

中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化教材

电机与变压器

DIANJI YU BIANYAQI

赵承荻 周玲 主编

中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化教材

电机与变压器

赵承荻 周玲 主编



机械工业出版社

本书根据中等职业学校电气控制与维修专业理论实践一体化课程教学大纲,参照国家职业标准编写。主要内容包括:变压器原理、三相电力变压器、其他变压器、三相异步电动机、单相异步电动机、直流电动机、同步电机、特种电机等。每一章后面都配有相应的技能训练和复习思考题供教学使用,充分体现理论实践一体化的教学模式,结合生产实际,突出操作技能,重视学生动手能力的培养。

本书既可作为中等职业学校电气控制与维修专业教材,也可作为成人高校或职业技术学院相关专业的教材,还可供有关专业技术人员参考和使用。

主编 周玲 赵承获

图书在版编目(CIP)数据

电机与变压器/赵承获,周玲主编. —北京:机械工业出版社,2007.7
中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化教材
ISBN 978-7-111-21877-7

I. 电… II. ①赵…②周… III. ①电机-专业学校-教材②变压器-专业学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第104670号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:朱华 王振国
责任编辑:王振国 版式设计:冉晓华 责任校对:程俊巧
封面设计:马精明 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2007年8月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·14.75印张·351千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-21877-7
定价:23.00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) 88379083
封面无防伪标均为盗版

中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化 教材编审委员会

主任委员：王 建

副主任委员：赵承荻 李 伟

委 员：（排名不分先后）

陈惠群 施利春 郭瑞红 郭 赟 陈秀梅

吕书勇 陈应华 徐 彤 荆宏智 朱 华

张 凯 刘 勇 赵金周 张 明 李宏民

本书主编：赵承荻 周 玲

参编人员：方 宁 罗 伟

本书主审：陈应华

序

进入 21 世纪,我国逐渐成为“世界制造中心”,制造业赖以生存与发展的生产技术主力军是技能型人才队伍。而制造业向消费市场提供的机床、装备机械、电气设备及各种含有电力拖动与电气控制的产品中,其电气系统都占有很大的分量和起着关键作用。要想完成装备中电气系统的研发、试制、安装、维修、操作及使用,就必须要有大量的电工类专业技能人才参与。鉴于我国制造业及其他工业企业的人才结构状况,维修电工、机电一体化以及电子技术专业技能人才严重缺乏,尤其是经过培训并获得职业技能资格证书的高技能人才更为奇缺,这种格局已成为制约我国工业经济快速发展的瓶颈。因此,国务院先后召开了“全国职业教育工作会议”和“全国加快培养高技能人才座谈会”,明确提出在“十一五”期间培养技师和高级技师 190 万人,培养高级工 800 万人,使我国高技能人才总量达到 2800 万人的宏伟目标。

众所周知,高职院校、技师学院、中职学校是培养和造就中高级技能人才的主要阵地,而教材则是这些学校向学生传授知识与技能的主要工具之一,也是人们接受终身教育和职场发展的学习工具,编写一套既能适应时代要求,又能有效地提高人才培养效果的好教材,就等于为推进技能人才培养提供了成才就业的金钥匙。

随着现代科学技术的不断发展,在电气技术方面电子元器件及变换技术的产生,电动机由直流发电机—电动机调速向各类交流调速方向快速发展;电气控制方面由接触器控制系统向可编程序控制器(PLC)系统发展;机床电气控制也由接触器控制系统向数控机床系统、计算机数控机床(CNC)快速转化。各类职业技术学院针对现代工业企业对技能人才具有极大需求的特点,大胆提出了“知识宽广够用,重在应用技能为本”的人才培养理念;又根据电气技术不断发展,人才培训理念创新和企业人才需求“特点”的时代要求,将原来的专业理论课与技能训练课分别开设的教学内容及教学模式,逐步调整为专业理论与技能训练一体化的教学内容和教学模式。因此,我们组织了长期工作在教学第一线的专家和有丰富教学经验的教师编写了这套适合中、高级技能人才培养的电气安装与维修专业的理论与实践一体化教材。

这套教材在编写原则上,着重强调了理论与实训一体化的知识内容同步、训练同步的模式。教材内容以文字、数据、图、表格相结合的方式展示给学生,以此提高学生的学习兴趣 and 认知的亲和力。而且,还参照相关国家职业标准规定的知识层次,但在内容上又不完全拘泥于标准,以此照顾到初级、中级技能人才接受知识和技能培训的需要,为各类技能人才培训搭建一个阶梯型架构。同时,也为满足培训、考工和读者自学的需要提供教材的配套。最后,在教材编写过程中尽可能多地充实新知识、新技术、新工艺、新内容,力求增强技术知识的领先性和实用性,重在教会接受培训的人员掌握一些新知识与新技能。本套教材主要作为中等职业学校的教材,也可作为技师学院、高职学校选用参考。

在本套教材的编写过程中,得到了许多学校领导、专家、老师的指导及帮助,在此谨向

前言

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。本书在编写工程中,依据了教育部 2001 年颁布的中等职业学校电工专业类专业课的教学基础要求,以及 2003 年教育部等六部委关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知中有关数控技术应用等专业的专业课教学基本要求,同时参照了 2002 年颁布的国家职业标准《维修电工》中规定的相关知识和技能要求(覆盖初级工、中级工和高级工部分)。可供全国各类中等职业学校电气运行与控制、电气运行与维修、供用电技术、机电技术应用、数控技术应用维修、机电设备安装与维修、电力机车运用与检修等相关专业选用。

全书共分八章,包括变压器原理、三相电力变压器、其他变压器、三相异步电动机、单相异步电动机、直流电动机、同步电机和特种电机。全书编有与国家职业标准《维修电工》中技能要求相配套的 10 个技能训练实例。通过对本课程的教学后,能够使学生具备维修电工中级技能型人才所必需的与本课程有关的相关知识和技能。

本书在编写过程中力图体现:以培养综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在首位,在保证必要的基础理论知识的前提下,突出和加强实践性环节教学,以“用”字为核心,把学生培养成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者。全书在理论体系、组织结构、表述方法和知识内容方面均作了一些有益的尝试,主要特色有:

1. 采用理论与实践一体化的教材结构模式,缩短了理论教学与实践教学之间的距离,加强了内在联系,使前后衔接更为合理,强化了知识性与实践性的统一。

2. 以就业为导向,以学生为主体,突出能力培养,以“用”字贯穿全书。

3. 突出电工技术领域的新知识、新技术、新工艺和新方法。以国家创导的建设节约型社会新能源政策为主线,并借鉴国外职业技术教育教材的特点,达到培养符合企业生产一线急需高素质人才的需要。

4. 全书采用国家最新颁布的电气系统图形符号和文字符号,在介绍电机、变压器、电器产品时尽量反映我国科技进步和当前市场的实际情况,以使学生学以致用,避免以往教材滞后于社会科技、生产实际状况等弊病。

本书总教学时数(含理论课教学及技能训练课时数)为 90~130 学时,具体建议课时分配方案如下表所示:

章	内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验实训	机动
一	变压器原理	20 (10)	8 (6)	12 (4)	
二	三相电力变压器	8 (6)	6 (4)	2 (2)	
三	其他变压器	6 (6)	6 (6)		
四	三相异步电动机	42 (28)	20 (16)	22 (12)	

(续)

章	内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验实训	机动
五	单相异步电动机	10 (8)	6 (6)	4 (2)	
六	直流电动机	22 (16)	14 (12)	8 (4)	
七	同步电机	4 (4)	4 (4)		
八	特殊电机	10 (6)	8 (6)	2	
	机动	8 (6)			8 (6)
	总计	130 (90)	72 (60)	50 (24)	8 (6)

本书第一、二、三、四章由湖南铁道职业技术学院赵承获编写,第五章由方宁编写,第六章由罗伟编写,第七、八章由湖南铁路科技职业技术学院周玲编写,全书由赵承获、周玲主编,湖南铁路科技职业技术学院陈应华主审,河南开封市高级技工学校王建对本书的编写也提出了许多宝贵意见,在此表示谢意。

由于编者水平有限,书中缺点、疏漏及不足之处在所难免,恳请专家和读者给予批评指正。

编 者

(续)

前 言

目 录

容 内

章

序
前言

第一章 变压器原理 1

第一节 变压器的工作原理及分类 1

一、变压器的基本工作原理 1

二、变压器的分类 1

第二节 单相变压器的基本结构 3

一、铁心 3

二、绕组 4

第三节 单相变压器的运行原理 5

一、变压器的空载运行 5

二、变压器的负载运行 7

三、变压器的阻抗变换 7

第四节 变压器的运行特性 8

一、变压器的外特性及电压变化率 8

二、变压器的损耗及效率 10

第五节 变压器的极性及判定 11

一、变压器的极性 11

二、变压器极性的判定 12

技能训练1 单相变压器的通用测试 13

技能训练2 单相变压器的拆装及重绕 16

本章小结 20

复习思考题 21

第二章 三相电力变压器 23

第一节 三相电力变压器的用途 23

第二节 三相电力变压器的结构 24

一、三相电力变压器的结构型式 24

二、三相油浸式电力变压器的结构 25

第三节 三相电力变压器的联结组 30

一、三相变压器绕组的联结 30

二、Yy 联结组 32

三、Yd 联结组 32

第四节 三相电力变压器的并联运行	34
第五节 三相电力变压器的使用与检查	36
一、国产三相电力变压器的使用	36
二、三相电力变压器的检查	37
技能训练3 三相变压器的极性和联结组的接线	38
本章小结	41
复习思考题	41
第三章 其他变压器	42
第一节 自耦变压器	42
一、自耦变压器的结构特点及用途	42
二、电压、电流及容量关系	42
第二节 仪用互感器	44
一、电流互感器	44
二、电压互感器	46
第三节 电焊变压器	48
一、电焊变压器的结构特点	48
二、磁分路动铁心式弧焊机	48
三、动圈式弧焊机	49
第四节 整流变压器	50
一、整流变压器的作用	51
二、整流变压器的结构与工作特点	51
第五节 小功率电源变压器	51
本章小结	53
复习思考题	54
第四章 三相异步电动机	55
第一节 电机概述	55
第二节 三相异步电动机的工作原理	55
一、旋转磁场	55
二、三相异步电动机的旋转原理	58
第三节 三相异步电动机的结构	60
一、定子	61
二、转子	63
三、其他附件	64
四、气隙	64
五、电动机铭牌	64
第四节 三相异步电动机的定子绕组	66
一、定子绕组的分类	66
二、定子绕组的常用术语	66

三、三相定子绕组的分布与连接	68
四、三相单层绕组	68
五、三相双层绕组	74
第五节 三相异步电动机的运行原理与特性	77
一、三相异步电动机的运行原理	77
二、三相异步电动机的功率和转矩	79
三、三相异步电动机的机械特性	81
四、三相异步电动机的运行性能	82
五、三相异步电动机的稳定运行区	83
第六节 三相异步电动机的起动	84
一、概述	84
二、三相笼型异步电动机的直接起动	85
三、三相笼型异步电动机的减压起动	85
四、绕线转子异步电动机的起动	88
第七节 三相异步电动机的调速	90
一、变极调速	90
二、改变转子电阻调速	92
三、改变定子电压调速	92
四、变频调速	93
五、电磁调速三相异步电动机	94
六、三相异步电动机调速方案的比较	95
第八节 三相异步电动机的制动	95
一、三相异步电动机的机械制动	95
二、三相异步电动机的电气制动	96
第九节 三相异步电动机的选用	98
一、常用国产三相异步电动机	98
二、三相异步电动机的选用原则	103
技能训练4 三相异步电动机的拆装和通用测试	103
技能训练5 三相异步电动机常见故障的分析与修理	108
技能训练6 三相异步电动机定子绕组的重绕	113
本章小结	117
复习思考题	118
第五章 单相异步电动机	120
第一节 单相异步电动机的基本结构和工作原理	121
一、单相异步电动机的基本结构	121
二、单相异步电动机的工作原理	124
第二节 电容分相单相异步电动机	125
一、电容分相单相异步电动机的工作原理	125
二、电容分相单相异步电动机的分类	125

第三节 电阻分相单相异步电动机	127
第四节 单相罩极异步电动机	128
第五节 单相异步电动机的调速及反转	130
一、单相异步电动机的调速	130
二、单相异步电动机的反转	132
第六节 单相异步电动机的定子绕组	133
一、单层链式绕组	133
二、单层同心式绕组	135
三、双层叠绕组	135
四、正弦绕组	136
技能训练 7 单相异步电动机的控制电路和检修	138
本章小结	142
复习思考题	142
第六章 直流电机	144
第一节 直流电动机的工作原理及可逆性	144
一、直流电动机的工作原理	144
二、直流电动机的可逆性	145
第二节 直流电动机的结构	146
一、定子	146
二、转子	148
三、铭牌与额定值	149
第三节 直流电动机的电枢绕组	150
一、概述	150
二、单叠绕组	152
三、单波绕组	155
第四节 直流电机的电动势、电磁转矩和功率	157
一、直流电机的电动势	157
二、直流电机的电磁转矩	158
三、直流电动机的功率	158
第五节 直流电动机的工作特性	159
一、并励电动机（他励电动机）的工作特性	159
二、串励电动机的工作特性	160
第六节 直流电动机的起动、调速、反转与制动	161
一、直流电动机的起动	161
二、直流电动机的调速	163
三、直流电动机的反转	164
四、直流电动机的制动	165
第七节 直流电动机及微型直流电动机简介	166
一、国产通用直流电动机简介	166

二、直流电动机的应用知识	167
三、微型直流电动机结构简介	167
四、外转子直流电动机的结构	169
技能训练8 直流电动机的应用、拆装及检修	169
技能训练9 并励直流电动机的起动、调速和反转	174
本章小结	177
复习思考题	178

第七章 同步电机

第一节 同步电机的工作原理、用途及分类	180
一、同步电机的工作原理	180
二、同步电机的用途	181
三、同步电机的分类	181
第二节 同步电机的基本结构	182
一、定子	182
二、转子	182
三、国产同步电机系列简介	183
第三节 同步电动机的旋转原理和起动方法	184
一、同步电动机的旋转原理	184
二、同步电动机的起动方法	184
第四节 同步电动机功率因数的调整	186
第五节 微型同步电动机	187
一、概述	187
二、永磁式微型同步电动机	188
三、反应式微型同步电动机	189
四、磁滞式微型同步电动机	190
本章小结	191
复习思考题	192

第八章 特种电机

第一节 步进电动机	193
一、步进电动机的分类	194
二、步进电动机的特点及应用	198
第二节 伺服电动机	199
一、概述	199
二、交流伺服电动机	199
三、直流伺服电动机	202
第三节 测速发电机	206
一、交流测速发电机	206
二、直流测速发电机	208

第四节 直线电动机	209
一、直线电动机的工作原理	209
二、直线电动机的结构	210
三、直线电动机的应用	211
第五节 交磁电机扩大机	213
一、交磁电机扩大机的结构特点	213
二、交磁电机扩大机的工作原理	213
三、交磁电机扩大机的拆装	214
技能训练 10 直流伺服电动机与直流测速发电机的使用	215
本章小结	217
复习思考题	217
参考文献	219

第一章 变压器原理

第一节 变压器的工作原理及分类

变压器是一种常见的静止电气设备，它利用电磁感应原理，将某一数值的交变电压变换为同频率的另一数值的交变电压。变压器不仅对电力系统中电能的传输、分配和安全使用有重要意义，而且广泛应用于电气控制、电子技术、测试技术及焊接技术等领域。

一、变压器的基本工作原理

图 1-1 所示为变压器的工作原理示意图。其主要部件是铁心和绕组。两个互相绝缘且匝数不同的绕组分别套装在铁心上，两绕组间只有磁的耦合而没有电的联系，其中接电源 u_1 的绕组称为一次绕组（曾称为原绕组、初级绕组），用于接负载的绕组称为二次绕组（曾称为副绕组、次级绕组）。

一次绕组加上交流电压 u_1 后，绕组中便有电流 i_1 通过，在铁心中产生与 u_1 同频率的交变磁通 Φ ，根据电磁感应原理，将分别在两个绕组中感应出电动势 e_1 和 e_2 ，即

$$e_1 = -N_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$e_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

式中，负号表示感应电动势总是阻碍磁通的变化。若把负载接在二次绕组上，则在电动势 e_2 的作用下，有电流 i_2 流过负载，实现了电能的传递。由此可知，一、二次绕组感应电动势的大小（近似于各自的电压 u_1 及 u_2 ）与绕组匝数成正比，故只要改变一、二次绕组的匝数，就可达到改变电压的目的，这就是变压器的基本工作原理。

二、变压器的分类

变压器种类很多，通常可按其用途、绕组结构、铁心结构、相数、冷却方式等进行分类。

1. 按用途分类

(1) 电力变压器 用作电能的输送与分配，如图 1-2e 所示，它是生产数量最多、使用最广泛的变压器。按其功能不同又可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器等。电力变

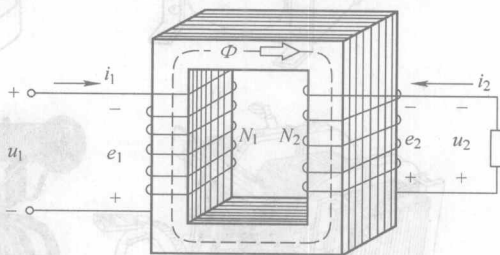


图 1-1 单相变压器工作原理

变压器的容量从几十千伏安到几十万千伏安，电压等级从几百伏到几百千伏。

(2) 特种变压器 在特殊场合使用的变压器，如作为焊接电源的电焊变压器；专供大功率电炉使用的电炉变压器；将交流电整流成直流电时使用的整流变压器等。

(2) 仪用互感器 用于电工测量中，如电流互感器、电压互感器等。

(4) 控制变压器 容量一般比较小，用于小功率电源系统和自动控制系统。如电源变压器、输入变压器、输出变压器、脉冲变压器等。

(5) 其他变压器 如试验用的高压变压器；输出电压可调的调压变压器；产生脉冲信号的脉冲变压器；压力传感器中的差动变压器等。

图 1-2 所示为各种常用变压器的外形。

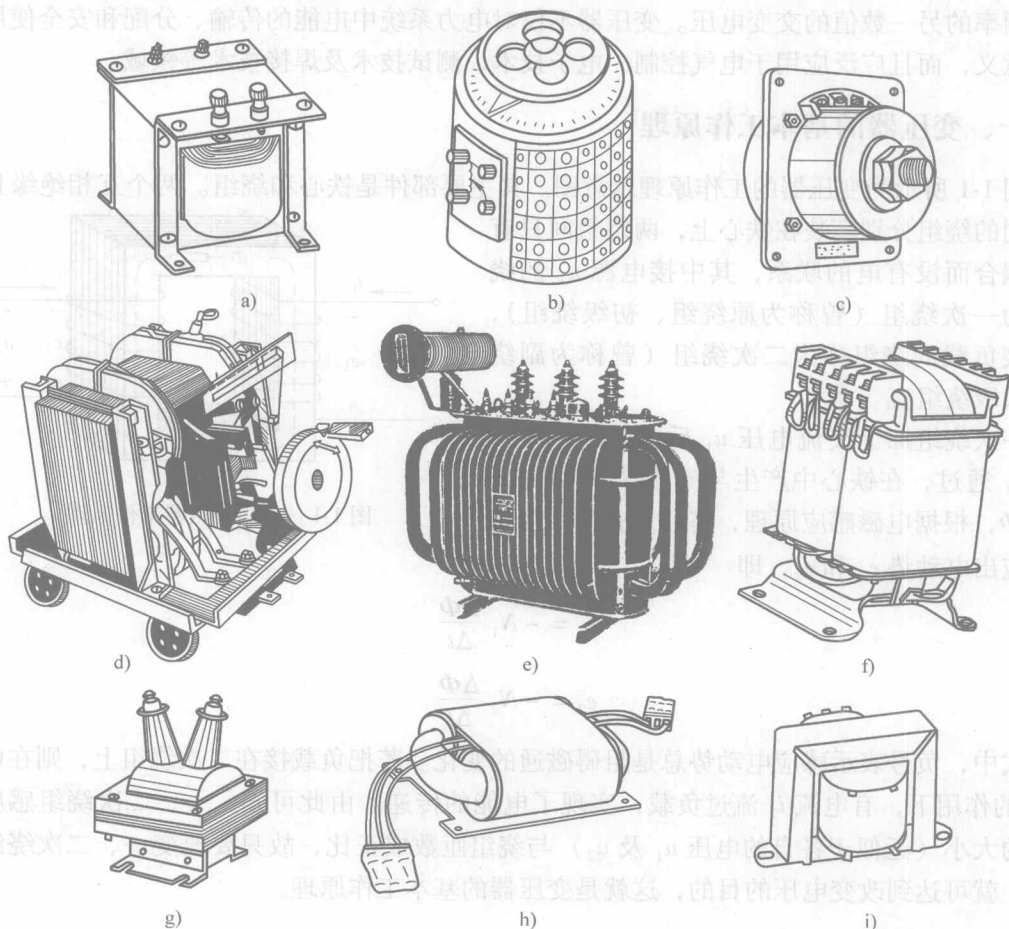


图 1-2 常用变压器的外形

- a) 照明变压器 b) 自耦变压器 c) 电流互感器 d) 电焊变压器 e) 电力变压器
f) C 形变压器 g) 电压互感器 h) R 形变压器 i) 输出变压器

2. 按绕组构成分类

有双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器等。

3. 按铁心结构分类

有叠片式铁心、卷制式铁心和非晶合金铁心。

4. 按相数分类

有单相变压器、三相变压器和多相变压器。

5. 按冷却方式分类

有干式变压器、油浸式自冷变压器、油浸式风冷变压器、强迫油循环变压器、箱式变压器、树脂浇注变压器及充气式变压器等。

第二节 单相变压器的基本结构

由上一节变压器的工作原理可知：不论是单相变压器、三相变压器或其他各类变压器，它们主要由铁心和绕组两部分组成。

一、铁心

1. 铁心的作用及材料

铁心构成变压器磁路系统，并作为变压器的机械骨架。铁心由铁心柱和铁轭两部分组成，如图 1-3 所示。铁心柱上套装变压器绕组，铁轭起连接铁心柱使磁路闭合的作用。对铁心的要求是：导磁性能要好，磁滞损耗及涡流损耗要尽量小。因此，铁心均采用 0.35mm 以下的硅钢片制作。20 世纪 60 ~ 70 年代我国生产的电力变压器铁心主要用热轧硅钢片，由于其铁损耗较大，导磁性能相应地比较差，且铁心叠装系数低（因硅钢片两面均涂有绝缘漆），现已淘汰。目前国产低损耗节能变压器均用冷轧晶粒取向硅钢片，其铁损耗低，且铁心叠装系数高（因硅钢片表面有氧化膜绝缘，不必再涂绝缘漆）。随着科学技术的不断发展，目前已开始采用铁基、铁镍基、钴基等材料来制作变压器的铁心，这类铁心具有体积小、效率高、节能等优点，极有发展前途。

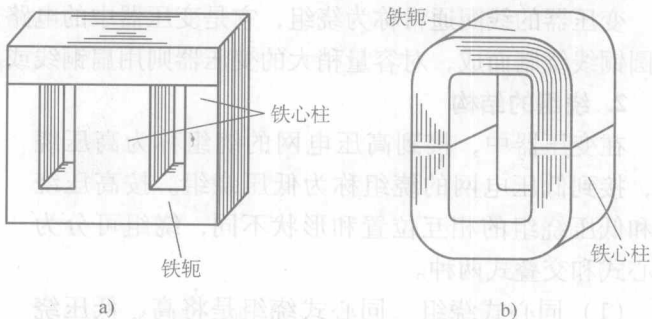


图 1-3 单相变压器铁心的结构

a) 叠片铁心 b) 卷制铁心

2. 铁心的结构

根据铁心的结构不同，变压器可分为心式变压器、壳式变压器和卷制式（C 形）变压器。心式变压器是在两侧的铁心柱上放置绕组，形成绕组包围铁心的形式，如图 1-4a 所示。壳式变压器则是在中间的铁心柱上放置绕组，形成铁心包围绕组的形式，如图 1-4b 所示。它们均用冲制成形的硅钢片叠装而成。为了减小铁心磁路的磁阻以减小铁心损耗，要求铁心装配时，接缝处的空气隙应越小越好。而卷制式铁心系用 0.35mm 晶粒取向冷轧硅钢片剪裁成一定宽度的硅钢带后再卷制成环形，将铁心绑扎牢固后切割成两个“U”字形，如图 1-3b 所示。而图 1-4c 所示为用卷制铁心制成的 C 形变压器。由于该类型变压器制作工艺简单，