

| 中等职业教育规划教材 |

电机与变压器



郑立冬◎主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中等职业教育规划教材

电机与变压器

郑立冬 主 编

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

电机与变压器/郑立冬主编. —北京:人民邮电出版社,
2008.6

中等职业教育规划教材

ISBN 978-7-115-17698-1

I. 电… II. 郑… 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(2008)第025469号

内 容 提 要

本书根据最新颁发的有关维修电工中级技术工人等级标准及职业技能鉴定规范,结合中等职业学校教学特点编写而成。本书顺应职业教育改革特点,以就业为目标,强调知识与岗位要求的衔接,增加了相关实训内容,注重培养学生解决实际问题的能力。

本书的主要内容包括:变压器原理、三相变压器、特种变压器、变压器的日常运行及维护、三相异步电动机、单相异步电动机、异步电动机绕组、同步电机、直流电机及特种电机等。

本书适合作为中等职业学校电工电子专业教材,也可作为技术工人岗位培训教材及自学用书。

中等职业教育规划教材

电机与变压器

-
- ◆ 主 编 郑立冬
责任编辑 曾 斌
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京通州大中印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.5
字数: 376千字
印数: 1-4 000册
 - 2008年6月第1版
2008年6月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-17698-1 / TN

定价: 26.00元

读者服务热线:(010)67170985 印装质量热线:(010)67129223

反盗版热线:(010)67171154

前言

本书是根据最新颁发的有关维修电工中级技术工人等级标准及职业技能鉴定规范,并结合中等职业学校教学特点编写而成的。

本书在编写过程中,采用项目式教学法,准确把握中等职业学校学生的知识与能力特点,激发学生的学习兴趣,注意理论联系实际,在内容的安排上由浅入深、循序渐进。使学生愿学、易学,进而实现学会的目标。

本书坚持“以就业为导向,以能力为本位”,“必须”、“够用”的原则,力求体现职业教育的特色。全书共分为10个模块,主要包括变压器原理、三相变压器、特点变压器、变压器的日常运行及维护、三相异步电动机、单相异步电动机、异步电动机绕组、同步电机、直流电机及特种电机等内容,并配合教学内容安排了13个技能训练。本书编写过程中力求做到充分考虑中等职业学校的教学实际情况,实现教材、练习一体化,方便师生使用。

本书的建议学时分配如下。

学时分配表

模块		学时
模块一 变压器原理		6
模块二 三相变压器		6
模块三 特种变压器		4
模块四 变压器的日常运行及维护		4
模块五 三相异步电动机		12
模块六 单相异步电动机		6
模块七 异步电动机绕组		6
模块八 同步电机		6
模块九 直流电机		14
模块十 特种电机		6
小计		70
模块十一 技能训练	技能训练一~十	30
	技能训练十一~十三	6
	小计	36
总学时		106

郑立冬为本书主编,并对全书统稿,此外参加编写的同志还有:郑淑清、邵坤、张玉安、张树果、周雪丰。

在本书的编写过程中,参考了大量相关专家编写的书籍和文献,征询了多个学校有关老师的意见,在这里向这些老师和专家表示感谢。由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

模块一 变压器原理 1

项目一 变压器的组成和分类 2

活动一 变压器的铁芯 3

活动二 变压器的绕组 6

活动三 变压器的附件 6

活动四 变压器的分类 10

项目二 变压器的基本工作原理 12

活动一 变压器的基本工作原理 12

活动二 变压器的空载运行 12

活动三 变压器的负载运行 16

活动四 变压器的阻抗变换作用 18

项目三 变压器的外特性与电压调整率 19

活动一 变压器的外特性 19

活动二 变压器的电压调整率 20

项目四 变压器的损耗和效率 20

活动一 变压器的损耗 21

活动二 变压器的效率 22

模块二 三相变压器 25

项目一 变压器绕组的极性 26

活动一 变压器同名端的概念 26

活动二 单相变压器同名端的判别方法 28

活动三 三相变压器绕组同名端的判别 29

项目二 三相变压器的连接组 30

活动一 三相变压器原、副绕组的连接方式 30

活动二 三相变压器的连接组 33

活动三 三相变压器的标准连接组别 35

项目三 变压器的铭牌 36

活动一 电力变压器铭牌式样 37

活动二 三相电力变压器铭牌内型号、数据的意义 37





活动三 变压器参数的简单计算	39
项目四 三相变压器的并联运行	40
活动一 变压器并联运行的意义	41
活动二 变压器并联运行的条件	41
活动三 变压器并联运行的操作	43

模块三 特种变压器

项目一 互感器	46
活动一 电流互感器	46
活动二 电压互感器	49
项目二 自耦变压器	51
活动一 自耦变压器的原理	51
活动二 自耦变压器的使用	52
项目三 电焊变压器	53
活动一 电弧焊对电焊变压器的要求	54
活动二 磁分路动铁式电焊变压器	54
活动三 动圈式电焊变压器	55
活动四 带可调电抗器的电焊变压器	55

模块四 变压器的日常运行及维护

项目一 变压器的运行标准	58
活动一 允许温度和温升	58
活动二 允许负载	58
活动三 允许电压变动	59
活动四 绝缘电阻	60
项目二 变压器运行中的检查	60
活动一 监视仪表检查	60
活动二 变压器的外部检查	61
项目三 输出电压的调整	62
活动一 调压方式	62
活动二 调压操作规定	63
项目四 常见故障及处理	63
活动一 事故处理	63
活动二 常见故障及处理	64
习题	65

模块五 三相异步电动机



项目一 三相交流异步电动机的结构和种类	74
活动一 笼式异步电动机的结构	74
活动二 绕线式异步电动机的结构	76
活动三 三相异步电动机的铭牌	77
项目二 三相交流异步电动机的工作原理	78
活动一 旋转磁场	79
活动二 电磁转矩	83
项目三 三相交流异步电动机的运行原理	84
活动一 转子感应电动势的频率	84
活动二 转子的感应电动势	84
活动三 转子的感抗与阻抗	85
活动四 转子中的电流和转子的功率因数	85
项目四 三相交流异步电动机的特性	86
活动一 三相交流异步电动机的功率平衡及效率	86
活动二 三相交流异步电动机的转矩及转矩平衡	87
活动三 三相交流异步电动机的机械特性	88
活动四 三相交流异步电动机的启动系数和过载系数	90
项目五 三相交流异步电动机的控制	91
活动一 三相交流异步电动机的启动	91
活动二 三相交流异步电动机的调速	94
活动三 三相交流异步电动机的制动	97
项目六 三相交流异步电动机的日常维护	98
活动一 启动前的检查	98
活动二 运行中的监视与维护	99
活动三 电动机的试验	100
活动四 一般故障及处理	104
习题	106

模块六 单相异步电动机

项目一 单相交流异步电动机的基本原理	114
活动一 单相绕组的磁场	114
活动二 单相电动机绕组的磁场	114
项目二 单相交流异步电动机的启动	115
活动一 单相电容运行异步电动机	115
活动二 单相电容启动异步电动机	116





活动三 单相电阻启动异步电动机	117
活动四 单相电容启动和运行异步电动机	117
活动五 单相罩极式异步电动机	118
项目三 单相交流异步电动机的控制	119
活动一 单相交流异步电动机的反转	119
活动二 单相交流异步电动机的调速	120
项目四 单相交流异步电动机的常见故障及排除	121
活动一 常见故障及处理	121
活动二 电容器检修	122
活动三 机械部分故障及处理	122
习题	123

模块七 异步电动机绕组

项目一 相关术语	126
活动一 交流定子绕组的构成原则	126
活动二 交流绕组的基本术语	126
活动三 交流绕组的分类	129
项目二 笼式异步电动机定子绕组的排列及其展开图	129
活动一 定子槽的分极与分相	129
活动二 三相单层绕组	130
活动三 三相双层绕组	136
活动四 圆形接线图	137
项目三 三相交流异步电动机绕组的故障处理	138
活动一 定子绕组接地故障的检修	138
活动二 定子绕组断路故障的检修	139
活动三 绕组短路故障的检修	141
活动四 绕组接错与嵌反时的检修	142
项目四 电动机定子绕组的制作与下线	143
活动一 线模的制作	143
活动二 线圈绕制	144
活动三 下线	145
项目五 单相交流异步电动机的绕组	149
活动一 单层绕组	149
活动二 单相双层绕组	150
活动三 正弦绕组	151
习题	151



模块八 同步电机	155
项目一 同步电机的特点和分类	156
活动一 同步电机的特点	156
活动二 同步电机的分类	156
活动三 同步电机的铭牌值及铭牌数据	157
项目二 同步电机的结构和工作原理	157
活动一 同步发电机的结构和工作原理	158
活动二 同步电动机工作原理	160
项目三 同步发电机的励磁系统	161
活动一 直流励磁机励磁系统	161
活动二 整流器励磁系统	161
项目四 同步电动机的启动	162
活动一 同步电动机不能自行启动的原因	162
活动二 同步电动机的启动方法	162
项目五 同步发电机的并联运行	164
活动一 投入并联运行的条件	164
活动二 投入并联的方法	164
习题	165
模块九 直流电机	168
项目一 直流电机的结构、分类和铭牌值	169
活动一 直流电机的结构	169
活动二 直流电机的分类	172
活动三 直流电机的铭牌	173
项目二 直流电机的工作原理	175
活动一 直流发电机的工作原理	175
活动二 直流电动机的工作原理	176
活动三 直流电机的电枢电动势	177
活动四 直流电机的电磁转矩	178
项目三 直流电机的空载磁场和电枢反应	179
活动一 直流电机的空载磁场	179
活动二 直流电机的电枢反应	179
活动三 直流电机的换向	181
项目四 直流发电机及运行特性	183
活动一 直流发电机的平衡方程式	183
活动二 并励式发电机的空载特性	185
活动三 直流发电机的外特性	186



项目五 直流电动机及机械特性	186
活动一 直流电动机的平衡方程式	186
活动二 并励式直流电动机的机械特性	188
活动三 其他直流电动机的机械特性	189
活动四 直流电动机的选用	190
项目六 直流电动机的控制	190
活动一 直流电动机的启动	190
活动二 直流电动机的反转	191
活动三 直流电动机的调速	192
活动四 直流电动机的制动	193
习题	195

模块十 特种电机

项目一 伺服电动机	201
活动一 交流伺服电动机	201
活动二 直流伺服电动机	202
项目二 测速发电机	203
活动一 交流测速发电机	203
活动二 直流测速发电机	204
项目三 步进电动机	205
活动一 磁阻式步进电动机	206
活动二 永磁感应子式步进电动机	207
活动三 永磁爪极步进电动机	207
项目四 微型同步电动机	208
活动一 永磁式微型同步电动机	208
活动二 反应式微型同步电动机	210
活动三 磁滞式微型同步电动机	211
习题	212

模块十一 技能训练

技能训练一 变压器的空载实验	215
技能训练二 变压器的短路实验	217
技能训练三 变压器绕组极性的判别	220
技能训练四 三相变压器组的连接	221
技能训练五 小型变压器的制作	224
技能训练六 小型三相交流笼式异步电动机的拆装	229



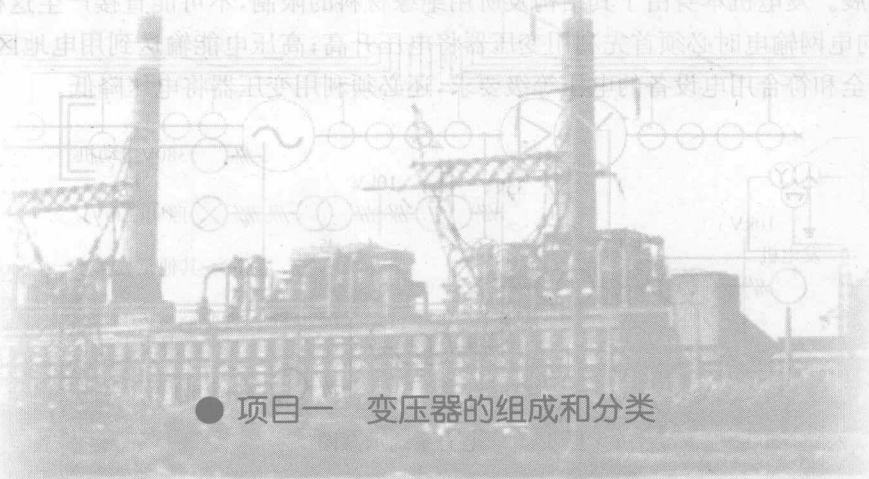


技能训练七	笼式三相交流异步电动机的 Y 接线和 △接线及反转试验	233
技能训练八	笼式三相交流异步电动机的空载测试	237
技能训练九	线模与下线工具的制作	239
技能训练十	线圈的制作	242
技能训练十一	24 槽四极单层链式绕组的下线、端部接线 和整形	245
技能训练十二	24 槽四极单层同心式绕组的下线和检查	247
技能训练十三	36 槽四极单层交叉式绕组的下线和浸漆	250



模块一

变压器原理



● 项目一 变压器的组成和分类

● 项目二 变压器的基本工作原理

● 项目三 变压器的外特性与电压调整率

● 项目四 变压器的损耗和效率

变压器是利用电磁感应原理,将某一数值的交流电压变换为同频率的另一数值的交流电压的电气设备。除了在电力系统中用于升高或降低电压的电力变压器外,还有具有稳压、陡降、移相、改变波形等特性的变压器。例如,在测量系统和自动控制系统中使用的互感器,可以将大电流变为小电流,或将高电压变为低电压;用于实验室的调压变压器,可任意调节电压;用于电弧焊接的电焊变压器,具有陡降的输出特性;用于电子扩音电路的变压器,可进行阻抗匹配;脉冲变压器可以传送脉冲波。



项目一 变压器的组成和分类

简单电力系统示意图如图 1-1 所示。为了减小电力系统中输电导线的截面积和减小输电线路的功率损耗,世界各国在电能的输送与分配方面都朝着建立高电压、大功率的电力网系统方向发展。发电机本身由于其结构及所用绝缘材料的限制,不可能直接产生这样的高电压,因此在向电网输电时必须首先利用变压器将电压升高;高压电能输送到用电地区后,为了保证用电安全和符合用电设备的电压等级要求,还必须利用变压器将电压降低。

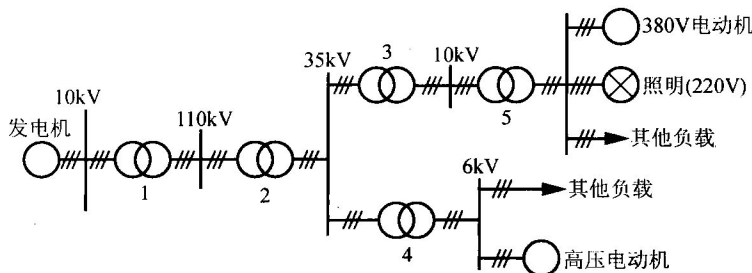


图 1-1 电力系统示意图

1. 升压变压器 2,3. 降压变压器 4,5. 配电变压器

电力系统中使用的升压变压器、降压变压器和配电变压器统称为电力变压器,其特点是运行电压高、容量大。

电力变压器的主要组成部分是:铁芯、绕组;为了解决散热、绝缘、密封和安全等问题,还需要油箱、绝缘套管、储油柜、冷却装置、压力释放阀、安全气道、温度计、气体继电器等附件。常用三相变压器的外形如图 1-2 所示。

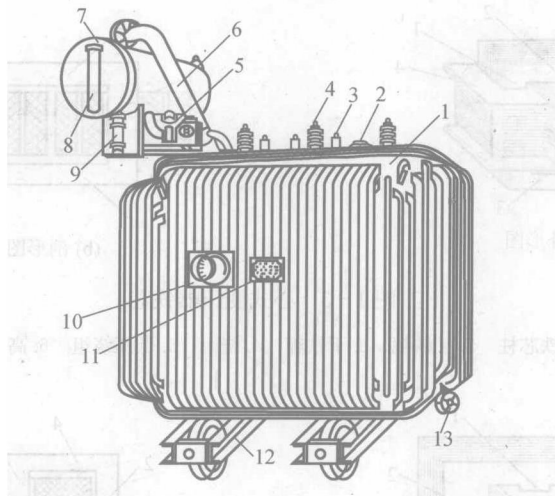


图 1-2 三相变压器外形

1. 油箱 2. 分接开管 3. 低压套管 4. 高压、套管
5. 气体继电器 6. 防爆管 7. 油枕 8. 油标
9. 吸湿器 10. 温度计 11. 铭牌 12. 小车 13. 放油阀

活动一

变压器的铁芯

变压器铁芯的作用是构成变压器的磁路和支撑变压器的绕组。

1. 铁芯

(1) 铁芯的材料

变压器铁芯由硅钢片组成。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比较高、厚度为 $0.35\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ 、两面均涂以绝缘漆的硅钢片叠装而成。目前,我国生产的电力变压器普遍使用冷轧钢片。

(2) 铁芯的结构

铁芯由铁芯柱和铁轭两部分组成,绕组装在铁芯柱上,由铁轭形成闭合磁路。铁芯可分为心式结构和壳式结构两种。

① 心式铁芯。心式铁芯变压器也叫内铁式变压器(见图 1-3),其特点是铁芯柱被绕组包围。心式铁芯变压器绕组和铁芯之间的绝缘处理较方便,硅钢片的装配容易,硅钢片用量少,适用于容量大、电压高的电力变压器。

② 壳式铁芯。壳式铁芯变压器也叫外铁式变压器(见图 1-4),其特点是铁芯作为壳体用来包围绕组。外铁式变压器的机械强度较好,铁芯容易散热,但硅钢片的用量较多,制造较为复杂。小型干式变压器多采用这种形式。

(3) 铁芯叠片的形成

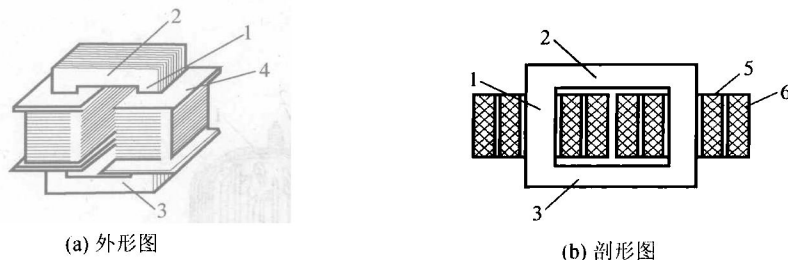


图 1-3 心式变压器铁芯

1. 铁芯柱 2. 上铁轭 3. 下铁轭 4. 绕组 5. 低压绕组 6. 高压绕组

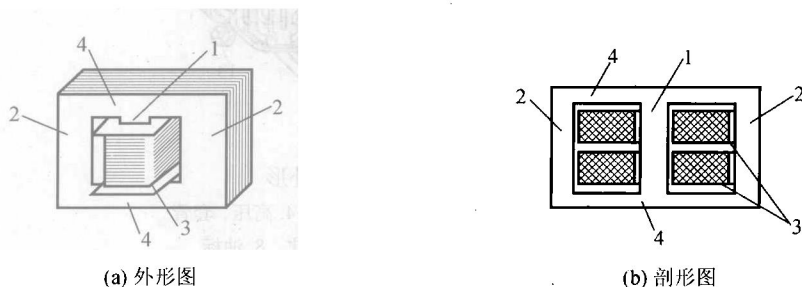


图 1-4 壳式变压器铁芯

1. 铁芯柱 2. 分支铁芯柱 3. 绕组 4. 铁轭

① 条状铁芯叠片。大、中型变压器的铁芯，一般都将硅钢片裁成条状，采用交错叠片的方式叠装而成。叠装时使各层硅钢片的接缝互相错开，这样可以减少气隙和磁阻，如图 1-5(a)、(b)所示。近年来，在大型电力变压器中多采用高磁导率、低损耗的冷轧硅钢片，由于冷轧硅钢片顺着碾压方向才有磁导率高、损耗小的性能，因此采用斜切法下料，叠片方法如图 1-5(c)所示。

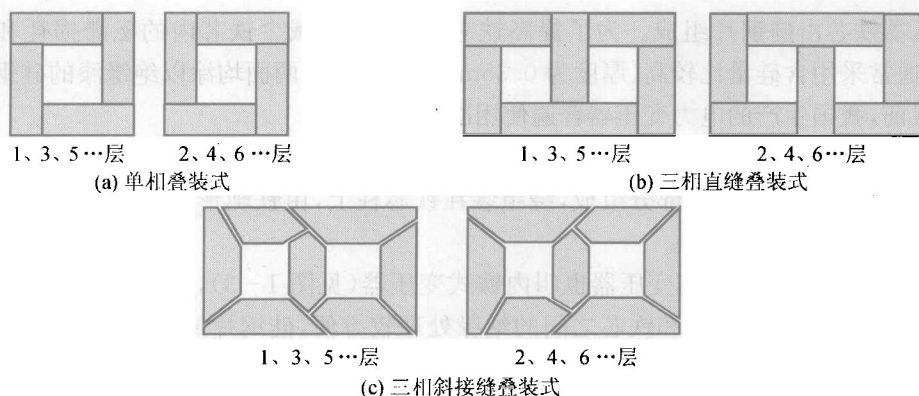


图 1-5 条状铁芯叠片

小型变压器为了简化装配工艺和减小气隙，常采用 E 字形、F 字形、C 字形和日字形冲片交替叠装而成，冲片的形状如图 1-6 所示。

② 渐开线式铁芯。从 20 世纪 60 年代开始出现渐开线铁芯结构。它的铁芯柱用预先成型

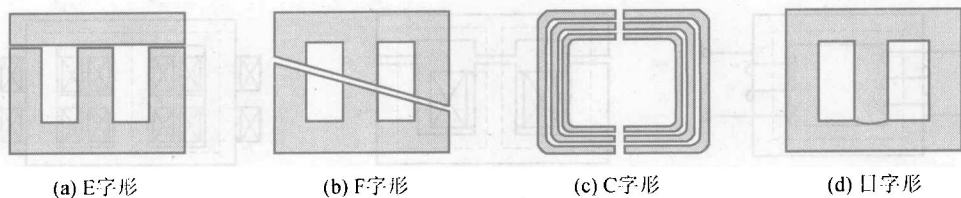


图 1-6 小型变压器的铁芯冲片

的渐开线形状的冷轧硅钢片插装压合而成,铁轭用成卷的带状冷轧硅钢片连续卷绕而成,再用长螺杆等夹紧附件把铁轭和铁芯柱对接紧固,如图 1-7 所示。这种渐开线式铁芯叠片,各片形状相同,很适合机械化流水线生产,而且具有体积小、用料省、质量轻、铁损耗少等优点。

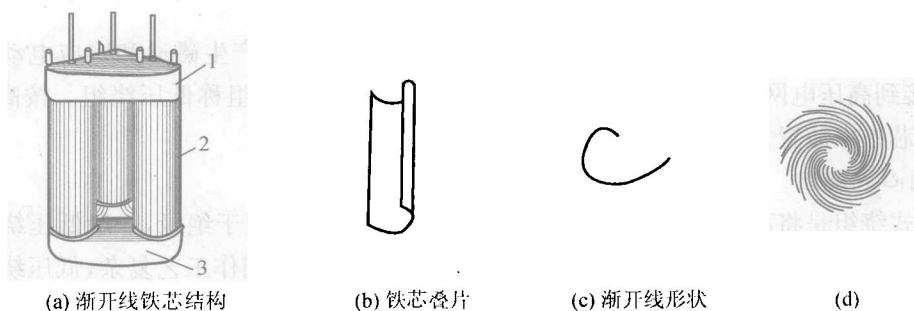


图 1-7 渐开线铁芯

1. 上铁轭 2. 铁芯柱 3. 下铁轭

(4) 铁芯截面形式

小型变压器铁芯柱的截面是方形或长方形截面,如图 1-8(a)所示。大型变压器为了充分利用空间,铁芯柱的截面通常是梯形截面,如图 1-8(b)所示。为了改善铁芯内部的散热条件,当铁芯柱截面较大时,中间留有油道,如图 1-8(c)所示。

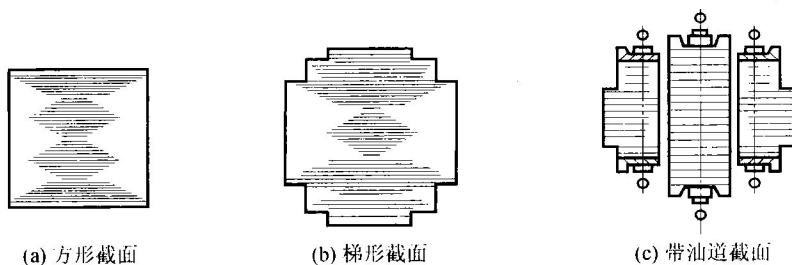


图 1-8 铁芯柱截面

2. 磁路

在电机和变压器中,为了得到较强的磁场,通常利用磁导率很高的铁磁材料把电流所产生的磁通集中在限定的空间内。这种集中的磁通所经过的路径称为磁路。变压器的磁路如图 1-9 所示。