

# 电机与电机拖动

王艾萌 主编

兵器工业出版社

# 电机与电机拖动

王艾萌	主 编
王 蓉	副主编
张 岚	
李和明	主 审

兵器工业出版社

第 1 章 直流电机与拖动

## 内 容 简 介

本书主要阐述磁路的基本定律,交、直流电机的基本原理及电力拖动基础知识。全书共 10 章,包括磁路的基本定律、变压器、直流电机及其拖动、异步电机及其拖动、同步电机及控制电机。每章后面附有思考题和习题。

本书的编写力求物理概念清楚、内容精炼、深入浅出、联系实际、简化推导过程,以便更好地为高等职业技术教育服务。

本书可作为专科层次的工业自动化、电气技术、发供电及电力系统、机电一体化等专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考或作为自学教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电机与电机拖动/王艾萌主编. - 北京:兵器工业出版社,1999.11  
ISBN 7-80132-703-9

I. 电… II. 王… III. ①电机-教材②电力传动-教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 84010 号

出版发行:兵器工业出版社

责任编辑:王 强

责任技编:魏丽华

社 址:100089 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销:各地新华书店

印 刷:天津新华印刷二厂

版 次:1999 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:1—3100

封面设计:底晓娟

责任校对:魏俊云

责任印制:张 伟

开 本:787×1092 1/16

印 张:15

字 数:360.36 千字

定 价:26.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

# 前 言

本书是为高等职业技术教育大专层次的工业自动化、电气技术、发供电及电力系统、机电一体化等专业编写的教材。

全书共 10 章。包括磁路的基本定律、变压器、直流电机原理及其拖动、异步电机及异步电动机的拖动、同步电机及控制电机。每章后附有思考题和习题。

本教材的编写本着以应用为目的,以必须够用为度、适应模块教学的需要;注重必要的基本理论知识,突出实用性、针对性,将《电机学》与《电机拖动》两门课程内容融合在一起,在体系方面作了调整、各专业可根据本专业特点选学其中的某些章节。

本书的编写力求物理概念清楚、内容精炼、深入浅出、联系实际、简化推导过程。本书所用名词、单位、符号均采用了最新国家标准。

本书由王艾萌任主编,王蓉、张岚任副主编,华北电力大学李和明教授任主审。书中绪论部分、第 5、8 章由张岚编写,第 1、2、4、9 章由王艾萌编写,第 3、6、7、10 章由王蓉编写。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中若有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1999 年 5 月 28 日

# 主要符号表

$A$	面积; A相	$I_f$	直流励磁电流
$a$	交直流电机绕组并联支路数; a相; $120^\circ$ 复数算子	$I_N$	额定电流
$B$	磁通密度; B相	$I_0$	空载电流; 零序电流
$B_{av}$	磁密平均值	$I_k$	短路电流; 堵转电流
$B_\delta$	气隙磁密	$I_{st}$	启动电流
$B_m$	最大磁密	$I_1$	变压器一次绕组(异步电机定子)电流
$b$	b相	$I_2$	变压器二次绕组(异步电机转子)电流
$C$	C相	$I_2'$	$I_2$ 的归算值
$C_T$	转矩常数	$I_+$	电流的正序分量
$C_e$	电动势常数	$I_-$	电流的负序分量
$c$	c相	$i$	电流的瞬时值
$D_1$	定子直径	$J$	转动惯量
$D_a$	电枢外径	$K$	换向片数
$E$	电动势(交流表示有效值)	$K_T$	转矩倍数
$E_{y1}$	线圈的基波电动势	$K_M$	过载能力
$E_{q1}$	$q$ 个线圈的基波电动势	$k$	变压器电压比; 比例常数
$E_{\phi 1}$	基波相电动势	$k_i$	电流比
$E_\phi$	相电动势	$k_e$	电动势比
$E_0$	空载电动势	$K_e$	变换系数
$E_1$	变压器一次绕组(电机定子绕组)由主 磁通感应的电动势有效值	$K_s$	饱和系数
$E_2$	变压器二次绕组(电机转子绕组)由主 磁通感应的电动势有效值	$k_{q1}$	基波分布因数
$E_2'$	$E_2$ 的归算值	$k_{y1}$	基波短距因数
$e$	电动势的瞬时值	$k_{w1}$	基波绕组因数
$F$	磁动势; 力	$k_{qv}$	$\nu$ 次谐波分布因数
$F_m$	异步电机的激磁磁动势	$k_{yv}$	$\nu$ 次谐波的短距因数
$F_{ad}$	直轴电枢磁动势	$k_{wv}$	$\nu$ 次谐波的绕组因数
$F_{aq}$	交轴电枢磁动势	$L$	自感
$F_{\phi 1}$	单相绕组的基波磁动势	$l$	长度
$F_{q1}$	$q$ 个线圈的基波合成磁动势	$M$	互感
$f$	频率; 力, 磁动势的瞬时值	$m$	相数
$f_1$	定子频率	$m_1$	交流电机定子相数
$f_2$	转子频率	$m_2$	异步电机转子相数
$f_N$	额定频率	$N$	每相串联匝数
$f_\nu$	$\nu$ 次谐波频率	$n$	转子转速
$H$	磁场高度	$n_N$	额定转速
$h$	高度	$n_1$	同步转速
$I$	电流(交流表示有效值); 同步电机的电 枢电流; 直流电机的线路电流	$P$	功率
$I_a$	直流电机的电枢电流	$P_N$	额定功率
$I_m$	交流激磁电流	$P_e$	电磁功率
		$P_\Omega$	机械功率
		$P_k$	短路功率; 短路损耗
		$P_1$	输入功率

$P_2$	输出功率	$X_-$	负序电抗
$P_0$	空载功率;空载损耗	$X_0$	零序电抗
$p$	损耗;极对数	$X_{ad}$	直轴电枢反应电抗
$P_{Cu}$	铜耗	$X_{aq}$	交轴电枢反应电抗
$P_{Fe}$	铁耗	$X_o$	漏坑
$P_{ad}$	附加损耗	$X_l$	同步电抗
$P_{\Omega}$	机械损耗	$X_d$	直轴同步电抗
$Q$	热量;无功功率	$X_q$	交轴同步电抗
$q$	每极每相槽数	$X_m$	激磁电抗
$R$	电阻	$X_k$	短路电抗
$R_m$	激磁电阻	$\gamma$	绕组合成节距
$R_1$	变压器一次绕组(异步电机定子)电阻	$\gamma_1$	第一节距
$R_2$	变压器二次绕组(异步电机转子)电阻	$\gamma_2$	第二节距
$R'_2$	$R_2$ 的归算值	$\gamma_k$	换向器节距
$R_f$	励磁绕组电阻	$Z$	阻抗;电枢总导体数
$R_a$	电枢电阻	$Z_m$	激磁阻抗;磁阻
$R_k$	变压器短路电阻	$Z_k$	短路阻抗
$S$	视在功率	$Z_+$	正序阻抗
$S_N$	额定视在功率	$Z_-$	负序阻抗
$s$	转差率	$Z_0$	零序阻抗
$s_N$	额定转差率	$\alpha$	角度;相邻两槽间的角度
$s_m$	最大转矩时的转差率	$\beta$	夹角; $q$ 个线圈的总夹角
$T$	转矩;时间常数;周期	$\delta$	气隙;功率角
$T_e$	电磁转矩	$\eta$	效率
$T_N$	额定转矩	$\eta_N$	额定效率
$T_0$	空载转矩	$\eta_{max}$	最大效率
$T_{max}$	最大转矩	$\Delta$	磁导
$T_{st}$	起动转矩	$\mu$	磁导率
$T_z$	负载转矩	$\mu_0$	空气磁导率
$t$	时间	$\mu_{Fe}$	铁心磁导率
$U$	电压(交流表示有效值)	$\nu$	谐波次数
$U_N$	额定电压	$\rho$	电阻率
$U_{\phi}$	相电压	$\tau$	极距;温度差
$U_1$	电源电压;定子电压	$\Phi$	磁通量
$U_+$	正序电压	$\Phi_0$	空载磁通;同步电机的主磁通
$U_-$	负序电压	$\Phi_a$	电枢反应磁通
$U_0$	空载电压	$\Phi_m$	变压器或异步机的主磁通
$U_k$	短路电压;堵转电压	$\Phi_o$	漏磁通
$U$	电压的瞬时值	$\Phi_{ad}$	直轴电枢反应磁通
$\Delta u$	电压调整率	$\Phi_{aq}$	交轴电枢反应磁通
$W$	功;能	$\phi$	磁通量的瞬时值;相角;功率因数角
$W_m$	磁场能量	$\Psi$	磁链; $\vec{E}$ 和 $\vec{i}$ 间的夹角
$X$	电抗	$\Omega$	机械角速度
$X_a$	电枢反应电抗	$\omega$	角频率;电角速度
$X_+$	正序电抗	$\varphi$	相角;功率因数角

# 目 录

主要符号表	
绪论 研究电机常用的基本定律	(1)
<b>第1章 变压器</b>	(5)
1.1 变压器的用途、结构及铭牌数据	(5)
1.2 变压器的空载运行	(10)
1.3 变压器的负载运行	(15)
1.4 变压器的参数测定	(20)
1.5 变压器的标么值	(24)
1.6 变压器的运行特性	(26)
1.7 三相变压器	(29)
1.8 变压器的并联运行	(40)
1.9 三绕组变压器及其它变压器	(43)
思考题与习题	(49)
<b>第2章 直流电机基础</b>	(53)
2.1 直流电机的工作原理和结构	(53)
2.2 直流电机的电枢绕组	(59)
2.3 直流电机的空载磁场和电枢反应	(64)
2.4 直流电机的励磁方式、电磁转矩及电枢电动势	(68)
2.5 直流发电机	(70)
2.6 直流电动机	(75)
2.7 直流电机的换向	(78)
思考题与习题	(78)
<b>第3章 直流电动机的电力拖动</b>	(80)
3.1 电力拖动系统的动力学	(80)
3.2 生产机械的负载转矩特性	(84)
3.3 他励直流电动机的机械特性	(86)
3.4 他励直流电动机的启动	(90)
3.5 他励直流电动机的电气制动	(92)
3.6 他励直流电动机的调速	(98)
思考题与习题	(101)
<b>第4章 交流电机的绕组、电动势和磁动势</b>	(103)
4.1 交流电机的基本概念	(103)
4.2 三相单层绕组	(106)
4.3 三相双层绕组	(109)
4.4 交流电机绕组的感应电动势	(110)
4.5 交流电机绕组的磁动势	(115)



思考题与习题	(128)
<b>第5章 三相异步电动机</b>	(130)
5.1 概述	(130)
5.2 三相异步电动机的基本工作原理	(133)
5.3 三相异步电动机运行时的电磁过程	(134)
5.4 三相异步电动机的等值电路及相量图	(139)
5.5 三相异步电动机的功率和转矩	(145)
5.6 三相异步电动机的工作特性	(148)
5.7 三相异步电动机的参数测定	(149)
思考题与习题	(151)
<b>第6章 三相异步电动机的电力拖动</b>	(153)
6.1 三相异步电动机的机械特性	(153)
6.2 三相异步电动机的启动	(158)
6.3 异步电动机的电磁制动	(162)
6.4 异步电动机的调速	(167)
思考题与习题	(172)
<b>第7章 同步发电机</b>	(173)
7.1 同步电机的结构与工作原理	(173)
7.2 同步发电机的空载运行	(175)
7.3 同步发电机的电枢反应	(175)
7.4 同步发电机的负载运行	(178)
7.5 同步发电机的并联运行	(185)
思考题与习题	(194)
<b>第8章 同步发电机和同步调相机</b>	(195)
8.1 同步电动机的基本方程式和相量图	(195)
8.2 同步电动机的启动	(199)
8.3 同步调相机	(200)
8.4 反应式同步电动机	(202)
思考题与习题	(203)
<b>第9章 驱动和控制微电机</b>	(205)
9.1 单相异步电动机	(205)
9.2 伺服电动机	(210)
9.3 步进电动机	(216)
9.4 测速发电机	(219)
思考题与习题	(223)
<b>第10章 电动机容量的选择</b>	(224)
10.1 电机的发热与冷却	(224)
10.2 电动机工作方式分类	(226)
10.3 电动机容量的选择	(227)
思考题与习题	(230)
<b>参考文献</b>	(231)



# 绪论 研究电机常用的基本定律

## 0.0.1 全电流定律(安培环路定律)

在磁场中沿任一闭合回路磁场强度的线积分等于穿过该回路所有电流的代数和,即

$$\oint_L H \cdot dl = \sum I \quad (0-1)$$

式中,电流方向与闭合回路环绕方向符合右手螺旋关系时为正,反之为负,见图 0-1。

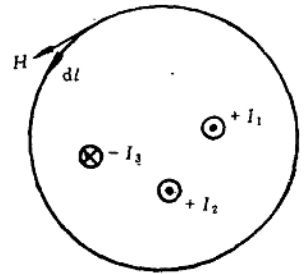


图 0-1 全电流定律

## 0.0.2 电磁感应定律

无论何种原因当与线圈交链的磁链  $\psi$  随时间变化时,线圈中将感应电动势  $e$ 。 $e$  的大小等于线圈所交链的磁链对时间的变化率。 $e$  的方向应符合楞次定律,即若该电动势产生一个电流,此电流产生的磁通将反对线圈中磁链的变化。若规定感应电动势的正方向与磁通的正方向符合右手螺旋关系,则电磁感应定律的数学描述可表示为

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = - N \frac{d\phi}{dt} \quad (0-2)$$

式中  $N$ ——线圈的匝数;

$\phi$ ——穿过线圈的磁通。

1. 变压器电动势 若线圈不动,穿过线圈的磁通随时间变化,则线圈中感应的电动势称为变压器电动势,见图 0-2。

2. 运动电动势(速率电动势) 若磁场恒定,构成线圈的导体切割磁力线,使线圈交链的磁链随时间变化,导体中的感应电动势称运动电动势。若磁力线、导体和运动方向三者相互垂直,则导体感应电动势的大小为导体所在处的磁通密度  $B$  与导体切割磁力线的有效长度  $l$  及导体相对磁场运动的线速度  $v$  三者之积。即

$$e = Blv \quad (0-3)$$

感应电动势的方向由图 0-3 所示的右手定则确定。

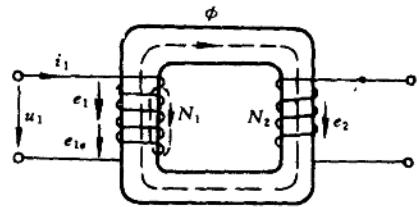


图 0-2 变压器电动势

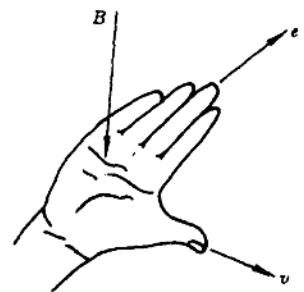


图 0-3 右手定则

## 0.0.3 电磁力定律

载流导体在磁场中要受到力的作用,该力被称为电磁力。其大小在导体与磁力线相垂直时等于导体所在处磁场的磁通密度  $B$  与导体有效长度  $l$  及导体中的电流  $i$  三者的乘积,即

$$f = Bli \quad (0-4)$$

电磁力的方向由图 0-4 所示左手定则确定。

在旋转电机中,作用在转子载流导体上的电磁力将使转子受到一个力矩(等于力乘转子半径),即电磁转矩。电磁转矩是电机实现机电能量转换的重要物理量。

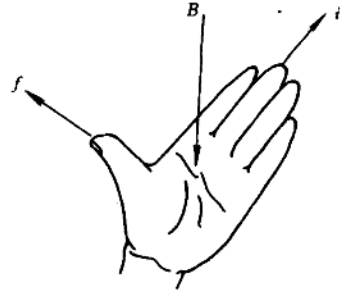


图 0-4 右手定则

### 0.0.4 电路定律

1. 欧姆定律 一段电路上的电位差  $u$  等于流过该电路的电流  $i$  与电路的电阻  $R$  的乘积,即

$$u = iR \quad (0-5)$$

2. 基尔霍夫电流定律 在电路中任一节点上,电流的代数和恒等于零,即

$$\sum i = 0 \quad (0-6)$$

3. 基尔霍夫电压定律 在电路中,对任一回路,沿回路环绕一周,回路内所有电动势的代数和等于所有电位差的代数和,即

$$\sum e = \sum u \quad (0-7)$$

该定律是电机中电动势平衡方程式的理论依据。

### 0.0.5 磁路及磁路定律

电流在它周围的空间建立磁场,磁场的分布常用一些闭合线(磁力线)来描述,磁力线所经路径称为磁路。磁路的材料不同,其导磁性能不同。铁磁物质由于其内部结构特点,其磁导率  $\mu_{Fe}$  可达非铁磁物质磁导率  $\mu_0$  的数千倍,且  $\mu_{Fe}$

的大小随外磁场大小变化而变化,  $\mu_{Fe} = \frac{B}{H}$ , 不是常数,其  $B = f(H)$ ,  $\mu = f(H)$  关系曲线如图 0-5 所示。其中  $a$  点称跗点,  $b$  点称膝点,  $c$  点称饱和,即过  $c$  点后,  $B$  几乎不随  $H$  增大而增大,即  $B$  的增量极少,出现了所谓磁饱和现象。其次,在交变磁场作用下,存在磁滞和涡流现象,在铁磁物质内产生能量损耗,即铁耗。非铁磁物质的磁导率为常量  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ , 其  $B-H$  关系线为直线。

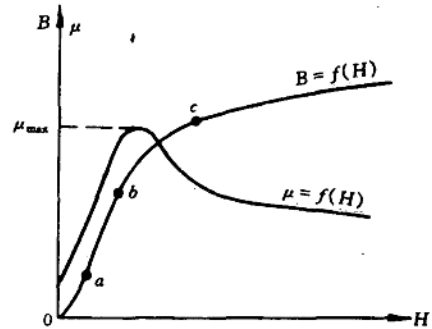


图 0-5 铁磁材料的磁化曲线

从磁场的基本关系可导出与电路定律相似的磁路定律如下:

1. 磁路的欧姆定律

将全电流定律应用到图 0-6 所示材料相同截面相等的无分支闭合磁路上,则有

$$\oint_L H dl = HI = \sum I = Ni$$

因为  $B = \mu H = \frac{\Phi}{S}$ , 即  $\frac{\Phi l}{\mu S} = Ni$ , 于是

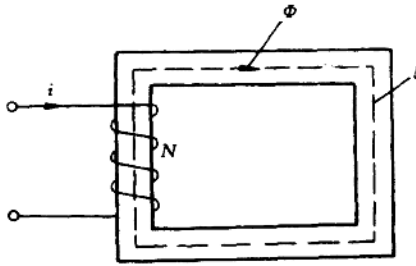


图 0-6 无分支磁路

$$\Phi = \frac{Ni}{l/\mu S} = \frac{F}{R_m} = F\Lambda_m \quad (0-8)$$

即磁路中的磁通  $\Phi$  等于作用在该磁路上的磁动势  $F$  除以磁路的磁阻  $R_m$  (或乘以磁导  $\Lambda_m$ ), 这就是磁路的欧姆定律。

### 2. 磁路的基尔霍夫第一定律

由于磁力线是闭合线, 因此, 对任一封闭面而言, 穿入的磁通必等于穿出的磁通, 这就是磁通连续性原理。对有分支的磁路而言, 在磁通汇合处的封面上磁通的代数和等于零, 即

$$\sum \Phi = 0 \quad (0-9)$$

在图 0-7 中有

$$\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3 = 0$$

### 3. 磁路的基尔霍夫第二定律

在磁路计算中, 若构成磁路的各部分有不同的材料和截面, 则应将磁路分段, 每段有相同材料和截面, 其  $B$ 、 $\mu$  相同。每段磁路上磁场强度  $H$  与磁路长度  $l$  的乘积  $Hl$  称为该段磁路的磁压降, 将全电流定律应用到任一闭合磁路上, 则有

$$\oint Hdl = \sum Hl = \sum Ni = \sum F = \sum \Phi R_m \quad (0-10)$$

即沿任一闭合磁路, 磁压降的代数和等于磁动势的代数和。

在图 0-7 中, 沿  $l_1$ 、 $l_2$  组成的闭合磁路, 则有

$$F_1 - F_2 = N_1 i_1 - N_2 i_2 = H_1 l_1 - H_2 l_2 = \Phi_1 R_{m1} - \Phi_2 R_{m2}$$

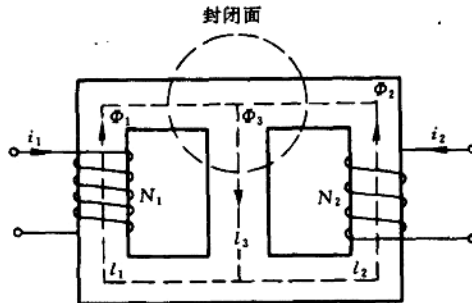


图 0-7 有分支磁路

可见,磁路与电路,其物理量和基本定律有一一对应的关系,见表 0-1。

表 0-1 磁路和电路的对比

电 路		磁 路	
基本物理量及公式	单位	基本物理量及公式	单位
电流 $i$	A	磁通 $\Phi$	Wb
电动势 $e$	V	磁动势 $F$	A
电位差 $u$	V	磁势差 $\Phi R_m = HI$	A
电阻 $R = \rho \frac{l}{S}$	$\Omega$	磁阻 $R_m = \frac{l}{\mu S}$	$H^{-1}$
电导 $G = \frac{1}{R}$	S	磁导 $\Lambda_m = \frac{1}{R_m}$	H
欧姆定律 $i = \frac{e}{R}$		$\Phi = \frac{F}{R_m} = \Lambda_m F$	
基尔霍夫第一定律 $\sum i = 0$		$\sum \Phi = 0$	
基尔霍夫第二定律 $\sum e = \sum u$		$\sum F = \sum HI = \sum \Phi R_m$	

应该指出,由于磁路与电路物理本质不同,即磁路是有限范围内的磁场,电路是有限范围内的电场,所以二者存在一定差别,具体表现为:(1)电路中可以有电动势无电流,磁路中有磁动势必然有磁通;(2)电路中有电流就有功率损耗( $I^2R$ );而在恒定磁通下,磁路中无损耗;(3)由于  $G_{\text{导}}$  约为  $G_{\text{绝}}$  的  $10^{20}$  倍,而  $\mu_{\text{Fe}}$  仅为  $\mu_0$  的  $10^3 \sim 10^4$  倍,故可认为电流只在导体中流过,而磁路中除磁通外还必须考虑漏磁通;(4)电路中电阻率  $\rho$  在一定温度下恒定不变,而由铁磁材料构成的磁路中,磁导率  $\mu$  随  $B$  变化,即磁阻  $R_m$  随磁路饱和度增加而增大。

### 0.0.6 能量守恒定律

电机是能量转换机械,在能量转换过程中电机自身消耗的功率称损耗,稳态运行时,必然存在输入功率  $P_1$  等于输出功率  $P_2$  与所有损耗  $\sum p$  之和,即

$$P_1 = P_2 + \sum p \quad (0-11)$$

上述定律是建立电机运行时基本方程式的理论依据。

# 第1章 变压器

## 1.1 变压器的用途、结构及铭牌数据

### 1.1.1 变压器的用途

为了把发电厂发出的电能经济地传输、合理地分配和安全地使用,都要用到电力变压器,电力变压器是一个静止的电器,通过电磁耦合,把一种等级的电压和电流变成为同频率的另一种等级的电压和电流。

从发电厂到用户距离很远,电能的输送要求功率大、损耗小。当输送电的容量一定时,只有采用高压输电,才能减少线路损失。而发电机受绝缘等条件的限制,发出的电压不可能很高,一般只有  $10.5\text{kV} \sim 20\text{kV}$ ,因此需要用升压变压器进行升压输送。一般说来,当输电距离越远,输送的功率越大时,要求的输电电压也越高。

当电能送到用电地区后,还要用降压变压器把输电电压降低到配电电压,然后再送到各用电分区,最后再经配电变压器把电压降为配电电压,然后再送到各用电分区,最后再经配电变压器把电压降到用户所需要的电压等级,供用户使用。大型动力设备采用  $6\text{kV}$  或  $10\text{kV}$ ,小型动力设备和照明用电则为  $380\text{V}/220\text{V}$ 。

为了把两个不同电压等级的电力系统相互联系起来,还要用到三绕组变压器,如图 1-1 中

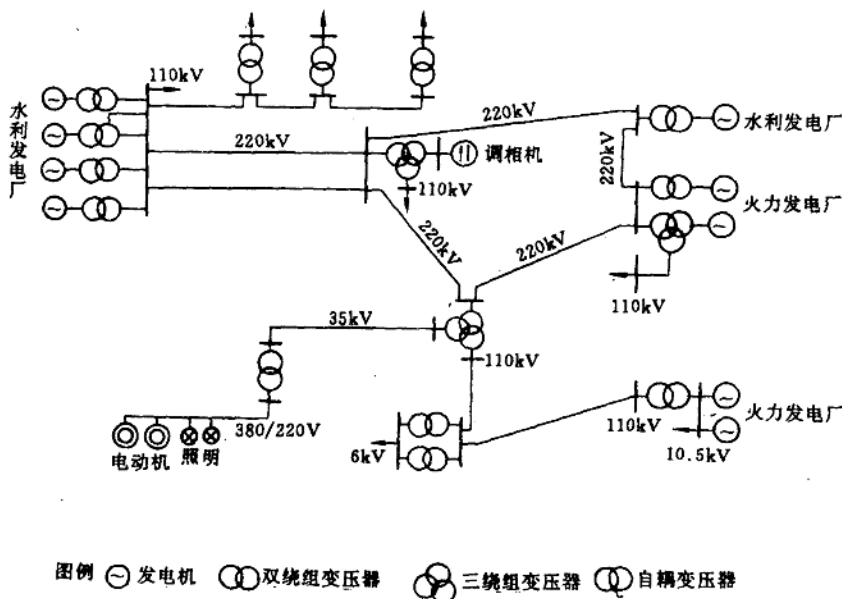


图 1-1 电力系统示意图

的联络变压器,此外,还有各种专门用途的变压器,如整流变压器、互感器、电炉变压器等。由此可见,变压器的用途十分广泛,通常变压器的安装容量约为发电机安装容量的6~8倍。所以变压器的生产和使用具有十分重要的意义。

### 1.1.2 变压器的结构

变压器的主要部分为铁心和绕组,二者装配到一起称为变压器的器身。器身如果放置在充满变压器油的油箱内,则称为油浸式变压器,它的外形结构如图1-2所示。这是最常见的一种电力变压器。

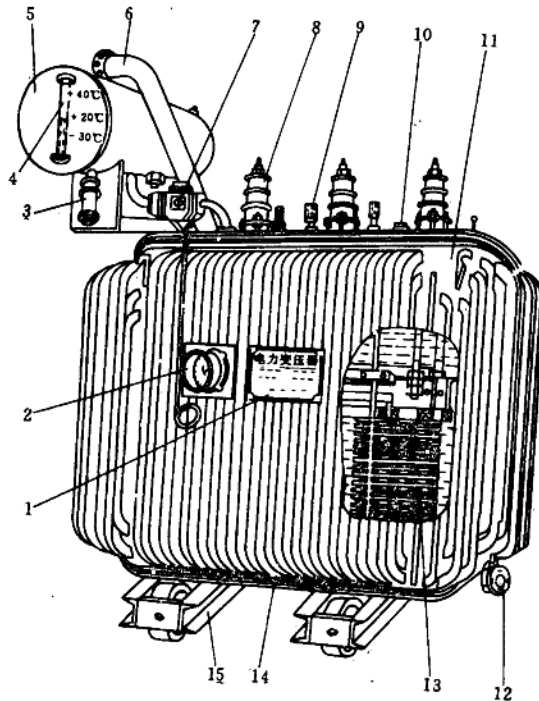


图 1-2 油浸式电力变压器

- 1—铭牌 2—讯号式温度计 3—吸湿器 4—油表 5—储油柜 6—安全气道 7—气体继电器 8—高压套管 9—低压套管 10—分接开关  
11—油箱 12—放油阀门 13—器身 14—接地 15—小车

变压器按相数有单相、三相和多相之分。电力变压器多为三相变压器;而且多用双绕组。当需将三种电压等级的电网连接在一起时,才应用三绕组变压器。

#### 1. 铁心

铁心是变压器的磁路,其中通过交变的磁通。铁心由铁心柱、铁轭和夹紧装置组成。变压器的铁心结构多为心式变压器绕组套在铁心下,如图1-3a是单相心式变压器,图1-3b是三相心式变压器,每一铁心柱上的绕组构成一相。

为了提高磁路的导磁性能和降低铁心的磁滞及涡流损耗,铁心用0.35mm~0.5mm厚,且表

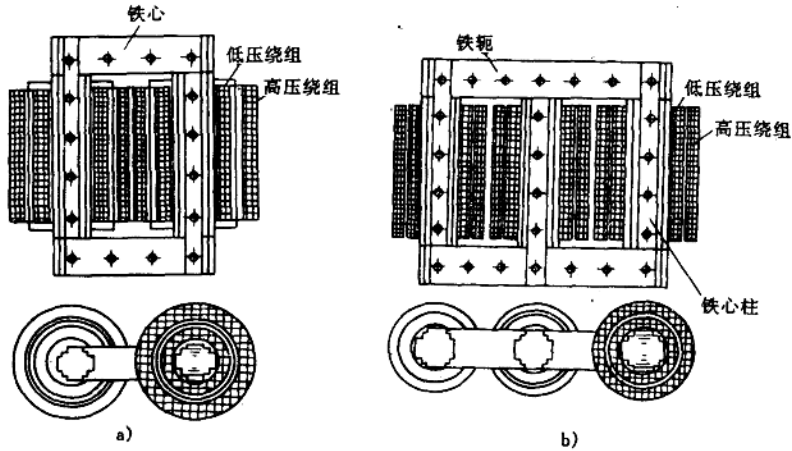


图 1-3 变压器的铁心和绕组

面涂有绝缘漆的硅钢片叠制而成,在叠片时,要把每层钢片分接缝错开,按照图 1-4a 上面一种排法和图 1-4b 下面一种排法交替叠成。这样可以减小接缝处的气隙,从而减小励磁电流。

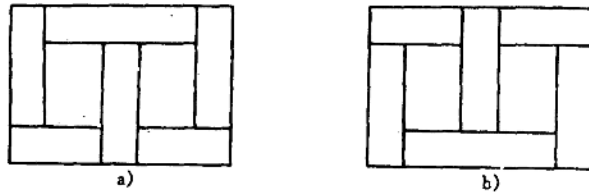


图 1-4 相邻两层铁心叠片

## 2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,它由包有绝缘的扁导线或圆导线绕成。国产电力变压器均采用同心式变压器。图 1-5 为同心式绕组,即高低压绕组均做成圆筒式,同心地套在铁心柱上。

一般把接到交流电源的绕组称为一次绕组(或原绕组);把接到负载的绕组称为二次绕组(或副绕组);它们通常套装在同一心柱上。一次和二次绕组具有不同的匝数,通过电磁感应作用,一次绕组的电能即可传递到二次绕组,且使一次、二次绕组具有不同的电压和电流。电压高的绕组叫高压绕组;电压低的叫低压绕组。

## 3. 油箱和其他附件

变压器的油箱内放置器身,空间充满变压器油。变压器油是从石油中提炼出来的一种矿物油,起绝缘和冷却作用。容量大于  $20\text{kV}\cdot\text{A}$  的变压器,都要在油箱外面装设散热器。

变压器的引出线从油箱内穿过油箱盖时,必须经过绝缘套管,以使带电的引线和接地的油箱绝缘,如图 1-2 中的 8 和 9 所示,绝缘套管一般是瓷质的,俗称瓷瓶。为了增加表面放电距离,套管外形做成多级伞形,电压越高级数越多。

储油柜俗称油枕,装在变压器油箱盖的上方。它的作用是避免油箱里的油和空气直接接



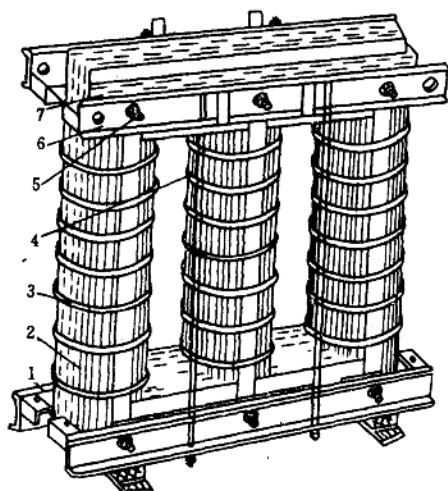


图 1-5 三相心式变压器的铁心

1—下夹件 2—铁心磁回路 3—铁柱绑扎 4—拉紧螺杆  
5—铁轭螺杆 6—上夹件 7—接地片

触,以减缓变压器油的受潮及老化的速度,并使变压器油有热胀冷缩的余地。

气体继电器装在储油柜与油箱的连通道里,它是变压器内部故障的信号装置。

电力变压器的附件还有测温装置、安全气道、吸湿器、油表等。

### 1.1.3 变压器的铭牌

每台变压器都有一个铭牌,铭牌上标注着变压器的型号、额定数据等。

#### 1. 变压器的型号

表 1-1 变压器型号的代表符号含义

分 类	类 别	代表符号
相数	单 相	D
	三 相	S
线圈外冷却介质	矿物油	—
	不燃性油	B
	气 体	Q
	空 气	K
	成型固体	C
箱壳外冷却介质	空气自冷	—
	风 冷	F
	水 冷	W

(续表)

分 类	类 别	代表符号
循环方式	自然循环	—
	强迫循环	<i>P</i>
	强迫导向	<i>D</i>
	导体内冷	<i>N</i>
	蒸发冷却	<i>H</i>
绕组数	双 绕 组	—
	三 绕 组	<i>S</i>
	自 耦	<i>O</i>
调压方式	无励磁调压	—
	有载调压	<i>Z</i>
绕组导线材料	铜 线	—
	铝 线	<i>L</i>

注：—表示没有字母

表 1-1 所示为变压器的型号排列顺序和代表意义的新标准。

例 SL<sub>7</sub> 1000/10。SL 为该变压器的基本型号，7 表示设计序号，1000 表示额定容量为 1000kV·A，10 表示高压边额定电压为 10kV。

从表中可以看出这是一台三相自冷矿物油浸双绕组铝线变压器。

## 2. 变压器的额定数据主要有

(1) 额定容量  $S_N$  指变压器的视在功率，单位为 V·A 或 kV·A。对于双绕组电力变压器，其原、副绕组的容量相等。变压器按容量分成小、中、大及特大型变压器。容量为 630kV·A 以下的为小型变压器；800kV·A ~ 6300kV·A 的为中型变压器；8000kV·A ~ 63000kV·A 的为大型变压器；90000kV·A 以上的为特大型变压器。单相变压器的额定容量为  $S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$ 。三相变压器的额定容量为  $S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$ 。

(2) 额定电压  $U_{1N}/U_{2N}$  指线值，单位为 V 或 kV。 $U_{1N}$  是电源加到原绕组上的额定电压， $U_{2N}$  是原边加上额定电压后，副边开路即空载运行时副绕组的端电压。

(3) 额定电流  $I_{1N}/I_{2N}$  指线值，单位为 A。

(4) 短路电压  $U_k\%$  是指一边绕组短路，另一边绕组中流过额定电流时所加的电压，一般以额定电压的百分数表示。因为它也表示在额定运行情况下，副绕组电压降落的相对值，所以也称为阻抗电压。

(5) 额定频率  $f_N$  我国规定标准工业用电频率为 50Hz。

除此之外，变压器铭牌上还标注有连接组标号、相数、频率、温升、使用条件等。另外还有运输安装数据，如变压器质量、变压器油质量、器身质量及变压器外形尺寸等，以使用户在运输和使用时参考。

电力变压器的容量等级和电压等级，在国际标准中都做了规定。

为了防止电网电压波动对变压器供电质量的影响，一般在变压器的高压边都引出几个分接头，如图 1-6 所示。分接头与分接开关相连，调节分接开关，可以改变高压绕组的匝数，从而