

材料力学

白象忠 主 编
谭文锋 张文飞 徐耀玲 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

TB301

132

2007

高等院校工程力学基础教材

材料力学

白象忠 主编

谭文锋 张文飞 徐耀玲 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据教育部“高等工业院校材料力学教学基本要求”编写,主要包括:绪论,轴向拉伸与压缩,剪切和挤压的实用计算,扭转,平面图形的几何性质,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态理论,强度理论,组合变形,能量法,静不定系统,动载荷,交变应力和压杆稳定。

本书为高等院校工科专业材料力学课程的教学用书,也可供广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 白象忠主编. —北京:科学出版社,2007
高等院校工程力学基础教材
ISBN 978-7-03-018450-4

I. 材… II. 白… 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(2007)第 005625 号

责任编辑:何舒民 任加林 / 责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 2 月第一次印刷 印张:23 3/4

印数:1—3 000 字数:540 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(HA03)

前 言

本书根据教育部“高等工业院校材料力学教学基本要求”编写,适合不同专业、教学为 80~100 学时“材料力学”课程的教学。其基础内容可供 80 学时以下课程的学生学习选用。

编者在多年教学实践的基础上,在内容安排上和讲授方法上都注意贯彻由浅入深、循序渐进、便于自学的原则。全书在编排上,力求结构严谨、前后呼应、重点突出、难点明确,并编入大量例题、习题和习题答案供读者学习选用,以加强基础理论知识的应用和基本方法的训练。在编写过程中,参考了一些其他院校教师编写的《材料力学》教材,在此向这些作者表示感谢。

参加本书编写工作的有:谭文锋(第 2 章、第 12 章、第 13 章),张文飞(第 7 章、第 8 章、第 14 章),徐耀玲(第 3 章、第 5 章、第 10 章、第 16 章),黄良(第 4 章、第 6 章、第 11 章),白象忠(第 1 章、第 9 章),梁利生(第 15 章),姜鑫(习题解答)。本书由白象忠统稿并担任主编,谭文锋、张文飞、徐耀玲担任副主编。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和欠妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的基本任务	1
1.2 材料力学发展简史及与生产实践的关系	2
1.3 构件组成体及变形固体的基本假设	6
1.3.1 构件的基本形式	6
1.3.2 变形固体的基本假设	7
1.4 构件的外力 变形 内力	8
1.4.1 外力	8
1.4.2 构件变形的形式	9
1.4.3 内力、截面法	10
1.4.4 关于力系用相当力系代替原理的讨论	11
1.4.5 关于变形微小性的讨论	12
1.5 应力 应变 胡克定律.....	13
1.5.1 应力	13
1.5.2 应变	14
1.5.3 胡克定律.....	15
1.6 研究材料力学的基本方法.....	15
习题	16
第 2 章 轴向拉伸与压缩	18
2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例.....	18
2.2 横截面上的内力和应力.....	18
2.2.1 横截面上的内力	19
2.2.2 横截面上的应力	20
2.2.3 圣维南原理	21
2.3 材料在拉伸与压缩时的力学性能.....	22
2.3.1 低碳钢的拉伸试验	23
2.3.2 其他塑性材料拉伸时的力学性能	25
2.3.3 铸铁拉伸时的力学性能	26
2.3.4 压缩时材料的力学性能	26
2.3.5 温度和时间对材料力学性能的影响	27
2.4 许用应力 强度条件.....	28
2.5 轴向拉伸或压缩时的变形.....	31

2.6 拉伸和压缩时的静不定问题	35
2.6.1 静不定问题及其解法	35
2.6.2 温度应力	37
2.6.3 装配应力	39
2.7 应力集中的概念	40
习题	42
第3章 剪切和挤压的实用计算	50
3.1 剪切的	50
3.2 剪切和挤压的强度计算	50
3.2.1 剪切强度计算	50
3.2.2 挤压强度计算	51
习题	55
第4章 扭转	57
4.1 概述	57
4.2 外力偶矩与扭矩的计算 扭矩图	57
4.2.1 外力偶矩的计算	57
4.2.2 扭矩和扭矩图	58
4.3 薄壁圆筒的扭转 纯剪切	60
4.3.1 薄壁圆筒扭转时的切应力	60
4.3.2 切应力互等定律	61
4.3.3 切应变 剪切胡克定律	61
4.4 圆轴扭转时的应力	62
4.4.1 变形几何关系	62
4.4.2 物理关系	63
4.4.3 静力关系	64
4.5 圆轴扭转时的变形	66
4.6 圆轴扭转时的强度和刚度计算	67
4.6.1 圆轴扭转时的强度条件	67
4.6.2 圆轴扭转时的刚度条件	69
4.7 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形计算	71
4.7.1 应力计算	71
4.7.2 变形计算	72
4.8 非圆截面杆的扭转	74
4.9 闭合和开口薄壁截面杆的扭转	77
4.9.1 闭合薄壁杆的扭转	77
4.9.2 开口薄壁杆的扭转	79
习题	82

第 5 章 平面图形的几何性质	87
5.1 静矩和形心	87
5.1.1 静矩	87
5.1.2 形心	87
5.1.3 组合图形的静矩和形心	88
5.2 惯性矩 惯性积 惯性半径	89
5.2.1 惯性矩、惯性半径	89
5.2.2 惯性积	90
5.2.3 组合图形的惯性矩及惯性积	92
5.3 平行移轴公式	92
5.4 转轴公式	94
5.5 主惯性轴 主惯性矩 形心主惯性轴及形心主惯性矩	96
习题	98
第 6 章 弯曲内力	101
6.1 概述	101
6.1.1 平面弯曲的概念	101
6.1.2 梁的计算简图及其分类	102
6.2 剪力与弯矩	103
6.3 剪力与弯矩方程 剪力图与弯矩图	105
6.4 载荷集度 剪力和弯矩间的关系	111
6.4.1 q 、 F_Q 和 M 间的微分关系	111
6.4.2 q 、 F_Q 和 M 间的积分关系	113
6.5 叠加法作弯矩图	114
6.6 平面曲杆的弯曲内力	115
习题	116
第 7 章 弯曲应力	121
7.1 引言	121
7.2 弯曲正应力	121
7.2.1 纯弯曲梁的正应力	121
7.2.2 横力弯曲梁的正应力	125
7.3 弯曲切应力	127
7.3.1 矩形截面梁的切应力	127
7.3.2 工字形截面梁的切应力	130
7.3.3 圆形截面梁的切应力	131
7.3.4 环形截面梁的切应力	132
7.4 弯曲强度计算	133
7.4.1 弯曲正应力强度条件	133
7.4.2 弯曲切应力强度条件	133

7.5 提高弯曲强度的一些措施	136
7.5.1 合理安排梁的支座和载荷	136
7.5.2 采用合理的截面形状	138
7.5.3 采用等强度梁	139
7.6 开口薄壁杆件的弯曲中心	141
习题	145
第8章 弯曲变形	152
8.1 挠度与转角 梁的刚度条件	152
8.1.1 工程实例	152
8.1.2 挠度和转角	152
8.1.3 梁的刚度条件	153
8.2 挠曲线的近似微分方程	153
8.3 用积分法求弯曲变形	154
8.4 用叠加法求弯曲变形	159
8.5 简单静不定梁	164
8.6 提高梁弯曲刚度的一些措施	165
8.6.1 减小梁的跨度,增加支承约束	165
8.6.2 调整加载方式,改善结构设计	165
8.6.3 增大截面惯性矩	166
习题	166
第9章 应力状态理论	172
9.1 一点应力状态的概念	172
9.1.1 轴向拉(压)时斜截面上的应力	172
9.1.2 一点的应力状态	173
9.1.3 应力状态的分类	173
9.1.4 复杂应力状态的实例 薄壁圆筒的计算	174
9.2 平面应力状态分析的解析法	176
9.2.1 平面应力状态的应力分量	176
9.2.2 斜截面上的应力公式	176
9.2.3 主应力、主平面、切应力极值和切应力极值平面	177
9.3 平面应力状态分析的图解法	179
9.3.1 应力圆方程	179
9.3.2 应力圆的作法	179
9.3.3 主应力、主平面、切应力极值和切应力极值平面	180
9.4 三向应力状态简介	182
9.5 广义胡克定律	184
9.6 平面应力状态的测定	186

9.7 复杂应力状态下的变形比能	189
9.7.1 变形比能	189
9.7.2 体积改变比能和形状改变比能	190
习题	191
第10章 强度理论	197
10.1 强度理论的概念	197
10.2 四种常用强度理论	198
10.2.1 最大拉应力理论(第一强度理论)	198
10.2.2 最大伸长线应变理论(第二强度理论)	198
10.2.3 最大切应力理论(第三强度理论)	199
10.2.4 形状改变比能理论(第四强度理论)	199
习题	202
第11章 组合变形	205
11.1 组合变形的概念	205
11.1.1 组合变形	205
11.1.2 叠加原理在组合变形中的应用	205
11.1.3 组合变形的几种常见方式	206
11.2 斜弯曲	206
11.2.1 斜弯曲的概念	206
11.2.2 斜弯曲的变形	206
11.2.3 斜弯曲时的应力和强度计算	208
11.3 拉伸或压缩与弯曲的组合	211
11.3.1 一般的拉(压)弯曲组合	211
11.3.2 偏心拉伸(压缩)	212
11.3.3 截面核心	213
11.4 弯扭组合变形的强度计算	216
习题	219
第12章 能量法	225
12.1 引言	225
12.2 变形能的计算	225
12.2.1 外力功、变形能的一般表达式	225
12.2.2 线弹性杆件变形能表达式	228
12.3 单位载荷法	231
12.4 图形互乘法	236
12.5 互等定理	240
12.5.1 功的互等定理	240
12.5.2 位移互等定理	241
12.6 卡氏第二定理	242

习题	244
第 13 章 静不定系统	251
13.1 静不定系统的概念	251
13.2 力法解静不定系统	253
13.2.1 力法的正则方程	253
13.2.2 高次静不定系统的正则方程	261
13.3 对称及反对称性质的应用	261
13.4 连续梁及三弯矩方程	266
习题	271
第 14 章 动载荷	277
14.1 动载荷的概念及分类	277
14.2 构件作加速运动时的应力计算	277
14.2.1 构件作匀加速直线运动	277
14.2.2 构件作匀角速转动时的应力计算	279
14.3 构件受冲击时的应力与变形	282
14.3.1 冲击问题的理想化	282
14.3.2 简单冲击问题的解法	283
14.3.3 其他类型的冲击问题	286
14.4 冲击韧度	289
习题	290
第 15 章 交变应力	295
15.1 交变应力与疲劳失效	295
15.2 循环特征 应力幅 平均应力	295
15.2.1 循环特征	296
15.2.2 平均应力	296
15.2.3 应力幅	296
15.2.4 对称循环	296
15.2.5 非对称循环	297
15.2.6 脉动循环	297
15.2.7 静应力	297
15.3 持久极限	297
15.3.1 疲劳试验	298
15.3.2 持久极限与应力-寿命曲线	298
15.4 影响构件持久极限的因素	299
15.4.1 构件外形的影响	299
15.4.2 构件尺寸的影响	299
15.4.3 表面质量的影响	299
15.4.4 构件的持久极限	299

15.5 持久极限曲线	302
15.5.1 材料的持久极限曲线的绘制	302
15.5.2 持久极限曲线的简化折线	303
15.6 构件的疲劳强度计算	303
15.6.1 对称循环下构件的疲劳强度条件	303
15.6.2 非对称循环下的疲劳强度条件	305
15.6.3 弯扭组合交变应力状态下构件的疲劳强度条件	308
15.7 提高构件疲劳强度的措施	310
15.7.1 减缓应力集中	310
15.7.2 降低表面粗糙度	310
15.7.3 增加表层强度	311
习题	311
第16章 压杆稳定	315
16.1 压杆稳定性的概念	315
16.2 两端铰支细长压杆的临界力	317
16.3 不同杆端约束细长压杆的临界力	319
16.3.1 一端固定另一端自由细长压杆的临界力	319
16.3.2 两端固定细长压杆的临界力	319
16.3.3 一端固定另一端铰支细长压杆的临界力	319
16.4 欧拉公式的适用范围 经验公式	320
16.4.1 临界应力和柔度	320
16.4.2 欧拉公式的适用范围	321
16.4.3 中柔度压杆的临界应力公式	321
16.4.4 小柔度压杆	323
16.4.5 临界应力总图	323
16.5 压杆稳定性计算	323
16.6 提高压杆稳定性的措施	330
习题	331
附录	335
附录一 单位换算	335
附录二 型钢表	336
习题答案	350
参考文献	365

第1章 绪 论

1.1 材料力学的基本任务

各种机械、设备和结构物在使用时,组成它们的每个构件都要受到从相邻构件或从其他构件传递来的外力(即**载荷**)的作用。**材料力学**是一门研究各种构件的抗力性能的科学,它的主要任务就是从保证所有构件能够正常工作的要求出发,帮助设计者合理地选择构件的适当材料和形状,确定所需要的几何尺寸;判断已有的构件是否能合乎正常使用,并考虑如何改造它们,使之能够适应新任务的要求。为了使所有构件在各种实际工作的考验中不至于丧失应有的效能,这些构件必须具备下列三项基本条件:

(1) 具有足够的**强度**

足够的强度就是构件能够安全地承受所担负的载荷,不至于发生断裂或产生严重的永久变形。例如,冲床的曲轴在工作冲压力作用下不应折断。又如,储气罐或氧气瓶在规定的压力下不应爆破。可见,所谓强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力。

(2) 具有足够的**刚度**

在载荷作用下,构件的最大变形不超过实际使用中所能容许的数值。某些结构的变形,不能超过正常工作允许的限度。以机床的主轴为例,即使它有足够的强度,若变形过大时[图 1.1(a)],将使轴上的齿轮啮合不良,并引起轴承的不均匀磨损[图 1.1(b)]。因而,所谓刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。

(3) 具有足够的**稳定性**

当构件受力时能够保持原有的平衡形式,不至于突然偏侧而丧失承载能力。有些细长杆,如内燃机中的挺杆、千斤顶中的螺杆等[图 1.2(a,b)],在压力作用下有被压弯的可能。为了保证其正常工作,要求这类杆件始终保持直线形式,亦即要求原有的直线平衡形态保持不变。所以,稳定性是指构件保持其原有平衡状态的能力。

若构件的截面尺寸过小,或截面形状不合理,或材料选用不当,在外力作用下将不能

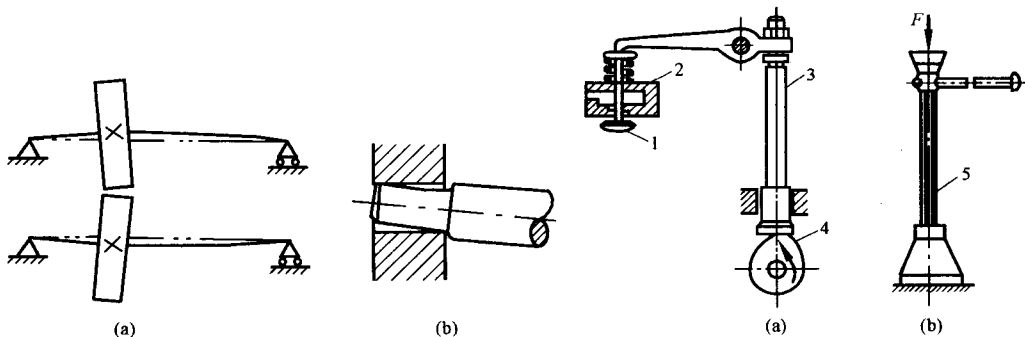


图 1.1

图 1.2

1 阀门; 2 气缸头; 3 挺杆; 4 凸轮; 5 螺杆

满足上述基本要求,从而影响机械或工程结构的正常工作。反之,如构件尺寸过大,材料质量太高,虽满足了基本条件,但构件的承载能力难以充分发挥。这样,既浪费了材料,又增加了成本和重量。**材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,以最经济的代价,为构件确定合理的形状和尺寸;选择适宜的材料,为构件设计提供必要的理论基础和计算方法。**

实际工程问题中,构件都应有足够的强度、刚度和稳定性。但就一个具体构件而言,对上述三项要求往往有所侧重。例如,氧气瓶以强度要求为主,车床主轴以刚度要求为主,而挺杆则以稳定性要求为主。此外,对某些特殊构件还往往有相反的要求。例如,为了保证机器不致因超载而造成重大事故,当载荷到达某一限度时,要求安全销立即破坏。又如,用于缓冲设备的弹簧、钟表的发条等,力求这些构件具有较大的弹性变形。

构件的强度、刚度和稳定性,显然都与材料的力学性能(材料在外力作用下表现出来的变形和破坏等方面的特性)有关。材料的力学性能需要通过实验来测定。材料力学中的一些理论分析方法,大多是在某些假设条件下得到的,是否可靠还需要通过实验检验其正确性。此外,有些问题尚无理论分析结果,也需借助实验的方法来解决。因此,材料力学是一门理论与实验相结合的学科。

构件的强度、刚度和稳定性主要是由所用材料的力学性能(即机械性能)、构件的形状、尺寸以及所受载荷的方向、位置等因素决定的。材料力学在辩证唯物论的基础上,运用许多基础科学的知识(如物理、力学、数学等),给人们提供了有关构件的强度、刚度、稳定性的计算方法。它是结合生产实践与实际工程问题,进行理论探讨和实验分析的。通过本学科的教学过程,可以逐步掌握技术科学(如材料力学、结构力学、机械原理与零件、电工学等)的特点和学习方法,为进一步学习专业课程打下必备的基础。

就构件设计方面来说,除了要求坚固耐用外,还要求经济、轻便,以及满足种种工作任务的要求,如耐高温、高速、高压、腐蚀,便于大量生产、快速施工、综合利用等。例如,为了保证构件能够安全耐用,应该采用较多的或较好的材料。但是,为了满足经济和轻便的要求,又必须尽量少用材料或改用廉价多产的代用材料。在设法解决这类矛盾和困难问题时,材料力学可以给我们提供许多原则和方法,还能够揭示寻求新的材料,新的构件形式和更精确的分析计算途径。

1.2 材料力学发展简史及与生产实践的关系

材料力学这门学科和其他学科一样,也是在人类劳动和生产的实践中发生、成长和发展起来的。勤劳智慧的劳动人民在远古时代就已经积累了许多有关材料力学的宝贵经验,显示出了卓越的创造能力。在房屋建筑、桥梁建造、运输工具和武器的制造等方面,我们的祖先都能够合理地使用及创造材料,并不断地发明新式的结构及使用的工具。比如,在房屋建筑方面,根据殷墟遗迹的考古资料和《周礼考工记》的文字记载,大约在三千五百年前,我们的祖先已经用木结构做骨架来建造房屋。这种构架方法与现代建筑有着原则上相同的地方。又如,立柱截面选用圆形,很多横梁截面选用矩形;在横梁和立柱的接头处容易切断,所以古代建筑师又发明了斗拱[图 1.3 (a,b)],作为立柱与横梁间的过渡结构,这些都合乎现代材料力学的原理。在公元 1100 年宋朝李诫所著的《营造法式》中,就总结了我国历代房屋建筑的经验,这是世界上最早的一部比较完整的建筑规范。在桥梁

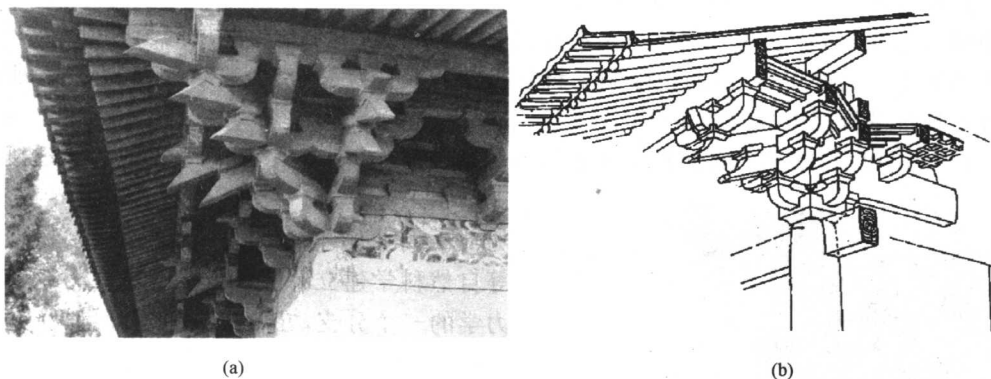


图 1.3

工程方面,远古祖先所创造的竹索悬桥,如四川灌县的岷江桥,长达 320m,在国际桥梁史上占有重要的地位。现在还完整适用的河北赵州石拱桥(图 1.4)是隋朝杰出的工程师李春(公元 581~618 年)的创造,拱的半径 25m、横跨 37m,两端各有附拱。它不但能在洪水时期排水,得到很多便利,而且还大大地减轻了桥身的重量,节省了大量的造桥材料。这种形式的拱桥,在欧洲直到 1912 年才开始出现。利用悬桥的形式,使竹索充分发挥抗拉的性能;利用拱桥的形式,使石材充分发挥抗压的性能。这些完全显示了我们祖先在使用材料方面的高度智慧。在运输工具方面,我国远在殷代时就已经有了四匹马拉的战车,车轮是用辐条代替了旧式的圆板,车轴改用金属轴承,并且采用油脂润滑。《周礼考工记》上对辐条的设计、安装、固定的要求提出了准则。我国制造船舶的历史至少也有三千年。春秋末年(公元前 500 年),吴国曾利用坚固的船只从海上攻打齐国。隋代所造的大战船有五层高,能容纳战士 800 人。宋代已经造成了四桅九帆的大船。到了明朝郑和出使西洋时(公元 1400 年),62 艘海船编成的舰队中有长 44 丈^①、宽 18 丈的大船。如果没有关于材料强度的丰富知识,要建造那样巨大轻便而又牢固的船只是绝对不可能的。在机械和武器制造方面,西周时代(公元前 1066~前 771 年)就已经利用青铜铸造了各种工具和兵器;东周时代(公元前 770~前 403 年),劳动人民先后发明了冶铁术和炼钢术,给人类提供了更坚利的工具和兵刃。到了南宋时代(公元 1250 年),我国劳动人民已经能够掌握厚壁圆筒的性能,铸造铁质火炮。到 14 世纪以后,火炮才由我国传入欧洲。

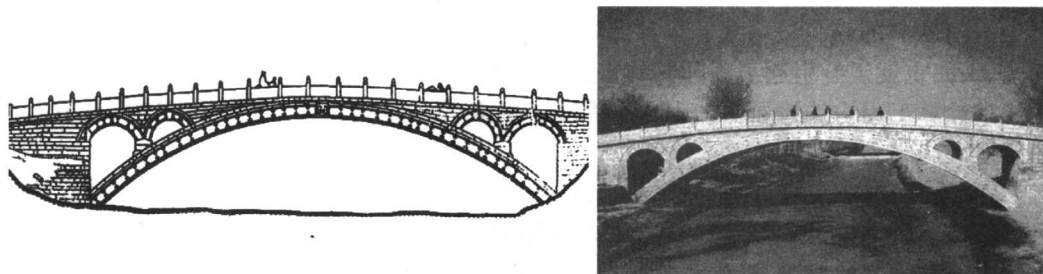


图 1.4

① 丈为非法定单位,1 丈=3.333m,下同。

总而言之,我国在 14 世纪以前,无论是在科学技术,还是文化艺术方面,均在世界各国中遥遥领先,尽管这些成就还只是经验的累积。然而,由于封建制度的长期延续,严重地束缚了生产力的发展,因而也限制了科学技术的成长,没能走上总结提高的阶段,所以一直不具备进行理论探讨的条件。

14 世纪以后,欧洲的封建社会渐趋解体,社会经济基础有了变革,手工业逐步过渡到

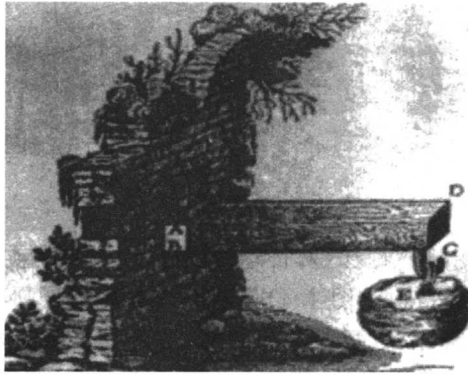


图 1.5

工场手工业,城市贸易逐步过渡到世界贸易。随着工商业的不断扩大,数学、力学、物理学等自然科学建立并成长起来。材料力学作为力学的一个分支,在解决大量实际问题中,逐步充实壮大,成为一门独立的科学。公元 1638 年,意大利科学家伽利略(G. Galileo)为了解决建造船只和水闸所需要梁的尺寸,用实验研究的方法寻求梁的强度(图 1.5)。他还进行了一系列关于杆件拉伸强度的试验,并将研究成果列入《关于两种新科学的叙述与数学证明》一书中,这是世界上第一次提出

关于强度计算概念的著作。公元 1678 年,英国科学家胡克(R. Hooke)发表了关于弹簧的论文,他在论文中总结了大量实验研究的结果,提出了著名的胡克定律,给有关刚度的计算奠定了坚实的科学基础。17 世纪末到 18 世纪是数学、力学的昌盛时期,材料力学的几个基本问题(强度、刚度、稳定性)都得到了正确解答。首先应当提出的是俄国彼得堡科学院院士欧拉(L. Euler),在他的很多数学和力学研究工作中,梁的弯曲理论的研究占据了显著的地位。他第一次(公元 1744 年)提出了关于弹性体稳定性的问题并正确求得压杆弹性稳定的计算公式。伯努利首先提出了研究梁变形时的平面假设。欧拉和伯努利叔侄(J. and D. Bernoulli)是有关杆件弯曲及振动理论的奠基人。此外,还应该提到法国的军事工程师库仑(C. A. Coulomb)。他对材料的强度问题(公元 1772 年)、梁弯曲时的法向应力分布问题(公元 1773 年)以及圆杆的扭转问题(公元 1784 年)都有过重要的贡献。

19 世纪初叶,法国科学家纳维埃(C. A. M. H. Navier)、泊松(S. D. Poisson),俄国科学家奥斯特洛格拉得斯基(М. В. Остроградский)等,共同奠定了弹性理论的数学分析基础,分别研究了一些物理学方面的问题,如应力波的传递,地壳的冷却应力等,使弹性理论成为一门独立的学科。但由于学者们观点和方法的限制,还不能解决工程技术上的具体问题,因而也就没有引起工程师们的重视。当时,铁路和造船等工业迫切需要切实有效的方法来计算工程构件的强度。于是,按照实践理论再实践的过程,便逐渐把材料力学充实和发展了起来。

在 19 世纪,有关杆件的计算方法,以及板和壳的基本理论已经趋于完善,这些是和当时科学家们的辛勤劳动分不开的。例如,法国圣维南(B. Saint Venant)对弹性理论和材料力学有着多方面的贡献,得出了关于杆件扭转和弯曲问题的精确解答,他还首先开辟了研究塑性理论的道路;英国的麦克斯韦(J. C. Maxwell)和德国的莫尔(O. Mohr)在作图法、能量法、应力分析和温度理论等方面有着许多创建;英国瑞利(Lord Rayleigh)对振动理论有较大的贡献;俄国儒拉夫斯基(Д. И. Журавский)在建设许多铁道桥梁的工作中,解决

了一系列有关梁强度的重要问题,例如梁内剪应力的研究和组合梁的计算方法;杰出的俄国工程师雅兴斯基(Ф. С. Ясинский)首先提出并切实解决了杆件在比例极限外的稳定问题。俄国炮兵中将加道林(А. В. Гадолин)解决了厚壁圆筒问题,奠定了近代炮身强度理论的基础。在这个时期,测定材料机械性能的专门实验室也广泛地建立起来,其中俄国别列留勃斯基(Н. А. Белелюбский)和德国包辛格(J. Bauschinger)等有较高的功绩。

19世纪末,由于实际需要及科学上的丰富成就,以材料力学的知识为基础,发展建立了结构力学和机械零件两门独立的学科。结构力学主要是在材料力学的初等理论的基础上,把能够计算复杂桁架、连续梁、刚架、拱、索等杆件体系的各种方法加以总和,它的具体内容随着建设事业的发展,不断地得到了丰富。机械零件的主要内容包括确定零件的结构形式,容许应力和强度计算方法等。由于机械零件受力复杂,式样繁多,有时不可能用初等方法来精确地算出各点的应力,因而在具体问题中往往要引用许多经验校正系数。随着实际需要以及实验技术和理论水平的逐步提高,这门科学正在向更精密的理论分析方向发展。

20世纪以来,材料力学在理论和实际加强联系下得到了突飞猛进的发展,一方面数学工具在不断扩大,科学家们用许多完善的弹性理论成果和方法应用于解决具体工程问题;另一方面,理论的物理基础在不断扩大,种种精密的、带有根本性的实验研究,使那些作为计算基础的材料性能的概念日益精确。从这个世纪开始,就出现了许多著名的应用力学家,例如德国的克朗(Lord Klein)、普朗特(L. Prandtl)、司徒杜拉(A. Stodola),俄国的克雷洛夫(А. И. Крылов)、铁木辛柯(С. П. Тимошенко)、加辽金(Б. Г. Галёркин),英国的泰劳(G. I. Taylor)、邵士威尔(R. V. Southwell)等,他们创造性地运用理论和实验的方法,大量而又有效地解释新的现象,解决科学技术中存在的具体问题,出色地加强了理论与实际的联系。

随着生产的发展,以及铁路车辆、船舶、飞机、新型建筑物和金属切削机床的发明和使用,提出了减轻构件自重、减少材料消耗量的要求。为此必须提高材料的强度,这就推动了冶金工业的发展,使高强度的金属例如钢、铝合金等材料逐渐成为主要的工程材料,从而使构件为了符合其强度要求所需要的截面尺寸有可能减小。然而,由于采用了细长的构件,荷载作用下的变形就显著地增大。因此,保证构件的刚度,即防止其变形超过工程上所能允许的范围,就成为在计算中必须加以考虑的另一个方面。此外,由于细长杆件在受压时,又出现了丧失其原有平衡状态的稳定性问题,所以对构件进行稳定性计算,也随着这种构件的采用而成为理论计算中不可忽视的又一个方面。由此可见,对于在荷载作用下的构件需要进行强度、刚度和稳定性计算,是随着生产发展中不断出现的新问题而逐渐提出来的。生产的进一步发展又出现了更多的新问题。例如,很多构件需要在随时间而交替变化的荷载作用下或长期在高温环境中工作等。对于在这些情况下工作的构件进行强度、刚度和稳定性计算时,就得考虑更多的影响因素。此外,随着超高强度钢的应用,又出现了由于结构或构件中存在着漏检的初始裂纹而发生意外断裂的事故,为解决这类问题,近年来发展了断裂力学这一个分支。

由上述可知,材料力学所要解决问题的范围随着生产的发展而日益扩大。同时,生产实践也提供了大量成功的经验和失败的教训,在实验室内进行的大量科学实验也不断积累着有关材料力学方面丰富的实验资料,这些都有助于材料力学的发展。

在最近几十年中,随着生产与科学技术的密切结合,相互促进的过程大大加快了,它

们的发展速度也更快了。时至今日,材料力学已是硕果累累,分支众多,其中不少已经形成了独立的学科。例如研究对象由单一杆件到杆件系统,由杆件到板壳,分析方法更加精确,应用范围更加广泛;在强度设计中,全面研究了塑性材料在弹性阶段和塑性阶段的工作状况。研究的范围由弹性扩展到塑性,由常温扩展到高温、低温,由小变形扩展到有限变形;由静载问题深入到动载问题的研究;从线性小变形问题扩展到非线性大变形问题。在稳定性问题的研究中,从杆、板、壳的静态稳定问题扩展到运动稳定性问题的研究。稳定性理论的研究已经从线性理论发展到非线性理论,并进入“分叉”、“混沌”等问题的研究领域。

材料力学作为一门系统的学科,目前还面临着新材料、新实验方法和新的数值计算分析方法的挑战。随着现代科学技术的日新月异,必将不断地给材料力学提出新的课题,开辟新的研究方向,促使这门学科更加快速地向发展。

1.3 构件组成体及变形固体的基本假设

1.3.1 构件的基本形式

构件有下列三种基本形式:杆、板、块。

1. 杆件

杆件是长度(纵向)比厚度(横向)、宽度(侧向)的尺寸大得很多的构件。杆件的几何形状可以用一根轴线和垂直于轴线的任一图形(称为**横截面**)来表示。轴线是杆件各个横截面形心的连线。轴线(或很接近)是一条直线的杆件称为**直杆**[图 1.6(a,b)],轴线有转折的杆件称为**折轴杆**[或称刚架,图 1.6(c,d)];具有弯曲轴线的杆件称为**曲杆**[图 1.6(e)]。杆件横截面可以是不改变的,称为**等截面杆**[图 1.6(a,c,e)];也有沿轴线改变横截面的杆件,称为**变截面杆**[图 1.6(b,d)]。

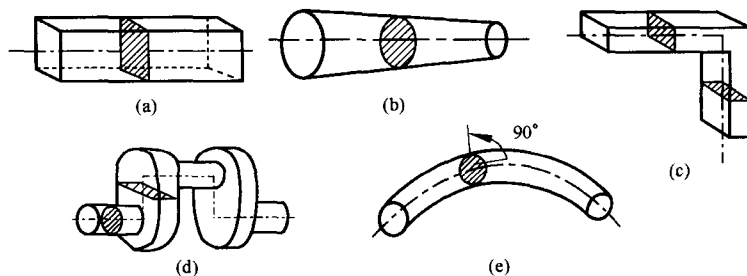


图 1.6

平行于杆件轴线的截面,称为**纵截面**;既不平行也不垂直于杆件轴线的截面,称为**斜截面**(图 1.7)。

2. 板件

板件是厚度比其他两向的尺寸小得很多的构件。板件的几何形状可用它在厚度中间的一个面(称为中面)和垂直于该面的厚度来表示。板件的中面如果是平面,称为平板[简