



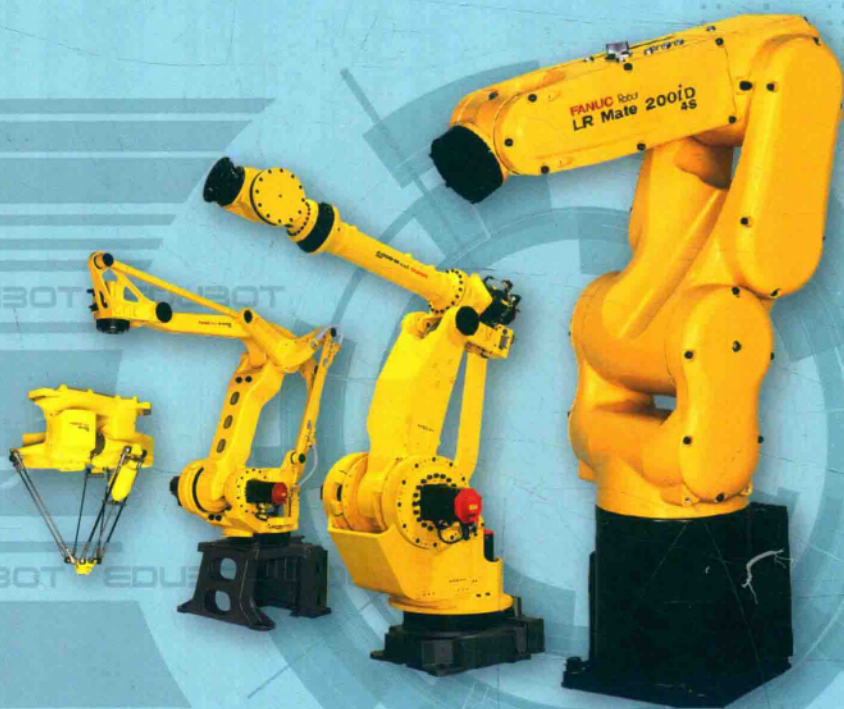
工业机器人技术专业“十三五”规划教材

工业机器人应用人才培养指定用书

# 工业机器人 入门实用教程

( FANUC机器人 )

张明文 主编 ◆



<http://www.irobot-edu.com>

教学视频+电子教案+技术交流论坛



哈尔滨工业大学出版社  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



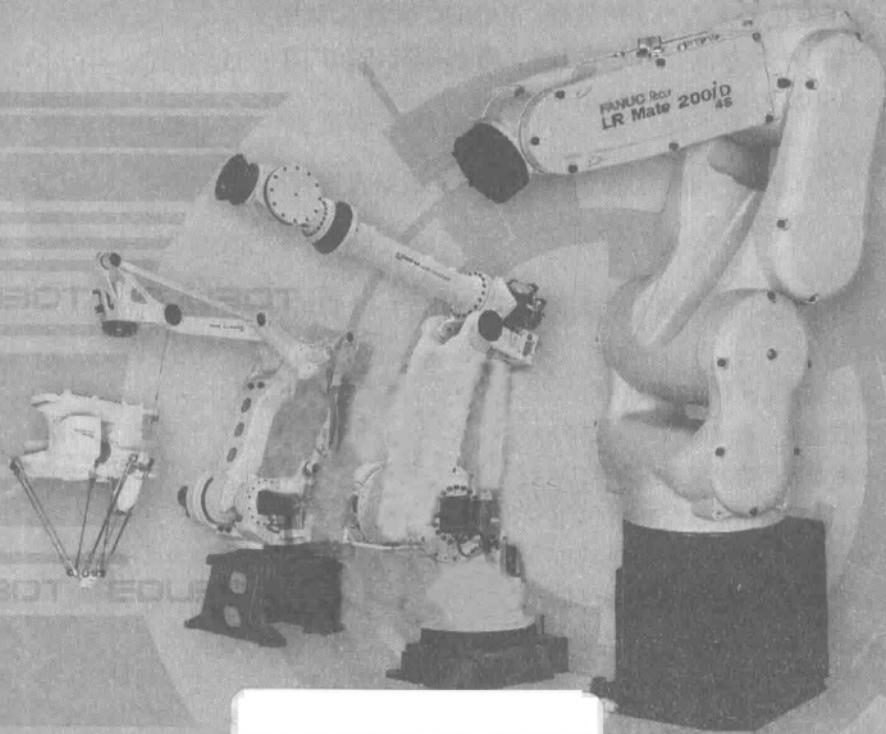
工业机器人技术专业“十三五”规划教材

工业机器人应用人才培养指定用书

# 工业机器人 入门实用教程

(FANUC机器人)

张明文 主编 ◆



<http://www.irobot-edu.com>

教学视频·电子教案·技术交流论坛



哈尔滨工业大学出版社  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书基于 FANUC 工业机器人，从机器人应用过程中需掌握的技能出发，由浅入深、循序渐进地介绍了 FANUC 机器人入门实用知识。从安全操作注意事项切入，配合丰富的实物图片，系统地介绍了 FANUC 工业机器人首次拆箱安装、示教器和机器人示教、手动操纵机器人、工具及用户坐标系的定义及建立、I/O 及配置、指令与编程、离线仿真等实用内容。基于具体案例，结合离线仿真讲解了机器人系统的编程、调试、自动生产的过程。通过学习本书，读者对工业机器人实际使用会有一个全面清晰的认识。

本书图文并茂，通俗易懂，具有很强的实用性和可操作性，既可作为高等院校和中高职院校工业机器人相关专业的教材，又可作为工业机器人培训机构用书，同时可供相关行业的技术人员参考。

本书配有丰富的教学资源，凡使用本书作为教材的教师可咨询相关机器人实训装备，也可通过书末“教学资源获取单”索取相关数字教学资源。咨询邮箱：[edubot\\_zhang@126.com](mailto:edubot_zhang@126.com)。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人入门实用教程：FANUC 机器人/张明文  
主编. —哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2017.9  
ISBN 978-7-5603-6967-9

I. ①工… II. ①张… III. ①工业机器人—教材  
IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 230786 号

策划编辑 王桂芝 张 荣  
责任编辑 范业婷 刘 威  
出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006  
传 真 0451-86414749  
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>  
印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂  
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 333 千字  
版 次 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5603-6967-9  
定 价 36.00 元

---

(如因印装质量问题影响阅读，我社负责调换)

**工业机器人技术专业“十三五”规划教材**  
**工业机器人应用人才培养指定用书**

## 编审委员会

名誉主任 蔡鹤皋

主任 韩杰才 李瑞峰 付宜利

副主任 于振中 张明文

委员 (按姓氏首字母排序)

包春红 蔡琼 陈健健 陈适 陈霞

封佳诚 高文婷 龚艳丽 顾三鸿 赫英强

李丹 李德新 李国太 李思幸 李晓聪

李智勇 刘馨芳 卢昊 宁金 齐建家

邵文涛 谭立新 滕武 王亮清 王璐欢

王伟 王伟夏 王欣 吴冠伟 吴洪涛

吴颜吉 吴战国 霰学会 杨润贤 鄢铨

殷铨 尹政 喻杰 袁静云 张广才

庄咸霜



## 序 一

现阶段，我国制造业面临资源短缺、劳动成本上升、人口红利减少等压力，而工业机器人的应用与推广，将极大地提高生产效率和产品质量，降低生产成本和资源消耗，有效提高我国工业制造竞争力。我国《机器人产业发展规划（2016—2020）》强调，机器人是先进制造业的关键支撑装备和未来生活方式的重要切入点。广泛采用工业机器人，对促进我国先进制造业的崛起，有着十分重要的意义。“机器换人，人用机器”的新型制造方式有效推进了产业升级和转型。

工业机器人作为集众多先进技术于一体的现代制造业装备，自诞生至今已经取得了长足进步。当前，新科技革命和产业变革正在兴起，全球工业竞争格局面临重塑，世界各国紧抓历史机遇，纷纷出台了一系列国家战略：美国的“再工业化”战略、德国的“工业4.0”计划、欧盟的“2020增长战略”，以及我国推出的“中国制造2025”战略。这些国家都以先进制造业为重点战略，并将机器人作为智能制造的核心发展方向。伴随机器人技术的快速发展，工业机器人已成为柔性制造系统（FMS）、自动化工厂（FA）、计算机集成制造系统（CIMS）等先进制造业的关键支撑装备。

随着工业化和信息化的快速推进，我国工业机器人市场已进入高速发展时期。国际机器人联合会（IFR）统计显示，截至2016年，中国已成为全球最大的工业机器人市场。未来几年，中国工业机器人市场仍将保持高速的增长态势。然而，现阶段我国机器人技术人才匮乏，与巨大的市场需求严重不协调。《中国制造2025》强调要健全、完善中国制造业人才培养体系，为推动中国制造业从大国向强国转变提供人才保障。从国家战略层面而言，推进智能制造的产业化发展，工业机器人技术人才的培养首当其冲。

目前，结合《中国制造2025》的全面实施和国家职业教育改革，许多应用型本科、职业院校和技工院校纷纷开设工业机器人相关专业，但作为一门专业知识面很广的实用型学科，普遍存在师资力量缺乏、配套教材资源不完善、工业机器人实训装备不系统、技能考核体系不完善等问题，导致无法培养出企业需要的专业机器人技术人才，严重制约了我国机器人技术的推广和智能制造业的发展。江苏哈工海渡工业机器人有限公司依托哈尔滨工业大学在机器人方向的研究实力，顺应形势需要，产、学、研、用相结合，组织企业专家和一线科研人员开展了一系列企业调研，面向企业需求，联合高校教师共同编写了“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书。

该系列图书具有以下特点：

(1) 循序渐进, 系统性强。该系列图书从工业机器人的入门知识、技术基础、实训指导, 到工业机器人的编程与高级应用, 由浅入深, 有助于读者系统学习工业机器人技术。

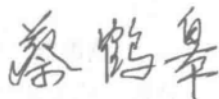
(2) 配套资源, 丰富多样。该系列图书配有相应的电子课件、视频等教学资源, 以及配套的工业机器人教学装备, 构建了立体化的工业机器人教学体系。

(3) 通俗易懂, 实用性强。该系列图书言简意赅, 图文并茂, 既可用于应用型本科、职业院校和技工院校的工业机器人应用型人才培养, 也可供从事工业机器人操作、编程、运行、维护与管理等工作的技术人员参考学习。

(4) 覆盖面广, 应用广泛。该系列图书介绍了国内外主流品牌机器人的编程、应用等相关内容, 顺应国内机器人产业人才发展需要, 符合制造业人才发展规划。

“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书结合实际应用, 教、学、用有机结合, 有助于读者系统学习工业机器人技术和强化提高实践能力。本系列图书的出版发行, 必将提高我国工业机器人专业的教学效果, 全面促进“中国制造 2025”国家战略下我国工业机器人技术人才的培养和发展, 大力推进我国智能制造产业变革。

中国工程院院士



2017年6月于哈尔滨工业大学



## 序 二

自出现至今短短几十年中，机器人技术的发展取得长足进步，伴随产业变革的兴起和全球工业竞争格局的全面重塑，机器人产业发展越来越受到世界各国的高度关注，主要经济体纷纷将发展机器人产业上升为国家战略，提出“以先进制造业为重点战略，以‘机器人’为核心发展方向”，并将此作为保持和重获制造业竞争优势的重要手段。

作为人类在利用机械进行社会生产史上的一个重要里程碑，工业机器人是目前技术发展最成熟且应用最广泛的一类机器人。工业机器人现已广泛应用于汽车及零部件制造，电子、机械加工，模具生产等行业以实现自动化生产线，并参与焊接、装配、搬运、打磨、抛光、注塑等生产制造过程。工业机器人的应用，既保证了产品质量，提高了生产效率，又避免了大量工伤事故，有效推动了企业和社会生产力发展。作为先进制造业的关键支撑装备，工业机器人影响着人类生活和经济发展的方方面面，已成为衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。

伴随着工业大国相继提出机器人产业政策，如德国的“工业 4.0”、美国的先进制造伙伴计划、中国的“‘十三五’规划”与“中国制造 2025”等国家政策，工业机器人产业迎来了快速发展态势。当前，随着劳动力成本上涨，人口红利逐渐消失，生产方式向柔性、智能、精细转变，中国制造业转型升级迫在眉睫。全球新一轮科技革命和产业变革与中国制造业转型升级形成历史性交汇，中国已经成为全球最大的机器人市场。大力发展工业机器人产业，对于打造我国制造业新优势、推动工业转型升级、加快制造强国建设、改善人民生活水平具有深远意义。

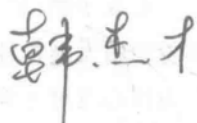
我国工业机器人产业迎来爆发性的发展机遇，然而，现阶段我国工业机器人领域人才储备数量严重不足，对企业而言，从工业机器人的基础操作维护人员到高端技术人才普遍存在巨大缺口，缺乏经过系统培训、能熟练安全应用工业机器人的专业人才。现代工业是立国的基础，需要有与时俱进的职业教育和人才培养配套资源。

“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书由江苏哈工海渡工业机器人有限公司联合众多高校和企业共同编写完成。该系列图书依托于哈尔滨工业大学的先进机器人研究技术，综合企业实际用人需求，充分贯彻了现代应用型人才培养“淡化理论，技能培养，重在运用”的指导思想。该系列图书既可作为工业机器人技术或机器人工程专业的教材，也可作为机电一体化、自动化专业开设工业机器人相关课程的教学用书；系列图书

涵盖了国际主流品牌和国内主要品牌机器人的入门实用、实训指导、技术基础、高级编程等系列教材，注重循序渐进与系统学习，强化学生的工业机器人专业技术能力和实践操作能力。

该系列教材“立足工业，面向教育”，填补了我国在工业机器人基础应用及高级应用系列教材中的空白，有助于推进我国工业机器人技术人才的培养和发展，助力中国智造。

中国科学院院士



2017年6月





# 前 言

机器人是先进制造业的重要支撑装备，也是未来智能制造的关键切入点，工业机器人作为机器人家族中的重要一员，是目前技术最成熟、应用最广泛的一类机器人。工业机器人的研发和产业化应用是衡量科技创新和高端制造发展水平的重要标志。发达国家已经把工业机器人产业发展作为抢占未来制造业市场、提升竞争力的重要途径。在汽车工业、电子电器行业、工程机械等众多行业大量使用工业机器人自动化生产线，在保证产品质量的同时，改善了工作环境，提高了社会生产效率，有力地推动了企业和社会生产力的发展。

当前，随着我国劳动力成本上涨，人口红利逐渐消失，生产方式向柔性、智能、精细转变，构建新型智能制造体系迫在眉睫，对工业机器人的需求呈现大幅增长。大力发展工业机器人产业，对于打造我国制造业新优势，推动工业转型升级，加快制造强国建设，改善人民生活水平具有深远意义。《中国制造 2025》将机器人作为重点发展领域的总体部署，推动机器人产业发展上升到国家战略层面。

在全球范围内的制造产业战略转型期，我国工业机器人产业迎来爆发性的发展机遇，然而，现阶段我国工业机器人领域人才供需失衡，缺乏经系统培训的、能熟练安全使用和维护工业机器人的专业人才。针对这一现状，为了更好地推广工业机器人技术的运用，亟需编写一本系统、全面的工业机器人实用的入门教材。

本书以 FANUC 机器人为主，结合工业机器人仿真系统和江苏哈工海渡工业机器人有限公司的工业机器人技能考核实训台，遵循“由简入繁，软硬结合，循序渐进”的编写原则，依据初学者的学习需要科学设置知识点，结合实训台典型实例讲解，倡导实用性教学，有助于激发学习兴趣，提高教学效率，便于初学者在短时间内全面、系统地了解工业机器人的操作常识。

本书图文并茂，通俗易懂，具有很强的实用性和可操作性，既可作为高等院校和中高职院校工业机器人相关专业的教学和实训教材，又可作为工业机器人培训机构用书，也可以作为 FANUC 机器人入门培训的初级教程，供从事相关行业的技术人员参考。

机器人技术专业具有知识面广、实操性强等显著特点，为了提高教学效果，在教学方法上，建议采用启发式教学，开放性学习，重视实操演练、小组讨论；在学习过程中，建议结合本书配套的教学辅助资源，如：机器人仿真软件、工业机器人实训台、教学课件及视频素材、教学参考与拓展资料等。以上资源可通过书末所附“教学资源获取单”咨询获取。

本书由哈工海渡机器人学院的张明文任主编，顾三鸿和霰学会任副主编，参加编写的还有何定阳、王璐欢、吴冠伟和滕武等，由王伟和陈霞主审。全书由顾三鸿和霰学会统稿，具体编写分工如下：霰学会编写第 1、2 章；顾三鸿和何定阳编写第 3~6 章；吴冠伟和滕武编写第 7~9 章；王璐欢编写第 10、11 章。本书编写过程中，得到了哈工大机器人集团和上海发那科机器人有限公司的有关领导、工程技术人员，以及哈尔滨工业大学相关教师的鼎力支持与帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不足，敬请读者批评指正。

编 者

2017 年 7 月



# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第1章 工业机器人概述</b> .....     | 1  |
| 1.1 工业机器人定义和特点.....          | 1  |
| 1.2 工业机器人主要技术参数.....         | 1  |
| 1.3 工业机器人应用.....             | 5  |
| 思考题.....                     | 9  |
| <b>第2章 FANUC 机器人认知</b> ..... | 10 |
| 2.1 安全操作注意事项.....            | 10 |
| 2.2 FANUC 机器人简介.....         | 10 |
| 2.3 机器人项目实施流程.....           | 13 |
| 2.4 机器人系统组成.....             | 14 |
| 2.4.1 机器人本体.....             | 14 |
| 2.4.2 控制器.....               | 15 |
| 2.4.3 示教器.....               | 17 |
| 2.5 机器人组装.....               | 17 |
| 2.5.1 电缆线连接.....             | 17 |
| 2.5.2 首次组装机器人.....           | 20 |
| 思考题.....                     | 23 |
| <b>第3章 示教器认知</b> .....       | 24 |
| 3.1 示教器硬件介绍.....             | 24 |
| 3.2 示教器语言设置.....             | 28 |
| 3.3 示教器画面.....               | 30 |
| 3.3.1 状态窗口.....              | 30 |
| 3.3.2 菜单画面.....              | 31 |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 3.3.3 辅助菜单 .....           | 32        |
| 3.3.4 示教器画面的分割 .....       | 34        |
| 3.4 事件日志 .....             | 36        |
| 思考题 .....                  | 39        |
| <b>第 4 章 机器人基本操作 .....</b> | <b>40</b> |
| 4.1 坐标系种类 .....            | 40        |
| 4.2 机器人手动操纵——关节运动 .....    | 43        |
| 4.3 机器人手动操纵——线性运动 .....    | 44        |
| 思考题 .....                  | 45        |
| <b>第 5 章 坐标系的建立 .....</b>  | <b>46</b> |
| 5.1 工具坐标系 .....            | 46        |
| 5.1.1 工具坐标系建立原理 .....      | 46        |
| 5.1.2 工具坐标系建立步骤 .....      | 47        |
| 5.1.3 工具坐标系验证 .....        | 54        |
| 5.2 用户坐标系 .....            | 59        |
| 5.2.1 用户坐标系建立原理 .....      | 59        |
| 5.2.2 用户坐标系建立步骤 .....      | 60        |
| 5.2.3 用户坐标系验证 .....        | 65        |
| 思考题 .....                  | 67        |
| <b>第 6 章 I/O 通信 .....</b>  | <b>68</b> |
| 6.1 I/O 种类 .....           | 68        |
| 6.1.1 通用 I/O .....         | 68        |
| 6.1.2 专用 I/O .....         | 68        |
| 6.2 R-30iB Mate 主板 .....   | 69        |
| 6.2.1 主板硬件 .....           | 69        |
| 6.2.2 通用 I/O 分配 .....      | 71        |
| 6.2.3 外围设备 I/O 分配 .....    | 73        |
| 6.2.4 应用实例 .....           | 77        |
| 6.3 EE 接口 .....            | 81        |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| 6.3.1 硬件             | 81         |
| 6.3.2 机器人 I/O 配置     | 82         |
| 6.3.3 机器人 I/O 应用实例   | 82         |
| 6.4 操作面板 I/O         | 83         |
| 6.5 安全信号             | 84         |
| 思考题                  | 86         |
| <b>第 7 章 机器人基本指令</b> | <b>87</b>  |
| 7.1 动作指令             | 87         |
| 7.1.1 动作类型           | 87         |
| 7.1.2 位置资料           | 89         |
| 7.1.3 移动速度           | 90         |
| 7.1.4 定位类型           | 91         |
| 7.2 寄存器指令            | 93         |
| 7.2.1 数值寄存器指令        | 93         |
| 7.2.2 位置寄存器指令        | 93         |
| 7.3 I/O 指令           | 94         |
| 7.3.1 机器人 I/O 指令     | 94         |
| 7.3.2 数字 I/O 指令      | 95         |
| 7.3.3 模拟 I/O 指令      | 96         |
| 7.4 等待指令             | 97         |
| 7.5 无条件转移指令          | 98         |
| 7.6 条件转移指令           | 99         |
| 7.7 跳过条件指令           | 100        |
| 7.8 位置补偿条件指令         | 101        |
| 7.9 坐标系指令            | 102        |
| 7.10 FOR/ENDFOR 指令   | 103        |
| 思考题                  | 104        |
| <b>第 8 章 机器人编程基础</b> | <b>105</b> |
| 8.1 程序构成             | 105        |
| 8.2 程序编辑             | 106        |
| 8.2.1 程序创建           | 106        |

|                |     |
|----------------|-----|
| 8.2.2 程序修改     | 111 |
| 8.2.3 指令编辑     | 115 |
| 8.3 程序的执行      | 127 |
| 8.3.1 程序的停止与恢复 | 127 |
| 8.3.2 执行程序     | 128 |
| 8.3.3 测试运转     | 132 |
| 8.4 自动运转       | 137 |
| 思考题            | 140 |

## 第9章 编程实例 141

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 9.1 直线运动实例      | 142 |
| 9.2 圆弧运动实例      | 150 |
| 9.3 曲线运动实例      | 162 |
| 9.4 物料搬运实例      | 175 |
| 9.5 异步输送带物料检测实例 | 185 |
| 思考题             | 193 |

## 第10章 异常事件和程序备份加载 194

|                |     |
|----------------|-----|
| 10.1 常见异常事件    | 194 |
| 10.2 零点标定      | 195 |
| 10.2.1 零点标定介绍  | 195 |
| 10.2.2 关节机械零点位 | 196 |
| 10.3 程序备份/加载   | 197 |
| 10.3.1 程序备份    | 197 |
| 10.3.2 程序加载    | 201 |
| 思考题            | 206 |

## 第11章 ROBOGUIDE 离线仿真 207

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 11.1 仿真软件简介             | 207 |
| 11.2 ROBOGUIDE 仿真软件安装步骤 | 207 |
| 11.3 工作站建立              | 212 |
| 11.3.1 机器人导入            | 212 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 11.3.2 工具与工件的添加····· | 215 |
| 11.3.3 打开示教器·····    | 218 |
| 11.3.4 创建程序·····     | 219 |
| 思考题·····             | 221 |
| 参考文献·····            | 222 |



# 第1章

# 工业机器人概述

## 1.1 工业机器人定义和特点

工业机器人虽是技术上最成熟、应用最广泛的机器人，但对其具体的定义，科学界尚未形成统一，目前公认的是国际标准化组织（ISO）的定义。

国际标准化组织（ISO）的定义为：“工业机器人是一种能自动控制、可重复编程、多功能、多自由度的操作机，能够搬运材料、工件或者操持工具来完成各种作业。”

工业机器人最显著的特点有：

- 拟人化：在机械结构上类似于人的手臂或者其他组织结构。
- 通用性：可执行不同的作业任务，动作程序可按需求改变。
- 独立性：完整的机器人系统在工作中可以不依赖于人的干预。
- 智能性：具有不同程度的智能功能，如感知系统等，提高了工业机器人对周围环境的自适应能力。



\* 工业机器人定义和特点

## 1.2 工业机器人主要技术参数

选用什么样的工业机器人，首先要了解机器人的主要技术参数，然后根据生产和工艺的实际要求，通过机器人的技术参数来选择机器人的机械结构、坐标形式和传动装置等。

机器人的技术参数反映了机器人的适用范围和工作性能，主要包括：自由度、额定负载、工作空间、工作精度。

其他参数还有：工作速度、控制方式、驱动方式、安装方式、动力源容量、本体质量、环境参数等。

### 1. 自由度

自由度是指描述物体运动所需要的独立坐标数。



\* 工业机器人主要技术参数



空间直角坐标系又称笛卡尔直角坐标系,它是空间一点  $O$  为原点,建立三条两两相互垂直的数轴,即  $x$  轴、 $y$  轴和  $z$  轴,且三个轴的正方向符合右手规则,如图 1.1 所示,即右手大拇指指向  $z$  轴正方向,食指指向  $x$  轴正方向,中指指向  $y$  轴正方向。

在三维空间中描述一个物体的位姿(即位置和姿态)需要 6 个自由度,如图 1.2 所示。沿空间直角坐标系  $O-xyz$  的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个轴的平移运动  $T_x$ 、 $T_y$ 、 $T_z$ ;  
绕空间直角坐标系  $O-xyz$  的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个轴的旋转运动  $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_z$ 。

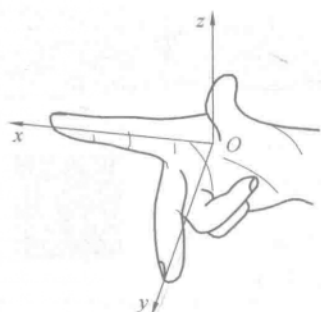


图 1.1 右手规则

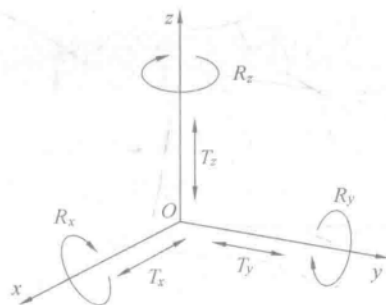
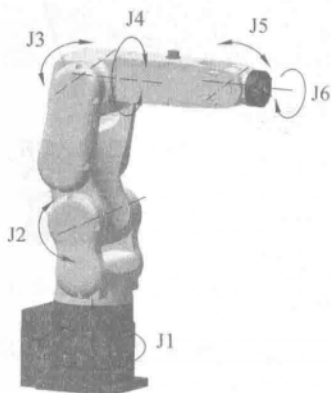


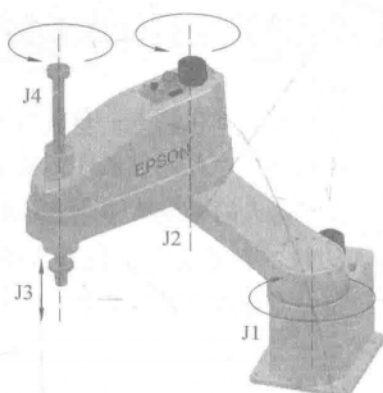
图 1.2 刚体的 6 个自由度

机器人的自由度是指工业机器人相对坐标系能够进行独立运动的数目,不包括末端执行器的动作,如图 1.3 所示。

机器人的自由度反映机器人动作的灵活性,自由度越多,机器人就越能接近人手的动作机能,通用性越好;但是自由度越多,结构就越复杂,对机器人的整体要求就越高。因此,工业机器人的自由度是根据其用途设计的。



(a) LR Mate 200iD/4S 六轴机器人



(b) EPSON-SCARA 机器人

图 1.3 机器人的自由度