



工业机器人工学结合项目化系列教材

# 工业机器人 入门与实训

连硕教育教材编写组 © 编著

工业机器人工学结合项目化系列教材

ISBN 978-7-121-12260-7  
定价：39.80元

# 工业机器人入门与实训

编者：连硕教育教材编写组 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

地址：北京市海淀区中关村大街255号  
邮编：100070  
电话：(010) 88379600  
网址：http://www.phei.com.cn

## 内 容 简 介

本书根据职业教育的特点,注重“做中学”和“学中做”相结合的教学理念,设计了六大教学模块,即工业机器人的认知、工业机器人的手动操作、工业机器人的坐标设定、工业机器人的轨迹模拟、搬运工作站的编程设计和码垛工作站的编程设计六大教学项目。每个教学项目包含2~4个工作任务,项目内容包括学习情景、学习目标、任务实施、考核与评价等多个方面,每个任务还包含知识准备和课后习题。各个教学项目的安排由浅入深、循序渐进。工作任务按照典型工作过程进行设计实施,注重学生职业能力、职业素养和团队协作等综合素质的培养。

本书通过六个学习项目,将工业机器人相关的原理与实践相结合,使学生在实际操作中学会机器人的基本原理和基本应用,可作为职业院校工业机器人技术专业的基础教材,也可作为企业中从事工业机器人设计、编程、调试与维护等工作人员的培训用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人入门与实训 / 连硕教育教材编写组编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.9  
工业机器人工学结合项目化系列教材

ISBN 978-7-121-32566-3

I. ①工… II. ①连… III. ①工业机器人—职业教育—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 205572 号

策划编辑: 李树林

责任编辑: 李树林

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 14 字数: 288 千字

版 次: 2017 年 9 月第 1 版

印 次: 2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式: (010) 88254463, [lisl@phei.com.cn](mailto:lisl@phei.com.cn)。

# 连硕教育教材编写组

主 编：唐海峰

顾 问：叶 晖

编 者：唐建东 罗毓斌 黄晓旋 黄鸿城

易顺斌 林家伊 黄晓婷 奚 蓉

支持单位：深圳市连硕机器人职业培训中心



## 序

教材是人类知识、技能、经验和文明传承的重要载体，是学生系统地获取知识、提升能力，教师构建学生心理结构、教书育人的外部工具与核心手段。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素。不同教育类型均有其自己的教材体系及其教育组织形式，就职业教育而言，总体要求是以做为核心、以实践为主线构建的。陶行知先生说过：“教学做是一件事，不是三件事。我们要在做上教，在做上学。不在做上用功夫，教固不成为教，学也不成为学。”我个人认为，这是职业教育的教育理念，也是教育方法，还应该成为职业教育教材编撰的指导思想与实现手段。

工业机器人是典型的光、机、电高度一体化产品，其设计与应用涉及机械设计与制造、电子技术、传感器技术、视觉技术、软件技术、控制技术、通信技术、人工智能等诸多领域。高职工业机器人技术专业是一个新兴专业，编写适合的教材是一件相当具有挑战性的工作，有部分学校在教材建设方面进行了前期的探索与研究，并取得一定的成绩和经验。但无须讳言，现有的教材存在着这样或那样的不足和遗憾。首先，在体系上按学术型大学模式构建，重理论轻实践，或者根本与实践无关，着重在数学原理的演绎与推理；其次，实用性不强，与工业机器人产业联系不紧密甚至脱节，没有体现高职院校和高职学生的特点和特色；最后，尽管也有一些所谓“任务驱动”的教材，但本质上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，还是原来的知识和理论逻辑体系。

由深圳市连硕机器人职业培训中心团队组织编写的《工业机器人入门与实训》，在系统调研工业机器人产业链和一流企业的基础上，通过对工业机器人典型工作任务分析，提炼出工业机器人工作岗位核心工作的技能，组织行业专家对工作岗位工作过程进行能力和知识分析，得到工业机器人操作工程师的职业能力表，开发出教学项目来培养学生的职业能力。本教材以工业机器人的典型工作任务为核心，以“项目引领、任务驱动”为手段，按“学习情景、学习目标、任务实施、考核与评价”四个环节，并结合学生的认知规律进



## 工业机器人入门与实训

行编写，其内容安排由浅入深，循序渐进，将实际操作与工业机器人的基本原理相结合，以“做”为核心，实现了“做中学”“学中做”“做中教”，教学做合一，并突出了职业能力、职业素养和团队协作精神的培养，较好地实现了行知先生的“教学做是一件事，不是三件事”的教育理念，是一本适合高职工业机器人技术专业的好入门教材。

是为序。

湖南省电子学会理事长

湖南省机器人与人工智能学会副会长

谭立新

2017年7月28日于湘江之滨听雨轩



# 前言

工业机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的机电一体化设备，被称为工业自动化的三大支持技术之一。随着社会的进步和劳动力成本的增加，工业机器人在我国的应用已越来越广。工业机器人操作、编程、调试与维护等技术应用岗位目前已经成为众多行业，特别是汽车制造、电子装备、半导体工业、精密仪器仪表、制药、轻工等行业关键和核心的工作岗位之一。

本书从工学结合人才培养模式的特点出发，通过工作任务式的编写模式逐步展开项目化的学习内容。其中的工作任务都来自生产一线实际案例，教材编写组成员对这些实际案例中典型的工作技能和工作任务进行了提炼和整理，使之更符合职业院校的教学需求。此外，每个学习项目最后都附有实施任务书和相关试题，便于教学互动和对学习内容的复习。

全书分为六章，所有章节都提供了丰富的实例。各章主要内容如下：

第1章介绍工业机器人的产生、发展、分类，工业机器人的组成、特点和技术性能，工业机器人的技术发展状况、主要生产企业及产品情况等。

第2章以 ABB 机器人为学习对象，通过手动操作机器人的方式，实现机器人的简单运动。

第3章强化学员对机器人在常见坐标系（世界、大地、工具、工件坐标系等）下运动特点的理解，同时要求掌握 TCP 创建原理和步骤，以及工件坐标系创建原理和步骤。

第4章以 ABB 机器人为学习对象，以模拟焊接 U 型槽、圆形轨迹示教等为例子，学习常用的运动指令，熟悉 RAPID 的程序结构和常用的数据类型、变量。

第5章对工业机器人搬运工作站的作业命令编程格式、编程要点，作业文件的编制方法进行了详细阐述；对输入/输出信号功能与要求、作业命令与控制信号间的关系等高层次编程需要涉及的内容进行了深入说明。



第6章系统介绍工业机器人码垛工作站的组成，码垛工作站程序设计和作业流程等基本操作方法和步骤。

本书是工业机器人工学结合项目化系列教材之一，既可作为职业院校工业机器人技术专业的基础教材，也可作为企业中从事工业机器人设计、编程、调试与维护等工作人员的培训用书。

由于编著者水平有限，书中难免存在疏漏和不足，殷切期望广大读者批评指正，以便进一步提高本书的质量。

编著者

本书共分六章，第一章介绍工业机器人概述，第二章介绍工业机器人系统组成，第三章介绍工业机器人系统维护，第四章介绍工业机器人系统应用，第五章介绍工业机器人系统实训，第六章介绍工业机器人系统综合实训。



# 目 录

<b>第 1 章 工业机器人的认知</b> .....	1
<b>1.1 认识工业机器人</b> .....	3
1.1.1 工业机器人的定义和发展动力 .....	3
1.1.2 工业机器人发展概况 .....	4
1.1.3 工业机器人的分类和应用 .....	7
<b>1.2 工业机器人的系统组成和技术指标</b> .....	16
1.2.1 工业机器人的系统组成 .....	16
1.2.2 工业机器人的技术指标 .....	19
<b>1.3 工业机器人安全操作规范</b> .....	24
1.3.1 安全规范事项 .....	24
1.3.2 使用安全须知 .....	25
<b>第 2 章 工业机器人的手动操作</b> .....	32
<b>2.1 ABB 机器人产品规格和系统组成</b> .....	34
2.1.1 IRB 1200 的产品规格 .....	34
2.1.2 ABB 机器人的系统组成 .....	38
<b>2.2 IRC5 系统的备份与恢复</b> .....	54
2.2.1 系统备份 .....	54
2.2.2 系统恢复 .....	57
<b>2.3 校准</b> .....	63
2.3.1 更新转数计数器 .....	63
2.3.2 编辑电机偏移参数 .....	68
<b>2.4 ABB 机器人的手动操作</b> .....	77
2.4.1 手动操作的界面介绍 .....	77
2.4.2 动作模式 .....	83



第3章 工业机器人的坐标设定	90
3.1 认识工业机器人坐标系	91
3.1.1 坐标系的概念	91
3.1.2 ABB 机器人四种坐标系	92
3.2 创建工具坐标系	98
3.2.1 工具坐标系概念	98
3.2.2 工具坐标系设定原理	99
3.3 创建工件坐标系	104
3.3.1 工件坐标系概念	104
3.3.2 工件坐标系的应用	105
3.3.3 工件坐标创建原理	106
第4章 工业机器人的轨迹模拟	117
4.1 新建一个可运行的程序文件	118
4.1.1 RAPID 简介	118
4.1.2 程序架构	118
4.2 轨迹模拟	129
4.2.1 常见的运动指令	129
4.2.2 偏移功能	133
第5章 搬运工作站的程序设计	140
5.1 认识和配置标准 I/O 板及信号	141
5.1.1 常用 ABB 标准 I/O 板	141
5.1.2 DSQC652 板说明	142
5.1.3 DSQC652 板配置	144
5.1.4 I/O 信号	145
5.2 搬运工作站的程序设计	149
5.2.1 RAPID 程序数据	149
5.2.2 搬运工作站程序指令	151
5.2.3 搬运作业的运动轨迹	155
5.2.4 搬运作业流程	157



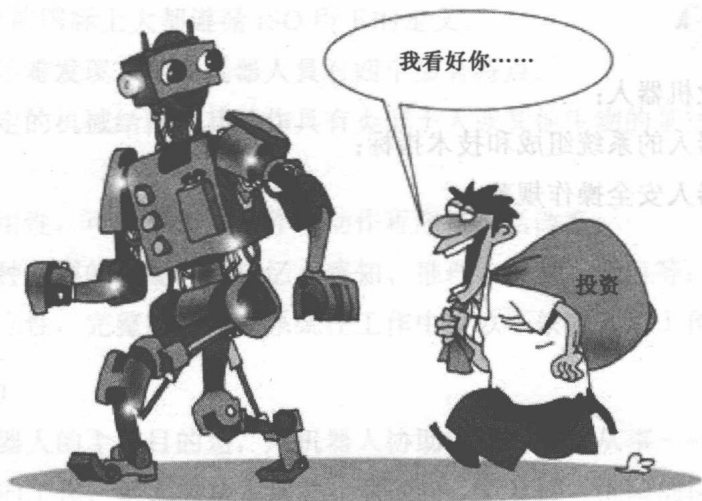
# 第 1 章

## 工业机器人的认知

如今，机器人代替人工已成为一种新的潮流。在人力劳动成本、原料成本不断上涨的今天，作为第三次工业革命的延续，自动化已成为一种趋势。其中，工业机器人作为促进第三次工业革命的重要推手，彻底改变了工业生产的模式，促进了工业生产大发展。

### 学习情景...

从 2010 年起，随着富士康大客户苹果公司的产品出货量猛增，富士康的用工数量由 80 万人上升至 110 万人，庞大的工人队伍给富士康带来了层出不穷的人力管理难题。加班、工作压力大等因素诱发了员工不满，如果这些问题处理不当，将会引发不容忽视的危机。再者，目前富士康在大陆的逾百万员工以“80 后”“90 后”为主，他们对工作环境、待遇有了更高的要求，日益不满单调的车间工作。富士康在进军中部地区时，在许多省市都遇到了缺工问题。而制造业成本的不断上升，也使富士康不得不借助自动化来实现生产转型——采用机器人代替人工。





目前富士康也大量使用机器人，每台机器人的工作效率是工人的 3~4 倍，而且机器人还能做到 24 小时不间断作业。富士康工人采取一天 24 小时三班倒制，这就相当于三个工人一天的工作量。通过使用工业机器人，富士康的工人们将重新学习工业机器人基本操作、软件使用和维修，变身为机器人应用工程师、软件工程师，人力将被赋予更高的附加值。



### 学习目标

#### 知识目标

- (1) 掌握工业机器人的定义与特点；
- (2) 了解工业机器人的发展状况；
- (3) 熟悉工业机器人的常见分类及其行业应用；
- (4) 学习工业机器人的技术指标；
- (5) 熟记安全操作规范事项。

#### 技能目标

- (1) 能简单概述工业机器人的系统组成；
- (2) 能正确识别工业机器人的标杆企业；
- (3) 能举出工业机器人的典型应用案例；
- (4) 能解读工业机器人的参数指标；
- (5) 能严格按照安全操作规程进行操作。



### 任务分配

- 1.1 认识工业机器人；
- 1.2 工业机器人的系统组成和技术指标；
- 1.3 工业机器人安全操作规范。





## 1.1 认识工业机器人

机器人技术是 20 世纪人类最伟大的发明之一。随着劳动成本的增加,越来越多的劳动密集型企业已经大量使用机器人。本节属于工业机器人的绪论,重点介绍其定义、发展及行业应用,要求熟知工业机器人的行业应用案例。



### 知识准备

#### 1.1.1 工业机器人的定义和发展动力

##### 1. 定义

对于机器人,大家可能都很熟悉,在科幻电影中,它们往往有着超人的智能和体魄,即使在现实中,我们也能见到在汽车、电子等生产流水线上“孜孜不倦”工作的机器人。无论应用于什么行业,机器人都被定义为取代人工完成那些简单、机械式劳动的自动化设备。

一般情况下,机器人就是代替人类干那些干不好、干不了、不好干的工作的一种自动化设备。

国际标准化组织(ISO)给出具有代表性的工业机器人定义:“工业机器人是一种自动控制、可重复编程、多功能、多自由度的操作机器,能搬运材料、工件或操持工具来完成各种作业”。目前国际上大都遵循 ISO 所下的定义。

由以上定义不难发现,工业机器人具有四个显著特点:

- (1) 具有特定的机械结构,其动作具有类似于人或其他生物的某些器官(肢体、感受等)的功能;
- (2) 具有通用性,可从事多种动作,动作程序可灵活改变;
- (3) 具有各种各样的智能,如记忆、感知、推理、决策、学习等;
- (4) 具有独立性,完整的机器人系统中可以不用依赖人的干预。

##### 2. 发展动力

发展工业机器人的主要目的是,用机器人协助或代替人类从事一些不适合人类甚至超出人类能力范围的工作,把人类从大量的、烦琐的、重复的、危险的岗位中解放出来,实



现生产的自动化、柔性化，避免工伤事故、提高生产效率。

对于制造业而言，ABB（工业机器人行业四大巨头之一）给出了十大投资机器人的理由。这十大理由包括：第一，降低运营成本；第二，提升产品质量与一致性；第三，改善员工的工作环境；第四，扩大产能；第五，增强生产柔性；第六，减少原料浪费，提高成品率；第七，满足安全法规，符合生产安全条件；第八，减少人员流动，缓解招聘技术工人的压力；第九，降低投资成本，提高生产效率；第十，节约宝贵的生产空间。机器人与人力投入成本对比如图 1-1 所示。

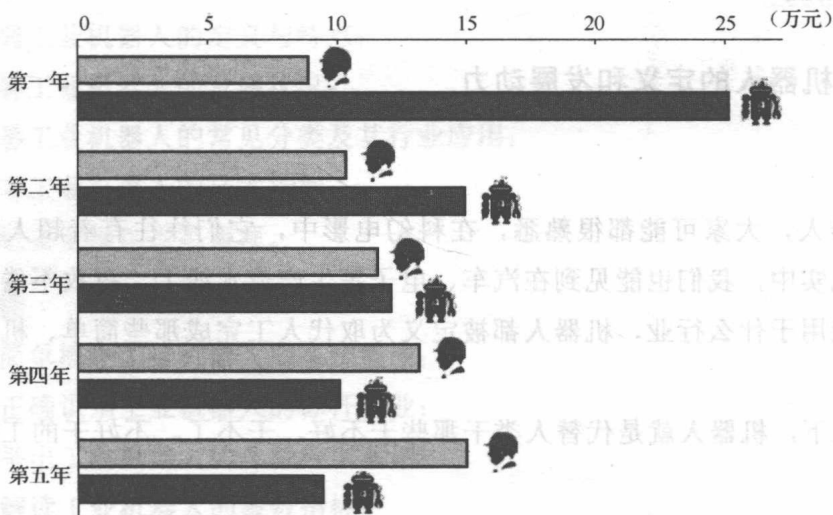


图 1-1 机器人与人力投入成本对比如图

总之，工业机器人产业发展主要有三个驱动力。首先，解放劳动生产力。任何行业，危险的工作岗位人类都是不愿做的，而且有些岗位也不适合甚至不能由人来完成，这是机器人诞生的重要原因。其次，需要保持产品生产的一致性。工人生产可以达到一致性，但是需要加大管理成本。更好的选择就是使用机器人，一旦设置好就无须管理，能保持指令的高度一致性。最后，提高生产效率。为保证连续生产，在人工短缺的情况下，使用机器人代替人工是非常好的选择。

## 1.1.2 工业机器人发展概况

### 1. 工业机器人的诞生

1959 年，美国发明家约瑟·英格伯特和乔治·德沃尔造出了世界上第一台工业机器人



人 Unimate, 这个类似坦克炮塔的机器人可实现回转、伸缩、俯仰等动作, 如图 1-2 所示, 它标志着工业机器人正式诞生了。

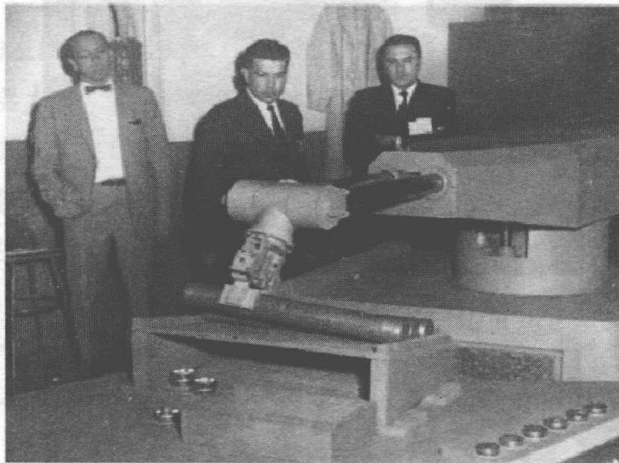


图 1-2 世界首台机工业机器人

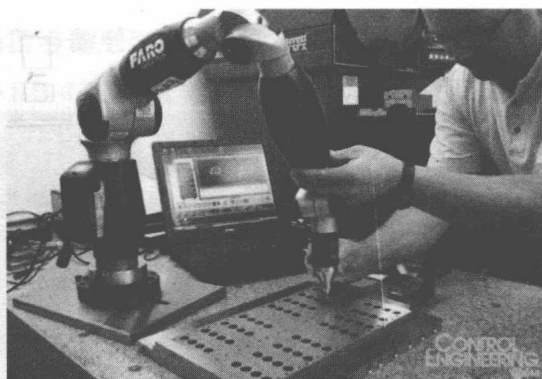
## 2. 工业机器人发展过程

从技术发展水平来说, 可以将工业机器人分为三代。第一代为示教再现型机器人, 它可以按照预先设计的程序, 自主完成规定动作或操作, 在当前工业中使用的绝大多数是这一代机器人。第二代为感知型机器人, 如有力觉、触觉和视觉等, 它具有对外界信息进行反馈调整的能力, 目前已进入应用阶段。第三代为智能型机器人, 尚处于实验研究阶段。

(1) 示教再现型机器人。第一代工业机器人为示教再现型, 它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 [图 1-3(a)] 或通过示教器 [图 1-3(b)] 完成。目前在工业现场应用的机器人大多数属于第一代。

(2) 感知型机器人。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。

配备感知系统的工业机器人如图 1-4 所示, 此机器人是焊接机器人, 机器人焊接的过程一般是通过示教方式获取机器人的运动曲线, 机器人携带焊枪沿着该曲线进行焊接。这就要求工件的一致性要好, 即工件被焊接部分位置必须十分准确。否则, 机器人携带焊枪所走的曲线和工件的实际焊缝位置会有偏差。为了解决这个问题, 第二代工业机器人进行焊接作业时, 采用焊缝跟踪技术, 通过传感器感知焊缝的位置, 再通过反馈控制, 机器人就能自动跟踪焊缝, 从而对示教的位置进行修正, 即使实际焊缝相对于原始设定的位置有所变化, 机器人依旧可以很好地完成焊接作业。类似的技术正越来越多地应用于机器人。



(a)手把手示教



(b)示教器示教

图 1-3 示教再现型工业机器人

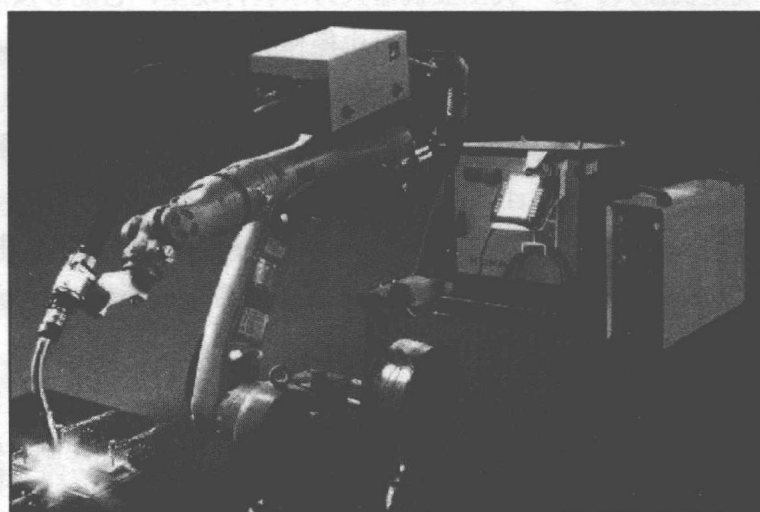


图 1-4 配备感知系统的工业机器人