

高等学校教材

机 械 原 理

(第四版)

西北工业大学机械原理及机械零件教研室

孙桓 傅则绍 主编

第四版序

本书是在前三版的基础上,根据国家教育委员会1987年批准的“机械原理课程教学基本要求”作了相应的修订编写而成的。

在此次修订中,我们根据机械原理课程在培养机械类高级技术人才全局中的地位、作用和任务,力求正确反映本课程的教学基本要求。在着重讲清基本概念、基本理论和基本方法的前提下,为了增加学生对各种常用机构的感性认识,并激发他们对学习本课程的兴趣,在介绍了机构的组成及机构运动简图的画法之后,我们安排了“各种常用机构的主要类型、特点和应用”一章,以便学生在深入研究有关机构的分析及设计问题之前,对各种常用机构先有一个大体的了解和认识。又为了培养学生初步具有确定机械运动方案和合理选用机构的能力,我们除适当加强了有关机构设计的内容外,并增加了“机构的选型和机械传动系统的设计”一章,还列举了关于机械传动系统设计的实例,以便在确定机械传动方案时,对机构的选择和组合应用为学生提供一些思路。又鉴于计算机应用的普及,在机构分析和设计方面,我们适当加强了有关解析法的内容,并引入了少量的计算流程框图和程序。在另一方面,关于本书内容的组织和安排,我们也作了一些推敲和调整。根据现在的安排,第一、二、三章的内容是属于总论性的。第四、五、六章的内容属于机构分析。第七至十一章的内容主要是属于机构综合。而第十二、十三、十四章的内容则是属于机器的分析及综合问题。此外,关于机构的定义,运动副中的摩擦,齿轮机构章的内容等,我们也都作了一些新的安排。又根据教学的需要,此次我们还选编了数量较多的习题(包括一部分适于运用电算的题目),以供教学中选用。

参加此次修订工作的有:孙桓(第一、二、三章),刘行远(第四、

五章),朱克先(第六章),傅则绍(第七章),陈作模(第八、十四章),何大为(第九章),管叙源(第十章),李继庆(第十一、十三章),张榛(第十二章)等同志,并由孙桓、傅则绍同志负责主编。

本书承机械原理课程教学指导小组委员孙可宗教授和白师贤教授审阅,提出了宝贵意见,我们在此表示衷心感谢。

由于我们的水平所限,漏误及不当之处在所难免,敬希各位机械原理课程的教师 and 广大读者不吝指正。

西北工业大学

机械原理及机械零件教研室

1988年4月

目 录

第一章 绪论

§ 1-1 本课程研究的对象及内容	1
§ 1-2 学习本课程的目的	7
§ 1-3 如何进行本课程的学习	8

第二章 平面机构的结构分析

§ 2-1 机构结构分析的内容及目的	10
§ 2-2 机构的组成	11
§ 2-3 机构运动简图	16
§ 2-4 机构具有确定运动的条件	20
§ 2-5 平面机构自由度的计算	21
§ 2-6 计算平面机构的自由度时应注意的事项	23
* § 2-7 机构的组成原理及平面机构的结构分类	27
* § 2-8 平面机构中的高副低代	29
习题	32

*第三章 各种常用机构的主要类型、特点和应用

§ 3-1 通过低副接触直接传动的机构	39
§ 3-2 通过高副接触直接传动的机构	41
§ 3-3 通过中间连杆的间接传动机构	44
§ 3-4 具有挠性中间构件的间接传动机构	45
§ 3-5 以流体为中间传动介质的传动机构	47
§ 3-6 组合机构	48

第四章 平面机构的运动分析

§ 4-1 机构运动分析的目的和方法	51
--------------------	----

§ 4-2	速度瞬心及其在平面机构速度分析中的应用	52
§ 4-3	用矢量方程图解法作机构的速度和加速度分析	60
§ 4-4	综合运用瞬心法和矢量方程图解法对复杂机构进行速度分析	72
§ 4-5	用解析法作机构的运动分析	74
* § 4-6	机构的运动线图	92
	习题	95

*第五章 平面机构的力分析

§ 5-1	机构力分析的目的和方法	102
§ 5-2	构件惯性力的确定	104
§ 5-3	用图解法作机构的动态静力分析	110
§ 5-4	用解析法作机构的动态静力分析	117
§ 5-5	平衡力的简易求法——茹可夫斯基杠杆法	123
	习题	125

第六章 机械中的摩擦和机械效率

§ 6-1	研究机械中摩擦的目的	130
§ 6-2	运动副中的摩擦	130
* § 6-3	考虑摩擦时机机构的受力分析	143
§ 6-4	机械的效率	148
§ 6-5	机械的自锁	155
	习题	163

第七章 齿轮机构及其设计

§ 7-1	齿轮机构的应用及分类	167
§ 7-2	齿轮的齿廓曲线	171
§ 7-3	渐开线的形成及其特性	181
§ 7-4	渐开线齿廓的啮合传动	187
§ 7-5	渐开线标准齿轮各部分的名称和尺寸	189
§ 7-6	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	197
§ 7-7	渐开线齿轮传动的重合度	204
* § 7-8	渐开线齿轮传动的滑动系数	211

§ 7-9 渐开线齿廓的切制原理·····	213
§ 7-10 渐开线齿廓的根切和渐开线标准齿轮不发生根切的最少齿数·····	220
§ 7-11 变位齿轮概述·····	224
* § 7-12 用标准齿条型刀具切制变位齿轮的计算基础·····	227
§ 7-13 斜齿圆柱齿轮传动·····	239
* § 7-14 螺旋齿轮传动·····	252
§ 7-15 蜗轮蜗杆传动·····	255
§ 7-16 圆锥齿轮传动·····	263
* § 7-17 圆弧齿齿轮传动·····	272
* § 7-18 摆线齿轮传动·····	276
习题·····	280

第八章 轮系及其设计

§ 8-1 轮系及其分类·····	285
§ 8-2 定轴轮系的传动比·····	289
§ 8-3 周转轮系的传动比·····	292
§ 8-4 复合轮系的传动比·····	297
§ 8-5 轮系的功用·····	300
* § 8-6 行星轮系的效率·····	308
* § 8-7 行星轮系设计中的几个问题·····	311
* § 8-8 渐开线少齿差行星齿轮传动简介·····	320
* § 8-9 摆线针轮传动简介·····	322
* § 8-10 谐波齿轮传动简介·····	326
习题·····	330

第九章 凸轮机构及其设计

§ 9-1 凸轮机构的应用和分类·····	338
§ 9-2 推杆的运动规律·····	342
§ 9-3 用作图法设计凸轮的轮廓曲线·····	355
§ 9-4 用解析法设计凸轮的轮廓曲线·····	365
§ 9-5 凸轮机构基本尺寸的确定·····	369
* § 9-6 高速凸轮机构简介·····	385

习题	387
----	-----

第十章 平面连杆机构及其设计

§ 10-1 概述	392
§ 10-2 平面四杆机构的类型及应用	393
§ 10-3 有关平面四杆机构的一些基本知识	404
§ 10-4 平面四杆机构的设计	414
习题	446

第十一章 其他常用传动机构及其设计

§ 11-1 棘轮机构	454
§ 11-2 槽轮机构	462
* § 11-3 凸轮式间歇运动机构	470
* § 11-4 不完全齿轮机构	472
§ 11-5 非圆齿轮机构	476
§ 11-6 螺旋机构	480
§ 11-7 万向铰链机构	483
* § 11-8 组合机构的类型及设计	486
习题	501

第十二章 机械的运转及其速度波动的调节

§ 12-1 概述	506
§ 12-2 机械的运动方程式	510
§ 12-3 机械运动方程式的求解	518
§ 12-4 稳定运转状态下机械的周期性速度波动及其调节	526
§ 12-5 机械的非周期性速度波动及其调节	533
习题	535

第十三章 机械的平衡

§ 13-1 机械平衡的目的及内容	540
§ 13-2 刚性转子的静平衡	541

§ 13-3	刚性转子的动平衡·····	545
* § 13-4	转子的许用不平衡量·····	550
* § 13-5	挠性转子动平衡简述·····	553
§ 13-6	平面机构的平衡·····	554
	习题·····	561

第十四章 机构的选型及机械传动系统的设计

§ 14-1	概述·····	566
§ 14-2	机械传动系统方案的拟定·····	569
§ 14-3	常用机构的分析比较与机构的选型·····	578
§ 14-4	机械传动系统设计举例·····	581
	习题·····	586
附录 I	平面连杆机构运动分析程序·····	587
附录 II	凸轮轮廓曲线设计程序·····	592
附录 III	平面连杆机构设计程序·····	595
参考书目	·····	597

第一章 绪 论

§ 1-1 本课程研究的对象及内容

本课程名为“机械原理”，不言而喻，其研究的对象是机械，而研究的内容则是有关机械的基本理论问题。然而，什么是“机械”呢？本课程将要研究的有关机械的基本理论问题包括哪些具体内容呢？这还需要进一步加以说明。

“机械”这个名词，我们是很熟悉的。而且一般认为它是“机器”和“机构”的总称。而所谓“机构”，我们也并不陌生，在理论力学等课程中，已对一些机构（如连杆机构、齿轮机构等）的运动学及动力学问题进行过研究。在工程实际中，常见的机构还有带传动机构、链传动机构、凸轮机构、螺旋机构等等。各种机构都是一种用来传递运动和力或改变运动形式（如将回转运动改变为往复移动、将连续运动改变为间歇运动等）的机械装置。至于所谓“机器”，则都是根据某种使用要求而设计的机械系统。各种机器均能完成有益的机械功（如改变工作物的外形及空间位置等）或转化机械能。例如发电机能将机械能转化为电能，内燃机能将热能转化为机械能，而各种工作机则能利用机械能来完成有益的机械功。

在日常生活和生产中，我们都接触过许多机器，例如缝纫机、洗衣机、各种机床、汽车、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，但通过分析可以看到，这些不同的机器，就其组成来说，却主要都是由各种机构组合而成的。例如图1-1所示的内燃机就包含着由气缸 11、活塞 10、连杆 3 和曲轴 4 所组成的连杆机构，由小齿轮 1 和大齿轮 18 所组成的齿轮机构，及由凸轮轴 7 和阀门推杆 8(9)所组成的凸轮机构等。又如图 1-2, a

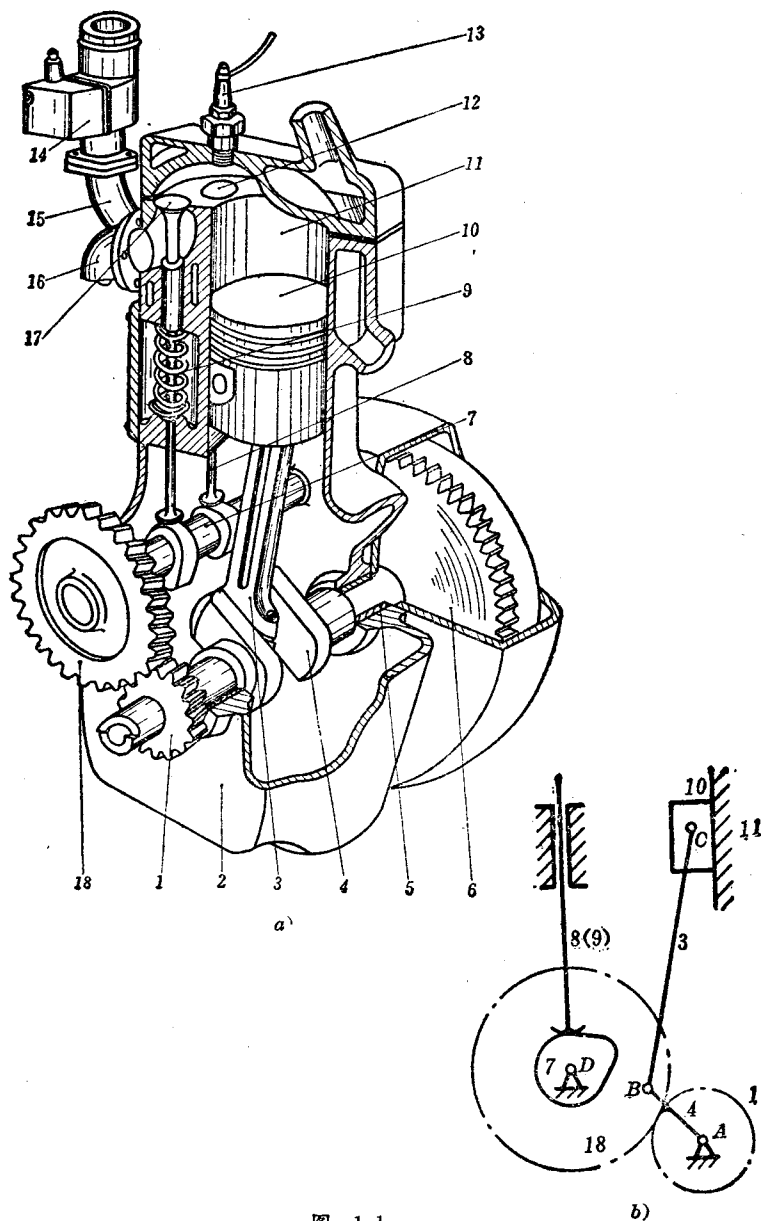


图 1-1

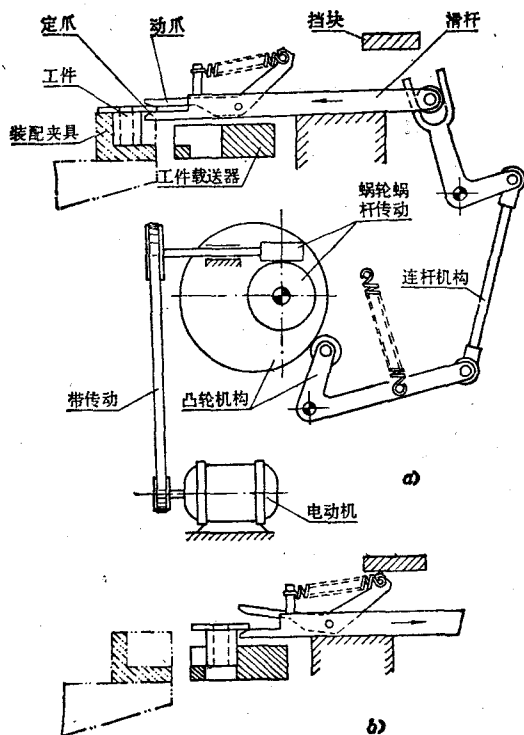


图 1-2

所示为一工件自动载送装置。其中包含着带传动机构、齿轮机构（蜗轮蜗杆传动机构是齿轮机构的一种）、凸轮机构和连杆机构等。当电动机的运动通过上述各机构的传动而使滑杆向左移动时，滑杆的夹持器的动爪和定爪将工件夹住。而当滑杆带着工件向右移动（如图 b 所示）到一定位置时，夹持器的动爪受挡块的压迫将工件松开，于是工件落于载送器中被送到下道工序。

上面我们仅举了两个实例。从对其他不同机器的分析同样可以看到，各种机器的主要组成部分都是各种机构。一部比较复杂的机器，可能包含多种类型的机构，而简单的机器，也可能只包含一

种机构。所以可以说，机器乃是能够完成机械功或转化机械能的机构或机构的组合。而这些机构则都是本课程研究的主要对象。

现在再来介绍本课程研究的具体内容。本课程研究的内容主要包括以下几个方面：

(1) 机构结构分析的基本知识 如上所述，各种机构是本课程研究的主要对象。首先我们将要研究机构是怎样组成的，研究机构的组成情况对其运动的影响，以及机构具有确定运动的条件等。这些问题都是有关机构结构分析的问题。此外，为了便于更有系统地研究现有机构及为创造新机构开辟途径，还需要研究机构的组成原理，并进而进行机构的结构分类，这些问题也都是机构结构分析的重要内容。与此同时，我们还将研究如何用简单的图形把机构的结构状况表示出来以便据此对机构进行运动及动力分析的方法，此即所谓机构运动简图的绘制问题。而为了能正确地绘制机构运动简图，也必须对机构的结构有清楚的了解。

(2) 机构的运动分析 对机构进行运动分析，了解机构的运动情况，是设计新机械的必须步骤，也是合理有效地使用现有机械的必要依据。而且通过对机构进行运动分析，也将为研究机构的受力情况和动力学问题提供基础。本课程将介绍对机构进行运动分析的基本原理和方法。

(3) 机器动力学 机器动力学研究的内容主要是两类基本问题：其一是分析机器在运转过程中其各构件的受力情况，以及这些力的作功情况；其二是研究机器在已知外力作用下的运动。

关于第一方面的问题，我们知道，当机器运动时，其各构件均受有力的作用。这些力的大小、方向及作用点，不仅是影响机器运动和动力性能的重要参数，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。又机器在运动时，由于各构件所受诸力的作用点一般均在运动（与固定构件的联接点

除外),所以各力均在作功,因此,机器的运动过程,同时也是作功和传能的过程。又因摩擦的缘故,机器在作功传能的过程中必将发生功能的损耗,从而使机器的效率降低。为了掌握机器的动力性能,所以也必须对机器的作功和传能的情况加以分析。

关于第二方面的问题,我们知道,当我们对机器进行运动分析时,都假定原动件是运动规律为已知的构件,而且一般都假定原动件为等速运动。然而实际上原动件的运动规律是由各构件的质量、转动惯量和作用于各构件上的力等因素来决定的。当我们设计新的机器或分析现有机器的工作性能时,就经常需要知道对应于原动件已知位置时各构件的真实运动。所以研究在已知外力作用下机器的运动规律,便成为机器动力学的重要课题。

此外,根据机器中各构件的受力情况,机器的运动速度往往并不是稳定的,而是有波动的。这种速度的波动,将直接影响机器的工作,所以必须设法加以调节。这就是所谓的调速问题。再者,机器中各构件产生的惯性力,不仅将在各运动副中引起动压力,因而影响到机器的效率和使用寿命,而且会直接影响机器的工作,所以必须设法加以平衡。这就是所谓的机械的平衡问题。这些问题也是机械动力学研究的重要内容。

机器动力学研究的问题十分广泛,特别是随着机器向高速重载的方向发展,对于机器动力学问题的研究就愈显得重要。本课程将着重研究第一方面的问题,而对第二方面的问题和调速、平衡等问题也将作必要的介绍。

(4) 常用机构的分析与设计 机器的类型虽然很多,然而构成各种机器的机构的类型却是有限的。经过对各种机器的剖析,我们可以看到,即使是非常复杂的机器,其机械部分也无非是由齿轮、凸轮、连杆等一些常用的机构组合而成的。而且机器的种类尽管不同,而它们的主要组成机构却可以是相同的。所以,对这些

常用的机构的运动及工作特性进行分析，并探索为了满足一定的运动和工作要求来设计这些机构的方法，便是十分必要的。

(5) 机构的选型及机械传动系统的设计 在介绍了各种常用机构的分析与设计之后，在进行具体机械的设计时，如何选用机构并进行组合应用，便将是一个需要解决的现实问题，本课程将讨论机构的选型及机械传动系统的设计问题，以便对这方面的问题有一个大体的了解。

综上所述可知，本课程研究的内容可以概括为两个方面，第一是介绍对已有机械进行结构、运动和动力分析的方法，第二是探索根据运动和动力性能方面的要求设计新机械的途径。不过，此处应当指出，在本课程中对机械设计的研究，只限于根据运动和动力要求，对机构各部分的尺度关系进行综合，而不涉及各个零件的强度计算、材料选择，以及其具体结构形状和工艺要求等问题。正因如此，所以在本课程中，我们又常用“综合”两字来代替“设计”两字。于是，本课程研究的内容可以概括为机械的分析和机械的综合两个部分。当然，在机械原理学科中，这两个命题的研究范围是十分广泛的，其采用的方法也是很多的。特别是当今世界正经历着一场新的技术革命，新概念、新理论、新方法、新工艺不断出现。处于机械工业发展前沿的机械原理学科，新的研究课题日益繁多，新的研究方法日新月异。诸如自动控制机构、机器人机构、仿生机构、柔性及弹性机构和机电气液综合机构等的研制，诸如优化设计、计算机辅助设计，以及各种数学方法的运用，使机械原理学科的研究呈现出高速发展的局面，也为机械原理学科的应用开辟了广阔的途径。然而，作为一门技术基础课程，我们将仅研究如上所述的有关机械的一些最基本的原理及最常用的机构分析与综合的方法。

§ 1-2 学习本课程的目的

在介绍了本课程研究的内容之后,对于学习本课程的目的就不难理解了。首先,机械类各专业的同学,在以后的学习或工作中总要遇到许多关于机械的设计和使用方面的问题,而本课程所学的内容乃是研究现有机械的运动及工作性能和设计新机械的知识基础。正因如此,它成为机械类各专业所必修的一门技术基础课程。本课程的先修课程是高等数学、物理、理论力学和机械制图等;而通过对本课程的学习,则将为学习机械零件、机床、机械制造工艺以及其他机械性质的专业课程打下基础。

另一方面,机械原理在发展国民经济方面也具有重要意义。为了实现祖国的四个现代化,就要在一切生产部门实现生产的机械化和自动化,这就需要创造出大量的种类繁多的新颖优质的机械,需要对现有设备进行革新改造和合理使用。而为了完成这些任务,有关机械原理的知识是必不可少的。因为,虽然任何机械的改革和创造都是设计、工艺等等各种机械知识的综合运用,但机械原理的知识却是最为基本的。当我们掌握了本课程所介绍的内容之后,我们就有可能为现有机械设备的合理改进和根据需要创造新的机械提出切实可行的建议。其次,对于一个使用机器的工作人员来说,要想充分发挥机械设备的潜力,其关键在于了解机器的性能。学习机械原理。掌握机构分析的方法,才能进而了解机器的性能和更合理地使用机器。

总之,本课程所学的内容,一方面是有关的专业课程的基础,而同时其本身也是一个工科学生所应具备的关于机械的一般基础知识。

§ 1-3 如何进行本课程的学习

如上所述可见,我们在本课程中对于机械的研究,是通过以下两个途径来进行的。

1) 研究各种机构和机器所具有的一般共性问题。如机构的组成理论,机构运动学,机器动力学等。

2) 研究各种机器中常用的一些机构(如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构,等等)的运动和动力性能,以及它们的设计方法。

这两部分内容虽然自成系统,然而却又是互相结合的。在学习过程中,应注意把一般的原理和方法与研究实际机构和机器时的具体运用密切联系起来。并应随时注意在日常生活和生产中所遇到的各种机构和机器,根据所学的原理和方法进行观察和分析,做到理论和实际的紧密结合。

其次,应当注意,机械原理是一门技术基础课程。它一方面较物理、理论力学等理论基础课程更加结合工程实际(例如在理论力学中也有运动学和动力学,但其研究的对象是质点和刚体,而机械原理中的运动学和动力学则是就机构和机器进行研究的)。另一方面,它与机械性质的专业课程又有所不同。由于专业机械的种类繁多,机械原理不可能,而且也不必要对各种各样的具体机械进行研究。而只是如上所述,对于这些机械的一些共性问题和各种机器中常用的一些机构进行较为深入的探讨。根据本课程的这一性质,我们不能期望在学完本课程后就能承担某种具体机械的全部设计任务。但是,它对完成这些任务却提供了必不可少的知识基础。为了打好这一基础,在学习本课程的过程中,一方面要着重注意搞清基本概念,理解基本原理,掌握机构分析和综合的基本方法,另一方面也要注意这些原理和方法在机械工程上实际应用的范围和条件。总之,在学习本课程时,应注意它是一门

技术基础课这一特点，在学习方法上亦应与大家所习惯的学习理论基础课程的方法有所不同，要有一定的工程观点，例如选择与比较的观点，实验根据与理论分析结合的观点等等。