

普通高等教育机电类规划教材

工业机械手设计

广东机械学院 李允文 主编

机械工业出版社

241.2
20

普通高等教育机电类规划教材

工业机械手设计

广东机械学院 李允文 主编



机械工业出版社

本书系统地阐述了工业机械手的设计理论和方法,全面而详细地讨论了工业机械手的手部、腕部、臂部和机身等主要部件的设计计算、液压驱动系统、可编程序控制器控制系统以及机械手的运动学和动力学。本书还介绍和剖析了工业机械手的一些典型的实例。

本书叙述简洁,条理清晰,可作为高等学校机械设计与制造专业、机电一体化专业、机械制造自动化以及相近专业的教材或教学参考书,也可供有关教师与科技人员参考。

工业机械手设计

广东机械学院 **李允文** 主编

*
责任编辑:张一萍 版式设计:王颖
封面设计:肖晴 责任校对:姚培新
责任印制:王国光

*
机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*
开本787×1092¹/₁₆·印张8.75·字数207千字

1996年5月第1版第1次印刷

印数 0 001—3 000 定价:7.80元

*
ISBN 7-111-04781-8/TH·618(课)

ISBN 7-111-04781-8



9 787111 047810 >

前 言

本书是根据全国高等工科院校机械设计及制造专业教学指导委员会1992年审定的编写计划,为适应机械设计及制造专业、机电一体化专业及其他相近专业的教学要求,满足从事机械加工自动化的设计、制造等技术人员迫切需要而编写的。在编写内容上既注意基础理论及技术的阐述,也考虑了如何提高读者机构分析与综合的能力、机械结构设计和机电一体化系统设计的能力。

本书原稿于1987年11月作为内部教材印出,经全国20多所院校使用后,深得各方的热情支持和鼓励。现在原稿的基础上,编者对全书作了详细的修改,并对第五、六、七章又充实了新的内容。

本书由李允文主编,赵松年主审。参加编写工作的还有张仕铁、查晓春、吴黎明、林丽明、郑汉卿等,参加文稿工作的有朱铮涛、陈益民、张晓燕等,李定华教授仔细阅读了书稿,指导了全书的编写工作。

本书编写时参阅了有关院校、工厂、科研单位的资料文献,并得到许多同行专家的支持和帮助,在此谨致谢意。

限于水平,书中定有不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

1994年8月

2015

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 工业机械手设计的目的	1
第二节 工业机械手设计的内容	1
第三节 工业机械手在生产中的作用	2
第四节 工业机械手的分类	3
第五节 工业机械手的组成	4
第六节 工业机械手的规格参数	6
第七节 工业机械手的技术发展方向	8
第二章 手部	9
第一节 夹钳式手部设计的基本要求	10
第二节 典型手部结构	10
第三节 夹钳式手部的计算与分析	14
第三章 腕部	22
第一节 腕部设计的基本要求	22
第二节 典型腕部结构	23
第三节 腕部回转力矩的计算	26
第四章 臂部和机身	30
第一节 臂部设计的基本要求	30
第二节 手臂典型运动机构	35
第三节 手臂的设计计算	42

第五章 驱动系统

第一节 工业机械手驱动系统的选择	55
第二节 液压驱动系统	55
第三节 伺服控制机械手的液压系统	61
第四节 计算实例	78

第六章 电气控制系统

第一节 行程控制传感器	84
第二节 机械手可编程序顺序控制	88
第三节 PC的工作原理及指令系统	89
第四节 实例	99

第七章 工业机械手运动学与动力学

分析

第一节 工业机械手的坐标变换与运动学分析	105
第二节 工业机械手运动学方程的建立及求解	111
第三节 工业机械手动力学分析	116

附录

附录A 程控通用机械手	124
附录B 设计选题	132
参考文献	133

第一章 绪 论

第一节 工业机械手设计的目的

工业机械手设计是机械制造、机械设计和机械电子工程(机电一体化)等专业的一个重要的教学环节,是学完技术基础课及有关专业课以后的一次专业课程内容的综合设计。通过设计提高学生的机构分析与综合的能力、机械结构设计的能力、机电液一体化系统设计能力,掌握实现生产过程自动化的设计方法。通过这一教学环节要求达到:

1) 通过设计,把有关课程(机构分析与综合、机械原理、机械设计、液压与气动技术、自动控制理论、测试技术、数控技术、微型计算机原理及应用、自动机械设计等)中所获得的理论知识在实际中综合地加以运用,使这些知识得到巩固和发展,并使理论知识和生产密切地结合起来。因此,工业机械手设计是有关专业基础课和专业课以后的综合性的专业课程设计。

2) 工业机械手设计是机械设计及制造专业和机械电子工程专业的学生一次比较完整的机电一体化整机设计。通过设计,培养学生独立的机械整机设计的能力,树立正确的设计思想,掌握机电一体化机械产品设计的基本方法和步骤,为自动机械设计打下良好的基础。

3) 通过设计,使学生能熟练地应用有关参考资料、计算图表、手册、图册和规范,熟悉有关国家标准和部颁标准,以完成一个工程技术人员在机械整体设计方面所必须具备的基本技能训练。

4) 由于整个机械手设计工作量较大,为了使学生在三周内得到一个完整的训练,因此建议可由一名学生完成,也可由两名学生完成一个完整的工业机械手设计。这样既能培养学生独立工作与分工协作完成大型设计的能力,又解决了工作量大、时间短的矛盾。

第二节 工业机械手设计的内容

要求本设计能较鲜明地体现机电一体化的设计构思。所谓机电一体化技术,是机械工程技术吸收微电子技术、信息处理技术、传感技术等而形成的一种新的综合集成技术。尽管机电一体化的产品名目繁多,并由于它们的功能不同而有不同的形式和复杂程度,但做功的机械本体部分(包括动力装置)和微电子控制部分(包括信息处理)是其最基本的、必不可少的要素。我们选择工业机械手作为设计题目,无论从内容的深度、份量以及覆盖各科知识面的程度来衡量都是适当的。

在规定的学时数内,要求每个学生完成以下工作:

1) 拟定(或评述)整体方案,特别是传感、控制方式与机械本体的有机结合的设计方案。

2) 根据给定的自由度和技术参数选择合适的手部、腕部、臂部和机身的结构。

- 3) 各部件的设计计算。
- 4) 工业机械手工作装配图的设计与绘制。
- 5) 液压系统图的设计与绘制。
- 6) 电气控制图(含接口电路)的绘制(可作为微型计算机原理及应用的大作业)。
- 7) 机械手运动分析(可作为机构分析与综合的大作业)。
- 8) 编写设计计算说明书。

第三节 工业机械手在生产中的作用

机械手在工业生产中的应用极为广泛,可以归纳为以下一些方面。

一、建造旋转体零件(轴类、盘类、环类)自动线

一般都采用机械手在机床之间传送工件。国内已建成的这类自动线很多,如沈阳水泵厂的深井泵轴承体加工自动线(环类),大连电机厂的4号和5号电动机轴加工自动线(轴类),上海拖拉机齿轮厂的齿坯加工自动线(盘类)等。

加工箱体类零件的组合机床自动线,一般采用随行夹具传送工件,也有采用机械手的,如上海动力机厂的气缸盖加工自动线转位机械手。

二、在实现单机自动化方面

1) 各类半自动车床,有自动夹紧、进刀、切削、退刀和松开的功能,但仍需人工上下料;装上机械手,可实现全自动生产,一人看管多台机床。目前,机械手在这方面应用最多,如上海柴油机厂的曲拐自动车床和座圈自动车床机械手,大连第二机床厂的自动循环液压仿形车床机械手,沈阳第三机床厂的Y38滚齿机械手,青海第二机床厂的滚铣花键机床机械手等。由于这方面使用已有成熟的经验,国内一些机床厂已在这类机床产品出厂时就附上机械手,或为用户自行安装机械手提供条件。

2) 注塑机有加料、合模、成型、分模等自动工作循环,装上机械手自动装卸工件,可实现全自动生产。

3) 冲床有自动上下料冲压循环,装上机械手上下料,可实现冲压生产自动化。目前机械手在冲床上应用有两个方面:一是160t以上的冲床用机械手的较多。如沈阳低压开关厂200t冲床磁力起动机壳体下料机械手和天津拖拉机厂400t冲床的下料机械手等;一是用于多工位冲床,用作冲压件工位间步进,如上海第二汽车配件厂的灯壳冲压生产线机械手(生产线中有两台多工位冲床)和天津二轻局技术研究所制作的120t和40t多工位冲床机械手等。

三、铸、锻、焊、热处理等热加工方面

在模锻方面,国内大批量生产的3t、5t、10t模锻锤,其所配的转底炉,用两只机械手成一定角度布置在炉前,实现进出料自动化。上海柴油机厂、北京内燃机厂、洛阳拖拉机厂等已有较成熟的经验。

总的来说,工业机械手满足了社会生产的需要,其主要特点是:

1) 对环境的适应性强,能代替人从事危险、有害的操作,在长时间工作对人体有害的场所,机械手不受影响,只要根据工作环境进行合理设计,选择适当的材料和结构,机械手就可以在异常高温或低温、异常压力和有害气体、粉尘、放射线作用下,以及冲压、灭火等危险环境中胜任工作。

为了谋求操作安全和彻底防止公害，在工伤事故多的工种，如冲压、压铸、热处理、锻造、喷漆以及有强烈紫外线照射的电弧焊等作业中，推广工业机械手或机器人。

2) 机械手能持久、耐劳，可以把人从繁重单调的劳动中解放出来，并能扩大和延伸人的功能。人在连续工作几小时后，总会感到疲劳或厌倦，而机械手只要注意维护、检修，即能胜任长时间的单调重复劳动。

3) 由于机械手的动作准确，因此可以稳定和提高产品的质量，同时又可避免人为的操作错误。

4) 机械手特别是通用工业机械手的通用性、灵活性好，能较好地适应产品品种的不断变化，以满足柔性生产的需要。这是因为机械手动作程序和运动位置（或轨迹）能够十分灵活快速地予以改变，而其众多的自由度，又提供了迅速改变作业内容的可能，在中、小批量的自动化生产中，最能发挥其作用。

5) 采用机械手能明显地提高劳动生产率和降低成本。

第四节 工业机械手的分类

目前，我国对工业机械手尚无较为统一的分类标准。一般可按机械手的规格、功能或用途等来分类。

一、按规格（所搬运的工件重量）分类

- 1) 微型的——搬运重量在1kg以下。
- 2) 小型的——搬运重量在10kg以下。
- 3) 中型的——搬运重量在50kg以下。
- 4) 大型的——搬运重量在500kg以上。

目前大多数工业机械手能搬运的重量为1~30kg。最小的为0.5kg，最大的已达800kg。

二、按功能分类

1. 简易型工业机械手 有固定程序和可变程序两种。固定程序由凸轮转鼓或挡块转鼓控制，可变程序用插销板或转鼓控制来给定程序。近年来，普遍采用可编程序控制器(PC)组成控制系统。

这种机械手多为气动或液动，结构简单，价格便宜，改变程序较容易。只适用于程序较简单的点位控制，但作为一般单机服务的搬运作业已足够。所以，目前这种工业机械手数量最多。

2. 记忆再现型工业机械手 这种工业机械手由人工通过示教装置领动一遍，由记忆元件（如磁盘、磁带或存储器）把程序记录下来，以后机械手就自动按记忆的程序重复进行循环动作。

这是采用较多的一种，多为电液伺服驱动。与前者比较，有较多的自由度，能进行程序较复杂的作业，通用性较广。

3. 计算机数字控制的工业机械手 可通过更换穿孔带或其它记忆介质来改变工业机械手的动作程序，还可以进行多机控制(DNC)。计算机可以是可编程序控制器或微型计算机。

4. 智能工业机械手（机器人） 由电子计算机通过各种传感元件等进行控制，具有视觉、热觉、触觉、行走机构等。

三、按用途分类

1. 专用机械手 附属于主机的、具有固定程序而无独立控制系统的机械装置。这种机械手工作对象不变, 动作固定, 结构简单, 实用可靠, 适用于成批、大量生产的生产自动线或专机作为自动上、下料用。

2. 通用机械手 具有独立控制系统、程序可变、动作灵活多样的机械手。通用机械手的工作范围大, 定位精度高, 通用性强, 适用于工件经常变换的中、小批量自动化生产。

第五节 工业机械手的组成

工业机械手是由执行机构、驱动系统和控制系统所组成的, 各部关系如图1-1所示, 机械手的组成示意图如图1-2所示。

一、执行机构

执行机构由抓取部分(手部)、腕部、臂部和行走机构等运动部件组成。

1. 手部 详见第二章, 即直接与工件接触的部分, 一般是回转型或平移型(多为回转型, 因其结构简单)。手爪多为两指(也有多指); 根据需要分为外抓式或内抓式两种; 也可用负压式或真空式的空气吸盘

(它主要用于吸取冷的, 光滑表面的零件或薄板零件)和电磁吸盘。

传力机构型式较多, 常用的有: 滑槽杠杆式、连杆杠杆式、斜楔杠杆式、齿轮齿条式、丝杠螺母式、弹簧式和重力式。

2. 腕部 详见第三章, 是连接手部和手臂的部件, 并可用来调整被抓物体的方位(即姿态)。如图1-3。它可以有上下摆动, 左右摆动和绕自身轴线的回转三个运动。如有特殊要求(将轴类零件放在顶尖上, 将筒类、盘类零件卡在卡盘上等), 手腕还可以有一个小距离的横移。也有的工业机械手没有腕部自由度。

3. 臂部 详见第四章, 手臂是支承被抓物体、手部、

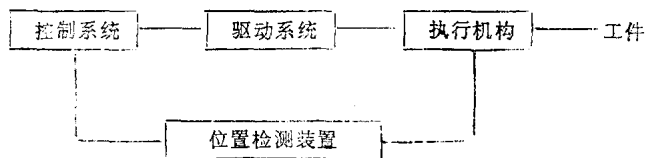


图1-1 工业机械手组成框图

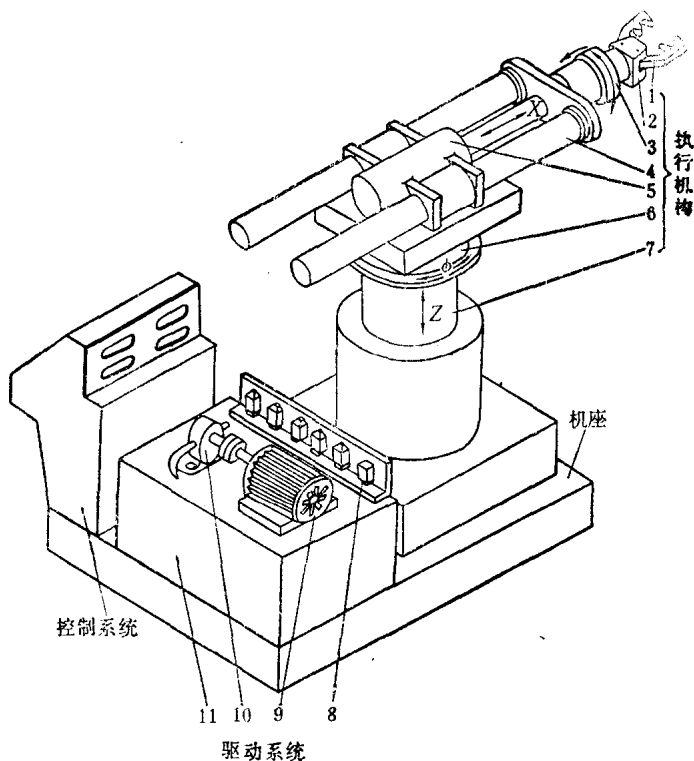


图1-2 工业机械手组成示意图

- 1—手指 2—手部 3—手腕回转液压缸 4—导向杆 5—手臂伸缩液压缸 6—手臂回转液压缸 7—手臂升降液压缸 8—液压系统控制阀 9—液压泵电动机 10—液压泵 11—油箱

腕部的重要部件。手臂的作用是带动手指去抓取物件，并按预定要求将其搬运到给定的位置。

手臂有三个自由度，可采用直角坐标（前后、上下、左右都是直线），圆柱坐标（前后、上下直线往复运动和左右旋转），球坐标（前后伸缩、上下摆动和左右旋转）和多关节（手臂能任意伸屈）四种方式，如图1-4所示。

直角坐标占空间大，工作范围小，惯性大，所以一般不多用，只有在自由度数较少时用之。

圆柱坐标占空间较小，工作范围较大，但惯性也大，且不能抓取底面物体。

球坐标式和多关节式占用空间小，工作范围大，惯性小，所需动力小，能抓取底面物体，多关节还可以绕障碍物选择途径，但多关节式结构较复杂，所以也不多用。

目前常用的是球坐标式和圆柱坐标式的工业机械手。

4. 行走机构 有的工业机械手带有行走机构。

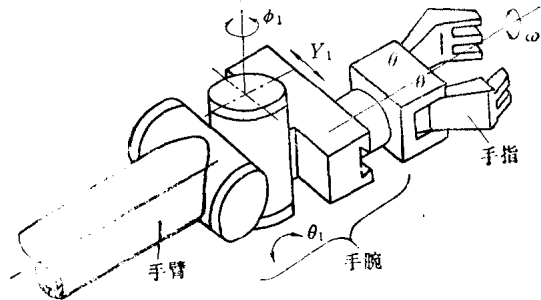


图1-3 手腕运动和结构示意图

ω —绕自身轴线回转 ϕ_1 —左右摆动 θ_1 —上下摆动 Y_1 —一小距离横移

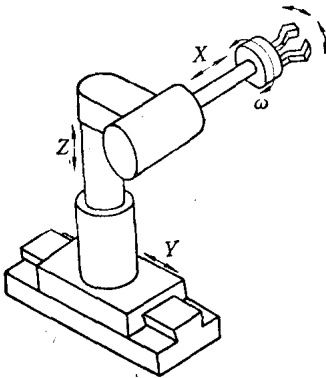


图1-4 直角坐标式

手臂运动：X—伸缩 Y—横移 Z—升降

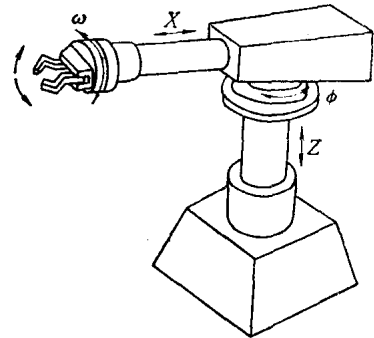


图1-5 圆柱坐标

手臂运动： ϕ —水平回转

二、驱动机构

有气动、液动、电动和机械式四种形式。气动式速度快，结构简单，成本低。采用点位控制或机械挡块定位时，有较高的重复定位精度，但臂力一般在300N以下。液动式的出力大，臂力可达1000N以上，且可用电液伺服机构，可实现连续控制，使工业机械手的用途和通用性更广，定位精度一般在1mm范围内。目前常用的是气动和液动驱动方式。电动式用于小型，机械式只用于动作简单的场合。

三、控制系统

有点动控制和连续控制两种方式。大多数用插销板进行点位程序控制，也有采用可编程程序控制器控制、微型计算机数字控制，采用凸轮、磁盘磁带、穿孔卡等记录程序。主要控制的是坐标位置，并注意其加速度特性。

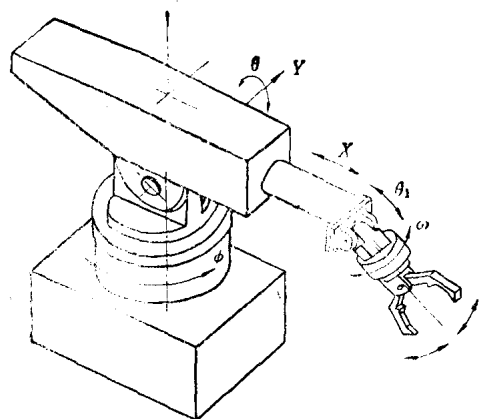


图1-6 球坐标式

手臂运动：俯仰(或大臂上下摆动)

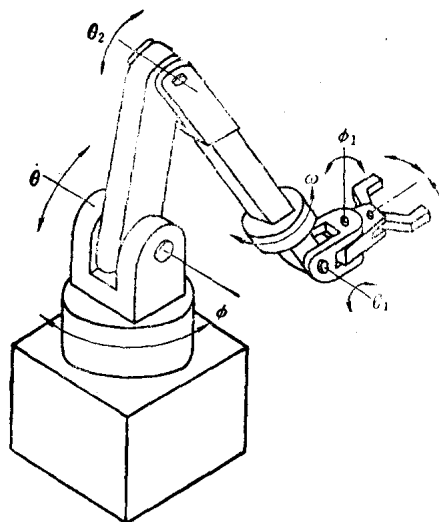


图1-7 关节式

手臂运动：小臂上下摆动

四、基体（机身）

基体是整个机械手的基础。

第六节 工业机械手的规格参数

工业机械手的规格参数，是说明机械手规格和性能的具体指标，一般包括以下几个方面：

1) 抓重（又称臂力）：额定抓取重量或称额定负荷，单位为kg（必要时注明限定运动速度下的抓重）。

2) 自由度数目和坐标形式：整机、手臂和手腕等运动共有几个自由度，并说明坐标型式。

3) 定位方式：固定机械挡块、可调机械挡块、行程开关，电位器及其各种位置设定和检测装置；各自由度所设定的位置数目或位置信息容量；点位控制或连续轨迹控制。

4) 驱动方式：气动、液动、电动和机械传动。

5) 手臂运动参数：手臂运动参数可列成表1-1、表1-2形式。当手臂的运动速度很高时，手臂在起动和制动过程中会产生很大的冲击和振动，这会影响手臂的定位精度。因此，手臂运动速度应根据生产节拍时间的长短、生产过程的平稳性和定位精度等要求来确定。

常用的最大直线运行速度在1000mm/s以下。最大回转运行速度一般不超过120(°)/s。一般应用的直线速度常在200~300mm/s，回转速度在50(°)/s左右。

6) 手指夹持范围(mm)和握力(即夹紧力或吸力)(N)。

7) 定位精度：位置设定精度及重复定位精度(±mm)。

8) 程序编制方法及程序容量：如插销板、二极管矩阵插销板、可编程序控制、微机控制以及示教存储等。

9) 受信、发信数目、联锁控制信号数目。

10) 控制系统动力：电、气。

11) 驱动源: 气动的气压大小, 液压的使用压力, 液压泵规格, 电动机功率, 电动机类型、规格。

12) 轮廓尺寸: 长×宽×高(mm)。

13) 重量: 整机重量 (kg)。

根据上述的运动参数, 绘制运动简图, 以便对机械手进行分析。

图1-8分别表示机械手运动件的相对移动, 回转(或摆动)以及手指的符号。图1-9所示为四种坐标型式机械手的运动简图。

表 1-1

运动名称	符号	行程范围(mm或°)	速度(mm/s或°/s)
伸 缩	X		
升 降	Z		
横 移	Y		
回 转	ϕ		
俯 仰	θ		

表 1-2

运动名称	符号	行程范围(mm或°)	速度(mm/s或°/s)
回 转	ω		
上下摆动	θ_1		
左右摆动	ϕ_1		
横 移	Y_1		

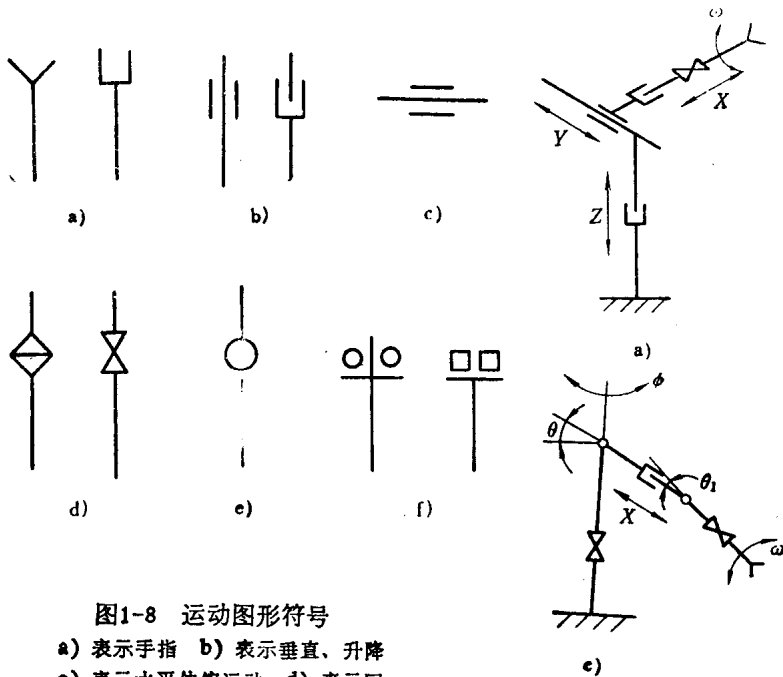


图1-8 运动图形符号

a) 表示手指 b) 表示垂直、升降
c) 表示水平伸缩运动 d) 表示回
转运动 e) 表示俯仰运动 f) 表
示轮轨(行走机构)

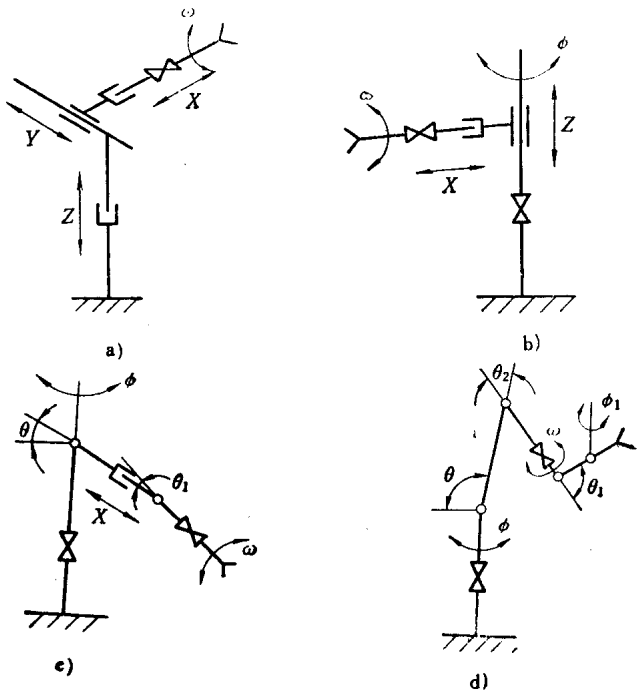


图1-9 各种坐标型的运动简图

a) 直角坐标式 b) 圆柱坐标式 c) 球坐标式 d) 关节式

第七节 工业机械手的技术发展方向

国内外实际上使用的定位控制的机械手，没有“视觉”和“触角”反馈。目前，世界各国正积极研制带有“视角”和“触角”的工业机械手，使它能对所抓取的工件进行分辨，选取所需要的工件，并正确地夹持工件，进而精确地在机器中定位、定向。

为使机械手有“眼睛”去处理方位变化的工件和分辨形状不同的零件，它由视觉传感器输入三个视图方向的视觉信息，通过计算机进行图形分辨，判别是否是所要抓取的工件。

为防止握力过大引起物件损坏或握力过小引起物件滑落下来，一般采用两种方法：一是检测把握物体手臂的变形，以决定适当的握力；另一种是直接检测指部与物件的滑动位移，来修正握力。

因此，这种机械手就具有以下几个方面的性能：

- 1) 能准确地抓住方位变化的物体。
- 2) 能判断对象的重量。
- 3) 能自动避开障碍物。
- 4) 抓空或抓力不足时能检测出来。

这种具有感知能力并能对感知的信息作出反应的工业机械手称为智能机械手，它是有发展前途的。

现在，工业机械手的使用范围只限于在简单重复的操作方面节省人力，其效用是代替人从事繁重的工作和危险的工作，在恶劣环境下尤其明显。至于在汽车工业和电子工业之类的费工的工业部门，机械手的应用情况决不能说是很好的。虽然这些工业部门工时不足的问题很尖锐，但采用机械手只限于一小部分工序。其原因之一是，工业机械手的性能还不能满足这些部门的要求，适于机械手工作的范围很狭小。另外经济性问题当然也很重要，采用机械手来节约人力从经济上看不一定总是合算的。然而，利用机械手或类似机械设备节省人力和实现生产合理化的要求，今后还会持续增长，只要技术方面和价格方面存在的问题获得解决，机械手的应用必将会飞跃发展。

第二章 手 部

手部（亦称抓取机构）是用来直接握持工件的部件，由于被握持工件的形状、尺寸大小、重量、材料性能、表面状况等的不同，所以工业机械手的手部结构是多种多样的，大部分的手部结构是根据特定的工件要求而设计的。归结起来，常用的手部，按其握持工件的原理，大致可分成夹持和吸附两大类。

夹持类常见的主要有夹钳式，此外还有钩托式和弹簧式。夹持类手部按其手指夹持工件时的运动方式，可分为手指回转型和手指平移型两种（见图2-1、图2-2）。

吸附类中，有气吸式和磁吸式。

这里主要讨论夹钳式的手部设计。

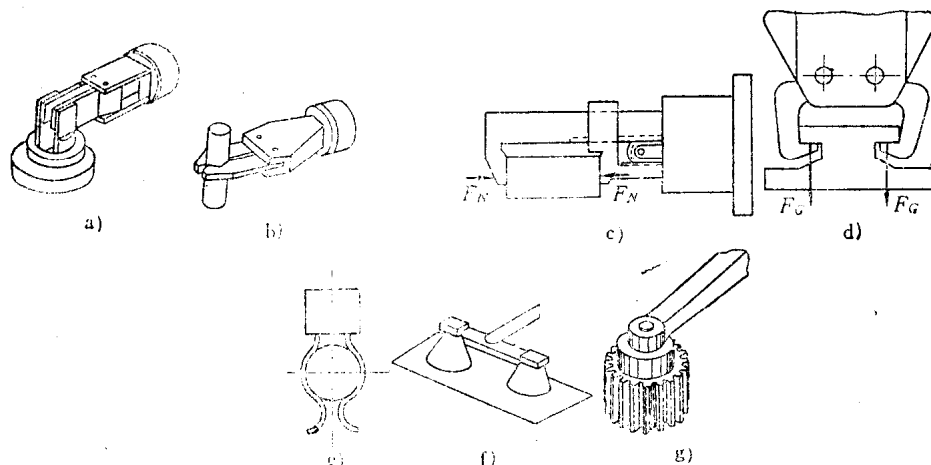


图2-1 手部的种类

a) 回转型内撑式 b) 回转型外夹式 c) 平移型外夹式 d) 钩托式 e) 弹簧式 f) 气吸式 g) 磁吸式

夹钳式手部是由手指、传动机构和驱动装置三部分组成的，它对抓取各种形状的工件具有较大的适应性，可以抓取轴、盘、套类零件。一般情况下，多采用两个手指，少数采用三指或多指。驱动装置为传动机构提供动力，驱动源有液压的、气动的和电动的等几种形式。常见的传动机构往往通过滑槽、斜楔、齿轮齿条、连杆机构实现夹紧或松开。

平移型手指的张开闭合靠手指的平行移动，适于夹持平板、方料。在夹持直径不同的圆棒时，不会引起中心位置的偏移。但这种手指结构比较复杂、体积大，要求加工精度高。

回转型手指的张开闭合靠手指根部（以枢轴支点为中心）的回转运动来完成。枢轴支点为一个的，称为单支点回转型；为两个的，称为双支点回转型。这种手指结构简单，形状小巧，但夹持不同工件会产生夹持定位偏差。

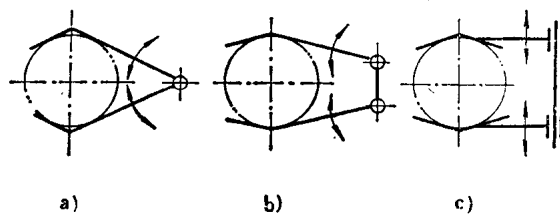


图2-2 回转型和平移型手指

a) 单支点回转型 b) 双支点回转型 c) 平移型（平直指）

第一节 夹钳式手部设计的基本要求

1. 应具有适当的夹紧力和驱动力 手指握力(夹紧力)大小要适宜,力量过大则动力消耗多,结构庞大,不经济,甚至会损坏工件;力量过小则夹持不住或产生松动、脱落。在确定握力时,除考虑工件重量外,还应考虑传送或操作过程中所产生的惯性力和振动,以保证工件夹持安全可靠。

而对手部的驱动装置来说,应有足够的驱动力。应当指出,由于机构传力比不同,在一定的夹持力条件下,不同的传动机构所需驱动力的大小是不同的。

2. 手指应具有一定的开闭范围 手指应具有足够的开闭角度(手指从张开到闭合绕支点所转过的角度) $\Delta\gamma$ 或开闭距离(对平移型手指从张开到闭合的直线移动距离) ΔS ,以便于抓取或退出工件。

3. 应保证工件在手指内的夹持精度 应保证每个被夹持的工件,在手指内都有准确的相对位置。这对一些有方位要求的场合更为重要,如曲拐、凸轮轴一类复杂的工件,在机床上安装的位置要求严格,因此机械手的手部在夹持工件后应保持相对的位置精度。

4. 要求结构紧凑、重量轻、效率高 在保证本身刚度、强度的前提下,尽可能使结构紧凑、重量轻,以利于减轻手臂的负载。

5. 应考虑通用性和特殊要求 一般情况下,手部多是专用的,为了扩大它的使用范围,提高它的通用化程度,以适应夹持不同尺寸和形状的工件需要,通常采取手指可调整的办法。如更换手指甚至更换整个手部。此外,还要考虑能适应工作环境提出的特殊要求,如耐高温、耐腐蚀、能承受锻锤冲击力等。

第二节 典型手部结构

一、回转型

1. 滑槽杠杆式 图2-3为常见的滑槽杠杆式手部结构。在杠杆3作用下,销轴2向上的拉力为 F ,并通过销轴中心 O 点,两手指1的滑槽对销轴的反作用力为 F_1 、 F_2 ,其力的方向垂直于滑槽的是中心线 OO_1 和 OO_2 并指向 O 点, F_1 和 F_2 的延长线交 O_1O_2 于 A 及 B 。

$$\text{由 } \Sigma F_x = 0 \text{ 得 } F_1 = F_2$$

$$\Sigma F_y = 0 \text{ 得}$$

$$F_1 = \frac{F}{2\cos\alpha}$$

$$F_1 = -F_1'$$

$$\text{由 } \Sigma M_{O_1}(F) = 0 \text{ 得 } F_1' h = F_N b$$

$$\therefore h = \frac{a}{\cos\alpha}$$

$$F = -\frac{2b}{a} \cos^2\alpha \quad (2-1)$$

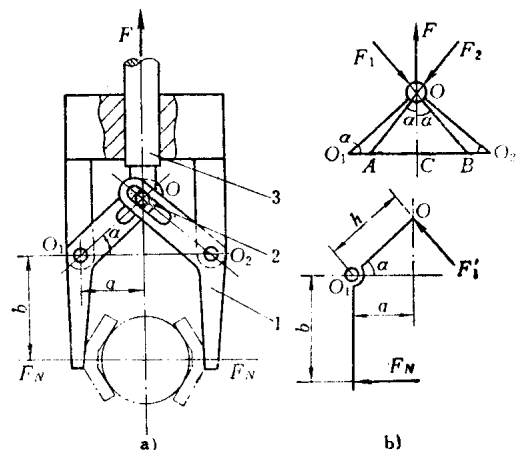


图2-3 滑槽杠杆式手部结构、受力分析

1—手指 2—销轴 3—杠杆

式中 a ——手指的回转支点到对称中心线的距离 (mm)。

α ——工件被夹紧时手指的滑槽方向与两回转支点连线间的夹角。

由式 (2-1) 可知, 当驱动力 F 一定时, α 角增大, 则握力 F_N 也随之增加, 但 α 角过大会导致拉杆的行程过大, 以及手指滑槽尺寸长度增大, 使结构加大, 因此建议 $\alpha = 30^\circ \sim 40^\circ$ 。

2. 连杆杠杆式 图2-4为连杆杠杆式手部结构, 作用在拉杆3上的驱动力为 F , 两连杆2对拉杆的反作用力为 F_1 和 F_2 , 其方向沿连杆两铰链中心的连线, 指向 O 点并与水平方向成 α 角。

由拉杆的力平衡条件

$$\Sigma F_x = 0 \quad \text{得} \quad F_1 = F_2$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad \text{得}$$

$$F_1 = \frac{F}{2\sin\alpha}$$

$$F_1 = -F_1'$$

$$\Sigma M_{O_1}(F) = 0 \quad \text{得} \quad F_1' h = F_N b$$

$$\therefore h = c \cos\alpha$$

$$\therefore F = \frac{2b}{c} \operatorname{tg}\alpha \quad (2-2)$$

由式 (2-2) 可知, 若结构尺寸 c 、 b 和驱动力 F 一定时, 握力 F_N 与 α 角正切成反比。显然当 α 角小时, 可获得较大的握力。当 $\alpha = 0$ 时, 是使手指闭合到最小的位置即为自锁位置, 这时如果撤去驱动力, 工件也不会自行脱落。若拉杆再向下移动, 则手指反而会松开, 为了避免出现上述情况, 对于不同规格尺寸的工件可以更换手指。如果工件允许少量的尺寸变化时, 可更换调整垫片1, 使夹紧工件后 $\alpha \geq 0$ 。

二、移动型

移动型即两手指相对支座作往复移动。

如图2-5所示, 其驱动力为:

$$F = 2F_N \quad (2-3)$$

三、平面平行移动型

平面平行移动型, 如图2-6所示。若拉杆5的驱动力为 F , 两连杆4、6对拉杆的反作用力 $F_{45} = F_{65}$ 。

由拉杆的力平衡条件

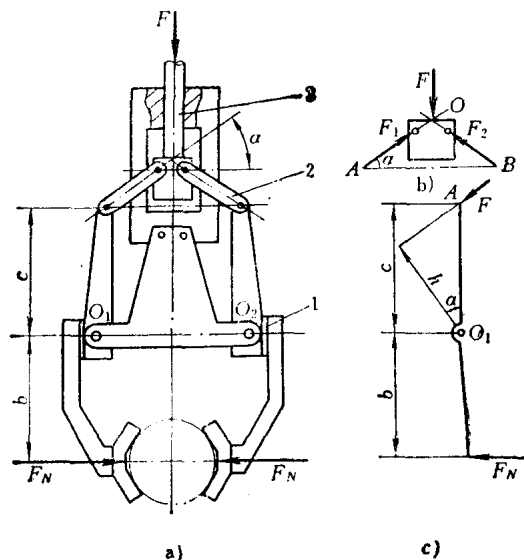


图2-4 连杆杠杆式手部结构

1—调整垫片 2—连杆 3—拉杆

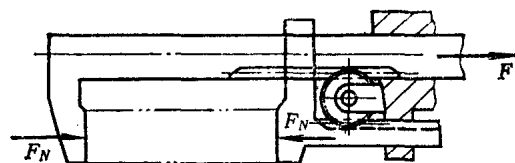


图2-5 移动型手部

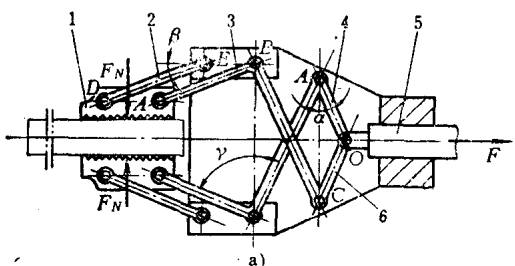
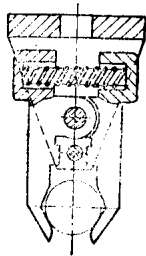


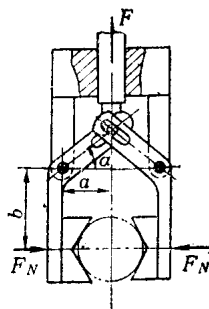
图2-6 平面平行移动型手部结构

1—手指 2,3,4,6—连杆, 5—拉杆

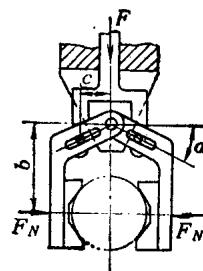
表2-1 各种手爪传



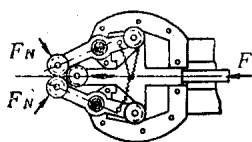
注：依靠弹簧力夹紧



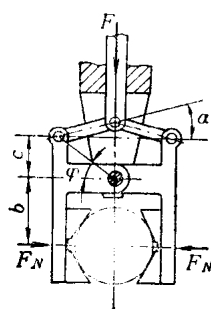
$$F_N = \frac{a}{2b} \left(\frac{1}{\cos \alpha} \right)^2 F$$



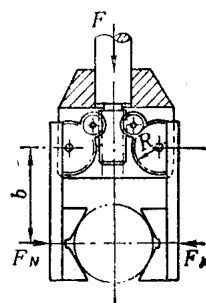
$$F_N = \frac{c}{2b} \left(\frac{1}{\cos \alpha} \right)^2 F$$



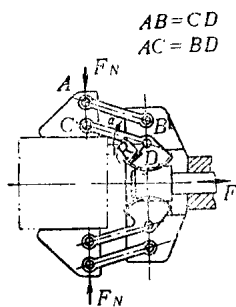
$$F_N = \frac{1}{3} F$$



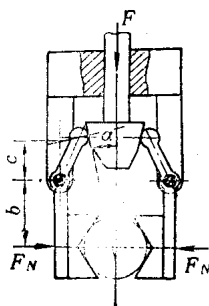
$$F_N = \frac{c}{2b} \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\sin \varphi \sin \alpha} F$$



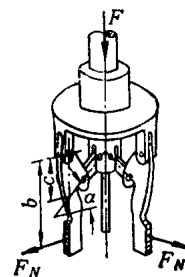
$$F_N = \frac{R}{2b} F$$



$$F_N = \frac{R}{2l \cos \alpha} F$$

式中 l —— AB杆长。

$$F_N = \frac{c}{2b} \operatorname{ctg} \alpha F$$



$$F_N = \frac{c}{3b} \operatorname{ctg} \alpha F$$