

# 工业机器人 产品应用实战

周国焯 常青 管小清 著



微信公众号: robotpartnerweixin

赠送书中相应工作站文件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 工业机器人产品应用实战

周国焯 常 青 管小清 著



机械工业出版社

本书从实用性出发, 聚焦 ABB 工业机器人在产品包装中的实际应用, 以搬运、装箱、码垛和拆垛 4 个典型的应用案例体现了工业机器人技术的应用特点。本书利用 ABB 机器人强大的虚拟仿真软件 RobotStudio 搭建虚拟工作站, 学习各类产品包装典型工作站搭建、机器人配置、调试和编程, 解决了在没有工业机器人本体和外围设备的情况下完成工业现场具体任务的问题。书中的任务对象大多来自实际的工业生产实践, 真实再现了产品包装生产现场的情境。本书配有含相应工作站文件的光盘, 供读者使用。本书适合从事工业机器人相关工作的技术人员以及工业机器人相关专业学生使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人产品应用实战/周国焯, 常青, 管小清著.

—北京: 机械工业出版社, 2019.7

ISBN 978-7-111-62831-6

I. ①工... II. ①周... ②常... ③管... III. ①工业机器人

IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 096509 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: 周国萍 责任编辑: 周国萍

责任校对: 佟瑞鑫 封面设计: 陈沛

责任印制: 郜敏

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2019 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.5 印张·292 千字

0 001—2 500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-62831-6

ISBN 978-7-89386-215-1 (光盘)

定价: 69.00 元 (含 1CD)

电话服务

客服电话: 010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

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)

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

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

# 前言

---

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，它能自动执行任务，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，也可以按照预先编好的程序运行，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。

在发达国家，工业机器人自动化生产线成套设备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。国外汽车、电子电器、工程机械等行业已经大量使用工业机器人自动化生产线，以保证产品质量，提高生产效率，同时避免了大量的工伤事故。全球诸多国家近半个世纪的工业机器人使用实践表明，工业机器人的普及是实现自动化生产、提高生产效率、推动企业和社会生产力发展的有效手段。

21世纪以来，机器人技术的应用开始从制造领域扩充到非制造领域，研究和发基于非结构环境、极限环境下的特种机器人技术已经成为主要方向。同时，机器人研究又不断向智能化、模块化、多功能化以及高性能、自诊断、自修复趋势发展，以适应市场对“敏捷制造”、多样化、个性化的需求，适应多变的机器人作业环境，向更大更宽广的制造与非制造领域进军。我国的工业机器人研究虽然起步晚，但是有着广阔的市场潜力，有着众多的人才和资源。

本书从实用性出发，聚焦 ABB 工业机器人在产品包装中的实际应用，以搬运、装箱、码垛和拆垛 4 个典型的应用案例体现了工业机器人技术的应用特点。本书利用 ABB 机器人强大的虚拟仿真软件 RobotStudio 搭建虚拟工作站，学习各类产品包装典型工作站搭建、机器人配置、调试和编程，解决了在没有工业机器人本体和外围设备的情况下完成工业现场具体任务的问题。书中的任务对象大多来自实际的工业生产实践，真实再现了产品包装生产现场的情境。本书配有含相应工作站文件的光盘，供读者使用。

本书由周国焯、常青和管小清著，具体分工如下：北京电子科技职业学院的周国焯编写了第 1 章和第 2 章，天津商业大学的常青编写了第 3 章和第 4 章，北京电子科技职业学院的管小清编写了第 5 章和第 6 章。

本书的内容适合从事工业机器人相关工作的技术人员以及工业机器人相关专业学生使用。由于著者的水平有限，难免出现疏漏，欢迎广大读者提出宝贵意见和建议。

作 者

# 目录

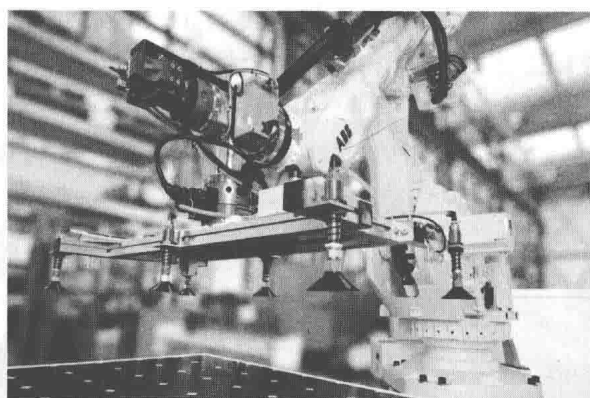
## 前言

<b>第 1 章 工业机器人综述</b> .....1	
1.1 工业机器人发展.....2	
1.2 工业机器人分类.....3	
1.3 工业机器人在包装行业的应用.....6	
1.4 ABB 机器人在中国的现状.....8	
1.5 本书中所使用的 ABB 工业机器人的主要型号与参数.....10	
1.6 安装工业机器人仿真软件 RobotStudio.....15	
<b>第 2 章 平板玻璃搬运</b> .....23	
2.1 学习目标.....24	
2.2 工作站描述.....24	
2.3 知识储备.....26	
2.3.1 I/O 板卡设置.....26	
2.3.2 数字 I/O 信号配置.....27	
2.3.3 常用指令与函数.....28	
2.4 工作站实施.....30	
2.4.1 解压工作站并仿真运行.....30	
2.4.2 机器人 I/O 设置.....32	
2.4.3 坐标系及载荷数据设置.....45	
2.4.4 基准目标点示教.....49	
2.4.5 程序解析.....52	
2.5 本章总结及课后练习.....55	
<b>第 3 章 婴儿奶粉装箱应用</b> .....57	
3.1 学习目标.....58	
3.2 工作站描述.....58	
3.3 知识储备.....60	
3.3.1 复杂程序数据赋值.....60	
3.3.2 转弯半径的选取.....61	
3.3.3 等待类指令的应用.....62	
3.3.4 机器人速度相关设置.....62	
3.3.5 CRobT 和 CJointT 读取当前位置功能.....64	
3.3.6 数值除法运算函数.....64	
3.4 工作站实施.....64	
3.4.1 解压工作站并仿真运行.....64	
3.4.2 机器人 I/O 设置.....66	
3.4.3 坐标系及载荷数据设置.....72	
3.4.4 基准目标点示教.....75	
3.4.5 程序解析.....79	
3.5 本章总结及课后练习.....85	
<b>第 4 章 瓶装矿泉水机器人码垛</b> ...87	
4.1 学习目标.....88	
4.2 工作站描述.....88	
4.3 知识储备.....90	
4.3.1 轴配置监控指令 ConfL.....90	
4.3.2 运动触发指令 TriggL.....90	
4.3.3 中断程序的用法.....91	
4.3.4 停止点数据 StoppointData..91	
4.4 工作站实施.....93	
4.4.1 解压工作站并仿真运行.....93	
4.4.2 机器人 I/O 设置.....95	
4.4.3 坐标系及载荷数据设置.....108	
4.4.4 基准目标点示教.....113	
4.4.5 程序解析.....118	
4.5 本章总结及课后练习.....128	
<b>第 5 章 行李箱工业机器人拆垛</b> ...131	
5.1 学习目标.....132	
5.2 工作站描述.....132	
5.3 知识储备.....134	
5.3.1 信号组的设置.....134	

5.3.2 数组的应用.....	135	5.5 本章总结及课后练习 .....	164
5.3.3 带参数的例行程序 .....	135	<b>第 6 章 工业机器人的发展前景 ...</b>	<b>165</b>
5.3.4 计时指令的应用 .....	136	6.1 工业机器人的发展趋势 .....	166
5.3.5 人机交互指令的应用 .....	136	6.2 工业机器人与传感器 .....	166
5.4 工作站实施.....	137	6.3 工业机器人与虚拟仿真 .....	169
5.4.1 解压工作站并仿真运行.....	137	6.4 工业机器人与人机协作 .....	173
5.4.2 机器人 I/O 设置.....	139	<b>参考文献.....</b>	<b>175</b>
5.4.3 坐标系及载荷数据设置.....	145		
5.4.4 基准目标点示教 .....	150		
5.4.5 程序解析.....	155		

# 第 1 章

# 工业机器人综述



- ☞ 1.1 工业机器人发展
- ☞ 1.2 工业机器人分类
- ☞ 1.3 工业机器人在包装行业的应用
- ☞ 1.4 ABB 机器人在中国的现状
- ☞ 1.5 本书中所使用的 ABB 工业机器人的主要型号与参数
- ☞ 1.6 安装工业机器人仿真软件 RobotStudio

## 1.1 工业机器人发展

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，它能自动执行任务，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。

1954年，美国学者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，机器人能够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。1959年，Unimation公司生产的世界上第一台工业机器人（图1-1）在美国诞生，开创了工业机器人发展的新纪元。

1974年，瑞典通用电机公司（ASEA，ABB公司的前身）开发出世界上第一台全电力驱动、由微处理器控制的工业机器人IRB 6，如图1-2所示。IRB 6主要应用于工件的取放和物料的搬运，首台IRB 6运行于瑞典南部的一家小型机械工程公司。IRB 6采用仿人化设计，其手臂动作模仿人类的手臂，载重6kg，5轴。IRB 6的S1控制器使用英特尔8位微处理器，内存容量为16KB。控制器有16个数字I/O接口，通过16个按键编程，并具有四位数的LED显示屏。

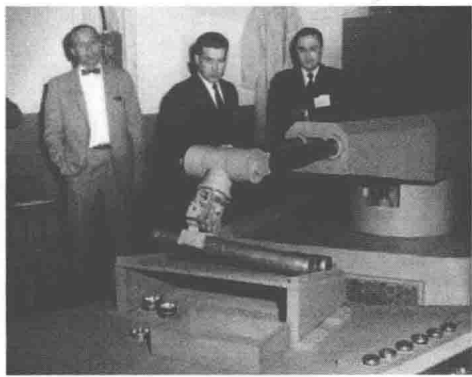


图 1-1 Unimation 公司生产的世界上第一台工业机器人



图 1-2 ABB 公司的工业机器人 IRB 6

在1987年举办的第17届国际工业机器人研讨会上，来自15个国家的机器人组织成立了国际机器人联合会（International Federation of Robotics, IFR），如图1-3所示。IFR是一个非营利性的专业化组织，以推动机器人领域里的研究、开发、应用和国际合作为己任，在与机器人技术相关的活动中已成为一个重要的国际组织。IFR的主要活动包括：对全世界机器人技术的使用情况进行调查、研究和统计分析，提供主要数据；主办年度国际机器人研讨会；协作制定国际标准；鼓励新兴机器人技术领域的研究与开发；与其他国家或国际组织建立联系并开展积极合作；通过与制造商、用户、大学和其他有关组织的合作，促进机器人技术的应用和传播。



图 1-3 IFR 成立合影

目前全世界已拥有数百万台工业机器人应用于各个生产领域，其中，我国近几年在工业机器人发展方面特别突出，已超过日本成为全球最大的工业机器人市场，2017 年国内销量 130000 台，2018 年更是达到了 140000 台。尽管如此，我国机器人使用密度较发达国家依然较低。从每千人机器人拥有量这个指标来看，我国仅有 36 台/千人，不到日本的十分之一，与世界平均水平的 55 台也有较大差距。从这个方面来看，我国工业机器人的市场依然广阔。

## 1.2 工业机器人分类

工业机器人种类繁多，分类方法也不统一，可按照运动形态、运动轨迹、驱动方式、坐标形式（坐标形式是指操作机的手臂在运动时所取的参考坐标系的形式）来区分，其中按照坐标形式分为以下几类。

### 1. 直角坐标型工业机器人

直角坐标型工业机器人运动部分由三个相互垂直的直线移动（即 PPP）组成，其工作空间为长方体，如图 1-4 所示。它在各个轴向的移动距离可在各个坐标轴上直接读出，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，但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运动形式是通过一个转动和两个移动组成的运动系统来实现的，其工作空间为圆柱体，与直角坐标型工业机器人相比，在相同的工作空间条件下，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，如图 1-5 所示。

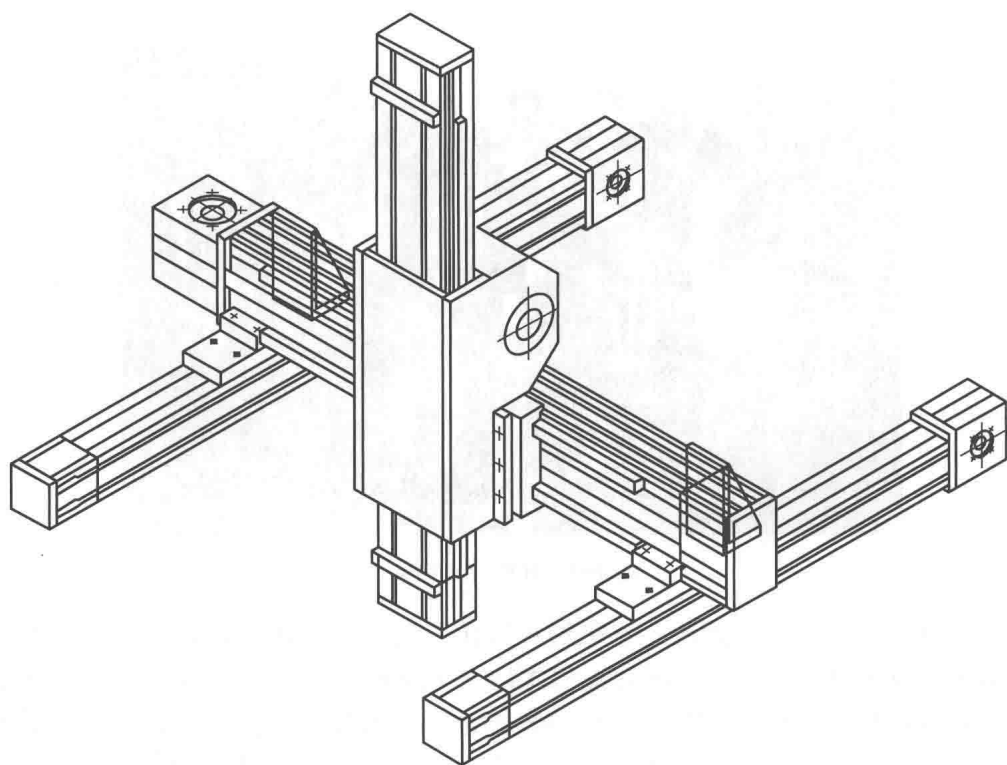


图 1-4 直角坐标型工业机器人示意图

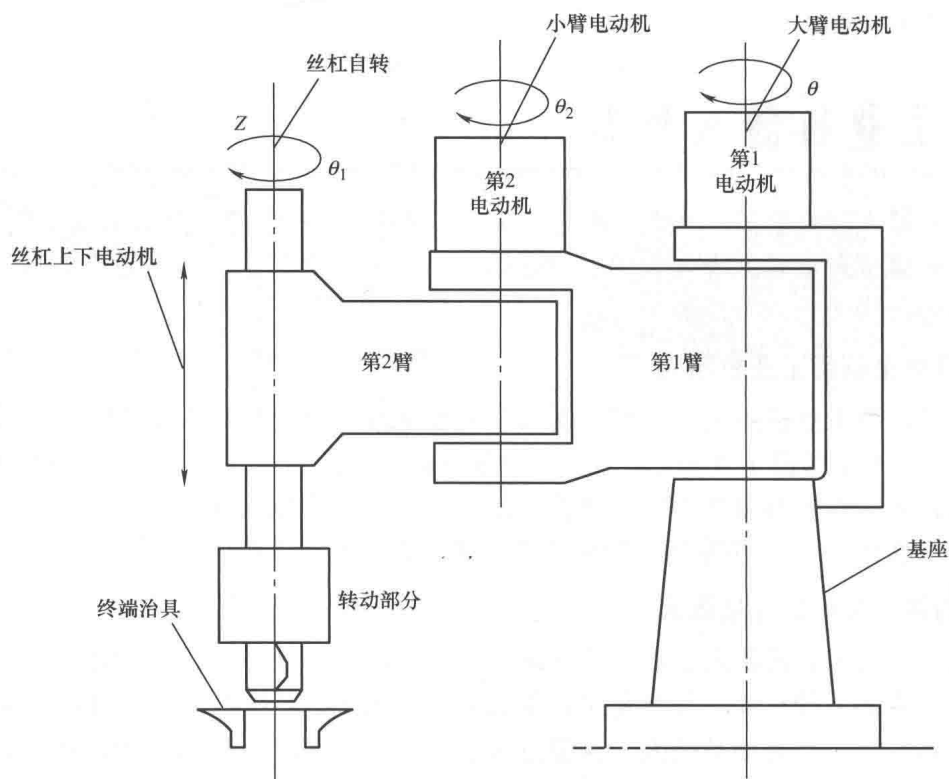


图 1-5 圆柱坐标型工业机器人示意图

### 3. 球坐标型工业机器人

球坐标型工业机器人又称极坐标型工业机器人，其手臂的运动由两个转动和一个直线移动（即 RRP，一个回转、一个俯仰和一个伸缩运动）所组成，其工作空间为球体，它可以做上下俯仰动作并能抓取地面上或较低位置的工件，其位置精度高，位置误差与臂长成正比，如图 1-6 所示。

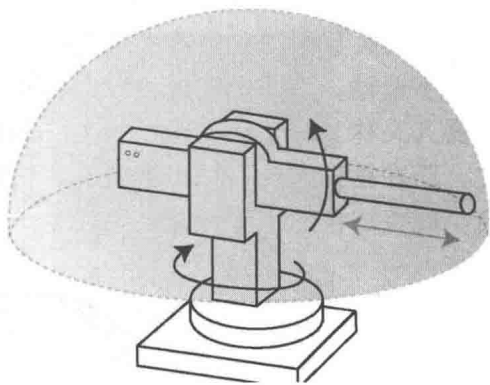


图 1-6 球坐标型工业机器人示意图

### 4. 多关节型工业机器人

多关节型工业机器人又称回转坐标型工业机器人。这种工业机器人的手臂与人体上肢类似，其前三个关节是回转副（即 RRR），如图 1-7 所示。多关节型工业机器人一般由立柱和大小臂组成，立柱与大臂间形成肩关节，大臂和小臂间形成肘关节，可使大臂做回转运动和俯仰摆动，小臂做俯仰摆动。其结构最紧凑，灵活性大，占地面积最小，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，控制耦合。这种工业机器人应用越来越广泛。

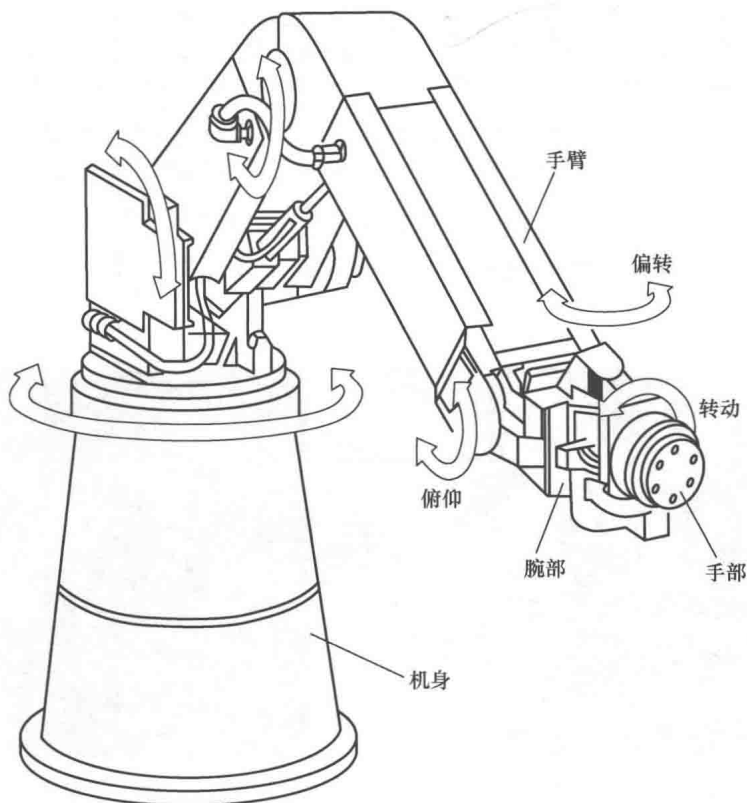


图 1-7 多关节型工业机器人示意图

### 5. 平面关节型工业机器人

平面关节型工业机器人采用一个移动关节和两个回转关节（即 PRR），移动关节实现上下运动，而两个回转关节则控制前后、左右运动，如图 1-8 所示。这种形式的工业机器人又称 SCARA（Selective Compliance Assembly Robot Arm）。在水平方向具有柔顺性，而在垂直方向有较大的刚性。它结构简单，动作灵活，多用于装配作业中，特别适合小规格零件的插接装配，如在电子工业的插接、装配中应用广泛。

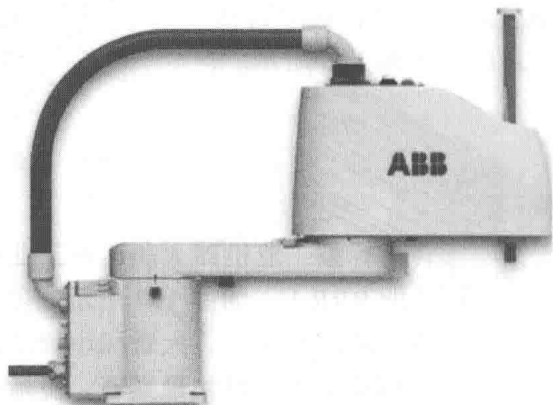
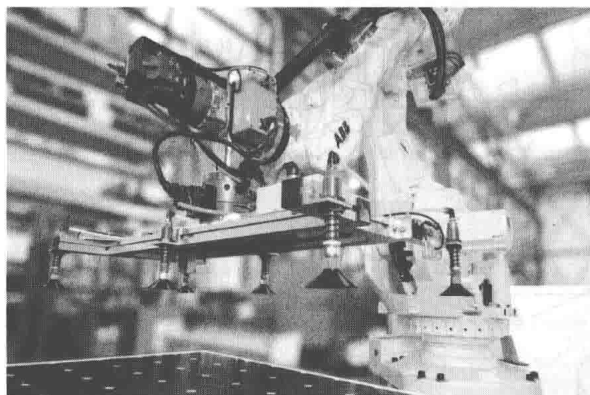


图 1-8 平面关节型工业机器人示意图

## 1.3 工业机器人在包装行业的应用

工业机器人在包装工程领域中应用已有很长的历史，其中最为成熟的应用是搬运、分拣、装箱、码垛、拆垛。主要用于体积大而笨重物件的搬运；人体不能接触的洁净产品的包装，如食品、药品；对人体有害的化工原料的包装等。随着机器人技术的成熟和产业化实现，使得包装工程领域中工业机器人的应用范围越来越广。

### 1. 搬运应用（图 1-9）



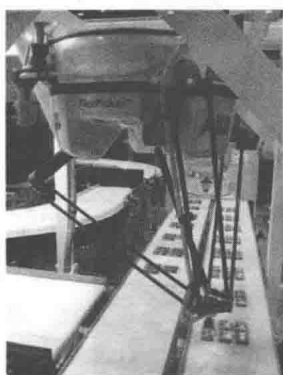
a) 太阳能板搬运



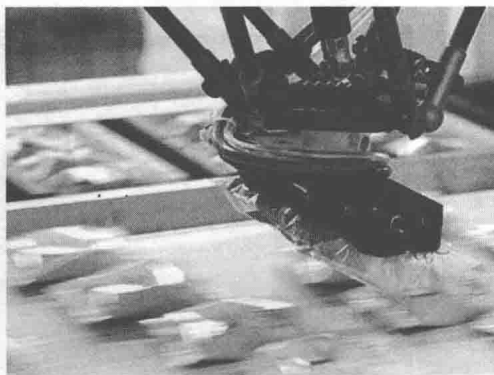
b) 轮毂搬运

图 1-9 工业机器人在搬运场景的应用

## 2. 分拣应用 (图 1-10)



a) 电子产品分拣



b) 食品分拣

图 1-10 工业机器人在分拣场景的应用

## 3. 装箱应用 (图 1-11)



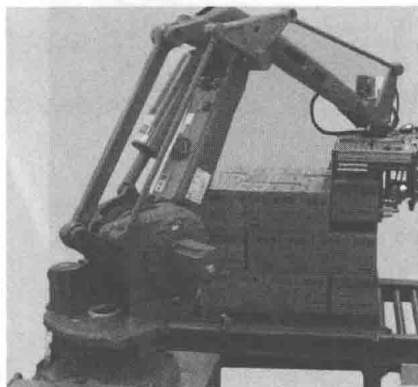
a) 牛奶包装箱



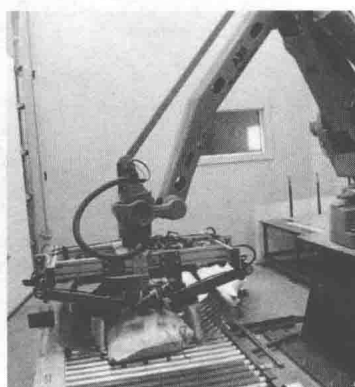
b) 日化品装箱

图 1-11 工业机器人在装箱场景的应用

## 4. 码垛应用 (图 1-12)



a) 油品箱码垛



b) 饲料袋码垛

图 1-12 工业机器人在码垛场景的应用

## 5. 拆垛应用 (图 1-13)



图 1-13 工业机器人在拆垛场景的应用

## 1.4 ABB 机器人在中国的现状

ABB 机器人业务于 1994 年来到中国,并早在 2005 年就在中国建立了研发中心和生产基地,2006 年更是将全球业务总部搬迁至上海,为中国制造业的迅猛发展提供了更强有力的支持。截至目前,ABB 机器人位于上海康桥的生产基地(图 1-14)已累计生产机器人超过 8 万台,ABB 也是截至目前唯一一家在中国打造工业机器人从研发、生产、销售、工程、系统集成到客户服务全价值链业务的跨国企业。



图 1-14 ABB 机器人位于上海康桥的生产基地

在保持国内领先地位的同时,ABB 机器人仍在继续开疆拓土,在山东青岛成立了应用中心(图 1-15),并在广东珠海成立了 ABB 机器人(珠海)分公司(图 1-16),其他区域的应用中心也在加紧筹备中。



图 1-15 ABB 青岛应用中心



图 1-16 ABB 珠海有限公司

此外, ABB 机器人非常重视机器人技术人才的培养。工业机器人行业的发展归根到底是人才的发展。随着中国工业机器人市场的高速发展, 人才问题日益突显, 工业机器人供应商、集成商和终端用户都处在求贤若渴的状态。ABB 机器人校企合作计划于 2010 年开始展开, 现已经与国内近百所院校合作建立了工业机器人实训室, 并提供了全方位的技术支持, 极大促进了机器人技术在国内的推广与应用, 如图 1-17、图 1-18 所示。

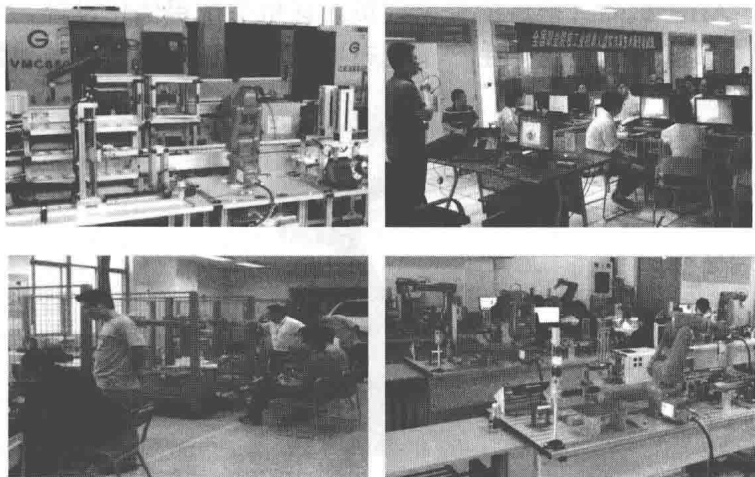


图 1-17 ABB 的校企合作培训

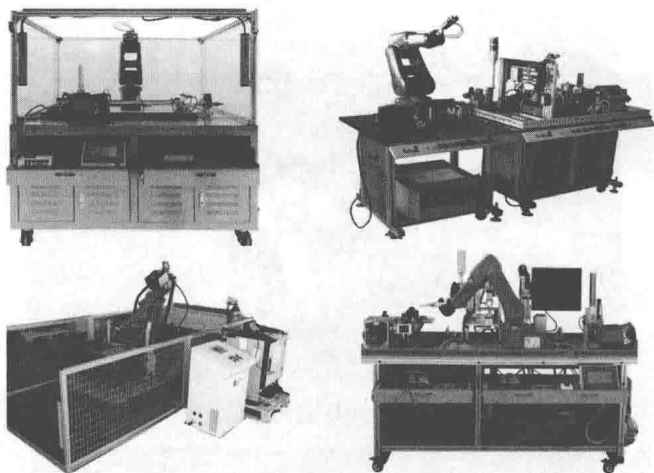


图 1-18 ABB 机器人试验平台

当前，全球正面临新一轮工业革命，互联网技术将物、服务与人紧密相连，实现更智能、更高效的工业一体化，工业机器人将在其中扮演重要的一环。作为世界领先的机器人制造商，ABB 机器人根植于中国，服务于中国，正在与业内同行和合作伙伴共同推动工业机器人在国内的发展、推广和应用，为实现“中国制造 2025”规划的宏伟目标贡献力量。

## 1.5 本书中所使用的 ABB 工业机器人的主要型号与参数

本书中的案例主要使用 ABB 的两款机器人 IRB 4600 和 IRB 6700，下面介绍这两款机器人的主要参数。

### 1. IRB 4600 系列工业机器人（图 1-19）

IRB 4600 是 ABB 机器人家族的最新成员。该机型采用优化设计，对目标应用具备出众的适应能力。其纤巧的机身使生产单元布置更紧凑，实现产能与质量双提升，推动生产效率迈上新台阶。

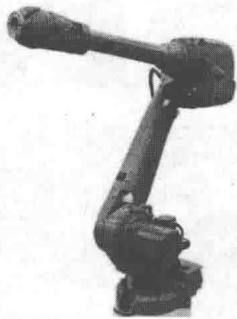


图 1-19 IRB 4600 系列工业机器人

### (1) IRB 4600 的特点

1) 精度高。IRB 4600 的精度为同类产品之最，其操作速度更快，废品率更低，在扩大产能、提升效率方面，将起到举足轻重的作用，尤其适合切削、点胶、机加工、测量、装配及焊接应用。此外，该机器人采用“所编即所得”的编程机制，尽可能缩短了编程时间。在任何应用场合下，当新程序或新产品上线时，上述编程性能均有助于最大限度地加快调试过程、缩短停线时间。

2) 周期短。IRB 4600 采用创新的优化设计，机身紧凑轻巧，加速度达到同类最高，结合其超快的运行速度，加工时间与行业标准相比最短可缩减 25%。操作中，机器人在避让障碍物和跟踪路径时，可始终保持最高加速度，从而提高产能与效率。

3) 范围大。IRB 4600 超大的工作范围能实现到达距离、加工时间、辅助设备等诸多方面的综合优化。该机器人可灵活采用落地、斜置、半支架、倒置等安装方式，为模拟最佳工艺布局提供了极大便利。

4) 机身纤巧。IRB 4600 占地面积小、轴 1 转座半径小、轴 3 后方肘部纤细、上下臂小巧、手腕紧凑，这些特点使其成为同类产品中最“苗条”的一款机器人。在规划生产单元的布局时，IRB 4600 可以与机械设备靠得更近，从而减小整个工作站的占地面积，提高单位面积产量，提升工作效率。

5) 防护周密。ABB 产品防护之周全居业内领先水平，此次更进一步强化了 IRB 4600 的防护保障措施。Foundry Plus 系统达到 IP 67 防护等级标准，还包括涂覆抗腐蚀涂层、采用防锈安装法兰、机器人后部固定电缆防熔融金属飞溅、底脚地板电缆接口加设护盖等一系列措施。

6) 按需应变。性能优异的 IRBP 变位机、IRBT 轨迹运动系统和电动机系列产品，从各方面增强了 IRB 4600 对目标应用的适应能力。运用 RobotStudio (以“订阅”模式提供) 及 PowerPac 功能组 (按应用提供)，可通过模拟生产工作站找准机器人的最佳位置，并实现离线编程。

(2) IRB 4600 系列工业机器人的工作范围 IRB 4600 系列工业机器人的工作范围如图 1-20 所示。

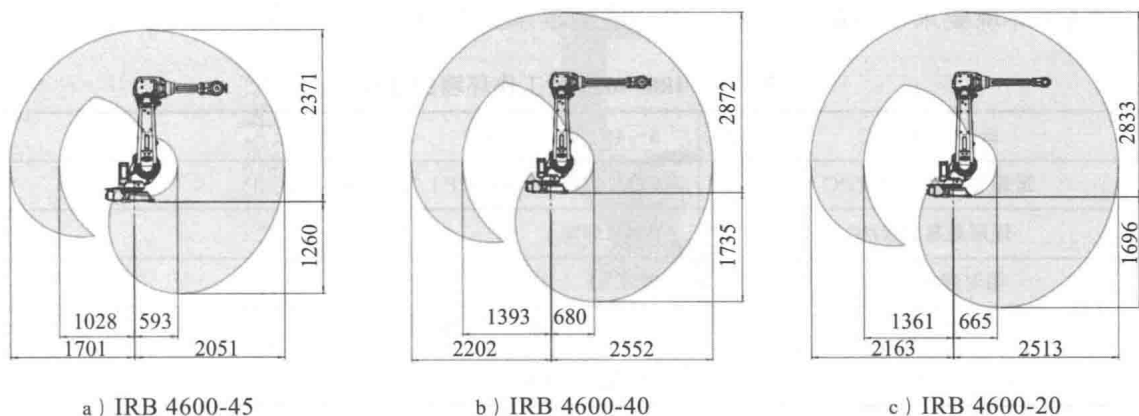


图 1-20 IRB 4600 系列工业机器人的工作范围