



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

机械原理

第2版

黄茂林 主 编
秦 伟 副主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

机 械 原 理

第 2 版



机械工业出版社

本书是根据机械基础系列课程教学内容和课程体系改革与实践的成果,按照教育部颁发的相关“教学基本要求”而编写的。为了满足不同类型学校的教学需求,在基本教学内容的基础上作了适当的扩充,并安排了少量作为选修的内容。

本书以“设计”为主线,内容包括绪论、机构的结构设计、平面连杆机构及其分析与设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、轮系及其设计、其他常用机构、机械动力学及机械系统的方案设计等八章。

本书可作为高等学校机械类各专业的教学用书,也可供非机类学生及机械工程领域的研究生和科研设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/黄茂林主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2010.4
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材
ISBN 978-7-111-30221-6

I. ①机… II. ①黄… III. ①机构学—高等学校—教材 IV. ①TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第053429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 余 崑

版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:鞠 杨 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2010年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·24.25印张·596千字

标准书号:ISBN 978-7-111-30221-6

定价:42.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

序

为了适应 21 世纪我国现代化建设的需要，培养高质量的工程科学技术人才、教育部从 1996 年开始实施了“面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”，接着又决定建设国家工科基础课程教学基地，这些措施推动了教育改革的深入发展，形成了一批有特色的课程体系和系列教材。由重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地组织编写、机械工业出版社出版的“国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材”就是其中之一。这套系列教材是国内众多资深教授的支持、指导和数十位长期从事教学和教学改革的教师辛勤劳动的结果，能够满足机械类专业人才培养的要求。

这套系列教材紧密结合“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”、“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”两个面向 21 世纪重大教学改革项目和国家工科基础课程机械基础教学基地建设，集中反映了重庆大学等高校围绕人才培养，在改革机械基础课程体系和教学内容方面所取得的成果。

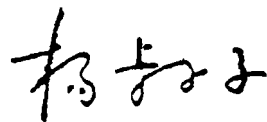
这套系列教材的特色在于将机械基础系列课程分为设计基础和制造基础两类课群。以拓宽基础、培养学生综合应用机械基础理论与现代设计分析方法进行机械设计和创新为宗旨，遵循认知规律，明确课程定位，突破各课程自身的传统体系，基本上实现了系列课程的整体优化。通过“机械认识实践”的实践教学，帮助学生建立机械的感性认识。制造基础课群则对原机械制造的冷、热加工专业课程进行了整合和改造，建立了适合宽口径大机械专业的三个知识点——“机械制造技术基础”、“材料成形工艺基础”和“工程材料”。设计基础课群对传统的“机械设计”及“机械原理”进行了大胆的尝试性整合，展示了在“机械创新设计”思维的引导下，运用“计算机图形学”、“机械 CAD/CAE 技术基础”等现代设计方法和手段进行机械设计主线。

这套系列教材较好地体现了面向 21 世纪机械类专业人才培养模式改革的思路，对机械类专业机械基础系列课程体系及教学内容的改革进行了富有成效的探索与实践。机械工业出版社出版这套教材，实为一件很有意义的事，其将为全国机械基础课程体系的教改与教学提供又一套很有特色的教材。

IV

当然，这套系列教材还需要在教学改革和教学实践中经受检验、不断完善，以结出我国教育改革的硕果。是为序。

中国科学院院士
重庆大学机械传动国家重点实验室学术委员会主任
华中科技大学教授



第2版前言

本书自2002年8月出版以来,通过教学实践的检验,在教学内容和课程体系及章节结构等方面,较好地满足了教学改革和人才培养的要求。“机械原理”课程于2004年被评为国家级精品课程。

根据教学改革的深入发展及国家级精品课程建设的需要,为进一步提高机械原理课程的教学水平和教学质量,在六年多教学实践总结的基础上,对本教材进行了修订。修订的基本思路和主要内容有:

1) 保持原教材的基本结构体系和内容特色。

2) 进一步突出加强基础、设计主线及工程应用能力的培养等,并使之更便于教师组织教学,利于学生自学。为此,如对平面连杆机构及其设计一章的内容体系方面进行了较大的修改,突出了应用、分类及连杆机构基本工作特性的分析,加强了平面四杆机构尺寸综合的内容;在机械系统方案设计一章中,加强了机构构型的创新综合及机构选型等内容。

3) 对部分内容进行了整合,加强了知识点之间的有机联系,并删去了部分偏深的内容。如将机械的摩擦与效率归入机构动力学;将机构的演化、衍生等并入机械系统的方案设计;将空间机构分析部分删去,在其他常用机构一章中增加了机器人机构;删去了机构结构设计一章中的过约束、自调结构等内容。

4) 为增强本书的适应性,编入了齿轮机构及其设计一章。

本书在编写过程中得到了重庆大学教材建设基金的资助。

本书共分为八章。其中绪论、第二章由黄茂林修订,第三章、第八章由秦伟修订,第一章、第四章由宁先雄修订和编写,第五章由宋立权修订,第七章由杜静修订,第六章由陈同杰修订。南华大学罗金良、工商大学杜力分别参与了第一章和第二章的部分编写工作。

本书由黄茂林统稿和主编,秦伟为副主编。

本书由北京科技大学翁海珊教授、重庆大学朱友民教授担任主审,他们对书稿进行了认真的审阅,并提出了宝贵的修改意见,在此致以衷心的感谢!

编者

2009年6月

第 1 版前言

为了适应新世纪培养高素质、创造型机械科技人才的需要,重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地组织编写了机械基础系列教材。这套教材编写的整个过程就是我们完成教育部面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划中“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”、“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”两个项目的过程。我们按照新世纪机械专业人才应该具备的能力、素质和知识结构,研究制定了机械类专业人才培养方案及教学内容体系和与之相适应的机械基础系列课程体系及教学内容,并在 97、98、99 级本科教学中经过实践,所以这套教材反映了我们进行教学改革的成果。

这套系列教材的特色在于将机械基础系列课程分为设计基础和制造基础两类课群。对原机械制造工艺、金属切削机床、金属切削刀具、夹具、铸造、锻压等专业课程进行了整合和改造,编写了适合宽口径机械专业的《机械制造技术基础》、《材料成形工艺基础》和《工程材料》;增设了以参观和实践为主的《机械认识实践》课程;《现代机械制图》把投影制图和计算机绘图作为重点,并将其贯穿于全书;以设计为主线,重新规划了机械设计基础的体系结构,把齿轮机构的原理与设计有机融合,放在《机械设计》教材中,将《机械原理》的重点定位于机构的运动学、动力学和机械系统运动方案的分析与设计,并将《机械设计》安排在《机械原理》之前开出。增加了《计算机图形学》、《机械 CAD/CAE 技术基础》等计算机应用技术基础教材,反映了现代科学技术的新发展,引导学生应用现代设计方法和手段进行机械设计;增加了《机械创新设计》,介绍创新方法,启发创新思维。

“机械原理”课程,是机械基础系列课程中设计基础系列课程之一。机械原理课程,定位于机构及机械系统的运动方案设计,特别是机构的运动学结构和尺寸设计及机械系统(特别是执行系统)的运动方案设计。就机械设计的总体而言,这部分内容具有很强的综合性和突出的创新性,对培养学生的综合设计能力及创新意识与能力,以及理论联系工程实际的能力等方面起着重要的作用。为适应 21 世纪培养高素质创新型人才的需要,机械原理课程在系列课程进行总体优化与整合的前提下,根据其定位与任务,面向培养学生综合设计能力的总体目标,对课程体系和内容进行了较大幅度的改革与精选整合。其主要体现在以下几个方面:

1. 突出以设计为主线,强调分析与设计的有机统一

根据本课程在系列课程中的定位与任务,以及系列课程以设计为主线的原则,机械原理的整个内容也体现了以“设计”为主,将分析与设计有机地紧密结合的编写原则。设计,就是综合应用基本理论与专业知识进行创造性实践的过程,突出设计主线,即是突出综合与创新能力的培养。全书除常用机构一章外,其余各章均切切实实地突出了设计。例如将原结构分析一章改为结构设计,加强了运动链及机构的结构综合,将自由度与约束分析计算改为设计,把虚约束、局部自由度从结构设计的特殊功能需要提出……等。又如在凸轮机构设计一章中,首先明确地提出了凸轮机构的基本运动学参数及主要结构参数,全章均围绕如何确

定和设计这些参数展开。这不仅是为了突出设计这一主线，更主要的是为使学生能更好地理解、掌握与应用所学内容。

机构及机构系统的方案设计，其首要任务是选型和对常用机构的正确应用。而正确的选型与应用，依赖于对机构性能与特点的认识与掌握，需要对机构性能（运动、传动及动力性能）进行分析。设计结果是否满足预期的要求及方案的比较与优选，都离不开分析这一最基本最重要的过程和手段。因此，分析与设计是密不可分的。为此，本书将分析的内容都有机融入相应的机构设计的章节中，不再单独设章。

2. 强调联系机械系统及工程实际

机构是机械系统中的一个组成部分。认识与了解机构的结构与应用特点，以及对机构设计提出要求，都必须从它们在机械系统中的任务和所要实现的功能出发，才能使学生较好地、本质地去认识机构，正确地设计机构。因此，在各种典型机构的设计中，都强调从它们在机械中的实际应用和作用提出其结构和运动学特征，尽可能由某一机器的实际工作要求，提出设计要求并讨论如何去合理地确定设计参数。

为了分析与设计的方便，运动链、机构及机械系统，在机械原理课程中均以较抽象的简图形式来描述，而且在论述上也常强调其运动学、动力学的原理和概念。为了学生能实际应用，能较深刻地理解和掌握，我们在编写中强调了紧密联系工程实际。例如，对运动副及构件以至机构都尽可能配有必要的结构图，并讲清在工程中应用的优缺点和选用的原则；强调如何根据工程实际对象，应用基本理论建立模型的思路与策略，并能使之具有更好的适应性、通用性，同时明确指出其应用条件和应注意的问题。题例及习题的选用也强调其内容的工程性与综合性，以有利于培养学生的工程意识与分析应用能力。把机械设计课程安排在机械原理课程之前学习，其中一个主要的出发点就是为了使学生在学习本课程时能具有较好的工程实际及结构方面的基础。

3. 加强与拓宽基础，提高内容的现代化水平，注意培养学生的创新意识与能力

加强基础是学生能力培养的根本，也是对今后工作适应能力的根本。机械原理课程的理论基础主要是由前继课程、特别是力学提供的。因此在本教材中，主要强调运动学、力学在机构及机械系统中的综合应用；加强机构学本身的结构学基础。并根据发展的需要，适当加强与拓宽动力学及现代分析设计方法的基础。适当增加了空间、开链机构和自调、自适应机构的基本知识；增加了功率流、非回转质量的平衡及弹性动力学概念等内容。全书均以采用计算机技术为基础的现代分析与设计方法为主等。

为了启迪学生的创新兴趣与欲望，培养学生的创新意识，在教材中加强了机构的构形设计及机械系统运动方案设计中的创新思维与方法的介绍，特别是功能原理的构思及多方案的设计、评价与优选；强调各种模型建立的思路与基本出发点的介绍；加强典型案例的分析和发展方向的介绍与思考等。

本书编写的另一原则是：既注意精选内容，突出重点，又注意扩大知识面和便于学生自学，并使之能具有较强的参考实用价值。因此，在内容的叙述上尽可能深入浅出，注意系统性、完整性和尽可能多举一些有启发性的实例。书中还包含了一些带*号的内容，使用者可根据教学基本要求及学时的多少有选择地进行讲授和指定学生自学，也可为因材施教提供较大的知识空间。

全书共分七章，其中绪论、第一章由黄茂林编写；第二章、第四章、第六章由吕仲文编

写；第三章由秦伟编写；第五章由杜静编写，第七章由马正纲（昆明理工大学）与黄茂林共同编写。全书由黄茂林统稿和主编，秦伟为副主编。

本书由全国机械基础教学指导委员会主任、天津大学张策教授担任主审，张策教授对书稿进行了认真细致的审阅，并提出了极为宝贵的修改意见，对提高本书的水平和编写质量给予重要的帮助，在此致以衷心的感谢！

本书经过近三年的编写历程，参考了其他面向 21 世纪的教材，并经过两届试点班的实践和反复修改。尽管如此，由于按照新的体系和整合的内容进行编写，以及本课安排在机械设计课程之后进行等，均尚属首次尝试，加之编者水平有限，误漏在所难免。希望广大读者和同行专家不吝赐教，并在此一并表示感谢！

编者

2002 年 1 月

目 录

序	
第2版前言	
第1版前言	
绪论	1
第一节 机器的功能结构及机构	1
第二节 机械总体方案设计的内容及机械原理课程的定位与任务	7
第三节 机械原理课程的主要内容、基本要求与学习方法	8
一、机构的结构设计	8
二、常用机构的设计	8
三、机械动力学	9
四、机械系统的方案设计	9
思考题	10
第一章 机构的结构设计	11
第一节 机构的结构及简图	11
一、构件与自由度	11
二、运动副与约束	12
三、运动副的封闭	15
四、运动链、机构及简图	16
第二节 机构的自由度计算	19
一、机构自由度计算公式	19
二、机构具有确定运动的条件	20
三、平面机构中的虚约束、局部自由度及复合铰链结构	20
第三节 平面运动链结构设计的公式推导法	23
一、公式推导法的若干设定	24
二、平面运动链的结构公式及型数综合	24
第四节 按基本杆组的机构结构设计 with 结构分析	26
一、平面低副机构的组成原理	26
二、基本杆组	26
三、机构结构设计的杆组法	27
四、平面机构中的高副低代	29
五、机构的结构分析	30
习题	32
第二章 平面连杆机构及其分析与设计	36
第一节 概述	36
第二节 平面连杆机构的基本结构与分类	38
一、平面连杆机构的基本运动学结构	38
二、四杆机构具有整转副和曲柄存在的条件	40
三、平面四杆机构的基本类型与演化	41
四、平面多杆及多自由度机构	46
第三节 平面连杆机构的基本特性及运动分析	49
一、平面连杆机构的运动特性及其应用	49
二、平面连杆机构的基本工作特性与参数	58
三、平面连杆机构的运动分析	69
第四节 平面连杆机构的运动学尺寸综合	92
一、平面连杆机构运动学尺寸综合的内容与方法	92
二、平面连杆机构的综合方程及刚体位移矩阵	93
三、实现刚体给定位置的平面四杆机构——刚体导引机构的综合	98
四、实现两连架杆预期运动规律的平面四杆机构综合	107
五、实现预期轨迹的平面四杆机构综合	117
*六、平面四杆机构优化设计(简介)	122
习题	127
第三章 凸轮机构及其设计	133
第一节 概述	133
一、凸轮机构的组成	133
二、凸轮机构的应用	134

三、凸轮机构的分类	134	三、连续传动条件	171
四、凸轮机构的工作循环与基本运动参数	136	第五节 渐开线齿轮的加工方法与变位原理	173
五、凸轮机构的设计内容	137	一、渐开线齿轮的加工方法	173
第二节 凸轮机构基本运动参数设计	138	二、根切现象与变位	175
一、凸轮工作转角的确定	138	第六节 渐开线变位齿轮传动	178
二、从动件运动规律设计	138	一、变位齿轮几何尺寸的变化与计算	178
第三节 凸轮机构基本尺寸设计	145	二、变位齿轮啮合传动的几何尺寸参数计算	179
一、凸轮机构的压力角	145	第七节 渐开线直齿圆柱齿轮机构的传动类型及几何设计	180
二、移动从动件盘形凸轮机构基本尺寸设计	146	一、齿轮传动的类型及其选择	180
三、摆动从动件盘形凸轮机构基本尺寸设计	147	二、齿轮机构的几何设计	182
第四节 凸轮轮廓曲线的设计	148	三、变位系数的选择	182
一、凸轮轮廓曲线设计的反转法原理	148	第八节 斜齿圆柱齿轮机构	183
二、用作图法设计凸轮轮廓曲线	149	一、渐开线斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成	184
三、用解析法设计凸轮轮廓曲线	153	二、斜齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算	185
第五节 凸轮机构从动件设计	157	三、斜齿圆柱齿轮的当量齿数	186
一、从动件高副元素形状的选择	157	四、平行轴斜齿圆柱齿轮机构的啮合传动	187
二、从动件滚子半径及平底宽度的确定	157	五、斜齿圆柱齿轮机构的特点	188
三、封闭形式的选择	159	六、交错轴斜齿圆柱齿轮机构简介	189
习题	159	第九节 直齿锥齿轮机构	190
第四章 齿轮机构及其设计	162	一、直齿锥齿轮齿廓的形成	191
第一节 概述	162	二、背锥与当量齿轮	191
一、齿轮机构的特点	162	三、直齿锥齿轮的啮合传动	192
二、齿轮机构的分类	162	四、直齿锥齿轮的几何尺寸计算	193
第二节 齿廓啮合基本定律及齿廓曲线	163	第十节 蜗杆蜗轮机构	194
一、齿轮传动的基本要求	163	一、蜗杆蜗轮的形成及传动特点	194
二、齿廓啮合基本定律与共轭曲线	163	二、蜗杆蜗轮的正确啮合条件	196
三、渐开线的形成与性质	164	三、蜗杆蜗轮的几何尺寸计算	196
四、渐开线齿廓的压力角	165	思考题及习题	197
五、渐开线方程	165	第五章 轮系及其设计	199
六、渐开线齿廓的啮合特性	166	第一节 轮系的分类	199
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸设计计算	167	第二节 定轴轮系及其设计	199
一、外齿轮	167	一、定轴轮系的传动比计算	199
二、内齿轮	169	二、定轴轮系的传动效率计算	201
三、齿条	169	第三节 周转轮系及其设计	203
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮啮合传动的尺寸参数设计	170	一、周转轮系及其结构分类	203
一、正确啮合条件	170	二、周转轮系的传动比计算	204
二、齿轮传动的中心距和啮合角	170	三、行星轮系的传动效率计算	209

四、行星轮系设计的几个问题	212	二、机构动态静力分析的解析法	290
五、常用行星轮系传动形式与特点	215	* 三、考虑摩擦的动态静力分析方法	293
第四节 复合轮系及其设计	217	第四节 机械的平衡	294
一、复合轮系的结构设计及其传动比计算	218	一、刚性转子的平衡	294
* 二、封闭型复合轮系的功率流	224	* 二、平面机构的平衡	297
第五节 轮系的功用	228	* 三、单缸四冲程发动机惯性力平衡实例	300
* 第六节 少齿差传动简介	231	第五节 机械的运转及动力学模型	303
习题	237	一、机械运转的一般过程	303
第六章 其他常用机构	243	二、单自由度机械系统的等效动力学模型	304
第一节 间歇运动机构	243	三、机械运动方程及其求解	308
一、槽轮机构	243	第六节 机械系统速度波动及其调节	312
二、棘轮机构	246	一、机械系统的盈亏功及速度波动	312
三、不完全齿轮机构	250	二、机械运动速度不均匀系数及其许用值	314
四、凸轮式间歇运动机构	251	三、最大盈亏功与飞轮转动惯量的计算	315
第二节 螺旋机构	252	四、飞轮尺寸的确定	317
一、螺旋机构的工作原理及类型	252	习题	319
二、螺旋机构的特点及应用	252	第八章 机械系统的方案设计	323
第三节 摩擦传动机构	253	第一节 概述	323
一、摩擦传动机构的工作原理及特点	253	第二节 机械执行系统的方案设计	323
二、摩擦传动机构的类型及应用	254	一、执行系统的功能与设计的要求	323
第四节 液、气动机构及电磁传动机构	255	二、执行系统方案设计的主要内容	324
一、液、气动机构	255	三、执行系统的功能原理设计	325
二、电磁传动机构	257	四、执行系统的工艺动作及其规律设计	326
第五节 机器人机构	258	五、执行机构的型式设计	328
一、机器人及机器人机构的分类与应用	258	六、执行系统的协调设计	343
二、串联机器人机构的运动学分析	262	七、机械系统运动方案评价与决策	349
三、实例分析	266	* 第三节 机械传动系统的方案设计和原动机选择	353
第六节 万向联轴器	269	一、传动系统的功能与分类	353
一、单万向联轴器的结构及运动分析	269	二、传动系统的组成及常用部件	355
二、双万向联轴器及其运动传递	271	三、机械传动系统方案设计的基本要求及一般过程	357
习题	272	四、机械传动系统方案设计实例	362
第七章 机械动力学	273	五、原动机的选择	366
第一节 概述	273	习题	368
一、机械动力学的研究内容及意义	273	参考文献	372
二、机械中作用的力	273	读者信息反馈表	
第二节 机械中的摩擦与效率	274	注: * 表示为供选学的内容。	
一、机构中的摩擦	274		
二、机械的效率	281		
第三节 机构的动态静力分析	286		
一、机构动态静力分析的图解法	287		

绪 论

第一节 机器的功能结构及机构

机器是人类通过长期生活及实践创造出来的技术装置，用以代替或减轻人的体力与脑力劳动，完成某种特定的功能；实现某种工艺（工作）过程的机械化、自动化与智能化；有效地提高工作效率、工作精确性与可靠性。机器的应用，极大地扩充了人的能力与活动空间，改善与提高了人类的生活水平与生活质量，是人类发现与利用自然规律的结果，是人类既适应自然又改造自然的强有力的工具，是社会生产力的重要组成部分。

机器的功能就是实现物料、能量、信息的传递与交换。根据所实现的功能，机器可分以下三大类：

1) 工作（或工艺）机器。实现对物料的某种工作或工艺过程，作出机械功。如改变物料的形状、尺寸及某些物理性质；改变物料的位置与姿态等，例如金属切削机床、轧钢机、压力加工机械、轻纺机械、食品机械以及各种起重机、运输机等。

2) 力能机器。实现其他种类的能量与机械能之间的转换。如各种动力机器：内燃机、汽轮机、电动机、发电机等。

3) 信息机器。主要实现其他形式的信息（如电磁、热、压力、变形等）与机械运动信息间的传递与转换。如各种计量、检测机；机械运算与逻辑处理机，绘图、打印、复印机以及各种操作机等。

机器的结构虽是千差万别的，但就其功能结构而言，现代机器一般都由动力子系统、传动子系统、执行子系统及测控子系统组成。就其功能实现而言，机器最根本的共性特征是通过“机械运动”来实现上述各物理量的传递和变换。因而机器的最基本功能结构是能实现运动的传递与变换的机械结构系统——机构。一般将机器与机构统称为“机械”。

随着社会与技术的发展与进步，机械的功能与结构也在不断地发展与变化。如智能机器人，航空、航天器，仿生机，微型机械等现代机械，将电子、信息、测控、传感、甚至动力等器械，与机械结构有机融为一体，上述的功能划分已变得模糊，使机械具有更强的可调控性，更广泛的适应性。一机可以多用，一机已集合了多种功能。但不论如何变化，作为机械，实现运动与力的传递与变换的机械结构仍然是其主体。

机械原理就是研究机器与机构，特别是机构的结构、运动及动力学原理及其设计理论与方法的一门基本课程。通过前面各门课程的学习与实践，对机器的功用、基本结构有了较系统、深入的认识。而本课程将从运动学、动力学等更加综合、系统的角度来认识、分析和设计机器的共性与基本功能组成——机构及其组合系统。

图 0-1 所示的单缸四冲程内燃机，它属于动力机器，其工作循环（四个冲程）如图 0-2 所示。其基本功能是将燃气的热能转换为机械能，输出机械功。其主要功能子系统是由气缸 2、活塞 3、连杆 6 及曲轴 9 等实体所组成的可动联接系统。当可燃混合气经压缩后，其压力可达 600 ~ 1600MPa，温度为 600 ~ 700℃，这时活塞处于图 0-2c 所示的上止点，火花塞点

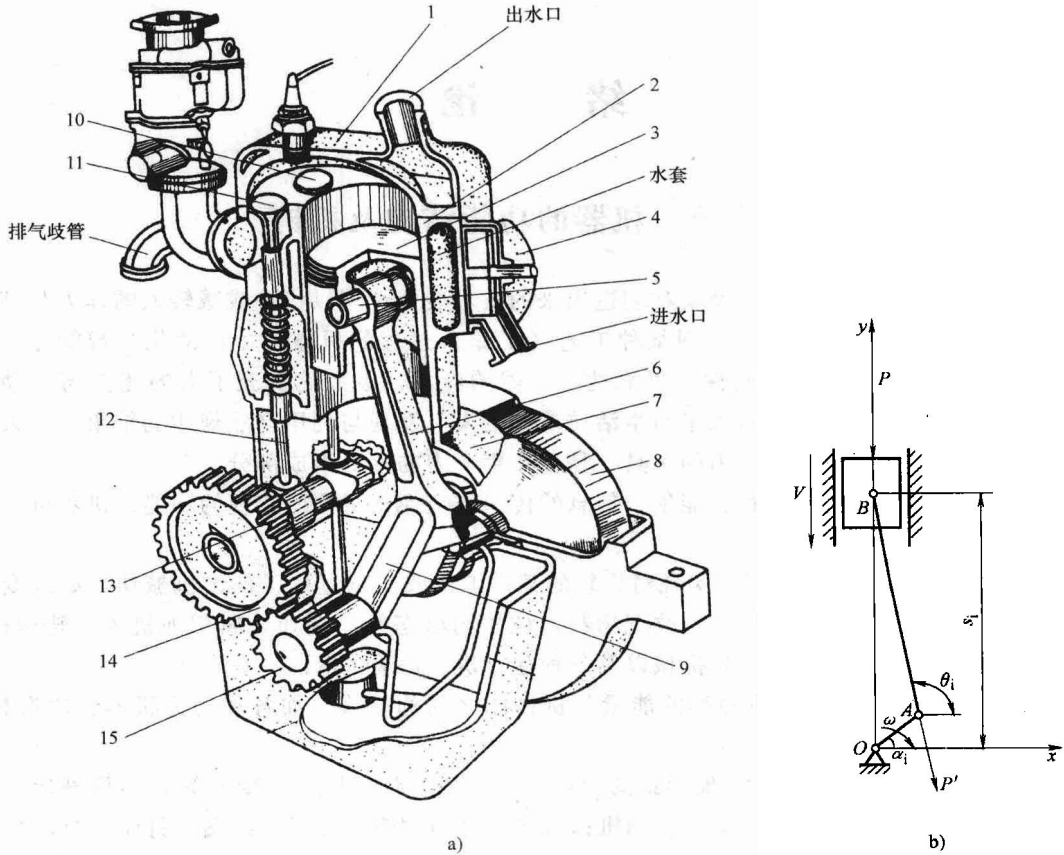


图 0-1 单缸四冲程内燃机构造示意图

a) 结构图 b) 简图

- 1—气缸盖 2—气缸 3—活塞 4—水套 5—活塞销 6—连杆 7—曲轴箱 8—飞轮 9—曲轴
- 10—进气阀 11—排气阀 12—气门挺杆 13—凸轮轴 14—大齿轮 15—小齿轮

火使混合燃气迅速燃烧时，温度可达 2000 ~ 2700℃，压力猛增至 2940 ~ 4900MPa。该压力作用于活塞顶部，而活塞与气缸体以圆柱表面相互接触配合，形成可动联接，于是活塞在燃气压力作用下往下移动，并通过活塞销 5 与连杆孔所形成的可动联接，将力和运动传至连杆 6，连杆又将力与运动传至曲轴 9 的曲柄销 A 上。而曲轴与连杆及缸体之间均以圆柱表面相接触，形成可相对转动的联接，于是曲轴在偏心力的作用下（见图 0-1b），形成对轴线 O-O 的力矩使之转动，对外输出机械功，从而完成了能量的转换。

该系统的基本机构与工作过程可简化为图 0-1b 所示的简图。由于缸体-活塞-连杆-曲轴-缸体之间由内外圆柱表面相互接触，形成一种可动联接，在力 P 作用下，使活塞沿 y 方向移动，经连杆传递到曲轴并转换成曲轴绕 O 轴的转动输出，而且其转动的角位移 α 、角速度 ω 与活塞的直线位移 s、线速度 v 之间具有确定的转换关系。这可由图中 s_i 一旦确定后， θ_i 、 α_i 即随之确定的几何关系进行分析。这样的结构形式，实现了能量形式的传递和变换，而其功能的实现，最本质的根据是运动的传递和变换，是由于该系统是一个由若干实体用可动联接构成的多体系统。否则，如果是一个桁架，虽也可以传递力，但却不能传递运动和作

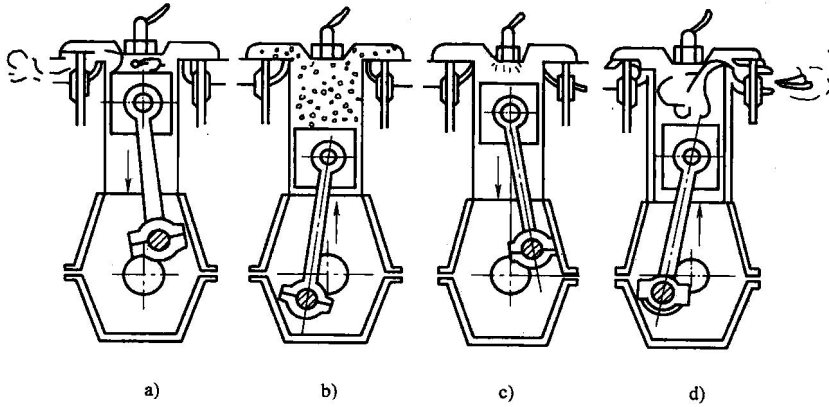


图 0-2 单缸四冲程内燃机工作循环图

a) 进气 b) 压缩 c) 作功 d) 排气

功，而成为一个力平衡系统。这种各实体之间，以一定的几何形状表面相互接触形成可动联接，且各实体间具有确定相对运动规律的多体系统称为“机构”。而将组成机构，在运动时作为一个整体的结构实体称为“构件”。如上述内燃机中的缸体（视为固定不动，称为机架），活塞、连杆、曲轴都是一个构件。一个构件，还可能由若干个彼此没有相对运动的实体联接而成，如图 0-3 所示的连杆就是由连杆体、连杆盖、轴瓦、螺栓等多个实体相互固联而成。这些作为构造或制造的最小实体，称为“零件”。当然有的构件可能就是一个零件。总之，将机器中运动的最小单元称为“构件”。

机构，是两个以上的构件相互可动联接的构件系统。各构件间具有确定的相对运动，可按预期的规律实现运动（包括力）的传递和变换，能将一个或几个构件的已知运动（这些构件称为原动件或输入构件），转变成其他构件（这些构件称为从动件、输出构件或执行构件）所需的某确定运动规律。机器或机构中的构件大多数是刚性体，但某些构件也可以是挠性或弹性体（为链、带、弹簧等），或是液体、气体、电磁场等。但所有作为构件的实体或介质，其共性特征是必能传递运动和动力。

一个机器根据它的功能要求，可能是由一种机构组成，也可能是由若干种机构组成，它

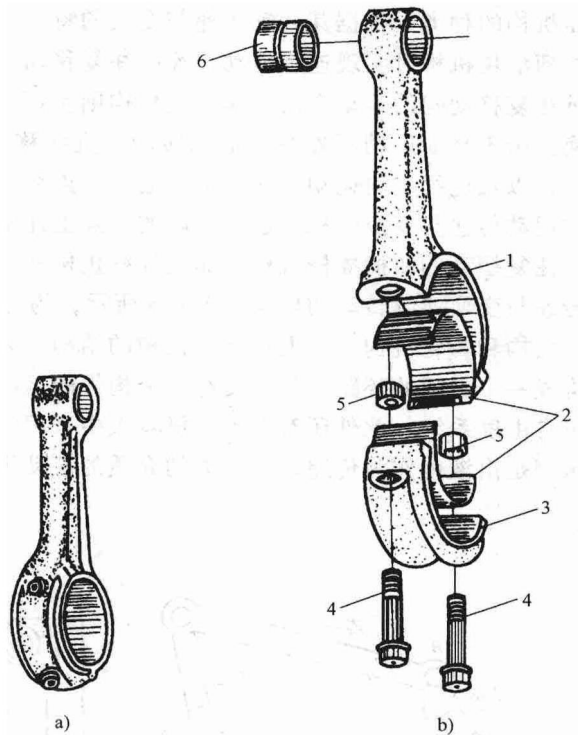


图 0-3 连杆及其组成零件

a) 连杆（构件） b) 连杆的组成

1—连杆体 2—轴瓦 3—连杆盖 4—螺栓
5—定位套 6—连杆衬套

们按一定的规律相互协调配合，通过有序的运动和动力的传递与变换来完成预期的功能。如内燃机的工作，必须连续地实现图 0-2 所表示的工作循环。前述的主要工作机构——一般称为曲柄滑块机构，它可以实现移动与转动之间的变换，完成做功、吸气、压缩、排气所需的运动，但在这些冲程中，何时吸气、排气及压缩等，以及进排气阀门何时开闭，火花塞何时点火等动作还必须由其他机构来完成，并按一定的时间（或曲柄转角）顺序实现相互协调。如图 0-1a 所示，进、排气阀门 10、11 的开、闭是由气缸 2、凸轮轴 13、气门挺杆 12 等三个构件所构成的直动从动杆凸轮机构来实现的。凸轮轴连续转动，轴上的凸轮是具有一定形状的曲面回转体，与挺杆顶面形成线接触，并使它按一定的规律实现升（开）、降（闭）和停止等间歇运动。为了保证阀门在四个冲程曲轴转 720° 的时间内仅开闭一次，且开闭时间与冲程相协调，把曲轴的转动与凸轮转动按一定的比例关系联系起来，则是通过气缸体 2 和一对齿轮 14、15 所构成的齿轮机构来实现的（二齿轮间按 1:2 规律转动，且转向相反，这对齿轮称为正时齿轮）。

从运动（力）的传递与变换的功能观点分析，机器是由一种或若干种机构所组成的。而机构的种类是根据其运动传递与变换的特征来区分的。例如上述内燃机中的三种机构为：曲柄滑块机构可实现连续转动与连续往复移动间的运动变换；凸轮机构可实现连续转动与间歇往复移动间的运动变换；而齿轮机构则实现连续转动与连续转动间转速的大小与转向的变换。由于平面运动不外有：定轴转动、直线移动、平面平行运动、一般平面运动等运动类型，以及连续单向运动、间歇单向运动、连续往复运动及间歇往复运动等方式，因此实现这些运动传递与变换的机构也是有限的。除上述常见的三种外，还有图 0-4 所示的将转动变换为往复摆动的曲柄摇杆机构、曲柄导杆机构和摆动从动杆凸轮机构等。图 0-5 为其他常见的传递与变换连续转动的机构。图 0-6 所示，为可将连续转动和往复摆动变换为间歇运动的槽轮机构和棘轮机构。以上列举的机构的结构，是通过各构件间以一定接触形式的可动联接，构成一个封闭的环路，且只要有一个构件的运动规律确定，其他各构件的运动即随之确定的单自由度系统。此外还有在现代机器人中采用的开环、多自由度机构（见图 0-7）。图 0-8 所示则是由液体作为传递运动和力的介质的液动机构。

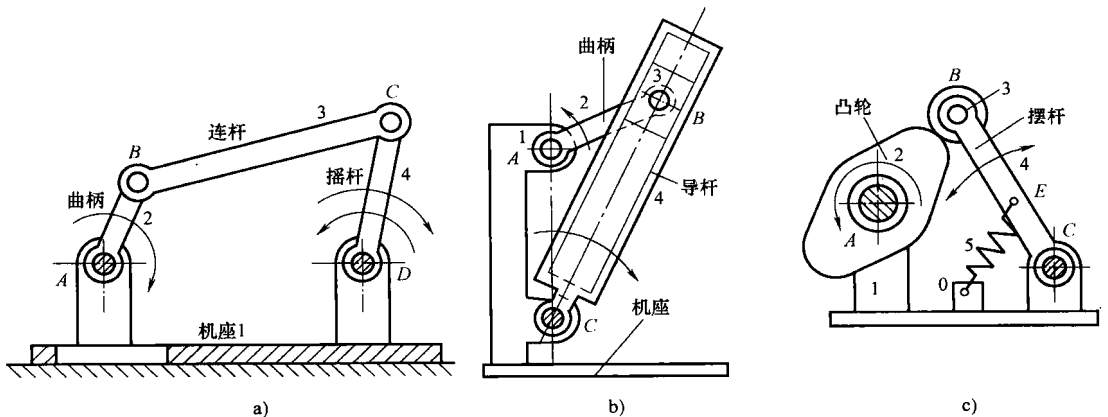


图 0-4 转动-摆动变换机构

a) 曲柄摇杆机构 b) 曲柄导杆机构 c) 摆动从动杆凸轮机构

机构是所有机器的共性功能组成部分。凡需要实现某种运动传递与变换的地方，都可以

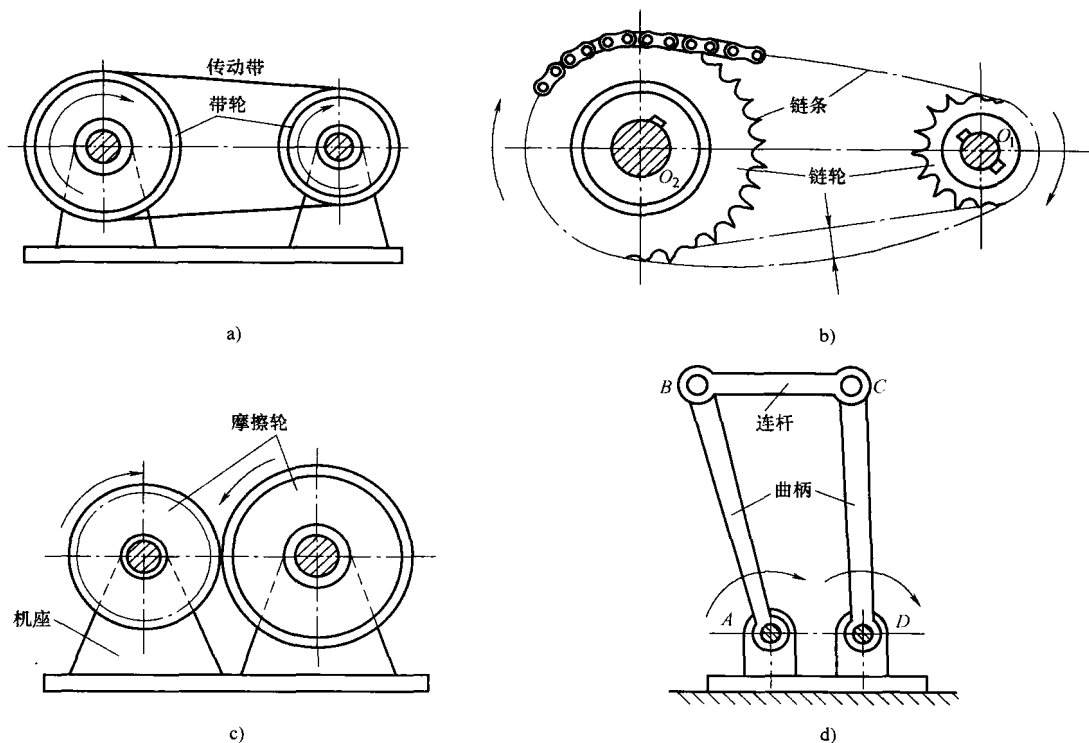


图 0-5 转动-转动变换机构

a) 带传动 b) 链传动 c) 摩擦轮机构 d) 双曲柄机构

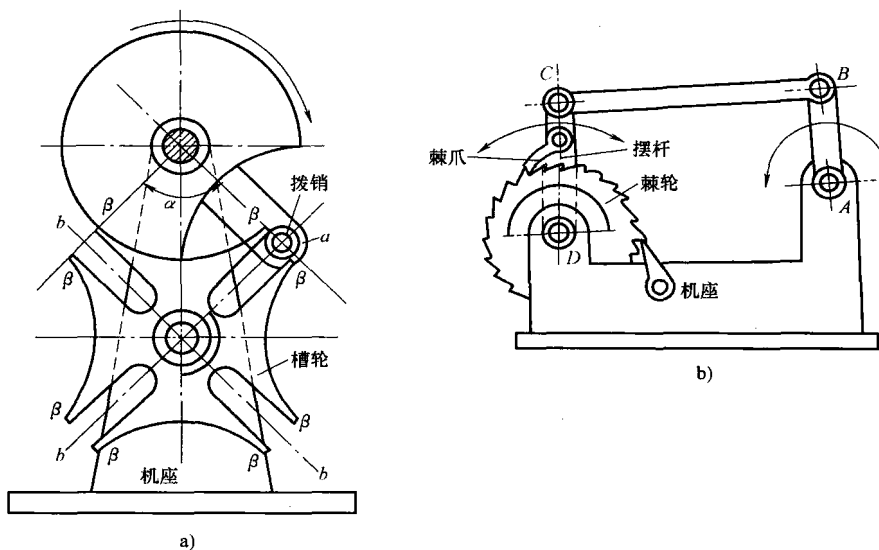


图 0-6 转动-单向间歇转动变换机构

a) 槽轮机构 b) 棘轮机构

采用对应的某种机构，如曲柄滑块机构可用于内燃机、压缩机、冲压机、剪切机、锯床、输送机。它们都需要转动与往复直线移动的运动变换实现工作要求。同一种机构通过各构件