

全国职业院校工业机器人技术专业规划教材



电子课件下载

www.ccpres.com.cn

GONGYE JIQIREN XIANCHANG BIANCHENG

工业机器人现场编程

项万明 主 编
吴晓斌 陈益锋 主 审



扫二维码
可观看数字资源



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

全国职业院校工业机器人技术专业规划教材

Gongye Jiqiren Xianchang Biancheng 工业机器人现场编程

项万明 主 编

吴晓斌 陈益锋 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为全国职业院校工业机器人技术专业规划教材。主要内容包括:认识工业机器人、手动操作工业机器人、设置工业机器人常用坐标系、建立工业机器人通信、编辑及执行工业机器人程序、认识工业机器人常用的程序指令及宏指令、工业机器人现场编程的典型应用案例。

本书可作为职业院校工业机器人等相关专业的教材,也可供工业机器人从业人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人现场编程 / 项万明主编. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2019.7

ISBN 978-7-114-15568-0

I. ①工… II. ①项… 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(2019)第 101767 号

书 名: 工业机器人现场编程

著 者: 项万明

责任编辑: 李 良

责任校对: 尹 静

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 10.25

字 数: 234 千

版 次: 2019 年 7 月 第 1 版

印 次: 2019 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-15568-0

定 价: 26.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

PREFACE

目前,我国的工业化水平不断提升,工业机器人在工业领域内的应用范围越来越广泛,各企业对于工业机器人技术人才的需求不断增加。为了推进工业机器人专业的职业教育课程改革和教材建设进程,人民交通出版社股份有限公司特组织相关院校与企业专家共同编写了职业院校工业机器人专业规划教材,共计7本,以供职业院校教学使用。

本套教材在总结了众多职业院校工业机器人专业的培养方案与课程开设现状的基础上,根据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》和《中国制造2025》的精神,注重以学生就业为导向,以培养能力为本位,教材内容符合工业机器人专业教学要求,适应相关智能制造类企业对技能型人才的要求。本套教材具有以下特色:

1. 本套教材注重实用性,体现先进性,保证科学性,突出实践性,贯穿可操作性,反映了工业机器人技术领域的新知识、新技术、新工艺和新标准,其工艺过程尽可能与实际工作情景一致。

2. 本套教材以理实一体化作为核心课程改革理念,教材理论内容浅显易懂,实操内容贴合生产一线,将知识传授、技能训练融为一体,体现“做中学、学中做”的职教思想。

3. 本套教材文字简洁,通俗易懂,以图代文,图文并茂,形象生动,容易培养学生的学习兴趣,提高学习效果。

4. 本套教材配套了立体化教学资源,对教学中重点、难点,以二维码等形式配备了数字资源。

《工业机器人现场编程》为本套教材之一,以FANUC工业机器人为研究对象,针对工业机器人认识与操作过程及现场编程等进行了详细的讲解,主要内容包括:认识工业机器人、手动操作工业机器人、设置工业机器人常用坐标系、建立工业机器人通信、编辑及执行工业机器人程序、认识工业机器人常用的程序指令及宏指令、工业机器人现场编程的典型应用案例。本课程建议学时为96学时,各教学项目学时分配建议如下:

| 项 目 | 任 务 | 建议学时 |
|-----------|-------------|------|
| 认识工业机器人 | 初识工业机器人系统 | 4 |
| | 初识工业机器人示教器 | 6 |
| 手动操作工业机器人 | 工业机器人安全注意事项 | 2 |
| | 手动操作工业机器人 | 8 |

续上表

| 项 目 | 任 务 | 建议学时 |
|--------------------|-----------------|------|
| 设置工业机器人常用坐标系 | 认识工业机器人坐标系 | 2 |
| | 设置工业机器人工具坐标系 | 8 |
| 建立工业机器人通信 | 认识工业机器人 I/O 信号 | 4 |
| | 建立工业机器人 I/O 通信 | 8 |
| 编辑及执行工业机器人程序 | 编辑工业机器人程序 | 4 |
| | 执行工业机器人程序 | 4 |
| 认识工业机器人常用的程序指令及宏指令 | 认识常用的工业机器人程序指令 | 12 |
| | 认识工业机器人宏指令 | 4 |
| 工业机器人现场编程的典型应用案例 | 工业机器人搬运单元的编程与操作 | 12 |
| | 工业机器人码垛单元的编程与操作 | 12 |
| | 机动 | 6 |
| | 合计 | 96 |

本书由杭州技师学院项万明担任主编、苏超担任副主编。参与本书编写的有杭州技师学院戚耀亮、王建敢、蒋晓杰、孙倩、苏超、项万明、董增勇、崔玉妍；参与本书编写的还有杭州志杭科技有限公司杨承遇、杭州永骏机床有限公司吴欢，他们从企业的实际需求出发，不但给予了很多有益的建议，还编写了部分项目，提升了教材质量。本书由杭州技师学院吴晓斌、陈益锋担任主审，他们认真审阅了全书，提出了许多宝贵的意见和建议。在编写过程中，编者还参考了很多资料，在此一并表示真挚的感谢。

由于编者水平、经验和掌握的资料有限，加之编写时间仓促，书中难免存在不妥或错误之处，请广大读者批评指正，提出宝贵意见。

编 者
2019 年 4 月

目 录

CONTENTS

| | |
|------------------------|-----|
| 项目一 认识工业机器人 | 1 |
| 任务一 初识工业机器人系统 | 1 |
| 任务二 初识工业机器人示教器 | 11 |
| 项目二 手动操作工业机器人 | 15 |
| 任务一 工业机器人安全注意事项 | 15 |
| 任务二 手动操作工业机器人 | 17 |
| 项目三 设置工业机器人常用坐标系 | 22 |
| 任务一 认识工业机器人坐标系 | 22 |
| 任务二 设置工业机器人工具坐标系 | 25 |
| 任务三 设置工业机器人用户坐标系 | 38 |
| 项目四 建立工业机器人通信 | 52 |
| 任务一 认识工业机器人 I/O 信号 | 52 |
| 任务二 建立工业机器人 I/O 通信 | 63 |
| 项目五 编辑及执行工业机器人程序 | 78 |
| 任务一 编辑工业机器人程序 | 78 |
| 任务二 执行工业机器人程序 | 87 |
| 项目六 认识工业机器人常用的程序指令及宏指令 | 100 |
| 任务一 认识常用的工业机器人程序指令 | 100 |
| 任务二 认识工业机器人宏指令 | 130 |
| 项目七 工业机器人现场编程的典型应用案例 | 136 |
| 任务一 工业机器人搬运单元的编程与操作 | 136 |
| 任务二 工业机器人码垛单元的编程与操作 | 138 |
| 参考文献 | 158 |

项目一 认识工业机器人

学习目标

完成本项目学习后,你能:

1. 熟悉国内外工业机器人的发展史;
2. 了解 FANUC 工业机器人常规型号和基本安装要求;
3. 了解 FANUC 工业机器人控制柜的内部结构;
4. 了解 FANUC 工业机器人本体结构;
5. 掌握 FANUC 工业机器人示教器的结构和功能。

任务一 初识工业机器人系统

一、工业机器人发展历程



机器人技术作为 20 世纪人类最伟大的发明之一,自问世以来,其发展已取得了长足进步。由于机器人能够协助人类完成单调、频繁和重复的长时间工作,并能取代人类从事危险、恶劣环境下的作业,因此其发展迅速。随着人们对机器人研究不断地深入,已逐步形成机器人学这一新兴的综合性科学,工业机器人已经成为现代工业自动化控制的三大支柱(工业机器人、PLC、CAD/CAM)之一。

机器人(Robot)这一术语是在 1921 年由捷克斯洛伐克著名剧作家、科幻文学家和童话寓言家卡雷尔·恰佩克(Karel Capek,1890—1938)首创,它成了“机器人”的起源,此后一直沿用至今。

20 世纪中叶,近代机器人开始迅猛发展。第一代是遥控操作的机器人,它不能离开人的控制独自运动。美国阿尔贡研究所 1947 年开发了遥控机器人,1948 年又开发了机械耦合的主从机械手,当操作员控制主机械手做运动时,从机械手可准确地模仿主机械手的动作。第二代是可编程机器人,1954 年美国人乔治·德沃尔(George Devol)制造出世界上第一台可编程机器人,机器人的机械手根据不同的程序从事不同的动作,可以脱离人的控制,能独立进行操作。第三代是智能机器人,它能利用各种传感器、测量器自主感知环境信息,利用智能技术进行识别、理解、推理,自主运行完成工作任务。发明第一台机器人的正是享有“机

器人之父”美誉的恩格尔伯格先生。恩格尔伯格是世界上最著名的机器人研究专家之一，1958年他建立了 Unimation 公司，并于 1959 年研制出了世界上第一台工业机器人。1962 年美国 Unimation 公司的第一台机器人 Unimate 问世，它由计算机控制液压装置来驱动机械手运作，抓取物件进行压铸作业，计算机装有存储信息的磁鼓，能够记忆完成 180 个工作步骤，如图 1-1-1 所示为世界上第一台工业机器人。

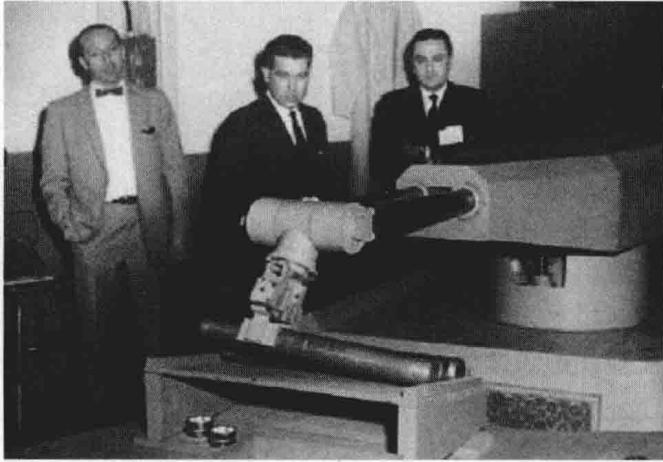


图 1-1-1 世界上第一台工业机器人

20 世纪 70 年代，随着计算机控制技术和人工智能的发展，机器人的研制水平得到了快速发展，机器人在工业生产中逐步推广应用。工业机器人延伸和扩大了人的手足和大脑功能，它可代替人从事危险、有害、有毒、低温和高温等恶劣环境作业；代替人完成繁重、单调的重复动作，提高劳动生产效率，同时保证产品质量。1974 年，Cincinnati Milacron 公司推出第一台工业机器人“*The Tomorrow Tool*”，它能举起 45kg 的物体，并能跟踪装配流水线上的移动物体。1975 年，IBM 公司研究出带有触觉和力觉的传感器，由计算机控制的机械手可以完成 20 个零件的打字机装配工作。1979 年，Unimation 公司研究出第一台通用型工业机器人 PUMA，标志着工业机器人应用日趋成熟。

20 世纪 80 年代，日本和西欧国家为了减缓劳动力严重短缺的社会问题，在工业领域，特别是在汽车和电器生产领域大量使用工业机器人，从而推进了机器人的研发。

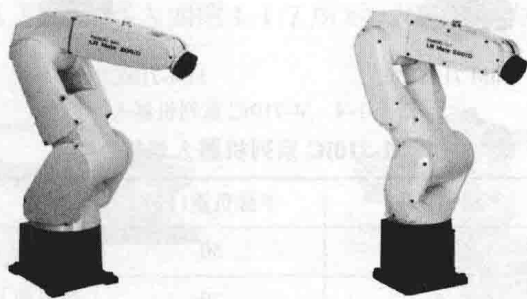
我国于 1972 年开始研制自己的工业机器人，进入 20 世纪 80 年代后，在高新技术浪潮的冲击下，随着改革开放不断深入，我国机器人技术的研发得到了政府的重视与支持。“七五”期间，国家投入资金，对工业机器人及其零部件进行攻关，完成了示教再现式工业机器人成套技术的开发，研制出了喷涂、点焊、弧焊和搬运机器人。1986 年，国家高技术研究发展计划（863 计划）开始实施，智能机器人研发跟踪世界机器人技术的前沿，经过几年的研究，获取了一大批科研成果，成功地研制出了一批特种机器人。我国 2014 年机器人销量大约为 5.7 万台，2015 年机器人销量大约为 6.6 万台，约占全球市场总销量的 1/4，并连续 3 年成为全球第一大工业机器人市场。

2015 年 5 月国务院发布了《中国制造 2025》，明确提出把推进智能制造作为“中国制造 2025”的主攻方向。新一代信息技术与制造业的深度融合，正在引发新一轮技术革命和产业变革，制造业数字化、网络化、智能化成为这次变革的核心。

二、工业机器人规格

1. 工业机器人常规型号种类及用途

(1) LR Mate 系列机器人如图 1-1-2 所示,表 1-1-1 为 LR Mate 系列机器人的规格。



a)LR Mate 100iC/200iC

b)LR Mate 200iD

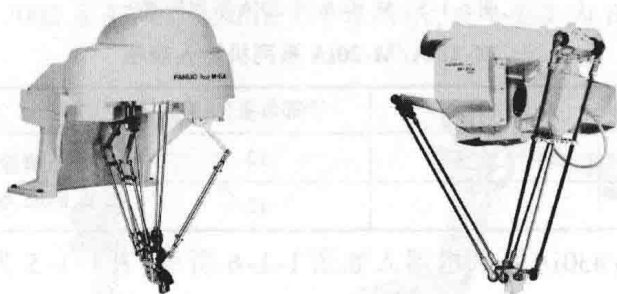
图 1-1-2 LR Mate 系列机器人

LR Mate 系列机器人规格

表 1-1-1

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|---------------------|-----|----------|--------------------------------|
| LR Mate 100iC/200iC | 5/6 | 5 | 拾取及包装、装配、材料加工、物流搬运、机床上下料、弧焊、点焊 |
| LR Mate 200iD | 6 | 7 | |

(2) M-1iA/M-2iA 系列机器人如图 1-1-3 所示,表 1-1-2 为 M-1iA/M-2iA 系列机器人的规格。



a)M-1iA/0.5A

b)M-2iA/3A

图 1-1-3 M-1iA/M-2iA 系列机器人

M-1iA/M-2iA 系列机器人规格

表 1-1-2

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|------------|-----|----------|---------------------------|
| M-1iA/0.5A | 6 | 0.5 | 装配、喷涂及涂装、机床上下料、物流搬运、拾取及包装 |
| M-2iA/3A | 6 | 3 | |

(3) M-710iC 系列机器人如图 1-1-4 所示,表 1-1-3 为 M-710iC 系列机器人的规格。



a)M-710iC/50 b)M-710iC/20L

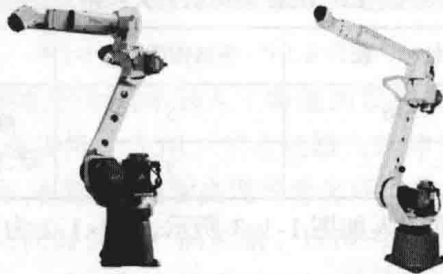
图 1-1-4 M-710iC 系列机器人

M-710iC 系列机器人规格

表 1-1-3

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|-------------|-----|----------|--------------------------------------|
| M-710iC/50 | 6 | 50 | 弧焊、装配、喷涂及涂装、机床上下料、材料加工、物流搬运、拾取及包装、点焊 |
| M-710iC/20L | 6 | 20 | |

(4) M-10iA/M-20iA 系列机器人如图 1-1-5 所示,表 1-1-4 为 M-10iA/M-20iA 系列机器人的规格。



a)M-10iA/12 b)M-20iA/12L

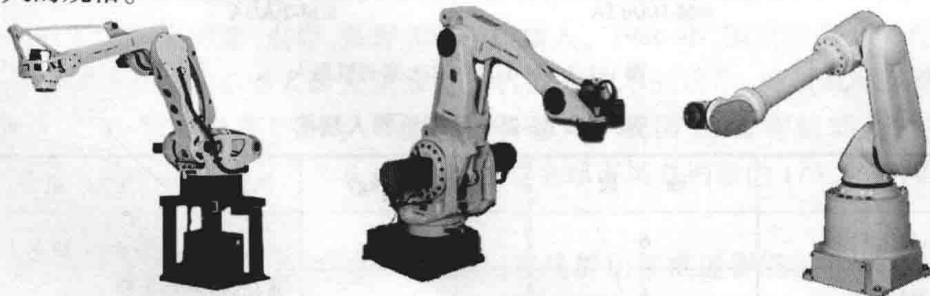
图 1-1-5 M-10iA/M-20iA 系列机器人

M-10iA/M-20iA 系列机器人规格

表 1-1-4

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|------------|-----|----------|-----------------------------------|
| M-10iA/12 | 6 | 12 | 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 |
| M-20iA/12L | 6 | 12 | |

(5) M-410/420iA/430iA 系列机器人如图 1-1-6 所示,表 1-1-5 为 M-410/420iA/430iA 系列机器人的规格。



a)M-410iB/450 b)M-420iA c)M-430iA/2F

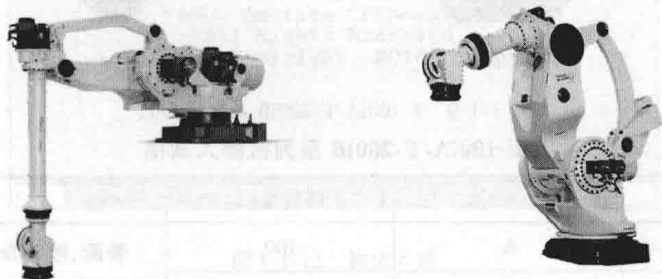
图 1-1-6 M-410/420iA/430iA 系列机器人

M-10iA/M-20iA 系列机器人规格

表 1-1-5

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|-------------|-----|----------|------------------------|
| M-410iB/450 | 6 | 450 | 物流搬运、码垛、拾取及包装、机床上下料、装配 |
| M-420iA | 2/4 | 40/50 | |
| M-430iA/2F | 6 | 2 | |

(6) M-900/M-2000iA 系列机器人如图 1-1-7 所示,表 1-1-6 为 M-900/M-2000iA 系列机器人的规格。



a)M-900iA/200P

b)M-2000iA/1200

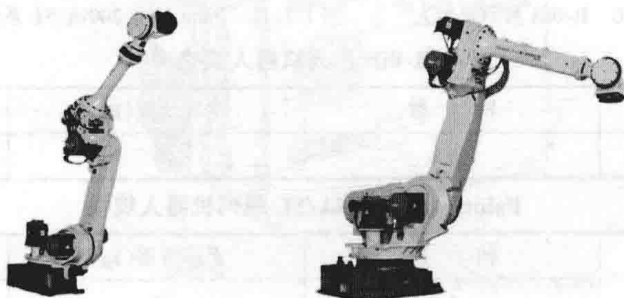
图 1-1-7 M-900/M-2000iA 系列机器人

M-900/M-2000iA 系列机器人规格

表 1-1-6

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|---------------|-----|----------|--------------------------------------|
| M-900iA/200P | 6 | 200 | 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、点焊 |
| M-2000iA/1200 | 6 | 1200 | 装配、机床上下料、材料加工、物流搬运、拾取及包装 |

(7) R-1000iA/R-2000 系列机器人如图 1-1-8 所示,表 1-1-7 为 R-1000iA/R-2000 系列机器人的规格。



a)R-1000iA/100F

b)R-2000iB/100H

图 1-1-8 R-1000iA/R-2000 系列机器人

R-1000iA/R-2000 系列机器人规格

表 1-1-7

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|---------------|-----|----------|--------------------------------------|
| R-1000iA/100F | 6 | 100 | 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、点焊 |
| R-2000iB/100H | 5 | 100 | |

(8) F-100iA/F-200iB 系列机器人,如图 1-1-9 所示,表 1-1-8 为 F-100iA/F-200iB 系列机器人的规格。

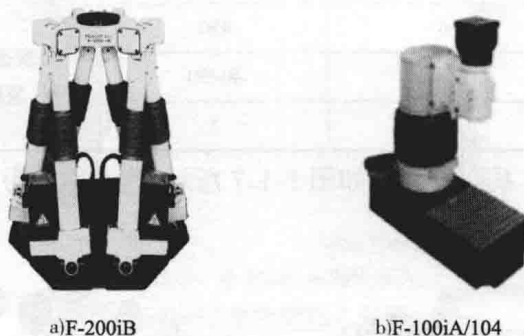


图 1-1-9 F-100iA/F-200iB 系列机器人

F-100iA/F-200iB 系列机器人规格

表 1-1-8

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|-------------|-----|----------|-----------------------------|
| F-200iB | 6 | 100 | 装配、喷涂及涂装、机床上下料、材料加工、物流搬运、点焊 |
| F-100iA/104 | 3/6 | 75 | |

(9) R-0iB 系列机器人与 Paints Mate 200iA/5L 系列机器人分别如图 1-1-10 和图 1-1-11 所示,表 1-1-9 为 R-0iB 系列机器人的规格,表 1-1-10 为 Paints Mate 200iA/5L 系列机器人的规格。

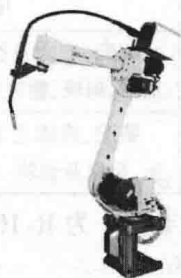


图 1-1-10 R-0iB 系列机器人



图 1-1-11 Paint Mate 200iA/5L 系列机器人

R-0iB 系列机器人规格

表 1-1-9

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|-------|-----|----------|-------|
| R-0iB | 6 | 3 | 弧焊、搬运 |

Paints Mate 200iA/5L 系列机器人规格

表 1-1-10

| 型 号 | 轴 数 | 手部负重(kg) | 用 途 |
|---------------------|-----|----------|-------|
| Paint Mate 200iA/5L | 6 | 5 | 喷涂、涂装 |

2. 机器人选择及安装基本要求

(1) 机器人安装环境:①环境温度:0~45℃;②环境湿度:普通:≤75%RH(无露水、霜冻),短时间:95%(一个月之内),不应有结露现象;③震动:≤0.5g(4.9m/s²)。

(2) 机器人选型要素:①手部负重;②运动轴数;③2,3轴负重;④运动范围;⑤安装方式;⑥重复定位精度;⑦最大运动速度。

(3) 机器人系统软件:①Handling Tool 用于搬运;②Arc Tool 用于弧焊;③Spot Tool 用于

点焊;④Sealing Tool 用于布胶;⑤Paint Tool 用于油漆;⑥Laser Tool 用于激光焊接和切割。如图 1-1-12 所示的系统软件为搬运系统。



图 1-1-12 搬运系统

3. 机器人控制柜

(1) 控制柜的组成:控制柜是工业机器人的控制单元,是由示教器(Teach Pendant)、操作面板及其电路板(Operate Panel)、主板(Main Board)、主板蓄电池(Main Board 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(Regenerative Resistor)等组成,如图 1-1-13 所示。

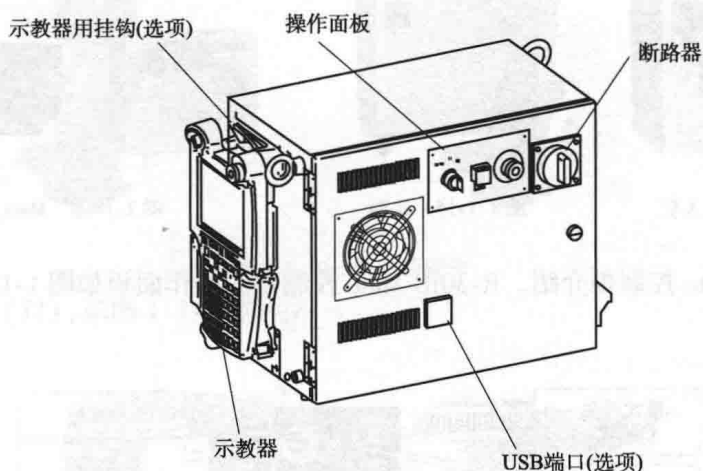


图 1-1-13 控制柜外观

①主板:主板上安装着两个微处理器、外围线路、存储器以及操作面板控制线路。主 CPU 控制着伺服机构的定位和伺服放大器的电压。

②主板蓄电池:在控制器电源关闭之后,蓄电池维持主板存储器状态不变。

③I/O 板:FANUC 输入/输出单元,使用该部件后,可以选择多种不同的输入/输出类型。这些输入/输出连接到 FANUC 输入/输出连接器。

④紧急停止单元:该单元控制着两个设备的紧急停止系统,即磁电流接触器和伺服放大器预加压器,达到控制可靠的紧急停止性能标准。

⑤电源供给单元:电源供给单元将 AC 电源转换成不同大小的 DC 电源。

⑥示教盒:包括机器人编程在内的所有操作都能由该设备完成。控制器状态和数据都显示在示教盒的液晶显示器(LCD)上。

⑦伺服放大器:伺服放大器控制着伺服电动机的电源、脉冲编码器、制动控制、超行程以及手制动。

⑧操作面板和操作盒:操作面板及操作盒上的按钮盒二级管用来启动机器人,以及显示机器人状态。面板上有一个串行接口的端口,供外部设备连接,另外还有一个连接存储卡的接口,用来备份数据。操作面板和操作盒还控制着紧急停止控制线路。

⑨变压器:变压器将输入的电压转换成控制器所需的 AC 电压。

⑩风扇单元,热交换器:这些设备为控制单元内部降温。

⑪线路断开器:如果控制器内的电子系统故障,或者非正常输入电源造成系统内的高电流,则输入电源连接到线路断开器,以保护设备。

⑫再生电阻器:为了释放伺服电动机的逆向电场强度,在伺服放大器上接一个再生电阻器。

(2) 机器人控制柜的种类。机器人控制柜的种类如图 1-1-14 ~ 图 1-1-16 所示。

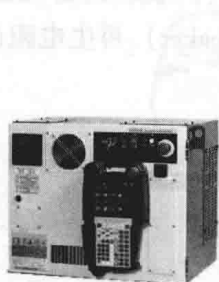


图 1-1-14 A 柜

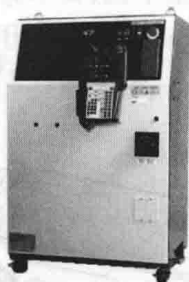


图 1-1-15 B 柜

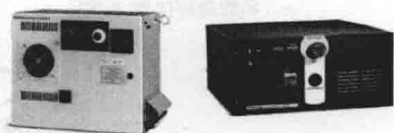


图 1-1-16 Mate 柜

(3) R-30iB Mate 控制柜介绍。R-30iB Mate 控制柜的操作面板如图 1-1-17 和图 1-1-18 所示。

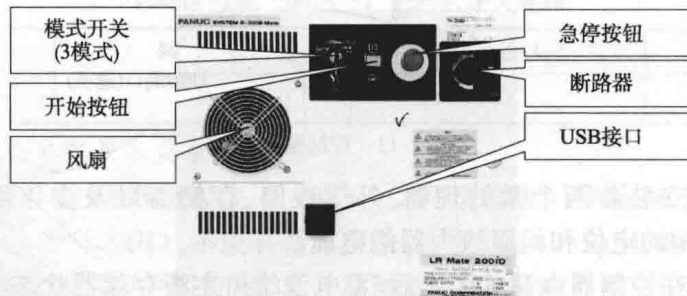


图 1-1-17 控制柜操作面板(外)

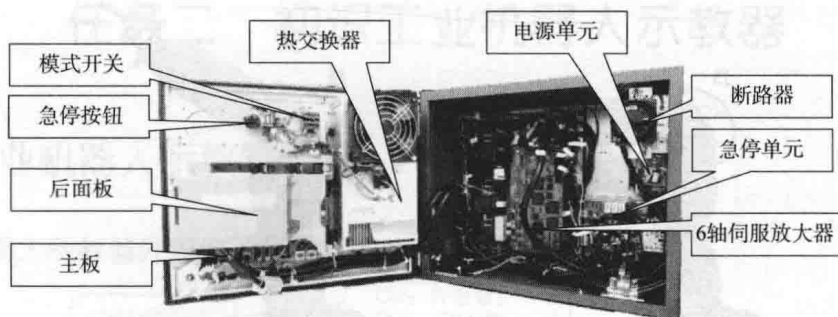


图 1-1-18 控制柜操作面板(内)

三、工业机器人本体结构

工业机器人是由通过伺服电动机驱动的轴和手腕构成的机构部件。手腕又称手臂,手腕的接合部位叫作轴杆或关节,最初的 3 轴(J1、J2、J3)叫作基本轴。机器人的基本构成即该基本轴分别由几个直动轴和旋转轴构成而确定。机器人运动,由手腕轴对安装在凸缘盘上的末端执行器(工具)进行操作。

①第一轴旋转(J1),如图 1-1-19 所示。



图 1-1-19 第一轴旋转

②第二轴旋转(J2),如图 1-1-20 所示。

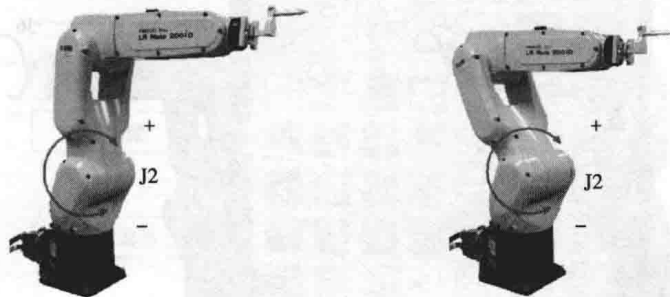


图 1-1-20 第二轴旋转

③第三轴旋转(J3),如图 1-1-21 所示。

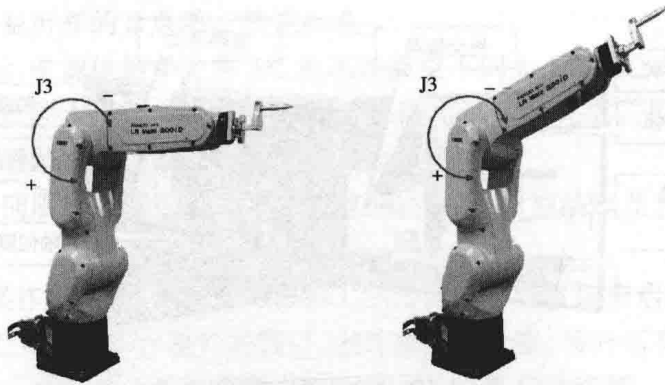


图 1-1-21 第三轴旋转

④第四轴旋转(J4),如图 1-1-22 所示。

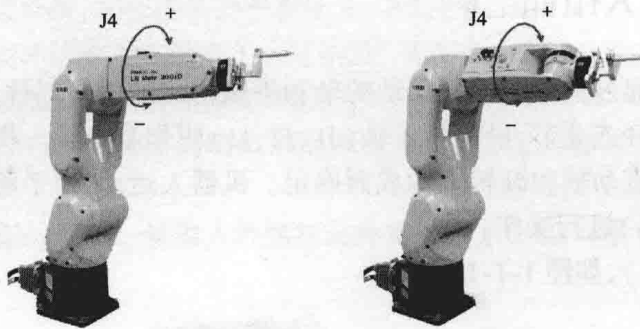


图 1-1-22 第四轴旋转

⑤第五轴旋转(J5),如图 1-1-23 所示。

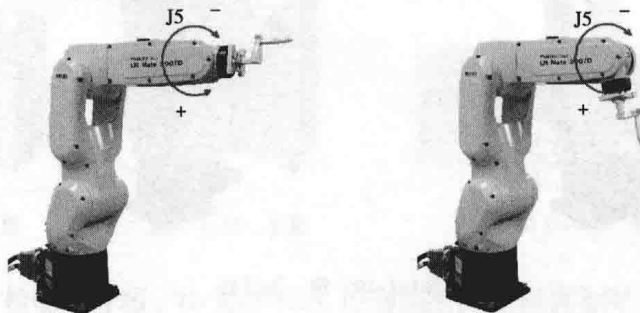


图 1-1-23 第五轴旋转

⑥第六轴旋转(J6),如图 1-1-24 所示。

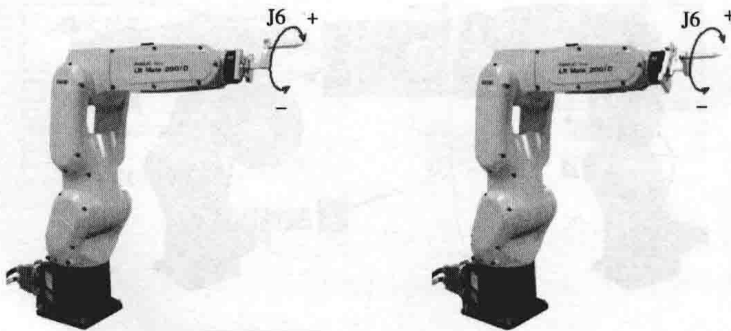


图 1-1-24 第六轴旋转

任务二 初识工业机器人示教器

一、工业机器人示教器外观

工业机器人示教器外观如图 1-2-1 所示。

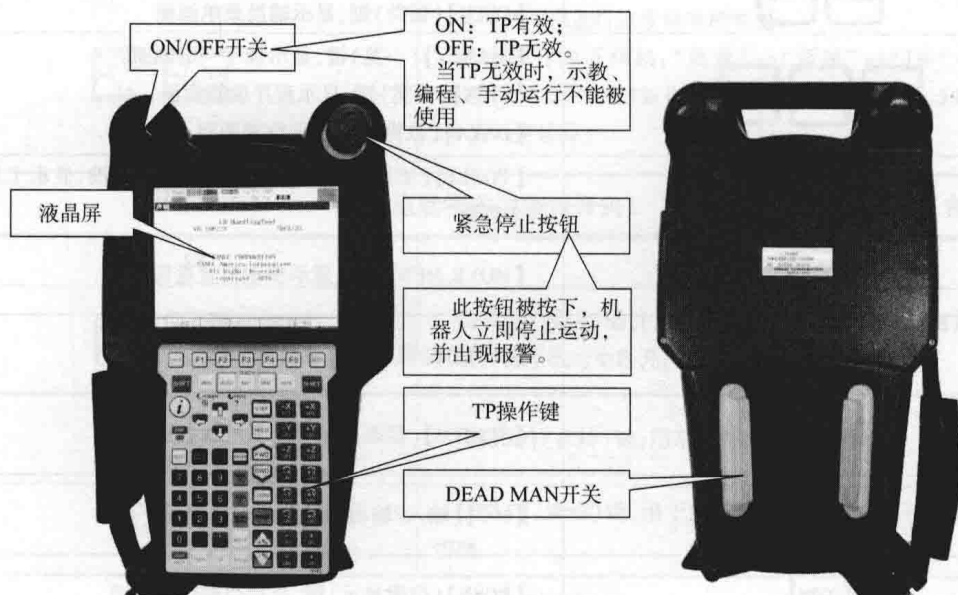


图 1-2-1 示教器外观

二、工业机器人示教器按键

工业机器人示教器 TP 操作键如图 1-2-2 所示。

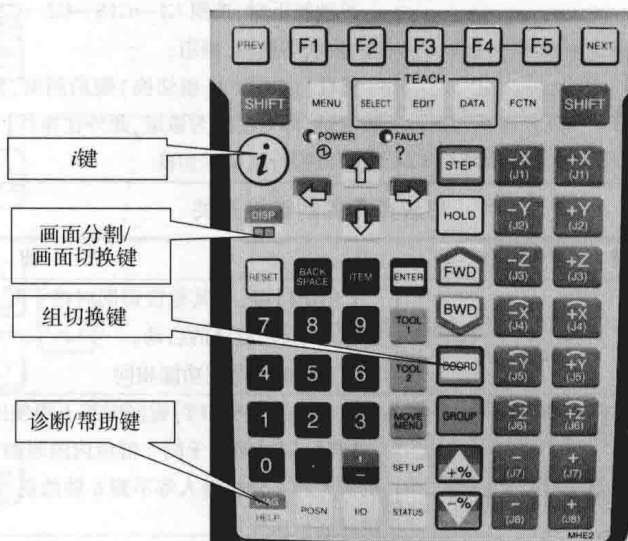


图 1-2-2 TP 操作键