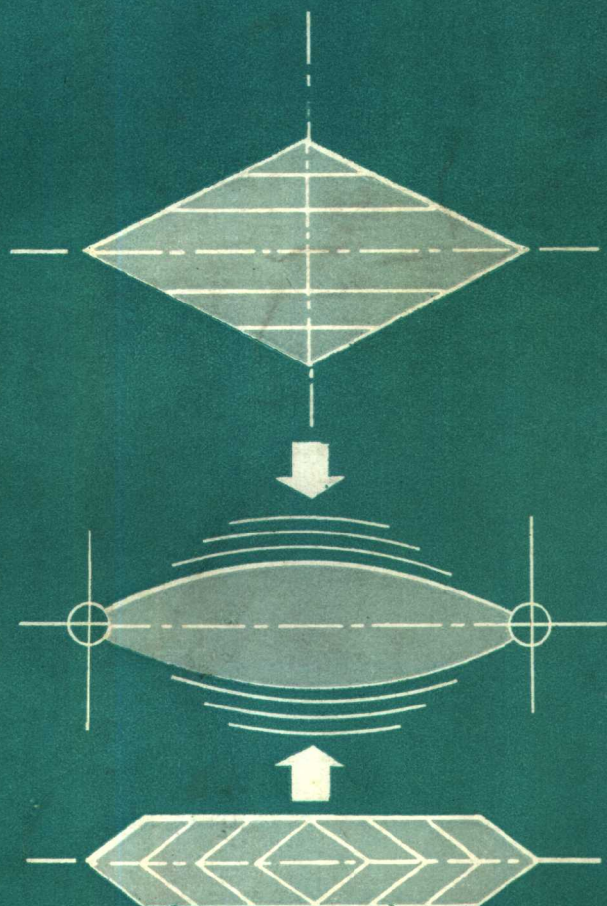


[日本] 渥美光 铃木幸三 三田贤次 著

张少如 译

材料力学



人民教育出版社

材 料 力 学

[日] 渥 美 光 著
 铃 木 幸 三 次
 三 田 贤 次
张少如 译

人 民 教 育 出 版 社

本书系根据日本森北出版株式会社一九七六年出版的最新机械工学丛书(共二十二卷)的第十四、十五卷翻译而成。原书由日本东北大学教授渥美光等所著。该书内容丰富,叙述简明,注意培养解决工程实际问题的能力。全书包括拉伸、弯曲、扭转、长柱的纵弯曲、应力集中、材料的机械性质和材料试验、三维和二维弹性应力和应变、圆筒、回转体、平板、应力测定法等二十章,每章均有习题,书末附有答案。该书可供高等学校工科各专业师生及有关工程技术人员参考。

本书责任编辑 蒋 鉴

材料力学

〔日〕渥美光等著

张少如 译

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 15.375 字数 370,000

1981年10月第1版 1982年10月第1次印刷

印数 00,001—15,100

书号 15012·0373 定价 1.95 元

序 言

材料力学是机械工程系的学生必修的重要基础课程之一。

本书可作为工科大学、短期大学、工业高等专门学校机械工程系各专业的“材料力学”教科书，或技术人员自修必备的参考书。关于材料力学的基本问题，尽量利用容易理解的图表归纳，同时为培养分析实际问题的能力，还选编了大量叙述简洁的例题和习题。

为了使初学者能够容易地学好材料力学，在编写本书时全面地注意到：

(1) 只要具备初等微积分学和力学的知识，即可学懂本书。

(2) 从周围的现象开始，再到一般规律，不偏重于理论，而侧重于能够用来解决技术上的实际问题。

此外，还注意到以下几点：

(1) 在各章开头明确本章所学内容，正文尽可能简明扼要，并对重要问题作了说明。

(2) 各章根据材料所产生现象的内容分类，而不依材料的用途和形状分类。

(3) 例题对确切理解该项内容应有所帮助。

(4) 各章编入大量经过精选的习题，仅仅将数值代入公式即可得出答案的题目不多，注意培养实际工作的能力。

(5) 专用术语参照文部省“学术用语集”机械工程学篇、日本机械学会材料力学部门委员会“材料力学有关用语”及机械工程学便览等。

如上所述，为使初学者能依次过渡到研究者，确实掌握材料力学的基本问题，本书系著者们一边讨论一边完成的，由于著者们没

有十分充裕的时间，错误和遗漏之处在所难免，希望读者一一指正。

本书内容承八户工业大学的伊藤胜悦副教授再三通读并指正，在此表示深刻的谢意。

同时，对允许参考的国内外各种版本书刊的著者们，一并致以谢意。在本书由约定执笔到完成出版的数年间，受到森北出版株式会社池田广好先生的促进和在校对等事务方面的大力协助与支援，在此表示衷心的感谢。

著 者

1976. 8. 8.

目 录

第一章 绪论	1
1.1 材料力学.....	1
1.2 载荷和应力.....	1
(1) 载荷.....	1
(2) 应力.....	3
1.3 应变.....	4
(1) 正应变.....	4
(2) 剪应变.....	5
1.4 应力-应变曲线.....	5
1.5 弹性模量.....	8
(1) 虎克定律.....	8
(2) 弹性模量.....	8
1.6 许用应力和安全系数.....	11
习题.....	14
第二章 拉伸和压缩	16
2.1 直杆的应力状态.....	16
✓ 2.2 杆的自重产生的应力.....	19
2.3 组合杆的应力.....	22
2.4 热应力.....	23
2.5 简单桁架.....	25
2.6 受惯性力作用时物体的应力.....	30
2.7 内压薄壁圆筒和薄壁球形壳.....	31
(1) 内压薄壁圆筒.....	31
(2) 内压薄壁球形壳.....	33
✓ 2.8 极限设计法.....	31
习题二.....	35
第三章 弯曲(1)	42
3.1 截面的静矩和形心.....	42

3.2 截面的惯性矩	43
(1) 截面的惯性矩	43
(2) 各种截面的惯性矩	44
(3) 截面惯性矩的图解法	46
3.3 截面的惯性积和主轴	48
3.4 梁的分类	52
3.5 梁的剪力和弯矩	54
3.6 梁的剪力图和弯矩图	56
(1) 悬臂梁的剪力图和弯矩图	56
(2) 简支梁的剪力图和弯矩图	59
3.7 载荷、剪力和弯矩的关系	65
3.8 梁的弯曲应力	66
3.9 梁的设计和梁的截面形状	72
3.10 非对称弯曲梁	74
3.11 受移动载荷作用的梁	78
习题三	80

第四章 弯曲(2).....88

4.1 梁的挠曲线微分方程式	88
4.2 梁的挠度	89
(1) 悬臂梁	89
(2) 简支梁	92
4.3 面积矩法	99
习题四	101

第五章 弯曲(3).....107

5.1 固定梁	107
(1) 受集中载荷作用的固定梁	107
(2) 受均布载荷作用的固定梁	111
5.2 一端固定、一端简支梁	113
(1) 受一个集中载荷作用时	113
(2) 受均布载荷作用时	114
(3) 一端用弹簧支承时	115
5.3 连续梁	116

习题五	124
-----	-----

第六章 弯曲(4) 127

6.1 等强度梁	127
(1) 悬臂梁	127
(2) 简支梁	131
(3) 叠板弹簧	134
6.2 组合梁	135
(1) 组合梁	135
(2) 钢筋混凝土梁	137
习题六	139

第七章 剪切 142

7.1 剪应力共生	142
7.2 剪应力引起的正应力和正应变	143
7.3 弹性模量之间的关系	144
7.4 梁的剪应力	145
7.5 各种形状截面的剪应力	148
(1) 矩形截面	148
(2) 圆形截面	148
(3) 工字形截面	149
7.6 梁的剪应力的影响	150
7.7 剪切中心	152
习题七	155

第八章 扭转 157

8.1 圆杆的扭转	157
8.2 动力轴的扭转	161
8.3 实心圆轴与空心圆轴的强度、刚度的比较	162
8.4 密圈螺旋弹簧	163
8.5 不服从虎克定律时圆杆的扭转	166
8.6 非圆形截面杆的扭转	167
8.7 薄膜比拟	170
习题八	173

第九章 组合应力 177

9.1	两个轴向正应力作用时任意点的应力	177
9.2	莫尔应力圆	179
9.3	正应力和剪应力作用时任意点的应力	180
9.4	两个轴向正应力作用时的应变	182
9.5	受轴向载荷和弯矩作用的杆	183
9.6	受偏心压缩载荷作用的短柱	185
(1)	圆形截面	185
(2)	矩形截面	186
9.7	受弯曲和扭转作用的轴	186
习题九		189
第十章 应变能		194
10.1	应变能	194
(1)	拉应力或压应力的应变能	194
(2)	剪应力的应变能	195
(3)	弯曲应力的应变能	196
(4)	扭转应力的应变能	196
10.2	疏圈螺旋弹簧的挠度	197
10.3	马克斯威尔定理	198
10.4	卡斯提里阿诺定理	200
10.5	冲击载荷产生的应力和变形	203
习题十		207
第十一章 曲梁		211
11.1	曲梁的应力	211
11.2	曲梁的截面模量	215
(1)	κ 的计算	215
(2)	图解法	217
✓ 11.3	曲梁的挠度	218
✓ 11.4	薄壁曲梁	222
11.5	吊钩	224
✓ 11.6	链环	225
✓ 11.7	活塞环	226
11.8	两端铰支拱	227

习题十一	229
第十二章 长柱的纵弯曲	234
12.1 欧拉公式	234
(1) 一端固定、一端自由的长柱	234
(2) 两端铰支的长柱	236
(3) 两端固定的长柱	237
(4) 一端固定、一端铰支的长柱	237
(5) 许用纵弯曲载荷	238
(6) 欧拉公式的适用范围	238
12.2 受偏心载荷的长柱	239
12.3 关于长柱纵弯曲的经验公式	241
(1) 兰金(Rankine)公式	242
(2) 泰特玛耶(Tetmajer)公式	243
(3) 约翰逊(Johnson)公式	243
习题十二	244
第十三章 应力集中	247
13.1 应力集中系数和基准应力	247
13.2 应力集中的实例	248
13.3 应力集中松弛的现象	259
13.4 减轻应力集中的方法	263
13.5 应力集中和断裂系数	265
习题十三	267
第十四章 材料的机械性质和材料试验	269
14.1 拉伸时的性质(拉伸试验)	269
14.2 压缩时的性质(压缩试验)	274
14.3 扭转时的性质(扭转试验)	275
14.4 弯曲时的性质(弯曲试验)	277
14.5 材料发生塑性变形时的各种现象	280
14.6 受冲击载荷时的性质(冲击试验)	281
14.7 残余应力	287
14.8 材料的疲劳(疲劳试验)	289
14.9 蠕变(蠕变试验)	295

14.10 硬度(硬度试验).....	297
第十五章 三维和二维弹性应力和应变	301
15.1 应力.....	301
15.2 应变.....	316
15.3 应力和应变的关系.....	320
15.4 应变能的一般公式.....	323
习题十五.....	325
第十六章 破坏准则	329
16.1 最大主应力理论.....	330
16.2 最大主应变理论.....	330
16.3 最大剪应力理论.....	331
16.4 总应变能理论.....	332
16.5 剪应变能理论.....	333
16.6 莫尔理论.....	334
16.7 各理论的比较.....	335
习题十六.....	339
第十七章 圆筒	341
17.1 受外压的薄壁圆筒.....	341
17.2 受内、外压的厚壁圆筒.....	345
17.3 组合圆筒和热压配合.....	349
17.4 圆筒的热应力.....	353
习题十七.....	360
第十八章 回转体	364
18.1 回转圆盘.....	364
18.2 等强度回转圆盘.....	369
18.3 回转轴的临界速度.....	370
习题十八.....	374
第十九章 平板	378
19.1 平板的弯曲.....	378
19.2 圆板的轴对称弯曲.....	381
19.3 受均布载荷的圆板.....	385

19.4 中心受集中载荷的圆板	388
19.5 不承受垂直载荷的圆板	392
19.6 矩形板和椭圆板的弯曲	398
习题十九	400
第二十章 应力测定法	403
20.1 机械式应变计	403
20.2 电阻丝应变计	407
20.3 各种电气应变计	418
20.4 光弹性实验法	422
20.5 X射线应力测定法	447
20.6 其他应力测定法的原理	456
习题答案	462

第一章 绪 论

1.1 材料力学

材料力学(strength of materials)是研究构件破坏强度的科学。所谓构件即组成机械和结构物的元件。机械和结构物受外力作用,则发生变形,与此同时在构件内部产生抵抗变形的内力,当内力超过一定限度时,机械和结构物就会破坏或丧失足够的强度。但使用过多的材料,则不经济,且降低构件的功能。为了对破坏和变形保持安全,必须为构件选择合理的尺寸。为此,须从理论和实验两方面研究构件受外力作用而产生的变形、内力及其相互间的关系。对机械和结构设计人员而言,材料力学是不可缺少的重要基础知识之一。

1.2 载荷和应力

(1) **载荷** 构件受各种外力(external force)作用,则发生变形(deformation),工程上把这种外力称为**载荷(load)**。集中作用于构件一点的载荷称为**集中载荷(concentrated load)**;分布作用于构件一定范围的载荷称为**分布载荷(distributed load)**;分布集度相同时称为**均布载荷(uniform load)**。用 P 表示集中载荷,用 p 表示均布载荷。

载荷按其作用方式分类如下。

(a) **拉伸载荷(tensile load)** 如图 1.1 所示,沿轴线方向拉伸杆时,杆被拉长同时变细,这种载荷称为**拉伸载荷**。

(b) **压缩载荷(compressive load)** 如图 1.2 所示,与其长度相比截面较大的杆,沿轴线方向压缩时,则杆缩短同时变粗,这种载荷称为**压缩载荷**。



图 1.1 拉伸



图 1.2 压缩

(c) **弯曲载荷(bending load)** 如图 1.3 所示, 两端支承的杆, 在其轴线的垂直方向受载荷作用时, 则发生如图所示的弯曲变形。这种杆称为**梁(beam)**, 这种载荷称为**弯曲载荷**。

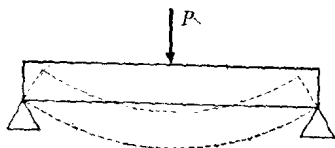


图 1.3 弯曲

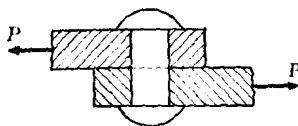


图 1.4 剪切

(d) **剪切载荷(shearing load)** 如图 1.4 所示, 铆钉在平行于载荷的横截面上受剪切, 沿载荷方向相对滑动, 这和用剪刀剪物相同, 这种载荷称为**剪切载荷**。

(e) **扭转载荷(twisting load or torsional load)** 如图 1.5 所示, 当力偶载荷以杆的轴线为轴作用时, 则杆被扭转, 这种载荷称为**扭转载荷**。

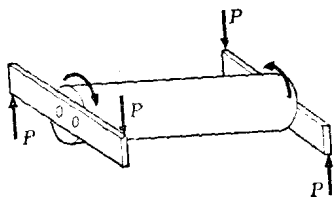


图 1.5 扭转

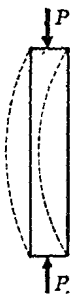


图 1.6 纵弯曲

(f) **纵弯曲载荷(buckling load)** 例如,与截面相比长度很长的柱(所谓**长柱<column>**)受压缩时,则产生如图 1.6 所示的变形,这种现象谓之**纵弯曲**,引起纵弯曲的极限载荷称为**纵弯曲载荷**。

上述各种载荷单独作用时,称为**简单载荷(simple load)**;两种以上的载荷同时作用时,称为**组合载荷(combined load)**。

(2) **应力** 构件受外力作用发生变形,在构件内部分子之间产生抵抗变形的力,这种力称为**内力(internal force)**。该内力的大小随外力的大小相应而变,故将其称为**应力(stress)**。

(a) **拉应力** 如图 1.1 所示,拉伸载荷下的应力,称为**拉应力(tensile stress)**。在图 1.7 中,用假想的截面 X-X 把构件分为①和②两部分,两部分之间相互拉伸。即部分①必须拉伸部分②,使部分②和 P 保持平衡;部分②同样拉伸部分①。对细长杆而言,可考虑应力在 X-X 截面上的分布处处相同,所以拉应力 σ 用截面(面积为 A)单位面积的内力表示。即

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.1)$$

应力的量纲是[力/面积],即 kg/mm^2 , kg/cm^2 等。

(b) **压应力** 如图 1.2 所示,压缩载荷下的应力,称为**压应力(compressive stress)**。因其与拉伸时 P 的方向相反,故取负号。拉应力和压应力统称为**正应力(normal stress)**。

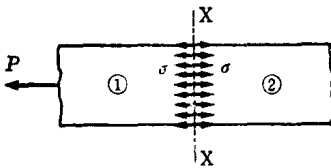


图 1.7 拉应力

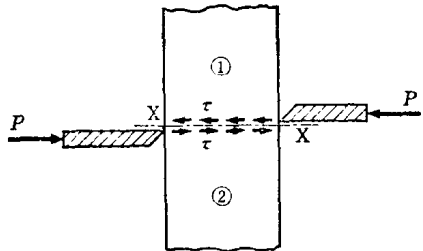


图 1.8 剪应力

(c) **剪应力** 如图 1.4 所示, 抵抗滑动的应力, 称为剪应力 (shearing stress)。图 1.8 中构件的上部①和下部②沿截面 X-X 相对滑动, 若抵抗滑动的应力在截面(面积为 A)上均匀分布, 则剪应力 τ 为

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (1.2)$$

实际上, 剪应力并非均匀分布, (1.2)式的值是**平均剪应力** (average shearing stress) τ_{mean} , 供设计时使用。

关于弯曲、扭转、纵弯曲时的应力, 分别在各章叙述。如图 1.9 所示弯曲时, 在截面内同时产生拉应力和压应力。如图 1.10 所示扭转时, 剪应力在截面内呈线性分布。受复杂载荷作用时, 构件内的应力可归结为上述(a)、(b)、(c)三种类型的应力。

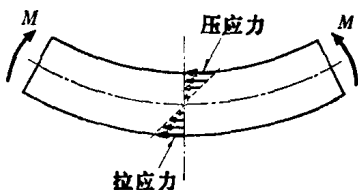


图 1.9 弯曲应力

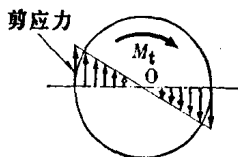


图 1.10 扭转应力

1.3 应变

构件变形时, 其变形量除以原有尺寸而得到的单位变形值称为**应变**(strain)。

(1) **正应变** 如图 1.11 所示, 沿轴线拉伸或压缩长为 l 的直圆杆时, 其应变处处相同, 设变形后的长度分别为 $l + \lambda$, $l - \lambda$, 则每单位长度的伸长或缩短值 ϵ 称为**拉应变**(tensile strain)或**压应变**(compressive strain), 用正负号加以区别, 两者统称为**正应变**(normal strain)。即

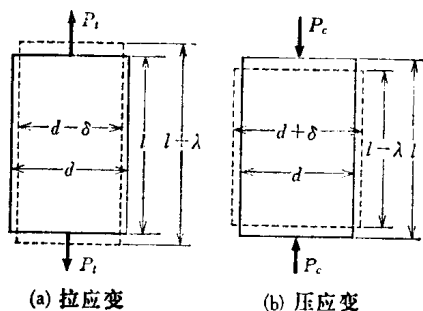


图 1.11 正应变

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{l} \quad (1.3)$$

应变为无量纲量,用百分比表示。

然而,在和载荷垂直的方向上,杆的截面面积发生变化,直径 d 分别变为 $d - \delta$ 、 $d + \delta$ 。把

$$\varepsilon' = \frac{\delta}{d} \quad (1.4)$$

称为**横向应变**(lateral strain), ε 称为**纵向应变**(longitudinal strain)。

(2) **剪应变** 对应于剪力的应变称为**剪应变** (shearing strain), 它表示滑移的程度。如图 1.12 立方体 ABCD 受剪力 P 作用后, 变形为平行六面体 ABC'D', 滑移变形量为 DD' 或 CC', 设 $\angle DAD' = \angle CBC' = \gamma$, 剪应变可表示为

$$\frac{DD'}{AD} = \frac{CC'}{BC} = \tan \gamma \doteq \gamma \quad (1.5)$$

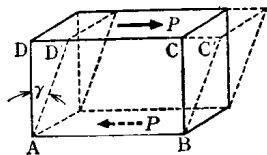


图 1.12 剪应变

剪应变为角位移, 单位为弧度。

1.4 应力-应变曲线

把标准形状和尺寸的软钢试件安装在拉伸试验机上, 在缓慢