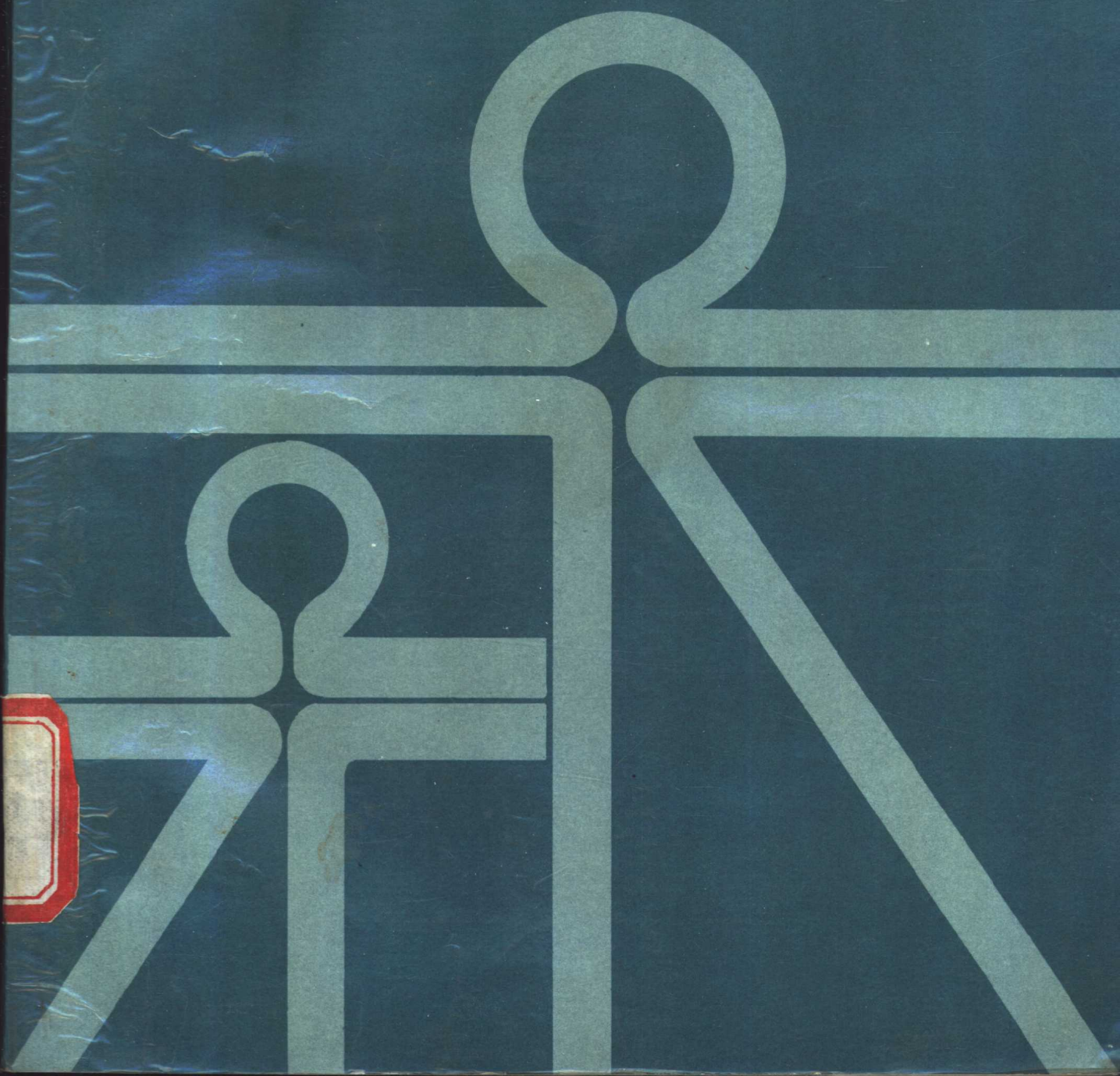


工业机器人设计与应用

主 编 刘文剑

副主编 罗建伟 荣涵锐



工业机器人设计与应用

主 编 刘文剑

副主编 罗建伟 荣涵锐

黑龙江科学技术出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了工业机器人设计的基础理论及其应用,搜集了国内外大量的工业机器人的设计资料和典型实例。

全书共分六章,可作为高等院校机械电子工程、机械制造工程和仪器制造工程的教科书;亦可作为从事机械制造过程自动化和机器人研究工程技术人员的参考书。

责任编辑:张日新

封面设计:刘道毅

工业机器人设计与应用

主编 刘文剑

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

黑龙江科技出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 10.125印张 220千字

1990年10月第1版·1990年10月第1次印刷

印数:1—1500册

定价:4.70元

ISBN 7-5388-1347-0/TH·55

前 言

工业机器人技术是近 20 多年来迅速发展起来的综合学科。它集中了机械工程、电子工程、计算机工程、自动控制工程以及人工智能工程等多种学科的最新研究成果，代表了机电一体化的最高成就。

随着科学技术的不断发展，工业机器人已成为 FMS（柔性制造系统）、FA（工厂自动化）、CIMS（计算机一体化制造系统）的自动化工具。应用工业机器人对于减轻人们的劳动强度、提高生产效率和保证加工质量有着十分重要的意义。为了推广工业机器人技术，为了促进我国的机器人研究工作，我们特为机械电子工程、机械和仪器制造工程的学生编写了这本教材。

全书分六章，分别介绍了工业机器人的概述、机械结构设计、驱动系统、检测系统、控制系统及其应用。

本书由刘文剑副教授主编，罗建伟工程师、荣涵锐副教授任副主编。参加编写工作的还有（按姓氏笔画排列）：马奎、陈维山、杜江波、杨长城、赵杰同志。由曹天河副教授、王士杰教授审校。

在编写过程中得到哈尔滨工业大学李家宝教授、机器人研究所的侯琳琪副教授和陆同浚副教授的热情帮助，在此向他们表示感谢。

由于我们的水平有限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 概述

§ 1-1 工业机器人的定义	1
§ 1-2 工业机器人的组成和分类	1
§ 1-3 工业机器人的自由度和坐标形式	3
§ 1-4 工业机器人的主要技术参数	5
§ 1-5 工业机器人的发展趋势	8

第二章 工业机器人的结构设计

§ 2-1 工业机器人的手部夹持器	9
§ 2-2 工业机器人的腕部	23
§ 2-3 工业机器人的臂部	29
§ 2-4 工业机器人的机身	36

第三章 工业机器人的驱动系统

§ 3-1 三种驱动方式的比较	41
§ 3-2 液压驱动系统	42
§ 3-3 气压驱动系统	56
§ 3-4 电液伺服系统	64
§ 3-5 电伺服驱动系统	67
§ 3-6 谐波齿轮减速机构	71

第四章 工业机器人的检测系统

§ 4-1 传感器的类型与特点	74
§ 4-2 内部信息传感器	74
§ 4-3 外部信息传感器	79
§ 4-4 机器人的图象识别	86

第五章 工业机器人的控制系统

§ 5-1 工业机器人控制系统的组成与分类	91
§ 5-2 工业机器人的作业程序控制	93
§ 5-3 工业机器人的运动分析与控制	97
§ 5-4 工业机器人的示教	115
§ 5-5 工业机器人的存储方式	117
§ 5-6 工业机器人的计算机控制	120

第六章 工业机器人的总体设计及应用

§ 6-1 工业机器人总体设计的步骤	132
§ 6-2 工业机器人应用简介	132
§ 6-3 工业机器人应用的典型实例	133

第一章 概 述

§ 1-1 工业机器人的定义

机器人的英文词是“Robot”。Robot 这个词起源于捷克斯洛伐克剧作家 Karel.Capek 1920 年的剧本“罗莎姆万能机器人公司 R.U.R(Rossum's Universal Robot)”。在捷克斯洛伐克语中“Robotnik”是工人的意思。“Robot”一词是 Karel.Capek 根据“Robota”和“Robotnik”两词结合而创造出来的,用以表示“用人们的手制造出来的工人”的意思。此后,于 1922 年英语中就出现了“Robot”一词。

工业机器人 (Industrial Robot 缩写词 IR) 是 1960 年《美国金属市场》报首先使用的,但这个概念是美国 Geoge.C.Devol 在 1954 年申请的专利“程序控制物料传送装置”中提出来的。从现在的概念来看,当时在专利中记述的工业机器人就是示教再现型机器人。1962 年,美国的 Unimation 公司和美国的机械铸造 (AMF) 公司分别制造出了极坐标结构的 Unimate (“万能伙伴”之意) 样机和采用圆柱坐标结构的 Versatran (“多用搬运”之意)。这两种工业机器人成为美国后来机器人结构的主流。

根据国际机器人联合会 (IFR) 公布,各国机器人的安装情况如下:

	1984 年	1985 年	1986 年	累积总数
日本	20 000	26 000	25 000	118 000
美国	5 000	7 000	5 000	25 000
英国	870	585	475	3 683
德国	1 800	2 200	3 600	12 400
法国	830	1 400	112	5 270
瑞典	293	301	337	2 383

目前,关于工业机器人世界各国尚无统一的定义。

根据 1971 年日本特定电子工业及特定机械工业振兴临时措置规定,工业机器人可定义为:“机身能够回转,具有抓取或吸住物体的手爪和能够进行伸缩、弯曲、升降 (俯仰)、回转及其复合动作的臂部,带有记忆装置,可部分地代替人进行自动操作的通用机器。”

最近美国有的学者把工业机器人的定义简略地概括为:“能完成工业应用工作的计算机控制的机械夹持器。”

在我国,一直使用着工业机械手的概念。实际上机器人与机械手相比,从执行动作的部分来说没有什么根本的区别,可以说机械手就是一种动作简单工作程序固定,定位点不能灵活改变的简单的工业机器人。

§ 1-2 工业机器人的组成和分类

工业机器人主要由执行系统、驱动系统、控制系统及检测系统组成。各部分及相互关系见图 1-1。

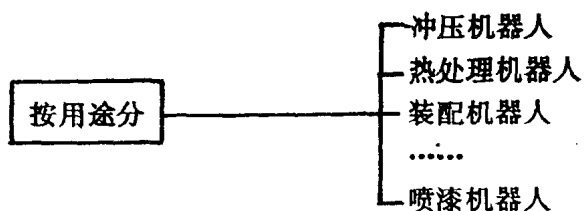


图 1-2 工业机器人的分类

§ 1-3 工业机器人的自由度和坐标形式

自由度是设计工业机器人的重要参数。工业机器人的运动自由度是指各运动部件在三维空间相对于固定坐标系所具有的独立运动数目。简而言之，即指各运动部件所包含的直线运动、旋转和摆动数。

一般情况下，工业机器人大都采用 4~6 个自由度。其中臂部一般采用 3 个自由度，腕部一般只用 1~3 个自由度。手臂和腕部的各个运动自由度及其对应动作可见表 1-1。

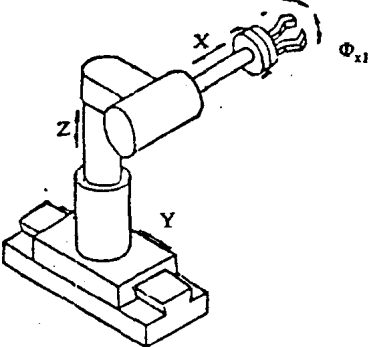
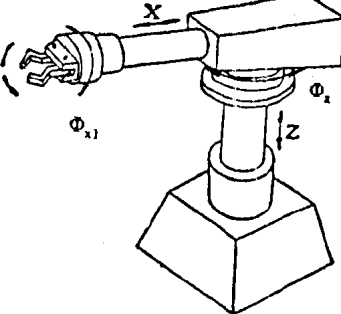
表 1-1 运动自由度及其对应的动作

臂 部			腕 部			
自 由 度		对应动作	自 由 度		对应动作	
移 动	X	前后伸缩	移 动	Y_1	横向移动	很少使用，如用则 只用其中之一
	Y	左右移动		Z_1	纵向移动	
	Z	上下移动(升降)	回 转	Φ_{x1}	自身旋转	
回 转	Φ_Y	上下俯仰		Φ_{Y1}	上下摆动	
	Φ_Z	左右摆动		Φ_{Z1}	左右摆动	

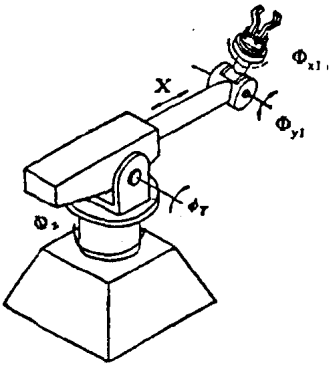
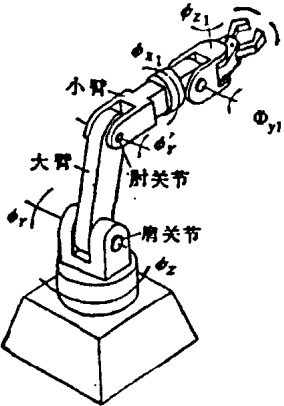
工业机器人的手指主要是开闭动作，用于抓放工件，因为它不能改变工件的位置和方位，一般不计入工业机器人的自由度数。

工业机器人有四种不同的坐标形式，即直角坐标式、圆坐标式、极坐标式和多关节式。各种坐标形式的工业机器人的示意图及其运动运动特点可见表 1-2。

表 1-2 工业机器人的运动特点和自由度

坐标形式	简 图	运 动 特 点 和 自 由 度		
直 角 坐 标 式		臂 部	运动范围图形	立方体
			自由度	X, Y, Z
			运 动 特 点	上下、左右、前后的直线往复运动。直观性强，所占空间大，相对工作范围较小，应用较多
		腕 部	自由度	Φ_{x1}
			运 动 特 点	自身旋转
圆 柱 坐 标 式		臂 部	运动范围图形	圆柱体
			自由度	X, Z, Φ_z
			运 动 特 点	前后伸缩、升降和左右摆动。直观性较强，所占空间较小，相对工作范围较大，应用较多，但惯性较大
		腕 部	自由度	Φ_{x1}
			运 动 特 点	自身旋转

续表 1-2

坐标形式	简 图	运 动 特 点 和 自 由 度		
极坐标式		臂部	运动范围图形	空心球体
			自由度	X, ϕ_x, ϕ_y
		腕部	运 动 特 点	前后伸缩, 上下俯仰, 左右摆动。直观性一般, 所占空间较小, 相对工作范围较大, 能从地面上提取工件
			自由度	ϕ_{x1}, ϕ_{y1}
多关节式		臂部	运动范围图形	球体
			自由度	ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z
		腕部	运 动 特 点	上下俯仰, 左右前后摆动和小臂俯仰。直观性差, 所占空间最小, 相对工作范围最大, 但结构复杂, 定位精度较差, 应用很少
			自由度	$\phi_{x1}, \phi_{y1}, \phi_{z1}$

§ 1-4 工业机器人的主要技术参数

在设计工业机器人时, 应该提出的主要技术指标包括以下几个方面:

(1) 主要用途:

- (2) 坐标形式
- (3) 控制系统功能的类型;
- (4) 整机、臂部及腕部的运动自由度数;
- (5) 额定抓取重量;
- (6) 运动范围与速度, 指臂部、腕部各运动自由度的行程范围, 手指的夹持范围及其速度;
- (7) 控制方式, 指点位控制还是连续轨迹控制;
- (8) 定位方式, 指采用机械挡块、可调机械挡块、行程开关、电位器或其他位置设定和检测元件以及各自由度所设定的位置数目;
- (9) 定位精度;
- (10) 驱动方式与动力源的技术参数;
- (11) 程序存储方式, 如采用插销板、二极管矩阵板、凸轮转鼓、穿孔纸带或卡片以及示教存储等方式。对于顺序控制类机器人应说明输入输出点数和程序步数;
- (12) 外形尺寸。

下面例举了日本安川电机公司的 Motoman-L10 机器人的主要技术指标:

- (1) 主要用途: 弧焊;
- (2) 坐标形式: 多关节式;
- (3) 控制系统的类型: 示教再现型;
- (4) 自由度数: 5 个;
- (5) 额定抓取重量: 最大 10kg (包括夹钳);
- (6) 运动范围与速度。(见表 1-3)。

表 1-3 运动范围与速度

运动类型	动作范围	速度
整机摆动	240°	90° / s
上臂仰俯	20° ~ 40°	1. 100mm / s
下臂前后	± 40°	800mm / s
手腕弯曲	180°	100° / s
手腕旋转	360°	150° / s

- (7) 控制方式: 增量式数字位置控制方式;
- (8) 定位方式: 光电式增量变码器作为位置检测元件;
- (9) 定位精度: $\pm 0.2\text{mm}$;
- (10) 驱动方式: 电伺服驱动, 采用交流测速发电机作为 DC 直流伺服电动机的速度检测元件, 实现了速度的反馈;

(11) 程序存储方式: 采用 8 位微处理器 Intel 8080, 用半导体存储器作为主存, 程序步数为 1 000 步, 指令条数为 600 条;

(12) 外形范围见图 1-3.

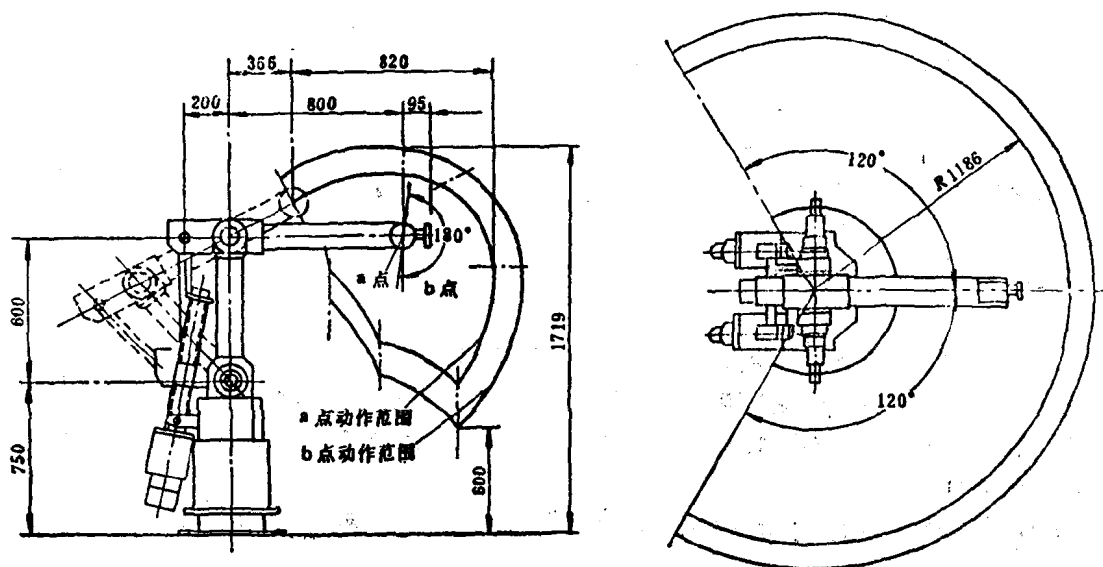


图 1-3 Motoman-L10 外形尺寸与动作范围

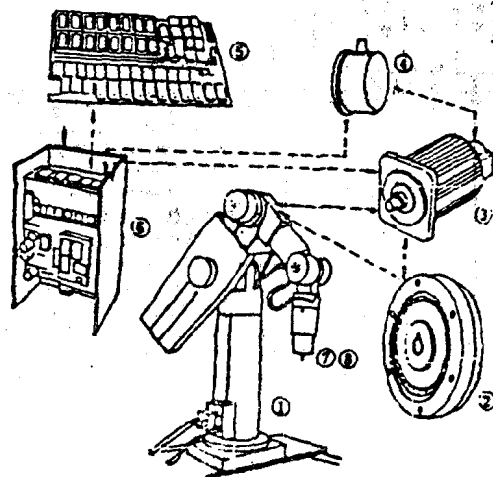


图 1-4 工业机器人的主要标准组件

1-机器人本体; 2-高性能减速装置; 3-伺服电机; 4-回转传感器;
5-控制器; 6-伺服驱动器; 7-手腕、手指、机械制动器; 8-外界
传感器

§ 1-5 工业机器人的发展趋势

一、朝着标准化方向发展

近年来，世界各国注意发展组合式机器人。它是采用标准化的组合件拼装而成的。图 1-4 是工业机器人按主要标准组件分解的简图。

目前，国外已经研制和生产了各种不同的标准组件。除了机器人用的各种伺服电机、传感器外，手臂、手腕和机身的结构也已经标准化了，如臂伸缩轴、臂升降轴、臂俯仰轴、臂摆动轴；手腕旋转轴、摆动轴、固定台身、机座、移动轴等。

二、朝着智能化方向发展

机器人的智能化是指机器人具有感觉、知觉等，即有很强的检测功能和判断功能。当人们给出具体指令后，机器人能自动地认识工作环境、工作对象及其状态，并根据它理解的指令和认识结果自行决定工作方法。在工作过程中，还具有随工作对象的变化而适应工作环境的能力。

智能机器人大体上可分为三个部分：判断控制部分、检测传感部分和动作部分，如图 1-5 所示。

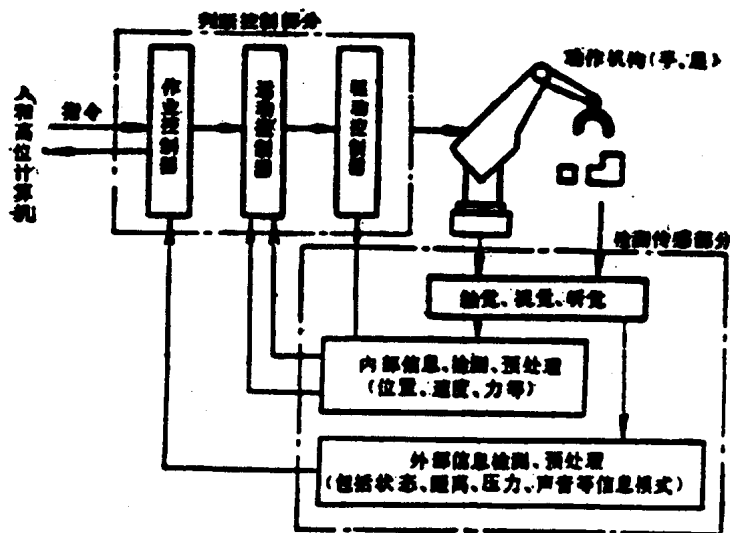


图 1-5 智能机器人的组成

如果把智能机器人的功能与人的功能相比较，那么判断控制装置相当于人的脑，多关节手臂相当于人的手；触觉相当于人的皮肤；视觉相当于人的眼睛。

第二章 工业机器人的结构设计

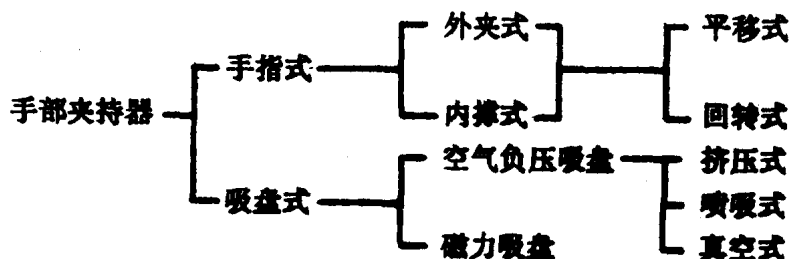
§ 2-1 工业机器人的手部夹持器

手部夹持器是工业机器人的关键部件之一，它的主要作用是夹持工件或工具（如喷漆头、刀具等）按照规定的动作程序去完成指定的工作。它的夹紧和松开动作都是自动完成的。

工业机器人的手部夹持器必须具有约束性、操作性和感觉性三种功能。约束性是指手爪对物体的约束和夹紧程度。操作性是指手爪能够抓取的物体的几何条件，包括极限尺寸、形状以及在抓取不同直径棒料时，能否保持同一轴线的同轴特性等。感觉性是指手爪对物体的控制能力，包括是否使用接触传感器，有无力觉反馈等。因此，手部夹持器的主要研究课题是夹持器的柔性化、标准化和传感能力。

一、手部夹持器的主要类型

1. 分类



2. 手指式夹持器

手指式夹持器是以手指的张开与闭合来松开和抓持工件。手指式夹持器由手指、传动机构和驱动装置三部分组成，适用于抓取轴、盘、套类零件。手指式夹持器多采用两个手指，少数为三指或多指。其传动机构往往通过滑槽、斜楔、齿轮齿条、连杆等推动杠杆机构实现对零件的夹紧和松开。传动装置的驱动力源有液压、气动和电动三种形式。

根据人手抓取物体时的动作，手指式夹持器的抓取方式可分为夹持型、捏持型和握持型三种类型（图 2-1）。

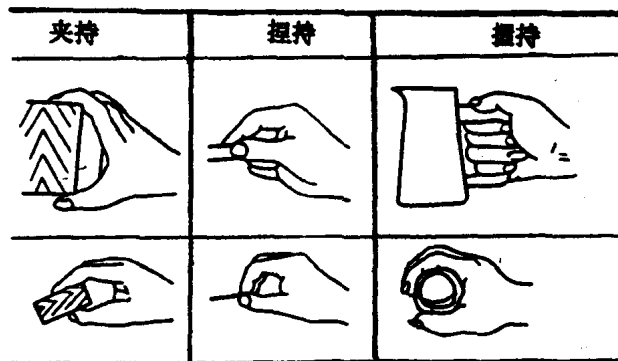


图 2-1 人手的抓取形式

按照手指的运动形式,手指式夹持器又可分为外夹式和内撑式两种类型。外夹持式和内撑式又都可以分为平移型和回转型两种形式,如图 2-2 所示。

按照手指关节划分,手指式夹持器又可分为无关节型、固定关节型和自由关节型。设计手指式夹持器应注意考虑以下几个问题:

(1) 手指应具有足够的开闭角度或开闭距离,以便于抓取和松开工件。

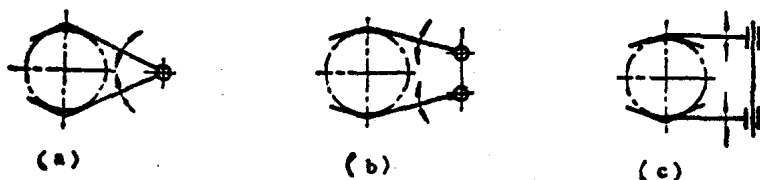


图 2-2 回转型和平移型手指示意图

(a) 单支点回转型 (b) 双支点回转型 (c) 平移型

(2) 应具有足够的夹紧力,以保证可靠地抓持工件和运送工件。但夹紧力不宜过大,以免损坏工件或造成结构尺寸过于庞大。

(3) 应保证工件在手指内的准确定位。

(4) 在保证刚度、强度的前提下,尽可能使结构紧凑,重量轻。

(5) 为扩大工业机器人的应用范围,在设计手指式夹持器时,应注意其通用性和可调整性。

(6) 手部结构应能适应于工作环境所提出的特殊要求,如耐高温、耐腐蚀、耐冲击等。

3. 吸盘式夹持器

吸盘式夹持器是以吸盘所产生的吸力而吸持工件的,适用于吸持板状工件及曲线形壳体类工件。

吸盘式夹持器可分为空气负压吸盘和磁力吸盘两种形式。空气负压吸盘又可分为挤气式、喷气式和真空式三种形式。

挤气式是指靠手部压迫工件时所产生的外力,使弹性吸盘受挤变形,将腔内空气排出,外力去除后,吸盘恢复原状,从而形成负压吸住工件。

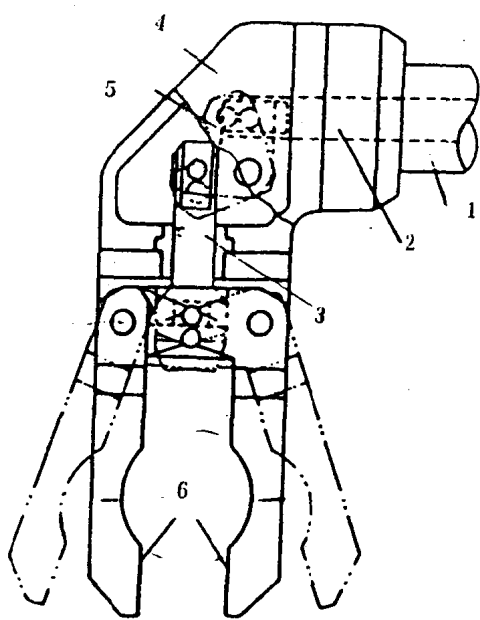
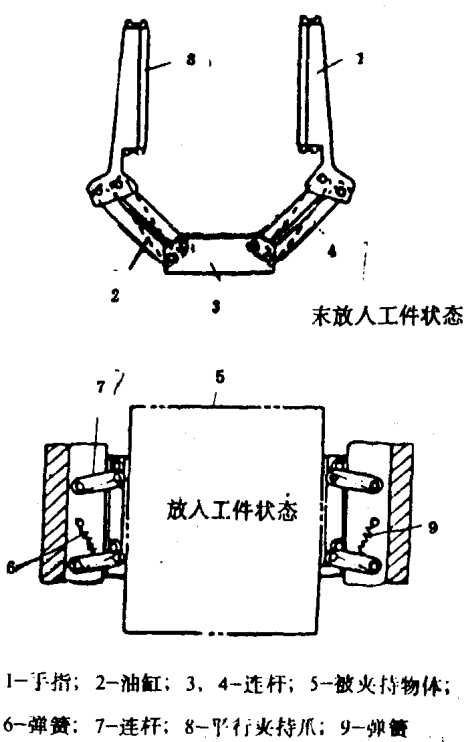
喷气式是指当压缩空气通入喷嘴时,由于喷嘴通道截面变化,使与吸盘相连的小孔口处形成很高的气流速度,将吸盘中空气带出,从而形成负压吸住工件。

真空式是采用真空泵使吸盘内腔形成真空而产生吸力的。

各类型手部典型实例见表 2-1。

表 2-1

各类型手部的典型实例

类 型	简 图	说 明
手 夹 性 指 持 夹 式 型 持 型		1. 可换方向夹持型手部 气缸通过活塞推动滑杆 2, 曲柄 5 和滑杆 3 使夹爪 6 开闭。图中件 1 为手臂, 件 4 为手指支撑体
	 未放入工件状态 放入工件状态 1-手指; 2-油缸; 3, 4-连杆; 5-被夹持物体; 6-弹簧; 7-连杆; 8-平行夹持爪; 9-弹簧	2. 相应于物体重量而变化夹持力的手部 该手部由连杆 3 装在可任意方向移动的臂上, 在手指 1 和连杆 3 间装有油缸 2, 用以控制手指的开合。连杆 7 的一端与手指 1 连接, 另一端与爪 8 连接, 在连杆 7 与指 1 之间装有弹簧 9, 从而使爪 8 相对于指 1 可以作上下的自由移动。该手部可根据夹持手指与被夹持物体间的摩擦力, 使夹持间隔进行变动从而可以对应于物体的重量, 自动调节最佳夹持力

类 型	简 图	说 明
手 夹 性 指 指 夹 持 式 型 型		3、平行滑移手指夹持型手部 手部是由两个平行移动的夹持手指 1 夹持物体的。其特点是夹持范围大，但传动环节多
	1-夹持手指；2-导杆；3-齿条；4-齿轮；5-电机； 6-齿轮；7-齿轮；8-电位器；9-齿条	
		4. 平行放大夹持型手部 该手部是通过平行四边型放大机构带动两个平行移动的手指 1 夹持物体。适于夹持薄壁型并有夹持弹性要求的物体
	1-手指；2-连杆；3-平行四边型放大机构；4、5-驱动机构	
		5. 大张开度夹持型手部 该手部是由等长连杆组成的网状机构，通过驱动轴 8 操纵两个夹持手指实现大的张开度，由连杆 3 带动两个夹持手指张开和收拢夹持物体
	1-手指；2-夹持板；3-连杆 4-固定基体； 5-固定轴；6-滑动槽；7-手指体；8-驱动轴	