



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

机械原理与机械设计 (下册)

范元勋 梁医 张龙 主编

中国机械工程学科教程研究组

China Mechanical Engineering Curricula

中国机械工程学科教程

清华大学出版社

清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

机械原理与机械设计 (下册)

范元勋 梁医 张龙 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会发布的“机械原理和机械设计课程教学基本要求”(2009年),结合当前教学改革和人才培养的要求编写的。

全书分上下册,本书为下册,为机械设计部分共17章,内容包括:机械设计概论,机械零件强度,摩擦、磨损和润滑,螺纹联接,轴毂联接,铆接、焊接和胶接,螺旋传动,带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动,轴,滑动轴承,滚动轴承,联轴器、离合器和制动器、弹簧,机架和导轨的结构设计。每章内容包含了重点与难点、章节内容、拓展性阅读文献指南、思考题和习题等,对常用专业名词给出了对应的英文注释。

本书可作为高等学校机械类各专业的机械原理和机械设计课程或者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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与机械设计.下册/范元勋,梁医,张龙主编.--北京:清华大学出版社,2014

中国机械工程学科课程配套系列教材暨教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

ISBN 978-7-302-35305-8

I. ①机… II. ①范… ②梁… ③张… III. ①机构学—高等学校—教材 ②机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH111 ②TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第018936号

责任编辑:庄红权

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25 字 数:605千字

版 次:2014年4月第1版 印 次:2014年4月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00元

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校
机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

编 委 会

顾 问
李培根院士

主任委员
陈关龙 吴昌林

副主任委员
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书
庄红权

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理、也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况下,甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

前 言

FOREWORD

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会发布的“机械原理课程教学基本要求”和“机械设计课程教学基本要求”(2009年),结合当前教学改革和机械类创新人才培养的要求,总结近几年教学实践的经验,在对原机械设计基础(上、下)教材进行适当扩充和修订的基础上编写的。教材适用于高等工科院校机械类各专业学时调整后的机械原理和机械设计课程教学,课内教学为100学时左右。教材修订时在体系和内容编排上主要有如下一些考虑:

(1) 为方便教学计划的实施,本书分上、下两册,即上册为机械原理的内容,下册为机械设计的内容,可分为两个学期来实施,但教材在编排时注意了内容的系统性,以机械设计为主线编排各篇和章节的内容。

(2) 注意对学生创造性思维能力和实际设计能力的培养,重视工程应用背景的介绍。

(3) 注意将课程的各局部知识点,放到机械整体设计的全局中考虑,培养学生的整体和系统观念,提高学生对机械设计知识的综合应用能力。

(4) 适应机械工业发展的要求,增加了反映机械设计技术发展成果的内容介绍,如机器人机构学、机械系统设计、主动磁轴承等,充实了机构解析法设计的内容。

(5) 尽量简化和避免烦琐、冗长的计算和公式推导,而注意突出基本原理、基本设计思想、基本结构特点和应用知识的介绍。

(6) 方便学生的自学和拓展性学习,每章配有重点、难点、思考题和扩展性阅读参考文献。

(7) 尽量采用了最新的国家标准和规范。

本书分为上、下两册。参加上册编写的有:范元勋(第1、6章和第7章部分内容)、祖莉(第2、3章)、梁医(第4、5章)、张庆(第8~11章)、张龙(第7章部分内容)、宋梅利(第12、13章);参加下册编写的有:范元勋(第1~3、13、14章)、宋梅利(第4、8章)、张庆(第5、6章)、祖莉(第7、11章)、张龙(第9、10章)、梁医(第12、15~17章)。上册由范元勋、张庆主编,下册由范元勋、梁医和张龙主编。全书由范元勋统稿。

教研室的研究生帮助绘制了本书的部分插图,本书前主编之一王华坤教授作为主审对本书的编写提供了许多有益的意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平和时间的限制,书中的缺点、错误仍在所难免,编者殷切希望各方面专家及读者提出批评和改进意见。

编者

2013年12月

第 1 篇 机械设计总论

第 1 章 机械设计概论	2
1-1 机械设计课程的性质与任务	2
1-2 机械设计的基本要求及设计程序	4
1-3 机械零件的主要失效形式和设计计算准则	7
1-4 机械零件常用材料及其选择原则	9
1-5 现代机械设计理论与方法及机械设计新进展	12
拓展性阅读文献指南	13
思考题	13
第 2 章 机械零件的强度	14
2-1 载荷与应力的分类	14
2-2 静应力时机械零件的强度计算	16
2-3 机械零件的疲劳强度计算	17
2-4 机械零件的接触强度	35
拓展性阅读文献指南	37
思考题	37
习题	37
第 3 章 摩擦、磨损及润滑	39
3-1 概述	39
3-2 摩擦	39
3-3 磨损	43
3-4 润滑	46
拓展性阅读文献指南	53
思考题	53

第 2 篇 联 接

第 4 章 螺纹联接	56
4-1 螺纹	56
4-2 螺纹联接的类型及螺纹联接件	59
4-3 螺纹联接的预紧和防松	64
4-4 单个螺栓联接的强度计算	67
4-5 螺栓组联接的设计与受力分析	76
4-6 提高螺纹联接强度的措施	81
拓展性阅读文献指南	86
思考题	86
习题	86
第 5 章 轴毂联接	88
5-1 键联接	88
5-2 花键联接	93
5-3 无键联接	96
5-4 销联接	97
5-5 过盈配合联接	99
拓展性阅读文献指南	100
思考题	100
习题	100
第 6 章 铆接、焊接与胶接	101
6-1 铆接	101
6-2 焊接	103
6-3 胶接	105
拓展性阅读文献指南	108
思考题	108

第 3 篇 机 械 传 动

第 7 章 螺旋传动	112
7-1 螺旋传动的类型、特点及应用	112
7-2 滑动螺旋传动	113
7-3 滚动螺旋传动	118

7-4 静压螺旋传动简介	120
拓展性阅读文献指南	121
思考题	121
习题	122
第 8 章 带传动	123
8-1 概述	123
8-2 带传动工作情况分析	127
8-3 V 带传动的设计计算	132
8-4 V 带轮设计	141
8-5 带的张紧与维护	145
8-6 其他新型带传动简介	146
拓展性阅读文献指南	148
思考题	148
习题	148
第 9 章 链传动	149
9-1 概述	149
9-2 传动链的结构特点	150
9-3 滚子链链轮的结构和材料	153
9-4 链传动的几何计算	157
9-5 链传动的运动特性	157
9-6 链传动的受力分析	159
9-7 链传动的失效形式及承载能力	161
9-8 链传动的设计计算	163
9-9 链传动的布置、张紧及润滑	165
拓展性阅读文献指南	168
思考题	168
习题	168
第 10 章 齿轮传动	169
10-1 概述	169
10-2 齿轮传动的失效形式与设计准则	170
10-3 齿轮材料及热处理	173
10-4 齿轮传动的计算载荷	175
10-5 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	182
10-6 齿轮传动的设计参数、许用应力与精度选择	187
10-7 标准斜齿圆柱齿轮传动强度计算	197
10-8 标准圆锥齿轮传动强度计算	204

10-9	变位齿轮传动强度计算特点	208
10-10	齿轮的结构设计	209
10-11	齿轮传动的润滑	212
10-12	其他齿轮传动简介	214
	拓展性阅读文献指南	216
	思考题	216
	习题	217
第 11 章	蜗杆传动	218
11-1	蜗杆传动的类型及特点	218
11-2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算	222
11-3	普通圆柱蜗杆传动承载能力计算	228
11-4	蜗杆传动的滑动速度及效率	233
11-5	蜗杆传动的润滑及热平衡计算	235
11-6	普通圆柱蜗杆、蜗轮的结构设计	237
11-7	圆弧圆柱蜗杆传动简介	240
	拓展性阅读文献指南	243
	思考题	243
	习题	243
第 4 篇 轴系零、部件		
第 12 章	轴	246
12-1	概述	246
12-2	轴的结构设计	249
12-3	轴的强度计算	253
12-4	轴的刚度及振动稳定性	257
12-5	提高轴的强度与刚度的措施	264
	拓展性阅读文献指南	267
	思考题	267
	习题	268
第 13 章	滑动轴承	270
13-1	概述	270
13-2	径向滑动轴承的主要类型	270
13-3	滑动轴承的材料及轴瓦结构	272
13-4	滑动轴承的润滑	277
13-5	非全液体润滑滑动轴承的计算	280

13-6 液体动力润滑径向滑动轴承的设计计算	281
13-7 其他型式滑动轴承简介	293
拓展性阅读文献指南	296
思考题	296
习题	297
第 14 章 滚动轴承	298
14-1 概述	298
14-2 滚动轴承的类型与选择	300
14-3 滚动轴承的受力分析、失效形式及计算准则	308
14-4 滚动轴承的动载荷和寿命计算	312
14-5 滚动轴承的静载荷与极限转速	318
14-6 滚动轴承的组合结构设计	322
拓展性阅读文献指南	331
思考题	332
习题	332
第 15 章 联轴器、离合器和制动器	334
15-1 联轴器	334
15-2 离合器	342
15-3 制动器	347
拓展性阅读文献指南	348
思考题	349
习题	349
第 5 篇 其他零、部件	
第 16 章 弹簧	352
16-1 概述	352
16-2 弹簧的材料和制造	355
16-3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	357
16-4 圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算	365
16-5 其他类型弹簧简介	367
拓展性阅读文献指南	369
思考题	369
习题	370

第 17 章 机架和导轨的结构设计	371
17-1 机架及其结构设计	371
17-2 导轨及其结构设计	376
拓展性阅读文献指南	384
思考题	384
参考文献	385

第 1 篇 机械设计总论

本篇简要阐述机械设计课程的性质、任务及机械设计过程中涉及的一些共性问题,内容包括机械设计概论、机械零件的强度和摩擦、磨损及润滑共 3 章。

本篇的目的在于了解课程的性质、特点、任务,引出与机械零件与系统设计相关的共性、基础性、原则性的问题以及解决问题的一般原则与方法。而这些问题和解决的方法将贯穿于后续各篇的具体章节中。因此,本篇内容对后续各章内容的学习有引领的作用。

第 1 章

机械设计概论

内容提要：本章内容包括机械设计课程性质和任务、机械设计的一般程序、零件的失效形式和计算准则、材料选择原则及现代机械设计的理论方法和新进展等。首先介绍了课程研究对象、性质和学习方法，对机械系统和零件设计的要求和过程进行了阐述。针对常见的机械零件的失效形式，介绍了一些最基本的设计准则：强度、刚度、耐磨性、振动、耐热性和可靠性等准则。材料是机械设计的重要环节，本章第 4 节介绍了机械制造常用和最新的材料和选用原则。本章最后简要介绍了机械设计的现代理论与方法及最新进展，以期拓展同学的学习视野。

本章重点：了解课程的研究对象，掌握学习方法。对机械设计的过程、要求、基本准则和常用材料选择原则形成概念。掌握机械零件“标准化、系列化、通用化”的概念。对机械设计的新理论和新方法有所了解。

1-1 机械设计课程的性质与任务

机器(machine)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工具。机械(machinery)是机器和机构(mechanism)的总称。使用机械进行生产的水平是衡量一个国家的技术水平和现代化程度的重要标志之一。

随着科学技术的进步和生产的发展，国民经济的各个生产部门正日益要求实现机械化和自动化，我国的机械产品正面临更新换代，要求上质量、上水平、上品种，提高经济效益的局面。随着全球经济的一体化，我国的机械产品不可避免地要参与同世界上先进国家机械产品的竞争，因此设计、制造更先进的、高质量的机械产品成了我国的机械设计与制造工作者所面临的紧迫任务，时代对机械设计工作者提出了更新、更高的要求。

在一部现代化的机器中，往往会包含着机械、电气、液压、气动、控制、监测等系统的部分或全部，但是机器的主体仍然是机械系统。任何一部机器，它的机械系统总是由一些机构组成，每个机构又是由许多零件组成。组成机器的不可拆的基本单元称为机械零件(machine elements)或简称零件；为完成特定的功能在结构上组合在一起并协同工作的零件组合称为部件(mechanical components)，如联轴器、轴承、减速器等。机械零件一般泛指零件与部件。

各种机器中普遍使用的零件称通用零件(universal componens)，如螺钉、键、带、齿轮、轴、弹簧等；只在特定的机器上使用的零件称为专用零件(special components)，如发动机的曲轴、汽轮机的叶片、船用螺旋桨等都是专用零件。

在不同类型、不同规格的各种机器中，将同类零件或部件的结构型式、尺寸、材料等限定

在合理的数量范围内,称为**标准化**(standardization)。按规定标准生产并给以标准代号的零件和部件称为**标准件**(standard components),不按规定标准生产的零件和部件称为**非标准件**。国家现有的标准有国家标准(代号 GB),部颁标准(代号 YB、JB 等)和地方、企业标准。出口产品采用国际标准(International Organization for Standardization, ISO)或进口国的国家或行业标准。根据要求,按一定规律优化组合零、部件系列,称为**系列化**。系列化是标准化的重要内容,如螺栓系列、滚动轴承的类型和尺寸系列等。最大限度地减少和合并零、部件的型式、尺寸和材料品种等,称为**通用化**(universalization)。通用化可以减少一台机器或企业内部零部件的种数,从而可简化生产管理和提高经济效益。标准化、系列化、通用化通称“三化”。机械产品实现“三化”有利于使产品实现优质、高产、低消耗和高效益,并有利于缩短产品的开发试制周期和便于产品的更新换代,所以一个机械产品“三化”程度的高低是评价产品优劣的重要指标之一。

机械设计是为了满足机器的某些特定功能要求而进行的创造性工作,即应用新的原理或新的概念,开发创造出新的产品;或对现有机器局部进行创造性的改革,如改进不合理的结构、增加或减少机器的功能、提高机器的效率、降低机器能耗、变更机器的零件、改用新材料等。

本课程在简单介绍机器设计基本知识的基础上,主要研究对象是一般参数的通用零件(巨型、微型及在高温、高压、高速等特殊条件下工作的通用零件除外),即研究通用零件的设计理论和设计方法,具体内容包括零件的工作能力设计、结构设计、设计计算机理、设计计算方法和步骤 4 个部分。

由上可知,本课程的性质是以一般通用零件的设计计算为核心的设计性课程,而且是论述它们的基本设计理论和方法,本课程具有内容多、涉及面广、综合性和实践性突出的特点,是一门设计性、综合性和实践性都很强的技术基础课,是学习许多专业课程和从事机械设备设计的基础。

本课程的主要任务是培养学生:①树立正确的设计思想,了解国家当前的有关技术经济政策;②掌握通用机械零部件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,具有初步设计机械传动装置和简单机械的能力;③具有运用标准、规范、手册和查阅有关技术资料的能力;④掌握典型机械零件的实验方法,获得基本的实验技能的训练;⑤对机械设计的新发展有所了解。

本课程在学习中,要综合运用先修课程中所学的有关知识与技能,结合各种教学实践环节进行机械工程技术人员必要的基本锻炼。另外,由于本课程的结构体系没有一般理论性课程那么严密,所涉及的内容多而杂,系统性不强,所以在学习中应注意学习方法,具体应注意以下一些方面:

(1) 要注意紧密联系生产实际,将零件放到整体机械中加以考虑。要注意每种零件在机器中的作用、功能及与整机和机器上其他零件的相互关系,注意零件在机器上的安装结构以及机器正常工作对零件的要求等。这样学得的零件知识就能够很好地为整体机械系统设计服务。

(2) 要注意各种零部件设计知识的共性。虽然各种类型零部件各有特点、各不相同,但对零件设计知识掌握的要求上有共同的特点,即均要求掌握其类型与工作特点、工作原理与结构型式、可能的失效形式与受力分析和设计计算方法等。