

“十二五”上海重点图书

机械原理

JIEXIE YUANLI (第二版)

主编 高 志

参编 殷勇辉 章兰珠



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

“十二五”上海重点图书

机械原理

JIXIE YUANLI (第二版)

主编 高 志

参编 殷勇辉 章兰珠



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

机械原理 / 高志主编. —2 版. —上海:华东理工大学出版社, 2015.1
ISBN 978-7-5628-4070-1

I. ①机… II. ①高… III. ①机构学—高等学校—教材 IV. ①TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 237843 号

内容提要

本书是机械原理精品课程建设的成果之一。全书以培养现代工程技术人才为目标,以提高机械系统方案创新设计能力为重点。全书内容分为五篇,第一篇:总论,第二篇:机构的组成和分析,第三篇:常用机构及其设计,第四篇:机械系统的动力学,第五篇:机械运动系统的方案设计。

本书可作为高等院校机械类各专业的教学用书,也可作为相关专业及工程技术人员的参考书。

“十二五”上海重点图书

机械原理(第二版)

主 编 / 高 志

责任编辑 / 徐知今

责任校对 / 李 晔

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地 址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电 话: (021)64250306(营销部)

传 真: (021)64252707

网 址: press.ecust.edu.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 18.75

字 数 / 475 千字

版 次 / 2015 年 1 月第 2 版

印 次 / 2015 年 1 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-4070-1

定 价 / 39.50 元

联系我们: 电子邮箱 press@ecust.edu.cn

官方微博 e.weibo.com/ecustpress

淘宝官网 <http://shop61951206.taobao.com>



前 言

机械原理是研究机械共性问题的课程,是培养机械类专业人才的重要专业基础课程,是联系基础课程与专业课程的桥梁,在学科体系中起着承上启下的作用。在培养具有创造性机械人才所需的知识结构中占有核心地位。

华东理工大学 2003 年开始启动精品课程建设工作,机械原理课程经过 10 余年的课程建设,成为上海市精品课程。机械原理课程在教学内容、教学方法上进行了多方位的探索,逐步形成了一套效果显著、特色鲜明的教学模式,使教学质量得到稳步提高。

本书的编写以现代工程技术人才为培养目标,以创新型、应用型机械类人才为对象,内容力求简洁、新颖、实用、利于教学。

本书在重点阐述机械原理基本概念、基本原理和基本方法的同时,在选材上注重体现应用性和实践性。在注重理论推导过程的同时,加强了机构应用内容的介绍,在教学方法上,既采用概念清晰、方法步骤明确的图解法,又注重适应现代技术需求、易于采用计算机精确求解的解析法,以提高教学方法的选择性和学习的灵活性。

本书主要作为高等工科院校机械类本科各专业机械原理课程教材,教学计划适宜于课堂教学 56 学时左右,实验课 6~8 学时,课程设计 1 周。

本书是华东理工大学机械原理精品课程建设小组在“十五”国家重点图书《机械原理》的基础上编写的第二版。全书由高志主编,章兰珠(1~4 章)、高志(5~8 章)、殷勇辉(9~12 章)分别负责相关章节的再版工作,最后由高志、殷勇辉、章兰珠共同对全书进行统一审核。

华东理工大学出版社对本书的编写和出版工作给予了极大的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,真诚希望同仁及广大读者批评指正。

编 者

2014 年 10 月

目 录

第一篇 总 论

1 绪论	1
1.1 机械原理课程的研究对象	1
1.2 机械原理课程的地位、研究内容及学习方法	5
1.3 机械原理学科发展及机械工业展望	6
思考题	8

第二篇 机构的组成和分析

2 机构的组成和结构分析	9
2.1 机构的组成	9
2.2 机构运动简图	13
2.3 机构的自由度及其计算	18
2.4 平面机构的组成原理及结构分析	22
思考题与习题	26
3 平面机构的运动分析	31
3.1 机构运动分析的目的和方法	31
3.2 速度瞬心法在平面机构运动分析中的应用	32
3.3 整体运动分析法在平面机构运动分析中的应用	34
3.4 杆组法在平面机构运动分析中的应用	38
3.5 典型题解析	44
思考题与习题	48
4 平面机构的力分析和机械效率	53
4.1 机构力分析的目的和方法	53
4.2 作用在机构上的力	54
4.3 杆组法在平面连杆机构动态静力分析中的应用	55
4.4 运动副中的摩擦和自锁	60
4.5 考虑摩擦时平面机构的动态静力分析	63
4.6 机械的效率与自锁	66
4.7 典型题解析	71
思考题与习题	73

第三篇 常用机构及其设计

5 平面连杆机构及其设计	77
5.1 连杆机构及其传动特点	77
5.2 平面四杆机构的基本类型及其演化	78
5.3 平面四杆机构的基本特性	86
5.4 平面连杆机构的设计	93
5.5 多杆机构的应用简介	102
思考题与习题	103
6 凸轮机构及其设计	108
6.1 凸轮机构的应用与分类	108
6.2 从动件的运动规律设计	111
6.3 凸轮轮廓曲线的设计	116
6.4 凸轮机构基本参数设计	124
思考题与习题	127
7 齿轮机构及其设计	130
7.1 齿轮机构的应用、特点与分类	130
7.2 齿廓啮合基本定律与齿轮的齿廓曲线	132
7.3 渐开线齿廓	134
7.4 渐开线齿廓的啮合特性	135
7.5 渐开线标准齿轮的基本参数和尺寸计算	136
7.6 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	142
7.7 渐开线齿轮的加工	148
7.8 变位齿轮传动	152
7.9 斜齿圆柱齿轮传动	160
7.10 蜗杆传动机构	168
7.11 直齿圆锥齿轮传动	172
7.12 典型题解析	176
思考题与习题	178
8 齿轮系及其设计	182
8.1 齿轮系及其分类	182
8.2 定轴轮系的传动比	184
8.3 周转轮系的传动比	187
8.4 复合轮系的传动比	191
8.5 轮系的功用	194
8.6 轮系的设计	197
8.7 其他行星传动简介	201
思考题与习题	206
9 其他常用机构	210

9.1 间歇运动机构	210
9.2 万向联轴节机构	223
9.3 螺旋机构	226
思考题与习题	228

第四篇 机械系统的动力学

10 机械的运转及其速度波动的调节	230
10.1 概述	230
10.2 机械系统运动方程的建立	233
10.3 机械系统运动方程式的求解	237
10.4 机械速度波动及其调节	239
思考题与习题	244
11 机械的平衡	247
11.1 机械平衡的目的、分类与方法	247
11.2 刚性转子平衡的原理与方法	248
11.3 刚性转子的平衡试验	253
11.4 平面机构的平衡	254
思考题与习题	257

第五篇 机械运动系统的方案设计

12 机械运动系统的方案设计	260
12.1 机械运动系统方案设计的内容	260
12.2 执行机构的功能原理设计	261
12.3 执行机构的运动规律设计	263
12.4 执行机构的型式设计	267
12.5 执行机构的运动协调设计	273
12.6 原动机的选择	277
12.7 机械传动系统方案设计	279
12.8 机械系统运动方案的评价	286
思考题与习题	288
附录 渐开线函数 $\text{inv}\alpha_x$ 表	289
参考文献	291

第一篇 总论

篇导学

本篇介绍机械原理课程的研究对象和研究内容;从认识机器入手,了解机器与机构的特点和组成,形成机械原理的基本概念;掌握本课程的学习特点及本学科的发展状况和趋势。

1 绪论

1.1 机械原理课程的研究对象

机械原理是机器与机构理论的简称,它是一门以机器和机构为研究对象的学科,是一门研究机械的运动学、动力学分析及设计基本理论问题的课程。机器于我们而言并不陌生,如家用的洗衣机、自行车;旅行用的汽车、火车、飞机;建筑用的推土机、吊车;加工用的车床、铣床、刨床等。虽然机器种类繁多,其用途和结构各不相同,但组成机器的常用机构是有限的,本课程通过学习机构的组成和分析,来掌握常用机构的设计、分析和综合方法,以此研究各种机构和机器所具有的一般共性问题。

1.1.1 机器

尽管各种机器的组成、功能和运动特点不尽相同,但它们都具有如下三个共同特征:

- (1) 机器是人为的实物组合;
- (2) 机器各部分之间具有确定的相对运动;
- (3) 机器具有确定的功能,可以用来转换能量、传递信息、完成有用功,以代替或减轻人类的劳动。

如图 1-1 所示为空气压缩机的工作原理,它将机械能转换成气体的势能。压缩机的动力来自于曲轴 8,通过连杆 7 将曲轴 8 的旋转运动转变成滑块的往复运动,并通过连接杆 4 带动活塞 3 做往复运动。当活塞 3 从左向右运动时,气缸 2 内的气腔容积增大,腔内压力低于进气口压力 p_0 ,此时进气阀 9 打开,排气阀 1 关闭,压力较低的外部气体充满气腔;当活塞 3 从右向左运动时,弹簧 10 使进气阀 9 关闭,此时气体处于密闭状态,随着运动的继续,腔内气体受到压缩压力增高,当腔内压力大于排气口压力 p 时,排气口 1 打开,压力较高的压缩空气向外排出。

在图 1-1 中,滑块 5、机架 6、连杆 7、曲轴 8 组成了一个机构,它们将曲轴的旋转运动转变成滑块的往复运动,这种机构称为曲柄滑块机构。

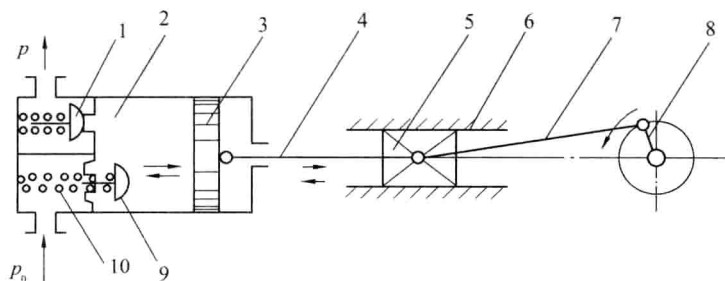


图 1-1 空气压缩机原理图

图 1-2 所示为单缸四冲程内燃机结构图,它是由气缸体 1,曲轴 2,连杆 3,活塞 4,排气阀 5,火花塞 6,进气阀 7,顶杆 8,齿轮 9、10、11,凸轮 12 等组成的。燃气推动活塞做往复移动,经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次,曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。其运动关系如图 1-3 所示。这样,当燃气推动活塞运动时,各构件协调地动作,进、排气阀有规律地启闭,加上汽化、点火等装置的配合,就把热能转换为曲轴回转的机械能。

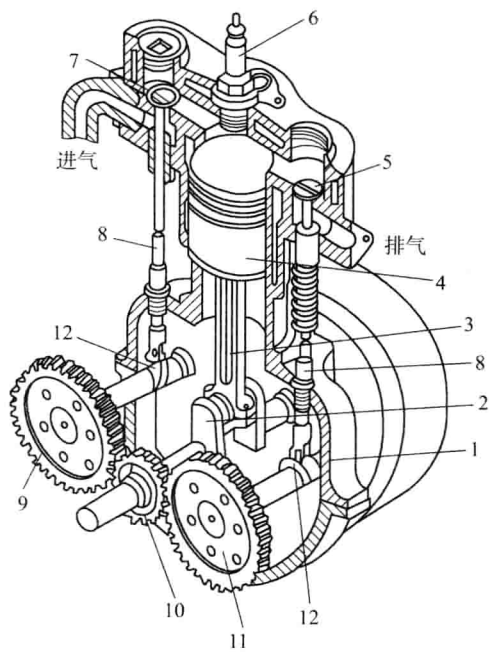


图 1-2 内燃机结构图

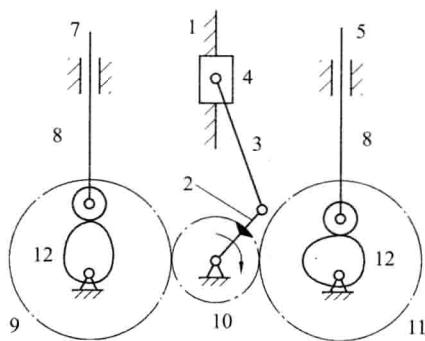


图 1-3 内燃机机构运动关系

内燃机中主要包含了以下机构(图 1-3):

(1) **曲柄滑块机构**:由曲轴 2(曲柄)、连杆 3、活塞 4(滑块)和汽缸体 1(机架)组成,活塞为主动件,曲轴为从动件,其功用为将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动,用于实现移动与转动之间的运动变换,完成吸气、压缩、做功、排气等工作过程所需的运动。

(2) **凸轮机构**:由凸轮 12、顶杆 8 和机架(内燃机壳体)组成,两套凸轮机构相差一定的相位,分别控制进、排气阀的动作。

(3) **齿轮机构**:由小齿轮 10、大齿轮 9、11 组成,其传动比为 2。用于保证进气阀 7、排气阀 5 和活塞 4 之间形成一定的运动规律(曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次)。

另外,内燃机的工作循环包括进气、压缩、做功、排气四个冲程。这四个冲程中,只有一个冲程做功,因此,单缸四冲程内燃机的运转不平稳,常在曲轴上安装一个具有很大转动惯量的圆盘,称之为“飞轮”,其目的是减少速度波动。

从如上所介绍的各种类型机器中可以看出,尽管其用途和结构各不相同,机器的主体部分都是由各种运动构件组成的。根据工作类型或用途的不同,机器可分为动力机器、加工机器、运输机器和信息机器。

动力机器的用途是转换机械能。将机械能转换为其他形式能量的机器称为换能机,如空气压缩机(图 1-1)。将其他形式的能量转换为机械能的机器称为原动机,如蒸汽机、内燃机(图 1-2)、电动机等。

加工机器用来改变被加工对象的尺寸、形状、性质或状态。如金属加工机床、纺织机、轧钢机、包装机等。

运输机器用来搬运物品和人,如各种汽车、飞机、起重机、运输机。加工机器和运输机器都要完成有用功。

信息机器的功能是处理信息,完成信息的传递与变换,例如复印机、打印机、照相机等。信息机器虽然也做机械运动,但其目的是处理信息,而不是完成有用的机械功,因而其所需的功率甚小。

1.1.2 机构

在理论力学中我们对一些机构的运动学、动力学问题进行过研究。而上面提到的曲柄滑块机构、齿轮机构、凸轮机构等组成了机器。那么什么是机构呢?

用来传递运动和力的、有一个构件为机架的、用构件间能够相对运动的连接方式组成的构件系统称为机构。

机构所涉及的基本单元是构件,如曲轴、连杆、滑块等,它们具有各自的运动特征。如图 1-4 所示为内燃机的连杆,它由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3、4 和 5 以及螺栓 6、螺母 7、开口销 8 等零件构成。这些零件之间没有相对运动,它们是作为一个整体来运动的。构件和我们常用的另一个术语——零件——有所不同。构件是运动的单元,而零件是制造的单元。构件可以由一个零件组成的,也可以是由多个没有相对运动的零件组成的。

机构具有以下两个特征:

- (1) 机构是人为的实物组合;
- (2) 机构各部分之间具有确定的相对运动。

由此可见,机构具有机器的前两个特征。

机器是由各种机构组成的,它可以完成能量的转换或做有用的机械功,而机构则仅仅起着传递运动和力的作用。也就是说,机构是实现预期机械运动的实物组合体,而机器是由各种机构组成的,能实现预期机械运动并完成有用机械功或转换机械能的机构系统。由于机构具有

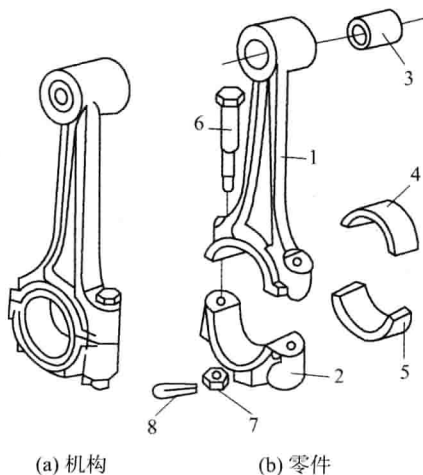


图 1-4 内燃机的连杆

机器的前两个特征,所以从结构和运动的观点来看,两者之间并无区别,传统上认为,机械是机器和机构的总称,将机器和机构均用“机械”来表示。

1.1.3 现代机械的组成

随着科技的发展,机械的内涵不断变化。机电一体化已成为现代机械的最主要特征,机电一体化拓展到光、机、电、声、控制等多学科并形成有机融合。现代机械系统综合运用了机械工程、控制系统、电子技术、计算机技术和电工技术等多种技术;将计算机技术融合于机械的信息处理和控制功能中,实现机械运动、动力传递和变换,完成设定的机械运动功能。就功能而言,一台现代化的机械包含四个组成部分:

(1) 动力部分:其作用是向机器提供动力,称之为原动机,可采用人力、畜力、液力、电力、热力、磁力、压缩空气等作为动力源。其中以利用电力(电动机)和热力(内燃机)的原动机应用得最为广泛。

(2) 执行系统:执行系统是直接完成机器功能的部分,按照工艺要求完成确定的运动,其动力由原动机通过传动系统提供。因此,在机器中,执行系统处于整个传动路线的终端,执行系统的工作原理和结构随机器的用途不同而不同,它属于各种专业机械课程研究的内容。

(3) 传动部分:传动部分介于驱动部分和执行部分之间。将原动机的运动和动力传递给执行装置,并实现运动速度和运动形式的转换。例如,电动机都是做回转运动,而机器的执行部分则可能有各种运动形式:如回转、往复摆动、往复移动、间歇运动等,还有的执行部分要走出一定的轨迹,这就需要实现运动形式转换的各种机构,即传动部分。另外,一般原动机的转速都比较高,而机器的执行部分速度则各不相同,而且许多机器还需要执行装置可以有多种不同的速度,这就需要实现速度变换的机构,此亦为传动部分。从上一节的实例中可以清楚地看出,连杆机构、凸轮机构、棘轮机构用来实现运动形式的转换,而齿轮机构和带传动则用来实现速度变换。

(4) 控制部分:它的作用是控制机器各部分的运动,处理机器各组成部分之间的工作协调。以及与外部其他机器或原动机之间的关系协调。如对各种传感器的信息收集,输入计算机进行处理,并向机器各个部分发指令等。随着现代机械设备自动化程度的提高,控制部分将变得越来越重要。

如图 1-5 所示的工业机器人的构造,工业机器人由主体、驱动系统和控制系统三个基本部分组成。主体即机座和执行机构,包括臂部、腕部和手部,有的机器人还有行走机构。执行机构由多个刚性的杆件所组成,各杆件间由运动副相连(在机器人学中,通常称这些运动副为关节),使得相邻杆件间能产生相对运动。大多数工业机器人有 3~6 个运动自由度,其中腕部通常有 1~3 个运动自由度;驱动系统包括动力装置和传动机构,用以使执行机构产生相应的动作;控制系统是按照输入的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号,并进行控制。

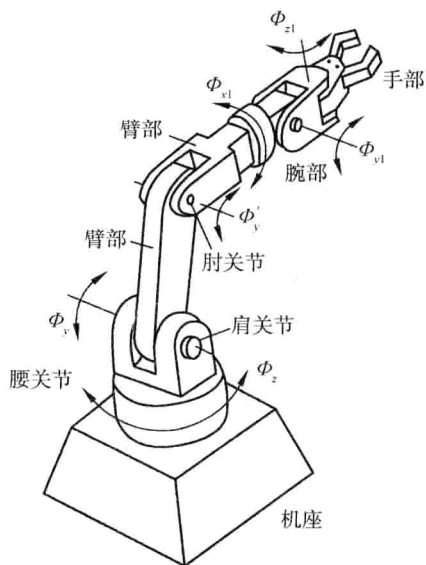


图 1-5 工业机器人

图 1-6 为“神舟”飞船模拟图,飞船各组成系统通常按照功能或应用情况分乘员舱、服务舱、轨道舱等。乘员舱是航天员在飞行过程中生活和工作的地方,除结构外,它包含了全部环境控制与生命保障系统,如用于空气更新、废水处理和再生、通风、温度和湿度控制等的环境控制和生命保障系统、报话通信系统、仪表和照明系统、宇航服、载人机动装置和逃逸系统等。服务舱用于装载各种消耗器、安装姿态和轨道控制系统发动机。轨道舱主要用于装载各类科学探测与试验仪器。宇宙飞船都有基本的结构系统、通信系统、电源系统、温控系统、遥测系统、姿态控制系统、变轨系统和推进器等。在回收时,只需将乘员舱实施软着陆并安全回收。而宇宙飞船的发射塔、运载火箭也都是组成庞大的机械系统。



图 1-6 “神舟”飞船模拟图

1.2 机械原理课程的地位、研究内容及学习方法

1.2.1 机械原理课程的地位

机械原理是许多产品和现代技术装备创新的基础和技术创新的核心,它不仅对培养学生的工程素质和综合能力具有重要的教学作用,而且在整个机械类创新型人才培养的全局中占据重要的教学地位。作为一门技术基础课,它一方面比物理、理论力学等理论课程更加结合工程实际;另一方面又不同于流体机械、机械装备设计等研究某一类机械所具有的特殊问题的专业课程;它具有更宽的研究面和更广的适应性。在专业教学体系中,机械原理课程具有承上启下的作用,为学生学习后续课程和掌握专业知识以及新的科学技术打下基础。通过本课程的学习,使学生掌握关于机构的结构、机构运动学和机器动力学的基本理论和基本知识,初步具备机构分析和设计的综合能力,并得到必要的基本技能训练。

1.2.2 机械原理课程的研究内容

机械原理课程的研究内容一般可以概括如下:

(1) 对已有机械进行分析:它包括机构的结构分析,即研究机构的组成原理、机构运动的可能性及确定性条件;机构的运动分析,即研究在给定原动件运动的条件下,机构各点的轨迹、位移、速度和加速度等运动特性;机构的动力分析,即研究机构各运动副中力的计算方法、摩擦及机械效率等问题。

(2) 常用机构的分析和设计问题:如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等常用机构的相关概念、结构特点、基本设计理论与方法。它们是机械原理课程学习的主要内容。

(3) 机器动力学问题:研究在已知力作用下,具有确定惯性参量的机械系统的真实运动规律;分析机械运动过程中各构件之间的相互作用力;机械运转过程中速度波动的调节和飞轮设计问题,回转构件和机构平衡的理论和方法。

(4) 根据运动和动力性能方面的要求设计新机械:包括机构的选型、机构的构型、机构的创新设计、机构的运动设计及动力设计。最后确定能够满足功能要求的机构运动简图。

本课程着重于根据运动和动力要求,设计机构的结构类型,确定机构的几何尺寸,亦即进

行机构的结构综合和运动综合,但不涉及各零件的强度计算、材料选择、具体结构形状、工艺要求等方面的内容。

1.2.3 机械原理课程的学习方法

在学习本课程的过程中,最好把所学理论知识与工程实践相结合,从对现有机器的分析与观察中体会本课程介绍的基本理论与方法,从本课程知识体系的学习中领悟现有机器的长处、发现现有机器的不足,这样,既可以提高本课程的学习效率,又可巩固和加深本课程所学的知识。具体学习要求综述如下:

(1) 熟悉和掌握各种常用机构的结构和运动特点,深入理解满足实际生产需要的机构分析和设计方法。

(2) 熟悉和掌握机械运动简图的画法,习惯采用运动简图来描述机构和机器,分析机构和机器的运动情况。

(3) 深刻理解课程中的基本概念,如各种机构的压力角、运动的相对性和运动几何学等基本概念,这样对更好地掌握课程内容,能起到事半功倍的效果。

(4) 深入理解和全面掌握本课程的基本研究方法。这些基本研究方法有:速度瞬心法、杆组分析法、转换机架法、机构演化法、等效法等。这些方法使我们能容易地对各种机构进行分析和设计。

(5) 注意在学习中联系实际、融会贯通,求解习题前应先重点复习有关例题,归纳总结解题思路,以达到举一反三的效果。

(6) 强化工程观点,注重实践环节,使学生具备机械系统运动方案设计的能力。通过实验课的安排和课程学习结束后的课程设计,使课程学习的理论知识得到综合运用。

1.3 机械原理学科发展及机械工业展望

1.3.1 机械原理学科发展

机械原理学科是机械学学科的重要组成部分,是机械工业和现代科学技术发展的重要基础。这一学科的主要组成部分为机构学和机械动力学。

18 世纪下半叶,由于资本主义的兴起,在英国产生了世界第一次工业革命,推动了用机械化生产代替手工生产的过程,大大促进了纺织机械、缝纫机械、农业机械、蒸汽机、内燃机等各类机械的产生和应用。同时,也促进了机械工程学科的形成和发展。机构学在原来的机械力学的基础上发展为一门独立的学科。

机构学的研究对象是机器中的各种常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。它的研究内容是机构结构的组成原理和运动确定性,以及机构的运动分析和综合。机构学在研究机构的运动时仅从几何的观点出发,而不考虑力对运动的影响。如内燃机、压缩机等的主体机构都是曲柄滑块机构,这些机构的运动不同于一般力学上的运动,它只与其几何约束有关,而与其受力、构件质量和时间无关。1875 年,德国的 F. 勒洛把上述共性问题从一般力学中独立出来,编著了《理论运动学》一书,创立了机构学的基础。书中提出的构件、运动副、运动链和机构运动简图等概念,以及相关观点和研究方法至今仍在沿用。1841 年,英国的 R.

威利斯发表《机构学原理》。早期的机构学局限在具有确定运动的刚性构件系统,且将运动副视为没有间隙的,将机器的概念局限于由原动机、传动机械和工作机械组成,用于代替人类的劳动。

机械动力学的研究对象是机器或机器的组合。研究内容是确定机器在已知力作用下的真实运动规律及其速度调节、摩擦力和机械效率、惯性力的平衡等问题。19世纪中叶以来,由于各类机器的出现,工作负荷变化很大,产生很大速度波动,影响机器的工作质量,且在运动副中产生附加动压力,引起振动,降低工作精度和可靠性。因此,机械动力学也逐步形成。进入20世纪,出现了把机构学和机械动力学合在一起研究的机械原理。1934年,中国人刘仙洲所著的《机械原理》出版。1969年,在波兰成立了国际机构和机器原理协会。

传统的机械原理研究对低速运转的机械一般是可行的。但随着机械向高速、高精度方向发展,构件接触面间的间隙、构件的弹性或温差变形以及制造和装配等所引起的误差必将影响运动的变化,因而从20世纪40年代开始,提出了机构精确度问题。由于航天技术以及机械手和工业机器人的飞速发展,机构精确度问题已越来越引起人们的重视,并已成为机械原理的不可缺少的一个组成部分。

20世纪70年代机电一体化概念的提出,形成了以计算机协调和控制的现代机械,如并联机床、柔性机器人、航天机械以及21世纪的智能机械、微型机械及仿生机械等。机器和机构的概念也有相应的扩展。如在某些情况下,组成机构的构件已不能再简单地视为刚体;有些时候,气体和液体也参与了实现预期的机械运动,如液动机构、气动机构等。现代机械概念的形成使得机构学发展成为现代机构学。将构件扩展到了弹性构件、柔性构件等,运动副也包括了柔性铰链。机械动力学的研究对象已扩展到包括不同特性的动力机和控制调节装置在内的整个机械系统,控制理论已渗入到机械动力学的研究领域。在高速、精密机械设计中,形成了考虑机构学、机械振动和弹性理论结合起来的运动弹性体动力学学科。

1.3.2 机械工业发展展望

随着科学技术的深入发展,降低能耗、保护环境、高精度、高性能的各类机械产品将不断涌现,机器的应用将不断进入过去从未达到过的领域。如人类正在进入太空、微观世界、深海(6 000米及以上)等领域,未来一段时期机械工业发展方向主要表现在:

(1) 以太阳能和核能为代表的洁净能源的动力机械将会出现并投入使用,如燃氢发动机驱动的汽车将会行驶在公路上。

(2) 载人航天技术更加成熟,人类乘坐宇宙飞船登陆火星、月球和其他星球,甚至可以实现太空旅行和其他星球居住。

(3) 高精度、高效率的自动机床、加工中心更加普及,CAD/CAPP/CAM系统更加完善。

(4) 微型机械将会应用到医疗和军事领域,人工智能机械将会大量出现。

(5) 绿色机械(不污染环境的报废机械又称为绿色机械)将会取代传统机械,设计方法智能化,大量工程设计软件取代人工设计与计算过程。

(6) 民用生活机械进入家庭,兵器更加先进,非金属材料 and 复合材料在机器中的应用日益广泛。

总之,未来的机械在能源、材料、加工制作、操纵与控制等方面都会发生很大变革。未来机械的种类更加繁多,性能更加优良,将会使人类生活更加美好!

思考题

- 1-1 试论述机器和机构的概念。
- 1-2 机器主要由哪几部分组成?
- 1-3 列举日常生活所用到的机械实例,分析其功用和结构组成。
- 1-4 机械原理课程的主要研究内容是什么?
- 1-5 机械原理课程在机械类专业人才培养中有什么作用?

第二篇 机构的组成和分析

篇导学

本篇讲述机构的组成和结构分析,介绍机构的基本概念和基本理论,并在此基础上进行机构的运动分析和力分析,以及机构的机械效率,为后续常用机构分析奠定基础。

2 机构的组成和结构分析

章导学

本章主要介绍机构的组成、运动副、运动链、约束和自由度等基本概念。分析组成机构的要素及机构具有确定运动的条件;研究机构的组成原理及结构特点。本章的重点是机构自由度的计算及机构运动简图的绘制方法。在进行平面机构自由度的计算时,要掌握有关虚约束的识别及处理问题,以及平面机构组成的基本原理和规律。

2.1 机构的组成

机构是具有相对运动的构件组合体,各构件按一定方式连接而成。这种构件间的可动连接称为运动副。因此,机构是由构件和运动副组成的。

2.1.1 构件

构件是组成机构的基本要素之一,是运动的单元体。构件可以由一个零件组成,也可以由多个彼此无相对运动的零件组成。

如图 1-2 所示,在内燃机中,曲柄既是一个零件,同时也是一个构件。而连杆作为一个参与运动的构件,则是由连杆体、连杆头、螺栓、螺母、垫圈等多个零件刚性连接组成。如图 1-4 所示。

构件上的每一个零件都必须单独加工制作,因此从加工的观点来说,零件是制造的单元体。

本课程在分析和研究机构的运动时,以构件作为主要研究对象。

2.1.2 运动副

运动副是组成机构的另一基本要素。在机构中,每个构件都是以一定方式与其他构件相

互连接,这种连接是可动的,但又受到一定的约束,以保证构件间具有确定的相对运动。两构件之间的这种直接接触而又能产生一定相对运动的活动连接称为运动副。

1. 运动副元素

两构件组成运动副时,并不是整个构件都参与接触。因此,通常将两构件上参与接触而构成运动副的表面(点、线、面)称为运动副元素。

如图 2-1 所示,轴与轴承组成转动副,运动副元素分别为圆柱面和圆柱孔面;滑块与导轨组成移动副,运动副元素分别为棱柱面和棱柱孔面;一对齿轮啮合组成齿轮副,运动副元素为齿廓曲面。

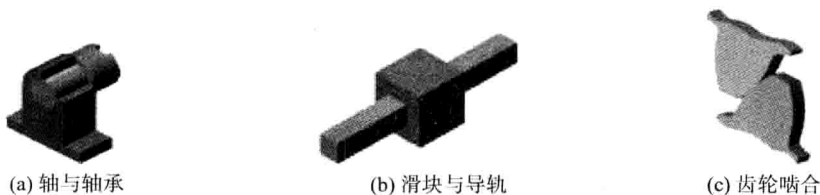


图 2-1 运动副元素

2. 高副和低副

高副:两构件通过点或线接触而构成的运动副称为高副。齿轮副和凸轮副是机构中两种常见高副。

低副:两构件通过面接触而构成的运动副称为低副。转动副和移动副均属于低副。

3. 自由度与约束

构件具有的独立运动的数目,称为构件的自由度。当物体在三维空间自由运动时,其自由度有 6 个,即分别沿 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴的移动和绕它们的转动。当物体在平面内,如在 XY 平面运动时,其自由度有 3 个,即分别沿 X 、 Y 两个坐标轴的移动和绕 Z 轴的转动。

两构件组成运动副后,相互间的运动会受到一定程度的限制,这种限制作用称为约束。如图 2-1(a)所示的轴和轴承组成转动副后,轴体只能绕一个坐标轴转动。这说明两构件以某种方式相连接而构成运动副后,其相对运动便受到约束,其自由度就相应减少,减少的数目等于该运动副所引入的约束数目。

由于两构件构成运动副后,仍需具有一定的相对运动,故当物体做空间运动时,经运动副引入的约束数目最多只能为 5 个,而剩下的自由度至少为 1 个。当物体做平面运动时,经运动副引入的约束数目最多只能为 2 个,而剩下的自由度至少为 1 个。

4. 运动副的分类

运动副有多种分类方法,常见的有以下几种:

(1) 根据运动副所引入的约束数分类。把引入一个约束的运动副称为 I 级副,引入两个约束的运动副称为 II 级副,依此类推,最末为 V 级副。

(2) 根据构成运动副的两构件的接触情况分类。理论上凡是以面接触的运动副称为低副,以点或线相接触的运动副称为高副。

(3) 根据构成运动副的两元素间相对运动的空间形式进行分类。如果运动副元素间只能相互做平面平行运动,则称之为平面运动副,否则称为空间运动副。应用最多的是平面运动副,它只有转动副、移动副(统称为低副)和平面高副三种形式。

(4) 根据运动副的锁合形式进行分类。运动副元素间的相互接触和所允许的相对运动,