

高等学校教学用书

# 材料力学

梁治明 丘 侃 陆耀洪合编

高等教育出版社

PDG

高等学校教学用书



# 材 料 力 学

梁治明 丘 侃 陆耀供合編

高等教育出版社

本書系根據前高等教育部批准的機械、土木、水利以外各專業用的材料力學教學大綱編寫而成，適合于化工、郵電、動力、礦冶等專業的需要，并經教育部同意作為高等工業學校機械、土木、水利以外各專業的試用教材。

本書由梁治明、丘侃、陸耀洪分工執筆，由梁治明擔任全書的最後修訂工作。

## 材 料 力 學

---

梁 治 明   丘 侃   陸 耀 洪 編

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7號

(北京市書刊出版業營業登記證出字第054號)

京華印書局印裝   新華書店發行

---

統一書號15010·705   開本850×116 $\frac{1}{32}$    印張11 $\frac{1}{2}$    字數25,000   印數11501—20500  
1958年9月第1版   1953年9月北京第1次印刷   定價(7) 1.60

## 序 言

本書是由南京工學院力學教研組部分教師於 1956 年受高等教育部之委託組織編寫的。內容要滿足高等教育部批准的機械、土木、水利以外各專業的材料力學教學大綱基本內容要求，適合於化工、郵電、動力、礦冶……等專業的需要，采為教材之用。

由於各專業的範圍較廣，學時出入較大（90—130 學時），為滿足各方面要求，在編寫時又參照教學大綱中補充內容增加了“柔索計算”、“薄壁容器”、“求梁變形的圖解解析法”及“三矩方程”等節。這些節都自成一段落，在講授時可以按照專業需要取舍，並不妨礙全書整個系統。

本書編寫主要參考別遼耶夫著材料力學，文字方面力求簡明，以便閱讀。編寫時是由編者共同擬訂章節內容要求，再分工執筆，互提意見，經討論後統一訂正。書中名詞按照教學大綱所用名詞及中國科學院編譯局公布的結構工程名詞規定。各章分工如下：梁治明編第 7、11、12、17 章及結束語，丘侃編第 1、2、3、4、5、6、13、14 章及緒論，陸耀洪編第 8、9、10、15、16 章。全部由梁治明最後修整。

初稿於 1957 年 3 月送高等教育部審閱，並經南京工學院、天津大學、南京航空學院、南京林學院等院校在某些班中采為教本試用，此外並分寄國內四十九個高等工業學校有關教研組征求意見，最後參照高等教育的評閱意見及各方面提出的意見修訂定稿。

編者水平有限，書中缺點一定還有不少，懇切希望各校教師及讀者們隨時提出指正。

編者 1958 年 4 月

# 原书缺页

原书缺页

原书缺页

原书缺页

原书缺页

总的說来,我們的祖先,在很早的年代中,就已經掌握了各种材料的性能,并表现出与力学有关的創造能力;在工程技术方面,很久以来,就是在欧洲之上的。但是由于長期的封建統治,使得生产力的提高,受到了一定的限制;統治者一貫歧視科学,以致劳动人民在生产实践中所得的成就,未能总结成有系統的理论,甚至有些已經失傳。在十四世紀,欧洲的文艺复兴时代,正是我国封建君主加紧束縛人民思想的时期,自此以后,我国的科学技术水平,就逐漸地落在欧洲之后。近百年来,又受到帝国主义者的侵略,淪于半封建半殖民地的境地,人民的創造能力,受到种种束縛,在科学技术方面,更显得落后了。

解放以后,中国人民进入了一个新的时代。社会主义建設飞速地展开,材料力学的科学研究正在吸取苏联的先进經驗而逐步發展,并已获得了好些成就。例如在治淮工程和荆江分洪工程中,由于精确的分析而省去基樁;又如鋼筋混凝土設計中,采用了先进的極限載荷法,不但計算較為合理,而且节省了大量的材料;又如在武汉長江大桥工程中,采用了最新的“大型管鑽孔法”,解决了旧的“压气沉箱法”所不能解决的困难,并且节省了建設資金。

由于祖国社会主义建設的規模行將愈來愈大,不难預料,工業生产方面,势將向材料力学提出更多的新問題,这些問題的解决,將有賴于我們的努力。

#### 4. 材料力学的研究方法

在材料力学中,我們研究某一問題时,也和其他科学一样,有实验、假設、理論分析及驗證等过程。

材料力学中所研究的,都是实际的問題,为了使得所得的結論不致脱离实际,首先須要从实验中观察具体的現象。

实际的事物,往往是很复杂的,为了研究的方便,必須根据所

觀察到的現象的本質，略去次要的支節，立出若干假設，把問題加以簡化。

問題經過了這樣的簡化以後，就可以進行理論分析；在分析工作中，常以數學及力學為工具，而從平衡條件，變形的幾何特性，及聯接力與變形的物理條件三個方面來考慮<sup>①</sup>。

理論分析中所得的結論，究竟是否正確合用，還須要重新通過實驗和生產實踐來驗證。

除了分析研究以外，為了解決強度問題，必須知道材料的一些機械性質，而這方面的資料是須要通過實驗才能得到的。所以說材料力學並非是單純的理論運算，而是理論與實驗緊密聯繫相互交錯着的。

彈性力學和材料力學都是研究彈性固體的變形和內力的科學；在彈性力學里採用了比較精確的方法，在材料力學中為了避免數學演算的繁複（如解偏微分方程）而採用了較為近似的方法。不過，儘管說材料力學的定律和若干結論是近似的，但却是適當正確地反映了客觀事物的規律，其準確的程度在生產實踐中多已足夠應用。

## 5. 材料力學與其他課程的聯繫

在高等工業學校里，材料力學是一門基礎技術課，可以說是基礎課和專業課之間的橋梁。它以數學及理論力學等課程為基礎，同時又是其他基礎技術課（如機械零件，結構力學等）及專業課程的基礎。材料力學這門課程，不但提供了設計課程中所必需的基礎知識和計算方法，而且它的研究方法，對於工科學生今後的學習和工作，也有其重要的意義。

---

<sup>①</sup> 除了這種方法以外，在材料力學中，亦可採用能量法。

# 第一章 基本概念

## 1-1. 关于弹性体的概念

在理論力学中，我們把固体看成絕對剛体：換句話說，就是假定在外力作用下，固体的形狀和尺寸絕對不变。实际上，所謂絕對剛体，在自然界中并不存在，它只是一个抽象的概念而已。由实验知：任何固体在外力作用下，都將發生变形，也就是說，它的形狀和尺寸总有些改变；而且最后还可能發生损坏。

实际物体具有复杂的形狀和多种多样的性質，这都足以妨碍科学研究的进行。但是每一門科学仅是从某一角度来研究具体事物中某一方面的問題，因此，为了研究的方便起見，我們常常把那些与問題無關或影响不大的次要性質加以忽略，而保留它們的主要性質；用这种理想情况来代替真实的物体，使得我們能够采用理論的方法来进行分析和研究，借以获得一般性的結論。

至于說，真实物体的多种多样的性質之中，哪些是主要的，哪些是次要的，那要取决于這門科学所研究的問題範圍。在理論力学中研究物体平衡及运动的一般規律，对于物体的微小变形，可以不加考虑，所以采用絕對剛体这个抽象概念来把真实物体的性質加以簡化。材料力学是研究强度問題的科学，在材料力学中，物体的变形是其主要的基本性質之一，因此必須加以考虑而不能忽略，所以絕對剛体这一概念已不适用，并应認為一切固体都是变形固体。

外力使固体的各微粒間的相对位置發生变化，因而产生变形。此外，值得注意的是：外力除去后，物体就能恢复其原有的形狀和

尺寸。变形固体的这种基本性質，称为彈性。若物体在外力除去后能完全恢复原狀，这种物体就称为完全彈性体；不能完全恢复原狀的物体，称为部分彈性体。

部分彈性体的变形有兩部分：一部分是随着除去外力而消失的变形，称为彈性变形；另一部分是外力除去后不能消失的变形，称为塑性变形，亦称为殘余变形。

自然界中并没有所謂完全彈性体，一般变形固体，既具有彈性，也具有塑性。不过实验指出：象金屬、木材等等建筑材料，当外力不超过某一限度时，可以看成是完全彈性的；若外力超过了这一限度，就要發生显著的塑性变形而是部分彈性的了。

## 1-2. 变形固体的基本假設

为了簡化性質复杂的变形固体，在材料力学中常用下列基本假設，作为理論分析的基础：

1) 材料均匀連續的假設 假定物体的机械性質在各处都是一样的，而且材料是毫無空隙地充滿了物体的整个几何容积。

根据近代物理学的研究，我們知道組成物体的粒子之間是不連續的。同时，眞实物体也并非均匀的；例如所有金屬都具有結晶的結構，在几个晶体交接处取出一小塊来，其性質將与在一个晶体內取出来的同样大小的一小塊的性質有所不同。不过由于在材料力学中，我們所研究的物体比起粒子或晶体来要大得多，所以可以認為材料是均匀而連續的。

这个假設对于鋼、銅等金屬相当适合，对于磚、石、木材等材料較差。

这个假設使我們可以从物体中截出無限小的單元体来从事研究，并可將那些由大尺寸試件实验中所得的材料性質，移用到無限小的單元体上去；这就使我們在材料力学中可以应用無限小的分

析方法。

2) 材料各向同性的假設 假定材料在各个不同的方向都具有相同的机械性質。

应知單晶体的性質本是有方向性的，但是物体的尺寸远大于晶粒，由于这些晶粒錯雜地排列着，因而它們总共的統計的性質，在各方向趋于相近。压延，拉延及其他压力加工，使各顆粒朝着一定的方向，所以这种材料若未經热加工，將显现各向异性。

鑄鋼、鑄銅、玻璃及做得很好的混凝土等，都可以当作各向同性材料。

3) 变形很小的假設 假定物体几何形狀的改变与其总尺寸比較起来是很微小的。

由于物体的形狀尺寸和材料的性質等原因，有些物体在外力作用下，变形很不显著(如圖 1-1 a)，这种物体称为剛性物体；也有些物体的变形很为明显(如圖 1-1 b)，这种物体称为柔性物体。不过，在工程上，一般構件的变形都是很小的。

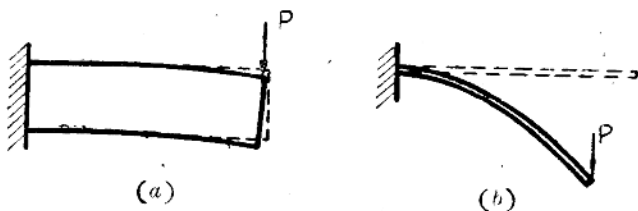


圖 1 1。

由于变形很小，因而我們在立出靜力平衡方程或其他好些分析中，可以不考虑外力作用点在物体变形时所生的位移；这样使得实际計算大为簡化，而引起的誤差却非常微小，在实用上往往是微不足道的。

除了上述几項基本假設之外，在材料力学中还常常采用好些

簡化內力及變形的假設，在以後的章節中將分別指出。

### 1-3. 位移及變形

作用于物體上的外力，使得物體的各部分的位置有所改變，也就是說發生了位移。自物體內某一點的原來位置到它的新位置所連的直線，稱為該點的綫位移。物體內某一綫段或平面在改變位置中所旋轉的角度，稱為該綫或該平面的角位移。例如圖 1-2 中所示的杆，左端固定，右端自由，受一集中力  $P$  作用，發生變形後如圖中實綫所示；這時杆端的  $A$  點的綫位移為  $AA_1$ ，沿着垂直于杆軸方向的分位移為  $f$ ，同時，杆端平面還有角位移  $\theta$ 。

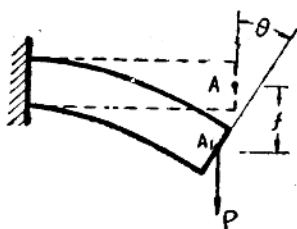


圖 1-2。

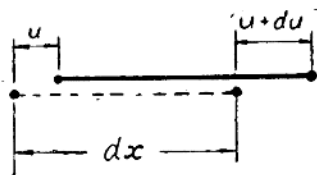


圖 1 3。

若在變形以前，在物體上沿某方向取長為  $dx$  的一段極短的綫段，則在物體變形之後，這一綫段的長度將有所改變；設它的改變為  $du$  (圖 1-3)，這個表示綫段長度改變的  $du$  就稱為綫變形。若變形後綫段的長度增加，則  $du$  稱為絕對伸長；若綫段長度減小，則  $du$  就稱為絕對縮短。而比值

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (1-1)$$

則分別稱為相對伸長及相對縮短，亦即相對綫變形。

又若在變形以前，在物體上取互相垂直、其長為  $dx$  及  $dy$  的兩根極短綫段 (圖 1-4)，則在物體變形後，這兩綫段間所夾角度，將

有所改变,所改变的数值 $\gamma$ 就称为角变形。

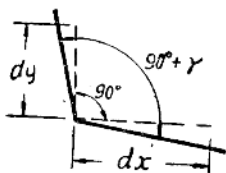


圖 1-4。

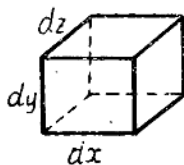


圖 1-5。

物体的变形是一个几何性質的問題,为了研究整个物体的变形,我們可以設想把物体分成許多許多極微小的正六面体(圖1-5)来研究,这种微小六面体,以后將簡称为單元体。当整个物体变形时,所有單元体也都变形;整个物体的变形可以說是由所有單元体的变形累积起来的。不难看出,每一單元体的变形,不外乎各边長度的改变及各边之間(或各平面間)角度的改变。可見不論物体的变形如何复杂,只不过是兩種基本变形即綫变形与角变形組合而成的。

显然,相对綫变形 $\varepsilon$ 是一个沒有因次的量,角变形 $\gamma$ 也是一个沒有因次的量,有时可用弧度来表示。

#### 1-4. 外力及其分类

物体所受的力,可分为兩大类,即外力和內力。

外力是指某一物体所受到的其他物体对它作用的力,包括載荷及反力(即約束力)。內力是指物体某一部分对其他部分相互作用的力。

为了研究物体的內力及变形,首先須弄清外力。在工程上,各种結構或机械的構件,所受到的外力,相当复杂,显然須要加以分类,以便研究。按照几种不同的特征,外力可分类如下:

- 1) 按分布的情况来看,外力可分为体积力与表面力兩类。

体积力分布在物体的整个体积内，物体內所有各質点都受到它的作用；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。連續作用于物体表面某一面积上的力称为分布力；例如儲油庫所受的油压力，飞机机翼所受的風力等，都是分布力。分布力又有均匀分布与非均匀分布之别；例如屋頂上等厚的雪就是均布载荷，水塔側壁所受的水压力与深度成正比，就是非均布载荷。若外力所分布的面积远小于物体时，可以看成这个外力作用于一点，这种力称为集中力；例如火車車輪作用于鋼軌上的压力。应知集中力这一概念，只是为了簡化計算而提出的近似說法，事实上，經由一点来傳遞任何压力都是不可能的；不过由于这个近似概念所引起的誤差往往很小，在一般应用中可以不計。

体积力的因次为力/長度<sup>3</sup>，它的計算單位可用  $\text{kg}/\text{cm}^3$  或  $\text{t}/\text{m}^3$  等。分布力的計算單位可用  $\text{kg}/\text{cm}^2$  或  $\text{t}/\text{m}^2$ ；有时取一条受力面积来研究，这时分布力只須按單位長度內的力来計量，它的單位可用  $\text{kg}/\text{cm}$  或  $\text{t}/\text{m}$  等等。集中力的單位为  $\text{t}$  或  $\text{kg}$ 。

2) 按作用時間的久暫来看，载荷可分为永久载荷及暂时载荷兩类。前者作用于結構或机械存在之全部時間，例如結構自身的重量，地下水管或煤气管所受的土压力等；后者仅在某些時間內作用于結構上，例如起重机所吊起的货物的重量及厂房所受的風力等。

3) 按载荷作用的性質来看，可分为靜载荷及动载荷。

靜载荷是慢慢地逐漸加于物体上的，自零漸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計，也就是說可以認為物体的各部分都处于靜力平衡狀態中。例如蓄水池