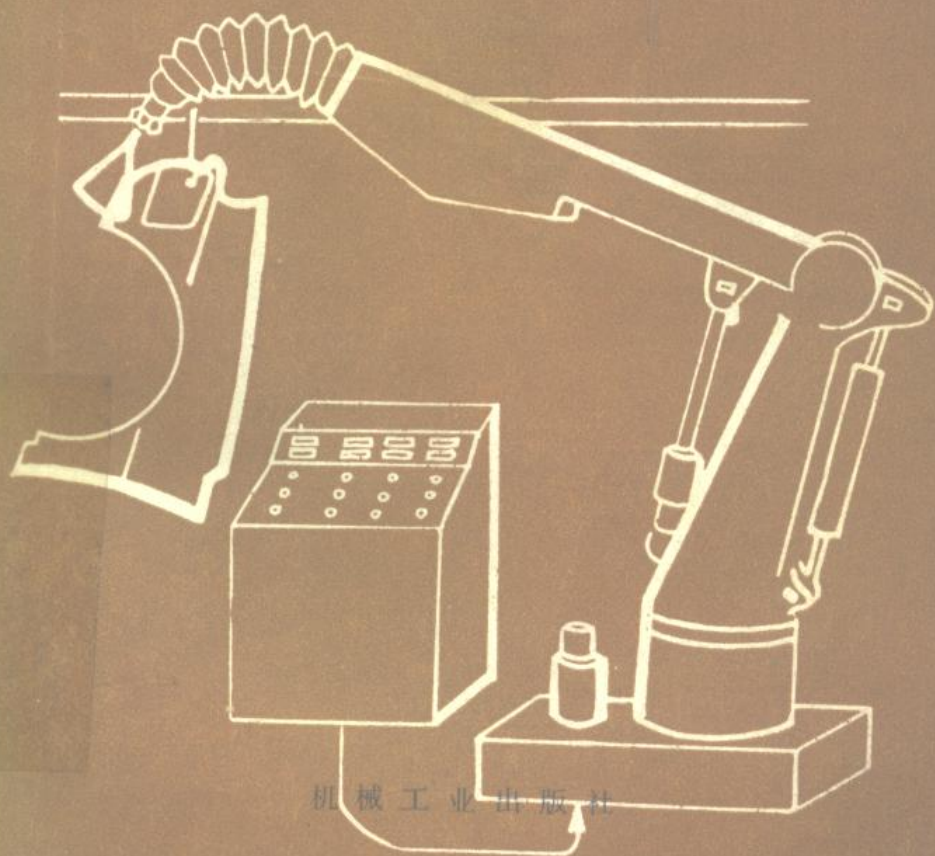


机械工业自动化技术丛书

工业机器人 及其应用

杜祥瑛 编著



机械工业出版社

本书是《机械工业自动化技术丛书》之一。全书共八章：第一章概论，追溯了机器人的来历，介绍了工业机器人的定义、特点、组成和分类等；第二章简要介绍工业机器人的机械结构；第三、四、五章分别对工业机器人的驱动、检测和控制系统进行了阐述；第六章概述了智能机器人的各个组成部分及其功能；第七章叙述工业机器人的系统技术；第八章结合实例介绍了工业机器人在机械生产过程中的应用情况。

本书可供具有中专以上文化程度的工程技术人员和技术管理人员阅读，亦可供机器人专业的师生参考。

机械工业自动化技术丛书
工业机器人及其应用

杜祥瑛 编著

责任编辑 严蕊琪

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)

展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \cdot 1/32$ ·印张 10·字数 219千字
1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数：0,001—3,350·定价：2.10元

科技新书目：128—119

统一书号：15033·6118

2835/33

出版者的话

随着我国社会主义工业的发展,自动化技术在机械工业中的应用范围已由机械加工过程扩展到设计、生产准备、工艺准备、检验试验、装配及生产管理等各个方面,涉及到计算机应用、人工智能、现代控制理论和系统工程等许多领域。

为适应机械工业自动化技术飞速发展的需要,满足从事机械工业自动化的工程技术人员、管理干部知识更新的迫切要求,我们决定出版这套《机械工业自动化技术丛书》。

本丛书各分册书名分别为:《机械工业自动化》、《机械加工自动化》、《热加工自动化》、《物料搬运自动化》、《计算机辅助电路分析》、《计算机辅助企业管理》、《自动化装置及其应用》、《工业机器人及其应用》、《微型计算机及其应用》、《计算机网络及其应用》、《图像识别技术及其应用》、《系统辨识技术及其应用》等,将陆续出版。

本丛书主要由机械工业自动化学会和机械工业自动化情报网共同组织,并得到中国机械工程学会和北京机械工业自动化研究所领导和有关同志的大力支持。

本丛书编委会对丛书的列选、组稿、审稿付出了辛勤劳动,还有不少单位对审稿工作给予了热情帮助,在此一并表示感谢。

由于组织出版这类丛书是初步尝试,缺点和错误在所难免,希批评指正。

机械工业出版社

编委会成员

主任委员：王良楣

副主任委员：严筱钧 顾绳谷 蔡福元
段扬泽

委员（按姓氏笔划序）：

刘兆新	卢庆熊	朱逸芬	阳含和	吕林
李仁	李忠德	陈家彬	杜祥瑛	严蕊琪
周斌	季瑞芝	张岫云	张弟元	唐璞山
章以钧	裘为章			

前 言

机器人技术是近二十多年来发展较快的一种新技术。机器人学是一门新兴的综合性学科，它涉及机械制造、控制工程、计算机、传感技术、仿生学、人工智能等领域。工业机器人是实现工业生产自动化的重要设备，它本身是“机电一体化”的典型产品。

目前，国外已将这一技术大量推广应用于各工业部门，特别是在喷漆、喷砂、焊接、冲压、铸造等繁重恶劣的工作条件下，采用工业机器人具有更大的优越性。在机械工业中，采用工业机器人是实现多品种、中小批量生产机械化、自动化的有效途径。推广应用工业机器人，对于保证产品质量、保护人身安全、提高劳动生产率有着重要意义。

本书介绍了工业机器人的原理、机械结构和驱动控制系统，展示了工业机器人向智能化发展的现状与前景，结合实例分别阐述了工业机器人在机械制造各种生产过程中的应用情况。此外，本书还分析了国外工业机器人的发展背景，说明了发展工业机器人的意义和应当注意的问题。

本书由曹祥康同志主审。在编写审校中，安永辰、蒋厚宗、朱逸芬和钟光济、季瑞芝、章以钧等同志都提出了宝贵意见。此外，马丹、吕志达等同志也提供了资料，在此一并表示感谢。

机器人技术涉及的专业范围较广，由于个人水平有限，错误和缺点在所难免，敬请批评指正。

编 者

目 录

第一章 工业机器人概论	1
第一节 绪 言	1
一、关于机器人的神话和古代机器人	1
二、工业机器人的由来	3
三、工业机器人的定义与概念	5
第二节 发展工业机器人的经济意义和社 会意义	7
第三节 工业机器人的组成	13
第四节 工业机器人的分类	16
第五节 工业机器人的主要性能参数	20
参考文献	24
第二章 工业机器人的机械结构	26
第一节 运动自由度与座标型式	27
第二节 手部	34
一、手部的抓取功能与分类	34
二、手指式手部	38
三、吸盘式手部	46
第三节 腕部与臂部	48
一、对臂机构的基本要求	48
二、腕部	49
三、臂部	52
第四节 典型结构实例与组合式机器人	59
一、直角座标式	59
二、圆柱座标式	61
三、极座标式	61

四、多关节式	63
五、组合式机器人	66
第五节 工业机器人的运动分析问题	69
参考文献	71
第三章 工业机器人的驱动系统	73
第一节 液压驱动与电液伺服系统	76
一、液压驱动系统	76
二、电液伺服系统	78
第二节 气压驱动系统	85
第三节 电伺服系统	89
第四节 谐波齿轮传动机构	96
参考文献	101
第四章 工业机器人的传感器	104
第一节 内部信息传感器	105
一、机器人位置检测元件分类	105
二、常用的几种内部信息检测元件	106
第二节 外部信息传感器	115
一、外部信息传感器的作用	115
二、常用的几种外部信息传感器	116
第三节 工业机器人用传感器实例	119
参考文献	126
第五章 工业机器人的控制系统	128
第一节 控制系统的功能、组成与分类	128
第二节 作业程序控制	130
第三节 运动控制方式	133
一、位置控制	133
二、速度控制	136
第四节 信息存储方式	137
一、位置信息单独存储方式	137

二、时间信息单独存储方式	138
三、三种信息分别单独存储方式	141
四、集中存储方式	142
第五节 工业机器人的编程方式	143
一、可编程序方式	143
二、示教再现方式	146
三、数值控制方式(间接示教)	152
第六节 计算机控制	152
一、采用计算机控制的优点	152
二、计算机在机器人中的基本功能	153
三、微型机的应用	157
四、机器人语言	160
五、工业机器人的微型机控制系统实例	165
六、机器人群控系统	182
第七节 操纵型机器人的控制方式	183
参考文献	187
第六章 智能机器人概述	189
第一节 人工智能与智能机器人	189
第二节 智能机器人的组成和功能	194
一、头脑	195
二、触觉	198
三、视觉	206
四、多关节手臂	211
五、智能机器人实例	213
第三节 未来的智能化生产系统	218
参考文献	224
第七章 工业机器人的系统技术	226
第一节 应用系统技术的必要性	226
第二节 采用工业机器人的步骤	229

第三节 采用工业机器人的必要条件	231
第四节 效果分析与经济论证	234
一、采用工业机器人带来的好处	234
二、采用工业机器人带来的问题	236
第五节 技术评价	238
参考文献	239
第八章 工业机器人的应用	241
第一节 国内外应用概述	241
第二节 在机械工业生产中的应用	246
一、铸造	246
二、锻造	250
三、冲压	259
四、热处理	264
五、焊接	267
六、机械加工	272
七、喷漆	277
八、装配	283
九、搬运与传送	294
十、检验	298
第三节 实际应用效果	302
参考文献	305
附录1 国际工业机器人组织与会议	307
附录2 英文缩写词汇	309

第一章 工业机器人概论

第一节 绪 言

一、关于机器人的神话和古代机器人

人类早就向往着造出一种象人一样聪明灵巧的机器，这种追求和愿望，在各种神话故事里得到充分的体现。

早在公元前三世纪的古希腊神话中就描述过一个克里特岛的青铜巨人“太罗斯”，这是作者为了塑造一个国王卫士的形象而虚构出来的“人工造人”。“太罗斯”的身体由青铜材料制成，刀枪不入，力量无比，它每天在岛上巡逻数次，防止外来人偷渡到克里特岛上来。它可以扔下巨石砸沉船只，也可以使自己的身体变得赤热，以烧死周围的敌人。

1879年，在一位法国作家写的题为“未来的夏娃”小说中，也曾经出现过美丽的人工造人“阿达里”，它是由齿轮、发条、电线、电钮组成的复杂机器。但它的皮肤柔软，头脑可以思考问题，外形和人一模一样。

1893年加拿大的乔治·摩尔设计制造了命名为“安德罗

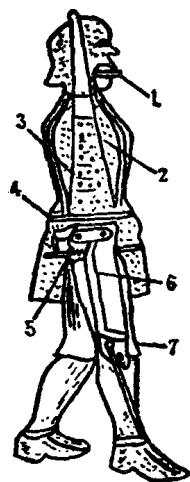


图 1-1 “安德罗丁”机器人

- 1—排气口 2—水箱 3—蒸汽锅炉
4—汽油输送管 5—蒸汽驱动齿轮
6—连接杆 7—腿部

丁”的机器人，如图1-1所示。它是以汽油为燃料，利用蒸汽驱动齿轮传动，通过连杆使腿部行走。以后，拉丁语中就将外表象人的“人工造人”称为“安德罗丁(Androiden)”。

在古代，不仅有上述这些美好的神话和幻想，而且根据当时的科学技术水平也曾制造出许多构思巧妙的“机器人”。

我国宋代科学家沈括在他的“梦溪笔谈”一书中记载了一个“自动木人抓老鼠”的故事：“庆历^①中有一术士，姓李，多巧思。尝木刻一舞钟馗，高二、三尺，右手持铁简。以香餌置钟馗左手中，鼠缘手取食，则左手扼鼠，右手用简毙之。”这个木刻钟馗能够抓住老鼠，动作是相当灵巧的。

在国外，公元前一百年，自动木偶式的“机器人”就开始作为游艺世界的玩具出现了。

在北京故宫博物院的钟表馆，陈列着十八~十九世纪英国和法国制造的许多木偶式机器人，它们形态各异，有的会击鼓戏熊，有的可弹琴耍盘，有的会按钟点弹奏乐曲报知时辰，有的还会吸烟、吹箫、玩倒立、变魔术，等……，特别引人注目的是那个会写字的机器人。它左手伏案，右手执笔，当人把蘸好墨汁的毛笔尖插入其手中的笔杆之后，它就可以井然有序地写出八个工整的汉字：“八方向化 九土来王”，时间不到一分钟（见图1-2）。

这台写字机器人是十八世纪英国制造，这就是古代简单的具有记忆再现功能的机器人。其运动机构全部装在上臂内，手的书写动作包括左右、前后和上下等运动。这些动作都是由一组精巧设计的凸轮，通过拉杆带动手臂实现的。凸轮轴则由发条通过齿轮传动，以一定的速度旋转。由于凸轮

^① 宋仁宗年号，自公元1041年至1048年。

是按照八个汉字的笔划设计和加工的，这样，当凸轮轴转动时，就会产生相应的书写动作，写出汉字。这种用凸轮记忆固定动作程序的方法，在古代木偶式机器人中使用得很普遍。



九 八
土 方
來 向
王 化

目前，世界上大多数国家都用罗伯特（Robot）一词来表示机器人。这个词来源于斯洛伐克语，由“Robota”（“赋役的奴隶”的意思）衍生而来，在捷克斯洛伐克著名剧作家卡雷尔·查培克（Karel·Capek）1920年写的剧本

“罗莎姆万能机器人公司R·U·R（Rossum Universal

图1-2 机器人及手书笔迹

Robot）”中第一次出现。此后，于1922年才在英语中出现“Robot”一词。在中国，过去习惯将工业机器人称为通用机械手，近年来使用机器人这一名称渐多，也有称为“机械人”或“仿人机”的。

机器人的应用范围较宽，一旦用于现代工业领域，它将帮助人们从那些繁重有害的劳动中解放出来，帮助人类去开拓新的领域或探索太空和海洋的奥秘。

二、工业机器人的由来

工业机器人（Industrial Robot，简称IR）是1960年由《美国金属市场》报首先使用的，但这个概念是由美国

George · C · Devol 在 1954 年申请的专利“程序控制物料传送装置”中提出来的。在这专利中所记述的工业机器人，以现在的眼光来看，就是示教再现机器人。根据这一专利，Devol 与美国 Consol idated Control Corp · (简称CCC公司)合作，于1959年研制成功采用数字控制程序自动化装置的原型机。

随后，美国的 Unimation 公司和美国的机械铸造 (AMF) 公司于 1962 年分别制造了实用的一号机，并分别取名为 Unimate (“万能伙伴”之意) 和 Versatran (“多用搬运”之意)。Unimate 机器人外形类似坦克炮塔，采用极坐标结构，而 Versatran 机器人采用圆柱坐标结构。

上述两种工业机器人成为后来机器人结构的主流，美国通用汽车公司和福特汽车公司在其金属冷热加工中，采用这类机器人进行压铸、冲压等的上下料，收到了良好效果。

在欧洲，第一台工业机器人是1963年瑞典Kaviel dt公司发表的程序控制一号操作机。

日本在六十年代初期就开始研制固定程序控制的机械手，并从其他各国引进了用于不同生产过程的机器人，目前已得到迅速发展并很快得到普及（据报导，目前，日产和丰田汽车工业公司等企业，每家都约有 400 台机械手和工业机器人在生产中使用）。

操作机，开始主要用在原子能工业，进行放射性材料处理、加工、实验以及军工易燃、易爆的雷管、引信等装配上。为了避免危险，由人在防保墙外操纵机械手来完成作业。还有锻造操作机，它不是固定在主机上，而是和主机配套的辅机。特点是靠人来操纵，现在这种操作机已发展到很高级的程度，国外称作“主从式操作机”或“操纵型机器人”

或“遥控机器人”。人可以通过机械系统或液压系统去操纵它，也可以用无线电信号进行远距离操纵，用于宇航、星球探测工作。

工业机器人同机械手或操作机相比，从执行动作的部分来说并没有什么根本区别，可以说是同属“一个家族”的产品。但它们的设计思想涉及的技术领域和适用范围则是各不相同的。

三、工业机器人的定义与概念

关于工业机器人，目前世界各国尚无统一定义，分类方法也不尽相同。

卡雷尔·查培克最早给“机器人”所下的定义是：“有劳动能力，没有思考能力，外形象人的东西。”美国一般定义为：“工业机器人是一种可重复编程的多功能操作装置，它可以通过改变动作程序，来完成各种工作，主要用于搬运材料，传递工件和工具”。

日本对工业机器人提出了各种定义，由于所强调的重点不同，所以差别较大。这里仅举1971年日本通产省“工业机器人制造业高度化计划”中的定义，即“工业机器人是整机能够回转，有抓取(或吸住)物件的手爪和能够进行伸缩、弯曲、升降(俯仰)、回转及其复合动作的臂部，带有记忆部件，可部分地代替人进行自动操作的具有通用性的机械”，如图1-3所示。

另据报导，日本对现代工业机器人还有作如下定义的，即“具有人体上肢(臂、手)动作功能，可进行多种动作的装置；或者具有感觉功能，可自主地进行多种动作的装置(智能机器人)”。

日本定义的工业机器人的范围是较广的，他们将工业机

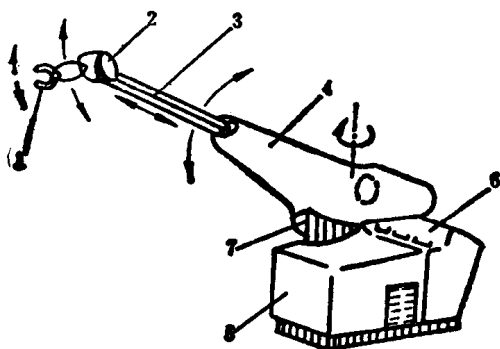


图 1-3 工业机器人示意图

- 1—手爪 2—手腕 3—伸缩臂 4—犬臂
5—主体 6—控制盘 7—立柱

器人分为六类：人控机械手、固定程序控制机器人、可变程序控制机器人、示教再现机器人、数值控制机器人以及智能机器人。

参考国外的定义，结合我国的习惯叫法，我们初步建议对“机械手”和“工业机器人”可作如下定义：

机械手就是附属属于主机，动作简单，工作程序固定，定位点不能灵活改变，用来重复抓放物料的操作手。

工业机器人是一种机体独立，动作自由度较多，程序可灵活变更，能任意定位，自动化程度高的自动操作机械。主要用于搬运物料，传递工件和操作工具。

机械手和工业机器人的区别见表 1-1。

有人把机器人分为“类人型”和“非人型”两种，目前所说的工业机器人属于“非人型”。因为无论从它的外形或结构来说，都和人有很大差异。但是，它虽然不完全具备人体的许多机能（如四肢多自由度灵活运动机能、五官的感

表1-1 机械手和工业机器人的区别

特 点	机 械 手	工 业 机 器 人
独 立 性	附属在主机上，为主机服务	独立的机构和控制系统
灵 活 性	程序固定不能变，定位点不能灵活改变	程序容易改变，定位点可以灵活变更
自 由 度	较 少	较 多
复 杂 性	动作简单重复，单一功能	动作较复杂，多功能
适用的生产方式	大批量单一(或少)品种	多品种中、小批量生产
涉及技术领域	主要是机械结构	机械、液压、气动、电气、自动控制、计算机、人工智能、系统工程等

觉机能等)，但在做某些动作时，它具有和人相同甚至超过人的能力。

工业机器人以刚性高的机械手臂为主体，与人相比，可以有更快的运动速度，可以搬运更重的东西，而且定位精度相当高。它可以根据外部来的指令信号，自动进行各种操作。

由于现代科学技术的发展，提供了工业机器人向智能化发展的可能性。目前，依靠先进技术（如电子计算机、各种传感器和伺服控制系统等）能使工业机器人具有一定的感觉、识别、判断功能，并且这种具有一定智能的机器人，已经开始在生产中应用。

第二节 发展工业机器人的经济意义和社会意义

近年来，国外工业机器人的发展非常迅速。据报导，目

前世界上生产中使用的机械手和工业机器人总台数已达15万台，其中示教再现机器人已达2.8万台，特别突出的是日本，其工业机器人产值，在79~82年四年中，连续以年增长40%的高速度发展，至1982年日本已拥有机械手和各种工业机器人10万台（即占世界的2/3）。另据预测，在今后十年中，美国工业机器人（台数和产值）将会以几何级数增长。欧洲各国也在加快步伐进行机器人的研制和应用。

国外为什么要大力发展工业机器人？总起来说，是机器人的特点满足了社会生产的需要。现对工业机器人的特点及其带来的经济、社会效益分述如下：

（1）机器人对环境的适应性强，能代替人从事危险、有害的操作。在人无法接近的地方，或者在长时间工作对人体有害的场所，机器人都不受影响。只要根据工作环境条件进行合理设计，选用适当的材料和结构，工业机器人就可以在异常高温或低温，异常压力和有害气体、粉尘、放射线作用下，以及冲压、灭火等危险环境中胜任工作。如冶炼、锻造、铸造和热处理车间，温度可达几百度，即使穿防护衣，戴防护面具、手套等，人也难以坚持工作。又如，在金属冲压加工中，工作节拍快，劳动强度大，操作人员稍不留神就会发生事故。此外，在焊接操作中的弧光、高温烟雾和飞溅以及喷漆作业中的毒性有机溶剂等有害人体健康的场所，都需要采用工业机器人来操作。

据不完全统计，1976年日本全国工伤事故人数共113万人，平均每30名工人中有1人，其中比较严重的，伤亡者共33.3万人，平均每100名工人中有1人。此外，矽肺病、肺结核、白血病、腰部损伤、听力损坏等职业病很多，成为严重的社会问题，急待企业积极采取措施加以解决。