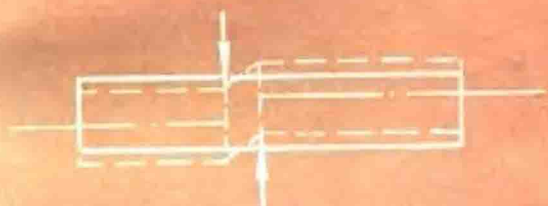


中等专业学校试用教材



材料力学

浙江省建筑工业学校

沈伦序 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据教育部一九八二年二月审定的工科中等专业学校土建类专业通用《材料力学教学大纲》(试行草案)编写的。

全书内容包括:绪论、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、截面的几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态理论和强度理论、组合变形的强度计算、变形能法、压杆稳定等十二章基本内容及动荷载作用下的应力计算、疲劳强度和断裂韧性两章专题。各章有小结、思考题及习题。书末附有单位换算表及各章习题答案。

本书是工科中等专业学校土建类专业材料力学课程的试用教材。教学时数为80~120学时,初中毕业或高中毕业入学的中专学生均可采用,也可供土建工程人员参考。

中等专业学校试用教材

材 料 力 学

(土建类)

浙江省建筑工业学校 沈伦序 宋蕙芬 编

沈伦序 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

崇明大同红卫印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 17.5 字数 420,000

1984年4月第1版 1984年10月第1次印刷

印数 00,001—46,000

书号 15010·0590 定价2.05元

前 言

本书是根据教育部一九八二年二月审定的工科中等专业学校土建类专业通用《材料力学教学大纲》(试行草案)编写的。为了适应教学上的不同要求,编有带*号的章节,供选学用;基本内容部分深广度有伸缩性的地方,设有“讨论”,讲解的详略,教师可灵活掌握。

本书增强了对材料力学基本内容的内在联系及基本公式应用条件的阐述。为了便于自学和教学,各章均有小结和思考题,选编了较多的习题,在书末附有习题答案。

根据教学大纲对第十一章变形能法的说明,有结构力学为后续课的专业只讲授§11-1、§11-2及§11-3(共4学时),没有结构力学课的专业则讲授§11-1、§11-2及§11-4、§11-5、§11-6(共7学时)。本书第十三章动荷载作用下的应力计算及第十四章疲劳强度及断裂韧性两章专题内容各按4学时的篇幅编写。

本书采用国际单位制(SI)。附录I列有工程常用量的单位换算表。书中长度未注明单位的均为mm。

本书由山西建筑工程学校程上直、范继昭两同志主审。参加审稿会议的有城乡建设、铁道、水电、交通、冶金、石油、煤炭等部所属学校的代表,他们是天津铁路工程学校吕学谟、扬州水利学校钱运学、长春冶金建筑学校薛光瑾、河南交通学校陈恩双、石油部管道职工学院王茂棠、广州市政学校邓用焜、辽源煤矿学校万长生、湖南建筑工业学校任润芝、黑龙江建筑工程学校段明章、呼和浩特交通学校钱德昌、内蒙古建筑学校潘大库、新疆建筑工程学校李文祥等同志。本书在编写与审稿中得到了各兄弟学校的支持和帮助,在此表示深切谢意。

本书由浙江建筑工业学校沈伦序主编，浙江建筑工业学校宋蕙芬参加了各章的研究并编写了九、十、十一、十二、十三等章。限于编者水平，书中定有不少缺点和错误，请读者给予批评与指正。

编者

一九八三年十月

主要字符表

(以字母顺序排列)

字 符	字 符 意 义	常用单位
A	面 积	mm^2, m^2
E	弹性模量	GPa
G	剪切弹性模量	GPa
I, I_y, I_z	惯性矩	mm^4, m^4
I_p, I_{pz}	极惯性矩及惯性积	mm^4, m^4
i_y, i_z	惯性半径	mm, m
K	安全系数	无量纲
K_d	动荷系数	无量纲
K_1	应力强度因子(I型)	$\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$
K_{1s}	断裂韧度(I型)	$\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$
K_σ, K_τ	有效应力集中系数	无量纲
M_s	外力偶矩	$\text{N} \cdot \text{m}, \text{kN} \cdot \text{m}$
M, M_y, M_z	弯 矩	$\text{N} \cdot \text{m}, \text{kN} \cdot \text{m}$
$\bar{M}$	虚梁的虚弯矩	$\text{N} \cdot \text{m}^3, \text{kN} \cdot \text{m}^3$
M_n	扭 矩	$\text{N} \cdot \text{m}, \text{kN} \cdot \text{m}$
N	轴 力	N, kN
P	集 中 力	N, kN
P_{1l}	压杆的临界力	N, kN
Q	剪 力	N, kN
$\bar{Q}$	虚梁的虚剪力	$\text{N} \cdot \text{m}^2, \text{kN} \cdot \text{m}^2$
q	分布荷载集度	$\text{N}/\text{m}, \text{kN}/\text{m}$
$\bar{q}$	虚梁的虚荷载集度	$\text{N} \cdot \text{m}, \text{kN} \cdot \text{m}$
r	交变应力的循环特征	无量纲
S, S_y, S_z	静 矩	mm^3, m^3
U	变形能	J
W	功	J
W, W_y, W_z	抗弯截面系数	mm^3, m^3
W_p	抗扭截面系数	mm^3, m^3
y	挠 度	mm

主要字符表

续前表

字 符	字 符 意 义	常用单位
α_σ	应力集中系数	无量纲
β	表面加工系数(交变应力)	无量纲
γ	剪 应 变	无量纲
δ	延 伸 率	无量纲
δ_d	动 变 形	mm
ε	线 应 变	无量纲
	尺寸系数(交变应力)	无量纲
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主 应 变	无量纲
θ	转 角	rad
λ	压杆的柔度	无量纲
μ	泊 松 比	无量纲
	压杆的长度系数	无量纲
σ	正 应 力	MPa
σ^b	极限应力	MPa
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主 应 力	MPa
$[\sigma]$	许用应力	MPa
$[\sigma_1], [\sigma_2]$	许用拉应力、许用压应力	MPa
$\sigma_c, [\sigma_c]$	挤压应力及许用挤压应力	MPa
σ_{lj}	压杆的临界应力	MPa
σ_p	比例极限	MPa
$\sigma_s, \sigma_{0.2}$	屈服极限、名义屈服极限	MPa
σ_b	强度极限	MPa
σ_r	持久极限	MPa
σ_m, σ_a	交变应力的平均应力和应力幅	MPa
σ_{xd}	相当应力	MPa
τ	剪 应 力	MPa
τ^b	极限剪应力	MPa
$[\tau]$	许用剪应力	MPa
τ_p	剪切比例极限	MPa
τ_s	剪切屈服极限	MPa
φ	扭 转 角	rad
ψ	面积收缩率	无量纲

目 录

附表索引

主要字符表

第一章 绪论	1
§ 1-1 材料力学的任务	1
§ 1-2 材料力学的研究对象	2
§ 1-3 外力的分类	4
§ 1-4 内力·截面法	5
§ 1-5 应力和应变的概念	8
§ 1-6 杆件变形的基本形式	11
* § 1-7 材料力学研究问题的基本方法	12
* § 1-8 材料力学发展简史	13
小结	15
第二章 轴向拉伸和压缩	16
§ 2-1 轴向拉压的概念	16
§ 2-2 轴向拉压时的内力	17
§ 2-3 轴向拉压时横截面上的应力	20
§ 2-4 轴向拉压时杆件的强度计算	24
§ 2-5 拉(压)杆的变形·虎克定律	32
§ 2-6 材料在拉伸和压缩时的力学性能	38
§ 2-7 拉压超静定问题	51
小结	59
思考题	61
习 题	64
第三章 剪切	72
§ 3-1 剪切的概念	72
§ 3-2 剪切与挤压的实用计算	73
* § 3-3 焊接的计算	82
小结	85
思考题	86

习 题	87
第四章 扭转	92
§ 4-1 扭转的概念	92
§ 4-2 扭转时的内力——扭矩	93
§ 4-3 薄壁圆筒的扭转	96
§ 4-4 圆轴扭转时的应力	100
§ 4-5 圆轴扭转时的强度计算	104
§ 4-6 圆轴扭转时的变形计算	111
* § 4-7 非圆截面杆扭转简介	112
小结	115
思考题	116
习 题	118
第五章 截面的几何性质	121
§ 5-1 静矩及形心	121
§ 5-2 惯性矩·惯性积·极惯性矩	125
§ 5-3 惯性矩和惯性积的平行移轴定理·组合截面惯性矩的计算	131
§ 5-4 转轴定理·主惯性轴·主惯性矩	137
小结	143
思考题	144
习 题	146
第六章 弯曲内力	150
§ 6-1 弯曲的概念	150
§ 6-2 弯曲时的内力	153
§ 6-3 剪力方程和弯矩方程·剪力图和弯矩图	161
§ 6-4 弯矩、剪力与分布荷载集度间的关系	173
§ 6-5 作弯矩图的叠加法	182
小结	185
思考题	187
习题	191
第七章 弯曲应力	197
§ 7-1 梁弯曲时的正应力	197
§ 7-2 弯曲正应力的强度计算	207

§ 7-3 提高梁抗弯强度的途径·····	216
§ 7-4 梁弯曲时的剪应力·····	223
* § 7-5 弯曲中心的概念·····	234
§ 7-6 考虑材料塑性时梁的极限弯矩·····	237
小结·····	242
思考题·····	244
习题·····	246
第八章 弯曲变形·····	252
§ 8-1 梁的挠度与转角·····	252
§ 8-2 挠曲线的近似微分方程·····	253
§ 8-3 二次积分法计算梁的变形·····	255
* § 8-4 共轭梁法计算梁的变形·····	266
§ 8-5 叠加法计算梁的变形·····	276
§ 8-6 梁的刚度校核及提高弯曲刚度的措施·····	281
§ 8-7 超静定梁·····	284
* § 8-8 连续梁的三弯矩方程·····	289
小结·····	302
思考题·····	303
习题·····	304
第九章 应力状态理论和强度理论·····	310
§ 9-1 拉、压及纯剪切单元体的应力状态·····	310
§ 9-2 平面应力状态·····	320
§ 9-3 梁的主应力及主应力迹线·····	333
§ 9-4 空间应力状态的最大剪应力·广义虎克定律·····	336
§ 9-5 强度理论·····	340
小结·····	348
思考题·····	350
习题·····	353
第十章 组合变形的强度计算·····	358
§ 10-1 组合变形的概念及计算原理·····	358
§ 10-2 斜弯曲·····	361
§ 10-3 偏心受压(或偏心受拉)——弯曲与压缩(或拉伸)的组合变	

形	369
§ 10-4 截面核心	377
* § 10-5 弯曲与扭转的组合	381
小结	385
思考题	388
习题	389
第十一章 变形能法	394
§ 11-1 变形能法的概念	394
§ 11-2 杆件变形能的计算	395
§ 11-3 卡氏定理	406
§ 11-4 莫尔定理	415
§ 11-5 图形相乘法	423
§ 11-6 功的互等定理和位移互等定理	432
小结	434
思考题	435
习题	439
第十二章 压杆稳定	443
§ 12-1 压杆稳定的概念	443
§ 12-2 计算临界力的欧拉公式	447
§ 12-3 欧拉公式的适用范围及超过比例极限时的稳定计算	453
§ 12-4 压杆的稳定计算·折减系数	457
§ 12-5 提高压杆稳定性的措施	465
* § 12-6 其他构件稳定问题简介	466
小结	468
思考题	470
习题	471
*第十三章 动荷载作用下的应力计算	474
§ 13-1 动荷载的概念	474
§ 13-2 等加速运动构件的应力计算	475
§ 13-3 冲击应力计算	481
* § 13-4 冲击韧度	487
小结	488

思考题·····	489
习题·····	490
*第十四章 疲劳强度和断裂韧度·····	494
§ 14-1 交变应力及疲劳强度·····	494
§ 14-2 脆性断裂及断裂韧度·····	506
附录 I 工程常用量的单位换算表·····	514
附录 II 型钢表·····	517
习题答案·····	534

附表索引

表 2-1	常用材料的 E 、 μ 值	34
表 2-2	常用材料的主要力学性能	47
表 2-3	常用材料的许用应力	50
表 4-1	常用材料的剪切弹性模量 G	100
表 4-2	矩形截面的 α 、 β 、 ξ 值	114
表 5-1	几种常用截面的面积、形心位置和惯性矩	128
表 6-1	梁的荷载、剪力图、弯矩图相互间的关系	176
表 6-2	常见梁的弯矩图	184
表 7-1	几种开口薄壁截面的弯曲中心位置	236
表 8-1	$M(x)$ 图形的面积及其形心位置	270
表 8-2	简单荷载作用下梁的挠度和转角	277
表 8-3	三弯矩方程中荷载作用下的虚反力 $\bar{A}^P$ 、 $\bar{B}^P$	293
表 10-1	基本变形时外力作用方式及内力	358
表 12-1	各种杆端支承时压杆的临界力	452
表 12-2	压杆的折减系数 φ	459
表 I-1	国际单位制(SI)词头(摘要)	514
表 I-2	工程常用量的单位换算表	514
表 II-1	热轧等边角钢(GB 700-79)	517
表 II-2	热轧不等边角钢(GB 701-79)	523
表 II-3	热轧普通工字钢(GB 706-65)	528
表 II-4	热轧普通槽钢(GB 707-65)	531

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

一个结构物常由若干构件所组成。结构使用时,各构件将受到外力作用,如房屋中的梁要承受楼板传来的重量。构件受到外力作用时会发生形状和尺寸的改变——即产生变形,同时在构件内部产生一种反抗变形的内力。随着作用力的增大,构件的变形和内力也增大,当作用力大到一定程度时,构件会丧失工作能力。因此,要让一个结构物能正常地使用,各个构件都必须满足一些基本要求:

一、构件在外力作用下不应发生破坏。如房屋中的梁、板、柱,在房屋使用时都不允许发生断裂。构件抵抗破坏的能力称为强度,所以构件的这种要求称为强度要求。

二、构件在外力作用下发生的变形不应超出允许的范围。一些构件受力后虽不致破坏,但如果发生过大的变形,仍会影响正常的使用。如楼面梁弯曲太大会使下面的抹灰层开裂、脱落,屋面檩条变形过大会引起屋面漏水等等。因此,构件在使用时发生的变形必须限制在一定的范围内。构件抵抗变形的能力称为刚度,所以构件的这种要求称为刚度要求。

三、构件在外力作用下,它的平衡状态不应发生突然改变而丧失稳定。一些细长的受压直杆在压力不太大的时候,它保持着直线形状的平衡,当压力增加到一定值时,直杆会突然弯曲甚至折断,失去工作能力。这种现象叫丧失稳定。房屋中的承重柱、屋架中的受压杆件就有可能由于丧失稳定而使整个结构倒塌。构件保持

原有平衡形态的能力称为稳定性，所以对构件的这种要求称为稳定性要求。

不同的构件对强度、刚度、稳定性三方面的要求程度有所不同，但都必须首先满足强度要求。构件满足强度、刚度、稳定性要求的能力，统称为构件的承载能力。

一个合理的构件设计，不但应该满足强度、刚度、稳定性的要求以保证构件的安全可靠，还应该符合经济原则。前者往往要求构件具有较大的截面尺寸或选用较好的材料，而后者则要求减少材料用量或采用廉价材料，两者是相互矛盾的。材料力学这门学科的任务，就是通过研究构件的强度、刚度、稳定性和材料的力学性能，在保证既安全可靠又经济节约的前提下，为构件选择合适的材料、确定合理的截面形状和尺寸提供计算理论。

构件的强度、刚度、稳定性与材料的力学性能有关，而材料的力学性能需要通过试验来测定。此外，工程中还存在着单靠理论分析尚难解决的复杂问题，需要依靠实验来解决。因此，在材料力学中，实验占有十分重要的地位。

§ 1-2 材料力学的研究对象

一、材料力学研究对象的几何特征

构件有各种几何形状，材料力学的主要研究对象是杆件。杆件的几何特征是横向尺寸远小于纵向尺寸，如图 1-1 所示。房屋结构中的柱、梁，屋架中的弦杆、腹杆都可视为杆件。

杆件的形状和尺寸可以由杆的横截面和轴线两个主要几何因素来描述。横截面是指垂直于杆长度方向的截面，轴线则是杆件各横截面形心的连线。轴线为直线且各横截面相同的杆称为等直杆。材料力学主要研究这种等直杆。

二、研究对象的材料特征

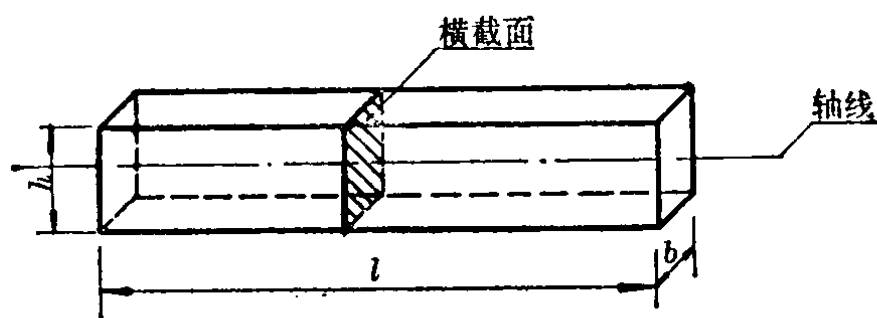


图 1-1

构件都由一些固体材料制成, 如钢、铸铁、木材、混凝土等。这些固体材料在外力作用下会产生变形, 称为变形固体。

从物质的微观结构来讲, 变形固体的组成及性质是复杂的。例如金属材料由无数个不规则排列的晶粒组成, 各晶粒及其在不同方向上的性能并不一样, 晶粒间还存在着空隙。但材料力学从宏观的角度来研究构件的强度、刚度、稳定性问题, 晶粒间的空隙相对构件尺寸来讲极为微小, 可以忽略不计; 同时, 一个构件中包含了无数晶粒, 且晶粒的排列是不规则的, 而材料的力学性能是所有晶粒的性能的统计平均值, 因此晶粒性能的不均匀及每个晶粒在不同方向的不同性能并不显示出来。这样, 在材料力学中, 对所研究的变形固体材料可以作出下列假设, 以达到简化研究工作和运用数学工具的目的:

1. **均匀连续性假设** 假设固体内连续不断地充满着均匀的物质, 各点处性能相同。

2. **各向同性假设** 假设材料在各个方向上具有相同的力学性能。

实验结果表明, 工程中使用的大多数材料根据这些假设得出的理论结论基本上是正确的, 说明这些假设是符合实际情况的。有一些材料, 如轧制钢材、木材等, 其性能具有方向性 (称为各向异性), 但近似地应用上述假设也可满足工程上所要求的精

度。

变形固体在外力作用下会发生两种不同性质的变形：外力卸除时会消失的变形称为弹性变形；外力卸除时不会消失的变形称为塑性变形（或残余变形）。工程中常用材料在作用的外力数值不超出一定范围时，塑性变形极小，可以把材料视为理想弹性体——只产生弹性变形而无塑性变形。这个作用的外力范围称弹性范围。材料力学主要研究材料在弹性范围内的变形及内力。

概括起来讲，材料力学的研究对象是由均匀连续的、各向同性的弹性体材料组成的杆件。

弹性材料制成的杆件在不同情况下因外力作用而引起的变形，其值可能很小，也可能较大。材料力学所研究的还限于“变形与构件原尺寸相比极为微小”的范围，一般称为“小变形”范围。在研究构件的平衡和运动时，可忽略其变形，而按变形前的原始尺寸和形状进行计算。例如计算图 1-2 所示悬臂梁固定端 A 的反力矩时，虽然因梁的弯曲引起了 P 力作用点有微小水平位移 Δ ，但力 P 到 A 点的力臂仍可用原长 l ，使计算工作大为简化而又不影响计算结果的精度。

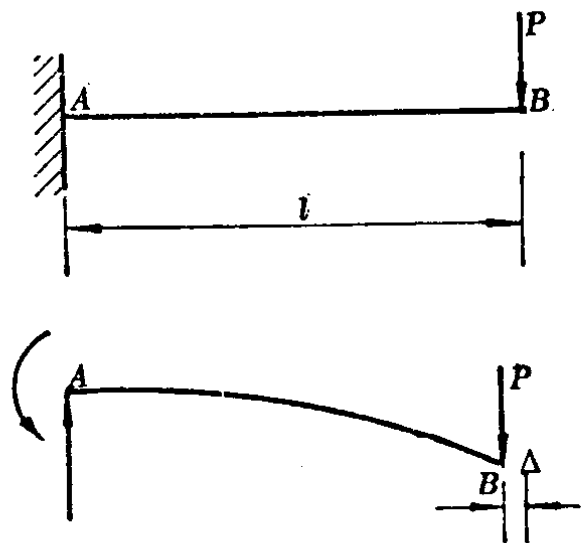


图 1-2

§ 1-3 外力的分类

在构件承载能力的计算中，会遇到各种外力。所谓外力是指研究对象以外的物体对它的作用力，包括荷载和约束反力。

工程中常见的外力分类可见下表：

1. 按作用方式分
- 集中力——作用在一点处的力。国际单位制常用牛顿(N)、千牛顿(kN)为单位,工程单位制常用公斤力(kgf)、吨力(tf)为单位。
 - 分布力
 - 在体积中分布的力。常用 N/m^3 、 kN/m^3 (国际单位制)及 kgf/m^3 、 tf/m^3 (工程单位制)为单位。
 - 在面积上分布的力。常用 N/m^2 、 kN/m^2 (国际单位制)及 kgf/m^2 、 tf/m^2 (工程单位制)为单位。
 - 在长度上分布的力。常用 N/m 、 kN/m (国际单位制)及 kgf/m 、 tf/m (工程单位制)为单位。
2. 按作用性质分
- 静荷载——由零开始缓慢地加于杆件上的力,作用到杆件上后,力的大小与方向不再改变,加力过程中杆件无速度的变化。
 - 动荷载——加力过程中杆件有明显的加速度产生。

本教材主要研究静荷载以各种作用方式作用下杆件的承载能力。

§ 1-4 内力·截面法

一、内力

内力是杆件中一部分与另一部分之间的相互作用力。

弹性体内各点之间原来就存在着相互作用力,使杆件保持着一定的形状。外力作用时,各点之间的相对位置发生变化,杆件发生变形,而各点间为维持原来的位置,相互作用力也要发生相应的变化。这种因外力作用而引起的杆件各点间作用力的改变量称为附加内力。材料力学中所讲的内力,专门指这种附加内力。显然,内力随外力的增大而增大,并且当内力超过维持两点间相互联系的程度时,杆件就要发生破坏。所以研究杆件的承载能力必须研究和计算内力。

二、截面法

显示和确定内力的方法是截面法。截面法的依据是平衡物体的各部分应保持平衡。例如有一杆件,在力系 P_1 、 P_2 、 P_3 、 $\dots$ 、 P_5 作用下平衡(图 1-3 a),若要计算 m 截面上的内力,可假想地用一