

# 工业机器人 结构及维护

龚仲华 编著



Structure and  
Maintenance  
of Industrial Robot



化学工业出版社

# 工业机器人 结构及维护

龚仲华 编著



Structure and  
Maintenance  
of Industrial Robot



化学工业出版社

·北京·

本书介绍了机器人的产生、发展、分类及产品与应用概况, 工业机器人的组成与特点、机构形态、技术性能、坐标系及姿态、操作与编程等基础知识; 系统阐述了工业机器人的机械结构与特点; 详尽介绍了CBR轴承、同步皮带、滚珠丝杠、滚动导轨等重要基础件, 以及谐波减速器、RV减速器等机械核心部件的结构原理、技术参数、安装维护要求; 并对垂直串联、水平串联SCARA、并联Delta工业机器人的机械传动系统结构进行了深入、具体的分析和说明。

本书选材典型、技术先进、内容全面、案例丰富, 理论联系实际, 面向工程应用, 是工业机器人机械设计、使用、维修人员和高等学校师生的优秀参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人结构及维护 / 龚仲华编著. —北京: 化学工业出版社, 2017. 7

ISBN 978-7-122-29831-7

I. ①工… II. ①龚… III. ①工业机器人-结构  
②工业机器人-维修 IV. ①TP242. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第126414号

---

责任编辑: 潘新文  
责任校对: 吴静

装帧设计: 张辉

---

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)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$  字数360千字 2017年8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: 49.00元

版权所有 违者必究



# 前 言

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机电一体化设备，被称为工业自动化的三大主持技术之一。随着社会的进步和劳动力成本的增加，工业机器人在我国的应用已越来越广。

工业机器人是一种功能完整、可独立运行的自动化设备，它有自身的控制系统，能依靠自身的控制能力来完成规定的作业任务。对工业机器人进行设计、调试、使用、维修，都需要相关技术人员熟悉机器人的结构，掌握其安装维护、调试维修技术，才能充分发挥机器人的功能，确保其正常可靠运行。

本书第1章简要介绍了机器人的产生、发展、分类概况，对工业机器人的技术发展、产品应用及主要生产企业，进行了简要介绍。

第2章系统介绍了工业机器人的组成特点、结构形态、技术性能、坐标系与姿态、操作与编程等基础知识。

第3章中，通过对典型工业机器人的结构剖析，归纳了工业机器人的机械核心部件，并对CRB轴承、同步皮带、滚珠丝杠、直线导轨等重要基础部件的结构原理、主要技术参数及使用维护要求进行了深入具体的阐述。

第4、5章中，对工业机器人的机械核心部件——谐波减速器、RV减速器的结构原理、主要技术参数及使用维护要求进行了详尽说明。

第6章中，对垂直串联、水平串联SCARA、并联Delta等工业机器人的机械传动系统结

构进行了深入、具体的分析和说明。

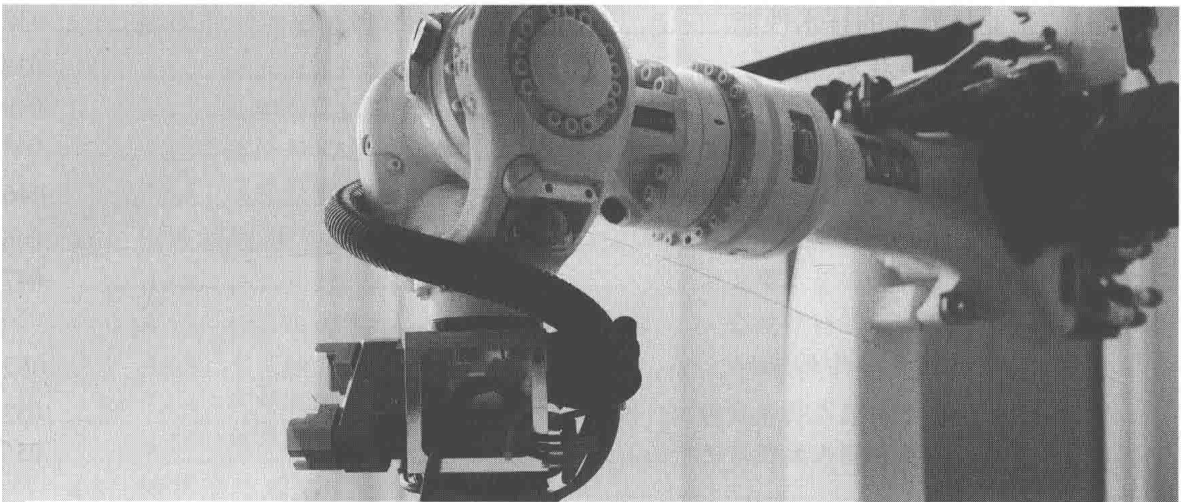
本书可作为从事工业机器人机械设计的技术人员以及使用和维修人员的参考用书，也可供机器人爱好者使用，或作为高等院校的教材。

由于编著者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，殷切期望广大读者提出批评、指正，以便将来修订时进一步提高本书的质量。

编著者

2017.3

言 前



# 目 录

<b>第1章 工业机器人概述 .....</b>	<b>001</b>
1.1 机器人的产生与发展 .....	001
1.1.1 机器人产生及定义 .....	001
1.1.2 机器人的发展 .....	004
1.2 机器人分类与概况 .....	009
1.2.1 机器人的分类 .....	009
1.2.2 工业机器人概况 .....	011
1.2.3 服务机器人简介 .....	012
1.3 工业机器人产品与应用 .....	015
1.3.1 技术发展与产品应用 .....	015
1.3.2 主要生产企业及产品 .....	017
<b>第2章 工业机器人的基本特性 .....</b>	<b>025</b>
2.1 工业机器人组成与特点 .....	025
2.1.1 工业机器人的组成 .....	025
2.1.2 工业机器人的特点 .....	030
2.2 工业机器人的结构形态 .....	033
2.2.1 垂直串联机器人 .....	033
2.2.2 水平串联机器人 .....	036
2.2.3 并联机器人 .....	037

2.3	工业机器人的技术性能.....	038
2.3.1	主要技术参数.....	038
2.3.2	工作范围与承载能力.....	040
2.3.3	自由度、速度及精度.....	043
2.4	工业机器人坐标系和姿态.....	046
2.4.1	全局坐标系与控制轴组.....	046
2.4.2	局部坐标系及定义.....	047
2.4.3	工业机器人的姿态.....	050
2.5	工业机器人操作与编程.....	052
2.5.1	工业机器人的手动操作.....	052
2.5.2	工业机器人编程与运行.....	056

### **第3章 工业机器人结构与基础部件..... 061**

3.1	工业机器人结构剖析.....	061
3.1.1	本体典型结构.....	061
3.1.2	其他结构简析.....	064
3.1.3	机械核心部件概述.....	067
3.2	CRB轴承与同步皮带.....	069
3.2.1	CRB轴承及安装维护.....	069
3.2.2	同步皮带及安装维护.....	072
3.3	滚珠丝杠及使用维护.....	074
3.3.1	结构与原理.....	074
3.3.2	主要技术参数.....	076
3.3.3	螺母预紧.....	080
3.3.4	安装与维护.....	082
3.4	滚动导轨及使用维护.....	086
3.4.1	结构与原理.....	086
3.4.2	主要技术参数.....	088
3.4.3	安装与维护.....	089

### **第4章 谐波减速器及维护..... 093**

4.1	变速原理与典型产品.....	093
4.1.1	谐波齿轮变速原理.....	093
4.1.2	哈默纳科产品概况.....	098
4.1.3	回转执行器与直接驱动.....	103
4.2	技术参数与使用要点.....	105
4.2.1	主要技术参数.....	105
4.2.2	安装使用要点.....	110

4.3	部件型减速器及维护 .....	113
4.3.1	水杯形减速器 .....	114
4.3.2	礼帽形减速器 .....	116
4.3.3	薄饼形减速器 .....	118
4.3.4	超薄形减速器 .....	120
4.4	谐波减速单元及维护 .....	122
4.4.1	产品系列 .....	122
4.4.2	标准减速单元 .....	123
4.4.3	中空轴/轴输入减速单元 .....	126
4.4.4	密封减速单元 .....	129
4.4.5	超薄减速单元 .....	131
4.5	简易谐波减速单元及维护 .....	136
4.5.1	产品与结构 .....	136
4.5.2	安装与维护 .....	139
4.6	谐波减速箱及维护 .....	141
4.6.1	产品与结构 .....	141
4.6.2	安装与维护 .....	144
4.7	微型谐波减速器及维护 .....	145
4.7.1	产品与特点 .....	145
4.7.2	组成与结构 .....	147
4.7.3	安装与维护 .....	149

## **第5章 RV减速器及维护 .....** **151**

5.1	变速原理与典型产品 .....	151
5.1.1	RV 齿轮变速原理 .....	151
5.1.2	纳博特斯克产品概况 .....	156
5.2	技术参数与使用要点 .....	160
5.2.1	主要技术参数 .....	160
5.2.2	安装使用要点 .....	164
5.3	基本型减速器及维护 .....	168
5.3.1	组成与结构 .....	168
5.3.2	安装与维护 .....	170
5.4	RV 减速单元及维护 .....	173
5.4.1	标准型减速单元 .....	173
5.4.2	紧凑型减速单元 .....	176
5.4.3	中空型减速单元 .....	178
5.5	RV 减速箱及维护 .....	180
5.5.1	高速型减速箱 .....	180
5.5.2	标准型减速箱 .....	183
5.5.3	扁平型减速箱 .....	186



<b>第6章 工业机器人典型结构 .....</b>	<b>189</b>
6.1 垂直串联机器人 .....	189
6.1.1 传动系统结构形式 .....	189
6.1.2 机身传动系统结构 .....	191
6.1.3 手腕结构形式 .....	193
6.1.4 前驱RBR手腕结构 .....	195
6.1.5 后驱RBR手腕结构 .....	197
6.1.6 后驱RR/3R手腕结构 .....	202
6.2 SCARA及Delta机器人 .....	205
6.2.1 前驱SCARA结构 .....	205
6.2.2 后驱SCARA结构 .....	207
6.2.3 Delta结构简述 .....	211
6.3 工业机器人结构实例 .....	212
6.3.1 MH6机器人及安装维护 .....	212
6.3.2 基座和腰结构剖析 .....	216
6.3.3 上/下臂结构剖析 .....	217
6.3.4 手腕结构剖析 .....	220
<b>参考文献 .....</b>	<b>225</b>



# 第1章 工业机器人概述

## 1.1 机器人的产生与发展

### 1.1.1 机器人产生及定义

#### 1. 机器人概念的出现

机器人（Robot）自从1959年问世以来，由于它能够协助、代替人类完成那些重复频繁、单调、长时间的工作，并能完成在危险、恶劣环境下的作业，因此其发展较迅速。随着人们对机器人研究的不断深入，目前已形成了Robotics（机器人学）这一新兴的综合性学科，有人将机器人技术、数控技术、PLC技术并称为工业自动化的三大支持技术。

机器人（Robot）一词源自于捷克著名剧作家Karel Čapek（卡雷尔·恰佩克）1921年创作的剧本《Rossumovi univerzální roboti》（罗萨姆的万能机器人，简称R.U.R），由于R.U.R剧中的人造机器被取名为Robota（捷克语，即奴隶、苦力），因此，英文Robot一词开始代表机器人。

机器人概念的出现，首先引起了科幻小说家的广泛关注。自20世纪20年代起，机器人成为了很多科幻小说、电影的主角，如星球大战中的C3P0等。科幻小说家的想象力是无限的，1942年，美国科幻小说家Isaac Asimov（艾萨克·阿西莫夫）在《I, Robot》的第4个短篇《Runaround》中，首次提出了“机器人学三原则”，它被称为“现代机器人学的基石”，这也是“机器人学（Robotics）”这个名词在人类历史上的首度亮相。

机器人学三原则的主要内容如下：

原则1：机器人不能伤害人类，或因其不作为而使人类受到伤害；



原则2：机器人必须执行人类的命令，除非这些命令与原则1相抵触；

原则3：在不违背原则1、原则2的前提下，机器人应保护自身不受伤害。

1985年，Isaac Asimov在机器人系列最后一部作品《Robots and Empire》中，又补充了凌驾于“机器人学三原则”之上的“0原则”：机器人必须保护人类的整体利益不受伤害，其他3条原则都必须在这一前提下才能成立。

继Isaac Asimov之后，其他科幻作家陆续提出了对“机器人学三原则”的补充、修正意见，但是这些大都是科幻小说家对想象中的机器人所施加的限制；实际上，“人类整体利益”等概念本身就是模糊的，甚至连人类自己都搞不明白，更不要说机器人了。因此，目前人类的认识和科学技术，实际上还远未达到制造科幻片中的机器人的水平；制造出具有类似人类智慧、感情、思维的机器人，仍属于科学家的梦想和追求。

## 2. 现代机器人的产生

现代机器人的研究起源于20世纪中叶的美国，它从工业机器人的研究开始。

第二次世界大战期间（1938～1945年），由于军事、核工业的发展需要，在原子能实验室的恶劣环境下，需要有操作机械来代替人类进行放射性物质的处理。为此，美国的Argonne National Laboratory（阿尔贡国家实验室）开发了一种遥控机械手（Teleoperator）。接着，在1947年，又开发出了一种伺服控制的主-从机械手（Master-Slave Manipulator），这些都是工业机器人的雏形。

工业机器人的概念由美国发明家George Devol（乔治·德沃尔）最早提出，他在1954年申请了专利，并在1961年获得授权。1958年，美国著名的机器人专家Joseph F·Engelberger（约瑟夫·恩盖尔柏格）建立了Unimation公司，并利用George Devol的专利，于1959年研制出了图1.1-1所示的世界上第一台真正意义上的工业机器人Unimate，开创了机器人发展的新纪元。

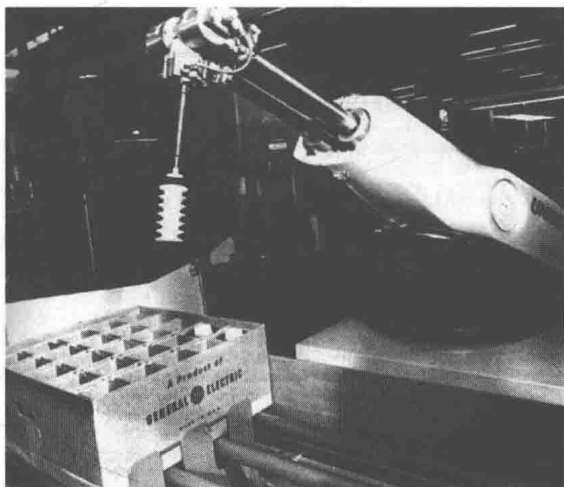


图1.1-1 工业机器人Unimate

Joseph F·Engelberger对世界机器人工业的发展作出了杰出的贡献，被人们称为“机器人之父”。1983年，就在工业机器人销售日渐增长的情况下，他又毅然地将Unimation公司出让给了美国Westinghouse Electric Corporation公司（西屋电气，又译威斯汀豪斯），并创建了TRC公司，前瞻性地开始了服务机器人的研发工作。

从1968年起, Unimation公司先后将机器人的制造技术转让给了日本KAWASAKI(川崎)和英国GKN公司, 机器人开始在日本和欧洲得到了快速发展。据有关方面的统计, 目前世界上至少有48个国家在发展机器人, 其中的25个国家已在进行智能机器人开发, 美国、日本、德国、法国等都是机器人的研发和制造大国, 无论在基础研究或是产品研发、制造方面都居世界领先水平。

### 3. 国际标准化组织

随着机器人技术的快速发展, 在发达国家, 机器人及其零部件的生产已逐步形成产业, 为了能够宣传、规范和引导机器人产业的发展, 世界各国相继成立了相应的行业协会。目前, 世界主要机器人生产与使用国的机器人行业协会如下。

#### 1) International Federation of Robotics (IFR, 国际机器人联合会)

该联合会成立于1987年, 目前已有25个成员国, 它是世界公认的机器人行业代表性组织, 已被联合国列为非政府正式组织。

#### 2) Japan Robot Association (JRA, 日本机器人协会)

该协会原名Japan Robot Industrial Robot Association (JIRA, 日本工业机器人协会), 它成立于1971年3月, 是全世界最早的机器人行业协会。JIRA最初称“工业机器人恳谈会”, 1972年10月更名为Japan Robot Industrial Robot Association (JIRA); 1973年10月成为正式法人团体; 1994年更名为Japan Robot Association (JRA)。

#### 3) Robotics Industries Association (RIA, 美国机器人协会)

该协会成立于1974年, 是美国机器人行业的专门协会。

#### 4) Verband Deutscher Maschinen Und Anlagebau (VDMA, 德国机械设备制造业联合会)

VDMA是拥有3100多家会员企业、400余名专家的大型行业协会, 它下设37个专业协会和一系列跨专业的技术论坛、委员会及工作组, 是欧洲目前最大的工业联合会, 以及工业投资品领域中最大、最重要的组织机构。自2000年起, VDMA设立了专业协会Deutschen Gesellschaft Association für Robotik (DGR, 德国机器人协会), 专门进行机器人产业的规划和发展等相关工作。

#### 5) French Research Group in Robotics (FRGR, 法国机器人协会)

该协会原名Association Française de Robotique Industrielle (AFR, 法国工业机器人协会), 后来随着服务机器人的发展, 在2007年更为现名。

#### 6) Korea Association of Robotics (KAR, 韩国机器人协会)

该协会是亚洲较早的机器人协会之一, 成立于1999年。

### 4. 机器人的定义

由于机器人的应用领域众多、发展速度快, 加上它又涉及人类的有关概念, 因此, 对于机器人, 世界各国标准化机构, 甚至同一国家的不同标准化机构, 至今尚未形成一个统一、准确、世所公认的严格定义。

例如, 欧美国家一般认为, 机器人是一种“由计算机控制、可通过编程改变动作的多功能、自动化机械”。而日本作为机器人生产的大国, 则将机器人分为“能够执行人体上肢(手和臂)类似动作”的工业机器人和“具有感觉和识别能力、并能够控制自身行为”的智能机器人两大类。



客观地说，欧美国家的机器人定义侧重其控制方式和功能，其定义和现行的工业机器人较接近；而日本的机器人定义，关注的是机器人的结构和行为特性，且已经考虑到了现代智能服务机器人的发展需要，其定义更为准确。

作为参考，目前在相关资料中使用较多的机器人定义主要有以下几种。

① International Organization for Standardization (ISO, 国际标准化组织) 定义：机器人是一种“自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手，这种机械手具有几个轴，能够借助可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，执行各种任务”。

② Japan Robot Association (JRA, 日本机器人协会) 将机器人分为了工业机器人和智能机器人两大类，工业机器人是一种“能够执行人体上肢（手和臂）类似动作的多功能机器”；智能机器人是一种“具有感觉和识别能力，并能够控制自身行为的机器”。

③ NBS (美国国家标准局) 定义：机器人是一种“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”。

④ Robotics Industries Association (RIA, 美国机器人协会) 定义：机器人是一种“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”。

⑤ 我国GB/T12643标准定义：工业机器人是一种“能够自动定位控制，可重复编程的，多功能的、多自由度的操作机，能搬运材料、零件或操持工具，用于完成各种作业”。

由于以上标准化机构及专门组织对机器人的定义，都是在特定时间所得出的结论，多偏重于工业机器人。但科学技术对未来是无限开放的，当代智能机器人无论在外观还是功能、智能化程度等方面，都已超出了传统工业机器人的范畴。机器人正在源源不断地向人类活动的各个领域渗透，它所涵盖的内容越来越丰富，其应用领域和发展空间正在不断延伸和扩大，这也是机器人与其他自动化设备的重要区别。

可以想象，未来的机器人不但可接受人类指挥、运行预先编制的程序，而且也可根据人工智能技术所制定的原则纲领，选择自身的行动，甚至可能像科幻片所描述的那样，脱离人们的意志而自行其是。

## 1.1.2 机器人的发展

### 1. 技术发展水平

机器人最早用于工业领域，它主要用来协助人类完成重复、频繁、单调、长时间的工作，或进行高温、粉尘、有毒、辐射、易燃、易爆等恶劣、危险环境下的作业。但是，随着社会进步、科学技术发展和智能化技术研究的深入，各式各样具有感知、决策、行动和交互能力，可适应不同领域特殊要求的智能机器人相继被研发，机器人已开始进入人们生产、生活的各个领域，并在某些逐步取代人类独立从事相关作业。

根据机器人现有的技术水平，人们一般将机器人产品分为如下三代。

#### 1) 第一代机器人

第一代机器人一般是指能通过离线编程或示教操作生成程序，并再现动作的机器人。第一代机器人所使用的技术和数控机床十分相似，它既可通过离线编制的程序控制机器人的运动；也可通过手动示教操作（数控机床称为Teach in操作），记录运动过程并生成程序，并进行再现运行。

第一代机器人的全部行为完全由人控制，它没有分析和推理能力，不能改变程序动作，无智能性，其控制以示教、再现为主，故又称示教再现机器人。第一代机器人现已实用和普及，图1.1-2所示的大多数工业机器人都属于第一代机器人。

### 2) 第二代机器人

第二代机器人装备有一定数量的传感器，它能获取作业环境、操作对象等的简单信息，并通过计算机的分析与处理，作出简单的推理，并适当调整自身的动作和行为。例如，在图1.1-3所示的探测机器人上，可通过所安装的摄像头及视觉传感系统，识别图像，判断和规划探测车的运动轨迹，它对外部环境具有了一定的适应能力。

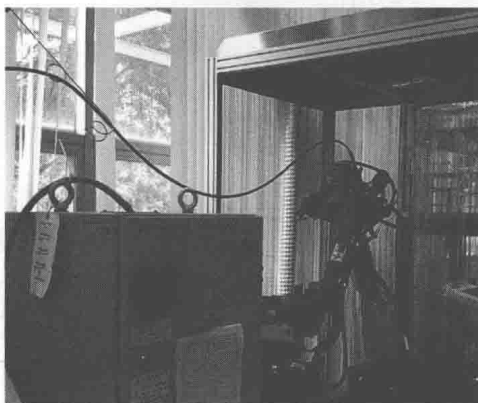


图1.1-2 第一代机器人

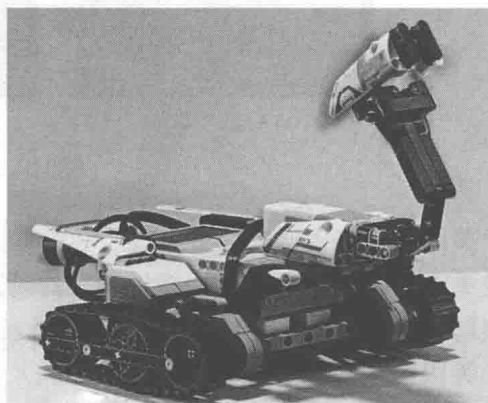


图1.1-3 探测机器人

第二代机器人已具备一定的感知和简单推理等能力，有一定程度上的智能，故又称感知机器人或低级智能机器人，当前所使用的大多数服务机器人或多或少都已经具备第二代机器人的特征。

### 3) 第三代机器人

第三代机器人应具有高度的自适应能力，它有多种感知机能，可通过复杂的推理，作出判断和决策，自主决定机器人的行为，具有相当程度的智能，故称为智能机器人。第三代机器人目前主要用于家庭、个人服务及军事、航天等行业，总体尚处于实验和研究阶段，目前还只有美国、日本、德国等少数发达国家能掌握和应用。

例如，日本HONDA（本田）公司最新研发的图1.1-4(a)所示的Asimo机器人，不仅能实现跑步、爬楼梯、跳舞等动作，且还能进行踢球、倒饮料、打手语等简单智能动作。日本Riken Institute（理化学研究所）最新研发的图1.1-4(b)所示的Robear护理机器人，其肩部、关节等部位都安装有测力感应系统，可模拟人的怀抱感，它能够像人一样，柔和地能将卧床者从床上扶起，或将坐着的人抱起，其样子亲切可爱、充满活力。

## 2. 主要生产国及产品水平

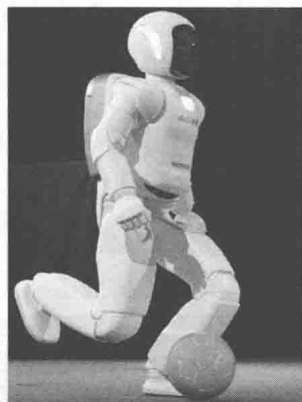
机器人问世以来，得到了世界各国的广泛重视，美国、日本和德国为机器人研究、制造和应用大国，英国、法国、意大利、瑞士等国的机器人研发水平也居世界前列。目前，世界主要机器人生产制造国的研发、应用情况如下。

### 1) 美国

美国是机器人的发源地，其机器人研究领域广泛、产品技术先进，机器人的研究实力和产品水平均领先于世界，Adept Technology、American Robot、Emerson Industrial Automation、S-T



Robotics、iRobot、Remotec等都是美国著名的机器人生产企业。



(a) Asimo机器人



(b) Robear护理机器人

图1.1-4 第三代机器人

美国的机器人研究从最初的工业机器人开始，但日前已更多地转向军用、医疗、家用服务及军事、场地等高层次智能机器人的研发。据统计，美国的智能机器人占据了全球约60%的市场，iRobot、Remotec等都是全球著名的服务机器人生产企业。

美国的军事机器人（Military Robot）更是遥遥领先于其他国家，无论在基础技术研究、系统开发、生产配套方面，或是在技术转化、实战应用方面等都具有强大的优势，其产品研发与应用已涵盖陆、海、空、天等诸多兵种，它是目前全世界唯一具有综合开发、试验和实战应用能力的国家。Boston Dynamics（波士顿动力，现已被Google并购）、Lockheed Martin（洛克希德马丁）等公司均为世界闻名的军事机器人研发制造企业。

美国现有的军事机器人产品包括无人驾驶飞行器、无人地面车、机器人武装战车及多功能后勤保障机器人、机器人战士等多种。

图1.1-5(a)为Boston Dynamics（波士顿动力）研制的多功能后勤保障机器人BigDog-LS3，即BigDog（大狗）系列机器人的军用产品LS3（Legged Squad Support Systems，又名阿尔法狗），它重达1250磅（约570公斤），可在搭载400磅（约181公斤）重物情况下连续行走20英里（约32公里），并能穿过复杂地形、应答士官指令；图1.1-5(b)为机器人WildCat，它能在各种地形上，以超过25km/h的速度奔跑和跳跃。

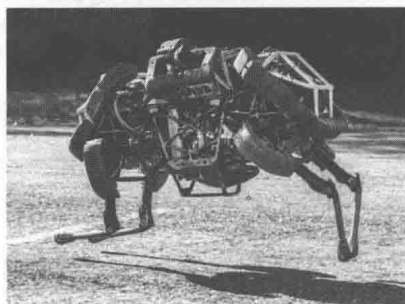
此外，为了避免战争中的牺牲，Boston Dynamics还研制出了类似科幻片中的“机器人战士”。如“哨兵”机器人已经能够自动识别声音、烟雾、风速、火等环境数据，而且还可说300多单词，向可疑目标发出口令，一旦目标不能正确回答，便可迅速、准确地瞄准和加以射击。该公司最新研发的、图1.1-5(c)所示的机器人Atlas，高1.88m、重150kg，其四肢共拥有28个自由度，能够直立行走、攀爬、自动调整重心，其灵活性已接近于人类，堪称当今世界上最先进的机器人战士。

美国的场地机器人（Field Robots）研究水平同样令其他各国望尘莫及，其研究遍及空间、陆地、水下，并已经用于月球、火星等天体的探测。

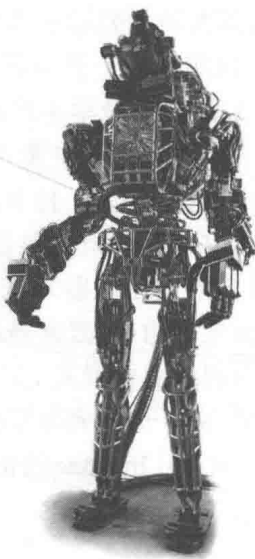
早在1967年，National Aeronautics and Space Administration（NASA，美国宇航局）所发射的“海盗”号火星探测器已着落火星，并对土壤等进行了采集和分析，以寻找生命迹象；同年，还发射了“观察者”3号月球探测器，对月球土壤进行了分析和处理。到了2003



(a) BigDog-LS3



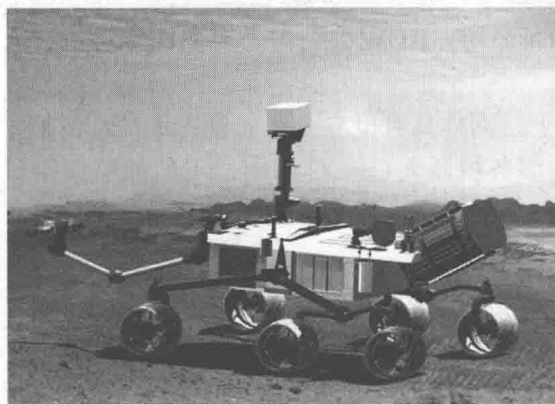
(b) WildCat



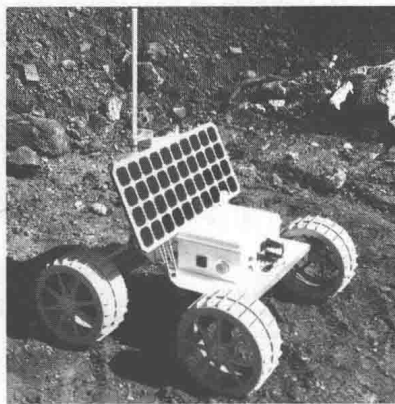
(c) Atlas

图 1.1-5 Boston Dynamics 研制的军事机器人

年，NASA又接连发射了Spirit，MER-A（勇气号）和Opportunity（机遇号）两个火星探测器，并于2004年1月先后着落火星表面，它可在地面的遥控下，在火星上自由行走，通过它们对火星岩石和土壤的分析，收集到了表明火星上曾经有水流动的强有力证据，发现了形成于酸性湖泊的岩石、陨石等。2011年11月，又成功发射了图1.1-6（a）所示的核动力驱动的Curiosity火星探测器，并于2012年8月6日安全着落火星，开启了人类探寻火星生命元素的历程；图1.1-6（b）是Google公司最新研发的Andy月球车。



(a) Curiosity火星探测器



(b) Andy月球车

图 1.1-6 美国的场地机器人

## 2) 日本

日本是目前全球产量最大的机器人研发、生产和使用国，在工业机器人及家用服务、护理机、医疗等智能机器人的研发上具有世界领先水平。

日本在工业机器人的生产和应用居世界领先地位。20世纪90年代，日本就开始普及第





一代和第二代工业机器人，截至目前，它仍保持工业机器人产量、安装数量世界第一的地位。据统计，日本的工业机器人产量约占全球的50%；安装数量约占全球的23%。

日本在工业机器人的主要零部件供给、研究等方面同样居世界领先地位，其主要零部件（精密减速机、伺服电机、传感器等）占全球市场的90%以上。日本的Harmonic Drive System（哈默纳科）是全球最早生产谐波减速器企业和目前全球最大、最著名的谐波减速器生产企业，其产品规格齐全、产量占全世界总量的15%左右。日本的Nabtesco Corporation（纳博特斯克公司）是全球最大、技术最先进的RV减速器生产企业，其产品占据了全球60%以上的工业机器人RV减速器市场及日本80%以上的数控机床自动换刀（ATC）装置RV减速器市场。世界著名的工业机器人几乎都使用Harmonic Drive System生产的谐波减速器和Nabtesco Corporation生产的RV减速器。

日本在发展第3代智能机器人上，同样取得了举世瞩目的成就。为了攻克智能机器人的关键技术，自2006年起，政府每年都投入巨资用于服务机器人的研发，如前述的HONDA公司Asimo机器人、Riken Institute的Robear护理机器人等家用服务机器人的技术水平均居世界前列。

### 3) 德国

德国的机器人研发稍晚于日本，但其发展十分迅速。在20世纪70年代中后期，德国政府在“改善劳动条件计划”中，强制规定了部分有危险、有毒、有害的工作岗位必须用机器人来代替人工的要求，它为机器人的应用开辟了广大的市场。据VDMA（德国机械设备制造业联合会）统计，目前德国的工业机器人密度已在法国的2倍和英国的4倍以上，它是目前欧洲最大的工业机器人生产和使用国。

德国的工业机器人以及军事机器人中的地面无人作战平台、水下无人航行体的研究和应用水平，居世界领先地位。德国的KUKA（库卡）、REIS（徠斯，现为KUKA成员）、Carl-Cloos（卡尔-克鲁斯）等都是全球著名的工业机器人生产企业；德国宇航中心、德国机器人技术商业集团、karcher公司、Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automatic（弗劳恩霍夫制造技术和自动化研究所）及STN公司、HDW公司等是有名的服务机器人及军事机器人研发企业。

德国在智能服务机器人的研究和应用上，同样具有世界公认的领先水平。例如，弗劳恩霍夫制造技术和自动化研究所最新研发的服务机器人Care-O-Bot4，不但能够识别日常的生活用品，且还能听懂语音命令和看懂手势命令、按声控或手势的要求进行自我学习。

### 4) 中国

中国是目前全世界工业机器人销售增长速度最快的市场，总销量已经连续3年位居全球第一。2013年，工业机器人销量接近3.7万台，占全球总销售量的五分之一；2014年的销量为5.7万台，达到全球总销售量的四分之一；2015年的销量更是高达7.5万台，占全球总销售量的三分之一。

我国的机器人研发起始于20世纪70年代初期，到了20世纪90年代，先后研制出了点焊、弧焊、装配、喷漆、切割、搬运、包装码垛等工业机器人，在工业机器人及零部件研发等方面取得了一定的成绩。上海交通大学、哈尔滨工业大学、天津大学、南开大学、北京航空航天大学等高校都设立了机器人研究所或实验室，进行工业机器人和服务机器人的基础研究；广州数控、南京埃斯顿、沈阳新松等企业也开发了部分机器人产品。但是，总体而言，我国的机器人研发水平目前还处于初级阶段，和先进国家的差距依旧十分明显，产品以低档