

应用型本科 电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材
北京市高等教育精品教材

工业机器人技术

(第三版)

主 编 郭洪红

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科 电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材
北京市高等教育精品教材

工业机器人技术

(第三版)

主 编 郭洪红
副主编 贺继林 田宏宇
席 巍 谭苗苗

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要包括机器人的发展概况、工业机器人的结构、工业机器人的运动学及动力学、工业机器人的环境感觉技术、工业机器人的控制、工业机器人的编程、工业机器人系统等。书中以三菱装配机器人为例,系统地讲述了工业机器人各大组成部分及其应用。本书是一本理论与实用技术兼顾的关于工业机器人技术的入门教材,取材新颖,并附有习题。

本书可作为应用型大学机电一体化、机械等专业的本科教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

★ 本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人技术/郭洪红主编. — 3版. — 西安:西安电子科技大学出版社,2016.6
应用型本科电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 5606 - 4106 - 5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 114454 号

策 划 马乐惠

责任编辑 曹 超 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016年6月第3版 2016年6月第9次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.5

字 数 408千字

印 数 29 001~33 000册

定 价 32.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4106 - 5/TP

XDUP 4398003 - 9

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

“机器人”是近两年最热门的词汇之一，伴随着机器人相关技术的快速进步与发展，机器人新技术也层出不穷，工业机器人当然也不例外，所以，不断对原来的教材进行修改既是大势所趋，也是为了适应新形势下的教学形式的需要。本书在第二版的基础上，总结了近几年工业机器人的发展特点，并结合教材在教学过程中的使用效果及用户的反馈进行了修订。

本次修订主要针对第1章、第3章、第4章及第7章增删了部分内容。第1章增加了“工业机器人的运动副”、“工业机器人机构的结构类型”和“并联机器人”等内容，为避免重复，删减了原教材的“工业机器人的机构表示方式”内容；第3章增加了“并联机器人的运动学及动力学”的相关内容，顺应了近年来并联机器人的应用与研究日益增多的趋势；第4章增加了两种工业机器人的传感器应用案例，即焊接机器人与装配机器人的传感系统，更加突显了本教材的应用性特点；第7章增加了“自动导引车系统”内容，弥补了前两版教材中这部分内容的欠缺。

修订部分工作由郭洪红、刘伟完成，全书由郭洪红负责统稿。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在不妥之处，望读者给予批评指正。

最后，我们对支持本书再版的所有编辑及从业者表示衷心的感谢。

编 者

2016年4月

第二版前言

本书是在第一版的基础上，总结近几年该教材的使用效果及在本科教学中的需要修订而成的。在本次修订中，进一步贯彻以应用为目的，以掌握基本理论、基本概念及扩大知识面为教学重点的方针，突出教材的实用性、针对性与新颖性。

本次修订主要针对第1章、第2章、第4章及第6章增加了部分内容。第1章增加了现在工业领域中经常用到的并联机器人的基本内容及工业机器人机构简图的表示方式。第2章增加了科学研究领域中比较先进的有关超声波电机的内容。第4章增加了几种在工业机器人中应用的先进传感器的原理及应用说明。第6章增加了在生产一线经常需要使用的工业机器人编程的方法。另外，由于实际应用中工业机器人的资料多为英文资料，所以在第二版教材中增加了附录C(英汉对照术语表)，有助于学生快速掌握工业机器人技术中常用的英语词汇。

修订部分的工作由郭洪红、田宏宇和席巍完成，附录C由谭苗苗执笔，全书由郭洪红统稿。

由于编者水平有限，虽经修订，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2011年11月

第一版前言

工业机器人技术是近年来新技术发展的重要领域之一，是以微电子技术为主导的多种新兴技术与机械技术交叉、融合而成的一种综合性的高新技术。这一技术在工业、农业、国防、医疗卫生、办公自动化及生活服务等众多领域有着越来越多的应用。工业机器人在提高产品质量、加快产品更新、提高生产效率、促进制造业的柔性化、增强企业和国家的竞争力等诸方面具有举足轻重的地位。因此，工业机器人技术不但在许多学校被列为机电一体化专业的必修课程，而且也成为广大工程技术人员迫切需要掌握的知识。

本教材将现有工业机器人教材中有关运动学、动力学、机器人控制理论等理论内容进行了简化，并加强了实际应用内容，如机器人示教、机器人编程、机器人机械结构、机器人系统和应用等。本书理论深度恰当，理论和应用技术结合紧密，内容新颖，使学生能够在较短的时间内掌握生产现场最需要的工业机器人的实际应用技术。

本书由郭洪红任主编，贺继林、田宏宇、席巍任副主编。第3章由北京联合大学机电学院田宏宇执笔；第5章由中南大学机电工程学院贺继林执笔；附录B由北京联合大学机电学院席巍执笔；其余章节均由北京联合大学机电学院郭洪红执笔。郭洪红负责全书的统稿工作。北京联合大学机电学院方新教授、陈瑞阳副教授在本书的编写过程中给予了很大的支持与帮助，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

作 者

2005.9

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机器人的分类	1
1.2 工业机器人的应用和发展	4
1.2.1 工业机器人的应用	4
1.2.2 工业机器人的发展	6
1.3 工业机器人的基本组成及技术参数	10
1.3.1 工业机器人的基本组成	10
1.3.2 工业机器人的技术参数	12
1.3.3 工业机器人的坐标	17
1.3.4 工业机器人的参考坐标系	19
1.3.5 工业机器人的运动副	20
1.3.6 工业机器人机构的结构类型	23
1.3.7 并联机器人	24
习题	26
第 2 章 工业机器人机构	27
2.1 机器人末端操作器	27
2.1.1 夹钳式取料手	28
2.1.2 吸附式取料手	32
2.1.3 专用操作器及转换器	37
2.1.4 仿生多指灵巧手	39
2.1.5 其他手	40
2.2 机器人手腕	44
2.2.1 手腕的分类	44
2.2.2 手腕的典型结构	46
2.2.3 柔顺手腕结构	49
2.3 机器人手臂	50
2.4 机器人机座	56
2.4.1 固定式机座	56
2.4.2 行走式机座	57
2.5 工业机器人的驱动与传动	63
2.5.1 直线驱动机构	64
2.5.2 旋转驱动机构	65
2.5.3 直线驱动和旋转驱动的选用和制动	67
2.5.4 工业机器人的传动	68
2.5.5 新型的驱动方式	70

2.5.6 驱动传动方式的应用	72
习题	74
第3章 工业机器人运动学和动力学	75
3.1 工业机器人的运动学	75
3.1.1 工业机器人位姿描述	75
3.1.2 齐次变换及运算	79
3.1.3 工业机器人的连杆参数和齐次变换矩阵	81
3.1.4 工业机器人的运动学方程	83
3.2 工业机器人的动力学	86
3.2.1 工业机器人速度分析	86
3.2.2 工业机器人静力学分析	88
3.2.3 工业机器人动力学分析	91
3.3 并联机器人的运动学及动力学	93
3.3.1 并联机器人机构位置分析	93
3.3.2 并联机构的性能分析	98
3.4 工业机器人的运动轨迹规划	107
3.4.1 路径和轨迹	107
3.4.2 轨迹规划	107
3.4.3 关节空间的轨迹规划	108
习题	111
第4章 工业机器人的环境感觉技术	114
4.1 工业机器人的视觉	114
4.1.1 视觉系统的硬件组成	115
4.1.2 机器人视觉的应用	116
4.2 工业机器人的触觉	118
4.2.1 机器人的接触觉	119
4.2.2 机器人的接近觉	121
4.2.3 机器人的压觉	122
4.2.4 机器人的滑觉	123
4.2.5 机器人的力觉	125
4.3 工业机器人的位置及位移	127
4.3.1 电位器式位移传感器	127
4.3.2 光电编码器	128
4.3.3 角速度传感器	130
4.3.4 机器人测距传感器	131
4.4 焊接机器人传感系统	136
4.4.1 电弧传感系统	137
4.4.2 超声传感跟踪系统	138
4.4.3 视觉传感跟踪系统	141
4.5 装配机器人传感系统	143
4.5.1 位姿传感器	143

4.5.2 柔性腕力传感器	146
4.5.3 工件识别传感器	147
4.5.4 装配机器人视觉传感技术	148
4.5.5 多传感器信息融合装配机器人	150
习题	151
第 5 章 工业机器人控制	152
5.1 工业机器人控制系统的特点	152
5.2 工业机器人控制系统的主要功能	153
5.2.1 示教再现控制	153
5.2.2 工业机器人的运动控制	155
5.3 工业机器人的控制方式	155
5.3.1 点位控制方式(PTP)	155
5.3.2 连续轨迹控制方式(CP)	155
5.3.3 力(力矩)控制方式	156
5.3.4 智能控制方式	156
5.4 电动机的控制	156
5.4.1 电动机的控制	156
5.4.2 电动机速度的控制	159
5.4.3 电动机和机械的动态特性分析	163
5.4.4 正确控制动态特性	165
5.5 机械系统的控制	168
5.5.1 机器人手指位置的确定	168
5.5.2 设计方法	169
5.5.3 电动机	169
5.5.4 驱动器	171
5.5.5 检测位置用的脉冲编码器(PE)和检测速度用的测速发电机(TG)	171
5.5.6 直流电动机的传递函数表示法	171
5.5.7 位置控制和速度控制	173
5.5.8 通过实验识别传递函数	174
5.5.9 通过比例积分微分(PID)补偿改善系统特征	175
5.5.10 通过 IPD 补偿改善系统特性	176
5.5.11 电流控制	177
5.5.12 不产生速度模式的位置控制	178
5.5.13 力控制	179
5.6 工业机器人控制系统的组成	179
习题	181
第 6 章 工业机器人编程	182
6.1 编程方式介绍	182
6.2 机器人编程语言的基本要求和类别	183
6.3 编程语言的应用	185
6.3.1 AL 语言	185

6.3.2 VAL-II 语言	190
6.3.3 AML 语言	190
6.3.4 AUTOPASS 语言	191
6.4 工业机器人程序设计过程	192
习题	195
第 7 章 工业机器人系统	197
7.1 在生产中引入工业机器人系统的方法	197
7.1.1 可行性分析	197
7.1.2 机器人工作站和生产线的详细设计	197
7.1.3 制造与试运行	198
7.1.4 交付使用	199
7.2 工程工业机器人和外围设备	199
7.3 机械加工作业的机器人系统	201
7.4 装配作业的机器人系统	204
7.5 焊接作业的机器人系统	210
7.6 FMS 和工业机器人	214
7.7 自动导引车系统	215
习题	220
附录 A 三菱装配机器人的应用	221
A.1 Movemaster EX RV-M1 装配机器人系统	221
A.1.1 系统构成图	221
A.1.2 标准件与选件	225
A.2 Movemaster EX RV-M1 装配机器人的机械结构	226
A.3 Movemaster EX RV-M1 装配机器人的示教	228
A.3.1 示教盒按键说明	228
A.3.2 示教编程举例	230
A.4 Movemaster EX RV-M1 装配机器人的编程	233
A.4.1 指令说明	233
A.4.2 编程举例	237
附录 B COSIMIR Industrial 软件的概述和安装	239
B.1 概述	239
B.2 安装	239
B.2.1 系统最小需求	239
B.2.2 安装	239
B.3 基本使用	242
B.3.1 创建一个新项目	242
B.3.2 设置通信端口	243
B.3.3 编写程序	244
B.3.4 重新排列程序的行号	247

B. 3. 5 创建一个新的位置点 248

B. 3. 6 改变位置点 248

B. 3. 7 机器人位置点排序 250

B. 3. 8 通信 251

B. 3. 9 下载 252

B. 3. 10 上载 254

B. 3. 11 机器人的点动操作 256

B. 3. 12 机器人程序的运行 258

B. 3. 13 警报的解除 259

附录 C 英汉对照术语表 260

参考文献 268

第1章 绪论

“机器人”一词不仅可以在科幻小说、动画片中看到和听到，在电视中我们也可以看到在工厂进行作业的机器人，在实际生活中同样有机会看到机器人的展示。

“机器人”一词最早出现于1920年捷克作家 Karel Capek 的剧本《罗萨姆的万能机器人》中。在剧本中，作家塑造了一个具有人的外表、特征和功能，愿意为人类服务的机器人奴仆“Robota”，在该剧中机器人被描写成像奴隶那样进行劳动的机器。

在现实生活中，机器人并不是在简单意义上代替人工劳动，而是综合了人的特长和机器特长的一种拟人的电子机械装置。这种装置既有人对环境状态的快速反应和分析判断能力，又有机器可长时间持续工作、精确度高、抗恶劣环境的能力。从某种意义上说，机器人是机器进化过程的产物，是工业以及非产业界的重要生产和服务性设备，也是先进制造技术领域不可缺少的自动化设备。

有关机器人的定义随着时代的进步在发生着变化。简单地说，把具有下述性质的机械看做是机器人：

(1) 代替人进行工作。机器人能像人那样使用工具和机械，因此，数控机床和汽车不是机器人。

(2) 具有通用性。机器人既可简单地变换所进行的作业，又能按照工作状况的变化相应地进行工作。一般的玩具机器人不具有通用性。

(3) 直接对外界工作。机器人不仅能像计算机那样进行计算，而且能依据计算结果对外界产生作用。

1984年，ISO(国际标准化组织)采纳了美国机器人协会(RIA)的建议，给机器人下了定义，即“机器人是一种可反复编程和多功能的用来搬运材料、零件、工具的操作工具，为了执行不同任务而具有可改变和可编程的运动的专门系统(a reprogrammable and multifunctional manipulator, devised for the transport of materials, parts, tools or specialized systems, with varied and programmed movements, with the aim of carrying out varied tasks)”。

机器人技术是综合了计算机、控制论、机构学、信息和传感技术、人工智能、仿生学等多种学科而形成的高新技术，是当代研究十分活跃、应用日益广泛的领域。而且，机器人应用情况是反映一个国家工业自动化水平的重要标志。

1.1 机器人的分类

机器人的分类方法很多，这里依据两个有代表性的分类方法列举机器人的分类。

1. 按照应用类型分类

机器人按应用类型可分为工业机器人、极限作业机器人和娱乐机器人。

(1) 工业机器人。工业机器人有搬运、焊接、装配、喷漆、检查等机器人，主要用于现代化的工厂和柔性加工系统中，如图 1.1、图 1.2 所示。

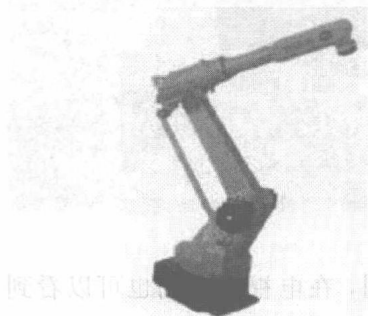


图 1.1 弧焊机器人

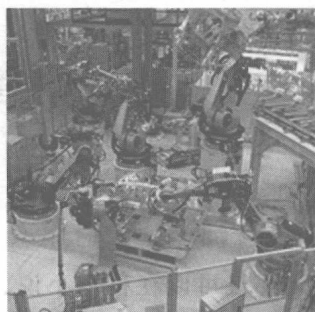


图 1.2 汽车焊接生产线上的机器人

(2) 极限作业机器人。极限作业机器人主要是指在人们难以进入的核电站、海底、宇宙空间进行作业的机器人，也包括建筑、农业机器人等，如图 1.3、图 1.4 所示。

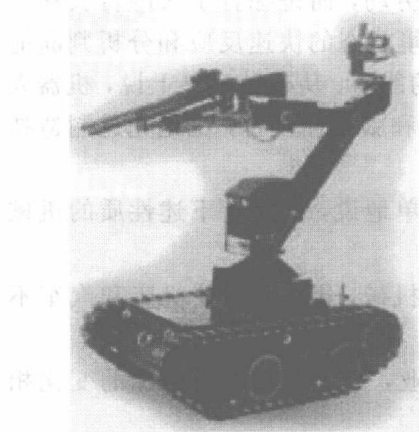


图 1.3 排爆机器人



图 1.4 火星探测机器人

(3) 娱乐机器人。娱乐机器人包括弹奏乐器的机器人、舞蹈机器人、玩具机器人等(具有某种程度的通用性)，也有根据环境而改变动作的机器人，如图 1.5、图 1.6 所示。

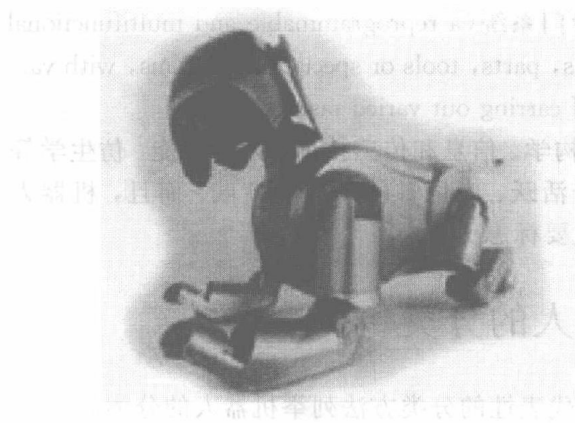


图 1.5 宠物机器人

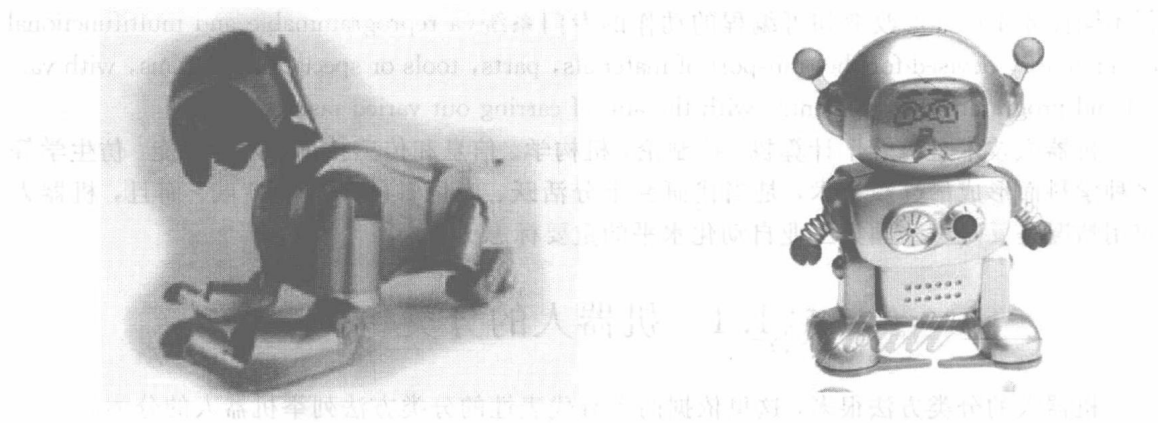


图 1.6 机器男孩

2. 按照控制方式分类

机器人按控制方式可分为操作机器人、程序机器人、示教再现机器人、智能机器人和综合机器人。

(1) 操作机器人。操作机器人的典型代表是在核电站处理放射性物质时远距离进行操作的机器人。在这种场合,相当于人手操纵的部分称为主动机械手,而从动机械手基本上与主动机械手类似,只是从动机械手要比主动机械手大一些,作业时的力量也更大。

(2) 程序机器人。程序机器人按预先给定的程序、条件、位置进行作业,目前大部分机器人都采用这种控制方式工作。

(3) 示教再现机器人。示教再现机器人同盒式磁带的录放一样,将所教的操作过程自动记录在磁盘、磁带等存储器中,当需要再现操作时,可重复所教过的动作过程。示教方法有手把手示教、有线示教和无线示教,如图 1.7 所示。

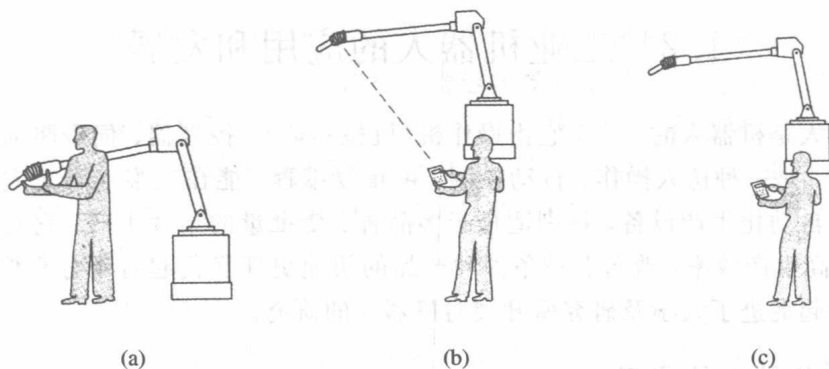


图 1.7 机器人示教

(a) 手把手示教; (b) 有线示教; (c) 无线示教

(4) 智能机器人。智能机器人不仅可以进行预先设定的动作,还可以按照工作环境的变化改变动作。

(5) 综合机器人。综合机器人是由操作机器人、示教再现机器人、智能机器人组合而成的机器人,如火星机器人。1997 年 7 月 4 日,“火星探险者(Mars Pathfinder)”在火星上着陆,着陆体是四面体形状,着陆后三个盖子的打开状态如图 1.8 所示。它在能上、下、左、右动作的摄像机平台上装有两台 CCD 摄像机,通过立体观测而得到空间信息。整个系统可以看做是由地面指令操纵的操作机器人。

图 1.8 所示的火星机器人既可按地面上的指令移动,也能自主地移动。地面上的操纵人员通过电视可以了解火星地形,但由于电波往返一次大约需 40 分钟,因此不能一边观测一边进行操纵。所以,要考虑火星机器人的动作程序,可用这个程序先在地面进行移动实验,如果没有问题,再把它传送到火星上,火星机器人就可再现同样的动作。该机器人不仅能移动,而且能在到达指定目标后用自身的传感器一边检测障碍物一边安全移动。

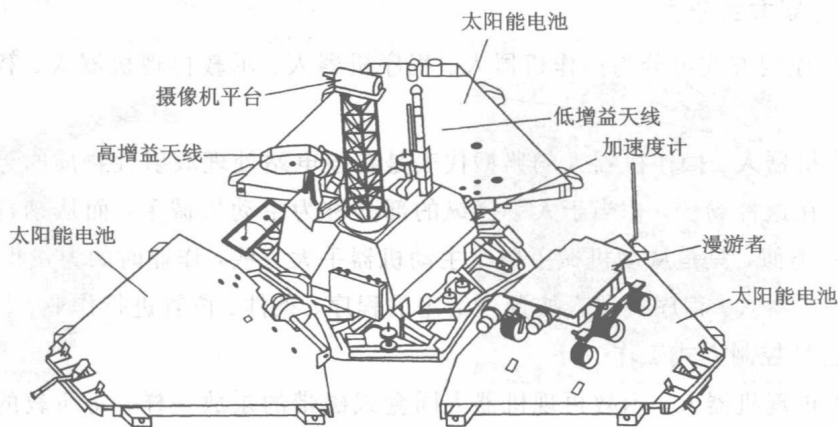


图 1.8 火星探险者

1.2 工业机器人的应用和发展

工业机器人是机器人的一种，它由操作机(机械本体)、控制器、伺服驱动系统和检测传感装置构成，是一种仿人操作、自动控制、可重复编程、能在三维空间完成各种作业的机电一体化的自动化生产设备，特别适合于多品种、变批量的柔性生产。它对稳定和提高产品质量，提高生产效率，改善劳动条件和产品的快速更新换代起着十分重要的作用。工业机器人的兴起促进了大学及研究所开展对机器人的研究。

1.2.1 工业机器人的应用

工业机器人最早应用于汽车制造业，常用于焊接、喷漆、上下料和搬运工作。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、低温和高热等恶劣环境中的工作；代替人完成繁重、单调的重复劳动，提高劳动生产率，保证产品质量。工业机器人与数控加工中心、自动搬运小车以及自动检测系统可组成柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)，实现生产自动化。

目前，工业机器人主要用于以下几个方面。

1) 恶劣工作环境及危险工作

压铸车间及核工业等领域的作业是一种有害于健康并可能危及生命，或不安全因素很大而不宜于人去从事的作业，此类工作由工业机器人做是最适合的。图 1.9 所示为核工业上沸腾水式反应堆(BWR)燃料自动交换机。BWR 的燃料是把浓缩的铀丸放在长 4 m 的护套内，把它们集中在一起作为燃料的集合体，装入反应堆的堆心。每隔一定时期要变更已装入燃料的位置，以提高铀的燃烧效率，并把已充分燃烧的燃料集合体与新的燃料集合体进行交换。这些作业都在定期检查时完成，并且为了冷却使用过的燃料和遮蔽放射线，这种燃料交换的作业是在水中进行的。从作业人员到被处理的燃料之间的距离约为 17 m~18 m，过去作业人员是靠手动进行操作的，难免会产生误操作；另外，如果为了尽可能缩短距离而靠近操作，则容易受到辐射的危害。

燃料自动交换机的主要结构如图 1.9 所示，它是由机上操作台、辅助提升机、台架、

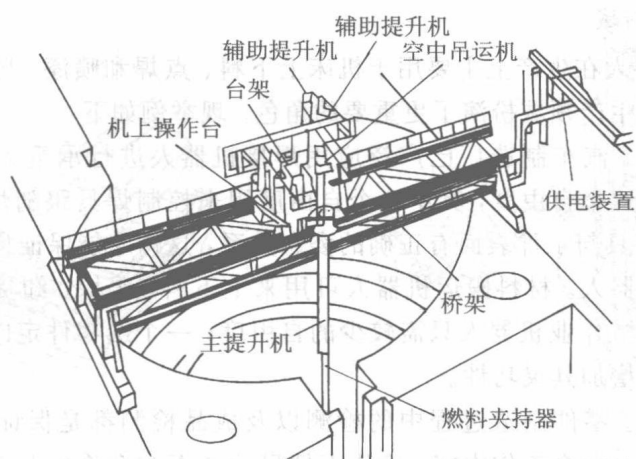


图 1.9 沸腾水式反应堆燃料自动交换机

空中吊运机、主提升机、燃料夹持器等组成的；采用了计算机控制方式，可依据操作人员的运转指令，完成自动运转、半自动运转和手动运转模式下的燃料交换。这种装置的主要特征是：① 可以在远距离的操作室中全自动运转；② 精密的多重圆筒立柱可提高定位精度；③ 利用计算机可以控制系统高速运转，防止误操作。这种交换机的使用不仅提高了效率，降低了对操作人员的辐射，而且由计算机控制的操作自动化可以提高作业的安全性。

2) 特殊作业场合和极限作业

火山探险、深海探密和空间探索等领域对于人类来说是力所不能及的，只有机器人才能进行作业。如图 1.10 所示的航天飞机上用来回收卫星的操作臂 RMS(Remote Manipulator System)，它是由加拿大 SPAR 航天公司设计并制造的，是世界上最大的关节式机器人。该操作臂额定载荷为 15 000 kg，最大载荷为 30 000 kg；末端操作器的最大速度空载时为 0.6 m/s，承载 15 000 kg 时为 0.06 m/s，承载 30 000 kg 时为 0.03 m/s；定位精度为 ± 0.05 m。这些额定参数是在外层空间抓放飞行体时的参数。

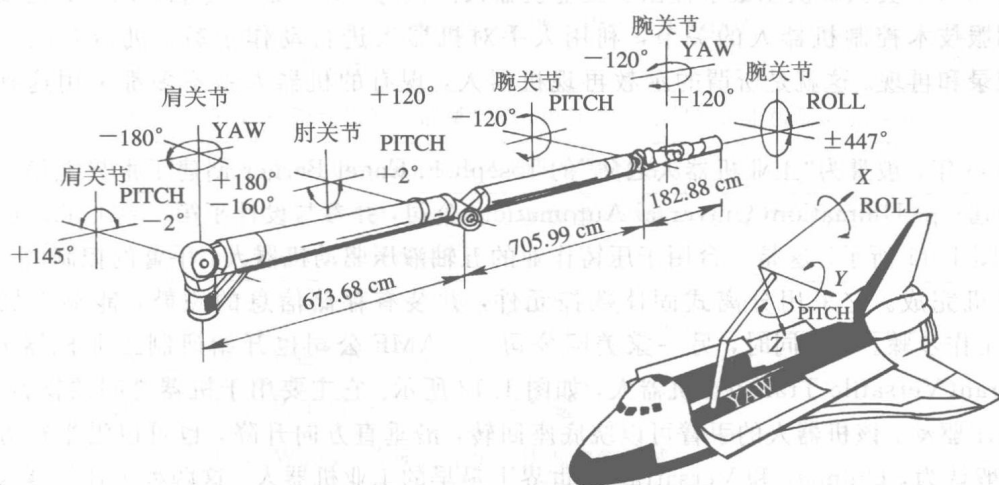


图 1.10 航天飞机上的操作臂

3) 自动化生产领域

早期的工业机器人在生产上主要用于机床上下料、点焊和喷漆。随着柔性自动化的出现,机器人在自动化生产领域扮演了更重要的角色。现举例如下:

(1) 焊接机器人。汽车制造厂已广泛应用焊接机器人进行承重大梁和车身结构的焊接。弧焊机器人需要 6 个自由度,其中 3 个自由度用来控制焊具跟随焊缝的空间轨迹,另外 3 个自由度保持焊具与工件表面有正确的姿态关系,这样才能保证良好的焊缝质量。

(2) 材料搬运机器人。材料搬运机器人可用来上下料、码垛、卸货以及抓取零件定向等作业。一个简单抓放作业机器人只需较少的自由度;一个给零件定向作业的机器人要求有更多的自由度,以增加其灵巧性。

(3) 检测机器人。零件制造过程中的检测以及成品检测都是保证产品质量的关键工序。检测机器人主要有两个工作内容:确认零件尺寸是否在允许的公差内;控制零件按质量分类。

(4) 装配机器人。装配是一个比较复杂的作业过程,不仅要检测装配作业过程中的误差,而且要试图纠正这种误差。因此,装配机器人上应用有许多传感器,如接触传感器、视觉传感器、接近传感器和听觉传感器等。

(5) 喷漆和喷涂机器人。一般在三维表面进行喷漆和喷涂作业时,至少要有 5 个自由度。由于可燃环境的存在,驱动装置必须防燃防爆。在大件上作业时,往往把机器人装在一个导轨上,以便行走。

综上所述,工业机器人的应用给人类带来了许多好处,如:减少劳动力费用;提高生产率;改进产品质量;增加制造过程的柔性;减少材料浪费;控制和加快库存的周转;降低生产成本;消除危险和恶劣的劳动岗位。

1.2.2 工业机器人的发展

1. 全球机器人的发展状况

1954 年,美国戴沃尔最早提出了工业机器人的概念,并申请了专利。该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节,利用人手对机器人进行动作示教,机器人能实现动作的记录和再现。这就是所谓的示教再现机器人,现有的机器人差不多都采用这种控制方式。

1958 年,被誉为“工业机器人之父”的 Joseph F. Engel Berger 创建了世界上第一个机器人公司——Unimation(Universal Automation)公司,并参与设计了第一台 Unimate 机器人,如图 1.11 所示。这是一台用于压铸作业的五轴液压驱动机器人,手臂的控制由一台专用计算机完成。它采用分离式固体数控元件,并装有存储信息的磁鼓,能够记忆完成 180 个工作步骤。与此同时,另一家美国公司——AMF 公司也开始研制工业机器人,即 Versatran(Versatile Transfer)机器人,如图 1.12 所示。它主要用于机器之间的物料运输,采用液压驱动。该机器人的手臂可以绕底座回转,沿垂直方向升降,也可以沿半径方向伸缩。一般认为,Unimate 和 Versatran 是世界上最早的工业机器人。这两种工业机器人的控制方式与数控机床大致相似,但外形特征迥异,主要由类似人的手和臂组成。