

本章简要介绍机器人的定义、发展、组成、分类及应用实例,目的在于使读者从总体上对机器人系统有一个初步的了解。

1.1 工业机器人及其产生和发展

1.1.1 工业机器人

机器人是“ROBOT”一词的中译名。ROBOT 是捷克剧作中一个角色的名字,它是一个完全服从于主人并只能按主人的命令办事的奴隶。由于机器人这一名词中带有“人”字,再加上科幻小说或影视宣传,人们往往把机器人想象成为外貌像人的机械装置。但事实并非如此,特别是目前使用最多的工业机器人,与人的外貌毫无相像之处,通常只是仿效人体手臂功能的机械电子装置。

根据 1989 国标报批稿,工业机器人定义为:“一种能自动定位控制、可重复编程的、多功能的、多自由度的操作机。能搬运材料、零件或操持工具,用以完成各种作业”。而操作机又定义为:“具有和手臂相似的动作功能,可在空间抓放物体或进行其他操作的机械装置。”

根据 ISO 8373 的定义,工业机器人是指面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器人。工业机器人与以前常说的机械手最主要的差别是工业机器人在控制系统中装有电子计算机,可通过改变软件的方法实现动作程序的变化,以完成多种作业要求。机械手没有电子计算机,动作程序通常不能改变,只能硬件稍加变更。所以,可以认为,机械手是电子计算机出现之前,程序固定的适合于大批量生产的专用自动机械。而机器人则是由电子计算机装备的、程序可编程的、适合于多品种小批量生产的通用自动机械。

1.1.2 工业机器人的产生和发展

1954 年,美国人 George C. Devol 提出了一个关于工业机器人的技术方案,并注册成为专利。然后,Condec 公司采用 Devol 的方案,于 1960 年推出了工业机器人的实验样机。不久 Condec 公司与 Pulman 公司合并,成立 Unimation 公司,并于 1961 年将它们制造的用于模铸生产的第一台工业机器人定名为“Unimate”,如图 1-1 所示。与此同时,美国的 AMF

公司也推出了一台数控自动通用机电装置,商品名为“Versatran”,并以“industrial Robot”为商品广告投入市场。

工业机器人的发展在美国经历了如下几个阶段:1954—1967年为研制定型阶段,这一阶段的最终成果是 Unimate 1900 型机器人;1968—1970 年为进入实际应用阶段,1969 年美国通用汽车公司用自行研制的 21 台 SAM 型机器人组成了点焊车身生产线;1970 年以后,机器人技术一直处于推广和发展阶段,如 1970 年 4 月在伊利诺斯理工学院召开了第一届全美工业机器人会议,当时美国已有 200 余台机器人应用于自动生产线上,同时还出现了用小型计算机控制 50 台工业机器人的系统;2011 年,奥巴马政府在先进制造计划基础上,启动了国家机器人计划(National Robotics Initiative,NRI),该计划的总体目标是加速美国工业机器人的开发和使用,核心目标是建立美国在下一代机器人技术及应用方面的领先技术;美国政府又在 2016 年启动了国家机器人计划 2.0:无所不在的协作机器人(National Robotics Initiative: Ubiquitous Collaborative Robots,NRI-2.0),该计划大幅扩展了 NRI 计划的范围和目标,重点是协作机器人,强调可扩展性和连接性,主要关注的方面包括多机器人协同、人机协同,机器人同其他设备、环境的合作,降低机器人使用门槛,以及建立整体的工作体系等。

日本丰田和川崎公司分别于 1967 年引进了美国的 Unimate 和 Versatran 机器人。随后,经过消化、仿制、改进、创新,到 1980 年机器人技术得到了很大普及。目前,日本在拥有工业机器人台数和制造技术方面都处于世界领先地位。其他诸如西欧、东欧地区及苏联/俄罗斯等国也都在大力发展机器人技术。

至今,在国外已经形成“欧系”和“日系”两大机器人阵营,包含众所周知的四大家族,即瑞典 ABB、德国 KUKA、日本 FANUC、日本 YASKAWA(图 1-2)。



图 1-1 第一台用于压铸生产的机器人



图 1-2 YASKAWA 工业机器人

相较于工业水平发达的国家,我国工业机器人的研究和发展起步较晚。为赶超国外发达技术,20 世纪 80 年代,国家在高技术计划中安排了智能机器人的研究开发,已取得一批成果。90 年代初期,在国家“863”计划支持下,我国工业机器人又在实践中迈进一大步,具有自主知识产权的点焊、弧焊、装配、喷漆、切割、搬运、包装码垛等 7 种工业机器人产品相继问世,还实施了 100 多项机器人应用工程,建立了 20 余个机器人产业化基地。在 20 世纪 90 年代中期,国家已选择以焊接机器人的工程应用为重点进行开发研究。90 年代后半期实现了国产机器人的商品化,为产业化奠定基础。图 1-3 所示为我国国产品牌伯朗特工业机

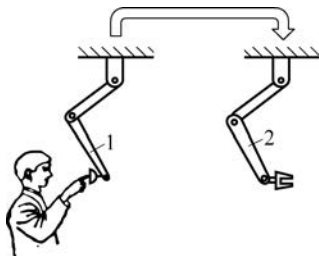
器人在从事搬运工作。

2008—2017年,我国工业机器人技术不断突破,销量不断攀升,已连续三年保持全球第一,并成为全球最大的工业机器人生产、消费市场。其销量由2001年的不到700台迅猛增长至2017年的约8.9万台,16年间增长超过127倍,年均增长率约为36%。“一带一路”倡议的提出,为我国制造业发展提供了更大的平台,同时也对我国自动化装备水平提出了新的要求。在新时代背景下,我国工业机器人产业规模不断壮大,销量不断攀升,全球市场占有率逐步推进,自2013年开始,该比例首次超过20%,2017年达到34.2%。随着国内工业机器人需求量的增加以及国产品牌的崛起,未来我国工业机器人市场占比有望持续走高。

随着原子能的利用、深海勘探和航天技术的需要,发展了遥控操作手。机器人技术是遥控操作(Remote Manipulation)技术和机床数控(Numerical Control)技术相结合而发展起来的。1948年研制了一台如图1-4所示的遥控操作手。它由两部分组成,一部分是由人操纵的具有六个自由度的主手;另一部分是装置在一定距离之外的从手。从手与主手几乎相似,也具有六个自由度,是进行工作的实体。当主手由人操作进行工作时,各关节位置检测装置的检测结果作为命令被传送到从手,去指挥相应关节的驱动器,从而使从手复现主手的运动,以完成预定的作业。这种遥控操作手(又称作主-从操作手)后来又发展成为从手可将部分力反馈到主手,使操作者具有力感觉的更先进的操作手,这种操作手至今还被广泛用于某些生产中。



图 1-3 国产品牌伯特工业机器人



1—主手; 2—从手。

图 1-4 主-从操作手

数控机床是把伺服控制系统与数字计算机相结合而形成的新型机床,它根据程序进行工作。1953年美国麻省理工学院(MIT)放射实验室首次展示出了这种机床。工业机器人可看作按 George C. Devol 的示教再现(teach-in/playback)方案进行工作的数控系统与遥控操作手的从手相结合的新型机电一体化系统。最初的示教方式是:人们用手抓住机器人的“手”,缓慢地进行示教工作。在示教过程中,机器人各关节的几何参数变化被检测出来,并进行存储。到工作时,再把这些存储的数据作为命令去指挥机器人的关节驱动器进行工作(称作再现),从而复现已经进行过的示教运动。

目前,世界上很多工业机器人仍然是以示教再现方式进行工作。但示教方式不单是手把手示教,更多的采用了可以手持并移动的示教盒进行示教,示教盒是一个如图1-5所

示的小型操作按钮“盘”，利用盒面上的不同按钮，可以慢速地使操作机单轴(关节)运动，或多关节联合运动以合成空间直线或圆弧运动，完成示教要求，示教也可在控制台的键盘上进行。

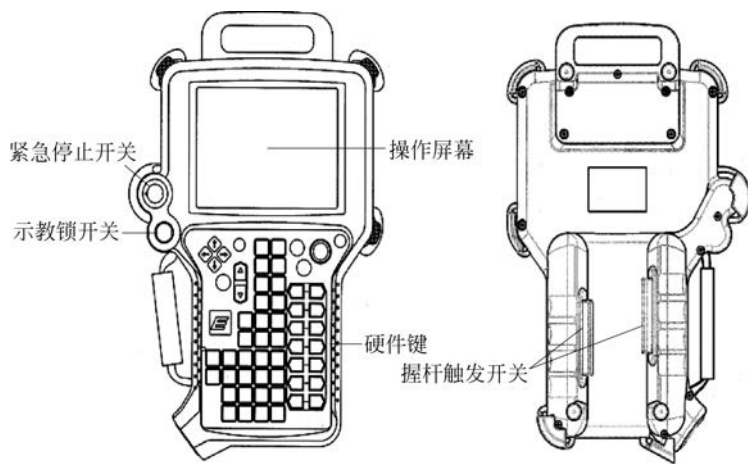


图 1-5 示教盒

示教实质上是在生产线上模拟作业过程，利用给定或控制计算机记忆的方法，取得作业要求的位姿、速度以及其他工艺要求的全部数据，并由控制系统的计算机生成作业程序，从而控制机器人运动，完成所模拟作业要求的全部动作。所以示教可以理解为以模拟生产的方式进行机器人控制程序的编制(国标称为在线编程)，但其速度较慢，影响生产。所以人们在大力研究与作业对象不发生直接联系的控制程序编制方法(国标称为离线编程)，但由于设备、控制和作业环境的各种误差，离线编出的程序往往不能直接用于生产，还需在作业过程中进行校正。这种只能对不同作业按不同程序重复工作，没有感知和环境信息反馈控制的机器人，常称为第一代机器人。

随着科学技术的发展，特别是传感技术的发展，以及工业生产对机器人的性能要求越来越高，带有触觉、力觉、视觉、听觉等简单智能的机器人应运而生，其中带有力传感器和简单“视觉”功能的机器人已用于工业生产，这种机器人常称为第二代机器人。

20 世纪 80 年代，机器人进入了普及期，随着制造业的发展，使工业机器人在发达国家走向普及，并向高速、高精度、轻量化、成套系列化和智能化发展，以满足多品种、少批量的需要。到了 20 世纪 90 年代，随着计算机技术、智能技术的进步和发展，第二代具有一定感觉功能的机器人已经实用化并开始推广，具有视觉、触觉、高灵巧手指、能行走的第三代智能机器人相继出现并开始走向应用。

2020 年，中国机器人产业营业收入首次突破 1000 亿元。“十三五”期间，工业机器人产量从 7.2 万套增长到 21.2 万套，年均增长 31%。从技术和产品上看，精密减速器、高性能伺服驱动系统、智能控制器、智能一体化关节等关键技术和部件加快突破，创新成果不断涌现，整机性能大幅提升，功能愈加丰富，产品质量日益优化。行业应用也在深入拓展，例如，工业机器人已在汽车、电子、冶金、轻工、石化、医药等 52 个行业大类、143 个行业中类广泛应用。据悉，重载 AGV(Automated Guided Vehicle)可用于航天、高压容器、大型建筑工程、模块化建筑工程等行业。

1.2 工业机器人的组成

工业机器人通常由如图 1-6 所示的四部分组成,即执行机构、驱动装置、控制系统和智能系统。这些部分之间的相互作用,可用图 1-7 所示的方框图表示。对于第一代机器人,没有智能系统。

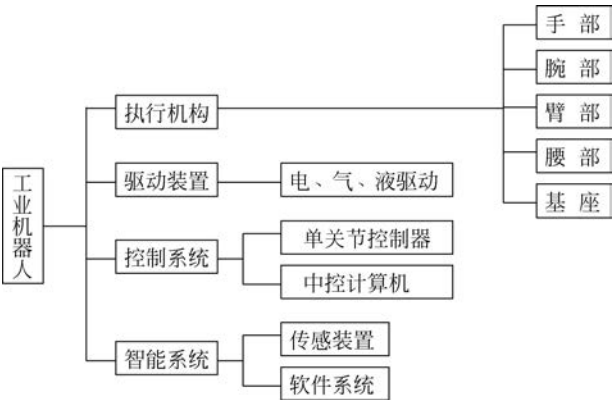


图 1-6 机器人的组成

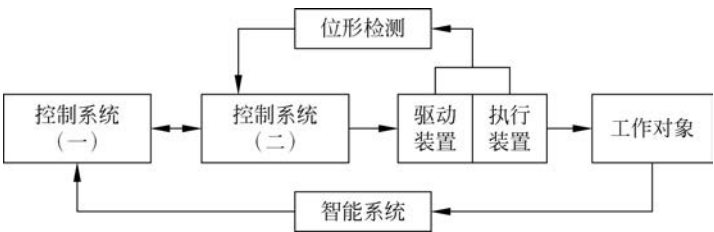


图 1-7 机器人各组成部分之间的关系

1.2.1 执行机构

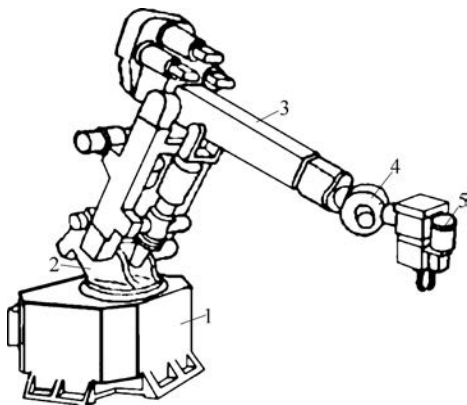
执行机构是机器人赖以完成工作任务的实体,它通常由杆件和关节组成。从功能的角度可分为手部、腕部、臂部、腰部和基座,如图 1-8 所示。根据国标,执行机构称作操作机,又常称为本体。

1. 手部

手部,国标称作末端执行器,是工业机器人直接进行工作的部分,可以是各种夹持器、电焊枪、油漆喷头等。图 1-9 是一种常见的肩部。

2. 腕部

腕部通过机械接口与手部相连。它通常有三个自由度,多数是复杂的轮系结构,如图 1-10 所示。它可以看作三个关节的组合,主要功用是带动手部完成任意姿势(或姿态)。



1—基座；2—腰部；3—臂部；4—腕部；5—手部。

图 1-8 机器人的执行机构

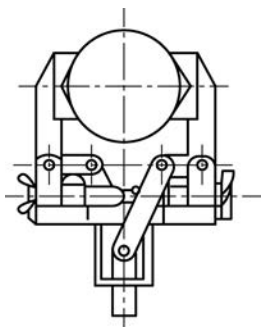


图 1-9 手部

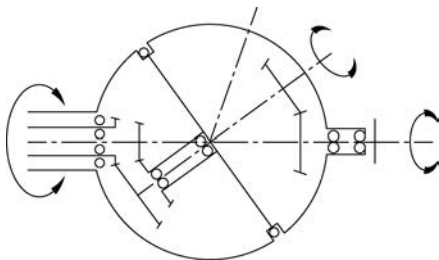


图 1-10 腕部传动简图

3. 臂部

臂用来连接腰部和腕部,通常由两个臂杆组成,从而带动腕部运动。

4. 腰部

腰部是连接臂部和基座的部件,通常是回转部件。由于它的回转,再加上臂部的运动,就能使腕部进行空间运动。腰部是执行机构(操作机)的关键部件,它的制造误差、运动精度和平稳性对机器人的定位精度有决定性的影响。

5. 基座

基座是整个机器人的支撑部分,有固定式和移动式两类。该部件必须有足够的刚度和稳定性。

1.2.2 驱动装置

驱动装置是向机械结构系统提供动力的装置。工业机器人的驱动装置包括驱动器和传动机构两部分,它们通常与执行机构联成一体。根据动力源不同,驱动系统的传动方式分为液压式、气压式、电气式和机械式四种。

早期的工业机器人采用液压驱动。由于液压系统存在泄漏、噪声和低速不稳定等问题,并且功率单元笨重和昂贵,目前只有大型重载机器人、并联加工机器人和一些特殊应用场合

使用液压驱动的工业机器人。气压驱动具有速度快、系统结构简单、维修方便、价格低等优点。但是气压装置的工作压强低,不易精确定位,一般仅用于工业机器人末端执行器的驱动。气动手爪、旋转气缸和气动吸盘作为末端执行器可用于中、小负荷的工件抓取和装配。

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,驱动力量大,信号检测、传递、处理方便,并可以采用多种灵活的控制方式,驱动电机一般采用步进电机或伺服电机,目前也有采用直接驱动电机;但是造价较高,控制也较为复杂,和电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齿轮减速器。由于并联机器人中有大量的直线驱动需求,直线电机在并联机器人领域已经得到了广泛应用。

1.2.3 控制系统

控制系统一般由控制计算机和驱动装置伺服控制器组成。后者控制各关节的驱动器,使各杆件按一定的速度、加速度和位置要求运动。前者则要根据作业要求完成编程,并发出指令控制各伺服驱动装置使各杆件协调工作,同时还要完成环境状况、周边设备(如电焊机、工卡具等)之间的信息传递和协调工作。图 1-11 是 PUMA 机器人的控制系统框图,它是由几个单片机控制的数字伺服系统和一台控制计算机组成的。

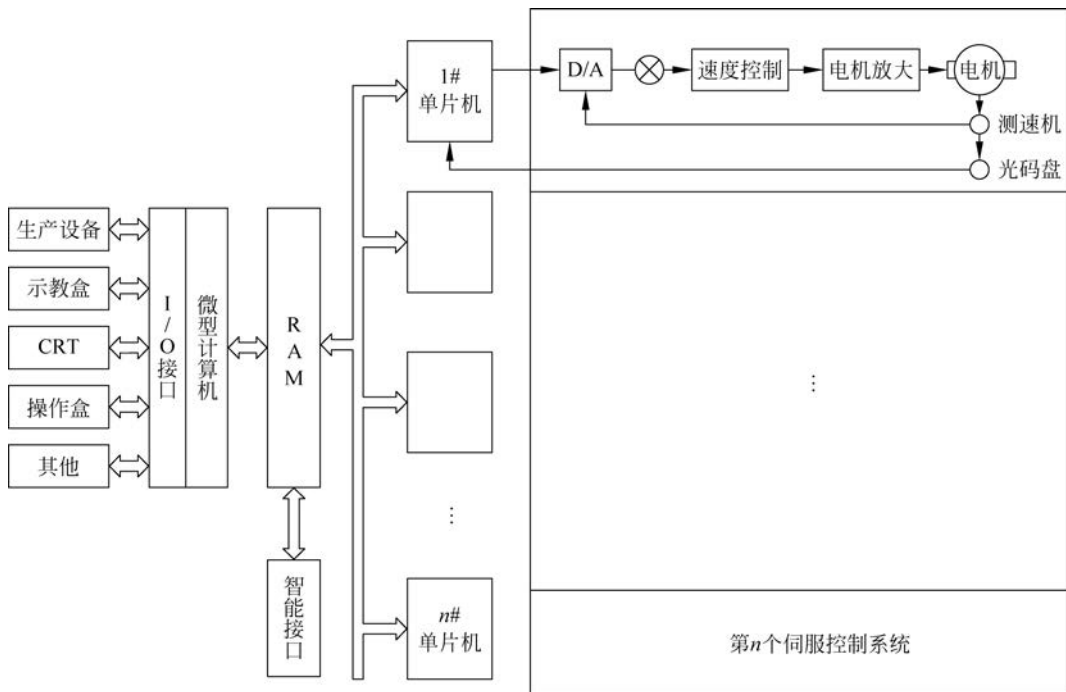


图 1-11 PUMA 机器人的控制系统

1.2.4 智能系统

智能系统是目前机器人系统中正在迅速发展的一个子系统。它主要由两个部分组成：一部分为感知系统；另一部分为分析-决策-规划系统。前者主要靠硬件(各类传感器)实现，

后者主要靠软件(如专家系统和人工智能)实现。如已用于商品生产的六维力感觉传感器如图 1-12 所示。

它可装于机器人的手部,感知手部三个方向的力和三个方向的力矩。在装配作业中,机器人的控制系统可根据这一组力感觉信息,调整手部位姿,使装配作业得以顺利完成。在弧焊机器人系统中已运用了焊缝的红外线跟踪系统,具有视觉功能,能感知焊丝与焊缝之间的偏差,当偏差超过某一定值时,控制系统可自动调整焊丝位置,使焊接能够顺利地高质量进行。

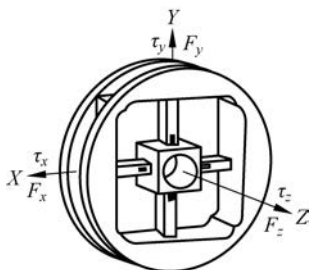


图 1-12 六维力感觉传感器

机器人感知系统把机器人各种内部状态信息和环境信息转变为机器人自身或者机器人之间能够理解和应用的数据和信息,除了需要感知与自身工作状态相关的机械量,如位移、速度和力等,视觉感知技术是工业机器人感知的一个重要方面。视觉伺服系统将视觉信息作为反馈信号,用于控制调整机器人的位置和姿态。机器视觉系统还在质量检测、识别工件、食品分拣、包装等各个方面得到了广泛应用。感知系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成,智能传感器的使用提高了机器人的机动性、适应性和智能化水平。

1.3 工业机器人的机构

机器人的基本功能,归根结底在于按预定位置和姿态驱动手部运动,从而完成各种作业要求的工艺动作。如图 1-13 所示的物体,在空间任一方向的微小移动都可分解为沿三个坐标轴的移动,任一方向的微小转动,都可分解为绕三个坐标轴的转动。所以,任一自由的空间物体,有六个自由度,三个沿坐标轴的移动分量决定着物体的位置变化,三个绕坐标轴的转动分量决定着物体的姿态变化。

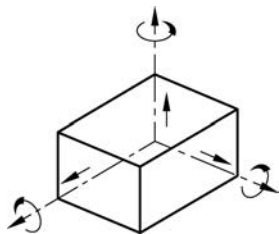
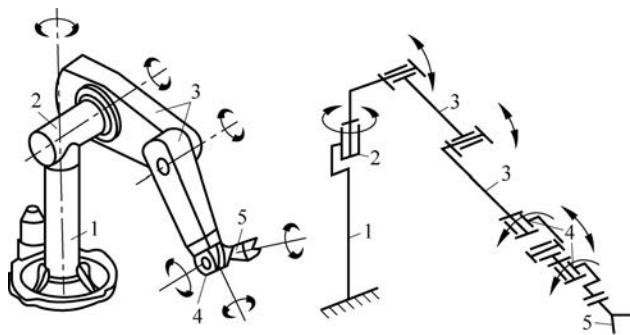


图 1-13 物体的六个自由度

工业机器人的操作机属于空间机构。由于结构上的原因,其运动副通常只有转动副和移动副两类。以转动副相连的关节称作转动关节(记作 R),以移动副相连则称为移动关节(记作 P)。这些关节之中,凡单独驱动的称主动关节,反之称从动关节。单独驱动的主动关节数目称作操作机的自由度数目。一般来说,运动链的自由度和手部运动的自由度在数量上是相等的,如图 1-14 所示的 PUMA 操作机,运动链是串联的六自由度开式链。

前三关节(即基座 1、腰部 2 和臂部 3)具有三个转动自由度,其功用是确定手部 5 在空间的位置,所以由这些部分所构成的机构称为操作机的位置机构。后三个关节(即腕部 4)主要功用是确定手部在空间的姿态,即手部 5 固联坐标系相对于参考坐标系的方向。这三个关节和连接它们的杆件所构成的机构,称作姿态机构。位置机构一般是确定操作机的空间工作范围。位置机构三关节的运动通常称作操作机的主运动。为了实现手部在空间某点的运动,可有不同的运动组合,例如可以是三个互相垂直的直线运动的组合,可以是两个直线运动和一个圆弧运动的组合,可以是两个圆弧运动和一个直线运动的组合,也可以是多个圆弧运动的组合。因此,操作机的位置机构就设计成了不同的形式。常见的有直角坐标



1—基座；2—腰部；3—臂部；4—腕部；5—手部。

图 1-14 PUMA 操作机

型、圆柱坐标型、球坐标型和关节型等。

1.3.1 直角坐标型

该类操作机是通过沿着三个互相垂直的轴线移动来改变手部的空间位置。其前三关节为移动关节(PPP),运动形式如图 1-15 所示。

直角坐标型操作机易于实现高定位精度,空间轨迹易于求解,但当具有相同的工作空间时,机体所占空间体积较大。

1.3.2 圆柱坐标型

该类操作机是通过两个移动和一个转动(RPP)来实现手部的空间位置变化,如图 1-16 所示。在相同的工作空间条件下,机体所占空间体积比直角坐标型要小。它是工业机器人中采用得较多的一种形式,结构简单,便于位姿计算,是搬运机器人的常用形式。

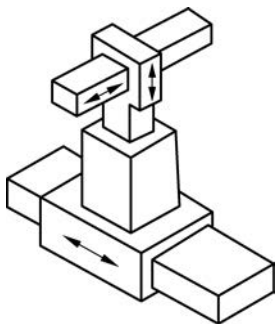


图 1-15 直角坐标型

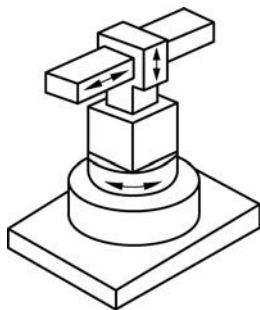


图 1-16 圆柱坐标型

1.3.3 球坐标型

该类操作机用两个转动和一个移动(RRP)来改变手部的空间位置。一般是腰关节可绕 z 轴转动,大臂可在 $z-x$ 平面内俯仰(转动),小臂可伸缩移动,如图 1-17 所示。著名的

Unimate 机器人就采取这种形式。其特点是操作机所占空间体积小,结构紧凑。

1.3.4 关节型

该类操作机是模拟人的上臂而构成的。它的前三个关节都是转动关节(RRR),腰关节绕 z 轴转动,臂的两个关节绕平行于 y 轴的两轴线转动,如图 1-18 所示。它利用三次圆弧运动来改变手的空间位置。其特点是结构紧凑,所占空间体积小,相对的工作空间大,还能绕过基座周围的一些障碍物。这是机器人中使用最多的一种结构形式,如 PUMA、ASEA、KUKA、Trallfa、Motoman 等都采用这种形式。

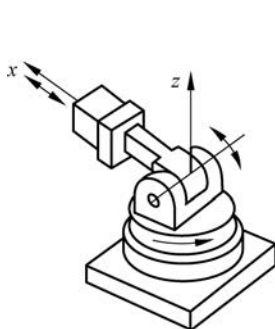


图 1-17 球坐标型

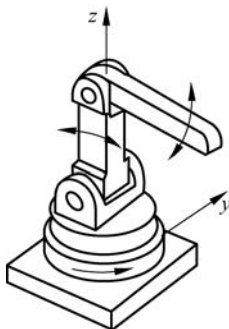


图 1-18 关节型

1.4 工业机器人的分类和应用实例

1.4.1 工业机器人的分类

目前还没有统一的机器人分类标准。根据不同的要求可进行不同分类。

1. 按驱动方式分类

按驱动装置的动力源,机器人可分为:

1) 液动式

液压驱动机器人通常由液动机(各种油缸、油马达)、伺服阀、油泵、油箱等组成驱动系统,驱动机器人的执行机构工作。它通常具有很大的抓举能力(高达百千克以上),其特点是结构紧凑,动作平稳,耐冲击、耐振动,防爆性好,但液压元件要求有较高的制造精度和密封性能,否则漏油污染环境。

2) 气动式

其驱动系统通常由气缸、气阀、气罐和空压机组成,其特点是气源方便、动作迅速、结构简单、造价较低、维修方便。但难以进行速度控制、气压不可太高,故抓举能力较低。

3) 电动式

电力驱动是目前机器人使用最多的一种驱动方式。其特点是供电方便,响应快,驱动力