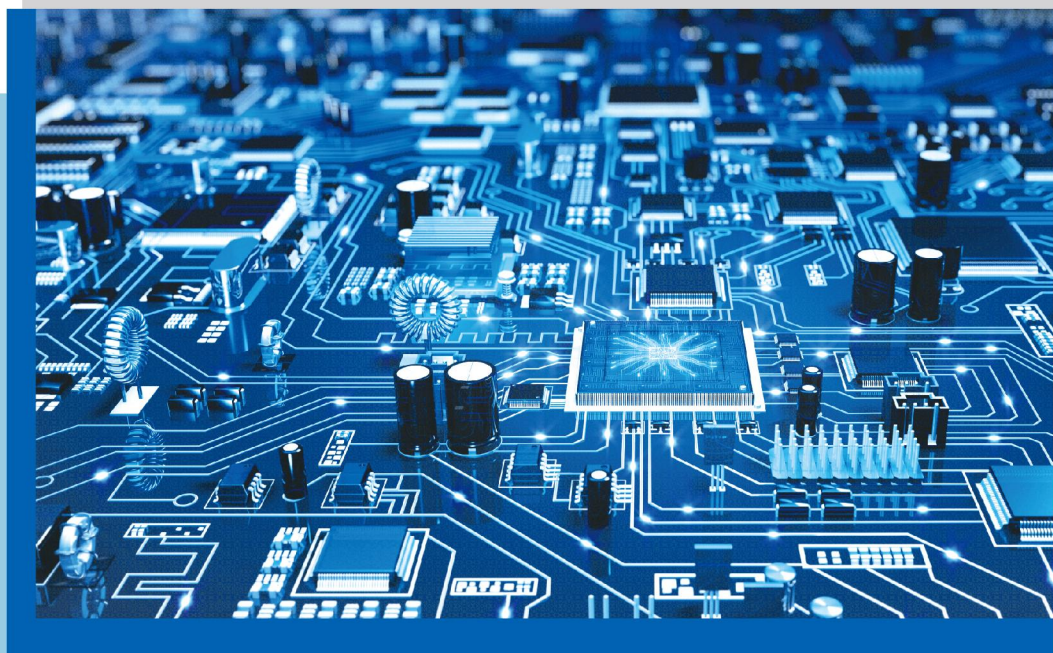




电气控制技术



选题策划：刘子嘉
责任编辑：苏 莉
封面设计：黄燕美



定价：49.80元

「十四五」职业教育河南省规划教材

电气控制技术

主编◎轩建举 张坤平

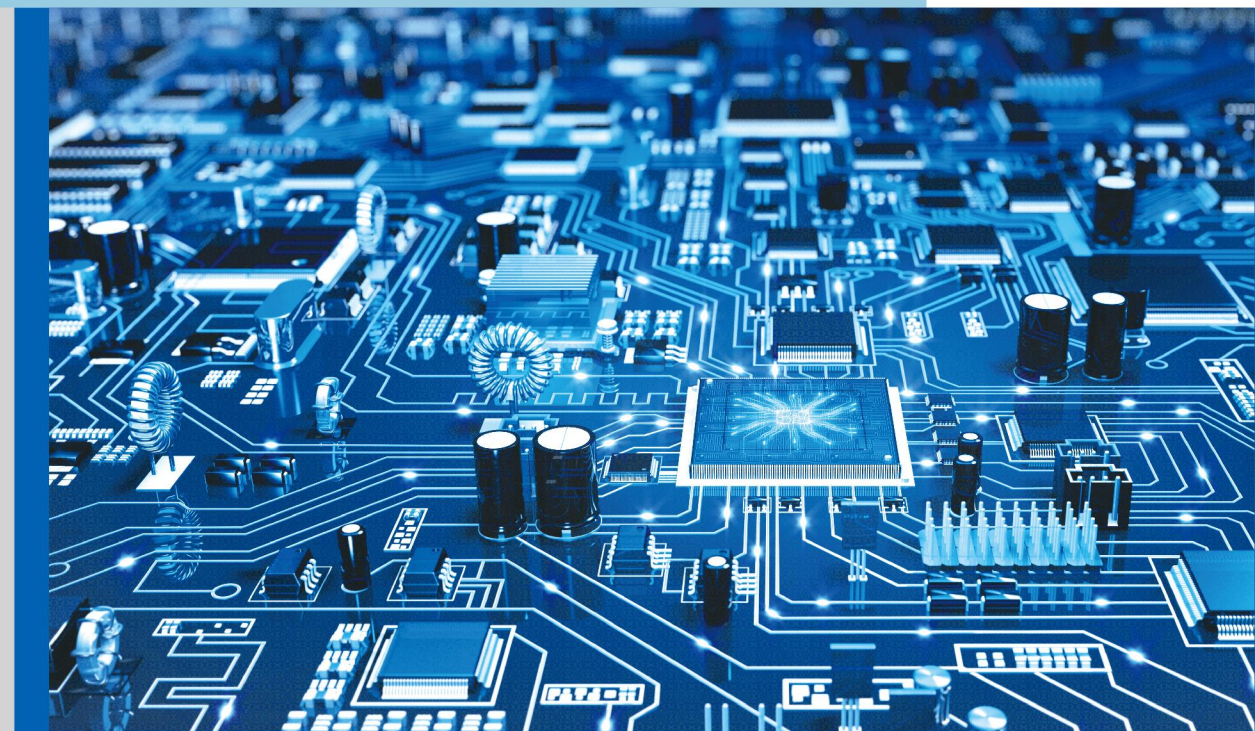
哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



“十四五”职业教育河南省规划教材

电气控制技术

主编◎轩建举 张坤平



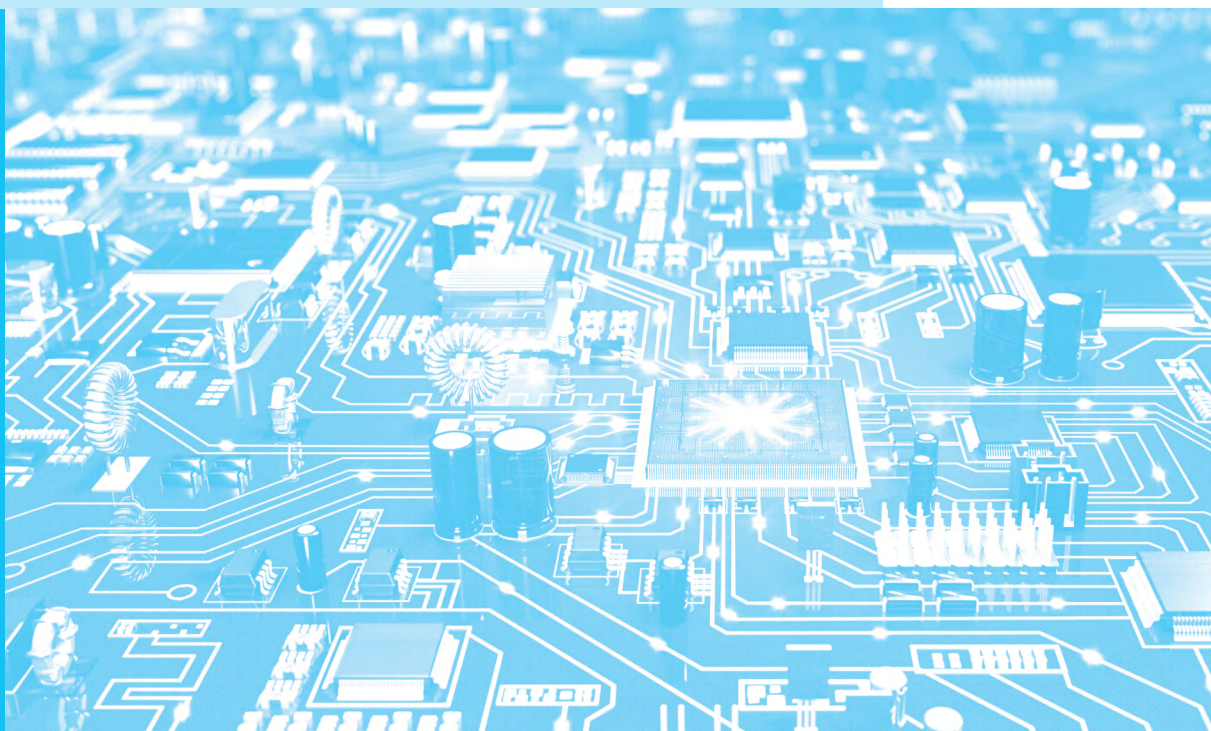
哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



“十四五”职业教育河南省规划教材

电气控制技术

主 编◎轩建举 张坤平
副主编◎张 赛 杜瑞涛 郭泽华



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

内 容 简 介

本书共 4 个项目,内容包括三相异步电动机、电动机基本控制线路、电动机 PLC 控制线路、工业控制常用设备。

本书可作为职业院校电气自动化等相关专业的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术 / 轩建举, 张坤平主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2023. 8

ISBN 978-7-5661-3717-3

I. ①电… II. ①轩… ②张… III. ①电气控制-教
材 IV. ①TM921.5

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 121647 号

电气控制技术

DIANQI KONGZHI JISHU

选题策划 刘子嘉

责任编辑 苏 莉

封面设计 黄燕美

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区南通大街 145 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 三河市骏杰印刷有限公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 15.5
字 数 321 千字
版 次 2023 年 8 月第 1 版
印 次 2023 年 8 月第 1 次印刷
定 价 49.80 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn



前言

PREFACE

本书立足高等职业教育人才培养目标,贯彻落实《国家职业教育改革实施方案》相关要求,遵循主动适应社会发展需要、突出应用性和针对性、加强实践能力培养的原则;内容面向实际应用,突出了加强应用技能、拓宽知识面、理论知识适度,将知识点与能力点紧密结合,注重培养学生的应用能力和解决现场实际问题的能力。

全书以培养高级应用型人才为目标,以技能培养和工程应用能力的培养为出发点,突出“双元”合作开发原则;努力反映新技术、新元件,加强工作中的实操能力;加强控制系统的定性分析,避免繁杂的公式推导,避免不必要的重复。

本书以现代工业设备中的电动机为控制对象,继电器-接触器和可编程控制器为控制、保护元件,组成工业生产的电气控制系统。其中以三相异步电动机拖动和控制为重点,以电气控制基本环节为主线,阐述了常用电气设备的电气控制技术和电气控制系统设计等的基础知识。

本书内容简洁,选材合理,结构严谨,具有如下特点:

(1)面向高职学生的技能水平组织编写内容,内容以“必需、够用”为主,强调实际应用,突出电气控制线路中安装、调试、故障维修实践操作,给学生一定的学习空间,以培养学生的自学能力。

(2)内容叙述简明扼要,深入浅出,富于启发性、实用性。

(3)内容叙述结合形象的图片,通俗易懂。

(4)“教、学、做”一体、专业与实践等级考证同行,全力推动“1+X”制度的实施。

(5)本书配备有微课、课件,与教材同步,学生扫描二维码即可实现随时随地学习。

本书计划讲授 60~90 学时,由于各学校培养方案和实训室设备不同,对学生的知识和能力的要求不同,各学校可根据教学要求做相应调整,有些项目和任务可通过自学、参观、实习或课程设计完成。

本书由许昌电气职业学院轩建举和张坤平任主编,负责全书统稿;由许昌电气职业学院张赛、杜瑞涛、郭泽华任副主编。具体编写分工如下:项目一由张赛、杜瑞涛编写,项目二由郭泽华、张坤平编写,项目三由夏德印、罗帅编写,项目四由



轩建举、张坤平编写。全书由张赛担任主审。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正,不胜感谢。

编 者



目录

CONTENTS

项目一 三相异步电动机	1
任务一 三相异步电动机的选择与使用	1
任务描述	1
任务目标	1
相关知识	1
一、三相异步电动机的基本结构	1
二、三相异步电动机的工作原理	5
三、三相异步电动机的运行	9
四、三相异步电动机的机械特性	11
五、三相异步电动机的铭牌数据	13
六、三相异步电动机的选择	15
任务实施	17
任务二 三相异步电动机的拆装与检修	18
任务描述	18
任务目标	18
相关知识	19
一、三相异步电动机的拆装	19
二、三相异步电动机的定期维修	19
三、电动机故障的检查方法	21
四、三相异步电动机的常见故障及处理方法	22
任务实施	25
项目二 电动机基本控制线路	28
任务一 三相异步电动机全压起动控制线路装接与调试	28
任务描述	28
任务目标	28
相关知识	28
一、电气控制系统图	28
二、相关低压电器	31
三、三相异步电动机的全压起动控制	47
任务实施	55
任务二 三相异步电动机降压起动控制线路装接与调试	56
任务描述	56
任务目标	57
相关知识	57
一、相关低压电气元件	57



二、三相笼型异步电动机降压起动控制	67
三、三相绕线转子异步电动机起动控制	75
任务实施	79
任务三 三相异步电动机正反转控制线路装接与调试	81
任务描述	81
任务目标	81
相关知识	81
一、相关低压电器	81
二、三相异步电动机的正反转控制	86
三、电动机的正反转自动循环控制	90
任务实施	92
任务四 三相异步电动机制动控制线路装接与调试	94
任务描述	94
任务目标	94
相关知识	94
一、机械制动控制	94
二、电气制动控制	95
任务实施	103
任务五 三相异步电动机变速控制线路装接与调试	104
任务描述	104
任务目标	105
相关知识	105
一、变极调速控制	105
二、变转子外串电阻的调速控制	107
三、电磁调速控制	109
任务实施	111
任务六 电气控制系统的保护环节与常见故障的检修	112
任务描述	112
任务目标	112
相关知识	113
一、电气控制系统的保护环节	113
二、电气控制系统的常见故障及原因	115
三、电气故障的检修方法	118
任务实施	122
项目三 电动机 PLC 控制线路	125
任务一 电动机起动、保持、停止 PLC 控制电路调试	125
任务描述	125
任务目标	125
相关知识	125
一、可编程控制器简介	125
二、PLC 的结构	128
三、PLC 的工作过程与工作原理	134
四、PLC 的电源及接线	136



五、梯形图的基础知识	139
六、电动机启动、保持、停止 PLC 控制电路	141
任务实施	143
任务二 电动机正反转 PLC 控制电路的调试	144
任务描述	144
任务目标	144
相关知识	145
一、常用的典型控制环节和基本单元电路	145
二、电动机正反转 PLC 控制电路	152
任务实施	154
任务三 电动机 Y- Δ 降压启动 PLC 控制电路调试	155
任务描述	155
任务目标	155
相关知识	156
任务实施	158
任务四 电动机制动 PLC 控制电路调试	159
任务描述	159
任务目标	159
相关知识	159
任务实施	161
任务五 C650 车床 PLC 控制电路调试	163
任务目标	163
相关知识	163
任务实施	168
任务六 Z3040 钻床 PLC 控制电路调试	169
任务目标	169
相关知识	169
任务实施	174
任务七 T68 镗床 PLC 控制电路调试	175
任务目标	175
相关知识	175
任务实施	181
项目四 工业控制常用设备	184
任务一 变压器的选择与使用	184
任务描述	184
任务目标	184
相关知识	184
一、变压器概述	184
二、变压器的结构	185
三、单相变压器	187
四、变压器的性能参数	190
五、其他变压器	191
六、变压器常见电气故障及分析	194



任务实施	196
任务二 直流电动机的选择与使用	197
任务描述	197
任务目标	198
相关知识	198
一、直流电机的结构	198
二、直流电机的工作原理	204
三、直流电机的分类和铭牌值	205
四、直流电机的电气故障及分析	209
任务三 单相异步电动机的选择与使用	211
任务描述	211
任务目标	211
相关知识	211
一、单相异步电动机的基本结构及工作原理	211
二、单相异步电动机的主要类型	213
三、三相异步电动机改单相运行的方法	216
任务四 伺服电动机的选择与使用	218
任务描述	218
任务目标	218
相关知识	218
一、交流伺服电动机的主要类型及特点	218
二、交流伺服电动机的结构及工作原理	218
三、交流伺服电动机的控制	219
四、交流伺服电动机的特点	220
五、交流伺服电动机的应用	221
任务五 步进电动机的选择与使用	223
任务描述	223
任务目标	223
相关知识	223
一、步进电动机的类型及工作原理	223
二、步进电动机的主要技术参数及特性	225
任务六 变频器的选择与使用	226
任务描述	226
任务目标	226
相关知识	226
一、变频器的工作原理	226
二、变频器的额定参数与选择	230
三、变频器的接线	232
参考文献	240

项目一 三相异步电动机

【知识目标】

- (1)掌握三相异步电动机的基本工作原理、结构、分类；
- (2)掌握三相异步电动机的转差率、额定值、功率与转矩关系；
- (3)掌握三相异步电动机的机械特性曲线、特点和特殊点；
- (4)熟悉电力拖动系统中电动机选择的原则。

【技能目标】

- (1)能够选择三相异步电动机的型号参数并正确使用。
- (2)能够正确拆装三相异步电动机并进行检修。

任务一 三相异步电动机的选择与使用



任务描述

三相异步电动机是交流电动机中的最常见类别,是中小型电机的主导产品。三相异步电动机具有结构简单、运行可靠、维护方便等诸多优势,广泛应用于各行业作为主要机械驱动的动力源,是一种产量大、配套面广的机电产品,有着不可替代的作用。电动机一般以实用、合理、经济、安全为原则,根据拖动机械的需要和工作条件进行选择。



任务目标

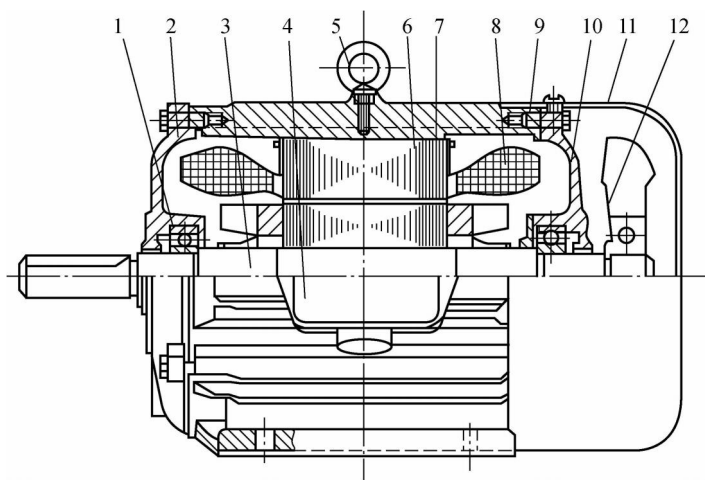
掌握三相异步电动机的基本工作原理、结构、分类及优缺点;能选择合适性能参数的三相异步电动机并正确使用。



相关知识

一、三相异步电动机的基本结构

三相异步电动机的种类很多,而各类三相异步电动机的基本结构是相同的,都有旋转部分(称为转子)和固定不动部分(称为定子),在转子和定子之间有一定的气隙。此外,还有端盖、轴承、接线盒、吊环等其他附件。封闭式笼型异步电动机的结构如图 1-1 所示。



1—轴承；2—前端盖；3—转轴；4—接线盒；5—吊环；6—定子铁心；
7—转子；8—定子绕组；9—机座；10—后端盖；11—风罩；12—风扇。

图 1-1 封闭式笼型异步电动机的结构

1. 转子

三相异步电动机的转子由转子绕组、转子铁芯及转轴等组成。它的作用是带动其他机械设备旋转。

1) 转子绕组

转子绕组是转子的电路部分,用以产生转子电动势和转矩。转子按绕组结构的不同可分为鼠笼型转子和绕线式转子两种(图 1-2)。依据转子结构的不同,三相异步电动机分为鼠笼型异步电动机和绕线式异步电动机。



(a) 鼠笼型转子



(b) 绕线式转子

图 1-2 三相异步电动机转子实物图

(1) 鼠笼型转子绕组。在转子铁芯每个槽内插入等长的裸铜导条,裸铜导条的两端用铜端环焊接而成,形成一个闭合回路。转子绕组的外形如同鼠笼,故称为鼠笼型转子。图 1-3(a)所示为铜条鼠笼型转子绕组示意图,由于铜条转子制造较复杂,且价格高,主要用于功率较大的鼠笼型异步电动机。中小型异步电动机鼠笼型转子槽内一般采用铸铝方法,将导条、端环和风扇叶同时一次性浇注成型,如图 1-3(b)所示。

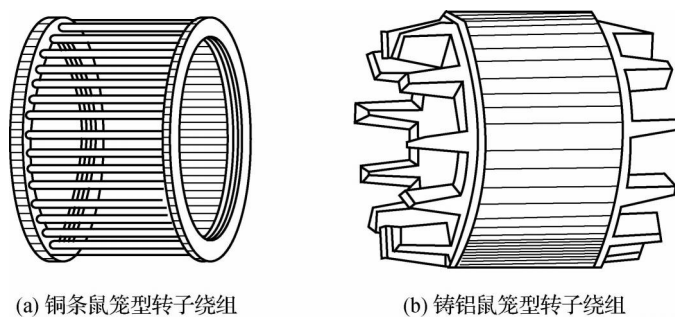


图 1-3 鼠笼型转子绕组

(2) 绕线式转子绕组。绕线式异步电动机的转子绕组采用绝缘漆包铜线绕制成三相绕组嵌入转子铁芯槽内,将它接成 Y 形,其三相首端分别接到固定在转轴上的三个相互绝缘的滑环(称为集电环)上,再经压在滑环上的三组电刷与外电路的电阻相连(图 1-4),三组电阻的另一端也接成 Y 形,通过外串电阻改善电机的起动、调速等性能。

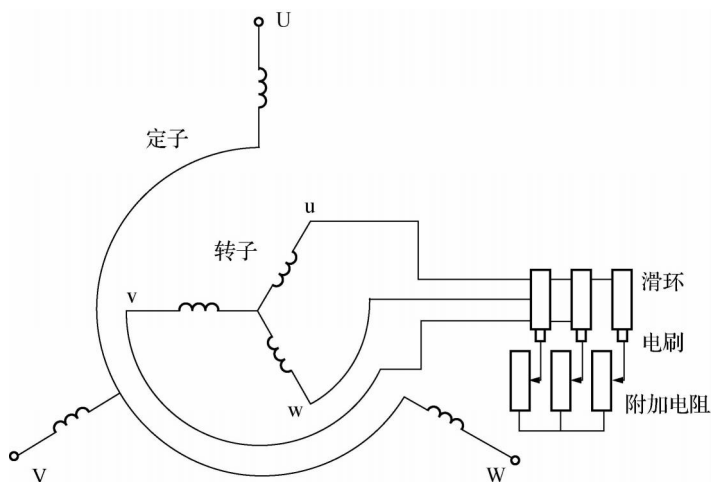


图 1-4 绕线式转子绕组与外加变阻器的连接

2) 转子铁芯

转子铁芯固定在转轴上,是电动机磁路的一部分。在转子铁芯的外圈上均匀地冲有许多槽(图 1-5),用以嵌放转子绕组。转子铁芯用 0.5 mm 的硅钢片叠压而成。



图 1-5 转子冲片实物图

3) 转轴

转轴(图 1-6)是电动机输出机械能的重要部分,一般用中碳钢制成,可以承受很大的转矩。转轴的两端用轴承支撑,固定在机座两端的端盖上。在后端盖外面轴上装有风扇,供轴向通风。



图 1-6 转轴实物图

2. 定子

三相异步电动机的定子指电动机静止不动部分,主要由定子绕组、定子铁芯两部分组成。

1) 定子绕组

定子绕组是电动机的电路部分,常用漆包线在绕线模上绕制而成,按一定规律嵌入定子铁芯槽内。当通入三相交流电时,定子绕组能产生旋转磁场,并与转子绕组相互作用,实现能量转换。它们在空间上彼此相隔 120° 电角度,每相绕组的多个线圈均匀分布嵌放在定子铁芯槽中。定子绕组的 3 个首端 U_1 、 V_1 、 W_1 和 3 个末端 U_2 、 V_2 、 W_2 ,通过外壳上的接线盒连接到三相电源上。图 1-7(a)所示为定子绕组的星形接法,图 1-7(b)所示为定子绕组的三角形接法。三相定子绕组具体应该采用何种接法,应视电力网的线电压和各相绕组的工作电压而定。目前我国生产的三相异步电动机,功率在 4 kW 以下的一般采用星形接法,功率在 4 kW 以上的采用三角形接法。

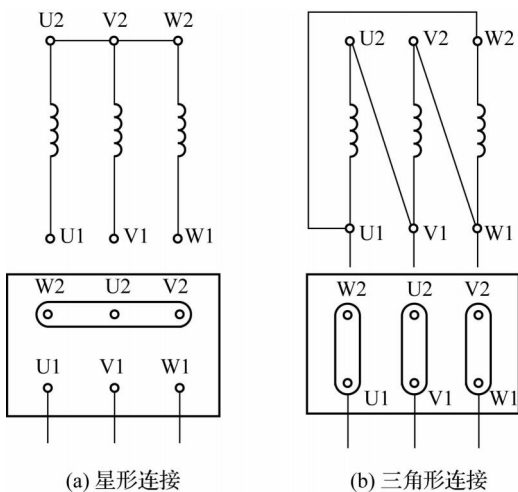


图 1-7 定子绕组的星形连接和三角形连接



2) 定子铁芯

定子铁芯是异步电动机磁路的一部分。定子铁芯常采用 0.5 mm 厚的两面涂有绝缘漆的硅钢片冲片叠压而成,片与片之间相互绝缘,这样可以减少由于涡流造成的能量损失。铁芯内圈上冲有均匀分布的槽,用以嵌放定子绕组。槽的形状由电动机容量、电压及绕组的形状决定。图 1-8 所示为三相异步电动机的定子铁芯及冲片。

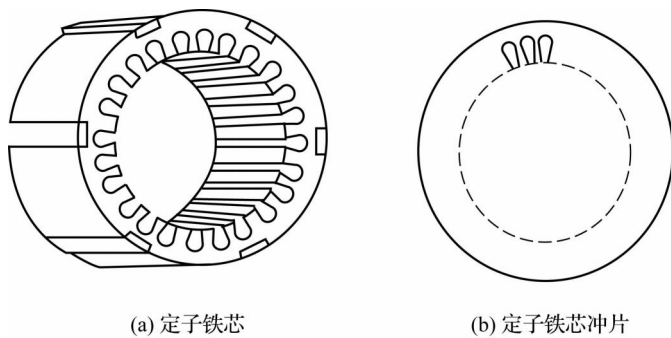


图 1-8 三相异步电动机的定子铁芯及冲片

3. 气隙

气隙指转子与定子之间的空气隙,一般为 0.2~1.5 mm。气隙是电动机磁路的一部分,它是决定电动机运行质量的一个重要因素。气隙太大,电动机运行时的功率因数会降低;气隙太小,电动机装配困难,运行不可靠,高次谐波磁场增强,从而使附加损耗增加,使起动性能变差。

4. 其他

机座通常用铸铁或铸钢浇铸成型,它的作用是保护和固定三相异步电动机的定子绕组。中小型三相异步电动机的机座还有两个端盖支撑着转子,它是三相异步电动机机械结构的重要组成部分。大型三相异步电动机的机座一般采用钢板焊接而成。小型封闭式异步电动机表面有散热筋片,以增加散热面积。

吊环一般是用铸钢制造,安装在机座的上端,用来起吊、搬抬三相异步电动机。

风扇用来通风散热,冷却电动机。风罩起安全防护作用。端盖是支撑转子的,它把定子与转子连成一个整体,使转子能在定子铁芯内膛转动。轴承盖与端盖连在一起,它起轴向固定轴承位置(也就是转子位置)和保护轴承的作用。

二、三相异步电动机的工作原理

三相异步电动机是根据磁场和载流导条的相互作用产生电磁力的原理而制成的。下面具体分析三相异步电动机的工作原理。

1. 旋转磁场的产生

三相异步电动机转子之所以会旋转并实现能量转换,是因为转子气隙内有一个旋转磁场。旋转磁场是一种极性和大小不变,且以一定转速旋转的磁场。理论分析和实践证明,在



对称三相绕组中流过对称三相交流电时会产生这种旋转磁场。三相对称绕组就是三个外形、尺寸、匝数完全相同,首端彼此互隔 120° 、对称地放置到定子槽内的三个独立的绕组,如图 1-9(a)所示。当三相绕组接至三相对称电源时,三相绕组中通入三相对称电流 i_U 、 i_V 、 i_W ,且

$$i_U = I_m \sin \omega t \quad i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad i_W = I_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

设电流的参考方向如图 1-9(b)所示,则其对应的三相对称电流的波形如图 1-10 所示。

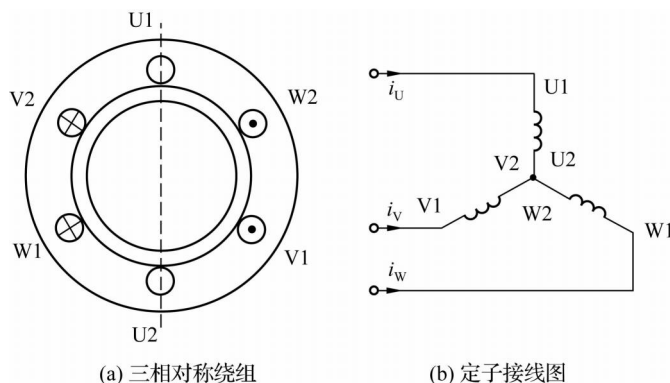


图 1-9 三相对称绕组示意图

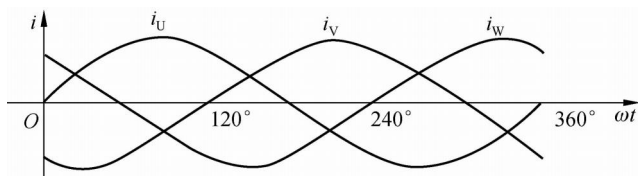


图 1-10 三相对称电流的波形

图 1-11 分别是 ωt 为 0° 、 60° 、 120° 、 240° 时的合成磁场方向。定子线圈的始末端用“○”表示,用“⊗”表示电流的流入,用“⊙”表示电流的流出。

(1) 当 $\omega t = 0^\circ$ 时, $i_U = 0$, i_V 是负的,即实际方向为从 V2 到 V1 端,从 V2 流入,故 V2 用“⊗”表示,从 V1 出,故 V1 用“⊙”表示。同样,此时 i_W 为正的,电流从 W1 端流入,从 W2 端流出,故 W1 用“⊗”表示, W2 用“⊙”表示。根据右手螺旋定则,三相电流在该瞬间所产生的磁场叠加结果,形成一个两极合成磁场(磁极对数 $p=1$),上为 N 极,下为 S 极,如图 1-11(a)所示。

(2) 当 $\omega t = 60^\circ$ 时, i_U 为正,电流从首端 U1 流入,从末端 U2 流出; i_V 为负,电流从末端 V1 流入,从首端 V2 流出; $i_W = 0$ 。其合成的两极磁场方位与 $\omega t = 0^\circ$ 时相比,已按顺时针方向在空间旋转了 60° ,如图 1-11(b)所示。

(3) 当 $\omega t = 120^\circ$ 时, i_U 为正,电流从首端 U1 流入,从末端 U2 流出; $i_V = 0$; i_W 为负,电流从末端 W2 流入,从首端 W1 流出。其合成的两极磁场方位与 $\omega t = 0^\circ$ 时相比,已按顺时针方向在空间旋转了 120° ,如图 1-11(c)所示。

(4) 当 $\omega t = 240^\circ$ 时, i_U 为负,电流从首端 U2 流入,从末端 U1 流出; i_V 为正,电流从首端 V1 流入,从末端 V2 流出; $i_W = 0$ 。其合成的两极磁场方位与 $\omega t = 0^\circ$ 时相比,已按顺时针方向在空间旋转了 240° ,如图 1-11(d)所示。

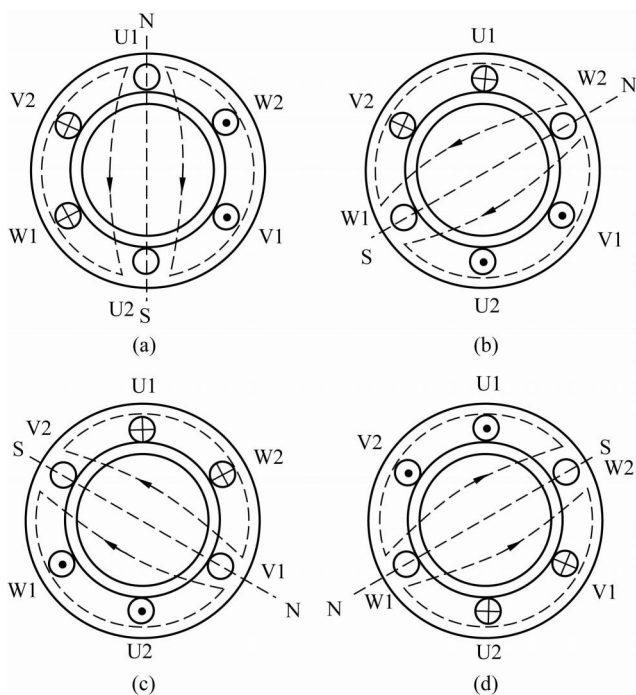


图 1-11 三相电流产生的旋转磁场

综上所述可以看出,当定子绕组中通入三相电流后,它们共同产生的合成磁场随电流的交变而在空间不断旋转着,这就是旋转磁场。这个旋转磁场与磁极在空间旋转所起的作用是相同的。

2. 旋转磁场的转向

三相异步电动机转子的转动方向与磁场的旋转方向是一致的,要使电动机反转,必须改变磁场的旋转方向。在三相交流电中,电流出现正幅值的顺序为 $U-V-W$,因此磁场的旋转方向与这个顺序一致,即磁场的转向与通入绕组的三相电流的相序有关。如果将同三相电源连接的三根导线中任意两根的一端对调位置,如对调了 W 相和 V 相,则旋转磁场反转,电动机也随着改变转动方向。

3. 旋转磁场的极数

三相异步电动机的极数就是旋转磁场的极数。若定子绕组中每相绕组只有一个线圈,绕组的始端之间相差 120° ,则产生的旋转磁场具有一对磁极,即磁极对数 $p=1$ 。若定子绕组中每相绕组由两个线圈串联而成,则绕组的始端之间相差 60° ,产生的旋转磁场具有两对磁极,即磁极对数 $p=2$ 。同理,要产生三对磁极,则定子绕组的每相绕组应由三个线圈串联而成,且始端之间相差 40° 。例如,将定子绕组安排得如图 1-12 所示,即每相绕组有两个线圈串联,绕组的始端之间相差 60° ,则产生的旋转磁场具有两对磁极,即 $p=2$,如图 1-13 所示。

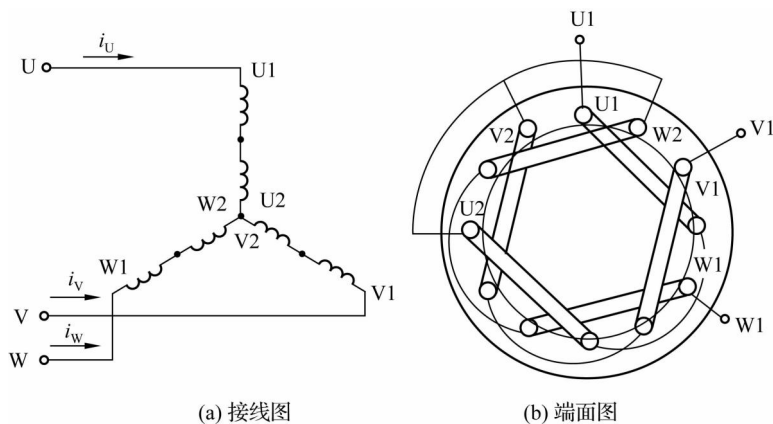


图 1-12 产生四极旋转磁场的定子绕组

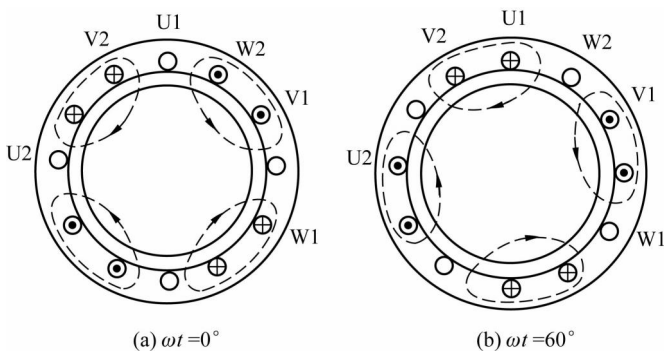


图 1-13 四极旋转磁场

4. 旋转磁场的转速

三相异步电动机的转速与旋转磁场的转速有关,而旋转磁场的转速取决于旋转磁场的极数。可以证明在磁极对数 $p=1$ 的情况下,三相定子电流变化一个周期,所产生的合成旋转磁场在空间亦旋转一周。当电源频率为 f 时,对应的旋转磁场转速 $n_0=60f$ 。当电动机的旋转磁场具有 p 对磁极时,合成旋转磁场的转速为 $n_0=60f/p$ 。式中, n_0 称为同步转速即旋转磁场的转速,单位为 r/min(转/分)。我国电网电源频率 $f=50\text{ Hz}$,故当电动机磁极对数 p 分别为 1、2、3、4 时,相应的同步转速 n_0 为 3 000 r/min、1 500 r/min、1 000 r/min、750 r/min。

5. 三相异步电动机的工作原理

图 1-14 所示为三相异步电动机的工作原理。当定子接通三相电源后,即在定子、转子之间的气隙内建立了同步转速为 n_0 的旋转磁场。磁场旋转将切割转子导条,根据电磁感应定律可知,在转子导体中产生感应电动势,其方向可由右手定则确定。当磁场顺时针旋转时,导体相对磁极为逆时针方向切割磁力线。转子上半边导体感应电动势的方向为向外,下半边的感应电动势方向为向内。因转子绕组是闭合的,转子导体中产生电流,电流方向与感应电动势的方向相同。载流导体在磁场中要受到电磁力,其方向由左手定则确定。这样,在转子导体上形成一个顺时针方向的电磁转矩,于是转子随着旋转磁场顺时针方向转动。由



于异步电动机定子和转子之间的能量传递是靠电磁感应作用的,因此异步电动机也称为感应电动机。

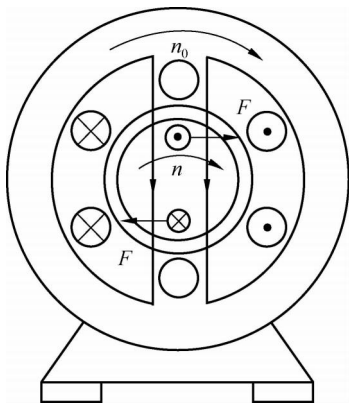


图 1-14 三相异步电动机的工作原理

对于三相异步电动机,转子的旋转方向与旋转磁场的方向相同,但转子的转速要小于旋转磁场的转速,否则旋转磁场与转子之间没有相对运动,转子中就不会有感应电动势、感应电流与电磁转矩,转子也就不可能转动了,这也就是异步电动机名称的由来。

三、三相异步电动机的运行

1. 转差率

由前节分析可知,三相异步电动机转子的转速 n 要小于旋转磁场的同步转速 n_0 。若三相异步电动机带上机械负载,负载转矩越大,则转子的转速 n 与同步转速 n_0 的差距就越大。在分析中,用“转差率”来反映这种异步的程度。 n_0 与 n 之差称为转差,转差是异步电动机运行的必备条件。转差与同步转速的比值称为转差率,通常用 s 表示。即

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

转差率是异步电动机的一个基本参量。一般情况下,异步电动机的转差率变化不大,空载转差率在 0.005 以下,满载转差率为 0.02~0.06。可见,额定运行时,异步电动机的转子转速非常接近同步转速。

【例 1-1】一台三相异步电动机,其额定转速 $n = 1\,465 \text{ r/min}$,电源频率 $f = 50 \text{ Hz}$ 。试求电动机的磁极对数和额定负载下的转差率。

解:根据异步电动机转子转速与旋转磁场同步转速的关系可知 $n_0 = 1\,500 \text{ r/min}$,即 $p=2$,额定转差率为

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1\,500 - 1\,465}{1\,500} = 0.023\,3$$

2. 电磁转矩

电磁转矩是三相异步电动机将输入的电能转换成机械能输出的重要物理量。由三相异





步电动机的转动原理可知,异步电动机的电磁转矩是由转子电流与旋转磁场的每极磁通相互作用而产生的,磁场越强,转子电流越大,电磁转矩也越大。其一般的表达式为

$$T = K_T \cdot \Phi \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (1-2)$$

式中, T 为电动机的电磁转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$; K_T 为与电动机结构有关的常量; Φ 为旋转磁场每极的磁通量, Wb ; I_2 为转子电流的有效值, A ; $\cos \varphi_2$ 为转子电流滞后于转子电动势的相位角, 又称为转子电路的功率因数角。

3. 三相异步电动机的三种运行状态

三相异步电动机转子导体与旋转磁场存在相对运动($n \neq n_0$), 则会在转子绕组中产生感应电动势和感应电流, 从而产生电磁转矩。下面通过转差率的值来说明电动机的运行状态。

1) 电磁制动状态

如图 1-15(a) 所示, 若施加外力, 使电动机的转子逆着旋转磁场的方向转动, 则 $n < 0$, 为负值。此时, 转差率 s 为正值, 且满足 $s > 1$ 。转子电动势 E_2 、电流 I_2 和电磁转矩 T 与电动机的运行状态相同。相对于转子的实际转动方向而言, 电磁转矩属于制动性质, 因此此时的运行状态称为电磁制动状态。从功率关系看, 此时输入的电功率及外力功率都转换为电动机内部的损耗。

2) 电动机运行状态

如图 1-15(b) 所示, 当电动机正常运行时, 旋转磁场的转速大于转子的转速, 此时, 转差率 s 为正值, 且满足 $0 < s < 1$ 。相应地, 转子电动势 E_2 和电流 I_2 均记为正值, 电磁转矩 T 也记为正值(驱动转子运行), 电动机将输入的电功率转换成机械功率输出。

3) 发电机运行状态

如图 1-15(c) 所示, 若施加外力, 使电动机的转子顺着旋转磁场的方向转动, 并且使转子的转速大于同步转速, 即 $n > n_0$ 。此时, 转差率 s 为负值, 转子导体相对切割旋转磁场的方向与电动机状态相比方向反了, 因此, 转子电动势 E_2 、电流 I_2 和电磁转矩 T 与电动机的运行状态相反, 属于制动转子的性质。若外力克服此电磁制动转矩维持转子恒定转速, 则表明输入了机械功率, 而电流反向, 表示电机向电源输出电功率, 即发电机状态。

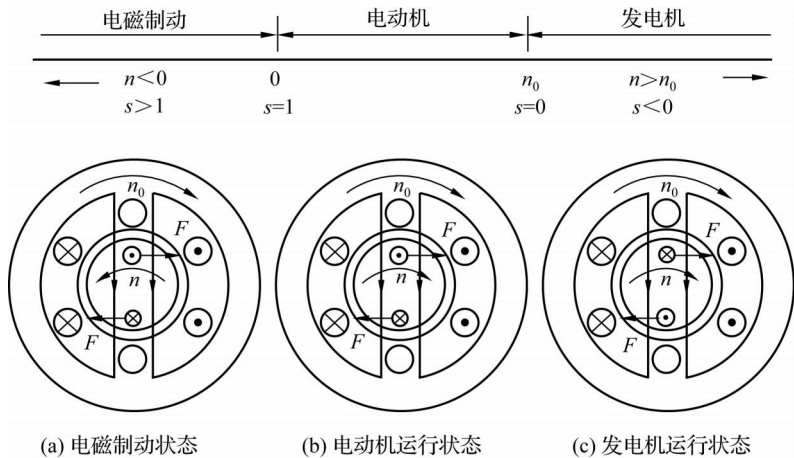


图 1-15 三相异步电动机的三种运行状态



【例 1-2】某异步电动机额定转速 n_N 为 1 450 r/min, 接 50 Hz 电源工作, 则其额定负载时的转差率为多少? 由于电源故障, 工作电源频率突降到 45 Hz, 此瞬间电机的转差率为多少? 电机处于什么工作状态? 能否稳定运行?

解: 由于额定转速接近 1 500 r/min, 因此 $n_0 = 1 500$ r/min, $p=2$ 。

转差率为

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1 500 - 1 450}{1 500} = 0.033 3$$

当电源频率变为 45 Hz 时, 同步转速变为

$$n'_0 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 45}{2} = 1 350 \text{ r/min}$$

此瞬间由于机械惯性认为转子的转速仍为 1 450 r/min, 则电机的转差率为

$$s' = \frac{n'_0 - n}{n'_0} = \frac{1 350 - 1 450}{1 350} = -0.074 1 < 0$$

由于 $s' < 0$, 故此瞬间电机处于发电机运行状态, 电磁转矩为制动转矩, 又无外机械转矩输入, 故知转子将减速, 直到再次变为电动机运行状态, 将在 $n < 1 350$ r/min 状态下稳定运行。

四、三相异步电动机的机械特性

机械特性是指在一定条件下, 电动机的转速与转矩之间的关系, 即 $n = f(T)$, 如图 1-16(a) 所示。又由于电动机的转速 n 与转差率 s 之间存在关系, 因此, 机械特性也常用 $T = f(s)$ 的形式表示, 如图 1-16(b) 所示。当电源电压保持不变时, 旋转磁场的每极磁通量保持不变, 因此, 电磁转矩与转子电流的有功分量 $I_2 \cdot \cos \varphi_2$ 成正比, 但转子电流随转差率的增大而增大, 功率因数随转差率的增大而减小, 因此电磁转矩与转差率之间的关系不能简单地描述为比例关系。从图 1-15(b) 中可以看出, 当 $s=0$, 即 $n = n_0$ 时, $T=0$, 这是理想空载运行; 随着 s 的增大, T 开始增大, 但到达最大值 $T_{\max}$ 以后, 随着 s 的增大, T 反而减小, 最大扭矩 $T_{\max}$ 也称临界转矩, 对应于 $T_{\max}$ 的 s_m 称为临界转差率。

当电动机起动时, 只要起动转矩大于负载转矩, 电动机就会转动起来, 电磁转矩 T 的变化沿曲线 AB 段运行, 如图 1-16(a) 所示。随着转速的上升, AB 段中的 T 一直增大, 所以转子一直被加速, 使电动机很快越过 AB 段进入 BD 段; 在 BD 段随着转速上升, 电磁转矩下降, 当转速上升为某一定值时, 电磁转矩 T 与负载转矩相等, 此时转速不再上升, 稳定运行在 BD 段。因此, 可以最大扭矩 T_m 为界, 将机械特性曲线分为两个区: 上部为稳定区 (BD 段), 称为硬特性; 下部为不稳定区 (AB 段), 称为软特性。当电动机工作在稳定区内某一点时, 电磁转矩与负载转矩相平衡而保持匀速转动。如果负载转矩变化, 电磁转矩将自动适应随之变化达到新的平衡而稳定运行。当电动机工作在不稳定区时, 电磁转矩将不能自动适应负载转矩的变化, 因而不能稳定运行。



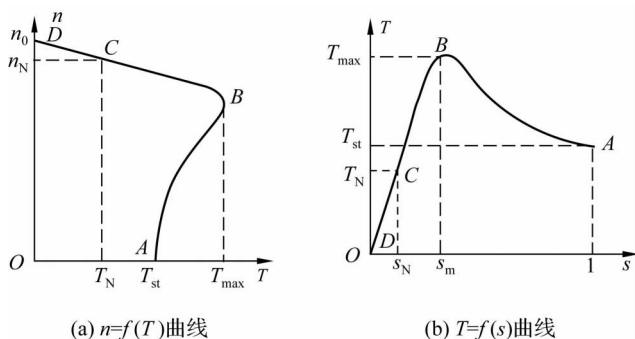


图 1-16 异步电动机的机械特性曲线

1. 额定转矩 T_N

额定转矩指的是电动机在额定电压下带上额定负载,以额定转速运行,输出额定功率时的转矩,通常用 T_N 表示,即

$$T_N = \frac{9\,550 P_N}{n_N} \quad (1-3)$$

式中, T_N 为异步电动机的额定转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$; P_N 为异步电动机的额定功率, kW ; n_N 为异步电动机的额定转速, r/min 。

2. 起动转矩 T_{st}

电动机在接通电源被起动的最初瞬间,即 $n = 0, s = 1$ 时的转矩称为起动转矩,用 T_{st} 表示[图 1-15(b)特性曲线上 A 点]。为了保证电动机能够起动,起动转矩 T_{st} 必须大于电动机静止时的负载转矩。电动机一旦起动,会迅速进入机械特性的稳定区运行。起动转矩与额定电磁转矩的比值称为电动机的起动转矩系数,通常用 K_s 表示,即

$$K_s = \frac{T_{st}}{T_N} \quad (1-4)$$

一般电动机的起动转矩系数 K_s 取 $1.3 \sim 2.2$ 。当 $T_{st} < T_n$ 时,电动机无法起动,造成堵转现象,电动机电流达到最大,造成电动机过热,甚至烧坏电动机。

3. 最大转矩 T_{max}

电动机转矩的最大值称为最大转矩,用 T_{max} 表示[或称为临界转矩,对应于图 1-15(b)特性曲线上 B 点]。电动机正常运行时,最大负载转矩不可超过最大转矩 T_{max} 。当负载转矩超过 T_{max} 时,电动机将带不动负载而发生停车,俗称“闷车”。此时电动机的电流(堵转电流)增大到额定电流的 $6 \sim 7$ 倍,引起电动机严重过热,甚至烧坏。因此,电动机在运行中一旦发生闷车,应立即切断电源,并卸去过重的负载。如果负载转矩只是短时间接近最大转矩而使电动机过载,这是允许的,因为时间很短,电动机不会立即过热。通常,额定转矩 T_N 要选得比最大转矩 T_{max} 小,这样电动机具有短时过载运行的能力。过载能力通常用过载系数 λ 表示,过载系数 λ 为最大转矩 T_{max} 与额定转矩 T_N 的比值,即

$$\lambda = \frac{T_{max}}{T_N} \quad (1-5)$$

一般三相异步电动机的过载系数为 $1.8 \sim 2.2$ 。



五、三相异步电动机的铭牌数据

三相异步电动机的机座上都有一个铭牌,其上标有型号和各种额定数据。表 1-1 给出了某 Y 系列三相异步电动机的铭牌。

表 1-1 三相异步电动机的铭牌

三相异步电动机					
型号	Y132M-4	电压	380	接法	$\triangle$
功率	7.5 kW	电流	15.4 A	工作方式	连续
转速	1 450 r/min	功率因数	0.85	温升	750
频率	50 Hz	绝缘等级	B	出厂年月	×年×月
×××电机厂		产品编号	重量	kg	

1. 型号

三相异步电动机的型号是表示三相异步电动机的类型、用途和技术特征的代号。每一种型号代表一系列电机产品,同一系列电机的结构、形状相似,容量按一定比例递增。通常型号由具有代表意义的大写拼音字母和阿拉伯数字组成。例如,Y 表示异步电动机,R 代表绕线式,D 代表多速等,如图 1-17 所示。

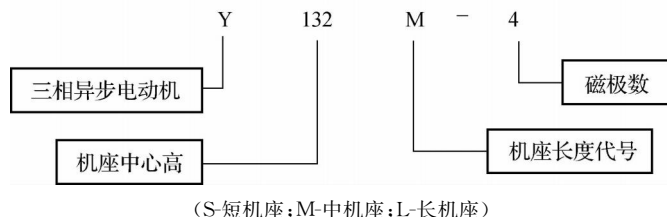


图 1-17 三相异步电动机型号的表示

常用三相异步电动机产品名称代号及汉字意义如表 1-2 所示。

表 1-2 常用三相异步电动机产品名称代号及汉字意义

产品名称	新代号(旧代号)	汉字意义
鼠笼型异步电动机	Y、Y-L(J、JO)	异步
绕线式异步电动机	YR(JR、JRO)	异步 绕线
防爆型异步电动机	YB(JB、JBS)	异步 防爆
防爆安全型异步电动机	YA(JA)	异步 安全
高起动转矩异步电动机	YQ(JQ、JQO)	异步 起动

表中 Y、Y-L 系列是新产品。Y 系列定子绕组是铜线,Y-L 系列定子绕组是铝线。小型异步电动机机座号与外径及中心高关系如表 1-3 所示。



表 1-3 小型异步电动机机座号与定子铁芯外径及中心高关系

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

2. 电压

铭牌上的电压是指电动机额定运行时,加在定子绕组出线端的线电压,即额定电压,用 U_N 表示。电源电压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。

3. 电流

铭牌上的电流是指电动机在额定运行时,定子绕组中的线电流,即额定电流,用 I_N 表示。若超过额定电流(过载)运行,三相异步电动机会过热乃至烧毁。

4. 接法

接法指的是定子绕组的接线方法。一般鼠笼型电动机的接线盒中有 6 根引出线,标有 U_1 、 U_2 、 V_1 、 V_2 、 W_1 、 W_2 。这些引出线是三相绕组的 6 个出线端,与 6 个接线柱相连。电动机如标有两种电压值,如 220/380 V,则表示当电源电压为 220 V 时,电动机应做三角形连接;当电源电压为 380 V 时,电动机应做星形连接。通常,Y 系列 4 kW 以上的三相异步电动机运行时均采用三角形连接,以便于采用 Y- Δ 降压起动。

5. 功率、功率因数和效率

铭牌上的功率是指电动机在额定运行状态下,其轴上输出的机械功率,即额定功率,用 P_N 表示。对电源来说,电动机为三相对称负载,则电源输出的功率为

$$P_{IN} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi \quad (1-6)$$

式中, $\cos \varphi$ 为定子的功率因数,即定子相电压与相电流相位差的余弦。

鼠笼型异步电动机在空载或轻载时的功率因数很低,为 0.2~0.3。随着负载的增加,功率因数迅速升高,额定运行时功率因数为 0.7~0.9。为了提高电路的功率因数,要尽量避免电动机轻载或空载运行。因此,必须正确选择电动机的容量,防止“大马拉小车”,并力求缩短空载运行时间。

电动机的效率为

$$\eta = \frac{P_N}{P_{IN}} \times 100\% \quad (1-7)$$

通常情况下,电动机额定运行时的效率为 72%~93%。

6. 频率

铭牌上的频率是指定子绕组外加的电源频率,即额定频率,用 f_N 表示。我国电网的频率(工频)为 50 Hz。

7. 绝缘等级

绝缘等级是根据电动机绕组所用的绝缘材料、按使用时的最高允许温度而划分的不同等级。常用绝缘材料的等级及其最高允许温度如表 1-4 所示。



表 1-4 常用绝缘材料的等级及其最高允许温度

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

注:表中的最高允许温度为环境温度(40℃)和允许温升之和。

8. 转速

铭牌上的转速是指电动机在额定电压、额定频率及输出额定功率时的转速,用 n_N 表示。由于额定状态下 S_N 很小, n_N 和 n_0 相差很小,故可根据额定转速判断出电动机的磁极对数。例如,若 $n_N=1475\text{ r/min}$,则其 n_0 应为 $1\,500\text{ r/min}$,从而推断出磁极对数 $p=2$ 。

9. 工作方式

工作方式是对电动机在铭牌规定的技术条件下持续运行时间的限制,以保证电动机的温升不超过允许值。电动机的工作方式可分为以下3种。

1) 连续工作

在额定状态下可长期连续工作,用S1表示,如机床、水泵、通风机等设备所用的异步电动机。

2) 短时工作

在额定情况下,持续运行时间不允许超过规定的时限,否则会使电动机过热,用S2表示。短时工作分为10、30、60、90(分钟)共4种。

3) 断续工作

针对工作周期以间歇方式运行的设备,可按与设备电机相同系列的电机进行计算,用S3表示,如吊车、起重机等设备所用的异步电动机等,一般选用绕线式异步电动机。

10. 防护等级

防护等级是指三相异步电动机外壳的防护能力分级,用 $IP\times\times$ 表示。其后面的两位数字分别表示电动机防固体和防水能力。数字越大,防护能力越强,如IP44中第一位数字“4”表示电机能防止直径或厚度大于1mm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。

相关人员可以在铭牌上了解主要数据,如还要了解其他一些数据,一般可从产品资料和有关手册中查到。

六、三相异步电动机的选择

三相异步电动机的选择包括它的种类、功率、转速、电压和结构形式等的选择。

1. 种类的选择

电动机的种类要从交流或直流、机械特性、调速与起动特性、维护及价格等多方面考虑。生产上常用的是三相交流电,因此,若没有特殊要求,应采用三相交流电动机。由于三相鼠笼型异步电动机结构简单、坚固耐用、工作可靠、价格低廉、维护方便,因此,在要求机械特性较硬而无特殊要求的一般生产中,多采用鼠笼型异步电动机,如水泵、通风机、运输机、传送带和机床等。



绕线式电动机的基本性能与鼠笼型相同,相比而言,其起动性能较好,而且可以在不大的范围内实现平滑调速,但其价格比鼠笼型电动机高,维护也比较麻烦。因此,只有在某些必须采用绕线式电动机的场合(如起重机、锻压机等)才使用。

2. 功率的选择

电动机功率的大小应根据生产机械的需要而定。各种机械对电动机的功率要求不同。电动机的功率过小,有可能带不动负载,即使能起动,也会因电流超过额定值而过热,影响使用寿命;电动机的功率过大,就不能充分发挥作用,电动机的效率和功率因数都会降低,从而造成电力和资金的浪费。一般来说,对于连续运行的电动机,若负载是恒定的,而所选电动机的额定功率要比生产机械的功率大10%左右,用以补偿传动过程中的机械损耗,以防止意外的过载情况。对于短时运行的电动机,功率允许适当过载。

3. 转速的选择

在功率相同的条件下,电动机的转速越低,则体积越大,价格也越高。但是电动机的转速越高,则起动转矩越小,起动电流越大,那么电动机的轴承就容易磨损。因此,在农业生产中,一般选用额定转速为1450 r/min的电动机,这种电动机转速中等,适用性强,功率因数和效率也较高。

4. 电压的选择

电压的选择要根据电动机的种类、功率及使用地点的电源电压来决定。通常三相异步电动机的额定电压是380 V,但也有其他电压等级的电机,如440 V、660 V等,具体取决于电网电压和用户的需求。Y系列三相异步电动机的额定电压统一为380 V。

5. 结构形式的选择

依据使用环境的不同,应选择不同结构形式的电动机,以保证其能安全可靠运行。电动机常用的结构形式有开启式和封闭式两大类。

1) 开启式电动机

开启式电动机的机壳有通风孔,内部空气与外界相流通。与封闭式电动机相比,其冷却效果好,电动机形状较小。因此,在周围环境允许的情况下应尽量采用开启式电动机。

开启式电动机又可分为以下几类。

- (1) 防护式:机壳通风孔部分用金属网等防护,可防止外界杂物进入电动机。
- (2) 防滴式:可防止水流进入电动机。
- (3) 防滴防护式:具有前两者的特点。
- (4) 防腐式:可在有腐蚀性气体的环境中使用。

2) 封闭式电动机

封闭式电动机有封闭的外壳,电动机内部空气与外界不流通,其冷却效果较开启式电动机差,且外形较大,价格较高。封闭式电动机又可分为以下几类。

- (1) 全封闭防腐式:可在有腐蚀性气体的环境中使用。
- (2) 全封闭冷却式:电动机的转轴上装有冷却风扇。
- (3) 耐压防爆式:可防止电动机内部气体爆炸而引起外界爆炸性气体爆炸。
- (4) 充气防爆式:电动机内充有空气或非可燃性气体,内部压力较高,可防止外界爆炸性气体进入电动机。



对于有爆炸性气体的场所,必须选用防爆式电动机;有腐蚀性气体、液体的场所,应使用防腐式电动机;在高粉尘的场所,则需选用全封闭冷却式电动机。



任务实施

1. 任务内容

三相异步电动机的选择与使用。

2. 任务要求

(1)正确将三相电源接入三相异步电动机,电动机能够正常工作。

(2)正确使用电压表、电流表、兆欧表测量数据。

(3)填写任务报告。

3. 设备工具

(1)电机控制实训台(含低压电器元件)1套。

(2)三相异步电动机1台。

(3)万用表、交流电压表、交流电流表、兆欧表各1块。

(4)电工工具1套。

(5)1.5 mm²、1.0 mm²导线若干。

4. 实施步骤

(1)观察电动机的铭牌,将电动机的额定参数填写到表1-5中。

表 1-5 电动机的额定参数

型号		功率		频率	
电压		电流		接法	
转速		绝缘等级		工作方式	

(2)通过电源开关将电动机接入三相交流电源,接入电压表、电流表。

(3)使用万用表测量电动机各绕组直流电阻,使用兆欧表测量电动机的绝缘电阻,填写到表1-6中。

表 1-6 绕组直流电阻与绝缘电阻测量数据

序号	测量项目		阻值
1	绕组直流电阻	U 相	
		V 相	
		W 相	
2	对地绝缘电阻	U 相	
		V 相	
		W 相	
3	相间绝缘电阻	U-V	
		V-W	
		W-U	



(4) 分别使电动机正向、反向、断相起动,测量电压、电流数据,填写到表 1-7 中。

表 1-7 电压、电流测量数据

电源电压	电动机状态	起动电流	空载转速	空载电流		
				i_U	i_V	i_W
	正向起动					
	反向起动					
	断相起动					

5. 考核标准

表 1-8 三相异步电动机的选择与使用考核标准

项目内容	分数	扣分标准	得分
元器件安装及接线	30	(1) 元器件安装错误,每处扣 5 分 (2) 线路连接错误,每处扣 5 分 (3) 线路连接不美观,不利于测量,扣 10 分	
通电测试	40	(1) 不能进行通电测试,扣 40 分 (2) 通电测试不准确,每处扣 5 分 (3) 读数错误,每处扣 5 分	
仪器仪表使用	20	(1) 仪器仪表操作不规范,每处扣 10 分 (2) 仪表量程选择错误,每处扣 10 分 (3) 读数错误,每处扣 5 分	
安全操作	10	(1) 不遵守实训室规章制度,扣 10 分 (2) 操作过程人为损坏元器件,扣 10 分 (3) 未经允许擅自通电,扣 10 分	
合计			

任务二 三相异步电动机的拆装与检修



任务描述

三相异步电动机与其他电动机相比,具有结构简单、工作可靠、坚固耐用、重量轻和成本低等优点,其应用比较广泛。在三相异步电动机的使用及维护过程中,需要对电动机进行拆装与检修。



任务目标

掌握三相异步电动机的结构;能正确拆装三相异步电动机并能够对简单故障进行检修。



相关知识

一、三相异步电动机的拆装

中小型电动机一般与工作机械配套整体安装,用螺栓安装在金属底板或导轨上,也有些电动机直接安装在混凝土基础上,用预埋的地脚螺栓固定电动机,其就位、找平等工作均在混凝土基础上进行,如图 1-18 所示。钢筋混凝土基础的平面尺寸一般按金属底板或电动机的机座尺寸外加约 100 mm 计算,基础深度可按地脚螺栓长度的 1.5~2 倍选取。尽可能选择干燥、防雨、通风散热条件好、操作方便、维护便利、检修容易的地方进行安装。安装时根据电动机质量及体积大小用人力或起重机械将电动机放置到钢筋混凝土基础上,对于较重的电动机,可用三脚架或手拉葫芦吊装,穿好地脚螺栓,用垫铁垫平校正后,再在螺栓孔内浇筑混凝土,用铁钎捣实,待地脚螺栓在混凝土中固结后才能拧螺母。拧螺母时要对角交错次序拧紧。

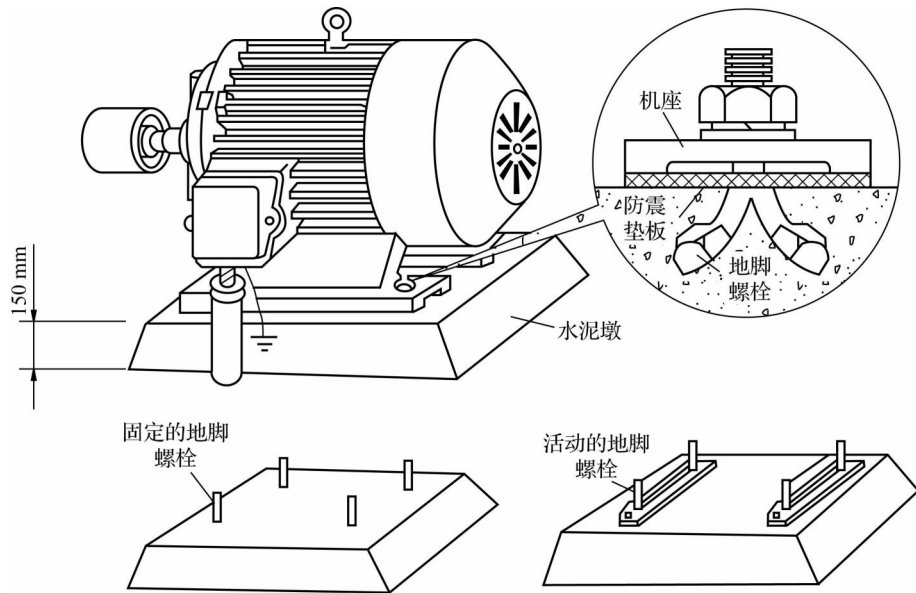


图 1-18 电动机的固定

二、三相异步电动机的定期维修

1. 绕组首尾端的判断

三相异步电动机的定子绕组由三相对称绕组构成,首端常用 U₁、V₁、W₁ 表示,尾端常用 U₂、V₂、W₂ 表示。在接线盒中,常将电动机的 3 个首端接到接线盒下排 3 个接线柱上,3 个尾端接在上排 3 个接线柱上,如图 1-19 所示。上、下两接线柱不是接同一相绕组的两端,同一相绕组的两端已错开接线。若电动机的接线柱烧毁,3 个绕组的 6 个接线端已辨识不清,则须对绕组的首尾端进行判断,下面介绍用交流电源和万用表判断绕组首尾端的方法。

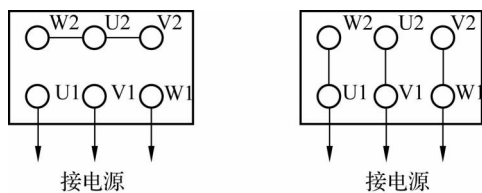


图 1-19 电源接线图

(1)将第一个绕组的 1、4 端接万用表(交流电压挡),将另两个绕组的 2、3 端短接(串联),然后将另两个绕组的 5、6 端接 220 V 交流电,如图 1-20 所示。指定 2 端为首端,若读数为 0 V 或几伏,如图 1-20(a)所示,则表明串联的两个绕组是首首相接,即 3 为首端;若万用表的读数较大,如图 1-20(b)所示,则为首尾相接,即 3 为尾端。

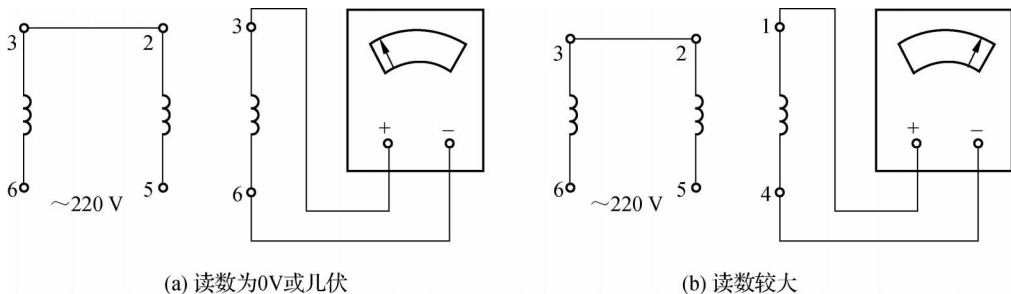


图 1-20 判断绕组首尾端方案 1

(2)同理,将 3、6 端接万用表(交流电压挡),将 1、2 端短接(串联),然后将另两个绕组的 4、5 端接 220 V 交流电,如图 1-21 所示。若读数为 0 V 或几伏,如图 1-21(a)所示,则表明 1 为首端;若读数较大,如图 1-21(b)所示,则表明 1 为尾端。

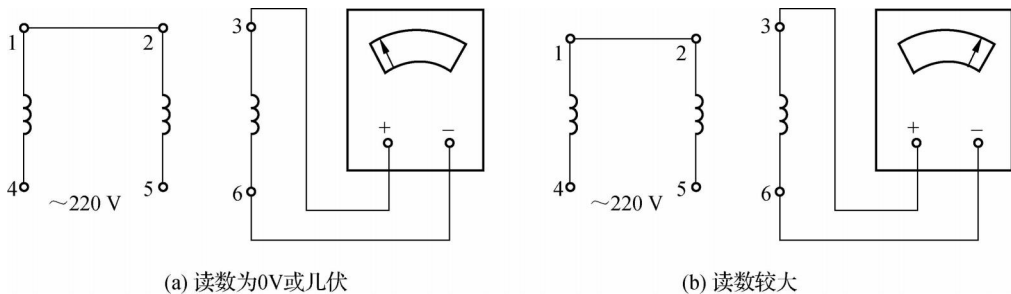


图 1-21 判断绕组首尾端方案 2

(3)用万用表判断同一相绕组的 2 个接线端头。用万用表(电阻挡)接 6 个线头中的任意 2 个,若阻值很大,则不是同一相绕组的两端。此时万用表的红表笔(或黑表笔)不动,另一支表笔依次接其他 5 个线头,若连接到某个端头时阻值很小,则表明此时 2 支表笔接的 2 个接线端头为同一绕组。

同理,可测出另外 2 个绕组各自的接线端头。为了叙述方便,可以把第 1 个绕组的两端编号为 1、4,第 2 个绕组的两端编号为 2、5,第 3 个绕组的两端编号为 3、6。

2. 电动机的拆卸与装配

对电动机进行检修和维护保养时,经常需要拆卸与装配电动机。拆卸前,首先要准备好



各种工具,做好拆卸前的记录和检查工作,如在接线端头、端盖上做好标记,以便电动机修复后的装配。对于一般电动机,可按如下顺序进行拆卸。

(1)拆除电动机的所有引线。

(2)拆除皮带轮或联轴器。将皮带轮或联轴器上的固定螺钉或销子卸下,再用专用工具将皮带轮或联轴器慢慢拉出。

(3)拆除风罩和风扇。拆除皮带轮后,就可以把风罩卸下来。然后取下风扇定位螺栓,用锤子轻敲风扇四周,卸下风扇。

(4)拆卸轴承盖和端盖。

(5)抽出转子。

对于有特殊结构的电动机,应依据具体情况进行处理。

装配大体上可按拆卸的逆向顺序进行。注意各部分的清洁,定子内绕组端部、转子表面都要吹刷干净。

3. 电动机的定期维修

对电动机进行定期维修可以消除故障隐患,降低故障发生概率。电动机定期维修分为小修和大修。小修不拆开电动机,大修需要全部拆开进行维修。

1) 小修

小修是经常进行的对电动机的一般清理和检查,其内容如下。

- (1)擦洗电动机外壳,除掉运行中积累的污垢。
- (2)检查电动机的端盖、地脚螺栓是否紧固。
- (3)检查电动机的接地线是否可靠。
- (4)检查电动机与负载机械间的传动装置是否良好。
- (5)测量电动机的绝缘电阻。
- (6)拆除轴承盖,检查润滑油,及时添加或更换。
- (7)检查电动机的保护设备是否完好。

2) 大修

大修应对电动机拆开进行,其内容如下。

- (1)检查电动机各部件有无机械损伤。
- (2)对拆开的电动机和起动设备进行清理,清除积累的污垢、油泥。
- (3)拆开轴承,放入柴油或汽油中进行彻底清洗。
- (4)用兆欧表检查定子绕组的绝缘情况。
- (5)检查定子、转子铁芯是否有磨损和变形。

三、电动机故障的检查方法

电动机的故障可分为机械故障和电气故障两类。机械故障主要包括轴承、铁芯、风扇、机座、转轴等机械部分的故障,一般比较容易察觉和发现。电气故障主要是定子绕组、转子绕组、电刷等机械部分的故障。无论电动机出现机械故障还是电气故障,都会影响电动机的正常运行。故障处理的关键是找到故障位置与故障原因。检查电动机故障的一般步骤如下。



1. 调查

向操作人员认真了解电动机的型号、规格、使用条件及年限,以及电动机在发生故障时的运行情况。

2. 察看

依据电动机故障情况选用不同的察看方法。有时可以把电动机接上电源进行短时运转,直接观察并记录故障情况;如电动机不能接电源,可通过仪表测量或观察进行分析判断。

四、三相异步电动机的常见故障及处理方法

电动机使用不当或者使用时间较长,电气部分发生故障是在所难免的。对于三相异步电动机,电气故障主要指定子绕组接地、短路、断路及定子铁芯和转子绕组等故障,这些故障一般会造成电动机不能起动或运转不正常。

1. 定子绕组接地故障

由于电动机绕组绝缘受到损坏,造成绕组的导体和铁心、机壳之间相碰,称之为绕组接地。绕组接地故障会造成故障相绕组电流过大,绕组局部过热,严重时会造成相间短路,烧毁绕组。绕组接地故障通常受到配电设备的保护,故障可通过兆欧表检查确定。

绕组接地故障多数是由于定子、转子绝缘老化及电动机受潮引起,或是在恶劣环境中,潮湿、腐蚀性气体、粉尘进入电动机绕组内部造成。绕线式电机则多是由于落在线圈上的碳刷的碳粉长期未得到清扫,导致绕组绝缘损坏。

2. 定子绕组短路故障

定子绕组中相邻两条导线之间的绝缘损坏后,两导体接触相通,称之为绕组短路。发生在同一绕组中的绕组短路称为匝间短路,发生在两相绕组之间的绕组短路称为相间短路。不论是哪一种,都会引起故障相电流急剧变大,造成电动机定子绕组局部烧毁(或全部烧毁)。

引起定子绕组短路的原因主要有绕组受潮严重,未经烘干处理就接入电源,造成电源电压击穿绝缘;电动机长期过载运行,绝缘物老化、脱落;维修中碰伤绝缘物或绕组端部,层间、相间绝缘纸没有垫好。

一般匝间短路对电动机绕组只会造成局部损坏,可将损坏的绕组取出,局部更换绕组,但处理过程须注意做好绝缘处理,不要对原来没有受损的绕组造成绝缘损坏。如果线圈受损伤的部位过多,或多相绕组烧毁,则必须更换全部绕组。绕组短路故障通常受到配电设备的保护,故障可通过兆欧表检查确定。

3. 定子绕组断路故障

定子绕组断路故障是指电动机的定子或转子绕组碰断或烧断造成的故障。绕组断路多数发生在定子引出线以及各绕组之间的连线及接头处,它们大多处在电动机铁芯端部或引出机壳,容易受到端盖磨碰或折断。接头处若焊接不牢,也会因长期受热后松脱。绕组断路多数为一相断路。定子绕组一相断路时,电动机缺相运行,会出现动力不足的现象,三相电流变大并严重不平衡,时间稍长就会导致电动机烧毁。



4. 定子铁芯损坏

三相异步电动机的定子铁芯是电动机磁路的组成部分。若电动机长期处于潮湿、有腐蚀的气体环境中,电动机可能会出现铁芯表面锈蚀、铁芯压装扣片开焊、铁芯与机壳配合松动、铁芯冲片高低不齐等状况。如果铁芯外圆不齐,会造成铁芯与机壳接触不良,影响封闭式电动机的热传导,使电动机温升过高。如果铁芯内圆不齐,有可能使定子、转子相擦。如果铁芯槽壁不齐,则会造成嵌线困难,并且容易损坏线槽导致绝缘降低。如果铁芯压装扣片开焊,铁芯齿部弹开度过大,就相当于气隙有效长度增大,会使电动机励磁电流增加,功率因数下降,铁耗增加,温升过高。

5. 绕线式电动机的滑环、碳环配合不良引起的故障

这类故障多数表现为滑环、碳环间火花增大或出现环火、滑环烧毛、滑环发热等。滑环、碳环间火花增大,最初都是因为刷握上弹簧的压力不足,碳环与滑环接触不良引起的,时间长了就会造成环火、滑环烧毛,进而恶性循环,造成滑环发热甚至松动。因此,绕线式电动机的碳刷要定期检查磨损情况,调节刷握上弹簧的压力,并清理碳粉。当碳刷磨损到只剩下 1/3 时,要及时更换新碳刷。对于已烧毛的滑环要连转子一起拆下,利用车床对滑环进行光刀处理或更换滑环。

更换碳刷时,必须更换同规格、同型号的碳刷。因为规格上的差异会使碳刷在刷握中不能自由滑动,造成与滑环接触不良或碳刷在刷握中晃动,并在滑环上跳动打火,将滑环烧毛。不同型号的碳刷,其铜和碳的含量不同。碳刷型号的选择,主要取决于滑环的材质和线速度。切忌为了延长碳刷使用时间而毫无根据地随意改用含铜量高的碳刷。

注意:碳刷型号与滑环不匹配,也是引起滑环烧毛、滑环发热松动的重要原因。

6. 缺相运行

如果由于某种原因,造成三相异步电动机定子绕组的一相无电流,如熔断器熔断一相或定子绕组一相断路,统称缺相。缺相是电动机正常运行的大忌,造成电动机缺相的主要原因如下。

(1)电源缺相。由于供电线路故障,电源在到达电动机保护线路前,就已少一相或两相,它可造成电动机无法起动或起动运转异常。

(2)配电变压器高端侧或低端侧一相断电(熔断器一相熔断)造成电动机缺相运行。在这种情况下,由该变压器供电的所有电动机都会缺相运行。

(3)保护线路造成缺相。保护线路中的控制开关、接触器、继电器等的电器触点氧化、烧伤、松动、接触不良等现象造成缺相。

(4)接线端子触点氧化造成接触不良,电动机定子三相绕组中一相绕组断开,从而造成电动机缺相运行。

(5)闸刀开关上的熔体没有拧紧或拧得太紧(将熔体端头压断),熔体出现浮体现象。当通过电流稍大时,熔体便会熔断,造成电动机缺相运行。此外,熔断器选择不合适,其中一相由于熔体选择偏小而熔断,也会造成电动机缺相运行。

(6)电动机某处接地或断路,出现局部过热现象,将导线熔断,导致电动机缺相运行。

三相异步电动机缺相运行时,因所带负荷不变,会使绕组电流增大,发热时间较长会使电动机烧损。因此,三相异步电动机应该在两相以上设有过电流保护,这样,一旦发生一相



断路,就能自动切断电源。

为方便读者参考,表 1-9 给出了三相异步电动机的常见故障及处理方法。

表 1-9 三相异步电动机的常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
电动机不能起动	(1)三相供电线路断路 (2)定子绕组一相断路 (3)电源电压过低 (4)负载过大 (5)定子绕组短路 (6)开关或起动装置触点接触不良	(1)更换熔断器 (2)用万用表查找断路处,并做相应的修复 (3)提高电源电压 (4)适当减轻拖动负载 (5)找出匝间、相间的短路点,并做绝缘处理或更换绕组 (6)检查开关或起动装置触点,如不能修复,则更换
电动机外壳带电	(1)电动机的引出线破损 (2)电动机绝缘老化 (3)电动机受潮	(1)更换电动机的引出线 (2)更换绕组及绝缘 (3)用兆欧表测量电动机的绝缘性能,确定绝缘物是否受潮,若受潮,则进行干燥处理
运行时声音异常或震动厉害	(1)安装不牢固 (2)定子、转子铁芯相擦 (3)转轴严重弯曲 (4)轴承严重磨损或缺油 (5)定子绕组短路	(1)将电动机重新固定平稳 (2)检查定子和转子 (3)更换转轴 (4)重新加润滑脂或更换轴承 (5)找出匝间、相间的短路点,并做绝缘处理或更换绕组
电动机转速不稳定	(1)鼠笼型转子断条或脱焊 (2)绕线式转子其中一相接触不良 (3)绕线式电动机的滑环短路装置接触不良	(1)查找并修补断条处 (2)更换转子绕组 (3)调整电刷压力,改善电刷与滑环的接触面;修理或更换滑环短路装置
电动机温升过高或冒烟	(1)电动机过载运行 (2)电动机的通风不良 (3)定子绕组有短路或接地故障 (4)定子、转子铁芯相擦,轴承磨损等引起的气隙不均匀 (5)重绕定子绕组时匝数或导线截面积过小 (6)铁芯硅钢片间的绝缘损坏,使铁芯涡流损失增大	(1)减轻负载或更换功率较大的电动机 (2)检查风叶是否脱落,清理进、出风口,保持风道畅通 (3)局部修复绕组或更换绕组 (4)更换磨损的轴承,校正转子铁芯或转轴,并进行修理 (5)按标准数据重绕或重测原始数据后重绕 (6)对铁芯进行绝缘处理
运行一段时间后,轴承过热	(1)轴承损坏 (2)转轴弯曲,使轴承受外力 (3)缺润滑油	(1)更换轴承 (2)校正轴承 (3)清洗轴承,重加润滑油



任务实施

1. 任务内容

三相异步电动机的拆装与检修。

2. 任务要求

- (1) 正确拆卸三相异步电动机,然后正确安装,使电动机能够正常工作。
- (2) 正确使用电压表、电流表、兆欧表测量数据。
- (3) 填写任务报告。

3. 设备工具

- (1) 电机控制实训台(含低压电器元件)1套。
- (2) 三相异步电动机1台。
- (3) 万用表、交流电压表、电流表、兆欧表各1块。
- (4) 电工工具1套。
- (5) 1.5 mm^2 、 1.0 mm^2 导线若干。

4. 实施步骤

- (1) 切断电源,拆下电动机与电源的连接线。
- (2) 脱开皮带轮或联轴器与负载的连接,松开地脚螺栓和接地螺栓。
- (3) 拆卸皮带轮或联轴器。
- (4) 拆卸风罩风扇。
- (5) 拆卸轴承盖和端盖。
- (6) 抽出或吊出转子。
- (7) 将电动机转子轴承用油清洗,滚动轴承上涂抹润滑脂。
- (8) 按照相反的顺序装配电动机。
- (9) 分别在拆卸前和装配后使用万用表测量电动机各绕组的直流电阻,使用兆欧表测量电动机的绝缘电阻,填写到表 1-10 中。

表 1-10 三相异步电动机绕组直流电阻和绝缘电阻测量数据

序号	测量项目		拆卸前阻值	装配后阻值
1	绕组直流电阻	U 相		
		V 相		
		W 相		
2	对地绝缘电阻	U 相		
		V 相		
		W 相		
3	相间绝缘电阻	U-V		
		V-W		
		W-U		



5. 考核标准

表 1-11 三相异步电动机的拆装与检修考核标准

项目内容	分数	扣分标准	得分
仪器仪表使用	20	(1)仪器仪表操作不规范,每处扣 10 分 (2)仪表量程选择错误,每处扣 10 分 (3)读数错误,每处扣 5 分	
电动机拆装	70	(1)端盖处不做标记,每处扣 10 分 (2)抽转子时碰伤定子绝缘,每处扣 10 分 (3)损坏部件,每处扣 5 分 (4)拆卸步骤、方法不正确,每处扣 5 分 (5)装配前未清理电动机内部,扣 10 分 (6)不按照标记装端盖,扣 5 分 (7)碰伤定子绝缘,扣 5 分 (8)装配后转子转动不灵活,扣 20 分 (9)紧固件未拧紧,每处扣 5 分	
安全操作	10	(1)不遵守实训室规章制度,扣 10 分 (2)操作过程人为损坏元器件,扣 10 分 (3)未经允许擅自通电,扣 10 分	
合计			

项目小结

三相异步电动机是基于气隙旋转磁场与转子绕组中感应电流相互作用产生电磁转矩,从而实现能量转换的一种交流电动机。三相异步电动机与其他电动机相比,具有结构简单、工作可靠、坚固耐用、质量轻及成本低等优点,是电动机领域中应用最广泛的一种电动机。本项目主要介绍了三相异步电动机的基本结构、工作原理、机械特性、安装、电气故障及处理方法等内容。

作业

1. 简述三相异步电动机的结构。
2. 旋转磁场的转向由什么决定? 如何改变旋转磁场的转向?
3. 额定工作条件下的三相异步电动机,已知其转速为 960 r/min,电动机的同步转速是多少? 磁极对数是多少? 转差率是多大?
4. 一台六极三相绕线式异步电动机,在 50 Hz 的电源上额定负载下运行,其转差率为 0.02,求定子磁场的转速、频率及转子磁场的频率和转速。
5. 三相异步电动机起动与负载转矩有什么关系? 是否负载越大,起动电流越大?
6. 有一台 5.5 kW 的三相异步电动机,额定电压为 380 V,额定运行时 $\eta = 0.91$, $\cos \varphi = 0.853$,求电动机的额定电流。
7. 一台额定电压为 380 V 的异步电动机,在某一负载下运行时,测得输入功率为 4 kW,线电流为 10 A,这时电动机的功率因数为多大? 若此时测得输出功率为 3.2 kW,效率



多大?

8. 三相异步电动机电气部分使用时的注意事项有哪些?
9. 三相异步电动机电源接通后不能起动,可能是什么原因造成的? 如何处理?
10. 电动机电源接通后外壳带电,可能是什么原因造成的? 如何处理?
11. 简述定子绕组的首尾端判断方法。
12. 三相异步电动机断了一根电压线后,为什么不能起动? 而在运行时断了一根电压线,为什么能继续转动? 这两种情况对电动机有何影响?
13. 定子绕组通入三相电源,转子三相绕组开路,电动机能否转动? 为什么?

项目二 电动机基本控制线路

【知识目标】

- (1)掌握常用低压电器的结构、原理、选择及使用；
- (2)熟悉电气控制线路绘制、设计的基本原则及相应的国家标准；
- (3)掌握三相异步电动机全压起动控制线路的原理及设计分析；
- (4)掌握三相异步电动机降压起动控制线路的原理及设计分析；
- (5)掌握三相异步电动机正反转控制线路的原理及设计分析；
- (6)掌握三相异步电动机制动控制线路的原理及设计分析；
- (7)掌握三相异步电动机变速控制线路的原理及设计分析；
- (8)掌握电气控制线路常见的保护环节和故障检修方法。

【技能目标】

- (1)能够对常用低压电器进行拆装、测试、检修；
- (2)能够正确装配、调试与检修三相异步电动机的基本控制线路。

任务一 三相异步电动机全压起动控制线路装接与调试



任务描述

要使拖动工业机械的电动机按照设定的要求进行运动,必须对电动机进行自动控制。复杂的工业设备电气控制也都是由一些简单的基本环节组成的,继电器-接触器控制线路仍然是各种自动控制方式的原理基础。三相异步电动机全压起动是小型电动机使用的起动方式,是必须熟练掌握的基本电气控制线路。



任务目标

掌握三相异步电动机全压起动控制线路的基本工作原理及设计方法;能选择合适性能的低压电器对三相异步电动机全压控制线路进行装配、接线、调试与检修。



相关知识

一、电气控制系统图

1. 电气控制系统图中的图形符号和文字符号

1) 电气控制系统图

根据机床设备的机械运动形式对电气控制系统的要求,采用国家统一规定的电气图形



微课

电气控制系统图



符号和文字符号,按照电气设备和电器的工作顺序,详细表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系的图形称为电气控制系统图。它表达电气控制系统的组成、结构与工作原理。电气控制系统图由图形符号、文字符号组成,应按照国家标准《电气技术用文件的编制 第1部分:规则》(GB/T 6988.1—2008)要求绘制电气控制系统图。

电气控制系统图一般有3种:电气原理图、电器元件布置图及电气安装接线图。

2) 图形符号

图形符号表示一个电器设备的图形、标记或字符。这些图形符号必须采用国家标准来表示。相关国家标准如《电气简图用图形符号》(GB/T 4728—2018)、《电气设备用图形符号 第2部分:图形符号》(GB/T 5465.2—2008)。

3) 文字符号

文字符号用于标明电气设备、装置和元器件的名称及电路的功能、状态和特征。它分为基本文字符号和辅助文字符号。

2. 电气原理图

电气原理图是根据电气控制系统的工作原理绘制的。它采用电气元件展开的形式,利用图形符号和项目代号来表示电路各电气元件中导电部件和接线端子的连接关系。电气原理图中的电气元件并不是按其实际布置位置来绘制,而是根据其在电路中所起的作用画在不同的部位上。

电气原理图具有结构简单、层次分明的特点,适用于电路工作原理分析、设备调试与维修。例如,电葫芦吊机电气控制线路原理图如图2-1所示。

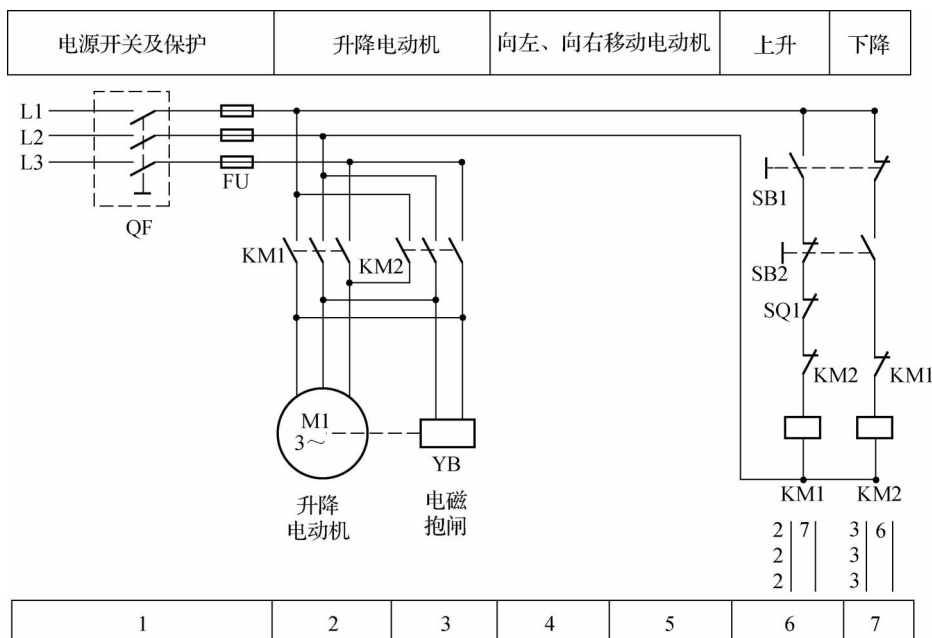


图 2-1 电葫芦吊机电气控制线路原理图



3. 电气元件布置图

电气元件布置图用来详细表明电气原理图中各电气设备、元器件在电气控制柜和机械设备上的实际安装位置,为电气控制设备的制造、安装、维修提供必要的资料。电气元件布置图可根据电气控制系统的复杂程度采取集中绘制或单独绘制。图中各电器代号应与有关电路图和电器元件清单上的元器件代号相同。各电气元件的安装位置由机床的结构和工作要求决定。例如,电葫芦吊机的电气元件布置图如图 2-2 所示。

4. 电气安装接线图

电气安装接线图用来表明电气设备或装置之间的接线关系,可以清楚地表明电气设备外部元件的相对位置及它们之间的电气连接,是实际安装、布线的依据。电气安装接线图主要用于电器的安装接线、线路检查、线路维修和故障处理,通常与电气原理图和元件布置图一起使用。电气安装接线图根据表达对象和用途不同,可细分为单元接线图、互连接线图和端子接线图等。例如,电葫芦吊机的安装接线图如图 2-3 所示。

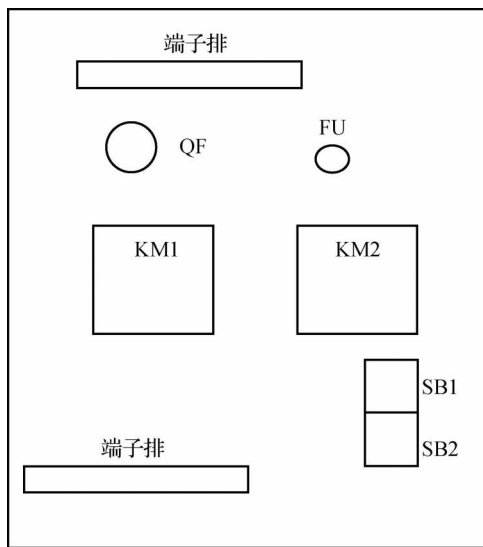


图 2-2 电葫芦吊机的电气元件布置图

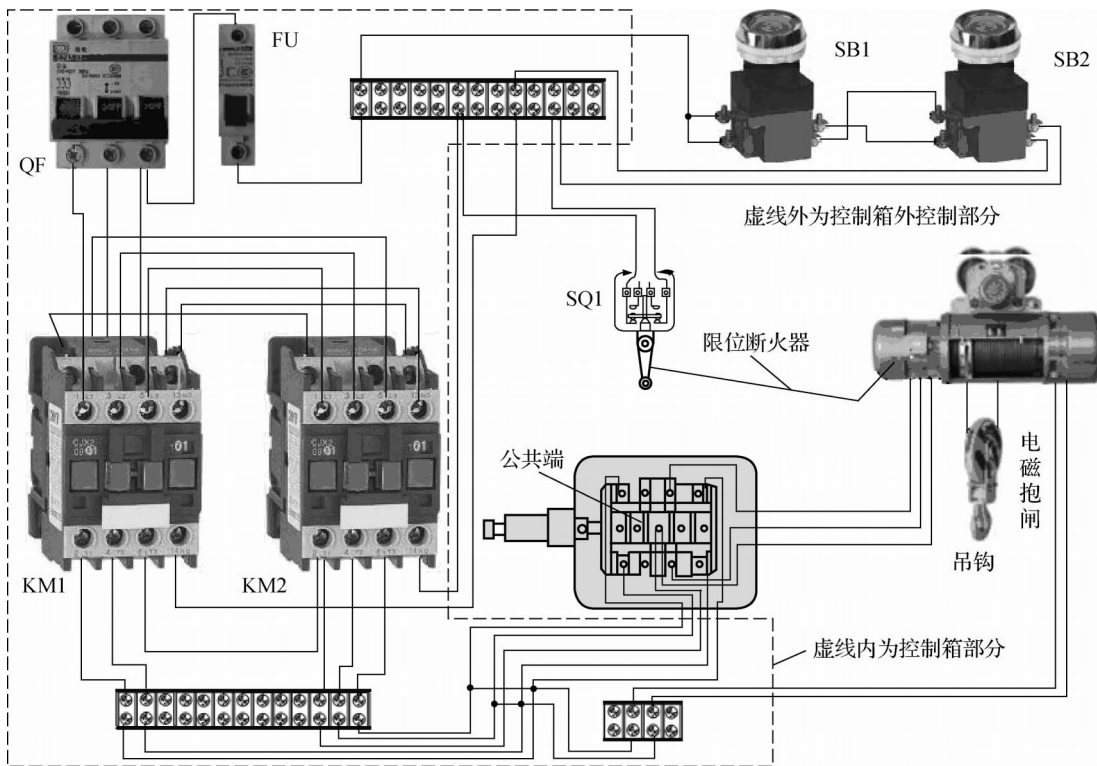


图 2-3 电葫芦吊机的安装接线图