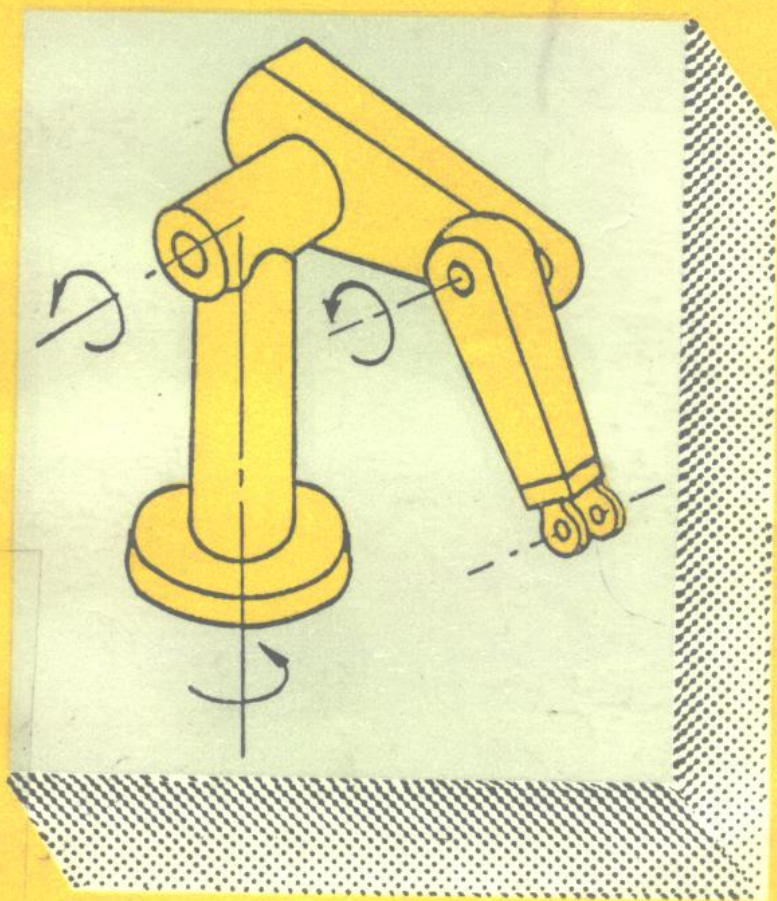


多功能机器人的原理及应用

何发昌 邵远 编著



高等教育出版社

多功能机器人的原理 及 应 用

何发昌 编著
邵 远

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书深入浅出地阐述多功能机器人的工作原理、主要技术性能、设计要点、典型结构、驱动单元、控制器、传感器及智能技术。介绍了它在铸造、锻造、冲压、焊接、切削加工、装配、喷漆、搬运、海洋开发等作业中的应用实例。

本书适用于工科类各专业学生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

223/1207

多功能机器人的原理及应用/何发昌,邵远编著. —北京:
高等教育出版社, 1996

ISBN 7-04-005472-8

I. 多… II. ①何… ②邵… III. 多功能机器人—概
论 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 05907 号

*

高等教育出版社出版
新华书店总店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 4.875 字数 120 000

1996年6月第1版 1996年6月第1次印刷

印数 0001—1 894

定价 6.10 元

序

本世纪 60 年代初,机器人的应用范围已遍及机械、电子、冶金、化工、能源、交通、农林、建筑、宇航、海洋、国防、医疗等领域,产生了良好的社会效益及经济效益。

机器人对机械制造工业产生了革命性影响。它能在高温、粉尘、有毒、真空等恶劣环境中工作,将工人从铸造、锻压、焊接、热处理、喷漆等作业中解放出来,减少了职业病及人身事故。它还能进行精密装配等复杂作业,保证产品的一致性,可靠性,提高生产率及经济效益,增强国际市场的竞争能力。因而,日本、美国、德国等国家大量采用机器人组成自动生产线及无人化工厂,使他们的机电产品在世界上的竞争能力更强。

在深海高压、真空、有毒等恶劣环境中的作业,越来越多地由机器人完成。研制出的军用机器人可用于打捞掉在海中的炸弹及站岗放哨。

我国人口众多,劳动力价廉,但从减少职业病、人身事故及提高产品在国际市场竞争能力出发,一些汽车厂、机床厂、电机厂、兵工厂及电子厂已引用许多机器人及带有机械手的自动化生产设备,建立了一批自动生产线,有的企业已用了柔性自动生产系统。

为了培养机器人及柔性自动生产方面的研究人才,我国许多高等学校早已招收这方面的硕士生及博士生,不少毕业生已在生产中发挥作用。机器人的推广应用有赖于各产业部门的多种专业技术人才。因此,在大学本科普及机器人技术的议题已引起有关部门的重视。1991 年,高等教育出版社出版由清华大学、东南大

学金属工艺学教研室与香港理工学院工业中心合编的《机械制造实习》教材,突破了传统的金工实习教材的体系,将机器人的应用作为现代制造技术之一编入了实习教材。

由机器人的设计、制造及应用组成的机器人学,是机械学、电子学、自动控制、传感技术及计算机等学科相结合的产物。

本书深入浅出地阐述了多功能机器人的工作原理、主要技术性能、设计要点、典型结构、驱动单元、控制器、传感器及智能技术。介绍了机器人在铸造、锻造、冲压、点焊、弧焊、切削加工、装配、喷漆、搬运、海洋开发、宇航及军事等作业中的应用实例。机器人技术对机电一体化及生产自动化的设计有促进作用。本书可供高等学校工科类专业学生及有关工程技术人员参考。

本书由杭州电子工业学院何发昌(第一、二、五章)和邵远(第三、四章)编著。浙江大学林建亚教授对本书进行了认真审查,并提出不少有益建议,特致以诚挚谢意。

何发昌

1994年11月

于杭州电子工业学院
机器人研究所

目 录

序	1
第一章 概述	1
第一节 机器人发展背景	1
1.1.1 社会需求是机器人发展的动力	1
1.1.2 科技进步是机器人发展的支柱	1
第二节 机器人的组成及分类	2
1.2.1 机器人的组成及工作原理	2
1.2.2 机器人分类	4
第三节 机器人的主要特性	6
1.3.1 自由度	6
1.3.2 工作空间	6
1.3.3 额定速度	6
1.3.4 额定负载	6
1.3.5 分辨率	7
1.3.6 位姿准确度	7
1.3.7 位姿重复性	7
第四节 机器人应用概况及发展趋势	7
1.4.1 应用概况	7
1.4.2 发展趋势	9
第二章 机器人的驱动及操作机	11
第一节 机器人的驱动单元	11
2.1.1 气压驱动	11
2.1.2 液压驱动	11
2.1.3 电动机驱动	13

2.1.4	直流电动机驱动	13
2.1.5	步进电机驱动	15
2.1.6	交流伺服电动机驱动	19
2.1.7	电动机驱动的减速器及传动装置	19
2.1.8	直接驱动电机	22
第二节	机器人的操作机的设计原则	23
2.2.1	按用户需求优化工作空间相关参数	23
2.2.2	优选材料、结构、工艺,提高速度及精度	24
2.2.3	应用机电一体化思想提高功能价格比	27
2.2.4	合理布置管线,提高机器人可靠性	28
2.2.5	考虑安全技术,防止人机事故	28
第三节	机器人的手臂及机身结构	28
2.3.1	液压驱动的手臂及机身结构	28
2.3.2	电动机驱动的手臂及机身结构	30
第四节	机器人的手腕	36
2.4.1	液压手腕结构	36
2.4.2	电动手腕结构	36
第五节	机器人的移动机构	39
2.5.1	轮式移动机构	39
2.5.2	履带式移动机构	39
2.5.3	步行机构	40
第六节	末端执行器	41
2.6.1	抓取机构	41
2.6.2	其它末端执行器	47
第七节	管线布局	47
2.7.1	气管及油管布局	47
2.7.2	电线布局	49
第三章	机器人控制装置	52
第一节	机器人控制分类及方法	52
3.1.1	点位控制	53
3.1.2	连续轨迹控制	59
3.1.3	力控制	65

3.1.4	自适应控制	70
第二节	机器人控制装置	71
3.2.1	控制装置构成	72
3.2.2	多机通讯接口	75
3.2.3	示教盒	81
3.2.4	机器人控制装置设计实例	82
第三节	机器人编程	87
3.3.1	示教再现编程	88
3.3.2	机器人编程语言	92
第四章	机器人智能技术及传感器	95
第一节	机器人视觉	96
4.1.1	视觉传感器与图象获取	96
4.1.2	图象处理	99
4.1.3	图象理解	103
4.1.4	具有视觉的机器人系统	105
第二节	机器人触觉与滑觉	106
4.2.1	触压觉	106
4.2.2	滑觉	110
第三节	机器人力觉	114
4.3.1	腕力传感器结构	114
4.3.2	力觉信号处理	116
4.3.3	机器人关节力传感器	117
第四节	机器人内部测量传感器	118
4.4.1	位置传感器	118
4.4.2	速度传感器	121
第五章	机器人的应用	124
第一节	选用原则及周边装置	124
5.1.1	根据应用要求选适宜的机器人	124
5.1.2	周边装置	124
第二节	机器人在工业部门中的应用	128
5.2.1	机器人在铸造生产中的应用	128
5.2.2	机器人在锻造生产中的应用	129

5.2.3	机器人在冲压生产中的应用	130
5.2.4	机器人在焊接生产中的应用	132
5.2.5	机器人在切削加工中的应用	133
5.2.6	机器人在热处理中的应用	135
5.2.7	机器人在喷漆作业中的应用	135
5.2.8	机器人在装配中的应用	137
5.2.9	机器人在搬运易碎易爆物品中的应用	140
第三节	机器人在海洋、军事、宇航等部门中的应用	142
5.3.1	机器人在海洋中的应用	142
5.3.2	机器人在宇航中的应用	143
5.3.3	机器人在军事及公安中的应用	143
5.3.4	机器人在其它部门的应用	143
参考文献	146

第一章 概 述

第一节 机器人发展背景

1.1.1 社会需求是机器人发展的动力

19 世纪初,产业革命使手工生产过渡到机器生产,人们操纵多种机床,高速生产各种产品。为了进一步提高生产率,用机械手(Manipulator)给机床装卸工件,形成自动加工机床及自动生产线。机械手由机床通过凸轮或连杆驱动,其动作程序及工作行程是固定的,只适于单品种大批量生产。为满足社会需求,工业生产向多品种小批量方向发展,上述简单的机械手不能适应客观要求。美国于 1961 年研制成功具有独立驱动及控制系统的自动化装置,不仅能给机床装卸各种工件,而且能操纵工具进行焊接、喷漆等作业,特称为工业机器人(Industrial robot)。我国把机器人定义为:是一种能自动检测、可重复编程、多功能、多自由度的操作机,能搬运材料、工件或操持工具,用以完成各种作业。

1.1.2 科技进步是机器人发展的支柱

没有丰富的机械设计及制造经验,缺乏电液伺服系统及可编程自动控制装置知识的人员,就不可能研制出多功能的工业机器人。随着机械学、电子学、材料学、传感技术、自动控制及计算机等学科的发展。机器人研制人员吸取各学科的新成果,使机器人由低级向高级发展。例如,机器人的自由度增多,运动灵巧,运行速

度一般达 3m/s, 最高可达 10m/s, 具有多种感觉、能适应环境变化的机器人已用于生产, 具有逻辑思维及决策功能的智能机器人尚处于实验研究阶段。关于设计、制造和应用机器人的一门学科——机器人学已经形成, 它不但推动机器人持续向前发展, 对其它学科也会发生影响。例如微型机器人有助于生物工程中基因研究, 洁净机器人有助于大规模集成电路的发展。

第二节 机器人的组成及分类

1.2.1 机器人的组成及工作原理

机器人由操作机、驱动单元及控制装置组成, 其结构如图 1-1 所示, 可细分为如图 1-2 所示的组成部分。

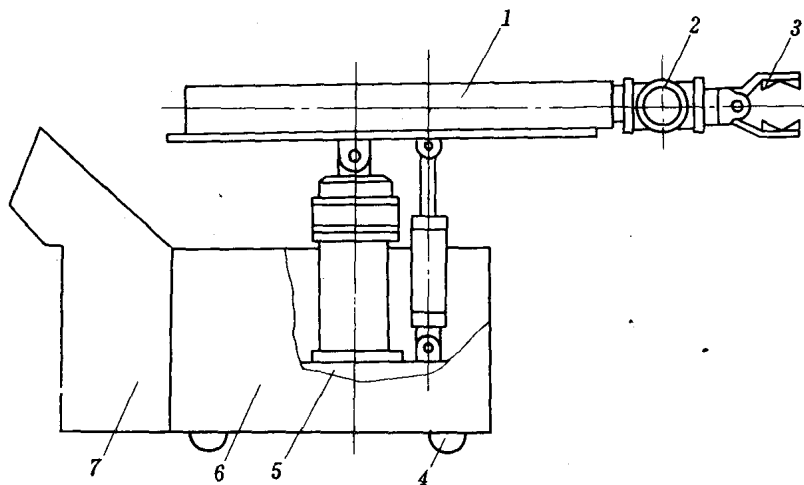


图 1-1 机器人的结构。

- 1—手臂; 2—手腕; 3—末端执行器; 4—移动机构;
5—机座; 6—驱动单元; 7—控制装置。

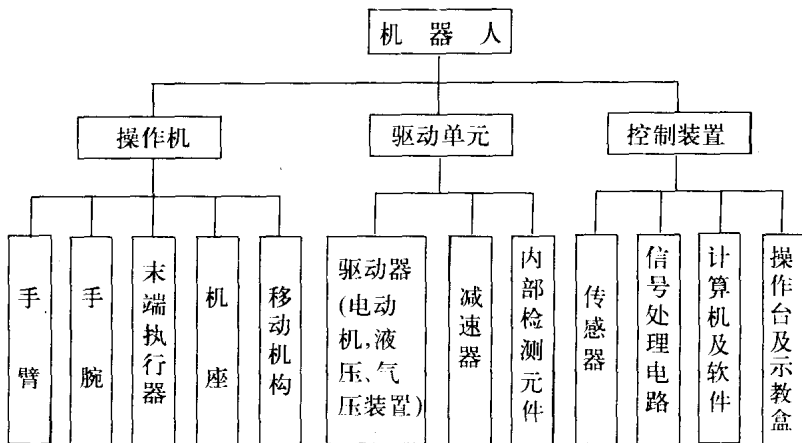


图 1-2 机器人的组成

机器人的具体结构因用途不同而异,许多工业机器人没有移动机构及外部传感器,不具备行走及感觉功能,功能较少。

操作机具有类似人的肢体功能,可在空间抓放物体或操持工具进行多种作业。操作机的驱动单元随科技发展而变化。高性能的电动机与谐波减速器、光电编码器及测速电机组成的驱动单元逐渐取代液压及气压驱动单元。控制装置相当于人的头脑及感觉系统,其启动及控制目标靠人输入指令程序或示教。示教再现型机器人,有的通过示教盒输入数据示教,有的手把手示教。示教程序存储在控制装置的计算机中。机器人开始工作前,操作人员按下启动及再现键,控制装置自动按示教程序控制各驱动器,使操作机各部分协调运动,周而复始地工作。

具有视觉、触觉、滑觉(滑移感觉)、力觉等传感器的控制装置,除按人输入的程序控制机器人运动以外,还能根据传感器检测到的环境及工件位置变化的信息控制驱动单元,使操作机的运动跟踪目标,保证完成任务。移动式机器人的视觉传感器检测到路上有障碍物时,控制装置能自动规划路径,绕过障碍物,达到操作人员指令的位置。这些具有感觉及决策功能的机器人统称为智能机器人。

1.2.2 机器人分类

1. 按坐标形式分类

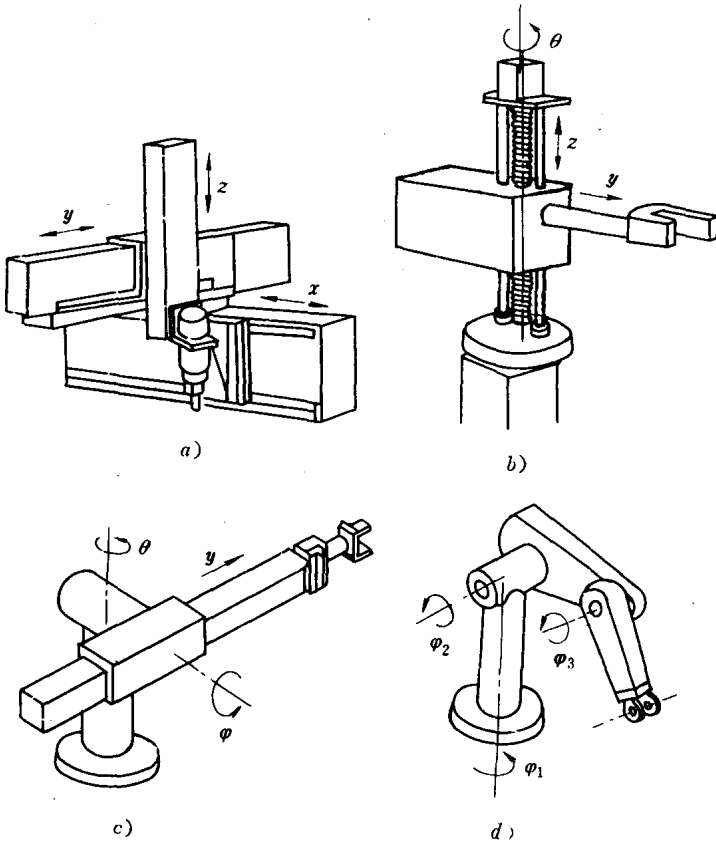


图 1-3 机器人的坐标形式

a. 直角坐标型机器人(Cartesian coordinate robot) 操作机的手臂具有三个直线运动自由度,并按直角坐标形式动作的机器人,其机构简图如图 1-3a 所示。

b. 圆柱坐标型机器人(Cylindrical coordinate robot) 操作机

的手臂具有一个旋转运动和两个直线运动自由度,并按圆柱坐标形式动作的机器人,如图 1-3b 所示。

c. 球坐标型机器人(Polar coordinate robot) 操作机的手臂具有两个旋转运动和一个直线运动自由度,并按球坐标形式动作的机器人,如图 1-3c 所示。

d. 关节型机器人(Articulated robot) 操作机的手臂具有三个旋转运动自由度,并作类似人的上肢关节动作的机器人,如图 1-3d 所示。

2. 按控制方式分类

a. 示教再现型机器人(Playback robot) 是一种能按示教编程输入工作程序,自动重复地进行工作的机器人。

b. 点位控制机器人(Pose to pose controlled robot) 是一种只控制运动所到达的空间位置和姿态,而不控制其轨迹的机器人。

c. 连续轨迹控制机器人(Continuous path controlled robot) 是一种不仅要控制行程的起点和终点,而且控制其轨迹的机器人。

d. 智能机器人(Intelligent robot) 是一种具有传感装置(视觉、触觉、力觉、听觉等),能获取作业环境或目标变化信息,自行规划行动,完成宏观指令的机器人。

3. 按用途分类

机器人有较强的适应能力,能从事多种作业。针对作业的特点,设计机器人的结构尺寸、运动速度、位姿精度及额定负载,可使其达到较好的性能价格比。对于这类最适于某种作业的机器人,可用加上该作业定语来称谓,例如浇注机器人、冲压机器人、焊接机器人、搬运机器人、装配机器人、喷漆机器人、水下机器人、护理机器人、侦察机器人、排险机器人等等。

本书将介绍能实现多种功能及用途的机器人的相关知识。

第三节 机器人的主要特性

研究人员追求机器人具有高特性,厂家根据市场需要生产具有一系列特性的机器人,用户依具体条件选择相应特性的机器人。

我国机器人技术标准中的机器人主要特性如下:

1.3.1 自由度(degree of freedom)

自由度是表示机器人动作灵活程度的参数,一般以沿轴线的移动和绕轴转动的独立运动数来表示(末端执行器的动作不包括在内)。自由度越多越灵活。工业用机器人的自由度一般在3~6个之间。

1.3.2 工作空间(working space)

机器人正常运行时,手腕参考点能在空间活动的最大范围。主要决定于自由度数、各关节尺寸及行程。

1.3.3 额定速度(rated velocity)

机器人在额定负载、匀速运动中,手臂末端的机械接口中心或工具中心的最大速度[m/s 或($^{\circ}$)/s]。其一轴(关节)运动时的速度称单轴速度,由各轴速度分量合成的速度称合成速度。

1.3.4 额定负载(rated load)

在规定的性能(速度和行程)范围内,机器人与末端执行器相联接处(简称机械接口)能承受负载的允许值。负载分为质量(kg)、力(N)、力矩($N\cdot m$)。极限负载是在限制的作业条件下,保证机械结构不损坏,机械接口处能承受负载的最大值。

1.3.5 分辨率(resolution)

机器人各运动轴能实现的最小移动距离(mm)或最小转动角度($^{\circ}$)。分辨率值越小,机器人的精度及适应性越高,但成本也高。

1.3.6 位姿准确度(pose accuracy)

机器人进行喷漆、焊接等作业时,末端执行器(喷枪、焊钳等)要跟随工件形状运动,而且与工件保持一定角度和距离,才能完成任务,保证质量。因此不但有位置准确度要求,而且有姿态准确度的要求。

位姿准确度是多次执行同一位姿指令时,机器人末端执行器在指定坐标系中实到位姿(位置与姿态)与指令位姿之间的不一致程度。位置准确度以 ΔL 表示,姿态准确度以 ΔLa 、 ΔLb 、 ΔLc 表示,单位是 mm。

1.3.7 位姿重复性(pose repeatability)

在相同条件下,用同一方法操作机器人时,重复 30 次所测得的同一位姿散布的不一致程度。位置偏差以 r 表示;姿态偏差以 ra 、 rb 、 rc 表示,单位是 mm。

位姿准确度及重复性的测量方法和计算公式在工业机器人性能规范(GB/T 12642—90)、工业机器人性能测试方法(GB/T 12645—90)、工业机器人特性表示(GB/T 12644—90)等国家标准中有详细规定。

第四节 机器人应用概况及发展趋势

1.4.1 应用概况

本世纪 60 年代初机器人诞生后,美国首先将其用于机床装卸

工件及搬运物料,使机床加工自动化,改变了用机械手给机床装卸工件的面貌,使一些机床能进行小批量多品种自动生产,由刚性自动化生产跃变成柔性自动化生产,加速了产品更新换代,节约了建厂及买新机床的投资,带来巨大经济效益。因而,日本、美国、德国等国家纷纷建立柔性自动生产线以及无人化生产车间。机器人在其中给机床装卸工件、更换刀具、搬运夹具及工艺装备。装配、产品包装及储存也由机器人承担。

产生难闻气体的喷漆作业,易出人身事故的冲压作业,工人易得矽肺病的铸造作业,锻造及热处理等高温作业,点焊及弧焊作业等在有些工厂已实现机器人操作,将人从有害及恶劣环境中解放出来,而且提高了生产效率,保证了产品的一致性,取得了良好的社会效益及经济效益。

日本是应用机器人最多的国家,汽车及家用电器生产中大量采用机器人,产品质量很高。欧洲及亚洲一些国家及地区也大量采用机器人。

机器人被广泛用于机械制造各工种的同时,冶金、化工、能源、交通、农林、海洋、国防、公安、医疗及第三产业部门陆续采用机器人,不但促进了产业自动化,而且解决了一些人力难以解决的问题。例如在强辐射、超高压、高真空环境中进行的各种作业。美国还研制成功具有视觉、听觉、能说话的站岗放哨机器人,曾用于击毙匪徒、看管囚犯。美军还研制和应用其它机器人。

我国人口众多,劳动工资低廉,对采用机器人所引起的社会及经济效益问题,经过多年调查、分析讨论,大中型企业、高等学校、科研院所及政府主管科技部门取得共识:机器人是高度机电一体化的多用途的自动化生产装置,对当代科学技术及社会发展有深远影响。我国发展机器人,首先将工人从有毒、高温及危险作业环境中解放出来,减少职业病及人身事故;在精密加工及高新技术产品的生产中,机器人能防止人体造成的污染及生理心理状态的影响,提高产品的一致性及可靠性,增强国际市场竞争能力;在人力