

职业教育精品实用教材

# 电机与电气控制技术

主 编 白 雪  
副主编 李庄梵

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书主要内容包括变压器、异步电动机、直流电机、常用控制电机、常用低压电器、继电器—接触器控制电路、常用机床的电气控制、交流桥式起重机的电气控制、交流电梯的电气控制、可编程控制器(PLC)等。每章均有内容提要、本章导读等栏目,帮助学生在学的过程中巩固知识,达到更有效的学习效果。

## 图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术/白雪主编. —西安:西北工业大学出版社,2008.6

职业教育精品实用教材

ISBN 978-7-5612-2399-4

I. 电… II. 白… III. ①电机学—职业教育—教材②电气控制—职业教育—教材  
IV. TM3 TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第076040号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:北京市兆成印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:16.25

字 数:390千字

版 次:2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

定 价:25.90元

# 出版说明

为了更好地贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,全面落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,职业教育精品实用教材编写组组织相关力量对实现职业教育培养目标、保障重点专业建设的主干课程进行了规划和编写。

职业教育精品实用教材是面向职业教育的规范性教材,严格按照国家最新颁发的教学大纲编写,并通过了专家的审定。本套教材深入贯彻素质教育的理念,突出职业教育的特点,注重对学生的创新能力和实践能力的培养,在内容编排、例题设置和图示说明等方面努力创新,在满足不同学制、不同专业以及不同办学条件教学需求的同时,实现教学效果的最优化。

我们希望各地、各校在使用本套教材的过程中,及时提出改进意见和建议,使之不断地得到完善和提高。

**职业教育精品实用教材编写组**

# 前 言

随着社会经济的发展,对专业技术人才的需求日趋旺盛,也对技术人才的专业知识和操作技能提出了更高的要求。因此,为了更好地适应社会对电工电子类人才的需求,职业学校电工电子类专业的招生规模也不断扩大,教学内容和教学方法也在不断调整。

本书根据国家教育部最新颁发的教学指导要求编写,可作为职业技术学校电工电子技术类专业教材,也可作为职工培训教材和职业技能鉴定指导教材。

本书的编写力争体现职业教育的性质、任务和培养目标。相关专家审定后认为本书符合职业教育的课程教学基本要求,符合职业教育的特点和规律,具有新时代职业教育特色。

本书在内容组织上紧扣职业学校学生的实际情况,具有深入浅出、通俗易懂、操作性强的特点。另外,本书尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容,力求教材具有较鲜明的时代特征。在教材的编写模式方面尽可能减少理论分析及叙述,把重点放在电机及电器的结构特点、应用维修方面,力求给学生营造一个更加直观的认知环境。通过本书的学习,能培养学生理论联系实际、严谨求实、团结协作的精神,能有效地提高学生独立分析问题、解决问题的能力。

本书主要内容包括变压器、异步电动机、直流电机、常用控制电机、常用低压电器、继电器—接触器控制电路、常用机床的电气控制、交流桥式起重机的电气控制、交流电梯的电气控制、可编程控制器(PLC)等。每章均有内容提要、本章导读等栏目,帮助学生在学的过程中巩固知识,达到更有效的学习效果。

本书教学建议约为 116 课时,课时分配建议如下:

章 次	课时数
第 1 章 变压器	12
第 2 章 异步电动机	14
第 3 章 直流电机	12
第 4 章 常用控制电机	10
第 5 章 常用低压电器	12
第 6 章 继电器—接触器控制电路	16
第 7 章 常用机床的电气控制	12
第 8 章 交流桥式起重机的电气控制	10
第 9 章 交流电梯的电气控制	8
第 10 章 可编程控制器(PLC)	10
合 计	116

本书由白雪担任主编,李庄梵担任副主编。在编写过程中,编者参阅了大量的相关专业书籍和资料,在此向原著作者表示衷心的感谢。

由于编者的编写经验有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请广大读者提出宝贵的意见,以便进一步完善。

编 者

# 目 录

第 1 章 变压器 .....	1
1.1 变压器的工作原理及分类 .....	1
1.2 单相变压器的基本结构 .....	3
1.3 单相变压器的空载运行 .....	8
1.4 单相变压器的负载运行 .....	12
1.5 三相变压器 .....	15
1.6 其他用途的变压器 .....	20
1.7 变压器的常见故障分析 .....	26
复习思考题 .....	27
第 2 章 异步电动机 .....	29
2.1 三相异步电动机的工作原理 .....	29
2.2 三相异步电动机的结构 .....	33
2.3 三相异步电动机的空载运行 .....	36
2.4 三相异步电动机的负载运行 .....	37
2.5 三相异步电动机的机械特性 .....	40
2.6 三相异步电动机的启动 .....	43
2.7 三相异步电动机的调速 .....	49
2.8 三相异步电动机的制动 .....	50
2.9 三相异步电动机的运行维护与故障分析 .....	53
2.10 单相异步电动机的结构和工作原理 .....	54
2.11 常用单相异步电动机 .....	55
复习思考题 .....	61
第 3 章 直流电机 .....	62
3.1 直流电动机的工作原理 .....	62
3.2 直流电动机的基本结构 .....	63
3.3 直流电机的电磁转矩和电枢电动势 .....	66
3.4 直流电动机的运行原理与机械特性 .....	68
3.5 直流他励电动机的启动和调速 .....	73
3.6 直流他励电动机的反转与制动 .....	75
3.7 直流电动机的应用及微型直流电动机简介 .....	77
复习思考题 .....	79

第 4 章 常用控制电机 .....	80
4.1 控制电机概述 .....	80
4.2 步进电机 .....	81
4.3 伺服电机 .....	82
4.4 测速发电机 .....	85
4.5 直线电机 .....	86
复习思考题 .....	93
第 5 章 常用低压电器 .....	94
5.1 低压电器的基本知识 .....	94
5.2 接触器 .....	96
5.3 继电器 .....	103
5.4 熔断器 .....	116
5.5 低压断路器 .....	120
5.6 主令电器 .....	124
5.7 刀开关和组合开关 .....	128
5.8 转换开关 .....	129
复习思考题 .....	130
第 6 章 继电器-接触器控制电路 .....	132
6.1 电气控制电路的原理图与接线图 .....	132
6.2 三相笼形异步电动机电气控制电路 .....	136
6.3 三相笼形异步电动机降压启动控制电路 .....	142
6.4 三相绕线转子异步电动机的启动控制电路 .....	146
6.5 三相异步电动机电气制动控制电路 .....	148
6.6 三相异步电动机的调速控制电路 .....	153
6.7 直流电动机的电气控制 .....	155
6.8 电动机的保护 .....	158
6.9 继电器-接触器控制电路的故障分析 .....	160
复习思考题 .....	162
第 7 章 常用机床的电气控制 .....	163
7.1 电气控制电路分析基础 .....	163
7.2 M7130 平面磨床的电气控制电路 .....	167
7.3 Z3040 型摇臂钻床的电气控制电路 .....	172
7.4 XA6132 型卧式铣床的电气控制电路 .....	181
7.5 T68 型卧式镗床的电气控制电路 .....	189
7.6 组合机床单机电气控制电路 .....	194
7.7 机床电气设备的日常维护、保养和检修 .....	196

此为试读，如需完整版PDF，请访问：[www.eitongbook.com](http://www.eitongbook.com)

7.8 电气控制系统故障查找与检修方法 .....	199
复习思考题 .....	201
第 8 章 交流桥式起重机的电气控制 .....	202
8.1 桥式起重机概述 .....	202
8.2 交流桥式起重机控制电路 .....	204
8.3 10 t 桥式起重机控制电路 .....	207
复习思考题 .....	212
第 9 章 交流电梯的电气控制 .....	213
9.1 电梯的基本结构、分类和基本参数 .....	213
9.2 电梯电气控制基本环节 .....	216
9.3 电梯电气控制系统的常见故障及分析 .....	220
9.4 电梯电气设备的安装和调整 .....	223
复习思考题 .....	226
第 10 章 可编程控制器(PLC) .....	227
10.1 PLC 概述 .....	227
10.2 PLC 硬件结构和工作原理 .....	231
10.3 FX2 系列 PLC 的内部寄存器 .....	237
10.4 FX2 系列 PLC 的指令系统简介 .....	239
10.5 FX2 系列 PLC 使用的编程器简介 .....	242
复习思考题 .....	243
电机与电气控制专业名词中英文对照 .....	244
参考文献 .....	250

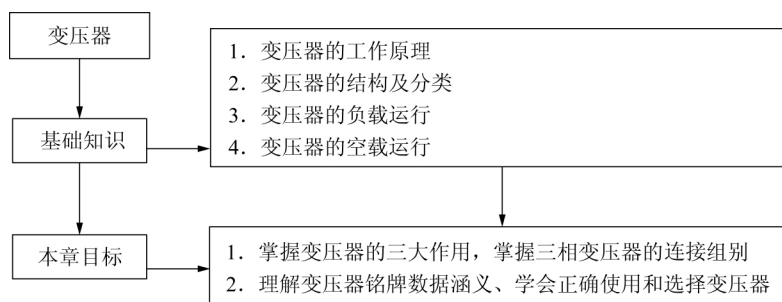
# 第 1 章

## 变 压 器

### 【内容提要】

本章对一般用途的电力变压器的工作原理、基本结构和运行情况作简要介绍。变压器是一种静止的、将电能转换为电能的电气设备。它是利用电磁感应原理,将某一等级的交流电压和电流转变成同频率另一等级的电压和电流的设备。其对电能的经济输送、灵活分配和安全用电具有重要意义,在电气测量、电气控制中都具有广泛的应用。

### 【本章导读】



## 1.1 变压器的工作原理及分类

### 1.1.1 变压器的基本工作原理

变压器是在一个闭合的铁芯磁路中,套上了两个相互独立的、绝缘的绕组,这两个绕组之间只有磁的耦合,没有电的联系,如图 1.1 所示。通常在一个绕组上接交流电源,称为一次绕组(或称原绕组或初级绕组),其匝数为  $N_1$ ;另一个绕组接负载,称为二次绕组(或称副绕组或次级绕组),其匝数为  $N_2$ 。

当在一次绕组中加上交流电压  $\dot{U}_1$  时,在  $\dot{U}_1$  的作用下,流过交流电流  $\dot{I}_1$ ,并建立交变磁通势,在铁芯中产生交变磁通  $\dot{\Phi}$ 。该磁通同时交链一、二次绕组,根据电磁感应定律,在一、二次

绕组中产生感应电动势  $\dot{E}_1, \dot{E}_2$ 。二次绕组在感应电动势  $\dot{E}_2$  作用下向负载供电, 实现电能传递。其感应电动势瞬时值分别为

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

由于  $\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1, \dot{U}_2 \approx \dot{E}_2$ 。则一、二次绕组电压和电动势有效值与匝数的关系为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.1)$$

由此可知, 变压器一、二次绕组电压之比等于一、二次绕组的匝数比。在磁通势一定的条件下, 只要改变一次或二次绕组的匝数, 便可达到改变二次绕组输出电压  $U_2$  大小的目的。这就是变压器利用电磁感应定律, 将一种电压等级的交流电源转变成同频率的另一电压等级电源的基本工作原理。

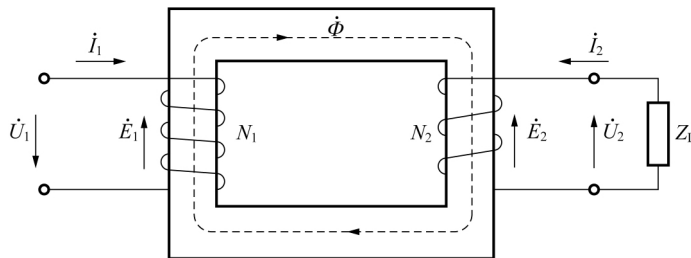


图 1.1 变压器工作原理

### 1.1.2 变压器的分类

变压器的种类很多, 可以按用途、结构、相数、冷却方式等来进行分类。

按用途不同, 可以分为电力变压器(主要用在输配电系统中, 又分为升压变压器、降压变压器和配电变压器)和特种变压器(如仪用变压器、试验变压器、电炉变压器、电焊变压器等)。

按绕组数不同, 可分为单绕组(自耦)变压器、双绕组变压器、三绕组变压器和多绕组变压器等。

按相数的不同, 可为单相变压器、三相变压器和多相变压器。

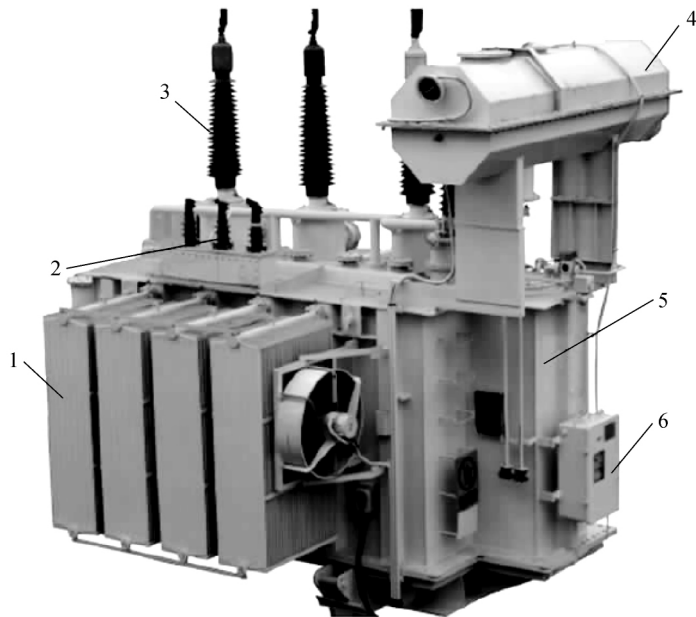
按铁芯结构的不同, 可分为芯式变压器和壳式变压器。

按冷却介质和冷却方式的不同, 可分为空气自冷式(或称为干式)变压器、油浸式变压器和充气式变压器。

电力变压器按容量大小通常分为小型变压器(容量为  $10 \sim 630 \text{ kV} \cdot \text{A}$ )、中型变压器(容量为  $800 \sim 6300 \text{ kV} \cdot \text{A}$ )、大型变压器(容量为  $8000 \sim 63000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ )和特大型变压器(容量在  $90000 \text{ kV} \cdot \text{A}$  及以上)。

## 1.2 单相变压器的基本结构

变压器的主要组成部分是铁芯、绕组。为了改善散热条件,大、中容量的电力变压器的铁芯和绕组浸入盛满变压器油的封闭油箱中,各绕组对外线路的连接由绝缘套管引出。为了使变压器安全可靠地运行,还设有储油柜、安全气道、气体继电器等附件。图 1.2 是一台三相油浸式电力变压器的外形图。



1—冷却器 2—低压套管 3—高压套管  
4—储油柜 5—油箱 6—有载调压开关的控制箱

图 1.2 三相油浸式电力变压器外形图

### 1. 铁芯

(1) 铁芯材料。铁芯是变压器的磁路部分,分为铁芯柱和铁轭两部分。铁芯柱上套装绕组,铁轭的作用是使磁路闭合。为了提高铁芯导磁性能,减少铁芯内的磁滞损耗和涡流损耗,铁芯通常采用含硅量约为 5%,厚度为 0.35 mm 或 0.5 mm,两面涂绝缘漆或氧化处理的硅钢片叠装而成。其牌号一般有 D31—0.35, D42—0.35, D320—0.35 等,其中字母 D 表示电工钢;D 后面的第一位数字表示含硅量,数字越大,表示含硅量越高;第二位数字表示比损耗(即在交变磁通作用下,单位质量铁芯中的损耗)的高低,数字越大,比损耗越低;第三位数字表示冷轧硅钢片(如果没有第三位数字,则是热轧硅钢片),冷轧硅钢片具有较优良的导磁性能和较低的比损耗。对有特殊要求的变压器,可以采用坡莫合金(如 D79)。

(2) 铁芯结构。按照绕组套入铁芯柱的形式,铁芯可分为芯式结构和壳式结构两种,如图 1.3 所示。

此为试读,需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

1) 芯式变压器。芯式变压器的原、副绕组套装在铁芯的两个铁芯柱上,如图 1.3(a)所示。这种结构比较简单,有较多的空间装设绝缘,装配较容易,且用铁量较少,适用于容量大、电压高的变压器,一般电力变压器均采用芯式结构。三相芯式变压器是将 A、B、C 三相的绕组分别放在 3 个铁芯柱上,3 个铁芯柱由上、下两个铁轭连接起来,构成闭合磁路。

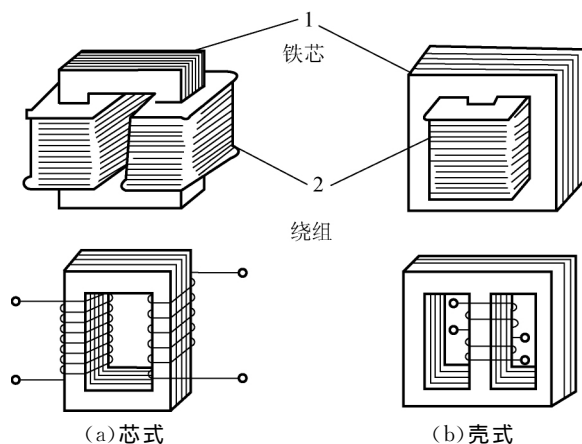


图 1.3 芯式和壳式变压器

绕组的布置方式是将低压绕组放在内侧,而把高压绕组放在外侧,如图 1.4 所示。

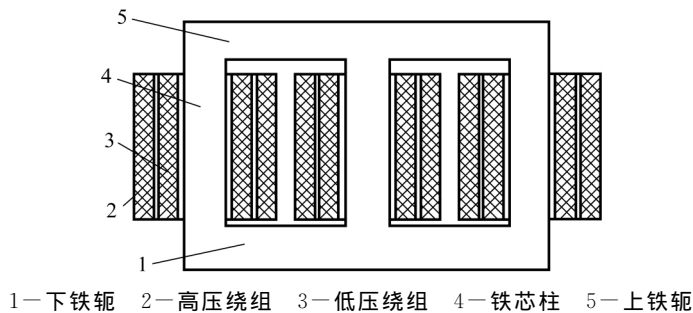


图 1.4 三相芯式变压器的铁芯

2) 壳式变压器。壳式变压器的铁芯包围着绕组的上下和侧面,如图 1.3(b)所示。这种结构的变压器机械强度较好,铁芯容易散热,但用铁量较多,制造也较为复杂,小型干式变压器多采用这种结构形式。

(3) 铁芯的装配方法。一般采用交错式装配,它是把剪成一定尺寸的长方形硅钢片交错叠装而成。在叠装时,相邻层的接缝要错开,如图 1.5 所示,也可用 2~3 张硅钢片作一层。对于冷轧硅钢片,沿轧延方向有较小铁耗和较高的导磁率,若如图 1.5 所示的叠装,在磁路转角处,由于磁通方向和轧延方向成  $90^\circ$ ,将引起铁耗增加。因此,为了使磁通方向和轧延方向基本一致,也可采用如图 1.6 所示的斜切硅钢片的叠装法。

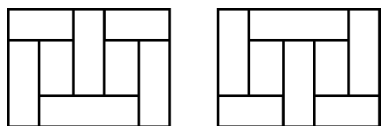


图 1.5 三相铁芯的叠装次序

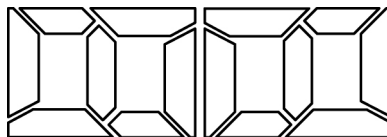


图 1.6 斜切硅钢片的叠装法

(4) 铁芯截面形式。为了使绕组便于制造和在电磁力作用下受力均匀以及机械性能好,一般都把绕组做成圆形。这是为了充分利用绕组内的圆柱形空间,铁芯柱一般做成阶梯多边形,如图 1.7 所示。阶梯的级数越多,截面愈接近于圆形,空间利用率愈高,但制造工艺也愈复杂。小容量变压器的铁芯柱也有做成正方形的,随着变压器容量的增加,铁芯柱的级数也增多。在大容量变压器中,为了改善铁芯的冷却条件,还在铁芯柱中开设油道,以利散热。

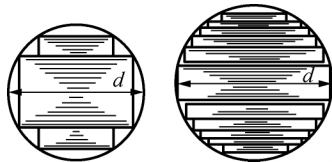


图 1.7 铁芯柱截面的形状

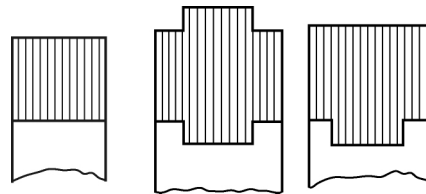


图 1.8 铁轭截面的各种形状

变压器铁轭的截面有矩形的,也有阶梯形的,如图 1.8 所示。为了减小变压器的空载电流和铁耗,在芯式铁芯中,铁轭截面一般比铁芯柱截面大 5%~10%,在大容量变压器中也有做成相等的。

## 2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,一般用绝缘包铝线或铜线绕制而成。

变压器中,接到高压电网的绕组称为高压绕组,接到低压电网的绕组称为低压绕组。高、低压绕组之间的相对位置有同芯式和交叠式两种不同的排列方式。同芯式绕组的排列方式如图 1.9 所示,高、低压绕组同心地套在铁芯柱上。为了便于绕组和铁芯绝缘,通常低压绕组靠近铁芯。交叠式绕组的排列方式如图 1.10 所示,高、低压绕组沿铁芯柱高度方向交叠地放置,为了增大绝缘距离,通常低压绕组靠近铁轭,这种结构主要用在壳式变压器中。

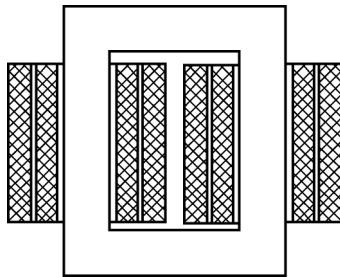


图 1.9 同芯式绕组

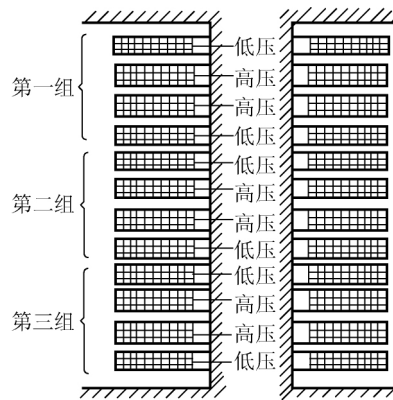


图 1.10 交叠式绕组

(1) 同芯式绕组。同芯式绕组是变压器的高、低压绕组分别由一个或多个线圈同心地套装在铁芯柱上。按线圈绕制的特点,分为圆筒式、分段式、螺旋式和连续式等几种主要形式。

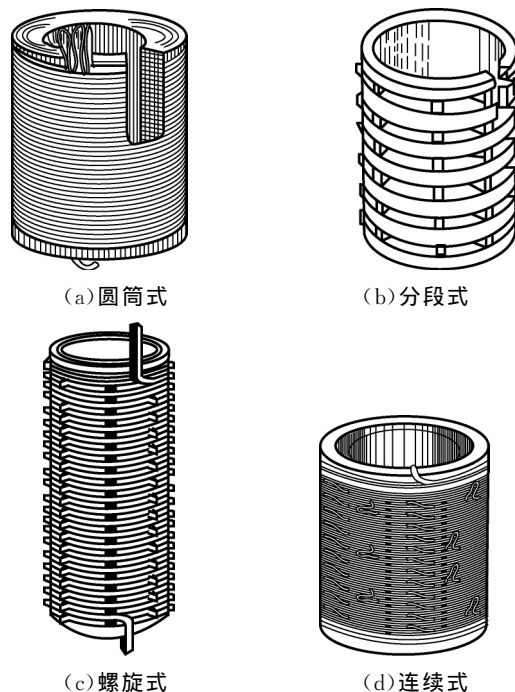


图 1.11 同芯式绕组的基本形式

1) 圆筒式线圈。由一根或几根并联的绝缘导线沿铁芯柱高度方向连续绕制而成,是一种最便于绕制的线圈,一般用于  $10\sim 630\text{ kV}\cdot\text{A}$  三相变压器的高压绕组或低压绕组。用做高压绕组时,由于电压较高、电流较小,导线细,匝数多,通常采用圆线绕成多层圆筒式线圈,如图 1.11(a)所示。为了便于线圈内部散热,当层数较多时,中间开设轴向油道。用做低压绕组时,因电压较低,匝数少,电流较大,导线截面大,通常采用扁线绕成单层或双层圆筒式线圈。在双层圆筒式线圈中,有时在层间也设轴向油道。

2) 分段式线圈。它是将圆筒式绕组沿轴线分成若干段,每段之间用绝缘衬垫隔开,然后在外部用连接线连接起来,如图 1.11(b)所示。它比圆筒式绕组机械强度高、散热能力强,它一般用于每柱容量为  $350\text{ kV}\cdot\text{A}$  及以下的高压绕组中。

3) 螺旋式线圈。它是由多根扁线沿径向并联排列,然后沿铁芯柱轴向像螺纹一样,一匝跟着一匝绕制而成,这时,一个线饼就是一匝,当并联导线太多时,可把并联导线沿轴向分成两排,绕成双螺旋式线圈。为了减少导线中的附加损耗,在绕制过程中需将导线进行换位,如图 1.11(c)所示。它一般用于三相容量为  $800\text{ kV}\cdot\text{A}$  及以上,电压为  $35\text{ kV}$  及以下的大电流变压器中的低压绕组,这种绕组导线截面积大、匝数少、绕组端部连接容易处理。

4) 连续式线圈。它是由单根或多根扁漆包线盘绕,沿轴线分若干段绕制成线饼。从一个线饼到另一个线饼的连接,不像分段式那样焊接,而是用特殊的“翻线法”连续绕线。线饼与线饼之间无接头,中间有油道,加强冷却作用,如图 1.11(d)所示。

(2) 交叠式绕组。交叠式绕组又称饼式绕组,它是高低压绕组分成若干线饼,沿着铁芯柱的高度方向交替排列。为了便于绕线和铁芯绝缘,一般最上层和最下层放置低压绕组,如图 1.10所示。交叠式绕组的主要优点是漏抗小,机械强度高,引线方便。这种绕组仅用于壳式变

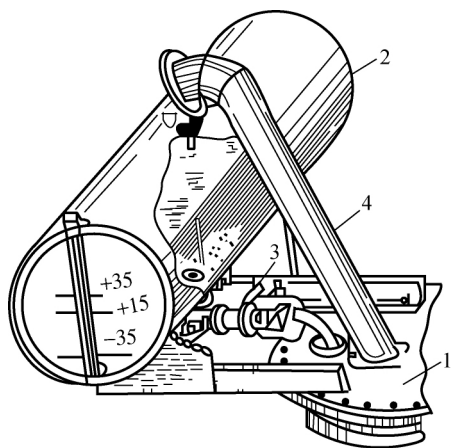
压器中,如大型电炉变压器就采用这种结构。

### 3. 附件

(1) 油箱。油浸式变压器均要有一个油箱,装入变压器油后,将组装好的器身装入其中,以保证变压器正常工作。变压器油用做加强变压器内部绝缘强度和散热作用。对变压器油箱要求比较高,要用质量好的钢板焊接而成,能承受一定压力,某些部位必须具有防磁化性能。为了检修变压器的方便,大型变压器油箱均采用了钟罩式结构,钟罩式就是将油箱盖和油箱壁制成一体,罩在器身(铁芯和绕组是变压器的主要部件,称为器身)上,变压器检修时不用吊起沉重的器身,只要将油放掉,将上节油箱吊起就可以检修。

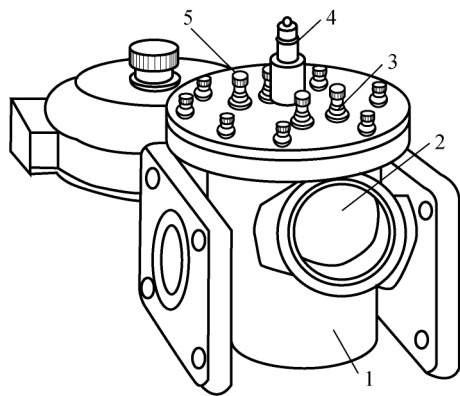
(2) 储油柜。变压器在运行中,随着油温的变化,油的体积会膨胀或收缩,为了减少油与外界空气的接触面积,减小变压器油受潮和氧化的概率,通常在变压器上部安装一个储油柜(俗称油枕),如图 1.12 所示。在大型电力变压器的储油柜内还安放一个特殊的空气胶囊(一般用耐油氯丁橡胶制成),它通过呼吸器与外界相通,空气胶囊阻止了储油柜中变压器油与外界空气接触。空气胶囊形状可以随油的膨胀或收缩而变化,储油柜通过油管、瓦斯继电器与主油箱连通,这样保持了主油箱始终充满了油,并且不与外界空气接触。

(3) 气体继电器。气体继电器又称为瓦斯继电器,是变压器的一种保护装置,其外形图如图 1.13 所示,安装在油箱与储油柜的连接管道中,当变压器内部发生故障时(如绝缘击穿、匝间短路、铁芯事故、油箱漏油使油面下降较多等)产生的气体和油流,迫使气体继电器动作。轻则发出信号,以便运行人员及时处理;重则使断路器跳闸,以保护变压器。



1—油箱 2—油枕  
3—气体继电器 4—安全气道

图 1.12 部分附件图



1—外壳 2—观察窗  
3—接信号回路 4—放气孔 5—接跳闸回路

图 1.13 气体继电器外形图

(4) 呼吸器。随着负荷和气温变化,变压器油温也不断变化,这样油枕内的油位随着整个变压器油的膨胀或收缩而发生变化,为了防止潮气进入油枕使油劣化,将油枕用一根管子从上部连通到一个内装硅胶的干燥器(俗称呼吸器),硅胶对空气中水分具有很强的吸附作用,干燥状态为蓝色,吸潮饱和后变为粉红色。吸潮的硅胶可以再生。

(5)冷却器。直接装配在变压器油箱壁上,对于强迫油循环风冷变压器,电动泵从油箱顶部抽出热油送入散热器管簇中,这些管簇的外表受到来自风扇的冷空气吹拂,使热量散失到空气中去,经过冷却后的油从变压器油箱底部重新回到变压器油箱内。无论电动泵装在冷却器上部还是下部,其作用是一样的。

(6)绝缘套管。变压器绕组的引出线从油箱内部引到箱外时必须经过绝缘套管,使引线与油箱绝缘。绝缘套管一般是陶瓷的,其结构取决于电压等级。1 kV 以下的采用实心磁套管,10~35 kV 的采用空心充气或充油式套管,110 kV 及以上的采用电容式套管。为了增大外表面放电距离,套管外形做成多级伞形裙边,如图 1.14 所示。电压等级越高,级数越多。

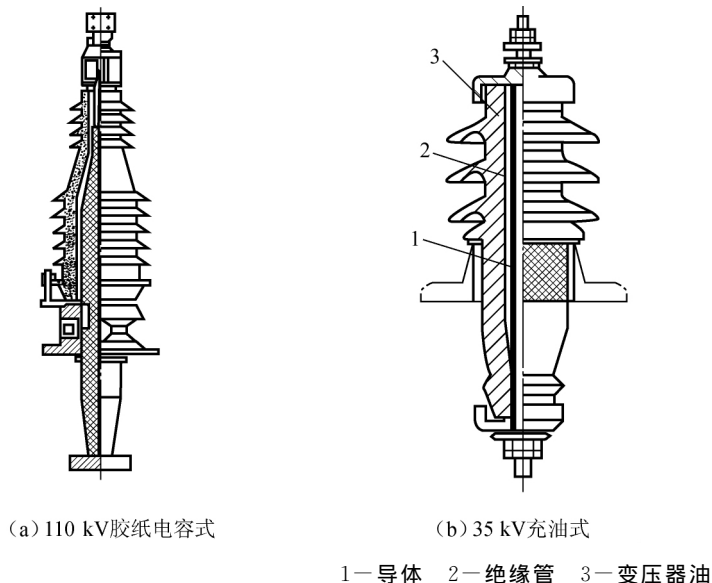


图 1.14 绝缘套管

(7)分接开关。变压器常用改变绕组匝数的方法来调压。一般从变压器的高压绕组引出若干抽头,称为分接头,用以切换分接头的装置称为分接开关。分接开关分为无载调压和有载调压两种,前者必须在变压器停电的情况下进行切换,后者可以在变压器带负载情况下进行切换。分接开关安装在油箱内,其控制箱在油箱外,有载调压分接开关内的变压器油是完全独立的,它也有配套的油箱、瓦斯继电器、呼吸器。

(8)压力释放阀。当变压器内部发生严重故障而产生大量气体时,油箱内压力迅速增加,为防止变压器发生爆炸,油箱上安装压力释放阀。

### 1.3 单相变压器的空载运行

变压器空载运行是指变压器原边绕组接额定电压、额定频率的交流电源,副边绕组开路时

的运行状态。变压器空载运行时的示意图如图 1.15 所示。原、副边电路的各物理量分别用下标“1”和“2”标注,以示区别。

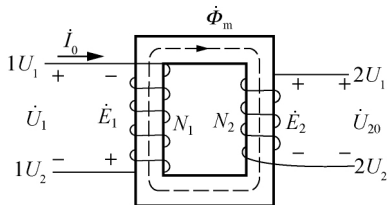


图 1.15 变压器的空载运行

### 1. 变压器有关各量参考方向的规定

由于变压器中电压、电流、磁通及电动势的大小和方向均随时间作周期性变化,为了能正确表明各量之间的关系,首先要规定它们的参考方向。通常是这样规定的:

- (1)在原、副绕组内,电压的参考方向与电流的参考方向一致。
- (2)磁通的参考方向与电流的参考方向之间的关系符合右手螺旋法则。
- (3)绕组感应电动势的参考方向与产生该电动势的磁通参考方向一致。
- (4)在副绕组内,电动势的参考方向与电流的参考方向一致。

图 1.15 中各有关量的参考方向,就是根据上述规定做出的。图中  $N_1, N_2$  分别是原绕组和副绕组的匝数。假设变压器是理想变压器,其原、副绕组没有电阻,铁芯励磁后没有漏磁通,磁路不饱和,而且铁芯中没有损耗。当原绕组加上交流电压  $\dot{U}_1$  后,原绕组中就流过交流电流  $\dot{I}_0$ ,由于副绕组开路,  $\dot{I}_2 = 0$ ,这时  $\dot{I}_0$  称为空载电流。 $\dot{I}_0$  在原绕组中产生交变磁动势  $\dot{F}_0 = N_1 \dot{I}_0$ ,  $N_1 \dot{I}_0$  就产生交变磁通  $\dot{\Phi}_0$ ,磁通的大部分通过铁芯而闭合。既穿过原绕组,也穿过副绕组的磁通称为主磁通,即  $\dot{\Phi}_m$ 。

### 2. 变压器中各有关量间的关系

根据电磁感应定律,主磁通  $\dot{\Phi}_m$  将在原绕组、副绕组中产生感应电动势  $\dot{E}_1, \dot{E}_2$ 。按照基尔霍夫回路电压定律,在原绕组中的电动势  $\dot{E}_1$  与外加电压  $\dot{U}_1$  大小相等,方向相反;在副绕组中,由于开路,产生的感应电动势  $\dot{E}_2$  与端电压  $\dot{U}_{20}$  大小相等,方向相同。即

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 \tag{1.2}$$

$$\dot{U}_{20} = \dot{E}_2 \tag{1.3}$$

以上两式表明,铁芯中没有损耗,即铁芯中没有磁滞损耗和涡流损耗,则  $\dot{I}_0$  只用于产生主磁通  $\dot{\Phi}_m$ ,原绕组是一个没有电阻的纯电感电路,电流  $\dot{I}_0$  滞后电压  $\dot{U}_1$   $90^\circ$ 。又由于感应电动势  $\dot{E}_1$  与外加电压  $\dot{U}_1$  反相,所以,感应电动势  $\dot{E}_1$  滞后于电流  $\dot{I}_0$   $90^\circ$ ,主磁通  $\dot{\Phi}_m$  与  $\dot{I}_0$  同相位,所