



高等学校应用型新工科创新人才培养计划指定教材

高等学校智能制造与工业信息化类专业“十三五”课改规划教材



工业机器人 集成应用

青岛英谷教育科技股份有限公司
吉林农业科技学院

编著

立体化教辅

- ▶ 教学PPT
- ▶ 教学大纲
- ▶ 考试大纲
- ▶ 开源代码
- ▶ 配套设备
- ▶ 在线题库
- ▶ 视频讲解



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校应用型新工科创新人才培养计划指定教材

高等学校智能制造与工业信息化类专业“十三五”课改规划教材

工业机器人集成应用

青岛英谷教育科技有限公司

编著

吉林农业科技学院

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

工业机器人作为高端智能制造的标尺,正在成为“中国制造”的核心和推动我国制造产业升级的源动力,对推动工业转型升级和改善人民生活水平具有重要意义。

本书是面向高等院校智能制造专业、机器人专业方向的标准化教材,包含三个方面的内容:工业机器人概述及编程基础知识、工业机器人高级编程方法与仿真、工业机器人典型应用案例分析。书中以 ABB 工业机器人为例,详细讲解了工业机器人的基础知识、控制操作、编程方法、仿真离线编程、虚拟工作站搭建以及典型的工业机器人集成应用案例,能让读者既掌握工业机器人的基础知识,又具备高级编程能力。

本书内容精练,理论与实践相结合、教学适用性强,可作为高等学校新工科相关专业的教材,也可作为有志于从事工业机器人行业的读者提供理论参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人集成应用 / 青岛英谷教育科技股份有限公司, 吉林农业科技学院编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2019.2

ISBN 978-7-5606-5232-0

I. ① 工… II. ① 青… ② 吉… III. ① 工业机器人—系统集成技术—研究 IV. ① TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 019424 号

策划编辑 毛红兵

责任编辑 刘炳桢 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 北京虎彩文化传播有限公司

版 次 2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 26

字 数 616 千字

定 价 63.00 元

ISBN 978-7-5606-5232-0/TP

XDUP 5534001-1

如有印装问题可调换

高等学校智能制造与工业信息化类专业 “十三五”课改规划教材编委会

主 编： 于振文

副主编： 王 燕 王 刚 雷立群

编 委： （以姓氏拼音为序）

陈龙猛 胡冠山 李 聪 李言照

明 哲 潘为刚 孙 毅 王永强

许建平 叶天迟 油海东 张广渊

张运波 张 卓 赵 强 郑 文

钟利军 朱智林

❖❖❖ 前 言 ❖❖❖

随着以智能制造为代表的新一轮产业革命的迅猛发展，高端智能装备成为制造业升级改造的主要助力。为加速我国制造业的转型升级、提质增效，国务院提出了《中国制造2025》战略目标，明确将智能制造作为主攻方向，加速培育我国新的经济增长动力，力争抢占新一轮产业竞争的制高点，而工业机器人无疑是这场变革的关键支撑设备。

工信部部长苗圩指出：要以工业机器人为抓手，通过对工业机器人在工业领域的推广应用，提升我国工业制造过程的自动化和智能化水平。为此，工信部、发改委、财政部联合印发了《工业机器人产业发展规划（2016—2020 年）》，将工业机器人作为“中国制造2025”的重点发展领域作了详细部署，意在尽快打造中国制造新优势，加快制造强国建设。

当前，我国工业机器人市场正处于高速增长期。自 2013 年以来，我国已连续五年成为全球工业机器人第一大市场。伴随着劳动力成本的增加以及政策的推动，“机器换人”成为国内诸多制造企业升级改造的重要手段。历史表明，广泛的市场应用将带来技术的飞速提升。因此，虽然我国的工业机器人起步较晚，但是随着应用的不断扩大以及国家的各种政策扶持，有望在未来进入国际先进行列。

发展机器人是大势所趋，行业前景广阔，但由于种种原因，目前该领域人才供求失衡严重：一方面机器人厂商、系统集成商及加工制造业等求贤若渴，另一方面人才供给严重不足，难以满足企业用人需求。究其原因，主要是相对于近年来国内机器人产业的爆发性发展态势，高校、职校等的课程设置滞后，反应速度过慢，虽然提供了相关培训，但仍存在配套设施不足、培训网点有限等缺陷，难以形成系统的教学流程和人才培养体系。这些因素阻碍着中国机器人产业的进一步发展。而本书正是致力于解决上述问题的产物——课程内容设置由机器人相关企业需求出发，试图形成系统的机器人教学流程，着力增强动手实操能力，为我国工业机器人产业的发展输送更多人才。

本书是面向高等院校智能制造专业、机器人专业方向的标准化教材。全书共分 11 章：第 1 章简要对工业机器人进行概述；第 2 章介绍了机器人操作和仿真软件基础知识；第 3~5 章介绍了工业机器人的通信、数据和编程基础；第 6 章结合实际案例介绍了工业机器人的高级编程知识；第 7 章结合实际案例介绍了工业机器人仿真软件离线编程、在线编程控制及虚拟工作站搭建知识。第 8~11 章针对典型的搬运、机床上下料、码垛、视觉分拣实际应用综合案例进行讲解。各章给出了结合实践的练习，可帮助读者迅速掌握工业机器人集成应用的必备知识，全面提高实际动手能力。

本书由青岛英谷教育科技股份有限公司和吉林农业科技学院共同编写，参与本书编写工作的有金跃云、刘伟伟、刘洋、孟洁、金成学、张玉星、王燕等。本书编写期间还得到

了各合作院校专家及一线教师的大力支持和协作，吉林农业科技学院、白城师范学院、青岛农业大学、山东交通学院、山东农业工程学院、曲阜师范大学、济宁学院、潍坊学院、德州学院等高校的教师也参与了本书的编写工作。在本书即将出版之际，要特别感谢给予我们开发团队以大力支持和帮助的领导及同事，感谢合作院校的师生给予我们的支持和鼓励，更要感谢开发团队每一位成员所付出的艰辛劳动。



由于水平所限，书中难免有不足之处，读者在阅读过程中如有发现，可以通过邮箱（yinggu@121ugrow.com）联系我们，或扫描右侧二维码进行反馈，以期不断完善。

本书编委会
2018年9月

目 录

第 1 章 工业机器人概述	1	2.3.6 仿真运行	71
1.1 工业机器人简介	2	2.3.7 测量工具	74
1.1.1 发展历史	2	2.3.8 简单三维建模	76
1.1.2 概念及分类	5	本章小结	77
1.2 工业机器人基础知识	6	本章练习	78
1.2.1 工业机器人的结构	6	第 3 章 工业机器人通信基础	79
1.2.2 工业机器人主要技术参数	9	3.1 通信概述	80
1.2.3 工业机器人安全操作规范	11	3.2 通信配置方法	81
1.3 工业机器人应用	13	3.2.1 I/O 通信	82
1.3.1 工业机器人应用形式	13	3.2.2 通过 PROFIBUS 协议与 西门子 PLC 通信	92
1.3.2 工业机器人工作站	14	3.3 通信知识拓展	100
1.3.3 工业机器人应用行业	17	3.3.1 设置通信快捷键	100
1.4 工业机器人人才需求分析	18	3.3.2 关联系统控制信号	101
1.4.1 工业机器人岗位需求现状	18	3.3.3 紧凑型控制柜端口连接	104
1.4.2 工业机器人的知识基础	19	3.3.4 通信接线实例	106
本章小结	20	3.3.5 I/O 信号详细说明	106
本章练习	20	本章小结	107
第 2 章 工业机器人操作基础	21	本章练习	108
2.1 新机调试	22	第 4 章 工业机器人数据	109
2.1.1 检查和安装	22	4.1 数据类型	110
2.1.2 示教器使用	27	4.1.1 数据存储类型	110
2.1.3 开/关机与设置	34	4.1.2 常用数据类型	112
2.1.4 保养与安全	37	4.2 数据建立与特殊数据赋值	120
2.2 手动操作	38	4.2.1 数据建立	121
2.2.1 机器人运动方式	38	4.2.2 特殊数据赋值	122
2.2.2 手动控制	39	本章小结	124
2.2.3 快捷控制	43	本章练习	124
2.2.4 设备维护	45	第 5 章 工业机器人编程基础	125
2.3 仿真软件	50	5.1 建立基础数据	126
2.3.1 基本功能	50	5.1.1 建立工具坐标系	126
2.3.2 RobotStudio 简介	51	5.1.2 建立工件坐标系	132
2.3.3 新建机器人工作站	53	5.1.3 建立载荷数据	135
2.3.4 手动操纵机器人	62	5.2 RAPID 程序	137
2.3.5 轨迹编程	65		

5.2.1 程序架构	137	7.1.3 生成运行轨迹	197
5.2.2 程序分类	137	7.1.4 调整轨迹参数	200
5.2.3 建立程序	140	7.1.5 离线编程总结	210
5.3 指令	142	7.1.6 离线编程辅助	210
5.3.1 基本指令	143	7.2 自定义机器人工具	214
5.3.2 数据运算指令	146	7.2.1 设定工具原点	214
5.3.3 程序控制指令	146	7.2.2 创建工具坐标系	217
5.3.4 机器人运动指令	151	7.2.3 创建工具	219
5.3.5 运动速度控制指令	158	7.2.4 安装工具	221
5.3.6 功能	160	7.3 事件管理器	222
5.4 编程实例	161	7.3.1 工作站编程	222
5.4.1 逻辑程序实例	162	7.3.2 工具姿态仿真	235
5.4.2 运动程序实例	163	7.4 Smart 组件	251
5.5 编程操作技巧	167	7.4.1 创建物料输送设备	251
5.5.1 导入与保存程序模块	167	7.4.2 创建动态工具	264
5.5.2 导入 EIO 文件	168	7.4.3 设置 Smart 组件与机器人的连接	278
5.5.3 调用带参数的例行程序	169	7.5 导轨和变位机应用	285
本章小结	170	7.5.1 导轨应用	285
本章练习	170	7.5.2 变位机应用	289
第 6 章 工业机器人高级编程	171	7.6 工业机器人在线编程与控制	295
6.1 中断与事件程序	172	7.6.1 建立连接	295
6.1.1 中断	172	7.6.2 获取权限	297
6.1.2 事件程序	174	7.6.3 备份与恢复	298
6.2 错误处理与轨迹限速	176	7.6.4 在线编程	299
6.2.1 错误处理	176	7.6.5 配置信号	300
6.2.2 轨迹限速	178	7.6.6 文件传送	303
6.3 区域监控与关节轴限制	179	7.6.7 在线监控	303
6.3.1 区域监控	179	7.6.8 示教器权限	305
6.3.2 关节限制	184	本章小结	307
6.3.3 信号调用程序	185	本章练习	307
6.4 奇异点处理与多任务	186	第 8 章 搬运工作站	309
6.4.1 奇异点处理	186	8.1 任务介绍	310
6.4.2 多任务	188	8.2 知识准备	311
本章小结	191	8.2.1 RobotStudio 软件相关操作	311
本章练习	192	8.2.2 注释行	314
第 7 章 仿真软件高级应用	193	8.2.3 计时指令	314
7.1 离线轨迹编程	194	8.3 任务实施	317
7.1.1 离线编程简介	194	8.3.1 解包工作站	317
7.1.2 搭建虚拟工作站	196	8.3.2 信号的配置与关联	319

8.3.3 配置工业机器人数据321

8.3.4 编辑程序323

8.3.5 示教与调试329

8.3.6 注意事项332

本章小结333

本章练习333

第 9 章 机床上下料工作站.....335

9.1 任务介绍336

9.2 知识准备336

9.2.1 运动控制函数 RelTool336

9.2.2 位置和角度数据读取函数336

9.2.3 软浮动功能337

9.2.4 安全点检测程序338

9.3 任务实施340

9.3.1 信号的配置与关联340

9.3.2 配置工业机器人数据342

9.3.3 编辑程序343

9.3.4 示教目标点351

本章小结354

本章练习354

第 10 章 码垛工作站.....355

10.1 任务介绍356

10.2 知识准备357

10.2.1 I/O 信号别名操作.....357

10.2.2 偏移函数 Offs357

10.3 任务实施358

10.3.1 信号的配置与关联358

10.3.2 配置工业机器人数据361

10.3.3 编辑程序362

10.3.4 示教与调试367

10.3.5 注意事项369

本章小结369

本章练习370

第 11 章 视觉分拣工作站.....371

11.1 任务介绍372

11.2 知识准备373

11.2.1 智能相机373

11.2.2 套接字通信374

11.2.3 视觉软件编程375

11.3 任务实施385

11.3.1 信号的配置与关联385

11.3.2 配置工业机器人数据387

11.3.3 编辑程序389

11.3.4 示教与调试397

本章小结399

本章练习399

附录 几种常用的 ABB 标准 I/O 板卡...400

参考文献405

第1章 工业机器人概述



本章目标

- 了解工业机器人的发展背景、概念和优势
- 掌握工业机器人的基础知识
- 掌握工业机器人应用的相关知识
- 了解工业机器人人才需求分析相关内容



现代机器人可分为工业机器人、服务机器人和特种机器人三种。其中，工业机器人是工业领域中机器人的统称，是现代机器人产业的一个重要分支，世界上诞生的第一台机器人就是工业机器人。近年来，虽然服务机器人和特种机器人市场发展势头良好，但其市场份额和普及程度仍然无法与发展成熟的工业机器人相比。

本章主要介绍工业机器人的发展背景、概念、结构、技术参数等基础知识，并阐述了工业机器人的知识体系、工业机器人的应用以及行业人才需求情况等。

1.1 工业机器人简介

自 20 世纪 60 年代诞生以来，工业机器人即被广泛用于规模化制造中重复、单调的工作。随着技术的迅速发展，现代工业机器人作为高度智能且可靠的标准自动化执行设备，是智能制造的“肌肉”，在智能制造时代的工业生产中起着不可或缺的作用。

1.1.1 发展历史

1959 年，乔治·德沃尔和约瑟·英格柏格发明了世界上第一台工业机器人，后命名为 Unimate(尤尼梅特)，意为“万能自动”，如图 1-1 所示。

1973 年，德国库卡公司(KUKA)将其使用的 Unimate 机器人改造为第一台可量产并可大规模使用的工业机器人，命名为 FAMULUS，这是世界上第一台机电驱动的六轴机器人。1974 年，瑞典通用电机公司(ASEA, ABB 公司的前身)开发出世界第一台由微处理器控制的工业机器人 IRB 6，如图 1-2 所示。

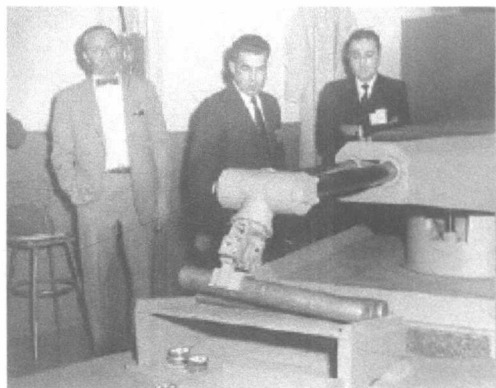


图 1-1 世界首台工业机器人 Unimate

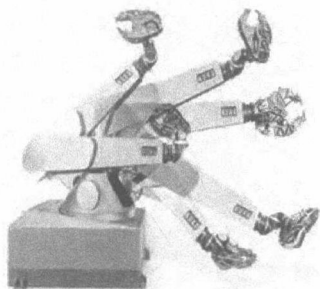


图 1-2 FAMULUS 与 IRB 6

1978 年，美国 Unimation 公司推出了应用于通用汽车装配线的通用工业机器人



(Programmable Universal Machine for Assembly, PUMA), 标志着工业机器人技术已经完全成熟, 如图 1-3 所示。PUMA 至今仍然工作在工厂第一线。

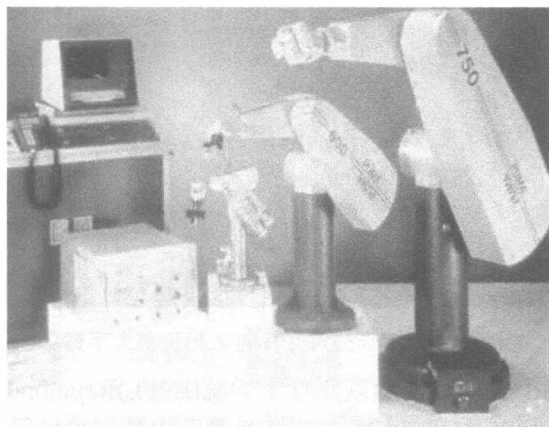


图 1-3 Unimation 公司的通用工业机器人

1978 年, 日本山梨大学(University of Yamanashi)的牧野洋(Hiroshi Makino)发明了选择顺应性装配机器人手臂(Selective Compliance Assembly Robot Arm, SCARA)。该手臂具有四个轴和四个运动自由度(包括 X、Y、Z 方向上的平动自由度和绕 Z 轴的转动自由度), 如图 1-4 所示。

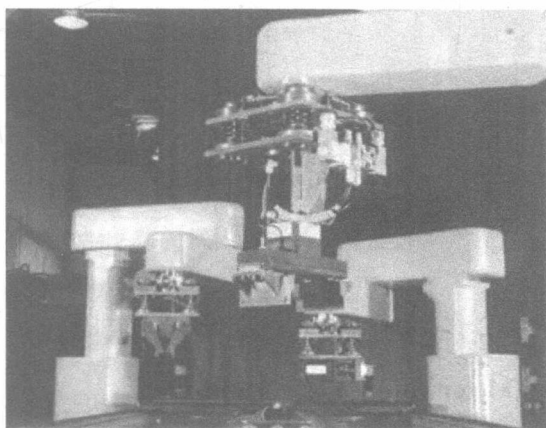


图 1-4 SCARA 原型机

SCARA 机器人有三个旋转关节, 适合在平面内进行定位和定向, 且在 Z 轴方向上具有良好的刚度, 因此特别适合装配工作。SCARA 的另一个特点是其串接的两杆结构, 该结构类似人的手臂, 可以伸进有限空间中作业并收回, 非常适合搬运和取放物件。

1979 年, 日本不二越株式会社(Nachi)研制出第一台电机驱动的电焊机器人, 开创了电力驱动机器人的新纪元, 机器人从此告别液压驱动时代。

1985 年, 德国库卡公司(KUKA)开发出世界第一款 Z 形机器人手臂, 该手臂摒弃了传统工业机器人的平行四边形造型, 可实现 6 个自由度的运动维度(3 个平移运动和 3 个旋转运动), 大大节省了制造工厂的场地空间, 如图 1-5 所示。

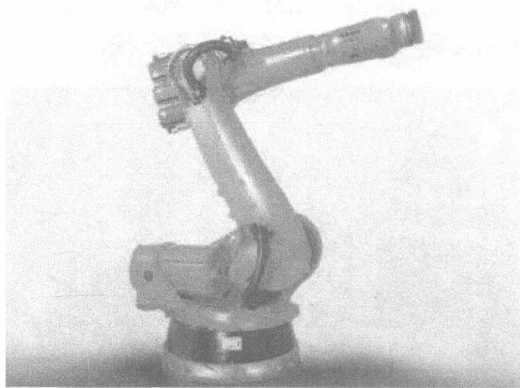


图 1-5 库卡公司开发的 Z 形机器人手臂

1998 年,瑞典 ABB 公司在洛桑联邦理工学院(EPFL)ReymondClavel 教授发明的三角洲机器人的基础上,开发出灵手(FlexPicker)机器人,它是当时世界上速度最快的并联机器人。利用图像技术,灵手每分钟能抓取 120 样物件,并能以 10 米/秒的速度释放物件,如图 1-6 所示。

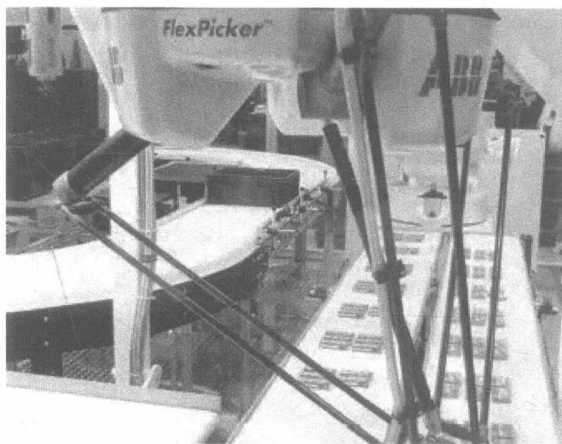


图 1-6 瑞典 ABB 公司开发的“灵手”机器人

2004 年,日本安川(Motoman)机器人公司开发改进了机器人控制系统(NX100),该系统能够同步控制四台机器人,最多达 38 个关节轴。NX100 机器人控制系统允许在触摸屏上进行示教编程,并使用基于 Windows CE 的操作系统,如图 1-7 所示。

如今,工业机器人已经发展成为一个相当庞大的产业,除老牌的工业机器人“四大家族”(瑞士 ABB、日本发那科、日本安川、德国库卡)以外,国内外的工业机器人厂商可谓百花齐放。目前,市面上的主要机器人品牌如图 1-8 所示。



图 1-7 安川公司应用 NX100 系统的机器人



工业机器人品牌分类



图 1-8 国内外主流工业机器人品牌一览

1.1.2 概念及分类

根据国际标准化组织(ISO)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机械手,这种机械手具有几个轴,能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置,以执行种种任务”。

中国科学家对机器人的定义是:“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”。

综上所述,工业机器人是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械装置等高新技术的产物,是技术密集度及自动化程度很高的典型机电一体化加工设备。

按照结构不同,工业机器人可以分成不同类型,最常用的几种如图 1-9 所示。



图 1-9 工业机器人主要种类



1.2 工业机器人基础知识

相比于市场上形态各异、功能复杂的服务机器人,工业机器人因其特定的应用场景,在结构、参数与形态等方面都有自身的特殊性。

1.2.1 工业机器人的结构

工业机器人由机器人本体和控制系统两部分组成。其中,机器人本体类似人的手臂和手腕;控制系统包含集成于控制柜中的控制软件和存储、运算单元等硬件,以及外部的示教器,如图 1-10 所示。

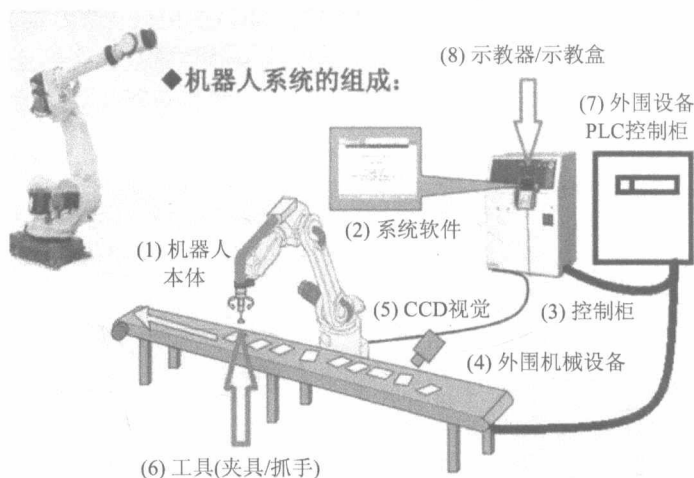


图 1-10 工业机器人系统应用的组成

下面重点介绍工业机器人的机械本体和控制系统。

1. 机械本体

常用的工业机器人的机械本体可以理解为由手部、腕部、手臂、腰部和底座构成的一个机械臂,由若干个关节(通常是 4~6 个)组成。每个关节由一个伺服系统控制,多个关节的运动需要各个伺服系统协同工作。在末端关节装配上专用工具后,即可执行各种抓取动作和操作作业。

工业机器人机械本体的核心部件包含以下三个部分。

1) 本体结构件

工业机器人机械本体主要由铸造及机加工工艺铸造,材料包括:铸铁、铸钢、铝合金、工程塑料、碳纤维等。其主要结构件如图 1-11 所示。

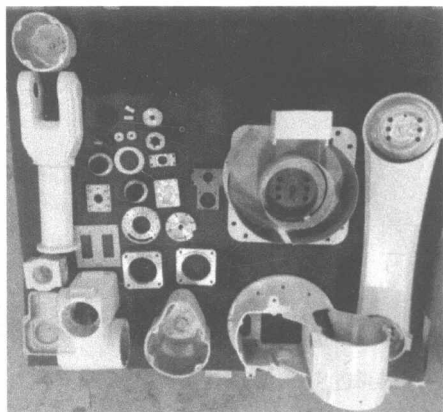


图 1-11 机器人本体结构拆解零件



机器人本体结构由以下几部分组成:

- ✧ 底座: 机械本体的基础, 起支撑作用, 通常固定在机器人操作平台或者移动设备上。
- ✧ 腰部: 机器人本体与底座连接的关节轴部件, 用来支撑手臂及其他机构的运动。
- ✧ 手臂: 机器人的主体, 是大臂和小臂的统称, 用来支撑腕部和工具, 使手部中心点能按特定的轨迹运动。
- ✧ 腕部: 连接手臂和工具, 用来调整工具在空间的位置, 或者更改工具和所夹持工件的姿态。
- ✧ 手部: 机器人的抓取组件, 用来抓取工件。根据抓取方式可分为夹持类和吸附类两种, 也可以进一步细分为夹钳式、弹簧夹持式、气吸式、磁吸式等多种。

2) 伺服电机

伺服电机在机器人中用作执行单元, 分为交流和直流两种, 其中交流伺服电机在机器人行业中应用最为广泛, 约占整个行业的 65%。伺服电机与伺服驱动器如图 1-12 所示。

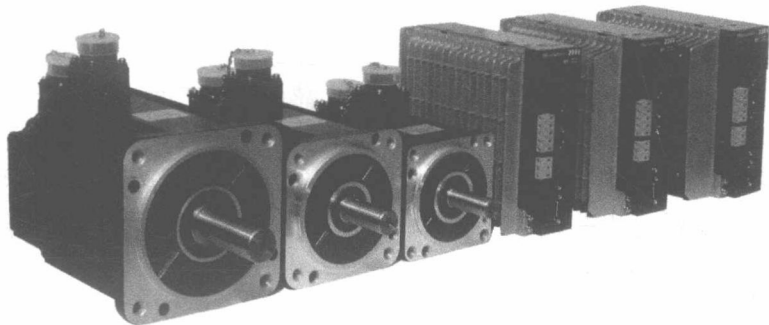


图 1-12 伺服电机与伺服驱动器

3) 减速机

减速机用来精确控制机器人动作, 传输更大的力矩。工业机器人最常用的减速机分为两种:

- ✧ 安装在机座、大臂、肩膀等重负载位置的 RV 减速机, 如图 1-13 所示。
- ✧ 安装在小臂、腕部或手部等轻负载位置的谐波减速机。

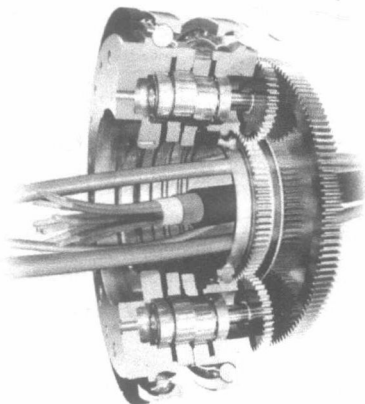


图 1-13 RV 减速机



2. 控制系统

机器人控制系统是机器人的重要组成部分，用于控制机器人各关节的位置、速度和加速度等参数，使机器人的工具能以指定的速度、按照指定的轨迹到达目标位置，并完成特定任务。

工业机器人的控制系统可分为控制器和控制软件两部分。控制器指的是控制系统的硬件部分，通常包括示教器、控制单元、运动控制器、存储单元、通信接口和人机交互模块等。控制器决定了机器人性能的优劣，是各大工业机器人厂商的核心技术，基本由厂商控制。而控制器中内置的控制软件是在控制器的结构基础上开发的，旨在为用户提供有限制的二次开发包，供用户进行基本功能的二次开发。

控制系统硬件成本仅占机器人总成本的 10%~20%，但软件部分却承担着机器人大脑的职责。机器人的硬件零部件类似，采购成本也相似，但不同品牌机器人的精度和速度各不相同，根本原因是机器人控制系统对零部件的驾驭程度与效率的不同，因此控制系统是各大机器人厂商的核心竞争力所在。目前，全球四大机器人厂商均使用自主研发的控制系统，可见其重要性。有些二级机器人服务公司专门生产机器人控制系统，比如奥地利的 keba 控制系统以及我国的固高控制系统等。

控制系统的基本功能包括示教、存储、通信、感知等，下面分别进行介绍：

(1) 示教功能。工业机器人的示教功能通常需要使用示教器。示教器是一种手持式硬件装置，是标准的机器人调试设备，也是控制系统的重要组成部分。使用示教器，可以手动控制机器人、调整机器人的姿态、修改并记录机器人的运动参数以及编写机器人程序。几种不同品牌机器人的示教器如图 1-14 所示。

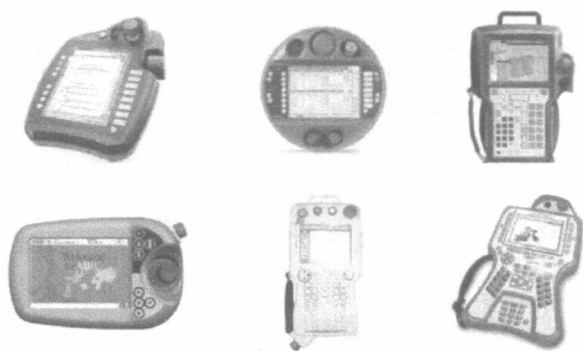


图 1-14 常见的工业机器人示教器

(2) 通信功能。机器人可以通过通信接口和网络接口与外围设备通信，从而根据外围设备的不同信息来控制机器人的运动。通信接口是机器人与其他设备进行信息交换的接口，通常包括串行接口、并行接口等。网络接口包括以太网 Ethernet 接口和现场总线 Fieldbus 接口：Ethernet 接口允许机器人采用 TCP/IP 协议实现多台机器人之间或机器人与计算机之间的数据通信；Fieldbus 接口则支持 Devicenet、Profibus-DP、ABRemoteI/O 等现场总线协议。

(3) 感知功能。为提高工业机器人对环境的适应能力，大多数现代工业机器人都拥有传感器接口。与人类有感官一样，机器人能通过各种类型的传感器感知外界环境，并针对