



工厂供配电技术 及技能训练

田淑珍 主编



免费提供电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专规划教材系列

工厂供配电技术 及技能训练

主编 田淑珍

参编 戴春芳 张洪星 王延忠

主审 李 丽



机械工业出版社

本书是一本“工、学”结合的教材,其特点是将工厂供配电技术与实用的技能训练相结合;理论教学与工程实践相结合;传统的供配电技术与变电所综合自动化技术相结合;普遍使用的设备和正在逐步推广的先进设备相结合。

本书基本包含了工厂供配电的主要技术,内容包括电力系统及变电所简介,电力负荷及短路电流的计算,电力线路及运行维护,变电所电气设备及运行维护,电力变压器,电气主接线与倒闸操作,变电所的防雷保护、接地及继电保护,变电所二次回路和自动装置,变电所综合自动化系统。

本书可以作为高等职业教育工厂自动化专业,电气自动化专业和机电一体化专业的理论教学和实训教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

工厂供配电技术及技能训练/田淑珍主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 6

(21 世纪高职高专规划教材系列)

ISBN 978-7-111-26543-6

I. 工… II. 田… III. ①工厂—供电—高等学校: 技术学校—教材②工厂—配电系统—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM727. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 037050 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:董欣 蔡家伦 版式设计:霍永明

责任校对:姜婷 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.25 印张·523 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26543-6

定价:34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

前 言

高职教育要以就业为导向，因此在教学中应根据专业要求将理论与实践、知识与能力有机地结合起来。专业教学必须结合生产实际，学生的技术训练必须结合工业现场的实际。本书正是一本“工、学”结合的教材。在内容上，将工厂供配电技术与实用的技能训练相结合；理论教学与工程实践相结合；传统的供配电技术与变电所综合自动化技术相结合。本书在各个知识点上有机地融入了行业运行和管理的规则、规范，优化、精简了理论教学内容，对复杂的计算推导进行了简化，在传统供配电技术的基础上，加入了新设备、新技术及其使用方法。

本书共 10 章，内容包括电力系统及变电所简介，电力负荷及短路电流的计算，电力线路及运行维护，变电所电气设备及运行维护，电力变压器，电气主接线与倒闸操作，变电所的防雷保护与接地，继电保护，变电所二次回路和自动装置，变电所综合自动化系统。

本书由主编田淑珍编写第 5、7、9 章，张洪星编写第 6、10 章，戴春芳编写第 2、8 章，王延忠编写第 1、3、4 章，附录由编者共同编写。全书由田淑珍整理定稿。本书配套教学课件中的实物照片由从事多年现场工作并拥有多年培训经验的工程师张洪星提供，教学课件由王延忠制作。另外，在编写书稿的过程中得到刘淑芬老师的大力支持。全书由李丽主审，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在一些错误、疏漏及不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 电力系统简介	1
1.1 电力系统的基本知识	1
1.1.1 电力系统的基本概念	1
1.1.2 电力系统的负荷及负荷曲线	2
1.1.3 电力系统的电压等级	4
1.1.4 电力系统中性点的运行方式	6
1.1.5 变电所电气设备简介	10
1.2 技能训练：变电所识图	15
1.3 习题	18
第2章 电力负荷和短路电流的计算	20
2.1 工厂的电力负荷	20
2.2 三相用电设备组计算负荷的确定	20
2.2.1 用电设备容量的计算	20
2.2.2 需要系数法确定计算负荷	21
2.2.3 二项式法确定计算负荷	24
2.3 单相用电设备容量的确定	27
2.3.1 单相负荷的计算原则	27
2.3.2 单相设备组等效三相负荷的计算	27
2.4 短路的基本形式及原因	29
2.4.1 短路的基本形式	29
2.4.2 短路的原因	30
2.4.3 短路的危害	30
2.5 三相短路电流的计算	31
2.5.1 欧姆法计算三相短路电流	31
2.5.2 标幺制法计算三相短路电流	34
2.6 两相和单相短路电流的计算	37
2.6.1 两相短路电流的计算	37
2.6.2 单相短路电流的计算	38
2.6.3 大容量电动机的短路电流计算	40
2.7 习题	40
第3章 电力线路及其运行维护	42
3.1 电力线路的结构	42

3.1.1 架空线路的结构	42
3.1.2 电缆线路的结构	46
3.2 电力线路的损耗计算	48
3.3 电力线路导线截面面积的选择	50
3.4 架空线路的运行和维护	52
3.4.1 设备标志	52
3.4.2 线路的巡视	53
3.4.3 线路的维护	54
3.5 线路的检修	55
3.5.1 检修工作的组织措施	56
3.5.2 检修工作的安全措施	57
3.5.3 线路检修的工作内容	58
3.6 电缆线路的运行和维护	59
3.6.1 电缆线路的巡视和检查	59
3.6.2 电缆线路的故障探测	60
3.7 技能训练	62
3.7.1 三相电路的定相	62
3.7.2 10kV 架空线路转角杆和终端杆的调换	63
3.7.3 用绝缘电阻表测量 10kV 电缆线路的绝缘电阻	64
3.7.4 测量电力电缆绝缘电阻和吸收比	65
3.8 习题	67
第4章 变电所电气设备运行维护	69
4.1 高压开关	69
4.1.1 电弧的形成和熄灭	69
4.1.2 高压断路器	71
4.1.3 高压隔离开关	80
4.1.4 高压负荷开关	81
4.2 高压熔断器	82
4.2.1 熔断器的用途和原理	82
4.2.2 熔断器的主要类型和结构	83
4.3 母线	85
4.3.1 母线概述	85
4.3.2 硬母线的安装	88
4.3.3 常见的母线故障原因及处理	89
4.4 互感器	90
4.4.1 电压互感器	90
4.4.2 油浸式电压互感器的运行检查、操作及常见故障处理	95
4.4.3 电流互感器	98

4.4.4	电流互感器的运行维护及事故处理	102
4.5	电力电容器	104
4.5.1	电力电容器的结构原理	104
4.5.2	电力电容器的安全运行及维护	107
4.5.3	无功功率的补偿	111
4.6	成套配电装置	116
4.6.1	高压开关柜	116
4.6.2	低压成套配电装置	120
4.6.3	全封闭组合电器	121
4.7	电气设备的运行、维护及事故处理	122
4.7.1	断路器的运行、维护及事故处理	122
4.7.2	高压隔离开关的运行与检修	126
4.7.3	高压负荷开关的运行与检修	128
4.8	技能训练	129
4.8.1	SN10-12 型少油断路器的检修	129
4.8.2	真空断路器的检修与调整	133
4.8.3	跌落式熔断器的操作	136
4.8.4	电容器实训	136
4.9	习题	137
第5章	电力变压器	139
5.1	电力变压器的工作原理、结构和联结组别	139
5.1.1	概述	139
5.1.2	电力变压器的工作原理和结构	140
5.1.3	电力变压器的联结组别	149
5.2	变压器的运行及维护	151
5.2.1	变压器的允许运行方式	151
5.2.2	变压器运行中的检查和维护	155
5.3	变压器常见故障及处理	158
5.4	变压器的经济运行	160
5.4.1	电力变压器并列运行的条件	160
5.4.2	变压器的损耗和经济运行	161
5.5	技能训练	163
5.5.1	变压器的一般检修	163
5.5.2	用钳型电流表测量配电变压器负荷电流	164
5.5.3	测量配电变压器的绝缘电阻	165
5.5.4	油浸式配电变压器倒分接开关的操作	166
5.6	习题	168
第6章	电气主接线与倒闸操作	169

6.1 主接线的基本形式	169
6.1.1 对电气主接线的基本要求	169
6.1.2 变配电所电气主接线	169
6.2 倒闸操作	174
6.2.1 电工安全用具及使用	174
6.2.2 倒闸操作的基本原则	179
6.2.3 电气作业的安全技术措施	187
6.2.4 电气防误操作闭锁装置	190
6.3 技能训练	196
6.3.1 验电、挂接地线	196
6.3.2 倒母线倒闸操作	197
6.4 习题	199
第7章 变电所的防雷保护与接地	200
7.1 大气过电压的基本形式	200
7.2 避雷针、避雷线和避雷器	201
7.2.1 避雷针和避雷线的结构和保护范围	201
7.2.2 避雷器的结构原理	203
7.3 变配电所的防雷保护	205
7.3.1 变配电所的直击雷保护	205
7.3.2 变配电所配电装置的过电压保护	206
7.3.3 变配电所的进线保护	207
7.4 接地装置	209
7.4.1 电气装置接地的要求和范围	209
7.4.2 接地电阻的要求	210
7.4.3 接地装置的铺设	211
7.5 技能训练	212
7.5.1 测量接地电阻	212
7.5.2 测量土壤的电阻率	217
7.6 习题	217
第8章 继电保护	219
8.1 继电保护的基本知识	219
8.1.1 继电保护装置的任务	219
8.1.2 对继电保护装置的基本要求	219
8.1.3 常用的保护继电器	220
8.2 高压线路的继电保护	223
8.2.1 继电保护的接线方式	223
8.2.2 带时限的过电流保护	224
8.2.3 电流速断保护	228

8.3 变压器的保护	231
8.3.1 变压器的瓦斯保护	232
8.3.2 变压器的过电流保护	233
8.3.3 变压器的电流速断保护	234
8.3.4 变压器的过负荷保护	235
8.3.5 变压器低压侧的单相短路保护	235
8.3.6 变压器的差动保护	236
8.4 技能训练	238
8.4.1 电磁型电流继电器动作值及返回系数的调整	238
8.4.2 电磁型时间继电器实训	241
8.4.3 组合型信号继电器实训	245
8.4.4 线路过电流保护实训	247
8.5 习题	251
第9章 变电所二次回路和自动装置	252
9.1 变电所的二次回路	252
9.1.1 二次回路编号	252
9.1.2 断路器及隔离开关控制回路	255
9.2 中央信号装置	267
9.2.1 中央事故信号回路	267
9.2.2 中央预告信号回路	269
9.3 备用电源自动投入装置	271
9.3.1 备用电源自动投入装置的作用及基本要求	271
9.3.2 备用电源自动投入装置的接线及原理	272
9.4 输电线路自动重合闸装置	273
9.4.1 输电线路自动重合闸的作用和分类	273
9.4.2 单侧电源线路的三相一次自动重合闸装置的原理及接线	275
9.5 技能训练	279
9.5.1 具有灯光监视的断路器控制回路实训	279
9.5.2 闪光继电器构成的闪光装置实训	281
9.5.3 ZC-23 型冲击继电器实训	282
9.5.4 重复动作手动复归中央信号装置实训	286
9.5.5 重复动作自动复归中央信号装置实训	288
9.5.6 装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路实训	290
9.5.7 DH-3 型三相一次自动重合闸装置实训	294
9.6 习题	297
第10章 变电所综合自动化系统	299
10.1 变电所综合自动化系统的基础知识	299
10.2 RCS-9600 变电所综合自动化系统简介	301

10.2.1	RCS-9600 系统的构成	302
10.2.2	RCS-9600 后台监控系统及监控软件	302
10.2.3	RCS-9600 系列保护测控单元	306
10.2.4	技能训练: RCS-9600 系列保护测控装置的使用	311
10.3	习题	319
附录		320
附录 A	参数表	320
附录 B	符号表	326
参考文献		328

第 1 章 电力系统简介

1.1 电力系统的基本知识

1.1.1 电力系统的基本概念

1. 电力系统的组成

电力的特点：电能是发电厂的产品，和其他产品不同的是它不能储存，电能的产生(电厂)和消耗(用户)是随时平衡的，也就是电力生产、输送、分配和使用的全过程，是由发电厂、变配电所、送电线路和用户紧密联系起来的一个整体，在同一瞬间实现的。

电力系统是通过各级电压的电力线路，将发电厂、变配电所和电力用户连接起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体。发电厂与电力用户之间的输电、变电和配电的整体，包括所有变配电所和各级电压的线路，称为电力网，如图 1-1 所示。

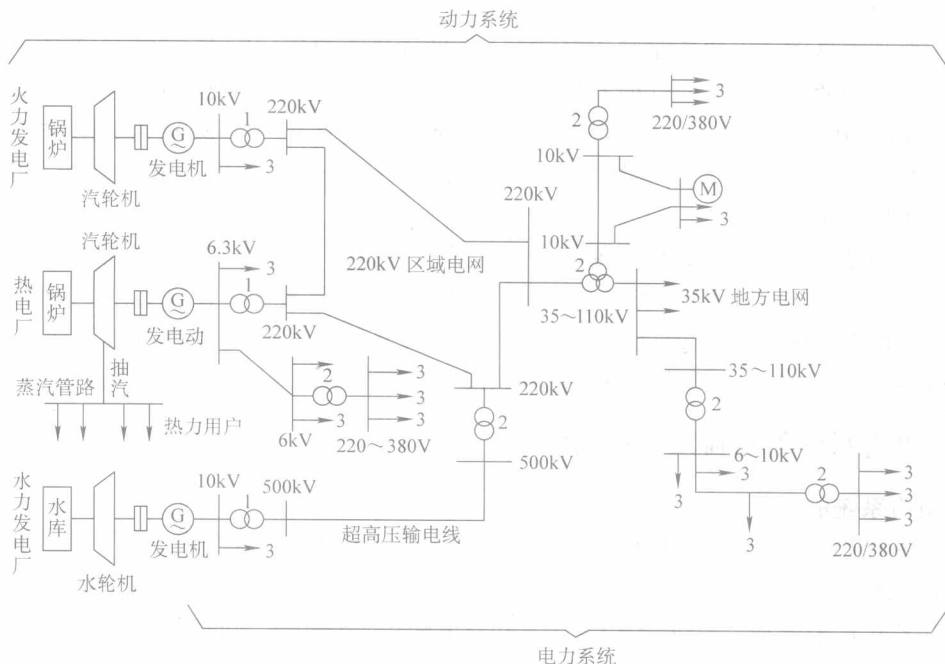


图 1-1 电力系统示意图

1—升压变压器 2—降压变压器 3—电力负荷

电力系统加上热能、水能及其他能源动力装置，称为动力系统。

电力网包括输电网和配电网。输电网是由 35kV 及以上的输电线路和变配电所组成的，是电力系统的主要网络，也是电力系统中电压最高的网络，它的作用是将电能输送到各个地

区的配电网或直接送给大型工业企业用户。配电网是由 10kV 及以下的配电线路和变配电所组成的。它的作用是将电力分配到各类用户。

2. 对电力系统的基本要求

(1) 保证供电的可靠性

衡量供电可靠性的指标,一般以全部用户平均供电时间占全年时间(8760h)的百分数表示。电力系统的供电可靠性与发、供电设备和线路的可靠性、电力系统的结构和接线(包括发电厂和变配电所的电气主接线)形式、备用容量、运行方式以及防止事故连锁发展的能力有关。为此,欲提高供电的可靠性,应采取以下措施:①采用高度可靠的发供电设备,做好这些设备的维护保养工作,并防止各种可能的误操作;②提高送电线路的可靠性,系统中重要线路采用双回路,或采用双电源(两个不同的系统电源)供电;③选择合理的电力系统结构和接线,电力系统的结构和接线以及发电厂和变电所的主接线对供电可靠性影响很大,在设计阶段就应保证有高度的可靠性,对重要的用户应采用双电源供电;④保证适当的备用容量,为使电力系统在发电设备定期检修及机组发生事故时均不对用户停电满足国民经济发展的需要,应使电力系统的装机容量比最高负荷大 15%~20%;⑤制定合理的运行方式,电力系统的运行方式必须满足系统稳定性和可靠性的要求;⑥采用自动装置,对高压输电线路采用自动重合闸装置,变配电所装设按频率自动减负荷装置等;⑦采用快速继电保护装置;⑧采用以计算机为中心的自动安全监视和控制系统。

(2) 保证良好的电能质量

电压和频率是衡量电能质量的主要指标。《供电营业规则》规定:在电力系统正常状况下,用户受电端的供电电压允许偏差为 35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10%;10kV 及以下三相供电电压允许偏差为 $\pm 7\%$;220V 单相供电电压允许偏差为 $+7\%$ 、 -10% 。在电力系统非正常状况下,用户受电端的电压最大允许偏差不应超过额定电压的 $\pm 10\%$ 。

频率的调整,主要依靠发电厂来调节发电机的转速。一般交流电力设备的额定频率为 50Hz(工频)。按电力工业部 1996 年发布的《供电营业规则》规定:在电力系统正常情况下,工频的频率偏差一般不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。如果电力系统容量达到 3000MW 或以上时,频率偏差则不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。在电力系统非正常状况下,频率偏差不得超过 $\pm 1\text{Hz}$ 。

1.1.2 电力系统的负荷及负荷曲线

1. 电力系统的负荷

连接在电力系统上的一切用电设备所消耗的电能,称为电力系统的负荷。其中由电能转换成其他形式的能量,是用电设备中真实消耗的功率,称为有功负荷,如机械能、光能、热能等。用字母 P 来表示,单位是瓦(W)。电力电路中,在电磁场间交换的那部分能量,即在能量转换中(如建立磁场)消耗掉的一部分,没有做功,称为无功负荷,用字母 Q 来表示,单位是乏(Var)。发电机既产生有功功率,又产生无功功率,发电机的额定电压 U_N 和额定电流 I_N 的乘积,定义为视在功率 S_N ,单位是 $\text{V} \cdot \text{A}$,对于三相交流发电机的视在功率是

$$S_N = \sqrt{3} U_N I_N \quad (1-1)$$

按供电可靠性要求将负荷分为三级,每级负荷对供电电源的要求也不同。

第一级负荷是指对它中断供电将造成人身事故、设备损坏,除会产生废品外,还将使生

产秩序长期不能恢复，人民生活发生混乱等。由于一级负荷属重要负荷，中断供电所造成的后果十分严重，因此要求由两路独立的电源供电，当其中一路电源发生故障时，另一路电源应不致同时受到损坏。一级负荷中特别重要的负荷，除采用两路电源供电外，还必须增设应急电源。为保证对特别重要负荷的供电，严禁将其他负荷接入应急供电系统。常用的应急电源包括：①独立于正常电源的发电机组。②供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路。③蓄电池。④干电池。

第二级负荷是指对它中断供电将造成大量减产，将使人民生活受到影响等。二级负荷也属于重要负荷，要求由两回路供电，供电变压器也应有两台（这两台变压器不一定在同一变配电所）。在其中一回路或一台变压器发生常见故障时，二级负荷应不致中断供电，或中断后能迅速恢复供电。只有当负荷较小或者当地供电条件困难时，二级负荷可由一回路 6kV 及以上的专用架空线路供电。这是考虑架空线路发生故障较电缆线路发生故障易于发现且易于检查和修复。当采用电缆线路时，必须采用两根电缆并列供电，每根电缆应能承受全部二级负荷。

第三级负荷是指所有不属于第一级、第二级负荷之外的负荷，如工厂的附属车间、城镇和农村等。三级负荷为不重要的一般负荷，因此它对供电电源无特殊要求。

2. 负荷曲线及其用途

负荷曲线是指某一时间段内负荷随时间而变化的规律。按负荷种类，负荷曲线可分为有功负荷曲线和无功负荷曲线；按时间段长短，可分为日负荷曲线、周负荷曲线、月负荷曲线、季负荷曲线、年负荷曲线；因负荷变化的随机性，很难确切预计负荷变化的情况，一般是通过以往仪表的测量记录，来研究负荷变化的规律性，并用曲线来描述它。

(1) 日负荷曲线的意义及用途

日负荷曲线表示负荷在 0 ~ 24h 内的变化情况，其表示方法如图 1-2 所示。在日负荷曲线上，平均负荷 P_{av} 以上部分称为尖峰负荷，最大的负荷叫日最大负荷 P_{max} ，又叫尖荷、峰值等，最小的负荷叫日最小负荷 P_{min} ，又叫谷荷，由于它们代表了一日之内负荷变化的两个极限，对电力系统的运行有很大的影响。最小负荷 P_{min} 以下的部分称为基荷，平均负荷与最小负荷之间的部分称为中间负荷或腰荷。电力系统每日最大负荷与每日最小负荷之差，称为日负荷峰谷差。积累电力系统峰谷差的资料主要用来研究调峰措施、调整负荷及规划电源。影响峰谷差的主要因素是负荷组成、季节变化和节假日等。表示日负荷曲线的特性指标有电力系统日负荷率，常以 γ 表示；以及日最小负荷率，常以 β 表示。 γ 是电力系统一昼夜内平均负荷与最大负荷的比值，其平均负荷由日电量除以 24h 后得出。日负荷率越高，说明负荷在一天内的变化越小。较高的负荷率有利于电力系统的经济运行。所以，各国都很注重提高日负荷率的工作。 β 是日最小负荷与同日最大负荷的比值，表示一天内负荷变化的幅度。 β 的大小与用电结构关系密切。连续性生产的工业用电比重越大， β 值也越高。若将电力系统负荷进行削峰填谷，则 β 值也较高。若系统中市政生活、商业及照明用电比重很大，则 β 值较低。

日负荷曲线的横坐标一般按半小时分格，以便确定“半小时最大负荷”。利用日负荷曲线可以估算用户一天消耗的电能。

(2) 年最大负荷曲线及用途

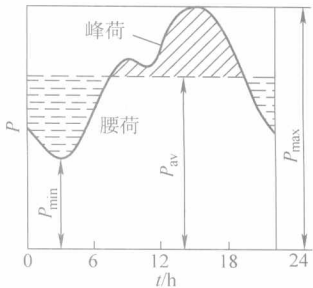


图 1-2 日负荷曲线

年最大负荷曲线表示一年内各月最大负荷的变化状况，是以每月(30天)中的日负荷最大值逐月作全年的最大负荷曲线，如图1-3所示。利用年最大负荷曲线可以安排整个系统的机组检修计划、决定整个系统的装机容量而有计划的兴建机组。

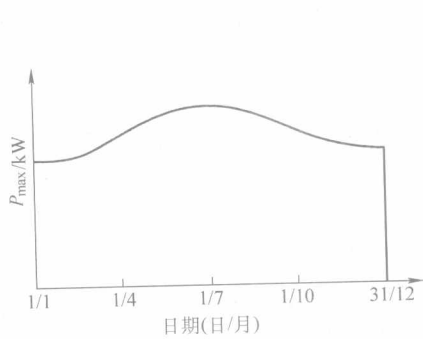


图 1-3 年最大负荷曲线

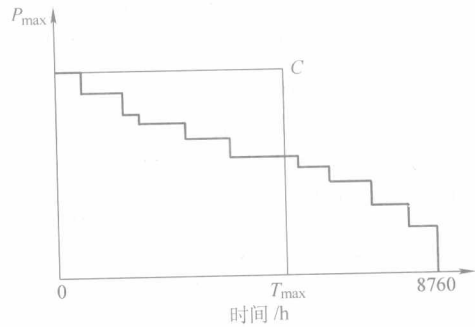


图 1-4 年持续负荷曲线

(3) 年持续负荷曲线

把全年的负荷值由大到小排队，并统计出各个负荷值累计持续运行的小时数，这样绘制的曲线为年持续负荷曲线，如图1-4所示。年持续负荷曲线可以用来估算全年消耗的电能。年持续负荷曲线下面以0~8760h所包围的面积就等于该工厂在一年时间内消耗的有功电能，如果将此面积用与其相等的矩形($P_{\max}$ - C - $T_{\max}$ -0)的面积来表示，则矩形的高代表最大负荷，矩形的底代表年最大负荷利用小时数 $T_{\max}$ 。年最大负荷利用小时数 $T_{\max}$ 是一个假想的时间，他的意义是如果电力负荷按年最大负荷 $P_{\max}$ 持续运行 $T_{\max}$ 小时所消耗的电能，恰好等于该电力负荷全年实际消耗的电能。

1.1.3 电力系统的电压等级

按GB 156—2003《标准电压》规定，我国三相交流电网和发电机的额定电压如表1-1所示。表1-1中变压器一、二次绕组的额定电压是依据我国电力变压器标准产品规格确定的。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

电网和用电设备额定电压 /kV	发电机额定电压 /kV	电力变压器额定电压/kV	
		一 次 绕 组	二 次 绕 组
0.38	0.40	0.38	0.4
0.66	0.69	0.66	0.69
3	3.15	3, 3.15 ^①	3.15, 3.3 ^②
6	6.3	6, 6.3 ^①	6.3, 6.6 ^②
10	10.5	10, 10.5 ^①	10.5, 11 ^②
	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	
35		35	38.5
66		66	72.5

(续)

电网和用电设备额定电压 /kV	发电机额定电压 /kV	电力变压器额定电压/kV	
		一次绕组	二次绕组
110		110	121
220		220	242
330		330	363
750		750	825

- ① 变压器一次绕组档内 3.15、6.3、10.5kV 的电压适合于和发电机端直接连接的变压器。
② 变压器的二次绕组档内 3.3、6.6、11kV 电压适用于阻抗值在 7.5% 及以上的降压变压器。

1. 电网(线路)的额定电压

电网的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要和电力工业的水平,经全面的技术经济分析后确定的。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

2. 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。通常用线路首端与末端的算术平均值作为用电设备的额定电压,这个电压也是电网的额定电压。由于线路运行时(有电流通过时)要产生电压降,所以线路上各点的电压都略有不同,如图 1-5 所示。所以用电设备的额定电压只能取首端与末端的平均电压。

3. 发电机的额定电压

由于电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$,即整个线路允许有 10% 的电压损耗。为了维持线路的平均电压为额定值,线路首端(电源端)的电压应较线路额定电压高 5%,而线路末端则可较线路额定电压低 5%,如图 1-5 所示。所以发电机额定电压规定应高于同级电网(线路)额定电压的 5%。

4. 电力变压器的额定电压

电力变压器一次绕组是接受电能的,相当于用电设备;其二次绕组是送出电能的,相当于发电机。因此对其额定电压的规定有所不同。

(1) 电力变压器一次绕组的额定电压分两种情况:①当变压器直接与发电机相联时,如图 1-6 中的变压器 T1,其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同,即高于同级电网额定电压的 5%。②当变压器不与发电机相联而是连接在线路上时,如图 1-6 中的变压器 T2,则可看作是线路的用电设备,因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压亦分两种情况:①如图 1-6 中的变压器 T1,变压器二次侧供电线路较长,其二次绕组额定电压应比相联电网额定电压高 10%,其中有 5% 是用于补偿变压器满负荷运行时绕组内部的约 5% 的电压降,另外变压器满负荷时输出的二次电压相当于发电机,还要高于电网额定电压 5%,以补偿线路上的电压损耗。

②变压器二次侧供电线路不长,如为低压(1000V 以下)电网或直接供电给高低

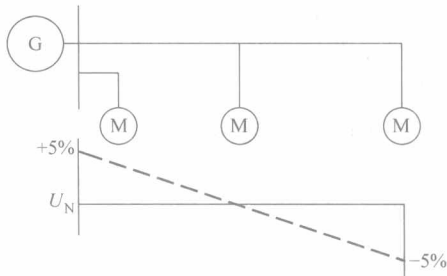


图 1-5 用电设备额定电压的规定

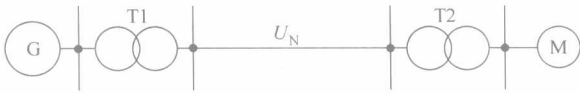


图 1-6 电力变压器的额定电压的规定

压用电设备时,如图 1-6 中的变压器 T2,其二次绕组额定电压只需高于所联电网额定电压 5%,仅考虑补偿变压器满负荷运行时绕组内部 5% 的电压降。

1.1.4 电力系统中性点的运行方式

电力系统中性点即是发电机和变压器的中性点。电力系统中性点运行方式分为两大类:一类称为大接地电流系统,另一类称为小接地电流系统。中性点直接接地或经过低阻抗接地的系统称为大接地电流系统;中性点绝缘或经过消弧线圈以及其他高阻抗接地的系统称为小接地电流系统。从运行的可靠性、安全运行和人身安全考虑,目前采用最广泛的有中性点直接接地,中性点经消弧线圈接地和中性点不接地三种运行方式。中性点直接接地运行方式的主要缺点是供电可靠性低。当系统中发生一相接地故障时,通过故障点和变压器的中性点与大地形成短路回路,出现很大的短路电流,引起线路跳闸。为了减少供电线路事故停电次数,采用中性点不接地的运行方式是有利的。中性点不直接接地系统,当一相故障时,不构成短路回路,故障线路可以继续带故障点运行两小时,这时其他两个非故障相对地电压变为线电压。因此,中性点不接地系统的电气设备对地绝缘应按线电压考虑。对于电压等级较高的系统,电气设备的绝缘投资对总投资影响较大,降低绝缘水平的要求会带来显著的经济效益。在我国,110kV 及以上的系统,一般都采用中性点直接接地的大电流接地方式。对于电压为 6~10kV 的系统,单相接地电流 $I_0 \leq 30\text{A}$,20kV 及以上系统, $I_0 \leq 10\text{A}$ 时,才采用中性点不接地方式。35~60kV 的高压电网多采用中性点经消弧线圈接地方式。对于低压用电系统,为了获得 380/220V 两种供电电压,习惯上采用中性点直接接地,构成三相四线制供电方式。

1. 中性点不接地系统

电力系统的三相导线之间和各相导线对地之间,沿导线全长都有电容分布,这些电容引起了附加电流。为了讨论方便,认为三相系统是对称的,则各相均匀分布的电容由一个集中电容来表示,如图 1-7 所示。线间电容电流数值较小,故可不考虑。

(1) 正常运行

中性点不接地系统正常运行时,各相对地电压 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 是对称的,三相对地电容也是对称的,三个相的对地电容电流 $\dot{I}_{C0}$ 也是平衡的,如图 1-7 所示。因此三个相的电容电流的相量和为零,地中没有电流流过。各相的对地电压,就是各相的相电压。

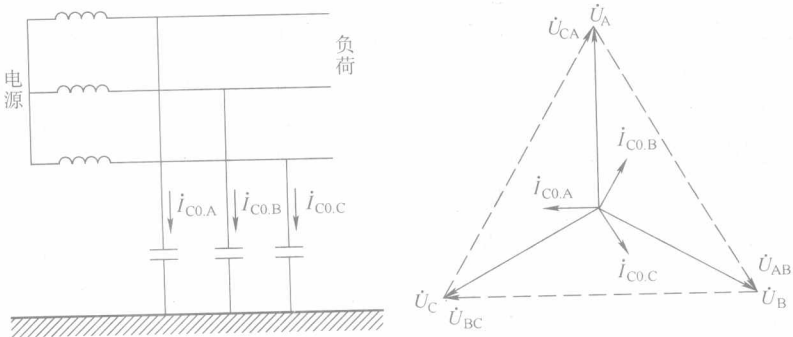


图 1-7 中性点不接地系统正常运行时

(2) 系统发生单相接地故障

假设是 C 相接地, 如图 1-8 所示。这时 C 相对地电压为零, 中性点对地的电压 $\dot{U}_0$ 的大小等于 $\dot{U}_C$, 方向与 C 相正常时的相电压相反, 即 $\dot{U}_0 = -\dot{U}_C$ 。而 A 相对地电压和 B 相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍变为线电压。当 C 相接地时, 系统的接地电流(电容电流) $\dot{I}_C$ 应为 A, B 两相对地电容电流之和, 即 $\dot{I}_C = -(\dot{I}_{C.A} + \dot{I}_{C.B})$, 由图 1-8 的相量图可知, $\dot{I}_C$ 在相位上超前 $\dot{U}_C$ 90° , 而在量值上, 由于 $I_C = \sqrt{3}I_{C.A}$, 而 $I_{C.A} = U'_A/X_C = \sqrt{3}U_A/X_C = \sqrt{3}I_{C0}$, 因此 $I_C = 3I_{C0}$, 即单相接地电容电流为正常运行时一相对地电容电流的 3 倍。中性点不接地系统中的单相接地电流通常采用下面的经验公式计算:

$$I_C = \frac{U_N(l_{oh} + 35l_{cab})}{350} \quad (1-2)$$

式(1-2)中, I_C 为系统的单相接地电容电流(单位为 A); U_N 为系统额定电压(kV); l_{oh} 为同一电压 U_N 的具有电联系的架空线路总长度(km); l_{cab} 为同一电压 U_N 的具有电联系的电缆线路总长度(km)。

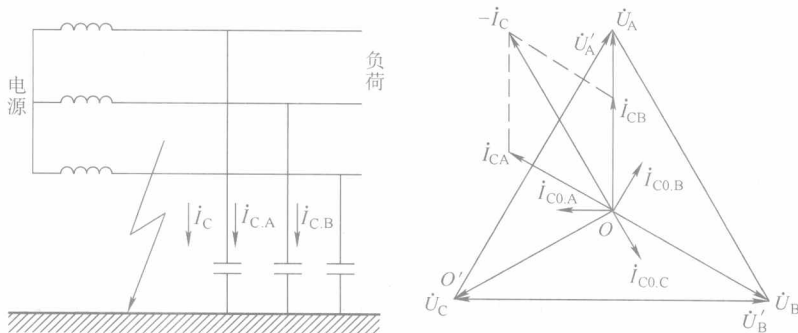


图 1-8 中性点不接地系统发生单相接地短路

若中性点不完全接地(经一定电阻接地), “接地相”对地电压大于零小于相电压, 而“非故障相”对地电压大于相电压小于线电压, 则接地电流也比完全接地时小些。

对于中性点不接地系统的单相接地故障, 一般继电保护不会起作用。如果接地故障不是瞬间发生后立即消失, 则在故障点处会产生电弧。有稳定的电弧是比较危险的, 电弧可能烧坏设备, 或者从单相接地电弧扩大为两相或三相弧光短路。

单相接地可能形成周期性熄灭和重燃的间歇性电弧。间歇性电弧可能引起相对地谐振过压, 其值可达到 2.5 ~ 3 倍以上相电压。这种过电压会危及到与接地点有直接电气连接的整个电网上, 可能在某一绝缘较为薄弱的部位引起另一相对地击穿, 造成两相短路。

综上所述, 中性点不接地系统发生单相接地时, 三相线电压的数值和相位关系并未改变, 除了发电机和高压电动机等特殊设备外, 一般可以继续带故障运行。为了防止单相接地扩大为两相或三相弧光短路, 规定单相接地后带故障运行时间最多不超过 2h, 这就要求在发生单相接地后, 必须尽快查清故障部位, 迅速将故障消除。为此, 在中性点不接地电网中, 应装设监视单相接地的绝缘监察装置。

2. 中性点经消弧线圈接地

在中性点不接地系统中, 当单相接地电流超过规定的数值, 电弧将不能自行熄灭, 为了