



# 工业机器人 入门

主 编◎张玉希 伍东亮

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

# 工业机器人入门

主 编 张玉希 伍东亮

副主编 邹 媛 程 静 黄德开 孙小进 李 峰

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人入门/张玉希, 伍东亮主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 7  
ISBN 978 - 7 - 5682 - 4354 - 4

I. ①工… II. ①张… ②伍… III. ①工业机器人 IV. ①TP242. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 168072 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 / 11.5

字 数 / 290 千字

版 次 / 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 48.00 元

责任编辑 / 高 芳

文案编辑 / 高 芳

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

# 总序

## Foreward

教材是人类知识、技能、经验和文明传承的重要渠道。对学生而言，教材是学习的对象，是学习主体对其进行信息加工的客体，是学生心理结构构建的物质基础，也是学生获得系统知识、发展智力、提高思想品德觉悟的重要工具；对教师而言，是教书育人的重要载体，是用以构建学生心理结构的外部工具和手段。因此，教材建设的理念是否先进、体系是否完善、内容选取是否具有时代性、编写体例是否科学、呈现形式是否规范是影响一个学校专业建设和人才培养质量的极其重要的因子。现代职业教育教学对教材的要求以实践为主线展开，即：一是按照项目、产品或工作过程展开，打破或不拘泥于知识体系；二是将各科知识融入项目或产品制作过程中，回归到人类认识自然的本原方式。

机器人是一个典型的光、机、电一体化产品，其应用技术涉及机械设计与制造、电子技术、传感器技术、视觉技术、计算机技术、控制技术、通信技术、人工智能等诸多领域。职业院校工业机器人技术专业是一个新兴专业，有部分学校在教材建设方面进行了前期的探索与研究，并取得了一定的成绩和经验，但是无须讳言，现有的工业机器人专业教材存在着这样或那样的不足和遗憾：一是没有形成独立的体系，只是在相关专业（如机械设计与制造，机电一体化、电子信息技术、电气自动化技术等）基础上进行简单的加减而得来的，缺少系统性和逻辑性；二是几乎都是按照知识体系编写，重理论轻实践，或者根本与实践无关，尽管也有一些所谓“项目式”教材，其实只是将原来意义上的验证性实验“改头换面”，“穿上不同的马甲”而已；三是在工业机器人产业链定位不准，没有体现职业院校的特点和特色，与研究生、本科生之间的教材内容区分不明显；四是实用性不强、内容的选取侧重于知识和理论，与工业机器人产业联系不紧密、脱节。

本次工业机器人技术专业系列教材的编写是由湖南信息产业职业教育集团、湖南科瑞特科技股份有限公司、北京理工大学出版社共同组织，面向工业机器人产业链的五个环节（工业机器人关键零部件制造商、工业机器人本体制造商、代理商、工业机器人系统集成商、工业机器人应用商），通过对企业工程技术人员、产品经理、企业领导、销售与客服人员等进行问卷调查、个别访谈、座谈会、现场考察与实践等，经过多次专家论证，确定了职业院校工业机器人技术专业主体面向工业机器人系统集成商，主要面向机器人操作与编程、机器人检测与调试、工作站设计与安装、机器人销售与客服四类岗位，同时兼顾智能制造自动化生产线设计与安装及工业机器人设备管理与维护等。本次教材编写具有以下特点。

一是以工业机器人系统集成商的实践为主线构建教材体系。

(1) 以学习专业核心课程所必需的知识和技能为依据构建专业支撑课程，例如，学习《工业机器人操作与编程》之前必须有C语言功底，设计了《C语言程序设计》等

支撑课程与教材。

(2) 以学生职业生涯发展为依据构建公共文化课程。

(3) 以实际工程项目为导向,从工业机器人操作与应用人员职业岗位入手,以工业机器人技术专业人才职业标准为依据,以学生从事工业机器人系统集成所需的机器人示教编程、应用编程、机器人应用工艺、机器人专业知识和操作技能为着眼点。

二是定位准确,针对性强,校企深度合作,工学交融。

前期调研充分,分析与论证科学,明确高职工业机器人技术专业面向系统集成商的四类工作岗位,针对该四类工作岗位的技术要求和工作要求开发教材。本次教材编写所用的案例与项目全部来自湖南科瑞特科技股份有限公司、ABB(中国)工程公司、库卡及其他国内外知名系统集成商和本体制造商的系统集成项目。经企业专家与教育专家多次论证与提炼,符合学生的认知规律、教学特点及企业实际。

三是项目导向、任务驱动,将知识融入项目实施过程中,回归到人类认识自然的本原方式。

本教材体系中,项目是指一系列独特、复杂并相互关联的活动,这些活动有着一个明确的目标或目的,必须在特定的时间、预算、资源限定内,依据规范完成。本教材体系中的每本教材均按照项目导向、任务驱动组织材料,具体地说,是按照项目或者工作过程展开,将各科知识融入项目或者产品制作过程中,让学生独立自主地完成规定的工作任务,学会应用已知的知识和已经掌握的技能,去学习和掌握未知的专业知识和专业技能,解决未知的生产实际问题,实现人类认识自然的本原方式的回归。

整套教材体系是一个大的项目——工业机器人的系统集成,每本教材是一个二级项目(大项目的一个核心环节),而每本教材中的项目又是二级项目中一个子项(三级项目),三级项目由一系列有前后和逻辑的任务组成。每本教材的项目(教材体系中的三级项目)包括三部分:一是项目描述。通过文字配合图纸说明,项目的工程技术要求及其实现的主要技术关键;介绍项目技术要点及职业要求,学生训练要完成的工作任务及其质量、技术、安全要求,使学生明确要“做什么”和“做到什么程度”。二是知识准备。实现项目设计制作所必需的知识,不求知识的完整性与全面性,以“必需、够用”为度。使学生明确要学会哪些专业知识,学会哪些操作技能,掌握哪些工作过程知识,明确“学什么”和“怎么学”。三是任务实现。要完成的工作任务实现所必需的材料准备、场地准备、技术资料的准备、实现的步骤、相关的技术要求、现场要求、工艺与技术文件的撰写等,采用实际工作中使用的工程图、原理图、元件布置图、接线图、照片和文字等创设工作情景说明操作方法、操作步骤、操作要领、操作注意事项等工作过程知识,使学生明确“怎样做”和“怎样做得更好”。

最后,衷心希望本套系列教材能为职业院校工业机器人技术专业的人才培养和专业建设尽绵薄之力,为中国智造助力。

感谢为教材编写过程中付出劳动、提出建议、接受调研的湖南、重庆、广东各企业及相关人员。

谭立新

2017年7月于湘江之滨 听雨轩

# 前言

## Preface

经常有人问：工业机器人品牌种类那么多，我要从哪个品牌学起？工业机器人要怎么入门？除了工业机器人本身要学习，还要学习哪些知识？

编者以自身所了解的内容，进行以下解答，如有不足，请读者包涵。

### 1. 工业机器人品牌种类那么多，我要从哪个品牌学起？

工业机器人常见品牌有：ABB、FANUC、KUKA、安川、爱普生、川崎、那智不二越、新松、埃夫特、埃斯顿、众为兴、新时达等，工业机器人品牌按区域可分为欧系、日系、国产。工业机器人品牌四大家市场占有率排名顺序为：FANUC、ABB、安川、KUKA。工业机器人系统操作与地域一致，欧系的品牌在系统操作方面类似，日系的也一样。所以，综合考虑，建议有条件的话，可以同时学习 FANUC、ABB 这两个品牌的工业机器人。

### 2. 工业机器人要怎么入门？除了工业机器人本身要学习，还要学习哪些知识？

工业机器人的相关知识是一个综合学科，涉及机械、电子、软件、视觉等多方面，入门步骤如下：

❖ 从学习工业机器人仿真软件入手，在仿真软件中初步了解工业机器人本体结构、示教操作、程序编程。

❖ 工业机器人技术体系建设，这能决定个人工作能力。技术体系有两个方向，即机械方向和电气方向。在机械方向，要学习通用机械标准件、电机、气动部分选型；要学习一些通用的二维、三维制图建模软件，如 AutoCAD、Solidworks、Catia 等，用于夹具设计、机构方案设计仿真。在电气方向，要学习电气基础、电气元器件选型、电气原理图设计、PLC 编程、工业通信、工业软件编程。

❖ 最核心的部分就是掌握工艺解决方案，这能决定企业竞争力。工业机器人是工业自动化的体现，工业自动化最核心的部分就是用自动化方式替代传统加工工艺。根据目前情况而言，工业机器人应用领域一般是恶劣的工业环境，读者要了解喷涂、打磨、焊接、码垛、视觉检测工艺。

本书主要对工业机器人的现状与行情先作简单介绍，从解码器开始进入工业机器人领域中的介绍，如工业机器人的基本特性、工业机器人的机械结构、工业机器人的传感器及应用、工业机器人的运动学等，最后以 RbtSwp 六轴工业机器人为例进行仿真编程示例性介绍与工业机器人的行业应用介绍。

本书由张玉希、伍东亮任主编，邹媛、程静、黄德开、孙小进、李峰任副主编。谭

立新教授作为整套工业机器人系列丛书的总主编，对整套图书的大纲进行了多次审定、修改，使其在符合实际工作需要的同时，便于教师授课使用。

在丛书的策划、编写过程中，湖南省电子学会提供了宝贵的意见和建议，在此表示诚挚的感谢。同时感谢为本书中实践操作及视频录制提供大力支持的湖南科瑞特科技股份有限公司。

尽管编者主观上想努力使读者满意，但在书中不可避免尚有不足之处，欢迎读者提出宝贵建议。

编 者

# 目 录

## Contents

►第1章 绪论	1
1.1 工业机器人的应用、发展和分类	1
1.1.1 发展简史	1
1.1.2 产品分类与应用	4
1.1.3 主要生产企业	9
1.2 工业机器人展望	10
1.2.1 机器人技术和市场的现状	10
1.2.2 世界机器人发展现状	11
1.2.3 国内机器人发展现状	11
1.2.4 机器人技术的发展趋势	12
1.2.5 各国的机器人发展计划	14
►第2章 工业机器人的基本特性	17
2.1 工业机器人的组成	17
2.1.1 工业机器人及系统	17
2.1.2 常用的附件	19
2.1.3 电气控制系统	21
2.2 工业机器人的特点	23
2.2.1 基本特点	23
2.2.2 机器人与数控机床	23
2.2.3 机器人与机械手	26
2.3 工业机器人的结构形态	27
2.3.1 垂直串联型	28
2.3.2 水平串联型	30
2.3.3 并联型	30
2.4 工业机器人的技术性能	32
2.4.1 主要技术参数	32
2.4.2 自由度	35
2.4.3 工作范围	37
2.4.4 其他指标	39



▶ 第3章 工业机器人的机械结构 .....	41
3.1 本体的结构形式 .....	41
3.1.1 基本结构与特点 .....	41
3.1.2 其他常见结构 .....	43
3.1.3 RbtCrm 六轴串联机器人结构简述 .....	45
3.2 RbtCrm 六轴串联机器人工业机器人机身结构 .....	48
3.2.1 RbtCrm 六轴串联机器人基座结构 .....	48
3.2.2 RbtCrm 六轴串联机器人腰部结构 .....	51
3.2.3 RbtCrm 六轴串联机器人下臂结构 .....	52
3.2.4 RbtCrm 六轴串联机器人上臂结构 .....	53
3.3 RbtCrm 六轴串联机器人手腕结构 .....	55
3.3.1 RbtCrm 六轴串联机器人手腕总体结构 .....	55
3.3.2 RbtCrm 六轴串联机器人 R 轴结构 .....	58
3.3.3 RbtCrm 六轴串联机器人 B 轴结构 .....	59
3.3.4 RbtCrm 六轴串联机器人 T 轴结构 .....	60
3.4 工业机器人后驱手腕结构 .....	61
3.4.1 上臂结构 .....	61
3.4.2 手腕结构 .....	63
3.5 其他典型结构 .....	65
3.5.1 RRR/BRR 手腕结构 .....	65
3.5.2 前驱 SCARA 结构 .....	67
3.5.3 后驱 SCARA 结构 .....	69
▶ 第4章 工业机器人的传感器及应用 .....	71
4.1 机器人传感器概述 .....	71
4.1.1 机器人传感器的特点与分类 .....	71
4.1.2 工业机器人应用传感器注意事项 .....	72
4.2 工业机器人内部传感器 .....	73
4.2.1 位移位置传感器 .....	73
4.2.2 速度和加速度传感器 .....	75
4.3 工业机器人外部传感器 .....	76
4.3.1 触觉传感器 .....	76
4.3.2 力觉传感器 .....	79
4.3.3 距离传感器 .....	80
4.3.4 其他外传感器 .....	80
4.3.5 传感器融合 .....	80
4.4 机器人视觉装置 .....	81
4.4.1 视觉系统基础介绍 .....	81

4.4.2	工业相机系统	83
4.4.3	智能相机系统	84
4.4.4	激光雷达	85
4.5	工业机器人传感器应用	87
4.5.1	二维视觉传感器在工业机器人项目中的应用	87
4.5.2	三维视觉传感器在工业机器人项目中的应用	87
4.5.3	力/力矩传感器在工业机器人项目中的应用	87
4.5.4	碰撞检测传感器在工业机器人项目中的应用	88
4.5.5	安全传感器的应用	88
4.5.6	零件检测传感器的应用	89
4.5.7	其他传感器的应用	89
<b>►第5章 工业机器人运动学</b>		<b>91</b>
5.1	工业机器人运动学	91
5.1.1	位置与姿态表示	91
5.1.2	坐标系映射	93
5.1.3	关节运动学	98
5.1.4	连杆变换矩阵及其乘积	100
5.2	工业机器人运动学求解	103
5.2.1	欧拉变换解	104
5.2.2	滚、仰、偏变换解	105
5.2.3	球面变换解	105
5.2.4	RbtSwp 六轴仿真工业机器人运动学求解	106
5.3	工业机器人动力学	112
5.3.1	刚体动力学	112
5.3.2	机械手动力学方程	115
<b>►第6章 RbtSwp 六轴仿真工业机器人编程</b>		<b>119</b>
6.1	RbtSwp 六轴仿真工业机器人动态库编程	119
6.1.1	LabVIEW 基本操作	119
6.1.2	LabVIEW 调用 RbtSwp 机器人动态库编程	127
6.1.3	基于 LabVIEW 和 RbtSwp 机器动态库的简单案例	135
6.2	RbtSwp 六轴仿真工业机器人 RbtCos 编程软件编程	137
6.2.1	三菱工业机器人的编程语法	137
6.2.2	RbtCos 编程软件基本操作	147
6.2.3	RbtCos 编程软件工业机器人本体编程	155
6.2.4	RbtCos 编程软件视觉应用	159
6.2.5	基于 RbtCos 编程软件的搬运案例	162

▶ 第7章 工业机器人应用	166
7.1 应用工业机器人必须考虑的因素	166
7.1.1 机器人的任务估计	166
7.1.2 应用机器人三要素	167
7.1.3 使用机器人的经验准则	167
7.1.4 采用机器人的步骤	168
7.2 工业机器人的应用领域	168
7.2.1 汽车行业	169
7.2.2 电子3C行业	169
7.2.3 食品加工行业	169
7.2.4 其他行业	171

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 工业机器人的应用、发展和分类

#### 1.1.1 发展简史

工业机器人定义：工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置，它能自动执行工作，是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它可以接受人类指挥，也可以按照预先编排的程序运行，现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。图 1-1 所示为 ABB YUMI 机器人。

1954 年，乔治·迪沃申请了第一个机器人的专利（1961 年授予）。制作机器人的第一家公司是 Unimation。Unimation 机器人也被称为可编程移机，因为一开始它们的主要用途是从一个点传递对象到另一个点，距离大约十英尺<sup>①</sup>。它们用液压执行机构，并编入关节坐标，即在一个教学阶段进行存储和回放操作中的各关节的角度。它们能精确到一英寸<sup>②</sup>的 1/10 000。Unimation 后授权其技术给

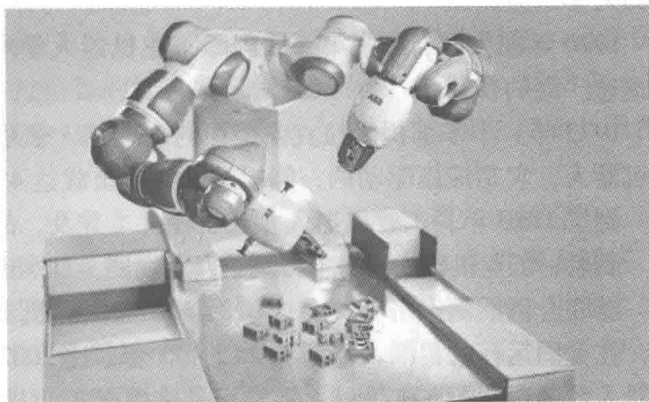


图 1-1 ABB YUMI 机器人

① 1 英尺 = 0.304 8 米。

② 1 英寸 = 2.54 厘米。

川崎重工和 GKN，分别在日本和英国制造 Unimate。一段时间以来，Unimation 唯一的竞争对手是美国辛辛那提米拉克龙公司。20 世纪 70 年代后期，日本的几个大财团开始生产类似的工业机器人。

1969 年，维克多·沙因曼在斯坦福大学发明了“斯坦福大学的手臂”，它是全电动的 6 轴多关节型机器人，是一个手臂的解决方案。这使它能精确地跟踪空间中的任意路径，拓宽了机器人潜在的更复杂的应用，如装配和焊接。沙因曼的 MIT 人工智能实验室则设计了第二臂，被称为“麻省理工学院的手臂”。进一步设计后，它成为通用汽车公司装配工具。

现代机器人的研究始于 20 世纪中期，其技术背景是计算机和自动化的发展，以及原子能的开发利用。

自 1946 年第一台数字电子计算机问世以来，计算机技术取得了惊人的进步，向高速度、大容量、低价格的方向发展。

大批量生产的迫切需求推动了自动化技术的进展，其结果之一便是 1952 年数控机床的诞生。与数控机床相关的控制、机械零件的研究又为机器人的开发奠定了基础。

另一方面，原子能实验室的恶劣环境要求某些操作由机械代替人处理放射性物质。在这一需求背景下，美国原子能委员会的阿尔贡研究所于 1947 年开发了遥控机械手，1948 年又开发了机械式的主从机械手。

1954 年美国戴沃尔最早提出了工业机器人的概念，并申请了专利。该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节，利用人手对机器人进行动作示教，机器人能实现动作的记录和再现。这就是所谓的示教再现机器人。现有的机器人差不多都采用这种控制方式。

作为机器人产品最早的实用机型（示教再现）是 1962 年美国 AMF 公司推出的 VER-STRAN 和 Unimation 公司推出的 Unimate。这些工业机器人的控制方式与数控机床大致相似，但外形特征迥异，主要由类似人的手和臂组成。

1965 年，MIT 的 Roberts 演示了第一个具有视觉传感器的、能识别与定位简单积木的机器人系统。

1967 年，日本成立了人工手研究会（现改名为仿生机构研究会），同年召开了日本首届机器人学术会。

1970 年在美国召开了第一届国际工业机器人学术会议。1970 年以后，机器人的研究得到迅速广泛的普及。

1973 年，辛辛那提米拉克龙公司的理查德·豪恩制造了第一台由小型计算机控制的工业机器人，它是液压驱动的，能提升的有效负载达 45 千克。

到了 1980 年，工业机器人人才真正在日本普及，故称该年为“机器人元年”。

随后，工业机器人在日本得到了巨大发展，日本也因此而赢得了“机器人王国”的美称。

据联合国欧洲经济委员会（UNECE）和国际机器人联合会（IFR）的统计，至 2003 年末，在美国运行的机器人总量为 112 400 套，比 2002 年增长 7%。到 2007 年年底，运行的机器人数量达到 145 000 套。就每万雇员拥有工业机器人数量进行统计，至 2003 年年末，美国制造业中，每 1 万雇员拥有 63 个工业机器人。尽管从排名上说，美国已经进入世界前十名，但其与前几名仍然有着很大的差距，仅相当于德国的 43%，意大利的 54%，欧盟的 68%。与普通的制造业相比，美国汽车工业中每万个产业工人拥有的工业机器人数量大大提高，达到 740 个，但仍然远远低于日本（1 400 个机器人）、意大利（1 400 个机器人）和德

国（1 000个机器人）。

美国是机器人的诞生地。早在 1962 年就研制出世界上第一台工业机器人。比起号称“机器人王国”的日本起步至少要早五六年。经过 40 多年的发展，美国现已成为世界上的机器人强国之一，基础雄厚，技术先进。综观它的发展史。道路是曲折的，不平坦的。

20 世纪 60 年代到 70 年代期间，美国的工业机器人主要立足于研究阶段，只是几所大学和少数公司开展了相关的研究工作。那时，美国政府并未把工业机器人列入重点发展项目，特别是，美国当时失业率高达 6.65%，政府担心发展机器人会造成更多人失业，因此既未投入财政支持，也未组织研制机器人。而企业在这样的政策引导下，也不愿冒风险，去应用或制造机器人。致使错过了发展良机，固守在使用刚性自动化装置的层面上。这不能不说是美国政府的战略决策错误。70 年代后期，美国政府和企业界虽对工业机器人的制造和应用认识有所改变，但仍将技术路线的重点放在研究机器人软件及军事、宇宙、海洋、核工程等特殊领域的高级机器人的开发上，致使日本的工业机器人后来居上，并在工业生产的应用上及机器人制造业上很快超过了美国，产品在国际市场上形成了较强的竞争力。

进入 20 世纪 80 年代之后，美国才感到形势紧迫，政府和企业界才开始真正重视机器人，制定和采取了相应的政策和措施，一方面鼓励工业界发展和应用机器人，另一方面制订计划、提高投资，增加机器人的研究经费，把机器人看成美国再次工业化的特征，使美国的机器人迅速发展。80 年代中后期，随着各大厂家应用机器人的技术日臻成熟，第一代机器人的技术性能越来越满足不了实际需要。美国开始生产带有视觉、力觉的第二代机器人，并很快占领了美国 60% 的机器人市场。

工业机器人在日本发展：与此同时，20 世纪 70 年代的日本正面临着严重的劳动力短缺，这个问题已成为制约其经济发展的一个主要问题。毫无疑问，在美国诞生并已投入生产的工业机器人给日本带来了福音。1967 年日本川崎重工业公司首先从美国引进机器人及技术，建立生产厂房，并于 1968 年试制出第一台日本产 Unimate 机器人。经过短暂的摇篮阶段，日本的工业机器人很快进入实用阶段，并由汽车业逐步扩大到其他制造业以及非制造业。1980 年被称为日本的“机器人普及元年”，日本开始在各个领域推广使用机器人，这大大缓解了市场劳动力严重短缺的社会矛盾。再加上日本政府采取的多方面鼓励政策，这些机器人受到了广大企业的欢迎。1980—1990 年，日本的工业机器人处于鼎盛时期，后来国际市场曾一度转向欧洲和北美，但日本经过短暂的低迷期又恢复其昔日的辉煌。1993 年年末，全世界安装的工业机器人有 61 万台，其中日本占 60%、美国占 8%、欧洲占 17%、俄罗斯和东欧共占 12%。

德国工业机器人的数量占世界第三，仅次于日本和美国，其智能机器人的研究和应用在上世界上处于领先地位。目前在普及第一代工业机器人的基础上，第二代工业机器人经推广应用成为主流安装机型，而第三代智能机器人已占有一定比重并成为发展的方向。世界上的机器人供应商分为日系和欧系。瑞典的 ABB 公司是世界上最大机器人制造公司之一。1974 年研发了世界上第一台全电控式工业机器人 IRB6，主要应用于工件的取放和物料搬运。1975 年生产出第一台焊接机器人。到 1980 年兼并 Trallfa 喷漆机器人公司后，其机器人产品趋于完备。ABB 公司制造的工业机器人广泛应用在焊接、装配铸造、密封涂胶、材料处理、包装、喷漆、水切割等领域。德国的 KUKA Roboter GmbH 公司是世界上几家顶级工业机器人制造商之一。1973 年研制开发了 KUKA 的第一台工业机器人。年产量达到 1 万台左右。所

生产的机器人广泛应用在仪器、汽车、航天、食品、制药、医学、铸造、塑料等工业，主要用于材料处理、机床装备、包装、堆垛、焊接、表面修整等领域。

我国工业机器人起步于20世纪70年代初，其发展过程大致可分为三个阶段：70年代的萌芽期；80年代的开发期；90年代的实用化期。而今经过几十年的发展如今已经初具规模。目前我国已生产出部分机器人关键元器件，开发出弧焊、点焊、码垛、装配、搬运、注塑、冲压、喷漆等工业机器人。一批国产工业机器人已服务于国内诸多企业的生产线上；一批机器人技术的研究人才也涌现出来。一些相关科研机构和企业已掌握了工业机器人操作机的优化设计制造技术；工业机器人控制、驱动系统的硬件设计技术；机器人软件的设计和编程技术；运动学和轨迹规划技术；弧焊、点焊及大型机器人自动生产线与周边配套设备的开发和制备技术，等等。某些关键技术已达到或接近世界水平。

### 1.1.2 产品分类与应用

关于工业机器人分类，国际上没有制定统一的标准，可按负载重量、控制方式、自由度、结构、应用领域等划分。

#### 1. 按机器人的技术等级划分

(1) 示教再现机器人：第一代工业机器人能够按照人类预先示教的轨迹、行为、顺序和速度重复作业，示教可由操作员手把手进行或通过示教器完成。如图1-2所示。



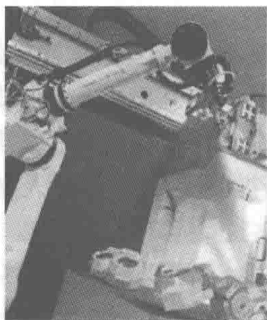
(a) 手把手示教机器人



(b) 示教器示教机器人

图1-2 示教再现机器人

(2) 感知机器人：第二代工业机器人具有环境感知装置，能在一定程度上适应环境的变化，目前已经进入应用阶段。如图1-3所示。



(a) 配备视觉系统的工业机器人



(b) 人机协作工业机器人

图1-3 感知机器人

(3) 智能机器人：第三代工业机器人具有发现问题并自主解决问题的能力，尚处于实验研究阶段。如图 1-4 所示。

到目前为止，在世界范围内还没有一个统一的智能机器人定义。大多数专家认为智能机器人至少要具备以下三个要素：

- ①感觉要素，用来认识周围环境状态。
- ②运动要素，对外界做出反应性动作。
- ③思考要素，根据感觉要素所得到的信息，思考出采用什么样的动作。

## 2. 按机器人的结构坐标系特征划分

按机器人结构坐标系特征，可将工业机器人分为以下 4 种（见图 1-5）：



图 1-4 本田 ASIMO 智能机器人

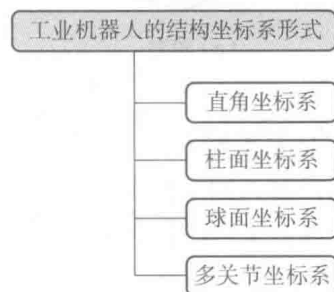


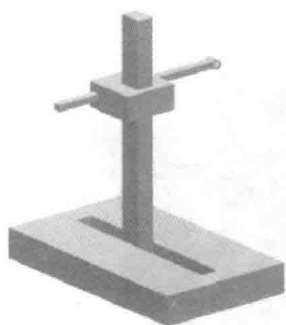
图 1-5 工业机器人结构坐标系形式

- 直角坐标系机器人 通过沿三个互相垂直的轴线的移动来实现机器人手部空间位置的改变。

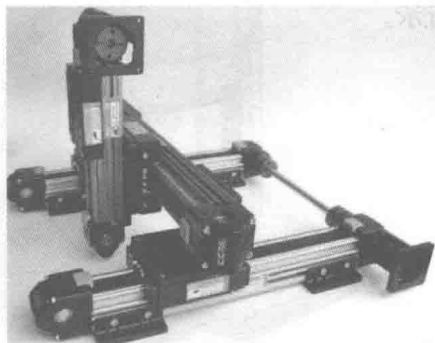
- 柱面坐标系机器人 通过两个移动和一个转动实现位置的改变。
- 球面坐标系机器人 运动由一个直线运动和两个转动组成。
- 多关节坐标系机器人 运动由前后的俯仰及立柱的回转组成。

### (1) 直角坐标系机器人。

直角坐标系机器人具有空间上相互垂直的多个直线移动轴，通过直角坐标方向的 3 个独立自由度确定其手部的空间位置，其动作空间为一长方体。如图 1-6 所示。



(a) 模型



(b) 实体

图 1-6 直角坐标系机器人



(2) 柱面坐标系机器人。

柱面坐标系机器人主要由旋转基座、垂直移动和水平移动轴构成，具有一个回转和两个平移自由度，其动作空间呈圆柱形。如图 1-7 所示。

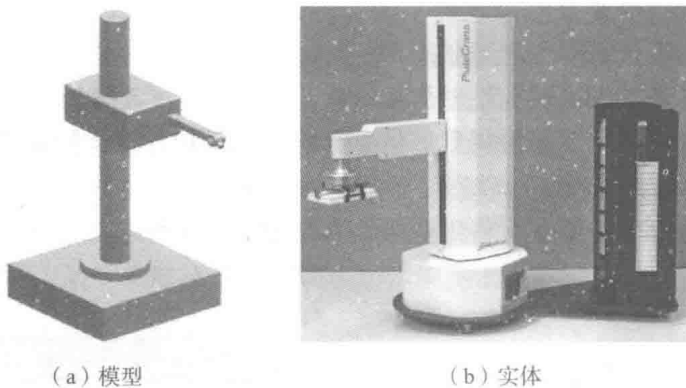


图 1-7 柱面坐标系机器人

(3) 球面坐标系机器人。

球面坐标系机器人的空间位置分别由旋转、摆动和平移 3 个自由度确定，动作空间形成球面的一部分。如图 1-8 所示。

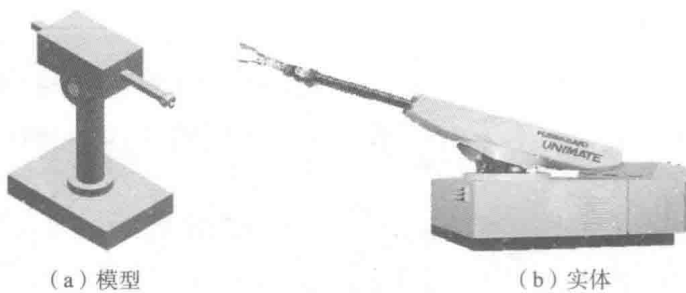


图 1-8 球面坐标系机器人

(4) 多关节坐标系机器人。

垂直多关节系机器人模拟人手臂功能，由垂直于地面的腰部旋转轴、带动小臂旋转的肘部旋转轴以及小臂前端的手腕等组成，手腕通常有 2~3 个自由度，其动作空间近似一个球体。如图 1-9 所示。

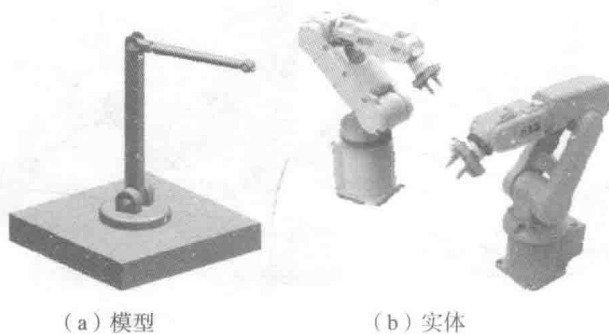


图 1-9 垂直多关节坐标系机器人