



“十三五”普通高等教育规划教材

机械原理 (第二版)

申屠留芳 主 编
席平原 桂 艳 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

机械原理 (第二版)

主 编 申屠留芳
副主编 席平原 桂 艳
编 写 李贵三 杨 平 魏 伟 王 衍
主 审 冯 江



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

本书分四篇共 13 章,第一篇为平面低副机构的分析与设计,包括机构的结构分析、平面连杆机构的分析和设计、其他低副机构;第二篇为平面高副机构的分析与设计,包括凸轮机构及其设计、齿轮机构啮合传动与设计、轮系及其设计、其他高副机构;第三篇为机构动力学基础,包括平面机构的运动分析、运动副中的摩擦和机械效率、平面机构的动态静力分析、机械的平衡、机械的运转及其速度波动的调节;第四篇为机构设计的创新方法,包括机械创新设计基础。每章包括学习要点、复习思考题、习题及本章知识点。附录为习题参考答案及解析法求解程序。本书内容通俗易懂,使学生对机械原理基本理论的实质有所了解,在掌握和运用基本理论和方法的过程中,能够超越课程的界限去思考和研究问题。

本书可作为普通高等院校机械类本科机械原理课程的教材,还可作为机械类专业课、专业选修课、毕业设计等教学环节的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/申屠留芳主编. —2 版. —北京:中国电力出版社, 2016.6

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5123-9349-3

I. ①机… II. ①申… III. ①机构学-高等学校-教材
IV. ①TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 143834 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市百盛印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 2 月第一版

2016 年 6 月第二版 2016 年 6 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 485 千字

定价 40.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

本书是以教育部本科教材指导委员会 2009 年颁布的机械原理课程的“教学基本要求”为依据编写的,参考了课程指导委员会最近提出的“机械原理课程教学改革建议”,同时,吸收了编者多年来在教学改革中的成果及学科发展的新动向,着重从培养学生创新思维能力、开发创造能力入手,适当扩充了相关内容,以期在培养具有创新能力的人才方面发挥一定的作用。

本书以增加逻辑层次、明晰内容体系、培养创新能力为主线,将内容分四篇,各篇独立设章,共 13 章。第一篇为平面低副机构的分析与设计,第二篇为平面高副机构的分析与设计,第三篇为机构动力学基础,第四篇为机构设计的创新方法。本书主要以平面机构为研究对象,阐述其基本设计原理,尽量通俗易懂,使学生对机械原理基本理论的实质有所了解,在掌握和运用基本理论和方法的过程中,能够超越课程的界限去思考和研究问题。

本书内容适于对学时和内容要求不同的各机械(近机械)类专业的学生,具有如下几个方面的特色:

(1) 全书以产品实现全过程(市场调研→任务提出→方案设计→创新思想萌生与创造技术应用→运动学性能分析→动力学性能分析→工作能力设计→结构设计→产品进入市场→用户→产品报废、回收)中所用机械原理的基础理论和解决工程实际问题的一系列机构学的方法、技术为依据来考虑教材内容的取舍,对学生今后学习起到一个较好的衔接作用。

(2) 各章以学过的知识和实际工程入手,以便增加学生的感性认识和对基本理论的深入理解,培养其创新能力。各章有内容提要,介绍本章主要内容及学习要求,每章都附有复习思考题、习题及本章知识点,附录中给出习题参考解答,习题的难度适中,基本上做到由浅入深,便于学生进行复习及自学。

(3) 为了突出提高创新能力问题,专门在最后单列一章,介绍了创新思维、原理、方法和技术,并用实例说明如何创造性地运用已学基本理论解决实际工程问题的基本方法,既强调对基本理论的掌握,更强调如何运用基本理论创造性解决问题的能力,以利于增强学生的基本素质和提高创新能力。也为学生进一步的学习和机构的创新发明提供必要的理论基础。

(4) 为了突出提高创新能力问题,在修订版教材中引入现代设计分析计算软件 MATLAB/simulink 进行机构的设计以及机构的运动和动力学仿真分析,能够使设计分析过程简单方便、快捷直观,提高学生学习《机械原理》课程的积极性,培养学生运用现代化手段解决设计问题的能力。

教材中打“*”的章节为选学内容。

本书由淮海工学院老师编写,申屠留芳担任主编,席平原、桂艳担任副主编,李贵三、杨平、魏伟、王衍参编。申屠留芳编写绪论部分内容、第 1 章、第 4 章、第 9 章、第 13 章部分内容及第 2 章部分内容,席平原编写第 2 章部分内容及第 8 章部分内容,桂艳编写第 3 章、第 6 章、第 7 章,李贵三编写绪论部分内容、第 12 章及第 5 章部分内容,杨平编写第

10 章、第 13 章部分内容及第 8 章部分内容，魏伟编写第 11 章，王衍编写第 5 章部分内容。

本书在编写过程中得到了淮海工学院领导及教材委员会的支持，得到“江苏高校品牌专业建设工程项目（PPZY2015C214）”和“江苏省中高等职业教育衔接课程体系建设立项课题”支持，冯江教授精心审阅了全书，并提出了许多宝贵的修改意见。此外，本书在编写过程中还广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果，在此一并致谢。

限于作者水平，加之时间所限，书中难免存在疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2016 年 5 月

目 录

前言	
绪论	1
0.1 机械原理的研究对象	1
0.2 机械原理课程的主要内容	3
0.3 机械原理在教学计划中的地位	4
0.4 机械原理课程的学习方法	5
复习思考题	5
第一篇 平面低副机构的分析与设计	
第1章 机构的结构分析	6
1.1 研究机构结构分析的内容和目的	6
1.2 机构的组成	6
1.3 机构运动简图的绘制	10
1.4 机构自由度的计算	14
1.5 平面机构的组成原理及结构分析	19
复习思考题	24
习题	24
本章知识点	27
第2章 平面连杆机构的分析和设计	28
2.1 概述	28
2.2 平面四杆机构的基本类型及其演化	29
2.3 平面四杆机构的基本知识	36
2.4 平面四杆机构的图解法设计	43
2.5 平面四杆机构的解析法设计	48
2.6 解析法设计四杆机构 MATLAB 求解实例	53
复习思考题	55
习题	56
本章知识点	59
第3章 其他低副机构	60
3.1 概述	60
3.2 万向联轴节	60
3.3 螺旋机构	62
复习思考题	65

习题	66
本章知识点	66

第二篇 平面高副机构的分析与设计

第4章 凸轮机构及其设计	67
4.1 概述	67
4.2 从动件的运动规律	71
4.3 凸轮轮廓曲线的设计	80
4.4 凸轮机构基本参数的确定	90
4.5 凸轮机构从动件的设计	92
* 4.6 空间凸轮机构简介	95
复习思考题	96
习题	97
本章知识点	101
第5章 齿轮机构啮合传动与设计	102
5.1 齿轮机构的应用与分类	102
5.2 齿廓啮合的基本定律	103
5.3 渐开线与渐开线齿廓	104
5.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数与基本尺寸计算	107
5.5 渐开线直齿圆柱齿轮啮合传动的分析	110
5.6 齿轮齿条啮合及渐开线齿廓的范成法加工	117
5.7 渐开线标准直齿圆柱齿轮的根切现象与最少齿数	121
5.8 渐开线直齿圆柱齿轮的变位修正与变位齿轮	123
5.9 变位齿轮的几何尺寸计算	125
5.10 变位齿轮传动的啮合特点	126
* 5.11 圆柱直齿轮的传动类型	128
* 5.12 变位系数的选择与分配原则	130
* 5.13 渐开线圆柱直齿轮的检验	130
5.14 斜齿圆柱齿轮传动机构	132
* 5.15 螺旋圆柱齿轮传动机构	139
5.16 蜗轮蜗杆传动机构	141
5.17 圆锥齿轮传动机构	146
复习思考题	150
习题	151
本章知识点	153
第6章 轮系及其设计	155
6.1 概述	155
6.2 定轴轮系的传动比	157
6.3 周转轮系的传动比	158

6.4	复合轮系的传动比	161
6.5	轮系的功用	162
6.6	行星轮系各轮齿数的确定	165
* 6.7	行星轮系的效率	167
* 6.8	其他新型行星齿轮传动简介	168
	复习思考题	170
	习题	171
	本章知识点	174
* 第 7 章	其他高副机构	175
7.1	概述	175
7.2	棘轮机构	175
7.3	槽轮机构	178
7.4	不完全齿轮机构	180
7.5	凸轮式间歇运动机构	181
	复习思考题	182
	习题	183
	本章知识点	183

第三篇 机构动力学基础

第 8 章	平面机构的运动分析	184
8.1	概述	184
8.2	用速度瞬心法进行机构的速度分析	184
8.3	用相对运动图解法进行机构的运动分析	190
8.4	机构运动分析的解析法	197
	复习思考题	199
	习题	200
	本章知识点	202
* 第 9 章	运动副中的摩擦和机械效率	203
9.1	概述	203
9.2	移动副中的摩擦	203
9.3	螺旋副中的摩擦	206
9.4	转动副中的摩擦	207
9.5	机械的效率	210
	复习思考题	214
	习题	215
	本章知识点	216
* 第 10 章	平面机构的动态静力分析	217
10.1	概述	217
10.2	机构构件惯性力的确定	217

10.3 平面机构动态静力分析的图解法	221
* 10.4 平面机构动态静力分析的解析法	227
复习思考题	227
习题	227
本章知识点	228
第 11 章 机械的平衡	229
11.1 机械平衡的目的和分类	229
11.2 刚性回转构件的平衡计算	231
11.3 刚性回转机构的平衡试验	235
11.4 回转构件的平衡精度	236
11.5 机构的静平衡	238
复习思考题	243
习题	243
本章知识点	244
第 12 章 机械的运转及其速度波动的调节	245
12.1 概述	245
12.2 机器的运动方程	247
12.3 机器的稳定运转及其条件	253
12.4 周期性速度波动和非周期性速度波动的调节	255
复习思考题	257
习题	258
本章知识点	260
第四篇 机构设计的创新方法	
第 13 章 机械创新设计基础	261
13.1 概述	261
13.2 创新思维	261
13.3 创造原理与技术	264
13.4 机械系统原理方案的创新设计	272
13.5 机构的创新设计方法	274
13.6 机械创新设计实例	279
复习思考题	287
习题	287
本章知识点	289
附录 A 习题参考答案	290
附录 B 解析法求解程序	302
参考文献	309

绪 论

机械原理是一门什么性质的课程、为什么机械专业首先开设的是这门课程、为什么要学习机械原理、机械原理研究哪些内容、怎样才能学好这门课程、学好它对机械专业后续课程的学习又有哪些帮助、它又能培养哪些方面的能力等问题都会在本门课程的学习过程中得到解决。

0.1 机械原理的研究对象

机械是机构与机器的总称。机械原理是一门以机构和机器为研究对象的学科。

0.1.1 机器的定义

什么是机器,人们并不陌生。在生产和生活中,人们使用着种类繁多的机器,用以减轻人类自身的劳动,提高工作效率。在有些人类难以涉足的环境,更是需要用机器来代替人进行工作。我们不仅对机器有了一些直觉的认识,知道汽车、拖拉机、纺织机、印刷机、各种机床、缝纫机等都是机器,而且知道机器的种类繁多,其构造、用途和性能也各不相同。但什么是一般意义上的机器,它又有哪些共同的特征呢?下面通过两个实例来分析,从中归纳出它们的性能特征,从而对机器作一个概括性的描述。

图0-1所示为单缸四冲程内燃机,它是汽车、轮船、装载机等各种流动性机械最常用的动力装置,由缸体1、曲柄2、连杆3、活塞4、火花塞6、凸轮8(12)、从动件5(7)、正时齿轮9、10、11及其他一些辅助部分组成。

其工作原理为:

气缸1中的活塞4向下移动时,排气阀门5关闭,进气阀门7在凸轮8的控制下打开,将可燃气体吸入气缸,完成进气冲程;当活塞4向上移动时,进、排气阀门均关闭,可燃气体受到压缩,这一过程称为压缩冲程;压缩冲程结束后,火花塞6利用高压放电,使燃气在气缸中燃烧、膨胀,从而产生压力推动活塞4向下移动,称之为做功冲程;活塞4向下移动的同时,通过连杆3推动曲柄2转动,向外输出机械能(力和运动);当活塞4再次向上移动时,进气阀门7继续处于关闭状态,排气阀门5在凸轮12的控制下打开,将废气排出,此过

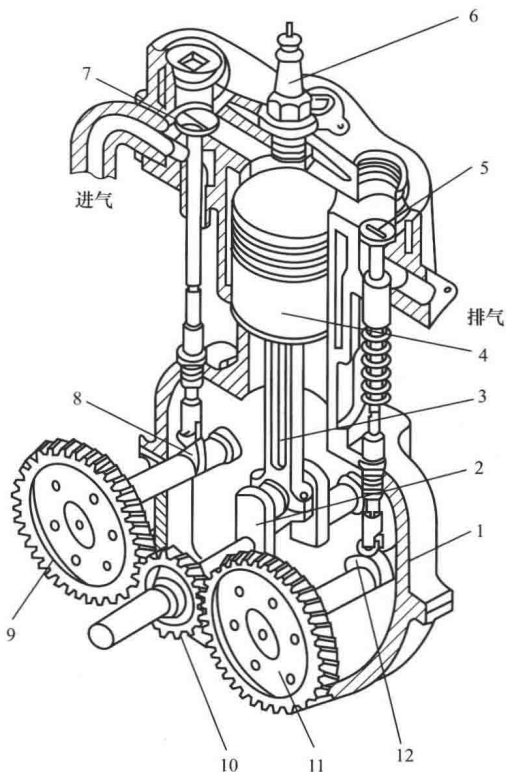


图0-1 单缸四冲程内燃机

程称为排气冲程。活塞上、下移动一次，曲轴转一圈，则曲轴每转两圈，才完成一次产生动力的循环。由此可见，内燃机由以下三部分组成。

(1) 原动部分：火花塞点火，使燃气燃烧产生推动活塞的压力，即将燃气燃烧时产生的热能转变为机械能的部分。

(2) 主运动传动部分：将活塞 4 的往复移动转换成曲轴 2 的连续转动，从而输出并传递能量（力和运动）。

(3) 协调控制部分：使进气阀门 7 和排气阀门 5 定时开闭。

单缸内燃机正是由以上各部分的协调动作将燃气的热能转换为曲柄转动的机械能而工作的。

图 0-2 所示的机器为牛头刨床，它是将电动机 1 的旋转运动通过带传动，使齿轮 2 带

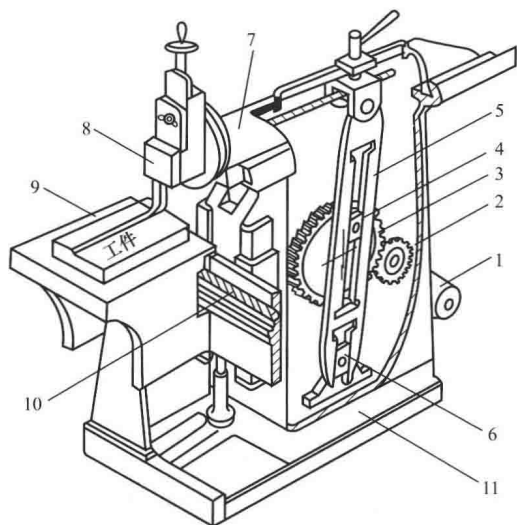


图 0-2 牛头刨床

动大齿轮 3 转动；大齿轮 3 上用销钉连接了一个滑块 4，它可以在杆 5 的槽中滑动。杆 5 的下端开有一个槽，槽中有一个与机架 11 铰接的滑块 6。当大齿轮 3 上的销子做圆周运动时，滑块 4 在杆 5 的槽中滑动，同时推动杆 5 绕滑块 6 的中心做往复摆动。杆 5 的上端用销子和牛头滑枕 7 铰接，推动牛头滑枕 7 在刨床床身的导轨中往复移动，滑枕 7 上装有刀架 8，牛头滑枕在工作行程中切削工件，回程时，刀架稍抬起后与牛头滑枕一起快速退回。再次切削前，大齿轮 3 通过连杆和棘轮（图中未画出）及螺杆 10 使工作台 9（工件）横向移动一个进刀的距离，以进行下一次切削。由此可知，牛头刨床也由以下三部分组成。

(1) 原动部分：电动机将电能转化为机械能。

(2) 主运动传动部分：电动机的转动变为牛头滑枕的往复移动。

(3) 协调控制部分：齿轮转动变为工作台适时地间歇运动。

牛头刨床正是由以上各部分的协调动作将电能转换为滑枕（刨头）往复直线移动的机械能而实现刨削加工的。

此外，还有许多我们经常碰到的机器，例如电动机、离心机、空气压缩机、各种机床、起重机、纺织机等。

由以上分析可见，上述所有机器归纳起来具有以下三个共同特征：

(1) 都是人为的实物组合体；

(2) 各组成部分之间具有确定的相对运动；

(3) 都具有一定的功能，并能代替或减轻人类的劳动以完成有用的机械功和转换机械能。

凡同时具备以上三个特征的实物组合体就称为机器。

不难看出，虽然机器的构造、用途和性能各不相同，然而经过分析和归纳，众多的机器不外乎可分为以下三类。

(1) 变换能量的机器。例如电动机、内燃机、涡轮机、空气压缩机等，其功能是把一种

能量变成机械能。

(2) 改变材料形状或位置的机器。例如作加工的机器,各种机床、纺织机、离心机、塑料挤压机等,其功能是改变材料的形状;又如作运输用的机器,起重机、汽车、飞机等,其功能是改变材料或人的位置。

(3) 变换信息的机器。例如机械式计算机、机械积分仪、打印机、复印机、传真机、照相机等,其功能是提供或转换信息。

0.1.2 机构的定义

如果抛开机器功能这个特征,而只研究其结构和运动,就能发现机器并不是实现预定运动的最基本的组合体。进一步分析以上两个实例,可以看出,各个实物组合体具有确定的运动是它们称为机器的基本要求。在机器的各种运动中,有些是传递回转运动(如齿轮传动);有些是把转动变为往复移动(如滑块机构);有些是利用实物本身的轮廓曲线实现预期运动规律的(如凸轮机构)。例如,单缸内燃机中的构件2-3-4-1称为曲柄滑块机构,它在内燃机中的运动功能是将活塞4的往复移动变换为曲柄2的连续转动;9-10-1或10-11-1称为齿轮机构,其功能是实现转速大小和方向的变化;7-8-1或5-12-1称为凸轮机构,它是将凸轮8或12的旋转运动变换为从动件7或5的往复移动,且从动件在凸轮廓线的控制下实现预期的运动规律。

这些实物组合体均具备以下两个特征:

- (1) 都是人为的实物组合体;
- (2) 各个组成部分之间具有确定的相对运动。

凡同时具备以上两个特征者统称为机构。也就是说,在工程实际中,人们常常根据实现这些运动形式的实物外形特点,把相应的一些具有确定运动的实物组合称为机构。

显而易见,机器是由各种各样的机构组成的,它可以完成能量的转换、做有用功或处理信息;而机构则是机器的运动部分,在机器中仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。

一部机器可能是多种机构的组合体,也可能只含有一个最简单的机构。例如上述的内燃机和牛头刨床,就是由齿轮机构、凸轮机构和连杆机构等多种机构组合而成的;而人们熟悉的发电机、水泵、蒸汽锤等机器,只含有一个机构(发电机就是只含有一个定子和转子所组成的基本机构)。基本机构的数目有限,但通过不同的组合,可以组成千变万化的机器。各种功能不同的机器,可以具有相同的机构,也可以采用不同的机构,机构和机器之间的关系,就好比化学中的化合物和化学元素之间的关系,化学元素有限,但化合物却千变万化,其功能和特点也各不相同。

从实现运动的结构组成观点来看,机器和机构之间并无区别,它们都是具有确定运动的实物组合体,两者是相同的,而它们之间的区别就在于是否具有一定的功能。因此,常用“机械”一词作为“机器”和“机构”的总称。但机械与机器在用法上略有不同,“机器”常用来指一个具体的概念,如内燃机、汽车、拖拉机等,而“机械”则常用在更广泛、更抽象的意义上,如机械工业、农业机械、纺织机械等。所以,机械原理是一门以机构和机器作为研究对象的学科。

0.2 机械原理课程的主要内容

机械原理是一门研究机构及机械运动设计的学科,其主要内容有以下四个方面。

1. 平面低副机构的分析与设计

主要研究机构的组成原理、机构运动的可行性、具有确定运动的条件,以及各种低副机构的分析方法,着重分析连杆机构的设计理论和设计方法。

2. 平面高副机构的分析与设计

介绍各种高副机构的运动设计和分析方法,着重研究凸轮机构、齿轮机构、齿轮系统的设计理论和设计方法。

3. 机构动力学基础

研究在给定原动件运动的条件下,机构各点的运动特性和动力特性,以及在已知外力作用下机械的真实运动规律、机械运转过程中产生的惯性力系的平衡问题等。

4. 机构的创新设计基础

机械创新设计是机械方案设计的主要内容,本篇将介绍机械运动方案设计步骤、功能分析、机构创新、执行机构的运动规律等基本原则和方法。

从另外一个角度看,机器是执行机械运动的装置,机构是机器中的运动部分,所以机械原理课程就是研究机构的课程,它分为机构分析和机构综合两部分。所谓机构分析,就是对已有的机构进行结构、运动和动力分析,研究它的组成原理及实现的功能特点。所谓机构综合,就是根据给出的运动和动力要求,设计出一种机构或机构的组合系统来满足这一运动和动力要求,探索设计符合要求的机构不唯一,从中选出一种最佳的机构。

当然,在机械原理学科中,这两个命题的研究范围十分广泛,其采用的方法也很多。特别是当今世界正经历着一场新的技术革命,新概念、新理论、新方法、新工艺不断出现,处于机械工业发展前沿的机械原理学科,新的研究课题日益繁多,新的研究方法日新月异。诸如自动控制机构、机器人机构、仿生机构、柔性及弹性机构和机电气液综合机构等的研制,诸如优化设计、计算机辅助设计,以及各种数学方法的应用,使机械原理学科的研究呈现高速发展的局面,也为机械原理学科的应用开辟了广阔的途径。然而,作为一门技术基础课程,我们仅研究上述有关机械的一些最基本的原理及最常用的机构分析与综合的方法。

0.3 机械原理在教学计划中的地位

机械是现代化生产和人们生活中不可缺少的重要工具。机械化程度的高低又是衡量一个国家技术水平的重要标志。因此,要加快实现四个现代化的进程,就要创造出更多、更新的机械并改进现有机械。

机械的种类繁多,结构、性能、用途各异。因此,在工科院校中设置的一些专业课研究的是特殊的机械问题,而机械原理的课程任务是研究机械的共性问题,使学生掌握机械机构、运动学和动力学的基本理论、基本知识和基本技能,获得初步的机构运动方案设计能力,这是机械设计中最重要和开始的一步,它可以直接在实际生活中发挥作用。

机械原理是以高等数学、普通物理、机械制图、理论力学为基础,并为以后学习机械设计和各种专业机械课以及新技术等开发打下机械知识基础。因此,机械原理课程是一门重要的技术基础课,在教学中起着承上启下的作用,是高等学校机械类各专业的必修课。此外,本课程的一些内容也可直接应用于生产实际。因此,机械原理课程在机械设计系列课程体系中占有非常重要的位置,在机械专业教学计划中占有极其重要的地位。

0.4 机械原理课程的学习方法

机械原理课程是介于基础理论和工程实际之间的一门专业技术基础课，其内容既抽象又实际；机械原理是研究机械的共性问题，其内容多、概念多、方法多。

根据以上特点应采取以下五个学习方法。

1. 注重与选修课程内容的关联

机械原理作为一门专业技术基础课，它的选修课程有高等数学、物理、机械制图和理论力学等。其中，理论力学与机械原理的联系最为密切。因此，应在消化理论力学中的观点和方法的同时，注意两门课程有关内容的关联。例如，用理论力学中的自由度理论去解决机械原理中机构自由度的计算，从而找出机构的组成原理；用扩展理论力学中的瞬心概念，求解机构中某些点速度的问题；用理论力学中刚体平面运动和点的复合运动理论，引申为用相对运动图解法求速度、加速度等。这样就使读者不会对新课程的内容感到生疏。

2. 注意理论联系实际

机构和机器是机械原理的研究对象。因此，学习过程中应特别注重多接触一些实物和教具，观察它们的组成和运动情况，尤其应特别注重实验和到工厂实习，以提高想象力，有助于对抽象理论的理解。学习中要注意理论联系实际，把所学知识运用于实际，达到举一反三的目的。

3. 注意内容的归纳和总结，严防死记硬背

机械原理内容多，但应注意归纳和总结。例如齿轮一章中，齿轮类型很多，公式也很多，但只要抓住其中的主要原理和条件，便不难记忆和运用。又如反转法原理，在凸轮、齿轮、平面连杆机构中均有应用，只要掌握其原理实质，就可举一反三。

4. 注重习题训练

习题训练是理论联系实际、消化理论的很好途径，也是解决实际问题 and 加深基本理论的一个重要环节。因此要认真对待习题，千万不能应付了事。

5. 注意加强形象思维能力的培养

从基础课到技术基础课，学习内容变化了，学习方法也应有所改变，其中最重要的一点是在重视逻辑思维的同时，加强形象思维的培养。专业技术基础课不同于基础课，它更加接近工程实际，要理解和掌握本课程的内容，解决工程实际问题，就要逐步培养形象思维能力。



复习思考题

1. 什么是机械、机构和机器？
2. 本课程研究的内容主要包括哪几个方面？
3. 什么是机构分析及机构综合？它们研究哪些主要内容？
4. 机械式手表属于机构还是机器，为什么？

第一篇 平面低副机构的分析与设计

第1章 机构的结构分析

本章主要介绍平面机构的组成原理和机构运动简图的绘制方法,平面机构自由度的计算及其具有确定运动的条件;掌握对机构进行结构分析的方法(高副低代方法、杆组的级别和机构的级别),为机构的运动学设计、动力学设计奠定最基本的理论基础。

1.1 研究机构结构分析的内容和目的

机械原理课程对机械的研究一般可以概括为两个方面:一是对已有机械进行分析,包括结构分析、运动分析和动力分析;二是对新机构进行设计,即机构运动方案的综合,其中包括机构的选型、运动设计及动力设计。本章的任务主要是研究机构的结构分析,其内容有以下四个方面。

(1) 研究组成机构的要素及机构具有确定运动的条件,然后判断机构能否运动。

(2) 研究机构的组成原理,并根据结构特点对机构进行分类,以便于对其进行运动分析和力的分析。

(3) 研究机构运动简图的绘制方法,即研究如何用简单的图形表示机构的结构和运动状态。

(4) 研究机构结构综合方法,即研究在满足预期运动及工作条件下,如何综合出机构可能的结构形式及其影响机构运动的结构参数。

研究机构结构分析的目的:机构的结构分析内容如上所述,那么机构分析的目的就显而易见了。首先,在综合新的机构时,需要知道机构是怎样组合起来的,而且在什么条件下,才能实现确定的运动。此外,对机构组成原理的研究还可以为新机构的创造提供途径。最后,通过对机构的结构分析与分类,可以为举一反三地研究机构的运动分析和动力分析提供方便。

1.2 机构的组成

1.2.1 机构的组成要素

机构是一个构件系统,但任意拼凑的构件系统不一定能发生相对运动,即使能够运动,也不一定具有确定的相对运动。为了传递运动和动力,机构中各构件之间应具有确定的相对运动。

虽然各种机构的形式和结构各不相同,但通过大量的事例分析可以得知机构是由构件和运动副两个要素组成的,举例分析如下。

1. 构件

所谓构件是指作为一个整体参与机构运动的刚性单元。一个构件,可以是不能拆开的单

一整体（即零件），也可以是由若干个不能拆开的单一整体装配起来的刚性体。不能拆开的单一整体称为零件。图 0-1 所示的内燃机就是由气缸、活塞、连杆体、销轴、螺栓、曲柄、齿轮等一系列零件组成的。在这些零件中，有的是作为一个独立的运动单元体而运动的，如活塞；有的则常常由于结构和工艺上的需要，而与其他零件刚性地连接在一起作为一个整体而运动，如图 1-1 中的连杆就是由连杆体、连杆头、螺栓、螺母、垫圈等零件刚性地连接在一起作为一个整体而运动的。这些刚性地连接在一起的零件组成一个独立的运动单元体。因此，构件与零件的区别在于：构件是机器中独立运动的单元，零件是机器中独立加工制造的单元。本课程以构件作为研究的基本单元。

2. 运动副

一个作平面运动的自由构件，具有三个独立的运动。如图 1-2 所示，在 xOy 坐标系

中，构件 S 可随其上任一点 A 沿 x 轴、 y 轴方向移动和绕 A 点转动，即要描绘它在平面中的位置需要三个独立的参数，这三个独立运动的参数称为构件所具有的自由度。

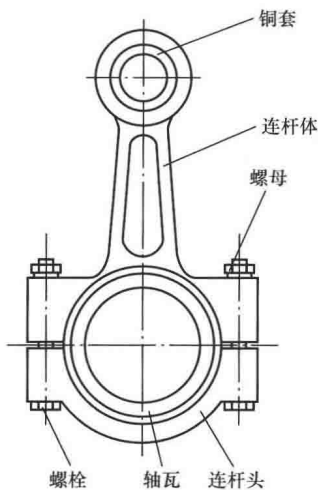


图 1-1 构件与零件

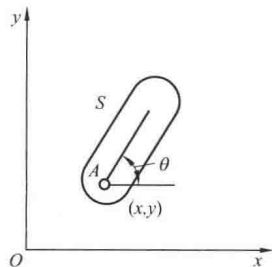


图 1-2 构件的自由度

机构是由构件组成的，每个构件都是以一定的方式与其他构件相互连接起来的，不过这种连接显然不能是刚性的，而且这种连接是可动的，但其相对运动又受到一定的约束，以保证构件间具有确定的相对运动。我们把由两构件直接接触而又能产生一定相对运动的可动连接称为运动副，而把两构件上能够直接接触而构成运动副的表面称为运动副的元素。这些接触表面不是点、线就是面，因此，点、线和面又称为运动副的元素。图 1-3 中的各图都构成了运动副。

很显然，两构件间的运动副所起的作用是限制构件间的相对运动，使相对运动自由度的数目减少，这种限制作用称为约束，而仍具有的相对运动叫作自由度。图 1-3 中的 (a) 图所示的运动副限制了轴沿三个坐标轴的移动，而轴只能绕 z 轴转动。说明两构件以某种方式相连接而构成的运动副，其相对运动受到约束，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。当物体在三维空间自由运动时，其自由度有六个，即沿三个坐标轴的移动和绕三个坐标轴的转动。由于两构件构成运动副后，仍需要具有一定的相对运动，故具有六个相对运动的构件，经运动副引入的约束数目最多只能为五个，而剩下的自由度至少为一个。对平面运动的构件来说，其自由度有三个，即沿 x 、 y 坐标轴的移动和绕 z 坐标轴的转动。由于两构件构成运动副后，仍需要具有一定的相对运

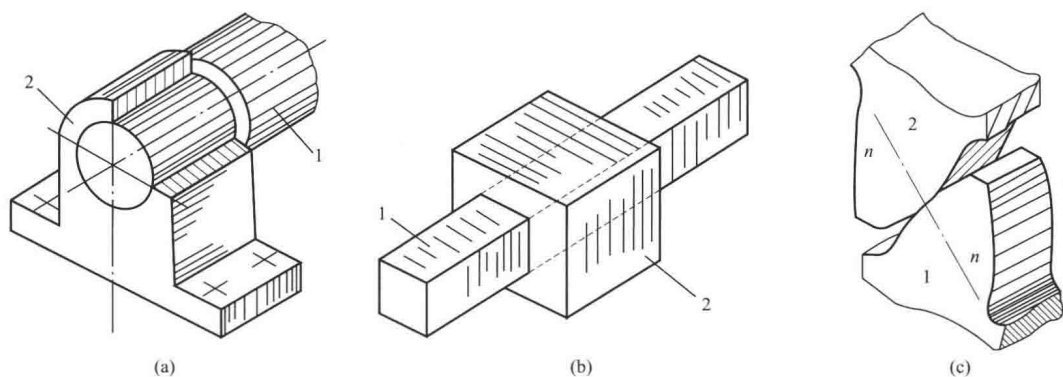


图 1-3 运动副

(a) 转动副；(b) 移动副；(c) 高副

动，故具有三个相对运动的构件，经运动副引入的约束数目最多只能为两个，而剩下的自由度至少为一个。可见，约束就是限制构件自由运动的性能。运动副每引入一个约束，构件就失去一个自由度。

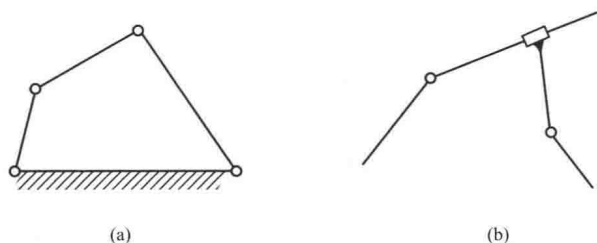


图 1-4 闭链和开链

(a) 闭式链；(b) 开式链

3. 运动链

由若干个构件通过运动副连接组成相对可动的构件系统称为运动链。如果运动链中的各构件构成首末封闭的系统则称为闭式链 [见图 1-4 (a)]，否则称为开式链 [见图 1-4 (b)]。在一般机构中，大多采用闭式链，而在机器人机构中则大多采用开式链。

4. 机构

如果运动链中的一个构件固定作为参考系（即机架），在剩下构件中给定一个或几个原动件后，其余构件能随原动件做有确定规律的相对运动，这种运动链即称为机构。机构中作为参考系的构件称为机架，机架相对地面可以是固定的，也可以是运动的，如机床床身、车辆底盘、飞机机身等。机构中按给定运动规律运动的构件称为主动件，或叫原动件，其余随主动件运动的构件称为从动件。

根据组成机构各个构件之间的相对运动是否在同一平面将机构分为两类，即平面机构和空间机构。所谓的平面机构是指组成机构的各构件的相对运动均在同一平面内或在相互平行的平面内。所谓空间机构是指机构各构件的相对运动不在同一平面内或平行的平面内，其中平面机构的应用最广泛。

1.2.2 运动副的分类

运动副有许多不同的分类方法，常见的分类方法有以下几种。

(1) 根据运动副所引入的约束数分类。把引入一个约束数的运动副称为Ⅰ级副，引入两个约束数的运动副称为Ⅱ级副，由此类推，最末为Ⅴ级副。表 1-1 给出了常用运动副及其分类情况，例如其中的球面低副约束数为 3（即不能沿三个坐标轴移动），故为Ⅲ级副。