

工业机器人应用基础

● 主编 张新星



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

工业机器人应用基础

主 编 张新星

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书介绍了工业机器人的产生、发展和分类概况,工业机器人的组成、特点和技术性能等入门知识,重点针对不同类型的工业机器人进行了全面、系统地阐述,并对工业机器人本体的机械结构及安装维护要求进行了具体介绍。项目1介绍了机器人的产生、发展、分类及工业机器人的产品与应用情况;对工业机器人的组成、特点和技术性能进行了具体说明。项目2详细阐述了工业机器人的结构形式及各部分的机械结构;项目3~4对工业机器人的手动操作,示教编程做了说明;项目5~9以典型系统为例,具体介绍了不同类型工业机器人的安全操作、点动操作及示教编程、命令编辑、再现运行的基本方法和步骤;项目10~11对工业机器人的机械核心部件结构原理、产品分类、安装维护要求进行了具体的介绍。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人应用基础 / 张新星主编. —北京:北京理工大学出版社, 2017. 6

ISBN 978 - 7 - 5682 - 4584 - 5

I. ①工… II. ①张… III. ①工业机器人 - 高等学校 - 教材 IV. ①TP242. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第187997号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 11

字 数 / 260千字

版 次 / 2017年6月第1版 2017年6月第1次印刷

定 价 / 44.00元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强



前言

Qianyan

机器人在达到人类前沿的同时，积极应对着新兴领域中出现的各种挑战。新一代机器人和人类互动，和人类一起探索、工作，它们将会越来越多地接触人类及其生活。工业机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的机电一体化设备，被称为工业自动化的三大支持技术之一。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，使之为我们创造出更加巨大的生产力，并在一定程度上维护了社会的和谐。工业机器人的出现是人类在利用机械进行社会生产史上的一个里程碑。在发达国家中，工业机器人自动化生产线成套设备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。国外汽车行业、电子电器行业、工程机械等行业已经大量使用工业机器人自动化生产线，以保证产品质量，提高生产效率，同时避免了大量的工伤事故。全球诸多国家近半个世纪的工业机器人的使用实践表明，工业机器人的普及是实现自动化生产、提高社会生产效率、推动企业和社会生产力发展的有效手段。

本书介绍了工业机器人的产生、发展和分类概况，工业机器人的组成、特点和技术性能等入门知识，重点针对不同类型的工业机器人进行了全面、系统地阐述，并对工业机器人本体的机械结构及安装维护要求进行了深入具体的介绍。项目1介绍了机器人的产生、发展、分类及工业机器人的产品与应用情况；对工业机器人的组成、特点和技术性能进行了具体说明。项目2详细阐述了工业机器人的结构形式及各部分的机械结构；项目3~4对工业机器人的手动操作，示教编程做了说明；项目5~9以典型系统为例，具体介绍了不同类型工业机器人的安全操作、点动操作及示教编程、命令编辑、再现运行的基本方法和步骤；项目10~11对工业机器人的机械核心部件结构原理、产品分类、安装维护要求进行了具体介绍。

由于编著者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，殷切期望广大读者提出批评、指正，以便进一步提高本书的质量。

编者

项目1 认识工业机器人	001
1.1 任务一 机器人的发展	001
1.1.1 什么是工业机器人	001
1.1.2 为何发展工业机器人	002
1.1.3 机器人的发展概况	002
1.2 任务二 机器人的分类及应用	004
1.2.1 机器人的分类	004
1.2.2 机器人的应用	006
本章小结	007
任务工单	008
项目2 机器人的机械结构和运动控制	009
2.1 任务一 机器人的系统组成	010
2.1.1 操作机	010
2.1.2 控制器	013
2.1.3 示教器	015
2.1.4 技术指标	015
2.2 任务二 机器人的运动控制	017
2.2.1 机器人运动学问题	017
2.2.2 机器人的点位运动和连续路径运动	018
2.2.3 机器人的位置控制	019
2.2.4 运动控制电动机及驱动	019
本章小结	020
任务工单	020
项目3 手动操纵工业机器人	022
3.1 任务一 认识机器人运动轴与坐标系	023
3.1.1 机器人运动轴的名称	023
3.1.2 机器人坐标系的种类	024
3.2 任务二 认识和使用示教器	028

目 录

Contents

3.2.1 示教和手动机器人	029
3.2.2 再现和生产运行	030
3.3 任务三 手动移动机器人	030
3.3.1 移动方式	030
3.3.2 典型坐标系下的手动操作	031
扩展与提高	032
本章小结	034
任务工单	034
项目4 工业机器人的作业示教	036
4.1 任务一 工业机器人示教的主要内容	037
4.1.1 运动轨迹	037
4.1.2 作业条件	038
4.1.3 作业顺序	039
4.2 任务二 工业机器人的简单示教与再现	039
4.2.1 在线示教及其特点	039
4.2.2 在线示教的基本步骤及其特点	040
4.3 任务三 工业机器人的离线编程	043
4.3.1 离线编程及其特点	043
4.3.2 离线编程系统的软件构架	044
4.3.3 离线编程的基本步骤	045
扩展与提高	048
本章小结	049
任务工单	049
项目5 搬运机器人及其操作应用	052
5.1 任务一 认识搬运机器人	053
5.1.1 搬运机器人的系统组成	055
5.1.2 搬运机器人的作业示教	058
5.1.3 冷加工搬运作业	059

5.1.4 热加工搬运作业	062
本章小结	063
任务工单	063
项目6 码垛机器人及其操作应用	066
6.1 任务一 认识码垛机器人	066
6.1.1 码垛机器人的系统组成	067
6.1.2 码垛机器人的作业示教	068
任务工单	072
项目7 焊接机器人及其操作应用	075
7.1 任务一 认识焊接机器人	076
7.1.1 点焊机器人	080
7.1.2 弧焊机器人	082
7.1.3 激光焊机器人	083
7.2 任务二 焊接机器人的作业示教	085
7.2.1 点焊作业	085
7.2.2 熔焊作业	087
本章小结	092
任务工单	092
项目8 涂装机器人及其操作应用	095
8.1 任务一 认识涂装机器人	095
8.1.1 涂装机器人的系统组成	097
8.1.2 涂装机器人的作业示教	100
本章小结	102
任务工单	103
项目9 装配机器人及其操作应用	106
9.1 任务一 认识装配机器人	106

目 录

Contents

9.1.1	装配机器人的系统组成	109
9.1.2	装配机器人的作业示教	111
9.2	任务二 装配机器人作业	112
9.2.1	装配机器人螺栓紧固作业	112
9.2.2	装配机器人鼠标装配作业	113
	本章小结	114
	任务工单	114
项目10	系列机器人示教	117
10.1	任务一 机器人工作站操作	117
10.1.1	示教器	117
10.1.2	手动操作	125
10.2	任务二 机器人工作站编程	130
10.2.1	文件管理	130
10.2.2	运行程序	135
10.2.3	状态显示	140
10.3	任务三 示教案例	140
10.3.1	点焊机器人	140
10.3.2	搬运机器人	141
项目11	系列机器人机械维护	142
11.1	任务一 安装和运转	143
11.1.1	机械系统结构	143
11.1.2	机器人重量	143
11.1.3	机器人性能参数	145
11.1.4	机器人工作空间	146
11.1.5	机器人安装	146
11.1.6	负载曲线	147
11.1.7	末端法兰安装	148
11.2	任务二 校对、调试	149

11.2.1	零点校对概述	149
11.2.2	零点标定工具	149
11.2.3	零点标定	149
11.3	任务三 维护	151
11.3.1	预防性维护	151
11.3.2	定期维护	152
11.3.3	机器人润滑	154
11.3.4	J5、J6 轴皮带张紧	156
11.3.5	维护区域	156
11.4	任务四 维修	157
11.4.1	介绍	157
11.4.2	各种常见问题	157
11.4.3	各部件重量	158
11.4.4	更换部件	159
11.4.5	废弃	164
11.4.6	涉及标准	164
附录		165
参考文献		166



项目1 认识工业机器人

章节目录

- 1.1 任务一 工业机器人的发展
 - 1.1.1 什么是工业机器人
 - 1.1.2 为何发展工业机器人
 - 1.1.3 工业机器人的发展概况
- 1.2 任务二 工业机器人的分类及应用
 - 1.2.1 工业机器人的分类
 - 1.2.2 工业机器人的应用

学习目标

- 掌握工业机器人的定义；
- 了解工业机器人的发展历程；
- 熟悉工业机器人的常见分类及其行业应用。

导入案例

富士康“百万机器人”上岗折射中国制造业升级

2011年，富士康CEO郭台铭表示，希望到2012年年底装配30万台机器人，到2014年装配100万台，要在5到10年内通过自动化消除简单重复性的工序。机器人的投产使用，可将目前的人力资源转移到具备更高附加值的岗位上，这也符合将我国“人口红利”转为“人才红利”的目标。这一工业机器人的井喷潮涌，何时会蔓延到“中国制造”的每一个工厂、每一条生产线、每一个工序、每一个工位上，将为“中国制造”的转型提“智”做出何等贡献？我们对此充满期待。

课堂认知

1.1 任务一 工业机器人的发展

1.1.1 什么是工业机器人

什么是机器人涉及人的概念，成为一个难以回答的哲学问题。世界上对机器人还没有一个统一、严格、准确的定义，不同国家、不同研究领域给出的定义不尽相同。美国机器人协会认为，机器人是一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过程序动作来执行

种种任务的，并具有编程能力的多功能操作机。日本工业机器人协会认为，工业机器人是一种带有存储器件和末端操作器的通用机械，它能够通过自动化的动作替代人类劳动。中国科学家认为，机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或者生物相似的智能能力，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。ISO 给出的定义是，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，能搬运材料、工件或操持工具来完成各种作业。

广义地说，工业机器人是一种在计算机控制下的可编程的自动机器。它具有四个基本特征：

- (1) 特定的机械机构；
- (2) 通用性；
- (3) 不同程度的智能；
- (4) 独立性。

1.1.2 为何发展工业机器人

让机器人替人类干那些人类不愿干、干不了、干不好的工作。ABB 给出十大投资机器人的理由：第一，降低运营成本；第二，提升产品质量与一致性；第三，改善员工的工作环境；第四，扩大产能；第五，增强生产的柔性；第六，减少原料浪费，提高成品率；第七，满足安全法规，改善生产安全条件；第八，减少人员流动，缓解招聘技术工人的压力；第九，降低投资成本，提高生产效率；第十，节约宝贵的生产空间。机器人与人工的年均成本比较如图 1-1 所示。

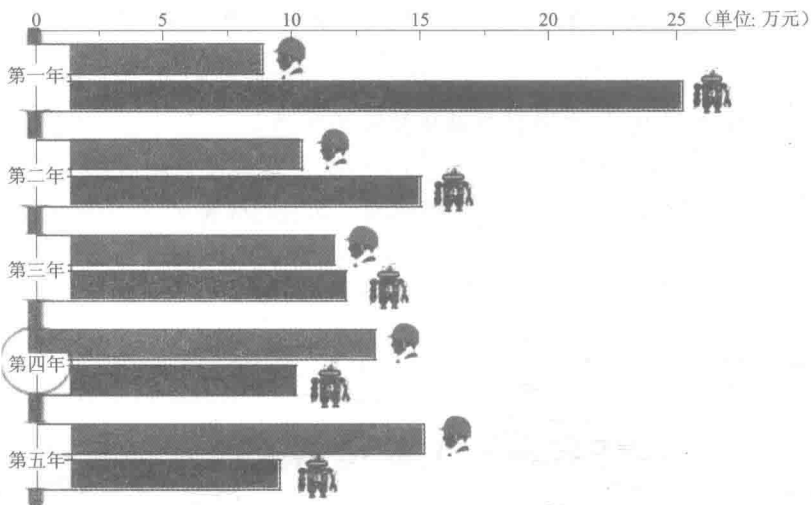


图 1-1 机器人与人工的年均成本比较

1.1.3 工业机器人的发展概况

1959 年，美国造出了世界上第一台工业机器人 Unimate，如图 1-2 所示，Unimate 可实现回转、伸缩、俯仰等动作。2005 年，YASKAWA 推出可代替人完成组装、搬运的机

器人 MOTOMAN - DA20 和 MOTOMAN - IA20, 如图 1-3 所示。2010 年意大利柯马 (COMAU) 推出 SMART5 PAL 机器人, 如图 1-4 所示, 可实现装载/卸载, 多产品拾取、堆垛等功能。

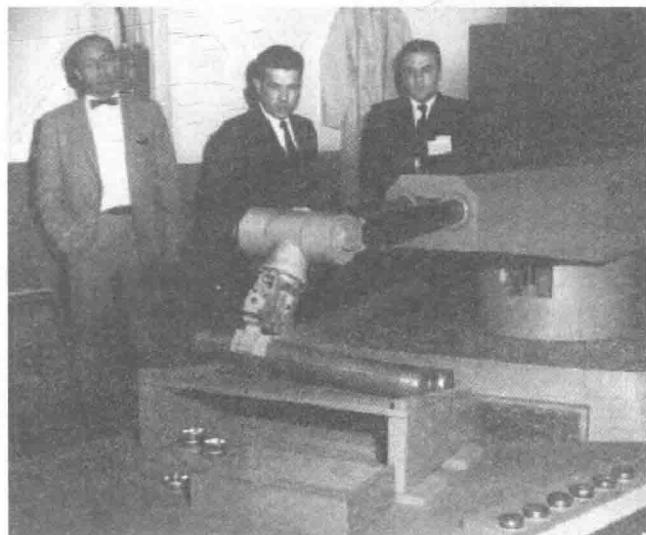


图 1-2 第一台工业机器人 Unimate

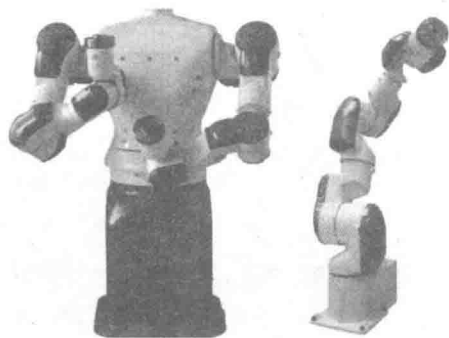


图 1-3 MOTOMAN 机器人



图 1-4 SMART5 PAL 机器人

KUKA 公司推出 KR 5 arc HW (Hollow Wrist) 机器人, 如图 1-5 所示, 其机械臂和机械手上有一个 50 mm 宽的通孔, 可以保护机械臂上的整套保护气体软管的敷设。

FANUC 推出的 Robot M-3iA 装配机器人, 如图 1-6 所示, 采用四轴或六轴模式, 具有独特的平行连接结构, 具备轻巧便携的特点, 承重范围可达 6 kg。

国际工业机器人技术日趋成熟, 基本沿着两个路径发展: 一是模仿人的手臂, 实现多维运动功能, 典型应用为点焊、弧焊机器人; 二是模仿人的下肢运动, 实现物料输送、传递等搬运功能, 如搬运机器人。

机器人研发水平最高的是日本、美国与欧洲, 他们在发展工业机器人方面各有千秋:

日本模式——各司其职, 分层面完成交钥匙工程。

欧洲模式——一揽子交钥匙工程。

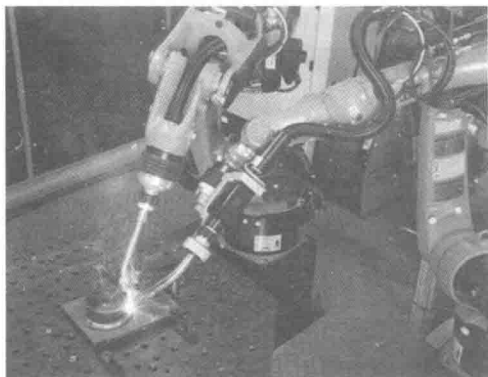


图 1-5 KR 5 arc HW 机器人

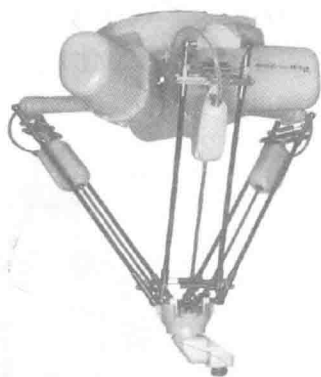


图 1-6 Robot M-3iA 装配机器人

美国模式——采购与成套设计相结合。

国产机器人与进口机器人尚存一定差距，具体现状如下：

- (1) 低端技术水平有待改善。
- (2) 产业链条亟待充实与规范。

1.2 任务二 工业机器人的分类及应用

1.2.1 工业机器人的分类

关于工业机器人分类，国际上没有制订统一的标准，可按负载重量、控制方式、自由度、结构、应用领域等划分。

1. 按机器人的技术等级划分

(1) 如图 1-7、图 1-8 所示，示教再现机器人（即第一代工业机器人）能够按照人类预先示教的轨迹、行为、顺序和速度重复作业，示教可由操作员手把手进行或通过示教器完成。



图 1-7 机器人示教

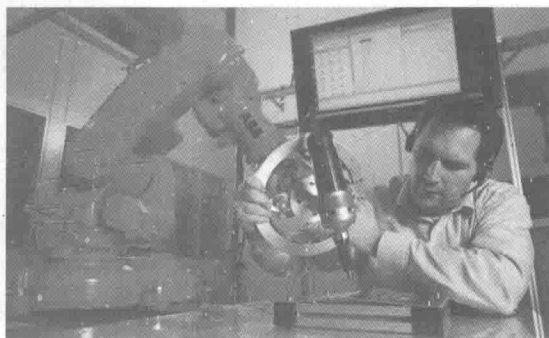


图 1-8 机器人示教

(2) 感知机器人（即第二代工业机器人）具有环境感知装置，能在一定程度上适应环境的变化，目前已经进入应用阶段。图 1-9 所示为配备视觉系统的工业机器人。

(3) 智能机器人（第三代工业机器人）具有发现问题，并且能自主地解决问题的能力，尚处于实验研究阶段。

2. 按机器人的机构特征划分

按工业机器人的结构特征划分，可分为以下几类。

(1) 直角坐标系机器人：直角坐标系机器人具有空间上相互垂直的多个直线移动轴，通过直角坐标方向的 3 个独立自由度确定其手部的空间位置，其动作空间为一长方体，如图 1-10 所示。

(2) 柱面坐标系机器人：如图 1-11 所示，柱面坐标系机器人主要由旋转基座、垂直移动轴和水平移动轴构成，具有一个回转和两个平移自由度，其动作空间呈圆柱形。

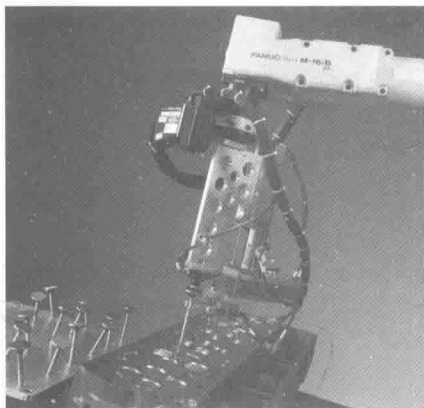


图 1-9 配备视觉系统的工业机器人

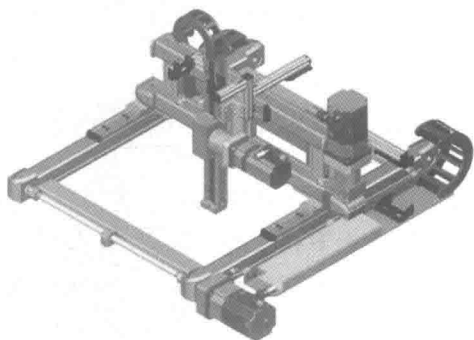


图 1-10 直角坐标系机器人

(3) 球面坐标系机器人：如图 1-12 所示，球面坐标系机器人的空间位置分别由旋转、摆轴和平移 3 个自由度确定，动作空间形成球面。

(4) 垂直多关节坐标系机器人：如图 1-13 所示，垂直多关节机器人模拟人手臂的功能，由垂直于地面的腰部旋转轴、带动小臂旋转的肘部旋转轴以及小臂前端的手腕等组成，手腕通常有 2~3 个自由度，其动作空间近似一个球体。

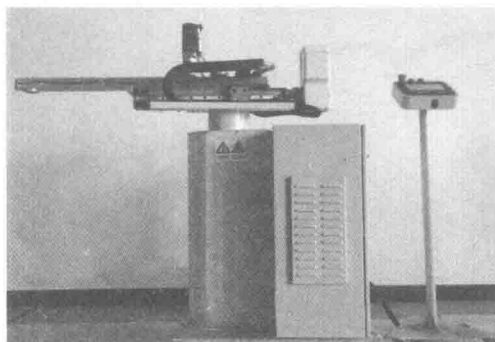


图 1-11 柱面坐标系机器人

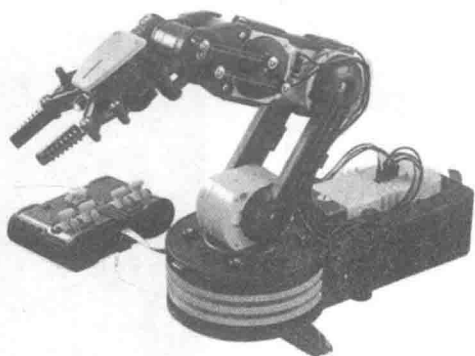


图 1-12 球面坐标系机器人

(5) 水平多关节坐标系机器人：如图 1-14 所示，水平多关节坐标系机器人在结构上具有串联配置的两个能够在水平面内旋转的手臂，自由度可依据用途选择 2~4 个，动作空间为一圆柱体。

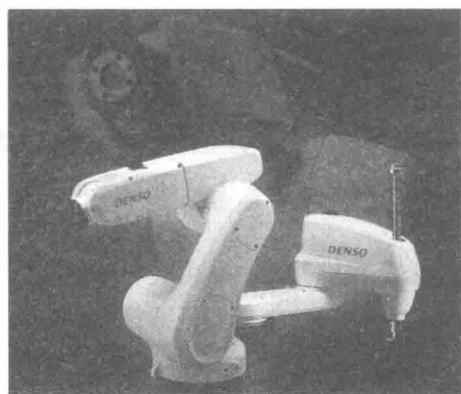


图 1-13 垂直多关节坐标系机器人

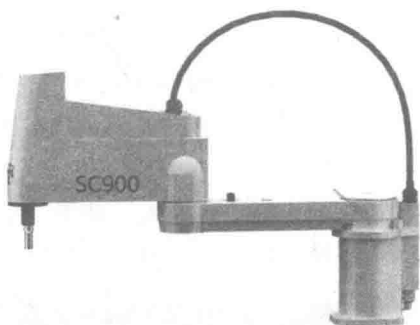


图 1-14 水平多关节坐标系机器人

1.2.2 工业机器人的应用

按作业任务将工业机器人分为搬运、码垛、焊接、涂装、装配机器人。机器人搬运被广泛应用于机床上下料、冲压机自动化生产线、自动装配流水线、码垛、集装箱等的自动搬运领域，如图 1-15 所示。

码垛机器人被广泛应用于化工、饮料、食品、啤酒、塑料等生产企业，对纸箱、袋装、罐装、啤酒箱、瓶装等各种形状的包装成品都适用，如图 1-16 所示。

焊接机器人最早被应用在装配生产线上，开拓了一种柔性自动化生产方式，实现了在一条焊接机器人生产线上同时自动生产若干种焊件，如图 1-17 所示。

涂装机器人被广泛应用于汽车、汽车零配件、铁路、家电、建材、机械等行业，如图 1-18 所示。

装配机器人被广泛应用于各种电器制造行业及流水线产品的组装作业，具有高效、精确、不间断工作的特点，如图 1-19 所示。

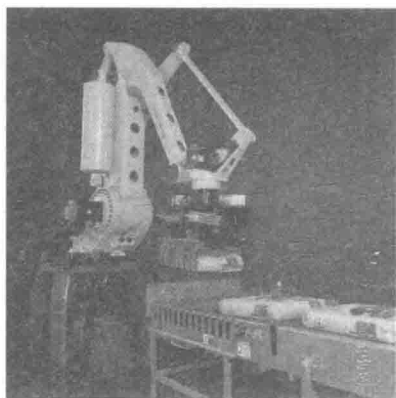


图 1-15 工业机器人自动搬运



图 1-16 工业机器人码垛

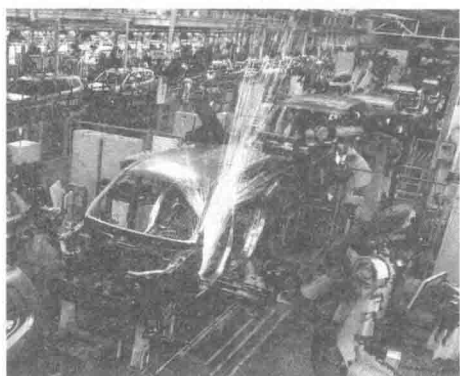


图 1-17 工业机器人焊接

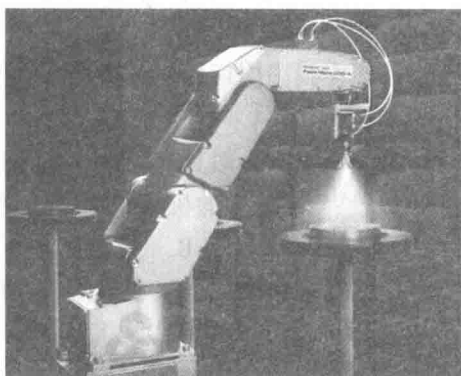


图 1-18 工业机器人涂装

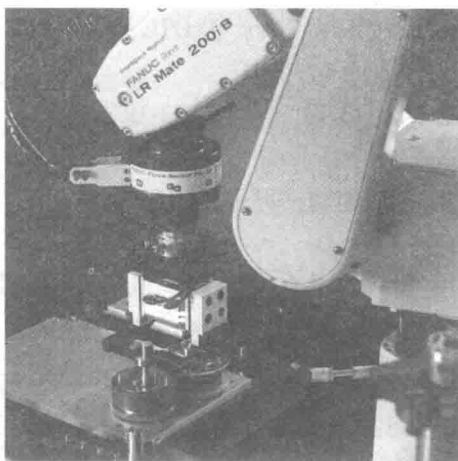


图 1-19 工业机器人装配

本章小结

工业机器人是一种能自动定位控制并可重新编程予以变动的多功能机器。它有多自由度，可用来搬运材料、零件和握持工具，以完成各种不同的作业。

工业机器人的发展过程可分为三代：第一代为示教—再现型机器人，它可以按照预先设

定的程序，自主完成规定动作或操作，当前工业中应用最多；第二代为感知型机器人，如有力觉、触觉和视觉等，它具有对某些外界信息进行反馈调整的能力，目前已进入应用阶段；第三代为智能机器人，其尚处于实验研究阶段。

任务工单

1. 填空题

(1) 国际工业机器人技术日趋成熟，基本沿着两个路径发展：一是模仿人的_____，实现多维运动，在应用上比较典型的是点焊、弧焊机器人；二是模仿人的_____，实现物料输送、传递等搬运功能，例如搬运机器人。

(2) 按照机器人的技术发展水平，可以将工业机器人分为三代：_____机器人、_____机器人和_____机器人。

(3) 目前在我国应用的工业机器人主要分_____、_____和国产三种。

2. 选择题

(1) 工业机器人一般具有的基本特征是（ ）。

① 拟人性；② 特定的机械机构；③ 不同程度的智能；④ 独立性；⑤ 通用性

A. ①②③④ B. ①②③⑤ C. ①③④⑤ D. ②③④⑤

(2) 按基本动作机构，工业机器人通常可分为（ ）。

① 直角坐标系机器人；② 柱面坐标系机器人；③ 球面坐标系机器人；④ 多关节坐标系机器人

A. ①② B. ①②③ C. ①③ D. ①②③④

(3) 机器人行业所说的四巨头指的是（ ）。

① PANASONIC；② FANUC；③ KUKA；④ OTC；⑤ YASKAWA；⑥ FANUC；

⑦ NACHI；⑧ ABB

A. ①②③④ B. ①②③⑧ C. ②③⑤⑧ D. ①③⑤⑧

3. 判断题

(1) 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。 ()

(2) 发展工业机器人的主要目的是在不违背“机器人三原则”前提下，用机器人协助或替代人类从事一些不适合人类甚至超越人类能力的工作，把人类从大量的、烦琐的、重复的、危险的岗位中解放出来，实现生产自动化、柔性化，避免工伤事故和提高生产效率。 ()

(3) 直角坐标系机器人具有结构紧凑、灵活、占地空间小等优点，是目前工业机器人大多采用的结构形式。 ()