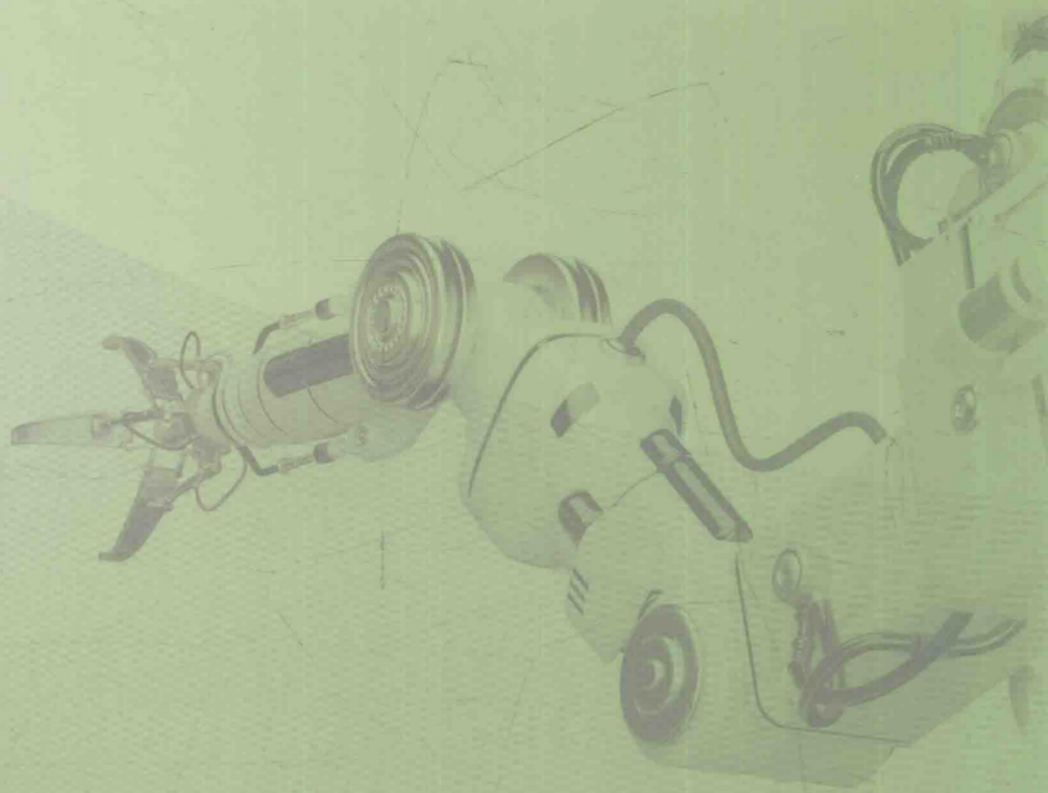


机器人设计与制作

◎ 主编 马文倩 晁 林



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机器人设计与制作

主 编 马文倩 晁 林

副主编 马海国 张 超 党智乾

主 审 陈 荷



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

每个机器人都是不同的个体,它的创造者就是你。机器人还有很多尚未开发的市场,你想成为其中一员吗?那么走进这本书,你会得到很多帮助。

本书紧扣读者需求,按照单元→项目→任务的主线,选取经典案例,深入浅出地讲述了现代机器人技术的热点问题、关键技术、解决方案及发展前沿。本书共5个单元,内容包括机器人结构、制作机器人、机器人控制系统组成、机器人控制系统的设计与组装、机器人创意设计案例。本书具有系统全面、实例丰富、强调基本功、突出创新、注重应用、内容生动、图文并茂及可操作性强等特点。

本书可作为参加各类机器人大赛、“挑战杯”、“互联网+”、机械创新、电子设计大赛等科技创新活动的参考资料,也可作为高等院校相关专业学生的教材,还是机器人爱好者非常值得一看的参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机器人设计与制作 / 马文倩, 晁林主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.3
ISBN 978-7-5682-2087-3

I. ①机… II. ①马… ②晁… III. ①机器人-设计 ②机器人-制作 IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 061392 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 308 千字

版 次 / 2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

定 价 / 43.00 元

责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 杜春英

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

机器人，这颗镶嵌在制造业皇冠上的明珠近几年掀起了产业化的热潮。我国已连续多年成为全球最大的机器人应用市场，市场规模扩张速率连续 4 年超过 50%。据统计，我国 40 多家高新区规划了机器人产业园，30 多个城市把机器人作为重要的战略性新兴产业重点支持，直接和间接的机器人企业已有 4 000 多家，近 50 家上市公司开始涉足机器人产业。同时越来越多的机器人爱好者开始了机器人设计与制作的探索和实践。本书一部分是教程，一部分是参考。它没有空泛地罗列机器人学的相关理论，而是告诉你制作一个机器人需要掌握的基本知识和基本技能，以及一些关于机器人的科学与艺术知识。

★ 内容特点

与同类书籍相比，本书具有以下特色：

(1) 层次鲜明。

全书以单元点出主题，以项目构建教学环境，以任务作为教学载体，知识点覆盖系统全面，循序渐进。

(2) 注重应用。

书中除了描述机器人技术中的必要理论，还对制作机器人的实践方法及注意要点进行了详细阐述，使读者能够轻松学习，快乐制作。

(3) 突出创新。

本书根据作者近年来从事机器人技术的教学、科研及实践经验，收集了大量典型案例，引领初学者顺利进行机器人设计与制作。本书的最大创新点在于将制作机器人所用的工具和材料以及制作方法做了系统归纳和提炼，充分解决了机器人爱好者无从下手的难题。

(4) 内容生动。

书中配备了大量新颖的图片，能充分提升读者兴趣，其中不乏对一些全国性机器人大赛的实例解说、对世界先进机器人解读以及对多部好莱坞科幻电影中高科技元素的诠释。

★ 编排思路

经过多年“教学做一体化”的教学实践，教材编写组老师合理设置了内容结构与顺序。单元 1 由机器人结构引入，使读者了解机器人；单元 2 实践制作机器人，使读者掌握机器人的骨骼材料及加工方法；单元 3 学习机器人控制系统组成，使读者掌握如何让机器人动起来；单元 4 深入解决控制系统设计与组装等问题，使读者通过实践能够制作出完整的机器人作品；单元 5 列举了若干机器人创意设计案例，为初学制作的读者提供了思路 and 基础。

本书对每一个任务载体均按照“提出任务→自主学习→任务设计→任务实施→反馈评价”的五步教学法展开编写，力求增强学生学习的主动性，优化学生自主学习方法，提高学生最终学习效果。

本书单元 1 由马文倩、张超编写，单元 2 由马文倩、马海国编写，单元 3 由晁林、党智



乾编写，单元4由晁林编写，单元5由马文倩、晁林编写。

★ 读者对象

(1) 可作为参加各类机器人大赛、“挑战杯”、“互联网+”、机械创新、电子设计大赛等科技创新活动的参考资料；

(2) 可作为高等院校相关专业学生的教材；

(3) 可作为机器人爱好者的参考资料。

在本书的编写过程中，编者本着认真负责、精益求精的态度，尽可能将错误率降到最低。由于编者水平有限，书中难免存在不当和谬误之处，敬请有关专家和读者指正。

编 者

目 录

单元 1 机器人结构	1
项目 1 机器人的定义、分类及系统组成	1
任务 1.1 机器人概论	2
一、机器人的定义	2
二、机器人的发展史	3
三、机器人的分类	5
四、工业机器人的分类	7
任务 1.2 机器人的组成与技术参数	10
一、机器人系统的组成	10
二、机器人的技术参数	12
项目 2 机器人的构造	19
任务 2.1 机器人的身体及其运动系统	19
一、机器人的骨骼结构	20
二、机器人的骨头和肉	22
三、机器人的运动系统	23
四、机器人的动力系统	25
任务 2.2 机器人的感觉	28
一、触觉	28
二、视觉	28
三、嗅觉和味觉	29
四、其他感觉	29
项目 3 机器人的机械系统设计	32
任务 3.1 智能装配及配送	32
一、总体设计	32
(一) 系统分析	32
(二) 技术设计	33
二、驱动机构设计	35
(一) 驱动方式	35
(二) 直线驱动机构	36
(三) 旋转驱动机构	37
三、各关节设计	41



(一) 机身和臂部设计	41
(二) 腕部设计	46
(三) 手部设计	48
(四) 行走机构设计	53
单元2 制作机器人	61
项目4 制作机器人的骨骼	61
任务4.1 选择合适的材料及零件	61
一、木头	62
二、塑料	63
三、金属	64
四、轻质复合材料	67
任务4.2 选择合适的工具	69
一、基本工具	69
二、其他电动工具	74
项目5 机械加工技术	75
任务5.1 材料的钻孔及切割	75
一、钻孔	76
二、材料的切割	79
项目6 装配技术	82
任务6.1 紧固件的使用	82
一、螺丝和螺母	83
二、垫片	85
三、紧固件的材料	85
四、支架	86
任务6.2 黏合剂的选择和使用	87
一、接合与定型	87
二、家用胶水	87
三、双份环氧树脂黏合剂	88
四、超级胶水	88
五、使用热熔胶	88
单元3 机器人控制系统组成	91
项目7 认识宝贝车机器人的组成	91
任务7.1 宝贝车机器人各部件的认识	91
任务7.2 固定电阻	93
一、电阻的参数标识	94
二、测量阻值	96
三、电阻的常见应用	96
任务7.3 电位器	99



一、线性或音量型电位器	100
二、电位器的应用	100
三、电位器的主要参数	101
四、其他类型的可变电阻	101
任务 7.4 电容	103
一、电容参数的定义	103
二、电容标识	104
三、电容量	104
任务 7.5 二极管	108
一、二极管的参数标识	109
二、认识二极管的极性	110
三、探索二极管的组成	110
任务 7.6 发光二极管 (LED)	110
一、点亮 LED	111
二、形状和尺寸	111
三、LED 显示屏	111
四、LED 的颜色	112
任务 7.7 晶体管	114
一、如何识别晶体管	115
二、NPN 和 PNP——一枚硬币的两个面	116
三、认识 MOSFET	116
任务 7.8 集成电路	117
一、识别集成电路	117
二、单片机和其他专用 IC	118
项目 8 机器人的“大脑”	118
任务 8.1 机器人“大脑”概述	119
任务 8.2 AT89S52 单片机	121
一、单片机内部结构介绍	122
二、AT89S52 的引脚	123
三、单片机最小系统	125
四、I/O 端口功能	126
单元 4 机器人控制系统的设计与组装	130
项目 9 机器人伺服电动机控制	130
任务 9.1 编写在宝贝车机器人上运行的 C 语言程序	131
一、Keil 软件概述	131
二、针对 51 单片机的 C 语言基础知识	132
三、while 语句	135
四、for 语句	135



五、使用 Keil 软件建立一个工程	136
六、如何连接单片机教学板 ISP 接口到计算机	140
任务 9.2 如何控制伺服电动机	143
一、如何跟踪时间和重复执行某个动作指令	144
二、伺服电动机的连接	146
三、伺服电动机的调零	146
四、计数并控制循环次数	149
项目 10 宝贝车机器人巡航控制	156
任务 10.1 编程使机器人做一些基本的动作	156
一、基本的机器人动作	156
二、调整基本运动	162
任务 10.2 匀变速运动	164
项目 11 机器人触觉控制	168
任务 11.1 使用通用触须导航	168
一、安装并测试机器人的胡须	168
二、实地测试胡须	171
任务 11.2 小车卡住时的人工智能和判断	177
项目 12 机器人的红外导航	182
任务 12.1 搭建并测试 IR LED 电路, 实现红外线导航	183
任务 12.2 尾随车	186
单元 5 机器人创意设计案例	193
项目 13 舞蹈机器人	193
项目 14 蜘蛛机器人	195
项目 15 智能坦克底盘	197
项目 16 扫地机器人	198
项目 17 工业机械臂创意设计	200

单元 1

机器人结构

本单元由机器人的定义、分类与系统组成引入，通过学习机器人的骨骼结构、运动与动力系统及感觉模块，应掌握机器人的功能设计、驱动机构设计及关节设计方法。



学习目标

完成本单元的学习后，应具备以下能力：

- 了解机器人的分类；
- 了解机器人的系统组成；
- ▲ 掌握机器人的运动与动力系统组成及工作原理；
- ▲ 掌握机器人的感觉器官及其特点；
- ▲ 掌握机器人机构简图的绘制方法；
- ▲ 掌握机器人驱动机构的基本类型；
- ▲ 掌握机器人各部分的设计方法。

项目 1 机器人的定义、分类及系统组成

机器人技术集成了机械工程、电子技术、计算机技术、自动控制理论及人工智能等多学科的最新研究成果，代表了机电一体化的最高成就，是当代科学技术发展最活跃领域之一。

在传统的制造领域，工业机器人历经诞生期、成长期及成熟期，目前已成为不可缺少的核心自动化装备，世界上有上百万台工业机器人工作在各种生产现场。在非制造领域，上至太空舱、宇宙飞船、月球探险，下至极限环境作业、医疗手术、日常生活服务，机器人技术的应用已拓展到社会经济发展的诸多领域。



任务 1.1 机器人概论



第一步 提出任务

并非只在工业自动化生产线、太空探测、高科技实验室、科幻小说或电影里面才有机器人，现实生活中也有各种各样的机器人，已经完全融入了人们的生活并起着重要作用。例如，能够双足行走的仿人型机器人 ASIMO、可以逼真地表达喜怒哀乐情感的机器小狗 AIBO、打扫房间的吸尘器机器人、为残疾人服务的就餐辅助机器人及应用于医院的看护助力机器人等，都已成为实际生活中不可缺少的一部分。

◆ 任务描述

虽然在我们身边活跃着各种类型的机器人，但不是每一个机电产品都属于机器人，不能把看到的每一个自动化装置都叫作机器人，机器人有其自身的特征和定义。

- (1) 通过学习，了解机器人的定义及发展。
- (2) 通过学习机器人的各种分类方法，完成将机器人正确分类的任务。
- (3) 通过学习，判断机器人的坐标形式及自由度。



第二步 自主学习

◆ 相关知识链接

一、机器人的定义

机器人是高级整合控制论、机械电子、计算机、材料和仿生学的产物，在工业、医学、农业、建筑业甚至军事等领域中均有重要应用。

国际上对机器人的概念已经逐渐趋于一致。一般来说，人们可以接受这种说法，即机器人是靠自身的动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。联合国标准化组织采纳了美国机器人协会给机器人下的定义：“一种可编程、多功能的操作机；或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。”它能为人类带来许多方便。

日本著名学者加藤一郎提出了机器人的三要素：

- ① 具有脑、手、脚等要素的个体；
- ② 具有非接触传感器（如眼、耳等）和接触传感器；
- ③ 具有用于平衡和定位的传感器。

我国科学家对机器人的定义是：机器人是一种自动化的机器，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。

一般来说，机器人应该具备拟人功能、可编程和通用性好三大特征。

(1) 拟人功能。机器人是模仿人或动物肢体动作的机器，能像人那样使用工具。因此，数控机床和汽车不是机器人。



(2) 可编程。机器人具有智力或感觉与识别能力,可随工作环境变化的需要而再编程。一般的电动玩具没有感觉和识别能力,不能再编程,因此不能称为真正的机器人。

(3) 通用性好。一般机器人在执行不同作业任务时具有较好的通用性,例如通过更换机器人末端操作器(end effector,也称手部,如手爪、工具等)便可执行不同的任务。

二、机器人的发展史

“机器人技术”一词虽出现得较晚,但相关概念早已出现在人类的想象中。制造机器人是机器人技术研究者的梦想,它体现了人类重塑自身、了解自身的一种强烈愿望。自古以来,不少科学家和杰出工匠都曾制造出具有人类特点或模拟动物特征的机器人雏形。

“机器人(Robot)”一词是1920年由捷克作家卡雷尔·恰佩克(Karel Capek)在他的讽刺剧《罗莎姆的万能机器人》中首先提出的。剧中描述了一个与人类相似,但能不知疲倦工作的机器奴仆Robot。Robot,原为Robo,意为奴隶,即人类的仆人,从那时起,Robot一词沿用至今,中文意思为“机器人”。

1942年,美国科幻作家埃萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)在他的科幻小说《我,机器人》中提出了“机器人三定律”,这三定律后来成为学术界默认的研发原则。目前“机器人三定律”已经衍生为“机器人五定律”。

现代机器人出现于20世纪中期,当时数字计算机已经出现,电子技术也有了长足的发展,在产业领域出现了受计算机控制的可编程的数控机床,与机器人技术相关的控制技术和零部件加工也已有了扎实的基础。另外,人类需要开发自动机械,以替代人类从事一些恶劣环境下的作业。正是在这一背景下,机器人技术的研究与应用得到了快速发展。

以下列举了现代机器人工业史上的几个标志性事件。

1954年,美国人戴沃尔(G. C. Devol)制造出世界上第一台可编程的机械手,并注册了专利。这种机械手能按照不同的程序从事不同的工作,因此具有通用性和灵活性。

1959年,戴沃尔与美国发明家英格伯格(Ingerborg)联手制造出第一台工业机器人,并随后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富有成效的研发和宣传,他被称为“工业机器人之父”。

1962年,美国AMF公司生产出万能搬运机器人Verstran,与Unimation公司生产的机器人Unimate一样成为真正商业化的工业机器人,并出口到世界各国,掀起了全世界对机器人研究的热潮。

1967年,日本川崎重工公司和丰田公司分别从美国购买了工业机器人Unimate和Verstran的生产许可证,日本从此开始了对机器人的研究和制造。20世纪60年代后期,喷漆弧焊机器人问世并逐步开始应用于工业生产中。

1968年,美国斯坦福研究所公布了已研发成功的机器人Shakey。它带有视觉传感,能根据人的指令发现并抓取积木,不过控制它的计算机有一间房间那么大。Shakey被称为世界上第一台智能机器人,由此拉开了第三代机器人研发的序幕。

1969年,日本早稻田大学的加藤一郎实验室研发出第一台以双脚走路的机器人。加藤一郎长期致力于研究仿人机器人,被誉为“仿人机器人之父”。日本专家一向以研发仿人机器人和娱乐机器人的技术见长,后来进一步催生出本田公司的ASIMO机器人和索尼公司的QRIO机器人。



1973 年, 世界上机器人和小型计算机第一次携手, 研制出了美国 Cincinnati Milacron 公司的机器人 T3 (见图 1-1)。

1979 年, 美国 Unimation 公司推出通用工业机器人 PUMA (见图 1-2), 这标志着工业机器人技术已经完全成熟。PUMA 至今仍工作在生产一线, 许多机器人技术的研究都以该机器人为模型和对象。

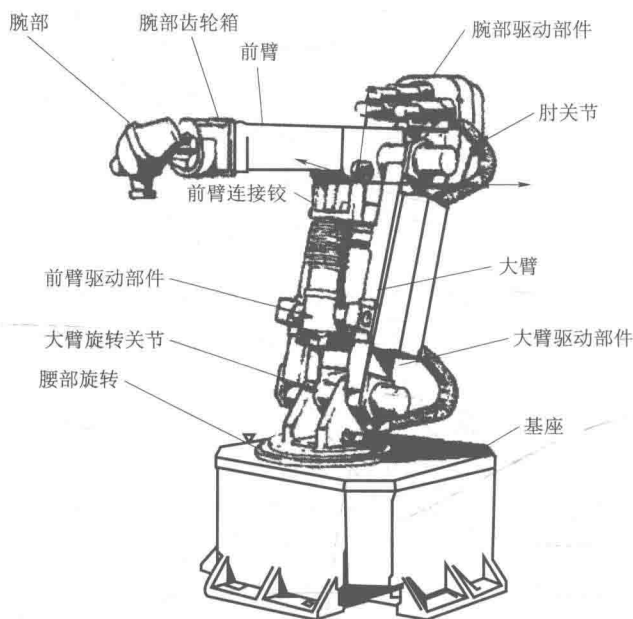


图 1-1 机器人 T3

1979 年, 日本山梨大学牧野洋发明了平面关节型 SCARA 机器人, 该机器人在此后的装配作业中得到了广泛应用。

1980 年, 工业机器人在日本开始普及。随后, 工业机器人在日本得到了巨大发展, 日本也因此赢得了“机器人王国”的美称。

1984 年, 英格伯格再次推出机器人 Helpmate, 这种机器人能在医院里为患者送饭、送药、送邮件。同年, 英格伯格还预言: 我要让机器人擦地板、做饭、出去帮我洗车、检查安全。

1996 年, 本田公司推出仿人型机器人 P2, 使双足行走机器人的研究达到了一个新的水平。随后许多国际著名企业争相研制代表自己公司形象的仿人型机器人, 以展示公司的科研实力。

1998 年, 丹麦乐高公司推出机器人 Mindstorms 套件, 让机器人制造变得跟搭积木一样, 相对简单又能任意拼装, 使机器人开始走入个人世界。

1999 年, 日本索尼公司推出机器人 ALBO,

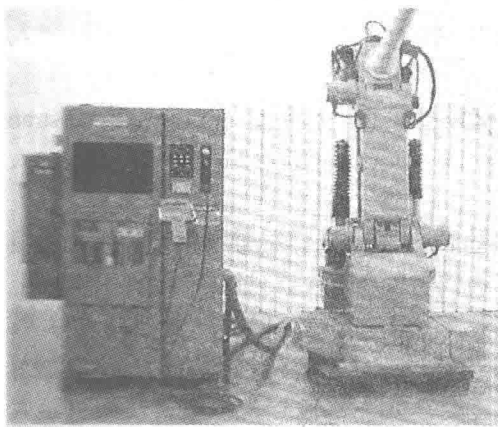


图 1-2 机器人 PUMA



当即销售一空，从此娱乐机器人进入普通家庭。

2002年，美国 iRobot 公司推出吸尘器机器人 Roomba，它是目前世界上销量最大、商业化最成功的家用机器人。

2006年，微软公司推出 Microsoft Robotics Studio 机器人，从此机器人模块化、平台统一化的趋势越来越明显。

三、机器人的分类

关于机器人如何分类，国际上没有制定统一的标准。从不同的角度来看，机器人有不同的分类方法。

我国的机器人专家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。所谓工业机器人，就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人，如图 1-3 所示。而特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人（见图 1-4）、农业机器人和机器人化机器等。在特种机器人中，有些分支发展得很快，有独立成体系的趋势，如服务机器人、水下机器人、军用机器人和微操作机器人等。



图 1-3 ABB-IRB2600 工业机器人

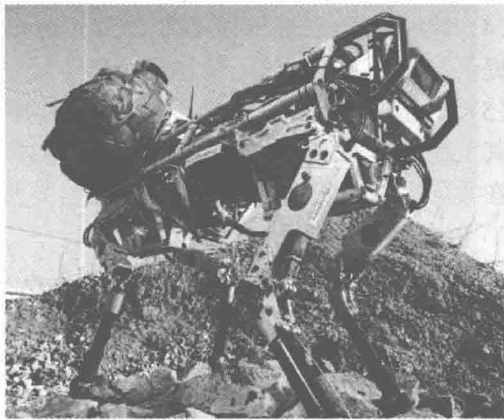


图 1-4 军用机器人

国际上的机器人学者，从应用环境出发将机器人也分为两类：制造环境下的工业机器人和非制造环境下的服务与仿人型机器人，这和中国的分类是一致的。

空中机器人又叫无人机，在军用机器人家族中，无人机是科研活动中最活跃、技术进步最大、研究及采购经费投入最多、实战经验最丰富的领域。80多年来，世界无人机的发展基本上是以美国为主线向前推进的，无论是从技术水平还是从无人机的种类和数量来看，美国均居世界首位。

1) 按机器人发展的程度分类

按从低级到高级的发展程度，机器人可分为以下几类：

- (1) 第一代机器人。第一代机器人是指只能以示教-再现方式工作的工业机器人。
- (2) 第二代机器人。第二代机器人带有一些可感知环境的装置，可通过反馈控制使其在



一定程度上适应变化的环境。

(3) 第三代机器人。第三代机器人是智能机器人，它具有多种感知功能，可进行复杂的逻辑推理、判断及决策，可在作业环境中独立行动，具有发现问题并自主解决问题的能力。这类机器人具有高度的适应性和自治能力。

(4) 第四代机器人。第四代机器人为情感型机器人，它具有人类式的情感。具有情感是机器人发展的最高层次，也是机器人科学家的梦想。

2) 按控制方式分类

按控制方式，可将机器人分为操作机器人、程序机器人、示教-再现机器人、数控机器人和智能机器人等。

(1) 操作机器人。操作机器人 (operating robot) 是指人可在一定距离处直接操纵进行作业的机器人，通常采用主、从方式实现对操作机器人的遥控操作。

(2) 程序机器人。程序机器人 (sequence control robot) 可按预先给定的程序、条件、位置等信息进行作业，其在工作过程中的动作顺序是固定的。

(3) 示教-再现机器人。示教-再现机器人 (playback robot) 的工作原理是：由人操纵机器人执行任务，并记录下这些动作，机器人进行作业时按照记录下的信息重复执行同样的动作。示教-再现机器人的出现标志着工业机器人广泛应用的开始。示教-再现方式目前仍然是工业机器人控制的主流方法。

(4) 数控机器人。控制数控机器人 (numerical control robot) 动作的信息由编制的计算机程序提供，机器人依据这一信息进行作业。

(5) 智能机器人。智能机器人 (intelligent robot) 具有感知和理解外部环境信息的能力，即使其工作环境发生变化，也能够成功完成作业任务。

在实际应用中所用的机器人多是这些类型机器人的组合。

3) 按机器人的应用领域分类

按应用领域，机器人可分为三大类：产业用机器人、极限作业机器人和服务型机器人。

(1) 产业用机器人。按照服务产业种类的不同，机器人又可以分为工业机器人、农业机器人、林业机器人和医疗机器人等。按照用途不同，又可以分为搬运机器人、焊接机器人、装配机器人、喷漆机器人和检测机器人等。

(2) 极限作业机器人。极限作业机器人是指应用于人们难以进入的极限环境（如核电站、宇宙空间和海底等），在这些特殊环境完成作业任务的机器人。

(3) 服务型机器人。服务型机器人是指用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括娱乐机器人、福利机器人和保安机器人等。目前服务型机器人发展速度很快，代表着机器人未来的研究和发展方向。

4) 按机器人关节连接布置形式分类

按机器人关节连接布置的形式，机器人可分为串联机器人和并联机器人两类。

串联机器人的杆件和关节是采用串联方式进行连接（开链式）的，并联机器人的杆件和关节是采用并联方式进行连接（闭链式）的。本书所涉及的主要是串联机器人。

并联机器人是指运动平台和基座间至少由两根活动连杆连接，具有 2 个或 2 个以上自由度闭环机构的机器人。



并联机器人的并联布置类型可分为 Stewart 平台型和 Stewart 变异结构型两种。1965 年,英国高级工程师 Stewart 提出了用于飞行模拟器的 6 自由度并联机构 Stewart 平台(见图 1-5),推动了对并联机构的研究。Stewart 机构可作为 6 自由度的闭链操作臂,运动平台(上平台)的位置和姿态由 6 个直线油缸的行程长度决定,油缸的一端与基座(下平台)通过 2 自由度的万向联轴器(胡克铰)相连,另一端(连杆)通过 3 自由度的球-套关节(球铰)与运动平台相连。

1978 年,澳大利亚著名机构学教授 Hunt 提出把 6 自由度的 Stewart 平台机构作为机器人机构,此后,并联机器人技术得到了推广与应用。图 1-6 所示为 ABB 公司的 6-DOF 并联机器人。目前,并联机器人技术与机床结构技术结合的产物——并联机床(parallel machinetool)已成为新型机床研究的热点之一。

并联机器人具有刚度高、精度高、响应速度快及结构简单等特点,其不足之处在于工作空间小和控制复杂。并联机器人广泛用于产品包装、飞行员训练模拟及外科手术设备的精确定位中。

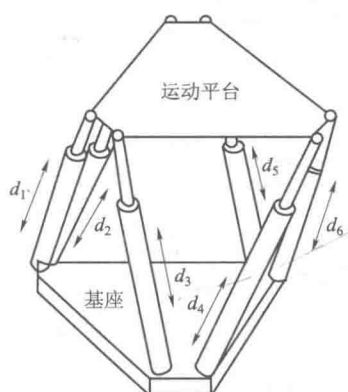


图 1-5 Stewart 平台

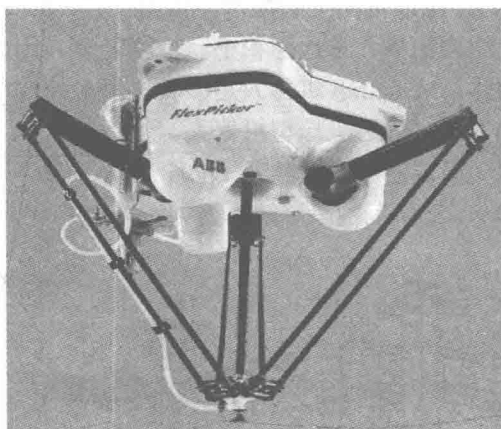


图 1-6 6-DOF 并联机器人

四、工业机器人的分类

1) 工业机器人的关节设置

通常将机身、臂部、手腕和末端操作器(如手爪)称为机器人的操作臂,它由一系列的连杆通过关节顺序串联而成。关节决定两相邻连杆副之间的连接关系,也称为运动副。机器人最常用的两种关节是移动关节(prismatic joint)和旋转关节(revolute joint),通常用 P 表示移动关节,用 R 表示转动关节。

刚体在三维空间中有 6 个自由度,显然,机器人要完成任一空间作业也需要 6 个自由度。机器人的运动由臂部和手腕的运动组合而成。通常臂部有 3 个关节,用于改变手腕参考点的位置,称为定位机构;手腕部分也有 3 个关节,通常这 3 个关节的轴线垂直相交,用来改变末端操作器的姿态,称为定向机构。整个操作臂可以看成是由定位机构连接定向机构而构成的。

工业机器人操作臂的关节常为单自由度主动运动副,即每一个关节均由一个驱动器驱动。



机器人臂部 3 个关节的种类决定了操作臂工作空间的形式。按照臂部关节沿坐标轴的运动形式,即按 P 和 R 的不同组合,可将机器人分为直角坐标型、圆柱坐标型、球(极)坐标型、关节坐标型和 SCARA 型五种类型。机器人的结构形式由用途决定,即由所完成工作的性质选取。

2) 工业机器人的坐标形式

(1) 直角坐标型机器人。

直角坐标型机器人(cartesian coordinates robot)的外形与数控镗铣床和三坐标测量机相似,如图 1-7(a)所示,其 3 个关节都是移动关节(3P),关节轴线相互垂直,相当于笛卡儿坐标系的 x 轴、 y 轴和 z 轴。其优点是刚度好,多做成大型龙门式或框架式结构,位置精度高、运动学求解简单、控制无耦合;缺点是结构较庞大、动作范围小、灵活性差且占地面积较大。因其稳定性好,适用于大负载搬运。

(2) 圆柱坐标型机器人。

圆柱坐标型机器人(cylindrical coordinates robot)具有 2 个移动关节(2P)和 1 个转动关节(1R),工作范围呈圆柱形,如图 1-7(b)所示。其优点是位置精度高、运动直观、控制简单、结构简单、占地面积小、价格低廉,因此应用广泛;缺点是不能抓取靠近立柱或地面上的物体。Versatran 机器人是该类机器人的典型代表。

(3) 球(极)坐标型机器人。

球(极)坐标型机器人(polar coordinates robot)具有 1 个移动关节(1P)和 2 个转动关节(2R),工作范围呈球缺形,如图 1-7(c)所示。

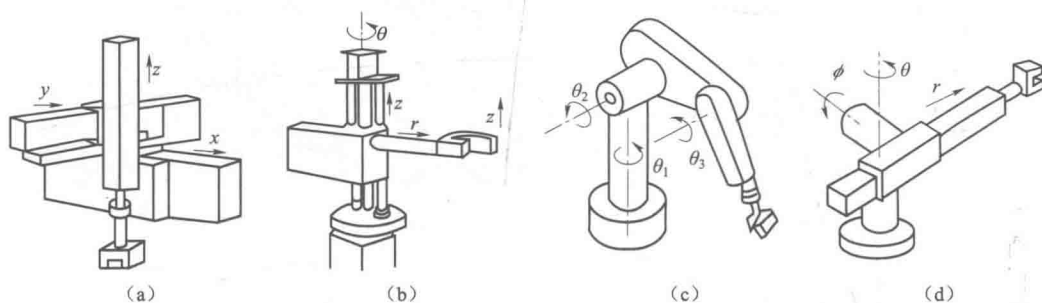


图 1-7 四种坐标形式的机器人

(a) 直角坐标型机器人; (b) 圆柱坐标型机器人;

(c) 球(极)坐标型机器人; (d) 关节坐标型机器人

(4) 关节坐标型机器人。

关节坐标型机器人(articulated robot)由立柱、大臂和小臂组成。其具有拟人的机械结构,即大臂与立柱构成肩关节,大臂与小臂构成肘关节。具有 3 个转动关节(3R),可进一步分为 1 个转动关节和 2 个俯仰关节,工作范围呈球缺形,如图 1-7(d)所示。该类机器人的优点是工作范围大、动作灵活、能抓取靠近机身的物体;缺点是运动直观性差,要得到高定位精度较困难。由于该类机器人灵活性高,其应用最为广泛。PUMA 机器人是该类机器人的典型代表。