

工 程 力 学

第 二 部 分

材 料 力 学

天津大学材料力学教研室編

高 等 教 育 出 版 社

本書是天津大学材料力学教研室为天津市广播函授大学电机系各專業編写的工程力学的第二部分材料力学。

本書計分七章,簡要地講述了杆件在外力作用下的强度、变形和稳定問題,对于一些基本公式的应用都作了詳細闡述,并附有一定数量的例题來說明理論的应用。其目的是想使讀者在最短的时間内学会几种最基本的强度計算方法。因此,本書除了适合作为一般函授大学工科学生用的教材外,还可供有关业余大学、半工半讀学校参考,并适合于具有中等文化程度的一般工程技术人員作自修用。

工 程 力 学

第二部分 材料力学

天津大学材料力学教研室編

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第051号)

人民教育印刷厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010·757 開本 850×1168¹/₃₂ 印張 4³/₁₆

字數 120,000 印數 3001—11000 定價 (7) 羊 0.60

1959年4月第1版 1959年5月北京第2次印刷

序

工程力学的第二部分是材料力学，这门课程中讨论杆件在外力作用下的强度、变形和稳定问题。本书是为天津市广播函授大学电机系各专业编写的，只是对于材料力学这门课程作一个简短的介绍。它的目的是想使学员在最短的时间(估计在 30 节课的讲授时数)内学会几种最基本的强度计算方法。

因为篇幅所限，本书中许多重要公式的推演都略去了。但是对于这些基本公式的应用都给了足够的解释，并附有一定数量的例题来说明理论的应用。

本书的每一章之前附有讲授提纲，因为广播教学在讲授时不能面对学员，所以这个讲授提纲的作用相当于教师在黑板上抄写的笔记，这样可能使学员看着这个提纲来听广播讲授，收效更大一些。

每章之末附有复习题，学员应逐题思考对于了解这门课程是有帮助的。此外还附有一些练习题以供自学时练习之用，每个习题都给了答案。

这本书在编写时参考了苏联交通部教育总局编的“材料力学”，1947 年版；另外也参考了伊凡诺夫著的“初等材料力学”，1948 年版。

这本简单的广播函授教材是一种尝试，其中一定有不妥的地方，欢迎阅读本书的同志们指正。

天津大学材料力学教研室

目 录

序

第一章 緒論和基本概念 1

講授提綱

§ 1. 材料力学的研究对象 § 2. 彈性变形和殘余变形 § 3. 材料力学所要解决的問題 § 4. 材料力学和工程实际的关系 § 5. 祖国学者的貢獻 § 6. 載荷作用的各种情形 § 7. 应力和截面法 § 8. 基本受力状态

第二章 直杆的簡單拉伸与压缩 12

講授提綱

§ 9. 直杆在簡單拉伸(或压缩)时的应力 § 10. 絕對变形和相对变形 § 11. 拉伸时的伸长和虎克定律 § 12. 直杆的拉伸試驗 § 13. 压缩試驗 § 14. 許可应力和安全系数 § 15. 拉伸或压缩下的强度計算 § 16. 挤压

第三章 剪切 19

講授提綱

§ 17. 剪切时材料的应力 § 18. 剪切时的变形和剪切虎克定律 § 19. 剪切时的强度計算

第四章 圓軸的扭轉 28

講授提綱

§ 20. 扭轉时發生的現象 § 21. 扭轉时横截面上的应力 § 22. 扭轉的强度計算 § 23. 扭矩的計算 § 24. 扭矩圖 § 25. 扭轉时剛度的計算 § 26. 例題

第五章 梁的弯曲 48

梁的弯矩与剪力講授提綱

梁的設計講授提綱

§ 27. 弯曲时發生的現象 § 28. 梁的荷重和支座 § 29. 梁支座反力的計算 § 30. 弯矩和剪力 § 31. 剪力圖与弯矩圖 § 32. 梁横截面上的法向应力 § 33. 梁的合理截面 § 34. 梁的强度条件和梁的設計問題 § 35. 梁的撓度 § 36. 弯曲时的剪应力

第六章 压杆的穩定(縱向弯曲) 86

講授提綱

§ 37. 关于压杆穩定(縱向弯曲)的概念 § 38. 求临界力的欧拉公式 § 39. 欧拉公式的应用范围和临界应力圖的繪制 § 40. 压杆的穩定校核

第七章 复合抗力	100
----------------	-----

講授提綱

§ 41. 斜弯曲 § 42. 弯曲与拉伸或压缩的联合作用 § 43. 偏心拉压 § 44.
弯曲与扭转的联合作用

附录一 功和功率

附录二 型钢表

附录三 第五章习题 17 到习题 21 的答案

第一章 結論和基本概念

講授提綱

§ 1. 材料力学的研究对象

任何結構和机器都应保証强度。

杆件的强度决定于:

- 1) 外力的大小和作用方式;
- 2) 杆件尺寸的大小及其形状;
- 3) 制造杆件的材料的力学性質。

材料力学是以彈性固体作为研究的对象。

一切物体在外力作用下都要改变自己的形状和尺寸, 这叫做变形。变形时物体分子之間就产生了內力。这些內力与外力相平衡。

材料力学是关于机器和結構各部分的强度問題的科学。

§ 2. 彈性变形和残余变形

去掉外力之后, 物体能够恢复原状和尺寸, 在这样外力作用下的变形称为彈性变形。

在外力去掉之后, 不能消失的变形叫做残余变形或塑性变形。

§ 3. 材料力学所要解决的問題

- 1) 杆件設計問題: 根据作用于杆件上的外力来选择杆件各部分的尺寸。
- 2) 驗算杆件尺寸問題: 对于已經設計好的杆件, 檢驗其是否保証强度, 是否安全。
- 3) 决定安全荷重問題: 对于已知尺寸的杆件确定其安全的承載能力。

§ 4. 材料力学和工程实际的关系

材料力学的发展是和工程实际的要求分不开的。

建筑、結構、机械方面的发展提出了許多有关强度的問題, 推进了材料力学的发展。

§ 5. 祖国学者的貢獻

我們的祖先在生产技术方面表现出偉大的創造能力。

在机械方面: 車輪, 齒輪的利用; 水車, 織机的出現。

在建筑方面: 木結構, 碑石結構。

在桥梁方面: 石拱桥, 悬索桥。

我国近百年来科学之所以落后是由于半殖民地半封建社会造成的，是因为生产关系束縛了生产力的原故。

解放后，我国科学事业飞速发展是因为生产关系的根本改变，生产力可以无限地提高。解放思想，破除迷信和全党全民办工业是使我国科学技术迈入世界先进水平的根本保障。

§ 6. 载荷作用的各种情形

按性質分为：

1) 静载荷：载荷的大小和方向都不变，是平稳地加到结构上去。

2) 动载荷：

甲) 撞击载荷，如木樁在打樁时所受的载荷；

乙) 突加载荷；

丙) 重复载荷，载荷具有周期性地重复性質，如蒸汽机中活塞杆所受的载荷。

按形式分为：

1) 集中载荷；

2) 分布载荷。

§ 7. 应力和截面法

物体受力后，任一截面的单位面积上所作用的內力的大小叫做应力。

用截面法求某一截面上的內力(見第 1 圖)。

自 BC 截面切开，考虑左段 I ，在截面 BC 上作用着去掉部分 II 所給的拉应力 σ ，写出 I 的平衡：

$$P = \sigma \times F, \quad \therefore \sigma = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

其中 F ——橫截面面积。 σ 和截面相垂直，叫做法向应力。

考虑右段 II 的平衡，同样可得 $\sigma = \frac{P}{F}$ 。

应力的单位是 公斤/公分² 或 公斤/公厘²，簡写为 kg/cm^2 或 kg/mm^2 。

例如， $P=4000$ 公斤， $F=4$ 公分²，则 $\sigma = \frac{4000}{4} = 100$ 公斤/公分²。

用截面法求 BC 截面上的应力(見第 2 圖)，考虑 I 的平衡得到：

$$P = \tau \times F_{\text{剪}},$$

$$\therefore \tau = \frac{P}{F_{\text{剪}}}. \quad (2)$$

应力 τ 的方向就在截面 BC 之內，叫做切向应力。

§ 8. 基本受力状态

1) 拉伸：繩索，皮带，拉杆(見第 3 圖)。

2) 压縮：立柱，支撐(見第 4 圖)。

- 3) 剪切: 鉚釘, 銷子, 螺栓(見第5, 6圖)。
- 4) 扭轉: 傳動軸, 螺絲錐, 鑽子(見第7圖)。
- 5) 彎曲: 桥梁, 房梁, 杠杆, 車軸(見第8圖)。

§ 1. 材料力学的研究对象

任何結構和机器, 都應該具有强度。結構和机器的一切部分, 在一定期間內不出現任何破坏的征象并且保持着原状, 这样的結構和机器就叫做坚强的。坚强的結構和机器各部分的尺寸, 只能有很小的改变。假如机器或机械的零件, 在工作时大量伸長、或縮短、或比較剧烈地改变自己的形状和尺寸, 这样就会破坏个别零件以及整个机器运动的正确性, 甚至可能引起损坏。

結構和机器各部分的强度, 依下列因素决定:

- 1) 依外力作用的数量和方式;
- 2) 依承担外力的杆件的尺寸的大小;
- 3) 依制成杆件的材料的力学性質。

这三个因素, 在自己彼此之間有一定的关系。或是减小外力, 或是增大杆件尺寸, 或是采用具有高强度的材料(即是考虑材料的物理性質), 都可以保证强度。

在理論力学中, 并不考虑到材料的物理性質; 那里只把絕對剛体来研究, 即是說: 外力作用于剛体上时, 它的形状和尺寸并不变化。实际上, 一切物体, 在外力作用下都要變更自己的形状和自己的尺寸(不过这种改变極其微小, 用肉眼不能直接察觉出, 須要借助于精密的仪器来准确量出); 这个现象叫做变形。这样在材料力学里是以彈性固体作为研究的对象。

变形时, 物体分子之間就發生內力。这种內力的大小直接影响着物体的破坏, 而物体內部內力的大小又和它所承受的外力有关。在坚强的結構或机器中, 內力应与外力相平衡。

研究解决作用于物体的外力、与物体抵抗这些外力作用的能

力、两者之間的关系問題的科學，叫做材料力學。這門科學的主要目的是告訴工程師們應該怎樣決定建筑物和機器各部分的尺寸，使它們能夠堅固耐用。簡單說來，材料力學就是一門關於機器和結構各部分的強度問題的科學。

材料力學這一門科學，一方面是利用力學的結論，從理論上構成變形固體和作用在該物體上的外力的平衡；一方面是利用實驗來研究變形固體的物理性質，並且檢查和驗證所得的理論的可靠性。

§ 2. 彈性變形和殘余變形

外力作用於物體的結果，就是引起物體本身形狀發生變化（這些變化是很小的，以後我們要用具體例子來說明這一點）。在一種情形下，外力停止作用之後，由於其中有彈性內力的作用，物體仍回到原來的形狀；但在另一情形下，由於變形遺留下來，物體就不能恢復原狀。例如給彈簧加一對拉力，如果拉力不是過大的話，在拉力作用下彈簧的變形表現為伸長。如果拉力加得足夠大，在拉力雖然撤掉時，而彈簧並不能恢復到最初的原長，也就是說有一部分變形遺留下來。這樣看來，是否有不能消失的變形（在外力撤去後）須看外力的大小而定。

引起變形的外力撤去之後，物體能夠恢復原狀和尺寸，在這樣外力作用下的變形稱為彈性變形，也就是指的去掉外力能夠恢復的變形。如果外力作用撤掉之後，不能消失的變形叫做殘余變形或塑性變形。

§ 3. 材料力學所要解決的問題

材料力學所要解決的全部問題可以歸納為三類：

1) 結構設計問題

已知：（甲）作用於結構上的外力（指外力的大小和其作用性

質)，(乙)材料及其性質，(丙)該結構各別部分的形狀。

要求決定結構每一部分一切主要尺寸，保證必要的強度、結構的各部分及其整個工作的安全、以及不使有發生殘余變形的可能。

2) 驗算結構尺寸問題(結構校核計算)

已知: (甲)外力，(乙)材料及其性質，(丙)結構零件的形狀及尺寸。

要求決定結構是否安全。

3) 決定安全荷重問題

已知: (甲)材料及其性質，(乙)結構形狀及尺寸。

要求決定容許荷重的數值，亦即在該荷重作用下，結構應有足夠的安全性，有必要的強度，沒有殘余變形。

解決材料力學的一切主要問題，都要用表示整個結構及其每個個別零件的強度條件來進行。

§ 4. 材料力學和工程實際的關係

在古代和中世紀的時候，幾乎沒有按強度來計算結構各部分的。在選擇結構各部分的尺寸時就按着現有的結構形式來做。結構的形式慢慢地變化。某一個結構是堅強的，就被用來作為以後工程的範例。

材料力學作為一門科學來說，是從十七世紀前半期開始的。當時歐洲的封建社會解體，商業資本開始發達，國際間航海貿易發展，采礦冶金工業也在萌芽，這個時期的經濟情況提出了一系列新的技術問題；如改變船舶構造以增大船隻噸位，改造及新建內河交通設備(包括修建運河及水閘)等問題。這些技術問題是不能靠單純抄襲舊有的船隻及建築物結構來解決的，因而必須研究新的計算方法，根據結構物所受的外力及材料的強度來決定構件的形狀及尺寸。這樣就由於生產實踐的要求而促使了材料力學的研究。

材料力学的發展，与建筑和机械制造等生产技术的發展是分不开的，并且是互相依賴着的。生产力的提高促使材料力学的發展，反轉过来，材料力学的發达又促进机械和結構設計的改进。

由于近代工业的飞速發展，使得材料力学也很快地在發展着。随着科学技术的进步，提出了很多重要的問題，如在高温、高速、高压等复杂情况下的力学問題，动荷重問題以及在原子能利用中所遇到的材料抗力問題，这些問題已逐步地获得了一些解决。不难想象，今后在生产技术上仍将不断地出現許多新問題，在解决这些問題中，常須寻求新的材料，研究出新的計算方法。这样，材料力学和生产是在相互依賴下前进，而生产的發展更是起着主导作用。

§ 5. 祖国学者的貢獻

我們祖国的文化具有很悠久的历史；在很早的年代中，我們的祖先就在生产技术上表现出偉大的創造能力，并获得了许多光輝的成就，这些發現創造，在世界文化史上占着很重要的地位。

在机械方面，約在三千五百年前我們的祖先就已經采用有輻条的車輪（“周礼考工記”有所記載）。在汉朝（公元一世紀）已開始使用鉄軸，三国时代（公元 253 年）的大机械科学家馬鈞开始运用了齿輪（見汉“雪堂所藏古物圖”），改良翻車（水車）使其功效比普通水車高很多倍，改良織綾机，使之节省時間；他并且曾利用水力作动力。明代大机械工程学家王微著有“諸器圖說”，是我国第一部有关机械工程的書籍。

在建筑方面，远在殷代已經用木結構建造不承重的房屋。我国古代在建筑上是有很大成就的：如河北省薊县独乐寺的观音閣，建于公元 984 年，山西应县的本塔建于辽代（十一世紀），高达 66 公尺。宋朝偉大的建筑学家李明仲總結了两千年建筑方面的經驗写出了“营造法式”一書，共 36 卷。象这样完备的建筑技术著作是

世界上最早的一部。

在桥梁方面，我們的祖先很早就發明了拱桥的形式，充分的运用了石料的抗压能力。例如河北省赵县的赵州桥是由隋朝著名工匠李春(公元 581—618 年)建造的，跨度达 37 公尺，是我国古代最大的單孔石拱桥。我們的祖先很早就創造了悬索桥，如瀘定的鉄索桥，建于清朝康熙年間(公元 1696 年，长达 100 公尺。四川省灌县的竹索桥长达 320 公尺。

造船工程在我国也有很大的發展。例如第六世紀时隋朝楊素在永安造了高百尺的大船，可乘 800 人。明朝(14 世紀)，郑和出使西洋时，所造的船已經是長 44 丈，寬 18 尺的大船了。

总的說来，在十四世紀以前，我們祖先的力学水平一直是在当时欧洲之上的。但是由于長期的封建統治使得生产力的提高受到了限制，也限制了科学技术的發展。当时材料力学还是以經驗成分为主，在十四世紀以后，欧洲由于社会經濟基础的变革而取得較大的进步。近百年来我国又受到帝国主义的侵略，淪为半殖民地半封建的地位，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，由于生产关系的改变，使生产力可以无限制地發展，这样就推动了我国科学事业的前进。在党的总路綫公布之后，在全国工农业大跃进的形势下，科学技术也以很快的速度發展着。在解放思想、破除迷信、全党全民办工业的情况下，使我国科学技术很快就达到世界的先进水平。党的领导是我国科学事业發展的唯一保障。

§ 6. 荷重作用的各种情形

按照荷重作用的性質不同，可分为靜荷重和动荷重。

1. 靜荷重是指荷重不变而平靜地加到結構上去，其方向和大、小全不改变。土木建筑和水利建筑中，大部分荷重都是这样的，在

这时材料的工作条件是最有利的。

2. 动荷重可以分为三类:

(甲)極短瞬間作用于結構上的撞击荷重,例如,打樁时打樁机的樁錘对于樁的作用。

(乙)立刻将其全部数量傳到結構上的突加荷重,例如,蒸汽機車通过桥梁时車輪的压力。

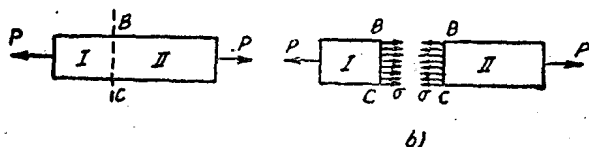
(丙)作用于結構杆件上的周期重复荷重,按照一定周期規律多次重复,例如,蒸汽机中的活塞杆,时而处于拉力荷重的作用,时而处于压力荷重作用下。

按照形式来看,荷重可分为两种,即集中荷重和分布荷重。集中荷重是指加在物体上的某一点的力而言,分布荷重是指加于物体一定面积上的一遍力而言(关于分布荷重在梁的弯曲一章中再举例介紹)。

§ 7. 应力和截面法

当外力作用于物体时,此物体中每个小部分均發生有內力。假想在物体內部某一小面积上,例如为 1 平方公厘 (mm^2) 或 1 平方公分 (cm^2), 求出作用于这一小块面积上的內力。这个通过物体某一截面上單位面积中的內力的数值叫作材料的应力。

假想一个等截面的直杆, 被沿着杆軸綫(即杆的中心綫)的两个大小相等而方向相反的力 P 和 P 所拉伸(第 1 圖, a 圖)。在这两个力的作用下这杆的内部就發生了平衡外力的內力。假想在垂直于杆軸的平面 BC 把杆切成两半。則这杆的左部分 I 的平衡只



第 1 圖

能在这种情形下:即在截面 BC 上有一些拉力在作用着,并且这些力的合力的数值与 P 相等,而方向与 P 相反。假若截面的面积是 F ,则应力的数值是

$$\sigma = \frac{P}{F}. \quad (1)$$

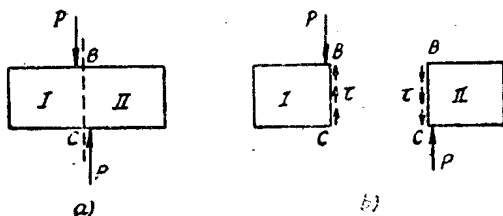
如果研究这杆的右部分 II 的平衡,则可以发现部分 I 对于部分 II 的作用,即在部分 II 的左方截面上引起同样数值的 σ ,但这些应力的方向则是自截面 BC 上指向左方的。

如果采用公斤作为力的单位,用平方公分作为面积的单位,则应力的单位是公斤/公分²(简称为 kg/cm^2),有时也用公斤/公厘²(简称为 kg/mm^2)来表示。

用这种解法去求平衡物体的某一截面上的内力的方法叫作截面法。

在上述例子中,应力的方向是与杆(物体)的横截面相垂直的。这种方向的应力叫作法向应力,其符号用希腊字母 σ 来代表。

我们再考虑一个杆件承受两个 P , P 力的剪切作用,上面的 P 力作用在横截面 BC 的偏左方(须要注意偏离的距离极其微小),下面的 P 力作用在 BC 截面的偏右方。这样这个杆件就有沿着 BC 横截面被剪断的可能(参看第 2 图)。我们假想自 BC 平面把杆件分开成两部分 I 和 II 。这杆的左部分 I 的平衡只能在这样情形下,即是在截面 BC 上有一些切向内力作用着,这些力的合力的数值等于 P 而其方向和向下的 P 力相反。假设受剪面的面积是 $F_{\text{剪}}$,



第 2 图

則應力的數值是

$$\tau = \frac{P}{F_{剪}} \quad (2)$$

在右部分 II 的截斷面上也作用着同樣大小的應力 τ ，只不過它的箭頭是向下的。

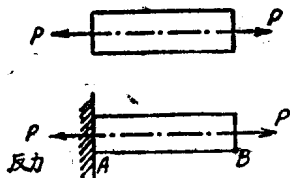
這些內力是位於 BC 這個截面內的，和上面第 1 圖的情形不同，在一個受拉的杆中，橫截面上的應力 σ 是和截面相垂直。所以在第二圖中橫截面上的應力叫做切向應力，就是說這種應力的方向是位於截面之內的。切向應力用希臘字母 τ 來表示。

§ 8. 基本受力狀態

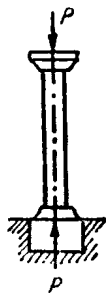
材料力學研究的物體主要是杆。所謂杆是指矩形或圓柱形的物體，其長度較橫截面尺寸大得很多。具有直線形軸線的杆稱為直杆，垂直於軸線的任何截面，叫做橫截面。

直杆的基本受力形式有下列五種：

1) 拉伸 兩個大小相等而方向相反的外力沿著杆的軸線作用時，就引起直杆拉伸(第 3 圖)，作用的結果是使杆件伸長。假如杆件的一端系固定的，則一個沿杆件軸線作用的外力也可以產生同樣的情形，這是因為在固定端有反作用力發生的結果。在拉力過大時，物體可能沿橫截面被拉斷。



第 3 圖



第 4 圖

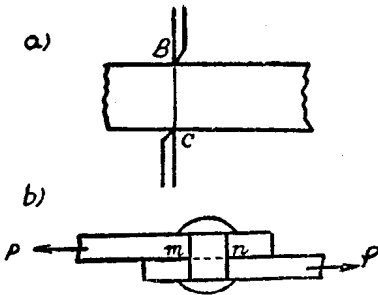
連系螺栓，吊車用的繩索，傳送皮帶，各種拉杆，桁架中受拉杆

件等都承受着拉伸作用。

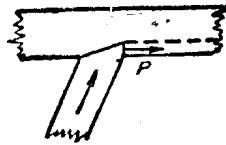
2) 压缩 两个大小相等方向相反的力沿着杆轴作用到杆端,但是方向是相对的,这时对于杆件产生压缩(第4圖),其結果使杆件縮短。当物体强度不够时,物体可能被压碎。

基础,不高的支架,較短的立柱等都承受着压缩作用。

3) 剪切 两个方向相反而彼此極为接近的平行力 P ,作用到杆件上(如第5圖),促使杆件的一部分对于另一部分,在两力之間發生平行滑錯的作用。如第5圖a的情形有沿 BC 截面錯开(也就是剪断)的趋势,在第5圖b的鉚釘有沿 mn 面被剪断的可能。当杆件强度不够时,就沿着受剪面被剪断。在木材的連結中(第6圖),由于平行于木紋的力的作用也可能沿着木紋方向發生剪切。



第 5 圖



第 6 圖

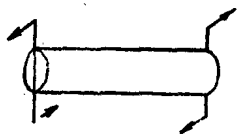
鉚釘, 梢子, 楔子, 螺栓螺紋等都承受着剪切的作用。

4) 扭轉 在直杆的两端各作用着一个力偶,这两个力偶的力偶矩相同但轉向相反,这时杆件即遭受着扭轉作用(第7圖)。当杆件强度不足时,杆件可能产生特种破坏,即扭断。

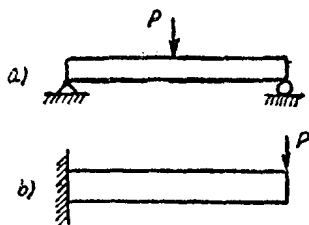
傳动軸, 鑽子, 螺絲錐等都承受着扭轉作用。

5) 弯曲 垂直于杆軸的力的作用可使杆件产生横向弯曲。例如第8圖a支于两个支座上的杆承受横向力 P 的作用杆即产生弯

曲。又如第 8 圖 b 所示的一端固定于基础上，一端悬空的杆，在悬空端 P 力的作用下，也将产生弯曲。



第 7 圖



第 8 圖

复 習 題

1. 在理論力學中所研究的物體，與在材料力學中所研究的物體有什麼區別？
2. 什麼叫作變形？
3. 什麼力叫作內力？
4. 材料力學要解決什麼問題？
5. 什麼叫作應力？用什麼單位來計算？下列兩個應力那一個大一些：1000 公斤/公分²，10 公斤/公厘²。
6. 何謂法向應力和切向應力？
7. 彈性變形和殘余變形的區別何在？
8. 試述載荷的分類，每類各有何特性？
9. 列舉基本受力狀態。
10. “截面法”是什麼？

第二章 直杆的簡單拉伸與壓縮

講授提綱

§ 9. 直杆在簡單拉伸(或壓縮)時的應力

拉力通過杆的軸綫叫簡單拉伸或軸向拉伸(見第 9 圖)。

在拉伸時杆件均勻伸長，橫截面上各處的法向應力都相同，因之

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad (1)$$