



普通高等教育“十二五”规划教材
PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

机械原理

◎主 编:潘存云 唐进元 ◎副主编:尹喜云 林国湘 丁敬平 曾周亮 ◎主 审:邓宗全

JIXIEYUANLI



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

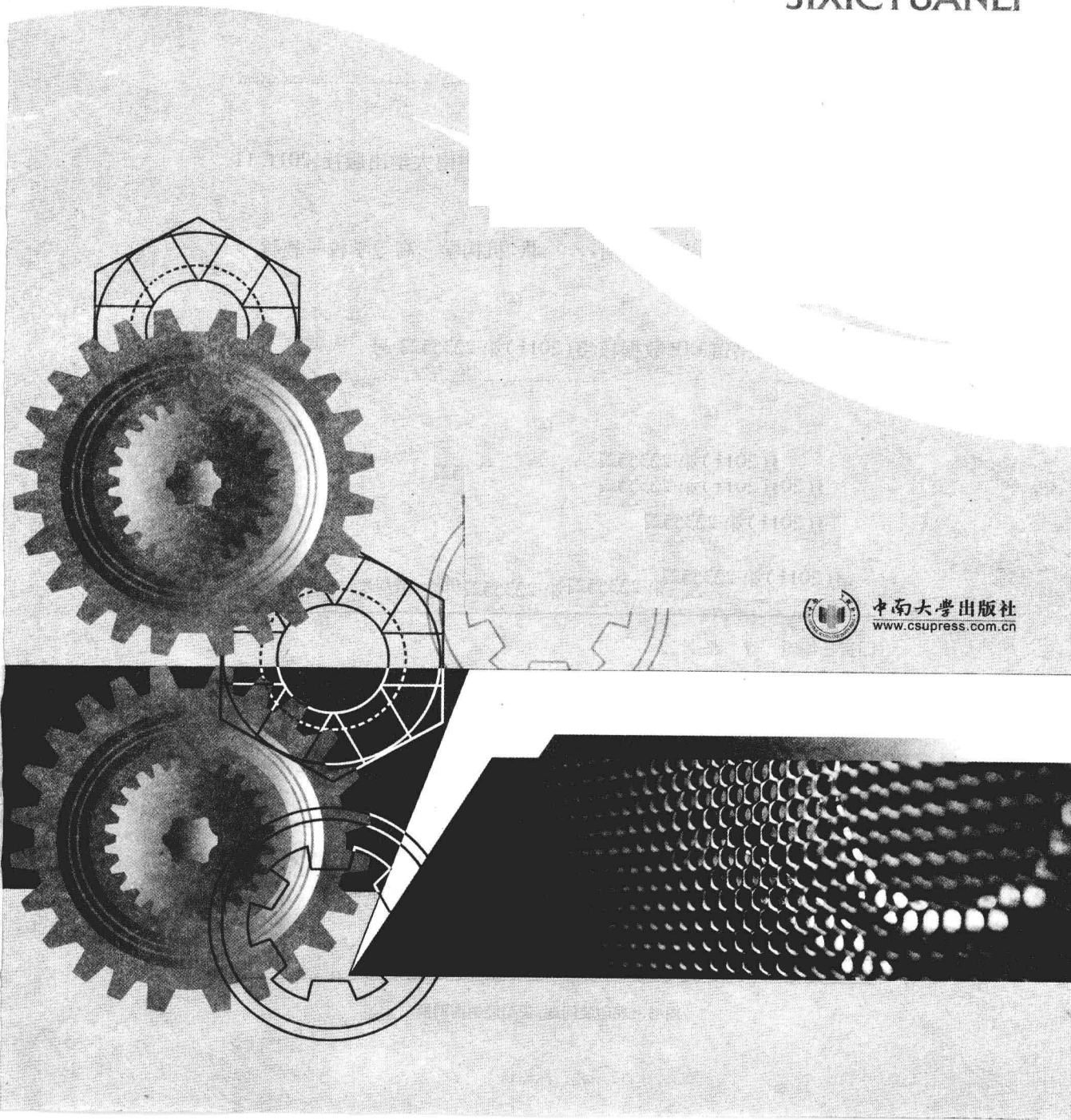


普通高等教育“十二五”规划教材
PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

机械原理

◎主 编:潘存云 唐进元 ◎副主编:尹喜云 林国湘 丁敬平 曾周亮 ◎主 审:邓宗全

JIXIEYUANLI



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

内容简介

本书根据教育部高等学校教学指导委员会机械基础课程教学指导分委员会最新制订的“高等学校机械原理课程教学基本要求”，遵循“厚基础、宽口径、强能力、重应用”的原则编写。全书注重知识体系的系统性、创新性、基础性、科学性、先进性、综合性、实用性、实践性、趣味性、普适性，力求同时兼顾研究型和应用型两类高校人才培养模式的需求。全书共分 15 章，内容包括：绪论，机构的结构分析，平面连杆机构的分析与设计，凸轮机构及其设计，齿轮机构及其设计，齿轮系及其设计，间歇运动机构及其设计，其他常用机构简介，组合机构，开式链机构及工业机器人，平面机构的力分析，机械的效率与自锁，机械的平衡，机械的运转及其速度波动的调节，机械系统的方案设计。在各章后还附有一定数量的思考题与习题，以利于学生学习。本书力求达到使学生初步具有机械系统方案创新设计能力的目的。附录中列举了世界机械发展史年鉴以及重要名词术语的中英文对照。为了便于教师课堂教学，本书配备了教学光盘。

本书可作为高等学校工科机械类各专业的教学用书，也可供其他相关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/潘存云,唐进元主编. —长沙:中南大学出版社,2011. 11

ISBN 978-7-5487-0130-9

I. 机... II. ①潘... ②唐... III. 机构学—高等学校—教材
IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 2235523 号

机械原理

主编:潘存云 唐进元 副主编:尹喜云 林国湘 丁敬平 曾周亮 主审:邓宗全

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 周 颖

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市华中印刷厂

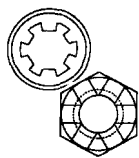
☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 20.5 ☐字数 508 千字 ☐插页

☐版 次 2011 年 11 月第 1 版 ☐2011 年 11 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0130-9

☐定 价 39.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换



普通高等教育机械工程学科“十二五”规划教材编委会

主 任

(以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘舜尧 李孟仁 尚建忠 唐进元

委 员

(以姓氏笔画为序)

丁敬平	万贤杞	王剑彬	王菊槐	王湘江	尹喜云
龙春光	叶久新	母福生	朱石沙	伍利群	刘吉兆
刘先兰	刘忠伟	刘金华	安伟科	杨舜洲	李必文
李 岚	李 岳	李新华	何国旗	何哲明	何竞飞
汪大鹏	张敬坚	陈召国	陈志刚	林国湘	罗烈雷
周里群	周知进	赵又红	胡成武	胡仲勋	胡争光
胡忠举	胡泽豪	钟丽萍	贺尚红	聂松辉	莫亚武
夏宏玉	夏卿坤	夏毅敏	高为国	高英武	郭克希
龚曙光	彭如恕	彭佑多	蒋寿生	曾周亮	谭援强
谭晶莹	潘存云				

作者简介

潘存云，工学博士，国防科技大学教授，博士研究生导师，机械设计及理论学科带头人，享受国务院政府特殊津贴、军队优秀专业技术人才一类岗位津贴，荣获军队院校育才基金奖、国防科技大学教学名师等荣誉称号。社会兼职有中国现代设计方法研究会理事、全国高等院校机械原理课程教学研究会委员、湖南省机械工程学会理事、湖南省高等院校机械原理课程教学指导委员会副理事长、长沙市机械工程学会副理事长、中国机械工程学会高级会员、国家自然科学基金同行评议专家、国家 863 同行评议专家、教育部人才库专家、湖南省科学技术人才库专家、商贸部国家级新产品评审专家。

主要科研方向包括：新概念发动机、新型机械传动、数字化设计与制造等方面。先后主持完成了包括国家自然科学基金项目、国家 863 计划项目、军队重大专题项目和湖南省自然科学基金项目等各类科研课题 30 多项。获得国家技术发明四等奖 1 项、省部级科技进步一等奖 1 项、二等奖 2 项、三等奖 1 项、中国发明协会金奖和银奖各 1 项、获发明专利 10 多项。出版学术著作 3 部、发表学术论文 90 余篇。取得了以“渐开线环形齿球齿轮机构”和“环形串联气缸转子活塞发动机”为代表的若干原创性发明成果。

担任国防科技大学首届机械设计系列课程重要岗位责任教师，主持过多项学校重点教改项目，获军队级教学成果二等奖 1 项、省教学成果二等奖 1 项。在高等教育出版社出版教材 5 部，培养毕业研究生 60 余名，指导学生获得全国机械创新设计大赛一等奖 2 项、全国“挑战杯”课外科技竞赛二等奖 3 项、中国发明协会金奖 2 项、银奖 1 项。

总序 FOREWORD.

机械工程学科作为联结自然科学与工程行为的桥梁，它是支撑物质社会的重要基础，在国家经济发展与科学技术发展布局中占有重要的地位，21 世纪的机械工程学科面临诸多重大挑战，其突破将催生社会重大经济变革。当前机械工程学科进入了一个全新的发展阶段，总的发展趋势是：以提升人类生活品质为目标，发展新概念产品、高效高功能制造技术、功能极端化装备设计制造理论与技术、制造过程智能化和精准化理论与技术、人造系统与自然界和谐发展的可持续制造技术等。这对担负机械工程人才培养任务的高等学校提出了新挑战：高校必须突破传统思维束缚，培养能适应国家高速发展需求的具有机械学科新知识结构和创新能力的高素质人才。

为了顺应机械工程学科高等教育发展的新形势，湖南省机械工程学会、湖南省机械原理教学研究会、湖南省机械设计教学研究会、湖南省工程图学教学研究会、湖南省金工教学研究会与中南大学出版社一起积极组织了高等学校机械类专业系列教材的建设规划工作。成立了规划教材编委会。编委会由各高等学校机电学院院长及具有较高理论水平和教学经验的教授、学者和专家组成。编委会组织国内近 20 所高等学校长期在教学、教改第一线工作的骨干教师召开了多次教材建设研讨会和提纲讨论会，充分交流教学成果、教改经验、教材建设经验，把教学研究成果与教材建设结合起来，并对教材编写的指导思想、特色、内容等进行了充分的论证，统一认识，明确思路。在此基础上，经编委会推荐和遴选，近百名具有丰富教学实践经验的教师参加了这套教材的编写工作。历经两年多的努力，这套教材终于与读者见面了，它凝结了全体编写者与组织者的心血，是他们集体智慧的结晶，也是他们教学教改成果的总结，体现了编写者对教育部“质量工程”精神的深刻领悟和对本学科教育规律的把握。

这套教材包括了高等学校机械类专业的基础课和部分专业基础课教材。整体看来，这套教材具有以下特色：

(1)根据教育部高等学校教学指导委员会相关课程的教学基本要求编写。遵循“重基础、宽口径、强能力、强应用”的原则，注重科学性、系统性、实践性。

(2)注重创新。本套教材不但反映了机械学科新知识、新技术、新方法的发展趋势和研究成果，还反映了其他相关学科在与机械学科的融合与渗透中产生的新前沿，体现了学科交叉对本学科的促进；教材与工程实践联系密切，应用实例丰富，体现了机械学科应用领域在不断扩大。

(3)注重质量。本套教材编写组对教材内容进行了严格的审定与把关，教材力求概念准确、叙述精练、案例典型、深入浅出、用词规范，采用最新国家标准及技术规范，确保了教材的高质量与权威性。

(4)教材体系立体化。为了方便教师教学与学生学习，本套教材还提供了电子课件、教学指导、教学大纲、考试大纲、题库、案例素材等教学资源支持服务平台。

教材要出精品，而精品不是一蹴而就的，我将这套书推荐给大家，请广大读者对它提出意见与建议，以利进一步提高。也希望教材编委会及出版社能做到与时俱进，根据高等教育改革发展形势、机械工程学科发展趋势和使用中的新体验，不断对教材进行修改、创新、完善，精益求精，使之更好地适应高等教育人才培养的需要。

衷心祝愿这套教材能在我国机械工程学科高等教育中充分发挥它的作用，也期待着这套教材能哺育新一代学子茁壮成长。

中国工程院院士 钟 掘

2011年11月

前言 PREFACE.

21 世纪是知识经济发展的时代。创新成为这个时代我国国民经济可持续发展的基石，也是市场和企业的支撑点。一个国家，一个民族，乃至一个企业，若拥有可持续的创新能力和大量高素质的人力资源，那就意味着具有发展知识经济的深邃底蕴和巨大的潜能，就可以在激烈的竞争中抢占科技和产品的制高点。因此，创新教育成为高等教育中关注的热点问题之一。

机械创新设计作为激发大学生潜能、培养机械类大学生创新意识和创新能力的重要手段，是高校创新教育体系的重要组成部分，并且已经逐渐受到国家、高校和学者的重视，教育部确定每两年组织一次全国机械创新设计大赛。一些高校多年前就为本科生开设了机械创新设计课程，同时也为有兴趣并且有潜能的学生提供了创新实践的条件；众多学者对机械创新设计教育进行了探讨。本书将从培养大学生创新精神、提高大学生创新能力的角度出发，对现代机械创新教育的特点和模式进行探讨。

机械原理课程作为机械类专业的一门主干技术基础课，在培养学生综合设计能力的全局中，承担着培养学生机械系统方案创新设计能力的任务，在机械设计系列课程体系中占有十分重要的地位。本机械原理课程教材按教育部教学指导委员会最新制定的“教学基本要求”编写，遵循“厚基础、宽口径、强能力、重应用”的原则，在内容的取舍和编排组织方面，注重知识体系的系统性、创新性、基础性、科学性、先进性、综合性、实用性、实践性、趣味性、普适性。本教材兼顾研究型人才培养模式和应用型人才培养模式两类高等院校的需求，同时还同步进行多媒体助教课件、多媒体助学课件、案例教学素材库、网络教学支持平台、电子教案、自学指导书、习题指南、课程设计指导书等配套教学资源的建设工作，力争使本教材成为一套具有特色的、优质的机械类课程立体化教材，并在全国形成有一定影响力的品牌。

从工程的角度来看，一种新的机械从原理构思到产品实物，其设计过程主要包括三个阶

段,即机械系统的方案设计、机械零部件的结构设计和零件加工的工艺设计,其中,机械原理课程肩负着培养学生机械系统方案创新设计能力的任务。也就是说,培养学生掌握机构设计的理论与方法,使其具备一定的机械系统方案设计能力是本课程追求的目标,而机械系统方案设计内容主要包括运动设计和动力设计,因此,本教材考虑按照“以设计为主线,分析服务于设计,立足点是机械系统方案设计”的思路安排内容体系结构。仔细分析现有的机械原理教材,不难发现,现有的机械原理教材多数是以机构分析为主线的知识和智能体系。因此,本教材体系结构将有别于传统教材,更符合人才培养的规律。

按以上思路,本教材的内容分成三大部分:第一部分为机构的运动设计,主要介绍机构的组成原理及各种机构的类型、运动特点、功能和设计方法;第二部分为机械的动力设计,主要介绍机械运转过程中的若干动力学问题,以及通过合理设计来改善机械动力性能的途径;第三部分为机械系统方案设计,主要介绍机械系统方案设计的内容、过程、设计思想及设计方法。通过这一新的体系,力求达到使学生初步具有机械系统方案创新设计能力的目的。

本书具有如下特色:

(1)体系结构科学合理,全书以设计为主线,符合新世纪人才培养规律。

(2)内容新颖,专门增加了一些新型机构的内容,对于传统机构增加一些新知识、新技术、新方法、新成果的介绍(例如球齿轮机构、余弦齿廓、广义机构、剪刀撑机构、活齿传动、挠性传动机构、液压机构、气动机构、组合机构、开式链机构等),既开阔了学生的视野,又可激发学生的兴趣。

(3)每章开始列有概述,包括:本章内容要点、学习目的、学习基本要求;附录中增加了机械科学发展史年鉴的内容,使学生对人类历史上机械科学领域发生的重大事件有一个全面的了解;为便于读者阅读与机械原理相关的外文著作,本书的附录收集了常用的名词术语中英文对照表;某些章节后面及书末列有网络资料及参考文献,以便读者找到原始资料进行更深入的学习。

(4)与工程实际结合更密切,各章节增加了来源于工程实际的机构应用案例。书中涉及到的应用领域更加广泛。

(5)立体化教材建设内容更全面,包含多媒体助教课件、多媒体助学课件、案例教学素材库、网络教学支持平台、电子教案、自学指导书、习题指南、课程设计指导书等内容。

本书按60~70学时编写,教师使用时可根据各学校的具体情况对讲授内容进行取舍。

参加本书编写工作的有:国防科学技术大学潘存云(第1章,第2章,附录)、中南大学

唐进元(第3章)、湖南大学杨华(第4章)、湖南农业大学高英武(第5章)、中南林业科技大学丁敬平(第6章)、南华大学林国湘(第7章)、湖南科技大学尹喜云(第8章)、湘潭大学赵又红(第9章)、湖南工学院伍利群(第10章)、国防科学技术大学张湘(第11章)、湖南理工大学王清(第12章)、湖南工程学院刘兰(第13章)、中南大学李国顺(第14章)、邵阳学院曾周亮(第15章);并由潘存云、唐进元担任主编,最后由潘存云负责统稿。

本书承蒙教育部机械基础课程教学指导分委员会主任委员、全国机械设计教学研究会副会长邓宗全教授担任主审,提出了许多宝贵意见,编者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平和能力有限,不妥之处在所难免,敬请各位从事机械原理课程教学的老师和广大读者提出宝贵意见。

编者

2011年11月

CONTENTS. 目录

第1章 绪论	(1)
1.1 机械原理研究的对象及内容	(1)
1.2 机械原理学科的研究内容	(6)
1.3 本课程的地位、学习目的与学习要点	(7)
1.4 机械科学史年鉴及发展趋势	(11)
思考题与练习题	(16)
第2章 机构的结构分析	(17)
2.1 机构结构分析的任务与目的	(17)
2.2 机构的组成	(18)
2.3 机构运动简图及其绘制	(22)
2.4 机构自由度的计算及机构具有确定运动的条件	(26)
2.5 计算平面机构自由度的特殊情况	(28)
2.6 机构的组成原理、结构分类及结构分析	(32)
思考题与练习题	(37)
第3章 平面连杆机构分析与设计	(41)
3.1 连杆机构及其传动特点	(41)
3.2 平面四杆机构的类型	(42)
3.3 平面四杆机构的基本知识	(48)
3.4 平面连杆机构的运动分析	(51)
3.5 平面四杆机构的运动设计	(61)
3.6 多杆机构及应用	(69)
思考题与练习题	(73)

第4章 凸轮机构及其设计	(79)
4.1 凸轮机构的组成和类型	(79)
4.2 从动件运动规律设计	(82)
4.3 凸轮轮廓曲线的设计	(88)
4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	(96)
4.5 凸轮机构的应用举例	(100)
思考题与练习题	(100)
第5章 齿轮机构及其设计	(102)
5.1 齿轮机构的组成和类型	(102)
5.2 齿轮的齿廓曲线	(103)
5.3 渐开线齿廓及其啮合特性	(104)
5.4 渐开线标准齿轮各部分的名称、基本参数和几何尺寸计算	(106)
5.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	(111)
5.6 渐开线齿廓的切制原理和根切现象	(113)
5.7 变位齿轮简介	(116)
5.8 斜齿圆柱齿轮机构	(120)
5.9 直齿圆锥齿轮机构	(123)
5.10 蜗杆蜗轮机构	(125)
5.11 其他齿轮传动简介	(129)
思考题与练习题	(133)
第6章 齿轮系及其设计	(136)
6.1 轮系的类型	(136)
6.2 轮系传动比的计算	(139)
6.3 轮系的功用	(145)
6.4 轮系的效率	(149)
6.5 轮系的设计	(151)
6.6 其他类型行星传动简介	(155)
思考题与练习题	(157)
第7章 间歇运动机构及其设计	(162)
7.1 棘轮机构	(162)

7.2 槽轮机构	(166)
7.3 擒纵机构	(169)
7.4 凸轮式间歇运动机构	(170)
7.5 不完全齿轮机构	(172)
7.6 间歇运动机构设计的基本要求	(174)
7.7 应用举例	(174)
思考题与练习题	(176)
第8章 其他常用机构	(178)
8.1 螺旋机构	(178)
8.2 万向铰链机构	(181)
8.3 非圆齿轮机构	(183)
8.4 摩擦传动机构	(185)
8.5 广义机构	(186)
思考题与练习题	(189)
第9章 组合机构	(190)
9.1 机构的组合方式及类型	(190)
9.2 组合机构的设计	(191)
9.3 联动凸轮组合机构	(192)
9.4 凸轮-齿轮组合机构	(193)
9.5 凸轮-连杆组合机构	(194)
9.6 齿轮-连杆组合机构	(196)
9.7 连杆-连杆组合机构	(199)
9.8 组合机构应用举例	(200)
思考题与练习题	(203)
第10章 开式链机构及工业机器人	(205)
10.1 开式链机构与工业机器人	(205)
10.2 工业机器人操作机分类及其自由度	(207)
10.3 工业机器人操作机机构的设计	(212)
10.4 开式链机构的运动分析方法	(213)
10.5 开式链机构应用举例	(216)

思考题与练习题	(217)
第 11 章 平面机构的力分析	(219)
11.1 机构力分析的任务、目的和方法	(219)
11.2 构件惯性力的确定	(221)
11.3 机械中的摩擦以及运动副中摩擦力的确定	(223)
11.4 不考虑摩擦时机机构的力分析	(229)
11.5 考虑摩擦时机机构的受力分析	(230)
思考题与练习题	(231)
第 12 章 机械的效率和自锁	(233)
12.1 机械的效率	(233)
12.2 提高机械效率的途径	(238)
12.3 摩擦在机械中的应用	(239)
12.4 机械的自锁	(240)
思考题与练习题	(244)
第 13 章 机械的平衡	(247)
13.1 机械平衡的目的及内容	(247)
13.2 刚性转子的平衡设计	(248)
13.3 刚性转子的平衡试验	(253)
13.4 转子的许用不平衡量	(254)
13.5 平面机构的平衡设计	(256)
思考题与练习题	(260)
第 14 章 机械的运转及其速度波动的调节	(263)
14.1 概述	(263)
14.2 机械的运转过程及作用力	(263)
14.3 机械系统等效动力学模型	(266)
14.4 机械运动方程式的建立及求解	(268)
14.5 机械周期性速度波动及其调节方法	(271)
14.6 机械的非周期性速度波动及其调节	(274)
思考题与练习题	(275)

第 15 章 机械系统的方案设计	(277)
15.1 机械系统方案设计的一般流程	(277)
15.2 机械执行系统的功能原理设计	(279)
15.3 常用机构的类型、特点及选用	(281)
15.4 机械执行系统的运动规律设计	(283)
15.5 机构组合协调运动设计	(286)
15.6 机械传动系统方案设计和原动机选择	(289)
思考题与练习题	(292)
附录	(293)
附录 1: 世界机械发展史年鉴	(293)
附录 2: 重要名词术语中英文对照表	(303)
参考文献	(311)

第1章 绪 论

【概述】

◎本章主要介绍本课程的研究对象——机械、机构和机器的基本概念，课程的主要内容、学习要点。

◎通过本章学习，达到了解机构组成原理、掌握简图绘制方法的目的。

1.1 机械原理研究的对象及内容

本课程名称为机械原理，其中包含两层含意：其一，本课程的研究对象是“机械”；其二，本课程的研究内容是机械之“原理”，如机械的组成原理、分析原理、设计原理等。

1.1.1 机械的概念

什么是机械呢？机械(machine, machinery)，源自于希腊语之 mechine 及拉丁文 mecina，原意指“巧妙的设计”。传统的“机械”是一个古老的概念，可以追溯到古罗马时期，主要指人们为了满足人类社会自身生产和生活需求而发明的，较之手工工具更为复杂、能完成特定作业动作的一类实物装置。传统意义上的机械主要用来代替人类的手工劳动，可理解为人之体力的延伸。经过了蒸汽时代和电气时代两次工业革命的洗礼，人类社会目前正快速进入以信息为标志的第三次工业革命时期，机械也正在经历从传统机械过渡到现代机械的转变。现代机械本质上是将其其他相关学科领域不断出现的新技术与传统机械进行有效的融合，形成一个包含光、机、电、气、液、磁等功能部件，在控制器统一协调控制下，能灵活实现多种复杂动作，并完成物质流、能量流、信息流传递与转换任务的智能实物系统。现代机械不仅是人之体力的延伸，更是人脑智力的延伸。

从发展的眼光来看，任何机械产品都经历了由简单到复杂的演变过程。例如起重机就经历了以下发展阶段：斜面→杠杆→起重轱辘→滑轮组→手动葫芦→现代起重机(包括龙门吊、鹤式吊、汽车吊、卷扬机、叉车、电梯等)。只要人类社会不停止发展的进程，人们对各种原有机械产品的改进升级和各种新机械的创新设计活动就永远不会停顿下来。各种新机械的不断涌现，对人类社会的发展产生了极其巨大的推动作用。

从机械原理学科研究的内涵而言，一般认为机械包含机器与机构两部分。

1.1.2 机器及其特征

对机器一词，人们几乎耳熟能详，在日常生活或工作中，我们会接触到许多不同种类的机器。例如，为各种装备提供动力来源的动力机器，如水轮机、蒸汽机、内燃机、风力发电机、磁力发电机等；为人类日常生活带来极大方便的各种家用电器，包括空调机、洗衣机、缝纫机、绞肉机、榨汁机，以及其他具有运动部件的各种小家电等；娱乐健身用的自动发牌机、麻将机、保龄球机、跑步机、发球机、多功能健身器等；在工业部门中广泛使用的各种金属切削机床，如车床、铣床、刨床、磨床、钻床等；各种农机设备，如拖拉机、播种机、耕作机、收割机等；各种运输设备，如汽车、火车、磁悬浮列车、船舶、起重机、电梯等；各种轻工设备，如包装机、吹瓶机、清洗机、灌装机等；各种化工设备，如蒸馏塔、反应釜、分离机、输送机；各种食品机械，如脱水机、造粒机、烘干机、榨油机、脱粒机、磨粉机等；各种建筑设备，如打桩机、旋挖机、搅拌机、压路机、铺路机、盾构机等；各种矿山设备，如挖掘机、铲运机、装载机等；专门用来处理信息的机器，如数码摄像机、照相机、打印机、绘图机、复印机、刻录机、传真机、阅卷机等。本课程所指的机器，泛指人们根据某种作业要求而设计的实物系统，具有广义而抽象的含义，它既包含了世界上所有的机器，而又非特指某一种具体的机器。那么，这种抽象的机器具有哪些共有特征呢？下面分别以工程上广泛应用的内燃机和连接件冷镦机为对象进行剖析。

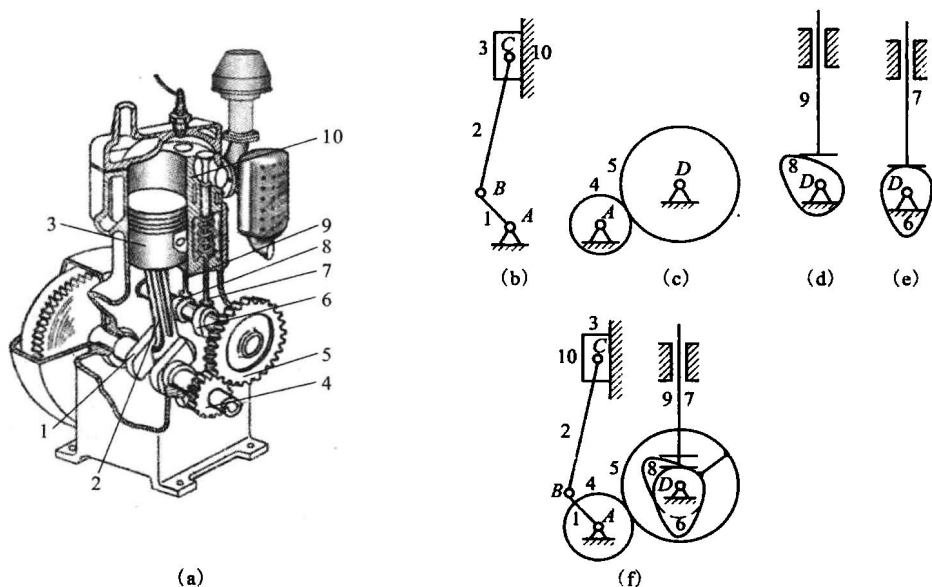


图 1-1 立式单缸内燃机

1—曲轴；2—连杆；3—活塞；4—齿轮；5—齿轮；6—凸轮；
7—排气阀顶杆；8—凸轮；9—进气阀顶杆；10—气缸体

图 1-1 所示为在工农业领域广泛使用的四冲程单缸内燃机,其组成包括:曲轴 1、连杆 2、活塞 3、齿轮 4、齿轮 5、凸轮 6、排气阀顶杆 7、凸轮 8、进气阀顶杆 9、气缸体 10 等主要部件。由物理学知识可知,四冲程内燃机工作过程分为进气、压缩、爆炸、排气四个阶段,在一