



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

主编 王银彪 王世刚

# 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

(配郑文纬、吴克坚第七版教材·高教版)

主 编 王银彪 王世刚

## 内 容 简 介

本书是与高等教育出版社出版的郑文纬、吴克坚主编的《机械原理》(第七版)配套的教学指导书。

编者在长期机械原理课程教学的基础上,对该教材各章内容进行概括和总结,对习题作了较详尽的解答,结合各章的重点和难点,选择典型的、与教材互补的同步训练题进行分析解答,旨在帮助读者更好地理解 and 掌握教材内容。

本书可作为高等学校机械类各专业机械原理课程的教学和学习参考书,同时也可作为工程技术人员的参考用书以及研究生入学考试的复习资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械原理知识要点与习题解析/王银彪,王世刚  
主编.—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006  
ISBN 7-81073-838-0

I.机… II.①王…②王… 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 078293 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 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 18

字 数 370 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 24.00 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各专业的一门主干技术基础课。本课程内容多、概念性强,对问题分析常采用图解方法,给初学者带来了很大困难,为提高学生分析问题、解决问题的能力,我们编写了这本学习辅导书。

为便于读者学习,本书在章节编排顺序上与教材完全一致,内容主要包括以下三部分:

(1)知识要点。根据编者多年教学实践中的经验和体会,对教材各章内容进行总结、提炼和归纳,指出各章中哪些内容需要重点掌握,哪些内容需要一般了解,帮助读者有目的、有重点地学习。

(2)书后习题解析。对教材各章习题进行详细的分析和解答,帮助学生巩固课上内容或进行自学。

(3)同步训练题。选择典型的、与教材互补的习题进行分析解答。掌握解题要领,巩固基本概念,做到举一反三。题目来源广泛,选自高校试题库、重点院校研究生考试试题和相关参考书目中的习题。

参加本书编写的有王银彪(绪论、第1章、第2章、第3章、第4章、第7章)、王世刚(第5章、第6章、第8章、第9章、第10章)、胡宏佳(第11章、第12章)。本书由王银彪、王世刚统稿并担任主编。哈尔滨工程大学出版社一直关心本书的出版工作,并给编者提供了许多具体指导,为本书出版创造了良好条件,在此表示衷心感谢。

鉴于编者水平有限,对教材的理解尚有不足,书中难免存在错漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年5月

|                      |    |
|----------------------|----|
| 绪    论               | 1  |
| 知识要点                 | 1  |
| 0.1 基    本    要    求 | 1  |
| 0.2 内    容    提    要 | 1  |
| 0.3 重    点    难    点 | 1  |
| 0.4 学习指导及注意问题        | 2  |
| 第1章 平面机构的结构分析        | 4  |
| 知识要点                 | 4  |
| 1.1 基    本    要    求 | 4  |
| 1.2 内    容    提    要 | 4  |
| 1.3 重    点    难    点 | 5  |
| 1.4 学习指导及注意问题        | 5  |
| 书后习题解析               | 9  |
| 同步训练题                | 15 |
| 同步训练题答案              | 17 |
| 第2章 平面机构的运动分析        | 20 |
| 知识要点                 | 20 |
| 2.1 基    本    要    求 | 20 |
| 2.2 内    容    提    要 | 20 |
| 2.3 重    点    难    点 | 20 |
| 2.4 学习指导及注意问题        | 21 |
| 书后习题解析               | 22 |
| 同步训练题                | 38 |
| 同步训练题答案              | 42 |
| 第3章 平面连杆机构及其设计       | 49 |
| 知识要点                 | 49 |
| 3.1 基    本    要    求 | 49 |
| 3.2 内    容    提    要 | 49 |
| 3.3 重    点    难    点 | 49 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 3.4 学习指导及注意问题 .....       | 50         |
| 书后习题解析 .....              | 57         |
| 同步训练题 .....               | 66         |
| 同步训练题答案 .....             | 70         |
| <b>第4章 凸轮机构及其设计 .....</b> | <b>76</b>  |
| 知识要点 .....                | 76         |
| 4.1 基本要求 .....            | 76         |
| 4.2 内容提要 .....            | 76         |
| 4.3 重点难点 .....            | 77         |
| 4.4 学习指导及注意问题 .....       | 77         |
| 书后习题解析 .....              | 84         |
| 同步训练题 .....               | 95         |
| 同步训练题答案 .....             | 99         |
| <b>第5章 齿轮机构及其设计 .....</b> | <b>105</b> |
| 知识要点 .....                | 105        |
| 5.1 基本要求 .....            | 105        |
| 5.2 内容提要 .....            | 105        |
| 5.3 重点难点 .....            | 106        |
| 5.4 学习指导及注意问题 .....       | 106        |
| 书后习题解析 .....              | 117        |
| 同步训练题 .....               | 128        |
| 同步训练题答案 .....             | 130        |
| <b>第6章 轮系及其设计 .....</b>   | <b>136</b> |
| 知识要点 .....                | 136        |
| 6.1 基本要求 .....            | 136        |
| 6.2 内容提要 .....            | 136        |
| 6.3 重点难点 .....            | 136        |
| 6.4 学习指导及注意问题 .....       | 137        |
| 书后习题解析 .....              | 140        |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 同步训练题 .....                | 149        |
| 同步训练题答案 .....              | 153        |
| <b>第7章 其他常用机构 .....</b>    | <b>156</b> |
| 知识要点 .....                 | 156        |
| 7.1 基本要求 .....             | 156        |
| 7.2 内容提要 .....             | 156        |
| 7.3 重点难点 .....             | 156        |
| 7.4 学习指导及注意问题 .....        | 157        |
| 书后习题解析 .....               | 158        |
| 同步训练题 .....                | 161        |
| 同步训练题答案 .....              | 162        |
| <b>第8章 机械运动方案的拟定 .....</b> | <b>165</b> |
| 知识要点 .....                 | 165        |
| 8.1 基本要求 .....             | 165        |
| 8.2 内容提要 .....             | 165        |
| 8.3 重点难点 .....             | 165        |
| 8.4 学习指导及注意问题 .....        | 166        |
| 书后习题解析 .....               | 167        |
| 同步训练题 .....                | 172        |
| 同步训练题答案 .....              | 173        |
| <b>第9章 平面机构的力分析 .....</b>  | <b>175</b> |
| 知识要点 .....                 | 175        |
| 9.1 基本要求 .....             | 175        |
| 9.2 内容提要 .....             | 175        |
| 9.3 重点难点 .....             | 175        |
| 9.4 学习指导及注意问题 .....        | 176        |
| 书后习题解析 .....               | 179        |
| 同步训练题 .....                | 194        |
| 同步训练题答案 .....              | 197        |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>第 10 章 平面机构的平衡</b> .....        | 202 |
| 知识要点 .....                         | 202 |
| 10.1 基本要求 .....                    | 202 |
| 10.2 内容提要 .....                    | 202 |
| 10.3 重点难点 .....                    | 202 |
| 10.4 学习指导及注意问题 .....               | 203 |
| 书后习题解析 .....                       | 204 |
| 同步训练题 .....                        | 216 |
| 同步训练题答案 .....                      | 219 |
| <b>第 11 章 机器的机械效率</b> .....        | 224 |
| 知识要点 .....                         | 224 |
| 11.1 基本要求 .....                    | 224 |
| 11.2 内容提要 .....                    | 224 |
| 11.3 重点难点 .....                    | 224 |
| 11.4 学习指导及注意问题 .....               | 225 |
| 书后习题解析 .....                       | 229 |
| 同步训练题 .....                        | 240 |
| 同步训练题答案 .....                      | 243 |
| <b>第 12 章 机器的运转及其速度波动的调节</b> ..... | 247 |
| 知识要点 .....                         | 247 |
| 12.1 基本要求 .....                    | 247 |
| 12.2 内容提要 .....                    | 247 |
| 12.3 重点难点 .....                    | 248 |
| 12.4 学习指导及注意问题 .....               | 248 |
| 书后习题解析 .....                       | 254 |
| 同步训练题 .....                        | 269 |
| 同步训练题答案 .....                      | 273 |
| <b>参考文献</b> .....                  | 278 |

# 绪 论



## 0.1 基本要求

对本章的学习有以下基本要求:

- (1)明确机械原理课程的研究对象和内容,以及学习本课程的目的;
- (2)了解机械原理在培养机械类高级工程技术人才中的地位、任务和作用;
- (3)了解机械原理学科的发展趋势。

## 0.2 内容提要

本章主要内容如下:

- (1)机械原理课程的研究对象;
- (2)机械原理课程的研究内容;
- (3)机械原理课程的地位及学习本课程的目的;
- (4)机械原理课程的学习方法。

## 0.3 重点难点

本章学习的重、难点是机械原理课程的研究对象和内容,机器、机构和机械的概念,机器和机构的用途以及区别,机械原理课程的性质和特点。



## 0.4 学习指导及注意问题

### 0.4.1 机械原理课程的研究对象

机械原理是机器和机构理论的简称。它以机器和机构为研究对象,是一门研究机器和机构的运动和动力设计,以及机械运动方案设计的技术基础课。

### 0.4.2 机械原理课程的研究内容

机械原理课程的研究内容分为以下三部分。

#### 1. 机构的运动设计

机构的运动设计主要研究机构的组成原理以及各种机构的类型、特点、功用和运动设计方法,通过机构类型综合,探索创新设计机构的途径。其主要内容包括机构的组成和机构分析,连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等一些常用的机构及组合方式,阐述满足预期运动和工作要求的各种机构的设计理论和方法。

#### 2. 机械的动力设计

机械的动力设计主要介绍机械运转过程中出现的若干动力学问题,以及如何通过合理设计和实验改善机械动力性能的途径。主要包括求解在已知力作用下机械的真实运动规律的方法、减少机械速度波动的调节问题、机械运动过程中的平衡问题以及机械效率和摩擦问题。

#### 3. 机械系统方案设计

主要介绍机械系统方案设计的设计内容、设计过程、设计思路和设计方法。主要内容包括机械总体方案的设计和机械执行系统的方案设计等内容。

通过对机械原理课程的学习,应掌握对已有的机械进行结构、运动和动力分析的方法,以及根据运动和动力性能方面的设计要求设计新机械的途径和方法。

### 0.4.3 机械原理课程的地位和作用

机械原理课程以高等数学、物理学及理论力学等基础课程为基础,研究各种机械具有的共性问题,它为以后学习机械设计和有关机械工程专业课程以及掌握新的科学技术成就打下了工程技术的理论基础。因此,机械原理是机械类各专业的一门非常重要的技术基础课,它是从基础理论课到专业课之间的桥梁,是机械类专业学生能力培养和素质教育的最基本的课程,在教学中起着承上启下的作用,占有非常重要的地位。

学习机械原理课程的目的在于培养学生掌握以下内容:

(1)掌握机构运动学和机械动力学的基本理论,并具有拟定机械运动方案、分析和设计机构的能力,为学习机械设计和机械类有关专业课及掌握新的科学技术打好工程技术的理论基础。

(2)掌握机构和机器的设计方法和分析方法,为现有机器的合理使用和革新改造打好坚实的理论基础。

(3)掌握创新设计方法,培养创造性思维和技术创新能力,针对原理方案设计阶段的研究,为机械产品的创新设计打下良好的基础。

#### 0.4.4 机械原理课程的学习方法

学习机械原理课程应掌握以下学习方法:

(1)学习机械原理知识的同时,注重素质和能力的培养。在学习本课程时,应把重点放在掌握研究问题的基本思路和方法上,着重于创新性思维能力和创新意识的培养。

(2)重视逻辑思维的同时,加强形象思维能力的培养。从基础课到技术基础课,学习的内容变化了,学习的方法也应有所转变;要理解和掌握本课程的一些内容,要解决工程实际问题,要进行创造性设计,单靠逻辑思维是远远不够的,必须发展形象思维能力。

(3)注意把理论力学的有关知识运用于本课程的学习中。在学习本课程的过程中,要注意把高等数学、物理、理论力学和工程制图中的相关知识运用到学习当中。

(4)注意将所学知识用于实际,做到举一反三。

# 第1章 平面机构的结构分析



## 1.1 基本要求

对本章的学习有以下基本要求:

(1)熟练掌握机构运动简图的绘制方法。能够将实际机构或机构的结构图绘制成机构运动简图,能看懂各种复杂机构的机构运动简图,能用机构运动简图表达自己的设计构思。

(2)掌握运动链成为机构的条件。

(3)熟练掌握机构自由度的计算方法。能自如地运用平面机构自由度计算公式计算机构自由度。能准确识别出机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束,并作出正确处理。

(4)了解机构的组成原理和结构分析的方法。了解高副低代的方法,学会根据机构组成原理,用基本杆组、原动件和机架创新构思新机构的方法。

## 1.2 内容提要

本章主要内容如下:

- (1)机构的组成;
- (2)机构运动简图;
- (3)机构的自由度的计算及机构具有确定运动的条件;
- (4)机构组成原理和结构分析。

## 1.3 重点难点

本章的重点是运动副和运动链的概念、机构运动简图的绘制、机构具有确定运动的条件及平面机构自由度的计算。平面机构的组成原理、结构分析及分类,以及属于拓宽知识的高副低代等内容。本章的难点是机构中虚约束的判定问题。

## 1.4 学习指导及注意问题

### 1.4.1 机构的组成

#### 1. 构件与零件

构件:从运动的观点分析机械时,构件是参加运动的最小单元体。它可以是一个零件,也可以是由多个零件组成的刚性系统。

零件:从制造的观点分析机械时,零件是组成机械的最小单元体。任何机械都由许多零件组合而成。

#### 2. 运动副及其分类

##### (1) 运动副的概念

运动副:两构件直接接触形成的可动连接。

运动副元素:两构件由直接接触而构成运动副的点、线、面部分。

构件的自由度:构件具有的独立运动的数目。

约束:运动副对构件的独立运动所加的限制。运动副每引入一个约束,构件就失去一个自由度。

##### (2) 运动副的分类

##### ① 按运动副的接触形式分类。

低副:构件与构件之间为面接触,其接触部分的压强较低。

高副:构件与构件之间为点、线接触,其接触部分的压强较高。

##### ② 按相对运动的形式分类。

平面运动副:两构件之间的相对运动为平面运动。

空间运动副:两构件之间的相对运动为空间运动。

##### ③ 按运动副引入的约束数分类。

引入1个约束的运动副称为Ⅰ级副,引入2个约束的运动副称为Ⅱ级副,依此类推,还有Ⅲ级副、Ⅳ级副和Ⅴ级副。

##### ④ 按构件之间的相对运动状态分类。



转动副:两构件之间相对运动为转动。

移动副:两构件之间相对运动为移动。

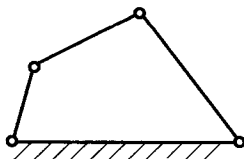
螺旋副:两构件之间相对运动为螺旋运动。

球面副:两构件之间相对运动为球面运动。

### 3. 运动链

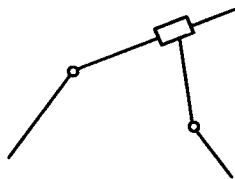
运动链是指两个或两个以上的构件通过运动副连接构成的系统。

闭式运动链(闭链):运动链的各构件构成首末封闭的系统,如图 1-1(a)所示。



(a)

开式运动链(开链):运动链的各构件未构成首末封闭的系统,如图 1-1(b)所示。



(b)

图 1-1

在运动链中,当某一个构件固定,而另一个或几个构件按给定运动规律相对固定构件运动时,如果运动链中其余各构件都有确定的相对运动,则此运动链称为机构。机构的各概念如下:

机构:具有确定运动的运动链。

机架:机构中固定不动的构件。

原动件:机构中按照给定运动规律独立运动的构件。

从动件:机构中其余活动构件。

平面机构: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。

空间机构:机构的各构件的相对运动不在同一平面内或平行的平面内。

#### 1.4.2 运动简图

机器是由机构组成的,因此,不论是对现有机构进行分析,还是构思新机械的运动方案和对组成新机械的各种机构作进一步的运动及动力设计,均需要一种表示机构的简明图形——机构运动简图。

机构运动简图是用国家标准规定的简单符号和线条代表运动副和构件,并按一定比例尺表示机构的运动尺寸,绘制的表示机构的简明图形。它与原机械具有完全相同的运动特性。

机构示意图是为了表明机械的组成状况和结构特征,不严格按比例绘制的简明图形。

机构运动简图可用于对现有机械分析和新机械总体方案的设计。

机构运动简图的绘制步骤如下:

- (1) 分析机械的动作原理、组成情况和运动情况;
- (2) 沿着运动传递路线,分析两构件间相对运动的性质,以确定运动副的类型和数目;
- (3) 适当选择运动简图的视图平面;
- (4) 选择适当的比例尺  $\mu_l$  ( $\mu_l = \text{实际尺寸(m)}/\text{图示长度(mm)}$ ),用机构简图符号,绘制机构运动简图。从运动件开始,按传动顺序标出各构件的编号和运动副的代号,在原动件上标出箭头以表示其运动方向。

### 1.4.3 机构自由度的计算及具有确定运动的条件

#### 1. 机构自由度

机构的独立运动参数称为机构的自由度。

#### 2. 平面机构自由度的计算

机构的自由度取决于活动构件的数目、连接各构件的运动副的类型和数目。

设一个平面机构中共有  $n$  个活动构件,在用运动副将所有构件连接起来前,这些活动构件具有  $3n$  个自由度。

当用  $p_H$  个高副、 $p_L$  个低副连接成运动链后,这些运动副共引入了  $2p_L + p_H$  个约束。由于每引入一个约束构件就失去了一个自由度,故整个机构相对于机架的自由度数目为

$$F = 3n - 2p_L - p_H$$

该式称为平面机构的结构公式。

#### 3. 计算平面机构自由度的注意事项

(1) 复合铰链:两个以上构件在同一处以转动副相连接构成的运动副称为复合铰链。若有  $k$  个构件在同一处组成复合铰链,则其构成的转动副数目应为  $(k-1)$  个。

(2) 局部自由度:若机构中某些构件具有的自由度仅与其自身的局部运动有关,并不影响其他构件的运动,则称这种自由度为局部自由度。局部自由度经常发生在滑动摩擦变为滚动摩擦时添加的滚子和轴承中的滚珠上。计算局部自由度时,假设将滚子与安装滚子的构件固结在一起,视为一个构件。

(3) 虚约束:在特定几何条件或结构条件下,某些运动副引入的约束可能与其他运动副所起的限制作用一致,这种不起独立限制作用的重复约束称为虚约束。

虚约束经常发生在以下场合:



- ①两构件之间构成多个运动副时,见图 1-2(a);
- ②两构件上某两点间的距离在运动过程中始终保持不变时,见图 1-2(b);
- ③连接构件与被连接构件上连接点的轨迹重合时,见图 1-2(c);
- ④机构中对运动不起作用的对称部分,见图 1-2(d)。

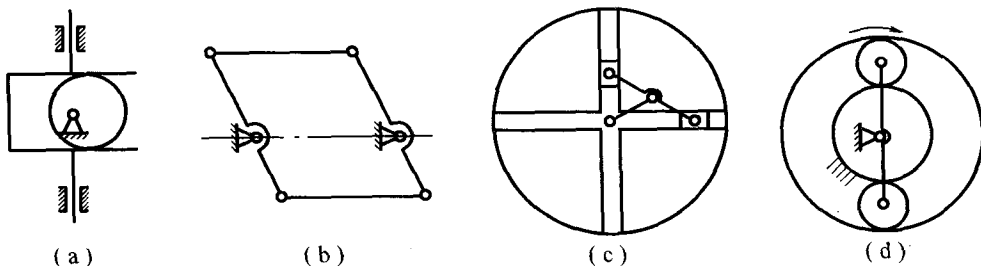


图 1-2

机构中的虚约束都是在一定的几何条件下出现的,如果不满足这些几何条件,则虚约束将变成有效约束,使机构不能运动。

采用虚约束是为了改善构件的受力情况,传递较大功率,或满足某种特殊需要。

(4)机构具有确定运动的条件:机构的自由度数等于原动件数目。

#### 1.4.4 平面机构的组成原理分析

##### 1. 平面机构的组成原理

任何机构中都包括原动件、机架和从动件系统三部分。因为机架的自由度为零,每个原动件的自由度为 1,而机构的自由度数等于原动件数,所以从动件系统的自由度必然为零。自由度为零的从动件系统称为杆组,不可再分的自由度为零的构件组合称为基本杆组,简称基本组。杆组的结构式为  $3n = 2p_L$ 。

机构的组成是把若干个自由度为零的基本杆组依次连接到原动件和机架上,组成新的机构,其自由度数与原动件的数目相等。

在进行新机械方案设计时,可以按设计要求根据机构的组成原理,创新设计新机构。在设计中必须遵循在满足相同工作要求的前提下,机构的结构越简单、杆组的级别越低、构件和运动副的数目越少越好的原则。

##### 2. 平面机构的结构分析

对已有机构或已设计完的机构进行运动分析和力分析时,需要对机构进行结构分析,即将机构分解为基本杆组、原动件和机架,结构分析的过程与由杆组依次

组成机构的过程正好相反,通常称此过程为拆杆组。

拆杆组时应遵循的原则是:从传动关系离原动件最远的部分开始试拆,每拆除一个杆组后,机构的剩余部分仍应是一个完整的机构。试拆时,按二级杆组试拆,若无法拆除,再试拆高一级别的杆组。

### 3. 平面机构的高副低代法

为了使平面低副机构结构分析和运动分析的方法适用于含有高副的平面机构,用低副代替高副分析平面机构的方法称为高副低代法。

高副低代的方法是用含两个低副的虚拟构件代替高副。

高副低代必须满足两个条件:替代前后机构自由度不变,替代前后瞬时速度和加速度不变。

对于一般的高副机构,在不同位置有不同的瞬时替代机构。经高副替代后的平面机构,可视为平面低副机构。



题 1-1 至 1-4 试画出图 1-3 至图 1-6 中平面机构的运动简图,并计算其自由度。

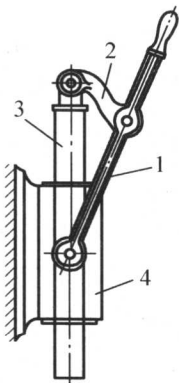


图 1-3 唧筒机构

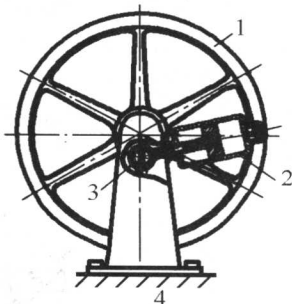


图 1-4 回转柱塞泵机构

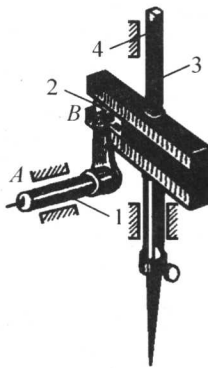


图 1-5 缝纫机针杆机构

解 题 1-1 机构运动简图如图 1-7(a)所示。

由  $n=3, P_L=4, P_H=0$  得  $F=3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$ 。

题 1-2 机构运动简图如图 1-7(b)所示。

