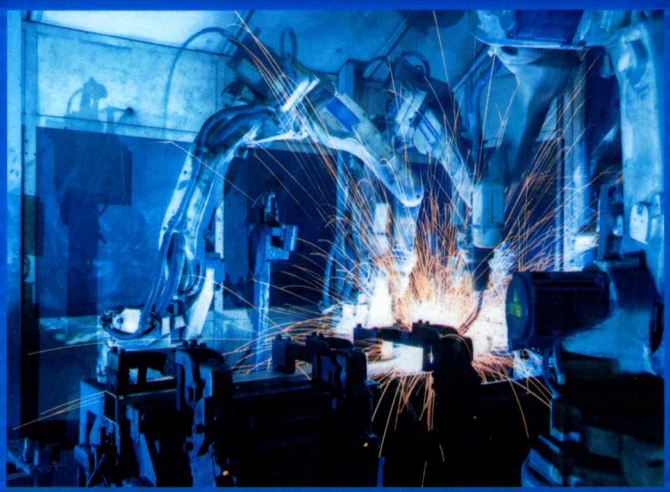
“十三五”普通高等教育规划教材

# 机器人控制技术

陈万米　等 编著



提供电子教案

http://www.cmpedu.com

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”普通高等教育规划教材

# 机器人控制技术

陈万米　等 编著

机 械 工 业 出 版 社

本书系统、深入地介绍了机器人控制的关键技术、方法以及实际应用。全书共8章，内容包括机器人的机械、机器人的硬件、机器人的电源系统、机器人的信息获取、机器视觉、机器人的底层控制、机器人的空间坐标变换、机器人运动学建模、动力学建模、机器人的路径规划以及机器人的操作系统ROS。本书内容新颖，注重理论与实际应用相结合，每个章节基本配有实例，力求使读者能较快地掌握与应用机器人的控制技术。

本书可作为高等院校自动化、机械工程、机电一体化、系统工程、信息工程、计算机等相关专业本科生、研究生教材，也可以作为工程技术人员与科研工作者的参考书。

本书配套授课电子课件，需要的教师可登录www.cmpedu.com免费注册，审核通过后下载，或联系编辑索取（QQ：308596956，电话：010-88379753）。

**图书在版编目(CIP)数据**

机器人控制技术/陈万米等编著. —北京：机械工业出版社，2017.2
“十三五”普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-111-55907-8

Ⅰ.①机… Ⅱ.①陈… Ⅲ.①机器人控制-高等学校-教材
Ⅳ.①TP24

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第013041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：汤 枫 责任编辑：汤 枫
责任校对：张艳霞 责任印制：常天培

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2017年2月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·16.25印张·393千字
0001-3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-55907-8
定价：45.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
服务咨询热线：(010)88379833
读者购书热线：(010)88379649

网络服务
机 工 官 网：www.cmpbook.com
机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
教育服务网：www.cmpedu.com
金 书 网：www.golden-book.com

**封面无防伪标均为盗版**

# 前　言

2014年6月9日，习近平总书记在两院院士大会的报告中提到，“机器人是‘制造业皇冠顶端的明珠’，其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志”。机器人时代的到来，将变革现有生产制造模式以及人类生活方式。美国麻省理工学院的埃里克·布莱恩约弗森教授称之为“第二次机器革命”：海量的智能机器和互联互通的智慧大脑结合在一起，将彻底颠覆之前的世界。

工业和信息化部前副部长毛伟明表示，工业是立国之本，制造业是一个国家核心竞争力的重要标志，我国已经是制造业的第一大国，从2010年开始，我国制造业占全球的比重已经达到第一位。特别是近年来，我国工业机器人需求呈现井喷态势，据CRIA与IFR联合统计，2015年全球工业机器人销量为24.8万台，其中中国工业机器人市场销量继续增长，全年累计销售68459台，占全球工业机器人市场份额超过1/4，中国自2013年起连续三年成为全球最大的工业机器人消费市场。虽然我国已是机器人第一大市场，但自主品牌机器人远远不能满足国民经济各领域的需求。据统计，2015年国产工业机器人累计销售22257台，而且主要是中低端机器人，高端机器人还主要依赖进口，如何在装备领域和市场领域实现双赢，是下一步发展的重点。

基于此，国内出现了机器人热，如每年举行的机器人高峰论坛、中国国际工业博览会（上海）、世界机器人大会（北京）等。全球也正进入到智能机器人的研究发展新时代，如德国工业4.0、中国制造2025等。本书正是迎合时代特点，抛砖引玉，为智能机器人控制的研究添砖加瓦。

机器人控制是一门多学科交叉的科学，其领域涉及机械设计与制造、多传感器、运动控制、电力电子、图像采集、图像处理、图像识别、知识工程、专家系统、决策系统、轨迹规划、自组织与自学习理论、多智能体协调、机器人学、机电一体化、无线通信、精密仪器、实时数字信号处理、自动控制和数据融合等。

本书是作者在上海大学教学、科研过程中的成果总结，吸收并借鉴了国内外期刊论文的最新研究成果及相关书籍编著而成的，较为系统地叙述了机器人控制技术的相关理论与制作实例等。本书对机器人的机械、传感器、驱动与机器人的底层控制部分进行了分章节叙述，对机器人的坐标变换、运动分析、路径规划以及机器人的上层控制部分也进行了分章节叙述。

本书从理论介绍到制作实例，体现了理论联系实际，也是本书的一大特色。尤其是本书增补了机器人的操作系统（ROS），使机器人控制技术的内容更加全面，争取给国内更多的大学生与机器人爱好者提供帮助。

本书共8章。第1章阐述了机器人的产生以及机器人在国内外的发展、机器人的结构与分类、机器人控制的主要内容与基本要求等；第2章叙述了机器人的本体，包括机器人的机械、机器人的硬件和机器人的电源系统，并举例说明小型足球机器人与中型足球机器人的机械制作；第3章叙述了机器人的信息获取，介绍了机器人的常用传感器与特殊传感器，传感

器的应用，机器人的信息处理方法，以及机器视觉的原理、工作与应用等；第4章综合介绍了机器人的底层控制，包括机器人中使用的电动机的选择与惯量计算、典型的PWM驱动原理与电路实现、运动控制与PID、PID参数的智能整定，并举例说明了小型足球机器人与中型足球机器人的底层控制；第5章对机器人的运动进行了分析，分别介绍了轮式移动机器人与工业机器人的空间坐标变换、机器人运动学建模和动力学建模，并以六自由度机械臂进行运动分析举例；第6章介绍了机器人的路径规划，包括离线路径规划、在线路径规划和智能规划（栅格建模法、人工势场法、遗传算法），并对人工势场法、遗传算法进行优化举例；第7章介绍了机器人的上层控制（用户层），即机器人的操作系统ROS，包括ROS的基本概念、系统架构、系统工具，以及ROS在移动底座、导航与路径规划、语音识别、机器视觉等方面的应用举例；第8章对机器人与机器人的控制技术的发展进行了展望。

选用本书作为教材的学校，建议40学时作为理论教学，另外40学时作为实践或课程设计等。上海大学开设了“机器人控制技术”课程教学以及课程设计，总学时为80。

本书由上海大学机电工程与自动化学院、上海大学大学生科技创新实验中心负责人、中国自动化学会机器人竞赛工作委员会副主任陈万米高级工程师（上海大学特级技术总监）编写第1、8章，刘振参编第2章，杜映峰参编第3章，张志松参编第4章，范彬彬参编第5章，贺永祥参编第6章，汪洋参编第7章，全书由陈万米统稿。

本书的编写工作和出版得到了上海大学、上海大学机电工程与自动化学院相关领导的大力支持。特别感谢上海大学费敏锐教授、王小静教授、徐昱琳副教授在本书成稿过程中给予的帮助。

机器人控制技术内容十分广泛，涉及诸多学科领域。由于编者的水平所限、经验不足，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。作者联系邮箱：wanmic@163.com。

编者

# 目　录

前言
第1章　绪论 …… 1
1.1　机器人的定义及发展历史 …… 1
1.1.1　什么是机器人 …… 1
1.1.2　为什么要制造机器人 …… 2
1.1.3　机器人的发展历史 …… 3
1.2　机器人的结构与分类 …… 9
1.2.1　机器人的结构 …… 9
1.2.2　机器人的分类 …… 10
1.3　机器人控制的基本要求 …… 12
1.3.1　机器人控制的主要内容 …… 12
1.3.2　机器人控制的学习要求 …… 13
习题 …… 13
第2章　机器人的本体 …… 14
2.1　机器人的机械 …… 14
2.1.1　上肢——臂部、腕部、手部 …… 15
2.1.2　下肢——移动机构 …… 16
2.1.3　躯干——机身 …… 19
2.1.4　关节——传动机构 …… 22
2.2　机器人的硬件 …… 26
2.2.1　处理控制系统 …… 27
2.2.2　驱动器系统 …… 30
2.2.3　传感器系统 …… 37
2.3　机器人的电源系统 …… 44
2.3.1　电池的种类 …… 44
2.3.2　直流稳压电源 …… 48
2.3.3　充电装置 …… 51
2.4　机器人机械制作实例 …… 55
2.4.1　智能小型足球机器人二轮机械结构制作实例 …… 55
2.4.2　智能小型足球机器人四轮全向移动机械设计实例 …… 63
2.4.3　智能中型足球机器人的机械设计实例 …… 66
习题 …… 72
第3章　机器人的信息获取 …… 73
3.1　机器人的传感器 …… 73

3.1.1 常用传感器 …… 75
3.1.2 特殊传感器 …… 81
3.1.3 传感器应用实例 …… 82
3.2 机器人的信息处理 …… 86
3.2.1 常用的数字滤波方法 …… 87
3.2.2 小波变换在数字滤波中的应用 …… 88
3.3 机器视觉 …… 89
3.3.1 机器视觉的组成 …… 90
3.3.2 机器视觉的工作原理 …… 91
3.3.3 机器视觉应用实例 …… 97
习题 …… 101
**第4章 机器人的底层控制** …… 102
4.1 电动机的选择与惯量计算 …… 102
4.1.1 电动机选择 …… 102
4.1.2 步进电动机 …… 104
4.1.3 舵机与转向控制 …… 107
4.1.4 惯量计算实例 …… 111
4.2 典型驱动 PWM …… 114
4.2.1 典型驱动 …… 114
4.2.2 PWM 驱动原理 …… 118
4.2.3 PWM 驱动机器人实例 …… 120
4.3 运动控制与 PID …… 122
4.3.1 电动机正反转分析 …… 122
4.3.2 经典 PID 控制 …… 126
4.4 智能 PID 参数整定 …… 128
4.5 机器人底层控制设计实例 …… 132
4.5.1 智能小型足球机器人的底层控制设计实例 …… 132
4.5.2 智能中型足球机器人的底层控制设计实例 …… 139
习题 …… 142
**第5章 机器人的运动分析** …… 143
5.1 轮式机器人的空间描述和坐标变换 …… 143
5.1.1 位置方位表示与坐标系描述 …… 143
5.1.2 平移和旋转坐标系 …… 144
5.1.3 机器人运动模型 …… 145
5.1.4 齐次变换及运算 …… 147
5.1.5 机器人传感器的观测模型 …… 148
5.2 运动学建模 …… 150
5.2.1 机器人坐标系 …… 150
5.2.2 双轮差速移动机器人运动学建模实例 …… 151

5.2.3 全方位移动机器人运动学建模实例 …… 152
5.3 动力学建模 …… 154
5.3.1 双轮差速移动机器人动力学模型 …… 155
5.3.2 全方位移动机器人动力学模型 …… 156
5.4 舞动的机器臂——工业机器人 …… 159
5.4.1 刚体的描述 …… 159
5.4.2 坐标变换 …… 160
5.5 机器人运动学方程的建立 …… 163
5.5.1 连杆参数和连杆坐标系 …… 163
5.5.2 连杆变换 …… 165
5.6 六自由度机械臂运动分析实例 …… 166
5.6.1 机械臂运动方程的建立 …… 168
5.6.2 运动学逆解的求解方法 …… 169
5.6.3 运动学逆解的实验验证 …… 172
习题 …… 172
**第6章 机器人的路径规划** …… 173
6.1 机器人路径规划方法 …… 173
6.1.1 离线路径规划 …… 174
6.1.2 在线路径规划 …… 175
6.2 智能规划 …… 176
6.2.1 栅格建模法 …… 176
6.2.2 人工势场法 …… 178
6.2.3 遗传算法 …… 180
6.2.4 神经网络算法 …… 185
6.3 机器人路径规划改进与实例 …… 191
6.3.1 人工势场法的改进与实例 …… 191
6.3.2 遗传算法的改进 …… 195
习题 …… 200
**第7章 机器人的上层控制** …… 201
7.1 机器人操作系统概述 …… 201
7.1.1 ROS 的基本介绍 …… 201
7.1.2 ROS 系统架构 …… 205
7.1.3 ROS 系统工具 …… 210
7.1.4 ROS 的安装与回顾 …… 210
7.2 ROS 的应用举例 …… 212
7.2.1 控制移动底座 …… 213
7.2.2 导航、路径规划和 SLAM …… 217
7.2.3 语音识别及语音合成 …… 221
7.2.4 机器人的视觉系统 …… 224

习题 …… 229
**第 8 章　发展与展望** …… 231
8.1　机器人的发展与展望 …… 231
8.2　机器人的应用举例与展望 …… 239
8.2.1　老牌制造业大国德国的“新兵” …… 240
8.2.2　日本服务型机器人崭露头角 …… 241
8.2.3　在手术台上大显身手的英国“机器人医生” …… 242
8.2.4　机器人的未来面向家庭 …… 243
8.2.5　机器人离我们还有多远 …… 245
8.3　机器人控制技术的发展 …… 246
8.3.1　机器人技术的发展 …… 246
8.3.2　机器人控制技术的发展与展望 …… 247
8.4　机器人的情感与伦理展望 …… 248
习题 …… 250
**参考文献** …… 251

# 第1章 绪 论

## 1.1 机器人的定义及发展历史

时至今日，机器人已经渗透到了人们生活的方方面面。人们一点点地制造了它们，而现在，它们已经无处不在。很快，人们将会看到更多的机器人，它们或单独工作，或成群结队。有的机器人比一粒米还小，而有的机器人或许比军用的坦克还要大。它们或棱角分明，或圆润如球；或又短又粗，或又瘦又长。并不是所有的机器人都有面部；也不是所有的机器人都有身体。

现在，它们也可以完成一些以前认为是不可能通过机器完成的事情。例如它们可以清洁地毯，可以为主人的大衣拉上拉链，可以为汽车喷涂油漆，可以整理仓库，可以制作饮料，会玩啤酒桌球，可以在学校体育馆跳华尔兹，也可以像受伤的动物一样蹒跚而行，甚至可以自主创作故事，绘制抽象画，清理核废料等，甚至也能做梦。

至此，人们会不由自主地提出一个问题：这些真的都是机器人吗？或者说，究竟什么才是机器人？

现在，这个问题已经越来越难回答了，然而这个问题也是一个非常关键的问题。无处不在的计算机和自动化正在逐渐联系在一起。无人操作的机器正在向社会的每一个角落蔓延，因此人们发现，与机器人之间的交流变得越来越频繁，有时候人们甚至都没有意识到。因此人机关系也在急速进化中。

### 1.1.1 什么是机器人

本书的主要对象是机器人，那么什么是机器人呢？对于这个问题，不同的使用者有不同的回答，比如，家庭主妇，需要一个会扫地的机器、炒菜的机器；对于保安人员来说，他需要会识别人的机器；对于一些商场来说，需要迎宾机器、导购机器；对于电焊工来说，需要焊接机器；对于军队来说，需要作战机器、排雷机器……

以上的林林总总，都可以称为机器人，那么机器人是否有一个定义或者命名呢？回答是有的。

美国机器协会（RIA）对机器人的定义：机器人是一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过程序动作来执行各种任务，并具有编程能力的多功能操作机（Manipulator）。

日本工业机器人协会（JIRA）对机器人的定义：机器人是“一种装备有记忆装置和末端执行装置的能够完成各种移动作业来代替人类劳动的通用机器”。

美国国家标准局（NBS）对机器人的定义：机器人是“一种能够进行编程并在自动控制下执行某种操作和移动作业任务的机械装备”。

国际标准化组织（ISO）对机器人的定义：机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能操作机，这种操作机具有几个轴，能够借助可编程操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行各种任务。

我国对机器人的定义是："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"。

### 1.1.2 为什么要制造机器人

要回答这个问题，则需要了解机器人是怎么诞生的。机器人的出现并快速发展是社会和经济发展的必然，是为了提高社会的生产水平和人类的生活质量，让机器人替人们干那些人干不了、干不好的工作。

制造机器人的起因是随着社会的发展，社会分工越来越细，尤其在现代化的大生产中，有的人每天就只管拧同一个部位的一个螺母，有的人整天就是接一个线头，人们感到自己在不断异化，各种职业病开始产生，人们强烈希望用某种机器代替自己工作。于是人们研制出了机器人，代替人完成那些枯燥、单调、危险的工作。

自机器人诞生以来，其增长率在逐年提高。1980 年，号称机器人王国的日本，开始较多地使用机器人，因此，那一年被称为机器人普及元年。有人断言，21 世纪将是机器人世纪。为什么要大力发展机器人呢？人类在发明了蒸汽机、电动机，制造了包括机床、汽车在内的各种机器以后，大大减轻了人的体力劳动；同时，人类又发明了计算机，特别是目前已在开发的可以处理知识、进行推理和学习的第 5 代计算机，可以在很大程度上代替人的脑力劳动。将机器和计算机相结合生产出来的机器人，可以代替人类进行各种各样的劳动，甚至可以做许多单纯依靠人力所做不到的事情。目前，世界上有数以百万台工业机器人在各种工业部门工作着，从生产大规模集成电路超净车间中的精细加工，到有害环境中的喷漆操作，以至重型机器制造中的笨重搬运工作等，在各种各样的环境中，都可以看到机器人在不知疲倦地劳动着。现在，几乎所有的工业部门都使用了机器人，它们从事的工种有铸、锻、焊、切削、热处理、研磨、冲压、喷漆、装配、检验等。工业机器人队伍还在迅速扩大。近年来，随着计算机、机器人、数控加工中心、无人驾驶搬运车等新技术的发展，工厂无人化的设想将逐步得以实现。在这一进程中，机器人将发挥越来越大的作用。当前，机器人技术不断发展，人们的要求越来越高，不仅要求机器人能在一般环境下工作，还要求机器人能工作于人难以生存的极限环境，如高温、强辐射、高真空、深海等。由于极限作业机器人工作条件很差，所以必须具有适应环境变化的能力，这就要求机器人应该具有一定的智能。机器人的智能可以分为两个层次：第一步，像人那样具有感觉、识别、理解和判断的功能；第二步，能够像人那样具有总结经验和学习的能力。目前，具有初步智能的机器人，已经开始被广泛应用。在工业机器人中，具有初步智能水平的机器人，已经占 20% 左右，而且这一比例还在不断提高。至于具有学习能力等高级智能水平的机器人，尚处于试验研制阶段。机器人已被广泛应用于采矿业、建筑业、农业、林业及医疗等方面。可以预料，应用于宇宙航行、原子能开发等领域的机器人，也将会得到迅速发展。在家庭中，机器人是顺从的"仆人"，不仅会做饭、洗衣、打扫卫生，还会接待客人，陪伴儿童做游戏，照顾病人，帮助病人翻身、洗澡，干得可出色了。现在，人们还准备开发帮助母亲带孩子的育儿机器人，孩子

有“人”照顾，母亲就可以安心地去上班。在军事方面，机器人已经活跃在陆地战场上，而且“兵种齐全”。反坦克机器人、防化机器人、火炮机器人都曾大显身手。哨兵机器人装备有机关枪、掷弹筒，还有多种先进的传感器，在军事基地、机场周围或某一战区进行巡逻放哨，屡立奇功，而且不用换岗。排雷、布雷的工作既繁重又危险，让机器人来承担就不必担心人身的安全了。“布雷”机器人能按指挥官的指令，冒着枪林弹雨去挖坑、计算埋雷的密度、给地雷装引信、打开保险、埋雷，还能自动设置雷场、绘制布雷位置图等，真是“智勇双全”。有人说，21 世纪的战争，不仅会有刀枪不入的“钢铁士兵”去冲锋陷阵，而且还将出现具有人工智能的无人驾驶坦克、飞机、舰艇等各种武器。到那时，军用机器人将成为一支不容忽视的“军事力量”。

同样，从另一方面讲，由于机器人的问世，使一部分工人失去了原来的工作，于是有人对机器人产生了敌意。“机器人上岗，人将下岗。”不仅在我国，即使在一些发达国家如美国，也有人持这种观念。其实这种担心是多余的，任何先进的机器设备，都会提高劳动生产率和产品质量，创造出更多的社会财富，也就必然提供更多的就业机会，这已被人类生产发展史所证明。任何新事物的出现都有利有弊，只不过利大于弊，很快就得到了人们的认可。比如汽车的出现，它不仅夺了一部分人力车夫、挑夫的生意，还常常出车祸，给人类生命财产带来威胁。虽然人们都看到了汽车的这些弊端，但它还是成了人们日常生活中必不可少的交通工具。英国一位著名的政治家针对关于工业机器人的这一问题曾说过这样一段话：“日本机器人的数量居世界首位，而失业人口最少，英国机器人数量在发达国家中最少，而失业人口居高不下”，这也从另一个侧面说明了机器人是不会抢人饭碗的。

机器人被誉为“制造业皇冠顶端的明珠”，发展机器人产业对提高创新能力、增强国家综合实力、带动整体经济发展都具有十分重要的意义。世界主要大国都将机器人的研究与应用摆在本国科技发展的重要战略地位。2011 年，美国推出国家机器人计划（National Robotics Initiative，NRI）；2012 年，韩国发布《机器人未来战略 2022》；2014 年，欧盟启动“SPARC 计划”；2015 年日本发布《机器人新战略（Japan’s Robot Strategy）》，纵观这些主要国家的发展战略，机器人技术及应用已成为塑造创新发展新优势的“必争之地”。

同样，在我国无论是实施创新驱动发展战略还是“中国制造 2025”战略，机器人技术创新和产业发展都是重要内容。2016 年 4 月，我国发布了机器人产业发展规划（2016 - 2020 年），对机器人作为重点发展领域做出总体部署，推进我国机器人产业快速健康可持续发展。

### 1.1.3 机器人的发展历史

**1. 古代机器人**

据战国时期记述官营手工业的《考工记》一则寓言记载，中国的偃师（古代一种职业）用动物皮、木头、树脂制出了能歌善舞的伶人，不仅外貌完全像一个真人，而且还有思想感情，甚至有了情欲。这虽然是寓言中的幻想，但其利用了战国当时的科技成果，也是中国最早记载的木头机器人雏形。——这只是个故事罢了。它体现了中国人民具有高度的科学幻想力和设计加工能力。

东汉时的大科学家张衡发明的指南车可以说是世界上最早的机器人雏形，如图 1-1 所示。张衡发明的另一种叫作“记里鼓车”的机器人，如图 1-2 所示，它能为人们报告所走

的里程，车每行驶一里，车上的小人就击一下鼓，每行十里，它就敲一下钟，无须人手工测量计程。

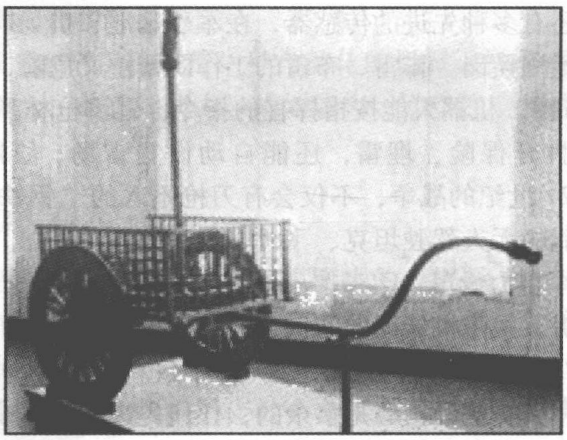


图 1-1　指南车

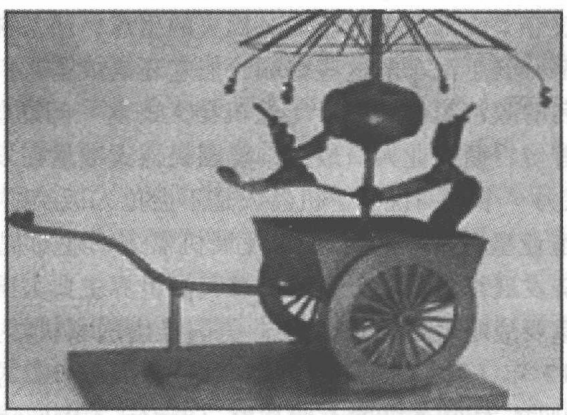


图 1-2　记里鼓车

三国时期，又出现了能替人搬东西的机器人。它是由蜀汉丞相诸葛亮发明的一种能替代人运输物资的机器——“木牛流马”，能运送粮草，在羊肠小道上也能行走如飞，机关在舌头上，相当于现代的机器人——步行机。

国外有关机器人的记载可以追溯到古希腊，据荷马史诗《伊利亚特》记载，火神兼匠神赫淮斯托斯（Hephaistus）创造出了一组金制机械助手。他的这些机械助手身体强健、可以说话，且非常聪明。

特洛伊木马，古罗马时特洛伊人攻打罗马城，久攻不下，佯装逃窜，丢弃木马，被罗马人抬回城中，夜间由肚中爬出伏兵，开门溃敌，可谓欺骗型机器马。

公元 1768 ~ 1774 年间，瑞士钟表匠德罗斯父子三人，设计制造出三个像真人一样大小的机器人——写字偶人、绘图偶人和弹风王琴偶人。它们是由凸轮控制和弹簧驱动的自动机器，至今还作为国宝保存在瑞士纳切特尔市艺术和历史博物馆内。

1893 年，加拿大摩尔设计的能行走的机器人“安德罗丁”，是以蒸汽为动力的。

**2. 早期机器人**

其实早在 1886 年，法国作家利尔亚当在他的小说《未来夏娃》中将外表像人的机器起

名为“安德罗丁”（Android），它由4部分组成：

1）生命系统（平衡、步行、发声、身体摆动、感觉、表情、调节运动等）。

2）造型解质（关节能自由运动的金属覆盖体，一种盔甲）。

3）人造肌肉（在上述盔甲上有肉体、静脉、性别等身体的各种形态）。

4）人造皮肤（含有肤色、机理、轮廓、头发、视觉、牙齿、手爪等）。

1920年，捷克作家卡雷尔·卡佩克（Karel Capek）发表了科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》。在剧本中，卡佩克把捷克语“Robota”写成了“Robot”，“Robota”是奴隶的意思。该剧预告了机器人的发展对人类社会的巨大影响，引起了大家的广泛关注，被当成了机器人一词的起源。在该剧中，机器人按照其主人的命令默默地工作，没有感觉和感情，以呆板的方式从事繁重的劳动。后来，罗萨姆公司取得了成功，使机器人具有了感情，导致机器人的应用部门迅速增加。在工厂和家务劳动中，机器人成了必不可少的成员。

为了防止机器人伤害人类，科幻作家阿西莫夫于1940年提出了“机器人三原则”：

1）机器人不应伤害人类。

2）机器人应遵守人类的命令，与第一条违背的命令除外。

3）机器人应能保护自己，与第一条相抵触者除外。

这是给机器人赋予的伦理性纲领。机器人学术界一直将这三原则作为机器人开发的准则。

1959年，美国英格伯格和德沃尔（Joseph Engelberger and George Devol）制造出世界上第一台工业机器人，如图1-3所示，机器人的历史才真正开始。随后，便成立了世界上第一家机器人制造工厂——Unimation公司。由于英格伯格对工业机器人的研发和宣传的贡献，他也被称为“工业机器人之父”。

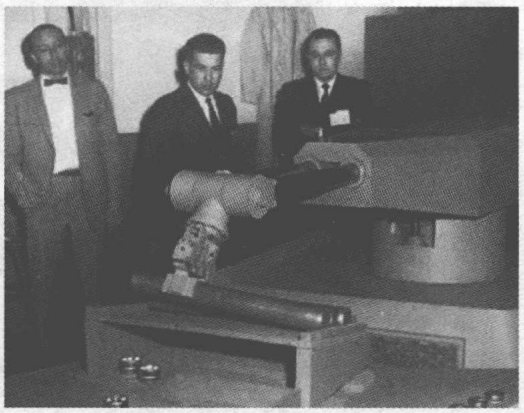


图1-3　世界上第一台工业机器人

图1-3所示的世界上第一台工业机器人重达两吨，由写在磁鼓上的程序进行控制。他们采用液压执行器，并分别设定关节坐标系，即各关节的角度，存储示教/再现操作方式。控制精度为1/10000 in。[⊖]

**3. 现代机器人**

20世纪70年代，第二代机器人开始有了较大发展，第二代为感觉型机器人，如有力

⊖ 1 in = 0.0254 m。

觉、触觉和视觉等，它具有对某些外界信息进行反馈调整的能力，投入应用后开始普及。1973 年，日本日立公司开发的用于混凝土桩和钢管业的自动抽苔机器人，如图 1-4 所示，这个机器人是第一个装有视觉传感器判断移动物体的工业机器人。当机器人判断出物体移动时，同步钢管上的螺栓紧固/松开等。

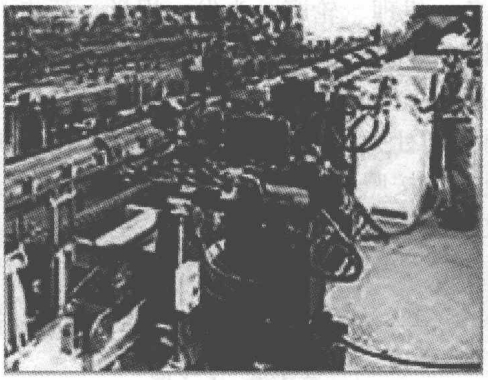


图 1-4　日本日立自动抽苔机器人

我国自 20 世纪 70 年代起研制工业机器人，包括中科院沈阳自动化所、上海交通大学、前上海工业大学等都投入了工业机器人的研究开发，取得了一定的成果。图 1-5 为上海大学（前身为上海工业大学）于 1986 年研制成功的上海Ⅱ号工业机器人，现在仍然存放在上海市延长路 149 号的上海大学机器人大楼内。

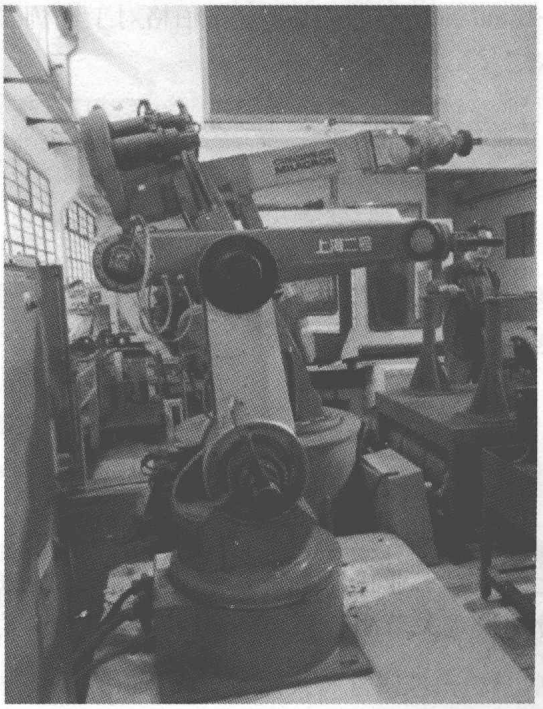


图 1-5　上海大学研制的上海Ⅱ号工业机器人

**4. 当代机器人**

进入 21 世纪，机器人被赋予了一定的智能，即第三代机器人是智能机器人，它不仅具

有感觉能力，而且还具有独立判断和行动的能力，并具有记忆、推理和决策的能力，因而能够完成更加复杂的动作。由计算机控制手臂和行走装置，使机器人的手完成作业，脚完成移动，机器人能够用自然语言与人对话。

神奇的魔方，一定给很多人留下深刻的记忆，现在，有人设计出解魔方的机器人，如图 1-6 所示。该机器人只要 18.2 s 就可以把杂乱无章的魔方解出来。这款机器人可称得上智能，其带有眼睛（摄像头）、机械手，更重要的是还有脑部（快速判断并指挥机械手如何转动魔方）。

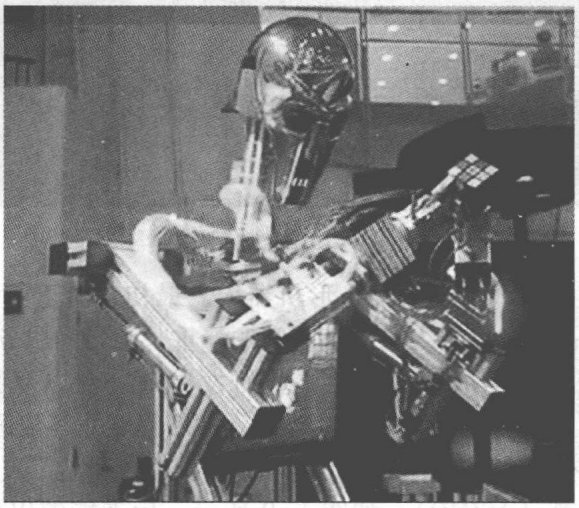


图 1-6　解魔方机器人

1992 年从麻省理工学院分离出来的波士顿动力公司（已被谷歌收至麾下）相继研发出能够直立行走的军事机器人 Atlas 以及四足全地形机器人“大狗”“机器猫”等，令人叹为观止。如图 1-7 所示，它们是世界第一批军事机器人，如今在阿富汗服役。



图 1-7　机器人“大狗”

Atlas 机器人，如图 1-8 所示，身高 1.9 m，拥有健全的四肢和躯干，配备 28 个液压关节，头部内置立体照相机和激光测距仪，除了空手道，佛罗里达人机交互协会的研究员甚至编写了内置软件让 Atlas 可以开车。因此，Atlas 绝对称得上是世界上最先进的机器人之一。

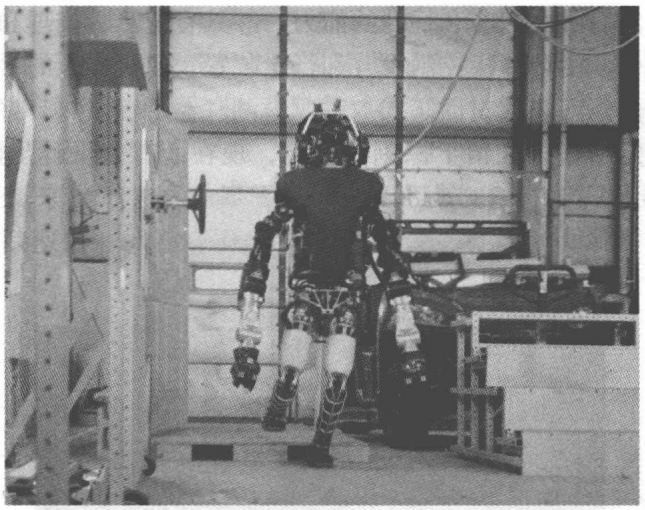


图 1-8　Atlas 机器人

20 世纪中期，日本一直致力于研发人形机器人。最初，由于劳动力的不足，日本的机器人以工业机器人为主；后来由于人口老年化问题严重，则转向服务型和娱乐型机器人。

1969 年，日本早稻田大学加藤一郎实验室研发出第一台以双脚走路的机器人。到了 1980 年，工业机器人真正在日本普及——其普及、发展程度非其他国家可比拟。

日本著名的机器人有 2000 年索尼公司推出的机器狗“爱宝”（AIBO）、本田汽车公司研发的人形机器人阿西莫（ASIMO），如图 1-9 所示，后者能够以接近人类的姿态走路和奔跑。

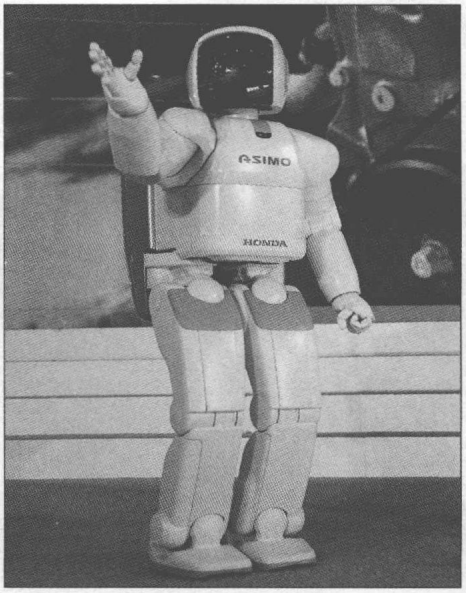



图 1-9　机器人阿西莫（ASIMO）

如今机器人发展的特点可概括为：横向上——应用面越来越宽。除了应对日常的生产和生活，科学家们还希望机器人能够胜任更多的工作，包括探测外太空。

2012 年，美国“发现号”航天飞机成功将首台人形机器人送入国际空间站。这位机器