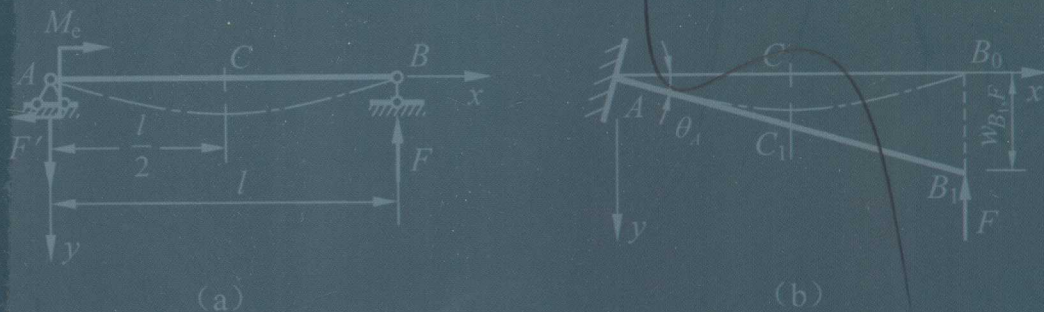


高等院校土木工程专业规划教材

材料力学

苏振超 主编

薛艳霞 赵兰敏 副主编



清华大学出版社

高等院校土木工程专业规划教材

材料力学

苏振超 主编

薛艳霞 赵兰敏 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书依据教育部高等学校工科基础力学教学指导委员会制定的《材料力学课程教学基本要求》(A类),在总结长期从事材料力学教学工作经验和课程改革成果的基础上编写而成。全书共9章,依次为绪论,杆件的内力,轴向拉伸与压缩,扭转与剪切,平面弯曲,应力状态分析、强度理论及应用,压杆稳定,动荷载及交变应力,能量法,另有附录。为便于学习,每章后均有难易不等的思考题和习题,并以二维码的形式给出参考答案。

本书可作为高等学校工科本科土木类、水利类、机械类等专业的材料力学教材,也可作为相关工程技术人员自学用书或研究生入学考试的复习用书等。

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

材料力学/苏振超主编.--北京:清华大学出版社,2016

高等院校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-302-43945-5

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第113429号

责任编辑:赵益鹏 张占奎

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:何 芊

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 装 者:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:25.25

字 数:608千字

版 次:2016年9月第1版

印 次:2016年9月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:49.80元

产品编号:058467-01

本书是清华大学出版社规划出版的“高等院校土木工程专业规划教材”系列教材之一。

材料力学对于土建、水利类等很多工科专业是一门极其重要的专业基础课程,后续很多专业技术课程都有材料力学的重要应用,并且是很多工科专业考研的专业课程之一,在课程体系的规划中受到广泛重视。本教材的编写,考虑到多个专业的不同需要、教学对象的不同层次、教学计划的不同课时等问题,按照由浅入深、循序渐进的原则,在强调基本概念、基本原理的同时,加强材料力学的理论和方法的应用。课后习题既包含简单的练习以掌握基础知识,也包含一些比较灵活的问题以提高解决实际问题的能力,所以本教材可作为各类本科教育的教学用书,也可作为工程技术人员的自学用书或研究生入学考试的复习用书等。

本书是在作者几十年长期从事材料力学课程教学工作经验基础上,参照教育部高等学校力学教学指导委员会制定的《材料力学课程教学基本要求》(A类)并借鉴国内外优秀教材撰写而成。本教材的主要特点如下:(1)将杆件和简单静定结构的内力分析集中在一章,因为这些问题的求解只与平衡方程有关,同时这些内容又概括了材料力学的主要对象,通过内力分析的介绍,使学生对材料力学的整体有初步的了解。(2)将扭转和剪切安排在一章,主要考虑到扭矩有时是导致剪切破坏的因素之一,有利于对一些问题的求解或解释。(3)将知识点联系紧密的内容,尽量安排在一章,这样前后逻辑严密,便于展开。例如,将截面的几何性质、弯曲应力与弯曲变形集中在一章讨论,将应力状态分析、强度理论和组合变形集中在一章等。(4)强调变形的计算方法,因为很多材料力学的问题都与变形有关。特别是梁的变形计算,强化了叠加法的应用,将叠加法中的一些技巧进行归纳总结,以便于学生理解和掌握。(5)除课程指导委员会要求的教学基本内容之外,本教材还涉及一些专题部分的内容,如薄壁截面直杆的自由扭转、非对称纯弯曲的概念、异质材料组合梁、杆件材料塑性的极限分析、应变状态分析、单位荷载法和图乘法、动荷载和疲劳强度等都有所涉及,这些内容对于深入理解基础理论、扩展学生的视野、解决实际工程问题都很有帮助。(6)附录 I 中简单介绍了材料力学课程教学软件 MDSolids 的应用,希望通过对该软件的使用提高学生对材料力学课程的兴趣,并了解一些专业词汇的英文表达。本书主编在实际教学中也是通过该软件在求解、验证一些例题的过程中,穿插介绍各模块的使用。(7)本书在编写过程中,坚持以学生为中心的理念,以有效教学、激发学生的积极思维为导向,利用在正文中及例题后的【说明】、【评注】、【思考】等环节,加强学生思维能力,以及提出和分析问题能力的培养,力求做到使学生的知识与能力协调发展,理论与实际相结合。作者相信,只有学生不断提出新的问题,才能激发学习兴趣,进而学好这门课。

本书由厦门大学嘉庚学院苏振超、薛艳霞与中国地质大学长城学院赵兰敏合作编写,苏振超任主编,薛艳霞、赵兰敏任副主编。其中薛艳霞撰写第 3 章、第 4 章、第 5 章和第 7 章;

赵兰敏撰写第9章；苏振超撰写第1章、第2章、第6章和第8章，并整理所有附录和参考答案。前言中以二维码形式给出各章习题答案，方便读者参考。全书由苏振超负责规划并统稿。

在本教材编写过程中，参考、引用了国内外很多优秀材料力学教材的内容，在此向这些教材的作者们致以谢意！对厦门大学嘉庚学院及土木工程系的领导在写作过程中所提供的良好条件和帮助表示感谢！

限于作者的水平，书中定有疏漏或错误之处，敬请广大教师和读者批评指正。

苏振超

2016.6.20



习题参考答案

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的任务与研究对象	1
1.1.1 材料力学的任务	1
1.1.2 材料力学的研究对象	3
1.2 材料力学的基本假设	4
1.3 外力、内力与截面法	6
1.3.1 外力及其分类	6
1.3.2 内力与截面法	6
1.4 应力、应变与胡克定律	8
1.4.1 应力	8
1.4.2 应变	12
1.4.3 胡克定律	14
1.5 杆件的基本变形	15
1.6 材料力学的研究方法	16
思考题	18
习题	19
第 2 章 杆件的内力	21
2.1 拉、压杆的内力	21
2.1.1 轴向拉伸与压缩的工程实例	21
2.1.2 拉压杆件的轴力与轴力图	21
2.1.3 轴向分布力与轴力的关系	23
2.2 受扭杆件的内力	24
2.2.1 扭转的工程实例	24
2.2.2 功率、转速与扭力偶矩之间的关系	25
2.2.3 扭矩与扭矩图	25
2.2.4 扭矩与扭转分布力偶间的关系	27
2.3 平面弯曲杆件的内力	28
2.3.1 平面弯曲的基本概念	28
2.3.2 梁的约束及类型	29
2.3.3 剪力和弯矩	31

2.3.4	剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	34
2.4	弯矩、剪力与荷载集度之间的关系及其应用	40
2.4.1	弯矩、剪力与荷载集度之间的关系	40
2.4.2	利用微分关系绘制静定梁的剪力图和弯矩图	42
2.4.3	用叠加法作弯矩图	45
*2.4.4	用麦考雷函数和奇异函数计算梁的内力	46
2.5	静定平面刚架和曲杆的内力	49
2.6	组合变形杆件的内力	51
2.6.1	两相互垂直平面内的弯曲	52
2.6.2	偏心拉伸(压缩)	53
2.6.3	弯曲和扭转的组合	54
	思考题	55
	习题	57
第3章	轴向拉伸与压缩	63
3.1	拉、压杆件的应力	63
3.1.1	拉、压杆件横截面上的应力	63
3.1.2	拉、压杆件斜截面上的应力	66
3.1.3	圣维南原理	67
3.2	拉、压杆件的变形和应变能	68
3.2.1	轴向变形和胡克定律	68
3.2.2	横向变形和泊松比	69
3.2.3	简单桁架结点的位移计算	73
3.2.4	拉、压杆件的应变能	75
3.3	材料的力学性能	76
3.3.1	拉伸试验与应力-应变图	76
3.3.2	低碳钢拉伸的力学性能	77
3.3.3	其他材料的拉伸力学性能	80
3.3.4	材料在压缩时的力学性能	82
*3.3.5	温度对材料力学性能的影响	83
*3.3.6	加载速率对力学性能的影响	84
3.4	拉、压杆件的强度条件	85
3.4.1	失效与许用应力	85
3.4.2	强度条件	85
3.5	简单拉、压超静定问题	88
3.5.1	拉、压杆系的超静定问题	88
3.5.2	装配应力	93
3.5.3	温度应力	94
3.6	应力集中的概念	96

*3.7 应力、应变与变形的进一步讨论	97
3.7.1 真实应力和真实应变	97
3.7.2 应力-应变关系曲线模型	98
3.7.3 拉、压杆系的弹塑性分析	99
3.7.4 残余应力的概念	101
思考题	101
习题	104
第4章 扭转与剪切	111
4.1 薄壁圆筒的扭转	111
4.1.1 薄壁圆筒扭转时的切应力	111
4.1.2 切应力与切应变的关系	112
4.2 圆轴的扭转应力	113
4.2.1 圆轴扭转的变形特点	113
4.2.2 圆轴扭转的应力	113
4.2.3 极惯性矩与扭转截面系数	115
4.3 圆轴扭转的强度与刚度条件	117
4.3.1 强度条件	117
4.3.2 圆轴扭转的变形	119
4.3.3 刚度条件	119
4.4 圆轴扭转时的应变能	120
4.5 圆轴扭转的简单超静定问题	123
4.6 圆轴的塑性扭转	124
*4.7 非圆截面杆扭转的概念	126
4.7.1 约束扭转和自由扭转	126
4.7.2 矩形截面杆的扭转	126
4.7.3 开口薄壁截面杆	128
4.7.4 闭口薄壁截面杆	130
4.8 剪切与挤压的实用计算	133
4.8.1 剪切的实用计算	134
4.8.2 挤压的实用计算	134
思考题	138
习题	139
第5章 平面弯曲	145
5.1 截面的几何性质	145
5.1.1 截面的静矩	145
5.1.2 惯性矩、惯性积和惯性半径	146
5.1.3 平行移轴公式	148

* 5.1.4	转轴公式 主惯性轴和主惯性矩	150
5.2	梁的弯曲正应力及强度条件	153
5.2.1	纯弯曲与横力弯曲	153
5.2.2	纯弯曲时横截面上的正应力	153
5.2.3	横力弯曲时横截面上的正应力	156
5.2.4	梁的正应力强度条件	157
5.3	梁的弯曲切应力及其强度条件	161
5.3.1	弯曲切应力	161
5.3.2	弯曲切应力强度条件	169
* 5.4	非对称截面梁的平面弯曲 开口薄壁杆件的弯曲中心	171
5.4.1	非对称截面梁的平面弯曲	171
5.4.2	开口薄壁截面的弯曲中心	172
5.5	弯曲变形 挠曲线近似微分方程及其积分	175
5.5.1	弯曲变形的基本概念	175
5.5.2	梁的挠曲线近似微分方程及其积分	176
* 5.5.3	奇异函数法计算梁的变形	182
5.6	用叠加法求梁的位移 梁的刚度条件	183
5.6.1	叠加法基础	183
5.6.2	叠加法举例	184
5.6.3	梁的刚度条件	190
* 5.7	计算梁位移的初参数法与共轭梁法	190
5.7.1	初参数法	190
5.7.2	共轭梁法	192
5.8	梁的弯曲应变能	195
5.9	简单超静定梁	197
5.10	提高梁强度与刚度的措施	201
5.10.1	提高梁强度的措施	201
5.10.2	提高梁刚度的措施	203
* 5.11	组合梁	204
5.11.1	组合梁的基本方程	204
5.11.2	转换截面法	206
5.11.3	钢筋混凝土梁	207
* 5.12	梁的弹塑性弯曲	209
5.12.1	极限弯矩	209
5.12.2	塑性铰与极限荷载	210
	思考题	211
	习题	216

第 6 章 应力状态分析、强度理论及其应用	227
6.1 应力状态的概念及其分类	227
6.2 平面应力状态分析	228
6.2.1 解析法	228
6.2.2 应力圆法(图解法)	230
6.2.3 主平面和主应力	232
* 6.3 平面应变状态分析	234
6.3.1 任意方向的应变	234
6.3.2 应变圆	237
6.3.3 主应变的数值与方向	237
6.4 空间应力状态与广义胡克定律	240
6.4.1 空间应力状态的应力圆	240
6.4.2 广义胡克定律	241
6.4.3 平面应力状态的电测实验应力分析	243
6.4.4 体积应变与体积胡克定律	245
6.4.5 空间应力状态下的应变能	245
6.5 强度理论及其应用	247
6.5.1 脆性断裂的强度理论	248
6.5.2 塑性屈服的强度理论	249
* 6.5.3 莫尔强度理论	250
6.5.4 强度理论的应用	251
6.6 梁的斜弯曲	256
6.6.1 斜弯曲及横截面上的正应力	256
6.6.2 斜弯曲时梁的中性轴方程与强度条件	257
6.6.3 斜弯曲时梁的变形	258
6.7 拉压与弯曲的组合受力	259
6.7.1 拉压与弯曲组合的强度条件	259
6.7.2 偏心拉伸(压缩)	260
6.7.3 截面核心	261
6.8 弯曲与扭转的组合受力	263
思考题	268
习题	270
第 7 章 压杆稳定	281
7.1 压杆稳定的概念	281
7.2 细长压杆的临界力	283
7.2.1 两端铰支细长压杆的临界力	283
7.2.2 下端固定、上端自由细长压杆的临界力	285

7.2.3	两端固定细长压杆的临界力	286
7.2.4	细长中心受压直杆的临界力公式	288
7.2.5	小挠度理论与理想压杆的实际意义	290
7.3	压杆的临界应力	291
7.3.1	临界应力	291
7.3.2	欧拉公式的适用范围	291
7.3.3	超过比例极限 σ_p 时压杆的临界应力	292
7.4	压杆的稳定计算	296
7.4.1	稳定安全因数法	296
7.4.2	稳定因数法	297
7.5	提高压杆稳定性的措施	304
	思考题	305
	习题	306
第8章	动荷载及交变应力	312
8.1	惯性力问题	312
8.1.1	达朗贝尔原理	312
8.1.2	等加速运动构件中的动应力分析	313
8.1.3	等角速转动构件内的动应力分析	314
8.2	构件受冲击荷载作用时的应力和变形计算	315
8.2.1	自由落体冲击	315
8.2.2	水平冲击	317
8.2.3	突然制动的动应力	318
8.3	交变应力与疲劳破坏	319
8.4	交变应力与材料的疲劳极限	320
8.4.1	交变应力及其类型	320
8.4.2	疲劳试验与 S-N 曲线	321
8.4.3	疲劳极限	322
8.5	影响构件疲劳极限的主要因素	322
8.5.1	构件外形的影响	322
8.5.2	构件截面尺寸的影响	324
8.5.3	表面加工质量的影响	324
8.5.4	提高构件疲劳强度的途径	325
8.6	交变应力作用下构件的疲劳强度计算	326
8.6.1	对称交变应力下的疲劳强度	326
8.6.2	非对称交变应力下构件的强度条件	327
8.6.3	弯扭组合交变应力下构件的强度条件	327
8.7	变幅交变应力与累计损伤理论简介	330
	思考题	331

习题	332
第 9 章 能量法	338
9.1 概述	338
9.2 应变能与应变余能	338
9.2.1 外力功与应变能	338
9.2.2 应变能密度	342
9.2.3 外力余功与余能	344
9.3 卡氏定理 互等定理	346
9.3.1 卡氏第一定理	346
9.3.2 卡氏第二定理	348
9.3.3 互等定理	352
9.4 单位荷载法与图乘法	354
9.4.1 单位荷载法	354
9.4.2 图乘法	360
9.4.3 对称性的利用	363
思考题	365
习题	366
附录 I MDSolids 软件的应用简介	372
I.1 简介	372
I.2 题目 1——静定梁的内力图	372
I.3 题目 2——静定梁的变形计算	374
附录 II 简单荷载作用下梁的挠度和转角	376
附录 III 型钢表	378
参考文献	389

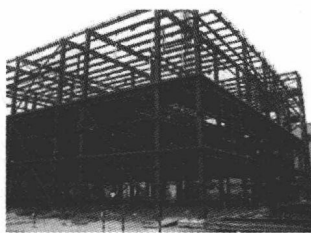
绪 论

1.1 材料力学的任务与研究对象

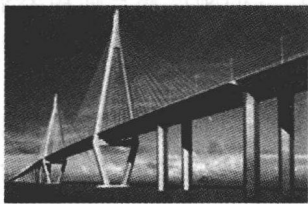
各种机械与结构在工程实际中都有广泛应用,如图 1-1(a)所示的推土机,图 1-1(b)所示的钢结构厂房,图 1-1(c)所示的厦漳跨海大桥,以及图 1-1(d)所示的框架、框架-剪力墙结构等。组成这些机械与结构的零部件统称为**构件**。当机械与结构工作时,构件受到外力作用,同时,其尺寸与形状也发生改变。构件尺寸与形状的变化称为**变形**。构件的变形分为两类:一类为外力解除后能消失的变形称为**弹性变形**;另一类为外力解除后不能消失的变形,称为**塑性变形**或**残余变形**。



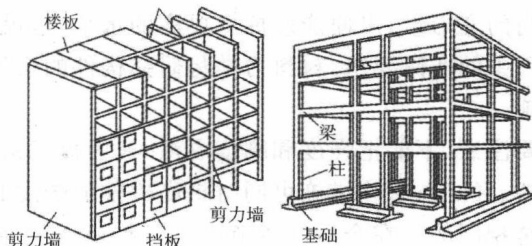
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-1 各类机械或结构

(a) 推土机; (b) 钢结构厂房; (c) 厦漳跨海大桥; (d) 框架、框架-剪力墙结构图

1.1.1 材料力学的任务

材料力学是研究工程构件承载能力的基础性学科,也是固体力学中具有入门性质的分

支。它主要以一维构件(杆件)作为研究对象,定量地研究构件内部在各类变形形式下的力学规律,以便于选择适当的材料,确定恰当的形状尺寸,在保证构件能够承受预定荷载的前提下,为设计既安全又经济的构件提供必要的理论基础、计算方法和实验技能。

各类工程构件要能够正常工作,须满足强度、刚度和稳定性三个方面的要求。

所谓**强度**,是指构件或结构抵抗破坏的能力。在一定的外荷载作用下,某些构件可能会在局部产生裂纹。裂纹扩展可能导致构件的断裂。而有些构件虽没有产生裂纹,但可能在局部产生较大的不可恢复的变形,导致整个构件失去承载能力。这些现象都是工程构件应该避免的。显然,用钢制构件代替木制构件,就能够提高构件的强度。所以,需要对各类工程材料的力学性能加以研究、分析和比较,把各类材料应用于最适合的场合。另一方面,也可以采用更加合理的结构形式,而不替换材料,不增加材料用量,也能提高结构的强度。例如,图 1-2 所示的矩形截面悬臂梁,仅仅改变构件的放置方向,就能提高构件抵抗破坏的能力。因此,在材料力学中,将全面地考虑影响构件强度的各种因素,并加以定量分析,从而使人们能够采取更为合理而可靠的措施提高构件的强度。

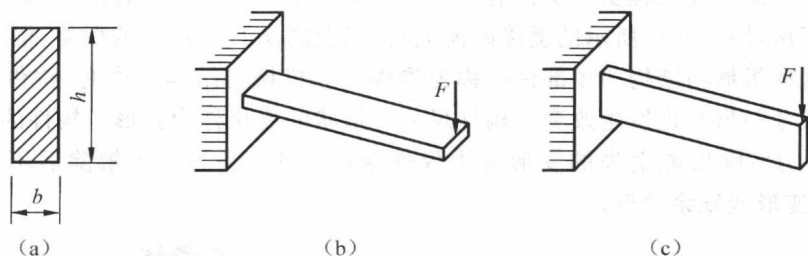


图 1-2 悬臂梁的强度与刚度

(a) 横截面; (b) 横放的悬臂梁; (c) 竖放的悬臂梁

所谓**刚度**,是指构件或结构抵抗变形的能力。许多构件都应满足一定的变形要求。例如,在精密仪器的加工中,如果车床主轴变形过大,会严重影响加工精度,次品率大幅上升。如果超高层建筑在风荷载作用下产生太大的变形和晃动,会使住户产生不适感甚至恐慌感。所以工程中常常需要提高结构或构件的刚度。另外,跳水运动员往往希望跳板有足够的弹性和适当的变形量,以便能发挥出更高的水平,这就要求构件的刚度要与使用要求相适应。针对工程中的实际要求,材料力学将研究构件的变形形式和影响因素,讨论控制构件变形的相关措施。

需要注意,不能把强度和刚度混淆,认为提高构件强度的同时也必然提高其刚度是不一定正确的。的确,有些措施可同时提高构件的强度和刚度。即使如此,它们在数量关系上也不一定是相同的。在今后的章节中可以看到,对于截面宽度为 b ,高度为 $h=3b$ 的矩形截面梁,若将图 1-2(b) 所示的梁横放形式变为图 1-2(c) 所示的竖放形式,则在同样的强度条件要求下,允许施加的荷载提高到 $h/b=3$ 倍;而在同样的刚度条件要求下,允许施加的荷载可以提高到 $(h/b)^2=9$ 倍。另外,在不改变其他条件的前提下,用高强度的合金钢材代替普通钢材,可以提高构件的强度,却不能提高其刚度。因此,强度和刚度是完全不同的两个概念。

由图 1-2 可以看出,如果荷载沿竖直方向作用,并提高构件截面的高宽比 h/b ,有助于提高其强度和刚度。但是,过大的高宽比可能产生如图 1-3 所示的另外一类情况。当外荷载

不是很大时,悬臂梁保持着仅在竖直平面内发生弯曲的平衡状态,如图 1-3(a)所示;当荷载逐渐增大到一定数值时,原有的平衡状态变得很不稳定,极易转为图 1-3(b)所示的状态,这种情况称为失稳。图 1-4(a)中的压杆也存在类似的情况。工程结构或构件应该有足够的保持原有平衡状态的能力,这就是结构的**稳定性**。材料力学将以图 1-4(a)所示的一类压杆为例研究各种因素对压杆稳定性的影响。

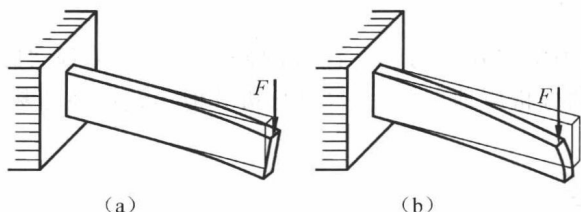


图 1-3 悬臂梁的稳定性

(a) 荷载 F 不大时的平衡; (b) 荷载 F 比较大时的平衡

图 1-4 压杆的稳定性

(a) 荷载 F 不大时的平衡;
(b) 荷载 F 比较大时的平衡

1.1.2 材料力学的研究对象

工程实际中构件的形状多种多样,按照其几何特征,主要分为杆件与板件。如图 1-5 所示,一个方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸的构件,称为杆件。杆件是工程中最常见、最基本的构件。如图 1-3 所示的悬臂梁与图 1-4 所示的压杆,工程实际中其长度方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸,故均为杆件。

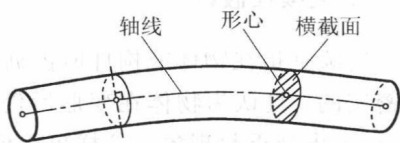


图 1-5 杆件

杆件的形状和尺寸由其轴线与横截面确定,轴线通过横截面的形心,横截面与轴线正交。根据轴线与横截面的特征,杆件可分为**等截面杆**(图 1-6(a)、(c))与**变截面杆**(图 1-6(b)),**直杆**(图 1-6(a)、(b))与**曲杆**(图 1-6(c))。在工程实际中,最常见的杆件是等截面直杆,简称为**等直杆**。等截面直杆的分析计算原理,一般可近似地用于曲率较小的曲杆和截面无显著变化的变截面杆。

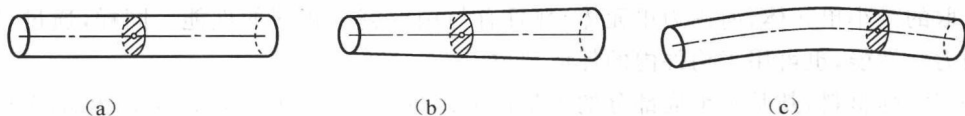


图 1-6 杆件的分类

(a) 等截面直杆; (b) 变截面直杆; (c) 曲杆

如图 1-7 所示,一个方向的尺寸远小于其他两个方向尺寸的构件,称为**板件**。平分板件厚度的几何面称为**中面**。中面为平面的板件称为**板**(图 1-7(a));中面为曲面的板件称为**壳**(图 1-7(b))。

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,也研究一些形状与受力均比较简单的板与壳,如承受径向压力的中面为圆柱面的薄壁圆筒和薄壁圆管。至于

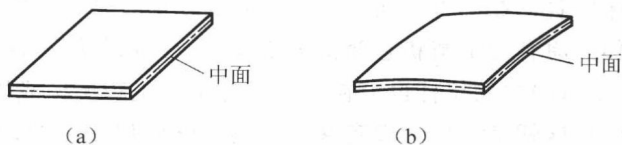


图 1-7 板件的分类

(a) 平板; (b) 壳

较复杂的杆系与板壳问题,则属于结构力学与弹性力学等课程的研究范畴。工程实际中的大部分构件属于杆件,而且,杆件问题的分析原理与方法,也是分析其他形式构件的基础。

1.2 材料力学的基本假设

实际工程中的任何构件、机械或结构都是变形体,或称为**变形固体**。变形固体在外力及其他外部因素的作用下,其本身的性质和行为可能比较复杂。材料力学不可能同时考虑各种因素的影响,而只能保留所研究问题的主要方面,略去次要因素,对变形固体作某些假设,即将复杂的实际物体抽象为具有某些主要特征的**理想固体**,以便于进行强度、刚度和稳定性的理论分析。通常,在材料力学中,对变形固体作如下假设。

1. 连续性假设

连续是指在物体或构件所占据的空间内没有空隙,处处充满了物质,即认为物体或构件是密实的;且认为物体在变形后仍保持这种连续性,即受力变形后既不产生新的空隙或孔洞,也不出现重叠现象。这样可以保证物体或构件中的一些物理量(如任意一点的位移等)是连续的,因而可以用坐标的连续函数来描述,便于利用微积分等数学工具。广泛的实验与工程实践证实,由此假定所作的力学分析是可行的。

2. 均匀性假设

材料在外力作用下所表现出来的性能,称为材料的**力学性能**。在材料力学中,假设材料的力学性能与其在构件中的位置无关,即认为材料是均匀的。按此假设,从构件内部任何部位所切取的微小单元体(简称为单元体)都具有与构件完全相同的性能。同样,通过试样所测得的力学性能,也可用于构件内的任何部位。

对于实际材料,其基本组成部分的力学性能往往存在不同程度的差异。例如,金属是由无数微小晶粒组成,而各个晶粒的力学性能不完全相同,晶粒交界处的晶界物质与晶粒本身的力学性能也不完全相同。但是,由于构件的尺寸远大于其组成部分的尺寸(例如 1mm^3 的钢材中包含数万甚至数十万个晶粒),因此,按照统计学观点,仍可将材料看成是均匀的。

3. 各向同性假设

假设材料在各个不同方向具有相同的力学性质,即认为其是各向同性的。沿各个方向具有相同力学性能的材料称为**各向同性材料**,如玻璃。金属的各个晶粒均属于各向异性体,但由于金属构件所含晶粒极多,且在构件内随机排列,宏观上仍可将金属看成是各向同性材

料。因此,在各向同性材料中,表征材料特性的力学参量(如弹性模量等)与方向无关,为常量。应指出,如果材料沿不同方向具有不同的力学性质,则称为各向异性材料。木材、复合材料即为典型的各向异性材料。

以上针对材料的三个假设是材料力学普遍采用的前提假设。除以上三个假设外,材料力学还常常依据小变形假设来推导有关定理或结论。所谓小变形假设,是指所研究的构件在外荷载作用下发生的变形都是微小的,在很多情况下需要用专门的仪器才能观察到。比如结构工程中的梁,它在荷载作用下整个跨度上产生的最大位移比梁横截面的尺寸小很多。

绝大多数工程构件在实际工作状态中所发生的变形都属于小变形。这也是采用小变形假设的合理之处。

采用小变形假设可以使分析过程得以简化,这可以从两个方面说明。

第一,原始尺寸原理。对变形体的分析和计算可以在未变形的构形(指形状和尺寸)上进行,这可用图 1-8 加以说明。图 1-8 是一个简单桁架,其中一根杆件是竖直的,另一根是倾斜的。如图 1-8(a)所示,若在结点上作用一个竖向集中力,按理论力学中静力学的分析,斜杆是所谓零杆,即内部不存在作用力。

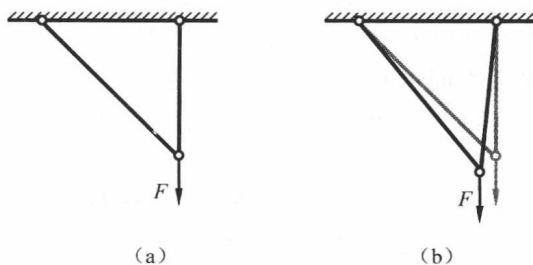


图 1-8 两种计算构形
(a) 原始构形; (b) 实际变形后的构形

当实际作用集中力并考虑到构件的变形后,平衡的形态将如图 1-8(b)所示。严格意义上说,斜杆不再是零杆,因而两杆内部的力和变形都不再如图 1-8(a)的分析那么简单。但是,由于杆件发生的变形是微量,由分析可知,按照图 1-8(b)计算的位移与图 1-8(a)的计算结果之差是比杆件产生的小变形还要高阶的微量,因此可以忽略不计,即认为斜杆是零杆。一般地,在材料力学课程中,除了少数几处特别需要并加以声明的情况,总是在未变形的原始构形上进行平衡分析。这种考虑弹性构件的内力与外力平衡时,在未变形的原始构形上进行分析的方法称为原始尺寸原理。

第二,线性化原理。在许多分析过程中,如果能够确定某些无量纲量是高阶微量,本教材都将适时地将其舍去,从而使分析的方程线性化。例如,在研究构件的位移和变形的几何关系时,构件上一点的位移常常是一条弧线(二次或更高次),为简化分析和计算,常用直线(切线或垂线)(线性)代替。又如,在已经确认 x 是无量纲量的微量的前提下, $\sin x$ 、 $\tan x$ 均可以简化为 x ,而 $\cos x$ 则可以简化为 1,诸如此类的处理可以简化分析计算过程,且由于工程中的很多问题都是小变形问题,所以可以保证工程精度的要求。

【说明】 (1)虽然材料力学中的变形是微小的,但其作用是巨大的。如何依据所观察到的现象正确地对变形提出假设,并据此寻找变形量之间的关系,是很多材料力学问题的基础。(2)材料力学主要是用线性化的手段处理非线性问题,所以材料力学的分析方法主要为