

张春林 余跃庆 主编
邹慧君 主审

机械原理 教学参考书

(下)



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

机械原理教学参考书(下)

张春林 余跃庆 主编
邹慧君 主审

高等教育出版社

内容提要

全书共三册,本书为下册。主要介绍广义机构、机械系统及其创新设计和动力学方面的内容,共分四篇。第一篇讨论广义机构,主要包括液压机构、电磁机构、光电机构、微位移机构等内容;第二篇讨论机械运动方案设计,主要包括机构基本运动形式及其变换、机构运动方案的拟订、评估等内容;第三篇讨论机构的组合与创新设计,主要包括基本机构,机构的串联组合、并联组合、叠加组合、封闭组合,机构创新设计等内容;第四篇讨论机械动力学,主要包括机构动力分析、机械动态响应分析、机构动力平衡等内容。

本书可作为高等学校机械原理课程的教学参考书,也可作为本科高年级学生和研究生学习辅导材料,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理教学参考书. 下/张春林,余跃庆主编. —北京:高等教育出版社,2009.5

ISBN 978 - 7 - 04 - 026136 - 3

I. 机… II. ①张…②余… III. 机构学 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 034222 号

策划编辑 卢 广 责任编辑 贺 玲 封面设计 于 涛 责任绘图 尹 莉
版式设计 马敬茹 责任校对 美国萍 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	山东省沂南县汇丰印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2009年5月第1版
印 张	22.25	印 次	2009年5月第1次印刷
字 数	410 000	定 价	28.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26136-00

序

教育部高等学校机械学科教学指导委员会机械基础课程教学指导分委员会在2001年第一次工作会议上,根据上一届课委会对我国当前高等工科大学教师队伍现状的分析,针对青年教师的学历高、专业知识强,但缺少“机械原理”课程教学经验的特点,决定编写一套旨在提高青年教师教学水平的机械原理教学参考书,分工由教指委委员张春林和余跃庆二位教授负责该参考书的编写工作。

在2002年教指委第二次工作会议上,成立了以张策教授为主任的编写委员会,编委会讨论通过了本参考书的编写目的、定位、内容与体系,并根据学术水平、教学经验、国内知名度以及奉献精神等方面确定了各篇的主编,并取得高等教育出版社的支持。

在2003年教指委工作会议上,编写委员会讨论了各篇主编提供的编写大纲,并提出了反馈意见,明确了完成时间。

在2004年教指委工作会议上,张春林、余跃庆二位教授汇报了该参考书的编写进展情况。经过协商,确定了由前教指委委员谢存禧教授、李瑰贤教授、邹慧君教授分别为上册、中册和下册的主审,该参考书进入了有序的编写工作阶段。

在2005年教指委工作会议上提出了加快编写进度的要求。

2006年,各篇主编陆续把文稿寄到各分册主审处,2007年5月,所有参编人员在上海集中审稿,讨论了该参考书编写过程中出现的问题,就该书的定位、内容、衔接等问题取得了共识,并与高等教育出版社就出版时间进行了协商。

在2007年教指委第一次工作会议上,余跃庆委员代表编写组就上海会议的若干意见向新一届教指委作了汇报。

2008年5月,各篇主编完成了编写工作,由张春林教授和余跃庆教授最后统稿,各册主审审阅后交付高等教育出版社。

机械原理教学参考书主要是为从事“机械原理”课程教学的青年教师提高业务素质编写的,目的是使其在教学内容的深度和广度上得到补充和扩展。本书是介于教材和专著之间的教学参考书。国内已出版和使用的教材中普遍包含的内容,本书不再重点介绍,但可能有进一步的细化和深化。目前仍在研究但还

没有成熟结论的内容,以及虽已有成熟结论但程度过深的内容,本书不做详细介绍。

本书采取开放式编写形式,每篇后都附有参考文献,以便读者根据需要自行选取。各分册和各篇内容均有独立性,可单独阅读或参考。为了使读者能更全面地了解有关文献的原始内容,本书各篇编写时所用的公式、符号、名词术语等大多采用原来的形式,因此各册、各篇或各章中有可能出现不同的表达方式。

本参考书由三个分册组成,每分册包含四篇内容。具体如下:

上册

第一篇 平面机构结构分析

第二篇 平面连杆机构的分析与设计

第三篇 空间机构

第四篇 机器人机构

中册

第一篇 平面高副机构设计

第二篇 凸轮机构设计

第三篇 变位齿轮传动

第四篇 轮系及其设计

下册

第一篇 广义机构

第二篇 机械运动方案设计

第三篇 机构的组合与创新设计

第四篇 机械动力学

希望本参考书的出版能对从事“机械原理”教学的青年教师有所帮助,进一步提高我国“机械原理”教学的水平和质量。

教育部高等学校机械学科教学指导委员会机械基础课程教学分指导委员会

机械原理教学参考书编写委员会

2008年5月

前 言

本书是由教育部机械基础课程教学分指导委员会规划的“机械原理”课程参考教材,目的在于拓宽和加深课程的基本知识,供任课教师及有关技术人员参考。因此,本书在编写上采取百花齐放的方法,各篇内容独立,在课程教材的平台上予以拓宽,不强调各篇之间的直接联系。

全书共三册,本书为下册,共分4篇20章,每篇均为独立内容。主要论述广义机构的基本概念、机械运动方案的设计方法、机构创新设计理论与方法以及机械动力学等问题。

随着机构学内容的不断扩展和机械原理课程改革的不断深入,广义机构、机械运动方案的设计以及机械创新设计的内容已经出现在机械原理教材中,因此本册将对其进行较深入的论述。随着机械运转的高速化,机械动力学已经成为不容忽视的内容,本册也在机械原理传统动力学的基础上进行了拓展。

本书第一篇广义机构和第二篇机械运动方案设计由上海交通大学邹慧君主编;第三篇机构的组合与创新设计由北京理工大学张春林主编;第四篇机械动力学由北京工业大学余跃庆主编。全书由上海交通大学邹慧君教授担任主审。

在编写过程中,我们参考并引用了大量的论著、资料,限于篇幅,不能在文中一一列举,在此一并对其作者致以衷心的感谢。

由于作者水平有限,在编写过程中难免出现误漏之处,特别是对难易程度的把握方面也会存在不足,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

第一篇 广义机构

第 1 章 绪论	1
1.1 机器及机构的基本概念	1
1.2 机电一体化技术和现代机器	9
1.3 广义机构的基本概念	13
1.4 广义机构的基本特性和种类	15
第 2 章 现代机器和广义机构	18
2.1 现代机器的逻辑结构	18
2.2 现代机器的应用	19
第 3 章 不同驱动工作原理的广义机构	22
3.1 液动机构和气动机构	22
3.2 电磁机构	24
3.3 光电机构	26
第 4 章 具有弹性构件和柔顺副的广义机构	28
4.1 柔顺机构	28
4.2 振动机构和惯性机构	32
第 5 章 微位移机构	37
5.1 压电、电致伸缩微位移机构	37
5.2 磁致伸缩微位移机构	40
5.3 热变形微位移机构	42
参考文献	44

第二篇 机械运动方案设计

第 6 章 绪论	45
6.1 机械系统的基本概念	45
6.2 机械系统的基本特征	48
6.3 机械设计概述	50
6.4 机械系统的概念设计	53

第 7 章 机械功能分析和功能求解	59
7.1 功能的基本概念	59
7.2 总功能的求解模型——F-P-A-M 模型	61
第 8 章 执行机构及其创新设计	65
8.1 动作行为和执行机构	65
8.2 机构组合和组合机构	67
8.3 执行机构的创新方法	72
8.4 机构选型	83
8.5 动作解法库的建立	87
第 9 章 机械运动方案的协调设计	88
9.1 机械运动方案的基本构成	88
9.2 执行机构的协调设计	89
9.3 机械运动循环图设计	97
第 10 章 机械运动方案的构思和设计	106
10.1 机械运动方案设计的主要步骤和内容	106
10.2 机械工艺动作过程的构思	111
10.3 机械工艺动作过程分解和执行机构的选择	118
10.4 机械运动方案的组成原理与方法	128
10.5 机械运动方案设计举例	131
第 11 章 机械运动方案的评价体系和评价方法	143
11.1 评价指标体系的确定原则	143
11.2 评价指标体系	144
11.3 价值工程方法	147
11.4 系统分析方法	150
11.5 模糊综合评价法	153
11.6 实例分析	161
参考文献	169
第三篇 机构的组合与创新设计	
第 12 章 机构创新设计概述	171
12.1 创新与创新方法	171
12.2 常规设计、现代设计与创新设计	176
12.3 机构创新设计的内容	181
12.4 创新教育与人才培养	183
第 13 章 基本机构及其运动形态	187

13.1	机械运动与基本机构	187
13.2	基本机构及其运动变换	192
13.3	机构的选型设计	202
第 14 章	基本机构的应用创新设计	206
14.1	机架变换与创新设计	206
14.2	构件形状变异与创新设计	209
14.3	运动副形状变异与创新设计	211
14.4	运动副的等效代换与创新设计	214
第 15 章	基本机构的组合及其创新设计	217
15.1	机构组合的基本概念	217
15.2	机构组成原理与创新设计	219
15.3	机构的串联组合与创新设计	227
15.4	机构的并联组合与创新设计	230
15.5	机构的叠加组合与创新设计	232
15.6	机构的封闭组合与创新设计	236
15.7	其他类型的机构组合与创新设计	240
第 16 章	再生运动链与机构创新设计	242
16.1	原始机构与一般化运动链	242
16.2	运动链图谱与再生运动链	245
16.3	再生机构的设计	248
参考文献	255

第四篇 机械动力学

第 17 章	绪论	257
17.1	研究意义	257
17.2	研究对象和主要内容	258
17.3	内容安排	260
第 18 章	机构动力分析	262
18.1	概述	262
18.2	平面机构的动力分析	262
18.3	空间机构的动力分析	267
第 19 章	机械动态响应	274
19.1	概述	274
19.2	单自由度机械系统	275
19.3	多自由度机械系统	297

第 20 章 机构动力平衡	307
20.1 概述	307
20.2 平面机构的完全平衡	309
20.3 平面机构的最优平衡	325
参考文献	343

第一篇 广义机构

第1章 绪论

1.1 机器及机构的基本概念

1.1.1 机器的基本概念

人们在19世纪第一次工业革命中,创造了各种各样的机器,例如蒸汽机、内燃机、缝纫机、机床等。至今,机器已经渗透到各个行业,形式多样,原理各异,成为人类社会创造精神文明和物质文明的有力工具。为了设计和创造出更多的各种机器设备,下面对机器的主要类别和基本特征作一概括的阐述。

所有机器都应具备如下的特征:

- 1) 它们都是人为组合体;
- 2) 应具有确定的机械运动;
- 3) 其功能是完成一定的工作过程,以代替人类的劳动。

随着科学技术的发展,机器的内涵和概念也在发展变化。对于传统的机器,其人为组合体中各杆件均为刚体,通过原动件输入动力并产生匀速的输入运动,获得相互配合的、确定的执行运动,完成要求的工作过程。机器的核心功能是进

行动力和运动的传递和变换,完成某种特定的工艺动作过程。

1970年前后,由于计算机技术在机械技术中的广泛应用,传统机器有了很大发展,出现了以机电一体化技术广泛应用为特征的现代机器,使传统机器的性能有了很大的提高。现代机器通常由控制系统、信息测量和处理系统、动力系统 & 执行机构等组成。使机器的内涵和概念又有了新的发展。但是,现代机器的本质还是机器,还是实现机械的动力和运动的传递和变换。

1.1.2 机器的能量流、物质流和信息流

机器的另一个重要特征是存在着能量流、物质流和信息流的传递和变换(图1.1),在机器中能量流、物质流和信息流的形态和变换规律都有与其他非机械不同的特征。

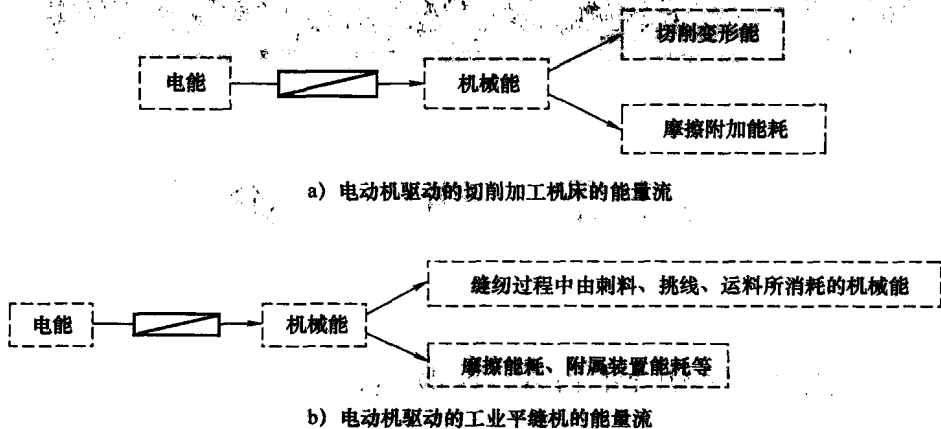


图 1.1 各种机器能量流的变换情况

1. 能量流

能量流在机器中存在于能量变换和传递的整个过程之中。它是机器完成特定工作过程所需的能量形态变化和实现动作过程所需的动力。没有能量流也就不存在机械系统的工作过程。机器中能量流的特征是:机械能转换成其他形态的能,或者其他形态能转换成机械能。也就是说,机器能量流特征是机械能与其他形态能互换,否则就不能称之为机器。

2. 物质流

机器中物质流的主要形式是物料流,它是机器完成特定工作过程中工作的对象和载体。物料流的状况体现了机器的工作过程和工作特点。

物料的种类是多种多样的,有金属材料、纺织品、塑料、皮革、液体、气体等。

物料流指的是物料的运动形态变化、构型变化以及包容和混合等物料变换

过程。这种物流属于物理的、机械的变化。

机器所实现的工艺动作过程就是为了满足特定的物料变换过程。图 1.2 表示缝纫机、包装机械和金属切削机床的物质流情况。

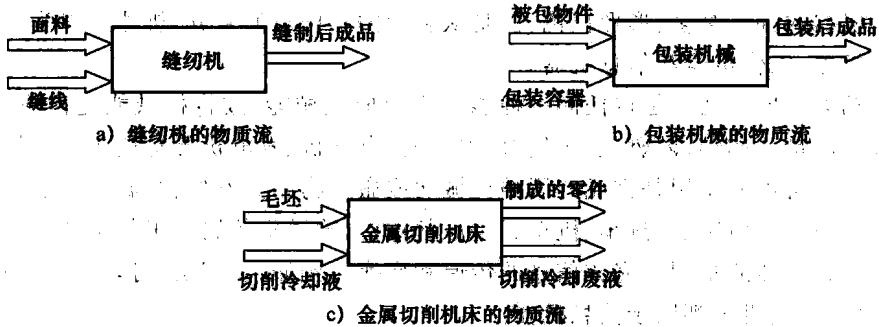


图 1.2 几种机器的物质流情况

物质流细化后可以较全面地反映机器的工作特点和工作过程。物质流在机器中的变化过程和变化规律代表了机器的工作机理,是机器设计的重要依据。

3. 信息流

信息流是反映信号、数据的检测、传输、变换和显示的过程。信息流的功用是机器工作的操纵、控制以及对某些信息实现传输、变换和显示。因此,信息流对于机器实现有序、有效的工作过程是必不可少的。

信息的种类是多种多样的,例如某些物理量信号、机械运动状态参数、图形显示、数据传输等。

在工作机器中,信息流是实现机器的操纵和控制必不可少的。例如,加工中心的工作过程完全是根据给定的信息、数据来控制的。

在信息机器中,信息流的作用更加突出。例如,照相机根据所拍摄景象的远近、外界光线的强弱确定距离和光圈大小以及曝光时间,通过成像原理获得清晰的景象(图 1.3)。



图 1.3 “傻瓜”照相机的主要信息流示意图

信息流主要反映了机器的信号和数据的传递、工作过程的基本特点以及如何实现机器的操纵和控制等,是了解一部机器很重要的方面。

从以上分析可见,任何一台机器的主要特征是从能量流、物质流和信息流中

体现出来的。

1.1.3 机器的类型及其基本特征

机器的种类繁多,形形色色,但是从它们的工作类型来分,机器可以为三类:动力机器、工作机器和信息机器。

动力机器的功用是将任何一种能量变换成机械能,或将机械能变换成其他形式的能量。例如,内燃机、压气机、涡轮机、电动机、发电机等都属于动力机器。

工作机器的功用是完成有用的机械功或搬运物品。例如,金属切削机床、轧钢机、织布机、包装机、汽车、机车、飞机、起重机、输送机属于工作机器。

信息机器的功用是完成信息的传递和变换。例如,复印机、打印机、绘图机、传真机、照相机等都属于信息机器。

不管现代机器如何先进,机器与其他装置的主要不同点是产生确定的机械运动,完成有用的工作过程,随之也发生能量的变换。不论是动力机器、工作机器还是信息机器。虽然它们的工作原理各不相同,但是任何机器都必须产生有序的运动和动力传递,并最终实现功和能的变换、完成特有的工作过程。有序运动和动力的传递主要是依靠机器的运动系统,也就是传动-执行机构系统,因此机械运动方案设计就成为机器设计的关键。

按机器的工作类型来划分机器,可以将众多的机器分成三种机器类型,这将有利于寻求设计的一般规律,根据机器的工作特点来进行机械运动系统的创新设计。

任何机器从总体上看都是实现某种能量流、物质流和信息流的传递和变换的,如图 1.4 所示。因此,可以这样说,任何一种机器都是实现输入的能量、物料、信息和输出的能量、物料、信息的函数关系的机械装置。新机器的设计就是为了建立实现这种函数关系的机械系统。

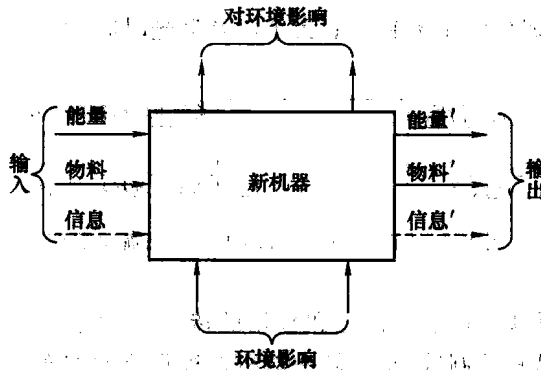


图 1.4 能量流、物质流和信息流的传递和变换

通过对输入的能量、物料、信息形态和输出的能量、物料、信息形态的深入分析,可以求出机器所要实现的功能。再通过功能分析和功能求解来构思和设计新机器的运动方案。

分析三类机器的基本特征将会找到一些设计新机器的线索,便于构思和设计。

三类机器的基本特征可列出表 1.1 来说明。

表 1.1 三类机器的基本特征

特征类别	能量流	物料流	信息流	举例
动力机器	1) 将其他能量变换成机械能; 2) 将机械能变换成其他能量	为了实现能量变换所需的物质运动变换	控制能量变化的速度和大小	1) 内燃机、电动机等 2) 发电机、压气机等
工作机器	1) 实现物料搬移所需的机械能; 2) 实现物料形态变化所需的机械能	物料从一位置搬移至另一位置 上料,切削,下料(上料,包装,下料)	控制物料搬移 控制上料、加工、下料	起重机、汽车等 金属切削机床、包装机等
信息机器	实现信息传递和变换时所需的能量。这种能量较小	信息载体的输送和转移	相关信息的传递和变换	绘图机、复印机、照相机等

由表 1.1 可见,动力机器的最基本特征是其其他形式能量变换成机械能或将机械能变换成其他形式的能量。这种能量变换就是动力器的主要功能。

同样,从表 1.1 可见,工作机器是利用机械能来搬移物料或改变物料的构形。因此,它最基本的特征是物料产生运动、改变构形、进行包容等。工作机器的动作过程相对比较复杂。

信息器的主要功能是传递和变换信息。对于普通的印刷机,其传递、变换原理比较简单,经过给纸、匀墨、印刷到收纸等动作完成。对于静电复印机,其工作原理较为复杂,主要由控制系统、曝光系统、成像系统以及搓纸、输纸及图像转印系统组成,完成曝光、显影、转印、定影等工作。

虽然动力器的最基本特征是机械能与其他形式能量的互变,工作器的最基本特征是搬移物料或改变物料构形,信息器的最主要特征是传递和变换

信息,但是它们都应该具有其他形式的流动,如动力机器还应有物料流和信息流,工作机器还应有能量流和信息流,信息机器还应有能量流和物料流。每种机器的三流(能量流、物料流和信息流)构成了机械系统特有的性质。

1.1.4 动力机器的类别与功能

1) 化学能转换成机械能的动力机器 有汽油机、柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机等,它们将燃油或煤燃烧后使化学能变成热能,形成高压燃气或高压蒸汽,由此产生机械能。这种动力机器,关键是如何有效地将化学能变成热能。由热能转换成机械能的机械装置,其结构一般不太复杂。这类动力机器的设计较多地涉及热能学科。

2) 电能转换成机械能的动力机器 有三相异步电动机、直流电动机、变频电机、伺服电机、步进电机等,它们将电能转换成机械能。这类动力机器的设计主要应用电磁理论和电工学。

3) 机械能转换成其他形式能量的动力机器 有压气机、水泵、发电机等。这类动力机器的设计需按照相关的转换原理,涉及各个专业的知识。

总之,动力器的设计要涉及其他形式能量与机械能相互交换的基本原理。动力机器所涉及的执行机构一般并不复杂,而能量变换原理则往往成为这种机器设计的关键。

1.1.5 工作机器的类别和功能

工作机器的种类繁多,是三种机器中类别最多的一种。过去,这类机器往往按行业来分,有金属切削机床、重型机械、矿山机械、纺织机械、农业机械、轻工机械、印刷机械、包装机械等。按行业和用途来划分机器类别对生产和应用是有利的,但是从设计的角度看,采用按工作特点来对机器分类是比较有利的。应用比较广泛的机器可以分成如下几种:

1) 金属切削机床 如车床、铣床、刨床、磨床、钻床、镗床、加工中心等。它们主要的工作特点是工件和刀具的夹持和相对运动情况。按物料输入、输出状况可确定机床的类别和组成特点。

2) 运输机械 如起重机、输送机、提升机、自动化立体仓库等。它们的工作特点是搬运物料、堆积货物。按物料类别不同和搬运要求确定机器的类型。

3) 纺织机械 如各种纺机、织机。它们的工作特点是将纱线按要求进行纺纱、织布。按纺纱和织布的不同工作原理来确定机器的类型。

4) 缝制机械 如各种平缝机、包缝机、绷缝机、钉扣机、锁眼机、绣花机等。它们的工作特点是按缝制要求运送衣料和缝线,形成衣料成品。不同的缝制要求构成不同的缝制设备。

5) 包装机械 如糖果包装机、啤酒罐装机、软管充填封口机、制袋充填包装机等。它们的工作特点是将物料(包括固体、液体、气体)充入容器或用包装材料包容物料。由于物料形态不同,包装物具体情况相差较大,包装机械的执行动作构想和执行动作配合就会有不同的方案。

工作器的设计关键在于如何构想物料的动作过程,实现相应的工艺动作过程。

1.1.6 信息机器的类别与功能

信息机器的种类不算多,一般有打印机、复印机、传真机、绘图机、照相机等。信息机器的功能是进行文字、图像、数据等的传递、变换、显示和记录。信息机器由于工作原理的不同,其具体的结构形式也多种多样。信息机器是精密机械、传感技术、计算机控制技术、微电机技术等多种技术融为一体发展而成的典型的机电一体化产品。例如,打印机由打印机构、字车机构、走纸机构三部分组成;静电复印机由曝光、控制、成像和搓纸输纸图像转印等四部分组成;绘图机是通过接口接受计算机输出的信息,经过控制电路向 X 轴步进电机和 Y 轴步进电机发出绘图指令,由电动机驱动滑臂和笔爪滑架移动,同时逻辑电路控制绘图笔运动,在绘图纸上绘制所需图形。

信息器的设计要求对文字、图像、数据等的传递、变换、显示和记录等工作原理、实现技术要有全面的掌握。信息机器虽然种类不算多,但是设计难度较大,而且这类机器更新速度较快,机电一体化水平较高。

1.1.7 机构的基本类型和主要特征

人们在创造和发明各种各样新机器的过程中,都会认识到机构是器的主要组成部分。要设计好机器,首先应对机构的基本类型和主要特征有较深刻的认识。

1. 机构的主要特征

从机构是器的组成部分来看,把机构看成是一个抽象的概念。机构应具备以下两个特征:

- 1) 机构是人为组合体;
- 2) 机构应具备确定的机械运动。

如此看来,把机构看成确定机械运动的人为组合体,是为了深入研究机构特征,更好地组成机构系统,完成器的功能。

同时,也有把机构看成完成某种运动和动力转换的机械装置。这种机构概念将机构看成具有确定机械运动的人为组合体,它本身就是为了代替人类的劳动,与器没有大的区别。