







“十四五”职业教育国家规划教材

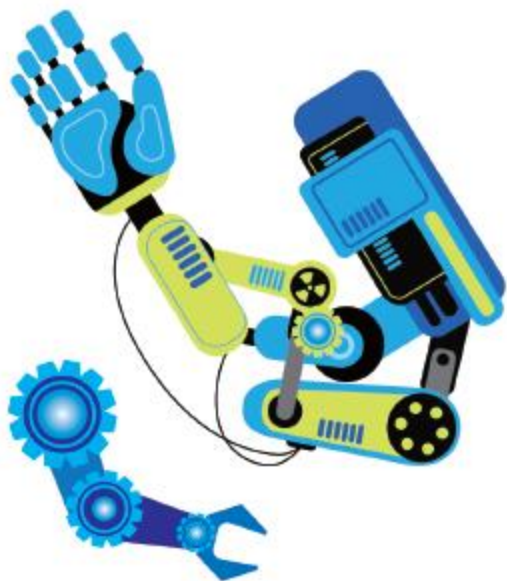
“互联网+”职业教育创新型系列教材



# 工业机器人 技术基础

主 编 程广云

参 编 过 磊 施 琴

-  紧扣最新职业教育专业**教学标准**
-  技能大赛**金牌教练**与**名师**倾力打造
-  **好视频**不容错过，**好方法**手到擒来
-  无论身处何地，都可“**码**”上学习



 江苏凤凰教育出版社  凤凰职教







“十四五”职业教育国家规划教材

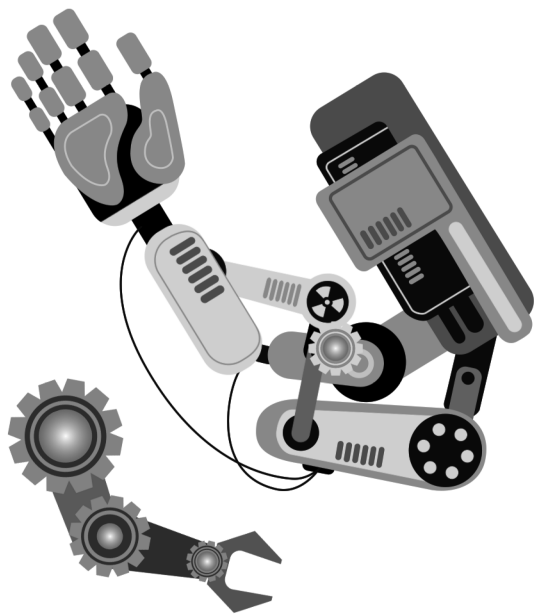
“互联网+”职业教育创新型系列教材

# 工业机器人 技术基础

主 编 程广云

参 编 过 磊 施 琴

-  紧扣最新职业教育专业**教学标准**
-  技能大赛**金牌教练**与**名师**倾力打造
-  **好视频**不容错过，**好方法**手到擒来
-  无论身处何地，都可“**码**”上学习



## 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人技术基础 / 程广云主编. —南京:江苏凤凰教育出版社, 2019.10(2024.7重印)

ISBN 978-7-5499-8146-5

I. ①工… II. ①程… III. ①工业机器人—高等职业教育—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 127623 号

书 名 工业机器人技术基础

---

主 编 程广云

责任编辑 顾金萍

出版发行 江苏凤凰教育出版社

地 址 南京市湖南路1号A楼,邮编:210009

出 品 江苏凤凰职业教育图书有限公司

网 址 <http://www.fhmooc.com>

照 排 南京普胜印刷技术有限公司

印 刷 河北钰柠印刷有限责任公司

厂 址 河北省衡水市武邑县兴旺路以南

电 话 0318-2212090

开 本 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 9

版次印次 2019年10月第1版 2024年7月第13次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5499-8146-5

定 价 39.00元

批发电话 025-83677909

盗版举报 025-83658893

---

如发现质量问题,请联系我们。

【内容质量】电话:025-83658873 邮箱:sunyi@ppm.cn

【印装质量】电话:025-83677905

# 序言

为全面贯彻国家对于高技能人才的培养精神,提升职业教育机电类专业,尤其是工业机器人技术专业教学质量,我们特组织优秀教师及相关专家,联合行业企业代表,全面、优质、高效地开发了本系列规划教材,并配备数字化教学资源,以适应当前的信息化教学需求。

本系列教材所具特色如下:

- 教材培养目标明确,内容结构符合教育部制定的各课程人才培养目标及相关标准规范。
- 教材力求简洁、实用,编写上兼顾现代职业教育的创新发展及传统理论体系,并使之完美结合。
- 教材内容反映了工业发展的最新成果,所涉及的标准规范均为最新国家标准或行业规范。
- 教材编写形式新颖,栏目设计合理,版式美观,图文并茂,体现了职业教育教学特色。
- 教材配备相关的数字化教学资源,体现了信息化教学的最新成果。

由于行业技术更新较快,教材中如有不当之处,还请广大读者予以批评指正。我们将不断完善与提升本系列教材的整体质量,使其更好地服务于工业机器人技术等机电类专业的教育教学,为培养新时期下的高技能人才做出应有的贡献。

申请加入 QQ 群(696894489),获取本书更多资源。编辑服务热线:025-83658887,许老师。



# 前言

工业机器人技术虽然已经出现了很久,但相对于传统学科和工业应用而言,仍是新生事物。这项技术真正得以广泛应用和快速增长,也是计算机技术发展到一定阶段的结果——计算机逻辑运算和程序控制让任务实现起来更加轻松,给机器人技术发展奠定了更好的理论基础。

随着用工成本的上升,机器代替人成为产业升级的必然:一方面,机器代替人可以提高生产效率,使加工工时相对减少,从而降低产品成本,提高价格优势;另一方面,提高产品附加值需要通过创新的手段才能实现,这会带来加工难度和个性化要求的同步上升,而机器人很好地解决了一些加工生产问题,同时解放出了一部分人力,可以用于产品设计和创新方面。

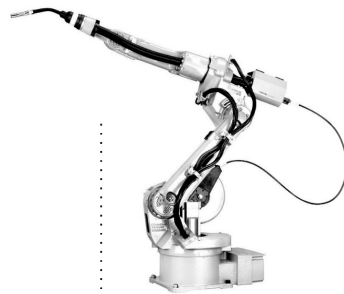
伴随着产业形势的飞速发展,国内工业机器人技术也驶入了高速轨道——大量职业院校开设了机器人专业。与之不相称的是教材紧缺,一些国外翻译过来的资料或理解不便,或过于专业,对于应用项目的教学连贯性不足。有些本科院校的教材,其深度和广度并不一定适合职业类院校的需求。我们本着高职这个学历段的实际需求,统一编

写了这套工业机器人系列教材,力求做到适用、够用、实用。

本书融入新时代的思想、价值观、职业素养、职业精神,在引导学生领略专业知识和掌握专业基本技能的同时,帮助其树立正确的价值观,培养优秀的职业品质,从而达到潜移默化的育人效果。本书通过介绍国内工业机器人的技术发展,激发学生的爱国热情,将职业素养和工匠精神培育融入人才培养全过程。同时本书注重对学生专业思维的培养,提升学生的专业兴趣,鼓励学生认真钻研技术,注重自身能力的提升。

本书在编写过程中得到了学院领导的高度重视,亦得到了华航唯实工程技术人员的鼎力支持,有关机器人应用技术的教学工作必将在多方关注与配合下,更好地为机器人产业的发展提供助力。

程广云



# 目录



## 模块 1

工业机器人认知

<b>单元 1 工业机器人概述</b> .....	1
一、工业机器人的定义 .....	1
二、工业机器人的发展史 .....	2
三、工业机器人的特点 .....	7
四、工业机器人的优势 .....	8
<b>单元 2 工业机器人的分类</b> .....	9
一、按机械结构分类 .....	9
二、按坐标系分类 .....	11
三、按应用领域分类 .....	14
<b>单元 3 工业机器人的性能参数</b> .....	19
一、自由度和工作空间 .....	19
二、负载 .....	22
三、精度 .....	23
四、防护等级 .....	23



## 模块 2

工业机器人的系统组成

<b>单元 1 工业机器人本体</b> .....	26
一、本体结构 .....	26
二、本体参数 .....	27
<b>单元 2 工业机器人控制柜</b> .....	28
一、线缆接口 .....	28
二、功能模块 .....	29
<b>单元 3 工业机器人示教器</b> .....	30
一、示教器简介 .....	30
二、示教器结构 .....	30
三、示教器的功能及使用 .....	31
<b>单元 4 工业机器人末端执行器</b> .....	32
一、末端执行器的定义 .....	32
二、工业机器人末端执行器的种类 .....	32
三、柔性机械手 .....	34





### 模块 ③

工业机器人的机械系统

<b>单元 1 工业机器人机械系统概述</b> .....	36
一、机械系统的意义 .....	36
二、机械系统的组成及功能 .....	37
<b>单元 2 工业机器人的传动系统</b> .....	37
一、齿轮传动 .....	38
二、同步带传动 .....	40
三、丝杠与导轨传动 .....	42
四、丝杠与滚珠花键传动 .....	46
<b>单元 3 工业机器人常用减速机</b> .....	48
一、行星减速机 .....	48
二、RV 减速机 .....	49
三、谐波减速机 .....	50



### 模块 ④

工业机器人的控制系统

<b>单元 1 控制系统认知</b> .....	52
一、控制系统的意义 .....	52
二、控制系统的软件结构 .....	53
三、控制系统的硬件结构 .....	53
<b>单元 2 控制系统的基本功能</b> .....	54
一、运动控制 .....	54
二、人机交互 .....	56
三、通信控制 .....	57
<b>单元 3 工业机器人的计算机控制</b> .....	58
一、工业机器人计算机控制的分类 .....	58
二、微型计算机直接控制工业机器人 .....	59
三、常见的机器人操作系统 .....	61



### 模块 ⑤

工业机器人传感技术

<b>单元 1 工业机器人传感技术基础</b> .....	64
一、传感技术概述 .....	64
二、传感系统的组成 .....	64
三、传感技术的功能 .....	65
<b>单元 2 工业机器人传感技术应用</b> .....	66
一、物料感知 .....	66
二、速度感知 .....	70
三、力觉感知 .....	71
四、视觉识别 .....	72
五、其他传感技术应用——温湿度传感器 .....	77



## 模块 6

工业机器人通信

<b>单元 1 通信技术基础</b> .....	79
一、通信的发展历程 .....	79
二、消息、信息与信号 .....	82
三、通信系统的一般模型 .....	82
<b>单元 2 I/O 通信</b> .....	84
一、I/O 通信简介 .....	84
二、I/O 数字通信的特点 .....	84
三、数字信号 .....	85
四、组信号 .....	85
五、模拟信号 .....	86
<b>单元 3 现场总线</b> .....	87
一、现场总线概述 .....	87
二、现场总线的技术特点 .....	90
三、现场总线的网络模型——OSI 通信参考模型 .....	91
四、现场总线设备 .....	96
五、常见总线类型 .....	98
<b>单元 4 工业以太网</b> .....	101
一、工业以太网概述 .....	101
二、工业以太网的产生与发展 .....	102
三、工业以太网的主要标准 .....	107
四、PROFINET .....	109



## 模块 7

工业机器人操作与编程

<b>单元 1 工业机器人基本操作</b> .....	116
一、手动操作动作模式 .....	116
二、坐标系统认知 .....	118
三、I/O 信号监控 .....	120
<b>单元 2 工业机器人编程</b> .....	121
一、工业机器人编程概述 .....	121
二、工业机器人编程功能 .....	122
三、工业机器人编程语言 .....	122
<b>模块测评答案</b> .....	132
<b>参考文献</b> .....	134



# 模块 1 工业机器人认知



案例 1

工业机器人是在 20 世纪 60 年代逐渐发展起来的一种用于代替传统劳动力的工业设备。工业机器人技术是一门多学科综合的自动化技术,涉及机械、电子、数学、运动学、力学、控制理论、传感技术、计算机技术及人机工程。到今天,工业机器人技术已成为工业生产、智能制造等领域不可或缺的中坚力量。

## 单元 1 工业机器人概述

### 一、工业机器人的定义

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,如图 1-1-1 所示。它可以接受人类指挥,也可以按照预先编制的程序运行,现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。



图 1-1-1 工业机器人

美国机器人协会(RIA)对工业机器人的定义是：“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的,通过可编程的动作来执行各种任务的,具有编程能力的多功能机械手。”

美国国家标准局(NBS)对工业机器人的定义是：“一种能够进行编程并在自动控制下执行某些操作和移动作业任务的机械装置。”

美国机器人工业协会(U. S. RIA)提出的工业机器人定义是：“工业机器人是用来进行搬运材料、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。”

1987年国际标准化组织(ISO)对工业机器人进行了定义：“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能,能完成各种作业的可编程操作机。”

综上所述,工业机器人是一种按实际工况自动控制精确运动并作业的可编程机电一体化智能设备。

## 二、工业机器人的发展史

已知最早的工业机器人是1937年由格里菲斯·P·泰勒完成,并发布在1938年3月的专业杂志上。这台机器人几乎完全是用吊车状装置建成的,动力由单个电动机提供,可实现五轴运动。自动化方面是用穿孔纸带与通电螺线管——这有利于用起重机的控制杆操作,进而实现运动功能。该机器人可以在预先设定的图案上堆积木,第一次操作时需要将每个运动马达的转数绘制在坐标纸上,然后把这个信息转移到纸带上,从而推动机器人的单个马达运动。

1954年,乔治·德沃尔申请了一个“可编程关节式转移物体装置”的专利,具备了现代工业机器人的雏形。

真正意义上的工业机器人出现在1959年。当时,美国人约瑟夫·恩格尔伯格

和乔治·德沃尔制造出了世界上第一台工业机器人 Unimate,意思是“万能自动”,如图1-1-2所示。这台机器人外形像一个坦克的炮塔,基座上有一个可转动的大机械臂,大臂上又伸出一个可以伸缩和转动的小机械臂,能进行一些简单的操作,代替人做一些诸如抓放零件的工作。约瑟夫·恩格尔伯格也因此被称为“机器人之父”。

与美国劳动力充沛不同,日本战后的劳动力匮乏已对快速发展



微课 1

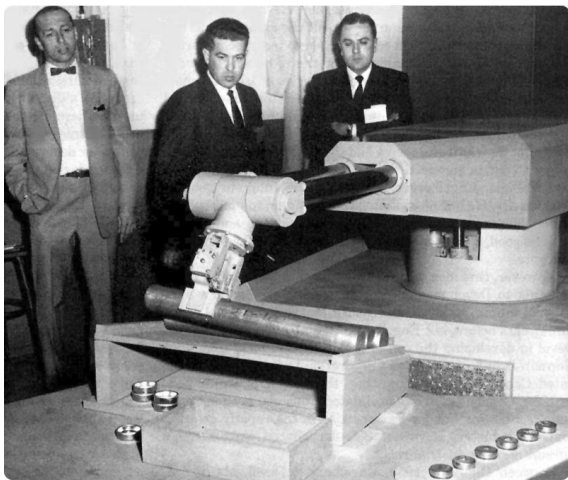


图 1-1-2 世界第一台工业机器人





的经济造成了阻碍。1969年,日本业界把约瑟夫·恩格尔伯格请到东京演讲,指导日本厂商研发机器人。通过知识产权输出等方式,Unimation公司与日本川崎等公司建立了联系。借此,川崎重工引进Unimation机器人,并把开发能节省劳动力的机器人系统作为一项重要任务来完成,而后成功开发了Kawasaki-Unimate 2000机器人(如图1-1-3所示),这是日本生产的第一台工业机器人,川崎重工随后也成了日本工业机器人领域的先驱。

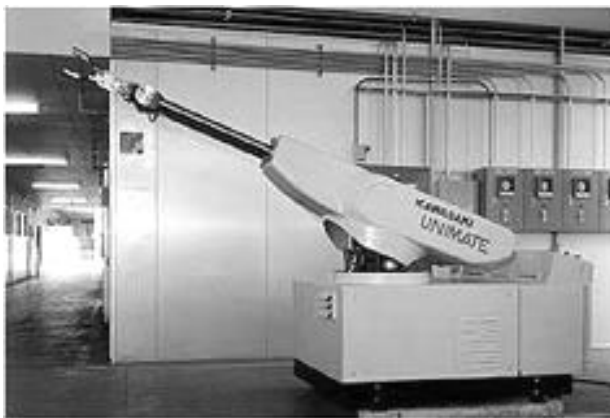


图 1-1-3 日本生产的第一台工业机器人

20世纪70年代之前,工业机器人基本是Unimation的天下,Unimation把机器人卖给各家公司,甚至远销欧洲、日本,大大提高了企业的生产效率。随后,工业机器人领域开始了高速发展。

1971年,日本机器人协会成立,这是世界上第一个国家机器人协会。

1973年,第一台机电驱动的六轴机器人面世,如图1-1-4所示。德国库卡公司将其使用的Unimate机器人改造成第一台产业机器人,命名为Famulus,这是世界上第一台机电驱动的六轴机器人。

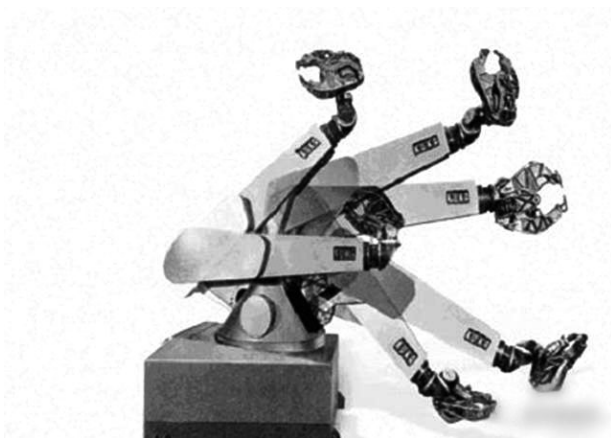


图 1-1-4 第一台机电驱动的六轴机器人

1974年,瑞典通用电机公司(ASEA,ABB公司的前身)开发出世界上第一台全电力驱动、由微处理器控制的五轴工业机器人IRB6,主要应用于工件的取放和物料的搬运,如图1-1-5所示。首台IRB6运行于瑞典南部的一家小型机械工程公司。IRB6采用拟人化设计,其动作模仿人类的手臂,可承受6千克载荷。IRB6的S1控制器第一个使用英特尔8位微处理器,内存容量为16kB,有16个数字I/O接口,通过16个按键编程,并具有四位数的LED显示屏。



图 1-1-5 ABB 公司设计的第一台机器人 IRB6

1978年,美国Unimation公司推出通用工业机器人,应用于通用汽车装配线(图1-1-6),这标志着工业机器人技术已经完全成熟。



图 1-1-6 Unimation 公司 1978 年推出的通用工业机器人





1984年,瑞典 ABB 公司生产出当时速度最快的装配机器人 IRB 1000(图 1-1-7),这是一个配备了垂直手臂的钟摆式机器人。IRB 1000 机器人工作的时候,不需要来回移动就可以快速穿越较大面积的工作场合,速度比传统的手臂机器人快 50% 以上。



图 1-1-7 IRB 1000 机器人



图 1-1-8 ABB 公司的 S4 手持示教器

1992年,瑞典 ABB 公司推出开放式控制系统 S4(图 1-1-8)。S4 控制器的设计改善了人机界面,并提升了机器人的技术性能。

2008年,日本发那科公司推出了新的重型机器人 M-2000iA,有效载荷达 1 200 千克(图 1-1-9)。M-2000iA 系列是当时世界上规模最大、实力最强的六轴机器人,可搬运超重物体,具有两种型号,分别为一次可举起 900 千克载荷的 M-2000iA/900L 和一次可举起 1 200 千克载荷的 M-2000iA/1200,能够做到更快速、更稳定、更精确地移动大型部件。



图 1-1-9 发那科公司制造的第一台重型机器人 M-2000iA



图 1-1-10 ABB 公司设计的小型六轴机器人 IRB 120



2009年9月,瑞典ABB公司推出了世界上最小的多用途工业机器人IRB 120,也是速度最快的六轴机器人(图1-1-10)。IRB 120是一款新型机器人,质量仅为25千克,荷重3千克(垂直腕为4千克),工作范围达580毫米。IRB 120的问世使ABB第四代新型机器人产品系列得到进一步延伸,具有卓越的经济性与可靠性。

工业机器人的出现将人类从繁重单一的劳动中解放出来,它能够从事一些不适合人类甚至超越人类的劳动,实现生产的自动化,避免工伤事故并且提高生产效率。

自1959年工业机器人诞生后,经过近70年的发展,工业机器人已经被广泛应用于装备制造、新材料、生物医药、智慧新能源等高新产业,工业机器人的分类也越来越细化。它与人工智能技术、先进制造技术和移动互联网技术融合发展,大大推动了人类社会生活方式的变革。工业机器人对于我国制造业提质增效、转型升级、推动产业结构迈向中高端具有重要作用。

我国高度重视工业机器人的研究和发展,出台了系列战略性文件:1986年3月,国务院启动了《国家高技术研究发展计划(“863”计划)》;2015年5月国务院签发《中国制造2025》,实施制造强国的战略;2016年,在“863”和“973”(《国家重点基础研究发展计划》)等基础上整合推出了《国家重点研发计划》。这些战略性文件中无一例外地都把工业机器人列为重点扶持和发展领域。

随着改革开放的深入,我国的工业机器人产业一次次打破国外的技术封锁,得到了快速发展,这是国家战略的正确指引,也是中国专业技术人员不断努力成果。

1. 20世纪70年代末,沈阳自动化所在机器人控制算法和系统原理设计上取得一定的突破。

2. 1985年,上海交通大学机器人研究所完成第一台6自由度关节机器人的“上海一号”弧焊机器人的研究。

3. 1987年北京钢铁学院的“冶钢1号”机器人在北京通过了部级鉴定,是我国第一部完全国产化的机器人。

4. 2008年哈尔滨工业大学和奇瑞汽车联合开发,采用两块PMAC三轴运动控制卡,通过PCI总线数据交互的六轴控制,突破了西方国家高端多轴控制系统的对华出口限制,实现自力更生。随后有多家国内企业完成了控制系统开发。

5. 1999年,国产交流伺服电机及其全数字式伺服驱动器基本自主开发成功,伺服电机的企业主要有华中数控、广州数控、南京埃斯顿等。还有一些大企业进入了伺服系统行业,英威腾、汇川科技、安迪等。

6. RV减速器原先没有技术能力国产,到现在苏州华震、河北智坤、上海巨能、东莞威腾思坦、安徽聚隆、中大力德、力克精密等大小十多家有影响力的制造商,已经占据国产机器人中RV减速器的大部分市场份额。

7. 2011年成立的苏州绿的谐波传动科技有限公司,前身于2003年开始研发机器人用谐波减速器,率先实现规模化量产,并主导起草了国内机器人谐波传动领域的第





一个国家标准 GB/T 30819—2014《机器人用谐波齿轮减速器》。

8. 2017年,美的集团以292亿元收购了库卡的94.55%股份,2022年有望全面收购控股,这意味着中国企业参与到全球工业机器人的产业链。

中国工业机器人实现了从无到有。2019年,中国生产18.7万套工业机器人,行业市场规模达到57.3亿美元,2016至2020年,中国市场规模一直稳居全球市场的30%以上,随着中国经济规模在全球占比的不断攀升,中国工业机器人的产业发展有着广阔的前景。

### 三、工业机器人的特点

乔治·德沃尔提出的工业机器人有以下特点:将数控机床的伺服轴与遥控操纵器的连杆机构连接在一起,预先设定的机械手动动作经编程输入后,系统就可以离开人的辅助而独立运行。这种机器人还可以接受示教而完成各种简单的重复动作,示教过程中,机械手可依次通过工作任务的各个位置,这些位置序列全部记录在存储器内,任务的执行过程中,机器人的各个关节在伺服驱动下依次再现上述位置,故这种机器人的主要技术功能被称为“可编程”和“示教再现”。

1962年,美国推出的一些工业机器人的控制方式与数控机床大致相似,但外形主要由类似人的手臂组成。此后,逐渐出现了具有视觉传感器的、能识别与定位的工业机器人系统。

工业机器人最显著的特点有以下几个:

#### (一) 可编程

生产自动化的进一步发展是柔性自动化。工业机器人可随其工作环境变化的需要进行再编程,因此在小批量、多品种、高效率的柔性制造过程中能发挥很好的功用,是柔性制造系统中的重要组成部分。

#### (二) 拟人化

工业机器人在机械结构上有类似人的行走、腰转动作,具有类似大臂、小臂、手腕、手爪的部分,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、语言功能等。传感器提高了工业机器人对应用环境的适应能力。

#### (三) 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。



微课 2

## 四、工业机器人的优势

当今工业机器人技术正逐渐向着具有行走能力,具有多种感知能力,对作业环境具有较强的自适应能力的方向发展。当前,对全球机器人技术的发展最有影响的国家是美国和日本。美国在工业机器人技术的综合研究水平方面处于领先地位,而日本生产的工业机器人在数量、种类方面居世界首位。

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,而且还具有记忆能力、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,特别是计算机技术的应用密切相关。因此,机器人技术的发展必将带动其他技术的发展,其发展和应用现状也可以反映一个国家科学和工业的水平。

### (一) 工业机器人技术发展的优势

工业机器人集精密化、柔性化、智能化、软件应用开发等先进制造技术于一体,通过对过程实施检测、控制、优化、调度、管理和决策,实现增加产量、提高质量、降低成本、减少资源消耗和环境污染,是工业自动化水平的最高体现。

### (二) 技术升级的趋势

机器人与自动化成套装备具备精细制造、精细加工以及柔性生产等技术特点,是继动力机械和计算机之后出现的全面延伸人的体力和智力的新一代生产工具,是实现生产数字化、自动化、网络化以及智能化的重要手段。

### (三) 应用领域广泛

机器人与自动化成套装备是生产过程的关键设备,可用于制造、安装、检测、物流等生产环节,并广泛应用于汽车整车及汽车零部件、工程机械、轨道交通、低压电器、电力、IC 装备、军工、烟草、金融、医药、冶金及印刷出版等众多行业,应用领域非常广泛。

### (四) 技术综合性强

机器人与自动化成套技术集中并融合了多项学科,涉及多项技术领域,包括工业机器人控制技术、机器人动力学及仿真、机器人构建有限元分析、激光加工技术、模块化程序设计、智能测量、建模加工一体化、工厂自动化以及精细物流等先进制造技术,技术综合性强。

