



全国高等职业教育规划教材

常用机床电气控制系统安装与维修

主 编 刘丽萍 刘 霞 隋秀梅

35



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

常用机床电气控制 系统安装与维修

主 编	刘丽萍	刘 霞	隋秀梅	
副主编	宋云艳	赵 波	李洪达	林志海
参 编	张继媛	刘艳松	李冠男	王 丹
	于济群	李 峰	高玉侠	
主 审	王晓东			



机械工业出版社

本书以典型控制电路安装与维修、普通车床、普通铣床、普通磨床的电气控制系统安装与维修为重点进行编写, 包含 16 个项目, 主要内容包括: 点动与连续运行控制电路安装, 顺序控制电路安装, CA6140 型车床电气控制电路安装与调试、测绘、维修, 按钮互锁正反转控制电路安装, 接触器互锁正反转控制电路安装, 双重互锁正反转控制电路安装、X5032 型立式铣床电气控制电路安装与调试、测绘、维修, 自动往返控制电路安装与故障维修, 双速异步电动机控制电路安装与故障维修, M1432A 型万能外圆磨床电气控制电路安装、测绘、维修。

本书可作为高职高专机电一体化专业、电气自动化技术专业的教材, 也可供广大工程技术人员参考。

为配合教学, 本书配有电子课件, 读者可以登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 免费注册后下载, 或联系编辑索取 (QQ: 1239258369, 电话 (010) 88379739)。

图书在版编目 (CIP) 数据

常用机床电气控制系统安装与维修/刘丽萍, 刘霞, 隋秀梅主编. —北京: 机械工业出版社, 2012. 4

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-38009-2

I. ①常… II. ①刘…②刘…③隋… III. ①机床—电气控制系统—安装—高等职业教育—教材②机床—电气控制系统—维修—高等职业教育—教材 IV. ①TG502.35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 066915 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 吴鸣飞 王 琪 版式设计: 刘怡丹

责任校对: 张 媛 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

184mm×260mm·11.25 印张·273 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-38009-2

定价: 25.00 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

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 机电类专业编委会成员名单

主 任	吴家礼					
副 主 任	任建伟	张 华	陈剑鹤	韩全立	盛靖琪	谭胜富
委 员	(按姓氏笔画顺序)					
	王启洋	王国玉	王晓东	代礼前	史新民	田林红
	龙光涛	任艳君	刘靖华	刘 震	吕 汀	纪静波
	何 伟	吴元凯	张 伟	李长胜	李 宏	李柏青
	李晓宏	李益民	杨士伟	杨华明	杨 欣	杨显宏
	陈文杰	陈志刚	陈黎敏	苑喜军	金卫国	奚小网
	徐 宁	陶亦亦	曹 凤	盛定高	程时甘	韩满林
秘 书 长	胡毓坚					
副 秘 书 长	郝秀凯					

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前言

本书结合我国高等职业教育的现状,以长春职业技术学院示范校重点建设课程“普通机床电气系统安装与维修”课程建设为契机进行编写。

本书以培养机电一体化技术专业高等技术应用型人才为目标,以“工学结合、项目引导、‘教、学、做’一体化”为编写原则,以中级维修电工知识和技能要求为准绳,将“维修电工实训”、“电机与电气控制技术”课程有机地结合在一起。根据专业培养目标,参照学生未来工作岗位所需专业知识和实践技能,充分注重“教、学、做”的有机统一,强化学生的能力培养;在注重基础理论教育的同时,突出实用性、针对性和先进性;注重基本概念、基本分析方法和基本技能的培养和训练,体现高等职业教育的特点。在内容叙述上,力求通俗易懂,由浅入深地阐明问题。

本书以典型控制电路安装与维修、普通车床、普通铣床、普通磨床的电气控制系统安装与维修为重点进行编写,包含 16 个项目,主要内容包括:点动与连续运行控制电路安装,顺序控制电路安装,CA6140 型车床电气控制电路安装与调试、测绘、维修,按钮互锁正反转控制电路安装,接触器互锁正反转控制电路安装,双重互锁正反转控制电路安装、X5032 型立式铣床电气控制电路安装与调试、测绘、维修,自动往返控制电路安装与故障维修,双速异步电动机控制电路安装与故障维修,M1432A 型万能外圆磨床电气控制电路安装、测绘、维修。

本书由长春职业技术学院刘丽萍、刘霞、隋秀梅任主编;长春职业技术学院宋云艳、赵波、林志海,常州信息职业技术学院李洪达任副主编。参与本书编写的还有长春职业技术学院张继媛、刘艳松、李冠男、于济群、李峰、高玉侠,吉林电子信息职业技术学院王丹。全书由王晓东主审,由刘霞、刘丽萍进行统稿。

由于编者水平有限,书中难免有错误之处,欢迎读者提出宝贵的意见和建议。

编 者

目 录

出版说明

前言

项目 1 点动与连续运行控制电路

安装 1

1.1 项目分析 1

1.2 项目资讯 1

1.2.1 三相笼型异步电动机和单相

变压器 1

1.2.2 常用低压电器 32

1.2.3 基本电气控制电路 49

1.3 项目实施 55

1.3.1 点动与连续运行控制电路安

装项目书 55

1.3.2 点动与连续运行控制电路的

安装步骤 56

1.4 项目评价 58

项目 2 顺序控制电路安装 60

2.1 项目分析 60

2.2 项目资讯 60

2.2.1 两台电动机顺序起动联锁

控制电路 60

2.2.2 两台电动机顺序起动、停

止联锁控制电路 61

2.2.3 一台起动使另一台停止的

联锁控制电路 61

2.2.4 时间继电器控制电动机顺

序起动电路 62

2.3 项目实施 62

2.3.1 顺序控制电路安装项目书 62

2.3.2 顺序控制电路的安装步骤 63

2.4 项目评价 64

项目 3 CA6140 型车床电气控制

电路安装与调试 66

3.1 项目分析 66

3.2 项目资讯 66

3.2.1 CA6140 型车床的主要结构

和运动形式 66

3.2.2 CA6140 型车床的电力拖动

形式和控制要求 67

3.2.3 CA6140 型车床的电气控制

电路分析 67

3.3 项目实施 69

3.3.1 CA6140 型车床的电气控制

电路安装与调试项目书 69

3.3.2 CA6140 型车床的电气控制

电路安装与调试步骤 69

3.4 项目评价 72

项目 4 CA6140 型车床电气控制

电路测绘 74

4.1 项目分析 74

4.2 项目资讯 74

4.2.1 机床电气原理图的绘制与

标记 74

4.2.2 电气原理图的绘制 75

4.2.3 实际机床电路的配线说明 77

4.2.4 测绘中应注意的事情 77

4.3 项目实施 77

4.3.1 CA6140 型车床电气控制电

路测绘项目书 77

4.3.2 CA6140 型车床电气控制电

路测绘步骤 78

4.4 项目评价 78

项目 5 CA6140 型车床电气控制

电路维修 79

5.1 项目分析 79

5.2 项目资讯 79

5.2.1 电气控制电路分析基础 79

5.2.2 电路故障的检查方法 80

5.2.3 CA6140 型车床电气系统常

见故障 87

5.3 项目实施 88

5.3.1	CA6140 型车床电气系统维修项目书	88	8.2.1	双重互锁正反转控制电路的控制要求	100
5.3.2	CA6140 型车床电气系统维修步骤	89	8.2.2	双重互锁正反转控制电路的工作原理	100
5.4	项目评价	90	8.3	项目实施	101
项目 6	按钮互锁正反转控制电路		8.3.1	双重互锁正反转控制电路安装项目书	101
	安装	91	8.3.2	双重互锁正反转控制电路电器元件布置图	102
6.1	项目分析	91	8.3.3	双重互锁正反转控制电路安装步骤	102
6.2	项目资讯	91	8.4	项目评价	103
6.2.1	按钮互锁正反转控制电路工作原理	91	项目 9	X5032 型立式铣床电气控制	
6.2.2	按钮互锁正反转控制电路的特点	92		电路安装与调试	104
6.3	项目实施	93	9.1	项目分析	104
6.3.1	按钮互锁正反转控制电路安装项目书	93	9.2	项目资讯	104
6.3.2	按钮互锁设计控制电路电器元件布置图及元件清单	93	9.2.1	X5032 型立式铣床的用途	104
6.3.3	按钮互锁正反转控制电路安装步骤	94	9.2.2	X5032 型立式铣床的特点	104
6.4	项目评价	95	9.2.3	X5032 型立式铣床传动系统	105
项目 7	接触器互锁正反转控制电路		9.2.4	X5032 型立式铣床结构概述	106
	安装	96	9.2.5	机床的电器设备	109
7.1	项目分析	96	9.3	项目实施	111
7.2	项目资讯	96	9.3.1	X5032 型立式铣床电气系统安装项目书	111
7.2.1	接触器互锁正反转控制电路工作原理	96	9.3.2	普通铣床电气系统安装步骤	112
7.2.2	接触器互锁正反转实现方法	97	9.4	项目评价	114
7.3	项目实施	97	项目 10	X5032 型立式铣床电气控制电路测绘	
7.3.1	接触器互锁正反转控制电路安装项目书	97	10.1	项目分析	115
7.3.2	接触器互锁正反转控制电路电器元件布置图	98	10.2	项目资讯	115
7.3.3	接触器互锁正反转控制电路安装步骤	98	10.3	项目实施	115
7.4	项目评价	98	10.3.1	X5032 型立式铣床电气系统测绘项目书	115
项目 8	双重互锁正反转控制电路		10.3.2	X5032 铣床电气系统测绘	116
	安装	100	10.4	项目评价	116
8.1	项目分析	100	项目 11	X5032 型立式铣床电气控制电路维修	
8.2	项目资讯	100	11.1	项目分析	117
			11.2	项目资讯	117
			11.2.1	X5032 型立式铣床常见故障	117
			11.2.2	查找 X5032 型立式铣床故障	

点常用的方法和步骤	118	14.2.2 M1432A 型万能外圆磨床 电气控制原理	136
11.2.3 设置 X5032 型立式铣床故障 的主要原则	118	14.3 项目实施	139
11.3 项目实施	119	14.3.1 M1432A 型万能外圆磨床 电气系统的安装项目书	139
11.3.1 X5032 型立式铣床电气系统 维修项目书	119	14.3.2 M1432A 型万能外圆磨床 电气系统安装步骤	140
11.3.2 X5032 型立式铣床电气系统 维修步骤	119	14.4 项目评价	141
11.4 项目评价	120	项目 15 M1432A 型万能外圆磨床 电气控制电路测绘	143
项目 12 自动往返控制电路安装与 故障检修	121	15.1 项目分析	143
12.1 项目分析	121	15.2 项目资讯	143
12.2 项目资讯	121	15.3 项目实施	144
12.2.1 位置开关	121	15.3.1 M1432A 型万能外圆磨床 电气系统测绘项目书	144
12.2.2 位置控制电路	124	15.3.2 M1432A 型万能外圆磨床 电气系统测绘步骤	145
12.3 项目实施	125	15.3.3 测绘要求及注意事项	145
12.3.1 自动往返控制电路安装与故 障检修项目书	125	15.4 项目评价	145
12.3.2 自动往返控制电路安装步骤	125	项目 16 M1432A 型万能外圆磨床 电气控制电路维修	146
12.3.3 自动往返控制电路故障检修	127	16.1 项目分析	146
12.4 项目评价	128	16.2 项目资讯	146
项目 13 双速异步电动机控制电路 安装与故障检修	129	16.3 项目实施	148
13.1 项目分析	129	16.3.1 M1432A 型万能外圆磨床电 气系统检修项目书	148
13.2 项目资讯	129	16.3.2 M1432A 型万能外圆磨床电 气系统检修步骤	149
13.2.1 双速异步电动机定子绕组的 联结方式	129	16.4 项目评价	149
13.3 项目实施	131	附录	150
13.3.1 双速异步电动机控制电路 安装与故障检修项目书	131	附录 A 维修电工(中级)模拟 试题 1	150
13.3.2 双速异步电动机控制电路 安装步骤	132	附录 B 维修电工(中级)模拟 试题 2	157
13.3.3 双速异步电动机控制电路 检修训练	132	附录 C 中级维修电工操作技能 考核评分记录表	163
13.4 项目评价	133	附录 D 中级维修电工操作技能 考核准备通知单	165
项目 14 M1432A 型万能外圆磨床 电气控制电路安装	135	参考文献	168
14.1 项目分析	135		
14.2 项目资讯	135		
14.2.1 M1432A 型万能外圆磨床 基本结构	135		

项目1 点动与连续运行控制电路安装

1.1 项目分析

电气设备工作时常常需要进行点动调整,如车刀与工件位置的调整,因此需要用点动控制电路来完成。点动控制是指按下按钮时,电动机通电起动、运行;松开按钮时,电动机断电、停止。在操作点动控制电路时,操作人员的手始终不能离开按钮,不能从事其他的工作;如果要求电动机起动后能连续运转时,则要采用接触器自锁控制电路。

本项目是按照控制要求设计点动与连续运行控制电路,绘制电路原理图;并能严格地按照安全操作规程完成电气控制电路的安装,完成材料的总结归档。

1.2 项目资讯

1.2.1 三相笼型异步电动机和单相变压器

1. 三相异步电动机

(1) 三相异步电动机的分类及用途 三相异步电动机种类繁多,按其外壳防护方式的不同可分开启型(IP11)、防护型(IP22、IP23)、封闭型(IP44、IP54)及特殊防护式等。

另外,异步电动机还可按转子的不同分为笼型异步电动机和绕线转子异步电动机;按工作电压的高低不同分为高压异步电动机和低压异步电动机;按工作性能的不同分为高起动转矩异步电动机和高转差异步电动机;按外形尺寸及功率的大小可分为大型、中型、小型异步电动机等。

三相异步电动机由三相交流电源供电,由于结构简单、价格低廉、工作可靠、坚固耐用、使用维护方便,已成为生产上应用得最为广泛的一种电动机。

(2) 三相异步电动机的结构 三相异步电动机由两个基本部分组成,一是固定不动的部分,称为定子;一是旋转部分,称为转子,如图1-1所示。

1) 定子。定子是指电动机中静止不动的部分,主要包括定子铁心、定子绕组、机座、端盖、罩壳等部件。

① 定子铁心:定子铁心作为电动机磁通的通路,对铁心材料的要求是既要有良好的导磁性能、剩磁小,又要尽量降低涡流损耗,一般用0.35~0.5 mm厚表面有绝缘层的硅钢片(涂绝缘漆或硅钢片表面具有氧化膜绝缘层)叠压而成。定子铁心的内圆冲有沿圆周均匀分布的槽,在槽内嵌放三相定子绕组,如图1-2所示。定子铁心的槽型有开口型、半开口型、半闭口型三种。

② 定子绕组:定子绕组作为电动机的电路部分通入三相交流电产生旋转磁场。它由嵌放在定子铁心槽中的线圈按一定规则连接成三相定子绕组,如图1-3所示。小型异步电动机的定子三相绕组一般采用高强度漆包圆铜线绕成,大、中型异步电动机则用漆包扁铜线或玻

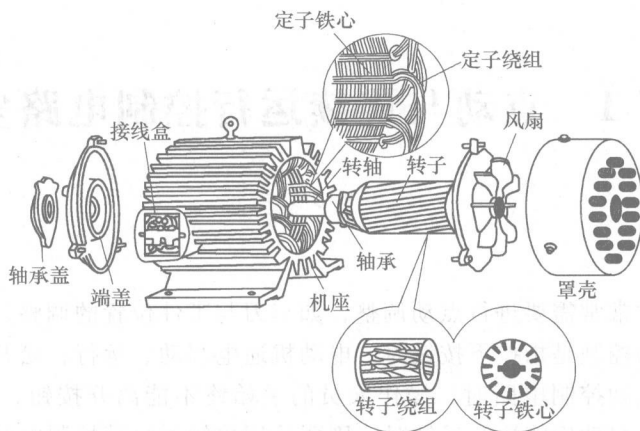


图 1-1 三相异步电动机的结构

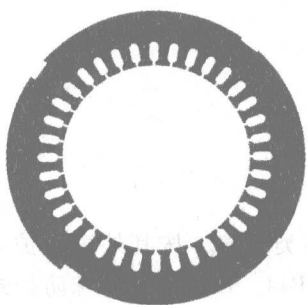


图 1-2 定子铁心

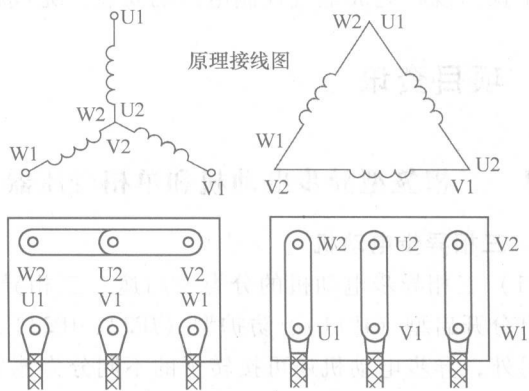


图 1-3 接线盒内的接线图

璃丝包扁铜线绕成。成型绕组外包绝缘层后，再整体嵌放在定子铁心槽内。

③ 机座：机座的作用是固定定子铁心和绕组，并通过两侧的端盖和轴承来支承转子，同时可保护整台电动机的电磁部分和散发电动机热量。封闭式电动机的机座外面有散热筋以增加散热面积；防护式电动机的机座两端端盖开有通风孔，使电动机内外的空气可以直接对流，以利于散热。

④ 端盖：借助置于端盖内的滚动轴承将电动机转子和机座连成一个整体。端盖一般均为铸钢件，微型电动机则用钢板或铸铝件。

2) 转子。转子指电动机的旋转部分，包括转子铁心、转子绕组、风扇、转轴等。

① 转子铁心：转子铁心作为电动机磁路的一部分，一般用 0.5mm 硅钢片冲压而成，均匀分布的孔用来安置转子绕组。一般小型异步电动机的转子铁心直接压装在转轴上，而大、中型异步电动机（转子直径在 300 ~ 400 mm 以上）的转子铁心则借助于转子支架压在转轴上，如图 1-4 所示。

为了改善电动机的起动及运行性能，笼型异步电动机转子铁心一般都采用斜槽结构，即转子槽并不与电动机转轴的轴线在同一平面上，而是扭斜了一个角度。

② 转子绕组：转子绕组用来切割定子的旋转磁场，产生感应电动势和电流，并在旋转

磁场的作用下受电磁力而使转子转动。转子绕组分笼型转子和绕线转子两类。图 1-5 为常见的三相笼型异步电动机的转子。

3) 其他附件。

① 轴承：轴承用来连接转动部分与固定部分，目前都采用滚动轴承以减小摩擦阻力。

② 轴承端盖：轴承端盖用于保护轴承，使轴承内的润滑脂不致溢出，并防止灰、砂等浸入润滑脂内。

③ 风扇：风扇用于冷却电动机。

(3) 三相异步电动机的工作原理 三相异步电动机的旋转是利用定子绕组中三相交流电所产生的旋转磁场与转子绕组内的感应电流相互作用而实现的。

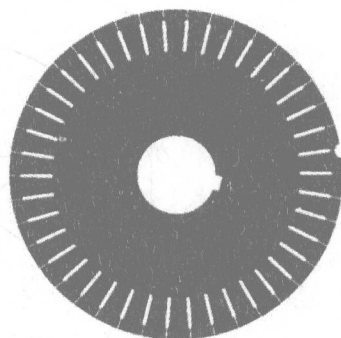


图 1-4 转子铁心

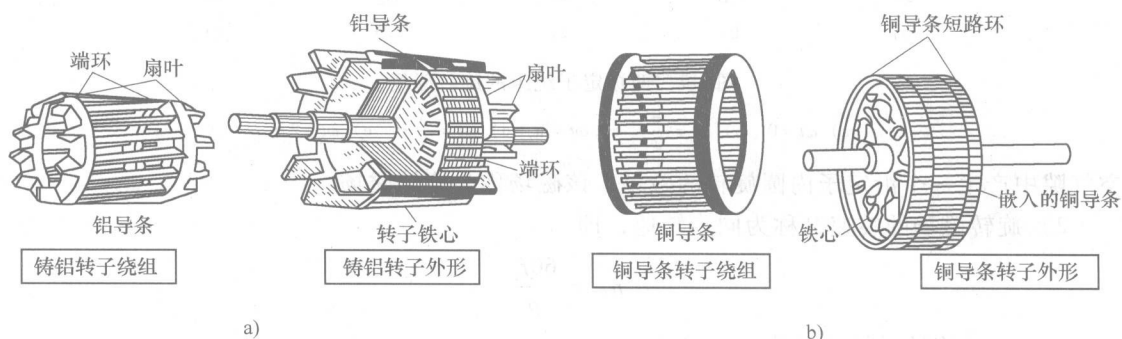


图 1-5 常见的三相笼型异步电动机的转子

a) 铸铝转子结构 b) 铜导条转子结构

1) 旋转磁场的产生。在三相异步电动机的定子铁心上冲有均匀分布的铁心槽，在定子空间各相差 120° 电角度的铁心槽中布置有三相绕组 U_1U_2 、 V_1V_2 、 W_1W_2 ，将其末端 U_2 、 V_2 、 W_2 连成一点，作星形联结，如图 1-6 所示。

当定子绕组的三个首端 U_1 、 V_1 、 W_1 分别与三相交流电源 L_1 、 L_2 、 L_3 接通时，在定子绕组中便有对称的三相交流电流 i_U 、 i_V 、 i_W 流

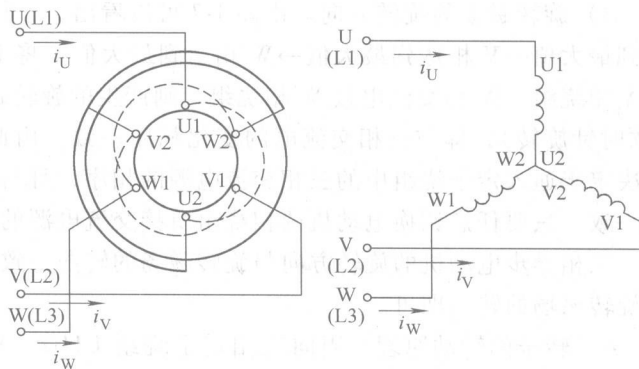


图 1-6 三相异步电动机的定子绕组

过，各相电流将在定子绕组中分别产生相应的磁场，所形成的合成磁场是一个旋转磁场。观察这合成磁场的分布规律可见：合成磁场的方向按顺时针方向旋转，并旋转了一周，如图 1-7 所示。

由此可以得出如下结论：在三相异步电动机定子铁心中布置结构完全相同、在空间各相差 120° 电角度的三相定子绕组，分别向三相定子绕组通入三相交流电，则在定子、转子与

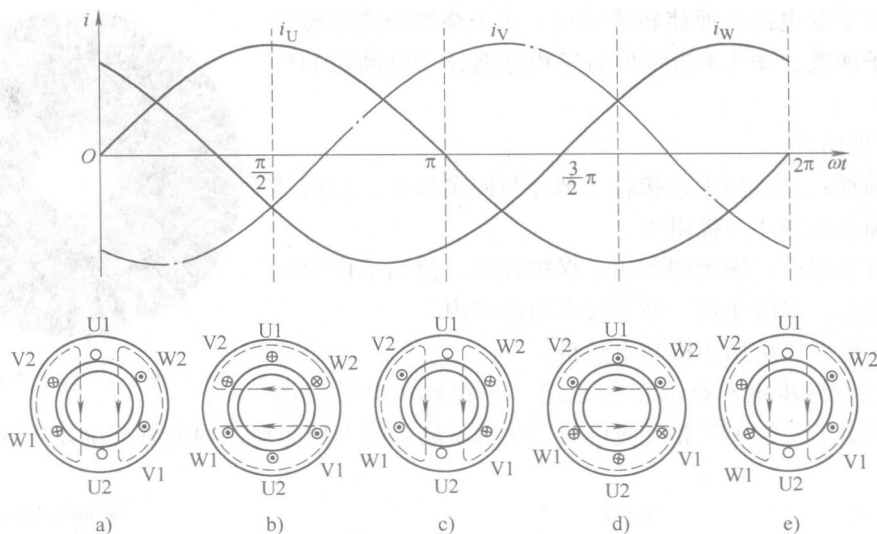


图 1-7 两极定子绕组的旋转磁场

a) $\omega t = 0$ b) $\omega t = \frac{\pi}{2}$ c) $\omega t = \pi$ d) $\omega t = \frac{3}{2}\pi$ e) $\omega t = 2\pi$

空气隙中产生一个沿定子内圆旋转的磁场，该磁场称为旋转磁场。

2) 旋转磁场的转速又称为同步转速，即

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

式中， n_1 ——旋转磁场的转速 (r/min)；

f_1 ——交流电源频率 (Hz)；

p ——电动机定子的磁极对数。

3) 旋转磁场的旋转方向。由图 1-7 可以看出，三相交流电的变化次序（相序）为 U 相达到最大值→V 相达到最大值→W 相达到最大值。将 U 相交流电接 U 相绕组，V 相交流电接 V 相绕组，W 相交流电接 W 相绕组，则产生的旋转磁场的旋转方向为 U 相→V 相→W 相（顺时针旋转），即与三相交流电的变化相序一致。由此可以得出结论：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，且与三相交流电源的相序 U→V→W 的方向一致。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。

三相异步电动机的旋转方向与旋转磁场的转向一致，因此要改变电动机的转向，只要改变旋转磁场的转向即可。

4) 转子的转动原理。当向三相定子绕组 U1U2、V1V2、W1W2 中通入三相交流电后，按前面的分析可知将在定子、转子及其空气隙内产生一个同步转速为 n_1 ，在空间按顺时针方向旋转的磁场。该旋转的磁场将切割转子导体，在转子导体中产生感应电动势。由于转子导体自成闭合回路，因此该电动势将在转子导体中形成电流，其电流方向可用右手定则判定。在使用右手定则时必须注意，右手定则的磁场是静止的，导体作切割磁感线的运动，而这里正好相反。为此，可以相对地把磁场看成不动，而导体以与旋转磁场相反的方向（顺时针）切割磁感线，从而可以判定出在该瞬间转子导体中的电流方向如图 1-8 所示，即电流从转子上半部的导体中流入，从转子下半部导体中流出。

有电流流过的转子导体将在旋转磁场中受电磁力 F 的作用, 其方向可用左手定则判定, 上半部导体受电磁力方向向左, 下半部导体受电磁力方向向右。该电磁力在转子轴上形成电磁转矩, 使异步电动机以转速 n 旋转, 如图 1-8 中的箭头所示。

由此可以归纳出三相异步电动机的旋转原理为: 在定子三相绕组中通入三相交流电时, 在电动机气隙中即形成旋转磁场; 转子绕组在旋转磁场的作用下产生感应电流; 载有电流的转子导体受电磁力的作用, 产生电磁转矩使转子旋转。

5) 转子的转差率 s 。由上面的分析还可看出, 转子的转速 n 一定要小于旋转磁场的转速 n_1 。如果转子转速与同步磁场转速相等, 则转子导体就不再切割旋转磁场, 转子导体中就不再产生感应电动势和电流, 电磁力 F 将为零, 转子就将减速。因此异步电动机的“异步”就是指电动机转速 n 与旋转磁场转速 n_1 之间存在着差异, 两者的步调不一致。有些异步电动机的转子绕组并不直接与电源相接, 而是依据电磁感应产生电动势和电流, 获得电磁转矩而旋转, 因此又称为感应电动机。

同步转速 n_1 与转子转速 n 之差称为转速差, 转速差与同步转速的比值称为转差率, 用 s 表示:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

转差率是分析异步电动机运行情况的一个重要参数。

① 当异步电动机在静止状态或刚接上电源的一瞬间, 转子转速 $n = 0$, 则对应的转差率 $s = 1$ 。

② 如转子转速 $n = n_1$, 则转差率 $s = 0$ 。

③ 异步电动机在正常状态下运行时, 转差率 s 在 $0 \sim 1$ 之间变化。

④ 三相异步电动机在额定状态 (即加在电动机定子三相绕组上的电压为额定电压, 电动机输出的转矩为额定转矩) 下运行时, 额定转差率 s_N 在 $0.01 \sim 0.05$ 之间, 由此可看出三相异步电动机的额定转速 n_N 与同步转速 n_1 较为接近。

⑤ 当三相异步电动机空载时 (即轴上没有拖动机械负载, 电动机空转), 由于电动机只需要克服空气阻力及摩擦阻力, 故转速 n 与同步转速 n_1 相差甚微, 转差率 s 很小, 为 $0.04 \sim 0.07$ 。

例 1-1 通入三相异步电动机定子绕组中的交流电频率 $f = 50\text{Hz}$, 试分别求电动机磁极对数 $p = 1$ 、 $p = 2$ 、 $p = 3$ 及 $p = 4$ 时的同步转速 n_1 。

解: 当 $p = 1$ 时, $n = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{1} \text{r/min} = 3000 \text{r/min}$

当 $p = 2$ 时, $n = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{2} \text{r/min} = 1500 \text{r/min}$

当 $p = 3$ 时, $n = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{3} \text{r/min} = 1000 \text{r/min}$

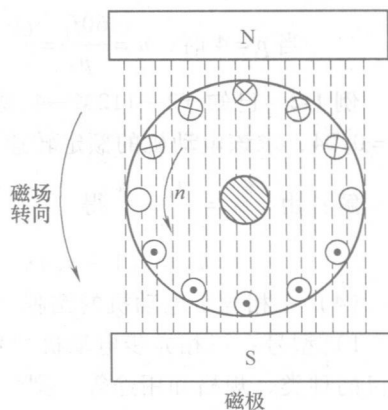


图 1-8 异步电动机的旋转原理图

$$\text{当 } p=4 \text{ 时, } n = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{4} \text{ r/min} = 750 \text{ r/min}$$

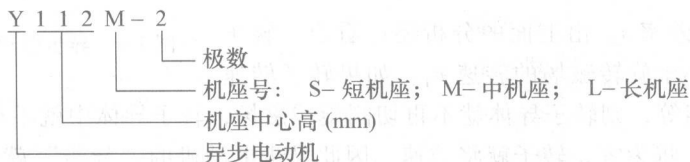
例 1-2 已知 Y2—112M—4 型三相异步电动机的同步转速 $n_1 = 1500 \text{ r/min}$, 额定转差率 $s_N = 0.04$, 求该电动机的额定转速 n_N 。

解: 由 $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$ 得

$$n_N = (1 - s_N) n_1 = (1 - 0.04) \times 1500 \text{ r/min} = 1440 \text{ r/min}$$

(4) 三相异步电动机的铭牌

1) 型号: 三相异步电动机型号由汉语拼音的大写字母和阿拉伯数字组成, 用以表示电动机的种类、规格和用途等。型号含义:



2) 额定功率 P_N : 额定功率表示电动机在额定工作状态下运行时允许输出的机械功率, 单位为 W, 常用 kW。

3) 额定电流 I_N : 额定电流表示电动机在额定工作状态下运行时定子电路输入的线电流, 单位为 A。

4) 额定电压 U_N : 额定电压表示电动机在额定工作状态下运行时定子电路所加的线电压, 单位为 V。

$$P_N = \sqrt{3} U_N I_N \eta_N \cos \varphi_N$$

5) 额定转速 n_N : 额定转速表示电动机在额定工作状态下运行时的转速, 单位为 r/min。

6) 额定频率 f_N : 电动机的额定频率表示电动机使用交流电源的频率, 单位为 Hz。

7) 联结方式: 电动机的联结方式表示电动机定子三相绕组与交流电源的连接方法, 有星形联结或三角形联结。

8) 防护等级: 电动机的防护等级表示电动机外壳防护的方式。

9) 绝缘等级: 电动机的绝缘等级表示电动机各绕组及其他绝缘部件所用绝缘材料的等级。

10) 定额工作制: 电动机的定额工作制指电动机按铭牌值工作时可以持续运行的时间和顺序。电动机定额分连续定额、短时定额和断续定额三种, 分别用 S_1 、 S_2 和 S_3 表示。

① 连续定额 (S_1) 表示电动机按铭牌值工作时可以长期连续运行。

② 短时定额 (S_2) 表示电动机按铭牌值工作时只能在规定的时间内短时运行。我国规定的短时运行时间为 10min、30min、60min 及 90min 四种。

③ 断续定额 (S_3) 表示电动机按铭牌值工作时运行一段时间就要停止一段时间, 周而复始地按一定周期重复运行, 每一周期为 10min。我国规定的负载持续率为 15%、25%、40% 及 60% 四种, 如标明 40% 则表示电动机工作 4min 就需要休息 6min。

(5) 三相异步电动机的机械特性及额定转矩

1) 三相异步电动机的机械特性。对用来拖动其他机械的电动机而言, 在使用中人们最关心的是电动机输出的转矩大小、转速高低以及转矩与转速之间的相互关系等问题。由于三

相异步电动机的转矩由载流导体在磁场中受电磁力的作用而产生，因此转矩的大小与旋转磁场的磁通 Φ_m 、转子导体中的电流 I_2 及转子功率因数 $\cos\varphi_2$ 有关，即

$$T = C_m \Phi_m I_2 \cos\varphi_2$$

式中， C_m 为电动机的转矩常数。

电磁转矩与定子绕组电压的关系为

$$T \approx \frac{CsR_2 U_1^2}{f_1 [R_2^2 + (sX_{20})^2]}$$

式中， T 为电磁转矩，在近似分析与计算中可将其看做电动机的输出转矩 ($N \cdot m$)； U_1 为电动机定子每相绕组上的电压 (V)； s 为电动机的转差率； R_2 为电动机转子绕组每相的电阻 (Ω)； X_{20} 为电动机静止不动时转子绕组每相的感抗值 (Ω)； C 为电动机的结构常数； f_1 为交流电源的频率 (Hz)。

三相异步电动机的机械特性是指电动机的转速 n 与电磁转矩 T 之间的关系，如图 1-9 所示。通常异步电动机稳定运行在机械特性曲线的 abc 段上。从这段曲线可以看出，当负载转矩有较大的变化时，异步电动机的转速变化并不大，因此异步电动机具有硬的机械特性。

① 起动状态：在电动机起动的瞬间，即 $n=0$ (或 $s=1$) 时，电动机轴上产生的转矩称为起动转矩 T_{st} (又称堵转转矩)。起动转矩 T_{st} 大于电动机轴上所带的机械负载转矩 T_L ，则电动机就能起动；反之，电动机无法起动。

② 同步转速状态：当电动机转速达到同步转速时，即 $n=n_1$ (或 $s=0$) 时，转子电流 I_2 为零，故转矩 $T=0$ 。

③ 额定转速状态：当电动机在额定状态下运行时，对应的转速称为额定转速 n_N ，此时的转差率称为额定转差率 s_N ，而电动机轴上产生的转矩则称为额定转矩 T_N 。

④ 临界转速状态：当转速为某一值 n_c 时，电动机产生的转矩最大，称为最大转矩 T_m 。

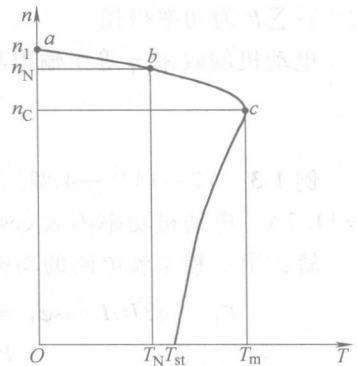


图 1-9 三相异步电动机的机械特性曲线

2) 三相异步电动机的额定转矩。由力学知识可知，旋转体的机械功率等于作用在旋转体上的转矩 T 与其机械角速度 Ω 的乘积，即 $P = T\Omega$ 。因此，三相异步电动机输出转矩的大小为

$$T_2 = \frac{P_2}{\Omega} = \frac{P_2 \times 60}{2\pi n} = \frac{1000 \times 60 \times P_2}{2\pi n} \approx 9550 \frac{P_2}{n}$$

当电动机在额定状态下运行时，有

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N}$$

式中， T_N 、 P_N 、 n_N 分别为额定输出转矩 ($N \cdot m$)、额定输出功率 (kW) 及额定转速 (r/min)。

3) 三相异步电动机的过载能力。电动机产生的最大转矩 T_m 与额定转矩 T_N 之比称为电动机的过载能力 λ ，即

$$\lambda = \frac{T_m}{T_N}$$

4) 三相异步电动机的起动转矩倍数。起动转矩 T_{st} 是衡量电动机起动性能好坏的重要指标, 通常用起动转矩倍数 λ_{st} 表示,

$$\lambda_{st} = \frac{T_{st}}{T_N}$$

5) 三相异步电动机的效率。任何机械在实现能量转换的过程中总有损耗存在, 三相异步电动机也不例外, 因此三相异步电动机轴上输出的机械功率 P_2 总是小于其从电网输入的电功率 P_1 。三相异步电动机在运行中的功率损耗有:

- ① 电流在定子绕组中的铜损 P_{Cu1} 及转子绕组中的铜损 P_{Cu2} 。
- ② 交变磁通在电动机定子铁心中产生的磁滞损耗及涡流损耗, 通称铁损 P_{Fe} 。
- ③ 机械损耗 P_t , 包括电动机在运行中的机械摩擦损耗、风阻及其他附加损耗。

输入的功率 P_1 中有一小部分供给定子铜损 P_{Cu1} , 和定子铁损 P_{Fe} 后, 余下的大部分功率通过旋转磁场的电磁作用经过空气隙传递给转子, 这部分功率称电磁功率 P 。电磁功率扣除转子铜损 P_{Cu2} 和机械损耗 P_t 后即输出功率 P_2 , 电动机的功率平衡方程式为

$$P_2 = P - P_{Cu2} - P_t = P_1 - P_{Cu1} - P_{Fe} - P_{Cu2} - P_t = P_1 - \sum P$$

式中, $\sum P$ 为功率损耗。

电动机的效率 η 等于输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比, 即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

例 1-3 Y2—132S—4 型三相异步电动机的输出功率 $P_2 = 5.5\text{kW}$, 电压 $U_1 = 380\text{V}$, 电流 $I = 11.7\text{A}$, 电动机功率因数 $\cos\phi_1 = 0.83$, 求输入功率 P_1 及输出功率与输入功率之比 η 。

解: 由三相交流电路的功率因数可知

$$P_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos\phi_1 = \sqrt{3} \times 380 \times 11.7 \times 0.83\text{W} \approx 6391\text{W} = 6.391\text{kW}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{5.5}{6.391} \times 100\% \approx 86\%$$

由此可见, 电动机从电网上输入的功率 P_1 为 6.391kW , 而电动机输出的功率只有 5.5kW , 故该电动机在运行中的功率损耗

$$\sum P = P_1 - P_2 = 6.391 - 5.5\text{W} = 0.891\text{kW}$$

例 1-4 有 Y160M—4 及 Y180L—8 型三相异步电动机各一台, 额定功率都是 $P_2 = 11\text{kW}$, 前者额定转速为 1460r/min , 后者额定转速为 730r/min , 分别求它们的额定输出转矩 T_2 。

解: 对于 Y160M—4 型电动机, 有

$$T_2 = 9550 \frac{P_2}{n} = 9550 \times \frac{11}{1460}\text{N} \cdot \text{m} \approx 71.95\text{N} \cdot \text{m}$$

对于 Y180L—8 型电动机, 有

$$T_2 = 9550 \frac{P_2}{n} = 9550 \times \frac{11}{730}\text{N} \cdot \text{m} \approx 143.9\text{N} \cdot \text{m}$$

由此可见, 输出功率相同的异步电动机如果磁极数多, 则转速就低, 输出转矩就大; 磁极数少, 转速高, 则输出的转速就小。

例 1-5 有一台笼型三相异步电动机, 额定功率 $P_N = 40\text{kW}$, 额定转速 $n_N = 1450\text{r/min}$,