



普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材



材 料 力 学

主编 蒙彦宇 王树范
主审 李 毅



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

材 料 力 学

主 编 蒙彦宇 王树范
副主编 谢 军 温 泳 崔红娜
主 审 李 毅



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP) 数据

材料力学/蒙彦宇,王树范主编. —武汉:武汉大学出版社,2014. 12
普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材
ISBN 978-7-307-14457-6

I. 材… II. ①蒙… ②王… III. 材料力学—高等学校—教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 230025 号

责任编辑:余 梦

责任校对:黄孝莉

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉科源印刷设计有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:19.5 字数:537 千字

版次:2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-14457-6 定价:36.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

主任委员:刘殿忠

副主任委员:张利 孟宪强 金菊顺 郑毅 秦力

崔文一 韩玉民

委员:马光述 王睿 王文华 王显利 王晓天

牛秀艳 白立华 吕文胜 仲玉侠 刘伟

刘卫星 李利 李栋国 杨艳敏 邱国林

宋敏 张自荣 邵晓双 范国庆 庞平

赵元勤 侯景鹏 钱坤 高兵 郭靳时

程志辉 蒙彦宇 廖明军

总责任编辑:曲生伟

秘书长:蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录www.stmpress.cn下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。



前言

本书依据《高等学校土木工程专业本科指导性专业规范》和土木工程卓越人才教育的培养目标,为适应本科院校土木工程专业材料力学课程的教学要求,参考和吸收了一些优秀材料力学教材之所长及编者的教学经验,以材料力学教学大纲规定的教学内容并兼顾其他工科专业材料力学课程的教学需要编写而成。

随着高等教育对学生力学素质、创新能力和应用能力培养教学要求的提高及新专业、力学新知识的不断涌现,本书在编写时考虑了应用型本科院校不同专业对材料力学知识的要求不同,在保证力学知识完整充实的基础上,精选课程内容,以“适用、实用、必需、够用”为原则。为使本书具有一定的通用性,可供 50~80 学时学习材料力学相关专业的学生选用。

本书内容以构件的基本变形为主线,围绕杆件内力、应力、强度、刚度、稳定性等重点内容展开。本书在内容构造上,利用内容提要凝练章节的重点、难点,使学生做到学有准备,心中有数;通过能力要求,明确相关技能要求,使学生做到学有所用,有的放矢;通过简化理论推导和烦琐的数学运算,突出强调基本概念、基本原理和基本方法,做到由浅入深,循序渐进;通过模型实验、典型例题或案例分析,使理论与实践融合,使学生储备力学问题的分析方法、解题技巧与应用能力;通过知识归纳、思考题与习题,建立力学知识的理论性与系统性,培养学生运用力学知识解决实际问题的能力,达到教、学、做、练一体化及触类旁通的目的,并为学生学习相关的专业课程打好力学基础。

本书由蒙彦宇、王树范担任主编,谢军、温泳、崔红娜担任副主编,谢毅、阎杰担任参编。全书由蒙彦宇负责组织、设计及统稿工作。

具体编写分工为:

北华大学,蒙彦宇(前言、第 1 章、第 2 章、第 9 章、第 10 章);

河北建筑工程学院,谢军(第 3 章、第 4 章);

长春工程学院,王树范(第 5 章、第 6 章);

长春工程学院,温泳(第 7 章、第 8 章);

北华大学,谢毅(第 11 章、附录 I、附录 IV);

河北建筑工程学院,崔红娜(第 12 章、第 13 章);

河北建筑工程学院,阎杰(附录 II、附录 III)。

本书由北华大学李毅教授担任主审。承蒙李毅教授认真、细心审阅,并提出许多宝贵的修改意见,在此致以深深的谢意。

在本书的编写过程中,编者参考了一些理论力学、材料力学和工程力学等方面的教材,在此对这些教材的作者表示衷心的感谢和敬意。

因编者水平有限,书中难免有错误、疏漏和不妥之处,诚请读者批评指正,以期完善。

编者

2014 年 9 月

目 录

1 绪论	1
1.1 材料力学概述/1	
1.2 材料力学的研究任务/3	
1.3 材料力学的研究对象及其几何特征/5	
1.4 材料力学的研究方法/6	
1.5 学习材料力学的目的/7	
知识归纳/8	
思考题/8	
参考文献/8	
2 材料力学的基本概念	9
2.1 变形固体的概念和基本假设/9	
2.2 外力及其分类、构件的计算简图/10	
2.3 内力、截面法与应力的概念/11	
2.4 变形、位移与应变的概念/13	
2.5 杆件变形的基本形式/14	
知识归纳/16	
思考题/16	
参考文献/17	
3 轴向拉伸与压缩	18
3.1 轴向拉伸与压缩的概念/18	
3.2 轴向拉伸(压缩)杆件的内力/19	
3.3 轴向拉(压)杆的应力/21	
3.4 材料在拉伸与压缩时的力学性能/25	
3.5 轴向拉(压)杆变形与胡克定律/29	
3.6 应力集中/32	
3.7 轴向拉(压)杆的强度计算/33	
3.8 轴向拉(压)杆的应变能/36	
3.9 简单拉压超静定问题/37	
知识归纳/41	
思考题/42	
习题/42	
参考文献/44	

4 剪切

45

- 4.1 连接件概述/45
- 4.2 剪切的概念及工程实例/45
- 4.3 剪切的实用计算/46
- 4.4 挤压的实用计算/47
- 4.5 铆接的实用计算/49
- 知识归纳/51
- 思考题/51
- 习题/51
- 参考文献/52

5 扭转

53

- 5.1 扭转的概念/53
- 5.2 扭转杆件的内力计算及内力图绘制/54
- 5.3 薄壁圆筒的扭转/56
- 5.4 圆轴扭转时的应力和变形/58
- 5.5 圆轴扭转的强度计算和刚度计算/64
- 5.6 圆轴扭转的应变能/69
- 5.7 圆轴扭转的超静定问题/71
- 5.8 矩形截面杆件(非圆形截面杆件)扭转简介/73
- 知识归纳/75
- 思考题/75
- 习题/76
- 参考文献/79

6 弯曲

80

- 6.1 弯曲的概念/80
- 6.2 梁的内力及其计算方法/83
- 6.3 剪力方程、弯矩方程和剪力图、弯矩图/85
- 6.4 剪力、弯矩与荷载集度间的微分关系/89
- 6.5 绘制弯矩图的简易方法——叠加原理/95
- 6.6 平面刚架与曲杆的内力与内力图/97
- 知识归纳/98
- 思考题/99
- 习题/99
- 参考文献/105

7 弯曲应力

106

- 7.1 梁横截面上的正应力/106
- 7.2 梁横截面上的切应力/112
- 7.3 弯曲强度条件及其应用/115



7.4 提高梁强度的主要措施/119

知识归纳/123

思考题/124

习题/124

参考文献/127

8 弯曲变形

128

8.1 弯曲变形的概念/128

8.2 梁的挠度与转角/128

8.3 挠曲线的近似微分方程/129

8.4 叠加原理计算梁的位移/134

8.5 梁的刚度条件/137

8.6 提高梁刚度的主要措施/139

8.7 弯曲应变能/139

8.8 简单超静定梁/146

知识归纳/147

思考题/149

习题/149

参考文献/152

9 应力状态分析与强度理论

153

9.1 一点应力状态/153

9.2 平面应力状态下的应力分析/157

9.3 三向应力状态的最大应力/170

9.4 广义胡克定律/174

9.5 强度理论/183

知识归纳/196

思考题/196

习题/197

参考文献/200

10 组合变形

201

10.1 组合变形的概念/201

10.2 斜弯曲/202

10.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形/209

10.4 弯曲与扭转的组合变形/210

知识归纳/214

思考题/215

习题/215

参考文献/217



11 压杆稳定

218

- 11.1 压杆稳定的概念/218
- 11.2 细长压杆的临界力/220
- 11.3 中小柔度杆的临界应力/225
- 11.4 压杆稳定性计算及提高稳定性的措施/229
- 知识归纳/232
- 思考题/232
- 习题/232
- 参考文献/234

12 动荷载

235

- 12.1 动荷载概述/235
- 12.2 动应力的求解——动静法/236
- 12.3 冲击荷载与冲击应力/239
- 知识归纳/245
- 思考题/245
- 习题/245
- 参考文献/246

13 构件的疲劳强度计算

248

- 13.1 交变应力、疲劳破坏及交变应力参数的描述/248
- 13.2 材料的疲劳极限及其测定/253
- 13.3 构件的疲劳极限及其影响因素/256
- 13.4 对称循环交变应力下构件的疲劳强度计算/260
- 13.5 非对称循环交变应力下构件的疲劳强度计算/262
- 13.6 提高构件疲劳强度的措施/262
- 知识归纳/264
- 思考题/264
- 习题/264
- 参考文献/266

附录

267

- 附录 I 常用材料的力学性能/267
- 附录 II 平面图形的几何性质/269
- 附录 III 简单荷载作用下梁的挠度和转角/281
- 附录 IV 常用型钢规格表/283

习题参考答案

294

1 绪 论

内容提要

本章主要内容包括材料力学课程的主要内容,材料力学的研究任务、研究对象及其几何特征,材料力学的研究方法和学习目的。本章重点内容为材料力学的任务、研究对象及构件的强度、刚度、稳定性的概念,难点内容为材料力学的研究方法。

能力要求

通过本章的学习,学生应明确材料力学的研究任务,熟悉工程实践中(设计、制造、使用)与材料力学性能有关的各种问题,并分清哪些问题属于材料力学的研究范畴,增强工程力学意识,为后续章节的学习打下必要的基础。

1.1 材料力学概述

1.1.1 材料力学的作用与地位

随着我国三峡工程、西电东输、西气东输、南水北调、青藏铁路、“五纵七横”国家公路网、“四纵四横”铁路客运通道、三个城际快速客运系统及城乡一体化等工程项目的实施,土木工程结构日益向大型化、复杂化、智能化方向发展。未来几十年,我国将陆续兴建一大批重大工程并被广泛应用于各个领域,如多层、小高层、高层、超高层建筑结构,如图 1-1 所示;大跨度桥梁结构、大跨度空间结构,如图 1-2 和图 1-3 所示;隧道、高速公路、城市高架公路、城市地铁、海洋石油平台,如图 1-4 所示;水利工程(水库、坝体),如图 1-5 所示;特种工程(核电站安全壳、热电厂冷却塔、储水池、储气灌、电视塔),如图 1-6 所示。各种基础设施建设的高度和跨度因社会需求和建筑材料、施工技术等的不断发展而被不断刷新纪录,这不仅标志着我国建筑水平的不断提高,也为保证我国国民经济的持续稳定发展、改善人民物质文化生活条件发挥了强大的支柱作用。

材料力学作为机械、材料、土木工程、力学等学科由学习基础理论向专业类设计课程过渡的一门与工程密切结合的专业技术基础课程,其应用范围在不断拓展,涉及工程设计、制造、使用的各个环节。实验技术水平和先进设备的研制以及对复杂应力状态下材料的强度、刚度、稳定性等问题的深入研究不断取得新的成果,给材料力学的研究任务提出了新的要求和亟待解决的问题。因此,材料力学性能等理论知识不仅是材料类工程技术人员必备的重要专业基础之一,更是全面提高土木工程应用型技术人员工作素质和创新能力的重要保证,是针对现代工程技术人员进行素质教育的必备环节和重要组成部分。

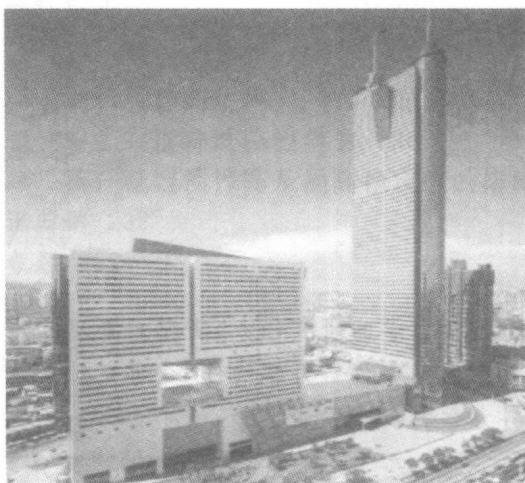


图 1-1 高层建筑结构



图 1-2 大跨度桥梁结构

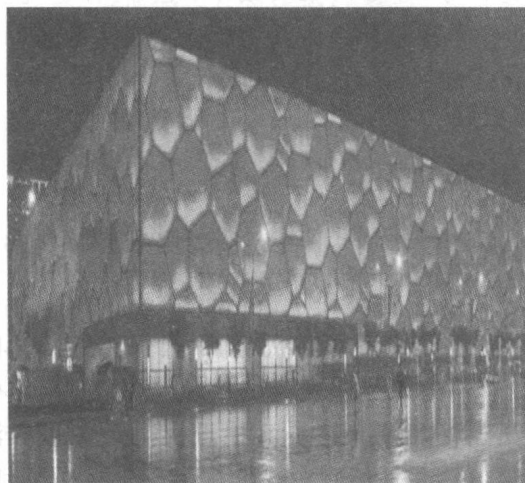


图 1-3 大跨度空间结构

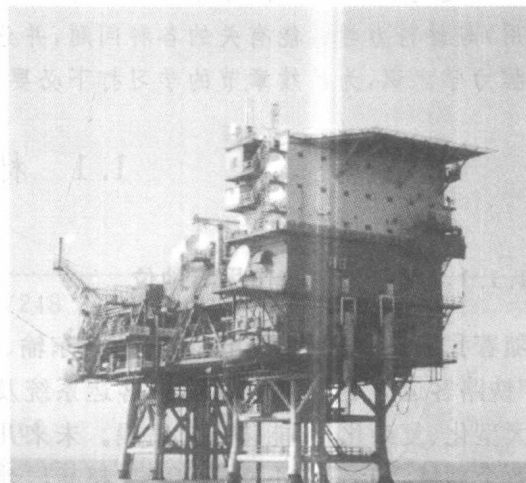


图 1-4 海洋石油平台



图 1-5 大型坝体结构

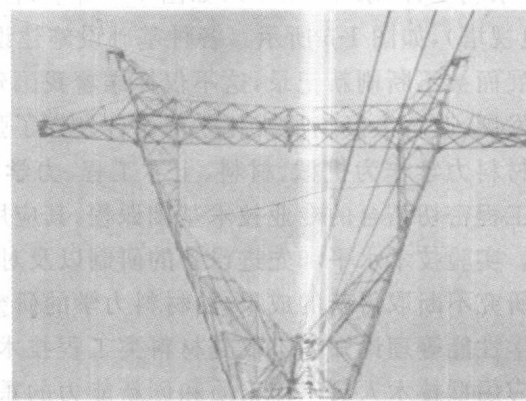


图 1-6 高压输电塔结构

1.1.2 材料力学的主要研究内容

通过对材料力学的学习,学生应储备合理判断常用材料力学性能的基本知识,即根据对各类常



用材料力学性能特点的了解,控制材料力学性能的通用工艺方法和途径等,这是合理地选择材料和技术决策的前提。对工程设计中杆件材料的强度、刚度和稳定性问题,学生应明确掌握基本概念,清楚基本原理,熟练基本方法,具备必要的基础力学知识、熟练的计算能力、一定的分析问题和解决问题的能力、初步实验动手的能力;同时为后续课程学习奠定必要的理论基础。材料力学课程在研究构件在轴向拉(压)、剪切、扭转、平面图形几何性质和弯曲基本变形下的强度和刚度以及压杆的稳定性问题基础上,逐步将研究内容由简单应力状态推广到复杂应力状态,由基本变形推广到组合变形,研究了材料在常温条件下的力学性能、动力特征、疲劳性能和能量法、超静定问题的分析,同时涉及材料的线弹性问题和弹塑性问题等。

1.2 材料力学的研究任务

1.2.1 构件的承载能力

在土木工程中,由建筑材料筑成并承受荷载和传递荷载,起着骨架作用的部分(建筑物或构筑物)称为工程结构,简称结构,如房屋中的梁柱体系、水工建筑物中的闸门和水坝、桥梁和隧洞等,都是工程结构的典型例子。工程结构都是由各种构件(如连杆、梁、柱等)所组成,并以材料力学的知识为基础得以实现,并不断发展完善的。

对于每个构件,必须确定它的基本形状和尺寸,以承受或传递作用在它上面的外部荷载。设计时要对各构件在静力平衡状态下进行受力分析,确定构件的受力情况,研究作用力必须满足的条件。同时当工程结构中的各构件处于运动状态时,对构件还要进行运动和动力分析。如果构件截面尺寸过小、所用材料质量较差,则构件在一定的荷载作用下将会发生过度的变形或破坏,从而不能正常工作,即失去了承担荷载的能力;反之,如果所选构件的截面尺寸过大或所用材料质量太好,则在一定的荷载作用下,虽然不会发生过度的变形或破坏,但构件承担荷载的能力却没有充分发挥,浪费了材料。

因此,为了确保每个构件在外力作用下能够正常安全合理地工作,各构件不发生断裂或产生过大变形,则必须使构件具备必要的承载能力;并根据构件的受力情况,为构件选择适当的材料,设计合理的截面形状和尺寸进行分析与计算,掌握必要的理论基础和计算的基本方法。

材料力学主要的研究任务就是,提出构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性等基本理论和计算方法,以及在保证构件既安全适用,又不超过最大经济限度的前提下,为构件选择适当的材料、截面形状和尺寸。工程构件在外力作用下丧失正常功能的现象称为失效或破坏。工程构件的失效形式很多,但材料力学范畴内的失效通常可分为三大类:强度失效、刚度失效和稳定性失效。因此,衡量构件是否具有足够的承载能力,一般从这三个方面考虑。

1.2.1.1 足够的强度要求

所谓强度是指构件受力后不发生破坏或产生不可恢复的变形的能力,即具有足够的强度。如图 1-7 所示的结构,ABC 梁在 B 结点处发生断裂。又如起吊重物的吊车梁在工作时不应断裂、机床主轴不应发生扭转破坏、工作的轮齿不应破损、高压容器在内部压力的作用下不能破裂等,才能保证构件正常安全地工作。不能满足强度要求而发生的失效,称为强度失效。

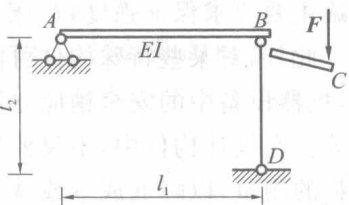


图 1-7 梁的强度问题

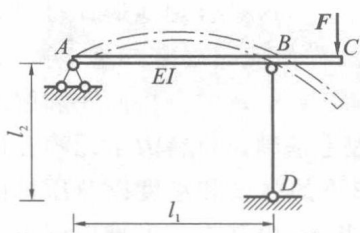


图 1-8 梁的刚度问题

1.2.1.2 足够的刚度要求

所谓刚度是指构件受力后不发生超过允许的弹性变形的能力。因为在某些情况下,构件虽不发生断裂(具有足够的强度),但是由于构件变形过大,也会使结构不能正常工作。如图 1-8 所示的结构,ABC 梁发生较大变形。又如电机的转子和定子之间的空隙一般都很小,因此,电机转轴除应满足强度要求外,还要限制其变形,以防运转时转子与定子相碰;若转轴变形过大,还会导致轴承

的不均匀磨损。因此,对于此类构件,必须保证它们在工作时具有足够的抵抗变形的能力,即达到足够的刚度要求,以控制构件的变形在一定的范围内。不能满足刚度要求而发生的失效,称为刚度失效。

1.2.1.3 足够的稳定性要求

所谓稳定性是指构件在荷载作用下,保持初始平衡形式而不发生突然变形的能力。除上述的强度、刚度要求外,对于承受压缩荷载作用的柔韧构件,当该荷载超过某个数值之后,若受到微小扰动,构件就会突然偏离原有的平衡构形而使构件不能正常工作。因此还要求构件具有保持原有平衡构形的能力,工程中将构件所具有的这种能力称为稳定性。如图 1-9 所示的结构,细长直杆 BD 工作时承受过大的轴向压力,发生失稳变形。又如建筑结构的立柱、千斤顶中的螺杆等,均应具备保持初始平衡形式的能力。当压力较小时,构件保持直线的平衡形式。压力增至某一数值时,直杆就会由直线的平衡形式突然变弯。这种突然改变原有平衡形式的现象称为丧失稳定,简称为失稳。因此,对诸如细长压杆等构件,要求它们在工作中始终能保持原有的直线平衡形式,即构件应具有足够的稳定性。构件不能满足稳定性要求而发生的失效,称为稳定性失效。

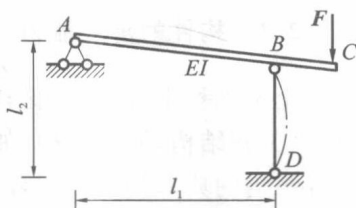


图 1-9 杆的稳定性问题

1.2.2 构件的力学性能

土木工程中所使用的构件都是由某种工程材料制成(筑成)的,除了研究构件足够的强度、刚度和稳定性等有关计算理论外,还要研究工程材料的力学性能,以指导设计时正确选用材料。材料的力学性能是材料本身固有的特性,可以通过实验测定出来。由不同材料所制成的构件,尽管几何形状和尺寸一样,在承受相同的荷载作用时产生的变形大小和破坏程度是不同的。这是由于构件的强度、刚度和稳定性与所用材料的力学性能有关。根据在实验基础上测定出来的材料的力学性能才能恰当地为构件选择适宜的材料。此外,也有些单靠现有理论解决不了的问题,需借助实验来解决。因此,实验研究和理论分析都是完成材料力学研究所必需的任务。

在工程实际中,一般构件都应满足上述三个要求,但对某一个具体构件往往又有所侧重。如储气罐主要要求保证强度,车床主轴主要要求具备足够的刚度,受压的细长杆则要求有足够的稳定性。此外,对某些特殊构件可能还有相反的要求,如为了防止机器设备超载,当荷载超出某一范围时,机器设备中的安全销应立即破坏。又如为了降低振动冲击,车辆的缓冲弹簧应有较大的弹性变形等。在设计构件中,不仅要满足上述三个方面的安全性要求,还应尽可能选用合适的材料,减少材料的用量,以降低成本或减轻构件的质量。也就是说,设计构件时既要考虑安全性,又要考虑经济性。安全性要求选用优质材料或增大横截面尺寸,经济性要求尽可能使用廉价材料或减小横截面尺寸。



综上所述,材料力学的研究任务就是在保证构件既安全又适用的前提下,保证构件在确定的外力作用下能够正常工作而不发生强度失效、刚度失效和稳定性失效的能力,即具有足够的承载能力;并通过研究构件的强度、刚度、稳定性等问题的计算理论,以最经济的成本,为构件选择适当的材料,确定合理的截面形状和尺寸,最大限度地发挥材料的经济性能;并研究新型构件、结构和鉴定新材料等,为所设计的结构、构件提供有关强度、刚度和稳定性计算的基本原理和方法。

1.3 材料力学的研究对象及其几何特征

1.3.1 材料力学的研究对象

机械零件或土木工程结构物中所采用的构件,种类繁多,形状各异,制作材料也有多种,外部影响因素较复杂。为了简化理论分析与计算,建立统一的计算理论,材料力学对实际工程构件进行了科学简化,即把各种材料制成(筑成)的构件抽象为连续、均匀、各向同性的可变形固体(也称为弹性体)。

所谓“连续、均匀、各向同性的可变形固体”是指组成物体的物质毫无空隙地充满了整个体积,且在该体积内的各点处、各个方向上材料的力学性能完全相同。从微观上来看,实际的工程材料并非如此。以工程中使用最多的金属为例,材料的内部是存在空隙的,其各个晶粒的力学性能也不完全相同,且具有方向性。而材料力学是从宏观角度来考察一个构件或构件的一部分在外力作用下的力学表现的,材料内部的空隙体积与构件尺寸相比是微不足道的;同时,反映材料力学性能的物理量是材料内部杂乱排列的众多晶粒力学性能物理量的统计平均值,并非个别晶粒的力学性能物理量。因此,在宏观研究中,材料力学所研究的对象把实际物体抽象为连续、均匀、各向同性的可变形固体,并结合高等数学知识,进而可以简化理论分析与计算过程。

1.3.2 材料力学研究对象的几何特征

由于绝大多数工程构件都具有杆的形状,因此,本课程主要研究处于静力平衡下的杆件类构件,即忽略作用于构件上的荷载的加载速率及构件加速度的影响。所谓杆件类构件,即其纵向(长度方向)尺寸远比横向(垂直于长度方向)尺寸要大得多的可变形固体。如机械中的传动轴、螺栓,建筑结构中的梁和柱等均属于杆件类构件。构件在外力作用下的尺寸和外形都会发生变化,称为变形。

根据几何形状及各个方向上尺寸的差异,由可变形固体所形成的构件(弹性体)大致可分为杆件、板、壳体、块体四大类。构件的几何特征如图 1-10 所示。

1.3.2.1 杆件(轴、梁)

如图 1-10(a)所示,一个方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸,这种弹性体称为杆件(轴、梁)。垂直长度方向的截面称为杆件的横截面,杆的各横截面形心的连线称为杆的轴线;轴线为直线的杆称为直杆;轴线为曲线的杆称为曲杆,图 1-10(a)所示为等截面直杆。按各截面相等与否,杆又可分为等截面杆和变截面杆,图 1-10(b)所示为等截面曲杆,图 1-10(c)和(d)所示分别为变截面直杆和变截面曲杆。工程上最常见的是等截面直杆,简称等直杆。

1.3.2.2 板

如图 1-10(e)所示,一个方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸,且各处曲率均为 0,这种弹性体称为板。

1.3.2.3 壳体

如图 1-10(f)所示,一个方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸,且至少有一个方向的曲率不为 0,这种结构称为壳体。板与壳体的区别在于“平、曲”二字,平的为板,曲的为壳体。

1.3.2.4 块体

如图 1-10(g)所示,三个方向具有相同量级的尺寸,这种弹性体称为块体。

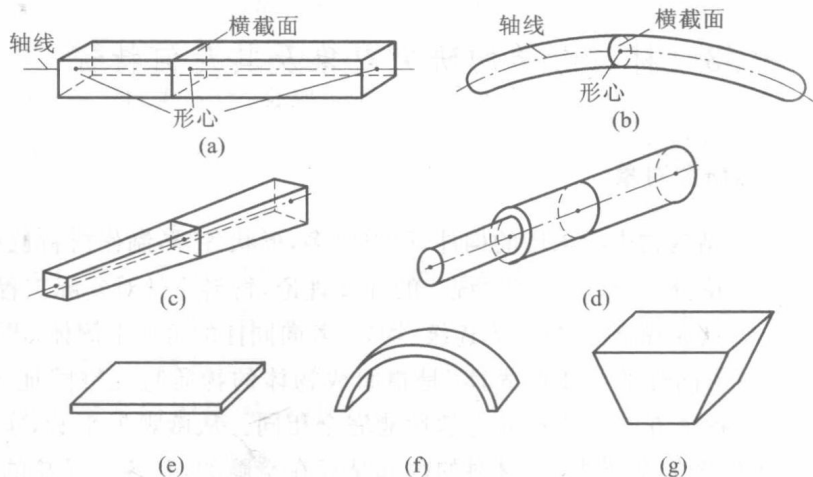


图 1-10 构件的几何特征

(a)等截面直杆;(b)等截面曲杆;(c)变截面直杆;(d)变截面曲杆;(e)板;(f)壳体;(g)块体

材料力学的主要研究对象是杆件,以及由若干杆件组成的简单杆系,同时也研究一些形状与受力均比较简单的板、壳体、块体。至于一般较复杂的杆系与板、壳体问题,则属于结构力学与弹性力学的研究范畴。工程中的大部分构件属于杆件,杆件分析的原理与方法是分析其他形状构件的基础。

1.4 材料力学的研究方法

由于工程结构构件的力学性能具有多样性和复杂性,材料力学的研究方法也需要采用观察、实验、假设、理论分析、计算和实践检验等方法,并遵循从一般到特殊和从特殊到一般、由浅入深、循序渐进的原则。因此,材料力学的研究方法主要包括理论分析方法、实验研究方法及计算机分析方法三大类。材料力学解决问题的一般步骤包括确定研究对象,简化力学模型,建立数学模型,进行数值求解以及计算结果(结论)讨论与验证、与工程实践相结合检验。

1.4.1 理论分析方法

材料力学中的理论分析方法遵循实验观察—基本假设—建立模型—理论分析—实验(实践)验证的过程,这也是自然科学研究问题的一般方法。

材料力学研究的物体,大多是工程结构物及其构件。这些结构物和构件的形状、大小、组成各异。在研究它们时,首先是根据问题的性质,借助于实验与观察,抓住主要矛盾,略去次要因素,合理简化,将其抽象为力学模型。

在研究物体的变形与受力之间的关系时则不能再将物体视为刚体,而应将其视为可变形的固体。建立力学模型之后,采用数学方法对其进行分析与计算。



理论分析方法是整个材料力学研究方法的基础,其优点是可以对某些简单工程问题得到解析解,其缺点是难以直接应用于大型、复杂的实际工程结构。

1.4.2 实验研究方法

实验研究方法是借助于加载设备及测量仪器,直接通过对构件或结构物加载与测量,得到实际工程结构及构件中的力学性能参数。目前采用较多的是电测法与光测法。

材料力学的实验方法大致有以下几种类型。

① 基本演示型实验。其通过试验机测定不同材料的力学性能参数,如抗拉压强度、剪切强度、抗弯强度、弹性常数(如弹性模量、剪切模量等)、材料的本构关系等。

② 综合设计型实验。通过综合设计实验,一方面,研究材料力学的基本理论应用于实际问题时的正确性与适用范围;另一方面,研究一些基本理论难以解决的实际问题,通过实验建立合适的简化模型,为理论分析提供必要的基础。

③ 研究创新型实验。其将材料力学与材料分析与检测实验融合,注重研究问题的自行设计、研究及创新精神的培养,如钢筋混凝土简支梁的破坏及损伤检测试验。其主要从工程实际中提炼出研究问题,参与设计、研究及创新,获得关于实际工程结构或试验模型的较真实的力学分析结果。

④ 计算机仿真实验。通过仿真实验,可以清晰地了解如杆件在拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲时的力学性能参数变化及曲线变化趋势,清楚地了解试验机的基本构造和实验操作过程。这样不仅可以使实验者置身于真实的环境下做实验,而且能达到仿真结果与实测结果一致。实验操作过程可以重复观看和自主进行,同时数据库中的各种实验材料的力学性能参数和储备数据资料,对师生的创新和科研工作等有一定的参考价值。

1.4.3 计算机分析方法

随着电子计算机技术的迅速发展,计算机分析方法在材料力学领域中已得到了日益广泛的应用并促进着材料力学研究方法的更新,现已产生了以有限元技术为核心的计算力学方法,并发展了一批功能强大的计算机辅助工程(CAE)技术应用软件,如 MSC 的 PATRAN/NASTRAN、ANSYS 以及与课程配套的理论力学求解器、材料力学求解器、结构力学求解器等,已能解决工程界所提出的各种极其复杂的材料力学问题。据统计,现在我国机械制造业中需要采用计算力学方法开发和设计的新产品已达到 70% 以上,国际上 90% 的机械产品和装备都要采用有限元方法进行分析与优化。以有限元技术为核心的计算力学方法,实际上已成为现代机械产品及工程结构进行力学分析的主流方法。但需指出的是,计算机分析方法必须与理论分析方法及实验研究方法结合起来才能得到更好的应用与发展,因为,它们是计算机分析方法的理论基础与实验基础。

1.5 学习材料力学的目的

材料力学来源于实践,又服务于实践。在研究材料力学性能时,现场观察和实验是认识力学规律的重要的实践环节。在学习本课程时,观察实际工程中构件的受力特点,会用力学的基本知识去解释、分析构件的受力问题;通过实验验证理论的正确性,并提供测试数据资料作为理论分析、简化计算的依据。

工程实际问题往往比较复杂,为了使研究的问题简单化,通常需抓住问题的主要影响因素,忽略次要因素,将所研究的对象抽象化为力学模型。如研究物体的受力与变形规律时,将实际构件简