

〔日〕竹内洋一郎著

简

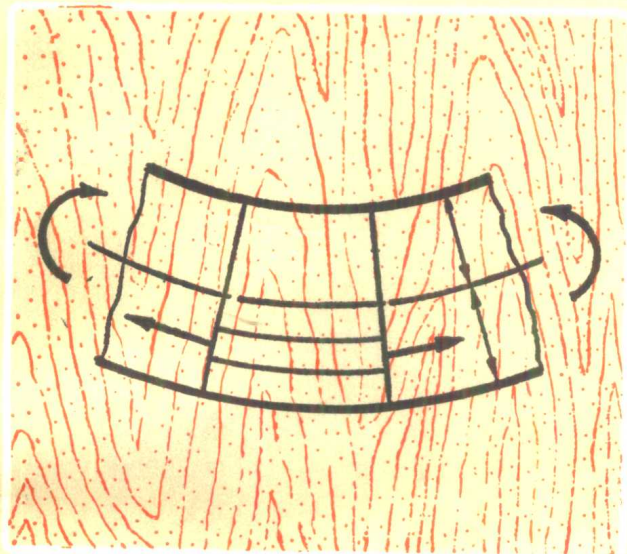
明

材

料

力

学



冶金工业出版社

JIANMING CAILIAO LIXUE

TB301

67

简 明 材 料 力 学

[日] 竹内洋一郎 著

晏绍裘、廖有顺 译

沈家祥、伍洪泽

冶金工业出版社

简明材料力学

[日] 竹内洋一郎 著

晏绍裘、廖有顺

沈家祥、伍洪泽

译

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金测绘印刷厂

*

850×1168 1/32 印张 $11\frac{3}{8}$ 字数 299 千字

1988年3月第一版

1988年3月第一次印刷

印数 00,001~7,200册

ISBN 7-5024-0287-X

TH·15 定价 3.35元

译者的话

本书系根据日本大阪府立大学工学博士竹内洋一郎教授所著《わかる材料力学》一书译出。原书在日本国内先后再版十一次，深受广大读者欢迎。

本书内容丰富，体系新颖，论述简明扼要，並有大量的例题、类题和习题。全书除附录外共为十章。

本书可供高等工科院校、电视大学、函授大学、职工大学师生和有关工程技术人员参考。

参加本书翻译的有：晏绍裘（第一、二、三章和附录），廖有顺（第四、五、六章），沈家祥（第七、八章），伍洪泽（第九、十章）。全书由沈家祥校。

限于译者水平，书中难免有不妥之处，敬希读者指正。

序 言

笔者自大学写毕业论文以来一直在学习弹性力学，而后来对弹性力学进行专门研究的原因是由于在大阪大学工学院跟已故的中原老师，和在神户高等工业专门学校跟已故的川井老师学习材料力学时，对他们的讲授感到非常容易理解，并且在不了解学习机械工程学的艰巨性情况下，材料力学就成了我十分感兴趣的一门学科。我曾研究过两位老师讲授方法所以令人易懂，一是他们学识渊博，另一个是他们避开讲授高难的内容，为此，缩小涉及范围，多少放弃一些理论上的严密性，但是课程却顺利地进行。这样不仅使我很快有一定程度的理解和兴趣，而且对后来学习高等弹性力学产生了亲切之感。本书就是在这种体会的基础上写成的。为使初学者对材料力学尽快产生兴趣，编写时做了详尽的说明。当然材料力学是最重要的一门基础学科，这对于文科学生来说绝不会有易于理解的新奇兴趣，而对于有志学工的学生来说，则是一门非学不可的学科。对能自觉坚持进行钻研的学生，首先就是要使他们易于理解。另外，本书也注意了凡与高等弹性力学无关的内容没有论及。关于习题，据笔者的教学经验，以往有些书编写一些只有少数学生能理解的难题，为此，本书对这类难题尽量多给些提示，以便任何人都可以不费太大的气力就能自行解题，尤其希望大多数学生通过自行解题来增强学好材料力学的信心。

根据笔者在旧制专门学校，大学工学院和新制专门学校，大学工学院的执教经验，本书结合各学校的实际情况，对高难的和初学者尚不太理解的内容，均以小号铅字进行排印。为便于理解，作为特别处理的有以下几点：

- 1.各例题原则上均附有类题。

- 2.为在意义上防止产生疑难，对所用的数学公式、物理公式和定理，均有注释说明。

3.仿照外国材料力学的编写方式，各章均以小结形式归纳了重要的内容。

4.为了区别不太重要的问题和后续的重要问题，以及与高深理论有关内容，分别用不同字号的铅字排印。

5.对基本的重要公式均套以 $\square$ 表示，对其他的重要公式均划有~~~~~记号。

由于材料力学是应用力学的一个分科，所以几乎没有论述力学以外的问题。因为这类问题均属专论课题和专业书籍的内容。

参考书除前面提到的两位老师的讲课笔记外，对国内外的有关书籍均在附录 2 内注明。在此仅向这些书的作者，和对各种繁琐注释欣然允许排印的日新出版社社长小川善次郎先生，致以深厚的谢意。

昭和43年9月

写于德岛大学工学院热应力学教研室

作 者

主要符号表

A	面积	s	节距、长度
a	焊缝厚度, 距离	T	温度、扭矩
b	宽度、距离	t	板厚
C, c	积分常数, 常数	$\bar{t}$	温度差
D	弯曲刚度	U	应变能
d	直径	u	位移分量
E	纵向弹性模量	V	体积
e	偏心距, 间距, 中心轴 至端部距离	W	重量
F	外力	w	比重
G	横向弹性模量	x, y, z	直角坐标
g	重力加速度	y, z	挠度
H, h	高度	r, θ	极坐标
I	惯性矩	Z	截面系数
I_p	极惯性矩	α	线膨胀系数, 角度
i	转角	d_c	应力集中系数
K	体积弹性模量	γ	剪应变
$\bar{K}$	约束系数	ε	纵向应变
k	回转半径	η	离中心线的距离
L	物体的长度	η_D, η_C, η_r	接头效率
l	伸长	θ	角度
M	弯矩	k	曲梁的截面模量
m	泊松数	λ	细长比
N	卷数, 轴力	μ	摩擦系数
n	数, 转数	ν	泊松比
P	载荷, 集中载荷	ξ	长度
P_k	临界载荷	ρ	曲率半径
p	分布载荷	σ	正应力
Q	内力, 支反力	τ	剪应力
R	半径, 剪力	ϕ	扭转角, 角度
r	半径	ψ	截面收缩率
		ω	角速度

希腊语字母读音

希腊字		读法	希腊字		读法
<i>A</i>	α	阿尔法	<i>N</i>	ν	纽
<i>B</i>	β	贝塔	Ξ	ξ	克西
<i>\Gamma</i>	γ	伽马	<i>O</i>	o	奥密克戎
<i>\Delta</i>	δ	德耳塔	Π	π	派
<i>E</i>	ϵ	艾普西隆	<i>P</i>	ρ	洛
<i>Z</i>	ζ	截塔	Σ	σ	西格马
<i>H</i>	η	艾塔	<i>T</i>	τ	陶
Θ	θ	西塔	Γ	υ	宇普西隆
<i>I</i>	i	约塔	Φ	ϕ, φ	斐
<i>K</i>	κ	卡帕	χ	χ	喜
<i>\Lambda</i>	λ	兰姆达	Ψ	ψ	普西
<i>M</i>	μ	米尤	Ω	ω	欧米伽

目 录

第1章 应力与应变	1
1.1 材料力学	1
1.2 内力与应力	3
1.3 应变	6
1.4 虎克定律	8
1.5 应力-应变图	13
1.6 载荷	16
1.7 许用应力与安全系数	17
第1章小结	20
习题1	21
第2章 拉伸与压缩	25
2.1 不同材料组合时的拉伸与压缩	25
2.1.1 不同材料的串联连接	25
2.1.2 不同材料的并联连接	27
2.1.3 不同材料斜交	31
2.2 考虑自重时的应力	34
2.3 等强度杆	37
2.4 热应力	41
2.4.1 热膨胀	42
2.4.2 简单热应力的例题	43
2.5 应力集中	56
2.6 弹性应变能	58
2.7 冲击应力	61
2.8 体应变	63
第2章小结	66
习题2	68

第3章 接头与组合应力	75
3.1 铆接接头	75
3.2 焊接接头	82
3.3 斜截面上的应力	84
3.4 弹性模量之间的关系	86
3.5 主应力	91
3.5.1 x 、 y 方向上作用的正应力	91
3.5.2 主应力	94
3.5.3 x 、 y 方向上作用有正应力与剪应力时的斜截面 上的应力	96
3.5.4 主剪应力	98
3.6 莫尔应力圆	100
第3章小结	108
习题 3	109
第4章 梁的剪力与弯矩	116
4.1 梁及其种类	116
4.1.1 梁的支座与载荷种类	116
4.1.2 梁的种类	116
4.2 梁的剪力与弯矩	118
I. 悬臂梁	120
II. 简支梁	127
III. 双外伸梁	134
4.3 载荷、剪力与弯矩的关系	135
4.4 承受移动载荷作用的梁	141
第4章小结	144
习题 4	145
第5章 梁的应力与挠度	152
5.1 梁的应力	152
5.2 梁的弯曲应力	152
5.3 梁的剪应力	161

5.4	梁的挠度	173
I.	悬臂梁的挠度	176
II.	简支梁的挠度	180
III.	面积—力矩法	184
	第5章小结	189
	习题5	190
第6章	静不定梁和特殊梁	197
6.1	静不定梁	197
6.2	固定梁	197
6.3	连续梁	207
6.4	三弯矩方程的一般形式与面积—力矩法	214
6.5	等强度梁	216
6.6	叠板弹簧	219
6.7	组合梁	221
6.8	钢筋混凝土梁	224
6.9	曲梁	227
6.9.1	曲梁的应力	227
6.9.2	曲梁的截面模量 k	229
6.9.3	截面模量 k 的图解法	232
6.10	弯曲应变能	234
6.10.1	弯曲应变能	234
6.10.2	麦克斯韦(Maxwell)定理	236
6.10.3	卡斯底葛吕恩诺(Castigliano)定理	237
	第6章小结	246
	习题6	249
第7章	扭转	260
7.1	圆杆的扭转	260
7.2	非圆截面杆的扭转	264
7.3	一般载荷作用	264
7.4	三向应力状态的主应力和应变能	268
7.5	承受弯曲和扭转作用的圆轴	269

7.6	扭转应变能	273
7.7	螺旋弹簧	274
	第7章小结	277
	习题7	278
第8章	柱	285
8.1	长柱	285
8.2	欧拉长柱公式	285
8.3	柱的实验公式	291
	第8章小结	292
	习题8	293
第9章	圆筒与旋转圆盘	296
9.1	薄壁容器	296
9.2	厚壁圆筒	301
9.3	空心圆筒的热应力	309
9.4	旋转圆盘	313
9.4.1	薄旋转圆盘	313
9.4.2	厚旋转圆盘	314
	习题9	316
第10章	平板	322
10.1	板的弯曲	322
10.2	圆板的弯曲	327
	习题10	334
附录1	强度理论	338
1.	材料的破坏	338
2.	最大主应力理论	339
3.	最大主应变理论	339
4.	最大剪应力理论	339
5.	莫尔理论和内摩擦理论	339
6.	应变能理论	342
附录2	材料力学参考书目	347
附录3	SI单位及其换算	350

第1章 应力与应变

1.1 材料力学

第二次世界大战后，日本汽车的生产与普及是十分惊人的。今天，汽车已成为人们最切身的一种机械。因此，我们现在来分析一下称之为汽车心脏的汽油发动机（图1·1）。组成发动机的主要部

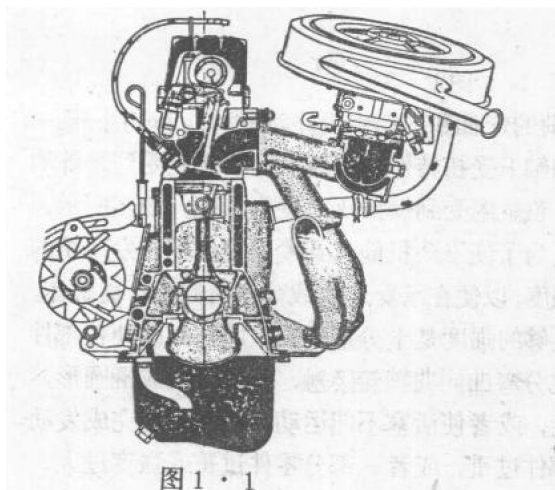


图1·1

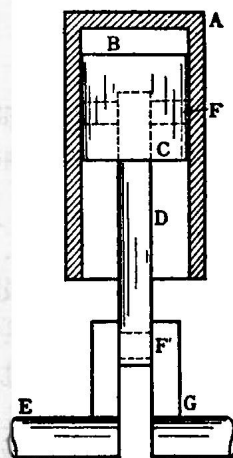


图1·2

件如图1·2所示。在汽缸A内的燃烧室B中，使燃料爆炸燃烧生成的热能转变为机械能，从而推动活塞C，通过连杆D带动曲柄机构E，使主轴转动。将图1·2中的各部件分别画出，就构成图1·3所示的情形。我们研究一下这种情况下的主要载荷可知*¹，爆炸压力由活塞通过活塞销传递到连杆D上，因此，由于连杆承受着集中于轴向上的爆炸压力而产生压缩作用（图1·3·I）。该压力通过连杆作用到活塞销F和曲柄F'上，使销子的左右部分发生相互错动产生剪切作用，同时也使销子产生弯曲作用。再来看看连杆上的压力对

* 1 工程上把外力称为载荷。

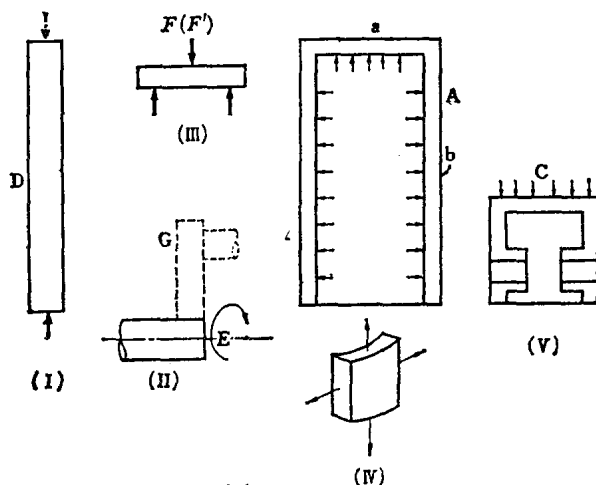


图 1 · 3

曲轴的作用,除垂直载荷的弯曲和剪切作用外,曲柄G如同手摇柄一样使曲轴旋转,因此,曲轴E受扭转作用。其次因活塞上受到爆炸的垂直压力而发生弯曲。汽缸内受到爆炸压力发生膨胀,如图所示,轴向和周向承受拉伸。为了使发动机能起到发动的作用,发动机的各部件必须有足够的强度,以便在承受这些载荷作用时不会被破坏。所以说这些部件具有足够的强度是十分重要的。此外,即使各部件不被破坏,但因曲轴过分弯曲同曲轴箱接触,使汽缸变成椭圆形,失去了对燃气的封闭性,或者使活塞不能运动,因而不能完成发动机的功能。另外,如果部件过重,或者一部分零件过重或强度过大,虽然不必担心强度和变形,但却会造成材料的浪费。所以,设计时必须预先准确地知道各部件的强度和变形。为此,学习材料力学这门知识就很有必要了。

综上所述,归纳如下:

上述的拉伸、压缩、弯曲、剪切和扭转五种基本形式的载荷,及其对机械和结构物的各个部件的影响的详细研究,构成了材料力学的主要内容。不仅汽车、起重机械、桥梁、飞机、船舶、其它结构物和机械虽然是由许多部件构成的,但各部件抵抗外力时,最起码是不能破坏,即具有足够的强度;并且不产生过大的变形或挠度,

即具有足够的刚度，这两者必须同时具备才是必要和充分的。只有这样，才能完成给定的机能。

材料力学的定义与目的：所谓材料力学就是应用力学原理，研究在外力作用下用金属、木材等各种工业用材料制造的机械或构件的强度和刚度的一门学科，其目的是为了既安全又经济地进行设计，并提供定量的计算数据和资料。所以，材料力学是工程学中最重要的基础知识。

构件的强度与刚度，是构件尺寸、形状及材料的物理性能的函数。其中材料的物理性能由实验研究确定。

在一般材料力学范围内，所研究的物体，都假设为连续、均质的各向同性体^{*1}。而用高深的数学分析和严密的理论研究的材料力学，则称为弹性力学。

1.2 内力与应力

物体受到外力作用时，物体内各晶粒间会产生一种附加内力，以抵抗外力，并防止变形。这种附加内力，简称内力。当将绳线弄断时，就有拉断和用剪刀剪断两种方法：拉断时，力作用在绳的长度方向上；剪断时，力作用在与长度垂直的方向上。我们首先研究力沿长度方向即轴向作用的情形。如图 1·4 所示，杆件在外力 P 作用下受拉伸时，若用任意假想截面 XX 把杆截成两部分，在 XX 截面上，I 部分受来自 II 部分作用的内力 Q ，而被拉伸， Q 与 P 平衡。同理，II 部分也受到 Q 力的作用，当然 Q 力与 P 力大小相等，方向相反。因为 XX 截面取在杆的任意处都可以，所以杆件受外力拉伸时，内部各处也都产生拉伸。因内力 Q 作用在整个截面上，所以，应力大小就是 Q 在单位面积上的值，即用截面面积除以 Q 表示，称为**应力强度**，通常简称为**应力**。本书也用应力代替应力强度一词。

* 1 [物理学知识]：现代物理学认为，物体并非连续体，而象原子一样，是一个个物体的集合。但是，对于采用普通测量手段的力学试验以及工程设计计算而言，将物体视为连续体，实际上是没有妨碍的。这样做，在材料力学和弹性力学中就能够应用微积分学。所谓均质就是指任意一点的性质均相同；所谓各向同性就是指不论那一个方向上每一点的力学性质都没有差异。

因此,从这个意义来理解,“应力”尽管有一个“力”字,但其单位不是力的单位,而是用 $[\text{kg}/\text{cm}^2, \text{kg}/\text{mm}^2]$ 等作单位。设图1·4中的截面面积为 A ,应力为 σ ,则

$$\begin{aligned} P &= Q \\ \sigma &= \frac{Q}{A} \\ \therefore \sigma &= \frac{P}{A} \quad (1.1) \\ \text{或 } P &= \sigma A \end{aligned}$$

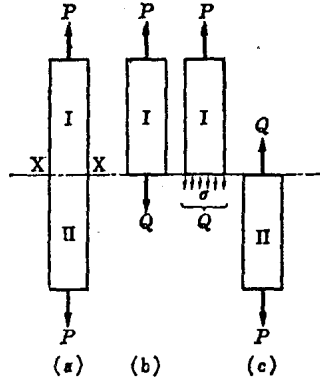


图1·4

所施加的外力为拉伸载荷时的应力称为拉应力;所施加的外力为压缩载荷时的应力称为压应力。通常拉伸时用(+)号,压缩时用(-)号,以示区别。因为拉应力和压应力都是垂直作用在截面上,所以也称为“垂直应力”或“正应力”。

下面,研究用剪刀剪断的情况。因为剪刀的刀刃是沿横截面作用的,所以刀是作用在截面的切线方向上。这种沿切线方向的力的作用情形称为剪切。

图1·5为两块板铆接的情形,以外力 P 将板向左右拉伸时,如图(b)所示的AB面上发生剪切。为抵抗这种剪切,铆钉内将产生一个内力 Q 。在上述拉伸的情况下,内力是垂直作用于被剪切的面上的,而这种情况下的内力是作用在AB截面上。若截面面积为 A ,这种应力强度称为剪应力,用 τ 表示。

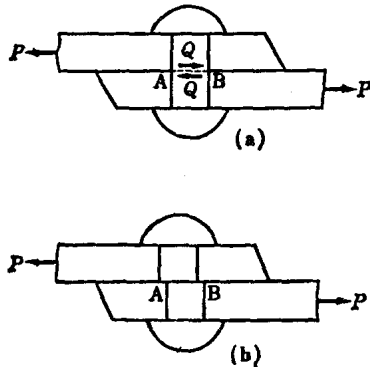


图1·5

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

因为剪应力是作用在接触面上,所以也可称为切向应力。图

1·6是剪切实例。图1·5所示的剪切面是一个，称为单剪，图1·6(a)所示的螺栓是在两个面上抵抗剪切，所以称为双剪*¹。

[例题] 1·1 图1·4中，6500kg的载荷作用在直径为1.8cm的圆杆上，试求拉伸时的应力？

[解] $P = 6500\text{kg}$

$$A = \frac{\pi}{4}(1.8)^2 = 2.545\text{cm}^2$$

由式(1·1)，

$$\sigma = \frac{6500}{2.545} = 2554.03\text{kg/cm}^2$$

[类题1] 试求边长4cm的正方形截面柱以8000kg载荷压缩时，其应力是多少？

[提示] $A = 4 \times 4 = 16\text{cm}^2$, $\sigma = \frac{8000}{16} = 500\text{kg/cm}^2$

[例题] 1·2 用10000kg的载荷压缩圆杆时，设杆的压应力为800kg/cm²，试求杆的直径为多大？

[解] $P = 10000\text{kg}$, $\sigma = 800\text{kg/cm}^2$

由式(1·1)，

$$A = \frac{P}{\sigma} = \frac{10000}{800} = 12.5\text{cm}^2$$

设圆杆的直径为 $d\text{cm}$, $A = \frac{\pi d^2}{4}$

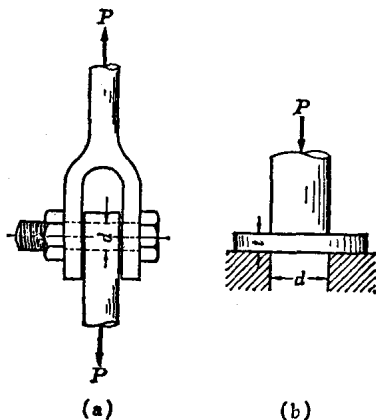


图1·6

* 1 直杆受拉伸时，与载荷方向倾斜的截面上也会引起剪切，这种剪切称为诱导剪切，参照第三章。