

跟我学

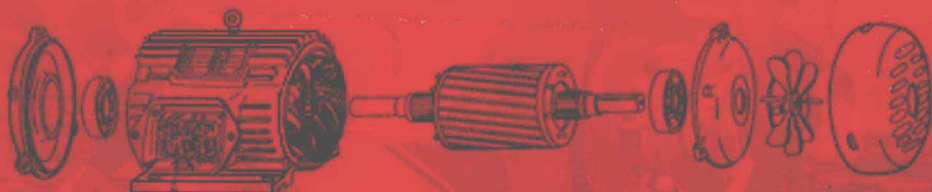
GENWOXUE
WEIXIU
DIANDONGJI

维修电动机



边学边操作 师傅教徒弟

李金亮 李凯 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书根据作者多年带徒弟修理电动机的经验,以师傅带徒弟的方式,从最基本的电动机修理基础知识着手,重点对各类电动机的绕组结构型式,分布接线,常见故障排除,重绕布线、嵌线、接线、浸渍、烘焙等具体操作工艺,以及绕组的重绕计算,电动机修理后的测试方法等作了通俗详细的介绍。其中对各类电动机绕组的分布规律、绕组的展开图和端部顺序图的画法、嵌线方法及规律性、接线用实际操作的形式作了十分详细的介绍;在绕组重绕计算中采用较简易的实用计算方法,并附有大量实例供初学者参考;对各类电动机绕组的分布和接线,采用直观性很强的展开图和简易圆图进行介绍。

本书实用性强,通俗易懂,是一本具有初中文化水平的电动机修理初学者的很好的技术书,本书也可供广大工矿企业的电动机修理工以及各类职业技术学校机电专业的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

跟我学维修电动机/李金亮,李凯编著. —北京:机械工业出版社,2012.4

ISBN 978-7-111-37508-1

I. ①跟… II. ①李…②李… III. ①电动机—维修
IV. ①TM320.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第028060号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:何月秋 责任编辑:何月秋 张利萍

版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年6月第1版第1次印刷

140mm×203mm·6印张·179千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37508-1

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379732

社服务中心:(010)88361066 网络服务

销售一部:(010)68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国改革开放的不断深入，工矿企业不断增加。电是一种清洁能源，是发展的方向，电动机是以电为能源的动力设备，是工矿企业的主要动力源，使用数量快速增加。随着我国电网的飞速发展，农村电网得到很大的改进，农村用电动机作为动力的设备得到快速发展，电动机数量在工矿企业和农村都在增加，可是电动机维护和修理人员显得比较缺乏，主要原因是电动机维修的学习比较困难，电动机的维修操作技能要求比较高，平时大多数都是以师傅带徒弟式的较多。在市面上维修电动机的书虽然不少，但讲述理论的较多，实际操作的较少，要选一本比较适合自学的书有一些困难。

本书第一章介绍了基础知识，使学员能够了解电动机维修方面的知识，为后面的维修学习打下一定基础。第二章通过实物和实际操作过程来介绍电动机维修的常用工具和电动机的拆装。第三章、第四章、第五章、第六章和第八章，根据平时的维修经验和实际维修操作，以电动机定子绕组的维修过程为主线，详细讲解了电动机绕组的维修。第七章和第十章介绍了绕组的简单计算。第九章介绍了单相电动机的维修。整体上是结合实际维修过程为主线安排内容，用了大量的图片来说明实际操作过程，特别适合初学者，但也插了一些绕组的计算，对有一定基础的学员也有一定的提高作用。

编者从事电动机修理工作 20 多年，在维修中有不少体会，希望通过本书与想学习电动机维修的朋友一起分享。

编 者

目 录

前言

第一章 电动机维修基础知识	1
第一节 电动机的分类和基本结构	1
第二节 三相异步电动机的铭牌	4
第三节 电动机的接线	6
第四节 电动机的工作原理	8
第五节 电动机绕组的类别	13
第六节 电动机绕组的部分常用名词和术语	16
第二章 电动机绕组的维修准备	20
第一节 维修电动机的工具准备	20
第二节 电动机的拆卸与组装	27
第三章 三相异步电动机绕组的展开图	33
第一节 三相异步电动机绕组概述	33
第二节 单层绕组展开图的画法	36
第三节 双层绕组展开图的画法	45
第四节 单双层绕组展开图的画法	52
第四章 端部顺序图和嵌线方法	54
第一节 单层绕组端部顺序图和嵌线方法	54
第二节 双层绕组端部顺序图和嵌线方法	71
第三节 单双层绕组端部顺序图和嵌线方法	78
第五章 三相异步电动机绕组的简单故障与维修	81
第一节 定子绕组的故障检查与维修	81
第二节 转子绕组的故障检查与维修	83
第六章 定子绕组重嵌	86
第一节 定子绕组重嵌准备	86
第二节 定子绕组的嵌线与连接	96
第七章 三相异步电动机绕组的简易计算	120
第一节 三相异步电动机定子绕组的简易计算	120

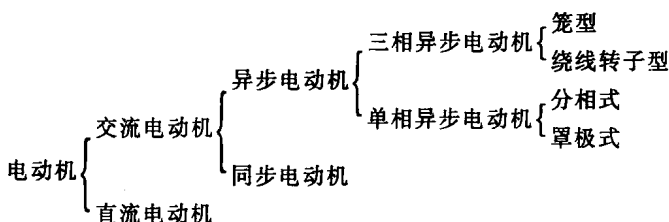
第二节	三相异步电动机改极计算	131
第三节	三相异步电动机改压计算	134
第四节	导线替代计算	138
第八章	绕组烘干浸漆处理与电动机测试	144
第一节	绕组烘干浸漆处理	144
第二节	电动机修理后的测试	149
第九章	单相异步电动机的维修	154
第一节	单相异步电动机的简单故障维修	154
第二节	单相异步电动机绕组的重绕	161
第十章	三相单绕组多速电动机的改绕步骤和计算	164
第一节	改绕步骤	164
第二节	改绕计算和方法	170
第三节	实例	175
参考文献		183

第一章 电动机维修基础知识

第一节 电动机的分类和基本结构

一、电动机的分类

随着科技的发展,机械不断代替手工,这些机械的动力来自电动机,为了适应各种场合的使用,电动机的种类很多,分类方法也很多,这里只介绍简单常用的分类方法,主要介绍三相异步电动机的分类。目前我国是以电动机的功率来划分大类,并以其性能、用途、结构特征、形式等作为补充。例如,中小型电动机的功率范围为 $1 \sim 1000\text{kW}$,其中 $1 \sim 100\text{kW}$ 为小型电动机, $100 \sim 1000\text{kW}$ 为中型电动机。电动机还可以按下列方式分类:



三相异步电动机的分类如下:

(1) 按转子结构形式 三相异步电动机可分为笼型电动机和绕线转子电动机。

(2) 按防护型式 三相异步电动机可分为开启式(IP11)三相异步电动机、防护式(IP22及IP23)三相异步电动机、封闭式(IP44)三相异步电动机、防爆式三相异步电动机。

1) 开启式(IP11)三相异步电动机:价格便宜,散热条件最好,由于转子和绕组暴露在空气中,只能用于干燥、灰尘很少又无腐蚀性和爆炸性气体的环境。

2) 防护式(IP22及IP23)三相异步电动机:通风散热条件较好,可防止水滴、铁屑等外界杂物落入电动机内部,只适用于较干燥且灰尘不多又无腐蚀性和爆炸性气体的环境。

3) 封闭式 (IP44) 三相异步电动机: 适用于潮湿、多尘、易受风雨侵蚀, 有腐蚀性气体等较恶劣的工作环境, 应用最普遍。

(3) 按通风冷却方式 三相异步电动机可分为自冷式三相异步电动机、自扇冷式三相异步电动机、他扇冷式三相异步电动机、管道通风式三相异步电动机。

(4) 按安装结构形式 三相异步电动机可分为卧式三相异步电动机、立式三相异步电动机、带底脚三相异步电动机、带凸缘三相异步电动机。

(5) 按绝缘等级 三相异步电动机可分为 E 级、B 级、F 级、H 级三相异步电动机。

(6) 按工作定额 三相异步电动机可分为连续三相异步电动机、断续三相异步电动机、间歇三相异步电动机。

二、电动机的基本结构

三相异步电动机的结构如图 1-1 所示。它主要由定子和转子两部分组成, 转子装在定子腔内, 为了保证转子能在定子内自由转动, 转子和定子之间必须有一个很小的间隙, 称为气隙。电动机的构件有罩壳、风扇、后端盖、转子、轴承、转轴、定子、接线盒、前端盖等。

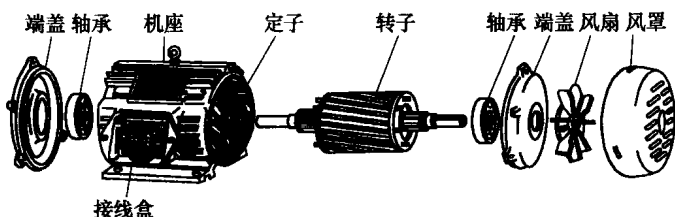


图 1-1 三相异步电动机的结构

1. 定子部分

定子是电动机固定部分的总称, 由外壳 (机座)、定子铁心、定子绕组等构成。

(1) 外壳 三相电动机外壳包括机座、端盖、轴承盖、接线盒及吊环等部件, 如图 1-2 所示。

1) 机座: 由铸铁或铸钢浇注而成, 它的作用是保护和固定三相电动机的定子绕组。中、小型三相电动机的机座还有两个端盖支承

着转子，它是三相电动机机械结构的重要组成部分。通常，机座的外表要求散热性能好，所以一般都铸有散热片。

2) 端盖：用铸铁或铸钢浇注而成，它的作用是把转子固定在定子内腔中心，使转子能够在定子中均匀地旋转。

3) 轴承盖：也是用铸铁或铸钢浇注而成的，它的作用是固定转子，使转子不能轴向移动，另外也起到存放润滑油和保护轴承的作用。

4) 接线盒：一般是用铸铁浇注，其作用是保护和固定绕组的引出线端子。

5) 吊环：一般是用铸钢制造，安装在机座的上端，用来起吊、搬抬三相电动机。

(2) 定子铁心 异步电动机的定子铁心是电动机磁路的一部分，由厚 $0.35 \sim 0.5\text{mm}$ 表面涂有绝缘漆的薄硅钢片叠压而成，如图 1-3 所示。由于硅钢片较薄，而且片与片之间是绝缘的，所以减少了由于交变磁通通过而引起的铁心涡流损耗。铁心内圆有均匀分布的槽口，用来嵌放定子绕组。

(3) 定子绕组 定子绕组是电动机的电路部分。三相异步电动机有三个独立的绕组（即三相绕组），三相绕组是对称的，每相绕组包含若干个线圈，每个线圈又由若干匝组成，嵌在定子铁心的槽中，绕组与铁心之间要进行绝缘，它由高强度漆包线，用线模绕制成线圈，再按一定规律嵌放在铁心槽中，如图 1-4 所示。

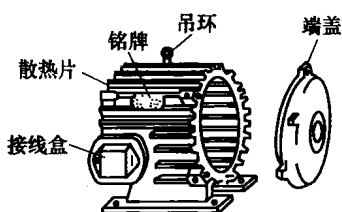
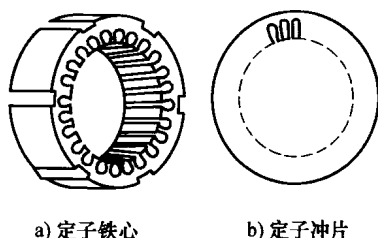


图 1-2 外壳



a) 定子铁心

b) 定子冲片

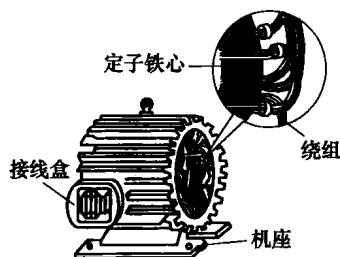


图 1-4 定子铁心和定子绕组

图 1-3 定子铁心及冲片示意图

2. 转子部分

转子主要由转子铁心、转子绕组和转轴组成，如图 1-5 所示。

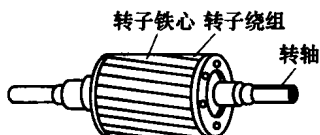


图 1-5 三相异步电动机的转子

第二节 三相异步电动机的铭牌

三相异步电动机的铭牌如图 1-6 所示。现将铭牌的含义作简单描述：

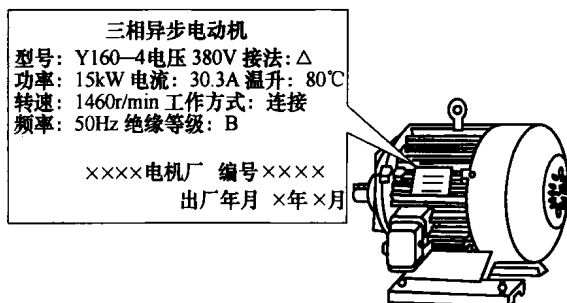
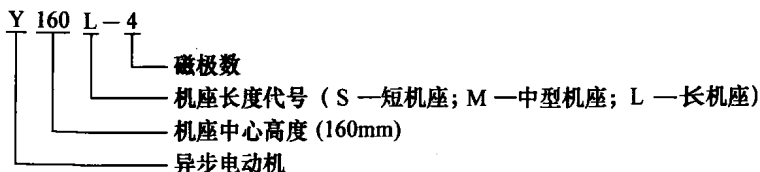


图 1-6 三相异步电动机的铭牌

一、型号

Y160L—4 中“Y”表示 Y 系列笼型异步电动机（YR 表示绕线转子异步电动机），“160”表示电动机的中心高为 160mm，“L”表示长机座（M 表示中型机座，S 表示短机座），“4”表示 4 极电动机。有些电动机型号在机座代号后面还有一位数字，代表铁心号，如 Y132S2—2 型号中 S 后面的“2”表示 2 号铁心长（1 为 1 号铁心长）。



二、额定值

1. 额定功率

电动机在额定状态下运行时，其轴上所能输出的机械功率称为额定功率。

2. 额定转速

电动机在额定状态下运行时的转速称为额定转速。

3. 额定电压

额定电压是电动机在额定运行状态下，电动机定子绕组上应加的线电压值。Y 系列电动机的额定电压都是 380V。凡功率小于 3kW 的电动机，其定子绕组均为星形联结，4kW 以上的都是三角形联结。

4. 额定电流

电动机加上额定电压，在其轴上输出额定功率时，定子从电源取用的线电流值称为额定电流。

5. 绝缘等级

绝缘等级是指电动机所采用的绝缘材料的耐热能力，它表明电动机允许的最高工作温度，见表 1-1。

表 1-1 电动机的绝缘等级

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
最高允许温度/℃	90	105	120	130	155	180	180 以上

注：环境温度为 40℃。

6. 工作方式

工作方式指电动机的运行方式。一般分为“连续”（代号为 S1）、“短时”（代号为 S2）、“断续”（代号为 S3）。

7. 额定频率

电动机在额定运行状态下，定子绕组所接电源的频率，叫额定频率。我国规定的额定频率为 50Hz。

8. 连接方法

电动机在额定电压下，定子绕组的连接方式分为星形联结和三角形联结。当电压不变时，如将星形联结接成三角形联结，线圈的电压为原线圈的 $\sqrt{3}$ 倍，这样电动机线圈的电流会变得过大而发热。如果把三角形联结的电动机改为星形联结，电动机线圈的电压为原

线圈的 $1/\sqrt{3}$ ，电动机的输出功率就会降低。

第三节 电动机的接线

一、电动机的接线方法

检修或重绕三相异步电动机时，三相绕组的六条引出线首、尾必须分清楚，否则在接线盒内无法正确接线。按规定，六条引出线的首、尾分别用 U1、V1、W1、U2、V2、W2 标注标号（旧标号为 D1、D4、D2、D5、D3、D6）。其中 U1、U2 表示第一相绕组的首、尾；V1、V2 表示第二相绕组的首、尾端；W1、W2 表示第三相绕组的首、尾。不同字母表示不同的相别，相同数字表示同相首或尾。检修电动机时，如果六条引出线上标号完整，只有接线盒内接线板损坏，可按电动机铭牌上规定的接法更换接线板，正确接线即可。电动机的接线方法分为星形（Y）联结、三角形（Δ）联结两种方法，如图 1-7 所示。如果六条引出线上的标号已被破坏或重绕电动机绕组后，就必须先确定六条引出线的首、尾端并进行标号，然后再按规定接到接线板上。

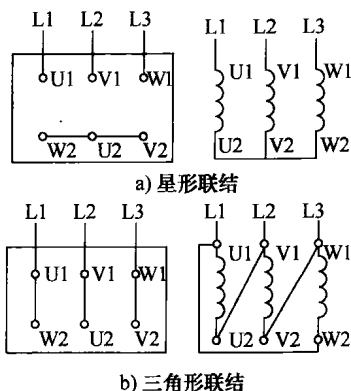


图 1-7 三相电动机六根引出线的接法

二、引线头的判断

第一步，分出每相绕组的两个线端。

用万用表电阻 $R \times 1$ 挡测量绕组的六个引线头，若两个引线头之间电阻值很小，则这两个引线头为同一相绕组的引线端，按照此法依次分清三相绕组每相的引线端。

第二步，判断首尾端。判断首尾端的方法如下：

1. 万用表法

(1) 方法 1

1) 将万用表置于 mA 挡，按图 1-8a 接线。假设一端接线为首（U1、V1、W1），另一端为尾（U2、V2、W2）。

2) 用手转动转子, 如果万用表指针不动, 表明假设正确。如果万用表指针摆动, 表明假设错误, 应对调其中一相绕组首、尾端后重试, 直至万用表不摆动为止, 即可将连在一起的三个线头确定为首或尾。

(2) 方法 2

1) 将万用表置于 mA 挡, 按图 1-8b 接线。

2) 闭合开关 S, 瞬间万用表向右摆动, 则电池正极所接线头与万用表负表笔所接线头同为首或尾。如指针向左反摆, 则电池正极所接线头与万用表正表笔所接线头同为首或尾。

3) 将电池 (或万用表) 改接到第三相绕组的两个线头上重复以上试验, 确定第三相绕组的首、尾, 以此确定三相绕组各自的首和尾。

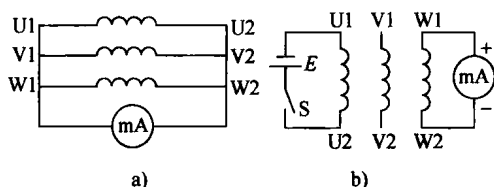


图 1-8 万用表检测法

2. 灯泡检测法

(1) 方法 1

1) 按图 1-9a 接线。

2) 闭合开关 S, 如灯泡亮, 表明两相绕组为首、尾串联, 作用在灯泡上的电压是两相绕组感应电动势的矢量和。如灯泡不亮, 表明两相绕组为尾、尾或首、首串联, 作用在灯泡上的电压是两相绕组感应电动势的矢量差。

3) 将检查确定的线头做好标记, 将其中一相与接 36V 电源的一相对调重试, 以此确定三相绕组的所有首、尾端。

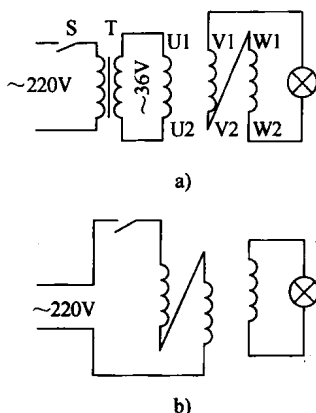


图 1-9 灯泡检测法

(2) 方法 2

1) 按图 1-9b 接线。

2) 闭合开关 S, 如果灯泡亮, 表示接 220V 电源的两相绕组为首、尾串联。如果灯泡不亮, 表示两相绕组为首、首或尾、尾串联。

3) 将检查确定的线头做好标记, 将其中一相与接灯泡的一相对调重试, 以此确定三相绕组的所有首、尾端。

第四节 电动机的工作原理

电动机种类繁多, 大小悬殊, 但基本原理是一样的, 都是由电磁作用产生动力, 本节以三相异步电动机为例, 讨论其工作原理和运行规律。

大家知道, 三相电动机通入三相交流电流以后就会旋转起来, 这是因为三相异步电动机的定子绕组是按一定的规律分布的。当通入三相交流电时, 定子绕组就会产生一个以一定转速向一定方向旋转的变化磁场 (即旋转磁场)。图 1-10a 所示是异步电动机的物理模型。它由一个装有手柄的马蹄形磁铁和一个可以自由转动的铜条做成的笼型转子组成, 磁铁和转子之间没有机械联系。当摇动手柄使磁铁转动时, 转子也会跟着它朝相同方向转动, 转子的转速比磁铁的转速稍慢。下面来解释转子转动的原理。

先假设转子静止, 如果转动磁铁, 则磁铁就会与笼型转子中的导体 (即导条) 之间产生相对运动, 若磁场顺时针方向旋转, 如图 1-10b 所示, 则相当于转子导体逆时针方向切割磁力线, 根据右手定则可以确定, 转子上半部导体中的感应电动势方向都是垂直纸面出来, 用 $\odot$ 表示; 转子下半部导体中的感应电动势方向都是垂直进入纸面, 用 $\otimes$ 表示。由于转子导体与端环构成闭合回路, 因此在感应电动势的作用下, 导体中就有感应电流流过。假如不考虑导体中电流与电动势的相位差, 则导体中感应电流的方向就与感应电动势的方向相同。

从物理和电工基础中还知道, 载流导体在磁场中会受到电磁力 F 的作用, 导体受电磁力 F 的作用方向可根据左手定则确定。因此, 在图 1-10b 中, 转子上半部各导体都受到了向右的电磁力, 转子下半

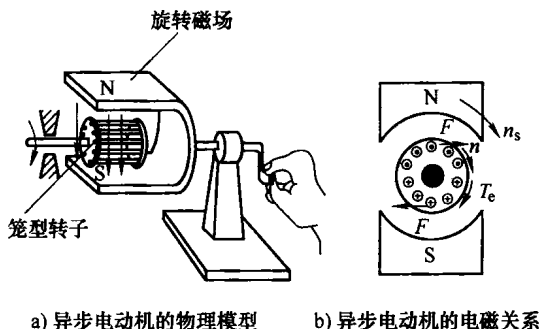


图 1-10 异步电动机的工作原理示意图

部各导体都受到了向左的电磁力。这是一对大小相等、方向相反的力，因此就形成了电磁转矩 T_e ，使笼型转子朝着磁场旋转方向转动起来。这就是异步电动机的简单工作原理。

实际的三相异步电动机是利用定子三相对称绕组通入对称三相电流而产生旋转磁场的，它的作用与旋转磁极的磁场作用相同，这个旋转磁场的转速 n_s 称为同步转速。三相异步电动机转子的转速 n 不可能达到定子旋转磁场的转速，即异步电动机的转速 n 不可能达到同步转速 n_s 。如果达到同步转速，则转子导体与旋转磁场之间就没有相对运动，因而在旋转导体中就不能产生感应电动势和感应电流，也就不能产生推动转子旋转的电磁力 F 和电磁转矩 T_e 。所以，异步电动机的转速 n 总是低于同步转速 n_s ，即两种转速之间总是存在差异，异步电动机因此而得名。由于异步电动机的转子电流是由电磁感应产生的，故异步电动机又称为感应电动机。

一、电动机定子旋转磁场的产生

图 1-11 所示为三相异步电动机的三相绕组示意图。在图 1-11a 中，导体 U1 - U2 组成一个线圈，导体 V1 - V2、W1 - W2 分别组成另外两个线圈，三个线圈在空间位置上互差 120° 电角度，每个线圈为一相绕组。三相绕组按图 1-11b 接成星形，并把三相绕组的首端 U1、V1、W1 分别接到三相交流电源上，则就有三相交流电流通过相应的定子绕组。在绕组中通过的三相对称电流的波形图如图 1-12 所示。

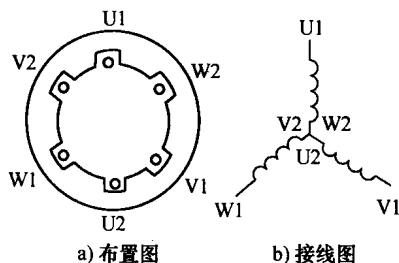


图 1-11 三相异步电动机的
三相绕组示意图

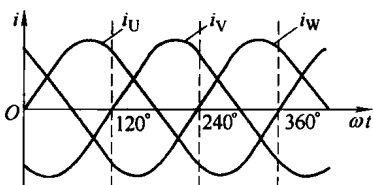
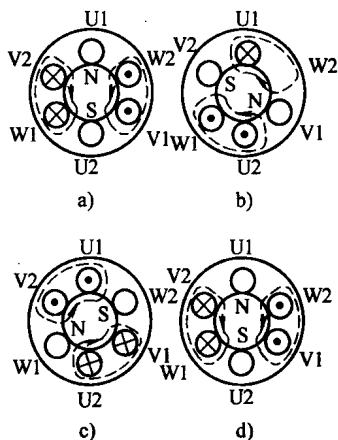


图 1-12 三相对称电流的波形图

当 $\omega t = 0^\circ$ 时，由图 1-12 可以看出， $i_U = 0$ ，U 相绕组中没有电流； i_V 为负值，即电流从末端 V2 流入，首端 V1 流出； i_W 为正值，电流从首端 W1 流入，末端 W2 流出，如图 1-13a 所示。根据右手定则，可以画出其合成磁场，并根据图中的磁力线的方向可定出 N 极和 S 极的位置。这种绕组的布置方式所产生的磁极是两极磁场，即磁极对数 $p = 1$ 。



同理，当 $\omega t = 120^\circ$ 时， $i_V = 0$ ，V 相绕组中没有电流； i_U 为正值，电流从首端 U1 流入，末端 U2 流出； i_W 为负值，电流从末端 W2 流入，首端 W1 流出。合成磁场如图 1-13b 所示。与 $\omega t = 0^\circ$ 相比，合成磁场已沿着顺时针方向在空间上转过了 120° 。按同样方法，可画出 $\omega t = 240^\circ$ 和 $\omega t = 360^\circ$ 时的合成磁场，分别如图 1-13c、图 1-13d 所示。

由上述分析可以看出，对于图 1-13 所示的三相对称绕组，通入三相对称电流后，产生一个两极旋转磁场，当电流变化一周后，合成磁场在空间旋转 360° 。电流不断地变化，合成磁场不断地旋转。

二、旋转磁场的转速

由上面的分析可知,对于图 1-11 所示的三相绕组,可以产生两极旋转磁场($p=1$)。由图 1-13 可以看出,当电流变化一周时,两极磁场在空间上旋转 360° ,若定子电流的频率为 f ,表示电流每秒变化 f 个周期,通常转速是以每分钟的转数来计算的,若以 n_s 表示旋转磁场每分钟的转速,则

$$n_s = 60f \text{ (r/min)}$$

如果沿着定子圆周有 12 个槽,每相绕组由两个线圈串联(或并联)组成,如图 1-14 所示,U 相绕组由 $U1-U2$ 和 $U1'-U2'$ 两个线圈组成;V 相绕组由 $V1-V2$ 和 $V1'-V2'$ 两个线圈组成;W 相由 $W1-W2$ 和 $W1'-W2'$ 两个线圈组成,三相绕组为星形联结。

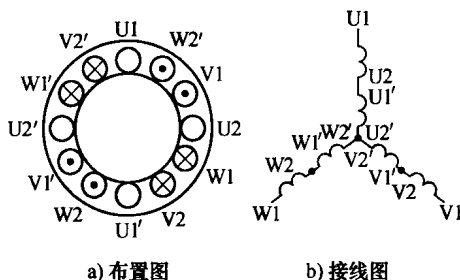


图 1-14 三相四极绕组示意图

当定子绕组通入三相对称交流电后,就会产生一个四极($p=2$)的旋转磁场。图 1-15 画出了当 $\omega t=0^\circ$ 、 120° 、 240° 、 360° 时的定子合成磁场的分布情况。

由图 1-15 可以看出,对于四极的旋转磁场($p=2$),当电流变化一个周期后,合成磁场在空间只旋转 180° ,所以

$$n_s = \frac{60f}{2}$$

由此可以推广到具有 p 对磁极的磁场,其转速为

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

由此可知,旋转磁场的转速 n_s 决定于电源的频率 f 和电动机的磁极对数 p 。我国规定的电源标准频率为 50Hz,所以各种磁极对数的电动机所对应的旋转磁场的同步转速见表 1-2。交流电动机的旋转

磁场的转速 n_s 称为同步转速（第六节有详细讲解）。

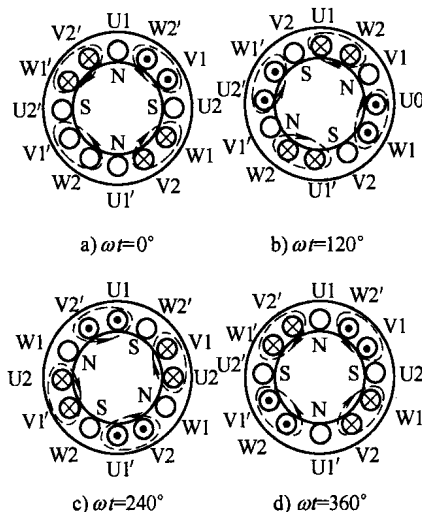


图 1-15 四极旋转磁场的产生

表 1-2 交流电动机的磁极对数与同步转速的关系 ($f=50\text{Hz}$)

磁极对数	1	2	3	4	5	6
同步转速/ (r/min)	3000	1500	1000	750	600	500

三、旋转磁场的方向

在分析两极旋转磁场的形成时可以看到，三相绕组 U1-U2、V1-V2、W1-W2 在定子铁心槽内的位置是顺时针方向排列的。另外，由图 1-12 可知，三相对称电流的相序（即三相电流出现最大值的顺序）为 U-V-W。如果将 L1、L2、L3 三相电源分别接三相绕组的首端 U1、V1、W1，由图 1-12 可知，其旋转磁场是顺着 U、V、W 三相绕组在定子铁心内排列的方向（顺时针方向）旋转的。

必须指出，电动机三相绕组在定子铁心槽内排列的顺序是由所接电源来决定的，任意一相绕组都可以接 L1 相（或 L2 相、L3 相）电源，但电源的相序是固定的（见图 1-12），如果把三相电源线中的任意两根（例如 L1 和 L2）对调，则相当于图 1-13 中 U1-U2 与 V1-V2 两相绕组在定子铁心槽内的位置对调（因为原绕组 U1-U2 改接 L2 相电源，所以应将原绕组 U1-U2 改为 V1-V2。同理，因为原绕组