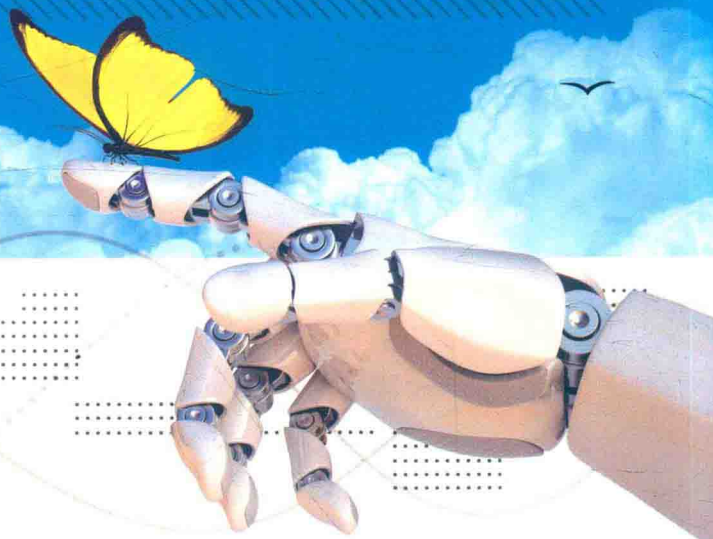


工业机器人技术应用系列
高等教育“十三五”规划教材

FANUC工业机器人 基础操作与编程

◎ 张焱 张玲玲 主编
◎ 封佳诚 林 谊 副主编



立体化教材:

- 教材
- 教学课件
- 学习视频



中国工信出版集团



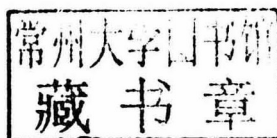
电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

工业机器人技术应用系列
高等教育“十三五”规划教材

FANUC 工业机器人 基础操作与编程

◎ 张 焱 张玲玲 主 编

◎ 封佳诚 林 谊 副主编



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 FANUC 工业机器人为例,介绍了工业机器人的发展、系统组成、坐标系设置、轨迹编程、常用功能设定与零点标定、I/O 信号分类、教学工作站的搭建和应用,通过详尽的图解实例对 FANUC 工业机器人的功能和操作方法进行讲述,让读者了解具体操作和编程的方法,从而帮助读者对 FANUC 工业机器人有一个全面的认识。

本书可作为应用型本科及职业院校自动化类专业的教学用书,也可作为相关企业的培训用书,同时是从事工业机器人技术应用与开发的工程师的有益读本。

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

FANUC 工业机器人基础操作与编程 / 张焱, 张玲玲主编. —北京: 电子工业出版社, 2019.10
ISBN 978-7-121-37368-8

I. ①F… II. ①张… ②张… III. ①工业机器人—操作—高等学校—教材 ②工业机器人—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 197551 号

责任编辑: 朱怀永

印 刷: 北京七彩京通数码快印有限公司

装 订: 北京七彩京通数码快印有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 11.75 字数: 300.8 千字

版 次: 2019 年 10 月第 1 版

印 次: 2019 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 38.80 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, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254608 或 zhy@phei.com.cn。

前 言

PREFACE



生产力的不断进步推动了科技的进步与革新，建立了更加合理的生产关系。自工业革命以来，人力劳动已经逐渐被机械所取代，而这种变革为人类社会创造出巨大的财富，极大地推动了人类社会的进步。时至今日，机电一体化、机械智能化等技术应运而生。人类充分发挥主观能动性，进一步增强对机械的利用效率，使之创造出更加巨大的生产力。工业机器人的出现是人类利用机械进行社会生产历史上的一个里程碑。

我国机械制造业及其相关产业过去长期依赖人力，并且存在劳动力过剩与生产效率相对较低的现实。从畜力代替人力耕作、劳动到简单省力机械的应用，从对风能、水能的利用到对电力、核能的使用，人类总是朝着更省力的方向前进。因此，德国提出了工业 4.0，我国提出了“中国制造 2025”，装备智能化势在必行。工业机器人是装备智能化的物质基础，相较于传统机械，工业机器人朝着类人运动的方向走得更远，应用领域更加开放。

本书以 FANUC 工业机器人为例，介绍了工业机器人的发展、系统组成、坐标系设置、轨迹编程、常用功能设定与零点标定、I/O 信号分类、教学工作站的搭建和应用。

对本书中的疏漏之处，我们热忱欢迎读者提出宝贵的意见和建议。

编 者
2019 年 6 月

目 录

CONTENTS



单元 1 工业机器人认识	1
学习目标	1
课程导入	1
课程内容	1
1.1.1 了解工业机器人	1
1.1.2 FANUC 工业机器人介绍	4
1.1.3 机器人选型原则	8
课程总结	8
思考与练习	9
单元 2 启动工业机器人	10
任务 1 工业机器人安全操作规范认识	10
学习目标	10
课程导入	10
课程内容	10
2.1.1 工业机器人安全操作的注意事项	10
2.1.2 工业机器人停止的方法	13
2.1.3 工业机器人操作流程	14
课程总结	16
思考与练习 2-1	16
任务 2 FANUC 工业机器人系统组成	17
学习目标	17
课程导入	17
课程内容	17
2.2.1 工业机器人系统组成	17
2.2.2 工业机器人本体介绍	18
2.2.3 FANUC 工业机器人控制柜介绍	20
2.2.4 机器人系统运行控制认知	22
课程总结	23
思考与练习 2-2	23
任务 3 连接并启动工业机器人	24
学习目标	24

课程导入	24
课程内容	24
2.3.1 工业机器人本体及控制柜的铭牌认知	24
2.3.2 工业机器人开机的总体步骤	25
课程总结	29
思考与练习 2-3	30
任务 4 工业机器人手动示教	30
学习目标	30
课程导入	30
课程内容	31
2.4.1 手动示教机器人的步骤	31
2.4.2 合理清除示教器报警信息	31
2.4.3 示教机器人检查各关节运动并关机	33
课程总结	35
思考与练习 2-4	36
单元 3 工业机器人系统配置	37
任务 1 工业机器人坐标系设置	37
学习目标	37
课程导入	37
课程内容	38
3.1.1 FANUC 工业机器人坐标系认知	38
3.1.2 工业机器人工具坐标系认知	40
3.1.3 设置并激活工具坐标系	42
3.1.4 工业机器人用户坐标系认知	52
3.1.5 设置并激活用户坐标系	54
课程总结	58
思考与练习 3-1	58
任务 2 FANUC 工业机器人常用功能设定	59
学习目标	59
课程导入	59
课程内容	60
3.2.1 轴动作范围的设定	60
3.2.2 工业机器人负载的设定	61
3.2.3 工业机器人防干涉区域的设定	62
3.2.4 FANUC 工业机器人的系统配置	64
课程总结	66
思考与练习 3-2	66
任务 3 FANUC 工业机器人零点标定	67
学习目标	67

课程导入	67
课程内容	67
3.3.1 FANUC 工业机器人零点标定的含义	67
3.3.2 FANUC 工业机器人零点标定的操作	69
3.3.3 更换 FANUC 工业机器人后备电池	77
课程总结	79
思考与练习 3-3	80
单元 4 机器人轨迹编程	81
任务 1 示教程序的创建	81
学习目标	81
课程导入	81
课程内容	81
4.1.1 FANUC 工业机器人示教编程介绍	81
4.1.2 示教程序的创建	82
4.1.3 示教程序的选择	83
4.1.4 示教程序的删除	84
4.1.5 示教程序的复制	84
4.1.6 查看程序属性	85
课程总结	86
思考与练习 4-1	86
任务 2 轨迹编程——“2098”	87
学习目标	87
课程导入	87
课程内容	87
4.2.1 FANUC 工业机器人编程界面简介	87
4.2.2 机器人运动指令认识	87
4.2.3 运动指令的示教操作	93
4.2.4 轨迹编程“2098”	98
课程总结	100
思考与练习 4-2	100
任务 3 正方形轨迹程序的编写	100
学习目标	100
课程导入	101
课程内容	101
4.3.1 FANUC 工业机器人位置资料认知	101
4.3.2 寄存器指令的使用	105
4.3.3 正方形轨迹编程	109
4.3.4 动作附加指令介绍	113
课程总结	116

思考与练习 4-3	116
任务 4 FANUC 工业机器人程序设计及运行	117
学习目标	117
课程导入	117
课程内容	118
4.4.1 程序的设计	118
4.4.2 程序的执行	119
课程总结	124
思考与练习 4-4	124
单元 5 机器人装配工作站程序编写	126
任务 1 FANUC 工业机器人 I/O 信号认知	126
学习目标	126
课程导入	126
课程内容	126
5.1.1 通用 I/O 信号	126
5.1.2 专用 I/O 信号	127
课程总结	130
思考与练习 5-1	131
任务 2 FANUC 工业机器人 I/O 信号接线与控制	131
学习目标	131
课程导入	131
课程内容	131
5.2.1 FANUC 工业机器人 I/O 信号的分配	131
5.2.2 FANUC 工业机器人 I/O 信号的接线	138
5.2.3 机器人 I/O 信号手动控制	141
5.2.4 自动运行 FANUC 工业机器人程序	144
课程总结	149
思考与练习 5-2	149
任务 3 基于机器人控制指令的示教程序编写	150
学习目标	150
课程导入	150
课程内容	150
5.3.1 FANUC 工业机器人控制类指令介绍	150
5.3.2 练习 1——熟练阅读 FANUC 工业机器人程序指令	160
5.3.3 练习 2——根据控制要求完成程序编写	161
课程总结	163
思考与练习 5-3	163
任务 4 基于机器人装配工作站程序的编写	163
学习目标	163

课程导入	163
课程内容	163
5.4.1 机器人装配工作站上料及输送单元介绍	163
5.4.2 机器人装配工作站上料及输送单元控制介绍	165
5.4.3 机器人装配工作站装配平台介绍	167
5.4.4 FANUC 工业机器人宏指令介绍	169
5.4.5 机器人装配工作站程序编写	173
课程总结	176
思考与练习 5-4	176
参考文献	177

单元 1

工业机器人认识



本单元课件

学习目标

学习目标	学习目标分解	学习要求
知识目标	了解工业机器人的概念	了解
	了解工业机器人的分类	了解
	了解工业机器人常见的应用领域	了解
	熟知五种以上 FANUC 工业机器人的型号	熟练掌握
	熟知 FANUC 工业机器人选型原则	熟练掌握
技能目标	—	—

课程导入

随着时代的发展，人们对产品的质量及生产效率的要求不断提高，工业生产开始越来越多地强调自动化生产，而工业机器人作为直接执行者，在自动化整体转型中起着决定性的作用，也是通过自动化转型来优化产业结构的必经之路。

本单元的主要内容有：什么是工业机器人、工业机器人典型应用领域、FANUC 工业机器人的型号等。

课程内容

1.1.1 了解工业机器人

1. 工业机器人技术在汽车制造业中的应用案例

近年来，工业机器人技术的应用领域越来越广泛，如弧焊、点焊、装配、搬运、喷漆、检测、码垛、研磨抛光和激光加工等。工业机器人技术已从传统制造业推广到其他制造业，进而推广到如采矿、建筑、农业、灾难救援等各种非制造行业。工业机器人技术的日趋成熟与发展，给人类的生产过程带来了重大的变革。在美国，60%的工业机器人用于汽车生产；全世界用于汽车产业的工业机器人已经达到总用量的50%以上。

在我国，工业机器人最初用于汽车制造业和工程机械行业的喷涂及焊接。机器人在汽车整车生产中的应用主要有点焊、弧焊、铆接、涂胶、喷涂等；在汽车零部件生产中

的应用主要有点焊、凸焊、缝焊、对焊及电弧焊等。随着我国汽车工业的发展和自动化水平的不断提高,预计国内企业对焊接机器人的需求量将以 30% 以上的速度增长。以下是汽车制造业中普遍应用的几种工业机器人。

图 1-1 所示为上海通用汽车生产工厂的焊装车间的一部分,在这一焊接工位上,16 台高密度机器人协同作业,实现了高效生产。整个焊装车间共有 452 台工业机器人,工业机器人的使用使该工厂生产线自动化率达到了 97%。在汽车车身生产中,有工作量较大的压铸、焊接、检测等工序,这些复杂工作均由工业机器人参与完成,特别是焊接线,自动化程度在 98% 以上。在汽车内饰件生产中,则需要表皮弱化机器人、发泡机器人、产品切割机器人等多种不同用途的工业机器人。工业机器人的应用大大提高了劳动生产率和产品质量。

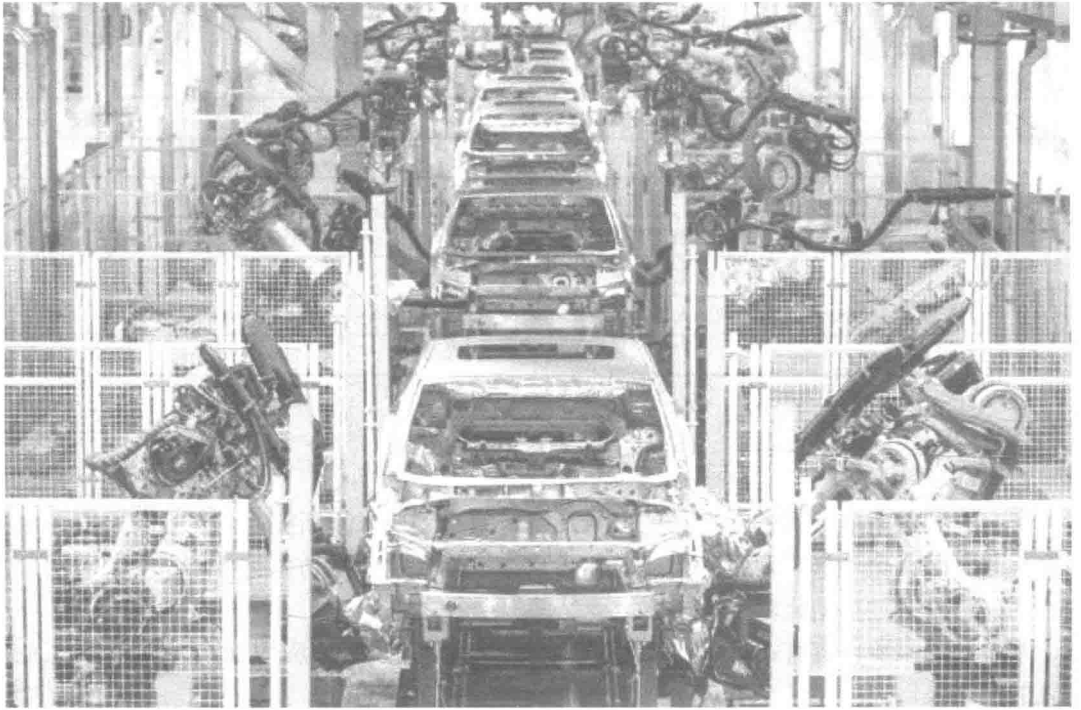


图 1-1 汽车生产焊接工位

喷涂机器人在汽车制造业中可喷涂形态复杂的汽车零件,多用于汽车车体的喷涂作业,如喷漆、喷釉等。喷涂机器人在汽车喷涂中的应用如图 1-2 所示。喷涂机器人不仅可提高产品的质量与产量,而且对保障人身安全、改善劳动条件、减轻劳动强度、提高生产效率、节约原材料消耗及降低生产成本等很多方面都有着十分重要的意义。喷涂机器人的广泛应用正在日益改变着汽车的生产方式。

伴随着汽车工业制造技术的升级与革新,越来越多的汽车品牌开始关注汽车车身轻量化问题。通过车身轻量化工艺,提升汽车的操控性及运动性,降低能耗与废气排放,使得在竞争激烈的全球汽车消费市场中处于领先地位。

目前,“热融紧固”装配技术在欧美汽车制造业解决车身轻量化问题领域得到了广泛的认可及应用。该装配技术将会是未来国内绿色节能、轻量化汽车装配领域非常重要的解决方案之一。“热融紧固”装配技术应用到的工业机器人如图 1-3 所示。

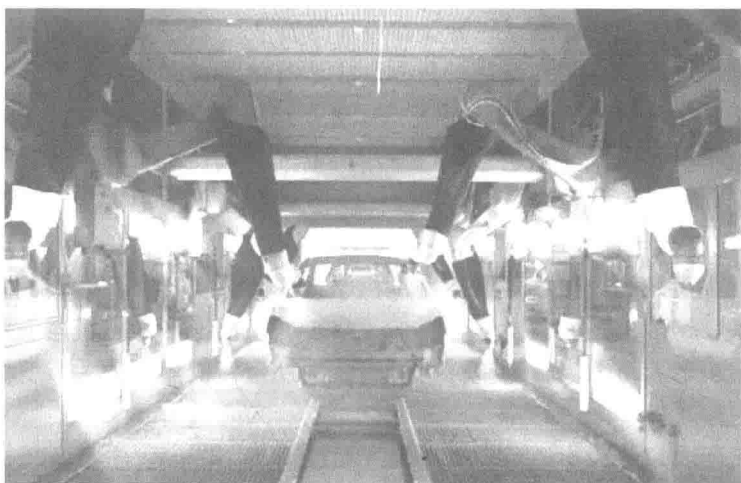


图 1-2 喷涂机器人在汽车喷涂中的应用

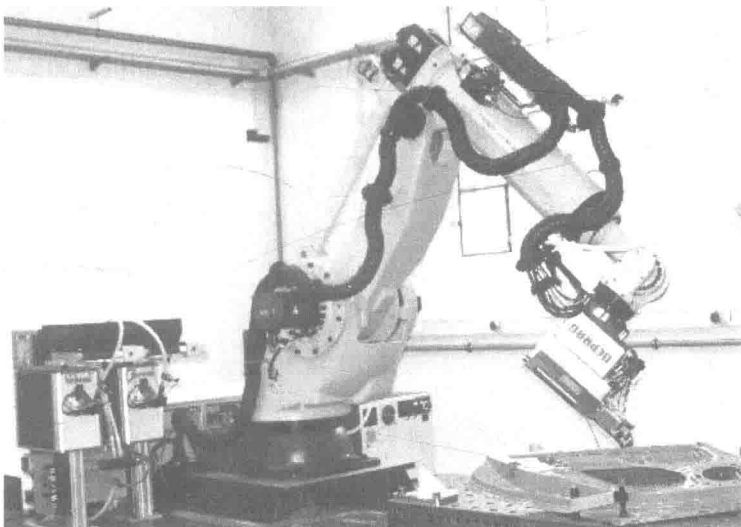


图 1-3 “热融紧固”装配技术应用到的工业机器人

2. 什么是工业机器人

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，它能自动执行工作，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，也可以按照预先编制的程序运行，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。工业机器人具有拟人化、可编程、通用型、应用技术广泛的特点。

我国国家标准 GB/112643—90 将工业机器人定义为：一种能自动定位控制、可重复编程的、多功能的、多自由度的操作机，能搬运材料、零件或操持工具，用以完成各种作业。而将操作机定义为：具有和人手臂相似的动作功能，可在空间抓放物体或进行其他操作的机械装置。

3. 机器人分类

对于机器人的分类，国际上没有统一的标准，可分别按照应用领域、用途、结构形式、

自由度、负载及控制方式等标准进行分类。

按照应用领域的不同，目前我国的机器人主要有两种，即工业机器人和特种机器人。特种机器人是指除工业机器人外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人、机器人化机器等。在特种机器人中，有些分支发展得很快，有独立成体系的趋势，如服务机器人、水下机器人、军用机器人、医疗机器人等。

按用途机器人可分为焊接机器人、搬运机器人、喷漆机器人、涂胶机器人、装配机器人、码垛机器人、切割机器人、自动导引车（AGV）机器人和净室机器人等。

按结构形式机器人可分为直角坐标机器人、圆柱坐标机器人和关节型机器人三种，其中关节型工业机器人以 4~6 轴为主。

按照负载机器人可分为小型负载机器人（负载小于 20kg）、中型负载机器人（负载在 20~100kg 之间）和大型负载机器人（负载大于 100kg）。

4. 工业机器人的应用领域

工业机器人常见的五大应用领域是搬运、焊接、装配、喷涂和机械加工，如图 1-4 所示。

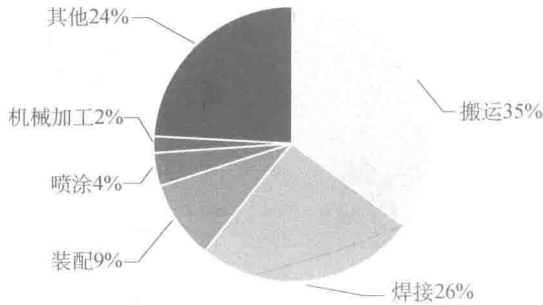


图 1-4 工业机器人的应用领域

(1) 搬运：目前，搬运仍然是机器人的第一大应用领域，约占工业机器人应用的 40% 左右。许多自动化生产线需要使用机器人进行机床上下料、搬运和码垛等操作。近年来，随着协作机器人的兴起，搬运机器人的市场份额一直呈增长态势。

(2) 焊接：机器人焊接主要包括在汽车行业使用的点焊和弧焊，虽然点焊机器人比弧焊机器人更受欢迎，但是弧焊机器人近年来发展势头十分迅猛。许多加工车间都逐步引入焊接机器人，用来实现自动化焊接作业。

(3) 装配：装配机器人主要从事零部件的安装、拆卸及修复等工作。

(4) 喷涂：主要指的是利用机器人完成涂装、点胶、喷漆等工作，只有 4% 的工业机器人从事喷涂的应用。

(5) 机械加工：机械加工行业的机器人应用量并不高，只占了 2%，原因大概是因为市面上有许多自动化设备可以胜任机械加工的任务。机械加工机器人主要从事包括零件铸造、激光切割及水射流切割等工作。

1.1.2 FANUC 工业机器人介绍

FANUC（发那科公司）是全球多样化的 FA（工厂自动化）、机器人和智能机械的制造

商。发那科公司自 1956 年成立以来，始终是全球计算机数控设备发展的先驱，在自动化领域贡献突出。20 世纪 70 年代，发那科公司成为世界上最大的专业数控系统生产厂家，占据了全球 70% 的市场份额。从单台机器的自动化到整个生产线的自动化，FANUC 技术为全球制造业升级改造做出了重要贡献。2008 年，发那科公司成为全球首家突破 20 万台机器人的生产商，市场份额稳居第一。

FANUC 机器人产品系列多达 240 种，负重从 0.5kg 到 2300kg，广泛应用于装配、搬运、焊接、铸造、喷涂、码垛等不同生产环节，满足客户的不同需求。现有的 FANUC 机器人的型号如图 1-5 所示。

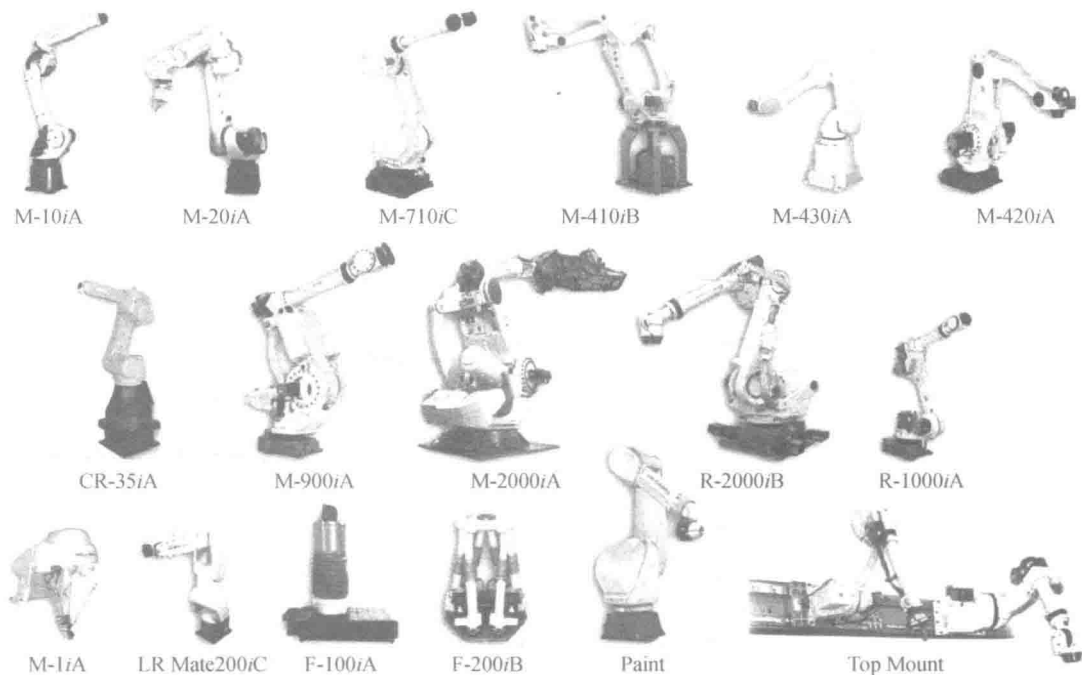


图 1-5 FANUC 机器人的型号

下面就几款比较常见的 FANUC 机器人进行简单介绍。

(1) LR Mate 系列 (如图 1-6 所示)

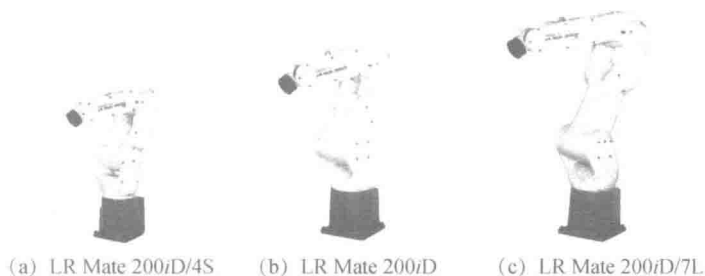


图 1-6 LR Mate 系列机器人

该系列机器人比较典型的型号有 LR Mate 200iD，它是一款大小和人的手臂相近的迷你机器人。因为它的手臂很苗条，所以即使被安装在狭小的空间，也可以将机器人手臂与周

围设备发生碰撞的可能性控制在最低限度。实际使用可以从标准型（可达半径为 717mm）、短臂型（可达半径为 550mm）、长臂型（可达半径为 911mm）、洁净型、对应清洗的防水型、5 轴高速型等机器人类型中，根据需要进行选择。该系列机器人可适用高温应用、测量检验、包装、分拣处理、搬运、填装、机床上下料、装配、修边、抛光、打磨、切割、焊接等工作领域。LR Mate 系列机器人参数见表 1-1。

表 1-1 LR Mate 系列机器人参数

参数	200iD	200iD/7L	200iD/4S	200iD/7H	
手部负载 (kg)	7	7	4	7	
运动轴数	6	6	6	5	
动作范围 (X, Y)	(717mm, 1274mm)	(911mm, 1643mm)	(550mm, 970mm)	(717mm, 1274mm)	
安装方式	地面、顶吊、倾斜角				
重复定位精度	±0.02mm	±0.03mm	±0.02mm	±0.02mm	
机构部件质量 (kg)	25	27	20	24	
最大运动速度	J1	7.85rad/s	6.46 rad/s	8.03 rad/s	7.85rad/s
	J2	6.63 rad/s	5.41 rad/s	8.03 rad/s	6.63 rad/s
	J3	9.08 rad/s	7.16 rad/s	9.08 rad/s	9.08 rad/s
	J4	9.60 rad/s	9.60 rad/s	9.77rad/s	9.60 rad/s
	J5	9.51 rad/s	9.51 rad/s	9.77 rad/s	9.51 rad/s
	J6	17.45 rad/s	17.45 rad/s	15.71 rad/s	—

(2) R-0iA/M-10iA/M-20iA 系列（如图 1-7 所示）

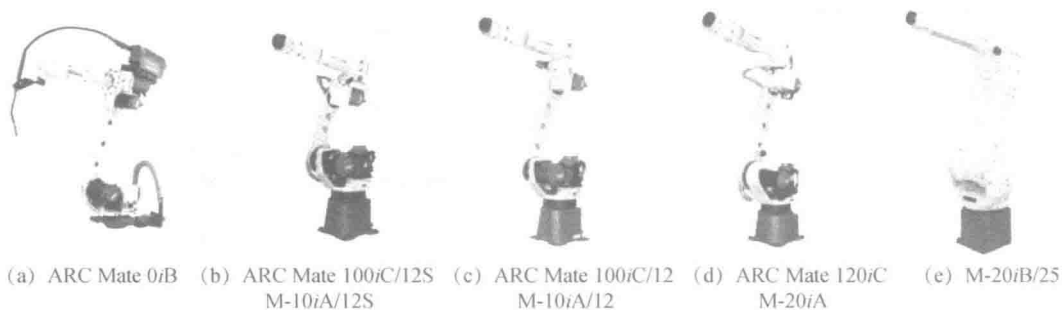


图 1-7 R-0iA/M-10iA/M-20iA 系列机器人

R-0iB 系列机器人是一款专门为弧焊应用而设计的低价格弧焊机器人。在原有机器人的基础上实现了机器人手臂进一步轻量化和紧凑化，通常应用于点焊、弧焊、激光切割、火焰切割、机床上下料等。

M-10iA/M-20iA 系列机器人是可搬运质量为 7~35kg 级别的小型 6 轴搬运机器人，通常应用于装配、喷涂及涂装、机床上下料、材料加工、码垛、物流搬运、拾取及包装等工作领域。

(3) M-710iC 系列（如图 1-8 所示）

M-710iC 系列机器人是一款中型搬运机器人，可搬运的质量为 12~70kg。该系列机器人具有动作范围广、手腕负载容量大、运动性能好、用途广泛的特点，应用于大型面板等工件的搬运，以及汽车车身的涂胶作业和电弧焊等领域。

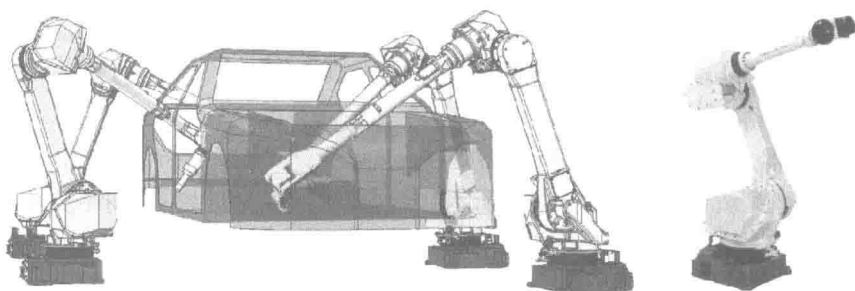


图 1-8 M-710iC 系列机器人

(4) R-1000iA/R-2000iB/R-2000iC 系列 (如图 1-9 所示)

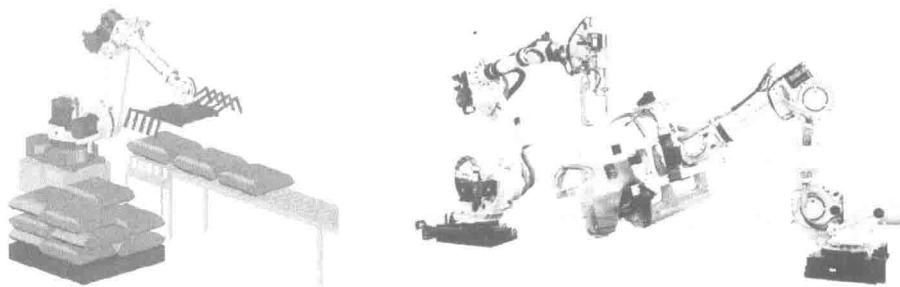


图 1-9 R-1000iA/R-2000iB/R-2000iC 系列机器人

R-1000iA 系列机器人是可搬运质量为 80~100kg 的中型高速机器人。它具有紧凑的结构和优越的动作性能,能够完成布局密集的搬运、点焊、码垛等多种作业。

R-2000iC 系列机器人凝聚了 FANUC 多年的经验及技术,是以高可靠性和优异的性能见长的智能型机器人。该系列机器人可以进行点焊、搬运、组装等多种作业。

R-2000iB 系列机器人具有高可靠性和优异性价比,具有最新的智能化功能和网络功能,可以进行点焊、搬运、组装等多种作业。

(5) M-900iA/M-900iB 和 M-2000iA 系列

M-900iA/M-900iB 系列机器人是可搬运质量为 150~700kg 的重型智能机器人。

M-2000iA 系列机器人是最大可搬运质量为 900~2300kg 的重负载搬运机器人。

(6) 协作机器人

目前, FANUC 共生产了两款协作机器人: CR-35iA (如图 1-10 所示) 和 CR-7iA。



图 1-10 CR-35iA 系列机器人

CR-35iA 系列机器人是全球首款取得安全认证的协作机器人，可搬运质量可达 35kg，运动半径可达 1813mm。因为无须安全栅栏，人与机器人可以一起进行作业，以提高制造现场的生产效率并削减人力成本。

(7) 并联机器人系列 (M-1iA/M-2iA/M-3iA)

M-1/2/3iA 系列机器人 (如图 1-11 所示) 具有柔性高、可以在空间中实现自由搬运的特点。作为并联机构机器人，该系列机器人采用了独特构造的 6 轴机型，扩大了其在物流、装配生产线的适用范围。在应用上，并联机器人具有以下优点：一，具有很高的柔性，在工作中不仅可以随意地变换物品的角度，更适用于整列、装配等多种作业；二，机器人手腕的电动机固定在杠杆臂上，这增加了第 4 轴及 4 至 6 轴的刚性，同时提高夹持时的精度。



图 1-11 M-1/2/3iA 系列机器人

1.1.3 机器人选型原则

设计机器人工作站的第一个任务就是要正确选择一款机器人，只有机器人型号选择正确了，才可以根据它的具体参数完成其他外围设备的设计。选择机器人通常需查看的主要参数有：

- 手部负载能力；
- 运动轴数；
- 2 轴和 3 轴负载能力；
- 运动范围；
- 安装方式；
- 重复定位精度；
- 最大运动速度。



课程总结

本单元引导学习者认识机器人工作站及工作站各部分组成，并学习机器人工作站在工业生产中的应用，通过以上内容的认识和学习可使学习者对机器人操作与仿真课程有深刻的认识，为以后的学习打下基础。