



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHIERWU GUIHUA XILIE JIAOCAI

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

工业机器人

G O N G Y E J I Q I R E N

蒋刚 龚迪琛 蔡勇 刘念聪 张静 \ 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

工业机器人

蒋 刚 龚迪琛 蔡 勇 刘念聪 张 静 编著
黎亚元 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

工业机器人 / 蒋刚等编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2011.1

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材
ISBN 978-7-5643-0908-4

I. ①工… II. ①蒋… III. ①工业机器人—高等学校—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 190050 号

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

工 业 机 器 人

蒋 刚 龚迪琛 蔡 勇 刘念聪 张 静 编著

责任编辑	李芳芳
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	14.75
字 数	364 千字
版 次	2011 年 1 月第 1 版
印 次	2011 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-0908-4
定 价	28.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

总 序

装备制造业是国民经济重要的支柱产业，随着国民经济的迅速发展，我国正由制造大国向制造强国转变。为了适应现代先进制造技术和现代设计理论及方法的发展，需要培养高素质复合型人才。近年来，各高校对机械类专业进行了卓有成效的教育教学改革。和过去相比，在教学理念、专业建设、课程设置、教学内容、教学手段和教学方法上，都发生了重大变化。

为了反映目前的教育教学改革成果，切实为高校的教育教学服务，西南交通大学出版社联合众多西部高校，共同编写系列适用教材，推出了这套“普通高等院校机械类‘十二五’规划系列教材”。

本系列教材体现“夯实基础，拓宽前沿”的主导思想。要求重视基础知识，保持知识体系的必要完整性，同时，适度拓宽前沿，将反映行业进步的新理论、新技术融入其中。在编写上，体现三个鲜明特色：首先，要回归工程，从工程实际出发，培养学生的工程能力和创新能力；其次，具有实用性，所选取的内容在实际工作中学有所用；最后，教材要贴近学生，面向学生，在形式上有利于进行自主探究式学习。本系列教材，重视实践和实验在教学中的积极作用。

本系列教材特色鲜明，主要针对应用型本科教学编写，同时也适用于其他类型的高校选用。希望本套教材所体现的思想和具有的特色能够得到广大教师和学生的认同。同时，也希望广大读者在使用中提出宝贵意见，对不足之处，不吝赐教，以便让本套教材不断完善。

最后，衷心感谢西南地区机械设计教学研究会、四川省机械工程学会机械设计（传动）分会对本套教材编写提供的大力支持与帮助！感谢本套教材所有的编写者、主编、主审所付出的辛勤劳动！

首届国家级教学名师

西南交通大学教授

2010年5月

吴鹿鸣

前 言

随着机械、电子、控制理论与技术的快速发展，机器人的发展日新月异，其应用越来越多。在可以预见的不久的将来，机器人不但可以在矿山、深海等恶劣环境代替自然人进行工作，还可以进入人们的日常生活提供服务，甚至成为人们的朋友。

在工业机器人领域，机器人的定义已悄悄地发生了变化，不再局限于固定式的双自由度机械手或三自由度机械手，而是更多地融入了机器视觉、机器听觉、机器触觉、移动机器人的自主定位等新技术和新方法；也不再局限于一些理论层次上的分析，而更多的是以实际应用为主，在实际工作中扮演生产者的角色，在生活中发挥生活助手的作用。

根据工业机器人的发展趋势，本书在编写内容上略有偏重。对工业机器人的运动学、动力学、基本控制系统等传统内容的介绍比较简洁；对机器视觉、机器听觉和移动机器人的自主定位等新技术介绍较多，并以可重现的若干实例对相应技术和方法进行了验证，相关程序代码附在书中，重点关键代码用注释进行了标注，方便读者阅读和重现实例。

本书编写分工如下：西南科技大学蒋刚编写第1、5章，第9章9.1节、9.2节，并负责全书的统稿工作；成都理工大学龚迪琛编写第2、4章及第9章9.3节；西南科技大学蔡勇编写第6、7章；成都理工大学刘念聪编写第3章；成都理工大学张静编写第8章。由西华大学黎亚元教授担任本书主审。

感谢西南科技大学李军、张磊、陈晓东三位研究生在实验仿真等环节所做的颇有开创性的工作。

作 者

2010年10月

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 初识工业机器人	1
1.2 工业机器人的国内外发展状况	4
1.3 工业机器人的组成与分类	7
1.4 工业机器人的主要技术参数	12
1.5 工业机器人的关键技术	15
第 2 章 工业机器人的运动学基础	17
2.1 齐次坐标变换基础	17
2.2 机械手位姿分析	26
2.3 机械手速度分析	39
2.4 小 结	46
第 3 章 工业机器人的动力学基础	47
3.1 牛顿-欧拉方程	47
3.2 拉格朗日方程	56
3.3 小 结	61
第 4 章 工业机器人的基本结构	62
4.1 工业机器人的主体结构	62
4.2 工业机器人的臂部结构	64
4.3 工业机器人的腕部和手部结构	67
4.4 移动式机器人	74
4.5 小 结	78
第 5 章 工业机器人的定位技术	79
5.1 工业机器人的定位精度控制	79
5.2 工业机器人的定位方法	81
5.3 定位传感器技术	92
5.4 运动规划	100

第 6 章 工业机器人的视觉系统	109
6.1 人类视觉原理	109
6.2 模仿人类视觉的机器视觉系统	110
6.3 工业机器人视觉系统的组成	112
6.4 图像处理技术	115
6.5 应用实例：基于 OpenCV 的答题卡阅卷系统的运行	120
第 7 章 工业机器人的听觉系统	134
7.1 语音降噪	134
7.2 机器语音的预处理	135
7.3 机器语音的特征提取	136
7.4 机器语音识别算法	138
7.5 机器听觉定位	148
7.6 工业机器人语音故障诊断实例	151
第 8 章 工业机器人的控制系统	173
8.1 工业机器人控制系统概述	173
8.2 工业机器人控制系统的组成及分类	174
8.3 工业机器人的控制方法和策略	175
8.4 工业机器人的位置控制	181
8.5 工业机器人的力控制	184
8.6 工业机器人的速度控制	187
8.7 工业机器人力-位置混合控制	188
第 9 章 工业机器人的应用	190
9.1 基于自主导航方式的轮式 AGV 的设计与实现	190
9.2 机器人语音控制	217
9.3 工业机器人虚拟设计与组装	220
参考文献	225

第1章 概 论

在现代制造领域，随着工业自动化的快速发展，急需高性能的工业机器人。工业机器人已成为自动化的核心装备，与一般的工业数控设备有着明显的区别，主要体现在与工作环境的交互方面。汽车制造、机械制造、电子器件、集成电路、塑料加工等较大规模生产企业都涉及工业机器人的应用。

工业机器人是机器人在应用环境中的一个重要分支。其操作机具有自动控制、可重复编程、多用途、可对3个以上轴进行编程等显著特点，它可以是固定式或移动式。不同的机构对工业机器人的定义有所不同，但是其可编程、拟人化、通用性和机电一体化的特点得到了业界的公认。

本章主要从工业机器人的基本概念、国内外发展状况、组成、分类以及主要技术参数等方面进行介绍。使读者对工业机器人在宏观上有一个相对清晰的总体把握。

1.1 初识工业机器人

工业机器人在世界各国的定义不完全相同，但是其含义基本一致。International Standard Organization (ISO) 对工业机器人定义为：“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能，能够完成各种作业的可编程操作机”。ISO 8373 有更具体的解释：“工业机器人有自动控制与再编程、多用途功能，机器人操作机有三个或三个以上的可编程轴，在工业机器人自动化应用中，机器人的底座可固定也可移动”。U.S. Robotics Industry Association 对工业机器人的定义为：“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”。日本工业标准 (JIS)、德国的标准 (VID) 及英国机器人协会也有类似的定义。工业机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科的先进技术于一体的现代制造业自动化重要装备。工业机器人 HP20 的外形如图 1.1 所示。

一般来说，工业机器人的显著特点有以下四个方面：

(1) 仿人功能。工业机器人通过各种传感器感知工作环境，达到自适应能力。在功能上模仿人的腰、臂、手腕、手抓等部位达到工业自动化的目的。

(2) 可编程。工业机器人作为柔性制造系统的重要组成部分，可编程能力是其对适应工作环境改变能力的一种体现。

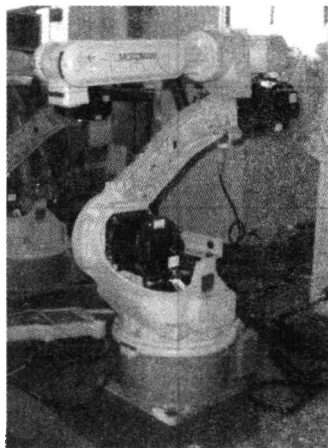


图 1.1 工业机器人 HP20

(3) 通用性。工业机器人一般分为通用与专用两类。通用工业机器人只要更换不同的末端执行器就能完成不同的工业生产任务。

(4) 良好的环境交互性。智能工业机器人在无人干预的条件下，对工作环境有自适应控制能力和自我规划能力。

随着机器人技术的不断发展，工业机器人的应用范围也越来越广。当前，工业机器人的应用领域主要有弧焊、点焊、装配、搬运、喷漆、检测、码垛、研磨抛光、激光加工等。

目前，工业机器人技术在制造业的应用范围越来越广泛，已经从传统制造业推广到其他制造业，进而推广到诸如采矿、建筑、农业、灾难救援等各种非制造行业。但汽车工业仍是工业机器人的主要应用领域。据了解，美国 60% 的工业机器人用于汽车生产；全世界用于汽车工业的工业机器人已经达到总用量的 37%，用于汽车零部件的工业机器人约占 24%。

常用工业机器人的用途及技术如表 1.1 所示。

表 1.1 工业机器人的用途和技术

用 途	工业生产及其相关工业机器人
铸造、压模 铸造	铸造是将熔融金属液浇入铸型中，并使其凝固的制造方法，铸型为砂型。压铸则是以高压将铝、锌合金为主的金属溶液注入金属模的一种铸造方法，此方法经常用于薄壁件的大量生产 机器人作业的任务是向金属模腔内插入型芯，从型腔内取出成品，对模腔内面进行喷涂
锻 造	锻造是通过工具向金属材料加压，使之产生变形以获得锻造效果的加工方法。按温度的高低可以将其分为热锻、温锻和冷锻，按成形方式将其分为自由锻和模锻两种 机器人的任务是为模锻机、修边机等上料、取料、去飞边等
树脂成形	分为注塑成形、嵌件成形（在金属模内装入嵌件，如金属块、导线、电子元件等，然后注入树脂形成复合零件）。机器人用于成品取出，或者在前端安装空气剪以便剪断树脂成形品的浇口、插入嵌件等 另外，还有吹塑成形，此时机器人担负物料搬运、热风机操作等任务 FRP (Fiber Reinforced Plastics) 的制作也可以让机器人完成绕线成形（在辊轴模型上，一边向长条波瓣状增强材料浸渍树脂，一边缠绕硬化的制造方法）时的纤维引导作业
金属冲压	冲压机是在两个以上配对的金属模之间放置被加工材料成形的一种设备，机器人可以用于被加工材料的上、下料，往往被设计成专用设备
弧 焊	弧焊是利用低电压、大电流的电弧放电现象在局部产生大量热量使金属结合的方法，焊接机器人以焊枪为末端执行器，它的应用非常广泛。如果两台以上的机器人进行协同操作，抓取工件的机器人可以实现位置补偿
点 焊	点焊是利用电极向被焊接材料加压，让短时大电流通过电阻发热进行结合的一种电阻焊接方法。与电弧焊相比，它的特点是不需要焊剂 点焊机器人的应用形式是以焊钳作为末端执行器。有的电焊机器人具有焊钳交换功能（机械接口），可以通过更换焊钳实现打点功能
激光焊接	该方法利用激光的高能量密度热源，使钢材、非钢材材料、塑料等局部融化完成焊接。YAG (Yttrium Aluminium Garnet, 钇铝石榴石) 激光可以采用钇沿着柔性光纤进行传输，所以激光照射部分可以充当机器人的末端执行器，按照给定的速度和位置，借助于非接触方式在工件上进行焊接

续表 1.1

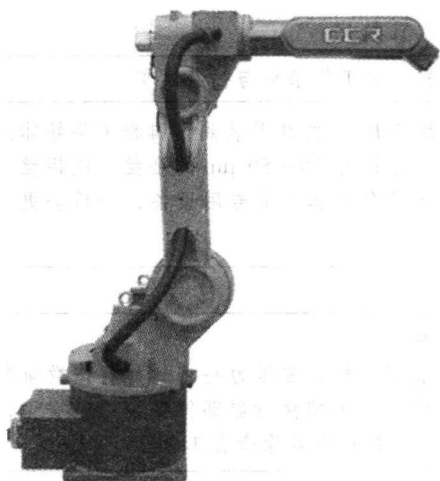
用 途	工业生产及其相关工业机器人
其他焊接	如利用摩擦接合的焊接方法
喷 涂	以喷涂枪作为机器人的末端执行器完成工件的喷涂任务
上下料作业	机器人用于机床的毛坯运输、供应, 工件的装卸工作
机械切断	利用刀刃等机械切断装置完成工件的切断作业, 通常在机器人的末端执行器部位安装刀具
研磨、去毛刺	除去零件成形时产生时的毛刺、熔渣, 以及进行抛光打磨等, 机器人在这方面的应用很广泛。如机器人末端执行器安装研磨装置加工工件, 或者机器抓取工件接近研磨装置等。机器人工具的形式也很多, 如旋转切割砂轮、电动除锈器、研磨机等
其他的机械加工	例如, 采用高刚性机器人抓取工具, 以此定位于平面铣刀或端铣刀处实现平面加工。此种加工方式存在定位精度和刚性不足等问题, 因而鲜有应用
气 割	利用燃烧热能使材料局部融化并将其去除的切断方法, 该方法在钢材热切断方面有广泛的应用, 大多数场合在机器人的末端执行器部位安装割炬
激光切割	激光照射部分可以充当机器人的末端执行器, 按照给定的速度和位置, 借助于非接触方式在工件上进行切割
水力切割	该方法从极细的喷嘴中喷射高压水, 利用水的动能来实现切断工作。该方法对非耐热材料实施切断极为有效。由于水的压力高、流量小, 其切断过程几乎不产生反作用力。其作业形式是在机器人末端执行器部位安装高压水喷嘴, 以给定的速度沿工件的给定位置进行移动完成切断
其他切割	如等离子切割
一般装配	利用高精度和高刚性机器人完成装配、紧固等作业。作业对象一般限于人的两手活动范围大小的各种设备、装置、机构件、零件等
插 装	该工序将 DIP IC、接线端子、电容等电子元器件插入印制电路板。此类作业既可以采用通用机械手, 也可以采用专用电子元件装配机器人
表面贴装	用于将芯片贴装到印制电路板上的工序。机器人的工作条件与插装类似
键 合	键合分为两种应用场合: 一种叫芯片键合, 是将 IC 硅芯片贴装到引脚框(半导体元器件突出的引脚部分)上; 另一种叫引线键合, 是利用 20~50 μm 的金丝(或铝丝)将芯片电极与引线框的电极连接起来。它们多为类似机器人的专用设备, 今后会更多地采用微型机器人
钎 焊	完成印制电路板上元器件和导线的焊接
密封、胶合	密封以防水、防尘为目的, 胶合以结合为目的 密封作业可以在机器人的末端执行器部位安装封口枪, 靠压力将密封材料按数量要求送到指定位置完成涂布工序。胶合作业则在机器人末端执行器部位安装敷料喷嘴, 在料罐压力下黏合胶被压送至给定位置, 按给定的数量将其涂布在工件上
螺栓紧固	螺栓紧固机器人利用真空吸附或磁力吸附抓握螺栓, 按给定的压力和转矩紧固螺栓。螺栓紧固机器人也常用于螺栓检测作业
其他装配	在装配作业中, 机器人完成各种零件的拾取、安放任务

续表 1.1

用 途	工业生产及其相关工业机器人
出入库	将装满产品的方箱或托盘码垛、拆垛，或者把产品码放在托盘上
测量、检查、试验	机器人可用于产品完工后的质量检查或出库检查，避免次品出入库，为保证产品出库质量进行必要的测量、检查、试验。检查包括外观检查和特性检查。检查有两种形式：一种是在机器人末端执行器部位安装探测传感器进行检查，另一种是机器人将单个零件运送到检查设备附近接受检查
材料搬运	搬运工件，在不同工序之间实现转送
洁净间作业 FPD 用 半导体用 其 他	用于洁净间内的工件搬运或测量等作业 液晶平板运送等作业需要洁净间机器人 晶片运送作业需要洁净间机器人 硬盘组装等，扫除、警卫、娱乐等，以及其他用途的机器人

1.2 工业机器人的国内外发展状况

我国工业机器人经过 20 多年的发展已在产业化的道路上迈开了步伐。国家“863”高技术计划已将沈阳新松机器人自动化股份有限公司、哈尔滨博实自动化设备有限责任公司、一汽集团涂装技术开发中心、国家机械局北京自动化所机器人与应用技术工程研究中心、大连贤科机器人技术有限公司、天津市南开太阳高技术有限公司、上海机电一体工程有限公司、上海交大海泰科技发展有限公司、四川绵阳四维焊接自动化设备有限公司等确立为智能机器人主题的 9 个产业化基地。此外，其他公司的国产工业机器人也初具规模，CCR-RB6B 工业机器人（见图 1.2）可以广泛应用于弧焊、点焊、涂胶、切割、搬运、码垛、喷漆、科研及教学、机床加工上下料等领域。



- CCR-RB 系列工业机器人动作范围大，运动速度高，功能强，可以广泛应用于弧焊、点焊、涂胶、切割、搬运、码垛、喷漆、科研及教学、机床加工上下料等领域。
- CCR-RB 系列工业机器人为 6 自由度垂直多关节串联结构，由底座、J1 轴、J2 轴、J3 轴、J4 轴、J5 轴、J6 轴七部分组成；每个关节的运动分别由一台伺服电机驱动一台低侧隙精密减速机实现，每个伺服电机均带有失电制动器。
- 由机器人本体、电器控制柜和示教盒三部分组成

图 1.2 国产 CCR-RB6B 工业机器人

国内主要研发生产单位近几年工业机器人研发生产应用销售情况见表 1.2。

表 1.2 国内主要研发生产单位近几年工业机器人研发生产应用销售情况

研究机构	系列产品	研发、应用情况	备 注
北京机械工业自动化研究所	PJ 系列喷涂机器人 PM 系列自动喷涂机 龙门仿行自动喷涂机 弧焊、搬运、装配等机器人	完成喷涂、包装码垛、焊接、涂胶、装配等 26 条线 用于汽车、陶瓷医药、电器、石化、铁路车辆等行业	共装配 70 多条自动生产线和工作站 “863”产业化基地
沈阳新松机器人自动化股份有限公司	弧焊、码垛、水切割机器人 特种机器人 自动化生产线、AGV 小车	弧焊、冲压、AGV 运输、装配、浇铸等 用于汽车、航空、机械等行业	机器人技术国家工程研究中心 “863”产业化基地
哈尔滨博实自动化设备有限公司	自动包装码垛生产线 点、弧焊机器人 管道、爬壁机器人	涤纶长丝饼、化肥等自动称重、包装码垛生产线 用于石油、化工、化纤等	“863”产业化基地
上海机电一体化工程有限公司	搬运、上下料等工业机器人 自动化立体仓库 机器人焊接、自动化生产线	玻璃生产线用移动机器人、板材 FMS、装配线等 用于机械、汽车、电器等	“863”产业化基地
上海富安工厂自动化有限公司	工厂自动化成套设备 专用工业机器人成套设备 工业机器人应用工程	弧焊、焊接、装配及专用机器人 用于汽车、交通等行业	
中国华录大连贤科机器人技术有限公司	HLRQ, D 系列装配机器人 A 系列 AGV 小车 自动供料装置	装配生产线 用于电器、教育行业	华录自动进口机器人 384 台 “863”产业化基地
四川绵阳四维焊接自动化设备有限公司	TF 系列弧焊机器人 焊接机器人应用工程	弧焊生成线 用于汽车、摩托车、电器开关	“863”产业化基地
济南第二机床集团有限公司	全自动薄板冲压生产线 冲压机械手 拆垛装置、穿梭传送装置	冲压生产线 用于汽车、电器行业	冲压生产线已有 20 多条用于国内各大汽车厂
昆明船舶设备有限公司	物流自动化系统 立体仓库 码垛、搬运机器人 LGV	物流自动化系统、立体仓库 用于烟草行业	

在国外，工业机器人技术日趋成熟，已经成为一种标准设备被工业界广泛应用。相继形成了一批具有影响力的、著名的工业机器人公司，它们包括：瑞典的 ABB Robotics，日本的 FANUC、Yaskawa，德国的 KUKA Roboter，美国的 Adept Technology、American Robot、Emerson Industrial Automation、S-T Robotics，意大利的 COMAU，英国的 AutoTech Robotics，加拿大的 Jcd International Robotics，以色列的 Robogroup Tek 公司等，这些公司已经成为其所在地区的支柱性产业。

自从 20 世纪 60 年代初人类创造了第一台工业机器人以后，机器人就显示出它强大的生

命力,在短短 40 多年的时间中,机器人技术得到了迅速的发展,工业机器人已在工业发达国家的生产中得到了广泛的应用。目前,工业机器人已广泛应用于汽车及汽车零部件制造业、机械加工行业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、食品工业、木材与家具制造业等领域中。在工业生产中,弧焊机器人、点焊机器人、分配机器人、装配机器人、喷漆机器人及搬运机器人等工业机器人都已被大量采用。

在众多制造业领域中,应用工业机器人最广泛的领域是汽车及汽车零部件制造业,如图 1.3、图 1.4 所示。2005 年美洲地区汽车及汽车零部件制造业对工业机器人的需求占该地区所有行业对工业机器人需求的比例高达 61%;亚洲地区达到 33%,位居各行业之首;虽然 2005 年由于德国、意大利和西班牙三国对汽车工业投资的趋缓直接导致欧洲地区汽车工业对工业机器人的需求下滑,但汽车工业仍然是欧洲地区使用工业机器人最普及的行业。目前,汽车制造业是制造业所有子行业中人均拥有工业机器人最多的行业。比如,2004 年德国制造业中每 1 万名工人中拥有工业机器人的数量为 162 台,而在汽车制造业中每 1 万名工人中拥有工业机器人的数量则为 1 140 台;2004 年意大利制造业中每 1 万名工人中拥有工业机器人的数量为 123 台,而在汽车制造业中每 1 万名工人中拥有工业机器人的数量则高达 1 600 台。

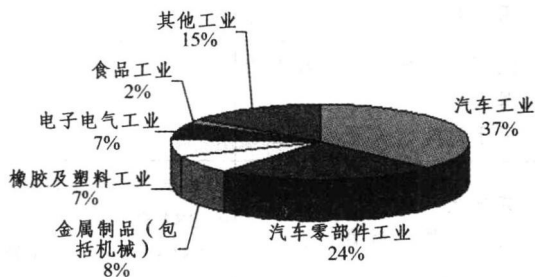


图 1.3 2005 年美洲主要行业对工业机器人需求分布

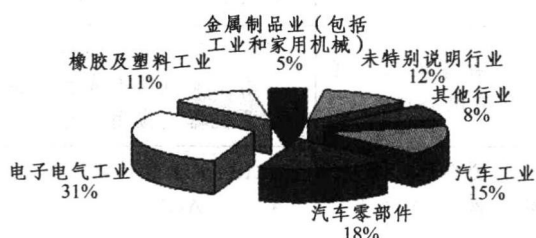


图 1.4 2005 年亚洲主要行业对工业机器人需求分布

在国内,工业机器人产业刚刚起步,但增长的势头非常强劲。如中国科学院沈阳自动化所投资组建的新松机器人公司,年利润增长在 40%左右。纵观世界各国发展工业机器人的产业过程,可归纳为三种不同的发展模式,即日本模式、欧洲模式和美国模式。

1. 日本模式

日本模式的特点是: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,各自分别完成交钥匙工程。

2. 欧洲模式

欧洲模式的特点是: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

美国模式的特点是: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,企业需要机器人时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。

综上所述,工业机器人的发展大致分为三个阶段。

第1代工业机器人:主要指 T/P 方式 (Teaching/Playback 方式,示教/再现方式) 的工业机器人。即为了让机器人完成某种作业,首先由操作者将为了作业的各种知识(如空间轨迹、作业条件、作业顺序等)通过某种手段,对机器人进行“示教”,而机器人的控制系统则将这些知识记忆下来,然后再根据“再现”指令,逐条取出这些知识。经过解读之后,在一定精度范围之内,反复忠实执行各种被示教过的复杂动作。目前,国际上商品化与实用化的工业机器人,绝大部分都是这种 T/P 方式。

第2代工业机器人:指具有一些简单智能(如视觉、触觉、力感知等)的工业机器人。第二代工业机器人早在两三年前就已获得实验室性的成功,但是由于智能信息处理系统的庞大与昂贵,尚不能普及。

第3代工业机器人:指具有自治性的工业机器人。即不仅具有视觉、触觉、力感知等智能,而且还具有像人一样的逻辑思维、逻辑判断机能。机器人依靠本身的智能系统对周围环境、作业条件等做出判断后,可自行进行工作。第三代工业机器人目前刚刚进入探索阶段。

1.3 工业机器人的组成与分类

1.3.1 工业机器人的组成

工业机器人由三大部分、六个子系统组成。三大部分是:机械本体、传感器部分和控制部分。六个子系统是:驱动系统、机械结构系统、感知系统、机器人-环境交互系统、人机交互系统以及控制系统。图 1.5 所示为工业机器人系统组成及相互关系。

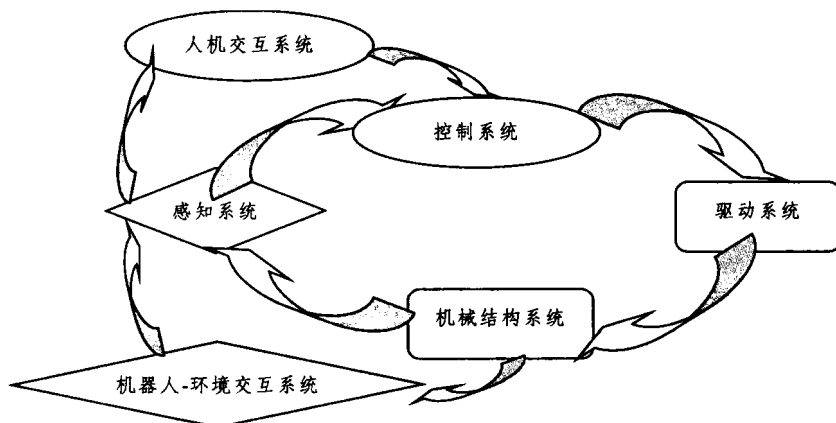


图 1.5 工业机器人系统组成及相互关系

1. 驱动系统

要使机器人运行起来,需要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。驱动系统可以是液压、气动或电动的，也可以是把它们结合起来应用的综合系统，还可以是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. 机械结构系统

工业机器人的机械结构系统由机身、手臂、末端执行器三大件组成，如图 1.6 所示。每一大件都要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。末端执行器是直接装在水腕上的重要部件，它可以是二手指或多个手指的手爪。

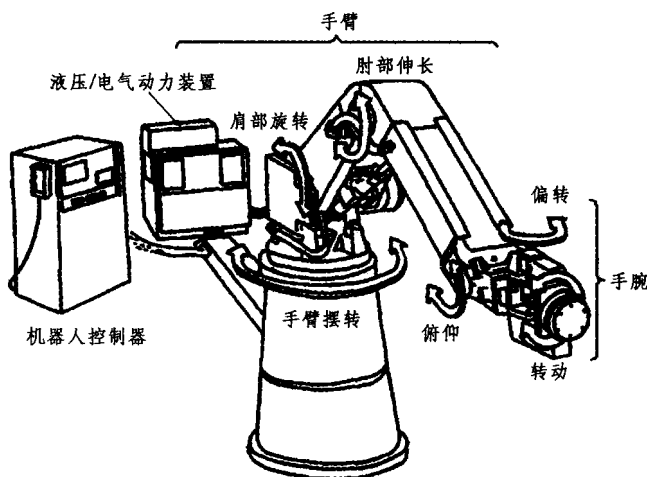


图 1.6 工业机器人结构系统

3. 感知系统

感知系统由内部传感器和外部传感器组成，其作用是获取机器人内部和外部环境信息，并把这些信息反馈给控制系统。内部状态传感器用于检测各个关节的位置、速度等变量，为闭环伺服控制系统提供反馈信息。外部传感器用于检测机器人与周围环境之间的一些状态变量，如距离、接近程度和接触情况等，用于引导机器人，便于其识别物体并做出相应处理。外部传感器一方面使机器人更准确地获取周围环境情况，另一方面也能起到误差矫正的作用。

4. 控制系统

控制系统的任务是根据机器人的作业指令从传感器获取反馈信号，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，则该控制系统称为开环控制系统；如果机器人具备信息反馈特征，则该控制系统称为闭环控制系统。该部分主要由计算机硬件和软件组成。软件主要由人机交互系统和控制算法等组成。

1.3.2 工业机器人的分类

工业机器人按三大部分（机械本体部分、感知器部分和控制部分）分类如图 1.7 所示。

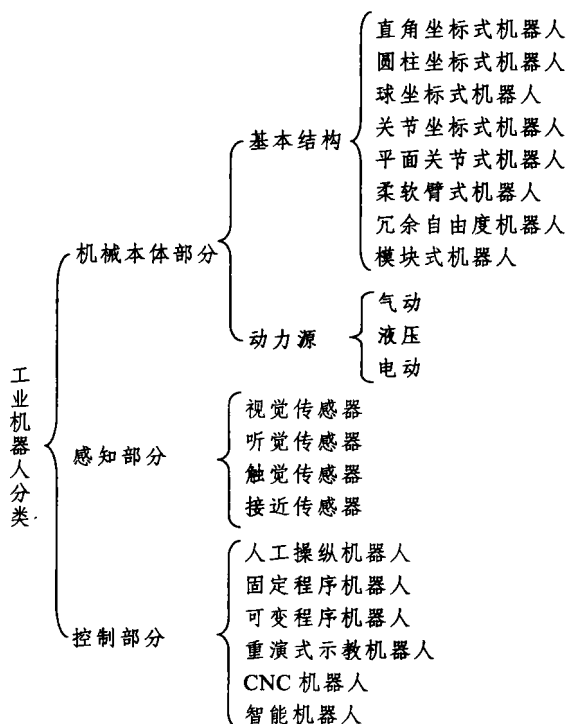


图 1.7 工业机器人分类

工业机器人按用途可分为以下几种：

1. 材料搬运机器人

搬运机器人用途很广泛，一般只需要点位控制，即被搬运工件无严格的运动轨迹要求，只要求起始点和终点的位姿准确。

最早的搬运机器人出现在 1960 年的美国，Versatran 和 Unimate 两种机器人首次用于搬运作业。搬运作业是指用一种设备握持工件，从一个加工位置移到另一个加工位置。搬运机器人可安装不同的末端执行器完成各种不同形状和状态的工件搬运工作，减少了人类繁重的体力劳动。目前世界上使用的搬运机器人超过 10 万台，被广泛应用于机床上下料、冲压机自动化生产线、自动装配流水线、码垛搬运、集装箱等的自动搬运。部分发达国家已制定相应标准，规定了人工搬运的最大限度，超过限度的必须由搬运机器人来完成。

2. 检测机器人

零件制造过程中的检测以及成品检测都是保证产品质量的关键。这类机器人的工作内容主要是确认零件尺寸是否在允许的公差内，或者控制零件按质量进行分类。

例如，油管接头螺纹加工完毕后，将环规旋进管端，通过测量旋进量或检测与密封垫的接触程度即可了解接头螺纹的加工精度。油管接头工件较重，环规的质量一般也都超过 15 kg，为了能完成螺纹检测任务的连续自动化动作（环规自动脱离、旋进自动测量等），需要油管接头螺纹检测机器人。该机器人是六轴多关节机器人，它的特点在于其手部机构是一个五自由度的柔顺螺纹旋进机构。另外还有一个卡死检测机构，能对螺纹旋进动作加以控制。

3. 焊接机器人

这是目前应用最广泛的一种机器人，它又分为电焊和弧焊两类。电焊机器人负荷大、动作快，工作的位姿要求严格，一般有 6 个自由度。弧焊机器人负载小、速度低，弧焊对机器人的运动轨迹要求严格，必须实现连续路径控制，即在运动轨迹的每个点都必须实现预定的位置和姿态要求。

弧焊机器人的 6 个自由度中，一般 3 个自由度用于控制焊具跟随焊缝的空间轨迹，另外 3 个自由度保持焊具与工件表面有正确的姿态关系，这样才能保证良好的焊缝质量。目前汽车制造厂已广泛使用焊接机器人进行承重大梁和车身的焊接。

MOTOMAN-EA1900N 是六自由度垂直多关节型焊接机器人（见图 1.8）。其主要参数，见表 1.3。

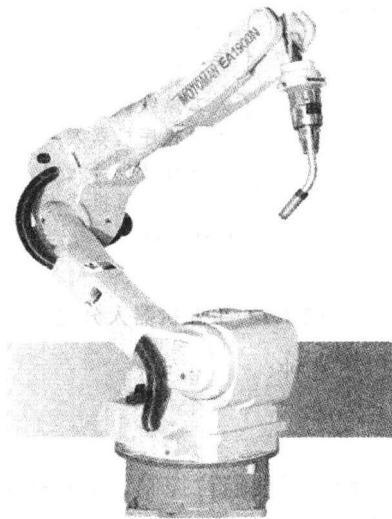


图 1.8 首钢 MOTOMAN-EA1900N

表 1.3 MOTOMAN-EA1900N 主要参数

规格说明	各轴最大动作范围
可控轴数：6	S 轴（回旋） $\pm 180^{\circ}$
载荷质量：3 kg（6.6 lbs.）	L 轴（下臂倾动） $+155^{\circ}/-110^{\circ}$
垂直达到距离：3, 418 mm（134.6"）	U 轴（上臂倾动） $+255^{\circ}/-165^{\circ}$
水平达到距离：1 904 mm（75"）	R 轴（手臂横摆） $\pm 150^{\circ}$
定位精度： ± 0.08 mm	B 轴（手腕俯仰） $+180^{\circ}\sim -45^{\circ}$
安装方式：地面安装	T 轴（手腕回旋） $\pm 200^{\circ}$
本体质量：280 kg	

油管接头螺纹检测机器人的作业对象是钢管，管径不同或管弯曲等原因会造成钢管定位的偏心，因此，需要在机器人手部安装摄像头识别钢管的位置，再根据图像匹配等技术识别钢管的中心线。