

高等学校教材

# 机械原理 学习指导书

东南大学机械原理及机械设计教研室

郑文缙 郑星河 主编

SH111

高等教育出版社

(京) 112 号

## 内 容 提 要

本书为根据 1987 年国家教育委员会批准颁发的《高等工业学校机械原理课程教学基本要求》而编写的高等学校教材《机械原理》的辅助教材。

本书以东南大学机械原理及机械零件教研室编、黄锡恺、郑文纬主编的《机械原理》为参照教材。书中简要地介绍了机械原理课程教学的各个环节，各章讲课时的分配，各章教学内容的学习指导（包括各章节的内容提要与注意事项、基本要求和重点、学习方法以及例题分析等），最后还附有复习参考资料。

本书可作为各类型工业院校（包括全日制、电大、夜大、职大、函授、自学等）机械类专业学生学习《机械原理》时的辅助教材，也可供非机械类各有关专业的学生参考。同时也可各校青年教师备课的参考书。

高等学校教材

### 机械原理学习指导书

东南大学机械原理及机械设计教研室

郑文纬 郑星河 主编

\*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 4.25 字数 102,000

1992年3月第1版 1992年3月第1次印刷

印数 0001—132

ISBN 7-04-003852-7/TH·306

定价 1.90 元

## 序 言

本书编写的主要目的是：与高等教育出版社出版的高等学校教材《机械原理》相配合，使广大师生在应用教材从事机械原理课程教学活动时，更好地贯彻1987年国家教委批准颁发的《高等工业学校机械原理课程教学基本要求》。特别希望能根据学生主、客观的特点，在充分发挥机械原理课程的实际教学效果中，起到积极的作用。

当前各高等工业学校基本上都面临各门课程学时偏紧，课程内容又随着时代的发展而不断更新的情况。因此，如何有效地发挥每一学时的作用；如何更好地精选内容、加强学习指导、改进学习方法等都是值得探讨的问题。本书是根据编者从事机械原理课程教学的经验，针对学生的学习情况，以及青年教师在从事教学工作中的需要而编写的。

本书由机械原理的“基本要求和学习方法”、“教学环节和课时安排”、“各章教学内容学习指导”、“复习参考题”四部分组成，而以“各章教学内容学习指导”为核心。为了读者阅读时便于对照，本书以高等教育出版社1989年出版的东南大学机械原理及机械零件教研室黄锡恺、郑文纬主编的《机械原理》（第六版）为参照教材（以后简称“教材”）。即在章节名称、次序、图表、符号和内容设置等均与该教材一致，但本书所述各章节内容学习指导等又有其相对独立性。读者可根据需要选读。

本书编写时参阅了各有关高等学校的《机械原理》教材和学习参考资料，还得到各方面的关心和支持，得益不少。最后承原国家教委机械原理教学指导小组委员、合肥工业大学丁爵曾教授详细审阅、提出了很多宝贵意见。编者均深表谢意。

参加本书编写的有张融甫、吴克坚、郑星河和郑文纬等同志，由郑文纬和郑星河负责主编。全部插图由马红霞描绘。

本书的见解和处理方法很可能有囿于局部之见，不妥之处欢迎多多指正。

编 者

1991.7.

# 目 录

一、机械原理课程的基本要求和学习方法 .....	1
二、机械原理课程的教学环节和课时安排 .....	4
三、各章教学内容学习指导 .....	8
绪论 .....	8
第一章 机构的结构分析 .....	10
第二章 平面机构的运动分析 .....	16
第三章 平面连杆机构及其设计 .....	24
第四章 凸轮机构及其设计 .....	31
第五章 齿轮机构及其设计 .....	36
第六章 轮系及其设计 .....	47
第七章 其他常用机构 .....	54
第八章 机构的选型和组合应用 .....	57
第九章 平面机构的力分析 .....	67
第十章 平面机构的平衡 .....	74
第十一章 机器的机械效率 .....	81
第十二章 机器的运转及其速度波动的调节 .....	88
第十三章 电子计算机在机构分析与综合中的应用 .....	95
附录 空间连杆机构及其设计 .....	102
四、复习参考题 .....	110
复习参考题部分答案 .....	128

# 一、机械原理课程的基本要求和学习方法

## 1. 基本要求

《高等工业学校机械原理课程教学基本要求（机械类专业适用）》（以下简称《基本要求》）明确指出：机械原理是机械类专业中研究机械共性问题的—门主干技术基础课。它的任务是使学生掌握机构学和机械动力学的基本理论、基本知识和基本技能，并初步具有确定机械运动方案、分析和设计机构的能力。它在培养机械类高级工程技术人才的全局中，具有增强学生对机械技术工作的适应性，培养其开发创新能力的作。因此，在理论教学、课程设计和实验三方面都提出了基本要求。现综合成下列各点：

（1）明确机械原理课程的研究对象；对有关机械原理学科的工程应用和新发展有所了解。

（2）能绘制机械系统的机构运动简图，判定其有确定运动的条件；了解平面机构的组成原理。

（3）掌握一般平面机构运动学方面的基本知识，能对平面机构进行运动分析。

（4）掌握几种主要机构（平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构）的运动特性，并能按给定的几何条件与运动条件设计。

（5）了解其他常用机构的运动特点和使用场合。

（6）具有机构选型的基本知识和机构组合应用的概念。

（7）掌握机械动力学方面的基本知识，能按动力条件分析和计算一般机械中平面机构的运动副反力、平衡力，计算机械效率，判定自锁条件；掌握如机械平衡及飞轮设计等按已知动力条件设计机械的基本理论。

（8）具有解题、运算（包括应用电子计算机）、制图及使用有关

技术资料的基本技能。

(9) 掌握本课程实验的基本原理和方法。

(10) 通过课程设计能综合应用所学的基本知识,初步确定简单机械系统的运动方案,能对方案中某些机构进行分析和设计。

## 2. 学习方法

本课程是一门技术基础课,它既有基础课的特点,如理论系统性强,基本概念多等;又有专业技术课的特点,如结合工程实际,因此在学习时,应着重注意以下几点:

(1) 联系和掌握理论力学课程中的有关理论。

机械原理与理论力学两门课程关系十分密切,机械原理的一些理论常常是理论力学一些原理的进一步具体化。因此,学习时要善于联系和掌握理论力学中的有关理论,使概念更清楚。

(2) 掌握分析问题和研究问题的专门方法。

在机械原理课程中常采用以下方法分析和研究问题。例如:用反转法设计凸轮轮廓、四杆机构和计算周转轮系的传动比;用量法近似研究斜齿轮法面齿形、圆锥齿轮大端齿形及楔形滑块的摩擦等等;用相对运动图解法研究机构的运动分析;用等效法简化机械系统的运动状况;用代换法研究机械的平衡等等。在学习时应注意掌握这些方法的基本原理、了解用这些方法研究分析问题的优点以及怎样用这些方法去研究分析问题等等。

(3) 在掌握解析法的同时,应懂得图解法和实验法等工程方法的特点。

在具体设计计算中,除采用精确的解析法以外,还采用图解法与实验法。图解法虽然精度不够,有一定的误差,但概念清楚,易掌握,且易于检查解题中的错误,尤其是向量多边形法,在全书中多处用到。实验法常用来解决较复杂的具体工程实践问题,甚至还常用试凑法来近似解决工程上精度要求不高的问题。从工程实

用观点出发,图解法与实验法有一定的实用价值,在学习时应予以足够的重视。

(4) 善于联系实际,注意图文结合。

学习时应多看具体的机构与机器的实物、模型、教具及有关的教学录像片,平时在日常生活中应多注意观察和分析周围所见到的机械,将所学的理论与实际紧密联系起来,加深印象和对所学理论和方法的理解。

本课程在分析与设计具体机器、机构时,应用了许多简图。在学习时,一定要边看书、边熟悉图、图文结合;还要边动手画,用图来帮助理解和加深概念。尤其齿轮一章,有许多基本公式、基本概念、基本理论等,应该用图来帮助理解和记忆,切不可死记硬背。

(5) 重视各个教学环节的活动。

本课程的基本要求是通过各个教学环节的活动,加上学生本人的主动学习逐步达到的。在学习时不可偏废,各教学环节应起相结合、相辅相成的作用。



## 二、机械原理课程的教学环节和课时安排

### 1. 教学环节

#### (1) 听课与自学

学生听教师讲课是机械原理课程教学的主要环节。教师通过讲课将知识系统地传授给学生,尤其对教材中的重点和难点内容,主要是通过讲课帮助学生掌握。但学生不能完全依赖于听课,还应培养自学的能力。将听课与自学结合起来,为此应着重注意以下几点:

1) 在听课前应预习老师将讲授的内容,使自己心中有数。凡预习已懂的内容,可写下心得体会。预习中不懂的部分应在听课时集中精力,重点领会,然后用自己的语言记下心得。这样变被动为主动,可以提高听课效率,也锻炼了自学能力。

2) 在听课中应勤于思考,注意教师分析问题的思路和方法。对所提出的一些重要的概念和定义首先要做到理解,弄清其建立的根据、目的和应用场合。听课中如有疑问,可随时记下,待课后复习和答疑时解决,不要中断听课。

3) 讲课时如教师边讲边作图,学生亦宜边听边作图,这样容易理解问题的发展过程,而且能够锻炼徒手作图的能力。

4) 课后应及时复习,在阅读教材中,凡教材大字部分是《基本要求》规定的基本内容,必须掌握,因而应仔细地阅读;小字部分为例题或次要内容,教师一般选择性地讲,从培养自学能力出发,也应该阅读;教材中有\*号的内容为扩充或提高的内容,学生可根据自己的能力和时间,选择阅读。除了阅读教材以外,学生可在教师的指导下,阅读有关参考书。

5) 在自学和听课的过程中,如条件许可,开展有准备的同学

间和师生间的讨论,可以活跃思维、扩大思路、提高兴趣和加深理解。

## (2) 实验

实验的目的在于验证、巩固和加深理解课堂讲授的基本理论和知识;培养学生用实验手段进行机构分析和综合的能力;掌握常用的机械运动及动力参数的测试方法以及养成严肃认真、踏实细致的工作作风。

实验前应预习实验指导书,了解实验目的、方法、步骤及注意事项,实验中应认真、细致,要自己动手做实验。实验结束后,应对实验结果进行分析、讨论、认真写好实验报告。

## (3) 习题课

在学时允许的情况下,为了帮助学生深入理解和巩固所学的知识,教师可对教材中的难点和重点内容安排习题课,常在运动分析、齿轮、轮系、摩擦和效率、机构选型等章节后进行。习题课方式可以多种多样,以解题为主。一般可对有关章节内容进行小结,同时对如何运用所学的理论和方法进行解题给予适当的提示和提问。然后组织学生讨论。学生则应在解题练习中,积极思考,充分运用所学知识分析和解决问题。在讨论中要发挥主动性,同时倾听其他同学的见解。做到在解题中进一步掌握课程内容,培养独立思考与解决问题的能力。习题课每次两学时为宜。

## (4) 课程设计

机械原理课程设计是有关教学计划中的第一个设计。它除了巩固、加深和综合应用所学的理论知识外,还应使学生受到确定运动方案的初步训练,通过设计进一步提高学生使用技术资料、运算、绘图及应用计算机的能力。

课程设计的选题有两种类型:一种是给定具体的机器(或机构)进行分析和综合。其内容可包括运动分析、力分析及飞轮设计和机构的设计,这种类型题目,将教材中的运动学、动力学内容串

起来,使学生对机器设计有一个较完整的概念。另一种类型是运动方案的设计,要求学生按照题目给定的机械用途、功能及工艺条件所提出的运动要求,或构件位置、点的轨迹等进行机构选型、尺度综合、主要参数优选,画出运动方案的传动系统图及运动循环图,这种类型的题目要求学生能灵活应用所学的知识,并在设计中主动收集、钻研参考资料,积极构思,发挥聪明才智与创造精神。在设计前,有条件的可到一些工厂参观各种机械,如印刷机械、食品机械、包装机械等,了解各种机构如何协调运动,以扩大知识面。在设计中应多开展方案选择的讨论与比较。由于运动方案选择还牵涉到有关专业课程内容、如加工、工艺、成本等,学生还未学过,因此本课程设计的选型仅从实现运动的角度去分析讨论。

在这两种类型的选题中,前者是传统的做法,但根据《基本要求》,应尽量向后者过渡,增加机构选型、确定机械运动方案的内容。当然课程设计的工作量应视所给的学时而定。

不论哪一种类型的课程设计,都可用图解法、解析法或两者结合进行。设计要求图面整洁,合乎规范,计算步骤清晰,书写端正,完成规定的图纸和计算说明书。

为掌握先进的计算技术,为今后工作打下基础,有条件的可用电子计算机进行课程设计。设计前应复习有关的算法语言,及计算机的操作使用。设计中要求学生能建立数学模型、绘制框图、编写程序、上机运算,并会分析运算的结果,或绘制有关的曲线。

#### (5) 答疑、考试

答疑主要应放在课程进行的过程中,教师在课余以一定的时间解答学生的疑难问题,并可及时了解学生的学习情况和教学效果。学生应在自己钻研的基础上,请教师予以协助,也可随时反映教学中的意见,使师生之间得到交流。

考试是检查教学质量的一种规定形式。一般在学期中间进行

一次测验，期末再进行考试为宜。考试以笔试为主。目前国内有些学校已试用机械原理题库进行考试命题。成熟的试题库使考试的结果更科学而客观，有条件的可以进行试验。

## 2. 课时安排

(1) 按《基本要求》的学时参考范围为课内总学时 65~80 学时，课程设计一周~一周半。这是参照一般情况而定的，应视各校、各专业的具体要求而选择内容，安排进度。

(2) 以下选列各章的讲课时数(按高、低两种学时分)供参考。

章次	名 称	讲课时数		备 注
		少学时	多学时	
0	结 论	1	1	
1	机构的结构分析	3	4	
2	平面机构的运动分析	7	8	
3	平面连杆机构及其设计	7	8	
4	凸轮机构及其设计	7	8	
5	齿轮机构及其设计	16	18	
6	轮系及其设计	3	4	
7	其他常用机构	2	2	
8	机构的选型和组合应用	2	4	
9	平面机构的力分析	3	4	
10	平面机构的平衡	2	3	
11	机器的机械效率	3	4	
12	机器的运转及其速度波动的调节	3	4	
13	电子计算机在机构分析与综合中的应用	0	(5)	结合课程设计讲授
	实 验	6	8	
	总 计	65	80	

## 三、各章教学内容学习指导

### 绪 论

#### 1. 内容提要

##### (1) 各节提要与注意事项

1) §0-1 通过单缸四冲程内燃机和牛头刨床两个实例阐述机器、构件、机构等最基本的概念，并由此扩大到工作机、原动机、机组、原动件(主动件)、从动件、输入构件、输出构件和机架等名词的含义。本节着重说明“机械”是机构和机器的总称，而机构是组成机器的基本组合体，两者有相同之处，也有不同的地方。学习本节还应该注意，随着近代科学技术的发展，从学科的角度看，机构和机器的概念也有相应的变化。机械原理的名词术语，过去没有统一的规定，教材中所使用的名词术语虽然也带有编者的倾向性，但大都与传统和公认的相一致。最近国家技术监督局颁布了我国国家标准 GB10853-89《机器理论与机构学术语》<sup>①</sup> (Terminology for the Theory of Machines and Mechanisms)。今后应以国家标准为准。

2) §0-2 系统而简要地叙述本课程的内容和在教学中的地位、任务和作用。这里不要求学生对这些问题能深刻理解，但应有一总体的印象，并了解本课程与有关课程的有机联系和独特的作用。

---

<sup>①</sup> “机械原理”和“机器理论与机构学”是对“Theory of machines and mechanisms”的不同译法。

3) §0-3 简述本课程与发展国民经济的关系。其目的在于使学生在学本课程时能了解它与国民经济间的关系,从而有助于学生进一步明确学习目的,提高兴趣,增加主动性。

4) §0-4 概略地介绍机械原理学科的新发展。由于近一、二十年来机械原理学科发展很快、面广量大,作为一本教材只能提纲挈领地作一介绍。在这方面,国内外学者常有专题论述。

## (2) 基本要求和重点

1) 《基本要求》中第一段对机械原理课程的地位、作用和任务作了明确的说明,在第二段理论教学的基本要求中要求在“绪论”内明确本课程的研究对象、内容以及在培养机械类高级工程技术人才全局中的地位、作用和任务,并对机械原理学科的新发展有所了解。因此,本章充分利用“绪论”的篇幅对以上内容作了安排。本章重点为§0-1、§0-2。

2) 比《基本要求》多出的内容是§0-3,可供学生课外阅读,不必在课堂讲授。

## 2. 学习方法

“绪论”一般安排一个学时左右的讲解,主要明确本章重点及了解一些基本概念,如什么是机构?什么是机器?两者的异同;构件与零件的区分等。如时间允许,可安排一些供探讨的内容。学生也可找一些不同观点的教材来加以比较。如苏联 O·H·列维茨卡娅等著的《机械原理教程》(人民教育出版社 81 年出版译本)。另外,也可参阅国家标准《机器理论与机构学术语》中有关内容。

其它内容通过阅读教材即可理解。

## 3. 例题分析

(1) 什么是“机构”?电动机的转子与支承转子的轴承组合算不算“机构”?

教材将机构定义为“能实现预期的机械运动的各构件(包括机架)的基本

组合体”。因此,电动机应该是一个最简单的双杆回转机构,这与苏联阿尔托包列夫斯基所著的《机械原理》中的见解是一致的。而苏联列氏所著《机械原理教程》则将机构定义为:“用以变换刚体机械运动的装置”。因此认为电动机转子与支承转子的轴承没有这种变换,不能组成机构,这是一种与传统不同的见解。

国家标准将机构定义为“机构是用来传递运动和力的、有一个构件为机架的、用运动副连接起来的构件系统”。可试用以对照和分析上述定义。

(2) 随着科学技术的发展,机器和机构的概念有些什么相应的变化?

随着科学技术的发展,组成机器和机构的运动单元构件在某些情况下已不能简单地看成刚体,而应作弹性体考虑;有些气体和液体也参与了实现预期的机械运动。因此在机械原理学科的研究内容中就包括含有弹性构件的机构学,关于气动机械和液压机械将另有专门课程讨论。作为学习基础理论,本课程仍将构件看作刚体。

机器发展至今天,不仅可以代替人的体力劳动,还可以代替人的脑力劳动。因此,机器的概念也在扩大,它应是一种能变换和传递能量、物料与信息、能执行机械运动的综合系统。这些是目前的机构所不具备的,但机器的基础仍然是机构,教材上说“机器是由各种机构所组成的系统”应强调这是从力学的观点说的。从整体上说,机器还包含有各种电子控制系统,在现代机器中,这方面愈来愈显得重要。当微电子技术逐渐渗入机械后,机器和机构的含义也将变化,当前的“机电一体化(Mechantronics)”就是这种发展趋势。

## 第一章 机构的结构分析

### 1. 内容提要

#### (1) 各节提要与注意事项

1) §1-1介绍研究机构结构的目的。

2) §1-2 及§1-3 主要内容是平面运动副的分类及平面机构运动简图的绘制。按照相对运动,平面运动副可分为转动副、移动副和平面高副。用规定的符号表示构件和运动副,并按一定比例作图,便可得出机构运动简图。

3) §1-4 介绍平面机构自由度计算, 计算公式为  $F=3n-2P_L-P_H$ , 只有自由度大于零且与原动件数相等, 机构才具有确定运动。为了正确运用自由度计算公式, 必须注意机构中的复合铰链、局部自由度和虚约束。

4) §1-5 主要介绍平面机构的高副低代、平面机构组成原理和结构分析。平面机构高副低代的最简单方法是用具有两个转动副的构件取代一个高副, 这两个转动副分别处在两轮廓接触点的曲率中心。全由低副组成的平面机构以连架杆为原动件时, 可分解为机架、原动件和若干个自由度为零的杆组。

## (2) 基本要求和重点

1) 掌握各种平面运动副的一般表示方法, 能较熟练的看懂教材中的平面机构运动简图, 通过实验初步掌握根据实际机构绘制成机构运动简图的技能。

2) 能识别平面机构运动简图中的复合铰链、局部自由度和最常见的虚约束; 会运用自由度计算公式, 计算平面机构的自由度, 并判断其运动是否确定。

3) 了解平面机构的组成原理, 掌握高副低代的方法, 能够将 II 级机构分解为机架、原动件和若干杆组。

本章主要研究平面机构的结构分析, 重点是看懂和绘制平面机构运动简图, 并计算平面机构的自由度。判断虚约束是个难点, 只要求掌握教材中列举的几种实例, 不宜对此花费过多精力。§1-6 空间机构结构分析的基本知识可列为选学和加深内容。

## 2. 学习方法

(1) 为了反映机构的真实运动, 绘制机构运动简图时, 代表转动副的小圆, 其圆心必须与相对回转中心重合; 代表移动副的滑块, 其导路方向必须与相对移动方向一致。

偏心轮和圆弧形滑块, 是转动副的特殊形式, 初学者往往被它



们的外形所困惑,而不善于用简图来表示,事实上,只要找出相对转动中心,就能方便地画出简图。例如图 1-1a 所示偏心轮机构,构件 1、2 的相对回转中心在  $B$ ,故可用图 1-1b 表示。又如图 1-2a 所示圆弧形滑块 3 与机架的相对回转中心在  $D$ ,故可用图 1-2b 来表示。有关偏心轮机构和圆弧形滑块的内容,教材安排在第三章,建议提前自学,以便于掌握绘制机构运动简图的技巧。

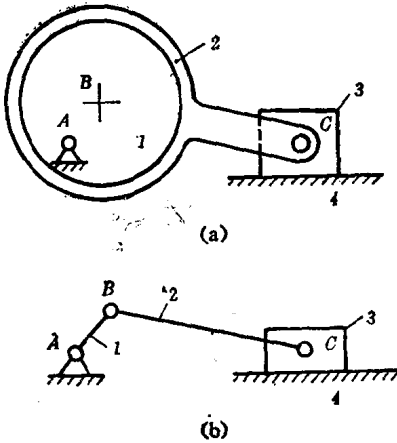


图 1-1

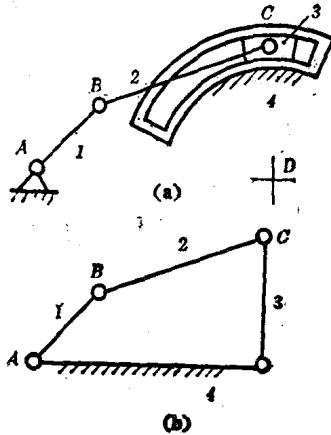


图 1-2

要熟悉可组成一个转动副和一个移动副的二副杆的不同表示方法。教材中图 1-7c 和  $c'$  虽形式不同,但实质完全相同,因为回转中心的位置和导路的方向均未改变。在书中大多数情况常用  $c'$  形式,例如教材图 1-24b 通常多用图 1-24c 的形式,这种形式可使运动分析和力分析更为简捷,故应当熟悉这种表示方法。

(2) 计算自由度时应注意的三种特殊问题:

1) 复合铰链是指两个以上回转副中心相重合,而不应根据若干构件汇交来判断。例如教材习题 1-6 压缩机机构下方铰链中心虽有四个构件汇交,但它们构成两个移动副和一个回转副,故不能称之为复合铰链。