7.1 高层民用建筑的配电系统 ····· 181	8.2.1 无人值班变电站在配电 自动化中的地位和作用 ····· 209
7.1.1 建筑物的分类 ····· 181	8.2.2 无人值班变电站的几种 常规模式 ····· 210
7.1.2 电力负荷 ····· 181	8.2.3 无人值班变电站的应用特点 ····· 210
7.2 高层民用建筑的供电电源及 变压器的选择 ····· 182	8.2.4 实现无人值班的变电站必须 采取的措施 ····· 210
7.2.1 高层民用建筑的供电电源 ····· 182	8.2.5 无人值班变电站应具有 的基本条件 ····· 211
7.2.2 变压器的选择 ····· 183	8.2.6 无人值班变电站的 发展方向 ····· 213
7.2.3 高层民用建筑的配电系统 ····· 183	8.3 变电站无人值班管理 ····· 213
7.3 高层民用建筑的接地保护 ····· 184	8.3.1 变电站无人值班管理模式 ····· 214
7.3.1 接地的类型和作用 ····· 184	8.3.2 调度关系和职责划分 ····· 214
7.3.2 保护接地方式 ····· 185	8.3.3 集控中心运行管理 ····· 215
7.3.3 低压接地制式对接地安全 技术的基本要求 ····· 186	8.3.4 操作队运行管理 ····· 218
7.3.4 接地系统实例分析 ····· 187	技能训练 参观实习 ····· 221
7.4 建筑电气安全技术 ····· 188	参考文献 ····· 222
7.4.1 防雷保护技术 ····· 188	
7.4.2 电涌保护技术 ····· 190	
7.4.3 漏电保护技术 ····· 191	
7.5 火灾自动报警与消防联动 控制系统 ····· 193	

第 1 章

供配电技术基础知识

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，我国电网将构成以三峡为中心，连接华中、华东、川渝的大规模中部电网，并将初步形成以华北电网为中心，包括西北、东北、山东的大规模北部电网。南方电网也将随着龙滩、小湾水电站的建成及贵州煤电基地的开发，进一步加强我国南部电网，增加云南外送电力的能力，最终形成特大规模全国统一的电网。读者可通过对供配电系统基础知识的学习，应当了解国内外供配电技术的发展概况及电力系统的组成，熟悉电力系统相关的基本概念，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组成。

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电所和用户变电所，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，就是让读者了解电力的供应和分配问题，掌握工厂供配电的基本原理、实际应用及运行维护等方面的基础知识和基本技能。

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，供配电技术便朝着高电压、大容量、远距离、较高自动化的目标不断发展，20 世纪后半叶发展尤其迅速。20 世纪 70 年代，欧美各国对交流 1 000kV 级特高压输电技术进行了大量的研究开发，前苏联于 1985 年建成了世界第一条 1 150kV 的工业性输电线路，日本随后在 20 世纪 90 年代初也建成了 1 000kV 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，其输电线路的建设规模和增长速度在世界上也是少有的。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）网，网内 220kV 输电线路合计全长 120 000km，330kV 输电线路 7 500km，500kV 输电线路 20 000km。特别是华中与华东两大电网之间，葛洲坝至上海通过 500kV 直流线路实行互联。

我国大部分能源资源分布在西部地区，东部沿海地区则经济发达，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

斯、日本等较为发达国家，跃居世界第二位。

随着我国经济建设形式的迅猛发展，中国电力需求相应大幅增长。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 1 500 万千瓦以上，截至 2007 年底全国发电装机容量已经达到了 7.31 亿千瓦、220 千伏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，由一次性能源转换而来，电能的传输、转换和分配通过电力系统得以实现。因此，在学习供配电技术之前，首先要了解电力系统的相关知识。

电能的生产、输送、分配和消费在同一时间完成，但不能大量存储，因此各个环节必须连接成一个整体。由发电机、升压变电所、高压输电网、降压变电所、高压配电网和电能用户组成的发电、输电、变配电和用电的整体称为电力系统，如图 1.1 所示。

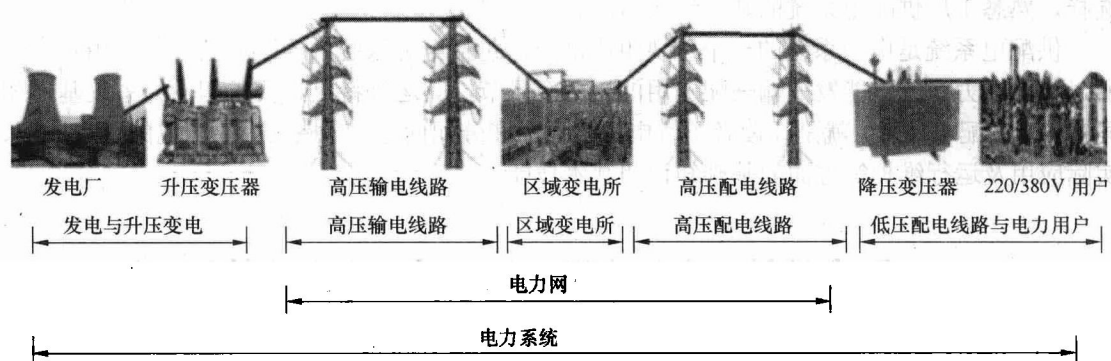


图 1.1 电力系统组成示意图

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，由一个发电厂的发电机及配电装置、变电所、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，由各类变电所和各种不同电压等级的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 110kV 以上，是输送电能的通道；配电网的电压等级一般在 110kV 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渐提高。

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

输电网 3 种类型。一般情况下,地方电力网电压不超过 35kV,区域电力网电压为 110kV~220kV,电压为 330kV 及以上的为超高压远距离输电网。

2. 电力系统的组成

电力系统通常由许多发电厂并列组成。

电力系统包括发电厂电气部分、电网及电能用户,是一个由输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。

3. 电力系统额定电压

第一类:100V 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 100V、小于 1 000V 的额定电压,用于一般工业和民用电气设备。

第三类:1 000V 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 500kV、220kV、110kV、63kV、35kV、10kV。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网额定电压高 5%,末端受电变电所端电压比电网额定电压低 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存储,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,扣除厂用电和电网损失之后,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 50Hz、装机容量在 3kMW 以上的电网,频率偏差不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。

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),消耗在“感性装置”中(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,无功过剩则电压升高,无功不足则电压降低。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,无功严重不足时还能造成“电压崩溃”使局部电网瓦解。

(3) 随机变化、实时调整。电力系统的运行状态是动态变化的,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构成的。在高峰(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的,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。

由于电力系统上述的随机性,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. 什么是动力系统？什么是电力系统？什么是电力网？
2. 某发电厂的发电机总发电量可高达 3kMW，所带负荷仅为 2.4kMW。问：余下的 0.6kMW 电能到哪儿去了？
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、变电所类型

1.2.1 发电厂类型

电能是二次能源，是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以及风的动能、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. 火力发电厂

火力发电厂（简称火电厂）是以煤、石油、天然气为燃料，将燃料燃烧时的化学能转换成热能，再借助汽轮机等热力机械将热能转换成机械能，再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。我国大多数凝汽式电厂一般建在各煤矿、煤炭基地及附近，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。热发电机组的发电出力与热力用户的用热有关，用热量多时热发电机组发出的电能相应增加，用热少时热发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. 水力发电厂

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站，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。水电厂的发电过程如下：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，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，除小部分用于发电厂使用，大部分经升压变压器升压后输送至用电负荷中心。

水力发电的发电过程要比火力发电过程简单。据统计，目前我国的水力资源开发量还不足 10%，在电力供应日趋紧张的今天，大力开发水力资源十分必要。

3. 核电站

核电站也称原子能电厂，其发电原理为：利用原子能反应堆代替火电厂的锅炉，原子能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。

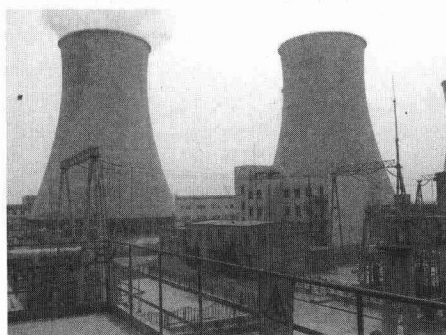
核电站用的一次能源主要是二氧化铀，其电能生产过程与火电厂相同，因此发电原理与火电厂基本相同，只是在结构上稍有差异。

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。

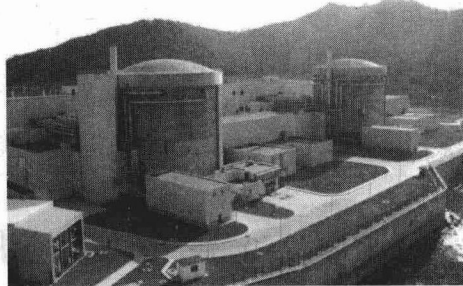
4. 其他发电厂

其他发电厂是指以地热、风力、潮汐等为一次能源的发电厂。这类发电厂容量较小，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部分。

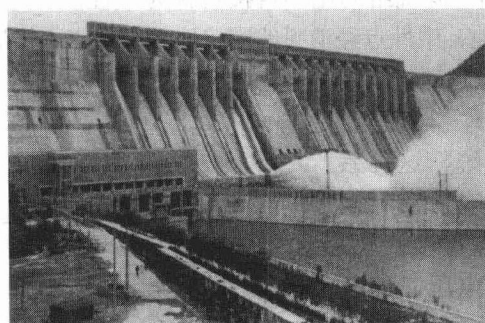
图 1.2 所示为典型发电厂站外貌。



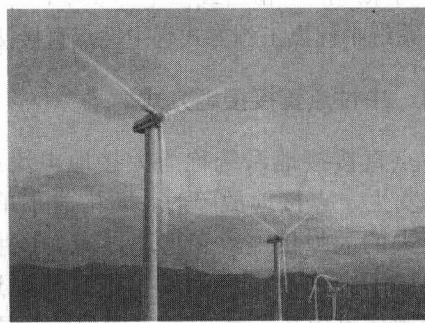
火力发电厂



核电站



水力发电厂



风力发电厂

图 1.2 典型发电厂、站外貌

1.2.2 变电所类型

发电厂通常建立在距离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，必须经过变电所升高电压，因此，升压

变电所一般安装在发电厂中，不另设变电所。由于高压危险，距离用户较近时还须把传送的高压降压，电网中的降压变电所的作用就是在传递电能的同时降低电压。所以，变电所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，变电所有枢纽变电所、地区重要变电所和一般变电所。

1. 枢纽变电所

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

2. 地区重要变电所

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

3. 一般变电所

一般变电所的一次电压大多是 110kV，二次电压为 10kV 或以下等级。

为了提高系统的供电质量，变电所一般应建在负荷中心，并尽可能靠近用电多的地方。如果变电所远离用户，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. 枢纽变电所和一般变电所有哪些区别？
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

在电力系统的三相四线供电体系中，三相电源绕组的尾端连接点称为中性点。

电力系统中性点工作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 3 种。

1.3.1 中性点直接接地方式

中性点直接接地系统称为大接地电流系统，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要低，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时，必须通过继电保护装置动作切除故障部分，再依靠重合闸恢复正常供电。我国 110kV 及以上电压等级的电力系统均属于大接地电流系统。

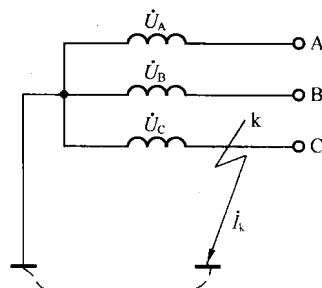


图 1.3 中性点直接接地系统单相接地

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 i_{AC} 、 i_{BC} 、 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。

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。

中性点不接地系统单相接地情况如图 1.5 所示。

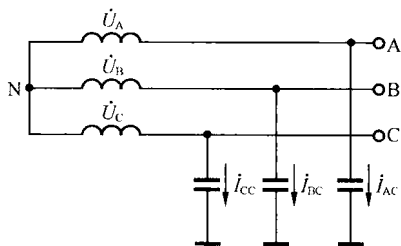


图 1.4 中性点不接地系统单相接地

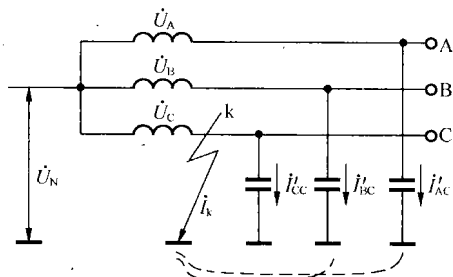


图 1.5 中性点不接地系统单相接地

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。中性点对地电压为：

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

B 相对地电压为：

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

A 相对地电压为：

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

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，即上升为线电压数值。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上升为 i'_{AC} 、 i'_{BC} 、 i'_{CC} ，C 相在 k 点的对地短路电流为 i_k ，而 $i'_{CC} = 0$ ，则

$$\dot{i}_k = -(\dot{i}'_{AC} + \dot{i}'_{BC})$$

$$\dot{i}'_{AC} = \frac{U'_A}{X_C} = \frac{\sqrt{3}U_A}{X_C} = \sqrt{3}\dot{i}_{AC}$$

$$\dot{i}_k = \sqrt{3}\dot{i}'_{AC} = 3\dot{i}_{AC}$$

以上分析表明，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 35kV、10kV 电网限制在 10A 以下时，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 2h，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，只要装绝缘监视装置，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考虑设计，而且应装交流绝缘监视装置。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如下。

(1) 电压等级在 500V 以下的三相三线制系统。

(2) 3kV~10kV 系统接地电流小于或等于 30A 时。

(3) 20kV~35kV 系统接地电流小于或等于 10A 时。

(4) 与发电机有直接电气联系的 3kV~20kV 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 5A 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工作方式。

1.3.3 中性点经消弧线圈接地方式

中性点经消弧线圈接地方式如图 1.6 所示。

当系统发生单相接地（设 C 相）短路故障时，C 相对短路电流为 \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。

中性点采用经消弧线圈接地方式，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少能自动灭弧。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险。

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

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

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方式有几种?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

供电质量是以频率、电压和波形来衡量的。供电质量直接影响工农业等各方面电能用户的工作质量,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电能用户的影响是很有必要的。

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等方面有着十分重要的意义。用户对供电质量的评估有以下几个方面。

1. 安全性指标

安全性指标是指电能供应、分配和使用过程中,不能发生人身事故和设备事故。

供配电的安全是对系统的最基本要求。供配电系统如果发生故障或遇到异常情况,将影响整个电力系统的正常运行,造成对用户供电的中断,甚至造成重大或无法挽回的损失。

2. 可靠性指标

可靠性指标一般以全部平均供电时间占全年时间的百分比来表示。例如全年时间为 8 760h,用户平均停电时间为 8.76h,则停电时间占全年时间的 0.1%,供电可靠性为 99.9%。

从某种意义上讲,绝对可靠的电力供配电系统是不存在的。但应能借助保护装置把故障隔离,将事故停止扩大,尽快恢复供配电,维持较高的供电可靠性指标。

3. 优质性指标

电压和频率是衡量供电质量的重要指标,电压和频率的过高或过低都会影响电力系统的

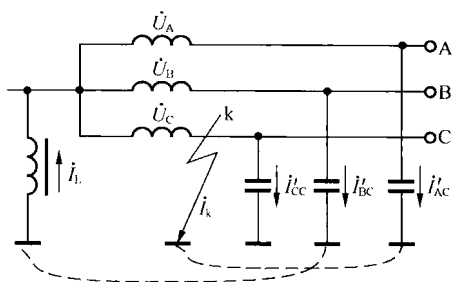


图 1.6 中性点经消弧线圈接地系统单相接地

稳定性,对用电设备造成危害。因此,我国规定电力系统中用户电压的变动范围为:35kV以上供电及对电压质量有特殊要求的用户为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$;10kV以下高压供电和低压电力用户为 $\pm 7\%$;低压照明用户为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。

4. 经济性指标

供电的经济性指标主要体现在发电成本和网络的电能损耗上。为了保证电能的经济合理性,供配电系统要做到技术合理、投资少、运行费用低,尽可能的节约电能和有色金属消耗量。另外还要处理好局部和全局、当前和长远的关系,既要照顾到局部和当前利益,又要有全局观点,按照统筹兼顾、保证重点、择优供应分配的原则,做好企业供配电工作。

综上所述,保证对用户不间断地供给充足、优质而又经济的电能,是现代工矿企业对供配电系统的基本要求。这些基本要求相互联系、相互制约,在考虑满足任何一项要求时,必须兼顾其他方面的要求。

1.4.2 供配电的电能质量

电能质量是指供配电装置正常情况下不中断和不干扰用户使用电能的指标,电能质量表征了供配电系统工作的优劣。电能质量包含一个比较大的方面:频率、电压偏差、电压波动、高次谐波和三相不平衡,除此之外,供配电可靠性、操作性、维护性能等,都是影响电能质量的因素。

1. 频率的允许偏差

根据 GB/T 15945-95 规定,在电力系统正常工作情况下,电能频率的允许偏差为:

电网装机容量为 300 万千瓦以上时,为 $\pm 0.2\text{Hz}$;电网装机容量为 300 万千瓦以下时,为 $\pm 0.5\text{Hz}$;在电力系统非正常情况下,供电频率允许偏差不应超过 $\pm 1.0\text{Hz}$ 。

频率的调整主要依靠发电厂调节发电机的转速来实现,在实际供配电系统中频率是不可调的,只能通过提高电压的质量来提高供配电系统的电能质量。

2. 电压质量

供配电系统提高电能质量就是提高供电电压的质量。电压质量可分为幅值与波形两个方面。通常以电压偏差、电压波动与闪变、电压正弦波畸变率、负序电压系数来衡量。

(1) 电压偏差:以电压实际值与额定值之差 ΔU 对额定电压的百分值 $\Delta U\%$ 来表示,即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$$

式中, U 是检测点的电压实际值; U_N 是检测点电网电压的额定值。

根据 GB12325-90《电能质量供电电压允许偏差》规定:在电力系统正常情况下,供电企业供到用户受电端的供电电压允许偏差如下:35kV及35kV以上电压供配电,电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定值的10%;10kV及10kV以下三相供配电,为额定值的 $\pm 7\%$;220V单相供配电为额定值的+7%、-10%。在供配电系统非正常情况下,用户受电端的电压最大允许偏差不应超过额定值的 $\pm 10\%$ 。

(2) 电压波动与闪变:电压在某一段时间内急剧变化而偏离额定值的现象,称为电压波