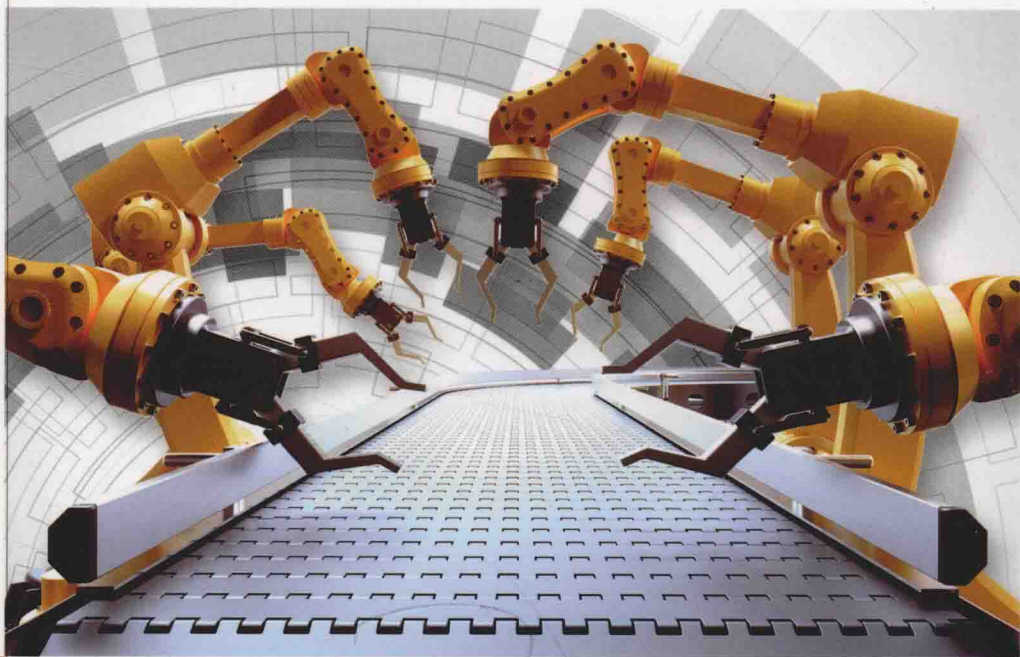


邓三鹏 周旺发 祁宇明◎主编
孙立宁◎主审



“十三五”智能制造高级应用型人才培
养规划教材

ABB工业机器人 编程与操作

ABB GONGYE JIQIREN
BIANCHENG YU CAOZUO



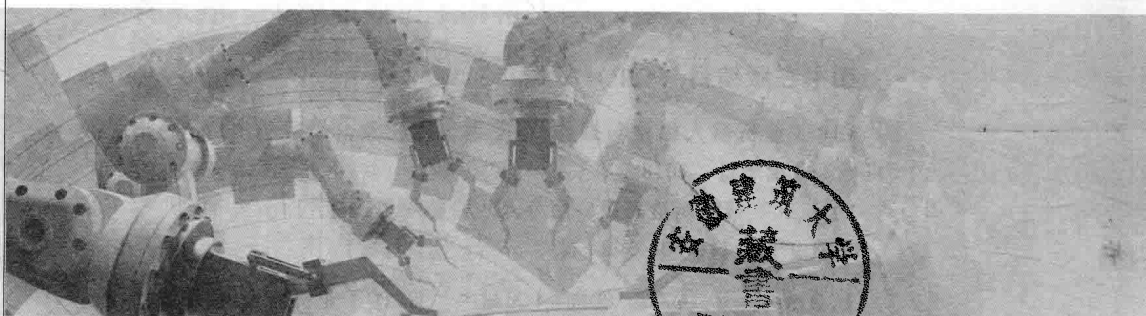
 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



书内扫码获取资源

“十三五”智能制造高级应用型人才培养规划教材

ABB工业机器人 编程与操作



主编 邓三鹏 周旺发 祁宇明
参编 郝帅 李诚 王宏 王哲 田海一 燕居怀
张鹏 张杰 陈志军 关天许 李宗强 宗冬芳
傅凯 潘明来
主审 孙立宁

本书由长期从事机器人技术教学的一线教师和企业应用工程师依据其在机器人教学、科研、技能鉴定和竞赛方面的丰富经验编写而成。本书从工业机器人认知, 工业机器人的基本操作, ABB RobotStudio 离线编程与操作, 工业机器人搬运、涂胶装配、码垛、焊接编程与操作, ABB 机器人工业网络通信 8 个项目来讲述工业机器人的编程与操作技能, 按照“项目导入、任务驱动”的理念精选教学内容, 内容全面、综合、深入浅出、实操性强, 每个项目均含有典型的实施案例讲解, 兼顾工业机器人应用的实际情况和发展趋势。编写中力求做到“理论先进, 内容实用, 操作性强, 学以致用”, 突出实践能力和创新素质的培养, 是一本从理论到实践, 再从实践到理论全面介绍工业机器人编程与操作技能的教科书。

本书可作为工业机器人技术、机电一体化技术、电气自动化技术和机械制造与自动化等专业教材, 也可作为各类机器人技术的培训教材, 还可作为从事工业机器人操作、编程、设计和维修等工作的工程技术人员的参考书。

本书配有电子课件, 凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话: 010-88379375。

图书在版编目 (CIP) 数据

ABB 工业机器人编程与操作/邓三鹏, 周旺发, 祁宇明主编. —北京: 机械工业出版社, 2018. 2

“十三五”智能制造高级应用型人才培养规划教材

ISBN 978-7-111-60143-2

I. ①A… II. ①邓… ②周… ③祁… III. ①工业机器人-程序设计-教材 IV. ①TP242. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 122068 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: 薛礼 责任编辑: 薛礼 责任校对: 王欣

封面设计: 鞠杨 责任印制: 常天培

北京铭成印刷有限公司印刷

2018 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13. 25 印张·323 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-60143-2

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

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版



邓三鹏（1978—），教授，博士，博士生导师，天津职业技术师范大学机器人及智能装备研究所所长，机电工程系主任，天津市特聘教授青年学者，天津市机器人学会常务副会长兼秘书长，天津市“131”创新型人才，天津市高校中青年骨干创新人才，天津市智能机器人技术及应用高层次创新创业团队负责人，日本三重大学访问学者，中国自动化学会机器人专业委员会委员，中国机械工程学会机床专业委员会委员，中国机械工业教育协会高等学校机电类学科教学委员会委员，全国职业院校技能大赛“工业机器人技术应用”“数控机床装调、维修与升级改造”赛项专家组组长，一带一路暨金砖国家技能发展与技术创新大赛“移动机器人”“工业机器人装调维修技术”赛项专家组组长，荣获天津市科技进步奖3项、教学成果奖2项，承担省部级以上课题10余项，授权专利50余项，发表论文100余篇，主编教材11部，其中国家级规划教材1部。研究方向为机器人技术及应用、智能制造装备设计及工程应用。

E-mail: 37003739@qq.com

Mobile: 18920108345

“十三五” 智能制造高级应用型人才培养规划教材 编审委员会

- 主任委员：**孙立宁 苏州大学机电工程学院院长
陈晓明 全国机械职业教育教学指导委员会主任
- 副主任委员：**曹根基 全国机械职业教育教学指导委员会智能制造专指委主任
苗德华 天津职业技术师范大学原副校长
邓三鹏 天津职业技术师范大学机器人及智能装备研究所所长
- 秘书长：**邓三鹏 天津职业技术师范大学
- 秘书：**薛礼 权利红 王 铎
- 委员：**(排名不分先后)
- 杜志江 哈尔滨工业大学
禹鑫燧 浙江工业大学
陈国栋 苏州大学
祁宇明 天津职业技术师范大学
刘朝华 天津职业技术师范大学
蒋永翔 天津职业技术师范大学
陈小艳 常州机电职业技术学院
戴欣平 金华职业技术学院
范进桢 宁波职业技术学院
金文兵 浙江机电职业技术学院
罗晓晔 杭州科技职业技术学院
周 华 广州番禺职业技术学院
许怡赦 湖南机电职业技术学院
龙威林 天津现代职业技术学院
高月辉 天津现代职业技术学院
高 强 天津渤海职业技术学院
张永飞 天津职业大学
魏东坡 山东华宇工学院
柏占伟 重庆工程职业技术学院
谢光辉 重庆电子工程职业技术学院
周 宇 武汉船舶职业技术学院
何用辉 福建信息职业技术学院
张云龙 包头轻工职业技术学院
张 廷 呼伦贝尔职业技术学院
于风雨 扎兰屯职业技术学院
吕世霞 北京电子科技职业学院
梅江平 天津市机器人产业协会秘书长
王振华 江苏汇博机器人技术股份有限公司总经理
周旺发 天津博诺智创机器人技术有限公司总经理
曾 辉 埃夫特智能装备股份有限公司副总经理

序

制造业是实体经济的主体，是推动经济发展、改善人民生活、参与国际竞争和保障国家安全的根本所在。纵观世界强国的崛起，都是以强大的制造业为支撑的。在虚拟经济蓬勃发展的今天，世界各国仍然高度重视制造业的发展。制造业始终是国家富强、民族振兴的坚强保障。

当前，新一轮科技革命和产业变革在全球范围内蓬勃兴起，创新资源快速流动，产业格局深度调整，我国制造业迎来“由大变强”的难得机遇。实现制造强国的战略目标，关键在人才。在全球新一轮科技革命和产业变革中，世界各国纷纷将发展制造业作为抢占未来竞争制高点的重要战略，把人才作为实施制造业发展战略的重要支撑，加大人力资本投资，改革创新教育与培训体系。当前，我国经济发展进入新时代，制造业发展面临着资源环境约束不断强化、人口红利逐渐消失等多重因素的影响，人才是第一资源的重要性更加凸显。

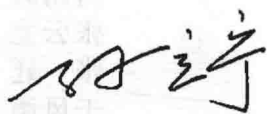
《中国制造 2025》第一次从国家战略层面描绘建设制造强国的宏伟蓝图，并把人才作为建设制造强国的根本，对人才发展提出了新的更高要求。提高制造业创新能力，迫切要求培养具有创新思维和创新能力的拔尖人才、领军人才；强化工业基础能力，迫切要求加快培养掌握共性技术和关键工艺的专业人才；信息化与工业化深度融合，迫切要求全面增强从业人员的信息技术运用能力；发展服务型制造业，迫切要求培养更多复合型人才进入新业态、新领域；发展绿色制造，迫切要求普及绿色技能和绿色文化；打造“中国品牌”“中国质量”，迫切要求提升全员质量意识和素养等。

哈尔滨工业大学在 20 世纪 80 年代研制出我国第一台弧焊机器人和第一台点焊机器人，30 多年来为我国培养了大量的机器人人才；苏州大学在产学研一体化发展方面成果显著；天津职业技术师范大学从 2010 年开始培养机器人职教师资，秉承“动手动脑，全面发展”的办学理念，进行了多项教学改革，建成了机器人多功能实验实训基地，并开展了对外培训和鉴定工作。这套规划教材是结合这些院校人才培养特色以及智能制造类专业特点，以“理论先进，注重实践，操作性强，学以致用”为原则精选教材内容，依据在机器人、数控机床的教学、科研、竞赛和成果转化等方面的丰富经验编写而成的。其中有些书已经出版，具有较高的质量，未出版的讲义在教学和培训中经过多次使用和修改，亦收到了很好的效果。

我们深信，这套丛书的出版发行和广泛使用，不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作，而且对智能制造类专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然，由于智能制造技术发展非常迅速，编者掌握材料有限，本套丛书还需要在今后的改革实践中获得进一步检验、修改、锤炼和完善，殷切期望同行专家及读者们不吝赐教，多加指正，并提出建议。

苏州大学教授、博导
教育部长江学者特聘教授
国家杰出青年基金获得者
国家万人计划领军人才
机器人技术与系统国家重点实验室副主任
国家科技部重点领域创新团队带头人
江苏省先进机器人技术重点实验室主任



2018 年 1 月 6 日

Preface 前言

2015年5月8日,国务院印发了《中国制造2025》,明确将工业机器人列入大力推动、突破发展的十大重点领域之一;工业和信息化部《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》指出,到2020年,要建立完善的智能制造装备产业体系,产业销售收入超过3万亿元;工业和信息化部装备工业司在《〈中国制造2025〉规划系列解读之推动机器人发展》中明确我国未来10年机器人产业的发展重点主要为两个方向:一是开发工业机器人本体和关键零部件系列化产品,推动工业机器人产业化应用,满足我国制造业转型升级的迫切需求;二是突破智能机器人关键技术,开发一批智能机器人,积极应对新一轮科技革命和产业变革的挑战。2016年,教育部、人力资源和社会保障部和工业和信息化部联合印发的《制造业人才发展规划指南》指出,到2020年,高档数控机床和机器人行业人才需求总量750万人,人才缺口300万人,形势严峻。正是基于产业对于机器人人才的迫切需求,中、高职院校和应用型本科院校纷纷开始设立机器人相关专业。

本书由长期从事工业机器人技术教学的一线教师和企业应用工程师依据其在机器人教学、科研、工程应用、技能鉴定和竞赛方面的丰富经验编写而成。ABB工业机器人在国内有较高的市场占有率,本书以ABB工业机器人为例,结合工业机器人多功能综合实训系统(BNRT-MTS120),通过工业机器人认知,工业机器人的基本操作,ABB RobotStudio 离线编程与操作,工业机器人搬运、涂胶装配、码垛、焊接编程与操作、ABB 机器人工业网络通信8个项目,讲述了工业机器人的编程与操作技能,按照“项目导入、任务驱动”的理念精选教学内容,内容全面、综合、深入浅出、实操性强,每个项目均含有典型的实施案例讲解,兼顾工业机器人应用的实际情况和发展趋势。编写中力求做到“理论先进,内容实用、操作性强,学以致用”,突出实践能力和创新素质的培养。

本书由邓三鹏、周旺发、祁宇明任主编,参与编写工作的有天津职业技术师范大学邓三鹏、郝帅(项目一、二、八)、祁宇明(项目三、四),天津博诺机器人技术有限公司周旺发(项目五、六、七),重庆工程职业技术学院李诚、王宏(项目三),天津现代职业技术学院王哲、田海一(项目四),威海海洋职业学院燕居怀(项目五),毕节市财贸学校张鹏、张杰(项目六),阳江技师学院陈志军、关天许、李宗强(项目七),浙江交通技师学院宗冬芳、傅凯、潘明来(项目八)。天津职业技术师范大学机器人及智能装备研究所的部分研究生进行了素材收集、文字图片处理、实验验证、学习资源制作等辅助编写工作,他们是解俊强(项目一)、林伟民(项目二、五)、李柯(项目三)、郭文鑫(项目四、六)、郝帅(项目七)、董有为(项目八)。

本书得到了天津市人才发展特殊支持计划“智能机器人技术及应用”高层次创新创业团队项目,教育部、财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目(VTNE016)以及天津职业技术师范大学校级重点教改项目(JGZ2015-02)的资助。本书在编写过程中得到了全国机械职业教育教学指导委员会,天津市机器人学会,天津职业技术师范大学机器人及智能装备研究所、机电工程系,天津博诺机器人技术有限公司和天津博诺智创机器人技术有限公司的大力支持和帮助,在此深表谢意。本书承蒙苏州大学孙立宁教授细心审阅,提出许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中难免存在不妥之处,恳请同行专家和读者不吝赐教,批评指正,联系邮箱:37003739@qq.com。



2017年于天津

Contents 目录

序

前言

项目一

1 工业机器人认知	1
学习目标	1
工作任务	1
认识工业机器人	1
一、工业机器人的定义	1
二、工业机器人的产生与发展	2
三、工业机器人系统的组成	4
四、工业机器人的性能指标	6
五、工业机器人坐标系	7
问题探究 机器人的动作准确度该 从哪些方面提高	10
知识拓展 工业机器人的分类	11
评价反馈	14
练习与思考题	14

项目二

2 工业机器人的基本操作	15
学习目标	15
工作任务	15
实践操作	16
一、机器人手动操作的准备工作	16
二、工业机器人的手动操作	18
问题探究	29
一、工具数据 tooldata 的建立	29
二、工件坐标 wobjdata 的建立	30
三、有效载荷 loaddata 的设定	31
知识拓展 运动控制电动机及驱动	32
评价反馈	33
练习与思考题	33

项目三

3 ABB RobotStudio 离线编程 与操作	35
学习目标	35

工作任务	35
实践操作	35
一、知识储备	35
二、建立仿真工作站	39
三、机器人工作站建模	41
四、创建工业机器人系统	48
五、改变机器人位置的设定	50
六、关键程序数据的设定	53
七、Smart 组件的应用	60
八、机器人 I/O 配置与工作站逻辑的 设定	66
九、机器人 RAPID 程序的建立	70
问题探究 RobotStudio 与机器人的 连接	72
知识拓展	74
一、多品牌工业机器人离线仿真 软件——RoboDK	74
二、3D 智能型全方位数字化工厂仿真 软件——Visual Components	74
三、工业机器人模拟训练机	76
评价反馈	76
练习与思考题	77

项目四

4 工业机器人搬运编程与操作	78
学习目标	78
工作任务	78
实践操作	79
一、知识储备	79
二、运动规划	82
三、搬运任务	82
四、示教前的准备	82
五、建立程序	83
六、程序调试	90
问题探究	91
一、多种机器人手爪夹持形式	91

二、机器人手爪的功能要求	94
知识拓展 机器人助力机床上下料	95
评价反馈	96
练习与思考题	96

5 项目五 工业机器人涂胶装配编程与

操作	98
学习目标	98
工作任务	98
实践操作	100
一、知识储备	100
二、运动规划	101
三、涂胶装配任务	101
四、示教前的准备	102
五、建立程序	102
六、程序调试	116
问题探究	116
一、如何选择合适的涂胶机器人	116
二、如何选用胶体温度控制系统	116
三、如何构建胶体流量控制系统	116
知识拓展 涂胶机器人在艾瑞泽 7 车身上的应用	117
评价反馈	119
练习与思考题	119

6 项目六 工业机器人码垛编程与

操作	121
学习目标	121
工作任务	121
实践操作	122
一、知识储备	122
二、任务规划	123
三、码垛任务	123
四、示教前的准备	124
五、建立程序	125
六、程序调试	136
问题探究	137
一、码垛能力	137
二、可靠性和稳定性	137

知识拓展 机器人在物流系统中的 应用	137
评价反馈	139
练习与思考题	140

7 项目七 工业机器人焊接编程与

操作	141
学习目标	141
工作任务	141
实践操作	143
一、知识储备	143
二、运动规划	144
三、焊接任务	144
四、示教前的准备	145
五、建立程序	146
六、程序调试	153
问题探究	153
一、常用焊接数据	153
二、中断程序使用说明	154
三、清枪装置	154
四、变位机	155
知识拓展 全球瞩目的全铝合金车 身的生产——特斯拉 Model S	155
评价反馈	157
练习与思考题	158

8 项目八 ABB 机器人工业网络通信

学习目标	159
工作任务	159
实践操作	160
一、博途软件的网络通信	160
二、智能相机的应用	163
三、Anybus 模块应用	172
四、变位机的应用	186
问题探究	196
一、伺服无法上电	197
二、模式切换	197
三、机器人程序错误	197

四、电动机关闭	199
知识拓展	199
一、智能相机	199
二、DeviceNet 现场总线	200
三、工业以太网	201

评价反馈	202
练习与思考题	202
参考文献	204

项目一 工业机器人认知



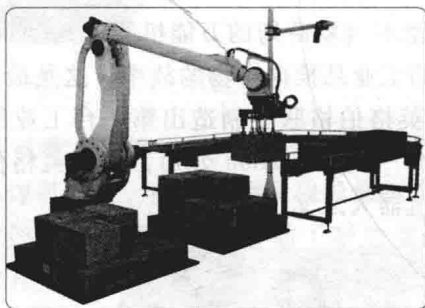
项目一辅助资料

学习目标

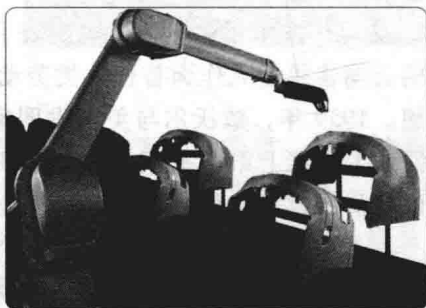
1. 了解工业机器人的工作原理、系统组成及基本功能。
2. 掌握工业机器人的性能指标。

工作任务

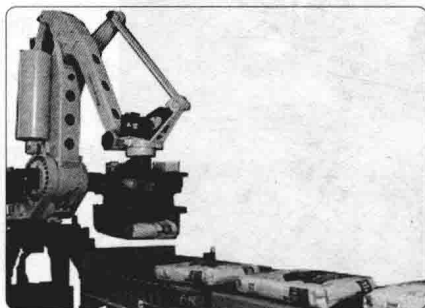
认识工业机器人。工业机器人一般指用于机械制造业中代替人完成具有大批量、高质量要求的工作（如汽车制造、摩托车制造、舰船制造、家电产品、化工等行业自动化生产线中的点焊、弧焊、喷漆、切割、电子装配及物流系统中的搬运、包装、码垛等作业）的机器人。工业机器人的典型应用如图 1-1 所示。



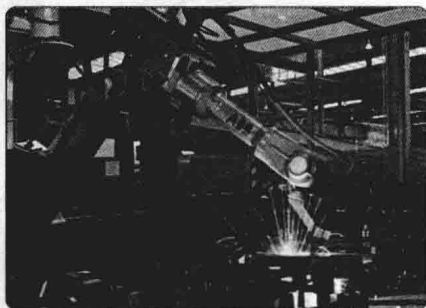
码垛



喷涂



搬运



焊接

图 1-1 工业机器人的典型应用

认识工业机器人

一、工业机器人的定义

工业机器人是机器人家族中的重要一员，也是目前在技术上发展最成熟、应用最广泛的一类机器人。世界各国科学家从不同角度给出的一些具有代表性的工业机器人定义如下：

美国工业机器人协会（RIA）将工业机器人定义为：一种用于移动各种材料、零件、工

具或专用装置的，通过程序动作来执行各种任务，并具有编程能力的多功能操作机。

日本工业机器人协会（JIRA）将工业机器人定义为：工业机器人是一种装备有存储器件和末端执行器的通用机器，它能够通过自动化的动作代替人类劳动。

我国将工业机器人定义为：一种自动化的机器，这种机器具备一些与人或者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。

国际标准化组织（ISO）将工业机器人定义为：工业机器人是一种能自动控制，可重复编程，多功能、多自由度的操作机，能搬运材料、工件或操持工具来完成各种作业。目前国际上一般遵循 ISO 的定义。

由以上定义不难发现，工业机器人具有以下四个显著特点。

- 1) 具有特定的机械结构，其动作机构具有类似于人或其他生物体的某些器官（如肢体、感官等）的功能。
- 2) 具有通用性，可从事多种工作，可灵活改变动作程序。
- 3) 具有不同程度的智能，如记忆、感知、推理、决策、学习等。
- 4) 具有独立性，完整的机器人系统在工作中可以不依赖于人的干预。

二、工业机器人的产生与发展

1920 年，捷克作家卡雷尔·恰佩克发表了剧本《罗萨姆的万能机器人》，剧中叙述了一个叫罗萨姆的公司将机器人作为替代人类劳动的工业品推向市场的故事，这是最早出现的机器人启蒙思想。1959 年，戴沃尔与美国发明家英格伯格联手制造出第一台工业机器人（图 1-2），随后创办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，被称为“工业机器人之父”。

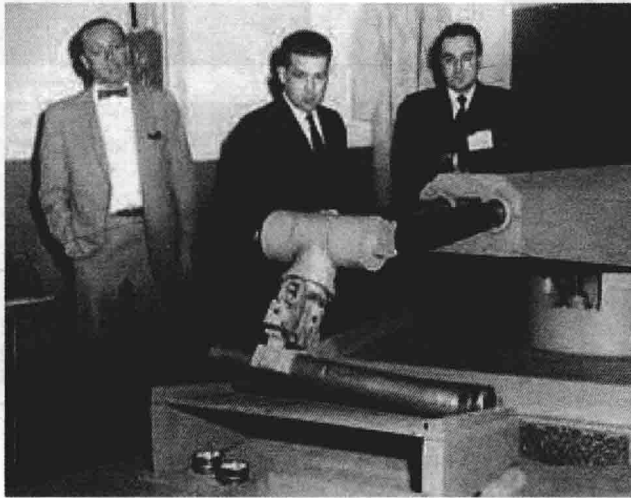


图 1-2 第一台工业机器人

1962 年，美国 AMF 公司生产出万能搬运（Verstran）机器人，与 Unimation 公司生产的万能伙伴（Unimate）机器人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。

1979 年，美国 Unimation 公司推出通用工业机器人 PUMA，如图 1-3 所示。这标志着工业机器人技术已经成熟。PUMA 至今仍然工作在生产第一线，许多机器人技术的研究都以该机器人为模型和对象。

1979 年，日本山梨大学牧野洋教授发明了平面关节型 SCARA 机器人，如图 1-4 所示。该型机器人在装配作业中得到了广泛应用。



图 1-3 PUMA 机器人

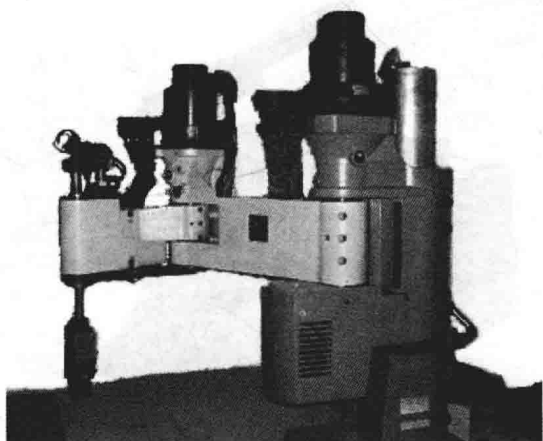


图 1-4 SCARA 机器人

1980 年被称为“机器人元年”，为满足汽车行业蓬勃发展的需要，这个时期开发出点焊机器人、弧焊机器人、喷涂机器人以及搬运机器人四大类型的工业机器人，其系列产品已经成熟并形成产业化规模，大大推动了制造业的发展。为了进一步提高产品质量和市场竞争力，又相继开发了装配机器人及柔性装配线。

进入 20 世纪 90 年代以后，装配机器人和柔性装配技术得到了广泛的应用，并进入了一个大发展时期。

2012 年，多家机器人著名厂商开发出双臂协作机器人，如 ABB 公司开发的 YuMi 双手臂工业机器人，如图 1-5 所示。它能够满足电子消费品行业对柔性和灵活制造的需求，未来也将逐渐应用于更多市场领域。现在工业机器人已发展成为一个庞大的家族，并与数控、可编程控制器一起成为工业自动化的三大技术支柱和基本手段，广泛应用于制造业的各个领域。

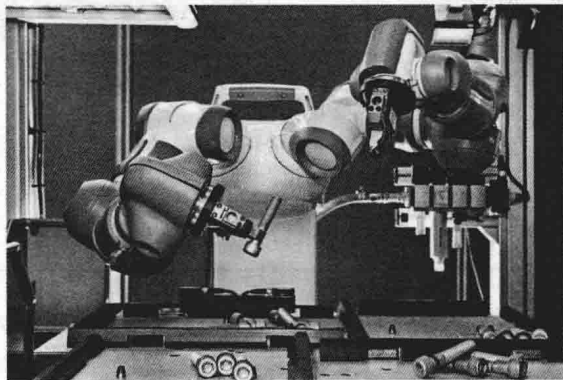


图 1-5 YuMi 机器人

三、工业机器人系统的组成

工业机器人系统主要由机器人本体、控制器和示教器组成，如图 1-6 所示。

1. 机器人本体

机器人本体主要由机械臂、驱动系统、传动单元和传感器等组成。

(1) 机械臂 机械臂包括基座、腰部、臂部（大臂和小臂）和腕部，如图 1-7 所示。



图 1-6 机器人系统

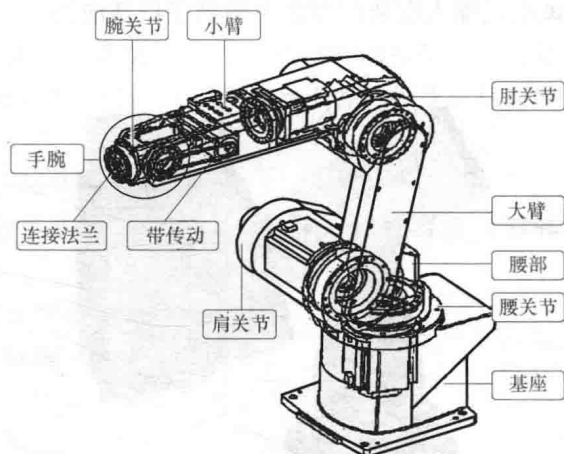


图 1-7 机械臂的基本结构

(2) 驱动系统 机器人驱动系统的作用是为执行元件提供动力，常用的驱动方式有液压驱动、气压驱动和电气驱动三种类型，见表 1-1。工业机器人多采用电气驱动方式，其中交流伺服电动机应用最广，且驱动器布置大都采用一个关节一个驱动器。

表 1-1 三种驱动方式的特点比较

特点 驱动方式	输出力	控制性能	维修使用	结构体积	使用范围	制造成本
液压驱动	液体压力大，可获得较大的输出力	油液压缩性微小，压力、流量均容易控制，可无级调速，反应灵敏，可实现连续轨迹控制	维修方便，液体对温度变化敏感，若油液泄漏易着火	在输出力相同的情况下，体积比气压驱动小	中、小型及重型机器人	液压元件成本较高，油路比较复杂
气压驱动	气体压力小，输出力较小，如需输出力较大时，其结构尺寸过大	可高速运行，冲击较重，精确定位困难。气体压缩性大，阻尼效果差，低速不易控制	维修简单，能在高温、粉尘等恶劣环境中使用，泄漏无影响	体积较大	中小型机器人	结构简单，工作介质来源方便，成本低
电气驱动	输出力中等	控制性能好，响应快，可精确定位，但控制系统复杂	维修使用较复杂	需要减速装置，体积小	高性能机器人	成本较高

(3) 传动单元 目前工业机器人广泛采用的机械传动单元是减速器，应用在关节型机器人上的减速器主要有两类：RV 减速器和谐波减速器。

1) RV 减速器主要由太阳轮、行星轮、转臂（曲柄轴）、转臂轴承、摆线轮、针齿、刚性盘与输出盘等零部件组成。具有较高的疲劳强度和刚度以及较长的寿命，回差精度稳定，高精度机器人传动多采用 RV 减速器。RV 减速器原理图如图 1-8 所示。



RV 减速器装调实训系统

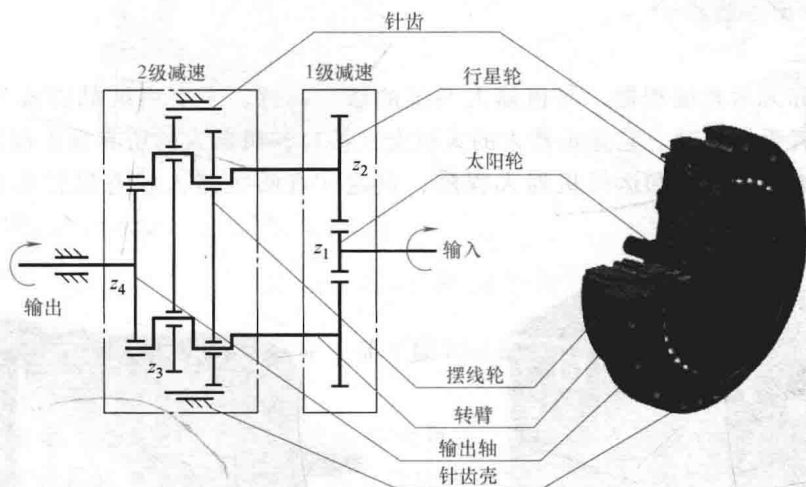


图 1-8 RV 减速器原理图

2) 谐波减速器通常由三个基本构件组成，包括一个有内齿的刚轮，一个工作时可产生径向弹性变形并带有外齿的柔轮和一个装在柔轮内部、呈椭圆形、外圈带有柔性滚动轴承的波发生器。在这三个基本结构中，可任意固定一个，其余的一个为主动件，一个为从动件。谐波减速器原理图如图 1-9 所示。

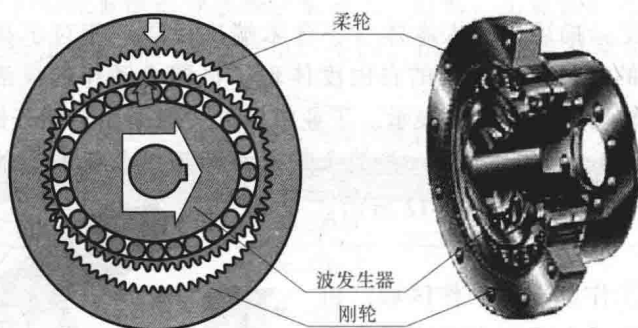


图 1-9 谐波减速器原理图

(4) 传感器 传感器处于连接外界环境与机器人的接口位置，是机器人获取信息的窗口。根据传感器在机器人上应用目的与使用范围的不同，将其分为两类：内部传感器和外部传感器。

1) 内部传感器。内部传感器用于检测机器人自身的状态，如测量回转关节位置的轴角编码器、测量速度以控制其运动的测速计。

2) 外部传感器。外部传感器用于检测机器人所处的环境和对象状况，如视觉传感器。

它可为高端机器人控制提供更多的适应能力，也给工业机器人增加了自动检测能力。外部传感器可进一步分为末端执行器传感器和环境传感器。

2. 控制器

工业机器人的控制器是机器人的大脑，控制器内部主要由主计算板、轴计算板、机器人六轴驱动器、串口测量板、安全面板、电容、辅助部件、各种连接线组成。控制器通过这些硬件和软件的结合来操作机器人，并协调机器人与其他设备之间的关系。图 1-10 所示为第二代 IRC5 紧凑型控制器。

3. 示教器

示教器又称为示教编程器，是机器人系统的核心部件，主要由液晶屏幕和操作按钮组成，可由操作者手持移动。它是机器人的人机交互接口，机器人的所有操作都是通过示教器来完成的，如编写、测试和运行机器人程序，设定、查阅机器人状态设置和位置等。ABB 示教器如图 1-11 所示。



图 1-10 IRC5 紧凑型控制器



图 1-11 ABB 示教器

四、工业机器人的性能指标

1. 自由度

机器人的自由度是指描述机器人本体（不含末端执行器）相对于基坐标系（机器人坐标系）进行独立运动的数目。机器人的自由度体现了机器人动作的灵活程度，一般以轴的直线移动、摆动或旋转动作的数目来表示。工业机器人一般采用空间开链连杆机构，其中运动副（转动副或移动副）常称为关节，关节个数通常即为工业机器人的自由度数，大多数工业机器人有 3~6 个自由度，如图 1-12 所示。

2. 工作空间

工作空间又称为工作范围、工作区域。机器人的工作空间是指机器人手臂末端或手腕中心（手臂或手部安装点）所能到达的所有点的集合，不包括手部本身所能到达的区域。由于末端执行器的形状和尺寸是多种多样的，因此为真实反映机器人的特征参数，工作空间是机器人未装任何末端执行器情况下的最大空间。机器人的外形尺寸和工作空间如图 1-13 所示。

工作空间的形状和大小是十分重要的，机

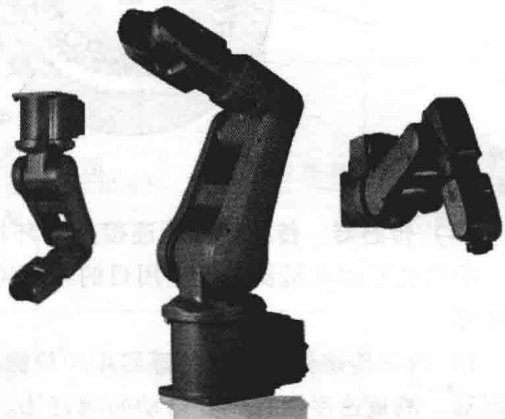


图 1-12 六自由度工业机器人

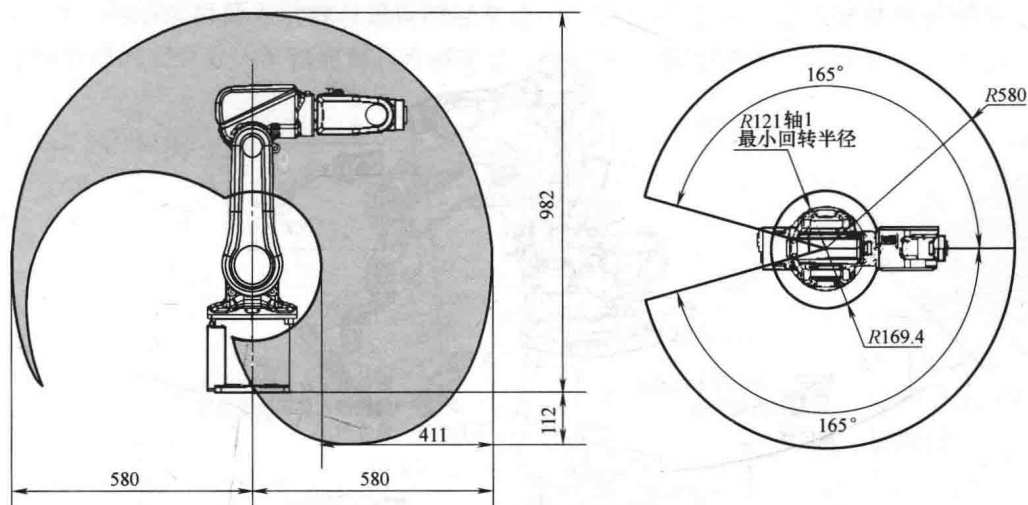


图 1-13 机器人的工作空间

器人在执行某个作业时，可能会因存在手部不能到达的作业死区而不能完成任务。

3. 负载

负载是指机器人在工作时能够承受的最大载重。如果将零件从一个位置搬至另一个位置，就需要将零件的重量和机器人手爪的重量计算在负载内。目前使用的工业机器人负载范围为 0.5~800kg。

4. 工作准确度

工业机器人的工作准确度是指定位准确度（也称为绝对准确度）和重复定位准确度。定位准确度是指机器人手部实际到达位置与目标位置之间的差异，用反复多次测试的定位结果的代表点与指定位置之间的距离来表示。重复定位准确度是指机器人重复定位手部于同一目标位置的能力，以实际位置值的分散程度来表示。目前，工业机器人的重复定位准确度可达 0.01~0.5mm。根据作业任务和末端持重的不同，机器人的重复定位准确度要求也不同，见表 1-2。

表 1-2 工业机器人典型应用的工作准确度

作业任务	额定负载/kg	重复定位准确度/mm
搬运	5~200	0.2~0.5
码垛	50~800	0.5
点焊	50~350	0.2~0.3
弧焊	3~20	0.08~0.1
喷涂	5~20	0.2~0.5
装配	2~5	0.02~0.03
	6~10	0.06~0.08
	10~20	0.06~0.1

五、工业机器人坐标系

ABB 工业机器人一般有四个坐标系，即大地坐标系、基坐标系、工具坐标系和工件坐