

工业机器人 现场编程 (FANUC)

李艳晴 林燕文 | 主编

卢亚平 陈南江 彭赛金 | 副主编

微课版

学习平台、微课资源、多媒体课件、题库及答案、教学工作页

Teaching Programming
of FANUC Industrial Robot



看微课视频

智能制造应用型人才培养系列教程

|工业|机|器|人|技|术|

工业机器人 现场编程 (FANUC)

李艳晴 林燕文 | 主编

卢亚平 陈南江 彭赛金 | 副主编



微课版

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人现场编程: FANUC / 李艳晴, 林燕文主
编. — 北京: 人民邮电出版社, 2018.9
智能制造应用型人才培养系列教程. 工业机器人技术
ISBN 978-7-115-48672-1

I. ①工… II. ①李… ②林… 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125613号

内 容 提 要

本书以 FANUC 工业机器人为对象, 系统地介绍了工业机器人程序设计的相关知识。全书共 3 篇 8 个项目, 主要包括工业机器人概述、FANUC 机器人基本操作、典型工作站的编程实例等内容。本书将知识点和技能点融入典型工作站的项目实施中, 以满足工学结合、项目引导、教学一体化的教学需求。

本书既可作为应用型本科院校机器人工程、自动化、机械设计制造及其自动化、智能制造工程等专业, 高职高专院校工业机器人技术、机电一体化技术、电气自动化技术等专业的教材, 也可作为相关从业人员的参考书。

-
- ◆ 主 编 李艳晴 林燕文
 - 副 主 编 卢亚平 陈南江 彭赛金
 - 责任编辑 刘盛平
 - 责任印制 马振武
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.25 2018 年 9 月第 1 版
字数: 364 千字 2018 年 9 月河北第 1 次印刷
-

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010) 81055256 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147号

智能制造应用型人才培养系列教程

编委会

主任：北京航空航天大学

副主任：华中科技大学

北京邮电大学

北京华晟经世信息技术有限公司

北京华晟智造科技有限公司

人民邮电出版社

委员：北京航空航天大学

北京科技大学

武汉科技大学

陕西科技大学

重庆邮电大学

长春理工大学

西南石油大学

成都工业学院

攀枝花学院

苏州大学应用技术学院

北华大学

黑龙江科技大学

长春大学

大连民族大学

江汉大学

湖北工程学院

石家庄学院

厦门华夏学院

遵义职业技术学院

惠州学院

常州机电职业技术学院

青岛职业技术学院

江西制造职业技术学院

顾问：上海发那科机器人有限公司

上海ABB工程有限公司

通用电气智能设备(上海)有限公司

秘书长：北京华晟智造科技有限公司

人民邮电出版社

丁希仑

吴昌林

陈钢

郭炳宇

陈南江

王威

胡毕富 徐坤

李艳晴

吴谨 程磊

汤伟 马令坤

张毅 罗志勇

张心明 宋林森

谌海云 冯文荣

李刚俊

王兵 黄小兵

刘和剑 卢亚平

孙丽霞 耿德旭

刘元林 刘玉波

李庆华 贺春山

张汝波 张涛

章红

李刚炎

于京生 赵翠俭

陈明明 周海波

李清江 陈勇

魏晓慧

陈小艳

李峰

靖娟

封佳诚

叶晖

代申义

林燕文

刘盛平

序

制造业是一个国家经济发展的基石，也是增强国家竞争力的基础。新一代信息技术、人工智能、新能源、新材料、生物技术等重要领域和前沿方向的革命性突破和交叉融合，正在引发新一轮产业变革——第四次工业革命，而智能制造便是引领第四次工业革命浪潮的核心动力。智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术的深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能新型生产方式。

我国于2015年5月发布了《中国制造2025》，部署全面推进制造强国战略，我国智能制造产业自此进入了一个飞速发展时期，社会对智能制造相关专业人才的需求也不断加大。目前，国内各本科院校、高职高专院校都在争相设立或准备设立与智能制造相关的专业，以适应地方产业发展对战略性新兴产业的人才需求。

在本科教育领域，与智能制造专业群相关的机器人工程专业在2016年才在东南大学开设，智能制造工程专业更是到2018年才在同济大学、汕头大学等几所高校中开设。在高等职业教育领域，2014年以前只有少数几个学校开设工业机器人技术专业，但到目前为止已有超过500所高职高专院校开设这一专业。人才的培养离不开教材，但目前针对工业机器人技术、机器人工程等专业的成体系教材还不多，已有教材也存在企业案例缺失等亟须解决的问题。由北京华晟智造科技有限公司和人民邮电出版社策划，校企联合编写的这套图书，犹如大旱中的甘露，可以有效解决工业机器人技术、机器人工程等与智能制造相关专业教材紧缺的问题。

理实一体化教学是在一定的理论指导下，引导学习者通过实践活动巩固理论知识、形成技能、提高综合素质的教学过程。目前，高校教学体系过多地偏向理论教学，课程设置与企业实际应用契合度不高，学生无法把理论知识转化为实践应用技能。本套图书的第一大特点就是注重学生的实践能力培养，以企业真实需求为导向，学生学习技能紧紧围绕企业实际应用需求，将学生需掌握的理论知识，通过企业案例的形式进行衔接，达到知行合一、以用促学的目的。

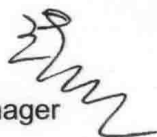
智能制造专业群应以工业机器人为核心，按照智能制造工程领域闭环的流程进行教学，才能够使学生从宏观上理解工业机器人技术在行业中的具体应用场景及应用方法。高校现有的智能制造课程集中在如何进行结构设计、工艺分析，使得装备的设计更为合理。但是，完整的机器人应用工程却是一个容易被忽视的部分。本套图书的第二大特点就是聚焦了感知、控制、决策、执行等核心关键环节，依托重点领域智能工厂、数字化车间的建设以及传统制造业智能转型，突破高档数控机床与工业机器人、增材制造装备、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备五类关键技术装备，覆盖完整工程流程，涵盖企业智能制造领域工程中的各个环节，符合企业智能工厂真实场景。

我很高兴看到这套书的出版，也希望这套书能给更多的高校师生带来教学上的便利，帮助读者尽快掌握智能制造大背景下的工业机器人相关技术，成为智能制造领域中紧缺的应用型、复合型和创新型人才！

上海发那科机器人有限公司

总经理

SHANGHAI-FANUC Robotics CO.,LTD. General Manager



前 言

工业机器人是 20 世纪 60 年代在自动操作机的基础上发展起来的，能模仿人的某些动作和控制功能，并可按照预定程序、轨迹及其他要求操作工具，实现多种操作的自动化机械系统。工业机器人能代替工人出色地完成极其繁重、复杂、精密或者充满危险的工作。它综合了精密机械、传感器和自动控制技术等领域的最新成果，广泛应用于工业、农业、航空航天、军事技术等各个领域。

2013 年 4 月，德国政府提出“工业 4.0”战略，在全球范围内引发了新一轮的工业转型竞赛，以“智能工厂、智慧制造”为主导的第四次工业革命已经悄然来临。在全球制造业面临重大调整、我国经济发展进入新常态的背景下，国务院于 2015 年 5 月发布了《中国制造 2025》，这是我国实施制造强国战略的第一个十年行动纲领。工业机器人作为《中国制造 2025》的第二个重点领域，在未来将扮演重要角色。

当前，随着工业机器人产业的迅猛发展，企业对工业机器人编程与操作的技能型人才的需求越来越紧迫。按照我国工业和信息化部关于工业机器人产业的发展规划，到 2020 年，我国工业机器人装机量将达到 100 万台，需要至少 20 万与工业机器人应用相关的从业人员，并且这个数量将以每年 20% ~ 30% 的速度持续递增。与此同时，工业机器人的编程与操作却严重依赖机器人生产企业的培训和产品手册，缺乏相应的系统学习图书。

本书以典型工业机器人的结构和应用为突破口，系统地介绍了工业机器人程序设计的相关知识。为了提高读者的学习兴趣和学习效果，本书针对重要的知识点和操作开发了大量的微课，并以二维码的形式嵌入书中相应位置。读者可通过手机等移动终端扫码观看学习。另外，课程研发团队还着眼于理论加实践的教学方式，结合经典的项目应用，精心打造了真实的机器人工作站作为项目实训和开展实验的综合一体化平台，用于提高读者编程的实战能力。综合一体化平台的相关信息可以联系北京华晟制造科技有限公司（E-mail: 214910437@qq.com）。

本书由北京科技大学李艳晴和北京华晟智造科技有限公司林燕文任主编，苏州大学应用技术学院卢亚平、北京华晟智造科技有限公司陈南江和北京航空航天大学彭赛金任副主编。参加编写的还有北京华晟智造科技有限公司边天放、宋美娴等。

在本书的编写过程中，上海发那科机器人有限公司、北京航空航天大学、苏州大学应用技术学院等企业和院校提供了许多宝贵的意见和建议，在此郑重致谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2018 年 4 月

目 录

基础篇 初识机器人

项目一 初识FANUC机器人	2
【项目引入】	2
【知识图谱】	3
任务一 工业机器人的认知	4
【任务描述】	4
【任务学习】	4
一、工业机器人的定义	4
二、工业机器人的发展	5
三、工业机器人的分类	6
【思考与练习】	9
任务二 FANUC 机器人的认知	9
【任务描述】	9
【任务学习】	10
一、FANUC 机器人的常用 型号	10
二、FANUC 机器人的典型 应用	13
三、FANUC 机器人的系统 结构	15
【思考与练习】	18
任务三 FANUC 机器人编程的 认知	18
【任务描述】	18
【任务学习】	19
一、现场编程	19
二、离线编程	19
三、自主编程	20
四、编程技术的发展 趋势	20
【思考与练习】	21
【项目总结】	21
【拓展训练】	21

项目二 FANUC机器人基本操作 ...	23
【项目引入】	23
【知识图谱】	24
任务一 工业机器人的安全使用	24
【任务描述】	24
【任务学习】	25
一、安全使用的环境	25
二、安全使用的规程	25
三、FANUC 机器人的专业 培训	26
四、机器人系统的安全 设备	27
【思考与练习】	30
任务二 工业机器人坐标系的认知	30
【任务描述】	30
【任务学习】	31
一、关节坐标系	31
二、直角坐标系	31
【思考与练习】	33
任务三 工业机器人的手动操作	33
【任务描述】	33
【任务学习】	34
一、示教器的认知	34
二、开关机操作	38
三、机器人的点动进给	41
【思考与练习】	42
任务四 工业机器人系统中文件的 操作	42
【任务描述】	42
【任务学习】	42
一、文件的分类	42
二、文件的备份与加载	43
【思考与练习】	47
【项目总结】	47

【拓展训练】47

实战篇 再探机器人

项目三 搬运工作站操作编程 (基础

示教) 50

【项目引入】50

【知识图谱】51

任务一 典型搬运系统的认知.....51

【任务描述】51

【任务学习】51

【思考与练习】53

任务二 机器人程序的认知.....53

【任务描述】53

【任务学习】53

一、程序的创建.....53

二、程序的详细信息.....55

【思考与练习】55

任务三 基本指令的使用.....56

【任务描述】56

【任务学习】56

一、动作指令的认知.....56

二、动作指令的添加与

修改.....59

三、搬运常用的控制指令...62

【思考与练习】64

任务四 搬运现场编程.....65

【任务描述】65

【任务学习】65

【思考与练习】66

【项目总结】67

【拓展训练】67

项目四 基础焊接工作站操作编程..... 68

【项目引入】68

【知识图谱】69

任务一 焊接工作站的认知.....69

【任务描述】69

【任务学习】69

一、焊接工作站的组成.....69

二、电焊设备的认知.....70

【思考与练习】71

任务二 焊接工作站的设置.....72

【任务描述】72

【任务学习】72

一、坐标系的设置.....72

二、焊接参数的设置.....77

【思考与练习】80

任务三 弧焊指令的使用.....80

【任务描述】80

【任务学习】80

【思考与练习】82

任务四 焊接轨迹现场编程.....82

【任务描述】82

【任务学习】83

【思考与练习】84

【项目总结】84

【拓展训练】84

项目五 码垛工作站操作编程..... 86

【项目引入】86

【知识图谱】87

任务一 码垛工作站的认知.....87

【任务描述】87

【任务学习】88

【思考与练习】88

任务二 I/O 接口的使用88

【任务描述】88

【任务学习】88

一、I/O 信号的类型88

二、物理信号.....89

三、I/O 信号的分配91

四、I/O 信号的用途 104

【思考与练习】 109

任务三 I/O 指令的使用 109

【任务描述】 109

【任务学习】 109

一、数字 I/O 指令 109

二、机器人 I/O 指令 109

三、模拟 I/O 指令 110

四、组 I/O 指令 110

【思考与练习】 111



任务四 寄存器指令的使用..... 111

 【任务描述】 111

 【任务学习】 111

 一、寄存器数据..... 111

 二、寄存器指令..... 114

 【思考与练习】 120

任务五 码垛现场编程..... 120

 【任务描述】 120

 【任务学习】 120

 一、码垛堆积功能..... 120

 二、码垛指令..... 121

 三、码垛指令的添加和示教..... 122

 四、码垛编程应用..... 128

 【思考与练习】 129

【项目总结】 129

【拓展训练】 130

高级篇 连接外部设备

项目六 带外部轴焊接工作站操作

编程..... 132

【项目引入】 132

【知识图谱】 133

任务一 外部轴的认知..... 133

 【任务描述】 133

 【任务学习】 133

 一、外部轴概述..... 133

 二、外部轴的分类及

 应用..... 134

 【思考与练习】 135

任务二 硬件及软件的连接与

 设置..... 135

 【任务描述】 135

 【任务学习】 135

 一、外部轴系统硬件的

 组成..... 136

 二、软件和系统参数的

 设置..... 137

 【思考与练习】 139

任务三 单轴变位机焊接系统

 编程..... 139

 【任务描述】 139

 【任务学习】 139

 一、单轴变位机的系统

 设置..... 139

 二、组控制设置与相关

 指令..... 146

 三、转移指令与位置补偿

 指令的使用..... 147

 四、离心式涡轮叶片焊接

 编程应用..... 150

 【思考与练习】 151

任务四 双轴变位机焊接系统

 编程..... 151

 【任务描述】 151

 【任务学习】 152

 一、双轴变位机的系统

 设置..... 152

 二、机器人与变位机的协调

 设置..... 153

 三、含多个管路接头的箱体

 焊接编程应用..... 154

 【思考与练习】 156

任务五 行走轴焊接系统编程..... 156

 【任务描述】 156

 【任务学习】 156

 一、行走轴焊接系统的

 设置..... 156

 二、汽车车架多焊点编程

 应用..... 162

 【思考与练习】 164

 【项目总结】 165

 【拓展训练】 165

项目七 视觉分拣工作站操作编程..... 167

 【项目引入】 167

 【知识图谱】 168

 任务一 视觉分拣工作站的认知..... 168

 【任务描述】 168

 【任务学习】 169

【思考与练习】	169	【思考与练习】	189
任务二 机器视觉的认知	169	【项目总结】	190
【任务描述】	169	【拓展训练】	190
【任务学习】	170	项目八 激光切割工作站离线编程	192
一、机器视觉概述	170	【项目引入】	192
二、机器视觉系统的分类及构成	171	【知识图谱】	193
【思考与练习】	172	任务一 激光切割工作站的认知	193
任务三 欧姆龙机器视觉系统简介	172	【任务描述】	193
【任务描述】	172	【任务学习】	193
【任务学习】	172	一、激光切割技术	193
一、欧姆龙机器视觉系统硬件的组成	172	二、机器人激光切割工作站的组成	194
二、欧姆龙机器视觉系统软件的简介	173	【思考与练习】	195
【思考与练习】	177	任务二 离线编程技术简介	195
任务四 视觉分拣工作站编程	177	【任务描述】	195
【任务描述】	177	【任务学习】	195
【任务学习】	177	一、离线编程概述	195
一、机器视觉系统的设置	177	二、主流的离线编程软件	196
二、FOR/ENDFOR 指令的使用	182	【思考与练习】	196
三、分拣工业机器人编程	183	任务三 激光切割工作站编程	196
【思考与练习】	185	【任务描述】	196
任务五 机器人的自动运行	185	【任务学习】	197
【任务描述】	185	一、创建虚拟的工作场景	197
【任务学习】	185	二、编写程序	201
一、自动运行的执行条件	185	三、程序的导出和导入	203
二、RSR 自动运行方式	187	【思考与练习】	205
三、PNS 自动运行方式	188	【项目总结】	205
		【拓展训练】	205
		附录A ROBOGUIDE 离线编程软件的认知	207
		附录B 零点标定	213

基础篇

初识机器人





项目一

初识 FANUC 机器人

【项目引入】

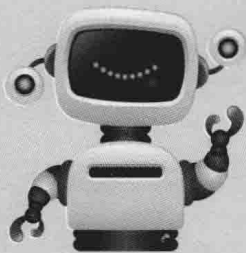
王工：现在我给大家做一个简单的 FANUC 机器人认知的培训。既然是与该品牌机器人的第一次见面，我们必须对机器人有一个简单的认识。下面，我们来看看 FANUC 机器人长什么模样吧。

小李：师傅，这看起来一点也不像人啊，怎么是机器人？

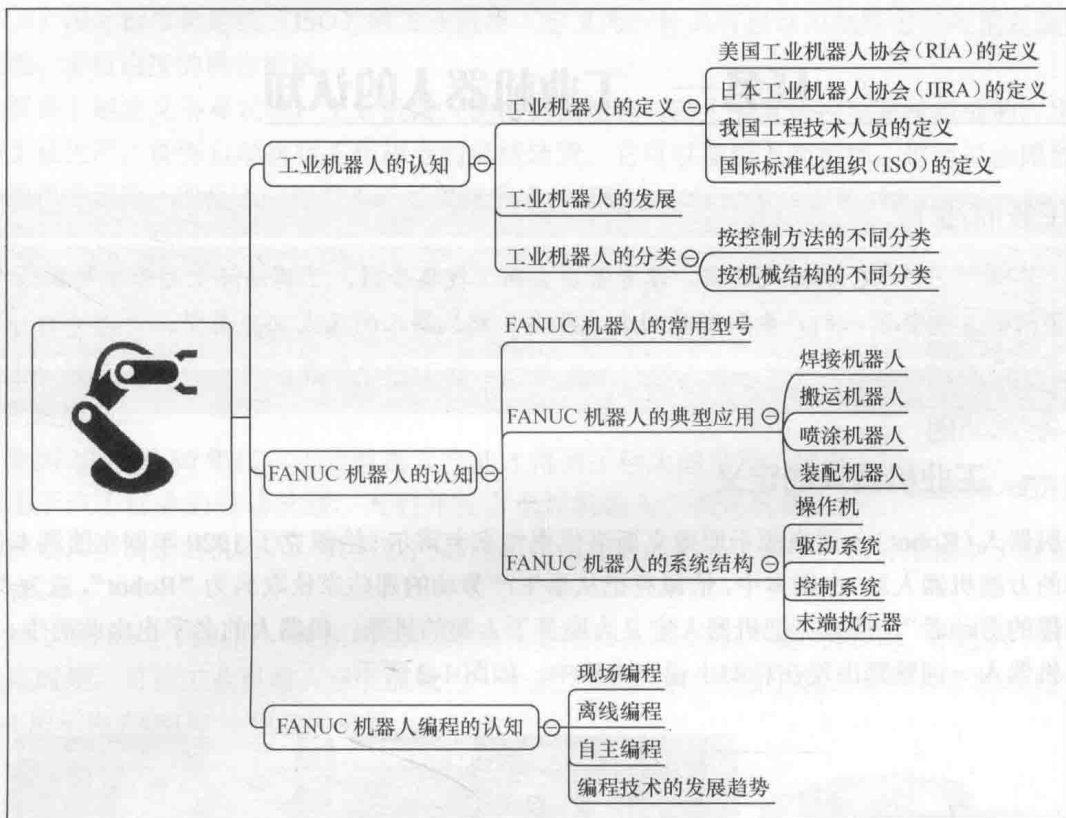
王工：这不能单凭外形来决定，而是要看它具有的功能是否符合机器人的标准。

小明：可是师傅，对于我们这些初学者来说，具体应该首先知道哪些知识呢？

王工：当然是先从工业机器人的概念入手，去了解整个工业机器人领域的发展和分类。在重点学习 FANUC 机器人时，不仅要熟悉它的常用型号、典型应用、硬件结构，还要了解其编程技术和方法。



【知识图谱】



随着科学技术的进步，人类的体力劳动已逐渐被各种机械所取代。在《中国制造 2025》战略的指导下，工厂“机器换人”的现象将更加频繁，我国工业机器人市场将进一步拓展。如图 1-1 所示，工业机器人作为《中国制造 2025》的第 2 个重点领域，在未来将扮演重要角色。

《中国制造 2025》明确了十大重点领域

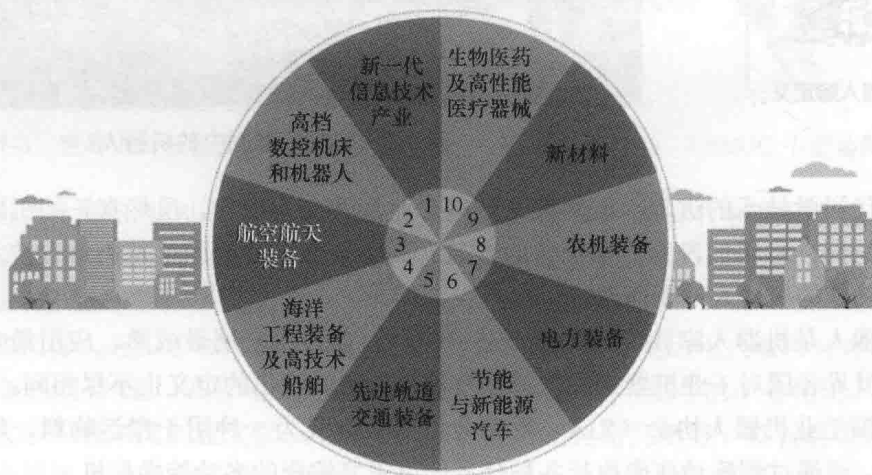


图 1-1 工业机器人在未来扮演的重要角色



工业机器人技术是一门涉及机械、电子、力学、控制、传感器检测、计算机技术等的一体化装置。工业机器人不是机械、电子技术的简单组合，而是融合多领域应用技术的一体化装置。目前，工业机器人的应用非常广泛，上至航空航天，下至海洋探索都能见到它们的身影。进入 21 世纪以来，工业机器人的应用程度已经成为衡量一个国家工业自动化水平的重要标志。

任务一 工业机器人的认知

【任务描述】

在学习 FANUC 机器人之前，读者需要去网上搜集资料，了解国际上关于工业机器人的定义、工业机器人的产生和发展历史，熟悉工业机器人的几大主要类型。

【任务学习】

一、工业机器人的定义

机器人(Robot)一词来源于原捷克斯洛伐克作家卡雷尔·恰佩克于 1920 年创作的剧本《罗萨姆的万能机器人》。在剧本中，恰佩克把从事生产劳动的那些家伙取名为“Robot”，意为“不知疲倦的劳动者”。恰佩克把机器人定义为服务于人类的机器，机器人的名字也由此而生。随后，机器人一词频繁出现在科幻小说和电影中，如图 1-2 所示。

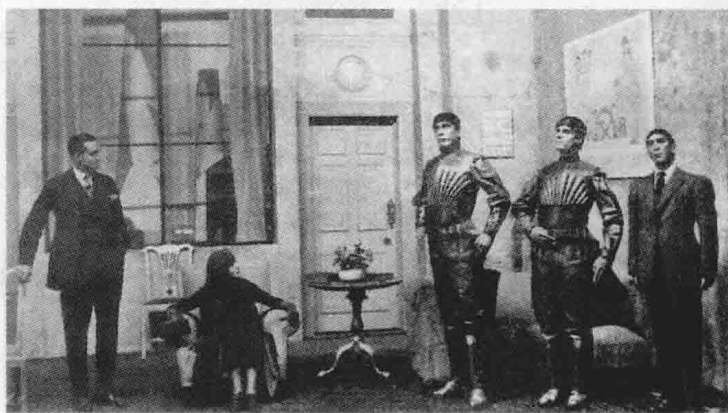


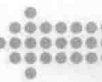
图 1-2 科学幻想剧中的机器人

随着现代科学技术的进步，机器人这一概念逐步演变为现实。虽然真正的机器人诞生已有几十年的时间，但仍然没有一个统一的定义。其中一个重要原因就是机器人技术在不断发展，具有新功能的机器人不断涌现。

工业机器人是机器人家族中的重要一员，也是目前技术发展最成熟、应用最多的一类机器人。由于世界各国对工业机器人的理解存在差异，所以给出的定义也不尽相同。

(1) 美国工业机器人协会 (RIA) 将工业机器人定义为一种用于搬运物料、零件、工具的专门装置，或通过程序动作来执行各种任务的可重复编程的多功能操作机。

(2) 日本工业机器人协会 (JIRA) 将工业机器人定义为一种带有存储器 and 末端执行器的，



能够通过自动化的动作代替人类劳动的通用机械。

(3) 我国工程技术人员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生物相似的能力,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。

(4) 国际标准化组织(ISO)将工业机器人定义为一种具有自动控制能力、可重复编程、多功能、多自由度的操作机械。

综合上述定义不难发现,工业机器人是由机械结构、动力装置和控制系统组成的,用于从事工业生产,能够自动执行工作指令的机械装置。它可以接受人类指挥,也可以按照预先编排的程序运行。现代工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则和纲领行动。

二、工业机器人的发展

世界上第一台工业机器人诞生于 1959 年,如图 1-3 所示。当时其作业能力仅限于上料和下料这类简单的工作,此后工业机器人进入了一个缓慢的发展期。

直到 20 世纪 80 年代,工业机器人产业才得到了巨大的发展。这个时期由于汽车行业的蓬勃发展,人们开发出点焊机器人、弧焊机器人、喷涂机器人以及搬运机器人,其系列产品已经成熟并形成产业化规模,有力地推动了制造业的发展。

20 世纪 80 年代以后,装配机器人和柔性装配技术得到了广泛的应用,并进入一个快速发展时期。目前工业机器人已发展成为一个庞大的家族,应用于制造业的各个领域之中。图 1-4 所示为 FANUC 小型装配机器人。

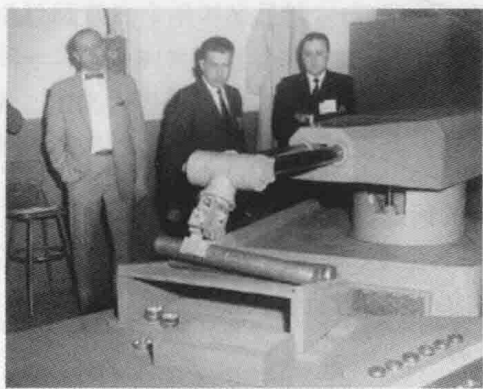


图 1-3 世界上第一台工业机器人

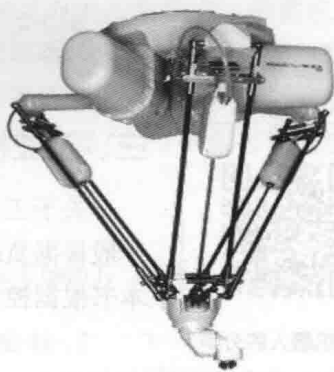


图 1-4 FANUC 小型装配机器人

目前,世界上的工业机器人公司主要分为日系和欧系。日系中主要有安川、FANUC、OTC 和松下。欧系中主要有德国的 KUKA、CLOOS,瑞士的 ABB,意大利的 COMAU,英国的 Autotech Robotics 等。

我国工业机器人起步于 20 世纪 70 年代初期。40 多年的发展历程大致可分为 3 个阶段:1972—1985 年的萌芽期;1985—2000 年的技术研发期;2000 年至今的产业化期。20 世纪 70 年代,清华大学、哈尔滨工业大学、中国科学院沈阳自动化研究所等一批科研单位及高校最早开始了工业机器人的理论研究;20 世纪 80—90 年代,中国科学院沈阳自动化研究所和中国第一汽车制造厂进行了机器人的试制和初步应用工作。进入 21 世纪以来,在国家政策的大



力支持下,广州数控设备有限公司、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、安徽埃夫特智能装备有限公司、南京埃斯顿自动化股份有限公司等一批优秀的本土机器人公司开始涌现,工业机器人在我国初步形成了产业化。现在,国家更加重视工业机器人的发展,也有越来越多的企业和科研人员投入到工业机器人的开发研究之中。

目前,我国的科研人员已经基本掌握了工业机器人的结构设计和制造技术、控制系统硬件和软件技术、运动学和轨迹规划技术,也具有了机器人部分关键元器件的规模化生产能力。一些公司开发出的喷漆、弧焊、点焊、装配、搬运等机器人已经在多家企业的自动化生产线上获得了大规模应用。

在产业转型升级、人口结构调整等多重因素的驱动下,我国已经成为世界上最大的工业机器人市场之一,而按照发展趋势,这还仅仅是个开始。图 1-5 所示为 2012—2017 年工业机器人的销量统计。根据统计,全球每万人中工业机器人的使用数量为 69,中国仅为 49。对比日本、德国、韩国、美国等工业发达国家,我国每万人中工业机器人的使用数量差距较为明显,因此业内普遍认为我国工业机器人还有广阔的发展空间。



图 1-5 2012—2017 年工业机器人的销量统计

微课



工业机器人的分类

三、工业机器人的分类

关于工业机器人如何分类的问题,国际上没有制定统一的标准。它一般根据负载重量、控制方法、自由度、机械结构、应用领域等进行分类。本书根据控制方法和机械结构的不同,对机器人进行分类。

1. 按控制方法的不同分类

(1) 非伺服控制的机器人

这类机器人的控制处于开环状态,每个轴只可以设定 2 个位置,机械一旦开始移动,将持续下去直到碰到适当的定位挡块为止,中间过程的任何运动都没有监测。从控制的角度来看,这是最简单的控制形式。此类机器人也可称为端点机器人、选取-装入机器人或开关式机器人。因其成本低、操作简单,故在较小型的机器人中常使用非伺服控制。非伺服控制的机器人具有以下特点。

- 臂的尺寸小且轴的驱动器施加的是满动力,机器人的速度相对较大。
- 机器人价格低廉,易于操作和维修,同时也是极为可靠的设备。
- 工作重复性约为 $\pm 0.254\text{mm}$,即返回同一点的误差在 $\pm 0.254\text{mm}$ 范围内。
- 在定位和编程方面的灵活度有限,虽然可使一个以上的轴同时移动,但却不能使机

械手端部握持的工具沿直线移动（除非该直线与机器人的运动轴重合），也不能实现几个轴同时到达预定终点的协同运动。

(2) 伺服控制的机器人

这类机器人的各轴都是闭环的，传感器对有关位置和速度等信息进行连续监测，并反馈到与机器人各关节有关的控制系统中。伺服控制的机器人具有以下特点。

- 与非伺服控制的机器人比较，它具有较大的记忆存储容量。
- 机械手端部可按点到点、直线、连续轨迹 3 种不同类型的运动方式移动。
- 在机械允许的极限范围内，位置精度可通过调整伺服回路中相应放大器的增益加以变动。
- 编程工作一般以示教模式完成。
- 机器人几个轴之间的“协同运动”，可以使机械手的端部描绘出一条极为复杂的轨迹，一般在小型或微型计算机控制下自动进行。
- 与非伺服控制的机器人相比，其价格昂贵，可靠性稍差。

一般来讲，伺服控制的机器人又细分为点位（点到点）伺服控制类和连续轨迹伺服控制类 2 种。图 1-6 所示为机器人点位伺服控制和连续轨迹伺服控制的轨迹示意图。

① 点位伺服控制的机器人。点位伺服控制的机器人广泛用于执行将部件从某一位置移动到另一位置的操作。它仅控制机器人离散点上手爪或工具的位姿，尽快而无超调地实现相邻点的运动，对运动轨迹不做控制，可以进行码垛或装卸托盘等作业。

② 连续轨迹伺服控制的机器人。许多应用场合要求机械手的作用半径足够大或能运送较重的负载物，特别是有的应用场合，需要机器人沿空间一条复杂的轨迹运动，有时还可能要求手臂末端做高速运动。涉及的应用场合包括喷漆、抛光、磨削、电弧焊等。连续轨迹伺服控制机器人需要控制手爪的位姿轨迹，达到速度可控、轨迹光滑、运动平稳的要求。因为其轨迹是连续的，故称为连续轨迹（CP）伺服控制的机器人。

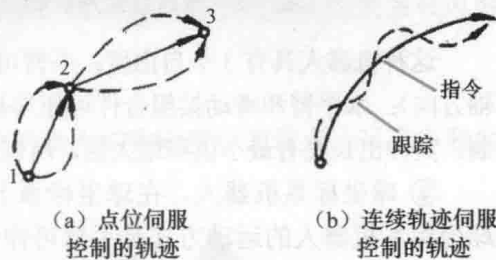


图 1-6 点位伺服控制与连续轨迹伺服控制的轨迹

2. 按机械结构的不同分类

(1) 串联机器人

串联机器人是一个开放的运动链（Open Loop Kinematic Chain），其所有的运动杆件没有形成一个封闭的结构链。串联机器人具有以下特点。

- 工作空间大。
- 运动分析较容易。
- 可避免驱动轴之间的耦合效应。
- 机构各轴必须独立控制，并且需搭配编码器与传感器，用来提高机构运动时的精准度。

按照运动副的不同，串联机器人分为直角坐标系机器人、柱坐标系机器人、球坐标系机器人和关节坐标系机器人等。

① 直角坐标系机器人（笛卡儿坐标系机器人）。直角坐标系机器人是一种最简单的结构，如图 1-7 所示，其机械手的连杆按线性方式移动。机器人的机械手构件受到约束，在平行于坐标轴 X 、 Y 、 Z 的方向上移动，臂连到主干，而主干又与基座相连接。这种形式的机器人从支撑架伸出的长度有限、刚性差，但是重复性和精度高。其坐标系更接近自然状态，故编程容易。可是有些运动形式，如方向与任何轴都不平行的直线轨迹，此结构可能较难完成。