



“十三五”国家重点出版物  
出版规划项目



# 工业机器人 集成系统与模块化

李慧 马正先 马辰硕 著



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物  
出版规划项目



“中国制造2025”  
出版工程

# 工业机器人 集成系统与模块化

马正先 马辰硕 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书围绕工业机器人集成系统与模块化,从开发角度出发,对工业机器人规划与控制、机器人结构优化及组合模块结构形式等进行理论探讨,对工业机器人本体及零部件进行应用开发。在工业机器人集成系统研究中,主要对机器人机构建模、机器人基本配置、机器人系统配套及成套装置、机器人集成系统控制等进行理论分析;在工业机器人模块化研究中,主要对机器人本体模块化过程中的组合模块构成、本体模块化等进行机器人运动分析和本体设计。通过模块化设计案例,全面系统地剖析了工业机器人本体模块化的本质和意义。同时对模块化工业机器人的运动原理进行研究与设计,提出了机器人模块化过程中存在的主要问题和模块化设计建议或相应的原则性解决方案。

全书主要包括:工业机器人特点及作业要求、工业机器人集成系统、工业机器人本体模块化、工业机器人主要零部件模块化、工业机器人其他部件模块化。全书理论与应用相结合,以多用途工业机器人、电镀用自动操作机、定位循环操作工业机器人等为设计案例进行剖析,应用性强。

本书可供机器人设计及其应用领域的工程技术人员参考,也可作为机械类高年级本科生、工科研究生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人集成系统与模块化/李慧,马正先,马辰硕著.

北京:化学工业出版社,2018.6

“中国制造2025”出版工程

ISBN 978-7-122-31894-7

I. ①工… II. ①李…②马…③马… III. ①工业机器人-设计 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第069490号

---

责任编辑:张兴辉 金林茹

责任校对:边涛

装帧设计:尹琳琳

---

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)

印装:三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张14<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数273千字 2018年10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:69.00元

版权所有 违者必究

# 序

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。近十年来，我国制造业持续快速发展，综合实力不断增强，国际地位得到大幅提升，已成为世界制造业规模最大的国家。但我国仍处于工业化进程中，大而不强的问题突出，与先进国家相比还有较大差距。为解决制造业大而不强、自主创新能力弱、关键核心技术与高端装备对外依存度高等制约我国发展的问题，国务院于2015年5月8日发布了“中国制造2025”国家规划。随后，工信部发布了“中国制造2025”规划，提出了我国制造业“三步走”的强国发展战略及2025年的奋斗目标、指导方针和战略路线，制定了九大战略任务、十大重点发展领域。2016年8月19日，工信部、发展改革委、科技部、财政部四部委联合发布了“中国制造2025”制造业创新中心、工业强基、绿色制造、智能制造和高端装备创新五大工程实施指南。

为了响应党中央、国务院做出的建设制造强国的重大战略部署，各地政府、企业、科研部门都在进行积极的探索和部署。加快推动新一代信息技术与制造技术融合发展，推动我国制造模式从“中国制造”向“中国智造”转变，加快实现我国制造业由大变强，正成为我们新的历史使命。当前，信息革命进程持续快速演进，物联网、云计算、大数据、人工智能等技术广泛渗透于经济社会各个领域，信息经济繁荣程度成为国家实力的重要标志。增材制造（3D打印）、机器人与智能制造、控制和信息化技术、人工智能等领域技术不断取得重大突破，推动传统工业体系分化变革，并将重塑制造业国际分工格局。制造技术与互联网等信息技术融合发展，成为新一轮科技革命和产业变革的重大趋势和主要特征。在这种中国制造业大发展、大变革背景之下，化学工业出版社主动顺应技术和产业发展趋势，组织出版《“中国制造2025”出版工程》丛书可谓勇于引领、恰逢其时。

《“中国制造2025”出版工程》丛书是紧紧围绕国务院发布的实施制造强国战略的第一个十年的行动纲领——“中国制造2025”的一套高水平、原创性强的学术专著。丛书立足智能制造及装备、控制及信息技术两大领域，涵盖了物联网、大数

据、3D 打印、机器人、智能装备、工业网络安全、知识自动化、人工智能等一系列的核心技术。丛书的选题策划紧密结合“中国制造 2025”规划及 11 个配套实施指南、行动计划或专项规划，每个分册针对各个领域的一些核心技术组织内容，集中体现了国内制造业领域的技术发展成果，旨在加强先进技术的研发、推广和应用，为“中国制造 2025”行动纲领的落地生根提供了有针对性的方向引导和系统性的技术参考。

这套书集中体现以下几大特点：

首先，丛书内容都力求原创，以网络化、智能化技术为核心，汇集了许多前沿科技，反映了国内外最新的一些技术成果，尤其国内的相关原创性科技成果得到了体现。这些图书中，包含了获得国家与省部级诸多科技奖励的许多新技术，图书的出版对新技术的推广应用很有帮助！这些内容不仅为技术人员解决实际问题，也为研究提供新方向、拓展新思路。

其次，丛书各分册在介绍相应专业领域的新技术、新理论和新方法的同时，优先介绍有应用前景的新技术及其推广应用的范例，以促进优秀科研成果向产业的转化。

丛书由我国控制工程专家孙优贤院士牵头并担任编委会主任，吴澄、王天然、郑南宁等多位院士参与策划组织工作，众多长江学者、杰青、优青等中青年学者参与具体的编写工作，具有较高的学术水平与编写质量。

相信本套丛书的出版对推动“中国制造 2025”国家重要战略规划的实施具有积极的意义，可以有效促进我国智能制造技术的研发和创新，推动装备制造业的技术转型和升级，提高产品的设计能力和技术水平，从而多角度地提升中国制造业的核心竞争力。

中国工程院院士

潘雲鶴

# 前言

这是一本理论与工程实际密切联系，并结合设计案例系统地论述工业机器人集成系统与模块化的著作。

由于工业机器人是柔性生产不可或缺的设备，因此工业机器人模块化设计将是机械制造及自动化的重要组成部分，是一种既要求多学科理论基础，更要求工程知识和实践经验，蕴藏着巨大优势和潜力的工作。模块化工业机器人的研制和应用具有高效率 and 开放性，易于实现产品开发并容易得到用户的认可，但对其系统研究的成果或论著却极少见。由于系统地对工业机器人集成系统与模块化分析研究较少，该方面知识主要靠设计者自己在工作实践中摸索积累，这给工业机器人开发设计带来较大的困难，更不便于满足应用者的需求。知识点及设计案例的不足，不仅会极大地限制设计者的视野和创造力，还会限制机器人的发展和应用。笔者本着“理论-设计-开发”的理念完成了此著作，重点在于开发，书中较全面系统地阐述了工业机器人集成系统与模块化等方面的理论及存在的问题，并提出了相应的解决方案，通过多个设计案例表达本体模块化及零部件模块化的结构特征，具有很强的实用性。如果能为读者在工业机器人设计方面提供帮助，笔者将会感到极大的满足与欣慰。

全书共由6章组成，分别是：第1章，导论；第2章，工业机器人特点及作业要求；第3章，工业机器人集成系统；第4章，工业机器人本体模块化；第5章，工业机器人主要零部件模块化；第6章，工业机器人其他部件模块化。本书是笔者在从事产品开发设计和学校教研的基础上，结合笔者的研究成果以及国内外的研究资料完成的。书中理论一方面是笔者在工作及研究中对该问题的看法与观点，另一方面是参考和汲取了国内外的资料。为了突出对模块化机器人设计的阐述及对其结构特殊性的重点描述，第3~6章的图样去掉了一些复杂的结构、要素、交叉重叠关系和图样解释等，仅给出了简洁示意的表达和概略性的介绍，某些具体的零部件结构未能详细论述。

由于图样和设计案例的软件、版本不同，图样和设计案例的源头多及个别图样图面太大且复杂等原因，使得列举案例存在某些图的内容、格式表达不妥之处。并

且，书中的诸多观点也只是笔者一家之说。由于笔者水平及时间限制等，书中可能会出现不妥之处，恳请并欢迎读者及各界人士予以指正。

本书著者的联系方式：李慧（E-mail: lihuishuo@163.com; QQ: 1003393381），马正先（E-mail: zhengxianma@163.com; QQ: 1371347282），马辰硕（E-mail: chenshuo.ma@students.mq.edu.au; QQ: 243905263）。全书由马正先教授校对和审稿。本书得益于诸多同事与学生的帮助，得益于丰富的媒体与资料的支撑，在此，我们表示衷心感谢。

本书笔者对书中引用文献的所有著作权人表示衷心感谢！

著 者

## 目录

### 1 第1章 导论

- 1.1 机器人技术概述 / 2
- 1.2 机器人现状及国内外发展趋势 / 5
  - 1.2.1 我国工业机器人发展 / 5
  - 1.2.2 国外机器人发展 / 7
- 1.3 本书的主要内容与特点 / 9
  - 1.3.1 主要内容 / 9
  - 1.3.2 主要特点 / 12
- 参考文献 / 13

### 15 第2章 工业机器人特点及作业要求

- 2.1 工业机器人特点及应用 / 18
- 2.2 工业机器人作业要求 / 22
  - 2.2.1 机器人路径及运动规划 / 23
  - 2.2.2 机器人关节空间控制 / 32
  - 2.2.3 机器人力控制 / 43
  - 2.2.4 机器人定位 / 44
  - 2.2.5 机器人导航 / 46
- 参考文献 / 49

### 52 第3章 工业机器人集成系统

- 3.1 工业机器人基本技术参数 / 53
  - 3.1.1 机器人负载 / 53
  - 3.1.2 最大运动范围 / 54
  - 3.1.3 自由度 / 54
  - 3.1.4 精度 / 55
  - 3.1.5 速度 / 55
  - 3.1.6 机器人重量 / 55
  - 3.1.7 制动和惯性力矩 / 55





- 3.1.8 防护等级 / 56
- 3.1.9 机器人材料 / 56
- 3.2 机器人机构建模 / 57
  - 3.2.1 机器人建模影响因素 / 57
  - 3.2.2 机器人本体设计 / 59
  - 3.2.3 机器人杆件设计 / 61
  - 3.2.4 机器人结构优化 / 63
- 3.3 机器人总体结构类型 / 66
  - 3.3.1 直角坐标机器人结构 / 66
  - 3.3.2 圆柱坐标机器人结构 / 67
  - 3.3.3 球坐标机器人结构 / 68
  - 3.3.4 关节型机器人结构 / 68
  - 3.3.5 其他结构 / 69
- 3.4 机器人基本配置 / 71
  - 3.4.1 工业机器人组合 / 71
  - 3.4.2 工业机器人主要组合模块 / 73
  - 3.4.3 工业机器人配置方案 / 76
- 3.5 机器人系统配套及成套装置 / 84
  - 3.5.1 工业机器人操作机配套装置 / 84
  - 3.5.2 工业机器人操作机成套装置 / 95
- 3.6 机器人集成系统控制 / 103
  - 3.6.1 规格 / 104
  - 3.6.2 选择驱动及检测装置 / 105
  - 3.6.3 控制平台 / 105
- 参考文献 / 108

### III

## 第4章 工业机器人本体模块化

- 4.1 工业机器人组合模块构成 / 113
  - 4.1.1 机器人组成机构分析 / 113
  - 4.1.2 机器人运动原理 / 116
  - 4.1.3 组合模块结构工业机器人 / 132
- 4.2 工业机器人本体模块化设计 / 143
  - 4.2.1 多用途工业机器人 / 146
  - 4.2.2 电镀用自动操作机 / 152
  - 4.2.3 定位循环操作工业机器人 / 159
  - 4.2.4 模块化设计建议 / 167
- 参考文献 / 169

## 第5章 工业机器人主要零部件模块化

- 5.1 手臂机构 / 174
  - 5.1.1 手臂机构原理 / 175
  - 5.1.2 手臂机构设计案例 / 180
- 5.2 手腕机构 / 185
  - 5.2.1 手腕机构原理 / 185
  - 5.2.2 手腕机构设计案例 / 187
- 5.3 转动-升降机构 / 189
  - 5.3.1 转动机构原理及案例 / 189
  - 5.3.2 升降机构原理及案例 / 192
- 5.4 末端执行器 / 196
  - 5.4.1 夹持机构原理 / 196
  - 5.4.2 夹持机构设计案例 / 196
- 参考文献 / 200

## 第6章 工业机器人其他部件模块化

- 6.1 操作机小车传动装置 / 202
  - 6.1.1 操作机小车传动装置原理 / 202
  - 6.1.2 操作机小车传动装置设计 / 203
- 6.2 操作机滑板装置 / 212
  - 6.2.1 滑板机构运动原理 / 212
  - 6.2.2 滑板的模块结构 / 212
- 参考文献 / 215

## 索引



# 第1章

## 导论

## 1.1 机器人技术概述

工业机器人作为新一代生产和服务工具，在制造领域和非制造领域具有更广泛的作用，占据更重要的地位，如在核工业、水下、空间、农业、工程机械、建筑、医用、救灾、排险、军事、服务、娱乐等方面<sup>[1,2]</sup>，可代替人完成各种工作。同时，机器人作为自动化和信息化的装置与设备，完全可以进入网络世界，发挥更多及更大的作用，这对人类开辟新的产业，提高生产水平与生活水平具有十分重要的现实意义。机器人最新应用主要表现在生机电一体化、安防机器人巡检、机器人自主式、仿真模拟、物联网嵌入、云计算、脑电波控制及自动导引装置（Automated Guided Vehicle, AGV）协作等方面<sup>[3,4]</sup>。

### （1）生机电一体化技术

生机电一体化是 20 世纪 90 年代以来快速发展的前沿科学技术，它是通过生物体运动执行系统、感知系统、控制系统等与机电装置（机构、传感器、控制器等）的功能进行集成，使生物体或机电装备的功能得到延伸。如将该技术应用于机器人上，通过对神经信息的测量和处理与人机信息通道的建立，将神经生物信号传递给机器人，从而使机器人能够执行人的命令<sup>[5]</sup>。正因为这种原理，假肢也能够“听懂”人的指示，从而成为人身体的一部分。

### （2）安防机器人巡检技术

智能巡检机器人携带红外热像仪和可见光摄像机等检测装置，在工作区域内进行巡视并将画面和数据传输至远端监控系统，并对设备节点进行红外测温，及时发现设备发热等缺陷，同时也可以通过声音检测判断变压器运行状况。对于设备运行中的事故隐患和故障先兆进行自动判定和报警，有效消除事故隐患。

### （3）机器人自主式技术

机器人在不断进化，甚至可以在更大的实用程序中使用，它们变得更加自主、灵活，协作更加便捷。最终，它们将与人类并肩合作，并且人类也要向它们学习。这些机器人花费将更少，并且相比于制造业之前使用的机器人，它们的适用范围更广泛。

#### (4) 仿真模拟技术

仿真技术是一门多学科的综合性的技术，它以控制论、系统论、相似原理和信息技术为基础，以计算机和专用设备为工具，利用系统模型对实际的或设想的系统进行动态试验。模拟技术是指利用相似原理，建立研究对象的模型（如形象模型、描述模型、数学模型），并通过模型间接地研究原型规律性的实验方法。仿真模拟技术可以理解为利用实时数据，在虚拟模型中反映真实世界，包括机器、产品及人等，可以使得运营商能够在虚拟建模中进行测试和优化<sup>[3]</sup>。

#### (5) 物联网嵌入式技术

物联网（Internet of Things）指的是将无处不在（Ubiquitous）的末端设备（Devices）和设施（Facilities）<sup>[6]</sup>，包括具备“内在智能”的传感器、移动终端、工业系统、数控系统、家庭智能设施及视频监控系统等，还包括“外在使能”（Enabled）的，如贴上射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）的各种资产（Assets）、携带无线终端的个人与车辆等“智能化物件或动物”或“智能尘埃”（Mote），通过各种无线或有线的、长距离或短距离通信网络实现互联互通（M2M），应用大集成（Grand Integration）以及基于云计算的SaaS（Software as a Service）营运等模式，在内网（Intranet）、专网（Extranet）及互联网（Internet）环境下，采用适当的信息安全保障机制，提供安全可控乃至个性化的实时在线监测、定位追溯、报警联动、调度指挥、预案管理、远程控制、安全防范、远程维保、在线升级、统计报表、决策支持及领导桌面（集中展示的 Cockpit Dashboard）等管理和服务功能，实现对“万物”的“高效、节能、安全及环保”的“管、控、营”一体化。

“物联网技术”的核心和基础仍然是“互联网技术”，是在互联网技术基础上延伸和扩展的一种网络技术，其用户端延伸和扩展到了任何物品和物品之间以进行信息交换和通信。因此，物联网技术是通过射频识别、红外感应器、全球定位系统及激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议将任何物品与互联网相连接并进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、追踪、监控和管理的一种网络技术。

物联网是新一代信息技术的重要组成部分，是互联网与嵌入式系统发展到高级阶段的融合。作为物联网重要技术组成的嵌入式系

统，嵌入式系统的视角有助于深刻地、全面地理解物联网的本质。物联网是通用计算机的互联网与嵌入式系统单机或局域物联在高级阶段融合后的产物。物联网的构建跟互联网不一样，物联网更复杂、范围更广。而嵌入式技术是构建物联网的基础技术，并为其提供保障。

物联网其实就是把所有的物体都连在网络上，这些是要通过嵌入式系统来实现的。随着物联网产业的发展，更多的设备甚至更多的产品将使用标准技术连接，可以进行现场通信，提供实时响应。

#### (6) 云计算机器人

云计算是作为一种制造业的重要使能技术出现的，它可以改变传统的制造业模型，采用更科学的经营策略来促使产品创新，从而建立可以实现高效协作的智能化工厂网络。目前的制造业正在经历一轮由信息技术及其相关的智能技术带动的重大转变。云计算的主要作用是在分布式环境下根据客户需求提供一种高可靠性、高可扩展性和实用性的计算服务。云计算机器人将会彻底改变机器人发展的进程，极大地促进软件系统的完善。在当今时代，更需要跨站点和跨企业的数据共享，与此同时，云技术的性能将提高至只在几毫秒内就能进行反应。

#### (7) 超限机器人技术

在微纳米制造领域，机器人技术可以帮助人们把原来看不到、摸不着的变成能看到、能摸着的，还可以进行装配和生产。例如，微纳米机器人可以把纳米环境中物质之间的作用力直接拓展，对微纳米尺度的物质和材料进行操作。

#### (8) AGV 机器人协作技术

当前最常见的应用是 AGV 搬运机器人或 AGV 小车，主要功用集中在自动物流搬转运，AGV 搬运机器人是通过特殊地标导航自动将物品运输至指定地点，最常见的引导方式为磁条引导和激光引导。相对于单个机器人的“单打独斗”，多个机器人之间的协同作业更为重要，而这需要一套完备的调度体系来保证车间里众多同时作业的机器人相互之间协调有序。多机器人协同控制算法这一技术平台可以协同控制几百台智能机器人共同工作，完成货物的订单识别、货物定位、自动抓取、自动包装和发货等功能。

#### (9) 脑电波控制技术

在未来，远程临场（Telepresence）机器人会成为人们生活中不可

或缺的一部分。用户需要佩戴一顶可以读取脑电波数据的帽子，然后通过想象来训练机器人的手脚做出相应的反应，换句话说，就是通过意念来控制机器人的运动。它不仅可以通过软件来识别各种运动控制命令，还能在行径过程中主动避开障碍物，灵活性很高，也更容易使用。

机器人技术是综合了计算机、控制论、机构学、信息和传感技术、人工智能、仿生学等多学科而形成的高新技术，是当代研究十分活跃及应用日益广泛的领域。机器人应用情况是一个国家工业自动化水平的重要标志。因为机器人并不是在简单意义上代替人工的劳动，而是综合了人的特长和机器特长的一种拟人的电子机械装置，既有人对环境状态的快速反应和分析判断能力，又有机器可长时间持续工作、精确度高、抗恶劣环境的能力。从某种意义上说，它也是机器进化过程的必然产物，它是工业以及非产业界的重要生产和服务性设备，也是先进制造技术领域不可缺少的自动化设备。

## 1.2 机器人现状及国内外发展趋势

工业机器人的发展过程大致可以分为三个阶段，即可以将机器人划分为三代：第一代为例教再现型机器人，它主要由机械手、控制器和示教盒组成，通过示教存储程序和信息，按预先引导动作记录下信息，工作时读取信息再发出指令重复再现执行，如汽车工业中应用的点焊机器人，也是当前工业中应用最多的一类机器人；第二代为感觉型机器人<sup>[7,8]</sup>，类似于人存在某种功能的感觉，如声觉、力觉、触觉、滑觉、听觉和视觉等，它具有对某些外界信息进行反馈调整的能力，目前已进入应用阶段<sup>[9,10]</sup>；第三代为智能型机器人，它具有感知和理解外部环境的能力，在工作环境改变的情况下，也能够成功地完成任务。目前，真正的智能型机器人尚处于试验研究阶段。

### 1.2.1 我国工业机器人发展

我国的工业机器人从20世纪70年代开始起步，大致经历了三个重要阶段：萌芽期（20世纪70年代）、开发期（20世纪80年代）和实用化期（20世纪90年代以后）。尽管起步较晚，但在国家政策的大力支持下，特别是“863计划”的实施，将机器人技术作为一个重要的发展主题

进行研究,先后投入了将近几个亿的经费用于机器人的研究开发,使得我国在机器人这一领域快速发展,如今已经成为世界上公认的机器人制造大国。目前已基本掌握了机器人操作机的设计制造技术、控制系统硬件和软件设计技术<sup>[11]</sup>、运动学和轨迹规划技术<sup>[12,13]</sup>,能够制造生产部分机器人关键元器件<sup>[14,15]</sup>,开发出了喷漆、弧焊、点焊、装配、搬运<sup>[16]</sup>等工业机器人;其中喷漆机器人在企业的自动喷漆生产线(站)上已经获得规模应用,弧焊机器人也已广泛应用在汽车制造厂的焊装线上。

总体来说,我国工业机器人发展主要表现在如下三个方面。

### (1) 工业机器人的市场规模增速较快

相关调查报告显示,中国工业机器人市场规模整体增幅比较乐观,销售量和销售额都不断增长。在宏观经济和制造业增速下滑的态势下,中国工业机器人市场仍然维持一定增长速度。鉴于工业机器人替代空间巨大,预计未来几年,中国工业机器人市场仍将维持高速增长态势。

### (2) 工业机器人应用延伸

机器人与自动化成套装备是生产过程中的关键设备,能够用于制造、安装、检测、物流等多个生产环节,因此工业机器人广泛应用于汽车、电子、塑料、食品及金属加工等行业。近几年,中国工业机器人市场主要受汽车行业发展带动,目前主要以“汽车加电子”双轮驱动的形式进行发展。在汽车行业不景气的情况下,中国工业机器人市场的发展将更多地由电子行业发展带动。与此同时,随着工业机器人向着更深的方向发展以及智能化水平的提高,工业机器人的应用将从传统制造业推广到其他制造业,进而推广到诸如采矿、建筑及农业等各种非制造业<sup>[17]</sup>。

### (3) 工业机器人提升空间大

目前,外资品牌工业机器人的市场表现远好于国产品牌,外资品牌销售量占比较国产品牌销售量占比高。国产品牌工业机器人价格较低,相比较外资品牌而言,国产品牌机器人在销售量和销售额以及产品品质等方面都有很大提升空间。我国的智能机器人和特种机器人也取得了不少成果,某些机器人的成果居世界领先水平,还开发出直接遥控机器人、双臂协调控制机器人、爬壁机器人、管道机器人等机种;在机器人视觉、力觉、触觉、声觉等基础技术的开发应用上开展了不少工作,有了一定的发展基础<sup>[18,19]</sup>。



据国际机器人联合会数据显示：2016年全球工业机器人销量约29万台，同比增长14%，其中中国工业机器人销量9万台，同比增长31%。而在2016年底中国机器人产业联盟公布的《2016年上半年工业机器人市场统计数据》显示：2016年上半年国内机器人企业累计销售19257台机器人，较上年增长37.7%，增速比上年同期加快10.2%，实际销量比上年增长70.8%。我国工业机器人市场规模已经位居世界第一，国产机器人产品占据了可观的市场份额，发展态势迅猛，初具规模。

但总的来看，我国的工业机器人技术及其工程应用的水平和国外比还有一定的距离，如：可靠性低于国外产品；机器人应用工程起步较晚，应用领域较窄，生产线系统技术与国外比有差距；在应用规模上，我国已安装的国产工业机器人较少。在多传感器信息融合控制技术、遥控加局部自主系统遥控机器人、智能装配机器人、机器人化机械等的开发应用方面则刚刚起步，与国外先进水平差距较大。以上差距主要是因为没有形成强大的机器人产业，当前我国的机器人生产都是应用户的要求进行设计，品种规格多、批量小，零部件通用化程度低，供货周期长且成本也不低，而且质量和可靠性不稳定。

2015年，中国提出了“中国制造2025”，重点强调了用两化（信息化和工业化）深度融合来引领和带动整个制造业的发展。围绕这一目标，工业机器人的研究、发展和应用成为中国制造业走向高端化和智能化的重中之重。目前迫切需要解决的是产业化前期的关键技术，对产品进行全面规划，搞好系列化、通用化、模块化设计，积极推进产业化进程。

2016年工信部等单位联合印发了《机器人产业发展规划（2016～2020年）》，针对目前我国自主研发的机器人产品中减速器、伺服电动机等核心器件依赖进口的现象仍未根本改变的问题予以明确，并提出了发展规划。将选择支持重点单位，开展基础研发工作，大力支持机器人关键零部件制造水平的提升，以尽快摆脱机器人相关基础工业落后局面<sup>[20]</sup>。

## 1.2.2 国外机器人发展

早在1954年美国英格伯格和德沃尔（机器人之父）设计出第一台电子可编程序的工业机器人，并于1961年申请了该项专利，1962年美国通用汽车公司投入使用，开创了机器人应用的先河；1971年美国通