



应用型本科“十三五”规划教材

# 工业 机器人 工程导论

任岳华 曹玉华◎主编

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 工业机器人工程导论

主编 任岳华 曹玉华  
参编 李 林 冯国苓 钟小华 肖成军



机械工业出版社

要想使工业机器人大量地进入工业生产，需要得到各种工业机器人应用技术的支持。由于工业机器人的应用范围十分广泛，几乎无所不及，因此其涉及的应用技术也多种多样。

本书主要介绍工业机器人本体和工业机器人的应用系统，引用了大量的工程实例，这些实例都是在实际中得到成功运用的。通过这些实例来介绍工业机器人在不同的应用场合所需要的技术。这些技术涉及工业机器人本体的设计制造技术、制造本体的材料、控制技术、感知元件、视觉技术、机器人手爪及末端执行机构、周边设备等。

本书主要作为大学本科新生的专业导论教材，同时也可作为工业机器人工程技术人员的入门参考书籍。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人工程导论/任岳华，曹玉华主编. —北京：机械工业出版社，2018.8

ISBN 978-7-111-60103-6

I. ①工… II. ①任… ②曹… III. ①工业机器人 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 160985 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：王晓洁 责任编辑：王晓洁 张丹丹 责任校对：刘雅娜

封面设计：马精明 责任印制：张博

三河市国英印务有限公司印刷

2018年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.5印张·340千字

0001—3000册

标准书号：ISBN 978-7-111-60103-6

定价：39.80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](http://www.cmpbook.com)

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面防伪标均为盗版

# 前言



国务院于2015年5月正式印发《中国制造2025》，“智能工厂”“智能生产”“智能物流”将助中国由制造大国向制造强国迈进。工业机器人将大规模进入工业生产，助力中国装备制造、汽车制造、电子产品制造、食品生产、产品物流等行业进入智能生产，最终实现大规模无人生产。

为了适应新时期的要求，各工科类高校纷纷设立机器人工程专业，为社会培养具有工业机器人工程应用知识的新一代专业人才。

当前有很多有关工业机器人的教科书出版，但纵览群书后发现，尚缺少能全面概述各种类型的工业机器人及各种工业机器人工程应用的教科书，缺少能全面系统地以实际案例为背景介绍工业机器人应用的教科书和参考书。为此，我们组织了教学一线的教师和企业一线工程技术人员编写了本书，以满足广大师生和工程技术人员的需求。

本书主要介绍了各种类型的工业机器人，以及当前社会生产中得到广泛应用、成功应用或具有应用前景的工业机器人应用系统。学完本书后，学生应对工程机器人及工业机器人应用系统有一个全面的了解，为今后的专业学习打下基础，或能明确进行深入学习及自修的方向。

本书共分8个项目，项目1介绍了工业机器人的发展史、工业机器人的分类；项目2介绍了工业机器人本体及组成工业机器人的关键部件；项目3介绍了机器人控制系统；项目4介绍了工业机器人感知系统，以及各种感知元件和激光一维扫描、激光二维扫描、激光三维扫描的检测与导航技术；项目5介绍了工业机器人手爪，主要是码垛手爪和装箱手爪；项目6介绍了天轨、地轨装置以及AGV输送小车；项目7介绍了工业机器人周边辅助设备；项目8介绍了各种工业机器人应用系统，这是本书的重点部分。

本书的编者广东白云学院的教师。

主编任岳华曾在工业机器人智能工程企业担任技术主管，主持并参与了大量的机器人应用工程的设计与实施，为本书提供了主要素材，并负责项目8的编写。本书大量引用的案例和图样均来源于实际工程的取材，这也是本书的一大特色。

主编曹玉华为工学博士、教授，是本书的编写导师，为本书的架构及专业审核做了大量的工作，并参与了本书项目5、项目6部分内容的编写。

编者李林老师负责项目1、项目5的编写；冯国苓教授负责项目7的编写；钟小华老师负责项目3、项目4的编写；肖成军老师负责项目2、项目6的编写。

本书中引用的实际案例的技术资料及图样等大都为编者所设计；书中引用了发那科机器人、库卡机器人公开的技术资料和图片；在介绍机器视觉技术时引用了韩九强教授主编的《机器视觉技术及应用》的有关内容。

由于本书应用了大量案例，具有工程设计与实施的参考价值，所以本书不仅可作为大学本科机器人工程专业的基础教材，也可作为专业人员的参考书使用。

由于编者的水平有限，书中难免存在不妥和错误之处，敬请批评指正，不胜感谢。

# 目录



## 前言

项目 1 工业机器人的发展史及分类 .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 工业机器人的发展历程以及在我国的发展现状 .....	1
1.2.1 工业机器人的发展历程 .....	1
1.2.2 国外工业机器人的发展 .....	2
1.2.3 国产工业机器人的发展 .....	2
1.3 工业机器人的分类及其特点 .....	5
1.3.1 机器人的坐标系描述及运动命名原则 .....	6
1.3.2 直线机器人 .....	8
1.3.3 圆柱坐标系机器人 .....	8
1.3.4 关节坐标系机器人 .....	8
1.3.5 并联机构机器人(蜘蛛机器人) .....	9
1.4 工业机器人应用场合 .....	10
习题 .....	10
项目 2 工业机器人本体的关键部件与构成 .....	11
2.1 概述 .....	11
2.2 工业机器人的关键部件 .....	11
2.2.1 伺服电动机 .....	11
2.2.2 谐波减速器 .....	15
2.2.3 摆线针轮减速器 .....	18
2.2.4 行星减速器 .....	20
2.2.5 线性滑轨 .....	22
2.2.6 直线运动单元 .....	24
2.2.7 滚珠丝杠 .....	24
2.2.8 同步带 .....	26
2.2.9 回转支承 .....	28
2.2.10 高精密轴承 .....	29
2.2.11 直线电动机 .....	30
2.3 工业机器人本体制造使用的材料 .....	31
2.3.1 铸铁 .....	31
2.3.2 铸钢 .....	31
2.3.3 铸造不锈钢 .....	31
2.3.4 铝合金型材 .....	31

2.3.5 铸造铝合金 .....	32
2.3.6 铸造工艺 .....	32
2.4 工业机器人本体结构 .....	33
2.4.1 直线机器人本体结构 .....	33
2.4.2 平行机构搬运机器人本体结构 .....	36
2.4.3 关节机器人本体结构 .....	37
2.4.4 发那科机器人本体结构 .....	39
习题 .....	42
项目 3 机器人控制系统 .....	44
3.1 概述 .....	44
3.2 机器人的控制及编程软件 .....	44
3.2.1 采用 PLC+人机界面的软件编程及控制 .....	44
3.2.2 采用 PLC+嵌入式触摸屏和组态软件编程 .....	48
3.2.3 采用工业 PC+PLC 的编程与控制 .....	49
3.3 成套机器人控制系统 .....	51
3.3.1 KEBA 机器人控制系统 .....	51
3.3.2 卡诺普机器人控制系统 .....	52
3.4 发那科机器人控制系统 .....	56
3.4.1 发那科机器人系统组成 .....	56
3.4.2 发那科机器人控制系统——控制器与通信 .....	56
3.4.3 发那科机器人控制系统——应用软件工具包 .....	62
习题 .....	63
项目 4 工业机器人感知系统 .....	64
4.1 概述 .....	64
4.2 力觉传感器 .....	65
4.3 角度传感器 .....	65
4.4 位移传感器 .....	67
4.5 距离传感器 .....	68
4.5.1 激光检测 .....	68
4.5.2 超声波距离传感器 .....	71
4.6 接近传感器 .....	72
4.6.1 接近开关 .....	72
4.6.2 霍尔开关 .....	73

4.7 位置传感器 .....	73	6.4.2 用于机器人本体移动的小车 .....	107
4.7.1 光敏开关 .....	73	6.4.3 输送小车的供电方式 .....	107
4.7.2 光纤放大器 .....	74	6.4.4 输送小车的导航 .....	111
4.7.3 光幕 .....	75	6.4.5 输送小车的结构 .....	112
4.7.4 干簧管 .....	76	6.4.6 其他 AGV 输送小车图例 .....	114
4.7.5 行程开关 .....	76	习题 .....	114
4.8 运动传感器 .....	76	<b>项目 7 机器人周边辅助设备</b> .....	115
4.9 工业机器人二维视觉检测系统 .....	77	7.1 概述 .....	115
4.9.1 工业机器人二维视觉系统组成 .....	78	7.2 规整定位机构 .....	115
4.9.2 工业机器人二维视觉系统硬件 介绍 .....	78	7.2.1 码垛规整机构 .....	115
4.9.3 工业机器人二维视觉检测实例 .....	82	7.2.2 装箱规整机构 .....	119
4.10 工业机器人三维视觉检测系统 .....	84	7.3 旋转平台 .....	120
4.10.1 三维激光视觉检测系统 (发那科) .....	84	7.3.1 机器人喷涂移动及旋转台 .....	120
4.10.2 机器视觉-结构光测量的三角测量 原理 .....	85	7.3.2 机器人焊接转台 .....	121
4.10.3 三维激光视觉扫描仪的配置 .....	87	7.4 输送机 .....	124
4.10.4 iRVision 系统设置 .....	87	7.4.1 皮带输送机 .....	124
4.10.5 图像软件 UIF 的使用 .....	88	7.4.2 辊筒输送机 .....	126
4.10.6 应用举例 .....	89	7.4.3 链板输送机 .....	133
习题 .....	90	7.4.4 链条输送机 .....	137
<b>项目 5 工业机器人手爪</b> .....	91	7.4.5 物料的变道输送机 .....	140
5.1 概述 .....	91	7.4.6 悬挂链输送机 .....	142
5.2 码垛手爪 .....	91	7.4.7 倍速链输送机 .....	144
5.2.1 纸箱手爪 .....	91	习题 .....	148
5.2.2 膜包手爪 .....	92	<b>项目 8 工业机器人应用系统</b> .....	149
5.2.3 袋装手爪 .....	94	8.1 概述 .....	149
5.3 装箱手爪 .....	96	8.2 机器人焊接系统 .....	149
5.3.1 小型夹持手爪 .....	96	8.2.1 机器人 MIG/MAG 焊接系统 .....	150
5.3.2 利乐包的装箱手爪 .....	97	8.2.2 机器人 TIG 焊接系统 .....	151
5.4 真空吸取手爪 .....	97	8.2.3 机器人点焊焊接系统 .....	154
5.4.1 真空吸盘及其手爪结构特点 .....	97	8.2.4 机器人激光焊接系统 .....	156
5.4.2 真空吸盘的结构与种类 .....	98	8.3 机器人切割系统 .....	160
5.4.3 真空源的选用 .....	98	8.3.1 机器人激光切割系统 .....	160
5.5 电磁吸取手爪 .....	101	8.3.2 机器人等离子切割系统 .....	162
5.6 气缸手爪 .....	101	8.4 机器人喷涂系统 .....	163
5.7 手爪快换接头 .....	102	8.4.1 机器人喷涂系统组成及优点 .....	163
习题 .....	104	8.4.2 喷涂机器人本体 .....	164
<b>项目 6 机器人本体移动装置及 AGV</b> <b>输送小车</b> .....	105	8.4.3 喷具 .....	165
6.1 概述 .....	105	8.4.4 机器人喷涂定量配比控制 .....	167
6.2 机器人本体天轨移动装置 .....	105	8.5 机器人搬运系统 .....	168
6.3 机器人本体地轨移动装置 .....	106	8.5.1 各种包装形式的码垛 .....	169
6.4 AGV 小车 .....	106	8.5.2 码垛机器人 .....	170
6.4.1 输送小车的分类、定位、供电和 通信 .....	106	8.5.3 实例介绍: 某大型奶企的纸箱 码垛生产线 .....	171
		8.6 机器人装箱系统 .....	173
		8.6.1 各种产品的机器人装箱 .....	173
		8.6.2 适合于装箱作业的机器人 .....	174
		8.6.3 实例介绍: 某大型奶企的利乐	

包的装箱生产线 .....	174	8.11.2 二维平面小型六轴机器人分拣 ...	184
8.7 电路板插件机器人(自动插件机) ...	176	8.11.3 三维空间任意姿态物料的分拣 ...	184
8.7.1 插件机器人的使用 .....	176	8.11.4 分拣机器人 .....	185
8.7.2 插件机器人的组成 .....	177	8.12 机器人产品装配 .....	185
8.8 机器人冲床进料与出料装置 .....	177	8.12.1 用于机器人本身的生产装配 .....	186
8.8.1 冲床机器人应用举例 .....	177	8.12.2 用于汽车的生产装配 .....	186
8.8.2 适用于冲(折)床的机器人 .....	178	8.12.3 并联蜘蛛机器人用于装配生产的 案例 .....	186
8.8.3 实例介绍: 冲压进给料机器人系统和 冲床机器人系统 .....	179	8.13 机器人打磨系统 .....	188
8.9 数控机床机器人进料与出料装置 .....	182	8.13.1 机器人手持工件打磨 .....	188
8.10 注塑机取件机器人 .....	182	8.13.2 机器人手持工具对工件打磨 .....	189
8.11 机器人分拣系统 .....	183	习题 .....	189
8.11.1 蜘蛛机器人分拣 .....	184	参考文献 .....	191

# 项目1



## 工业机器人的发展史及分类

### 1.1 概 述

国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）给机器人的定义是“一种可以反复编程和多功能的，用来搬运材料、零件和工具的操作机；或者为了执行不同的任务而具有可改变的和可编程动作的专门系统”（a reprogrammable and multifunctional manipulator, devised for the transport of materials, parts, tools or specialized systems, with varied and programmed movements, with the aim of carrying out varied tasks）。

日本工业机器人协会（JIRA）的定义是：工业机器人是一种装备有记忆装置和末端执行器，能够转动并通过自动完成各种移动来代替人类劳动的通用机器。

我国蒋新松院士把机器人定义为“一种拟人功能的机械电子装置”（a mechantronc device to imitate some human functions）。

当前，机器人家族种类繁多，如工业机器人、农业机器人、医用机器人、服务机器人、空间机器人、水下机器人、军用机器人等。本书只介绍用于工厂自动化生产的工业机器人。

总结各种说法，工业机器人可以按以下来定义：

- 1) 工业机器人的应用场合只是用来代替人工作的工业生产的场合。
- 2) 工业机器人的动作机构具有类似于人或其他生物体某些器官（如肢体、感官等）的功能。
- 3) 工业机器人具有通用性、多样性，是柔性加工的主要组成部分。
- 4) 工业机器人具有不同程度的智能，如记忆、感知、学习功能等。
- 5) 工业机器人具有完整的机器人自主控制系统，在运行中可以不依赖于人的干预而独立运行。

### 1.2 工业机器人的发展历程以及在我国的发展现状

#### 1.2.1 工业机器人的发展历程

20世纪40年代，由于核工业和军事工业的发展，人们研制了“遥控操纵器”，主要用于放射性材料的生产和处理过程。

1954年美国George C. Devol开发出世界上第一台电子可编程序机器人装置。

1959年，英格伯格和德沃尔联手制造出第一台工业机器人。第一代工业机器人属于示教再现型，这种机器人外形有点像坦克炮塔，基座上有一个大机械臂，大臂可绕轴在基座上转



动，大臂上又伸出一个机械臂，它相对大臂可以伸出或缩回。小臂末端有一个手腕，可绕小臂转动，进行俯仰和侧摇。手腕前端是手，即操作器。这个机器人的功能和人手臂功能相似。

1962年美国研制出第一台真正意义上的工业机器人，并成立了 Unimation 公司，开始定型生产名为 Unimate 的工业机器人（见图 1-1）。

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。

1970年，美国召开了第一届国际工业机器人学术会议。

1978年，美国 Unimation 公司推出通用工业机器人 PUMA，这标志着工业机器人技术已经完全成熟，PUMA 至今仍然工作在工厂第一线。

20世纪80年代，机器人在发达国家的工业中得到大量普及应用，如焊接、涂装、搬运、装配，并向各个领域拓展，如航天、水下、排险、核工业等，机器人的感知技术得到相应的发展，产生第二代机器人。

20世纪90年代，机器人技术在发达国家应用更为广泛，如军用、医疗、服务、娱乐等领域，并开始向智能型（第三代）机器人发展。

机器人技术经历了40多年的发展，形成了新学科——机器人学（Robotics）。

### 1.2.2 国外工业机器人的发展

自从第一台机器人在20世纪60年代诞生以来，就未停下其发展的脚步，相继出现了许多品牌的工业机器人（见图 1-2~图 1-5）。

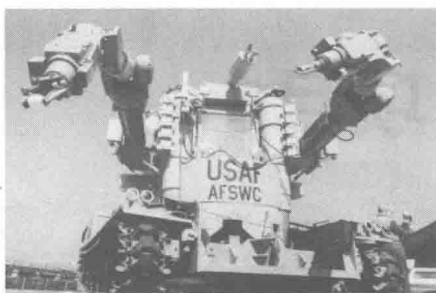


图 1-1 世界第一台真正意义上的工业机器人



图 1-2 库卡机器人  
(德国)<sup>①</sup>



图 1-3 ABB 机器人  
(瑞典)

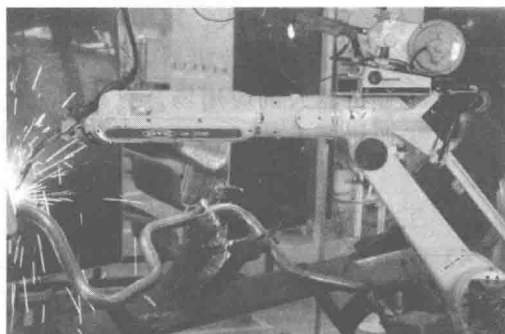


图 1-4 OTC 机器人（日本，专长焊接）

### 1.2.3 国产工业机器人的发展

1985年，工业发达国家已开始大量应用和普及工业机器人，我国在“七五”国家科技攻关计划中将工业机器人列入了发展计划。1986年，我国再一次将智能机器人列入高技术研究发展计划，成立了专家组，列入 863 计划。

沈阳新松机器人自动化股份有限公司是我国第一个由国家 863 计划资助的工业机器人研

<sup>①</sup> 库卡于 2017 年被中国家电企业美的集团收购。

发企业。

1991年我国诞生了第一台实用型工业焊接机器人“昆山1号”(见图1-6),由昆山华恒焊接股份有限公司研制。

为了促进国产机器人的产业化,在20世纪90年代末期,我国建立了九个机器人产业化基地和七个科研基地,包括沈阳自动化研究所的新松机器人自动化股份有限公司、哈尔滨工业大学的博实机器人技术有限公司、北京机械工业自动化研究所的机器人开发中心等。产业化基地的建设带来了产业化的希望,为发展我国机器人产业奠定了基础。

### 1. 国产工业机器人的生产条件已经基本成熟

图1-7所示是苏州绿的谐波传动科技有限公司生产的谐波减速器,图1-8所示是成都卡诺普自动化控制技术有限公司研发的工业机器人控制器,图1-9所示是宁波中大力德智能传动股份有限公司生产的RV减速器,图1-10所示是上海儒竟电子科技有限公司生产的交流伺服电动机。这些构成工业机器人的主要单元。

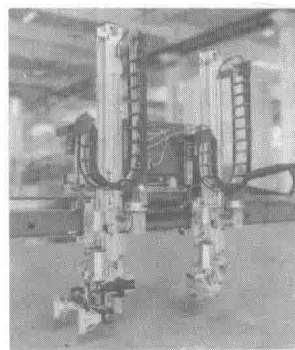


图 1-5 菲博若机器人(德国)

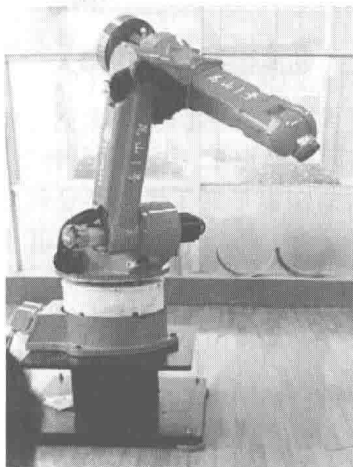


图 1-6 “昆山1号”

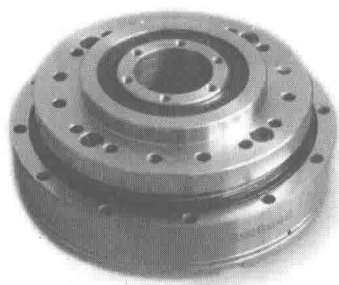


图 1-7 绿的谐波减速器(苏州)



图 1-8 卡诺普工业机器人控制器(成都)

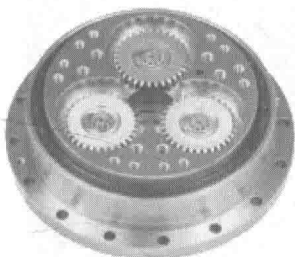


图 1-9 中大力德 RV 减速器(宁波)



图 1-10 儒竟交流伺服电动机(上海)

### 2. 国产工业机器人生产情况

据中华人民共和国工业和信息化部统计,2016年全年国产工业机器人的产量已经达到了

7.24万台，同比增长了34.3%。2017年1~4月，我国工业机器人的产量是35073台，同比增长51.7%，增长幅度很大。但总体来看，我国机器人特别是工业机器人仍然以中低端为主，六轴及以上的多关节机器人占有率比较低。

### 3. 国产工业机器人

近年来，我国生产工业机器人的企业大量涌现。图1-11~图1-20所示为国产工业机器人的部分图例。



图 1-11 新松机器人  
(沈阳)



图 1-12 广州数控  
机器人(广州)

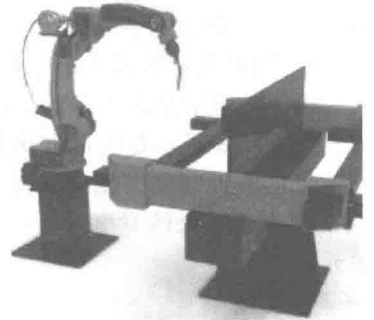


图 1-13 欢颜机器人  
(上海)



图 1-14 铁犀机器人  
(东莞)

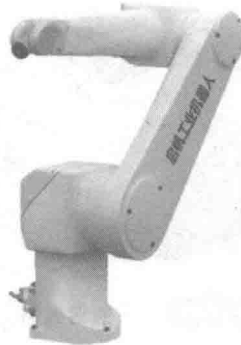


图 1-15 启帆机器人  
(广州)



图 1-16 沃迪机器人  
(上海)

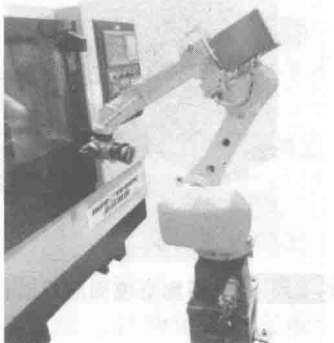


图 1-17 治丞机器人(平湖)

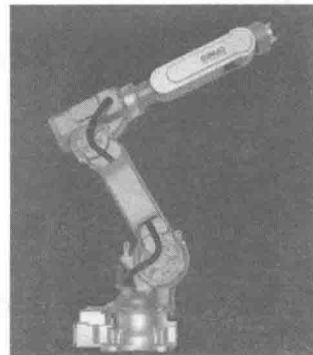


图 1-18 一诺机器人(深圳)

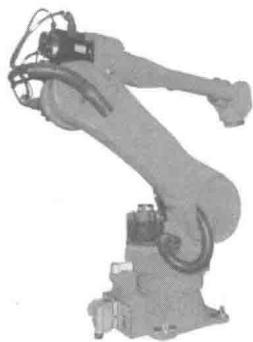


图 1-19 鑫泰机器人 (聊城)

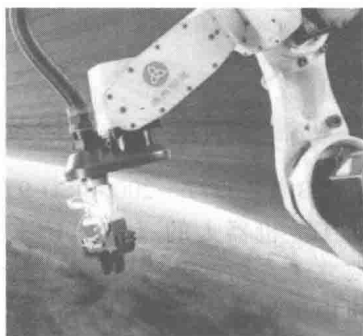


图 1-20 图灵机器人 (郑州)

### 1.3 工业机器人的分类及其特点

本书只讲述工业机器人的两种分类方法，以便于在设计开发、应用选型时区别对待、正确选择。

(1) 按运动形式的坐标系进行分类 理论设计时，不同运动坐标系的运动学方程是不同的。在实际使用控制中，为了方便进行精确定位计算，机器人在世界坐标系、用户坐标系（工件坐标系），不断地来回交换进行计算，其计算过程与其运动构成的坐标系有极大的关系。这种分类是为了便于理论设计和控制程序设计。按运动形式的坐标系，工业机器人可分为以下几种：

- 1) 直线机器人。
- 2) 圆柱坐标系机器人。
- 3) 极坐标系机器人。
- 4) 并联机构机器人（蜘蛛机器人）。

极坐标可分为球面极坐标和关节坐标。球面极坐标运动的驱动较难实现；关节坐标运动是单一关节在一个平面内做回转运动，多个关节运动串联构成极坐标运动形式，其运动效果与球面极坐标运动效果相同。而关节运动容易实现，我们研究机器人的极坐标运动只考虑关节型极坐标系，简称关节坐标系。

并联机构运动是极坐标运动的一种复合形式。并联机构一般有三个以上的固定支点，每个支点所在的机构运动都是极坐标运动，各个支点的运动目标都是同一个目标，所以称为并联机构运动。其运动学方程是相互约束的复合形式，其运动精度是复合相弥补的结果，因此并联机构的运动精度高于其他运动坐标系的运动精度。并联机构的并联关节越多，精度越高。其他坐标系做串联运动的精度是叠加的，关节越多，精度越差，所以又称其他坐标系的运动机构为串联机构。

(2) 按用途不同进行分类 同一用途的情况，可以采用不同运动坐标系的机器人来实现，如注塑机取件，可以采用直线机器人实现，也可采用关节坐标机器人实现。同一种运动坐标系的机器人可以实现不同的用途。如焊接和喷涂都可采用关节坐标机器人来实现；但是一般焊接机器人不可用于喷涂，同样，喷涂机器人不可用于焊接。这是因为焊接机器人设计制造时进行了抗电流冲击处理，喷涂机器人设计制造时进行了密封防爆处理，如果混用将会造成危险。这种分类是为了便于在不同应用场合对机器人进行选型。按用途不同，工业机器人可分为以下几种：

- 1) 焊接机器人。
- 2) 喷涂机器人。
- 3) 搬运机器人。
- 4) 分拣机器人。

### 1.3.1 机器人的坐标系描述及运动命名原则

本节依据 GB/T 16977—2005/ISO 9787: 1999 的规定进行编写。

描述一个工业机器人的(肢体)末端即腕部及手爪的空间位置和姿态,需要六个自由度。所以一个在空间位置及姿态完全可控的机器人称为六自由度机器人。

#### 1. 坐标系描述

为了方便地描述工业机器人的坐标系和自由度的关系,介绍四种坐标系,即绝对坐标系(见图 1-21)、机座坐标系(见图 1-22、图 1-23)、机械接口坐标系和工具坐标系。

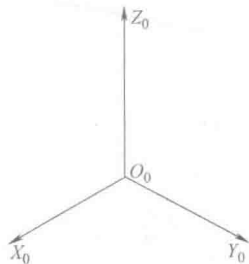


图 1-21 绝对坐标系

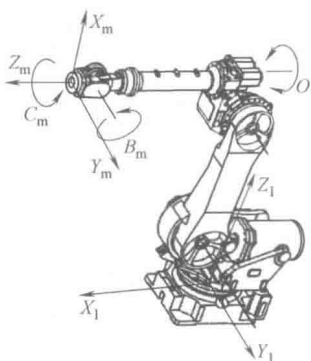


图 1-22 关节机器人机座坐标系描述

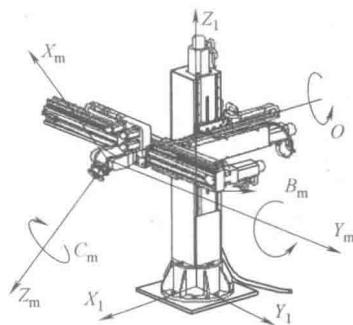


图 1-23 直线机器人机座坐标系描述

1) 绝对坐标系与机器人运动无关,是以地面为参照系的坐标系(见图 1-21)。

符号标记:  $O_0-X_0-Y_0-Z_0$

2) 机座坐标系是出厂规定的以机器人安装平面为参照系的坐标系,用于机器人运动设计(见图 1-22)。

符号标记:  $O_1-X_1-Y_1-Z_1$

3) 机械接口坐标系是以机器人腕部接口为参照系的坐标系,用于机器人腕部位置及姿态的运动设计。

符号标记:  $O_m-X_m-Y_m-Z_m$

4) 工具坐标系是以安装在机器人腕部的末端执行器(手爪)为参照系的坐标系,有时称为用户坐标系,用于执行器的运动设计。

符号标记:  $O_t-X_t-Y_t-Z_t$

右手坐标系确定各轴的方向,(见图 1-24)。

关节坐标系用于描述大多数运动轴为回转轴的机器人的运动关系,如图 1-25~图 1-27 所示,在工业机器人领域应用很广。

#### 2. 命名原则

1) 垂直方向的运动轴,命名为  $Z$  轴,又名竖轴。

2) 水平方向的运动顺序为第一的运动轴,命名为  $X$  轴,又名横轴。

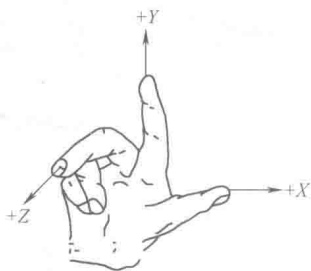


图 1-24 右手坐标系

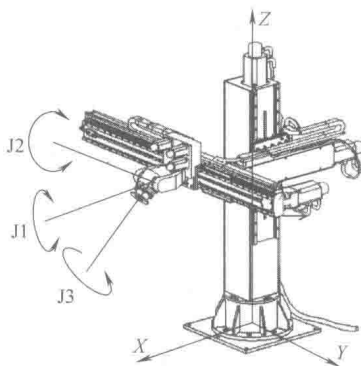


图 1-25 直线机器人  
关节坐标系描述

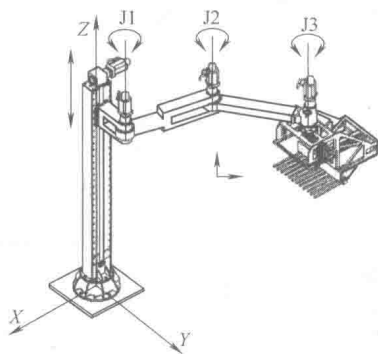


图 1-26 圆柱机器人关节  
坐标系描述

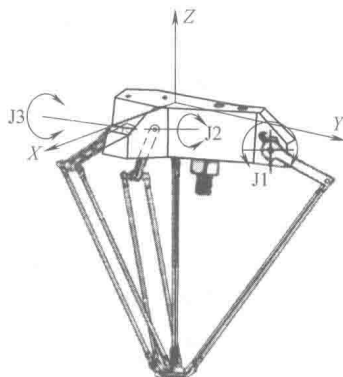


图 1-27 并联机器人关节  
坐标系描述

- 3) 水平方向的运动顺序为第二的运动轴，命名为  $Y$  轴，又名纵轴。
- 4) 带动整个腕部回转的轴，命名为  $O$  轴，又名腕部回转轴，与机械接口坐标轴不重叠。
- 5) 垂直于腕部轴线带动腕部回转的轴，命名为  $B_m$  轴，又名腕部轴线垂直面回转轴，与机械接口坐标重叠。
- 6) 直接带动腕部安装端面同轴旋转的轴，命名为  $C_m$  轴，又名腕部端面回转轴，与机械接口坐标重叠。

7) 由回转轴参与决定工业机器人末端执行器空间位置及姿态的情况，对于串联机构机器人，处于第一顺序位置的回转轴叫  $J1$  轴，处于第二顺序位置的回转轴叫  $J2$  轴，依此类推有  $J3$ 、 $J4$  等。它适合于关节机器人、圆柱坐标机器人等。其他的由回转运动决定末端执行机构空间位置的部分参照命名。

8) 以图 1-28（关节机器人关节坐标系描述）为例，将  $J1$  轴习惯称为机座或机身，将  $J2$  轴习惯称为大臂，将  $J3$  轴习惯称为小臂， $J6$  所在的机构则叫腕部。

9) 对于由回转运动组成的并联机器人，有串联机构的运动部分依第 7) 条命名，并联部分确定其中之一后以右手原则顺序依次命名，其中的直线运动轴依照 1)、2)、3) 条进行命名。

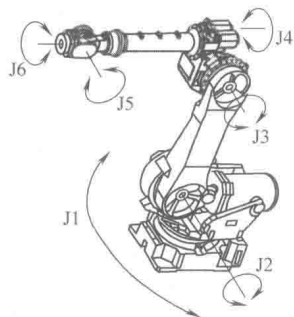


图 1-28 关节机器人  
关节坐标系描述

### 1.3.2 直线机器人

直角坐标系机器人习惯称为直线机器人（见图 1-29）。在注塑机取件、冲床<sup>①</sup>进给料等方面用得最多。由于设计与制造较为容易，所以很多需要自动化机械装置完成工作的场合，采用直线机器人。

直线机器人的特点如下：

1) 其空间位置的确定，都是采用直线运动方式。可以是一轴——确定一维方向的运动，两轴——确定二维平面方向的运动，三轴——确定空间三维方向的运动。

2) 驱动腕部手爪姿态的运动依然采用回转运动。

3) 作为手臂的直线运动单元，很多厂商已经做成了通用件，用户只需选型采购组装。

4) 直线机器人的驱动力可以是伺服电动机、普通电动机、气动、液压等。



图 1-29 直线机器人

### 1.3.3 圆柱坐标系机器人

圆柱坐标系机器人（见图 1-30）连接机座的第一轴是直线运动，其他各轴为回转轴，共同决定手爪的空间位置。图 1-30a 所示为 FANUC（发那科）生产的圆柱坐标系机器人，只有一个回转轴，限定了其末端的运动轨迹在回转轴的圆周上。图 1-30b 所示有两个回转轴，其末端的运动轨迹在两回转轴确定的圆面积的任意一点上。

圆柱坐标系机器人的特点如下：

1) 连接机座的第一轴为直线运动轴，通常垂直安装，也有水平安装的情况。

2) 连接机座的第一轴垂直安装时，用于垂直运动尺度较大的情况，如码垛等。

3) 连接机座的第一轴水平安装时，用于需要做大跨度水平运动工位之间的工件传递。有时将这种水平安装的第一轴做成天轨或地轨。

4) 无论第一轴垂直安装或水平安装，其他决定空间位置的各轴都平行于第一轴做回转运动。当第一轴垂直安装时，其他轴在一个水平面内做回转运动；第一轴上下移动到另一个位置时，其他各轴又在另一个水平面做回转运动。

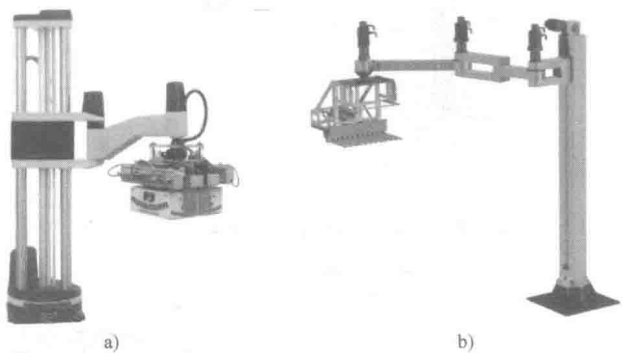


图 1-30 圆柱坐标系机器人

### 1.3.4 关节坐标系机器人

真正意义上的极坐标机器人应该是球关节驱动机器人，但是机械结构较难实现。而关节轴的运动容易实现，串联三组关节轴的运动就能完全实现球关节的运动结果，因此研究极坐标系机器人时通常是指关节坐标系机器人（见图 1-31 和图 1-32）。

关节坐标系机器人的特点如下：

① 标准术语为“压力机”，本书因习惯叫法仍采用“冲床”。



图 1-31 关节坐标系  
机器人 (ABB)



图 1-32 平行机构关节  
坐标系机器人 (库卡)

- 1) 末端执行机构 (即手爪) 的空间位置和姿态的确定都由回转运动实现。
- 2) 决定空间位置的关节轴第一回转轴即机座回转轴是垂直放置的, 做回转运动。
- 3) 除第一轴外, 其他关节回转轴都是水平放置的, 其他关节回转轴的运动在一个立面内进行; 只有当机座回转轴转一个角度后, 其他关节回转轴的运动才在另一个立面内进行。
- 4) 具有平行机构的 (见 2.4.2 平行机构搬运机器人本体结构) 关节坐标系机器人, 其手爪的姿态控制只有一个自由度, 即水平面回转。
- 5) 具有六自由度的机器人大多都是关节机器人, 因为在需要具有六个自由度时, 关节机器人是最易实现的, 而且体积最小, 易于制造。

### 1.3.5 并联机构机器人 (蜘蛛机器人)

末端执行机构的空间位置由两个以上的运动并联共同确定时, 称为并联机构, 而安装末端执行机构的端面必须由三点确定, 所以并联机构都是由三个以上的并联运动实现的, 又称蜘蛛机器人 (见图 1-33)。

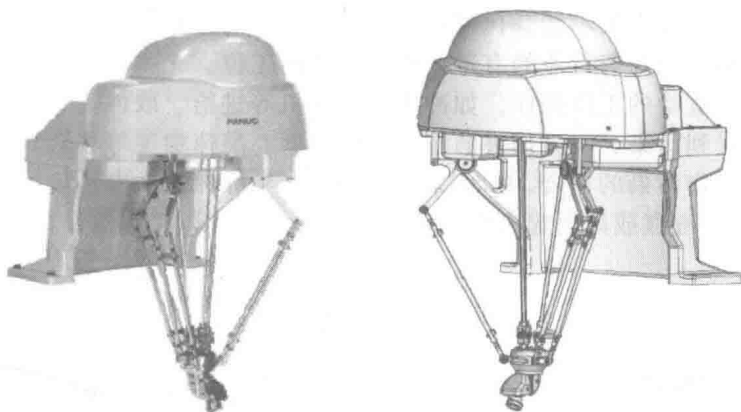


图 1-33 蜘蛛机器人 (发那科)

并联机构机器人的特点如下:

- 1) 并联机构在完成一个组合动作时即可同时确定末端执行器的空间位置和姿态, 但一般并联运动所确定的平面是平行于地面的, 所以末端执行器的姿态需要变换时, 还是由三个旋转轴来确定。



- 2) 并联机构通常的活动范围小于直线机器人和关节机器人。
- 3) 由于运动是多个机构并联运动的结果, 所以定位精度要高于串联机构机器人。
- 4) 虽然要由多个机构并联共同确定末端的运动, 但每个机构只需做一个动作; 而串联机构则需多个关节的运动合成才能完成, 因此, 运动的节拍要比串联机构快, 一般要快过 2 倍以上。

## 1.4 工业机器人应用场合

工业机器人应用最广泛的领域是汽车及汽车零部件制造业。

2004 年德国制造业中, 每 1 万名工人中拥有工业机器人的数量为 162 台, 而在汽车制造业中, 每 1 万名工人中拥有工业机器人的数量则为 1140 台。意大利的这一数值更能说明问题, 2004 年意大利制造业中, 每 1 万名工人中拥有工业机器人的数量为 123 台, 而在汽车制造业中, 每 1 万名工人中拥有工业机器人的数量则高达 1600 台。

目前, 除汽车及汽车零部件制造业外, 工业机器人已出现在机械加工行业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、食品工业、木材与家具制造业等领域中。在工业生产中, 弧焊机器人、点焊机器人、分拣机器人、装配机器人、涂装机器人及搬运机器人等工业机器人都已被大量采用。

2005 年, 亚洲电子电气行业对工业机器人的需求仅次于汽车及汽车零部件制造业, 其占所有行业总需求的比例为 31%; 而在欧洲, 橡胶及塑料工业对工业机器人的需求则远超过电子电气行业而排名第二; 美洲汽车及汽车零部件制造业对工业机器人的需求遥遥领先, 金属制品业 (包括机械)、橡胶及塑料工业以及电子电气行业对工业机器人的需求比例相当, 均在 7% 左右。

工业机器人应用在以下场合:

- 1) 汽车及汽车零件制造的焊接、涂装、装配场合。
- 2) 装备制造业的焊接、涂装场合。
- 3) 有辐射、高热的场合, 如铸造、注塑机取件等。
- 4) 重复、重体力的场合, 如码垛、搬运场合。
- 5) 电子制造行业等人工不能替代的精确、快速定位的作业场合。
- 6) 化工、塑料、橡胶等行业的有毒、粉尘污染的工位。
- 7) 有肢体伤害危险的工位操作, 如冲床、剪板机等进给、取件。
- 8) 避免工人受到污染、飞溅伤害的场合, 如打磨、高速加工等场合。
- 9) 防止人工操作污染的场合, 如食品加工现场、半导体高洁净环境等。
- 10) 质量控制关键点或易引起失误的场合。

### 习 题

1. 列举你能想到的工业机器人应用场合 (包括将来可能的应用范围)。
2. 简述机器人与泛指机器人 (如下棋机器人、护理机器人等) 的区别。
3. 列出你能搜索到的当前机器人在我国生产领域的应用 (包括本书所举的例子)。
4. 随着机器人在工业生产中的普及, 你认为工业机器人按专业分类还应该增加哪些?
5. 同属一个坐标系分类的机器人在不同的专用场合能通用吗? 请举例说明能通用的情况和不能通用的情况 (需阅读项目 8 有关机器人专业应用系统的内容)。
6. 为什么工业机器人采用两种分类方式?