

簡明材料力学

[苏联] H. П. 格里斯柯娃教授著

科学技術出版社

簡明材料力学

[苏联] H. П. 格里斯柯娃教授著

王爵彝译

科学技术出版社

內 容 提 要

本書說明材料力学的基础, 和有关这门科学一般概念的問題, 以及它的价值和实际上的应用. 書中以簡易明了的方式說明有关材料强度的力学現象.

本書可供工厂和农业机器站 (МТС) 的工長和工人作为讀物, 也可以作为技术学校学生的數學参考書.

簡 明 材 料 力 学

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

原 著 者 [苏联] Н. П. Гришкова

原出版者 ГОСТЕХИЗДАТ УССР · 1954 年版

譯 者 王 爵 彝

*

科学技術出版社出版

(上海建國西路 330 弄 1 号)

上海市書刊出版業營業許可證出〇七九号

上海市印刷五厂印刷 新華書店上海发行所总經售

*

統一書号: 15119·429

开本 787×1092 耗 1/32 · 印張 3 13/16 · 字數 83,000

一九五六年十二月第一版

一九五六年十二月第一次印刷 印數 1—13,000

定价: (10)五角五分

目 录

緒 論	1
一、拉伸和压缩	7
1. 基本概念	7
2. 拉伸同压缩时的应力和 变形	12
3. 拉伸, 拉伸图	20
4. 安全系数	24
5. 时间和加工对金属特性 的影响	26
6. 压缩	28
7. 材料的硬度	31
8. 变截面杆的拉伸和压缩	36
9. 拉伸和压缩时杆自重的 影响	40
10. 金属的疲劳	47
二、剪切和扭转	54
11. 剪切	54
12. 扭转	62
13. 变截面转轴	69
14. 螺旋弹簧中的应力和变 形	70
三、弯曲	74
15. 基本概念	74
16. 弯曲切应力	85
17. 弯曲变形的确定	88
18. 曲杆	94
19. 复杂抗力	98
四、若干补充知识	101
20. 强度理论	101
21. 材料力学中的动力学问 题	107
22. 弹性系统的稳定性	114
参考文献	118

緒 論

跟材料加工有關的人們，在他們的生产活動上需要具有對這些材料特性的知識。舉例來說：高速切削車工應該很好地明了所加工零件的硬度，和刀具的硬度；為了要使工作不出事故，拖拉機司機應該明了拖拉機零件的工作和它們的強度等等。研究建築物和機器的強度的科學，叫做材料力學。

材料力學是基本的工程學科之一，沒有這種知識，就不可能完成任何一種設計，不可能作成任何一項工程計算，也不可能造成任何一座建築物。利用材料力學這一門科學對建築物或機器零件，就可以選擇必需的尺寸同挑選合宜的材料等等。在我們社會主義國家中，正在消滅腦力勞動和體力勞動之間的界限，在這種基礎上，不僅是設計者要通曉這一門科學，而且應使一切技術工人都能如此。我們許多先進工作者所提出的大量合理化建議和革新方法，在很大程度上，都是建立在材料力學這一門科學的知識上的。

在這門科學內說明了在建築物和機器的零件中因已知外力而產生的內力和變形的確定方法，以及應用在工程建築物中的材料強度的研究方法。

我們可以肯定地說，原始人類早已對自己的工具——小木棒、石斧等——選擇了堅固的材料。這就說明當很早以前，人們在進行某種選擇時，是作過某種簡陋的材料試驗的。

在古代時候，新的房屋、建築物或機器（例如：彈射器）是按

照已經存在的式樣建造的，而如果需要改變它們的尺寸，也只是約略地改變一下。以後才開始注意到建築設備的經濟性。

但是，如果對經濟性過高的要求，有時會造成過早的破壞和災害的。根據羅馬史學家塔西特（Тацит）的記載：這種大災害之一發生在季微利葉（Тиверие，14~37）帝國統治時代。有一次，當角鬥士在圓劇場表演時，劇場倒塌，死亡了好幾千人。塔西特將這種災禍比作發生在大規模戰爭中的不幸事件！

在現代，有時也發生建築物的破壞而引起人們死亡的事。發生事故的原因是由於結構的不正確計算，或者由於機器的零件或建築物個別構件裝建順序的不正確。

橋梁的坍塌在從前也是比較常有的現象。例如：北美洲在1876~1888年之間就倒塌了251座橋。

在某些情況中，事故的发生是由于建筑物和机器应用了不适宜的材料；例如：1890年在英国发生了55件鍋爐爆炸的事故；主要原因由于应用了不够强固的材料而造成的。同样的，飞輪在高速轉动时，也发生了破坏。在破坏时，由于离心力的作用，輪的碎片四散飞出，使周圍的人們受傷和打死。因为机器的各部分是相互联系着的，所以即使是小螺栓的損坏，也可能造成重大事故。

从上面的这些例子，可以作出結論：对每一部机器和每一座建築物的强度必須进行計算，而所用的計算方法則是建立在有关材料力学的這門科學上的。

工程科學最早的代表人物之一，是著名的艺术家和學者遼納多·達·芬奇（Леонардо да Винчи，1452~1519）。遼納多·達·芬奇經常用實驗來確証自己的科學發明的理論，並且在很多發明中應用了它們。這是一位偉大的、多方面的、有學問

的学者和实践者：他曾建筑过軍用工程建筑物、大楼、运河、水閘等等。但是，他的手稿在很長的时间內始終是沒有人知道的，直到十九世紀末叶，才初次被发表出来。从遼納多·达·芬奇的著作中可以看出，他提出了許多材料力学的問題，其中大多数問題他都已經恰当地解答了。

但是关于建筑物强度这門科学的奠基者應該認為是另外一位卓越的学者伽里略(Галилео Галилея, 1564~1642)。如果說遼納多·达·芬奇所指出的关于强度或者关于材料力学的最早的正确思想在当时对这門科学的发展并没有发生任何的影响，那末这門科学的发展就应归功于伽里略，他的所有建議由他的很多学生推广而应用着，或者在他出版的著作中发表了。

此后，关于强度的科学分为理論和实验二方面发展着。材料力学的理論是由著名的数学家达尼耳(Даниил)、雅柯夫·別尔努里(Яков Бернулли)、欧拉(Эйлер)和拉格藍齐(Лагранж)发展的，他們只从数学观点研究了曲杆变形的各种各样的公式。他們沒有研究这些問題在实践上的重要性，因而他們工作的結論在長时期中是不著名的，并且在实践中也沒有利用。

特別有趣味的是俄国科学院院士欧拉所解决的問題，即是：力加施于其一端的長压杆的稳定問題。欧拉找出了：当杆可能凸出时，这个压力的解釋，可是他的公式，最初仍旧是沒有实际的应用。当时的工程师在不应当用这个公式时却应用了它，因而就很快地作出結論：他們認為这个理論是“錯誤”的，并且在解答有关这类压杆强度的問題时，应用了借实验方法所得到的各种其他的公式。

在前世紀末叶和本世紀初叶时，发生了很多結構坍塌的事

故，其中也有長壓杆。这就迫使工程師和學者特別注意這類長壓杆的計算了；這時他們就想起了歐拉公式。對這個公式進行研究以後證明了：這公式是完全正確的，但也只適用於一定範圍之內。現代，不應用歐拉公式就作不出對這類壓杆的任何一項計算。因而，雖然僅僅經過 50 年，但是在這個問題中，在理論上和實際上已經取得一致了。

在第十世紀到十二世紀時，俄國的土木工程已經達到了高度的完美，從一直保存到今天的古代紀念物和其他精美的建築物上都可以證明這一點。古代紀念物例如：在基輔的索非斯基教堂，在莫斯科的諾夫哥羅堡壘、莫斯科堡壘和勃拉任尼·瓦西里葉廟。當建築這些建築物時，建築者在實際上曾經解決了許多材料力學的問題。

杰出的俄國學者羅蒙諾索夫（М. В. Ломоносов）曾進行過試驗，來確定瓷器和彩色石塊的強度。

十八世紀末葉，俄國的力學家——自學者伊·普·庫里賓（И. П. Кулибин）建立了橫跨涅瓦河（Нева）長達 300 公尺的單跨拱橋的設計。對這個設計的建立，它的設計者必須很好地明了木材的特性和它在結構中的工作。除了這個設計和橋梁模型外，庫里賓又完成了一些另外的工程建築物。

許多其他有才能的俄國工程師——自學者，在材料力學這門科學中，添加了很大的貢獻。例如，作為“銅騎士”（在列寧格勒的彼得一世紀念象）台腳的巨石是在滾動的鑄鐵球上移動的，而鑄鐵球是放置在包金屬的斜槽中。第一個球形結構——鑄鐵球是俄國學者所發明和應用的。

十九世紀中葉，材料力學已經是充分完備的一門科學了。許多學者卓越的研究都出現了，例如：茹拉夫斯基（Д. Журав-

ский) 在杆系計算的理論方面,高洛文 (X. Головин)、愛佛聶維希 (И. Евневич) 和伽多林 (А. Гадолин) 在曲杆和厚壁容器中的應力和變形的確定,以及雅心斯基 (Ф. Ясинский) 在分布載荷和集中載荷作用下,杆(柱)的穩定性的研究。

從二十世紀開始,特別是在偉大的十月社會主義革命以後,關於材料力學的這門科學在我們國家中得到了更大的發展。社會主義制度引起了空前的工業的和技術的發展,因而對問題的解答就要求有比較完善的理論方法,並且要求在實踐上能正確的应用。

在十月革命以前,俄國的學者——我們祖國的愛國者雖然在工具和適用的實驗室缺乏的條件下,不能隨時供給他們在理論研究中所獲得結論的試驗,但他們還是從事了某些科學問題的解答。

只有在十月革命以後,我們的學者才得到了在科學問題上認真工作的廣泛可能。黨和政府正確地給予了和繼續不斷地給予我們的學者大力的支持,建立了一系列的科學研究機關,例如:科學院、研究所和實驗室等等都是按技術上的最新發明來配備的。許多學者都為自己的追隨者和學生建立了學派,並且建立了關於材料力學這一門科學的方向。在這些學者中,首推院士克留洛夫 (А. Н. Крылов)、靖尼克 (А. Н. Динник) 和伽列金 (Б. Г. Галеркин) 等。由於這些學者的工作,不僅使理論發展了,而且也使材料力學這一門科學的實際应用也發展了。這種理論和實際的結合,使蘇聯專家有可能創造大膽的和新穎的工程結構。

由被焊結構強度的理論和實驗的研究,在1953年已將它作為建築物的基礎,巴東 (Е. О. Патон) 的橫跨第聶伯河的全焊

桥梁就是这种应用的具体例子。我們苏联新穎的建筑物和机器的裝建方法已經获得了普遍的采用，在現代更获得在人民民主国家中的广泛发展。

根据材料力学的理論和实验数据，采用精确的計算，就可以創造質輕、强固而又經濟的結構物。

現代，在材料力学中，具有十分重要意义的是动力学問題，其中研究的問題是：处在运动或处在活动載荷和变动載荷作用下，結構的工作。在动力强度范围內，获得很有声望的是苏联学者达維靖柯夫（Н. Давиденков）和謝联先（С. Серенсен）等的工作。

在我們国家中，关于材料力学这一門学科，在科学中占有主要的地位；它是建立現代巨大建筑物和最复杂的机器的基础，因而現在还正在快速地向前发展着。

一、拉伸和压縮

1. 基本概念

为了要使建筑物和机器既坚固而又經濟，就必须适当地来加以計算；即选择其構件的材料和尺寸，使这些建筑物或机器能可靠地抵抗机器在工作时或建筑物在使用时所产生的力的影响。同时，計算中更应注意到材料的节约。这个重要的要求亦在苏联共产党第十九次党代表大会上关于第五个五年计划的指示中提出过，其中指出：“在設計新的机器时必须力求在提高質量的条件下減輕其重量”。

作用在机器零件上和建筑物構件上的力的影响，首先是它能改变構件的形状和尺寸。这种形状和尺寸的变化叫做变形。

通常，变形都出现在个别零件或整个建筑物破坏以前。在有些情况中，这种变形可能是非常之小的，小到一定要靠适当的仪器才能看得出来。现代已采用了多种具有很大灵敏度的仪器来量度变形，利用这种仪器可以把变形记录出来。例如：測量金属梁因承受极微小的载荷而产生的挠度(見注①)，作用的力越大，則因它而引起的形状变化也越大；因为机器或建筑物的每一部分在工作时总是受到力的作用的，所以，也就总是有变形的。利用适当的仪器记录变形，可以很好地观察变形的前后变动情况。现在已經采用一系列的仪器来记录各种不同的变形了。例如：在列車通过时的桥梁上的各構件的变形，就是用仪器记录出

来的。

为了要闡明机器零件或建筑物構件是怎样工作的，必須明了力的作用与变形的变动之間的关系和变形的大小。根据所量出的变形大小，可以判断出是何等样的力作用在这个構件上的，并且，还可檢驗出該構件在强度方面是否足够。

例如，这种檢驗可用以下的实验來說明：某高等学校在电影場下面設有一教室。这时产生了下列几个疑問：此种房屋作教書之用是合用的嗎？在屋內充滿观众时所产生載荷的作用下，樓間层的梁稳定嗎？我們为要了解樓板的梁受到最大載荷时的情况，可以用撓度計来描述出这梁的撓度^①变化曲綫(图 1)。

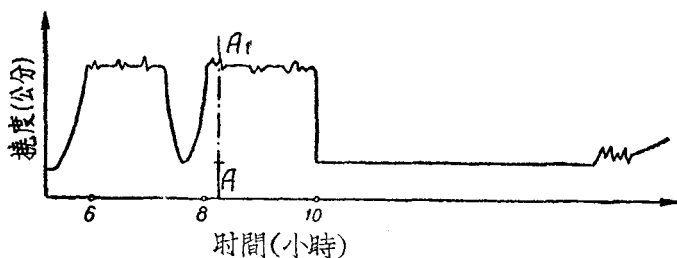


图 1 樓板梁的撓度图

在所加力的大小跟它所引起变形之間的关系曲綫上，即所謂梁的撓度图上，以橫坐标軸表示時間，縱坐标軸表示撓度。由这个綫图中可以看出；撓度計是在晚上 5 点鐘开始裝置的，从 5 点鐘到 6 点鐘，梁上沒有載荷（电影場是空的）；梁只在本身重量和樓板載荷的作用下撓曲。在 6 点鐘，开始了第一場电影，場中充滿了观众，樓板上有了附加的載荷，梁就获得了附加的撓

① 撓度——受弯曲作用时，在結構中所产生的变形。

度。第一場完毕第二場开始以前，电影場中的观众都出去了，撓度就减小下来；以后，在 8 点鐘时，放第二場观众进来，梁又重新撓曲了。从晚上 10 点鐘到早晨 8 点鐘，梁上沒有任何附加的載荷，因此，在綫图上的撓度曲綫的这一段是水平的直綫。图 1 上，綫段 AA_1 是相当于最大載荷的撓度。

显然，撓度的記錄和梁的尺寸，无論用怎样的比例尺来計算，都可以确定梁是不是危险的？因此，这种撓度的确定，正是为了整个建筑物的安全。

現在我們来研究一个簡單的例子：机器和建筑物的任何一种構件，是在怎样反抗变形的？

图 2 上所表示的起重机是用作升高重物 P 的。这起重机是由橫梁 BC 、豎杆 KB 和斜角撑 AC 組合成的。举起重物 P 的鋼繩先通过滑輪 F ，再通过滑輪 G ，而纏繞在鼓輪 D 上。斜支柱 ABC 可以繞着豎直軸綫 MN 迴轉。因此，在鼓輪 D 上纏繞鋼繩时，不仅能够举高重物，并且也能沿水平綫，移动这个重物。

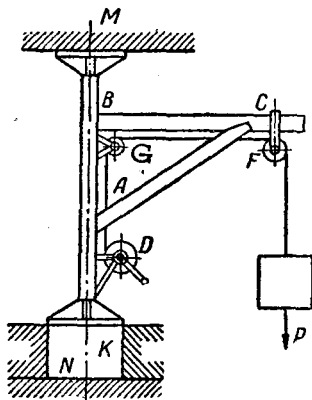


图 2 悬臂——旋臂起重机的略图

下面，我們来討論起重机每一个構件的工作。

用鋼繩举高重物 P 时，繩被拉長了，这是力作用的第一种情况——**拉伸**，拉伸时，鋼繩被延長。支靠在斜角撑 AC 上的橫梁 BC ，引起这个斜角撑的**压缩**，这是力作用的第二种情况。在压缩力作用下，斜角撑 AC 將縮短。

起重機是裝置在基礎 K 上的。起重機和舉高重物的重量都傳遞到這個基礎上，在這些載荷作用下，基礎同樣受到了壓縮。在橫梁 BC 上作用了重物 P 時，就引起了橫梁的彎曲——這是力作用的第三種情況。這些力作用的情況，在材料力學中，都要加以研究。重物 P 作用在 C 點時，橫梁垂下，也就是橫梁獲得了撓度。

利用鋼繩，在絞車傳動軸的一端，作用着重物附加的力，此力企圖轉動絞車的傳動軸。在傳動軸的另一端，裝置着手柄，轉動手柄時，重物就上升，此時，傳動軸按相反的方向轉動着。因此，在垂直於傳動軸軸綫的平面中，軸兩端附加的力，各自力圖以相反方向來轉動傳動軸，即扭轉着軸。這是力作用的第四種情況——扭轉。

上面所討論的例子，是力作用的簡單情況。

如果在機器零件上或設備的構件上作用着力系，那末，它可能同時引起幾種形式的變形。在這種情況中，零件工作在複雜抗力的條件下。

複雜抗力的例子可以舉得出很多；象鑽孔時的鑽頭，或迴轉鑽探時的鑽杆都是這種例子；因為在試驗時，杆同時受到壓縮（對鑽頭的壓力）和扭轉（鑽頭轉動時）。

現在我們來討論，一切物體的普遍特性——彈性。

所有的物體，在某種範圍內是具有彈性的，即在力的作用卸去後，有恢復原狀的能力。

例如：發生在金屬杆中的情況，在金屬杆的兩端加施兩個大小相等，方向相反的力 P_1 和 P_2 （圖 3），即拉伸這一根杆。我們量出杆的伸長 Δl ，然後卸去這兩個力的作用。假定所加施的力是很小的，那末，卸去力以後，杆仍具有原來的尺寸。用類似

的方式，在杆上附加各种較大的力，测定变形以后，再卸去所附加的力，可以发现，在这种力的某些量值下，它們的作用力卸去后，杆并不具有原来的長度。这就是說，其中发生了**残余变形**。

在作用卸去后，杆的变形消失的这种最大的力，叫做相当于**彈性极限**的力。对各种不同的材料，这个极限是不同的。例如：对鋼杆來說，相当于它的彈性极限的力，比銅杆約大三倍。

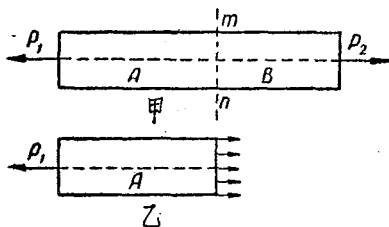


图 3 拉伸

甲——附加在杆上的外力

乙——沿杆的 mn 截面上，内拉力的分布

物体的彈性是广泛地应用在实用上的。例如：卷紧在杆(軸)上的鐘表发条，逐渐放松时，經過相当的齿輪傳动，就使鐘表的指針动作起来。从这个例子可以看出，彈性不但表现了物体(建筑物和机器的零件)的特性，即在卸去力的作用后，物体恢复到原有的尺寸和形态，并且，在恢复原来状态时，彈性的内力可以做功。因此，可以說，在变形时，物体把能量变成其他形态而积聚起来，这种积聚的能量，在物体恢复它原来状态时，可以表现为功的形态。

我們所用的許多建筑材料大都是彈性的，設計師的任务是要挑选建筑物的某种尺寸，这种尺寸必須不失去它的彈性，也就是在力的作用卸去后，它們的变形就消失。在这种条件下，建筑物才能正常地进行工作，如果发生了残余变形，那末，建筑物就要不适宜工作了。

总之：**变形可以是彈性的或者是残余的**，即在力的作用卸去

后，消失变形或保留变形。残余变形也叫做**塑性**变形。为了实际应用，我們必須明了相当弹性极限的力的量值。用尽可能的最大的载荷，加施在这構件（物体）上而必須使物体不发生残余变形，这是最有利的情况。但是，材料的弹性极限的提高是很重要的实际問題，它的解决方法將在第三节中談到。

2. 拉伸同压缩时的应力和变形

假如在一根用某种同样材料做成的杆上(如：在鋼杆上)，沿着它的縱向軸綫（杆的橫截面的重心的連綫叫做杆的軸綫），在两端加施两个大小相等，方向相反的力 P_1 和 P_2 ，即 $P_1 = P_2$ (图 3)；这时，杆在 P_1 和 P_2 两个平衡外力的作用下而伸長，即变形了；現在更进一步的要确定在杆的任意截面 mn 內发生怎样的內力？

我們設想，沿截面 mn 把这杆切成两部分，并拿开其右面部分，而討論它的左面部分 A (图 3-乙)。在杆沒有切开以前 (图 3-甲)，它的两部分是处于平衡状态的。当单独研究 A 部分时，我們看到：其上作用着指向左面的力 P_1 ；为了要使 A 部分能平衡，象未切开以前一样，我們必須沿着切断的截面加施某种力，这力給予 A 部分的作用是跟 B 部分給予 A 部分的作用同样的。 B 部分对 A 部分的作用力，跟加施在 A 部分上的外力指向相反。

梁右面部分 B 作用在它左面部分 A 上的力叫做**彈性內力**，这个力應該跟力 P_1 大小相等、方向相反，否則，就不能平衡。

我們把沿着橫截面 mn 的力当作是均匀分布的，用下面的例子來說明这一点。用橡皮做一根杆，在它上面画上方格子，并且在它的两端加施两个力 (图 4)。观察杆的中間部分 $abcd$ 时，

可以看到, 这些部分的方格, 在水平方面伸长了同样的数值, 即离开作用点有某种距离的杆的中部, 力是均匀分布着的, 因此, 沿着截面 ab 、 cd 和它们之间的弹性内力同样是均匀地分布的。

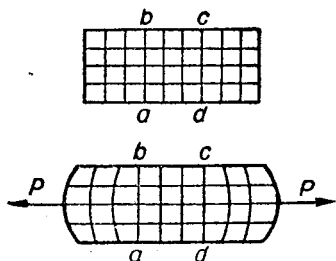


图 4 橡皮杆的拉伸

我們所研究的在杆拉伸时确定弹性内力的方法, 在材料力学中通常应用着, 叫做截面法。

现在来讨论另外一根杆 CD , 其上施加着力 P_3 和 P_4 (图5-甲)。这两个力沿着杆的轴线作用, 并且指向彼此相向。为了要确定, 在外力作用下, 杆上发生的弹性内力, 象前面的情况一样, 我們设想沿着 m_1n_1 截面把杆分成两部分, 象上面一样的来研究。我們来讨论 D 部分。在分开以前, D 部分在外力 P_4 和 C 部分作用下, 是处于平衡状态的。为了要象第一种情况中一样, 在把 C 部分拿开以后 D 部分能平衡, 必須在 D 部分上加施弹性内力, 这力的作用跟被拿开部分 C 对留下部分 D 的作用是一样的。

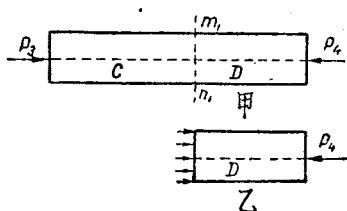


图 5 压缩

甲——杆上加施着外力

乙——沿着杆的 m_1n_1 截面, 内压力的分布

显然, 在这种情况下, 弹性内力应该跟外力 P_4 方向相反, (也就是指向相向), 弹性内力均匀地分布在截面上, 它们的合力应该等于力 P_4 (图5-乙)。在这种情况下, 弹性内力指向着所研究截面的内部; 这时杆受到压缩。

把两种情况比较一下, 我們可以引出下列的結論: