

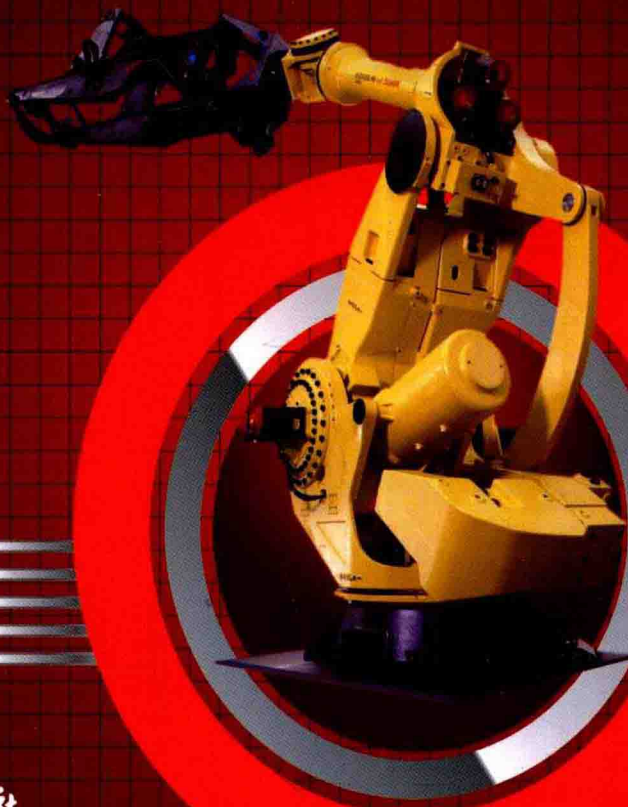


INDUSTRIAL ROBOT

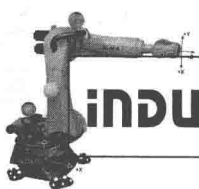
工业机器人

应用基础

王大伟 主编



化学工业出版社



INDUSTRIAL ROBOT

工业机器人 应用基础

王大伟 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人应用基础/王大伟主编. —北京: 化学工业出版社, 2018. 1

ISBN 978-7-122-30929-7

I. ①工… II. ①王… III. ①工业机器人 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 272548 号

责任编辑: 王 焯
责任校对: 王 静

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 高教社 (天津) 印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 11½ 字数 310 千字 2018 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.80 元

版权所有 违者必究

近年来,我国机器人行业在国家政策的支持下,顺势而为,发展迅速,保持着35%的高增长率,远高于德国的9%、韩国的8%和日本的6%。我国已连续两年成为世界第一大工业机器人市场。

我国工业机器人市场之所以能有如此迅速的增长,主要源于以下三点。

(1) 劳动力的供需矛盾。主要体现在劳动力成本的上升和劳动力供给的下降。在很多产业,尤其在中低端工业产业,劳动力的供需矛盾非常突出,这对实施“机器换人”计划提出了迫切需求。

(2) 企业转型升级的迫切需求。随着全球制造业转移的持续深入,先进制造业回流,我国的低端制造业面临产业转移的风险,迫切需要转变传统的制造模式,降低企业运行成本,提升企业发展效率,提升工厂的自动化、智能化程度。而工业机器人的大量应用,是提升企业产能和产品质量的重要手段。

(3) 国家战略需求。工业机器人作为高端制造装备的重要组成部分,技术附加值高,应用范围广,是我国先进制造业的重要支撑技术和信息化社会的重要生产装备,对工业生产、社会发展以及增强军事国防实力都具有十分重要的意义。

随着机器人技术及智能化水平的提高,工业机器人已在众多领域得到了广泛的应用。其中,汽车、电子产品、冶金、化工、塑料、橡胶是我国使用机器人最多的几个行业。未来几年,随着行业需要和劳动力成本的不断提高,我国机器人市场增长潜力巨大。尽管我国将成为当今世界最大的机器人市场,但每万名制造业工人拥有的机器人数量却远低于发达国家水平和国际平均水平。工信部组织制订了我国机器人技术路线图及机器人产业“十三五”规划,到2020年,工业机器人密度达到每万名员工使用100台以上。我国工业机器人市场将高倍速增长,未来十年,工业机器人是看不到“天花板”的行业。

虽然多种因素推动着我国工业机器人行业不断发展,但应用人才严重缺失的问题清晰地摆在我们面前,这是我国推行工业机器人技术的最大瓶颈。中国机械工业联合会的统计数据表明,我国当前机器人应用人才缺口20万,并且以每年20%~30%的速度持续递增。

工业机器人作为一种高科技集成装备,对专业人才有着多层次的需求,主要分为研发工程师、系统设计与应用工程师、调试工程师和操作及维护人员四个层次。其中,需求量最大的是基础的操作及维护人员以及掌握基本工业机器人应用技术的调试工程师和更高层次的应用工程师,工业机器人专业人才的培养,要更加着力于应用型人才的培养。

为了适应机器人行业发展的形势,满足从业人员学习机器人技术相关知识的需求,我们从生产实际出发,组织业内专家编写了本书,全面讲解了工业机器人组成与工作原理等基础、工业机器人的机械结构、机器人的感觉系统、工业机器人控制与驱动系统、工业机器人操作基础、工业机器人的调整与保养等内容,以期给从业人员和大学院校相关专业师生提供实用性指导与帮助。

本书由王大伟主编,胡春蕾、于振涛、戚建爱、韩鸿鸾副主编,刘艳红、彭红学、马灵芝、阮洪涛、刘曙光、李永彬、张云强、张艳红、王学琪、徐鑫、程宝鑫、范维进、陶建海、

王小方、马岩、姜海军、张瑞社参加了本书的编写。在本书编写过程中得到了山东省、河南省、河北省、江苏省、上海市等技能鉴定部门的大力支持，此外，青岛利博尔电子有限公司、青岛时代焊接设备有限公司、山东鲁南机床有限公司、山东山推工程机械有限公司、西安乐博士机器人有限公司、诺博泰智能科技有限公司等企业为本书的编写提供了大量帮助，在此深表谢意。

在本书编写过程中，参考了《工业机器人装调维修工》《工业机器人操作调整工》职业技能标准的要求，以备读者考取技能等级；同时还借鉴了全国及多省工业机器人大赛的相关要求，为读者参加相应的大赛提供参考。

由于水平所限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者给予批评指正。

编者

第1章 认识工业机器人 / 1

1.1 工业机器人的产生与发展	1
1.1.1 工业机器人的定义	1
1.1.2 工业机器人的特性	2
1.1.3 工业机器人的产生	3
1.1.4 工业机器人的发展	4
1.2 机器人的组成与工作原理	6
1.2.1 工业机器人的组成	6
1.2.2 工业机器人的工作原理	10
1.2.3 机器人应用与外部的关系	11
1.2.4 机器人技术的主要内容	12
1.3 机器人的分类	13
1.3.1 按机器人的应用领域分类	13
1.3.2 按机器人的驱动方式分类	14
1.3.3 按机器人的智能方式分类	15
1.3.4 按机器人的控制方式分类	16
1.3.5 按机器人的坐标系统分类	17
1.4 工业机器人的安全要求	19
1.4.1 工业机器人的主要危险	19
1.4.2 采取的措施	20
1.4.3 机器人停止功能	20
1.4.4 操作方式	22
1.4.5 示教控制	22
1.4.6 同时运动控制	23
1.4.7 协同操作要求	23
1.4.8 奇异性保护	24
1.4.9 单轴限位	24
1.4.10 无驱动源运动	25
1.4.11 起重措施	25
1.4.12 电连接器	25
1.4.13 标志	25

第2章 工业机器人的机械结构 / 31

2.1 机械本体结构形式	31
---------------------------	----

2.2 机械手	32
2.2.1 机械手的自由度	32
2.2.2 机械手的组成	32
2.2.3 机械手的分类	33
2.2.4 机械手的主要技术参数	35
2.3 机器人运动轴与坐标系	36
2.3.1 机器人运动轴的名称	36
2.3.2 机器人坐标系的种类	37
2.3.3 机器人的自由度	40
2.4 机器人的基本术语与图形符号	41
2.4.1 机器人的基本术语	41
2.4.2 机器人的图形符号体系	42
2.4.3 机器人的图形符号表示	45
2.5 机器人的技术参数	48
2.5.1 自由度	48
2.5.2 工作速度	48
2.5.3 工作空间	49
2.5.4 工作载荷	49
2.5.5 分辨率	49
2.5.6 精度	50
2.5.7 重复定位精度	51
2.5.8 其他参数	52

第3章 工业机器人的感觉系统 / 53

3.1 机器人传感器的分类	53
3.2 机器人的内部传感器	54
3.2.1 机器人的位置传感器	55
3.2.2 机器人的角度传感器	55
3.2.3 机器人的速度传感器	58
3.2.4 机器人的姿态传感器	60
3.3 机器人的外部传感器	60
3.3.1 机器人的触觉传感器	60
3.3.2 机器人的力觉传感器	67
3.3.3 机器人的距离传感器	68
3.3.4 机器人的听觉传感器	71
3.4 机器人的视觉系统	73
3.4.1 机器人视觉系统的组成	73
3.4.2 视觉信息的处理	77
3.4.3 数字图像的编码	80
3.4.4 机器人视觉系统的应用	81

第4章 工业机器人控制与驱动系统 / 83

4.1 工业机器人控制系统	83
----------------------------	----

4.1.1	工业机器人的控制系统概述	83
4.1.2	工业机器人控制系统的基本单元	85
4.1.3	工业机器人典型控制系统	88
4.1.4	机器人控制系统的基本组成	92
4.1.5	典型控制柜系统	97
4.2	机器人的驱动系统	99
4.2.1	机器人的驱动系统概述	99
4.2.2	驱动方式	99
4.2.3	驱动机构与传动机构	101
4.2.4	制动器	103
4.2.5	驱动系统	104

第5章 工业机器人的操作 / 120

5.1	机器人的操作基础	120
5.1.1	产品确认	120
5.1.2	机器人的应用	121
5.2	机器人的示教	122
5.2.1	新建示教程序	122
5.2.2	示教的基本步骤	123
5.2.3	示教程序的编制	124
5.3	机器人的操作	126
5.3.1	手持操作示教器	126
5.3.2	键位功能	127
5.3.3	示教软件界面介绍	130
5.3.4	机器人的基本操作	134

第6章 工业机器人的调整与保养 / 152

6.1	工业机器人的调整	152
6.1.1	调整方法	152
6.1.2	附加轴的调整	158
6.1.3	参照调整	158
6.1.4	用 MEMD 和标记线进行零点标定	159
6.1.5	手动删除轴的零点	163
6.1.6	更改软件限位开关	163
6.2	工业机器人的保养	164
6.2.1	工业机器人机器部分的保养	164
6.2.2	调节平衡配重	171
6.2.3	电气系统的保养	174

参考文献 / 176

第1章

认识工业机器人

1.1 工业机器人的产生与发展

目前,世界上大多数国家都用罗伯特(Robot)一词来表示机器人。机器人一词源于一个科幻的形象,捷克作家卡雷尔·查培克(Karel Capek)发表的一部科幻剧“Rossum Universal Robot”(罗莎姆的万能机器人),Robot是由捷克语Robota(意为农奴,苦力)衍生而来的。1922年,在英语中出现了“Robot”一词。近年来使用机器人这一名称较多,也有称为“机械手”或“仿人机”。在我国,习惯将工业机器人称为通用机械手。

1.1.1 工业机器人的定义

有关工业机器人,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”下的定义是:“有劳动能力,没有思考能力,外形像人的东西”。20世纪70年代美国一般定义为:“工业机器人是一种可重复编程的多功能操作装置,它可以通过改变程序,来完成各种工作,主要用于搬运材料,传递工件和工具”。美国机器人协会(RIA)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(Manipulator)。

日本对工业机器人提出了各种定义,在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”。之后,日本工业机器人协会(JIRA)定义为:工业机器人是一种装备,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。

日本定义的工业机器人的范围较广,他们将工业机器人分为六类:人控机械手、固定程序控制机器人、可编程程序机器人、示教再现机器人、数值控制机器人以及智能机器人。

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”。国际标准化组织(ISO)的定义:“机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能操作机,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。”

我国在20世纪80年代参考国外,初步对“机械手”和“工业机器人”做了定义:机械手就是附属于主机,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。我国对机器人的定义:机器人是一种能自动定位控制的、可重复编程的、多自由度的操作机,能搬运材料、零件或操作工具,用以完成各种作业。机械手与工业机器人的区别见表1-1。

工业机器人 (Industrial Robot, IR) 是广泛适用的能够自主动作, 且多轴联动的机械设备。它们在必要情况下配备有传感器, 其动作步骤包括灵活的转动, 都是可编程控制的 (即在工作过程中, 无需任何外力的干预)。它们通常配备有机械手、刀具或其他可装配的加工工具, 以及能够执行搬运操作与加工制造的任务。

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置, 它能自动执行工作, 是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它可以接受人类指挥, 也可以按照预先编排的程序运行, 现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。

目前部分国家倾向于美国机器人协会所给出的定义“工业机器人是一种具有自动控制, 可重复编程, 多功能、多自由度的操作机, 能搬运材料、工件或操作工具来完成各种作业”。

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	程序固定不能改, 定位点不能灵活改变	程序容易改变, 定位点可以灵活改变
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
设计技术领域	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

1.1.2 工业机器人的特性

1967 年在日本召开的第一届机器人学术会议上, 就提出了两个代表其特性的定义。森政弘与合田周平提出: “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”。从这一定义出发, 森政弘又提出了用自动性、智能性、个体性、半机械半人性、作业性、通用性、信息性、柔性、有限性、移动性 10 个特性来表示机器人。加藤一郎提出的三个特性: 具有脑、手、脚三要素的个体; 具有非接触传感器 (用眼、耳接受远方信息) 和接触传感器; 具有平衡觉和固有觉的传感器。

(1) 工业机器人的特性

根据国际标准化组织 (ISO) 给出的机器人定义, 工业机器人的特性涵盖如下。

① 具有类人性, 其动作机构具有类似于人或其他生物体某些器官的功能。工业机器人在机械结构上有类似人的行走、腰转、大臂、小臂、手腕、手爪等部分, 在控制上有电脑。此外, 智能化工业机器人还有许多类似人类的“生物传感器”, 如皮肤型接触传感器、力传感器、负载传感器、视觉传感器、声觉传感器、语言功能等。传感器提高了工业机器人对周围环境的自适应能力。

② 具有通用性, 其工作种类多样, 动作程序灵活易变。除了专门设计的专用的工业机器人外, 一般工业机器人在执行不同的作业任务时具有较好的通用性。比如, 更换工业机器人手部末端操作器 (手爪、工具等) 便可执行不同的作业任务。

③ 具有智能性, 其智能程度不同, 如记忆、感知、推理、决策、学习等。第三代智能机器人不仅具有获取外部环境信息的各种传感器, 而且还具有记忆能力、语言理解能力、图像识别能力、推理判断能力等人工智能, 这些都是与微电子技术的应用, 特别是计算机技术的应用密切相关。

④ 具有独立性, 完整的机器人系统中在工作中可以不依赖于人的干预。

(2) 机器人学三原则

为了防止机器人伤害人类,1940年,一位名叫阿西莫夫(Isaac Asimov)的科幻作家首次使用了Robotics(机器人学)来描述与机器人有关的科学,并提出了“机器人学三原则”,这三个原则如下。

- ① 机器人不得伤害人类或由于故障而使人遭受不幸。
 - ② 机器人应执行人们下达的命令,除非这些命令与第一原则相矛盾。
 - ③ 机器人应能保护自己的生存,只要这种保护行为不与第一或第二原则相矛盾。
- 这是给机器人赋予的伦理性纲领,机器人学术界一直将这三原则作为机器人开发的准则。

(3) 工业机器人的主要特性参数

- ① 坐标形式。常用的坐标形式有直角坐标、圆柱坐标、球坐标、关节坐标等。
- ② 运动自由度数。自由度数表示机器人动作的灵活程度。一般少于6个,也有多于6个的。
- ③ 各自由度的动作范围。各自由度的动作范围,指各关节的活动范围。各关节的基本动作范围决定了机器人操作机工作空间的形状和大小。
- ④ 速度。各自由度的动作速度,指各关节的极限速度。
- ⑤ 额定负载。额定负载指在规定性能范围内,在手腕机械接口处所能承受的最大负载允许值。
- ⑥ 精度。精度主要包括位姿精度、位姿重复性、轨迹精度、轨迹重复性等。

工业机器人的技术要求包括:外观和结构电气设备、可靠性[用平均无故障工作时间(MTBF)及可维修时间(MTTR)衡量]和安全性(应满足GB 11291.1—2011《工业环境用机器人安全要求 第1部分:机器人》与GB 11291.2—2013《机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第2部分:机器人系统与集成》的规定)。

1.1.3 工业机器人的产生

工业机器人(Industrial Robot, IR)是1960年在《美国金属市场》报首先使用的,但工业机器人的概念是由美国德沃尔(George·G·Devol)1954年在其专利“程序控制物料传送装置”中最早提出,该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节,利用人手对机器人进行动作示教,机器人能实现动作的记录和再现,这就是所谓的示教再现机器人。现有的机器人差不多都采用这种控制方式。

英格伯格在大学攻读伺服理论,这是一种研究运动机构如何才能更好地跟踪控制信号的理论。德沃尔曾于1946年发明了一种系统,可以“重演”所记录的机器的运动。1954年,德沃尔又获得可编程机械手专利,这种机械手臂按程序进行工作,可以根据不同的工作需要编制不同的程序,因此具有通用性和灵活性,英格伯格和德沃尔都在研究机器人,认为汽车工业最适合用机器人干活,因为它用重型机器进行工作,生产过程较为固定。

1959年,英格伯格和德沃尔联手制造出第一台工业机器人。德沃尔的Unimation公司和美国的机械铸造公司(AMF)于1962年分别制造了实用的一号机,即世界上第一台工业机器人Unimate(“万能伙伴”之意)机器人和Versatran(“多用搬运”之意)机器人,机器人的历史才真正开始。Unimate机器人外形有点像坦克炮塔,采取极坐标结构,基座上有一个大机械臂,大臂可绕轴在基座上转动,大臂上又伸出一个机械臂,它相对大臂可以伸出或缩回。小臂顶有一个腕,可绕小臂转动,进行俯仰和侧摇。腕前端是手,即操作器。这个机器人的功能和人的手臂功能相似。现在的Unimate机器人(图1-1)是球坐标机器人,它由5个关节串联的液压驱动,可完成近200种示教再现动作。而Versatran机器人(图1-2)采用圆柱坐标

结构。

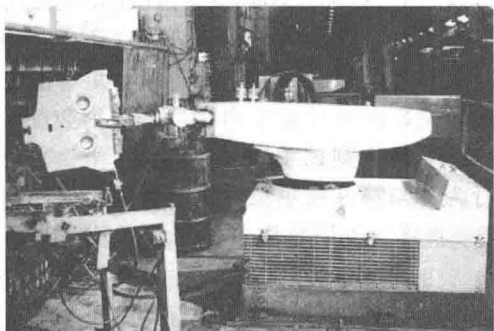


图 1-1 Unimate 机器人

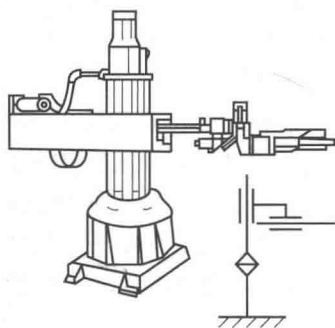


图 1-2 Versatran 机器人

1.1.4 工业机器人的发展

随着科技的不断进步，工业机器人的发展过程可分为三代：第一代示教再现型机器人，它主要由机械手控制器和示教盒组成，可按预先引导动作记录下信息重复再现执行，当前工业中应用最多；第二代为感觉型机器人，如有力觉、触觉和视觉等，它具有对某些外界信息进行反馈调整的能力，目前已进入应用阶段；第三代为智能型机器人，它具有感知和理解外部环境的能力，在工作环境改变的情况下，也能够成功地完成任务，它尚处于实验研究阶段。

(1) 国外工业机器人的发展

美国是机器人的诞生地，早在 1961 年，美国的 Consolidated Control Corp 和 AMF 公司联合研制了第一台实用的示教再现机器人。经过 50 多年的发展，美国的机器人技术在国际上仍一直处于领先地位。其技术全面、先进，适应性也很强。

日本在 1967 年从美国引进第一台机器人，1976 年以后，随着微电子的快速发展和市场需求急剧增加，日本当时劳动力显著不足，工业机器人在企业里受到了“救世主”般的欢迎，使得日本工业机器人得到快速发展，现在无论机器人的数量还是机器人的密度都位居世界第一，素有“机器人王国”之称。

德国引进机器人的时间比英国和瑞典晚了五六年，但战争所导致的劳动力短缺，国民的技术水平较高等社会环境，却为工业机器人的发展、应用提供了有利条件。此外，在德国规定，对于一些危险、有毒、有害的工作岗位，必须以机器人来代替普通人的劳动。这为机器人的应用开拓了广泛的市场，并推动了工业机器人技术的发展。目前，德国工业机器人的总数占世界第二位，仅次于日本。

法国政府一直比较重视机器人技术，通过大力支持一系列研究计划，建立了一个完整的科学技术体系，使法国机器人的发展比较顺利。在政府组织的项目中，特别注重机器人基础技术方面的研究，把重点放在开展机器人的应用研究上。而由工业界支持开展应用和开发方面的工作，两者相辅相成，使机器人在法国企业界得以迅速发展和普及，从而使法国在国际工业机器人界拥有不可或缺的一席之地。

英国从 20 世纪 70 年代末开始，推行并实施了一系列措施支持机器人发展，使英国工业机器人起步比当今的机器人大国日本还要早，并曾经取得了早期的辉煌。然而，这时候政府对工业机器人实行了限制发展的错误措施。这个错误导致英国的机器人工业一蹶不振，在西欧几乎处于末位。

近些年,意大利、瑞典、西班牙、芬兰、丹麦等国家由于自身国内机器人市场的大量需求,发展非常迅速。目前,国际上的工业机器人公司主要分为日系和欧系。日系中主要有安川、OTC、松下、FANLUC、不二越、川崎等公司的产品。欧系中主要有德国的 KUKA、CLOOS、瑞典的 ABB、意大利的 COMAU 及奥地利的 IGM 公司。

(2) 国内工业机器人的发展

我国工业机器人起步于 20 世纪 70 年代初,大致可分为三个阶段:70 年代的萌芽期,80 年代的开发期,90 年代及以后的实用期。

我国于 1972 年开始研制工业机器人,数十家研究单位和院校分别开发了固定程序、组合式、液压伺服型通用机器人,并开始了机构学、计算机控制和应用技术的研究。20 世纪 80 年代,我国机器人技术的发展得到政府的重视和支持,机器人步入跨越式发展时期。1986 年,我国开展了“七五”机器人攻关计划。1987 年,我国的“863”高技术计划将机器人方面的研究开发列入其中,进行了工业机器人基础技术、基础元器件、工业机器人整机及应用工程的研究。我国在完成示教再现式工业机器人及其成套技术的开发后,研制出了喷涂、弧焊、点焊和搬运等工业机器人整机,多类专用和通用控制系统及关键元器件,并在生产中经过实际应用考核,其性能指标达到 20 世纪 80 年代初国外同类产品的水平。

为了跟踪国外高技术,在国家高技术计划中安排了智能机器人的研究开发,包括水下无缆机器人、多功能装配机器人和各类特种机器人,进行了智能机器人人体结构、机构、控制、人工智能、机器视觉、高性能传感器及新材料等的应用研究。20 世纪 90 年代,由于市场竞争加剧,一些企业认识到必须要用机器人等自动化设备来改造传统产业,从而使机器人进一步走向产业化,并在喷涂机器人、点焊机器人、弧焊机器人、搬运机器人、装配机器人和矿山、建筑、管道作业的特种工业机器人技术和系统应用的成套技术方面继续开发和完善,进一步开拓市场,扩大应用领域,从汽车制造业逐步扩展到其他制造业并渗透非制造业领域,如机器人化柔性装配系统的研究,充分发挥工业机器人在未来计算机集成制造系统(CIMS)中的核心技术作用。

(3) 工业机器人发展模式

国际工业机器人技术日趋成熟,基本沿着两条路径发展:一是模仿人的手臂,实现多维运动;二是模仿人的下肢运动,实现物料输送、传递等搬运功能。目前机器人发展水平最高的日本、美国和欧洲国家,它们在发展模式上各有不同。

① 日本模式 日本模式是各司其职,分层面完成交钥匙工程。即机器人制造厂商以开发新型机器人和批量生产优质产品为主要目标,并由其子公司或社会上的工程公司来设计制造各行业所需要的机器人成套系统,并完成交钥匙工程。

② 欧洲模式 欧洲模式是一揽子交钥匙工程。即机器人的生产和用户所需要的系统设计制造,全部由机器人制造厂商自己完成。

③ 美国模式 美国模式是采购与成套设计相结合。美国国内基本上不生产普通的工业机器人,企业需要时机器人通常由工程公司进口,再自行设计、制造配套的外围设备,完成交钥匙工程。

目前,机器人制造公司没有统一的操作系统软件,流行的应用程序也很难满足五花八门的装置上运行,这就需要机器人硬件的标准化,实现机器人编程代码的通识性。

我国机器人领域尚处于起步阶段,应以“美国模式”着手,逐步向“日本模式”靠近。国产机器人在精度、速度等方面与国外产品比相去甚远,特别是关键核心技术(三大核心零部件——伺服电机、减速器和控制系统)没有取得突破,存在低端技术水平有待改善,产业链亟待充实和规范等问题。

1.2 机器人的组成与工作原理

1.2.1 工业机器人的组成

工业机器人是一种模拟人的手臂、手腕和手功能的机电一体化装置，可对物体运动的位置、速度和加速度进行精确控制，从而完成某一工业生产的作业要求。当前工业中应用以第一代工业机器人为主，由操作机、控制器和示教器组成，如图 1-3 所示。其系统一般包括机械系统、驱动系统、控制系统和感知系统四部分，它们之间的关系如图 1-4 所示。对于第二代及第三代工业机器人还包括感知系统和分析决策系统，它们分别由传感器及软件实现。

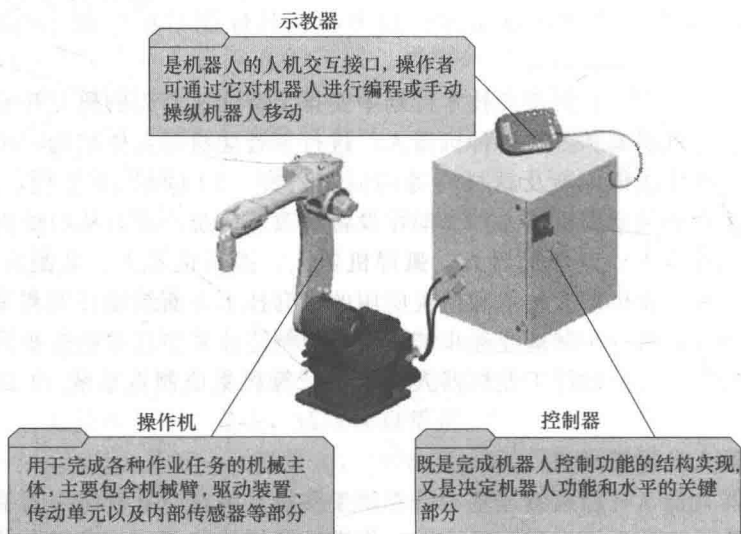


图 1-3 工业机器人的组成

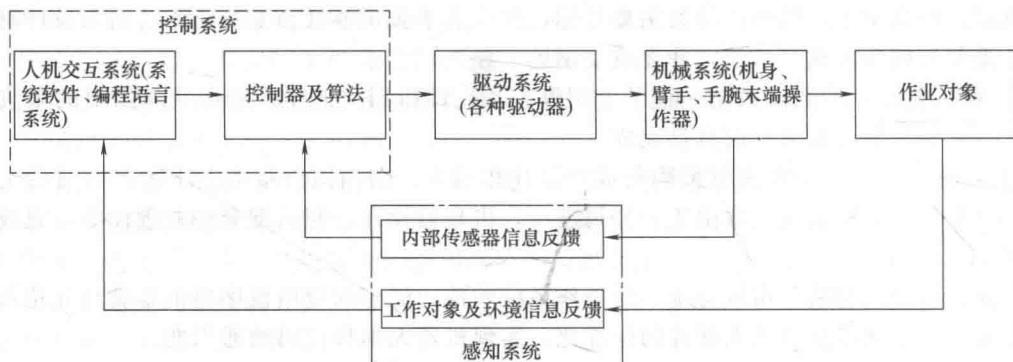


图 1-4 工业机器人系统组成

操作机（或称机器人本体）是工业机器人的机械主体，是用来完成各种作业的执行机构。它主要包括机械结构系统（机械臂）、驱动系统、传动单元及内部传感器。

(1) 机械结构系统

机械结构系统又称操作机或执行机构系统，是机器人的主要承载体，它由一系列连杆、关节等组成。机械系统通常包括机身、基座、手臂、手腕、关节和末端执行器，每一个部分都具有多自由度，构成一个多自由度的机械系统，如图 1-5 所示。

① 机身部分 如同机床的床身结构一样，机器人的机身构成机器人的基础支撑。有的机身底部安装有机器人行走机构，便构成行走机器人；有的机身可以绕轴线回转，构成机器人的腰；若机身不具备行走及回转机构，则构成单机器人臂。

② 基座 基座是机器人的基础部分，起支撑作用。整个执行机构和驱动装置都安装在基座上。对固定式机器人，直接连接在地面基础上，对移动式机器人，则安装在移动机构上，可分为有轨和无轨两种。

③ 关节 关节通常分为滑动关节和转动关节，以实现机身、手臂各部分、末端执行器之间的相对运动。

④ 手臂 它是连接机身和手腕的部分。一般由上臂、下臂和手腕组成，用于完成各种简单或复杂的动作，它由操作器的动力关节和连接杆件等构成。它是执行结构中的主要运动部件，也称主轴，主要用于改变手腕和末端执行器的空间位置，满足机器人的作业空间，并将各种载荷传递到基座。

⑤ 手腕 它是连接末端执行器和手臂的部分，将作业载荷传递到臂部，主要用于改变末端执行器的空间位置。

⑥ 末端执行器 它是直接装在水手上的一个重要部件，通常是模拟人的手掌和手指的，可以是两手指或多手指的手爪末端操作器，有时也可以是各种作业工具，如焊枪、喷漆枪等。

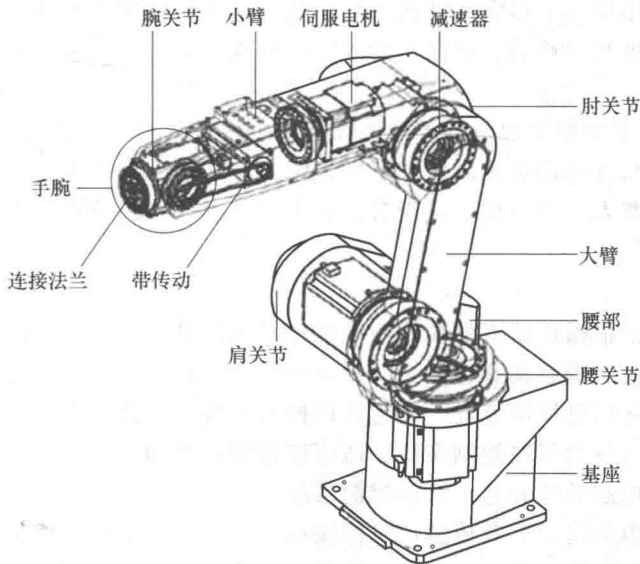


图 1-5 关节型机器人操作机基本构造

(2) 驱动系统（驱动装置）

驱动系统是驱使工业机器人机械臂运动的机构。按照控制系统发出的指令信号，借助动力元件使机器人运行起来，给各个关节即每个运动自由度安装传动装置，这就是驱动系统。其作用是提供机器人各部位、各关节动作的原动力。

根据驱动源的不同，驱动系统可分为电动、液压、气动三种，也包括把它们结合起来应用的综合系统。驱动系统可以与机械系统直接相连，也可通过同步带、链条、齿轮、谐波传动装

置等与机械系统间接相连。运动精度不高、重负载或有防爆要求的机器人采用液压、气压驱动，工业机器人大多采用电气驱动，而其中属交流伺服驱动应用最广，且驱动器布置大都采用一个关节一个驱动器，它们的特点对比见表 1-2。

表 1-2 三种驱动方式特点比较

特点	输出力	控制性能	维修使用	结构体积	使用范围	制造成本
液压驱动	压力高,可获得很大的输出力	油液不可压缩,压力、流量均容易控制,可无级调速,反应灵敏,可实现连续轨迹控制	维修方便,液体对温度变化敏感,油液泄漏易着火	在输出力相同的情况下,体积比气压驱动方式小	中、小型及重型机器人	液压元件成本较高,油路比较复杂
气压驱动	可获得大的输出力,如需输出力很大时,其结构尺寸过大	可高速,冲击较严重,精确定位困难。气体压缩性大,阻尼效果差,低速不易控制,不易与 CPU 连接	维修简单,能在高温、粉尘等恶劣环境中使用,泄漏无影响	体积较大	中、小型机器人	结构简单,能源方便,成本低
电气驱动	输出力较大	容易与 CPU 连接,控制性能好,响应快,可精确定位,但控制系统复杂	维修使用较复杂	需要减速装置,体积较小	高性能、运动轨迹要求严格	成本较高

(3) 感受系统

感受系统通常由内部传感器模块和外部传感器模块组成，其作用是获取内部和外部环境中有意义的信息，并把这些信息反馈给控制系统。内部传感器用于检测各关节的位置、速度等变量，为闭环控制系统提供信息。外部传感器用于检测机器人与周围环境的一些状态变量，如距离、接近程度和接触情况等，用于引导机器人，便于识别物体并做出相应的处理。

智能传感器的使用提高了机器人的机动性、适应性和智能化的水准。人类的感受系统对外部世界信息的感知是极其灵巧的，然而，对于一些特殊的信息，传感器比人类的感受系统更有效率。

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。

工业机器人往往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；也可以是多台机器人、多台机床或设备、多个零件存储装置等集成为一个去执行复杂任务的功能单元。

(4) 控制系统

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序及从传感器反馈回来的信号，控制机器人的执行机构，使其完成规定的运动和功能。

如果机器人不具备信息反馈特征，则为开环控制系统；具备信息反馈特征，则为闭环控制系统。根据控制原理可分为程序控制系统、适应性控制系统和人工智能控制系统。根据控制运动的形式可分为点位控制系统和连续轨迹控制系统。

机器人控制器是根据指令以及传感信息控制机器人完成一定动作或作业任务的装置，是决定机器人功能和性能的主要因素，也是机器人系统中更新和发展最快的部分。其基本功能有：示教功能、记忆功能、位置伺服功能、坐标设定功能、与外围设备联系功能、传感器接口、故障诊断安全保护功能等。

依据控制系统的开放程度，机器人控制器分 3 类：封闭型、开放型和混合型。目前基本上都是封闭型系统（如日系机器人）或混合型系统（如欧系机器人）。

按计算机结构、控制方式和控制算法的处理方法，机器人控制器又可分为集中式控制和分布式控制两种方式。

① 集中式控制器 优点：硬件成本较低，便于信息的采集和分析，易于实现系统的最优

控制，整体性与协调性较好，基于 PC 的系统硬件扩展较为方便（见图 1-6）。

缺点：系统控制缺乏灵活性，控制危险容易集中，一旦出现故障，其影响面广，后果严重；大量数据计算，会降低系统实时性，系统对多任务的响应能力也会与系统的实时性相冲突；系统连线复杂，会降低系统的可靠性。

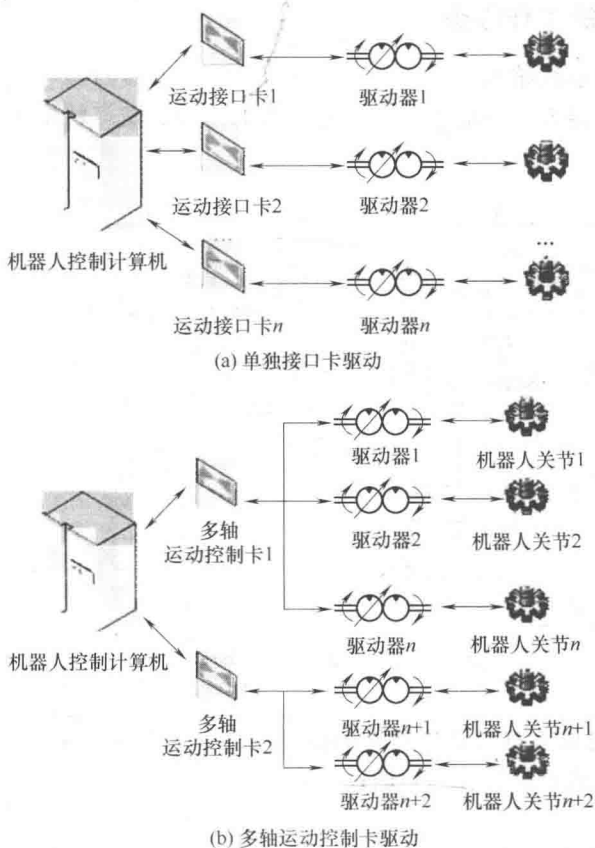


图 1-6 集中式机器人控制器结构

② 分布式控制器 主要思想为“分散控制，集中管理”，为一个开放、实时、精确的机器人控制系统。分布式系统中常采用两级控制方式，由上位机和下位机组成（见图 1-7）。

优点：系统灵活性好，控制系统的危险性降低，采用多处理器的分散控制，有利于系统功能的并行执行，提高系统的处理效率，缩短响应时间。

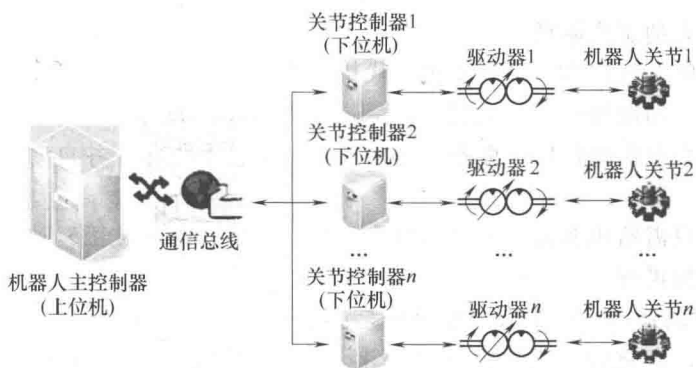


图 1-7 分布式机器人控制器结构