

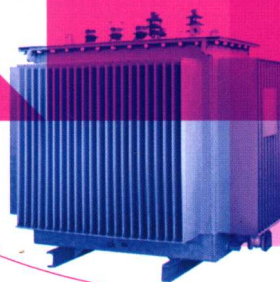
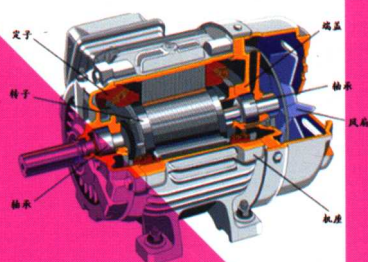


中等职业教育“十二五”规划教材

电机与变压器

DIANJI YU BIANYAQI

主编 黄平 张海珍 赖勋忠

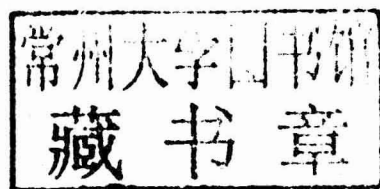


航空工业出版社

中等职业教育“十二五”规划教材

电机与变压器

主编 黄平 张海珍 赖勋忠



航空工业出版社

北京

内 容 简 介

本书共分 9 章, 主要内容包括变压器基础知识、单相变压器的运行、三相变压器、几种特殊变压器、三相异步电动机、单相异步电动机、同步电机、直流电机和特种电机。在教学单元中加入了与学习内容相关的实训, 如单相变压器的空载试验和短路试验、三相变压器绕组极性 & 联结组别的测定等, 将相关技能与知识点同步推进, 真正做到了理论联系实际。

本书可作为中等职业学校电气技术应用、电子技术应用等专业教材, 也可作为行业部门技术工人岗位培训教材及自学用书。

图书在版编目 (C I P) 数据

电机与变压器 / 黄平, 张海珍, 赖勋忠主编. -- 北
京: 航空工业出版社, 2015. 3
ISBN 978-7-5165-0686-8

I. ①电… II. ①黄… ②张… ③赖… III. ①电机—
中等专业学校—教材②变压器—中等专业学校—教材
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 048819 号

电机与变压器 Dianji yu Bianyaqi

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010-84936597 010-84936343

北京市科星印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2015 年 3 月第 1 版

2015 年 3 月第 1 次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 13.5

字数: 312 千字

印数: 1—5000

定价: 35.00 元



本书是中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化教材,具有技术性强、实用性强等特点。本书以最新《维修电工国家职业标准》、《常用电机维修工国家职业标准》为依据,结合当前中等职业学校的教学特点编写而成。

本书以培养应用型工程技术人才为根本任务,以基础知识、基本概念、基本定律为主要编写原则,以“必需、够用”为准则来选择和安排知识点,并合理地更新了教学内容,突出了电工技术领域的新知识、新技术、新工艺和新方法,力求使教材具有鲜明的时代特征。在内容讲解中,对与后续课程联系不大及不必要的理论推导进行了较为合理的简化,突出了实践能力培养。

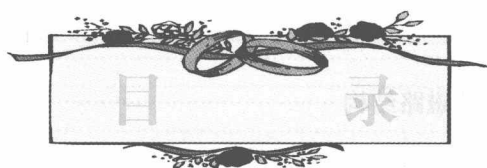
全书共分9章,分别为变压器基础知识、单相变压器的运行、三相变压器、几种特殊变压器、三相异步电动机、单相异步电动机、同步电机、直流电机和特种电机,同时安排有单相变压器的空载试验和短路试验、三相变压器绕组极性及联结组别的测定、三相异步电动机的启动与制动、单相异步电动机的拆装与检修等实训,将理论讲授与实践训练相结合,理论讲授中贯穿实际应用,实践中有理念、有方法,易学、易懂、易上手,真正做到了理论联系实际。

本书概念清楚、重点突出、通俗易懂,既注重实际应用,又具有较强的可读性。在内容安排上遵照循序渐进的原则,在知识程度上由浅入深,由易到难,在教材编写模式上尽可能使用示意图片、实物照片及表格形式将各个知识点生动地展示出来,使学生的学习过程中对书中知识易于理解,且不会觉得枯燥无味。

本书由黄平、张海珍、赖勋忠担任主编,由李树红、孙锡保、黄忠担任副主编。在编写本书的过程中,作者翻阅了大量有关电机与变压器的资料,在此向这些资料的作者和编者表示衷心的感谢。由于时间仓促,编写人员水平有限,书中不尽如人意之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2015年2月



第1章 变压器基础知识	1
1.1 变压器的用途及基本工作原理	1
1.1.1 变压器的主要用途	1
1.1.2 变压器的基本工作原理	2
1.2 变压器的分类	2
1.3 变压器的基本结构	4
1.3.1 铁心	5
1.3.2 绕组	7
1.3.3 其他结构	8
1.4 变压器的型号及主要参数	11
1.4.1 变压器的型号及其含义	11
1.4.2 变压器的额定值	12
本章小结	13
思考与练习	14
第2章 单相变压器的运行	15
2.1 单相变压器的运行原理	15
2.1.1 变压器的空载运行	15
2.1.2 变压器的负载运行	17
2.2 单相变压器的运行特性	19
2.2.1 变压器的外特性	19
2.2.2 变压器的电压调整率	20
2.2.3 变压器的损耗和效率	21
2.3 单相变压器的极性及判定	22
2.3.1 单相变压器绕组的极性	22
2.3.2 单相器绕组的连接	23
2.3.3 变压器绕组极性的判定方法	24
实训1 单相变压器的空载试验和短路试验	26
本章小结	29

思考与练习	30
第 3 章 三相变压器	32
3.1 三相变压器的用途及磁路结构	32
3.1.1 三相变压器的用途	32
3.1.2 三相变压器的磁路结构	33
3.2 三相变压器绕组的联结及联结组	34
3.2.1 星形联结	35
3.2.2 三角形联结	35
3.2.3 Yy 联结组	36
3.2.4 Yd 联结组	37
3.3 三相变压器的并联运行	38
3.3.1 三相变压器并联运行的原因	39
3.3.2 三相变压器并联运行的条件	39
3.4 三相变压器的使用、维护与检修	42
3.4.1 常见的三相变压器	42
3.4.2 三相变压器运行中的维护	43
3.4.3 三相变压器的故障检修	43
实训 2 三相变压器绕组极性及联结组别的测定	44
本章小结	48
思考与练习	49
第 4 章 几种特殊变压器	50
4.1 自耦变压器	50
4.1.1 自耦变压器的结构及用途	50
4.1.2 自耦变压器的原理	51
4.1.3 自耦变压器的容量及特点	52
4.2 仪用互感器	53
4.2.1 电压互感器	53
4.2.2 电流互感器	55
4.3 电焊变压器	56
4.3.1 电焊变压器概述	56
4.3.2 带可调电抗器式电焊变压器	57
4.3.3 磁分路动铁式电焊变压器	59
4.3.4 动圈式电焊变压器	60



4.4 小功率电源变压器和三绕组变压器	61
4.4.1 小功率电源变压器	61
4.4.2 三绕组变压器	62
本章小结	64
思考与练习	64
第 5 章 三相异步电动机	66
5.1 电机概述	66
5.1.1 电机的概念及应用	66
5.1.2 电机的类型	67
5.2 三相异步电动机的结构及铭牌	68
5.2.1 三相异步电动机的结构	68
5.2.2 三相异步电动机的铭牌	72
5.3 三相异步电动机的定子绕组	74
5.3.1 三相异步电动机定子绕组的种类	74
5.3.2 有关绕组的几个常用术语	75
5.3.3 三相异步电动机定子绕组构成的原则及合理指标	77
5.4 三相异步电动机的旋转磁场	78
5.4.1 旋转磁场的产生	78
5.4.2 旋转磁场的方向	81
5.4.3 旋转磁场的转速	81
5.5 三相异步电动机的工作原理	82
5.5.1 三相异步电动机的转动特点	82
5.5.2 转差率	83
5.6 三相异步电动机的运行原理	84
5.6.1 三相异步电动机的相关物理量	84
5.6.2 三相异步电动机的功率及效率	88
5.7 三相异步电动机的运行特性	89
5.7.1 三相异步电动机的机械特性	89
5.7.2 三相异步电动机的运行性能	91
5.8 三相异步电动机的启动	92
5.8.1 三相异步电动机的启动条件	92
5.8.2 三相笼型异步电动机的启动方式	94
5.8.3 三相绕线型异步电动机的启动方式	97

5.9 三相异步电动机的调速	100
5.9.1 变频调速	100
5.9.2 变极调速	102
5.9.3 变转差率调速	104
5.10 三相异步电动机的制动与反转	106
5.10.1 三相异步电动机的制动	107
5.10.2 三相异步电动机的反转	110
5.11 三相异步电动机的选用及常见故障	111
5.11.1 三相异步电动机的选用原则	111
5.11.2 三相异步电动机常见故障分析及排除	112
实训 3 三相异步电动机的启动与制动	114
本章小结	117
思考与练习	118
第 6 章 单相异步电动机	121
6.1 单相异步电动机的结构和基本工作原理	121
6.1.1 单相异步电动机的结构	122
6.1.2 单相异步电动机的基本工作原理	125
6.2 单相异步电动机的分类与启动	127
6.2.1 电阻分相单相异步电动机	127
6.2.2 电容分相单相异步电动机	130
6.2.3 罩极式单相异步电动机	131
6.3 单相异步电动机的调速和反转	133
6.3.1 单相异步电动机的调速	133
6.3.2 单相异步电动机的反转	137
实训 4 单相异步电动机的拆装与检修	138
本章小结	141
思考与练习	142
第 7 章 同步电机	143
7.1 同步电机的分类与基本结构	143
7.1.1 同步电机的分类	143
7.1.2 同步电机的基本结构	144
7.1.3 同步电机的铭牌	146
7.2 同步电机的工作原理	147
7.2.1 同步电机的基本工作原理	147

7.2.2 同步电动机的旋转原理	148
7.3 同步发电机的运行	150
7.3.1 同步发电机的励磁系统	150
7.3.2 同步发电机的并联运行	152
7.4 同步电动机的启动	153
7.4.1 同步电动机的启动方法	153
7.4.2 同步电动机功率因数的调整	155
本章小结	157
思考与练习	158
第8章 直流电机	160
8.1 直流电机的结构及铭牌	160
8.1.1 直流电动机的结构	161
8.1.2 直流电动机的铭牌	165
8.2 直流电机的分类及基本工作原理	166
8.2.1 直流电机的分类	166
8.2.2 直流电动机的基本工作原理	167
8.2.3 直流电动机的可逆性	168
8.3 直流电动机的特性	168
8.3.1 直流电动机的相关物理量	168
8.3.2 直流电动机的工作特性	171
8.4 直流电动机的运行	173
8.4.1 直流电动机的启动和反转	173
8.4.2 直流电动机的调速	175
8.4.3 直流电动机的制动	177
8.5 直流电动机的应用及发展	179
8.5.1 直流电动机的应用范围	179
8.5.2 直流电动机的发展要求	180
实训5 直流他励电机试验	181
本章小结	184
思考与练习	185
第9章 特种电机	187
9.1 伺服电动机	187
9.1.1 直流伺服电动机	187
9.1.2 交流伺服电动机	189

9.2 测速发电机.....	191
9.2.1 直流测速发电机	191
9.2.2 交流测速发电机	193
9.3 步进电动机.....	195
9.3.1 步进电动机的结构	195
9.3.2 步进电动机的工作原理及运行方式	196
9.3.3 步进电动机的特点及应用	197
9.4 单相串励电动机.....	198
9.4.1 单相串励电动机的结构.....	198
9.4.2 单相串励电动机的工作原理及机械特性	198
9.4.3 单相串励电动机的特点及应用	199
9.5 直线电动机.....	200
9.5.1 直线电动机的结构	200
9.5.2 直线异步电机的工作原理	201
9.5.3 直线电动机的特点及应用	201
本章小结	202
思考与练习	203

第 1 章 变压器基础知识

【学习目标】

- ◆ 熟悉变压器，掌握变压器的定义
- ◆ 了解变压器的用途，掌握变压器的基本工作原理
- ◆ 了解变压器的分类和基本结构
- ◆ 了解变压器的型号，熟悉并掌握变压器的主要参数

1.1 变压器的用途及基本工作原理

变压器是一种静止的电磁装置，它根据电磁感应的原理，将某一电压等级的交流电能转换成同频率的另一电压等级的交流电能。随着社会的发展，变压器的应用已十分广泛。

1.1.1 变压器的主要用途

电能是现代工业中最重要的能源，电能的产生、传输和应用是自工业时代起一直研究的问题。在现实生活中，发电厂发出的电能往往需要远距离传输到用电地区。在传输过程中，当功率恒定时，传输电压越高，电流越小，线路损耗越小。然而，要制造输出电压很高的发电机，目前技术很困难，成本也很高，所以需要专门的设备将发电机端的电压升高之后再传输出去，这种电气设备就是变压器。同时，由于受电端所需要的电压也不同，这时就需要用变压器将高电压降低到合适的值以供利用。

总体而言，变压器主要有以下用途：

- (1) 在电力系统中实现电能的经济传输、灵活分配和合理使用，如电力变压器、配电变压器。
- (2) 在控制系统中实现信号的传输，如无线电变压器。
- (3) 供给特殊电源专用，如电焊变压器。
- (4) 用于电工测量，如仪用变压器。

1.1.2 变压器的基本工作原理

变压器的主要部件是铁心和绕组。变压器的基本工作原理如图 1-1 所示, 在铁心柱上绕制两个绝缘线圈, 其匝数分别为 N_1 、 N_2 。其中, 电源侧的绕组称为一次绕组 (又称初级绕组或原绕组), 负载侧的绕组称为二次绕组 (又称次级绕组或副绕组)。

当一次绕组接通交流电源时, 绕组中有电流 i_1 通过, 铁圈中将产生交变磁通 Φ 。根据电磁感应原理, 其一、二次绕组将分别产生感应电动势 e_1 、 e_2 。若二次绕组与负载连接, 则负载回路中将产生电流 i_2 , 如此便完成电能的传递。此时,

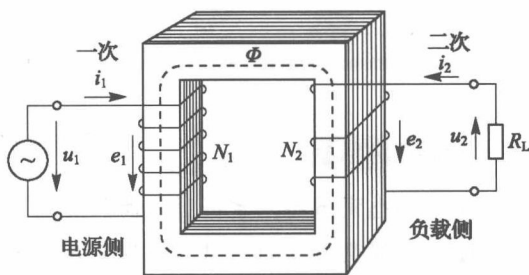


图 1-1 变压器的基本工作原理

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-2)$$

因为 $e_1 \approx u_1$, $e_2 \approx u_2$, 所以

$$\frac{u_1}{u_2} \approx \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-3)$$

即一、二次绕组的电压之比等于其线圈匝数之比。由此可见, 只要改变变压器的匝数比, 就能达到改变电压的目的。若 $N_1 > N_2$, 变压器起降压作用; 若 $N_1 < N_2$, 变压器起升压作用。



小提示

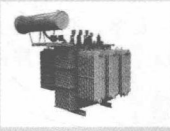
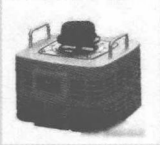
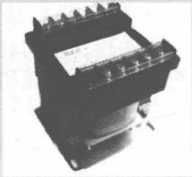
变压器只能传递交流电能, 而不能产生电能; 它只能改变交流电压或电流的大小, 而不能改变频率; 铁心中产生的磁通为电压变换的主要桥梁, 传递过程中电压与电流的乘积 (即功率 P) 基本不变。

1.2 变压器的分类

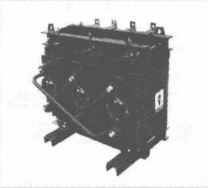
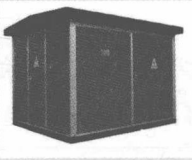
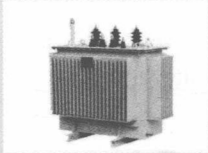
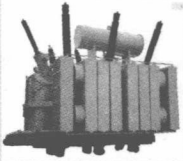
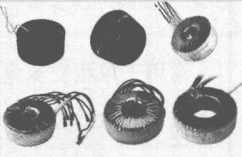
变压器可以按照用途、相数、绕组数目、冷却方式、铁心结构等进行分类, 详见

表 1-1。

表 1-1 变压器常用的分类方法及简单介绍

分类	名称	外形图	简单介绍
按用途分类	电力变压器		用作电能的传输和分配，是目前生产数量最多、使用最广泛的变压器
	自耦变压器		是输出和输入共用一组线圈的特殊变压器，常用于工业和实验室中调节电压，体积小，效率高
	仪用互感器		是专门用于测量的设备，分为电流互感器和电压互感器
	电焊变压器		常用于焊接各类钢铁材料的弧焊机上，结构简单，成本低廉，制造容易，维护方便
	电炉变压器		专供大功率电炉使用
按相数分类	单相变压器		常用于单相交流电路中的隔离、阻抗变换、电压等级变换、相位变换等，结构简单，维护方便
	三相变压器		常见的为三相电力变压器，用于在输配电系统中变换电压和传输电能

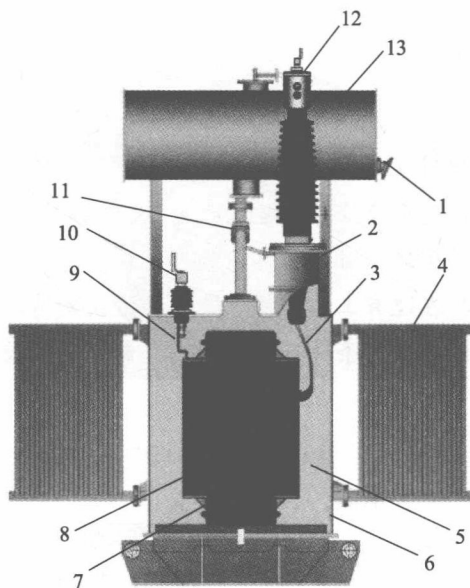
续表

分类	名称	外形图	简单介绍
按冷却方式分类	干式变压器		安全，防火，无污染，可直接运行于负荷中心；广泛用于局部照明、高层建筑等
	箱式变压器		将传统变压器集中设计在箱式壳体中，具有体积小、重量轻、低噪声、低损耗、高可靠性的特点；广泛应用于住宅小区、商业中心、车站、机场、厂矿、企业、医院、学校等场所
	油浸式变压器		在正常运行内不需要换油，大大降低了变压器的维护成本，同时延长了变压器的使用寿命；常用于大、中型变压器
按铁心结构分类	壳式变压器		用于大电流的特殊变压器，如电炉变压器、电焊变压器；或用于电子仪器及电视、收音机等的电源变压器
	心式变压器		绕组和铁心的绝缘处理比较方便，广泛用于电力变压器
	叠片式变压器		磁路短、空间利用率高，有效降低了铁心的重量、空载损耗和制造成本

变压器种类很多，上表中仅列举了几种常见的类型。例如，按冷却方式分类中，常见的还有自冷式变压器和风冷式变压器。除上述分类方法外，还可以按容量、调压方式等对变压器进行分类。

1.3 变压器的基本结构

尽管各类变压器的外观和结构差异很大，但铁心和绕组是所有变压器的主要部件。图1-2 给出了常见的油浸式电力变压器结构。



1—油位计；2—升高座；3—高压引线；4—散热器；5—变压器油；6—油箱；7—铁心；8—绕组；9—低压引线；10—低压套管；11—气体继电器；12—高压套管；13—储油柜

图 1-2 油浸式电力变压器

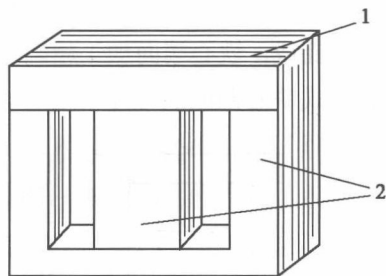
1.3.1 铁心

铁心是变压器的机械骨架，它构成了变压器的磁路系统。

1. 铁心材料

铁心由铁心柱和铁轭两部分组成。其中，套绕组的部分称为铁心柱，不套绕组只起闭合磁路作用的部分称为铁轭，如图 1-3 所示。

铁心的作用是建立较大的磁通量，构成变压器的磁路系统。因此，铁心要有良好的导磁性能，铁心内的磁滞损耗与涡流损耗要尽量小。所以，铁心通常采用 0.35 mm 厚表面绝缘的硅钢片制成。



1—铁轭；2—铁心柱

图 1-3 变压器的铁心

硅钢片在软磁材料中运用最为广泛，它主要分为热轧硅钢片和冷轧硅钢片两类。在小型变压器中，多采用 0.35 mm 或 0.55 mm 厚的热轧硅钢片，其片间涂敷绝缘漆，优点是工艺性好、损耗小、导磁性能高。

大中型变压器的铁心中多使用冷轧硅钢片。与热轧硅钢片相比，冷轧硅钢片性能更好，但由于其工艺性差，价格昂贵，所以使用受限。

小提示

磁滞损耗是指铁磁材料在磁化过程中由磁滞现象引起的能量损耗,磁滞是指铁磁材料的磁性状态变化时磁化强度滞后于磁场强度;涡流损耗是指导体在非均匀磁场中移动或处在随时间变化的磁场中时,导体内的感生电流导致的能量损耗。

所谓工艺性好,是指在现有工艺条件下,既能方便制造,又有较低的制造成本;所谓工艺性差,是指在现有工艺条件下制造困难,制造成本较高。

2. 铁心结构

根据绕组套入铁心柱的形式不同,铁心可分为心式结构和壳式结构。心式结构是在两侧的两个铁心柱上放置绕组,绕组包围铁心,如图 1-4 (a) 所示,其结构简单,易装配,省导线,常用于大容量、高电压的变压器中。壳式结构是中间的铁心柱上放置绕组,铁心包围绕组,如图 1-4 (b) 所示,其用线量较多,工艺较复杂,但散热性好,适用于小型干式变压器。

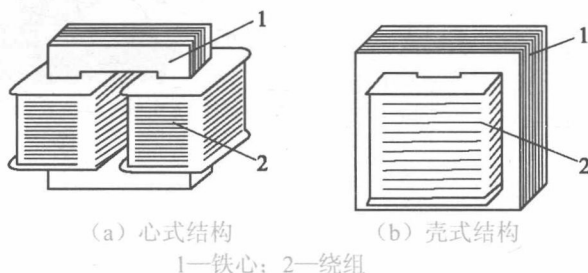


图 1-4 单相变压器的铁心结构

根据制造工艺的不同,变压器的铁心可分为叠片式和卷制式两种。心式结构铁心一般用口形或斜口形硅钢片交叉叠成,壳式结构铁心一般用 E 形或 F 形硅钢片交叉叠成,如图 1-5 所示。叠片式铁心由于气隙较大,增加了磁阻和励磁电流。而卷制式铁心由冷轧钢带卷绕而成,铁心端面加工精确,大大减小了气隙,提高了变压器的效率。图 1-6 所示为用卷制式铁心制成的 C 形变压器。

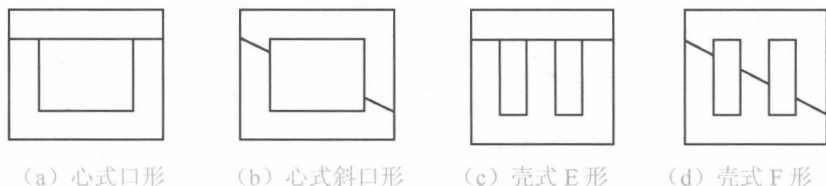


图 1-5 常见变压器铁心的叠片形状

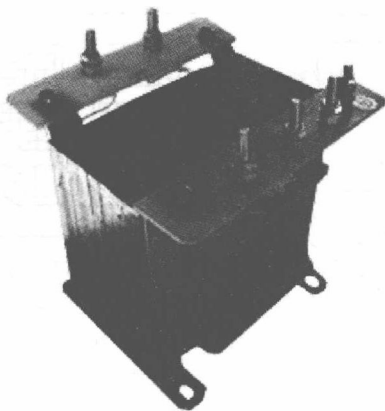


图 1-6 C 形变压器

1.3.2 绕组

绕组是电流的载体，用来产生磁通和感应电动势，它是变压器的电路部分。

1. 绕组材料

小型变压器一般用由绝缘漆包围的铜线绕制而成；容量稍大的变压器则用扁铜线或扁铝线绕制。

2. 绕组命名

前面已经提过，与电源侧连接的绕组称为一次绕组，与负载侧连接的绕组称为二次绕组；而按照绕组所接电压的高低，还可分为高压绕组和低压绕组。

3. 绕组结构

根据绕制方式的不同，绕组可分为同心式绕组和交叠式绕组。

(1) 同心式绕组

它是将高、低压绕组同心套在铁心柱上，如图 1-7 (a) 所示。一般情况下，高压绕组在外侧，低压绕组在内侧。当低压绕组通过大电流时，由于绕组引出线较粗，也可把它放到外侧。同心式绕组结构简单，绕制方便，广泛应用于控制变压器、小型电源变压器和国产变压器中。它还可分为圆筒式、螺旋式和连续式等。

(2) 交叠式绕组

它是将高、低压绕组绕成多个线饼，沿铁心轴向交叠放置，也称饼式绕组。在绕制过程中，为了便于绕线和铁心绝缘，一般在最上层和最下层放置低压绕组，如图 1-7 (b) 所示。交叠式绕组漏抗小，机械强度好，多用于壳式、干式变压器中。