



普通高等教育机电类规划教材

MECHANISMS AND MACHINE THEORY

机械原理

第2版

沈世德 徐学忠 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育机电类规划教材

机 械 原 理

第 2 版

主 编	沈世德	徐学忠
参 编	杨金花	胡朝斌
主 审	邹慧君	

机 械 工 业 出 版 社

本第2版包括正文12章和附录,内容分别为绪论、机构的结构分析、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、步进机构、机器人机构、其他机构、机械运动动力学方程、机械的平衡、机械运动方案设计。每章后附有一定数量的习题。附录内容为复数矢量及其在机构运动学问题中的应用。

本书配有教学课件,有需要的老师可到机械工业出版社教材服务网(<http://www.cmpedu.com>)上下载。

本书为应用型本科机械类专业的教材,可供近机类和非机类本科专业师生教学使用,同时也可作为机械类工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/沈世德,徐学忠主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2009.3
普通高等教育机电类规划教材
ISBN 978-7-111-26352-4

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第022187号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 王 杉
版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟
封面设计:王伟光 责任印制:乔 宇
北京京丰印刷厂印刷
2009年6月第2版·第1次印刷
184mm×260mm·17印张·420千字
标准书号:ISBN 978-7-111-26352-4
定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379711
封面无防伪标均为盗版

普通高等教育机电类规划教材编审委员会

主 任：邱坤荣

副主任：黄鹤汀 左健民

高文龙 章 跃

王晓天 周建方

沈世德

秘 书：周骥平

委 员：(排名不分先后)

周骥平 徐文宽

唐国兴 邓海平

戴国洪 李纪明

蒋同洋 鲁屏宇

葛士恩 赵连生

芮延年 王 萍

乔 斌 李建启

葛友华

第2版序

20 世纪末、21 世纪初，在社会主义经济建设、社会进步和科技飞速发展的推动下，在经济全球化、科技创新国际化、人才争夺白热化的挑战下，我国高等教育迅猛发展，胜利跨入了高等教育大众化阶段，使高等教育理念、定位、目标和思路等发生了革命性变化，正在逐步形成以科学发展观和终身教育思想为指导的新的高等教育体系和人才培养工作体系。在这个过程中，一大批应用型本科院校和高等职业技术学院异军突起，超常发展，1999 年已见端倪。当时我们敏锐地感到，这批应用型本科院校的崛起，必须有相应的应用型本科教材来满足她的教学需求，否则就有可能使她回到老本科院校所走过的学术型办学路子。2000 年下半年，我们就和机械工业出版社、扬州大学工学院、南京工程学院、河海大学常州校区、淮海工学院、南通工学院、盐城工学院、淮阴工学院、常州工学院、江南大学等 12 所高校在南京工程学院开会，讨论策划编写出版机电类应用型本科系列教材问题，规划出版 38 种，并进行了分工，提出了明确的规范要求，得到江苏省各方面的支持和配合。2001 年 5 月开始出书，到 2004 年 7 月已出齐 38 种，还增加了 3 种急需的教材，总册数已达 45 万册。每种至少有 2 次以上印刷，最多的印刷了 5 次、发行量达 2.5 万册。据调查，用户反映良好，并反映这个系列教材基本上体现了我在序言中提出的四个特点，符合地方应用型工科本科院校的教学实际，较好地满足了一般应用型工科本科院校的教学需要。用户的评价使我们很高兴，但更是对我们的鞭策和鼓励，实际上这一轮机电类教材存在的问题还不少，需要改进的地方还很多。我们应当为过去取得的进步和成绩而高兴，同样，我们更应当为今后这些进步和成绩的进一步发展而正视自己，我们并不需要刻意去忧患，但确实存在值得忧患的现实而不去忧患，就很难有更美好的明天。今后怎么办？这是大家最关注的问题，也是我们亟待研讨和解决的问题。我们应该以对国家对人民对社会对受教育者高度负责的精神重新审视这一问题，以寻求更好的解决方案。我们认为，必须在总结前一阶段经验教训的新起点上，坚持以国家新时期教育方针和科学发展观为指导，坚持高标准、严要求，坚持“质量第一、多样发展、打造精品、服务教学”的方针，坚持高标准、严要求，把下一轮机电类教材修订、编写、出版工作做大、做优、做精、做强，为建设有中国特色的高水平的地方工科应用型本科院校做出新的更大贡献。

一、坚持用科学发展观指导教材修订、编写和出版工作

应用型本科院校是我国高等教育在推进大众化过程中崛起的一种新的办学类型，它除恪守大学教育的一般办学基准外，还应有自己的个性和特色，就是要在培养具有创新精神、创业意识和创造能力的工程、生产、管理、服务一线需要的高级技术应用型人才方面办出自己的特色和水平。应用型本科人才的培养既不能简单“克隆”现有的本科院校，也不能是原有专科培养体系的相似放大。应用型人才的培养，重点仍要思考如何与社会需求的对接。

既要从学生的角度考虑,以人为本,以素质教育的思想贯穿教育教学的每一个环节,实现人的全面发展;又要从经济建设的实际需求考虑,多类型、多样化地培养人才,但最根本的一条还是坚持面向工程实际,面向岗位实务,按照“本科学历+岗位技术”的双重标准,有针对性地进行人才培养。根据这样的要求,“强化理论基础,提升实践能力,突出创新精神,优化综合素质”应当是工作在一线的本科应用人才的基本特征,也是本科应用型人才的总体质量要求。

培养应用型人才的关键在于建立应用型人才的培养模式。而培养模式的核心是课程体系与教学内容。应用型的人才培养必须依靠应用型的课程和内容,用学科型的教材难以保证培养目标的实现。课程体系与教学内容要与应用型的人才的知识、能力、素质结构相适应。在知识结构上,科学文化基础知识、专业基础知识、专业知识、相关学科知识等四类知识在纵向上应向应用前沿拓展,在横向上应注重知识的交叉、联系和衔接。在能力结构上,要强化学生运用专业理论解决实际问题的实践能力、组织管理能力和社会活动能力,还要注重思维能力和创造能力的培养,使学生思路清晰、条理分明,有条不紊地处理头绪纷繁的各项工作,创造性地工作。能力培养要贯彻到教学的整个过程之中。如何引导学生去发现问题、分析问题和解决问题应成为我们应用型本科教学的根本。

探讨课程体系、教学内容和培养方法,还必须服从和服务于大学生全面素质的培养。要通过形成新的知识体系和能力延伸以促进思想道德素质、文化素质、专业素质和身体心理素质的全面提高。因此,要在素质教育的思想指导下,对原有的教学计划和课程设置进行新的调整和组合,使学生能够适应社会主义现代化建设的需要。我们强调培养“三创”人才,就应当用“三创教育”、人文教育与科学教育的融合等适应时代的教育理念,选择一些新的课程内容和新的教学形式来实现。

研究课程体系,必须看到经济全球化与我国加入世界贸易组织以及高等教育的国际化对人才培养的影响。如果我们的课程内容缺乏国际性,那么我们所培养的人才就不可能具备参与国际事务、国际交流和国际竞争的能力。应当研究课程的国际性问题,增设具有国际意义的课程,加快与国外同类院校的课程接轨。要努力借鉴国外同类应用型本科院校的办学理念 and 培养模式、做法来优化我们的教学。

在教材编、修、审全过程中,必须始终坚持以人的全面发展为本,紧紧围绕培养目标和基本规格进行活生生的“人”的教育。一所大学使得师生获得自由的范围和程度,往往是这所大学成功和水平的标志。同样,我们修订和编写教材,提供教学用书,最终是为了把知识转化为能力和智慧,使学生获得谋生的手段和发展的能力。因此,在修订、编写教材过程中,必须始终把师生的需要和追求放在首位,努力提供教的方便和学的便捷,努力为教师和学生留下充分展示自己教和学的风格和特色的发展空间,使他们游刃有余,得心应手,还能激发他们的科学精神和创造热情,为教和学的持续发展服务。教师是课堂教学的组织者、合作者、引导者、参与者,而不应是教学的权威。教学过程是教师引导学生,和学生共同学习、共同发展的双向互促过程。因此,修订、编写教材对于主编和参加编写的教师来说,也是一个重新学习和思想水平、学术水平不断提高的过程,决不能丢失自我,决不能将“枷锁”移嫁别人,这里“关键在自己战胜自己”,关键在自己的理念、学识、经验和水平。

二、坚持质量第一,努力打造精品教材

教材是教学之本。大学教材不同于学术专著,它既是学术专著,又是教学经验之理性总

结,必须经得起实践和时间的考验。学术专著的错误充其量只会贻笑大方,而教材之错误则会遗害一代青年学子。有人说:“时间是真理之母”。时间是对我们所编写教材的最严厉的考官。目前,我们的教材才使用了几年,还很难说就是好教材,因为前一阶段主要是解决有无问题,用户还没有来得及去总结和反思,所以有的问题可能还没有来得及暴露。我们必须清醒地看到这一点。今后,更要坚持高标准、严要求,用航天人员“一丝不苟”、“一秒不差”的精神严格要求自己,确保教材质量和特色。为此,必须采取以下措施:第一、高等教育的核心资源是一支优秀的教师队伍,必须重新明确主编和参加编写教师的标准和要求,实行主编招标和负责制,把好质量第一关;第二、教材要从一般工科本科应用型院校实际出发,强调实际、实用、实践,加强技能培养,突出工程实践,内容适度简练,跟踪科技前沿,合理反映时代要求,这就要求我们必须严格把好教材编写或修订计划的评审关,择优而用;第三、加强教材编写或修订的规范管理,确保参编、主编、主审以及交付出版社等各个环节的质量和标准,实行环节负责制和责任追究制;第四、确保出版质量;第五、建立教材评价制度,奖优罚劣。对经过实践使用,用户反映好的教材要进行修订再版,切实培育一批名师编写的精品教材。出版的精品教材必须和多媒体课件配套,并逐步建立在线学习网站。

三、坚持“立足江苏、面向全国、服务教学”的原则,努力扩大教材使用范围,不断提高社会效益

下一轮教材编写和修订工作,必须加快吸收有条件有积极性的外省市同类院校、民办本科院校、独立学院和有关企业参加,以集中更多的力量,建设好应用型本科教材。同时,要相应调整编审委员会的人员组成,特别要注意充实省内外的优秀的“双师型”教师和相关企业专家。

四、建立健全用户评价制度

要在应用这套教材的省市有关高校建立教材使用质量跟踪调查,并建立网站,以便快速、便捷、实时地听取各方面的意见,不断修改、充实和完善我们的教材编写和出版工作,实实在在地为教师和学生提供精品服务,实实在在地为培养高质量的应用型本科人才服务。同时也努力为造就一批工科应用型本科院校高素质高水平的教师提供优良服务。

本套教材的编审和出版一直得到机械工业出版社、江苏省教育厅和各主编、主审和参加编写高校的大力支持和配合,在此,一并表示衷心感谢。今后,我们应一如既往地更加紧密地合作,共同为工科应用型本科院校教材建设作出新的贡献,为培养高质量的应用型本科人才作出新的贡献,为建设有中国特色社会主义的应用型本科教育作出新的努力。

普通高等教育机械工程及自动化专业
机电类规划教材编审委员会
主任 教授 邱坤荣

第2版前言

本书第1版于2001年出版,在许多高校使用本书时,一方面多有好评,另一方面诚恳提出不足之处。根据各方面的反映,也应出版社之约,今天,本书第2版与大家见面了。

本书第2版保持了第1版以下几个特点并加以强化。

1. 在内容上把握传统与发展的关系

内容的取舍方面在保留了传统内容中的精华和仍有工程价值的部分的基础上,还新增加了机械原理领域内新的、业已成熟的研究成果,力求使第2版更具时代特色。

机构运动分析内容已分散到连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等章节中讲述,所以机构运动分析不是独立的章节。在机构运动分析中,图解法只作为阐明概念之用,定量的分析计算采用解析法,并结合计算机的应用,列出计算框图。又如在许多现有教材中列出了凸轮机构运动规律中的多项式运动规律,考虑到该运动规律在工程中较少采用,因此,更多地介绍了工程中常用的三角函数运动规律。开式链机构、并联机构近年来发展较快并日趋成熟,本书对此作了介绍。本书第1版已经把传统名称“间歇运动机构”改为“步进机构”,以更明确地反映这类机构的运动特点。第2版还删除了该章第四节“不完全齿轮机构”,因不完全齿轮机构在工作中会造成很大的冲击,且完全可以被其他机构所取代,故现在工程中极少使用。

2. 在内容的前后衔接方面避免重复和脱节

机械原理课程的前导课程有高等数学、工程力学和工程制图等,后续课程有机械设计和其他专业课程,合理地衔接有利于提高教学效率。

点的复合运动和刚体的牵连运动已在工程力学运动学部分有详细叙述,机械原理教材中应主要讲述其正确应用的问题,本书的内容体现了这一精神。机械原理课程强调的是构件的运动,在齿轮机构章节中讲述了渐开线齿形及其在齿轮机构中满足定传动比传动,这已经满足了本教材的要求,所以本教材没有将变位齿轮计算、公法线长度计算和渐开线齿廓的切制等内容列入,因为在后续课程中都会出现这些内容。

3. 结合工程实际

传统连杆机构的内容有分析和设计,但凸轮机构的内容只有设计,没有分析。我国近年来引进国外很多先进机器设备,凸轮机构的分析对消化引进机器,如纺织机、轻工机械等愈显重要,根据编者多年的工作和科研经历,增加了凸轮机构分析的内容。

机构在工程和日常生活中被广为应用。在配套的课件中增加了一些机构应用实例,通过这些可运动的机构实例,既有利于学生记忆所学内容,又有利于提高学生的学习兴趣。通篇内容尽量体现本书适用于应用型机械工程本科专业宗旨。

4. 注重培养学生思维能力和创新能力

本书强调系统思维。以连杆机构为例,既要讲曲柄存在的四杆机构,又要讲曲柄不存在的四杆机构,还提及介于二者之间的等式机构,使学生对四杆机构形成整体和系统的概念,达到既讲技术内容,又讲思维方法的目的。构件相对机架的运动可分为传动和引导两种,所

以本教材把传统教材中按行程速比系数设计平面四杆机构纳入了传动的范围,体现了思维的严密性。

在大学教学思想的讨论中,人们认识到培养学生创新能力的重要性。本书设有专门的章节,以开拓学生的视野和思路。

5. 增加附录—复数矢量及其在机构运动学问题中的应用

根据国内外学者的研究,许多学者认为复数矢量运算是解决大量出现的平面机构问题的最简捷和有效的数学工具。在第2版中修订量最大的是把许多运动分析内容统一到采用复数矢量方法。考虑到目前学生对复数矢量运算掌握程度不同,为此以附录的形式增加了有关的内容,供学生学习时参考。编者认为,工具是为主体内容服务的,应该精简实用,所以在教材中出现一本书采用几个数学工具的做法。

由于人事变迁,在征求第1版编写人员意见的基础上,本次修订工作以沈世德、徐学忠为主,完成了文字和图片的修订,由杨金花完成了全书的整理工作,胡朝斌完成了多媒体课件的制作。在修订即将面世之际,对本书第1版编写人员的贡献表示深深地感谢。

机械原理只是机械专业中的一门课程,只有在课程改革已发展到课程体系改革的今天,才有可能全面、系统地建立起更科学合理的课程体系。我们深信,以后的机械原理教材还会有更大的、更科学的变动。中国机械工程的教学改革一定会取得成功。

机械工业出版社的同仁们一贯支持教改,身体力行,倾注了大量心血。在此对他们的敬业和进取精神致敬。

由于编者水平有限,虽然作了较仔细的勘误和修订,不当之处仍然难免,敬请广大读者谅解和批评指正。

编 者

第 1 版前言

教育部正在组织实施“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”，机械工业出版社紧跟这一计划，提出要编写有利于培养学生全面素质，有利于培养学生创新能力的新教材。机械原理是机械设计及理论学科的重要组成部分，是机械类专业的一门主干技术基础课。在整个课程设置中，本课程属于技术基础课，在教学中起着从理论课到专业课的承上启下作用。它一方面承担着完善学生知识结构，使其掌握机械设计及理论学科要义的任务；另一方面又承担着培养学生机械系统方案创新设计能力的任务；更进一步，希望通过本课程的学习，使学生对方法论有所了解并能尝试应用。近年来，机械产品向高速、高效、精密和智能的方向发展，这种趋势既推动了机械学的发展，又是机械设计及理论学科自身发展的必然产物。机械学的日新月异，使得人们有必要探索出版机械原理的新教材。本书就是这两方面因素的产物。

在本书编写中，体现了下面几个特点：

1. 在内容上把握好传统与发展的关系

机械原理课程已有很长的历史，内容相对固定。但随着科技发展，新的内容层出不穷。我们在编排时，既保留了传统内容的精华和尚有工程价值的部分，还新增了机械原理领域内新的业已成熟的成果。力求使本教材跟上科技发展的步伐，具有时代的特征。

例如，连杆机构的图解法曾是经典内容，速度瞬心、速度、加速度矢量图解法原来都占有很大比重，而现在随着计算机的大量使用，部分图解法已无大的价值，故本书对此作了较大的删节；同时，在连杆机构的位置、速度、加速度分析中较多采用了解析法，并结合计算机的应用，列出了计算框图。又如，凸轮机构运动规律中的多项式运动规律在工程中很少使用，本书也作了较大的删减；与此同时，简要介绍了当前使用较多的以三角函数为主的优化运动规律，以利于学生的运用。随着机器人机构学、生物机构学的发展，开式链机构、并联机构等近年来发展很快，本书也作了介绍。步进机构是自动化装置中最常采用的，以前的教材中只作简略介绍，本书中增加了这方面的篇幅。

2. 在内容的前后衔接方面避免重复和脱节

机械原理课程的前面有数学、力学课程，后面有机械零件和其他专业课。应力求与前后课程有较好的衔接，以提高教学效率。

刚体牵连运动和点的复合运动在理论力学中已有详细叙述，所以本书取消了传统教材中必有的平面机构运动分析一章，而在不同的章节中，针对不同的机构，介绍运动分析的方法。机械原理课程强调构件的运动，但在传统教材中，既讲述了渐开线齿轮的齿形及其计算，以满足齿轮机构定传动比传动，又介绍变位齿轮的齿形、齿轮公法线长度计算等与运动无关的内容，与机械原理应有的含义不符，本书也作了删节。国内一些机械原理教材还把“渐开线齿廓的切制”单独列为一章，把一些与机械原理关系不大的内容加入教材，一方面占用了学时，另一方面也不符合本类教材发展的潮流。本书只保留齿廓加工的展成法一节。

3. 符合工程实际

本书主要的对象是将来从事工程技术工作的大学生,因此在介绍理论的同时,应更多地考虑工程应用。

以凸轮机构为例,以前只讲凸轮机构设计,不提及分析。而当前我国引进机器很多,根据作者多年的工作和科研经历,增加了凸轮机构分析的内容,使得大学生遇到这类问题时不至于束手无策。在步进机构中,作者更多地介绍了当前自动机中常用的凸轮步进机构,而对传统的槽轮机构和缺齿齿轮机构则一带而过。

连杆机构在日常生活中应用十分广泛。作者在介绍这部分内容时,以雨伞和汽车发动机为例,说明滑块连杆机构曲柄存在的条件,使学生不但记住了有关内容,而且提高了学习的兴趣。

4. 注重培养思维能力和创新能力

课程内容的安排必定体现一定的逻辑思维的过程,本书希望强调系统思维,寓思维方法于内容之中。以连杆机构为例,在讲述了传统的曲柄存在的四连杆机构的同时,又讲述了以前不提及的曲柄不存在的四连杆机构,还提及介于两者之间的等式机构,使学生对四连杆机构形成了一个完整和系统的概念。再有本课程着重研究构件间的运动,而构件间的运动可分为传动和引导两大类,介绍机构的运动设计时自然应针对上述两类问题来进行。

近年来,在教学思想的大讨论中,人们认识到培养学生创新能力的重要性。但创新不是无中生有,而是对前人的知识在继承基础上的发展。又由于已有知识的庞大,这种创新应遵循一定的规律。所以本书设有相应的章节,讲述机构系统的选型和机械传动系统方案的设计。选型和方案设计举例都结合工程实际,以开阔学生的视野和思路,并企望学生在创新活动方面作有趣和有益的尝试。

本书由南通工学院沈世德(第一章、第十二章)、曹清林(第三章、第四章)、常州工学院金晓怡(第五章、第八章)、扬州大学陶晔(第六章、第七章、第九章)、南通工学院周井玲(第二章、第十章、第十一章)共同编写。由沈世德教授担任主编。

本书由上海交通大学邹慧君教授主审。他对本书的总体结构提出了很好的建议并认真审阅了全书。这对提高本书质量起了很关键的作用,在此谨表敬意。

机械工业出版社的同志以全力支持高校教学改革为己任,对本书的出版始终给予关心和支持,从而使本书能按预定计划出版。他们的敬业精神是值得学习和敬佩的,在此谨表谢意。

教学改革是一个复杂而长期的过程,教材建设是关键的、也是首要的一步。本教材的编写构思是作者在多年的教学和科研实践活动中形成的,我们希望通过我们的努力,为机械原理课程的教改作出有益的贡献。不当之处,终属难免,还望得到各位指导。

编 者
2001年7月

目 录

第2版序

第2版前言

第1版前言

第一章 绪论 1

- 第一节 本课程研究的对象 1
- 第二节 本课程研究的内容 3
- 第三节 本课程的地位和学习方法 4

第二章 机构的结构分析 7

- 第一节 机构的组成 7
- 第二节 机构运动简图 10
- 第三节 机构自由度分析 15
- 第四节 机构结构分析及机构分类 20
- 习题 25

第三章 平面连杆机构 30

- 第一节 平面四杆机构的类型 30
- 第二节 平面四杆机构的基本特性 39
- 第三节 平面连杆机构的运动分析 45
- 第四节 平面连杆机构的运动综合 51
- 第五节 平面多杆机构简介 64
- 习题 67

第四章 凸轮机构 73

- 第一节 凸轮机构的组成和类型 73
- 第二节 从动件运动规律的设计 76
- 第三节 盘形凸轮廓线的设计 82
- 第四节 凸轮机构基本尺寸设计 90
- 第五节 凸轮机构的分析 98
- 第六节 空间凸轮机构简介 101
- 习题 103

第五章 齿轮机构 109

- 第一节 齿轮机构的类型和特点 109
- 第二节 齿廓啮合基本定律 111

第三节 渐开线齿廓 112

第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮 114

第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动 117

第六节 渐开线齿轮的加工 122

第七节 渐开线变位齿轮及变位齿轮传动 126

第八节 斜齿圆柱齿轮机构 131

第九节 蜗杆蜗轮机构 139

第十节 锥齿轮机构 142

习题 145

第六章 轮系 147

第一节 轮系的结构特点和类型 147

第二节 轮系的传动比计算 149

第三节 轮系的功用 156

第四节 轮系的设计 157

第五节 其他类型的行星传动机构简介 161

习题 165

第七章 步进机构 170

第一节 棘轮机构 170

第二节 槽轮机构 175

第三节 凸轮步进运动机构 178

习题 180

第八章 机器人机构 181

第一节 概述 181

第二节 开式链机构 181

第三节 并联机器人机构 188

第九章 其他机构 191

第一节 螺旋机构 191

第二节 摩擦轮机构 193

第三节 非圆齿轮机构 195

第四节 组合机构 198

习题	201	第一节 机械产品的设计	234
第十章 机械运动动力学方程	202	第二节 方案设计中的思想观念	240
第一节 作用在机械上的力及 机械的运转过程	202	第三节 机械传动系统方案设计	242
第二节 机械的等效动力学模型	203	第四节 功能原理与机器运动方 案的关系	246
第三节 机械运动方程式的建立 及求解	206	附录 复数矢量及其在机构运动学 问题中的应用	250
第四节 机械运转速度波动及调节	209	第一节 前言	250
习题	216	第二节 复数的两种表达形式及其 四则运算	250
第十一章 机械的平衡	220	第三节 矢量导数及应用	253
第一节 概述	220	第四节 平面坐标系中直线和圆的复数 矢量表达和应用	255
第二节 转子平衡设计	221	参考文献	258
第三节 机构的平衡	224	读者信息反馈表	
习题	230		
第十二章 机械运动方案设计	234		

第一章 绪 论

第一节 本课程研究的对象

机械是机器和机构的总称，本课程所研究的就是机器和机构的一般原理。首先要搞清机器和机构的含义，即确定研究对象，然后再确定一般原理的范围。

一、机器

在前期课程和生产实习活动中，大家已接触过许多金属加工机器，如车床、铣床、刨床；在日常生活中，人们几乎天天与机器打交道，如自行车、汽车、缝纫机、洗衣机、食品粉碎机等。从这些机器中抽象出一般概念，即可得出机器的共同特征：

- 1) 它们都是一种人为的、实体的组合，而不是自然之物。
- 2) 机器都有确定的运动。这种运动可以是机器对其他参照物的相对运动，如汽车，它的运动使其相对地面的位置有了变动；可以是机器内部各部分之间的相对运动，如粉碎机、打印机、织布机，通过机器内部各构件的协调运动，实现人们预期的目标；也可以二者兼而有之，如行驶之中的叉车，一边行驶一边升举叉子，使得叉车更快地到达工作位置。
- 3) 通过上述的确定运动，机器可以实现人所期望的机械能、物体和信息的变换和传递。

综合以上三个特征，可以把机器定义为人造的通过运动来变换或传递机械能、物体和信息的物件的组合物。

机器可以十分简单如葡萄酒瓶开瓶器，也可以十分复杂如飞机。为了进一步提炼机器所具有的共性的成分，人们进一步研究机器的组成。最一般意义上的机器由下列四部分组成：

(1) 原动部分 原动部分是机器动力的来源。常用的原动机可分成一次原动机和二次原动机。一次原动机把自然界的能源转变为机械能，常见的有内燃机、水轮机。二次原动机把二次能源如电能、液能转变为机械能，常见的有电动机、液压机、气动缸等。有的简单机器的原动部分为人力，如自行车。

(2) 执行部分 执行部分处于整个机器传动运动的终端，完成预期的机械动作。执行部分可以是一个或多个构件，且其结构形式随机器的用途不同而呈现不同形式。如缝纫机执行部分由送布部分和走线部分组成，后者由上下运动的缝纫针、来回摆动的跳线杆和往复转动的梭子组成。有时机构也能成为执行部分，如许多机械手的抓取部分常为连杆机构。

(3) 传动部分 传动部分介于原动机与执行部分之间，用以传递运动及动力。当原动部分的速度大小不能满足执行部分的需要时，传动部分用以实现运动的增速或减速。例如，大多数电动机的转速较高，就要用减速机构来降低转速，以满足执行部分的需要。还有一些机器原动部分的运动与执行部分的运动差异很大，传动部分起到改变运动方式的作用。一般机器采用电动机为原动部分，即转动，而执行部分的运动千变万化，经常为转动以外的运动，此时就必须通过传动部分来实现运动的变换。又如缝纫机里有一系列传动部分，即一系

列机构, 把人脚踏踏板的运动改变为上面提及的执行部分, 即送布部分和走线部分的运动。传递动力是把动力即机械能由原动机输送到执行部分, 自行车的链传动除了传递运动以外还传递动力, 就起到这一作用。

(4) 控制和操纵部分 该部分的作用是使机器上的原动部分、执行部分和传动部分协调工作。控制部分是指通过测量元件取得机器运行的一定信息, 并转换为控制信息, 交由控制器发出信号, 使被控制对象的运动情况发生变化。大多数现代机器都有控制部分。操纵部分是指通过人工操纵来实施控制, 如自行车的手刹车。

图 1-1a 为一台单缸内燃机, 可以把燃油燃烧时产生的热能转化为机械能, 工作时, 其内部各部分作复杂有序的运动, 是典型的机器。当燃油和空气喷入活塞 2 的上方空间 (气缸 1) 时, 由点火器 10 引爆燃油和空气组成的混合物, 混合物推动活塞 2 下行, 这是机器的原动部分。活塞 2 带动连杆 3, 连杆 3 又带动曲轴 5 转动。在这个过程中, 活塞的移动被转变为曲轴的转动, 这是机器的传动部分。曲轴 5 的轴端头装有大齿轮 4, 它作为机器的执行部分驱动其他部分如车轮等。应对进燃油、空气和排废气进行控制, 以保证内燃机能周而复始地工作, 所以有控制部分。图中曲轴 5 的另一端装有小齿轮 6, 它带动齿轮 7。齿轮 7 装在一根凸轮轴上, 齿轮与凸轮 8 在轴上一起转动, 凸轮 8 推动推杆 9, 从而实现进、排气的交替动作。通过上述四部分的协调工作, 才能周而复始地把燃油燃烧时产生的热能转变为曲轴转动的机械能。

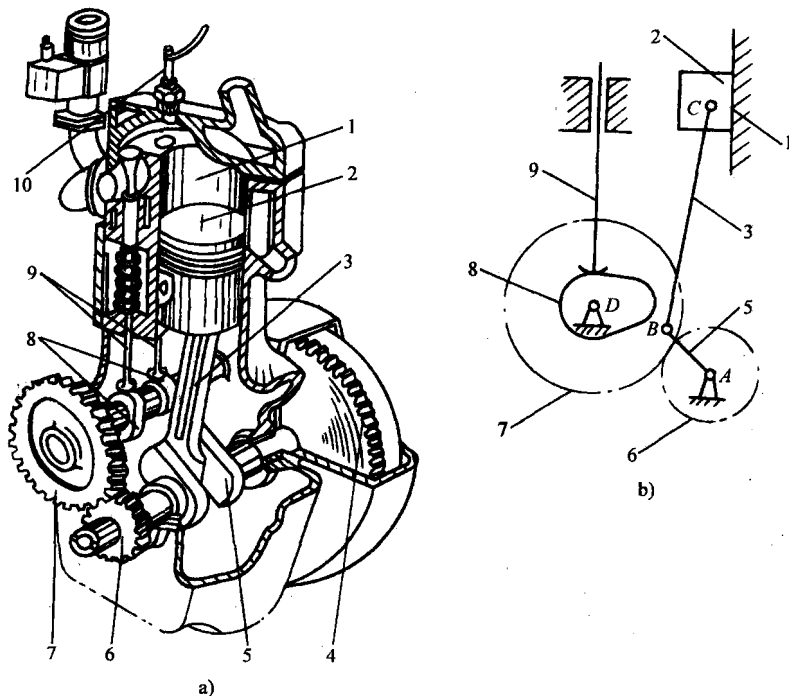


图 1-1 内燃机示意图

1—气缸 2—活塞 3—连杆 4、6、7—齿轮 5—曲轴 8—凸轮 9—推杆 10—点火器

图 1-2 为挖掘机。工作时, 挖掘机里的高压泵由内燃机带动打出高压油, 成为原动部

分。高压油驱动油缸里的活塞 K_1 和 K_2 ，通过一系列杆件产生复杂运动，实现了从活塞往复运动到挖掘斗 S 平面复杂运动的转变，成为传动部分。挖掘斗 S 在空中作确定运动，挖掘泥土完成预定工作。而司机在驾驶室中通过操纵杆来协调 K_1 和 K_2 的运动。

不是所有的机器都具有四个组成部分。有的机器较简单，如电风扇，不具有传动部分，但同样具有机器的其他三个特征，所以它仍称为机器。

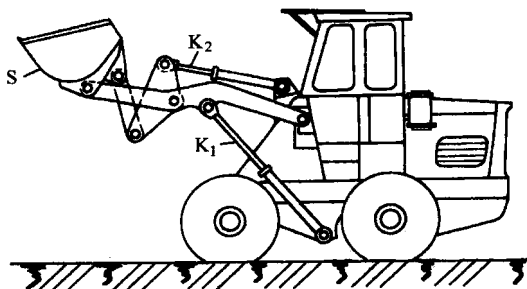


图 1-2 挖掘机示意图

二、机构

大多数机器都具有传动部分。比较自行车和摩托车，人们可以发现链传动都承担着传递运动和动力的角色。比较缝纫机和图 1-2 所示的挖掘机，人们又可以发现，驱动运动都是通过一些巧妙组合的构件传递到执行件上去的。不涉及这些装置的具体用途，从传递运动和动力的角度出发，人们可以找到具有共性的部分，称之为机构。所以可把机构定义为：

- 1) 机构都是人为的构件的组合体，且构件总数在 3 件及以上（机架也算一件）。
- 2) 组成机构的各构件间有确定的相对运动。

机构与机器相比，机构具有机器的前两个特征。大多数机器是由若干机构加上其他部分组合而成，如汽车中有传递运动和动力的齿轮机构和万向联轴节，还有控制前轮方向的转向架机构。当机器中有机构时，机构较多地起着传动和控制的作用。在一些特殊情况下，还可作为执行部分使用，如机械手的连杆式爪部。有的简单机器可不含有机构，如电风扇。

在工程实际中，人们还进一步根据主要运动构件的外形，把相应的一些构件组合称为某种机构。图 1-1 中活塞通过连杆推动曲柄，图 1-2 中活塞通过一系列杆件推动挖掘斗，这些由杆件组成的机构称为连杆机构。图 1-1 中构件 6、7 和机架组成齿轮机构，构件 8、9 和机架组成凸轮机构。各种机构的运动特点不同，使用场合也不同，后面将详加叙述。

第二节 本课程研究的内容

本课程共分十二章，第一章为绪论、第二章为机构的结构分析、第三章为平面连杆机构、第四章为凸轮机构、第五章为齿轮机构、第六章为轮系、第七章为步进机构、第八章为机器人机构、第九章为其他机构、第十章为机械运动动力学方程、第十一章为机械的平衡、第十二章为机械运动方案设计。但其内容可合并归纳为三个方面。

一、机构的运动分析与设计

从第二章到第九章属于本范围。首先要分析机构组成的原理，即研究机构是如何组成的和机构具有确定运动的条件。为了系统研究，还要根据不同的准则对机构进行分类。与此同时，要介绍用简单图形表达机构的结构状况的方法，如图 1-1b 所示。在国际上，机构简图的表达方法大致相同，这样有利于交流和运用。

按机构中主要构件的形状可把机构分成连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和其他常用机构。对各种简单机构的深入分析是系统分析的基础，也是本书的主要内容。为了分析方便，还可按机构的其他特征进行分类，如按运动链特征进行分类，机构可分为闭式链和开式链，

开式链机构主要用于机械手。如把机构视为运动变换的系统,可以用输入和输出运动的相互关系来考虑分类,工程中有时要求把连续的输入运动转变为间歇式的单方向的转动或移动,而步进机构则体现了该种传动特征,它广泛用于自动机中。对这些机构中构件的位置、速度、加速度、有时还有加速度对时间的导数(即跃度)作分析,称为机构的运动分析。

机构的运动可以分为二种,一种是机构的输入和输出运动保持一定的函数关系,称之为传动;另一种是机构中的某一构件或构件上某一点相对机架实现某种运动轨迹,称之为引导。机构的运动分析也包含这些内容。

在分析的基础上,本课程给出了根据给定的运动要求设计各种简单机构的方法。由于机构运动的局限性,不是任何运动都可由机构实现。在分析时要掌握机构适用的范围,在设计时才会避免盲目性。又由于设计的难度远远大于分析,所以本书只能介绍一些基础知识。

还要提及的是,国外教材一般把机构设计称为“Synthesis of Mechanism”,而不用“Design”。“Synthesis”意为综合,含有在分析的基础上组合而成的意思,它更好地表达了机构设计的内涵。

二、机械动力学分析和设计

第十章机械运动动力学方程和第十一章机械的平衡属于本范围。机械动力学问题一般难度较大。机械动力学分析机器和机构在外力作用下真实运动规律和速度波动的问题,以及如何设计调速装置来减轻速度波动的不良影响。本章还有研究简单机构动力学分析的内容,分析机械运动时的惯性力和惯性力矩,并考虑机构的机架力平衡和输入功的平衡。单个转子在机架支承中的转动是工程中经常见到的,如电动机、汽轮机、汽车轮子等。要分析如何实现单个转子的静平衡和动平衡,从而减轻机架支承中的附加动载荷。还需要了解提高机器运转效率,减少机器振动的方法和途径。

本书会涉及少量简单的动力学设计问题,为学生设计机器打下必要的动力学基础。由于计算机的应用,动力学设计已成为可能。

三、机械运动方案设计

第十二章属于本范围。首先,简要介绍设计的一般时序过程和设计时应有的逻辑思维方法。其次,介绍把对机器运动和动力方面的要求分解为若干子项。对每个子项选择若干可行的方案,再合理组合为几个原理方案。由于有效方案不止一个,还要研究方案评价和决策的办法,从中选出最优的原理方案。

当今世界,科技发展日新月异,新机器不断推出,多样化已成必然趋势。对机器的功能要求可以是一个,但产品方案可能有几个。例如,洗衣机的功能是洗涤衣服,但市场上的洗衣机有很多品种,从运动原理上分有立式和卧式两大类;从洗涤原理上分有干洗、水洗。设计人员的知识素质和创新能力对产品的特点和好坏起着决定性作用。这部分内容对学生的工程训练起着十分重要的作用,是培养学生创新思维的一个重要方面。

第三节 本课程的地位和学习方法

一、本课程的地位

本课程属技术基础课。一方面,它比数学、物理、力学更接近于工程;另一方面,它不同于机械制造设备、刀具、汽车设计等课程,更多的是研究共性方面的问题。对机械系统而