

光机电一体化丛书

特种机器人

罗均 谢少荣 翟宇毅 王琦 等编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

光机电一体化丛书

特种机器人

罗 均 谢少荣 翟宇毅 王 琦 等编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

特种机器人是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，可以说是一种具有感知、决策、行动功能的机械电子装置。本书将应用于各种危险或恶劣环境中代替人类工作的特种机器人分为五种类型：地面移动机器人、水下机器人、低空飞行机器人、空间机器人和微机器人（包括微操作），并介绍了特种机器人通用的立体视觉系统。深入浅出地介绍了五类特种机器人的基本原理、关键技术及其应用，比较全面地反映出国内外特种机器人研究和应用的最新进展。本书内容新颖、逻辑性强，既有普及性和实用性，又有一定深度，图文并茂，可读性强。

本书特别适合高等院校机械电子工程、机器人、自动化等专业本科生和研究生相关课程的教材，也可供从事机器人和自动化研究、开发和应用的科技、工程技术人员使用或参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

特种机器人/罗均等编著. —北京：化学工业出版社，
2006.5
(光机电一体化丛书)
ISBN 7-5025-8696-2
I. 特… II. 罗… III. 机器人视觉 IV. TP242
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 051043 号

光机电一体化丛书

特种机器人

罗 均 谢少荣 翟宇毅 王 琦 等编著

责任编辑：任文斗

文字编辑：项 潋

责任校对：陶燕华

封面设计：潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询：(010)64982530

(010)64918013

购书传真：(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14¼ 字数 347 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8696-2

定 价：38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

《光机电一体化丛书》编辑委员会

主 任 林 宋

副主任 王生则 赵丁选 罗 均

委 员 (排名不分先后)

林 宋	王生则	赵丁选	罗 均	胥信平	黎 放
胡于进	何 勇	谢少荣	高国富	崔桂芝	殷际英
方建军	郭瑜茹	徐盛林	文秀兰	周洪江	刘杰生
蒋 蓁	王 琦	杨野平	王东军	尚国清	叶天朝
戴 荣	刘 勇	裴晓黎			

欢迎订阅机电一体化图书

光机电一体化丛书

光节型机器人	28.00 元
光电传感器及其应用	38.00 元
光机电一体化技术产品实例	35.00 元
光机电一体化理论基础	46.00 元
光机电一体化实用技术	32.00 元
光机电一体化系统的软件技术	33.00 元
光机电一体化系统设计	32.00 元
机器人传感器及其应用	35.00 元
楼宇设备自动化技术	28.00 元
微机电系统设计与制造	30.00 元
微型传感器及其应用	28.00 元
先进传感器及其应用	32.00 元
现代控制与驱动技术	27.00 元
现代数控机床	32.00 元
智能传感器及其应用	30.00 元
智能机器人	35.00 元
智能控制工程及其应用实例	26.00 元

其他

光机电一体化设计使用手册（上册）	86.00 元
光机电一体化设计使用手册（上册）	86.00 元
汽车电子技术	39.00 元
机电控制系统	36.00 元
智能传感器信号采集与数据处理（外版）	即将出版

化学工业出版社 出版机械、电气、化学、化工、环境、安全、生物、医药、材料工程、腐蚀和表面技术等专业科技图书。如要出版新著，请与编辑联系。如要以上图书的内容简介和详细目录，或要更多的科技图书信息，请登录 www.cip.com.cn。

地址：(100029) 北京市朝阳区惠新里 3 号 化学工业出版社
邮购：010-64982530, 64918013, 64982630（传真）（发行部邮购科）
编辑：010-64982559, 64982557（工业装备与信息工程出版中心）

序

光机电一体化是激光技术、微电子技术、计算机技术、信息技术与机械技术的相互交叉与融合，是诸多高新技术产业和高新技术装备的基础。它包括产品和技术两方面：光机电一体化产品是集光学、机械、微电子、自动控制和通信技术于一体的高科技产品，具有很高的功能和附加值；光机电一体化技术是指其技术原理和使光机电一体化产品得以实现、使用和发展的技术。

目前，国际上产业结构的调整使得各个行业不断融合和协调发展。作为光学、机械与电子相结合的复合产业，光机电一体化以其特有的技术带动性、融合性和普适性，受到了国内外科技界、企业界和政府部门的特别关注，在提升传统产业的过程中，它以其高度的创新性、渗透性和增值性，成为未来制造业的支柱，被誉为 21 世纪最具魅力的朝阳产业。我国已经将发展光机电一体化技术列为重点高新科技发展项目。

随着光机电一体化技术的不断发展，各个行业的技术人员对其兴趣和需求也与日俱增。《光机电一体化丛书》第一批（共 9 册）的出版，受到了广大读者的欢迎。为满足读者的进一步需求，我们联合北方工业大学、上海交通大学、东华大学、华中科技大学、海军工程大学、北京机械工程学院、中国船舶工业集团船舶系统工程部、上海大学、吉林大学、江汉大学、河南理工大学等高校的教师及科研部门的工程技术人员编写《光机电一体化丛书》第二批（共 21 册），拟在 2005 年初开始陆续出版发行，主要内容为光机电一体化技术在测试传感、驱动控制、激光加工、精密加工、机器人等方面的应用，以满足科研单位、企业和高等院校的科研及生产和教学的需求，为有关工程技术人员在开发光机电一体化产品时，提供有价值的参考素材。

本丛书的基本特点是：①内容新颖，力求及时地反映光机电一体化技术在国内外的最新进展和作者的有关研究成果；②系统全面，丛书分门别类地归纳总结了光机电一体化技术的基本理论和在国民经济各个领域的应用实例，重点介绍了光机电一体化技术的工程应用方法和实现方法；③深入浅出，每本书重点突出，注重理论联系实际，既有一定的理论深度，又具有很强的实用性，力求满足不同层次读者的需求，适合工程技术人员阅读和高校机械类专业教学的需要。

由于本丛书涉及内容广泛，相关技术发展迅速，加之作者水平有限，时间紧促，书中错误和不妥之处在所难免，恳请专家、学者和读者不吝赐教。

《光机电一体化丛书》编辑委员会

2004 年 10 月于北京

前 言

机器人的诞生与发展是 20 世纪人类最伟大的成就之一，虽然在 20 世纪 50 年代末诞生的第一台机器人是工业机器人，但特种机器人在最近 20 年的发展相当迅速，在地面上工作的有排爆机器人、娱乐机器人、军用机器人、医疗机器人、狭窄空间机器人、核工业机器人、农业机器人、教学机器人、机器人化机器、仿人机器人等，在低空执行侦察或作业的有各种飞行机器人，在离地球几亿公里的火星上有行星探测机器人。在浩瀚的太空中有空间机器人，在深达几千米的海底有深海机器人，在江海湖泊中也有浅水机器人，在微观世界中同样也存在微型机器人、微操作机器人以及微定位机器人，在我们生活的世界里，机器人无处不在，随着将来各种服务机器人的发展，机器人除了给人类带来巨大的经济效益和社会效益外，还将深刻地改变人类的生活方式。

机器人可以分为工业机器人和特种机器人，工业机器人就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人，而特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各类先进机器人，简单地说，特种机器人是一种具有感知、决策、行动功能的机械电子装置。本书将特种机器人分为五大类：水下机器人、地面移动机器人、低空飞行机器人、空间机器人和微机器人。全书共分 7 章，第 1 章介绍了机器人与特种机器人的概念和区别。第 2 章介绍了地面移动机器人，包括轮式移动机器人、履带式移动机器人、步行机器人、地面排爆机器人和特殊表面移动机器人。第 3 章介绍了水下机器人，包括水下机器人的结构、驱动能源、导航与定位系统、操纵性与控制以及作业执行系统等。第 4 章介绍了低空飞行机器人，包括飞行机器人的概念、飞行控制传感器、数据链路、地面控制站、导航控制以及定翼、旋翼、飞艇机器人。第 5 章介绍了空间机器人，除了介绍空间机器人的重力补偿、深空通讯技术外，还重点介绍了“勇气号”火星探测机器人的技术细节。第 6 章介绍了微机器人，包括本体微型的机器人、微操作机器人和微定位机器人。第 7 章介绍了特种机器人通用的立体视觉系统。

本书第 1 章、第 2 章、第 4 章主要由罗均博士编著；第 6 章、第 7 章主要由谢少荣博士编著；第 3 章由翟宇毅副教授编著；第 5 章由王琦副教授编著；其中第 4 章的第 5 节、第 6 节由蒋蓁教授编著；第 2 章的第 3 节、第 6 章的第 2 节由吴安德博士编著。全书由罗均博士统稿。机器人专家龚振邦教授审阅了全书，提出了非常宝贵的意见，实验室的邓寅喆博士、刘武发博士、饶进军博士、王东红硕士、胡崑峰硕士为本书进行了大量的研究工作，博士后陈丽，博士生高同耀、硕士生乔开军、邢兰兴、周焱、唐文、谢璞、郝山波、卢兵仔等为本书做了大量的协助工作。

本书中的部分内容是国家自然科学基金（50405046）和上海市优秀青年教师项目（04Y0HB094）的研究内容。

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正和讨论。

编 者
2006 年 4 月于上海

目 录

第 1 章 工业机器人与特种机器人	1
1.1 机器人的定义和产生	1
1.1.1 机器人的定义	1
1.1.2 机器人的产生与发展	2
1.2 工业机器人	4
1.2.1 工业机器人的组成	4
1.2.2 工业机器人的典型机构	7
1.3 特种机器人的分类和共性技术	8
1.4 基于行为的特种机器人体系结构	9
第 2 章 地面移动机器人	12
2.1 轮式移动机器人	12
2.1.1 地面移动机器人车轮形式	12
2.1.2 地面移动机器人车轮的配置和转向机构	14
2.1.3 三轮移动机器人运动分析	15
2.2 履带式移动机器人	16
2.2.1 履带移动机器人的本体结构	17
2.2.2 履带移动机器人的越障原理	19
2.3 步行机器人	20
2.3.1 步行机器人的腿机构	21
2.3.2 步行机器人的发展过程	22
2.3.3 两足步行机器人动力学模型	24
2.4 地面排爆机器人	25
2.4.1 轮式地面排爆机器人	26
2.4.2 履带式地面排爆机器人	27
2.4.3 轮履复合式地面排爆机器人	30
2.5 特殊表面移动机器人	31
2.5.1 缆索机器人的机构设计	31
2.5.2 动态响应分析	32
第 3 章 水下机器人	36
3.1 水下机器人概述	36
3.1.1 国外水下机器人的发展现状	36
3.1.2 国内水下机器人的发展现状	37
3.1.3 水下机器人的分类	38
3.1.4 水下机器人研究实例	39
3.2 水下机器人结构	40
3.3 水下机器人的驱动能源	44
3.3.1 电力	44
3.3.2 电动机	45

3.3.3	电池组	46
3.3.4	水下机器人的动力系统	49
3.4	水下机器人的导航与定位系统	50
3.4.1	航位推算法	50
3.4.2	水声导航	52
3.4.3	终端导航装备	55
3.5	水下机器人的操纵性与控制	56
3.6	水下机器人的作业执行系统	61
3.6.1	概述	61
3.6.2	水下机械手	61
3.6.3	水下工具包	63
第4章	低空飞行机器人	65
4.1	无人机与飞行机器人	65
4.1.1	无人机	65
4.1.2	无人机与飞行机器人	68
4.1.3	飞行机器人的研究现状	69
4.1.4	飞行机器人系统的组成	72
4.2	飞行机器人的姿态与导航传感器	73
4.2.1	陀螺仪	73
4.2.1.1	陀螺仪的基本特性	73
4.2.1.2	振动陀螺仪	75
4.2.1.3	MEMS陀螺	75
4.2.1.4	光学陀螺仪	75
4.2.2	MEMS加速度传感器	76
4.2.2.1	微电容式加速度传感器	76
4.2.2.2	微压阻式加速度传感器	77
4.2.2.3	微热电偶式加速度传感器	77
4.2.2.4	微谐振式加速度传感器	78
4.2.2.5	微光波导加速度传感器	79
4.2.3	惯性导航系统	79
4.2.3.1	平台式惯性导航系统	80
4.2.3.2	捷联式惯性导航系统	81
4.2.4	气压式高度传感器	82
4.2.5	空速传感器	84
4.2.6	磁阻传感器	86
4.3	飞行机器人的数据链路	87
4.3.1	数传电台	87
4.3.1.1	数字数传电台的性能特点	87
4.3.1.2	数传电台的调制方式	88
4.3.1.3	数字数传电台的设计与组网	88
4.3.2	无线局域网	89
4.3.2.1	无线局域网协议	90
4.3.2.2	无线局域网的关键技术	91
4.3.2.3	无线局域网的组网	92

4.3.3	GPRS 公网数据传输	95
4.3.3.1	GPRS 接口	95
4.3.3.2	数据帧格式	96
4.4	飞行机器人的地面控制站	96
4.4.1	基于 PC 机平台的飞行机器人地面控制站系统	96
4.4.1.1	地面站控制系统的功能	97
4.4.1.2	地面站控制系统的组成单元	99
4.4.2	基于 32 位的 ARM7 系统的飞行机器人手持式地面控制站系统	100
4.4.2.1	硬件设计	101
4.4.2.2	软件系统设计	102
4.4.2.3	键盘摇杆命令输入分析模块	103
4.4.2.4	飞控数据采集模块	103
4.4.2.5	数据分析模块	104
4.4.2.6	CF 卡操作模块	104
4.4.2.7	与 PC 机通信模块	104
4.5	定翼飞行机器人	105
4.5.1	定翼飞行机器人的刚体运动方程	105
4.5.2	线性化小扰动运动方程	106
4.5.3	定翼飞行机器人的飞行控制	107
4.6	旋翼飞行机器人	107
4.6.1	旋翼飞行机器人上的外力	107
4.6.2	旋翼飞行机器人操纵机构的力学分析	109
4.6.3	贝尔希勒翼动力学分析	111
4.6.4	旋翼飞行机器人的全量方程	112
4.6.5	旋翼飞行机器人的飞行控制	114
4.6.5.1	单桨旋翼飞行机器人的飞行控制	114
4.6.5.2	四桨旋翼飞行机器人的飞行控制	114
4.7	气浮飞行机器人	116
4.7.1	飞艇分类及分析	117
4.7.2	飞艇的结构设计	118
4.7.3	飞艇的动力学建模	121
4.7.4	飞艇的控制系统结构	124
4.8	飞行机器人的导航控制	126
4.8.1	导航系统的组成结构	126
4.8.2	自主导航过程和算法	126
4.8.2.1	导航坐标系、航路点、航线设立	126
4.8.2.2	导航的算法	127
4.8.3	GPS 接收数据的处理和出错处理	129
4.8.3.1	GPS 数据处理	129
4.8.3.2	GPS 接收数据中断或出错的处理	130
第 5 章	空间机器人	132
5.1	空间机器人的特点和分类	132
5.1.1	空间机器人的用途	132
5.1.2	空间机器人的特点和分类	133

5.1.2.1	空间环境对空间机器人设计的要求	133
5.1.2.2	空间机器人的分类	134
5.2	空间机器人的重力补偿及研究概况	136
5.2.1	空间机器人研究的特殊性	136
5.2.2	空间机器人的重力补偿系统	137
5.2.3	国外空间机器人发展概况	138
5.3	空间机器人的深空通信技术	141
5.3.1	深空通信中提高信噪比的方法	141
5.3.2	国际深空通信的概况	143
5.3.3	深空通信天线组阵技术	145
5.4	火星探测空间机器人	148
5.4.1	概述	148
5.4.2	航天器	150
5.4.3	探测空间机器人	155
5.4.4	“勇气号”机器人进入火星大气层、降落、登陆过程	162
第6章	微机器人与微操作	165
6.1	微机器人的概念和 MEMS 基础	165
6.2	微型机器人	167
6.2.1	电磁驱动微小型机器人的运动原理	167
6.2.2	惯性冲击式微小型机器人的运动原理	169
6.2.3	螺旋轮式微小型机器人的运动原理	170
6.2.4	尺蠖式微小型机器人的运动原理	170
6.2.5	足式微小型机器人	171
6.2.6	微型飞行器	171
6.2.6.1	微型飞行器的研究实例	172
6.2.6.2	微型飞行器的微动力系统	173
6.2.6.3	微型飞行器的关键技术	174
6.3	微操作机器人	175
6.3.1	微操作机器人系统	175
6.3.2	拟实环境的结构	177
6.3.3	微操作拟实环境辅助微操作工具 z 方向定位	178
6.4	微定位机器人	180
第7章	特种机器人的双目立体视觉系统	182
7.1	概述	182
7.2	双目立体视觉系统设计	183
7.2.1	双目立体视觉测距原理	183
7.2.2	双目立体视觉系统描述	184
7.2.3	双目立体视觉系统流程	185
7.2.4	图像坐标系、世界坐标系和摄像机坐标系	187
7.2.5	视觉传感器的结构分析及其模型	188
7.2.5.1	交向摆放的视觉传感器及模型	188
7.2.5.2	正直摆放的视觉传感器及模型	190
7.3	摄像机的标定	190
7.3.1	透视变换和理想的针孔摄像机模型	191

7.3.2	摄像机镜头畸变.....	192
7.3.3	摄像机标定方法.....	193
7.3.3.1	利用透视变换矩阵的摄像机标定方法.....	193
7.3.3.2	直接线性变换法.....	195
7.3.3.3	双平面法.....	196
7.3.3.4	两步法.....	197
7.4	立体匹配算法研究	199
7.4.1	立体匹配的基本问题.....	199
7.4.2	匹配基元的选择.....	199
7.4.3	匹配准则.....	200
7.4.3.1	极线约束.....	200
7.4.3.2	唯一性约束.....	201
7.4.3.3	视差一致性约束.....	201
7.4.3.4	连续性约束.....	201
7.4.3.5	相容性约束.....	202
7.4.3.6	顺序一致性约束.....	202
7.4.4	算法结构.....	202
7.4.5	立体匹配算法.....	203
7.4.6	区域相关匹配.....	203
7.4.6.1	相似性测度.....	203
7.4.6.2	匹配搜索方案.....	205
7.4.6.3	区域匹配的优缺点.....	205
7.4.6.4	改进的算法概述.....	206
7.4.7	一种新的立体匹配算法.....	207
7.4.7.1	生物信息学中双 DNA 序列比对算法	207
7.4.7.2	基于双序列比对算法的立体匹配方法.....	208
7.4.7.3	算法改进.....	208
7.4.7.4	实验结果.....	210
7.4.8	立体匹配存在的难点及算法评估.....	211
7.5	深度信息获取	212
7.5.1	概述.....	212
7.5.2	改进的立体匹配算法.....	212
7.5.2.1	基本原理.....	212
7.5.2.2	算法流程.....	213
参考文献		215

第 1 章 工业机器人与特种机器人

1.1 机器人的定义和产生

1.1.1 机器人的定义

作为 20 世纪人类最伟大发明之一的机器人技术正不断让整个世界为之惊叹：

北京时间 1997 年 5 月 12 日凌晨 4 点 50 分，当“深蓝”将棋盘上的兵走到 C4 位置时，卡斯帕罗夫推枰认负。至此轰动全球的第二次人机大战结束，“深蓝”以 3.5 : 2.5 的微弱优势取得了胜利。“深蓝”是美国 IBM 公司生产的一台超级国际象棋机器人，质量为 1270kg，有 32 个大脑（微处理器），每秒钟可以计算两亿步，而卡斯帕罗夫是人类有史以来最伟大的棋手，可是，在临近 20 世纪末的 1997 年，卡斯帕罗夫不得不承认自己输了，而战胜他的是一台没有生命力、没有感情的机器人。

北京时间 2004 年 1 月 4 日 12 点 35 分，美国“勇气号”火星探测机器人在太空中经过 206 个昼夜飞行长达上亿千米后成功登陆火星，这是继 1996 年美国“火星探路者”之后人类探索火星的又一壮举。到北京时间 2006 年 4 月初为止，“勇气号”火星探测机器人在火星上工作了 800 个工作日，“勇气号”火星探测机器人不仅在火星表面上行走了近 7km 的距离，而且传回近万张火星表面的全景照片并对火星岩石进行了取样分析，找到了火星上曾经存在水的一些证据。

这两个机器人事件中的主角“深蓝”和“勇气号”火星探测器都不具有人形，但都被称为机器人。其实“机器人”这个词起源于捷克作家卡雷尔·卡佩克（Karel Capek）在 1920 年发表的科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》（Rossums Universal Robots）。在剧本中，卡佩克把捷克语“Robota”写成了“Robot”，“Robota”是一家公司发明的形状像人的机器，可以听从人的命令做各种工作。自此以后，像人一样的机器出现在很多的科幻小说中，我国干脆就将“Robot”翻译成“机器人”。其实，“机器人”不全是像人一样的机器，是一种可以运动的机械电子装置。虽然是卡佩克将“Robot”这个词代表的一种机械电子装置的概念推向了世界，但是“Robotics”（机器人学）这个词是由美国科幻小说家伊塞克·阿西莫夫首次提出来的，并且他在 1950 年出版的《我，机器人》一书中提出了“机器人三原则”：

- ① 机器人不可伤害人或由于故障而使人遭受不幸；
- ② 机器人应执行人所下达的指令，除非这些指令与原则①相矛盾；
- ③ 在原则①、②不矛盾的前提下，机器人应能保护自己的生存。

那么，什么是机器人呢？国内外不同的学者对机器人有不同的定义。英国牛津字典的定义为：“貌似人的自动机，具有智力的和顺从于人的但不具有人格的机器”。日本机器人学者森政弘与合田周平提出的定义为：“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 7 个特征的柔性机器。”日本著名机器人专家加藤一郎提出了机器人应具有“脑、手、脚等三要素的个体”、“非接触传感器（用眼、再接受远方信息）和接触传感器”、“平衡觉和固有觉的传感器”3 个条件的定义。日本工业机器人协会的定义为：“一种装备有记忆装置和末端执行装置的、能够完成各种移动来代替人类劳动的通用机

器。”法国的埃斯皮奥将机器人定义为：“机器人学是指设计能根据传感器信息实现预先规划好的作业系统，并以此系统的使用方法作为研究对象。”美国机器协会的定义：“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过程序动作来执行各种任务，并具有编程能力的多功能操作机。”美国国家标准局的定义为：“一种能够进行编程并在自动控制下执行某种引起操作和移动作业任务的机械装置。”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，这种操作机具有几个轴，能够借助可编程操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行各种任务。”中国机器人学者对机器人的一种定义为：“机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。”中国机器人学者周远清综合了国外机器人专家的定义后，提出了机器人应具有的特点为：“机器人的动作机构具有类似于人或其他生物体某些器官的功能；机器人具有通用性，工作种类多样，动作程序灵活易变；机器人具有不同程度的智能性，如记忆、感知、推理、决策、学习等；机器人具有独立性，完整的机器人系统在工作中可以不依赖于人的干预。”中国机器人专家龚振邦也提出了机器人的综合定义：“机器人是一种在计算机控制下的可编程的自动机器，根据所处的环境和作业的需要，它具有至少一项或多项拟人功能，如抓取功能或移动功能，或两者兼有之，另外还可能程度不等地具有某些环境感知功能（如视觉、力觉、触觉、接近觉等）以及语音功能乃至逻辑思维、判断决策功能等，从而使它能在要求的环境中代替人进行作业。”本书主要讨论特种机器人，所以认为：“机器人是一种具有感知、决策、行动功能的机械电子装置。”需要说明的是，本书中关于机器人的描述仅仅是对机器人的简单表达，随着微电子、信息技术、材料、生物等技术和机器人技术的飞速发展，机器人所涵盖的内容越来越丰富，机器人的定义也不断充实和创新。

1.1.2 机器人的产生与发展

尽管在之前人类就制作过一些自动化装置，然而人们还是公认“机器人时代”开始于1954年，因为乔治·德渥（George Devol）在那一年取得了附有重放记忆装置的第一台机械手专利权。该设备能够执行从一点到另一点的受控运动。1958年，同被誉为“机器人之父”的约瑟夫·英格尔伯格（Joseph F. Engelberger）和乔治·德渥（George Devol）创建了世界上第一个机器人公司——Unimation公司，并参与设计了第一台“尤尼梅特”（Unimate）机器人，意思是“万能自动”，如图 1-1 所示。该机器人的基座上有一个大机械臂，大臂可

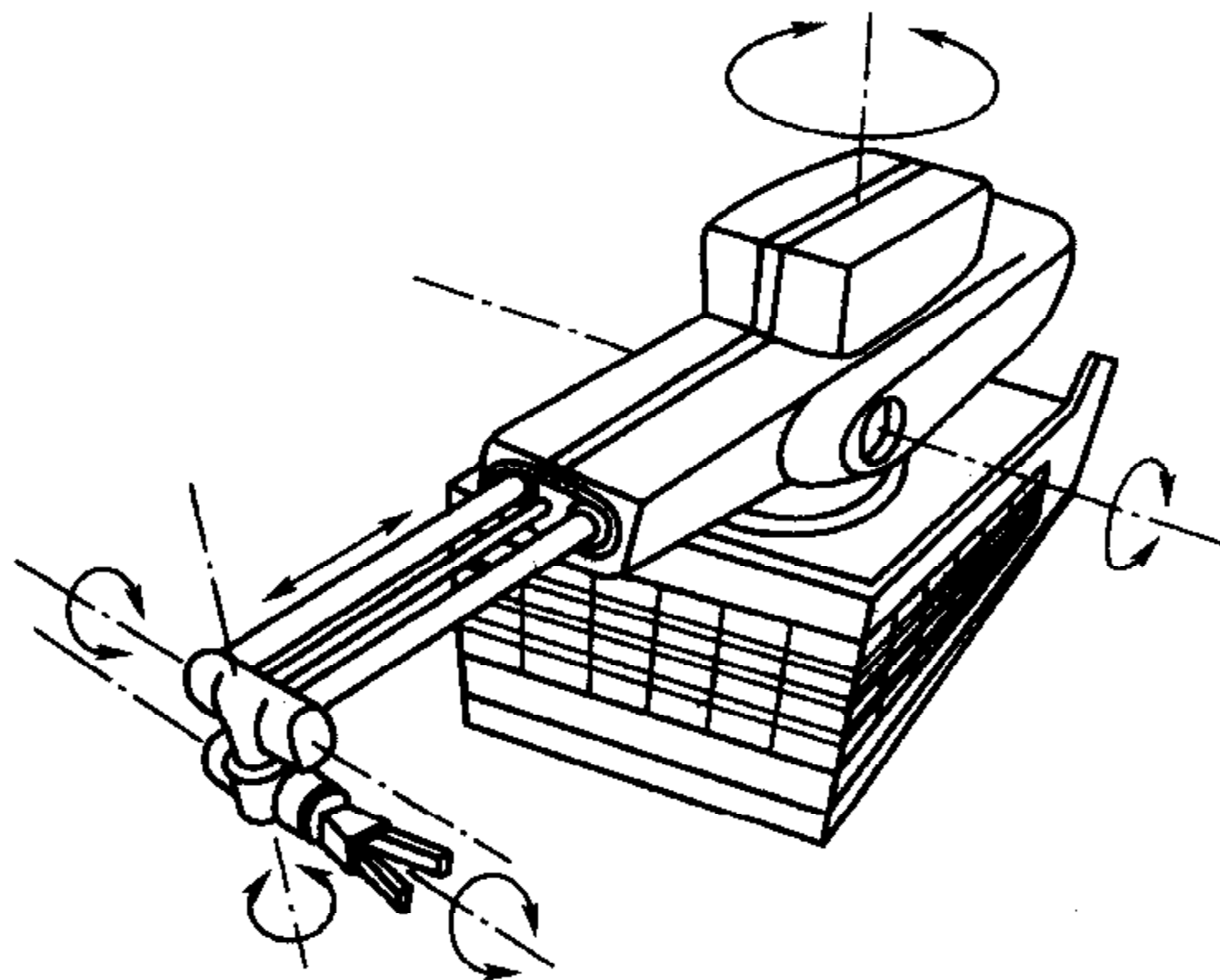


图 1-1 “尤尼梅特”机器人

绕轴在基座上转动，大臂上又伸出一个小机械臂，它相对大臂可以伸出或缩回。小臂顶有一个腕关节，可绕小臂转动，进行俯仰和横滚。腕关节前头是手，即操作器。这个机器人的功能和人手臂功能相似。该机器人用于压铸的五轴液压驱动，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，另一家美国的 AMF 公司也开始研制工业机器人，1962 年美国机械与铸造公司也制造出工业机器人，称为“沃尔萨特兰”(Versatran)，意思是“万能搬动”。“沃尔萨特兰”机器人如图 1-2 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“尤尼梅特”(Unimate)和“沃尔萨特兰”(Versatran)机器人是世界上最早的工业机器人，并且至今仍在使用。

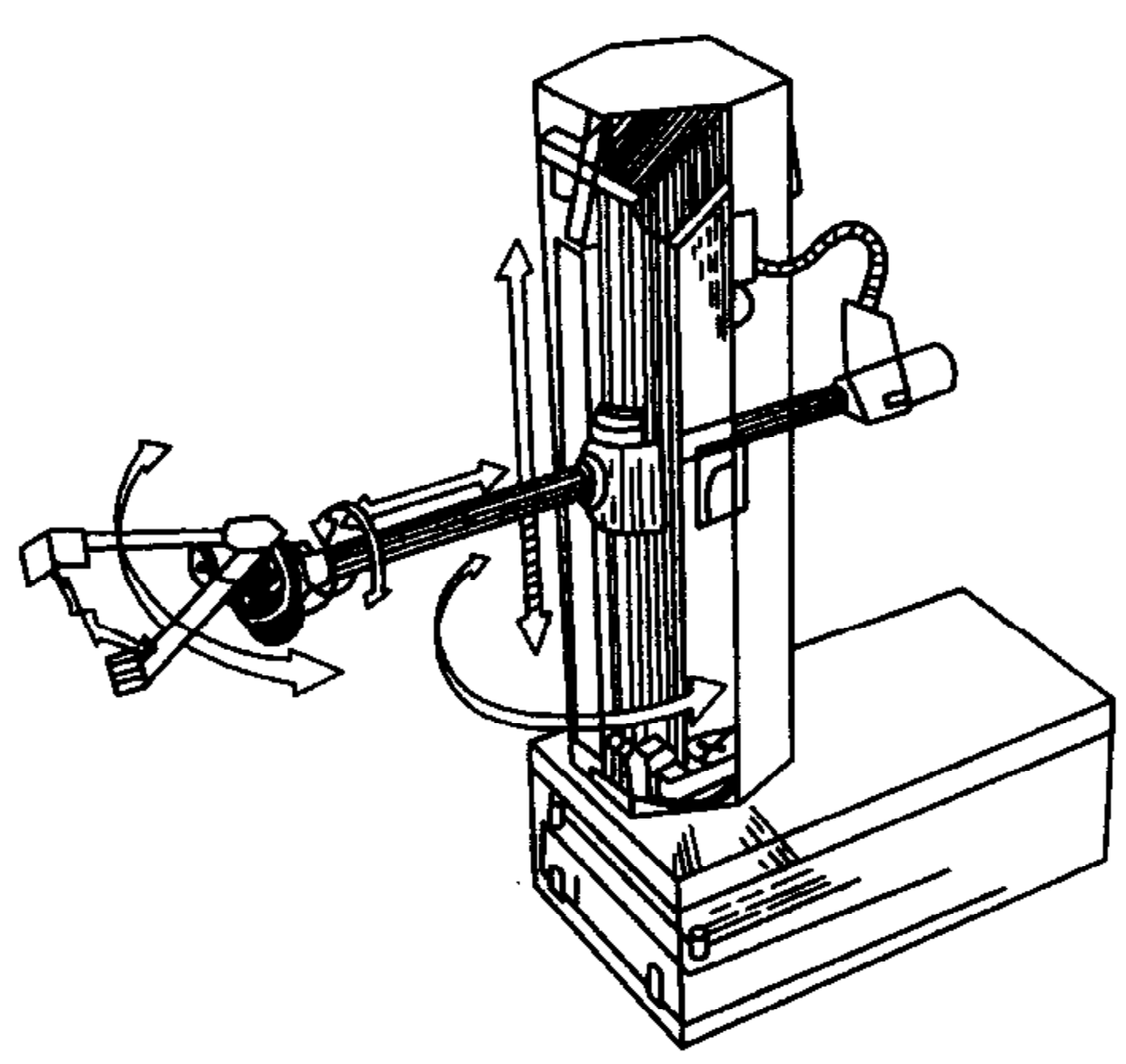


图 1-2 “沃尔萨特兰”机器人

自“尤尼梅特”和“沃尔萨特兰”之后，机器人发展较为迅速。1968 年日本川崎重工从美国引进 Unimate 机器人，1971 年日本成立工业机器人协会，1971~1981 年，日本工业机器人年产量增加了 25 倍，到 1981 年日本机器人占有量为全世界的 57.5%。1975 年美国机器人协会成立。1978 年第一台 PUMA 机器人在通用汽车投入使用。1970~1980 年美国机器人占有量增加了 20 倍以上。到 1982 年，全世界机器人总数已达到 5.7 万台，到 1985 年，全世界机器人总数已达到 14 万台，到 1993 年，全世界机器人总数已达到 61 万台，截止到 2004 年，世界各国历年累计销售工业机器人总台数达到了 150 万台，还装备了 120 万台服务机器人，其中在 2004 年就装备了 55 万台服务机器人，预计到 2008 年，世界各国将出售 700 万台服务机器人（资料来源于联合国欧洲经济委员会 UNECE 和国际机器人联合会 IFR）。总的来说，机器人的发展过程大致经历了 3 个阶段。

① 第一代机器人 可以称为示教再现机器人，机器人没有装备任何传感器，对环境没有感知能力。机器人的作业路径、运动参数需要操作人员手把手示教或通过编程设定，在示教过程中，机器人各关节的几何参数的变化被检测出来，并自动储存。到工作时，机器人会在这些储存数据的指令下驱动关节重复再现示教的内容。目前商品化、实用化的机器人大多是此类机器人。

② 第二代机器人 可以称为有感觉的机器人，此种机器人配备了简单的内、外部传感器，能感知自身运行的速度、位置、姿态等物理量，并以这些信息的反馈构成闭环控制，如

配备简易视觉、力觉传感器等简单的外部传感器，因而具有部分适应外部环境的能力。20世纪80年代，第二代机器人在国外已进入实用化，并在工业生产中开始得到了应用。

③ 第三代机器人 可以称为智能机器人，具有多种内、外部传感器组成的感觉系统，不仅具有比第二代机器人更完善的环境感知功能，可以感知内部关节的运行速度、力的大小等参数，还可通过外部传感器，如视觉传感器、触觉传感器等，而且对外部环境信息进行感知、提取、处理并做出一定的思维、判断和决策，根据作业要求和环境信息，自主地进行工作。目前，智能机器人尚处于研究和发展阶段。

机器人自诞生之日起到现在，已经经历了三代的发展，那么机器人是如何分类的，在国际上还没有制定统一的标准，有的按负载分，有的按控制方式分，有的按自由度分，有的按结构分，有的按应用领域分。从机器人产生、发展、技术本身和应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。工业机器人就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人，包括装配机器人、焊接机器人、搬运机器人等。特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括：服务机器人、飞行机器人、空间机器人、排爆机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、微型机器人、医疗机器人、地下机器人、狭窄空间机器人、核工业机器人、农业机器人、教学机器人、机器人化机器、仿人机器人等。有些类型的机器人之间有概念重叠。本书中将特种机器人按照应用的空间分为地面移动机器人、水下机器人、低空飞行机器人、空间机器人以及微机器人5类立体应用分布的机器人。

1.2 工业机器人

1.2.1 工业机器人的组成

工业机器人由执行机构、控制系统、驱动系统和传感系统四部分组成。

(1) 执行机构

执行机构也叫操作机，由一系列连杆和关节或其他形式的运动副所组成，可实现各个方向的运动，它包括基座、腰、臂、腕和手等部件（图1-3）。

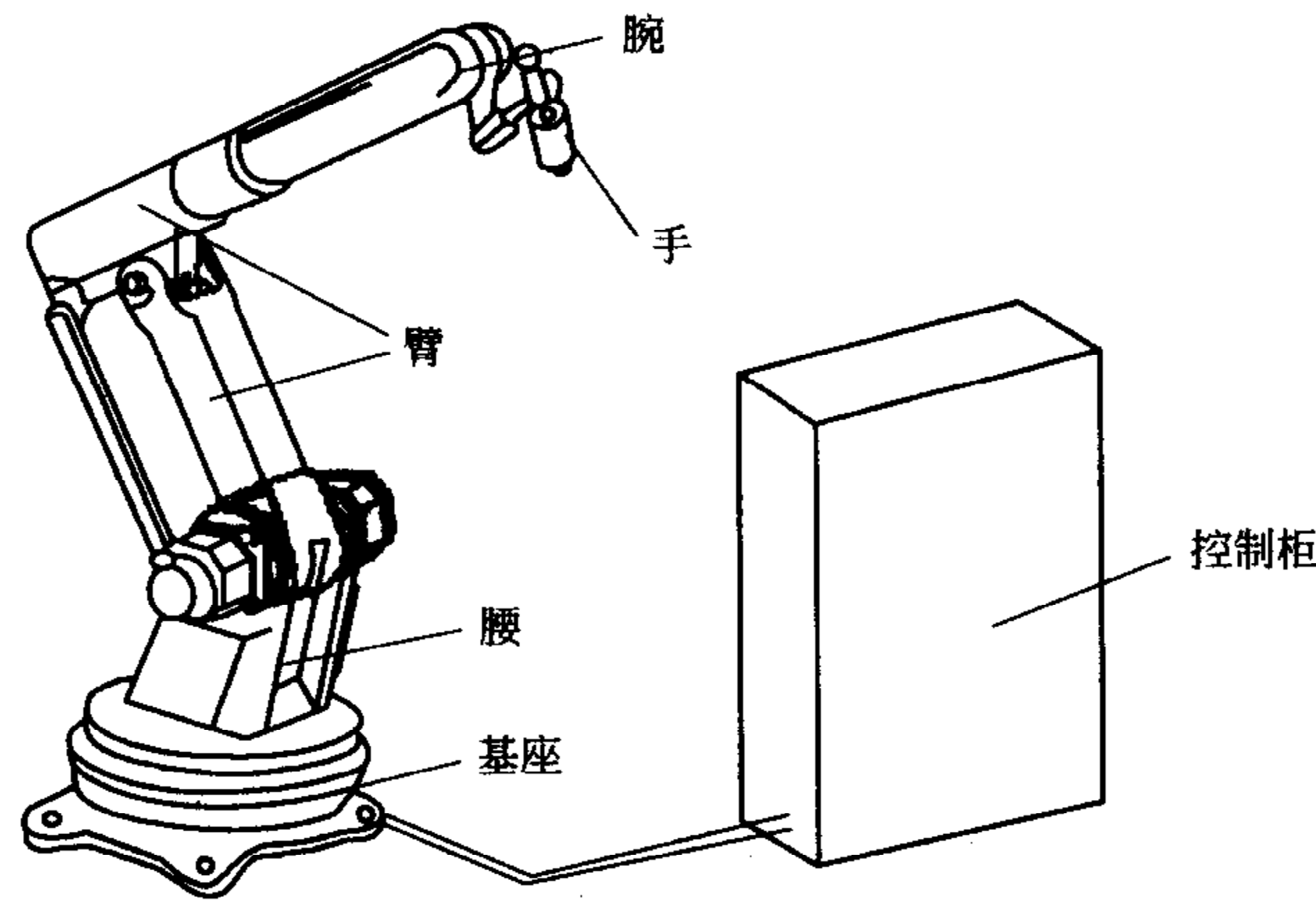


图 1-3 工业机器人的组成

① 基座 基座是机器人的基础部分，整个执行机构和驱动系统都安装在基座上。有时为了能使机器人完成较远距离的操作，可以增加行走机构，行走机构多用滚轮式或履

带式，行走方式分为有轨与无轨两种。近年内发展起来的步行机器人，其行走机构多为连杆机构。

② 腰 腰是臂的支承部分，根据执行机构坐标系的不同，腰可以是在基座上转动的，也可以和基座制成一体。有时腰也可以通过导杆或导槽在基座上移动，从而增大工作空间。腰的转动大多用回转油缸来实现，腰的移动则多数用直线油缸来完成。

③ 臂 臂是执行机构中的主要运动部件，它用来支承腕和手，并使它们在工作空间内运动。为了使手能达到在工作空间内的任意位置，臂至少应具有 3 个自由度，少数专用的工业机器人臂自由度可以少于 3 个。

臂的运动可归结为直线运动和回转运动两种形式。直线运动多数通过油（汽）缸驱动来实现，也可以通过齿轮、齿条、滚珠丝杠、直线电动机等来实现。回转运动的实现手段很多，如蜗杆蜗轮式；油缸活塞杆上的齿条驱动齿轮的方式；油缸通过链条驱动链轮转动；利用油缸活塞杆直接驱动臂回转的方式；由步进电动机通过齿轮传动使臂回转；由直流电动机通过谐波传动装置减速，驱动臂回转等。

④ 腕 腕是连接臂与手的部件，用于调整手的方向和姿态。一般腕具有 2 个转动自由度，但对于复杂的作业，有时需要 3 个转动自由度。

⑤ 手 手一般指夹持装置，主要用来按操作顺序和位置传送工件。根据工作原理的不同，夹持装置可分为机械夹紧式、真空抽吸式、气（液）压张紧式和磁力式四种。

机械夹紧式夹持器可分为回转式和移动式两类。回转式夹持器一般可看成是一对以滑块为主件的平面四杆机构。移动式夹持器由于其工作原理简单，能避免回转式夹持器带来的定位误差，故也常为实际生产所采用，缺点是尺寸较大，增加了重量，不适于在较小的操作空间中使用。

真空抽吸式夹持器也叫气吸式夹持器，它通过吸盘对工件进行操作，适于搬运玻璃制品、薄片形零件、纸袋等，吸盘用橡胶或塑料制成，产生真空的方法有真空泵抽吸和气流负压抽吸两种，后者是利用气流在高速流动时产生的负压来使吸盘工作的。

气（液）压张紧式夹持器一般使用气体作充压介质，一个可以充气放气的气垫，外围有金属框架，气垫充压时，便使工件得到夹紧。这种夹持器简单可靠，夹持平稳，价格便宜，在夹持圆柱形易碎物品时更为理想。

磁力式夹持器与一般电磁吸盘的原理相同，可分为永磁式和电磁式两种。永磁式能在易爆、易燃的环境中安全工作，但吸盘上需附设顶杆以卸下工件，增加了结构的复杂性，同时还容易吸附一些铁屑和杂物，电磁式的吸盘上不需附设卸下工件的装置。

（2）驱动系统

驱动系统主要指驱动执行机构的传动装置，根据动力源的不同，可分为电动、液压和气动三种。液压驱动系统可以和执行机构组合在一起，也可以安装在单独的液压柜中。驱动系统中的驱动器，如电动机、汽缸、油缸可以与操作机直接相连，也可以通过齿轮、链条、谐波传动装置等与执行机构相连。

① 液压驱动方式 液压传动的机器人具有比较大的抓举能力，可高达上百公斤力，因为液压的压强比较高，一般油压选用 0.7kgf/mm^2 左右。液压系统介质的可压缩性小，液压传动式机器人结构紧凑、传动平稳、动作灵敏，可以得到较高的位置精度。另外，液压系

● $1\text{kgf/mm}^2 = 100\text{kgf/cm}^2 = 9806.65\text{kPa}$ ，下同。