

王承义 编

15.7/71

# 机械手及其应用

机械工业出版社

# 机械手及其应用

王承义 编



机械工业出版社

本书主要包括机械手的概述、手部、传送机构及其缓冲与定位、驱动方式、机械手的控制、机械手的应用举例等部分，对机械手的结构组成和工作原理做了较通俗的介绍。本书可供从事机械手设计和使用的有关人员参考。

## 机械手及其应用

王承文 编

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本787×1092 1/16·印张14<sup>3</sup>/<sub>4</sub>·字数362千字

1981年6月重庆第一版·1981年6月重庆第一次印刷

印数00,001—10,600·定价1.55元

\*

统一书号：15033·4934

# 前 言

全书主要内容，包括机械手的结构组成、工作原理、有关计算与机械手的应用等六章。

本书可供从事机械手设计和使用的有关人员参考。由于笔者水平所限，书中缺点和错误在所难免，敬希读者批评指正。

在本书编写过程中，承蒙吴旭朝、彭晋龄、钱泳等同志核阅，在此一并致谢。

王 承 义

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第一章 概论</b>             |     |
| 第一节 机械手及其组成               | 1   |
| 第二节 机械手的分类                | 1   |
| 第三节 应用机械手的意义              | 3   |
| 第四节 机械手的发展概况与发展趋势         | 4   |
| <b>第二章 手部</b>             |     |
| 第一节 手部的种类及要求              | 7   |
| 第二节 手指及其抓取机能              | 8   |
| 第三节 手指对物件的约束              | 11  |
| 第四节 手指所能抓取的极限尺寸           | 11  |
| 第五节 手指的抓取精度               | 16  |
| 第六节 手指式回转型手部及受力分析         | 27  |
| 第七节 直进型、直进回转型手部的受力分析和当量握力 | 47  |
| 第八节 具有自锁性能的手部             | 54  |
| 第九节 弹性手部                  | 55  |
| 第十节 其它型式的手部               | 57  |
| <b>第三章 传送机构及其缓冲与定位</b>    |     |
| 第一节 传送机构的作用及其要求           | 66  |
| 第二节 传送机构的自由度、运动形式和分类      | 67  |
| 第三节 传送机构的结构               | 69  |
| 第四节 定位方法及缓冲措施             | 81  |
| <b>第四章 驱动方式</b>           |     |
| 第一节 液压驱动                  | 99  |
| 第二节 气压驱动                  | 116 |
| 第三节 电力驱动及机械驱动             | 119 |
| <b>第五章 机械手的控制</b>         |     |
| 第一节 控制的内容与方法              | 121 |
| 第二节 固定程序控制装置              | 121 |
| 第三节 分散式可编程序控制装置           | 124 |
| 第四节 集中式可编程序控制装置           | 137 |
| 第五节 位置控制                  | 170 |
| <b>第六章 机械手的应用</b>         |     |
| 第一节 专用机械手的应用              | 173 |
| 第二节 通用机械手的应用              | 192 |
| 第三节 机械手在生产线上的应用           | 223 |

# 第一章 概 论

## 第一节 机械手及其组成

### 一、什么是机械手

机械手是一种能按给定的程序或要求，自动地完成物件（如材料、工件、零件或工具等）传送或操作作业的机械装置，它能部分地代替人的手工劳动。较高级型式的机械手，还能模拟人的手臂动作，完成较复杂的作业。

### 二、机械手的组成

机械手的组成及其相互间的关系如图1-1所示。

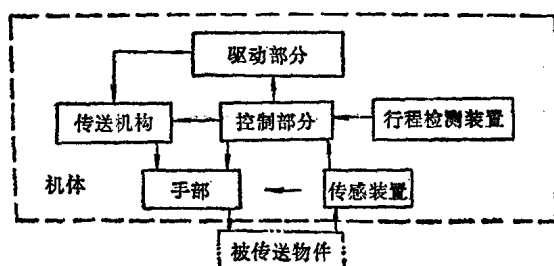


图1-1 机械手的组成及其相互间关系

1. 手部（或称抓取机构） 包括手指、传力机构等，主要起抓取和放置物件的作用。

2. 传送机构（或称臂部） 包括手腕、手臂等，主要起改变物件方位和位置的作用。

3. 驱动部分 是驱动前两部分的动力，因此也称动力源，常用的有液压、气压、电力和机械式驱动四种形式。

4. 控制部分 是机械手动作的指挥系统，由它来控制动作的顺序（程序）、位置和时间（甚至速度与加速度）等。

5. 其它部分 如机体、行走机构、行程检测装置和传感装置等：

（一）机体（也称机身） 是用以支承和连接其它零件、部件的基础件。

（二）行走机构 是为了扩大机械手的使用空间而设置的。它本身又包括动力源、传动（减速）机构、滚轮或连杆机构等。目前大多数机械手还缺乏行走机构。

（三）行程检测装置 是检测和控制机械手各运动行程（位置）的装置。

（四）传感装置 其中装有某种传感器，使手指具有敏感性和自控性，用以反映手指与物件是否接触、物件有无滑下或脱落、物件的方位是否正确、手指对物件的握紧力是否与物件的重量相适应等。

## 第二节 机械手的分类

### 一、按机械手的使用范围分类

1. 专用机械手 一般只有固定的程序，而无单独的控制系统。它从属于某种机器或生产线，用以自动地传送物件或操作某一工具，例如“齿坯上下料机械手”、“曲拐自动车床机械手”、“油泵凸轮轴自动线机械手”等等。这种机械手结构较简单，成本较低，适用于动作比较简单的大批大量生产的场合。

图1-2所示为粗车活塞止口的下料机械手。该机械手臂部具有两个运动（或称自由

度)，即臂部的左右转动和左右移动（通常手指的抓放动作不计入机械手的运动——自由度——数目之内）。

它的两个手指不工作时，处于张开状态（下手指靠自重张开，上手指靠弹簧11的作用拉

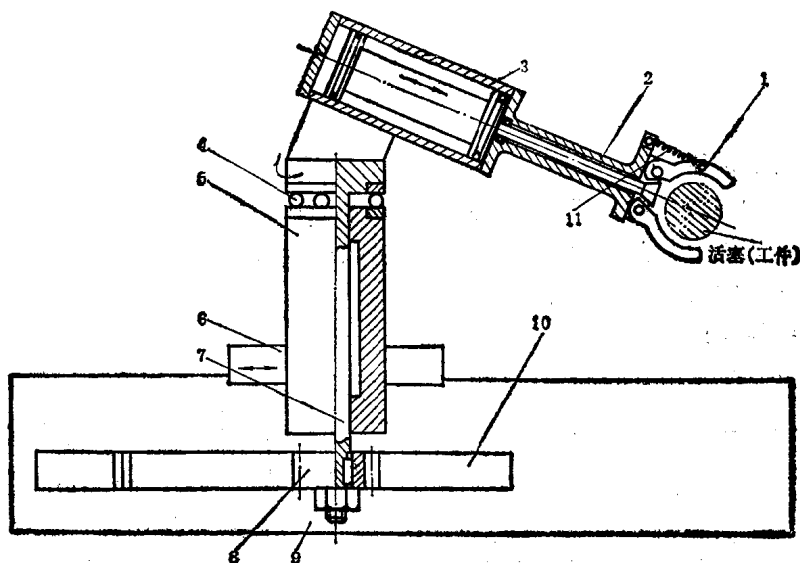


图1-2 粗车活塞止口下料机械手

1—手指 2—臂部 3—握紧油缸 4—轴承 5—机体 6—拖板 7—心轴 8—齿轮  
9—主机的床身 10—齿条 11—弹簧

开)。工作时，握紧油缸3的活塞杆左移，通过活塞杆端部的斜面就使两个手指同时闭合，握紧机床上已加工好的工件，接着拖板6带动机体5和回转心轴7向左移动，同时通过固定齿条10与齿轮8的啮合，使回转心轴7带动握紧油缸3和臂部2回转，将工件传送至预先规定的位置；然后，活塞杆右移，手指松开，放下工件。这就自动地完成了下料工作。

2. 通用机械手（也称工业机器人）即指具有可变程序和单独驱动的控制系統，又不从属于某种机器，而能自动地完成传送物件或操作某些工具的机械装置。

通用机械手按其定位和控制方式的不同，可分为简易型和伺服型两种。简易型只能是点位控制，故属于程序控制类型；伺服型可以是点位控制，也可以是连续轨迹控制，一般属于数字控制类型。

这种机械手，由于手指可换（或能调整），程序可变，故适用于中、小批生产。但因其运动较多，结构较复杂，技术条件要求较高，故制造成本一般也较高。

## 二、按机械手臂部的运动座标型式分类

1. 直角坐标式机械手 臂部可以沿直角坐标轴 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三个方向移动。亦即臂部可以前后伸缩（定为沿 $X$ 方向的移动）、左右移动（定为沿 $Y$ 方向的移动）和上下升降（定为沿 $Z$ 方向的移动）。

2. 圆柱坐标式机械手 手臂可以沿直角坐标轴的 $X$ 和 $Z$ 方向移动，又可绕 $Z$ 轴转动（定为绕 $Z$ 轴转动 $\gamma$ 角），亦即臂部可以前后伸缩、上下升降和左右转动。

3. 球坐标式机械手 臂部可以沿直角坐标轴 $X$ 方向移动，还可以绕 $Y$ 轴和 $Z$ 轴转动，亦即手臂可以前后伸缩（沿 $X$ 方向移动）、上下摆动（定为绕 $Y$ 轴摆动 $\beta$ 角）和左右转动（仍

定为绕Z轴转动 $\gamma$ 角)。

4. 多关节式机械手 这种机械手的臂部可分为小臂和大臂。其小臂和大臂的连接(肘部)以及大臂和机体的连接(肩部)均为关节(铰链)式连接,亦即小臂对大臂可绕肘部上下摆动 $\alpha$ 角,大臂可绕肩部摆动(仍定为绕Y轴摆动) $\beta$ 角,手臂还可以左右转动(仍定为绕Z轴转动) $\gamma$ 角。

图1-3为人的臂部与多关节式机械手臂部的比较。从图中可以清楚地看到,多关节式机械手的动作,与人的臂部动作有些类似。

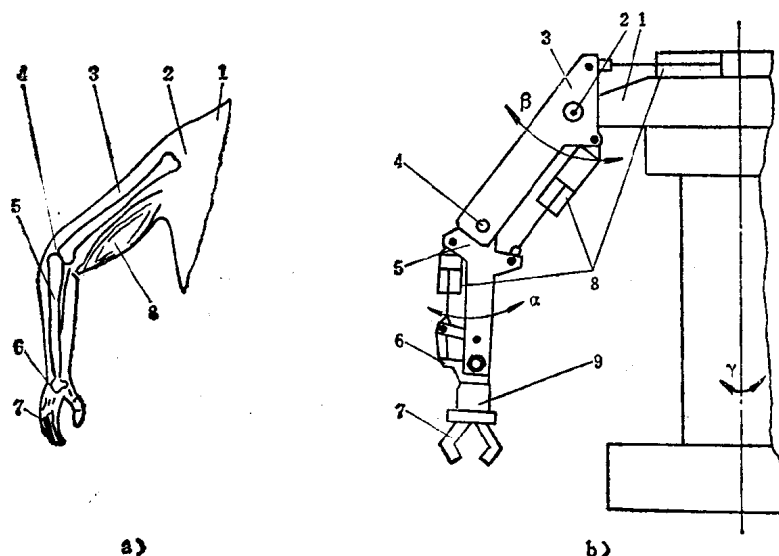


图1-3 人的手臂与多关节式机械手的比较

1—机(躯)体 2—肩部 3—大臂 4—肘部 5—小臂 6—腕部 7—手指 8—传动缸(肌肉) 9—握紧缸

### 三、按机械手的驱动方式分类

1. 液压驱动机械手 以压力油进行驱动。
2. 气压驱动机械手 以压缩空气进行驱动。
3. 电力驱动机械手 直接用电动机进行驱动。
4. 机械驱动机械手 是将主机的动力通过凸轮、连杆、齿轮、间歇机构等传给机械手的一种驱动方式。

### 四、按机械手的臂力大小分类

按臂力(即被传送物件的重量)的大小,可将机械手分成如下四类:

1. 微型机械手 臂力小于1公斤。
2. 小型机械手 臂力为1~10公斤。
3. 中型机械手 臂力为10~30公斤。
4. 大型机械手 臂力大于30公斤。

总之,分类方法较多,这里就不一一列举了。

## 第三节 应用机械手的意义

随着科学技术的发展,机械手也越来越多地被应用。在机械工业中,铸、锻、焊、铆、

冲压、热处理、机械加工、装配、检验、喷漆、电镀等工种都有应用的实例。其它部门，如轻工业、建筑业、国防工业等工作中也均有所应用。

在机械工业中，应用机械手的意义可以概括如下：

### 一、可以提高生产过程的自动化程度

应用机械手，有利于实现材料的传送、工件的装卸、刀具的更换以及机器的装配等的自动化程度，从而可以提高劳动生产率和降低生产成本。

### 二、可以改善劳动条件、避免人身事故

在高温、高压、低温、低压、有灰尘、噪声、臭味、有放射性或有其它毒性污染以及工作空间狭窄等场合中，用人手直接操作是有危险或根本不可能的。而应用机械手即可部分或全部代替人安全地完成作业，使劳动条件得以改善。

在一些简单、重复，特别是较笨重的操作中，以机械手代替人手进行工作，可以避免由于操作疲劳或疏忽而造成的人身事故。

### 三、可以减少人力，并便于有节奏地生产

应用机械手代替人手进行工作，这是直接减少人力的一个侧面，同时由于应用机械手可以连续地工作，这是减少人力的另一个侧面。因此，在自动化机床和综合加工自动线上，目前几乎都设有机械手，以减少人力和更准确地控制生产的节拍，便于有节奏地进行生产。

综上所述，有效地应用机械手，是发展机械工业的必然趋势。

## 第四节 机械手的发展概况与发展趋势

### 一、机械手的发展概况

专用机械手经过几十年的发展，如今已进入以通用机械手为标志的时代。由于通用机械手的应用和发展，进而促进了智能机器人的研制。智能机器人涉及的知识内容，不仅包括一般的机械、液压、气动等基础知识，而且还应用一些电子技术、电视技术、通讯技术、计算技术、无线电控制、仿生学和假肢工艺等，因此它是一项综合性较强的新技术。目前国内外对发展这一新技术都很重视。几十年来，这项技术的研究和发展一直比较活跃，设计在不断地修改，品种在不断地增加，应用领域在不断地扩大。

早在四十年代，随着原子能工业的发展，已出现了模拟关节式的第一代机械手。五十年代即制成了传送和装卸工件的通用机械手和数控示教再现型机械手。这种机械手也称第二代机械手。如尤尼曼特（Unimate）机械手，即属于这种类型。

一九六八～一九七〇年，又相继把通用机械手用于汽车车身的点焊和冲压生产自动线上，亦即使第二代机械手这一新技术进入了应用阶段。七十年代机械手可以说是处于技术发展阶段。

根据部分统计，机械手的大致情况见表1-1。

从表中可以看出：目前圆柱坐标式的较多；插销板或凸轮程序的较多；机械式手指抓取方式的较多；存贮步数为10～49的较多；液压驱动的较多；臂力小于30公斤的较多；手臂4个自由度的较多；作业空间为1～10米<sup>3</sup>的较多；线速度小于1000毫米/秒的较多；角速度小于180度/秒的较多；定位精度小于3毫米的较多。从控制方式来看，点位控制占90%左右，而连续轨迹控制仅占10%左右。

表1-1 机械手现况统计表

| 不同的座标型式  | 座标型式                  | 1       | 2         | 3          | 4          | 5          | 6      | 7      | 8    | 备 注                                                             |
|----------|-----------------------|---------|-----------|------------|------------|------------|--------|--------|------|-----------------------------------------------------------------|
|          | 占百分数 %                | 6       | 70        | 20         | 4          |            |        |        |      | 座标型式中:<br>1—代表直角座标式<br>2—代表圆柱座标式<br>3—代表球座标式<br>4—代表多关节式        |
| 不程序的方    | 编程序方式                 | 1       | 2         | 3          |            |            |        |        |      | 编程序方式中:<br>1—代表电子装置<br>2—代表插销板或凸轮<br>3—代表固定程序                   |
|          | 占百分数 %                | 25      | 55        | 20         |            |            |        |        |      |                                                                 |
| 不检测的方    | 检测方式                  | 1       | 2         | 3          |            |            |        |        |      | 检测方式中:<br>1—代表机械式(挡块、限位开关)<br>2—代表模拟式(多用电位计)<br>3—代表数字式         |
|          | 占百分数 %                | 57      | 26        | 17         |            |            |        |        |      |                                                                 |
| 不取同的方    | 抓取方式                  | 1       | 2         | 3          | 4          |            |        |        |      | 抓取方式中:<br>1—代表机械式手指<br>2—代表真空吸盘式手指<br>3—代表电磁吸盘式手指<br>4—代表其它形式手指 |
|          | 占百分数 %                | 54      | 28        | 12         | 6          |            |        |        |      |                                                                 |
| 不贮容的     | 存贮步数                  | 1~9     | 10~49     | 50~99      | 100~199    | 200 以上     |        |        |      |                                                                 |
|          | 占百分数 %                | 1       | 60        | 11         | 7          | 21         |        |        |      |                                                                 |
| 不动同的方    | 驱动方式                  | 1       | 2         | 3          | 4          |            |        |        |      | 驱动方式中:<br>1—代表液压驱动<br>2—代表气压驱动<br>3—代表电力驱动<br>4—代表机械驱动          |
|          | 占百分数 %                | 50      | 40        | 9          | 1          |            |        |        |      |                                                                 |
| 不重量(臂力)的 | 臂力(公斤)                | <1      | 1~5       | 6~10       | 11~15      | 16~30      | 31~50  | 51~100 | >100 |                                                                 |
|          | 占百分数 %                | 5       | 23        | 23         | 9          | 25         | 9      | 3      | 3    |                                                                 |
| 手由度数自    | 自由度数(个)               | 1       | 2         | 3          | 4          | 5          | 6      | 7      | 8    |                                                                 |
|          | 占百分数 %                |         | 11        | 20         | 38         | 21         | 10     |        |      |                                                                 |
| 不空间的范    | 空间范围(米 <sup>3</sup> ) | <0.01   | 0.01~0.09 | 0.1~0.99   | 1.00~9.99  | >10        |        |        |      |                                                                 |
|          | 占百分数 %                | 1.5     | 15        | 37         | 45         | 1.5        |        |        |      |                                                                 |
| 不线速的度    | 线速度(毫米/秒)             | 100~500 | >500~1000 | >1000~2000 |            |            |        |        |      |                                                                 |
|          | 占百分数 %                | 26      | 52        | 22         |            |            |        |        |      |                                                                 |
| 不角速的度    | 角速度(度/秒)              | ~44     | 45~89     | 90~179     | >180       |            |        |        |      |                                                                 |
|          | 占百分数 %                | 10      | 13        | 54         | 23         |            |        |        |      |                                                                 |
| 不位精的定    | 定位精度(毫米)              | ~±0.09  | ±0.1~0.49 | ±0.5~0.99  | ±1.00~2.99 | ±3.00~4.99 | >±5.00 |        |      |                                                                 |
|          | 占百分数 %                | 7       | 17        | 23         | 44         | 6          | 3      |        |      |                                                                 |

国外自一九七〇年以来,已召开过几次国际机械手会议(几乎每年召开一次)。有的国家(如日本)还成立了机器人协会。

## 二、对机械手的一般要求

机械工业中,应用机械手的主要目的,一是解决生产过程自动化,二是改善劳动条件,降低劳动强度,提高劳动生产率和降低产品成本。因此要求机械手成本低,品种多样化,零件、部件系列化、通用化、标准化,性能稳定可靠。

1. 降低机械手的成本 为了扩大机械手的使用范围,必须降低机械手的成本。据统计,机械手电气控制装置所占成本的比重较大。如六十年代有的通用机械手其电控装置的成本占全部成本的75%,现在已下降到35%。

2. 品种多样化 为了适应不同工作的需要,应使机械手的品种多样化,用机械手代替更多的人的手工劳动,进而实现生产过程的自动化。特别是那些工作比较单一、重复性很大而工作条件又较差和劳动量较大的工种(如热加工),更应注意设计和使用各种类型的机械手。

3. 零件、部件系列化、通用化、标准化 为了加速扩大机械手的应用领域,应尽量缩短其设计和制造的周期。这样,就要求机械手的某种零件(如手指的指型等)、部件(如手部、臂部等)系列化、通用化、标准化。然后,即可根据具体工作的需要,将这些零件、部件(或再相应地增加一些其它零件、部件)进行组合,组成所需要的机械手。当然,这样的机械手还应保证组合方便,一旦工作变更时,就能迅速而顺利地重新组合。

4. 产品性能应准确可靠 机械手的重要技术指标之一,就是其性能应稳定可靠。为此,要求设计合理,元件稳定,制造精确。

## 三、机械手的发展趋势

1. 研制有更多自由度的机械手。

2. 研制带有行走机构的机械手。这种机械手可以从一个工作地点移动到另一个工作地点。

3. 研制能自动编制和自动改变程序的机械手。

4. 研制具有一定“感触”和“智力”的智能机器人。这种机器人,具有各种传感装置,并配备有计算机。根据仿生学的理论,用计算机充当其“大脑”,使它能“思考”、能“分析”、能“记忆”。用电视摄像机、测距仪、纤维光学传感器、导光管或其它光敏元件作为“眼睛”,在其“视野”的范围内能“看”。用听筒和声敏元件等作“耳朵”能“听”。用扬声器等作“嘴”能“说话”进行“应答”。用热电偶和电阻应变仪等作“触觉”能“感触”。用滚轮或双足式的行走机构作“脚”来实现自动移位。这样的智能机器人,可以由人用特殊的语言(计算机语言甚至口语)对其下达命令、布置任务。受令后的智能机器人,即可根据现场环境的各种条件或信息,独立地“分析”和“判断”并自编或自变程序地进行工作;能够自找(选择)物件的方位,自调握力的大小,自找传送路线以避免障碍物。因此,它将成为“无人化”系统(由电子计算机实现群控的各种机器设备、辅助装置和机械手等所组成的完全自动化生产线或车间)的重要组成环节之一。

目前,在国外广泛应用的“再现式”通用机械手,虽然一般也都具有记忆装置,但其程序都是预先编好的,或在其工作之前由人领动(示教)一次,而后机械手即可按领动的工作内容自行正确地完成再现动作。如果把这种再现式通用机械手称为第二代机械手的话,那么现在处于研制阶段的智能机器人就是第三代了。

## 第二章 手 部

### 第一节 手部的种类及要求

#### 一、手部的种类

机械手上承担抓（或吸）取物件的机构，叫做机械手的手部，由手指、传力（或增力）机构和驱动装置等组成，是机械手的重要组成部分之一。

根据被抓取物件的材质、形状、尺寸、重量以及其它一些特性（如易碎性、导磁性、表面光洁度等）的不同，手部的种类也不一样。

##### 1. 根据手指的种类不同分类

（一）夹持（手指）式手部（也称机械式手部） 它具有各种类型的手指。

（二）吸附式手部（也称吸盘式手部） 有电磁吸盘和负压吸盘两种，后者又包括真空泵式吸盘和气流负压式吸盘。

（三）其它型手部。

##### 2. 根据手指的多少分类

（一）单指手部 是由各种单个吸盘所组成的手部。

（二）多指手部 是由多个机械式手指或多个吸盘所组成的手部，其中由两个机械式手指所组成的手部用的较多。

#### 二、对手部的要求

手部除了要满足手指抓取机能（见本章第二节）的要求外，还应满足以下几点要求：

（一）手指握力（亦称夹紧力）的大小要适宜。握力过大，则需要较大的动力源和较大的结构，不经济，并可能损坏物件；握力过小，由于物件的自重以及传送过程中的惯性力和振动等而抓不住物件。在通常情况下（除依靠摩擦力握紧外），所需要的握力是物件重量的2~3倍。机械手的手指握力应当是可调的。但由于专用机械手常用于批量较大、物件比较单一的场合，因此，只要有适宜的握力，虽不可调，也还是可以的。

（二）要有足够的夹紧距离。无论哪种类型的手部，抓取物件时，要使物件能够顺利地进入手指；而放置物件时，物件又应易于摆脱手指的约束。因此要有足够的夹紧和脱开距离。对回转型手指（见第二节）来说，手指要有足够的张开与闭合角；而对直进型手指（见第二节）来说，手指要有足够的开闭距离。图2-1、图2-2即为其结构尺寸示意图。图中均表示松开物件时的情形。

在图2-1和图2-2中， $A-D > C$ ， $d-a > C$ 。式中 $A(a)$ ——手指松开物件后的最大（小）尺寸； $D(d)$ ——被抓取表面的最大（小）尺寸； $C$ ——手指张开或闭合后与物件之间保持的最小间隙。

（三）握紧后，物件的重心（特别是较重的物件）应尽量接近手腕的对称轴线，以保证物件对手腕的偏重力矩最小。

（四）各构件要有足够的刚度和强度，而自重要轻。

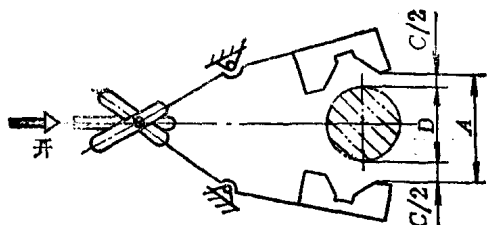


图 2-1 手指张开最小距离与被抓取表面最大尺寸之间的关系

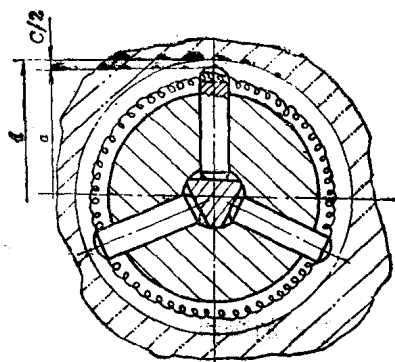


图 2-2 手指缩回最小距离与被抓取表面的最小尺寸之间的关系

(五) 结构简单, 修理方便。

(六) 动作迅速、灵活、准确。

通用机械手还要求更换手部 (或手指) 时方便 (甚至能自动更换)。

## 第二节 手指及其抓取机能

手指是手部中直接承担抓 (或吸) 取物件的元件。

### 一、手指的抓取机能

手指的抓取机能是由被抓取物件和手指决定的。被抓取物件的大小、形状、重量、材质和受外力的约束程度及运动 (抓取运动的物件) 情况, 决定了手指的大小、形状、个数、种类、配置和动作, 而这些又决定了手指的抓取机能 (即该手指能抓取的极限尺寸, 手指对物件的约束和握紧程度, 抓取精度——定位精度等)。它们之间的关系如图 2-3 所示。

### 二、手指的种类

机械手的手指有机械式手指和吸盘式两种形式。人手抓取物件时, 手指常与手掌相对握紧。机械式手指没有手掌, 全靠手指握紧物件; 而吸盘式手指则刚好相当于只有手掌吸附物件。机械式手指应用得比较广泛, 本章二~八节主要叙述这种类型的手指。

机械式手指常按指根的动作及手指的数目或手指的形状进行分类。

为了以后研究方便, 在图 2-4 中分别以

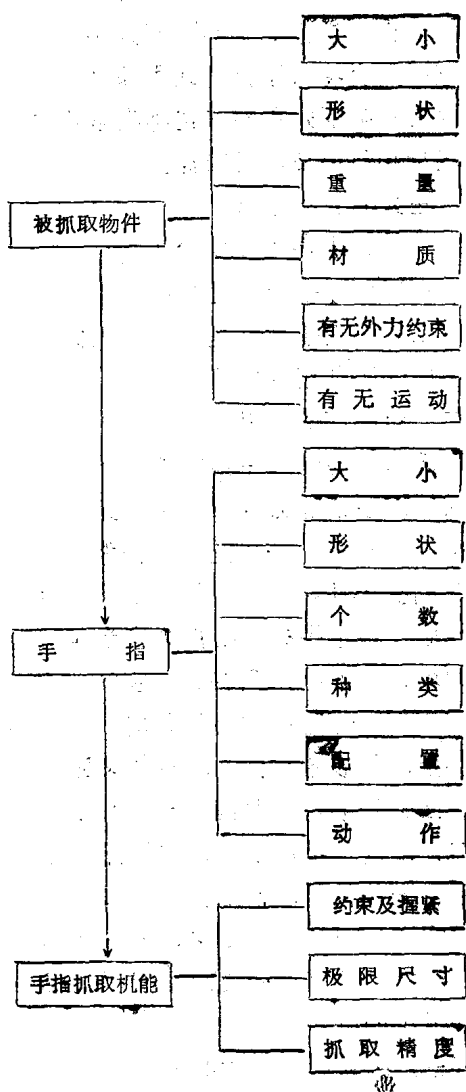


图 2-3 手指抓取机能与手指、被抓取物件的关系

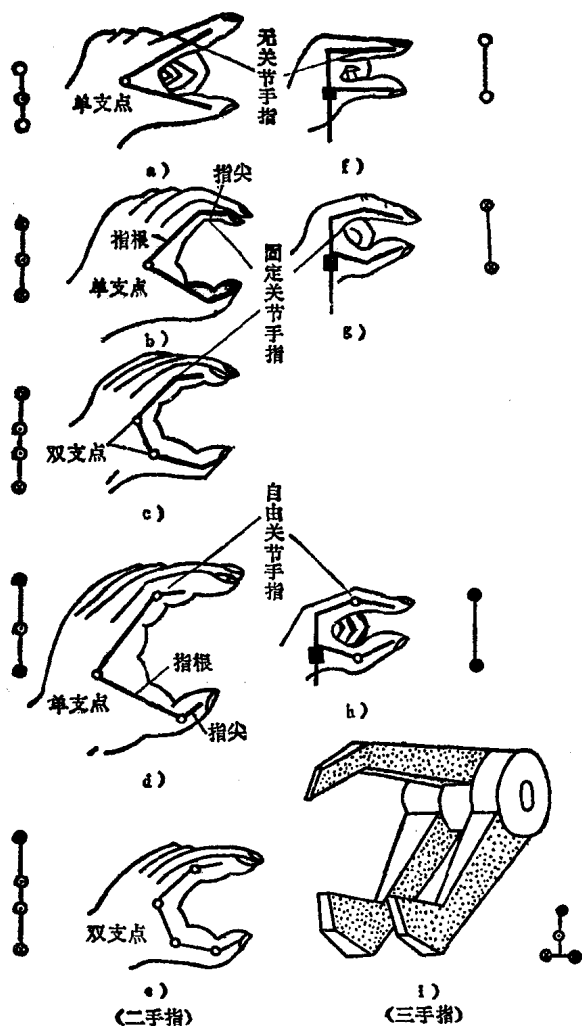


图 2-4 回转型和直进型手指

- 图a)为单支点回转型无关节二指 (以“○—○—○”表示)  
 图b)为单支点回转型固定关节二指 (以“⊗—○—⊗”表示)  
 图c)为双支点回转型固定关节二指 (以“⊗—○—○—⊗”表示)  
 图d)为单支点回转型自由关节二指 (以“●—○—●”表示)  
 图e)为双支点回转型自由关节二指 (以“●—○—○—●”表示)  
 图f)为直进型无关节二指 (以“○—○”表示)  
 图g)为直进型固定关节二指 (以“⊗—⊗”表示)  
 图h)为直进型自由关节二指 (以“●—●”表示)  
 图i)为单支点回转型固定关节三指 (以“⊗—○—⊗”表示)

“○”、“⊗”、“●”符号代表无关节指、固定关节指和自由关节指，而以该符号的多少及连线代表手指的个数；连线中间有“○”符号者表示为回转型，其数量代表指根回转支点的多少；无“○”符号表示直进型。

#### 1. 按指根的动作不同分类

(一) 回转型手指 手指的张开与闭合是靠指根的回转动作完成的 (参见图 2-4 a~e 及 i)。

从图 2-4 中可以看出：无关节指的本体是一个直构件；固定关节指的本体是一个弯构

件，即在指的中间处形成一个“V”形关节角，而自由关节指的本体在中间分开，指根与指尖是由铰链连接的。

(二) 直进型手指 手指的张开与闭合是靠手指的直接动作完成的，参见图 2-4 f、g、h。这种手指也可分为无关节指（图f）和自由关节指（图h）。

实践中有时还把无关节指、固定关节指、自由关节指相互组合而成为混合手指。

2. 按手指抓取部分的形状分类 有圆弧形的（如图 2-5 a）、V形的（如图 2-5 b）、锯齿形的（如图 2-5 c）、钩形的（如图 2-5 d）和平板形的（如图 2-5 e）等等。

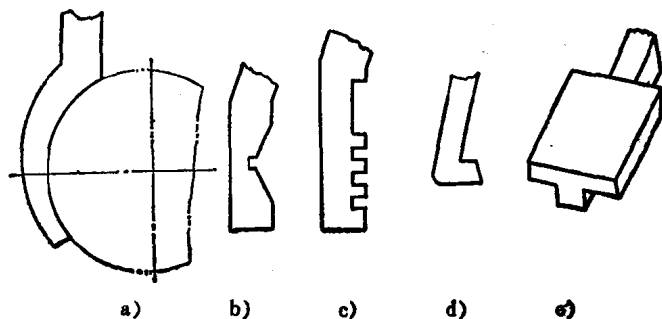


图 2-5 手指抓取部分的形状

### 三、典型表面与手指的接触状态

虽然被抓取物件的形状和尺寸是多种多样的，但是从抓取的角度来看，可将被抓取部位的形状分成圆柱形、正方柱形、板形、球形和圆锥形等五种典型表面。各种手指在抓取这五种典型表面时的接触状态参见图 2-6。根据这样的接触状态，即可对不同形状和数量的手指及其抓取机能进行分析和比较，以便从中选出合理的指形和手指个数。

|      | 四个手指  |                |       |
|------|-------|----------------|-------|
|      | 固定关节指 | 无关节指<br>—固定关节指 | 自由关节指 |
| 圆柱形  |       |                |       |
| 球形   |       |                |       |
| 正方柱形 |       |                |       |
| 板形   |       |                |       |
| 圆锥形  |       |                |       |
| 符 号  |       |                |       |

图 2-6 四个手指与典型表面的接触状态

### 第三节 手指对物件的约束

手指对物件的约束，分握力约束和摩擦约束两种。握力约束主要是消除物件在手指中的移动；摩擦约束消除物件在手指中的转动（或利用物件形状的特征如正方柱形等消除）。有时也利用摩擦约束消除移动。在图 2-6 中，如抓取垂直放置的圆柱形表面时就是如此。通常摩擦约束是握力约束的辅助手段，只有实现了握力约束才能实现摩擦约束。判断手指对物件的约束是否可靠时，一般要考虑手指与物件的接触状态；接触部分的空间配置；握力的大小、方向和作用点等。

在分析接触状态时，常以手指对物件的接触点数来表示，如一条线接触，相当于二个点；一个面接触，相当于三个点。实践证明：一个点接触没有摩擦约束（主要指对回转运动的约束）；一条线接触仅在接触线方向有摩擦约束；一个面接触在接触面上有摩擦约束。因此，在抓取板形、圆柱形和正方柱形表面时使用二个手指；抓取球形及圆锥形表面时使用三个手指，约束（握紧）问题即可基本（因还受极限尺寸的影响）得到解决。

### 第四节 手指所能抓取的极限尺寸

手指所能抓取的极限尺寸，即指某种固定结构（不同手指形式的组合）尺寸的手指所能抓取的最大尺寸和最小尺寸。超过这个尺寸范围，就抓不着或握不牢物件。因此，手指的有关结构尺寸，必须与物件被抓取表面的极限尺寸相适应。这是设计和选择机械式手指结构尺寸时首先要考虑的问题。

以回转型单支点四个固定关节指抓取圆柱形物件为例，极限尺寸与手指结构尺寸之间的关系如图 2-7 所示。

图中  $L_1$  为指根长度； $L_2$  为指尖长度； $L_3$  为指与指之间的距离。

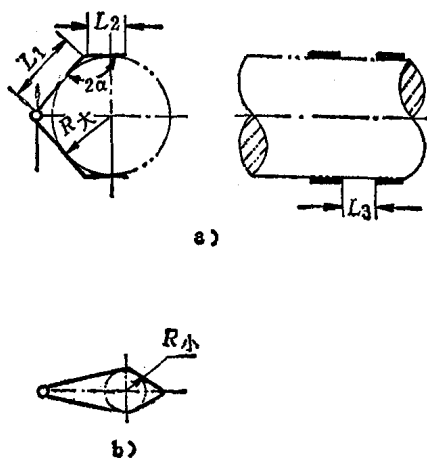


图 2-7 极限尺寸与手指各部尺寸的关系

$R_{大}$ —物件（被抓取表面）的最大半径

$R_{小}$ —物件（被抓取表面）的最小半径

从图 2-7 a 中可以看出，手指所能抓取的最大尺寸，是指两个长度为  $L_2$  的指尖达到平行状态时被抓取表面的尺寸。超过这个尺寸，固定关节指的关节角即失去约束与握紧的能力，而将物件挤出。所能抓取的最小尺寸，是指两个指尖前端相碰时被抓取表面的尺寸，见图 2-7 b。小于这个尺寸，该手指即抓不着物件。对于三个手指来说，因同侧的两个手指与对侧的另一个手指是错开的（参见图 2-4 i），因此所能抓取的最小尺寸理论上可以为零。

在详细探讨手指的有关尺寸前，先要说明以下问题：

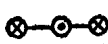
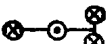
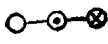
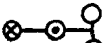
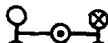
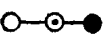
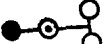
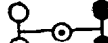
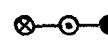
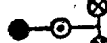
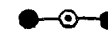
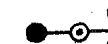
（一）直进型手指所能抓取的极限尺寸，是由手指的移动量决定的。当采用关节角（ $2\alpha$ ）

接近 $180^\circ$ 的固定关节指时, 所能抓取的最大尺寸和最小尺寸之差最大, 亦即使用无关节指最为有利。故直进型手指只需防止手指连接的根部对最大尺寸的干涉就可以, 其有关尺寸本书就不进行分析了。

(二) 当被抓取表面是圆锥形时, 其极限尺寸受锥底半径和圆锥高度两个极限尺寸的影响, 情况比较复杂, 且实际应用较少, 本书不分析用于这种情况的手指。

(三) 对于板形物件, 只有自由关节指和直进型无关节指才能起约束作用, 而在实际应

表2-1 以极限尺寸为基准, 被抓取表面为圆柱形时最有利的手指形状和尺寸(回转型)

| 圆柱形                                                                                 | $2\alpha$    | $\frac{L_2}{L_1}$ | $\frac{R_{大}}{L_1}$ | $\frac{R_{小}}{L_1}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|---------------------|---------------------|
|    | $120^\circ$  | 0.5               | 0.866               | 0.288               |
|    | $90^\circ$   | 1                 | 1                   | 0                   |
|    | $120^\circ$  | 0.5               | 0.866               | 0.288               |
|    | $110^\circ$  | 0.33              | 0.47                | 0.668               |
|  | $90^\circ$   | 0.5               | 0.5                 | 0                   |
|  | $110^\circ$  | 0.33              | 0.47                | 0.668               |
|  | $180^\circ$  |                   |                     |                     |
|  | $\downarrow$ | 0.5               | 0.5                 | 0                   |
|  | $90^\circ$   |                   |                     |                     |
|  | $90^\circ$   |                   |                     | 0.294               |
|  | $90^\circ$   | 1                 | 1                   | 0                   |
|  | $90^\circ$   |                   |                     | 0.294               |
|  | $180^\circ$  |                   |                     |                     |
|  | $\downarrow$ | 1                 | 1                   | 0                   |
|  | $90^\circ$   |                   |                     |                     |