

外 国 工业机械手及其应用

上海市电动工具研究所 编译

上海科学技术情报研究所

国外工业机械手及其应用

上海市电动工具研究所 编译

*

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 8.5 字数: 210,000

1978年1月第1版 1978年1月第1次印刷

印数: 1—9,200

代号: 151634·395 定价: 1.07元

(限国内发行)

前 言

工业机械手是六十年代发展起来的一门新技术。它是一种按一定程序、能自动搬运和操作的机械装置。它能代替人们的部分劳动，具有人的一部分或大部分功能，而又没有人工操作的一些弱点。因此，近几年来工业机械手发展很快，有些国家已能系列化生产。目前，国外工业机械手已广泛应用于焊接、机床上下料、锻压、热处理、喷漆等方面。

我国在大跃进年代就出现了一些机械手装置，近几年来在大搞技术革新和技术改造的群众运动中，工业机械手发展很快。当前一个深入开展农业学大寨、工业学大庆，努力把国民经济搞上去的群众运动正在蓬勃开展，为了更好地促进工业机械手技术的发展，争取在不远的将来赶上和超过世界先进水平。我们遵照毛主席“洋为中用”的教导，将近几年来结合科研工作编译的部分国外工业机械手有关资料整理出版，供从事这方面工作的工人和技术人员参考。

由于我们水平有限，本译文集可能有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1977年8月

目 录

1. 工业机械手——构造、作用原理和使用	1
2. 组合式工业机械手	18
3. 可编程序自动操作机(工业机械手)及其在生产中的应用事例	23
4. 汽车生产线中各种工业机械手的适用性	32
5. 汽车工业用新型点焊机械手	37
6. 工业机械手在汽车车身的焊接及涂漆设备中的应用	47
7. 焊接用工业机械手	57
8. 川崎尤尼曼特	61
9. 压机用 RHP 系列高速机械手	68
10. 多爪热锻简易机械手	75
11. 瑞典落锻工业中的工业机械手	86
12. 工业机械手控制概述	93
13. 工业机械手	98
14. 工业机械手的数字液压定位驱动	109
15. 工业机械手的定位技术	115
16. 在选定工业机械手时对夹持装置及其机能的评价	123

工业机械手——构造、作用原理和使用

简 介

在工业生产中出现的矛盾促使采用新的技术设备,即操作机(操作工具)。机器,特别是机床的装卸,操作过程之间工件的传送,工件的储存和取出,部件安装,焊接,锻造,压制,喷漆和其它许多工艺操作过程等,这些表面看来程序不复杂,通常不需要有特别技能的工人,但却要由人的手和手臂结合运动过程操作。

所以各国都在研究程序控制系统的自动化工业操作机——即称工业机械手。

工业机械手在使用中第一个经验说明:工业生产自动化能够解决社会、经济、技术等方面的现实问题。从社会方面看,使用机械手能把人们从危险和妨碍健康的环境中解放出来,如高温工作、带电部门、放射性影响、漆雾、砂、尘以及繁重而劳动强度大、单调重复的工作。

从经济方面看,工业机械手能够提高生产率,保证产品质量,降低废品率,提高基本装置的载荷能力。

从技术方面看,操作机的使用与小批量系列生产中增长的产品数量及自动化生产有关。在大批生产中自动化程度最高,在成批或小批量生产中自动化程度次之,例如象数控机床,在辅助操作时自动化程度最差。

操作机适用于进行批量生产的流水线,现在操作机已经用于一些简单的装配程序,焊接和喷涂工件。

1. 操作机基本种类

操作机就是确定工件停止或运动,即操作物体的工具,按输入信息及信息加工的种类,可区分为人工控制和程序控制这二类操作机。

人工控制操作机没有自身运动控制系统,其调节回路是由人操纵的,由人们作出决定,给各个运动各种信号即使运动自行进行。由于受工具执行的运动和它的操作运动同步,所以称为同步操作机。属于这类操作机的不仅有核技术和同位素技术用的遥控操作机(图2),而且还有冶金工业锻造用操作机以及在深海和宇宙试验用的远距离安装操作机。

第二类是程序控制操作机,它的构造同人工控制操作机基本相似。所不同的是,程序控制操作机具有信息储存器,这种储存器是用来储存运动循环用的行程信息与转换信息。固定程序操作机仅仅只能重复一个固定的预先做好的运动循环,但在很多情况下它用调节信号的办法来改变行程,假如产生另外的运动过程,则信息储存器——通常是指凸轮和凸轮转鼓——必须更换新的。这种程序控制操作机通常也称为上下料机器。

这种操作机结构较简单,自由度少,运动周期简单,因此,在大批或批量生产中使用这种操作机是经济的。图3所示就是这种简单机器,它只能做上下和旋转运动。

操作机使用的前题是将固定位置的工件放在规定的准备抓取的位置上。在机床上使用

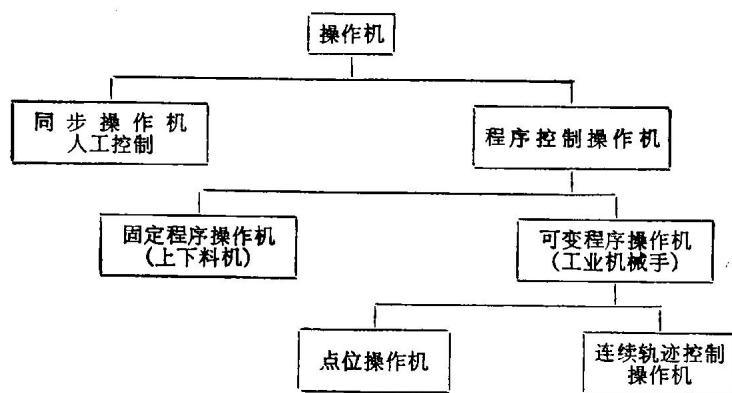


图1 操作机的分类

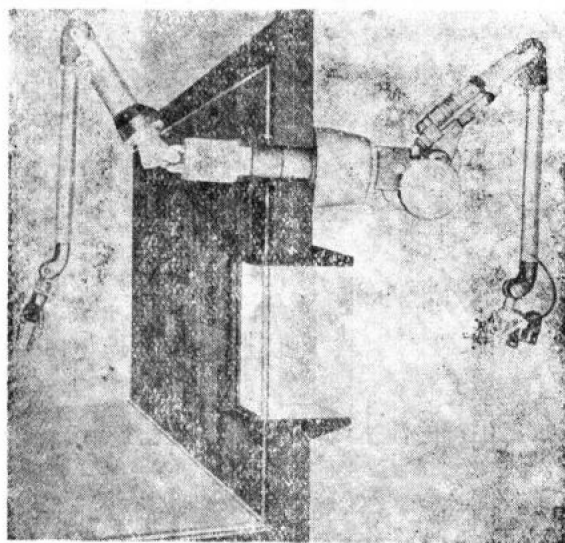


图2 遥控操作机
(法国 La Calhene)

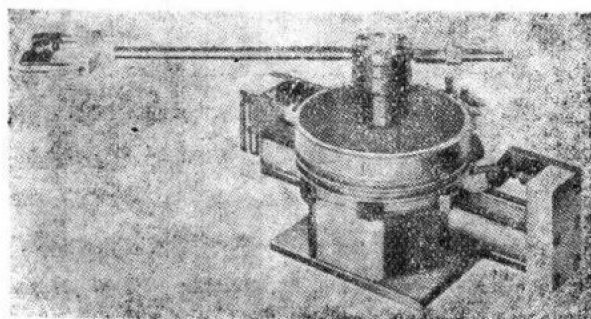


图3 固定程序操作机
(上下料机 西德 Felsomat)

的夹板式抓取机构也属于这类操作机。

带有可变信息储存器的操作机,其运动过程比较容易改变,可进行完全新的程序。这种操作机具有抓取机构系统,其结构不受操作对象的形状影响,由于它很容易编制程序,所以特别适用于小型和中型批量生产。这种也称为工业机械手的可变程序操作机,同固定程序

操作机相比,其运动与自由度的数量多,构造复杂,这种类型的几个典型产品见图4~图6。

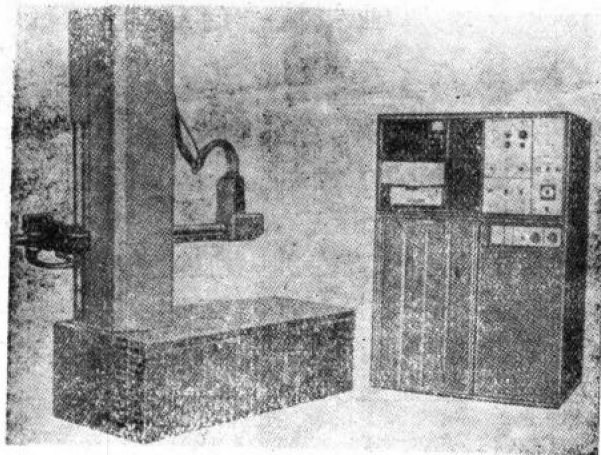


图4 工业机械手 UMI(苏)

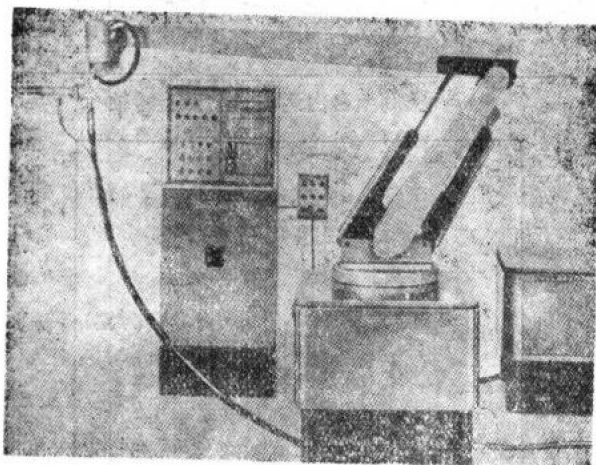


图5 工业机械手(基辅 Paton 研究所)

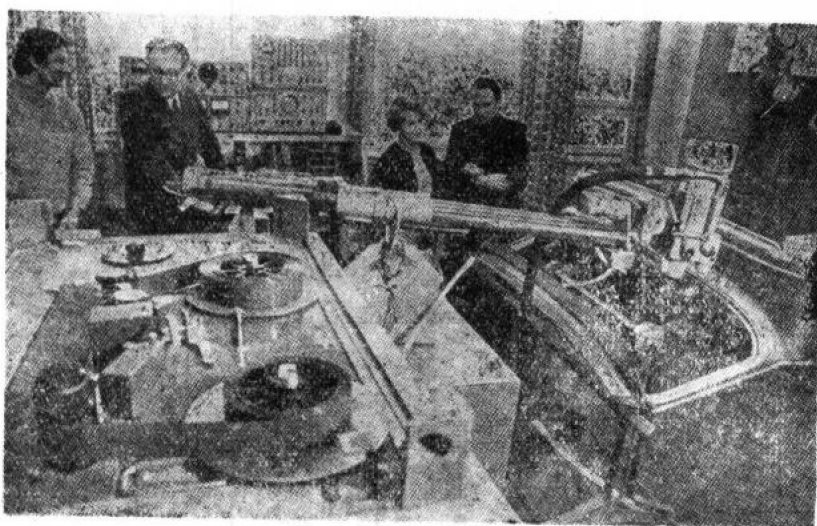


图6 特拉尔法型工业机械手(挪威)

2. 工业机械手的结构

如果把一个物体从一个位置移到空间的任意一个位置，它就需围绕螺旋轴进行螺旋运动。但是，由于在技术上不能实现螺旋轴，因此，物体运动就分为互不相关的单独运动。物体的一般空间运动能围绕六个不同的旋转轴进行六种互不影响的旋转运动，如图7上的人手。如果能把一个直线运动解释为一个围绕无止境的旋转轴的旋转运动，物体的一般空间运动也就能同时进行旋转运动和直线运动。根据参加这些运动关节的类型及组合，给工业机械手的各种不同的结构形式以相应的操作空间。工业机械手的基本构造见图8。由旋转关节及直线运动关节将底座、机体及手臂互相连接起来，装上载有手爪的抓取机构。

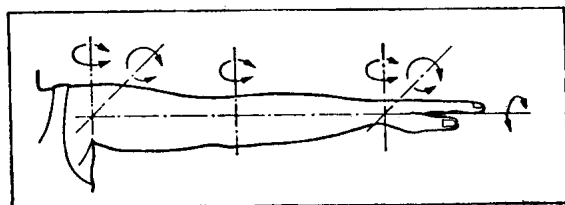


图7 空间上自由运动的手臂旋转轴

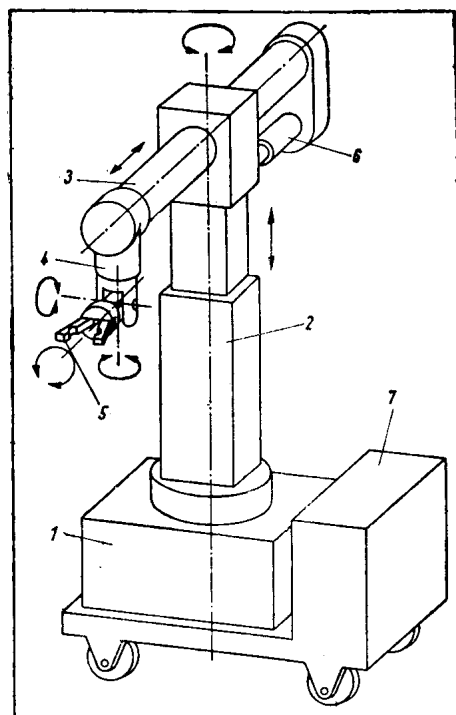


图8 一台操作机的基本结构

1—台架(支架) 2—台柱(支柱) 3—手臂 4—抓取机构 5—抓钳
6—驱动系统 7—运行车及其控制系统及储存器

2.1 操作空间

操作空间——即抓取机构的活动范围，对于使用工业机械手完成一定的工作任务具有决定性的意义。操作空间形状与大小根据抓取机构导向传动装置、关节类型及其传动部分的

传动方式而定。例如倘若传动单元仅仅是通过旋转或直线关节,即关节自由度 $F=1$ 的关节所联接,那么工业机械手用的抓取导向传动机构就能由一个开启式的四个链节运动的链设计成八个不同形状的操作空间(表1)。这些传动方案的区别在于联接四个传动链节的直线

表1 抓取器机构驱动的方案(选择)

方 案				1	2	3	4
曲柄	柄转	关	节	3	2	1	0
旋次		关	序	0	1	2	3
		图		SSS	DSS	DDS	DDD
				9a	9b	9c	9d

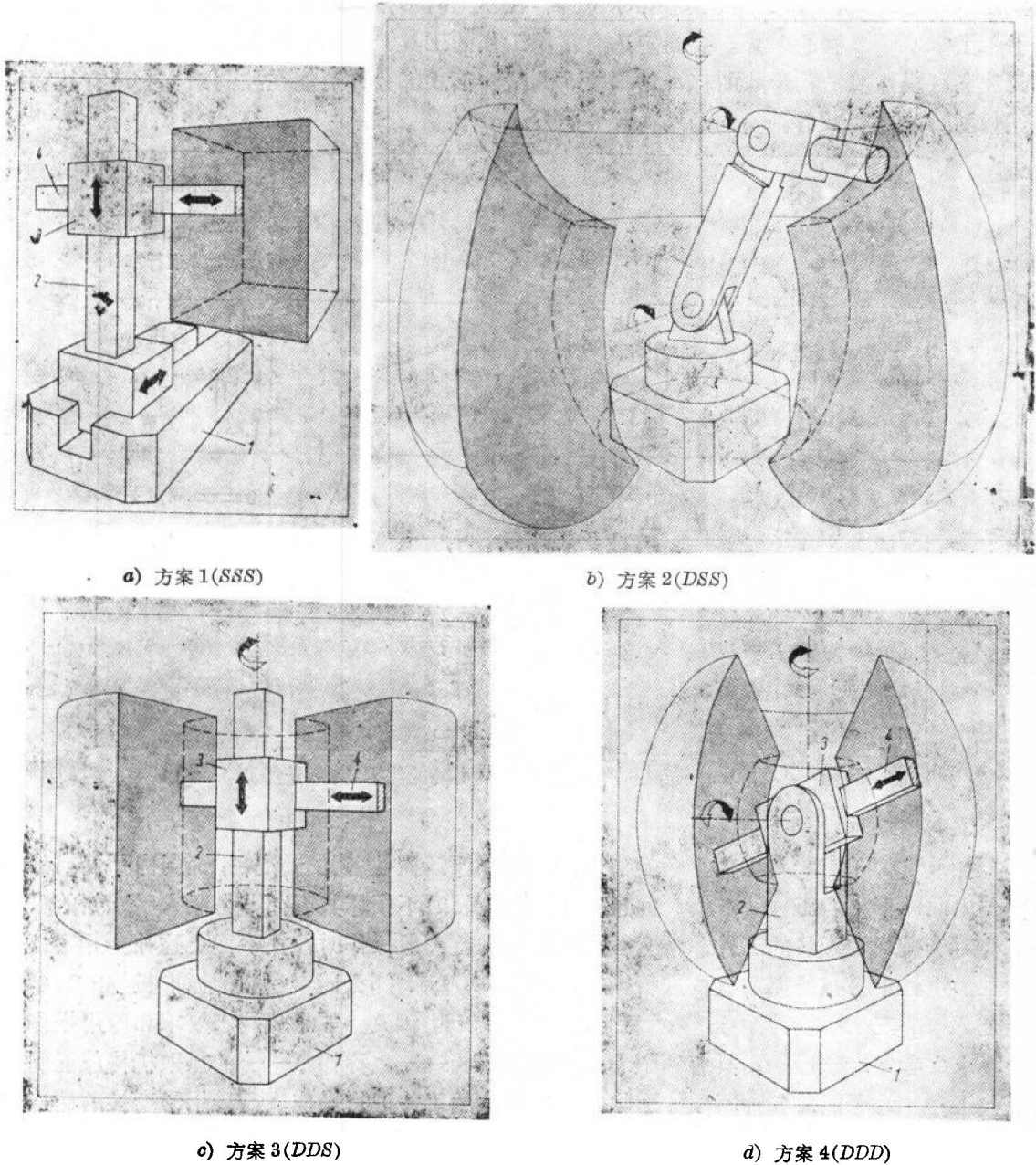


图9 由一个开启式的四个链节运动的链组成的抓取器机构的驱动以及它的工作范围

及旋转关节的数目、顺序以及关节轴的相对位置。图 9 为目前业已在实际上使用的四个方案。传动链节 1 是不动的,它作为支架(底座),链节 2、3 及 4 是各自独立传动的。

2.2 结构形式

基本部件的结构形式对操作机刚性及精确度有一定的影响。关节和导向装置的数量以及手臂的伸缩距离越小,整个设备的刚性就越强。以变换直线运动为主的操作机比以旋转运动为主的操作机具有更高的定位精度,因为后者的驱动系统和检测系统之间的不利速比在于关节点上。

结构形式也会影响到操作机的使用价值,如多用性即自由度及控制运动数越多、程序容量越大,则操作机的使用价值就越大。然而,在使用时常常会遇到操作机安装技术的差异与常用要求水平之间的差异。要固定适合常用工作的工具,最好使用部件的标准结构。图 10 列出各种操作机结构形状的标准构件。除结构形式部分外可能在控制系统中还有其它方案(见第四节)以及各种不同的结构尺寸。

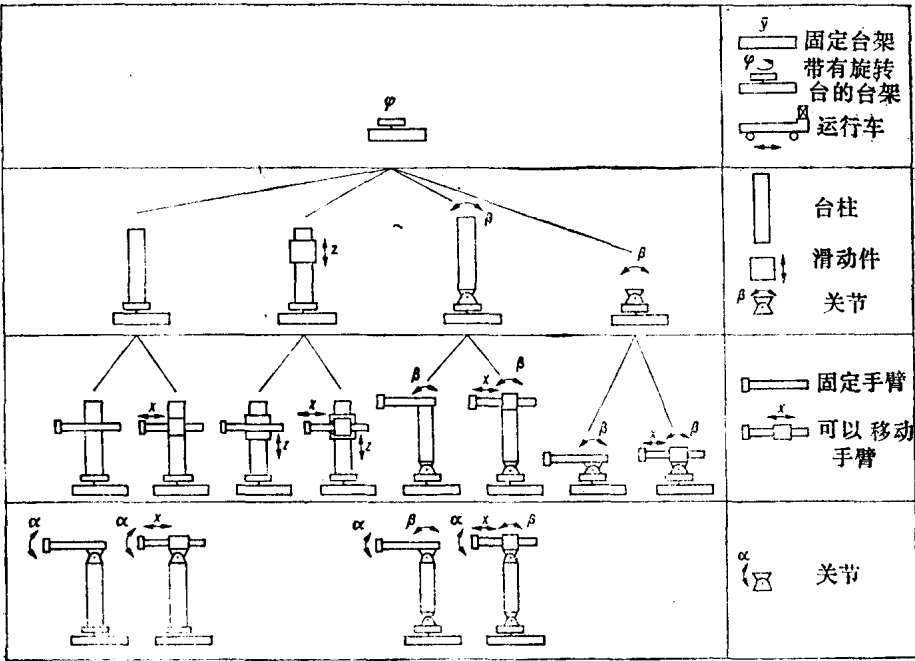


图 10 一台操作机标准构件及可能的组合方式(选择)

2.3 抓取机构

抓取机构是直接 与工件接触的部件,它必须保证抓住各种包括外平面与内平面或外曲面与内曲面形状的工件及锻模,并且在震荡与旋转时不损坏其表面。仿照人手五指的抓取机构对于抓取多形状的工件非常有效。但是在进行一般操作时往往不需要这种多用性能。如果说用五个手指的抓取机构进行操作,功效是 100%,那么四个手指的抓取机构的功能只能是 99%,三个手指为 90%,两个手指的功能则仅为 40%。如果从技术要求和专用操作机的要求去考虑,一般采用具有两个专用形状的手指——也称钳爪——的抓取机构就能确保抓住工件。为了能对各种不同的形状、大小、重量的工件进行操作,需采用易变换的钳爪式抓取机构。在一定的场合也采用气吸式、磁吸式及其他物理作用的抓取机构。

要使抓取机构结构简单,就要由一个关节自由度的单关节进行所需的运动。图 11 所示

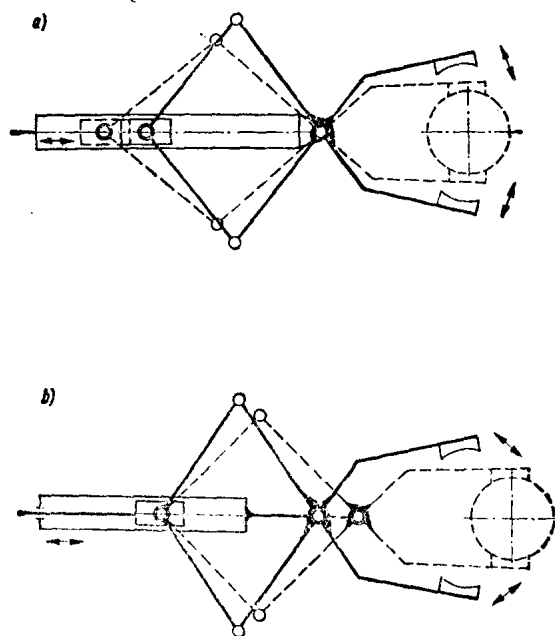


图 11 抓钳运动

a) 固定旋转点的钳爪 b) 理想旋转点的钳爪

的抓取机构中,两个部件是互相独立的摆动运动和回转运动以及一个带钳爪的抓取运动。

带移动元件的传动机构特别适用于钳爪运动。因为钳爪的运动通常是用气缸或油缸驱动的。钳爪上还有传感器,它与工业机械手的控制机构(图 12 与图 14)一起能寻找坯件,即能识别坯件的形状、位置并能准确的抓取。

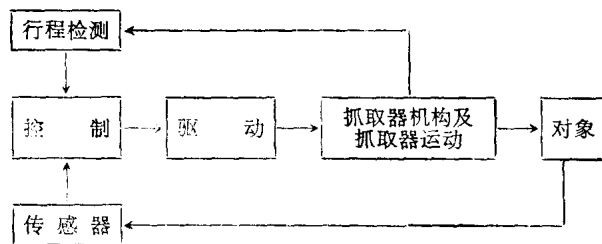


图 12 工业机械手控制机构的相互作用

2.4 驱动方式

气动、液压或电动是操作机进行变换运动及旋转运动的驱动方式。气动,由于它的动力源是压缩空气系统,因而这种驱动方式的成本很低。但是不能产生强大动力,所以,这种驱动方式只适用于抓取比较轻的工件进行快速操作的简单操作机。在工业机械手中用伺服阀或行程节流阀控制的液压传动,其特点是能量密度大,功率大,容易控制。此外,这种驱动方式定位精度高,通过它能实现任意点定位。例如,采用液压的直线驱动能以每秒 1000 毫米的速度搬运 50 公斤以下的工件。

由于电动技术方面构件的发展,各种类型的电动方式获得广泛地使用。尤其因为它能源方便,并且能在很大范围内调节转数。适于工业机械手电动方式的是直流伺服驱动(图

13a 与 b), 步进驱动(图 13c)及电感直线驱动(图 13d 与 e)。

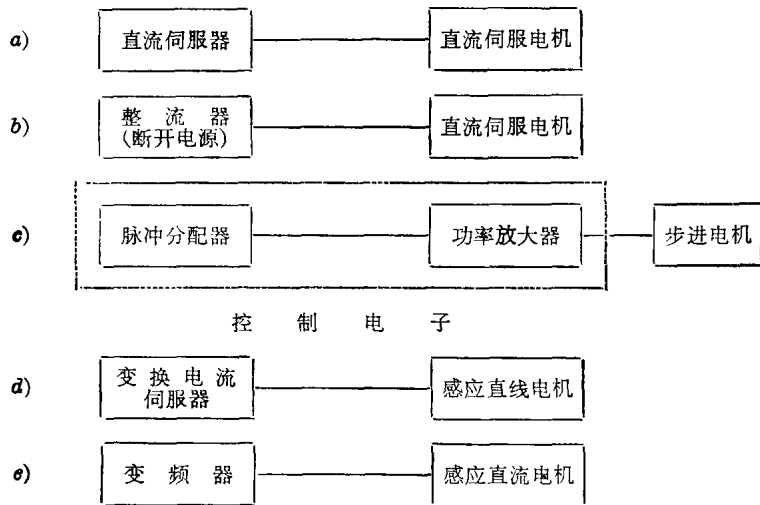


图 13 工业机械手的电气驱动

a)、b) 直流伺服驱动 c) 步进驱动 d)、e) 直线驱动

3. 操作机的控制系统

3.1 概述

控制系统必须保证操作机的运动按操作机工作方式的规定程序进行。从任务及工作范围来看,控制系统是操作机的主要部分。从广义上说,操作机的运行取决于控制系统的性能及技术结构。例如,增加运动复杂度,提高工作的速度与精确度,采用能识别形状、位置及状态的传感器以及适用于自动化生产的操作机,这些首先都将扩大控制系统的范围,要求在控制技术、检测技术及驱动技术上采用先进的构件与装置。由于控制系统的成本费用占操作机全部费用的 30~50%。因此,要降低操作机的费用也就日益注重于对控制系统的最佳设计与选型。

3.2 操作机的基本构造

如图 14 所述,控制系统通常包括下列主要部分:

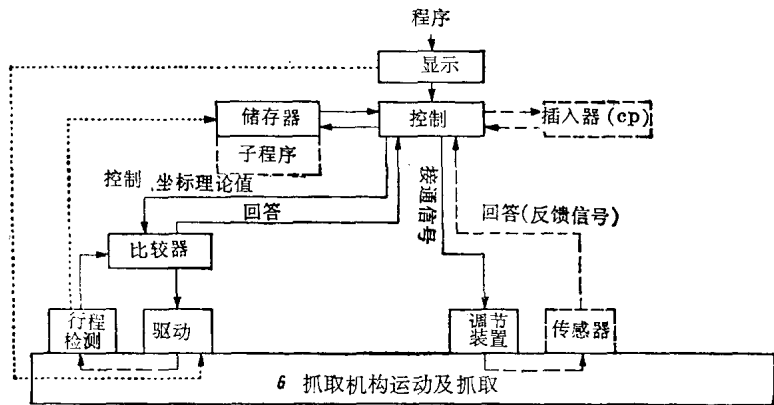


图 14 工业机械手控制结构原理

——程序输入

——用于信息加工，控制程序用的程序工步的联结及行程信息输出包括自由度与方向以及传输调节指令的控制机构。

——用于比较行程信息的规定值与实际值的比较器。

——用于储存程序参数及信息程序编制的储存器。

此外，专用储存器能储存包括较多参数的子程序(如“空间程序”)。

可以使用插入器来计算由按程序大致规定的行程点产生的坐标中间数值。

适用于自由度数量的行程检测系统与驱动系统以及调节系统与传感器是控制系统、抓取机构及抓取机构导向传动装置之间的联接部分。

与调节系统一样，比较器，行程检测系统及驱动系统间是一个单独工作的回路。因此，不仅可使用构造很简单的切断反馈控制系统，而且亦可用位置反馈控制系统。在用位置反馈控制系统时必须把驱动系统的转数调节好。

操作机控制系统的构造与工作方式同机床的程序控制系统相似，这是因为其行程信息与调节信息的加工及控制任务的工艺性能都是基本相似的。

3.3 控制系统的典型分类

操作机控制系统的类型有下列几种：

——在所有控制系统中，采用电动或电子的占 95%，气动占 3%，液压占 2%。

——计算机控制系统约占总数的 8%。计算机控制系统采用的是电子操作。

——输入方式与储存方式以及行程检测与驱动方式的种类及比例可从表 2 和表 3 上可知。

表 2 操作机的信息显示和储存方式之百分比(技术水平)

方 式	显 示 (%)	储 存 器 (%)
插件	51	42
凸轮鼓	13	17
穿孔带	6	13
插孔板 插销板	6	6
特别造型件	4	3
示教和存储(点位) 以及手把手示教(连续轨迹)	20	
磁带		10
磁鼓		5
磁芯存储器		2
曲线盘		2

表 3 操作机行程检测及驱动方式百分比(技术水平)

行 程 检 测	%	驱 动	%
挡 块	30	液 压	53
电 位 计	27	气 动	39
行 程 开 关	26	电 动	8
数 字 编 码	15		
专 用 方 法	2		

现将控制系统的分类(见表4)大致说明如下:

表4 操作机控制的典型实例

	简单控制 (PTP)	点位控制 (PTP)	轨迹控制 (OP)
信息 显示	插件 凸轮 (行程信息)	“起动与存储” (示教再现) 编码开关	“轨迹起动” 编码开关
信息 显示	电气的(继电器)联接及 连续性(序列)	电子的 数字的 极坐标值 绝对的	电子的 数字的 极坐标值 增量的
行程 检测	(凸轮)	数字发生器 (增量的)	数字发生器 (增量的)
储 存 器	插件 凸轮	电子元件 编码开关	磁带
功能范围的 特 别 单 元		另点交换 位置校正 速度程序编制和调节 时间程序编制和外部信号(料堆的程序)的输出。	另点校正 速度程序编制和调节 时间程序编制加工及外部信号的输出
使用 范围	输送、装料、卸料及传递等等		喷漆焊接等

简单控制系统的结构逐渐与机床的带用程序控制系统的结构相似(如凸轮控制系统)。简单控制系统适用于带少量程序工步及少量函数范围的工作,一般用于常用操作机。

点位控制系统——与数控点位控制相似——能使操作机向各个自由度方向运动,各个运动间没有固定的联系。通过“发出与储存”实现程序输入,即程序周期的各个阶段先由人按照顺序通过指令系统示教一遍,然后将每次最终到达的行程位置作为规定位置储存起来。补充信息(如速度规定值,调节指令)通过编码器开关输入。外部程序消耗是极小的(见图14,点虚线)。

与数控机床——连续轨迹控制系统一样,连续轨迹控制系统能同时用函数进行两个或多个自由度的互相联系的运动。在重复过程中,控制系统的工作是通过带手的抓取机构的相似运动向操作机“示教”一下所要进行的各种运动,这时,有关的程序信息都记录在磁带上。补充信息通过编码器进行输入,磁带可一直用下去。各个自由度的行程信息以脉冲结果记录下每一个轨迹。这些行程信息指明暂时的行程规定值并且用于指导驱动系统中的位置并反馈到控制系统。

4. 运动过程与程序

4.1 一般的运动过程

必要的操作数目一定要经过以下几点来确定:

——循环运动终点的工件位置

——必需起动的中间位置

——位置的精确度和操作时间

根据工件的起点位置和目标位置,按图 15 可有 16 种基本运动过程,可以进一步把这些过程分成按任务顺序的运动和仅仅表示为运载操作的运动。

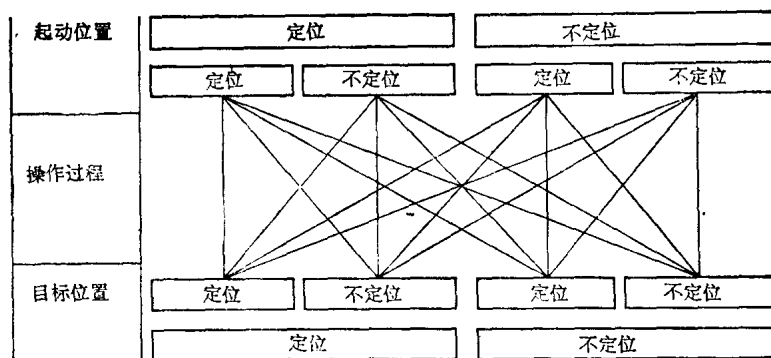


图 15 工件位置与操作过程的关系

如果把工件位置看成点、面、空间的关系,并且通过能够或应该来接纳工件的有利位置和故障位置,那么运动过程的范围更远些。

工件多数是不规则存放,也就是紊乱存放,必须通过输送、排列和分离装置按固定位置和堆放把工件调整好。如果由操作机作为送料机,中等工件必须按顺序存放,在处理大的零件时要考虑到贮存或者堆积,往贮存位置排列的运料任务需要有一个固定的相同运动,为此需要固定程序的操作机,倘若要依此满足各种送料任务,就必须装上允许工件程序的信息载波交换的柔性单元。

在工件的调制中,在没有零件的固定位置情况下,就象在储存中那样,需要具有传感装置的抓取机构,由传感器所提供的信息集聚在决定运动程序的信息流程内,考虑到其它的起点位置,最少必须由一个控制过程贯穿于手工操作程序中,这样在工件方法和部位相适应的情况下会引起控制器的附加运动,必须调整目标位置的目测装置,这些在一般的情况下会产生不十分复杂的程序任务,在使用中现有的操作机传送运动速度为每秒 500 毫米到 1000 毫米,旋转运动的角度每秒为 45° 至 200° (手工操作短时间每秒可达 4700° 毫米)。这一巨大的差异在于:操作机是用于影响工件时间的装料过程呢(如把工件装到一台车床上)?还是使用在基本时间之内降低装料时间这些地方上呢(例如在多台机床上)?为了安全操作,超过每秒 1700 米*的速度几乎是不允许的,除非操作机的工作室屏蔽,使操作机在工作时不被接触。每秒在 420 毫米以下不会影响送料时间,应注意加速时间、加速度和产生的驱动,最大值应该不超过每秒 1000 毫米或每秒 180° 。除操作速度外,还必须要有相当慢的速度用于调整过程以及自然处理的人工操作生产。

在确定最大行程时,必须考虑到工件容器,装配场所、吊车轨道和机床的组合工艺排列等,对于旋转体的支架运动可以达到 360° 范围,可是目前已安装的操作机有 81% 仅达到 240° 。据报道有人对工件种类作了分析,认为在金属加工工业中主要是小工件部分,在所调查的零件中,78% 为 0.5 公斤,19.7% 为 0.5~5 公斤的料。有人针对旋转对称的零件指出,在研究的零件中 50% 直径及长度皆在 100 毫米以下,80% 直径及长度在 200 毫米以下,

*原文有误,应为毫米——译者注。

工件长度: $D_{最大}=1$ 为 60%; 全部安装部件的 60% 为旋转件。值得注意的是: 整个部件的 59% 是带孔的; 工件重量在 0.5~50 公斤以下, 梭形件具有类似情况。

对操作机分析所得的大量数据证实与上述趋势相一致, 当气压驱动装置增加到有效负荷范围 15 公斤时, 液压操作机驱动的聚集处于工作负荷至 25 公斤。

4.2 定位、定位精度

操作机概念的产生是从送料过程所引出的定位精度的工艺要求开始的, 必须注意定位精度、定位时间、操作速度和设备价格之间的关系, 所提供的装置其定位精度在 $\pm 0.01 \sim \pm 5.0$ 毫米之间(见表 5)。

表 5 操作机的定位精度及其百分比(再现性)

定位精度范围	百分比 %
0.05~0.1	13.5
>0.1~0.5	36.0
>0.5~1.0	21.5
>1.0~2.0	18.0
>2.0~5.0	11.0

图 16 定位精度的详细划分是从下面观点产生的:

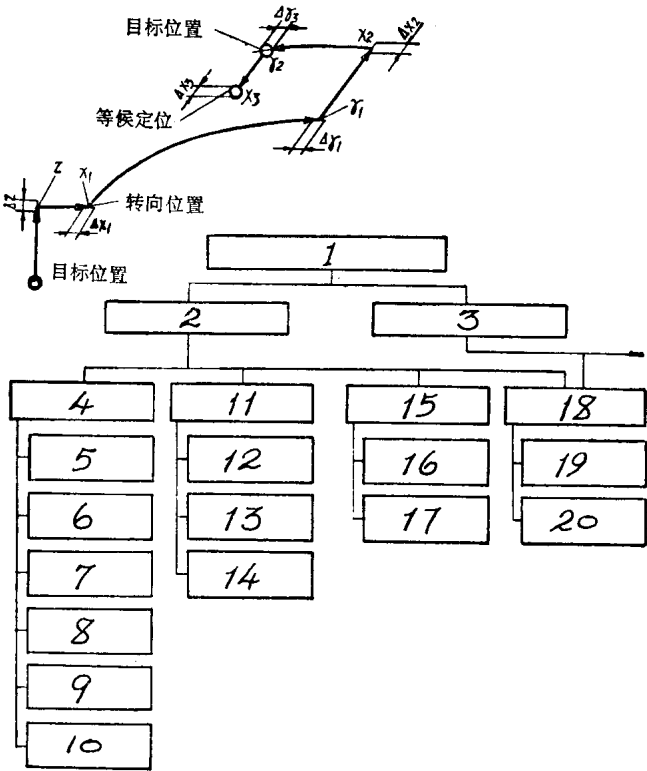


图 16 定位精度与定位类型关系

1—定位精度 2—点定位 3—轨迹定位 4—工作定位 6—安装定位(联接工作) 0.01~0.1 毫米 6—控制定位 0.01~0.1 毫米 7—进给定位 0.1~0.5 毫米 8—存放定位 0.5~1(5) 毫米 9—放下定位 0.5~5 毫米 10—接缝定位 0.1~0.5 毫米 11—等候定位 12—自由等待定位 0.1~5 毫米 13—联接等候定位 0.1~0.5 毫米 14—同步一致性 0.5~1(5) 毫米 15—转向定位 16—自由转向 1~5 毫米 17—联接转向 0.1~0.5 毫米 18—PTP 控制定位 19—自由程序轨迹 20—事先给定的程序轨迹

定位就是指操作加料中的一个目标位置，定位就是操作位置。怎样来认识工艺要求范围内规定的尺寸有很大差别，假若研究装料过程，就会发现，如果工件向装置芯轴上移动，能够获得小的数值。把零件往三爪卡盘装料必须比一般抓取要更精确些，特别在一个力作用定位时，即为了使端面安全起见，工件朝卡盘的正面挤压时更是如此。在较大的填料时卡盘爪强迫把零件放进夹紧中心，抓取装置并把零件稳定在固定的位置上，这样就会带来夹紧故障或零件的变形，如果工件单个地放进贮存处，就允许有1~5毫米的公差。如果把零件放入到一个装置中并通过夹紧件能够定位，这也可以实现。

如果许多零件存放起来，就会发生不断紧密的公差。当存放时不发生障碍或者通过错位存放促使零件斜位，这样就能够达到密集存放。

等候位置是指抓取机构为了定时联接或者达到同步而占有的位置。联合等候位置在一般情况下至少在一个轴内有一个与目标位置相对应的精确度，因为在这个轴中，有选择的点进入。在循环过程中，需要使运动方向及速度改变的地方，要考虑到转向位置。假若这一类变换不影响目标位置，也就是说把自由转向置于前面，那么可以允许有不精确数值。自由转向可以具有较高定位精度，在这时产生的转向时间是短暂的。

4.3 操作程序

底板上的工件，运载机架上的轴，或者在容器中排列式存放的单个零件，要求很多单个位置及大量程序。半成品、由于容器的运载或者零件不适当存放的位置移动，导致了理论工位和实际工位中心位置的差异，因此需要调整程序。到达操作机或送料装置的运载容器位置可以有所不同，这是因为在一般情况下容器可借助叉式装卸机或者其他传送装置的帮助到达操作机，这些和其他原因都需把操作程序分成子程序(图17)。

点位程序是在较长时间内保持不变的终点定位和中间定位的程序，在定位中每点是通过人工的予编或者自由编制程序。

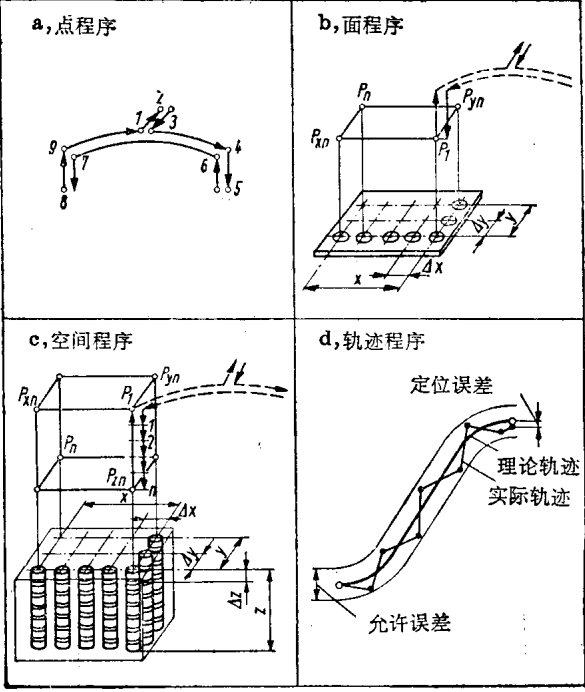


图 17 程序种类