



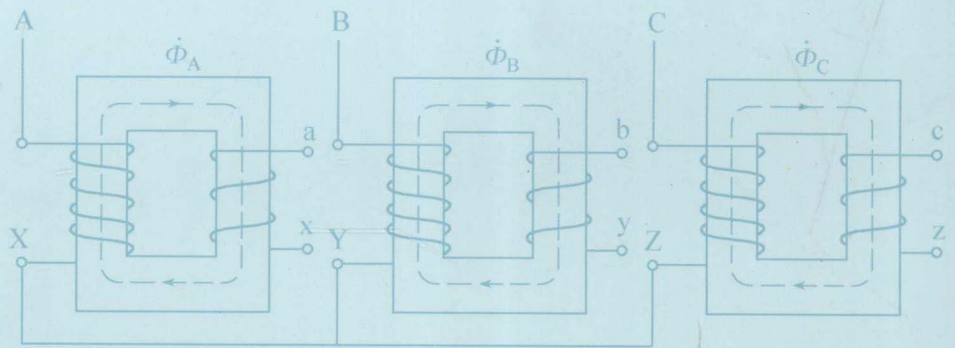
高职高专“十二五”规划教材

机电专业系列

# 电机与电气控制技术项目化教程

DIANJI YU DIANQI KONGZHI JISHU XIANGMUHUA JIAOCHENG

主编 刘益标 冯旭



南京大学出版社



高职高专“十二五”规划教材

机电专业系列

# 电机与电气控制技术项目化教程

主 编 刘益标 冯 旭  
 副主编 刘艳萍 周作茂 王 刚  
           黄 海 侯益坤  
 参 编 唐文英 欧英雷 李建南  
           陈洲唤 曾垒焱

南京出版传媒集团  
南京理工大学出版社

## 内容简介

本书是高职高专电气类专业的系列教材之一。主要介绍变压器、电动机和常用低压电器的结构和原理；利用低压电器组成的各种典型控制环节的工作原理和运行分析；常用机床电气控制线路的工作原理和运行分析。本书以电动机为控制对象，低压电器为控制和保护元件，以三相异步电动机的拖动和控制为重点，以常用机床的电气控制为实例，阐述了电气控制的基本知识。

本书可作为高职高专院校机电一体化、电气自动化等专业的教学用书，也可作为技师学院、成人教育学院电气工程、自动化专业的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术项目化教程 / 刘益标, 冯旭主

编. — 南京: 南京大学出版社, 2013. 7

高职高专“十二五”规划教材. 机电专业系列

ISBN 978-7-305-11875-3

I. ①电… II. ①刘… ②冯… III. ①电机学—教材  
②电气控制—教材 IV. ①TM3 ②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 169306 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出版人 左 健

丛 书 名 高职高专“十二五”规划教材·机电专业系列

书 名 电机与电气控制技术项目化教程

主 编 刘益标 冯 旭

责任编辑 何永国 编辑热线 025-83597482

照 排 南京南琳图文制作有限公司

印 刷 常州市武进第三印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 14.75 字数 368 千

版 次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-11875-3

定 价 29.80 元

发行热线 025-83594756 83686452

电子邮箱 [Press@NjupCo.com](mailto:Press@NjupCo.com)

[Sales@NjupCo.com](mailto:Sales@NjupCo.com)(市场部)

\* 版权所有, 侵权必究

\* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购  
图书销售部门联系调换

# 前 言

电机原理和电气控制技术是电气、自动化等专业的必修课,也是可编程控制技术的先修课程,在工厂电气控制中得到了广泛的应用。

本书将电机原理和电气控制技术融合为一体,以交、直流电动机为驱动装置,以低压电器为控制、保护元件,组成生产机械的电力拖动和电气控制系统。书中以三相异步电动机的拖动和控制为重点,以电气控制的基本环节为主线,以常用机床的电气控制系统为实例,介绍电力拖动及常用电气控制技术等基本知识。全书共分8章,包括变压器、三相异步电动机、直流电机、常用控制电机、常用低压电器、电气控制线路的基本环节、典型机床的电气控制线路、技能训练。

本书具有以下特点:

(1) 内容简练,详略得当。本书考虑高职高专学生的认知特点,使用通俗易懂的语言进行阐述,摒弃艰涩难懂的理论分析和公式推导,突出对后续课程有用的知识点。

(2) 注重知识的应用和实践。编者根据长期的教学实践,编写了有针对性的技能实训项目,以加深学生对相关知识的理解和应用,增强动手能力。

通过本课程学习,应达到:

(1) 会看。能看懂电路的组成结构。

(2) 会分析。能分析电路的工作原理,能查找电路的故障原因。

(3) 会动手。能按照技术规范,对电路进行正确接线。

本书可作为高职院校机电一体化、电气工程、自动化等专业的教学用书,也可作为汽车电气、计算机辅助设计、模具设计、数控机床等专业相关课程的参考用书。

本书由刘益标、冯旭担任主编,刘艳萍、周作茂、王刚、黄海、侯益坤担任副主编,唐文英、欧英雷、李建南、陈洲唤、曾垒焱参与了编写。全书由刘益标、冯旭一起负责设计教材的总体框架、制定编写大纲、组织老师撰写及承担全书的定稿和统稿。

限于编者水平,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年5月

# 目 录

项目 1 变压器	1
1.1 磁路和电磁感应定律	1
1.1.1 磁路的几个物理量	1
1.1.2 几个基本电磁定律	2
1.2 变压器的结构和基本工作原理	3
1.2.1 变压器的用途与类型	3
1.2.2 变压器的基本结构	4
1.2.3 变压器的额定值和型号	6
1.2.4 变压器的基本工作原理	7
1.3 单相变压器的运行分析	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
1.4 三相变压器	15
1.4.1 三相变压器的磁路系统	16
1.4.2 三相变压器的电路系统	17
1.5 其他用途变压器	22
1.5.1 自耦变压器	22
1.5.2 仪用互感器	23
本章小结	25
思考与练习	26
项目 2 三相异步电动机	28
2.1 三相异步电动机的结构与工作原理	28
2.1.1 三相异步电动机的结构及类型	28
2.1.2 三相异步电动机的工作原理	30
2.1.3 三相异步电动机定子绕组的接线方式	34
2.1.4 三相异步电动机的铭牌	35
2.2 三相异步电动机的运行分析	37
2.2.1 三相异步电动机的空载运行	37
2.2.2 三相异步电动机的负载运行	38
2.3 三相异步电动机的工作特性	41
2.4 三相异步电动机的电磁转矩特性	42

2.4.1	电磁转矩的物理表达式	42
2.4.2	电磁转矩的参数表达式	42
2.4.3	电磁转矩的实用表达式	44
2.5	三相异步电动机的机械特性	44
2.5.1	机械特性曲线分析	45
2.5.2	固有机械特性	46
2.5.3	人为机械特性	46
2.6	电力拖动基本知识	48
2.6.1	电力拖动的运动方程	48
2.6.2	电力拖动系统的负载与负载转矩	49
2.6.3	电力拖动系统稳定运行的条件	51
2.7	三相异步电动机的起动	51
2.7.1	三相鼠笼式异步电动机的起动	51
2.7.2	三相绕线式异步电动机的起动	56
2.8	三相异步电动机的制动	58
2.8.1	反接制动	58
2.8.2	能耗制动	59
2.8.3	回馈制动	60
2.9	三相异步电动机的调速	62
2.9.1	鼠笼式异步电动机的变极调速	62
2.9.2	变频调速	65
2.9.3	变转差率调速	68
2.10	单相异步电动机	70
2.10.1	单相异步电动机的工作原理	71
2.10.2	单相异步电动机的主要类型及起动方法	72
2.10.3	单相异步电动机的转向控制	76
2.10.4	单相异步电动机的调速控制	76
	本章小结	79
	思考与练习	79
<b>项目3</b>	<b>直流电机</b>	<b>81</b>
3.1	直流电机的结构和工作原理	81
3.1.1	直流电机的结构	81
3.1.2	直流电机的工作原理	83
3.1.3	直流电机的种类与特点	85
3.1.4	直流电机的铭牌及主要系列	87
3.2	直流电动机的电枢电动势和电磁转矩	88
3.2.1	电枢绕组的感应电动势	88

3.2.2	电枢绕组的电磁转矩	89
3.3	他励直流电动机的基本方程式和机械特性	90
3.3.1	他励直流电动机的基本方程式	90
3.3.2	他励直流电动机的机械特性	92
3.4	他励直流电动机的起动和反转	94
3.4.1	他励直流电动机的起动	94
3.4.2	他励直流电动机的反转	96
3.5	他励直流电动机的制动	96
3.5.1	能耗制动	96
3.5.2	反接制动	97
3.6	他励直流电动机的调速	100
3.6.1	电枢串电阻调速	100
3.6.2	降压调速	100
3.6.3	弱磁调速	101
	本章小结	101
	思考与练习	102
<b>项目 4</b>	<b>常用控制电机</b>	<b>103</b>
4.1	步进电动机	103
4.1.1	三相六极反应式步进电动机的基本结构和原理	103
4.1.2	步进电动机的驱动电路	104
4.1.3	步进电动机的应用	105
4.2	伺服电动机	105
4.2.1	直流伺服电动机	106
4.2.2	交流伺服电动机	107
4.2.3	伺服电动机的应用	109
4.3	测速发电机	110
4.3.1	直流测速发电机	110
4.3.2	交流测速发电机	111
4.3.3	测速发电机的应用	112
	本章小结	113
	思考与练习	114
<b>项目 5</b>	<b>常用低压电器</b>	<b>115</b>
5.1	低压电器基本知识	115
5.1.1	低压电器的分类	115
5.1.2	低压电器型号的表示方法	116
5.1.3	低压电器的主要技术参数	116
5.1.4	低压电器的选用原则	117

5.2	低压电器的电磁机构和触点系统	117
5.2.1	电磁机构	118
5.2.2	低压电器的触点系统和灭弧方法	118
5.3	熔断器	121
5.3.1	熔断器的工作原理及特性	121
5.3.2	熔断器的主要技术参数	122
5.3.3	熔断器的常用类型及适用场合	122
5.3.4	熔断器的型号及电气符号	124
5.3.5	熔断器的选择	124
5.4	低压开关	126
5.4.1	HK2 系列开启式负荷开关	126
5.4.2	HZ10 系列组合开关	127
5.4.3	自动空气开关	127
5.5	主令电器	130
5.5.1	控制按钮	130
5.5.2	行程开关	131
5.5.3	接近开关	132
5.5.4	万能转换开关	134
5.6	接触器	135
5.6.1	接触器的结构及工作原理	135
5.6.2	接触器的主要技术参数	136
5.6.3	接触器的电气符号及型号含义	137
5.6.4	接触器的使用	137
5.7	电磁式继电器	138
5.7.1	电磁式继电器的基本结构	138
5.7.2	电磁式中间继电器	139
5.7.3	电磁式电流继电器	140
5.7.4	电磁式电压继电器	141
5.7.5	电磁式继电器的主要参数	141
5.7.6	电磁式继电器的选用	142
5.8	热继电器	142
5.8.1	双金属片热继电器的结构与工作原理	142
5.8.2	JR 系列热继电器的型号含义及热继电器的电气符号	143
5.8.3	热继电器的选用	143
5.9	时间继电器	143
5.9.1	时间继电器的结构与工作原理	144
5.9.2	时间继电器的电气符号和型号含义	145



5.9.3	时间继电器的选用	145
5.10	速度继电器和压力继电器	146
5.10.1	速度继电器	146
5.10.2	压力继电器	147
	本章小结	147
	思考与练习	148
<b>项目 6</b>	<b>电气控制线路的基本环节</b>	<b>149</b>
6.1	电气控制系统图	149
6.1.1	电气图形符号、文字符号和接线标记	149
6.1.2	电气原理图	151
6.1.3	电器元件布置图	153
6.1.4	安装接线图	154
6.2	三相鼠笼式异步电动机起动控制电路	155
6.2.1	鼠笼式异步电动机直接起动的条件	155
6.2.2	三相鼠笼式异步电动机的全压起动控制线路	155
6.2.3	三相鼠笼式异步电动机的正、反转控制线路	157
6.2.4	三相鼠笼式异步电动机的顺序控制线路	159
6.2.5	三相鼠笼式异步电动机的减压起动控制线路	160
6.2.6	三相绕线式异步电动机的减压起动控制线路	165
6.3	三相鼠笼式异步电动机的制动控制线路	167
6.3.1	反接制动控制线路	167
6.3.2	能耗制动控制线路	170
6.4	鼠笼式双速异步电动机控制线路	172
6.4.1	双速异步电动机定子绕组的联接	172
6.4.2	双速异步电动机的控制线路	172
6.5	直流电动机的电气控制	173
6.5.1	直流电动机单向起动控制	173
6.5.2	直流电动机可逆运行起动控制	174
6.5.3	直流电动机单向运行能耗制动控制	175
6.5.4	直流电动机可逆旋转反接制动控制	176
6.5.5	直流电动机的调速控制	177
6.6	电气控制线路设计的一般要求	178
6.6.1	控制电路应简单、经济	178
6.6.2	确保控制电路的安全性和可靠性	179
	本章小结	181
	思考与练习	181
<b>项目 7</b>	<b>典型机床的电气控制线路</b>	<b>183</b>

7.1 车床电气控制线路 .....	183
7.1.1 CA6140 型车床的结构 .....	183
7.1.2 CA6140 型车床的电力拖动特点与控制要求 .....	184
7.1.3 CA6140 型车床电气控制线路分析 .....	184
7.2 磨床电气控制线路 .....	186
7.2.1 M7130 型磨床的结构 .....	186
7.2.2 M7130 型磨床的电力拖动特点与控制要求 .....	187
7.2.3 M7130 型磨床电气控制线路分析 .....	187
7.3 钻床电气控制线路 .....	190
7.3.1 Z3050 型钻床的结构 .....	190
7.3.2 Z3050 型钻床的电力拖动特点与控制要求 .....	190
7.3.3 Z3050 型钻床电气控制线路分析 .....	190
7.4 铣床电气控制线路 .....	194
7.4.1 X62W 型万能铣床的结构及运动形式 .....	194
7.4.2 X62W 型万能铣床的控制要求 .....	195
7.4.3 X62W 型万能铣床电气控制线路分析 .....	195
本章小结 .....	199
思考与练习 .....	201
<b>项目 8 技能训练</b> .....	<b>202</b>
8.1 电机绕线实训 .....	202
8.2 基本电气控制线路实训 .....	206
8.2.1 三相异步电动机的点动控制 .....	206
8.2.2 三相异步电动机的单向起动与停止控制 .....	207
8.2.3 三相异步电动机两地控制线路 .....	208
8.2.4 三相异步电动机的互锁正、反转控制 .....	209
8.2.5 三相异步电动机的双重联锁正、反转控制 .....	211
8.2.6 三相异步电动机的手动顺序控制 .....	212
8.2.7 三相异步电动机的自动顺序控制 .....	213
8.2.8 三相异步电动机星—三角起动控制 .....	215
8.2.9 三相异步电动机能耗制动控制 .....	216
8.2.10 三相异步电动机自动往返控制 .....	218
8.3 机床电气控制线路实训 .....	219
8.3.1 CA6140 型车床电气系统实训 .....	219
8.3.2 M7130 型磨床电气系统实训 .....	220
8.3.3 Z3050 型钻床电气系统实训 .....	221
<b>附 录 常用电器设备的图形符号和文字符号</b> .....	<b>222</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>225</b>

# 项目 1 变压器

## 教学目标

(1) 了解变压器的用途、结构、种类和工作原理。

(2) 掌握变压器变电压、变电流和变阻抗的原理。

(3) 了解变压器的联接组别和并联运行的条件。

(4) 理解变压器铭牌的含义；学会正确使用常用的变压器。

变压器是根据电磁感应原理，将某一种等级的交流电能转变为同频率的另一等级交流电能的静止电气设备。变压器具有变换电压、变换电流和变换阻抗的作用。在电力系统、电气测量、电子线路和自动控制系统中都具有广泛的应用。

本章首先介绍磁路的常用物理量和几个常用的电磁定律，然后着重分析单相变压器的工作原理、基本结构和运行情况；简单介绍其他几种常用变压器。

## 1.1 磁路和电磁感应定律

### 1.1.1 磁路的几个物理量

变压器、电动机、磁电式仪表等电工设备，为了获得较强的磁场，常常将线圈缠绕在某种形状的铁芯上。铁芯是一种铁磁性材料，它具有良好的导磁性能，能使绝大部分磁通通过它形成一个闭合通路。线圈通以励磁电流产生磁场，这时铁芯被线圈磁场磁化产生较强的附加磁场，它叠加在线圈磁场上，使磁场大为增强。这种在铁芯内形成的磁通闭合路径称为磁路。由于铁磁材料有较高的磁导率，所以大多数磁通是在磁路中形成闭合回路的，这部分磁通称为主磁通。小部分磁通不经磁路而在周围的空气中形成闭合回路，这部分磁通称为漏磁通。

#### 1. 磁感应强度

通电导体在磁场中所受到的电磁力  $F$ ，除了与电流强度  $i$  和垂直于磁场的导线长度  $l$  成正比以外，还和磁场的强弱有关。用于表示某点磁场强弱的量称为磁感应强度，用  $B$  表示。

$$B = \frac{F}{il} \quad (1-1)$$

磁感应强度是一个矢量，它的方向即为磁场的方向。各点的磁感应强度大小相等、方向相同的磁场称为均匀磁场。磁力线越密，磁感应强度越大，所以磁感应强度又称磁通密度。磁感应强度的单位为 T(特斯拉)或  $\text{Wb}/\text{m}^2$ (韦伯/米<sup>2</sup>)。

#### 2. 磁通

磁感应强度表征了磁场中某一点的磁场强弱和方向。穿过磁场中某一个截面的磁感应强度的大小叫做磁通，用  $\Phi$  表示。穿过垂直于磁场方向某截面  $S$  的磁通  $\Phi$  等于磁感应强度  $B$

(如果不是均匀磁场,则取  $B$  的平均值)与该面积  $S$  的乘积。即

$$\Phi = BS \text{ 或 } B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-2)$$

磁通的单位为  $\text{Wb}$ (韦伯)。

### 3. 磁导率

衡量各种材料对于磁通传导能力大小的物理量,称为磁导率( $\mu$ ),单位为  $\text{H/m}$ (亨利/米)。自然界中的物质按磁导率大小可分为铁磁性物质和非铁磁性物质两大类,对于非铁磁材料,如真空的磁导率为  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ,它是一个常数。其他介质的磁导率  $\mu$  和真空的磁导率  $\mu_0$  的比值,称为该物质的相对磁导率,用  $\mu_r$  表示,即  $\mu_r = \mu/\mu_0$ 。一般来说,铁磁材料的相对磁导率很大,如硅钢片的相对磁导率为  $6000 \sim 8000 \text{ H/m}$ 。铁磁性物质广泛应用于在变压器、电动机、磁电式电工仪表等电工设备中,只要在线圈中通过较小的电流,就可产生足够大的磁感应强度。

### 4. 磁场强度

磁场强度( $H$ )是为了建立电流与其产生的磁场之间的数量关系而引入的物理量,单位为  $\text{A/m}$ (安/米)。它的方向与磁感应强度  $B$  相同,大小关系为

$$B = \mu H \quad (1-3)$$

## 1.1.2 几个基本电磁定律

### 1. 电磁感应定律

变化的磁场能够产生电场,在导体中感应电动势,如果是一个闭合回路,还会产生感应电流,这种现象称为电磁感应现象。电磁感应现象有以下两种:

#### (1) 导体切割磁力线感应电动势

导体在磁场中作切割磁力线运动时会感应电动势,这种电动势称为运动电动势。设导体的有效长度为  $l(\text{m})$ ,切割磁力线的运动速度为  $v(\text{m/s})$ ,并且磁力线、导体的运动方向以及导体三者相互垂直,则感应电动势的大小为:

$$E = Blv$$

该感应电动势的方向由右手定则来确定,方法是右手平展,使大拇指与其余四指垂直,并且都跟手掌在一个平面内。把右手放入磁场中,让磁力线垂直穿入掌心(当磁感线为直线时,相当于手心面向  $N$  极),大拇指指向导线运动方向,则四指所指方向为导体中感应电流(感应电动势)的方向,如图 1-1 所示。

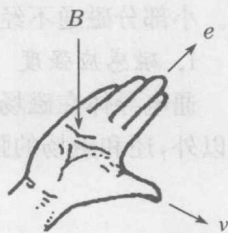


图 1-1 右手定则

我们知道,电流周围存在着磁场。当直导线有电流通过时,在其周围就存在着磁场,如图 1-2 所示。用以产生磁场的电流称为励磁电流,磁场的方向与励磁电流方向之间的关系用右手螺旋定则判定,方法是用右手握螺线管,让四指弯曲方向和螺线管的电流方向相同,则大拇指所指的那一端就是通电螺线管的北极,如图 1-3(b)所示。对于直线电流磁场方向的判断,则是令大拇指指向电流方向,其他弯曲四指的指向即为磁力线的方向(磁场方向或是小磁针北极所指方向或是小磁针受力方向),如图 1-3(a)所示。

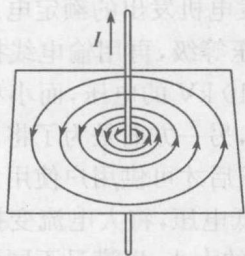
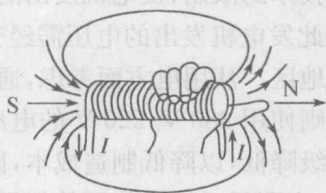


图 1-2 电流周围存在磁场



(a) 直导线



(b) 螺旋线圈

图 1-3 右手螺旋定则

## (2) 线圈中磁通变化感应电动势

一个线圈位于磁场中,当线圈所交链的磁通  $\phi$  发生变化时,线圈中将感应电动势,这种电动势称为变压器电动势。若线圈匝数为  $N$ ,则感应电动势为

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

该感应电动势的方向由楞次定律决定,即产生的感应电动势的方向始终与磁通变化的方向相反。

## 2. 电磁力定律

载流导体放置在磁场中时,导体会受到电磁力的作用。如果磁力线方向与导体相互垂直,导体中的电流为  $i$ ,导体有效长度为  $l$ ,则导体所受电磁力的大小为

$$F = Bil \quad (1-4)$$

电磁力的方向由左手定则确定,方法是把左手放入磁场中,让磁力线垂直穿入掌心,手心面向 N 极,四指指向电流方向,则大拇指的指向就是导体受力的方向,如图 1-4 所示。

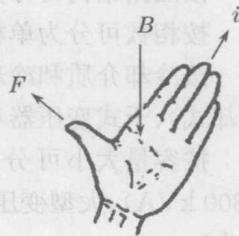


图 1-4 左手定则

# 1.2 变压器的结构和基本工作原理

变压器是一种静止电器,它是根据电磁感应原理,将一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能。

## 1.2.1 变压器的用途与类型

### 1. 变压器的用途

变压器的主要用途是变换电压,此外还有变换电流、变换阻抗的作用,在电力系统和电子设备中得到广泛的应用。

变压器是电力系统中电能传输、分配和使用的主要电气设备,电力系统中用于升、降电压的变压器叫做电力变压器。三相变压器的输出容量为  $S = \sqrt{3}UI$ ,在同等容量的情况下,电压  $U$  越高,线路的电流  $I$  就越小,这样输电线路上的电压降和功率损耗也就越小,同时还可以使用更小的输电线,节省材料,达到减小投资和降低运行费用的目的。我国高压输电线路的电压等级主要有 35 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV 等几种。由于发电厂的交流发电机受绝缘条

件和制造技术的限制,发电机发出的电压难以达到这么高,通常发电机发出的额定电压为15~20 kV,因此发电机发出的电压需经升压变压器升高到一定的电压等级,再用输电线把电能输送到用电地区。从用电方面考虑,通常大型动力设备使用6 kV/10 kV的电压,而小型动力设备和照明则使用380 V/220 V的电压,这一方面是为了用电安全,另一方面是为了将用电设备的绝缘等级降低,以降低制造成本,因此又必须经降压变压器降压后才可供用户使用。

此外,在测量系统中使用的仪用互感器,可将高电压变换成低电压,将大电流变换成小电流,以隔离高压;在实验室中使用的自耦变压器,可调节输出电压的大小,以满足不同负载对电压的要求;在电子线路中,有电源变压器,以及用变压器来耦合电路、传递信号、实现阻抗匹配等。可见,无论在电力系统、自控系统还是在电子线路中变压器都具有广泛的应用。

## 2. 变压器的类型

变压器的种类很多,可按其用途、结构、相数、冷却方式等不同来进行分类。

按用途可分为电力变压器(升压变压器、降压变压器、联络变压器和厂用变压器)、仪用互感器(电压互感器和电流互感器)、特种变压器(如调压变压器、试验变压器、电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等)。

按绕组数目可分为双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器。

按磁路结构可分为芯式变压器和壳式变压器。

按相数可分为单相变压器、三相变压器和多相变压器。

按冷却介质和冷却方式可分为油浸式变压器(包括油浸自冷式、油浸风冷式和强迫油循环冷却式)、干式变压器和充气式变压器。

按容量大小可分为小型变压器(容量为10~630 kVA)、中型变压器(容量为800~6300 kVA)、大型变压器(容量为8000~63000 kVA)和特大型变压器(容量在90000 kVA及以上)。

### 1.2.2 变压器的基本结构

电力变压器主要由铁芯、绕组、绝缘套管、油箱及其附件等部分构成。铁芯和绕组装配在一起构成器身。油浸式变压器的器身装在油箱里,油箱中注满了变压器油。油箱外装有散热器,油箱上部还装有储油柜、安全气道、绝缘套管等。图1-5所示是油浸式变压器的结构示意图。

#### 1. 铁芯

铁芯是变压器的磁路部分,又是绕组的支撑骨架。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分构成,铁轭将铁芯连接起来形成闭合磁路。

为了提高磁路的导磁性能,减少铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗。铁芯一般用高磁导率的铁磁性材料制成。目前,变压器铁芯大部分采用0.35~0.5 mm厚、表面涂有绝缘漆的硅钢片叠装而成。铁芯的结构分为芯式和壳式两种,如图1-6所示。

##### (1) 芯式结构

绕组包围铁芯,磁轭靠着绕组的顶面和底面,如图1-6(a)所示。芯式变压器绕组的装配及绝缘比较容易实现,国产电力变压器的铁芯主要采用芯式结构。

##### (2) 壳式结构

铁芯不仅包围绕组顶面、底面,而且还包围绕组的侧面,如图1-6(b)。壳式变压器机械

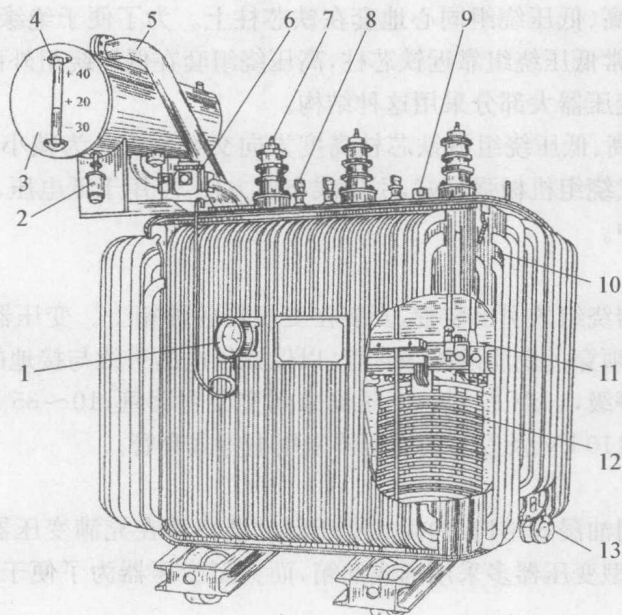


图 1-5 油浸式电力变压器结构示意图

1—信号式温度计；2—吸湿器；3—储油柜；4—油表；5—安全气道；6—气体继电器；7—高压套管；  
8—低压套管；9—分接开关；10—油箱；11—铁芯；12—绕组；13—放油阀门

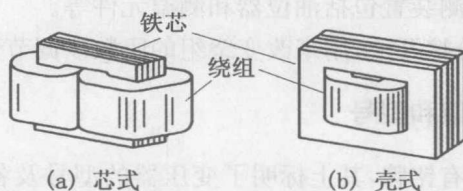


图 1-6 芯式和壳式铁芯

强度好但制造复杂、费料，一般只用于小型电源变压器。

## 2. 绕组

绕组是变压器传递电能的电路部分，常用包有绝缘材料的铜线或铝线绕制而成。在变压器中，工作电压高的绕组称为高压绕组，工作电压低的绕组称为低压绕组。

实际变压器的高、低压绕组是套装在同一铁芯柱上，高、低压绕组在铁芯柱上的排列方式有同心式和交叠式两类，如图 1-7 所示。

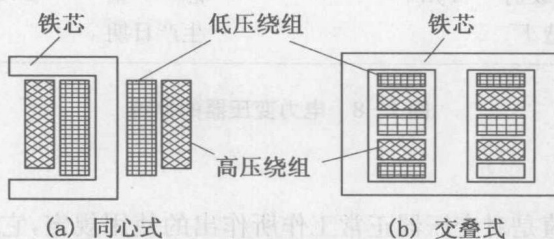


图 1-7 同心式和交叠式绕组

① 同心式绕组的高、低压绕组同心地套在铁芯柱上。为了便于绝缘、同时使高压绕组易于与分接开关连接,通常低压绕组靠近铁芯柱,高压绕组套在低压绕组外面。同心式绕组结构简单,制造方便,电力变压器大部分采用这种结构。

② 交叠式绕组的高、低压绕组沿铁芯柱高度方向交替放置。为减小绝缘距离,通常低压绕组靠近铁轭。交叠式绕组机械强度高,引出线布置方便,多用于低电压、大电流的电焊、电炉变压器及壳式变压器中。

### 3. 绝缘套管

绝缘套管是变压器绕组的引出装置,安装在变压器的油箱上。变压器绕组的引出线从油箱内引到油箱外时,必须穿过瓷质的绝缘套管,以保证带电的引线与接地的油箱绝缘。绝缘套管的结构取决于电压等级,1 kV 以下的变压器采用实心瓷套管;10~35 kV 的变压器采用空心充气或充油式套管;110 kV 及以上的变压器采用电容式套管。

### 4. 油箱及其附件

电力变压器多采用油浸式结构,油浸式变压器的器身浸在充满变压器油的油箱内。油箱由钢板焊接而成,中小型变压器多采用桶式油箱,而大型变压器为了便于检修,多采用钟罩式油箱。

变压器油既是一种绝缘介质,又是一种冷却介质。变压器运行时,为把温升控制在一定范围内,必须采用一些冷却装置,包括油浸自冷、油浸风冷和强迫油循环等类型。

为了保证变压器安全运行,变压器还设有安全保护装置,包括储油柜、吸湿器、安全气道、气体继电器等。变压器的检测装置包括油位器和测温元件等。

此外,油箱盖上还装有分接开关,用来改变绕组的匝数以调节变压器的输出电压。

## 1.2.3 变压器的额定值和型号

在每台变压器上都安装有铭牌,其上标明了变压器的型号及各种额定数据,以便正确、合理地使用变压器,使变压器安全、合理、经济地运行。图 1-8 为某电力变压器的铭牌。

产品型号	S9—500/10	标准号	
额定容量	500 kV·A	使用条件	户外式
额定电压	10 000/400 V	冷却条件	ONAN
额定电流	28.9/721.7 A	短路电压	4.05%
额定频率	50 Hz	器身吊重	1 050 kg
相 数	三相	油 重	302 kg
联接级别	Yyn0	总 重	1 753 kg
制造厂		生产日期	

图 1-8 电力变压器的铭牌

### 1. 变压器的额定值

电力变压器的额定值是对变压器正常工作所作出的使用规定,它是正确使用变压器的依据。在额定状态下运行时,可保证变压器长期可靠地工作,并具有良好的性能。

#### (1) 额定容量 $S_N$



$S_N$ 表示变压器在额定工作条件下的输出能力,它指的是变压器的视在功率,单位为  $V \cdot A$  或  $kV \cdot A$ 。

单相变压器的额定容量为

$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N} \quad (1-5)$$

三相变压器的额定容量为

$$S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N} \quad (1-6)$$

(2) 额定电压  $U_{1N}$  和  $U_{2N}$

$U_{1N}$ 为一次绕组的额定电压,它是根据变压器的绝缘强度和允许发热条件而规定的一次绕组正常工作电压值。 $U_{2N}$ 为二次绕组的额定电压,它是当一次绕组加上额定电压,而变压器分接开关置于额定分接头处,二次绕组的空载电压值。对于三相变压器,额定电压指的是线电压,单位为  $V$  或  $kV$ 。

(3) 额定电流  $I_{1N}$  和  $I_{2N}$

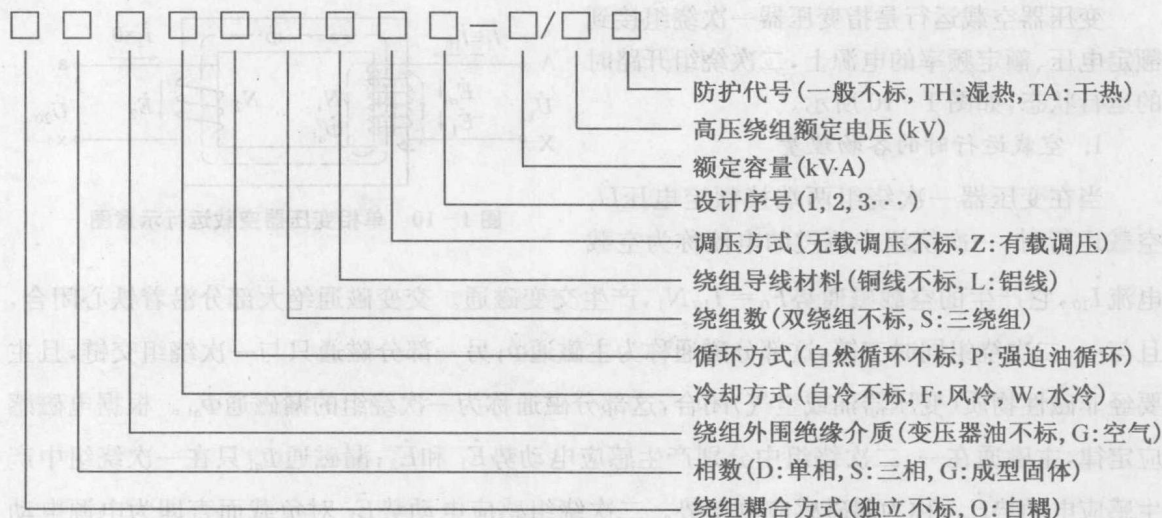
额定电流是根据允许发热条件所规定的,允许绕组长期通过的最大电流值,单位是  $A$  或  $kA$ 。 $I_{1N}$ 是一次绕组的额定电流, $I_{2N}$ 是二次绕组的额定电流。对于三相变压器,额定电流是指线电流。

(4) 额定频率  $f_N$

我国规定的标准工业用电频率为  $50 \text{ Hz}$ 。

## 2. 电力变压器的型号

变压器的型号包括变压器的结构性能特点的基本代号、额定容量和高压侧的电压等级 ( $kV$ ),其型号具体意义如下:



### 1.2.4 变压器的基本工作原理

变压器是在一个闭合的铁芯磁路中,套上两个相互独立、相互绝缘的绕组,这两个绕组之间只有磁的耦合,没有电的直接联系,如图 1-9 所示。

通常将一个绕组接交流电源,称为一次绕组(也称原绕组或初级绕组),其匝数为  $N_1$ ;另一