



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材

机械原理

第三版

哈尔滨工业大学 编

邓宗全 于红英 王知行 主编

高等教育出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

机械原理

Jixie Yuanli

第三版

哈尔滨工业大学 编
邓宗全 于红英 王知行 主编

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在第二版(普通高等教育“十五”国家级规划教材)的基础上,总结多年的教学研究和实践经验,并融合机构学方面的科研成果修订而成的立体化的机械原理教材。本教材具有以下特点:强调传授知识与培养能力并重;加强逻辑思维能力和形象思维能力一体化培养;运用可视化技术展示解析法和图解法的各自优势和特点;引入科研成果更新了传统教学内容。文字教材和配套数字化资源的内容力求少而精,并在注意讲清重点和难点的同时,增加了工程技术人员实用的理论、方法、设计软件或设计资料,以促进教学方法、手段的现代化和学生创造能力的培养。

本书的基本内容有绪论,机构的结构分析,平面机构的运动分析,平面机构的力分析和机械效率,平面连杆机构及其设计,凸轮、齿轮机构及其设计,轮系及其设计,其他常用机构,机械的运转及其速度波动的调节,机械的平衡,机械的运动方案及机构的创新设计。除绪论外各章之后均附有习题,以利学习。

本书可作为普通高等学校机械类专业教材,也可供有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/邓宗全,于红英,王知行主编;哈尔滨工业大学编.--3版.--北京:高等教育出版社,2015.3

ISBN 978-7-04-041888

I. ①机… II. ①邓… ②于… ③王… ④哈… III. ①机构学-高等学校-教材 IV. (1)TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第016081号

策划编辑	宋晓	责任编辑	宋晓	封面设计	王鹏	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	陈旭颖	责任印制	张泽业		

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 潮河印业有限公司
开本 787mm×960mm 1/16
印张 22.75
字数 420千字
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.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2000年2月第1版
2015年3月第3版
印 次 2015年3月第1次印刷
定 价 41.20元(含光盘)

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 41888-00



面向 21 世纪课程教材



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材

第三版 序言

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在第二版(普通高等教育“十五”国家级规划教材)的基础上修订而成的。

根据新世纪高等工科教育教学内容与课程体系改革的基本思想和《高等学校机械原理课程教学基本要求》,在总结我们多年的教学经验,特别是近年来开展计算机辅助教学(CAI)研究与实践经验的基础上,并融合了在机构学方面的科研成果,编写成这套立体化的机械原理教材(含文字教材、配套的多媒体课件、学习指导与习题解答以及课程设计等多种辅助教材)。

为方便教学,在本次修订中,对教材内容体系的安排作了一些调整。将第二版连杆机构分析和设计一章分为三章:平面机构的运动分析,平面机构的力分析及机械效率,平面连杆机构及其设计;将齿轮机构及其设计一章中第5~8节中内容的顺序进行了调整;对空间机构自由度的计算、平面机构的运动分析的方法、平面机构的力分析的方法、平面连杆机构及其设计中的设计理论与软件的实现方法、齿轮机构及其设计中的变位系数选择方法及设计应用、其他常用机构的应用以及机械的平衡中的基本理论和计算实例中的基本内容等均进行了适当的加强、完善和提高。概括起来说,经过本次修订,本书具有以下特点:

1. 传授知识与培养能力并重

本书在阐述课程的基本内容时,不仅强调传授课程的基本概念、基本理论和基本方法,而且还注意促使学生在掌握和运用基本理论和方法的过程中,能够结合具体工程对象思考和研究问题。在书后的配套软件中能让学生自主地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,以探索新设计方法,提高创新能力。

2. 逻辑思维能力与形象思维能力一体化培养

机械原理课程的许多基本理论都经过严密的推导和论证,以此来培养学生的逻辑思维能力。

3. 用可视化技术展示解析法和图解法的优势和特点

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。本书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的概念清晰程度,并可以改变参数,做到举

II 第三版 序言

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。

4. 引入科研成果更新传统教学内容

为适应新的要求,在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难题已成为现实,用新的设计思想和新的研究成果去更新传统教材中那些失去实用价值的内容已成为必然。例如本书中引入我们在连杆机构方面的研究成果——数值比较法,其目的不只是提供一种连杆机构设计的新的实用方法,更主要的是促进学生去思考和探索用最新科技成果解决那些尚未很好解决的技术问题,以推动机械科学技术的发展。

为适应课程教学改革的新形势,本书在内容上删减了与前修课程的重复部分或在现代设计条件下不再应用的部分,在内容上力求少而精,注意讲清重点和难点。增加了工程技术人员实用的方法理论、设计软件或设计资料。同时,还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,促进教学方法和手段的现代化。本书及其多媒体软件可以大大节省授课时数,学生还能通过软件自学,进一步提高教学质量。

本书由哈尔滨工业大学邓宗全、于红英、王知行主编。参加编写工作的有:邓宗全(第一、十二章),钟诗胜、王瑞(第二章),于红英(第三、四章及附录 I、II),于红英、王知行(第五章),丁刚(第六章),唐德威、王知行(第七章),林琳(第八章),刘文涛(第九章),焦映厚(第十章),陈照波(第十一章)。

大连理工大学王德伦教授精心审阅了本书,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于我们的水平所限,本书难免存在遗误与不妥之处,诚望广大读者批评指正。

作者

2014年9月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

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 本教材的特点与学习方法	5
第二章 机构的结构分析	8
§2-1 结构分析的基本内容	8
§2-2 机构的组成及其运动简图的绘制	8
§2-3 机构自由度的计算	14
§2-4 平面机构的组成原理和结构分析	21
习题	25
第三章 平面机构的运动分析	28
§3-1 研究机构运动分析的目的和方法	28
§3-2 用速度瞬心法对平面机构作速度分析	29
§3-3 用杆组法对平面连杆机构进行速度和加速度分析	35
习题	41
第四章 平面机构的力分析和机械效率	45
§4-1 力分析的基本知识	45
§4-2 拆杆组法对平面连杆机构进行动态静力分析的数学模型	47
§4-3 运动副中的摩擦和计及摩擦时机构的力分析	53
§4-4 机械的效率和自锁	68
习题	73
第五章 平面连杆机构及其设计	76
§5-1 概述	76

II 目录

§5-2 平面四杆机构的基本类型及其演化	78
§5-3 平面四杆机构有曲柄的条件及几个基本概念	87
§5-4 平面四杆机构设计	96
习题	116
第六章 凸轮机构及其设计	119
§6-1 凸轮机构的应用及分类	119
§6-2 从动件运动规律及其选择	122
§6-3 按预定运动规律设计盘形凸轮轮廓	130
§6-4 盘形凸轮机构基本尺寸的确定	138
§6-5 空间凸轮机构简介	144
习题	146
第七章 齿轮机构及其设计	149
§7-1 齿轮机构的类型和应用	149
§7-2 瞬时传动比与齿廓曲线	151
§7-3 渐开线和渐开线齿廓啮合传动的特点	155
§7-4 渐开线圆柱齿轮及其基本齿廓	158
§7-5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	162
§7-6 渐开线齿廓的加工原理	168
§7-7 渐开线变位直齿圆柱齿轮啮合传动计算	175
§7-8 变位齿轮传动的设计	184
§7-9 斜齿圆柱齿轮传动	190
§7-10 交错轴斜齿轮传动	196
§7-11 蜗杆蜗轮传动	198
§7-12 锥齿轮传动	204
习题	208
第八章 轮系及其设计	211
§8-1 轮系的类型	211
§8-2 轮系的传动比计算	213
§8-3 轮系的应用	222
§8-4 行星轮系的效率	225

§8-5 行星轮系的设计	228
§8-6 其他行星传动简介	233
习题	236
第九章 其他常用机构	240
§9-1 棘轮机构	240
§9-2 槽轮机构	247
§9-3 不完全齿轮机构	254
§9-4 万向联轴器	258
§9-5 凸轮式间歇运动机构	261
习题	263
第十章 机械的运转及其速度波动的调节	264
§10-1 概述	264
§10-2 机械系统的等效动力学模型	267
§10-3 在已知力作用下机械的真实运动	270
§10-4 机械速度波动及其调节方法	275
习题	286
第十一章 机械的平衡	288
§11-1 概述	288
§11-2 刚性转子的静平衡及动平衡	289
§11-3 刚性转子的平衡试验及平衡精度	293
§11-4 挠性转子动平衡简介	296
§11-5 平面机构的平衡简介	298
习题	303
第十二章 机械的运动方案及机构的创新设计	305
§12-1 概述	305
§12-2 机械运动方案设计原则	305
§12-3 原动机、传动机构及减速器的选择	308
§12-4 机构的运动协调及运动循环图	316
§12-5 机械运动方案拟定及评价	319

IV 目录

§12-6 机构运动方案设计实例	324
§12-7 机构的创新设计	330
习题	337
附录 I 常用 II 级杆组的运动分析与力分析数学模型	339
附录 II 位移矩阵与坐标变换	347
参考文献	351

§ 1-1 机械原理课程的研究对象和内容

机械原理研究机械运动学、动力学分析与设计的基本理论,是一门在基础课与专业课之间起着承上启下作用的重要技术基础课程。

机械是机器与机构的总称。经常见到的缝纫机、洗衣机、复印机、汽车、拖拉机、起重機、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与拓展劳动能力。例如,各种机床用来变换物料的状态作功,汽车、起重機等用来传递物料作有用功,发电机或电动机用来转换能量,计算机用来拓展人类处理各种信息的能力等。

通常,一台完整的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;控制系统则用于协调机器各组成部分之间的工作,以及与外部其他机器的关联关系。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。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。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。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及动力分析与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:

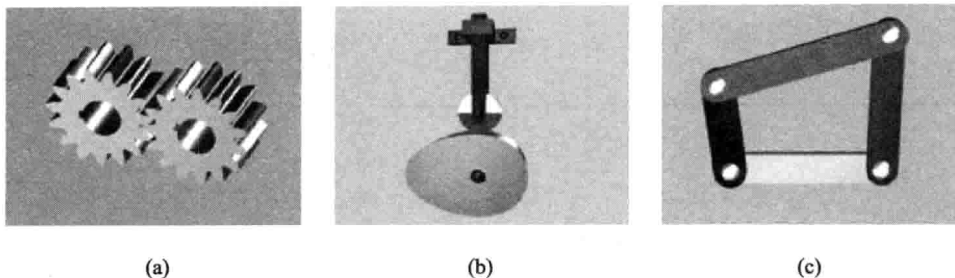


图 1-1

1. 各种机构的分析问题

它包括机构的结构分析,即研究机构的结构组成原理、机构的可运动性及确定性条件,以及机构的结构分类等;机构的运动分析,即研究在给定原动件运动的条件下,机构中构件上点的运动轨迹以及位移、速度和加速度等运动特性;机构的力分析,即研究机器运转过程中各构件的受力情况,以及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

机器的种类虽然繁多,但构成各种机器的机构类型却有限,常用的有齿轮机构、凸轮机构、连杆机构以及各种间歇机构等。本书将详细讨论这些机构的结构原理与组成、设计理论和设计方法以及其应用等问题。

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. 机构的选型及机械系统运动方案设计的基本知识

它主要研究具体机械设计时的机构选型、组合与变异问题,以及机械系统运动方案的设计等问题。

§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、工作原理、运动分析乃至设计理论和方法都做了基本的介绍,这对工科各专业的学生在认识实习、生产实习以及以后的工作中认识机械、了解机械和学会使用机械都会很有帮助。例如,认识并了解铣

床工作台进给速度的调整、车削螺纹时不同螺距的形成都是通过齿轮传动并按一定传动比计算挂轮实现的。又如,牛头刨床加工时进给量大小的调整可以通过连杆机构和棘轮机构实现等。当然,这些有关机械的基本理论与知识还将为以后学习专业课程打下基础。

二、掌握方法,分析机械

机构的特点是具有确定的相对运动,因此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。例如,根据相对运动原理而提出的“反转法”的基本思想,在凸轮轮廓设计和行星轮系传动比计算中得到了应用,在连杆机构设计和机构演化中的“转换机架”等也都是基于“反转法”的思想。又如,根据机械运动包络的原理,进行凸轮轮廓和齿轮齿廓设计与加工。这些基本概念和方法,经常用于机构的分析与设计中,掌握和运用这些基本方法去分析现有的机构,从而对机构达到理性认识的高度,是本课程的一个重要的目的。

三、开阔思路,创新设计机械

机械原理课程所讲授的机构分析与设计的基本理论与基本方法,不仅用于解决本课程所学的机构设计,而且对后续的课程设计、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。例如,为构思一个实现直线运动的机械系统,当选用回转运动作驱动源时,可以用图 1-1b 所示的凸轮机构,凸轮的回转推动从动件作往复直线移动;可以用图 1-2a 所示的齿轮齿条机构,齿轮回转带动齿条作直线移动;也可以用图 1-2b 所示的曲柄滑块机构,作回转运动的曲柄 1 通过连杆 2 带动滑块 3 作直线往复移动;还可以利用图 1-2c 所示的曲柄摇杆机构,其连杆上的一点 M 可实现直线运动轨迹 $a_1d_1b_1$ 。当然,若选用液压或气动作驱动源时,结构简单的油缸或气缸就成为直线运动机构。实际设

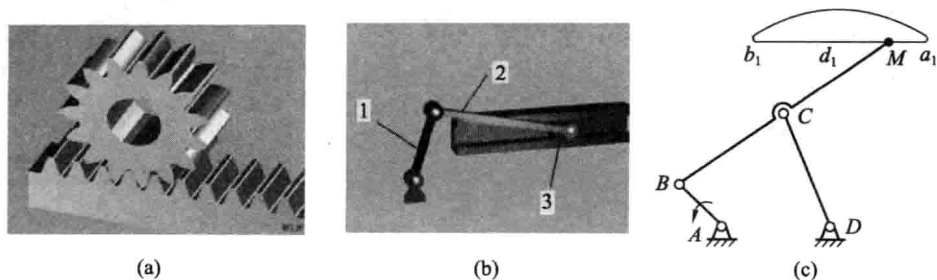


图 1-2

计中究竟选用何种直线运动机构,必须全面地分析比较各种机构的优缺点,根据现场动力源的实际情况,权衡利弊,选择合适的机构,进而创造新的机械系统。

四、更新观念,发展机械

随着社会的进步和发展,国民经济各部门在逐步实现机械化、自动化和信息化,以不断提高劳动生产率,降低产品成本,提高产品质量。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、各种机构的设计与创新都需要机械原理的知识。在计算机和计算技术快速发展的 21 世纪,需要把计算机快速计算和图形处理功能引入机械设计之中,去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。例如,本书提出的连杆机构设计的数值法,就是应用计算机的最新技术,把连杆机构分析与设计结合起来,突破原有的连杆机构设计的思维模式,实现了设计过程和设计结果的可视化,为工程实用创造了方便条件。

在学习和研究机构分析与设计基本理论的同时,应注意更新观念,把机、电、液、气的应用技术,计算机与计算技术以及数字控制技术充分地结合起来,发展和创新机械,推动机械学科的发展。例如,利用 6 自由度空间并联机构动平台可以实现工作空间内任意位置和姿态的特点,把它开发成一种新型的数控机床——并联机床,用以加工复杂空间曲面零件,推动机械学科和机床工业生产的

发展。图 1-3a 为并联机床原理仿真图,它是由 6 根变长杆通过球铰与固定平台(上平台)和活动平台(下平台)相连接而组成的。当各杆杆长发生变化时,带动动平台的位置和姿态变化,固连在动平台上的铣刀就可以加工出空间任意曲面,图 1-3b 是并联机床原型样机的三维仿真图,图 1-3c 是已在生产线上正式投入使用的并联机床。

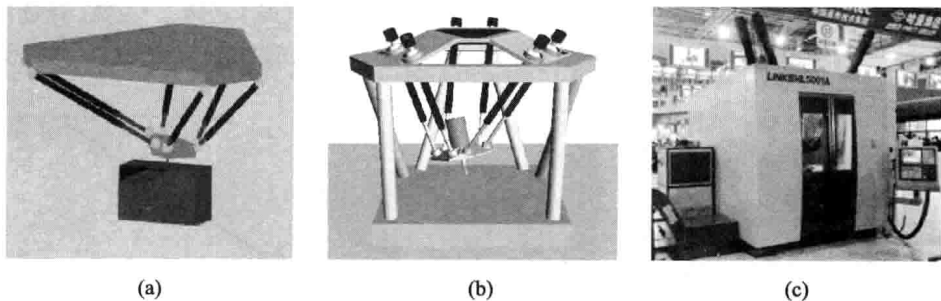


图 1-3

§1-3 本教材的特点与学习方法

本教材主要包括文字教材和多媒体课件两部分。文字教材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。多媒体课件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,以提高学生的形象思维能力,开发创新意识。同时,多媒体课件中还包括必要的现场场景的录像,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、体系与表达形式上的特点

1) 贯彻以设计为主的思想,加强了机构综合与设计的内容,以适应当前机械工业发展的需要。如增加了连杆机构的实用设计方法(数值法)、齿轮变位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学习、研究与推广起到推动作用。

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,教材中基本予以删除。

3) 将分析和设计方法与计算机技术结合,以鼓励学生更好地探索机构分析与机构综合的新方法。例如,连杆机构设计的数值法就是从机构的分析出发,寻求机构的运动特性并进而得到机构设计方法的。

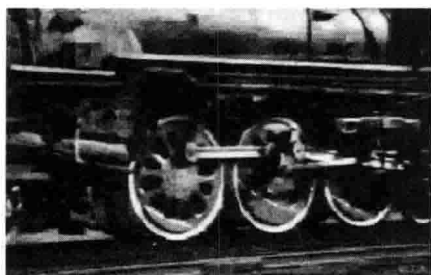
4) 本教材突破了单纯书面文字和书面图形的表达形式,把多种信息传播媒体结合起来,形成了立体化教材,其中包括利用多种造型技术制作了三维可动的具有真实感的“真实”机构模型,以便于建立起各种机构的空间概念和运动的时空关系,促进形象思维能力的发展与提高;通过改变参数实时生成二维或三维机构模型,以观察并了解这些参数对机构运动性能的影响,促进对机构结构的可变性和多样性的认识;通过多种教学媒体的有机结合,强化教学和自学过程中的多重视觉刺激,促进教学效率和效果的提高。

二、学习方法

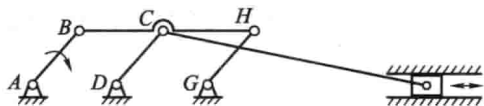
机械原理是一门技术基础课,它比基础课中的物理、理论力学等课程更加结合工程实际,但又不像专业课程中研究的一些具体机械结构那样的详尽,因此学

习本课程时一定要注意以下几方面的问题:

1) 学习掌握把具体机器抽象形成机构运动简图的方法,以便从本质上搞清机构的运动原理,建立基本概念。本课程主要研究机构的组成原理和运动学、动力学等问题,而不研究机器的具体结构。例如,为了研究如图 1-4a 所示蒸汽机车的运动问题,并不需要对它的详细结构进行研究,只要研究如图 1-4b 所示运动简图中的机构尺寸与运动关系就足够了。学习运用机构运动简图去理解机构运动过程中的时空关系,认识其运动本质,这也是培养逻辑思维能力和机构创新能力的一种有效方法。



(a)



(b)

图 1-4

2) 学习掌握本课程中的一些基本概念和基本方法。例如,为使机构或机器顺利地完 成传递运动、传递力或做功的任务,当它通过其运动循环中的任一位置时,都应使驱动力的方向与运动速度方向的夹角相对小,为此在齿轮机构、凸轮机构、连杆机构或其他各种机构中经常强调“压力角”或“传动角”这一基本概念。在这些机构的分析与设计中,或在创新某种新机构时,都必须注意满足一些基本要求。

3) 学习研究各种机构的设计方法。了解其运动与动力性能时,不仅应掌握每种机构各自的相关内容,更要注意把各种机构的具体的分析与设计内容与一般的原理和方法联系起来,如相对运动、“反转法”与转换机架等概念和方法,已成为多种机构分析、演化和设计方法的基础。只有弄清其本质所在,才易于掌握和运用机构的分析与设计的基本思想去创造新的机械系统。

4) 要充分利用本书多媒体课件提供的利用多种造型技术制作的具有真实感的可动的二维或三维机构模型,搞清机构运动过程中的时空关系、设计原理与方法以及机构参数对其运动性能的影响等问题。联系所学的基本概念,综合考虑各方面的影响因素,培养自己运用所学基本理论与方法分析和解决工程实际