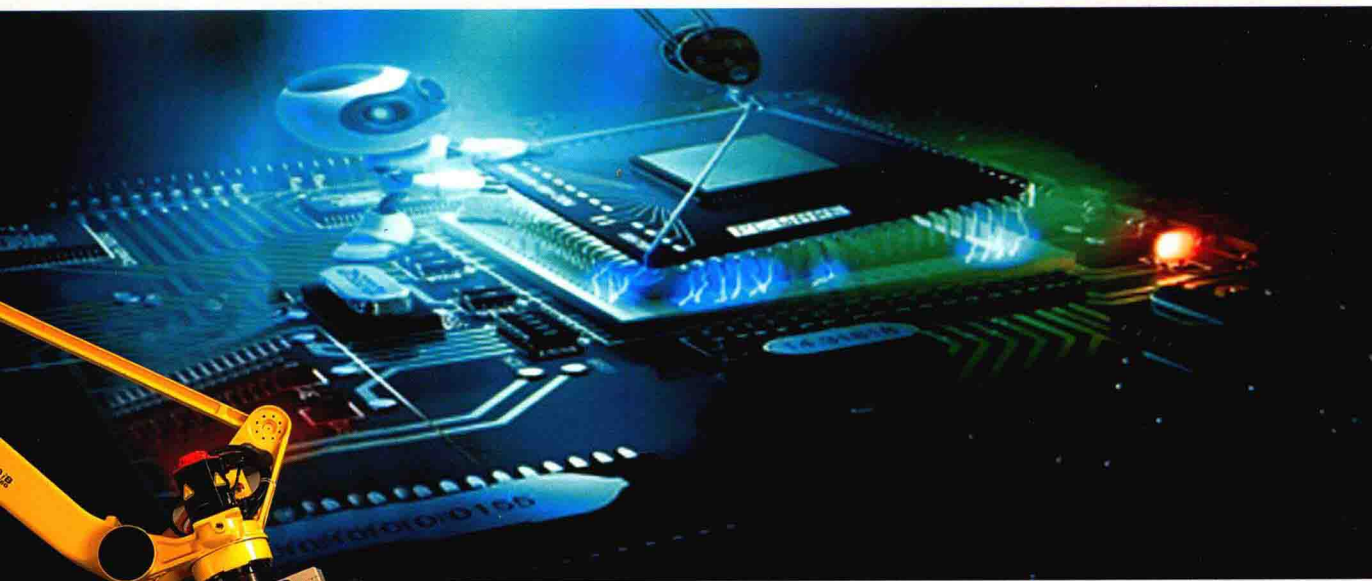




“十二五”国家重点图书出版规划项目
机器人先进技术与研究应用系列

工业机器人设计与应用

Design and Application of Industrial Robot



李瑞峰 著



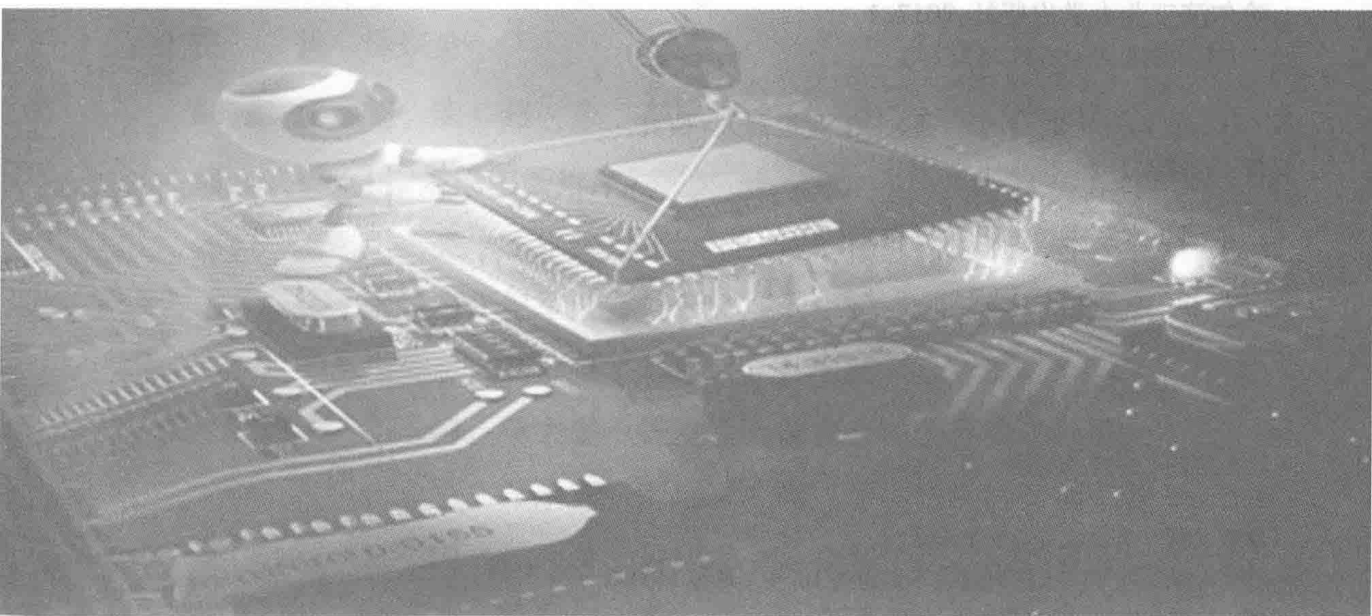
哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



“十二五”国家重点图书出版规划项目
机器人先进技术与研究应用系列

工业机器人设计与应用

Design and Application of Industrial Robot



李瑞峰 著



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

内 容 提 要

本书是作者多年从事工业机器人研发的一些技术总结。针对工业机器人的设计和应用过程,本书分别从工业机器人的分类、机械系统设计、控制系统设计、机器人测试、机器人编程及应用等方面,为读者介绍了完整的工业机器人开发和应用流程以及应该注意的一些技术问题。

本书可供机器人研发、设计、工程应用的技术人员参考,也可以作为高等院校机械制造工程专业的教师、研究生和本科生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人设计与应用/李瑞峰著. —哈尔滨:

哈尔滨工业大学出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-5603-5717-1

I. ①工… II. ①李 III. ①工业机器人-研究
IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 274629 号

策划编辑 王桂芝 张 荣

责任编辑 刘 瑶

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 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 16.25 字数 386 千字

版 次 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-5717-1

定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

“十二五”国家重点图书出版规划项目

机器人先进技术与研究应用系列

编 审 委 员 会

名誉主任 蔡鹤皋

主 任 邓宗全

副 主 任 刘 宏 赵 杰 孙立宁

编 委 (按姓氏笔画排序)

丁 亮	王乐锋	王立可	王 扬	付宜利	朴松昊
朱延河	纪军红	刘云辉	刘伊威	刘 宇	刘延杰
刘英想	刘荣强	刘彦武	杜志江	李立毅	李满天
李瑞峰	杨大鹏	杨立军	杨利芳	吴伟国	陈维山
张立宪	张永安	邹继斌	尚 静	岳洪浩	金弘哲
金明河	郑 萍	孟庆虎	赵立军	赵京东	荣伟彬
胡平安	段广仁	姜 力	徐文福	高会军	高海波
郭 伟	陶建国	韩俊伟	董 为	谢宗武	谢 晖
樊绍巍					

序

机器人技术是涉及机械电子、驱动、传感、控制、通信和计算机等学科的综合性高新技术,是光、机、电、软一体化研发制造的典型代表。随着科学技术的发展,机器人的智能水平越来越高,由此推动了机器人产业的快速发展。目前,机器人已经广泛应用于汽车及汽车零部件制造业、机械加工行业、电子电气行业、医疗卫生行业、橡胶及塑料行业、食品行业、物流和制造业等诸多领域,同时也越来越多地应用于航天、军事、公共服务、极端及特种环境下。机器人的研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志,是推进传统产业改造升级和结构调整的重要支撑。

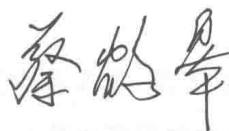
习近平总书记在2014年6月9日两院院士大会上,对机器人发展前景进行了预测和肯定,他指出:我国将成为全球最大的机器人市场,我们不仅要把我国机器人水平提高上去,而且要尽可能多地占领市场。习总书记的讲话极大地激励了广大工程技术人员研发机器人的热情,预示着我国将掀起机器人技术创新发展的新一轮浪潮。

随着中国人口红利的消失,以及用工成本的提高,企业对自动化升级的需求越来越迫切,“机器换人”的计划正在大面积推广,2014年中国已经成为世界年采购机器人数量最多的国家,更是成为全球最大的机器人市场。为了反映和总结我国机器人研究的成果,满足机器人技术开发科研人员的需求,我们撰写了《机器人先进技术与研究应用系列》著作。

本系列图书总结、分析了国内外机器人技术的最新研究成果和发展趋势,主要基于哈尔滨工业大学在机器人技术领域的研究成果撰写而成。系列图书的许多作者为国内机器人研究领域的知名专家和学者,本着“立足基础,注重实践应用;科学统筹,突出创新特色”的原则,不仅注重机器人相关基础理论的系统阐述,而且更加突出机器人前沿技术的研究和总结。本系列图书重点涉及空间机器人技术、工业机器人技术、智能服务机器人技术、医疗机器人技术、特种机器人技术、机器人自动化装备、智能机器人人机交互技术、微纳机器人技术等方向,既可作为机器人技术研发人员的技术参考书,也可作为机器人相关专业学生的教材和教学参考书。

相信本系列图书的出版,必将对我国机器人技术领域研发人才的培养和机器人技术的快速提高起到积极的推动作用。

中国工程院院士



2016年5月

前 言

机器人技术是涉及机械电子、驱动、感知测量、控制、通信和计算机等学科的综合性高新技术,是光、机、电、软一体化研发制造的典型代表。机器人的研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志,是推进传统产业改造升级和结构调整的重要支撑。

随着科学技术的发展,机器人的智能水平越来越高,也推动了工业机器人的快速发展。目前,工业机器人已经广泛应用于汽车及汽车零部件制造业、机械加工行业、电子电气行业、医疗卫生行业、橡胶及塑料行业、食品行业、物流和制造业等诸多领域。同时,工业机器人也是衡量一个国家制造水平和科技水平的重要标志。

习近平总书记在2014年6月9日两院院士大会上,对机器人的发展前景进行了预测和肯定,他指出:我国将成为未来全球最大的机器人市场,我们不仅要把我国机器人水平提高上去,而且要尽可能多地占领市场。此次讲话激励了广大工程技术人员研发机器人的热情,预示着我国将掀起机器人技术创新发展的新一轮浪潮。

随着中国人口红利的消失以及用工成本的提高,企业对自动化升级的需求越来越迫切,“机器换人”的计划正在大面积推广,目前全国已有40多家机器人产业园,从事机器人研发生产的公司达800多家。2014年中国已经成为世界年采购机器人数量最多的国家,并且是全球最大的机器人市场。社会对从事机器人技术开发的工程技术人员的需求越来越大,但能系统地介绍工业机器人研发的专业技术书籍还不多。本书作者多年从事工业机器人技术研发,先后承担过多项国家数控重大专项、863计划项目中的工业机器人研发课题,具有丰富的工业机器人研发经验,书中的部分机器人实例也是这些国家项目的技术成果。

本书除了介绍和讨论机器人学的基本理论外,更加注重机器人的实际设计及工程应用中应该注意的问题和一些关键技术的掌握。书中系统地介绍了工业机器人的基本概念、分类、结构特点、控制技术、编程技术及应用维护技术,并结合实际的典型工业机器人,介绍了机器人的设计、操作、系统集成、现场应用及维护技术。

本书由哈尔滨工业大学机器人研究所李瑞峰、葛连正共同撰写,其中第2章、第5章和第8章由葛连正撰写,第1章、第4章、第6章和第7章由李瑞峰撰写,全书由李瑞峰统稿。本书的撰写工作得到了陈健、仝勋伟、于殿勇、王淑英、吴重阳、郭万金等同志的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢。

本书在撰写过程中向相关专家进行了咨询,同时查阅了同行专家学者和一些科研单位及院校的文献,在此向各位专家及文献作者致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中难免存在不足和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

前言

随着科学技术的不断进步,工业机器人技术得到了飞速发展,在制造业、服务业等领域得到了广泛应用。本书旨在为从事工业机器人设计、应用的人员提供系统的理论知识和实践指导。作者

在编写过程中参考了国内外大量的文献资料,力求做到内容翔实、重点突出。本书可作为高等院校相关专业教材,也可供从事工业机器人工作的工程技术人员参考。2016年5月

工业机器人技术是一门交叉学科,涉及机械、电气、控制、计算机等多个领域。本书力求做到深入浅出,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

本书力求做到理论与实践相结合,既注重基础理论的讲解,又注重实际应用能力的培养。本书共分八章,第一章介绍工业机器人的概述,第二章介绍工业机器人的机械结构,第三章介绍工业机器人的电气系统,第四章介绍工业机器人的运动控制,第五章介绍工业机器人的感知系统,第六章介绍工业机器人的应用,第七章介绍工业机器人的维护与故障排除,第八章介绍工业机器人的发展趋势。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 机器人的定义与发展	1
1.2 工业机器人的分类	3
1.3 工业机器人的应用	9
1.4 工业机器人的关键技术	13
1.5 工业机器人发展现状和趋势	15
1.6 小结	18
第2章 机器人运动学及动力学	19
2.1 机器人运动方程表示	19
2.2 机器人运动方程求解	27
2.3 机器人运动分析	32
2.4 机器人系统动力学	40
2.5 小结	43
第3章 工业机器人机械设计及性能测试	44
3.1 工业机器人的机械系统组成	44
3.2 机器人关节及自由度	50
3.3 工业机器人本体材料选择	54
3.4 机器人传动机构	55
3.5 典型工业机器人设计	63
3.6 工业机器人系统性能测试	77
3.7 小结	85
第4章 工业机器人驱动与控制	87
4.1 工业机器人驱动系统	87
4.2 工业机器人控制系统结构	95
4.3 机器人控制理论及方法	101
4.4 机器人控制系统工程实现	112
4.5 基于IPC的机器人控制系统设计	114
4.6 小结	116
第5章 机器人机构及驱动系统优化	117
5.1 工业机器人优化指标及方法	117

5.2	面向动态性能的机器人机构系统优化	122
5.3	面向动态性能的机器人驱动系统优化	131
5.4	小结	142
第6章	机器人编程及操作	143
6.1	机器人编程	143
6.2	机器人软件设计	150
6.3	机器人操作	163
6.4	小结	178
第7章	典型工业机器人系统应用	179
7.1	焊接机器人应用	179
7.2	搬运机器人应用	185
7.3	喷涂机器人应用	188
7.4	装配机器人应用	194
7.5	工业机器人柔性制造线应用实例	196
7.6	小结	203
第8章	工业机器人智能应用技术	204
8.1	工业机器人传感及控制	204
8.2	视觉传感及应用	208
8.3	力觉传感及应用	228
8.4	小结	238
参考文献		239
名词索引		245

第 1 章 绪 论

自从 20 世纪 60 年代初人类制造了第一台工业机器人以来,机器人就显示出了极强的生命力。经过 50 多年的迅速发展,在工业发达国家,工业机器人已经广泛应用于汽车及汽车零部件制造业、机械加工行业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、食品工业、物流和制造业等诸多领域。作为先进制造业中不可替代的核心自动化装备和手段,工业机器人已经成为衡量一个国家制造水平和科技水平的重要标志。

工业机器人的发展是一个由初级到高级、结构由简单到复杂、功能由单一到智能的过程,并且机器人的性能及应用将随着科技的发展而同步提升。为此,本章将对工业机器人的基本概念、发展状况及其应用前景做一个整体介绍,为后续章节的学习奠定基础。

1.1 机器人的定义与发展

机器人是“Robot”一词的中译名。由于受影视宣传和科幻小说的影响,人们往往把机器人想象成外貌似人的机械和电子装置。但事实并非如此,特别是工业机器人,与人的外貌毫无相像之处。1984 年,国际标准化组织(ISO)采纳了美国机器人协会(RIA)对机器人的定义,即“机器人是一种可反复编程和多功能的用来搬运材料、零件和工具的操作工具,为了执行不同任务而具有可改变和可编程动作的机械手”。根据国家标准,工业机器人定义为“其操作机是自动控制的,可重复编程、多用途,并可对 3 个以上轴进行编程。它可以是固定式或移动式,在工业自动化应用中使用”,其中“操作机”又定义为“是一种机器,其结构通常由一系列互相铰接或相对滑动的构件所组成。它通常有几个自由度,用以抓取或移动物体(工具或工件)”。所以对工业机器人可以理解为:具有拟人手臂、手腕和手功能的机械电子装置,它可以把任一物件或工具按空间位(置)姿(态)的时变要求进行移动,从而完成某一工业生产的作业任务。如夹持焊钳或焊枪,对汽车或摩托车车体进行点焊或弧焊;搬运压铸或冲压成型的零件或构件;进行激光切割、喷涂、装配机械零部件等。

1951 年,美国麻省理工学院(MIT)成功开发了第一代数控铣床,从而开辟了机械与电子相结合的新纪元。1954 年,美国人 George C. Devol 首次提出了“示教-再现机器人”的概念。1958 年,美国推出了世界上第一台工业机器人实验样机。不久,Condec 公司与 Pulman 公司合并,成立了 Unimation 公司,并于 1961 年制造出了用于模铸生产的工业机器人(命名为 Unimate)。与此同时,美国 AMF 公司也研制生产出了另一种可编程的通用机器,并以“Industrial Robot”(工业机器人)为名投入市场。1970 年 4 月,在伊利诺斯工学院召开了第一届全美工业机器人会议,当时在美国已有 200 余台工业机器人用于自动生产线上。日本的丰田和川崎公司于 1967 年分别引进了美国的工业机器人技术,经过消化、仿制、改进和创新,到 1980 年,机器人技术在日本取得了极大的成功与普及。因此,“1980 年”被日本人称之为“日本的机器人元年”。现在,日本拥有工业机器人的台数(约占世界总台数的 65%)

和制造技术都处于世界领先地位。

在国外,工业机器人技术日趋成熟,已经成为一种标准设备被工业界广泛应用,从而相继形成了一批具有影响力的、著名的工业机器人公司,它们包括瑞典的 ABB,日本的 FANUC 及 YASKAWA,德国的 KUKA,美国的 Adept Technology,意大利的 COMAU,这些公司已经成为其所在国家的机器人产业的龙头企业。

我国的工业机器人研究始于 20 世纪 70 年代,由于受当时经济体制等因素的制约,发展比较缓慢,研究和应用水平也比较低。1985 年,随着工业发达国家已开始大量应用和普及工业机器人,我国在“七五”科技攻关计划中将工业机器人列入了发展计划,由当时的机械工业部牵头组织了点焊、弧焊、喷漆和搬运等型号的工业机器人攻关,其他部委也积极立项支持,形成了中国工业机器人研究发展的第一次高潮。

进入 20 世纪 90 年代,为了实现高技术发展与国家发展经济主战场的密切衔接,国家“863 计划”确定了特种机器人与工业机器人及其应用工程并重、以应用带动关键技术和基础研究的发展方针。经过广大科技工作者的辛勤努力,开发了 7 种工业机器人系列产品,102 种特种机器人,实施了 100 余项机器人应用工程。

在 20 世纪 90 年代末期,我国建立了 9 个机器人产业化基地和 7 个科研基地,包括沈阳自动化研究所的新松机器人公司、哈尔滨博实自动化设备有限公司、北京机械工业自动化研究所机器人开发中心、青岛海尔机器人公司等。我国产业化基地的建设带来了工业机器人产业化的希望,为发展我国机器人产业奠定了基础。经过广大科技人员的不懈努力,我国目前已经能够生产具有国际先进水平的平面关节型装配机器人、直角坐标机器人、弧焊机器人、点焊机器人、搬运码垛机器人和 AGV 自动导引车等一系列产品,其中一些机器人的品种实现了小批量生产。一批企业根据市场需求,自主研制或与科研院所合作,进行机器人的产业化开发。例如,奇瑞汽车股份有限公司与哈尔滨工业大学合作进行点焊机器人的产业化开发,西安北村精密数控与哈尔滨工业大学合作进行机床上下料搬运机器人的产业化开发,昆山华恒与东南大学等合作开发弧焊机器人,广州数控设备有限公司开发焊接机器人等。

但是,我国目前还没有像日本的 FANUC 和德国的 KUKA 那样形成规模化的工业机器人制造厂,工业机器人产业目前在我国尚未形成,还仅仅处于萌芽阶段。随着我国现代制造业的发展,我国工业机器人的需求量呈现快速增长趋势。2013 年,中国工业机器人采购量达到 3.65 万台,首次超过日本,成为全球最大的工业机器人市场。2014 年中国市场销售的机器人超过 5.7 万台,占全球市场的 1/5,连续两年成为全球最大的机器人市场,其中国产品牌机器人销售超过 1.69 万台,约占全国市场销售份额的 30%。

工业机器人作为一种典型的机电一体化数字化装备,技术附加值很高,应用范围很广,作为先进制造业的支撑技术和信息化社会的新兴产业,将对未来生产和社会发展起着越来越重要的作用。国外专家预测,机器人产业是继汽车、计算机之后出现的一种新的大型高技术产业。随着我国工业企业自动化水平的不断提高,工业机器人市场也会越来越大,这就给工业机器人研究、开发和生产带来巨大的商机。然而机遇也意味着挑战,目前全球各大工业机器人供应商都已大力开拓中国市场,因此中国必须大力发展机器人产业,通过发挥自身生产制造优势,提高自主创新能力,寻求有特色的发展道路,在国家相关政策的支持下扶持和鼓励机器人产业成长、壮大。

1.2 工业机器人的分类

工业机器人可按照不同的功能、目的、用途、规模、结构和坐标形式等进行分类,目前国内尚无统一的分类标准。参考国内外相关资料,本节将对机器人的分类问题进行探讨。

1.2.1 按机器人的发展程度分类

机器人在发展过程中,随着机械结构、控制系统和信息技术的发展经历了从低级到高级的发展过程。工业机器人作为机器人的一种形式,可根据从低级到高级的发展程度进行分类。

1. 第一代机器人

第一代机器人主要指只能以“示教-再现”方式工作的工业机器人,称为示教再现型。示教内容为机器人操作结构的空间轨迹、作业条件和作业顺序等。所谓示教,即由操作者指示机器人运动的轨迹、停留点位和停留时间等。然后,机器人依照示教的行为、顺序和速度重复运动,即所谓的再现。

示教可由操作员手把手地进行。例如,操作人员抓住机器人的喷枪把喷涂时要走的位置走一遍,机器人记住了这一连串运动的逻辑顺序及示教点的位置和姿态,工作时自动重复这些运动,从而完成给定位置的喷涂工作。这种方式属于手把手示教。更为普遍的示教方式是通过机器人的控制面板或专用手控盒完成的。操作人员利用控制面板上的开关或键盘控制机器人一步一步的运动,机器人自动记录下每一步,然后重复,并且操作者可以对示教的程序进行编辑。目前在工业现场应用的机器人大多采用这一方式。

2. 第二代机器人

第二代机器人带有一些可感知环境的装置,通过反馈控制,使机器人能在一定程度上适应环境的变化。

这样的技术现在正越来越多地应用在机器人上,如焊缝跟踪技术等。机器人在焊接过程中,一般通过示教方式给出机器人的运动曲线,机器人携带焊枪走这个曲线进行焊接。这就要求工件的一致性,也就是说,工件被焊接的位置必须十分准确,否则,机器人行走的曲线和工件上的实际焊缝位置将产生偏差。焊缝跟踪技术是在机器人上加一个传感器装置,通过传感器装置感知焊缝的位置,再通过反馈控制,机器人自动跟踪焊缝,从而对示教的位置进行修正。即使实际焊缝相对于原始设定的位置有变化,机器人仍然可以很好地完成焊接工作。

另外一个典型例子为机器人打磨作业,机器人通过安装在腕部的力传感器可以控制打磨力的大小。近年来,FANUC 机器人公司推出一种视觉识别工业机器人,可以自动判别物料筐中工件的姿态和位置,自动进行散乱堆放零件的挑选,提高了工作效率。

3. 第三代机器人

第三代机器人是智能机器人,它具有多种感知功能,可进行复杂的逻辑推理、判断及决策,可在作业环境中独立行动,具有发现问题且能自主解决问题的能力。本田仿人型智能机器人如图 1.1 所示。



图 1.1 本田仿人型智能机器人

智能机器人至少要具备以下 3 个要素:一是感觉要素,用来认识周围的环境状态;二是运动要素,对外界做出反应性动作;三是思考要素,根据感觉要素所得到的信息,思考采用什么样的动作。

感觉要素包括能感知视觉和距离等非接触型传感器和能感知力、压觉、触觉等的接触型传感器。这些要素实质上就是相当于人的眼、鼻、耳等器官,可以利用诸如摄像机、图像传感器、超声波传感器、激光器、导电橡胶、压电元件、气动元件、行程开关和光电传感器等机电元器件来实现其功能。

对运动要素来说,智能机器人需要有一个无轨道型的移动机构,以适应诸如平地、台阶、墙壁、楼梯和坡道等不同的地理环境。可以借助轮子、履带、支脚、吸盘、气垫等移动机构来完成其功能。在运动过程中要对移动机构进行实时控制,这种控制不仅要有位置控制,而且还要有力控制、位置与力混合控制、伸缩率控制等。

智能机器人的思考要素是 3 个要素中的关键要素,也是人们要赋予智能机器人必备的要素。思考要素包括判断、逻辑分析、理解和决策等方面的智力活动。这些智力活动实质上是一个信息处理过程,而计算机则是完成这个处理过程的主要手段。

第三代机器人具有高度的适应性和自治能力,也是人们努力使机器人能够达到的目标。经过科学家多年来不懈的研究,已经出现了很多各具特点的智能机器人。但是,在已应用的智能机器人中,机器人的自适应技术仍十分有限,该技术是机器人今后发展的方向。

1.2.2 按机器人的性能指标分类

工业机器人的负载能力和工作空间是其重要的指标之一。机器人按照负载能力和作业空间等性能指标可分为 5 类。

1. 超大型机器人

超大型机器人的负载能力为 500 kg 以上,最大工作范围可达 3.2 m 以上,大多为搬运机器人(图 1.2)及码垛机器人。

2. 大型机器人

大型机器人的负载能力为 100 ~ 500 kg,最大工作范围为 2.6 m 左右,主要包括点焊机



图 1.2 KUKA 搬运负载 1 000 kg 机器人
机器人及搬运码垛机器人(图 1.3)。

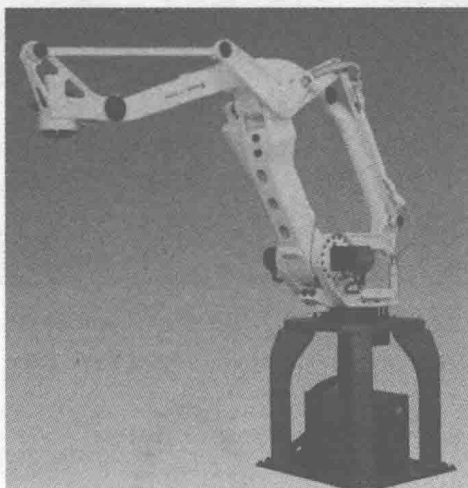


图 1.3 FANUC 搬运码垛机器人

3. 中型机器人

中型机器人的负载能力为 10 ~ 100 kg,最大工作范围为 2 m 左右,主要包括点焊机器人(图 1.4)、浇铸机器人和搬运机器人。

4. 小型机器人

小型机器人的负载能力为 1 ~ 10 kg,最大工作范围为 1.6 m 左右,主要包括弧焊机器人、点胶机器人和装配机器人(图 1.5)。

5. 超小型机器人

超小型机器人的负载能力为 1 kg 以下,最大工作范围为 1 m 左右,包括洁净环境机器人、装配机器人(图 1.6)和精密操作机器人。

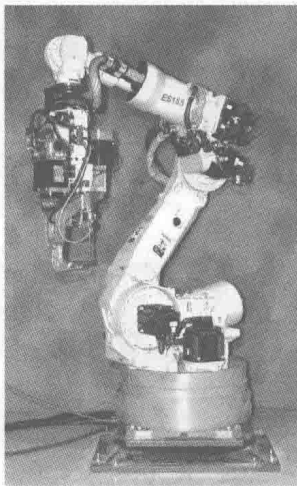


图 1.4 点焊机器人



图 1.5 哈尔滨工业大学与西安北村精密数控联合研制的小型装配机器人

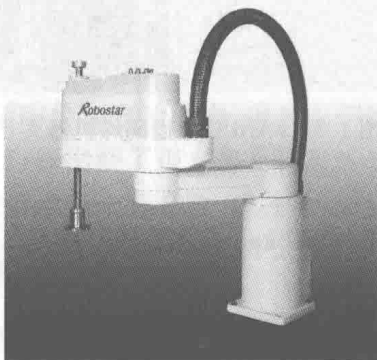


图 1.6 SCARA 装配机器人

1.2.3 按机器人的结构形式分类

机器人按结构形式可分为关节型机器人和非关节型机器人两大类。其中关节型机器人的机械本体部分一般为由若干关节与连杆串联组成的开式链机构;非关节型机器人(图 1.7)包括直角坐标机器人和并联机器人等。

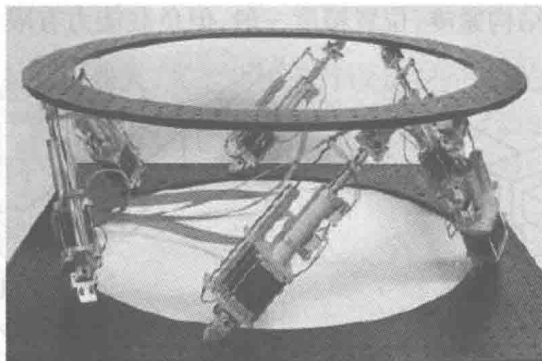


图 1.7 非关节型 Stewart 机器人

1.2.4 按坐标形式分类

通常关节机器人依据坐标形式的不同可分为直角坐标型、圆柱坐标型、球坐标型以及关节坐标型。

1. 直角坐标型机器人

直角坐标型机器人(图 1.8)手部空间位置的改变通过沿 3 个互相垂直的轴线的移动来实现,即沿着 X 轴的纵向移动,沿着 Y 轴的横向移动及沿着 Z 轴的升降。这种机器人的位置精度高,刚性好,控制无耦合,制作简单;但动作范围小,灵活性差。由于直角坐标型机器人有 3 个自由度,适合于只要求空间位置操作而对空间姿态无要求的场合。

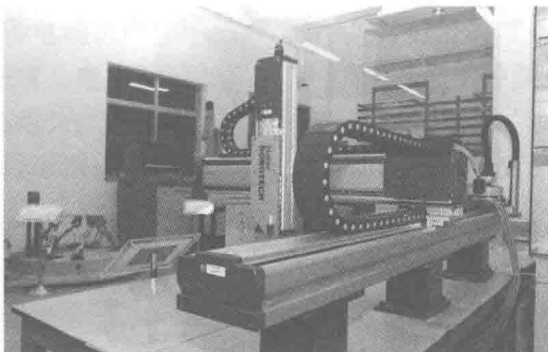


图 1.8 直角坐标型机器人

2. 圆柱坐标型机器人

圆柱坐标型机器人(图 1.9)通过两个移动和一个转动运动实现手部空间位置的改变,VERSATRAN 机器人是该型机器人的典型代表。VERSATRAN 机器人手臂的运动系由垂直立柱平面内的伸缩和沿立柱的升降两个直线运动及手臂绕立柱的转动复合而成。圆柱坐标型机器人的位置精度仅次于直角坐标型,控制简单,避障性好;但结构庞大,难与其他机器人协调工作,两个移动轴的设计比较复杂。

3. 球坐标型机器人

球坐标型机器人手臂的运动由一个直线运动和两个转动所组成。如图 1.10 所示,机器人沿 X 轴(手臂方向)伸缩,绕 Y 轴俯仰,绕 Z 轴回转。UNIMATE 机器人是其典型代表。这

种机器人占地面积较小,结构紧凑,位置精度一般,但负载能力有限,所以目前应用不多。

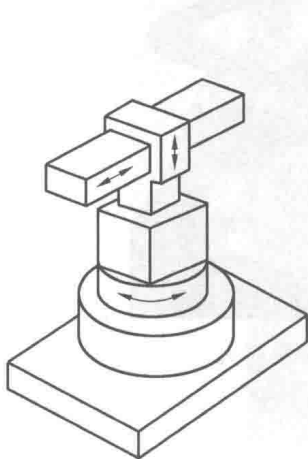


图 1.9 圆柱坐标型机器人示意图

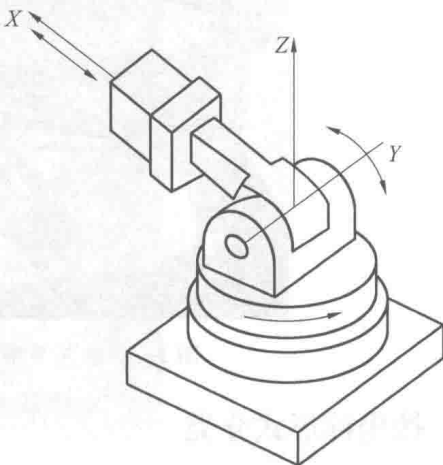


图 1.10 球坐标型机器人示意图

4. 关节坐标型机器人

关节坐标型机器人主要由腰座、大臂、小臂及腕部组成(图 1.11)。目前国内外机器人公司的主流产品均为关节坐标型机器人。机器人的运动由大臂、小臂的俯仰及腰座的回转构成,其结构最为紧凑,灵活性大,占地面积最小,工作空间最大,能与其他机器人协调工作,避障性好;但位置精度较低,有平衡问题,控制存在耦合,故控制比较复杂。图 1.11 所示为关系坐标机器人是目前应用最多的一种坐标型机器人。



图 1.11 关节坐标型机器人

1.2.5 按控制方式分类

1. 点位控制

按点位方式进行控制的机器人,其运动为空间中点到点之间的轨迹运动,在作业过程中只控制几个特定工作点的位置,不对点与点之间的运动过程进行控制,中间过程不需要复杂的轨迹插补。在点位控制的机器人中,所能控制点数的多少取决于控制系统的性能扩展程度。目前,部分工业机器人是点位控制的,例如,点焊机器人一般采用点位控制。