

高等学校函授教材

材 料 力 学

马 奇 光 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是为高等工科院校土建、水利、机械等专业编写的一本函授教材，也可用作其它专业函授生和青年自学教材，还可供工程技术人员及在校学生作为参考书。

全书共十六章，内容包括：绪论及基本概念，轴向拉伸与压缩，剪切，扭转，截面图形的几何性质，弯曲内力，弯曲应力，弯曲变形，应力、应变分析基础，强度理论，组合变形下构件的强度计算，能量法，超静定系统，压杆稳定，动载荷，疲劳强度和断裂韧性。

除每章中附有学习指导、复习思考题、习题外，书中还有初谈、再谈、三谈如何学习材料力学及课程结束语等内容，帮助读者自学。

高等学校函授教材 材 料 力 学 马 奇 光 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 30.25印张 686千字

1983年12月第一版 1983年12月北京第一次印刷

印数 00001—14110册 定价 3.10元

书号 15143·5156

前 言

为了适应我国社会主义建设事业的需要，必须培养人数众多的科技人才，这项任务只靠全日制大学是不能在短期内完成的。因此，要办好函授教育及鼓励自学，培养更多的科技人才。本教材就是为函授生和自学青年而编写的。

二十几年前，我曾为北京水利水电学院函授生编写过一本供自学用的《材料力学函授教材》。函授生反映：内容易懂，讲解通俗，适合自学。以后，武汉水利电力学院、华东水利学院、吉林水电学院也曾给函授生用过这一教材，水利电力以及土建、机械系统的在职干部也索取它作为参考，有的院校学生也用此书作为课后复习参考书。

现根据1980年5月教育部召开的高等工科力学教材编审委员会扩大会议上讨论的“《材料力学》编写大纲（四年制土建、水利、机械等类专业用）”的内容，参考了国内外出版的材料力学教材和有关资料，结合过去函授生自学和普通班学生学习时常发生困难的问题，重新编写了这本教材。

本教材中有[]和〈 〉括号的内容，按大纲要求分别为土建类和机械类专业所需要的；有*号的内容，按大纲要求可根据专业需要选择使用；为了避免与结构力学重复，“虚功原理”内容没有编入。

本教材在编写过程中，有不少同志给予大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平，本书可能存在不当或错误之处，希望读者批评指正。

编者

1982.4.5

目 录

前言	
主要符号表	
国际单位制与工程单位制	
初谈如何学习材料力学	1
第一章 绪论·基本概念	5
第一节 材料力学的任务及研究对象	5
第二节 变形固体的基本假定及小变形条件	6
第三节 外力及其分类	8
第四节 内力与截面法	9
第五节 应力的概念	10
第六节 位移与应变的概念	12
第七节 力与变形、应力与应变之间的关系简介	15
第八节 材料力学处理问题的方法	16
第九节 构件的分类·杆件变形的基本形式	16
第十节 材料力学与其他课程的联系	18
学习指导	19
小结	21
复习思考题	21
第二章 轴向拉伸与压缩	22
第一节 轴向拉伸与压缩的概念和实例	22
第二节 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力——轴力·轴力图	23
第三节 轴向拉伸或压缩时横截面上的应力	26
第四节 拉(压)的变形·虎克定律	30
第五节 应变能的概念	35
第六节 局部应力的概念	39
第七节 拉伸和压缩时材料的力学性能	41
第八节 轴向拉伸(压缩)时的强度计算	48
第九节 拉伸(压缩)超静定问题	55
学习指导	66
复习思考题	68
习题	68
第三章 剪切	72
第一节 剪切的概念和实例	72
第二节 铆钉连接的实用计算	74
学习指导	80

复习思考题	81
习题	81
第四章 扭转	84
第一节 扭转的概念和实例	84
第二节 扭转时轴上外力偶的计算·扭矩及扭矩图	85
第三节 薄壁圆筒的扭转	89
第四节 圆轴扭转时的应力和变形	92
第五节 圆形截面极惯矩的计算	96
第六节 圆轴扭转时的应变能	98
第七节 实心和空心圆轴扭转时的强度及刚度计算	100
*第八节 密圈螺旋弹簧的应力与变形	103
第九节 矩形截面杆扭转问题的主要结果	106
*第十节 薄壁杆件的自由扭转	108
¹⁾ 第十一节 考虑材料塑性时圆轴的极限扭矩	109
学习指导	110
复习思考题	111
习题	112
再谈如何学习材料力学	114
第五章 截面图形的几何性质	116
第一节 基本概念	116
第二节 静矩	116
第三节 惯矩、惯积和极惯矩	121
第四节 惯矩和惯积的平行移轴公式	125
第五节 惯矩和惯积的转轴公式·截面的主惯矩和主惯轴	128
学习指导	136
复习思考题	137
习题	138
第六章 弯曲内力	140
第一节 平面弯曲的概念和实例	140
第二节 梁的支座及其支反力	141
第三节 梁横截面上的内力——剪力与弯矩	146
第四节 剪力图与弯矩图	151
第五节 载荷集度、剪力及弯矩之间的微分关系	159
第六节 按叠加原理作剪力图与弯矩图	167
学习指导	169
复习思考题	169
习题	170
第七章 弯曲应力	173
第一节 剪力、弯矩与梁内应力的关系	173
第二节 纯弯曲时横截面上的正应力	173

第三节 纯弯曲理论的推广·正应力强度条件	178
第四节 提高梁弯曲强度的措施	182
第五节 梁弯曲时的剪应力及其强度条件	185
第六节 弯曲中心的概念	191
第七节 考虑材料塑性时梁的极限弯矩	193
*第八节 平面曲杆弯曲公式简介	197
学习指导	200
复习思考题	201
习题	201
第八章 弯曲变形	205
第一节 梁弯曲时的挠度和转角·挠曲轴近似微分方程	205
第二节 用积分法求梁的挠度和转角	208
第三节 用叠加原理求梁的挠度和转角	213
第四节 梁的刚度校核·提高梁的刚度的措施	219
第五节 梁弯曲时的应变能	221
学习指导	223
复习思考题	224
习题	224
第九章 应力、应变分析基础	226
第一节 直杆受轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力	226
第二节 应力分析的基本概念	229
第三节 平面应力状态的实例	231
第四节 平面应力状态下应力分析的解析法	233
第五节 平面应力状态下应力分析的图解法	238
第六节 三向应力状态的概念·一点处的最大应力	247
第七节 梁的主应力及主应力迹线	254
第八节 广义虎克定律·体积变形	256
第九节 三向应力状态下的弹性比能	259
第十节 E 、 G 、 ν 之间的关系	264
第十一节 平面应力状态下的应变分析	262
学习指导	266
复习思考题	267
习题	268
第十章 强度理论	271
第一节 材料的破坏形式	271
第二节 强度理论的概念	273
第三节 四个强度理论	274
*第四节 莫尔强度理论	281
学习指导	284
复习思考题	285

习题	286
三谈如何学习材料力学	287
第十一章 组合变形下构件的强度计算	290
第一节 组合变形的概念和实例	290
第二节 斜弯曲时的应力和强度计算	291
第三节 弯曲与拉伸(压缩)组合时的应力和强度计算	295
第四节 偏心压缩(拉伸)时的应力和强度计算	298
第五节 截面核心	303
第六节 弯曲与扭转组合时的强度计算	309
学习指导	312
复习思考题	314
习题	315
第十二章 能量法	318
第一节 杆件的应变能计算	318
第二节 单位载荷法	324
*第三节 图形互乘法	330
第四节 功的互等定理和位移互等定理	338
第五节 卡氏定理	339
学习指导	344
复习思考题	345
习题	346
第十三章 超静定系统	348
第一节 超静定系统的概念和实例	348
第二节 简单超静定梁的解法	349
第三节 用力法正则方程解简单超静定问题	358
学习指导	363
复习思考题	364
习题	364
第十四章 压杆稳定	366
第一节 压杆稳定的概念	366
第二节 细长压杆临界载荷的欧拉公式	368
第三节 欧拉公式的适用范围·临界应力总图	372
第四节 压杆的稳定校核	376
第五节 压杆稳定校核的折减系数法	377
第六节 提高压杆稳定性的措施	381
*第七节 纵横弯曲的概念	383
学习指导	385
复习思考题	386
习题	387
第十五章 动载荷	389

第一节 动载荷的概念和实例	389
*第二节 匀加速运动杆件的应力和变形计算	390
第三节 用能量概念计算杆件受冲击时的应力和变形	395
第四节 提高杆件抗冲击能力的措施	403
学习指导	405
复习思考题	406
习题	406
第十六章 疲劳强度和断裂韧度	409
第一节 交变应力·疲劳破坏	409
第二节 材料的持久极限及其测定方法	413
第三节 影响材料持久极限的因素	415
第四节 构件持久极限的确定	421
第五节 带裂纹体断裂的概念	424
第六节 应力强度因子与材料的断裂韧度	426
学习指导	437
复习思考题	438
习题	438
课程结束语	439
习题答案	443
附录I 另一种根据叠加原理作弯矩图的方法	447
附录II 型钢规格表	452

初谈如何学习材料力学

材料力学是一门基础技术课。它不仅提供了固体力学方面必要的基本理论和给出设计或校核构件的计算方法,而且它的研究问题的方法,对于工程技术人员今后的学习和工作也是极其有益的。因此,有志于充实技术科学知识为我们伟大祖国建设做出贡献的读者,应该下定决心,树立信心,把材料力学学习好。

一、关于材料力学的一些特点及学习要求

要学好这门课程,首先要把握住这门课程的特点。它一方面以数学、物理学、理论力学等为基础;另一方面将工程技术中带有一般性的力学问题抽象出来作为研究对象;所以它是基础科学和工程技术两者之间的桥梁。因此,材料力学的特点就在于:它广泛利用高等数学、物理学及理论力学的知识,以一些假定和试验资料为依据,建立理论,从而解决工程实际中一定范围内的力学问题。所以,在学习这门课程时,不仅有一些理论或公式推导,还会遇到有关的假定、试验等内容的叙述。切不可仅仅注意前者,而忽略了后者。

其次,材料力学的研究对象是自然界真实的物体。真实的物体都是相当复杂的。因此,材料力学遇到的矛盾多,所研究的具体问题的样式多,所得到的公式多,近似的地方多。读者要善于从复杂多样的问题中,找出彼此之间的联系与区别,从中理解特殊和一般、矛盾与发展的关系。

还要注意,自学应该是循序渐进的、有计划地、主动灵活地进行。根据以往的经验,凡是学过高等数学、物理学、理论力学的读者要看懂这本书的内容并不困难。但是,这可能成为个别读者看得快,忘得快,遇到习题就困难的原因。有的读者在学习这门课程之前,已经具备了一定的力学知识,这是很可贵的,这样会有助于更深入地理解本书中的内容。有人讲:最重要的东西往往是最简单的。那些基本的东西,往往虽然简单,但却最重要。这确实是至理名言。那些刚学习时感到轻松,愈学愈困难的人,往往是对基本的内容学得过于草率的人。在下面关于如何使用本书的一些说明中提出了学习这门教材的一般性方法及途径,希予注意。

此外,在学习这门课程以前,应该复习一下数学中有关坐标转换、极限、导数、微分、积分以及常系数一阶和二阶线性齐次微分方程的概念和简单解法。这些知识将在本书中经常遇到。

二、关于如何使用本书的一些说明

为了便于读者自学,本书在正文以外每章均附有内容提要、学习指导、复习思考题及习题等内容。建议读者自学时注意以下几个问题:

1. 内容提要的目的

为了引导读者自学，在每章正文前面，简短地指出全章内容梗概和基本要求等。

2. 阅读正文的方法

建议读者在自学每章正文时，采取粗读与精读相结合的方法。

在读完内容提要以后，将每章的内容从头到尾地粗读一遍。粗读的主要目的是涉猎全章内容，了解本章各个主要问题是如何提出来的，怎样解决的。并且根据个人的情况，结合学习提要，明确自己认为疑难的部分，将它们作为精读时的重点。

在粗读以后，阅读一遍学习指导以便进一步明确学习要求，然后精读全章，从而掌握住全章的内容，使书本知识变为自己的知识。在精读时，可以以每一节为单元，注意每节中的中心问题、主要概念、数学关系、重要公式和结论等。精读时，除了注意本书中黑体字的部分外，自己也可以在书上注出必要的记号或划上红线。如能作自学笔记、学习心得就更有助于学习了。在读完一节以后，要思索一下本节的问题是如何提出的，怎样解决的，其中引出了些什么概念、重要公式[标有章号的，如(1-1)]以及如何将这些结论用于解决实际问题。读者还必须注意材料力学的公式所代表现象的物理本质，以及推导过程中应用的假定所起的作用，必须很好地了解和公式结论相配合的图，要能够独立画出有关理论推导的附图。

在有些章节之后附有例题，它是书中的一个重要组成部分，也是理论的实际应用。阅读例题要和正文同样地认真和仔细，要将注意力不仅放在计算本身，并且要放在解题的方法步骤、理论根据和它的物理意义方面。

在读完全章之后，要再次阅读学习指导，检查自己是否真正掌握了全章重点、各部分内容之间的联系及公式推导的主要过程等等。

3. 自学指导的意义

指出全章的重点，概括该章的主要内容和方法，提出一些学习中容易出现的而又不宜于在正文中解决的问题。

自学指导应该结合正文学习，在精读正文的前后反复仔细地阅读它，将会加深读者对正文的理解，帮助掌握书中的重点。

4. 复习思考题的作用

在每章之后的复习思考题，包括巩固基本概念和基本理论的问题，公式推导和运用方面的问题，以及解题方面可能遇到的问题等。这是用以促使读者检查自己是否掌握了所学内容，读者可以把解答写在自己的笔记中。

5. 解答习题的要求

在每章到一个段落后，都指出需要作的那部分习题。这些习题包括巩固理论和概念、基本训练、联系实际等方面的内容。习题作得正确与否，一方面取决于读者对正文的理解；一方面还在于实际计算上的熟练。少数习题不一定局限于该章涉及的内容，而是具有一定的综合性，起阶段复习的作用。

在解题之前务必要掌握所学的理论和有关例题，解题时要避免不求甚解地死套公式。

本书中附有习题答案，但建议读者一定要正确地加以使用。在解题前先看答案，从中去猜测解法，或者在解题以后立即去对答案，都是有害于培养独立工作能力的。建议读者

在解题遇到困难时,应反复阅读正文及有关例题;在解出结果后,自己检查结果是否合理及数字有无错误;最后再与本书答案核对。这样做是有利于培养自己独立解决问题和独立检查计算结果的能力的;这两方面的能力都是一个工程技术人员所必须具备的。

三、关于计算的一些问题

通过学习材料力学可以培养计算能力,这是工程技术人员的一项基本功。因此,遇到算题必须重视数字计算,力求准确、迅速而又简捷地得出结果,并能及时核算以保证计算无误。

很多经验表明:凡是计算作业上书写零乱、涂抹不清的,解题者必然是思路不清、错误百出而且费时最多。因此,读者在作材料力学习题时,应尽可能地避免乱涂乱改、不按一定规则和层次的作法。为了帮助读者做好作业,提出以下几点供参考:

(1) 作题之前必先领会题意,找出已知条件,了解题的要求,判断题的性质,决定应该使用的理论和全部作题方法后再进行计算。又如对于同一习题有几种不同解法时,应选择最恰当的方法。对于比较复杂的问题,能在计算开始前,先拟一个简短的解题步骤再作往往是必要的。务必避免马马虎虎地下手,以免造成时间的浪费。

(2) 在数字的演算中,要学会利用计算工具。计算器、计算尺能大量节省时间,因而是学习过程中不可缺少的重要工具。一般说,计算尺虽然所能提供的数字位数较少,但已能满足一般工程计算的要求。

(3) 对于数值结果应注意有效数字的问题。我们说一个数有 n 位有效数字,就代表着该数字的前面 $n-1$ 位是绝对可靠的;比如说这个数字有三位有效数字,就等于说它的前两位是绝对可靠,而第三位是大致可靠的,当然三位以后就不可靠了,所以一般就以0表示。比如说34,600有三位有效数字,就是说34是绝对可靠的,6是大致可靠的,实际上的数字可能是34,550到34,640中间的任何数字,比如可能是34,637。

当然一个数字有效位数愈多,愈是精密,但是工程中无论由实验或测量所得到的数字精确度都有一定的限制,一般说都是只有三位有效数字(也有时用四位有效数字),由这样的数字经过计算所得到的结果,一般也只有三位有效数字,所以在计算时只取三位有效数字就可以了。如以一个已知圆周的长求直径的例子来说:若圆周长为100mm,直径 D 为

$$D = \frac{100}{\pi} = \frac{100}{3.14} = 31.84\cdots\text{mm}$$

这里的圆周长为100mm,它往往不是十分精确测量得来的,再量一次的话,可能只有99.9mm;也就是说100mm是三位有效数字。因此取 $\pi=3.14$,它也是三位有效数字,如取 $\pi=3.1416$,则无甚意义,因为100mm仅是三位有效数字。

对于上面的计算结果,只应取 $D=31.8\text{mm}$,这个数字的误差一定是极小的;第四位数字一定靠不住,如果取上七八位,则显然更没有什么意义,只是徒费计算时间而已。材料力学中的大部分数据都是仅取三位有效数字的。

(4) 在一个计算式中重量或长度以及面积、体积等所用的单位必须一致。

例如在国际单位制中，长度的单位习惯上常用米（用m代表）或者毫米（用mm代表），重量的单位常用牛顿（用N代表）或者千牛（用kN代表）。在一个计算式中长度、重量所用的单位要统一。若有

$$P=40\text{kN}, l=1\text{m}, E=200\text{GPa} \text{ (即 } 200 \times 10^9 \text{N/m}^2 \text{)}, A=8\text{cm}^2$$

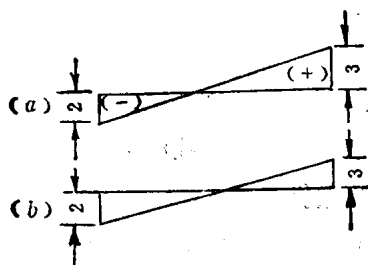
把这些数字代入一个公式 $\frac{Pl}{EA}$ 时，应该将所有长度的单位都统一用m（或者mm）、重量的单位都统一用N，再进行计算，按此得

$$\frac{Pl}{EA} = \frac{40 \times 10^3 \times 1}{200 \times 10^9 \times 8 \times 10^{-4}} = 0.00025\text{m}$$

结果所得的单位是m，这是易于理解的，因为 $\frac{Pl}{EA}$ 单位

化简后为

$$\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2} = \text{m}$$



初谈图 1

如果忽视了同一计算式中单位的统一，则计算结果必然是错误的。

(5) 在材料力学的计算作业（习题）中，绝大部分需要绘图。在图中的标高、长度必须按比例给出。例如图（a）是按比例绘制的，是要求的形式，但决不能绘成图（b）的形式。图（b）虽然注明标高，但并未按比例，所以仍是不容许的。因为不按比例画图，既难以避免错误，也不容易发现一些严重错误。

(6) 不要使用带分数及除号÷，例如：

$$1.5 \times 2 + \frac{3}{4} = \frac{15}{4}, \text{ 不能写成 } 1.5 \times 2 + \frac{3}{4} = 3 \frac{3}{4}$$

$$8 + \frac{3}{4} = 8.75, \text{ 不能写成 } 8 + 3 \div 4 = 8.75$$

因为带分数极易被误解为 $3 \times \frac{3}{4}$ ，而除号÷在有些书籍中常被用来代表另一意义，即 $3 \div 4$ 被表示为从3至4。

(7) 作业不是草稿，不要在作业上约分。如果在作业上进行演算，不仅不美观，而且很难再去检查计算中所发生的错误，这是得不偿失的。

(8) 在计算过程中，必须按层次写出计算步骤，并将每一步骤引用的式子写出。例如：若题中给出的条件为： $a=3.6$ ， $b=10.8$ ，又 $ax+b=0$ 。当求x值时必须写成：

$$\text{因 } a=3.6, b=10.8, \text{ 又 } ax+b=0$$

$$\text{故 } x = -\frac{b}{a} = -\frac{10.8}{3.6} = -3$$

这两部分是缺少不得的。如果直接写成

$$x = -3$$

那么，作题的正误是极难检查的。其后果是多费时间，多费脑力。

以上几点如能认真执行，不仅对读者做作业有益处，并且对将来工作中的实际计算工作也将会有好处的。

第一章 绪论·基本概念

本章将扼要叙述这门课程的基本任务和介绍这门课程中经常要用到的一些基本概念和基础知识。这些内容是《材料力学》里具有一般性的共同部分，在本章提出来作轮廓性的介绍，为今后掌握这门课程的特点、方法、系统打好基础。自然，读者对这些内容不可能在阅读一遍后就全部掌握，建议大家采用如下的方法来进行学习：首先，将整个内容看一遍，以便对材料力学获得一个概略的认识；然后，着重学习第四、五、六节以及各节中用黑体字标注的部分。

第一节 材料力学的任务及研究对象

在工程上，任何一个结构物或机械都是由若干单个部件组成的。例如：房屋是由梁、柱等组成的，起重机是由吊索、滑轮等组成的。这些单个部件，统称为**构件**或**零件**。

结构物或机械在建造和使用的过程中，各个构件通常会受到各种外力的作用。例如：房屋中的柱要承受屋架等传给它的重量，传动轴要承受皮带轮传给它的作用力。这些重量和力，皆是指一个物体对另一个物体的作用力，统称为作用在构件上的**外力**。

制造构件所用的材料，虽然品种多样，性质不同，却有一个共同的特点，即它们都是**固体**，而且在外力作用下都会相应地发生变形（即形状和尺寸发生一定的改变），所以称为**变形固体**。一般情况下，构件在外力作用下所发生的变形很小，难以用人眼直接观察出来。例如：起重机吊索在吊重物时，重物会使吊索相应地发生伸长变形；楼板上放有重物或有人存在的情况下，楼板也会相应地发生弯曲变形。这些变形往往需要借助于专门的仪器设备才能测量出来。材料力学的研究对象是**构件**，而构成构件的材料就是自然界存在的**真实固体**，即**变形固体**。

为了保证整个结构物或机械的安全适用，工程技术人员必须使每个构件能够正常地工作。这就必须研究构件在外力作用下三个方面的问题：

强度问题。粗浅地说，就是研究构件在外力作用下会不会“破坏”的问题。所谓“强度”，就是通常说的结实不结实，用力学术语讲，就是指构件或材料抵抗“破坏”的能力。如钢与木两种材料相比较，钢的强度高于木材的强度。如果构件在外力作用下，能够安全可靠的工作而不发生“破坏”，我们就认为它满足强度条件，有足够的强度。

刚度问题。就是研究构件在外力作用下所发生的变形会不会超过某一规定限度的问题。所谓“刚度”，就是通常说的容易不容易变形，用力学术语讲，就是指构件或材料抵抗变形的能力。如用相同材料制成的，长度相同而粗细不同的两根梁，在同样的外力作用下，细梁比粗梁容易弯曲，即细梁的刚度小于粗梁的刚度。如果构件在外力作用下，所发生的变

形不超过规定的限度，我们就认为它满足刚度条件，有足够的刚度。

稳定问题。粗浅地说，就是研究构件在外力作用下会不会突然改变它本来变形情况的问题。如果构件在外力作用下不发生变形情况的突然改变，我们就认为它满足稳定条件，有足够的稳定性。

设计构件时，不但要满足上述强度、刚度和稳定性这三点属于保证安全的要求，还要求是最经济的，即尽可能地使用合适的材料和节约材料。但是，安全和经济这两个基本要求通常是彼此有矛盾的。一般来说，前者要求用较多或较好的材料；后者则要求少用材料或以贱代贵。**材料力学的基本任务就是：为受力构件的强度、刚度和稳定性的研究提供理论和计算方法，从而为构件选择适当的材料，确定合理的形状和尺寸，以便获得既安全又经济的设计成果。**

由于生产的不断发展，科学技术水平在不断的提高，新的实际问题（如新型建筑结构和机械的采用，高速飞行对于飞机、火箭强度的要求，高效率动力及原子动力对于抗高温材料的要求等等）都促使人们寻求新的材料，研究它们的性能，改良并创造新的计算及设计方法。这样，生产的发展就给材料力学提供了日益丰富的研究资料，开辟了日益广阔的研究领域，影响着这门学科的发展。当然，从另一方面说，材料力学的发展对生产实践也起着重要的指导作用，它为构件的计算提供了简便实用的方法，既保证了构件能够正常地工作，又能最经济地使用材料。

第二节 变形固体的基本假定及小变形条件

由于材料力学中所研究的都是实际问题，所以，为了使所得的结论不脱离实际，首先需要观察实际的具体现象。但是自然界中，实际事物是十分复杂的。每一门科学只能以其研究任务为出发点，从某一个角度来研究它。而且为了研究的方便，必须根据所观察到的现象，经过思考、分析，从中抓住现象的本质，而忽略那些次要的支节，作出能体现问题主要方面的若干假定，使研究的问题简单化、典型化。问题经过这样的简化以后，就可以经过演绎、推理得出理论结果。

例如在理论力学里，我们把物体当作刚体来处理，假定这种固体在外力作用下，既不会变形，也不会破坏。事实上，自然界根本不存在这种刚体。不过理论力学主要是研究物体受力后的平衡和运动规律的问题，变形和破坏等性质与所要研究的问题是没有关系的，所以把物体假定为刚体是可以的、必要的。但是，在材料力学里，我们所要研究的是构件的强度、刚度和稳定问题。这些问题是与物体受力后发生变形或破坏等直接有关的；在此情况下，变形已经成为影响所研究问题的主要属性，显然不能再把研究的对象当作刚体，而应当把它当成变形固体。

实际上，变形固体的性质是很复杂的。如果要求完全根据变形固体的实际性质进行分析，不仅使问题变得十分复杂，而且在工程上也不必要——工程上不要求过高的精确度。因此，人们作出一些关于变形固体性质的基本假定；此外，对于某些具体问题，还另有其

他的假定。采用这些假定可以使构件的强度、刚度和稳定等问题的分析得到简化，并且所得到的结果一般都能与实验结果很好地符合。

贯穿在本课程中，除了变形固体的基本假定而外，还有小变形条件，现一并介绍如下：

1. 连续性假定

这是指物体内部是毫无空隙地密实地充满着物质。有了这个假定，今后我们研究物体的一些物理量（如物体的内部的力、变形等），才能认为是连续的，因而才能用高等数学的连续函数来表示它的有关规律。

实际上，根据近代物理学的研究，组成物体的微粒或晶体是不连续的。但是在材料力学中，研究的物体是以整个构件为对象，例如一根梁、一根柱，它们比组成物体的微粒或晶粒的大小要大得多。因此，引用变形固体的连续性假定，不会引起显著的误差。当然，对于明显的非连续体（例如：第十六章中提出的具有裂隙的物体），则在分析研究与计算中必须考虑物体结构的不连续性。

2. 均匀性假定

这是指物体内部任一部分的性质都是一样的，即同一物体中各部分材料的性质不随其所在位置而改变。根据这个假定，我们可以从物体中的任何位置取出一小部分来研究材料的性质，然后把所得的结果应用于整个物体，也可以把那些由大尺寸试件在试验中所获得的材料的性质，应用于物体的任何微小部分上去。

实际上，变形固体的性质并不是均匀一致的。例如，对于金属材料来说，所有的金属都是由众多的晶粒组成的，各晶粒的性质就未必完全一样。但是，由于晶粒的大小和构件的尺寸相比极微小，它们在构件中的排列又是不规则的，所以，物体的性质所反映的是许多晶粒的统计平均量。这个假定对于钢、铜等金属构件是符合的。对于由砂、石、水泥所组成的混凝土，如果单独考虑个别砂、石、水泥颗粒，它们的性质是不同的，但是一般混凝土浇筑起来的结构物的体积远比砂、石、水泥颗粒大得多，所以对混凝土仍然可以采用这个假定。对于明显的非均匀体（例如：钢筋混凝土结构等），在分析、研究与计算中必须设法反映出它们的非均匀性。

3. 各向同性假定

这是指物体受力后在各个方向上具有相同的性质。各种金属、塑料以及浇灌得很好的混凝土，一般都可以看作是各向同性材料。

但是对于辗压的钢材、木材、竹材等，由实验知道，它们受力后只有在一定方向上才具有相同的性质。这种材料称为各向异性材料。在本课程中，主要处理各向同性材料的问题。由此而得的理论结果也可以用于某些各向异性材料的问题，并能得到令人满意的近似的解答。

4. 小变形条件

这指的是物体受力后，其几何形状的改变与其原始尺寸比较起来是很微小的。本课程中所研究的问题是符合这一情况的，因为一般工程上所采用的构件，受力后变形都是很小的。这个条件在实际计算中的作用，将在第十节中有详细说明。

第三节 外力及其分类

在理论力学中，通常把作用在物体上的力分为两类：一类是使物体运动或使静止物体有运动趋势的主动动力，例如物体所受的重力、水压力、风力等。另一类是阻碍物体运动的约束力，例如桥梁支座对桥梁的支座反力。通常把作用在物体上的主动动力叫做**载荷**，而把约束力叫做**支反力**。载荷与支反力都是由其他物体作用在要研究物体上的力，所以统称为**外力**。外力作用使构件发生变形，甚至引起破坏；例如：我们取一根橡皮筋，在其两端加拉力，橡皮筋将会发生伸长变形。当拉力加大到一定数值，橡皮筋就会被拉断。因此，在材料力学中为了研究构件的强度、刚度和稳定问题，首先需要了解构件所受的外力。

实际结构或机械所受的外力是相当复杂的。为了便于分析，需要按照实际情况将其简化成某一典型形式，并加以适当的分类。

(1) 按照外力在物体上分布的情况，分为：**体积力**与**表面力**。体积力是分布在物体整个体积内的力。例如：物体的自重，运动物体的惯性力等，它的计算单位是每单位立方体积上受力的大小，在工程单位制中常用的单位是公斤每立方厘米 (kg/cm^3) 或吨每立方米 (t/m^3)；在国际单位制中常用的单位是千牛顿每立方米 (kN/m^3)。

表面力是分布在物体表面的力。它又分为**分布力**和**集中力**。连续作用于物体某一较大面积（或长度）上的力，称为分布力。分布力又可分为**均匀分布力**与**非均匀分布力**。例如：桥面上等厚度的积雪就形成均匀分布力。水坝坝面所受的水压力与深度成正比，就是非均匀分布力。分布力的计算单位是每单位面积上力的大小，在工程单位制中常用的单位是公斤每平方米 (kg/cm^2) 或吨每平方米 (t/m^2)；在国际单位制中常用的单位是牛顿每平方米 (N/m^2) 或千牛顿每平方米 (kN/m^2)。此外，作用于杆上的体积力和表面上的分布力还可简化为沿杆长度作用的线分布力，其大小称为**线分布力集度**，在工程单位制中常用的单位是公斤每厘米 (kg/cm) 或吨每米 (t/m)；在国际单位制中常用的单位是牛顿每米 (N/m) 或千牛顿每米 (kN/m)。若外力分布的面积远小于物体的尺寸时，可以将外力看作是作用于一点上，称为**集中力**。例如：钢轨受到由火车车轮所传递的压力。它的计算单位是力，在工程单位制中常用的单位是公斤 (kg) 或吨 (t)；在国际单位制中常用的单位是牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)。事实上任何物体受力后都会发生变形，受力处总会是一个面积，所以力是不可能通过一点来传递的，但是由于使用这种简化所引起的误差很小，所以可以应用集中力这个近似的概念。

(2) 按照载荷作用在物体上的性质，分为：**静载荷**与**动载荷**。静载荷是从零开始缓慢地和平稳地增到最后值（这一过程，虽然只在若干秒的时间内完成）并不再变化地加在物体上的。在它的作用过程中，物体各部分不产生加速度或者加速度小得可以忽略不计。在此情况下，即可以认为物体各部分随时都处于静力平衡状态中。一般土木或水利工程建筑物上的载荷大都属于这一类。

若物体在载荷作用下引起的加速度相当显著，不能忽略不计时，这种载荷称为**动载荷**。例如起重机吊一重物，当重物以某一加速度上升时，钢索所受的载荷就是动载荷。动

载荷又分为冲击载荷、交变载荷等，这将在以后详细讨论。

在静载荷及动载荷作用下，材料所反映的性能不同，所以需要分别加以研究。由于静载荷的问题比较简单，而且它的计算理论和方法可以作为动载荷问题的基础，所以在材料力学中，首先研究静载荷问题，然后再研究动载荷问题。在每一问题中，都将会遇到体积力、表面力等不同的情况。

第四节 内力与截面法

从常识我们知道：当人用手拉橡皮筋（如图1-1）时，橡皮筋就会有伸长变形，与此同时，人会感到橡皮筋对手也有力作用；当人手用力愈大时，橡皮筋的变形和它对手的力也愈大；当人手施加的力大到一定数值时，橡皮筋就会被拉断，而人手也就不再感到橡皮筋在拉手了。这些都说明：当橡皮筋受到外力拉它时，其内部也有力作用，后者可称为内力，它与变形同时发生而在橡皮筋被外力拉断时就消失。实际上，对于其它变形固体受外力作用时，也同样有这种内力存在。由此可见，为了研究构件的强度、刚度问题，只了解外力是不够的，还必须研究由于外力引起的内力。

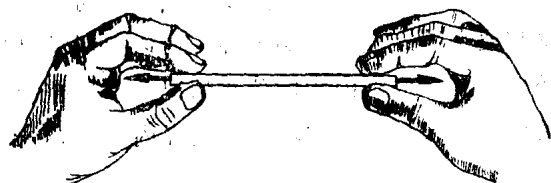


图 1-1

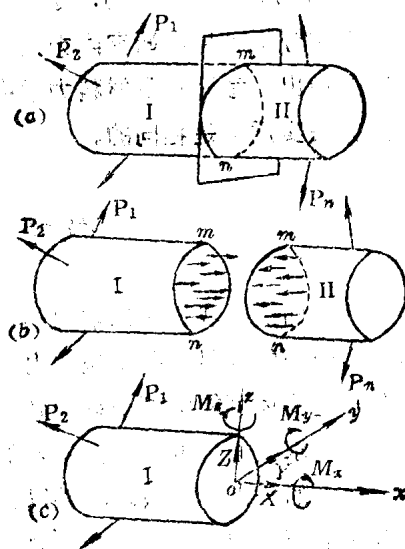


图 1-2

所谓内力是指物体中的一部分对另一部分所作用的力。实际上当不受外力时，物体中就已存在内力，正是这种内力维持了物体存在的形状。当物体受到外力作用时，形状将发生改变，相应地也就有内力的改变，内力的改变量称为附加内力。附加内力随着外力的加大而相应地增加，但是它的增加对于各种材料来说各有其一定的限度，达到这个限度物体即将破坏，所以不同的材料有着不同的强度。由此可见，正是附加内力与材料的强度有着密切的联系。材料力学中只讨论附加内力并把它简称为内力，前一段所说的内力也就是这个意义上的内力。

为了显示和确定内力，我们采用截面法。此方法可概述如下：

如图1-2(a)所示的任意物体，若它在空间外力系 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 的作用下处于平衡状态。因为物体整个是平衡的，则它的任一部分也应处于平衡，我们用一个假想的截面 mn 将此物体截开成I、II两部分，弃掉II部分先研究I部分，如图1-2(b)所示。