

二十一世纪高校规划教材

电机及拖动基础

曾晓泉 欧阳慧平 主编

江西高校出版社

二十一世纪高校规划教材

电机及拖动基础

曾晓泉 欧阳慧平 主编

江西高校出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机及拖动基础/曾晓泉,欧阳慧平主编. —南昌:江西高校出版社, 2011.6

二十一世纪高校规划教材

ISBN 978-7-5493-0290-1

I. ①电... II. ①曾... ②欧... III. ①电机—高等学校—教材 ②电力传动—高等学校—教材 IV. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第123285号

出版发行社	江西高校出版社
社址	江西省南昌市洪都北大道96号
邮政编码	330046
总编室电话	(0791) 8504319
销售电话	(0791) 8511423
网址	www.juacp.com
印刷	北京市德美印刷厂
照排	江西太元科技有限公司照排部
经销	各地新华书店
开本	787mm × 1092mm 1/16
印张	10.75
字数	260千字
版次	2011年6月第1版第1次印刷
印数	1~3000册
书号	ISBN 978-7-5493-0290-1
定价	20.00元

赣版权登字-07-2011-130

版权所有 侵权必究

前 言

根据高等职业教育要“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”的原则,以及高职高专培养生产一线高技能人才及职业培训的要求,我们组织几位长期工作在职业教育一线的教师,按照项目式教学的要求编写了这本书。全书按照“学中做”、“做中学”的教学理念组织教学内容,通过实践加深学生对理论知识的理解与掌握。

全书共分6个项目18个任务,内容包括异步电动机、控制电机、变压器、常用低压电器、电气控制线路基础、传感器技术及应用等。每个项目包括若干个任务,每个任务包含任务目标、任务描述、任务步骤、任务拓展等部分,并附有思考与练习。

本书由江西机电职业技术学院的曾晓泉、江西工业工程职业技术学院欧阳慧平担任主编;江西机电职业技术学院的邓云霄、九江职业技术学院陈静、山西工业职业技术学院的张磊任副主编;参加编写的人员还包括:江西机电职业技术学院的陈国璋、六盘水职业技术学院的李月忠、新疆工学院的满苏尔江。全书由江西机电职业技术学院曾晓泉统稿、李旺达教授审读。

在编写本书的过程中,得到了江西机电职业技术学院电气工程系同仁的大力支持与帮助,在此表示真诚感谢。

在编写本书的过程中,作者参考了多位同行的编著和文献,在此表示由衷感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 异步电动机	1
任务一 三相异步电动机基本特性的测试与应用	1
任务二 三相异步电动机启动的测试与应用	12
任务三 三相异步电动机制动方式的测试与应用	20
任务四 三相异步电动机调速的测试与应用	27
任务五 单相异步电动机的测试与应用	33
项目二 控制电机	43
任务 控制电机的控制和应用	43
项目三 变压器	59
任务 变压器的测试与应用	59
项目四 常用低压电器	76
任务一 接触器的测试与应用	76
任务二 继电器的测试与应用	83
任务三 开关电器的测试与应用	92
任务四 熔断器的测试与应用	97
任务五 主令电器的测试与应用	100
项目五 电气控制线路基础	104
任务一 三相异步电动机启动控制线路的设计与应用	104
任务二 三相异步电动机制动控制线路的设计与应用	110
任务三 三相异步电动机调速控制线路的设计与应用	116
任务四 典型机电设备控制线路的设计与应用	125
项目六 传感器技术及应用	139
任务一 常用传感器技术的测试与应用	139
任务二 传感器技术的综合应用	160
参考文献	168

项目一 异步电动机

任务一 三相异步电动机基本特性的测试与应用

一、任务目标

掌握三相异步电动机的基本工作原理、电磁关系、基本方程式、工作特性,了解三相异步电动机的基本结构、三相交流绕组的旋转磁场和旋转磁动势、三相异步电动机绝缘电阻和定子绕组的直流电阻的测量、定子绕组首尾端的判别及三相异步电动机常见故障的排除。

二、任务描述

异步电动机的优点在于结构简单,制造方便,运行可靠,价格低廉,运行效率高,工作特性好,拖动的负载从空载到满载运行时速度变化较小。但它的启动性能和调速性能不如直流电动机。另外,异步电动机工作时是吸取电网能量建立旋转磁场的,这种能是感性无功功率,因此使电网的功率因数减低。不过随着电子技术及交流变频调速系统的发展,调速性能、启动性能等均已得到了较大的提高。

1. 三相异步电动机的基本结构

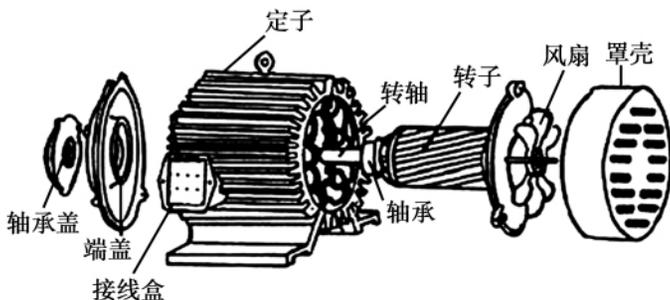


图 1-1 三相异步电动机的分解图

三相异步电动机的种类很多,若按转子绕组结构分类有:笼型异步电动机和绕线转子异步电动机两类。笼型转子结构简单、制造方便、成本低、运行可靠;绕线转子可通过外串电阻来改善启动性能并能进行调速。若按机壳的防护形式分类有:防护式、开启式、封闭式等。各类三相异步电动机的基本结构是相同的。它们都是由定子和转子两大基本部分组成,转子装在定子腔内,定子和转子之间有一缝隙,称为气隙。三相异步电动机的分解图如图 1-1 所示。

(1) 定子(静止部分)

三相异步电动机的定子主要由定子铁芯、定子绕组和机座等组成。

定子铁芯的作用是作为电机磁路的一部分,并在其上放置定子绕组。为了导磁性能良好和减少交变磁场在铁芯损耗,故采用片间绝缘的 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成。

定子绕组是电动机的电路部分,通入三相交流电,产生旋转磁场,并感应电动势以实现机电能量转换。三相定子绕组的每相由许多线圈按一定的规律嵌放在铁芯槽内,它可以是单层的,也可以是双层绕组。三相绕组的六个出线端都引至接线盒上,首端分别为 U_1 、 V_1 、 W_1 ,尾端分别为 U_2 、 V_2 、 W_2 。为了接线方便,这六个出线端在接线板上的排列如图 1-2 所示,根据需要可联成星形或三角形。

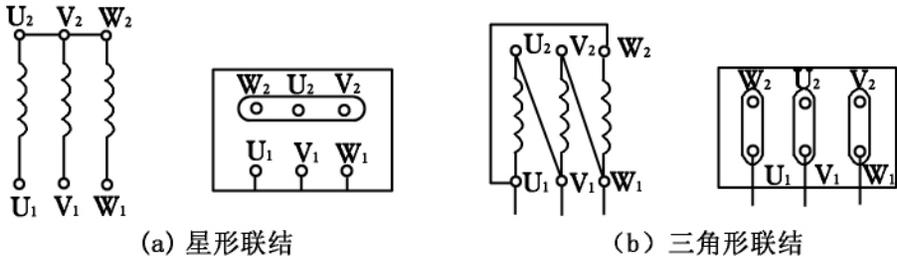


图 1-2 定子绕组的联结

机座是电动机机械结构的组成部分,主要作用是固定和支撑定子铁芯,同时还要固定端盖。在中小型电动机中,端盖兼有轴承座的作用,机座还要支撑电动机的转子部分,故机座要有足够的机械强度和刚度。中小型电动机一般采用铸铁机座,而大容量的异步电动机采用钢板焊接机座。对于封闭式中小型异步电动机其机座表面有散热筋片以增加散热面积,使紧贴在机座内壁上的定子铁芯中的定子铁耗和铜耗产生的热量,通过机座表面迅速散发到周围空气中,而不致使电动机过热。对于大型的异步电动机,机座内壁与定子铁芯之间隔开一定距离而作为冷却空气的通道,因而不需散热筋。

(2) 转子(旋转部分)

转子是电动机的旋转部分,包括转子铁芯、转子绕组和转轴等部件。

转子铁芯的作用:电机磁路的一部分,并放置转子绕组。一般用 0.5mm 厚的硅钢片冲制、叠压而成,硅钢片外圆冲有均匀分布的孔,用来安置转子绕组。

转子绕组的作用是切割定子旋转磁场产生感应电动势及电流,并形成电磁转矩而使电动机旋转。根据构造的不同分为鼠笼式转子和绕线式转子。

鼠笼式转子:若去掉转子铁芯,整个绕组的外形像一个鼠笼,故称笼型绕组。小型笼型电动机采用铸铝转子绕组,对于 100kW 以上的电动机采用铜条和铜端环焊接而成。如图 1-3 所示。

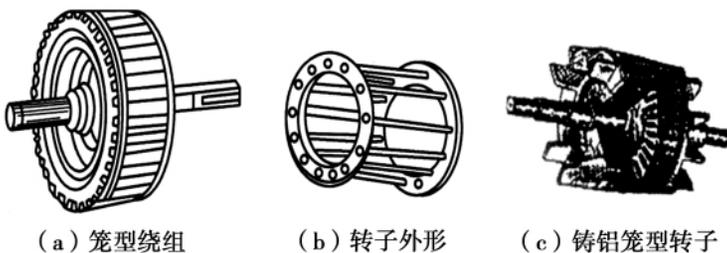


图 1-3 笼型转子

绕线式转子:绕线转子绕组与定子绕组相似,也是一个对称的三相绕组,一般接成星形,三个出线头接到转轴的三个集电环(滑环)上,再通过电刷与外电路联接,如图 1-4 所示。

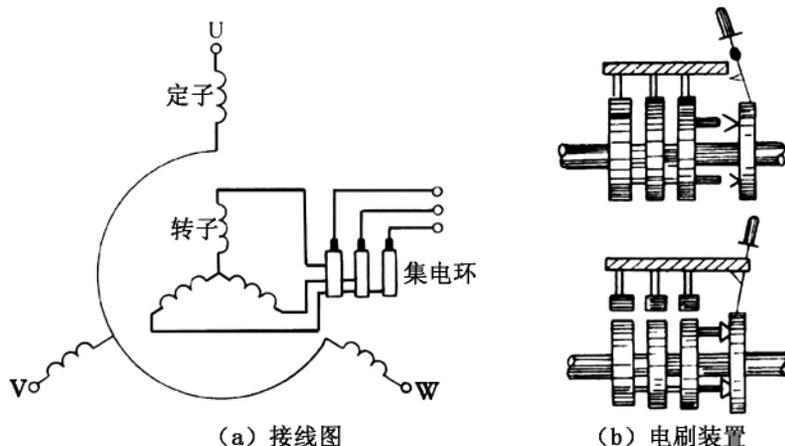


图 1-4 绕线式转子异步电动机的转子接线示意图

转轴的作用以传递转矩及支撑转子的重量,一般由中碳钢或合金钢制成。

(3) 气隙

三相异步电动机的定子与转子之间的气隙,比同容量直流电动机的气隙要小得多,一般仅为 $0.2 \sim 1.5\text{mm}$ 。气隙的大小对三相异步电动机的性能影响极大。气隙大,则磁阻大,由电网提供的励磁电流(滞后的无功电流)大,使电动机运行时的功率因数降低。但是气隙过小时,将使装配困难,运行不可靠;高次谐波磁场增强,从而使附加损耗增加以及使启动性能变差。

2. 三相异步电动机的铭牌

每一台三相异步电动机,在其机座上都有一块铭牌,铭牌上标注有型号、额定值等。如图 1-5 所示。

三相异步电动机					
型号	Y90L-4	电压	380V	接法	Y
容量	1.5kW	电流	3.7A	工作方式	连续
转速	1400r/min	功率因数	0.79	温升	90℃
频率	50Hz	绝缘等级	B	出厂年月	×年×月
×××电机厂		产品编号		重量	kg

图 1-5 三相异步电动机铭牌

(1) 型号

异步电动机型号的表示方法,与其他电动机一样:一般采用汉语拼音的大写字母和阿拉伯数字组成,可以表示电动机的种类、规格和用途等。其中汉语拼音字母是根据电动机的相关名称选择有代表意义的汉字,再用该汉字的第一个拼音字母表示,如异步电动机用“Y”表示;当然型号中也有用英文字母表示的,如 S、M、L 分别表示短、中、长机座。如图 1-6 所示。

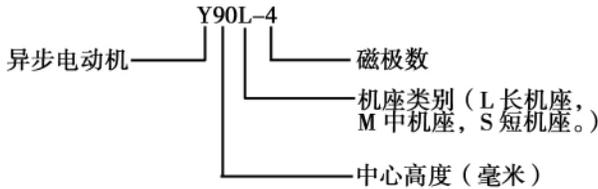


图 1-6

(2) 额定值

①额定功率 P_N : 指电动机在额定状态下运行时电动机轴上输出的机械功率,单位为千瓦(kW)。

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

上式中: U_N 、 I_N 、 η_N 、 $\cos \varphi_N$ 分别为电动机额定的线电压、线电流、效率、功率因数。

根据电动机的额定功率 P_N , 可求出电动机的额定转矩 T_N

$$T_N = 9.55 \frac{P_N}{n_N} \quad (1-2)$$

$$T_{\max} = \lambda_m T_N = 9.55 \lambda_m P_N / n_N \quad (1-3)$$

电磁转矩实用表达式

$$T = \frac{2T_{\max}}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}} \quad (1-4)$$

上式中: s_m 为临界转差率; λ_m 为最大转矩倍数, 一般 Y 系列的三相异步电动机的 $\lambda_m = (2.0 \sim 2.2)$ 。

②额定电压 U_N : 指电动机在额定运行状态下运行时定子绕组所加的线电压,单位为 V 或 kV。

③额定电流 I_N : 指电动机加额定电压、输出额定功率时,流入定子绕组中的线电流,单位为 A。

④额定转速 n_N : 指电动机在额定运行状态下运行时转子的转速,单位为 r/min。

⑤额定频率 f_N : 表示电动机所接的交流电源的频率,我国电力网的频率(即工频)规定为 50Hz。

⑥额定功率因数 $\cos \varphi_N$: 指电动机在额定运行状态下运行时定子边的功率因数。

例 1-1 一台 Y 型三相异步电动机,它的额定功率 $P_N = 7.5\text{kW}$, 额定效率 $\eta = 87\%$, 功率因数 $\cos \varphi_N = 0.85$, 接在线电压为 380V 的三相电路中,定子绕组三角形联结,求电动机的额定电流 I_N 和相电流 $I_{N\Phi}$ 。

解: 电动机的额定电流

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi_N \eta_N} = \frac{7.5 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.85 \times 0.87} = 15.4 \text{ A}$$

$$I_{N\Phi} = \frac{I_N}{\sqrt{3}} = \frac{15.4}{\sqrt{3}} = 8.89 \text{ A}$$

3. 旋转磁场

三相交流异步电动机是利用旋转磁场来工作的,旋转磁场的产生必须具备以下三个条件:

- (1) 三相交流异步电动机具有匝数相同、材料相同、连接规律相同的三组绕组。
- (2) 三组绕组必须在空间布置上各相轴线互差 120° 电角。
- (3) 三组绕组中通有三相对称的交流电。

在三相交流电动机定子上布置有结构完全相同在空间位置各相差 120° 电角度的三相绕组,分别通入三相交流电,则在定子与转子的空气隙间所产生的合成磁场是沿定子内圆旋转的,故称旋转磁场。通过分析可知,每当交变电流变化一周,两极旋转磁场就在空间转过 360° (即一转),而四极旋转磁场只转过 180° ($1/2$ 转)。由此类推,当旋转磁场具有 p 对磁极时,交变电流每变化一周,其旋转磁场就在空间转过 $1/p$ 转。因此,旋转磁场每分钟的转速 n_1 同定子绕组的电流频率 f_1 及磁极对数 p 之间的关系为

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-5)$$

上式中: n_1 为旋转磁场转速(又称同步转速),转/分; f_1 为三相交流电源的频率,赫; p 为磁极对数。

国产的异步电动机,其定子绕组的电流频率规定为 50Hz 。因此,两极旋转磁场的转速是 3000r/min ,四极旋转磁场的转速是 1500r/min 等等。

旋转磁场的旋转方向决定于通入定子绕组中的三相交流电源的相序。只要任意调换电动机两相绕组所接交流电源的相序,旋转磁场即反转。

4. 三相异步电动机的工作过程和转差率

图 1-7 所示用一个简单的试验观察三相异步电动机的工作原理:当摇动磁铁时,笼型转子跟随转动;如果摇把方向发生改变,笼型转子方向也会发生变化。

故可得出如下结论:旋转磁场可拖动笼型转子转动。

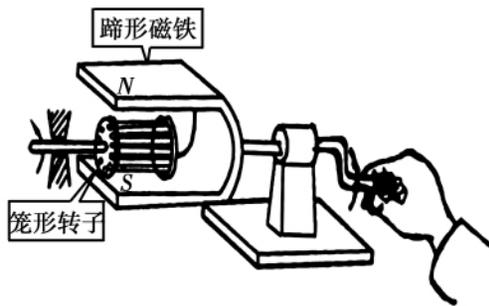


图 1-7 鼠笼型转子随旋转磁极而转动的实验

(1) 当转子转速 $n=0$ 时,转子切割旋转磁场的相对转速 $n_1 - n = n_1$ 为最大,故转子中的感应电动势和电流最大。

(2) 当转子转速 n 增加时,则 $n_1 - n$ 开始下降,故转子中的感应电动势和电流下降。

(3) 当 $n = n_1$, 则 $n_1 - n = 0$, 此时转子导体不切割定子旋转磁场, 转子中就没有感应电动势及电流, 也就不产生转矩。因此转子转速在一般情况下不可能等于旋转磁场的转速, 即转子转速与定子旋转磁场的转速两者的步伐不可能一致, 异步电动机由此而得名。因此 n 和 n_1 的差异是异步电动机能够产生电磁转矩的必要条件, 又由于异步电动机的转子绕组并不直接与电源相接, 而是依靠电磁感应的原理来产生感应电动势和电流, 从而产生电磁转矩使电动机旋转, 又可称之为感应电动机。

转差($n_1 - n$)是异步电动机运行的必要条件。同步转速 n_1 与转子转速 n 之差对同步转速 n_1 之比值称为转差率,用符号 s 表示,即

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (1-6)$$

转差率是异步电动机的一个基本参数,它对电机的运行有着极大的影响。它的大小同样反映转子的转速,即 $n = n_1(1 - s)$ 。

由于异步电动机工作在电动状态时,其转速与同步速方向一致但低于同步速,所以电动状态的转差率 s 的范围是:0~1。其中 $s = 0$,是理想空载状态; $s = 1$,是启动瞬间。

对普通的三相异步电动机,为了使额定运行时的效率较高,一般设计成使它的额定转速略低于对应的同步速,所以额定转差率 s_N 一般为1.5%~5%。

例1-2 有一台三相异步电动机的额定转速 $n_N = 960\text{r/min}$,试求该机的极对数和额定转差率;另一台四极三相异步电动机的额定转速率 $s_N = 0.05$,试求该机的额定转速。

解:因为电动机的额定转速 n_N 低于它的同步速: $n_1 = \frac{60f_1}{p}$,而 $f_1 = 50\text{Hz}$

故不同极对数的同步速分别为:当 $p = 1$ 时, $n_1 = 3000\text{r/min}$; $p = 2$ 时, $n_1 = 1500\text{r/min}$; $p = 3$ 时, $n_1 = 1000\text{r/min}$; $p = 4$ 时, $n_1 = 750\text{r/min}$; $p = 5$ 时, $n_1 = 600\text{r/min}$ ……

所以,额定转速 $n_N = 960\text{r/min}$ 异步电动机所对应的同步速 $n_1 = 1000\text{r/min}$,

因此该三相异步电动机的磁极对数 $p = \frac{60f}{n_1} = \frac{60 \times 50}{1000} = 3$

额定转差率 $s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0.04$

对另一台四极电动机的额定转速率 $s_N = 0.05$ 的电动机:

同步转速 $n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500\text{r/min}$

额定转速 $n_N = n_1(1 - s) = 1500 \times (1 - 0.05) = 1425\text{r/min}$

三、任务步骤

1. 测量三相异步电动机绝缘电阻

测量三相异步电动机各相绕组之间以及各相绕组对机壳之间的绝缘电阻,可判别绕组是否严重受潮或有缺陷。测量方法通常用手摇式兆欧表,额定电压低于500伏的电动机用500伏的兆欧表测量,额定电压在500~3000伏的电动机用1000伏的兆欧表测量,额定电压大于3000伏的电动机用2500伏兆欧表测量。

(1) 选用合适量程的兆欧表。

(2) 测量前要先检查兆欧表是否完好。即在兆欧表未接上被测物之前,摇动手柄使发电机达到额定转速(120转/分),观察指针是否指在标尺的“∞”位置。将接线柱“线”(L)和“地”(E)短接,缓慢摇动手柄,观察指针是否指在标尺的“0”位。如果指针不能指到该指的位置,表明兆欧表有故障,应检修后再用。

(3) 测量三相异步电动机的绝缘电阻。当测量三相异步电动机各相绕组之间的绝缘电阻时,将兆欧表“L”和“E”分别接两绕组的接线端;当测量各相绕组对地的绝缘电阻,将“L”接到绕组上,“E”接机壳。接好线后开始摇动兆欧表手柄,摇动手柄的转速须保持基本恒定

(约 120 转/分), 摇动一分钟后, 待指针稳定下来再读数。

2. 测量三相异步电动机定子绕组室温下的直流电阻

测量定子相绕组室温下的直流电阻, 可用伏安法或电桥法, 电桥法准确度和灵敏度高, 并有直接读数的优点。测量绕组直流电阻的电桥有单臂电桥和双臂电桥两种。用单臂电桥测量直流电阻时, 把连接线电阻和接线柱都包括在被测电阻内, 因此, 当绕组电阻越小时, 测量误差越大, 故一般适用于 1 欧以上的电阻测量。双臂电桥克服了单臂电桥的缺点, 在被测电阻中不包括连接线电阻和接线柱接触电阻, 一般用于测量小于 1 欧的电阻值。

3. 判别三相异步电动机定子绕组的首尾端

(1) 用万用表检查

①判断各相绕组的两个出线端。用万用表电阻挡分清三相绕组各相的两个线头, 并进行假设编号。

②判断首尾端。注视万用表(微安档)指针摆动的方向, 合上开关瞬间, 若指针摆向大于 0 的一边, 则接电池正极的线头与万用表负极所接的线头同为首端或尾端。如指针反向摆动, 则接电池正极的线头与万用表正极所接的线头同为首端或尾端。再将电池和开关接另一相两个线头, 进行测试, 就可正确判别各相的首尾端。

(2) 低压交流电源法

①判断各相绕组的两个出线端。用万用表电阻挡分清三相绕组各相的两个线头, 并进行假设编号。

②把其中任意两相绕组串联后再与电压表或万用表的交流电压挡连接, 第三相绕组与 36V 低压交流电源接通。

③判断首尾端。通电后, 若电压表无读数, 说明连在一起的两个线头同为首端或尾端。电压表有读数, 连在一起的两个线头中一个是首端, 另一个是尾端, 任定一端为已知首端, 同法可定第三相的首尾端。

4. 常见三相异步电动机的故障及排除方法

(1) 通电后电动机不能转动, 但无异响, 也无异味和冒烟。

①故障原因: 电源未通(至少两相未通); 熔丝熔断(至少两相熔断); 过流继电器调得过小; 控制设备接线错误。

②故障排除: 检查电源回路开关, 熔丝、接线盒处是否有断点, 修复; 检查熔丝型号、熔断原因, 换新熔丝; 调节继电器整定值与电动机配合; 改正接线。

(2) 通电后电动机不转, 然后熔丝烧断

①故障原因: 缺一相电源, 或定子线圈一相反接; 定子绕组相间短路; 定子绕组接地; 定子绕组接线错误; 熔丝截面过小; 电源线短路或接地。

②故障排除: 检查刀闸是否有一相未合好, 可能电源回路有一相断线; 消除反接故障; 查出短路点, 予以修复; 消除接地; 查出误接, 予以更正; 更换熔丝; 消除接地点。

(3) 通电后电动机不转有嗡嗡声

①故障原因: 定、转子绕组有断路(一相断线)或电源一相失电; 绕组引出线始末端接错或绕组内部接反; 电源回路接点松动, 接触电阻大; 电动机负载过大或转子卡住; 电源电压过低; 小型电动机装配太紧或轴承内油脂过硬; 轴承卡住。

②故障排除: 查明断点予以修复; 检查绕组极性; 判断绕组末端是否正确; 紧固松动的接

线螺丝,用万用表判断各接头是否假接,予以修复;减载或查出并消除机械故障,检查是否把规定的 Δ 接法误接为Y;是否由于电源导线过细使压降过大,予以纠正;重新装配使之灵活;更换合格油脂;修复轴承。

(4) 电动机启动困难,额定负载时,电动机转速低于额定转速较多

①故障原因:电源电压过低; Δ 接法电机误接为Y;笼型转子开焊或断裂;定转子局部线圈错接、接反;修复电机绕组时增加匝数过多;电机过载。

②故障排除:测量电源电压,设法改善;纠正接法;检查开焊和断点并修复;查出误接处,予以改正;恢复正确匝数;减载。

(5) 电动机空载电流不平衡,三相相差大

①故障原因:重绕时,定子三相绕组匝数不相等;绕组首尾端接错;电源电压不平衡;绕组存在匝间短路、线圈反接等故障。

②故障排除:重新绕制定子绕组;检查并纠正;测量电源电压,设法消除不平衡;消除绕组故障。

(6) 电动机空载,过负载时,电流表指针不稳,摆动。

①故障原因:笼型转子导条开焊或断条;绕线型转子故障(一相断路)或电刷、集电环短路装置接触不良。

②故障排除:查出断条予以修复或更换转子;检查绕转子回路并加以修复。

(7) 电动机空载电流平衡,但数值大

①故障原因:修复时,定子绕组匝数减少过多;电源电压过高;Y接电动机误接为 Δ ;电机装配中,转子装反,使定子铁芯未对齐,有效长度减短;气隙过大或不均匀;大修拆除旧绕组时,使用热拆法不当,使铁芯烧损。

②故障排除:重绕定子绕组,恢复正确匝数;设法恢复额定电压;改接为Y;重新装配;更换新转子或调整气隙;检修铁芯或重新计算绕组,适当增加匝数。

(8) 电动机运行时响声不正常,有异响

①故障原因:转子与定子绝缘纸或槽楔相擦;轴承磨损或油内有砂粒等异物;定、转子铁芯松动;轴承缺油;风道堵塞或风扇擦风罩,定转子铁芯相擦;电源电压过高或不平衡;定子绕组错接或短路。

②故障排除:修剪绝缘,削低槽楔;更换轴承或清洗轴承;检修定、转子铁芯;加油;清理风道;重新安装;消除擦痕,必要时车内小转子;检查并调整电源电压;消除定子绕组故障。

(9) 运行中电动机振动较大

①故障原因:由于磨损轴承间隙过大;气隙不均匀;转子不平衡;转轴弯曲;铁芯变形或松动;联轴器(皮带轮)中心未校正;风扇不平衡;机壳或基础强度不够;电动机地脚螺丝松动;笼型转子开焊断路;绕线转子断路;加定子绕组故障。

②故障排除:检修轴承,必要时更换;调整气隙,使之均匀;校正转子动平衡;校直转轴;校正重叠铁芯,重新校正,使之符合规定;检修风扇,校正平衡,纠正其几何形状;进行加固;紧固地脚螺丝;修复转子绕组;修复定子绕组。

(10) 轴承过热

①故障原因:滑脂过多或过少;油质不好含有杂质;轴承与轴颈或端盖配合不当(过松或过紧);轴承内孔偏心,与轴相擦;电动机端盖或轴承盖未装平;电动机与负载间联轴器未校

正,或皮带过紧;轴承间隙过大或过小;电动机轴弯曲。

②故障排除:按规定加润滑脂(容积的 $1/3 - 2/3$);更换清洁的润滑脂;过松可用黏结剂修复,过紧应车磨轴颈或端盖内孔,使之适合;修理轴承盖,消除擦点;重新装配;重新校正,调整皮带张力;更换新轴承;校正电机轴或更换转子。

(11) 电动机过热甚至冒烟

①故障原因:电源电压过高,使铁芯发热大大增加;电源电压过低,电动机又带额定负载运行,电流过大使绕组发热;修理拆除绕组时,采用热拆法不当,烧伤铁芯;定、转子铁芯相擦;电动机过载或频繁启动;笼型转子断条;电动机缺相,两相运行;重绕后定子绕组浸漆不充分;环境温度高电动机表面污垢多,或通风道堵塞;电动机风扇故障,通风不良;定子绕组故障(相间、匝间短路;定子绕组内部连接错误)。

②故障排除:降低电源电压(如调整供电变压器分接头),若是电机Y、 Δ 接法错误引起,则应改正接法;提高电源电压或换粗供电导线;检修铁芯,排除故障;消除擦点(调整气隙或挫、车转子);减载;按规定次数控制启动;检查并消除转子绕组故障;恢复三相运行;采用二次浸漆及真空浸漆工艺;清洗电动机,改善环境温度,采用降温措施;检查并修复风扇,必要时更换;检修定子绕组,消除故障。

四、任务拓展

1. 三相异步电动机的电磁转矩

三相异步电动机的转矩是由旋转磁场的每极磁通 Φ 与转子电流 I_2 相互作用而生成的。它与每极磁通 Φ 与转子电流 I_2 的乘积成正比,此外,它还与转子电路的功率因素 $\cos\varphi_2$ 有关,整理后可得电磁转矩的物理表达式。

$$T = C_T \Phi I_2' \cos\varphi_2 \quad (1-7)$$

上式中, C_T 为转矩常数。

上式表明三相异步电动机的电磁转矩 T 与主磁通 Φ 成正比,与转子电流 I_2 的有功分量成正比,物理意义非常明显,所以称为电磁转矩物理表达式。它常用来定性分析三相异步电动机的运行问题。

例1-3 为什么三相异步电动机长时间重载运行,电动机易烧毁?

解:电动机烧毁是指绕组过电流严重,绕组的绝缘程度下降,造成绕组短路。由于负载转矩 T 增大,由式(1-7)可知转子电流随着转矩 T 增大而增大,根据磁通势平衡方程式,定子电流也将增加,电动机长时间超过额定值运行就会烧坏绕组。

2. 三相异步电动机的固有机械特性

(1) 固有机械特性

异步电动机在额定电压和额定频率下,用规定的接线方式,定子和转子电路中的不串联任何电阻或电抗时的机械特性称为固有(自然)机械特性。

绘制固有机械特性的步骤:先从产品目录中查取 λ_m 、 P_N 和 n_N ;利用公式算出 T_{max} 和 s_m ,然后分别用 s 值求出与之对应的 T 值,画出 $n = f(T)$ 的曲线,即为异步电动机的固有机械特性。如图1-8所示。

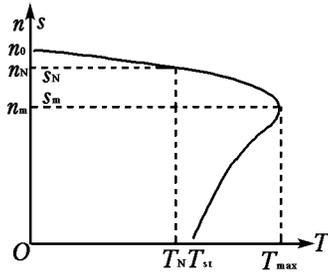


图 1-8 异步电动机的固有机械特性

(2) 三相异步电动机的人为机械特性

异步电动机的机械特性与电动机的参数有关,也与外加电源电压、电源频率有关,将关系式中的参数人为地加以改变而获得的特性称为异步电动机的人为机械特性。

电源电压 U 的变化对理想空载转速 n_0 和临界转差率 s_m 不发生影响,但最大转矩 T_{max} 与 U^2 成正比,当降低定子电压时, n_0 和 s_m 不变,而 T_{max} 大大减小。

在同一转差率情况下,人为特性与固有特性的转矩之比等于电压的平方之比。因此在绘制降低电压的人为特性时,是以固有特性为基础,在不同的 s 处,取固有特性上对应的转矩乘降低电压与额定电压比值的平方,即可作出人为特性曲线:其特点如下:

降压后同步转速 n_1 不变,即不同 U_N 的人为机械特性都通过固有机械特性的同步点。

降压后,最大转矩 T_{max} 随 U_N^2 成正比例下降,但 s_m 或 $n_m = n_1(1 - s_m)$ 不变。

降压后的启动转矩 T_{st} 也随 U_N^2 成正比例下降。如图 1-9 所示。

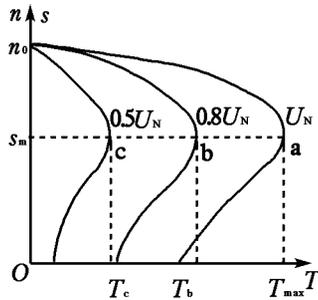


图 1-9 改变电源电压时的人为机械特性

在电动机定子电路中串电阻或电抗后,电动机端电压为电源电压减去定子外串电阻上或电抗上的压降,致使定子绕组相电压降低。人为特性曲线见图 1-10。

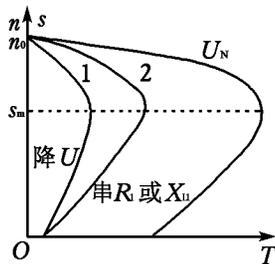


图 1-10 定子电路中外串电阻或电抗时的人为特性曲线

转子回路串对称三相电阻时其特点如下(用于绕线式三相异步电动机):

①同步转速 n_1 不变,即不同 R_2 或 X_{12} 的机械特性都通过固有机械特性的理想空载点。

②转子串电阻后最大转矩 T_{\max} 的大小不变,但临界转差率 $s'_m > s_m$,并随 R_2 或 X_{12} 的增加而增加。

③当 s'_m 增大,而 $s'_m < 1$ 时,启动转矩 T_{st} 随 R_{1s} 的增大而增大;当而 $s'_m > 1$ 时, T_{st} 随 R_2 的增大而减少。

定子回路串对称三相电阻时其特点如下(用于笼型三相异步电动机):

①同步转速 n_1 不变,即不同 R_1 或 X_{L1} 的机械特性都通过固有机械特性的理想空载点。

②定子串电阻后最大转矩 T_{\max} 、差转率 s_m 随 R_1 或 X_{L1} 的增大而减少。

例 1-4 有一台 Y 连接的 $p=2$ 的三相异步电动机,其铭牌和产品目录上的有关数据为: $P_N=55\text{kW}$, $n_N=1470\text{r/min}$, $U_N=380\text{V}$, $I_N=103\text{A}$, $\lambda_m=2.3$ 。求额定转矩 T_N 、最大转矩 T_{\max} 、同步转速 n_1 、额定转差率 s_N 、临界转差率 s_m ,并绘制 $T-s$ 曲线图。

$$\text{解: } T_N = 9.55 \frac{P_N}{n_N} = 9.55 \times \frac{55000}{1470} = 357.3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{\max} = \lambda_m T_N = 2.3 \times 357.3 = 821.8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ r/min}$$

$$s_N = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0.22$$

$$s_m = s_N (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0.22 \times (2.3 + \sqrt{2.3^2 - 1}) = 0.874$$

代入电动机的电磁转矩实用表达式,有

$$T = \frac{2T_{\max}}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}} = \frac{2 \times 821.8}{0.0874 + \frac{s}{0.874}}$$

根据此表达式可绘制 $T-s$ 曲线图,即电动机的固有机械特性图。

五、思考与练习

1. 异步电动机的定子绕组与电源接通后,转子被阻,长时间不能转动,试问对电动机有何危害?如遇到这种情况,应采取什么措施?

2. 三相异步电动机铭牌上规定:额定电压为 380V,三角形接法。如果三相电源的线电压 U_1 为 660V,这时电动机的定子绕组应作何种接法?在这种接法下,问:

- (1) 加在电动机每相绕组上的电压是否相同?
- (2) 电动机每相绕组中通过的电流是否相同? (负载不变)
- (3) 电动机的额定功率是否有变化?
- (4) 电动机的电流是否相同?

3. 三相异步电动机旋转磁场的转速由什么决定?试问频率为 50HZ 时 2、4、6、8、10 极的异步电动机的同步转速各为多少?

4. 试述三相异步电动机的转动原理,并解释“异步”的含意?

5. 异步电动机的转子因有故障已取出修理,如果误在定子绕组上加以额定电压,问将会

产生什么后果?为什么?

6. 异步电动机的额定电压为 380V, 额定电流为 10.4A, 额定功率为 4.5kW, 功率因数为 0.88, 额定转速为 1430r/min, 频率为 50Hz, 求: 额定效率 η_N , 额定转差率 s_N 和定子绕组的磁极对数。

7. 三相异步电动机的额定功率 $P_N = 11\text{kW}$, 额定电压 $U_N = 380\text{V}$, 额定效率 $\eta_N = 0.89$, 额定功率因数 $\cos\varphi_N = 0.82$, 额定转速 $n_N = 1460\text{r/min}$, 频率 $f = 50\text{Hz}$, 定子星形接法, 求: 电动机的额定电流 I_N , 电动机的相电压 $U_{N\Phi}$ 。

任务二 三相异步电动机启动的测试与应用

一、任务目标

掌握三相异步电动机启动特性和三相鼠笼异步电动机的常用启动方法。了解三相异步电动机的启动的特点。

二、任务描述

电动机的启动是指电动机接通电源后,由静止状态加速到稳定运行状态的过程。

在电动机带动生产机械的启动过程中,不同的机械有不同的启动情况。有些机械在启动时负载转矩很小,负载转矩随着转速增加而与转速平方近似成正比增加。例如鼓风机负载,启动时只需克服很小的静摩擦转矩,当转速升高时,风量很快增大;有些机械在启动过程中接近空载,待速度上升至接近稳定时,再加负载,例如机床、破碎机等;有些机械在启动时的负载转矩与正常运行时一样大,例如电梯、起重机械、皮带运输机等;此外,还有频繁启动的机械设备等。以上这些因素都将对电动机的启动性能中的启动转矩提出不同的要求。

衡量三相异步电动机启动性能的好坏的最主要的是启动电流和启动转矩,总是希望在启动电流较小的情况下能获得较大的启动转矩。但是三相异步电动机如不采取措施而直接投入电网启动,即全压启动时,其启动电流很大,而启动转矩却不很大,这对电网或电机自身均是不利的。启动电流大的原因是:当电动机接入电网的启动瞬时由于 $n = 0$, 转子处于静止状态,则旋转磁场与 n_1 切割转子导体,故转子电动势和转子电流达到最大值,因而定子电流即启动电流也达到最大值。此时 $s = 1$, 旋转磁场以最大的相对转速切割转子导线,转子的感应电动势最大,转子电流也最大,而定子绕组中便跟着出现了很大的启动电流 I_{st} , 其值约为额定电流 I_N 的 4~7 倍。过大的启动电流却会使电源内部及供电线上的电压降增大,以致电网的电压下降,因而影响接在同一线路上的其他负载的正常工作。例如,使附近照明灯的亮度减弱,使邻近正在工作的异步电动机的转矩减小等。

启动转矩不大的原因是:第一,由于启动电流很大,定子绕组中的阻抗压降增大,而电源电压不变,根据定子电路的电动势平衡方程式,感应电动势将减小,则主磁通 Φ_1 将与感应电动势成比例的减小;第二,启动时 $s = 1$, 转子漏抗比转子电阻大得多,转子功率因数很低,虽然启动电流大,但转子电流的有功分量并不大。由转矩公式 $T = C_T \Phi_1 I \cos\varphi_2$ 可知,启动转矩并不大。一般 $T_{st} = (1.8 \sim 2) T_N$ 。

根据以上分析可知三相异步电动机启动时的启动电流大主要是对电网不利;启动转矩