

国家级精品课程主干教材
中国科学院机械工程系列规划教材



机械设计

孙志礼 马星国
黄秋波 闫玉涛

主编



科学出版社
www.sciencep.com

TH122/402=2

2008

内容简介

国家级精品课程主干教材
中国科学院机械工程系列规划教材

机械 设计

孙志礼 马星国 黄秋波 闫玉涛 主编

图号(CIP)目录题查计图

2008. 机械工业出版社, 北京. 1. 主编: 孙志礼. 机械设计
(国家级精品课程主干教材, 中国科学院机械工程系列规划教材)
ISBN 7-03-023981-9
I. ①机... II. ①孙... III. ①机械...
中国图书馆(CIP)数据(2008)第01495号

责任编辑: 孙志礼, 孙志礼, 孙志礼

地址: 北京西城德胜门内大街

机械工业出版社

北京德胜门内大街

010-68995100

科学出版社

北京

(地址: 北京德胜门内大街, 邮编: 100088)

内 容 简 介

本书为国家级精品课程“机械设计”的主干教材，也是国家级工科机械基础课程教学基地规划教材。本书是根据教育部课程教学指导委员会审定通过、教育部批准的高等工业学校《机械设计课程教学基本要求》编写而成。

全书共分 15 章。绪论介绍了机械的组成和机械设计的一般步骤以及本课程研究的内容、性质和任务。第 1 章介绍了机械零件设计的基础知识。第 2 章~第 12 章分别介绍了联接件、传动件、轴系零(部)件及弹簧的工作原理、特点、设计计算方法及标准件的选用原则等。第 13 章从整体的角度介绍了机械系统设计时应考虑的问题及设计原则。第 14 章简要介绍了机械可靠性设计、优化设计、计算机辅助设计和摩擦学设计等现代设计方法，以拓宽设计思路。

本书可作为高等工业学校机械类各专业机械设计课程的教材，也可供有关专业的师生和工程技术人员设计时参考。

本书另配有《机械设计习题与解题分析》。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/孙志礼等主编. —北京:科学出版社,2008
(国家级精品课程主干教材·中国科学院机械工程系列规划教材)
ISBN 978-7-03-020984-9

I. 机… II. 孙… 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(2008)第 011629 号

责任编辑:段博原 于宏丽/责任校对:李奕莹

责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 3 月第一次印刷 印张: 26 1/4

印数: 1—4 000 字数: 510 000

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

中国科学院机械工程系列规划教材

编写委员会

顾 主 委	问	闻邦椿			
	编	谢里阳			
	员	(以姓氏笔画为序)			
		马星国	王玉良	王世杰	王淑仁
		刘 杰	巩云鹏	巩亚东	孙志礼
	李为民	李树军	李景春	宋锦春	
	陈良玉	柳洪义	黄秋波		

丛 书 序

装备制造业是我国国民经济中的重要基础工业。机械装备为各类产品的物化提供平台和载体,机械装备的技术水平是衡量社会生产力水平的重要标志,机械科学、机械工程技术和机械工业的发展水平对经济建设和社会发展的作用都至关重要。

目前,世界机械工业产值达到了总工业产值的1/3以上。我国制造业增加值在国内生产总值所占的比重高达40%,我国的财政收入一半也来自制造业。随着我国加入WTO,经济越来越融入到全球经济体系中,我国的制造业在世界制造业中的地位越来越重要,并正从制造大国迈向制造强国。至少在21世纪的前20年,制造业将仍然是我国国民经济增长的主要来源,因此需要大批综合素质高、能力强的机械类专业人才。

另外,我国高等教育从精英型教育阶段进入了大众型教育阶段,实现了高等教育的历史性的跨越式发展,技术的进步和社会的发展也对高等院校机械工程专业的人才培养提出了新的要求。

为此,中国科学院教材建设专家委员会和科学出版社组织我国机械工程领域的中国科学院院士、教育部教学指导委员会成员、教学名师以及经验丰富的专家教授组成编委会,共同组织编写了这套《中国科学院机械工程系列教材》,以适应我国高等机械工程教育事业的发展,更好地实现机械工程类专业人才的培养目标,在规模上、素质上更好地满足我国机械科学技术和机械工业发展的需要,为建设创新型国家做出贡献。

本套教材主要有以下几方面的特点:

(1) 适应多层次的需要。本套教材依据教育部相关教学指导委员会制定的最新专业规范和机械基础课程最新的教学基本要求,同时吸取不同层次学校教师的意见,进行了教材内容的编排与优化,能够达到各类型高校学生的培养目标。

(2) 结构体系完备。各门课程的知识之间相互衔接,以便学生完整掌握学科基本概念、基本理论,了解学科整体发展趋势。本套教材除主教材外,还配套有辅导书、多媒体课件、习题集及网络课程等。

(3) 作者经验丰富。参加本套教材编写的人员不少来自相关国家重点学科、国家机械教学基地的院校,有些还是国家级、省部级教学成果奖完成人,国家级、省级精品课程建设负责人以及相关院校的骨干教师代表。

(4) 理论与实际相结合,加强实践教学。在达到掌握基本理论、基本知识、

基本技能的教学要求前提下，注重例题、设计实践和实验教学，着力于学生分析问题能力、创新能力和实际动手能力的培养。

另外，为了保证本套教材的质量，编委会聘请国内知名的同行专家对教材进行了审定。

我们还将根据机械科学与工程学科发展的战略要求，对本套教材不断地补充、更新，以保持本套教材的系统性、先进性和适用性。

我们热忱欢迎全国同行以及关注机械科学与工程教育、教学及教材建设的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议，一道为我国机械工程教育的发展而努力。

中国科学院院士

阎邦椿

2006年5月

前 言

本书是根据最新的教育部机械基础课程教学指导部委员会审定通过、教育部批准的高等工业学校《机械设计课程教学基本要求》编写而成的，它可作为机械类各专业机械设计课程的教学用书，也可供其他专业的师生和工程技术人员进行机械设计时参考。

本书是机械设计系列教材之一，是机械类各专业机械设计课程的主教材。

在本书编写过程中，本着“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的精神，突出本门课程所必需的基本理论、基本知识和基本技能，以满足教学基本要求为前提，精选编写内容。为了充分利用计算机这个现代化计算工具进行设计，本书将很多图、表代之以公式表述，同时还增加了其他传动件设计、机械系统设计和现代机械设计方法简介。主要是为了拓宽学生的知识面，对现代设计方法有所了解，同时也使学生对机械设计有一个整体的概念。

本书采用最新国家标准和资料，并采用我国法定计量单位。

本书编写人员：孙志礼（第0、1、6~8、10~14章），马星国（第5章），黄秋波（第4章），闫玉涛（第2、3、9章）等。

本书由孙志礼、马星国、黄秋波、闫玉涛担任主编，由鄂中凯教授任主审。

限于编者的水平，书中难免有不妥之处，殷切希望广大读者批评指正，以便再版时修改。

编 者

2007年9月

目 录

从书序

前言

第 0 章 绪论	1
0.1 机械的组成	1
0.2 机械设计的一般程序	2
0.3 机器应满足的基本要求	3
0.4 本课程的研究对象、主要内容、性质和任务	3
0.5 本课程的特点和学习方法	4
第 1 章 机械零件设计的基础知识	6
1.1 机械零件设计的一般步骤	6
1.2 机械零件的主要失效形式及计算准则	6
1.3 载荷及应力的分类	9
1.4 静应力时机械零件的强度计算	11
1.5 变应力时机械零件的强度计算	14
1.6 机械零件的材料及选用原则	28
1.7 机械零件的工艺性和设计的标准化	29
附录	32
第 2 章 螺纹联接	35
2.1 概述	35
2.2 螺纹	35
2.3 螺纹联接的类型和标准联接件	38
2.4 螺纹联接的预紧和防松	43
2.5 螺栓组联接的结构设计及受力分析	48
2.6 单个螺栓的强度计算	55
2.7 提高螺栓联接强度的措施	63
第 3 章 轴毂联接	71
3.1 键联接	71
3.2 花键联接	75
3.3 销联接	78

3.4	过盈配合联接	80
3.5	型面联接和胀紧联接	88
第4章	挠性件传动	90
4.1	带传动概述	90
4.2	带传动的工作情况分析	94
4.3	带传动的设计准则和单根 V 带能传递的功率	101
4.4	V 带传动设计	103
4.5	其他带传动简介	110
4.6	链传动的特点、类型及应用	113
4.7	滚子链与链轮	115
4.8	链传动的运动特性	119
4.9	链传动的失效形式及功率曲线图	121
4.10	滚子链传动的设计计算	124
4.11	链传动的布置、张紧与润滑	128
第5章	齿轮传动	132
5.1	齿轮传动的失效形式和计算准则	132
5.2	齿轮材料	136
5.3	齿轮传动的载荷计算	139
5.4	标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	143
5.5	齿轮精度、设计参数选择及许用应力	150
5.6	标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	161
5.7	标准直齿锥齿轮传动的强度计算	168
5.8	变位齿轮传动的强度计算	171
5.9	齿轮传动的润滑	172
第6章	蜗杆传动	175
6.1	蜗杆传动的类型、特点及应用	175
6.2	圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	180
6.3	蜗杆传动的失效形式、计算准则及常用材料	186
6.4	圆柱蜗杆传动的受力分析和计算载荷	187
6.5	圆柱蜗杆传动的承载能力计算	189
6.6	蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	193
第7章	其他传动	200
7.1	螺旋传动	200

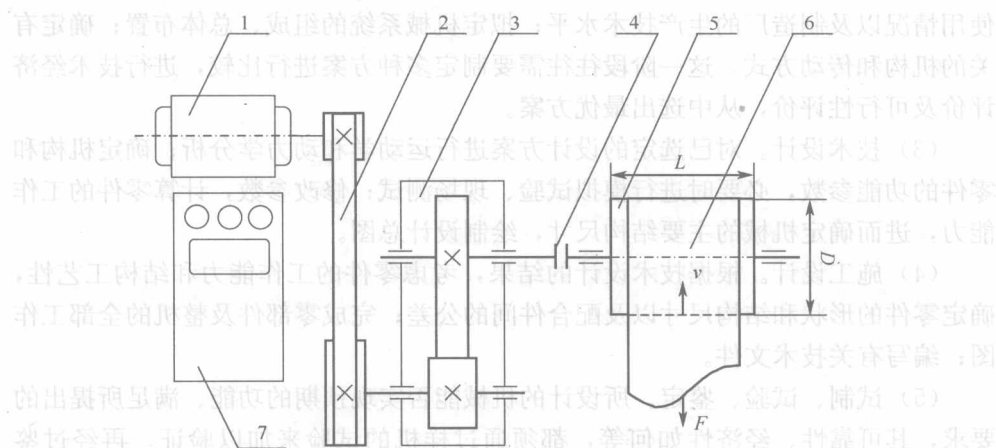
7.2	圆弧齿轮传动	205
7.3	摩擦轮传动与无级变速器	215
7.4	摆线针轮行星传动	222
第 8 章 轴		230
8.1	概述	230
8.2	轴的材料	231
8.3	轴的结构设计	234
8.4	轴的强度计算	240
8.5	轴的刚度计算	244
8.6	轴的共振和临界转速的概念	245
第 9 章 滚动轴承		246
9.1	概述	246
9.2	常用滚动轴承类型、代号及选择	247
9.3	滚动轴承内部载荷分布及失效分析	254
9.4	滚动轴承寿命计算	256
9.5	滚动轴承的静强度计算	265
9.6	滚动轴承的组合设计	266
第 10 章 滑动轴承		277
10.1	概述	277
10.2	润滑油的黏度	277
10.3	流体动压润滑的基本理论	280
10.4	单油楔向心动压轴承设计计算	284
10.5	滑动轴承设计参数选择	295
10.6	液体动压推力轴承的设计计算	297
10.7	非液体摩擦轴承的计算	301
10.8	滑动轴承的结构类型	303
10.9	轴承材料与轴瓦结构	306
10.10	滑动轴承的润滑	313
第 11 章 联轴器、离合器和制动器		320
11.1	概述	320
11.2	联轴器	320
11.3	操纵式离合器	330
11.4	自动离合器	335

第0章 绪论

机械是人类进行生产的主要劳动工具。它可以代替或减轻人的体力劳动，改善劳动条件，提高生产率和产品质量。此外，只有使用机械才能进行大批量生产，并对生产进行严格的分工与科学化管理；也只有使用机械，才便于实现产品的标准化、系列化和通用化，尤其是便于实现高度的机械化、电气化和自动化。因此，机械工业在为国民经济各部门提供技术装备和促进技术改造中起到了重要的作用，它是国民经济中的一个重要部分。机械工业的发展促进了国民经济的发展，推动了我国的社会主义现代化建设。可以说，机械工业的发展水平反映了一个国家和地区的社会生产力发展水平。

0.1 机械的组成

在生产和生活中，人们使用着各种各样的机械，如汽车、机床、起重机、运输机、洗衣机等。尽管这些机械的构造、用途和性能千差万别，但一般都是由原动机、传动装置、工作机和控制装置四部分组成的。例如，图 0-1 所示的带式运输机就是由这四部分组成的机械。



1-电动机； 2-V带传动； 3-齿轮传动； 4-联轴器； 5-卷筒； 6-运输胶带； 7-控制系统

图 0-1 带式运输机

再，原动机是机械设备工作的动力来源，大部分原动机是电动机、内燃机、燃气轮机和柴油机等，而电动机是最为常用的一种原动机。工作机是直接完成预期功

能的执行装置,如带式运输机中的卷筒和运输带,机床中的加工刀具等。传动装置则是将原动机的运动和动力传递给工作机的装置,主要作用是协调原动机和工作机在运动形式、转矩和转速方面的不同,使之达到匹配的作用。传动装置大多是机械传动,有些场合使用的是液压传动、气压传动和电力传动,本教材仅介绍常用的机械传动装置。控制系统是根据机械系统的不同工况对原动机、传动装置和工作机实施控制的装置。

从制造和装配方面来分析,任何机械都是由许多机械零部件组成的。机械零件是机械制造过程中单独加工的单元体,而机械部件则是机械制造过程中为完成同一目的而由若干协同工作的零件组合在一起的组合体。凡在各类机械中经常用到的零部件称为通用零部件,如螺栓、齿轮、轴、轴承、联轴器以及减速器等;而只有在特定类型的机械中才能用到的零部件称为专用零部件,如涡轮机上的叶片、内燃机中的曲轴、洗衣机中的波轮等。

0.2 机械设计的一般程序

一部新机械从着手设计到制造出来,大致要经过以下六个阶段:

(1) 制定设计工作计划。根据社会、市场的需求确定所设计机械的功能范围和性能指标;根据现有的技术、资料及研究成果研究其实现的可能性,明确设计中要解决的关键问题;拟定设计工作计划和任务书。

(2) 方案设计。按设计任务书的要求,了解、分析同类机械的设计、生产和使用情况以及制造厂的生产技术水平;拟定机械系统的组成、总体布置;确定有关的机构和传动方式。这一阶段往往需要制定多种方案进行比较,进行技术经济评价及可行性评价,从中选出最优方案。

(3) 技术设计。对已选定的设计方案进行运动学和动力学分析;确定机构和零件的功能参数,必要时进行模拟试验、现场测试;修改参数,计算零件的工作能力,进而确定机械的主要结构尺寸,绘制设计总图。

(4) 施工设计。根据技术设计的结果,考虑零件的工作能力和结构工艺性,确定零件的形状和结构尺寸以及配合件间的公差;完成零部件及整机的全部工作图;编写有关技术文件。

(5) 试制、试验、鉴定。所设计的机械能否实现预期的功能、满足所提出的要求,其可靠性、经济性如何等,都须通过样机的试验来加以验证。再经过鉴定,进行科学地评价以确定是否可以投产或进行必要的改进设计。

(6) 定型产品设计。经过试验和鉴定,对设计进行必要的修改后,可进行小批量的试生产。经过实际条件下的使用,将取得的数据和使用意见反馈回来,再进一步修改设计,即定型产品设计,然后正式投产。

实际上整个机械设计的各个阶段是互相联系的,在某个阶段发现问题后,必须返回到前面的有关阶段进行设计的修改。整个机械设计过程是一个不断修改、不断完善以至逐渐接近最佳结果的过程。

0.3 机器应满足的基本要求

机器应满足的要求有以下几个方面:

(1) 具有预定功能的要求。所设计制造的机器必须实现预定的解决生产或生活问题的功能,这是机器设计的最基本出发点。为使所设计的机器具有预定功能,合理选择机器的工作原理是最重要的。显然,预定实现的功能不同,设计的要求也不同。

(2) 经济性要求。机器的经济性是一个综合指标,在产品的设计、制造、使用、销售、维修、管理等各个环节均有所体现。总之,经济性要求就是在满足功能要求的前提下使机器的总费用最低。

(3) 安全性要求。在机器的设计阶段就必须对机器的使用安全予以足够的重视。简单地讲,安全就是指使用机器的人的安全及机器工作时本身的安全。因此,要采取各种各样的防护措施,如防护罩、过载保护装置、连锁闭合装置等。

(4) 可靠性要求。简单地讲,可靠性就是机器在使用中性能的稳定性,是机器的一个重要质量指标。可靠性水平高,说明机器在使用过程中发生故障的概率小,能正常工作的时间长。

(5) 操作使用方便的要求。机器的工作和人的操作密切相关。在设计机器时必须注意操作要轻便省力、操作机构要适应人的生理条件、机器的噪声要小、有害介质的泄漏要少等。

此外,对有些机器还有一些特殊要求,如食品机械要防止污染、建筑机械要便于拆装和搬运、交通运输机械要重量轻等。设计机器时,在满足基本要求的前提下还要满足这些特殊要求,以提高机器的使用性能和保证机器的工作质量。

0.4 本课程的研究对象、主要内容、性质和任务

0.4.1 本课程研究的对象及主要内容

机械设计的任务是根据使用要求,应用各种有关的先进科学理论和技术成果,创造一个在技术上尽可能先进、经济上合理、外形上美观大方的具体机械。然而,本课程不可能涵盖机械设计的所有内容,也不是讲某种机械的设计,而是介绍机械设计中的基本共性问题。由于机械零件是组成机械的基本单元,而通用机械零件又是在各种机械中都能经常遇到的,因此,本课程将重点研究在一般工

作条件下,通用机械零件的设计理论及设计方法。同时,也介绍这些零件的类型、特点、工作原理、失效形式、应用范围等方面的知识。具体内容包括:

(1) 机械设计的基础知识。从机械的整体出发,阐述机械设计共性内容,介绍有关的基础理论。

(2) 联接零件设计。介绍螺纹联接、轴毂联接的设计。

(3) 传动零件设计。介绍带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动、摩擦传动、摆线针轮行星传动的设计。

(4) 轴系零部件设计。介绍轴、滑动轴承、滚动轴承和联轴器、离合器以及制动器的设计。

(5) 其他零部件设计。主要介绍弹簧的设计。

(6) 系统设计。主要介绍系统的方案设计及创新设计的方法。

(7) 机械设计新方法。简单介绍现代设计方法,包括可靠性设计、优化设计、计算机辅助设计(CAD)和摩擦学设计。

0.4.2 本课程的性质和任务

本课程是一门论述机械设计理论,研究机械设计方法的课程。它是学习机械工程、从事机械工程设计的基础。在教学计划安排上,它起到由基础理论课向工程专业课过渡的承上启下的作用。它是综合运用先修课的知识来解决机械工程中设计问题的技术基础课。

本课程的主要任务有:

- (1) 培养学生树立正确的设计思想,了解国家当前的技术经济政策。
- (2) 使学生掌握设计机械所必需的基本知识、基本理论和基本技能,具有设计机械传动装置和一般工作机的能力。同时,培养学生具有一定的创新意识和创新能力。
- (3) 培养学生具有正确运用标准、规范、手册及其他有关技术资料的能力。
- (4) 使学生掌握典型零件的试验方法,获得试验技能的基本训练。
- (5) 使学生了解机械设计的新发展。

0.5 本课程的特点和学习方法

由于本课程是一门综合性和实践性都很强的设计基础课,因此,在学习本课程时必须掌握本课程的特点,在学习方法上应尽快完成由单科向综合、由抽象向具体、由理论到实践的思维方式的转变。在学习本课程时应注意以下几点:

(1) 理论联系实际。本课程研究的对象是各种机械中的零部件,只有从整机分析入手,才能设计出满足实际要求的机械零部件,才能设计出性能优良的机

械。因此,无论是学习课程还是进行机械设计都必须了解机械的工作条件和要求,从方案选择到参数选择和结构设计都要联系实际。

(2) 抓住设计这条主线,掌握设计规律。本课程的内容看似杂乱无章,但在设计时却都要遵循相同的设计规律,这一规律表现在设计机械零部件时所考虑的问题及设计程序一般都是相同的,即

类型选择—工作原理—失效形式—设计准则—计算方法—结构设计

只要抓住设计这条主线,就能把本课程的各章内容贯穿起来。因此,学习本课程时一定要抓住设计这条主线,熟练掌握设计机械零部件的一般规律。

(3) 培养解决工程实际问题的能力。进行多因素的分析、设计参数多方案的选择、经验公式或经验数据的选用及结构设计,在解决工程实际问题中是经常遇到的问题,也是学生在学习本课程中的难点。因此,在学习本课程时一定要尽快适应这种情况,按解决实际问题的思维方法,努力培养自己的机械设计能力,特别是要学会不断修改、逐步完善的设计方法。此外,机械零部件的设计往往受多种因素的制约,应选出一个主要制约条件确定计算准则,据此确定零件的尺寸后,再进行其他制约条件的校核,使零件尺寸满足所有制约条件。还有一点必须注意,就是机械零件的尺寸并不是完全都由计算得来的,而是在计算得到主要尺寸后,通过结构设计确定其余的所有尺寸。因此,结构设计能力的培养也是非常重要的一个方面。

(4) 综合运用先修课程的知识。本课程介绍的各种机械零部件的设计,从分析研究到设计计算,直到完成零部件工作图,都要用到多门先修课程的知识,因此,对有关先修课程要牢牢掌握,做到融会贯通、综合应用。

第 1 章 机械零件设计的基础知识

1.1 机械零件设计的一般步骤

为了满足机器的各项要求,必须以组成机器的机械零件的正确设计和制造为前提。零件设计的好坏,将对机器使用性能的优劣起着决定性的作用。

由于零件种类不同,其具体的设计步骤也不一样,但一般可按下列步骤进行:

(1) 类型选择。根据使用条件、载荷性质及尺寸大小选择零件的类型。为此,必须对各种常用机械零件的类型、特点及适用范围有明确的了解。

(2) 受力分析。通过受力分析求出作用在零件上的载荷,以便进行设计计算。

(3) 选择材料。根据零件工作条件及受力情况,选择合适的材料,并确定计算中的许用应力等。

(4) 确定计算准则。根据失效分析,确定出零件的设计计算准则。

(5) 理论设计计算。由设计准则所得到的设计计算公式,确定出零件的主要几何尺寸和参数。

(6) 结构设计。根据功能要求、加工及装配工艺性要求、强度要求等进行零件的结构设计,确定出其结构尺寸。

(7) 精确校核。零件全部设计完成后,对有些重要的零件应进行详细的校核计算,以判定结构的合理性。

(8) 绘制零件工作图。理论设计和结构设计最终都要通过零件工作图体现出来。在工作图上除了标注详细的零件尺寸外,还需要对零件的配合尺寸等标注尺寸公差及必要的形位公差,标注表面粗糙度及技术条件等。

(9) 编写设计计算说明书。将设计计算的资料整理成简练的设计计算说明书,作为技术文件之一备查。

1.2 机械零件的主要失效形式及计算准则

1.2.1 机械零件的主要失效形式

机械零件在规定的时间内,在规定的条件下,不能完成规定的功能称为失效。常见的失效形式主要有以下几种: