

辽宁省“双高建设”立体化教材

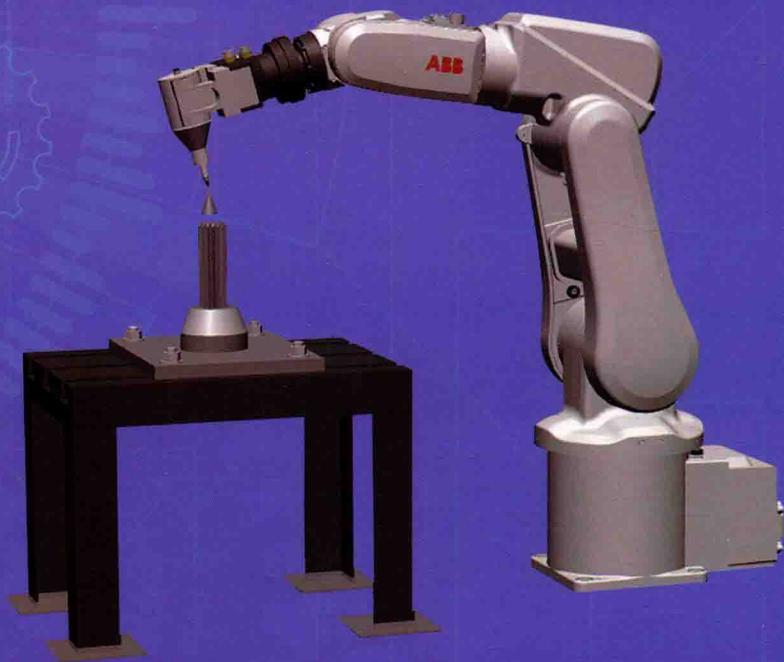
全国船舶工业职业教育教学指导委员会特色教材

工业机器人操作与编程

GONGYE JIQIREN
CAOZUO YU BIANCHENG

主 编◎李 琦

主 审◎邓三鹏



辽宁省“双高建设”立体化教材
全国船舶工业职业教育教学指导委员会特色教材

工业机器人操作与编程

主 编 李 琦
副 编 刘 凯
主 审 邓 鹏

内 容 简 介

本书以 ABB IRB120 型六自由度工业机器人为载体,分五个项目详细讲解工业机器人的技术基础、基本操作、I/O 通信设置、编程基础、示教编程应用与调试等内容。通过学习基本操作与编程实际应用,引导学生掌握相关知识与技能。

本书采用“纸质教材与数字化资源相结合”的形式,实现了信息化教学与传统教学的完美融合,将主要知识点录制成数字资源,编写成素材丰富的信息化立体教材。学习者可通过扫码观看、学习相关知识点,突破了传统教学的时空限制,激发学习者自主学习的热情,从而打造高效的混合式课堂。

本书适合作为中、高职院校的工业机器人技术、机电一体化技术等相关专业的教材或者企业培训用书,还可供从事机器人操作的企业人员,特别是刚接触工业机器人行业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人操作与编程/李琦主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2019.7
ISBN 978-7-5661-2242-1

I. ①工… II. ①李… III. ①工业机器人-操作-教材②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(2019)第 107389 号

选题策划 史大伟 薛 力
责任编辑 雷 霞
封面设计 李海波

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区南通大街 145 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨圣铂印刷有限公司
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 11.75
字 数 307 千字
版 次 2019 年 7 月第 1 版
印 次 2019 年 7 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

工业机器人作为智能制的代表,有望成为全球新一轮生产技术革命浪潮中最澎湃的浪花,推动世界经济发展。从2014年开始,我国已经成为工业机器人应用增长速度最快的国家,在《中国制造2025》规划中,机器人是十大重点发展方向之一。随着职业教育工业机器人专业建设的不断深入,开发适合职业教育教学需求且具有产教融合特点的工业机器人专业教材成为专业建设和教学的一项重要工作。在此背景下,渤海船舶职业学院联合辽宁省内各相关高职院校,共同编写了以“工学结合,理实一体,信息化教学”为指导思想,采用任务驱动教学法的工业机器人专业核心课程教材。

本书以ABB IRB120型6自由度工业机器人综合实训台为载体,主要介绍工业机器人的操作与现场编程方法,分5个项目、14个任务详细讲解工业机器人的技术基础、基本操作、I/O通信设置、编程基础、示教编程应用与调试等内容。通过学习工业机器人基本操作与编程实际应用,引导学生掌握相关知识与技能。每个教学项目下设多个工作任务,每个工作任务由任务目标、任务引入、背景知识、任务实施、任务考核5个部分组成,并配有课后习题。每个教学项目结束后,在知识拓展中介绍工业机器人相关应用及行业前沿信息。学生通过学习本书,可以掌握ABB工业机器人操作与编程基本方法,并达到工业机器人操作调整工职业资格标准。

本书由渤海船舶职业学院李琦任主编,刘凯任副主编,王焜、杨梓嘉、杜冰等参与编写;天津职业技术师范大学邓三鹏教授担任主审。其中李琦编写了项目2,4,5及负责全书的统稿工作;刘凯编写了项目3;王焜编写了项目1中的任务1;杨梓嘉编写了项目1中的任务2;杜冰编写了附录;辽宁装备制造职业技术学院任亚军、辽宁机电学院夏金伟和辽宁轻工职业技术学院高斌共同参与了教材的修改及视频录制工作。在教材编写及视频资源录制过程中,得到了大连大华中天科技有限公司的大力支持。

本书采用“纸质教材与数字化资源相结合”的形式,实现了信息化教学与传统教学的完美融合,将主要知识点录制成数字资源,编写成素材丰富的信息化立体教材。学习者可通过扫码的形式观看、学习相关知识点,突破了传统教学的时空限制,激发学习者自主学习的热情,从而打造高效的混合式教学课堂。

本书适合作为中、高职院校工业机器人技术、机电一体化技术等相关专业的教材或者企业培训用书,还可供从事机器人操作的企业人员,特别是刚接触工业机器人行业的工程技术人员参考。

目 录

项目 1 工业机器人技术基础	1
任务 1 认知工业机器人	1
任务 2 工业机器人系统组成	10
项目 2 工业机器人基本操作	17
任务 1 工业机器人操作基础	17
任务 2 手动操纵工业机器人	22
任务 3 工业机器人坐标系的设置	33
项目 3 工业机器人 I/O 通信设置	63
任务 1 配置工业机器人的标准 I/O 板	63
任务 2 系统输入输出与 I/O 信号的关联	98
项目 4 工业机器人编程基础	113
任务 1 认识 RAPID 编程语言与程序构架	113
任务 2 认知和使用程序数据	116
任务 3 运动指令的认知与应用	127
任务 4 常用 RAPID 指令的认知与使用	134
任务 5 I/O 控制指令的认知与使用	140
项目 5 工业机器人示教编程应用与调试	146
任务 1 数组的应用	146
任务 2 工业机器人高级示教编程与调试	150
参考文献	166
附录	167

项目 1 工业机器人技术基础

任务 1 认知工业机器人

【任务目标】

1. 熟知工业机器人的定义；
2. 掌握工业机器人的常见分类方法；
3. 了解工业机器人的发展现状和趋势；
4. 掌握各类工业机器人在行业中的应用情况。

【任务引入】

在了解工业机器人的现状和发展趋势,并掌握工业机器人定义和分类方法的基础上,通过现场教学,了解工业机器人及其相关应用。

【背景知识】

一、工业机器人概述

1. 什么是工业机器人

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置,它能自动执行工作,是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。工业机器人是在机械手的基础上发展起来的,国外称为 Industrial Robot,一般指用于机械制造业中代替人完成具有大批量、高质量要求的工作,如汽车、摩托车、舰船、家电(电视机、电冰箱、洗衣机等)、化工等行业自动化生产线中的点焊、弧焊、喷漆、切割、电子装配,以及物流系统的搬运、包装、码垛等作业的机器人。

工业机器人的出现将人类从繁重单一的劳动中解放出来,而且它还从事一些不适合人类,甚至超越人类极限的劳动,实现生产的自动化,避免工伤事故和提高生产效率。工业机器人能够极大地提高生产效率,已经广泛地应用于电力、新能源、汽车、食品、饮料、医药、铁路、航空航天等众多领域。

对工业机器人的定义有很多,不同国家和地区各有不同:

美国将工业机器人定义为:一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的,通过程序动作来执行各种任务的,并具有编程能力的多功能操作机。

日本将工业机器人定义为:一种带有存储器件和末端操作器的通用机械,它能够通过自动化的动作替代人类劳动。

中国将工业机器人定义为:一种自动化的机器,所不同的是这种机器具备一些与人或者生物相似的智能能力,如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力,是一种具有高度灵

活性的自动化机器。

国际标准化组织(International Organization Standardization, ISO)将工业机器人定义为:一种能自动控制,可重复编程,多功能,多自由度的操作机,能搬运材料、工件或操持工具来完成各种作业。

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启动化。工业机器人可随其工作环境变化的需要而再编程,因此它在小批量、多品种、具有均衡高效率的柔性制造过程中能发挥很好的作用,是柔性制造系统中的一个重要组成部分。

(2) 拟人化

工业机器人在机械结构上有类似人的腿、腰、大臂、小臂、手腕、手等部分,由电脑控制。此外,智能化工业机器人还有许多类似人类的“生物传感器”,如皮肤型接触传感器、力传感器、负载传感器、视觉传感器、声觉传感器等。传感器提高了工业机器人对周围环境的自适应能力。

(3) 通用性

除了专用的工业机器人外,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,更换工业机器人手部末端操作器(手爪、工具等)便可执行不同的作业任务。

(4) 涉及学科广泛

工业机器人技术涉及的学科相当广泛,归纳起来是机械学和微电子学的结合——机电一体化技术。第三代智能机器人不仅具有获取外部环境信息的各种传感器,还具有记忆能力、语言理解能力、图像识别能力、推理判断能力等人工智能。这些都与微电子技术的应用,特别是与计算机技术的应用密切相关。因此,工业机器人技术的发展必将带动其他技术的发展,其发展和应用水平也可以反映一个国家科学技术和工业技术的发展水平。

二、工业机器人的发展历程

1. 工业机器人的历史

机器人的启蒙思想其实很早就出现了,1920年捷克作家卡雷尔·恰佩克发表了剧本《罗萨姆的万能机器人》,剧中叙述了一个叫作罗萨姆的公司将机器人作为替代人类劳动的工业品推向市场的故事,引起了世人的广泛关注。

1954年,美国学者戴沃尔最早提出了工业机器人的概念,并申请了专利。该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节,利用人手对机器人进行动作示教,机器人能实现动作的记录和再现。这就是所谓的示教再现机器人,我们今天所用到的工业机器人大部分都采用了这种控制方式。

1959年,美国人英格伯格和德奥尔发现可以使用机器人代替工人做一些简单重复的劳动,而且不需要报酬和休息。于是他们两人合办了世界上第一家机器人制造工厂,并制造出了世界上第一台工业机器人 Unimate,如图 1.1 所示。它可实现回转、伸缩、俯仰等动作。

机器人产品最早的实用机型(示教再现)是 1962 年美国 AMF 公司推出的“VERSTRAN”和 UNIMATION 公司推出的实用机型(示教再现)“UNIMATE”。这些工业机器人的控制方式与数控机床大体相似,但是外形特征相差甚远,主要由类似人的手和臂组成。

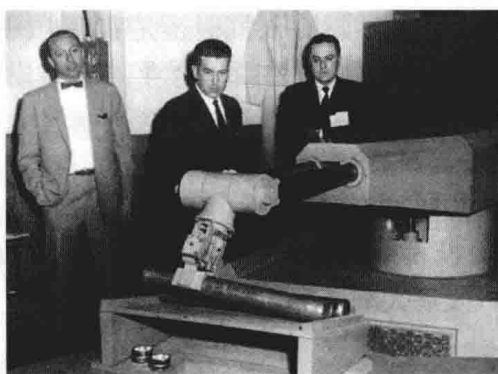


图 1.1 世界上第一台工业机器人 Unimate

1965年,麻省理工学院的罗伯茨演示了第一个具有视觉传感器,能识别与定位简单积木的机器人系统。1967年,日本川崎重工业公司首先从美国引进机器人技术,建立生产厂房,并于1968年试制出日本第一台 Unimate 机器人。经过短暂的摇篮阶段,日本的工业机器人很快进入实用阶段,其应用由汽车业逐步扩大到其他制造业及非制造业。1970年,在美国召开了第一届国际工业机器人学术会议。此后,机器人技术的研究得到迅速的发展。1973年,辛辛那提·米拉克隆公司的理查德·豪恩制造了第一台由小型计算机控制的工业机器人,它是由液压驱动的,能提升的有效负载可达45 kg。1980年被称为日本的“机器人普及元年”,日本开始在各个领域推广使用机器人,这大大缓解了市场劳动力严重短缺的社会矛盾,再加上日本政府采取的多方面鼓励政策,这些机器人受到了广大企业的欢迎。

世界上的机器人供应商分为日系和欧系两类。1980—1990年,日本的工业机器人处于鼎盛时期,后来国际市场曾一度转向欧洲和北美。瑞士的 ABB 公司是世界上最大的工业机器人制造公司之一。1974年,研发了世界上第一台全电控式工业机器人 IRB6,主要应用于工件的取放和物料搬运;1975年,生产出第一台焊接机器人;1980年,兼并 Trallfa 喷漆机器人公司后,其机器人产品趋于完备。ABB 公司制造的工业机器人广泛应用在焊接、装配、铸造、密封涂胶、材料处理、包装、喷漆、切割等领域。

德国的 KUKA Roboter GmbH 公司是世界上顶级工业机器人制造商之一。1973年, KUKA 研制开发了第一台工业机器人,年产量达到一万台。其所生产的机器人广泛应用在仪器、汽车、航天、食品、制药、医学、铸造、塑料等领域,主要用于材料处理、机床装备、包装、堆垛、焊接、表面修整等。

意大利的 COMAU 公司从1978年开始研制和生产工业机器人,至今已有40多年的历史。其机器人产品包括 Smart 系列多功能机器人和 MASK 系列龙门焊接机器人,广泛应用于汽车制造、铸造、家具、食品、化工、航天、印刷等领域。

2. 工业机器人的发展现状

目前,在普及了第一代工业机器人的基础上,第二代工业机器人经推广应用,已成为主流安装机型,第三代智能机器人也已占有一定比重并成为发展的方向。近年来,随着人力成本的高涨,自动化技术开始受到生产企业的重视,以机器人、虚拟制造、3D 打印等技术为代表的新一轮产业革命兴起。传统制造业面临新的挑战,转型升级将给中国自动化行业带来巨大的市场机遇,工业机器人作为自动化领域内高智能化的产品,具有很大的发展潜力和市场应用前景。

机器人是“工业 3.0”到来的指征之一,同时也是实现《中国制造 2025》规划的重要工具。智能装备制造业是重点发展的战略性新兴产业,实现《中国制造 2025》规划和“工业 3.0”也离不开智能装备制造业的支持。

3. 我国工业机器人的发展趋势

近年来,工业机器人发展迅速,特别是在中国市场上,制造业为改变落后的生产方式,解决用工荒难题,需要大力投入机器人等自动化设备。加上政策对于智能化产业大力扶持,中国各地兴起了机器人发展大潮。

(1) 政策影响趋势

为了优化机器人产业结构,促进产业实现升级,我国 2013—2016 年推出了一系列相关产业政策。例如,在 2013 年,工业和信息化部(简称工信部)发布《关于推进工业机器人发展的指导意见》;在 2015 年,国务院发布《中国制造 2025》;2016 年,工业和信息化部、国家发展和改革委员会、财政部发布《机器人产业发展规划(2016—2020)》。赛智产业研究院认为,政府的大力扶持和传统产业转型升级的拉动,不仅将促使工业机器人市场持续增长,也将带动专业型与个人、家庭型服务机器人市场快速增长,机器人概念将持续火爆,市场参与热度也会继续上升。

(2) 技术影响趋势

智能感知认知、多模态人机交互、云计算等智能化技术不断成熟,为智能机器人的演进提供了坚实的发展基础。我国在人工智能技术方面与全球基本处于同一起跑线,特别是在图像识别、语音识别、语义识别等多模态人机交互技术领域,部分已接近和达到全球领先水平。未来,要加快推进核心技术的自主研发,重点突破产业链中上游的核心零部件关键技术,提升机器人产业技术水平和自主创新能力。围绕市场需求,加强新技术的跟踪与整合,开展机器人系统的可靠性设计和制造工艺研究,进一步加速高精度减速机、控制器、伺服电机等关键零部件的国产化率和研发创新的产业化进程,提高机器人高端产品的质量可靠性,提升自主品牌核心竞争力。建立健全机器人创新平台,打造政、产、学、研、用紧密结合的协同创新载体,积极跟踪机器人未来发展趋势,提早布局仿生技术、智能材料、机器人深度学习、多机协同等前瞻性技术研究。

(3) 人才影响趋势

以智能制造为技术背景的时代已经提前到来,在互联网平台、人工智能技术逐渐普及的大数据条件下,机器人的智能化程度越来越高,这不仅提升了我国劳动力技能,而且开辟了新的工作岗位,机器人工程师迅速成为行业抢手货,转而成为“智造人才”。未来,培养从研发、生产、维护到系统集成的多层次、多类型技能人才将会是提升企业核心竞争力的关键所在。

(4) 资本影响趋势

技术和资本是产业发展的两大原始驱动力,任何一轮技术创新,都必然要有资本市场的坚强支撑,而资本市场的长期收益,也往往来自对技术创新点的把握和培育。目前全球机器人行业都处于资本风口,我国机器人产业资本市场亦非常活跃。机器人行业资本杠杆的使用打破此线性、单向传导模式,使产业发展形成结构化、多层次发展模式,将会推动机器人产业进入资本联动、跨越增长的新时代。

三、工业机器人的分类及应用

1. 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,有的按负载质量分,有的按控制



方式分,有的按自由度分,有的按结构分,有的按应用领域分。例如,机器人首先在制造业大规模应用,所以机器人曾被简单地分为两类,即用于汽车、机床等制造业的机器人称为工业机器人,其他的机器人称为特种机器人。随着机器人应用的日益广泛,这种分类显得过于粗糙。现在除了工业领域之外,机器人技术已经广泛地应用于农业、建筑、医疗、服务、娱乐,以及空间和水下探索等多个领域。依据具体应用领域的不同,工业机器人又可分为物流、码垛、服务等搬运型机器人和焊接、车铣、修磨、注塑等加工型机器人等。可见,机器人的分类方法和标准很多。

(1) 按机器人的技术发展水平划分

根据机器人的技术发展水平,可以将工业机器人分为三代:

①示教再现机器人 第一代工业机器人是示教再现型,如图 1.2 所示。这类机器人能够按照人预先示教的轨迹、行为、顺序和速度重复作业。示教可以由操作人员手把手地进行,比如操作人员握住机器人上的喷枪,沿喷漆路线示范一遍,机械人记住一连串运动,工作时,自动重复这些运动,从而完成给定位置的涂装工作。这种方式即所谓的“直接示教”。但是,比较普遍的方式是通过示教器示教。操作人员利用示教器上的开关或按键来控制机器人一步一步地运动,机器人自动记录,然后重复。目前在工业现场应用的机器人大多数属于第一代。



(a)



(b)

图 1.2 示教再现机器人

(a) 手把手示教;(b) 示教器示教

②感知机器人 第二代工业机器人具有环境感知装置,如图 1.3 所示为配备视觉系统的工业机器人。它能在一定程度上适应环境的变化,目前已进入应用阶段。以焊接机器人为例,机器人焊接的过程一般是通过示教方式给出机器人的运动曲线,机器人携带焊枪沿着该曲线进行焊接。这就要求工件的一次性要好,即工件被焊接位置必须十分精确。否则,机器人携带焊枪所走的曲线和工件的实际焊缝位置会有偏差。为解决这个问题,第二代工业机器人(应用于焊接作业时)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,机器人就能够自动跟踪焊缝,从而对示教的位置进行修正,即使实际焊缝相对于原始设定的位置有变化,机器人仍然可以很好

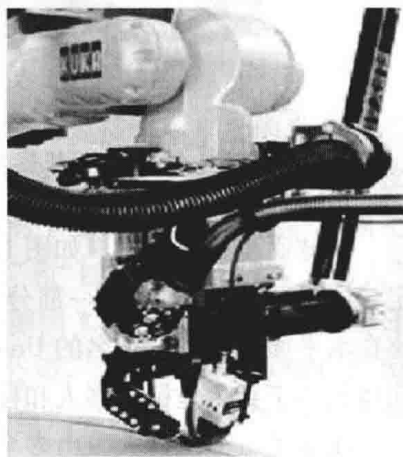


图 1.3 配备视觉系统的工业机器人

地完成焊接工作。类似的技术正越来越多地应用于工业机器人。

③智能机器人 第三代工业机器人称为智能机器人,其中,发现问题并且自主解决问题的能力尚处于试验研究阶段。作为发展目标,这类机器人具有多种传感器,不仅可以感知自身的状态,比如所处的位置、自身的故障情况等,而且还能够感知外部环境的状态,比如自动发现路况,撤出协作机器的相对位置、相互作用的力等。更为重要的是,第三代工业机器人能够根据获得的信息,进行逻辑推理、判断决策,在变化的内部状态的外部环境中,自主决定自身的行为。这类机器人具有高度的适应性和自制能力。尽管经过多年的不懈研究,人们研制了很多各具特点的试验装置,提出了大量新思想、新方向,但是现在工业机器人的自适应技术还十分有限。

(2)按机器人的机构特征划分

工业机器人的机械配置形式多种多样,典型机器人的机构运动特征是用其坐标特性来描述的。按基本动作机构,工业机器人通常可分为直角坐标机器人、柱面坐标机器人、球面坐标机器人和多关节型机器人等类型。

①直角坐标机器人 如图 1.4 所示,直角坐标机器人具有空间上相互垂直的多个直线移动轴(通常 3 个),通过直角坐标方向的 3 个独立自由度确定其手部的空间位置,其动作空间为一长方体。直角坐标机器人结构简单,定位精度高,空间轨迹易于求解;但其动作范围相对较小。设备的空间因数较低,实现相同的动作空间要求时,机体本身的体积较大。

②柱面坐标机器人 如图 1.5 所示,柱面坐标机器人的空间位置机构主要由旋转基座、垂直移动轴和水平移动轴构成,具有一个回转和两个平移自由度,其动作空间呈圆柱体。这种机器人结构简单、刚性好,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。著名的 Versatran 机器人就是典型的柱面坐标机器人。

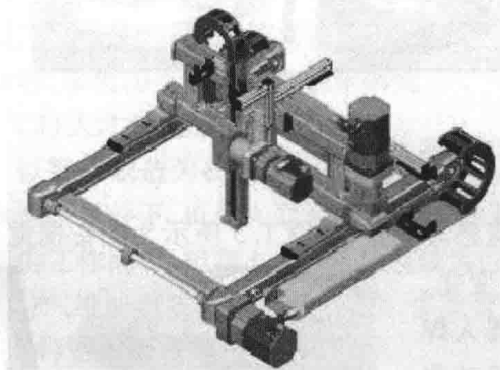


图 1.4 直角坐标机器人

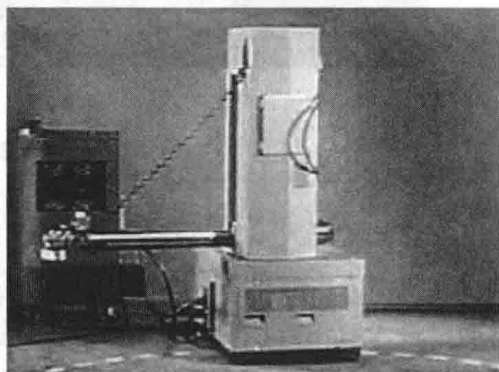


图 1.5 柱面坐标机器人

③球面坐标机器人 如图 1.6 所示,其空间位置分别由旋转、摆动和平移 3 个自由度确定,动作空间形成球面的一部分。其机械手能够前后伸缩移动、在垂直平面上移动及绕底座在水平面上转动。著名的 Unimate 机器人就属于这种类型。其特点是结构紧凑,所占空间体积小于直角坐标机器人和柱面坐标机器人,但仍大于多关节型机器人。

④多关节型机器人 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、动作最接近人的动作,对涂装、装配、焊接等多种作业都有良好的适应性,应用范围越



来越广。不少著名的机器人都采用了这种形式,其摆动方向主要有铅锤方向和水平方向两种,因此这类机器人又可分为垂直多关节机器人和水平多关节机器人。美国 Unimation 公司在 20 世纪 70 年代末推出的机器人 PUMA 就是垂直多关节机器人,而日本三梨大学研制的机器人 SCARA 则是典型的水平多关节机器人。目前世界工业界装机最多的工业机器人是 SCARA 型四轴机器人和串联关节型垂直六轴机器人。

如图 1.7 所示,多关节机器人模拟了人类的手臂,由垂直于地面的腰部旋转轴(相当于大臂旋转的肩部旋转轴)、带动小臂旋转的肘部旋转轴和小臂前端的手腕等构成。手腕通常由 2~3 个自由度构成。其动作空间近似一个球体,所以也称为多关节球面机器人。其优点是可以自由地实现三维空间的各种姿势,可以生成各种复杂形状的轨迹。相对于机器人的安装面积,其动作范围很宽,缺点是结构刚度较低,动作的绝对位置精度较低。

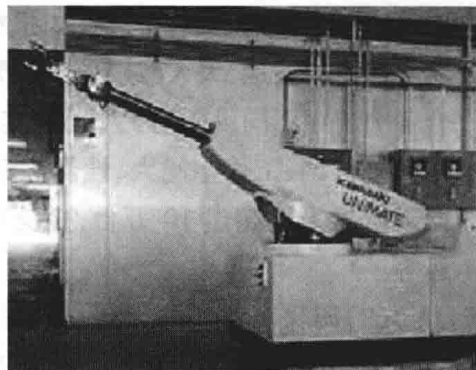
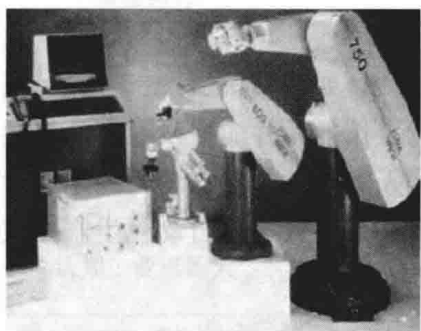
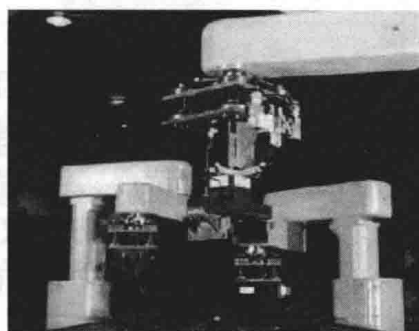


图 1.6 球面坐标机器人

水平多关节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,其自由度可以根据用途选择 2~4 个,动作空间为一圆柱体。水平多关节机器人的优点是在垂直方向上的刚性好,能方便地实现二维平面上的动作,普遍应用于装配作业中。



(a)



(b)

图 1.7 多关节机器人

(a)垂直多关节机器人;(b)水平多关节机器人

3. 工业机器人的应用

自 1969 年,美国通用汽车公司用 21 台工业机器人组成了焊接轿车车身的自动生产线后,各发达国家都非常重视研制和应用工业机器人,进而也相继形成了一批在国际上较有影响力的、著名的工业机器人公司。这些公司目前在中国的工业机器人市场也处于领先地位,主要分为日系和欧系两类。具体来说,又可分成“四大”和“四小”两个阵营。“四大”即为瑞士 ABB 公司、日本 FANUC 公司及 YASKAWA 公司、德国 KUKA 公司;“四小”为日本 OTC 公司、PANASONIC 公司、NACHI 公司及 KAWASAKI 公司。其中,日本 FANUC 公司与 YASKAWA 公司、瑞士 ABB 公司三家企业在全世界机器人销量均突破 20 万台,KUKA 机器人的销量也突破了 15 万台。国内的工业机器人厂商中,既有像沈阳新松自动化股份有限公司

这样的国内机器人技术的引领者,也有像南京埃斯顿自动化股份有限公司和广州数控设备有限公司这些伺服、数控系统厂商。当今世界近 50% 的工业机器人集中使用在汽车领域,主要进行搬运、码垛、焊接、涂装和装配等复杂作业。

(1) 搬运

搬运作业是指用一种设备握持工件,从一个加工位置移到另一个加工位置。搬运机器人可安装不同的末端执行器(如机械手爪、真空吸盘、电磁吸盘等)以完成各种不同形状和状态的工件搬运,大大减轻了人类繁重的体力劳动。通过编程控制,可以让多台机器人配合各个工序不同设备的工作时间实现流水线作业的最优化。搬运机器人具有定位准确、工作节拍可调、工作空间大、性能优良、运行平稳可靠、维修方便等特点。目前世界上使用的搬运机器人已超过 10 万台,广泛应用于机床上下料、自动装配流水线、集装箱的自动搬运等。

(2) 码垛

机器人码垛是机电一体化高新技术产品,它可以满足中低产量的生产需要,也可按照要求的编组方式和层数,完成对料袋、胶块、箱体等各种产品的码垛。机器人替代人工搬运、码垛,生产上能迅速提高企业的生产效率和产量,同时能减少人工搬运造成的错误。机器人码垛可全天候作业,由此每年能节约大量的人力资源成本,达到减员增效。码垛机器人广泛应用于化工、食品、啤酒、塑料等生产企业,对纸箱、袋装、罐装、瓶装啤酒箱等各种形状的包装成品都适用。

(3) 焊接

焊接是目前应用最广的工业机器人应用领域(如工程机械、汽车制造、电力建设、钢结构等)。焊接机器人能够在恶劣的环境下连续工作数月并能提供稳定的焊接质量,提高了工作效率,减轻了工人的劳动强度。采用机器人焊接是焊接自动化的革命性进步,它突破了焊接刚性自动化(焊接专机)的传统方式,开拓了一种柔性自动化生产方式,实现了在一条焊接机器人生产线上同时自动生产若干种焊件。

(4) 涂装

机器人涂装工作站或生产线充分利用了机器人灵活、稳定、高效的特点,适用于生产量大、产品型号多、表面形状不规则的工件外表面涂装,广泛应用于汽车、汽车零配件(如发动机、保险杠、变速箱、弹簧、板簧、塑料件等)、铁路(如客车、机车、油罐车等)、家电(如电视机、电冰箱、洗衣机、电脑、手机等外壳)、建材(陶瓷)、机械(如电动机减速器)等行业。

(5) 装配

装配机器人是柔性自动化系统的核心设备,末端执行器为适应不同的装配对象而设计成各种“手爪”,传感系统用于获取装配机器人与环境和装配对象之间相互作用的信息。与一般工业机器人相比,装配机器人具有精度高、柔顺性好、工作范围小、能与其他系统配套使用等特点,主要应用于各种电器的制造及流水线产品的组装作业,具有高效、精确、可不间断工作的特点。

综上所述,在工业生产中应用机器人,可以方便迅速地改变作业内容或方式,以满足生产要求的变化,比如,改变焊缝轨迹、改变涂装位置、变更装配部件或位置等。随着对工业



生产线柔性的要求越来越高,对各种机器人的需求也会越来越强烈。

【任务实施】

一、任务实施目的

1. 掌握工业机器人的基本概念;
2. 了解工业机器人的发展历程及趋势;
3. 掌握工业机器人的分类方法;
4. 熟知工业机器人的应用;
5. 了解实训中心管理制度;
6. 深入强化 6S 管理素养。

二、设备和工具

各类型工业机器人。

三、任务实施内容

参观工业机器人实训中心。

【任务考核】

考核项目	考核内容	要求及评分标准	配分	成绩
理论知识	工业机器人基本概念	什么是工业机器人?	10	
		工业机器人有哪些特点?	10	
	工业机器人分类及应用	工业机器人操作系统如何备份与恢复?	10	
		工业机器人系统时间如何设定?	10	
实际操作评定	认知工业机器人	认知实训中心内各类型工业机器人	40	
文明生产	安全操作	符合安全操作规程	5	
	6S 标准执行	工作过程符合 6S 标准,及时清理维护设备	5	
	团队合作	具备小组间沟通、协作能力	10	
合计			100	
开始时间:			结束时间:	

【习题思考】

1. 什么是工业机器人?
2. 工业机器人有哪些特点?
3. 工业机器人操作系统如何备份与恢复?
4. 工业机器人系统时间如何设定?

任务2 工业机器人系统组成

【任务目标】

1. 熟知工业机器人系统的组成；
2. 熟知工业机器人的技术指标及选型标准；
3. 掌握工业机器人的运动控制方式；
4. 能完成工业机器人的开关机等简单操作。

【任务引入】

在熟知工业机器人系统组成及相关技术指标的基础上,掌握工业机器人的运动控制方式、点位运动和连续运动的特点和操作方法;能熟练完成工业机器人的开关机操作。

【背景知识】

一、工业机器人的基本组成

工业机器人的系统由三大部分六个子系统组成。三大部分为控制部分、机械部分和传感器检测部分。六大子系统为人机交互系统、控制系统、驱动系统、机械结构系统、感受系统,以及机器人-环境交互系统。

工业机器人是一种具有手臂、手腕和手功能的机电一体化装置,可对物体运动的位置、速度和加速度进行精确控制,从而完成某一工业生产的作业要求。如图1.8所示,当前工业中应用最多的第一代工业机器人主要由以下几部分组成:操作机、控制器和示教器。对于第二代及第三代工业机器人还包括感知系统和分析决策系统,它们分别由传感器及软件实现。

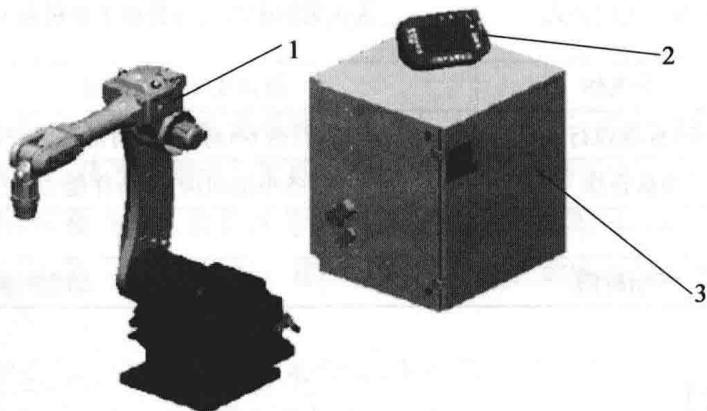


图 1.8 机器人系统组成

1—操作机;2—示教器;3—控制器

二、工业机器人的技术指标

工业机器人的技术指标反映了机器人的使用范围和工作性能,是选择、使用机器人必



须考虑的问题。尽管各机器人厂商所提供的技术指标不完全一样,机器人的结构、用途及用户的要求也不尽相同,但其主要技术指标都包括自由度、工作精度、工作空间、最大工作速度和额定负载等。

1. 自由度

自由度是物体能够对坐标系进行独立运动的数目,末端执行器的动作不包括在内,它通常作为机器人的技术指标,反映机器人动作的灵活性,可用轴的直线移动、摆动或旋转动作的数目来表示。采用空间开链连杆机构的机器人,因每个关节运动副仅有1个自由度,所以机器人的自由度就等于它的关节数。由于具有6个旋转关节的铰接开链式机器人从运动学上已被证明能以最小的结构尺寸获取最大的工作空间,并且能以较高的位置精度和最优的路径到达指定位置,因而关节机器人在工业领域得到了广泛应用。目前,焊接和涂装作业机器人多为6或7自由度,而搬运、码垛和装配机器人多为4~6自由度。

2. 工作精度

机器人的工作精度指的是定位精度和重复定位精度。定位精度(也称绝对精度)是指机器人末端执行器实际到达位置与目标位置间的差异。重复定位精度(简称重复精度)是指机器人重复定位其末端执行器于同一目标位置的能力。工业机器人具有绝对精度低,重复精度高的特点。一般而言,工业机器人的绝对精度要比重复精度低一到两个数量级,造成这种情况的主要原因是机器人控制系统根据机器人的运动学模型来确定机器人末端执行器的位置,然而,这个理论上的模型和实际机器人的物理模型存在一定的误差,产生误差的原因主要是由于机器人本身的制造误差、工件加工误差、机器人与工件的定位误差等。目前,工业机器人的重复精度可达 $\pm 0.01 \sim \pm 0.5 \text{ mm}$ 。根据作业任务和末端持重的不同,对机器人重复精度的要求也有所不同。

3. 工作空间

工作空间也称工作范围、工作行程,它是工业机器人在执行任务时,其手腕参考点所能掠过的空间。由于工作范围的形状和大小反映了机器人工作能力的大小,因而它对于机器人的应用十分重要。工作范围不仅与机器人各连杆的尺寸有关,还与机器人的总体结构有关。为了能够真实反映机器人的特征参数,厂家所给出的工作范围一般指不安装末端执行器时可以到达的区域。应特别注意的是,在装上末端执行器后,需要同时保证工具姿态,实际的可达空间会比厂家给出的要小,需要认真地用比例作图法或模型法核算一下,以判断是否满足实际需要。目前,单体工业机器人本体的工作半径可达3.5 m左右。

4. 最大工作速度

最大工作速度是在各轴联动的情况下,机器人手腕中心所能达到的最大线速度。这是影响生产效率的重要指标。生产厂家一般都会在技术参数中对最大工作速度加以说明。最大工作速度越高,生产效率也就越高。然而,工作速度越高对机器人最大加速度的要求也就越高。

5. 额定负载

额定负载也称持重,是指在正常操作条件下,作用于机器人手腕末端,且不会使机器人性能降低的最大载荷。目前使用的工业机器人负载范围从0.5~800 kg不等。

除上述5项技术指标外,还应注意机器人控制方式、驱动方式、安装方式、存储容量、插补功能、语言转换、自诊断及自保护、安全保障功能等。

三、工业机器人的运动控制方式

工业机器人的运动控制方式主要有 4 种:点位控制方式(PTP)、连续轨迹控制方式(CP)、力(力矩)控制方式、智能控制方式。

1. 点位控制方式(point to point, PTP)

点位运动只关心机器人末端执行器运动的起点和目标位姿,而不关心两点之间的运动轨迹。点位运动比较简单,比较容易实现。如图 1.9 所示,工业机器人末端执行器由 A 点 PTP 运动到 B 点,那么机器人可沿①~③中的任一路径运动。

这种控制方式的特点是控制工业机器人末端执行器在作业空间中某些规定的离散点上的位姿。控制时只要求工业机器人快速、准确地实现相邻各点之间的运动。由于其控制方式易于实现、定位精度要求不高,因而常被应用在上下料、搬运、点焊和在电路板上安插元器件等只要求目标点处保持末端执行器位姿准确的作业中。这种方式比较简单,但是要达到 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 的定位精度是相当困难的。

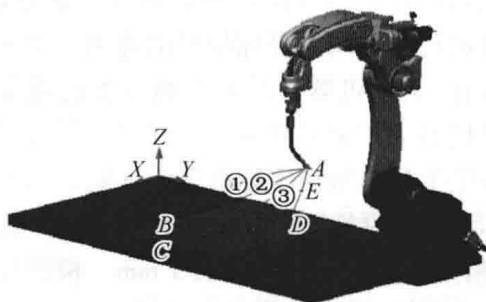


图 1.9 工业机器人 PTP 运动和 CP 运动

2. 连续轨迹控制方式(continuous path, CP)

连续轨迹运动不仅关心机器人末端执行器达到目标点的精度,而且必须保证机器人能沿所期望的轨迹在一定精度范围内重复运动。如图 1.9 所示,工业机器人末端执行器由 A 点直线运动到 B 点,那么机器人可沿路径②运动。

这种控制方式的特点是连续地控制工业机器人末端执行器在作业空间中的位姿,要求机器人严格按照预定的轨迹和速度在一定的精度范围内运动,而且速度可控、轨迹光滑、运动平稳,以完成作业任务。工业机器人各关节连续、同步地进行相应的运动,其末端执行器即可形成连续的轨迹。这种控制方式的主要技术指标是工业机器人末端执行器位姿的轨迹跟踪精度及平稳性。通常弧焊、喷漆、去毛边和检测作业机器人都采用这种控制方式。

3. 力(力矩)控制方式

在完成装配、抓放物体等工作时,除了要准确定位之外,还要求使用适度的力或力矩进行工作,这时就要利用力(力矩)控制方式。这种方式的控制原理与位置伺服控制原理基本相同,只不过输入量和反馈量不是位置信号,而是力(力矩)信号,因此系统中必须有力(力矩)传感器。有时也利用接近、滑动等传感功能进行自适应式控制。

4. 智能控制方式

机器人的智能控制是通过传感器获得周围环境的信息,并根据自身内部的知识库做出相应的决策。智能控制技术使机器人具有了较强的环境适应性及自学习能力。智能控制