



成功笔记系列丛书

材料力学 成功笔记

成功笔记系列丛书编写委员会◎编



材料力学 I

第 4 版

周顺华 主编

高等教育出版社



NOTES TO SUCCESS

哈尔滨工程大学出版社

TB301/7=4C2

2007

成功笔记系列丛书

材料力学成功笔记

(配刘鸿文第四版教材·高教版)

成功笔记系列丛书编写委员会 编

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是配合刘鸿文主编的《材料力学》一书而编写的辅导书。全书按教材的章节顺序编排,对教材中的重点、难点进行了细致的总结和讲解,并给学生留下了自己进行总结和小结的空间,旨在帮助学生掌握《材料力学》的基本知识,达到将书“读薄、读透”的目的。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学成功笔记/《成功笔记系列丛书》编写委员会编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2007.10
(成功笔记系列丛书)
ISBN 978 - 7 - 81133 - 059 - 5

I. 材… II. 成… III. 材料力学 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 158135 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 6.5
字 数 80 千字
版 次 2007 年 10 月第 1 版
印 次 2007 年 10 月第 1 次印刷
定 价 12.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

成功笔记系列丛书编委会

主 任 罗东明

副主任 李刚俊 王卫国

编 委 陈 明 杨怡琳 胡乃文

王彩霞 刘剑秋 石 岭

经过精心的策划和组织,与高等学校优秀教材相配套的成功笔记系列丛书出版面世了。

一直以来,课堂上“老师讲、学生记”已经成为学校教学约定俗成的习惯。但是,很多学生因为忙于记录而忽略了对知识的理解和吸收,影响了课堂听课效果。而且近几年来教学方法和手段也在不断地发展和变化,多媒体教学和双语教学等也越来越广泛,而在这些过程中学生也根本来不及记录笔记。

本套丛书的编辑出版正是为了解决学生遇到的以上问题。丛书以大学课程的教学大纲为依据,以国内通用的权威教材为基础,收集、整理了部分课程的笔记,总结和归纳了相关知识点,帮助学生从机械记录老师板书或教案的工作中解脱出来,有更多的时间和精力、更大的自由来灵活掌握老师的讲解,汲取更多的知识。本套丛书有如下特点:

1. 优秀教师编写。笔记与教材内容紧密结合,而更强调知识体系的连贯性和完整性,对教材中的主要内容进行细致讲解,知识结构清晰明了。丛书是集中了多位在教学第一线的优秀教师多年教学过程中对知识的总结和概括,而不是书本的简单重复,帮助学生真正做到将书“读薄,读透”。

2. 随文安排加宽的空白处(即 Margin 部分),给学生以听课过程中随堂补充记录对知识的补充、说明、理解、例题、习题的空间,这样一方面便于学生课上结合笔记学习,提高学习效率;另一方面,也便于学生课后对老师讲授的内容进行有效、有序的复习。并且书中的每一章最后都有小结及学习体会部分,方便学生进行自我总结和自我归纳,加深理解。

3. 版本小巧,携带方便。

希望本套丛书的出版能够真正地帮助同学们的课堂和课后的学习,使其摆脱临摹老师的板书和教案的负担,有更多的时间扎实、认真地对课堂知识进行理解和吸收,从而走向成功之路。

由于时间仓促,本书还有很多的不足之处,欢迎读者提出宝贵的意见和建议,来信请寄哈尔滨工程大学出版社。E-mail: cbs

_shil@hrbeu.edu.cn

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 变形固体的基本假设	1
1.3 外力及其分类	2
1.4 内力、截面法和应力的概念	2
1.5 变形与应变	3
1.6 杆件变形的基本形式	3
本章小结与学习体会	5
第 2 章 拉伸、压缩与剪切	6
2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	6
2.2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力和应力	6
2.3 直杆轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力	7
2.4 材料拉伸时的力学性能	8
2.5 材料压缩时的力学性能	10
*2.6 温度和时间对材料力学性能的影响	11
2.7 失效、安全因数和强度计算	11
2.8 轴向拉伸或压缩时的变形	12
2.9 轴向拉伸或压缩时的应变能	13
2.10 拉伸、压缩超静定问题	13
2.11 温度应力和装配应力	14
2.12 应力集中的概念	14
2.13 剪切和挤压的实用计算	15
本章小结与学习体会	17
第 3 章 扭转	18
3.1 扭转的概念和实例	18
3.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	18
3.3 纯剪切	20
3.4 圆轴扭转时的应力	21
3.5 圆轴扭转时的变形	23
3.6 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形	23
3.7 非圆截面杆扭转的概念	23

本章小结与学习体会	26
第4章 弯曲内力	27
4.1 弯曲的概念和实例	27
4.2 受弯杆件的简化	27
4.3 剪力和弯矩	28
4.4 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	29
4.5 载荷集度、剪力和弯矩间的关系	30
本章小结与学习体会	32
第5章 弯曲应力	33
5.1 纯弯曲	33
5.2 纯弯曲时的正应力	33
5.3 横力弯曲时的正应力	34
5.4 弯曲切应力	35
*5.5 关于弯曲理论的基本假设	36
5.6 提高弯曲强度的措施	36
本章小结与学习体会	37
第6章 弯曲变形	38
6.1 工程中的弯曲变形问题	38
6.2 挠曲线的微分方程	38
6.3 用积分法求弯曲变形	39
6.4 用叠加法求弯曲变形	40
6.5 简单超静定梁	40
6.6 提高弯曲刚度的一些措施	40
本章小结与学习体会	41
第7章 应力和应变分析 强度理论	42
7.1 应力状态概述	42
7.2 二向和三向应力状态的实例	43
7.3 二向应力状态分析——解析法	43
7.4 二向应力状态分析——图解法	44
7.5 三向应力状态	45

* 7.6 位移与应变分量	45
* 7.7 平面应变状态分析	45
7.8 广义胡克定律	45
7.9 复杂应力状态的应变能密度	46
7.10 强度理论概述	47
7.11 四种常用的强度理论	47
7.12 莫尔强度理论	48
7.13 构件含裂纹时的断裂准则	49
本章小结与学习体会	50
第 8 章 组合变形	51
8.1 组合变形和叠加原理	51
8.2 拉伸或压缩与弯曲的组合	51
* 8.3 偏心压缩和截面核心	52
8.4 扭转与弯曲的组合	52
本章小结与学习体会	53
第 9 章 压杆稳定	54
9.1 压杆稳定的概念	54
9.2 两端铰支细长压杆的临界压力	54
9.3 其他支座条件下细长压杆的临界压力	55
9.4 欧拉公式的适用范围 经验公式	55
9.5 压杆的稳定校核	56
9.6 提高压杆稳定性的措施	57
本章小结与学习体会	59
第 10 章 动载荷	60
10.1 概 述	60
10.2 动静法的应用	60
* 10.3 受迫振动的应力计算	61
10.4 杆件受冲击时的应力和变形	61
10.5 冲击韧性	62
本章小结与学习体会	64
第 11 章 交变应力	65
11.1 交变应力与疲劳失效	65

11.2	交变应力的循环特征、应力幅和平均应力	66
11.3	持久极限	67
11.4	影响持久极限的因素	68
11.5	对称循环下构件的疲劳强度计算	69
11.6	持久极限曲线	70
11.7	不对称循环下构件的疲劳强度计算	70
11.8	弯扭组合交变应力的强度计算	71
11.9	变幅交变应力	71
11.10	提高构件疲劳强度的措施	71
	本章小结与学习体会	72
第 12 章	弯曲的几个补充问题	73
12.1	非对称弯曲	73
12.2	开口薄壁杆件的切应力 弯曲中心	74
12.3	用奇异函数求弯曲变形	76
12.4	有限差分法	76
	本章小结与学习体会	78
第 13 章	能量方法	79
13.1	概述	79
13.2	杆件应变能的计算	79
13.3	应变能的普遍表达式	80
13.4	互等定理	81
13.5	卡氏定理	82
13.6	虚功原理	83
13.7	单位载荷法 莫尔积分	84
13.8	计算莫尔积分的图乘法	85
	本章小结与学习体会	87
第 14 章	超静定结构	88
14.1	超静定结构概述	88
14.2	用力法解超静定结构	88
14.3	对称及反对称性质的利用	89
14.4	连续梁及三弯矩方程	89
	本章小结与学习体会	91

第1章 绪 论

1.1 材料力学的任务

工程结构或机械的各组成部分,如建筑物的梁和柱、机床的轴等,统称为构件。为保证工程结构或机械的正常工作,构件应有足够的力量负担应当承受的载荷,满足强度要求、刚度要求和稳定性要求。

材料力学的任务是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,为设计既经济又安全的构件,提供必要的理论基础和计算方法。

1.2 变形固体的基本假设

固体因外力作用而变形,故称为变形固体或可变形固体。

研究构件的强度、刚度和稳定性时,要对变形固体作以下假设:连续性假设、均匀性假设、各向同性假设。

连续性假设 组成固体的物质不留空隙地充满了固体的体积。

均匀性假设 在固体内各处均有相同的力学性能。

各向同性假设 无论沿任何方向,固体的力学性能都是相同的。

相关概念:

变形 在外力作用下,构件形状或尺寸发生的改变。

弹性变形 随外力消失而消失的变形。

塑性变形 不随外力消失而消失的变形。

1.3 外力及其分类

来自构件外部的力称为外力。外力按作用方式可分为表面力和体积力。连续作用于物体表面的表面力称为分布力；外力分布面积远小于物体的表面尺寸或外力沿杆件轴线分布范围远小于轴线长度的表面力可看作为集中力。

载荷按随时间变化的情况可分为静载荷和动载荷。随时间作周期性变化的动载荷称为交变载荷；物体的运动在瞬时内发生突然变化引起的动载荷称为冲击载荷。

1.4 内力、截面法和应力的概念

1. 内力

物体因受外力作用而变形，其内部各部分之间因相对位置改变而引起的相互作用就是内力。材料力学中的内力是指外力作用下，物体各质点之间存在的相互作用力的变化量，它随外力的增加而增大，与构件的强度密切相关。

2. 截面法

分布内力系向截面上某一点简化后得到的主矢和主矩，称为截面上的内力。

截面法是指假想用截面把构件分成两部分，以显示并确定内力的方法。截面的两侧必定出现大小相等、方向相反的内力，被假想截开的任一部分上的内力必定与外力相平衡。

截面法可概括为三个步骤：截开，代替，平衡。

3. 应力

凡提到“应力”，必须指明作用在哪一点，哪个截面（方向）上。它是分布力系在这一点是集度，反映内力系在该点的强弱程度。

通过轴向拉伸杆件同一点的不同截面（方向）上具有不同的应力。一点处的应力状态是指通过一点不同截面上的应力情况，或指所有方位截面上应力的集合。应力分析就是研究这些



不同方位截面上应力随截面方向的变化规律。

1.5 变形与应变

材料力学研究固体的变形,除了为研究构件的刚度外,还因固体由外力引起的变形与内力的分布相关。

假设固体因受到约束,不可能作刚性位移,点的位移全是由变形引起的。

一点变形前后的连线称为线位移。这点沿 x 方向的线应变(应变)用 ϵ 表示,每单位长度的平均伸长或缩短,称为平均应变,用 ϵ_m 表示。

线段或平面变形后转过的角度称为角位移,某点在 xy 平面内的切应变或角应变用 γ 表示。

应变 ϵ 和切应变 γ 的量纲为 1。

1.6 杆件变形的基本形式

实际构件有各种不同的形状,材料力学中主要研究长度远大于横截面尺寸的构件,这类构件称为杆件,简称为杆。

杆件受力有各种情况,相应的变形就有各种形式,基本形式有四种。

1. 拉伸或压缩

拉伸或压缩是指由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力引起的,表现为杆件的长度发生伸长或缩短。

2. 剪切

剪切是指由大小相等、方向相反、相互平行的力引起的,表现为受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对错动。

3. 扭转

扭转是指由大小相等、方向相反、作用面都垂直于杆轴的两个力偶引起的,表现为杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。



4. 弯曲

弯曲是指由垂直于杆件轴线的横向力,或由作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等、方向相反的力偶引起的,表现为杆件轴线由直线变为曲线。



本章小结与学习体会



第2章 拉伸、压缩与剪切

2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例

生产实践中经常遇到承受拉伸或压缩的杆件。例如液压传动机构中的活塞杆在油压和工作阻力作用下受拉,内燃机的连杆在燃气爆发冲程中受压,桁架中的杆件不是受拉便是受压。

轴向拉伸和压缩具有如下特点:

- (1) 作用于杆件两端的外力大小相等,方向相反,作用线与杆件轴线重合,即称为轴向力。
- (2) 杆件变形是沿轴线方向的伸长或缩短。

2.2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力和应力

1. 轴力

外力 F 的作用线与杆件轴线重合时,内力的合力 F_N 的作用线也必然与杆件的轴线重合,所以 F_N 称为轴力。把拉伸时的轴力规定为正,压缩时的轴力规定为负。

截面法求轴力的步骤:

- (1) 用假想的截面在待求内力处将杆件截开;
- (2) 选取截面任一侧作为研究对象,用轴力 F_N 代替另一部分对它的作用力;
- (3) 利用静力平衡计算 F_N 。

任一截面上的内力等于截面一侧所有外力的代数和。

2. 轴力图

轴力图表示轴力沿杆件轴线变化的情况。其绘制方法是:选取一个坐标系,横坐标表示横截面的位置,纵坐标表示相应截

面上的轴力,将拉力绘在 x 轴上侧,压力绘在 x 轴下侧,这样轴力图还可表示出各段内的变形是拉伸还是压缩。

3. 正应力

在拉(压)杆的横截面上,与轴力 F_N 对应的应力是正应力 σ 。一般规定拉应力为正,压应力为负。

求正应力 σ 在平面上的分布规律可分为三个步骤:变形观察、平面假设、推导静力关系。最后可导出

$$\sigma = \frac{F_N}{A}$$

其中 F_N ——横截面上的轴力;

A ——横截面面积;

σ ——横截面上的正应力(σ 符号同 F_N)。

当轴力沿轴线变化,截面的尺寸也沿轴线变化时,只要变化缓慢,外力合力与轴线重合,此公式仍适用,可写成

$$\sigma(x) = \frac{F_N(x)}{A(x)}$$

式中 $\sigma(x)$ 、 $F_N(x)$ 和 $A(x)$ 表示这些量都是横截面位置(坐标 x) 的函数。

2.3 直杆轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力

不同材料的实验表明,拉(压)杆的破坏并不总是沿横截面发生,有时是沿斜截面发生的。

若以 p_α 表示斜截面 $k-k$ 上的应力,如图 2-1 所示,有

$$p_\alpha = \sigma \cos \alpha$$

将应力 p_α 分解成垂直于斜截面的正应力 σ_α 和相切于斜截面的切应力 τ_α , 于是有

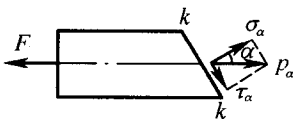


图 2-1

$$\sigma_\alpha = \sigma \cos^2 \alpha, \quad \tau_\alpha = \frac{\sigma}{2} \sin 2\alpha$$

(1) 当 $\alpha = 0$ 时, 斜截面 $k-k$ 成为垂直于轴线的横截面, σ_α 达到最大值, 且有 $\sigma_{\alpha\max} = \sigma$;

(2) 当 $\alpha = 45^\circ$ 时, τ_α 达到最大值, 且有 $\tau_{\alpha\max} = \frac{\sigma}{2}$ 。

可见, 轴向拉伸(压缩)时, 在杆件的横截面上, 正应力为最大值; 在与杆件轴线成 45° 角的斜截面上, 切应力为最大值。此外, 当 $\alpha = 90^\circ$ 时, $\sigma_\alpha = \tau_\alpha = 0$, 表示在平行于杆件轴线的纵向截面上无任何应力。

2.4 材料拉伸时的力学性能

1. 低碳钢拉伸时的力学性能

应力-应变图($\sigma-\epsilon$ 曲线)如图 2-2 所示。

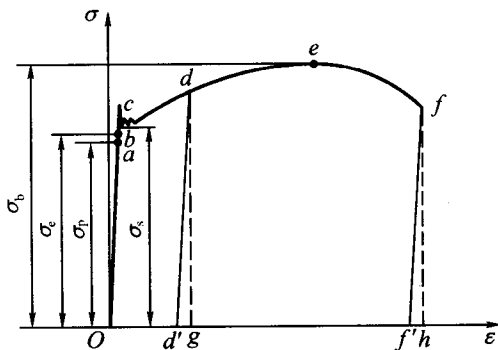


图 2-2

(1) 弹性阶段

弹性阶段中应力与应变为直线关系, 此时点 a 所对应的应力值称为比例极限, 用 σ_p 表示。它是应力与应变成正比例的最大极限, 即

$$\sigma = E\epsilon$$

即胡克定律, 其中 E 为弹性模量, 单位与 σ 相同。

(2) 屈服阶段

在屈服阶段, 应力不变而应变不断增加, 这种现象叫做屈