



机电类 **新技师** 培养规划教材

机床电气控制

JICHUANG DIANQI KONGZHI

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

组编

黄媛媛 主编

赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本教材是根据中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的技师教学计划和教学大纲编写的。本教材的主要内容包括：电动机的基本知识、常用低压电器、机床电气基本控制环节、典型机床电气控制电路、可编程序控制器的基本知识、数控机床电气控制与维修简介。

本教材的教学计划和大纲是依据《国家职业标准》中对技师的要求制定的，内容立足岗位，以必需、够用为度，符合职业教育的特点和规律。本教材配有教学计划和大纲、电子教案，可供高级技校、技师学院、高等职业院校等教育培训机构使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

机床电气控制/黄媛媛主编. —北京: 机械工业出版社, 2009. 7

机电类新技师培养规划教材

ISBN 978-7-111-27266-3

I. 机… II. 黄… III. 机床-电气控制-技术培训-教材 IV. TG502.35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 081876 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: 王英杰 王晓洁 责任编辑: 王华庆 责任校对: 樊钟英

封面设计: 王伟光 责任印制: 乔 宇

北京双青印刷厂印刷

2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10.25 印张 · 250 千字

0 001 — 4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27266-3

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379761

封面无防伪标均为盗版

机电类新技师培养规划教材 编审委员会名单

主任 郝广发 季连海

副主任 刘亚琴 徐彤 周学奎 何阳春 林爱平 李长江 付志达
李晓庆 刘大力 张跃英 董桂桥

委员 于正明 王军 王德 王兆山 王英杰 付志达 冯小平
李涛 李全利 许炳鑫 张正明 杨君伟 何月秋 何秉戌
周冠生 孟广斌 赵杰士 郝晶卉 贾恒旦 徐卫东 凌爱林
奚蒙 章振周 梁文侠 喻勋良 曾燕燕

策划组 王英杰 徐彤 何月秋 荆宏智

本书主编 黄媛媛

本书参编 张兰英 吴建平 张琛

本书主审 黄庆华

前 言

随着全球知识经济的快速发展，我国工业化建设也呈现迅猛发展之势，因而技术工人十分缺乏。为了顺应形势的发展要求，我国出台了一系列大力发展职业教育的政策：劳动和社会保障部颁布了最新《国家职业标准》，继续实行职业准入制度，并将国家职业资格由三级（初、中、高）改为五级（初、中、高、技师、高级技师），对技术工人的工作内容、技能要求和相关知识进行了重新界定。教育部根据国务院“大力开展职业教育”的精神进行了职业教育的改革，高职学院、中职学校相应地改制、扩招，以培养更多的技术工人。

经过几年的努力，技术工人在数量上的矛盾在一定程度上得到缓解，但在结构比例上的矛盾突显出来。高级工、技师、高级技师等高技能人才在技术工人中的比重远远低于发达国家，而且他们年龄普遍偏大，文化程度偏低，学习高新技术比较困难。为打破这一局面，加快数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才的培养，劳动和社会保障部提出的“新技师培养带动计划”，即在完成“3年50万”新技师培养计划的基础上，力争“十一五”期间在全国培养技师和高级技师190万名，培养高级技工700万名，使我国从“世界制造业大国”逐步转变为“世界制造业强国”。为此，劳动和社会保障部决定：除在企业中培养和评聘技师外，要探索出一条在技师学院中培养技师的道路来。中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会经研究决定，制定机电行业的技师培养方案。

在上述原则的指导下，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织30多所高级技校、技师学院和企业培训中心等单位，经过广泛的调研论证，决定首批选定五个工种（职业）——模具工、机修钳工、电气维修工、焊工、数控机床操作工作为在技师学院培养技师的试点。对学制、培养目标、教学原则、专业设置、教学计划、教学大纲、课程设置、学时安排、教材定位、编写方式等，参照《国家职业标准》中相关工种对技师和高级技师的要求，结合各校、各地区企业的实际，经过历时三年的充分论证，完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作，并明确了教材编写的思想。

使用本套“机电类新技师培养规划教材”在技师学院培养技师，招收的学员必须符合的条件是：已取得高级职业资格（国家职业资格三级）的高级技校的毕业生，或具有高级职业资格证书的本职业或相近职业的人员。本套教材的编写充分体现“教、学、做”合一的职教办学原则，其特点如下：

（1）教材内容新，贴合岗位实际，满足职业鉴定要求。当今国际经济大格局的进程加快了各类型企业的先进加工技术、先进设备和新材料的使用，作为技师必须适应这种要求，教材中也相应增加了新知识、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。另外，教材的内容以《国家职业标准》中对技师和高级技师的知识技能要求为基础，设置的实训项目或实例从岗

位的实际需要出发，是生产实践中的综合性、典型性的技术问题，既最大限度地体现学以致用目的，又满足学生毕业考工取得职业资格证书的需要。

(2) 针对每个工种（职业），均编写一本《相关工种技能训练》。随着全球化进程的加快，我国的生产力发展水平和职业资格体系应与国际相适应，因此，技师应该是具有高超操作技能的复合型人才。例如，模具工技师不应仅是模具工方面的行家里手，还应懂得车、铣、数控、磨、刨、镗和线切割、电火花等加工，以适应现代制造业的发展趋势，故此《相关工种技能训练（模具工）》中，就包含上述内容。其他工种与此类似。

(3) 理论和技能有机结合。劳动和社会保障部颁布的“新技师培养带动计划”中明确指出“建立校企合作培养高技能人才”的制度，现在许多技师学院从企业中聘请具有丰富实践经验的工程技术人员作为技能课教师，各专题理论与实践融合在一起的编写方式，更适于这种教学制度。

(4) 单独编写了两本公共课教材——《实用数学》和《应用文写作》。新时代对技师的要求不仅是技术技能型人才，还应是知识技能型甚至是复合技能型的高技能人才，有一定的数学理论基础和写作能力是新技师必备的素质。《实用数学》运用微积分知识分析解决生产中的实际问题，少推理，重应用；《应用文写作》除介绍普通事务文书、经济文书、法律文书、日常事务文书的写法外，还教授科技文书的写法，其中科技论文的写法对于技师论文的写作会有很大裨益。

(5) 绝大部分书配有电子教案。电子教案包括教学计划、教学大纲、每章的培训目标、内容简介、重点难点，教师上课的板书，本章小结、配套习题及答案等。

(6) 练习题是国家题库及各地鉴定考题的综合归纳和提升。

本套教材的编写得到了各技师学院、高级技工学校领导的高度重视和大力支持，编写人员都是职业教育教学一线的优秀教师，保障了这套教材的质量。在此，对为这套教材出版给予帮助和支持的所有学校、领导、老师表示衷心的感谢！

本书由黄媛媛统稿并任主编，张兰英、吴建平、张琛参加编写，黄庆华任主审。

由于编写时间和编者水平所限，书中难免存在不足或错误，敬请广大读者不吝赐教！

**中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会**

目 录

前言

第一章 电动机的基本知识	1
第一节 直流电动机	1
一、直流电动机的工作原理	1
二、直流电动机的结构	2
三、直流电动机的额定参数	4
四、直流电动机的分类	4
五、直流电动机的起动、调速和制动	4
第二节 三相笼型异步电动机	7
一、三相笼型异步电动机的结构	7
二、三相笼型异步电动机的工作原理	8
三、三相笼型异步电动机的铭牌与额定值	10
四、三相笼型异步电动机的安全运行	11
第三节 单相异步电动机	17
一、单相异步电动机的基本知识	17
二、单相电容分相式异步电动机	18
三、单相电容分相式异步电动机常见故障分析	19
复习思考题	20
第二章 常用低压电器	21
第一节 低压电器的基本知识	21
一、低压电器的分类	21
二、低压电器型号的组成形式	22
第二节 低压开关电器	23
一、刀开关	24
二、组合开关	26
三、低压断路器	27
第三节 主令电器	28
一、控制按钮	28
二、位置开关	30
三、选择开关	32
第四节 接触器	33
第五节 继电器	36
一、中间继电器	37
二、时间继电器	38
三、速度继电器	40

第六节 保护电器	41
一、熔断器	41
二、热继电器	44
第七节 执行电器	45
一、电磁铁	45
二、电磁离合器	46
三、电磁阀	46
复习思考题	47
第三章 机床电气基本控制环节	49
第一节 电气图基本知识	49
一、电气图的图形符号和文字符号	49
二、机床电气图及其绘制原则	50
第二节 三相笼型异步电动机的正转控制电路	54
一、手动正转控制电路	54
二、点动正转控制电路	54
三、接触器自锁正转控制电路	55
四、电动机点动与长动混合正转控制电路	57
第三节 三相笼型异步电动机的正反转控制电路	58
一、倒顺开关实现的正反转控制电路	59
二、接触器联锁的正反转控制电路	60
三、按钮和接触器双重联锁的正反转控制电路	62
第四节 位置控制与工作台自动往返循环控制电路	63
一、位置控制	63
二、位置控制电路	63
三、工作台自动往返循环控制电路	65
第五节 顺序控制与多地控制电路	67
一、顺序控制及电路	67
二、多地控制及其电路	69
第六节 电动机的延时控制电路	70
一、延时控制	70
二、用时间继电器实现的笼型异步电动机Y- Δ 减压起动自动控制电路	71

三、根据控制要求设计延时电路	73	电路	102
复习思考题	74	四、XA6132 型卧式铣床的电气控制	
第四章 典型机床电气控制电路	76	电路组成	104
第一节 识读机床电气控制电路图及维修		五、XA6132 型卧式铣床的电气控制	
机床电气设备的基本方法	76	电路原理分析	105
一、阅读和分析机床电气图的方法	76	六、XA6132 型卧式铣床的常见故障	
二、机床电气设备检修时的测试工具	77	分析	107
三、检修机床电气故障的步骤	79	复习思考题	108
四、机床电气故障的检修方法	80	第五章 可编程序控制器的基本	
五、机床电气故障修复及注意事项	84	知识	110
第二节 车床的电气控制	84	第一节 可编程序控制器概述	110
一、CA6140 型卧式车床的型号、构造及		一、可编程序控制器的发展概况	110
运动形式	84	二、可编程序控制器的基本结构、工作	
二、CA6140 型卧式车床电气控制要求	85	原理及主要性能指标	113
三、机床电气控制电路	86	第二节 可编程序控制器内部的元器件及编程	
四、电路组成	86	语言介绍	119
五、机床电路分析	87	一、可编程序控制器内部的元器件	119
六、常见故障分析	88	二、可编程序控制器的编程语言	121
第三节 摇臂钻床的电气控制	88	第三节 梯形图编程方法及基本指令	
一、Z3050 型摇臂钻床的主要结构及运动		介绍	123
形式	88	一、梯形图简介	123
二、Z3050 型摇臂钻床电气控制要求	89	二、梯形图编程的规则	125
三、Z3050 型摇臂钻床电气控制电路	89	三、梯形图编程步骤	125
四、Z3050 型摇臂钻床电气控制电路		四、FX 系列可编程序控制器的基本指令	
组成	89	介绍	126
五、机床电路原理分析	89	五、梯形图编程实例	130
六、常见故障分析	93	复习思考题	135
第四节 M7120 型平面磨床的电气控制	94	第六章 数控机床电气控制与维修	
一、M7120 型平面磨床的主要结构及运动		简介	137
形式	94	第一节 数控机床及其电气控制	137
二、M7120 型平面磨床的电气控制要求	94	一、数控机床的基本知识简介	137
三、M7120 型平面磨床的电气控制电路	95	二、数控机床的驱动电动机介绍	143
四、M7120 型平面磨床电气控制电路		第二节 数控机床使用、维护和维修	
组成	96	介绍	146
五、机床电路原理分析	97	一、数控机床的使用	146
六、常见故障分析	99	二、数控机床的维护	146
第五节 XA6132 型卧式铣床的电气控制	100	三、数控机床的维修	147
一、XA6132 型卧式铣床的型号、主要		复习思考题	149
结构及运动形式	100	附录 电气图常用图形符号	150
二、卧式铣床的电力拖动特点与控制		参考文献	154
要求	101		
三、XA6132 型卧式铣床的电气控制			

第一章 电动机的基本知识

本章应知

1. 电动机的分类。
2. 直流电动机、三相笼型异步电动机、单相异步电动机等常用电动机的基本构成及其作用。

本章应会

1. 掌握常用电动机的工作原理，会依据电动机的额定参数正确使用电动机。
2. 掌握三相笼型异步电动机的安全运行知识。
3. 当电动机出现故障时，能根据电动机的构成和工作原理，分析故障原因，排除简单故障。

机床是机械制造业的主要加工设备，机床设备的运动主要是由电动机拖动运行的。机床设备所用电动机的种类不同，对机床设备实现的控制方法也不同。电动机的质量及其运行特性，都直接影响着机床的性能。本章将重点介绍常用电动机的结构、工作原理、额定参数及其运行。

第一节 直流电动机

直流电机是进行机械能和直流电能相互转换的一种可旋转的机电设备。将机械能转变为直流电的电机称为直流发电机；将直流电能转变为机械能的电机称为直流电动机。

本节主要介绍直流电动机的工作原理、基本结构及其类别。

一、直流电动机的工作原理

图 1-1 所示为两磁极直流电动机的工作原理示意图。在磁极 N 和 S 之间，放置有一个能绕轴旋转的线圈 ($abcd$)，线圈的两端分别与两个半圆形的换向片相连接，换向片与电刷滑动接触，电刷的 A 端接电源正极，电刷的 B 端接电源负极，电刷将外面直流电源加到线圈上。

直流电动机是依据通电导体在磁场中受力的作用并产生运动的原理来工作的。在图 1-1a 中，N 极下面的线圈有效边 ab 的电流方向是由 a 流向 b ，根据左手定则，导线 ab 受力方向向左；同理导线 cd 受力方向向右。这一对电磁力 F 相对转轴形成了电磁转矩，电磁转矩使线圈逆时针旋转，因线圈固定在电动机的转轴上，带动电动机也逆时针旋转起来。

当线圈转过 180° ，在图 1-1b 所示位置时，导线 ab 转到 S 极下，导线 cd 转到 N 极下，导线中的电流方向分别变为由 d 到 c 和由 b 到 a ，即线圈内的电流方向发生改变，但由于换向器和电刷的作用，使 N 极和 S 极下面导线的电流方向并没有发生改变，所以导线所受的电磁力方向也没有改变，线圈所受的电磁转矩方向仍为逆时针，这样就使电动机一直按逆时

针旋转。

换向器的作用是：随着线圈的旋转，当线圈进入异性磁极时，换向器使线圈的电流方向发生改变。由于换向器与电刷的接触，使电刷 A 始终和 N 极下面的导线相连，电刷 B 则始终与 S 极下面的导线相连，这样保证了在 N 极、S 极下的导体中的电流方向始终保持不变，从而使线圈的受力方向和旋转方向保持不变，使电动机能连续旋转，如图 1-1 所示。

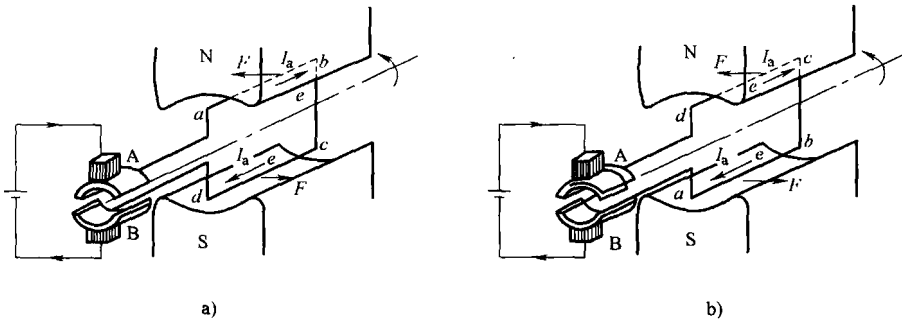


图 1-1 直流电动机的工作原理示意图

直流电动机的工作原理：直流电动机通过电刷将外加直流电输入到电枢绕组中，在电枢绕组中产生电流，依据通电导体在磁场中受力的作用原理，电枢绕组在磁场中受电磁力的作用并形成电磁转矩，电磁转矩使电动机旋转起来；由于换向器和电刷的作用，使每个磁极下的导体中的电流方向始终保持不变，因此电枢绕组的受力方向和旋转方向保持不变，结果使电动机连续旋转，把直流电能转换成机械能输出。

二、直流电动机的结构

直流电动机的结构可分为定子和转子两大部分，定子和转子之间存在的空隙称为气隙。直流电动机的结构如图 1-2 所示。

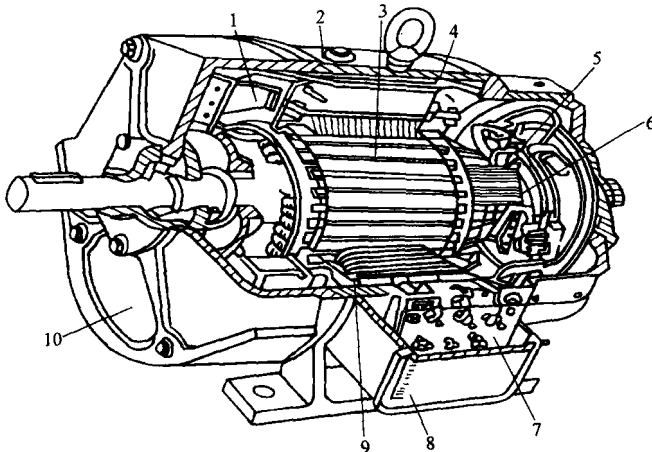


图 1-2 直流电动机的结构

- 1—风扇 2—机座 3—电枢 4—主磁极 5—电刷架 6—换向器
7—接线板 8—出线盒 9—换向极 10—端盖

1. 定子部分

直流电动机定子部分的主要作用是产生主磁场和作为机械的支撑。定子部分包括机座、主磁极、换向磁极、电刷装置、端盖和轴承等。

(1) 机座 机座有两方面的作用：一方面起导磁作用，作为电动机磁路的一部分；另一方面起支撑作用，用来安装主磁极和换向磁极，并通过端盖支撑转子部分。机座一般用导磁性能较好的铸钢件或钢板焊接而成。

(2) 主磁极 主磁极用来产生电动机的主磁场，它由主磁极铁心和励磁绕组组成。主磁极铁心为电动机磁路的一部分，为了减少涡流损耗，一般采用1~1.5mm厚的钢板冲制后叠装制成，用铆钉铆成一个整体。主磁极励磁绕组的作用是通入直流电产生励磁磁场（即主磁场）。主磁极励磁绕组通常由铜导线绕制而成，经绝缘处理后，套在主磁极铁心上，整个主磁极再用螺栓紧固在机座上，如图1-3所示。

(3) 换向磁极 换向磁极是位于两个主磁极之间的小磁极，又称为附加磁极。其作用是产生换向磁场，改善电动机的换向。它由换向磁极铁心和换向磁极绕组组成。

(4) 电刷装置 电刷装置的作用是：通过电刷与换向器的滑动接触，把电枢绕组中的电动势（或电流）引到外电路，或把外电路的电压、电流引入到电枢绕组。要求电刷有较好的导电性能和耐磨性能，一般用石墨粉压制而成。

电刷装置由电刷、刷握、刷杆、刷杆座和压力弹簧等组成，如图1-4所示。

2. 转子部分

转子部分通称为电枢，是产生感应电动势、电流、电磁转矩，实现能量转换的部件。它由电枢铁心、电枢绕组、换向器、风扇、镀锌钢丝和转轴等组成，如图1-5所示。

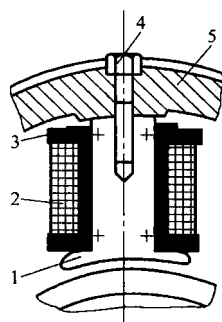


图1-3 主磁极的结构

- 1—主极磁铁心
2—励磁绕组 3—绝缘框架
4—螺栓 5—机座

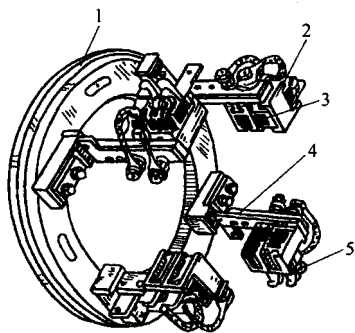


图1-4 电刷装置

- 1—刷杆座 2—刷握 3—电刷
4—刷杆 5—压力弹簧

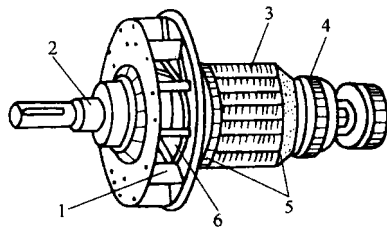


图1-5 直流电动机转子的结构

- 1—风扇 2—转轴 3—电枢铁心
4—换向器 5—镀锌钢丝 6—电枢绕组

(1) 电枢铁心 电枢铁心是直流电动机主磁路的一部分，电枢铁心槽用于嵌放电枢绕组。电枢转动时，铁心中的磁通方向不断变化，会产生涡流和磁滞损耗。为了减少损耗，电

枢铁心一般采用厚度为0.5mm的表面有绝缘层的硅钢片叠压而成。

(2) 电枢绕组 电枢绕组的作用是：通过电流并产生感应电动势和电磁转矩，从而实现能量转换。电枢绕组通常用圆形或矩形截面的绝缘导线绕制而成，再按一定的规律嵌放在电枢铁心槽内，利用绝缘材料进行电枢绕组和铁心之间的绝缘处理。

(3) 换向器 换向器由许多相互绝缘的换向片组成，每个换向片都与电枢绕组的一个线圈相连。通过换向器与电刷的接触实现将外部的直流电流转变成电枢绕组中的交变电流。换向器结构如图1-6所示。

(4) 转轴 转轴的作用是用来传递转矩。为了使电动机能可靠地运行，转轴一般用合金钢锻压加工而成。

(5) 风扇 风扇用来降低运行中电动机的温升。

三、直流电动机的额定参数

(1) 额定功率 (P_N) 电动机在额定工作状态下，即在额定电压、额定负载和规定冷却条件下运行时，允许的轴上输出功率。

(2) 额定电流 (I_N) 电动机在额定工作状态下从电源输入的电流。

(3) 额定电压 (U_N) 电动机正常运行时的电源电压。

(4) 额定转速 (n_N) 电动机在额定状况下运行时转子旋转的转速。

(5) 励磁方式 电动机的励磁方式决定了励磁绕组和电枢绕组的接线关系，有他励、并励、串励、复励等励磁方式。

(6) 额定励磁电压 (U_{fN}) 它是指加在励磁绕组两端的额定电压。

(7) 额定励磁电流 (I_{fN}) 它是指电动机额定运行时所需要的励磁电流。

(8) 定额 (工作方式) 电动机在额定状态运行时能持续工作的时间。电动机定额分为连续、短时、断续3种。

(9) 温升 电动机各发热部分的温度与周围冷却介质温度之差称为温升。

(10) 绝缘等级 表示电动机各绝缘部分所用的绝缘材料的等级。

四、直流电动机的分类

按照直流电动机的主磁场产生的不同，可分为两大类：一类是由永久磁铁作为主磁极产生磁场，称为永磁式直流电动机；另一类是利用主磁极绕组通入直流电产生主磁场，称为励磁式直流电动机。

励磁式直流电动机按照主磁极绕组与电枢绕组接线方式的不同，又可以分为他励式直流电动机和自励式直流电动机两种。自励式直流电动机又分为并励、串励、复励等几种。它们的接线如图1-7所示。

五、直流电动机的起动、调速和制动

1. 直流电动机的起动

对直流电动机起动性能的一般要求是：在电动机起动电流不超过允许值的情况下，获得尽可能大的起动转矩；起动平稳、起动时间短及设备操作简单、方便等。

直流电动机的起动方法有3种，即全压起动、电枢回路串电阻起动和减压起动。

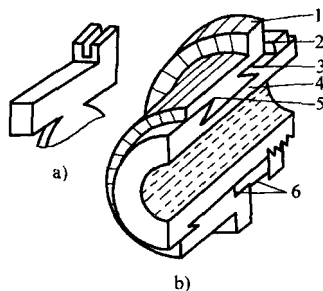


图1-6 直流电动机换向器的结构

a) 换向片 b) 换向器结构

1—片间云母 2—螺母 3—V形环

4—套筒 5—换向片 6—云母

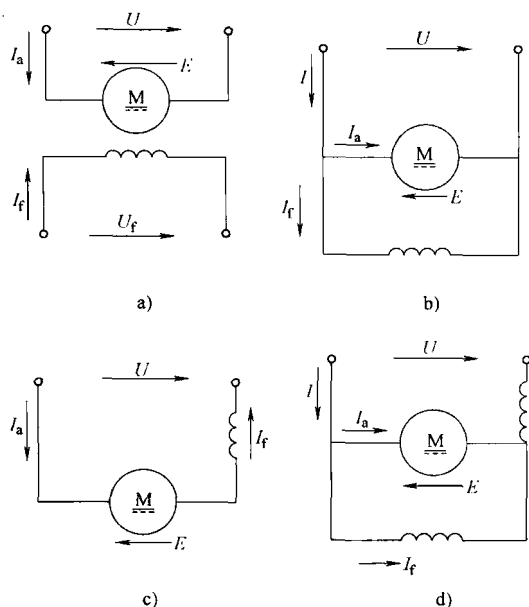


图 1-7 励磁式直流电动机的接线

a) 他励式直流电动机 b) 并励式直流电动机 c) 串励式直流电动机 d) 复励式直流电动机

I_f —通过励磁绕组的电流 I_a —通过电枢绕组的电流 U —输入电源电压

U_f —加到励磁绕组上的电压（只有他励电动机需要提供此电压） E —电枢绕组上产生的反电动势

(1) 全压起动（也称直接起动） 全压起动是将电动机直接接到额定电压的电源上起动。全压起动的主要优点是不需要附加起动设备、操作简便。但其主要缺点是由于起动瞬间转子转速为零，又由于电枢回路电阻很小，起动电流会很大，可达到额定电流的 10~20 倍。这不仅不利于电网上其他电气设备的运行，还会使电动机机组受到较大的机械冲击，使直流电动机换向恶化。一般情况下，功率不大于 1kW 和起动电流为额定电流 6 倍以下的直流电动机，可允许进行全压起动。

(2) 电枢回路串电阻起动 它是通过在电枢回路内串入起动电阻而产生分压进行起动。它可以限制起动电流，但起动电流也不能太小，一般应控制在 2~2.5 倍额定电流的范围内，并使起动转矩大于额定转矩，使电动机能迅速完成起动过程。

起动电阻通常是一只只能分级的可变电阻器，在起动过程中应及时地将它逐级短接。一般不允许将起动电阻器在电动机正常运行时接入电路使用，因为长时间通过电流不仅会烧坏电阻器，而且还要消耗电能。

这种起动方法广泛应用于各种规格的直流电动机，但由于它在起动过程中能量消耗较大，因此，对于经常频繁起动的电动机和大、中型电动机不宜采用。

(3) 减压起动 减压起动是通过降低电源电压的方法来使电动机起动，以限制起动电流，在起动后再逐渐升压，直至恢复额定电压，使电动机进入正常运行状态。这种起动方法，在起动过程中能量消耗少、起动平滑，但需配有一套专用的可调电源设备，故成本较大，所以多数用于要求频繁起动、调速要求高的大、中型他励式直流电动机。

2. 直流电动机的调速

直流电动机的调速是指在负载转矩不变的情况下,使电动机从原来转速改变到预定的转速。直流电动机的调速方法有3种,即改变电枢端电压调速、改变电枢回路电阻调速和改变励磁磁通调速。3种调速方法的比较见表1-1。

表1-1 直流电动机3种调速方法的比较

调速方法 比较项	改变电枢端电压调速	改变电枢回路电阻调速	改变励磁磁通调速
调速方向	从额定转速 n_N 向下调	从额定转速 n_N 向下调	从额定转速 n_N 向上调
调速平滑性	好	差	好
调速稳定性	好	差	较好
电能损耗	较小	大	小
输出	恒转矩	恒转矩	恒功率
特点及适用范围	可实现无级调速,调压电源设备复杂,成本高。因调速性能优越,被广泛应用	为有级调速,设备简单,但功率损耗大,只应用于对调速性能要求不高的中、小功率的电动机	可实现无级调速,但调速范围较小,只适用于从额定转速 n_N 向上的调速

3. 直流电动机的制动

直流电动机在脱离电源后,常要求能迅速停转,能实现这一目的的方法称为制动。

电力拖动系统的停车方式有两种:一种是自由停车,即断开电源,电动机转速逐渐减慢,最后停车;另一种是使直流电动机加速停车,即电动机的制动。电动机的制动可用两种方法:一是机械制动,采用电磁制动器,俗称“抱闸”停车;二是用电气制动,使电动机产生制动转矩,加快减速、停车。

电气制动的特点是:电动机转矩 T 与转速方向相反,电动机吸收机械能并转化为电能。常用的电气制动方法有能耗制动、反接制动和回馈制动。

(1) 能耗制动 电动机原来处于电动状态下运行,若突然切断电枢电源,并将电枢绕组接到制动电阻上,由于机械惯性,转速方向不变,电动势 E 不变,此时电动机电枢绕组的电流方向与电动状态时相反,则电动机此时产生的转矩与转速方向相反,起制动作用,使系统的动能变为电能,消耗在电枢电阻上和制动电阻上。能耗制动在零速时,没有转矩,可准确停车。

(2) 反接制动 电枢反接的反接制动是把运转中的电动机电枢绕组反接到电源上,由于机械惯性,转速方向不能立即改变,则电动势 E 不变,此时电动机电枢绕组的电流方向与电动状态时相反,则电动机此时产生的转矩 T 与转速 n 方向相反,起制动作用,使电动机迅速停车。由于反接制动时电枢电压与反电动势方向相同,所以制动电流很大。为了限制电枢电流,电枢电路必须串接很大的制动电阻,以保证电枢电流不超过 $1.5 \sim 2.5$ 倍的额定电流。如果电动机不需要反转,则制动结束后,必须切断电源,否则电动机将反转。

(3) 回馈制动 它也称为发电反馈制动、再生制动。在处于电动状态下运行的电动机轴上加一外力矩,且与电动机原转动动力矩方向相同,两者共同作用使转速 n 不断升高超过理想空载转速,此时产生的电动势 E 反向,电动机的转矩 T 的方向也随之反向,起制动作用,由于电动机向电网输送电流,即回馈电能,因此称为回馈制动。回馈制动一般用于位能负载

下放重物的过程中。

第二节 三相笼型异步电动机

电动机按所需电源的不同分为直流电动机和交流电动机，交流电动机按工作原理又分为同步电动机和异步电动机。三相笼型异步电动机因结构简单、制造容易、价格低廉，坚固耐用、使用维护方便和效率较高等一系列优点，被广泛应用。

一、三相笼型异步电动机的结构

三相笼型异步电动机也是由定子和转子两大部分组成，其中固定不动的部分称为定子，旋转的部分称为转子。在定子和转子之间有一很小的间隙，称为气隙。异步电动机的气隙较小，一般为 $0.25 \sim 2.0\text{mm}$ 。三相笼型异步电动机的结构如图1-8所示。

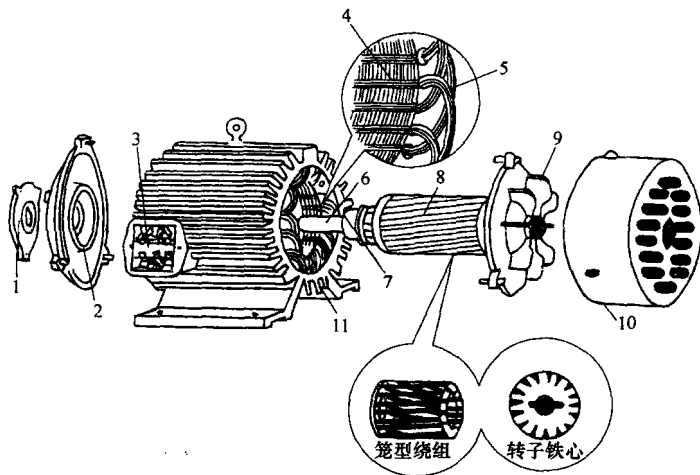


图 1-8 三相笼型异步电动机的结构

1—轴承盖 2—端盖 3—接线盒 4—定子铁心 5—定子绕组 6—转轴
7—轴承 8—转子 9—风扇 10—罩壳 11—机座

1. 定子部分

定子部分由机座、定子铁心、定子绕组等组成。

(1) 机座 它主要是用来支承定子铁心和固定端盖。中、小型异步电动机一般都采用铸铁铸成，小机座也有的用铝合金铸成，大型电动机大多采用钢板焊接而成。

(2) 定子铁心 它是电动机磁路的一部分。为了减少铁心中的涡流和磁滞损耗，铁心一般采用厚度为 0.5mm 且表面有绝缘层的硅钢片叠压而成。铁心内圆有均匀分布的槽，用以嵌放定子绕组。

(3) 定子绕组 它是电动机的电路部分，由绝缘的铜或铝导线绕成许多线圈，线圈按一定规律连接在一起形成每一相绕组。三相笼型异步电动机有三相定子绕组，即U、V、W相。三相定子绕组的作用是通入三相对称的交流电，产生旋转磁场。

小型电动机的定子绕组一般采用高强度漆包圆铜（铝）线；大、中型电动机常采用扁铜（铝）线。中、小型异步电动机通常把定子三相绕组的6个端头都引到接线板上，根据需要可接成星形（Y）联结或三角形（ Δ ）联结。三相定子绕组的联结方式如图1-9所示。

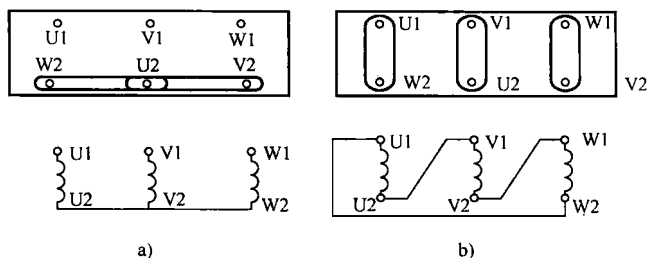


图 1-9 三相笼型异步电动机定子绕组的联结方式
a) 定子绕组星形 (Y) 联结 b) 定子绕组三角形 (Δ) 联结

图 1-9 中, U_1 、 V_1 、 W_1 为三相定子绕组的首端, U_2 、 V_2 、 W_2 为三相定子绕组的末端。一个首端和一个末端构成一相绕组, 如 U_1 、 U_2 构成 U 相绕组, V_1 、 V_2 构成 V 相绕组, W_1 、 W_2 构成 W 相绕组。定子绕组星形 (Y) 联结是将三相绕组的末端接在一起, 给三相绕组的首端输入三相对称的交流电源。定子绕组三角形 (Δ) 联结是分别将一相绕组的首端和另一相绕组的末端接在一起, 形成一个三角形 (Δ), 再给每相绕组的首端输入三相对称的交流电源。

2. 转子部分

转子部分由转子铁心、转子绕组和转轴、风扇等组成。整个转子靠轴承和端盖支承着。

(1) 转子铁心 它是电动机磁路的一部分, 一般用厚度为 0.5mm 的硅钢片叠压而成, 转子铁心外圆均匀地冲有许多槽, 用以嵌放转子绕组。转子铁心通常固定在转轴上。

(2) 转子绕组 转子绕组的作用是产生感应电动势和电流, 并在旋转磁场的作用下产生电磁转矩而使转子转动。笼型转子绕组是在每个转子铁心槽中插入一铜条, 在铜条两端各用一铜环 (也称为端环) 把铜条连接起来, 如果去掉铁心, 整个绕组的外形就像一个圆形笼子, 故称为笼型转子绕组。小型笼型电动机一般都采用铸铝转子, 用熔化了的铝液直接浇铸在转子槽里, 连同端环、风扇一次铸成。大、中型电动机常用铜条插入转子槽中, 再在两端焊上端环。笼型转子绕组的结构如图 1-10 所示。

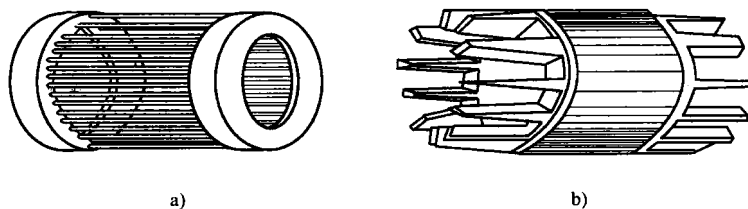


图 1-10 笼型转子绕组的结构
a) 铜条笼型转子绕组 b) 铸铝笼型转子绕组

(3) 转轴和风扇 转轴一般用中碳钢制成, 其作用是固定转子铁心和传递功率。风扇用于电动机内部的散热。

二、三相笼型异步电动机的工作原理

1. 旋转磁场的产生

三相异步电动机的转子之所以会旋转，能够实现能量的转换，主要是因为定子和转子之间的气隙内分布着旋转的磁场。

旋转磁场产生的条件：

- 1) 三相定子绕组每相绕组的匝数相等，彼此相隔 120° 电角度，即在空间对称分布。
- 2) 三相定子绕组内通入对称的三相交流电源 i_U 、 i_V 、 i_W ，它们的幅值和频率相等，相位互差 120° 电角度。电流的表达式为

$$i_U = I_m \sin \omega t$$

$$i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

图 1-11 表示给空间对称分布的三相定子绕组中通入对称的三相交流电，其结果在气隙中形成了旋转的磁场。

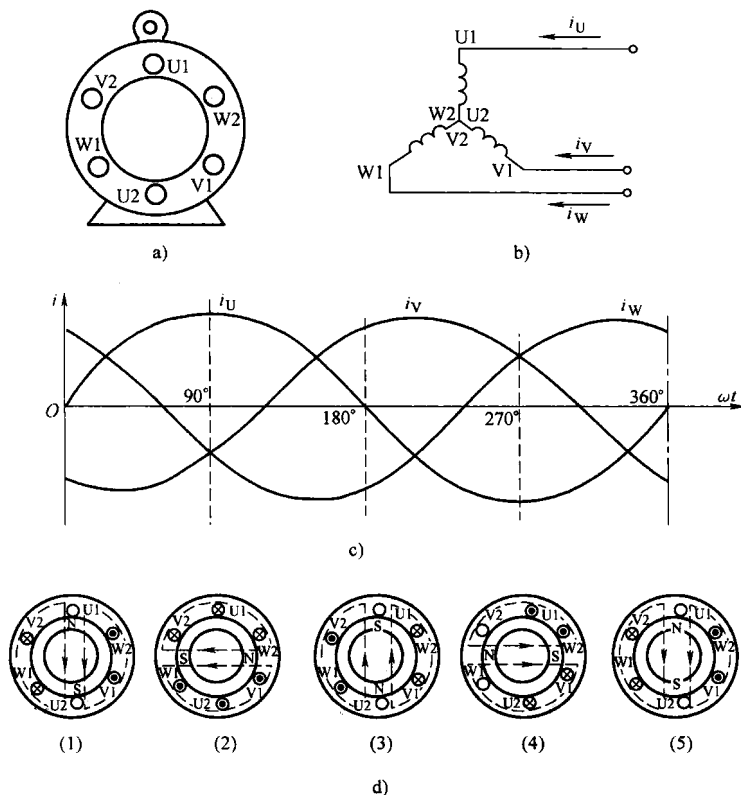


图 1-11 两极旋转磁场的形成

- a) 简化的定子三相绕组分布 b) 三相定子绕组通入三相交流电源
c) 对称三相交流电的波形 d) 两极旋转磁场的形成

旋转磁场的转速用 n_1 表示，称为同步转速。旋转磁场的转速可表示为

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

f_1 表示输入的三相交流电的频率，单位为赫兹，用 Hz 表示，我国交流电频率为 50Hz。
 p 表示定子绕组通入三相交流电所产生的磁场的磁极对数，如两极磁场 $p = 1$ ，四极磁场

$p=2$ 。改变电动机磁极对数 p 的值，通常是通过改变三相定子绕组的接线方式实现的。例如，若把定子绕组的每半相绕组反接，使半相绕组的电流反向，则此时电动机的磁极对数便成倍地变化。

2. 转子感应电流的产生

当电动机产生的旋转磁场以转速 n_1 旋转时，开始时转子是静止的，故转子导体将被旋转磁场切割而产生感应电动势。感应电动势的方向用右手定则判定（由于运动是相对的，可以假定磁场不动而转子导体作逆时针旋转），又因转子导体两端被短路环短接，为闭合回路，则在导体中有感应电流产生。感应电流方向如图 1-12 所示，从上部流入用“·”表示、下部流出用“×”表示。

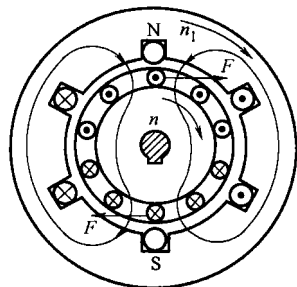


图 1-12 笼型异步电动机的工作原理

3. 转子电磁力矩的产生

有感应电流的转子导体在旋转磁场中会受电磁力的作用，力的方向可用左手定则判定。根据左手定则可判定转子导体所受到的电磁力的方向为图 1-12 中所示的 F 方向，这一对电磁力形成电磁转矩。电磁转矩使转子沿顺时针方向旋转。

由上述分析可知，异步电动机的转子转向与旋转磁场转向一致，如果转子转速等于同步转速，则转子与旋转磁场之间的相对运动就消失了，转子导体不再切割磁力线，转子导体便没有感应电动势和感应电流，这时电磁转矩等于零，即转子旋转的动力消失，在转子固有阻力矩的作用下，转子的速度减慢，一旦转子速度小于同步转速，转子导体又开始切割旋转磁场磁力线，转子重新受到电磁转矩的作用。因此，异步电动机的转子转速 n 总是小于旋转磁场的转速 n_1 ，这样才能保证电动机的连续运转，故这种电动机称为异步电动机。

由上述异步电动机的工作原理可知 $n \neq n_1$ ， $n_1 - n$ 称为异步电动机的转差。转差与同步转速 n_1 的比值称为转差率，用 s 表示，即

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

转差率是异步电动机的一个基本参数，对分析和计算异步电动机的运行状态及其机械特性，有着重要意义。当电动机起动瞬间， $n=0$ ， $s=(n_1-0)/n_1=1$ ；随着转子转速升高，当 $n=n_1$ 时， $s=(n_1-n_1)/n_1=0$ 。转差率 s 的取值范围在 0 与 1 之间（即 $0 < s < 1$ ）。当异步电动机额定运行时， $s=s_N$ （ s_N 称为额定转差率），通常 s_N 在 0.01~0.05 范围取值。

三、三相笼型异步电动机的铭牌与额定值

在电动机的机座上有一块金属牌，称为铭牌，如图 1-13 所示。在铭牌上标明了电动机的主要技术数据，供正确选择、使用电动机。

1. 型号

例如，三相笼型异步电动机型号为 Y—112M—4，其中，Y 表示电动机的系列代号，112 表示基座至输出转轴的中心高度（mm），M

三相笼型异步电动机			
型号 Y—112M—4	编号		
4.0kW	8.8A		
380V	1440r/min	LW82dB	
接法 Δ	防护等级 IP44	50Hz	45kg
标准编号	工作制 SI	B 级绝缘	
×× 电机厂			

图 1-13 电动机的铭牌示意图