



高等学校教材

# 材料力学

(删订本)

第二版

梁治明 丘 侃 陆耀洪 合编

高等教育出版社

## 第二版出版说明

本书是梁治明、丘侃、陆耀洪合编的“材料力学”(删订本)的第二版,是根据教育部工科学教材编审委员会材料力学教材编审小组的建议在初版基础上作小修订而成,可作为少学时类型材料力学教材。第二版与初版比较,除了将工程单位制转换为国际单位制,增换了一些例题和习题,并对某些部分作了小修改外,基本内容未作更改。

本书适用作 60 学时左右类型专业的材料力学课程教材,也可供广大工程技术人员参考。

本书修订工作由南京工学院力学教研室郭昌寰、姜明燊两同志负责,修订后的原稿经原编者丘侃复阅。

高等学校教材  
**材料力学**  
(删订本)  
第二版

梁治明 丘侃 陆耀洪 合编

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 8.75 字数 210,000

1963年12月第1版 1984年3月第2版 1984年10月第1次印刷

印数 00,001—17,250

书号 15010·0572 定价 1.35 元

# 目 录

序	1
<b>第一章 导论</b>	1
§ 1-1. 材料力学的任务及研究方法	1
§ 1-2. 变形固体及其基本假设	3
§ 1-3. 外力及其分类	5
§ 1-4. 内力·截面法	7
§ 1-5. 应力的概念	10
§ 1-6. 位移及变形的概念	12
§ 1-7. 杆件变形的基本形式	14
复习题	15
<b>第二章 拉伸及压缩</b>	16
§ 2-1. 轴向拉伸及压缩的概念	16
§ 2-2. 轴力·横截面上的应力	17
§ 2-3. 许用应力·拉伸及压缩的强度条件	20
§ 2-4. 纵向变形·虎克定律	24
§ 2-5. 拉伸时的变形能	27
§ 2-6. 横向变形·泊松比	29
§ 2-7. 拉伸及压缩中的超静定问题	30
§ 2-8. 圆筒形薄壁容器的应力	35
§ 2-9. 应力集中概念	36
复习题	38
习题	38
<b>第三章 拉伸及压缩下材料机械性质的研究</b>	44
§ 3-1. 材料机械性质的实验研究	44
§ 3-2. 拉伸试验·应力应变图	44
§ 3-3. 压缩时材料的机械性质	51
§ 3-4. 蠕滑及松弛现象	53
§ 3-5. 安全系数的选择	53

复习题	56
<b>第四章 剪切</b>	<b>57</b>
§ 4-1. 剪切的概念	57
§ 4-2. 剪切的假定计算及强度条件	57
§ 4-3. 铆接的计算	60
§ 4-4. 纯剪切·剪切虎克定律	64
复习题	67
习题	67
<b>第五章 扭转</b>	<b>71</b>
§ 5-1. 扭转的概念	71
§ 5-2. 扭矩的计算·扭矩图	71
§ 5-3. 圆轴扭转的应力及变形	75
§ 5-4. 圆轴扭转时的强度及刚度计算	79
§ 5-5. 非圆截面杆扭转的概念	81
复习题	82
习题	83
<b>第六章 弯曲时的内力</b>	<b>86</b>
§ 6-1. 弯曲的概念	86
§ 6-2. 梁的支座及反力	87
§ 6-3. 剪力及弯矩	89
§ 6-4. 剪力图及弯矩图	92
§ 6-5. 弯矩、剪力及分布载荷集度间的关系	95
§ 6-6. 用叠加法作弯矩图	98
复习题	99
习题	100
<b>第七章 弯曲时的应力</b>	<b>104</b>
§ 7-1. 弯曲时的正应力	104
§ 7-2. 常用截面的惯矩·平行移轴公式	109
§ 7-3. 弯曲时的剪应力	112
§ 7-4. 弯曲时的强度条件	115
§ 7-5. 梁的合理截面	119
§ 7-6. 非对称截面梁的平面弯曲	121

---

复习题	125
习题	125
<b>第八章 弯曲时的变形·超静定梁</b>	<b>129</b>
§ 8-1. 梁的挠度及截面转角	129
§ 8-2. 挠曲线的微分方程及其积分	132
§ 8-3. 用叠加法求梁的变形	139
§ 8-4. 用变形比较法解超静定梁	145
复习题	150
习题	150
<b>第九章 复杂应力状态下的强度条件</b>	<b>153</b>
§ 9-1. 应力状态的概念	153
§ 9-2. 二向应力状态	156
§ 9-3. 三向应力状态中的最大应力	161
§ 9-4. 广义虎克定律	163
§ 9-5. 复杂应力状态下的弹性变形能	166
§ 9-6. 强度理论的概念	167
§ 9-7. 按不同理论的强度检查	169
复习题	176
习题	176
<b>第十章 组合变形时的强度</b>	<b>180</b>
§ 10-1. 组合变形的概念	180
§ 10-2. 弯曲与拉伸或压缩的组合	181
§ 10-3. 偏心拉伸或压缩	184
§ 10-4. 斜弯曲	188
§ 10-5. 扭转与弯曲的组合	190
复习题	194
习题	194
<b>第十一章 压杆的稳定</b>	<b>200</b>
§ 11-1. 压杆稳定的概念	200
§ 11-2. 确定压杆临界载荷的欧拉公式	202
§ 11-3. 欧拉公式的适用范围·临界应力的经验公式	209
§ 11-4. 压杆稳定的实用计算	211

复习题	216
习题	216
<b>第十二章 动载荷</b>	<b>220</b>
§ 12-1. 动载荷问题的概念	220
§ 12-2. 不等速运动构件的应力计算	221
§ 12-3. 冲击应力的计算	223
§ 12-4. 振动应力计算概念	226
§ 12-5. 交变应力下材料的破坏	229
§ 12-6. 交变应力的循环特征·持久极限	231
§ 12-7. 影响持久极限的因素	234
复习题	258
习题	239
<b>附录: 一、简单截面图形的几何性质</b>	<b>242</b>
二、型钢规格表	244
三、习题答案	263

# 第一章 导 论

## § 1-1. 材料力学的任务及研究方法

在工农业生产中，广泛地运用各种机械及工程结构。组成某一机械的零件及结构的杆件，统称为构件。一切构件，都是用固体形态的材料制成的。

根据经验及实验，我们知道：一般固体在外力作用下，都要产生一定程度的变形（即形状和尺寸产生一定的改变），若所受外力继续增加，那么，最后物体将被破坏。

工程上的每一机械或结构，在使用过程中，不容许有任何一个构件发生破坏而不安全，也不容许有某些构件由于变形过大而不合用；换言之，每一个构件都要有足够的强度和刚度。

在生产中所用的任何一个机械或结构，应该是既安全又适用，而且设计时还要使它是最经济的。安全、适用和经济，是任何一个机械或工程结构必须满足的三个基本要求。

除此之外，在某些情况下，还要满足一些特殊要求。例如，紧急工程要求施工简便和迅速，化工机械及设备要求耐腐蚀和可靠的密封，选矿所用破碎机械要求产生的灰尘轻微，炼油厂的机器设备要求耐高温及高压等等。

为了保证整个机械或结构既能满足基本要求又能满足特殊要求，设计时我们必须为每一构件选择适当的材料及尺寸。

上述这些要求之间，经常是存在着矛盾的。比如，要想提高安全性，常常须要选用较好的较多的材料；但是为了满足最大经济的要求，却须要选用较廉的材料，并设法减少材料的消耗。片面地追



求经济而忽视安全,是很有害的设计思想;但过分地强调安全而忽视经济性,也不符合社会主义建设的节约精神。正确地处理这种矛盾,是很重要的。材料力学提供出解决这种矛盾的基础;同时,也可以说,这些矛盾,就是材料力学这门科学发展的主要动力。

除了设计以外,有时我们还须要解决形式上有些不同的问题,即:对已经设计好的构件,校核它们的尺寸是否足够;对某些已经制成的构件,算出它们的承载能力。解决这些问题,都须要应用材料力学的理论。

简单地说,材料力学这门科学的任务是研究各种材料及构件在外力作用下所表现的力学性能,并指出如何从构件的材料及尺寸方面,来保证构件能够满足安全、适用和经济等要求。

在材料力学中,我们研究某一问题时,也和其他科学一样,有实验、假设、理论分析及验证等过程。

材料力学中所研究的,都是实际的问题,为了使得所得的结论不致脱离实际,首先必须从实验中观察具体的现象。

实际的事物往往是很复杂的,为了研究的方便,必须通过所观察到的现象,了解问题的本质,略去次要的支节,做出若干假设,把问题加以抽象。这种抽象是人们认识自然发展理论的重要方法。

问题经过了这样的抽象以后,就可以进行理论分析。在分析工作中,常以数学及力学为工具,而从平衡条件,变形的几何特性,及联系力与变形的物理条件三个方面来考虑。

理论分析中所得的结论,究竟是否正确合用,还须要重新通过实验和生产实践来验证。

除了分析研究以外,为了解决强度问题,必须知道材料的一些力学性质,而这方面的资料是须要通过实验才能得到的。所以说材料力学并非是单纯的理论运算,而是理论与实验紧密联系相互交错着的。

科学的产生,是由于生产斗争中的需要。在生产力的发展中,科学也随着发展;而科学的进步,又反过来帮助生产力的提高。材料力学这一门科学的产生和发展,也不例外。

## § 1-2. 变形固体及其基本假设

在理论力学中,我们把固体看成绝对刚体;换句话说,就是假定在外力作用下,固体的几何形状和尺寸绝对不变。实际上,所谓绝对刚体,在自然界中并不存在,它只是一个抽象的概念而已。由实验得知,任何固体在外力作用下都将发生变形,也就是说,它的几何形状和尺寸总有些改变,而且最后还可能发生损坏。

实际物体具有复杂的形状和多种多样的性质,这都足以妨碍科学研究的进行。但是每一门科学仅是从某一角度来研究具体事物中某一方面的问题,因此,为了研究的方便起见,我们常常把那些与问题无关的或影响不大的次要性质加以忽略,而保留它们的主要性质。用这种理想情况来代替真实的物体,可使我们能够采用理论的方法来进行分析和研究,从而获得一般性的结论。

在理论力学中,我们研究物体平衡及运动问题的一般规律;物体的微小变形,对于平衡及运动问题影响很小,是一个次要因素,可以不加考虑,所以采用绝对刚体这个抽象概念来把真实物体的性质加以简化,以利研究。材料力学所研究的是强度及刚度等问题,在这种问题里,物体的变形是主要因素之一,因此必须加以考虑而不能忽略,所以绝对刚体这一概念已不适用,并应认为一切固体都是变形固体。

外力使固体中微粒间的相对位置发生变化,因而产生变形。同时,值得注意的是:一般固体都具有抵抗外力作用的一定能力,外力除去后,能恢复其原有的形状和尺寸。变形固体的这种基本性质,称为弹性。若物体在外力除去后能完全恢复原状,这种物体就

称为完全弹性体；不能完全恢复原状的物体，称为部分弹性体。

部分弹性体的变形有两部分：一部分是随着除去外力而消失的变形，称为弹性变形；另一部分是外力除去后不能消失的变形，称为塑性变形，亦称为残余变形。

某些物体在外力作用下，能产生较大的塑性变形，这种性质，称为塑性。

弹性和塑性往往是有条件性的。例如在同样的受力情况下，金属在常温下可以是弹性的，在高温下却是塑性的。

自然界中并没有所谓完全弹性体，一般变形固体，既具有弹性，也具有塑性。不过实验指出，像金属、木材等等工程材料，当外力不超过某一限度时，可以看成是完全弹性的；若外力超过了这一限度，就要发生显著的塑性变形而变成部分弹性。

在材料力学中，我们把固体的弹性阶段作为研究的主要范围。

为了简化性质复杂的变形固体，在材料力学中常用下列基本假设，作为理论分析的基础：

(1) 材料均匀连续的假设 假定物体的性质在各处都是一样的，而且构成物体的物质是毫无空隙地充满了物体的整个几何容积。

实际上组成物体的微粒(或晶体)之间是不连续的，物体的性质也不是到处相同的。但在材料力学中，所研究的物体与组成它的微粒或晶体比起来要大得很多，因此，根据这个假设所得到的理论与一般试件的实验结果能相当符合；所以，对宏观研究，可认为整个物体的材料是均匀而连续的。

这个假设，对于钢、铜等金属材料相当适合；对于砖、石、木材、混凝土等材料较差，但仍被采用。

根据这个假设，我们可以从物体中截出无限小的单元体来进行研究，并且可将由大尺寸试件实验中所得的材料性质，移用到无

限小的单元体上去；这就使我们在材料力学中可以应用无限小的分析方法①。

(2) 材料各向同性的假设 假定材料在各个不同的方向都具有相同的力学性质。

构成物体的各晶体的性质本来是有方向性的，但是工程上所用的构件的尺寸是远大于晶粒的，而且这些晶粒又错综地排列着，因而它们总共的统计性质，在各方向趋于相近。至于均匀的非晶体，一般都是各向同性的。铸钢、铸铜、玻璃和做得很好的混凝土等，都可以当作各向同性材料。

钢丝、各种轧制的钢材和木纹整齐而无节疤的木材，都是单向同性材料。在材料力学中，研究各向同性材料所得的结果，可以近似地用于一些单向同性材料。

(3) 变形很小的假设 假定物体几何形状及尺寸的改变与其总尺寸比较起来是很微小的。

由于物体的形状、尺寸和材料性质等各不相同，有些物体在外力作用下，变形很不显著，也有些物体的变形很为明显。不过，在工程上，一般构件的变形都是很小的。

由于变形很小，因而我们在立出静力平衡方程或作其他分析时，可以不考虑外力作用点在物体变形时所产生的位移。这样使得实际计算大为简化，而引起的误差非常微小，在实用上往往是微不足道的。

除了上述几项基本假设之外，在材料力学中还常常采用好些简化内力及变形的假设，以后在有关章节中将分别予以指出。

### § 1-3. 外力及其分类

某一物体受到其他物体所作用的力，称为外力，包括载荷及反

① 材料力学中所取的无限小单元体，是远远大于分子的。

力(即约束力)。为了研究构件的强度及刚度问题, 首先须弄清外力。

在工程上, 各种机械及结构的构件, 所受到的外力是各式各样的, 有必要按照实际情况, 把它化成一些典型形式, 并加以适当的分类, 以便研究。按照不同的特征, 外力可分类如下:

(1) 按分布情况, 外力可分为体积力及表面力两种。

体积力分布在物体的整个体积内, 物体内部所有各质点都受到它的作用。例如物体自身的重量、运动物体中的惯性力等等, 都是体积力。

表面力是作用于物体表面上的力, 有分布力及集中力两种。连续作用于物体表面某一面积上的力称为分布力。例如储油库所受的油压力及风力等, 都是分布力。分布力又有均匀分布与非均匀分布之别。例如, 屋顶上等厚的雪就是均布载荷; 水塔侧壁所受的水压力与深度成正比, 就是非均布载荷。若外力只分布在物体表面上很小的一块面积上或很短的一条线段上, 这时这个外力可以看成作用于一点, 这种力称为集中力。例如, 火车车轮作用于钢轨上的压力、天平刀口支承的反力等, 在一般计算中都视为集中力。实际上, 经由一点来传递作用力是不可能的, 集中力这一概念只是为了简化计算而提出的近似说法。

体积力的量纲为[力]/[长度]<sup>3</sup>, 它的计算单位可用  $\text{N}/\text{m}^3$  或  $\text{kN}/\text{m}^3$  等。分布力的计算单位可用  $\text{N}/\text{m}^2$  或  $\text{kN}/\text{m}^2$ ; 有时取一条受力面积来研究, 这时分布力只须按单位长度内的力来计量, 它的单位可用  $\text{N}/\text{m}$  或  $\text{kN}/\text{m}$  等等。集中力的单位为  $\text{N}$  或  $\text{kN}$ 。

(2) 按载荷作用的性质, 可分为静载荷及动载荷。

静载荷是慢慢地逐渐加于物体上的, 自零渐增至某一个定值以后不再改变, 或有着次数不多的很慢的改变。在这种载荷作用下, 物体各部分不产生加速度或是加速度小得可以略去不计, 也就

是说可以认为物体的各部分都处于静力平衡状态中。例如，蓄水池所受的水压力，屋顶所受的雪重等都是静载荷。

若物体在载荷作用下，它的某些部分或各部分所引起的加速度相当显著，那么这种载荷就称为动载荷。它又可分为冲击载荷和交变载荷。

当某一物体因其他物体作用，使其速度在极短时间内有很大改变时，所受的载荷称为冲击载荷。打桩时汽锤对桩的作用就是一例。

随时间而作周期性的改变并且多次重复地作用于物体上的载荷称为交变载荷，其重复次数常常达到几十万次或几百万次以上。例如蒸汽机的连杆所受到的就是不断改变着的交变载荷。

在静载荷与动载荷作用下，材料的性能很不相同。由于静载荷中的问题较为简单，而且它的理论和方法可以作为解决动载荷问题的基础，所以在材料力学中，首先研究有关静载荷的问题。

## § 1-4. 内力·截面法

物体内部某一部分与其他部分间相互作用的力称为内力。物体的原子间本来就有力相互作用着，也就是物体内部本来就有内力存在。外力使物体发生变形，同时在物体内部，还引起附加内力。

从变形固体之具有弹性，可见这种附加内力不但能抵抗外力所引起的变形，而且还能消除这些变形。这种附加内力随着外力的加大而相应地增加；不过它的增加，对于某一种材料来说，也有一定的限度；超过了这一限度，物体就要破坏。不同的材料，有其不同的限度，这个限度就是材料的强度。

材料力学是研究强度问题的科学，所以在材料力学中所注意的就是这种由于外力所引起的附加内力；为方便计，以后就把它简

称为内力。

为了判断构件在外力作用下是否安全，就需要计算出由已知外力所引起的内力。为此，我们常常采用下述的方法来求出作用在物体某一平面上内力的总和。

取一个在若干外力作用下处于平衡状态的任意变形固体来研究(图 1-1)。设以一假想的平面把这物体截开，物体分成  $A$  和  $B$

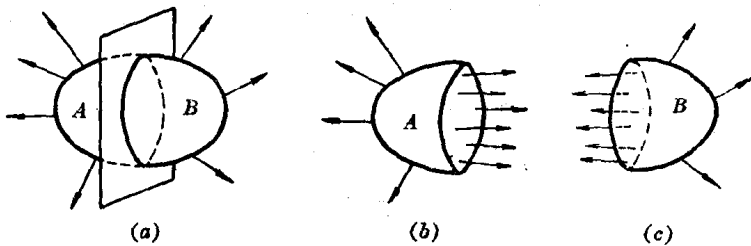


图 1-1

两部分，它们都处于平衡状态；但原有外力中作用在任一部分上的力一般并非平衡力系，可见在截面上同时还有内力存在。例如，对于部分  $A$  来说，这些内力就是部分  $B$  对于部分  $A$  的作用力。由力的反作用定律可知，部分  $A$  对于部分  $B$  也必有大小相等而方向相反的力作用着。因此，当我们分析物体的某平面上的内力时，可以随便选取截面两侧的任何一部分来研究。

当我们考虑着整个物体的平衡时，物体的内力互相抵消，不须计及；但是，当我们考虑到物体某一部分的平衡时，那么截面上的内力对该部分就起着外力的作用了。取截面两侧的任何一部分为分离体，它所受的力，构成一个空间力系。由它的静力平衡条件，就可以求得分布在截面上的内力的总和。这个求内力总和的方法称为截面法。它是材料力学中应用很广泛的基本方法。

截面上分布内力的总和可简化为一个力及一个力偶，有时可能只是一个力或只是一个力偶。在材料力学中，常将构件横截面

上分布内力的总和简称为内力。

根据理论力学中的原理，我们知道，研究物体的运动或平衡时，可以把物体当作刚体，因而可以把作用在物体上的某些力，用静力等效力系来代替。例如应用平衡条件求约束反力时，就常常这样做。

但是，必须指出，在材料力学中，静力等效力系的应用，是受到限制的。当我们研究物体的变形或内力时，在应用截面法以前，不容许把力沿着作用线移动，不容许把力偶在其作用面内移动，也不容许用合力或分力代替某些力。总之，不容许应用静力等效力系来代替某些外力；因为这样做虽然对于平衡或运动状态并无影响，但是却改变了物体全部或某些部分的变形及内力。

例如图 1-2, *a* 中所示的杆件，上端固定，下端受载荷  $P$  作用，杆的全部受拉。若以作用在杆件的半腰或靠近上端处的等效力  $P$  代替原来的载荷  $P$ ，分别如图 1-2, *b* 及 *c* (即将  $P$  沿作用线向上移动)，则分别变成只是上段受拉(图 1-2, *b*)或全段不受拉(图 1-2, *c*)，这样做了以后，虽然反力未改变，但对整个杆件来说，变形及内力都与原来的情况不一样了。

不过，在研究材料力学的问题中，当我们应用截面法假想把物体截开之后，对于物体的任一部分，研究它的平衡时，仍然可以把这一部分看成刚体，因而也就可以用等效力系来代替作用在该部分上的某些力。在后面的某些章节中将会看到，我们求杆件截面上的内力时，应用了截面法以后，就常常以合力来代替作用在杆件的某一部分上的分布载荷，列入平衡方程来计算。

这里，还须指出：如果把作用在物体上某一小区域内的力系，用静力等效力系来代替，那么只在这个小区域的附近，内力分布有改变，对于较远处，影响很小，可以不考虑。这就是著名的圣维南原理，已经为多次实验所证实。



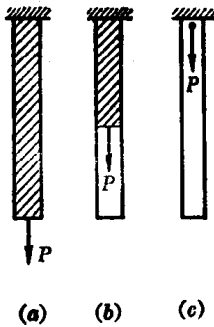


图 1-2

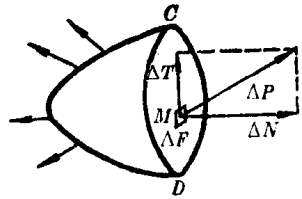


图 1-3

### § 1-5. 应力的概念

为了解决强度问题，我们不但要知道构件可能沿着哪一截面破坏，而且还要知道截面上哪些点最危险。可见，如果仅仅知道截面上内力的总和是不够的，还须知道截面上各处内力分布的情况，亦即各处内力的集度。

根据基本假设中关于材料均匀连续的假设，我们可以认为物体的内力是连续地作用在整个截面上的。

图 1-3 示出沿截面  $CD$  截取物体的一部分。围绕截面上某一点  $M$  划取一块微面积  $\Delta F$ 。如果作用在这一块微面积上的内力为  $\Delta P$ ，可令

$$p_m = \frac{\Delta P}{\Delta F},$$

这里， $p_m$  就是面积  $\Delta F$  上的平均内力集度，称为  $\Delta F$  上的平均应力。

若将内力  $\Delta P$  分解为垂直于截面的法向分力  $\Delta N$  及在截面平面内的切向分力  $\Delta T$ ，那么还可以得到

$$\sigma_m = \frac{\Delta N}{\Delta F},$$