



中等专业学校教材

DIANJIXUE

电机学

广西水电学校 向伯荣 主编

黄河水利出版社

中等专业学校教材

电 机 学

广西水电学校 向伯荣 主编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国中等专业学校水利水电类专业通用教材。根据中专的培养目标和教学特点,本书着重对所述问题的物理概念和基本关系进行了阐述,并密切联系电能的生产和应用的实际。全书共分4篇17章,按变压器、同步电机、异步电机和直流电机的顺序,分析其基本电磁关系、运行原理和运行性能,并对电机的基本结构、使用和维护以及常见故障处理的一些基本知识作了介绍。书中各章都有小结,并附有思考题与习题。内容精炼、重点突出,也可供从事电能生产与使用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机学/向伯荣主编. —郑州:黄河水利出版社,
2002.2

ISBN 7-80621-536-0

I. 电… II. 向… III. 电机学-专业学校-教材
IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 006433 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

印张:17

字数:393 千字

印数:1—4 000

版次:2002 年 2 月第 1 版

印次:2002 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN7-80621-536-0/TM·7

定价:26.00 元

前 言

本书是根据 1999 年 9 月水利部所批准的普通中专学校水利水电类教材选题规划,并按照国家水利水电中专教学研究会教材编审计划与要求而编写的。编者根据新形势下职业教育的需要,本着专业基础课教学应以“必须、够用”为度,淡化学科的系统性和完整性的精神,对书中所述问题,着重物理概念的阐述,并与电能的生产和应用以及国家现行的有关规程、规范相联系。力求做到内容精炼、重点突出、通俗易懂。

本书阐述了变压器、同步电机、异步电机、直流电机的基本结构、基本电磁关系、运行原理和运行性能,以及维护管理和常见故障处理的一些基本知识,可以作为普通中专及职工中专水电站电力设备专业的教材,也可以作为电力类其他专业的教学用书,并可供从事电能生产与使用的工程技术人员参考。为适应中专教育四年制改三年制以及不同专业的需要,有些内容以“*”标出,以供选用。

本书由广西水电学校向伯荣高级讲师主编,贵州省水利电力学校丁运策高级讲师主审,广东省水利电力职业技术学院侯宁宁高级讲师、四川省水利电力学校杨星跃高级讲师和成都水力发电学校龚再礼高级讲师参加编写。全书共 17 章,其中一、二、三、四、五章由杨星跃编写;六、七、八章由龚再礼编写;十、十一、十二、十三、十四章由侯宁宁编写;绪论、九、十五、十六、十七章由向伯荣编写。

由于水平所限,书中不足之处在所难免,欢迎指正。

编 者

2001 年 9 月

目 录

前言

绪论	(1)
----	-----

第一篇 变压器

第一章 变压器的基本知识	(4)
第一节 变压器的基本工作原理	(4)
第二节 变压器的类型及其基本结构	(5)
第三节 变压器的冷却方式	(11)
第四节 变压器的铭牌	(11)
小结	(12)
思考题与习题	(13)
第二章 变压器的工作状态分析	(14)
第一节 变压器空载时的电磁过程	(14)
第二节 变压器空载时的电动势平衡方程式和等值电路	(17)
第三节 变压器的空载电流和空载损耗	(20)
第四节 变压器负载时的电磁过程及方程式	(22)
第五节 变压器负载时的等值电路	(24)
第六节 变压器参数的测试	(27)
第七节 变压器的相量图	(33)
第八节 变压器的工作特性	(35)
小结	(40)
思考题与习题	(41)
第三章 三相变压器	(43)
第一节 三相变压器的磁路系统	(43)
第二节 三相变压器绕组的联接组别及其测定	(44)
第三节 三相变压器的绕组联接和铁芯磁路对相电动势波形的影响	(53)
第四节 三绕组变压器	(55)
第五节 自耦变压器	(58)
第六节 仪用互感器*	(61)
小结	(64)
思考题与习题	(64)
第四章 变压器的正常运行	(67)
第一节 变压器并联运行的条件	(67)
第二节 变压器不满足并联运行条件时的运行分析	(68)
第三节 变压器空载投入时的激磁涌流	(72)

第四节 变压器的温升和绝缘寿命	(74)
第五节 变压器运行中的监视与维护	(75)
小结	(76)
思考题与习题	(77)
第五章 变压器的异常运行	(78)
第一节 变压器的不对称运行*	(78)
第二节 变压器的三相突然短路	(80)
第三节 变压器非额定条件下的运行	(82)
第四节 变压器常见故障及其处理*	(85)
小结	(88)
思考题与习题	(89)

第二篇 同步电机

第六章 同步发电机的基本知识	(90)
第一节 同步发电机的基本工作原理	(90)
第二节 同步发电机的类型与结构	(91)
第三节 同步发电机的励磁系统	(96)
第四节 同步发电机的冷却方式	(98)
第五节 同步发电机的铭牌	(100)
第六节 同步发电机的定子绕组	(101)
小结	(107)
思考题与习题	(107)
第七章 同步发电机的工作状态分析	(109)
第一节 空载时电枢绕组的感应电动势	(109)
第二节 负载时电枢绕组的磁动势	(116)
第三节 同步发电机的电枢反应	(123)
第四节 同步电抗的概念	(127)
第五节 同步发电机的电动势方程式和相量图	(129)
第六节 同步发电机的工作特性	(133)
第七节 同步发电机的损耗与效率	(136)
小结	(137)
思考题与习题	(138)
第八章 同步发电机的正常运行	(140)
第一节 同步发电机并联运行的条件与方法	(140)
第二节 同步发电机的有功功率调节	(144)
第三节 同步发电机的无功功率调节	(149)
第四节 同步发电机的操作与维护	(154)
小结	(156)

思考题与习题	(157)
第九章 同步发电机的其他运行方式及异常运行	(158)
第一节 同步电机的三种运行状态及同步调相机	(158)
第二节 同步发电机的三相突然短路	(163)
第三节 同步发电机的不对称运行*	(168)
第四节 同步发电机在电压、频率变动下的运行	(172)
第五节 同步发电机的失磁运行*	(173)
第六节 同步发电机的振荡*	(175)
第七节 同步发电机的常见事故及其处理*	(177)
小结	(178)
思考题与习题	(179)

第三篇 异步电机

第十章 异步电机的基本知识	(180)
第一节 异步电机的工作原理	(180)
第二节 异步电动机的基本结构	(182)
第三节 异步电动机的铭牌	(184)
第四节 异步电动机的定子绕组和转子绕组	(185)
小结	(188)
思考题与习题	(189)
第十一章 异步电动机的工作状态分析	(190)
第一节 异步电动机的电动势平衡方程式	(190)
第二节 异步电动机转子电路分析	(191)
第三节 异步电动机的磁动势平衡方程式	(193)
第四节 异步电动机的等值电路	(194)
第五节 异步电动机的电磁转矩	(198)
第六节 异步电动机的工作特性	(203)
小结	(204)
思考题与习题	(205)
第十二章 异步电动机的起动、调速和制动	(206)
第一节 异步电动机的起动性能	(206)
第二节 异步电动机的起动方法	(206)
第三节 深槽型和双鼠笼型异步电动机*	(210)
第四节 异步电动机的调速*	(211)
第五节 异步电动机的反转及制动*	(214)
小结	(215)
思考题与习题	(216)

第十三章 异步电动机的运行与维护	(217)
第一节 异步电动机的异常运行.....	(217)
第二节 异步电动机的使用与维护.....	(218)
第三节 异步电动机常见故障及处理方法*	(219)
小结.....	(220)
思考题.....	(220)
第十四章 其他异步电机	(221)
第一节 单相异步电动机.....	(221)
第二节 感应调压器和移相器*	(223)
第三节 异步发电机*	(225)
小结.....	(227)
思考题.....	(227)

第四篇 直流电机

第十五章 直流电机的基本知识	(228)
第一节 直流电机的工作原理.....	(228)
第二节 直流电机的结构.....	(230)
第三节 直流电机的励磁方式.....	(232)
第四节 直流电机的铭牌.....	(234)
第五节 直流电机的电枢绕组.....	(234)
小结.....	(236)
思考题与习题.....	(237)
第十六章 直流电机的工作状态分析	(238)
第一节 直流电机的电枢电动势与电磁转矩.....	(238)
第二节 直流电机的电枢反应.....	(239)
第三节 直流电机的换向概念.....	(243)
小结.....	(246)
思考题与习题.....	(246)
第十七章 直流电机的运行	(248)
第一节 并励直流发电机的自励条件.....	(248)
第二节 直流发电机的运行特性.....	(249)
第三节 直流电动机的运行*	(255)
第四节 直流电机运行中的维护项目及事故的处理*	(261)
小结.....	(262)
思考题与习题.....	(263)
参考文献	(264)

绪 论

电机是以电磁感应定律和电磁力定律为工作原理,实现机电能量转换的机器或进行电能传递的设备。电机学是阐述电机的基本理论,为后续有关专业课及专业工作奠定基础的一门专业基础课。本书主要阐述电力系统中常见的电力变压器、同步电机、异步电机和直流电机的基本构造、基本电磁关系、运行原理和运行特性。同时,介绍一些电机的维护管理及常见事故处理的基本知识。

一、电机在国民经济中的作用

由于电能适宜于大量生产、集中管理、远距离输送、灵活分配及自动控制,因此电能是最常见和应用最广泛的一种能量。

在发电厂中,发电机由原动机(水轮机、汽轮机或其他动力机械)拖动,原动机将机械能传送给发电机,由发电机将机械能转换为电能。为将发电机生产出来的电能经济地输送给远距离用户,需用变压器将电压升高;电能输送到用电区,为了用户的用电安全和降低用电设备的成本,以及满足用电设备需要的不同等级的低电压,又需用各种电压等级的变压器将电压降低,分配给各用户使用。

在工业、农业、国防、交通运输及日常生活中广泛使用各种电动机作原动机,拖动各种生产机械和装置。例如,各类机床对部件的加工、矿石的采掘和传送、电力排灌、农副产品加工、电车和电力机车的牵引以及家用电器的驱动设备等,都是采用电动机。

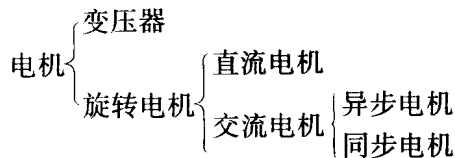
随着科学技术的发展,工业、农业、国防、交通运输和日常生活中设施的自动化程度愈来愈高,各种各样的控制电机被用作执行、检测、放大和解算的元件。例如,机床加工的自动控制与显示,火炮和雷达的自动定位,人造卫星的发射和飞行的控制,电梯的自动选层与显示,以及录音、录像、摄影和现代家用电器设备的运行控制、检测或记录显示等。

由此可知,电机不仅是生产、输送和分配电能的主要设备,也是国民经济的各个部门及日常生活中各种机械和装置的动力设备,同时还是自动控制系统中的重要元件。

二、电机的分类

(1)按功能分为:①变压器、变频机、变流机、移相器,分别用于改变电能的电压、频率、电流及相位;②发电机,用于把机械能转换为电能;③电动机,用于把电能转换为机械能;④控制电机,用作自动控制系统的元件。

(2)按学科分为:



三、研究电机时常用的基本定律

(一) 电路定律

1. 欧姆定律

一段电路上的电压降 u 等于流过该电路的电流 i 与该电路的阻抗 Z 的乘积, 即

$$u = iZ$$

式中的 $Z = R + jx$ 。在直流电路中, 电抗 x 为零, 电路中只有电阻 R 存在; 而在变压器及交流电机中, $x \gg R$, 因而可以认为 $Z = x$ 。

电抗 x 是变压器和交流电机的重要参数, 其大小与频率 f ($f = \frac{\omega}{2\pi}$) 的高低、线圈匝数 W 的多少、磁路的磁导率 μ 和截面积 S 的大小以及磁路的长度 l 有关, 即

$$x = \omega W^2 \frac{\mu S}{l} = 2\pi f W^2 \frac{1}{R_{ci}}$$

上式中, $R_{ci} = l/\mu S$, 为磁路的磁阻。其中, 磁导率 μ 的大小受铁芯饱和程度的影响, 铁芯的饱和程度愈高, 磁导率 μ 愈小, 磁阻 R_{ci} 愈大, 电抗 x 就愈小。

2. 基尔霍夫电流定律

在电路中任一节点处电流的代数和恒等于零:

$$\sum i = 0$$

3. 基尔霍夫电压定律

在电路中任一闭合回路内, 沿回路环绕一周, 回路内所有电动势的代数和等于所有电压降的代数和, 即

$$\sum e = \sum u$$

(二) 磁路的欧姆定律

磁路中的磁通 Φ 等于作用在该磁路上的磁动势 F 除以该磁路的磁阻 R_{ci} (或乘以磁导 Λ_m), 即

$$\Phi = \frac{F}{R_{ci}} = F\Lambda_m$$

式中的磁动势 F 等于线圈的匝数 W 乘以流过线圈的电流 i , 即 $F = Wi$ 。

(三) 电磁感应定律

(1) 当磁通在不动的线圈中交变时, 线圈会感应产生电动势 e , 其大小等于线圈所交链的磁链 Ψ ($\Psi = W\Phi$) 对时间的变化率, 其方向由楞次定律确定, 即

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} = - W \frac{d\Phi}{dt}$$

(2) 当磁通 Φ 与导体之间有相对运动时, 导体会感应产生电动势 e 。若磁场、导体、运动方向三者相互垂直时, 感应电动势的大小等于磁通密度 B ($B = \Phi/S$)、导体的有效长度 l 及导体相对磁场运动的线速度 v 的乘积, 即

$$e = Blv$$

电动势的方向由右手定则确定, 即将右手平伸, 使掌心对着磁通 Φ 的方向, 与四指垂

直的拇指指向导体的运动方向,则四指所指的方向就是感应电动势的方向。如图 0-1 所示。

(四)电磁力定律

通过电流的导体在磁场中要受到力的作用,这个力称为电磁力。当导体与磁场相互垂直时,电磁力 f 的大小等于磁通密度 B 、导体的有效长度 l 、流过导体的电流 i 三者的乘积,即

$$f = Bli$$

电磁力的方向由左手定则确定,即将左手平伸,让拇指与其余四指垂直,掌心对着磁通的方向,四指指着电流的方向,则拇指所指的方向就是电磁力的方向。如图 0-2 所示。

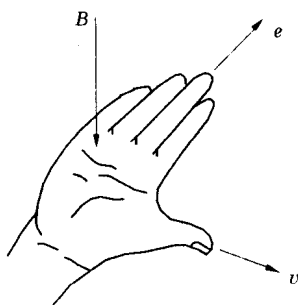


图 0-1 右手定则

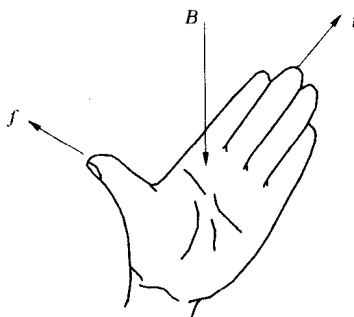


图 0-2 左手定则

在旋转电机中,作用在转子载流导体上的电磁力将使转子受到一个力矩(等于力乘转子半径),这个力矩称为电磁转矩。电磁转矩是旋转电机实现机电能量转换的重要物理量。

(五)能量守恒定律

电机在能量的传递或转换的过程中,电机本身消耗的功率称为损耗。稳态运行时,必然存在输入功率 P_1 等于输出功率 P_2 与电机本身所有损耗之和,即

$$P_1 = P_2 + \sum p$$

四、电机学的特点及学习方法

电机学作为一门专业基础课,既要用《电工基础》和《数学》等基础课程的有关理论和概念对电机的电磁关系进行分析,又要为后续有关专业课的学习和专业工作的需要奠定必要的基础,因而它是一门理论性强又与工程实际有密切联系的课程。

为学好本门课程,在学习时一定要理论联系实际,注意应用基本概念和基本理论去分析问题和解决问题。工程实际问题往往是很复杂的,受多种因素的影响,因而在分析问题时,需要略去次要因素,使问题简化,抓住决定问题实质的因素进行分析。这样得出的结论有一定的近似性,能正确反应问题的客观规律。学习中要重视实验和实习,通过实验和实习,理论联系实际,加深对电机的电磁关系的理解,培养和提高分析问题和解决问题的能力,并初步掌握电机的操作和测试的技能。

第一篇 变压器

第一章 变压器的基本知识

变压器是一种静止的电气设备。它是利用电磁感应原理,把输入的交流电压升高或降低为同频率的交流电压输出,以满足高压输电、低压供电及其他用途的需要。

大家知道,输送一定的电功率时,电压越高则电流越小,线路上的功率损耗及电压损耗也就越小,相应可以节约有色金属,达到减少投资和降低运行费用的目的。由于发电厂的交流发电机通常输出 6.3kV、10.5kV 或 18kV 的电压,而一般高压输电线路的电压为 35kV、110kV、220kV、330kV 或 500kV,这就要求用变压器把发电机输出的电压升高后再送入输电线路。当电能输送到用电区后,为了用电安全及保证用电设备的正常工作,又必须用变压器把输电线路上的高电压降低为配电系统的电压等级,然后再用变压器降压供给用户。图 1-1 所示的简单电力系统示意图表明,电力系统中的多次升压和降压,使得变压器得到了极其广泛的应用。在电力系统中,变压器的安装容量是发电机容量的 5~8 倍。

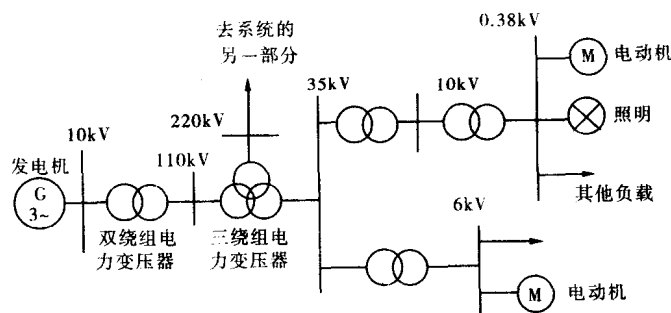


图 1-1 简单电力系统

电力系统中使用的变压器叫电力变压器。本篇主要讲述电力变压器,但其基本原理也适用于其他变压器。主要介绍变压器的基本原理、类型、结构和铭牌值。

第一节 变压器的基本工作原理

变压器是利用电磁感应定律工作的。变压器的基本结构是将两个以上互相绝缘的线圈套在一个共同的环状铁芯上,这两个绕组具有不同的匝数,且互相绝缘,如图 1-2 所示。

其中,一个绕组接于需要进行变压的交流电源上,这个绕组叫做一次绕组,或原绕组、一次侧;另一个绕组接负载,这个绕组叫做二次绕组,或副绕组、二次侧。

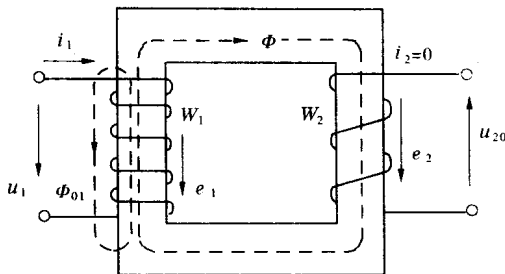


图 1-2 变压器工作原理图

当一次侧接上电压为 u_1 的交流电源时,一次绕组将流过交流电流,并在铁芯中产生交变磁通 Φ ,这个磁通同时交链着一、二次绕组。根据电磁感应定律,交变磁通 Φ 在一、二次绕组中产生的感应电动势分别为

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

式中: W_1 、 W_2 分别为一、二次绕组的匝数。

制造好的变压器 $W_1 \neq W_2$,因此 $e_1 \neq e_2$,即一、二次侧绕组电动势不等,相应输入、输出的电压也就不相等,从而起到了变压的作用。

如果二次侧接上负载,则在二次侧输出电压的作用下产生输出电流,并输出功率,说明变压器起到了传递电能的作用。

由上述可知,一、二次绕组的匝数不等是变压器变压的关键。其次,变压器的一、二次侧之间没有电的直接联系,只有磁的耦合,而交链一、二次绕组的磁通,起着联系一、二次侧的桥梁作用。另外,变压器只能对交流电压进行变压,若一次侧施加直流电压,一次绕组将流过直流电流,在铁芯中产生恒定磁通,这个磁通穿过一、二次绕组不会在绕组中产生感应电动势,二次侧不会有电压输出。

在以后的讨论中,有关一、二次侧的各量,例如功率、电压、电流、绕组匝数等,分别在其代表符号的右下角注以下标 1、2,如 P_1 、 U_1 、 I_1 、 W_1 、 P_2 、 U_2 、 I_2 、 W_2 等。

第二节 变压器的类型及其基本结构

一、变压器的类型

为了适应不同的使用目的和工作条件,变压器的类型很多,可以从不同的角度予以分类。

按其用途的不同,变压器可分为电力变压器(又可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器等)、仪用变压器(电流、电压互感器等)、试验用变压器、整流变压器等。

按绕组数目可分为双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器(一般用于特种用途)

及自耦变压器。

按相数可分为单相变压器、三相变压器、多相变压器。

按冷却方式的不同,可分为干式变压器、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器、油浸水冷变压器、强迫油循环风冷变压器、强迫油循环水冷变压器等。

按线圈导线使用材质的不同,分为铝线变压器、铜线变压器。

按调压方式可分为无励磁调压变压器、有载调压变压器。

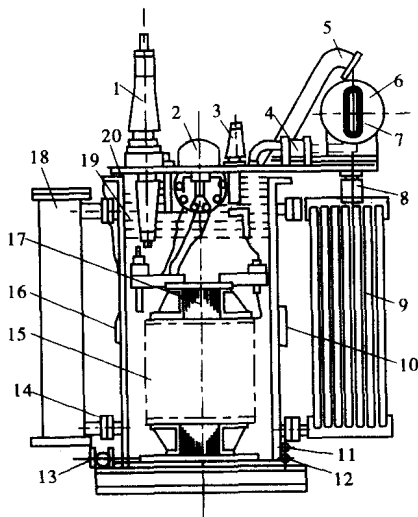


图 1-3 变压器的结构

- 1—高压套管;2—分接开关;3—低压套管;
- 4—气体继电器;5—安全气道;6—油枕;
- 7—油表;8—吸湿器;9—散热器;10—铭牌;
- 11—接地螺栓;12—油样活门;13—放油阀门;
- 14—活门;15—线圈;16—信号温度计;
- 17—铁芯;18—净油器;19—油箱;20—变压器油

二、变压器的基本结构

从变压器的功能来看,铁芯和绕组是变压器的主要部件,被称为变压器的器身。为保证器身的正常、安全运行,还必须要有其他部件。下面以油浸式变压器为例,对变压器主要部件的功能、构造及原理进行说明。图 1-3 为油浸式变压器的结构图。

1. 铁 芯

变压器铁芯是变压器的主要部件之一,是变压器的磁路和安装骨架,其对变压器的性能有很大的影响。

铁芯的作用是导磁,以减小励磁电流。为了提高磁路的导磁性能和减小涡流及磁滞损耗,铁芯通常用涂有绝缘漆的 0.35mm 或 0.5mm 厚的硅钢片叠成。

变压器的铁芯是框形闭合结构。其中,套线圈的部分称为芯柱,不套线圈只起闭合磁路作用的部分称为铁轭。

在叠装硅钢片时,常采用交错式装配方法。

它是把剪成一定尺寸的硅钢片交错叠装而成,叠装时相邻层的接缝要错开。为减少装配工时,一般用两三片作一层,如图 1-4 所示。

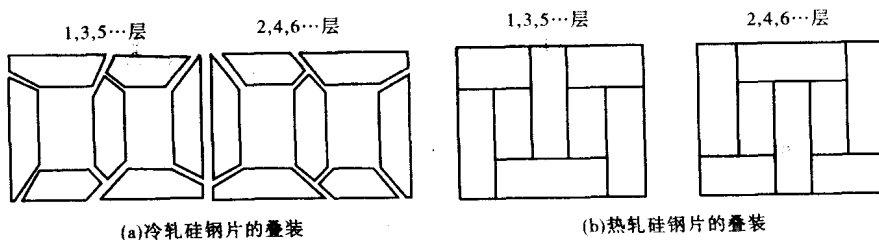


图 1-4 三相叠片式铁芯叠装次序和叠装法

为了能充分利用圆形绕组内空间的面积,节约绕组金属用量,铁芯柱的截面多制成内接多级阶梯形,如图 1-5(a)所示。大型变压器的铁芯还设有油道,以利变压器油循环,加

强散热效果,如图 1-5(b)所示。磁轭截面有正方形、T 形和阶梯形几种,如图 1-6 所示。

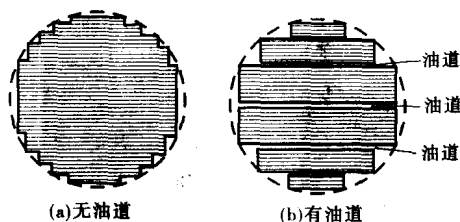


图 1-5 铁芯柱截面

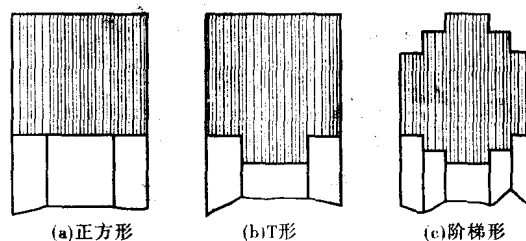


图 1-6 磁轭的截面

铁芯叠装之后,要用槽钢夹件将上、下磁轭夹紧,大型变压器的夹紧螺栓要穿过磁轭。为了不使夹件和夹紧螺栓中形成涡流损耗,在夹件、螺栓与磁轭之间必须用绝缘纸板和套筒进行绝缘。夹紧装置松动必将增加变压器在运行中的噪声。

变压器在运行或试验时,为了防止由于静电感应铁芯或其他金属构件上产生悬浮电位面,造成对地放电,铁芯及其构件(除穿芯螺杆外)都应接地。

2. 绕组

绕组也是变压器的主要部件之一。三相变压器每相的一、二次绕组做成圆筒形,同心地套装在铁芯柱上。由于低压绕组对铁芯的绝缘要求低,故将其布置在贴靠铁芯的内层,高压绕组布置在外层。如此,可借助低压绕组,提高高压绕组和铁芯间的绝缘水平。

小容量变压器的高压绕组通常采用高强度漆包线或纱包线绕制在绝缘纸板卷成的圆筒上,形成圆筒形线圈,线匝的层间垫以绝缘或用绝缘撑条构成的油道来绝缘。低压绕组则用绝缘扁铜、铝线绕制。

根据绕组绕制方法的不同,变压器绕组又分为圆筒式、螺旋式、连续式和纠结式几种,如图 1-7 所示。所谓圆筒式绕组,是由扁导线或圆导线一匝挨着一匝绕制而成,匝间无空隙。这种绕组绕制工艺简单,但机械强度较差,散热面积小,绕制高度不好控制,多用于小容量、低电压变压器中。螺旋式绕组由多根扁导线并联绕制而成,相邻线匝由垫块分开。这种绕组机械强度高于圆筒式,散热面积大,但它能容纳的线匝较少,多用作各种容量变压器的低压绕组。连续式绕组是由单根或多根扁导线并联绕制的若干个线段串联而成,这种绕组具有较高的机械强度,所能容纳的线匝较多,散热面介于圆筒式绕组和螺旋式绕组之间,多用作各种容量变压器的 63kV 及其以下电压等级的绕组。纠结式绕组是在连续式绕组的基础上发展起来的,具有较高的纵向电容,从而改善了电场,广泛地用作 60kV 及其以上电压等级的高压绕组。

3. 绝缘

绝缘材料主要用来隔离带电的或不同电位的导体,使电流按一定的方向流通。

变压器绝缘包括外部绝缘和内部绝缘两种。外部绝缘指的是油箱外导线引出线套管之间以及导管对地部分之间的绝缘。内部绝缘指的是油箱内的绝缘,主要是绕组、引线和分接开关的绝缘。内绝缘又分为主绝缘和纵绝缘。主绝缘是指绕组对地之间、相与相之间、同一相不同电压等级绕组之间的绝缘;纵绝缘是指同一电压等级的一个绕组其不同部位之间如层间、匝间、绕组与静电屏之间的绝缘。

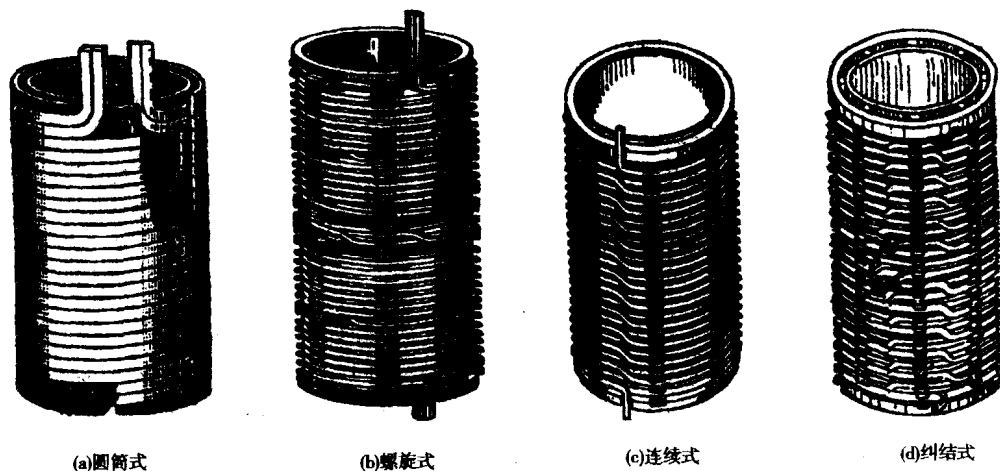


图 1-7 变压器绕组的几种形式

变压器内部的主要绝缘材料有变压器油、绝缘纸板、皱纹纸等,过去还曾使用黄漆带、布带等,现在已被新型材料取代。

4. 油箱和变压器油

油箱是油浸式变压器的外壳,变压器的器身置于油箱的内部,箱内注满变压器油。油箱分箱盖、箱体、箱底三部分。

中小型变压器多制成箱式,即将箱壁与箱底焊接成一个整体,器身置于箱中。检修时,需要将器身从油箱中吊出,如图 1-8(a)、(b)所示。

大型变压器油箱皆制成钟罩式,即将箱盖和箱体制成一体,罩在铁芯和绕组上。这将为检修提供方便,检修时只需把钟罩吊起,器身则显露出来,这比吊起沉重的铁芯要方便得多,如图 1-8(c)所示。

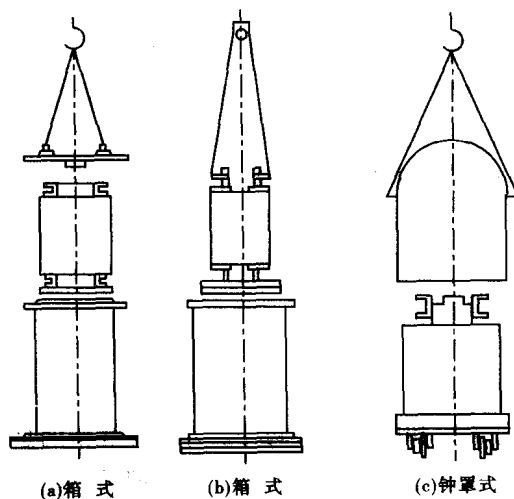


图 1-8 变压器油箱

油箱中注满变压器油,其作用是为了冷却和绝缘。变压器油的主要指标是绝缘强度、

黏度、酸价、闪点、凝固点等。

变压器油要求十分纯净,不含杂质,如酸、碱、硫、水分、灰尘、纤维等。即使其中含有少量的水分,也将使绝缘强度大大降低,同时水分将腐蚀金属,降低散热能力。因此,油面应避免与空气接触,以防止受潮和氧化,降低绝缘和散热能力。

5. 油 枕

油枕又称储油柜,安装在变压器顶部,如图 1-3 所示。变压器在运行中,因铁芯和绕组发热,会使油温上升,油的体积要因此而膨胀。如果不设油枕,油将不能注满油箱,因为必须留有足够的空间,以供油膨胀之用。由于油箱箱体的截面很大,当变压器负荷降低时,油温下降,体积缩小,油面将会与大面积的空气接触,如不设置油枕,势必会加速油的吸潮和氧化。设置油枕之后,为变压器油提供了一个膨胀室,缩小了油与空气的接触面积,可大为延缓油吸潮和氧化的速度,且可防止因油膨胀导致箱体受高压而产生爆炸。

此外,设置油枕之后,可使油面高度超过箱盖和套管的高度,使绝缘套管中也充满变压器油,以增加引出线的绝缘强度。

6. 呼吸器

呼吸器又称吸湿器,如图 1-3 所示。当变压器油热胀冷缩时,气体经过它进出油枕上部,以保持油箱内压力正常。呼吸器内部装有氯化钴浸渍过的硅胶,具有很强的吸潮能力,当含有水分的空气经呼吸器进入油枕时,水分将被硅胶吸收,以减小进入变压器的空气的水分含量。

硅胶除能吸潮之外,还起指示剂的作用,硅胶在干燥状态下呈乳白色,吸收潮气后呈粉红色。如硅胶变为粉红色,则说明硅胶已失去吸湿效能,必须进行干燥或更换,以保证呼吸器的有效作用。

7. 防爆管

防爆管又称为安全气道,如图 1-3 所示。防爆管是变压器的安全保护装置,800kVA 以上的变压器都应设这种保护装置。防爆管的下端开口接于油箱盖,与油箱相通。当变压器内部发生严重故障时,变压器油会被分解,产生大量气体,呼吸器排放不及,致使油枕和防爆管上部气体压力增大。当压力增至 0.5 个大气压时,气体和油将冲破防爆管的密封玻璃向外喷出,降低油箱内压力,以防止油箱爆炸。

现在防爆管已逐渐被压力释放阀所取代。变压器正常工作时,油箱内部压力在压力释放阀的关闭压力以下,压力释放阀处于关闭状态;当变压器内部故障压力超过释放阀的开启压力时,压力释放阀能在 2ms 内迅速开启,将变压器箱体内气体排出,使油箱内的压力很快降低,避免变压器爆炸。

8. 绝缘套管

为了将变压器绕组的引出线从油箱内引出到油箱外,则引线在穿过接地的油箱时,必须将带电的引线与箱体可靠地绝缘,所用的绝缘装置便是绝缘套管。绝缘套管同时还起固定引线的作用。

绝缘套管由外部的瓷套与中心的导电杆组成,其导电杆在油箱中的一端与绕组的出线端相接,在油箱外面的一端和外线路相接。绝缘套管的结构因电压的高低而不同,电压不高时可用简单的瓷质空心式套管;电压较高时可在瓷套管和导电杆之间充油;电压更高