

工业机器人编程 与应用

● 主 编 程麒文

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

工业机器人编程与应用

主 编：程麒文

副主编：苏 挺 闫洪猛 李 峰

王世敏

参 编：张加云 隋明森 王 宁

主 审：王双林



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书分为五部分,主要由模块1工业机器人基础知识、模块2工业机器人安全操作规范、模块3工业机器人示教编程、模块4报警信息检测及故障排查和模块5工业机器人操作及其应用等组成,以KEBA系统为主要学习内容,重点从认识工业机器人到实现对工业机器人编程应用及维护的层次进行介绍,以保证学习者通过对本书的学习,能够根据工程应用设计工作方案,训练在工业机器人程序编写与调试方面的基本技能。

本书可作为大中专院校学生课程学习教材,也可作为企业职工和对工业机器人初学者的培训参考教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人编程与应用/程麒文主编. —北京:北京理工大学出版社, 2018. 8
ISBN 978 - 7 - 5682 - 6084 - 8

I. ①工… II. ①程… III. ①工业机器人—程序设计—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第184889号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/17.25

字 数/402千字

版 次/2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

定 价/66.00元

责任编辑/王玲玲

文案编辑/王玲玲

责任校对/周瑞红

责任印制/李 洋

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

Qianyan

自 20 世纪 60 年代初第一台工业机器人问世,短短 50 多年,工业机器人技术和周边配套应用得到了迅速发展,工业机器人系统在自动化、智能化、定制化生产制造领域得到广泛应用。近年来,随着劳动力成本的上升和工厂自动化程度的提高,中国工业机器人市场正步入快速发展阶段。2014 年,中国工业机器人销量达到 5.6 万台,首次成为全球第一大工业机器人市场,并一直保持稳步快速增长态势,预计到 2025 年工业机器人销量将达到 26 万台,保有量达到 180 万台。“中国制造 2025”战略规划的提出,使制造业向数字化、网络化、智能化方向发展,工业机器人作为智能制造领域的重要载体,已从最初的汽车制造领域和工程机械行业,向食品、医药、3C、陶瓷卫浴、家具制造等领域拓展。机器人产品也已涉及焊接、装配、搬运、上下料、冲压、铸锻、注塑、折弯、码垛、喷涂等应用。

工业机器人技术应用人才的培养是急需解决的问题,目前,在长三角地区使用工业机器人的企业有六千多家,人才缺口达 5 000 人左右。按照工信部的发展规划,到 2020 年,工业机器人装机量将达到 100 万台,大概需要 20 万工业机器人应用相关从业人员。虽然国内已有部分职业院校开设工业机器人技术专业,但考虑到地方产业发展和服务地方经济,还远远不能满足市场需求,并且由于工业机器人厂家和品牌较多,大部分学校实训设备缺乏相应的配套教材。

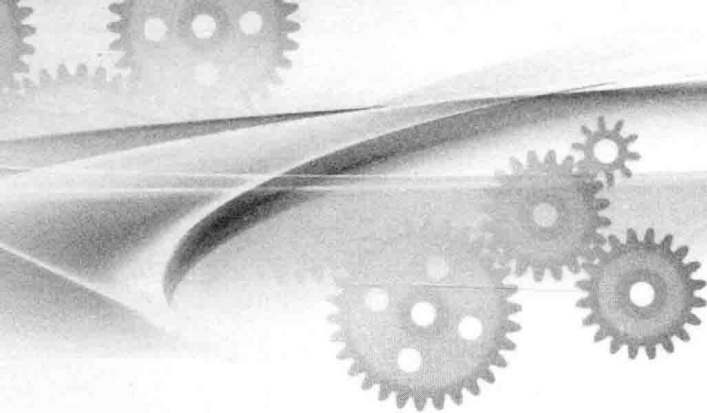
本书以工业机器人 KEBA 系统为学习内容,联合企业技术工程师和多家院校工业机器人技术专业的教师共同编写,通过详细的图解和示例,力求实用性强、通俗易懂、简明扼要,通过教材的介绍,读者可以掌握工业机器人安全操作、示教编程及故障诊断等方面的基本知识,学会如何根据工程应用设计工作方案,能够训练在工业机器人程序编写与调试方面的基本技能。本书可作为大中专院校学生课程学习教材,也可作为企业职工培训参考教材。

本书由程麒文担任主编,苏挺、闫洪猛、李峰和王世敏担任副主编。全书由程麒文统稿并定稿,由王双林担任主审。在本书编写过程中,得到了南京埃斯顿机器人工程有限公司、山东海大机器人科技有限公司等企业技术工程师和专家们的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,加上时间仓促,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请有关专家和读者予以批评指正。

认 知 篇

模块 1 工业机器人基础知识	003
1.1 认识工业机器人	003
1.2 关节型机器人本体结构的认识	017
1.3 控制系统认识	028
1.4 示教器认识	032
1.5 工业机器人本体维护维修	053
模块 2 工业机器人安全操作规范	068
2.1 操作者安全操作规范	068
2.2 维修维护机器人的操作规范	072
模块 3 工业机器人示教编程	076
3.1 编程界面的设置	076
3.2 编程指令	080
3.3 机器人 I/O	114
3.4 机器人示教编程	122
模块 4 报警信息检测及故障排查	144
4.1 系统中常见报警信息	145
4.2 伺服驱动器报警信息	146
4.3 控制器报警信息	151



目 录

Contents

应 用 篇

模块5 工业机器人操作及其应用	157
5.1 装配机器人及其操作应用	157
5.2 搬运机器人及其操作应用	172
5.3 码垛机器人及其操作应用	191
5.4 弧焊机器人及其操作应用	220
附 录	265
参考文献	268

认 知 篇

机器人（Robot）是自动执行工作的机器装置。它既可以接受人类指挥，又可以运行预先编排的程序，也可以根据以人工智能技术制定的原则纲领行动。它的任务是协助或取代人类的工作，例如生产业、建筑业，或是危险的工作。联合国标准化组织采纳了美国机器人协会给机器人下的定义：“一种可编程和多功能的操作机，或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。”它能为人类带来许多方便。随着智能化技术的推广应用，机器人越来越多地进入人们的生活和工作中。

国际上通常将机器人分为工业机器人和服务机器人两大类。工业机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的现代制造业重要的自动化装备。自从1962年美国研制出世界上第一台工业机器人以来，机器人技术及其产品发展很快，已成为柔性制造系统（FMS）、自动化工厂（FA）、计算机集成制造系统（CIMS）的自动化工具。服务机器人是机器人家族中的一个年轻成员，可以分为专业领域服务机器人和个人/家庭服务机器人，服务机器人的应用范围很广，主要从事维护保养、修理、运输、清洗、保安、救援、监护等工作。

我国机器人专家将机器人分为工业机器人和特种机器人两大类。所谓工业机器人，就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人，而特种机器人则是除工业机器人之外的，用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括服务

机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人、机器人化机器人等。在特种机器人中，有些分支发展很快，有独立成体系的趋势，如服务机器人、水下机器人、军用机器人、微操作机器人等。特种机器人属于非制造环境下的机器人，这和国外的服务机器人逻辑上是一致的。

随着科技的不断进步和发展，迫切需要传统的制造业向智能制造方向转型升级，工业机器人也成为智能制造体系中的重要组成部分，也是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的自动化工具。工业机器人已进入越来越多的行业和领域，广泛采用工业机器人，不仅可提高产品的质量与数量，而且对于保障人身安全、改善劳动环境、提高生产效率和产品质量具有十分重要的意义。

本篇为认知篇，主要从认识工业机器人开始学习，通过基本的现场编程与操作，能够掌握工业机器人安全操作规范，养成安全操作意识，能够在操作中诊断遇到的基本故障，并进行解除。

模块 1 工业机器人基础知识

1.1 认识工业机器人

1.1.1 工业机器人的定义

国际上对工业机器人还没有统一的定义，各个国家对工业机器人的定义有所不同。

美国机器人协会（RIA）将工业机器人定义为：“工业机器人是用于搬运各种材料、零件、工具等可再编程的多功能机械手，或通过不同程序的调用来完成各种工作任务的特种装置。”

日本机器人协会（JIRA）将工业机器人定义为：“工业机器人是一种带有存储器件和末端执行器的，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。”

在我国 1989 年的国际草案中，工业机器人被定义为：“一种自动定位控制，可重复编程的、多功能的、多自由度的操作机。”操作机被定义为：“具有人手臂相似的动作功能，可在空间抓取物体或进行其他操作的机械装置。”

国际标准化组织（ISO）曾于 1984 年将工业机器人定义为：“机器人是一种自动的、位置可控的、可重复编程的多功能机械手，这种机械手有几个轴，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，以执行各种任务。”

1.1.2 工业机器人的特点

1. 可编程

生产自动化的进一步发展是柔性自动化、智能化，工业机器人可随其工作要求变化的需要而再编程，是智能制造系统柔性特点的重要体现。

2. 拟人化

工业机器人在机械结构上有类似于人的腰部、大臂、小臂、手腕、手爪等部分，在思维上有类似于人脑的控制器，此外，智能化的工业机器人还有许多类似于人类的“生物传感器”，如检测温度、光强、速度、视觉、声音等方面的传感器。

3. 通用性

除了专门设计的专用工业机器人外，一般工业机器人在执行不同的作业任务时具有较好的通用性。比如，只更换工业机器人手部末端执行器（手爪、工具等）便可执行不同的作业任务。

工业机器人总的特点有：具有特定的机械结构，其动作具有类似于人或其他生物的某些器官（如肢体、感受等）的功能；具有通用性，可从事多种工作，可灵活改变动作程序；具有不同程度的智能，如记忆、感知、推理、决策、学习等；具有独立性，完成的机器人系统在工作中可不依赖于人的干预。

1.1.3 工业机器人的组成

工业机器人由机械系统、驱动系统、控制系统和感知系统组成，如图 1-1 所示。

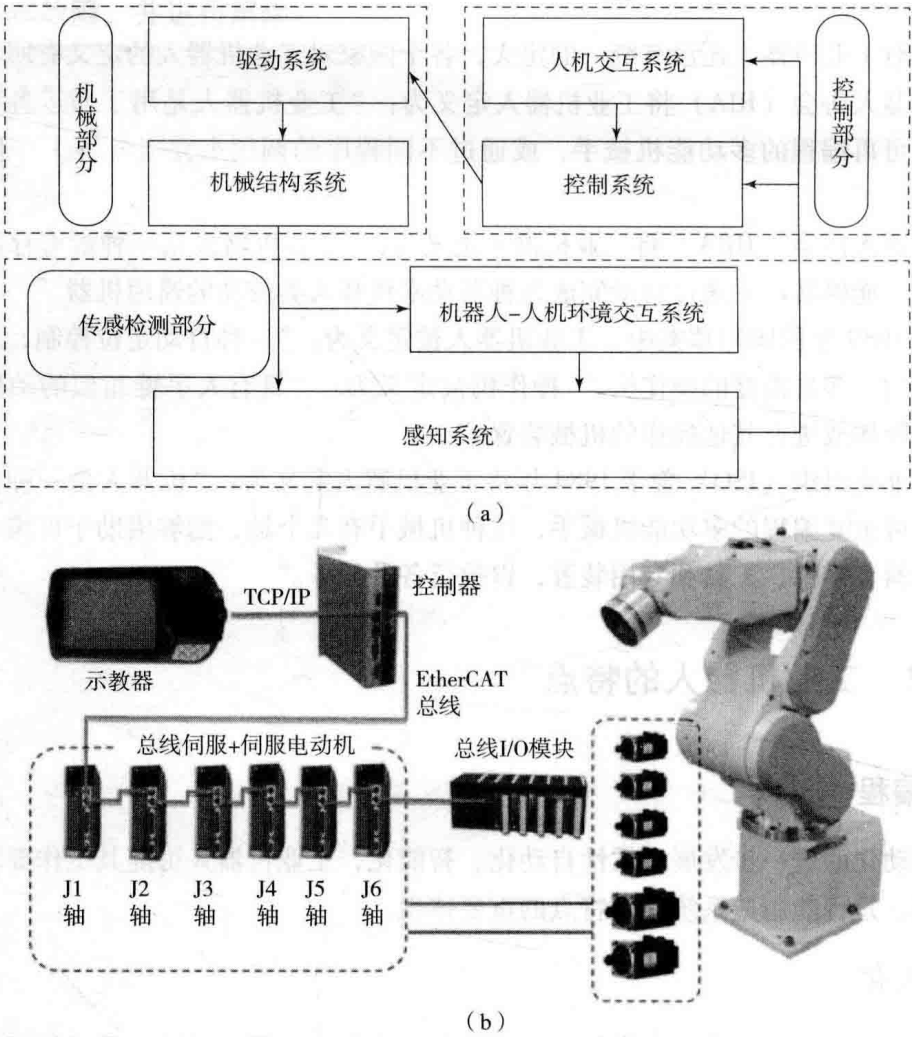


图 1-1 工业机器人的组成
(a) 系统框架；(b) 硬件组成

机械系统即机器人的身体,包括机座、臂部、手腕、末端执行器、行走机构等;驱动系统即机器人的肌肉,主要有电气驱动、液压驱动和气压驱动三种类型;控制系统即机器人的大脑,由计算机控制软件和硬件组成;感知系统即机器人神经系统,由内部传感器和外部传感器组成。

1.1.4 工业机器人的分类

关于工业机器人的分类,国际上没有制定统一的标准,一般按照应用领域、机械结构特征、自由度数等进行分类。工业机器人还处在起步发展阶段,需要进行不断完善和发展,本书主要介绍如下几种分类方法。

1. 按机器人的技术等级分类

(1) 示教再现机器人(第一代工业机器人)

能够按照人类预先示教的轨迹、行为、顺序和速度重复作业,操作员利用示教器上的开关或按键来控制机器人一步一步运动,机器人自动记录,然后重复,目前工业现场主要应用示教再现型机器人。

(2) 感知机器人(第二代工业机器人)

具有环境感知装置,能在一定程度上适应环境的变化。如焊接机器人,采用焊缝跟踪技术,通过传感器感知焊缝的位置,再通过反馈控制,机器人能自动跟踪焊缝,从而对示教的位置进行修正。

(3) 智能机器人(第三代工业机器人)

具有发现问题,并能自主解决问题的能力。具有多种传感器,不仅可感知自身的状态,而且能感知外部环境的状态,并能根据获得的信息,进行逻辑推理、判断决策,在变化的内部状态与变化的外部环境中,自主决定自身的行为。

2. 按机器人的机构特征分类

工业机器人的机械结构和配置形式多种多样,其机构运动特征是用坐标特性来描述的。按基本动作机构,工业机器人通常可分为直角坐标机器人、圆柱坐标机器人、极坐标机器人和关节型机器人等类型。其中,关节型机器人又可分为四轴垂直多关节机器人、六轴垂直多关节机器人、四轴并联机器人、四轴水平多关节机器人等。

(1) 直角坐标机器人

直角坐标机器人是沿着空间上相互垂直的坐标轴(即 X 、 Y 、 Z 轴)做直线运动,构成空间的直角坐标系,其运动过程是独立的(具有3个自由度),其动作空间为长方体,如图1-2所示。直角坐标机器人结构简单、定位精度高、运动直观性强,但其动作范围较小,操作灵活性差。

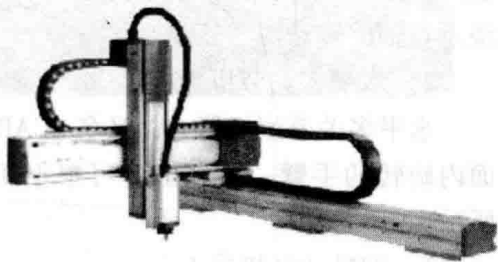


图1-2 直角坐标机器人

(2) 圆柱坐标机器人

圆柱坐标机器人底座上有一个水平转台，在转台上装有立柱和水平臂，水平臂能上下移动和前后伸缩，并能绕立柱旋转，因此，圆柱坐标机器人主要由旋转机座、垂直移动轴和水平移动轴构成，如图 1-3 所示。其特点是工作范围大、运动速度较高、刚性好，但缺点是在机器人的动作范围内，必须有沿轴线前后方向的移动空间，空间利用率较低。

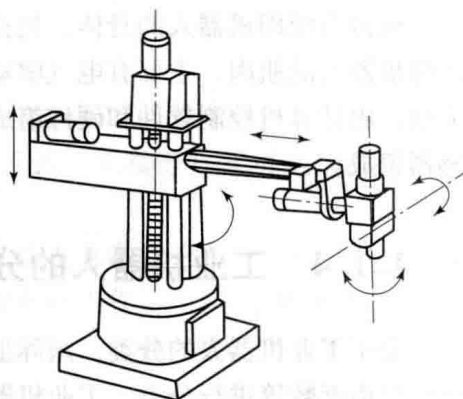


图 1-3 圆柱坐标机器人

(3) 极坐标机器人（球面坐标机器人）

极坐标机器人空间位置分别由旋转、摆动和平移 3 个自由度确定，如图 1-4 所示。工作臂不仅可绕垂直轴旋转，还可绕水平轴做俯仰运动，且能沿手臂轴线做伸缩运动。其特点是结构紧凑，所占空间体积小于直角坐标机器人和圆柱坐标机器人。

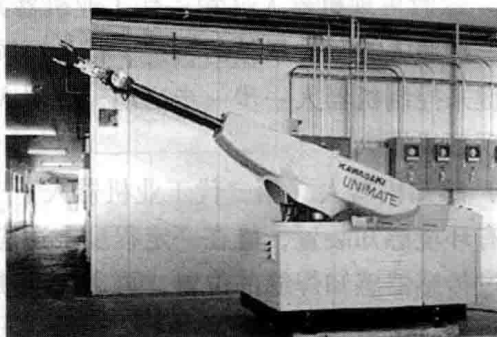
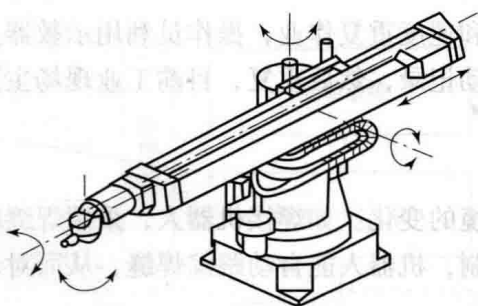


图 1-4 极坐标机器人

(4) 关节型机器人

关节型机器人由多个旋转和摆动机构组合而成。这类机器人结构紧凑、工作空间大，最接近于人的手臂关节动作，对涂装、装配、焊接、搬运等多种作业都具有良好的适应性。关节型机器人有垂直方向关节机器人和水平方向关节机器人两种，因此，这类机器人又可分为垂直多关节型机器人和水平多关节型机器人。

1) 垂直多关节机器人

常见的垂直多关节机器人有四关节型（又称为四轴机器人，如图 1-5 所示）和六关节型（又称为六轴机器人，如图 1-6 所示）。该机器人模拟人类的手臂功能，由多个关节连接的机座、大臂、小臂和手腕等构成。大、小臂既可在垂直于机座的平面内运动，也可实现绕垂直轴的转动。

2) 水平多关节机器人

水平多关节型机器人，又名 SCARA 机器人，在结构上具有串联配置的两个能够在水平面内旋转的手臂，其自由度可根据用途选择 2~4 个，动作空间为一圆柱体，如图 1-7 所示。

3) 四轴并联机器人

四轴并联机器人又名蜘蛛手机器人、DELTA 机器人，四个关节呈并联结构，运行速度快，用于食品、药品分拣等应用领域，如图 1-8 所示。

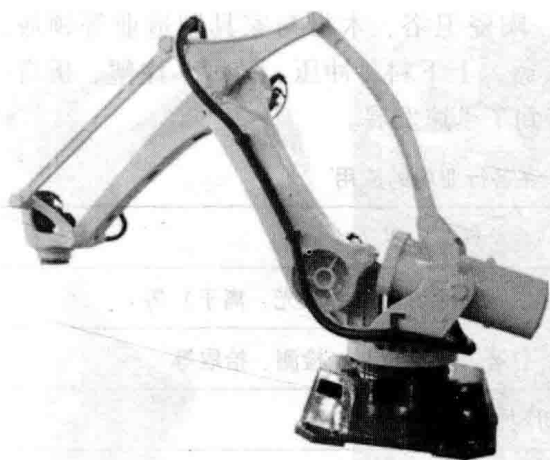


图 1-5 四轴垂直多关节机器人



图 1-6 六轴垂直多关节机器人

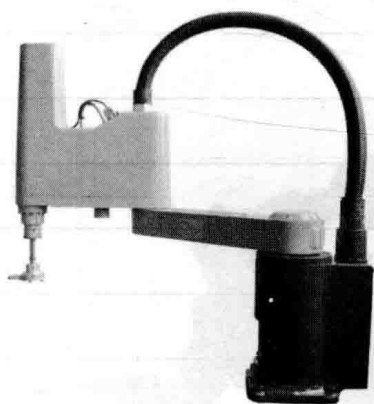


图 1-7 四轴水平多关节机器人

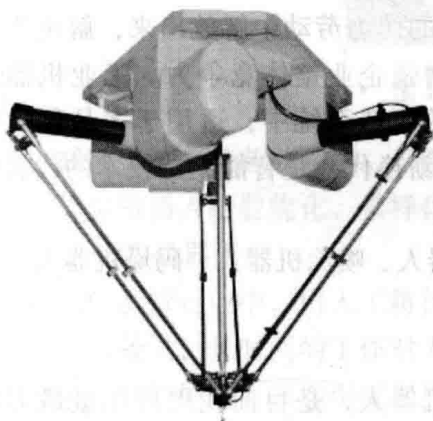


图 1-8 四轴并联机器人

3. 按机器人应用分类

“中国制造 2025” 战略规划提出，使制造业向数字化、网络化、智能化方向发展，工业机器人作为智能制造领域的重要载体，已广泛应用于汽车及其零部件制造业、机械加工行



业、3C 行业、橡胶及塑料工业、食品、医药、陶瓷卫浴、木材与家具制造业等领域，见表 1-1。机器人产品也已涉及焊接、装配、搬运、上下料、冲压、铸锻、注塑、折弯、码垛、喷涂等应用。短短 40 年内，机器人技术得到了迅速发展。

表 1-1 工业机器人在各行业中的应用

行业	具体应用
汽车及其零部件	弧焊、点焊、搬运、装配、冲压、喷涂、切割（激光、离子）等
电子电气	搬运、洁净装配、自动传输、打磨、真空封装、检测、拾取等
化工纺织	搬运、包装、码垛、称重、切割、检测、上下料等
机械加工	工件搬运、装配、检测、焊接、铸件去毛刺、研磨、切割（激光、离子）、包装、码垛、自动传送等
电力核电	布线、高压检测、核反应堆检修、拆卸等
食品饮料	包装、搬运、真空包装等
橡胶塑料	上下料、去毛边等
冶金钢铁	搬运、码垛、铸件去毛刺、浇口切割等
家电家具	装配、搬运、打磨、抛光、喷漆、玻璃制品切割、雕刻等
海洋勘探	海水勘探、海底维修等
航空航天	空间站检测、飞行器修复、资料收集等
军事	防爆、排雷、兵器搬运、放射性检测等

工业机器人的使用不仅能将工人从繁重或有害环境的体力劳动中解放出来，解决当前劳动力短缺问题，而且能提高生产效率和产品质量，增强企业整体竞争力。工业机器人作为可编程的高度柔性、开放的加工单元集成到先进的制造系统中，适用于多品种大批量的柔性生产，在提高生产效率的同时，加快产品的更新换代，是智能制造技术的代表性设备。

在工业生产中，弧焊机器人、点焊机器人、装配机器人、喷涂机器人、码垛机器人、搬运机器人等工业机器人应用较为广泛。

（1）焊接机器人

焊接机器人是从事焊接作业（包括切割）的工业机器人，是目前我国应用量最多的工业机器人，主要有弧焊（图 1-9）和点焊（图 1-10）两种。机器人最后一个轴的机械接口，通常是一个连接法兰，在法兰上装接焊钳或焊（割）枪，使之能进行焊接或切割。

焊接机器人应用领域较广，如汽车制造、电力建设、工程机械等，目前，焊接机器人主要集中在汽车及零部件等典型行业中。未来船舶等行业及特种焊接应用，对焊接机器人具有较大需求，这是因为其能够在恶劣的环境下连续工作并能提供稳定的焊接质量，提高了生产

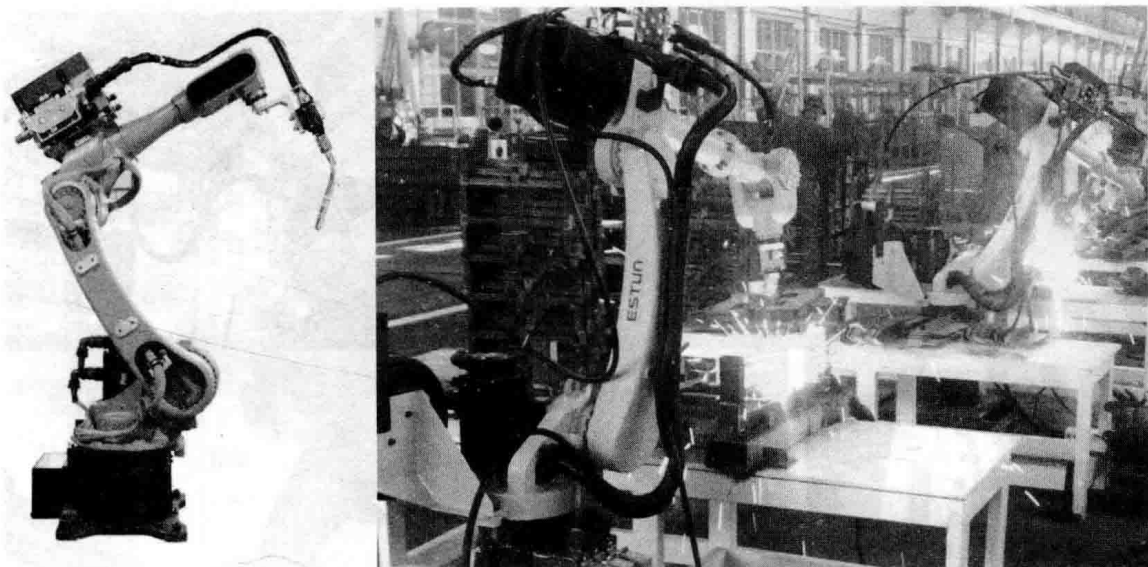


图 1-9 弧焊机器人及其应用

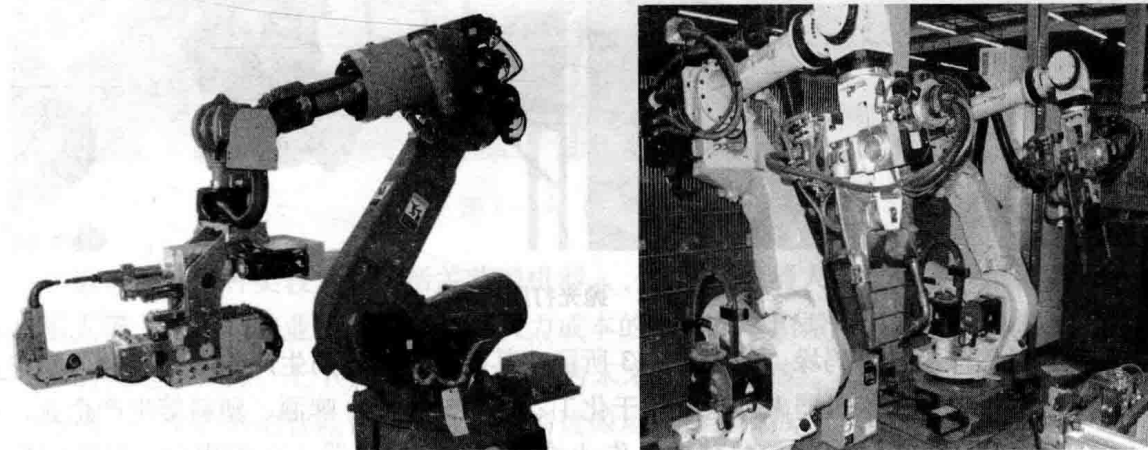


图 1-10 点焊机器人及其应用

效率，减轻了工人的劳动强度。但在焊接工艺、智能传感技术和焊接控制技术等方面仍存在挑战，焊接机器人的智能化、多样化是未来的发展方向。

(2) 折弯机器人

传统的折弯行业中，由人工将待折弯件放入折弯机中进行折弯加工，但折弯件一般面积较大、质量较大，长时间的工作对人体损伤比较明显。折弯机器人代替人工，配合折弯机实现折弯工艺的协同作业，在保证工作精度的同时，能够很好地提高产品质量，减小废品率。其应用如图 1-11 所示。

(3) 抛光打磨机器人

主要应用于卫浴行业，对卫浴产品进行抛光、打磨等操作。用机器人代替人力，解决了环境污染对人体损伤的危害，以及易爆的环境可能造成伤亡的影响，如图 1-12 所示。

(4) 码垛机器人

码垛机器人可满足中低量的生产需要，也可按照要求的编组方式和层数，完成对袋式物

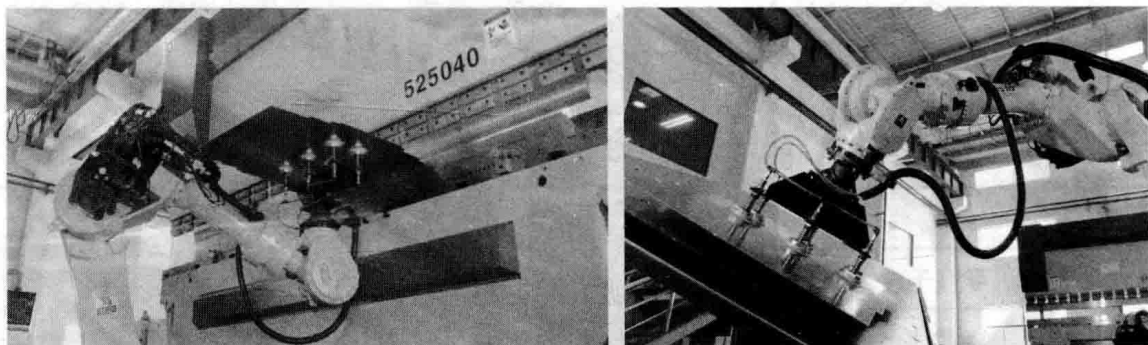


图 1-11 折弯机器人

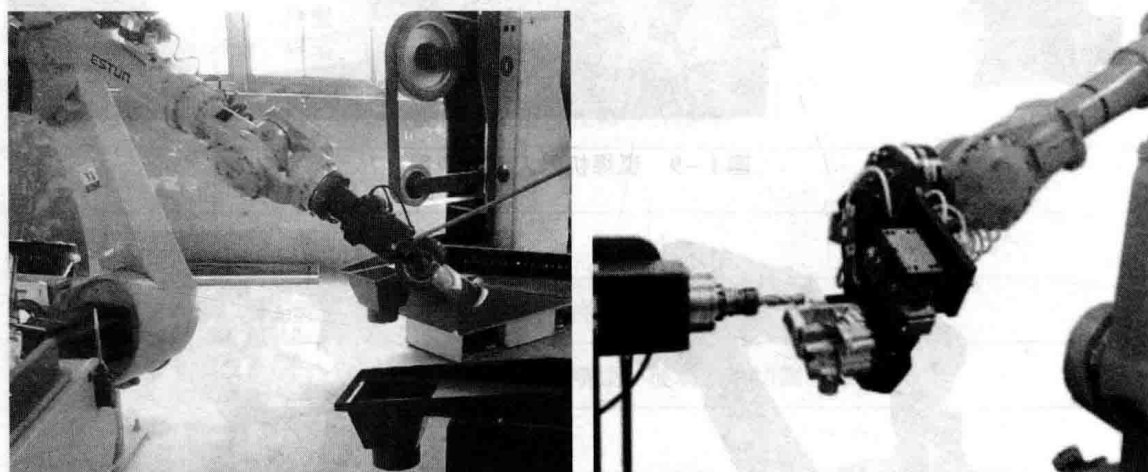


图 1-12 抛光打磨机器人

料、箱式物料等产品进行码垛，如图 1-13 所示。其能较好地提高生产效率和产量，减少人工搬运造成的错误。码垛机器人广泛应用于化工、饮料、食品、啤酒、塑料等生产企业，对纸箱、袋装、罐装等各种形状的包装成品作业均适应。码垛机器人在编程中，只需定位两点，即设置抓取点和摆放点位置即可。

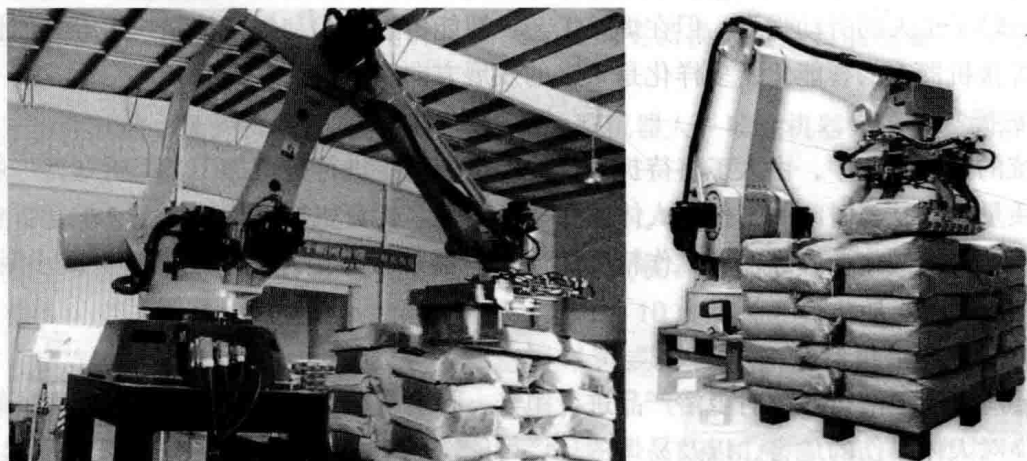


图 1-13 码垛机器人

(5) 搬运机器人

搬运是指将工件从一个加工位置移到另一个加工位置的作业过程。搬运机器人是可以进行自动化搬运作业的工业机器人，是目前我国应用量位列第二的工业机器人，如图1-14所示。最早的搬运机器人出现在1960年的美国，Versatran和Unimate两种机器人首次用于搬运作业。搬运机器人可安装不同的末端执行器，以完成各种不同形状和状态的工件搬运工作，大大减轻了人类繁重的体力劳动。世界上使用的搬运机器人被广泛应用于机床上下料、冲压机自动化生产线、自动装配流水线、码垛搬运、集装箱等的自动搬运。

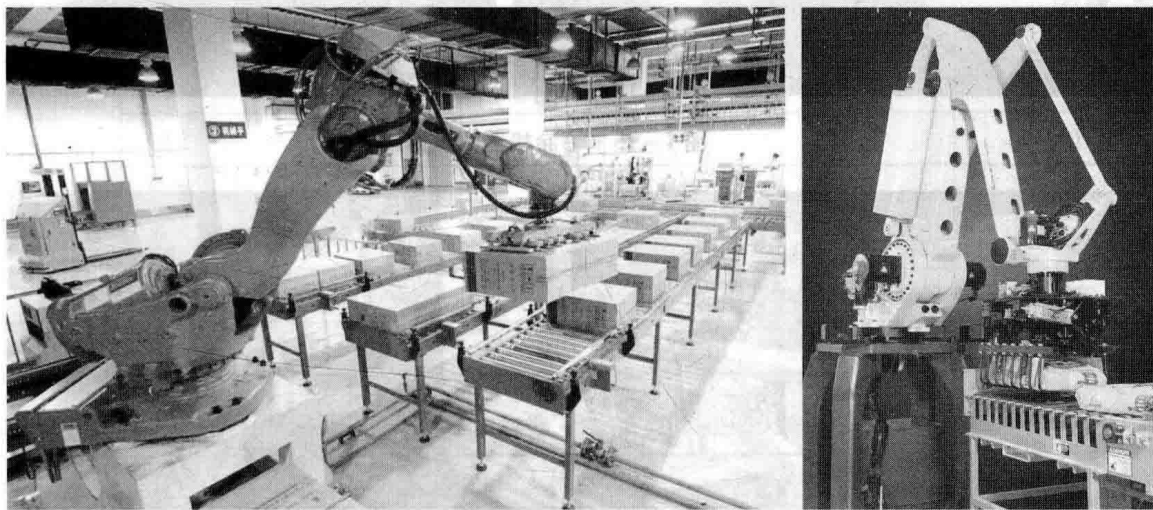


图1-14 搬运机器人

搬运机器人的种类较多，包括关节型机器人、并联型机器人、直角坐标型机器人、圆柱型机器人等。随着制造业模式的改变及人力成本的上升，采用搬运机器人代替人工实现物料和工件的搬运、分拣、上下料等作业，将成为未来发展的趋势。目前，对于复杂、不规则、不同规格、杂乱物料的智能化、柔性化及高速搬运仍存在挑战。

(6) 喷涂机器人

喷涂是一个较为典型的表面处理过程，喷涂工艺的精度和效率是生产中的重要制约因素，涂层的均匀性是评价产品质量好坏的一个重要标准。喷涂机器人又叫喷漆机器人(spray painting robot)，是可进行自动喷漆或喷釉的工业机器人，多采用5或6自由度关节式结构，手臂有较大的运动空间，并可做复杂的轨迹运动，其腕部一般有2~3个自由度，可灵活运动，如图1-15所示。

较先进的喷漆机器人腕部采用柔性手腕，既可向各个方向弯曲，又可转动，其动作类似于人的手腕，能方便地通过较小的孔伸入工件内部，喷涂其内表面。喷漆机器人一般采用液压驱动，具有动作速度快、防爆性能好等特点，可通过手把手示教或点位示数来实现示教。随着航天航空、造船、汽车、家居和模具工业的飞速发展，生产中对于工件表面处理技术要求越来越高，采用喷涂机器人实现高质量的喷涂及绿色喷涂，是未来发展的方向。

(7) 上下料机器人

上下料机器人主要用于配合数控加工机床，代替人工对待加工物料完成上料和已加工物料完成下料的过程，从而实现“无人化”的智能生产，如图1-16所示。