



高等学校优秀教材辅导丛书
GAODENG XUEXIAO YOUXIUJIAOCAI FUDAOCONGSHU

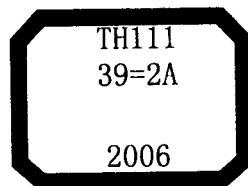
主编 孙丽霞 张占国

机械原理

知识要点与习题解析



哈尔滨工程大学出版社



高等学校优秀教材辅导丛书

机械原理 知识要点与习题解析

(配王知行、邓宗全第二版教材·高教版)

主 编 孙丽霞 张占国

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是为高等工科大学本科生复习和考研而编写的机械原理课程的学习指导书,是根据高等学校机械原理课程的教学要求编写的,主要帮助学生掌握这门课程基础知识、重点和难点等问题,提高学生分析问题、解决问题的能力。

本书是与哈尔滨工业大学机械原理教研室编写的机械原理课程相配套的学习辅导书。全书共 10 章,包括:绪论、机构的结构分析和综合、连杆机构的分析和设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、轮系及其设计、其他常用机构、机械的运转及其速度波动的调节、机械的平衡、机械的运动方案及机构的创新设计。每章都系统地总结了本章的主要内容和基本概念,对书后习题进行了详解,并相应地给出了同步训练题及其参考答案。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理知识要点与习题解析/孙丽霞,张占国主编.
哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006
ISBN 7-81073-822-4

I.机… II.①孙…②张… 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(2006)第 078292 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 12
字 数 255 千字
版 次 2006 年 12 月第 1 版
印 次 2006 年 12 月第 1 次印刷
印 数 1—3 000 册
定 价 16.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn



P r e f a c e

前言

机械原理是高等工科大学机械类专业的一门主干技术基础课。机械原理课程具有很强的理论性和实践性,逻辑严谨,初学者往往会感到内容抽象,难以理解,不容易抓住重点。为使广大学生更好地掌握本课程的基本理论,提高学习效率,本书以如何正确理解基本概念和原理、掌握解题方法和技巧、突出重点和难点为原则,对书后习题给出了详尽的分析和解答。同时为了加强记忆和训练,还设有同步训练题,包括选择、填空、分析计算等题型,旨在启发思维,提高学生独立思考的能力。

本书是依据哈尔滨工业大学机械原理教研室王知行、刘延荣主编的《机械原理》(第2版)编写的。全书共分10章,第1章、第2章、第3章由张占国编写,第4章、第5章、第6章、第8章、第9章由孙丽霞编写,第7章、第10章由胡宏佳编写。全书由孙丽霞统稿,北华大学姜生元教授任主审。在本书编写过程中还得到了北华大学机械工程学院很多教师的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限,书中错漏之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2006年9月

第1章 绪论	1
知识要点	1
1.1 机械原理课程的研究对象和内容	1
1.2 机械原理课程的学习目的和作用	1
1.3 机械原理多媒体教材的特点与学习方法	2
同步训练题	2
同步训练题答案	3
第2章 机构的结构分析和综合	4
知识要点	4
2.1 结构分析和综合的基本内容	4
2.2 机构的组成及其运动简图的绘制	4
2.3 机构自由度的计算	6
2.4 平面机构的组成原理和结构分析	7
2.5 平面机构的结构综合	7
书后习题解析	9
同步训练题	14
同步训练题答案	17
第3章 连杆机构分析和设计	19
知识要点	19
3.1 概述	19
3.2 平面四杆机构的基本类型及其演化	19
3.3 平面四杆机构有曲柄的条件及几个基本概念	20
3.4 平面连杆机构的运动分析	21
3.5 平面连杆机构的力分析和机械效率	23
3.6 平面四杆机构设计	25
书后习题解析	25
同步训练题	47
同步训练题答案	50
第4章 凸轮机构及其设计	54

知识要点	54
4.1 凸轮机构的应用及分类	54
4.2 从动件运动规律及其选择	54
4.3 按预定运动规律设计盘形凸轮轮廓	55
4.4 盘形凸轮机构基本尺寸的确定	55
4.5 空间凸轮机构简介	58
书后习题解析	58
同步训练题	65
同步训练题答案	67
第5章 齿轮机构及其设计	70
知识要点	70
5.1 齿轮机构的类型和应用	70
5.2 瞬时传动比与齿廓曲线	70
5.3 渐开线和渐开线齿廓啮合传动的特点	71
5.4 渐开线圆柱齿轮及其基本齿廓	72
5.5 渐开线齿廓的加工原理	74
5.6 渐开线齿轮加工中的几个问题	76
5.7 渐开线齿轮啮合传动计算	78
5.8 渐开线直齿圆柱齿轮传动的设计	80
5.9 斜齿圆柱齿轮传动	81
5.10 交错轴斜齿轮传动	82
5.11 蜗杆蜗轮传动	83
5.12 圆锥齿轮传动	85
书后习题解析	87
同步训练题	101
同步训练题答案	104
第6章 轮系及其设计	107
知识要点	107
6.1 轮系的类型和应用	107

6.2 轮系的传动比计算	108
6.3 行星轮系的效率	110
6.4 行星轮系的设计	110
6.5 其他行星传动简介	111
书后习题解析	111
同步训练题	122
同步训练题答案	125
第7章 其他常用机构	129
知识要点	129
7.1 棘轮机构	129
7.2 槽轮机构	129
7.3 不完全齿轮机构	130
7.4 万向联轴器	131
7.5 凸轮式间歇运动机构	131
书后习题解析	132
同步训练题	136
同步训练题答案	137
第8章 机械的运转及其速度波动的调节	139
知识要点	139
8.1 概述	139
8.2 机械系统的等效动力学模型	139
8.3 在已知力作用下机械的真实运动	140
8.4 机械速度波动及其调节方法	142
书后习题解析	143
同步训练题	149
同步训练题答案	152
第9章 机械的平衡	156
知识要点	156
9.1 概述	156

9.2 刚性转子的静平衡及动平衡	156
9.3 刚性转子的平衡试验及平衡精度	157
9.4 平面机构平衡简介	158
书后习题解析	158
同步训练题	169
同步训练题答案	171
第 10 章 机械的运动方案及机构的创新设计	175
知识要点	175
10.1 概述	175
10.2 机械运动方案设计原则	175
10.3 原动机、传动机构及减速器的选择	176
10.4 机构的运动协调及运动循环图	177
10.5 机械运动方案拟定及评价	178
10.6 机构的创新设计	178
书后习题解析	178
同步训练题	180
同步训练题答案	180
参考文献	182

第1章 绪 论



知识要点

1.1 机械原理课程的研究对象和内容

1.1.1 机械原理课程的研究对象

机械原理是研究机械的运动学和动力学分析与设计基本理论问题的课程。

1.1.2 机械原理课程的主要内容

1. 各种机构的分析问题

对各种机构的分析包括机构的结构分析、机构的运动分析、机构的力分析。

2. 常用机构的设计问题

常用机构的设计问题包括连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等常用机构的设计理论和设计方法。

3. 机器动力学问题

机械动力学问题主要研究在已知力作用下机械的真实运动规律,机器运转过程中速度波动的调节问题以及机械运转过程中产生的惯性力系的平衡问题。

4. 机构的选型及机械运动系统设计的基本知识

1.2 机械原理课程的学习目的和作用

机械原理课程的学习目的和作用如下:

- (1) 认识机械,了解机械;
- (2) 掌握方法,分析机械;
- (3) 开阔思路,设计和创新机械;



(4)更新观念,发展机械学科。

1.3 机械原理多媒体教材的特点与学习方法

1.3.1 内容和体系上的特点

内容和体系上的特点如下:

(1)贯彻以设计为主的思想,增加了机构综合设计的内容,以适应当前机械工业发展的需要;

(2)教材中基本删除了图解法,并减少了机构分析的内容;

(3)力求把分析方法和设计方法更密切地与当今的计算机技术结合起来,以鼓励学生更好地探索机构分析与机构综合的新方法;

(4)本教材突破了单纯书面文字和书面图形的表达形式,把多种信息、传播媒体结合起来,形成了两张光盘容量的电子教材。

1.3.2 表达形式上的特点

表达形式上的特点如下:

(1)三维实体机构运动仿真模型给人以身临其境的感觉;

(2)可变参数实时生成机构模型,促进了对机构结构的可变性和多样性的认识;

(3)多种教学媒体的有机结合,强化了听觉、视觉等多重效果;

(4)软件教材中给出了各种机构的英文词汇和帮助系统。



1. 机构和机器有何不同?
2. 一部完整的机器由哪几部分组成?
3. 机械原理课程主要研究内容有哪些?



★★★★★
同步训练题答案
TONG BU XUN LIAN TI DA AN

1. 答 机构是一个具有相对机械运动的构件系统,或可称它是用来传递与变换运动和动力的可动装置。机器是一种人为实物组合的具有确定机械运动的装置,它用来转换能量、改变物料和处理信息,以代替或减轻人的体力劳动和脑力劳动。一般来说,机构是机器的重要组成部分,机器包含一个机构或若干个机构。

2. 答 原动机、传动机构、执行机构和控制系统。

3. 答 (1)各种机构的结构分析、运动分析和力分析问题;

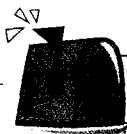
(2)常用机构的设计问题;

(3)机器动力学问题;

(4)机构的选型及机械运动系统设计的基本知识。



第2章 机构的结构分析和综合



知识要点

2.1 结构分析和综合的基本内容

研究机构结构的目的有以下几方面:

- (1) 研究组成机构的要素及机构具有确定运动的条件;
- (2) 研究机构的组成原理,并根据结构特点对机构进行分类;
- (3) 研究机构运动简图的绘制,即研究如何用简单的图形来表示机构的结构和运动状态;
- (4) 研究机构的结构综合方法,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类型。

2.2 机构的组成及其运动简图的绘制

2.2.1 机构的组成要素

1. 构件

构件是机构中独立运动的单元,是组成机构的基本要素。零件是加工制造的单元。一个或几个零件的刚性连接称为构件。

2. 运动副

两构件之间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。组成运动副的两构件上参与直接接触的点、线或面称为运动副元素。两构件间的运动副所起的作用是限制构件间的相对运动,这种限制作用称为约束。两构件构成运动副应至少要引入一个约束,也至少要保留一个自由度。

3. 运动链



若干个构件通过运动副连接组成的构件系统称为运动链。运动链分为开式运动链(首末杆未封闭)和闭式运动链(首末杆封闭)两种。

4. 机构

如果将运动链中的某一个构件固定作为参考系(机架),并有一个或几个构件给定运动规律(主动件或原动件),使其余各构件(从动件)具有确定的相对运动,则该运动链就称为机构。机架相对地面可以是固定的,也可以是运动的。

2.2.2 运动副的分类

运动副可有以下几种分类方式:

- (1)根据运动副引入的约束数目,可分为Ⅰ级副、Ⅱ级副、Ⅲ级副、Ⅳ级副和Ⅴ级副;
- (2)根据构成运动副的两构件接触情况,可分为低副(面接触)和高副(点接触或线接触);
- (3)根据两构件相对运动的空间形式,可分为平面运动副和空间运动副;
- (4)根据两构件相对运动的形式,分为转动副、移动副、螺旋副及球面副等。

2.2.3 机构运动简图的绘制

1. 机构运动简图的概念

机构运动简图是用简单的线条和符号代表构件和运动副,并按比例定出各运动副的位置,准确表达机构运动特征的简明图形。机构运动简图与原机构具有完全相同的运动特性,可以根据运动简图对机构进行运动分析和力分析。

2. 绘制机构运动简图的步骤

- (1)首先分析机构中相邻构件之间的相对运动和运动副,然后确定运动副的类型、数目以及运动传递路线等。
- (2)其次要选择投影面,一般选择与多数构件的运动平面相平行的面为投影面。
- (3)最后确定各运动副之间的相对位置。选取适当的比例尺,根据机构的运动尺寸定出各运动副之间的相对位置(转动副的中心、移动副的导路方向及高副的接触点等),画出相应的运动副符号,用简单的线条或几何图形将各运动副连接起来,最后要标出构件号数字、运动副的代号字母、原动件的运动方向箭头,这样就绘制出了机构运动简图。



2.3 机构自由度的计算

2.3.1 平面机构自由度的计算公式

平面机构自由度计算公式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H$$

式中 F ——机构自由度;
 n ——机构中活动构件的数目;
 P_L ——机构中低副的数目;
 P_H ——机构中高副的数目。

2.3.2 机构具有确定运动的条件

机构的自由度 F 和机构原动件的数目与机构的运动有着密切的关系,如下所示:

- (1)若 $F \leq 0$, 则机构不能动;
- (2)若 $F > 0$, 且与原动件数相等, 则机构具有确定的运动;
- (3)若 $F > 0$, 并大于原动件数, 则构件间的运动不确定;
- (4)若 $F > 0$, 并小于原动件数, 则构件间不能运动或产生破坏。

2.3.3 计算机构自由度时的注意事项

1. 正确计算运动副的数目

- (1)两个以上构件在同一处构成的重合转动副称为复合铰链, 由 m 个构件汇集而成的复合铰链包含 $m - 1$ 个转动副。
- (2)两构件组成多个移动副, 且其导路互相平行或重合时, 只能算作一个移动副。
- (3)两构件组成多个转动副, 且轴线互相重合时, 只能算作一个转动副。
- (4)两构件在多处接触而构成平面高副, 且各接触点处的公法线方向并不彼此重合, 只能算作一个高副。
- (5)两构件在两处接触而形成平面高副, 各接触点处公法线方向彼此相交或平行, 应算作两个高副或相当于一个低副。

2. 除去局部自由度

机构中某些构件具有对其他构件运动无关的自由度, 称为局部自由度。在计

算机构自由度时,可以设想将产生局部自由度的构件和与其相连接的构件焊接在一起,以达到除去局部自由度的目的。

3. 除去虚约束

在机构中实际上起重复约束作用的约束称为虚约束。在计算机构自由度时,可将引入虚约束的运动副或运动链部分去掉不计,以达到去除机构中虚约束的目的。由于虚约束出现在特定几何条件下,而具体情况又较为复杂,需要仔细分析判断。

2.4 平面机构的组成原理和结构分析

2.4.1 平面机构的组成原理

最简单的、不可再分的、自由度为零的杆组称为基本杆组或阿苏尔杆组。任何机构都可以看作是由若干个基本杆组依次连接于原动件和机架上组成的系统,这就是机构的组成原理。

2.4.2 平面机构的结构分析

机构结构分析就是将已知机构分解为原动件、机架和若干个基本杆组,进而了解机构的组成,并确定机构的级别。

机构结构分析的步骤如下:

- (1) 除去虚约束和局部自由度,计算机构的自由度并确定原动件;
- (2) 拆杆组;
- (3) 确定机构的级别。

2.4.3 平面机构的高副低代

高副低代是将机构中的高副虚拟地以低副来代替。替代后机构的自由度不变,机构的瞬时速度、瞬时加速度也不变。高副低代可用于对机构进行自由度计算、机构结构分析和机构运动分析,但是不能用于机构的力分析。

2.5 平面机构的结构综合

2.5.1 单自由度运动链的基本形式

设由转动副(不包含复合铰链)组成的运动链构件数为 n , 转动副数为 P , 则



$$P = \frac{3n}{2} - 2$$

构件数 n 必为偶数, 所以构件数和转动副数的可能组合有以下几种:

(1) $n = 2, P = 1$ (无实际价值);

(2) $n = 4, P = 4$;

(3) $n = 6, P = 7$;

(4) $n = 8, P = 10$;

(5) $n = 10, P = 13, L = 4$ 。

L ——多环机构的环数。

单闭环机构的结构特点是构件数 n 与运动副数 P 相等。多环机构可认为是在单环机构基础上叠加 $P - n = 1$ 的运动链组成的。因此多环机构的环数 L 与构件数 n 及运动副数 P 之间有以下关系:

$$L = P - n + 1$$

$$P - 3L = 1$$

所以

$$\begin{cases} n = 4, P = 4, L = 1 \\ n = 6, P = 7, L = 2 \\ n = 8, P = 10, L = 3 \\ n = 10, P = 13, L = 4 \end{cases}$$

2.5.2 单自由度双环六杆机构的类型

单自由度双环六杆机构的类型有瓦特型机构和斯蒂芬逊型机构。

2.5.3 单自由度单环机构的类型

单闭环机构的特点是构件总数 n (包括机架) 与运动副总数 P 相等, $n = P \geq 3$ 。

所以

$$n = P = P_L + P_H \geq 3$$

由于

$$F = 3(n - 1) - 2P_L - P_H = 1$$

整理得

$$2P_L + P_H = 3n - 4$$

则有

$$P_L + 2P_H = 4$$

1. 含高副的单自由度单环机构

$$n = P = 3, \quad P_L = 2, \quad P_H = 0$$

2. 全低副单自由度单环机构

$$n = P = 4, \quad P_L = 4, \quad P_H = 0$$



SHU HOU XI TI JIE XI

习题解析

2-1 解释下列概念

运动副, 机构自由度, 机构运动简图, 机构结构分析, 高副低代。

解 运动副: 两构件之间直接接触而又能产生一定相对运动的可动连接。

机构自由度: 机构具有独立运动的数目。

机构运动简图: 用简单的线条和规定的符号代表构件和运动副, 并按比例绘制出各运动副位置, 表示机构的组成和传动情况。这种方法绘制出的能够表达机构运动特性的简明图形就称为机构运动简图。

机构结构分析: 将已知机构分解为原动件、机架和若干个基本杆组, 进而了解机构的组成, 并确定机构的级别。

高副低代: 为使平面低副机构的结构分析和运动分析方法能适用于含有高副的平面机构, 将平面机构中的高副根据一定的约束条件虚拟地用低副代替。

2-2 验算图 2-1 所示机构能否运动, 如果能运动, 看运动是否具有确定性, 并给出具有确定运动的修改办法。

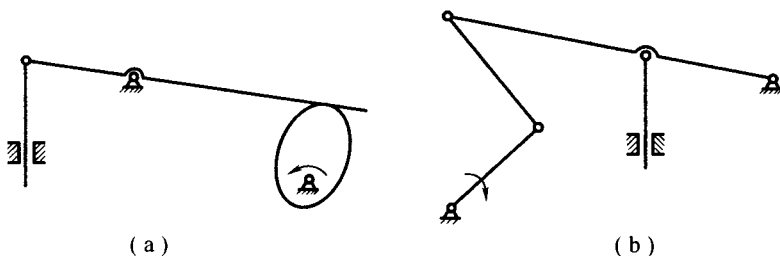


图 2-1

解 图(a) 机构自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 1 = 0$$

该机构不能运动。

修改后的机构如图 2-2(a) 所示, 注意不要按图(b)修改。

修改后的机构自由度为

$$F = 3n_1 - P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

自由度与原动件数相等, 修改后的机构具有确定的运动。

图 2-1(b) 机构自由度为