

国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

机械设计基础

(非机类)

主 编 秦 伟
副主编 龙振宇 李良军
参 编 姚顺培 刘达斌
主 审 吴昌林

机械工业出版社

本书是新世纪高等教育教学改革项目“机械基础理论教学与实践教学改革的研究与实践”的研究成果。根据工科非机械类专业对机械设计基础知识方面的共同需要,以培养学生认识和了解机械系统的组成与结构、机械系统的功能和工作原理,掌握机械设计的基本内容、基本要求和基本方法,具有设计简单机械和机械结构的能力为目标,在对课程体系和内容进行合理改革和整合的基础上编写了本书。

本书共四篇十三章:绪论;第一篇机械的联接及其设计(第一~四章);第二篇机械执行系统的设计(第五~七章);第三篇机械传动系统及其设计(第八~十一章);第四篇机械系统的总体设计(第十二~十三章)。

本书可作为高等学校近机类和非机类各专业机械设计基础课程的教材,也可供有关专业的师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础:非机类/秦伟主编. —北京:机械工业出版社, 2004.2

(国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材)

ISBN 7-111-13926-7

I. 机... II. 秦... III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 006701 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:冯 铨 版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新

封面设计:鞠 杨 责任印制:闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·13.125 印张·507 千字

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

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

国家工科基础课程教学基地机械基础系列 教材编审委员会

主任：唐一科

副主任：刘昌明 何玉林 黄茂林

顾问：杨叔子

主编人员：丁 一 祖业发 黄茂林 龙振宇

刘天模 袁绩乾 赵月望 陈国聪

何玉林 吕仲文 杨学元 秦 伟

李文贵

审稿人员：常 明 华中科技大学

张 策 天津大学

吴鹿鸣 西南交通大学

杨治国 四川大学

李建保 清华大学

林萍华 河海大学

张春林 北京理工大学

何援军 上海交通大学

谭建荣 浙江大学

吴昌林 华中科技大学

张济生 重庆大学

(排名不分先后)

策划单位：机械工业出版社 重庆大学

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。

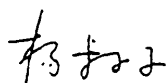
这套系列教材紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”、“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个面向 21 世纪重大教学改革项目和国家工科基础课程机械基础教学基地建设，集中反映了重庆大学等高校围绕人才培养，在改革机械基础课程体系和教学内容方面所取得的成果。

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的主线。

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了又一套很有特色的教材。

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



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，研究制订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。

“机械设计基础”课程是工科非机械类专业重要的专业基础课之一，是使学生了解与掌握机械工作的基本原理和机械设计的基本方法，拓宽学生的知识面，增强学生对专业工作的适应性的一门理论课程。这门课程比较集中地体现了理论与实践的综合性，在培养学生的创新意识与设计能力方面起着重要作用。

与机械类专业相比较，非机械类专业具有覆盖学科领域广的特点，各专业对人才培养的要求也有所不同，因此对学生应当具备的在机械设计基础方面的知识结构要求也不尽相同，但是都会用到各种机械设备和机械结构。因此，各专业对这门课程的共同要求可以概括为：学生通过机械设计基础课程的学习，认识和了解机械系统的组成与结构、机械系统的功能和工作原理，能正确选择和使用通用机械，了解机械设计的基本内容、基本要求和基本方法。不少专业还要求学生通过机械设计基础课程设计的训练，达到能设计简单机械和机械结构的目的。

为适应 21 世纪培养高素质创新型人才的需要，我们对课程体系和内容进行了较大幅度的改革与整合。教材的主要特色有：

1) 以机械系统的功能及其组成、工作原理、各种典型机构与零部件的种类、特点、应用范围、结构（包括运动学结构和功能结构）的选择及设计原则等为重点内容，对于强度、刚度以及结构的工艺性、精度与公差等内容，则主要结合具体机构和零部件进行一般介绍。

2) 将机械里的各种联接，包括常见运动副以及各种固定联接的设计，融合为机械的联接与设计篇进行论述，有利于解决学生对运动副概念的理解与其工程结构认识上脱节的弊病，同时从机械的联接这一角度介绍轴承、导轨、螺纹、联轴器、离合器等，突出了这些零部件的功能及实现功能的结构的共性特征，有助于学生建立完整的概念。

3) 为了适应科学技术和经济发展的需要,教材增加了机械系统的总体方案设计等内容。对传统教材的内容进行了推陈出新。例如增加了典型行星减速器以及连杆、凸轮等构件的结构设计。

4) 合理处理传统内容与现代内容的关系。对于传统内容,在保证基本内容的前提下精简压缩一般内容,简化公式的演绎与推导。注意采用新标准、新规范。

本书分四篇十三章,其中绪论、第一章、第二章、第十二章、第十三章由秦伟编写;第三章、第四章由姚顺培编写;第五章、第六章、第七章由刘达斌编写;第八章、第九章由龙振宇编写;第十章、第十一章由李良军编写。全书由秦伟任主编,龙振宇、李良军为副主编。

本书承教育部机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会委员吴昌林教授审阅,并对全书提出了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中还得到了黄茂林教授的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中误漏之处在所难免,恳请广大教师和读者批评指正。

编者

2003年8月

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一节 机械的功能及功能组成	1
第二节 机械设计的基本要求、基本内容与一般程序	3
一、机械设计的基本要求	3
二、机械设计的基本内容	4
三、机械设计的一般程序	5
四、机械设计的现代方法	6
第三节 机械工程常用材料	6
一、常用工程材料简介	6
二、金属材料的热处理	8
三、材料选择的基本原则	10
第四节 机械零件结构的工艺性及标准性	11
一、零件结构的工艺性	11
二、标准化	11
第五节 本课程的地位、内容与任务	12
思考题及习题	13

第一篇 机械的联接及其设计

第一章 概述	14
思考题及习题	15
第二章 可动联接的运动设计与结构设计	16
第一节 运动和力的传递与变换对可动联接的结构要求	16
一、运动副	16
二、运动副分类	17
三、构件	18
四、运动链	19
五、机构	19
第二节 转动副与轴承	19
一、转动副的基本功能与结构要求	19
二、滑动轴承	20

三、滚动轴承.....	30
第三节 移动副与导轨	55
一、移动副的基本功能与结构要求.....	55
二、导轨的导向原理及分类.....	55
三、导轨的基本要求.....	56
四、滑动摩擦导轨.....	57
五、滚动摩擦导轨.....	61
第四节 螺旋副与螺旋传动	64
一、螺旋副的基本功能与结构要求.....	64
二、螺纹形成原理及主要参数.....	65
三、螺旋传动.....	67
四、滚动螺旋简介.....	71
第五节 高副与共轭曲线	72
一、高副的运动学特征、结构特点和封闭形式.....	72
二、共轭齿廓设计.....	73
三、凸轮轮廓与包络曲线.....	74
第六节 机构运动简图	74
思考题及习题	78
第三章 固定联接的可靠性与结构设计	81
第一节 螺纹联接	81
一、螺旋副的受力分析、效率和自锁.....	81
二、螺纹联接的主要类型和标准联接件.....	84
三、螺纹联接的拧紧和防松.....	88
四、单个螺栓联接的强度计算.....	92
五、螺栓组的结构设计.....	99
六、提高螺栓联接强度的措施	101
第二节 键联接与销联接	104
一、键联接	105
二、花键联接	109
三、销联接	109
思考题及习题	111
第四章 联轴器与离合器	114
第一节 联轴器	114
一、联轴器的功用	114
二、联轴器的类型	114
三、常用的联轴器	118
四、联轴器的选择	122
第二节 离合器	124

一、离合器的功用	124
二、离合器的类型	124
三、常用离合器	124
四、离合器的设计与选择要点	128
思考题及习题	128

第二篇 机械执行系统的设计

第五章 机械中的运动与作用力	129
第一节 机械的工作要求	129
一、机械中的运动	129
二、机械中的作用力	132
第二节 执行机构的结构与基本类型	132
一、平面机构自由度计算	132
二、平面机构的基本类型	137
思考题及习题	139
第六章 平面连杆机构	140
第一节 平面连杆机构的类型及应用	140
一、铰链四杆机构	141
二、铰链四杆机构的演化	143
三、曲柄滑块机构的演化	145
第二节 平面连杆机构的运动特性与运动分析方法	147
一、运动特性	147
二、平面连杆机构的运动分析方法	151
第三节 平面连杆机构的传力特性与静力分析	156
一、压力角和传动角	156
二、死点位置	157
三、机构中的力、摩擦及传动效率	159
第四节 平面四杆机构的运动设计	163
一、按照给定的行程速度变化系数设计四杆机构	164
二、按照给定连杆位置设计四杆机构	165
三、按照给定的两连架杆对应位置设计四杆机构	166
四、按连杆曲线图谱法进行再现给定点运动轨迹的四杆机构设计	168
第五节 连杆机构的结构形式	168
一、杆件的形式	168
二、运动副的结构形式	171
三、平面连杆机构结构分层	172
思考题及习题	172
第七章 凸轮机构及其他常用机构	175

第一节 凸轮机构	175
一、凸轮机构的组成、应用及特点	175
二、凸轮机构的分类	176
三、凸轮机构的工作过程与运动参数	178
四、凸轮机构的设计内容	179
五、从动件运动规律设计	180
六、凸轮轮廓曲线的设计	185
七、凸轮机构基本尺寸设计	188
八、凸轮机构的结构设计	191
第二节 间歇运动机构	194
一、棘轮机构	194
二、槽轮机构	197
三、不完全齿轮机构	199
思考题及习题	200

第三篇 机械传动系统及其设计

第八章 机械传动系统概述	202
一、传动系统在机械中的作用	202
二、机械传动的特性及参数	202
三、机械传动系统的组成及机械传动的主要类型	203
四、机械传动系统的设计	206
五、机械传动系统设计实例	206
思考题及习题	209
第九章 齿轮传动	210
第一节 概述	210
一、齿轮传动的特点	210
二、齿轮传动的分类	210
第二节 齿廓啮合基本定律	212
一、齿轮传动应满足的基本要求	212
二、齿廓啮合基本定律	213
第三节 渐开线齿轮的啮合特性	214
一、渐开线的形成	214
二、渐开线的性质	214
三、渐开线齿廓的啮合特性	215
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	216
一、直齿圆柱齿轮各部分名称及代号	216
二、直齿圆柱齿轮的基本参数	217
三、渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	218

第五节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	219
一、正确啮合条件	219
二、连续传动条件	219
三、标准安装中心距	220
第六节 渐开线齿轮的加工与根切现象	220
一、渐开线齿轮的加工	220
二、根切现象及最少齿数	223
第七节 齿轮传动的精度	224
一、齿轮传动的精度等级及其选择	224
二、齿轮副的侧隙	225
第八节 齿轮的失效形式及齿轮传动的设计准则	226
一、齿轮的失效形式	226
二、齿轮传动的设计准则	228
第九节 齿轮常用材料及热处理	228
第十节 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	230
一、轮齿上的作用力与计算载荷	230
二、齿面接触疲劳强度计算	231
三、齿根弯曲疲劳强度计算	234
四、齿轮传动的参数选择	239
第十一节 斜齿圆柱齿轮传动	245
一、斜齿圆柱齿轮齿面的形成	245
二、斜齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	247
三、斜齿圆柱齿轮的当量齿轮和当量齿数	248
四、斜齿圆柱齿轮啮合传动	248
五、斜齿圆柱齿轮传动的特点	249
六、标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	250
第十二节 直齿锥齿轮传动	254
一、直齿锥齿轮齿廓的形成	255
二、背锥与当量齿数	256
三、直齿锥齿轮的啮合传动	258
四、直齿锥齿轮的几何尺寸计算	258
五、直齿锥齿轮传动的强度计算	259
第十三节 齿轮的结构设计	261
一、齿轮轴	261
二、实心式或腹板式齿轮	261
三、轮辐式齿轮	262
第十四节 齿轮传动的润滑和效率	264
一、齿轮传动的润滑	264

二、齿轮传动的效率	265
第十五节 蜗杆传动	265
一、概述	265
二、普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	268
三、蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料选择	272
四、普通圆柱蜗杆传动的设计计算	273
第十六节 轮系及减速器	283
一、轮系	283
二、减速器	293
思考题及习题	297
第十章 带传动及链传动	303
第一节 带传动概述	303
一、带传动的类型和工作原理	303
二、V带的结构和型号	304
三、V带轮的材料和结构	305
四、带传动的主要几何参数	307
五、带传动的特点和应用	308
第二节 带传动的受力分析及运动特性	309
一、带传动的受力分析	309
二、带传动的弹性滑动和传动比	310
三、传动带的应力分析	311
第三节 普通V带传动的设计	313
一、失效形式和设计准则	313
二、单根V带所能传递的功率	313
三、设计计算和参数选择	314
第四节 链传动概述	322
一、滚子链的结构	322
二、滚子链链轮的结构和材料	324
三、链传动的特点和应用	325
第五节 链传动的运动特性和受力分析	326
一、平均速度和平均传动比	326
二、瞬时速度和瞬时传动比	327
三、链传动的受力分析和作用在轴上的载荷	328
第六节 滚子链传动的设计计算	328
一、链传动的主要失效形式	329
二、链传动的承载能力	329
三、链传动主要参数的选择	331
思考题及习题	335

第十一章 轴	338
第一节 轴的分类和设计特点	338
一、轴的分类	338
二、轴设计的主要内容和特点	339
第二节 轴的材料	340
第三节 轴的结构设计	342
一、轴上零件的轴向固定	343
二、轴上零件的周向固定	344
三、减少应力集中,提高轴的疲劳强度	344
四、轴的加工和装配工艺性	345
第四节 轴的强度计算	346
一、按扭转强度条件计算	346
二、按弯扭合成强度条件计算	347
第五节 轴的刚度计算	348
一、轴的扭转刚度	348
二、轴的弯曲刚度	349
第六节 轴的振动计算概念	349
思考题及习题	355

第四篇 机械系统的总体设计

第十二章 机械系统动力学简介	358
第一节 机械的平衡	358
一、机械平衡的目的	358
二、刚性回转体的平衡	359
第二节 机械速度波动的调节	363
一、机械速度波动产生原因及调节方法	363
二、机械运转的平均速度和不均匀系数	364
三、飞轮设计的基本原理	365
思考题及习题	366
第十三章 机械系统的总体方案设计	369
第一节 机械总体方案设计	369
一、机械总体方案设计的目的	369
二、机械总体方案设计的内容	369
第二节 机械执行系统的运动方案设计	370
一、执行机构的型式设计	371
二、执行系统的协调设计	376
第三节 机械传动系统的方案设计和原动机选择	379
一、传动系统方案设计过程	379

二、传动类型的选择	379
三、传动链的方案设计	381
四、原动机的选择	383
第四节 机械控制系统简介	385
第五节 机械系统方案评价与决策	387
一、方案评价与决策的意义	387
二、评价指标	387
三、评价方法	388
四、评价实例	390
第六节 机械系统运动方案设计举例	391
思考题及习题	397
参考文献	401

绪 论

第一节 机械的功能及功能组成

机械是人类在长期的生产实践中创造出来的技术装置，在现代生产和日常生活中，机械已成为代替或减轻人的体力劳动和脑力劳动、提高劳动生产率 and 产品质量的主要手段。机械的发展程度，是国家工业水平的重要标志之一。

图 0-1 所示的单缸四冲程内燃机为常见机械之一，它是由缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、推杆 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气膨胀推动活塞作往复移动，通过连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和推杆用于启闭进气阀和排气阀。为了保证曲轴每转两周，进、排气阀各启闭一次，在曲轴和凸轮之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样，当燃气推动活塞运动时，各部分协调地动作，进、排气阀有规律地启闭，并通过汽化、点火等装置的配合，就把燃气热能转变为曲轴旋转的机械能。

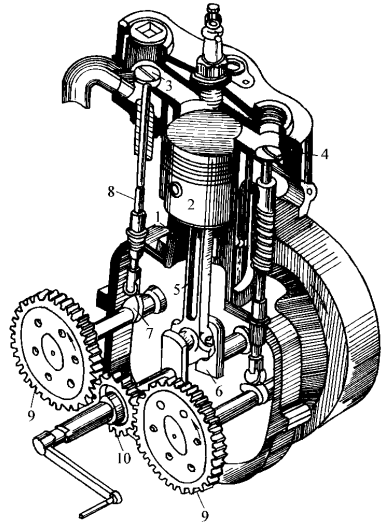


图 0-1 内燃机

- 1—缸体 2—活塞 3—进气阀 4—排气阀
5—连杆 6—曲轴 7—凸轮
8—推杆 9、10—齿轮

图 0-2 所示为一工业机器人，它由机器人本体 1、计算机控制器 2、液压装置 3 和电力装置 4 组成。当机械手的大臂、小臂和手按指令有规律地运动时，末端夹持器（图中未示出）便将物料搬运到指定的位置。

从以上二例可以看出，机械在工作过程中都要执行机械运动。因此可以说，运动的传递与变换是机械最基本的功能。

通常把能实现确定的机械运动，又能做有用的机械功或实现能量、物料、信息的传递与变换的装置称为机器，而把只能实现运动和力的传递与变换的装置称

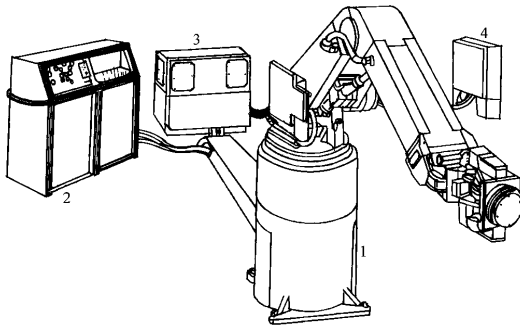


图 0-2 工业机器人

1—机器人本体 2—计算机控制器 3—液压装置 4—电力装置

为机构。机器和机构统称为机械。

根据所能实现功能的不同，机器可以分为三类：

(1) 工作机器 实现对物料的某种工作或工艺过程，完成有用的机械功。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、汽车、机床、飞机、起重机、运输机等。

(2) 动力机器 实现其他种类的能量与机械能之间的转换，如内燃机、汽轮机、电动机、发电机、压气机、涡轮机等。

(3) 信息机器 实现其他形式的信息（如电磁、热、压力、变形等）与机械运动信息之间的传递与转换，如各种计量装置、检测装置、复印机、打印机、绘图机等。

现代机械种类繁多，但从其功能组成分析，主要由下列子系统组成：

(1) 驱动系统 机械系统工作的动力源，它包括动力机和与其相配套的一些装置。现代机器多采用电动机和热力机（内燃机、汽轮机、燃气轮机）作为动力源，其中电动机的使用最为广泛。

(2) 执行系统 直接实现机器特定功能的部分，包括执行机构和执行构件，其功能是利用机械能来改变作业对象的性质、状态、形状、位置或进行检测等。由于每个机械系统要完成的功能各不相同，所以对其执行系统的运动、工作载荷等技术要求也不相同。执行系统通常处于机械系统的末端，直接与作业对象接触。执行系统工作性能的好坏，直接影响整个机械系统的性能。

(3) 传动系统 把原动机的动力和运动传递给执行系统的中间装置，例如汽车的变速箱、机床的主轴箱、起重机的减速器等。传动系统的功能是实现运动和力的传递与变换，以适应执行系统工作的需要。传动系统可分为下述几大类：①