

最新材料力学

【日】 関谷 壮 角 誠之助
谷村 眞 治 岡 本 正 明
金岡 昭 治 著

陈 和 译

TONGJI DAXUE CHUBANSHE



同济大学出版社

最新材料力学

[日] 関谷 壮 角 誠之助
谷村 真治 岡本 正明
金岡 昭治 著
陈 和 译

同济大学出版社

(沪) 204 号

内 容 提 要

本书精选了材料力学的最基本及最新的内容,全书内容丰富,选材成熟,且反映了本学科的最新成果。

全书共分十三章,内容包括:应力与应变、材料的性质、杆的扭转、梁弯曲的基础、梁的复杂问题、复合应力与应变、应变能、强度准则、柱的屈曲、圆筒、空心球和旋转圆板、平板弯曲、应力集中系数和应力强度因子、复合材料等。本书可作为非结构专业教材,也可作为教学参考书,并可供进修生、工程技术人员参考。

本书作为了解日本材料力学教学情况的窗口,对从事材料力学教学和研究的教师也不无启发和借鉴。

责任编辑 曹炽康
封面设计 王肖生

最新材料力学

[日] 関谷 壮等著

陈 和 译

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

常熟市文化印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 7.75 字数: 220 千字

1992年12月第1版 1992年12月第1次印刷

印数: 1—3800 定价: 5.60 元

ISBN 7-5608-0965-0/TB·20

译 序

本书是根据1990年4月日本朝倉书店出版的《最新材料力学》第一版译出*。该书系大阪府立大学谷村真治教授所赠。本书由日本著名专家、边界元权威関谷壮教授(大阪电气通信大学)、角诚之助教授(九州大学)、日本材料学会冲击部门委员会委员长谷村真治教授(大阪府立大学)、岡本正明教授(大阪电气通信大学)、金岡昭治副教授(大阪电气通信大学)合著。

本书与目前国内出版发行的《材料力学》教材比较,其最大特点是编排新颖、选题实用、语言非常精练但又通俗易懂。本书内容相当丰富,基本上反映了现代科技最新成就。本书特色甚多,读者可以从作者原序中获知其梗概。

本书由上海玻璃钢研究所高级工程师、同济大学工程力学系兼职教授朱颐龄先生审校,审稿人对译稿进行了认真细致的审阅,提出了许多改进意见,对译稿质量水准的提高有很大的帮助。本书在翻译过程中还得到了工程力学系张祖巡副教授的悉心指导,原材料力学教研室主任李宗瑢副教授抽审了部分译稿,提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。

本书在翻译过程中还得到了同济大学科研处副处长庄智年副教授、工程力学系丁祖泉副教授和袁斯涛副教授以及正在日本三重大学留学的徐建庭等的大力相助,谨此致谢。

由于译者水平有限,书中缺点在所难免,恳请读者批评指正。

译 者

1991年11月

* 本书在排字过程中,译者根据1991年8月出版的本书第二版对部分语句和插图作了相应的修改。

前 言

在机械或结构物的设计中,掌握各种材质和形状的构件或结构元件能安全承受多少荷载以及承载后会发生怎样的变形是十分重要的。为此,最好是对各种实物都进行强度试验。可是要对实物一一去做试验不仅非常麻烦,而且在经济上也是不可能的。因而,就要求我们以最少的基本实验结果为依据,用理论分析的方法求解存在于构件或结构元件内的应力和变形。这部分内容则是材料力学的理论部分。再者,从广义上说材料力学还包括这样的内容,即或是根据材料试验阐明有关材料基本强度的各种性质,或是对模型或实物进行实验,用以阐明仅用理论分析还不能充分解释清楚的问题。这就是材料力学的实验部分。

材料力学对机械、航空、船舶、土木、建筑等各工程领域来说是一门必不可少的学问。有关这方面的书籍业已出版不少。至于在大学、高等专门学校的材料力学学习方面,考虑到要学习其他相关课程,比如各种专业的设计学、设计制图等,那么希望在低年级中尽早地安排,以学习较完整的基础知识。即使在电气、电子、应用化学、化学工程、材料、管理等前述以外的工科专业中也有必要掌握材料力学的基本概要(相当本书第一、二、三、四、九章的水准)。

本书就是本着这样的宗旨,以学生、进修生、工程技术人员为对象编写的,在内容上只精选了材料力学的基础部分,进行了通俗简明的解说。而且为了便于读者在学过本书之后能利用计算机去解复杂的问题,以及深入到具有更高难度的专门领域中去,这两者之间的衔接问题也都考虑到了。同时,考虑到最近的动向,采用了SI制单位,并且初步涉及了在各方面都具很高价值的复合材料和

应力强度因子方面的知识。本书基本上只需要高中的数学和物理知识就可足够理解了。即便遇到难以理解的问题，通过图解和注脚，也可从各个角度分析而得到解答。

本书定会有不少疏漏、不妥之处，恳请广大读者指正，以便再版时修订。本书在编写过程中曾参考、引用了很多国内外的著作，凡引用之处均有注脚表明，本书从这些著作中得益非浅，谨向各位作者表示深切的谢意。本书出版期间承蒙朝仓书店编辑部的大力支持和帮助，在此谨表衷心的感谢。本书对学习材料力学的学生、进修生、工程技术人员若能有所裨益，则不胜荣幸！

著者代表：関谷 壮

1990年4月

写在学习材料力学的时候……

只要观察我们周围的机械或者结构物,就能发现它们是由杆、板之类的构件用螺栓、焊接等方法巧妙地组合起来的。为使机械和结构物安全地发挥其功能,则要求这些构件具备不致产生损坏所必须的充分的强度(strength)。在有的情况下则要把刚性(rigidity)作为重要的指标,即由外力所引起的变形量要在其容许范围内。另外,尤如细长杆受压时,会容易发生屈曲失稳现象的道理,在有的情况下也有把对于施加在构件或结构物上的外力所具有的稳定性(stable)作为重要指标的。

材料力学(strength of materials)是以固体材料的强度为主要对象,又把变形和稳定作为对象的基础学科,是为机械和结构物设计服务的基础。与物理学中的刚体力学和质点力学最大的不同处是材料力学不仅考虑材料的变形,还研究在材料内部产生的力(内力)的分布状况。

广义来说,材料力学就是研究各种材料的强度和变形的固体的力学,还包括与强度、变形有关的数值分析或实验的一门范围很广的学科。因此,学生、技术人员在初学材料力学时,主要是以构成机械和结构物的最基本的构件——杆、板等简单形状的构件为对象,并假设与其相适应的种种假定,来解释有关构件的强度、变形、稳定等基本问题。以材料力学为基础的还有弹性力学、塑性力学、结构力学、断裂力学等学科,而在许多场合它们都是以独立的专门课程设置的。

在材料力学中特别规定了下列几种假定或近似条件:

(1) 均质、各向同性、连续性的假定

例如,工业用金属大多由平均直径为数拾 μm 的晶粒集合(多

结晶体)所组成的,因此假定这些结构材料从宏观来看是均质的、(homogeneous)具有性质不随方向而变的各向同性(isotropic)、并且是连续地存在的。

(2) 忽略不计初始内力

当力施于物体时,物体内部则会产生变形,亦产生阻止此变形的力,我们称之为内力(internal force)。有时,即使没有外力作用,而由于加工或者不均匀加热,材料内部在初始状态就产生了内力。不过,对于这样的初始内力,我们略而不计。

(3) 微小位移、微小变形的假定

有时为了便于说明,往往把变形夸大后图示出来。实际上,我们假定由于外力作用所产生的位移、变形的大小与物体的原始尺寸或基准长度相比较,是极其微小的。

由于材料力学是研究固体材料的强度、变形以及稳定的基础学科,因此,不仅在机械系,就是在材料系、电气和电子系、化学系、建筑系、管理等领域中也是作为工科的基础课程而被广泛使用。特别是在机械系中,材料力学已成为学习设计学、弹性力学、塑性力学、结构力学等的基础课程。所以,材料力学在许多大学、高等专科学校中都被列为必修课程。

谷村 真治

中文版序

《最新材料力学》的原著，不仅在作者所在的各大学，就是在日本其他大学或专科学校，现在也作为教科书或参考书正在使用。本书的翻译承同济大学科研处庄智年先生的介绍，由同济大学材料力学研究室的陈和女士完成。此翻译本根据对初版作了部分语句修正后的第二版译出。该译本如能有益于中国的学生和技术人员，并通过该译本如能对两国间的科学、文化交流作一点微薄贡献的话，本人将深感欣慰和荣幸。

谷村 真治

原作者所写中文版序影印件：

中国語の翻訳版に対する序文

“最新材料力学”の原著は、その共著者らの属している大学のみならず、日本の他の大学や専門学校で、現在、教科書および参考書として使用されています。この本の翻訳は、同济大学科学研究所 庄智年先生の紹介のもとで、同济大学の陳和女史によりなされました。この翻訳版は、初版に対していくつかの語句などを修正した原著第二版をもとにしたものです。この翻訳版が中国の学生、技術者のお役に立てば幸いです。またこの翻訳版をとおして、両国間の科学・文化の交流で少しでも貢献できれば幸甚です。

谷村真治

谷村 真治

Tanimura Shinji

目 录

1 应力和应变	1
1.1 应力	1
1.2 应变	3
1.3 应力与应变的关系	5
习题	6
2 材料的性质	8
2.1 应力-应变曲线.....	8
2.2 弹性和塑性.....	10
2.3 疲劳.....	11
2.4 高温下材料的性质.....	13
2.5 容许应力和安全系数.....	15
习题.....	16
3 杆的扭转.....	18
3.1 圆形截面杆的扭转.....	18
3.2 非圆形截面杆的扭转.....	22
a. 矩形截面	
b. 椭圆形截面	
c. 正多角形截面	
d. 薄壁管	
3.3 传动轴.....	26
3.4 螺圈弹簧.....	27
习题.....	29
4 梁弯曲的基础.....	31

4.1	梁的支承方法和梁的分类	31
4.2	作用在梁上的荷载	33
4.3	梁的对称性	34
4.4	梁的平衡和反力的计算	34
4.5	剪力和弯矩	36
4.6	作用在梁上的荷载、剪力和弯矩	47
4.7	梁的弯曲应力	50
4.8	惯性矩和截面模量	53
4.9	弯矩引起的梁的挠度	56
4.10	等强度梁和叠板簧	64
4.11	简单的超静定梁	66
4.12	梁的剪应力	72
	习题	77
5	梁的复杂问题	82
5.1	曲梁	82
5.2	非对称弯曲	85
5.3	连续梁	89
5.4	静定梁的挠度(应变能法)	93
5.5	超静定梁的反力(应变能法)	97
	习题	99
6	复合应力和应变	101
6.1	任意点的应力	101
6.2	在平面应力状态下斜面上的应力	104
6.3	莫尔应力圆	108
6.4	受弯曲和扭转的轴	110
6.5	任意点的应变	112
6.6	在平面应变、平面应力状态下任意方向的应变	113
6.7	应力与应变的关系	116

a.	三向应力的情况	
b.	平面应力的情况	
c.	平面应变的情况	
6.8	弹性系数间的关系	118
	习题	120
7	应变能	122
7.1	应变能	122
7.2	各种条件下的弹性应变能	122
a.	拉伸	
b.	剪切	
c.	弯曲	
d.	扭转	
e.	一般应力状态	
7.3	由冲击荷载引起的应力	127
7.4	互等定理	128
7.5	卡氏定理	131
	习题	132
8	强度准则	135
8.1	材料的破坏	135
8.2	最大主应力准则	135
8.3	最大剪应力准则	136
8.4	剪应变能准则	137
8.5	各种准则的比较	137
	习题	140
9	柱的屈曲	141
9.1	不稳定变形	141
9.2	长柱	142
a.	两端铰支的长柱	

b.	一端固定、一端自由的长柱	
c.	两端固定的长柱	
d.	一端固定、一端铰支的长柱	
e.	在各种边界条件下的屈曲荷载、屈曲应力	
9.3	受到偏心压缩荷载作用的长柱	147
9.4	短柱	149
a.	兰金公式	
b.	蒂特迈杰直线公式	
c.	约翰逊抛物线方程	
d.	欧拉-恩格塞切线模量方程	
	习题	152

10	圆筒、空心球和旋转圆板	154
10.1	内压作用的薄壁圆筒	154
10.2	外压作用的薄壁圆筒	156
10.3	内压作用的薄壁球	156
10.4	外压作用的薄壁球	157
10.5	受内、外压作用的厚壁圆筒	158
a.	两端固定的情况	
b.	两端敞开的情况	
c.	两端用端面板封闭的情况	
10.6	受内压作用的厚壁圆筒	162
10.7	受外压作用的厚壁圆筒	162
10.8	组合圆筒	163
10.9	旋转圆板	164
a.	空心旋转圆板	
b.	实心旋转圆板	
	习题	167

11	平板的弯曲	169
11.1	平板弯曲的基本事项	169
11.2	圆板的轴对称弯曲	169

a. 周边固定的情况	
b. 周边简支的情况	
11.3 长方形板的弯曲	176
a. 挠度	
b. 最大弯曲应力	
11.4 各种形状的平板	178
习题	178
12 应力集中系数和应力强度因子	180
12.1 应力集中系数	180
a. 有孔的平板	
b. 阶梯形圆杆	
12.2 应力强度因子	184
习题	186
13 复合材料	187
13.1 复合材料	187
13.2 纤维增强塑料	187
a. FRP 的单向应力	
b. FRP 的平面应力	
13.3 组合梁	189
13.4 钢筋混凝土梁	192
13.5 夹层板	192
a. 夹层板的弯曲	
b. 夹层板的屈曲	
习题	197
习题解答	199
附 录	214
索 引	219

1 应力和应变

1.1 应 力

如图 1.1(a) 所示, 在具有等截面的圆杆的两端作用大小为 P 的拉伸荷载时, 试分析作用在与轴向垂直的某截面上的内力。在两端作用拉力 P 时, 若沿那个截面切开, 则两部分就上下分离。

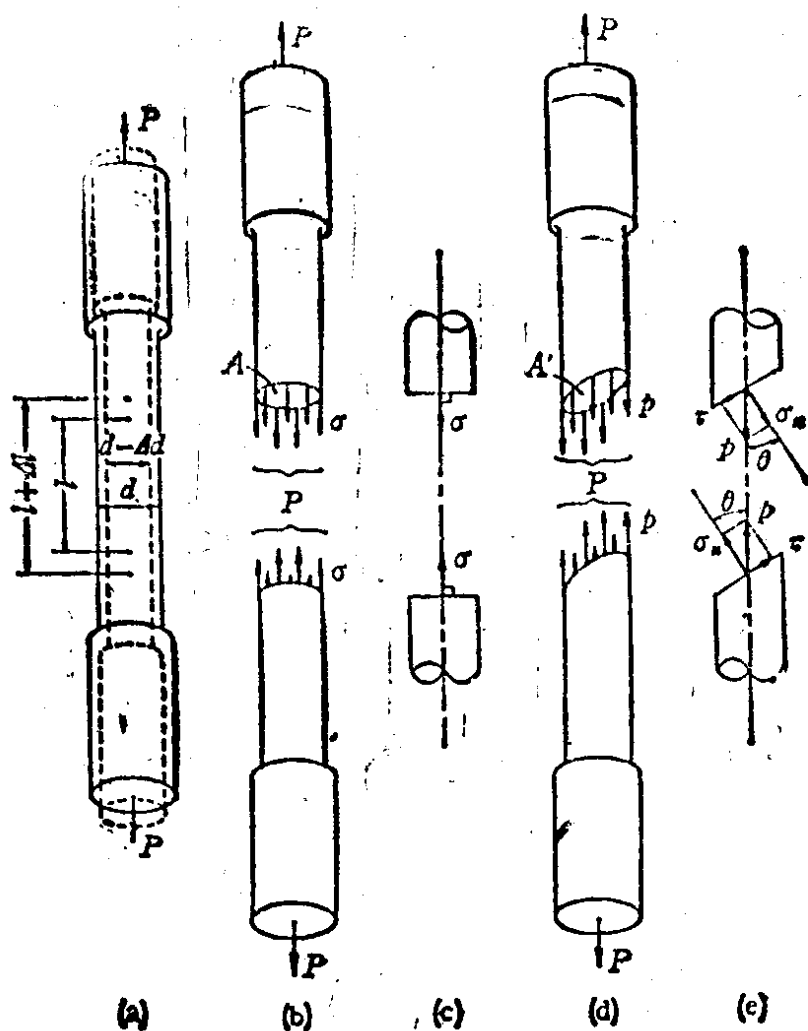


图 1.1

在未切开而受拉时,不分离是因为有与 P 平衡的力作用在那个截面上。即,如图1.1(b)所示,那个截面的上面部分只受到下面部分对它作用的、与 P 相等的向下的内力,反之,在下面部分应该受到上面部分对那个截面作用的向上的内力。这个内力通常用每单位面积的力表示,称为应力(stress)。因此,如果等直径部分的横截面面积用 A 表示、应力用 σ 表示,则

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

它的方向与图1.1(c)所示截面垂直。在国际单位制(SI)中,使用Pa(N/m²)作为应力的单位。也可用其他 kgf/mm², lb/in² (或为psi)等等。

再考虑相对于轴向倾斜的截面。在这个倾斜截面上作用着如图1.1(d)所示均匀分布的应力,其合力与 P 应该是平衡的。设此倾斜截面的面积为 A' ,且假设在该截面上所作的法线与轴向的夹角为 θ ,因 $A' = A/\cos\theta$,故作用在此倾斜截面上的应力为 p ,则

$$p = \frac{P}{A'} = \frac{P}{A} \cos\theta = \sigma \cos\theta \quad (1.2)$$

若将此应力分解为沿图1.1(e)所示截面法线方向的分量 σ_n 和切线方向的分量 τ ,则

$$\sigma_n = p \cos\theta = \sigma \cos^2\theta = \frac{1}{2} \sigma (1 + \cos 2\theta) \quad (1.3)$$

$$\tau = p \sin\theta = \sigma \sin\theta \cos\theta = \frac{1}{2} \sigma \sin 2\theta \quad (1.4)$$

与截面垂直的应力分量 σ_n 称为法向应力(normal stress)或称为正应力(direct stress),截面的切线方向的应力分量 τ 称为切向应力(tangential stress)。图1.1(b)的 σ 也是法向应力,这些法向应力垂直作用在截面上。由于对圆杆产生拉伸作用,故称为拉应力(tensile stress)。若荷载 P 是压缩荷载,则此应力与图1.1的拉伸情况完全反向,这种情况的法向应力称做压应力(compressive stress)。通常,拉应力用正号、压应力用负号表示。同时,切向应力如图1.1(e)所示,沿着截面材料有互相滑动作用,即形成

剪切作用,故称作剪应力(shearing stress)。

1.2 应 变

下面分析材料产生的变形。因为构成结构物和机械的材料不是刚性材料,所以随着由荷载产生的应力而变形。这个变形量即使在同样大小的应力下,也由于物体的大小而不相同,大的物体产生大的变形。为了表示伴随应力产生的变形量,用对原始尺寸的变形量的比率来量度,称为应变(strain)。

由于应力的种类、性质不同,存在着各种应变,首先分析图1.1(a)的情况。设施加拉伸荷载之前,杆的等直径部分侧面上两点间的距离为 l ,由于圆杆沿轴向伸长,则这个长度由 l 变为 $l + \Delta l$ 。这时轴向应变 ε 定义为

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.5)$$

因此,应变就如同mm/mm为无量纲的量。因 ε 是由拉应力引起的应变,所以称为拉应变(tensile strain),反之,压应变(compressive strain)同样可用式(1.5)表示。只是压应力引起的 Δl 是缩小的。通常,拉应变用正号、压应变用负号表示。拉应变和压应变统称为法向应变(normal strain)或纵向应变(longitudinal strain)。

在施加拉伸荷载的前后,若分别测定试件的直径,可以发现,试件随轴向的伸长,其直径变小,在其横向也产生应变。现设直径由 d 变为 $d - \Delta d$,这个应变 ε_d 可定义为

$$\varepsilon_d = -\frac{\Delta d}{d} \quad (1.6)$$

ε_d 与前述的纵向应变 ε 一样是长度的变化率,所以称为横向应变(lateral strain)。

如果是压缩荷载,则横向变形为扩张,这种情况横向应变同样也用式(1.6)来定义。若在去除荷载后应变即消失的变形范围内,