

528236

# 工业机器人 与机器人学

杨公仆



西安交通大学出版社

## 内 容 简 介

本书是一本机器人学方面的教材，主要涉及机器人学方面的基本概念、基本理论、有关技术和机器人在工业中的应用等。内容包括绪论；基本概念；机器人在工业中的应用实例；机器人的传动和基本结构；夹持器设计；机器人的运动学和动力学；机器人的控制系统和传感器。

本书可作为高等院校机器人学课程的教材或参考书，也可供有关工程技术人员参考。

## 工业机器人与机器人学

杨 公 仆

责任编辑：林 全 李慧芳

\*

上海交通大学出版社出版

(西安市咸宁路28号)

西安7226印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

\*

开本787×1092 1/32 印张5.875 字数 143千字

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

ISBN7-5605-0230-X/TP·20

印数：1—1000 定价：1.40元

# 目 录

## 第一章 绪论

- § 1-1 机器人的定义及其在工业生产中的作用 ..... (1)
- § 1-2 机器人学的含义及其有关学科 ..... (4)
- § 1-3 本书概貌 ..... (6)

## 第二章 工业机器人的基本构形及分类

- § 2-1 概述 ..... (3)
- § 2-2 工业机器人的自由度和坐标系统 ..... (9)
- § 2-3 机器人的基本构形 ..... (14)
- § 2-4 工业机器人的分类 ..... (19)

## 第三章 机器人在工业中的应用实例

- § 3-1 在铸造工业中的应用 ..... (20)
- § 3-2 在压力加工中的应用 ..... (25)
- § 3-3 在焊接中的应用 ..... (27)
- § 3-4 在切削加工中的应用和柔性制造系统 ..... (30)
- § 3-5 在其它领域内的应用 ..... (35)

## 第四章 驱动系统和元件

- § 4-1 引言 ..... (39)
- § 4-2 直流伺服电动机 ..... (41)
- § 4-3 步进电机 ..... (45)
- § 4-4 液压系统及元件 ..... (48)
- § 4-5 机械传动元件 ..... (64)

§ 4-6	机器人传动系统举例	(71)
<b>第五章 夹持器设计</b>		
§ 5-1	引言	(75)
§ 5-2	机械式夹爪的设计	(75)
§ 5-3	吸盘式夹持器	(88)
<b>第六章 机器人运动学</b>		
§ 6-1	齐次变换	(93)
§ 6-2	机器人构件及关节的几何要素	(100)
§ 6-3	各构件之间的运动学关系的建立	(103)
§ 6-4	运动方程的建立	(107)
§ 6-5	运动学方程的解	(109)
§ 6-6	微分关系和雅可比矩阵	(116)
<b>第七章 机器人动力学</b>		
§ 7-1	二构件机器人的动力学方程	(127)
§ 7-2	机器人的动力学方程	(132)
<b>第八章 机器人的控制系统</b>		
§ 8-1	概述	(142)
§ 8-2	二极管矩阵板控制器	(145)
§ 8-3	硬布线示教再现式控制系统	(151)
§ 8-4	工业机器人的计算机控制	(156)
§ 8-5	单关节的位置控制	(161)
§ 8-6	多关节机器人的控制	(169)
§ 8-7	机器人的自适应控制	(170)
<b>第九章 传感器与机器人的控制</b>		
§ 9-1	引言	(174)
§ 9-2	位移检测装置	(175)

§ 9-3	力传感器及其在机器人中的应用·····	(187)
§ 9-4	视觉传感器及其应用·····	(197)
§ 9-5	用于机器人控制的其它传感器·····	(200)
§ 9-6	传感器技术与机器人的发展·····	(204)

### **主要参考文献**

# 第一章 总 论

意为“机器人”的 Robot 一词，源出自捷克作家卡·查培克1923年所作的剧本《罗萨姆万能机器人》。在捷克文中，此词的原义为“奴隶”，即能够忠实地听命于人类，为人类工作的“人造人”。60余年后的今天，这一幻想至少已部分地成为现实。现在“机器人”这一概念已被普遍接受，但对于工业中应用的机器人，即工业机器人，则远非某些科学幻想作品（小说、电影等）所描述的那样神奇并且酷肖人类。

## § 1-1 机器人的定义及其 在工业生产中的作用

早在 20 世纪 60 年代初，美国造出了第一台工业用机器人。但在 60 年代期间，机器人技术发展缓慢，也没有得到广泛应用。自 70 年代中期以来，由于各种有关技术的发展（自动控制技术、集成电路及微型计算机、精密机械等），同时由于国际经济形势的推动，各工业化国家为提高劳动生产率，保持经济的持续增长，提高工业产品在国际市场上的竞争能力，工业机器人的生产和应用得到迅速发展。

由于自动化生产技术的发展，特别是数控机床等与电子技术及计算机技术密切相关的自动化技术的推广应用，使得大量技术性要求较低的重复性劳动的自动化问题显得更为突

出起来。例如：搬运及装卸、机床及其他生产设备的上下料、焊接、喷漆等。有的工种还往往是体力劳动强度很大、工作条件很恶劣甚至是对人体健康有害的或危险的等等。用工业机器人来做这些工作，不但能减轻工人的劳动强度或使工人避免恶劣环境的影响，而且因为机器人可以始终如一地、不知疲倦、夜以继日地干各种脏活、累活和险活，从而使生产效率大大地得到提高，同时使产品质量得以保持稳定。另外，由于计算机控制技术的发展，使得由中央监控计算机控制的、由数控机床及机器人组成的“柔性制造系统”得以实现，从而可以实行多品种小批量生产。特别是与CAD（计算机辅助设计）等新技术相配合，使新产品的的设计、投产等生产周期大大缩短，也提高了产品的竞争能力。

按照“美国机器人协会”所下的定义，“机器人”应是“可改编程序的、多功能的操作器，可用以搬动材料、零件、工具或特定的器件，通过改变程序以执行多种多样的任务。”而“英国机器人协会”所下的定义则是，“机器人是一种能完成一连串复杂运动的可编程的设备。”这里所说的机器人都是指“工业机器人”。由此可以看出，机器人的根本特点在于是“可编程序的”。这意味着它可以执行各种各样的多变的任务，即所谓“万能的”。

机器人技术的发展极其迅速。自20世纪60年代初在美国出现第一台工业机器人，到现在已发展到开始研究“第三代机器人”。第一代，即可变程序重复作业机器人技术已完全成熟，并有定型的批量产品。第二代为带有感觉功能并能对作业环境的变化作出反应的机器人，已有少量开始用于生产。第三代为具有逻辑、推理、判断、决策能力的智能机器

人，正处于研究阶段。因此，上面所介绍的机器人的定义将不会是固定不变的。

综上所述，在工业生产中，使用机器人所获得的好处可归纳为如下几点：

### (1) 改善劳动条件，减轻劳动强度，保证安全生产

工业机器人的工作特点是在计算机的控制下能离开人的干预进行各种作业。用机器人代替人的作业，可使工人摆脱高温、有毒、粉尘、振动、放射性、强噪音等工作环境，使这些工人去从事诸如机器人的维护、监视、运行等作业，工人的工作性质发生了变化。这样，不但改善了工人的劳动条件，减轻了工人的劳动强度，同时也改善了工人的就业结构。

### (2) 稳定和提高产品质量

人在工作中有时会受到诸如身体素质、感情因素以及环境因素等的影响，而可能使其工作状态发生变化。机器人则不受这些因素的制约，它能一心一意地按所编的程序工作，而不受其它因素干扰；它能不知疲倦地连续工作；它的动作精度和工作质量都比人的高。当然，这并不是说，人所能做到的机器人也都能做到（事实上远非如此）。但有许多操作，机器人可以做得比人更好，特别是那些在艰苦条件下的长时间的重复性作业。因此机器人在稳定和提高产品质量方面有着重要的作用。

### (3) 解决多品种中小批量生产的自动化问题

随着人民生活水平的提高，人们要求提供更丰富、更多样化的产品。因此，传统的大量生产的方式将被多品种、中小批量的生产方式所代替。柔性制造技术的出现，标志着从



大量生产的自动化时代进入多品种、中小批量生产的自动化时代。这是当前制造业自动化的发展趋势。而在柔性制造系统中，机器人是一项不可缺少的关键设备。

#### (4) 提高劳动生产率

使用工业机器人能促使劳动生产率提高，这一点是不言而喻的。

近年来工业机器人技术之所以在一些工业化国家得到如此迅速的发展，是由当前先进的自动化技术之发展以及生产上的需要这两大因素所决定的。并且，发展工业机器人不是由于劳动力的不足，而是为了实现生产合理化所必需的一个重要因素。

## § 1-2 机器人学的含义及其有关学科

“机器人学”是随着工业机器人之发展及其推广应用而产生并发展起来的一门新学科。它所涉及的面很广，凡有关机器人的结构、机构、运动、控制、驱动、精度以及使用等方面的问题都属于“机器人学”的研究范畴。具体地讲，如：

#### (1) 机构及机构运动学和动力学

通常，机器人的“操作器部分”（即机械部分）是复杂的多构件、多关节结构，它要以相当高的速度完成复杂的动作，而且这些动作（或动作结果所在的空间位置）要表达为计算机所能够接受的形式。因此必须要研究多自由度机构的运动学和动力学。

另外，考虑到不同应用场合的需要以及今后的发展，还

必需研究并设计出各种新型的机构。例如行走机构等。

### (2) 驱动和传动

工业机器人必须是伺服驱动的。它可以有多种多样的动力源。例如液压、气动或电力驱动等。这些动力必须被转换成合适的机械能并用以驱动机器人的各个关节。因此必须研究各种能满足机器人要求的驱动和传动元件或组件。

### (3) 控制

机器人要自动地完成各种多变的、并且是符合要求的任务。现在多用计算机控制。为此，要研究与此有关的硬件及软件技术。另外，由于对机器人的运动精度（动态精度）的要求日益提高，而机器人本身却往往具有复杂时变的动态特性，因此还应研究开发能满足机器人要求的新的控制技术。此外，还应研究与传感器所感受的外界信息有关的控制技术。

### (4) 传感器技术

为了提高机器人的控制精度，同时为了使得机器人能多次重复（再现）其所规定的动作，必需采用闭环控制。为此要开发有关的传感器，例如位置、速度等传感器。另外，为了使得机器人具有适应外界环境条件变化的能力，或进一步使机器人向智能化方向发展，必需研究开发诸如触觉、力觉、视觉、听觉等传感器。同时要开发相应的信息处理和控制技术。

### (5) 机器人的应用及与之有关的生产管理技术

这涉及到开拓工业机器人的应用领域及其合理的、有效的使用。由于使用了机器人，则机器人与其它设备之间的关系以及生产的组织、管理等方面都产生了新的需要研究解决

的课题。例如各设备之间以及它们与机器人之间的通讯（信息传递）、协调等问题以及故障的诊断等等。

由上述可知，“机器人学”是一门综合性的学科，它涉及的面广，综合性强。本书不可能对上述所有的问题都作深入的探讨，只就其主要问题进行论述。

### § 1-3 本书概貌

在第二章中，将首先说明机器人的基本组成部分以及自由度和坐标系等基本概念。第三章介绍较为成熟的应用实例。通过这两章，可使读者获得关于机器人的初步而较具体的认识。

第四章将说明工业机器人的驱动和传动系统以及有关元件。由于机器人的驱动愈来愈多地使用伺服电动机，所以该章首先说明直流伺服电机的特点及类型。又由于液压系统仍是常见的机器人驱动系统，因此也将对机器人中所用的液压系统及其有关元件进行介绍和分析。该章还将说明机器人所常用的具有特点的机械传动系统及元件，如皮带与皮带轮、谐波减速器等。并以一台具体机器人的传动系统为例。

第五章说明夹持器设计中所应考虑的问题。

第六章和第七章分别论述机器人运动学和动力学。这两个部分是机器人控制的重要理论基础。机器人的机械部分是多关节多构件的机械系统。因此第六章将从齐次变换开始，在定义了机器人构件和关节的几何要素的基础上，建立机器人的运动学方程，并针对具体情况求解运动学方程。动力学一章通过简单的二构件机器人的动力学方程的推导，说明机

器人动力学的特点——时变、非线性和耦合。然后给出动力学方程的一般形式。

机器人的控制是机器人学研究中的重要课题。这个问题将涉及最后两章。第八章阐述机器人的控制及控制系统。在该章内，一方面要说明有关机器人控制的一些基本概念及原理，同时也要介绍较典型的控制系统和某些较新的研究成果。在机器人的控制中，传感器已显示出其日益重要的作用。因此第九章将介绍机器人所用的主要传感器以及有关的控制技术的例子，并且希望读者从中能够看出机器人发展的重要方向之一——智能化的新一代机器人。

## 第二章 工业机器人的基 本构形及分类

### § 2-1 概 述

机器人的结构形式多种多样，其复杂程度也有很大的差别。但就其组成而言，一般可认为它包含三个主要部分，即操作器部分（即机械部分）、控制部分以及动力源和驱动部分。

操作器部分是机器人为完成其任务而传递力或力矩并执行具体动作的部分。因此它就是机器人的机械结构，包括所谓的“臂”、“腕”、“手”等等。

控制部分应有三方面的功能：第一，“指挥”机械部分的动作，也就是控制机械部分，使它按照所规定的顺序按所要求的路径在规定的位置（点）之间完成所需的动作。第二，“记忆”，即贮存有关的数据和指令。第三，“通讯”，即与有关的外围设备和其他设备进行信息交换并协调动作。

由于机器人的使用条件不同，功能要求不同，以及其它种种原因，其控制器的原理和所用元件、复杂程度等各方面，都可有很大的差异。例如，简单的可为二极管插销板（矩阵板）高级的可以是微型计算机。

动力源是为机器人的操作器及其驱动和传动部件提供

能量的。它可以是电驱动的、液压传动或压缩空气驱动的等等。

本章将主要说明机器人机械部分的基本构形。

## § 2-2 工业机器人的自由度和坐标系统

### (一) 机器人的自由度

自由度是工业机器人设计时的基本参数，自由度数的多少是机器人功能大小的主要指标之一。

每一个构件（运动件）相对于固定坐标系所具有的独立运动称为“自由度”。就一个机器人而言，臂部有若干个自由度，腕部又有若干个附加的自由度（图 2-1），它们合起来可以多于六个自由度。但通常为六个或少于六个。

为了更好地说明机器人的自由度，并进而掌握其机械结

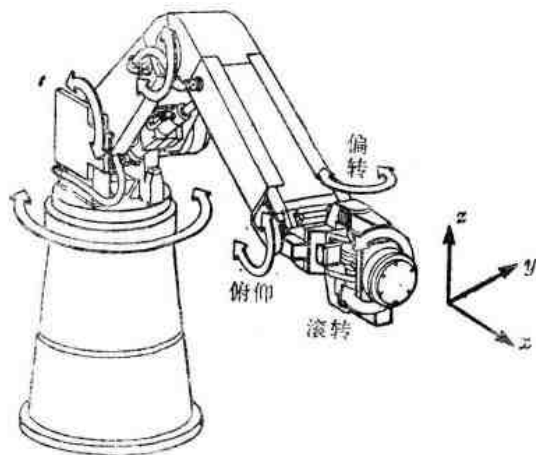


图 2-1

构，我们将分别说明“臂”和“手腕”自由度的特点。首先说明描述其臂部自由度的基础，即机器人的坐标系。

## (二) 机器人臂的坐标系

现在常用的机器人的臂部，可按四种不同的方式来安排其自由度，一般称之为四种不同的坐标系。即直角坐标系、圆柱坐标系、球形坐标系和关节式球形坐标系。

### (1) 直角坐标系

按这种坐标系运动的机器人的示意图见图 2-2。其立柱可在一个导轨上沿  $x$  方向作直线运动；臂的滑座可在立柱上沿  $z$  方向作上下运动，而臂则在滑座内沿  $y$  方向运动（伸

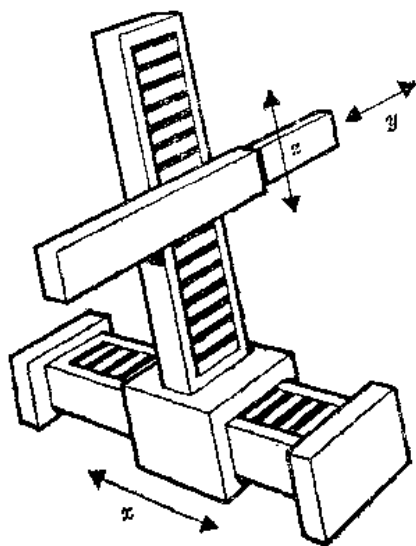


图 2-2

缩)。因此这种机器人在空间的工作范围（即臂端所能及的空

间范围)为一立方体。

### (2) 圆柱坐标系

这种机器人的运动如图2-3(a)所示。臂及其滑座的运动和上一种相同；但其立柱不是作直线运动，而是绕垂直轴作回转运动(如图中的 $\theta$ )。因此其工作范围为一圆柱体的一部分，如图2-3(b)所示。

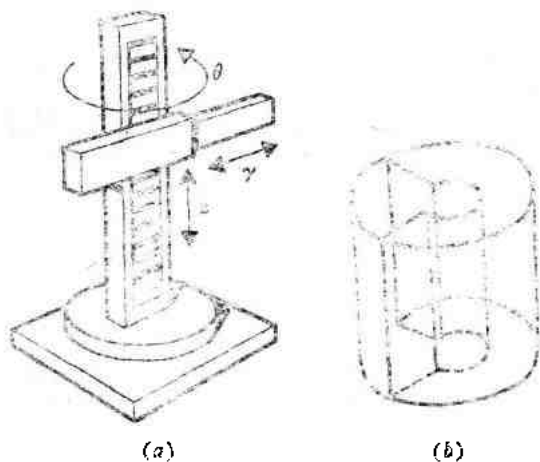


图 2-3

### (3) 球形坐标系

其运动简图如图2-4(a)所示。由图可见：这种机器人的臂可在滑座内作伸缩运动(即沿图中 $\gamma$ 方向的直线往复运动)，而臂的滑座可在垂直平面内作上下摆动运动，如图中 $\beta$ ，另外，躯体连同臂可整个地在水平平面内绕垂直轴作回转运动(图中的 $\theta$ )。因此，它的工作范围是一个球体的一部分，如图2-4(b)中阴影部分所示。



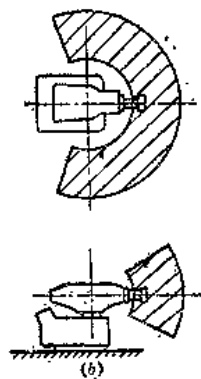
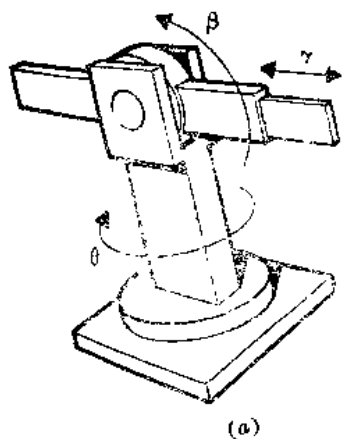


图 2-4

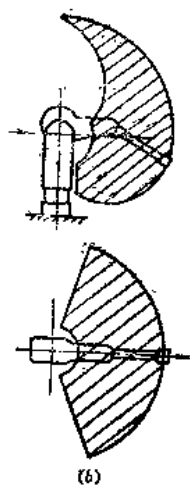
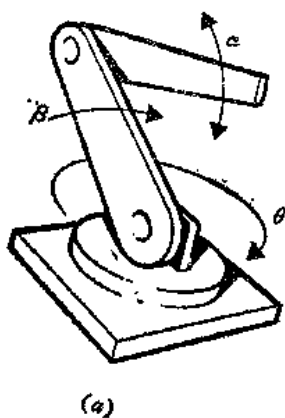


图 2-5

(4) 关节式球形坐标系