

机电控制工程系列教材

Control Engineering of Electromechanical Systems  
(Third Edition)

# 机电控制工程 (第3版)

高钟毓 编著

Gao Zhongyu

清华大学出版社

机电控制工程系列教材

Control Engineering of Electromechanical Systems  
(Third Edition)

# 机电控制工程

(第3版)

高钟毓 编著  
Gao Zhongyu

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是高校教材,经过多年教学实践,现在第2版的基础上再次补充修订。

全书共分为6章。第1章介绍术语定义、典型机电控制系统、系统数学模型、性能指标分析及控制器设计等基础知识。第2章受控机械系统动态模型,从动力学观点将受控机械系统分为平移、定轴旋转、定点旋转、多刚体以及微型机电系统,分别采用各种动力学原理建立它们的动态数学模型。第3章电动机转矩转速控制,讨论直流电动机、无刷直流电动机、永磁同步电动机及交流感应电动机的原理、特性、数学模型以及转矩转速控制方法。第4章步进电动机运动控制,介绍步进电动机原理、特性、主要控制部件、速度与位置控制方法以及闭环控制技术。第5章伺服系统分析与综合,讨论伺服系统方案、性能分析、控制器改进设计、数字控制器硬件配置以及闭环系统控制软件。第6章机器运动控制的指令生成与实现,介绍运动控制原理与分类、各种插补器和轨迹规划器算法以及运动控制实现问题。

本书对于从事机电一体化新产品开发的工程技术人员具有一定的参考价值。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

机电控制工程/高钟毓编著. --3版. --北京:清华大学出版社,2011.8

(机电控制工程系列教材)

ISBN 978-7-302-26244-2

I. ①机… II. ①高… III. ①机电一体化—控制系统—高等学校—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第137759号

责任编辑:张秋玲

责任校对:王淑云

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:18.25 字 数:399千字

版 次:2011年8月第3版 印 次:2011年8月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:32.00元

# 第3版前言



近10年来,作者及其领导的研究团队一直在从事与机电控制工程紧密相关的精密仪器与机械学科方面的重大工程项目研究,先后完成了几种不同类型的机电控制系统,其中包括精密直驱空间稳定系统、全闭环位置伺服系统、带轨迹规划的多位置定位系统以及高刚度高动态静电悬浮系统等。受控机械是多自由度的。还研究了近年来颇受关注的并联连杆支撑平台,并成功地应用于缓冲装置。

在系统研制过程中,曾经遇到不少实际问题,例如传动装置机械共振和间隙振荡、负载摩擦力矩引起的低速爬行以及脉冲调宽功率放大器产生的脉冲干扰等机电控制系统所特有的现象。

通过这些亲历经验,一方面,对《机电控制工程》的基本理论体系有了更加深入的理解和掌握;另一方面,在进行第3版的修订时,增添了新的知识源泉。本书第3版与第2版相比,除了对个别公式、符号及词句进行了修订外,保留原书的章节不变。只是有5处作了重点修改与补充。

(1) 在2.5节“多刚体机械系统”部分,增加了2.5.3节“六连杆并联支撑平台”,主要讲述六连杆并联支撑平台的运动学和动力学;

(2) 改写了3.6.3节有关永磁同步电动机的矢量控制,并增加了 $\theta$ 角的实际测量方法;

(3) 删去了5.1.3节中有关双传感反馈方案的内容,代之以感应同步器-永磁同步力矩电动机方案;

(4) 将5.3.3节“负载转矩前馈补偿器”改写为“干扰前馈补偿器”,加强了间接干扰前馈补偿器的概念;

(5) 将5.4节中机械谐振的控制扩充为机械谐振与间隙振荡的控制。

这几处重点修改是在总结实践经验基础上完成的。机电控制工程必须理论与实践密切结合,并注重机电一体化设计。

这次新版修订是在清华大学出版社张秋玲编审的倡导下促成的。在修订和出版过程中,她做出了重要贡献。作者借此机会对她表示衷心的感谢。作者还要感谢研究团队的其

他老师和博士生,是他们在硬件和软件方面完成了大量的实际工作。

本书虽然已经过两次修订,但由于作者水平有限,仍然会存在不少缺点与错误,欢迎阅读本书的读者批评指正。

高钟毓

2011年6月16日于清华园

# 第 2 版前言



本书是在 1994 年清华大学出版社出版的“机电控制工程”基础上,经过在清华大学机械学院高年级选修课和研究生学位课,以及在安阳、鞍山、昆明、呼和浩特、景德镇、江门等地的研究生班的教学实践,历时数年不断修改补充完成的。

结合这一学科领域的最新发展,这次修订对原书做了大量重要的修改。与原书一样,本书讨论的对象是机械系统的机电控制,特别是自动化机械设备的运动控制技术。与原书不同的是:删去了一些与其他课程重复的内容;删去了与本书主要目标联系不甚紧密的“基于 PLC 的顺序控制”的章节;将控制元件的内容结合系统,计算机控制结合模拟控制一起叙述;增加了交流变频调速与矢量控制以及微型机电系统的新内容;在重点章节的末尾,保留和增加了科研中得到的实际典型系统介绍;为方便那些对“控制工程基础”不太熟悉的读者,在第 1 章中复习了控制工程基础的基本知识。修订后,本书的理论体系更加完整,内容更加充实新颖,理论联系实际更加紧密。

本书修订后,由原来的 10 章缩编为 6 章。第 1 章基础知识,介绍术语定义、典型机电控制系统、系统数学模型、性能指标分析及控制器设计。第 2 章受控机械系统动态模型,从动力学观点将受控机械系统分为平移、定轴旋转、定点旋转、多刚体以及微型机电系统,分别采用各种动力学原理建立它们的动态数学模型。第 3 章电动机转矩转速控制,讨论直流电动机、无刷直流电动机、永磁同步电动机及交流感应电动机的原理、特性、数学模型以及转矩转速控制方法。第 4 章步进电动机运动控制,介绍步进电动机原理、特性、主要控制部件、速度与位置控制方法以及闭环控制技术。第 5 章伺服系统分析与综合,讨论伺服系统方案、性能分析、控制器改进设计、数字控制器硬件配置以及闭环系统控制软件。第 6 章机器运动控制的指令生成与实现,介绍运动控制原理与分类、各种插补器和轨迹规划器算法以及运动控制实现问题。

在机械工程领域,近年来的主要进步之一应该说是“机电一体化”。本书自 1994 年出版以来,基本满足了机械自动化专业高年级本科生和研究生教学的需要。希望这次修订的第 2 版,不仅在教学上能作为一本适用教材,而且对于从事机电一体化新产品开发的工程技术

人员有一定的参考价值。

最后,借此机会,感谢所有对本书修订出版提出过意见和帮助的老师 and 同学,其中,包括赵长德教授、王永梁教授、董景新副教授、张嵘讲师等。由于本人水平有限,书中一定存在不少缺点和错误,希望采用本书的老师 and 同学以及工程技术人员批评指正。

高钟毓

2001年5月12日于清华园

# 目录



<b>第 1 章 基础知识</b> .....	1
1.1 术语定义 .....	1
1.2 典型机电控制系统 .....	4
1.3 系统数学模型.....	10
1.4 系统响应.....	17
1.5 性能指标.....	25
1.6 控制器设计.....	33
习题 .....	39
<b>第 2 章 受控机械系统动态模型</b> .....	41
2.1 质点平移系统.....	41
2.2 定轴旋转系统.....	45
2.3 机械传动装置.....	47
2.4 定点旋转机械系统.....	55
2.5 多刚体机械系统.....	58
2.6 微型机电系统.....	71
习题 .....	77
<b>第 3 章 电动机转矩转速控制</b> .....	81
3.1 旋转电动机基本原理.....	81
3.2 直流电动机原理与特性.....	88
3.3 直流电动机驱动电路.....	93
3.4 直流电动机转矩转速控制 .....	103
3.5 无刷直流电动机调速系统 .....	107
3.6 永磁同步电动机矢量控制 .....	111
3.7 交流感应电动机原理与特性 .....	116



3.8	交流感应电动机变频调速 .....	120
3.9	交流感应电动机矢量控制 .....	124
附录	电动机的选择 .....	130
	习题 .....	134
<b>第4章</b>	<b>步进电动机运动控制 .....</b>	<b>138</b>
4.1	步进电动机工作原理 .....	138
4.2	特性及主要技术指标 .....	142
4.3	驱动电路 .....	147
4.4	脉冲分配器 .....	155
4.5	速度与位置运动控制系统 .....	160
4.6	步进电动机闭环控制系统 .....	163
	习题 .....	168
<b>第5章</b>	<b>伺服系统分析与综合 .....</b>	<b>170</b>
5.1	伺服系统基本方案 .....	170
5.2	系统性能分析 .....	185
5.3	性能改进设计 .....	191
5.4	机械谐振与间隙振荡的控制 .....	204
5.5	数字控制器设计与实现 .....	211
5.6	实时控制软件 .....	218
5.7	典型系统介绍 .....	223
	习题 .....	232
<b>第6章</b>	<b>机器运动控制的指令生成与实现 .....</b>	<b>235</b>
6.1	运动控制原理与分类 .....	235
6.2	数字微分分析器 .....	241
6.3	直线与圆弧插补器 .....	256
6.4	样条函数轨迹规划器 .....	264
6.5	典型系统举例 .....	274
	习题 .....	282
	<b>主要参考文献 .....</b>	<b>284</b>



# 基础知识

本章主要讨论关于机电控制工程的一些基础知识,阐述有关术语的定义,介绍常见的典型机电控制系统,复习控制工程的基础知识,其中包括系统数学模型(微分方程、状态方程、传递函数、方块图及单位反馈系统模型)、时间响应分析(静态误差、瞬态响应及时域品质指标)、频率响应分析(极坐标图、对数坐标图、频域品质指标及相对稳定性)、常用PID控制器和LL控制器设计以及控制问题的一般解决方法。

## 1.1 术语定义

### 1.1.1 系统与系统分类

从广义上说,系统可以定义为相互作用或相互依存的任何一组形成统一整体的事物。因此,术语“系统”几乎可以用来描述任何可以想像的情况。在工程领域,系统可以是电、机械、液压、气动、热、生物及医学的,或者是这些系统的某种组合。例如机电系统是机械与电的组合系统,其中精密机械与微电子的综合集成系统也称为机电一体化系统。

对于实际应用来说,系统一般可以定义为任何存在某种因果关系的一组物理元件。原因称为激励或输入,效果叫做响应或输出。通常,输入和输出都是物理变量,例如温度、压力、液位、电压、电流、位移、速度等。

描述系统输入与输出关系的数学公式定义为系统的数学模型。根据数学模型的不同,系统可以分为静态系统或动态系统、线性系统或非线性系统、定常系统或时变系统、确定性系统或随机系统、集中参数系统和分布参数系统等。静态系统实时输出只与当时的输入有关,描写静态系统的数学模型是代数方程组。动态系统的实时输出不仅与当时的输入有关,而且与过去的输入和输出有关,因此,描写动态系统的数学模型是微分方程组。输入和输出满足线性叠加原理的系统称为线性系统,不满足线性叠加原理的系统则称为非线性系统。数学模型中的所有系数都为常量(与时间无关)的系统称为定常系统,否则称为时变系统。在已知输出初值和给定输入的条件下,未来输出可以按照数学模型唯一确定的系统称为确

定性系统,反之,则称为随机系统。集中参数系统是输入作用能够被整个系统同时感受到的系统;而在分布参数系统中,由于分布元件的影响,输入作用不可能被整个系统(例如,具有薄壳结构的机械系统、热传导系统等)同时感受。

我们的讨论将主要集中于线性、定常、确定性、集中参数、动态系统。在物理特性上是机械与电子紧密组合的机电系统。这类系统的数学模型可以用常系数线性微分方程组描写,并且从常系数线性微分方程出发,讨论它们的一切静态和动态特性。

同时,根据实际的机电控制系统,不可避免地存在一些非线性因素。这些非线性因素,如摩擦力矩、传动间隙、死区等,在某种程度上会严重地影响系统性能。因此,本书对处理这些非线性因素的理论与方法也给予一定的讨论。

### 1.1.2 控制与控制系统

所谓控制就是按照预先给定的目标,改变系统行为或性能的方法学。控制系统是依靠调节能量输入的方法,使得某些物理量受到控制的一类系统。通常,控制系统由控制器、受控对象(亦称为过程)、反馈测量装置以及比较器等部分组成。控制器的主要作用是按照预定的控制规律调节能量输入,使得系统产生所希望的输出。受控对象有时称为受控过程,最简单的情况只是一个具体的物理过程。在一般情况下,受控对象包括功率放大器、执行机构、减速器、负载以及内反馈回路等。反馈装置是某种传感器测量单元,它检测输出变量,并将其转换为相应的电信号反馈到系统的输入端。比较器用来求取输入变量与反馈变量的差值,作为误差信号送给控制器,以实现反馈(闭环)控制。

控制系统可以从各种不同的角度进行分类。

#### 1. 按照有无反馈测量装置分类

控制系统可以分为开环控制系统和闭环控制系统。开环控制系统是没有输出反馈的一类控制系统,如图 1-1 所示。这种系统的输入直接供给控制器,并通过控制器对受控对象产生控制作用。几乎所有的家用电器,如洗衣机、电烤箱、微波炉、洗碗机等,都是开环控制系统。普通的步进电动机运动控制系统也是开环控制系统。开环控制系统的主要优点是简单、经济、容易维修以及价格便宜;它的主要缺点是精度低,对环境变化和干扰十分敏感。在工业和国防等要求较高的应用领域,绝大多数控制系统的基本结构方案都采用反馈原理。如图 1-2 所示,该系统输出的全部或部分被反馈到输入端。注意,这里的反馈信号是反抗和退化输入作用的,这种反馈称为负反馈。输入信号与反馈信号比较后的差值(叫做误差信号)供给控制器,再调节受控对象的输出,从而形成闭环控制回路。所以,反馈控制系统亦称为闭环控制系统。闭环控制系统与开环控制系统相比,具有一系列的优点,例如精度高、动态性能好、抗干扰能力强等;它的缺点是结构比较复杂,不容易维修,价格比较昂贵。

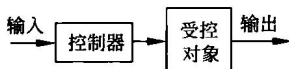


图 1-1 开环控制系统

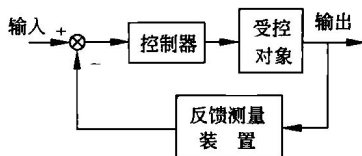


图 1-2 闭环控制系统

## 2. 按照控制器结构分类

闭环控制系统按照控制器的结构分类,可以分为串联反馈控制系统、串并联反馈控制系统以及复合控制系统等。如图 1-2 所示,串联反馈控制系统只有一个与受控对象串联的控制器。串联控制器常常采用相位滞后、相位超前以及相位滞后超前网络,或者比例-积分-微分(PID)控制器。如图 1-3 所示,串并联反馈控制系统采用了串联和并联控制器。其中,串联控制器经常采用相位滞后和 PI 控制器;并联控制器是速度负反馈装置。串联或串并联反馈控制器,实际上只是一个反馈控制器,即只具有一个控制自由度,主要依靠控制误差进行反馈校正,因此对闭环系统的动态性能的改善是有限度的。为了进一步改善闭环控制系统的动态跟踪性能,常常采用复合控制系统。复合控制系统是一个二自由度控制系统,由反馈控制器和前馈控制器两部分组成,如图 1-4 所示。前馈控制器引入了输入参考信号的导数分量,因此能够加快系统对输入信号的响应速度。

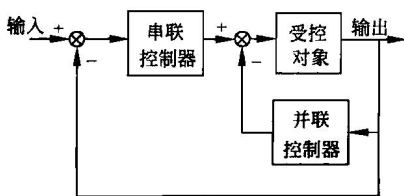


图 1-3 串并联反馈控制系统

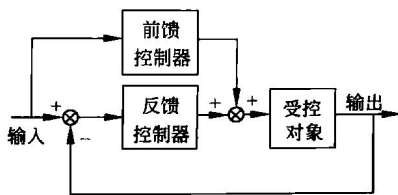


图 1-4 复合控制系统

## 3. 按照信号处理技术分类

控制系统可以分为模拟控制系统和数字控制系统。凡是采用模拟技术处理信号的控制系统都称为模拟控制系统;而采用数字技术处理信号的控制系统则称为数字控制系统。对于给定的系统,选用何种信号处理技术取决于许多因素,如可靠性、精度、简单性以及经济性等。

随着微处理机技术的发展,现在许多机电控制系统都采用微处理机直接作为控制器,负责采集信号、运算控制规律以及产生控制指令等。采用微处理机作为控制器的控制系统亦称为计算机控制系统。通常,受控机械系统是连续的物理过程,而微处理机控制器处理离散的数字信号,二者之间必须通过采样器和数据保持器连接起来,如图 1-5 所示。受控过程输

出的连续时间信号以周期性时间间隔(采样周期  $T$ )采样,并转换为数字信号送入计算机,计算机运算控制规律后产生的数字控制指令,经过数据保持器转换为分段连续的时间信号,加给受控对象。这类计算机控制系统通常称为采样-数据控制系统。

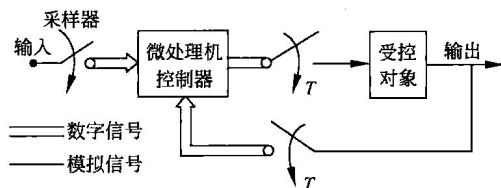


图 1-5 采样-数据控制系统

在采样-数据控制系统中,计算机控制器运算的控制规律是差分方程。该差分方程一般与对应的模拟控制器的微分方程是等价的。

如果在控制系统中处理的信号是逻辑变量,控制器运算的是逻辑代数(布尔代数)方程,而不是差分方程,那么这类控制器称为可编程序逻辑控制器(programming logical controller, PLC)。由 PLC 组成的控制系统称为基于 PLC 的顺序控制系统。这类系统是逻辑控制系统,主要应用于自动化操作或制造过程的控制。

#### 4. 按照应用分类

**调节系统**是在干扰作用下使受控变量保持常数的一种控制系统。调节系统的输入是它的设定点。**跟踪系统**是保持其受控变量尽可能接近时变的指令值。跟踪系统的一个实例是,数控机床的刀具必须跟踪给定的路径,以加工出合适形状的零件。这一实例就是所谓的**伺服系统**。**伺服系统**是一类受控变量为位置、速度或加速度的跟踪系统。温度自动调节系统不是伺服系统,而是**过程控制系统**,它的受控变量描述了一个热动力学过程。典型的过程控制系统的受控变量有温度、压力、流速、液位以及化学浓度等。

## 1.2 典型机电控制系统

在机械制造自动化中,控制系统的受控对象主要是机械运动过程,控制器一般采用嵌入式微处理器。我们称这类控制系统为**机电控制系统**。最典型的机电控制系统有如下主要形式。

### 1.2.1 伺服系统

**伺服系统**又叫做**伺服机构**。它是一种反馈控制系统,其受控变量是机械运动或者位置。多数伺服系统用来保持运动机械的输出位置紧密对应电的输入参考信号,因而是一种跟踪控制系统。伺服系统通常是另一个机电一体化系统的组成部分。例如,多自由度工业机器

人含有多个连杆伺服系统,每一个连杆都有一个。多轴数控机床也有几个伺服系统,用来控制工作台运动。

图 1-6 是工业机器人的一个连杆伺服系统。它的受控过程是机器人的连杆运动,采用微处理机作为控制器。连杆的实际位置由旋转变压器测量,转换为电的数字信号后,反馈给微处理机控制器。微处理机经过控制算法运算后,输出控制指令,再经过数模转换和伺服功率放大,供给连杆上的伺服电动机。伺服电动机根据控制指令驱动连杆转动,直至机器人手爪到达输入参考信号设定的希望位置为止。

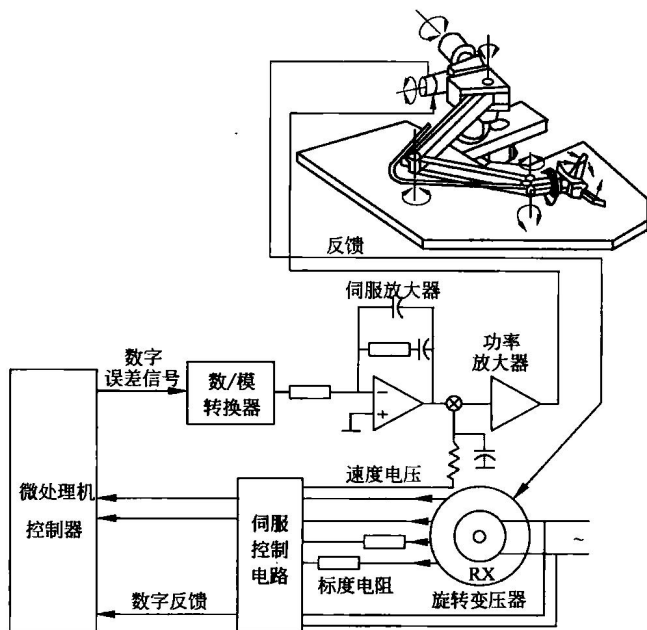


图 1-6 机器人连杆伺服系统

### 1.2.2 数控机床

带有数控(NC,CNC)系统的机床称为数控机床。数控系统是一种利用预先决定的指令控制一系列加工作业的系统。指令以数码的形式存储在某种形式的输入介质上,如穿孔纸带、磁带或者程序存储器的公共存储区。指令确定位置、方向、速度以及切割速度等。零件程序包含生产希望零件所要求的全部指令。数控机床可以形成镗、钻、磨、铣、冲、特形铣、锯、车、绕(线)、火花切割、编织(服装)、铆、弯、焊以及线处理等加工作业。

因为数控改变程序比改变凸轮、模具及样板相对容易,因此称为柔性自动化。同一数控机床采用不同的程序可以生产各种不同的零件。数控加工最适合在同一机床上加工大量不同的零件,而极少在同一机床上连续生产单一零件。当一个零件或一个加工过程能由数学

定义的时候,数控是最理想的。随着计算机辅助设计(CAD)的应用日益增加,由数学定义的过程和产品愈来愈多,人们熟悉的制图已经变得不十分必要,因为由数学定义的零件完全可以用计算机数控机床加工。

图 1-7 表示了一种三坐标闭环数控机床。它利用闭环系统控制  $x$ 、 $y$  及  $z$  3 个坐标位置。 $x$  位置控制器沿  $+x$  箭头方向水平移动工件; $y$  位置控制器沿  $+y$  箭头方向水平移动铣床头; $z$  位置控制器沿  $+z$  箭头方向垂直运动铣刀。图中,箭头表示改变  $x$  位置的信息传递过程:① 机床控制单元读取程序中的一条指令,确定  $x$  位置改变  $+0.4\text{mm}$ ;② 控制单元传送一个脉冲给机床伺服电动机;③ 伺服电动机转动丝杠螺母副,进给  $x$  轴位置  $+0.001\text{mm}$ ;④ 位置传感器测量  $x$  轴位置的  $+0.001\text{mm}$  变化,把这一信息反馈给控制器;⑤ 控制器比较  $+0.4\text{mm}$  的希望运动和  $+0.001\text{mm}$  的测量运动,然后传送出另一个脉冲;重复步骤①~⑤,直到测量运动等于希望的  $+0.4\text{mm}$  为止。

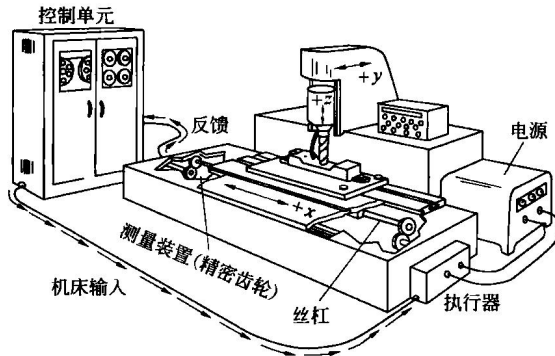


图 1-7 三坐标数控机床

NC 加工以一份程序清单(工程图或数学定义)开始,该清单完全定义了希望零件或过程。程序设计器根据这份清单,决定加工零件或实现过程所必要的一系列操作,确定需要使用的工具、切割速度以及进给速度。程序设计器使用特定的程序语言准备符号程序。APT (automatically programmed tools)是用于这一目的的一种语言。计算机转换符号程序为零件程序或者机器程序。过去,零件或机器程序存储在纸带或磁带上。数控机床操作人员把带子输入机床,并且监视操作。如果需要改变,必须制作新带子。现在,可以把程序储存在公共数据库内,按需要分配给数控机床。加工中心的图形终端容许操作人员评阅程序,并且必要时可以加以修改。

### 1.2.3 工业机器人

工业机器人是另一类数控机器。它是一种可编程机械手,用来通过一系列动作,搬运物料、零件、工具或者其他装置,以实现给定的任务。工业机器人有能力移动零件、加载 NC 机

床、操作压铸机、装配产品、焊接、喷漆、打毛刺以及包装产品。最通用的工业机器人是具有 1 个自由度到 6 个自由度的机械手,如图 1-8 所示。

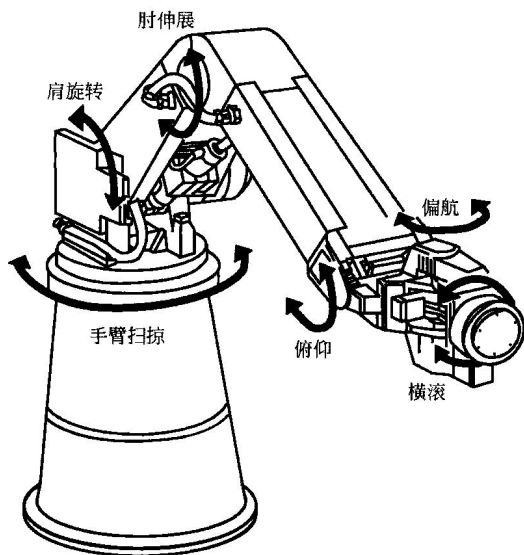


图 1-8 六自由度工业机器人

图中,6 个运动自由度是:

- (1) 手臂扫掠(腰左转或右转);
- (2) 肩旋转(肩向上或向下);
- (3) 肘伸展(肘缩进或伸出);
- (4) 俯仰(手腕上转或下转);
- (5) 偏航(手腕左转或右转);
- (6) 横滚(手腕顺时针转或逆时针转)。

每一个运动轴都有自己的执行器,连接到机械传动链,以实现关节运动。执行器可以是气缸、气动马达、液压缸、液压马达、伺服电动机或者步进电动机。气动执行器便宜、快速、清洁,但是气体的可压缩性限制了它的精度和保持负载不动的能力。液压执行器能够驱动重负载和保持负载不动,但是昂贵、有噪声、比较慢以及可能漏油。伺服电动机执行器快速、精密、安静,但是减速器的游隙限制了它的精度。

工业机器人有 3 个主要组成部件。除了机械手以外,还有终端器和控制器(参见图 1-9)。终端器是一个机械的、真空的或者电磁的装置,它安装在机械手的腕上,用来抓取零件或握持工具。控制器在开环控制的单轴机器人中可以是一个简单的机械挡块,而在闭环控制的六轴机器人中则是一台计算机。在任何情况下,控制器在存储器中都存有一系列定位数据。按照给定的操作次序,它启动和停止机械手的运动。如果控制器是一台计算机,它可以与主



机通信,卸载程序和提供管理信息。每一个运动轴都由一个开环或闭环控制系统控制。开环控制可以是气缸上的机械挡块、液压马达上的凸轮作用阀,或者步进电动机。闭环控制系统通常是跟踪位置控制系统——伺服系统。

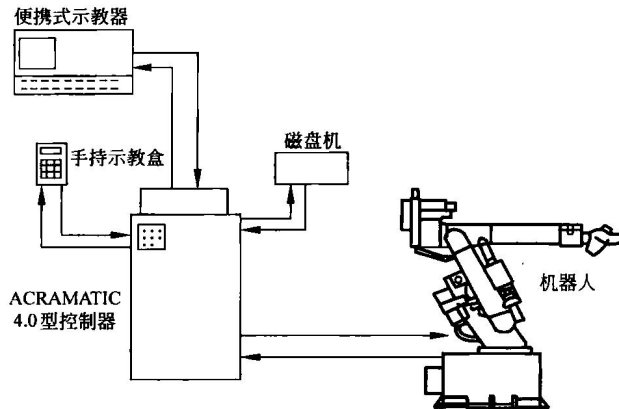


图 1-9 工业机器人控制硬件组成

最简单的一类工业机器人是开环搬运(PNP)机器人。PNP 机器人拾取一个对象并将它运到另一个地方。机器人的运动通常是由限位开关、凸轮作用阀或者机械挡块控制的气动执行器实现的。控制器以事件驱动顺序按时启动沿着一轴的运动。每一个运动一直继续到限位开关断开才停止。然后,控制器再依次启动下一个轴的运动。典型应用包括机床加载或卸载、堆垛以及一般的物料处理任务。开环的 PNP 机器人是相当精确的,但是缺少各个轴的协调运动。

第二类工业机器人是多轴伺服控制的,能够编程从一点运动到另一点。路径不是关键的机器人称为点位式(PTP)工业机器人;如果路径是关键,则叫做连续路径(CP)工业机器人。PTP 机器人从一点运动到另一点,在每一点上完成一定的功能。典型的功能包括点焊、粘接、钻孔、去毛刺等。CP 机器人沿给定的路径从一点运动到另一点,一边运动一边完成作业。典型的 CP 应用包括喷漆、缝焊、切割以及检查。这类机器人控制器或者是可编程序控制器,或者是小型计算机。它们依靠悬挂式示教操作台,采用示教方法编制机器人程序。

第三类工业机器人也是可编程序的,由点到点运动,或者沿连续路径运动。但是除了利用示教操作台实时编程外,它们还可以利用键盘和 CRT 显示器离线编程。这些机器人可以与主机通信。它们利用高级语言和人工智能处理 CAD/CAE 数据库的信息。

机器人伺服控制系统利用位置和速度反馈信号控制机械手运动。位置信号可以是绝对的或者增量的。机器人控制器将设定点信号送给每一个伺服系统,使得它的轴运动到给定位置(绝对位置),或者运动给定距离(增量位置)。位置和速度作为伺服控制回路的内反馈信号。机器人控制器还有其他传感器输入(伺服回路以外)。这些外部输入包括视觉、触觉以及语音识别。控制器利用这些信号检测目标外貌、目标尺寸以