

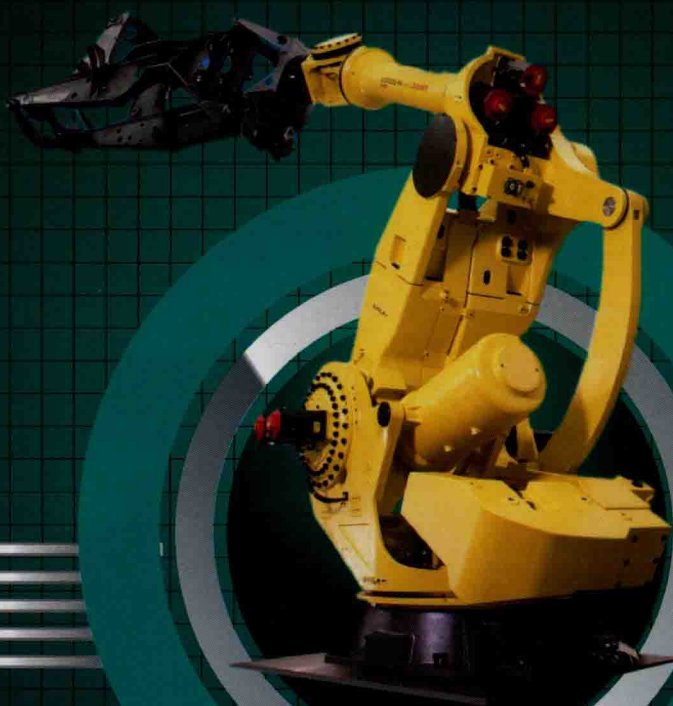
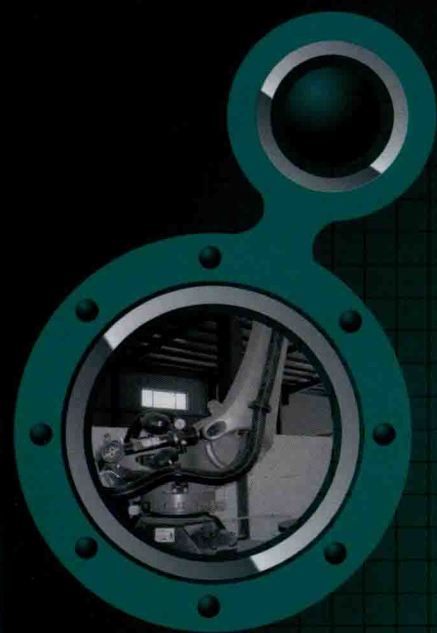


INDUSTRIAL ROBOT

工业机器人

操作

韩鸿鸾 宁 爽 董海萍 主编



化学工业出版社



MOE
THE MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGY
THE REPUBLIC OF CHINA (TAIWAN)

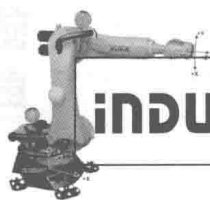
工业机器人

操作

MOE THE MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGY



MOE THE MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGY



INDUSTRIAL ROBOT

工业机器人 操作

韩鸿鸾 宁 爽 董海萍 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人操作/韩鸿鸾, 宁爽, 董海萍主编. —北京: 化学工业出版社, 2018. 1
ISBN 978-7-122-31113-9

I. ①工… II. ①韩…②宁…③董… III. ①工业机器人-操作 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 296451 号

责任编辑: 王 烨
责任校对: 王素芹

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

装 订: 三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13³/₄ 字数 376 千字 2018 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 59.00 元

版权所有 违者必究

近年来,我国机器人行业在国家政策的支持下,顺势而为,发展迅速,保持着35%的高增长率,远高于德国的9%、韩国的8%和日本的6%。我国已连续两年成为世界第一大工业机器人市场。

我国工业机器人市场之所以能有如此迅速的增长,主要源于以下三点。

① 劳动力的供需矛盾。主要体现在劳动力成本的上升和劳动力供给的下降。在很多产业,尤其在中低端工业产业,劳动力的供需矛盾非常突出,这对实施“机器换人”计划提出了迫切需求。

② 企业转型升级的迫切需求。随着全球制造业转移的持续深入,先进制造业回流,我国的低端制造业面临产业转移的风险,迫切需要转变传统的制造模式,降低企业运行成本,提升企业发展效率,提升工厂的自动化、智能化程度。而工业机器人的大量应用,是提升企业产能和产品质量的重要手段。

③ 国家战略需求。工业机器人作为高端制造装备的重要组成部分,技术附加值高,应用范围广,是我国先进制造业的重要支撑技术和信息化社会的重要生产装备,对工业生产、社会发展以及增强军事国防实力都具有十分重要的意义。

随着机器人技术及智能化水平的提高,工业机器人已在众多领域得到了广泛的应用。其中,汽车、电子产品、冶金、化工、塑料、橡胶是我国应用机器人最多的几个行业。未来几年,随着行业需要和劳动力成本的不断提高,我国机器人市场增长潜力巨大。尽管我国将成为当今世界最大的机器人市场,但每万名制造业工人拥有的机器人数量却远低于发达国家水平和国际平均水平。工信部组织制订了我国机器人技术路线图及机器人产业“十三五”规划,到2020年,工业机器人密度达到每万名员工使用100台以上。我国工业机器人市场将高倍速增长,未来十年,工业机器人是看不到“天花板”的行业。

虽然多种因素推动着我国工业机器人行业不断发展,但应用人才严重缺失的问题清晰地摆在我们面前,这是我国推行工业机器人技术的最大瓶颈。中国机械工业联合会的统计数据表明,我国当前机器人应用人才缺口20万,并且以每年20%~30%的速度持续递增。

工业机器人作为一种高科技集成装备,对专业人才有着多层次的需求,主要分为研发工程师、系统设计与应用工程师、调试工程师和操作及维护人员四个层次。其中,需求量最大的是基础的操作及维护人员,以及掌握基本工业机器人应用技术的调试工程师和更高层次的应用工程师,工业机器人专业人才的培养,要更加着力于应用型人才的培养。

为了适应机器人行业发展的形势,满足从业人员学习机器人技术相关知识的需求,我们从生产实际出发,组织业内专家编写了本书,全面讲解了工业机器人的应用基础、ABB工业机器人的操作、工业机器人的调整与保养等内容,以期给从业人员和大学院校相关专业师生提供实用性指导与帮助。

本书由韩鸿鸾、宁爽、董海萍主编,姜海军、张青、马岩、张瑞社副主编,阮洪涛、刘曙

光、彭红学、马灵芝、王大伟、程宝鑫、范维进、张艳红、胡春蕾、于振涛、戚建爱、陶建海、王小方、李永杉参加了本书的编写。本书由韩鸿鸾统稿。在本书编写过程中，得到了山东省、河南省、河北省、江苏省、上海市等技能鉴定部门的大力支持，此外，青岛利博尔电子有限公司、青岛时代焊接设备有限公司、山东鲁南机床有限公司、山东山推工程机械有限公司、西安乐博士机器人有限公司、诺博泰智能科技有限公司等企业为本书的编写提供了大量帮助，在此深表谢意。

在本书编写过程中，参考了《工业机器人装调维修工》《工业机器人操作调整工》职业技能标准的要求，以备读者考取技能等级；同时还借鉴了全国及多省工业机器人大赛的相关要求，为读者参加相应的大赛提供参考。

由于水平所限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者给予批评指正。

编者

第1章 工业机器人的应用基础 / 1

1.1 工业机器人概述	2
1.1.1 工业机器人的应用领域	2
1.1.2 机器人的分类	6
1.2 机器人的基本术语与图形符号	12
1.2.1 机器人的基本术语	12
1.2.2 机器人的图形符号体系	13
1.2.3 机器人的图形符号表示	16
1.3 工业机器人运动轴与坐标系的确定	16
1.3.1 机器人运动轴	16
1.3.2 机器人坐标系的确定	18
1.3.3 工业机器人常用坐标系	20
1.4 工业机器人的安全要求	24
1.4.1 安全注意事项	24
1.4.2 工业机器人的主要危险	27
1.4.3 采取的措施	28
1.4.4 机器人停止功能	28
1.4.5 操作方式	29
1.4.6 示教控制	30
1.4.7 同时运动控制	30
1.4.8 协同操作要求	31
1.4.9 奇异性保护	31
1.4.10 单轴限位	31
1.4.11 无驱动源运动	32
1.4.12 起重措施	32
1.4.13 电连接器	32
1.4.14 标志	32
1.5 机器人的应用工程	39
1.5.1 工业机器人的应用步骤	39
1.5.2 机器人工作站的一般设计原则	42
1.6 操作规程	46
1.6.1 焊接机器人操作规程	46
1.6.2 电源水箱操作指导	47
1.6.3 除尘设备操作规程	48

1.6.4 清枪剪丝站使用操作规程	48
1.6.5 机器人焊枪使用注意事项	48

第2章 ABB 工业机器人的操作 / 50

2.1 认识 ABB 工业机器人	50
2.1.1 ABB 工业机器人的组成	50
2.1.2 ABB 工业机器人的分类	51
2.2 手动模式操纵机器人	56
2.2.1 机器人坐标系和运动轴的选取	56
2.2.2 手动移动机器人	59
2.2.3 手动操纵焊接机器人	63
2.3 ABB 机器人的示教编程	68
2.3.1 认识示教编程	68
2.3.2 焊接机器人的直线轨迹示教	98
2.3.3 焊接机器人的圆弧轨迹示教	123
2.3.4 焊接机器人的摆动功能示教	141
2.3.5 焊枪清理机构的控制	152
2.4 ABB 工业机器人 I/O 通信	153
2.4.1 ABB 机器人 I/O 通信的种类	153
2.4.2 ABB 标准 I/O 板	154
2.4.3 ABB 标准 I/O 板的设置	159
2.5 Profibus 适配器的连接与设定	174
2.5.1 Profibus 适配器的连接	174
2.5.2 Profibus 适配器的设定	174
2.6 系统输入/输出与 I/O 信号的关联	177
2.6.1 关联步骤	177
2.6.2 定义可编程按键	181

第3章 工业机器人的调整与保养 / 185

3.1 工业机器人的调整	185
3.1.1 调整方法	186
3.1.2 附加轴的调整	191
3.1.3 参照调整	192
3.1.4 用 MEMD 和标记线进行零点标定	193
3.1.5 手动删除轴的零点	198
3.1.6 更改软件限位开关	198
3.2 工业机器人的保养	200
3.2.1 工业机器人机器部分的保养	200
3.2.2 调节平衡配重	207
3.2.3 电气系统的保养	210

第1章

工业机器人的应用基础

工业机器人的研究工作是 20 世纪 50 年代初从美国开始的。日本、俄罗斯等国家的研制工作比美国大约晚十年。但日本的发展速度比美国快。欧洲比较注重工业机器人的研制和应用，其中英国、德国、瑞典、挪威等国的技术水平较高，产量也较大。

第二次世界大战期间，由于核工业和军事工业的发展，美国原子能委员会的阿尔贡研究所研制了“遥控机械手”，用于代替人生产和处理放射性材料。1948 年，这种较简单的机械装置被改进，开发出了机械式的主从机械手（见图 1-1）。它由两个结构相似的机械手组成，主机机械手在控制室，从机械手在有辐射的作业现场，两者之间有透明的防辐射墙相隔。操作者用手操纵主机机械手，控制系统会自动检测主机机械手的运动状态，并控制从机械手跟随主机机械手运动，从而解决对放射性材料的远距离操作问题。这种被称为主从控制的机器人控制方式，至今仍在很多场合中应用。

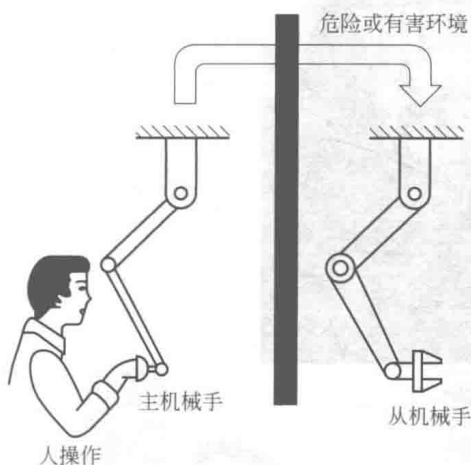


图 1-1 主从机械手

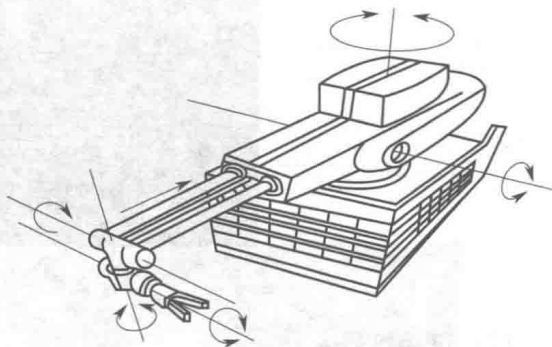


图 1-2 Unimate 机器人

由于航空工业的需求，1952 年美国麻省理工学院（MIT）成功开发了第一代数控机床（CNC），并进行了与 CNC 机床相关的控制技术及机械零部件的研究，为机器人的开发奠定了技术基础。

1954 年，美国人乔治·德沃尔（George Devol）提出了一个关于工业机器人的技术方案，设计并研制了世界上第一台可编程的工业机器人样机，将之命名为“Universal Automation”，并申请了该项机器人专利。这种机器人是一种可编程的零部件操作装置，其工作方式为首先移动机械手的末端执行器，并记录下整个动作过程；然后，机器人反复再现整个动作过程。后来，在此基础上，Devol 与 Engerlberge 合作创建了美国万能自动化公司（Unimation），于 1962 年生产了第一台机器人，取名 Unimate（见图 1-2）。这种机器人采用极坐标式结构，外形完全像坦克炮塔，可以实现回转、伸缩、俯仰等动作。

在 Devol 申请专利到真正实现设想的这 8 年时间里，美国机床与铸造公司（AMF）也在从事机器人的研究工作，并于 1960 年生产了一台被命名为 Versation 的圆柱坐标型的数控自

动机械，并以 Industrial Robot（工业机器人）的名称进行宣传。通常认为这是世界上最早的工业机器人。

Unimate 和 Versation 这两种型号的机器人以“示教再现”的方式在汽车生产线上成功地代替工人进行传送、焊接、喷漆等作业，它们在工作中反映出来的经济效益、可靠性、灵活性，令其他发达国家工业界为之倾倒。于是，Unimate 和 Versation 作为商品开始在世界市场上销售。

1.1 工业机器人概述

1.1.1 工业机器人的应用领域

(1) 喷漆机器人

如图 1-3 所示，喷涂机器人能在恶劣环境下连续工作，并具有工作灵活、工作精度高等特点，因此喷漆机器人被广泛应用于汽车、大型结构件等喷漆生产线，以保证产品的加工质量、提高生产效率、减轻操作人员劳动强度。



图 1-3 喷漆机器人

(2) 焊接机器人

用于焊接的机器人一般分为图 1-4 所示的点焊机器人和图 1-5 所示的弧焊机器人两种。弧焊机器人作业精确，可以连续不知疲劳地进行工作，但在作业中会遇到部件稍有偏位或焊缝形状有所改变的情况，人工作业时，因能看到焊缝，可以随时作出调整，而焊接机器人，因为是按事先编号的程序工作，不能很快调整。

(3) 上下料机器人

如图 1-6 所示，目前我国大部分生产线上的机床装卸工件仍由人工完成，其劳动强度大，生产效率低，而且具有一定的危险性，已经满足不了生产自动化的发展趋势，为提高工作效率，降低成本，并使生产线发展为柔性生产系统，应现代机械行业自动化生产的要求，越来越多的企业已经开始利用工业机器人进行上下料了。

(4) 装配机器人

如图 1-7 所示，装配机器人是专门为装配而设计的工业机器人，与一般工业机器人比较，它具有精度高、柔顺性好、工作范围小、能与其他系统配套使用等特点。使用装配机器人可以保证产品质量，降低成本，提高生产自动化水平。

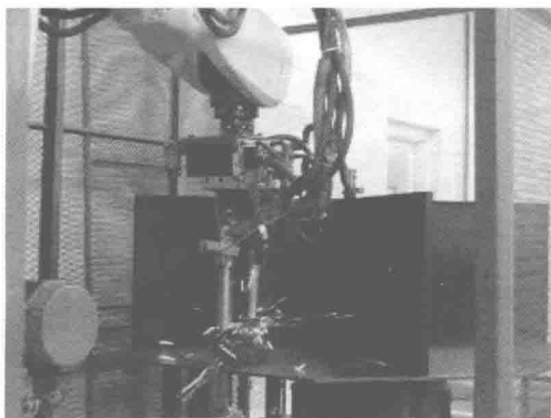


图 1-4 FANUC S-420 点焊机器人

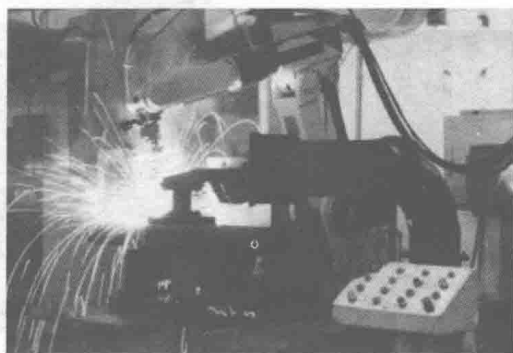


图 1-5 弧焊机器人实例

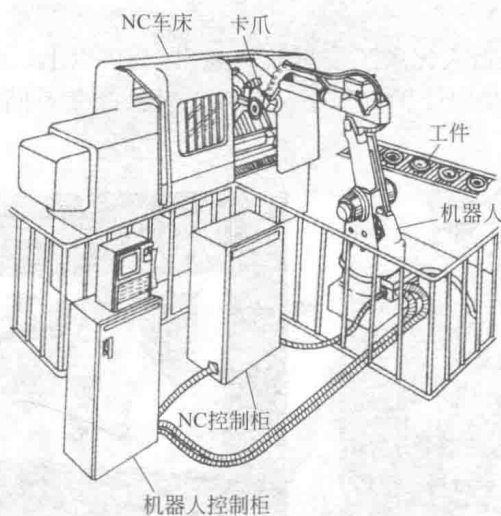
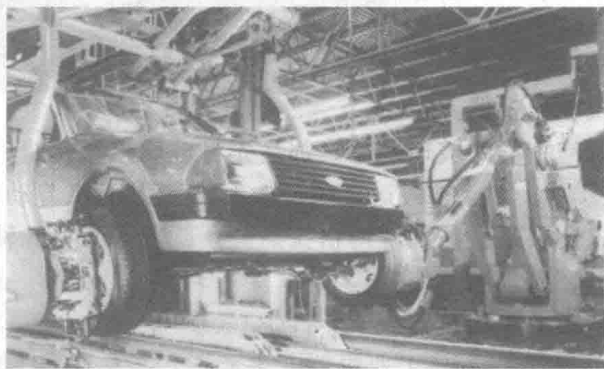


图 1-6 数控机床用上下料机器人



(a) 机器人



(b) 装配工业机器人的应用

图 1-7 装配工业机器人

(5) 搬运机器人

在建筑工地,在海港码头,总能看到大吊车的身影,应当说吊车装运比起早期工人肩扛手抬已经进步多了,但这只是机械代替了人力,或者说吊车只是机器人的雏形,它还得完全依靠人操作和控制定位等,不能自主作业。图 1-8 所示的搬运机器人可进行自主搬运。

(6) 码垛工业机器人

如图 1-9 所示，码垛工业机器人主要用于工业码垛。



图 1-8 搬运机器人

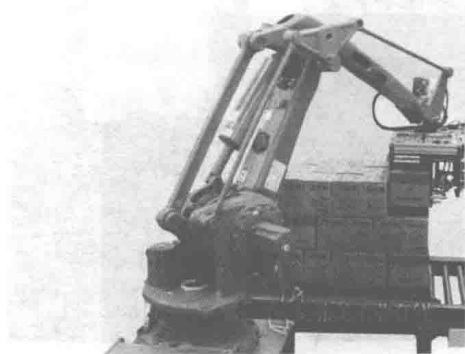
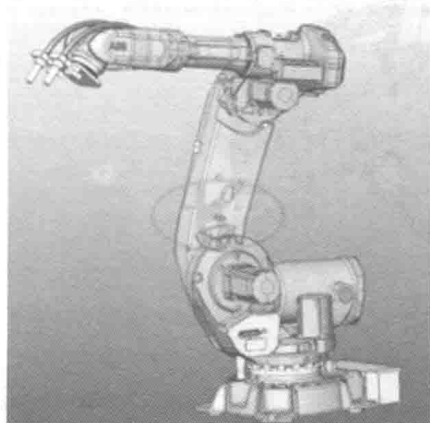


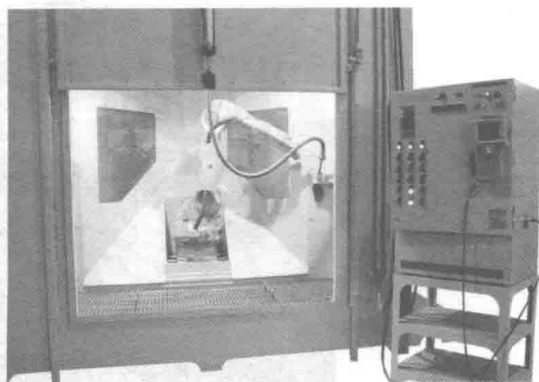
图 1-9 码垛工业机器人

(7) 喷丸机器人

如图 1-10 所示，喷丸机器人比人工清理效率高出 10 倍以上，而且工人可以避开污浊、嘈杂的工作环境，操作者只要改变计算机程序，就可以轻松改变不同的清理工艺。



(a) 机器人



(b) 喷丸机器人的应用

图 1-10 喷丸机器人

(8) 吹玻璃机器人

类似灯泡一类的玻璃制品，都是先将玻璃熔化，然后人工吹起成形的，融化的玻璃温度高达 1100°C 以上，无论是搬运，还是吹制，工人不仅劳动强度很大，而且有害身体，工作的技术难度要求还很高。法国赛博格拉斯公司开发了两种 6 轴工业机器人，应用于“采集”（搬运）和“吹制”玻璃两项工作。

(9) 核工业中的机器人

如图 1-11 所示，核工业机器人主要用于以核工业为背景的危险、恶劣场所，特别针对核电站、核燃料后处理厂及三废处理厂等放射性环境现场，可以对其核设施中的设备装置进行检查、维修和简单事故处理等工作。

(10) 机械加工工业机器人

这类机器人具有加工能力，本身具有加工工具，比如刀具等，刀具的运动是由工业机器人的控制系统控制的。主要用于切割（见图 1-12）、去毛刺（见图 1-13）、抛光与雕刻等轻型加工。这样的加工比较复杂，一般采用离线编程来完成。这类工业机器人有的已经具有了加工中心的某些特性，如刀库等。图 1-14 所示的雕刻工业机器人的刀库如图 1-15 所示。这类工业机

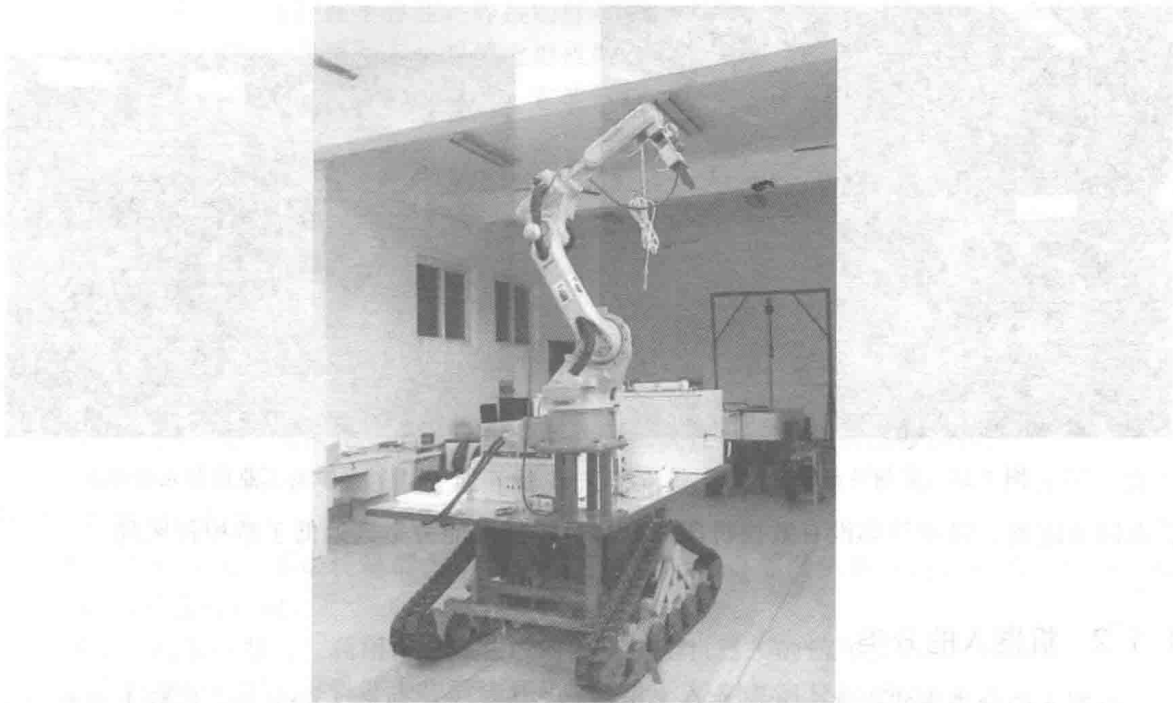


图 1-11 核工业中的机器人



图 1-12 激光切割机器人工作站

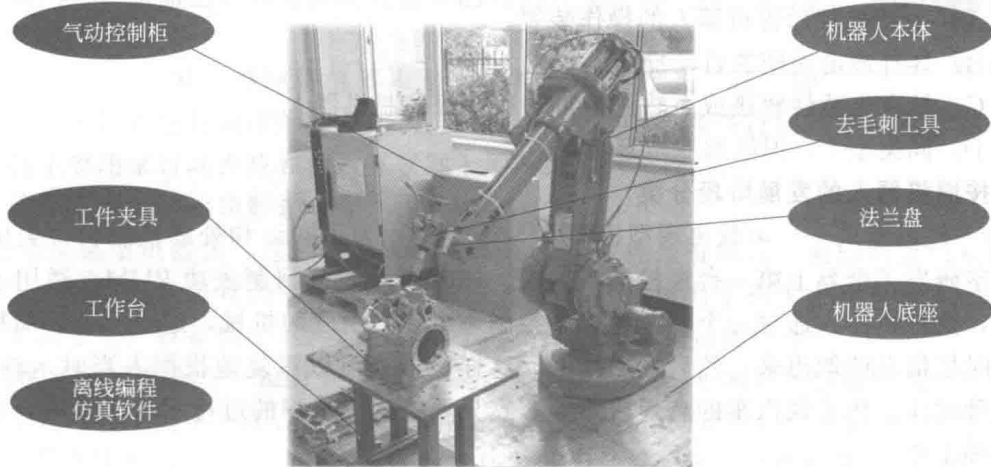


图 1-13 去毛刺机器人工作站



图 1-14 雕刻工业机器人

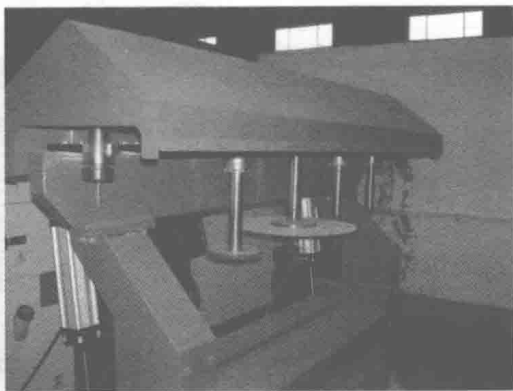


图 1-15 雕刻工业机器人的刀库

机器人因为刚度、强度等都没有数控机床好，其机械加工能力是远远低于数控机床的。

1.1.2 机器人的分类

机器人的分类方式很多，并已有众多类型机器人。关于机器人的分类，国际上没有制定统一的标准，从不同的角度可以有不同的分类。

按照日本工业机器人学会（JIRA）的标准，可将机器人进行如下分类。

第一类：人工操作机器人。此类机器人由操作员操作具有多自由度。

第二类：固定顺序机器人。此类机器人可以按预定的方法有步骤地依此执行任务，其执行顺序难以修改。

第三类：可变顺序机器人。同第二类，但其顺序易于修改。

第四类：示教再现（playback）机器人。操作员引导机器人手动执行任务，记录下这些动作并由机器人以后再再现执行，即机器人按照记录下的信息重复执行同样的动作。

第五类：数控机器人。操作员为机器人提供运动程序，并不是手动示教执行任务。

第六类：智能机器人。机器人具有感知外部环境的能力，即使其工作环境发生变化，也能够成功地完成任务。

美国机器人学会（RIA）只将以上第三类至第六类视作机器人。

法国机器人学会（AFR）将机器人进行如下分类。

类型 A：手动控制远程机器人的操作装置。

类型 B：具有预定周期的自动操作装置。

类型 C：具有连续性轨迹或点轨迹的可编程伺服控制机器人。

类型 D：同类型 C，但能够获取环境信息。

（1）按照机器人的发展阶段分类

① 第一代机器人——示教再现型机器人 1947 年，为了搬运和处理核燃料，美国橡树岭国家实验室研发了世界上第一台遥控的机器人。1962 年美国又研制成功 PUMA 通用示教再现型机器人，这种机器人通过一个计算机，来控制一个多自由度的机械，通过示教存储程序和信
息，工作时把信息读取出来，然后发出指令，这样机器人可以重复地根据人当时示教的结果，再现出这种动作。比方说汽车的点焊机器人，它只要把这个点焊的过程示教完以后，它总是重复这样一种工作。

② 第二代机器人——感觉型机器人 示教再现型机器人对于外界的环境没有感知，这个

操作力的大小,这个工件存在不存在,焊接的好与坏,它并不知道,因此,在20世纪70年代后期,人们开始研究第二代机器人,叫感觉型机器人,这种机器人拥有类似人在某种功能的感受,如力觉、触觉、滑觉、视觉、听觉等,它能够通过感觉来感受和识别工件的形状、大小、颜色。

③ 第三代机器人——智能型机器人 20世纪90年代以来发明的机器人。这种机器人带有多种传感器,可以进行复杂的逻辑推理、判断及决策,在变化的内部状态与外部环境中,自主决定自身的行为。

(2) 按照控制方式分类

① 操作型机器人 能自动控制,可重复编程,多功能,有几个自由度,可固定或运动,用于相关自动化系统中。

② 程控型机器人 按预先要求的顺序及条件,依次控制机器人的机械动作。

③ 示教再现型机器人 通过引导或其他方式,先教会机器人动作,输入工作程序,机器人则自动重复进行作业。

④ 数控型机器人 不必使机器人动作,通过数值、语言等对机器人进行示教,机器人根据示教后的信息进行作业。

⑤ 感觉控制型机器人 利用传感器获取的信息控制机器人的动作。

⑥ 适应控制型机器人 机器人能适应环境的变化,控制其自身的行动。

⑦ 学习控制型机器人 机器人能“体会”工作的经验,具有一定的学习功能,并将所“学”的经验用于工作中。

⑧ 智能机器人 以人工智能决定其行动的机器人。

(3) 按照应用环境角度分类

目前,国际上的机器人学者,从应用环境出发将机器人分为三类:制造环境下的工业机器人、非制造环境下的服务与仿人型机器人以及网络机器人。

网络机器人有两类机器人:一类是把标准通信协议和标准人-机接口作为基本设施,再将它们与有实际观测操作技术的机器人融合在一起,即可实现无论何时何地,无论是谁都能使用的远程环境观测操作系统,这就是网络机器人。这种网络机器人是基于Web服务器的网络机器人技术,以Internet为构架,将机器人与Internet连接起来,采用客户端/服务器(C/S)模式,允许用户在远程终端上访问服务器,把高层控制命令通过服务器传送给机器人控制器,同时机器人的图像采集设备把机器人运动的实时图像再通过网络服务器反馈给远端用户,从而达到间接控制机器人的目的,实现对机器人的远程监视和控制。

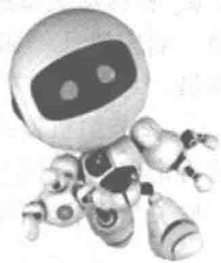


图 1-16 网络机器人

如图1-16所示,另一类网络机器人是一种特殊的机器人,其“特殊”在于网络机器人没有固定的“身体”,网络机器人本质是网络自动程序,它存在于网络程序中,目前主要用来自动查找和检索互联网上的网站和网页内容。

(4) 按照机器人的运动形式分类

① 直角坐标型机器人 这种机器人的外形轮廓与数控镗铣床或三坐标测量机相似,如图1-17所示。3个关节都是移动关节,关节轴线相互垂直,相当于笛卡儿坐标系的 x 、 y 和 z 轴。它主要用于生产设备的上下料,也可用于高精度的装卸和检测作业。

② 圆柱坐标型机器人 如图1-18所示,这种机器人以 θ 、 z 和 r 为参数构成坐标系。手腕参考点的位置可表示为 $p=(\theta, z, r)$ 。其中, r 是手臂的径向长度, θ 是手臂绕水平轴的角位移, z 是在垂直轴上的高度。如果 r 不变,操作臂的运动将形成一个圆柱表面,空间定位比较直观。操作臂收回后,其后端可能与工作空间内的其他物体相碰,移动关节不易防护。

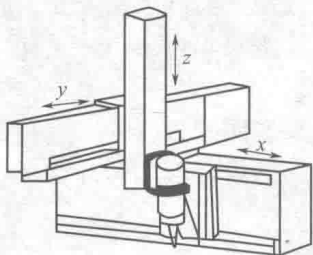


图 1-17 直角坐标型机器人

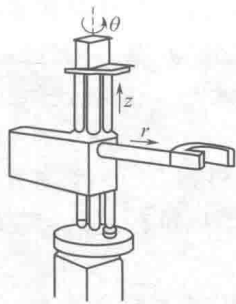


图 1-18 圆柱坐标型机器人

③ 球（极）坐标型机器人 如图 1-19 所示，球（极）坐标型机器人腕部参考点运动所形成的最大轨迹表面是半径为 r 的球面的一部分，以 θ 、 ϕ 、 r 为坐标，任意点可表示为 $p=(\theta, \phi, r)$ 。这类机器人占地面积小，工作空间较大，移动关节不易防护。

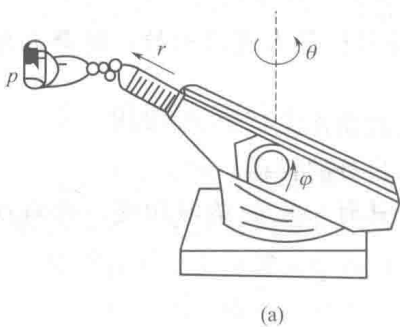


图 1-19 球（极）坐标型机器人

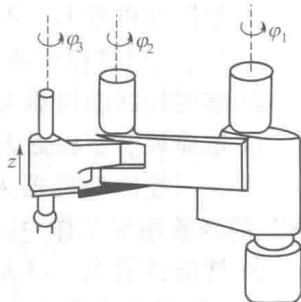
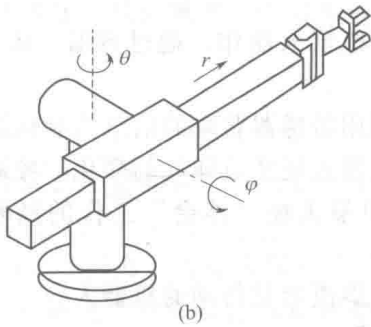
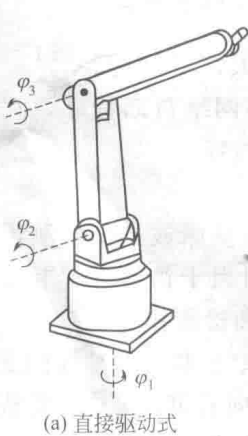


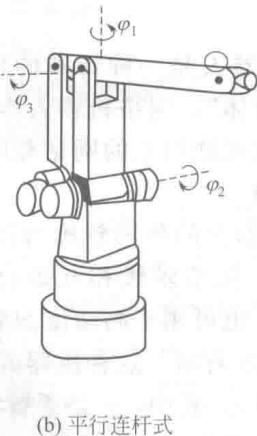
图 1-20 SCARA 机器人

④ 平面双关节型机器人 平面双关节型机器人（selective compliance assembly robot arm, SCARA）有 3 个旋转关节，其轴线相互平行，在平面内进行定位和定向，另一个关节是移动关节，用于完成末端件垂直于平面的运动。手腕参考点的位置是由两旋转关节的角位移 ϕ_1 、 ϕ_2 和移动关节的位移 z 决定的，即 $p=(\phi_1, \phi_2, z)$ ，如图 1-20 所示。这类机器人结构轻便、响应快。例如 Adept I 型 SCARA 机器人的运动速度可达 10m/s，比一般关节式机器人快数倍。它最适用于平面定位，而在垂直方向进行装配的作业。

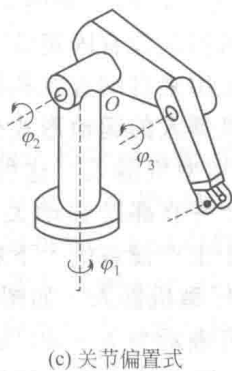
⑤ 关节型机器人 这类机器人由 2 个肩关节和 1 个肘关节进行定位，由 2 个或 3 个腕关节进行定向。其中，一个肩关节绕铅直轴旋转，另一个肩关节实现俯仰，这两个肩关节轴线正交，肘关节平行于第二个肩关节轴线，如图 1-21 所示。这种构形动作灵活，工作空间大，在



(a) 直接驱动式



(b) 平行连杆式



(c) 关节偏置式

图 1-21 关节型机器人

作业空间内手臂的干涉最小，结构紧凑，占地面积小，关节上相对运动部位容易密封防尘。这类机器人运动学较复杂，运动学反解困难，确定末端件执行器的位姿不直观，进行控制时，计算量比较大。

对于不同坐标形式的机器人，其特点、工作范围及其性能也不同，如表 1-1 所示。

表 1-1 不同坐标型机器人的性能比较

项目	特 点	工作空间
直角坐标型	在直线方向上移动,运动容易想象 通过计算机控制实现,容易达到高精度 占地面积大,运动速度低 直线驱动部分难以密封、防尘,容易被污染	
圆柱坐标型	容易想象和计算,直线部分可采用液压驱动,可输出较大的动力 能够伸入型腔式机器内部,它的手臂可以到达的空间受到限制,不能到达近立柱或近地面的空间 直线驱动部分难以密封、防尘 后臂工作时,手臂后端会碰到工作范围内的其他物体	
极坐标型	中心支架附近的工作范围大,两个转动驱动装置容易密封,覆盖工作空间较大 坐标复杂,难于控制 直线驱动装置仍存在密封及工作死区的问题	
多关节坐标型	关节全都是旋转的,类似于人的手臂,是工业机器人中最常见的结构 它的工作范围较为复杂	