

普通高等教育“十三五”规划教材

# 机械设计 (第3版)

Machine Design (3rd Edition)

孔凌嘉 王晓力 王文中 © 主编



 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



## 内 容 提 要

本教材是在总结近几年教学改革经验的基础上,并参照教育部机械基础课程教学指导分委员会2004年制定的《机械设计课程的教学基本要求》组织编写的。

全书共分六篇:第一篇为机械设计总论,共2章,包括机械设计概述,摩擦、磨损及润滑基础知识;第二篇为连接设计,共3章,包括螺纹连接,轴毂连接,焊接、铆接和粘接;第三篇为机械传动设计,共7章,包括带传动、链传动、摩擦轮传动、圆柱齿轮传动、锥齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动;第四篇为轴系设计,共4章,包括轴,滚动轴承,滑动轴承,联轴器、离合器与制动器;第五篇为其他常用零部件设计,共5章,包括弹簧、直线导轨、机架、润滑装置、密封装置;第六篇为机械系统与现代机械设计综述,共2章,包括机械系统设计、现代机械设计综述。

本书可作为高等学校机械类专业机械设计课程的教材,也可供其他相关专业的师生和工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计 / 孔凌嘉, 王晓力, 王文中主编. —3 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2018. 1

ISBN 978 - 7 - 5682 - 5184 - 6

I. ①机… II. ①孔…②王…③王… III. ①机械设计 - 高等学校 - 教材  
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 004594 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 29.5

字 数 / 687 千字

版 次 / 2018 年 1 月第 3 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 59.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

## 第3版前言

本版是在前两版的基础上结合教材的使用情况修订而成的。

此次修订仍然保持了教材的原有体系，采用了最新的国家标准，更正了原书文字、插图及计算中的疏漏。对教材配套使用的 CAI 教学课件也进行了相应的改版。

参加本次修订的人员有孔凌嘉（绪论、第一章、第十四章、第十八章），殷耀华（第二章、第八章、第二十章、第二十一章），荣辉（第三章、第十二章），赵自强（第四章、第五章），周勇（第六章、第七章），王文中（第九章、第十章），李轶（第十一章），付铁（第十三章），王晓力（第十五章、第十九章、第二十二章），苏伟（第十六章、第二十三章）、王艳辉（第十七章）。全书由孔凌嘉负责统稿，由孔凌嘉、王晓力、王文中担任主编。由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2017年12月

## 第2版前言

本书第1版为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。本版是在第1版的基础上结合教材的使用情况修订而成的。

此次修订仍然保持了教材的原有体系,采用了最新的国家标准,更正了原书文字、插图及计算中的疏漏。对教材配套使用的CAI教学课件,也进行了相应的改版。

参加本次修订的人员有孔凌嘉(绪论、第一章、第十四章、第十八章),殷耀华(第二章、第八章、第二十章、第二十一章),荣辉(第三章、第十二章),赵自强(第四章、第五章),周勇(第六章、第七章),王文中(第九章、第十章),李轶(第十一章),付轶(第十三章),王晓力(第十五章、第十九章、第二十二章),苏伟(第十六章、第二十三章),王艳辉(第十七章)。全书由孔凌嘉负责统稿,由孔凌嘉、王晓力、王文中担任主编。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2013年6月

## 第1版前言

随着科学技术的飞速发展和高等教育改革的不断深入,加强基础,拓宽专业,培养适合21世纪科学技术发展的高级工程技术人才,是高等工科学校建设的重要任务。具有基础课性质,又具有工程技术性质的机械设计教材的建设在机械工程专业中就显得非常重要。

目前,很多学校都根据教学改革和机械基础系列课的建设需要,组织编写并出版了机械设计教材,并在机械类专业的人才培养过程中发挥了重要作用。随着教学内容与教学方法的不断改革、多媒体教学手段的采用、教学计划的调整,以及与国外同类课程教学计划比较,机械设计课程的教学学时数不断减少。学时减少了,在保留传统经典的机械设计课程内容前提下,还要增加反映现代设计方法和创新能力培养的内容,这就必然涉及机械设计课程内容与教学方法的进一步变革。本教材就是在总结近几年教学改革经验的基础上,根据学时减少、内容增加和教学手段与教学方法改革的要求组织编写的。同时,参照了教育部机械基础课程教学指导分委员会2004年制定的机械设计课程的教学基本要求,重新编排本教材的内容。本教材既可供研究型大学使用,又可供普通大学使用。

本教材的指导思想是在加强基本理论、基本方法和基本技能培养的基础上,以设计为主线,注重设计能力,特别是创新设计能力的培养。在体系安排和内容选择上更加突出机械设计的综合性和整体性,反映机械设计发展方向,使之能在高素质设计人才的培养中发挥应有的作用。

为配合教学工作,本书还配备了课堂教学使用的CAI教学课件,供教师上课参考,也可供学生复习之用。

参加本教材编写的人员有孔凌嘉(绪论、第一章、第十四章、第十八章),殷耀华(第二章、第八章、第二十章、第二十一章),荣辉(第三章、第十二章),杨梦辰(第四章、第五章),周勇(第六章、第七章),万小利(第九章、第十章),李轶(第十一章),付铁(第十三章),王晓力(第十五章、第十九章、第二十二章),苏伟(第十六章、第二十三章),王艳辉(第十七章)。全书由孔凌嘉负责统稿,由孔凌嘉、王晓力担任主编。

本教材由北京理工大学毛谦德教授担任主审,毛谦德教授对全书进行了非常仔细的审阅,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

北京理工大学机械设计教研室的全体教师为本书的编写付出了极大的努力,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者  
2005年12月

第三版前言

THIRD EDITION

经过十多年的努力,本书已出版了第三版。本书自出版以来,受到了广大读者的欢迎和好评,并多次被评为优秀教材。本书在编写过程中,得到了北京理工大学机械设计教研室全体教师的大力支持,特别是毛谦德教授担任主审,对本书进行了非常仔细的审阅,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。北京理工大学机械设计教研室的全体教师为本书的编写付出了极大的努力,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

# 目 录

## CONTENTS

绪论 .....	001
----------	-----

### 第一篇 机械设计总论

第一章 机械设计概述 .....	007
第一节 机械设计的基本要求和一般程序 .....	007
第二节 载荷与应力分析 .....	008
第三节 机械零件的失效形式 .....	009
第四节 机械零件的计算准则 .....	010
第五节 机械零件的材料选择 .....	012
第六节 机械结构设计的基本要求 .....	013
第七节 机械零件的标准化 .....	014
习题 .....	015

第二章 摩擦、磨损及润滑基础知识 .....	016
第一节 概述 .....	016
第二节 表面性质及表面接触 .....	016
第三节 摩擦 .....	019
第四节 磨损 .....	022
第五节 润滑剂 .....	025
第六节 润滑状态 .....	030
习题 .....	032

### 第二篇 连接设计

第三章 螺纹连接 .....	035
第一节 概述 .....	035

第二节	螺纹连接的类型与结构	039
第三节	螺纹连接的预紧和防松	045
第四节	单个螺栓的强度计算	049
第五节	螺栓组连接受力分析	056
第六节	提高螺栓强度的措施	061
	习题	070
<b>第四章</b>	<b>轴毂连接</b>	<b>072</b>
第一节	键连接	072
第二节	花键连接	077
第三节	销连接	079
第四节	过盈连接	080
第五节	型面连接	081
第六节	胀套连接	081
	习题	082
<b>第五章</b>	<b>焊接、铆接和粘接</b>	<b>083</b>
第一节	焊接	083
第二节	铆接	090
第三节	粘接	095
	习题	097

### 第三篇 机械传动设计

<b>第六章</b>	<b>带传动</b>	<b>101</b>
第一节	概述	101
第二节	带传动类型及其工作原理	101
第三节	带传动工作情况分析	103
第四节	普通 V 带传动的设计计算	106
第五节	V 带传动结构设计	119
第六节	其他带传动简介	121
	习题	124
<b>第七章</b>	<b>链传动</b>	<b>125</b>
第一节	概述	125
第二节	滚子链和链轮	126
第三节	链传动工作情况分析	130
第四节	滚子链传动设计	132
	习题	138

<b>第八章 摩擦轮传动</b> .....	139
第一节 概述 .....	139
第二节 摩擦轮传动中的滑动 .....	140
第三节 摩擦轮传动的类型及基本结构 .....	141
第四节 摩擦轮的材料选择 .....	143
第五节 摩擦轮传动的计算 .....	144
第六节 摩擦无级变速器简介 .....	146
习题 .....	148
<b>第九章 圆柱齿轮传动</b> .....	149
第一节 概述 .....	149
第二节 渐开线圆柱齿轮的受力分析 .....	150
第三节 齿轮传动失效分析与计算准则 .....	152
第四节 齿轮材料及精度选择 .....	154
第五节 计算载荷 .....	158
第六节 齿面接触疲劳强度计算 .....	161
第七节 齿根弯曲疲劳强度计算 .....	166
第八节 许用应力简介 .....	171
第九节 静强度计算和耐磨性计算 .....	175
第十节 圆柱齿轮设计计算 .....	176
第十一节 结构设计 .....	181
习题 .....	184
<b>第十章 锥齿轮传动</b> .....	186
第一节 概述 .....	186
第二节 直齿锥齿轮受力分析 .....	188
第三节 直齿锥齿轮传动的强度计算 .....	189
第四节 结构设计 .....	190
习题 .....	195
<b>第十一章 蜗杆传动</b> .....	196
第一节 概述 .....	196
第二节 阿基米德圆柱蜗杆传动 .....	199
第三节 蜗杆传动的相对滑动速度与效率 .....	206
第四节 蜗杆传动的失效形式与材料选择 .....	208
第五节 蜗杆传动的受力分析与计算载荷 .....	210
第六节 蜗轮轮齿强度计算与蜗杆刚度计算 .....	212
第七节 蜗杆传动的热平衡计算 .....	216
第八节 阿基米德圆柱蜗杆传动的结构与精度 .....	217

第九节 环面蜗杆传动简介	222
习题	224
<b>第十二章 螺旋传动</b>	<b>226</b>
第一节 概述	226
第二节 滑动螺旋传动的设计	228
第三节 其他螺旋传动简介	236
习题	237
<b>第四篇 轴系设计</b>	
<b>第十三章 轴</b>	<b>241</b>
第一节 概述	241
第二节 轴的材料	244
第三节 初估轴的直径	246
第四节 轴的结构设计	247
第五节 轴的强度计算	255
第六节 轴的刚度计算	267
第七节 轴的振动简介	268
习题	269
<b>第十四章 滚动轴承</b>	<b>271</b>
第一节 概述	271
第二节 滚动轴承的类型和代号	272
第三节 滚动轴承的类型选择	277
第四节 滚动轴承的工作情况分析、失效形式与计算准则	277
第五节 滚动轴承的寿命计算	279
第六节 滚动轴承的静强度计算	286
第七节 滚动轴承的极限转速	288
第八节 滚动轴承的组合设计	289
习题	297
<b>第十五章 滑动轴承</b>	<b>300</b>
第一节 概述	300
第二节 滑动轴承结构与材料	301
第三节 混合润滑轴承的计算	307
第四节 液体动压润滑原理	309
第五节 液体动压润滑径向轴承的设计	312
第六节 液体静压润滑简介	322
习题	323

<b>第十六章 联轴器、离合器与制动器</b> .....	325
第一节 联轴器 .....	325
第二节 离合器 .....	335
第三节 制动器 .....	340
习题 .....	342
<b>第五篇 其他常用零部件设计</b>	
<b>第十七章 弹簧</b> .....	347
第一节 概述 .....	347
第二节 弹簧材料和制造 .....	348
第三节 圆柱螺旋弹簧的结构 .....	352
第四节 圆柱螺旋弹簧的工作情况分析 .....	355
第五节 圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧的设计 .....	359
第六节 圆柱螺旋扭转弹簧的设计 .....	362
第七节 其他类型弹簧简介 .....	364
习题 .....	366
<b>第十八章 直线导轨</b> .....	367
第一节 概述 .....	367
第二节 滑动导轨 .....	368
第三节 滚动导轨 .....	380
习题 .....	386
<b>第十九章 机架</b> .....	388
第一节 机架的类型、材料及制造方法 .....	388
第二节 机架设计的要求 .....	389
第三节 机架的结构设计 .....	389
习题 .....	391
<b>第二十章 润滑装置</b> .....	392
第一节 概述 .....	392
第二节 常用的润滑方式及装置 .....	392
第三节 典型零、部件的润滑方式及润滑剂的选择 .....	400
习题 .....	408
<b>第二十一章 密封装置</b> .....	409
第一节 概述 .....	409
第二节 密封类型与选择 .....	409

第三节 静密封.....	410
第四节 动密封.....	412
第五节 机械密封.....	417
第六节 其他密封.....	419
习题.....	419

## 第六篇 机械系统与现代机械设计综述

<b>第二十二章 机械系统设计</b> .....	423
第一节 机械系统的组成.....	423
第二节 机械系统方案设计概述.....	423
第三节 原动机的选择.....	424
第四节 机械执行系统的方案设计.....	426
第五节 机械传动系统的方案设计.....	427
第六节 机械控制系统简介.....	432
习题.....	433
<b>第二十三章 现代机械设计综述</b> .....	434
第一节 概述.....	434
第二节 现代机械设计基础.....	437
第三节 现代机械设计过程概述.....	444
习题.....	454
<b>参考文献</b> .....	456

# 绪 论

## 一、机械设计在经济建设和科技发展中的作用

科学技术发展的进程表明,机械工业是科学技术物化为生产力的重要载体。在一次又一次工业革命过程中,机械与冶金、化工、电力、电子及信息产业等诸多领域科技成果的有机结合,为工业、农业、交通运输、国防建设和人们日常生活等方面不断地提供了先进的设备和器械。生产过程机械化与自动化的实现,极大地推动了技术创新与社会进步,充分体现了机械工业在国民经济中所起到的至关重要的作用。

机械设计是机械工业的基础技术,是生产机械所必须进行的技术决策活动。在制造业中,设计是制造的第一步。科技成果要转变为有竞争力的新产品,设计起着关键性的作用。机械产品的性能和技术水平主要是由设计水平保证的,产品成本的70%~80%是在设计阶段决定的,约有50%的产品质量事故是由于设计不当引起的,因此,设计工作的质量和水平,直接关系到产品质量、性能和技术经济效益。

机械使用的广泛程度是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。工业发达国家都极为重视机械设计工作,不断地研制出适应市场需要的机电产品,有力地促进了全球经济的蓬勃发展。当前,国内外机械产品市场竞争十分激烈,社会对现代化机械要求日益苛刻。为了促进我国机械工业的进一步发展,更好地满足国民经济各部门对先进技术装备的需求,我国机械设计人员肩负着不断创新、不断开发出有竞争力的新产品这一十分艰巨和伟大的任务。

## 二、本课程的研究对象

机械是机器与机构的总称。机械设计包括机器设计和机构设计两大部分内容。本课程的研究对象是机器及组成机器的机械零部件。在本课程中,机械设计与机器设计同义。

机器是人类进行生产以减轻体力劳动和提高劳动生产率的主要劳动工具。机器由于其构造、性能及用途的不同而种类繁多。但就其功能组成而言,机器是由原动机部分、传动部分和执行部分组成的机械系统。现代机器一般还有控制部分和辅助部分(如润滑、显示、照明等),但机器的主体是机械系统。

从制造和装配的角度来看,任何机器又都是由许多基本单元组成的。这些基本单元就是机械零件,简称零件,它们是机器中最小的独立制造单元。由一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合物,称为部件。零件与部件统称为零部件(有些场合,零件即指零部件)。

机械零部件可分为通用零部件和专用零部件两大类:在各种机器中都能用到的零部件称为通用零部件,如螺钉、齿轮、轴、滚动轴承、联轴器、减速器等;在某种特定类型的机器中才能用到的零部件称为专用零部件,如涡轮机的叶片、内燃机的活塞、纺织机的织梭等。本课程研究对象中的机械零部件,是指普通条件下工作的一般尺寸与参数的通用零部件。

机械设计是指设计开发新的机器设备或改进现有的机器设备。机械设计是一项极富创造性的工作。

### 三、本课程的性质、内容和任务

“机械设计”课程是一门培养学生具有机械设计能力的主干技术基础课程。

本课程的内容是对机械设计基础知识、基本理论、程序和设计步骤与过程的论述。从工作情况分析、主要失效形式、设计计算准则、主要参数计算与校核方法、典型结构设计等方面学习四大类(连接、机械传动、轴系、其他)典型机械零部件的设计方法,并从整体的角度初步学习机械系统设计的基本知识。

本课程的主要任务是培养学生:

(1) 掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,具有设计一般机械的能力。

(2) 初步具有一定机械系统方案优化及决策的能力与素质。

(3) 树立创新意识和正确的设计思想。

(4) 具有运用标准、规范、手册、图册等技术资料及 CAD 软件的能力。

(5) 掌握典型机械零件的实验方法,获得实验技能的基本训练。

(6) 了解国家当前的有关技术经济政策及机械设计的新发展动向。

本课程的内容、性质和任务与过去所学的理论课程不同,它集理论性、实践性、应用性、综合性于一体。因此,在本课程的学习过程中,要综合运用先修课程中所学的有关知识与技能、结合各个教学实践环节进行机械工程技术人员的基本训练,逐步提高自己分析问题与解决问题的能力,为顺利过渡到专业课程的学习及进行专业产品和设备的设计打下宽广而坚实的基础。

### 四、本课程的特点和学习方法

本课程具有与各门先修课程的关系多、与生产实际的联系多、设计计算时需考虑的问题多等特点,因此,与先修课程相比,在学习的思维和方法上有较大的差别。了解和掌握本课程的特点,在学习不断探求与之相适应的学习方法,并随时注意总结提高,是学习好本课程的重要条件。现结合本课程的特点,将学习中应注意的问题概述如下,供学习者参考。

#### 1. 系统地掌握课程内容

本课程基本上以每一种零部件作为一个单元来讨论。学习每一种零部件的设计时,都应了解它的类型、结构特点、优缺点和应用范围;掌握对其工作情况的分析和可能的失效形式,以及保证该零部件工作能力的计算准则、计算方法和公式;掌握公式中各系数的物理概念、各参数的选择原则及对设计结果的影响;掌握零部件的设计步骤和进行结构设计的原理和方法;了解公式的推导思路,对复杂的公式不要求死记硬背。

由于机械设计是多学科的综合应用,所以与学习理论性的基础课程有明显的不同。学生

在初学本课程时,会有一个逐渐适应的过程。建议学完一章之后,自己做一个小结,以便逐步掌握各种零部件的分析方法和设计规律。

本书每一章后的习题中有一些思考题,它将帮助学生学习教材内容,检查掌握教材内容的情况。

## 2. 把主要注意力放在提高分析问题和解决问题的能力上

机械设计要解决的都是实际问题,因此,在掌握课程内容的基础上,要去分析实际问题和解决实际问题,特别是要逐步熟悉工程中分析问题和解决问题的方法和步骤。为此,必须注意以下两点。

(1) 由于生产实际中的问题比较复杂,影响设计的因素很多,零件设计往往不能单纯由理论计算去解决。有些系数和数据是根据一定条件下的实验得来的,有时还要用到经验或半经验公式。因此,要注意系数、数据和公式的应用范围和使用条件,在确定零部件形状和尺寸时要考虑各零部件之间的相互联系和协调,并重视结构设计的作用。

(2) 大部分零部件的设计问题往往有多个解法,即可能有多种方案来完成同一功能。因此,要逐步学会从各种可能的解答中通过评价找出最佳解法。

## 3. 重视实践,多作练习

本课程是实践性很强的课程,绝不可认为字面上懂了就掌握了。要独立去完成练习题和设计作业;要高度重视本课程的课程设计;要多练习徒手画结构图或轴测图以表达自己的设计构思;要到现场去观察和分析实际机器及零件的形式、结构、特点和应用情况,了解其出现过的问题,以逐步积累实际知识和建立实际概念。

## 4. 注意自学能力的提高

科技发展很快,新结构、新材料、新方法(工艺方法和设计方法)的不断涌现,以及计算机的应用,正在日新月异地改变着设计的面貌。因此,建议学生不仅在学习教材时要培养自学能力,而且提倡在老师指导下,多看参考文献,以掌握新的信息。

## 5. 注意培养自己创造性设计的能力

本课程所阐述的内容、方法和结构在目前是具有典型性的,也是应该掌握的。但是,要求学生有不以现有的结构和方法为满足的愿望,鼓励大胆地提出新的设想,并且要有把创新构思的想象变为图纸和实物的能力。

在我国大力推进科教兴国和科技创新机制的重要历史时期,我们一定要学好机械设计的基本理论、基本知识和基本技能,努力成为现代社会需要的高素质机械设计人才,用先进的设计方法不断创新开发出现代化的机器,为促进我国机械工业的发展和社会主义现代化建设做出应有的贡献。

