

材料力学基础

徐 森 編



科学出版社出版

材料力学基础

陈 森 編

科学普及出版社
一九六四·北京

本书提要

本书除介绍了材料力学的基础知识外，还叙述了它的发展过程和方向，并尽量结合生产实践和日常生活中遇到的问题来说明内容。读了本书之后，可使我們初步了解这门学科在实践上的应用。

本书是写给具有初中程度的工人及工农技术干部自学用的，也可作为技工学校的教学参考书。

总号：083

材料力学基础

編 者：陈

森

出版者：科 学 普 及 出 版 社

(北京市西直门外郎家湾)

北京市书刊出版业营业许可证出字第112号

发 行 者：新 华 书 店

印 刷 者：北 京 市 通 县 印 刷 厂

开 本：787×1092 1/32 印张：3 1/4 字数：50,000

1959年8月第 1 版 1964年11月第 2 版

1964年11月第2次印刷 印 数：3,046—12,166

统一书号：13051·046

定 价：(2)0.28元

目 次

第一章 緒論	1
第二章 基本概念	6
一 外力及其分類	6
二 內力和變形	8
三 彈性、均勻連續性和各向同性	9
四 怎樣測定內力	10
五 五種簡單變形	13
第三章 拉伸與壓縮	16
一 直杆的變形和應力	16
二 虎克定律	18
三 軟鋼的拉伸圖	22
四 鑄鐵的壓縮圖	24
五 容許應力與安全系數	26
六 怎樣進行簡單的設計	28
第四章 剪切	32
一 剪切破壞	32
二 剪切時的變形和應力	34
三 剪切的計算公式	36
四 怎樣進行鉚接設計	38
五 焊接的計算	44
第五章 扭轉	47
一 扭轉是怎樣產生的	47

07620

二	圓軸的變形和應力	48
三	空心軸有哪些好處	53
四	怎樣設計傳動軸	54
第六章	彎曲	56
一	平面彎曲的概念	56
二	獨木橋和跳水板	57
三	切力和彎矩	59
四	“鋼骨”的作用	61
五	怎樣進行梁的設計	66
六	最經濟的梁	68
七	梁的變形	70
八	桁架和拱	74
第七章	壓杆的穩定	77
一	奎勃克橋事故之謎	77
二	歐拉公式	79
三	歐拉公式的應用範圍	83
四	壓杆的實用計算	85
第八章	補充知識	89
一	關於動載荷	89
二	材料試驗機	91
結束語		94

第一章 緒 論

打开書本，大家一定想要知道，材料力学是怎样的一門科学？讓我們先举一个熟悉的例子，如图 1 所示，我們在一根繩子下面悬挂着一个物体，从日常生活經驗知道，如果这根繩子較細，而物体又很重，那么，这根繩子一定吃不消，最后就要断掉(就是人們常說的繩子“破坏”了)。显然，要使繩子不断掉，那就非得用粗一些的繩子不可，有时粗的繩子也不頂用，那就得换上一根鋼絲索。为什么换上粗的繩子或鋼絲索以后就不容易断呢？这是因为它們比起細繩子来要牢固一些的緣故，繩子愈牢，就愈不容易断，这是人們从生活实践中所証实的，这一事实如果用科学术语來說，就是，繩子的“强度”愈高，就愈不易破坏。从这里可以体会到所謂**强度就是材料在外力作用下抵抗破坏的一种能力。**

从上面所說的例子，我們知道，要使繩子不断，不外两个办法：其一是用粗一些的繩子，另外就是换上一根鋼絲索。人們一定会問：究竟該用多粗的繩子呢？不换鋼絲索，換別的材料做成的繩子行嗎？前面一个問題就是怎样来选择合适的尺寸的問題，后一問題就是如何来挑选适当的材料的問題，这些問題在力学中專門有一个部門来研究它，这一部門就是材料力学。剛才提出的这些

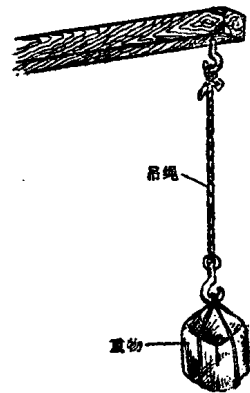


图 1 繩子吊物体

問題都是圍繞着繩子**夠不夠牢**的問題，也就是強度問題，所以，要問材料力學是怎樣的一門科學？我們可以簡單地作這樣的回答：**材料力學是一門研究材料的強度問題的科學。**

在日常生活和工程問題中，人們經常要跟強度問題打交道，如果我們沒有正確掌握這一方面的知識，就要出問題。歷史上，由於人們沒有正確地選擇建築物或機器的每一部分的材料和尺寸，而引起的重大安全事故並不少見，據說古代的羅馬曾發生過一次劇場倒塌的事故，死亡了好幾千人。另外，由於機器設計不周，發生故障而引起傷亡事件也時有所聞。從這些例子可見，欲使建築物或機器的每一部分（以後我們稱它為“構件”）不至於破壞，必須為每一構件選擇一個適當的材料和尺寸。

也許大家會想：要安全，多用些材料不就保險了嗎？是的，多用些材料是可以保證安全，但是，它卻是不經濟的。要保證安全可靠，必然要多消耗一些材料，而欲經濟，又必須減少一些材料的消耗，這兩者之間是有矛盾的，因此，對於我們工程人員來講，必須學會如何以最大的經濟取得充分的安全，**材料力學的基本任務就是幫助我們正確地解決材料使用上的安全與經濟之間的矛盾。**

自古以來，人們在生產實踐中不斷地尋求解決這個矛盾的方法。但是，舊的矛盾解決了，生產技術也進一步發展了，而新的矛盾又產生出來，就這樣，**生產技術不斷地進步，矛盾的不斷產生和解決，就引導着材料力學這門學科按照科學的方法永遠向前發展。**

回顧一下遠古的時代，那時，人類在跟自然界作鬥爭中，就知道怎樣蓋茅草房，架獨木橋，並且還會製造簡單的工具，可是，他們只是根據在生產實踐中所積累的一些經驗做出這些東西來，談不上有什麼理論根據。後來，人們經過長年累月的

生产实践的斗争，总结了成功和失败的經驗，再将这些实践經驗上升到理論上来，才逐渐形成了材料力学这门科学。

材料力学正式作为一门科学，还只是十七世纪前半叶的事，那时，欧洲正处在封建社会垮台，商业资本和国际航海贸易开始兴起的时代。当时，在新的经济情况下，就有许多新的技术问题需要解决。比如说，由于海外贸易发达，就需要制造出能多装货物的大船只，这样，就必须研究如何改进船只的结构。这些问题就不可能再凭經驗的办法来解决，而必须用计算方法来进行设计。当时，意大利科学家伽利略(公元1564—1642)，第一个提出了应用强度来计算的概念，并且在1638年出版了一本《材料力学》。虽然在这本书中他所讲述的理論，还是很粗浅而且未尽完善，但是，大家都公認他是材料力学的奠基人。

当然，材料力学的发展，还跟无数劳动人民和科学家的辛勤劳动分不开的，例如，以后就要講到的著名的欧拉公式，



图 2 河北省赵州石拱桥

就是十八世紀时俄国彼得堡科学院院士欧拉提出的；另外，还有許多的外国的学者和工程师都作出了重大的貢獻。

我国是一个具有悠久历史和优秀文化传统的国家，勤劳智慧的祖国劳动人民早在古老的年代里，就在各项工程实践中显示出与材料力学方面有关的卓越的創造才能。

远在三千多年前的殷代，我們的祖先就知道利用木材来建造具有特殊民族风格的斗拱结构的房屋。隋代(公元581—681)的时候，有一位叫李春的石匠，設計并建造了一座长达37米的赵州石拱桥(图2)，这座一千三百多年前的古桥，至今还屹立无恙。象这样形式的拱桥，迟至八百年以后才开始出現于欧洲。其他如在四川、云南等地区，由于江流湍急，桥基不易建立，我們的祖先就創造了竹索桥和鉄索桥。例如，紅軍长征时飞渡的瀘定桥就是长达100米的鉄索桥，它是清康熙45年(公元1696年)建造的。从这些例子足以証明我們祖先在很早以前，就不但对于木、石、竹、鉄等材料的特性有了足够的了解，而且还能巧妙地利用了这些材料的特性，在世界和祖国的科学史上写下了光輝的一頁，給后人留下了宝貴的科学遺產。

此外，我們在全国各地还可看到許多保存下来的优美的古代建筑，例如，建于公元1056年的应县佛宫寺木塔，一共有九层，高达66米。再如，象北京的天坛，杭州灵隐寺的大雄宝殿等等，这些都是在世界建筑艺术史上大放异彩的雄偉建筑，也都足以說明我国劳动人民在运用力学知識方面所取得的偉大成就。

但是，尽管我国在力学方面有过光輝的历史，却由于以后长期处在封建社会，生产力受到束縛，再加上近百年来帝国主义的侵略和国民党的反动統治，使得科学技术停滯不前，我国在力学方面的水平从明朝以后就逐漸远落于其他国家。



图 3 武汉长江大桥

解放后，百废俱兴，党和政府对科学研究工作极为重视，不断地从各个方面为科学事业的发展创造条件，1956年建立了我国力学研究中心——力学研究所，全国许多高等院校以及厂矿企业部门，在力学方面也都开展了研究工作，并取得了初步成绩。几年来，在党的领导下，各项建设事业突飞猛进，数以百计的用最新技术来建造的宏大工程陆续完成。例如，1957年9月完工的**武汉长江大桥**就是一例，这个变长江天堑为通途的大桥，长达1670米，比著名的杭州钱塘江大桥还长2华里，看去真象一道巨大的钢铁长虹(图3)。

目前，由于尖端科学(如火箭、原子能等)的飞速发展，许多实际问题，需要寻求新的材料和研究新的计算方法，可以预料：材料力学也将在技术的普遍进步中获得巨大的更新的发展。

第二章 基本概念

一 外力及其分类

小孩子提不起重的东西，問他为什么，他会回答你：“沒有力气”。所以，力这个概念是自然而然来到人們的头脑里的。在日常生活中，我們也可以到处体会到力这个概念。例如，我們拉一下橡皮筋，橡皮筋被拉长了；同样，如果在橡皮筋下面挂一个东西，也可以把橡皮筋拉长，所以，要想把橡皮筋拉长，就必须要有另外一个物体(如手或东西)对它的作用。因此，在物理学中，我們說“**力就是一个物体对另一个物体的作用**”。在这里，我們可別忘記，說到力的作用时，必須注意要有两个物体。平时，我們往往只說某物体受到力的作用，虽然沒有明白地說出究竟是那个物体对它的作用，但一定可以找到这个物体。

力是可以用图綫来表示的。物理学里說過，力有三要素即：力的大小、方向和作用点。因此我們可以从作用点开始，按照力的方向画一根直綫和箭头，这根直綫的长短就表示力的大小，箭头的指向就是力的方向(图4)。

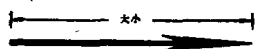


图4 力的图示

在材料力学中常常說到“外力”这个詞儿，所謂**外力就是指那些作用在我們所要研究的物体上的力**，当然，这些力都是由另外一些物体施加在这个物体上的。例如，前面所举的例子中，如果我們所要研究的物体是橡皮筋，那么，人手对于橡皮筋所作用的力就是外力(图5)。如果橡皮筋的下面还挂着一个东西，

那么,这个东西对于橡皮筋的作用,也是外力。另外,任何一个物体都有重量,这个重量是地球对物体的吸引作用,所以重量对任何一个物体来说,也是一种外力。

外力在力学中又叫做**荷重**(也称**载荷**),它可以分为两类:

(1)**分布力**: 例如平屋顶上积着一层雪,那么,在整个屋面上都要受到雪的作用,因此,对屋面来说,就受到了连续不断地分布在整個面积上的外力,这就叫做**分布力**(或**分布荷重**)。但是,这一层雪可能是厚薄一样的,也就是均匀

分布的,也可能是乱七八糟的,也就是不均匀分布的。前者就叫做**均匀分布力**,后者就叫做**不均匀分布力**(图6)。

因为分布力是作用在某一面积上,所以,它的单位是用每单位面积上受多少力来表示,记作:公斤/厘米²或公吨/米²。

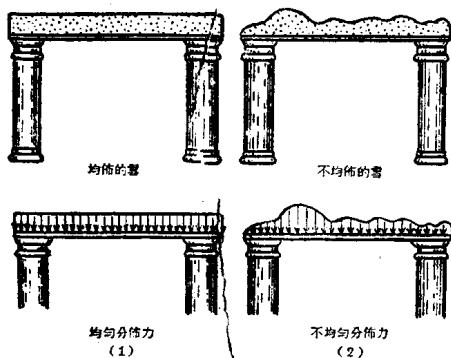
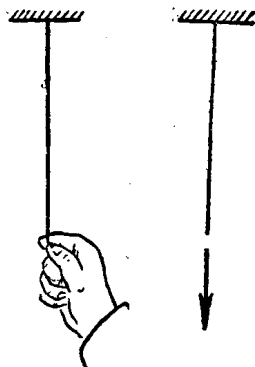


图6 分布力



(1) 手拉橡皮筋 (2) 外力用图线表示
图5 作用在橡皮筋上的外力

有时我们在整个受力面积中取出一条条的面积来研究,这时,分布力只要按单位长度上受多少力来计算就可以了,所以,它的单位就用公斤/厘米或公吨/米来表示。

(2)**集中力**: 例如人站在楼板上,这时,楼板上受力的部分只限于人脚

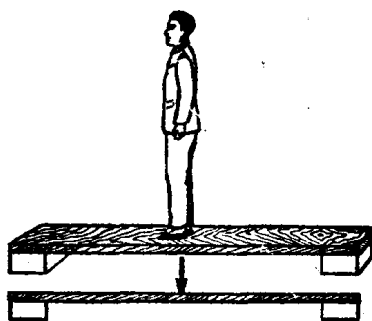


图 7 集中力

所站的地方，所以，这种力集中于一点很小的面积上，叫做**集中力**（或**集中荷重**）。为了计算简便起见，我们假定集中力是作用在一点上（图 7），这样做并不会引起什么差错。集中力的单位是用公斤或公吨来表示。

二 内力和变形

我们知道，任何物体在外力作用下，它的尺寸和形状一定有或多或少的改变，甚至破坏。比方说，弹簧给用力一拉就会伸长（图 8），钢条和石板也不例外，只不过人们的眼睛不容易看出来而已。物体因为外力作用而发生了形状的改变，就叫做**变形**。

为什么物体受力以后就会引起形状的改变呢？这是因为一切物体都是由许多极小的微粒组成的，这种微粒叫做分子。分子和分子之间是按照一定的距离排列着的，当物体受力后，它们相互之间的位置就改变了，不是靠近就是离开，由此物体的形状也就改变了。

物体分子与分子之间存在有相互作用的力（吸引力或排斥力），这种相互作用力使得分子间保持着一定的位置，因此，谁要是破坏了这种现状，它们就要

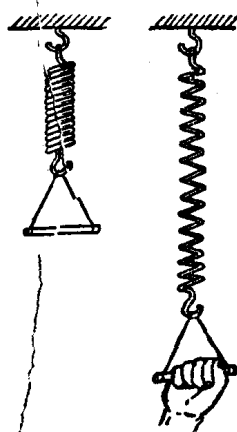


图 8 弹簧的变形

起而抵抗。比方說，你要使某一部分分子靠近，那么，这一部分分子就要增加排斥力，借以使它們恢复到原来的位置；反之，如果你要使它們分开，它們就要增加吸引力来恢复原来的位置。我們用手拉弹簧的时候，就会感觉到弹簧也在拉我們的手，就是由于这个緣故。当外力使物体发生变形的同时，物体內部分子之間就伴随着产生一种抵抗力，这种抵抗力就叫做內力。由上面可知，內力是用来抵抗外力对物体的变形，并且力图使物体变形部分恢复原来的尺寸和形状。一般說来，外力一去除，內力也沒有了。

三 弹性、均匀連續性和各向同性

我們不妨取一根弹簧来拉拉看，如果我們用力不是很大，那么，当放手后弹簧就能恢复原状。許多材料，不論是鋼也好，木材也好，都具有这样的性質，象这种除去外力后就能完全恢复原状的性質，叫做弹性。具有弹性的物体叫做弹性体。

但是，如果我們用力太大了，也就是說外力超过了某一个限度，那么，即使放手了，弹簧也不能够完全恢复原状，这时只有一部分恢复，另一部分不能恢复（物体的这种保留变形的能力，叫做塑性）。我們將可能恢复的这一部分变形，叫做弹性变形；另一部分不能恢复的变形，叫做永久变形或塑性变形（图9）。

上面說过，外力不超过某一个限度时，物体才能表现出弹性这一性質，因此，我們將这一个限度叫做弹性限度。这个限度究竟是多少，要看是什么材料而定。在自然界中

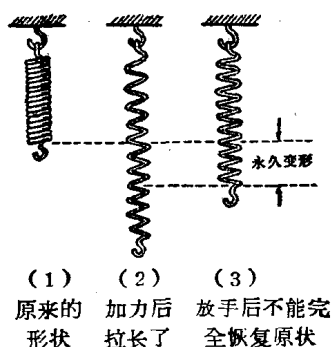


图9 弹簧的永久变形

不論是什么样的弹性体都有一定的弹性限度，超过了这一限度就失去弹性这一性質。比如說，鋼片具有很好的弹性，但是用很大的力去弯它，馬上就可以看出鋼片不能完全伸直而保留有一些弯曲。在材料力学中我們所討論的主要是弹性限度以內的物体。

为了簡化計算，便于討論起見，我們还必須將真实的弹性体加以理想化，所謂理想化就是假定物体的內部是連續不断地充滿着均勻的物質(这就叫做**均勻連續性**)，而且在各个方向上都具有相同的性質(这就叫做**各向同性**)。事实上，物質并不完全充滿于整个物体，物体是由不連續的粒子組成的，此外，在各个方向上的性質也不可能完全一样。但是，我們引用上面的假設所得到的理論和許多实验的結果非常符合，所以，在材料力学中，为了研究方便，对于材料都采用了上面的基本假設。

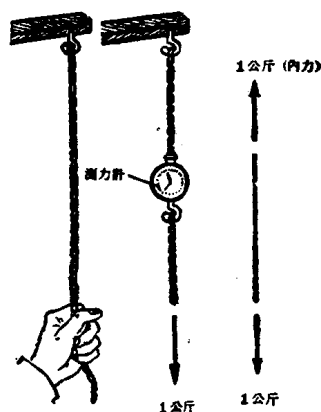
四 怎样測定內力

我們已經知道：物体在外力作用下，就要发生变形，同时又在物体的內部引起內力。內力是随着外力的加大而增加的，但是，对于某一种材料來說，內力的增加是有一定的限度的，超过了这个限度，物体就无法抵抗外力的作用，就要破坏，所以，不同的材料有不同的限度，也就是說有不同的强度。究竟內力达到了怎样的限度，物体才破坏呢？要研究這個問題，首先要懂得怎样計算內力。

我們先做一个簡單的試驗。取一根繩子，上端固定起来，下端用力一拉，假設拉力是1公斤[图10(1)]，这时，由于繩子受到外力的作用，在其內部就伴随着发生了內力，这个內力是多大呢？如果我們將繩子割断，用一个測力計接起来，象图10(2)那样，我們就可看到，測力計上的指針正指着1公斤。

如果繩子下端的拉力加到 2 公斤，那么，測力計上的指針也指着 2 公斤。从这个簡單的实验我們知道：內力总是与外力大小相等方向相反的，換句話說，**內力总是与外力維持平衡的**。如果內力也用图綫表示，就可以画成象图 10(3) 上端那样。

所以，当我們要計算一个物体在外力作用下究竟产生多大的內力时，总是象上面所說的那样，用一个**假想的截面**将物体切开，然后根据平衡条件就可算出內力的大小，这个求內力的方法是材料力学中經常用到的，叫做**截面法**。



(1) 1 公斤的拉力 (2) 用測力計接起来 (3) 內力与外力平衡

图 10 截面法

但是，求出內力并没有完全解决問題。因为我們所感兴趣的是物体內部产生了这样大小的內力时究竟会不会破坏？在上面的例子中，用截面法算出的繩子內力，不管繩子是粗是細，都是等于 1 公斤，显然，同样用 1 公斤的拉力，細的繩子要比粗的繩子容易断些，因此，光看繩子的內力是多少，很难决定繩子会不会断掉，繩子断不断是与繩子截面积的大小有很大的关系的。所以，衡量一个物体內力的大小，应该用单位截面积上內力的大小为依据，这个**单位面积上內力的大小叫做应力**。

知道了繩子的內力，又知道繩子的截面积，能不能計算它的应力呢？要回答这个問題，先得問一問：內力是不是均匀分布在截面上？一般講来，內力在截面上的分布規律是不知道的，但是，象上面所說的繩子受拉的例子，根据实验結果和关于



图 11 内力均匀分布在截面上

材料均匀連續性的假設，我們可以認為內力是均匀而且連續地分布在截面上(图11)。有了这个結論，那么，求应力时，只要把內力除以截面积就行了。写成計算的公式就是：

$$\text{应力} = \frac{\text{內力}}{\text{截面面积}}$$

因为內力是随着外力而生的，并且是与外力平衡的，所以，計算应力时，常常直接用外力来算，这样，上面的公式也可以写为：

$$\text{应力} = \frac{\text{外力}}{\text{截面面积}}$$

通常，我們用字母 P 代表外力，它的单位用公斤来表示；用 F 表示截面面积，它的单位用平方厘米来表示；再用希腊字母 σ (讀音“西格馬”) 来代表应力，則应力的单位是每平方厘米 1 公斤，簡写作公斤/厘米²。这样，应力的公式就改写成：

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (1)$$

例如，上面所說的繩子受拉力的例子，假設繩子的橫截面面积是 0.5 厘米²，拉力是 1 公斤，即 $F = 0.5$ 厘米²， $P = 1$ 公斤，則繩子的应力是

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{1 \text{ 公斤}}{0.5 \text{ 厘米}^2} = 2 \text{ 公斤/厘米}^2$$

这就告訴我們，在繩子的每单位橫截面面积上受有 2 公斤的內力。因为物体开始破坏时的应力(叫做**强度极限**)是与材料有关的，所以，繩子受到 2 公斤/厘米²的应力后会不会破坏，要看这根繩子是什么材料做成的，关于材料强度极限值这个问题留在下一章再来討論。