

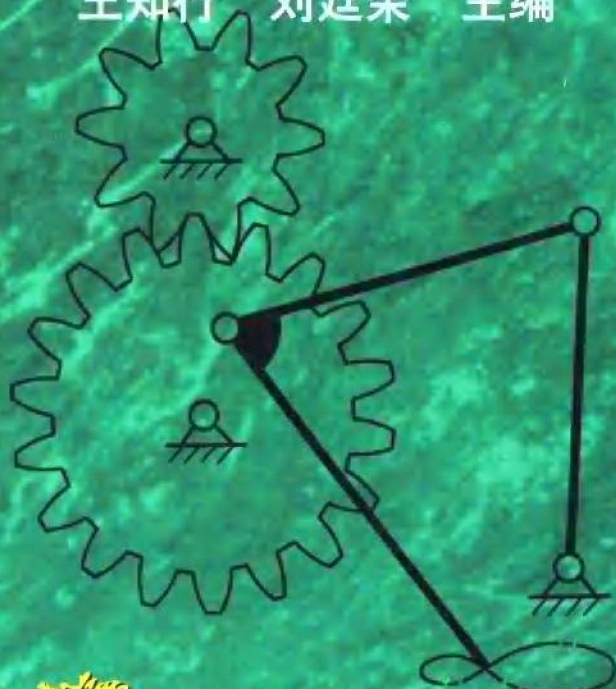


面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

机 械 原 理

哈尔滨工业大学机械原理教研室 编

王知行 刘廷荣 主编



高 等 教 育 出 版 社
HIGHER EDUCATION PRESS

00005761

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

TH11
39

机械原理

哈尔滨工业大学机械原理教研室 编

王知行 刘廷荣 主编

HK81/04



C0482349



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

(京)112号

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/王知行,刘廷荣主编. —北京:高等教育出版社,2000

面向21世纪课程教材

ISBN 7-04-008001-X

I. 机… II. ①王… ②刘… III. 机构学-高等学校-教材 IV. TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第64394号

机械原理

哈尔滨工业大学机械原理教研室 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 中国科学院印刷厂

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

开 本 787×960 1/16

版 次 2000年2月第1版

印 张 18.75

印 次 2000年2月第1次印刷

字 数 340 000

定 价 19.90元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究



C0482349

内 容 简 介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材和教育部机械原理及机械设计学科“九五”规划教材,也是普通高等教育“九五”国家教委重点教材。本书在注重培养学生逻辑思维能力的同时,教材软件还引入多种传媒和许多栩栩如生的参数化的机构运动仿真模型,为开发学生的形象思维能力创造了条件。本书为国内第一部机械原理多媒体教材。

本教材的基本内容是:绪论,机构的结构,连杆、凸轮、齿轮机构及设计,轮系及设计,其他常用机构,机械运动方案及机构创新设计,机械的运转及其速度波动的调节,机械的平衡。在重点章节之后附有习题,以利学习。

本书可供高等学校工科机械类专业学生学习,也可供有关人员参考。



11K81104

面向21世纪课程教材



普通高等教育“九五”
国家教委重点教材



序 言

在科学技术特别是计算机和通信技术飞速发展的今天,许多基础学科领域的理论体系都有重大发展。在工业领域的新技术、新工艺、新材料层出不穷的形势下,迫切要求高等工程教育改革人才培养模式,以适应科学技术发展和社会主义市场经济的需求。根据面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革的基本思想,在总结我们多年的教学经验,特别是 1992 年以来开展计算机辅助教学(CAI)研究与实践经验的基础上,并融合了我们在机构学方面的科研成果,编写成这套机械原理多媒体教材(含文字教材及其配套的多媒体软件光盘两张),以为培养跨世纪的具有创新能力的人才发挥一定作用。

本教材是面向 21 世纪课程教材,同时也是普通高等教育“九五”国家教委重点教材。为了培养学生的工程实践能力和创新能力,本教材在以“设计为主线”的中心思想指导下,在以下几方面进行了改进和提高。

1. 教材既要传授知识,更要为培养能力服务

本教材在阐述课程的基本内容时,不仅传授课程的基本概念、基本理论和基本方法,而且还促使学生在掌握和运用基本理论和方法的过程中,能够超越课程的界限去思考和研究问题。在教材的配套软件中允许学生改变参数生成各种他们未曾见过的“真实”机构模型,启发他们思考和总结,以获取新的知识,发展新的科学方法,提高其创新能力。

2. 在培养学生的逻辑思维能力的同时,促进其形象思维能力的提高

机械原理课程的许多基本理论和方法都经过严密的理论推导和论证,以此来培养学生的逻辑思维能力。本教材在注意发挥课程的这一特点的过程中,引入了许多栩栩如生的机构运动仿真模型,以开发学生的形象思维能力,让学生把抽象的逻辑推理和形象的机构运动时空关系结合起来考虑问题,促使其建立工程实践的观点。

3. 利用科学技术发展的最新成果推动和促进机械学科的发展

大多数机构多具有分析容易而设计困难的特点,许多机构学学者为解决机构设计问题倾注了大量的心血,但有些问题至今仍未很好地解决。在计算机和计算技术高度发展的今天,把机构的分析与设计结合起来,利用分析的结果去解决设计问题已成为可能。本教材引入我们在连杆机构研究方面的成果——数值比较综合法,其目的不只是为了提供一种连杆机构设计的实用方法,更主要的是推

动和促进学生思考运用最新的技术成果解决那些尚未很好解决的技术问题,推动科学技术的发展。

4. 利用可视化技术,把解析法与图解法很好地结合起来,发挥各自的优势和特点

机械原理中的许多图解法都具有概念清晰的特点,如凸轮轮廓设计和基本尺寸确定的图解法等,而解析法又往往被认为难以给出形象的概念。本教材通过计算机图形功能和可视化技术,把许多解析法、数值法的计算过程和计算结果进行可视化处理,使之超出原来图解法概念清晰程度,并可以改变参数,做到举一反三,使学生把机械原理的学习和研究提高到一个新水平。

为适应课程教学改革的新形势,本教材在内容上删减了与前修课程的重复部分,同时,利用科技发展的最新成果,把多种传播媒体引入教学过程中,促使教学方法和手段的现代化。因此,在具有现代化教学设备的学校,使用本教材及其多媒体软件可以大大节省授课时数;学生还可通过软件自学,进一步提高教学质量。本教材还适用于电视大学的教学与自学。在没有现代化教学设备的学校,本教材在内容上力求少而精,注意讲清重点、难点。

本书由哈尔滨工业大学王知行、刘廷荣主编。参加编写的有:王知行(第一、五章,§3-6和附录Ⅱ),刘廷荣(第八章,§3-7),李瑰贤(第三章§3-1~§3-5和附录Ⅰ),袁剑雄(第七章,§8-4),李建生(第六章),李明章(第九章),常勇、李延平(第四章),姚立纲(第十章),李明山、董宏林(第二章)。

本书承原国家教育委员会高等学校机械原理课程教学指导小组组长、哈尔滨工业大学李华敏教授和教育部高等学校机械原理及机械设计课程教学指导小组成员、大连理工大学肖大准教授精心审阅,提出了许多宝贵意见,作者在此表示衷心感谢。

由于我们的水平所限,遗误与不妥之处,诚望同行教师和广大读者批评指正。

作者

1999年1月

责任编辑	杨宪玲
封面设计	张楠
责任绘图	李维平
版式设计	马静如
责任校对	王效珍
责任印制	宋克学

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 机械原理课程的研究对象和内容	1
§ 1-2 机械原理课程的学习目的和作用	2
§ 1-3 机械原理多媒体教材的特点及使用	3
第二章 机构的结构分析和综合	6
§ 2-1 研究机构结构的目的	6
§ 2-2 机构的组成及其运动简图的绘制	6
§ 2-3 机构自由度的计算	11
§ 2-4 平面机构的组成原理和结构分析	17
§ 2-5 平面机构的结构综合	20
习题	22
第三章 连杆机构分析和设计	24
§ 3-1 概述	24
§ 3-2 平面四杆机构的基本类型及其演化	25
§ 3-3 平面四杆机构有曲柄的条件及几个基本概念	32
§ 3-4 平面连杆机构的运动分析	37
§ 3-5 平面连杆机构的力分析和机械效率	47
§ 3-6 平面四杆机构设计	64
§ 3-7 机器人操作机——开式链机构及其运动分析	82
习题	90
第四章 凸轮机构及其设计	97
§ 4-1 凸轮机构的应用及分类	97
§ 4-2 从动件运动规律及其选择	100
§ 4-3 按预定运动规律设计盘形凸轮轮廓	105
§ 4-4 盘形凸轮机构基本尺寸的确定	112
§ 4-5 空间凸轮机构简介	117
习题	118
第五章 齿轮机构及其设计	121
§ 5-1 齿轮机构的类型和应用	121
§ 5-2 瞬时传动比与齿廓曲线	123
§ 5-3 渐开线和渐开线齿廓啮合传动的特点	127

§ 5-4 渐开线圆柱齿轮及其基本齿廓	129
§ 5-5 渐开线齿廓的加工原理	133
§ 5-6 渐开线齿轮加工中的几个问题	137
§ 5-7 渐开线齿轮啮合传动计算	141
§ 5-8 变位齿轮传动的类型、应用和变位系数的选择	150
§ 5-9 斜齿圆柱齿轮传动	156
§ 5-10 交错轴斜齿轮传动机构	161
§ 5-11 蜗杆传动机构	163
§ 5-12 圆锥齿轮传动机构	168
习题	172
第六章 轮系及其设计	175
§ 6-1 轮系的类型和应用	175
§ 6-2 轮系的传动比计算	178
§ 6-3 行星轮系的效率	186
§ 6-4 行星轮系的设计	189
§ 6-5 其他行星传动简介	193
习题	196
第七章 其他常用机构	199
§ 7-1 棘轮机构	199
§ 7-2 槽轮机构	204
§ 7-3 不完全齿轮机构	210
§ 7-4 万向联轴节	213
习题	216
第八章 机械的运动方案及机构的创新设计	217
§ 8-1 概述	217
§ 8-2 原动机、传动机构和执行机构的类型和选择	220
§ 8-3 机械运动方案的设计	228
§ 8-4 机构的创新设计	238
习题	243
第九章 机械的运转及其速度波动的调节	245
§ 9-1 概述	245
§ 9-2 机械系统的等效动力学模型	247
§ 9-3 在已知力作用下机械的真实运动	250
§ 9-4 机械速度波动的调节	254
习题	258
第十章 机械的平衡	260
§ 10-1 概述	260
§ 10-2 刚性转子的静平衡及动平衡	261

§ 10-3 刚性转子的平衡试验及平衡精度	264
§ 10-4 挠性转子动平衡简介	267
§ 10-5 平面机构的平衡简介	269
习题	272
附录 I 常用 II 级杆组的运动分析和力分析数学模型	275
附录 II 位移矩阵和坐标变换	282
附录 III 渐开线函数表($\text{inv}\alpha = \tan\alpha - \alpha$)	285
参考文献	287

第一章 绪 论

§ 1-1 机械原理课程的研究对象和内容

机械原理课程是一门研究机械的运动学和动力学分析与设计基本理论问题的课程,是一门技术基础课,它在基础课与专业课之间起到承上启下的作用。

机械是机器和机构的总称。在日常生活和工程中经常见到的缝纫机、洗衣机、复印机、汽车、拖拉机、起重机、各种机床、发电机、电动机、机器人及计算机等,都称为“机器”。各种机器的构造、用途和性能虽然各不相同,但从它们的组成、运动和功能等方面来看,可以对机器作如下定义:机器是一种人为实物组合的具有确定机械运动的装置,它用来完成有用功、转换能量或处理信息,以代替或减轻人类的劳动。例如各种机床用来变换物料的状态做功,汽车、起重机等用来传递物料做有用功,发电机或电动机用来转换能量,计算机用来变换和处理各种信息等。

通常,一台完善的现代化机器具有四个组成部分,即原动机、传动机构、执行机构和控制系统。原动机用于提供动力,如电动机等;传动机构将运动和动力传递给执行机构,如齿轮、丝杠等;执行机构用于实现机器的功能,如机床的刀架、机器人的手爪等;控制系统则用于处理机器各组成部分之间的工作协调,以及与外部其他机器或原动机之间的关系协调,例如,用各种传感器收集机器内、外部的信息,输入计算机进行处理,并向机器各部分发出指令,使之协调地进行工作,达到提高工作质量和生产效率以及降低能耗的目的。正是由于机器具有上述组成部分,所以绝大部分机器都具有机械运动,以完成机械功、转换机械能或进行信息处理。

机器中的机械运动大多是通过各种“机构”来实现的。一部机器通常包含一个或若干个机构,因此,机构是机器的重要组成部分。机构可以定义为:机构是一个具有相对机械运动的构件系统,或称它是用来传递与变换运动和动力的可动装置。例如常见的齿轮机构(图 1-1a)、凸轮机构(图 1-1b)、连杆机构(图 1-1c)、螺旋机构、带传动机构和链传动机构等,它们都是实现某种运动和动力传递的可动装置。机械原理就是研究这些具有确定机械运动装置的运动分析和运动及动力设计基本理论的课程。

机械原理主要研究内容有以下几个方面:

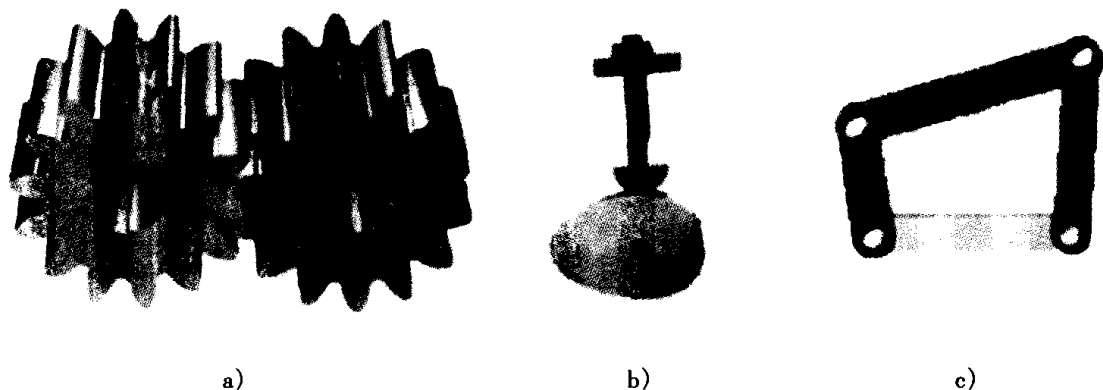


图 1-1

1) 各种机构的分析问题。它包括机构的结构分析,即研究机构的组成原理、机构运动的可能性及确定性条件;机构的运动分析,即研究在给定原动件运动的条件下,机构各点的轨迹、位移、速度和加速度等运动特性;机构的力分析,即研究机构各运动副中力的计算方法、摩擦及机械效率等问题。

2) 常用机构的设计问题。机器的种类虽然极其繁多,但构成各种机器的机构类型却很有限,常用的有:齿轮机构、凸轮机构、连杆机构,还有各种间歇机构等。本书将用很大篇幅讨论这些机构的设计理论和设计方法。

3) 机器动力学问题。它主要研究在已知力作用下机械的真实运动规律;机器运转过程中速度波动的调节问题以及机械运转过程中所产生的惯性力系的平衡问题。

4) 机构的选型及机械运动系统设计的基本知识。

§ 1-2 机械原理课程的学习目的和作用

学习机械原理课程的目的和作用,概括起来有以下几个方面。

一、认识机械,了解机械

机械原理课程中对机械的组成原理、各种机械的工作原理、运动分析乃至设计理论和方法都作了基本的介绍,这对工科各专业的学生,在认识实习、生产实习中认识机械、了解机械和使用机械都会很有帮助,而且这些有关机械的基本理论和知识将为学习专业课程打下基础。

二、掌握方法,分析机械

机器或机构的一个突出的特点是作机械运动,而运动的相对性和运动几何

学的基本概念贯穿于本课程的始终,如根据相对运动原理提出的“反转法”等一些基本方法,经常用于机构的分析和设计中,掌握和运用这些基本方法去分析现有的机构,从而使学生对机构的认识达到理性认识的高度,是本课程的另一个目的。

三、开阔思路,设计和创新机械

机械原理课程所讲授的机构分析与设计的基本理论和基本方法,不仅用于解决本课程所学的机构设计,而且对以后的课程设计、毕业设计以及今后在工作中所遇到的技术问题的解决,都会提供必备的基础知识。如为了实现某种运动要求,在选择合适机构类型,构思并设计基本机构和机械系统方面,机械原理所讲授的基本思想和方法,将起到十分重要的作用。分析比较各种机构的优缺点,权衡利弊,选择合适的机构,进而创造新机械等都必须具有上述知识。

四、更新观念,发展机械学科

为了实现社会主义现代化的目标,就要在国民经济各部门逐步实现机械化和自动化,以不断提高劳动生产率,降低产品成本,提高产品质量。要实现机械化,就要创造出各种各样新的优质机器。在创新机器过程中,机构的正确运用,机械运动方案的合理选择,各种机构的设计和创新都需要机械原理的知识。尤其是即将进入 21 世纪之际,在计算机和计算技术快速发展的今天,需要把计算机快速计算和图形功能引入机械设计之中,改进和革新机械分析与设计方法,把机械设计的方法与技术推向新阶段。这就要求我们在学习和研究机构分析与设计的基本理论的同时,注意更新观念,要把机、电、液、气的应用技术结合起来考虑问题,并积极应用计算机和计算技术,发展和创新机械,推动机械学学科的发展。

§ 1-3 机械原理多媒体教材的特点及使用

机械原理多媒体教材主要包括文字教材和软件教材(电子教材)两部分。文字教材与一般的教材在形式上是一样的,它主要为满足教师备课和学生自学复习的需要,在文字上力求简练,少而精。软件教材,除了包含文字教材中的关键性、结论性的内容和必要的文字、公式、图表外,主要是根据机构运动几何学的特点,把大量的机构运动仿真图形,特别是三维机构运动仿真图形纳入教材,以开发学生的形象思维能力,提高创造性精神。同时,软件教材中还包括必要的讲解配音和现场场景的录像,实现多种传播媒体的综合运用,以提高教与学的效率和质量。因此,使用本套教材,应掌握它的以下特点。

一、内容和体系上的特点

1) 贯彻以设计为主的思想,增加了机构综合即设计的内容,以适应当前机械工业发展的需要。如增加了机构结构综合、连杆机构的实用设计方法、齿轮变位系数选择和综合方案的比较以及机械运动方案设计等内容。这些将会对新的设计思想和设计方法的研究起到推动作用。

2) 教材中基本删除了解法,并减少了机构分析的内容。图解法虽具有概念清晰、使用简便的特点,但随着计算机的计算和图形功能的提高,原来的图解法,如机构运动分析图解法、凸轮设计图解法等已失去实际应用价值,教材中应予以删除。为加强教材的设计内容,对于机构的运动分析和力分析等内容也并入连杆机构分析和设计一章中,并减少了相应的内容。

3) 力求把分析方法和设计方法更密切地与当今的计算机技术结合起来,以鼓励学生更好地探索机构分析与机构综合的新方法。

二、表达形式上的特点

本教材突破了单纯书面文字和书面图形的表达形式,把多种信息传播媒体结合起来,给读者以全新的感觉和面貌,其具体特点有:

1) 三维实体机构运动仿真模型给人以身临其境的真实感。本书软件利用多种造型技术,给出三维可动的具有真实感的各种机构模型,通过这些栩栩如生的“真实”机构模型,便于观察机构的结构和运动情况,以便建立起各种机构的空间概念和运动的时空关系,促进形象思维能力的发展和提高。

2) 可变参数实时生成机构模型,促进了对机构结构的可变性和多样性的认识。通过改变参数实时生成二维或三维机构模型,观察各种参数对机构结构的影响,并进而了解这些参数对机构运动性能的影响,从而认识机构结构和性能的特点。

3) 多种教学媒体的有机结合,强化了听觉、视觉等多重刺激。全套教材采用文字教材与视听教材相结合,文字图形表达与可动计算机仿真模型及录像场景相结合,重点、难点的教师讲解配音与文字、图形闪动相配合,强化了教学和自学过程的多重刺激,促进教学效率和效果的提高。

4) 软件教材中给出了各种机构的英文词汇和帮助系统。为了帮助学生扩大英文词汇,以提高专业外语阅读能力,软件教材中给出了各种机构和主要词汇的英文单词。另一方面为了便于教师备课和学生的深入学习,对一些受篇幅限制,文字教材不宜展开的内容,在软件相应章的帮助系统中,或给出有关问题的进一步论述,或给出有关参考文献的摘要和全文。

三、使用方法上的特点

1) 本套教材是根据面向 21 世纪的教学内容和课程体系改革的指导思想,贯穿以设计为主线,考虑到教学时数被压缩的情况下,在总结了我們多年的教学经验的基础上编写的。教材软件将提供单机版和网络版两种光盘,供个人机和局域网使用。有多媒体大教室时,主讲教师可以大大节省讲课时数,学生可以通过网络或个人机经过自学较好地完成任务。

2) 对于那些不具备多媒体教学设备的学校,采用个人机与单机版光盘同样可收到良好的教学效果;无计算机时,它的文字教材可以像其他机械原理文字教材一样用于教学。

第二章 机构的结构分析和综合

§ 2-1 研究机构结构的目 的

机械原理课程对机械的研究一般可以概括为两个方面：一是对已有机械进行分析,包括结构分析、运动分析和动力分析;二是对新机构进行设计,即机构综合,其中包括机构的选型、运动设计及动力设计。本章的任务主要是研究机构的结构分析和综合,其目的有以下几个方面:

1) 研究组成机构的要素及机构具有确定运动的条件。机构是各构件间具有相对运动的组合体,要研究机构,首先要了解机构是由哪些要素组成的,然后判断机构能否运动以及具有确定运动的条件。

2) 研究机构的组成原理,并根据结构特点对机构进行分类。机构虽然形式多样,但从结构上讲,它们的组成原理都是一样的。此外,根据结构特点,可对机构进行分类,并把机构分解成若干个基本杆组。同一类的基本杆组,可应用相同的办法对其进行运动分析和力分析。

3) 研究机构运动简图的绘制,即研究如何用简单的图形表示机构的结构和运动状态。

4) 研究机构结构综合方法,即研究在满足预期运动及工作条件下,如何综合出机构可能的结构型式。

§ 2-2 机构的组成及其运动简图的绘制

一、机构的组成要素

虽然各种机构的形式、结构各不相同,但通过大量的分析可以看到:机构是具有相对运动的构件组合体,而这种“构件组合体”,实际上是将各构件按一定方式联接而成的。总的说来,机构是由构件和运动副两个要素组成的。

1. 构件

所谓构件是指作为一个整体参与机构运动的刚性单元。一个构件,可能是不能拆开的单一整体,也可能是由若干个不同零件装配起来的刚性体。因此,构件与零件的区别在于:构件是运动的单元,零件是加工制造的单元。本课程以