

机械原理

严家杰 主编

同济大学出版社

机 械 原 理

严 家 杰 主 编
崔正昀 宋守正 副编

同济大学出版社

内 容 提 要

本书依据全国机械原理课程教学指导小组在1986年10月审订的机械类《机械原理课程教学基本要求》和成人高师、职业高师机械类大专的《机械原理教学大纲》编写。内容包括平面机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、轮系、间歇传动机构简介、基本机构一览表及其选型、机械中的摩擦和机械效率、机械的平衡、机械的运转及其速度波动调节。

为便于学生自学、复习和掌握重点,本书各章章前有内容提要,章后有小结,并附有一定数量的习题,其中计算题都附答案。

本书可作为成人高校、函授和普通高校机械类各专业的大专教材,也可供近机类、非机类各专业本科或大专师生及有关工程技术人员参考。

责任编辑 陆菊英

封面设计 王肖生

机 械 原 理

严家杰 主 编

崔正昀 宋守正 副编

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

常熟市方法印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 13.75 字数: 370千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数: 1—16000 科技新书目: 153-313

统一书号: 15335·045 定价: 2.85元

ISBN 7-5608-0015-7/TH·3

前 言

本书依据1986年10月国家教委委托全国机械原理课程指导小组审订的机械类《机械原理课程教学基本要求》，并参照成人高师、职业高师机械类大专《机械原理教学大纲》编写。本书内容的深、广度相当于普通高校机械类大专教材的深、广度。

本书在编写时，考虑了成人教育的特点，贯彻了“少而精”的原则，突出了基本概念、基本原理和基本方法，吸取了多年来的教学经验，对学生易模糊的概念特别注意说明。在叙述上力求深入浅出，主次分明，详略恰当。对问题的提出，尽量做到自然、明确、有启发性；对问题的分析，尽量做到思路清晰、条理分明；得出的结论，则要求准确简明、便于记忆。

为便于学生自学、复习和总结，本书各章章前有内容提要，章后有小结，并附有一定数量习题，其中计算题都附答案。在每章小结中，先用列表形式，对本章主要内容进行归纳，然后，提出本章的重点和难点，最后，对如何学好本章内容，提出一些指导意见。

本书编排的次序是：先研究机构的共性问题（机构的结构分析、运动分析和力分析），然后讨论常用机构的特有问题（连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇传动机构的特性及其设计），接着，列出基本机构一览表并讨论基本机构选型问题，最后，介绍机器动力学的一些问题（摩擦和效率、平衡、机器运转和速度波动调节）。这样编排，系统性较强，符合人们认识规律，有利于培养学生的分析能力、解决问题的能力以及创新的能力。

本书带有“•”号部分，可根据各校各专业特点选学，也可供学有余力的学生选学。

本书采用国际单位制（SI）和我国的有关国标。

参加本书编写的同志有：上海第二教育学院严家杰（绪论、第一、四、五、八、九章）；天津职业技术师范学院宋守正（第二、十一、十二章）；崔正昀（第六章）；上海技术师范学院陈勇（第三章）；张贵溪（第七章）；常州职业师范学院余怀仁（第十章）。由严家杰同志负责主编，崔正昀、宋守正两同志为副编。

本书承全国机械原理课程指导小组副组长孙可宗教授主审，並提出很多宝贵意见，编者特此表示衷心感谢。

由于编者水平所限和编写时间匆促，因而误漏欠妥之处在所难免，衷心欢迎广大读者和教师批评指正。

编 者

1987年2月

目 录

绪 论

§ 0—1 机械原理的研究对象及内容·····	1
§ 0—2 机械原理课程在培养专门人才全局中的地位、作用与任务·····	6
§ 0—3 学习机械原理的目的和方法·····	7

第一章 平面机构的结构分析

§ 1—1 研究机构结构的目的·····	9
§ 1—2 组成机构的要素·····	10
§ 1—3 平面机构运动简图·····	13
§ 1—4 平面运动链和平面机构的自由度计算·····	16
• § 1—5 平面机构中的高副低代·····	24
• § 1—6 机构的组成原理和平面机构的结构分析·····	28
本章小结·····	31
习题·····	32

第二章 平面机构的运动分析

§ 2—1 机构运动分析的目的和方法·····	36
§ 2—2 平面机构的位置图及其各点轨迹和位移的求法 ·····	38

§ 2—3	速度瞬心法及其在机构速度分析上的应用	39
§ 2—4	用相对运动图解法求机构的速度和加速度	44
* § 2—5	用解析法求机构的位置、速度和加速度	65
§ 2—6	机构的运动线图	72
	本章小结	73
	习题	75

第三章 平面机构的力分析

§ 3—1	作用在机械上的力	80
§ 3—2	机构力分析的目的和方法	82
§ 3—3	构件惯性力的确定	84
§ 3—4	平面机构的动态静力分析	87
* § 3—5	平衡力的简易求法——速度多边形杠杆法	98
	本章小结	102
	习题	103

第四章 连杆机构及其设计

§ 4—1	连杆机构的分类及应用	107
§ 4—2	铰链四杆机构的基本形式及其判别	111
§ 4—3	平面四杆机构的演化	115
§ 4—4	有关平面四杆机构的一些基本知识	121
§ 4—5	用作图法设计平面四杆机构	128
* § 4—6	用解析法设计平面四杆机构	135
* § 4—7	用实验法设计平面四杆机构	136
§ 4—8	万向节四杆机构（万向联轴节）	138
	本章小结	141
	习题	142

第五章 凸轮机构及其设计

§ 5—1	凸轮机构的分类和应用	147
§ 5—2	从动杆常用的运动规律	150
§ 5—3	用作图法设计凸轮轮廓曲线	158
* § 5—4	用解析法设计凸轮轮廓曲线	165
§ 5—5	凸轮机构基本尺寸的确定	169
	本章小结	174
	习题	175

第六章 齿轮机构及其设计

§ 6—1	齿轮机构的分类和应用	179
§ 6—2	齿轮的齿廓曲线	184
§ 6—3	渐开线及其性质	186
§ 6—4	渐开线齿廓啮合传动的特点	189
§ 6—5	渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸	190
§ 6—6	渐开线直齿圆柱齿轮机构保证连续定传动比传动的条件	200
§ 6—7	渐开线直齿圆柱齿轮机构的正确安装及中心距	208
§ 6—8	渐开线齿轮的加工方法	210
§ 6—9	渐开线齿廓的根切现象	215
§ 6—10	用标准齿条刀具加工标准齿轮不发生根切的最少齿数	216
§ 6—11	变位齿轮概述	218
* § 6—12	变位齿轮传动的计算基础及几何设计	221
§ 6—13	斜齿圆柱齿轮机构	230

§ 6—14	螺旋齿轮机构.....	240
§ 6—15	蜗杆蜗轮机构.....	243
§ 6—16	圆锥齿轮机构.....	251
§ 6—17	非圆齿轮简介.....	259
	本章小结.....	261
	习题.....	265

第七章 轮系

§ 7—1	轮系的分类.....	278
§ 7—2	定轴轮系的传动比.....	280
§ 7—3	周转轮系的传动比.....	284
§ 7—4	混合轮系的传动比.....	293
* § 7—5	行星轮系各轮齿数和行星轮数的选择.....	301
	本章小结.....	306
	习题.....	307

第八章 间歇传动机构简介

§ 8—1	不完全齿轮机构简介.....	311
§ 8—2	棘轮机构.....	314
§ 8—3	槽轮机构.....	317
* § 8—4	凸轮间歇传动机构简介.....	323
	本章小结.....	325
	习题.....	326

*第九章 基本机构一览表及其选型

§ 9—1	基本机构一览表.....	327
§ 9—2	基本机构的选型.....	329

本章小结.....	346
-----------	-----

第十章 机构中的摩擦和机械效率

§ 10—1 概述.....	347
§ 10—2 移动副中的摩擦.....	350
§ 10—3 转动副中的摩擦.....	354
§ 10—4 机械效率和自锁条件.....	362
§ 10—5 斜面、螺旋和蜗杆蜗轮的效率.....	369
本章小结.....	378
习题.....	379

第十一章 机械的平衡

§ 11—1 机械平衡的目的和分类.....	382
§ 11—2 盘类回转件的平衡——静平衡.....	384
§ 11—3 轴类回转件的平衡——动平衡.....	389
• § 11—4 平面机构的静平衡.....	395
本章小结.....	397
习题.....	398

第十二章 机器的运转及其速度波动的调节

§ 12—1 研究机器运转及其速度波动调节的目的.....	401
§ 12—2 等效力和等效力矩.....	402
§ 12—3 等效质量和等效转动惯量.....	407
• § 12—4 机器运动方程式.....	410
§ 12—5 机器速度波动的调节.....	413
本章小结.....	424
习题.....	425
主要参考文献.....	427

绪 论

内 容 提 要

绪论主要介绍本课程的研究对象和内容。为使读者更好地理解这些内容,本书首先以典型机器(内燃机)为例,介绍机械、机器、机构、构件和零件等概念。然后,再简要叙述本课程在培养专门人才全局中的地位、作用与任务,以及本课程的学习目的和方法。

§ 0-1 机械原理的研究对象及内容

一、研究对象

本课程名为“机械原理”,顾名思义,其研究对象就是“机械”,而研究的内容则是有关机械的基本理论问题。所以说,机械原理就是研究机构和机器特性及机构运动简图的设计方法的一门科学。那么,何谓“机械”?何谓“机器”和“机构”?机械的基本理论问题又包括哪些内容?现分别说明如下。

1. 什么叫机械?

“机械”这个名词就是“机器”和“机构”的总称。机械的类别很多,通常可分为采矿、冶金、建筑、石油、化工、轻工、纺织以及食品工业机械等等。随着现代化生产的日益发展,在上述各部门中已大量使用着各种类型的机器。在这些部门中工作的工程技术人员或机械类专业的教师必须了解或熟悉本部门的一些机器,对机器或机构具备一定的基础知识。

2. 什么叫机器?

“机器”是一种借助于机械运动而代人完成一定工作的工具。

机器的类型也有很多。在日常生活和生产中，我们都接触过许多机器，例如发电机、电动机、内燃机、各种机床、拖拉机、起重机等。各种不同的机器，具有不同的形式、构造和用途。众多的机器可归纳为如下三类。

(1) 变换能量的机器

例如电动机、内燃机、蒸汽机、涡轮机、发电机、空气压缩机等。其用途是把任何一种能量变换成机械能，或反之。

(2) 变换材料形状或位置的机器

1) 作加工用的机器：例如各种机床、纺织机、轧钢机等，这类机器主要用来变换材料的形状。

2) 作运输用的机器：例如输送机，起重机，汽车、船舶、飞机等，它们主要用来改变材料或人的位置。

(3) 变换信息的机器

这种机器称为信息机器。如果信息是以数字形式表示的，则该信息机器就称为计数机或计算机。

总之，在各种具有运动部份的装置中，只有其机械运动是用来变换能量、材料形状及位置和信息的那些装置才能称为机器。

通过分析，上述各种机器都具有如下三点相同的特征。

(1) 任何机器都是由许多构件组合而成（或人为的实物所组成）。

例如图 0-1 所示的内燃机，就是由气缸 10、活塞 9、连杆 3、曲轴 4、齿轮 1、凸轮 6、气阀 16 等一系列构件（或零件）所组成的。而这些构件都是由人做出来的实物。

(2) 组成机器的各构件之间都具有确定的运动。

例如图 0-1 所示的内燃机中，曲轴与箱体 2 之间、连杆与曲轴之间、活塞与连杆之间、气缸与活塞之间等，都具有完全确定的相对运动。

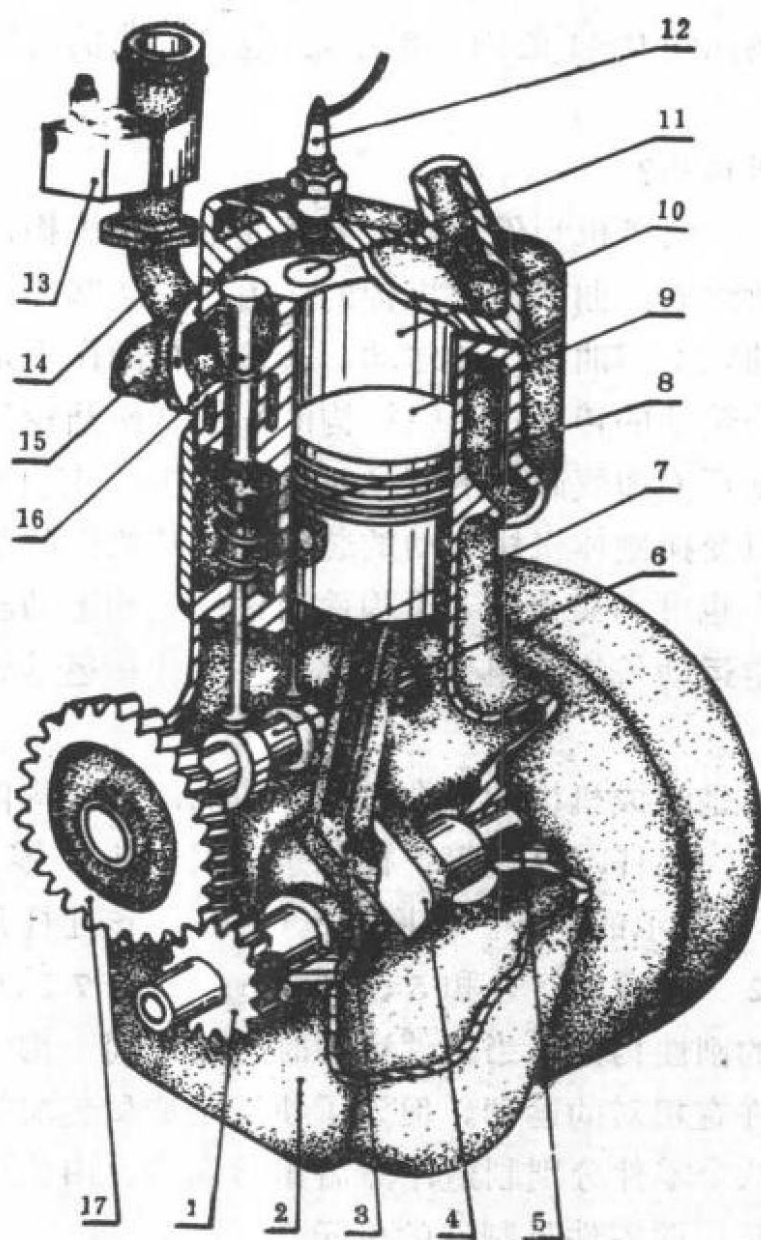


图0-1

(3) 各种机器均能完成有益的机械功或转化机械能。

例如内燃机能将热能转化为机械能，发电机将机械能转化为电能，各种工作机则利用机械能完成有益的机械功。

根据上述分析可见，“机器”乃是一种人为的构件组合体，其各构件之间具有完全确定的相对运动，而且可以用来代人完成有益的机械功或转化机械能。

一部机器可以只含一个机构，例如电动机；也可以是由数种机构所组成，例如图 0-1 的内燃机中，就包含了曲柄滑块、齿轮和凸轮等机构。

3. 什么叫机构？

今以图 0-1 内燃机为例，它主要由曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构所组成。曲柄滑块机构的作用是使活塞（即滑块）的移动转换成曲轴（即曲柄）的转动；齿轮机构的作用是使曲轴的转动传递给凸轮轴的转动；凸轮机构的作用是使凸轮轴的转动转换成直动从动杆（即气阀）的移动。据此分析，我们可将“机构”定义为用以变换刚体机械运动的装置。如从机构的组成角度看，则“机构”也可定义为由若干构件通过一定的运动副联结起来，并具有确定运动规律的组合体。那么，构件和运动副又是什么呢？

(1) 构件：是组成机构的各个相对运动的部份。构件可以是一个零件，例如：丝杆，曲轴等；构件也可以由几个零件所组成，例如图 0-2, a 所示的连杆。由图 0-2, b 可见，该连杆是由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3、4 和 5、螺栓 6、螺母 7、开口销 8 等零件所组成的刚性构件。当构件运动时，组成同一构件的各个零件之间不允许有相对的运动。但为了便于制造和装配等，连杆又需分成上述八个零件分别制造，然后组装而成。由此可见，构件是运动的单元，而零件是制造的单元。

(2) 运动副：是两构件间直接接触的活动联接。例如连杆与曲轴之间直接接触的活动联接就是一种运动副。关于运动副的知识详见第一章第 2 节，此处就不多谈了。

综上所述，“机构”和“机器”的区别，就在于“机器”具有：

- (1) 由若干构件所组成；
- (2) 各构件之间具有确定的相对运动；
- (3) 能做有益的机械功或完成机械能的转化。

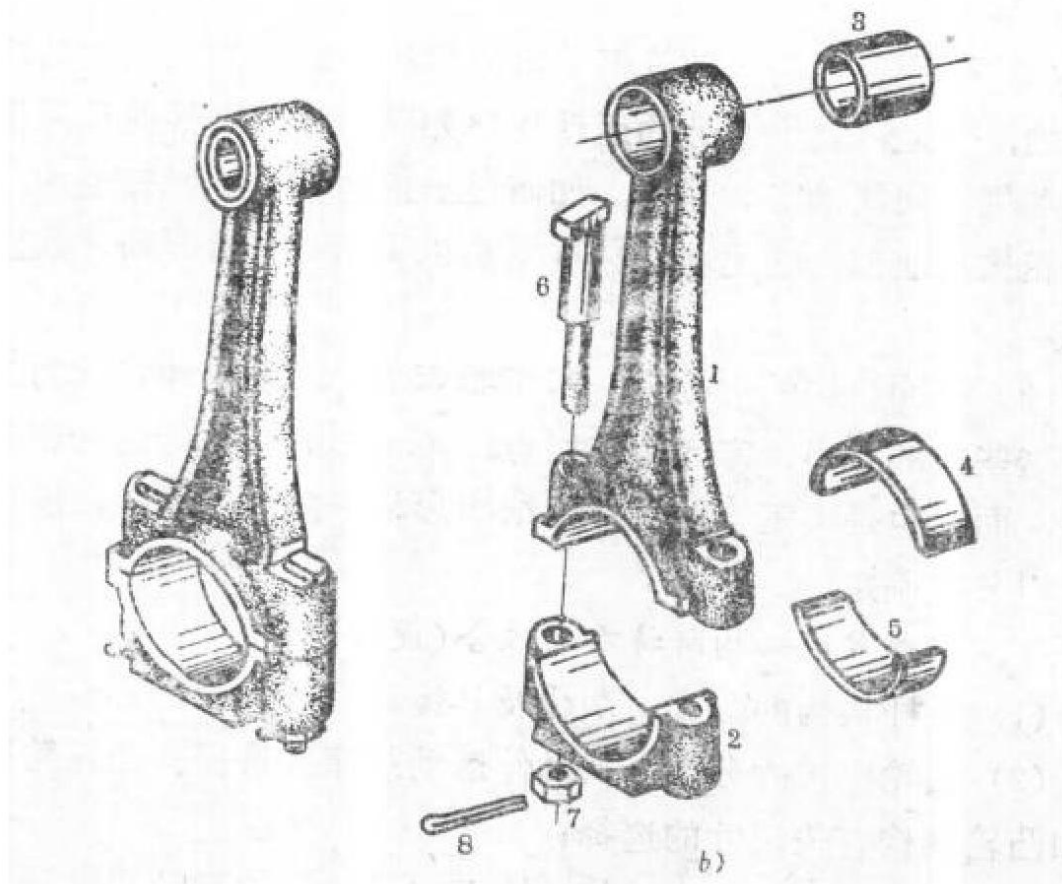


图0-2

这三个特征。而“机构”则只具有上述(1)、(2)两个特征。

二、研究内容

本课程研究的内容，主要是机构和机器的结构、运动学和动力学。具体些说，主要包括以下几个方面。

1. 各种机构的共性问题

这一部分讨论以下三个问题。

(1) 机构的结构分析 如上所述，机构和机器都是由若干构件所组成，且具有确定相对运动的组合体。那么，这些构件根据什么条件进行组合，如何组合，才能保证它们之间的相对运动是确定的呢？要解决这个问题，就需对机构的结构进行分析，了解机构的组成及其具有确定运动的条件。此外，为了便于更有系统地研究现有机构以及为创造新的机构开辟途径，还需了解机构的组成原理，并进而对机构进行结构分类，这些都是机构结构分析的

重要内容。

(2) 平面机构的运动分析 机构各构件之间的相对运动既是确定的, 于是, 其中某处的运动规律如属已知, 则其他任意部份的运动规律便能确定。那么, 如何根据机构某处的已知运动, 来确定机构其他部份的运动呢? 这便是机构运动分析要研究的主要内容。

(3) 平面机构的力分析 当机器运动时, 各构件均受力的作用, 这些力的大小、方向和作用点, 不仅影响机构的运动和动力性能, 而且也是决定构件尺寸及结构形状等的主要依据, 所以必须予以分析确定。

2. 几种常用机构所特有的综合(设计)问题

(1) 连杆机构的分类、演化及其运动设计;

(2) 凸轮机构的分类、从动件运动规律的选择、凸轮轮廓设计和凸轮机构有关尺寸的选择;

(3) 齿轮机构的分类、传动原理以及齿轮参数和尺寸计算;

(4) 轮系的传动比计算和齿数的确定;

(5) 间歇传动机构的工作原理和传动比计算。

3. 机器动力学问题

这一部份主要介绍以下几个问题。

(1) 摩擦和效率问题;

(2) 机器的平衡问题;

(3) 机器的速度波动及其调节问题。

§ 0-2 机械原理课程在培养专门人才

全局中的地位、作用与任务

机械原理是机械类专业中研究机械共性问题的主干技术基础课。因此, 本课程在机械类各专业的教学计划中或在培养机械类专门人才全局中有着很重要的地位。

机械原理课程的任务是使学生掌握机构结构、运动学和机械动力学的基本理论、基本知识和基本技能，并初步具有确定运动方案、分析和设计机构的能力。

机械原理课程有较强的实践性。它在培养机械类专门人才的全局中，具有启发学生的创造性思维，增强其对机械技术工作的适应性，培养开发创新能力的作用。本书第九章，就为更好地实现上述作用而编排。

§ 0-3 学习机械原理的目的和方法

一、学习目的

1. 为继续深入学习，掌握新的科学技术成就打下基础。

本课程的先修课程是高等数学、算法语言、物理、机械制图和理论力学等；通过本课程的学习，则为即将学习机械方面的专业课程和今后继续深入学习、掌握新的科学技术成就打下基础。

2. 为合理使用机器、设计新机器打下基础。

为了实现祖国的四个现代化，实现机械化和自动化，就需要创造出种类繁多的新颖优质机器，或对现有设备进行革新和合理使用。学习机械原理，掌握机构分析和综合(或设计)方法后，就能了解机器的性能和更合理地使用机器；并能为改进现有机械设备和创造新机器提出切实可行的建议或方案。

二、学习方法

如上所述，本课程主要研究各种机构和机器所具有的共性问题(如机构的结构分析、运动分析和力分析等)；也研究一些常用机构的特性问题(如连杆、凸轮、齿轮等机构的分类、运动和动力性能特点及其设计方法)。

这两部份内容虽然自成系统，然而又互相联系。在学习过