

固体力学和材料强度

〔英〕F.V. 沃诺克 P.P. 本哈姆 著

江秉琛 刘相臣 张汝清 陈泽光 胡国华 译

人民教育出版社

固体力学和材料强度

〔英〕 F. V. 沃诺克 P. P. 本哈姆 著
江秉琛、刘相臣、张汝清、陈泽光、胡国华 译

人民教育出版社

本书内容全面、丰富,论述深入浅出,理论与实验并重,多年来,一直是英国流行的大学教科书之一。

全书分为三篇,是三个独立而又互相补充的部分。第一篇的内容是应力和应变的理论分析。除详细讨论了杆、梁、轴的基本问题之外,还讨论了实用上颇为重要的曲杆、厚壁筒、旋转圆盘和厚壁球壳等问题。此外,还专章介绍了应力集中问题。这篇中有大量的、具有相当难度的实例及习题。第二篇介绍了材料机械性能试验的各个方面,包括拉伸与压缩、扭转、硬度、韧性、脆断、疲劳、蠕变以及非金属材料试验。第三篇介绍了实验应力分析中的电测法、光弹性、脆漆法、网格法、位移计等各种技术。各章之末附有作者推荐的参考资料目录。

本书既可供工院校力学、机械、动力、土建等有关专业的大学生、研究生和教师使用,也值得有关科研及工程技术人员参考。

本书责任编辑 王义新

固体力学和材料强度

[英] F. V. 沃诺克 P. P. 本哈姆 著

江秉琛、刘相臣、张汝清、陈泽光、胡国华 译

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

黄冈报印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 21.5 字数 520,000

1982年6月第1版 1983年8月第1次印刷

印数 00,001—10,000

书号 15012-0413 定价 3.25 元

译者的话

原书初版于1927年,经过多次修改补充,至今共出版了八版,重印了七次,是一本供工科大学生、教师和工程技术人员参考的优秀读物。全书分成应力应变的理论分析,材料机械性能和试验以及实验应力应变分析三个同等重要而又互相补充的部分。它无论在理论和实验方面,都阐述严谨,深入浅出,取材新颖,内容丰富。我们译出此书,希望能对教师、学生和工程技术人员的学习和工作有所帮助。

参加本书翻译工作的同志有:江秉琛(著者序,引言,第五~第六章,第十五~十八章和第二十五~二十六章),刘相臣(第一~四章),张汝清(第七~十四章),陈泽光(第十九~二十一章,第二十七章),胡国华(第二十二~二十四章)。

重庆大学杨绪灿教授仔细地审阅了全部译稿,作了许多改正,对提高译稿质量帮助很大。由于我们水平所限,译文中一定有不妥之处,请读者批评指正。

1981年12月

著 者 序

F. V. 沃诺克所著《材料强度》初版于 1927 年，是供工程师和大学生使用的大学教材丛书之一。在后来的整整三十七年之中，共出了八版，重印了七次。虽然，每次新版基本上使本书适应了时代的要求，但是，作者感到，随着战后工程的很大发展以及工科大学生人数的增长，需要对原书重新审查和重新编写，而这已经不是简单地重版了。大量地重写这一著作的任务是十分艰巨的，所以，在编写这本新书的过程中，邀请了 P. P. 本哈姆博士，并得到了他真诚的合作。

本书所涉及到的范围自然同原书大致一样，但是，增加了一些补充的课题，对原有课题进行了扩充，并采用了新的表达方式，使理论分析的方法更为严谨。近十年来，对获取大学学位，工科毕业文凭以及高级国家证书而言，在理论和实验两个方面，对这门课程原有教学大纲都作了扩充，或者采用了新的教学大纲，本书的目的即在于适应这一要求。

近些年来，随着在大学及工科院校中许多新设备的配置，实验的范围也大为扩展，而且也日趋重要了。因此，本书分成了三个截然不同的部分，即应力应变理论分析，材料的机械性能和试验以及实验应力应变分析三篇。它们具有同等的重要性，而且这种重要性又是相辅相成的。在引言中，将更详细地介绍本书的内容及安排。

在此还有必要对书名加以解释。主要是阐述弹性应力和应变分析的“材料强度”这一传统名称，在许多方面是不相称的，而且逐

渐为更一般性的术语“固体力学”所代替。可是，本书的第二篇则是有关材料强度的，因此，在书名中仍包括了材料强度这一名称。

书中所引用的一些数据、图表和照片，系取自其它的公开文献和产品说明书，虽然，在书中适当之处已分别注明，但是著者们就这一点还要再次向那些有关人士及单位致以衷心的感谢。

F. V. 沃诺克

P. P. 本哈姆

1964.

主要记号

α 角, 热膨胀系数

β 角

γ 切应变

δ 挠度, 位移

ε 蠕滑应变

η 效率

θ 角, 扭角, 坐标

λ 光波波长

ν 泊松比

ρ 曲率半径, 比电阻率

ϕ 角, 坐标, 应力函数

ω 角速度

Θ 体力

A 面积

C 余能

D 直径

E 杨氏弹性模量

F 力, 光弹条纹值

G 剪切弹性模量或刚性弹性模量

H 力

I 面积的二次矩

J 面积的二次极矩

K 体积弹性模量, 疲劳强度因子, 应变计系数, 应力集中系数

L 长度

M 弯矩

N 弹簧的片数, 应力循环次数, 旋转速度

P 力, 面积的积矩
 Q 剪力
 R 体力, 电阻, 光弹相对滞后, 曲率半径, 反力, 应力率
 S 循环应力
 T 温度, 扭矩
 U 应变能
 V 体积
 W 重量, 载荷
 X 体力
 Y 体力
 Z 体力, 截面模量

a 面积, 距离
 b 宽度, 距离
 c 距离
 d 深度, 直径
 e 正应变
 f 正应力
 g 重力常数
 h 距离, 偏心距
 j 节点数
 k 回转半径
 l 长度
 m 质量, 模量比率
 n 弹簧圈数, 光弹条纹数, 铆钉数
 p 压强
 q 切应力
 r 坐标, 半径
 s 长度
 t 厚度, 时间
 u x 或 r 方向的位移
 v 挠度, y 或 θ 方向的位移, 速度

w z 方向的位移, 载荷集度, 单位体积的重量

x 坐标, 距离

y 坐标, 距离

z 坐标, 距离

应当指出, 上述符号中有一些也用来表示各种方程中的常数。

引 言

近十五年来,至少就一门工程学科的文獻来说,已经历了一个根本性的变化。这就促使工科教师们,要极为认真地考虑到以新的方法来对待他们自己所从事的具体学科。

在固体力学或通常称为材料强度的领域里,阐述方法常常是采取求解许多具体工程问题的形式,如梁、弹簧、轴、压力容器等。虽然,这本身是一些有意义而又重要的问题,但学生可能满足于能够解决这些问题,而并没有充分理解到,在解决所有上述问题时都应用了相同的基本原理,所不同的仅仅是加载的方式和构件的形状而已。因此,重要的是,应当透彻地理解进而自觉地去寻求三个基本条件,即外力和内力的平衡,变形的几何关系以及应力应变关系。这样,剩下的便是利用问题的恰当边界条件,以求得应力和应变的解答。

本书共分三篇,第一篇包括第一章至第十八章,第二篇包括第十九章至第二十四章,第三篇包括第二十五章至第二十七章。

第一篇中的前十二章是有关弹性单轴应力系统的基本理论,其中包括轴向加载,弯曲和扭转。除应力和应变外,还考虑了位移或挠度的重要性及其分析。作者感到,在本书的最前面这部分中,还需要扼要地介绍一下结构问题和细长杆的稳定性。

在第十三章和第十四章中,依据平衡和位移的协调性,详细分析了复杂应力系统中的弹性应力和应变关系。不依靠数学弹性理论而由上述原理能解决的包含复杂应力的实际问题是相当少的;然而,在第十五章中还是讨论并解出了一些有用的实例(厚壁筒,旋转圆盘等)。

通常, 机器和结构的设计是把应力和应变限制在弹性范围内的, 为此, 就需要有一个复杂应力状态下的屈服准则。在第十六章中, 就讨论了各种屈服理论。

应力集中是由于构件形状不规则所引起的应力急剧增高, 它的重要性, 特别是在因疲劳而断裂的关系方面, 不能过分强调。第十七章论述了应力集中的各个方面。第一篇的最末一章介绍了弯曲、扭转和轴对称构件中的塑性变形即超过弹性极限的变形的一些基本概念。如前所述, 尽管材料通常是在弹性范围内工作的, 但是, 对于无论是由于设计或是由于偶然事故所造成的塑性变形后果, 工程师却需要有一些概念。

在第一篇的各章中, 有许多已解出的例题, 而每章之末还附有一些习题, 其中不少是取自伦敦大学和各类专门学院过去的试题。

如果工程师对机器或结构的材料在其使用过程中将如何表现还没有必要的了解, 则应力的理论分析几乎是没有什么用处的。过去的一百五十多年以来, 材料的机械性能已经构成了一个广阔的研究领域, 而且现在仍然还有大量有待认识和有待解决的问题。虽然有许多详细论述这一课题的优秀教科书, 可是工科学生却需要事先有些实感, 以便能从实验课中获得足够的收益。因此, 本书第二篇的目的即在于介绍有关机械性能的主要特征和某些既成事实, 以及在试验室中如何通过力学试验去研究机械性能这一非常必需的方面。共有六章(第十九章至第二十四章)用于讨论诸如拉伸、压缩、疲劳、蠕变以及脆性断裂等课题。第二十四章介绍非金属材料的性能及其试验。在短短的一章里, 要妥善处理曾经产生过几本完整教材的这一课题是很少可能的, 这里主要是提醒学生注意, 在工程中并非完全为金属材料所独占, 而现在非金属材料也有着重要的地位。

这篇的各章之末不怎么需要习题, 而是代之以简短的参考书

目,以供需要更进一步深入阅读的学生们参考。

本书最后一篇是由三章组成,专门介绍实验应力和应变分析的各种技术。用理论方法求解某些工程问题的应力可能是极为冗长而复杂的,而且有时不得不引入许多简化假设。正是在这种情况下,同时也为了校核其它理论解,实验技术得到了发展,而且目前广泛地应用于工业方面。现在,多数大学和技术学院的实验室都有使用电阻应变计、光弹性及其它技术的讲课和实验。第二十五章至第二十七章将对这些实验方法以及需要更深入阅读的参考书目提供必要的介绍。在附录中,给出了各种材料的一些机械性能。

最后,也许应当指出,本书的三个独立的部分能够且似乎应该同时而不必依顺序来学习。事实上,有时为了使读者最好地使用现有材料,就必须指定读者从一个部分转到另一个部分。

目 录

著者序	vii
主要记号	ix
引言	xii

第一篇 应力和应变的理论分析

第一章 简单弹性应力和应变.....1

载荷 应力:正应力(拉伸,压缩);切应力 非均匀应力 互补切应力 变形 应变:正应变(拉伸,压缩);切应变;体积应变 弹性和屈服 虎克定律 弹性常数 体力 应力和应变:由于轴向载荷;由于温度效应 应力:在薄壳中由于内压力;由于旋转 习题

第二章 面积的几何性质.....26

形心 惯性矩和面积的二次矩 图形的二次矩:对通过形心的平行轴;对通过形心的两垂直轴 梁截面面积的二次矩 面积的积矩:对通过形心的平行轴 惯性椭圆或面积的二次矩椭圆 矩椭圆 习题

第三章 弯曲理论:弯矩和剪力.....46

定义 弯矩图和剪力图 弯矩:图解法 受倾斜载荷的简支梁在几个平面内受载的梁 集中载荷处的剪力 弯矩、剪力和载荷间的关系 有渐增载荷的简支梁 合曲线规则在船舶上的应用 习题

第四章 弯曲理论:应力.....73

弯曲应力 简单弯曲理论的假设 中性轴的位置 抵抗矩 截面模量 弯矩方程的实际应用 非对称弯曲 钢筋混凝土梁弯曲与正应力的组合 石结构 有一对称轴的梁截面上的切应力 剪切中心 习题

第五章 弯曲理论: 转角和挠度	110
中性轴的挠曲线方程 两次积分法 迈克勒法 叠加法 力矩面积法 $v = A\bar{x}/EI$ 的应用示例 具有不规则载荷的梁 具有不规则载荷的简支梁 等强度梁的挠度 习题	
第六章 弯曲理论: 静不定梁	147
加撑梁 固定端梁 叠加法对固定端梁的应用 固定端梁的力矩面积解法 固定端梁的缺点 连续梁 剪力和反力 威尔逊法 一端固定的梁 连续梁的优缺点 习题	
第七章 弯曲理论: 曲杆	182
具有大曲率半径的杆 薄环 具有大初曲率的梁 k^2 的值 起重钩 圆环 链环 习题	
第八章 弹性稳定性	203
长柱屈曲的欧拉理论 经验公式: 兰金-哥登公式; 直线公式; 抛物线公式; 菲得尔公式; 皮尔莱公式 柱的“皱折” 有偏心载荷的柱 受横向载荷的压杆 习题	
第九章 扭转理论	231
薄壁圆筒的扭转 实心圆轴的扭转 应力、应变和扭角之间的关系 扭矩和切应力之间的关系 空心圆轴 已知马力的轴的直径 组合轴 锥形轴的扭转 矩形和方形截面轴的扭转 非圆形截面薄壁管的扭转 习题	
第十章 弹性应变能	252
正应力的弹性应变能 突加载荷 冲击应力 梁的碰撞弯曲挠度 剪切弹性应变能 扭转应变能 弯曲应变能 梁的剪切挠度 关于挠度的应变能和余能解法 梁的弯曲挠度 静不定梁问题 习题	
第十一章 弯曲和扭转问题	279
由皮带轮传功率的轴 曲杆的横向加载 弹簧 密圈螺旋弹簧 弹簧的应变能 受轴向扭矩的密圈螺旋弹簧 密圈锥形弹簧 疏圈螺旋弹簧 组合弹簧的挠度 平面螺旋弹簧 习题	
第十二章 简单结构分析	299
静定构架 静定构架中的力 静定构架的变位 静不定构架: 力	

和位移 构架变位的能量解法 结构的连接 铆接的破坏方式
节距和铆钉直径 双排铆钉搭接 接头效率 对接铆接 组
合大型工字梁的铆接 有偏心载荷的铆接 焊接 习题

第十三章 复杂应力和应变.....330

符号和记号 倾斜于加载方向的平面上的应力 两垂直方向受正
应力的单元 只受切应力作用的单元 受一般二维应力系统作用
的单元 莫尔应力圆 主应力和主平面 与主平面倾斜的面上
的应力 一点处的一般二维应力状态 二维应变分析 用坐标
应变表示法向应变 用坐标应变表示切应变 莫尔应变圆 主
应变和最大切应变 应力和应变之间的关系 弹性常数间的关
系 习题

第十四章 应力和应变的变化分析.....369

平衡方程: 平面应力笛卡儿坐标; 平面应力极坐标 用位移表示应变:
二维笛卡儿坐标 协调方程 用位移表示应变: 二维极坐标 协
调方程: 极坐标 应力函数

第十五章 平衡方程及应变-位移关系的应用.....382

梁的切应力 梁的竖向正应力 厚壁圆筒中的应力分布 组合
筒 旋转薄圆盘 厚壁球壳 习题

第十六章 屈服理论.....413

最大主应力理论 最大主应变理论 最大切应力理论 总应变
能理论 剪切应变能或畸变应变能理论 屈服迹线 脆性材料
习题

第十七章 应力集中.....429

在无限大板边界上的集中载荷 使梁弯曲的集中载荷 接触应力
几何间断 组合应力集中与屈服准则系数

第十八章 涉及塑性变形的问题.....450

梁的塑性弯曲: 塑性弯矩 梁的塑性铰 轴的塑性扭转 应变强
化材料的塑性弯曲或扭转 塑性弯曲或扭转后的残余应力分布: 弹
塑性材料; 应变强化材料 轴对称构件: 受内压的厚壁筒; 有中心孔的
薄旋转圆盘 轴对称物体中的残余应力 习题

第二篇 材料的力学性质和试验

第十九章 拉伸、压缩和扭转.....477

拉伸: 金属的弹性范围; 金属的塑性范围; 延性; 拉伸试验中的真实应力;
对数应变或自然应变; 拉伸断裂; 过应变; 滞后和鲍辛格效应; 温度效应;
化学成分和热处理的影响 压缩 扭转 复合应力试验 试
验机 引伸仪 参考资料

第二十章 硬度和其他试验.....512

硬度: 布氏试验; 梅耶分析; 维氏试验; 洛氏试验; 硬度比较仪; 硬度值
的比较 延性试验: 弯曲试验 铸铁的横向弯曲试验 参考资料

第二十一章 韧性和脆性断裂.....527

冲击试验 脆性断裂 延性金属的脆性破坏 断裂应力曲线
温度、应力状态和应变率的影响 转变温度 断口外观 使
用中破坏 脆性断裂的实验室试验 冶金因素 参考资料

第二十二章 疲劳.....542

应力循环的形式 $S-N$ 曲线 疲劳试验 疲劳的机制 平均
应力 应力集中 温度 腐蚀 累积损伤 频率 低周
疲劳 组合应力疲劳理论 参考资料

第二十三章 蠕变.....566

高温对拉伸试验的影响 长期蠕变试验 蠕变资料的整理 蠕
变试验设备 应力松弛 含有蠕变的基本设计问题 循环应力
和温度条件下的蠕变 参考资料

第二十四章 非金属材料.....587

水泥: 细度试验; 化学成分; 强度; 凝固时间; 安定性 水泥试验机
混凝土 混凝土立方体试验 木材 木材的静力弯曲试验
木材的压缩试验 橡胶 塑料 参考资料

第三篇 应力和应变的实验分析

第二十五章 电阻应变计.....607

金属丝电阻应变计的原理和构造 应变计的尺寸和型式 应变片
的轴向灵敏度 横向灵敏度 温度补偿和湿度 应变片的粘贴
静态应变测量的桥路 应变片的布置: 轴向应变; 弯曲; 扭转

标定 动态应变的测量 滑环 载荷传感器和扭杆 应
变花的计算 参考资料

第二十六章 光弹性.....623

光学理论 偏振光 双折射 偏振镜 四分之一波片 偏
光仪 光学布置 光弹性理论 暂时双折射 等倾线和等色
线 圆偏光仪中的条纹 校正 应力迹线 主应力的分离
三向光弹性 应力冻结技术 光弹贴片法 光弹性材料 参
考资料

第二十七章 应变测量的其它方法.....643

脆漆法 网格技术 位移计: 电感式测量仪; 电容式测量仪; 声学式
测量仪; 气动式测量仪 实验技术的选择 参考资料

附录 一些工程材料的性质.....654

照片.....656