

高等学校适用教材

# 工业机器人 设计

周伯英 编著

机械工业出版社



高等学校适用教材

# 工业机器人设计

周伯英 编著



机械工业出版社

(京) 新登字 054 号

本书从工程应用角度出发,以实用化设计为目的,系统地介绍了有关工业机器人设计的基本理论、具体结构、设计的基本技术、方法和步骤。全书内容包括:机器人的定义、构成、分类、适用范围、技术发展方向;机器人的运动学、动力学分析;工业机器人操作机执行系统、驱动系统、控制系统的结构与设计,示教与编程语言;以及工业机器人的系统设计(总体设计)和设计实例。

本书可作为高等院校机械设计类专业,特别是机械电子(机电一体化)专业或相近专业本科生学习工业机器人设计课程的教材或参考书。亦可供从事机器人开发、设计和应用的工程技术人员学习、参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人设计/周伯英编著. —北京:机械工业出版社,1995.6  
ISBN 7-111-04715-X

I. 工… I. 周… III. 工业机器人-设计 N. TP242.02  
中国版本图书馆CIP数据核字(95)第04076号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑:张一萍 版式设计:杨丽华 责任校对:丁丽丽

封面设计:郭景云 责任印制:侯新民

北京市怀柔县燕文印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1995年8月第1版·1995年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·6%印张·159千字

0 001—4 000册

定价:7.00元

## 前 言

工业机器人是一种机械技术与电子技术相结合的高技术产品。采用工业机器人是提高产品质量与劳动生产率,实现生产过程自动化,改善劳动条件,减轻劳动强度的一种有效手段。机器人的诞生和发展虽只有 30 多年的历史,但它已应用到国民经济、军事技术等众多的领域,具有广阔的应用和开发前景,显示出强大的生命力。我国在机器人技术的开发和应用方面虽起步较晚,但近年来发展很快。一些工业部门为发展生产的需要已经采用或考虑采用机器人技术,着手引进或自行研制工业机器人。不少高等工科院校多年来已在研究生和本科生中开设有关机器人技术的课程。在我国,机器人技术已开始进入实用化阶段。因此,迫切需要一本以实用化设计为目的,系统地介绍工业机器人设计的基本理论,具体结构,设计的基本技术、方法和步骤的图书。

基于上述考虑和实用化设计的需要,本书编写的特点是重点介绍工业机器人执行系统、驱动系统、控制系统等的基本技术、具体结构和应用结构实例、设计计算方法和步骤。对于驱动系统和控制系统设计,避免了繁琐的理论叙述和公式推导,着重从基本概念出发,推导出实用的基础性结论。这部分内容包括在本书第二章和第四章中。最后,以系统设计的观点,来概述有关工业机器人总体设计中应考虑的主要内容与遵循的注意事项及应用设计实例。考虑到本书的篇幅,以及已有专门介绍机器人控制技术的书籍出版和《数控技术》、《计算机技术》等相关课程的设立,因此本书对控制和传感技术等内容则着墨不多。

全书多数章节的内容,作者曾多次作为山东工业大学机械类专业硕士研究生“机器人设计”课程进行讲授,考虑实用化设计的需要,在此基础上作了较大的增删和订正。

华东工业大学赵松年教授细心地审阅了全部书稿,提出了许多宝贵的意见,谨致以衷心感谢。

本书可作为机械设计类专业,特别是机械电子(机电一体化)专业和相近专业本科生学习“工业机器人设计”课程的教材或参考书,亦可供从事机器人开发,设计和应用的工程技术人员学习、参考。

限于作者的业务水平,且全书涉及的技术领域广泛,书中缺点、错误之处在所难免,欢迎读者不吝批评指正。

作者

1994年8月

# 目 录

## 前言

第一章 概述 .....	1
第一节 机器人技术的发展与机器人的定义 .....	1
第二节 工业机器人的构成、运动与分类 .....	2
第三节 工业机器人的特性表示 .....	10
第四节 工业机器人在生产中的应用及其技术发展方向 .....	11
第二章 机器人操作机运动学与动力学 .....	13
第一节 坐标系与坐标变换 .....	13
第二节 机器人操作机位置与姿态的描述 .....	20
第三节 机器人操作机运动学方程的建立及求解 .....	22
第四节 机器人的工作空间 .....	30
第五节 机器人操作机的速度和加速度分析 .....	33
第六节 机器人操作机的静力和动力分析 .....	37
第三章 工业机器人操作机机械部件的结构与设计 .....	42
第一节 末端执行器的结构和设计 .....	42
第二节 手腕的结构与设计 .....	48
第三节 手臂和机座的结构与设计 .....	53
第四章 工业机器人的控制系统设计 .....	59
第一节 控制系统的特点和组成 .....	59
第二节 工业机器人的计算机控制系统 .....	62
第三节 工业机器人中的传感器 .....	66
第五章 工业机器人的示教和编程语言 .....	71
第一节 概述 .....	71
第二节 工业机器人的示教编程 .....	71
第三节 工业机器人的编程语言 .....	72
第四节 AL 语言和 VAL 语言介绍 .....	75
第六章 工业机器人系统总体设计 .....	79
第一节 工业机器人系统的形成 .....	79
第二节 工业机器人总体设计中技术方案的制定 .....	81
第三节 工业机器人驱动方式的选择和传动系统设计 .....	83
第四节 工业机器人实例 .....	92
参考文献 .....	101

# 第一章 概 述

机器人是近 30 年发展起来的一种典型的、机电一体化的、独立的自动化生产工具。工业机器人则是机器人学的一个分支。

各种生产过程的机械化和自动化是现代技术发展的总趋势。随着技术进步和国民经济的发展，为适应产品品种频繁更新所形成的中、小批量生产，作为现代最新水平的 FMS（柔性制造系统）和 FA（工厂自动化）技术的重要组成部分的工业机器人技术也得到了迅速发展。

在制造工业中，应用工业机器人技术是提高生产过程自动化，改善劳动条件，提高产品质量和生产效率的有效手段之一，也是新技术革命的一个重要内容。

机器人技术是一门跨学科的综合性的技术，它涉及到力学、机构学、机械设计、气动液压技术、自动控制技术、传感技术和计算机技术等学科领域，是一门新型的综合性的技术。

## 第一节 机器人技术的发展与机器人的定义

在本世纪 20 年代，由于机械制造业的发展而出现了一种附属在自动机、自动线上可以代替人力传递和装卸工件的专用机械手。40 年代开始，为处理危险作业（辐射、易爆、有毒等工作场合），出现了一种由操作者直接控制的操作机，它可以是由操作者直接驱动或由电动机驱动，亦可采用遥控操作。

机器人是近 30 年来在自动操作机的基础上发展起来的一种能模仿人的某些动作和控制功能，并根据可变的程序、轨迹和其他要求，操纵工具实现多种操作的自动化机械系统。机器人可广泛用于各种不同的领域，当用于工业生产中时，通常称为“工业机器人”。

由于机械手、操作机、机器人有许多共同点，它们在技术上是相通的，有时很难严格区分。同时，机器人技术目前正处于迅速发展阶段，关于机器人的一些概念、定义，仍在不断充实、演变之中，存在着不同的认识和见解。从文献中可以找到各种各样关于“机器人”的定义。1984 年，国际标准化组织（ISO）采纳了美国机器人协会（RIA）给“机器人”下的定义，即“机器人是一种可重复编程和多功能的，用来搬运材料、零件、工具的操作机”。或者“是一种带有执行不同的工作任务的手臂，且可改编程动作来完成各种作业的特殊机械装置”。日本则是按输入信息和示教方式来进行工业机器人的分类和定义的（参见日本工业标准 JIS B 0134—86），它们是：

手控操作器——用人手操纵的操作器。

固定程序机器人——按照事先设定的作业顺序、条件和位置，逐个执行动作的操作装置，设定了的信息不能轻易变更。

可变程序机器人——事先设定的作业顺序及其他信息可以方便地变更的操作装置。

示教再现型机器人——采用示教方式完成编程，并记录这些信息，机器人能重复再现示教的全部动作（称为在线编程方式）。

数控机器人——事先将动作顺序及其他信息进行数控编程（称为离线编程方式，例如用

穿孔纸带、磁带等)的可变程序机器人。

智能机器人——具有感觉、识别环境和决策规划的功能,可根据任务指令要求,自行规划完成任务的步骤。即具有类似人的某些智能的机器人。

我国国家标准 GB/T 12643—90 将工业机器人定义为“是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”。而将操作机定义为“具有和人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”。综上所述,在日本,将机器人定义和分为上述六类;它们统属于机器人。在美国,则认为上述六类中,只有第三类到第六类才称作机器人,第一类和第二类称机械手。而在法国,则认为第四类至第六类才能称作机器人。因此,目前世界各国对机器人在技术上还没有一个明确、统一的定义。按上述 JIS 的定义,将一般简单的、固定程序的操作和上、下料装置也称作工业机械手。由于定义不同,各国有关工业机器人的统计数字也有差别。读者在阅读有关资料时,应予以注意。现在,美国 RIA 所给出的关于机器人的定义,已为大多数国家所接受。相信随着机器人技术迅速向前发展,对机器人的定义和理解将会不断完善。

总结起来,一般认为机械手 (Mechanical Hand) 是一种能模仿人手臂的动作,按事先设定的作业顺序、轨迹和其他要求,实现自动抓取、搬运等作业的机械化、自动化装置。机械手在多数情况下附属于主机,程序固定(也可通过硬件稍作变更),如数控机床,加工中心上的上、下料、自动换刀机械手,因它们有一定的专用性,又称专用机械手。操作机 (Manipulator) 是一种独立的由人工操纵的半自动搬运、抓取、操作的装置。关于工业机器人 (Industrial Robot),如前述,在 ISO、JIS 和 GB/T 中都作了大致相同的、比较严格的定义。机器人与专用机械手的重要区别是前者具有独立的控制系统(大多应用计算机技术);可以容易地通过再编程的方法实现动作程序的变化来适应不同的作业要求,而机械手则只能完成比较简单的搬运、抓取及上下料工作,常常作为机器设备上的附属装置,其程序是固定不变的。

## 第二节 工业机器人的构成、运动与分类

### 一、工业机器人的构成

一个机器人系统,一般由操作机、驱动单元、控制装置和为使机器人进行作业而要求的外部设备组成,如图 1-1-1 所示,工业机器人的组成情况如图 1-1-2 所示。

#### (一) 操作机 (又称执行系统)

操作机是机器人完成作业的实体,它具有和人手臂相似的动作功能,是可在空间抓放物体或进行其他操作的机械装置。通常由下列部分构成。

1. 末端执行器 又称手部,是操作机直接执行工作的装置,并可设置夹持器、工具、传感器等,是工业机器人直接与工作对象接触以完成作业的机构。

2. 手腕 是支承和调整末端执行器姿态的部件,主要用来确定和改变末端执行器的方位和扩大手臂的动作范围,一般具有 2~3 个回转自由度以调整末端执行器的姿态。有些专用机器人可以没有手腕而直接将末端执行器安装在手臂的端部。

3. 手臂 它由操作机的动力关节和连接杆件等构成,是用于支承和调整手腕和末端执行器位置的部件。手臂有时不止一条,而且每条手臂,也不一定只有一节(如关节型就可能有

多节), 所以, 它有时还应包括肘和肩的关节, 即手臂与手臂间 (靠近末端执行器的一节通常叫小臂, 靠近机座的, 通常叫大臂), 手臂与机座间用关节连接, 因而扩大了末端执行器姿态的变化范围和运动范围。

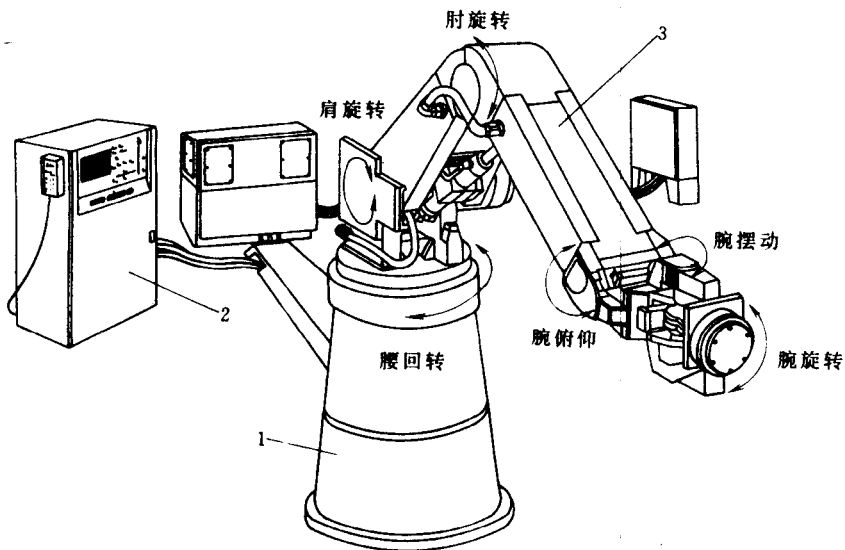


图 1-1-1 工业机器人系统的组成

1—机座 2—控制装置 3—操作机

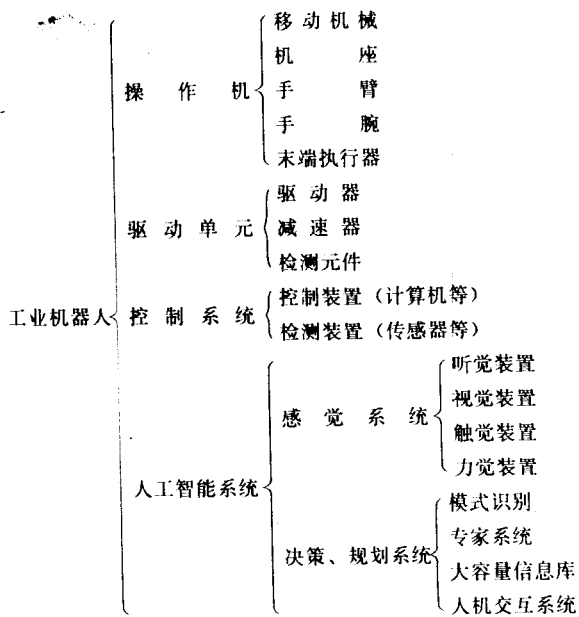


图 1-1-2



4. 机座 有时称为立柱,是工业机器人机构中相对固定并承受相应的力的基础部件。可分固定式和移动式两类,移动式机座下部安装了移动机构,它可以扩大机器人的活动范围。

### (二) 驱动单元

它是由驱动器、减速器、检测元件等组成的组件,是用来为操作机各部件提供动力和运动的装置。驱动器是将电能或流体能等转换成机械能的动力装置,通常是电动机、液压或气动装置。驱动不同,传动装置也有所不同。

### (三) 控制装置

它是由人对机器人的启动、停机及示教进行操作的一种装置,它指挥机器人按规定的要求动作。控制装置包括检测(如传感器)和控制(如计算机)两部分,可用来控制驱动单元,检测其运动参数是否符合规定要求,并进行反馈控制。这就是闭环控制。如果没有反馈控制,就是较简单的开环控制。

### (四) 人工智能系统

对于智能机器人,还应有人工智能系统。它主要由两部分组成,一部分为感觉系统(硬件),主要靠各类传感器来实现其感觉功能。另一部分为决策—规划智能系统(软件),它包括逻辑判断、模式识别、大容量数据库和规划操作程序等功能。

在实际使用的机器人中,不一定要具备上面所提到的功能中的全部装置。但一般工业生产中实用的工业机器人,至少应具有操作机、驱动单元和控制装置中的大部分内容。具有人工智能系统的较为完善的智能机器人,目前尚处于实验研究阶段。

## 二、工业机器人的运动系统

为了用简洁的线条和符号来表达机器人的各种运动及结构特征,在国标 GB/T 12643—90 中规定了机器人各种运动功能的图形符号,如表 1-1 所示,利用这些代表性符号,可以简便地绘制出工业机器人机构的简图。

工业机器人的运动,可从工业机器人的自由度、工作空间和机械结构类型等三方面来讨论。

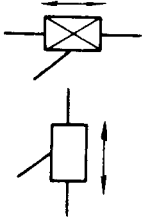

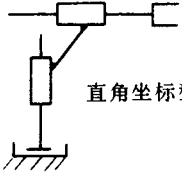
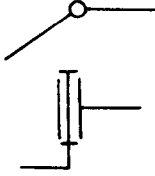
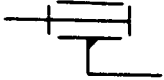
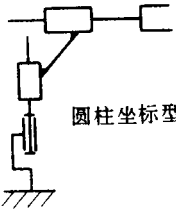
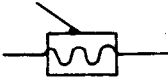

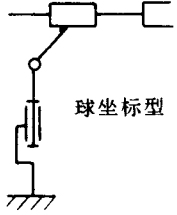

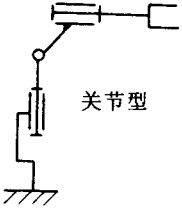
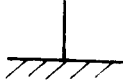

### (一) 工业机器人的运动自由度

机器人实现操作功能的操作机,其运动是由各连接杆件的运动复合而成的。各连接杆件在三维空间运动,故属于空间机构。由于驱动和结构上的原因,在大多数情况下,其运动副实际上只用回转副(通常称为回转关节,记作  $R$ )和移动副(通常称为移动关节,记作  $P$ )、螺旋副(记作  $H$ )及球面副(记作  $S$ )四种。由若干个连接杆件和运动副(关节)组合而成的机器人机构是一多自由度的空间开式运动链型机构。所谓机器人的运动自由度是指确定一个机器人操作机位置时所需要的独立运动参数的数目,它是表示机器人动作灵活程度的参数。

由空间机构的分析可知,一个作空间运动的自由杆件具有六个自由度(三个独立的移动和三个独立的回转)。当两杆件组成运动副后,即引入了约束条件,回转副、移动副和螺旋副的约束条件数都是 5 个,所以它们都只有一个独立运动(自由度)。因此,也可以说机器人的运动自由度数就是机器人能独立运动(回转和移动)的关节数目。

工业机器人的操作机是由末端执行器、手腕、手臂、机座和移动机构等构成的。它们的独立运动(自由度)所合成的运动状态(方位),决定了末端执行器所夹持的工件(或工具)在空间的位置和姿态。图 1-2 所示的工业机器人,其手臂具有回转  $\theta_1$ 、俯仰  $\varphi$  和伸缩  $S$  三个独立运动。手腕有回转  $\theta_2$  一个独立运动。如果设末端执行器工具中心  $P$  相对于机座上的机座

表 1-1 工业机器人运动功能图形符号

名称	图形符号		工业机器人机构简图
	正 视	侧 视	
移动副			 <p>直角坐标型</p>
回转副			 <p>圆柱坐标型</p>
螺旋副		-	-
球面副		-	 <p>球坐标型</p>
末端执行器		-	 <p>关节型</p>
机座		-	

坐标系  $(X-Y-Z)$  的坐标为  $(X_p, Y_p, Z_p)$ , 那么  $(X_p, Y_p, Z_p)$  的坐标值可以由下列公式求出:

$$\begin{cases} X_p = -(L_2 + S + L_3)\sin\theta_1\cos\varphi \\ Y_p = (L_2 + S + L_3)\cos\theta_1\cos\varphi \\ Z_p = L_1 + (L_2 + S + L_3)\sin\varphi \end{cases}$$

式中,  $L_1$  是  $O$  至  $O_1$  之间的距离;  $L_2 + S$  是  $O_2$  至  $O_1$  之间的距离;  $L_3$  是  $O_2$  至  $P$  点之距离; 其中  $L_1, L_2, L_3$  为常量,  $S$  为变量。  $P$  点坐标由彼此独立的  $\theta_1, \varphi$  和  $S$  这三个参数确定, 而末端执行器(手部)的姿态则由  $\theta_2$  来确定。

上述确定手部中心位置与手部姿态的独立变化参数  $\theta_1, \theta_2, \varphi$  和  $S$ , 就是工业机器人的自由度。它是工业机器人的重要参数之一。图 1-2 所示的工业机器人, 就是具有四个自由度的机器人, 其中手臂三个自由度—— $\theta_1, \varphi$  和  $S$ , 手腕一个自由度—— $\theta_2$ 。

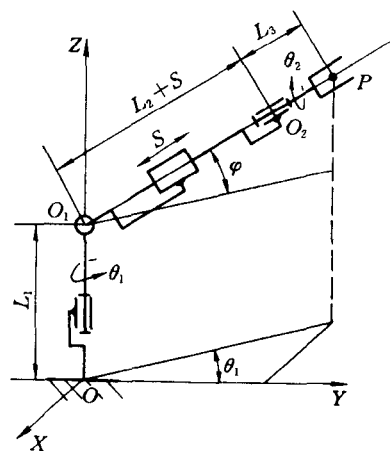


图 1-2 机器人的自由度

一般固定程序的机械手, 因动作比较简单, 自由度也比较少。工业机器人自由度较多, 动作的灵活性和通用性就更好, 有些高级的智能型机器人的自由度超过六个。机器人操作机的自由度数应与原动件数相等, 自由度越多, 结构和控制就越复杂。在计算机器人的自由度时, 末端执行器的夹持器的动作是不计入的, 因为这个动作并不改变工件(或工具)的位置和姿态。

## (二) 机器人的工作空间和机械结构类型

1. 工作空间 工作空间是指机器人正常运行时, 手腕参考点能在空间活动的最大范围, 是机器人的主要技术参数。

机器人所具有的自由度数, 因选用的运动关节的类型及配置的不同, 其工作空间的形状亦不同。而每个运动关节所形成运动的变化量, 如直线移动的距离, 回转角度的大小, 则影响工作空间的尺寸大小。为了确定机器人的手部(末端执行器)在空间的位置, 一般需要由机座和手臂(包括肩和肘)提供三个位置自由度, 用三个位置坐标来表示。为了能调整手部(末端执行器)夹持工件(或工具)在空间的姿态(方位), 需要由手腕提供三个姿态自由度, 用三个角度来表示。操作机应具备几个自由度, 取决于对机器人动作功能的要求, 对于动作要求比较简单的机器人(机械手), 自由度数可以少于 6 个, 对于动作要求较复杂、通用性强的机器人, 自由度数可超过 6 个。目前, 工业生产中使用的机器人多为 4~6 个自由度; 专用机械手可以只有 2~3 个自由度。

2. 机械结构类型 为实现末端执行器(手部)在空间的位置而提供的 3 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如下五种型式。

(1) 圆柱坐标型(图 1-3a) 这种运动形式是通过一个转动, 两个移动, 共三个自由度组成的运动系统(代号 RPP), 工作空间图形为圆柱形。它与直角坐标型比较, 在相同的工作空间条件下, 机体所占体积小, 而运动范围大。

(2) 直角坐标型(图 1-3b) 直角坐标型工业机器人, 其运动部分由三个相互垂直的直线移动组成(代号 PPP), 其工作空间图形为长方体。它在各个轴向上的移动距离, 可在各坐标轴上直接读出, 直观性强, 易于位置和姿态的编程计算, 定位精度高、结构简单, 但机体所

占空间体积大、灵活性较差。

(3) 球坐标型 (图 1-3c) 又称极坐标型, 它由两个转动和一个直线移动所组成 (代号 RRP), 即一个回转, 一个俯仰和一个伸缩运动组成, 其工作空间图形为一球体, 它可以作上下俯仰动作并能够抓取地面上或较低位置的工件, 具有结构紧凑、工作空间范围大的特点, 但结构较复杂。

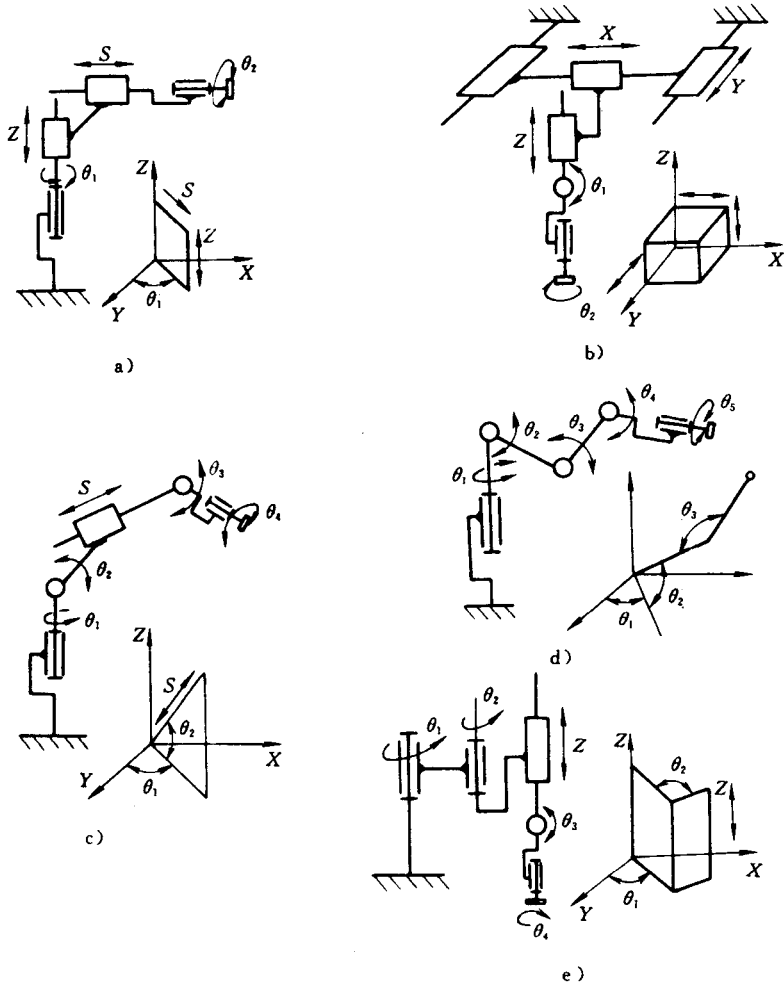


图 1-3 操作机手臂的机械结构形式

a) 圆柱坐标型 b) 直角坐标型 c) 球坐标型 d) 关节型 e) 平面关节型

(4) 关节型 (图 1-3d) 关节型又称回转坐标型, 这种机器人的手臂与人体上肢类似, 其前三个关节都是回转关节 (代号 RRR), 这种机器人一般由立柱和大小臂组成, 立柱与大臂间形成肩关节, 大臂与小臂间形成肘关节, 可使大臂作回转运动  $\theta_1$  和使大臂作俯仰摆动  $\theta_2$ , 小臂作俯仰摆动  $\theta_3$ 。其特点是工作空间范围大, 动作灵活, 通用性强, 能抓取靠近机座的物体。

(5) 平面关节型 如图 1-3e 所示, 采用两个回转关节和一个移动关节; 两个回转关节控制前后、左右运动, 而移动关节则实现上下运动, 其工作空间的轨迹图形, 如图 1-3e 所示, 它

的纵截面为矩形的回转体，纵截面高为移动关节的行程长，两回转关节转角的大小决定回转体横截面的大小、形状。这种型式又称 SCARA 型装配机器人，是 Selective Compliance Assembly Robot Arm 的缩写，意思是具有选择柔顺性的装配机器人手臂。在水平方向有柔顺性，在垂直方向则有较大的刚性。它结构简单，动作灵活，多用于装配作业中，特别适合小规格零件的插接装配，如在电子工业零件的接插、装配中应用广泛。

工业机器人的机械结构类型，除上面介绍的五种基本类型外，还可以根据作业运动的需要对机器人的自由度数和关节的配置进行不同的组合。图 1-4 所示为机器人机械结构类型基本配置的外观图。

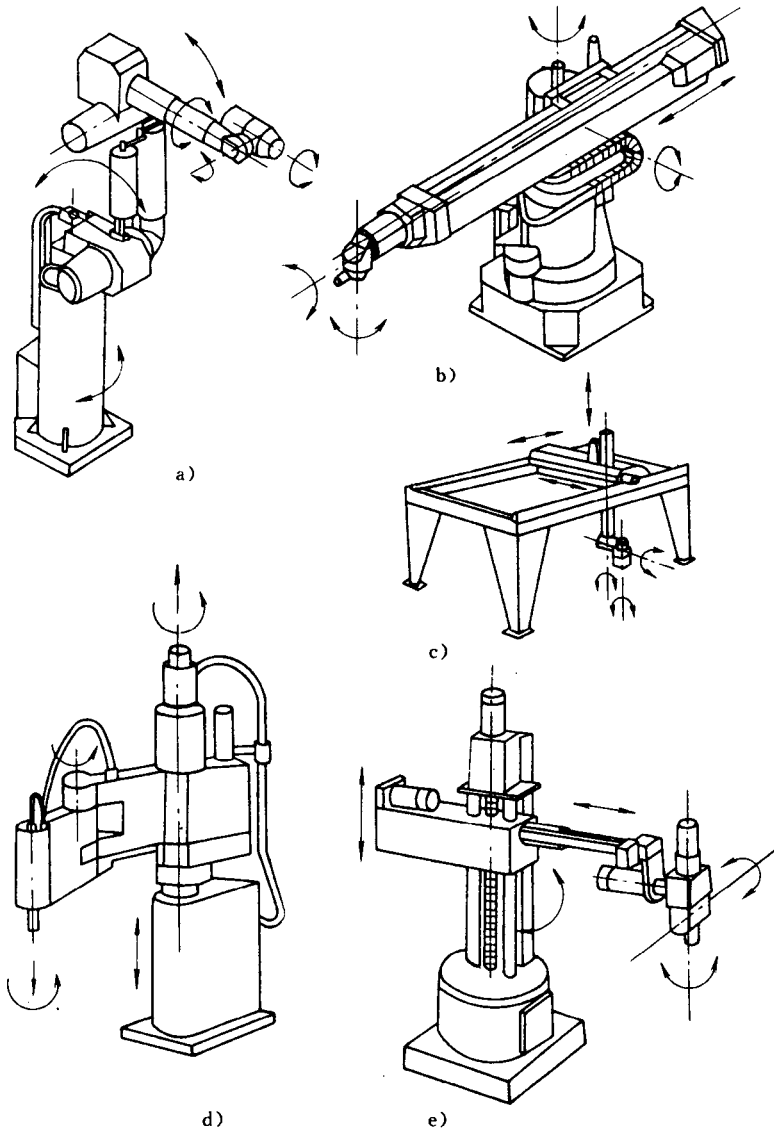


图 1-4 机器人几种典型类型的外观图

a) 关节型 b) 球坐标型 c) 直角坐标型 d) 平面关节型 e) 圆柱坐标型

### 三、机器人的分类

目前世界各国对处于发展阶段的机器人还没有统一的分类标准，大致有以下几种分类方法。

#### (一) 按使用范围分类

1) 固定程序的专用机器人(机械手) 通常根据主机的特定要求设计成固定程序(或简单的可变程序)。这种机器人(机械手)多为气动或液动,用行程开关、机械挡块来控制其工作位置。工作对象单一,动作较少,结构与系统简单,价格低廉。

2) 可编程序的通用机器人 工作程序可变,以适应不同的工作对象,通用性强,适合于以多品种、中小批量生产为特点的柔性制造系统中。

#### (二) 按使用行业、部门和用途分类

1) 工业机器人 它们又可按作业类别分为锻压、焊接、表面喷涂、装卸、装配、检测等机器人。

2) 采掘机器人 如海洋探矿机器人等。

3) 军事用途机器人

4) 服务机器人 如医疗机器人,家用机器人,教学机器人等。

#### (三) 按机械结构、坐标系特点分类

按机械结构、坐标系特点可分为直角坐标型;圆柱坐标型;球坐标型;多关节型,其详细内容已在前面作了介绍。

#### (四) 按机器人运动控制方式分类

1) 点位控制(PTP)机器人 就是由点到点的控制方式,这种控制方式只能在目标点处准确控制机器人末端执行器的位置和姿态,完成预定的操作要求。目前应用的工业机器人中,很多是属于点位控制方式的,如上下料搬运机器人、点焊机器人等。

2) 连续轨迹控制(CP)机器人 机器人的各关节同时作受控运动,准确控制机器人末端执行器按预定的轨迹和速度运动,并能控制末端执行器沿曲线轨迹上各点的姿态。弧焊、喷漆和检测机器人等均属连续轨迹控制方式。

#### (五) 按驱动方式分类

按驱动方式可分为液压驱动式、气动式、电力驱动式(这是目前用得最多的一类)。

#### (六) 根据机器人的功能水平和技术的先进程度按“代”分类

1) 第一代机器人 其特点是采用开关量控制,示教再现控制或数字控制。其作业路径和运动参数需通过示教或编程给定。60年代以来,工业中实际应用的绝大多数工业机器人都属于第一代机器人,它包括可编程序及固定程序(用于上、下料)的工业机器人,具有记忆装置的示教再现型机器人,数控型搬运机器人等。

2) 第二代机器人 是70年代开始出现的,其技术特点是采用计算机直接控制,是通过具有视觉、触觉的摄像机和传感器;能“感觉”外界信息并通过计算机进行计算和分析,自动地控制操作机进行运动和操作,因此,其控制方式较第一代机器人要复杂得多,目前这类机器人已开始在生产、排险救灾等场合应用,并将进入普及阶段。

3) 第三代机器人 即智能机器人。这是国内外正在积极研究,开发的高级机器人,其主要特点是具有人工智能。包括:模式识别能力;规划决策能力;知识库;专家系统;人机交互能力等。这一类机器人目前正在研究开发之中。

### 第三节 工业机器人的特性表示

为了表征工业机器人的作业性能、结构和规格特性等基本技术参数，在参照采用国际标准（ISO）的基础上，我国已经制定了《工业机器人特性表示》的国家标准（GB/T 12644—90）。标准中将工业机器人的特性分为一般特性、控制特性和性能特性三部分。下面介绍其主要内容。

#### 一、一般特性

##### （一）坐标系

工业机器人中使用三个坐标系，它们均采用右手定则，如图 1-5 所示。

1. 绝对坐标系 ( $X_0-Y_0-Z_0$ ) 其原点和  $X_0$  轴由用户确定， $Z_0$  轴的正方向是重力加速度矢量的反方向。

2. 机座坐标系 ( $X_1-Y_1-Z_1$ ) 如图 1-6 所示，其原点由设计单位指定。 $Z_1$  轴的正方向垂直于机座安装平面，指向机器人的机械结构方向。 $X_1$  轴的正方向，由原点开始指向机器人工作空间的正前方。

3. 机械接口坐标系 ( $X_m-Y_m-Z_m$ ) 其原点是机械接口的中心。 $Z_m$  轴的正方向是指向末端执行器的方向，并垂直于机械接口的平面。 $X_m$  轴是当机器人处于机械原点（在机座坐标系中，机器人各运动轴都归零时的原始点）时，机械接口平面和  $X_1-Z_1$  平面的交线，其正方向与  $Z_1$  轴正方向相同。机器人接口坐标系的下标  $m$  是机器人轴数加 1。

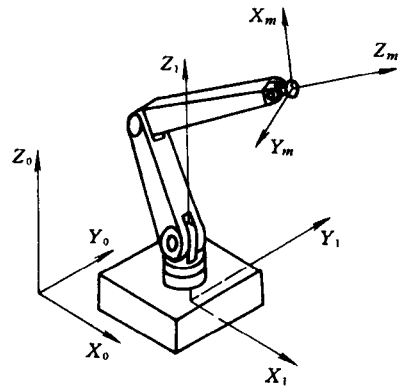


图 1-5 机器人的三个坐标系

##### （二）工作空间

工作空间是指工业机器人正常运行时，其手腕参考点在空间所能达到的区域。它用来衡量机器人工作范围的大小。工作空间及手腕运动的范围规定用两个视图和表格来表示。在机座坐标系中，以  $X_1-Z_1$  作为投影面，画出工作空间轴截面的截面图。以  $X_1-Y_1$  作为投影面，画出工作空间的投影图，（见图 1-6）。用数据表格给出两视图中手腕参考点各转折点在机座坐标系中的坐标值及手腕运动范围。

##### （三）其他特性

其中包括机械结构类型、用途、外形尺寸、重量、负载、速度、驱动方式、动力源和使用环境条件等。这些内容都应填写在制造厂或设计单位向用户提供的一般特性数据表中。

工业机器人的机械结构类型一般以坐标型式和自由度来表示。其负载特性用负载图和力矩图来表示机器

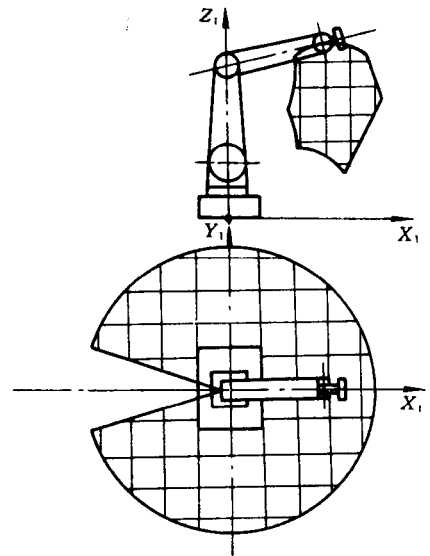


图 1-6 机器人的机座坐标系

人的额定负载。还应说明其极限负载或附加负载对特性产生的影响，并指明附加质量的安装位置，机器人所能承受的最大推力和最大扭矩。应以最大单轴速度和额定速度来说明其速度特性。

## 二、控制特性和编程方法

工业机器人的控制特性包括：控制装置种类；程序存储容量；基本动作控制类型（点位、连续轨迹）；运动控制方式（伺服，或其他）；插补方式（直线、圆弧、抛物线或其他）；外形形式；检测功能（自诊断、报警）；输入输出接口；数据网络接口等。

应说明工业机器人编程方法的种类，如：人工数据输入编程；人工引导末端执行器示教编程；人工引导模拟装置示教编程；示教盒示教编程；目标直接编程及其他。

## 三、性能特性

对于不同种类的机器人规定了应在特性数据表中填写的项目。对点位控制机器人应填写“位姿准确度及重复性”、“最小定位时间”的参数指标。对连续轨迹控制的机器人除要填写上述性能指标外，还要填写“轨迹准确度及重复性”、“拐角偏差”的参数指标。其详细内容可参见 GB/T 12644—90 中的规定。

# 第四节 工业机器人在生产中的应用及其技术发展方向

## 一、工业机器人在生产中的应用

从可用于铸造生产的 VERSATRAN 圆柱坐标型、可作点位和轨迹控制的第一台工业机器人在美国问世以来，至今已有 30 年左右的历史，由于机器人技术水平的迅速提高，机器人的应用领域也以惊人的速度在增长。

机器人这样一种特种机器，它延伸和扩大了人的手足和大脑的功能。它能代替人从事危险有害、有毒、高温、高压等恶劣环境下的工作，减少伤亡事故；它又能代替人完成繁重、单调的劳动，提高劳动生产率，保证产品质量。由于机器人具有很多普通机器人所不具有的特性，因而将对人类社会的生产和生活发生重大影响。

目前，世界各国研制出的应用在各个领域的不同类型的机器人近千种。其典型的应用领域包括：核科学和宇宙空间开发领域——例如核工厂设备的检验和维修机器人，遥控的太空作业机器人；海洋开发和军事领域——例如用于海底采矿和打捞的遥控深海作业机器人，用于排雷和装填炮弹的机器人（自动化士兵）；医疗福利和生活服务领域——例如护理机器人、导盲机器人、擦窗户机器人、家庭应用机器人。制造工业领域——例如各种生产线中应用的工业机器人、机械手等。用得最多的制造业包括电机制造、汽车制造、塑料成型、通用机械制造和金属加工等工业。目前工业机器人在制造加工中主要从事工件上下料、输送、焊接、铸造、锻压、热处理、金属切削加工、检验、装配、喷漆等工作。

## 二、工业机器人与生产过程自动化

从本世纪 80 年代以来，世界各国的制造业正处于从传统的“大批量、少品种”的生产方式，向着“多品种、中小批量”的生产方式转变，以适应现代化社会对产品品种规格越来越多样化的要求。为满足市场的需要，制造厂家必须不断增加产品的品种、提高产品质量和降低制造成本，为此研制了一种新型的，建立在机器人技术和信息处理技术上的所谓“柔性制造系统”(FMS, Flexible Manufacturing System)和计算机集成制造系统(CIMS, Computer-Integrat-



ed Manufacturing System)。它们是一种将工业机器人，自动搬运小车（搬运机器人）、数控机床加工中心、刀具和工件的自动库、精密自动测量系统和控制用电子计算机网络等设备用传输系统联系起来的自动化制造系统；是一种包括毛坯下料、机械加工、零、部件装配和产品检验等全部工序由计算机控制的通用性生产系统。它采用计算机编程，实现自动控制并完成作业动作，因而具有灵活多变的适应能力，特别适用于产品品种频繁更替而形成的多品种、中小批量的自动生产线，即柔性自动线。这种柔性制造系统可以加工一种产品的不同变形体，例如在发动机缸体的柔性制造系统中，可以加工三缸、四缸或六缸等发动机的缸体，甚至还可以加工汽油机和柴油机两种不同类型发动机的各种缸体。当需要改变加工品种时，利用控制用计算机修改数控机床、工业机器人、自动运输小车等的控制程序，系统就按新的工艺要求进行加工。在这里工业机器人起着重要的作用，通常在一条柔性制造系统自动线上。至少要配置2~3台工业机器人，有时多达几十台。

由此可知，建立在计算机和机器人技术基础上的生产自动化是用计算机来完成对各种复杂信息的处理，用工业机器人来代替人进行体力劳动，因而诞生的一种先进的、新的生产方式。在日、美、德国等西方发达国家已经建立了许多不同类型的自动化生产系统，例如高度自动化无人生产线、无人车间、或无人工厂，工业机器人是其中一种不可缺少的重要设备。

### 三、工业机器人技术的发展方向

工业机器人技术是以机械、电机、电子计算机和自动控制等学科领域的技术为基础，融合而成的一种系统技术；也可以说是一门知识、技术密集的、多学科交叉的综合化的高新技术。随着这些相关学科技术的进步和发展，工业机器人技术从它诞生到现在也得到了迅速的发展和提高，总的发展趋势可概括如下几个方面：

1) 提高运动速度和动作精度，减轻重量和减少安装占用空间，继续推广机器人功能部件的标准化和模块组合化（它可以分为例如机械模块、信息检测模块和控制模块等），以降低制造成本和提高可靠性。

2) 研究开发新型的机器人结构，例如开发新型微动机构保证动作精度；开发多关节、多自由度的手臂和手指，研制新型的行走机构等以适应复杂作业的需要。

3) 在多品种，小批量生产的柔性制造自动化技术中，特别是机器人自动装配技术中，要求工业机器人对外部环境和对象物体具有自适应能力，即具有一定“智能”，为此，必须开发类似人类感觉器官的传感器，如触觉传感器、视觉传感器、测距传感器等。通过各种传感器得到的关于工作对象和外部环境的信息，以及信息库中储存的数据、经验、规划等资料，以完成模式识别，用“专家系统”进行问题求解，动作规划，采用计算机进行控制。

4) 大力开发机器人仿真技术和计算机软件系统。作业任务，采用计算机语言以“离线编程”方式进行。采用计算机仿真技术以经济地校核机器人在完成某个操作过程的可行性。