

高等职业教育电气自动化专业“双证课程”培养方案规划教材

The Projected Teaching Materials of “Double-Certificate Curriculum” Training for Electrical Automation Discipline in Higher Vocational Education



# 电机与 拖动

刘小春 主编

陈迎松 刘红兵 副主编

郭艳萍 主审

Motor and Drag

- ◆ 以能力需求为依据 突出技能训练
- ◆ 案例来源于职业岗位 提高学生兴趣
- ◆ 准确把握知识深度广度



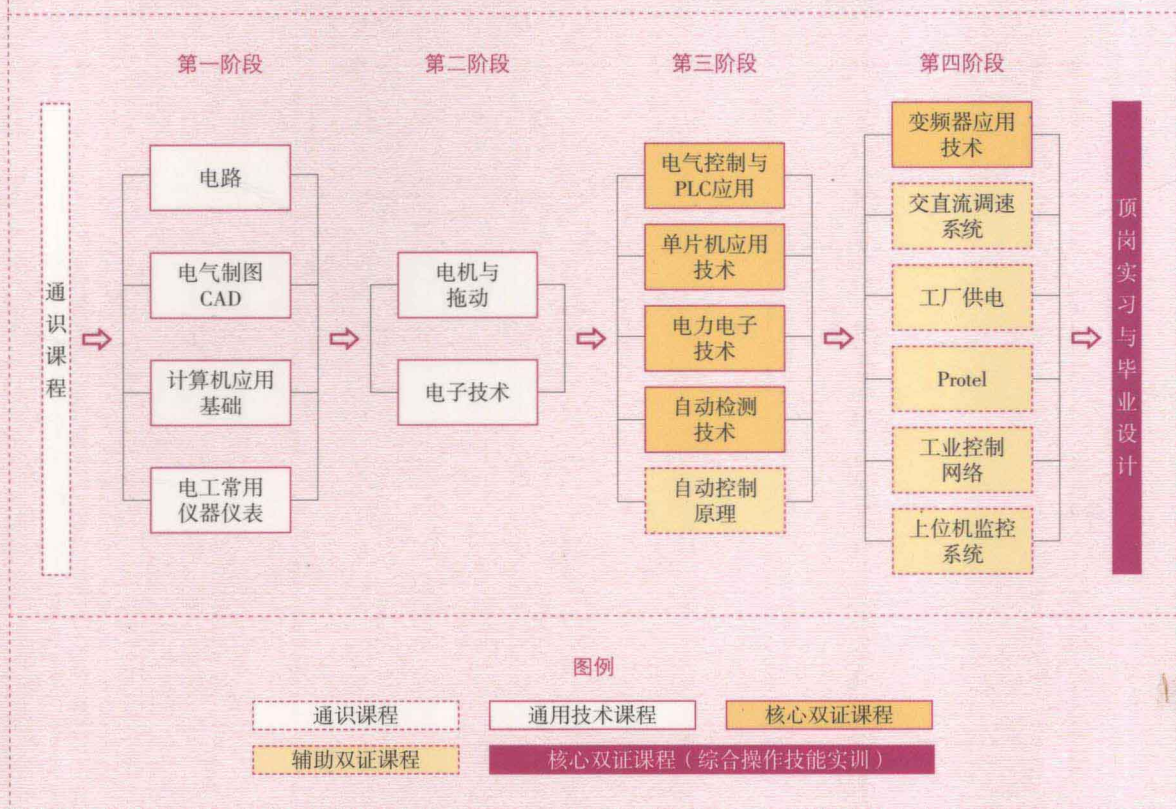
人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# Motor and Drag

## 电机与拖动

本书以电气自动化技术、机电一体化专业工作岗位的能力需求为依据，弱化理论推导，突出技术应用性和针对性，强化实践能力培养。全书共分5章，主要内容包括变压器、直流电机、三相异步电动机、单相异步电动机和特种电机等。每章都由职业岗位实际案例引入，提高学生的感性认识和学习兴趣，章后配以技能训练，实现能力提升。

电气自动化专业“双证课程”培养方案的课程体系框架图



人民邮电出版社  
教学服务与资源网  
www.ptpedu.com.cn

本书提供电子教案  
教材服务热线: 010-67170985  
人民邮电出版社教学服务与资源网: www.ptpedu.com.cn

封面设计: 董志栋

人民邮电出版社网址: www.ptpress.com.cn



ISBN 978-7-115-21845-2



9 787115 218452 >

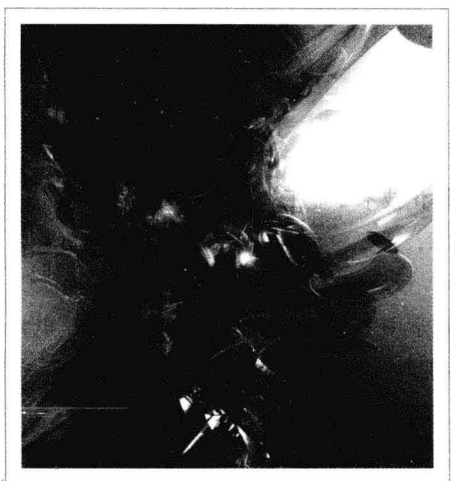
ISBN 978-7-115-21845-2

定价: 22.00 元



高等职业教育电气自动化专业“双证课程”培养方案规划教材

The Projected Teaching Materials of “Double-Certificate Curriculum” Training for Electrical Automation Discipline in Higher Vocational Education



# 电机与 拖动

刘小春 主编

陈迎松 刘红兵 副主编

郭艳萍 主审

Motor and Drag

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动 / 刘小春主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2010.2

高等职业教育电气自动化专业“双证课程”培养方案  
规划教材

ISBN 978-7-115-21845-2

I. ①电… II. ①刘… III. ①电机—高等学校: 技术  
学校—教材②电力传动—高等学校: 技术学校—教材

IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第000059号

## 内 容 提 要

本书按照高等职业教育的培养目标,以电气自动化、机电一体化技术专业工作岗位的能力需求为依据,突出技术应用性和针对性,强化实践能力培养。全书共分5章,主要内容包括变压器、直流电机、三相异步电动机、单相异步电动机和特种电机。每章都由案例引入,章后配以技能训练进行能力提升。

本书可作为高职高专院校自动化等电类专业及机电类专业的教学用书,也可作为从事电工技术、电力拖动技术等相关人员的培训教材和学习参考资料,亦可供电类专业教学的教师教学参考之用。

高等职业教育电气自动化专业“双证课程”培养方案规划教材

### 电机与拖动

◆ 主 编 刘小春

副 主 编 陈迎松 刘红兵

主 审 郭艳萍

责任编辑 李育民

◆ 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>

北京华正印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 12

字数: 297千字

2010年2月第1版

印数: 1-3000册

2010年2月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-21845-2

定价: 22.00元

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

反盗版热线: (010)67171154

高等职业教育电气自动化专业  
“双证课程”培养方案规划教材编委会

主任：程周

---

副主任：李金钟

---

委员：刘小春 华满香 刘高锁 徐丽娟 郭艳萍 张伟林 黄玮  
韩满林 李金钟 王金花 巩运强 刘春梅 黄星 邹奇 冯凯  
王文立 陈冰 李晓波 邱丽芳 李德尧 赵亚芳 陈迎松 刘红兵  
姜凤武 周欢喜 黄会雄 袁力辉 陶敏 程周 郭建尊 王翠兰  
李育民 潘新文

---

# 前 言

根据《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教育部2006年16号文件),高等职业院校的培养目标是培养高素质技能型专门人才,本书针对电气自动化技术等电类专业及机电类专业的人才培养目标,突出技术应用性和针对性,强化实践操作能力,在教学内容编写上做了如下改革。

1. 根据技能型专门人才的培养需求,简化理论分析的深度及难度,如变压器和三相异步电动机的等值电路的分析、参数的推导及计算、直流电动机的换向等都以定性为主,弱化过程推导。

2. 每章内容通过案例提高学习者对变压器和电机的感性认识,通过例题使学习者具有简单的工程计算能力。

3. 鉴于目前特种电机在自动控制领域的广泛应用,本教材突出了特种电机的内容,并结合应用实例加强理解。

4. 每章最后都有一定的技能训练内容,以提高学生的动手操作能力,为培养技能型人才服务。本书教学时数(含技能训练)建议为52~68课时,具体分配方案可参考下面的学时分配表。

章	课 程 内 容	课 时		
		理 论 课 时	技能训练课时	合 计
第1章	变压器	8~10	3~4	11~14
第2章	直流电机	8~10	3~4	11~14
第3章	三相异步电动机	10~12	4~6	14~18
第4章	单相异步电动机	5~6	2	7~8
第5章	特种电机	6~10	3~4	9~14
合 计		37~48	15~20	52~68

本书的编者均为多年从事电机与拖动教学,主持和参与电机与拖动课程改革的主讲教师。全书由湖南铁道职业技术学院刘小春主编,湖南铁道职业技术学院刘红兵、漯河职业技术学院陈迎松副主编,漯河职业技术学院郭艳萍主审。具体编写分工如下:湖南铁道职业技术学院刘红兵编写第1章,周口职业技术学院杨辉和张海辉合编第2章,刘小春编写了第3章和附录,台州职业技术学院姜凤武编写第4章,漯河职业技术学院陈迎松编写第5章。全书由刘小春统稿。

在本书的编写过程中,参考了其他大量教材及技术资料,在此一并表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏及不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009年12月

# 目 录

<b>第 1 章 变压器</b> .....1	
1.1 变压器的用途与结构 .....2	
1.1.1 变压器的用途及其分类 .....2	
1.1.2 变压器的结构 .....3	
1.2 变压器的铭牌和额定值 .....6	
1.2.1 铭牌 .....6	
1.2.2 额定值 .....6	
1.3 单相变压器的空载运行及负载运行 .....8	
1.3.1 单相变压器的空载运行 .....8	
1.3.2 单相变压器的负载运行 .....11	
1.3.3 变压器的阻抗变换作用 .....14	
1.4 三相变压器 .....15	
1.4.1 三相变压器磁路结构 .....15	
1.4.2 三相变压器的极性与连接组 .....16	
1.4.3 三相变压器并联运行 .....21	
1.5 特殊用途变压器 .....22	
1.5.1 自耦变压器 .....23	
1.5.2 电流互感器 .....25	
1.5.3 电压互感器 .....26	
1.5.4 电焊变压器 .....27	
1.6 技能训练 .....29	
1.6.1 变压器的空载试验和短路试验 .....29	
1.6.2 三相变压器变比及连接组别测定 .....33	
1.6.3 小型变压器线圈的绕制 .....35	
本章小结 .....41	
思考题与习题 .....42	
<b>第 2 章 直流电机</b> .....44	
2.1 直流电机的结构及基本工作原理 .....44	
2.1.1 直流电机的基本工作原理 .....44	
2.1.2 直流电机的主要结构 .....46	
2.1.3 直流电机的铭牌数据和主要系列 .....49	
2.2 直流电机的磁场 .....50	
2.2.1 直流电机的励磁方式 .....50	
2.2.2 直流电机空载时的磁场 .....51	
2.2.3 直流电机负载时的磁场 .....52	
2.3 直流电机的感应电动势、电磁转矩和功率 .....54	
2.3.1 直流电机的感应电动势 .....54	
2.3.2 直流电机的电磁转矩 .....55	
2.3.3 直流电机的功率 .....55	
2.4 直流电动机的工作特性与机械特性 .....57	
2.4.1 直流电动机的工作特性 .....57	
2.4.2 直流电动机的机械特性 .....59	
2.5 直流电动机的启动、调速、反转与制动 .....62	
2.5.1 直流电动机的启动 .....62	
2.5.2 直流电动机的调速 .....64	
2.5.3 直流电动机的反转 .....67	
2.5.4 直流电动机的制动 .....67	
2.6 直流电动机的换向 .....71	
2.6.1 换向概述 .....71	
2.6.2 改善换向的方法 .....72	
2.7 技能训练 .....73	
2.7.1 并励直流电动机启动、调速和反转 .....73	
2.7.2 并励直流电动机工作特性与机械特性测定 .....75	
本章小结 .....77	
思考题与习题 .....77	
<b>第 3 章 三相异步电动机</b> .....79	
3.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理 .....79	
3.1.1 三相异步电动机的基本结构 .....79	



3.1.2 三相异步电动机的工作原理	83
3.1.3 三相异步电动机的铭牌	86
3.2 三相异步电动机的运行分析	91
3.2.1 三相异步电动机的运行原理	92
3.2.2 三相异步电动机的工作特性	96
3.2.3 三相异步电动机的机械特性	98
3.3 三相异步电动机的启动	101
3.3.1 笼形异步电动机的启动	102
3.3.2 绕线转子异步电动机的启动	107
3.4 三相异步电动机的调速	110
3.4.1 变极调速	110
3.4.2 变频调速	111
3.4.3 改变转差率调速	113
3.5 三相异步电动机的制动	114
3.5.1 回馈制动	114
3.5.2 反接制动	115
3.5.3 能耗制动	117
3.6 技能训练	118
3.6.1 三相异步电动机的拆装	118
3.6.2 三相异步电动机定子绕组首尾端判断	122
3.6.3 三相异步电动机工作特性测定	124
3.6.4 三相异步电动机的启动、反转与制动	126
本章小结	129
思考题与习题	130
<b>第 4 章 单相异步电动机</b>	<b>132</b>
4.1 单相异步电动机的工作原理	132
4.1.1 单相异步电动机的结构	133
4.1.2 单相异步电动机的铭牌	134
4.1.3 单相异步电动机的工作原理	136
4.2 单相异步电动机的基本形式	138
4.2.1 电阻分相式单相异步电动机	138
4.2.2 电容分相式单相异步电动机	139
4.2.3 罩极式单相异步电动机	141
4.3 单相异步电动机的调速及反转	142
4.3.1 单相异步电动机的调速	142
4.3.2 单相异步电动机的反转	144
4.4 技能训练：家用吊扇绕组判别与安装	145
本章小结	147
思考题与习题	148
<b>第 5 章 特种电机</b>	<b>149</b>
5.1 伺服电动机	150
5.1.1 直流伺服电动机	150
5.1.2 交流伺服电动机	152
5.2 测速发电机	153
5.2.1 直流测速发电机	154
5.2.2 交流异步测速发电机	155
5.3 步进电动机	156
5.3.1 反应式步进电动机的结构和工作原理	157
5.3.2 反应式步进电动机的特性	158
5.3.3 驱动电源	159
5.3.4 应用	160
5.4 直线电动机	160
5.4.1 直线异步电动机的分类和结构	160
5.4.2 直线异步电动机的工作原理	162
5.4.3 直线异步电动机的应用	163
5.5 微型同步电动机	164
5.5.1 永磁式同步电动机	164
5.5.2 反应式同步电动机	165
5.5.3 磁滞式同步电动机	165
5.6 技能训练	166
5.6.1 交流伺服电动机特性测定	166
5.6.2 直流伺服电动机特性测定	168
5.6.3 直流测速发电机的特性测定	170
本章小结	172
思考题与习题	173
<b>附录 A 电机主要符号</b>	<b>174</b>
<b>附录 B 直流电动机常见故障分析</b>	<b>179</b>
<b>附录 C 三相异步电动机常见故障分析</b>	<b>181</b>
<b>参考文献</b>	<b>185</b>

# 第 1 章

## 变压器

### 【学习目标】

1. 掌握变压器的结构。
2. 掌握变压器的工作原理。
3. 掌握三相变压器的结构及连接组别。
4. 能判断变压器故障，对一般故障能进行修理与试验。

【案例】变压器是在电力系统和电子线路中应用广泛的电气设备。尤其在电能的传输、分配和使用中，变压器是关键设备，具有重要意义。由发电站发出的电能在向用户输送的过程中，通常需用很长的输电线，根据公式  $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$ ，当输送的功率  $P$  和负载的功率因数  $\cos \varphi$  一定时，输电线路上的电压  $U$  越高，则流过输电线路中的电流  $I$  就越小。因此，采用高电压输送电能，不仅可以减小输电线的截面积，节约导体材料，同时还可减小输电线路的功率损耗。目前，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，以便集中输送、统一调度与分配电能。但发电机本身由于其结构及所用绝缘材料的限制，不可能直接发出很高的电压，因此在输电时必须首先通过升压变电站，利用变压器将电压升高。当高压电能输送到用电区后，为了保证用电安全和符合用电设备电压等级的要求，还必须通过各级降压变电站，再利用变压器将电压降低。上述电力输送过程如图 1-1 所示。

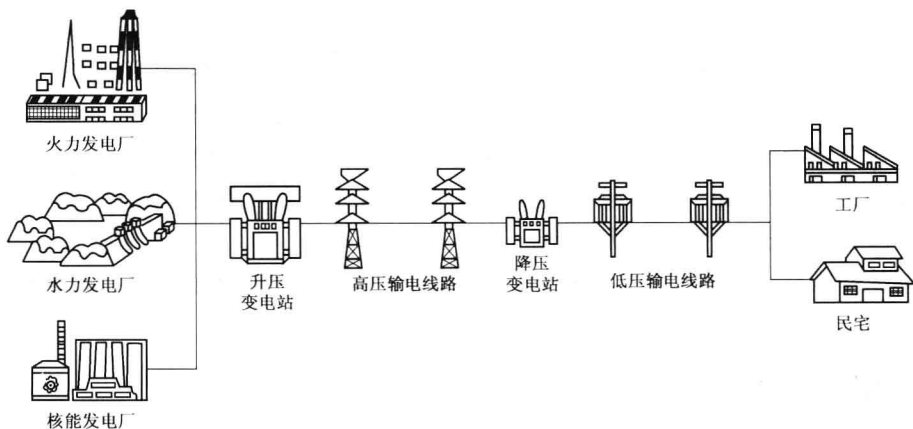


图 1-1 电力输送过程示意图

## 1.1

## 变压器的用途与结构

## 1.1.1 变压器的用途及其分类

变压器是用来改变交流电压大小的电气设备。它是根据电磁感应原理,把某一等级的交流电压变化成频率相同的另一等级的交流电压,以满足不同负载的需要。变压器的应用使人们能够方便地解决输电和用电这一矛盾。因此,变压器在电力系统中占有很重要的地位。据统计,在电力系统中每1kW的发电功率需配备5~8kV·A容量的变压器。电能传输过程中会有能量的损耗,主要是输电线路的损耗及变压器的损耗,它占整个供电容量的5%~9%,这是一个相当可观的数字。例如,我国2000年发电设备的总装机容量约为3.16亿千瓦,则输电线路及变压器损耗的部分为1600~2800万千瓦,它相当于目前我国10到20个装机容量最大的火力发电厂的总和。在这个能量损耗中,变压器的损耗最大,占60%左右,因此,变压器效率的高低成为输、配电系统中一个突出的问题。我国从20世纪70年代末期开始研制高效节能变压器,其换代过程为SJ→S5→S7→S9→SCB→SH11。目前大批量生产的是S9低损耗节能变压器,并要求逐步淘汰正在使用中的旧型号变压器。据初步估算,采用低损耗变压器所需的投资费用可在4~5年时间内从节约的电费中收回。其次,变压器除了用于输、配电系统,还广泛应用于电气控制领域、电子技术领域、测试技术领域、焊接技术领域等。

为了适用不同的使用目的和工作条件,变压器有很多种类,通常可按其用途、绕组结构、铁芯结构、相数、冷却方式等进行分类。

## 1. 按用途分类

(1) 电力变压器。用做电能的输送与分配,上面介绍的即属于电力变压器,这是生产数量最多、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等。

## 2. 按绕组构成分类

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、自耦变压器等。

### 3. 按铁芯结构分类

按铁芯结构分类有叠片式铁芯、卷制式铁芯和非晶合金铁芯。

### 4. 按相数分类

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

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、充气式变压器等。

## 1.1.2 变压器的结构

根据用途不同，变压器的结构也有所不同，大功率电力变压器的结构比较复杂，而多数电力变压器是油浸式的。油浸式变压器由绕组和铁芯组成器身，为了解决散热、绝缘、密封、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、湿度计、气体继电器等附件，其结构如图 1-2 所示。

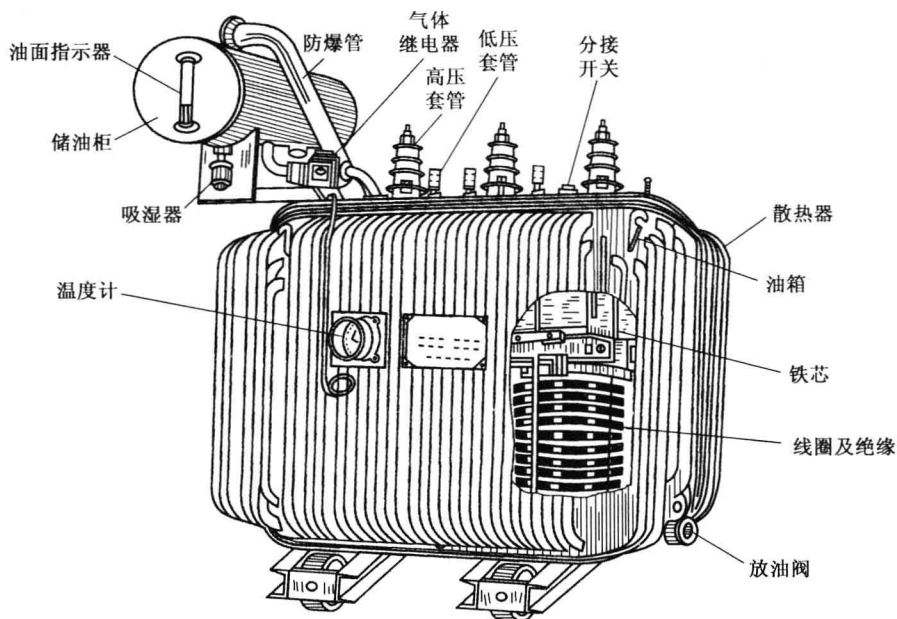


图 1-2 油浸式电力变压器

### 1. 变压器绕组

变压器的线圈通常称为绕组，它是变压器中的电路部分。小型变压器一般用具有绝缘的漆包圆铜线绕制而成，对容量稍大的变压器则用扁铜线或扁铝线绕制。

在变压器中，接到高压电网的绕组称高压绕组，接到低压电网的绕组称低压绕组。按高压

绕组和低压绕组的相互位置和形状不同,绕组可分为同心式和交叠式两种。

(1) 同心式绕组。同心式绕组是将高、低压绕组同心地套装在铁芯柱上,如图 1-3 所示。为了便于与铁芯绝缘,把低压绕组套装在里面,高压绕组套装在外面。对低压大电流、大容量的变压器,由于低压绕组引出线很粗,也可以把它放在外面。高、低压绕组之间留有空隙,可作为油浸式变压器的油道,既利于绕组散热,又作为两绕组之间的绝缘。

同心式绕组按其绕制方法的不同又可分为圆筒式、螺旋式、连续式等多种。同心式绕组的结构简单、制造容易,常用于心式变压器中,这是一种最常见的绕组结构形式,国产电力变压器基本上均采用这种结构。

(2) 交叠式绕组。交叠式绕组又称为饼式绕组,它是将高压绕组及低压绕组分成若干个线饼,沿着铁芯柱的高度交替排列着。为了便于绝缘,一般最上层和最下层安放低压绕组,如图 1-4 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。这种绕组形式主要用在低电压、大电流的变压器上,如容量较大的电炉变压器、电阻电焊机(如点焊、滚焊和对焊电焊机)变压器等。

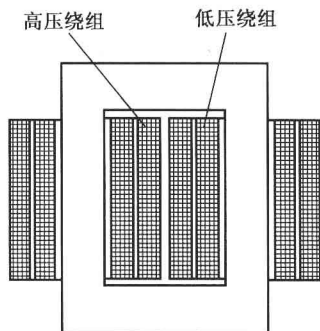


图 1-3 同心式绕组

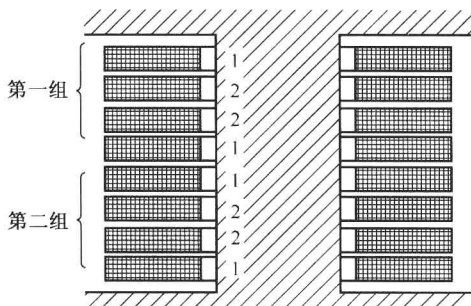


图 1-4 交叠式绕组

1—低压绕组 2—高压绕组

三相电力变压器的绕组一般用绝缘纸包的扁铜线或扁铝线绕成,绕组的结构形式也有同心式绕组和交叠式绕组。当前,新型的绕组结构为箔式绕组电力变压器,绕组用铝箔或铜箔氧化技术和特殊工艺绕制,使变压器整体性能得到较大的提高,我国已开始批量生产。

## 2. 变压器铁芯

铁芯构成变压器磁路系统,并作为变压器的机械骨架。它由铁芯柱和铁轭两部分组成,铁芯柱上套装变压器绕组,铁轭起连接铁芯柱使磁路闭合的作用。对铁芯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 0.35mm 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、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,且铁芯叠装系数低(因硅钢片两面均涂有绝缘漆),现已不用。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,且铁芯叠装系数高(因硅钢片表面有氧化膜绝缘,不必再涂绝缘漆)。

根据变压器铁芯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芯柱上放置绕组,形成绕组包围铁芯的形式,如图 1-5 所示。壳式变压器则是在中间的铁芯柱上放置绕组,形成铁芯包围绕组的形状,如图 1-6 所示。

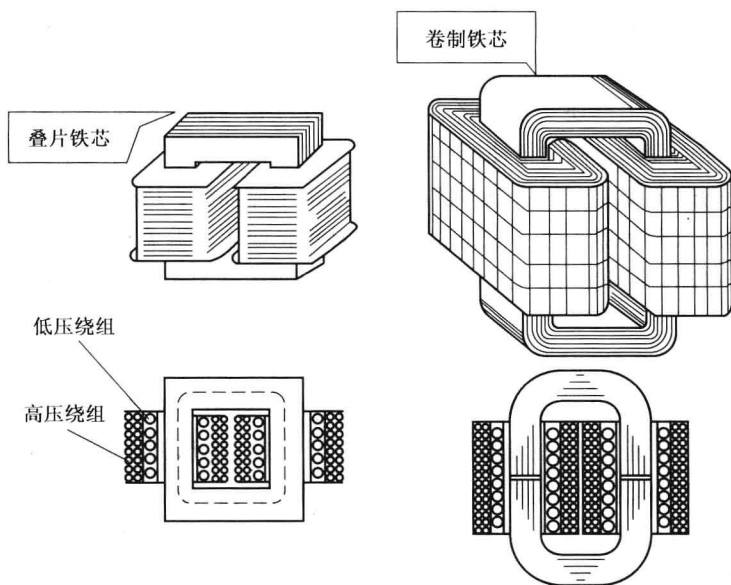


图 1-5 心式变压器结构

根据变压器铁芯的制作工艺可分叠片式铁芯和卷制式铁芯两种。叠片式铁芯的心式变压器及壳式变压器的制作顺序是：先将硅钢片冲剪成如图 1-7 所示的形状，再将一片片硅钢片按其接口交错地插入事先绕好并经过绝缘处理的线圈中，最后用夹件将铁芯夹紧。为了减小铁芯磁路的磁阻以减小铁芯损耗，要求铁芯装配时，接缝处的空气隙应越小越好。

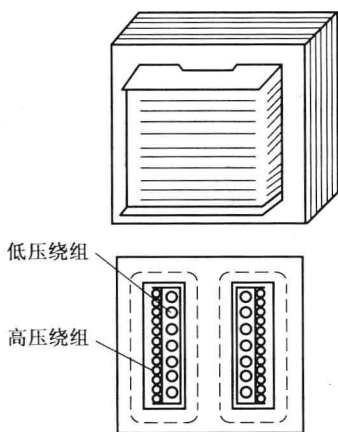


图 1-6 壳式变压器结构

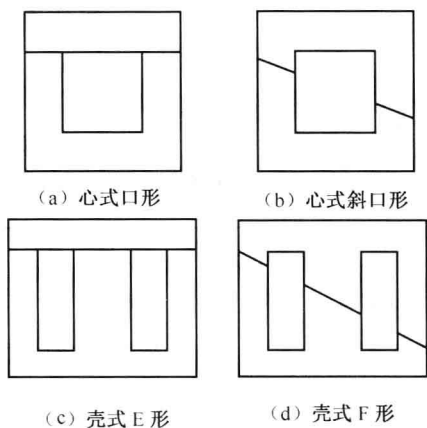


图 1-7 单相小容量变压器铁芯形式

### 3. 变压器的主要附件

(1) 油箱和冷却装置。由于三相变压器主要用于电力系统进行电压等级的变换，因此其容量都比较大，电压也比较高。目前，国产的高电压、大容量三相电力变压器 OSFPSZ-360 000/500 已批量生产（容量为 36 万  $\text{kV} \cdot \text{A}$ ，电压为 500kV，每台变压器重量达到 250t）。为了铁芯和绕组的散热和绝缘，均将其置于绝缘的变压器油内，而油则盛放在油箱内。为了增加散热面积，一般在油箱四周加装散热装置，老型号电力变压器采用在油箱四周加焊扁形散热油管（见图

1-2), 新型电力变压器以采用片式散热器散热为多。容量大于 10 000kV·A 的电力变压器, 采用风吹冷却或强迫油循环冷却装置。

较多的变压器在油箱上部还安装有储油柜, 通过连接管与油箱相通。储油柜内的油面高度随变压器油的热胀冷缩而变动。储油柜使变压器油与空气的接触面积大为减小, 从而减缓了变压器油的老化速度。新型的全充油密封式电力变压器则取消了储油柜, 运行时变压器油的体积变化完全由设在侧壁的膨胀式散热器(金属波纹油箱)来补偿, 变压器端盖与箱体之间焊为一体, 设备免维护, 运行安全可靠, 在我国以 S10 系列低损耗电力变压器为代表, 现已开始批量生产。

### (2) 保护装置。

① 气体继电器。在油箱和储油柜之间的连接管中装有气体继电器, 当变压器发生故障时, 内部绝缘物汽化, 使气体继电器动作, 发出信号或使开关跳闸。

② 防爆管(安全气道)。装在油箱顶部, 它是一个长的圆形钢筒, 上端用酚醛纸板密封, 下端与油箱连通。若变压器发生故障, 使油箱内压力骤增时, 油流冲破酚醛纸板, 以免造成变压器箱体爆裂。近年来, 国产电力变压器已广泛采用压力释放阀来取代防爆管, 其优点是动作精度高, 延时时间短, 能自动开启及自动关闭, 克服了停电更换防爆管的缺点。

# 1.2

## 变压器的铭牌和额定值

### 1.2.1 铭 牌

为了使用户对变压器的性能有所了解, 制造厂家对每一台变压器都安装了一块铭牌, 上面标明了变压器型号及各种额定数据, 只有理解了铭牌上各种数据的意义, 才能正确地使用变压器, 以便在运行、维护时减少失误。图 1-8 所示为电力变压器的铭牌。

电力变压器							
产品型号	S7-500/10	标准代号	××××				
额定容量	500kV·A	产品代号	××××				
额定电压	10kV	出厂序号	××××				
额定频率	50Hz 3相	开关位置	高压		低压		
联结组标号	Y, yn0		电压 /V	电流 /A	电压 /V	电流 /A	
阻抗电压	4%		I	10500	27.5		
冷却方式	油冷		II	10000	28.9	400	721.7
使用条件	户外	III	9500	30.4			
					××变压器厂 ××年××月		

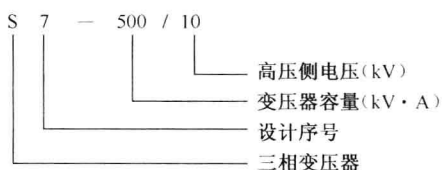
图 1-8 电力变压器铭牌

### 1.2.2 额 定 值

图 1-8 所示的电力变压器是配电站用的降压变压器, 将 10kV 的高压降为 400V 的低压, 供

三相负载使用。铭牌中的主要参数说明如下。

## 1. 型号



## 2. 额定电压 $U_{1N}$ 和 $U_{2N}$

高压侧（一次绕组）额定电压  $U_{1N}$  是指加在一次绕组上的正常工作电压值。它是根据变压器的绝缘强度、允许发热等条件规定的。高压侧标出的 3 个电压值，可以根据高压侧供电电压的实际情况，在额定值的  $\pm 5\%$  范围内加以选择，当供电电压偏高时可调至 10 500V，偏低时则调至 9 500V，以保证低压侧的额定电压为 400V 左右。

低压侧（二次绕组）额定电压  $U_{2N}$  是指变压器在空载时，高压侧加上额定电压后，二次绕组两端的电压值。变压器接上负载后，二次绕组的输出电压  $U_2$  将随负载电流的增加而下降，为保证在额定负载时能输出 380V 的电压，考虑到电压调整率为 5%，故该变压器空载时二次绕组的额定电压  $U_{2N}$  为 400V。在三相变压器中，额定电压均指线电压。

## 3. 额定电流 $I_{1N}$ 和 $I_{2N}$

额定电流是指根据变压器容许发热的条件而规定的满载电流值。在三相变压器中，额定电流是指线电流。

## 4. 额定容量 $S_N$

额定容量是指变压器在额定工作状态下，二次绕组的视在功率，其单位为  $\text{kV} \cdot \text{A}$ 。单相变压器的额定容量为

$$S_N = \frac{U_{2N} I_{2N}}{1000} \text{ kV} \cdot \text{A}$$

三相变压器的额定容量为

$$S_N = \frac{\sqrt{3} U_{2N} I_{2N}}{1000} \text{ kV} \cdot \text{A}$$

## 5. 连接组标号

连接组标号指三相变压器一次、二次绕组的连接方式。

Y（高压绕组作星形连接）、y（低压绕组作星形连接）；D（高压绕组作三角形连接）、d（低压绕组作三角形连接）；N（高压绕组作星形连接时的中性线）、n（低压绕组作星形连接时的中性线）。

## 6. 阻抗电压

阻抗电压又称为短路电压，它标志在额定电流时变压器阻抗压降的大小。通常用它与额定电压  $U_{1N}$  的百分比来表示。



【例 1-1】 一台三相油浸自冷式铝线变压器，已知  $S_N=560\text{kV}\cdot\text{A}$ ， $U_{1N}/U_{2N}=10000\text{V}/400\text{V}$ ，试求一次、二次绕组的额定电流  $I_{1N}$ 、 $I_{2N}$  各是多大？

解：

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{560 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10000} \text{A} = 32.33 \text{A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} = \frac{560 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \text{A} = 808.29 \text{A}$$

# 1.3

## 单相变压器的空载运行及负载运行

### 1.3.1 单相变压器的空载运行

#### 1. 单相变压器的基本工作原理

单相变压器是指接在单相交流电源上用来改变单相交流电压的变压器，其容量一般都比较小，主要用做控制及照明。实际上变压器是利用电磁感应原理来工作的，图 1-9 所示为其工作原理示意图。变压器的主要部件是铁芯和绕组，两个互相绝缘且匝数不同的绕组分别套装在铁芯上，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）。

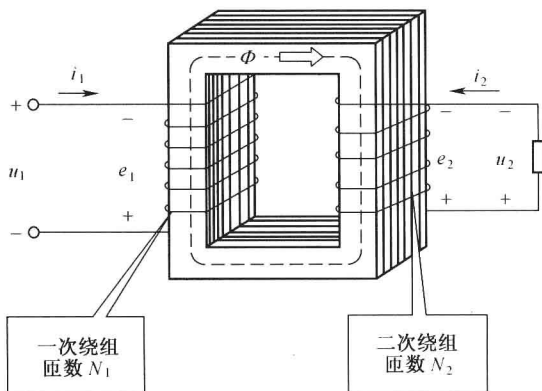


图 1-9 变压器基本工作原理图

一次绕组加上交流电压  $u_1$  后，绕组中便有电流  $i_1$  通过，在铁芯中产生与  $u_1$  同频率的交变磁通  $\Phi$ ，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  $e_2$ 。

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

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