



21世纪高等学校机械设计制造
及其自动化专业系列教材

机械原理

(第二版)

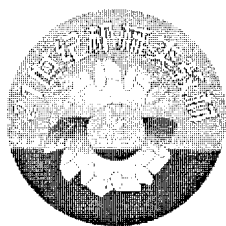
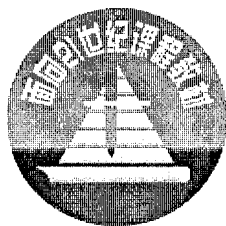
傅祥志 主编

张 策 主审

华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com



21 世纪高等学校机械设计
制造及其自动化专业系列教材

机械原理

(第二版)

傅祥志 主编

张 策 主审

傅祥志 吴丕兰 杨家军 编

华中科技大学出版社
(华中理工大学出版社)

图书在版编目(CIP)数据

机械原理(第二版)/傅祥志 主编
武汉:华中科技大学出版社, 2000年10月
ISBN 7-5609-1839-5

I. 机…
II. ①傅… ②吴… ③杨
III. 机械原理-高等学校-教材
IV. TH111

21 世纪高等学校

机械设计制造及其自动化专业系列教材

机械原理(第二版)

傅祥志 主编

责任编辑:钟小珉
责任校对:蔡晓璐

封面设计:潘 群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录排:华中科技大学出版社照排室

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:20.5

字数:400 000

版次:2000年10月第2版

印次:2002年4月第3次印刷

印数:5 001—7 000

ISBN 7-5609-1839-5/TH·95

定价:26.00 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

内 容 简 介

本书是国家教育部面向 21 世纪课程体系和教学内容改革计划项目——“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革”的研究成果,是教育部面向 21 世纪课程教材。

本书以常用机构及机构系统设计为主线,注意取材的先进性与实用性,以及现代内容与传统内容的相互渗透与融合,着重培养学生的创新意识与能力,特别加强了机构及其系统方案设计的内容。全书分为 9 章,第一章阐述机构组成原理;第二至七章阐述连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、齿轮系、间歇运动机构、万向联轴节、螺旋机构、组合机构及其设计方法;第八章阐述机构及其系统运动方案设计,并结合机构方案设计,简要介绍了创新设计原理、创新思维方法等;第九章阐述机构及其系统动力学设计。

本书可作为高等学校机械类各专业机械原理课程的教材,也可作为近机类各专业的相关课程的教学参考书,亦可供有关工程技术人员参考。

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问： 姚福生 黄文虎 张启先
 (工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)

 谢友柏 宋玉泉 艾 兴
 (工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)

 熊有伦
 (科学院院士)

主任： 杨叔子 周 济
 (科学院院士) (工程院院士)

委员： (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一	王明智	毛志远	左武炘	卢文祥
朱承高	师汉民	刘太林	李培根	吴昌林
吴宗泽	何玉林	陈康宁	陈心昭	张春林
张福润	张 策	张健民	冷增祥	范华汉
周祖德	洪迈生	姜 楷	黄纯颖	童秉枢
傅水根	傅祥志	廖效果	黎秋萍	戴 同

秘书： 钟小珉 徐正达

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

发展是硬道理,而改革是关键。唐代大诗人刘禹锡写得多么好:“请君莫奏前朝曲,听唱新翻《杨柳枝》”。这是这位改革派的伟大心声。

1998 年教育部颁布了新的普通高等学校专业目录。这是一大改革。为满足各高校开办“机械设计制造及其自动化”宽口径新专业教学的需要,华中科技大学出版社在世纪之交,千年之替,顺应时代潮流,努力推出了“机械设计制造及其自动化”专业系列教材。这套系列教材是在众多院士支持与指导下,由全国 20 余所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师经多年辛勤劳动编写成的,它有特色,能满足机械类专业人才培养要求。

这套系列教材的特色在于,它紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”与“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个重大教学改革项目,集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校自实施教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”以来,在改革机械类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材是完全按照两个重大教学改革项目的成果所提出的“机械设计制造及其自动化”宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写的。这一培养方案的一个重要特点是:专业基础课按课群方式设置,即由力学系列课程,机械设计基础系列课程,计算机应用基础系列课程,电工、电子技术基础系列课程,机械制造技术基础系列课程,测控系列课程,经营管理系列课程等七大课群组成,有效拓宽专业口径和专业基础,体现了机械类专业人才培养模式的改革。

同时专业基础课按课群设置,也有利于加强课群内各门课程在内容上的衔接,有利于课程体系的进一步整合、优化及改革。专业基础课按七大课群设置,这得到了全国高校机械工程类专业教学指导委员会的充分赞同。

21 世纪工程教育的一个基本特征就是“适应性”,就是坚持邓小平同志指出的教育的“三个面向”的战略思想。能适应,才能创业。要能多方适应科学技术的突飞猛进和社会的不断进步,就得进一步明确指导思想,进一步合适地拓宽专业口径与专业基础,构造现代化的人才知识结构、能力结构和素质结构,就得因史制宜、因地制宜、因势制宜,努力实现培养模式的多样化,切忌“千篇一律”、“千人一脸”,万紫千红方能有一个大好的春天。

这是一套具有较大改革力度的系列教材。教材的作者们认真贯彻了中央的教育方针与改革思想,体现出两个重大改革项目成果所提出的“以创新设计为核心,以机械技术与信息技术结合为龙头,以计算机辅助技术为主线,拓宽基础,强化实践”的总体改革思路,并本着整合、拓宽、更新和更加注重应用的原则,对课程的内容、体系进行了诸多重要改革,而且许多课程在开发电子教材方面也取得了长足进展。

按照减少学时、降低重心、拓宽面向、精选内容、更新知识的原则,对原机械专业三门主要专业课(机械制造工艺学、金属切削机床设计、金属切削原理与刀具)实行了整合和改造,编写出了供“机械设计及其自动化”宽口径专业学生学习的《机械制造技术基础》新教材。

改造了原电工技术、电子技术系列课程,将分散在几门课程中的强电知识整合为《机电传动控制》新课程,减少了重复,拓宽了基础,突出了“机电结合、电为机用”的特点。

使用自主版权软件改革传统工程制图内容体系,不仅实现了工程制图和计算机绘图内容的有机融合,也实现了制图课教学手段的现代化。

以设计为主线,重新规划了《机械设计》和《机械原理》课程体系结构,在内容上努力实现由注重学科的系统性向更加注重工程综合性的转化,在教学手段上全面引入多媒体技术,提升了课堂教学的效果和效率。

《金属材料及热处理》更名为《工程材料及应用》,除紧密结合现代科技成就,讲解金属材料的基本理论及应用外,还讲解了其他各类工程材料的有关知识。

《测试技术》更名为《工程测试与信息处理》,加强了与信息获取、传输、存贮、处理及应用有关的内容,并率先在国内建成网上测试技术虚拟实验室。

《液压传动》与《气压传动》整合为《液压传动与气压传动》,精简了内容,强化了应用,并制作出了相应的电子教案。

《材料成形工艺基础》在精选传统金属成形工艺内容的基础上,较大幅度地增

加了新材料、新工艺、新技术方面的知识。

编写出版了《现代设计方法》、《机构与机械零部件 CAD》、《柔性制造自动化概论》、《机电一体化控制技术与系统》及《机器人技术基础》等教材,反映了现代科技的新发展。

科学与工程既有联系又有区别。科学注重分析,工程注重综合。任何一项工程本身都是多学科的综合体。今天,工程技术专家的基本作用正是一种集成作用,工程技术专家的任务是构建整体。我们必须从我国国情出发,按照现代工程的特点和工程技术专家的基本作用来构建机械工程教育的内容和体系。

华中科技大学出版社依托全国高校机械工程类专业教学指导委员会、全国高校机械基础课程指导委员会,经过多年不懈的努力,使这套系列教材的出版达到了较高的质量水准。例如,目前已有九本被教育部批准为“面向 21 世纪课程教材”,有五本获得过国家级、省部级各种奖励,全套教材已被全国几十所高校采用,广泛受到教师和学生的欢迎。特别是其中一些教材(如《机械工程控制基础》、《数字控制机床》等),经长期使用,多次修订,已成为同类教材中的精品。

现在这套系列教材已经正式出版 20 多本,涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程,能够较好地满足教学上的需要。我们深信,这套系列教材的出版发行和广泛使用,将不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作,而且对机械类专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然,由于编者学术水平有限,改革探索经验不足,组织工作还有缺陷,何况,形势总在不断发展,现在还远不能说系列教材已经完善,相反,还需要在改革的实践中不断检验,不断修改、锤炼,不断完善,永无休期。“嚶其鸣矣,求其友声。”我们殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加批评与指正。

江泽民同志在 2000 年 6 月我国两院院士大会上号召我们:“创新,创新,再创新!”实践、探索、任重道远,只有努力开拓创新,才可能创造更美好的未来!

全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士

华中科技大学教授

2000 年 6 月 6 日

杨叔子

第二版前言

本书自出版以来,面向 21 世纪课程体系和教学内容改革不断深入,本书教学实践也取得了成功。在这期间,经过教育部机械基础课委会及面向 21 世纪“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革”项目组分别组织专家评审,并经华中理工大学出版社推荐,报请教育部高教司批准,本书成为第一批教育部面向 21 世纪课程教材。为此,出版社决定将本书改版重印。借此机会,并根据两年来教学实践及教学改革成果,对全书进行了系统修订。此次修订,除了更正错漏之外,在内容与编排方面做了如下变动:

(1) 为进一步加强机构设计这条主线,将性能分析的内容分散到有关章节中阐述,使设计与分析的内容更紧密结合;

(2) 为使阐述更明晰,适当缩小篇幅,将有关机构系统设计的三章内容合并为一章,并按系统设计工作流程的顺序重新编排;

(3) 对读者较难掌握的内容,或增加例题予以说明(如“高副低代”、“连杆机构设计”、“凸轮机构设计”等内容);或添加实例予以阐述(如“机构选型”等内容);或降低难度予以改写(如有关“空间机构”的内容);

(4) 删去了与其他课程有重复的部分(如带、链传动机构及机构优化设计等内容);

(5) 为增加本书的开放性,加强对读者深入学习的指导,本书各章末均附加了“文献阅读指南”(注:这一做法是参照清华大学申永胜教授主编的《机械原理教程》的有关做法)。

经过上述修改,本书共分 9 章。第一章阐述机构组成;第二至七章分别阐述连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、齿轮系、间歇运动机构、万向联轴节、螺旋机构及组合机构;第八章阐述机构及其系统方案设计,并结合机构方案设计,简要介绍了创新设计原理、方法与技巧;第九章阐述机构及其系统动力学设计。

应当说明的是:本书采用“机构系统”这一术语,而一般不用“机械系统”,这是因为,机械系统应包含原动机和机械控制系统及机构系统,而本书的所有讨论一般都不包括原动机特性及机械控制系统。实际上,在机械原理教材中,是不可能全面讨论“机械系统”的。

本书修订版由傅祥志、吴丕兰、杨家军编写。其中,绪论、第一、二及第八章由傅祥志编写,第三、六、九章由吴丕兰编写,第四、五、七章由杨家军编写,并由傅祥志担任主编。

本书修订版经教育部机械基础课委会副主任、天津大学教授张策先生主审。张教授在百忙中,对本书修订版提出了不少中肯的意见和建议,从而使本书增色不少。重庆大学黄茂林教授也审阅了本书初版。在此,一并表示衷心谢意。此外,还要感谢教育部机械基础课委会及“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革”项目组各位评审专家,是他们对本书初版的爱护、关心,本书才得以成为教育部第一批面向 21 世纪课程教材。

与本书初版一样,在修订版编写与修改过程中,得到华中科技大学机械原理教研室的教师大力支持,也得到参加面向 21 世纪课程体系和教学内容改革项目——“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革”的本校及兄弟院校教师和领导的指导与帮助;在出版过程中,华中科技大学出版社的有关领导与编辑给予了大力支持与帮助,并付出了辛勤劳动。对于上述同志的理解、支持、帮助及为此付出的劳动,在此表示衷心感谢。

修订版虽经编者反复斟酌,但可能还有缺点与不足,敬请读者不吝批评指正,以期本书在教学改革与实践过程中,得到补充和完善,成为读者喜爱的、适应新世纪机械工程人才培养要求的机械原理教材。

编者

2000 年 6 月

前言

为了迎接新世纪的挑战,适应社会对具有创新意识与能力的机械工程技术人才的需求,在承担国家教委面向 21 世纪课程体系和教学内容改革项目——“工程制图及机械基础系列课程教学内容与课程体系改革”的过程中,我们充分研究了本课程在机械基础系列课程中的重要地位与作用。在系列课程整体优化与协调的基础上,吸取我校自 80 年代中期以来本课程的体系与教学内容改革的经验,将本书在教学体系与内容上进行了系统改革。为此,本书在阐述本课程的内容时,在体系上,是以常用机构及机构系统设计为主线,使设计与分析的内容紧密结合;在内容取舍上,注意先进性与实用性,使传统内容与现代内容相互渗透与融合;在设计与分析方法的选用上,是以讲解便于应用计算机求解的解析法为主,对于几何法,只介绍少数有利于建立几何概念且简便易行的方法;在内容编排上,大胆创新,将有利于培养学生创新意识和能力的设计内容置于突出位置,特别是加强了机构及其系统方案设计的内容。

应当指出的是:与现行机械原理教材相比,本书在内容的深度与广度方面也作了较大调整。一般说来,所涉及的内容更为宽广,而不少章节的深度有所降低,重视物理意义与几何概念的阐述及结论的剖析,而降低了对公式推演的要求,从而引导学生更注意扩大知识面,掌握理论、方法的本质内容,以努力培养自己分析问题、解决问题的能力。因而,使用本书作为教材时,应在更新教学观念、改变教育思想的前提下,努力运用现代教学手段与方法。只有这样,才能在有限的学时内,达到理想的教学效果。

本书由傅祥志、吴丕兰、杨家军同志编写。其中绪论、第一、二章及第八章由傅祥志同志编写,第三、六、九章由吴丕兰同志编写,第四、五、七章由杨家军同志编写,并由傅祥志同志担任主编。

本书在编写过程中,得到华中理工大学机械原理教研室的教师大力支持,也

得到参加面向 21 世纪课程体系和教学内容改革项目——“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革”的本校及兄弟院校教师和领导的指导与帮助；在出版过程中，华中理工大学出版社的有关领导与编辑给予了巨大支持与帮助，并付出了辛勤劳动。对于上述同志的理解、支持、帮助及为此付出的劳动，在此表示衷心感谢。

本书虽然是在教学研究的基础上编写的，但随着面向 21 世纪教改课题的深入研究，必定有许多有待修改、补充、完善的地方，因而敬请本书读者不吝指出本书的错误和不足，提出意见和建议，以期在再版时补充和修改，使之成为一本真正适应 21 世纪培养机械工程技术人才需要的机械原理课程的教科书。

编 者

1998 年 2 月



机械原理

绪论	(1)
0-1 机械原理课程的研究对象	(1)
0-2 机械原理课程的地位和作用	(2)
第一章 机构组成原理及可动性分析	(5)
1-1 机构的组成及运动简图	(5)
1-2 机构可动的运动学条件	(10)
1-3 机构可动的力学条件	(14)
1-4 平面机构的组成原理及结构分析	(21)
文献阅读指南	(26)
习题	(26)
第二章 连杆机构及其设计	(31)
2-1 平面四杆机构的基本形式及其演变	(31)
2-2 平面四杆机构的运动特性分析	(35)
2-3 平面连杆机构运动设计的基本问题与方法	(39)
2-4 刚体导引机构的设计	(42)
2-5 轨迹生成机构的设计	(48)
2-6 函数生成机构的设计	(50)
2-7 平面四杆机构运动设计的近似法	(57)
2-8 多杆机构的设计与应用	(60)
2-9 平面连杆机构的运动分析	(64)
2-10 速度瞬心及其在机构速度分析中的应用	(68)
2-11 平面连杆机构的力分析特点	(71)
2-12 开式链机构——机器人操作器简介	(77)
文献阅读指南	(82)
习题	(83)
第三章 凸轮机构及其设计	(90)

3-1 概述	(90)
3-2 从动件运动规律的设计	(96)
3-3 凸轮轮廓曲线的设计	(104)
3-4 盘形凸轮机构基本尺寸的设计	(112)
3-5 高速凸轮机构简介	(117)
文献阅读指南	(119)
习题	(119)
第四章 齿轮机构及其设计	(122)
4-1 齿轮机构的类型和特点	(122)
4-2 齿轮齿廓的设计	(124)
4-3 渐开线直齿圆柱齿轮机构的设计	(127)
4-4 渐开线斜齿圆柱齿轮机构	(150)
4-5 其他齿轮机构的啮合特点	(158)
文献阅读指南	(167)
习题	(169)
第五章 齿轮系及其设计	(172)
5-1 定轴齿轮系传动比的计算	(172)
5-2 行星齿轮系传动比的计算	(174)
5-3 复合齿轮系传动比的计算	(178)
5-4 齿轮系的功用	(180)
5-5 行星齿轮系的设计与效率估算	(185)
5-6 新型齿轮系简介	(188)
文献阅读指南	(191)
习题	(192)
第六章 间歇运动机构	(195)
6-1 槽轮机构	(195)
6-2 棘轮机构	(200)
6-3 不完全齿轮机构	(205)
6-4 凸轮式间歇运动机构	(208)
文献阅读指南	(209)
习题	(209)
第七章 实现其他功能的机构	(211)
7-1 万向联轴节	(211)
7-2 螺旋机构	(213)

7-3 组合机构	(221)
文献阅读指南	(225)
习题	(225)
第八章 机构及其系统运动方案设计	(227)
8-1 机械设计概述	(227)
8-2 功能原理设计	(233)
8-3 运动规律设计	(240)
8-4 机构及其系统运动方案设计	(243)
8-5 执行机构运动协调设计	(262)
8-6 运动方案设计实例	(268)
8-7 运动方案的评价	(271)
文献阅读指南	(274)
习题	(275)
第九章 机构及其系统动力学设计	(277)
9-1 机构及其系统的质量平衡与功率平衡	(277)
9-2 基于质量平衡的动力学设计	(279)
9-3 机构及其系统动力学方程	(287)
9-4 单自由度机构或机构系统动力学模型及运动方程式	(290)
9-5 基于功率平衡的机构系统动力学设计	(298)
文献阅读指南	(305)
习题	(305)



机械原理

提示:要求明确本课程研究的对象、性质及在培养机械工程技术人才中的作用。

0-1 机械原理课程的研究对象

现代机器的定义是:机器是执行机械运动的装置,它用来变换或传递能量、物料与信息。在这个定义中,物料是指被加工的对象、被搬运的重物。按照机器的这个定义,可将机器分为动力机器、工作机器和信息机器。

动力机器是能量变换装置,即可将某种形式的能量变换成机械能,或者把机械能变换成其他形式的能量。例如,内燃机、压气机、涡轮机、电动机、发电机等都属于动力机器。

工作机器的用途是完成有用的机械功或搬运物品。例如,金属切削加工机床、轧钢机、织布机、缝纫机、包装机、汽车、机车、飞机、起重机、输送机等都属于工作机器。

信息机器是用来获得和变换信息的。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机械式计算机。打字机、绘图仪也属于信息机器。而电子计算机,由于它并不依靠机械运动来获取和变换信息,因而,按照上述机器的定义,它不能算是机器。

应当强调指出的是,机器与其他装置(或设备)的主要区别是:机器一定要作机械运动,并通过运动来实现能量、物料和信息的变换。

机器所作的机械运动,是由机器中的机构来完成的。虽然各种不同的机器,具有不同的构造与用途,但就其组成而言,主要是由一些机构所组成。如图 0-1 所示的内燃机中,壳体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 组成一种连杆机构;壳体 1、凸轮 5' 和气阀杆 6 组成一种凸轮机构;壳体 1、齿轮 4' 和齿轮 5 组成一种齿轮机构。此外,在有的机器中还用到间歇运动机构、螺旋机构、组合机构等。

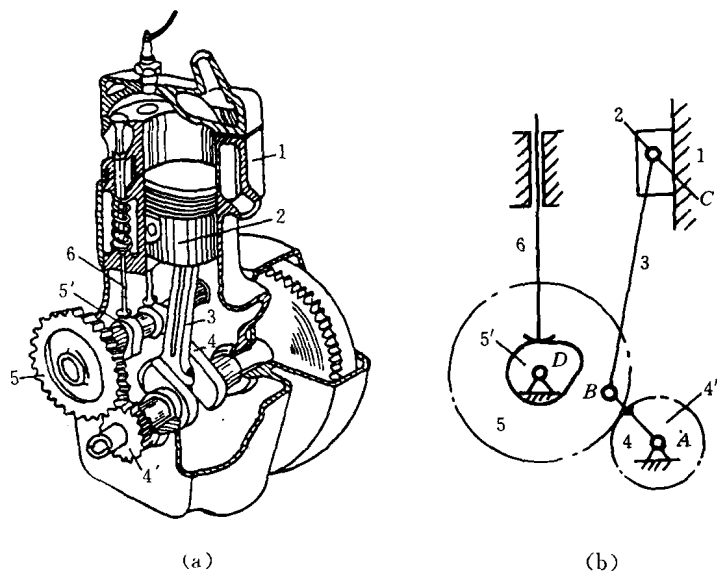


图 0-1 内燃机

0-2 机械原理课程的地位和作用

一、机械原理课程的地位和作用

机械原理是研究机构组成、性能分析、机构及机构系统设计的基本理论和方法的专业基础课程之一。它的任务主要是使学生掌握机构设计与分析的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生初步拟定机构及其系统运动方案、分析和设计机构的能力,从而使学生受到必要的严格的基本技能和创新思维的训练。

设计和制造一种工作性能优良的新机器,需要掌握机器的工作原理、设计和制造原理,以及工程材料的有关知识,需要综合应用多门学科的理论及技术,而机械原理是其中的一门重要的学科,它在培养高级技术人才的全局中,具有增强学生对机械技术工作的适应能力和开发创新能力的作用。

二、机械原理课程的主要内容

机械原理又称为机器与机构理论(Theory of Machines and Mechanisms),它的主要内容可分为以下四个方面。