

材料力学

(第三版)

董克敬 彭图让 陆大坪 编

建筑结构基本知识丛书

TU3-51
1-3.2

建筑结构基本知识丛书

材 料 力 学

(第三版)

董克敬 彭图让 陆大坪 编

中国建筑工业出版社

(京) 新登字035号

本书是《建筑结构基本知识丛书》(第三版)之一, 主要介绍建筑结构构件的受力、强度、变形、稳定的基本概念及其计算方法。书中包括简单直杆承受拉、压、剪切和扭转作用时基本应力-应变的计算, 梁的弯曲应力和变形的计算, 构件的组合变形, 强度理论以及压杆稳定等。这次修订(第三版)参考了1988年最新修订的有关建筑结构设计规范的规定, 在内容上还增加了强度理论的概述, 以及大量的例题等。

本书可供具有初中以上文化水平的 basic 建设战线职工和青年自学参考, 也可作为职工培训用书。

建筑结构基本知识丛书

材料力学

(第三版)

董克敬 彭图让 陆大坪 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市顺义县燕华印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 11¹/₄ 字数: 253千字

1991年11月第三版 1991年11月第五次印刷

印数: 215,701—219,810册 定价: 6.95元

ISBN7-112-00441-1/TU·320

(5301)

TU3-51

1-3.2

1366991

EQ7462

第三版修订说明

为满足广大建筑职工自学的需要，我社1976年组织出版了一套《建筑结构基本知识丛书》，包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的知识，按专题分册出版，共十三分册。每册力求重点突出，并有一定独立性，读者可根据需要选读。丛书自出版以来，深受广大读者的欢迎和关怀，各分册先后重印四、五次，有的印数高达30多万册。

随着经济建设和建筑技术的发展，广大建筑职工和青年学习建筑结构知识的要求进一步提高。原《建筑结构基本知识丛书》的内容，虽经1980年间修订一次，但目前已不能满足读者的需要。为此，我们组织力量对丛书再次修订。这次修订，一方面保持原来的编写目的和原则，另一方面根据建筑技术发展和读者要求，编写深度起点不变，仍以适合初中毕业文化程度的读者读懂为基础，而对原丛书的内容加以扩展、提高和调整，但基本上以中专水平为准。同时，丛书以1988年新颁布的各种建筑结构规范为依据，并采用国务院颁布的“法定计量单位”。为了增强便于自学的特点，并适应广大乡镇建筑职工“学以致用”的需要，各分册中均加强概念和例题的联系，尽量补充应用实例，并注意某些带有专题性内容的介绍。这次第三版丛书新增加了《烟囱》、《水池》、《多层框架结构》、《结构动力学基础》等分册。今后将根据需要与可能，再适当增加专题分册。

丛书的修订工作绝非尽善尽美，一定有不少缺点，望读者提出意见，以帮助我们不断修订完善。

中国建筑工业出版社

主要符号表

本书所用符号	含义	常用单位
F	集中外力	N, kN
q	分布外力	N/m, kN/m
M_0	集中外力偶矩	N·m, kN·m
R	支座约束反力	N, kN
N	轴向力	N, kN
V	剪力	N, kN
T	扭矩	N·m, kN·m
M	弯矩	N·m, kN·m
M_y, M_z	对 y 轴、 z 轴的 弯矩	N·m, kN·m
A	横截面面积	mm ² , m ²
A_n	净截面面积	mm ² , m ²
S_y, S_z	对 y 轴、 z 轴的 静矩	mm ³ , m ³
I_p	极惯性矩	mm ⁴ , m ⁴
I_y, I_z	对 y 轴、 z 轴的 惯性矩	mm ⁴ , m ⁴
i_y, i_z	对 y 轴、 z 轴的 惯性半径	mm, m
W_p	抗扭截面模量	mm ³ , m ³
W_y, W_z	对 y 轴、 z 轴的	mm ³ , m ³

	抗弯截面模量	
σ	正应力	Pa, MPa
τ	剪应力	Pa, MPa
E	拉(压)弹性模量	Pa, MPa
G	剪切弹性模量	Pa, MPa
ν	横向变形系数 (泊松比)	
n	安全系数	
ε	线应变	
γ	角应变	
	材料比重	N/m^3
θ	梁的转角	rad
γ	梁的挠度	mm, m
δ	延伸率	
	变形	mm, m
ψ	截面收缩率	
φ	压杆稳定系数	
λ	压杆柔度系数(长细比)	

目 录

主要符号表

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 变形固体及其基本假设	3
1.3 杆件变形的基本形式	5
思考题	7
第 2 章 轴向拉伸和压缩	8
2.1 概述	8
2.2 内力、截面法、轴力和轴力图	10
2.3 截面上的应力	15
2.4 强度条件及其应用	24
2.5 杆件的拉伸和压缩变形·虎克定律	32
2.6 拉伸和压缩的超静定问题	39
思考题	42
习 题	44
第 3 章 拉伸和压缩时材料的力学性质	48
3.1 概述	48
3.2 钢的力学性质	49
3.3 铸铁的力学性质	55
3.4 混凝土的力学性质	57
3.5 木材的力学性质	58
3.6 容许应力和安全系数	59
3.7 应力集中	61
思考题	63

	习 题	63
第 4 章	剪切强度计算	64
4.1	概述	64
4.2	剪切强度	66
4.3	剪切强度计算实例	68
4.4	剪应力互等定律	75
4.5	剪应变及剪切弹性定律	77
	思考题	78
	习 题	78
第 5 章	扭转变形的强度计算	82
5.1	概述	82
5.2	圆截面直杆扭转的应力分布	84
5.3	强度条件及运用	90
5.4	非圆截面杆的扭转	93
	思考题	96
	习 题	97
第 6 章	截面图形几何性质	100
6.1	概述	100
6.2	如何计算静面矩	101
6.3	惯性矩和惯性积	107
6.4	平行移轴定理	112
	思考题	114
	习 题	117
第 7 章	梁的内力——剪力和弯矩	120
7.1	概述	120
7.2	剪力和弯矩的计算	128
7.3	绘制内力图——剪力图与弯矩图	135
7.4	叠加法绘制剪力图和弯矩图	144
	思考题	147

	习 题	148
第 8 章	弯曲应力	151
8.1	概述	151
8.2	弯曲时的正应力	152
8.3	梁的正应力强度计算	163
8.4	梁的剪应力计算及其强度条件	168
8.5	提高梁的弯曲强度的途径	175
8.6	弯曲中心概念	180
	思考题	183
	习 题	184
第 9 章	弯曲变形	189
9.1	概述	189
9.2	梁的挠度与转角	189
9.3	挠曲线近似微分方程式及挠曲线形状的大致判断	192
9.4	用积分法求梁的变形	196
9.5	用叠加法求梁的变形	205
9.6	梁的刚度条件及其应用	207
9.7	提高梁的弯曲刚度的途径	212
9.8	简单超静定梁	215
	思考题	220
	习 题	221
第 10 章	应力状态和强度理论	226
10.1	概述	226
10.2	斜截面上的应力	228
10.3	主平面与主应力	238
10.4	梁的主应力迹线	244
10.5	强度理论简介	246
	思考题	254

	习题	254
第11章	组合变形强度计算	258
11.1	概述	258
11.2	压缩与弯曲组合变形的强度计算	260
11.3	偏心压缩杆件的强度计算, 截面核心	266
11.4	矩形截面梁的斜弯曲	271
11.5	弯曲与扭转组合变形	277
	思考题	282
	习 题	282
第12章	压杆稳定	287
12.1	概述	287
12.2	细长压杆的稳定平衡, 临界力	289
12.3	细长压杆临界力的确定	291
12.4	临界应力与临界应力总图	295
12.5	细长压杆的稳定计算	300
12.6	钢结构轴心受压构件的稳定计算	306
	思考题	312
	习 题	313
附录1	常用几何量和物理量的单位换算表	315
附录2	型钢规格表	319

第 1 章 绪 论

本章简要说明材料力学的基本任务，给出变形固体的概念及其基本假说，并进一步介绍材料力学的研究对象——杆件及其基本变形形式。

1.1 材料力学的任务

土木工程中的各类建筑物和构筑物，例如房屋、桥梁、水池等，在使用过程中，都要承受各种荷载作用。凡在建筑物或构筑物中承担荷载而起骨架作用的部分称为结构。在房屋建筑中，屋架、梁、柱、基础等基本构件组成的体系，起房屋骨架作用，故称房屋结构。

一个好的结构构件必须能够安全地承受荷载，同时又能最经济地使用建筑材料。在工程实践中，经济与安全之间经常存在着矛盾。一般地，为了提高结构的安全性，往往要选用较好、较多的材料；但为了最大限度地满足经济方面的要求，却须选用较廉价的材料，并设法减少材料的消耗。材料力学的基本任务就是要正确处理好这一矛盾。

进行构件设计时，一定要确保构件能安全承受荷载。这就需要考虑构件的强度、刚度和稳定的问题。以房屋结构为例，当房屋承受荷载后，组成房屋结构的屋架、檩条、梁、柱子（图1-1a、b）、承重墙、基础等这些构件不允许发生

断裂破坏，即构件必须具有足够的强度。同时，为了保证建筑物或结构的正常使用，还必须使各个构件的变形限定在正常工作所限的范围内。如吊车梁弯曲变形过大，将影响吊车的正常运行；门窗过梁弯曲变形过大，将影响门窗的开关。这就是说，构件必须具有足够的刚度。此外，有一些受压的细长杆件，如屋架中的受压杆，当压力增大到一定程度时，将突然变弯或折断，结果会导致整个屋架的毁坏，这种现象称为杆件丧失了稳定性。所以在满足强度、刚度要求的同时还应满足稳定性的要求。

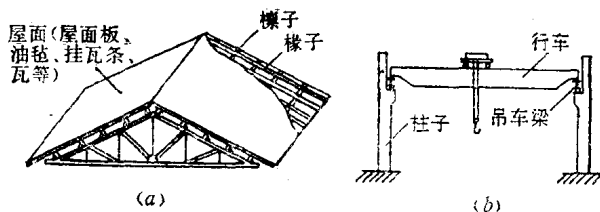


图 1-1 屋顶，桥式吊车

总之，设计结构构件时，一方面必须满足强度、刚度和稳定性三项基本要求，另一方面还应该注意考虑经济效益问题，尽可能地选用适宜的材料和尺寸，以减轻构件的自身重量。达到降低材料消耗，节约建设资金的目的。

简单地说，材料力学的任务是研究各种材料构件的受力与变形的规律。也就是研究构件的强度、刚度及稳定性的计算原理和方法，通过这些计算来确定构件的适宜材料和尺寸，以保证整个结构的安全、适用和经济。

当然，构件的强度、刚度和稳定性与所用材料的机械性

质（力学性质）有关，而材料的机械性质要由试验来测定。另外，工程中许多实际问题，有些尚没有理论分析结果，还须要由试验来测定，有些虽有理论分析结果，但也还需要通过试验进行验证。所以，试验研究和理论分析同样是实现材料力学任务的主要手段。

1.2 变形固体及其基本假设

在理论力学中，把固体看作绝对刚体，即认为在任何外力作用下，固体的几何形状和尺寸是绝对不变的。实际上，在自然界里绝对刚体并不存在，它只是一个抽象的概念。这是因为理论力学研究的是物体的平衡和运动的一般规律，物体的微小变形，对研究对象的影响很小可以忽略，因而抽象出了绝对刚体的力学模型。而材料力学所研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题，这里，变形成为不可忽视的主要因素之一，必须加以考虑。所以，在材料力学中，绝对刚体的概念不适用了，而认为一切固体都是可变形体。

为了简化性质复杂的变形固体，材料力学采用下列基本假设作为理论分析的基础。

（1）材料均匀连续的假设

材料的力学性质在各处都是均匀的，而且构成物体的物质是密实的、毫无空隙地充满着物体的整个几何容积。

试验说明，这个假设对于某些材料，例如钢、铜、铸铁等可得到与实际情况极为一致的结论；对于木材、混凝土、钢筋混凝土、砖石等材料虽然只能得到比较粗糙的结果，但仍采用这个假设。

根据这个假设，可以从物体的任何部分取出微小的六面

体来研究物体的性质；也可把较大尺寸试件通过试验所得的材料性质。用到微小的六面体上去。

(2) 材料各向同性的假设：

材料在各个不同方向上都具有相同的力学性质。钢材、玻璃以及浇灌得很好的混凝土等都可认为是各向同性的。

(3) 变形微小的假设：

变形后，物体几何形状及尺寸与原来形状及尺寸相比，改变量是极其微小的，可以忽略不计。

在工程结构中，一般构件允许产生的变形都很微小。这在建立静力平衡方程式时，可以不考虑外力作用点处的微小位移，而仍采用原尺寸，从而使问题大为简化，并且满足工程上对计算的精度要求。

例如在图1-2中，左端固定，右端自由并承受集中荷载 P 作用的杆件因受力而变形，引起梁的几何形状、尺寸和外力位置的变化，由于 δ_1 和 δ_2 都远小于梁的其他尺寸，故称为小变形。在有些情况下，即使位移接近物体尺寸的一个小的度量，如图1-2，若 δ_1 、 δ_2 接近 h ，只要不影响力的作用，仍可认为是小变形。在计算反力时，对一些小变形可以忽略不计，而仍然用变形前的几何形状和尺寸。今后将经常使用小变形的概念来简化分析和计算。至于构件变形过大，超出

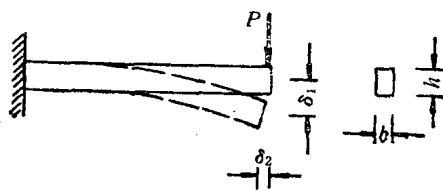


图 1-2 悬臂梁变形

了小变形的范围，则属于大变形的问題，一般不在材料力学的研究范围之内。

除上述三个基本假设外，在材料力学中还常对某些具体问題采取一些简化计算的假设。这将在有关章节中介绍。

1.3 杆件变形的基本形式

一个变形固体，若其长度尺寸远大于其横向尺寸时，就称为杆。杆中各横截面形心的联线，称为杆的轴线。根据杆的轴线是曲线还是直线，就有曲杆和直杆之分。

材料力学的主要研究对象是单个杆件，而且多为直杆。实际结构构件的形状有时相当复杂，但往往可以近似地引用杆的概念来研究。

由于作用在杆上的外力性质不同，杆的变形也不相同。一般地，将杆件的变形分为如下四种基本形式：

(1) 轴向拉伸或压缩 作用于杆上的外力，其作用线与杆的轴线重合，结果使杆的长度发生伸长或缩短，这种变形称为轴向拉伸或压缩（图1-3a、b）。

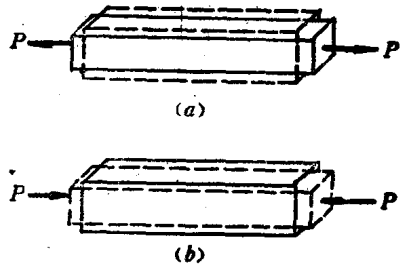


图 1-3 轴向拉伸、压缩

(2) 剪切 作用于杆上的是一对相距很近、方向相反且作用线垂直于杆轴的力。结果是杆的两部分沿外力作用线方向发生相对错动，这种变形称为剪切（图1-4）。

(3) 扭转 作用于杆上有一对大小相等, 方向相反, 作用面都垂直于杆轴的力偶。结果使杆的任意两横截面发生绕杆轴线的相对转动, 这种变形称为扭转 (图1-5)。

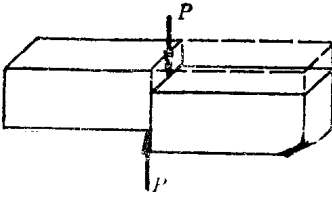


图 1-4 剪切变形



图 1-5 扭转变形

(4) 弯曲 作用于杆上的为垂直于杆轴的横向力或为作用于杆轴平面内的力偶。结果是杆的轴线由直线变为曲线, 这种变形称为弯曲(图1-6)。



图 1-6 弯曲变形

实际杆件的变形, 可能只是其中的一种, 也可能是由其中两种或两种以上基本变形的组合。这种变形称为复杂变形或组合变形。

例如, 杆件可以同时受到拉伸和扭转(图1-7), 拉伸和弯曲(图1-8)等等。

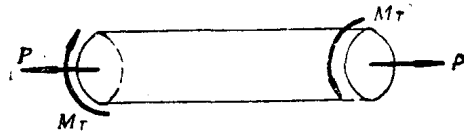


图 1-7 拉伸和扭转组合变形

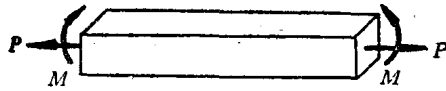


图 1-8 拉伸和弯曲组合变形

在复杂变形的情况下，只要力与变形成线性关系，杆件的应力和变形就分别等于在每一种基本变形下杆件的应力或变形之总和，这就是叠加原理。后面的一些章节中将多次用到这个原理。

思考题

- 1-1 材料力学的研究对象和任务是什么？
- 1-2 简要叙述构件的强度、刚度和稳定性的概念。
- 1-3 材料力学对可变形固体材料作了哪些基本假设？为什么作出这些假设？其中均匀性假设与各向同性假设有什么区别
- 1-4 杆件的基本变形形式有哪几种？试简述它们各自的受力特点和变形特点。