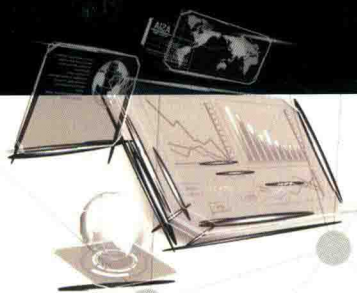


普通高等学校“十三五”规划教材

# 工业机器人 技术基础

GONGYE JIQIREN JISHU JICHU

朴松昊 谭庆吉 汤承江 孙福才 编著



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

“十三五”规划教材

# 工业机器人技术基础

朴松昊 谭庆吉 汤承江 孙福才 编著



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

## 内 容 简 介

本书是一本理论与实用技术兼顾的关于工业机器人技术的入门教材,主要内容包括机器人的发展概况、工业机器人的结构、工业机器人的运动学及动力学、工业机器人的环境感觉技术、工业机器人的控制、工业机器人的编程、工业机器人应用、机器人与人工智能、机器人新技术等。书中以工业机器人四大品牌为例,系统地讲述了工业机器人各大组成部分及其应用。

本书取材新颖,通过大量的图片和实例,对工业机器人的基本概况、机械结构、传感器应用、控制系统原理、示教编程方法等方面进行较全面的讲解,并注重学生实践能力的培养。通过学习,读者可对工业机器人有总体认识和全面了解。

本书适合作为普通高等学校机电一体化、机械、电气工程、自动化等专业的教材,也可作为高职院校工业机器人技术、机电一体化技术、电气自动化技术等专业教材或有关工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人技术基础/朴松昊等编著. —北京:中国铁道出版社,2018.6

普通高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-113-24364-7

I. ①工… II. ①朴… 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(2018)第 054798 号

书 名: 工业机器人技术基础

作 者: 朴松昊 谭庆吉 汤承江 孙福才 编著

策 划: 潘星泉

读者热线: (010) 63550836

责任编辑: 潘星泉 彭立辉

封面设计: 刘 颖

责任校对: 张玉华

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com/51eds/>

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

版 次: 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 19.5 字数: 460 千

书 号: ISBN 978-7-113-24364-7

定 价: 56.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836

打击盗版举报电话:(010) 51873659

# 前 言

因为智造，思想注入力量！因为智造，文明相互需要！因为智造，世界因此改变。

21 世纪以来，工业机器人在我国得到了高速发展。随着《中国制造 2025》的提出，我国制造业向智能制造方向转型已是大势所趋。智能制造是《中国制造 2025》的核心，工业机器人是智能制造腾飞的重要基础。2016 年，智能制造热潮来势迅猛，这既是“工业 4.0”热潮的中国化，又是《中国制造 2025》推进过程中最大的热点。

国内机器人产业所表现出来的爆发性发展态势，对具有安全和熟练使用工业机器人技能的作业人员有大量需求。工业机器人的操作、维护、保养等必须由经过培训的专业人员来实施，然而，国内院校及培训机构因场地，软硬件设施、课程体系设置及配套教材等原因无法有效开展培训，即使一些机器人厂商提供相关培训，多数也存在品牌针对性过强、推广力度不够、配套设施不足等短板，难以达成系统而实用的培训效果，加之厂家后期设备技术支持不及时、收费高等问题，促使该领域人才供需失衡的矛盾日益凸显。因此，依据当前社会对工业机器人示教、调试、操作人才的迫切需求形势，编写一本以操作为主、兼顾基本理论的工业机器人实用教材或参考书就显得尤为重要。

本书以世界著名的工业机器人四巨头 ABB、KUKA、FANUC 和 YASKAWA 为主要对象，着重围绕工业机器人操作与应用的基本共性问题展开。在论述上深入浅出，侧重于基本概念和基本规律，既不停留在表面现象，也不追求烦琐的操作细节，说明问题即可；在内容选择上与时俱进，尽量反映国内外近年来在工业机器人理论研究和生产应用方面的最新成果；在结构编排上循序渐进，遵循读者认知规律，坚持趣味导学原则，通过典型实例解说，达到理论和实际的有机结合。在本书的最后一章，集结了机器人科技的最新研究成果，读者能从中理解机器人的科技核心，以及机器人科技的多样化应用。

本书由哈尔滨工业大学机器人研究中心主任朴松昊、黑龙江高校机器人协会秘书长谭庆吉、黑龙江八一农垦大学汤承江、东北林业大学孙福才编著。具体编写分工如下：

朴松昊负责编著第1~3章，谭庆吉负责编著第4章和第5章，汤承江负责编著第6章，孙福才负责编著第7章，全书由朴松昊负责统稿、定稿。

本书在编写过程中，参阅了国内外许多专家的相关著作，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2018年2月



# 目 录

第 1 章 机器人的发展史 .....	1
1.1 古今中外的机器人传说与幻想 .....	1
1.2 十分钟读懂机器人 .....	7
小结 .....	9
第 2 章 工业机器人入门 .....	10
2.1 工业机器人的定义 .....	10
2.2 为何发展工业机器人 .....	11
2.3 工业机器人发展概况 .....	11
2.4 工业机器人的分类 .....	14
2.5 工业机器人的数理基础 .....	23
2.5.1 位置和姿态的表示 .....	23
2.5.2 工业机器人坐标变换 .....	25
2.6 工业机器人的运动学 .....	34
2.7 工业机器人的动力学 .....	37
小结 .....	37
第 3 章 工业机器人的组成 .....	39
3.1 工业机器人的系统组成 .....	40
3.1.1 工业机器人及系统 .....	40
3.1.2 工业机器人本体 .....	41
3.1.3 常用的机械附件 .....	42
3.1.4 电气控制系统 .....	45
3.2 工业机器人的结构形态 .....	47
3.2.1 垂直串联型 .....	47
3.2.2 水平串联型 .....	48
3.2.3 并联型 .....	50
3.3 工业机器人的技术参数 .....	51
3.3.1 自由度 .....	52

3.3.2	额定负载 .....	52
3.3.3	工作精度 .....	52
3.3.4	工作空间 .....	53
3.3.5	最大工作速度 .....	54
3.3.6	机器人安装方式 .....	54
3.4	工业机器人的机械结构 .....	54
3.4.1	本体的结构形式 .....	54
3.4.2	手腕结构 .....	58
3.4.3	后驱手腕结构 .....	60
3.4.4	RRR/BRR 手腕结构 .....	61
3.4.5	常用基础件 .....	61
3.5	工业机器人的谐波减速器 .....	63
3.5.1	谐波减速器结构原理及产品 .....	63
3.5.2	谐波减速回转执行器 .....	67
3.5.3	哈默纳科产品与性能 .....	68
3.6	工业机器人的 RV 减速器 .....	72
3.6.1	RV 减速器结构原理及产品 .....	72
3.6.2	纳博特斯克产品与性能 .....	77
	小结 .....	80
<b>第 4 章</b>	<b>工业机器人的操作 .....</b>	<b>82</b>
4.1	基本操作 .....	82
4.1.1	安全操作规程 .....	82
4.1.2	项目实施基本流程 .....	83
4.1.3	首次组装工业机器人 .....	84
4.2	手动操纵 .....	85
4.2.1	移动方式 .....	85
4.2.2	运动模式 .....	86
4.2.3	操作流程 .....	87
4.2.4	原点校准 .....	87
4.3	在线示教 .....	88
4.3.1	工具坐标建立 .....	88
4.3.2	工件坐标建立 .....	91
4.3.3	运动轨迹 .....	91
4.3.4	作业条件 .....	94
4.3.5	作业顺序 .....	94
4.3.6	示教步骤 .....	95
4.4	编程基础 .....	98
4.4.1	基本运动指令 .....	98

4.4.2	其他指令 .....	101
4.5	离线编程 .....	102
4.5.1	离线编程的特点 .....	102
4.5.2	离线编程的基本步骤 .....	102
4.6	离线编程的应用 .....	104
4.6.1	ABB 离线编程——Robotstudio .....	104
4.6.2	EPSON 离线编程——RC+7.0 .....	121
4.6.3	数字化工厂仿真——Visual Component .....	134
4.6.4	EDUBOT 离线编程——SimBot .....	139
小结	.....	147
<b>第 5 章</b>	<b>工业机器人的应用 .....</b>	<b>148</b>
5.1	搬运机器人及应用 .....	148
5.1.1	搬运机器人的分类及特点 .....	149
5.1.2	搬运机器人的系统组成 .....	151
5.1.3	搬运机器人的作业示教 .....	155
5.1.4	搬运机器人的周边设备与工位布局 .....	158
5.1.5	搬运机器人技术的新发展 .....	160
5.2	码垛机器人及应用 .....	162
5.2.1	码垛机器人的分类及特点 .....	163
5.2.2	码垛机器人的系统组成 .....	163
5.2.3	码垛机器人的作业示教 .....	165
5.2.4	码垛机器人的周边设备与工位布局 .....	169
5.2.5	码垛机器人技术的新发展 .....	172
5.3	焊接机器人及应用 .....	173
5.3.1	焊接机器人的分类及特点 .....	174
5.3.2	焊接机器人的系统组成 .....	178
5.3.3	焊接机器人的分类及特点 .....	185
5.3.4	焊接机器人的周边设备 .....	195
5.3.5	焊接机器人的新发展 .....	199
5.4	涂装机器人及应用 .....	202
5.4.1	涂装机器人的分类及特点 .....	203
5.4.2	涂装机器人的系统组成 .....	204
5.4.3	涂装机器人的作业示教 .....	207
5.4.4	涂装机器人的周边设备 .....	210
5.4.5	涂装机器人的新发展 .....	212
5.5	装配机器人及应用 .....	213
5.5.1	装配机器人的分类及特点 .....	213
5.5.2	装配机器人的系统组成 .....	215



5.5.3	装配机器人的作业示教	219
5.5.4	装配机器人的周边设备	222
5.5.5	装配机器人的新技术	223
	小结	226
<b>第6章</b>	<b>机器人与人工智能</b>	<b>227</b>
6.1	机器人用传感器	227
6.1.1	位移传感器	228
6.1.2	速度传感器	230
6.1.3	触觉传感器	230
6.1.4	滑觉传感器	234
6.1.5	力觉传感器	235
6.1.6	腕力传感器	236
6.1.7	接近与距离传感器	237
6.2	机器人视觉	241
6.2.1	概述	241
6.2.2	机器人视觉系统的组成	242
6.2.3	机器人视觉图像处理	249
6.2.4	机器人视觉系统的工作原理	256
6.3	机器人人工智能	259
6.3.1	感觉功能智能化	259
6.3.2	控制功能智能化	259
6.3.3	移动功能智能化	260
6.3.4	机器人系统的描述	261
6.3.5	机器人知识的获取	270
	小结	275
<b>第7章</b>	<b>机器人的技术变革</b>	<b>276</b>
7.1	虚拟机器人	276
7.2	可穿戴式机器人(外骨骼机器人)	277
7.3	机器人听觉	281
7.4	仿生机器人	282
7.5	纳米机器人	286
7.6	工业机器人新时代	289
7.6.1	工业机器人发展新趋势	289
7.6.2	新型工业机器人	291
	小结	301
	参考文献	302

## 第 1 章

# 机器人的发展史

机器人形象和机器人一词，最早出现在科幻和文学作品中。1920 年，一名捷克斯洛伐克作家发表了一部名为《罗萨姆的万能机器人》的剧本，剧中叙述了一个叫罗萨姆的公司把机器人作为人类生产的工业品推向市场，让它充当劳动力代替人类劳动的故事。作者根据小说中 Robota（捷克语，原意为“劳役、苦工”）和 Robotnik（波兰语，原意为“工人”），创造出“机器人”这个词。

### 1.1 古今中外的机器人传说与幻想

机器人问世已有几十年，但对机器人的定义仍然仁者见仁，智者见智，没有一个统一的意见。原因之一是机器人还在发展，新的机型、新的功能不断涌现。根本原因主要是因为机器人涉及了人的概念，成为一个难以回答的哲学问题。就像机器人一词最早诞生于科幻小说中一样，人们对机器人充满了幻想。也许正是由于机器人定义的模糊，才给了人们充分的想象和创造空间。

在 1967 年日本召开的第一届机器大学术会议上，人们提出了两个有代表性的定义。一是森政弘与合田周平提出的：“机器人是一种具有移动性、个体性、智能性、通用性、半机械半人性、自动性、奴隶性等 7 个特征的柔性机器”。从这一定义出发，森政弘又提出了用自动性、智能性、个体性、半机械半人性、作业性、通用性、信息性、柔性、有限性、移动性等 10 个特性来表示机器人的形象；另一个是加藤一郎提出的具有如下 3 个条件的机器，称为机器人：

(1) 具有脑、手、脚等三要素的个体。

(2) 具有非接触传感器（用眼、耳接受远方信息）和接触传感器。

(3) 具有平衡觉和固有觉的传感器。该定义强调了机器人应当仿人的含义，即它靠手进行作业，靠脚实现移动，由脑来完成统一指挥的作用。非接触传感器和接触传感器相当于人的五官，使机器人能够识别外界环境，而平衡觉和固有觉则是机器人感知本身状态所不可缺少的传感器。这里描述的不是工业机器人而是自主机器人。

1987 年国际标准化组织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。

1988年法国的埃斯皮奥将机器人定义为：机器人学是指设计能根据传感器信息实现预先规划好的作业系统，并以此系统的使用方法作为研究对象。

目前关于对机器人行为的描述中，以科幻小说家以撒·艾西莫夫（见图 1-1）在小说《我，机器人》中所订立的：“机器人三定律”最为著名。艾西莫夫为机器人提出的三条“定律”，程序上规定所有机器人必须遵守：

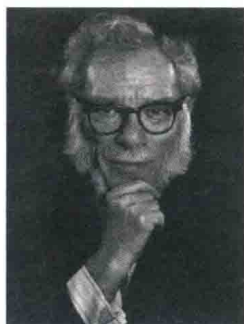


图 1-1 以撒·艾西莫夫

(1) 机器人不得伤害人类，且确保人类不受伤害。

(2) 在不违背第一法则的前提下，机器人必须服从人类的命令。

(3) 在不违背第一及第二法则的前提下，机器人必须保护自己。

“机器人三定律”的目的是为了保护人类不受伤害，但艾西莫夫在小说中也探讨了在不违反三定律的前提下伤害人类的可能性，甚至在小说中不断地挑战这三定律，在看起来完美的定律中找到许多漏洞。在现实中，“三定律”成为机械伦理学的基础，目前的机械制造业都遵循这三条定律。

现在，具体介绍一下机器人的发展历史。工业机器人的最早研究可追溯到第二次世界大战后不久。在 20 世纪 40 年代后期，橡树岭和阿尔贡国家实验室（美国）就已开始实施计划，研制遥控式机械手，用于搬运放射性材料。这些系统是“主从”型的，用于准确地“模仿”操作员手和臂的动作。主机械手由使用者进行导引做一连串动作，而从机械手尽可能准确地模仿主机械手的动作，后来用机械耦合主从机械手的动作加入力的反馈，使操作员能够感觉到从机械手及其环境之间产生的力。50 年代中期，机械手中的机械耦合被液压装置所取代，如通用电气公司的“巧手人”机器人和通用制造厂的“怪物”I 型机器人。1954 年乔治·德沃尔（见图 1-2）提出了“通用重复操作机器人”的方案，并在 1961 年获得了专利。

1958 年，被誉为“工业机器人之父”的约瑟夫·恩格尔伯格（见图 1-3）创建了世界上第一家机器人公司——Unimation（Universal Automation）公司，并参与设计了第一台 Unimate 机器人。这是一台用于压铸的五轴液压驱动机器人，手臂的控制由一台计算机完成。它采用了分离式固体数控元件，并装有存储信息的磁鼓，能够记忆完成 180 个工作步骤。与此同时，另一家美国公司——AMF 公司也开始研制工业机器人，即 Versatran 机器人。它主要用于机器之间的物料运输、采用液压驱动。该机器人的手臂可以绕底座回转，沿



图 1-2 乔治·德沃尔

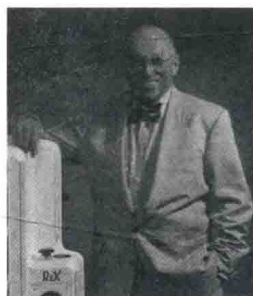
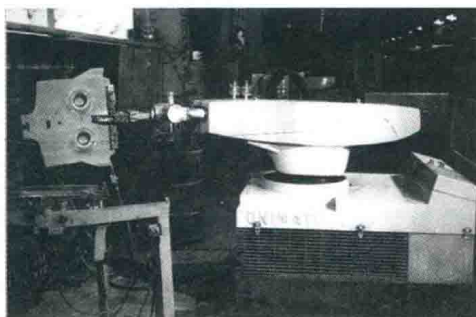


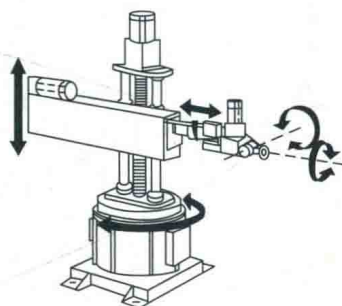
图 1-3 约瑟夫·恩格尔伯格



垂直方向升降，也可以沿半径方向伸缩。一般认为 Unimate 和 Versatran 机器人是世界上最早的工业机器人，如图 1-4 所示。可以说，60 年代和 70 年代是机器人发展最快、最好的时期，这期间的各项研究发明有效地推动了机器人技术的发展和推广。



(a) Unimate 机器人



(b) Versatran 机器人

图 1-4 世界上最早工业机器人 Unimate 和 Versatran

1965 年，美国约翰·霍普金斯大学研制出“有感觉”机器人 Beast，如图 1-5 所示。

1968 年，美国斯坦福研究所研发出机器人 Shakry，这是世界上第一台智能机器人，如图 1-6 所示。

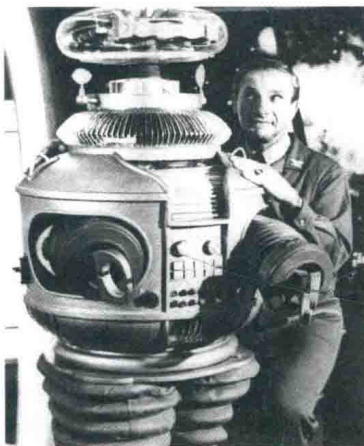


图 1-5 机器人 Beast



图 1-6 机器人 Shakry

1969 年，日本早稻田大学研发出第一台以双脚走路的机器人。

1979 年 Unimation 公司推出了 PUMA 系列工业机器人，如图 1-7 所示。它是全电动驱动、关节式结构、多 CPU 二级微机控制、采用 VAL 专用语言，可配置视觉、触觉的力觉感受器的、技术较为先进的机器人。同年，日本山梨大学的牧野洋研制出具有平面关节的 SCARA 型机器人，如图 1-8 所示。20 世纪 70 年代，出现了更多的机器人商品，并在工业生产中逐步推广应用。随着计算机科学技术、控制技术和人工智能的发展，机器人的研究开发，无论就水平和规模而言都得到迅速发展。据国外统计，到 1980 年全世界约有 2 万余台机器人在工业中应用。

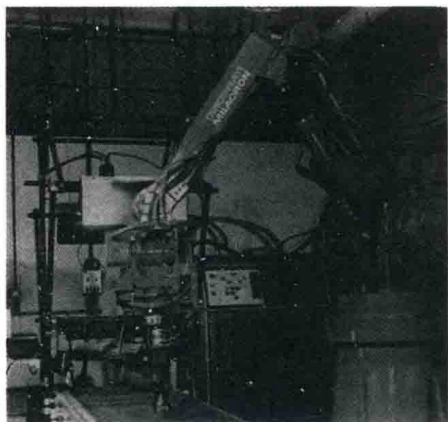


图 1-7 PUMA 机器人

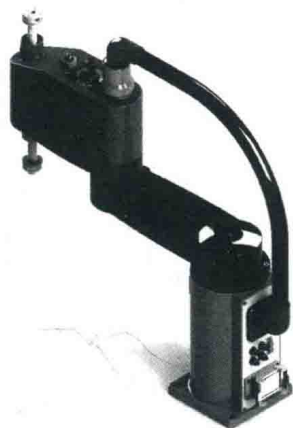


图 1-8 SCARA 型机器人

1979 年，日本 NACHI（不二越）公司研制出世界首台电动机驱动多关节焊接机器人。

1980 年，日本迅速普及工业机器人，这一年被称为“机器人元年”。

1981 年，美国 PaR Systems 公司研制出了世界首台直角坐标龙门式机器人。

1983 年，日本 DAIHEN（国内称为 OTC 或欧希地）公司研发世界首台具有示教编程功能的焊接机器人。同年，美国著名的 Westinghouse Electric Corporation（西屋电气公司，又译威斯汀豪斯公司）并购了 Unimation 公司，随后，又将其并入了瑞士 Staubli（史陶比尔）公司。

1984 年，美国 Adept Technology（娴熟技术）公司研制出了世界首台电动机直接驱动、无传齿轮和铰链的 SCARA 机器人和 Adept One。

1985 年，联邦德国 KUKA（库卡）公司研制出了世界首台具有 3 个平移自由度和 3 个转动自由度的 Z 型 6 自由度机器人。

1988 年，总部位于瑞典的 ASEA 公司和总部位于瑞士的 BBC（布朗勃法瑞）公司合并，成立了集团总部位于瑞士苏黎世的 ABB 公司。

1991 年，日本 DAIHEN（欧希地）公司研发了世界首个多工业机器人协同作业的夹具焊接系统。

1992 年，瑞士 Demarex 公司研制出了世界首台采用三轴并联结构（Parallel）的包装机器人 Delta。

1998 年，ABB 公司在 Delta 机器人的基础上，研制出了 Flex Picker 柔性手指，该机器人装备有识别物体的图像处理系统，每分钟能够拾取 120 个物体。同时，还研发了 Robot Studio 机器人离线编程和仿真软件。

2004 年，日本 YASKAWA（安川）公司推出了 NX100 机器人控制系统，该系统最大可控制 4 通道、38 轴。

2005 年，日本 YASKAWA（安川）公司推出了新一代、双腕 7 轴工业机器人。

2006 年，意大利 COMAU（柯马，菲亚特成员、著名的数控机床生产企业）公司推出了首款 WiTP 无线示教器。

2008 年；日本 FANUC（发那科）公司、YASKAWA（安川）公司的工业机器人累计



销量相继突破 20 万台，成为日本工业机器人累计销量最大的企业。

2009 年，ABB 公司研制出全球精度最高、速度最快的六轴小型机器人 IRB120。

2011 年，ABB 公司研制出全球最快的码垛机器人 IRB460。

2013 年，日本 NACHI（不二越）公司研制出了世界最快的轻量机器人 MZ07。同年，Google 公司开始大规模并购机器人公司，至今已相继并购了 Autofuss、Boston、Dynamics（波士顿动力）、Redwood Robotics、Schaff（日）、Nest Labs、Spree、Saviok 等多家公司。

2014 年，ABB 公司研制出世界上首台真正实现人机协作的机器人 YuMi，同年，德国 REIS（徠斯）公司并入 KUKA（库卡）公司。

我国在机器人研究方面相对西方国家和日本来说起步较晚。但我们所取得的成就仍是不容轻视的。我国从 20 世纪 80 年代开始涉足机器人领域的研究和应用。

1986 年，我国开展了“七五”机器人攻关计划。1987 年，我国的“863”高技术计划将机器人方面的研究开发列入其中。目前，我国从事机器人研究和应用开发的主要是高校及有关科研院所等。最初我国在机器人技术方面研究的主要目的是跟踪国际先进的机器人技术。随后，我国在机器人技术及应用方面取得了很大的成就，主要研究成果有：哈尔滨工业大学研制的两足步行机器人，北京自动化研究所 1993 年研制的喷涂机器人，1995 年完成的高压水切割机器人，沈阳自动化研究所研制完成的有缆深潜 300 m 机器人、无缆深潜机器人、遥控移动作业机器人。

我国在仿人形机器人方面，也取得很大的进展。例如，中国国防科学技术大学经过 10 年的努力，于 2000 年成功地研制出我国第一个仿人形机器人——先行者，其身高 140 cm，重 20 kg，如图 1-9 所示。它有与人类似的躯体、头部、眼睛、双臂和双足，可以步行，也有一定的语言功能。它每秒走一步到两步，但步行质量较高：既可在平地上稳步向前，还可自如地转弯、上坡；既可以在已知的环境中步行，还可以在小偏差、不确定的环境中行走。

2016 年中国科学技术大学正式发布了一款名为“佳佳”的机器人，如图 1-10 所示。机器人“佳佳”初步具备了人机对话理解、面部微表情、口型及躯体动作匹配、大范围动态环境自主定位导航和云服务等功能。

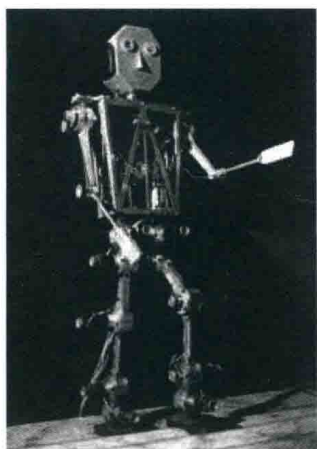


图 1-9 先行者机器人



图 1-10 机器人佳佳

可以说机器人技术的发展速度还是比较快的。原来只能在科幻小说和电影中看到的机器人现在可以说已经离我们越来越近。那么在未来,机器人的发展趋势到底会是怎样的呢?

智能化可以说是机器人未来的发展方向,智能机器人是具有感知、思维和行动功能的机器,是机构学、自动控制、计算机、人工智能、微电子学、光学、通信技术、传感技术、仿生学等多种学科和技术的综合成果。智能机器人可获取、处理和识别多种信息,自主地完成较为复杂的操作任务,比一般的工业机器人具有更大的灵活性、机动性和更广泛的应用领域。

对于未来意识化智能机器人很可能的几大发展趋势,这里概括性地分析如下:

(1) 语言交流功能越来越完美:智能机器人,既然已经被赋予“人”的特殊含义,那当然需要有比较完美的语言功能,这样就能与人类进行一定的,甚至完美的语言交流,所以机器人语言功能的完善是一个非常重要的环节。对于未来智能机器人的语言交流功能会越来越完美化,是一个必然性趋势,在人类的完美设计程序下,它们能轻松地掌握多个国家的语言,远高于人类的学习能力。另外,机器人还具有进行自我语言词汇重组的能力,就是当人类与之交流时,若遇到语言包程序中没有的语句或词汇时,可以自动地用相关的或相近意思词组,按句子的结构重组成一句新句子来回答,这也相当于类似人类的学习能力和逻辑能力,是一种意识化的表现。

(2) 各种动作的完美化:机器人的动作是相对于模仿人类动作来设计的,人类能做的动作是极其多样化的,招手、握手、走、跑、跳等,都是人类的惯用动作。现代智能机器人虽然也能模仿人的部分动作,不过相对是有点僵化的感觉,或者动作是比较缓慢的。未来机器人将以更灵活的类似人类的关节和仿真人造肌肉,使其动作更像人类,模仿人的所有动作,甚至做得更有形将成为可能。还有可能做出一些普通人很难做出的动作,如平地翻跟斗,倒立等。

(3) 外形越来越酷似人类:科学家们研制越来越高级的智能机器人,主要是以人类自身形体为参照对象的。自然先有一个很仿真的人形外表是首要前提,在这一方面日本应该是相对领先的,国内也是非常优秀的。当几近完美的人造皮肤、人造头发、人造五官等恰到好处地遮盖于金属内在的机器人身上,站在那里再配以人类的完美化正统手势时,这样从远处乍一看,会真的误以为是一个大活人。当走近时,细看才发现原来只是个机器人。对于未来机器人,仿真程度很有可能达到即使近在咫尺细看它的外在,也只会把它当成人类,很难分辨是机器人,这种状况就如美国科幻大片《终结者》中的机器人物造型具有极致完美的人类外表。

(4) 逻辑分析能力越来越强:对于智能机器人为了完美化模仿人类,未来科学家会不断地赋予它许多逻辑分析程序功能,这也相当于是智能的表现。例如,自行重组相应词汇成新的句子是逻辑能力的完美表现形式,若自身能量不足,可以自行充电,而不需要主人帮助,那是一种意识表现。总之,逻辑分析有助于机器人自身完成许多工作,在不需要人类帮助的同时,还可以尽量地帮助人类完成一些任务,甚至是比较复杂化的任务。在一定层面上讲,机器人有较强的逻辑分析能力,是利大于弊的。

(5) 具备越来越多样化功能:人类制造机器人的目的是为人类所服务的,所以就会尽可能地把它变成多功能化。例如,在家庭中,机器人可以成为保姆,会帮你扫地、吸尘,可以



做你的聊天朋友，还可以为你看护小孩。到外面时，机器人可以帮你搬一些重物，或提一些东西，甚至还能当你的私人保镖。另外，未来高级智能机器人还会具备多样化的变形功能，例如，从人形状态变成一辆豪华的汽车也是有可能的，这似乎是真正意义上的变形金刚。它载着你到处驶驰于你想去的任何地方的比较理想的设想，在未来都是有可能实现的。

机器人的产生是社会科学技术发展的必然阶段，是社会经济发展到一定程度的产物，在经历了从初级到现在的成长过程后，随着科学技术的进一步发展及各种技术进一步的相互融合，机器人技术的发展前景将更加光明。

## 1.2 十分钟读懂机器人

近年来，机器人题材的电影愈发火爆，如《钢铁侠》《变形金刚》和《我的机器人女友》等非常受欢迎。那么问题摆在眼前，钢筋铁骨的钢铁侠是如何奔跑和飞翔的？铁骨铮铮的机器人女汉子是如何露出那天使般的笑容的？机器人可以实现运动和思考的机理是什么？机器人是如何听、说、读、写的？

要真正读懂机器人，首先需要了解机器人学的学科分类。机器人学科内主要包括机械工程、自动控制和人工智能3个领域。其中，机械工程是机器人学的基础。根据机器人的作用和目标，设计并制造出合理的机械结构，构造出机器人的“骨骼和肌肉”。

机械和控制两个领域主要通过设计机器人的机械结构和机构中各个关节的控制方法，解决机器人本体运动的问题。机器人的本体部件主要包括：机械臂、末端执行器、驱动器、传感器、控制器。

机械臂是机器人的主体部分，由连杆、活动关节和其他结构部件组成。如果没有其他部件，仅机械臂本身并不能被称作机器人。常见的仿人机器人一般是由头部、躯干、两手、双足等构成的多连杆机构，它的运动学和力学的数学处理方法与工业机械手有许多共同之处，包括正运动学、逆运动学、动力学等问题。但是，机器人还有一些更复杂的要求，如仿人机器人在执行推桌子、跳舞、爬楼梯等任务时，非常注重身体的平衡。

末端执行器就是连接在机械手最后一个关节上的部件，它相当于机器人的“手指”，一般用来抓取物体，与其他机构连接并执行需要的任务。一般来说，机器人手部都备有能连接专用末端执行器的接口，这些末端执行器是为某种用途专门设计的。通常来说，末端执行器的动作是由机器人控制器直接控制，或者将机器人控制器的信号传至末端执行器自身的控制装置。

驱动器就是机械手的“肌肉”，如果把连杆以及关节想象为机器人的骨骼，那么驱动器就起肌肉的作用，它通过移动或者转动连杆来改变机器人的构型。驱动器必须有足够的功率对连杆进行加减速并带动负载，同时，驱动器自身必须轻便、经济、准确、可靠。机器人的驱动通常有电动、液压和气动3种方式。由于电动方式具有控制方便、精度高、结构紧凑等优点，目前大多数中小型机器人采用的都是电动方式，包括交流伺服电动机、步进电动机、舵机等；液压方式具有出力大的优点，通常大型工业机器人多采用液压方式驱动；部分末端执行器和气动肌肉等采用气动形式。

传感器是用来收集机器人内部状态的信息或用来与外部环境进行通信的部件，类似于人

的各个感知器官。像人一样，机器人控制器需要知道每个连杆的位置才能知道机器人的总体构型。人即使在完全黑暗中也会知道胳膊和腿在哪里，这是因为肌腱内的中枢神经系统中的神经传感器将信息反馈给了人的大脑。大脑利用这些信息来测定肌肉伸缩程度，进而确定胳膊和腿的当前状态。机器人同样也如此。机器人常常配有外部传感器，例如视觉系统、触觉传感器、语言合成器等，使机器人与外界进行通信。

机器人的控制器就相当于人的神经系统，传感器将获取到的数据传送至控制器，控制器经过计算后输出控制指令控制驱动器的运动。假如机器人要从箱柜中取出一个零件，要求它的第一关节为  $35^\circ$ ，如果第一关节尚未达到这一角度，控制器就会发出一个信号到驱动器（输送电流到电动机、输送气体到气缸，或者发送信号到液压缸的伺服阀），促使执行机构运动，然后通过关节上的反馈传感器测量关节角度的变化，当关节达到预定角度时，停止发送控制信号。对于更复杂的机器人，机器人的运动速度和力也由控制器控制。

机器人有了筋骨之后，还需要一个神经系统来指挥机器人身体来完成，例如，走路抬手这类底层动作。也就是说，机器人有了可以执行运动的身体之后，还需要一个灵魂。塑造灵魂就是人工智能科学的目标。

作为机器人的大脑和灵魂——人工智能学，并不局限于机器人局部机构的运动，如抓取、驾驶等，而是着眼于高级智能目标，如识别人体动作、语音合成、自动导航和建立地图、躲避障碍物和自动驾驶、双足机器人步态下的平衡等。它包括算法设计和传感器感知等研究方向，主要解决机器人怎么思考的问题。

一个智能机器人系统的工作原理，简单来说，就是机器人通过感知系统（传感器系统，包括彩色照相机、深度照相机、麦克风阵列、压力传感器、加速度传感器等）感知到环境信息（如障碍物和目标位置），机器人的计算机系统上的人工智能算法通过对这一系列环境信息的处理，给出高级目标指令（如向目标位置运动，抓取目标物体，避开障碍物等），控制系统将此类高级目标指令逐级解析给出每一个机械关节上的控制量（如关节的运动速度和转角、加速度等），关节的驱动器（如电动机、液压驱动器等）收到这些控制量后，在全身规划系统的控制下，每个关节分别完成各自的运动目标位置，智能机器人就可以动起来。以机器人步态规划为例，机器人站在一个台阶前，台阶和地板的位置信息通过深度照相机等设备传入机器人的计算机中，通过人工智能算法解算出台阶和地板表面法向量和安全边界区等参数，通过和加速度传感器（陀螺仪等）提供的重力方向比较，计算出可以踩踏的区域。智能算法再根据机器人当前位置和目标位置，计算出一条最优化的脚步路线，算出脚步路线后就可以把脚步路径输出给控制器。控制器会根据每一个脚步点的位置和关节参数，应用逆运动学计算出机器人每一个关节的控制曲线，最终将控制量输出到各个关节，机器人就开始像人一样自主运动。当然，这只是一个最简单的例子，在实际情况下，人工智能模块（AI）还要考虑很多问题，如视觉系统得到地面信息后，需要视觉算法来计算这些表面的纹理特征，估算摩擦因数，提取最大局部平面，估算机器人脚不打滑的最大斜面等，当机器人处于有移动障碍物的可变环境中时，如果运动的障碍物出现在机器人视角之外，就需要借助机器人听觉来定位看不见的障碍物位置。更重要的还需要考虑双足机器人如何保持单脚支撑时候的平衡，如通过摆动双臂、弯腰等动作来移动机器人的重心，使重心保持在“零力矩支撑域”内，实现人类小脑的功能。如果考虑动力学情况，即变加速情况下的双足平衡问题（如奔