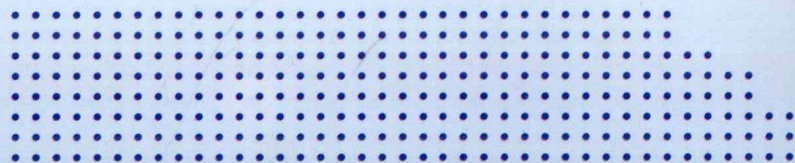


机械原理 学习指导

陈晓华 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

机械原理学习指导

Jixie Yuanli Xuexi Zhidao

	陈晓华	主 编
董景石	任秀华	副主编
	潘毓学	审 阅



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是根据机械原理课程的教学需要而编写的辅助教材,共包括以下三部分内容:第一篇按章编写的机械原理课程学习指导,总结了每章的基本内容、学习重点、难点和解题示例,并配有思考题和练习题;第二篇机械原理模拟试题,共有12套,并附有参考答案;第三篇机械原理实验指导,包括典型机构认知和机构运动简图测绘、渐开线齿轮展成法加工原理、机械的平衡、凸轮机构的逆向综合实验等4个实验的指导。本书主要内容依据高等教育出版社出版的崔可维、熊健主编《机械原理》(第二版),某些例题取自该教材的课后练习,读者可与该教材配合使用。

本书可作为高等工科学校的本科生、大专生以及自考生学习机械原理课程的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理学习指导/陈晓华主编. —北京:高等教育出版社,2012.2

ISBN 978-7-04-034003-7

I. ①机… II. ①陈… III. ①机构学-高等学校-自学参考资料 IV. ①TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第000043号

策划编辑 卢广 责任编辑 杜惠萍 封面设计 张志 版式设计 王莹
插图绘制 尹莉 责任校对 胡美萍 责任印制 张泽业

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街4号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京机工印刷厂	网上订购	http://www.landraco.com
开 本	850mm × 1168mm 1/32		http://www.landraco.com.cn
印 张	7.25	版 次	2012年2月第1版
字 数	180千字	印 次	2012年2月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	12.00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 34003-00

前 言

机械原理是高等工科院校机械类专业的重要技术基础课程之一,是机械类本科生的必修课。本书是机械类、近机类本科生学习机械原理课程的辅助教材。本书内容编写主要依据高等教育出版社出版的吉林大学崔可维、熊健主编《机械原理》(第二版),学习指导中例题部分取自该教材的课后练习,阅读时可与该教材配合使用。

本书共包括第一篇机械原理课程学习指导、第二篇机械原理模拟试题及参考答案、第三篇机械原理实验指导。

机械原理课程学习指导部分总结归纳了各章的基本内容、学习重点和难点、解题示例以及思考题和练习题;机械原理模拟试题及参考答案部分总共有12套试题及其解答,以辅助学生进行期末复习;机械原理实验指导部分涉及课程要求的全部实验,包括实验项目、所用仪器的原理介绍、实验要求以及实验报告格式。

本书由吉林大学陈晓华任主编,董景石、任秀华任副主编。参加本书编写的有:第一篇由山东建筑大学任秀华(第1、2章)、吉林大学陈晓华(第3、4章)、熊健(第5、6章)、董景石(第7、8章)、冯增明(第9章)、王聪慧(第10章)编写;第二篇模拟试题是吉林大学部分期末考试试题,由李晓韬、卢秀泉、张小江整理;第三篇由张英芝、陈晓华、董景石编写。

本书承教育部机械基础课程教学指导分委员会成员、长春理工大学潘毓学教授精心审阅,提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,疏漏、错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者
2011年8月

目 录

第一篇 机械原理课程学习指导

第1章 绪论	1
第2章 平面机构的结构分析	3
第3章 平面机构的运动分析和力分析	10
第4章 平面连杆机构及其设计	26
第5章 凸轮机构及其设计	43
第6章 齿轮机构及其设计	52
第7章 轮系及其设计	65
第8章 间歇机构及其他常用机构	77
第9章 机械的运转及其速度波动的调节	80
第10章 机械的平衡	92

第二篇 机械原理模拟试题及参考答案

模拟试题一(机械原理 A)	101
模拟试题二(机械原理 B)	106
模拟试题三(机械原理 A)	111
模拟试题四(机械原理 B)	115
模拟试题五(机械原理 A)	119
模拟试题六(机械原理 B)	123
模拟试题七(机械原理 A)	127
模拟试题八(机械原理 A)	132
模拟试题九(机械原理 A)	136
模拟试题十(机械原理 B)	141
模拟试题十一(机械原理 A)	145
模拟试题十二(机械原理 B)	149

模拟试题一(机械原理 A)参考答案	153
模拟试题二(机械原理 B)参考答案	157
模拟试题三(机械原理 A)参考答案	159
模拟试题四(机械原理 B)参考答案	163
模拟试题五(机械原理 A)参考答案	165
模拟试题六(机械原理 B)参考答案	168
模拟试题七(机械原理 A)参考答案	170
模拟试题八(机械原理 A)参考答案	174
模拟试题九(机械原理 A)参考答案	177
模拟试题十(机械原理 B)参考答案	182
模拟试题十一(机械原理 A)参考答案	185
模拟试题十二(机械原理 B)参考答案	189

第三篇 机械原理实验指导

实验一 典型机构认知和机构运动简图测绘	191
实验二 渐开线齿廓的展成法加工原理	198
实验三 机械的平衡	202
实验四 凸轮机构的逆向综合实验	209
参考文献	223

第一篇 机械原理课程学习指导

第1章 绪 论

1.1 概 述

了解机械原理课程的研究对象、内容、学习方法和特点。掌握相关名词术语的定义和概念,例如机械、机器、机构、构件和零件,以及相互之间的异同之处。

机械原理课程的研究对象为机器与机构,机械是机器与机构的总称,所以说机械原理就是研究机器与机构的原理。

机器具有以下三个特征:① 机器是人为的实物组合体。不是随意将一些实物体堆砌在一起就叫机器,而是按人的意志设计加工出一些实物体装配而成的。② 机器中各实物体之间具有确定的相对运动。各实物体之间不能乱动或不动。③ 机器能够代替人作机械功或将其他能量转化为机械能。例如汽车代替人步行,电动机将电能转化为机械能,内燃机将化学能转化为机械能。

为了便于研究机器,人们把机器分解成若干个具有各自运动特点,能够传递运动或改变运动形式的实物组合体称之为机构。机构具有机器的①、②特征。

机构还可以进一步分解,分解成若干个具有各自运动特点的构件。构件是运动的最小单元。

构件可以是一个零件或由几个零件刚化连接在一起的。零件是制造的最小单元。

机械原理课程内容可分为以下三部分:① 机构的结构分析,

研究机构可动的条件、机构的构成及其组成原理(如高副低代,拆杆组)等;② 机构运动学和动力学,研究机构的运动分析、受力分析、速度波动的调节和机械平衡等;③ 介绍几种典型机构和常用机构,以及常用机构满足运动要求所具有的结构特性、设计方法和设计计算等,例如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇机构和基本机构的组合应用等。

机械原理课程的特点是各章内容相对独立,其内容、重点和解题方法又不尽相同。所以,在学习时要掌握各章的基本概念、基本理论和机构分析与设计的基本方法,要加强规范化解题方法的训练。

1.2 解题示例

例 1.1 铣床是机器吗? 汽车变速箱是不是机器? 请回答原因。

答 铣床是机器,因为铣床代替人作机械功,铣削零件。

汽车变速箱不是机器,是机构,因为它只是传递运动,不作机械功,是传动机构。

1.3 复 习 题

1. 什么叫机械? 什么叫机器? 什么叫机构? 什么叫构件? 什么叫零件?
2. 机械原理研究的对象是什么?
3. 机械原理研究哪些内容?

第2章 平面机构的结构分析

2.1 概 述

2.1.1 基本内容

本章的学习目的:研究机构是否能动?是否具有确定的运动?

本章的基本内容:机构的基本概念,包括构件、运动副、自由度和约束、运动副类型、运动链等术语的概念和定义及分类;机构运动简图及机构运动简图的画法;平面机构自由度的计算、机构具有确定运动的条件;高副低代;平面机构的结构分析及其组成原理。

2.1.2 学习重点

1. 机构的组成

机构是由构件用运动副连接构成的。运动副是两构件直接接触所构成的活动连接。按构件的相对运动分为平面运动副和空间运动副。平面运动副分为平面低副和平面高副。

低副是由两构件用面接触构成的。平面低副有回转副和移动副两种形式,具有1个自由度、2个约束。

高副是两构件用点或线接触构成的,具有2个自由度、1个约束。平面高副的接触形式有凸轮副和齿轮副等。

构件用运动副连接构成的系统称为运动链。运动链分为开式链和闭式链两种形式。

具有机架、主动件和从动件的运动链称之为机构。机架的自由度为零,是研究所有活动构件运动的绝对坐标。机架具有唯一性。主动件也称原动件,是驱动外力所作用的构件,其运动是已知的。从动件是指除主动件之外的所有活动构件。

2. 机构运动简图

机构运动简图是用最简单的线条表示构件,用运动副符号表示两构件的活动连接,可用于进行机构的结构分析、运动分析或受力分析等。机构运动简图是机械原理研究机构时所用的表述工具,在学习本课程的过程中从头至尾都要用到。

3. 机构自由度计算

机构自由度计算公式: $F = 3n - 2P_L - P_H$

这是本章唯一的计算公式,它可用于判定机构是否能动,是否具有确定运动。 $F \leq 0$,机构不能动。 $F > 0$,机构能动,且 F = 原动件数,机构具有确定的运动; $F < 0$,机构将在薄弱处破坏; $F > 0$,机构将乱动。

4. 机构的组成原理

平面机构可分解成Ⅰ级机构和若干个杆组。Ⅰ级机构由原动件与机架组成。杆组是由构件与运动副连接构成的,自由度为零,且不可再拆的运动链。平面机构中若有高副,利用高副低代的方法,转换成低副机构再进行拆杆组。拆杆组一般从离原动件最近的构件开始拆起;拆杆组时带走运动副,按杆组条件,先试拆Ⅱ级杆组,若不行再试拆Ⅲ级杆组,直到最后剩下完整的Ⅰ级机构。机构的级别以杆组的最高级为准。

研究机构组成原理的意义在于,了解机构的结构形式,明确怎样添加或去除构件,可改变机构的运动形式而不影响机构的自由度。在分析机构时可对杆组编写通用的运动分析或力分析的子程序。若对任意机构进行分析,只要将构件尺寸与相关连接点条件输入即可进行。这样做可减少设计时间,提高设计分析的效率。

2.1.3 学习难点

本章的学习难点是机构自由度计算时的三个注意事项。

1. 复合铰链

复合铰链一定是三个或三个以上的构件铰接在一处,铰接处

的回转副数目为构件数减1。铰接处若有移动副时,移动副不算复合铰链的回转副数。

2. 局部自由度

局部自由度对于平面机构来说,就一种,即凸轮机构的滚子转动对从动件的输出没有影响,为局部自由度。

3. 虚约束

虚约束是不起约束作用的约束。有关虚约束的识别一般来讲是需要论证的。为便于识别,将虚约束分为以下三种类型:

(1) 具有特定尺寸的虚约束。在特定几何尺寸的约束下,形成构件的轨迹重合,如平行机构等。若特定的尺寸一旦破坏,虚约束就成为真约束。

(2) 两个构件只能构成一个运动副,其余的为虚约束。

(3) 对运动输入和输出没有影响的对称结构。如行星轮系中对称布置的相同尺寸的行星轮,计算自由度时只计入一个,其余的为虚约束。

2.2 解题示例

例 2.1 试绘制如图 2.1a 所示的牛头刨床横向进给机构的运动简图。

解 1. 机构结构与原理分析

图示牛头刨床的传动采用了曲柄摇杆机构。该机构工作时,齿轮1带动齿轮2并与齿轮2同轴的销盘(相当于曲柄)一起转动,连杆4使带有棘爪的摇杆5绕D点摆动,与此同时棘爪推动棘轮6上的轮齿,使与棘轮同轴的丝杠7转动,从而完成工作台的横向进给运动。

构件3与机架在A点、构件3与构件4在B点、构件4与构件5在C点、构件5与机架在D点均构成转动副。

2. 绘制机构运动简图

测定机构的几何尺寸,选取构件长度比例尺 μ_l (m/mm)。如

图 2.1a 所示,选定构件 3 的某一位置作为绘制牛头刨床横向进给机构简图的任意位置,从主动构件 3 开始依次画出整个进给机构的机构运动简图,如图 2.1b 所示。

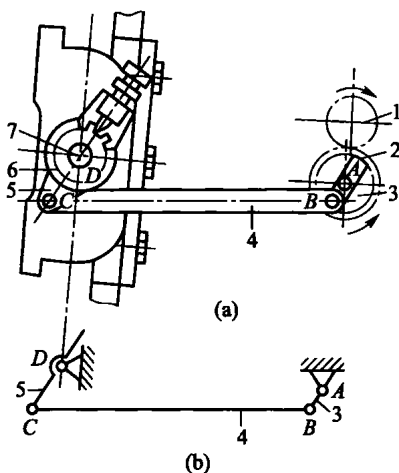


图 2.1

例 2.2 计算图 2.2 所示的惯性筛机构的自由度,若有局部自由度、复合铰链和虚约束请指出,并判断机构是否具有确定的运动。

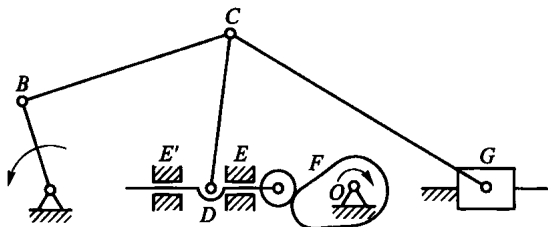


图 2.2

解 分析点 C 处存在复合铰链,点 E 处或 E' 处有一个虚约束,点 F 处存在局部自由度。

$$n = 7$$

$$P_L = 9$$

$$P_H = 1$$

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

因为,此机构具有 2 个原动件,其原动件数目与机构具有的自由度数相同,所以该机构具有确定的运动。

例 2.3 如图 2.3a 所示的机构,在该机构中分别以构件 1 或 4 为原动件对所示机构进行拆杆组,并确定机构的级别。

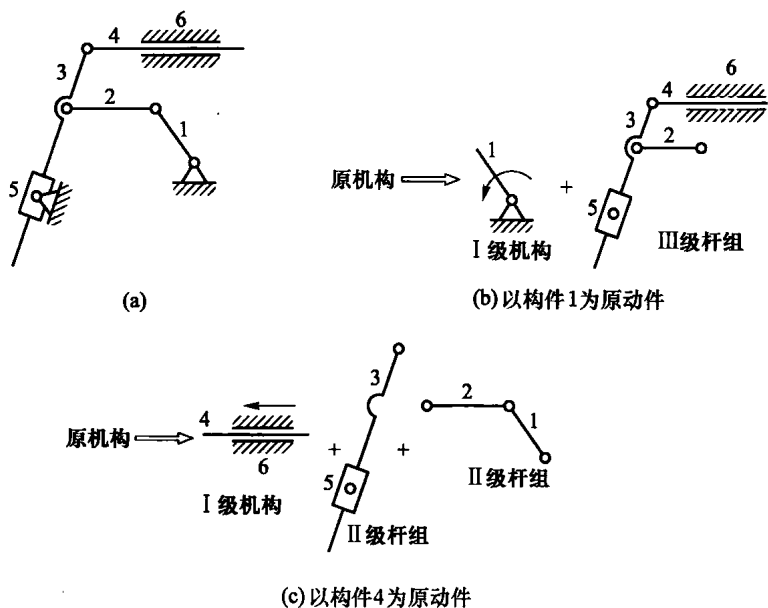


图 2.3

解 分析以构件 1 为原动件,拆法如图 2.3b 所示,该机构为Ⅲ级机构。以构件 4 为原动件,拆法如图 2.3c 所示,该机构为Ⅱ级机构。

2.3 复 习 题

2.3.1 思考题

1. 什么是零件？什么是构件？两者的区别和联系是什么？
2. 什么是运动副？什么是运动副元素？运动副如何分类？
3. 什么是自由度？什么是约束？对于不同类型的运动副构件，其相对运动具有几个自由度和产生几个约束？
4. 什么是运动链？运动链有哪几种类型？
5. 什么是机构的运动简图？什么是机构示意图？二者有何区别？
6. 机构能动的条件是什么？具有确定运动的条件是什么？
7. 什么是复合铰链？什么是局部自由度？什么是虚约束？计算机构的自由度时，对复合铰链、局部自由度、虚约束应如何处理？
8. 高副低代的意义是什么？高副低代应满足的条件是什么？
9. 什么是机构的杆组？它具有什么特性？

2.3.2 练习题

1. 绘制图 2.4 所示机构的运动简图，计算其自由度，并判断机构是否具有确定的运动（图中，齿轮 1 与偏心轮 1' 固连在一起，滚子 6 与齿轮 5 上开的凸轮凹槽构成凸轮副）。

2. 如图 2.5 所示，各机构中是否含有复合铰链、局部自由度、虚约束？并指明。计

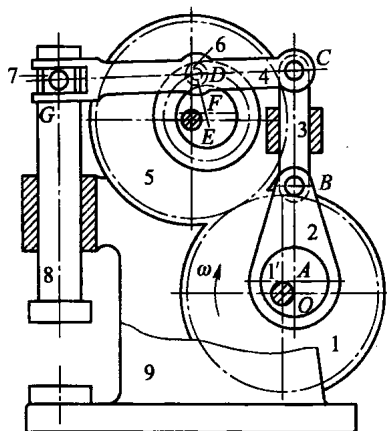


图 2.4

算机构的自由度,并确定各机构具有确定运动的条件是什么?

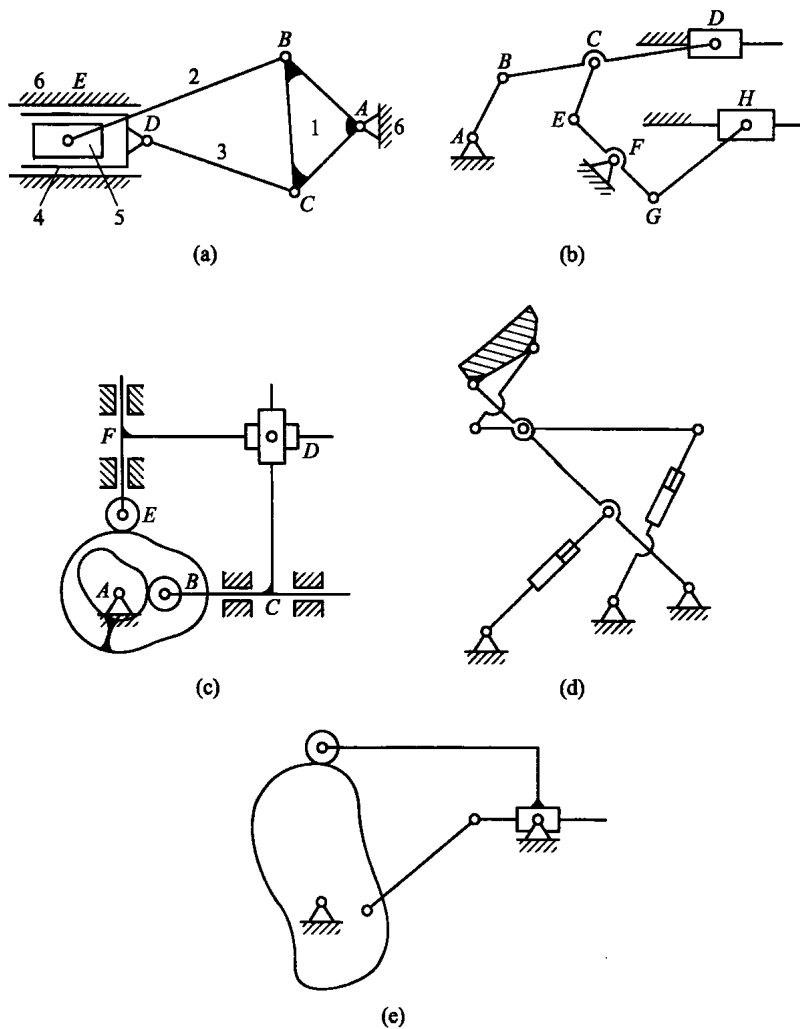


图 2.5

第3章 平面机构的运动分析和力分析

3.1 概 述

3.1.1 基本内容

1. 平面机构的运动分析

运动分析目的是求解机构的运动参数,即求解构件上某点的位移 s 、速度 v 和加速度 a ;或者是求解某构件的角位移 φ 、角速度 ω 和角加速度 α 。

运动分析求解方法有图解法和解析法。图解法又分为速度瞬心法和矢量方程图解法。解析法是用数学计算法求解运动参数,其方法有矢量法、复数矢量法、矩阵法等。

2. 平面机构的力分析

力分析目的是求解构件的内力和外力之间的关系。内力是指运动副反力。外力包括驱动力、生产阻力、惯性力等,即除运动副反力之外的所有力。

力分析的方法如下:

(1) 静力分析,即不考虑摩擦力和惯性力的机构力分析。

(2) 动态静力分析,即通常用于不考虑摩擦力,考虑惯性力的机构力分析。该方法也可用于考虑摩擦力和惯性力的机构力分析。

(3) 摩擦力分析,即考虑运动副摩擦力,不考虑惯性力的机构力分析。

机械原理课程重点研究后两种力分析。

3. 机械效率及自锁概念

机械效率的计算在物理课和力学课中通常是用功或功率的形式表达。机械原理讲述的是用力或力矩的形式表示功

率。即

$$\eta = \frac{F_0}{F} = \frac{M_{p0}}{M_p} = \frac{F_Q}{F_{Q0}} = \frac{M_Q}{M_{Q0}}$$

其中 F_0 、 M_{p0} 表示理想驱动力、理想驱动力矩, F_{Q0} 、 M_{Q0} 表示理想生产阻力、理想生产阻力矩。求解理想力, 只要将摩擦角或摩擦系数代入零即是。代公式时一定要代入力分析中所求的未知量。首先要判定所求量值是驱动力 F , 还是生产阻力 F_Q , 再选公式表达式中的适应公式。

机械的自锁概念是指无论驱动力有多大, 也无法使其作用的机械有运动输出的现象。机械自锁现象用效率公式表示为 $\eta \leq 0$ 。用力的作用线表示自锁, 则移动副或高副总反力与摩擦锥相切或作用于摩擦锥内; 回转副总反力与摩擦圆相切或相割。相切状态为自锁的临界状态。

3.1.2 学习重点

1. 平面机构的运动分析

1) 速度瞬心法

学习速度瞬心法要掌握:

(1) 速度瞬心的定义是相对平面运动的两构件其瞬时相对速度为零, 绝对速度相等的重合点, 也称之为瞬时回转中心, 简称瞬心。

(2) 机构中瞬心的数目 $K = N(N-1)/2$, N 代表构件总数。公式是根据数列组合的方法求出, 即由 N 个构件组成的机构, 每两个构件有一个瞬心, 不考虑构件顺序, 即 $P_{ij} = P_{ji}$ 。

(3) 瞬心的找法分为两种: 直接观察法和三心定理。

直接观察法用于找两构件用运动副相连的瞬心。回转副的瞬心在其相对回转中心处。移动副的瞬心在垂直于导路的无穷远处。注意移动副的瞬心位置可在垂直导路方向上平行移动。高副的瞬心分为两种: 两构件作纯滚动时, 其高副接触点即为瞬心; 两