

配 电 设 备

牡丹江电力技术学校 马定林 主编

水利电力出版社

(京)新登字115 号

内 容 提 要

本书主要讲述10kV及以下的常用配电设备的结构、工作原理、设备选择、运行维护及故障的判断和预防性措施,并简述有关35kV配电设备的结构、工作原理和运行维护知识。全书共分10章,包括配电网络接线、配电变压器、旋转电机、开关设备、电力电缆、避雷器、电力电容器、母线和成套配电装置等内容。此外,对配电网络短路电流计算、配电设备的保护、电工测量仪表和配电设备的预防性试验也作了适当的介绍。

本书为电力技工(技术)学校和电力工业学校输配电专业教材,也可以作为电工技术培训用书及有关技术人员参考。

配 电 设 备

牡丹江电力技术学校 马定林 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路8号)

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 26.75印张 611千字

1995年2月第一版 1995年2月北京第一次印刷

印数 0001—5590 册

ISBN 7-120-02292-X/TM·576

定价 17.50 元

前 言

本书是根据原水利电力部1988年颁发的水利电力技工学校教学计划、教学大纲对原版书进行修订的。

原版书《配电设备》于1982年7月出版。在十几年的教学过程中,广泛地征求各兄弟学校任课教师的意见和结合十几年来配电网络及配电设备的发展现况,作出了一定的修改,原则是去粗取精,使本书更符合教学工作的实际需要。

为加强对学生基本技能的培养,各章增加了课程小结和思考题,用以启发学生的独立思考,掌握要点和加深理解所学内容。书中符号基本上采用国际通用符号、名词术语、使用单位和图形与文字符号等也基本上按国家标准规定执行。

本书承蒙浙西电力技工学校邵家瑾同志审阅,并对书稿提出很多宝贵意见和建议。另外,在修订过程中得到了本校及其它兄弟学校以及牡丹江电业局、牡丹江第二发电厂许多同行们的支持和帮助,在此一并谨致谢意。

书中如有不妥之处,恳请读者提出批评指正。

编者

1994年6月

目 录

前言

第一章 配电网络和配电设备	1
第一节 配电网络	1
第二节 配电设备	5
第二章 配电变压器	12
第一节 变压器的基本原理和结构	12
第二节 变压器空载运行	19
第三节 变压器有载运行	26
第四节 三相变压器	33
第五节 变压器并联运行	42
第六节 变压器的运行和事故处理	46
第七节 特种变压器	65
第三章 旋转电机	75
第一节 同步发电机	75
第二节 异步电动机	81
第四章 配电网络的短路电流计算	102
第一节 配电网络短路的一般概念	102
第二节 配电网络的短路电流计算	104
第五章 电弧理论和开关设备	122
第一节 电弧的形成和熄灭	122
第二节 断路器	129
第三节 断路器的操作机构	157
第四节 隔离开关	170
第五节 负荷开关	179
第六节 熔断器	182
第七节 自动空气开关	196
第八节 热继电器	209
第九节 刀型开关	213
第六章 母线、绝缘子及其它设备	221
第一节 母线	221
第二节 电缆	233
第三节 绝缘子	261
第四节 避雷器	268
第五节 电力电容器	278
第七章 常用电工仪表与测量	290
第一节 常用电工仪表的基本知识	290

第二节	电工仪表的结构及工作原理·····	293
第三节	万用表·····	302
第四节	电磁式仪表的应用·····	309
第五节	感应式电能表及电能测量·····	311
第六节	兆欧表·····	328
第七节	接地电阻的测量·····	331
第八节	数字仪表简介·····	335
第八章	配电设备的常用保护·····	341
第一节	常用保护的基本概念·····	341
第二节	几种常用的电磁式继电器·····	343
第三节	过电流保护·····	352
第四节	小电流接地系统的接地信号·····	363
第五节	低电压电器保护·····	366
第六节	低压漏电断路器·····	369
第九章	成套配电装置·····	376
第一节	高压开关柜·····	376
第二节	低压配电屏·····	384
第三节	成套配电柜(屏)的装配要求·····	387
第四节	动力和照明配电箱·····	393
第十章	配电设备预防性试验·····	399
第一节	试验方法·····	399
第二节	试验的项目、标准和接线·····	411

第一章 配电网络和配电设备

第一节 配 电 网 络

一、配电网络在电力系统中的地位

电能是现代工农业、交通运输、科学技术、国防建设和人民生活等方面的主要（二次）能源。由发电厂、输配电线路、变电设备、配电设备和用电设备等组成的有机联系的总体，称为电力系统，如图1-1所示。发电厂生产的电能，除一小部分供给本厂厂用电及附近用户外，大部分要经过升压变电所将电压升高，由高压输电线路送至距离较远的用户中心，然后经降压变电所降压，由配电网络分配给用户。因此，配电网络是电力系统中的一个重要组成部分，它是由配电线路和配电变电所组成，其作用是将电能分配到工厂、矿山、城市和农村的用电器具（如电动机、电灯、电热设备等）中去。电压为 $3\sim 10\text{kV}$ 的高压大功率用户可以从高压配电线路直接取得电能； $380/220\text{V}$ 的低压用户，需经配电变压器将 $3\sim 10\text{kV}$ 再次降压后由低压配电线路供电。

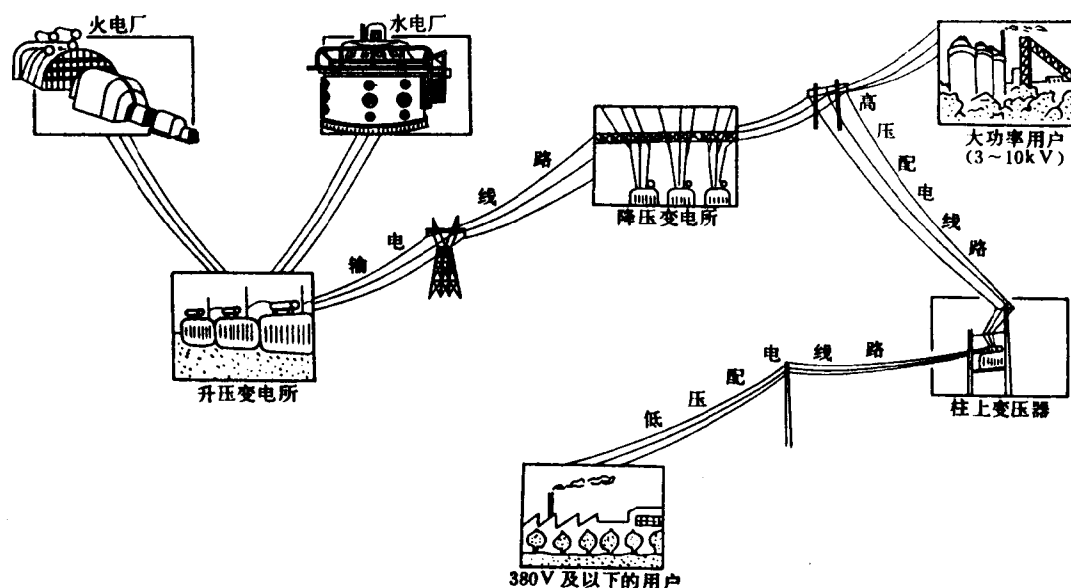


图 1-1 电力系统示意图

配电线路分为架空线路和电缆线路两种。架空配电线路，由于造价便宜，取材方便，容易施工，也容易出现故障点，而且便于检修，所以得到广泛应用。但在大城市中采用架空配电线路时，既会影响行人和交通安全，又影响市容的美观，尤其在多雷地区易遭雷害，所以在城市房屋密集的地方或风景区可采用电缆线路。

配电变电所一般分为配电室和柱上变压器两种。对于30kVA 及以下的变压器，宜采用单柱式变压器台；40~315kVA 的变压器宜采用双柱式变压器台；315kVA 以上的变压器，宜采用落地式变压器台；更大容量的变压器可设配电室。所以配电室是设在用电量较大的工矿企业和事业单位中；而柱上变压器适用于用电量较小的用户，它可以同时供给几个单位使用。

配电室中安装的电气设备除配电变压器外，还有3~10kV 高压和0.4kV 低压配电装置。高压配电装置通常采用定型的高压开关柜，其中分别装有断路器、隔离开关、互感器和避雷器等高压设备。低压配电装置通常采用多种低压配电屏和动力配电箱，其中分别装有隔离开关、熔断器、自动空气开关、互感器和计量表计等低压电器。

二、几种常用的配电网络接线

配电网络的接线均应满足供电的安全可靠、操作方便和运行经济等要求。

根据用户对供电可靠性的要求，用电负载一般分为三级。

I 级负载：突然停电会造成人身伤亡或引起设备严重损坏且难以修复，或给国民经济造成重大损失者。这种负载要求网络接线能保证供电可靠性很高，应由两个及以上的独立电源供电，如图1-2所示。

II 级负载：突然停电将使大量产品和原材料报废，或可能发生重大设备损坏事故，但采取适当措施又能够避免的负载。这种负载对网络接线的要求较 I 级负载为低，在允许的情况下采用两电源（见图1-3）、双回路（见图1-4）或环形（见图1-5）配电网络供电。如果有困难者，也可采用单回专用线路供电。

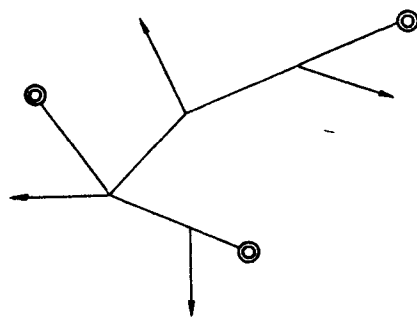


图 1-2 三电源配电网络

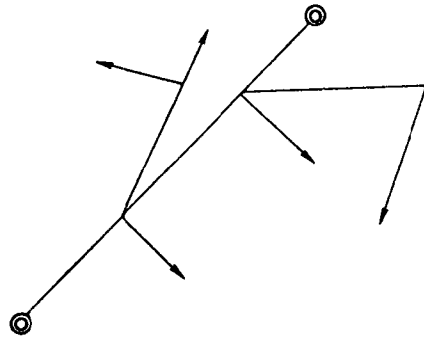


图 1-3 两电源配电网络

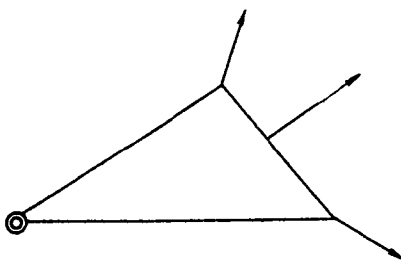


图 1-4 双回路配电网络

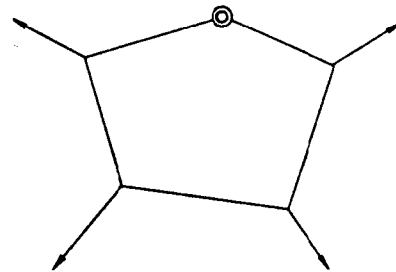


图 1-5 环形配电网络

Ⅲ级负载：所有不属于Ⅰ级和Ⅱ级负载的用电设备，一般由单电源供电。

单端供电通常称为开式配电网，两端供电和环形供电通常称为闭式配电网。

总之，配电网的接线方式，一般可根据配电变电所的位置、用电容量、负载等级、投资费用以及附近用户的合理分配等情况来确定。下面介绍几种常用的配电网接线。

1. 放射式配电网

这种网络主要由降压变电所 $3\sim 10\text{kV}$ 侧引出许多单独线路组成。每一单独线路均向一个或几个配电变电所供电，如图1-6所示。配电变电所的进线可根据配电变压器 B 的容量、负载等级等，配备安装油断路器 DL 、隔离开关 GK 、负荷开关 FK 和高压熔断器 RD 等电气设备。

放射式配电网的特点是维护方便、保护简单、便于发展，但可靠性和灵活性较差，线路及设备发生故障或检修时，就要中断供电。

2. 树干式配电网

这种网络是由降压变电所 $3\sim 10\text{kV}$ 侧引出一条或几条主干线路，每条主干线路可供几个配电变电所，如图1-7所示。

树干式配电网的特点是接线比较灵活，易于增加或减少配电变电所的数目，比放射

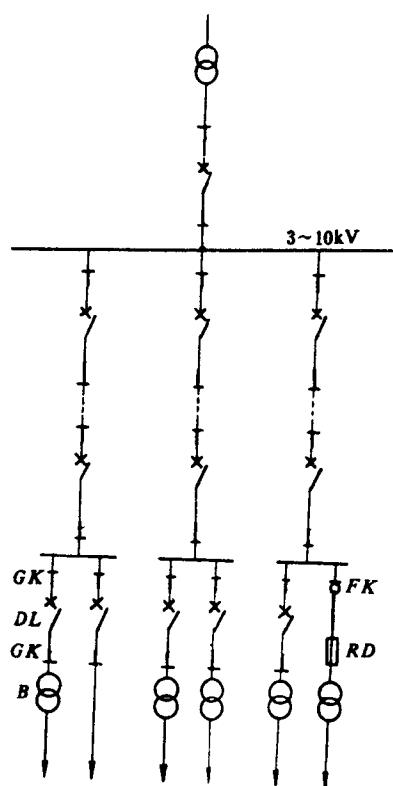


图 1-6 放射式配电网

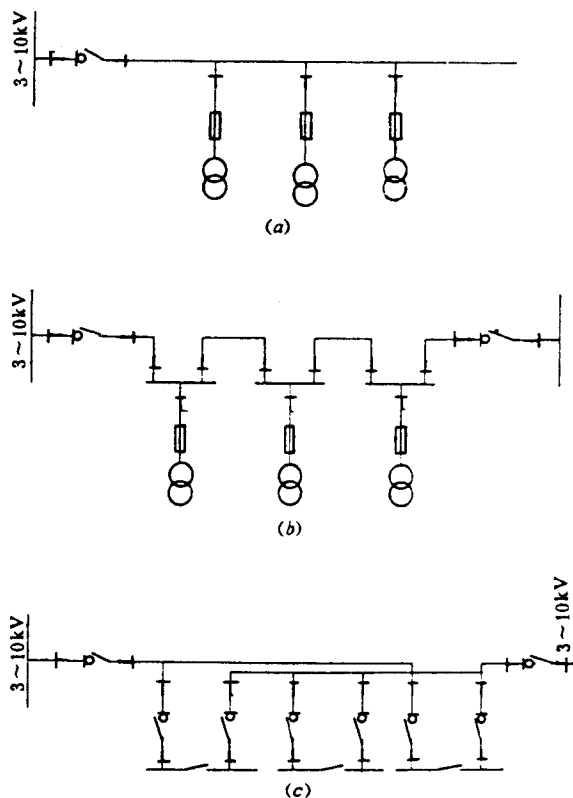


图 1-7 树干式配电网

(a) 单回路树干式；(b) 双侧供电单回路树干式；(c) 双侧供电双回路树干式

敷设线路和建造配电变电所需要的投资很大，所以在选择这种网络接线时，一定要进行经济技术方面的比较。

以上四种配电网络的选择原则是：

(1) 凡是负载围绕电源分布，负载等级为Ⅱ、Ⅲ级时，可采用放射式配电网络；

(2) 凡是负载集中分布在电源同一方向，负载等级为Ⅱ、Ⅲ级时，可采用树干式配电网络或采用断开的环状干线式配电网络；

(3) 凡是因停电，可能造成人身伤亡或重大经济损失的特殊用户，应考虑采用混合式配电网络。

此外，在我国曾经推广过“四合一”环形配电网络，即工厂与工厂之间用电合一、工厂与居民用电合一、工厂的动力与照明用电合一和工厂的电网与地方电网合一。它的特点是可提高现有系统的供电能力，减少电能损耗，供电网络简单合理，安全可靠，并能简化网络接线，节省电气设备。但因维护和管理的工作量大，所以现在保留下来的“四合一”环形配电网络很少。

“四合一”环形配电网络的接线特点是可以在高压侧（即3~10kV）接成环形，也可以在低压侧（即380/220V）接成环形，采用哪种环形接线，这要看实际情况而定。

第二节 配 电 设 备

一、配电设备的作用

这里讲的配电设备，主要是指10kV及以下的电气设备，并简单叙述35kV作为配电用的电气设备，现将各种配电设备的作用介绍如下。

(1) 配电变压器。它在配电变电所内起变换电压的作用，常用来将35kV或3~10kV的电压变换成380/220V电压以适应用户需要。

(2) 开关设备。开关设备是指35kV或3~10kV的高压开关设备和380/220V的低压开关设备。它的作用是开断或接通电路。

(3) 母线。母线分为35kV或3~10kV高压母线和380/220V低压母线。它的作用是汇集和分配电能。

(4) 绝缘子。绝缘子的作用是支持和固定载流导体，并使载流导体之间或载流导体与地之间绝缘。

(5) 避雷器。避雷器的作用是保护其它电气设备不被雷电通过击穿。

(6) 电容器。配电设备中的电容器，主要是用来移相、补偿无功电流和提高网络功率因数等。

(7) 互感器。互感器是分电压互感器和电流互感器两种，它是用来变换交流电压和电流的设备，用来分别向测量仪表、继电器的电压线圈和电流线圈供电，从而正确反映设备和网络的正常运行和故障情况。

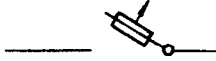
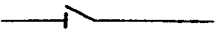
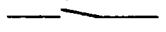
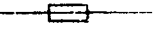
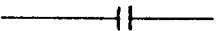
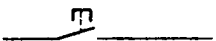
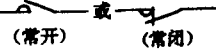
(8) 熔断器。它是一种最简单的保护电器，当网络发生过载或短路故障时，熔断器能单独地自动断开电路，从而达到保护电气设备的目的。

(9) 电抗器。电抗器的作用是限制短路电流，使电抗器后面的电气设备可采用轻型电器，以降低设备的投资。

此外，还有计量用的电工仪表、保护网络设备的保护装置以及用作预防性试验的设备等。

为了便于配电变电所的识图与绘图，将主要配电设备的电气符号列于表1-1中。

表 1-1 配电变电所主要配电设备符号表

配电设备名称	图 形 符 号	文字符号	配电设备名称	图 形 符 号	文字符号
电力变压器		B	跌开式熔断器		RD
断 路 器		DL	自动(空气)断路器		ZD
隔 离 开 关		GK	一 般 开 关		HK
负 荷 开 关		FK	熔断器式开关		DK
熔 断 器		RD	电压互感器		YH
移相电容器		C	电流互感器		LH
阀型避雷器		BL	按 钮		AN
接 触 器	 (常开) 或 (常闭)	CJ	热继电器		RJ

二、配电设备的几个主要额定值

配电设备的额定值，是指制造厂对该设备所规定的工作制下工作的，并指示在设备铭牌上的值，称为该种设备的额定值，一般有电流、电压、频率和功率等。

(1) 额定电压值。电气设备的额定电压是指该设备在长期正常运行时获得最佳经济效益所规定的电压，即标在设备铭牌上的电压。所有的电气设备应根据额定电压设计，以便统一生产用电器具。配电设备规定的额定电压值，如表1-2和表1-3所示。

在三相电气设备中，一般均取线电压为额定电压。

一般要求配电线路应按用电器具的额定电压供电，但由于线路中有电压损失，所以接在线路中的用电器具不可能恰好得到额定电压值。以电灯负载为例，接在电源附近的灯就比离电源远的灯电压高、亮度大。当在均布负载情况时，线路电压的变化可用图1-10中的直线1—2表示。由图1-10可见，线路的始端电压 U_1 比其额定电压 U_e 高5%，线路末端电

电压非常接近的电压。

(2) 额定电流值。是指在一定周围媒质计算温度下，允许长期通过的最大电流值。此时设备的绝缘和载流部分的长期发热温度不应超过国家标准规定的允许值。

(3) 额定容量。发电机、变压器等各种电器均规定有额定容量或额定功率，通常将变压器的额定容量以单相或三相视在功率表示，单位为VA或kVA。旋转电机则以有功功率表示，单位为W或kW。

事实上一般电气设备的功率因数几乎不可能等于1，通常小于1。这是因为电气设备中存在电感负载以致产生一个滞后的电流所引起的。在确定某些交流设备的参数时，除考虑额定容量外，还必须说明功率因数。额定容量乘以功率因数，通常表示为额定功率。

(4) 额定频率。设备的额定频率是指设备运行在最佳状态的工作频率。我国电力系统的额定频率是50Hz。

电压和频率是衡量电力系统电能质量的标准，一般对用户的供电电压是：低压供电为单相220V，三相380V；高压供电的三相线电压为3、6、10kV和35kV几种。通常要求供电电压与设备额定电压的偏差值应不超过下列范围。

- 1) 高压配电线路始末端的压降不大于额定电压的5%；
- 2) 低压配电线路始末端的压降不大于额定电压的4%。

电压偏离额定值的原因是：①通过线路、变压器输送电力时，由于存在阻抗，将产生电压降，使距离电源远的用户电压偏离值超过允许范围；②用户的有功和无功负载对电压有影响；③无功负载在网络中形成的电流经各级变配电设备时，也会产生较大的电压降，造成用户的电压偏低。

大多数国家规定的频率允许偏差值，一般在±0.1~0.3Hz间。频率偏离额定值的原因是：①当负载超过或低于电厂出力时，系统频率要降低或升高引起频率偏差；②当电厂出力变动时，也会引起频率偏差。

(5) 温升和极限允许温升。设备被测量部分的温度与周围介质温度之差称为温升。例如，变压器绕组对油的温升为25℃；油对空气的平均温升为40℃。在额定工况下，设备的一定部分所允许的最大温升称为该部分极限允许温升。例如，变压器的上层油对周围空气极限允许温升为55℃。低压电器零部件的极限允许温升应符合表1-4的规定。

表 1-4 低压电器零部件的极限允许温升

不同材料和零部件名称				极限允许温升 (℃)		备 注
				长期工作制	间断长期或反复短时工作制 [†]	
绝缘线圈及 包有绝缘材料 的金属导体	A 级	绝	缘	65	80	电压线圈 [‡] 及多层电流线圈用电阻法测量，金属导体用热电偶法测量
	E 级	绝	缘	80	95	
	B 级	绝	缘	90	105	
	F 级	绝	缘	115	130	
	H 级	绝	缘	140	155	

续表

不同材料和零部件名称		极限允许温升（℃）		备 注
		长期工作制	间断长期或反复短时工作制 ^①	
各类触头或 插头 ^②	铜及铜基合金的自力式触头 ^③ 、插头， 无防蚀层	35		热电偶法测量
	铜及铜基合金的它力式触头 ^④ 、插头， 无防蚀层	45	65	
	铜及铜基合金它力式触头、插头，有 厚度 6 ~ 8 μm 的银防蚀层	80	—	
	铜及铜基合金它力式触头、插头，有 厚度 6 ~ 8 μm 的锡防护层	60	—	
	银及银基合金触头	以不伤害相邻部件为限 ^⑤		
与外部连接 的接线端头	接线端头有锡（或银）防护层，当指 明引入导体为铝也有锡（或银）防蚀层 时	55		热电偶法测量
	接线端头为铜及铜基合金材料，无防 蚀层，当指明引入导体为铜式有防腐层 的铝时	45		
	接线端头为铜及铜基合金材料，有 锡防蚀层，当指明引入导体为铜也有锡 防蚀层时	60		
	接线端头为铜及铜基合金材料，有银 防蚀层，当指明引入导体为铜也有银防 蚀层时	80，还应不伤害相邻部件为限 ^⑤		
产品内部的 导体连接处 ^⑦	铝材对铝材、铜材对铝材紧固接合处， 两者均有锡防蚀层	55		热电偶法测量
	铝对铝材、铜材对铝材紧固接合处， 两者均有银防蚀层	60		
	铜材对铜材紧固接合处，无防蚀层	45		
	铜材对铜材紧固接合处，有锡防护层	60		
	铜材对铜材、紧固接合处，两者均有 银防护层	以不伤害相邻部件为限 ^⑤		
	铝材对铝材、铝材对铜材、铜材对铜 材焊接的导体	以不伤害相邻部件为限 ^⑤		
其 它	浸入有机绝缘油中工作的部件	60		温度计法或热电 偶法等测量

续表

不同材料和零 部件 名 称			极限允许温升 (℃)		备 注
			长期工作制	间断长期或反复短时工作制 ^①	
其 它	操作时手接触部件	金属材料	15		温度计法或热电偶法等测量
		绝缘材料	25		
	起弹簧作用的部件		以不伤害材料的弹性, 且不伤害相邻部件为限 ^⑤		
	电 阻 元 件		由所用材料决定, 且不伤害相邻部件为限 ^⑤		

- ① 主要用于间断长期工作制或反复短时工作制的电器, 如用于长期工作制时, 其线圈温升按间断长期式反复短时工作制允许温升值考核。
- ② 对有主弧触头电器, 其弧触头的温升以及熔断器触刀、触座的温升由产品标准或产品技术条件另行规定。
- ③ 自力式触头指由触头 (包括触桥) 材料本身产生弹力作接触压力触头。
- ④ 它力式触头指靠其它弹性材料产生接触压力的触头。
- ⑤ 如相邻部件为绝缘材料, 则极限允许温升按表中相应等级线圈的极限允许温升。
- ⑥ 高压线圈的温升是指额定工作电压下的稳定值。
- ⑦ 高发热元件 (如电阻元件、熔断器、热元件等) 连接处的极限允许温升由产品标准或产品技术条件另行规定; 与发热部件相邻近的绝缘材料耐热等级低于 A 级 (如热塑性塑料) 时, 则其极限允许温升为该材料连续耐热温度与 40°C 之差。

(6) 稳定温度和极限温度。设备在长期及间断长期工作制下, 其温升在 1h 内不超过 1°C 时的温度称为稳定温度。在额定工作制下, 设备的任何一部分的最高稳定温度称为极限温度。

小 结

配电网络是电力系统中的一个重要组成部分, 它是由配电线路和配电变电所组成。配电线路分为架空配电线路和电缆配电线路两种。配电变电所分为配电室和柱上变压器两种。

配电网络的接线方式, 可根据配电变电所的位置、用电容量、负载等级、投资费用以及附近用户的合理分配等情况来确定。常用的配电网络接线有放射式、树干式、断开的环状干线式和混合式四种。

常用的配电设备有配电变压器、开关、熔断器、母线、绝缘子、避雷器、电容器、互感器和电抗器等。其主要额定值有额定电压、额定电流、额定容量、额定频率、温升与极限温升、稳定温度与极限温度等几种。

思 考 题

1. 电力系统有哪几个主要部分组成?
2. 架空配电线路和电缆配电线路各有何优缺点?

3. 用电负载分为哪三级？各级负载有何特点？
4. 环状干线式配电网络有哪几种运行方式？通常采用哪种运行方式？
5. 简述混合式配电网络中当一条工作干线发生故障（或检修）时的操作过程。
6. 配电网络中的变压器、开关设备、电容器、熔断器的作用是什么？
7. 何谓配电设备的额定值？
8. 电能质量的标准由哪些参数来决定，允许偏差值是多少？

第二章 配 电 变 压 器

第一节 变压器的基本原理和结构

一、变压器的用途和分类

1. 变压器的用途

变压器的用途是很广泛的，以电力系统而言，变压器是一个主要设备。在电力系统中，要将大功率的电能输送到很远的地方去，利用低电压大电流传输是有困难的。这是因为，一方面由于电流大会引起输电线路电能的极大损耗，另一方面输电线路的电压降也致使电能输送不出去。为此，需要用升压变压器将电源的电压升高，当输电距离越远，输送功率越大时，要求输电电压越高。当电能输送到用户附近时，又必须将这种高电压降低到配电网络的电压，这就需要利用配电变压器（或称降压变压器）来实现。

此外，在工矿企业事业单位中，各种电气设备的电能利用，以及在其它各种场合，如通信广播、自动控制等，变压器都得到广泛的应用。因此，为了不同的目的而制造的变压器差别很大，它们的容量范围可从几伏安至几百兆伏安，电压可从几伏至几百千伏。

2. 变压器的分类

变压器的种类很多，可按不同的依据予以分类。

（1）根据变压器的用途可分为：①电力变压器，主要用在电力系统内，作变换电压用；②特殊用途变压器，包括电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等；③调压变压器；④测量用变压器，包括电压互感器、电流互感器；⑤试验变压器；⑥控制变压器，用于自动控制系统。

（2）根据变压器本身的绕组数，可分为双绕组变压器、三绕组变压器和自耦变压器。

（3）根据变压器的相数，可分为单相变压器和三相变压器。

（4）根据变压器的绝缘材料，可分为油浸变压器和用塑料树脂浇注作主绝缘的干式变压器。

此外，还可以根据冷却方式、工作频率等方面进行分类。本书讨论的配电变压器，通常是指三相油浸式循环自冷式电力变压器。这种变压器在电力系统中的地位是很重要的，不仅需要的数量多，而且要求性能好，运行安全可靠。

二、变压器的基本工作原理

变压器是根据电磁感应原理工作的，如图2-1所示，在构成闭合回路的铁芯上绕有两个绕组1和2，绕组1接到交流电源，称一次绕组（或原绕组）；绕组2接负载 Z ，称二次绕组（或副绕组）。将变压器的一次绕组接在交流电源上，于是在一次绕组中就通过交变电流 i_1 ，由于 i_1 的激磁作用，将在铁芯中产生交变主磁通 ϕ 。又因为一次、二次绕组在同一个铁芯上，所以铁芯中的主磁通 ϕ 同时穿过一次、二次绕组。根据电磁感应原理，这个主