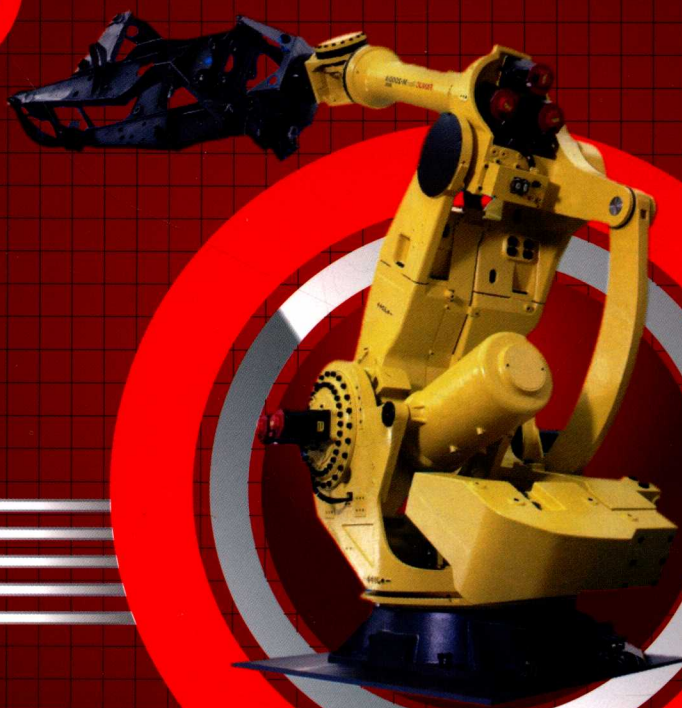
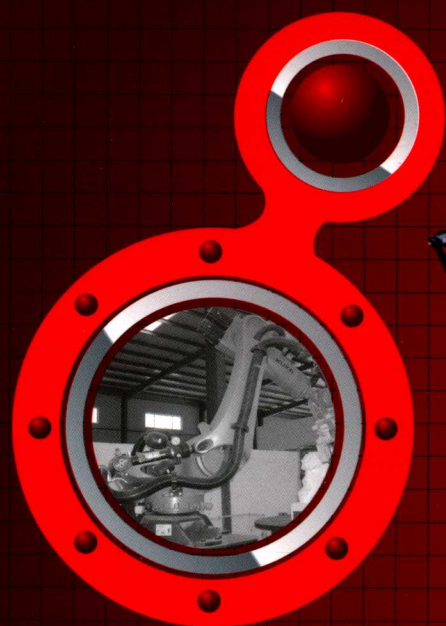


INDUSTRIAL ROBOT

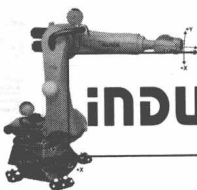
工业机器人

系统安装调试与维护

韩鸿鸾 丛培兰 谷青松 主编



化学工业出版社



INDUSTRIAL ROBOT

工业机器人 系统安装调试与维护

韩鸿鸾 丛培兰 谷青松 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人系统安装调试与维护/韩鸿鸾, 丛培兰, 谷青松主编. —北京: 化学工业出版社, 2017.7

ISBN 978-7-122-29677-1

I. ①工… II. ①韩… ②丛… ③谷… III. ①工业机器人-安装②工业机器人-调试方法③工业机器人-维修 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 101050 号

责任编辑: 贾娜
责任校对: 王静

文字编辑: 陈喆
装帧设计: 刘丽华

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

787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 493 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: 79.00 元

版权所有 违者必究

近年来,我国机器人行业在国家政策的支持下,顺势而为,发展迅速,保持着35%的高增长率,远高于德国的9%、韩国的8%和日本的6%。我国已连续两年成为世界第一大工业机器人市场。

我国工业机器人市场之所以能有如此迅速的增长,主要源于以下三点:

(1) 劳动力的供需矛盾。主要体现在劳动力成本的上升和劳动力供给的下降。在很多产业,尤其在中低端工业产业,劳动力的供需矛盾非常突出,这对实施“机器换人”计划提出了迫切需求。

(2) 企业转型升级的迫切需求。随着全球制造业转移的持续深入,先进制造业回流,我国的低端制造业面临产业转移和空心化的风险,迫切需要转变传统的制造模式,降低企业运行成本,提升企业发展效率,提升工厂的自动化、智能化程度。而工业机器人的大量应用,是提升企业产能和产品质量的重要手段。

(3) 国家战略需求。工业机器人作为高端制造装备的重要组成部分,技术附加值高,应用范围广,是我国先进制造业的重要支撑技术和信息化社会的重要生产装备,对工业生产、社会发展以及增强军事国防实力都具有十分重要的意义。

随着机器人技术及智能化水平的提高,工业机器人已在众多领域得到了广泛的应用。其中,汽车、电子产品、冶金、化工、塑料、橡胶是我国使用机器人最多的几个行业。未来几年,随着行业需要和劳动力成本的不断提高,我国机器人市场增长潜力巨大。尽管我国将成为当今世界最大的机器人市场,但每万名制造业工人拥有的机器人数量却远低于发达国家水平和国际平均水平。工信部组织制订了我国机器人技术路线图及机器人产业“十三五”规划,到2020年,工业机器人密度达到每万名员工使用100台以上。我国工业机器人市场将高速增长,未来十年,工业机器人是看不到“天花板”的行业。

虽然多种因素推动着我国工业机器人行业不断发展,但应用人才严重缺失的问题清晰地摆在我们面前,这是我国推行工业机器人技术的最大瓶颈。中国机械工业联合会的统计数据表明,我国当前机器人应用人才缺口20万,并且以每年20%~30%的速度持续递增。

工业机器人作为一种高科技集成装备,对专业人才有着多层次的需求,主要分为研发工程师、系统设计与应用工程师、调试工程师和操作及维护人员四个层次。其中,需求量最大的是基础的操作及维护人员以及掌握基本工业机器人应用技术的调试工程师和更高层次的应用工程师,工业机器人专业人才的培养,要更加着力于应用型人才的培养。

为了适应机器人行业发展的形势,满足从业人员学习机器人技术相关知识的需求,我们从生产实际出发,组织业内专家编写了本书,全面讲解了工业机器人安装调试基础,工业机器人执行机构、传感系统、传动系统与驱动系统,工业机器人控制、安装、调整与保养等内容,以

期给从业人员和大学院校相关专业师生提供实用性指导与帮助。

本书由韩鸿鸾、丛培兰、谷青松主编，张朋波、孔伟、王树平任副主编，参与编写的还有阮洪涛、刘曙光、汪兴科、徐艇、孔庆亮、王勇、丁守会、李雅楠、梁典民、赵峰、张玉东、王常义、田震、谢华、安丽敏、孙杰、柳鹏、丛志鹏、马述秀、褚元娟、陈青、宁爽、梁婷、姜兴道、荣志军、王小方、郑建强、李鲁平。全书由韩鸿鸾统稿。编写人员中有来自青岛利博尔电子有限公司、青岛时代焊接设备有限公司、山东鲁南机床有限公司、山东山推工程机械有限公司的技术人员。本书在编写过程中得到了山东省、河南省、河北省、江苏省、上海市等省市技能鉴定部门的大力支持，在此深表谢意。

在本书编写过程中，参考了《工业机器人装调维修工》、《工业机器人操作调整工》职业技能标准的要求，以备读者考取技能等级；还借鉴了全国及多省工业机器人大赛的相关要求，为读者参加相应的大赛提供参考。

由于水平所限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者给予批评指正。

编 者

第1章 工业机器人安装调试基础知识 / 1

1.1 机器人概述	1
1.1.1 机器人的定义	1
1.1.2 机器人的产生与发展	2
1.1.3 机器人的发展方向	4
1.1.4 中国工业机器人研制情况	6
1.1.5 机器人的应用	6
1.1.6 机器人的分类	12
1.2 工业机器人的组成与工作原理	18
1.2.1 工业机器人的基本组成	18
1.2.2 工业机器人的基本工作原理	21
1.2.3 机器人应用与外部的关系	22
1.3 机器人的基本术语与图形符号	24
1.3.1 机器人的基本术语	24
1.3.2 机器人的图形符号体系	25
1.3.3 机器人的图形符号表示	28
1.3.4 工业机器人的提示符号	30
1.3.5 工业机器人技术参数	32
1.3.6 典型机器人的技术参数	34
1.4 工业机器人的坐标系	36
1.4.1 机器人的位姿问题	36
1.4.2 机器人坐标系	36
1.5 工业机器人安装调试工具	39
1.5.1 机器人安装调试必备工具	39
1.5.2 机器人安装调试常用工具	39

第2章 工业机器人的执行机构 / 44

2.1 机器人的手部机构	44
2.1.1 机器人手部的特点	44
2.1.2 传动机构	45
2.1.3 手部结构	47
2.2 机器人手部的分类	50
2.2.1 按手部的用途分类	50
2.2.2 按手部的抓握原理分类	50

2.2.3	按手部的手指或吸盘数目分类	56
2.2.4	按手部的智能化分类	56
2.2.5	仿人手机器人手部	56
2.2.6	专用末端操作器及换接器	57
2.3	机器人的腕部机构	60
2.3.1	机器人腕部的移动方式	60
2.3.2	手腕的分类	61
2.3.3	手腕的典型结构	64
2.4	机器人手臂	68
2.4.1	机器人臂部的运动与组成	69
2.4.2	机器人臂部的配置	69
2.4.3	机器人手臂机构	71
2.4.4	手臂的常用结构	72
2.4.5	机器人手臂的典型机构	77
2.4.6	机器人手臂的分类	78
2.5	机器人的行走机构	81
2.5.1	机器人行走机构的特点	81
2.5.2	车轮式行走机构	83
2.5.3	履带式行走机构	85
2.5.4	足式行走机构	89
2.6	机器人的辅助机构	92
2.6.1	外轴	92
2.6.2	送丝机构	93
2.6.3	清枪装置	93

第3章 工业机器人的传感系统 / 95

3.1	工业机器人传感器概述	95
3.1.1	工业机器人传感器的分类	95
3.1.2	机器人对传感器的要求	96
3.1.3	机器人传感器的性能指标	97
3.1.4	机器人对传感器的需要与选择	98
3.2	内部信息传感器	99
3.2.1	位移传感器	100
3.2.2	速度传感器	105
3.2.3	加速度传感器	107
3.2.4	陀螺仪	108
3.3	外部信息传感器	110
3.3.1	接触觉传感器	110
3.3.2	压觉传感器	118
3.3.3	滑觉传感器	119
3.3.4	力觉传感器	122
3.3.5	接近觉传感器	124

3.3.6	视觉传感器	129
3.3.7	听觉传感器	134
3.4	传感系统的应用	135
3.4.1	多传感器信息融合	135
3.4.2	多功能复合传感器	136
3.4.3	多信息融合的典型应用	137
3.5	典型工业机器人传感系统简介	142
3.5.1	电弧传感系统	143
3.5.2	超声传感跟踪系统	144
3.5.3	视觉传感跟踪系统	145

第4章 工业机器人的传动系统与驱动系统 / 147

4.1	工业机器人的传动系统	147
4.1.1	带传动和链传动	148
4.1.2	连杆与凸轮传动	150
4.1.3	丝杠传动	150
4.1.4	流体传动	155
4.1.5	导轨传动	155
4.1.6	齿轮传动机构	157
4.1.7	齿轮传动	158
4.1.8	摆线针轮行星传动	161
4.1.9	谐波传动机构	163
4.1.10	RV 减速器	168
4.1.11	工业机器人的制动器	170
4.1.12	传动件的定位	171
4.1.13	机器人的传动	172
4.1.14	传动方式的应用举例	175
4.2	工业机器人的驱动系统	177
4.2.1	工业机器人驱动系统的特点	177
4.2.2	电液伺服驱动系统	177
4.2.3	气动驱动系统	179
4.2.4	电动驱动系统	180
4.2.5	工业机器人驱动系统选用原则	182
4.2.6	新型驱动器	184

第5章 工业机器人的控制 / 190

5.1	工业机器人控制系统概述	190
5.1.1	工业机器人控制系统的特点	190
5.1.2	工业机器人控制系统的主要功能	191
5.1.3	机器人的控制方式	192
5.2	工业机器人控制系统的基本组成	196
5.2.1	对机器人控制系统的一般要求与体系结构	196

5.2.2	机器人控制系统分类	198
5.2.3	机器人控制系统的基本结构	198
5.2.4	机器人控制系统的结构	200
5.2.5	机器人决策控制系统常用控制器	202
5.2.6	控制系统选择方法	203
5.3	控制系统的软、硬件	203
5.3.1	控制系统硬件构成	204
5.3.2	控制系统软件构成	207
5.3.3	工业机器人操作控制	210
5.4	网络机器人	212
5.4.1	网络机器人的组成与特点	212
5.4.2	网络机器人的控制	214
5.5	多机器人协作装配	221
5.5.1	硬件结构	221
5.5.2	软件系统	221

第 6 章 工业机器人的安装 / 233

6.1	工业机器人的安装	223
6.1.1	工业机器人的组成	223
6.1.2	标牌	224
6.1.3	机器人机械系统的运输	226
6.1.4	工业机器人的安装	230
6.1.5	安装上臂信号灯(选件)	233
6.1.6	机器人控制箱的安装	233
6.2	工业机器人电气系统的连接	236
6.2.1	工业机器人电气系统的布线	237
6.2.2	工业机器人的 I/O 通信	247
6.2.3	工业机器人的外围设施的电气连接	251

第 7 章 工业机器人的调整与保养 / 253

7.1	工业机器人的调整	253
7.1.1	调整方法	253
7.1.2	附加轴的调整	258
7.1.3	参照调整	259
7.1.4	用 MEMD 和标记线进行零点标定	259
7.1.5	手动删除轴的零点	263
7.1.6	更改软件限位开关	263
7.2	工业机器人的保养	264
7.2.1	工业机器人机器部分的保养	264
7.2.2	调节平衡配重	271
7.2.3	电气系统的保养	273
7.2.4	重新启动	277

参考文献 / 280

第1章

工业机器人安装调试基础知识

1.1 机器人概述

1.1.1 机器人的定义

1950年，美国科幻小说家加斯卡·阿西莫夫（Jassc Asimov）在他的小说《我是机器人》中，提出了著名的“机器人三守则”，即：

- ① 机器人不能危害人类，不能眼看人类受害而袖手旁观。
- ② 机器人必须服从于人类，除非这种服从有害于人类。
- ③ 机器人应该能够保护自身不受伤害，除非为了保护人类或者人类命令它作出牺牲。

这三条守则给机器人赋以伦理观。至今，机器人研究者都以这三条守则作为开发机器人的准则。

目前，虽然机器人已被广泛应用，但世界上对机器人还没有一个统一、严格、准确的定义，不同国家、不同研究领域给出的定义不尽相同。尽管定义的基本原则大体一致，但仍然有较大区别。

（1）美国机器人协会（RIA）的定义

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”。这个定义叙述具体，更适用于对工业机器人的定义。

（2）美国国家标准局（NBS）的定义

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”。这也是一种比较广义的对工业机器人的定义。

（3）日本工业机器人协会（JIRA）的定义

它将机器人的定义分成两类：工业机器人是“一种能够执行与人体上肢（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，并能控制自身行为的机器”。

（4）英国简明牛津字典的定义

机器人是“貌似人的自动机，具有智力的和顺从于人但不具有人格的机器”。这是一种对理想机器人的描述，到目前为止，尚未出现在智能上与人类相似的机器人。

（5）国际标准化组织（ISO）的定义

它的定义较为全面和准确，涵盖如下内容：

- ① 机器人的动作机构具有类似于人或其他生物体某些器官（肢体、感官等）的功能。
- ② 机器人具有通用性，工作种类多样，动作程序灵活易变。
- ③ 机器人具有不同程度的智能性，如记忆、感知、推理、决策、学习等。

④ 机器人具有独立性，完整的机器人系统中可以不依赖于人。

(6) 我国科学家对机器人的定义

机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。

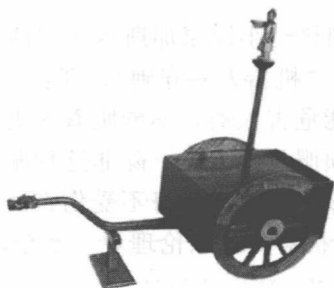
总之，随着机器人的进化和机器人智能的发展，对机器人的定义将会进一步地修改，进一步地明确和统一。

1.1.2 机器人的产生与发展

机器人的概念早在几千年前的人类想象中就已诞生。我国西周时期，能工巧匠偃师就研制出了能歌善舞的伶人，这是我国最早记载的具有机器人概念的文字。据《墨经》的记载，春秋后期，我国著名的木匠鲁班曾制造过一只木鸟，能在空中飞行，“三日而不下”。东汉时代的著名科学家张衡发明了地动仪、计里鼓车以及指南车，都是具有机器人构想的装置，可算是世界上最早的机器人雏形，如图 1-1 所示。



(a) 地动仪



(b) 指南车

图 1-1 张衡发明的地动仪和指南车



图 1-2 写字偶人

有关机器人的发明，在包括中国在内的世界上许多国家的历史上都曾出现过。1662 年，日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动机器玩偶，并在大阪道顿堀演出。1738 年，法国天才技师杰克·戴·瓦克逊发明了一只机器鸭。1768 年至 1774 年，瑞士钟表匠德罗斯父子三人合作制造出三个像真人一样大小的机器人：写字偶人、绘图偶人和弹风琴偶人，如图 1-2 所示。1893 年，加拿大莫尔设计出能行走的机器人安德罗丁。

“机器人”一词最早出现于 1920 年捷克剧作家卡雷尔·凯培克 (Karel Capek) 的一部幻想剧《罗萨姆的万能机器人》(《Rossums Universal Robots》) 中，“Robot”

是由斯洛伐克语“Robota”衍生而来的。

工业机器人的研究工作是 20 世纪 50 年代初从美国开始的。日本、俄罗斯、欧洲的研制工作比美国大约晚 10 年。但日本的发展速度比美国快。欧洲特别是西欧各国比较注重工业机器人的研制和应用，其中英国、德国、瑞典、挪威等国的技术水平较高，产量也较大。

第二次世界大战期间，由于核工业和军事工业的发展，美国原子能委员会的阿尔贡研究所研制了“遥控机械手”，用于代替人生产和处理放射性材料。1948 年，这种较简单的机械装置被改进，开发出了机械式的主从机械手 (图 1-3)。它由两个结构相似的机械手组成，主机械

手在控制室，从机械手在有辐射的作业现场，两者之间有透明的防辐射墙相隔。操作者用手操纵主机械手，控制系统会自动检测主机械手的运动状态，并控制从机械手跟随主机械手运动，从而解决对放射性材料的远距离操作问题。这种被称为主从控制的机器人控制方式，至今仍在很多场合中应用。

由于航空工业的需求，1952年美国麻省理工学院（MIT）成功开发了第一代数控机床（CNC），并进行了与CNC机床相关的控制技术及机械零部件的研究，为机器人的开发奠定了技术基础。

1954年，美国人乔治·德沃尔（George Devol）提出了一个关于工业机器人的技术方案，设计并研制了世界上第一台可编程的工业机器人样机，将之命名为“Universal Automation”，并申请了该项机器人的专利。这种机器人是一种可编程的零部件操作装置，其工作方式为：首先移动机械手的末端执行器，并记录下整个动作过程；然后，机器人反复再现整个动作过程。后来，在此基础上，Devol与Engelberge合作创建了美国万能自动化公司（Unimation），于1962年生产了第一台机器人，取名Unimate（图1-4）。这种机器人采用极坐标式结构，外形完全像坦克炮塔，可以实现回转、伸缩、俯仰等动作。

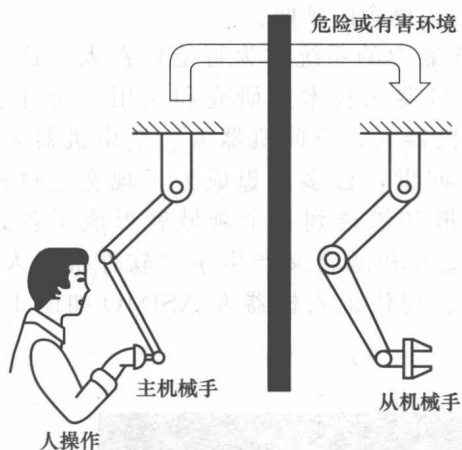


图 1-3 主从机械手

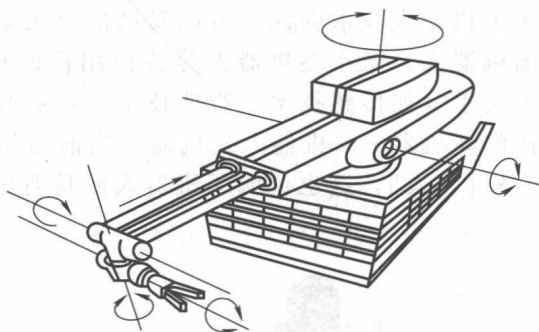


图 1-4 Unimate 机器人

在 Devol 申请专利到真正实现设想的这 8 年时间里，美国机床与铸造公司（AMF）也在从事机器人的研究工作，并于 1960 年生产了一台被命名为 Versation 的圆柱坐标型的数控自动机械，并以 Industrial Robot（工业机器人）的名称进行宣传。通常认为这是世界上最早的工业机器人。

Unimate 和 Versation 这两种型号的机器人以“示教再现”的方式在汽车生产线上成功地代替工人进行传送、焊接、喷漆等作业，它们在工作中反映出来的经济效益、可靠性、灵活性，令其他发达国家工业界为之倾倒。于是，Unimate 和 Versation 作为商品开始在世界市场上销售。

随着第一台机器人在美国的诞生，机器人的发展历程就进入了它的第一阶段，即工业机器人时代。它的几个标志性事件如下：

- 1954 年 George Devol 开发出第一台可编程机器人。
- 1955 年 Denavit 与 Hartenberg 提出齐次变换矩阵。
- 1961 年 George Devol 的“可编程货物运送”获得美国专利，专利号为 2988237，该专利技术是 Unimate 机器人的基础。
- 1962 年 Unimation 公司成立，出现了最早的工业机器人，GM 公司安装了第一台 Unimation 公司的机器人。

- 1967 年 Unimation 公司推出 Mark II 机器人，第一台喷涂用机器人出口到日本。
- 1968 年第一台智能机器人 Shakey 在斯坦福机器人研究所 (SRI) 诞生。
- 1972 年 IBM 公司开发出内部使用的直角坐标机器人，并最终开发出 IBM7565 型商用机器人。
- 1973 年 Cincinnati Milacron 公司推出 13 型机器人，在工业应用中广受欢迎。
- 1978 年第一台 PUMA 机器人由 Unimation 装运到 GM 公司。
- 1982 年 GM 和日本的 Fanuc 公司签订制造 GM Fanuc 机器人的协议。Westinghouse 兼并 Unimation，随后又将它卖给了瑞士的 Staubli 公司。
- 1984 年机器人学无论是在工业生产还是在学术上，都是一门广受欢迎的学科，机器人学开始列入教学计划。
- 1990 年 Cincinnati Milacron 公司被瑞士 ABB 公司兼并。许多小型的机器人制造公司也从市场上销声匿迹，只有少数主要生产工业机器人的大公司尚存。

随着工业机器人的发展，其他类型的机器人也逐步涌现出来。随着计算机技术和人工智能技术的飞速发展，机器人在功能和技术层次上有了很大的提高，移动机器人和机器人的视觉和触觉等技术就是典型的代表。这些技术的发展推动了机器人概念的延伸。

20 世纪 80 年代，将具有感觉、思考、决策和动作能力的系统称为智能机器人。这是一个概括的、含义广泛的概念。这一概念不但指导了机器人技术的研究和应用，而且也赋予了机器人技术向深广方向发展的巨大空间，水下机器人、空间机器人、空中机器人、地面机器人、微型机器人等各种用途的机器人相继问世，许多梦想成为了现实。将机器人技术（如传感技术、智能技术、控制技术 etc）扩散和渗透到各个领域就形成了各式各样的新机器——机器人化机器。当前与信息技术的交互和融合又产生了“软件机器人”“网络机器人”，这也说明了机器人所具有的创新活力。现代拟人机器人 ASIMO 如图 1-5 所示。

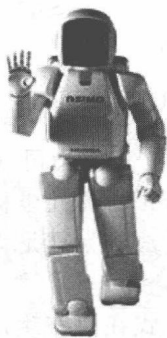


图 1-5 现代拟人机器人 ASIMO

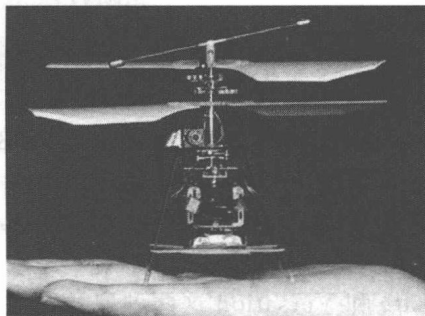


图 1-6 微型机器人

1.1.3 机器人的发展方向

如今机器人发展的特点可概括为如下几个方面。

- ① 横向上，应用面越来越宽，由工业应用扩展到更多领域的非工业应用，像做手术、采摘水果、剪枝、巷道掘进、侦查、排雷等，只要能想到的，就可以去创造实现。
- ② 纵向上，机器人的种类越来越多，像进入人体的微型机器人，可以小到像一个米粒般大小，已成为一个新方向。
- ③ 机器人智能化将得到加强，机器人会更加聪明。

(1) 智能化

人工智能是关于人造物的智能行为，它包括知觉、推理、学习、交流和在复杂环境中的行为，人工智能的长期目标是发明出可以像人类一样或能更好地完成以上行为的机器。

(2) 微型化

微型机器人又称为“明天的机器人”。它是机器人研究领域的一颗新星，它同智能机器人一起成为科学追求的目标。

在微电子机械领域，尺寸在 $1\sim 100\text{mm}$ 的为小型机械， $10\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 的为微型机械， $10\text{nm}\sim 10\mu\text{m}$ 的为超微型机械。而微型机器人的体积可以缩小到微米级甚至亚微米级，重量轻至纳克，加工精度为微米级或纳米级。

发展微型和超微型机器人的指导思想非常简单：某些工作若用一台结构庞大、价格昂贵的大型机器人去做，不如用成千上万个低廉、微小、简单的机器人去完成。这正如用一大群蝗虫去“收割”一片庄稼，要比使用一台大型联合收割机快。如图1-6所示是小得能放到手上的微型机器人。

微型机器人的发展依赖于微加工工艺、微传感器、微驱动器和微结构四个支柱。这四个方面的基础研究有三个阶段：器件开发阶段、部件开发阶段、装置和系统开发阶段。现已研制出直径为 $20\mu\text{m}$ 、长为 $150\mu\text{m}$ 的铰链连杆，尺寸为 $200\mu\text{m}\times 200\mu\text{m}$ 的滑块结构，以及微型的齿轮、曲柄、弹簧等。贝尔实验室已开发出一种直径为 $400\mu\text{m}$ 的齿轮，在一张普通邮票上可放6万个齿轮和其他微型器件。德国卡尔斯鲁厄核研究中心的微型机器人研究所，研究出一种新型微加工方法，这种方法是X射线深刻蚀、电铸和塑料模铸的组合，其深刻蚀厚度为 $10\sim 1000\mu\text{m}$ 。

微型机械的发展，是建立在大规模集成电路制作设备与技术的基础上的。微驱动器、微传感器都是在集成电路技术基础上用标准的光刻和化学腐蚀技术制成的。不同的是集成电路大部分是二维刻蚀的，而微型机械则完全是三维的。微型机械和微型机器人已逐步形成牵动众多领域向纵深发展的新兴学科方向。

(3) 仿生化

直至近年，大多数机器人才被认为属于生物纲目之一。工具型机器人保持了机器人应有的基本元素，如装备了爪形机械、抓具和轮子，但不管怎么看，它都像是台机器。相比之下，类人形机器人则最大限度地与创造它们的人类相似，它们的运动臂上有自己的双手，下肢有真正的脚，有人类一样的脸，如图1-5所示。介于这两种极端情况之间的是少数具备动物特征的机器人，它们通常被做成宠物的模样（如图1-7中所示的索尼机器狗），但事实上，它们只不过是供娱乐的玩具。

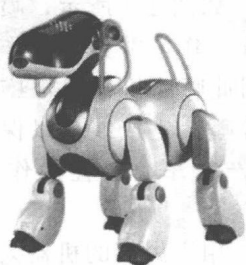


图 1-7 索尼机器狗 AIBO

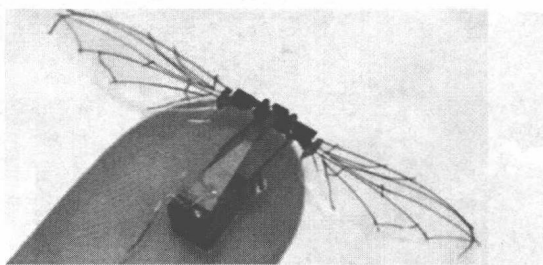


图 1-8 机器蚊子

有动物特征的机器人一直以来都在迅猛发展。现在，工程师们的仿生对象不仅有狗，还包括长有胡须的鼯鼠、会游泳的七鳃鳗、爪力十足的章鱼、善于攀爬的蜥蜴和穴居蛤。他们甚至在努力模仿昆虫，研发可以振翅高飞的蚊虫机器人，如图1-8所示。结果导致，对工具型机器

人和类人形机器人的研究逐渐受到冷落，而对动物形态仿生机器人的研究则不断取得进展。

1.1.4 中国工业机器人研制情况

我国工业机器人起步于20世纪70年代初期，经过30多年的发展，大致经历了3个阶段：20世纪70年代的萌芽期，80年代的开发期，90年代的实用化期。

我国于1972年开始研制自己的工业机器人，中科院北京自动化研究所和沈阳自动化研究所相继开展了对机器人技术的研究工作。

进入20世纪80年代后，在高科技浪潮的冲击下，我国机器人技术的开发与研究得到了政府的重视与支持。“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，取得了一系列的科研成果，成功地研制出了一批特种机器人。

从90年代初期起，我国的工业机器人又在实践中迈出一大步，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。

到目前为止，我国在机器人的技术研究方面已经相继取得了一些重要成果，在某些技术领域已经接近国际前沿水平。比如我国自行研制的水下机器人，在无缆的情况下可潜入水下6000m，而且具有自主功能，这一技术达到了国际先进水平。但从总体上看，我国在智能机器人方面的研究可以说还是刚刚起步，机器人传感技术和机器人专用控制系统等方面的研究还比较薄弱。另外，在机器人的应用方面，我国就显得更为落后。国内自行研制的机器人当中，能真正应用于生产部门并具有较高可靠性和良好工作性能的并不多。在这方面，北京自动化研究所研制的PJ型喷漆机器人是国内值得骄傲的机器人，其性能指标已经与国际同类水平相当，而且在生产线上也经过了长期检验，受到了用户的好评，现已批量生产。

值得一提的是，最近几年，我国在汽车、电子行业相继引进了不少生产线，其中就有不少配套的机器人装置。另外，国内的一些高等院校和科研单位也购买了一些国外的机器人。这些机器人的引入，也为我国在相关领域的研究工作提供了许多借鉴。

1.1.5 机器人的应用

(1) 工业机器人



图 1-9 喷漆机器人

① 喷漆机器人 如图 1-9 所示，喷漆机器人能在恶劣环境下连续工作，并具有工作灵活、工作精度高等特点，因此喷漆机器人被广泛应用于汽车、大型结构件等喷漆生产线，以保证产品的加工质量、提高生产效率、减轻操作人员劳动强度。

② 焊接机器人 用于焊接的机器人一般分为图 1-10 所示的点焊机器人和图 1-11 所示的弧焊机器人两种。弧焊接机器人作业精确，可以连续不知疲劳地进行工作，但在作业中会遇到部件稍有偏位或焊缝形状有所改变的情况；人工作业时，因能看到焊缝，可以随时作出调整，而焊接

机器人因为是按事先编好的程序工作，所以不能很快调整。

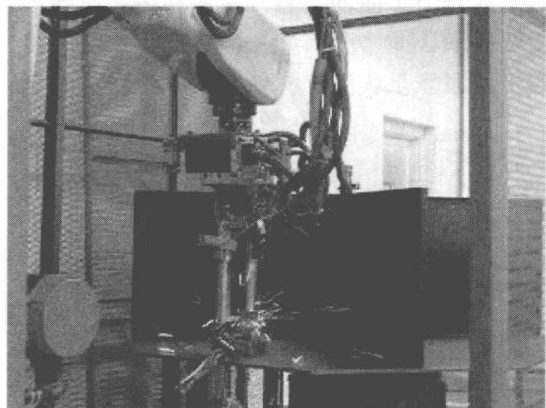


图 1-10 Fanuc S-420 点焊机器人

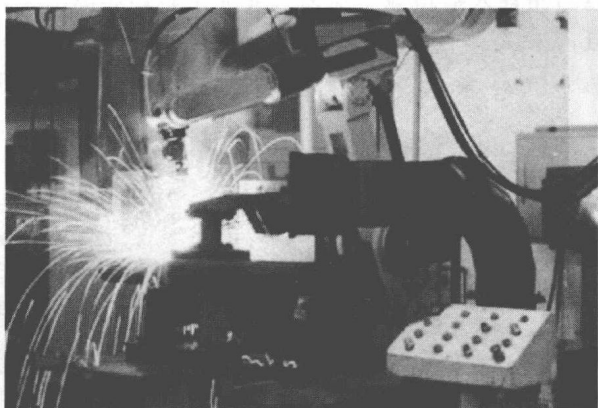


图 1-11 弧焊机器人实例

③ 上、下料机器人 如图 1-12 所示，目前我国大部分生产线上的机床装卸工件仍由人工完成，其劳动强度大，生产效率低，而且具有一定的危险性，已经满足不了生产自动化的发展趋势，为提高工作效率，降低成本，并使生产线发展为柔性生产系统，应现代机械行业自动化生产的要求，越来越多的企业已经开始利用工业机器人进行上、下料了。

④ 装配机器人 如图 1-13 所示，装配机器人是专门为装配而设计的工业机器人，与一般工业机器人相比，它具有精度高、柔顺性好、工作范围小、能与其他系统配套使用等特点。使用装配机器人可以保证产品质量，降低成本，提高生产自动化水平。

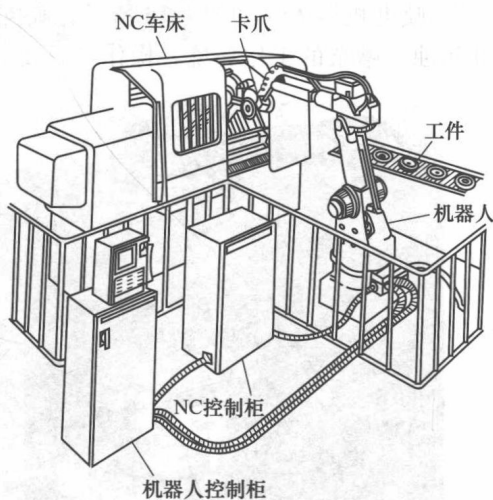
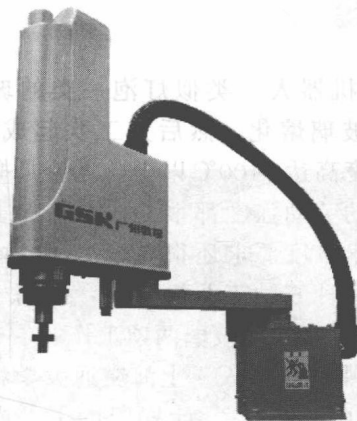
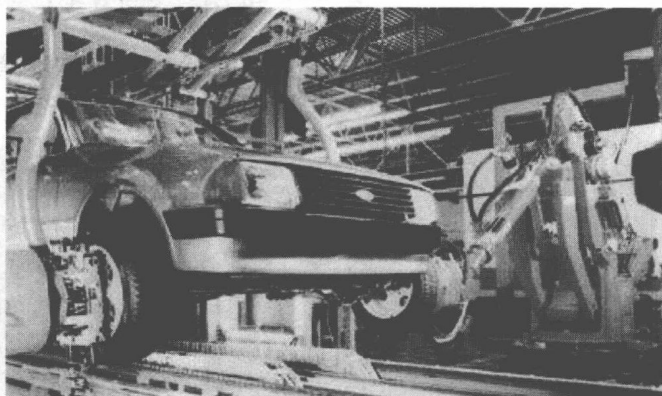


图 1-12 数控机床用上、下料机器人



(a) 机器人



(b) 装配工业机器人的应用

图 1-13 装配工业机器人

⑤ 搬运机器人 在建筑工地，在海港码头，总能看到大吊车的身影，应当说吊车装运比起早期工人肩扛手抬已经进步多了，但这只是机械代替了人力，或者说吊车只是机器人的雏形，它还得完全依靠人工操作和控制定位等，不能自主作业。图 1-14 所示的搬运机器人可进

行自主地搬运。

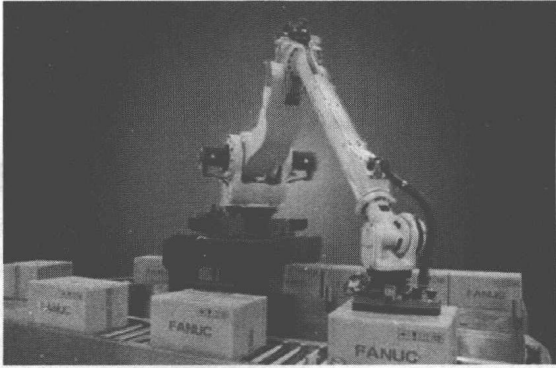


图 1-14 搬运机器人

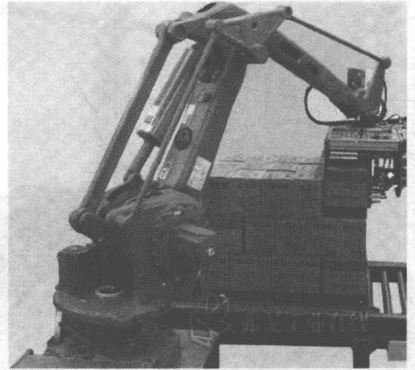
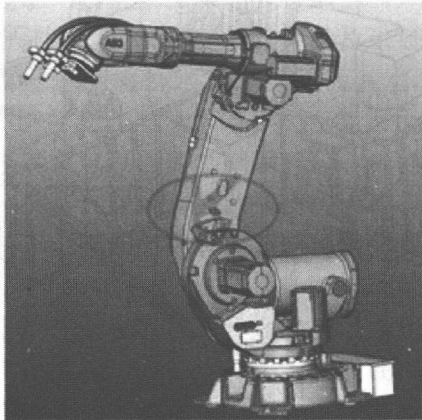


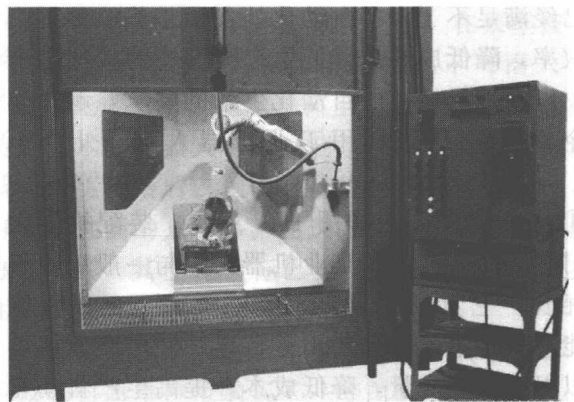
图 1-15 码垛工业机器人

⑥ 码垛工业机器人 如图 1-15 所示，码垛工业机器人主要用于工业码垛。

⑦ 喷丸机器人 如图 1-16 所示，喷丸机器人比人工清理效率高出 10 倍以上，而且工人可以避免污浊、嘈杂的工作环境，操作者只要改变计算机程序，就可以轻松转换不同的清理工艺。



(a) 机器人



(b) 喷丸机器人的应用

图 1-16 喷丸机器人

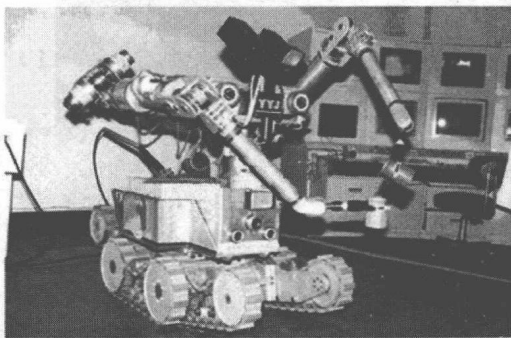


图 1-17 核工业中的机器人

⑧ 吹玻璃机器人 类似灯泡一类的玻璃制品，都是先将玻璃熔化，然后人工吹起成形的，融化的玻璃温度高达 1100°C 以上，无论是搬运还是吹制，工人的劳动强度都很大，而且有害于身体，工作的技术要求还很高。法国赛博格拉斯公司开发了两种 6 轴工业机器人，应用于“采集”（搬运）和“吹制”玻璃两项工作。

⑨ 核工业中的机器人 上海交通大学特种机器人研究室在国家“863”计划资助下，成功研发了核工业机器人样机（图 1-17）。该机器人主要用于以核工业为背景的危险、恶劣场所，特别针对核电站、核燃料后处理厂及三废处理厂等放射性环境现场，可以对其核设施中的设备装置进行检查、维修和处理简单事故等工作。

⑩ 机械加工工业机器人 这类机器人具有加工能力，本身具有加工工具，比如刀具等，刀