

魏 巍 主编 栗思科 审

机器人

技术入门



JIQIREN
JISHURUMEN



化学工业出版社



魏巍 主编 粟思科 审

机器人

技术入门



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人技术入门/魏巍主编. —北京: 化学工业出版社,
2014. 8
ISBN 978-7-122-20843-9

I. ①机… II. ①魏… III. ①机器人技术 IV. ①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 116877 号

责任编辑: 贾娜
责任校对: 边涛

文字编辑: 张燕文
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: 三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 12½ 字数 336 千字 2014 年 10 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

机器人一直被当做高尖技术的代表。一提到机器人，很多人就会联想到“科幻”、“未来”、“高科技”等字眼。伴随着科学技术的不断发展，曾经只有在科幻电影和小说中才会有的机器人已经逐渐走入人类生活。如今，机器人的应用越来越普及，机器人技术也将成为越来越重要的一门技术。为了帮助广大读者尽快了解和掌握机器人相关技术，我们编写了这书旨在普及机器人基础知识的入门读物。

本书特点

目前国内很多有关机器人的书籍都是翻译自国外图书，大多侧重于广泛讲解基础理论，较多地使用数学符号表示机器人的建模和运动，很少给出该数学符号的物理意义；或者偏重某一特定类型机器人，对机器人的整体发展少有系统的介绍。由于机器人涉及的理论知识比较多，学习起来比较耗费时间和精力，理论性强的图书往往不能引起读者的阅读兴趣，不适合做入门书籍。

本书力求简化基础理论知识，注重介绍机器人的整体特点，以符合入门读者的阅读兴趣。本书尽量避免广泛大量的基础理论介绍，图文并茂、简洁清晰地介绍了机器人技术的基本原理，以及机器人发展历史、应用分类、技术特点、模型及控制等内容。通过本书的学习，可使读者对机器人的相关知识有一个比较清晰的概念，并且可以了解机器人技术在军事、生活、生物、医学等领域的广阔应用前景。

组织结构

本书共分7章。第1章介绍了机器人技术的大致现状；第2章介绍了机器人的定义及发展历史；第3章介绍了机器人的硬件结构组成及相关的技术知识；第4章介绍了机器人技术中经常用到的物理、数学基础知识；第5章介绍了机器人控制技术中的相关基础知识；第6章介绍了常用机器人设计软件；第7章介绍了机器人技术的发展展望。

为了方便读者掌握机器人技术相关基础知识，第3章~第6章均附有相关实例。

读者对象

- 机器人技术爱好者。
- 刚接触机器人的工程技术人员。
- 普通高校相关专业师生。
- 高职院校相关专业师生。

编者与致谢

本书由魏巍主编，粟思科审。本书编写过程中，唐德霖参与了第1章的资料整理和编写工作，贺尚宏参与了第2章的资料整理和编写工作，张仕聪参与了第3章的资料整理和编写工作，魏巍主要完成第4章、第5章的资料整理和编写工作，程杰锋参与了第6章的资料整理编写并主要完成了智能避障灭火小车机器人的设计及程序编写，第7章的资料收集主要由程杰锋、贺尚宏、唐德霖、张仕聪共同完成，并由魏巍进行资料整合与编写。

参与本书编写工作的人员还有：王治国、钟晓林、王娟、胡静、杨龙、张成林、方明、王波、陈小军、雷晓、李军华、陈晓云、方鹏、龙帆、刘亚航、凌云鹏、陈龙、曹淑明、徐伟、杨阳、张宇、刘挺、单琳、吴川、李鹏、李岩、朱榕、陈思涛和孙浩，在此一并表示感谢。

配套服务

我们为机器人技术读者和用户尽心服务，围绕机器人技术、产品和市场，探讨机器人技术应用与发展，发掘热点与重点；并且开展机器人技术教学服务。俱乐部 QQ: 183090495，电子邮件 hwhpc@163.com，欢迎机器人技术爱好者和用户联系。

由于作者水平所限，书中难免有不恰当的地方，恳请广大读者批评指正。

编 者

目录

第1章 生活中的各种机器人

1

1.1 工业机器人	1
1.1.1 工业机器人的用处	2
1.1.2 工业机器人的特点	4
1.1.3 工业机器人的类别	5
1.1.4 工业机器人的发展状况	7
1.2 农业机器人	7
1.2.1 农业机器人的用处	7
1.2.2 农业机器人的特点	7
1.2.3 农业机器人的类别	8
1.2.4 农业机器人的发展状况	8
1.3 军事机器人	10
1.3.1 军事机器人的用处	10
1.3.2 军事机器人的特点	13
1.3.3 军事机器人的类别	13
1.3.4 军事机器人的发展状况	15
1.4 服务机器人	16
1.4.1 服务机器人的用处	16
1.4.2 服务机器人的特点	17
1.4.3 服务机器人的类别	18
1.4.4 服务机器人的发展状况	21
1.5 网络机器人	21

第2章 机器人基础知识

22

2.1 机器人的特点	22
2.1.1 机器人的共同特征	22
2.1.2 机器人与机器的区别	23
2.2 机器人的定义	24
2.3 机器人的发展历史及其现状	26
2.3.1 机器人的起源	26
2.3.2 国外机器人发展历史及其现状	28
2.3.3 我国机器人发展历史及其现状	31
2.4 机器人的分类	34
2.4.1 按机器人出现时间及特点分类	34

2.4.2	按机器人用途分类	35
2.4.3	按机器人控制分类	35
2.5	机器人技术的主要内容	35
2.5.1	机器人结构设计技术	35
2.5.2	机器人传感器技术	36
2.5.3	机器人运动学及动力学	37
2.5.4	机器人自动控制技术	38

第3章 机器人的物理结构

39

3.1	机器人运动的机械组成部分	39
3.2	机器人运动的动力与驱动系统	40
3.2.1	机器人的动力来源	40
3.2.2	电机驱动	42
3.2.3	液压驱动	51
3.2.4	气动驱动	54
3.3	机器人的感知系统	55
3.3.1	机器人感知系统的作用及意义	55
3.3.2	机器人传感器性能指标	55
3.3.3	机器人传感器种类	57
3.3.4	机器人常用传感器介绍	57
3.4	机器人的执行系统	62
3.4.1	机器人的移动方式	63
3.4.2	抓取机构	66
3.5	机器人的决策控制系统	67
3.5.1	机器人决策控制系统的作用及特点	67
3.5.2	机器人决策控制系统的组成	67
3.5.3	机器人决策控制系统常用控制器	68
3.6	智能避障灭火小车机器人实例	69
3.6.1	智能避障灭火小车机器人工作原理	69
3.6.2	各部分结构说明	70

第4章 机器人的运动基础

74

4.1	运动的表达	75
4.1.1	运动的物理表达方式	75
4.1.2	笛卡儿直角坐标系	77
4.1.3	运动的坐标系表达	77
4.2	机器人坐标系建立	81
4.2.1	机器人三种常用坐标系	81
4.2.2	D-H 坐标系建立法	82
4.3	机器人运动的坐标系表达	84
4.3.1	空间位置的坐标系表达	84
4.3.2	平动、转动和复合运动的坐标系表达	85

4.4 机器人的运动学基础知识	88
4.4.1 机器人的正运动学	88
4.4.2 机器人的逆运动学	89
4.5 机器人动力学基础知识	91
4.5.1 几个常用物理量	91
4.5.2 机器人动力分析基本方法	93
4.6 机器人动力分析实例	94
4.6.1 小车——直线顺摆系统	94
4.6.2 牛顿-欧拉法分析小车——直线顺摆系统	94
4.6.3 拉格朗日法分析小车——直线顺摆系统	96

第5章 机器人的自动控制基础

99

5.1 机器人自动控制的作用及意义	99
5.2 自动控制基础知识简介	101
5.2.1 自动控制定义和发展历史	101
5.2.2 自动控制技术常用术语	104
5.2.3 自动控制的图形表达	106
5.2.4 自动控制分类	107
5.2.5 自动控制系统基本要求	109
5.2.6 自动控制系统的基本构成及数学表达	109
5.2.7 自动控制系统典型外作用	110
5.3 机器人自动控制内容	112
5.3.1 机器人的运动控制	112
5.3.2 机器人的力/力矩控制	116
5.4 机器人自动控制的方法	117
5.4.1 线性控制法	117
5.4.2 非线性控制法	120
5.4.3 智能控制法	121
5.5 机器人自动控制实例	123
5.5.1 倒立摆系统简介	124
5.5.2 倒立摆系统与机器人的联系	125
5.5.3 倒立摆系统的自动控制	126
5.6 仿人机器人稳定控制	132
5.6.1 仿人机器人的特殊性	132
5.6.2 仿人机器人行走稳定控制常用方法	133

第6章 机器人常用设计软件

137

6.1 建模设计常用软件	137
6.1.1 AutoCAD 软件	138
6.1.2 Pro/E 软件	138
6.1.3 CATIA 软件	139
6.1.4 SolidWorks 软件	140
6.2 动力分析常用软件	141

6.2.1	ADAMS 软件	141
6.2.2	ANSYS 软件	142
6.2.3	WorkBench 软件	143
6.3	控制系统设计常用软件	144
6.4	上位机编程常用软件	144
6.4.1	LabView 软件	144
6.4.2	VB 软件	145
6.4.3	VC 软件	147
6.5	电路仿真和底层编程常用软件	148
6.5.1	Proteus 软件	148
6.5.2	KeilC51 软件	149
6.5.3	ADS 软件	150
6.6	软件设计机器人实例	151
6.6.1	Pro/E 设计智能避障灭火小车机器人物理结构实例	152
6.6.2	MATLAB/Simulink 设计直线一级倒立摆自动控制系统实例	154

第7章 机器人发展展望

157

7.1	机器人硬件发展展望	157
7.1.1	机器人材料技术发展	157
7.1.2	机器人传感器技术发展	160
7.1.3	机器人结构形态发展	162
7.1.4	机器人控制器发展	165
7.2	机器人智能发展展望	167
7.3	机器人与生物结合	169
7.3.1	生物机器人	169
7.3.2	机器“人”	172

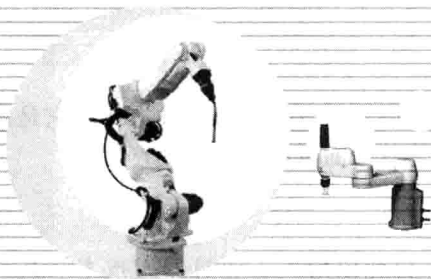
附录

177

附录 1	智能避障灭火小车机器人总体电路图	177
附录 2	智能避障灭火小车机器人避障运动程序	178
附录 3	倒立摆物理模型参数	184
附录 4	Q 矩阵和 R 矩阵取值及 Embedded MATLAB Function 模块内部程序	186
附录 5	相关网址	187

参考文献

190



第 1 章

生活中的各种 机器人

学习重点

- 了解机器人的发展历史及现状
- 认识并熟悉日常生活中的机器人
- 掌握机器人的定义

生活在 21 世纪，“机器人”这个曾经只有科幻小说或电影里面才能够见到的东西，如今相对于我们已经并不陌生。随着科学技术的日益发展和不断提高，机器人已经从小说和电影中逐渐走进了我们的日常生产和生活。事实上，现代社会生活中，各行各业中都有机器人身影的存在，机器人已经广泛应用于工业、农业、军事、服务行业等各个不同领域。那么，现在日常生活中都有哪些机器人呢？下面就对目前生活中的各式各样的机器人进行简单的介绍。



1.1 工业机器人

工业机器人顾名思义，就是主要用于工业领域中的机器人。工业机器人是目前应用最广泛的机器人，其中大部分工业机器人的主体结构是刚性高的机械手臂。工业机器人的最大特点是：相对于人类，它可以拥有更快的运动速度，可以搬更重的东西，而且定位精度相当高。

工业机器人是现代制造业重要的自动化装备，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。它可以根据外部来的信号,自动进行各种操作。它是应用计算机进行控制的替代人进行工作的高度自动化系统,是典型的机电一体化产品。

1.1.1 工业机器人的用处

1962年美国研制出了世界上第一台工业机器人,自此以后,工业机器人技术及其产品发展迅速,已成为柔性制造系统(FMS)、自动化工厂(FA)、计算机集成制造系统(CIMS)的自动化工具。如同计算机、网络技术现代科技产物一样,工业机器人得到广泛应用,日益改变着人类的生产和生活方式。工业机器人在实现智能化、多功能化、柔性自动化生产、提高产品质量、代替人在恶劣环境条件下工作中发挥了重大作用。

20世纪80年代以来,工业机器人技术逐渐成熟,并迅速推广,目前已经应用在许多工业生产的领域,如汽车制造、工程机械、机车车辆、电子电器、计算机和信息、生物制药等领域。目前应用工业机器人最广泛的领域是汽车工业及汽车零部件制造业,如图1-1所示。工业机器人普及率基本呈现出稳定的逐年上升趋势(2009年由于金融危机,工业机器人供应量出现了暂时下滑),如图1-2所示。

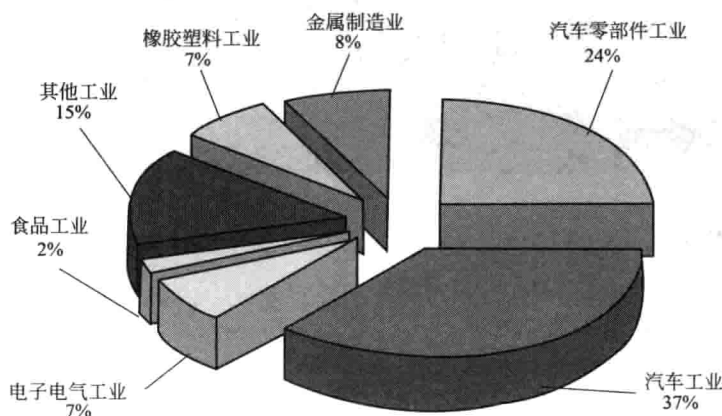


图 1-1 世界各个行业对工业机器人的需求

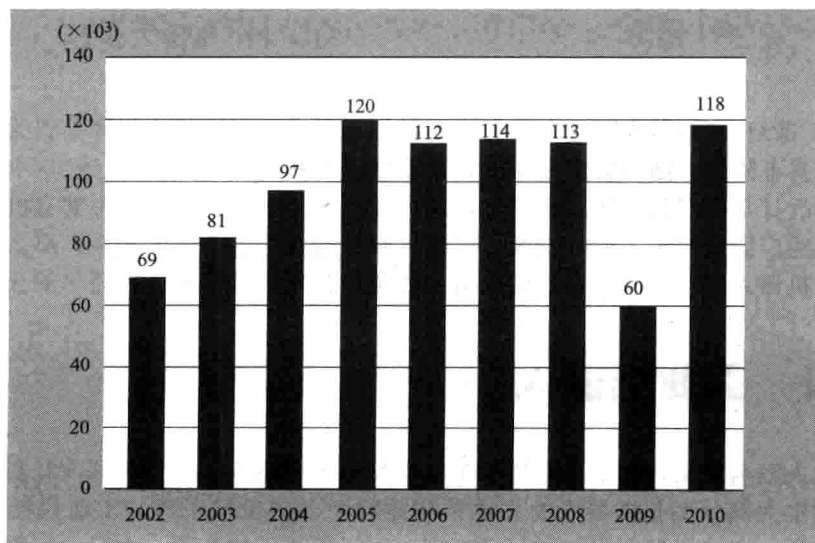


图 1-2 2002年至2010年全球对工业机器人需求量变化

(资料来源: World Robotics 2010)



工业机器人的出现,极大地改变了人类的生产方式和作业方式。许多原本需要人工劳动的地方,现在都可以使用机器人来代替,特别是那些机械性、重复性和高度危险的作业,现在都基本上使用机器人来完成。工业机器人将人类从繁重的工业劳动领域解脱了出来,极大提高了工业生产效率。工业机器人的广泛采用,不仅提高了产品的质量与数量,而且对于保障人身安全、改善劳动环境、减轻劳动强度、提高劳动生产率、节约材料消耗以及降低生产成本有着十分重要的意义。图 1-3~图 1-8 所示为各种工业机器人。



图 1-3 汽车生产线工业机器人

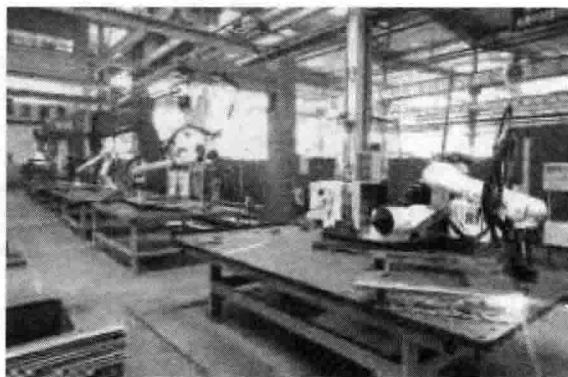


图 1-4 工业焊接机器人

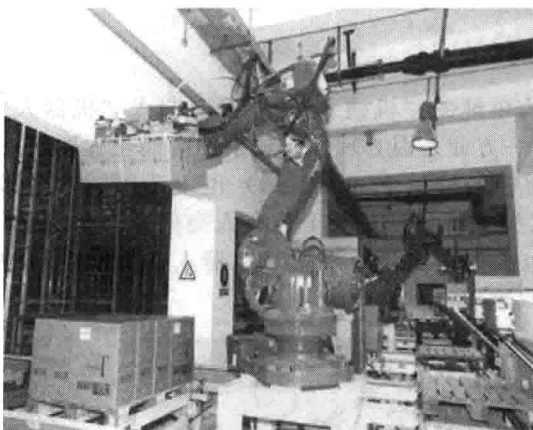


图 1-5 工业搬运机器人

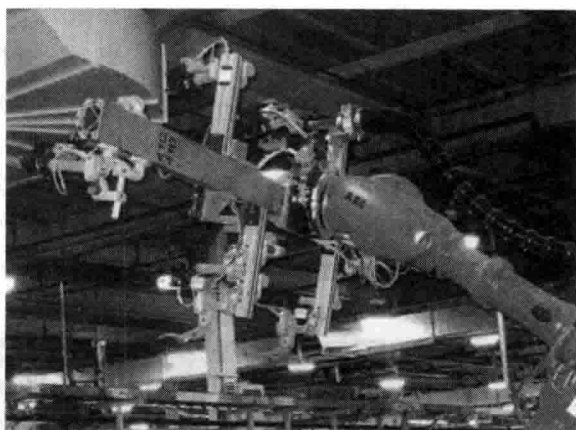


图 1-6 工业抓取机器人

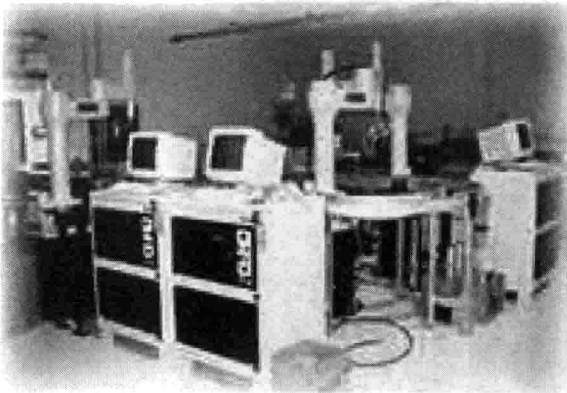


图 1-7 工业清洁机器人

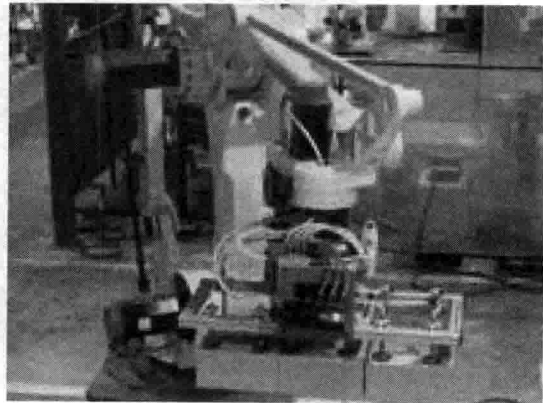


图 1-8 工业包装机器人



1.1.2 工业机器人的特点

工业机器人一般是由连杆机构、控制系统、周边设备组合而形成的机械臂。从外观上看，工业机器人更像一种智能化的连杆机构，它的基本物理结构是将机构学中的连杆和运动副相互连接而构成的开式运动链。连杆机构如图 1-9 所示。

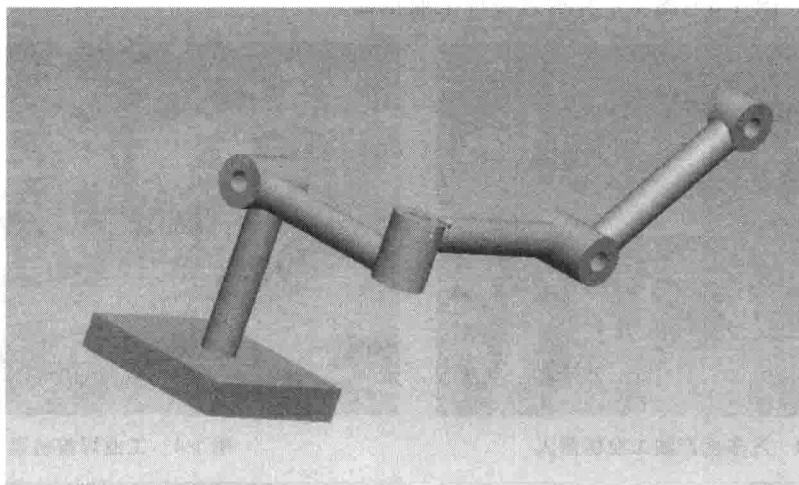


图 1-9 连杆机构示意

在部分书籍或资料中，也有将这类机器人视为单纯的“机械手”，并没有归入“机器人”的类别中。而本书将其也归纳为广义上的机器人。一方面是因为现代机械手的智能化程度越来越高，未来出现类似电影《钢铁侠》里面那种全智能的机械手（图 1-10）也不无可能，而那种机械手除了外形不像人以外，其余地方几乎和人类一模一样，甚至还有人类的“喜怒哀乐”情绪。另一方面，将智能机械手归入机器人中，也方便读者更容易接受机器人在日常生活中“随处可见”的概念，进一步提高读者对机器人的兴趣。

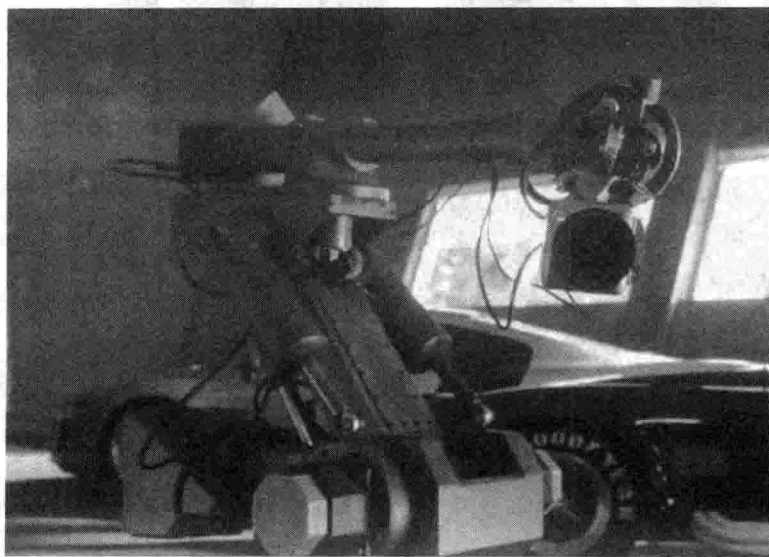


图 1-10 电影《钢铁侠》中的全智能机械手



1.1.3 工业机器人的类别

工业机器人除了连杆机构的形式外, 还有其他多种结构形式。这些不同的结构形式都可以用坐标特性来描述。工业机器人最常见的结构形式是用其坐标特性来描述的。按坐标形式的不同可分为直角坐标型工业机器人、圆柱坐标型工业机器人、极坐标型工业机器人和关节坐标型工业机器人。下面以三关节工业机器人为例, 简要介绍这几类工业机器人。

(1) 直角坐标型工业机器人

直角坐标型工业机器人如图 1-11 所示。其运动部分由三个相互垂直的直线移动 (通常用“P”表示直线运动) 的线性关节组成的机器人, 其工作空间图形为长方形。各构件之间的运动只能是滑动, 不能转动。它在各个轴向的移动距离, 可在各个坐标轴上直接读出。

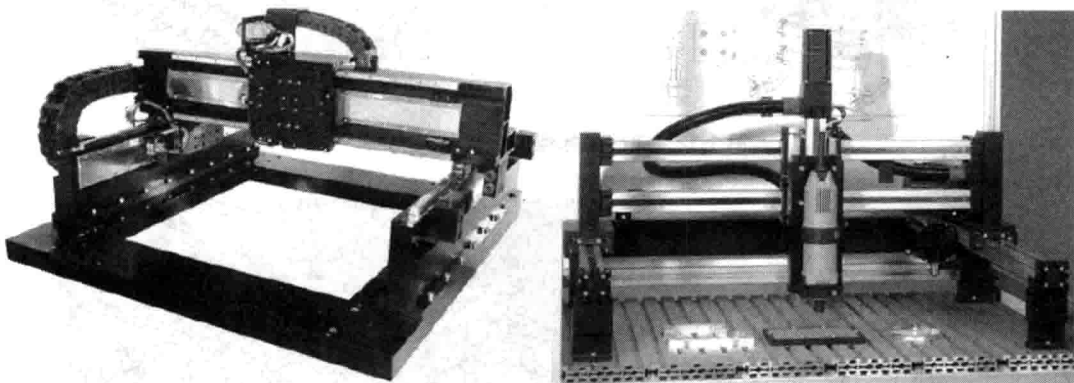


图 1-11 直角坐标型工业机器人

直角坐标型工业机器人的优、缺点对比见表 1-1。

表 1-1 直角坐标型工业机器人优、缺点对比

优点	缺点
直观性强 易于位置和姿态的编程计算 定位精度高 控制无耦合 结构简单	机体所占空间体积大 动作范围小 灵活性差 难与其他工业机器人协调工作

(2) 圆柱坐标型工业机器人

圆柱坐标型工业机器人是具有一个转动关节 (通常用“R”表示), 其余关节为滑动关节的机器人。如图 1-12 所示。其工作空间图形为圆柱, 控制简单, 但结构也较为庞大。

与直角坐标型工业机器人相比, 在相同的工作空间条件下, 圆柱坐标工业机器人机体所占体积小, 而运动范围大, 其位置精度仅次于直角坐标型机器人, 难与其他工业机器人协调工作。

(3) 极坐标型工业机器人

极坐标型工业机器人也称为球坐标型工业机器人, 它是具有两个转动关节, 其余为移动关节的机器人。这类机器人结构紧凑、占地面积小, 但计算较为复杂, 有位置误差。极坐标如图 1-13 所示, 极坐标型工业机器人如图 1-14 所示。

(4) 关节坐标型工业机器人

关节坐标型工业机器人是由三个旋转关节所组成的机器人 (即 RRR), 如图 1-15 所示。这种工业机器人的手臂与人体上肢类似, 类似于人的手臂。该类机器人结构最紧凑, 灵活性大, 占地面积最小, 工作空间大, 能与其他工业机器人协调工作, 但位置精度较低, 有平衡问题, 控制存在耦合, 这种工业机器人应用越来越广泛。

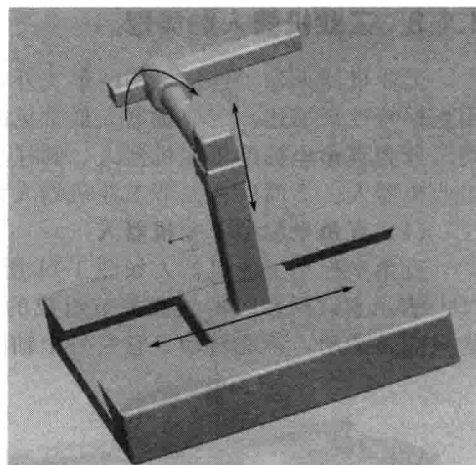
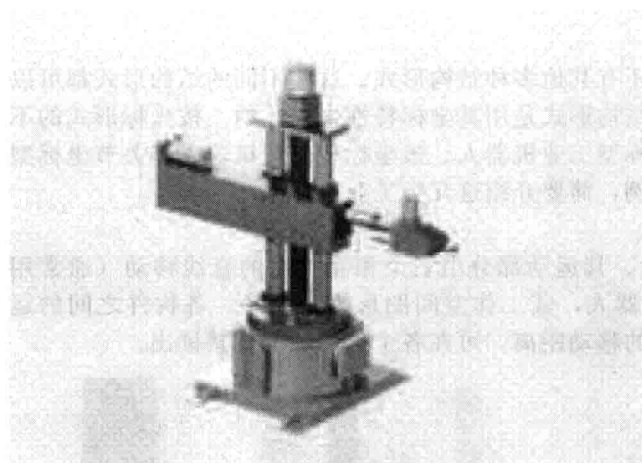


图 1-12 圆柱坐标型工业机器人

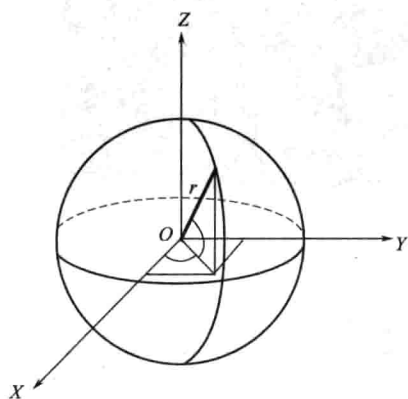


图 1-13 极坐标

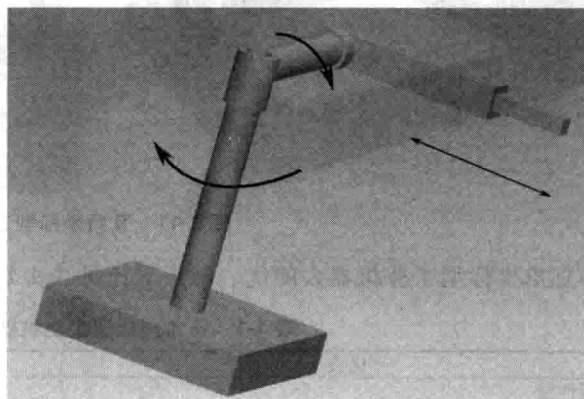


图 1-14 极坐标型工业机器人

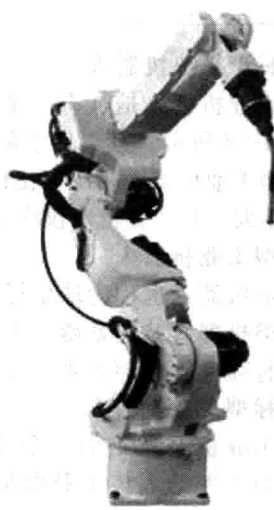
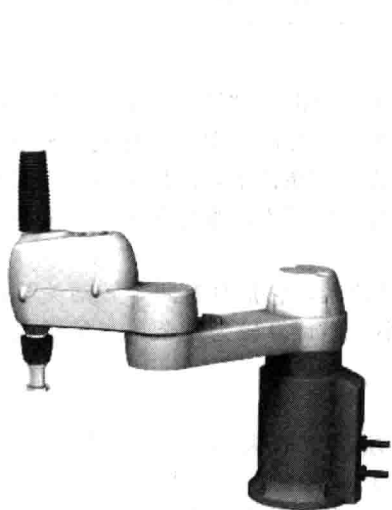


图 1-15 关节坐标型工业机器人



1.1.4 工业机器人的发展状况

目前,美国在工业机器人技术的综合研究水平上仍然处于世界领先地位,其基础雄厚,技术先进。而日本的机器人在数量、种类上面则居世界首位。德国工业机器人的总数占世界第三位,仅次于美国和日本,德国工业机器人的研究和应用处于世界领先地位。

我国的工业机器人产业起步较晚,但在不断地进步和发展中,和国际同行相比,尚且有一定的差距。这主要是因为工业机器人的许多核心技术我们尚未掌握。



1.2 农业机器人

1.2.1 农业机器人的用处

机器人技术持续发展,相应的机器人应用领域也广泛扩展。当下机器人的应用已从工业扩展到了农业领域,越来越多的机器人应用在了农业这个人类传统的行业中。用在农业生产中的机器人就称为农业机器人。农业机器人的广泛应用,在改变了传统的农业劳动方式的同时,减少了农民的体力劳动,促进了现代农业的发展。长期以来,在农业生产中由于机械化和自动化程度低,从而导致劳动生产率低下、劳动力不足等,对工业发展带来了极大限制。农业机器人的出现和发展,大大地解放了农民的生产力,提高了生产效率。同时农业机器人也改善了农业生产环境,防止农药、化肥等对人体的伤害。农业机器人能够代替人的部分劳动。对人类来说在艰苦条件下的重体力劳动、单调重复的工作,如喷洒农药、收割及分选作物等都可以通过农业机器人来完成。

农业机器人主要应用于:大型的,半开放式结构的农业生产环境;蓄养多种动物的农业设施;林业;水产养殖业等。

农业机器人目前仍处于发展期。一方面其应用还主要在于完成一些确定的或低精度的任务,如喷洒。另一方面,随着计算机和机器人技术的进步,农业机器人也开始在一些更复杂的农业生产工作中崭露头角,如采摘西红柿和水果等。近几年出现了多种农林用途机器人,如耕耘机器人、嫁接机器人、农药喷洒机器人、瓜果采摘机器人、温室管理机器人等。这些新型装备不仅能提高产量、减少对熟练劳动力的需求,而且减少了可见的人工操作的变化性。

1.2.2 农业机器人的特点

农业机器人主要有以下特点。

(1) 农业机器人作业对象易受物理性损害

农作物软弱易受伤,各种生产活动必须细心轻柔地实施。且农作物种类繁多,形状复杂,在三维空间里的生长发育程度不一,相互之间有较大差异。

(2) 农业机器人一般要求生产作业与移动同时进行

农业领域内机器人的行走不是寻求最短路径以连接出发点和终点,而是具有狭窄的物理接触范围,较长的行走距离及遍及整个田间表面的特点。

(3) 使用条件变化较大

通常农业作物随着时间和空间的不同而变化,如此导致机器人的工作环境也是变化的、未知的,是一种开放性的环境。作物生长环境一方面受倾斜度、园地范围等地形条件的约束,同



时还直接受季节、大气环境等自然条件的影响。生物农业机器人不仅要具有与生物体柔性相对应的处理能力，而且还要能够对变化无常的自然环境有较强适应力。这要求农业机器人在视觉、知识推理和判断力等方面具有相当的智能。

(4) 价格相对便宜

对于工业机器人，其所需的大量投资由工厂或工业集团支付，而农业机器人以个体经营为主，制定较低的装备价格，有利于农业机器人的普及。

(5) 操作简单、可靠性高

农业机器人的使用者大多不具有机械电子知识的专业，因此要求农业机器人必须具有高可靠性并且操作简单易理解。

1.2.3 农业机器人的类别

农业机器人按照生产环境的不同大致可以分为农业施肥/杀虫机器人、农业除草机器人、采摘/嫁接机器人、分检果实机器人、农业播种/收割机器人等。

与工业机器人类似，农业机器人的外形也是“五花八门”，有外形像飞机的，有外形像履带车的，有带机械手的……机器人的形态虽然各异，但目的都是一样——方便在农林环境下作业。各种农业机器人如图 1-16~图 1-23 所示。



图 1-16 飞行式施肥杀虫机器人

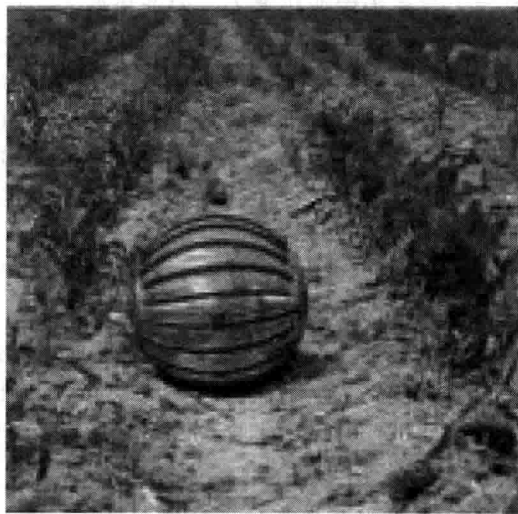


图 1-17 施肥杀虫机器人 (Rosphere)

现阶段的施肥/杀虫机器人一般都采用的是图 1-16 中所示的飞行式，飞行式的农业施肥/杀虫机器人的优点是速度快、使用面积广、不受地形的影响。

图 1-17 中的 Rosphere 是马德里大学机器人和控制研究中心研制出来的一款农用施肥/杀虫机器人。这个球形机器人可以在不平的地面推动自己，以便于监视和服务于农作物，用于精确施肥、杀虫。

图 1-18 是丹麦奥尔胡斯大学农业工程院的科学家设计的除草机器人。它身上安装有摄像头，能够根据叶子的形状和方向识别野草，然后将其毫不客气地连根拔除。

1.2.4 农业机器人的发展状况

在当代，农业机械化的发展是一个国家农业发展水平的标志，而农业机器人技术更体现出一个国家的科技实力。机器人正在或已经替代人的繁重体力劳动，在新的农业生产模式和新技