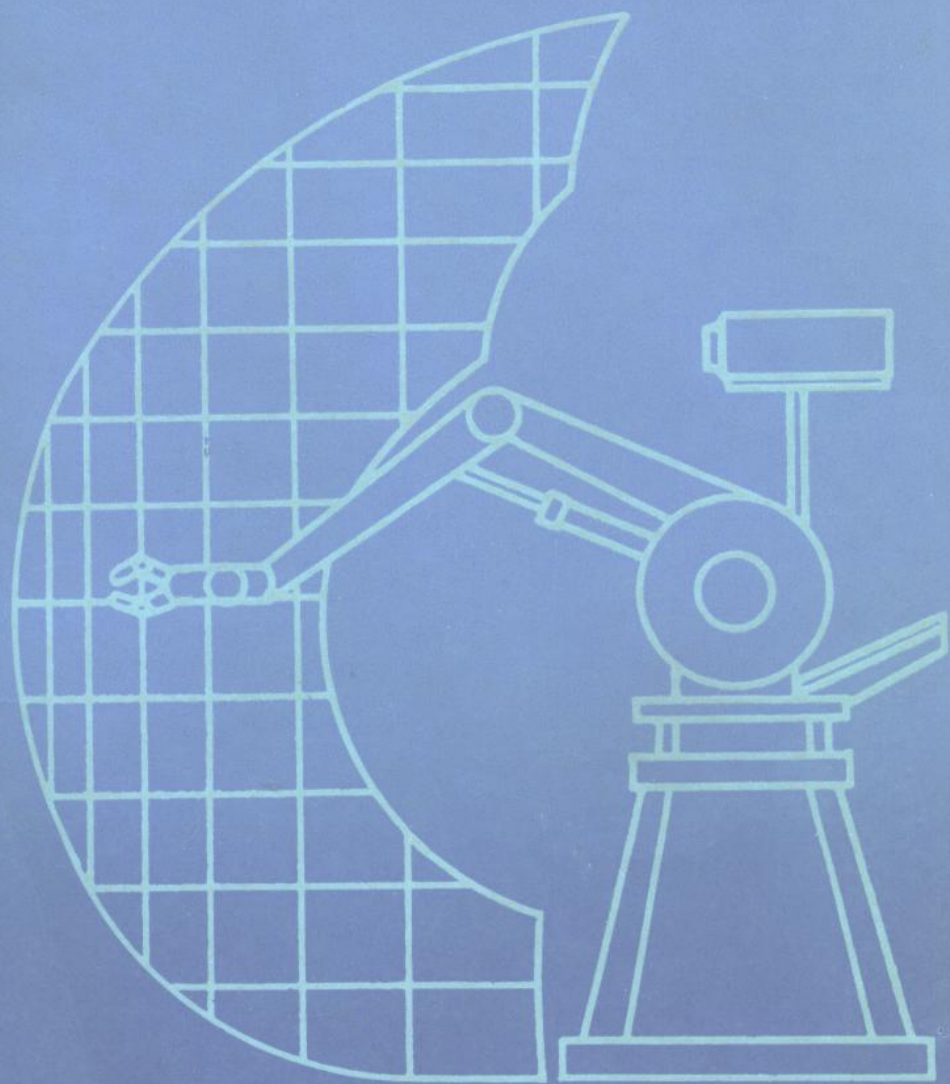


上海交通大学出版社



高德林 王康华 编译

# 机器人学导论

JIQIRRENXUE DAOLUN

879  
7520

社

# 机 器 人 学 导 论

高德林 王康华 编译

上海交通大学出版社

## 内 容 简 介

本书共分6章。第1章介绍工业机器人发展简史以及有关的一些基本概念，第2章着重介绍工业机器人机械结构方面的一般性问题，第3章介绍现代工业机器人使用的几种主要驱动元件和装置的工作原理及特点，第4章介绍机器人运动学和控制技术方面的问题，第5章介绍机器人控制系统的计算机硬件和软件方面的基础知识，第6章介绍机器人控制系统中常用的各种传感器的结构、工作原理以及选择机器人传感器的方法，并概述了机器人视觉系统的一些基本内容。

本书内容涉及到了机器人技术中各方面的基础知识，可作为高等院校机械、电气、计算机和控制专业机器人课程的教学用书，也可供从事机器人研究和应用的工程技术人员学习。

EP50/23

### 机 器 人 学 导 论

上海交通大学出版社出版

(淮海中路1984弄19号)

新华书店上海发行所发行

常熟市印刷二厂印装

---

开本787×1092毫米 1/16 印张10.75 字数262000

1988年7月第1版 1988年10月第1次印刷

印数：1—2100

ISBN7—313—00298—X/TP23 科技书目：180—253

---

定价：1.80元

## 前 言

机器人学是近二十多年来发展起来的一门新兴学科，它综合了力学、机械学、电子学、计算机科学，以及生物学、控制论、人工智能、系统工程等多方面的知识，是研究机器人的基本结构与操作的一门科学。

机器人和机器人学是应自动化生产的需要而提出和发展起来的。随着电子计算机的问世和发展，机器人开始在社会生产中得到广泛的应用。采用机器人不仅能够减轻人类的劳动强度、提高劳动生产率和产品质量，而且能够使人类摆脱许多危险有害的工作环境，减少人身伤亡事故。它的应用已经得到人们普遍的欢迎。在工业发达国家中，机器人正在逐步形成为一个重要的产业。机器人的研究水平和应用水平已成为衡量一个国家科技发展和经济实力的重要标志之一。机器人的飞速发展带来了机器人学的飞速发展。人们对机器人及其相关技术的研究已经相当深入，机器人自适应控制、机器人视觉、机器人语音识别、机器人规划，以及机器人自学习、自组织等智能机器人技术领域，亦已出现了许多研究成果。机器人学已成为当代最活跃的技术领域之一。

近年来，我国在机器人和机器人学方面的研究得到了较快的发展，机器人技术及其应用问题受到了广泛的重视。许多机器人已经在生产中投入使用，机器人学方面的研究成果层出不穷，各工科院校亦已在学生中开设了机器人学方面的有关课程，国家已把机器人技术列为跟踪21世纪高技术的重要研究课题之一。在不久的将来，我国的机器人研究和应用必将有更快的发展。

机器人学是一门综合性的学科，涉及到的内容较多。本书以美国加州大学 Arthur J. Critchlow 教授所著 *Introduction to Robotics* 一书为蓝本，结合国内机器人技术的现状和教学需要编译而成，试图对现代机器人所涉及到的许多复杂技术进行一次有益的概括，使之成为一本机器人学领域的入门教材。书中第3、4、5章由高德林编写，第1、2章和第6章由王康华编写，全书由高德林整理。

本书在编译过程中得到了华东工学院张国荣副教授的热情指导，鲁有宏和郭钢同志也为本书提供了部分译稿，特此致谢。限于我们的水平，书中难免有不妥之处，敬请批评指正。

编译者

1988年3月

# 目 录

<b>第1章 绪 论</b> .....	( 1 )
1.1 机器人的早期发展 .....	( 1 )
1.2 工业机器人的发展情况 .....	( 3 )
1.3 机器人技术的发展情况 .....	( 5 )
参考文献 .....	( 6 )
<b>第2章 机器人的机械结构</b> .....	( 8 )
2.1 机器人的定义和分类 .....	( 8 )
2.2 外形结构与运动 .....	( 11 )
2.3 驱动机构 .....	( 15 )
2.4 末端操作器 .....	( 21 )
2.5 机器人机械设计的基本规定和要求 .....	( 24 )
2.6 机器人的行走能力 .....	( 28 )
参考文献 .....	( 30 )
<b>第3章 驱动方法</b> .....	( 31 )
3.1 液压驱动 .....	( 31 )
3.2 气压驱动 .....	( 35 )
3.3 直流电动机驱动 .....	( 36 )
3.4 步进电动机 .....	( 41 )
3.5 各种运转条件下驱动方法的选择 .....	( 44 )
参考文献 .....	( 46 )
<b>第4章 控制器和控制方法</b> .....	( 47 )
4.1 按控制方法对机器人分类 .....	( 47 )
4.2 机器人的伺服控制方法 .....	( 48 )
4.3 先进的控制方法 .....	( 51 )
4.4 闭环伺服机构 .....	( 54 )
4.5 伺服系统元件 .....	( 60 )
4.6 运动学分析和控制 .....	( 61 )
4.7 控制器设计实例 .....	( 69 )
参考文献 .....	( 77 )
<b>第5章 机器人系统的计算机硬件和软件</b> .....	( 79 )
5.1 机器人系统对计算机硬件和软件的要求 .....	( 79 )
5.2 计算机硬件基础知识 .....	( 82 )
5.3 机器人计算机系统的体系结构 .....	( 86 )
5.4 机器人的软件编程 .....	( 102 )

5.5 机器人语言——特点和问题 .....	( 107 )
5.6 机器人语言编程实例 .....	( 110 )
参考文献 .....	( 123 )
<b>第6章 机器人传感器及其视觉系统 .....</b>	<b>( 124 )</b>
6.1 机器人传感器的选择要求 .....	( 124 )
6.2 几种主要的传感器 .....	( 131 )
6.3 传感器输出信号的处理 .....	( 151 )
6.4 机器人视觉系统 .....	( 153 )
参考文献 .....	( 164 )

# 第1章 绪论

机器人学是近二十多年来迅速发展起来的综合学科。它集中了机械工程、电子工程、计算机工程、自动控制工程以及人工智能等多种学科的最新研究成果，代表了机电一体化的最高成就，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方面。

机器人的研究、制造和应用水平，是一个国家科技水平和经济实力的象征，正在受到许多国家的广泛重视。计算机控制的机器人，由于它具有高度的可靠性、灵活性、快速的反应能力以及巨大的信息贮存和处理能力，已经赢得人们的普遍欢迎。它能够不知疲倦地从事艰苦繁重的劳动，减轻了人的劳动强度，提高了生产率；它的工作不受环境和情绪的干扰，能够进行无尘无菌操作，保证了产品的高质量；它能够在人类难以生存的水下、太空以及剧毒等危险环境中工作，使人类的生命安全和健康得到了保障。在现代化工业生产中，机器人更能适应现代多品种、小批量的混合生产方式，既可以避免因用户需求多样化、变化快而造成的投资浪费，又有利于降低生产成本。在美国，只需一年时间就能够赚回购买工业机器人的全部投资，包括机器人的安装费用、人员培训费用和辅助设备的费用。在农业生产等其他生产领域，机器人也正在发挥着越来越大的作用。机器人在人类社会的各个领域造福于人类，同时也正在对人们的生产、生活甚至心理意识产生深远的影响，从而向人们提出了一系列新的学习课题和研究课题。

自古以来，人们一直梦想着超人、机械人和其他奇迹般的生灵。但是在当时由于科学技术和生产力发展水平的限制，这只能是一些幻想。从17世纪开始，欧洲发明家设计制造了许多半自动化的装置，其中较著名的有1770年左右发明的铁鸟机、1738年左右发明的自动长笛演奏机〔1〕和1805年左右发明的书写绘图自动机〔2〕。这些装置大多由时钟机构驱动，用凸轮和杠杆组传递各种运动，能够模仿人和鸟的各种动作并发出各种声响。尽管这些机构在现在看来还比较简陋，也没有感觉和反馈能力，还不能算作机器人，但是它们是当时技术领域的先导，吸引了许多最有才华的发明家从事早期机器人的研究，为现代机器人的发展奠定了基础。通过人们不懈的努力，现代化的、复杂的、自适应的，甚至是智能的机器人已经逐渐成为现实。

本书作为机器人学方面的导论书，主要介绍机器人学的基本概念和基础理论知识，同时对机器人学的各个领域，包括机械结构、驱动系统、控制方法、计算机硬件软件以及传感系统等主要内容作一定深度的阐述。本书首先将对机器人发展的主要历史过程作一简单的回顾，以帮助读者对机器人学的形成和发展有较全面系统的了解。

## 1.1 机器人的早期发展

虽然古希腊人、古罗马人和古欧洲人都曾有过类似于机器人一样的机器，但是把机器人（Robot）这个词提供给我们的却是后来的一位名叫 Karal Capak 的捷克斯洛伐克剧作

家。在捷克语中，Robot 这个词是指一个赋役的奴隶。1921年 Capek 写了一出戏剧，名叫“洛桑万能机器人公司”（Rossum's Universal Robots），在这出戏剧中，机器人是洛桑和他的儿子研制的类人生物，用来作为人类的奴仆。

一位名叫 Isaac Asimov 的科学幻想小说家首先使用了机器人学（Robotics）这个词来描述与机器人有关的科学。他还提出了“机器人学三定律”，很值得现代机器人设计者和使用者考虑。这三条定律是：

- 1) 机器人绝不能伤害人类生命，或者让它在要伤害人类时它自己也不能动作，
- 2) 机器人永远要服从于人类，除非与第一条定律有矛盾，
- 3) 机器人应当自我保护，除非与上两条定律有矛盾。

如果某种装置的控制来自于人，而不是来自于其内部的能力，这样的装置即使采用了与机器人相同的技术，也不能认为它是机器人。为了区别它们，下面简要介绍一些与机器人有关的装置。

### 1. 操作机

操作机已被用于一些危险工作场合，操作机的手臂端部装有夹子或铁钳，由人在遥控点通过机构链来控制。通常把操作机安装在墙的另一侧，人通过墙上的观察孔观察并操纵操作机在墙内的工作，墙可以保护在墙外的操作者远离危险。以前处理核子或原子实验的危险物质时，曾广泛采用过许多操作机。

最初操作机是由操作者直接驱动和控制的，后来采用功率伺服放大器和电动机驱动和控制，以提高操作机的持重能力和处理能力。只有采用直接的机构连接，操作者才能感觉到它动作所产生的作用。一旦采用动力伺服系统，操作者可能感觉不到操作机产生的巨大力量，有时会引起灾难性的后果。所以，带有伺服装置的操作机还需装备力反馈装置。图1.1表示了一台电机驱动的操作机，美国Case工学院用它进行操作机的计算机控制研究。

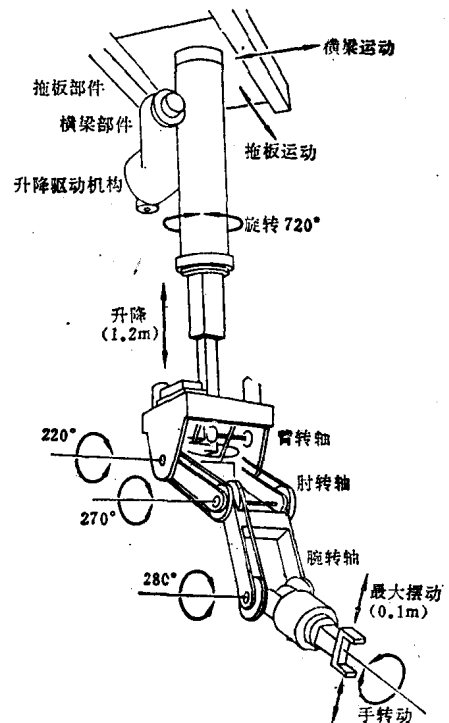


图1.1 Case操作机

### 2. 遥控操作机：

遥控操作机是操作机进一步发展的产物，是一种非直接控制的伺服控制操作机。它可以用于水下，太空或者接触放射性物质等工作场合。遥控操作机的控制需要采用无线电通信、光学通信，甚至卫星通信等方式，由遥控摄像机提供视觉信息，由反馈系统进行接触反馈，但反馈信息的传递仍需采用无线电通信的方式。图1.2是美国1969年研制的遥控自行拟人操作机，用于处理放射性物质。

### 3. 人工假肢

人工假肢是供残废人使用的四肢替代物。它的形状类似于人的肢体，用金属或其他材料制成。用生物电传感器可以控制人工假肢的活动，帮助残疾人完成各种操作。生物电传感器能够检测到人的神经脉冲，通过计算机翻译成命令送给人工假肢的驱动部分。以电动机或液



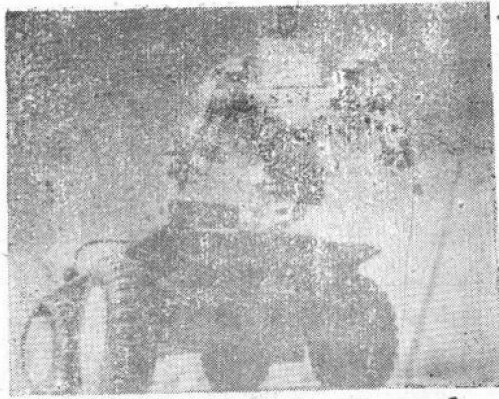


图1.2 自行拟人操作机(SAM)

压马达为动力的人工手臂是一种最简单的人工假肢。更先进的人工假肢还能够用声音命令进行控制。

## 1.2 工业机器人的发展情况

发展机器人必须同时具备三个条件<sup>[3]</sup>：1) 存在对机器人的需要；2) 有一批胜任该技术领域工作的人员；3) 资金支持，特别是来自用户的经济支持（即用户购买能力）。尽管人们早已意识到了机器人的重要性，而且早在本世纪60年代，世界各国就有一批有才能的人在进行机器人的研究工作，但是，直到70年代，机器人的研究、生产和使用才开始在少数国家得到资金方面的支持。目前，在工业发达国家中，机器人的使用已经非常广泛。表1.1是各国工业机器人的使用情况。下面简要介绍工业机器人在国外的早期发展情况以及目前的应用情况。

表1.1 各国工业机器人的使用量<sup>[4][5]</sup>

	1979年	1982年	1985年	1990年预测
日本	14,000	21,000	90,000	160,000
美国	3,255	6,800	20,000	125,000
西德	850	3,500		12,000
英国	185	439		2,100
苏联	25			50,000

### 1. 美国

美国是最先研制和应用现代工业机器人的国家。1958年被誉为“工业机器人之父”的 Joseph F. Engelberger 创建了世界上第一个制造机器人的公司——Unimation (UNiversal autoMATION) 公司，并参与设计了第一台 Unimation 机器人<sup>[6]</sup>。这是一台用于压铸的五轴液压驱动机器人，手臂的控制由一台专用计算机完成。它采用分离式固体数控元件，并装有存贮信息的磁鼓，能够记忆完成180个工作步骤。与此同时，另一家美国公司——AMF 公司也开始研制工业机器人，取名为 Versatran (VERSA tile TRANSfer) 机器人<sup>[7]</sup>。它主要用于机器之间的物料运输，采用液压驱动。该机器人的手臂可以绕底座回转，沿垂直方向升降，也可以沿半径方向伸缩。Unimation 机器人和 Versatran 机器人是世界上最早的工业机器人，参见图1.3和图1.4。由于它们没有采用旋转关节式结构，机器人的动作灵活性受到一定的限制。Cincinnati Milacron 公司是世界上最早采用旋转关节式结构的机器人制造厂家，它的机器人产品是美国早期最大的机器人产品之一，其工作范围可达27m<sup>3</sup>，主要用于汽车车体的点焊加工<sup>[8]</sup>。

经过近30年的发展，工业机器人在工业发达国家已经得到了普遍的应用。目前，美国的机器人制造厂家已达50多个，约占世界上机器人制造厂家总数的四分之一左右，其机器人年

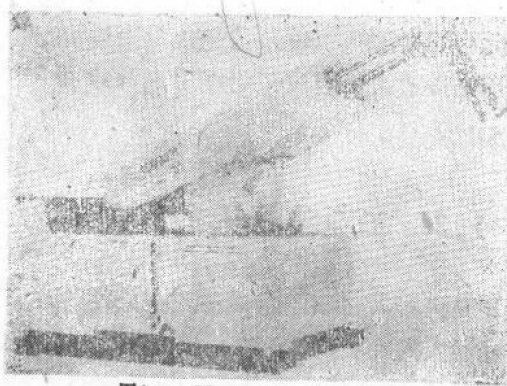


图1.3 Unimation机器人

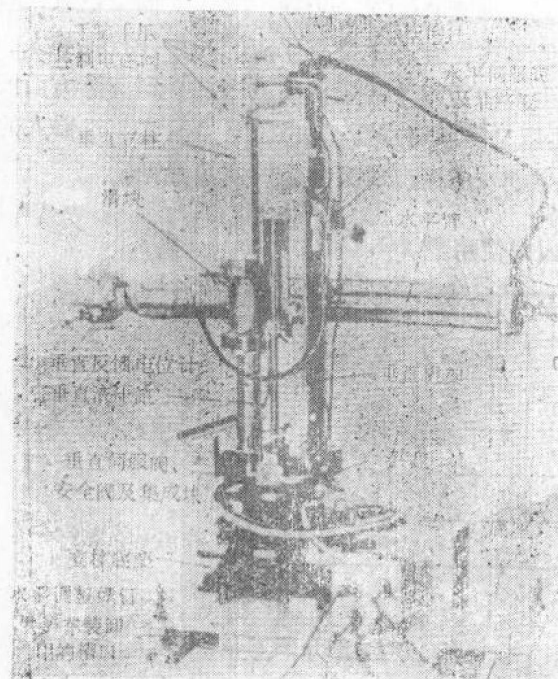


图1.4 Versatran机器人

产值为1.8亿美元(1982年)。其中以Unimation公司和Cincinnati Milacron公司的机器人销售量最大(1982年占美国机器人总销售额的49%以上<sup>[9]</sup>)。此外,一些资本雄厚的大公司和技术先进的新兴公司也开始进入机器人生产领域,正在对美国的机器人产业发生巨大的影响。由于美国的汽车工业中使用机器人最为普遍(占美国机器人使用量的60%以上<sup>[10]</sup>),所以在美国的工业机器人中,点焊机器人所占的比例最大。同时,随着计算机视觉系统性能的逐渐提高和机器人控制技术的不断完善,装配机器人的使用量正在上升,将有可能成为美国最大的机器人单项应用领域。

## 2. 日本

日本是60年代末才开始涉足于机器人领域的。1967年底,日本丰田纺织自动机公司向美国购买了第一台Versatran机器人。1968年川崎重工业公司从美国引进了机器人生产技术,制造了日本的第一台伺服控制工业机器人,从而使日本的机器人产业迈出了第一步。

进入70年代以后,日本工业生产的高速发展和劳动力的严重短缺,为工业机器人的发展带来了有利的客观条件,工业机器人很快受到了日本政府和工业界的广泛重视。日本政府对机器人产业采取了特殊的税收政策,

并对机器人研制单位和使用单位给予财政经济补贴,有力地促进了日本工业机器人的研究和生产。日本的机器人技术人员积极引进美国的机器人先进技术,并在日本迅速地实用化,研制出受用户欢迎的经济实用的工业机器人,为工业机器人的进一步普及应用奠定了坚实的基础。在日本各界的大力扶持、积极努力下,70年代成为日本工业机器人的迅速发展时期,使日本一跃超过美国,成为当今世界第一号“机器人王国”。

目前,日本的机器人生产厂家多达130多个,机器人年产量超过4万台,雄居世界第一位。日本的机器人拥有量约占全世界的65%以上,主要分布在汽车工业和电子工业。由于电子工业中已经开始大量使用数控机器人进行元器件的装配工作,从1980年起日本电子工业的机器人拥有量已经超过了一直处于领先地位的汽车工业,电子工业已成为日本最大的机器人应用领域。

### 1.3 机器人技术的发展情况

美国是当代机器人技术发展水平最高的国家，也是最早开展这方面研究的国家。本节仅介绍美国在机器人技术领域的主要早期研究成果。下面将要介绍的许多研究工作，是在美国斯坦福研究所（SRI）、斯坦福大学（Stanford University）和麻省理工学院（MIT）进行的。它们的工作对现代机器人学的发展具有十分重要的意义。

#### 1. SRI

SRI 从1966年开始执行智能自动化的研究计划。这个项目的目标是开发能在复杂环境中工作的移动机器人及其计算机控制技术。他们研制的机器人系统〔11〕由一个视觉系统、一台大型计算机伺服系统以及先进的人工智能思维系统组成，通过无线电通信实现计算机对机器人的控制。该系统还使用多种传感器，如电视摄像视觉，光学测距传感器和“猫胡子”式触觉传感器等，可以防止机器人与周围物体的碰撞。机器人的移动车辆采用柔性结构，使车辆具有良好的平衡和减振性能。这台移动机器人的研制成功，证明了用计算机控制的视觉系统能使移动机器人完成许多复杂任务。它具有高度的推理判断能力，能够自行决定完成工作任务所需要的动作顺序，能够避让障碍物，能够自行选用辅助工具等（参见图1.5）。

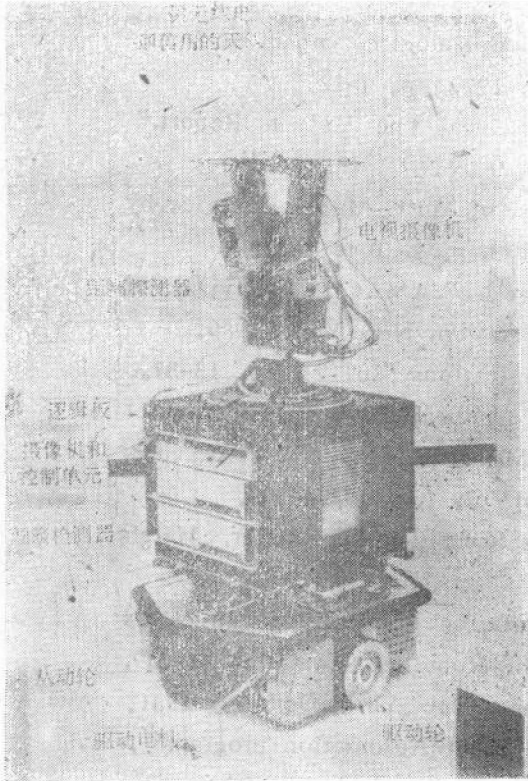


图1.5 SRI的Shakey机器人

#### 2. 斯坦福大学

斯坦福大学人工智能实验室（SAIL）从1965年开始进行机器人学和计算机视觉方面的广泛研究工作〔12〕，研究的重点是认识机器人及其基本原理。

1960年SAIL建造了一个液压驱动手臂，其动作非常快，力量也相当大。因为早期的液压软管和接头会发生泄漏，这台机器人的手臂通过了一个钢和玻璃制成的罩子与外界隔离起来。1970年，Vic Sheinman综合运用已有的知识，设计并制造了著名的Stanford手臂〔13〕。它不但采用电动机驱动，而且还装备有视觉系统以及力传感器和触觉传感器，用来装配一台由10个零件组成的汽车水泵。

1971年Richard Paul研制成功了第一个为通用机器人语言设计的WAVE程序，这项工作开发了机器人编程语言的许多重要能力；用笛卡儿坐标来表示末端操作器的位置；协调关节运动，使在轨迹的拐弯点仍能平稳地运动，又能保持速度和加速度；以及笛卡儿坐标

系的依从规定等。这些工作是后来发明各种机器人语言的基础〔14〕。Paul所做的另一项重要工作是把齐次变换矩阵用于机器人手臂的控制〔15〕〔16〕，这个方法已成为机器人控制应用的基础。

### 3. MIT

MIT在机器人研究方面的早期成就之一是由H. A. Ernst研制的机械手MH-1〔17〕。这台用计算机控制的机械手共有35个自由度，手上装有传感器，Ernst还研制了一套称为MHI的解释性编程语言，它具有三种表达方法：一种是从外向内控制有关的符号表达；另一种是影响定位操作的精确表达；第三种是传递表达。由于采用了运动控制、速度控制和其他逻辑表达形式，这种语言的设计比较完善且容易使用。其弱点是：它的编程灵活性差，对每个新的应用需要编程，也没有对真实环境的记忆能力，还不能建立子程序或自动化编程。Ernst研制的另一种机器人语言THI对这些问题做了一些改进。这些工作为MIT后来的许多发展，特别为研制其他各种机器人语言奠定了基础。

与此同时，MIT研究人员在人工智能机器人的运动规划、传感器研制、任务规划和柔顺运动控制方面也作出了很大的贡献〔18〕。

### 参 考 文 献

- [1] J. M. Williams, "Antique Mechanical Computers--Part 1, Early Automata," Byte, July 1978, P. 48.
- [2] C. F. Penniman, "Philadelphia's 179 Year Old Android," Byte, August 1978, P. 90.
- [3] J. F. Engelberger, "Economic and Sociological Impact of Industrial Robots," Published in [19], 1970, pp. 7-12.
- [4] R. A. Schreiber, "New Perspectives; The Upjohn Report," Robotics Today, April 1983, pp. 61-62.
- [5] H. J. Warnecke et al. "Simulation of Multi-Machine Service by Industrial Robots," Robots 7, 1983, p. 2-10 to 2-22.
- [6] J. F. Engelberger, "Robotics in Practice", AMACOM, a Division of the American Management Association, New York, 1980.
- [7] J. M. Sutherland, "Robot Applications," In [19], pp. 13-37.
- [8] B. L. Dawson, "Moving Line Applications with a Computer Controlled Robot," (Cincinnati Milacron), Robots 2 Conference, October 1977. Reprinted in [20] Vol. 1, pp. 294-308.
- [9] L. Conigliaro, Prudential-Bache Securities Newsletter, March 1983.
- [10] L. Conigliaro, "Robotics Presentation, Institutional Investors Conference; May 28, 1981," Bache Robotics Newsletter 81-249, Bache Halsey Stuart Shields, Inc., New York, Oct. 28, 1981.
- [11] J. H. Munson, "The SRI Intelligent Automation program", Stanford Research Institute, Stanford, Calif. Published in [19], p. 113-117.
- [12] T. O. Binford et al., "Exploratory Study of Computer Integrated Assembly Systems," Artificial Intelligence Laboratory, First

Report Stanford University, Stanford Calif., 1974.

- [13] V.C. Sheinman, "Design of a Computer-Controlled Manipulator," Artificial Intelligence Laboratory, Stanford University, Stanford, Calif., memo AIM, 92, June 1969.
- [14] R. Finkel, R. H. Taylor, R. C. Bolles, R. Paul, and J A Feldman, "AL, A Programming System for Automation," Memo AIM-243. Artificial Intelligence Laboratory, Stanford University, Stanford, Calif, 1974.
- [15] R. P. Paul, "Modeling, Trajectory Calculation and Servoing of a Computer-Controlled Arm," Artificial Intelligence Laboratory, Stanford University, AIM 177, 1972.
- [16] R. P. Paul, Robot Manipulators: Mathematics, Programming and Control. MIT Press, Cambridge, Mass., 1981.
- [17] H. A. Ernst, "MH-1, A Computer-Operated Mechanical Hand." Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., 1961.
- [18] M. Brady et al, eds., Robot Motion: Planning and Control, MIT Press, Cambridge, Mass., 1982.
- [19] Proceedings of the First National Symposium on Industrial Robots, April 2-3, IIT Research Institute, Chicago, Ill. 1970.
- [20] W. R. Tanner, ed.: Industrial Robots, 2nd ed., Vol. 1, Fundamentals, Vol. 2, Application. Robotics International of SME, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Mich., 1981.

## 第2章 机器人的机械结构

本章介绍在机器人的设计和选用过程中应当掌握的关于机械结构方面的基础知识，并对经常使用的若干名词术语给予定义和解释。为了说明某些重要的基本概念，本章还将介绍一些基本的概念以及机械原理方面的知识。对机器人机械结构中的重要基础元件也将进行必要的阐述。

坐标系是讨论机器人运动的基础，本章将给出各种坐标系的定义，并对不同坐标系形式的机器人工作范围进行分析。本章将介绍包括运动的自由度、机器人本体的运动、手臂的运动以及手腕的运动等机器人运动学方面的基本知识，以及直线驱动机构、旋转驱动机构、手腕传动机构和它们的机理。2.4节将对机器人的末端操作器或手爪进行详细的介绍。为了确定机器人手臂的性能指标，并使所设计的机器人能够达到这些指标，还应该掌握与机械设计有关的若干重要概念，这些概念将在2.5节中予以介绍。本章将要介绍的机器人手臂性能指标包括运动精度、重复精度、可靠性、维修性能和使用寿命等。另外，对于诸如重力效应、惯性力、齿轮间隙、热效应和摩擦力等影响机器人性能的重要因素也将进行定义和讨论。

由于机器人的移动能力越来越受到人们的重视，本章2.6节将专门讨论这方面的内容，包括在移动机器人设计和使用时，应当考虑的基本问题和目前人们在这方面已经取得的研究成果。

### 2.1 机器人的定义和分类

关于机器人有各种各样的定义和分类方法，每一种定义都有其特殊的目的。本节先提出两种关于机器人的最常见的一般性定义，然后按各种机器人的控制类型、能力水平和结构外型分别给以定义。

**普通定义：**机器人是指能代替人完成某些任务，并且具有某些智能的拟人机械。这是一个通俗的定义。

**严格定义：**机器人是一种可重复编程的，多功能的，用来搬运物料、零件、工具的操作机，或者是能通过各种可改变的编程动作去完成各种任务的专用装置。这个定义来自于美国机器人协会，是对工业机器人比较精确的定义。

#### 2.1.1 按机器人的控制方法定义和分类

##### 1. 点位式机器人

点位式机器人是指只能从一个特定停留点移动到另一个特定停留点，而不能在事先未设定的任意点处停留的机器人。停留点通常是一些机械定位点，必须在每次新动作执行前调整好。由伺服系统驱动的点位机器人也经常采用电位器控制，使机器人手臂停留在某一特定点上。这是一种最简单、最便宜的机器人。

##### 2. 连续轨迹控制机器人

连续轨迹控制机器人能够在运动轨迹的任意特定数量的点处停留，但不能在这些特定点之间沿某一确定的直线或曲线上运行。机器人要经过的任何一点都必须存贮在机器人的存贮器中。

### 3. 可控轨迹机器人

可控轨迹机器人又称为计算轨迹机器人，它的控制系统能够根据要求，精确地计算出直线、圆弧、内插曲线和其他轨迹，在轨迹中的任何一点，机器人都可以达到较高的运动精度。其中有些机器人还能够用几何或代数的术语指定轨迹，只需输入所要求的起点坐标、终点坐标以及轨迹的名称，机器人就可以按指定的轨迹运行。

### 4. 伺服型与非伺服型的机器人

伺服控制机器人可以通过某些方式感知自己的运动位置，并把所感知的位置信息反馈回来控制机器人的运动。非伺服型机器人没有办法确定自己是否已经达到了指定的位置。

## 2.1.2 按机器人的功能定义和分类

### 1. 顺序控制型机器人

顺序控制型机器人能够按预先设置的指令完成一系列特定顺序的动作。这种机器人的动作顺序和时间间隔可以进行调整，但一经调整完毕，它们就只能按确定的顺序动作，直至再次对它们做硬性调整为止。动作顺序的控制，既可采用机械的方式，也可以采用电气的方式。

### 2. 再现型机器人

对再现型机器人可“示教”执行各种运动，并采用存贮器等记录装置记录一系列来自位置传感器的运行轨迹坐标点信息。在对整个轨迹记录以后，机器人能够直接“再现”所记录的运行轨迹，并能完成教给它的任何任务。

示教由操作员进行，操作员引导机器人走过所需要的轨迹，轨迹上的每个字和机器人所做的动作都要由操作员控制。

### 3. 可控轨迹机器人

这种机器人可通过编程沿若干特定点之间的确定轨迹运动。用户只需指定某些点和计算轨迹必须使用的点集名称，如内插曲线、光滑曲线等。这种机器人又称为数控机器人，原因是它与数控机床较为相似。

### 4. 自适应型机器人

自适应型机器人具有计算机控制能力和感觉反馈能力，它能够反映周围环境的变化。这种机器人多数具有可控轨迹的能力，它会试着执行一项任务，在执行过程中不断修正自己的轨迹和动作。例如，一台自适应型焊接机器人能够跟踪焊接一条焊缝，并且允许这条焊缝轨迹与预先给定的轨迹有所不同。这些功能可以用计算机视觉系统完成。

### 5. 智能机器人

智能机器人是能力最强的机器人。它不仅能够感知周围的环境和修正已设定的动作，而且具有知识库和周围环境的模型。这种机器人应该具有人工智能专家系统，具有一整套感觉系统，具有大容量的信息存贮器，并具有对周围环境进行建模的能力。智能机器人的最终实现还有待于人们进一步研究。

### 2.1.3 机器人系统及其分类

机器人只有和其他设备组成机器人系统以后,才能被工厂或其他用户所采用。本节主要讨论机器人系统的参数、机器人系统目标和要求的确定方法等。

#### 1. 什么是系统

国际电气电子工程师协会(IEEE)给系统的定义是“一个由若干分离的、互相作用的结构或子结构组成的集成整体”。若干个在一起工作的零件或子系统的某种确定组合体就是一个系统,典型的系统包括若干个提供特殊功能的子系统。在机器人系统中,有控制子系统、视觉子系统和传送带子系统等。

#### 2. 系统的目标和要求

在规划一个机器人系统时,首先要确定该系统所要达到的目标,然后通过对这些目标的分析,决定系统必须满足的一系列要求。规定机器人系统的要求时须考虑下列因素〔7〕:

1)应用环境 机器人的工作条件是什么?是热、湿还是有灰尘的环境?机器人的手臂的运动是否受其他设备或移动车辆的限制?

2)运动范围 机器人手臂的运动范围有多大?要求整个机器人运动,还是仅要求它的手臂运动?

3)速度要求 要求机器人手臂、手腕、手爪或其他部分的运动速度有多快?低速范围是0.3 m/s或60rad/s,中速范围是0.3~1.5m/s或60~180rad/s,高速范围指1.5m/s或180rad/s以上。

4)控制类型要求 采用仅沿轴向测量力的简单力控制还是沿两轴或多轴测量力的复合力控制?控制的精度是多少?

5)感觉要求 如果只需要检测零件的边、孔和拐角等,可以要求简单视觉;若要识别形状,辨认目标,则应要求复合视觉。另外还要确定是否需要触觉、接近觉等。

6)机器人与其他设备的接口 在有些情况下需要机器人和传送带等设备同步运动,或者机器人要等待另一台机器完成生产周期以后,才能进行机器人的动作。这就需要采用某种方法,通过机器人手臂和其他设备之间的信息传递来控制系统的操作过程。另外,当两台或多台机器人手臂协调动作时,还需要用通信接口使它们的动作同步。

#### 3. 机器人系统的分类

机器人系统至少要具备三个方面:机器人、机器人的工作位置和待处理的零件或物体。根据机器人系统的组成情况,人们把机器人系统分成简单系统、复杂系统和集成系统三大类。如果机器人系统只有一个实体组成,且该实体无需与外界通信,这种机器人系统称为简单系统。例如一台仅在两个固定位置取放零件的机器人。

复杂系统是指由两个或两个以上的实体——机器人、视觉系统、传送带、送料器等组成的系统。这些实体之间需要传递信息。通常需要使用计算机处理这些信息,并控制相应的操作过程。

与其他生产机制相联系的,并按某种可管理和可控制的方法工作的系统称为集成系统。这种系统一般具有一个能够控制各局部、各单元设备的,并具有较高控制能力的多级计算机系统。现已投入使用的集成系统有西屋APAS系统。它由机器人、装配零件传送装置、视觉系统和一个多级控制系统组成。



机器人定义和分类的方法是多种多样的。除了上述方法外，还可根据机器人的固定方式、移动方式以及应用方式进行定义和分类。例如，按机器人的动力源不同，可以把机器人分为气动式、液压式和电动式等三种类型，其中电动式机器人又包括步进电机驱动式、直流伺服电机驱动式和交流伺服电机驱动式等三种类型；按机器人的手臂结构不同，可以把机器人分为直角坐标式、圆柱坐标式、极坐标式和关节坐标式等。

## 2.2 外形结构与运动

### 2.2.1 坐标系的建立

机器人手臂的外形结构可以采用多种不同的结构型式。本节介绍不同外形结构对应的坐标系。

#### 1. 直角坐标式结构

直角坐标规定了 $x$ 、 $y$ 和 $z$ 三个坐标方向，三个坐标方向互相正交，自 $x$ 轴向 $y$ 轴按逆时针方向转动， $z$ 轴的正方向符合右手螺旋法则。这种坐标形式示于图2.1(a)

#### 2. 圆柱坐标式结构

在这种结构型式下，选择 $R$ 、 $\theta$ 和 $z$ 为坐标系的三个坐标，其中 $R$ 是手臂的径向长度， $\theta$ 是手臂的角位置， $z$ 是垂直方向上手臂的位置，如图2.1(b)所示。如果机器人手臂的径向坐标 $R$ 保持不变，机器人手臂的运动将形成一个圆柱表面。

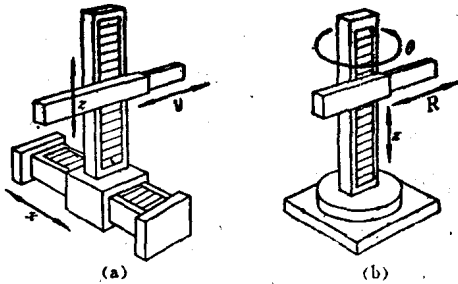


图2.1 (a)直角坐标式结构 (b)圆柱坐标式结构

#### 3. 球坐标式结构

这种机器人运动所形成的轨迹表面是半径为 $R_m$ 的半球面。规定以 $R$ 、 $\theta$ 和 $\beta$ 作为坐标系的坐标，其中 $\theta$ 是绕手臂支承底座垂直轴的转动角， $\beta$ 是手臂在铅垂面内的摆动角，球坐标系如图2.2(a)所示。

#### 4. 关节坐标式结构

这种机器人以其各相邻运动部件之间的相对角位移作为坐标系的坐标，如图2.2(b)所示。即坐标分别定义为 $\theta$ 、 $\alpha$ 和 $\phi$ ，其中 $\theta$ 是绕底座铅垂轴的转角， $\phi$ 是过底座的水平线与第一臂之间的夹角， $\alpha$ 是第二臂相对于第一臂的转角。这种机器人手臂可以达到球形体积内的绝大部分位置，所能达到区域的实际形状取决于两个臂的长度比例。

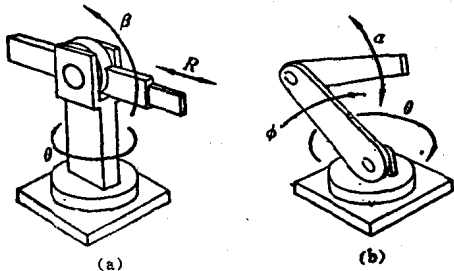


图2.2 (a)球坐标式结构 (b)关节坐标式结构

表2.1总结了不同坐标结构机器人的优点和缺点。