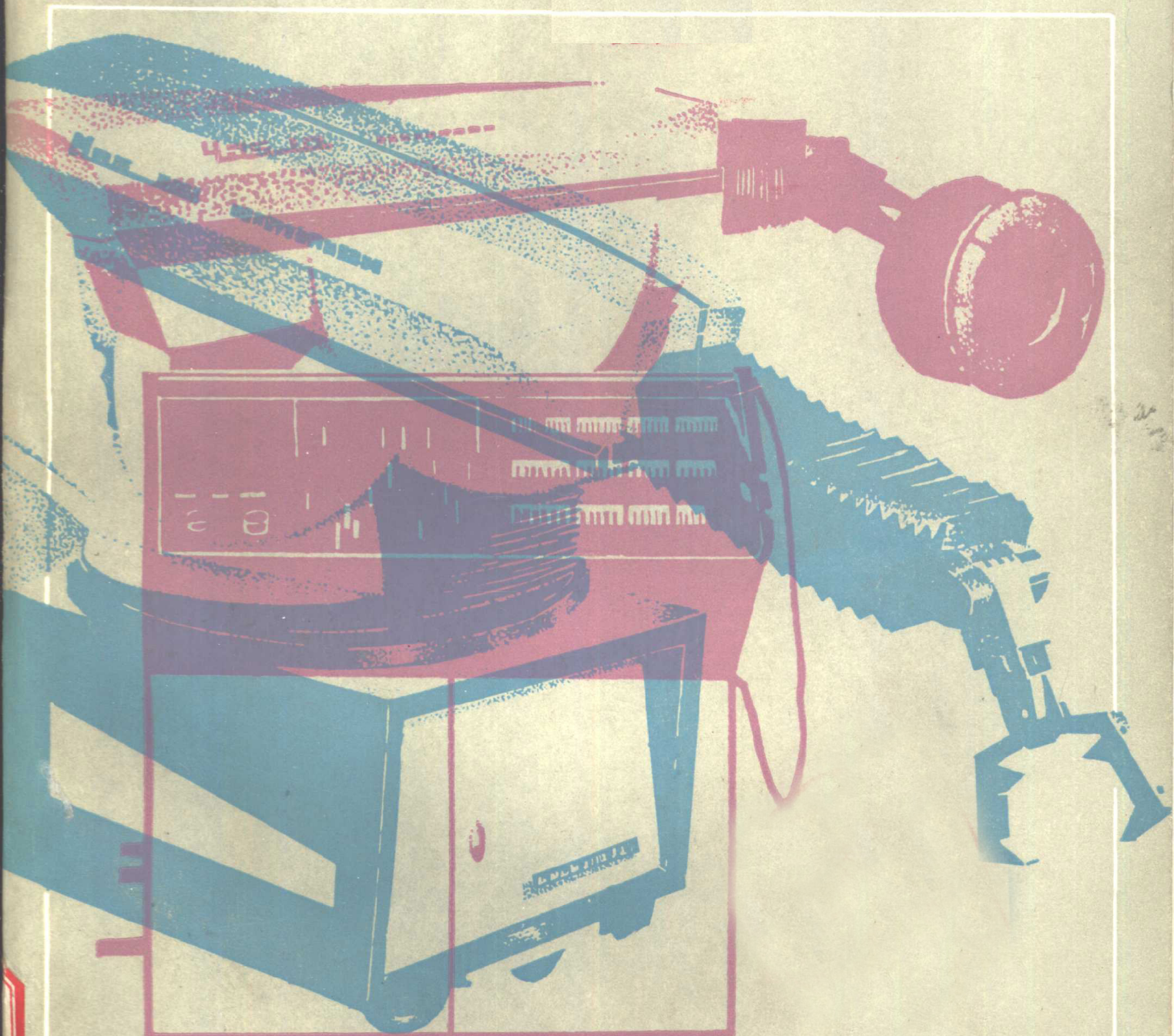


工业机械手设计基础

GONG
YE
JI
XIE
SHOU
SHE
JI
JI
CHU



天津科学技术出版社

工业机械手设计基础

天津大学《工业机械手设计基础》

编 写 组 编

天津科学技术出版社

内 容 简 介

本书共十章，主要介绍了工业机械手的组成，手部、腕部、臂部等结构及有关计算，机械、液压、气压传动机械手在设计中的有关问题，机械手的电气控制，机械手在生产中应用实例，以及为机械手服务的上料装置等。

本书内容丰富，有大量的结构实例和必要的计算，可供从事设计、制造工业机械手的工程技术人员、工人以及大专院校有关专业的师生参考，对搞机械工业生产过程自动化的同志也有参考价值。

工业机械手设计基础

天津大学《工业机械手设计基础》

编 写 组 编

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷二厂印刷

天津市新华书店发行

*

开本787×1092毫米 1/16 印张37 3/4 字数 860,000

一九八〇年八月第一版

一九八一年十月第二次印刷

印数7901—15,200

统一书号：15212·7 定价：3.85元

前 言

工业机械手是近十几年来出现的一种技术装备，它能模仿人体上肢某些动作，在生产过程中代替人搬运物件或操持工具进行操作。在工业生产中应用机械手，可以提高劳动生产率，保证产品质量，减轻工人劳动强度，实现生产过程自动化。因此，近年来工业机械手的应用越来越普遍。特别在高温、高压、多粉尘、危险、易燃、易爆、放射性等恶劣环境，以及在笨重、单调、频繁的操作中使用工业机械手更显示出它的优越性，並有着广阔的发展前途。

为了促进工业生产的发展，需要推广、普及工业机械手技术。为此，我们编写了《工业机械手设计基础》一书。本书将我们举办工业机械手短训班时编写的《工业机械手设计基础》讲义，重新做了修改，增加了新的章节，补充了结构实例和必要的计算。可供从事设计、制造工业机械手的工程技术人员、工人以及大专院校有关专业的师生参考，对搞机械工业生产过程自动化的同志亦有参考价值。

本书在编写过程中，得到了原天津市科技局技术交流站的热情关怀和多方面的帮助，在此表示衷心的感谢！

在编写过程中还得到了一机部机械院机械工业自动化研究所、原北京市机械局情报站、原北京市机械研究所、上海电动工具研究所、上海汽车配件二厂、第一汽车制造厂、第二汽车制造厂、北京齿轮厂、天津市一机局情报站、天津市二轻局技术研究所、天津市动力机械厂等单位的大力支持和帮助，在此一并致谢。

参加本书编写工作的有吴旭朝、许婉英、赵汝麟、周开勤、周武声等同志，最后由吴旭朝、许婉英同志通读定稿，並由邱宣怀、郭芝俊、刘全忠等同志，分别对有关章进行了审阅。

由于我们的实践经验缺乏，调研工作也不够深入，书中一定会有不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

天津大学《工业机械手设计基础》编写组

1979年8月

AT 28/10

目 录

第一章 概述

- §1. 机械手在生产中的作用 1
- §2. 机械手的组成和分类 4
 - 一、组成 4
 - 二、分类 5
- §3. 机械手自由度和座标型式 6
 - 一、机械手的自由度 6
 - 二、座标型式 9
 - 三、机械手运动简图 12
- §4. 机械手的主要参数 14
 - 一、主要参数 14
 - 二、规格参数 15
- §5. 机械手的发展趋势 18

第二章 手部结构

- §1. 概述 20
- §2. 钳爪式手部结构 22
 - 一、手指的形状和分类 22
 - 二、设计时应考虑的几个问题 26
 - 三、典型手部结构和驱动力计算 28
 - 四、握力的计算 49
 - 五、驱动装置 51
- §3. 钳爪式手指定位误差的分析 53
 - 一、移动型手指的定位误差 54
 - 二、一支点回转型手指的定位误差 54
 - 三、两支点回转型手指的定位误差 57
- §4. 气吸式吸盘 59
 - 一、真空式吸盘 60
 - 二、气流负压式吸盘 63
 - 三、挤压排气式吸盘 67
 - 四、吸盘结构型式 69
 - 五、气吸式吸盘选用要素 71
- §5. 电磁式吸盘 71
 - 一、工作原理及其应用 71

- 二、电磁式吸盘的选用要素 73
- 三、电磁吸力的计算 75
- §6. 其它手部结构介绍 80
 - 一、特殊用途的手部结构 80
 - 二、带传感器的手部结构 83

第三章 手腕结构分析

- §1. 手腕自由度和典型结构 85
 - 一、手腕的自由度 85
 - 二、手腕的典型结构 85
- §2. 手腕驱动力矩的计算 97
 - 一、手腕转动时所需的驱动力矩 97
 - 二、回转油(气)缸的驱动力矩计算 99
 - 三、齿条活塞缸驱动齿轮的驱动力矩计算 100

第四章 手臂结构分析

- §1. 手臂直线运动机构 102
 - 一、直线运动机构 102
 - 二、导向装置 109
 - 三、手臂驱动力的计算 113
- §2. 手臂回转运动机构 115
 - 一、手臂的回转运动机构 115
 - 二、手臂回转时所需的驱动力矩 124
- §3. 手臂俯仰运动机构 128
 - 一、手臂俯仰运动机构 128
 - 二、手臂作俯仰运动时所需的驱动力矩 129
- §4. 手臂复合运动机构 134
 - 一、曲线凹槽机构 135
 - 二、连杆机构 138
 - 三、齿轮机构 140
 - 四、由行星机构实现手臂复合运动时驱动力矩的计算 147
- §5. 设计手臂结构应注意的问题

.....	151	一、动力油缸及油马达的计算.....	223
一、应使手臂刚度大、重量轻.....	152	二、油缸泄漏问题与密封装置.....	250
二、应使手臂运动速度快、惯性小.....	153	三、油泵的选择.....	255
三、手臂动作应灵活.....	154	四、确定油泵电动机功率N.....	258
四、应使手臂传动准确、导向性好.....	154	五、控制调节阀的选择.....	264
五、输油(气)管道的布置应合理.....	154	六、辅助装置的选择.....	264
六、其它要求.....	155	§5. 液压传动机械手的缓冲和定位	
第五章 机械传动机械手		.....	273
§1. 应用实例.....	156	一、机械手的运动平稳性和定位精度	
一、油封盖内螺纹自动车床上料机械		.....	273
手.....	156	二、油缸的缓冲装置.....	274
二、三工位冷镦机机械手.....	158	三、油缸端部缓冲装置的工作原理及	
§2. 机械传动机械手设计的有关问		设计原则.....	283
题.....	160	四、节流孔或缝隙截面积的确定.....	287
一、自由度的选择.....	160	五、减速缓冲回路.....	291
二、定位与缓冲问题.....	169	六、液压传动机械手的定位方法.....	296
三、过载保护问题.....	176	第七章 气动机械手	
第六章 液压传动机械手		§1. 气源系统和气动执行机构	
§1. 概述.....	177	.....	307
一、液压机械手液压系统的工作原理		一、气源系统.....	307
.....	177	二、气动执行机构.....	313
二、液压系统的组成.....	179	§2. 空气控制阀和气动逻辑元件 ...	336
三、液压系统图图形符号.....	180	一、空气控制阀.....	336
四、液压传动机械手的特点.....	181	二、气动逻辑元件.....	371
§2. 液压传动机械手简介.....	181	§3. 气动基本回路.....	376
一、传动方案的确定.....	183	一、方向控制回路.....	376
二、自动上料机械手的结构介绍.....	184	二、速度控制回路.....	378
三、自动上料机械手的液压传动系统		§4. 专用气动机械手和简易型通	
.....	191	用气动机械手设计应考虑	
§3. 专用液压机械手的一般设计		的主要问题.....	382
工作内容.....	195	一、专用气动机械手.....	382
一、明确设计要求.....	195	二、简易型通用气动机械手.....	393
二、传动方案的确定.....	196	§5. 气动机械手的缓冲和定位精度	
三、基本参数的确定.....	205	.....	400
四、机械手机械结构的设计.....	206	一、缓冲器的结构和特点.....	401
五、机械手液压系统的控制回路.....	206	二、气缸内部节流缓冲器和液压缓冲	
六、机械手液压系统工作原理图的绘		器的设计计算.....	406
制.....	215	三、定位精度.....	410
§4. 机械手液压系统的简单计算		第八章 机械手的电气控制简介	
.....	223	§1. 概述.....	414

§2. 分散式顺序控制器	415	理	476
一、机械手典型电器控制系统分析	415	三、电气控制系统简介	478
二、分散式顺序控制器的结构原理	417	§2. M114G自动倒角机上料机械手	
三、分散式顺序控制器中半导体电路的设计举例	429	.....	478
§3. 用继电器组成的步进式顺序控制器	433	一、自动上料装置及机械手的组成	480
一、用机械步进选线器组成的步进式顺序控制器	433	二、液压机械手的动作原理	480
二、用时间继电器与继电器组成的步进式顺序控制器(步进器部分)	439	三、机械手的液压系统工作原理	481
三、用继电器组成的步进式顺序控制器	440	四、电气控制系统工作原理	484
§4. 顺序控制装置中常用的逻辑部件及电路	441	§3. 镗深孔专用机床上下料机械手	
一、计数器	441	.....	486
二、译码器与步进器	443	一、上下料机械手的规格参数	486
三、集成脉冲电路	447	二、机械结构及工作原理	486
四、显示装置	448	三、上下料机械手液压系统工作原理	484
五、步进电机的控制——脉冲分配器	449	.....	484
§5. 控制机械手的电子步进式顺序控制器实例	452	四、上下料机械手电气控制系统工作原理	491
一、实例一(SK II z型顺序控制器)	452	§4. 630吨压铸机自动浇铸机械手	
二、实例二(SK—2型顺序控制器)	457	.....	493
三、实例三(简易数控控制)	462	一、浇铸机械手的规格参数	493
四、实例四(简易数控控制)	470	二、机械结构及工作原理	493
§6. 机械手行程的控制问题	471	三、液压系统及其工作原理	497
一、利用电位器来控制行程的方法	471	四、浇铸机械手电气原理	499
二、利用玻璃刻尺进行位置检测及控制	472	§5. 直线电机机械手	501
三、利用光电编码器进行位置检测及控制	472	一、直线电机工作原理	502
第九章 工业机械手在自动化生产中的应用		二、160吨闭式双点压力机出料用直线电机机械手结构简介	501
§1. 热镦挤自动送料机械手	476	三、机械手及直线电机的规格参数	505
一、机械手的主要技术参数	476	四、直线电机机械手电气控制	505
二、送料机械手的机械结构及工作原理		§6. 数控卧式镗铣床自动换刀机械手	
		.....	506
		一、换刀机械手的主要规格参数	508
		二、换刀机械手的机械结构及其工作原理	509
		三、换刀机械手液压系统工作原理	517
		§7. 花键轴自动线上下料机械手	
		.....	521
		一、花键轴自动生产线简介	521
		二、机械手的结构和动作原理	523
		三、机械手液压系统工作原理	526
		四、花键轴加工自动线电气设备概述	526
		.....	526
		§8. 缝纫机针抛光自动线机械手	

.....	528
一、抛光自动线组成及工作原理.....	528
二、机械手的规格参数.....	529
三、机械手的机械结构及工作原理.....	529
四、机械手液压系统工作原理.....	530
五、单向可调节流行程阀工作原理.....	537
六、机械手的电气控制.....	537
§9. 灯壳冲压自动生产线用伺服型	
下料机械手	544
一、下料机械手的规格参数.....	545
二、下料机械手的机械结构.....	545
三、下料机械手的液压系统工作原理	
.....	552

第十章 机械手的上料装置

§1. 轮盘类上料装置	557
一、滚道式上料装置.....	557
二、链条传动(或钢带传动)提升式	
上料装置.....	559
§2. 轴类上料装置	561
一、链式输送机.....	561
二、杠杆式输送机.....	562
三、滚轮输送机.....	562
四、滑轨式输送架.....	563
五、轴类上、下料自动化实用举例.....	565
§3. 片状类上料装置	567
一、液压步进器的组成及工作原理.....	567
二、油缸活塞步进距离的调整.....	567

§4. 箱、壳体上料装置.....	568
§5. 电磁振动料斗	569
一、电磁振动料斗的组成.....	569
二、电磁振动料斗的工作原理.....	569
三、电磁振动料斗的结构.....	571
四、料斗、料盘的主要结构尺寸.....	572
五、毛坯的定向方法.....	574
六、电磁振动料斗的优缺点.....	576

〔附录一〕有关电气元件的产品

介绍.....	577
一、行程开关.....	577
二、接近开关.....	578
三、电磁继电器.....	578
四、中间继电器.....	579
五、步进选线器.....	579
六、半导体逻辑元件.....	580
七、“与非”门集成电路.....	585
八、步进电机.....	592

〔附录二〕逻辑(布尔)代数一般

知识	593
一、逻辑“或”.....	593
二、逻辑“与”.....	593
三、互补律及对合律.....	594
四、摩根定理.....	594
五、结合律、交换律与分配律.....	594
六、逻辑代数公理.....	595

第一章 概 述

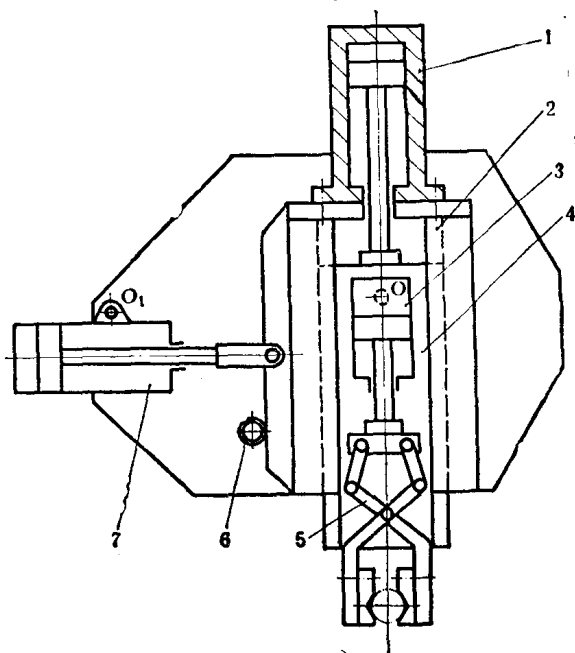
§1. 机械手在生产中的作用

随着我国工业生产的飞跃发展，自动化程度的迅速提高，实现工件的装卸、转向、输送或操持焊枪、喷枪、扳手等工具进行加工、装配等作业的自动化，已愈来愈引起人们的重视。

机械手是模仿着人手的部分动作，按给定程序、轨迹和要求实现自动抓取、搬运或操作的自动机械装置。在工业生产中应用的机械手被称为“工业机械手”。生产中应用机械手可以提高生产的自动化水平和劳动生产率；可以减轻劳动强度、保证产品质量、实现安全生产；尤其在高温、高压、低温、低压、粉尘、易爆、有毒气体和放射性等恶劣的环境中，它代替人进行正常的工作，意义更为重大。因此，在机械加工、冲压、铸、锻、焊接、热处理、电镀、喷漆、装配以及轻工业、交通运输业等方面得到越来越广泛的应用。

机械手的结构型式开始比较简单，专用性较强，仅为某台机床的上下料装置，是附属该机床的专用机械手。随着工业技术的发展，制成了能够独立的按程序控制实现重复操作，使用范围比较广的“程序控制通用机械手”，简称通用机械手。由于通用机械手能很快地改变工作程序，适应性较强，所以它在不断变换生产品种的中小批量生产中获得广泛的应用。

图1—1所示为某车床的上料专用液压机械手示意图。该机械手的动作顺序是：摇臂油缸7的活塞杆推动摆板2绕O点反时针方向回转45°后，伸缩油缸1的活塞杆驱动滑枕4连同夹紧油缸3一起作伸臂动作，夹紧油缸3驱动杠杆机构使手部5抓取工件，尔后伸缩油缸作缩臂动作等待上料。当机床加工完前一个零件退刀时发出信号，使摇臂油缸7将摆板2拉回，并与定位销6相碰而定位，此时伸臂油缸1又驱动滑枕4前伸，将工件送到机床主轴中心线的位置，由顶料杆（图中未示出）将被加工零件顶入主轴弹簧卡头中，此时手指张开，滑枕作缩臂动作而复位。机械手以此循环动作实现自动上料。



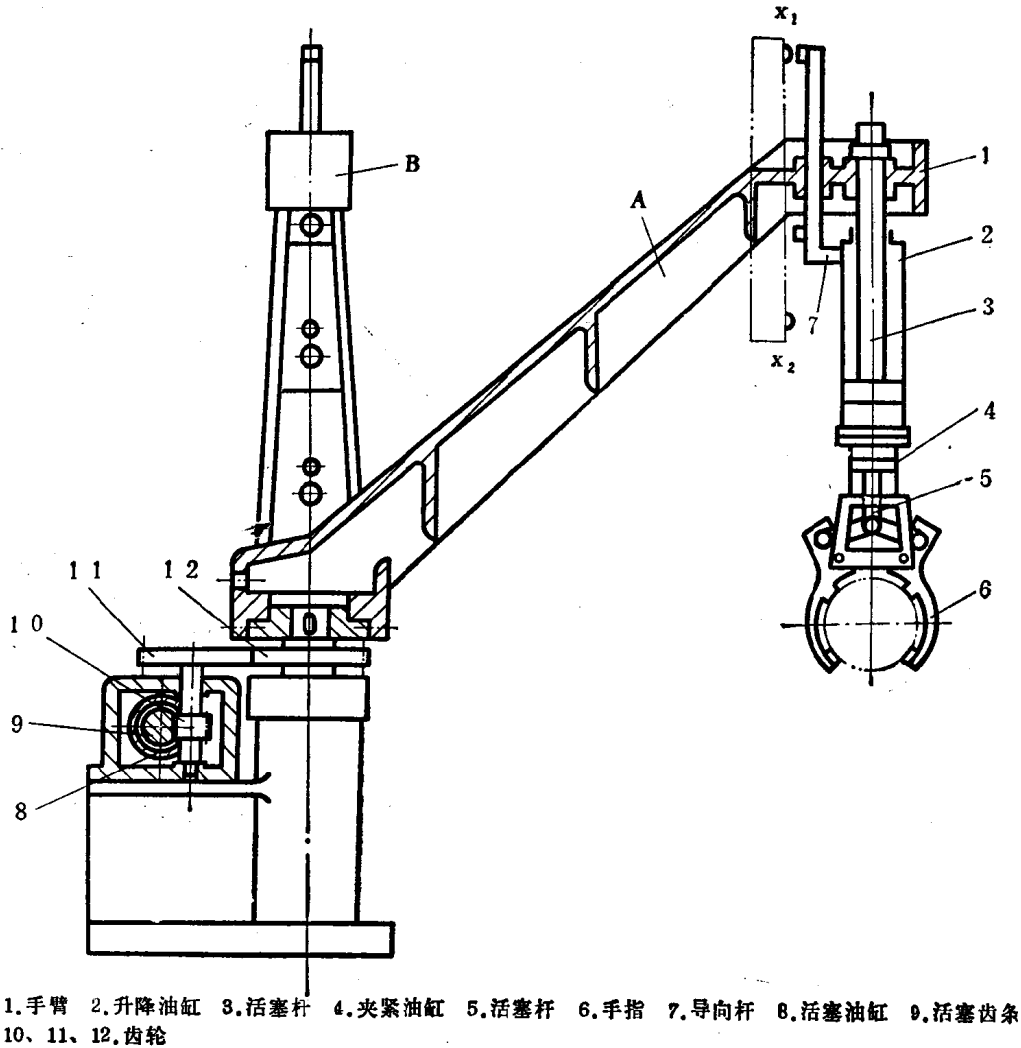
1. 伸缩油缸 2. 摆板 3. 夹紧油缸 4. 滑枕 5. 手部
6. 定位销 7. 摇臂油缸

图1—1 车床上料机械手示意图

图1—2所示为双臂上、下料液压机械手示意图。在手臂A和B上分别装有升降油缸2，其活塞杆3与手臂A和B刚性联结。当升降油缸两腔分别通压力油时，缸体2就作升降运动。导向杆7亦随缸体运动，其上的撞块与行程开关 x_1 或 x_2 相碰时分别发出升、降的停止信号。在升降缸的下端固连着夹紧油缸4，其活塞杆5上、下运动时，通过杆系带手指6作夹紧或松开动作。当活塞油缸8的活塞齿条9作往复移动，带动齿轮10，经齿轮11、12可使手臂A和B回转 $\pm 90^\circ$ ，手臂A将坯料由上料位置转到加工位置，同时手臂B将已加工完毕的工件取下送到下料位置，然后两手臂同时复位，准备第二次工作循环。

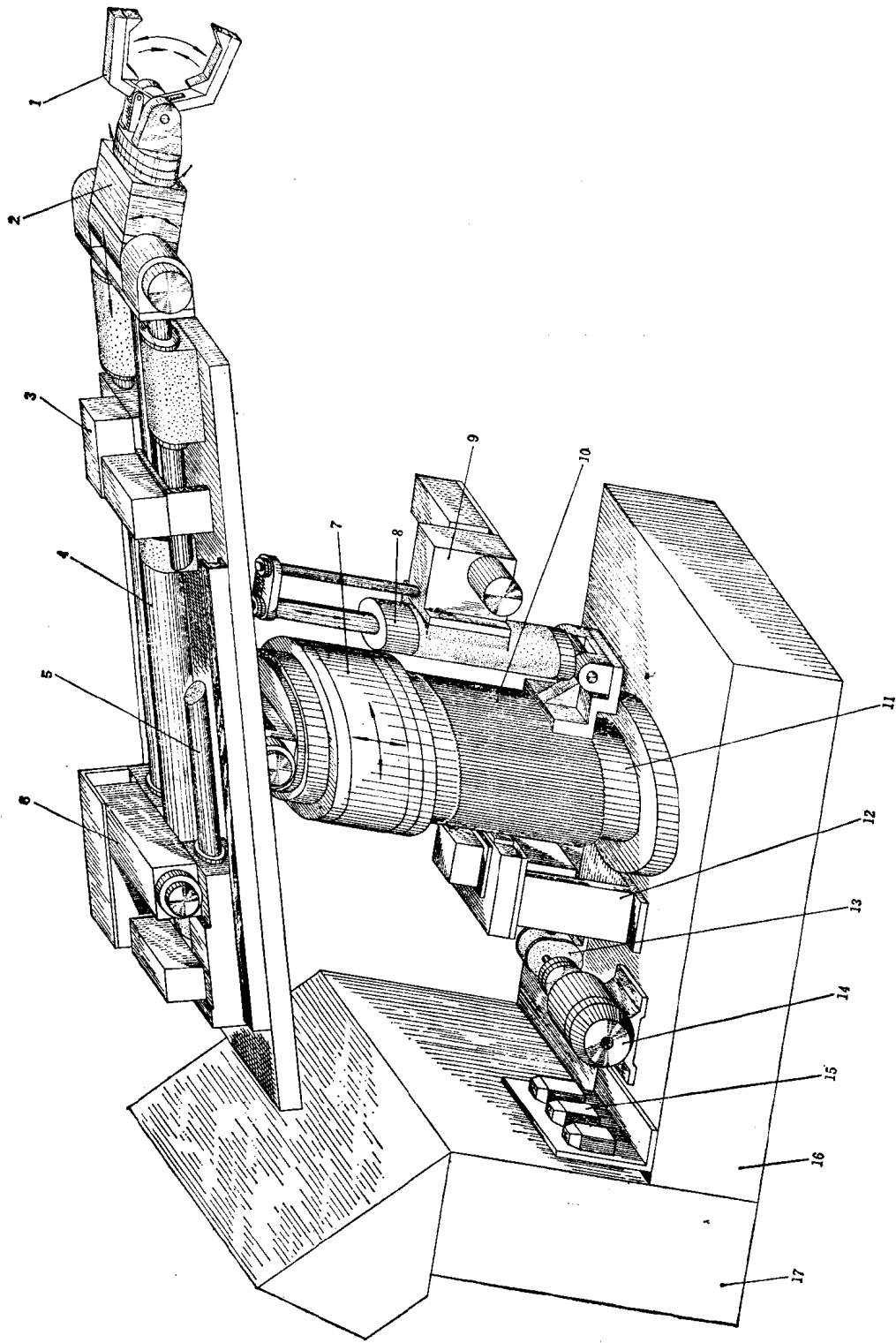
图1—3所示为简易数控工业通用机械手，它由手部1、手腕2、手臂伸缩缸4、导向杆5、手臂回转缸7、手臂俯仰缸8、手臂升降缸10、立柱11等构成执行机构；由手臂伸缩反馈装置3、手腕俯仰反馈装置6、手臂俯仰和回转反馈装置9和12等构成位置检测装置；由油泵13、油泵电机14、控制阀15、油箱16等构成驱动系统；由独立的电气柜17构成具有可变程序的电控系统。

此机械手能根据生产工艺过程预先编制的动作程序，调整好手臂、手腕所应达到的



1.手臂 2.升降油缸 3.活塞杆 4.夹紧油缸 5.活塞杆 6.手指 7.导向杆 8.活塞油缸 9.活塞齿条
10、11、12.齿轮

图1—2 双臂上、下料液压机械手结构示意图



1. 手部 2. 手腕 3. 手臂伸缩反馈装置 4. 手臂伸缩油缸 5. 导向杆 6. 手腕俯仰反馈装置 7. 手臂回转油缸
 8. 手臂俯仰油缸 9. 手臂俯仰反馈装置 10. 手臂升降油缸 11. 立柱 12. 手臂回转反馈装置 13. 油箱
 14. 油泵电机 15. 控制阀 16. 油箱 17. 电气柜

图1—3 简易数控通用机械手示意图

设定位置，就能自动地依程序动作的顺序而工作。

§2. 机械手的组成和分类

一、组成

机械手主要由执行机构、驱动系统、控制系统以及位置检测装置等所组成。各系统相互之间的关系如方框图1—4所示。

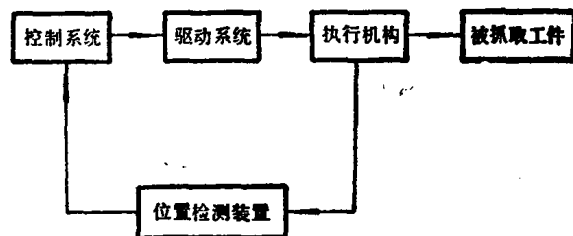


图1—4 机械手的组成方框图

(一) 执行机构

包括手部、手腕、手臂和立柱等部件，有的还增设行走机构。

1. 手部 即与物件接触的部件。由于与物件接触的形式不同，可分为夹持式和吸附式手部。夹持式手部由手指（或手爪）和传力机构所构成，手指是与物件直接接触，而传力机构则通过手指产生夹紧力来完成夹放物件的任务；吸附式手部主要由吸盘等构成，它是靠吸附力（如吸盘内形成负压或产生电磁力）吸附物件。

2. 手腕 是联接手部和手臂的部件，起调整或改变工件方位的作用。

3. 手臂 支承手腕和手部的部件，用以改变工件的空间位置。

4. 立柱 是支承手臂的部件，立柱也可以是手臂的一部分，手臂的回转运动和升降（或俯仰）运动均与立柱有密切的联系。机械手的立柱通常为固定不动的，但因工作需要，有时也可作横向移动，即称为可移式立柱。

5. 行走机构 机械手为了完成远距离的操作和扩大使用范围，可以增设滚轮行走机构。滚轮式行走机构可分为有轨的和无轨的两种。驱动滚轮运动则应另外增设机械传动装置。

6. 机座 它是机械手的基础部分，机械手执行机构的各部件和驱动系统均安装于机座上，故起支承和联接的作用。

(二) 驱动系统

机械手的驱动系统是驱动执行机构运动的传动装置。常用的有液压传动、气压传动、电力传动和机械传动等四种形式。

(三) 控制系统

有电气控制和射流控制两种，一般常见的为电气控制。它是机械手的重要组成部分，它支配着机械手按规定的程序运动，并记忆人们给予机械手的指令信息（如动作顺序、运动轨迹、运动速度及时间），同时按其控制系统的信息对执行机构发出指令，必

要时可对机械手的动作进行监视，当动作有错误或发生故障时即发出报警信号。

(四) 位置检测装置

控制机械手执行机构的运动位置，并随时将执行机构的实际位置反馈给控制系统，并与设定的位置进行比较，然后通过控制系统进行调整，从而使执行机构以一定的精度达到设定位置。

二、分类

由于机械手还没有统一的分类标准，在此暂按使用范围、驱动方式和控制系统等进行分类。

(一) 按用途分

机械手可分为专用和通用机械手两种：

1. 专用机械手 它是附属于主机的、具有固定程序而无独立控制系统的机械装置。专用机械手具有动作少、工作对象单一、结构简单、实用可靠和造价低等特点，适用于大批量的自动化生产，如自动机床、自动线的上、下料机械手和“加工中心”附属的自动换刀机械手。

2. 通用机械手 它是一种具有独立控制系统的、程序可变的、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，适用于不断变换生产品种的中小批量自动化的生产。

通用机械手按其控制定位的方式不同可分为简易型和伺服型两种：简易型以“开—关”式控制定位，只能是点位控制；伺服型具有伺服定位控制系统，可以是点位的，也可以实现连续轨迹控制，一般的伺服型通用机械手属于数控类型，图 1—3 所示为简易数控型通用机械手。

(二) 按驱动方式分

1. 液压传动机械手 是以油液的压力来驱动执行机构运动的机械手。其主要特点是：抓重可达几百公斤以上、传动平稳、结构紧凑、动作灵敏。但对密封装置要求严格，不然油的泄漏对机械手的工作性能有很大的影响，且不宜在高温、低温下工作。若机械手采用电液伺服驱动系统，可实现连续轨迹控制，使机械手的通用性扩大，但是电液伺服阀的制造精度高，油液过滤要求严格，成本高。

2. 气压传动机械手 是以压缩空气的压力来驱动执行机构运动的机械手。其主要特点是介质来源极方便、气动动作迅速、结构简单、成本低。但是，由于空气具有可压缩的特性，工作速度的稳定性较差，而且气源压力较低，抓重一般在30公斤以下，适用于高速、轻载、高温和粉尘大的环境中进行工作。

3. 机械传动机械手 即由机械传动机构（如凸轮、连杆、齿轮和齿条、间歇机构等）驱动的机械手。它是一种附属于工作主机的专用机械手，其动力是由工作机械传递的。它的主要特点是运动准确可靠、动作频率高，但结构较大，动作程序不可变。它常被用于为工作主机的上、下料。

4. 电力传动机械手 即由特殊结构的感应电动机、直线电机或功率步进电机直接驱动执行机构运动的机械手，因为不需要中间的转换机构，故机械结构简单。其中直线电机

机械手的运动速度快和行程长,维护和使用方便。此类机械手目前还不多,但有发展前途。

(三) 按控制方式分

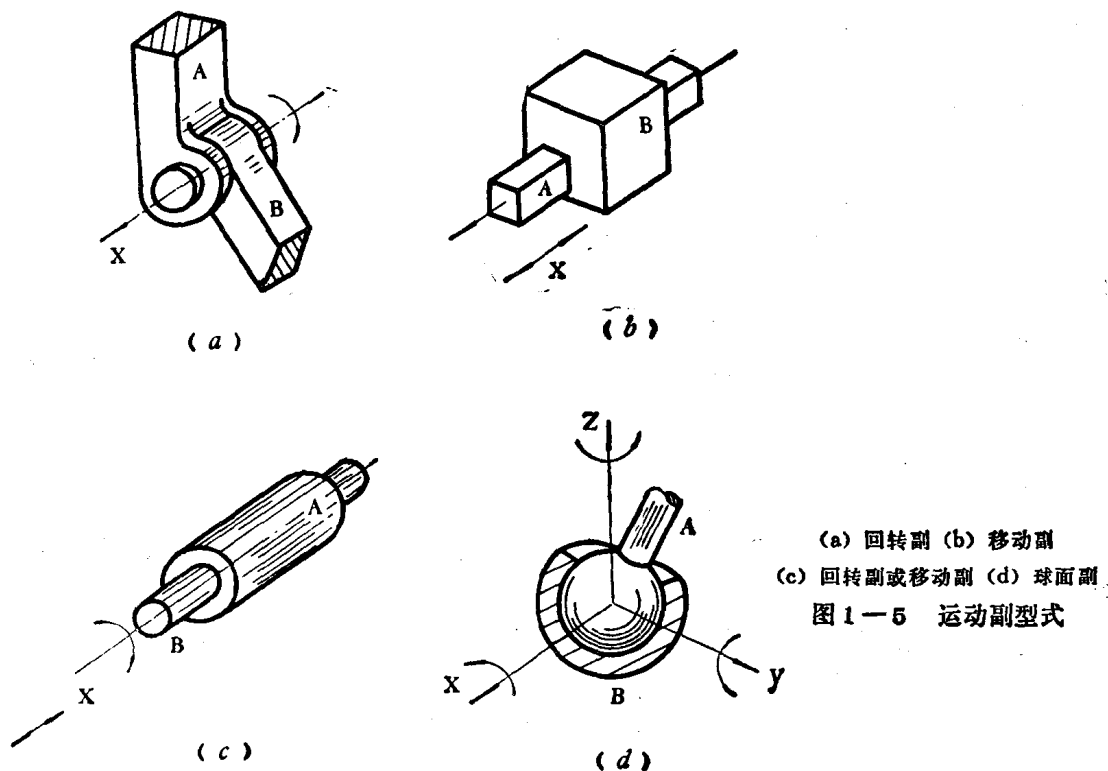
1. 点位控制 它的运动为空间点到点之间的移动,只能控制运动过程中几个点的位置,不能控制其运动轨迹。若欲控制的点数越多,则必然增加电气控制系统的复杂性。目前多数机械手属于点位控制。

2. 连续轨迹控制 它的运动轨迹为空间的任意连续曲线,其特点是设定点为无限的,整个移动过程处于控制之下,可以实现平稳和准确的运动,并且使用范围广,但电气控制系统复杂。

§3. 机械手自由度和座标型式

一、机械手的自由度

自由度是机械手设计的主要参数,每一个构件(即运动件)相对固定坐标系所具有的独立运动称为自由度。每一个构件相对固定坐标系最多可有六个自由度即沿X、Y、Z三个方向独立的往复移动和绕X、Y、Z轴的三个独立的回转运动。两个构件组成相对运动的联接称为运动副,对相对运动加以限制的条件即为约束条件。因为,组成运动副的各构件的运动是受到约束的,不能任意运动,必须按照人们预定的规律而运动。分析机械手的手臂、手腕、手指等部件的本身和它们之间的关系,不外乎是由一组相互联系着的构件和运动副所组成,这些运动副又可分为只有一个自由度的回转副(图1-5 a, c)和移动副(图1-5 b, c)或有三个自由度的球面副(图1-5 d)。



机械手要象人的手一样完成各种动作是比较困难的。因人的手指、手掌、手腕、手臂由十九个关节所组成，并具有27个自由度，而生产实践中机械手不需要这么多自由度。下面按机械手所具有的主运动和辅助运动来分析其自由度。手臂和立柱的运动称为主运动，因为它们能改变被抓取工件在空间的位置。手腕和手指的运动称为辅助运动，因为手腕的运动只能改变被抓取工件的方位（即姿势），而手指的夹放动作不能改变工件的位置和方位，故它不计为自由度数，其它运动均计为自由度数。

图 1—6 所示为机械手的手指、手腕、手臂各运动示意图。

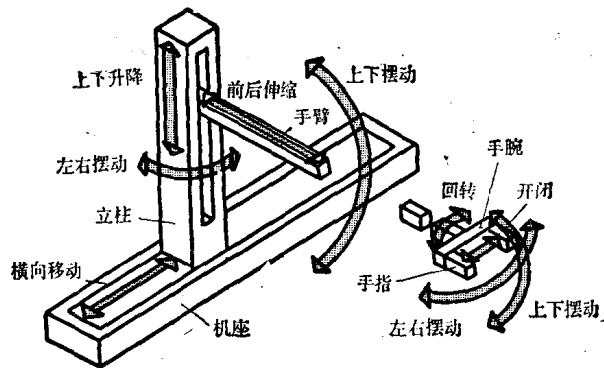


图 1—6 机械手的运动示意图

手指可作开闭（即夹紧和放松）运动；手腕可作回转、上下和左右摆动等运动；手臂可作前后伸缩、升降（或上下摆动即俯仰）和回转运动；立柱横向移动。也有的机械手整机具有行走机构。

上述各种运动可根据机械手的需要来选择，设计机械手时首先要确定被抓取工件所在空间的位置，及将工件搬运到规定的位置时所需要的运动（不包括手指开闭动作），在大多数情况下是少于六个自由度的，如专用机械手只有 2—4 个自由度，而通用机械手是 3—6 个自由度。

图 1—7 所示为对 115 台机械手的自由度的统计图。由图可知，具有四个自由度的机械手为数最多，其中大部分是手臂主运动的自由度，而手腕的自由度仅是为配合手臂完成工件的预定方位要求加以增设的，常用的手腕运动是一个回转运动，只有通用性较强的机械手才设有较多的手腕运动。

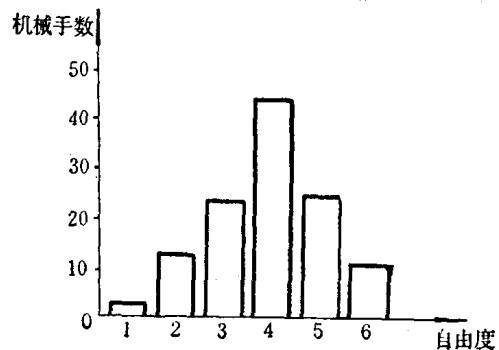


图 1—7 自由度统计图表

图 1—8 所示为不同的运动形式和不同的自由度数组合所能达到的运动范围。

图 (a) 为沿 X 方向的直线运动，其运动轨迹为直线。

图 (b) 为在 XY 平面内的回转运动，其运动轨迹为一圆弧。

图 (c) 为沿 X、Z 方向的两个直线运动，其运动轨迹为平面。

图 (d) 为沿 Y 方向的直线运动及在 XY 平面内的回转运动，其运动轨迹为圆平面。

图 (e) 为平行于Z方向的直线运动及在XY平面内的回转运动，其运动轨迹为圆柱面。

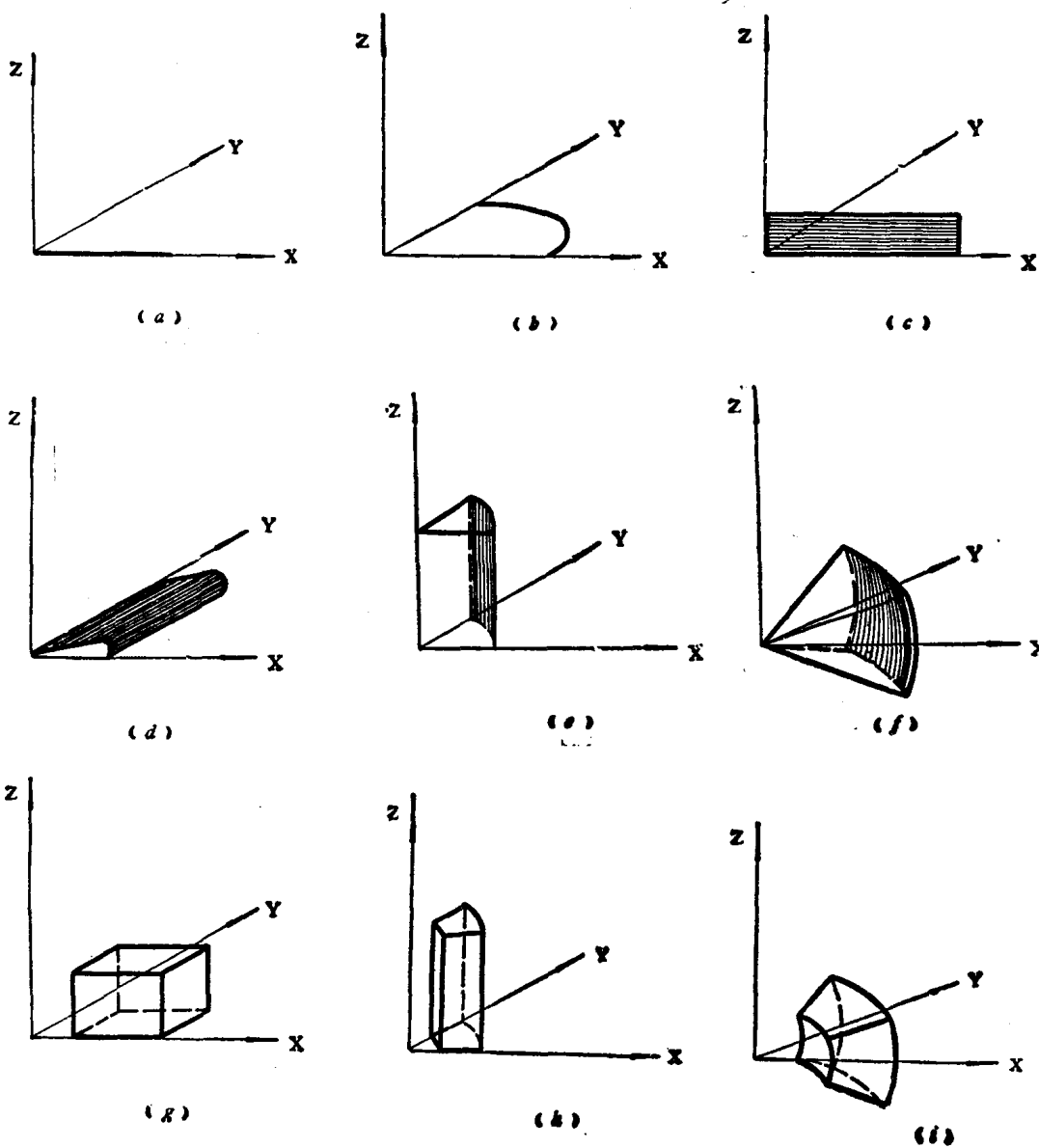
图 (f) 为在XZ和XY平面内的两个回转运动，其运动轨迹为球形曲面。

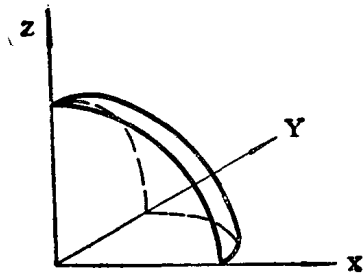
图 (g) 为沿X、Y、Z方向的三个直线运动，其运动轨迹为立方体。

图 (h) 为沿X、Z方向的两个直线运动及在XY平面内的回转运动，其运动轨迹为圆柱体。

图 (i) 为沿X方向的直线运动，且在XZ和XY平面内的两个回转运动，其运动轨迹为球体。

图 (j) 为在XY、XZ、YZ平面的三个回转运动，其运动轨迹为球体。





(i)

图 1—8 不同的运动形式和自由度所能达到的运动范围

自由度多少是衡量机械手技术水平的指标之一，自由度越多，可以完成的动作越复杂，通用性越强，应用范围也越广，但是相应地带来了技术难度大，控制系统和机械结构复杂，机械手本身的体积和重量增加，成本高和维修困难。自由度少，通用性差，但技术上容易达到，结构简单，使用和维修均方便。因此应根据生产工艺过程的要求确定其自由度，而不能盲目地增加不必要的自由度。

二、坐标型式

按机械手臂的不同运动形式及其组合情况，其坐标型式可分为下列几种：

(一) 直角坐标式

如图 1—9 所示的机械手，其手臂的运动系由三个直线运动所组成，即沿直角坐标

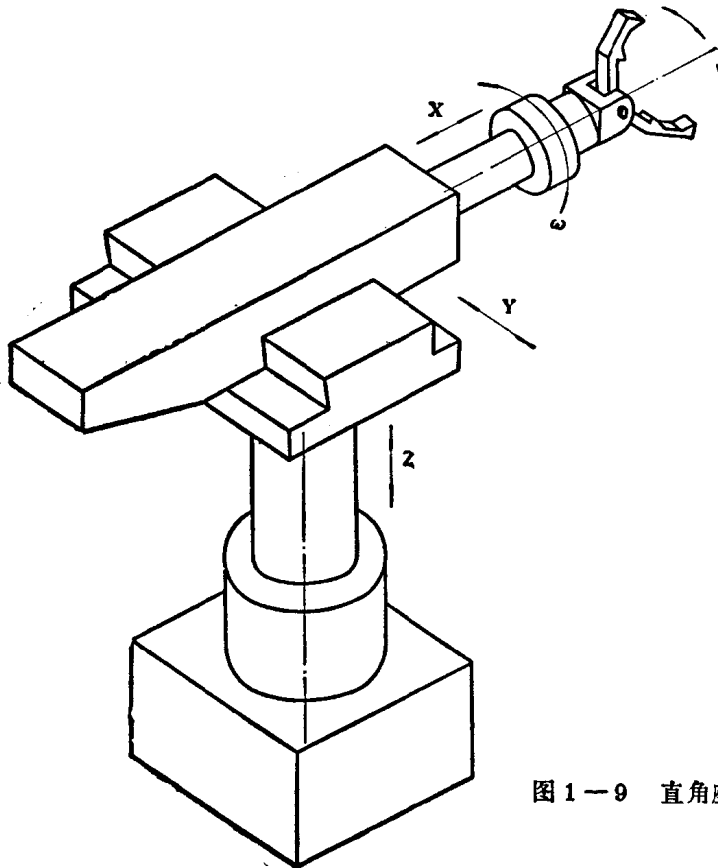


图 1—9 直角坐标式