



北京市高等教育精品教材立项项目

“十三五”高职高专规划教材



# 工业机器人技术应用

✿ 陈淦漪 陈彬 主编



配电子课件

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

北京市高等教育精品教材立项项目

“十三五” 高职高专规划教材

# 工业机器人技术应用

主 编 陈淦漪 陈 彬

副主编 管小清 吕世霞

参 编 韩 鹏 叶 晖

主 审 王 刚



机械工业出版社

本书从工业机器人应用实际出发,以工业机器人工作站的全局为视角,介绍工业机器人的相关技术。全书共分为十一章,包括走近工业机器人、工业机器人的组成及工作原理、工业机器人运动学、工业机器人动力学、工业机器人的控制、工业机器人的示教编程、工业机器人的离线编程及仿真、工业机器人工作站及生产线、工业机器人工作站的维护、工业机器人的安全防护、工业机器人的发展趋势。

本书由浅入深,从机器人技术的基础出发,涉及机器人的操作、日常维护检修、安全使用等各个方面,实用性强,可作为高职高专机电类专业的教材和相近专业的本科教材,同时也可作为专业技术人员的参考用书。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 下载。咨询邮箱: [cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com)。咨询电话: 010-88379375。

## 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人技术应用 / 陈淦漪, 陈彬主编. —北京: 机械工业出版社, 2017. 8

北京市高等教育精品教材立项项目. “十三五” 高职高专规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 57473 - 6

I. ①工… II. ①陈…②陈… III. ①工业机器人 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TP242. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 165028 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 葛晓慧 责任编辑: 葛晓慧 张丹丹

版式设计: 霍永明 封面设计: 陈 沛

责任印制: 常天培 责任校对: 陈秀丽

北京京丰印刷厂印刷

2017 年 7 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.75 印张 · 312 字

0 001—1 900 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 57473 - 6

定价: 33.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前 言

在机器人技术快速发展的今天，工业机器人在世界范围内的产销量及安装量都在迅速增长，特别是在汽车制造业，机器人越来越多地取代人工操作，使汽车生产的自动化水平远远高于其他行业。随之而来的，是对机器人使用与维护人才的大量需求。为适应企业的需要，各高职高专学校纷纷开设机器人课程并希望有配套的教学用书。本书是编者在多年机器人课程教学的基础上与企业机器人相关技术人员合作完成的。本书以真实的企业机器人工作站、教学实训机器人工作站为实例，由浅入深，注重理论与实践相结合，涉及机器人机械结构、控制系统、传感系统、示教编程、维护检修的各个方面，但又不仅限于机器人本身，还涉及机器人周边的设备与机器人的联系，把机器人作为了一个自动化系统中的一员。

机器人技术是多学科技术的融合，涉及机械、电子、计算机、自动控制、人工智能等多个学科，书中尽可能多地将涉及的学科技术进行阐述，在机器人的本体结构中可以学到机械原理的应用，在机器人的控制中可以学习控制理论的应用，在机器人传感器技术中可以学到电子技术的应用，在机器人的伺服控制中可以学到电动机控制方法的应用，在机器人工作站中可以学到 PLC 及总线技术的应用，在机器人的编程操作中可以学到计算机技术的应用。

本书的特点是理论深度适当，注重实际应用，易读易懂，全方位介绍机器人相关知识与应用技术。

本书由陈淦漪、陈彬任主编，管小清、吕世霞任副主编，王刚任主审。第一章、第二章、第八章由陈彬编写，第三章、第四章由管小清编写，第五章、第七章由陈淦漪编写，第六章、第十章由吕世霞编写，第九章由韩鹏编写，第十一章由叶晖编写。

本书在编写过程中，参考和引用了大量的有关机器人的论著、资料，包括 KUKA 机器人、MOTOMAN 机器人的操作手册等，由于篇幅有限，不能在文中一一列举，感谢奔驰公司、ABB 公司、KUKA 公司技术人员的技术指导。由于水平有限，书中难免会有错误和不足之处，恳请读者给予批评指正。

编 者

# 目 录

前言	
第一章 走近工业机器人	1
第一节 机器人的发展历程	1
第二节 机器人的分类	2
第三节 工业机器人的应用现状	4
第二章 工业机器人的组成及工作 原理	7
第一节 工业机器人的组成	7
第二节 工业机器人的机械系统	8
第三节 工业机器人的传感器	22
第三章 工业机器人运动学	35
第一节 工业机器人坐标系及其转换	35
第二节 工业机器人运动学方程	44
第三节 雅可比方程与静力计算	50
第四章 工业机器人动力学	56
第一节 牛顿-欧拉方程	56
第二节 拉格朗日方程	60
第三节 工业机器人轨迹规划	64
第五章 工业机器人的控制	69
第一节 工业机器人控制方式的分类	69
第二节 工业机器人的位置控制	71
第三节 工业机器人的力(力矩) 控制	77
第四节 机器人控制系统的硬件结构	81
第五节 机器人的其他控制单元	83
第六章 工业机器人的示教编程	91
第一节 MOTOMAN 弧焊机器人编程	91
第二节 KUKA 点焊机器人编程	101
第三节 ABB 喷涂机器人编程	115
第七章 工业机器人离线编程 及仿真	129
第一节 机器人的语言类型	129
第二节 机器人的语言系统	131
第三节 工业机器人离线编程与仿真	134
第八章 工业机器人工作站及生 产线	139
第一节 弧焊机器人工作站	139
第二节 点焊机器人工作站	143
第三节 滚边机器人工作站	149
第四节 喷涂机器人生产线	153
第五节 冲压机器人生产线	158
第九章 工业机器人工作站的 维护	163
第一节 设备维护理论简介	163
第二节 弧焊机器人工作站的日常 维护	165
第三节 点焊机器人工作站的日常 维护	167
第四节 滚边机器人工作站的日常 维护	170
第五节 机器人工作站常见故障及 处理	175
第十章 工业机器人的安全防护	179
第一节 安全防护措施	179
第二节 机器人干涉	184
第三节 电磁干扰	186
第十一章 工业机器人的发展 趋势	189
第一节 机器人的最新发展	189
第二节 智能机器人技术	190
第三节 网络机器人技术	195
参考文献	200

## 走近工业机器人

工业机器人是机器人家族中的一员，所谓“机器人”到目前为止还没有非常确切的定义，机器人问世已有相当长的历史，但对机器人的定义却没有一个统一的意见。原因之一是机器人还在发展，新的机型、新的功能不断涌现，而且机器人涉及人的概念，成为一个难以回答的哲学问题。也许正是由于机器人定义的模糊，才给了人们充分的想象和创造空间。

概括地说，机器人（Robot）是自动进行工作的机器装置。它可以是各种样子，并不一定长得像人，也不见得以人类的动作方式活动。它既可以接受人类指挥，又可以运行预先编排的程序，也可以根据以人工智能技术制定的原则、纲领行动。它的任务是协助或取代人类的工作，例如生产加工、建筑作业，或是危险性大的工作。

### 第一节 机器人的发展历程

人类对机器人的幻想与追求已有 3000 多年的历史。据史料记载，早在西周时期，中国就已出现能歌善舞的伶人机器人。古代机器人不仅精巧，用途也很广泛。古人用滴漏计时的方法，其实就是一种自动化计时设备——水钟。水钟是用两个水壶一上一下放置，上面的水壶将水滴到下面的水壶里。下面的水壶中安放一个浮标，浮标旁有表示时间的刻度。这样，浮标随着水位的升高而升起，人们就会通过浮标的位置知道时间。

据《墨经》记载，春秋后期，我国著名的工匠鲁班，曾制造过一只木鸟，能在空中飞行“三日不下”。

公元前 2 世纪，亚历山大时代的古希腊人发明了最原始的机器人——自动机。它是用水、空气和蒸汽压力为动力的会动的雕像，它可以自己开门，还可以借助蒸汽唱歌。

1800 年前的汉代，大科学家张衡不仅发明了地动仪，而且发明了计里鼓车。计里鼓车每行一里，车上木人击鼓一下，每行十里击钟一下。

后汉三国时期，蜀国丞相诸葛亮成功地创造出了“木牛流马”，并用其运送军粮，支援前方战争。

1662 年，日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动机器玩偶，并在大阪的道顿堀演出。

现在保留下来的最早机器人是瑞士努萨蒂尔历史博物馆里的少女玩偶，它制作于 200 年前，两只手的 10 个手指可以按动风琴的琴键而弹奏音乐，现在还定期演奏供参观者欣赏。

现代机器人的研究始于 20 世纪中期，其技术背景是计算机和自动化的发展，以及原子能的开发利用。

1927年美国西屋公司工程师温兹利制造了第一个机器人“电报箱”，并在纽约举行的世界博览会上展出。它是一个电动机器人，装有无线电发报机，可以回答一些问题，但该机器人不能走动。

1947年，美国原子能委员会的阿尔贡研究所开发了遥控机械手，以代替人处理放射性物质。1948年又开发了机械式的主从机械手。

1954年美国戴沃尔最早提出了工业机器人的概念，并申请了专利。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。

1959年第一台工业机器人（可编程、圆坐标）在美国诞生，开创了机器人发展的新纪元。

1962年美国AMF公司推出了“VERSTRAN”机器人和UNIMATION公司推出了“UNIMATE”机器人。这些工业机器人的控制方式与数控机床大致相似，但外形特征迥异，主要由类似人的手和臂组成。

1965年，MIT的Robotics演示了第一个具有视觉传感器的、能识别与定位简单积木的机器人系统。

1967年日本成立了人工手研究会（现改名为仿生机构研究会），同年召开了日本首届机器人学术会议。

1970年在美国召开了第一届国际工业机器人学术会议。1970年以后，机器人的研究得到迅速广泛的普及。

1973年，辛辛那提·米拉克隆公司的理查德·豪恩制造了第一台由小型计算机控制的工业机器人，它是液压驱动的，能提升的有效负载达45kg。

1980年，工业机器人在日本得到了巨大发展，日本也因此而赢得了“机器人王国”的美称。

随着计算机技术和人工智能技术的飞速发展，机器人在功能和技术层次上有了很大的提高，移动机器人和机器人的视觉、触觉等技术就是典型的代表。由于这些技术的发展，推动了机器人概念的延伸。20世纪80年代，将具有感觉、思考、决策和动作能力的系统称为智能机器人，这是一个概括的、含义广泛的概念。这一概念不但指导了机器人技术的研究和应用，而且赋予了机器人技术向纵深发展的巨大空间，水下机器人、空间机器人、空中机器人、地面机器人、微小型机器人等各种用途的机器人相继问世，许多梦想成为现实。将机器人的技术（如传感技术、智能技术、控制技术）扩散和渗透到各个领域，形成了各式各样的机器人化机器。当前与信息技术的交互和融合又产生了“软件机器人”“网络机器人”的名称，这也说明了机器人所具有的创新活力。

## 第二节 机器人的分类

机器人按照应用领域的不同，可以分为主要用于军事领域的排雷机器人、装甲机器人、无人机等；用于科学探索的空间机器人、登月机器人、水下机器人；用于医学领域的手术机器人；用于娱乐的舞蹈机器人、弹奏机器人、玩具机器人；用于为人类服务的服务机器人、烹调机器人、管道清洁机器人；用于农业生产的采摘机器人；用于工业生产的工业机器人；

用于科学研究的仿生机器人等。

本书主要研究对象为工业机器人，现对工业机器人的常见类型加以介绍。

## 一、工业机器人按照驱动方式分类

### 1. 气动式

机器人的动力来源于压缩空气，气缸作为执行机构。这种形式的优点是气源方便，动作迅速，结构简单，造价低，维修方便。缺点是空气具有可压缩性，致使工作速度难以控制。因气源压力一般只有 60MPa 左右，故此类机器人适宜抓举力要求较小的场合。

### 2. 液动式

机器人的动力来源于液压缸或液压马达，相对气动式，液压式有较大的抓举力，可以达到几百千克，并且结构紧凑、传动平稳、耐冲击、耐振动、动作灵敏、防爆性好，但对密封的要求和制造精度较高，因而成本较高，且不宜在高温或低温的场合工作。

### 3. 电动式

用电力驱动有更多的优越性，不只是电源方便，不污染环境，而且驱动力大，可达到 400kg，更突出的优点是电力驱动可以采用多种灵活的控制方式，运动精度高、成本低、驱动效率高，并且信号检测、传递、处理方便，因此是应用最为广泛的一种驱动方式。电力驱动可分为步进电动机驱动、直流伺服电动机驱动、无刷伺服电动机驱动等。另外，还有混合驱动方式，如液-气或电-液混合驱动。

## 二、工业机器人按照用途分类

### 1. 焊接机器人

工业机器人最大的应用领域是汽车制造行业，在汽车制造行业中应用最多的是焊接机器人，焊接机器人还可以分为弧焊机器人和点焊机器人两种。弧焊机器人负荷为焊枪，因此较点焊机器人的负荷轻，速度低，但对运动轨迹要求严，运动轨迹的每一点都要按预定的姿态和位置移动。点焊机器人负荷大，因为点焊的焊钳重量较大，一般达上百公斤，动作快，工作点的姿态和位置要求严格。

### 2. 搬运机器人

搬运机器人的应用范围很广，在各个行业都有应用，搬运机器人的运动轨迹要求不高，但对搬运起点和终点的位置及姿态要求严格。多数用于上下料，如在汽车冲压生产线中，搬运机器人用于拆垛及冲压机的上下料，有时也用于工件的持握。

### 3. 喷涂机器人

喷涂机器人一般用于喷漆作业，在汽车生产中还用于涂胶作业，特点是负荷轻、速度慢，用于涂胶时对运动轨迹要求严格。由于漆雾易燃，一般采用液压驱动或伺服电动机驱动。

### 4. 装配机器人

装配机器人多用于机电产品的装配作业，一般自由度在 5 以下，手腕要求具有较好的柔性，位置精度要求较高，速度快。



### 三、工业机器人按照运动关节的数量分类

4轴（4自由度）、5轴（5自由度）、6轴（6自由度）和7轴（7自由度）等机器人，机器人的轴数越多，说明它的灵活性越好，工作能力也越强。机器人的自由度也是重要的机器人技术参数。

### 四、工业机器人按照发展程度分类

#### 1. 第一代机器人

第一代机器人主要指只能以示教-再现方式工作的工业机器人，称为示教-再现型。所谓示教，即由人教机器人运动的轨迹、停留点位、停留时间等。然后，机器人依照教给的行为、顺序和速度重复运动，即所谓的再现。示教可由操作员通过控制面板完成，操作人员利用控制面板上的开关或键盘控制机器人一步一步地运动，机器人以程序的形式记录下每一步动作的轨迹、速度、姿态，然后重复实现示教的动作。目前在工业现场应用的机器人大多采用这一方式。

#### 2. 第二代机器人

第二代机器人带有一些可感知环境的装置，通过反馈控制，使机器人能在一定程度上适应变化的环境。这样的技术现在正越来越多地应用在机器人上，如焊缝跟踪技术。在机器人焊接的过程中，一般通过示教方式给出机器人的运动曲线，机器人携带焊枪沿着这条曲线进行焊接。这就要求工件的一致性良好，也就是说工件被焊接的位置必须十分准确，否则，机器人行走的曲线和工件上实际焊缝位置将产生偏差。焊缝跟踪技术是在机器人上加一个传感器，通过传感器感知焊缝的位置，再通过反馈控制，机器人自动跟踪焊缝，从而对示教的位置进行修正。即使实际焊缝相对于原始设定的位置有变化，机器人仍然可以很好地完成焊接工作。

#### 3. 第三代机器人

第三代机器人是智能机器人，它具有多种感知功能，可进行复杂的逻辑推理、判断及决策，可在作业环境中独立行动；它具有发现问题且能自主地解决问题的能力。

这类机器人带有多种传感器，使机器人可以知道其自身的状态，例如在什么位置，自身的系统是否有故障等；且可通过装在机器人身上或者工作环境中的传感器感知外部的状态，例如发现道路与危险地段，测出与协作机器的相对位置与距离以及相互作用的力等。机器人能够根据得到的这些信息进行逻辑推理、判断、决策，在变化的内部状态与外部环境中，自主决定自身的行为。这类机器人具有高度的适应性和自治能力，这是人们努力使机器人达到的目标。经过科学家多年来不懈的研究，已经出现了很多各具特点的试验装置和大量的新方法、新思想。但是，在已应用的机器人中，机器人的自适应技术仍十分有限，该技术是机器人今后发展的方向。

## 第三节 工业机器人的应用现状

工业机器人的应用数量在逐年增加，据 IFR（国际机器人联合会）的统计（图 1-1），

全球工业机器人的年新安装数量 2006 年为 111052 台, 2007 年为 114365 台, 2008 年为 118900 台。全球工业机器人的累积安装量 2007 年为 994005 台, 2008 年为 1035900 台。IFR 的统计还表明, 我国工业机器人的年新安装数量 2006 年为 5570 台, 2007 年为 6581 台, 2008 年为 7500 台。

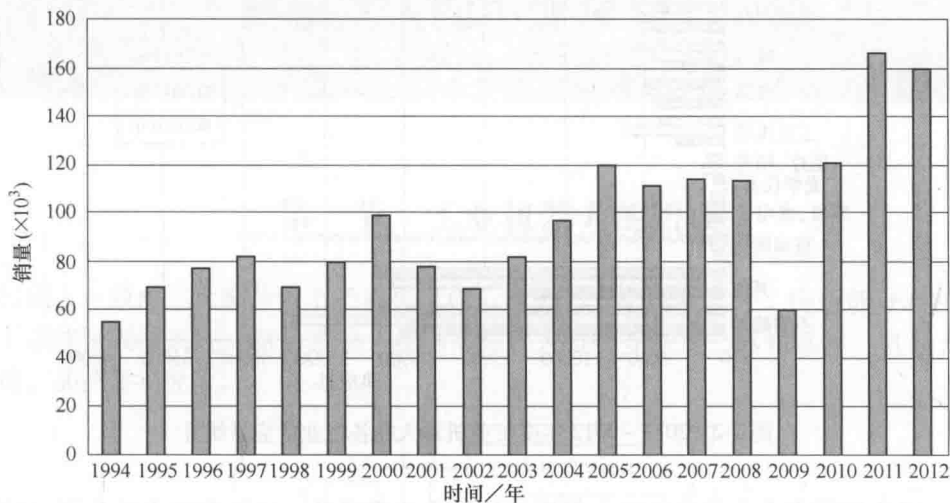


图 1-1 1994 ~ 2012 年度全球工业机器人销售数据统计

在亚洲, 2007 年新安装的机器人台数达到 61000 台。在欧洲, 2007 年机器人的销售量大约 34600 台, 增长 10%, 这是自从工业机器人诞生以来年度最大销量。德国是欧洲最大的工业机器人市场, 达到 14800 台, 增长 29%, 中欧和东欧国家的销量也达到了 56% 的增长幅度。

据悉, 截止到 2009 年底, 美国运行中的工业机器人大约有 19.4 万台。日本运行中的工业机器人为 33.98 万台, 德国 14.58 万台, 韩国 7.93 万台, 意大利 6.29 万台, 中国 3.68 万台, 印度 0.42 万台。

由于金融危机的影响, 2009 年运行中的工业机器人比 2008 年下降了 0.5%。随着经济逐步恢复, 2010 年开始恢复性增长。据 2013 年 IFR 发表的最新统计数据, 2011 年机器人销售数量比 2010 年增长了 38%, 2012 年工业机器人的销量创出历史第二高, 总销售量超过 159000 台, 仅比 2011 年的历史最高销量略微下降 4%。2008 ~ 2012 年期间, 机器人的年均销售增长率高达 9%。

2012 年, 全球汽车工业的机器人购买量继续上升 (图 1-2), 增幅为 6%。化学和橡胶工业、塑料工业以及食品工业的机器人订购量都开始升高, 而金属加工业和机床工业的订购则略有减少。

随着工业机器人应用的范围及数量不断增长, 也涌现出一批在国际上较有影响力的、著名的工业机器人公司。如瑞士的 ABB Robotics, 德国的 KUKA Roboter, 日本的 FANUC、Yaskawa (安川), 美国的 Adept Technology、American Robot、Emerson Industrial Automation、S-T Robotics, 意大利的 COMAU (柯马), 英国的 AutoTech Robotics, 加拿大的 Jcd International Robotics, 以色列的 Robogroup Tek 公司, 这些公司已经成为其所在地区的支柱性企业。

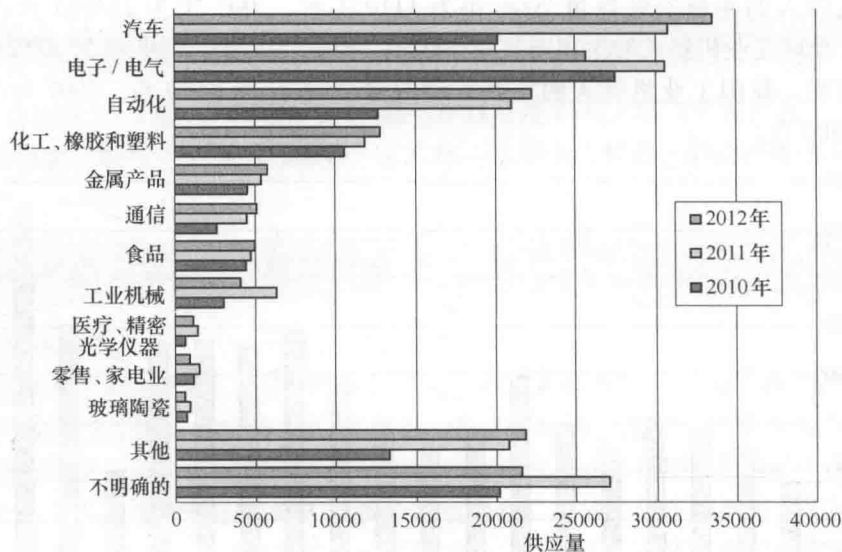


图 1-2 2010 ~ 2012 年度工业机器人在各行业供应量统计

在国内，工业机器人产业起步较晚，但增长的势头非常强劲。比较有实力的公司有首钢莫托曼机器人有限公司，新松机器人自动化股份有限公司。

首钢莫托曼机器人有限公司由中国首钢总公司、日本株式会社安川电机和日本岩谷产业株式会社共同投资组建，主营日本安川 MOTOMAN 系列机器人产品，广泛应用于弧焊、点焊、涂胶、切割、搬运、码垛、喷漆、科研及教学。

新松机器人自动化股份有限公司是由中国科学院沈阳自动化研究所为主发起人投资组建的高技术公司，是“机器人国家工程研究中心”“国家八六三计划智能机器人主题产业化基地”，是一家以先进制造技术为核心，拥有自主知识产权和核心技术的高科技企业。公司自 2000 年成立到现在，已成为中国最大的机器人产业化基地。自主研发了中国第一台工业机器人样机、中国第一台 AGV 自动导引车、中国第一台焊接机器人、中国第一台洁净（真空）机器人、中国第一台政务机器人，国产机器人实现批量出口，填补了国内空白，在中国机器人发展史上留下了辉煌灿烂的一页。其产品包括 RH6 弧焊机器人，RD120 点焊机器人及水切割、激光加工、排险、浇注等特种机器人。

## 工业机器人的组成及工作原理

### 第一节 工业机器人的组成

机器人一般由三大部分六个子系统组成，这三部分是机械部分、传感部分和控制部分。六个子系统是机械系统、驱动系统、控制系统、人机交互系统、感知系统、机器人-环境交互系统，如图 2-1 所示。

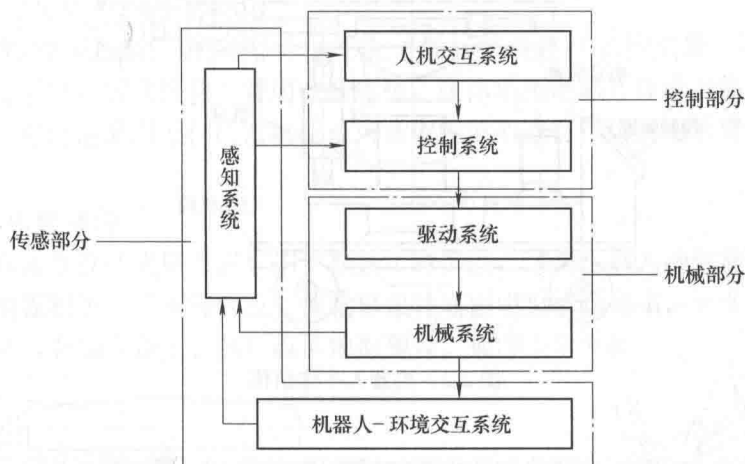


图 2-1 工业机器人组成

#### 1. 机械部分

机械部分是机器人的本体结构及驱动装置，相当于人体的躯干和手臂，以及各个关节，是机器人动作的主体，驱动系统可以是液压、气动、电动传动，或者把它们结合起来应用的综合系统。

#### 2. 传感部分

机器人的动作都是受控的，因此传感部分是必不可少的，通过各种传感器将机器人的位置、速度、角度、力度等信息反馈给控制器，通过人机交互系统使操作人员参与机器人控制，与机器人进行联系，通过机器人-环境交互系统实现机器人与外部环境中的设备相互联系和协调，使之达到控制要求。

#### 3. 控制部分

控制部分是机器人的大脑，它根据机器人的作业指令程序以及从传感器反馈回来的信号

来指挥机器人的动作，完成人类交给机器人的工作。

本章主要介绍机器人的机械部分和传感部分，有关控制部分的内容见第五章“工业机器人的控制”。

## 第二节 工业机器人的机械系统

工业机器人的机械结构系统是指其本体结构和机械传动系统，也是机器人的支撑基础和执行机构，大致分为机身、手臂、末端执行器几部分，这些部分之间以关节相连接，彼此之间可以产生相对运动。

机器人本体结构（图 2-2）是机器人的重要部分，所有的计算、分析和编程最终要通过本体的运动和动作完成特定的任务。机器人本体各部分的基本结构、材料的选择将直接影响整体性能。

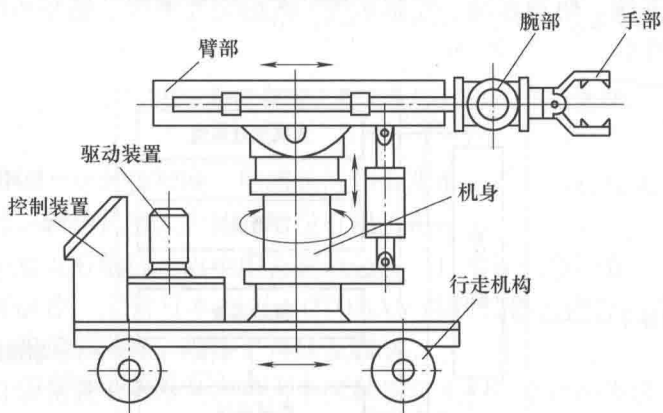


图 2-2 机器人本体结构

### 一、机器人本体结构的组成

由于应用场合不同，机器人结构形式多种多样，各组成部分的驱动方式、传动原理和机械结构也有各种类型。通常根据机器人各部分的功能，其机械部分主要由下列各部分组成。

#### （一）机身

机身又称立柱，是直接连接、支撑手臂及行走机构的部件。一般情况下，实现臂部的升降、回转或俯仰等运动的驱动装置或传动件都安装在机身上。臂部的运动越多，机身的结构和受力越复杂。大多数机器人必须有一个便于安装的基础部件，即机器人的基座，基座往往与机身做成一体，机身既可以是固定式的，也可以是行走式的，即在它的下部装有能行走的机构，可沿地面或架空轨道运行。

常用的机身结构有：

##### 1. 升降回转型机身结构

升降回转型机身，顾名思义，机身有垂直方向升降和水平方向回转两个自由度，可以采用摆动液压缸驱动，或用链条链轮传动，把直线运动变为链轮的回转运动，如图 2-3 所示。

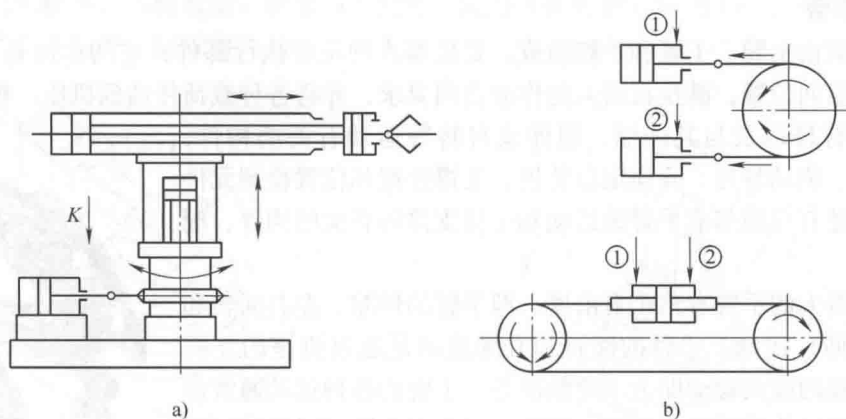


图 2-3 链条链轮传动实现机身回转原理图

a) 单杆活塞缸驱动链轮链条活塞机构 b) 双杆活塞缸驱动链轮链条活塞机构

## 2. 回转俯仰型机身结构

机器人手臂的俯仰运动一般采用活塞液压（气）缸与连杆机构实现。手臂俯仰运动的活塞缸位于手臂下方，活塞杆和手臂用铰链连接，缸体采用尾部耳环或中部销轴等方式与立柱连接。此外，有时也采用无杆活塞缸驱动齿条齿轮或四连杆机构实现手臂俯仰运动，如图 2-4 所示。

## 3. 直移型机身结构

直移型机身通常设计成横梁式，用于悬挂手臂部件，这类机器人的运动形式大多为移动式。它具有占地面积小、简单等优点。横梁可设计成固定型或行走型，一般横梁安装在厂房原有建筑的梁柱或有关设备上，也可以从地面架设，如图 2-5 所示。

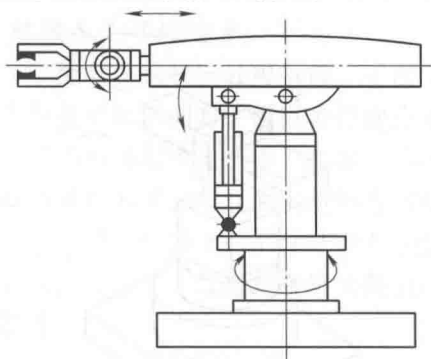


图 2-4 回转俯仰型机身结构

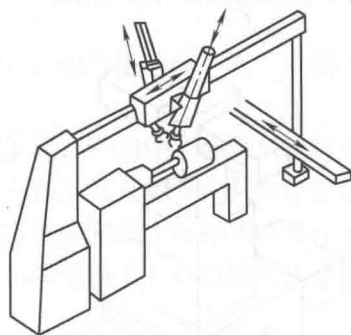


图 2-5 直移型机身结构

## 4. 类人机器人机身结构

荷兰 Mark Ho 设计的 ARTFORM No. 1 类人式机器人的机身如图 2-6 所示，它的机身上除了装有驱动臂部的运动装置外，还有驱动足部运动的装置和腰部关节，靠足部和腰部的屈伸运动来实现升降，腰部关节实现左右、前后的俯仰和人体轴线方向的回转运动。

## (二) 手臂

手臂一般由上臂、下臂和手腕组成，是机器人的主要执行部件，它的作用是支撑手部，改变手部的空间位置，满足机器人的作业空间要求，并将各种载荷传递到机座。机器人的臂部主要包括臂杆以及与其伸缩、屈伸或自转等运动有关的构件，如传动机构、驱动装置、导向定位装置、支撑连接和位置检测元件等。此外，还有与腕部或手臂的运动和连接支撑等有关的构件、配管配线等。

一般机器人的手臂有三个自由度，即手臂的伸缩、左右回转和升降（或俯仰）运动。手臂的回转和升降运动是通过机座的立柱实现的，立柱的横向移动即为手臂的横移。手臂的各种运动通常由驱动机构和各种传动机构来实现。手臂的三个自由度可以有不同的运动（自由度）组合，通常可以将其设计成以下四种形式：

### 1. 直角坐标型机器人

直角坐标型机器人手部空间位置的改变通过沿三个互相垂直的轴线的移动来实现，即沿着  $x$  轴的纵向移动，沿着  $y$  轴的横向移动及沿着  $z$  轴的升降。该形式机器人的位置精度高，控制无耦合、简单，避障性好，但结构较庞大，动作范围小，灵活性差，难与其他机器人协调；移动轴的结构较复杂，且占地面积较大，如图 2-7 所示。

### 2. 圆柱坐标型机器人

圆柱坐标型机器人通过两个移动和一个转动实现手部空间位置的改变，VERSATRAN 机器人是该型机器人的典型代表（图 2-8）。VERSATRAN 机器人手臂的运动系由垂直立柱平面内的伸缩和沿立柱的升降两个直线运动及手臂绕立柱的转动复合而成。圆柱坐标型机器人的位置精度仅次于直角坐标型，控制简单，避障性好，但结构也较庞大，难与其他机器人协调工作，两个移动轴的设计较复杂。

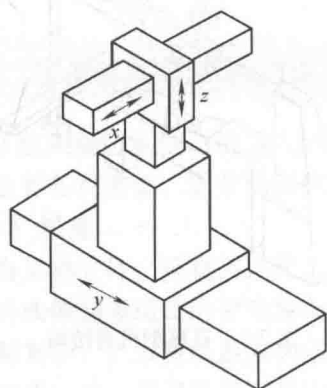


图 2-7 直角坐标型机器人

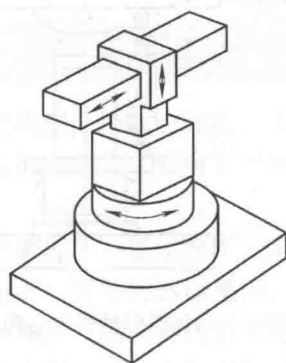


图 2-8 VERSATRAN 机器人

### 3. 球坐标型机器人

球坐标型机器人手臂的运动由一个直线运动和两个转动所组成，如图 2-9 所示，即沿手臂方向  $x$  轴的伸缩、绕  $y$  轴的俯仰和绕  $z$  轴的回转。UNIMATE 机器人是其典型代表。这类



图 2-6 类人机器人机身结构

机器人占地面积较小,结构紧凑,位置精度尚可,能与其他机器人协调工作,重量较轻,但避障性差,有平衡问题,位置误差与臂长有关。

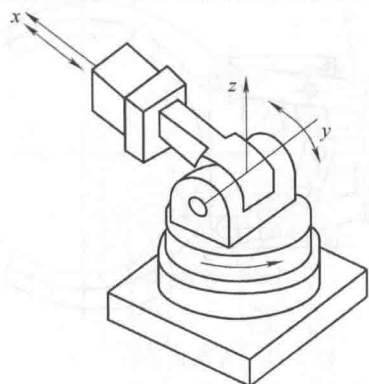


图 2-9 球坐标型机器人

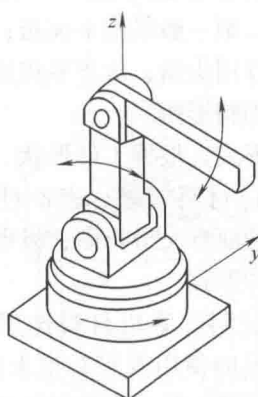


图 2-10 关节坐标型机器人

#### 4. 关节坐标型机器人

关节坐标型机器人主要由立柱、前臂和后臂组成(图 2-10),PUMA 机器人是其代表。机器人的运动由前、后臂的俯仰及立柱的回转构成,其结构最紧凑,灵活性大,占地面积最小,工作空间最大,能与其他机器人协调工作,避障性好,但位置精度较低,有平衡问题,控制存在耦合,故比较复杂,这种机器人目前应用得最多。

#### (三) 末端执行器

机器人为了进行作业,在机器人手腕上安装有直接抓握工件或执行作业的部件,称为机器人的手部或末端执行器,它可以是二手指或多手指的手爪,也可以是喷漆枪、焊枪等作业工具。

##### 1. 机器人手部的特点

(1) 手部与手腕相连处可拆卸 手部与手腕有机械接口,也可能有电、气、液接头。工业机器人作业对象不同时,可以方便地拆卸和更换手部。

(2) 手部的通用性比较差 机器人手部通常是专用的装置,例如,一种手爪往往只能抓握一种或几种在形状、尺寸、重量等方面相近似的工件;一种工具只能执行一种作业任务。

(3) 手部是一个独立的部件 它对于整个工业机器人来说是完成作业好坏以及作业柔性好坏的关键部件之一。具有复杂感知能力的智能化手爪的出现增加了工业机器人作业的灵活性和可靠性。

##### 2. 机器人手部的结构

机器人手部的主要功能是抓握和释放工件,如果手部是某种工具,则其功能为该工具的作业功能,如焊接或喷漆等。下面主要介绍具有抓握和释放功能的手爪结构并简单介绍专用手的结构。

(1) 夹钳式手爪 夹钳式是工业机器人最常用的一种手部形式,一般由手指、传动机构、驱动装置和支架组成,如图 2-11 所示。

1) 手指。它是直接与工件接触的构件。手部松开和夹紧工件,就是通过手指的张开和闭合来实现的。一般情况下,机器人的手部只有两个手指,少数有三个或多个手指。



①指端结构。结构形式常取决于被夹持工件的形状和特性,如图 2-12 所示。例如,若工件为圆柱形,往往采用 V 形手指;若工件为方形,则一般采用平面指;夹持小型或柔性工件用尖指;对于不规则形状的工件,用专用特形指。

②指面形式。根据工件形状、大小及其被夹持部位材料软硬、表面性质等不同,手指的指面有光滑指面、齿形指面和柔性指面三种形式。

③手指材料。手指材料选用恰当与否,对机器人的使用效果有很大的影响。对于夹钳式手部,其手指材料可选用一般碳素钢和合金结构钢。

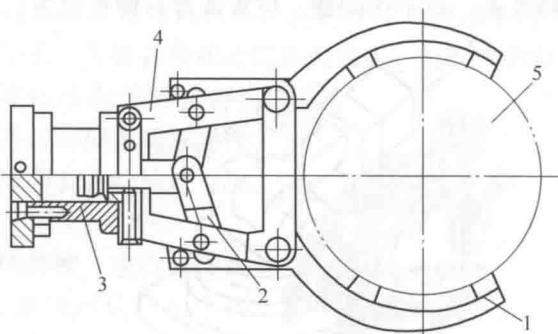


图 2-11 夹钳式手爪

1—手指 2—传动机构 3—驱动装置  
4—支架 5—工件

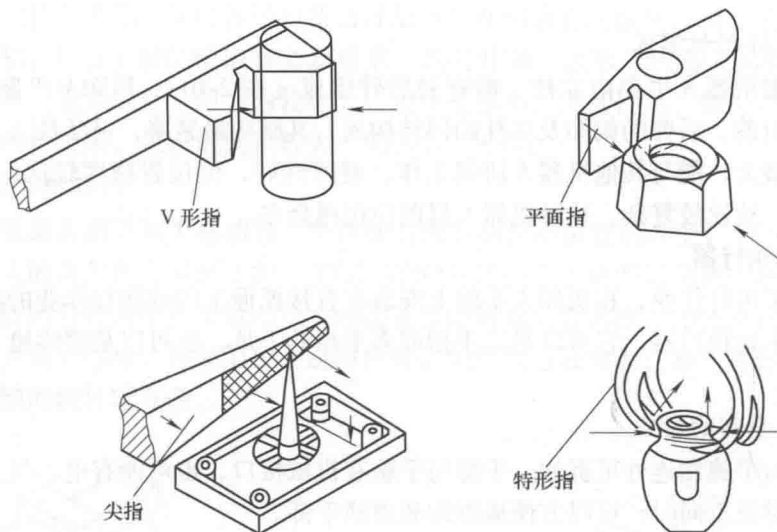


图 2-12 夹钳手爪指端

2) 传动机构。传动机构是将驱动源的驱动力向手指传递,以实现夹紧和松开动作的机构。根据手指开合的动作特点可分为回转型和平移型两类。

①回转型传动机构。夹钳式手部中较多的是回转型手部,其手指就是一对(或几对)杠杆,再同斜楔、滑槽、连杆、齿轮、蜗轮蜗杆或螺杆等机构组成复合式杠杆传动机构,来改变传力比、传动比及运动方向等。

图 2-13 所示为单作用斜楔式回转型手爪的结构图。斜楔向下运动,克服弹簧拉力,使杠杆手指装着滚子的一端向外撑开,从而夹紧工件。斜楔向上移动,则在弹簧拉力作用下,使手指松开。手指与斜楔通过滚子接触可以减小摩擦力,提高机械效率。有时为了简化结构,也可让手指与斜楔直接接触。

图 2-14 所示为滑槽式杠杆双支点回转型手爪简图。杠杆型手指的一端装有 V 形指,另