


高等学校“十一五”规划教材

 机械设计制造及其自动化系列

**FUNDAMENTALS  
OF ROBOTICS**

**机器人技术基础**

孟庆鑫 王晓东 编著  
蔡鹤皋 张铭钧 主审

哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材



机械设计制造及其自动化系列

**FUNDAMENTALS  
OF ROBOTICS**

**机器人技术基础**

孟庆鑫 王晓东 编著  
蔡鹤皋 张铭钧 主审

哈尔滨工业大学出版社



## 内 容 简 介

本书系统地介绍了机器人技术相关的基本知识,主要包括:绪论;机器人结构设计基础;机器人操作手运动学;机器人操作手动力学;操作机器人关节伺服驱动技术;机器人控制;机器人传感器。本书注重将机器人基础理论与应用技术相结合,力求反映国内外机器人研究领域的新进展。。

本书可作为高等学校机械工程类专业的研究生教材,也可作为机械电子工程、自动化类专业本科生的参考教材,还可供有关科技人员参考。

## Abstract

This book introduces the fundamentals of technology in relation to robotics, which mainly including such fundamentals and applications as foundations of structure design, the robot kinematics, the robot dynamics, the servo drive and servocontrol of robot's joints and the robot sensors and so on. This book combines the basic principles with the application, and it is a text that tells the fundamentals of the industrial robot technology.

This book can be used as the text for postgraduates of the mechanical engineering speciality, the reference text for the undergraduates of the mechanical electrical and automation specialities, and it also can be used as a reference book for people related to science and technology.

## 图书在版编目(CIP)数据

机器人技术基础/孟庆鑫,王晓东编著. —哈尔滨:  
哈尔滨工业大学出版社,2006.9  
ISBN 7-5603-2328-6

I.机… II.①孟…②王… III.机器人技术-高等学校-教材 IV.TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 008118 号

责任编辑 黄菊英  
封面设计 卞秉利  
出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006  
传 真 0451-86414749  
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>  
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂  
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 297 千字  
版 次 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷  
印 数 1~4 000 册  
定 价 20.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 高等学校“十一五”规划教材

## 机械设计制造及其自动化系列

### 编写委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主任 姚英学  
副主任 尤波 巩亚东 高殿荣 薛开 戴文跃  
编委 王守城 巩云鹏 宋宝玉 张慧 张庆春  
郑午 赵丽杰 郭艳玲 谢伟东 韩晓娟

### 编审委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主任 蔡鹤皋  
副主任 邓宗全 宋玉泉 孟庆鑫 闻邦椿  
编委 孔祥东 卢泽生 李庆芬 李庆领 李志仁  
李洪仁 李剑峰 李振佳 赵继 董申  
谢里阳

# 总 序

自 1999 年教育部对普通高校本科专业设置目录调整以来,各高校都对机械设计制造及其自动化专业进行了较大规模的调整和整合,制定了新的培养方案和课程体系。目前,专业合并后的培养方案、教学计划和教材已经执行和使用了几个循环,收到了一定的效果,但也暴露出一些问题。由于合并的专业多,而合并前的各专业又有各自的优势和特色,在课程体系、教学内容安排上存在比较明显的“拼盘”现象;在教学计划、办学特色和课程体系等方面存在一些不太完善的地方;在具体课程的教学大纲和课程内容设置上,还存在比较多的问题,如课程内容衔接不当、部分核心知识点遗漏、不少教学内容或知识点多次重复、知识点的设计难易程度还存在不当之处、学时分配不尽合理、实验安排还有不适当的地方等。这些问题都集中反映在教材上,专业调整后的教材建设尚缺乏全面系统的规划和设计。

针对上述问题,哈尔滨工业大学机电工程学院从“机械设计制造及其自动化”专业学生应具备的基本知识结构、素质和能力等方面入手,在校内反复研讨该专业的培养方案、教学计划、培养大纲、各系列课程应包含的主要知识点和系列教材建设等问题,并在此基础上,组织召开了由哈尔滨工业大学、吉林大学、东北大学等 9 所学校参加的机械设计制造及其自动化专业系列教材建设工作会议,联合建设专业教材,这是建设高水平专业教材的良好举措。因为通过共同研讨和合作,可以取长补短、发挥各自的优势和特色,促进教学水平的提高。

会议通过研讨该专业的办学定位、培养要求、教学内容的体系设置、关键知识点、知识内容的衔接等问题,进一步明确了设计、制造、自动化三大主线路程教学内容的设置,通过合并一些课程,可避免主要知识点的重复和遗漏,有利于加强课程设置上的系统性、明确自动化在本专业中的地位、深化自动化系列课程内涵,有利于完善学生的知识结构、加强学生的能力培养,为该系列教材的编写奠定了良好的基础。

本着“总结已有、通向未来、打造品牌、力争走向世界”的工作思路,在汇聚多所学校优势和特色、认真总结经验、仔细研讨的基础上形成了这套教材。参加编写的主编、副主编都是这几所学校在本领域的知名教授,他们除了承担本科生教学外,还承担研究生教学和大量的科研工作,有着丰富的教学和科研经历,同时有编写教材的经验;参编人员也都是各学校近年来在教学第一线工作的骨干教师。这是一支高水平的教材编写队伍。

这套教材有机整合了该专业教学内容和知识点的安排,并应用近年来该专业领域的科研成果来改造和更新教学内容、提高教材和教学水平,具有系列化、模块化、现代化的特点,反映了机械工程领域国内外的新发展和新成果,内容新颖、信息量大、系统性强。我深信:这套教材的出版,对于推动机械工程领域的教学改革、提高人才培养质量必将起到重要推动作用。

**蔡鹤皋**

**哈尔滨工业大学教授**

**中国工程院院士**

**2005年8月10日**



# 前 言

机器人学是当今世界极为活跃的研究领域之一,它涉及计算机科学、机械学、电子学、自动控制、人工智能等多个学科。机器人是一种典型的现代光机电一体化产品。

随着计算机、人工智能和光机电一体化技术的迅速发展,机器人已成为人类的好帮手。在航空航天、深海探测中,往往使用机器人代替人类去完成艰巨又复杂的极限工作任务。

工业机器人自诞生到现在近半个世纪以来,已广泛应用于国民经济各个领域。今天,机器人又深入到现代生产、国民经济和人们生活之中,作为机械工程学科的研究生,有必要掌握一定深度的机器人技术方面的知识,以便在工作、学习和生活中不断提高自己的能力和水平。

我们多年从事机器人学教学和机器人技术领域的科研工作,深感需要有一本适合研究生教学使用的教材。在多年教学积累的基础上,编撰了这本研究生教学用书。本书力求理论分析与实用技术相结合,选编了新的科技内容,也结合了作者取得的科研成果,力求反映国内外机器人研究领域的新进展。

本书介绍了机器人的基本机械结构、运动学与动力学分析,驱动方法、控制技术及传感器等基础理论和技术基础知识。全书共分七章,第1章简要介绍了机器人基本概念,第2章主要介绍了工业机器人的机械结构基础知识,第3、4章介绍了机器人操作手的运动学和动力学的初步知识,第5章主要介绍了机器人关节驱动的方式和基本方法,第6章介绍了机器人通常的控制方法,第7章介绍了机器人常用传感器的基本知识。

本书由孟庆鑫、王晓东编著。由哈尔滨工业大学蔡鹤皋院士和哈尔滨工程大学张铭钧教授主审。初稿主要由王晓东完成,全书由孟庆鑫修改并统稿。对北京航空航天大学吴威教授、哈尔滨工业大学的王广林教授和哈尔滨理工大学的尤波教授,在本书编审、定稿过程中的参与和帮助深表谢意。对哈尔滨工程大学刁彦飞教授、王立权教授对书稿编写和修改的帮助表示感谢,并对李平和刘贺平博士生在对书稿的整理、校对工作中付出的辛勤劳动表示感谢。

由于作者水平有限,书中内容难免存在不当之处,我们恳请读者给予批评指正。最后我们还要对哈尔滨工业大学出版社的支持表示衷心感谢。

编著者

2006年9月

# 目 录

## // 第1章 绪论

- 1.1 机器人的基本概念 ..... (1)
- 1.2 机器人的特点、结构与分类 ..... (3)
- 1.3 工业机器人的机构运动简图及主要参数 ..... (8)
- 1.4 机器人技术的发展及应用 ..... (14)

## // 第2章 机器人结构设计基础

- 2.1 手部设计 ..... (22)
- 2.2 腕部设计 ..... (32)
- 2.3 臂部设计 ..... (38)
- 2.4 缓冲与定位 ..... (42)
- 2.5 行走机构 ..... (47)

## // 第3章 机器人操作手运动学

- 3.1 齐次坐标和齐次变换 ..... (52)
- 3.2 机器人操作手的运动学方程 ..... (63)
- 3.3 运动学方程的解 ..... (66)
- 3.4 微分运动与雅可比矩阵 ..... (74)
- 3.5 雅可比矩阵 ..... (82)

## // 第4章 机器人操作手动力学

- 4.1 概述 ..... (85)
- 4.2 动力学分析基础 ..... (85)
- 4.3 机器人牛顿-欧拉动力学方程的建立 ..... (94)
- 4.4 机器人拉格朗日动力学方程的建立 ..... (98)

## // 第5章 操作机器人关节伺服驱动技术

- 5.1 电液伺服系统 ..... (106)
- 5.2 直流电机伺服系统 ..... (120)
- 5.3 交流伺服系统及其应用 ..... (132)

## // 第6章 机器人控制

- 6.1 概述 ..... (138)
- 6.2 位置控制 ..... (142)
- 6.3 机器人的力控制 ..... (152)



|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 6.4 示教 - 再现控制方式 ..... | (163) |
| 6.5 主从操作 .....        | (164) |
| <b>第7章 机器人传感器</b>     |       |
| 7.1 概述 .....          | (171) |
| 7.2 视觉传感器 .....       | (173) |
| 7.3 测距传感器 .....       | (179) |
| 7.4 力觉传感器 .....       | (188) |
| 7.5 触觉传感器 .....       | (191) |
| 参考文献 .....            | (197) |

## 第 1 章

# 绪 论

本章简要介绍机器人的基本概念、组成、分类、发展和应用,旨在使读者从总体上对机器人系统有一个初步了解。

### 1.1 机器人的基本概念

机器人学是近几十年来迅速发展起来的一门综合学科。它集中了机械工程、电子工程、计算机科学、自动控制以及人工智能等多种学科的最新研究成果,体现了光机电一体化技术的最新成就,是当代科学技术发展最活跃的领域之一,也是我国科技界跟踪国际高技术发展的重要课题。

本书所指的机器人是工业机器人,或称操作机器人、机器人操作臂、通用机械手等。从外形来看,它和人的手臂很相似,是由一系列刚性连杆通过一系列柔性关节交替连接而成的开式链结构。

那么,机器人是如何发展的呢?

#### 1.1.1 机器人的由来

“机器人”是人类想像中一种像人一样的机器,以代替人来完成各种各样的工作,体现了人类长期以来的一种愿望。

早在 3 000 年前,机器人的概念已在人类的想像中诞生,公元前 1 066 年,我国西周时代就流传有周穆王与歌舞机器人(艺伎)的故事。公元前 3 世纪,古希腊发明家为克里特岛国王制造了一个守卫宝岛的青铜卫士。我国东汉时期,张衡发明的指南车可算是世界上最早的机器人雏形。

“机器人”的说法最早产生于 1920 年捷克剧作家卡雷尔·凯培克(Karel Capek)的一部幻想剧《罗萨姆的万能机器人》中。此后各国对机器人的说法几乎都从斯洛伐克语“Robota”音译为“罗伯特”(如英语 robot,俄语 работа,日语ロボット等),只有我国译为“机器人”。1950 年,美国科幻小说家阿西莫夫在他的小说《我是机器人》中,提出了有名的“机器人三守则”。

- ① 机器人必须不危害人类,也不允许它眼看着人类受害而袖手旁观;
- ② 机器人必须绝对服从于人类,除非这种服从有害于人类;
- ③ 机器人必须保护自身不受伤害,除非为了保护人类或者人类命令它作出牺牲。

这三条守则给机器人赋以新的伦理观,并使机器人概念通俗化,更易于为人类社会所接受。至今,它仍为机器人研究者、设计制造厂家和用户提供了有意义的指导原则。

机器人形象的产生,体现了人类对于先进生产工具的创造性思维,人们期待着一种能够模仿人的某些动作,代替人完成某些工作,特别是某些危险性较高的工作的自动机械。人们的这种愿望给科学技术的研究提出了一个新课题,这便是工业机器人产生的背景。

1948年,美国的阿贡实验室研制成功了主从操作遥控机械手,主要用来对放射性材料进行处理,代替人进行远距离操作。1954年,美国人乔治·德沃尔设计了第一台关节式示教再现型作业机械手,并于1961年发表了该项机器人专利。1962年,美国万能自动化公司(Unimation)的第一台机器人问世,并在美国通用汽车公司(GM)投入使用,这标志着第一代工业机器人的诞生。从此,机器人开始成为人类生活中的现实。

### 1.1.2 机器人的定义

要给机器人下个合适的能为人们所认可的定义还有一定的困难,专家们也是采用不同的方法来定义这个术语。现在,世界上对机器人还没有统一的定义,各国都有自己的定义,这些定义之间的差别也较大。有些定义很难将简单的机器人与其技术密切相关的“刚性自动化”装置区别开来。

国际上,对于机器人的定义主要有以下几种:

#### 1. 美国机器人协会(RIA)的定义

机器人是“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的,通过可编程的动作来执行种种任务的并具有编程能力的多功能机械手”。这一定义叙述得较为具体,但技术含义并不全面,可概括为工业机器人。

#### 2. 美国国家标准局(NBS)的定义

机器人是“一种能够进行编程并在自动控制下执行某些操作和移动作业任务的机械装置”。这也是一种比较广义的工业机器人的定义。

#### 3. 日本工业机器人协会(JIRA)的定义

工业机器人是“一种装备有记忆装置和末端执行器的,能够转动并通过自动完成各种移动来代替人类劳动的通用机器”。同时还可进一步分为两种情况来定义:

- ① 工业机器人是“一种能够执行与人体上肢(手和臂)类似动作的多功能机器”;
- ② 智能机器人是“一种具有感觉和识别能力,并能控制自身行为的机器”。

#### 4. 国际标准化组织(ISO)的定义

“机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手,这种机械手具有几个轴,能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置,以执行种种任务”。

#### 5. 英国简明牛津字典的定义

机器人是“貌似人的自动机,具有智力的和顺从于人但不具人格的机器”,这是一种对理想机器人的描述,到目前为止,尚未有与人类相似的机器人出现。

#### 6. 我国关于机器人的定义

随着机器人技术的发展,我国也面临讨论和制订关于机器人技术各项标准的问题,其中也包括对机器人的定义。中国工程院蒋新松院士曾建议把机器人定义为“一种拟人功能的机械电子装置”。

上述各种定义可为理解机器人提供参考,这些定义的共同点为:

- ①认为外形像人或像人的上肢,并能模仿人的动作;
- ②具有一定的智力、感觉与识别性;
- ③是人造的机器或机械电子装置。

随着机器人的进化和机器人智能的发展,这些定义都有可能修改,甚至需要对机器人重新认识和重新定义。

## 1.2 机器人的特点、结构与分类

### 1.2.1 机器人的主要特点

机器人的主要特点体现在它的通用性和适应性等方面。

#### 1. 通用性

机器人的通用性是指具有执行不同功能和完成多样简单任务的实际能力;通用性也意味着,机器人是可变的几何结构,或者说在机械结构上允许机器人执行不同的任务或以不同的方式完成同一工作。大多数机器人都具有不同程度的通用性,包括机械手的机动性和控制系统的灵活性。

必须指出,通用性不是由自由度单独决定的。增加自由度一般能提高通用性,但还必须考虑末端执行器的结构和能力,以及能否适应不同的作业工具等因素。

#### 2. 适应性

机器人的适应性是指具有对环境的自适应能力,即机器人能够自主执行事先未经规划的中间任务,而不管任务执行过程中所发生的没有预计到的环境变化。适应性要求机器人具有运用传感器预测环境的能力;分析任务空间和执行操作规划的能力;自动指令模式的能力。

对于工业机器人来说,适应性是指所编好的程序模式和运动速度能够适应工件尺寸和位置以及工作场地的变化。

### 1.2.2 机器人系统的结构

一个机器人系统一般由下列四个相互作用的部分组成,即机械手、环境、任务和控制器,如图 1.1(a)所示,图 1.1(b)为其简化形式。

工业机器人本体机械系统即为通常的机械手装置,它由肩、臂、腕、机身或行走机构组成,组合为一个互相依赖的运动机构。

环境即指机器人所处的周围状态,环境不仅由几何条件(可达空间)决定,而且由环境和它所包含的每个事物的全部自然特性决定。在环境中,机器人会遇到一些障碍物和其他物体,它必须避免与这些障碍物发生碰撞,并与这些物体发生作用。

机器人体系结构中的任务一般定义为环境的两种状态(初始状态和目标状态)间的差别,必须用适当的程序语言来描述,并能为计算机所理解。

机器人的控制器一般为控制计算机,接收来自传感器的信号,对其进行数据处理,并按照预存信息,即机器人的状态及环境情况等,生成控制信号来驱动机器人的各个关节运动。

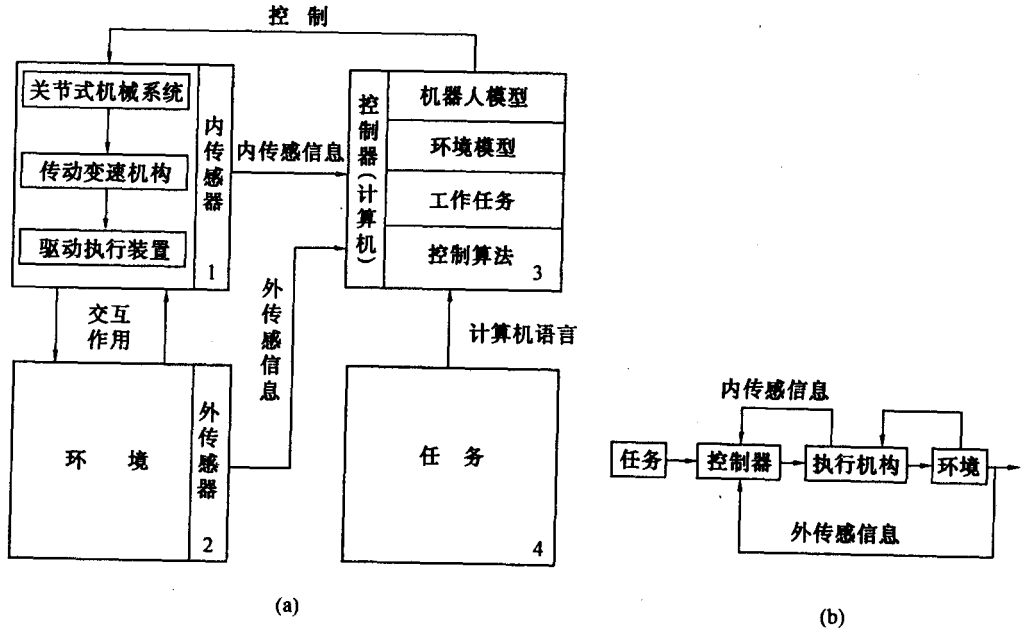


图 1.1 机器人系统的基本结构

### 1.2.3 机器人的分类

机器人的分类方法很多。这里首先介绍三种分类法,即分别按机器人的几何结构、机器人的控制方式以及机器人的信息输入方式来分。

#### 1. 按机器人(机械手)的几何结构来分

机器人(机械手)的机械配置形式多种多样,最常见的结构形式是用其坐标特性来描述。这些坐标结构包括笛卡儿坐标结构、柱面坐标结构、极坐标结构、球面坐标结构和关节式球面坐标结构等。这里简单介绍柱面、球面和关节式球面坐标结构这三种最常见的机器人。

##### (1) 柱面坐标机器人

柱面坐标机器人主要由垂直柱体、水平手臂(或机械手)和底座构成。水平机械手装在垂直柱体上,能自由伸缩,并可沿垂直柱体上下运动。垂直柱体安装在底座上,并与水平机械手一起(作为一个部件)能在底座上移动。这样,这种机器人的工作包迹(区间)就形成一段圆柱面,如图 1.2 所示。因此,把这种机器人叫做柱面坐标机器人。

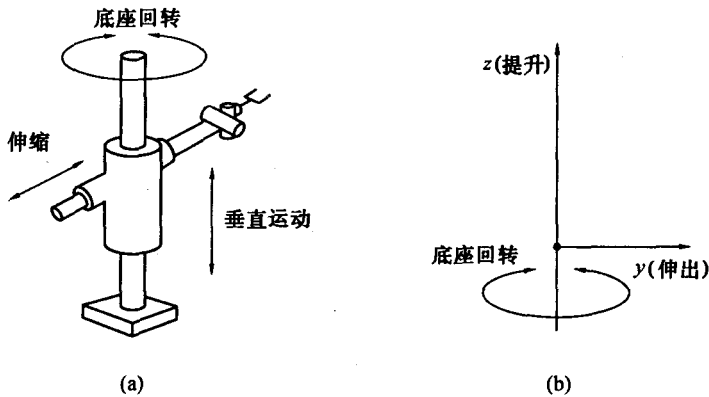


图 1.2 柱面坐标机器人

(2) 球面坐标机器人

球面坐标机器人的结构如图 1.3 所示,它像坦克的炮塔一样。机械手能够里外伸缩移动,在垂直平面上摆动以及绕底座在水平面内转动。这种机器人的工作包迹形成球面的一部分,因此被称为球面坐标机器人。

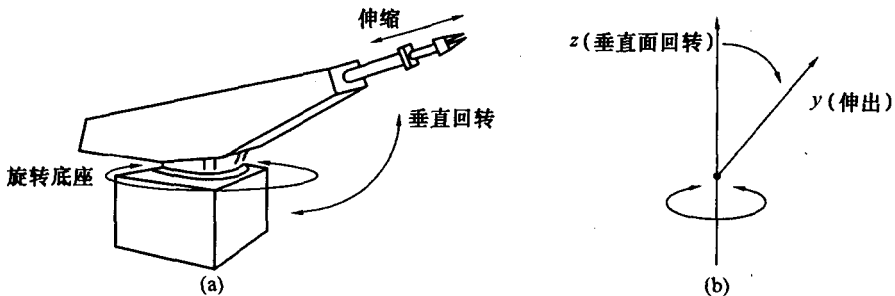


图 1.3 球面坐标机器人

(3) 关节式球面坐标机器人

关节式球面坐标机器人主要由底座(或躯干)、上臂和前臂构成。上臂和前臂可在通过底座的垂直平面上运动,如图 1.4 所示。在前臂和上臂间绕机械手有个肘关节;而在上臂和底座间,有个肩关节。在水平平面上的旋转运动,既可绕肩关节进行,也可以通过绕底座旋转来实现。这种机器人的工作包迹覆盖了球面的大部分,称为关节式球面机器人。

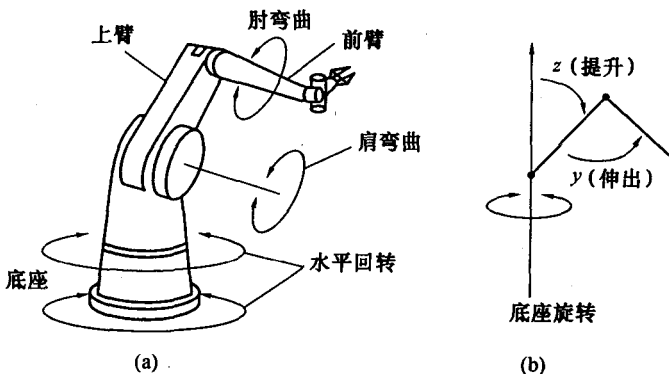


图 1.4 关节式球面机器人

## 2. 按机器人的控制方式分

按照控制方式,可把机器人分为非伺服机器人(non-servo robots)和伺服控制机器人(servo-controlled robots)两种。

### (1) 非伺服机器人

非伺服机器人工作能力比较有限,它们往往包括那些“终点”、“抓放”或“开关”式机器人,尤其是“有限顺序”机器人。这种机器人按照预先编好的程序顺序进行工作,使用终端限位开关、制动器、插销板和定序器来控制机器人机械手的运动;其工作原理方块图如图 1.5 所示。图中,插销板用来预先规定机器人的工作顺序,而且往往是可调的。定序器是一种定序开关或步进装置,它能够按照预定的正确顺序接通驱动装置的能源。驱动装置接通能源后,就带动机器人的手臂、腕部和手爪等装置运动。当它们移动到由终端限位开关所规定的位置时,限位开关切换工作状态,给定序器送去一个“工作任务(或规定运动)业已完成”的信号,并使终端制动器动作,切断驱动能源,使机械手停止运动。

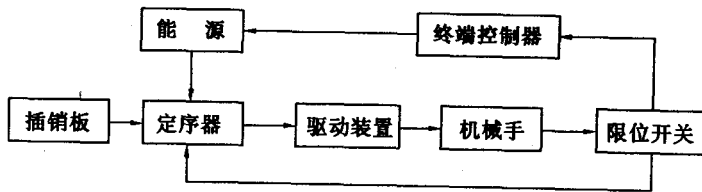


图 1.5 有限顺序机器人方块图

### (2) 伺服控制机器人

伺服控制机器人比起非伺服机器人来具有更强的工作能力,价格也相对较贵,而且在某些情况下不如简单的机器人可靠。伺服控制机器人的方块图如图 1.6 所示。伺服系统的被控制量(即输出)可为机器人端部执行装置(或工具)的位置、速度、加速度和力等。通过反馈传感器取得的反馈信号与来自给定装置(如给定电位器)的综合信号,用比较器加以比较后,得到误差信号,经过放大后用以激发机器人的驱动装置,进而带动末端执行装置以一定规律运动,到达规定的位置或达到规定的速度等。显然,这是一个反馈控制系统。

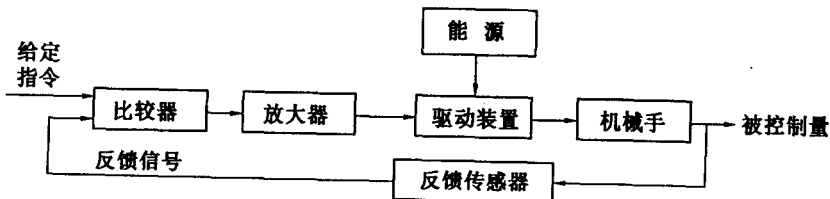


图 1.6 伺服控制机器人方块图

伺服机器人又可分为点位伺服控制机器人和连续路径(轨迹)伺服控制机器人两种。点位伺服控制机器人能够在其工作包迹内精确地编入程序的三维点之间运动。一般



只对其一段路径的端点进行示教,而且机器人以最快的和最直接的路径从一个端点移到另一个端点,并可把这些端点设置在已知移动轴的任何位置上。点与点之间的操作总是有点不平稳,即使同时控制两根轴,它们的运动轨迹也很难完全一致。因此,点位伺服控制机器人用于只对终端位置有要求而对编程点之间的路径和速度不作主要考虑的场合。

点位伺服控制机器人的初始程序比较容易设计,但不易在运行期间对编程点进行修正。同时,由于没有行程控制,所以实际工作路径可能与示教路径不同。这种机器人具有很大的操作灵活性,因而其负载能力和工作范围均可圈可点。液压装置是这种机器人系统最常用的驱动装置。

连续路径(轨迹)伺服控制机器人能够平滑地跟随某个规定的路径,其轨迹往往是某条不在预编程端点停留的曲线路径。因此,这种机器人特别适用于喷漆作业。

连续路径伺服控制机器人具有良好的控制和运行特性;其数据是依时间采样,而不是依预先规定的空间点采样。这样,就能够把大量的空间信息存储在磁盘或光盘上。这种机器人的运行速度快,功率较小,负载能力也较小。喷漆、弧焊、抛光和磨削等加工是这种机器人的典型应用场合。

### 3. 按机器人控制器的信息输入方式分

由于这种分类方式比较重要,特汇集在表 1.1 中。

表 1.1 机器人的分类

| 机器人的种类                               | 特 征                                   |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 操纵机器人<br>(operating robot)           | 人在一定距离处直接操纵机器人进行作业                    |
| 程序机器人<br>(sequence control robot)    | 机器人按预先给定的程序、条件、位置进行作业                 |
| 示教再现机器人<br>(playbackrobot)           | 由人操纵机器人进行示教后,机器人就重复(再现)进行这个作业         |
| 数值控制机器人<br>(numerical control robot) | 通过数字和语言给定作业的顺序、条件、位置的信息,机器人依据这一信息进行作业 |
| 智能机器人<br>(intelligent robot)         | 机器人依据智能(感觉信息的识别、作业规划、学习等能力)确定作业       |

#### (1) 操纵机器人

操纵机器人是一种在核电站处理放射性物质时,远距离操纵的机器人。在这种场合,相当于人手操纵的部分称为主动机械手,进行类似动作的部分称为从动机械手。两者多半是类似的,但从动机械手要大些,是用增大了的力进行作业的机器人,主动机械手要小

些。用于精密作业的主从操作机器人也属于这一类。

### (2) 程序机器人

若单从预先设定好程序进行作业这一点讲,装有发条的玩具也可被认为是程序机器人,但它不能更换作业(定程序),而程序机器人则可用某些方法更换作业(变程序)。

### (3) 示教再现机器人

示教再现同盒式磁带的录放机一样。开始是示教作业,人一面操纵机器人,一面在各重要位置按下示教盒的按钮,记忆其位置。而进行作业时把它再现出来,机器人顺次追寻记忆的位置。由于示教再现机器人能自由地示教动作,所以能进行各式各样的作业,在汽车厂进行点焊的大多是这种类型的机器人。

### (4) 数值控制机器人

数值控制机器人是采用一种用计算机控制机器人的动作来代替人操纵机器人进行动作的方式。例如,使机器人手爪沿着圆周动作时,用计算机给出轨迹比人进行操作要方便得多,但必须编制计算机程序。

### (5) 智能机器人

智能机器人不仅可以进行事先设定的动作,还可以按照工作状况相应地进行动作。例如,对传送带上多个物体的识别,回避障碍物的移动,作业次序的规划,有效的动态学习,多个机器人的协调作业等。虽然实用化的智能机器人还不成熟,但对各种智能机器人的研究正在稳步进行。1997年7月4日报导的“火星探险者”号火星探测机器人在火星上着陆,用于观测火星、采集资料,便是智能机器人的一例。

## 1.3 工业机器人的机构运动简图及主要参数

在设计与研究工业机器人的总体结构时,首先必须画出机器人机构运动示意图,以便对现有的机器人结构进行分析,与新设计的机器人结构方案进行比较,以确定最佳的方案。通常是用简单的机构运动符号来表示。

### 1.3.1 机器人机构运动简图

为分析和记录机器人各种运动及运动组合,有必要引入机器人机构运动简图。用机构与运动图形符号表示机器人机械臂、手腕和手指等运动机能的图形,称为机器人机构运动简图。这种运动简图既可在一定程度上表明机器人的运动状态,又有利于进行设计方案的比较。

表1.2列出了表示机器人运动件相对移动、回转(或摆动)以及末端手指等的符号,用它们来表示机器人的各种运动机能。