

# 机器人工程基础

清华大学 张伯鹏 张昆 徐家球 编著

机械工业出版社

# 机器人工程基础

清华大学 张伯鹏 张 昆 徐家球 编著



机械工业出版社

本书从工程应用角度阐述了有关机器人的基础理论和关键技术,包括机器人的出现和发展、机器人的分类、齐次坐标和齐次变换、位姿描述方法、机器人运动分析和综合、机器人静力学分析和动力学分析、机器人控制系统、机器人的柔顺运动控制、机器人视觉、触觉和机器人编程语言等共十三章。为了便于读者掌握有关内容,部分章节后附有习题。

本书可供机械工程领域从事机器人研究、设计、开发和应用的科技人员以及高等院校有关师生参考。

## 机器人工程基础

清华大学 张伯鹏 张 昆 徐家球 编著

责任编辑:孙祥根 封面设计:刘 岱

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张17·字数 391千字

1989年3月北京第一版·1989年3月北京第一次印刷

印数 0,001—2,300·定价:12.50元

ISBN 7-111-00989-4/TP·71

## 前 言

机器人是一种基础机械，是典型的机电一体化的新一代生产工具。机器人的特点是在自动控制下通过编程完成目标操作或移动作业。机器人的构造和性能体现了人和机器各自的优点，特别是体现了人的智能和适应性以及机器的作业准确性和在各种环境中完成作业的能力。

20多年来机器人从出现到发展和应用，既是由于生产和社会发展的需要，也是科学技术进步的结果。机器人已经并将要在国民经济各个领域，包括工业生产、资源开发、排险救灾、社会服务、康复医疗和军事技术中发挥愈来愈重要的作用，具有广阔的应用和研究开发前景。

机器人技术涉及多刚体动力学、机构学、机械设计、传感技术、电气液压驱动、控制工程、智能控制、计算机科学技术、人工智能和仿生学等学科领域，是一门跨学科的综合性的技术。

本书从工程应用角度出发阐述了有关机器人的基础理论和关键技术，为了便于读者掌握有关章节内容，在部分章节后附有习题。

本书主要是为机械工程领域从事机器人研究、设计、开发和应用的科技人员编写的，也可以作为工科大学机械专业师生学习机器人课程的参考书。全书多数章节曾数次作为清华大学机械制造专业攻读机器人与智能控制研究方向的硕士生、博士生的学位课程教材进行讲授，并在此基础上作了补充和订正。

本书第一~八、十章由张伯鹏编写。第九、十三章由徐家球编写，张伯鹏作了增补。第十一章由张昆编写。第十二章由张昆根据吴怡写的初稿编写。全书由张伯鹏主编，机械电子工业部北京机械工业自动化研究所高世义高级工程师担任主审。

本书编写过程比较仓促，且涉及的技术领域较为广泛，由于作者的业务水平所限，疏漏错误之处在所难免，请读者不吝批评指正。

# 目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 机器人的出现和发展	2
§ 1-2 国外机器人技术概况	4
§ 1-3 国内机器人技术概况	6
§ 1-4 机器人的应用效益	6
§ 1-5 高级机器人展望	7
参考文献	9
第二章 机器人的构造和分类	10
§ 2-1 机器人的构造	10
§ 2-2 机器人的分类	17
参考文献	22
第三章 齐次坐标和齐次变换	23
§ 3-1 齐次坐标, 点和面的齐次坐标	23
§ 3-2 齐次变换的几何特点	25
§ 3-3 方向余弦方阵	32
§ 3-4 典型齐次变换	39
习题	51
参考文献	53
第四章 机器人的位姿描述	54
§ 4-1 被夹持物体的位姿自由度	54
§ 4-2 终端效应器姿势的描述	55
§ 4-3 结构参量和运动变量的设定	61
§ 4-4 连杆坐标系的设定	63
§ 4-5 相邻连杆坐标系间的齐次变换	66
§ 4-6 运动矩阵的建立	68
习题	72
参考文献	72
第五章 机器人运动分析	73
§ 5-1 运动矩阵	73
§ 5-2 位移运动分析	76
§ 5-3 速度运动分析	80
§ 5-4 加速度运动分析	83
§ 5-5 连杆角速度和角加速度分析	85
§ 5-6 摄动矩阵和摄动齐次变换	88
§ 5-7 等效摄动位移的求算	94
§ 5-8 机器人系统位姿误差的补偿	105
§ 5-9 摄动位移和速度的雅可比阵描述	120

习题 .....	125
参考文献 .....	126
<b>第六章 机器人运动综合</b> .....	<b>127</b>
§ 6-1 6 自由度关节型机器人 .....	127
§ 6-2 运动矩阵分步解算法位移运动综合 .....	130
§ 6-3 矢量几何法位移运动综合 .....	133
§ 6-4 雅可比阵法速度运动综合 .....	134
§ 6-5 矢量几何法速度运动综合 .....	136
习题 .....	138
参考文献 .....	139
<b>第七章 机器人静力学分析</b> .....	<b>140</b>
§ 7-1 连杆刚体上的力和力矩 .....	140
§ 7-2 终端连杆刚体上力和力矩的等效变换 .....	142
§ 7-3 各关节驱动转矩矢量和广义负载 .....	146
§ 7-4 关节支承力矩(力)的矢量几何法求算 .....	147
§ 7-5 终端刚度计算 .....	148
§ 7-6 连杆重力影响的分析 .....	150
习题 .....	152
参考文献 .....	153
<b>第八章 机器人动力学分析</b> .....	<b>154</b>
§ 8-1 动力学分析基础 .....	154
§ 8-2 机器人牛顿欧拉动力学方程的建立 .....	165
§ 8-3 机器人拉格朗日动力学方程的建立 .....	170
参考文献 .....	179
<b>第九章 机器人控制系统</b> .....	<b>180</b>
§ 9-1 概述 .....	180
§ 9-2 机器人手臂终端位姿轨迹及节点的生成 .....	181
§ 9-3 机器人手臂各关节受控运动的生成 .....	184
§ 9-4 机器人伺服系统 .....	186
§ 9-5 机器人控制系统中的微型计算机控制方式和接口 .....	201
参考文献 .....	205
<b>第十章 机器人的柔顺运动控制</b> .....	<b>206</b>
§ 10-1 建立柔顺运动控制坐标系 .....	206
§ 10-2 关节伺服系统的阻抗控制 .....	209
§ 10-3 平面柔顺运动的力场控制 .....	212
§ 10-4 柔顺运动的位移广义力混合控制算法 .....	216
§ 10-5 广义力控制及其应用 .....	217
参考文献 .....	220
<b>第十一章 机器人视觉</b> .....	<b>222</b>
§ 11-1 机器人视觉的应用与发展 .....	222
§ 11-2 人的视觉简介 .....	223
§ 11-3 机器人视觉的实现 .....	224

§ 11-4 机器人视觉的应用实例 .....	238
参考文献 .....	240
<b>第十二章 机器人触觉 .....</b>	<b>241</b>
§ 12-1 机器人触觉的特点 .....	241
§ 12-2 典型触觉传感器 .....	243
§ 12-3 机器人触觉的研究 .....	247
参考文献 .....	250
<b>第十三章 机器人编程语言 .....</b>	<b>251</b>
§ 13-1 机器人编程语言的基本要求和类别 .....	251
§ 13-2 几种机器人编程语言简介 .....	255
参考文献 .....	263

# 第一章 绪 论

机器人工程基础是一门阐述有关机器人的工程基础理论和技术的课程。

机器人是一种可编程的、通用、有操作或移动能力的自动化机器。1984年12月国际标准化组织（ISO）中的工业自动化系统委员会（TC184）所属工业用机器人分会（SC2）通过的定义是：

“A robot is a machine which can be programmed to perform some tasks which involve manipulative or locomotive actions under automatic control.”

即：“机器人是一种自动控制下通过编程可完成某些操作或移动作业的机器。”

机器人的诞生和应用是生产和社会发展的需要，机器人又是在现代生产和科学技术发展的基础上出现的新一代机器、机器人已经并将在工业生产、资源开发、排险救灾、社会服务和军事技术中发挥愈来愈大的作用。

在制造工业中采用机器人，可以提高劳动生产率、保障产品质量、缩短生产准备周期和改善劳动条件。在现代化的汽车工业中，成批的点焊、喷漆机器人已经成为不可缺少的自动化装备。一些工业化国家采用机器人改造制造业已经取得了重大的经济效益。

机器人不仅可以在粉尘、噪声、有毒、辐射等有害条件下部分替代人去操作，还能在人所不能及的极限条件下如深海、外层空间环境中完成人所赋予的任务，扩大了人类改造自然的能力。

现代工业机器人的原型大致是在50年代前期被提出来的，过了5、6年到60年代初才制造出第一代产品。在整个60年代机器人发展的过程较为缓慢，直到70年代初才逐渐为工业部门所接受并得到推广应用。经过近四分之一世纪的研究和应用，80年代开始，各国政府和工业、科技界都认识到机器人的重要性，纷纷投入资金和人力大力进行开发。

和历史上一项新的生产工具出现及应用中遇到的困难类似，机器人从诞生到推广应用也遇到了各种问题。其中有关技术复杂性、使用可靠性以及价格高等问题是必然要出现的，这些问题需要经过一段时间随着生产、技术和经济的发展逐步解决。还有一些问题则是社会性的，舆论常常夸大或贬低机器人的作用，并怀疑在人力资源还没有被充分利用的情况下采用机器人是否明智，这种看法是可以理解的，但却是一种误解，它把机器人真的当作可以和人相比拟的实体了。事实上，机器人并不是科学幻想小说里万能的怪物，它并不一定具有人的外形，更不具备人的全部功能，机器人在现在和将来都不能全面替代人的劳动，它只是干那些人干不了、干不好或是不适于人去干的那一部分工作中适于机器人干的工作。

机器人的研究、开发和应用涉及许多学科，机器人技术是一门跨学科的综合技术。多刚体动力学、机构学、机械设计、传感技术、电气液压驱动、控制工程、智能控制、计算机科学技术、人工智能和仿生学等学科都和机器人技术有密切的关系。



## § 1-1 机器人的出现和发展

工业生产、资源开发、排险救灾、社会服务和军事技术等方面的需要，以及技术实现的可能和经济方面的合理性，决定了现代机器人的出现和发展。

有关机器人的传说在我国可追溯到公元前数百年的远古时代。成书于魏晋年代（公元220年～公元420年）的《列子·汤问篇》记述了公元前900多年周穆王出游曾遇到一位叫做偃师的巧匠，他做了一个会走动能歌舞，“千变万化，惟意所适”，称为“倡者”的机器人，所用原料不外“革、木、胶、漆、白、黑、丹、青……”等，结构特点是“内则肝、胆、心、肺、脾、肾、肠、胃，外则筋骨、支节、皮毛、齿发，皆假物也，…”<sup>[6]</sup>。清代顾公燮所著《丹午笔记》也记述了同一件事，即周穆王时偃师“为木人，能歌舞，……，皆丹墨胶漆之所为”。

早在2000多年以前，我国就出现了自动定向指南车，车辆运动过程中木人的手总指向南方，可以说这是一种定向机器人。传说中三国（公元220年～公元280年）时诸葛亮创造的木牛流马可能是一种人机型的移动机器人。

唐代李尤的《独异志》和后来的《蜀故》等著作中，记述了唐代（公元618年～公元907年）能工巧匠发明制作的几种机器人，如四川杨行廉制作的会走且手会动的木僧，江苏马待封制作的机器人梳妆台和宴会劝酒名为“酒山”的服务机器人。又据《明史》载，明初（14世纪）司天监曾制造了一台有两个木偶按时击鼓的自动报时计。

以上这些记述说明，在我国漫长的历史中，有关机器人的传说和实践连绵不断。

此外，在不同的历史阶段，首先是在神话、小说和剧本中曾出现过各种拟人的想象物，有些神话中的“机器人”是钢筋铁骨或许还有木头施加魔法后变成的，另一些神话中的“机器人”则是由植物、动物甚至人变幻而成的。当然所有这些所谓的“机器人”往往和神妖混为一谈，它们多半具有人的外表，在国外常被称之为源于希腊文的 Andro-iden。

17世纪以后，随着各种机械装置的发明和应用，特别是随着机械计时装置的发展，先后出现了各种由发条、凸轮、齿轮和杠杆驱动且具有人形的自动机械装置。19世纪就出现了由人自己牵动的灵活的假肢，19世纪末叶发明了内燃机驱动的汽车原型，它们不是机器人但却发展成为今日世界上数量最多的人机型移动机器。本世纪初，随着电气技术的发展和电话技术的诞生，使各种自动机械装置的电气驱动和开关量控制成为可能。

英语中的机器人即 Robot，来源于斯拉夫语系，它是捷克作家 K. Capek 1920 年在他的剧本《罗沙姆万能机器人公司》中提出的。现代机器人实体的诞生大致可以追溯到本世纪40年代，当时由于核工业的兴起，为了处理放射性材料采用了主从机械手，同时期还出现了电子计算机。40年代后期 R. Ashby 用模拟分立元件组装了一台具有随机搜索功能的“超稳机器”（Homeostatis）<sup>[1]</sup>，G. Walter 在实验室里研制了一个有趋光或避光功能并带可充电能源的自行车。同一时期还出现了电子计算机控制的数字控制机床<sup>[6]</sup>。假肢的研究也有了不小进展。也就是在这一历史阶段控制论<sup>[6]</sup>、信息论<sup>[7]</sup>等重大学科相继问世，所有这些科学技术成果都为机器人技术的诞生和发展奠定了基础。

1950年 I. Asimov 在一本科学幻想小说《我是个机器人》<sup>[3]</sup>中提出了虽不严谨但却广为流传的机器人三原则，它的大意是：

- (1) 机器人不可伤害人，也不可借不动作而使人受到伤害。
- (2) 机器人必须服从人给它的但是和原则(1)不矛盾的指令。
- (3) 在和原则(1)(2)不矛盾的前提下，机器人能维护自身的存在。

1952年 C. E. Shannon 研制了一只通过学习可以走出迷宫的电气机械“老鼠”<sup>[2]</sup>。

1954年 G. C. Devol 提出了“通用重复操作机器人”的方案，并在1961年获得了专利(美国专利2988237)。同一时期诞生了利用肌肉生物电流控制的上臂假肢。1959年美国 Consolidated Controls 公司研制出第一代工业机器人原型。1960年美国机床铸造公司(AMF)生产出圆柱坐标的 VERSATRAN 型机器人，可作点位和轨迹控制，同年第一批点焊机器人用于工业生产。稍后，美国 Unimation 公司研制出球坐标的 UNIMATE 型机器人，它采用电液伺服驱动，磁鼓存储，可完成近200种示教再现动作。在此期间，智能机器人的研究也有进展，1961年美国麻省理工学院研制出有触觉的 MH-1型机器人，在计算机控制下用来处理放射性材料。1968年美国斯坦福大学研制出名为 SHAKEY 的智能移动机器人。从60年代后期起，喷漆、弧焊机器人相继在工业生产中应用，由加工中心和工业机器人组成的柔性加工单元标志着单件小批生产方式的一个新的高度。几个工业化国家竞相开展了具有视觉、触觉、多手、多足，能超越障碍、钻洞、爬墙、水下移动的各种智能机器人的研究工作，并开始在海洋开发、空间探索和核工业中试用。整个60年代，机器人技术虽然取得了如上列举的许多进展，建立了产业并生产了多种机器人商品，但是在这一阶段多数工业部门对应用机器人还持观望态度，机器人在工业应用方面的进展并不快。

进入70年代，出现了更多的机器人商品，并在工业生产中逐步推广应用。随着计算机科学技术、控制技术和人工智能的发展，机器人的研究开发，无论就水平和规模而言都得到迅速发展。1979年 Unimation 公司推出 PUMA 系列工业机器人，它是一种全电动驱动、关节式结构、多 CPU 二级微机控制、采用 VAL 专用语言，可配置视觉、触觉和力觉感受器的，技术较为先进的机器人。同年日本山梨大学的牧野洋研制成具有平面关节的 SCARA 型机器人。据国外统计，到1980年全世界约有2万余台机器人在工业中应用。

进入80年代，机器人在工业中开始普及应用，工业化国家的机器人产值近几年以年均20%~40%的增长率上升。1984年全世界机器人使用总台数是1980年的四倍，到1985年底，这一数字已达到14万台，预计到1990年可达到30万台左右，其中高性能的机器人所占比例将不断增加，特别是各种装配机器人的产量增长较快，和机器人配套使用的机器视觉技术和装置正在迅速发展。1985年前后，FANUC 和 GMF 公司又先后推出交流伺服驱动的工业机器人产品。

目前，国外仅工业机器人主要生产厂就有400余家，其中销售额较大的有40~50家，各种类型机器人近500种。国际标准化组织(ISO)已经开始制订制造业用机器人标准(ISO/TC184-SC)。

展望未来，对机器人的需求是多面的。在制造工业中由于多数工业产品的商品寿命逐渐缩短(目前一段不超过3~5年)，品种需求加多，这就促使产品的生产要从传统的

单一品种成批大量生产逐步向多品种小批量柔性生产过渡。由各种加工装备、机器人、物料传送装置和自动化仓库组成的柔性制造系统，以及由计算机统一调度的更大规模的集成制造系统将逐步成为制造业的主要生产手段之一。

在微电子工业、制药工业中，为了避免人介入造成的污染，需要用机器人部分替代人去完成某些操作，以保证产品质量。

在矿产采掘、深海资源开发以及外层空间活动中，机器人将成为不可缺少的手段。

机器人还将用于排险救灾。

在未来的几十年内，机器人还将在社会生活的许多方面得到应用。家务劳动机器人、办公室用机器人、医护机器人、各种康复机器人和娱乐机器人等都将成为现实。

各种军事用途的机器人也将出现。

## § 1-2 国外机器人技术概况

### 一、生产应用概况

机器人最早出现在美国，但到70年代才有较快的发展。日本在1967年引进美国VERSATRAN型工业机器人，2、3年后开始建立产业并推广应用，70年代末其机器人拥有量已居世界首位。

美、日两国上述这段工业技术发展过程所以不同，究其原因主要是美国的机器人技术从诞生起，在相当长的一段时期内，主要停留在大学和研究所的实验室里，虽然作出了一系列研究成果，但是迟迟没有形成生产能力且应用较少，因而也很难得到充裕的经费支持。与此同时，工业生产和应用部门则对机器人技术的效益持观望态度，坐等技术成熟再考虑生产和应用。研究开发、生产和应用的这种脱节现象延缓了这一新技术在美国的发展。直到70年代中期，有鉴于机器人的巨大技术、经济潜力和日本在工业机器人方面所取得的成就，美国朝野才意识到问题的紧迫性并多方面采取措施。

日本搞工业机器人并不算早，首先引进了美国的机器人技术，经过技术消化，2~3年内就有多家工厂开始生产工业机器人商品，初步形成了工业机器人产业。为了推广应用这一新技术，日本政府在技术政策和经济上都采取了措施加以扶植，在这一基础上，日本比较快地渡过了一项新技术从诞生到应用必然会经历的困难阶段，随即得到较快的发展。

据1984年统计，日本约有300家工业机器人生产厂，其中有30家销售额较大包括松下电气、富士通、日立、川崎、三菱重工等厂家。一些大公司平均都有数十人的机器人技术研究开发队伍。1984年美国约有50家机器人生产厂，其中市场销售额较高的是Unimation、Cincinnati Milacron、Devilbiss、Prab、ASEA、Cybotech、Automatrix、IBM、GMF等十几家。

在机器人工业应用方面，联邦德国居西方国家中第三位，目前约有20个制造厂生产机器人，其中最大的是Volkswagen，还有KUKA、Siemens、Bosch、Cloos等，联邦德国的机器人产品已进入国际市场。

英国国内使用的机器人大多从美国进口，大约有8家机器人生产厂，包括Unimation、Fairy、Hall等。

法国有 ACMA 等近十家机器人生产厂，产品大部分用于汽车制造业。意大利机器人生产厂有 Worda, Basfer, Olivetti 等。瑞典有三个机器人生产厂，即 ASEA、ESAB 和 ATLAS。

按1985年销售额排队，各公司顺序为 GMF、ASEA、Yaskawa、松下电气、Cincinnati Milacron、川崎、Unimation、Devlbiss、日立、富士通等。

据日本工业机器人协会统计，到1984年末西方工业化国家的机器人使用台数为：

日本	67300台
美国	14500台
联邦德国	6600台
法国	2750台
英国	2623台
意大利	2585台
瑞典	2400台
比利时	859台
加拿大	700台
西班牙	518台
其它6个国家	979台

近几年在工业化国家销售量最大的四种机器人是焊接机器人、搬运机器人、装配机器人和喷漆机器人。其中装配机器人由于电子工业的需求，销售量增长最快。

## 二、产品技术概况

机器人产品技术，目前主要指的是工业机器人产品技术。

工业机器人的结构类型有四种，即直角坐标型、圆柱坐标型、球坐标型和关节型等。由于关节型结构具有动作灵活，主机占地面积较小，且具有较大的操作容积，近些年发展较快。目前搬运机器人，除常用关节型外，还采用了圆柱坐标型、球坐标型和龙门直角坐标型结构。装配机器人常用平面关节型和框架直角坐标型结构。

机器人主机运动构件一般使用高强度铝合金材料，目的是减小运动部分质量并尽量提高刚度。少数研究单位开始试用碳纤维材料。

机器人的控制系统就其工作原理大致有两类，即轨迹（含点位）控制型和轨迹（含点位）、出力混合控制型，无论哪一类控制系统都要控制机器人终端运动轨迹、速度和加速度。机器人控制系统的结构，一种是双 CPU 或多 CPU 式的，另一种是分级控制式的，这两种结构都有商品。事实上，多数机器人控制系统是由微处理器、多位计算机组成的二级控制机加外部设备和软件组成，少数则是在数控控制机基础上派生并附加软件组成。机器人控制系统的无故障工作时间已达3000~5000小时。目前还没有一个能为各国共同遵守的机器人技术标准，所以目前世界上存在多种机器人控制系统，即使在一个国家中控制系统往往也不止一种。由于这些原因，多数机器人都配有专用的控制语言，从汇编语言到高级专用语言都有，也有采用 PASCAL 或 FORTRAN 语言编写指令的。

80年代，机器人的关节驱动大多采用直流伺服驱动方式，近几年研制成功的交流伺服驱动已开始机器人在上实用，可能逐渐取代直流伺服驱动而成为机器人的主要驱动方式。在重型机器人和要求防爆的喷漆机器人上，一般都采用电气液压驱动。为了满足快

速动作要求, 冲压上、下料机器人常采用气压驱动。一些非伺服型搬运机器人常采用气压或液压驱动。

在机器人上, 从驱动机到连杆运动部分常设计有机械传动链。气压、液压驱动机一般通过连杆机构和运动部分联接。驱动电机常用齿轮组成传动链, 若减速齿轮速比为  $n$  ( $n > 1$ ), 则驱动转矩加大  $n$  倍, 而归算到电机轴上的负载转动惯量要除以  $n^2$ , 这有利于改善驱动系统的动力学性能。常用正齿轮、锥齿轮和谐波减速器。当轮心距较远时常采用齿形带传动、低摩擦链传动或钢丝绳传动。

### § 1-3 国内机器人技术概况

就我国目前社会经济条件来看, 机器人在工业生产中将首先用以解决保障产品质量和改善劳动条件。

机器人属先进技术装备, 购入价格高且操作维修都较为复杂, 为了使机器人在现有的生产条件中发挥作用, 需要解决:

(1) 改造现有的生产管理和技术条件, 使机器人前后的生产装备, 在作业节拍、定位精度、工装卡具等方面, 都能和机器人的操作状态相匹配、协调。

(2) 改变产品的结构设计和工艺流程, 使之适于机器人操作。

(3) 可能条件下同时采用多台机器人。

还要指出的是一个高效的制造系统, 并不一定是用人愈少愈好, 一些复杂的操作, 如精密装配、维修、检测等有时由人去完成可能更为合理。研究开发由人、机器人、加工装备组成的生产系统, 优化分配人、计算机和机器间的功能, 具有重要的社会和经济意义。

早在 50 年代, 我国就开始引进、研制并应用主从机械手。从 50 年代迄今, 在各个机械行业, 如铸造、锻压、冲压、热处理和金属加工中都采用了机械手。

70 年代初, 我国开始了机器人技术的研究开发, 并先后研制了多台工业机器人。进入 80 年代, 微型计算机技术在我国开始得到普及, 机器人的经济、技术和社会意义逐渐为更多的人所认识, 引进了国外的机器人样机, 在工业生产中开始试用机器人, 不少单位建立了机器人的研究开发实体, 机器人在我国的发展进入了一个新的阶段。

### § 1-4 机器人的应用效益

机器人的发展和应用是现代生产技术发展的必然结果, 它的效益是多方面的, 主要包括:

(1) 如前所述, 由于产品多样化要求以及产品更新换代加快, 工业生产过程的自动化正在从少品种大批量生产的刚性自动化逐步转变为多品种中、小批量生产的柔性自动化。工业机器人是组成柔性制造系统的基础装备, 统计指出, 采用机器人上、下料后, 压铸机的生产率平均可以提高 25%~100%, 机器人在工业生产中能直接进行点焊、弧焊、喷涂、装配、修磨等复杂工艺操作, 还能上下料、搬运工件等。

(2) 保障和提高产品质量。机器人长期运行可靠性高, 工作重复一致性好, 对劳

动条件的要求和人有很大差别，例如不要照明，不怕噪声、粉尘等。

在连续作业线上配备机器人进行点焊作业、装配作业等，可以提高产品质量的一致性，消除人劳动时的不稳定因素（如情绪、疲劳、注意力分散等）对产品质量的影响。

在微电子工业 医药工业以及化学和生物工业的某些工艺流程中，为了消除人对产品的污染，需要用机器人替代人进行操作，才能保障产品质量。

在国民经济各个领域，机器人为保障和提高产品质量提供了新的技术手段。

（3）改善劳动条件，保障劳动安全。机器人可以在有毒、粉尘、噪声、振动、高温、易燃易爆等危险有害的环境中长期稳定地工作。在技术、经济合理的情况下，采用机器人逐步把人从这些工作岗位上替代下来，将从根本上改善劳动条件。考虑到我国在上述危险有害条件下劳动的人数还较多，在这方面推广应用机器人是十分必要的。

（4）扩大人的能力和活动领域。机器人技术和机器人为扩大人的能力提供了新的可能。

联肢的机械手可以发出比人力大许多倍的出力，联肢的机械足可以迈大步跳跃越过障碍，主从机械手使人可以在远距离操作放射性物品，声控或生物电控假肢可使伤残人恢复部分动作能力。信息型机器人，如专家系统、信息决策系统等，极大地扩大了人的知识容量、感知和判断决策能力，图像识别系统和语音识别系统则给人提供了一种新的独立于人的识别手段和人机交联方式。所有这些机器人技术都扩大了人的能力。

由于机器人可以在深海、外层空间、高压、辐射、剧毒等人所不能及的条件下工作，因此一些过去难以进行的深海作业、卫星空间回收、外层空间中的探索等，都可以借助机器人来进行。由于这些作业的复杂性，所以事实上这些操作往往都是由人一机器人系统完成的。机器人将人类的开发活动扩大到前所未有的领域。

正是由于机器人技术和机器人的重要作用，各工业化国家近几年都把它的研究和开发列为国策，制订一系列规划，多方采取措施，以加快发展。许多发展中国家也纷纷建立技术开发中心，应用和生产机器人。国外有的专家认为，到本世纪末，一个国家如果不拥有一定数量和质量的机器人，就不具备产品国际竞争的工业基础。

## § 1-5 高级机器人展望

工业生产和军事技术的需要，以及现代科学技术发展提供的可能，促使机器人在技术上不断更新，并朝着高级机器人方向发展。

60年代迄今，绝大多数工业用机器人都属于第一代机器人，它的特点是采用开关量控制、示教再现控制或数字控制，机器人的作业路径和运动参数都需要示教或编程给定。典型的第一代机器人有：开关量控制型冲压上、下料机器人，示教再现型喷漆机器人，数字控制型搬运机器人以及外制导型移动车等。

第二代机器人大致是70年代出现的，目前只有少量这类机器人在工业生产、排险救灾等场合试用。这类机器人的技术特点是采用计算机直接控制，具有触觉、光觉或视觉感受能力，有的采用了自适应控制。典型的第二代机器人有全方位自治型移动机器人，计算机控制装配机器人等。

在自动装配、自动检测系统中以及外层空间探索、深海开发、排险救灾、工业设备

维修等作业中，采用上述第一代和第二代机器人去完成任务，还存在不少困难。为此，国内外都在积极进行下一代高级机器人的研究开发，主要是装配机器人、外层空间机器人、资源开发机器人、行走机器人、医护机器人以及军事机器人等。

高级机器人的主要特点是：

- (1) 计算机直接控制，离线编程并使用高级语言系统。
- (2) 具有人工智能，包括模式识别能力、规划解题能力、知识库、专家系统、人机交互等。
- (3) 具有智能控制能力，包括运动制导、自治控制、眼手视动协调、自适应、自主学习、柔顺控制、障碍回避、多机作业协调及优化等。
- (4) 丰富的本体、作业环境感知能力，主要是视觉和触觉感知。
- (5) 灵巧的终端效应器，能完成精确复杂的操作。
- (6) 在复杂、时变环境中操作、移动的能力，能通过崎岖地形、追踪目标、回避障碍。
- (7) 功能硬件集成化和结构机电一体化。

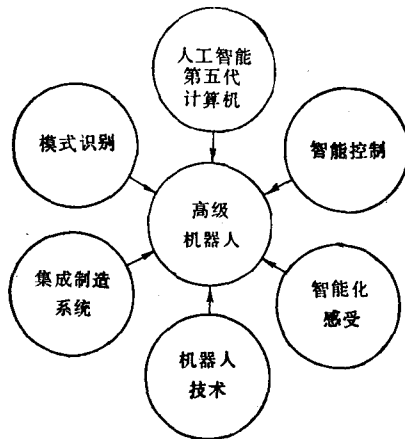


图1-1 与高级机器人有关的学科

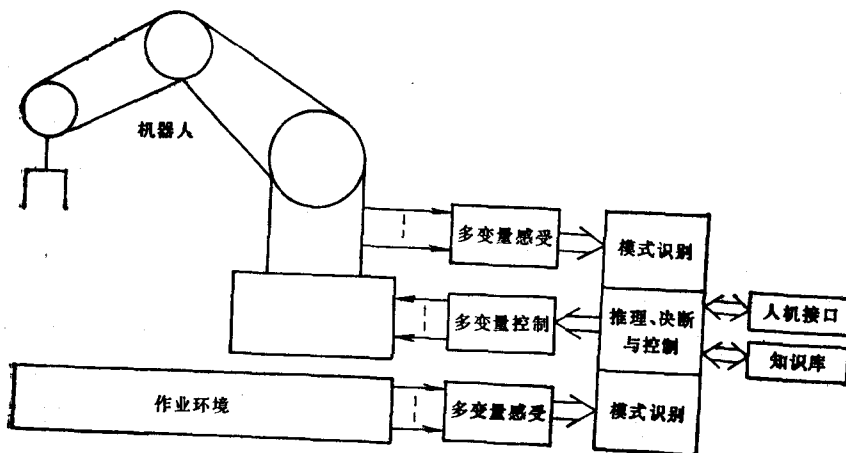


图1-2 高级装配机器人原理框图

(8) 高效能源、高效驱动机和执行机构。

比起第一代和第二代机器人,高级机器人的动作将更为迅速、更为精确、更为灵巧,不仅可以实现多臂作业、集群作业,还将具有可以步行运动的腿或移动机构。

图 1-1 表示和下一代高级机器人有关的学科。

图 1-2 是一台目前在实验室研究开发中的高级装配机器人原理框图。它的特点是,在智能计算机控制下,通过多传感器感知机器人本体状态和作业环境状态,在知识库支持下进行推理作出决断,并对机器人作多变量实时智能控制。

### 参 考 文 献

- [1] Ashby, W. Ross: "Design for a Brain", 《Electr. Engg. 》, 1948(20), p379-80.
- [2] Shannon, C. E: "Presentation of a Maze Solving Machine", 《Tran. of the 8th Cybernetics Conf. 》, Josiah Macy, Jr. Foundation, N. Y. 1952 pp 173-80.
- [3] Asimov, I. 《I, Robot 》, Fawcett Pub., Inc. 1950.
- [4] Shannon, C. E: "Computer and Automation", 《Proc. of IRE 》, 1953 no. 10.
- [5] Pease, W: "Punched Tape Controlled Milling Machine" 《Scientific American 》, 1952, 9, pp97~115.
- [6] Wiener, N: 《Cybernetics 》, New York, Wiley, 1948.
- [7] Shannon, C. E; Weaver, W: 《The Mathematics Theory of Communication 》, Urbana, University of Illinois Press, 1949.
- [8] Togai, M: "Japan's Next Generation of Robots" 《Computer 》, 1984, March.
- [9] 童恩正: "世界上第一个机器人之死", 《科学文艺 》, 1982, 3.



## 第二章 机器人的构造和分类

进入 80 年代，机器人的研究开发和生产应用都取得了迅速的进展。

机器人的构造具有软件、硬件结合，机电一体化，主机和作业环境相匹配等特点。

本章将扼要叙述机器人的构造特点及其分类。

### § 2-1 机器人的构造

由于用途不同且技术综合，所以机器人的种类很多。但就功能来划分，机器人大致由以下五部分组成：

- (1) 软件部分 包括系统软件、应用软件和编程语言。
- (2) 控制硬件 一般由多 CPU 单级或二级计算机控制系统实现。

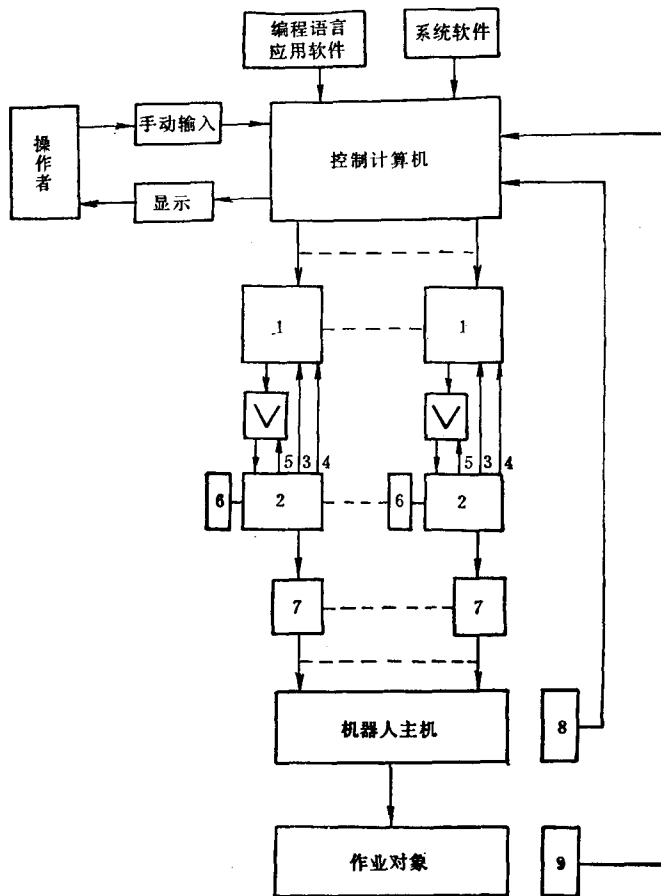


图2-1 典型的机器人系统框图