

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材
普通高等教育新工科机器人工程系列教材



Foundation of Industrial Robot
Technology and its Application

工业机器人技术基础 及其应用

戴凤智 乔栋 ◎ 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材
普通高等教育新工科机器人工程系列教材

工业机器人技术基础 及其应用

主 编 戴凤智 乔 栋
参 编 闫玉洁 安凌然 朱宇璇

机械工业出版社

本书将工业机器人的硬件和控制、软件编程和应用进行有序整合,阐述了工业机器人技术基础及其应用。全书共 10 章,主要内容包括:工业机器人概述、工业机器人的机械结构系统和驱动系统、工业机器人的传感系统、工业机器人的控制系统、ABB 工业机器人的硬件和基本操作、工业机器人的虚拟仿真,以及工业机器人的四大典型应用(搬运、码垛、焊接、装配)。为了方便读者学习和掌握要点,每章后均设有“本章小结”和“思考与练习题”。

本书面向工科院校机器人工程相关专业的师生,作为该专业领域的通识类本科和高职高专教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

本书配有 ppt 电子课件,免费提供给选用本书作为教材的授课教师。需要者请登录机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)注册下载。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人技术基础及其应用/戴凤智,乔栋主编. —北京:机械工业出版社,2020.1

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系列精品教材
普通高等教育新工科机器人工程系列教材

ISBN 978-7-111-64249-7

I. ①工… II. ①戴… ②乔… III. ①工业机器人—高等学校—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 266838 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘涛 责任编辑:刘涛 任正一

责任校对:张薇 封面设计:张静

责任印制:张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2020 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.5 印张·331 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-64249-7

定价:38.00 元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

机工教育服务网:www.cmpedu.com

序

工业机器人的技术基础及其应用涉及机械设计与制造、电子技术、传感技术、视觉技术、软件技术、控制技术、人工智能等诸多领域。工业机器人是智能工厂、智能制造车间、自动化生产线的重要基础装备,广泛应用于汽车制造、3C 电子产品、航空航天、食品加工、焊接、铸造、喷涂等行业,有效提高了产品质量和生产效率,节约了劳动力成本,增强了企业竞争力。

本书主编戴凤智从大学本科到博士,乃至目前作为高校教师从事的专业一直是自动化、智能控制与机器人。他的本科和硕士研究生阶段是在北京理工大学自动控制系统度过的,他读博士学位时的导师是日本著名的有“人工生命和机器人之父”之称的杉坂政典教授。戴凤智作为专业负责人为天津科技大学成功申报并获批了机器人工程本科新专业,也为许多高职和中职院校创立了人工智能专业和工业机器人专业。

因此,当我收到本书主编戴凤智为本书作序的请求时便欣然应允,既是表达对校友的支持之意,同时也希望读者朋友们能从本书中有所收获。本书是集主编多年教学经验所成之作。在人工智能和机器人教学方面,主编戴凤智作为项目主持人获得了 2018 年高等教育天津市市级教学成果二等奖和 2017 年度中国轻工业联合会优秀教材二等奖。

本书以工业机器人技术基础知识为出发点,分别在机械、控制、驱动、基本操作、虚拟仿真和应用等方面进行了介绍,能够使读者对工业机器人技术和实操应用有一个全面清晰的认识。本书是有意从事工业机器人的设计研究与应用实践的初学者、爱好者的可选之作。

北京理工大学自动化学院院长

夏元清

2019 年 8 月

前 言

机器人是人工智能皇冠上的明珠，是先进制造业的重要支撑装备，也是智能制造业的关键切入点。机器人可以代替或者协助人类完成各种工作。那些枯燥的、危险的、有毒有害的工作，都可以由机器人大显身手。工业机器人作为机器人家族中的重要一员，是目前技术最成熟、应用最广泛的一类机器人，其研发和产业化应用是衡量科技创新和高端制造发展水平的重要标志。

工业机器人本质上就是一种智能化机械设备，它代表了机械制造业的发展方向。由于其可以大幅度提升工作效率、提高产品质量，还能将人们从繁重的劳动中解放出来，所以被广泛应用于各个领域。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中重要的自动化装备。广泛采用工业机器人，不仅可以提高产品生产的质量与数量，而且对于保障人身安全、改善劳动环境、减轻劳动强度、提高劳动生产率、节约材料以及降低生产成本都有着十分重要的意义。和计算机、网络技术一样，工业机器人的广泛应用正在日益改变着人类的生产和生活方式。

我国工业机器人产业正在迎来爆发性的发展机遇。然而，现阶段我国工业机器人领域人才供需失衡，缺乏经过系统培训的、能熟练安全使用和维护工业机器人的专业人才。面对这一现状，为了更好地推广运用工业机器人技术，亟须编写一本全面、系统的工业机器人入门实用教材。

本书将工业机器人的硬件和控制、软件编程和应用进行有序整合，阐述了工业机器人技术基础及其应用，同时吸纳了国内外许多具有代表性的研究成果。本书主要以 ABB 机器人为主，结合工业机器人仿真系统和实训装备，遵循“由简入繁，软硬结合，循序渐进”的编写原则，依据初学者的学习需要，科学设置知识点，结合典型实例讲解，倡导实用性教学，有助于激发学生的学习兴趣、提高教学效率，便于初学者在短时间内全面、系统了解工业机器人操作与编程的常识。全书内容注重理论与实际的结合，提供了将工业机器人应用在不同作业场景中所需要的知识。

全书共 10 章。第 1 章工业机器人概述、第 2 章工业机器人的机械结构系统和驱动系统、第 3 章工业机器人的传感系统和第 4 章工业机器人的控制系统，由闫玉洁编写；第 5 章 ABB 工业机器人的硬件和基本操作、第 6 章工业机器人的虚拟仿真，由朱宇璇编写；第 7~10 章为工业机器人在四大典型工业领域中的应用，由安凌然编写。全书由戴凤智拟定编写大纲，戴凤智和乔栋统稿，刘岩和叶美麟负责校对。

本书主要面向工业机器人领域的工科院校机器人工程及相关专业师生，可作为该专业领域的通识类本科和高职高专教材，同时可供相关领域的工程技术人员参考使用。本书从基础知识开始，以一定的广度和深度介绍目前工业机器人技术中重要的理论和关键的程序指令。本书回避陷入“科普”式的堆砌材料的写作方式，利用编者在该领域具有的实践经验，力图在介绍各种理论和操作时能够通过简单易懂的方式呈现给大家。

本书的部分内容和工作分别获得 2017 年度中国轻工业联合会优秀教材二等奖、2018 年高等教育天津市市级教学成果二等奖，编写团队于 2019 年获得天津市市级“智能控制与机器人设计核心课程群教学团队”。

本书以讲义形式在多所高校使用，并经过多次修改。本书也是天津市普通高校本科教学质量与教学改革研究计划项目（171005704B）、教育部产学研合作协同育人项目（201802286009）、天津市企业科技特派员项目（19JCTPJC53700）的成果之一。

在本书的编写过程中，得到了北京理工大学夏元清教授的鼓励和支持，夏教授还为本书作序，在此表示感谢。本书也是天津科技大学和山西大同大学师生集体努力的结果。其中，主编戴凤智和乔栋科研团队成员叶忠用、金霞、尹迪、袁亚圣、赵继超、郝宏博、温浩康、张倩倩也参与了本书的部分工作。在编写过程中，编者参考了大量有关工业机器人方面的教材、书籍、论著和网络资料，限于篇幅，不能在参考文献中一一列举，在此一并对原作者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2019 年 9 月

目 录

序	
前言	
第1章 工业机器人概述	1
1.1 机器人简介	1
1.2 工业机器人的定义	3
1.3 工业机器人的发展	3
1.3.1 工业机器人在世界各国的发展	4
1.3.2 世界著名工业机器人生产企业	7
1.3.3 工业机器人技术发展趋势	9
1.4 工业机器人的基本组成和技术指标	11
1.4.1 工业机器人的基本组成	11
1.4.2 工业机器人的技术指标	12
1.5 工业机器人的分类和应用	14
1.5.1 工业机器人的分类	14
1.5.2 工业机器人的应用	16
本章小结	21
思考与练习题	21
第2章 工业机器人的机械结构系统和驱动系统	22
2.1 工业机器人机械结构系统	22
2.1.1 手部(末端执行器)	22
2.1.2 手臂	26
2.1.3 基座	26
2.1.4 关节	27
2.2 工业机器人的驱动系统	28
2.2.1 直接驱动和间接驱动	28
2.2.2 液压驱动	29
2.2.3 气压驱动	31
2.2.4 电气驱动	33
2.2.5 工业机器人驱动系统的选用原则	35
2.2.6 工业机器人的传动装置	35
2.3 工业机器人的常用工具	36
本章小结	38
思考与练习题	39

第3章 工业机器人的传感系统	40
3.1 工业机器人内部传感器	40
3.1.1 位移和位置传感器	40
3.1.2 速度和加速度传感器	41
3.2 工业机器人外部传感器	41
3.2.1 触觉传感器	42
3.2.2 力觉传感器	43
3.2.3 距离传感器	43
3.2.4 激光雷达	43
3.2.5 机器人视觉装置	44
3.2.6 传感器融合	45
3.3 工业机器人传感器应用	46
本章小结	48
思考与练习题	48
第4章 工业机器人的控制系统	49
4.1 工业机器人控制系统概述	49
4.1.1 工业机器人控制系统的特点	49
4.1.2 工业机器人控制系统的功能	50
4.1.3 工业机器人的控制方式	50
4.1.4 工业机器人控制系统的组成	52
4.2 工业机器人控制系统的结构	53
4.3 工业机器人控制的示教再现	54
4.4 工业机器人的运动控制	54
本章小结	55
思考与练习题	55
第5章 ABB 工业机器人的硬件和基本操作	56
5.1 ABB 工业机器人的分类和型号	56
5.1.1 ABB 工业机器人的分类	56
5.1.2 ABB 工业机器人的部分型号产品	57
5.2 ABB 工业机器人的硬件连接	65
5.2.1 ABB 工业机器人本体	65
5.2.2 其他常见机构	67
5.2.3 ABB 工业机器人控制柜	70
5.3 ABB 工业机器人的基本操作	71
5.3.1 示教器的使用	71
5.3.2 系统的备份和恢复设置	75
5.3.3 ABB 工业机器人的手动操作	85
本章小结	100
思考与练习题	100

第6章 工业机器人的虚拟仿真	102
6.1 工业机器人虚拟仿真软件	102
6.2 工业机器人仿真软件 RobotStudio 的安装	103
6.2.1 下载 RobotStudio	103
6.2.2 安装 RobotStudio	103
6.3 构建仿真工业机器人工作站	107
6.3.1 导入机器人	107
6.3.2 加载机器人的工具	108
6.4 工业机器人离线轨迹编程	110
6.4.1 创建机器人的离线轨迹曲线和运动路径	110
6.4.2 机器人目标点调整及轴配置参数	113
6.5 RobotStudio 的在线使用	119
6.5.1 与机器人进行连接并获得权限	119
6.5.2 使用 RobotStudio 进行备份与恢复操作	121
6.5.3 使用 RobotStudio 在线编辑 RAPID 程序	123
本章小结	129
思考与练习题	129
第7章 工业机器人应用 1——搬运	130
7.1 认识搬运机器人	130
7.1.1 搬运机器人的分类	130
7.1.2 搬运机器人的功能	132
7.1.3 搬运机器人的结构	134
7.1.4 搬运机器人的发展前景	137
7.2 典型的搬运机器人	137
7.3 搬运机器人的操作	138
7.3.1 相关程序知识	138
7.3.2 创建搬运工作站	142
7.3.3 机器人搬运生产线及辅助设备	153
本章小结	153
思考与练习题	154
第8章 工业机器人应用 2——码垛	155
8.1 认识码垛机器人	155
8.1.1 码垛机器人的分类	155
8.1.2 码垛机器人的功能	157
8.1.3 码垛机器人的结构	158
8.1.4 码垛机器人的发展前景	160
8.2 典型的码垛机器人	161
8.3 码垛机器人的操作	162
8.3.1 相关程序知识	162

8.3.2 码垛机器人规范操作过程	165
8.3.3 机器人码垛生产线及辅助设备	165
本章小结	168
思考与练习题	169
第9章 工业机器人应用3——焊接	171
9.1 认识焊接机器人	171
9.1.1 焊接机器人的分类	171
9.1.2 焊接机器人的功能	173
9.1.3 焊接机器人的结构	174
9.1.4 焊接机器人的发展前景	177
9.2 典型的焊接机器人	177
9.3 焊接机器人的操作	179
9.3.1 相关程序知识	179
9.3.2 焊接机器人规范操作过程	181
9.3.3 机器人焊接生产线及辅助设备	182
本章小结	184
思考与练习题	185
第10章 工业机器人应用4——装配	186
10.1 认识装配机器人	186
10.1.1 装配机器人的分类	186
10.1.2 装配机器人的功能	188
10.1.3 装配机器人的结构	189
10.1.4 装配机器人的发展前景	192
10.2 典型的装配机器人	193
10.3 装配机器人的操作	194
10.3.1 装配机器人的典型作业任务	194
10.3.2 机器人装配生产线及辅助设备	201
本章小结	202
思考与练习题	203
参考文献	205

1.1 机器人简介

机器人是 20 世纪人类最伟大的发明之一，第一台机器人试验样机 1954 年诞生于美国，机器人产品则问世于 20 世纪 60 年代。“机器人”一词最早出现于 1920 年，捷克斯洛伐克作家卡雷尔·恰佩克在他的科幻小说中，根据 Robota（捷克文，原意为“劳役、苦工”）和 Robotnik（波兰文，原意为“工人”），创造出“Robot”这个词。在书中，机器人像奴隶一样按照主人的命令从事繁重的劳动。1942 年美国科幻巨匠阿西莫夫提出“机器人三定律”，虽然这只是科幻小说里的创造，但后来成为学术界默认的机器人研发原则：

第一法则：机器人不得伤害人类，或袖手旁观坐视人类受到伤害。

第二法则：除非违背第一法则，机器人必须服从人类的命令。

第三法则：在不违背第一及第二法则下，机器人必须保护自己。

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部分工作。

国际上对机器人的概念已经趋近一致，即机器人是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。联合国标准化组织（ISO）采纳了美国机器人协会（RIA）对机器人的定义：“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计算机改变和可编程动作的专门系统”。机器人是一种高度复杂的自动化装置，综合运用了机械、电子、计算机、检测、通信、自动控制、语音和图像处理等技术。

机器人的分类方式很多，国际上没有制定统一的标准。一般按照用途可分为：工业机器人、农业机器人、服务机器人、医疗机器人、娱乐机器人、特种机器人、军事机器人等；按照使用场合可分为：水下机器人、地上机器人、陆地机器人、空中机器人、太空机器人、两栖机器人、多栖机器人等；按照控制方式可分为：遥控型机器人、程序型机器人、示教再现型机器人、智能控制型机器人等；按照驱动方式可分为：气压驱动型机器人、液压驱动型机器人、电气驱动型机器人；按照机构特性可分为：串联机器人和并联机器人。

我国机器人专家从应用环境角度，将机器人分为两大类：工业机器人和特种机器人。工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人；特种机器人是用于非制造业并服务于人的各种机器人，如服务机器人、水下机器人、娱乐机器人等。

机器人系统是由机器人和作业对象及环境共同构成的。机器人系统由四部分组成,包括机械系统、驱动系统、控制系统和感知系统。

1. 机械系统

工业机器人的机械系统包括机身、臂部、手腕、末端操作器和行走机构等部分,每一部分都有若干自由度,从而构成一个多自由度的机械系统。此外,有的机器人还具备行走机构。若机器人具备行走机构,则构成行走机器人;若机器人不具备行走及腰转机构,则构成单机器人臂。末端操作器是直接装在手腕上的一个重要部件,它可以是两手指或多手指的手爪,也可以是喷漆枪、焊枪等作业工具。工业机器人机械系统的作用相当于人的身体(如骨髓、手、臂和腿等)。

2. 驱动系统

驱动系统是指驱动机械系统动作的驱动装置。根据驱动源的不同,驱动系统可分为电气、液压和气压三种以及把它们结合起来应用的综合系统。驱动系统的作用相当于人的肌肉。

电气驱动系统在工业机器人中应用得较为普遍,可分为步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机三种驱动形式。早期多采用步进电动机驱动,后来发展了直流伺服电动机,现在交流伺服电动机驱动也逐渐得到应用。上述驱动单元有的用于直接驱动机构运动,也有通过谐波减速器减速后再驱动机构运动,结构一般都简单紧凑。

液压驱动系统运动平稳,且负载能力大,对于重载搬运和零件加工机器人,采用液压驱动比较合理。但液压驱动存在管道复杂、清洁困难等缺点,因此限制了它在装配作业中的应用。

无论电气还是液压驱动的机器人,其手爪的开合都采用气动形式。气压驱动机器人结构简单、动作迅速、价格低廉,由于空气具有可压缩性,其工作速度的稳定性较差。但是,空气的可压缩性可使手爪在抓取或卡紧物体时的顺应性提高,防止受力过大而造成被抓物体或手爪本身的破坏。气压系统的压力一般为 0.7MPa ,因而抓取力较小,一般只有几十牛顿到几百牛顿。

3. 控制系统

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序以及从传感器反馈回来的信号控制机器人的执行机构,使其完成规定的运动和功能。如果机器人不具备信息反馈特征,则该控制系统称为开环控制系统;如果机器人具备信息反馈特征,则该控制系统称为闭环控制系统。机器人的控制系统主要由计算机硬件和控制软件组成。软件主要由人与机器人进行联系的人机交互系统和控制算法等组成。控制系统的作用相当于人的大脑。

4. 感知系统

机器人的感知系统由内部传感器和外部传感器组成,其作用是获取机器人内部和外部环境信息,并把这些信息反馈给控制系统。内部状态传感器用于检测机器人各关节的位置、速度等变量,为闭环伺服控制系统提供反馈信息。外部状态传感器用于检测机器人与周围环境之间的一些状态变量,如与障碍物之间的距离、接近程度和接触情况等,用于引导机器人,便于其识别物体并做出相应处理。外部传感器可使机器人以灵活的方式对它所处的环境做出

反应, 赋予机器人一定的智能。感知系统的作用相当于人的五官。

1.2 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。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。一个典型的工业机器人如图 1-1 所示。

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中重要的自动化装备。机器人技术、数控技术和可编程序控制器 (PLC) 技术并称为工业自动化的三大支持技术。机器人技术及其产品发展迅速, 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, 同时也是工业 4.0 智能化工厂中重要的一环。工业机器人主要有以下三个基本特点:

(1) 可编程 工业机器人可随其工作环境变化的需要而进行再编程, 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 工业机器人在机械机构上有类似人的腰部、大臂、小臂、手腕、手爪等部分, 其控制系统类似于人的大脑。智能化工业机器人还有许多类似于人类的“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周围环境的自适应能力。

(3) 通用性 除了特别设计的专用机器人外, 一般的工业机器人在执行不同作业任务时具有较好的通用性。可以通过更换工业机器人手部末端操作器 (手爪、工具等) 来使机器人执行不同的作业任务。例如, 将工业机器人手部末端的激光焊接器换成喷涂枪, 通过适当的硬件调整和软件编程后, 就可以将原来的焊接机器人变成喷涂机器人。

工业机器人技术涉及的学科相当广泛, 归纳起来它是机械学和微电子学的结合, 即机电一体化技术。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, 这些都是微电子技术的应用, 特别是与计算机技术的应用密切相关。

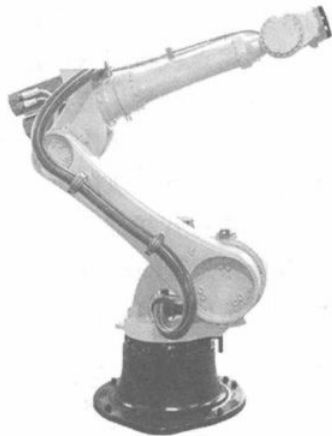


图 1-1 工业机器人

1.3 工业机器人的发展

工业机器人的发展可划分为三个阶段:

(1) 第一代机器人 20 世纪 50 至 60 年代, 随着机构理论和伺服理论的发展, 机器人进入了实用阶段。1954 年美国的 G. C. Devol 发表了“通用机器人”专利; 1960 年美国 AMF 公司生产了柱坐标型 Versatran 机器人, 可进行点位和轨迹控制, 这是世界上第一种应

用于工业生产的机器人。20 世纪 70 年代,随着计算机技术、现代控制技术、传感技术和人工智能技术的发展,机器人也得到了迅速的发展。1974 年 Cincinnati Milacron 公司成功开发了多关节机器人;1979 年,Unimation 公司又推出了 PUMA 机器人,它是一种多关节、全电动机驱动、多 CPU 二级控制的机器人,采用 VAL 专用语言,可配视觉、触觉、力觉传感器,在当时是技术最先进的工业机器人。

(2) 第二代机器人 进入 20 世纪 80 年代,随着传感技术,包括视觉传感器、非视觉传感器(力觉、触觉、接近觉等)以及信息处理技术的发展,出现了第二代机器人,即有感觉的机器人。它能够获得作业环境和作业对象的部分相关信息,进行一定的实时处理,引导机器人进行作业。现在第二代机器人已进入了实用化,在工业生产中得到了广泛应用。

(3) 第三代机器人 目前正在研究开发的第三代“智能机器人”,它不仅具有比第二代机器人更加完善的环境感知能力,而且还具有逻辑思维、判断和决策能力,可根据作业要求与环境信息自主地进行工作。

1.3.1 工业机器人在世界各国的发展

1. 工业机器人在美国的发展

美国是机器人的诞生地,早在 1962 年就研制出世界上第一台工业机器人。它的起步比号称机器人王国的日本早五六年。经过 50 多年的发展,美国拥有了雄厚的基础以及先进的技术,成为世界机器人强国之一。但它的发展道路充满曲折与不平坦。

美国工业机器人发展主要有四个阶段。第一阶段是 20 世纪 60 年代至 70 年代,美国的工业机器人主要立足于研究阶段,仅有几所大学和少数公司开展了相关项目的研究工作。1965 年,麻省理工学院(MIT)的 Robots 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。当时,美国政府并未把工业机器人列入重点发展项目,特别是美国当时失业率高达 6.65%,政府担心发展机器人会造成更多人失业,因此政府既未投入财政支持,也未组织研制机器人。1970 年,在美国芝加哥举行了第一届国际工业机器人研讨会。1970 年以后,机器人的研究得到广泛而迅速的发展。1973 年,美国辛辛那提米拉克隆公司的理查德·豪恩开发出第一台由小型计算机控制的工业机器人,这是世界上第一次计算机和小型机器人的携手合作。它是由液压驱动的,有效负载能提升至 45kg。

第二阶段是 20 世纪 70 年代后期,美国政府和业界对工业机器人制造和应用的认知有所改变,将技术路线的重点放在机器人软件及军事、宇宙、海洋、核工程等特殊领域的高级机器人的开发上。这种现象导致了日本的工业机器人后来居上,在工业生产应用和机器人制造领域很快超过了美国,并在国际市场上形成了较强的竞争力。

第三阶段是 20 世纪 80 年代中后期至 90 年代初期,美国政府真正开始重视工业机器人的研发和推广。美国国际标准管理局(ISA)和美国职业安全与健康管理局(OSHA)开始商讨并且建立美国机器人国家标准。随着机器人制造商的生产技术日臻成熟,功能简单的一代机器人逐渐不能满足实际需要,美国开始重视开发具备视觉、触觉、力感等功能的二代机器人。

第四阶段起始于 20 世纪 90 年代后期,各国开始重视工业机器人产业的发展,美国加大工业机器人软件系统的开发并处于领先地位,但工业机器人生产商的全球市场份额占比不高。

2011年6月,美国启动《先进制造伙伴计划》,明确提出通过发展工业机器人提振美国制造业,重点开发基于移动互联技术的第三代智能机器人。近年来,以谷歌公司为代表的美国互联网公司开始进军机器人领域,试图融合虚拟网络能力和现实运动能力,推动机器人的智能化。谷歌公司在2013年强势收购多家科技公司,初步实现在视觉系统、强度与结构、人机交互、滚轮与移动装置等多个智能机器人关键领域的业务部署。截至2015年,美国共申请1.6万余件相关专利。近年来,在机器人技术方面,美国的高智能、高难度的国防机器人、太空机器人已经开始投入实际应用。

2. 工业机器人在日本的发展

日本工业机器人发展主要包括四个阶段。第一阶段为摇篮期(1967—1970年),20世纪60年代日本正处于劳动力严重短缺阶段,成为制约日本经济发展的一个主要原因。1967年日本成立了人工手研究会(现改名为仿生机构研究会),同年召开了日本首届机器人学术会议。川崎重工业公司从美国Unimation公司引进先进的机器人技术,建立生产车间,并且于1968年制造出第一台川崎机器人。

第二阶段为实用期(1970—1980年),日本工业机器人经历短暂的摇篮期后迅速进入发展时期,工业机器人10年间的增长率达到30.8%。1980年被称为日本的“机器人普及元年”,日本开始在工业领域推广使用机器人,这大大缓解了劳动力严重短缺的社会矛盾。日本政府采取鼓励政策,使这些机器人受到了广大企业的欢迎。日本也因此而赢得了“机器人王国”的美称。

第三阶段为普及提高期(1980—1990年),日本政府开始在各个领域广泛推广使用机器人,1982年日本的机器人产量约2.5万台,高级机器人数量占全球总量的56%。

第四阶段为平稳成长期(从1990开始至今),受到金融危机的影响,日本机器人产业在20世纪90年代中后期进入低迷期,国际市场曾一度转向欧洲和北美。随着日本工业机器人技术的再次发展,日本工业机器人产业又逐渐恢复领先地位。

2014年日本工业机器人的全球市场份额排名第一,其工业机器人产品按应用领域划分主要分为四类,分别是喷涂机器人、原材料运输机器人、装配机器人、清洁机器人。数据显示工业机器人在汽车和电子领域的应用比例高达62.4%,这两类产业是推动日本国内机器人产业增速的主要力量。日本工业机器人的产业竞争优势在于完备的配套产业体系,在控制器、传感器、伺服电动机减速机、数控系统等关键零部件方面均具备较强的技术优势,有力推动工业机器人朝着微型化、轻量化、网络化、仿人化和廉价化的方向发展。

近年来,日本加大工业机器人在食品、药品、化妆品“三品产业”领域的投入。与汽车和电子产业不同,“三品产业”的卫生标准更高,解决卫生标准需要更先进的技术支持。日本工业机器人产业还在强调智能化的基础上,重点发展医疗护理机器人和救灾机器人来应对人口老龄化和自然灾害等问题。

3. 工业机器人在德国的发展

德国是欧洲最大的机器人市场,其智能机器人的研究和应用在世界上处于领先地位。目前在普及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,而第三代智能机器人已占有一定比重并成为发展的方向。

德国的KUKA公司是世界上几家顶级工业机器人制造商之一。1973年研制开发了KUKA的第一台工业机器人。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、塑料等工业领域，主要用于材料处理、机床装备、包装、堆垛、焊接、表面修整等方面。

德国政府在工业机器人发展的初级阶段发挥着重要作用，其后，产业需求引领工业机器人向智能化、轻量化和高能效化方向发展。20 世纪 70 年代中后期，德国政府在推行“改善劳动条件计划”中，强制规定企业使用机器人代替部分有危险、有毒、有害的工作岗位，为机器人的应用开启了初始市场。

1985 年，德国开始向智能机器人领域进军，经过了十几年的发展，以 KUKA 为代表的工业机器人生产企业占据全球领先地位。2013 年，德国推行了以“智能工厂”为重心的“工业 4.0 计划”，工业机器人推动生产制造向灵活化和个性化方向转变。依此计划，通过智能人机交互传感器，人类可借助物联网对下一代工业机器人进行远程管理，这种机器人还将具备生产间隙的“网络唤醒模式”，以解决使用中的高能耗问题，促进制造业的绿色升级。

2014 年德国工业机器人市场规模超过 2 万台，较 2013 年增加 10%。2010—2014 年，德国工业机器人年均增长率约为 9%，主要推动力是汽车产业。近年来，针对机器人的智能化，德国机器人公司对人机互动技术和软件的研究开发加大了投入力度。

4. 工业机器人在我国的发展

我国工业机器人起步于 20 世纪 70 年代初，其发展过程大致可分为三个阶段：70 年代的萌芽期；80 年代的开发期；90 年代的实用化期。而今经过几十年的发展已经初具规模。

20 世纪 70 年代开始，工业机器人的应用在世界上掀起一个高潮，尤其在日本发展更为迅猛，它补充了日益短缺的劳动力。在这种背景下，我国于 1972 年开始研制自己的工业机器人。

进入 20 世纪 80 年代后，在高技术浪潮的冲击下，随着改革开放的不断深入，我国机器人技术的开发与研究得到了国家的重视与支持。“七五”期间，国家投入资金，对工业机器人及其零部件进行攻关，完成了示教再现式工业机器人成套技术的开发，研制出了早期的喷涂、点焊、弧焊和搬运机器人。1986 年国家高技术研究发展计划（863 计划）开始实施，智能机器人主题跟踪世界机器人技术的前沿，经过几年的研究，取得了一大批科研成果，成功地研制出一批特种机器人。

从 20 世纪 90 年代初期起，我国的工业机器人又在实践中迈进一大步，先后研制出了点焊、弧焊、装配、喷漆、切割、搬运、包装码垛等各种用途的工业机器人；并实施了一批机器人应用工程，形成了一批机器人产业化基地，为我国机器人产业的腾飞奠定了基础。

目前，我国已生产出部分机器人关键元器件，开发出弧焊、点焊、码垛、装配、搬运、注塑、冲压、喷漆等工业机器人。一批国产工业机器人服务于国内诸多企业的生产线上；一批机器人技术的研究人才也涌现出来。相关科研机构和企业已掌握了工业机器人操作机的优化设计制造技术、工业机器人控制和驱动系统的硬件设计技术、机器人软件的开发和编程技术、运动学和轨迹规划技术、弧焊和点焊及大型机器人自动生产线与周边配套设备的开发和制备技术等。某些关键技术已达到或接近世界水平。

近年来，我国在人工智能方面的研发也有所突破，中国科学院和多所著名高校都培育出专门从事人工智能研究的团队，机器学习、仿生识别、数据挖掘以及模式、语言和图像识别技术比较成熟，推动了工业机器人技术的发展。

我国工业机器人近几年销量持续快速增长,但工业机器人的使用密度仍明显低于全球平均水平。2016年,我国工业机器人使用密度(每万名工人使用工业机器人数量)仅为68台,全球的平均使用密度为74台,韩国、新加坡、德国的密度高达631台、488台、309台。与发达国家相比,我国工业机器人行业未来仍有很大的发展空间。根据数据预测,2020年我国工业机器人销量将达到21万台,按照机器人均价15万元计算,市场规模将超过300亿元。

1.3.2 世界著名工业机器人生产企业

工业机器人的飞速发展离不开世界各地的著名机器人生产企业的共同努力。下面介绍国内外主要的工业机器人生产企业。

1. 瑞士 ABB 集团

瑞士 ABB 集团是世界上最大的机器人制造公司。1974年,ABB集团研发了全球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的搬运。1975年,生产出第一台焊接机器人。到1980年兼并 Trallfa 喷漆机器人公司后,机器人产品趋于完备。至2002年,ABB集团工业机器人的销售已经突破10万台,是世界上第一个突破10万台的厂家。瑞士 ABB 集团在“2018年《财富》世界500强”中排行第341位。在2019年 ABB 集团位列《财富》世界500强的第328位。ABB集团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、水切割等领域。

2. 日本 FANUC 公司

FANUC(发那科)公司的前身致力于数控设备和伺服系统的研制和生产。1972年,从日本富士通公司的计算机控制部门独立出来,成立了 FANUC 公司。FANUC 公司主要包括两大业务,一是工业机器人,二是工厂自动化。2004年,FANUC 公司的营业总收入为2648亿日元,其中工业机器人销售收入为1367亿日元,占总收入的51.6%。该公司2015年机器人累计售出40万台,2017年累计售出50万台。2019年,上海发那科机器人有限公司开始建设日本之外全球最大的机器人生产基地,预计实现年产值达100亿元。

该公司新开发的工业机器人产品有 R-2000iA 系列多功能智能机器人。具有独特的视觉和压力传感器功能,可以将随意堆放的工件捡起,并完成装配。Y4400LDiA 高功率 LD YAG 激光机器人拥有 4.4kW LD YAG 激光振荡器,有效地提高了效率和可靠性。

3. 日本安川电机公司

自1977年安川电机公司(Yaskawa Electric Co.)研制出第一台全电动工业机器人之后,目前旗下拥有在世界各地众多的子公司。它是将工业机器人应用到半导体生产领域的最早的厂商之一。其核心的工业机器人产品包括:点焊和弧焊机器人、油漆和处理机器人、LCD 玻璃板传输机器人和半导体晶片传输机器人等。该公司2018年3月期的销售额为4883亿日元,约为329亿元人民币。在中国多地建有公司和事务所。

4. 德国 KUKA Roboter GmbH 公司

KUKA Roboter GmbH 公司(库卡机器人公司)位于德国奥格斯堡,是世界顶级工业机器人制造商之一,1973年研制开发了 KUKA 的第一台工业机器人。该公司生产的工业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、机床装料、装配、包装、堆垛、焊接、表面修整等方面。2017年1月美的集团完成了