



普通高等教育机电类 "十三五" 规划教材

机电传动与控制基础

王 丰 李明颖 琚立颖 ○ 编著

JIDIAN CHUANDONG
YU KONGZHI JICHU

□□□□ □□ □ □ □ □ □□ □ □
□□□□ □ □□ □□□□□ □ □



 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机电类“十三五”规划教材

机电传动与控制基础

王 丰 李明颖 琚立颖 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以机电传动和电气控制两条主线编写而成，并着力突出专业特点；内容安排力求“少而精”，尽量减少与其他相关课程的内容交叉和重叠，同时又兼顾相关知识的必要引入，避免因与前修课程开设时间相隔太久而造成的专业知识衔接困难等问题。本书包括绪论、机电传动的基础知识、常用低压电器元件、继电器控制、PLC 控制、控制电动机及其驱动、变频器。书中包含一些实用技术资料，包括常用电器元件图形符号新旧标准对照、德国百格拉步进电动机驱动器和德国西门子 MM440 变频器以及 S7-200 系列 PLC 的重要信息等。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业和机械电子工程专业的教材，也可供从事电气控制技术工作的工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

机电传动与控制基础 / 王丰, 李明颖, 琚立颖编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.1

普通高等教育机电类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-121-30329-6

I. ①机… II. ①王… ②李… ③琚… III. ①电力传动控制设备—高等学校—教材 IV. ①TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 271240 号

策划编辑: 赵玉山

责任编辑: 赵玉山

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 10.25 字数: 262 千字

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: zhaoy@phei.com.cn。

前 言

“机电传动控制”是机械设计制造及其自动化专业以及机械电子工程专业的一门专业技术基础课，是机电一体化复合型人才所需电知识结构的躯干。近年来，许多高校采取了“强化基础，淡化专业差别”的措施，因此专业课学时普遍被缩减，该课程在一些学校仅有 28 个授课学时。本书正是为了顺应这一形势而做出的新尝试。

本书力求全面、简洁、实用、够用，使读者能够对机电传动控制的一般原理和基础知识有一个较为全面的了解。本书分为 7 章，第 1 章“绪论”介绍机电传动控制的目的、任务及其发展，以及机电传动控制系统的基础知识；第 2 章“机电传动的基础知识”介绍直流电动机和交流电动机的结构和工作原理、生产机械和电动机的机械特征以及电动机的运转状态；第 3 章“常用低压电器元件”介绍常用低压电器元件（包括一些新型元器件）的基本结构、工作原理及型号意义；第 4 章“继电器接触器控制”介绍电气原理图绘制基础、继电器接触器控制系统设计的基本原则以及继电器接触器控制基本控制线路；第 5 章“PLC 控制”以德国西门子公司 S7-200 系列 PLC 为例介绍 PLC 基本知识、S7-200 PLC 基础以及 S7-200 PLC 常用指令；第 6 章“控制电动机及其驱动”介绍电传动控制系统中的常用控制电动机，如直流伺服电动机、交流伺服电动机、步进电动机的工作原理及其基本控制方法；第 7 章“变频器”以西门子公司 MM440 变频器为例介绍变频器的基本结构、功能、选用方法及参数设定等。本书所用图形符号和文字符号均采用新的国家标准（GB/T 4728—2005~2008《电气简图用图形符号》及 GB 7159—87《电气技术中的文字符号制订通则》）。书中包含一些实用技术资料，涉及德国百格拉步进电动机驱动器、德国西门子 MM440 变频器以及德国西门子 S7-200 系列 PLC 等；第 4 章还列出了常用电器元件图形符号新旧标准对照，以便于读者能够理解并转化用旧标准绘制的电气图纸。

参加本书编著工作的有王丰、李明颖和据立颖，全书由王丰统稿和定稿，除了第 1 章由李明颖和王丰共同编著、第 7 章由据立颖编著外，其余均由王丰完成。据立颖还负责文字录入、图片绘制和课件制作等工作。

“机电传动控制”涉及多个学科，由于作者水平所限，书中不可避免地会存在一些不妥之处，敬请各位读者不吝赐教。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机电传动控制的目的和任务	1
1.2 机电传动控制的发展	1
1.2.1 机电传动的发展	1
1.2.2 控制方式的发展	2
1.3 机电传动控制系统的组成和分类	4
1.3.1 机电传动控制系统的组成	4
1.3.2 机电传动控制系统的分类	4
习题与思考题	5
第 2 章 机电传动的基础知识	6
2.1 电动机结构和工作原理	6
2.1.1 直流电动机的结构和工作原理	6
2.1.2 交流电动机结构和工作原理	9
2.2 机械特性	10
2.2.1 生产机械的机械特性	11
2.2.2 电动机的机械特性	11
2.3 电动机的运转状态	14
习题与思考题	14
第 3 章 常用低压电器元件	15
3.1 控制电器	15
3.1.1 接触器	15
3.1.2 继电器	20
3.2 保护电器	22
3.2.1 热继电器	23
3.2.2 熔断器	24
3.3 信号电器	28
3.3.1 速度继电器	28
3.3.2 压力继电器	29
3.3.3 温度继电器	30
3.4 开关电器	31
3.4.1 隔离器(开关)	31
3.4.2 刀开关	32
3.4.3 断路器	34

3.5	主令电器	36
3.5.1	按钮	36
3.5.2	行程开关	37
3.5.3	接近开关	40
3.5.4	万能转换开关	41
	习题与思考题	43
第4章	继电器接触器控制	44
4.1	电气原理图	44
4.1.1	电气原理图的绘制原则	44
4.1.2	电气原理图中的图形符号和文字符号	44
4.2	电动机的继电器接触器控制	51
4.2.1	继电器接触器控制系统设计的基本原则	51
4.2.2	单电动机的继电器接触器控制	55
4.2.3	多电动机的继电器接触器控制	66
	习题与思考题	67
第5章	PLC 控制	69
5.1	PLC 基础	69
5.1.1	PLC 的产生和发展	69
5.1.2	PLC 的分类	70
5.1.3	PLC 的基本组成	72
5.1.4	PLC 的工作过程	74
5.1.5	PLC 的编程语言	75
5.2	西门子 S7-200 系列 PLC 硬件系统	77
5.2.1	CPU 模块	77
5.2.2	扩展模块	81
5.3	西门子 S7-200 系列 PLC 软件系统	84
5.3.1	存储器单元	84
5.3.2	I/O 地址分配	88
5.3.3	寻址方式	88
5.3.4	编程软件	91
5.3.5	常用指令	92
5.4	PLC 控制设计	112
5.4.1	PLC 控制的硬件设计	112
5.4.2	PLC 控制的软件设计	115
	习题与思考题	117
第6章	控制电动机及其驱动	120
6.1	直流伺服电动机及其驱动	120
6.1.1	直流伺服电动机的分类与特点	120

6.1.2	直流伺服电动机的控制特性及驱动方式	122
6.2	交流伺服电动机及其驱动	123
6.2.1	交流伺服电动机的分类、结构与工作原理	123
6.2.2	交流伺服电动机的驱动	125
6.3	步进电动机及其驱动	126
6.3.1	步进电动机的分类和工作原理	126
6.3.2	步进电动机的特点	128
6.3.3	步进电动机的运行特性和性能指标	129
6.3.4	步进电动机的驱动	131
	习题与思考题	137
第 7 章	变频器	139
7.1	变频器的分类	139
7.1.1	直接变频器和间接变频器	139
7.1.2	电压型变频器和电流型变频器	140
7.1.3	SPWM 变频器	141
7.2	通用变频器的使用与选择	143
7.2.1	通用变频器及其使用注意事项	143
7.2.2	通用变频器的选择	144
7.3	西门子 MM440 通用变频器	146
	习题与思考题	152
	参考文献	153

第1章 绪 论

1.1 机电传动控制的目的和任务

机电传动也称电力拖动或电力传动，是以电动机为原动机驱动生产机械的系统的总称。其目的是将电能转变成机械能，实现生产机械的启动/停止和速度调节，以满足生产工艺过程的要求，保证生产过程正常进行。因此，机电传动控制包括用于拖动生产机械的电动机以及电动机控制系统两大部分。

在现代化生产中，生产机械的先进性和电气自动化程度反映了工业生产发展的水平。现代化机械设备和生产系统已不再是传统的单纯机械系统，而是机电一体化的综合系统。机电传动控制已成为现代化机械的重要组成部分。机电传动控制的任务从狭义上讲，是通过控制电动机驱动生产机械，实现产品数量的增加、产品质量的提高、生产成本的降低、工人劳动条件的改善以及能源的合理利用；而从广义上讲，则是使生产机械设备、生产线、车间乃至整个工厂实现自动化。

随着现代化生产的发展，生产机械或生产过程对机电传动控制的要求越来越高。例如，一些精密机床要求加工精度达百分之几毫米，甚至几微米；为了保证加工精度和粗糙度，重型镗床要求在极低的速度下稳定进给，因此要求系统的调速范围很宽；轧钢车间的可逆式轧机及其辅助机械操作频繁，要求在不到1s的时间内就能完成正反转切换，因此要求系统能够快速启动、制动和换向；对于电梯等提升机构，要求起停平稳，并能够准确地停止在给定的位置上；对于冷、热连轧机或造纸机，要求各机架或各部分之间保持一定的转速关系，以便协调运转；为了提高效率，要求对由数台或数十台设备组成的自动生产线实行统一控制和管理。上述这些要求都要依靠机电传动控制来实现。

随着计算机技术、微电子技术、自动控制理论、精密测量技术、电动机和电器制造业及自动化元件的发展，机电传动控制正在不断创新与发展，如直流或交流无级调速控制系统取代了复杂笨重的变速箱系统，简化了生产机械的结构，使生产机械向性能优良、运行可靠、体积小、重量轻、自动化方向发展。因此，在现代化生产中，机电传动控制具有极其重要的地位。

1.2 机电传动控制的发展

1.2.1 机电传动的发展

机电传动及其控制系统总是随着社会生产的发展而发展的。20世纪初，电动机的出现，使得机床的传动方式发生了深刻的变革，电动机替代了蒸汽机。而后，它的发展大体上经历了成组拖动，单电机拖动，多电机拖动和交、直流无级调速四个阶段。

1. 成组拖动

成组拖动是用一台电动机拖动一根天轴，再由天轴通过皮带轮和皮带分别拖动各生产机械，这种传动方式生产效率低、劳动条件差，一旦电动机发生故障，将造成成组的生产机械停车。

2. 单电机拖动

单电机拖动是用一台电动机拖动一台生产机械。较之成组拖动，单电机拖动简化了传动机构，缩短了传动路线，提高了传动效率，至今仍有一些中小型通用机床采用单电机拖动。

3. 多电机拖动

多电机拖动是指一台生产机械的每一个运动部件分别由一台专门的电动机拖动，例如龙门刨床的刨台、左右垂直刀架与侧刀架、横梁及其夹紧机构，均分别由一台电动机拖动，这种传动方式不仅大大简化了生产机械的传动机构，而且控制灵活，为生产机械的自动化提供了有利的条件，所以现代化机电传动基本上均采用这种传动形式。

4. 交、直流无级调速

电气无级调速具有可灵活选择最佳切削速度和极大简化机械传动结构的优点。由于直流电动机具有良好的启动、制动和调速性能，可以很方便地在宽范围内实现平滑无级调速，所以在 20 世纪 30 年代以后直流调速系统在重型和精密机床上得到广泛应用。20 世纪 60 年代以后，由于大功率晶闸管的问世，以及大功率整流技术和大功率晶体管的发展，晶闸管直流电动机无级调速系统和采用脉宽调制的直流调速系统获得广泛应用。20 世纪 80 年代以后，半导体交流技术的发展，使得交流电动机调速系统有突破性进展。交流调速有许多优点。单机容量和转速可大大高于直流电动机。交流电动机无电刷与换向器，易于维护，可靠性高。与直流电动机相比，交流电动机还具有体积小、重量轻、制造简单、坚固耐用等优点。目前，交流调速已突破关键性技术，从实用阶段进入了扩大应用、系列化的新阶段。以鼠笼式交流伺服电动机为对象的矢量控制技术，是近年来新兴的控制技术，它能使交流调速具有直流调速的优越调速性能。交流变频调速器、矢量控制伺服单元及交流伺服电动机已日益广泛地应用于工业生产中。交流调速的发展必将对机床行业产生深远影响，必须引起充分重视。

1.2.2 控制方式的发展

自从以电动机作为原动机以来，伴随着电气拖动的发展，机电传动控制方式的发展经历了以下几个阶段。

1. 继电器接触器控制

最早的自动控制是 20 世纪 20~30 年代出现的传统继电器接触器控制，它可以实现对控制对象的启动、停车、调速、自动循环以及保护等控制。其优点是所用控制器件结构简单、价格低廉、控制方式直观、易于掌握、工作可靠、维护方便，在机电传动控制中得到广泛的应用。但是经过长期使用，这种控制方式的不足之处也日益显现，即体积大、功耗大、控制速度慢、改变控制程序困难；由于是有触点控制，在控制系统复杂时可靠性降低。因此不适合对生产工艺及流程经常变化的机械进行控制。

2. 顺序控制器控制

在 20 世纪 60 年代, 随着半导体技术的发展, 出现了顺序控制器。它是继电器和半导体元件综合应用的控制装置, 具有易于修改程序、通用性较强等优点, 广泛用于组合机床和自动线上。

3. 可编程序控制器 PLC

可编程序控制器 PLC 是计算机技术与继电接触器控制技术相结合的产品。它是以微处理器为核心、顺序控制为主的控制器, 不仅具有顺序控制器的特点, 而且具有微处理器的运算功能。PLC 的设计以工业控制为目标, 因而具有功率级输出、接线简单、通用性强、编程容易、抗干扰能力强、工作可靠等优点。它一经问世便以强大的生命力, 迅速地占领了传统的控制领域。PLC 的发展方向之一是微型、简易、价廉, 以图取代传统的继电接触器控制; 而它的另一个发展方向是大容量、高速、高性能、对大规模复杂控制系统能进行综合控制。

4. 数字控制技术 NC

数字控制技术是以数字化的信息, 通过数控装置(专用或通用计算机)实现控制的技术, 数控机床是其最典型的产品。它集高效率、高柔性、高精度于一身, 特别适合多品种、小批量的加工自动化。早期的数控装置实质上就是一台专用计算机, 由固定的逻辑电路来实现专门的控制运算功能, 可以实现插补运算。

在数字控制的基础上, 又出现了以下几种控制方式:

(1) 计算机数字控制技术 CNC

CNC 又称计算机数字控制技术, 它是利用小型通用计算机来实现数控装置的运算功能, 其运算功能更强。

(2) 加工中心机床 MC

加工中心机床是采用计算机数字控制技术, 集铣床、镗床、钻床三种功能于一体的加工机床, 它单轴加工, 配有刀库和自动换刀装置, 大大提高了加工效率, 是多工序自动换刀数控机床。

(3) 自适应数控机床 AC

自适应数控机床可针对加工过程中加工条件的变化(如材料变化、刀具磨损、切削温度变化等), 自动进行适应调整, 使加工过程处于最佳状态。自适应数控机床基于最优控制及自适应控制理论, 可在扰动条件下实现最优。

(4) 柔性制造系统 FMS

柔性制造系统将一组数控机床与工件、刀具、夹具以及自动传输线、机器人、运输装置相配合, 并由一台中心计算机(上位机)统一管理, 使生产多样化, 为生产机械赋予柔性, 可实现多级控制。FMS 是适应中小批量生产的自动化加工系统。有些较大的 FMS 是由一些较小的 FMS 组成的, 而这些较小的 FMS 系统也称为柔性加工单元(FMC)。

(5) 计算机集成制造系统 CIMS

虽然柔性制造系统具有柔性, 但是由于缺少计算机辅助设计等环节, 因此不能保证“及时生产”(即边生产边设计)。计算机集成制造系统是在柔性制造系统的基础上, 增加计算机辅助设计环节, 从而使设计和制造一体化。它利用计算机对产品的初始构思设计、加工、装

配和检验的全过程实行管理,从而保证了生产既多样化,又能“及时生产”,使整个生产过程完全自动化。只要向 CIMS 系统输入所需产品的有关信息和原始材料,就可以自动输出经检验合格的产品。因此,CIMS 是今后机电传动控制系统的发展方向。

1.3 机电传动控制系统的组成和分类

1.3.1 机电传动控制系统的组成

机电传动控制系统是一种实现预定的自动控制功能,以满足生产工艺和生产过程的要求,并达到最优技术经济指标的控制系统,是现代化生产机械中的重要组成部分,其性能和质量在很大程度上影响着产品的质量、产量、生产成本和工人劳动条件。

机电传动控制系统以电动机为控制对象,按工艺要求对生产机械进行控制,因此机电传动控制系统的硬件组成可以包括电动机、控制电器、检测元件、功率半导体器件及微型计算机等。大型的机电传动控制系统往往需要控制多台电动机,可以采用多层微型计算机构成网络来实现控制。

1.3.2 机电传动控制系统的分类

按组成原理分,机电传动控制系统可分为开环系统和闭环系统。

在开环控制的传动系统中,虽然系统输入的控制信号保持不变,但是在扰动的作用下,输出量将偏离给定值。如图 1.1 所示,一个机电传动开环控制系统由晶闸管变流器、电动机和工作机械组成,其中工作机械包含传动机构和执行机构。在该系统中,晶闸管变流器向电动机供电并控制其运行状态。当电网电压波动、负载转矩变化等扰动作用于系统时,将导致系统输出量偏离给定值,此时系统的静态和动态特性将由变流器、电动机和工作机械的特性决定。

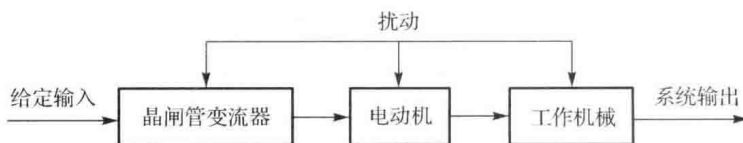


图 1.1 机电传动开环控制系统

如图 1.2 所示的闭环机电传动系统采用测速发电机、位置传感器等检测装置来测量系统的输出量,并将其转换成与被测量成正比的电信号。当输出量的反馈值偏离给定输入值时,控制器将根据偏差信息产生控制信号,并作用到变流器上,以确保系统输出具有预期的特性。

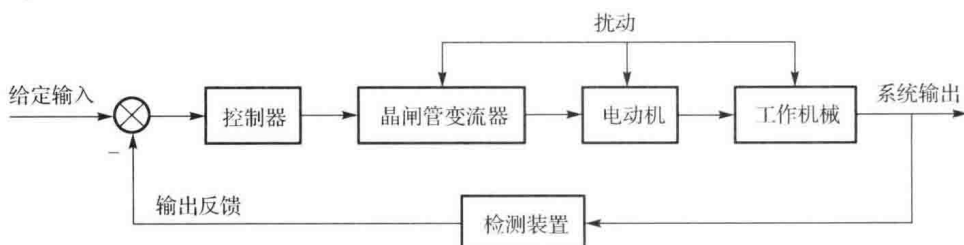


图 1.2 机电传动闭环控制系统

按控制目的分, 机电传动控制系统又可分为定值控制、位置随动控制和程序控制。

定值控制可以保持受控量恒定, 最常见的机电传动定值控制系统是稳速控制系统。当然, 这种系统也可以控制生产过程中的其他工艺参数, 如带形物料卷取时的张力控制。

位置随动控制可以用来控制工作机构的位移, 即电动机的转角按事先规定的或者未知的规律变化。典型例子是雷达天线的方位控制系统, 其功能是将天线对准所跟踪的目标。

程序控制可以使受控量按预先确定的规律变化。如机床上刀具的位移控制系统就属于程序控制, 其功能是实现切削刀具和工件之间的复杂运动轨迹。

由此可见, 将机电传动控制系统按控制目的进行分类, 主要取决于给定量的变化特性, 而与系统的构成原理无关。

习题与思考题

- 1.1 机电传动控制的主要目的和任务是什么?
- 1.2 机电传动以及机电传动控制技术分别经历了哪几个阶段? 今后的发展方向是什么?
- 1.3 机电传动开环系统和闭环系统的优缺点是什么?
- 1.4 按控制目的分类, 机电传动控制系统分为哪几种? 试简要说明。

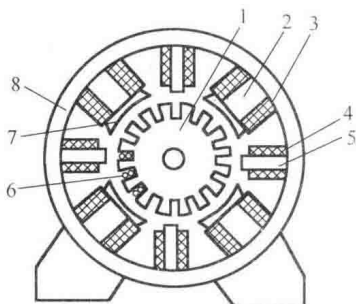
第2章 机电传动的基础知识

2.1 电动机结构和工作原理

2.1.1 直流电动机的结构和工作原理

1. 直流电动机的基本结构

直流电动机包括定子和转子两大部分。顾名思义，定子是静止部分，而转子是可动部分。这两部分之间有一定的空隙，称为气隙。图 2.1 为直流电动机的剖面图。



1—电枢铁心；2—主磁极极身；3—励磁绕组；4—换向极绕组；5—换向极铁心；
6—电枢绕组；7—主磁极极靴；8—机座

图 2.1 直流电动机剖面图

1) 定子

定子的作用是产生主磁场，并作为电动机的机械支撑，主要包括主磁极、换向极、电刷装置、机座和端盖等部分。

(1) 主磁极

主磁极由主磁极铁心和主磁极绕组（励磁绕组）组成，其作用是在气隙空间里产生恒定的主磁场。主磁极铁心通常由厚度为 1.0~1.5mm 的钢板冲片叠压紧固而成，包括极身和极靴（极掌）两部分。励磁绕组用绝缘铜线绕成，绕制好后套在极身上面。极靴为主磁极铁心靠近气隙的部分，做成弧形，并且比极身要宽，这样可以使通过空气隙中的磁通分布得较为均匀，并能防止励磁绕组脱落。整个主磁极用螺钉固定在机座的内表面上。

(2) 换向极

如图 2.1 所示，在相邻的两个主磁极之间有一个小的磁极，即换向极，其构造与主磁极相似，也是由铁心和套在铁心上的绕组组成的，并用螺钉固定在机座上。换向极绕组与电枢绕组串联，因此其中流过的是电枢电流。换向极的作用是通过产生附加磁场改善直流电动机的换向性能。

(3) 电刷装置

电刷装置包括电刷和电刷架。电刷利用电刷架固定在定子上，并与换向器保持滑动接触，以便将电枢绕组和外电路接通。

(4) 机座

机座的作用主要有两个方面：一是起导磁的作用，机座也是电动机磁路的一部分，机座中起导磁作用的部分称为磁轭；二是起支撑固定的作用，主磁极、换向极、端盖等均固定在机座上，而且电动机借助机座上的地脚固定在基础上。

此外，机座上还装有接线盒，电枢绕组和励磁绕组均通过接线盒中的接线板与外部电路连接。

2) 转子

转子是直流电动机的重要部件，其作用是产生感应电动势和机械转矩。由于转子是机械能与电能相互转换的枢纽，故称电枢。转子主要包括电枢铁心、电枢绕组、换向器、转轴和冷却风扇等。

(1) 电枢铁心

电枢铁心是直流电动机主磁通磁路的主要部分，由彼此绝缘的硅钢片叠成圆柱形，并固定在转轴上。铁心外表面均匀分布的槽内嵌放着电枢绕组。

(2) 电枢绕组

电枢绕组是直流电动机电路的主要部分，由许多形状完全相同的线圈组成，并放置在电枢铁芯的槽中。其作用是产生感应电动势和电磁转矩，使电动机实现机-电能量转换。

(3) 换向器

换向器安装在转轴上，由许多彼此之间用云母片绝缘的换向片组成。电枢绕组中每个线圈的首端和末端分别与两个换向片相连。对于直流电动机而言，换向器的作用是将电刷上的直流电流转换为电枢绕组中的交流电流。

2. 直流电动机的励磁方式

直流电动机的励磁方式是指电动机励磁绕组的供电方式，分为他励、并励、串励和复励四种，如图 2.2 所示。图中线圈为励磁绕组， E_a 为电枢电势， I_a 为电枢电流。直流电动机按励磁方式也分为他励、并励、串励和复励四种。

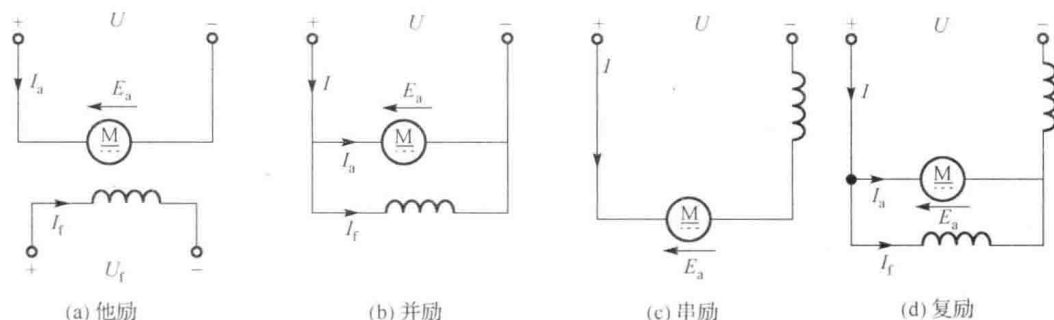


图 2.2 直流电动机的励磁方式

由图 2.2 可见，他励直流电动机的励磁绕组由外电源单独供电，励磁绕组与电枢绕组是分离的，分别由两个直流电源，即励磁电源电压 U_f 和电枢电源电压 U 供电，励磁电流不受电枢

电流的影响，而其余三种直流电动机的励磁绕组与电枢绕组均有连接，或并联或串联，由同一电压 U 供电，励磁电流即为电枢电流或为电枢电流的一部分。

3. 直流电动机的工作原理

为了便于讨论，将复杂的直流电动机简化为图 2.3 所示的简单模型。简化后的直流电动机只有一对固定不动的磁极 N 和 S，两磁极间放着可绕转轴转动的铁心，铁心上固定着一个线圈 $abcd$ ，即为电枢绕组。线圈两端分别与两个相互绝缘的半圆形铜质换向片相连，换向片固定在转轴上，可随之转动，但与转轴之间是绝缘的。换向片上压着在空间上静止不动的电刷 A 和电刷 B，二者分别与一外接直流电源的正、负极相连，因此外电流总是经电刷 A 及与之相接触的换向片流入线圈，从与电刷 B 相接触的换向片及 B 流向外电源负极。

在图 2.3(a)中，电枢线圈的有效边 ab 和 cd 分别正对着 N 极和 S 极，线圈中电流方向为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ ，根据电磁力定律，通电导体在磁场中会受到电磁力的作用，其方向可用左手定则判断，即 ab 边所受电磁力 F 的方向从右向左， cd 边受力方向为从左向右。作用于线圈切线方向的这一对电磁力 F 将产生逆时针方向的电磁转矩，使线圈逆时针方向转动。根据电磁感应定律，当线圈逆时针方向转动时， ab 和 cd 边切割磁力线运动，因此将在其中产生感应电动势 e ，由右手定则可判断其方向如图 2.3(a)所示，可见 e 的方向与线圈中电流的方向相反，故称为反电动势。

当线圈逆时针方向转过 180° 后， ab 正对着 S 极， cd 正对 N 极，如图 2.3(b)所示。此时线圈中电流方向为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ ， ab 边和 cd 边的受力方向分别为从左向右和从右向左，于是线圈仍受到逆时针方向电磁转矩的作用，维持逆时针方向转动。同理可得出感应电动势 e 的方向，由图 2.3(b)可以看出，两个有效边 ab 和 cd 中感应电动势的方向也发生了变化。

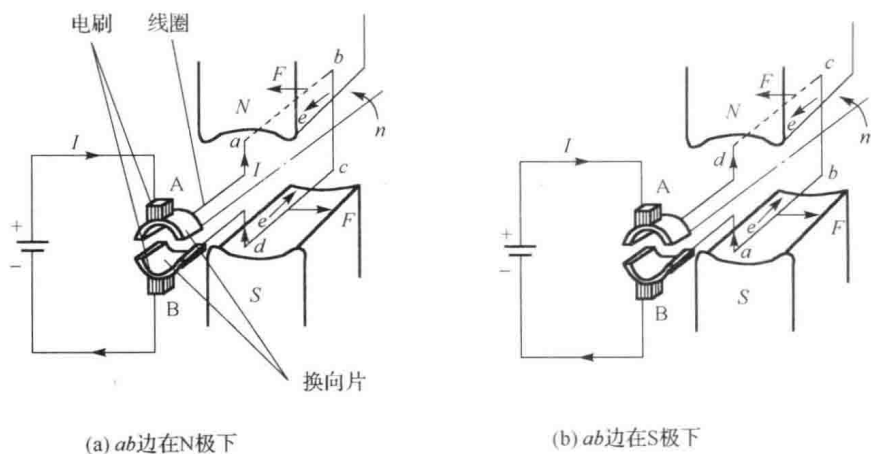


图 2.3 直流电动机简化模型

在实际应用中，直流电动机的电枢绕组由许多线圈组成，并牢固地嵌在电枢铁芯槽中，磁极也是根据需要放置多对，电动机电枢线圈通电后在磁场中因受到电磁力作用而转动，从而带动整个电枢旋转，进而通过转轴带动生产机械。这就是直流电动机的基本工作原理。值得注意的是，线圈中的电流和感应电动势是交变的，而线圈所受的电磁转矩方向却始终不变，这是由于电刷和换向器的作用。在电刷和换向器的相互配合下，线圈无论转到何处，电刷 A 始终与 N 极下有效边相连的换向片接触，电刷 B 始终与 S 极下有效边相连的换向片接触，从

而保证电流总是由电刷 A 经 N 极下有效边流入,再沿 S 极下有效边经电刷 B 流出,即实现了电枢电流的换向,从而获得恒定的电磁转矩,确保电动机朝确定的方向连续旋转。

2.1.2 交流电动机结构和工作原理

1. 三相异步电动机的基本结构

三相异步电动机由固定不动的定子和旋转的转子两个基本部分组成。这两部分不直接相连,中间由一定厚度的气隙隔开。

1) 定子

定子用来产生旋转磁场。三相异步电动机的定子主要由定子铁心、定子绕组和机座组成。

(1) 定子铁心

定子铁心是电动机磁路的组成部分,由表面涂有绝缘漆的圆环形薄硅钢片叠制而成,以减小磁滞和涡流损耗。铁心的内圆表面冲有槽孔,用于嵌放定子绕组。

(2) 定子绕组

定子绕组是电动机的电路部分,三相异步电动机的定子绕组由 3 个完全相同且彼此独立的绕组组成,每个绕组又由若干线圈连接而成,而且在空间互差 120° 的电角度。三相对称绕组 AX、BY 和 CZ 共有 6 个出线端,即首端 A、B、C 及末端 X、Y、Z,均引出接到电动机机座外部的接线盒内。6 个接线柱为首端 U_1 、 V_1 、 W_1 以及末端 U_2 、 V_2 、 W_2 ,排列方法如图 2.4 所示。根据电源线电压和电动机绕组额定电压的不同,定子绕组可连接成星形(Y)或三角形(Δ),如图 2.5 所示。

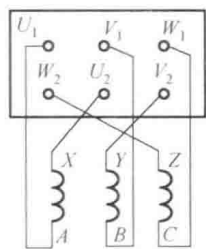


图 2.4 出线端连接

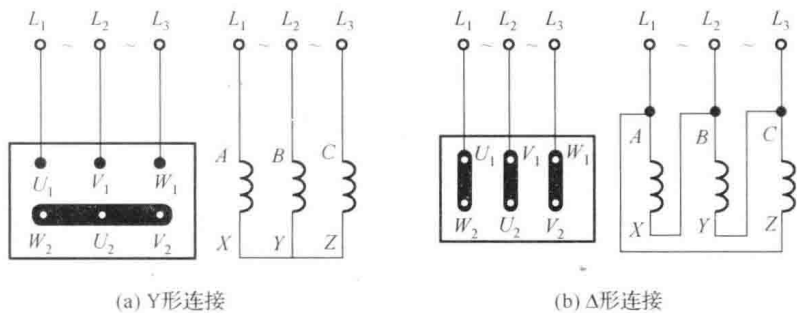


图 2.5 定子绕组的连接方式

(3) 机座

机座由铸铁或铸钢制成,用来固定和支承定子铁芯和定子绕组,并通过两侧的端盖轴承来支承转子,以保持空气隙。机座侧面有接线盒,用以保护和固定绕组的引出线端子。机座的上端安装有吊环,用于起吊、搬运电动机。此外,机座还有固定和保护电动机的作用。

2) 转子

转子的功能是在旋转磁场的作用下,通过电磁感应产生电磁转矩,从而带动生产机械运转。它主要由转子铁心、转子绕组和转轴组成。

(1) 转子铁心

转子铁心同样是由互相绝缘的硅钢片叠成,并压装在转轴上,其外表面制有凹槽,以便安放转子绕组。转子铁心也是电动机磁路的一部分,转子铁心、气隙与定子铁心构成电动机的完整磁路。