

目 录

绪 论	1
第一章 拉压杆件的应力、变形计算与强度计算	3
第一节 理论与方法要点	3
§ 1 内力、截面法	3
§ 2 承受拉、压的杆件应力、变形计算公式及其应用条件	5
§ 3 强度条件与强度计算	7
§ 4 安全系数与许用应力	8
§ 5 考虑杆件自重时, 拉、压杆的应力、变形计算	9
§ 6 拉、压杆件计算中需要注意的几个问题	12
第二节 例题示范	12
一、轴向力与轴向力图	12
[例题1-1]	
二、应力和变形计算	14
[例题1-2]~[例题1-8]	
三、强度计算	20
[例题1-9]~[例题1-13]	
第三节 习题	28
[习题1-1]~[习题1-21]	
第二章 拉、压杆件的静不定问题	36
第一节 理论与方法要点	36
§ 1 多余约束与静不定次数	36
§ 2 求解静不定问题的基本方法与解题步骤	37
§ 3 静不定结构的特性、温度应力与装配应力的概念	37
§ 4 静不定结构中极限设计的概念、计算极限状态下最大荷载的方法	38
§ 5 求解拉、压杆件静不定问题的难点及应当注意的问题	39
第二节 例题示范	40

一、一般静不定问题	40
[例题2-1]~[例题2-3]	
二、装配应力与温度应力	45
[例题2-4]~[例题2-6]	
三、极限状态下静不定结构所能承受的最大荷载	50
[例题2-7]	
第三节 习题	52
[习题2-1]~[习题2-10]	
第三章 截面的几何性质	57
第一节 理论与方法要点	57
§ 1 静面矩及其与形心的关系	57
§ 2 惯性矩与惯性积	59
§ 3 惯性矩的移轴定理	61
§ 4 惯性矩的转轴定理	62
§ 5 主轴、主惯性矩	64
§ 6 组合图形的形心主轴与形心主惯性矩	65
§ 7 解题过程中应注意的问题	65
第二节 例题示范	66
一、移轴定理的应用	66
[例题3-1]~[例题3-3]	
二、组合图形惯性矩的计算——分割法与负面积法的应用	69
[例题3-4]~[例题3-10]	
三、形心主轴与形心主惯性矩的计算	74
[例题3-11]~[例题3-12]	
四、用积分法计算惯性矩	79
[例题3-13]	
第三节 习题	79
[习题3-1]~[习题3-12]	
型钢表	84
第四章 剪切强度计算	112
第一节 理论与方法要点	112
§ 1 剪切时的应力与变形	112
§ 2 铆接件的强度失效形式及相应的强度计算方法	114

* § 3 偏心荷载作用下铆接件的受力特点及其简化计算方法	116
§ 4 焊缝剪切假定计算	119
§ 5 解题时应注意的问题	120
第二节 例题示范	121
一、铆接强度计算	121
[例题4-1]~[例题4-2]	
*二、承受偏心荷载的铆接件的强度计算	125
[例题4-3]	
三、焊缝剪切强度计算	128
[例题4-4]~[例题4-5]	
四、其它连接件的剪切强度计算	131
[例题4-6]~[例题4-8]	
第三节 习题	134
[习题4-1]~[习题4-14]	
第五章 扭转强度与刚度计算	140
第一节 理论与方法要点	140
§ 1 外力矩、扭矩、扭矩图	140
§ 2 圆轴扭转时的应力变形计算公式	141
§ 3 扭转时的强度与刚度条件。进行强度和刚度计算时 应注意的问题	144
§ 4 非圆截面杆扭转时应力、变形特点及近似计算公式	146
§ 5 闭口薄壁杆件扭转时的应力、变形与计算方法	147
§ 6 密圈螺旋弹簧的应力变形计算	149
§ 7 超过弹性范围的扭转剪应力计算。扭转极限设计的概念	150
第二节 例题示范	152
一、应力与变形计算	152
[例题5-1]~[例题5-5]	
二、强度计算与刚度计算	157
[例题5-6]~[例题5-10]	
三、扭转静不定问题	163
[例题5-11]~[例题5-12]	
四、非圆截面杆扭转时的应力变形计算	167
[例题5-13]	

五、闭口薄壁截面杆件扭转时的应力变形计算	168
[例题5-14]~[例题5-15]	
六、密圈螺旋弹簧的应力变形计算	170
[例题5-16]~[例题5-17]	
七、塑性扭转	172
[例题5-18]	
第三节 习题	174
[习题5-1]~[习题5-21]	
第六章 弯曲内力——弯矩图与剪力图	182
第一节 理论与方法要点	183
§ 1 弯矩、剪力的符号规则	183
§ 2 截面法在弯曲中的应用、确定指定截面上弯矩和剪力的方法	184
§ 3 弯矩方程和剪力方程	184
§ 4 弯矩、剪力与荷载集度之间的微分关系	185
§ 5 绘制弯矩图和剪力图时要注意的几个问题	187
第二节 例题示范	189
一、应用截面法和平衡条件确定指定截面上的弯矩和剪力	189
[例题6-1]~[例题6-2]	
二、建立弯矩和剪力方程，根据方程绘制弯矩图与剪力图，并确定弯矩和剪力的最大值	192
[例题6-3]~[例题6-5]	
三、利用弯矩、剪力和荷载集度之间的微分关系绘制弯矩图与剪力图	196
[例题6-6]~[例题6-8]	
四、曲杆的弯矩与剪力方程	202
[例题6-9]	
五、平面框架（刚架）的弯矩图与剪力图	203
[例题6-10]~[例题6-13]	
第三节 习题	209
[习题6-1]~[习题6-15]	
第七章 弯曲应力分析与弯曲强度计算	220
第一节 理论与方法要点	220

§ 1	有关梁弯曲的基本概念	220
§ 2	纯弯梁正应力公式及其应用与推广	222
§ 3	横弯时的剪应力公式及其应用	226
§ 4	弯曲强度问题的特点及强度计算方法	228
* § 5	开口薄壁截面梁承受横向弯曲时的剪应力、弯曲中 心的概念	232
* § 6	平面曲梁弯曲时的应力变形特点、应力计算公式及 其应用	233
* § 7	塑性弯曲的概念、极限弯矩计算方法	236
* § 8	两种材料组合梁的应力变形特点及其应力分析方法	238
第二节	例题示范	241
一、	弯曲正应力计算	241
	[例题7-1]~[例题7-9]	
二、	弯曲强度计算	253
	[例题7-10]~[例题7-14]	
三、	弯曲剪应力计算	260
	[例题7-15]~[例题7-16]	
* 四、	曲杆弯曲正应力计算	263
	[例题7-17]	
* 五、	梁的塑性弯曲	265
	[例题7-18]~[例题7-20]	
* 六、	两种材料组合梁的弯曲应力计算	269
	[例题7-21]~[例题7-22]	
第三节	习题	272
	[习题7-1]~[习题7-35]	
第八章	应力状态与强度理论	287
第一节	理论与方法要点	287
§ 1	一点应力状态及其表示方法	287
§ 2	截面法在微单元体上的应用、微单元体斜截面上应 力的确定	288
§ 3	主应力、主平面、最大剪应力	291
§ 4	应力圆及其应用	293
§ 5	广义虎克定律	294

§ 6	应变位能的概念	295
§ 7	建立复杂应力状态下强度计算准则的基本方法	296
§ 8	关于脆性断裂的强度理论	297
§ 9	关于屈服或剪断的强度理论	298
* § 10	莫尔强度理论的概念	300
§ 11	应用强度理论时应注意的问题	303
第二节	例题示范	304
一、	微单元体的取法及其各个面上应力的确定	304
	[例题8-1]~[例题8-3]	
二、	斜截面应力分析、应力圆的应用	307
	[例题8-4]~[例题8-5]	
三、	主应力、主方向与最大剪应力	311
	[例题8-6]~[例题8-8]	
四、	广义虎克定律的应用	315
	[例题8-9]~[例题8-12]	
五、	强度理论的应用	321
	[例题8-13]~[例题8-16]	
第三节	习题	329
	[习题8-1]~[习题8-21]	
第九章	组合受力时杆件的内力分析与强度计算	338
第一节	理论与方法要点	338
§ 1	将组合受力分解为简单受力形式迭加的方法	338
§ 2	组合受力时杆件强度计算方法	342
§ 3	斜弯曲	343
§ 4	拉(压)弯组合受力、截面核心的概念	346
§ 5	弯扭组合受力	350
第二节	例题示范	353
一、	斜弯曲	353
	[例题9-1]~[例题9-4]	
二、	拉弯或压弯组合、截面核心	362
	[例题9-5]~[例题9-9]	
三、	弯扭组合受力	371
	[例题9-10]~[例题9-11]	

四、一般受力	375
[例题9-12]~[例题9-14]	
第三节 习题	381
[习题9-1]~[习题9-21]	
第十章 弯曲变形与刚度计算	390
第一节 理论与方法要点	390
§ 1 挠度和转角的定义。影响挠度和转角的因素	390
§ 2 挠度曲线微分方程及其积分	392
§ 3 迭加法求梁的挠度和转角	395
梁的挠度与转角公式 表 10-1	396
§ 4 弯曲刚度计算	405
* § 5 弹性基础梁的概念	405
第二节 例题示范	408
一、用积分法求梁的挠度和转角	408
[例题10-1]~[例题10-4]	
二、迭加法求梁的挠度和转角	416
[例题10-5]~[例题10-8]	
三、弯曲刚度计算	423
[例题10-9]~[例题10-10]	
*四、弯曲变形的进一步问题	425
[例题10-11]~[例题10-14]	
*五、弹性基础上的梁	435
[例题10-15]~[例题10-16]	
第三节 习题	439
[习题10-1]~[习题10-24]	
第十一章 确定弹性位移的能量方法	448
第一节 理论与方法要点	448
§ 1 外力功与内力功	448
§ 2 虚功原理、各种受力形式下内力虚功的表达式	450
§ 3 莫尔方法	455
§ 4 莫尔积分的图解分析法——图形互乘法	457
§ 5 功的互等定理与位移互等定理	461
§ 6 各种受力形式下的应变位能	464

§ 7 卡斯提也努定理	467
第二节 例题示范	468
一、应变位能的计算及能量方法的简单应用	468
[例题11-1]~[例题11-5]	
二、虚功原理在刚体静力学中的简单应用	475
[例题11-6]~[例题11-7]	
三、莫尔积分的应用	478
[例题11-8]~[例题11-10]	
四、图形互乘法	483
[例题11-11]~[例题11-15]	
五、卡斯提也努定理的应用	491
[例题11-16]~[例题11-18]	
第三节 习题	496
[习题11-1]~[习题11-29]	
第十二章 静不定系统	509
第一节 理论与方法要点	509
§ 1 与求解一般静不定系统有关的基本概念与解题方法	509
§ 2 力法与正则方程	512
§ 3 应用力法解静不定问题的步骤	514
§ 4 连续梁、三弯矩方程	515
第二节 例题示范	516
一、简单的静不定梁	516
[例题12-1]~[例题12-3]	
二、框架静不定系统	523
[例题12-4]~[例题12-5]	
三、曲杆静不定系统	527
[例题12-6]	
四、静不定系统的变形计算	530
[例题12-7]	
五、桁架静不定系统	532
[例题12-8]	
六、三弯矩方程	536
[例题12-9]~[例题12-10]	

七、空间静不定系统	540
[例题12-11]~[例题12-12]	
八、综合性问题	544
[例题12-13]~[例题12-14]	
第三节 习题	549
[习题12-1]~[习题12-22]	
第十三章 压杆稳定问题	558
第一节 理论与方法要点	558
§ 1 弹性体稳定问题的基本概念	558
§ 2 确定压杆临界力的欧拉公式	559
§ 3 支承对压杆临界力的影响、各种支承条件下计算临 界力的公式	562
§ 4 临界应力与柔度的概念、三类不同柔度的压杆	562
§ 5 借助于基本许用应力折减系数进行压杆稳定计算的 基本方法	566
*§ 6 纵横弯曲问题简单介绍	569
*§ 7 用能量法确定压杆的临界力	573
第二节 例题示范	576
一、压杆临界力公式的推导	576
[例题13-1]	
二、应用欧拉公式计算临界力	578
[例题13-2]~[例题13-3]	
三、压杆安全校核	583
[例题13-4]~[例题13-5]	
四、压杆截面设计	586
[例题13-6]~[例题13-7]	
五、组合柱的稳定问题	590
[例题13-8]	
*六、简单的纵横弯曲问题	594
[例题13-9]	
*七、用能量法确定压杆临界力	595
[例题13-10]~[例题13-11]	
第三节 习题	599

【习题13-1】~【习题13-19】

第十四章 疲劳强度计算606

第一节 理论与方法要点606

§ 1 疲劳破坏特点及破坏原因的简单分析606

§ 2 应力循环的基本特性607

§ 3 应力集中的基本概念609

§ 4 持久极限及其影响因素611

§ 5 零件持久极限的确定613

§ 6 疲劳强度计算方法与步骤614

第二节 例题示范619

一、对称循环下的疲劳强度计算619

【例题14-1】~【例题14-2】

二、非对称循环下的疲劳强度计算623

【例题14-3】~【例题14-4】

三、复杂应力状态下的疲劳强度计算627

【例题14-5】~【例题14-6】

第三节 习题631

【习题14-1】~【习题14-10】

第十五章 动荷载作用下的应力计算635

第一节 理论与方法要点636

§ 1 等加速度运动时构件的应力计算方法636

§ 2 杆件振动的基本概念与应力计算方法637

§ 3 冲击荷载作用下的应力计算方法639

第二节 例题示范640

一、构件作等加速度运动时的应力计算640

【例题15-1】~【例题15-4】

二、振动应力计算648

【例题15-5】~【例题15-6】

三、冲击应力计算652

【例题15-7】~【例题15-10】

第三节 习题659

【习题15-1】~【习题15-12】

绪 论

材料力学是变形体力学的一个分支。变形体力学是以变形体为研究对象的，变形体形式是多种多样的。材料力学则以变形体最简单而又最常见的形式——杆件为研究对象，来研究杆件在外力作用下的强度、刚度和稳定问题。

物体在外力作用下要发生变形，为了反抗这种变形，其内部便产生相互作用的内力，而各种不同材料组成的物体所能承受的内力都有一定的限度，超过这一限度，物体就要发生“破坏”。这就是“强度”问题。研究强度问题，就是要保证物体在一定的**外力作用下安全可靠地工作而不发生“破坏”。

“刚度”是指物体抵抗弹性变形的一种能力。研究刚度问题，是要保证物体在外力作用下所发生的弹性变形或位移不得超过所规定的限度。

所谓“稳定”则是指特定的受力形式下，物体的平衡形式不发生突然改变。研究稳定问题就是要研究平衡形式在什么情况下是不稳定的、在什么条件下是稳定的，以及怎样保证正常工作而不丧失稳定。

学习材料力学首先要掌握变形体的特点以及与之相应的分析方法，亦即通常在变形体力学中所用的，从平衡、变形（或称几何）和物理等三个方面分析问题的基本方法。这一方法贯穿在整个材料力学课程中，而在应力分析理论和解静不定问题中显得更加重要。这是材料力学与理论力学的重要差别。但是，由于作了关于小变形的假定，理论力学中有关受力分析和静力平衡的方法在材料力学中依然是适用的。

其次，材料力学中所研究的杆件都是由建筑构件与机器零部

件抽象出来的理论模型，在进行理论分析时又作了一些简化和假定。因此，在学习这门课程时，一方面要注意理论模型是怎样从实际中抽象出来的，另一方面还要注意根据简化和假定所得到的理论性结论和计算公式在应用时有什么条件限制。

第三，材料力学比理论力学更接近工程实际，所以，在学习到一定阶段时，还要注意综合应用其它课程的理论知识，去分析和解决简单的构件或零部件的强度、刚度和稳定问题。

此外，通过材料力学的学习和训练，还要培养计算能力，这也是工程技术人员的一种基本功。因此，要重视数字计算及结果校核，力求准确、迅速而又简练地将所需的结论表达出来。

以上所述，也是本书取材和编排的指导思想。

第一章 拉压杆件的应力、变形 计算与强度计算

拉伸和压缩是杆件最简单的受力形式。拉压问题所涉及到的
一些基本概念和基本方法虽然比较简单，但在材料力学中却具有
一定的普遍性。本章的目的是通过这一简单受力形式下的应力、
变形计算与强度计算，对应力、应变的概念、确定内力的基本方
法以及强度计算的步骤，有一个初步而又比较全面的了解。

第一节 理论与方法要点

§ 1 内力、截面法

变形体在外力作用下发生变形，为了反抗这种变形，在承载
物体内部各点之间便要产生相互作用的“附加内力”。这种附加
内力在材料力学中简称为“内力”。

内力只有用假想截面将杆件截成两部分时才能显示出来，这
种显示内力的方法称为“截面法”。

处于平衡状态下的承载物体如图1-1(a)所示。今用假想截
面将其截为A、B两部分。为了使其中每一部分在其上之外部荷
载作用下保持平衡，必须在所作的截面上加上某个内力系。这就
是A、B两部分之间的相互作用力。根据作用与反作用定律，作
用在A部分截面上的内力与作用在B部分上的内力大小相等、方
向相反，如图1-1(b)所示。

作用在截面上的内力是一个连续分布力系。应用力系简化的
基本方法，可以将其向一点（例如截面形心）简化，得到一内力
主矢量 R 和主矩 M 。再将主矢量和主矩分别向 x 、 y 、 z 三个座

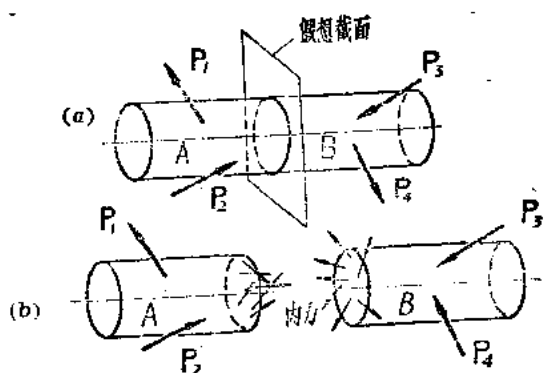


图 1-1 内力与截面法

标轴投影（其中 x 轴沿杆件轴线方向， y 、 z 为截面内的特定方向，参见本书第六章），便得到该截面上的六个内力分量： N_x ， Q_y ， Q_z 和 M_x ， M_y ， M_z 。如图 1-2 所示。

其中 N_x 引起杆件的轴向变形（拉伸或压缩），称为“轴向力”或“纵向力”； Q_y ， Q_z 则使截面两侧分别产生沿 y 、 z 方向的剪切变形，称为“剪力”或“横向力”； M_x 引起杆件的扭转变形，称为“扭矩”； M_y ， M_z 则使杆件分别在 xz 和 xy 平面内发生弯曲变形，称为“弯矩”。

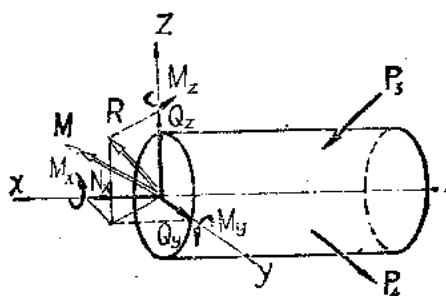


图 1-2 截面上的内力分量

应用静力学的方法，考察截开的任意部分的平衡，根据平衡条件即可求得各个内力分量的大小与方向。一般包含下列步骤：

1. 在需要计算内力处用假想截面将杆件截开，并分成两部分；

2. 在截开的截面上建立直角坐标系；

3. 考察截开的某一部分的平衡，由平衡方程计算各个内力分量的大小并确定其方向；

4. 考察截开的另一部分的平衡，以校核上述结果的正确性。

本章只介绍轴向力 N_x 的计算。其余内力分量将在以后各章逐一加以介绍。关于 N_x 及其分布图（即“轴向力图”）可参见[例题1-1]。

§ 2 承受拉、压的杆件应力、变形计算公式及其应用条件

对于均质杆，在承受轴向拉伸或压缩时，根据“横截面保持平面”的假定，内力在截面上是均匀分布的。因此，截面上各点的正应力均相同，即

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1-1)$$

根据“圣维南原理”，除加力点附近的区域外，上述公式对于整个截面都是适用的。但在开孔或杆横截面突变处，由于应力集中，这些区域的应力是非均匀分布的，因而上述公式是不适用的。

对于两端承载的等截面均质直杆，不仅在杆的横截面内，而且沿杆长的各个截面上的应力都是相同的。

根据虎克定律，两端承受轴向拉伸或压缩的直杆，在弹性范围内，其绝对伸长量为

$$\Delta l = \frac{Nl}{EA} \quad (1-2)$$

其相对伸长即正应变为

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{N}{EA} = \frac{\sigma}{E} \quad (1-3a)$$

应力与应变的这一关系还可以写成

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1-3b)$$

当轴向力 $N(x)$ 和横截面积 $A(x)$ 沿杆轴线 x 方向变化时，必

须从 dx 微段的伸长入手用积分的方法求得整个杆件的伸长量。

即

$$\Delta dx = \frac{N(x)dx}{EA(x)}$$

$$\Delta l = \int_0^l \frac{N(x)dx}{EA(x)} \quad (1-4)$$



图 1-3 杆件轴向变形计算

拉伸或压缩时，除了轴向变形外，还将产生横向变形，二者之间存在下列关系

$$\varepsilon_y = -\mu \varepsilon_x \quad (1-5)$$

式中负号表示两种变形异号，即一个为伸长（缩短），则另一个为缩短（伸长）。

上述 (1-1) ~ (1-5) 式中各项符号意义如下：

N ——轴向力。若杆件只在两端受拉（压）时，轴向力的大小与外力相等；若沿轴方向作用有几个外力时，则必须分段应用截面法求得各段截面上的轴向力，（kg）；

A ——杆件的横截面积，（ cm^2 ）；

σ ——杆件横截面上的正应力， kg/cm^2 ；

l ——杆件原长，在这一长度内，各截面上的轴向力相同，（cm）；

Δl ——杆件原长 l 的变化量，它可以是一段的变化量，也可以是总伸长（或缩短），（cm）；

E ——杆件材料的弹性模量, (kg/cm^2)。常用材料的 E 值列于表1-1中;

ε ——正应变, 无量纲; ε_a 为轴向应变; ε_r 为横向应变;

μ ——波桑比, 无量纲, 常用材料的 μ 值列于表1-2中。

几种常用材料的弹性模量数值

表 1-1

材 料	弹性模量 E ($\times 10^4 \text{kg}/\text{cm}^2$)	材 料	弹性模量 E ($\times 10^4 \text{kg}/\text{cm}^2$)
灰口或白口铸铁	1.15~1.60	硬铝合金	0.71
可锻铸铁	1.55	铸 钢	1.76
碳素钢	2.0~2.1	木 材	顺纹 0.10~0.12 横纹 0.005~0.010
镍铬钢, 合金钢	2.1	混 凝 土	0.1~0.3
轧制纯铜	1.1	橡 胶	0.00008
轧 制 铝	0.69		

几种常用材料的波桑比数值

表 1-2

材 料	μ	材 料	μ
钢	0.25~0.33	铝与硬铝	0.32~0.36
铸 铁	0.23~0.27	混 凝 土	0.08~0.18
铜及其合金	0.31~0.36	橡 胶	0.47

§ 3 强度条件与强度计算

根据拉伸试验所得到的材料力学性能, 杆件所能承受的应力是有一定限度的。因此, 为了保证杆件安全可靠地工作, 必须将杆内的最大工作应力 σ_{max} 限制在一定的数值之下, 这一数值称之为许用应力, 用 $[\sigma]$ 表示, 它由杆件的材料及杆件所处的工作条件确定。即

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} \leq [\sigma] \quad (1-6)$$

这就是对拉、压杆进行强度计算的依据, 称为“强度条件”。

其中 $[\sigma]$ 在拉伸时用 $[\sigma_+]$ (抗拉许用应力), 压缩时用