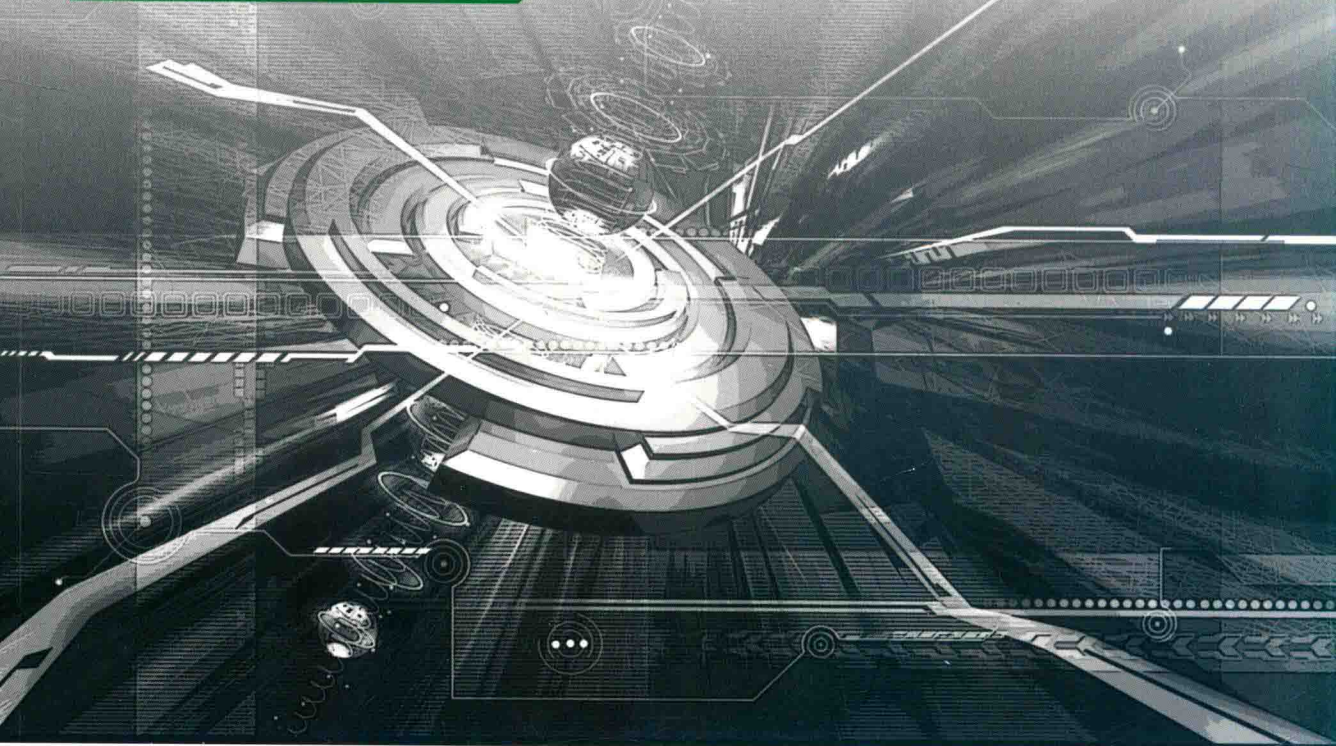




普通高等学校
电类规划教材
电气自动化



FANUC工业机器人 配置与编程技术

◎邵欣 刘继伟 主编

◎李正强 杜石雷 刘会巧 副主编

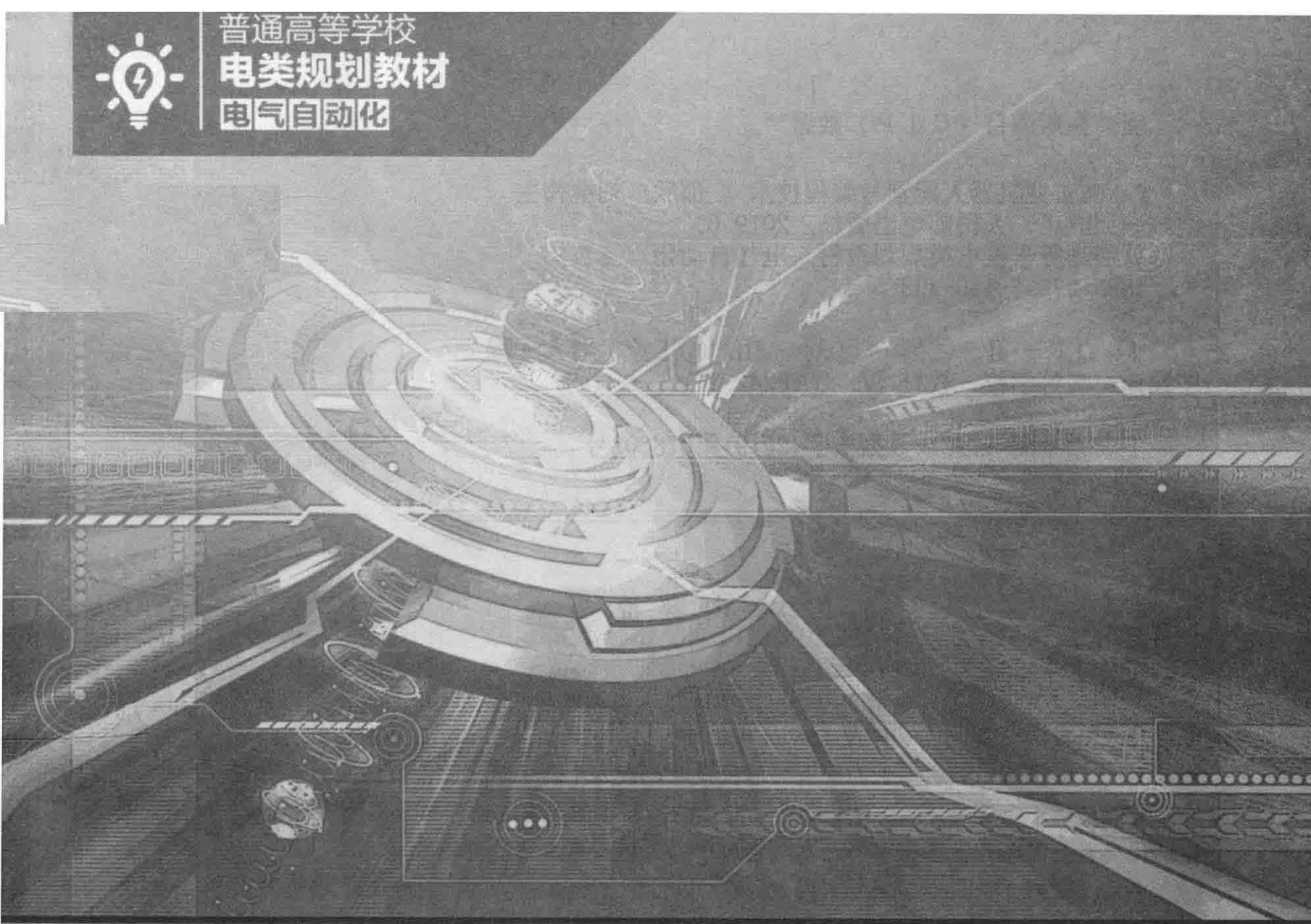
- 以 FANUC 工业机器人为例，面向工业应用
- 理论知识全面系统，细化操作流程，突出实用性原则
- 结合大量图例讲解，深入浅出，降低学习难度

中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

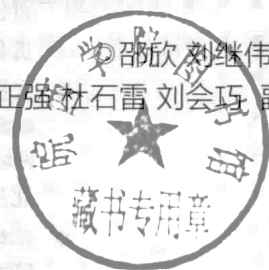


普通高等学校
电类规划教材
电气自动化



FANUC工业机器人 配置与编程技术

邵欣 刘继伟 主编
◎李正强 杜石雷 刘会巧 副主编



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC工业机器人配置与编程技术 / 邵欣, 刘继伟主
编. — 北京: 人民邮电出版社, 2019.6
普通高等学校电类规划教材. 电气自动化
ISBN 978-7-115-49885-4

I. ①F… II. ①邵… ②刘… III. ①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078603号

内 容 提 要

本书以 FANUC 工业机器人为例, 从应用角度出发分别介绍了工业机器人系统的构成、视觉的配置及应用方法、EtherNet/IP 及 DeviceNet 网络配置与通信方法、示教编程方法等内容, 读者可由浅入深地详细了解工业机器人的配置与编程技术, 较为全面地掌握工业机器人的应用方法。

全书适用于电气类、自动化类等相关专业的本科教学, 适度删减部分讲授内容后可作为电气类、自动化类专业高职高专教学用书。本书也可作为工程技术人员的培训教材。

-
- ◆ 主 编 邵 欣 刘继伟
 - 副 主 编 李正强 杜石雷 刘会巧
 - 责任编辑 张 斌
 - 责任印制 陈 犇
 - ◆ 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>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.5 2019年6月第1版
字数: 373千字 2019年6月北京第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

工业机器人是实施自动化生产线、智能制造车间、数字化工厂、智能工厂的重要基础装备之一。高端制造需要工业机器人，产业转型升级也离不开工业机器人。我国在《高端装备制造业“十二五”发展规划》及《智能制造装备产业“十二五”发展规划》中明确提出，工业机器人是智能制造装备发展的重要内容，并将其列为我国装备制造业向高端方向发展的必需核心装备。我们需要面对的一个挑战是：工业机器人技术应用人才在我国缺口达到 20 万人，并且还在以每年 20%~30% 的速度持续递增。面对企业对工业机器人人才的需求，切实需要实用、有效的教学资源培养能适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高素质技术技能人才。

自从 20 世纪 70 年代，发那科（FANUC）公司的首台机器人问世以来，FANUC 公司一直从事机器人的设计与制造，在全球机器人装机量的市场份额稳居前列。因此，本书以 FANUC 公司的工业机器人为对象，针对工业机器人的基本情况与操作过程进行讲解。

本书以工程应用为导向，结合实际操作规程和操作界面进行讲解，引领读者由浅入深地进行系统学习。本书截取 FANUC 工业机器人运行界面，与生产现场操作一致，做到理论与实践的统一。本书的主要内容如下：第 1 章重点介绍工业机器人的基础知识；第 2 章重点介绍 FANUC 工业机器人视觉处理工具 iVersion 的使用方法；第 3 章及第 4 章对 FANUC 工业机器人的 EtherNet/IP、DeviceNet 网络通信配置及使用方法进行介绍；第 5 章介绍 FANUC 工业机器人示教编程方法；第 6 章介绍 FANUC 工业机器人在应用中的典型外设配置方案。

本书由邵欣、刘继伟担任主编，李正强、杜石雷、刘会巧担任副主编。由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，希望读者提出宝贵的意见和建议。

第 2 章 工业机器人视觉

2.1 工业机器人视觉概述

2.2 视觉基本操作

目录

第 1 章 工业机器人系统组成	1
1.1 工业机器人概述	1
1.1.1 简介	1
1.1.2 特点	1
1.1.3 典型应用	2
1.1.4 发展历程	2
1.2 工业机器人本体	3
1.2.1 概述	3
1.2.2 实际应用	4
1.2.3 主要参数与常见规格	5
1.3 工业机器人软件系统	5
1.4 工业机器人控制柜	6
1.4.1 概述	6
1.4.2 使用方法	7
1.5 示教器	8
1.5.1 示教器按键	9
1.5.2 示教器画面	12
1.6 保养与维护	16
1.6.1 基本保养	16
1.6.2 日常维护	17
1.6.3 更换电池	18
1.6.4 更换润滑油	18
1.7 本章小结	19
习题	19
第 2 章 工业机器人视觉	20
2.1 工业机器人视觉概述	20
2.2 视觉基本操作	21

2.2.1	连接相机.....	21
2.2.2	显示执行时监视画面.....	22
2.2.3	镜头的调整.....	22
2.2.4	视觉数据设置画面.....	22
2.2.5	使用 iRVision 的相机数据.....	28
2.2.6	视觉数据的保存和加载.....	29
2.3	视觉零点标定.....	29
2.3.1	简介.....	29
2.3.2	操作概要.....	30
2.3.3	测量姿势.....	30
2.3.4	相机和测量目标的设置.....	32
2.3.5	不启用重力补偿功能时的视觉零点标定操作.....	33
2.3.6	启用重力补偿功能时的视觉零点标定操作.....	39
2.3.7	可使用的测量目标.....	45
2.4	拳头工业机器人视觉零点标定.....	45
2.4.1	简介.....	45
2.4.2	功能概要.....	46
2.4.3	操作概要.....	46
2.4.4	机构参数的重置.....	52
2.5	视觉零点标定恢复.....	52
2.5.1	简介.....	52
2.5.2	系统构成.....	52
2.5.3	测量姿势.....	53
2.5.4	操作概要.....	53
2.5.5	可使用的测量目标.....	61
2.6	单轴视觉零点标定.....	61
2.6.1	简介.....	61
2.6.2	功能概要.....	62
2.6.3	操作概要.....	66
2.6.4	视觉测量中的执行时监视.....	73
2.6.5	日志文件的规格.....	75
2.7	全轴视觉零点标定.....	75
2.7.1	简介.....	75
2.7.2	操作概要.....	76
2.8	手腕轴视觉零点标定.....	80
2.8.1	简介.....	80
2.8.2	功能概要.....	81
2.8.3	操作概要.....	83
2.8.4	测量程序和日志文件.....	86

2.9	视觉 TCP 设置	87
2.9.1	简介	87
2.9.2	功能概要	87
2.9.3	设置步骤	88
2.9.4	自动测量	92
2.9.5	提高 TCP 的设置精度	93
2.9.6	故障排除	95
2.10	视觉坐标系设置	96
2.10.1	简介	96
2.10.2	操作方法	97
2.10.3	将离线的用户坐标系修正为面向实机	100
2.10.4	视觉坐标系偏移	102
2.11	视觉偏移	104
2.11.1	简介	104
2.11.2	功能概要	105
2.11.3	操作概要	105
2.11.4	基于视觉偏移的测量	106
2.11.5	程序的偏移	113
2.12	本章小结	116
	习题	117
第 3 章	EtherNet/IP 配置	118
3.1	概述	118
3.2	适配器方式设定	119
3.3	扫描仪方式设定	122
3.3.1	设定机器人的扫描清单	123
3.3.2	EtherNet/IP 扫描仪的高级设定	124
3.3.3	模拟 I/O	125
3.4	DeviceNet 路由设定	126
3.5	I/O 设定	129
3.6	网络设计和性能	130
3.7	诊断和故障检修	132
3.8	本章小结	135
	习题	136
第 4 章	DeviceNet 配置	137
4.1	概述	137
4.2	DeviceNet 硬件配置	137
4.2.1	DeviceNet 硬件概述	137

78	4.2.2 DeviceNet 硬件安装	138
78	4.3 DeviceNet 软件设定	139
78	4.3.1 DeviceNet 板的设定	140
22	4.3.2 DeviceNet Interface 作为从控装置的设定	143
59	4.3.3 DeviceNet Interface 作为主控装置的设定	145
89	4.4 DeviceNet I/O 分配和监视	160
29	4.5 诊断及故障排查	162
89	4.6 本章小结	164
89	习题	165
	第 5 章 FANUC 工业机器人示教编程	166
501	5.1 常用坐标系	166
1401	5.1.1 世界坐标系	166
1401	5.1.2 关节坐标系	167
201	5.1.3 直角坐标系	167
501	5.1.4 工具坐标系	167
801	5.1.5 用户坐标系	167
111	5.2 工具坐标系设置	168
111	5.2.1 六点法	168
111	5.2.2 三点法	170
111	5.2.3 直接输入法	172
111	5.3 用户坐标系设置	173
111	5.4 程序操作	175
111	5.4.1 创建程序	175
151	5.4.2 选择程序	176
151	5.4.3 删除程序	177
151	5.4.4 复制程序	177
151	5.4.5 查看程序属性	177
151	5.5 运动指令	178
151	5.5.1 运动指令介绍	178
151	5.5.2 运动指令编辑	179
151	5.5.3 示教器程序启动与中断	182
151	5.6 本章小结	183
151	习题	183
	第 6 章 FANUC 工业机器人综合应用	184
151	6.1 伺服焊枪配置	184
151	6.1.1 概要	184
151	6.1.2 一般设置	185

6.1.3	手动操作设置.....	187
6.1.4	编程.....	192
6.2	弧焊与点焊.....	198
6.2.1	弧焊.....	198
6.2.2	点焊.....	211
6.3	力觉.....	219
6.3.1	力觉传感器和力觉控制.....	219
6.3.2	力觉控制命令的编程和示教.....	221
6.3.3	力觉传感器状态画面.....	230
6.3.4	力觉传感器的实用工具.....	231
6.4	I/O 介绍.....	234
6.4.1	通用 I/O.....	234
6.4.2	专用 I/O.....	234
6.4.3	I/O 分配.....	235
6.4.4	手动配置 I/O.....	235
6.5	本章小结.....	237
	习题.....	238

第 1 章 工业机器人系统组成

1.1 工业机器人概述

1.1.1 简介

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。

1.1.2 特点

工业机器人有以下几个最显著的特点。

- (1) 可编程。工业机器人可根据工作环境变化进行再编程,因此它在小批量、多品种、具有均衡高效率的柔性制造过程中能发挥很好的功用。
- (2) 拟人化。工业机器人在机械结构上有类似人的行走、腰转、大臂、小臂、手腕、手爪等部分。智能化工业机器人还有许多类似人类的“生物传感器”,如皮肤型接触传感器、力传感器、负载传感器、视觉传感器、声觉传感器、物体识别传感器等。
- (3) 通用性。除了专门设计的专用工业机器人外,一般工业机器人在执行不同的作业任务时具有较好的通用性。例如,更换工业机器人手部末端操作器(手爪、工具等)便可执行不同的作业任务。
- (4) 广泛性。工业机器人技术涉及的学科很广泛,是机械学和微电子学的结合——机电一体化技术。智能工业机器人不仅具有获取外部环境信息的各种传感器,而且还具有记忆能力、语言理解能力、图像识别能力、推理判断能力等人工智能,这些都是微电子技术的应用,特别是与计算机技术的应用密切相关。因此,机器人技术的发展必将带动其他技术的发展,机器人技术的发展和水平也可以验证一个国家科学技术和工业技术的发展水平。

当今工业机器人技术正逐渐向着具有行走能力、多种感知能力、较强的对作业环境的自适应能力的方向发展。

1.1.3 典型应用

工业机器人的典型应用包括焊接、刷漆、组装、采集和放置（例如，包装、码垛和表面贴装）、产品检测和测试等。

工业机器人能替代越来越昂贵的劳动力，同时能提升工作效率和产品品质。例如，富士康公司的机器人可以承接生产线精密零件的组装任务，更可替代人工在喷涂、焊接、装配等不良工作环境中工作，并可与数控超精密机床等工作母机结合模具加工生产，提高生产效率，替代部分非技术工人。

使用工业机器人可以降低废品率和产品成本，提高机床的利用率，降低工人误操作带来的残次零件风险等。工业机器人带来的一系列效益也十分明显，例如减少人工用量、减少机床损耗、加快技术创新速度、提高企业竞争力等。工业机器人具有执行各种任务特别是高危任务的能力，平均故障间隔期达 60000 小时以上，比传统的自动化工艺更加先进。

在发达国家，工业机器人自动化生产线成套装备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。汽车、电子电器、工程机械等行业已大量使用工业机器人自动化生产线，以保证产品质量和提高生产效率。

1.1.4 发展历程

1920 年，捷克作家卡雷尔·恰培克（Karel Capek）在其剧本《罗萨姆的万能机器人》中最早使用了机器人（Robot）一词，它是最早的工业机器人设想。

20 世纪 40 年代中后期，机器人的研究与发明得到了更多关注。

1954 年，美国人乔治·德沃尔（George Devol）最早提出了工业机器人的概念，并申请了专利。1959 年，Unimation 公司生产的世界上第一台工业机器人在美国诞生，开创了机器人发展的新纪元。

自工业机器人诞生以来，世界发达工业国家已经建立起完善的工业机器人产业体系。近年来，我国工业自动化与智能化的发展加速，工业机器人的应用普及也带来了机器人市场的急剧增长。

世界工业机器人制造企业以瑞士的 ABB、德国的库卡（KUKA）、日本的发那科（FANUC）和安川电机（YASKAWA）最为著名，被称为工业机器人的“四大家族”。它们是全球主要的工业机器人供应商，占据全球 50% 以上的市场份额，几乎垄断了机器人制造、焊接等领域。本书主要讲解发那科（FANUC）公司的工业机器人。

发那科（FANUC）公司创建于 1956 年，3 年后首次推出了电液步进电机。20 世纪 70 年代，得益于微电子技术、功率电子技术，尤其是计算机技术的飞速发展，FANUC 公司的首台机器人问世。1976 年，FANUC 公司成功研制数控系统，随后又与西门子（SIEMENS）公司联合研制了更高水平的数控系统，从那时起，FANUC 公司的产品日新月异，成为当今世界上数控系统设计、制造、销售实力最强的企业之一。FANUC 公司是世界上提供集成视觉系统的机器人企业之一，还是既能提供智能机器人又能提供智能机器的公司之一。FANUC 公司的机器人产品系列多达 240 种，负重从 0.5kg 到 2.3t，广泛应用于装配、搬运、焊接、铸造、喷涂、码垛等不同的生产环节，可满足用户的不同需求。

1.2 工业机器人本体

1.2.1 概述

工业机器人系统由工业机器人本体、工业机器人软件系统（或应用工具软件）、工业机器人控制装置（控制柜）构成，如图 1-1 所示。

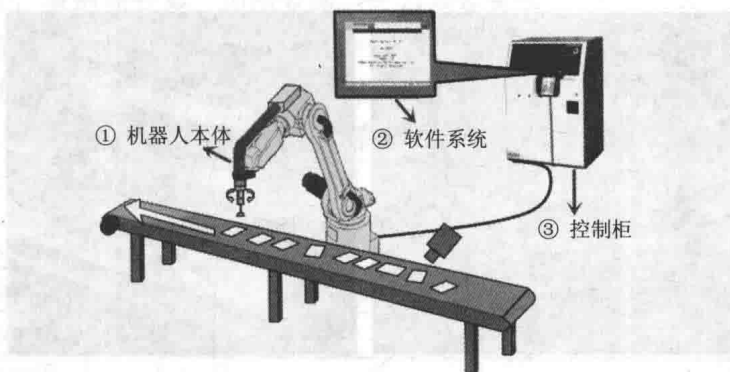


图 1-1 工业机器人系统

工业机器人是由伺服电机驱动的轴和手腕构成的机械部件组成的，具有进行作业所需的机械手等末端执行器。

手腕也叫手臂，手腕的接合部位叫作轴杆或者关节。图 1-2 所示为工业机器人手臂，其中最初的 3 轴（J1、J2、J3）叫作基本轴，J4、J5、J6 叫作手腕轴，它们为同心轴。工业机器人基本轴分别由几个直动轴和旋转轴构成。手腕轴对安装在法兰盘末端的执行器进行操控，如进行扭转、上下摆动、左右摆动之类的动作。

FANUC 工业机器人是由安装有应用工具软件的控制装置（即“工业机器人控制装置”）进行控制的机器人。FANUC 机器人在搬运和焊接作业等方面具有优异的性能。

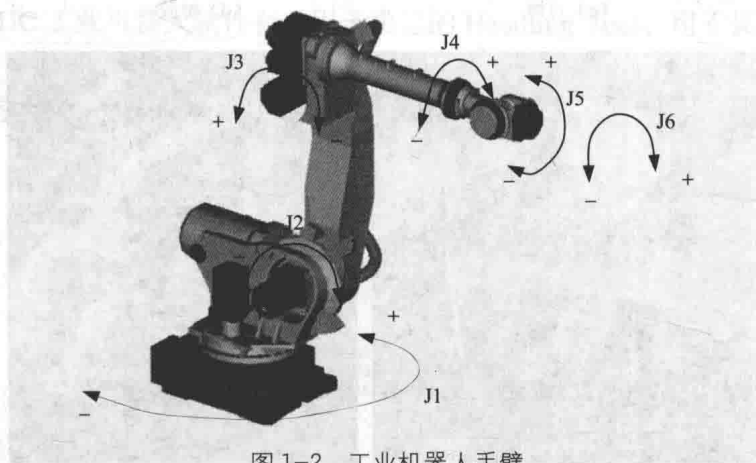
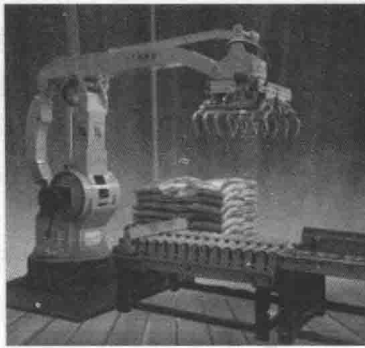


图 1-2 工业机器人手臂

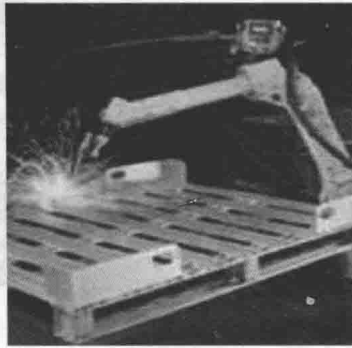
1.2.2 实际应用

FANUC 工业机器人的安装环境温度要求为 $0^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，一般情况下要求相对湿度小于等于 75%（无露水、霜冻）、振动小于 0.5g （即 4.9m/s^2 ）。

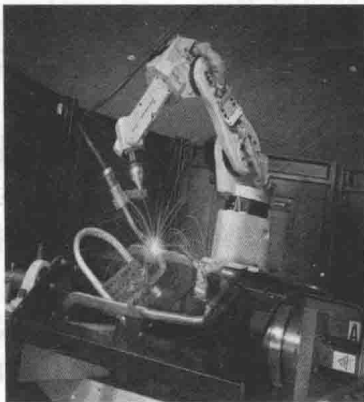
FANUC 工业机器人不仅在搬运和焊接作业上发挥着重要的作用，还在涂胶、喷漆、切割、测量等领域中占有重要的地位。FANUC 工业机器人的搬运、弧焊、点焊、涂胶、切割、喷漆等操作如图 1-3 所示。



(a) 搬运



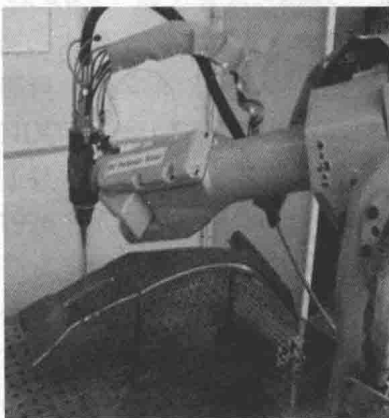
(b) 弧焊



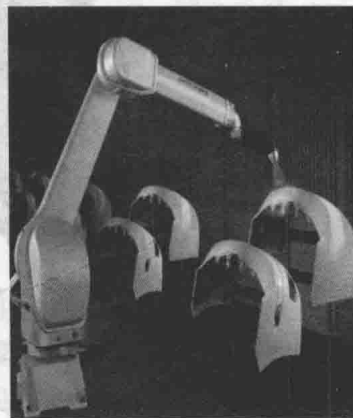
(c) 点焊



(d) 涂胶



(e) 切割



(f) 喷漆

图 1-3 FANUC 工业机器人的应用

1.2.3 主要参数与常见规格

工业机器人的主要参数有：手部负重，运动轴数，2、3轴负重，运动范围，安装方式，重复定位精度，最大运动速度等。部分参数具体介绍如下。

- (1) 手部负重：使用机器人时根据法兰盘不同，机器人在负载条件下手部允许的负载质量。
 - (2) 运动范围：各控制轴上分别有原点位置和可动范围，各轴都在可动范围的两端进行超程检测。
 - (3) 安装方式：有地面安装、顶吊安装、倾斜角安装等。
 - (4) 重复定位精度：机器人重复到达一个位置的精度。
 - (5) 最大运动速度：机器人运动时各轴所能达到的最高速度。
- FANUC 工业机器人的常见规格以及部分参数可参见表 1-1。

表 1-1 FANUC 工业机器人的常见规格及参数

工业机器人型号	轴数	手部负重/kg
LR Mate 100iC/200iC	5/6	5/5
ARC Mate 100iB/M-6iB	6	6 (2)
ARC Mate 120iB/M-16iB	6	20 (10)
R-2000iB/M-710iC	6	210 (165, 200, 100, 125, 175) /50 (70, 20)
M-900iA/M-410iB	6/4	600/450

1.3 工业机器人软件系统

工业机器人软件系统（或应用工具软件）是内嵌在工业机器人控制装置内的各类工业机器人作业专用的软件包。操作人员通过使用示教器选择需要的菜单和指令，可以进行不同种类的作业。应用工具有用来控制工业机器人、机械手、遥控装置等外围设备的指令。除此之外，操作人员还可以对附加轴、控制装置和其他外围设备（单元控制装置和传感器等）的输入/输出进行控制。

常用的 FANUC 工业机器人软件有：用于搬运的 Handling Tool、用于弧焊的 Arc Tool、用于点焊的 Spot Tool、用于涂胶的 Dispense Tool、用于喷漆的 Paint Tool、用于激光焊接和切割的 Laser Tool 等。图 1-4 所示为系统软件 Handling Tool (N. A.) 界面。

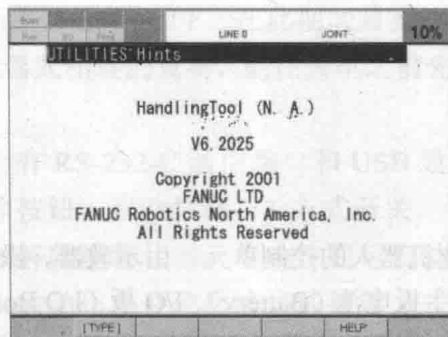


图 1-4 系统软件 Handling Tool (N. A.) 界面

工业机器人软件可进行如下作业：设定工业机器人系统、创建程序、程序的测试运转、自动运转、状态显示及监控。如果安装其他选项软件，还可以强化系统的扩展和管理等功能。这部分内容将在后续章节详细介绍。

程序是由动作指令、I/O 指令、数值寄存器指令、转移指令等按顺序组合构成的。机器人通过按照行号码顺序执行这些指令，就可以进行所设计的作业。程序的创建/修改可以通过示教器来完成。程序主要由以下指令构成。

- (1) 动作指令：让工业机器人移动到作业区域内的目标位置。
- (2) 动作附加指令：对动作进行特殊的处理。
- (3) 数值寄存器指令：在数值寄存器中存储的数值数据。
- (4) 位置寄存器指令：在位置寄存器中存储的位置数据。
- (5) I/O 指令：与外围设备之间进行信号的发送/接收。
- (6) 转移指令：改变程序的流程。
- (7) 等待指令：让机器人在指定程序执行的条件成立之前进行等待。
- (8) 程序调用指令：调用并执行子程序。
- (9) 宏指令：以指定的名称调用并执行程序。
- (10) 码垛堆积指令：进行码垛堆积操作。
- (11) 程序结束指令：结束程序。
- (12) 备注指令：添加程序注解。
- (13) 其他指令。

一般的工业机器人程序如图 1-5 所示。

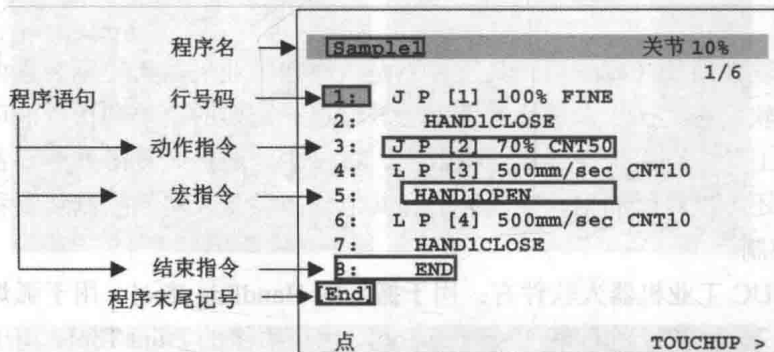


图 1-5 工业机器人程序

1.4 工业机器人控制柜

1.4.1 概述

工业机器人控制柜是工业机器人的控制单元，由示教器、操作面板及其电路板（Operate Panel）、主板（Main Board）、主板电池（Battery）、I/O 板（I/O Board）、电源供给单元（PSU）、紧急停止单元（E-Stop Unit）、伺服放大器（Servo Amplifier）、变压器（Transformer）、风扇

单元 (Fan Unit)、线路断开器 (Breaker)、再生电阻 (Discharge Resistor) 等构成。用户可使用示教器和操作面板对控制柜进行操作。工业机器人控制柜外观示意如图 1-6 所示。

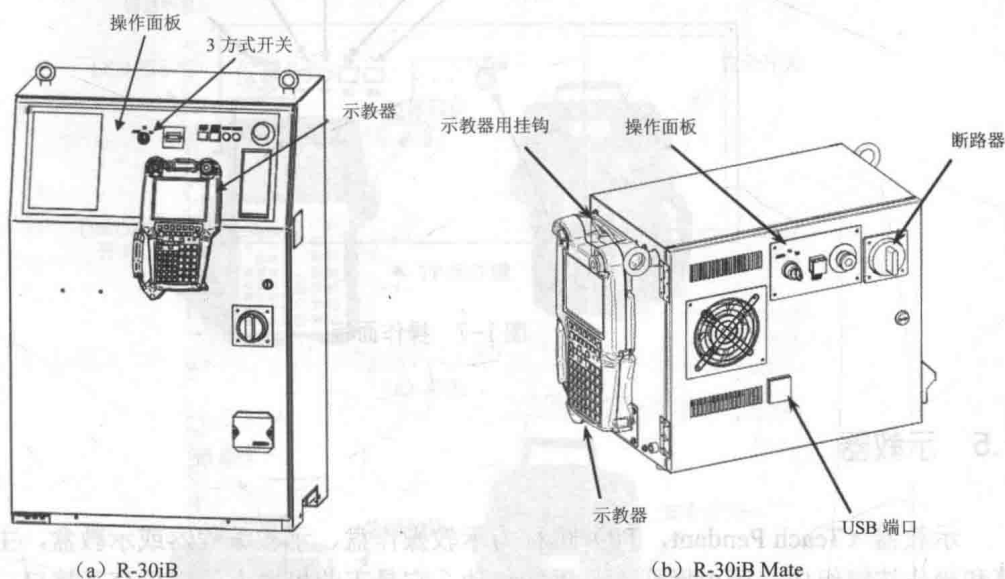


图 1-6 工业机器人控制柜

工业机器人控制柜的控制系统由电源装置、用户接口电路、动作控制电路、存储电路、I/O (输入/输出) 电路等构成。其中动作控制电路通过主 CPU 印制电路板, 对用来操作包括附加轴在内的工业机器人所有轴的伺服放大器进行控制。

存储电路可以把用户设定的程序和数据先存储在主 CPU 印制电路板上的 CMOS RAM 中。

I/O 电路是通过 I/O 模块与外围设备进行接收或发送信号的电路, 遥控 I/O 信号与遥控装置进行通信。

1.4.2 使用方法

工业机器人控制柜在接通电源前, 应先检查工作区域, 包括工业机器人、控制器等, 检查所有的安全设备正常后, 将控制柜面板上的断路器置于 ON 后即可使用。

工业机器人控制柜停止使用时, 应先通过操作面板上的暂停按钮停止工业机器人工作, 然后将操作面板上的断路器置于 OFF。在此期间需要注意: 如果有外部设备诸如打印机、视觉系统等与工业机器人相连的设备, 则在关电之前先将这些外部设备关掉, 以免其损坏。

控制柜上的操作面板上有 RS-232-C 通信端口和 USB 通信端口。操作面板上的按钮开关有急停按钮、报警解除按钮、启动按钮、3 方式开关。急停按钮可使工业机器人瞬间停止, 报警解除按钮可以解除报警状态, 启动按钮可启动当前所选的程序, 3 方式开关则可选择对应工业机器人的动作条件使用恰当的操作方式。操作面板的示意如图 1-7 所示。

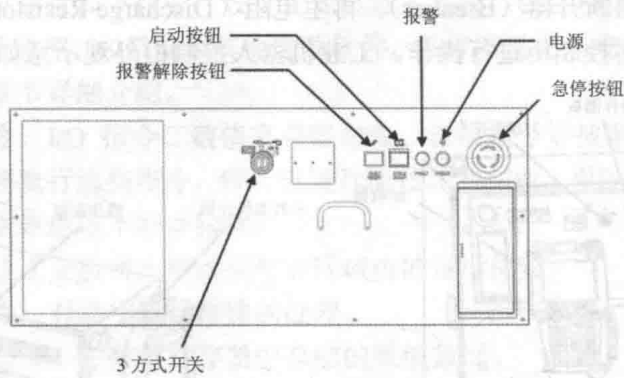


图 1-7 操作面板

1.5 示教器

示教器 (Teach Pendant, TP) 也称为示教操作盘、示教编程器或示教盒, 主要由液晶屏幕和操作按键组成, 可由操作人员手持移动。它是工业机器人的人机交互接口, 工业机器人的所有操作基本都是通过它来完成的。示教器实质就是一个专用的智能终端。示教器是主管工业机器人软件系统与用户之间的接口的操作装置, 是通过电缆与控制装置进行连接的。其作用主要有以下几点: 移动工业机器人、编写工业机器人程序、试运行程序、操作执行、查看工业机器人状态 (I/O 设置、位置信息等)。

常见的 FANUC 示教器由如下构件组成: 640 像素×480 像素的液晶屏幕、2 个 LED 灯、68 个键控开关 (其中 4 个专用于各应用工具)。除此之外, 它还具有三个开关, 分别为示教器有效开关、安全开关 (也叫 Dead Man Switch)、急停按钮。示教器有效开关可将示教器置于有效状态。示教器无效时, 点动进给、程序创建、测试执行无法进行。安全开关属于 3 位置安全开关, 按到中间点即为有效。当示教器处于有效状态时, 操作人员从安全开关松开手或者用力将其握住时, 工业机器人就会停止。当按住急停按钮时, 无论示教器有效开关的状态如何, 工业机器人都会立刻停下。示教器的三个开关如图 1-8 所示。



图 1-8 示教器开关