



高等教育“十二五”规划教材

装备制造行业自主创新人才培养推荐教材

电机与电气控制

DIANJI YU DIANQI KONGZHI

张 辉 岳殿霞 主 编
张青青 于水婧 隋 淼 副主编



北京交通大学出版社

<http://www.bjtup.com.cn>

◇ 高等教育“十二五”规划教材
装备制造行业自主创新人才培养推荐教材

电机与电气控制

主 编 张 辉 岳殿霞
副主编 张青青 于水婧 隋 森

北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书以电气类专业职业岗位能力需求为依据,从工程实际应用出发,系统地介绍了电机的基本结构、工作原理、运行维护、常见故障及处理,常用低压电器,电动机控制电路的分析安装,典型机床控制电路分析及故障排除等。

全书在编写过程中自始至终贯彻“扎实理论,突出技能”的指导思想,以项目为载体,将内容分为3个模块、14个项目。每个项目的设计均从实际工作任务出发,配以实物及操作指导图片,图文并茂,内容设计上体现“教、学、做”一体化的高职教学改革理念。

本书的知识点及实操项目的选取结合了企业人员初、中、高级维修电工的考核内容,不仅适用于高等(中等)职业技术学校电气自动化、机电一体化、工业自动化专业等专业的学生使用,也可作为企业电气人员的培训教材。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制/张辉,岳殿霞主编. —北京:北京交通大学出版社,2014.8

(高等教育“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-5121-1997-0

I. ①电… II. ①张… ②岳… III. ①电机学-高等职业教育-教材 ②电气控制-高等职业教育-教材 IV. ①TM3 ②TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第159351号

责任编辑:田秀青 特邀编辑:李晓敏

出版发行:北京交通大学出版社 电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街44号 邮编:100044

印刷者:北京交大印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:15.75 字数:393千字

版 次:2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1997-0/TM·58

印 数:1~2 000册 定价:35.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

本书根据电气行业规范、高职高专教育人才培养目标，从企业实际岗位技能需求出发，为满足电气类及机电一体化专业对电机、低压电器、电机控制、机床故障知识及技能的培养来整合。内容选取适应高职高专教学改革发展趋势，依据“就业导向、服务经济、培养技能，重在应用”的原则，按照“教、学、做”一体化的思想编写而成。

本书主要内容包括：模块1电动机及控制电器；模块2电动机基本控制电路的安装与调试；模块3典型机床电气控制电路分析与故障排除。教材内容具有以下特色。

1. 教材将知识点模块化，按照项目展开，从解决实际问题的步骤出发，强化重点知识，注重实际操作步骤的讲解，教材选取的内容主要是针对学生今后所要从事的岗位技能要求，使学生做到学以致用。

2. 教材内容结合高职院校常见的电机控制实训室、机床电气控制实训室进行实训内容的安排及讲解，涉及14个实训项目，内容丰富。

3. 教材设计从高职学生特点出发，配以实物图片讲解知识点，便于阅读；教材项目选取从企业实际岗位技能出发，满足高职改革人才培养的需求。

本教材的参编人员都是多年从事电机及电气控制教学的一线教师，在课程建设、教材编写、课程改革方面经验较为丰富。在编写教材前，编写组教师进行了多次的企业调研，全面把握了电气行业对毕业生的技能需求，并亲自完成了教材中的实训项目，获取丰富的资源。

本书由吉林铁道职业技术学院张辉任主编，对本书的编写思路与内容进行了总体规划，并编写了模块3中的项目4、项目5；吉林铁道职业技术学院张青青任副主编，参与全书的统稿工作，并编写了模块2中的项目1、项目2、项目3、项目4；吉林铁道职业技术学院岳殿霞编写了模块1；吉林铁道职业技术学院隋淼编写了模块2中的项目5、项目6、项目7；吉林铁道职业技术学院于水婧编写了模块3中的项目1、项目2、项目3及附录。

本书在编写过程中参考了部分已出版教材，编者在此对所参考教材的作者及出版社一并致谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2014.6

目 录

模块1 电动机及控制电器

项目 1.1 三相异步电动机的认识	1
1.1.1 项目导入	1
1.1.2 相关知识	1
1.1.3 项目实施	15
1.1.4 知识拓展——其他类型的异步电动机及其应用	23
1.1.5 项目小结	38
思考和练习	38
项目 1.2 低压电器的认识与测试	40
1.2.1 项目导入	40
1.2.2 相关知识	40
1.2.3 项目实施	80
1.2.4 知识拓展——低压电器的发展趋势	83
1.2.5 项目小结	84
思考和练习	84

模块2 电动机基本控制电路的安装与调试

项目 2.1 单向点动与连续运行控制电路的安装与调试	85
2.1.1 项目导入	85
2.1.2 相关知识	86
2.1.3 项目实施	97
2.1.4 知识拓展——既可点动又可长动的控制	99
2.1.5 项目小结	101
思考和练习	101
项目 2.2 电动机时间控制电路的安装与调试	102
2.2.1 项目导入	102
2.2.2 相关知识	103
2.2.3 项目实施	105
2.2.4 知识拓展——延时起动、延时停车控制	106
2.2.5 项目小结	106

思考和练习	107
项目 2.3 工作台自动往返控制电路的安装与调试	108
2.3.1 项目导入	108
2.3.2 相关知识	108
2.3.3 项目实施	113
2.3.4 知识拓展——多地联锁控制	114
2.3.5 项目小结	115
思考和练习	115
项目 2.4 三相异步电动机Y-△降压起动控制电路的安装与调试	116
2.4.1 项目导入	116
2.4.2 相关知识	116
2.4.3 项目实施	120
2.4.4 知识拓展	121
2.4.5 项目小结	125
思考和练习	126
项目 2.5 多台电机顺序控制电路的安装与调试	127
2.5.1 项目导入	127
2.5.2 相关知识	128
2.5.3 项目实施	130
2.5.4 知识拓展——多台电机控制电路	133
2.5.5 项目小结	134
思考和练习	135
项目 2.6 三相异步电动机反接制动控制电路的安装与调试	136
2.6.1 项目导入	136
2.6.2 相关知识	136
2.6.3 项目实施	141
2.6.4 知识拓展——能耗制动控制	143
2.6.5 项目小结	144
思考和练习	145
项目 2.7 双速异步电动机调速控制电路的安装与调试	146
2.7.1 项目导入	146
2.7.2 相关知识	147
2.7.3 项目实施	154
2.7.4 知识拓展	158
2.7.5 项目小结	162
思考和练习	162

模块3 典型机床电气控制电路分析与故障排除

项目 3.1 CA6140 型车床电气控制电路分析与故障排除	163
---	------------

3.1.1 项目导入	163
3.1.2 相关知识	163
3.1.3 项目实施	167
3.1.4 知识拓展	172
3.1.5 项目小结	174
思考和练习	174
项目 3.2 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路分析与故障排除	175
3.2.1 项目导入	175
3.2.2 相关知识	175
3.2.3 项目实施	181
3.2.4 知识拓展	188
3.2.5 项目小结	189
思考和练习	189
项目 3.3 X62W 型万能铣床电气控制电路分析与故障排除	191
3.3.1 项目导入	191
3.3.2 相关知识	191
3.3.3 项目实施	198
3.3.4 知识拓展	204
3.3.5 项目小结	207
思考和练习	207
项目 3.4 T68 型卧式镗床电气控制电路分析与故障排除	208
3.4.1 项目导入	208
3.4.2 相关知识	208
3.4.3 项目实施	215
3.4.4 知识拓展——机床电气设备故障检修	220
3.4.5 项目小结	222
思考和练习	222
项目 3.5 M7130 型平面磨床电气控制电路	223
3.5.1 项目导入	223
3.5.2 相关知识	223
3.5.3 知识拓展	227
3.5.4 项目小结	229
思考和练习	229
附录 A 电气图的常用符号	230
附录 B 常用低压电器的命名与分类	234
附录 C 三相异步电动机常见故障分析与处理	236
附录 D 电机与电气控制专业名词中英文对照表	240
参考文献	241

模块1 电动机及控制电器



项目 1.1

三相异步电动机的认识

1.1.1 项目导入

三相鼠笼异步电动机又称感应电动机，与其他类型电动机相比较，它具有结构简单、运行可靠、价格便宜、坚固耐用、维修方便等一系列优点，因此，在工农业生产中应用最为广泛。在实际应用中，必须要了解三相异步电动机的分类和选型，同时为了保证电动机安全可靠地运行，电动机必须定期进行维护与修理，还需要掌握电动机异常状态的判断、故障原因鉴别和故障维修的技能。本项目主要讲解三相异步电动机的选型与使用、拆卸与装配、故障处理、性能检测、故障维修等项操作技能训练。

1.1.2 相关知识

1. 三相异步电动机的基本结构

异步电动机的结构也可分为定子、转子两大部分。定子是电机中固定不动的部分，转子是电机的旋转部分。由于异步电动机的定子产生励磁旋转磁场，同时从电源吸收电能，并产生且通过旋转磁场把电能转换成转子上的机械能，所以与直流电机不同，交流电机定子是电枢。另外，定、转子之间还必须有一定间隙（称为空气隙），以保证转子的自由转动。异步电动机的空气隙较其他类型的电动机气隙要小，一般为 $0.2 \sim 2 \text{ mm}$ 。

三相异步电动机外形有开启式、防护式、封闭式等多种形式，以适应不同的工作需要。在某些特殊场合，还有特殊的外形防护形式，如防爆式、潜水泵式等。不管外形如何电动机结构基本上是相同的。现以封闭式电动机为例介绍三相异步电动机的结构。一台封闭式三相异步电动机解体后的零部件图如图 1-1 所示。

1) 定子部分

定子部分由机座、定子铁芯、定子绕组及端盖、轴承等部件组成。

(1) 机座。机座用来支承定子铁芯和固定端盖。中、小型电动机机座一般用铸铁浇成，大型电动机多采用钢板焊接而成。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) 定子铁芯。定子铁芯是电动机磁路的一部分。为了减小涡流和磁滞损耗，通常用 0.5 mm 厚的硅钢片叠压成圆筒，硅钢片表面的氧化层（大型电动机要求涂绝缘漆）作为片间绝缘，在铁芯的内圆上均匀分布有与轴平行的槽，用以嵌放定子绕组，如图 1-2 所示。

(3) 定子绕组。定子绕组是电动机的电路部分，也是最重要的部分，它的作用就是利用

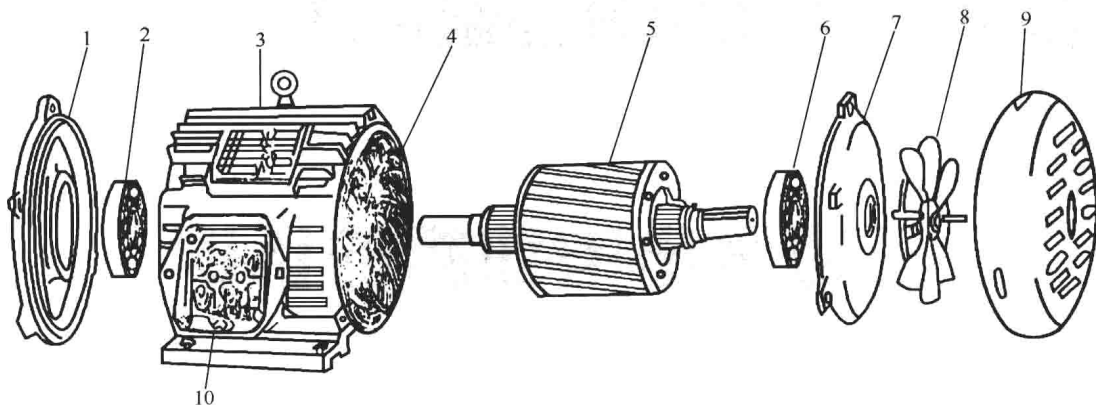


图 1-1 封闭式三相异步电动机的结构

1—端盖 2—轴承 3—机座 4—定子绕组 5—转子 6—轴承 7—端盖 8—风扇 9—风罩 10—接线盒

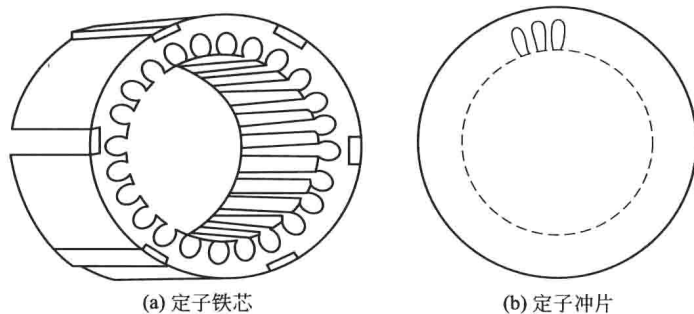


图 1-2 定子铁芯及冲片示意图

通入的三相交流电产生旋转磁场。三相电动机有三相绕组，通入三相对称电流时，就会产生旋转磁场。三相绕组由 3 个彼此独立的绕组组成，且每个绕组又由若干线圈连接而成。每个绕组即为一相，每个绕组在空间相差 120° 电角度。线圈由绝缘铜导线或绝缘铝导线绕制。中、小型三相电动机多采用圆漆包线，大、中型三相电动机的定子线圈则用较大截面的绝缘扁铜线或扁铝线绕制后，再按一定规律嵌入定子铁芯槽内。定子三相绕组的 6 个出线端都引至接线盒上，首端分别标为 U1、V1、W1，末端分别标为 U2、V2、W2。这 6 个出线端在接线盒里的排列如图 1-3 所示，可以接成星形或三角形。

(4) 轴承。轴承是电动机定、转子衔接的部位，轴承有滚动轴承和滑动轴承两类，滚动轴承又叫滚珠轴承（也称为球轴承），目前多数电动机都采用滚动轴承。这种轴承的外部有储存润滑油的油箱，轴承上还装有油环，轴转动时带动油环转动，把油箱中的润滑油带到轴与轴承的接触面上。为使润滑油能分布在整个接触面上，轴承上紧贴轴的一面一般开有油槽。

2) 转子部分

转子是电动机中的旋转部分，图 1-1 中的部件 5 一般由转轴、转子铁芯、转子绕组等组成。转轴用碳钢制成，两端轴颈与轴承相配合。出轴端先有键槽，用以固定皮带轮或联轴器。转轴是输出转矩、带动负载的部件。转子铁芯也是电动机磁路的一部分，由 0.5 mm 厚

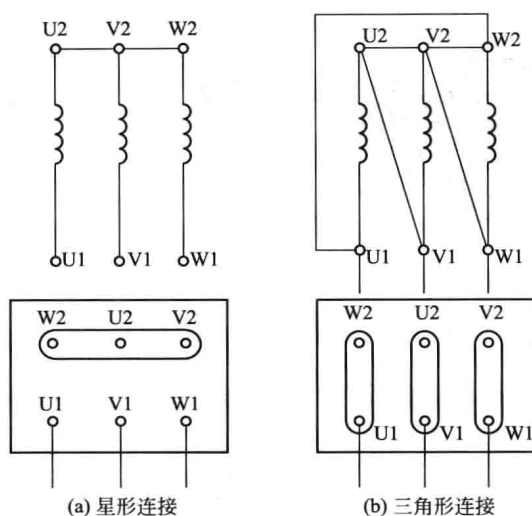


图 1-3 定子绕组的联结

的硅钢片叠压成圆柱体，并紧固在转子轴上。转子铁芯的外表面有均匀分布的线槽，用以嵌放转子绕组。

三相交流异步电动机按照转子绕组形式的不同，一般可分为笼型异步电动机和绕线型异步电动机。

(1) 笼型转子线槽一般都是斜槽（线槽与轴线不平行），目的是改善起动与调速性能。其外形如图 1-1 中的第 5 部分；笼型绕组（也称为导条）是在转子铁芯的槽里嵌放裸铜条或铝条，然后用两个金属环（称为端环）分别在裸金属导条两端把它们全部接通（短接），即构成转子绕组；小型笼型电动机一般用铸铝转子，这种转子是用熔化的铝液浇在转子铁芯上，导条、端环一次浇铸出来。如果去掉铁芯，整个绕组形似鼠笼，所以得名笼型绕组，如图 1-4 所示。图 1-4 (a) 为笼型直条形式，图 1-4 (b) 为笼型斜条形式。

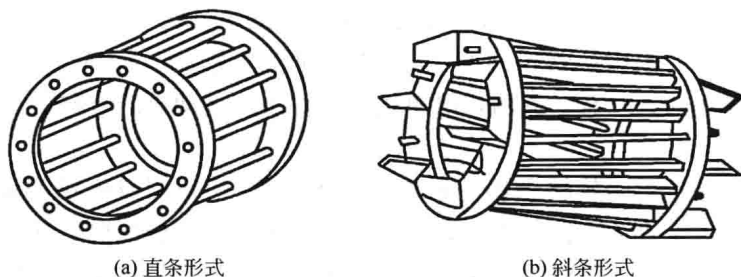


图 1-4 笼型异步电动机的转子绕组形式

(2) 绕线型转子绕组与定子绕组类似，由镶嵌在转子铁芯槽中的三相绕组组成。绕组一般采用星形连接，三相绕组的尾端接在一起，首端分别接到转轴上的 3 个铜滑环上，通过电刷把 3 根旋转的线变成固定线，与外部的变阻器连接，构成转子的闭合回路，以便于控制，如图 1-5 所示。有的电动机还装有提刷短路装置，当电动机起动后又不需要调速时，可提起电刷，同时使用 3 个滑环短路，以减少电刷磨损。

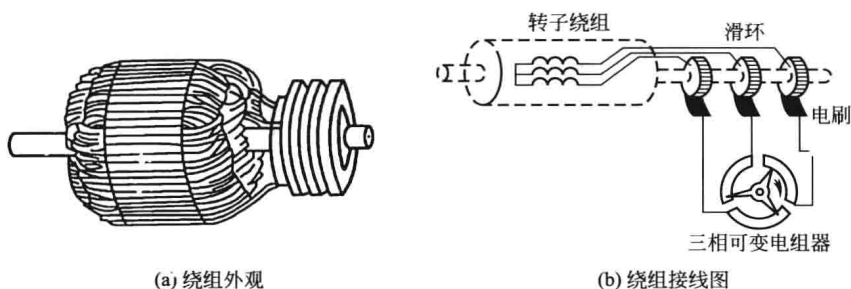


图 1-5 绕线式异步电动机的转子

两种转子相比较,笼型转子结构简单,造价低廉,并且运行可靠,因而应用十分广泛。绕线型转子结构较复杂,造价也高,但是它的起动性能较好,并能利用变阻器阻值的变化,使电动机能在一定范围内调速;在起动频繁、需要较大起动转矩的生产机械(如起重机)中常常被采用。

一般电动机转子上还装有风扇或风翼(图 1-1 中部件 8),便于电动机运转时通风散热。铸铝转子一般是将风翼和绕组(导条)一起浇铸出来,如图 1-4(b)所示。

3) 气隙

气隙 δ 就是定子与转子之间的空隙。中小型异步电动机的气隙一般为 $0.2\sim 1.5\text{ mm}$ 。气隙的大小对电动机性能影响较大,气隙大,磁阻也大,产生同样大小的磁通,所需的励磁电流 I_m 也越大,电动机的功率因数也就越低。但气隙过小,将给装配造成困难,运行时定、转子容易发生摩擦,使电动机运行不可靠,高次谐波磁场增强,从而使附加损耗增加及使起动性能变差。

2. 三相异步电动机的工作原理

三相异步电动机的定子中的 3 个对称绕组通入对称三相交流电,就产生一个旋转磁场,旋转磁场按 $n_1=60f/p$ 旋转(f 为交流电的频率, p 为磁极对数),在转子绕组或鼠笼条产生感应电动势和感应电流,进而转子绕组或鼠笼条受到电磁力的作用,电磁力产生电磁转矩,转子在电磁转矩的作用下以 $n=(1-s)n_1$ 的转速转动起来, s 为转差率;电动机的转向与旋转磁场的方向相同,任意对调两相电源线,就可改变电动机的转向。

1) 旋转磁场的形成

下面以两极电动机说明旋转磁场的形成。在图 1-6 中,假设磁场的旋转是逆时针的,这相当于金属框相对于永久磁铁,以顺时针方向切割磁力线,金属框中感生电流的方向,如图中小圆圈里所标的方向。此时的金属框已成为通电导体,于是它又会受到磁场作用的磁场力,力的方向可由左手定则判断,如图 1-6 中小箭头所指示的方向。金属框的两边受到两个反方向的力 f ,它们相对转轴产生电磁转矩(磁力矩),使金属框发生转动,转动方向与磁场旋转方向一致,但永久磁铁旋转的速度 n_1 要比金属框旋转的速度 n 大。从上述实验中可以看到,在旋转的磁场里,闭合导体会因发生电磁感应而成为通电导体,进而又受到电磁转矩作用而顺着磁场旋转的方向转动;实际的电动机中不可能用手去摇动永久磁铁产生旋转的磁场,而是通过其他方式产生旋转磁场,如在交流电动机的定子绕组(按一定排列规律排列的绕组)通入对称的交流电,便产生旋转磁场;这个磁场虽然看不到,但是人们可以感受

到它所产生的效果，与有形体旋转磁场的效果一样。通过这个实验，可以清楚地看到，交流电动机的工作原理主要是产生旋转磁场。

为了更好地理解三相异步电动机的工作原理，用图 1-7 进一步进行说明，从中可以很清楚地看到三相交流电产生旋转磁场的现象。图中所示的 3 个绕组在空间上相互间隔机械角度 120° （实际的电动机中一般都是相差电角度 120° ），3 个绕组的尾端（标有 U2、V2、W2）连接在一起（3 个绕组的这种连接称为星形（Y）接法。常用接法还有三角形（ Δ ）接法，就是将 3 个绕组首尾相连，在 3 个接点上分别引出 3 根引线的接法），将对称的三相交流电 $i_U = I_M \sin \omega t$ 、 $i_V = I_M \sin(\omega t - 120^\circ)$ 、 $i_W = I_M \sin(\omega t - 240^\circ)$ 从 3 个绕组的首端（标有 U1、V1、W1）通入，放在绕组中心处的小磁针便迅速转动起来，由此可知旋转磁场的存在。

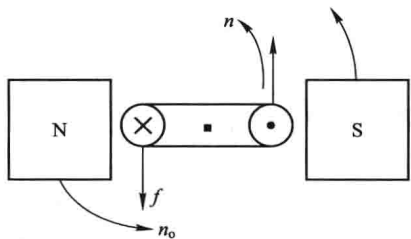


图 1-6 闭合金属框中受力示意图

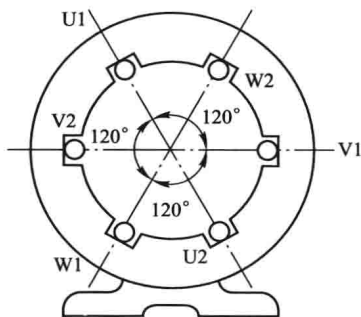


图 1-7 三相交流电动机定子三相绕组排列示意图

三相交流电是怎样产生旋转磁场的呢？用图 1-8 进行分析。当 3 个绕组跟三相电源接通后，绕组中便通过三相对称的交流电流 i_U 、 i_V 、 i_W ，其波形如图 1-8 图所示。现在选择几个特殊的运行时刻，看看三相电流所产生的合成磁场是怎样的。这里规定：电流取正值时，是由绕组始端流进（符号 $\oplus$ ），由尾端流出（符号 $\odot$ ）；电流取负值时，绕组中电流方向与此相反。

当 $\omega t = \omega t_1 = 0$ ，U 相电流 $i_U = 0$ ，V 相电流取为负值，即电流由 V2 端流进，由 V1 端流出；W 相电流 i_W 为正，即电流从 W1 端流进，从 W2 端流出。在图 1-8 的定子绕组图中，根据电生磁右手螺旋定则，可以判定出此时电流产生的合成磁场如图 1-8（a）所示，此时好像有一个有形体的永久磁铁的 N 极放在导体 U1 的位置上，S 极放在导体 U2 的位置上。

当 $\omega t = \omega t_2 = 2\pi/3$ 时，电流已变化了 $1/3$ 周期。此时刻 i 为正，电流由 U1 端流入，从 U2 端流出， i_V 为零； i_W 为负，电流从 W2 端流入，从 W1 端流出。这一时刻的磁场如图 1-8（b）所示。磁场方向较 $\omega t = \omega t_1$ 时沿顺时针方向在空间转过了 120° 。

用同样的方法，继续分析电流在 $\omega t = \omega t_3$ 、 $\omega t = \omega t_4$ 时的瞬时情况，便可得这两个时刻的磁场，如图 1-8（c）及 1-8（d）所示。在 $\omega t = \omega t_3 = 4\pi/3$ 时刻，合成磁场方向较 ωt_2 时刻又顺时针转过 120° 。在 $\omega t = \omega t_4 = 2\pi$ 时刻，磁场较 ωt_3 时再转过 120° ，即自 t_1 时刻起至 t_4 时刻，电流变化了一个周期，磁场在空间也旋转了一周。电流继续变化，磁场也不断地旋转。从上述分析可知，三相对称的交变电流通过对称分布的 3 组绕组产生的合成磁场，是在空间旋转的磁场，而且是一种磁场幅值不变的圆形旋转磁场。

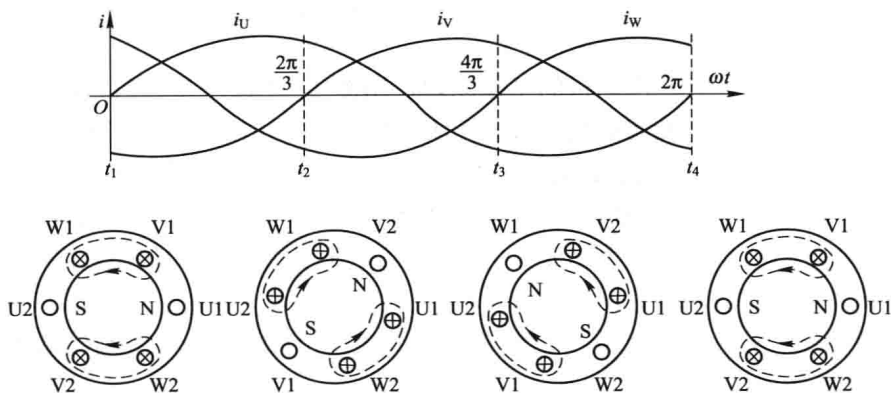


图 1-8 三相交流电产生旋转磁场示意图

2) 三相异步电动机的极数

三相异步电动机的极数就是旋转磁场的极数。旋转磁场的极数和三相绕组的安排有关。当每相绕组只有一个线圈，绕组的始端之间相差 120° 空间角时，产生的旋转磁场具有一对极，即 $p=1$ ；当每相绕组为两个线圈串联，绕组的始端之间相差 60° 空间角时，产生的旋转磁场具有两对极，即 $p=2$ 。

同理，如果要产生三对极，即 $p=3$ 的旋转磁场，则每相绕组必须有均匀安排在空间的串联的三个线圈，绕组的始端之间相差 40° ($120^\circ/p$) 空间角。极数 p 与绕组的始端之间的空间角 θ 的关系为：

$$\theta = 120^\circ / p$$

3) 旋转磁场的旋转速度

旋转磁场的旋转速度也称为“同步转速”，用 n_0 表示，其单位是“r/min”。它的大小由交流电源的频率及磁场的磁极对数决定。图 1-8 所举的例子是只能产生一对磁极的电动机，电流变化一个周期，旋转磁场转一圈；若电源电流的频率为 f (Hz)，则一对磁极的旋转速度 $n=60f$ (r/min)；我国电网供电电流的频率（即工频） $f=50$ Hz（即每秒完成 50 个周期的变化），则一对旋转磁场的转速就为： $50 \times 60 = 3\,000$ (r/min)。若定子绕组采用的排列方式不同，那么产生的磁极对数也不同，依照前面分析产生一对磁极的方法，仍然选取几个特殊的时刻，根据图 1-8 上各相电流的正、负时刻，画出各个绕组中电流的流向，即可判定出各时刻产生的磁场情况，如图 1-9 所示。 $\omega t = \omega t_1 = 0$ 时， $i_U = 0$ ，U 相绕组内没有电流； i_V 为负值，电流由端流进，由端流出，再由 V2 端流进，由 V1 端流出； i_W 为正值，电流由 W1 端流进，由 W2 端流出再由 W1' 端流进。由 W2' 端流出。此时三相电流产生的合成磁场如图 1-9 所示。

前面讲过，每当交流电变化一个周期，两极旋转磁场就在空间转过 360° （即 1 转）机械角度。从图 1-9 中可以看出，四极的旋转磁场在电流变化一周中，在空间只转过 180° （即 $1/2$ 转）机械角度。由此类推，当旋转磁场具有 p 对磁极时，交流电每变化一周，磁场就在空间转过 $1/p$ 转。故旋转磁场的转速（同步转速） n_0 为：

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-1)$$

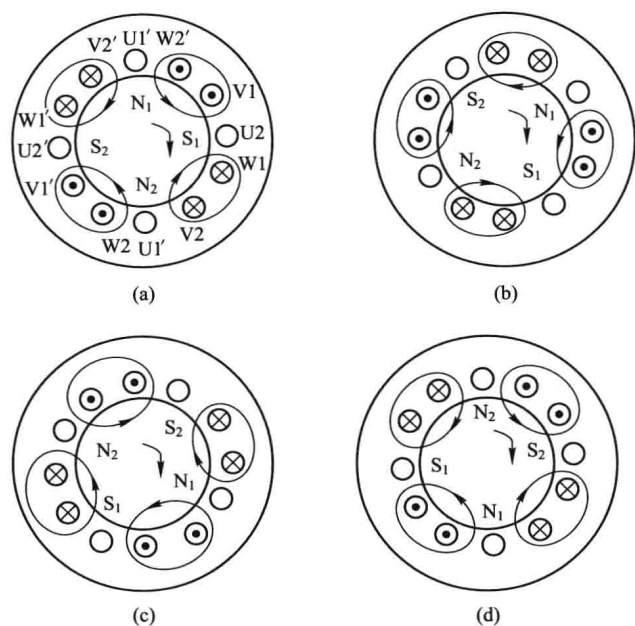


图 1-9 三相交流异步电动机产生 4 个磁极旋转磁场

式中， f_1 ——电流的频率；

p ——定子绕组产生的磁极对数。

由式（1-1）可知，旋转磁场的转速 n_0 取决于电流频率 f_1 和磁场的极数 p 。对某一异步电动机而言， f_1 和 p 通常是一定的，所以磁场转速 n_0 是个常数。

在我国，工频 $f_1=50\text{ Hz}$ ，因此对应于不同极对数 p 的旋转磁场转速 n_0 见表 1-1。

表 1-1 对应于不同极对数 p 的旋转磁场转速

p	1	2	3	4	5	6
n_0	3 000	1 500	1 000	750	600	500

4) 旋转磁场的旋转方向

交流电动机旋转磁场的旋转方向，一般与接入定子绕组的电流相序有关。若想改变旋转磁场的方向，只要改变通入定子绕组的电流相序，即将三根电源线中的任意两根对调即可。这时，转子的旋转方向也跟着改变。

如图 1-8 和图 1-9 所示，磁场都是按顺时针方向旋转的，这与三相电源通入三相绕组的电流相序 $I_U-I_V-I_W$ （正序电流）是一致的。若要使磁场按逆时针方向旋转，只需改变通入三相绕组中的电流相序，也就是说通入三相绕组的电流相序为 $I_U-I_V-I_W$ 是反（负）序的，即只要把三相绕组的 3 根引出线头任意调换两根后再接电源就可实现，如图 1-10 所示。在图 1-9 中，使 i_V 流入 $W1W2$ 绕组、 i_W 流入 $V1V2$ 绕组、 i_U 仍流入 $U1U2$ 绕组。三相绕组通入反（负）序电流后，所产生的旋转磁场分析如图 1-10 所示。从图中可以明确看到，旋转磁场的旋转方向是逆时针的，与图 1-8 所示的旋转磁场的顺时针方向相反。

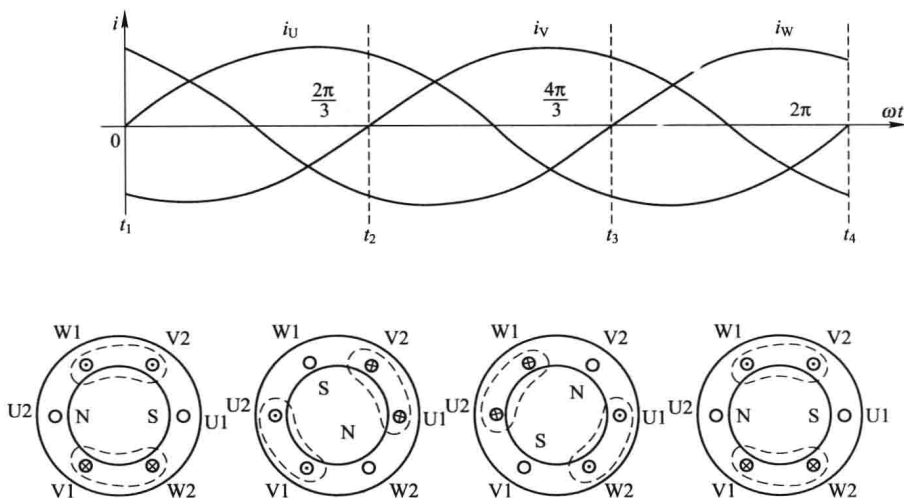


图 1-10 三相绕组通入反（负）序电流时的旋转磁场

5) 转差率

电动机转子转动方向与磁场旋转的方向相同，但转子的转速 n 不可能达到与旋转磁场的转速 n_0 相等，否则转子与旋转磁场之间就没有相对运动，磁力线就不切割转子导体，转子电动势、转子电流及转矩也就都不存在。也就是说，旋转磁场与转子之间存在转速差，因此我们把这种电动机称为异步电动机，又因为这种电动机的转动原理是建立在电磁感应基础上的，故又称为感应电动机。

旋转磁场的转速 n_0 常称为同步转速。

转差率 s ——表示转子转速 n 与旋转磁场的转速 n_0 相差的程度的物理量。即

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{\Delta n}{n_0} \quad (1-2)$$

转差率是异步电动机的一个重要的物理量。

当旋转磁场以同步转速 n_0 开始旋转时，转子则因机械惯性尚未转动，转子的瞬间转速 $n=0$ ，这时转差率 $s=1$ 。转子转动起来之后， $n>0$ ， n_0-n 差值减小，电动机的转差率 $s<1$ 。如果转轴上的阻转矩加大，则转子转速 n 降低，即异步程度加大，才能产生足够大的感应电动势和电流，产生足够大的电磁转矩，这时的转差率 s 增大。反之， s 减小。异步电动机运行时，转速与同步转速一般很接近，转差率很小。在额定工作状态下为 $0.015\sim 0.06$ 。

电动机转速的常用公式为：

$$n = (1-s)n_0 \quad (1-3)$$

【例 1】 有一台三相异步电动机，其额定转速 $n=975 \text{ r/min}$ ，电源频率 $f=50 \text{ Hz}$ ，求电动机的极数和额定负载时的转差率 s 。

【解】 由于电动机的额定转速接近而略小于同步转速，而同步转速对应于不同的极对数有一系列固定的数值。显然，与 975 r/min 最相近的同步转速 $n_0=1000 \text{ r/min}$ ，与此相应的磁极对数 $p=3$ 。因此，额定负载时的转差率为：

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100\% = \frac{1\,000 - 975}{1\,000} \times 100\% = 2.5\%$$

3. 三相异步电动机的铭牌数据

1) 三相异步电动机的铭牌

在三相电动机的外壳上, 钉有一块牌子, 叫铭牌。铭牌上注明这台三相电动机的主要技术数据, 是选择、安装、使用和修理 (包括重绕组) 三相电动机的重要依据, 铭牌的主要内容见表 1-2。

表 1-2 三相异步电动机铭牌示例

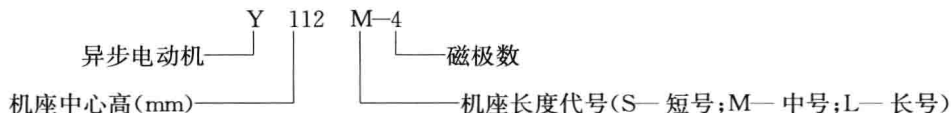
型 号	Y112M-4	额定频率	50 Hz
额定功率	4 kW	绝缘等级	E 级
接法	$\triangle$	温升	60 °C
额定电压	380 V	定额	连续
额定电流	8.6 A	功率因数	0.95
额定转速	1 440 r/min	重量	59 kg

年 月

编号

××电机厂

(1) 型号。



国产中小型三相电动机型号的系列为 Y 系列, 是按国际电工委员会 IEC 标准设计生产的三相异步电动机, 它是以电机中心高度为依据编制型号谱的。中、小型三相异步电动机的机座号与定子铁芯外径及中心高度的关系见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 中型异步三相电动机

mm

机座号	11	12	13	14	15
定子铁芯外径	250	650	740	850	990
中心高度	375	450	500	560	620

表 1-4 小型异步三相电动机

mm

机座号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
定子铁芯外径	120	145	167	210	245	280	327	368	423
中心高度	90	100	112	132	160	180	225	250	280

(2) 额定功率。

额定功率是指在满载运行时三相电动机轴上所输出的额定机械功率, 用 P_N 表示, 以千瓦 (kW) 或瓦 (W) 为单位。

(3) 额定电压。

额定电压是指接到电动机绕组上的线电压, 用 U_N 表示。三相电动机要求所接的电源电压值的变动一般不应超过额定电压的 $\pm 5\%$ 。电压过高, 电动机容易烧毁; 电压过低, 电动

机难以起动,即使起动后电动机也可能带不动负载,容易烧坏。

(4) 额定电流。

额定电流是指三相电动机在额定电源电压下,输出额定功率时,流入定子绕组的线电流,用 I_N 表示,以安(A)为单位。若超过额定电流过载运行,三相电动机就会过热乃至烧毁。

三相异步电动机的额定功率与其他额定数据之间的关系式为:

$$P_N = \sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N \eta_N \quad (1-4)$$

式中, $\cos \varphi_N$ ——额定功率因数;

η_N ——额定效率。

(5) 额定频率。

额定频率是指电动机所接的交流电源每秒钟内周期变化的次数,用 f_N 表示。我国规定标准电源频率为 50 Hz。

(6) 额定转速。

额定转速表示三相电动机在额定工作情况下运行时每分钟的转速,用 n_N 表示,一般是略小于对应的同步转速 n_1 。例如, $n_1 = 1\,500\text{ r/min}$, 则 $n_N = 1\,440\text{ r/min}$ 。

(7) 绝缘等级。

绝缘等级是指三相电动机所采用的绝缘材料的耐热能力,它表明三相电动机允许的最高工作温度,这些级别为: A 级, $105\text{ }^\circ\text{C}$; E 级, $120\text{ }^\circ\text{C}$; F 级, $155\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(8) 定额。

定额是指三相电动机的运转状态,即允许连续使用的时间,分为连续、短时、周期断续三种。

① 连续工作状态:电动机带额定负载运行时,运行时间很长,电动机的温升可以达到稳态温升的工作方式。

② 短时工作状态:电动机带额定负载运行时,运行时间很短,使电动机的温升达不到稳态温升;停机时间很长,使电动机的温升可以降到零的工作方式。

③ 周期断续工作状态:电动机带额定负载运行时,运行时间很短,使电动机的温升达不到稳态温升;停止时间也很短,使电动机的温升降不到零,工作周期小于 10 min 的工作方式。

(9) 接法。

三相电动机定子绕组的连接方法有星形(Y)和三角形(Δ)两种。将三相绕组首端 U_1 、 V_1 、 W_1 接电源,尾端 U_2 、 V_2 、 W_2 连接在一起,叫星形(Y)联结。若将 U_1 接 W_2 、 V_1 接 U_2 、 W_1 接 V_2 ,再将这三个交点接在三相电源上,叫三角形(Δ)联结。

定子绕组的连接只能按规定方法连接,不能任意改变接法,否则会损坏三相电动机。

(10) 防护等级。

防护等级表示三相电动机外壳的防护等级,见表 1-5。其中 IP 是防护等级标志符号,其后面的两位数字分别表示电机防固体和防水能力。数字越大,防护能力越强。例如,IP44 中第一位数字“4”表示电机能防止直径或厚度大于 1 mm 的固体进入电机内壳;第二位数字“4”表示能承受任何方向的溅水。