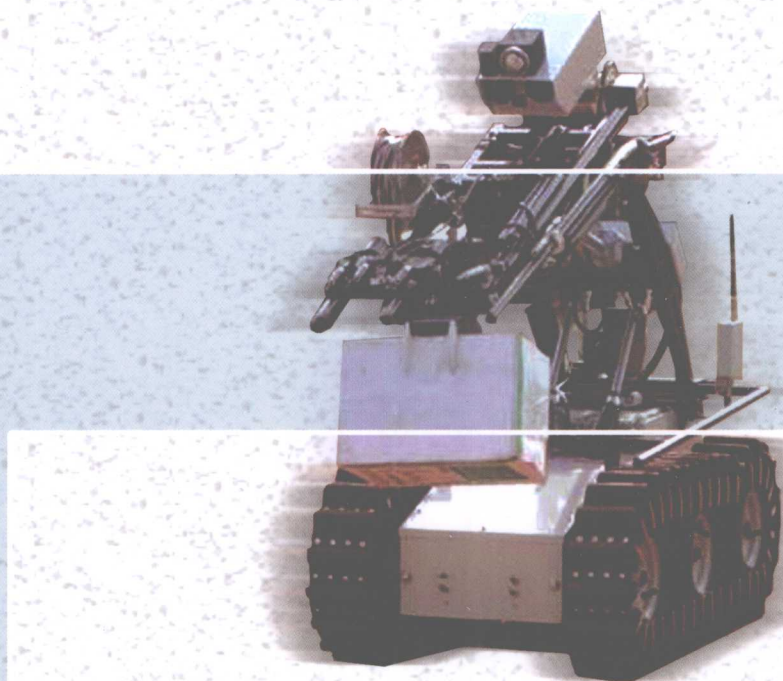




警用机器人

陈晓东 等 编著



科学出版社
www.sciencep.com

警用机器人

陈晓东 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了警用机器人的概念、特点及分类,并通过对近年来的研究成果、典型应用实例和应用现状的分析,展望了国内外最新发展趋势。全书共分为7章,内容涉及警用机器人技术基础与关键技术、侦察机器人、排爆机器人、攻击机器人、消防机器人等。相信读者通过阅读本书,会加深对警用机器人的理解,为进一步研究和应用提供良好参考。

本书可作为机械工程专业本科生及研究生的参考教材,也可作为机器人领域的研究人员、工程技术人员及广大机器人用户的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

警用机器人/陈晓东等编著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-020203-1

I. 警… II. 陈… III. 机器人-应用-公安-工作 IV. TP242.3
D035.3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 178066 号

责任编辑:卢秀娟 吴凡洁/责任校对:陈玉凤

责任印制:刘士平/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年1月第一次印刷 印张:15 1/2

印数:1—3 000 字数:307 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

序

机器人技术虽然才问世几十年，却已经深刻地影响了人们的生产和生活。世界上应用的工业机器人队伍已是百万大军，机器人的行为功能已经从固定位置作业发展到可以向工作目标爬行、步行、潜泳和飞行；从地面应用发展到空中和海洋；已不仅仅在工业领域发挥作用，而且在快速向更多领域，尤其是社会和人民日常生活领域发展。在未来十几年里，机器人技术将是影响人类社会的重要技术。很多人在预言它的未来应用景象和对社会的影响；同时，更多的人为着这极具吸引力的前景而勤恳耕耘，促使机器人技术不断扩散和发展。本书的出版可谓其中一例。

机器人不是人，是机器。让机器人代替人去从事危险或有毒有害的工作，是机器人诞生之始就被赋予的使命。然而由于技术能力不足和很差的技术经济指标的限制，开始只能做喷漆等少数有毒害的环境下工作。随着技术的飞速进步，它已在军用、反恐防暴等安全领域显示了强大的生命力。近年来恐怖主义在全世界活动频繁，犯罪手段多变，危险越来越大。警用机器人是帮助人打击这些犯罪的有力手段。同时，这类机器人在易燃、易爆和剧毒物品的事故抢救中也将发挥不可替代的作用。警用机器人在保护人民生命安全的事业中，将发挥越来越重要的作用。

该书是由一群活跃在机器人研发领域中的科技工作者和警用机器人的使用者，基于最新的警用机器人技术的研究、开发与应用而撰写的。通过对一般机器人的原理、分类及应用现状的介绍，阐述了警用机器人的技术基础；通过对警用机器人在侦察、排爆、攻击、消防等应用领域的介绍，总结归纳了警用机器人技术的研究成果和实践经验，全面系统地向读者阐述了警用机器人技术的新特点、新问题和新发展。

该书内容新颖、论述精辟、博采众长，注重理论与实践的有机结合，具有很强的针对性和可读性。希望该书的出版能为促进我国警用机器人的研究与发展发挥作用。

中国工程院院士

2007年11月

前 言

计算机、通信、自动控制及人工智能等学科的飞速发展孕育了新的“人种”——机器人。机器人的定义多种多样,但普遍认为机器人具有可编程、拟人化、通用性、机电一体化等四个最显著的特点。当今,机器人技术已经在工业、农业、军事、医疗等各个领域得到了运用,为国民经济和社会进步作出了极大贡献。21世纪,人类普遍进入了微电子信息时代,微电子机械系统(MEMS)等新兴技术进一步推动了机器人技术的发展,开辟了其更加广阔的应用领域。

作为人类生存的基本要素之一,人们对安全十分重视。然而近年来,随着科学技术的发展,恐怖分子、违法犯罪分子自制炸药、遥控/定时爆炸装置的能力越来越强,花样越来越多,国内外反恐形势日趋严峻,如何降低恐怖活动带来的影响和伤亡成为目前各国研究的主要目标之一。另外,随着国民经济的发展和科学技术水平的提高,也带来一系列突发事件的救援问题,例如危险化学品与放射性物质的泄漏、燃烧、爆炸,高层建筑的失火,突发灾难的涌现都会造成消防人员及其他救援人员的伤亡;而一些核辐射、有毒、高温、高压、地下、井下环境的危险作业也会造成不必要的人身伤害。警用机器人的出现,可以在以上场合代替或部分代替人去执行和完成这些危险的任务,有效地减少人员伤亡,使任务能更好地完成。因此,机器人技术在警用安保领域的应用得到了蓬勃发展。

本书围绕警用机器人研究这一主题分7章介绍了警用机器人的技术基础、各类警用机器人的应用领域、国内外研究现状和发展趋势。

第1章,介绍了有关机器人的基础知识。第2章,详细介绍了警用机器人的技术基础,包括移动技术、传感技术、信息处理与控制技术、通信技术、导航和定位技术等。第3~7章,详细介绍了警用机器人在各方面的应用及其最新发展趋势。包括警用侦察机器人,警用排爆机器人,警用攻击机器人,警用消防机器人,以及其他方面所用到的警用机器人。

本书由武警部队装备研究所陈晓东总工程师组织编写,并参与了第3、4、6、7章的编写工作;第1、2章主要由中国科学院沈阳自动化研究所王洪光研究员编写;第3、7章主要由哈尔滨工业大学郭伟教授、李满天教授编写;第4、6章主要由河北工业大学张明路教授编写;第5章由北京理工大学王建中教授编写;北京航空航天大学梁健宏教授参与了第3章的编写工作。

在进行警用机器人的研究和开发及本书的出版过程中,得到了中国工程院王天然院士的关心和支持,并亲自为本书作序;刘耀院士、朵英贤院士、863机器

人专题项目主管刘进长老师、中国科学院沈阳自动化研究所王超越所长、北京航空航天大学机械学院王田苗院长和陈殿生教授、哈尔滨工业大学机器人研究所孙立宁所长、北京理工大学机器人研究所黄强所长和李科杰教授、北京市公安局朱益军副总队长、武警特警学院邢春洪副教授、武警部队装备研究所钱宝贵所长、裴雪丹高级工程师给予了鼎力支持和帮助，为此特致以衷心的感谢！对本书做了很多具体工作的人员还有张韬懿、郑嫦娥、刘刚、高长青、叶宇飞、吕胜涛、赵卫鸿、孙凌宇、吕晓玲等。

由于时间仓促，再加上警用机器人技术的迅猛发展，尽管我们尽力想做到精益求精，但难免有疏漏与谬误之处，敬请广大读者不吝赐教与指正。

作者

2007年10月

目 录

序

前言

第1章 机器人的基本概念	1
1.1 机器人的定义	1
1.2 机器人组成原理	3
1.2.1 机器人的基本组成	3
1.2.2 机器人技术参数	4
1.3 机器人的分类	9
1.4 机器人的特点	14
1.5 机器人的应用现状	15
1.5.1 工业机器人的应用	15
1.5.2 特种机器人的应用	18
1.5.3 智能机器人的应用	21
参考文献	24
第2章 警用机器人技术基础	25
2.1 警用机器人移动技术	25
2.1.1 底盘技术	25
2.1.2 动力技术	26
2.1.3 驱动技术	26
2.2 警用机器人传感技术	27
2.2.1 传感器基本分类	27
2.2.2 内部传感器	27
2.2.3 外部传感器	34
2.3 信息处理与控制技术	42
2.3.1 信息处理	42
2.3.2 控制技术	45
2.4 警用机器人通信技术	55
2.4.1 串行通信技术	55
2.4.2 CAN 总线通信技术	58

2.4.3 无线通信技术	60
2.5 警用机器人导航和定位技术	64
2.5.1 导航技术	65
2.5.2 定位技术	70
参考文献	74
第3章 警用侦察机器人	76
3.1 侦察机器人概述	76
3.2 侦察机器人一般技术	76
3.2.1 运动驱动技术	76
3.2.2 无线通信技术	77
3.2.3 传感器技术	78
3.2.4 人机交互技术分析	79
3.2.5 导航定位及自主控制技术分析	80
3.2.6 执行机构和任务载荷技术分析	82
3.3 地面侦察机器人	84
3.3.1 概述	84
3.3.2 地面侦察机器人研究现状	86
3.3.3 地面移动侦察机器人的关键技术	96
3.3.4 地面移动侦察机器人的发展趋势	98
3.4 空中侦察机器人	99
3.4.1 概述	99
3.4.2 国内外典型的空中侦察无人机	100
3.4.3 无人侦察机的关键技术	115
3.4.4 无人侦察机的发展趋势	116
3.5 水下侦察机器人	118
3.5.1 概述	118
3.5.2 国内外典型的水下侦察机器人	119
3.5.3 水下机器人关键技术	130
3.5.4 水下侦察机器人发展趋势	132
3.6 爬壁侦察机器人	134
3.6.1 概述	134
3.6.2 国内外爬壁机器人研究现状	134
3.6.3 爬壁机器人关键技术	143

3.6.4 爬壁机器人发展趋势	144
参考文献	146
第4章 警用排爆机器人	151
4.1 警用排爆机器人概述	151
4.2 警用机器人排爆原理和装置	155
4.2.1 爆炸物的检测	155
4.2.2 爆炸物的排除方法	156
4.2.3 排爆程序	157
4.3 国外典型排爆机器人	158
4.3.1 Mini-II 排爆机器人	158
4.3.2 MR-5 型排爆机器人	159
4.3.3 MK-II 新一代多功能小型排爆机器人	160
4.3.4 Defender 排爆机器人	161
4.3.5 ABP 排爆机器人系列	161
4.3.6 智能型排爆机器人	163
4.3.7 RMI-10 中型排爆机器人	164
4.3.8 TEODOR 排爆机器人	164
4.4 国内典型排爆机器人	165
4.4.1 灵蜥系列机器人	165
4.4.2 Dragon IV 型排爆机器人	166
4.4.3 Super-D II 型排爆机器人	167
4.4.4 JW-901 排爆机器人	168
4.5 警用排爆机器人的关键技术	168
4.5.1 移动行走技术	169
4.5.2 机械手技术	169
4.5.3 控制技术	171
4.5.4 传感技术	172
4.5.5 驱动技术	172
参考文献	172
第5章 警用攻击机器人	174
5.1 攻击机器人的技术要求	174
5.2 攻击机器人的基本构成	175
5.3 攻击机器人的火力配备	179

5.3.1 攻击机器人火力配备方式	179
5.3.2 攻击机器人常用武器弹药及其特点	180
5.4 国内外攻击机器人	184
5.4.1 国外攻击机器人	184
5.4.2 国内攻击机器人	191
参考文献	192
第6章 警用消防机器人	193
6.1 警用消防机器人概述	193
6.2 警用消防机器人的分类及基本构成	196
6.2.1 移动系统	198
6.2.2 灭火系统	198
6.2.3 搬运系统	198
6.2.4 探测系统	199
6.2.5 传输系统	199
6.2.6 自卫系统	200
6.3 国外警用消防机器人现状	200
6.3.1 遥控消防机器人	200
6.3.2 侦察消防机器人	201
6.3.3 消防救援机器人	202
6.3.4 新加坡消防机器人	203
6.3.5 FFR-1 消防机器人	203
6.3.6 挪威蛇形消防机器人	204
6.3.7 其他消防机器人	205
6.4 国内警用消防机器人介绍	205
6.4.1 ZXPJ01 型消防机器人	206
6.4.2 防爆型消防侦察机器人	207
6.4.3 消防灭火机器人 (JMX-LT50 型)	207
6.4.4 高层建筑消防救灾机器人	208
6.4.5 用于消防安全等的超小型飞行器	209
6.5 警用消防机器人发展趋势	209
参考文献	211
第7章 其他警用机器人	212
7.1 警用搜救机器人	212

7.1.1 概述	212
7.1.2 搜救机器人关键性能	213
7.1.3 搜救机器人研究现状	214
7.1.4 搜救机器人技术发展方向	221
7.2 多功能/多用途机器人	223
7.2.1 概述	223
7.2.2 典型的多功能/多用途机器人	223
7.2.3 多功能/多用途机器人任务组件	224
7.3 保安机器人	225
7.3.1 概述	225
7.3.2 国外保安机器人研究现状	225
7.3.3 国内保安机器人研究现状	230
参考文献	231

第 1 章 机器人的基本概念

1.1 机器人的定义

机器人问世几十年来,机器人的定义仍然仁者见仁、智者见智。原因之一在于机器人还在不断发展,新的机型、新的功能不断出现,但根本原因是机器人涉及人的概念,成为一个难以回答的哲学问题。就像机器人一词最早诞生于科幻小说中一样,人们对机器人充满了幻想。也许正是由于机器人定义的模糊性,给了人们充分想象和创造的空间。

其实并不是人们不想给机器人一个完整的定义,自机器人诞生之日起人们就不断地尝试着说明到底什么是机器人。但随着机器人技术的飞速发展和信息时代的到来;机器人所涵盖的内容越来越丰富,机器人的定义也不断被充实和创新。

1886 年法国作家利尔亚当在他的小说《未来夏娃》中将外表像人的机器起名为“安德罗丁 (android)”,它由四部分组成:

- (1) 生命系统 (平衡、步行、发声、身体摆动、感觉、表情、调节运动等);
- (2) 造型解质 (关节能自由运动的金属覆盖体,一种盔甲);
- (3) 人造肌肉 (在上述盔甲上有肉体、血脉、性别等身体的各种形态);
- (4) 人造皮肤 (含有肤色、机理、轮廓、头发、视觉、牙齿、手爪等)。

1920 年捷克作家卡雷尔·卡佩克在其讽刺剧《罗萨姆的万能机器人》(Rossums Universal Robots)^[1]中塑造了一个具有人的外表、特征和功能,愿意为人服务的机器奴仆“robota”^[2,3]。在剧本中,卡佩克把捷克语“robota”写成了“robot”,“robota”是奴隶的意思。该剧预告了机器人的发展对人类社会的悲剧性影响,引起了大家的广泛关注,被当成了机器人一词的起源。

虽然卡佩克把“robot”一词推荐给全世界,但“机器人学 (robotics)”一词却是由伊塞克·阿西莫夫 (Isaac Asimov) 在他 1942 年首版的短篇小说《借口》(Runaround) 一书中提出。在书中为了防止机器人伤害人类,阿西莫夫提出了“机器人三原则”^[2,4]:

- (1) 机器人不应伤害人类,或由于故障而使人遭受不幸;
- (2) 机器人应遵守人类的命令,与第一条违背的命令除外;
- (3) 机器人应能保护自己,与第一条相抵触者除外^[5]。

这是给机器人赋予的伦理性纲领,在机器人学术界,一直将这三原则作为机

器人开发的准则。

1967 年在日本召开的第一届机器人学术会议上,提出了两个具有代表性的定义。一是森政弘与合田周平提出的:“机器人是一种具有移动性、个体性、智能性、通用性、半机械半人性、自动性、奴隶性等七个特征的柔性机器”。另一个是加藤一郎提出的具有如下三个条件的机器称为机器人,即

- (1) 具有脑、手、脚等三要素的个体;
- (2) 具有非接触传感器(用眼、耳接受远方信息)和接触传感器;
- (3) 具有平衡觉和固有觉的传感器。

该定义强调了机器人应当仿人的含义,即它靠手进行作业,靠脚实现移动,由脑来完成统一指挥的作用。非接触传感器和接触传感器相当于人的五官,使机器人能够识别外界环境,而平衡觉和固有觉则是机器人感知本身状态所不可缺少的传感器。

机器人定义的多样性,其原因是它具有一定的模糊性。动物一般具有上述这些要素,所以在把机器人理解为仿人机器的同时,也可以广义地把机器人理解为仿动物的机器。

美国机器人工业协会(RIA)把工业机器人定义为:“工业机器人是用来进行搬运材料、零件、工具等可再编程的多功能机械手,或通过不同程序的调用来完成各种工作任务的特种装置。”英国机器人协会、日本机器人协会等也采用了相类似的定义^[3,6]。

1987 年国际标准化组织对工业机器人进行了定义:“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能,能完成各种作业的可编程操作机。”^[6]

ISO8373 定义机器人为:“机器人具备自动控制及可再编程、多功能用途,机器人操作机具有三个或三个以上的可编程轴,在工业自动化应用中,机器人的底座可固定也可移动。”^[6]

我国学者对机器人的定义^[4,7,8]概括了各种机器人的性能,认为机器人应作为具有以下功能的机器^[2,7]:

- (1) 动作机构具有类似于人或其他生物体某些器官的功能;
- (2) 有通用性,工作种类多样,动作程序灵活多变;
- (3) 有一定程度的智能,如记忆、感知、推测、决策和学习等;
- (4) 有独立性,完整的机器人系统在工作中可不依赖人的操纵。

正如中国工程院前院长宋健指出的那样:“机器人学的进步和应用是 20 世纪自动控制最有说服力的成就,是当代最高意义上的自动化。”机器人技术综合了多学科的发展成果,代表了高技术的发展前沿,它在人类生活应用领域的不断扩大正引起国际上重新认识机器人技术的作用和影响。

1.2 机器人组成原理

1.2.1 机器人的基本组成

如图 1.1 所示, 机器人系统由四部分组成。它们是: 机构部分、驱动部分、感知部分和智能部分。

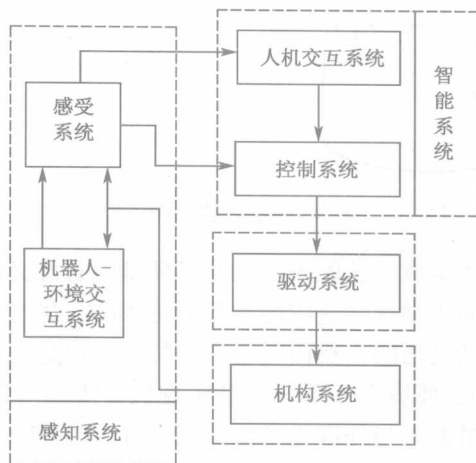


图 1.1 工业机器人的基本组成

1. 驱动部分

驱动部分主要由各种传动构成驱动系统。驱动系统可以是液压传动、气动传动、电动传动, 或者把它们结合起来应用的综合系统; 可以直接驱动或者通过同步带、链条、轮系、谐波齿轮等机械传动机构进行间接驱动。

2. 机构部分

机构部分主要由各种机械结构系统组成, 如工业机器人的机械结构系统由机身、手臂、末端操作器三大件组成, 如图 1.2 所示。每一大件都有若干自由度, 构成一个多自由度的机械系统。若机身具备行走机构便构成行走机器人; 若机身不具备行走及腰转机构, 则构成单机器人臂, 手臂一般由上臂、下臂和手腕组成。末端操作器直接装在手腕上, 它可以是二手指或多手指的手爪, 也可以是喷漆枪、焊具等作业工具。

3. 感知部分

感知部分由感受系统和机器人-环境交互系统组成。感受系统由内部传感器

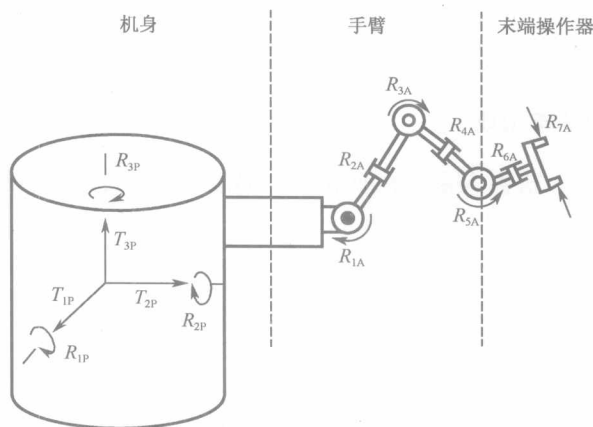


图 1.2 工业机器人机械结构的三大件

模块和外部传感器模块组成, 获取内部和外部环境中有意义的信息。使用智能传感器可以提高机器人的机动性、适应性和智能化水准。尽管人类的感受系统对感知外部世界信息是极其灵巧的, 然而对于一些特殊的信息, 传感器比人类的感受系统更为有效。机器人-环境交互系统, 是实现机器人与外部环境中的设备相互联系和协调的系统。机器人与外部设备集成为一个功能单元, 如加工制造单元、焊接单元、装配单元等。

4. 智能部分

智能部分主要由人机交互系统和智能控制系统组成。人机交互系统是使操作人员参与机器人控制以及与机器人取得联系的装置。例如, 计算机的标准终端、指令控制台、信息显示板、危险信号报警器等。控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序以及从传感器反馈回来的信号支配机器人的执行机构去完成规定的运动和功能。智能机器人多传感器信息的融合、运动规划、环境建模、智能推理等需要大量的内存和高速、实时处理能力。现行的冯·诺依曼结构作为智能机器人的控制器已经力不从心。随着光子计算机和并行处理结构的出现, 智能机器人的处理能力会更高, 机器人会具有更高的智能^[9]。根据智能机器人的任务分解, 在面向设备的基础级可以采用常规的自动控制技术, 如 PID 控制、前馈控制等。在协调级和组织级, 由于存在不确定性, 控制模型无法建立或建立的模型不够精确, 控制效果不尽如人意。因此, 需要采用智能控制方法, 如神经网络控制、模糊控制、专家控制及集成智能控制。

1.2.2 机器人技术参数

技术参数是各机器人制造商在产品供货时所提供的技术数据, 表 1.1~1.4

所提供的几种工业机器人的主要技术参数是从国内外机器人产品样本中摘录出来的，仅供参考^[3,6]。

表 1.1 12000 热模锻压机器人主要技术参数

手臂最大行程	2000mm	重复定位精度	±1mm
机器人旋转量大角度	90°	钳头水平移动最大速度	2m/s
机器人手臂最大俯仰角度	70°	驱动电机功率	11kW
夹钳头旋转角度	90°	制造厂商	北京机电研究所
抓取工件质量	65~1000kg		

表 1.2 POINT5088 高速在线检测机器人主要技术参数

被测基板外形尺寸	max: (510×400)mm ² min: (50×50)mm ²	
被测基板传递方式	往返式	
X-Y 驱动系统参数	绝对精度	A 型: ±0.4mm B 型: ±0.2mm
	重复精度	0.05mm
X-Y 移动速度	32~640mm/s	
电子元件的测试功能	电阻、电容测试	
	电感测试	
	二极管测试	
	电压测试	
	通断	
制造厂商	日本 TESCON 公司	

表 1.3 PUMA562 机器人主要技术参数

自由度	6	手腕中心最大距离	866mm
驱动	DC 伺服电机	直线最大速度	0.5m/s
控制器	系统机	功率要求	1150W
手爪控制	气动	质量	182kg
重复定位精度	±0.1mm	制造厂商	美国 Unimation
承载能力	4.0kg		

表 1.4 A4020 装配机器人主要技术参数

结构		平面关节型
自由度		4
驱动系统		DC 伺服电机
作业空间	臂 1	+170°, -30°
	臂 2	+2.5°, +155°
	手腕上下	200mm
	手腕转动	±180°
最大工作速度		1500mm/s
各轴最大速度	臂 1	180°/s
	臂 2	180°/s
	手腕上下	250mm/s
	手腕转动	180°/s
最大承载能力		2kg
重复定位精度		±0.05mm
机器人重量		75kg
制造厂商		日本日立公司

尽管各厂商所提供的技术参数不完全一样,机器人的结构、用途等也有所不同,且用户的要求也不同。但是,机器人的主要技术参数一般都应有:自由度、重复定位精度、工作范围、最大工作速度、承载能力等。

1. 自由度

自由度是指机器人所具有的独立坐标轴运动的数目。在三维空间中描述一个物体的位置和姿态(简称位姿)需要 6 个自由度。但是,机器人的自由度是根据其用途而设计的,可能少于 6 个自由度,也可能多于 6 个自由度。例如, A4020 装配机器人具有 4 个自由度,可以在印刷电路板上接插电子器件。PUMA 562 机器人具有 6 个自由度,如图 1.3 所示。它可以进行复杂空间曲面的弧焊作业。从运动学的观点看,当完成某一特定作业时具有多余自由度的机器人,称为冗余自由度机器人,亦可简称冗余度机器人。利用冗余的自由度可以提高机器人的灵活性,增强避障能力和改善动力性能。

2. 重复定位精度

机器人精度指定位精度和重复定位精度。定位精度是指机器人手部实际到达位置与目标位置之间的差异。重复定位精度是指机器人重复定位其手部于同一目