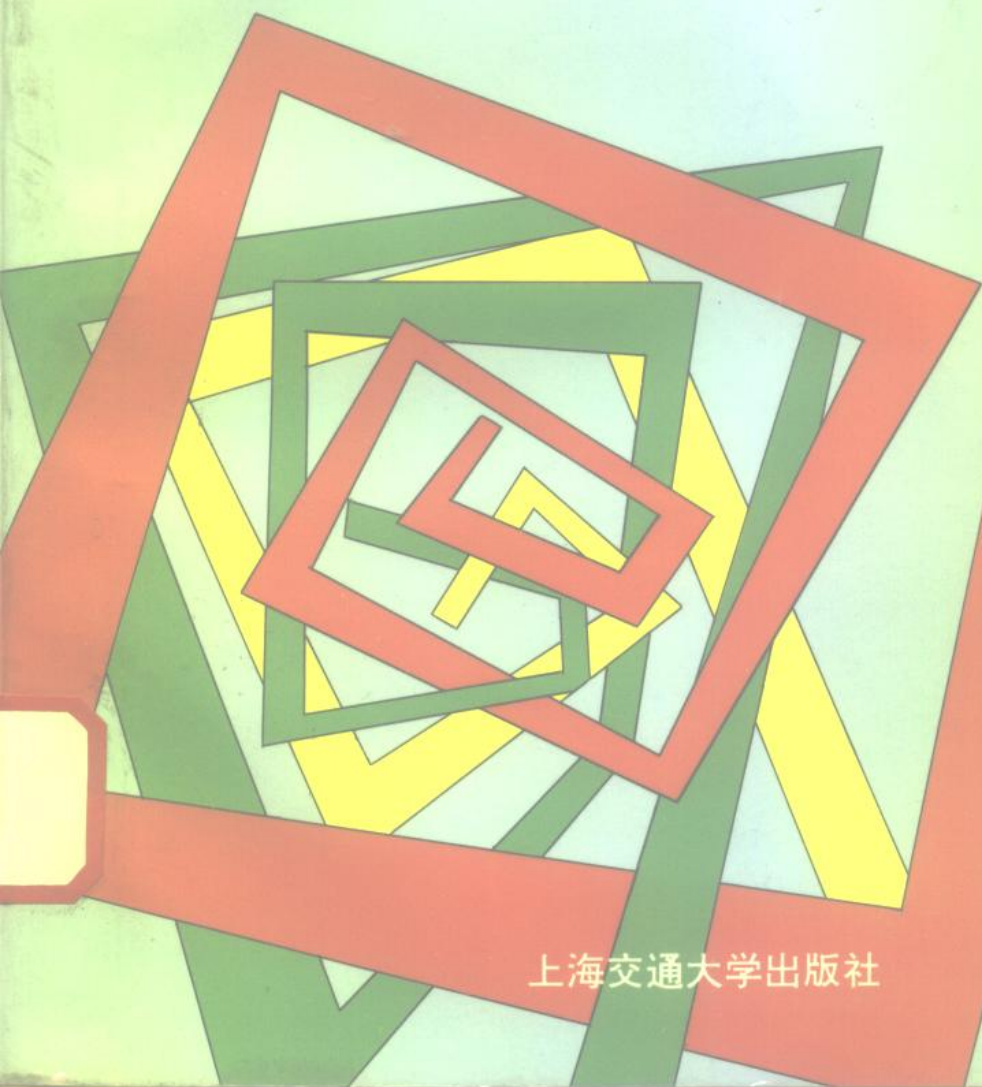


姚光国 顾永锡 余乃声 编著

常用三相异步 电动机的修理



上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书以最常用的三相异步电动机为主要对象,着重介绍其运行中常见的故障,产生的原因,以及故障的查找和修理方法。

对较常用的特种三相异步电动机,如变极多速三相异步电动机、电磁调速三相异步电动机、锥形转子制动三相异步电动机、潜水三相异步电动机及力矩电动机的常见故障也进行了分析,并介绍了修理方法。

全书共八章。可供初中以上文化程度、从事三相异步电动机操作和修理人员使用。

常用三相异步电动机的修理

上海交通大学出版社·出版

(上海市华山路 1954 号 邮政编码 200030)

新华书店上海发行所·发行

上海新文印刷厂·印刷

开本:850×1168 1/32 印张 9.125 字数:240000

版次:1996 年 8 月第 1 版 印次:1996 年 8 月第 1 次

印数:1—8000 册

ISBN 7-313-01705-7/TM·101 定价:10.40 元

前 言

随着我国四个现代化建设事业的发展,城乡工矿企业电气化水平不断提高,各种型式的电动机被越来越广泛的应用,尤其是三相异步电动机,由于结构简单、工作可靠,在各类电动机中独占鳌头。与此相应,三相异步电动机的修理量也是各类电机中最大的。为此,我们编写此书,供广大从事三相异步电动机运行和修理人员参考。

本书通俗、简明地介绍三相异步电动机的结构和工作原理,着重分析三相异步电动机的故障原因、查找及修理方法,并对其派生的特种电动机作了介绍。为了便于在修理时查阅资料,本书在附录中列出了常用的中小型三相异步电动机的技术数据。

本书由姚光国、顾永锡和余乃声合编,姚光国主编。其中第一章和第二章由姚光国编写,其余由顾永锡编写,余乃声参加了部分章节的编写。

全书由许宝发审阅,并提出宝贵意见,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中难免存在缺点和不妥之处,谨请指正。

编 者

1996年5月

目 录

第一章 三相异步电动机的基本知识	(1)
第一节 三相异步电动机的基本结构和工作原理.....	(1)
第二节 三相异步电动机的分类和型号.....	(5)
第三节 三相对称绕组.....	(7)
第四节 三相异步电动机的技术数据	(14)
第五节 电动机修理中的常用材料	(16)
第六节 电动机的拆装	(46)
第二章 三相异步电动机常见故障的分析	(48)
第一节 电动机运行前后的检查	(48)
第二节 起动时的故障分析	(50)
第三节 运行时的故障分析	(54)
第四节 绕组的故障分析	(57)
第五节 短路侦察器的简单计算	(63)
第三章 三相异步电动机的局部修理	(66)
第一节 转轴的修理	(66)
第二节 轴承的修理	(68)
第三节 机壳和端盖的修理	(72)
第四节 绕组绝缘不良的修理	(73)
第五节 绕组接地故障的修理	(74)
第六节 绕组短路故障的修理	(75)
第七节 绕组断路故障的修理	(78)
第八节 绕组连接错误的修理	(79)

第四章 定子绕组的重绕修理	(80)
第一节 测量记录原始数据	(80)
第二节 拆除旧绕组	(82)
第三节 线模的制作	(83)
第四节 绕线	(88)
第五节 嵌线	(90)
第六节 接线和引线	(99)
第七节 焊接	(102)
第八节 浸漆和烘干	(104)
第五章 电机绕组重绕的计算	(109)
第一节 导线代用的计算	(109)
第二节 三相异步电动机的改压计算	(111)
第三节 三相异步电动机空壳重绕的简易计算	(114)
第四节 三相异步电动机的改极计算	(126)
第六章 转子绕组的修理	(129)
第一节 鼠笼型转子绕组的故障修理	(129)
第二节 绕线转子绕组的故障修理	(133)
第三节 绕线转子集电环和电刷的修理	(135)
第四节 转子修理后的校平衡	(136)
第七章 常用特种三相异步电动机的故障分析及修理	(137)
第一节 三相变极多速异步电动机	(137)
第二节 电磁调速三相异步电动机	(163)
第三节 锥形转子制动三相异步电动机	(169)
第四节 潜水三相异步电动机	(175)
第五节 力矩异步电动机	(185)
第八章 电动机检修质量要求及检查试验	(193)
第一节 电动机检修的质量要求	(193)
第二节 电动机的检查试验	(198)
附录一 三相异步电动机技术数据	(207)

附表 1-1	Y 系列(IP44)小型三相异步电动机技术 数据	(207)
附表 1-2	Y 系列(IP23)小型三相异步电动机技术 数据	(216)
附表 1-3	YX 系列高效率三相异步电动机技术数据 ...	(219)
附表 1-4	YR 系列绕线转子三相异步电动机集电环 电刷尺寸	(224)
附表 1-5	YR 系列(IP44)绕线转子三相异步电动机 技术数据	(225)
附表 1-6	YR 系列(IP23)绕线转子三相异步电动机 技术数据	(230)
附表 1-7	Y 系列(IP44)220/380V、50Hz 三相异步 电动机技术数据	(234)
附录二	常用变极多速三相异步电动机技术数据.....	(240)
附表 2-1	YD 系列变极多速三相异步电动机技术 数据	(240)
附表 2-2	JDO ₂ (甲组)系列变极多速三相异步电动机 技术数据	(262)
附表 2-3	JDO ₂ (乙组)系列变极多速三相异步电动机 技术数据	(275)

第一章 三相异步电动机的基本知识

第一节 三相异步电动机的基本结构和工作原理

一、三相异步电动机的基本结构

所有的旋转电动机从机械结构上看,都是由静止的定子和可以转动的转子组成的。定、转子之间留有气隙。三相异步电动机的气隙一般为 $0.25 \sim 2\text{mm}$ 。气隙的大小对异步电动机的性能有很大影响。下面介绍三相异步电动机的基本构造(如图 1-1 所示)。

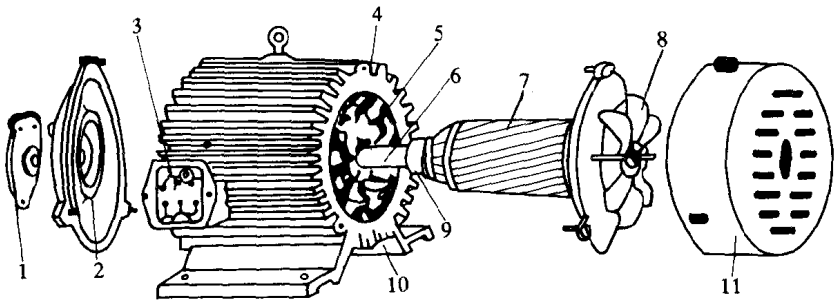


图 1-1 三相异步电动机的构造

1—轴承盖;2—端盖;3—接线盒;4—定子铁心;5—定子绕组;
6—转轴;7—转子;8—风扇;9—轴承;10—机座;11—罩壳

1. 定子

三相异步电动机的定子主要由定子铁心、定子绕组和机座三部分组成。

(1) 定子铁心。定子铁心主要是作为电动机主磁通磁路的一

部分和放置定子三相绕组用的。为了降低铁心中的损耗,铁心一般采用厚度 0.5mm,表面涂有绝缘层并冲有一定槽形的硅钢片叠成。如图 1-2 所示。

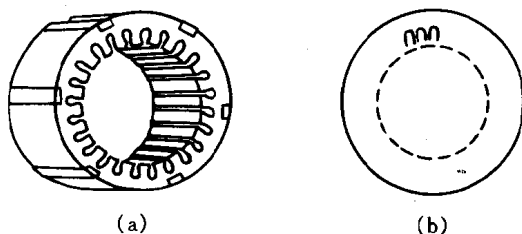


图 1-2 定子铁心

(a) 定子铁心; (b) 定子冲片

(2) 定子绕组。三相异步电动机定子绕组的作用是产生旋转磁场和吸收电功率。它是由三个完全相同的,在定子表面对称分布的绕组(每个为一相)根据需要连接成星形或三角形构成的三相对称绕组,如图 1-3 所示。

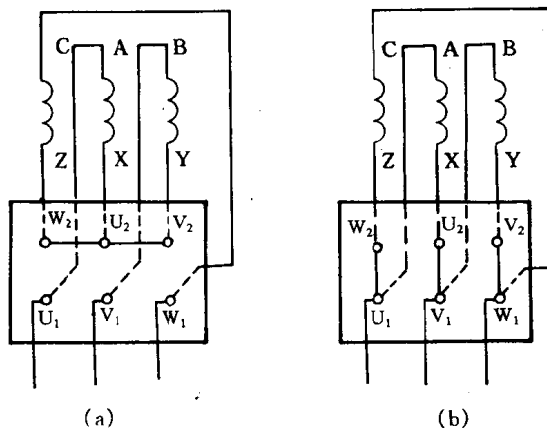


图 1-3 三相定子绕组的接法

(a) 星形连接; (b) 三角形连接

(3) 机座。机座主要起固定和支撑定子铁心作用,一般不作为工作磁路的组成部分。所以大多采用铸铁铸造而成,也可用铸铝和塑料制成。

2. 转子

(1) 转子铁心。转子铁心的作用与定子铁心相同,也是用0.5mm的硅钢片叠制而成,再套在转轴上。

(2) 转子绕组。三相异步电动机转子绕组的作用是感生电势和电流,并与定子磁场作用产生转矩输出机械功率。转子绕组有鼠笼式和绕线式两种。

① 鼠笼式转子绕组。在转子铁心的每一槽内插入一根铜条,并在铁心两端各用一铜环(称为端环)把导条连接起来,形成一个闭合的多相(每根导条为一相)对称绕组(如图1-4(a)所示)。也可用铸铝的方法,把转子导条、端环和风叶用铝液一次浇铸而成(如图1-4(b)所示)。

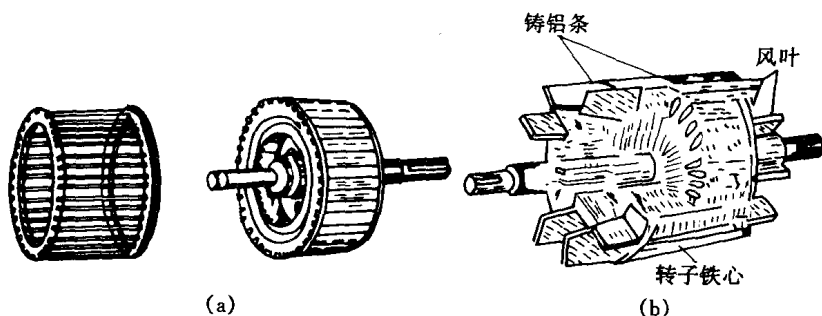


图1-4 鼠笼式转子
(a) 嵌铜条的转子; (b) 铸铝转子

② 绕线式转子绕组。绕线式转子绕组是一个与定子绕组相似的三相对称绕组，一般接成星形，三个出线端分别接到转轴上的三个与转轴绝缘的集电环上，再通过安装在定子端盖上的电刷装置与外电路相连（与外接电阻串联后短接或直接短接），如图 1-5 所示。

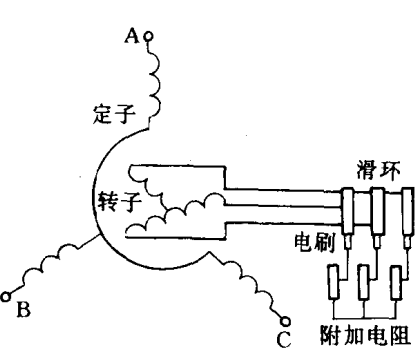


图 1-5 绕线式转子绕组示意图

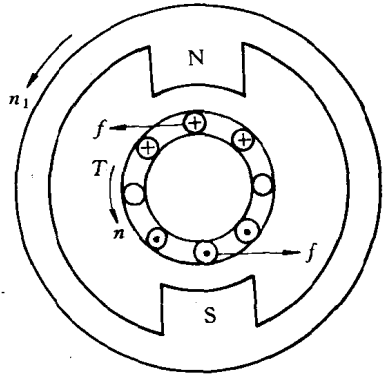


图 1-6 三相异步电动机工作原理

3. 其他部分

包括端盖和风扇等。端盖用来起保护和支撑转子轴的作用，风扇用来通风冷却。

二、三相异步电动机的工作原理

当异步电动机定子三相对称绕组中通以三相对称电流时，将在电机气隙中产生一个旋转磁场。这个旋转磁场的转向由绕组通电相序决定（由电流超前相绕组转向电流滞后相绕组）；旋转磁场的转速为 n_1 ，亦称同步转速，它由电源频率 f 和定子绕组的极对数 p 决定的，即 $n_1 = 60f/p$ （单位为转/分或 r/min）。

如图 1-6 所示，设定子旋转磁场以 n_1 速度逆时针旋转，其磁

力线被转子导条切割并在转子导条中感生电动势。因为转子绕组是一个闭合绕组,在感应电势作用下转子绕组中会产生电流。由右手定则可确定在图 1-6 中 N 极下转子导条电流流入纸面,S 极下转子导条电流流出纸面。而载流导体在磁场中又受到力的作用,由左手定则知图 1-6 转子受到一个逆时针方向的转矩作用。若该转矩足够大,转子就顺着旋转磁场转动方向旋转。这就是异步电动机简单的工作原理。

由于转子转向与旋转磁场转向一致,如果转子转速达到 $n=n_1$,则旋转磁场与转子相对静止无切割作用,此时转子导体就不能感应电势,也不能产生电流和电磁转矩。所以这种电动机的转速不可能等于旋转磁场的转速,故称异步电动机。

又因为异步电动机转子导体中电流是感应产生的,所以又称其为感应电动机。这里的感应作用依赖于转子导条对旋转磁场的切割运动。转子速度 n 与旋转磁场速度 n_1 之差对磁场转速 n_1 的比值称为转差率 S ,即 $S=(n_1-n)/n_1$ 。

转差率 S 是分析异步电动机工作情况的一个十分重要的参数。异步电动机在额定状态下运行时,其额定转差率 S_N 一般为 $0.02\sim0.06$ 。

第二节 三相异步电动机的分类和型号

一、三相异步电动机的分类

三相异步电动机用途广泛,种类繁多。对普通三相异步电动机来讲,一般可按转子结构形式进行分类,如表 1-1 所示。

表 1-1 三相异步电动机的分类

分类	转子结构形式	结构尺寸	冷却方式	工作定额	使用环境	防护型式
类别	绕线型	大型	自冷式	连续工作制	普通	开启式
	笼型	$H > 630$	自扇冷式	断续周期工作制	湿热	防护式:
	普通笼型	(或 $D > 990$ 或	他扇冷式	短时工作制	干热	网罩式
	深槽	16 号机座以上)	管道通风式		船用	防滴式
别	双笼	中型			化工	防溅式
		$H = 355 \sim 630$			高原	封闭式
		(或 $D = 560 \sim 990$			户外	防水式
		或 11~15 号机座)				水密式
		小型				潜水式
		$H = 80 \sim 315$				隔爆式
		(或 $D = 120 \sim 500$				
		或 1~9 号机座)				

二、三相异步电动机的型号

三相异步电动机的型号一般按下列顺序排列:

产品代号 — 规格代号 — 极数 — 特殊环境代号

1. 产品代号

(1) 产品类型代号。异步电动机用 Y 表示(老产品用 J 表示)。

(2) 产品特点代号。用表征电动机性能、结构或用途等有代表意义的汉字的汉语拼音第一个大写字母表示。如 R 代表绕线转子, D 代表多速电动机等。

(3) 设计序号。用阿拉伯数字表示的电动机产品的设计顺序。对于第一次设计的产品, 则不标注设计序号。

2. 规格代号

中小型三相异步电动机的规格代号由: 中心高(mm)、机座长度(字母代号: S 表示短机座、M 表示中机座和 L 表示长机座)、铁

心长度(数字代号)组成。如 355M2,表示中心高 355mm,中机座、2号铁心长。

3. 磁极数

用数字表示三相异步电动机旋转磁场的极数。

4. 特殊环境代号

用表征电动机可适应的特殊环境的有代表意义的汉字的汉语拼音第一个大写字母表示。一般环境不注,特殊环境代号如表 1-2 所示。

表 1-2 特殊环境代号

环 境 条 件	代 号	环 境 条 件	代 号
“高”原用	G	“热”带用	T
“船”(海)用	H	“湿热”带用	TH
户“外”用	W	“干热”带用	TA
化工防“腐”用	F		

例如 Y-112S-6
 └ 6 极 ($f=50\text{Hz}$, $n_1=1000\text{r/min}$)
 └ 规格代号,表示中心高 112mm,短机座
 └ 产品代号,表示异步电动机

第三节 三相对称绕组

异步电动机的工作磁场是一种旋转磁场,它是由定子三相绕组中通以三相对称电流而建立的。因此,定子三相绕组必须保证由它建立的旋转磁场具有一定的磁极数、一定的大小,且在空间尽可能按正弦波形分布。

一、交流三相绕组的基本知识

1. 线圈

组成每相绕组的单元是线圈,它由一匝或多匝导线串联而成,有两个引出端,一个叫首端,另一个叫末端。线圈放在铁心槽内的两条边称为有效边,其间的电流方向相反。每个线圈的两条有效边应分别处于相反的极性下。

2. 电角度与机械角度(空间角度)

电动机圆周在几何上分成 360° ,这个角度称为机械角度。在这样一个 360° 圆周上可以均匀地形成 p 对磁极,而每一对磁极所占的空间角度定义为 360° 电角度。因此,电动机圆周按电角度计算有 $p \times 360^\circ$ 电角度,即电角度 $= p \times$ 机械角度。

3. 极距

相邻两个磁极(磁性相反)中心轴线(简称磁轴)在定子圆周上所跨的距离叫极距,以 τ 表示。 τ 可以用长度计算 $\left(\frac{\pi D}{2p}\right)$,也可以用机械角度计 $\left(\frac{360^\circ}{2p}\right)$ 或用电角度表示(180° 电角度)等。一般常以槽数表示,设定子铁心的槽数为 Z_1 、极对数为 p ,则

$$\tau = \frac{Z_1}{2p} \quad (1-1)$$

4. 节距

一个线圈的两条有效边所跨定子圆周上的距离叫节距,以 Y_1 表示,一般用槽数计算。节距 Y_1 应接近极距 τ ,以保证线圈的两条有效边分处不同极性下。 $Y_1 = \tau$ 的绕组称为整距绕组; $Y_1 < \tau$ 的绕组称为短距绕组; $Y_1 > \tau$ 的绕组称为长距绕组。

5. 槽距角 α

相邻两个槽之间的电角度称为槽距角,

$$\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z_1} \quad (1-2)$$

6. 每极每相槽数 q

每一个磁极下每相绕组所占的槽数称为每极每相槽数 q 。对

于三相绕组一般有

$$q = \frac{Z_1}{2pm} = \frac{Z_1}{6p} \quad (1-3)$$

式中 m 为相数。

7. 相带

每相绕组在一对极下所连续占有的宽度(用电角度表示)称为相带。在异步电动机中,一般将每相所占有的槽数均匀地分布在每个磁极下,所以每相占有 60° 电角度,称为 60° 相带(也有 120° 相带绕组,本书不讨论)。由于三相对称绕组在空间彼此要相距 120° 电角度,所以每对磁极下的相带依次为 A、Z、B、X、C、Y。其中 A 相带与 X 相带为同一绕组在不同极性下所占的位置(B 相带与 Y 相带、C 相带与 Z 相带也一样),所以 A 相带中的导体与 X 相带的导体可以串联组成一个线圈。相带中的 q 个线圈一般串联成一个线圈组。

二、三相单层绕组的构成

根据产生旋转磁场的要求,三相绕组应由在空间对称分布的三个匝数、形状都相同的绕组构成。这样,只要确定一相绕组在定子槽内的排列和联接情况,另两相绕组就可以按互差 120° 电角度的原则排列和连接。

单层绕组的每一个槽内只有线圈的一条有效边,所以绕组的线圈数为槽数的一半。现以 $p=2, Z_1=24$ 的三相电机为例介绍三相单层绕组的构成。

1. 极距 τ

$$\tau = \frac{Z_1}{2p} = \frac{24}{2 \times 2} = 6 (\text{槽})$$

2. 每极每相槽数 q

$$q = \frac{Z_1}{6p} = \frac{24}{6 \times 2} = 2 (\text{槽})$$

3. 划分相带

60° 相带的整数槽绕组每个相带有 q 个槽,每对极有 6 个相带。按槽的编号顺序($1 \sim Z_1=24$)各相带所占槽为: $A_1(1,2)$; $Z_1(3,4)$; $B_1(5,6)$; $X_1(7,8)$; $C_1(9,10)$; $Y_1(11,12)$; $A_2(13,14)$; $Z_2(15,16)$; $B_2(17,18)$; $X_2(19,20)$; $C_2(21,22)$; $Y_2(23,24)$ 。上述相带中可以看出由 A_1 相带至 Y_1 相带构成第一对极,由 A_2 相带到 Y_2 相带构成第二对极,满足 $p=2$ 的要求。

4. 线圈的构成

A 相绕组的线圈由 A 相带与 X 相带的导体构成。具体构成方法如下。A 相带下的 1、2、13、14 与 X 相带下 7、8、19、20 槽中的导体可分别构成线圈 1-7、2-8、13-19 和 14-20。这四个线圈的形状、大小完全相同,它们构成的绕组称为等元件绕组。又因每个线圈的节距 $Y_1=6=\tau$,所以亦称整距绕组。由于完整的绕组看上去是由线圈一个接一个叠上去的,又称为单(层)叠绕组。其 A 相绕组的构成如图 1-7 所示。

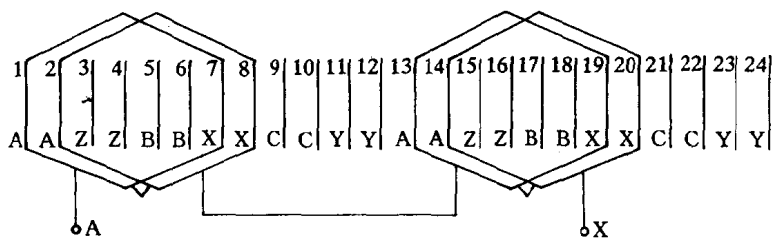


图 1-7 整距绕组

如图 1-8 所示,A 相带与 X 相带下的导体也可构成 2-7、13-8、14-19 和 1-20 四个短距线圈($Y_1=5<\tau=6$)。因这些线圈构成的相绕组形状如链条,故称链式绕组。

此外,A 相带的导体与 X 相带的导体也可构成节距不等的线圈:1-8、2-7、13-20、14-19。其中线圈 1-8 与 2-7、13-20 和

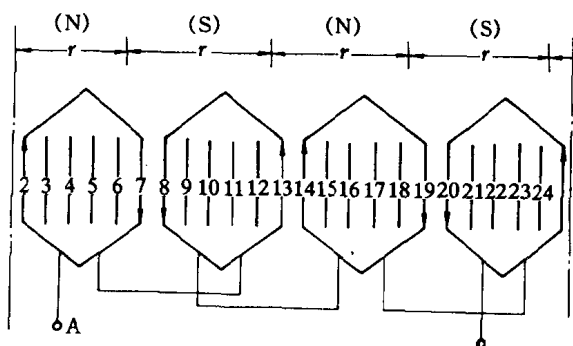


图 1-8 链式绕组

14—19 的中心重合，这四个线圈构成的绕组称为同心式绕组。

5. 相绕组的构成

线圈的构成确定后，在保证 A 相带下导体电流与 X 相带下导体电流反向的原则下，把 A 相所有线圈串联成一条电路，或由几个线圈数相同在磁极下位置对称的线圈组并联成一条相电路。如图 1-7 所示 A 相绕组的连接表为

$$(U_1) A \text{——} 1-7 \sim 2-8 \sim 13-19 \sim 14-20 \text{——} X(U_2)$$

A 相绕组构成后，B 相绕组与 C 相绕组构成的方法是一样的，只是在空间互差 120° 电角度或相隔 $2q=4$ 槽。参照图 1-7A 相绕组的连接表，B、C 相绕组构成如下：

$$(V_1) B \text{——} 5-11 \sim 6-12 \sim 17-23 \sim 18-24 \text{——} Y(V_1)$$

$$(W_1) C \text{——} 9-15 \sim 10-16 \sim 21-3 \sim 22-4 \text{——} Z(W_2)$$

三、三相双层迭绕组的构成

交流双层绕组在槽内的导体分作上、下两层，每个线圈的一个有效边在某槽的上层，则其另一线圈边在另一个槽的下层。双层绕