



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

机械原理学习指导 与习题选解

第二版

主编 邹慧君 梁庆华

高等教育出版社

普通高等教育“

才配套参考书

机械原理学习指导 与习题选解

Jixie Yuanli Xuexi Zhidao yu Xiti Xuanjie

第二版

主编 邹慧君 梁庆华

高等教育出版社·北京

内容提要

本书编写目的:帮助在校学生系统掌握且灵活应用所学的机械原理课程的基本内容,并培养学生运用机械原理的基本理论和基本方法解决机械工程实际问题的能力,同时为给广大设计人员综合运用机械原理理论知识去解决相关的工程实际问题提供参考。

根据现有的实际教学需要,全书共 17 章,包含绪论、机构组成原理和类型综合、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、机械的摩擦与效率、平面连杆机构、空间连杆机构、凸轮机构及其设计、齿轮机构、轮系、间歇运动机构、其他机构、广义机构、机械运转及其速度波动的调节、机械振动及隔离、机械平衡以及机械运动方案设计。每章基本上包括了提要、习题选解、习题精选和复习思考四部分。

本书既是重要的教学参考书,又是机械原理具体应用的实践指导书。本书可作为工科院校机械类、近机械类专业的辅助参考教材,也可作为报考机械专业研究生复习参考书,亦可供教师及工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理学习指导与习题选解/邹慧君,梁庆华主编.--2 版.--北京:高等教育出版社,2016.10

ISBN 978-7-04-046417-7

I. ①机… II. ①邹… ②梁… III. ①机械原理-高等学校-教学参考资料 IV. ①TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 206166 号

策划编辑 沈志强
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 宋 晓
责任校对 窦丽娜

封面设计 李树龙
责任印制 田 甜

版式设计 杜微言

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京铭传印刷有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 30.5
字 数 560 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2007 年 3 月第 1 版
2016 年 10 月第 2 版
印 次 2016 年 10 月第 1 次印刷
定 价 44.00 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 46417-00

第二版前言

机械原理课程是高等工科大学机械类和近机类各专业开设的一门主干技术基础课程。机械原理是将机械工程实践中关于机构和机器的设计问题进行抽象和概括而成的有关机械基础理论和方法。由于机械原理与机械工程实际问题紧密联系,因此它具有广泛的实际应用价值,对于解决机械工程中相关的机械运行管理、机器的操作和维护以及机械实践与设计等问题十分有用。但是,要将机械工程中的实际问题抽象和概括成机构和机器的理论计算模型,并由此解决机械工程实际问题并非易事。这往往也成为学习和掌握机械原理课程的难关。

为了帮助学生系统掌握和巩固机械原理的基本内容,培养学生运用理论知识解决工程实际问题的能力,我们除了编写了《机械原理》(第三版)和《机械原理课程设计手册》(第二版),同时还编写了《机械原理学习指导与习题选解》(第二版)。这三本书成为学习机械原理课程的系列教材,均由高等教育出版社出版。

《机械原理学习指导与习题选解》的编写先后经历了 30 年。1985 年我们编写了《机械原理习题集》(高等教育出版社),包括了 12 章。各章包括提要、例题、习题和思考题四个部分,其内容已超出了单纯的习题集。由于它内容丰富、针对性强,融合了上海交通大学机械原理教研室的多年教学经验,因此受到广大学生和教师的欢迎。在此基础上,我们于 2007 年编写了《机械原理学习指导与习题选解》。现在又在《机械原理学习指导与习题选解》的基础上,再次修订成《机械原理学习指导与习题选解》(第二版)。

本书有如下一些特点:

(1) 内容更加丰富,增加了绪论、间歇运动机构、广义机构和机械振动及隔离等章节,全书由第一版的 13 章增加为 17 章。成为集机械原理大全的学习指导教材。

(2) 通过习题选解,更好地总结解题思路和解题方法,以达到举一反三的学习效果。

(3) 强调了理论联系实际,学习如何把机械工程实际问题抽象为理论计算模型,同时通过理论计算,解决工程实际问题。使学生懂得如何发现和解决问题。

(4) 在书中不少习题选解强调了前后联系、综合思考以及解决比较复杂的工程问题能力的培养。

(5) 书中还精选了一些研究生考试试题和期终考试试题,有利于全面复习和提高解题能力。

全书共有习题选解 81 道、习题 386 道、复习思考题 302 道以及精选试题 244 道。

本书由邹慧君和梁庆华担任主编。邹慧君编写了第一、三、四~七、十五章;郭为忠编写了第二、八、十四章、附录 B;梁庆华编写了第九、十~十二、十六章;张青编写了第十三章;沈乃勋编写了第十七章、附录 A。最后由邹慧君、梁庆华统稿和定稿。

本书不但可以作为学生学习机械原理的学习参考,同时也可作为机械原理课程期终复习迎考以及考研复习的重要参考资料。

由于编者水平有限,书中疏漏和欠妥之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编 者

上海交通大学机械与动力工程学院

2016 年 5 月

第一版前言

机械原理课程是高等工科学学校机械类和近机类各专业开设的一门主干基础技术课程。为了帮助学生系统掌握和巩固所学的机械原理课程的基本内容;培养学生运用理论知识解决实际问题的能力;同时也帮助优秀学生深入学习、综合运用机械原理中的基本概念、基本理论和基本方法。我们在1985年编写、出版了《机械原理习题集》,内容共12章。各章均包括提要、例题、习题和思考题四个部分,实际上它的内容已超出了单纯的习题集。这本习题集由于内容丰富、针对性强,受到广大学生和教师的欢迎。但是由于此书出版已有20多年了。20年来机械原理课程内容和体系均有很大变化。

上海交通大学的机械原理课程内容和体系,通过20年来的教学和改革实践,已有较大变化,已形成了机构设计—机构系统设计—机械动力学的新体系。课程中加强了机构分析和设计的解析法、机构系统设计的内容。新体系将有利于培养学生的创新思维和创新设计能力。

机械原理课程的研究对象是机器和机构,由于课程性质决定了机器和机构的概念具有一定的抽象性、概括性和普遍适用性,这样有利于更深刻地研究机械产品设计中的基本理论和基本方法。这就说明为什么将机械原理学科称之为机械工程的基础。由于它的抽象性和概括性,会使学生在学习机械原理时感到比较困难、不易理解。编写本书的目的,就是为了帮助学生掌握机械原理内容的精髓,理解机械原理的理论和方法。

由于机械原理课程与机械产品设计紧密结合,机械原理课程的实践性十分明显,再加上它的抽象性。因此,学习机械原理过程中应紧紧掌握如下方法:

- 1) 熟悉和掌握机构运动简图的画法,能熟练地应用机构运动简图来分析机器。
- 2) 熟悉和掌握各种典型机构及其运动特点,深刻理解实际机械产品的基本特性。
- 3) 深刻理解基本概念,更好掌握机械原理课程的主要内容。
- 4) 深入理解和全面掌握本课程所采用的基本研究方法,如杆组法、转换机架法、机构演化法、等效法等等。
- 5) 注意在学习过程中进行前后联系、融会贯通、举一反三,掌握基本理论、

基本方法和基本技能。

6) 要重点复习有关习题选解,归纳总结解题思路和解题方法,从中得到启示,以达到举一反三的效果。使得做习题、做考题时有事半功倍的效果。

要学好一门主干课程,需要在各个环节上作努力,要有一套系列教学用书。本书与我们在高等教育出版社出版的《机械原理》(普通高等教育“十五”国家级规划教材)、《机械原理课程设计手册》将成为一套机械原理课程系列教材。我们希望这套教材不但有利于学生平时的学习,同时也可以帮助学生进行考研前的复习准备。

本书共有 13 章,各章内容均包括提要、习题选解、习题精选和复习思考题 4 个部分,能够充分满足学习本课程的需要。全书共有习题选解 75 道、习题 475 道、复习思考题 249 道,力争做到精、全、优。书中还有两个附录,其中精选试题 222 道。

本书由邹慧君、郭为忠担任主编。邹慧君编写了第 1、10、12、13 章,沈乃勋编写了第 2、8、9 章及附录 A,张青编写了第 3、4、5 章,郭为忠编写了第 6、7、11 章及附录 B。最后由邹慧君、郭为忠负责统稿和定稿。

由于编者水平所限,书中疏漏和欠妥之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编 者

于上海交通大学徐汇校区

2005 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1
一、提要	1
二、复习思考题	3
第二章 机构组成原理和类型综合	4
一、提要	4
二、习题选解	6
三、习题精选	9
四、复习思考题	28
第三章 平面机构的运动分析	30
一、提要	30
二、习题选解	35
三、习题精选	47
四、复习思考题	52
第四章 平面机构的力分析	55
一、提要	55
二、习题选解	57
三、习题精选	68
四、复习思考题	83
第五章 机械的摩擦与效率	85
一、提要	85
二、习题选解	90
三、习题精选	110
四、复习思考题	131
第六章 平面连杆机构	134
一、提要	134
二、习题选解	139
三、习题精选	151
四、复习思考题	163

第七章 空间连杆机构	165
一、提要	165
二、习题选解	169
三、习题精选	173
四、复习思考题	179
第八章 凸轮机构及其设计	181
一、提要	181
二、习题选解	190
三、习题精选	199
四、复习思考题	214
第九章 齿轮机构	219
一、提要	219
二、习题选解	227
三、习题精选	238
四、复习思考题	241
第十章 轮系	246
一、提要	246
二、习题选解	256
三、习题精选	263
四、复习思考题	269
第十一章 间歇运动机构	271
一、提要	271
二、习题选解	274
三、习题精选	275
四、复习思考题	278
第十二章 其他机构	279
一、提要	279
二、习题选解	280
三、习题精选	281
四、复习思考题	286
第十三章 广义机构	288
一、提要	288
二、习题精选	294
三、复习思考题	294

第十四章 机械的运转及其速度波动的调节	295
一、提要	295
二、习题选解	299
三、习题精选	303
四、复习思考题	313
第十五章 机械振动及隔离	315
一、提要	315
二、习题选解	319
三、习题精选	321
四、复习思考题	322
第十六章 机械平衡	323
一、提要	323
二、习题选解	329
三、习题精选	337
四、复习思考题	347
第十七章 机械运动方案设计	350
一、提要	350
二、习题选解	356
三、习题精选	369
四、复习思考题	385
附录 A 试题精选	387
附录 B 计算机辅助解题	449
参考文献	476

第一章

绪 论

一、提要

1. 机械原理的研究对象

(1) 机械原理又称为机器理论与机构学

机械原理是研究机构和机器的运动与动力特性以及机械运动方案(机构系统方案)的设计。

(2) 机械原理的研究对象是机械

机械是机构与机器的总称。机器一般可以分为动力机器、工作机器和信息机器三类。

2. 现代机器的组成和主要特点

传统机器实现机械自动化,现代机器实现智能自动化。

现代机器通常由控制系统、信息测量和处理系统、动力系统、传动系统以及执行机构系统等组成。

现代机器的主要特点:采用广义机构。广义机构的构件、运动副以及驱动元件广义化,即构件不再是刚性构件,运动副可以包括有间隙的或柔顺的铰链;驱动元件包括了电动机、液动和气动机构、电磁铁、压电晶体、形状记忆合金等。

3. 机械设计概述

(1) 机械设计的一般进程

机械设计的一般进程为:

(a) 产品规划阶段:包括需求分析、市场预测、设计参数确定等。

(b) 方案设计阶段:包括产品功能分析、功能原理求解和评价决策等。

(c) 详细设计阶段:包括总体设计、部件和零件设计等。

(d) 改进设计阶段:包括根据产品在试制、试验、鉴定等环节中所暴露的问

题,做相应的技术完善工作等。

(2) 机械运动方案设计的主要内容

在方案设计中核心的工作是机械运动方案(机器的机械运动简图)设计。它体现了机器的功能要求、工作机理和机械工艺动作过程等关键技术要求,是决定机械产品质量、性能和经济效益的关键。

(3) 机电一体化技术在机械运动方案设计中的作用

现代机器已由机械自动化机器向智能化自动化机器发展。机电一体化技术、自动化控制技术、计算机技术等是实现机器智能化的关键。机电一体化技术在机械运动方案中的应用是使机器走向智能化的重要步骤。

4. 机械原理课程的地位和作用

(1) 机械原理课程在培养机械类专业人才中的地位和作用

机械原理是阐明机构设计—机构系统设计—机械动力学的重要技术基础课。由于课程的独特内容和作用,机械原理有利于培养机械开发创新能力和专业适应能力。

(2) 机械原理课程的主要内容

机械原理课程主要内容可以概括为三大部分:

① 机构设计:包括机构的组成、齿轮机构、凸轮机构、连杆机构、间歇运动机构、广义机构及其他机构等。

② 机构系统设计:包括工艺动作过程构思与运动协调设计、机械运动方案设计等。

③ 机械动力学:包括机械的运转及其速度波动的调节、机械振动及隔离、机械平衡等。

(3) 机械原理课程学习的注意事项

① 要习惯于采用机械(机构和机器)运动简图来认识机构和机器,机械运动简图代表了整个机器各机构运动关系。

② 要全面掌握本课程特有的基本方法,如杆组法、转换支架法、机构演化法、等效法等。

③ 在解决机械工程实际问题时,要善于综合运用各种方法分析和解决问题。

5. 对机械原理课程发展动向的关注

机械原理与电子学、信息科学、计算机科学、生物科学以及自动化控制理论密切结合,发展迅速。在机构的结构理论、连杆机构设计、凸轮机构设计、间歇运动机构、组合机构、机械动力学、微纳机械、可控机构、机器人机构以及机构系统设计等方向均有不少新的研究成果。

二、复习思考题

1. 机械原理的研究对象是什么?
2. 机械原理主要研究内容是什么?
3. 现代机器由哪些部分组成?
4. 现代机器有哪些主要特点?
5. 请简述机械设计的一般进程。现有教材有哪几种不同的机械设计进程?
6. 请举几种日常应用的例子说明工作机器、动力机器和信息机器,它们各有什么特点?
7. 为什么说机械运动方案设计是机械设计中最关键的内容?
8. 为什么说机械运动方案设计又可称为机构系统设计?
9. 机械原理课程内容与机器创新设计紧密相连,在培养机械创新设计能力方面有独特的作用。请谈谈你的体会。
10. 请你谈谈对第二次机器革命的认识。
11. 机器由机械自动化进入智能自动化是第二次机器革命的主要指标,为什么?
12. 什么是机电一体化系统?如何在机械运动方案中采用机电一体化技术?请谈谈你的看法。
13. 机械原理课程在机械类专业的教学计划中有什么样的地位和产生什么样的作用?请具体说明。
14. 为什么说建立起机构设计—机构系统设计—机械动力学体系是机械原理课程改革的主要内容?
15. 在机器中常用的机构有哪几种?
16. 为什么机器创新设计最核心的内容是机构系统设计?机构系统设计的理论和方法的研究是机械原理重要的分支,为什么?
17. 机械动力学主要包括哪些内容?对现代机器设计具有哪些重要的作用?
18. 谈谈你学习机械原理课程的体会和想法。

第二章

机构组成原理和类型综合

一、提要

1. 构件、运动副、运动链、机构、机器的定义

(1) 构件 机械中每一个运动单元体称为一个构件(或简称为“杆”)。它可能就是一个零件,也可以由几个零件刚性连接而成。

(2) 运动副 凡两构件直接接触而又能作一定相对运动的活动连接称为运动副。

例如,轴与轴承的连接、轮齿与轮齿的连接以及滑块与导槽的连接都是运动副。

构件之间的接触不外乎点、线、面三种。两构件通过点、线接触而构成的运动副统称为高副;两构件通过面接触而构成的运动副统称为低副。

两构件上直接接触而构成运动副的部分称为运动副元素。

(3) 运动链 两个以上构件通过运动副的连接而构成的系统。运动链中的构件不能构成首尾封闭的系统称开式运动链;运动链中构成首尾封闭的系统称闭式运动链。

(4) 机构 将运动链的一个构件固定为机架,当它的另一个或几个构件相对固定构件作独立运动时,其余构件即随之而作确定的运动,这种运动链便称为机构。

(5) 机器 在生产实践中能用来代替人类的劳动以完成有用的机械功或转换机械能的机构或机构系统称之为机器。

机械是机构和机器的总称。

(6) 机械系统 若干机构组成的系统称机械系统。

这种机械系统就是机器。若干机器组成的系统也称机械系统。这种机械系统也可称为生产线。

(7) 机电一体化系统 将计算机信息处理和控制技术与可控机构融合在一

起的现代机构系统称为机电一体化系统。其实质还是机械系统。

(8) 机械运动方案 按一定工艺动作过程要求设计的机器运动简图称为机械运动方案。它是机器方案最关键的部分。

机械运动方案实际上就是一系列执行机构所组成的机构系统。

2. 机构运动简图的意义和画法

从研究机器和机构的运动特性考虑,为了简化,常常撇开那些与运动特性无关的东西(具体的构造和外形等),采用运动副和构件的符号所组成的简单图形,称为机构运动简图。

机构运动简图的绘制方法:首先是要确定机架位置及活动构件的数目;再确定各构件间的运动副的种类和数目;还要测出各个运动副之间的直线尺寸;最后用运动副和构件的符号用合适的视图和比例尺画出机构运动简图。

3. 机构自由度计算公式

机构具有确定位形时所必须给定的独立运动参数的数目称为机构的自由度。要使机构具有确定的运动,必须使机构的原动件数目等于机构的自由度数。

对于平面运动的机构,自由度计算公式为

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

其中 n ——机构活动构件的数目;

P_L ——低副的数目;

P_H ——高副的数目。

计算机构自由度时应注意复合铰链、局部自由度和虚约束等情况。

对于空间机构,自由度计算公式为

$$F = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1$$

其中 n ——活动构件的数目;

P_1 ——I级副的数目;

P_2 ——II级副的数目;

P_3 ——III级副的数目;

P_4 ——IV级副的数目;

P_5 ——V级副的数目。

4. 机构的组成原理和基本杆组

任何机构都包含机架、主动件和从动件系统三个部分。从动件系统的自由度必然为零。从动件系统又可以被认为是若干个自由度为零的运动链的组合。我们把基本的不可再分的、自由度为零的运动链称为杆组。

机构的组成原理:任何机构一般都可以利用杆组依次连接到一个(或几个)主动件和机架上去的方法来组成。

对于仅含低副的机构,最简单的杆组为 $n=2, P_1=3$, 这种杆组称为Ⅱ级杆组。按转动副、移动副组合不同共有 5 种类型。

对于 $n=4, P_1=6$ 的杆组有两类:包含由三个内副(即杆组各杆间连接的运动副)组成的封闭三角形的杆组称为Ⅲ级杆组;包含由四个内副组成的封闭四边形的杆组称为Ⅳ级杆组。

5. 高副低代法

为了研究机构的结构分类以及便于进行机构的运动分析和力分析起见,将平面机构中的高副用低副所组成的运动链来代替。要求代替前后,机构的自由度和机构的瞬时运动不变。

代替高副的最简单的应为一个具有两个低副的构件。

高副低代后的机构称高副低代机构,或代替机构。

二、习题选解

例 2-1 图 2-1a 所示为一颚式破碎机。电动机通过带轮 6 驱动偏心轴 1 运动时,带动连杆 2(即动颚板)摆动,从而将落入动颚板及定颚板 5 工作空间内的矿石轧碎。试绘此破碎机的机构运动简图。

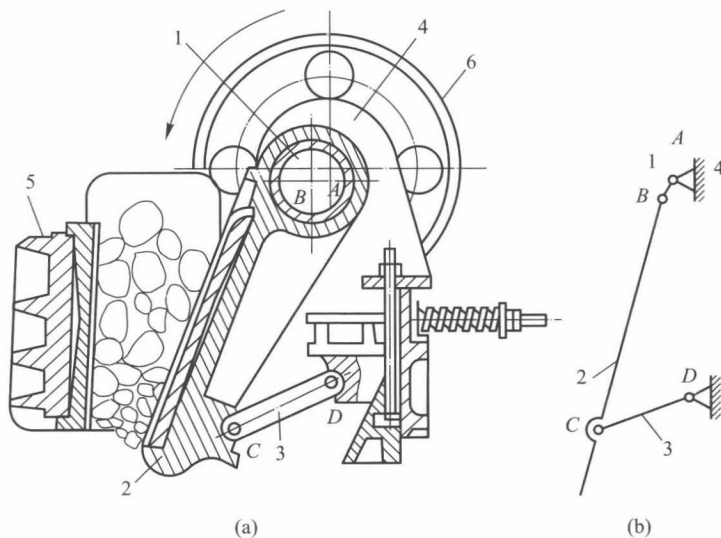


图 2-1

解 根据绘制机构运动简图的步骤,先找出破碎机的原动部分为偏心轴 1,执行部分为动颚板 2。然后循着运动传递的路线可以看出,它是由偏心轴 1,动颚板 2,摇杆 3 和机架 4 四个构件组成的。其中偏心轴 1 和机架 4 在 A

点构成转动副;偏心轴 1 与动颚板 2 在 B 点构成转动副,动颚板 2 与摇杆 3 在 C 点构成转动副,摇杆 3 与机架 4 在 D 点构成转动副。

将破碎机的组成情况搞清楚后,再选定投影面和比例尺,并定出转动副 A 、 B 、 C 、 D 的位置,便不难绘出其机构运动简图如图 2-1b 所示。

例 2-2 确定图 2-2 所示穿孔式计算机中升杆和计算卡停止机构的自由度。有箭头标记的为主动件,说明此机构是否具有确定运动。

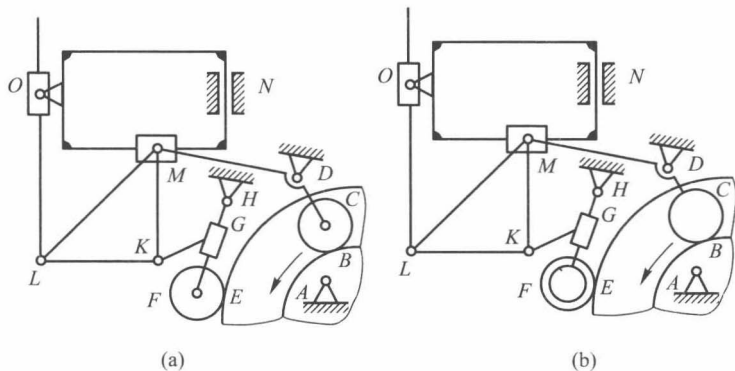


图 2-2

解 图中两滚子各有一个局部自由度,为了去除这两个局部自由度可将此机构画成图 2-2b。在 M 点处有复合铰链,因此 $n=9$, $P_L=12$, $P_H=2$, 由机构的自由度公式得

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 9-2\times 12-2=1$$

此机构由于自由度等于主动件数,因此是具有确定运动的。

例 2-3 确定图 2-3a 所示机构的自由度。并分析主动件分别为构件 1、3、5 时,杆组的数目、级别以及机构的级别。

解 1. 确定机构的自由度

因为 $n=5$, $P_I=7$, 所以机构自由度

$$F=3\times 5-2\times 7=1$$

2. 分离杆组和确定机构级别

(1) 若构件 1 为主动件:如图 2-3b 所示,可拆下两个 II 级杆组 BC 及 DE , 可知该机构是由原动件、机架和两个 II 级杆组所组成。故属于 II 级机构。

(2) 若构件 3 为主动件:如图 2-3c 所示,可拆下两个 II 级杆组 ABC 及 DE , 可知该机构是由主动件、机架和两个 II 级杆组所组成。故属于 II 级机构。

(3) 若构件 5 为主动件:如图 2-3d 所示,可拆下一个 III 级杆组 $ABCD$, 可知该机构是由主动件、机架和一个 III 级杆组所组成。属于 III 级机构。