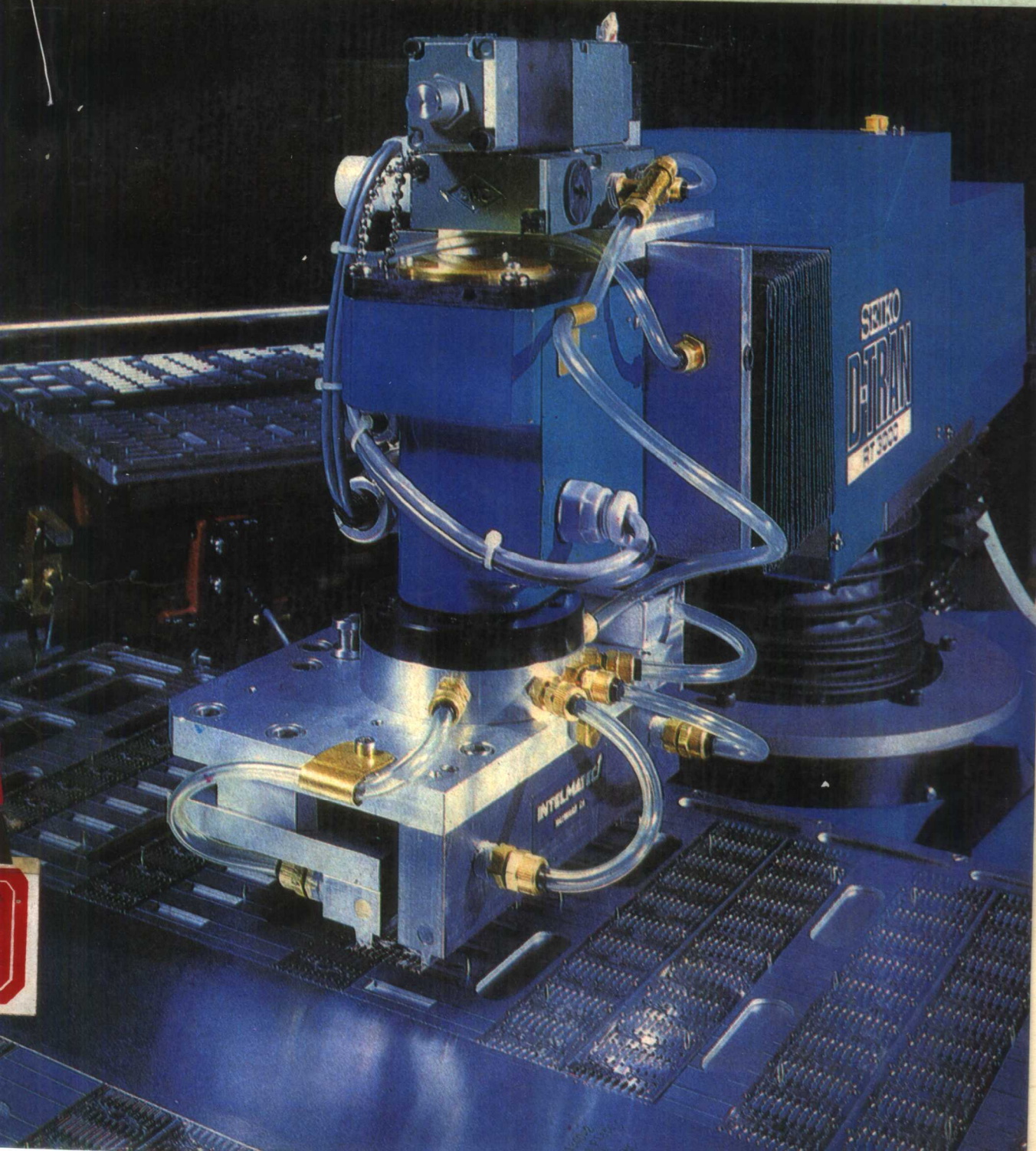


# 机器人工程导论

吴广玉 姜复兴 编

哈尔滨工业大学出版社



# 机器人工程导论

吴广玉 姜复兴 编

哈尔滨工业大学出版社

## 内 容 提 要

本书综合国内外有关资料, 论述了机器人工程所必须的基础理论, 其主要内容包括机构学、动力学、运动学、控制、视觉、触觉、听觉和机器人专用语言的基本知识。书中附有大量插图, 可供参考。

本书可作为机械工程及自动化专业的本科生或研究生的教学用书, 也可供有关工程技术人员、大专院校师生自学参考。

## 机器人工程导论

吴广玉 姜复兴 编

\*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

\*

开本787×1092 1/16 印张20 字数154 000

1988年3月第1版 1988年3月第1次印刷

印数 1—3 500

ISBN 7-5603-0056-1/TP·6 定价: 3.70元

## 序

机器人技术是近年来新技术发展的重要领域。在发达国家，工业机器人已经得到广泛的应用。由工业机器人与其他设备组成的生产线已经成百倍地提高了企业的劳动生产率，提高和稳定了产品质量，大大缩短了产品更新换代的周期。机器人的出现和发展，已使传统工业生产的面貌发生了根本性的变化，使人类的生产方式从手工作业、机械化、自动化跨入了智能化的新时代。目前，机器人不仅在工业上应用愈来愈广，而且正在社会服务、海洋开发、宇宙空间、地下矿藏、军事作战、抢险救灾等领域开拓新应用，以代替人在人类无法适应的特殊环境下工作，这将极大地扩展人类生产和活动范围，大大提高人类创造性劳动的能力。

我国机器人技术的发展也已进入一个新阶段，工业机器人的研制已列入国家“七五”攻关项目，第一代工业机器人的研制已进入商品化定型阶段，许多新厂的建设 and 老厂的技术改造已在考虑采用机器人技术。这些都说明，我国机器人技术已开始进入实用化阶段。

在实用化阶段的初期，需要做的事情很多，但是，最重要的是人才的培养和队伍的组建。现在我们已经开始感到十分需要机器人的研究、设计、制造、应用、维修、销售服务以及管理人才。随着机器人技术和应用的发展，这种需求还会日愈扩大。

“机器人工程导论”一书是在这种形势下诞生的。它的内容全面，表达深入浅出，适于自学，可作为机器人的入门书，适合于各类人员学习机器人技术的需要，我相信它会受到读者的欢迎。

吴 林

1987. 12

# 目 录

<b>第一章 概 论</b> .....	( 1 )
§ 1.1 机器人的概念 .....	( 1 )
§ 1.2 工业机器人的名词术语及图形符号 .....	( 3 )
§ 1.3 机器人的应用 .....	( 9 )
参考文献 .....	( 17 )
<b>第二章 机器人机构</b> .....	( 18 )
§ 2.1 概述 .....	( 18 )
§ 2.2 机身和臂部机构 .....	( 25 )
§ 2.3 手部机构 .....	( 39 )
§ 2.4 行走部机构 .....	( 55 )
§ 2.5 关节部机构 .....	( 63 )
§ 2.6 无减速器直接驱动的机器人关节机构 (DD臂) .....	( 74 )
参考文献 .....	( 79 )
<b>第三章 齐次变换</b> .....	( 81 )
§ 3.1 概述 .....	( 81 )
§ 3.2 齐次坐标 .....	( 81 )
§ 3.3 齐次 (H) 变换 .....	( 84 )
§ 3.4 构件空间位置与姿态的描述 .....	( 88 )
§ 3.5 齐次变换的几何意义 .....	( 89 )
§ 3.6 齐次变换过程的性质 .....	( 93 )
§ 3.7 一般性旋转变换 .....	( 96 )
§ 3.8 等价旋转角与旋转轴 .....	( 98 )
§ 3.9 小结 .....	( 102 )
参考文献 .....	( 102 )
<b>第四章 机器人机构运动学</b> .....	( 103 )
§ 4.1 概述 .....	( 103 )
§ 4.2 建立机器人机构运动学方程的基本方法 .....	( 104 )
§ 4.3 构件 (连杆) 坐标系的确定 .....	( 109 )
§ 4.4 建立机器人机构运动学方程的实例 .....	( 111 )
§ 4.5 机器人机构运动学方程的解 .....	( 117 )
§ 4.6 机器人机构运动学方程解的实例 .....	( 123 )
§ 4.7 微分平移和微分旋转 .....	( 130 )

§ 4.8	坐标系之间微分变化的变换	(135)
§ 4.9	变换表达式中的微分关系式	(138)
§ 4.10	机器人的雅各比矩阵	(141)
§ 4.11	机器人的雅各比逆矩阵	(146)
	参考文献	(151)
<b>第五章</b>	<b>机器人机构动力学</b>	<b>(152)</b>
§ 5.1	概述	(152)
§ 5.2	达朗伯原理和虚位移原理	(153)
§ 5.3	拉格朗日方程	(159)
§ 5.4	一个简单例子	(163)
§ 5.5	机器人的动力学方程	(168)
§ 5.6	斯坦福机器人的动力学方程	(177)
§ 5.7	类人型两脚步行机构的动力学模型	(187)
§ 5.8	类人型两脚步行机构的姿态稳定性	(189)
	参考文献	(195)
<b>第六章</b>	<b>机器人控制</b>	<b>(196)</b>
§ 6.1	概述	(196)
§ 6.2	伺服系统的基本概念	(201)
§ 6.3	单自由度机器人的控制	(204)
§ 6.4	多关节机器人的位置伺服法	(210)
§ 6.5	传感器反馈控制	(214)
§ 6.6	一种记忆-修正控制系统	(218)
§ 6.7	机器人的自适应控制	(223)
§ 6.8	两脚机器人的控制	(231)
	参考文献	(241)
<b>第七章</b>	<b>机器人视觉</b>	<b>(243)</b>
§ 7.1	概述	(243)
§ 7.2	视觉系统的硬件组成	(243)
§ 7.3	数字图象的编码	(245)
§ 7.4	图象的分离	(247)
§ 7.5	超声波视觉系统	(253)
§ 7.6	三维视觉系统	(260)
	参考文献	(265)
<b>第八章</b>	<b>机器人触觉系统</b>	<b>(266)</b>
§ 8.1	概述	(266)
§ 8.2	接触觉、力觉和压觉传感器	(268)
§ 8.3	滑觉传感器和握力自适应控制	(272)
§ 8.4	接近觉传感器及其应用	(276)

参考文献	(278)
<b>第九章 机器人听觉系统</b>	(279)
§ 9.1 概述	(279)
§ 9.2 声音信号的特征	(280)
§ 9.3 发言人识别系统	(285)
§ 9.4 语义识别系统	(288)
参考文献	(290)
<b>第十章 机器人语言</b>	(291)
§ 10.1 通用计算机语言的程序设计	(291)
§ 10.2 专用机器人语言的特点	(295)
§ 10.3 IML语言及其特征	(297)
§ 10.4 RAPT 语言及其特征	(302)
参考文献	(308)
编 后	(309)

# 第一章 概 论

## § 1.1 机器人的概念

最近，联合国标准化组织采纳了美国机器人协会给“机器人”下的定义：“一种可以反复编程和多功能的，用来搬运材料、零件、工具的操作机；或者为了执行不同的任务而具有可改变的和可编程的动作的专门系统”（A reprogrammable and multifunctional manipulator, devised for the transport of materials, parts, tools or specialized Systems, with varied and programmed movements, with the aim of carrying out varied tasks.）。

机器人的外表并不一定象人，有的根本不象人（参见图1.1.1）。因为人们制造机器人是为了让机器人来代替人的工作，所以希望机器人能够具有人的劳动机能。机器人能力的评价标准，应当和生物能力的评价标准一样，包括智能、机能和物理能三个方面。

智能是指感觉和感知，包括记忆、运算、比较、鉴别、判断、决策、学习和逻辑推理等。

机能是指变通性、通用性或空间占有性等。

物理能则包括力、速度、连续运行能力、可靠性、联用性、寿命等。

把上述三方面能力综合起来，又可以说机器人是具有生物功能的空间三维坐标机械。

既然要求机器人能代替人的劳动，人们就希望它能有一双象人一样灵巧的手；能行走的双脚；具有人类感官的功能（视觉、触觉、听觉、味觉、嗅觉、痛觉等）；具有理解人类语言和用语言表达的能力；具有一颗善于思考、学习和决策的头脑。但是机器人只能由初级到高级逐步完善，它的发展过程可分为三代：

第一代机器人就是目前工业中大量使用的示教再现型机器人，它主要由夹持器、手臂、驱动器和控制器组成。它的控制方式比较简单，应用在线编程，即通过示教存贮信息。工作时读出这些信息，向执行机构发



图 1.1.1 瑞典制造的IRB2000型机器人



出指令，执行机构按指令再现示教的操作。

第二代机器人是带感觉的机器人，它具有对一些外界信息进行反馈的能力，诸如力觉、触觉、视觉等。其控制方式较第一代机器人要复杂得多，这种机器人从1980年以来进入了实用阶段，不久即将进入普及阶段。

第三代机器人即智能机器人。虽然从动物或人类的某些简单功能到高级智能活动都可称为智能，但彼此有很大差别，因此很难有统一的完善的智能机器人定义。文献<sup>[2]</sup>对它的解释是“可动自治装置，能理解指示命令，感知环境，识别对象，计划其操作程序以完成任务”。这个解释基本上反映了现代智能机器人的特点。本章附表给出几个智能机器人的例子。

智能机器人的一般结构如图1.1.2所示。它是一个多级的计算机控制系统。计算机根据键盘、话筒或图象输入的命令，考虑各种传感器得到的关于对象及环境的信息，以及信息库中的规则，数据、表格、经验等资料，作出规划并指挥手或脚动作（对信息型机器人来说，则输出所需的运算结果），同时可由喇叭与人对话，用显示器显示有关结果。

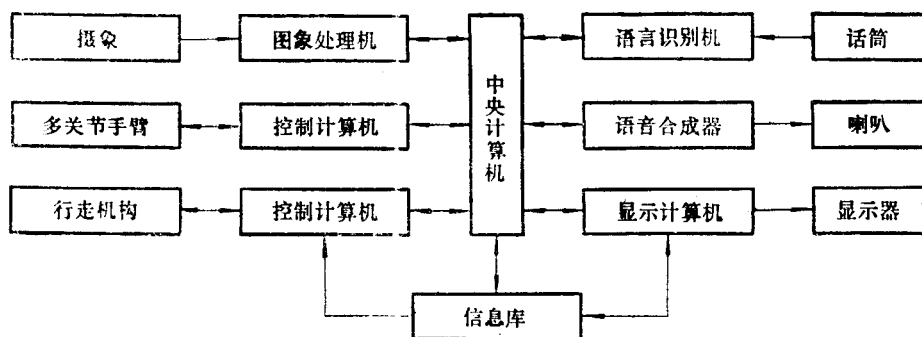


图 1.1.2 智能机器人的一般结构

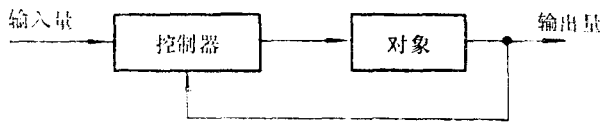
以Davis加州大学机器人实验室为例，他们用HP9836作中央计算机，中央计算机依据由电视摄像及有关传感器送来的信号进行机械手动路线的设计；用LS11/23作为控制计算机，按照设计好的轨迹跟踪，把各关节应移动的数量和速度信号送到各关节单板机去；每个关节有一个单板机通过并行接口与控制计算机通讯、控制各关节移动。

一般的智能控制与自动控制有如下区别（参见图1.1.3）：

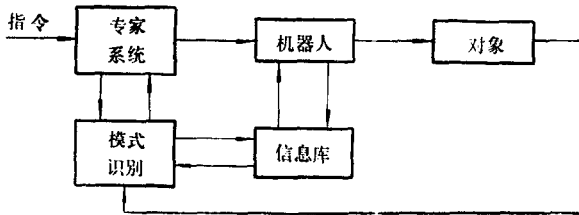
1. 自动控制的对象主要是单机或某个生产过程；智能控制则包括控制对象及整个工作环境或整个生产过程。如斯坦研究院（SRI）生产的机器人可以根据整个现场的变化来规划其行动。自动控制的“控制器”在智能控制中发展为四个部分：模式识别，用以识别对象及环境；专家系统，用以进行问题求解、动作规划；机器人，也算作控制器的一部分，它完成相应的动作；信息库，即知识库，用以贮存知识、数据和经验。

2. 自动控制的目的是使系统工作在某个状态下，所以它主要关心对象本身，尽量设法消除环境对系统的影响；智能控制关心的是最终状态或现行状态是否符合要求，在这个大目标下，要充分考虑环境变动的影晌，而不是消除影响。例如下棋机器人的目的是取胜，维修机器人的目的是排除故障等。为了实现大目标，还要有一系列的具体策

略，要靠系统自己去寻找最优策略（这就是问题求解过程）。而在自动控制中，达到目的的具体方法常常是规定好了的。



(a) 自动控制



(b) 智能控制

图 1.1.3 智能控制与自动控制

经验以及机器人自己学得的经验），因此对象的先验知识可以很少。它适用于对象及环境很复杂的控制系统。

目前，较为完整的智能机器人尚处于实验研究阶段。但随着各种前沿科学的发展，特别是近年来开始研究的计算机硬件的另一种工艺——生物工艺的发展，使得用脱氧核糖核酸(DNA)重组技术制造生物计算机已成为可能。预计这种生物计算机的体积只有现在微型计算机的十亿分之一，而计算功能却要大十亿倍。不远的将来，人们就会把它安置在机器人的头脑中，起着与人类大脑相近的作用，制成真正的智能机器人。

## § 1.2 工业机器人的名词术语及图形符号

### 一、名词术语

#### 1. 操作机 (Manipulator)

具有和手臂相似的功能、可在空间抓放物体或进行其它操作的机械装置。

#### 2. 工业机器人 (Industrial robot)

一种能自动定位控制或轨迹控制、可重复编程的多功能操作机。一般有多个轴，即多个自由度，能搬运材料、零件和握持工具，用以完成各种作业的特殊装置。

#### 3. 直角坐标机器人 (Cartesian Coordinates robot)

操作机的手臂动作形态为直角坐标形的机器人。

#### 4. 圆柱坐标机器人 (Cylindrical Coordinates robot)

操作机的手臂动作形态为圆柱坐标形式的机器人。

#### 5. 极坐标机器人 (Polar Coordinates robot)

操作机的手臂动作形态为极坐标形式的机器人。

#### 6. 关节式机器人 (Articulated robot)

3. 自动控制的信息来源主要是对象的状态反馈；智能控制要用到许多知识、经验及规划等，它们所需的信息量很大，单靠对象的状态反馈是不够的。所以智能控制需要一个庞大的信息库，它是信息的主要来源。

4. 自动控制理论着重描述对象的数学模型，然后通过各种控制算法进行控制，以达到目的；智能控制着重总结控制经验（人的经验

操作机的手臂动作形态类似人的上肢关节的机器人。

#### 7. 驱动器 (Actuator)

将电能或流体能转换成机械能的动力装置。

#### 8. 机座 (Base)

工业机器人机械结构中相对固定、并承受相应静力和动力的基础部分。

#### 9. 末端执行器 (End effector)

位于工作机器人腕部的末端，直接执行工作要求的装置。如夹持器、工具、传感器等。

#### 10. 夹持器 (Gripper)

具有夹持功能的末端执行器（如吸盘、机械手指、托持器等）。

#### 11. 手腕 (Wrist)

位于末端执行器和手臂之间，具有支承和调整末端执行器姿态功能的机构。

#### 12. 手臂 (Arm)

位于机座和手腕之间，由操作机的动力关节和连杆等组成的组件。能支承手腕和末端执行器，并具有调整末端执行器位置的功能。

#### 13. 行走机构 (Travelling mechanism)

使工业机器人整机运动的机械装置。

#### 14. 自然坐标系 (世界坐标系、笛卡尔坐标) (Vord coordinate system)

参照地球或车间地面的直角坐标系。

#### 15. 机座坐标系 (Base reference coordinate system)

参照机器人机座的坐标系。

#### 16. 界面坐标系 (机械接口坐标系) (Mechanical interface coordinate system)

参照末端执行器机械接口界面的坐标系。

#### 17. 坐标变换 (Coordinate transformation)

将一个点的坐标从一个坐标系变换到另一个坐标系的计算过程。

#### 18. 位姿 (pose)

工业机器人末端执行器在指定坐标系中的位置和姿态。

#### 19. 调准位姿 (Alignment Pose)

机械接口坐标系相对于机座坐标系的一个指定位姿。

#### 20. 工具中心点 (Tool center point)

在机械接口坐标系中，根据工作要求定义的实点或虚点，是一个和工具有关的参考点。

#### 21. 自由度 (Degree of freedom)

表示工业机器人动作灵活的尺度。一般以轴的直线移动、摆动或旋转动作的数目来表示，夹持器的动作不包括在内。

#### 22. 动作距离 (Operating distance)

各自由度的有效运动距离。

#### 23. 动作角度 (Oprating angle)

各自由度的有效转动角度。

24. 手腕的摆动 (Swing of the wrist)

腕绕其轴线的上下或左右运动。

25. 手腕的转动 (Revolution of the wrist)

腕绕自身轴线的转动。

26. 手臂的俯仰 (Up-down turning of the arm)

在直角坐标系中的垂直平面内, 手臂作上下方向的摆动。

27. 手臂的升降 (Up-down of the arm)

在直角坐标系中的垂直平面内, 手臂作上下方向的移动。

28. 手臂的左右摆动 (Right-left turning of the arm)

在直角坐标系中的水平面内, 手臂绕垂直轴线的左右摆动。

29. 手臂的左右移动 (Right-left traverse of the arm)

在直角坐标系中的水平面内, 手臂的平行移动。

30. 手臂的旋转 (Revolution of the arm)

手臂绕其长度方向轴线的转动。

31. 手臂的伸缩 (Out-in of the arm)

手臂沿其长度方向的移动。

32. 工作空间 (Working space)

工业机器人执行任务时, 其腕轴交点能在空间活动的范围。

33. 机械原点 (Mechanical origin)

工业机器人各自由度共用的、在机坐标系中的基准点。

34. 工作原点 (Work origin)

工业机器人工作空间的基准点。

35. 速度 (Velocity)

工业机器人在额定负载条件下、匀速运动过程中, 机械接口中心或工具中心点在单位时间内所移动的距离或转动的角度。

36. 单轴速度 (Individual axis velocity)

单轴运动到某一位置时的速度。

37. 合成速度 (Resultant velocity)

在额定负载条件下, 由各轴速度分量合成的速度。

38. 轨迹速度 (Path velocity)

在连续轨迹控制中, 末端执行器或工具中心点沿指定轨迹运动时得到的合成速度。

39. 加速度 (Acceleration)

工业机器人在额定负载条件下、匀加速运动过程中, 机械接口中心或工具中心点沿一指定直线运动时的速度变化率。

40. 单轴加速度 (Individual axis acceleration)

单轴运动到某一位置时的加速度。

41. 合成加速度 (Resultant acceleration)

在额定负载下加速时,由各轴加速度的分量合成而得的加速度。

#### 42. 轨迹加速度 (Path acceleration)

在连续轨迹控制下,末端执行器或工具中心点沿要求的轨迹运动时获得的合成加速度。

#### 43. 负载 (Load)

作用于夹持器上的质量、力矩等。

#### 44. 额定负载 (Rated load)

工业机器人在规定的性能范围内,机械接口处能承受的最大负载量(包括末端执行器在内)。用质量、力矩、惯性矩来表示。

#### 45. 极限负载 (Limiting load)

工业机器人在限定的操作条件下,保持其机械结构不损坏时,机械接口处能承载的最大负载量。

#### 46. 最大推力 (Maximum thrust)

在保证工业机器人机械结构不被损坏的条件下,能连续作用于机械接口处的最大推力。

#### 47. 最大扭矩 (Maximum torque)

在保证工业机器人机械结构不被损坏的条件下,能连续作用于机械接口处的最大扭矩。

#### 48. 定位时间 (Positioning time)

在额定负载条件下,机械接口中心或工具中心点按给定的距离或转角运动时,由某一位置出发到稳定于另一位置所经历的时间。

#### 49. 分辨率 (Resolution)

工业机器人每根轴能够实现的最小移动距离或最小转动角度。

#### 50. 静态柔顺性 (Station compliance)

机械接口在单位静态负载作用下的位移量。

#### 51. 位姿精度 (Pose accuracy)

指令设定位姿与实际到达位姿的一致程度。

#### 52. 重复位姿精度 (Pose repeatability)

在相同的条件下,用同样的方法操作时,重复 $n$ 次所测得的位姿的一致程度。

#### 53. 轨迹精度 (Path accuracy)

工业机器人的机械接口中心跟随指令轨迹的一致程度。

#### 54. 轨迹重复精度 (Path repeatability)

工业机器人机械接口中心沿同一轨迹跟随 $n$ 次所测得的轨迹之间的一致程度。

#### 55. 轨迹速度精度 (Path velocity accuracy)

机械接口处的指令速度与实际平均速度之间的相对误差。

#### 56. 轨迹速度重复精度 (Path velocity repeatability)

在相同条件下重复 $n$ 次,各次实际平均速度之间的一致程度。

#### 57. 点位控制 (Point to point control)

控制机器人从一个位姿转到另一个位姿，其路径不限。

58. 连续轨迹控制 (Continuous path control)

机械接口在指定的轨迹上，按照编程规定的位姿和速度移动。它适于对两个以上的运动环节进行控制。

59. 分级控制 (Hierarohical control)

按系统控制的性质或规模将控制分为几个级别，每一级各有不同的控制任务和控制策略，各级之间有信息传递。

60. 协调控制 (Cooperative control)

协调多个手臂或多台机器人同时进行某种作业的控制。

61. 自适应控制 (Adaptive control)

不断地自动修正控制参数以达到或接近最佳性能和要求的控制。

62. 群控系统 (Group control system)

用一套控制装置集中控制多台机器人或其它控制对象的系统。

63. 伺服系统 (Servo system)

控制机器人的位姿、速度等，使其跟随目标值变化的控制系统。

64. 模拟伺服系统 (Analog servo system)

全部信号为模拟量的伺服系统。

65. 数字伺服系统 (Digital servo system)

部分或全部信号为数字量的伺服系统。

66. 离线编程 (Off-line programming)

机器人作业方式的信息的记忆过程与作业对象不发生直接关系的编程方式。

67. 解析编程 (Analytical programming)

一种离线编程，其特点是机器人的末端执行器的路径或顺序信息是以数学方式给定的。

68. 目标编程 (Goal directed ptogramming)

只规定了末端执行器的操作目标，而无需限定其路径的离线编程方式。

69. 在线编程 (On-line programming)

通过人的示教来完成操作信息的记忆过程的编程方式。在线编程方式有：手把手示教、模拟示教和控制盒示教。

70. 存贮容量 (Memory capacity)

计算机存贮装置中可存贮的位置、顺序、速度等信息的容量，通常用时间或位置点数来表示。

71. 外部检测功能 (External measuring ability)

机器人所具备的对外界物体对象状态和环境状况等的检测能力。

72. 内部检测功能 (Internal measuring ability)

机器人对本身的位置、速度等状态的检测能力。

73. 自诊断功能 (Self detective ability)

机器人判断本身的全部或部分状态是否处于正常的的能力。

74. 人工智能 (Artificial intelligence)

工业机器人能执行一些类似人类智力活动的的能力。如推理、规划、图象识别、理解和学习等。

75. 模式识别 (Pattern recognition)

通过类似人类感觉器官的传感器所检测的信息来分析、描述和区分各个物体特征的方法。

76. 触觉 (Tactile sense)

机器人与物体之间接触时所得到的感觉信息。

77. 压觉 (Sense of contact force)

机器人在与物体某个表面接触时，沿法线方向受到的力的信息感觉。

78. 视觉 (Visual sense)

机器人对光等外界信息的感觉。利用这种感觉可以识别物体的轮廓、方位、背景等环境状态。

79. 接近觉 (Proximity sense)

机器人能感受到与物体接近程度的能力。

80. 滑觉 (Slip sense)

机器人能感受到其末端执行器与被夹持物之间滑移程度的能力。

81. 机器人语言 (Robot language)

机器人系统中的计算机编程语言，即用简单的程序语言表示对机器人的示教、控制、检测等作命令。

二、工业机器人的图形符号

1. 各种运动功能的图形符号 (见表1.2.1)

2. 工业机器人机构简图

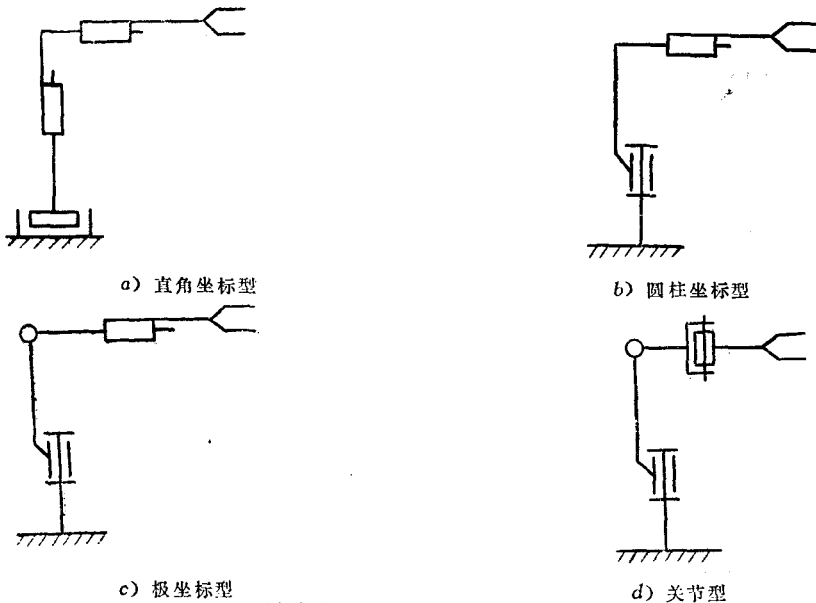


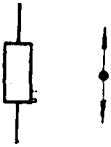

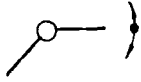
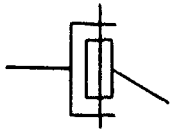
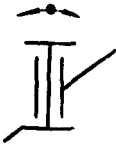
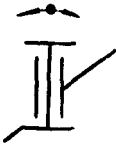
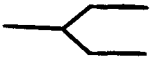



图 1.2.1 工业机器人机构简图

表 1.2.1

各种运动功能的图形符号

No	名 称	图 形 符 号		备 注
		正 视	侧 视	
1	移 动			
				
2	转 动			
				参照GB 4460—84
3	末端执行器			包括夹持器、手 吸盘和工具等
4	机 座			

### § 1.3 机器人的应用

工业机器人最早应用的领域是汽车工业。其中应用最早最多的工种为焊接、喷涂和上下料。有人称这个领域为机器人的传统应用领域。

#### 1. 焊接

包括点焊、弧焊、压焊、锡焊、激光焊等，它的用途广，历史长。例如汽车的驾驶室主要是用点焊的方法把各个分离的板件焊成一个整体。在新材料、新工艺（譬如，以塑代钢、整体成形等）没有取得突破性进展以前，驾驶室的点焊工艺将能维持到二十世纪末。人工点焊，不但劳动强度大而且质量也不易保证。多点焊机固然可以减轻劳动强度，保证焊点质量，但是由于夹具及焊枪位置不能随零件变化，一种部件需要一套装置，因此总体造价并不低。而点焊机器人可编程，可调整空间点位，汽车换型不需更换机器人。

弧焊机器人属于连续轨迹式机器人（参见图1.3.1）。它广泛用于各种结构和容器



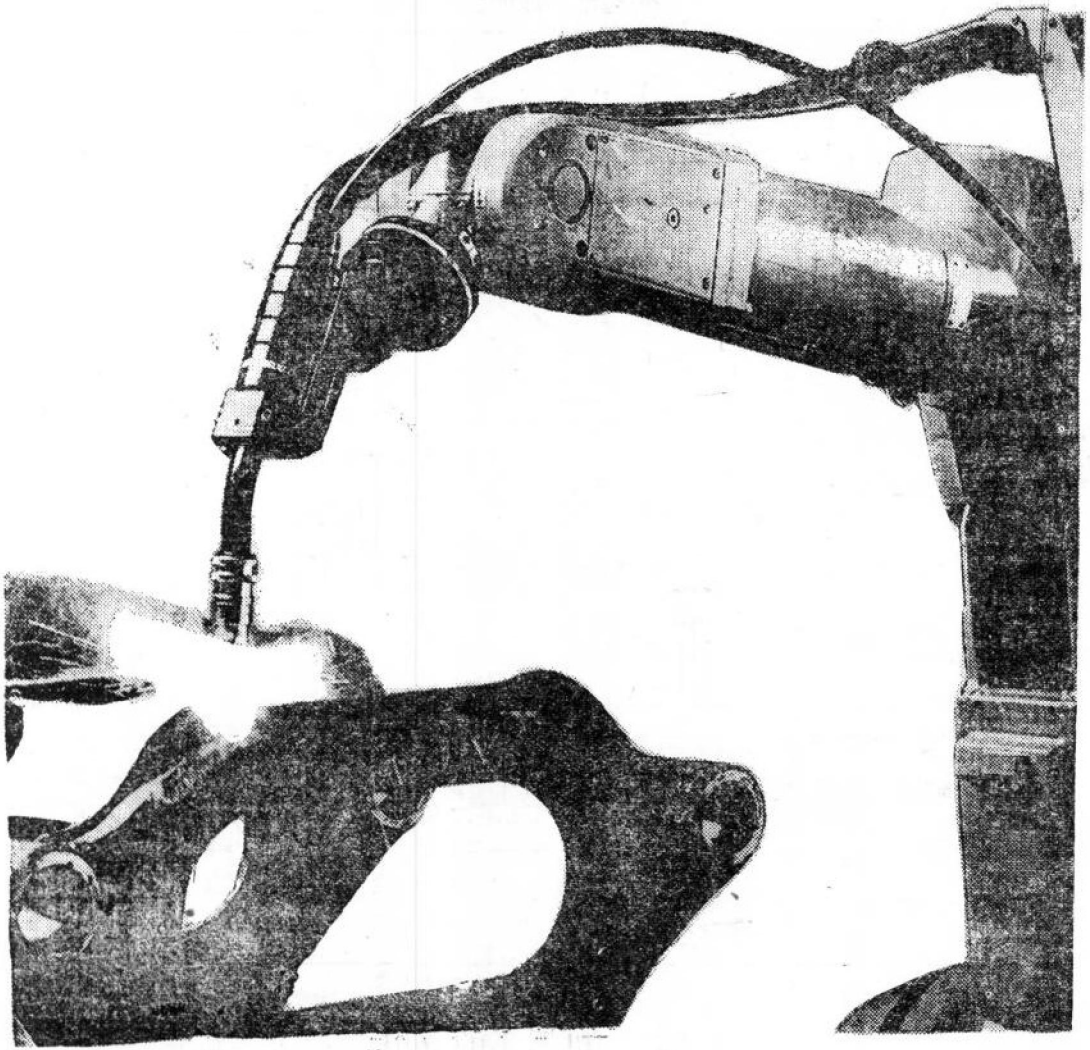


图 1.3.1 弧焊机器人在工作

的焊接。例如汽车底盘、避震器筒、转向节支架和组焊式曲轴等。

## 2. 喷漆

由于喷漆工序中雾状漆料对人体有危害，喷漆环境中照明、通风等条件很差，而且不易从根本上改进，因此在这个领域中大量地使用了机器人。使用机器人不仅可以改善劳动条件，而且还可以提高产品的产量和质量，降低成本。

挪威生产的TRALLFA喷漆机器人，其手臂是关节式的，用电液伺服机构驱动，由微机控制，是一种示教再现控制式的工业机器人。其特点是动作灵活，操作轻便，可伸入到狭窄空间进行工作，易于示教，存贮装置存贮容量大（点位控制38000点，连续控制4~128分钟，最大程序数64），不仅可以进行点位控制和连续轨迹控制，而且可采用不同频率（80、40、20、10、5点/秒）进行示教。图1.3.2是它的外观图。