

交流电机的 使用维护和修理

JIAOLIU DIANJI DE
SHIYONG WEIHU HE XIULI

王占元 王宁 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



交流电机的使用、 维护和修理

王占元 王 宁 编著



机械工业出版社

本书着重介绍了单/三相异步电动机、串励电动机和同步电机等常见各种交流电机的基本原理和结构特点；介绍了它们各自的使用、选型、维护、改造和修理方法。实用性强，阅读后便能快速上手。

本书不仅适合维修电工和电机使用的专业技术人员，也适合广大初学者，还可以作为专业培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

交流电机的使用、维护和修理/王占元，王宁编著.

—北京：机械工业出版社，2010.9

ISBN 978 - 7 - 111 - 31815 - 6

I. ①交… II. ①王…②王… III. ①交流电机 - 使用②交流电机 - 维修 IV. ① TM340.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 175875 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：林春泉 责任编辑：吕 潇

版式设计：霍永明 责任校对：程俊巧

封面设计：路恩中 责任印制：杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 11 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.5 印张 · 432 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 31815 - 6

定价：39.00 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

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

交流电机，包括单相和三相异步电动机、单相串励电动机、同步电动机和同步发电机，以及同步调相机等。

在我国经济建设飞速发展的形势下，随着交流电能的普及使用，各种交流电机在城乡各行业中已成为主要的动力和能源设备：单相和三相异步电动机的使用率约占电力拖动系统的95%以上，各种家用电器、电动工具、办公自动化系统等几乎全部由单相交流电动机来拖动；同步电动机在一些特种机械设备中也在使用；中小型交流发电机也成为了为应急而准备的必要设备。

为了节约设备资源，充分发挥交流电机的作用，按照科学发展观，我们对它必须学会规范地选择和使用、科学地维护和保养以及不断地改造和修复。编写本书就是希望广大维修电工和电机的使用人员从中得到启发和帮助，以实现上述之目的。

本书对各类交流电机分别予以介绍，主要内容包括：

- 1) 从使用角度出发，阐明它们各自的原理特点、结构特点、运行规律及特性，重点是它们的外部特性。
- 2) 介绍发电机的电压稳定和负载调节方法，以及各种电动机如何起动、反转、调速、制动等方面的特点、方法和典型的控制电路。
- 3) 介绍各种交流电机的选型、使用和运行维护等方法，分析电机在运行中常见的故障及处理方法，给出典型的修复、改造等措施。
- 4) 介绍部分特种、专用电机的特点以及既典型又实用的新技术，供读者在实践中参考。

本书的特点是实用性强、通俗易懂、深入浅出、看后即懂、看后即用。本书不仅适合专业电气技术人员参考，也适合广大初学者参考，还可作为专业培训教材。

为了深刻理解交流电机的原理和特性，在此，先将几个基本定律介绍给读者：

- 1) 法拉第电磁感应定律：当导体和磁场发生相对切割运动或者导体线圈包围的磁通发生改变时，导体内均产生感应电动势。
- 2) 毕奥-萨伐尔电磁力定律：载有电流的导体处在磁场中的适当位置时，导体将受到电磁力的作用。
- 3) 能量守恒定律：能量只能从一种形式转换为另一种形式，它既不能被创造也不能被消灭。
- 4) 导体电流产生磁场：载有电流的导体，周围必然伴随着磁场产生。且磁场的强弱和方向随着电流的大小和方向改变而变化。

读者参阅此书时，建议要着重理解各种交流电机的原理本质，熟悉其特点和特性，掌握选型、使用、维护和修复的方法，懂得或学会改造电机的先进技术。这样才能为解决实际问题打下良好的基础。

本书在编写过程中参考了部分同行老师的书籍和其他相关资料，对我们写书有很多的帮助和启发，借此机会特向这些老师表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不当之处，恳切希望同行及广大读者指正。

编 者

2010 年 10 月

目 录

前言

第一章 三相异步电动机概述	1
第一节 三相异步电动机的原理和特点	1
第二节 三相异步电动机的结构特点和分类	3
第三节 三相异步电动机的主要电磁关系和特性	8
第四节 三相异步电动机的铭牌及技术数据	12
第五节 影响电动机运行的因素及运行要求	18
第二章 三相异步电动机的选型和使用	22
第一节 三相异步电动机的选型和安装检查	22
第二节 三相异步电动机的直接全压起动和反转	28
第三节 三相异步电动机的减压起动	33
第四节 三相绕线转子异步电动机的起动	39
第五节 专用起动异步电动机	42
第六节 三相异步电动机的调速	45
第七节 专用变速和减速异步电动机	49
第八节 三相异步电动机的制动	56
第九节 专用自制动三相异步电动机	62
第十节 特种结构的三相异步电动机	64
第三章 三相异步电动机的运行维护	69
第一节 三相异步电动机运行中的故障分析	69
第二节 三相异步电动机的维护	73
第三节 三相异步电动机运行中的自动保护措施	75
第四章 三相异步电动机的绕组及嵌放	79
第一节 定子绕组概述	79
第二节 三相单层定子绕组及嵌放	86
第三节 三相双层定子绕组及嵌放	96

第四节 双速三相异步电动机定子绕组简介	104
第五节 三相异步电动机的转子绕组及嵌放	112
第五章 三相异步电动机的改造和修复	123
第一节 三相异步电动机的改压改造	123
第二节 三相异步电动机的改极计算	129
第三节 三相电容式电动机简介	135
第四节 绕组绝缘电阻偏低的检查和处理	138
第五节 绕组接地故障的检修	140
第六节 绕组短路故障的检修	144
第七节 绕组断路故障的检修	147
第八节 绕组接线错误的检查	148
第九节 绕组导线截面及匝数错误的纠正	151
第十节 铁心和机械零部件的修复	152
第十一节 三相异步电动机转子故障的修复	157
第十二节 三相异步电动机定子的重绕和计算	160
第十三节 绕组的导线及替代计算	168
第十四节 三相异步电动机定子绕组的嵌绕工艺	172
第十五节 三相异步电动机修复后的检查试验	176
第六章 单相交流电动机	179
第一节 单相交流异步电动机概述	179
第二节 单相异步电动机的定子绕组	182
第三节 单相异步电动机的使用要点	192
第四节 单相异步电动机的常见故障排除及改进	199
第五节 单相异步电动机的重绕计算	201
第六节 单相交流串励电动机简介	206
第七章 同步电机	211
第一节 同步电机概述	211

第二节 同步发电机	214	附录 B 三相异步电动机技术数据	242
第三节 同步电动机及调相机	219	B-1 Y 系列 (IP44) 小型三相异步电动机	
第四节 中频发电机及变频器	222	技术数据(380V,50Hz)	242
第五节 微型同步电动机	225	B-2 Y 系列 (IP23) 小型三相异步电动机	
第六节 同步电机的励磁方式	229	技术数据(380V,50Hz)	250
第七节 中小型同步电机运行中常见的		B-3 YR 系列 (IP44) 小型三相异步电	
故障及排除方法	232	动机技术数据(380V,50Hz)	253
第八节 异步电动机的运行同步化	235	B-4 YR 系列 (IP23) 小型三相异步电	
附录	238	动机技术数据(380V,50Hz)	257
附录 A 电机产品代号	238	B-5 YR (IP44) 和 YR (IP23) 电刷、	
A-1 异步电动机产品代号	238	刷握和集电环尺寸	260
A-2 同步电机产品代号	240	附录 C 单相电动机绕组技术数据	261
A-3 驱动微电机产品代号	241	附录 D 电动机重绕修理常用材料	272

第一章 三相异步电动机概述

三相异步电动机又称为感应电动机。它是将三相交流电能转换为机械能输出的一种动力设备。在交流电机中，它被应用的最多。虽然这种电动机简单耐用，但是维修量仍然很大，因此使用和维护人员首先要清楚和掌握它的基本情况和特点，才能为正确地选型使用和修理打下基础。

本章介绍的内容有三相异步电动机的原理和结构特点；三相异步电动机的主要电磁关系和运行特性；三相异步电动机正常工作的条件；三相异步电动机的分类、主要技术数据的含义和作用等基本情况。

第一节 三相异步电动机的原理和特点

三相异步电动机的旋转主要是靠电和磁相互转换和相互作用而实现的。

一、三相异步电动机的旋转原理

现以两极三相异步电动机为例说明。三相异步电动机的结构是由定子和转子两大部分组成的，其原理如图 1-1 所示。

定子是固定不动的，它上面的三相定子绕组 U_1U_2 ； V_1V_2 ； W_1W_2 被施加三相交流电压后，三相定子绕组内就会有三相正弦交流电流通过。电流的表达式为

$$\left. \begin{aligned} i_U &= \sqrt{2}I \sin \omega t \\ i_N &= \sqrt{2}I \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W &= \sqrt{2}I \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

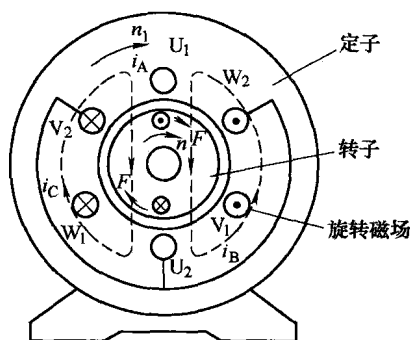


图 1-1 三相异步电动机原理图

这时，三相电流即产生磁场，三相电流的变化波形及形成的磁场如图 1-2 所示。合成的磁场具有固定的极数（本例中极数为 2），并且沿电动机内圆周方向以一定的速度 n_1 做不停的旋转，通常称之为旋转磁场。这个旋转磁场和转子上的绕组导体发生相对切割运动，使已经短接的转子绕组产生感应电动势及感应电流。转子上的这些载流导体与旋转磁场相互作用产生电磁力 F ，这个力对转子轴形成了电磁转矩 T ，驱使转子沿着旋转磁场转动的方向旋转起来。这就是三相异步电动机的基本旋转原理。

二、旋转磁场形成的条件和特点

电动机的定子固定不动，而内部产生的磁场却是旋转的，它必须具备两个必要条件：

1) 定子内圆的槽中必须嵌放三相对称的定子绕组。所谓三相对称的定子绕组，就是三相绕组的尺寸、形状、匝数完全相同，并在定子圆周上的空间位置各相要互差 120° 的电度

角[⊙]。这个条件在制造或修理电动机中，嵌放三相绕组的时候必须得到保证。

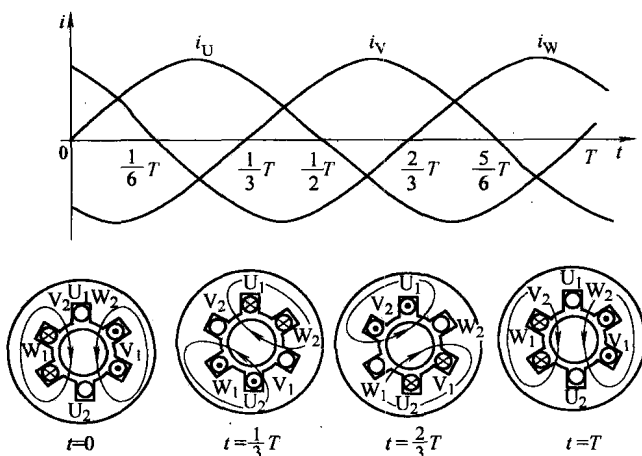


图 1-2 三相电流的变化波形及形成的磁场

2) 定子绕组内必须有三相对称的正弦交流电流通过 (见图 1-2)，这个条件，在使用电动机时必须予以保证。即电动机三相定子绕组接好线后，在其端部要施加一个三相对称的正弦交流电压。

三相异步电动机内形成的旋转磁场有 3 个主要特点：

1) 旋转磁场磁极数 $2p$ (p 为磁极对数) 的多少由定子三相绕组的结构来决定，在绕组嵌放时予以确定 (后文中将专门介绍)。

2) 旋转磁场的旋转方向由通入三相绕组的电流相序来确定。例如：上例中定子的三相绕组 U_1U_2 ； V_1V_2 ； W_1W_2 依次分别流入式 1-1 所示的三相交流电流 i_U 、 i_V 、 i_W 时，旋转磁场是顺时针方向旋转，若将它们流入的电流相序改为 i_U 、 i_W 、 i_V 后，形成的旋转磁场则变为逆时针方向旋转。就是说，旋转磁场旋转方向的规律总是从超前相绕组转向滞后相绕组的位置。

3) 旋转磁场的转速 n_1 ，通常又称同步转速，其大小由下式来决定，即

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-2)$$

式中 n_1 ——同步转速 (r/min)；

f_1 ——交流电流的频率 (Hz)；

p ——电动机内形成的磁极对数。

国产异步电动机使用的三相交流电流的频率 $f_1 = 50\text{Hz}$ ，不同极数的电动机，其旋转磁场的同步转速 n_1 见表 1-1。

⊙ 空间电角度是指以电动机内形成每对磁极所占的圆周空间位置为 360° 而划分的圆周空间角度。

表 1-1 三相异步电动机不同极数下的转速 ($f_1 = 50\text{Hz}$)

电动机的极数	2	4	6	8	10	12
磁极对数 p	1	2	3	4	5	6
同步转速 n_1 (r/min)	3000	1500	1000	750	600	500
额定转速 n (r/min)	2880	1440	960	720	580	480

三、异步电动机转子旋转的条件和特点

因为转子是因载流导体和磁场相互作用产生电磁转矩而旋转的，因此转子旋转的基本条件是：

1) 电动机内旋转磁场的形成和存在。否则转子导体上不能产生要求的感应电动势，更谈不上形成载流导体。

2) 转子绕组必须是自行闭合回路。否则导体上只有感应电动势而不会有感应电流。在实际使用绕线转子异步电动机时要特别注意。

此外，当转子沿旋转磁场转动的方向转起来以后，它的转速 n 始终必须低于同步转速 n_1 ，这是转子维持长期稳定运转的必要条件。只有转子转速低于同步转速，两者存在一定转速差时，转子才能有导体切割磁场产生的感应电流，进而产生电磁转矩来维持旋转。异步电动机的名称也由此而得。

三相异步电动机转子旋转的特点有两个：

1) 根据电磁感应定律和电磁力定律，转子旋转的方向一直和旋转磁场旋转的方向一致。

根据这一特点，实践中若要使电动机反转，只要调换三相电源中的任意两相进线，使三相绕组电流相序改变，从而改变旋转磁场的转向，即可达到电动机反转的目的。

2) 转子的转速低于同步转速，即 $n < n_1$ ， $n_1 - n$ 称为转速差。

通常，工程上用转差率 s 表达三相异步电动机的转速。 s 的定义为

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (1-3)$$

s 是一个没有单位的量值。因为对一台三相异步电动机而言，一般它的极数 ($2p$) 和通入它的电源频率 f_1 均是固定的。所以 n_1 是一定的，那么转差率 s 的大小就可以反映出电动机的转速。例如： $n=0$ 时， $s=1$ ； $n=n_1$ 时， $s=0$ ； n 从 0 变化到 n_1 ， s 则由 1 变到 0。转差率 s 是三相异步电动机的一个重要参数。

正常运行的三相异步电动机，转子转速接近于同步转速，因此转差率 s 很小。额定运行时的电动机转差率 s_N 一般为 0.02 ~ 0.06。

第二节 三相异步电动机的结构特点和分类

目前，由于被拖动的机械负载多样化，以及工作环境和场合不同，实际生产和使用的三相异步电动机种类繁多，结构也有差别，但是，组成电动机主要部件的特点、材料及要求还是类同的。本节主要将三相异步电动机的共同结构特点和要求予以介绍，并介绍一下国产三相异步电动机的产品系列和分类情况。

一、三相异步电动机的结构特点和要求

在此，以普通用途的三相异步电动机为例，介绍它们共同的结构特点。

图 1-3 所示为笼型三相异步电动机的结构示意图。

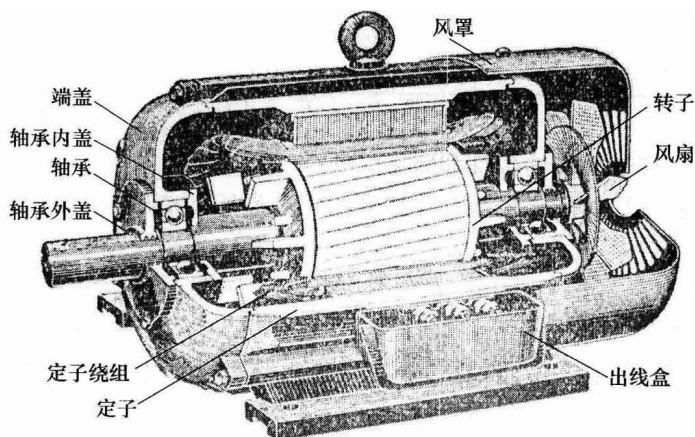


图 1-3 笼型三相异步电动机的结构示意图

图 1-4 所示为绕线型三相异步电动机的结构示意图。

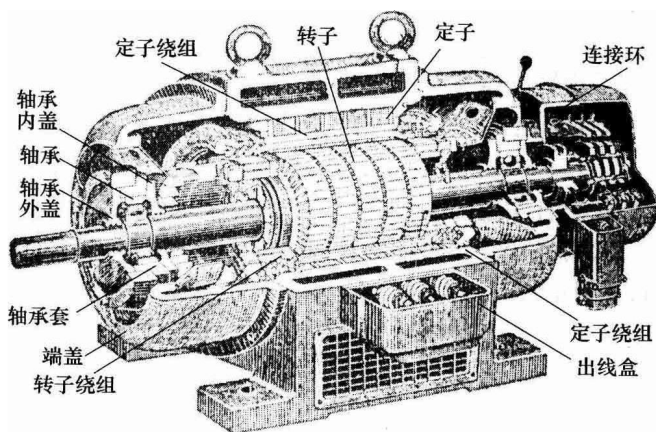


图 1-4 绕线转子三相异步电动机的结构示意图

异步电动机的主要结构部件及特点分述如下。

1. 机座

机座的主要作用是支撑定子铁心，固定端盖，并通过底脚将整台电动机安装固定。对全封闭电动机，机座表面又是主要散热面。机座的主要特点有：

1) 为了承受各种作用力而不变形，它必须有足够的刚度，所以，中小型电动机的机座选用铸铁铸成，大型电动机用钢板焊接而成。

2) 对外界必须有一定的防护能力。一般普通电动机的机座采用开启式、防护式、封闭式等不同的型式，特殊场合的还采用特种防护型式，例如：防爆式，潜水（油）式，防化学腐蚀式等。

3) 有足够的散热能力。例如封闭式机座有散热筋，增加散热面积，防护式机座下面留有通风孔等。

2. 定、转子铁心

电动机的定、转子铁心是旋转磁场的主要通过路径，为了使磁路中的磁场较强且减少损耗，所以铁心的构成有如下特点：

1) 铁心选用厚度为 0.5mm 的电工钢片经冲制成形后叠压而成，中小型电动机通常选含硅量较低的冷轧无取向硅钢片或热轧硅钢片，也可选无硅低碳电工钢片。大型电动机一般选用含硅量较高的冷轧无取向硅钢片或热轧硅钢片。

2) 冲片平整，厚度均匀，无毛刺和锈垢，片间保持一定的压力，不允许松动。

3) 定子铁心和机座之间要过盈配合，转子铁心也要紧固在轴上。

4) 铁心的槽内要光滑整齐，无突出片或其他污垢。

3. 定子绕组

定子绕组是电动机接受交流电能的电路部分，而且它还要产生一个理想的旋转磁场。因此，它用高强度漆包圆形或扁形铜（或铝）线绕制成规定的三相多匝线圈，以一定的方式嵌放在定子铁心槽内（详见第四章）。各相绕组之间，绕组与铁心之间都用绝缘材料隔开。三相绕组的出线端接在接线盒处引出，按一定的接法去接电源。常见的有两种接法：星形接法（Y 联结）和三角形接法（Δ 联结），如图 1-5 所示。

4. 转子绕组

转子绕组是产生感应电流和电磁转矩的重要部件，考虑到提高电动机的性能和工艺上的简单，它分两种结构型式，各有特点。

一种结构型式是笼型绕组。它在铁心的每个槽内只放一根导体，用两个端环分别将所有槽的导体端部短接起来，绕组形如笼子，故称笼型绕组，如图 1-6 所示。中小型普通电动机笼型绕组选用的材料一般为铸铝。

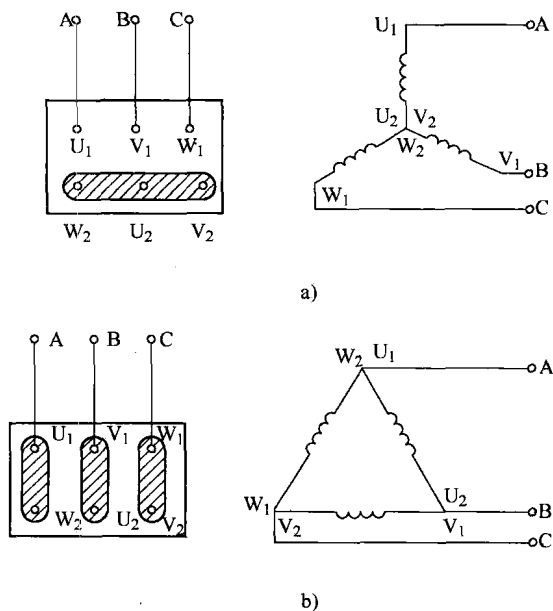


图 1-5 定子绕组出线端的接线方法

a) 星形联结 b) 三角形联结

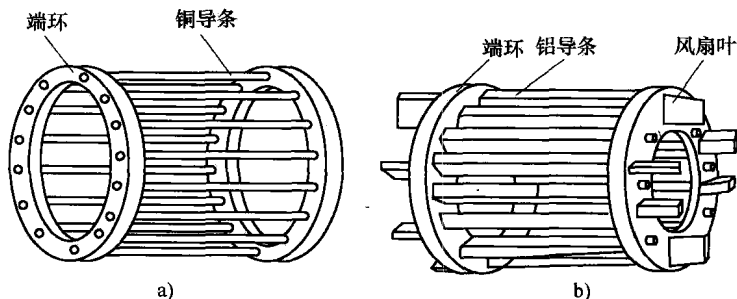


图 1-6 笼型转子绕组

a) 铜笼 b) 铝笼

另一种结构为绕线型。它和定子绕组相似，在转子铁心槽内嵌放三相对称绕组。其出线端一般采用星形接法，三相引出线分别接在轴的3个彼此绝缘的集电环上，再通过电刷引出，串接附加电阻形成回路。如图1-7所示。

5. 电动机的绝缘

电动机的定子以及绕线式转子中都放置必要的绝缘。这些绝缘主要包括绕组的对地绝缘（槽绝缘）、绕组的匝间绝缘、端部的相间绝缘、槽内的层间绝缘以及针对槽楔和绕组的绝缘等。因为这些绝缘是电动机中最薄弱的环节，所以对其不仅要要求具备足够的绝缘强度，而且要有一定的耐热性能，同时还要有一定的机械强度和耐潮性。表1-2为三相异步电动机常用的绝缘电磁线和绝缘材料。

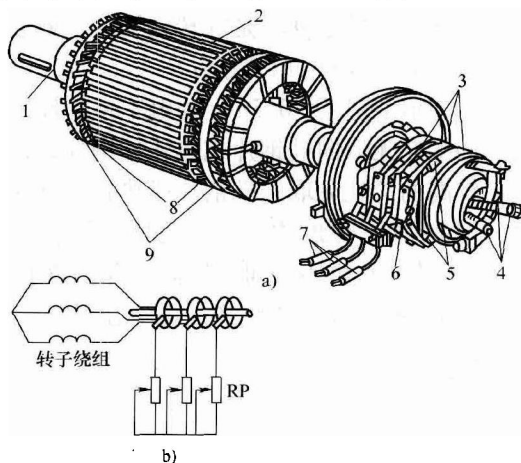


图 1-7 绕线式转子绕组接线示意图

1—转轴 2—转子铁心 3—集电环 4—转子绕组出线头 5—电刷 6—刷架 7—电刷外接线 8—三相转子绕组 9—镀锌钢丝箍

表 1-2 三相异步电动机常用的电磁线和绝缘材料

耐热等级	电磁线 ^①	槽绝缘材料	绕组绝缘材料 ^②	槽楔、垫条接线板等绝缘件	漆管、管套 ^③	绑扎带（转子）	引接线
E	缩醛漆包线 QQ-2, QQB, QQL-2, QQLB	聚酯薄膜绝缘纸复合箔 6520 聚酯薄膜玻璃漆布复合箔 6530	油性玻璃漆布 2412	酚醛层压纸板 3020~3023 竹（经处理） 酚醛塑料 4010, 4013	油性玻璃漆管 2714	聚酯绑扎带	橡皮绝缘丁腈护套引接线 JBQ（500V, 1140V）
B	聚酯漆包线 QZ-2, QZB, QZL-2, QZLB 双玻璃丝包线 SBEC, SBECB, SBELCB 双玻璃丝包聚酯漆包线 QZS-BECB	聚酯薄膜玻璃漆布复合箔 6530 聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔 DMD DMDM	沥青醇酸玻璃漆布 2430, 醇酸玻璃漆布 2432, 环氧玻璃漆布 2433 环氧玻璃粉云母带 5438-1 钛改性环氧玻璃粉云母带 9541-1	酚醛层压玻璃布板 3230 苯胺酚醛层压玻璃布板 3231 酚醛玻璃纤维塑料 4330	醇酸玻璃漆管 2730	聚酯绑扎带	氯磺化聚乙烯橡皮绝缘引接线 JBYH(500V, 1140V, 6000V) 6kV 橡皮绝缘氯丁护套引接线 JBHF
F	聚酯亚胺漆包线 QZY-2, QZYB 双玻璃丝包聚酯亚胺漆包线 QZYSBEFB	聚酯薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔 NMN（或聚酯薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔 SMS, 聚酯薄膜嘧二唑纤维复合箔 OMO）	聚酰亚胺薄膜, 其他材料同 H 级	环氧酚醛层压玻璃布板 3240	同 H 级	环氧绑扎带	乙丙橡胶绝缘引接线 JFEH（6000V 及以下）

(续)

耐热等级	电磁线 ^①	槽绝缘材料	绕包绝缘材料 ^②	槽楔、垫条接线板等绝缘件	漆管、管套 ^③	绑扎带(转子)	引接线
H	聚酰胺酰亚胺漆包线 QXY-2, QXYB 聚酰亚胺漆包线 QY-2, QYB 硅有机漆双玻璃丝包线 SBEG, SBEGB 聚酰亚胺薄膜绕包线	聚酰亚胺薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔 NHN, (或聚酰亚胺薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔 SMS, 聚酯薄膜噁二唑纤维纸复合箔 OMO)	有机硅玻璃漆布 2450 聚酰亚胺玻璃漆布 2560 聚酰亚胺薄膜有机硅玻璃粉云母带 5450-1	有机硅环氧层压玻璃布板 3250 有机硅层压玻璃布板 3251 聚二苯醚层压玻璃布板 聚酰胺酰亚胺层压玻璃布板	有机硅玻璃漆管 2750 硅橡胶玻璃丝管 2751	聚胺-酰亚胺绑扎带	硅橡胶绝缘引接线 JHS (500V) 聚四氟乙烯引接线 (500V)

① 根据需要某些型号可选用自粘性电磁线。

② 漆布、薄膜均包括带状材料，玻璃丝带可用于各耐热等级。

③ 玻璃纤维定纹套管可用于各耐热等级。

6. 定转子之间的气隙

定转子之间的气隙是三相异步电动机结构中的重要组成部分。它是为了保证转子在定子内自由转动而设置的。但是这个气隙不能过大，否则会产生同样大小的旋转磁场，需要的定子励磁电流就会过大，这个电流主要是无功电流，不仅影响电动机的功率输出，也使电动机的功率因数降低。因此，电动机在保证转子运转安全的情况下，气隙应尽量减小。一般气隙长度约为 0.2 ~ 2mm。

二、国产异步电动机的产品系列和分类

鉴于三相异步电动机产量大，品种多，使用广的特点，为了便于生产、选型和维修，我国已实行电动机的标准化、系列化、通用化，形成了统一的系列产品。各种电动机用不同的型号来表示，参看附录 A-1。

国产异步电动机产品共分为三大系列：

1) 产量最多，使用最广的一般普通用途三相异步电动机系列，称为基本系列。例如，原来使用的老产品防护式 J2 系列，封闭式 JO2 系列，高速 JK 系列等，现在已被淘汰，被新产品 Y、YR、YK 等系列产品所替代。近年来，又研制出 YX 及 Y2、Y3 等更新的高效电动机。

2) 为适应拖动系统和环境条件的某些需求，在基本系列的基础上作部分改变而出现的系列产品，称为派生系列。如冶金用起重 YZ 系列，防爆安全型 YA 系列等电动机。

3) 为适应某些机械的特殊要求而设计制造的特殊结构系列电动机，称为专用系列。如井用潜水 YQS 系列电动机，屏蔽式 YP 系列电机等。

在各系列中，根据电动机的大小、防护型式、安装条件、绝缘等级和工作定额等又分若干品种和规格。表 1-3 列出三相异步电动机几种主要的分类方式，以区别各种不同的产品。

表 1-3 三相异步电动机的主要分类

分类方式	类 别		
转子绕组型式	笼型;绕线型		
电动机尺寸	大型	中型	小型
中心高/mm	> 630	355 ~ 630	80 ~ 355
定子铁心外径 D_1 /mm	> 1000	500 ~ 1000	120 ~ 500
防护型式	开启式(IP11),防护式(IP22),(IP23),封闭式(IP44)		
冷却方式	自冷式,自扇冷式,他扇冷式,管道通风式		
安装结构型式	卧式,立式,带底脚,带凸缘		
绝缘等级	E级,B级,F级,H级		
工作定额	连续,断续,短时		

第三节 三相异步电动机的主要电磁关系和特性

本节主要介绍三相异步电动机在运行中电压、电流、电动势、磁通等物理量的相互影响关系,以及它的机械特性。这对后面分析、使用和维修三相异步电动机有着一定的指导意义。

一、电动机运行中的主要电磁关系

理论分析和实践证明,三相异步电动机在运行中有以下主要电磁关系:

1. 定子侧

当在三相定子绕组上施加三相交流电压后,电动机内侧产生 p 对磁极的旋转磁场,用 Φ 表示每极下的磁通量。这个旋转磁场旋转时,对不动的三相定子绕组,也有相对切割运动。这样,定子每相绕组中就产生一个感应电动势——定子相电动势。它和电压、磁通等保持下面的关系

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 K_{w1} N_1 \Phi \quad (1-4)$$

式中 U_1 ——定子每相绕组施加的电压有效值 (V);

E_1 ——定子每相电动势的有效值 (V);

f_1 ——定子相电动势频率 (Hz),与电源频率相同;

Φ ——电动机内每极的磁通量 (Wb);

K_{w1} ——定子绕组系数,与绕组结构有关;

N_1 ——定子每相绕组的串联线圈匝数。

上式告诉我们两点:第一,对已经制成的三相异步电动机,其定子电动势 E_1 和电动机内每极下的磁通 Φ 的大小主要决定于外施电压 U_1 ,若外施电压 U_1 为额定值一定,则电动机内产生的磁通 Φ 基本上不会变化。第二,若电压 U_1 为额定值要求一定,使用时,将频率 f_1 改变,或者修理时将定子绕组的匝数 $K_{w1} N_1$ 改变,则电动机内产生的磁通 Φ 要随之改变。

此外,三相异步电动机空载运行时,它的定子绕组向电网吸取一个电流(每相电流有效值记为 I_0),称其为空载电流。这个电流 I_0 主要作用是建立磁动势 F_0 后而产生旋转磁场

(Φ)。因为 $U_1 = U_N$ 一定, Φ 一定, 那么 F_0 也一定, 而 F_0 的大小由下式确定, 即

$$F_0 = K_1 \frac{N_1 K_{w1}}{p} I_0 \quad (1-5)$$

式中 K_1 ——与定子绕组结构有关的常数。

通常, 三相异步电动机的空载电流 $I_0 = (20\% \sim 50\%) I_{1N}$, 功率小的电动机 I_0 稍有偏大。

2. 转子侧

三相异步电动机运行时, 转子的转速 n 总是低于旋转磁场的转速 n_1 , 旋转磁场是以相对转差速度 $\Delta n = n_1 - n$ 切割转子导体的。故转子产生的感应电动势 E_{2p} , 及其频率 f_2 , 转子电流 I_{2s} 、转子漏磁电抗 x_{2s} 、转子功率因数 $\cos\varphi_2$ 均随 n 或 Δn 的改变而变化。可有下面式子确定:

$$\left. \begin{aligned} f_2 &= f_1 s \\ E_{2s} &= s E_{20} = s \cdot 4.44 f_1 N_2 K_{w2} \Phi \\ X_{2s} &= s X_{20} = s \cdot 2\pi f_1 L_2 \\ I_{2s} &= \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{s E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (s X_{20})^2}} \\ \cos\varphi_2 &= \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (s X_{20})^2}} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

式中 $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$ ——转差率;

E_{20} ——转子不动时 ($n=0$) 的转子感应电动势;

X_{20} ——转子不动时的漏电抗;

L_2 ——转子漏抗电感。

上述转子各量均随其转速而改变, 是三相异步电动机的一个重要特点。

3. 定、转子之间

当三相异步电动机的定子绕组接通电源后, 不仅定子电流产生旋转磁场, 转子绕组内的感应电流也产生了一个旋转磁场。实践证明, 无论转子转速是多少, 这两个磁场的极数、转向和转速完全相同, 它们在电动机内空间位置虽然不同, 但相对静止。电动机内气隙中的磁场实际上是由定、转子两个旋转磁场合成的。

当电动机空载时, $n \approx n_1$, $I_{2p} = 0$, 这时气隙的磁通 Φ 仅由定子空载电流 $\dot{I}_0$ 所建立的空载磁动势 $\dot{F}_0$ 所产生。当电动机在其他情况下运行时, $n < n_1$, $I_{2p} \neq 0$, 这时, 气隙的磁通 Φ 则由定子电流 $\dot{I}_1$ 所建立的定子磁动势 $\dot{F}_1$ 和转子电流 $\dot{I}_2$ 所建立的转子磁动势 $\dot{F}_2$ 共同产生的。前面已谈过, 无论电动机在什么情况下运行, 只要定子电压 U_1 一定, 每极的磁通 Φ 是基本不变的。这样, 则有

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_0 \quad (1-7)$$

式 (1-7) 称为异步电动机的磁动势平衡方程式。它是异步电动机定、转子之间保持平衡的重要电磁关系。

由式 (1-7) 可得:

$$\dot{F}_1 = \dot{F}_0 + (-\dot{F}_2)$$

上式也可理解为,三相异步电动机在额定电压 U_1 一定的情况下运行,由于它每极下的磁通 Φ 要求基本一定,所以定子电流 $\dot{I}_1$ 产生的定子磁动势 $\dot{F}_1$,一部分 $\dot{F}_0$ 用来产生磁通 Φ ,而另一部分 $-\dot{F}_2$ 用来抵消转子磁动势的影响。这样可以进一步得出,虽然电动机内定、转子之间没有直接的电气联系,但是当转子电流变化(比如因转速下降而增加)时,定子电流也必然随之改变(定子电流也要增加)。这点对使用电动机时分析问题提供了方便。

二、三相异步电动机的电磁转矩

三相异步电动机转子上的载流导体和电动机内的磁场相互作用,产生了电磁转矩,用 T 来表示。电磁转矩 T 是电动机能否拖动机械负载正常运行的重要力能指标,故要求电动机的电磁转矩必须足够大。

通过理论推导和实践证明,电动机产生的电磁转矩表达式有下列几种形式。

电磁表达式:

$$T = C_T \Phi I_2 \cos \varphi_2 \quad (1-8)$$

式中 C_T ——电动机结构有关的常数;

Φ ——每极磁通量;

$I_2 \cos \varphi_2$ ——转子电流的有功分量。

参数表达式:

$$T = \frac{K_1}{f_1} \cdot \frac{s R_2 U_1^2}{R_2^2 + (s X_{20})^2} \quad (1-9)$$

式中 K_1 ——电动机结构有关的比例常数;

R_2 ——转子导体电阻;

X_{20} ——转子不动时导体的电抗值;

U_1 ——电源相电压;

f_1 ——电源相电压频率;

s ——转差率。

实用表达式:

$$T = T_{\max} \frac{2}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}} \quad (1-10)$$

式中 $T_{\max}$ ——电动机产生的电磁转矩最大值;

s_m ——产生最大转矩时的转差率(临界转差率);

s ——转差率。

从以上各种形式的电磁转矩表达式看到,影响电动机产生电磁转矩大小的主要因素有电源电压 U_1 的大小 ($T \propto U_1^2$),电动机内每极下的磁通 Φ 的多少,转子电流有功分量 $I_2 \cos \varphi_2$ 的大小等。一台电动机在不同的转速下 (n 不同, s 不同),它产生的电磁转矩也不同。这些在使用三相异步电动机时均要引起注意和重视。

三、三相异步电动机的机械特性

三相异步电动机在其额定电压 U_N 和额定频率 f_N 情况下,它所产生的电磁转矩 T 与其转速 n 的关系,即 $T=f(n)$ 或 $T=f(s)$,称之为机械特性。根据式(1-9)或式(1-10)即可描绘出某台电动机的机械特性曲线,如图(1-8)所示。