



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电机与电气控制技术

(电气运行与控制专业)

第二版

主编 赵承荻 姚和芳



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电机与电气控制技术

第二版

(电气运行与控制专业)

主 编 赵承荻 姚和芳
责任主审 吴锡龙

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材第二版,是在2002年出版的《电机与电气控制技术》(赵承荻主编)的基础上修改而完成的。

本书的主要内容有变压器、异步电动机、直流电机、特种电机、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、起重机的电气控制电路、可编程控制器(PLC)等。内容上突出了实践性和应用性,体现了新知识、新技术、新产品及新应用。

本书可作为全国各类职业学校电类专业、机电类专业或其他相关专业的教学用书,也可作为岗位培训或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术/赵承荻,姚和芳主编. —2版.

北京:高等教育出版社,2006.5

电气运行与控制专业

ISBN 7-04-019298-5

I. 电... II. ①赵... ②姚... III. ①电机学-专业学校-教材 ②电气控制-专业学校-教材 IV. ①TM3 ②TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第025231号

策划编辑	王瑞丽	责任编辑	王瑞丽	封面设计	于涛	责任绘图	朱静
版式设计	胡志萍	责任校对	张颖	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京新丰印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 19
字 数 460 000
插 页 1

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2002年8月第1版
2006年5月第2版
印 次 2006年5月第1次印刷
定 价 23.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19298-00

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《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,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,根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为学校选用教材提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件学校的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年五月

第二版前言

本书自第一版出版以来,全国职业技术教育有了更大的发展,规模进一步扩大,同时职业教育的培养目标及方向也得到了进一步的明确。从另外一个角度来讲,随着当前科学技术的飞速发展和社会进步,国家于2002年制订了新的国家职业标准《维修电工》,对维修电工必须具备的技能要求和必须掌握的相关理论知识提出了新的要求,这一切促使必须在原有的基础上对本书进行相应的修改和更新,以适应新形势发展的需要。

与第一版教材相比本书主要做了以下一些变更:

(1) 调整编写的指导思想。本书以《电机与电气控制技术教学基本要求》为前提,参照新颁布的国家职业标准《维修电工》来确定所需知识和技能的难度、深度和广度,并以企业实际岗位的职业活动为导向,以所需基本知识和技能为核心进行编写。

(2) 对课程体系结构上做了较大的更动。

① 为了进一步增强学生的实践动手能力和操作技能,把第一版最后一部分“实验与实训”与主教材分离,充实其内容,增强可操作性后另编写了《电机与电气控制技术技能训练》一书,与主教材配套使用。

② 删除了第一版教材中交流电梯的电气控制及组合机床控制电路部分的内容,增加了可编程控制器部分的内容。

③ 参照新颁布的国家职业标准《维修电工》,增加了特种电机的内容,更新了常用机床电气控制电路。

④ 进一步降低了教材中理论知识及分析计算的深度及难度,如变压器的理论分析、三相变压器的连接组、三相异步电动机的运行原理、步进电机的运行原理分析、继电器-接触器控制电路的理论叙述与分析等;较大幅度地增加了实际应用、故障分析、检修方面的内容,如变压器的应用、单相异步电动机的应用、直流电机的应用、低压电器的选用及检修、继电器-接触器控制电路的常见故障分析等。

(3) 为帮助学生在本课程,在每章的最后增加了本章学习指导,主要包括本章基本要求、学习指导及本章习题选解等内容。

(4) 书中全部图形符号及文字符号均选用最新的国家标准,在主要机电产品的结构、型号及应用方面也尽量结合当前市场的供求实际,并紧密联系我国当前倡导的建设节约型社会和国家的能源政策,以提高学生的专业素养。

本书由赵承荻、姚和芳主编。具体编写分工是:赵承荻编写第一、二、三章,姚和芳编写第四、五章,裴蓓编写第六章,李乃夫编写第七、八、九章。本书由华满香审阅,在此表示谢意!

由于编者学识水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请使用本书的读者给予指正。

编 者

2005年10月

第一版前言

本书是中等职业教育国家规划教材,是根据 2001 年教育部颁发的《中等职业教育电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《电机与电气控制技术教学基本要求》,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的,可作为全国中等职业学校电气运行与控制专业及其他相关专业的教学用书。

随着我国社会、经济、科技的发展和教育结构的调整,全国中等职业学校的培养目标和业务规格定位在以 3 年制为主的“高素质劳动者和中初级专门人才”上。因此本书在与以前传统的中专相关教材相比,在减少变压器、交直流电机及拖动理论分析及叙述方面作了较大的努力,把重点放在电机及电器结构特点分析、应用及检修等方面,并十分注意教材内容的更新,以适应当前技术水平不断发展需要。通过本书的教学使学生掌握变压器、交直流电机、常用低压电器的基本结构、工作原理及实践应用,掌握常用电动机的控制电路及生产机械控制电路,具有解决生产实际中电气控制一般问题的能力,并使学生了解电气控制技术的发展方向,使学生的素质得到全面提高。

本书配有实验实训内容,总教学时数为 108 ~ 136 学时,书中打 * 号的部分是供选学的内容,各校可根据专业设置情况、培养目标的要求及具体情况机动掌握。具体建议学时分配方案如表 1 及表 2 所示。

表 1 136 学时建议方案

章	内 容	学 时 数			
		合 计	讲 授	实验实训	机 动
一	变压器	14	10	4	
二	异步电动机	26	22	4	
三	直流电机	10	8	2	
四	特种电机	4	4		
五	常用低压电器	8	8		
六	继电器 - 接触器控制电路	16	12	4	
七	常用机床的电气控制	26	24	2	
八	交流桥式起重机的电气控制	8	4	4	
九	交流电梯的电气控制	16	14	2	
	机动	8			8
	总计	136	106	22	8

表 2 108 学时建议方案

章	内 容	学 时 数			
		合 计	讲 授	实验实训	机 动
一	变压器	12	8	4	
二	异步电动机	20	16	4	
三	直流电机	8	8		
四	特种电机	4	4		
五	常用低压电器	8	8		
六	继电器 - 接触器控制电路	14	10	4	
七	常用机床的电气控制	18	16	2	
八	交流桥式起重机的电气控制	6	4	2	
九	交流电梯的电气控制	14	12	2	
	机动	4			4
	总计	108	86	18	4

本书由湖南铁道职业技术学院赵承荻主编,广州轻工业学校李乃夫、湖南铁道职业技术学院徐峰、武汉水运工业学校陈琰参编。具体编写分工是赵承荻编写第一、二、三章,徐峰编写第五、六章,李乃夫编写第七、八章,陈琰编写第四、九章,附录为四人合编。

本书经全国中等职业教材审定委员会审定,由上海大学吴锡龙教授任责任主审,高联辉、任永德教授审稿。他们对提高书稿质量起了重要作用。在此一并表示衷心感谢。

由于编者学识和水平有限,书中必然存在不少缺点、疏漏及其他不足之处,恳请使用本书的教师、学生及读者批评指正。

编 者

2001 年 12 月

预备知识:电工基本定律和定则

学习本书时要用到的一些电工基本定律和定则有:

一、电路欧姆定律

1. 直流电路欧姆定律

在电阻 R 组成的直流电路中,流过的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比,与电阻的阻值 R 成反比。即

$$I = \frac{U}{R}$$

2. 交流电路欧姆定律

在阻抗 Z 组成的交流电路中,流过的电流 I 与阻抗两端的电压 U 成正比,与阻抗值 Z 成反比。即

$$I = \frac{U}{Z}$$

二、磁路欧姆定律

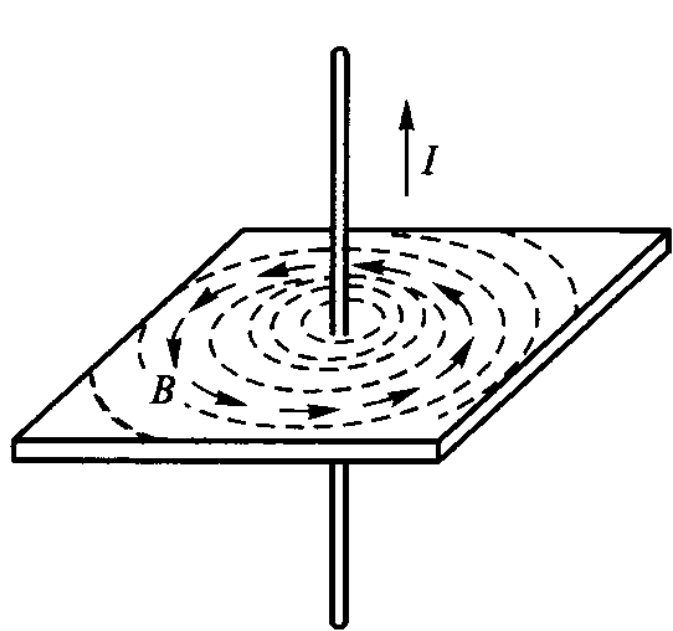
在磁阻 R_m 组成的磁路中,通过磁路中的磁通 Φ 与产生该磁通的磁动势 F 成正比,与磁路的磁阻 R_m 成反比。即

$$\Phi = \frac{F}{R_m}$$

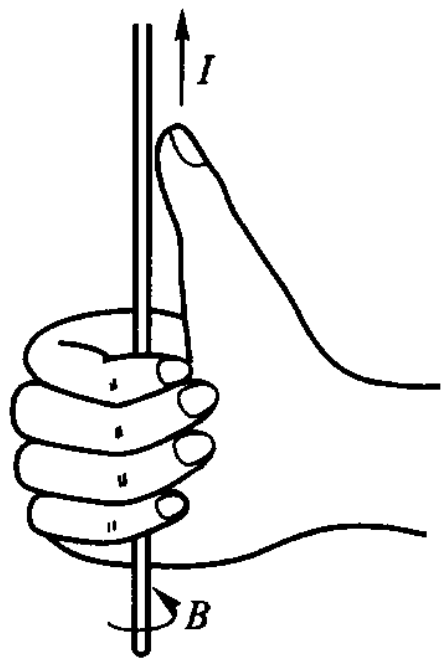
三、右手螺旋定则

1. 通电导线右手螺旋定则

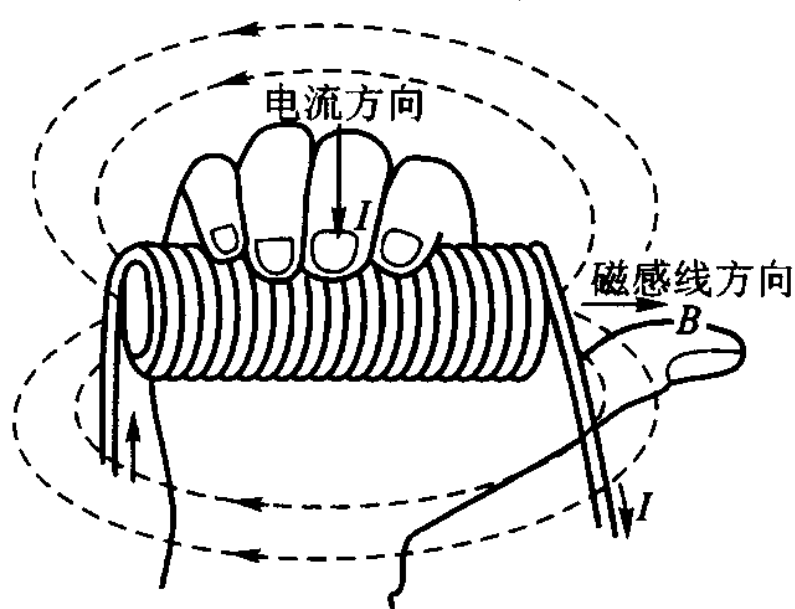
通电的导线周围会产生磁场,如图 0-1(a)所示,其电流和磁场的方向可用右手螺旋定则来判定,如图 0-1(b)所示。



(a) 导线中的电流及其周围的磁场



(b) 直导线右手定则



(c) 通电线圈的右手定则

图 0-1 右手螺旋定则

2. 通电线圈右手螺旋定则

通电的线圈在线圈内部及周围也会产生磁场,电流和在线圈内部的磁场方向可用右手螺旋定则来判定,如图 0-1(c) 所示。

四、楞次定律

当通过线圈中的磁通发生变化时,在线圈内部会产生感应电动势 e ,而感应电动势 e 的方向总是企图使它形成的感应电流产生的磁通阻止原磁通的变化。图 0-2(a) 及图 0-2(b) 分别表示线圈中的磁通增加及减少时线圈内产生的感应电动势 e 的方向。

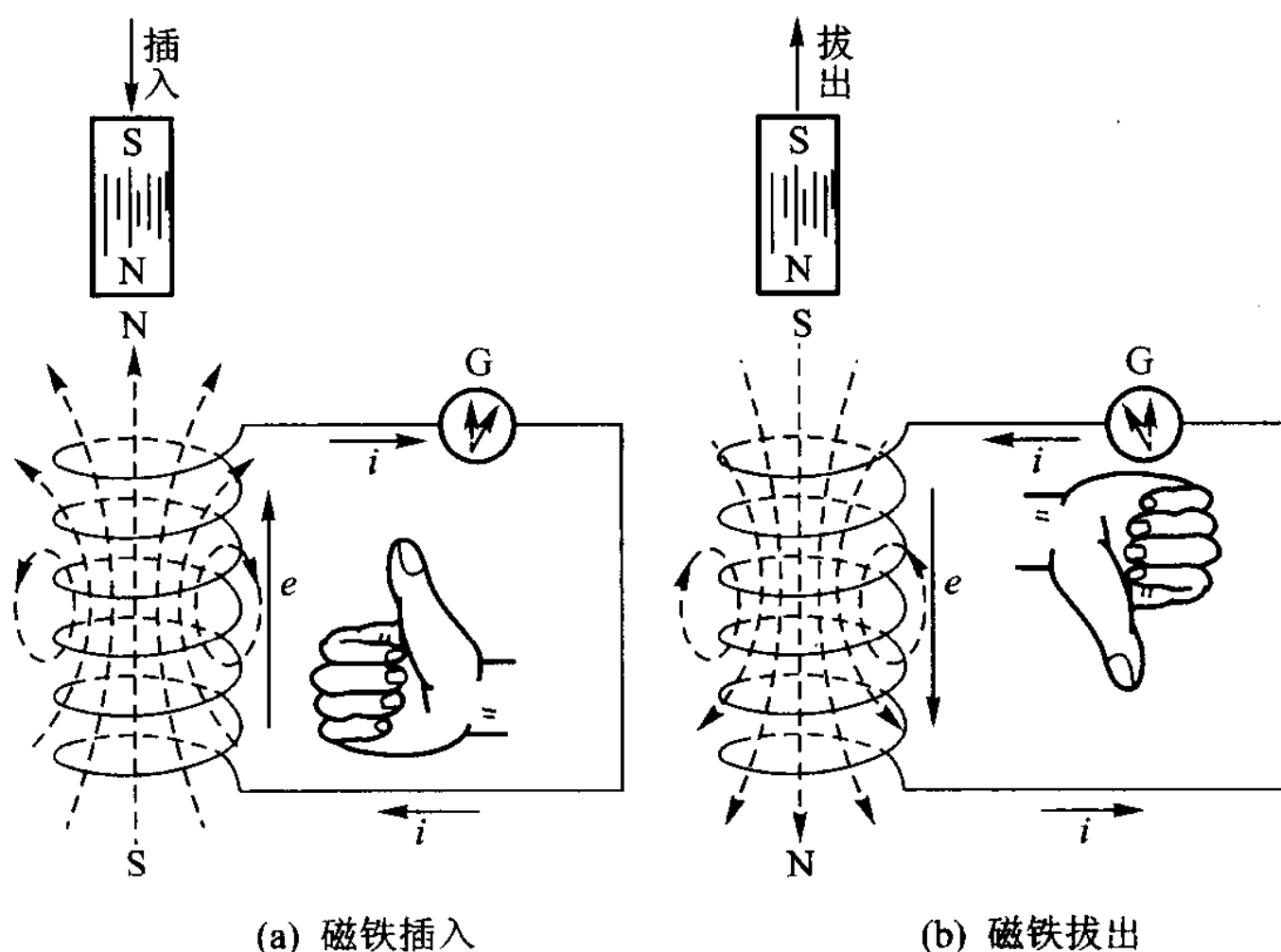


图 0-2 楞次定律——线圈中感应电动势方向的判定

五、电动机左手定则

通电流的导体在磁场中会受到力的作用,其大小为

$$F = BIl$$

式中, F 为作用力; B 为磁感应强度; I 为通过导体的电流; l 为导体在磁场中的有效长度。

作用力 F 的方向可用左手定则判定,如图 0-3 所示。

六、发电机右手定则

导体在磁场中作切割磁感线的运动时,在导体中会产生感应电动势,其大小为

$$e = Blv$$

式中, e 为感应电动势; B 为磁感应强度; l 为切割磁感线的导体长度; v 为导体切割磁感线的速度。

感应电动势 e 的方向可用右手定则判定,如图 0-4 所示。

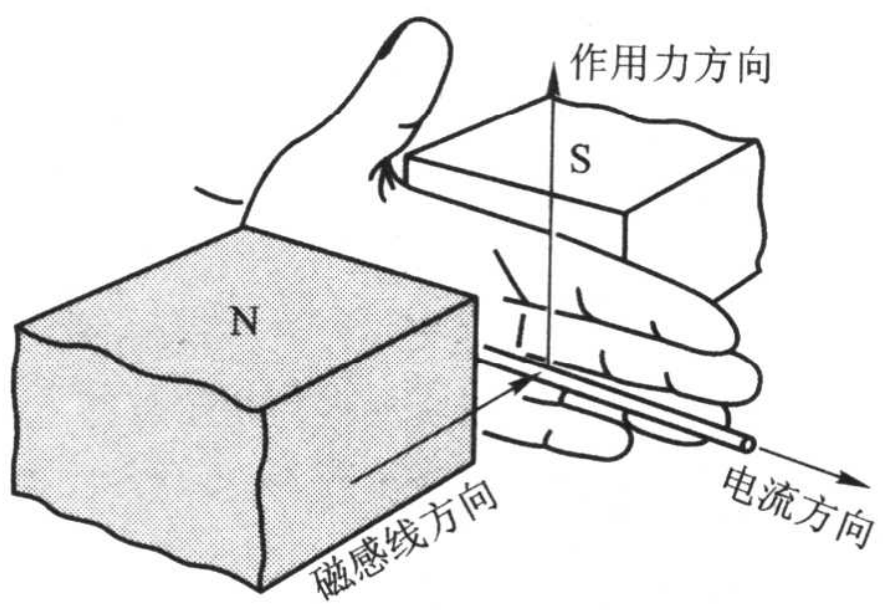


图 0-3 电动机左手定则

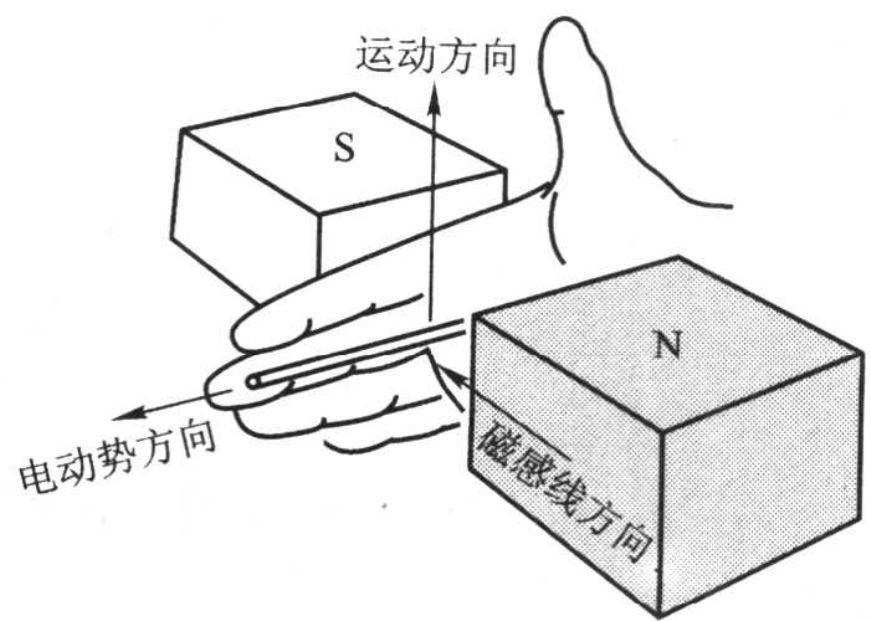


图 0-4 发电机右手定则

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

QM1										
向下					向上					
5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
V3 1M3						X	X	X	X	X
V3 1M1	X	X	X	X	X					
W3 1M1						X	X	X	X	X
W3 1M3	X	X	X	X	X					
1R5	X	X	X	X			X	X	X	X
1R4	X	X	X				X	X	X	
1R3	X	X						X	X	
1R2	X								X	
1R1	X									X
37 31					X	X	X	X	X	X
37 20	X	X	X	X	X					
3 5					X					

QM2										
向后					向前					
5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
V4 2M3						X	X	X	X	X
V4 2M1	X	X	X	X	X					
W4 2M1						X	X	X	X	X
W4 2M3	X	X	X	X	X					
2R5	X	X	X	X			X	X	X	X
2R4	X	X	X				X	X	X	
2R3	X	X						X	X	
2R2	X								X	
2R1	X									X
37 39					X	X	X	X	X	X
37 41	X	X	X	X	X					
5 7					X					

QM3										
向右						向左				
5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
V5 W6						X	X	X	X	X
V5 V6	X	X	X	X	X					
W5 W6						X	X	X	X	X
W5 W6	X	X	X	X	X					
3R5	X	X	X	X			X	X	X	X
3R4	X	X	X					X	X	X
3R3	X	X							X	X
3R2	X									X
3R1	X									X
4R5	X	X	X	X			X	X	X	X
4R4	X	X	X					X	X	X
4R3	X	X							X	X
4R2	X									X
4R1	X									X
49 45					X	X	X	X	X	X
49 47	X	X	X	X	X					
7 9					X					

SA																
下降								上升								
强力				制动												
5	4	3	2	1	J	0		1	2	3	4	5	6			
SA1						X										
SA2	X	X	X													
SA3				X	X	X		X	X	X	X	X	X			
SA4	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X			
SA5	X	X	X													
SA6				X	X	X		X	X	X	X	X	X			
SA7	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X			
SA8	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X			
SA9	X	X							X	X	X	X	X			
SA10	X									X	X	X	X			
SA11	X										X	X	X			
SA12	X	O	O										X			
KA		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			

(a) 副钩凸轮控制器触点开合表 (b) 小车凸轮控制器触点开合表 (c) 大车凸轮控制器触点开合表 (d) 主令控制器触点开合表

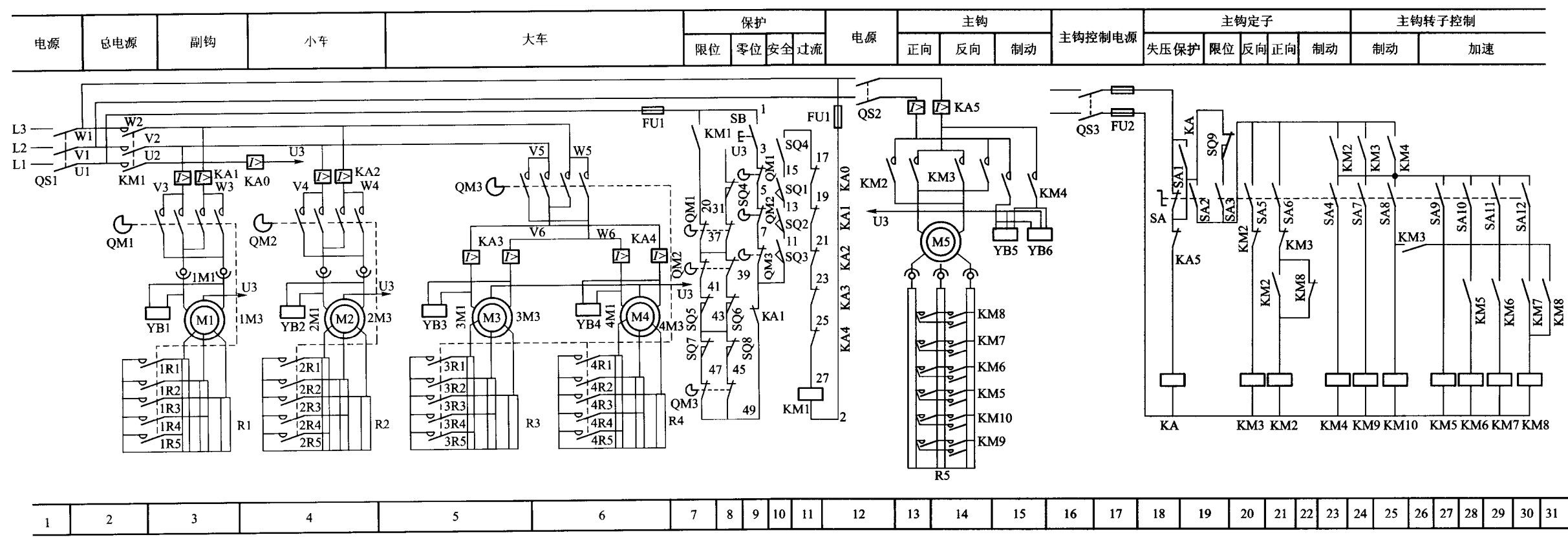


图 8-6 15 t/3 t 交流桥式起重机的控制电路原理图

目 录

预备知识:电工基本定律和定则	I
----------------------	---

第一章 变压器	1
---------------	---

第一节 变压器的工作原理及分类	1
第二节 单相变压器的基本结构	2
第三节 单相变压器的运行原理	5
第四节 变压器的运行特性	9
第五节 变压器的空载试验和短路试验	13
第六节 变压器的极性及其判定	15
第七节 变压器的应用	16
第八节 本章学习指导	34
思考题与习题	39

第二章 异步电动机	41
-----------------	----

第一节 概述	41
第二节 三相异步电动机的工作原理	41
第三节 三相异步电动机的结构	45
第四节 三相异步电动机的绕组	52
第五节 三相异步电动机的运行原理与特性	65
第六节 三相异步电动机的起动	72
第七节 三相异步电动机的调速	77
第八节 三相异步电动机的制动	82
第九节 单相异步电动机的结构和工作原理	84
第十节 常用单相异步电动机	88
第十一节 单相异步电动机的定子绕组	94
第十二节 本章学习指导	98
思考题与习题	106

第三章 直流电机	109
----------------	-----

第一节 直流电动机的工作原理	109
第二节 直流电动机的结构	110
第三节 直流电机的电动势、转矩和功率	116
第四节 直流电动机的工作特性	118
第五节 直流电动机的起动、调速、反转与制动	120

第六节 直流电动机的应用及微型	
-----------------	--

直流电动机简介	125
---------------	-----

第七节 本章学习指导	127
------------------	-----

思考题与习题	132
--------------	-----

第四章 特种电机	133
----------------	-----

第一节 步进电机	133
第二节 伺服电机	137
第三节 测速发电机	140
第四节 直线电动机	143
第五节 微型同步电动机	146
第六节 单相串励电动机	149
第七节 交磁电机扩大机	150
第八节 本章学习指导	152
思考题与习题	155

第五章 常用低压电器	157
------------------	-----

第一节 低压电器的基本知识	157
第二节 刀开关和组合开关	159
第三节 低压断路器	162
第四节 主令电器	166
第五节 熔断器	170
第六节 接触器	174
第七节 继电器	177
第八节 本章学习指导	184
思考题与习题	188

第六章 继电器 - 接触器控制电路	189
-------------------------	-----

第一节 概述	189
第二节 三相异步电动机直接起动控制电路	190
第三节 三相异步电动机降压起动控制电路	196
第四节 三相异步电动机制动控制电路	201
第五节 三相变极电动机的控制电路	204
第六节 继电器 - 接触器控制电路的常见故障分析	208
第七节 本章学习指导	210
思考题与习题	213

第七章 常用机床的电气控制	215	第八章 起重机的电气控制	256
第一节 概述	215	第一节 桥式起重机概述	256
第二节 CA6140 型普通车床的 电气控制电路	218	第二节 5 t 桥式起重机控制电路	258
第三节 Z535 型立式钻床的电气控制 电路	222	第三节 15 t/3 t 桥式起重机控制电路	264
第四节 X62W 型万能铣床的电气控制 电路	224	第四节 本章学习指导	268
第五节 MGB1420 型万能磨床的 电气控制电路	230	思考题与习题	270
第六节 T68 型卧式镗床的电气 控制电路	234	第九章 可编程控制器(PLC)	271
第七节 常用机床电气控制电路的安装、 调试与检修	241	第一节 PLC 概述	271
第八节 本章学习指导	250	第二节 PLC 的硬件结构和工作原理	272
思考题与习题	254	第三节 FX2 系列 PLC 的内部寄存器	276
		第四节 FX2 系列 PLC 的指令系统简介 ...	278
		第五节 FX 系列 PLC 使用的编程器 简介	281
		第六节 本章学习指导	285
		思考题与习题	286
		参考文献	288

第一章 变 压 器

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

变压器是利用电磁感应原理工作的,图 1-1 所示为其工作原理示意图。变压器的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 为

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

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

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 e_1 、 e_2 的计算公式可知,一次、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,故只要改变一次、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。

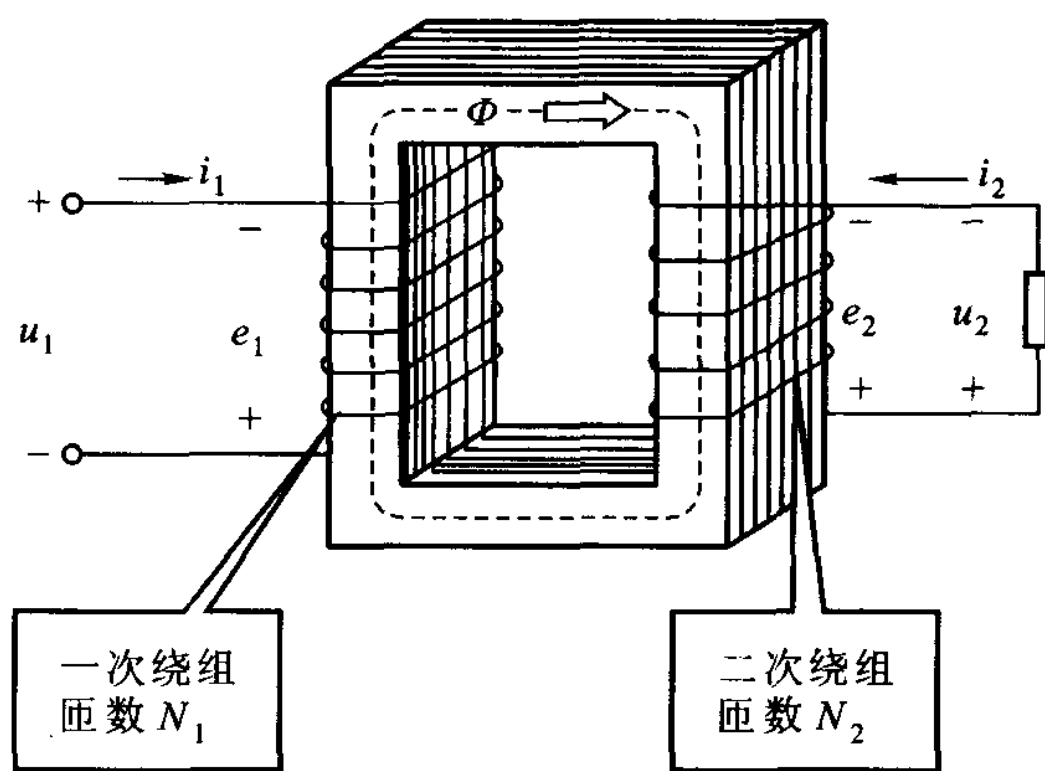


图 1-1 单相变压器工作原理示意图

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,这是生产数量最多、使用最广泛的变压器。电力变压器按功能的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。

3) 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。

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

有交叠式铁心、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、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器、强迫油循环变压器、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

由上一节中介绍的变压器工作原理可知:不论是单相变压器、三相变压器或其他各类变压器,都主要由铁心和绕组(又称线圈)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 1-2 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,因此均采用 0.35 mm 厚的硅钢片制作。目前国产硅钢片有热轧硅钢片、冷轧无取向硅钢片及冷轧晶粒取向硅钢片。20 世纪 60—70 年代我国生产的电力变压器主要使用热轧硅钢片,由于其铁损耗较大,导磁性能相应较差,且铁心叠装系数低(因硅钢片两面均涂有绝缘

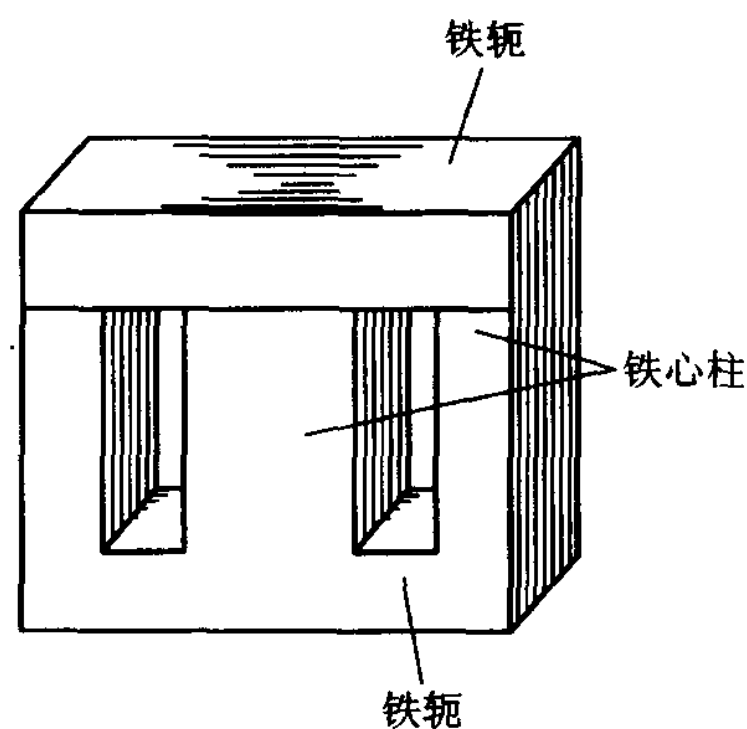


图 1-2 单相变压器结构

漆), 现已很少使用。目前国产低损耗节能变压器均使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)。随着科学技术的进展, 目前已开始采用铁基、铁镍基、钴基等非晶带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。

2. 铁心的结构

变压器根据铁心的结构形式可分为心式变压器和壳式变压器两大类。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 1-3(a) 所示。壳式变压器则是在中间的铁心柱上放置绕组, 形成铁心包围绕组形状, 如图 1-3(b) 所示。

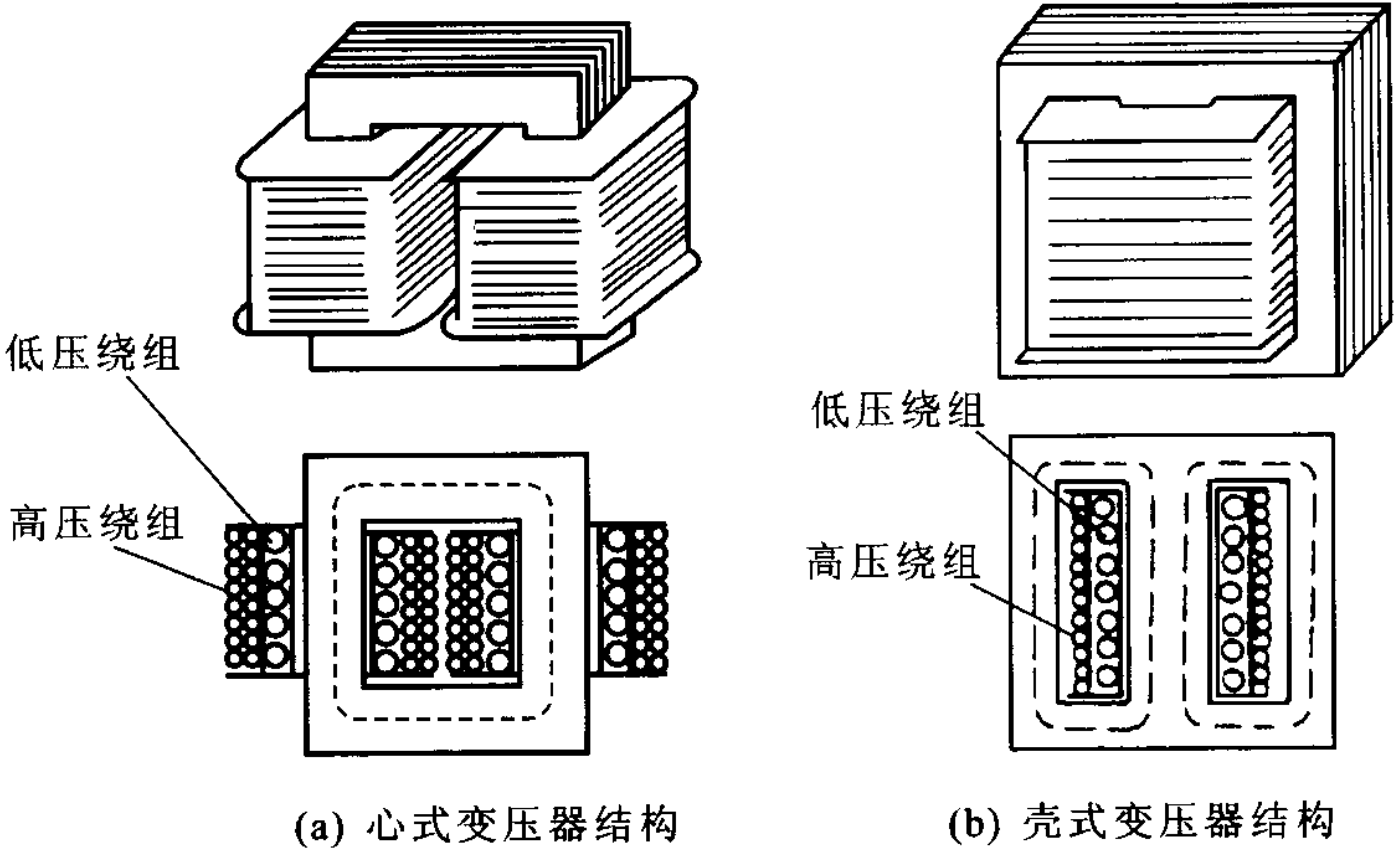


图 1-3 变压器铁心

变压器铁心按照制作工艺可分交叠式铁心和卷制式铁心两种。

心式变压器的交叠式铁心一般用□形或斜□形硅钢片交叉叠制, 壳式变压器的交叠式铁心则用E形或F形硅钢片交叉叠制, 如图 1-4 所示。为了减小铁心磁路的磁阻以减小铁心损耗, 铁心装配时要求接缝处的空气隙应越小越好。

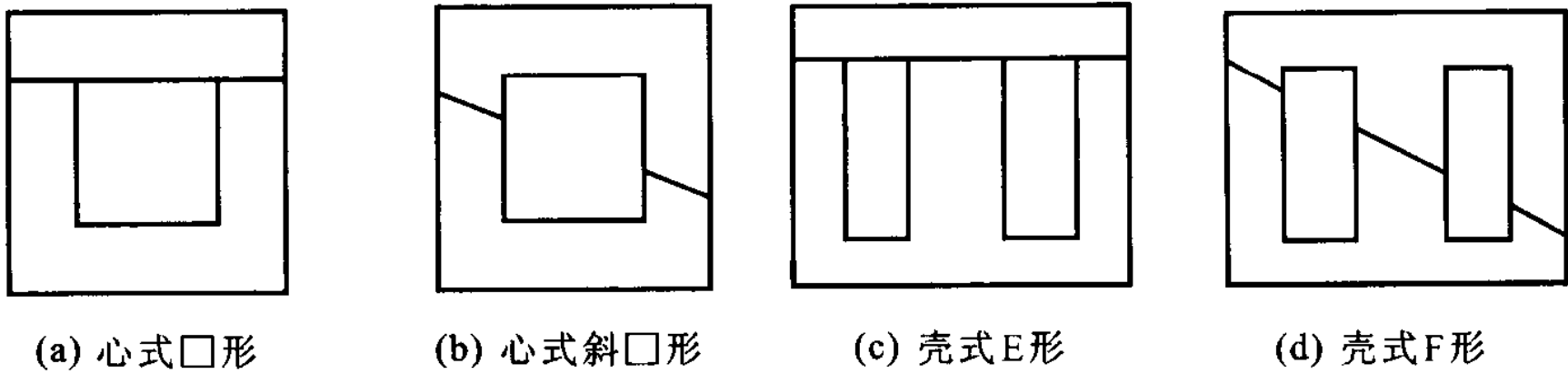


图 1-4 单相小容量变压器铁心形式

卷制式铁心是用 0.35 mm 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 形, 如图 1-5(a) 所示。图 1-5(b) 所示为用卷制式铁心制成的 C 形变压器。由于该类型变压器制作工艺简单, 正在小容量的单相变压器中逐渐普及。随着制造技术的不断成熟, 使用卷制式铁心的三相电力变压器(500 kV · A 以下)将逐步代替传统的