

# 第1章

## CHAPTER 1

# 工业机器人概论

随着科学技术的进步，人类的体力劳动已逐渐被各种机械所取代。工业机器人作为第三次工业革命的重要切入点，即将改变现有工业生产的模式，提升工业生产的效率。

工业机器人是一门多学科交叉的综合学科，涉及机械、电子、运动控制、传感检测、计算机技术等，它不是现有机械、电子技术的简单组合，而是这些技术有机融合的一体化装置。

目前，工业机器人技术的应用非常广泛，上至宇宙开发，下到海洋探索，各行各业都离不开机器人的开发和应用。工业机器人的应用程度是衡量一个国家工业自动化水平的重要标志。

## 1.1 工业机器人的定义及发展

### 1.1.1 工业机器人的定义

机器人（Robot）一词来源于捷克斯洛伐克作家卡雷尔·萨佩克于1921年创作的一个名为“Rossums Universal Robots”（罗萨姆万能机器人）的剧本。在剧本中，萨佩克把在罗萨姆万能机器人公司生产劳动的那些家伙取名为“Robot”（汉语音译为“罗伯特”），其意为“不知疲倦地劳动”。萨佩克把机器人定义为服务于人类的家伙，机器人的名字也由此而生。后来，机器人一词频繁出现在现代科幻小说和电影中。

随着现代科技的不断前进，机器人这一概念逐步演变成现实。在现代工业的发展过程中，机器人逐渐融合了机械、电子、运动、动力、控制、传感检测、计算技术等多门学科，成为现代科技发展极为重要的组成部分。

目前，虽然机器人面世已有几十年的时间，但仍然没有一个统一的定义。其原因之一就是机器人还在不断地发展，新的机型、新的功能不断涌现。

美国机器人协会将工业机器人定义为：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种种任务的,并具有编程能力的多功能操作机。

日本机器人协会指出:工业机器人是一种带有存储器件和末端操作器的通用机械,它能够通过自动化的动作替代人类劳动。

我国科学家对工业机器人的定义是: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。

国际标准化组织定义:工业机器人是一种仿生的、具有自动控制能力的、可重复编程的、多功能、多自由度的操作机械。

由此不难发现,工业机器人是由仿生机械结构、电动机、减速机和控制系统组成的,用于从事工业生产,能够自动执行工作指令的机械装置。它可以接受人类指挥,也可以按照预先编排的程序运行,现代工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则和纲领行动。

一般情况下,工业机器人应该具有以下四个特征:

- 1) 特定的机械结构。
- 2) 从事各种工作的通用性能。
- 3) 具有感知、学习、计算、决策等不同程度的智能。
- 4) 相对独立性。

### 1.1.2 工业机器人的发展

#### 1. 发展历史

大千世界,万事万物都遵循着从无到有、从低到高的发展规律,机器人也不例外。早在三千多年前的西周时代,中国就出现了能歌善舞的木偶,称为“倡者”,这可能是世界上最早的“机器人”。然而真正的工业机器人的出现并不久远,20世纪50、60年代,随着机构理论和伺服理论的发展,机器人开始进入了实用化和工业化阶段。

1954年,美国的乔治·德沃尔提出了一个与工业机器人有关的技术方案,并申请了“通用机器人”专利。该专利的要点在于借助伺服技术来控制机器人的各个关节,同时可以利用人手完成对机器人动作的示教,实现机器人动作的记录和再现。

1959年,德沃尔与美国发明家约瑟夫·英格伯格联手制造出第一台工业机器人 Unimate (见图 1-1),机器人的历史才真正拉开了帷幕。1960年,美国机器和铸造公司 AMF 生产了柱坐标型 Versatran 机器人(见图 1-2)。Versatran 机器人可进行点位和轨迹控制,是世界上第一台用于工业生产的机器人。

19世纪70年代的日本正面临着严重的劳动力短缺，这个问题已成为制约其经济发展的一个主要问题。毫无疑问，此时在美国诞生并已投入生产的工业机器人给日本带来了福音，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，工业机器人在日本得到了快速发展。如今，无论是机器人的数量还是机器人的密度，日本都位居世界第一，素有“机器人王国”之称。



图1-1 Unimate机器人

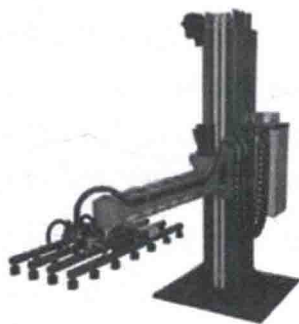


图1-2 Versatran机器人

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因素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。政府组织的项目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的政策，使英国工业机器人起步比当今的机器人大国——日本还要早，并曾经取得了辉煌的成绩。然而，这时候政府对工业机器人实行了限制发展的措施。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、瑞士、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，发展速度非常快。

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、松下和发那科。欧系中主要有德国的KUKA、CLOOS，瑞士的ABB，意大利的COMAU，英国的Autotech Robotics等。



我国工业机器人起步于20世纪70年代初期。经过30多年发展,大致经历了三个阶段:70年代萌芽期、80年代的开发期和90年代后的应用期。70年代,清华、哈工大、华中科大、沈阳自动化研究所等一批科研院所最早开始了工业机器人的理论研究。80~90年代,沈阳自动化研究所和中国第一汽车制造集团进行了机器人的试制和初步应用工作。进入21世纪以来,在国家政策的大力支持下,广州数控、沈阳新松、安徽埃夫特、南京埃斯顿等一批优秀的本土机器人公司开始涌现,工业机器人也开始在中国形成了初步产业化规模。现在,国家更加重视机器人工业的发展,也有越来越多的企业和科研人员投入到机器人的开发研究中。

目前,我国的科研人员已基本掌握了工业机器人的结构设计和制造技术、控制系统硬件和软件技术、运动学和轨迹规划技术,也形成了机器人部分关键元器件的规模化生产能力。一些公司开发出的喷漆、弧焊、点焊、装配、搬运等机器人已经在多家企业的自动化生产线上获得规模应用,焊接机器人也已广泛应用在汽车制造厂的焊装线上。

总体来看,我国的工业机器人由于起步较晚,在技术开发和工程应用水平与国外相比还有一定的差距。主要表现在以下几个方面:

第一,创新能力较弱,核心技术和核心关键部件受制于人,尤其是高精度的减速器长期需要进口,缺乏自主研发产品,影响总体机器人的产业发展。

第二,产业规模小,市场满足率低,相关基础设施服务体系建设明显滞后。中国工业机器人企业虽然形成了自己的部分品牌,但不能与国际知名品牌形成有力竞争。

第三,行业归口、产业规划需要进一步明确。

随着工业机器人的应用越来越广泛,国家也在积极推动我国机器人产业的发展。尤其是进入“十三五”以来,国家出台的《机器人产业发展规划(2016—2020)》对机器人产业进行了全面规划,要求行业、企业搞好系列化、通用化、模块化设计,积极推进工业机器人产业化进程。

## 2.发展趋势

机器人在许多生产领域的应用实践证明,它在提高生产自动化水平,提高劳动生产率、产品质量及经济效益,改善工人劳动条件等方面,有着令世人瞩目的作用。随着科学技术的进步,机器人产业必将得到更加快速的发展,工业机器人将得到更加广泛的应用。

(1) 技术发展趋势 在技术发展方面,工业机器人正向结构轻量化、智能化、模块化和系统化的方向发展。未来主要的发展趋势如下:

- 1) 机器人结构的模块化和可重构化。
- 2) 控制技术的高性能化、网络化。
- 3) 控制软件架构的开放化、高级语言化。

- 4) 伺服驱动技术的高集成度和一体化。
- 5) 多传感器融合技术的集成化和智能化。
- 6) 人机交互界面的简单化、协同化。

(2) 应用发展趋势 自工业机器人诞生以来,汽车行业一直是其应用的主要领域。2014年,北美机器人工业协会在年度报告中指出,截至2013年年底,汽车行业仍然是北美机器人最大的应用市场,但其在电子、电气、金属加工、化工、食品等行业的出货量却增速迅猛。由此可见,未来工业机器人的应用依托汽车产业,并迅速向各行业延伸。对于机器人行业来讲,这是一个非常积极的信号。

(3) 产业发展趋势 国际机器人联合会公布的数据显示,2013年,全球机器人装机量达到17.9万台,亚洲、澳洲占10万台,其中中国占36 560台,整个行业产值300亿美元。2014年,全球机器人销量22.5万台,亚洲的销量占到2/3,中国市场的机器人销量近45 500台,增长35%。到目前为止,全球的主要机器人市场集中在亚洲、澳洲、欧洲及北美,累计安装量已超过200万台。工业机器人的时代即将来临,并将在智能制造领域掀起一场变革。

## 1.2 工业机器人的基本组成及技术参数

### 1.2.1 工业机器人的基本组成

工业机器人是一种模拟人手臂、手腕和手功能的机电一体化装置。一台通用的工业机器人从体系结构来看,可以分为三大部分:机器人本体、控制器与控制系统以及示教器,具体结构如图1-3所示。

#### 1. 机器人本体

机器人本体是工业机器人的机械主体,是完成各种作业的执行机构。一般包含互相连接的机械臂、驱动与传动装置以及各种内外部传感器。工作时通过末端执行器实现机器人对工作目标的动作。

(1) 机械臂 大部分工业机器人为关节型机器人,关节型机器人的机械臂是由若干个机械关节连接在一起的集合体。图1-4所示为典型六关节工业机器人,由机座、腰部(关节1)、大

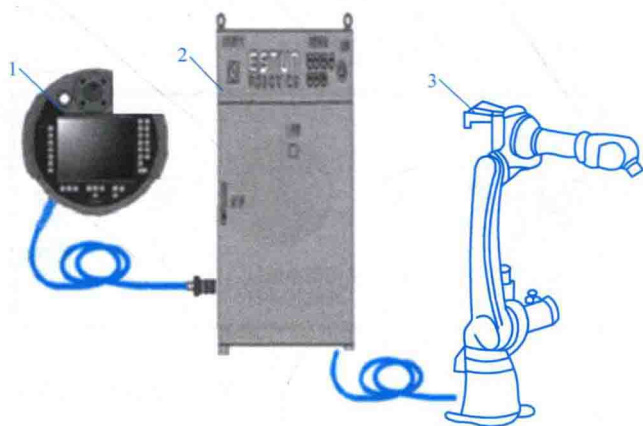


图1-3 工业机器人的基本组成

1—示教器 2—控制器 3—机器人本体

臂（关节2）、肘部（关节3）、小臂（关节4）、腕部（关节5）和手部（关节6）构成。

1) 机座。机座是机器人的支承部分，内部安装有机器人的执行机构和驱动装置。

2) 腰部。腰部是连接机器人机座和大臂的中间支承部分。工作时，腰部可以通过关节1在机座上转动。

3) 臂部。六关节机器人的臂部一般由大臂和小臂构成，大臂通过关节2与腰部相连，小臂通过肘关节3与大臂相连。工作时，大、小臂各自通过关节电动机转动，实现移动或转动。

4) 手腕。手腕包括手部和腕部，是连接小臂和末端执行器的部分，主要用于改变末端执行器的空间位姿，联合机器人的所有关节实现机器人预期的动作和状态。

(2) 驱动与传动装置 工业机器人的机座、腰部关节、大臂关节、肘部关节、小臂关节、腕部关节和手部关节构成了机器人的外部结构或机械结构。机器人运动时，每个关节的运动通过驱动装置和传动机构实现。图1-5所示为机器人运动关节的组成，要构成多关节机器人，其每个关节的驱动及传动装置缺一不可。



图1-4 典型六关节工业机器人

### 机器人单关节组成



### 多个关节



图1-5 机器人运动关节的组成

驱动装置是向机器人各机械臂提供动力和运动的装置。不同类型的机器人，驱动采用的动力源不同，驱动系统的传动方式也不同。驱动系统的传动方式主要有四种：液压式、气压式、电力式和机械式。电力驱动是目前使用最多的一种驱动方式，其特点是电源取用方便，响应快，驱动力大，信号检测、传递、处理方便，并可以采用多种灵活的控制方式。驱动电动机一般采用步进电动机或伺服电动机，目前也有的采用力矩电动机，但是造价较高，控制也较为复杂。和电动机相配的减速器一般采用谐波减速器、摆线针轮减速器或者行星轮减速器。



(3) 传感器 为检测作业对象及工作环境,在工业机器人上安装了诸如触觉传感器、视觉传感器、力觉传感器、接近传感器、超声波传感器和听觉传感器。这些传感器可以大大改善机器人工作状况和工作质量,使它能够更充分地完成复杂的工作。

## 2. 控制器及控制系统

控制系统是构成工业机器人的神经中枢,由计算机硬件、软件和一些专用电路、控制器、驱动器等构成。工作时,根据编写的指令以及传感信息控制机器人本体完成一定的动作或路径,主要用于处理机器人工作的全部信息。控制柜内部结构如图 1-6 所示。

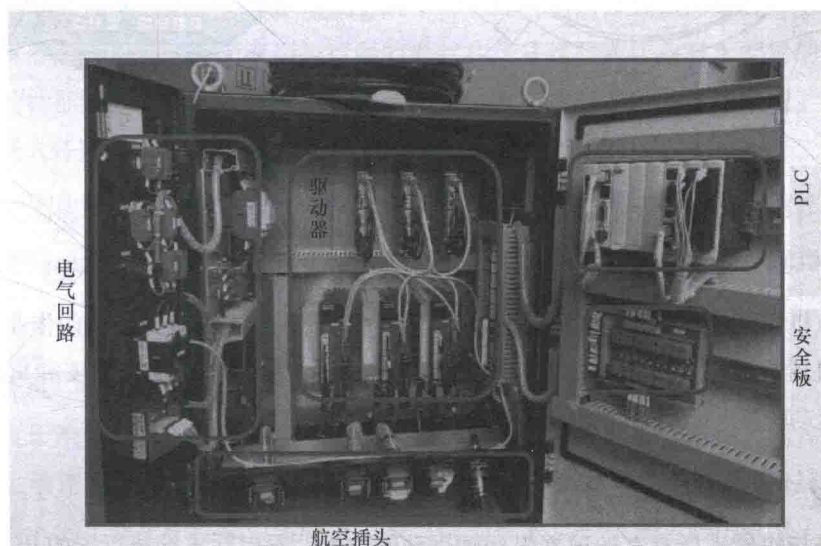


图1-6 控制柜内部结构

为实现对机器人的控制,除计算机硬件系统外,还必须有相应的软件控制系统。通过软件控制系统的支持,可以方便地建立、编辑机器人控制程序。目前,世界各大机器人公司都有自己完善的软件控制系统。

## 3. 示教器

示教器是人机交互的一个接口,也称示教盒或示教编程器,主要由液晶屏和可供触摸的操作按键组成。操作时由控制者手持设备,通过按键将需要控制的全部信息通过与控制器连接的电缆送入控制柜的存储器中,实现对机器人的控制。示教器是机器人控制系统的重要组成部分,操作者可以通过示教器进行手动示教,控制机器人到达不同位姿,并记录各个位姿点坐标;也可以利用机器人语言进行在线编程,实现程序回放,让机器人按编写好的程序完成轨迹运动。

示教器上设有用于对机器人进行示教和编程所需的操作键和按钮。一般情况下,不同机器人厂商示教器外观各不相同,但一般都包含中央的液晶显示区、功能按键区、急停按钮和出入线口。图 1-7 所示为某品牌机器人的示教器外观。

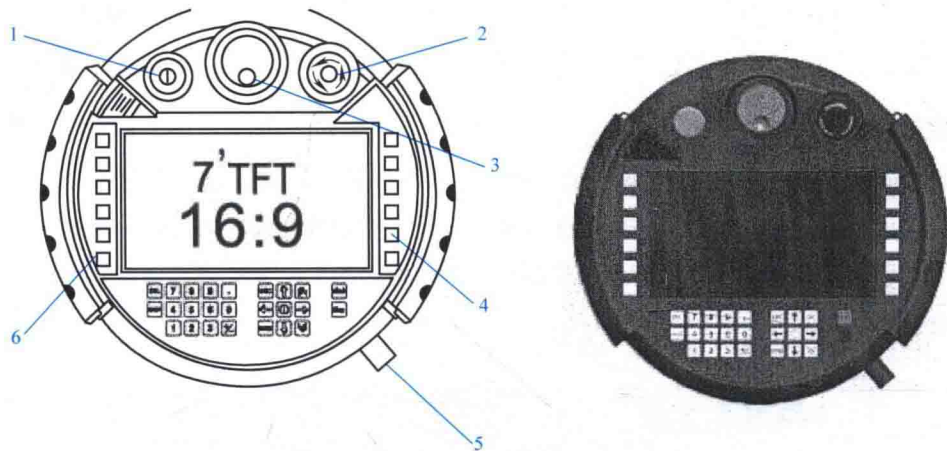


图1-7 某品牌机器人示教器外观

1—三位钥匙开关 2—急停 EMG 按钮 3—脉冲发生器（摇杆） 4、6—自定义按键 5—出线口

## 1.2.2 工业机器人技术参数

虽然工业机器人的种类、用途不尽相同，但任一工业机器人都有其使用的作业范围和要求。目前，工业机器人的主要技术参数有以下几种：自由度、分辨率、定位精度和重复定位精度、作业范围、运动速度和承载能力。

### 1. 自由度

自由度是指机器人所具有的独立坐标轴运动的数目，不包括末端执行器的开合自由度。一般情况下，机器人的一个自由度对应一个关节，所以自由度与关节的概念是等同的。自由度是表示机器人动作灵活程度的参数，自由度越多，机器人就越灵活，但结构也越复杂，控制难度越大，所以机器人的自由度要根据其用途设计，一般为3~6个。

### 2. 分辨率

分辨率是指机器人每个关节所能实现的最小移动距离或最小转动角度。工业机器人的分辨率分编程分辨率和控制分辨率两种。

编程分辨率是指控制程序中可以设定的最小距离，又称基准分辨率。当机器人某关节电动机转动 $0.1^\circ$ ，机器人关节端点移动直线距离为 $0.01\text{mm}$ ，其基准分辨率即为 $0.01\text{mm}$ 。

控制分辨率是系统位置反馈回路所能检测到的最小位移，即与机器人关节电动机同轴安装的编码盘发出单个脉冲电动机转过的角度。

### 3. 定位精度和重复定位精度

定位精度和重复定位精度是机器人的两个精度指标。定位精度是指机器人末端执行器的实



实际位置与目标位置之间的偏差，由机械误差、控制算法与系统分辨率等部分组成。典型的工业机器人定位精度一般在  $\pm (0.02\sim 5)$  mm 范围。

重复定位精度是指在同一环境、同一条件、同一目标动作、同一命令之下，机器人连续重复运动若干次时，其位置的分散情况，是关于精度的统计数据。因重复定位精度不受工作载荷变化的影响，故通常用重复定位精度这一指标作为衡量示教-再现工业机器人精度水平的重要指标。

#### 4. 作业范围

作业范围是机器人运动时手臂末端或手腕中心所能到达的位置点的集合，也称为机器人的工作区域。机器人作业时，由于末端执行器的形状和尺寸是跟随作业需求配置的，所以为真实反映机器人的特征参数，机器人作业范围是指不安装末端执行器时的工作区域。作业范围的大小不仅与机器人各连杆的尺寸有关，而且与机器人的总体结构形式有关。

作业范围的形状和大小是十分重要的，机器人在执行某作业时可能会因存在手部不能到达的盲区而不能完成任务，因此在选择机器人执行任务时，一定要合理选择符合当前作业范围的机器人。

#### 5. 运动速度

运动速度影响机器人的工作效率和运动周期，它与机器人所提取的重力和位置精度均有密切的关系。运动速度提高，机器人所承受的动载荷增大，必将承受着加减速时较大的惯性力，从而影响机器人的工作平稳性和位置精度。就目前的技术水平而言，通用机器人的最大直线运动速度大多在 1000mm/s 以下，最大回转速度一般不超过  $120^\circ/\text{s}$ 。

一般情况下，机器人的生产厂家会在技术参数中标明出厂机器人的最大运动速度。

#### 6. 承载能力

承载能力是指机器人在作业范围内的任何位姿上所能承受的最大重量。承载能力不仅取决于负载的重量，而且与机器人运行的速度和加速度的大小和方向有关。根据承载能力的不同，工业机器人大致分为：

- 1) 微型机器人——承载能力为 1N 以下。
- 2) 小型机器人——承载能力不超过  $10^5\text{N}$ 。
- 3) 中型机器人——承载能力为  $10^5 \sim 10^6\text{N}$ 。
- 4) 大型机器人——承载能力为  $10^6 \sim 10^7\text{N}$ 。
- 5) 重型机器人——承载能力为  $10^7\text{N}$  以上。

## 7. 机器人参数示例

MOTOMAN UP6 型机器人是日本安川电机生产的一种通用型机器人，其部分技术参数见表 1-1。

表 1-1 MOTOMAN UP6 型机器人部分技术参数

	机械结构	垂直多关节型
	自由度数	6
	载荷质量	6kg
	重复定位精度	$\pm 0.08\text{mm}$
	本体质量	130kg
	最大动作范围	
	S 轴（回旋）	$-170^{\circ}\sim+170^{\circ}$
	L 轴（下臂倾动）	$-90^{\circ}\sim+155^{\circ}$
	U 轴（上臂倾动）	$-170^{\circ}\sim+190^{\circ}$
	R 轴（手臂横摆）	$-180^{\circ}\sim+180^{\circ}$
	B 轴（手腕俯仰）	$-45^{\circ}\sim+225^{\circ}$
	T 轴（手腕回旋）	$-360^{\circ}\sim+360^{\circ}$
最大速度	S 轴	2.44rad/s ( 140°/s )
	L 轴	2.79rad/s ( 160°/s )
	U 轴	2.97rad/s ( 170°/s )
	R 轴	5.85rad/s ( 335°/s )
	B 轴	5.85rad/s ( 335°/s )
	T 轴	8.37rad/s ( 500°/s )

## 1.3 工业机器人的分类及典型应用

工业机器人的种类很多，其功能、特征、驱动方式、应用场合等参数不尽相同。目前，国际上还没有形成机器人的统一划分标准。本书将主要从机器人的结构特征、控制方式、驱动方式、应用领域等几个方面进行分类。

### 1.3.1 按结构特征划分

机器人的结构形式多种多样，典型机器人的运动特征用其坐标特性来描述。按结构特征来分，工业机器人通常可以分为直角坐标机器人、柱面坐标机器人、球面坐标机器人（又称极坐标机器人）、多关节机器人、并连关节机器人等。

#### 1. 直角坐标机器人

直角坐标机器人是指在工业应用中，能够实现自动控制的、可重复编程的、在空间上具有

相互垂直关系的三个独立自由度的多用途机器人，其结构如图 1-9 所示。

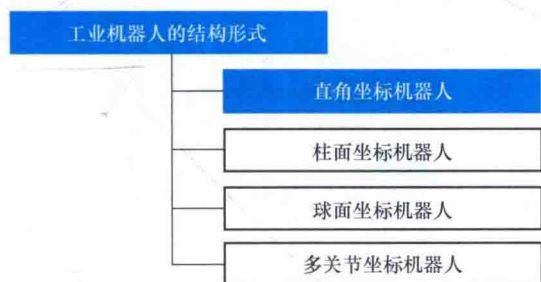


图 1-8 工业机器人结构形式类型

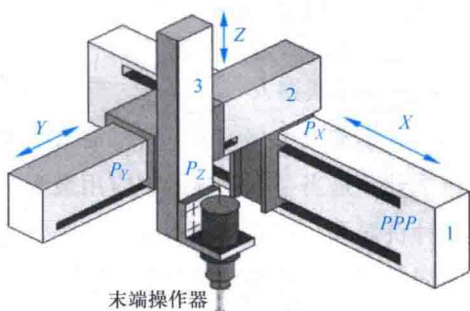


图 1-9 直角坐标机器人

从图 1-9 中可以看出，机器人在空间坐标系中有三个相互垂直的移动关节  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ，每个关节都可以在独立的方向移动。

直角坐标机器人的特点是直线运动、控制简单。缺点是灵活性较差，自身占据空间较大。

目前，直角坐标机器人可以非常方便地用于各种自动化生产线中，可以完成诸如焊接、搬运、上下料、包装、码垛、检测、探伤、分类、装配、贴标、喷码、打码、喷涂、目标跟随以及排爆等一系列工作。

## 2. 柱面坐标机器人

柱面坐标机器人是指能够形成圆柱坐标系的机器人，如图 1-10 所示。其结构主要由一个旋转机座形成的转动关节和垂直、水平移动的两个移动关节构成。柱面坐标机器人末端执行器的姿态由参数  $(z, r, \theta)$  决定。

柱面坐标机器人具有空间结构小、工作范围大、末端执行器速度快、控制简单、运动灵活等优点。缺点是工作时，必须有沿  $r$  轴线前后方向的移动空间，空间利用率低。

目前，柱面坐标机器人主要用于重物的装卸、搬运等工作。著名的 Versatran 机器人就是一种典型的柱面坐标机器人。

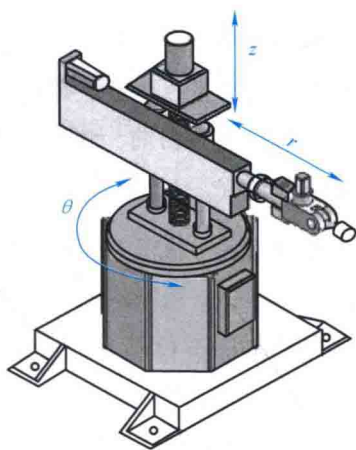


图 1-10 柱面坐标机器人

## 3. 球面坐标机器人

球面坐标机器人的结构如图 1-11 所示，一般由两个回转关节和一个移动关节构成。其轴线按极坐标配置， $R$  为移动坐标， $\beta$  是手臂在铅垂面内的摆动角， $\theta$  是绕手臂支承底座垂直轴的转动角。这种机器人运动所形成的轨迹表面是半球面，

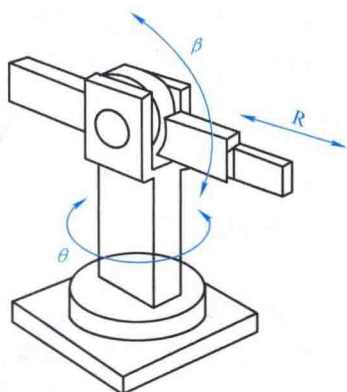


图 1-11 球面坐标机器人



所以称为球面坐标机器人。

球面坐标机器人同样占用空间小，操作灵活且范围大，但运动学模型较复杂，难以控制。

#### 4. 多关节机器人

关节机器人也称关节手臂机器人或关节机械手臂，是当今工业领域中应用最为广泛的一种机器人。多关节机器人按照关节的构型不同，又可分为垂直多关节机器人和水平多关节机器人。

垂直多关节机器人主要由机座和多关节臂组成，目前常见的关节臂数是 3~6 个。某品牌六关节臂机器人的结构如图 1-12 所示。

由图 1-12 可知，这类机器人由多个旋转和摆动关节组成，其结构紧凑，工作空间大，动作接近人类，工作时能绕过机座周围的一些障碍物，对装配、喷涂、焊接等多种作业都有良好的适应性，且适合电动机驱动，关节密封、防尘比较容易。目前，瑞士 ABB、德国 KUKA、日本安川以及国内的一些公司都在推出这类产品。

水平多关节机器人也称为 SCARA( Selective Compliance Assembly Robot Arm ) 机器人。水平多关节机器人的结构如图 1-13 所示。这类机器人一般具有四个轴和四个运动自由度，它的第一、二、四轴具有转动特性，第三轴具有线性移动特性，并且第三轴和第四轴可以根据工作需要的不同，制造成多种不同的形态。

水平多关节机器人的特点在于作业空间与占地面积比很大，使用起来方便；在垂直升降方向刚性好，尤其适合平面装配作业。

目前，水平多关节机器人广泛应用于电子产品工业、汽车工业、塑料工业、药品工业和食品工业等领域，用以完成搬取、装配、喷涂和焊接等操作。

#### 5. 并联机器人

并联机器人是近些年来发展起来的一种由固定机座和具有若干自由度的末端执行器、以不少于两条独立运动链连接形成的新型机器人。

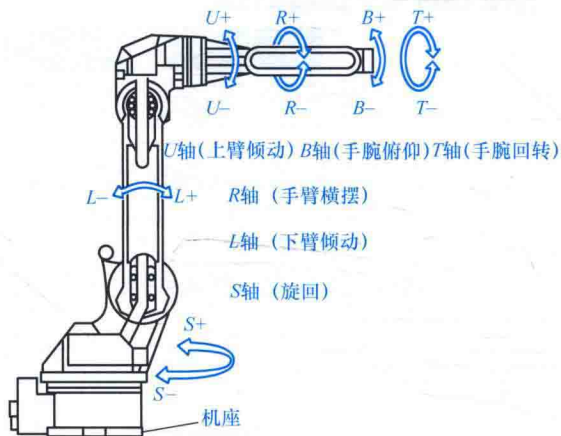


图1-12 六关节臂机器人的结构

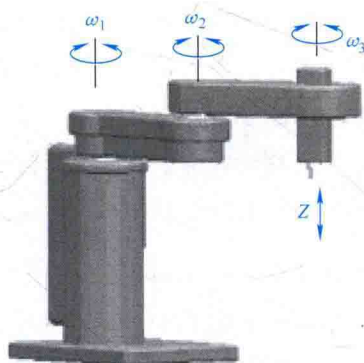


图1-13 水平多关节机器人

图 1-14 所示为六自由度并联机器人。和串联机器人相比，并联机器人具有以下特点：

- 1) 无累积误差，精度较高。
- 2) 驱动装置可置于定平台上或接近定平台的位置，运动部分重量轻，速度高，动态响应好。
- 3) 结构紧凑，刚度高，承载能力大。
- 4) 具有较好的各向同性。
- 5) 工作空间较小。

并联机器人广泛应用于装配、搬运、上下料、分拣、打磨、雕刻等需要高刚度、高精度或者大载荷而无需很大工作空间的场合。



图1-14 并联机器人

### 1.3.2 按控制方式划分

工业机器人根据控制方式的不同，可以分为伺服控制机器人和非伺服控制机器人两种。机器人运动控制系统最常见的方式就是伺服系统。伺服系统是指精确地跟随或复现某个过程的反馈控制系统。在很多情况下，机器人伺服系统的作用是驱动机器人机械手准确地跟随系统输出位移指令，达到位置的精确控制和轨迹的准确跟踪。

伺服控制机器人又可细分为连续轨迹控制机器人和点位控制机器人。点位控制机器人的运动为空间点到点之间的直线运动。连续轨迹控制机器人的运动轨迹可以是空间的任意连续曲线。

### 1.3.3 按驱动方式划分

根据能量转换方式的不同，工业机器人驱动类型可以划分为液压驱动、气压驱动、电力驱动和新型驱动四种类型。

#### 1. 气压驱动

气压驱动机器人是以压缩空气来驱动执行机构的。这种驱动方式的优点是：空气来源方便，动作迅速，结构简单。缺点是：工作的稳定性与定位精度不高，抓力较小，所以常用于负载较小的场合。

#### 2. 液压驱动

液压驱动是使用液体油液来驱动执行机构的。与气压驱动机器人相比，液压驱动机器人具有大得多的负载能力，其结构紧凑，传动平稳，但液体容易泄漏，不宜在高温或低温场合作业。

### 3. 电力驱动

电力驱动是利用电动机产生的力矩驱动执行机构的。目前，越来越多的机器人采用电力驱动方式，电力驱动易于控制，运动精度高，成本低。

电力驱动又可分为步进电动机驱动、直流伺服电动机驱动及无刷伺服电动机驱动等方式。

### 4. 新型驱动

伴随着机器人技术的发展，出现了利用新的工作原理制造的新型驱动器，如静电驱动器、压电驱动器、形状记忆合金驱动器、人工肌肉及光驱动器等。

## 1.3.4 按应用领域划分

工业机器人按作业任务的不同可以分为焊接、搬运、装配、码垛、喷涂等类型机器人。

### 1. 焊接机器人

焊接机器人是从事焊接作业的工业机器人，如图 1-15 所示。焊接机器人常用于汽车制造领域，是应用最为广泛的工业机器人之一。目前，焊接机器人的使用量约占全部工业机器人总量的 30%。

焊接机器人又可以分为点焊机器人和弧焊机器人。从 20 世纪 60 年代开始，焊接机器人焊接技术日益成熟，在长期使用过程中，主要体现了以下优点：

- 1) 可以稳定提高焊件的焊接质量。
- 2) 提高了企业的劳动生产率。
- 3) 改善了工人的劳动强度，可替代人类在恶劣环境下工作。
- 4) 降低了工人操作技术的要求。
- 5) 缩短了产品改型换代的准备周期，减少了设备投资。

### 2. 搬运机器人

搬运机器人是可以进行自动搬运作业的工业机器人，如图 1-16 所示。最早的搬运机器人是 1960 年美国设计的 Versatran 和 Unimate，搬运时机器人末端夹具设备握持工件，将工件从一个加工位置移动到另一个加

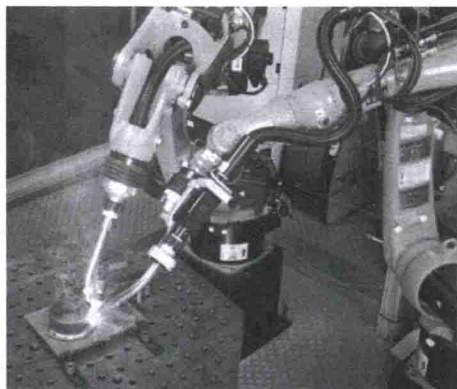


图1-15 焊接机器人

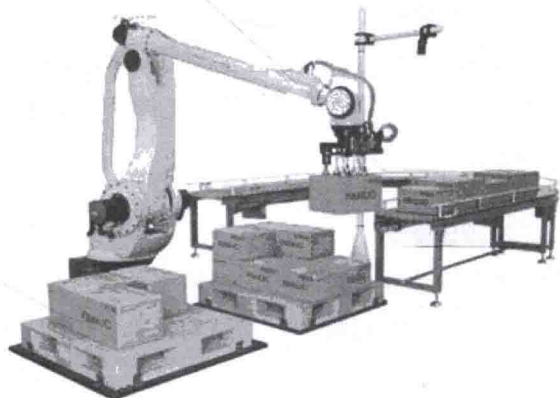


图1-16 搬运机器人



工位置。目前世界上使用的搬运机器人超过 10 万台，广泛应用于机床上下料、压力机自动化生产线、自动装配流水线、码垛搬运、集装箱搬运等的场合。

搬运机器人又分为可以移动的搬运小车（AGV），用于码垛的码垛机器人，用于分解的分解机器人，用于机床上下料的上下料机器人等。其主要作用就是实现产品、物料或工具的搬运，主要优点如下：

- 1) 提高生产率，一天可以 24h 无间断地工作。
- 2) 改善工人劳动条件，可在有害环境下工作。
- 3) 降低工人劳动强度，减少人工成本。
- 4) 缩短了产品改型换代的准备周期，减少相应的设备投资。
- 5) 可实现工厂自动化、无人化生产。

### 3. 装配机器人

装配机器人是专门为装配而设计的机器人。常用的装配机器人主要可以完成生产线上一些零件的装配或拆卸工作。从结构上来分，主要有 PUMA 机器人（可编程通用装配操作手）和 SCARA 机器人（水平多关节机器人）两种类型。

PUMA 机器人是美国 Unimation 公司于 1977 年研制的由计算机控制的多关节装配机器人。它一般有 5~6 个自由度，可以实现腰、肩、肘的回转以及手腕的弯曲、旋转和扭转等功能，如图 1-17 所示。

SCARA 机器人是一种特殊的柱面坐标工业机器人，它有三个旋转关节，其轴线相互平行，在平面内进行定位和定向。另一个关节是移动关节，用于完成末端件在垂直方向上的运动。这类机器人的结构轻便、响应快，例如 Adept1 型 SCARA 运动速度可达 10m/s，比一般关节机器人快数倍。它最适用于平面定位、垂直方向进行装配的作业。图 1-18 所示为某品牌的 SCARA 机器人。

与一般工业机器人相比，装配机器人具有精度高、柔顺性好、工作空间小、能与其他系统配套使用等特点。在工业生产中，使用装配机器人可以保证产品质量，降低成本，提高生产自动化水平。目前，装配机器人主要用于各种电器（包括家用电器，如电视机、录音机、洗衣机、电冰箱、吸尘器）的制造，小型电动机、汽车及其零部件、计算机、玩具、机电产品及其组件的装配等。图 1-19 所示为装配机器人装配作业。

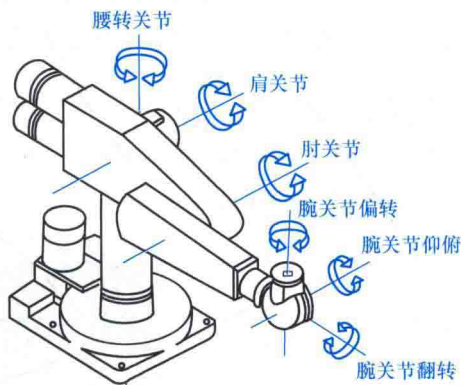


图1-17 PUMA562机器人



图1-18 某品牌的SCARA机器人

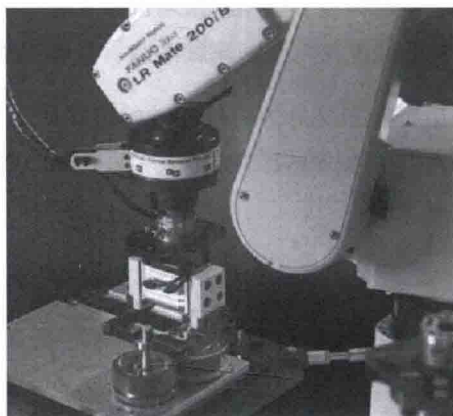


图1-19 装配机器人装配作业

#### 4. 喷涂机器人

喷涂机器人是可进行自动喷漆或喷涂其他涂料的工业机器人，1969年由挪威 Trallfa 公司发明。喷涂机器人主要由机器人本体、计算机和相应的控制系统组成。液压驱动的喷涂机器人还包括液压动力装置，如油泵、油箱和电动机等。喷涂机器人多采用五自由度或六自由度关节式结构，手臂有较大的工作空间，并可做复杂的轨迹运动，其腕部一般有 2 ~ 3 个自由度，可灵活运动。较先进的喷涂机器人腕部采用柔性手腕，既可向各个方向弯曲，又可转动，其动作类似人的手腕，能方便地通过较小的孔伸入工件内部，喷涂其内表面。

喷涂机器人一般采用液压驱动，具有动作速度快、防爆性能好等特点，可通过手动示教或点位示教来实现示教编程。喷涂机器人广泛用于汽车、仪表、电器、搪瓷等工艺生产部门。图 1-20 所示为喷涂机器人在汽车表面喷涂作业。



图1-20 喷涂机器人在汽车表面喷涂作业

喷涂机器人的主要优点如下：

- 1) 柔性大，工作空间大。
- 2) 可提高喷涂质量和材料利用率。

- 3) 易于操作和维护。可离线编程，大大地缩短了现场调试时间。
- 4) 设备利用率高。喷涂机器人的利用率可达 90%~95%。

## 思考练习题

1. 简述工业机器人的定义和主要特征。
2. 简述工业机器人的基本组成及其作用。
3. 简述工业机器人各参数的定义：自由度、重复定位精度、工作空间、运动速度、承载能力。
4. 工业机器人的分类方式有哪几种？各有什么特点？
5. 什么是 SCARA 机器人？应用上有何特点？
6. 什么是 PUMA 机器人？它有什么特点？
7. 并联机器人有哪些特点？它适用于哪些场合？
8. 工业机器人控制器的主要功能有哪些？
9. 说明工业机器人的主要应用场合。这些场合有什么特点？