

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本

材料力學教程

第一卷 第一分冊

М. М. ФИЛОНЕНКО-БОРОДИЧ 主編
陶 學 文 譯



商務印書館

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本



材 料 力 學 教 程

第一卷 第一分冊

M. M. 費洛甯軻—鮑羅第契主編
陶 學 文 譯

商 務 印 書 館



本書係根據蘇聯技術理論書籍出版社(Государственное издательство технико—теоретической литературы)出版的費洛甯軻—鮑羅第契(Н. И. Филоненко—Бородич)主編,費洛甯軻—鮑羅第契(Н. И. Филоненко—Бородич)、依魯莫夫(С. И. Изюмов)、奧利索夫(Б. А. Олисов)、庫特略采夫(И. Н. Кудрявцев)、馬里金諾夫(Л. И. Мальчинов)合著“材料力學教程”(Курс сопротивления материалов)1949年版第一卷第三版修訂本譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等工業學校教科書。

中譯本第一卷分第一、二兩分冊出版。

材 料 力 學 教 程

第一卷 第一分冊

陶 學 文 譯

★ 版權所有 ★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

中國圖書發行公司 總經售

商 務 印 書 館 上 海 廠 印 刷

(64940A1)

1953年10月初版 版面字數202,000

印數1—20,000 定價¥9,500

上海市書刊出版業營業許可證出○二五號

中央人民政府高等教育部推薦 高等學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國高等學校院系調整後的一項重大工作。在我國高等學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：‘蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯繫實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。’我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地大量翻譯蘇聯高等學校的各科教材，並將繼續向全國推薦，作為現階段我國高等學校教材的試用本。

我們希望：使用這一試用本及今後由我們繼續推薦的每一種試用本的教師和同學們，特別是各有關教研組的同志們，在教學過程中，對譯本的內容和譯文廣泛地認真地提出修正意見，作為該書再版時的參考。我們並希望各有關教研組在此基礎上逐步加以改進，使能結合中國實際，最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府高等教育部

原 序

本書第一版分兩卷在一九三五和一九三七年出版，作了重要修改和很大補充之後，在一九四〇年末合成一卷出了第二版。

有必要出版符合高等教育部課程大綱的教科書，這要求作者把本書再作新的重大修改，並重新分兩卷出版。但這次分卷的原則是和第一版時不同的。第一卷中的材料，大體上符合於高等教育部的基本課程大綱，是所有高等工業學校所共同必修的。第二卷中將論述較複雜的部分，有的是第二版中就已有的，有的是這次新加的。第二卷的材料打算一方面闡明各種高等工業學校課程大綱中有關各學校專業的那些問題（如高等教育部課程大綱補充部分所規定的），另一方面則將涉及雖然材料力學課程大綱中沒有，但為工程設計和計算的實際中所注意的那些問題。這裏包括薄壁桿理論、塑性理論的初步知識，彈性極限內和塑性區內平衡穩定性的較複雜問題，平板計算，應力集中和其他問題。

如今本書第一冊中所包括的問題，已是第二版的三分之二還多的材料，因而作者不得不竭力設法縮減本書篇幅，辦法是取消了幾個例題，有幾個問題移到了第二冊，最後，詳細修改了問題的論述，使其更加簡潔。

由於如上所述的重新分配了材料，本書結構是集中的。

第一卷中，第一、十一和十二章，以及第三章的第 24—32 節和第八章的第 79 節，為 M. M. 費洛寧軻-鮑羅第契所編，第四、五、六、九和十章，以及第二章的第 19—22 節和第三章的第 33—35 節，為 C. M. 依西莫夫所編，第二章的第 8—18、22 和 23 節和第十一章的第 94 節，為 B. A. 奧利索夫所編，第七和八章為 И. Н. 庫特略采夫所編，Л. И. 馬里金諾夫在編第一冊時未參加。

目 錄

原序

導言	1
----------	---

第一章 材料力學問題・基本概念	5
-----------------------	---

§ 1 力在物體上的作用・變形及變形和力的關係	5
§ 2 外力和內力	7
§ 3 材料力學問題的解題步驟	10
§ 4 當作內力尺度的應力・納維埃應力方面	12
§ 5 線變形和角變形	15
§ 6 力和變形間的聯系・材料的彈性	17
§ 7 桿和細長桿・外力作用的分類	19

第二章 直桿的拉伸和壓縮	21
--------------------	----

§ 8 一般概念・均勻拉伸(壓縮)	21
§ 9 拉伸的基本公式	25
§ 10 材料試驗用的機器和儀器	28
§ 11 拉伸圖	34
§ 12 波桑係數	39
§ 13 拉伸變形能	40
§ 14 塑性材料和脆性材料	42
§ 15 壓縮・承壓	44
§ 16 荷重作用的性質、時間及溫度的影響	46
§ 17 安全係數・許可應力	47
§ 18 最簡單的拉伸和壓縮的強度計算	51
§ 19 靜不定問題	54
§ 20 溫度對靜不定系的影響	57
§ 21 製造不準和裝配的影響	59
§ 22 用測定承載能力的方法以計算靜不定系	60
§ 23 自重作用下的拉伸和壓縮・等強度壓桿	64

第三章 彈性極限內的拉伸和壓縮的進一步研究・剪切	67
--------------------------------	----

§ 24 斜斷面上的應力	67
§ 25 相對剪變形及剪應力虎克定律	71
§ 26 二向的拉壓	75
§ 27 應力橢圓	78
§ 28 莫爾圓	80
§ 29 純剪	81
§ 30 剪應力互等定律	82

§ 31	三向的拉壓	84
§ 32	普遍虎克定律	86
§ 33	剪的實際計算・鉚接	90
§ 34	鉚接計算	97
§ 35	抵撐計算	101
第四章	平面圖形的慣性矩	103
§ 36	定義	103
§ 37	對於平行軸的慣性矩	104
§ 38	慣性主軸的概念	105
§ 39	簡單圖形的慣性矩	106
§ 40	複雜對稱斷面的慣性矩	108
§ 41	旋轉座標軸時慣性矩的變化	110
§ 42	主慣性矩・主軸方向	112
§ 43	慣性半徑・慣性橢圓	115
§ 44	離心慣性矩的計算・例	118
§ 45	求慣性矩的近似分析法和圖解法	120
第五章	直梁的彎曲・梁的外力和斷面內力	123
§ 46	梁支座種類	123
§ 47	支座反力求法	128
§ 48	分佈荷重及其圖・分佈荷重作用下的反力	130
§ 49	梁斷面內力・彎矩和剪力・符號規則	135
§ 50	彎矩圖和剪力圖的分析作法	139
§ 51	彎矩、剪力與荷重強度間的微分關係・危險斷面	144
§ 52	荷重爲力偶的情形	150
§ 53	把力作用疊加的方法作圖	155
§ 54	彎矩圖和剪力圖的圖解作法	158
第六章	直梁的彎曲・應力	163
§ 55	純彎	163
§ 56	梁受彎曲的計算・強度公式・抵抗矩	171
§ 57	梁斷面的合理形狀	175
§ 58	彎曲時的剪應力・導公式・斷面的彎曲	176
§ 59	圓形、工字形斷面內的剪應力分佈	182
§ 60	剪荷重情形	187
§ 61	梁計算中的剪應力校核・內力偶臂	190
§ 62	等強度梁	192
§ 63	平面應力狀態的普遍情形・主應力;最大剪應力	195
§ 64	彎曲時的主應力・主平面方向・應力軌跡	202
§ 65	組合梁計算・鉚接梁和鉚接梁	209
§ 66	不對稱斷面梁的彎曲・彎曲中心	214
§ 67	按承載能力作梁的計算	219

材料力學教程

導 言

工程師設計結構或機器時必須解決很多關係到所設計結構將來工作情形的各種各樣的問題。這些問題緊密聯系着一些物理性質的科學，即物理、化學和力學，這些科學是工程師所必須經常請教的；這些科學提出和解決了許多在技術上起重要作用的問題。隨着技術的發展，這種問題的數目增加極快，而且在很多情形，這些問題已有了最合於工程實際的專門解法。類似的問題組成了新的所謂技術學科或工程學科，從力學、物理和化學裏獨立出來，這主要是在十九世紀。這些學科中主要的有：材料力學、機械原理、結構學（建築力學）、熱工學、電工學、技術化學和其他；這些學科的根源在物理、化學和力學；這些學科的目的及其所用方法，決定於技術的要求。技術的進步直接決定技術學科的進步。物理、化學和力學通過技術學科而深入技術，幫助技術發展，技術則又反過來通過技術學科而深入一般理論學科，向這些學科提出新的問題，且常給這些學科中新的方法的發展以刺激。

在那些用到力學的技術學科中，很自然地應用着或多或少的成熟的數學工具。於是最抽象的科學之一的數學也被吸引進了那種存在於理論科學和應用科學間的緊密聯系和互相依賴性中。

正是在這種互相依賴性上，才可能作出對於材料力學的最完全的評述。

材料力學研究結構和機器的各部分的強度的計算。既然這裏所指的是實際的物體，可見必須考慮物體的物理性質，因而要引用若干的物理知識。結構或機器的任一部分受着其他部分的作用；這種作用必須

用力的形式表示,就是說,必須用理論力學這工具。

實際的物體受力作用,多少要相當大的改變形狀(變形),物體的變形和所受力有密切的互相關聯;這種關聯反映了物體受力作用時的極重要的物理現象;這種關聯是材料力學中不可避免的。因此這裏必須引用彈性理論的方法和工具,彈性理論是一門發生在十九世紀初,詳盡地研究彈性體和塑性體內這種關聯的科學。

塑性材料受力時變形的理論發生在十九世紀,但是到二十世紀,特別是在最近幾年,才得到了大的發展。現在已經獨立出來,叫作“塑性理論”。蘇聯學者作了很多工作,發展了塑性理論,給了它完成的形式,使可解決工程上重要問題^①。

材料力學中爲了使問題解決較簡便而用的一些假定和簡化,根據的是彈性理論的較精確的解;這些解,由於太複雜,往往不能在材料力學教程中講述,因而就只限於引用;在類似這種情形,往往不加證明地引用那些本身對直接的實際應用很重要的彈性理論研究的結果。然而日益增長着的對工程計算的完備和深度方面的要求,使彈性理論的方法得到了進一步用在材料力學的權利,這種問題在本書的第二冊中研究。

一切剛才所說的,主要地是評述了材料力學的理論部分;它的實驗部分的意義,假使不是高於,至少也不低於理論部分的意義。材料力學的實驗部分的目的是:

(一)研究材料受力作用而破壞的現象,確定這時候的溫度和化學因素的影響;

(二)由試驗得到建立強度計算理論所必需的材料特性;

(三)檢驗根據理論作出的強度計算和機器及結構各部分所發生的實際現象符合的程度。

像在物理、化學和一些別的科學中一樣,實驗是着手解決提出的理

① 這些工作往後在本書相當的地方再指出。

論問題所必需，也是完成這問題的解所必需；這是得到問題解所根據的物理定律所需要的，也是檢驗所得到的問題解所需要的，問題解總是有些近似的，因為理論不可能同時並且足夠深刻的考慮實際物理受力作用時在內部發生的全部複雜現象。理論只是在它恰當的考慮了主要的，決定所研究現象的一切，拋開了使問題變複雜而對結果沒有本質影響的一切時，纔能指望成功和有實際應用。實驗應該決定理論是成功的或不成功的。

由上所述，可見材料力學的實驗和理論部分之間緊密聯系到什麼程度；理論沒有實驗就不能建立；反過來理論不提出清楚的問題，不指示應該在什麼方向期待回答，不指示什麼應該在實驗設備中務必要有，以及什麼要取消，或什麼要儘可能避免，那麼實驗就會失去它的目的性和明瞭性。

打下材料力學的基礎的最先幾個實驗是在十七和十八世紀做的，做這些實驗的是著名的物理學家：伽里略、虎克、馬里奧特、杜加米里、庫侖等。但第一次相當大規模的材料性質的試驗是十九世紀初特里德高里特和特里福特做的。

十九世紀機器製造和鐵路建設的發展對於機器和結構各部分計算的理論以及對和這相聯的金屬及其他的建築材料的試驗都提出了很大的要求。這一切結果就是材料試驗專門實驗室或“機械實驗室”^①的建立。現在這種實驗室網在蘇聯和在外國都很發展，這種實驗室有很多種極不相同和極複雜的機器，可在試件上加幾公斤，有時到二千噸（這大約是二十輛重機車的重量）的荷重，又有極精確的儀器，可量試件尺寸的微小變化（小於 1 米克龍 = 0.001 mm），機械實驗室工作的結果已有了研究材料性質和材料受力作用時動作的大量文獻。本書主要講述計算問題，實驗方面不多，只講述最初研究這門課所必需的最重要的知

^① 這些實驗室的稱為機械的，是區別於化學實驗室，那裏也是研究材料，但是從材料化學成份的觀點研究的。

識。但是應該記得，一個工程師，以後發展和運用這裏所得知識到實際中去，必需使自己對所用材料的性質和所設計結構有進一步的知識，以避免造成引起事故的錯誤，以避免那怕只是使結構和機器的工作得不好的錯誤。

和材料的結構和化學成份相關聯的材料物理性質的研究，已成為科學中的廣大而專門的一個區域。這裏所做研究的基本目的是在增加工業用材料的強度和耐力，達到更大的經濟。材料的機械性質在本書第二冊中有較詳細的說明。

結束了這材料力學研究對象的介紹，在下一(第一)章中，我們就來說明解決那些在判斷結構和機器各部分強度時所發生問題的方法。

第一章 材料力學問題 基本概念

§ 1 力在物體上的作用 · 變形及變形和力的關係

(一)一切物體受力作用時，都少許改變形狀即變形。例如，垂直桿受掛在下面的重物作用而伸長，擱在支座上的梁，由於自重和加在梁上的荷重而彎曲。

變形是幾何性的概念；從這方面去研究變形，可以建立變形的幾何理論。真的，可以研究有關線、幾何圖形和面的形狀變化各種問題；這類問題在近世幾何中起很大作用。

但在研究力在物理剛體上的作用時，單是這現象的一個幾何方面是不夠的：變形的性質和大小既和作用在物體上的力有關，又和這物體本身的物理性質有關。

如果我們取兩根尺寸完全相同的桿（圖 1a 和 b），掛相同的重量 P ，那麼一般說來，兩桿的伸長是不相同的；伸長和桿的材料有關。例如，設有兩桿：鋼和橡皮的，各長 1 公尺，每根的斷面積 1 平方公分；桿下掛 1 公斤重物，於是橡皮桿伸長約 20 公厘，而鋼最多伸長 $1/20000$ 公厘。由此可見，物體變形是物理現象，和這物體的物理性質有密切關係的。

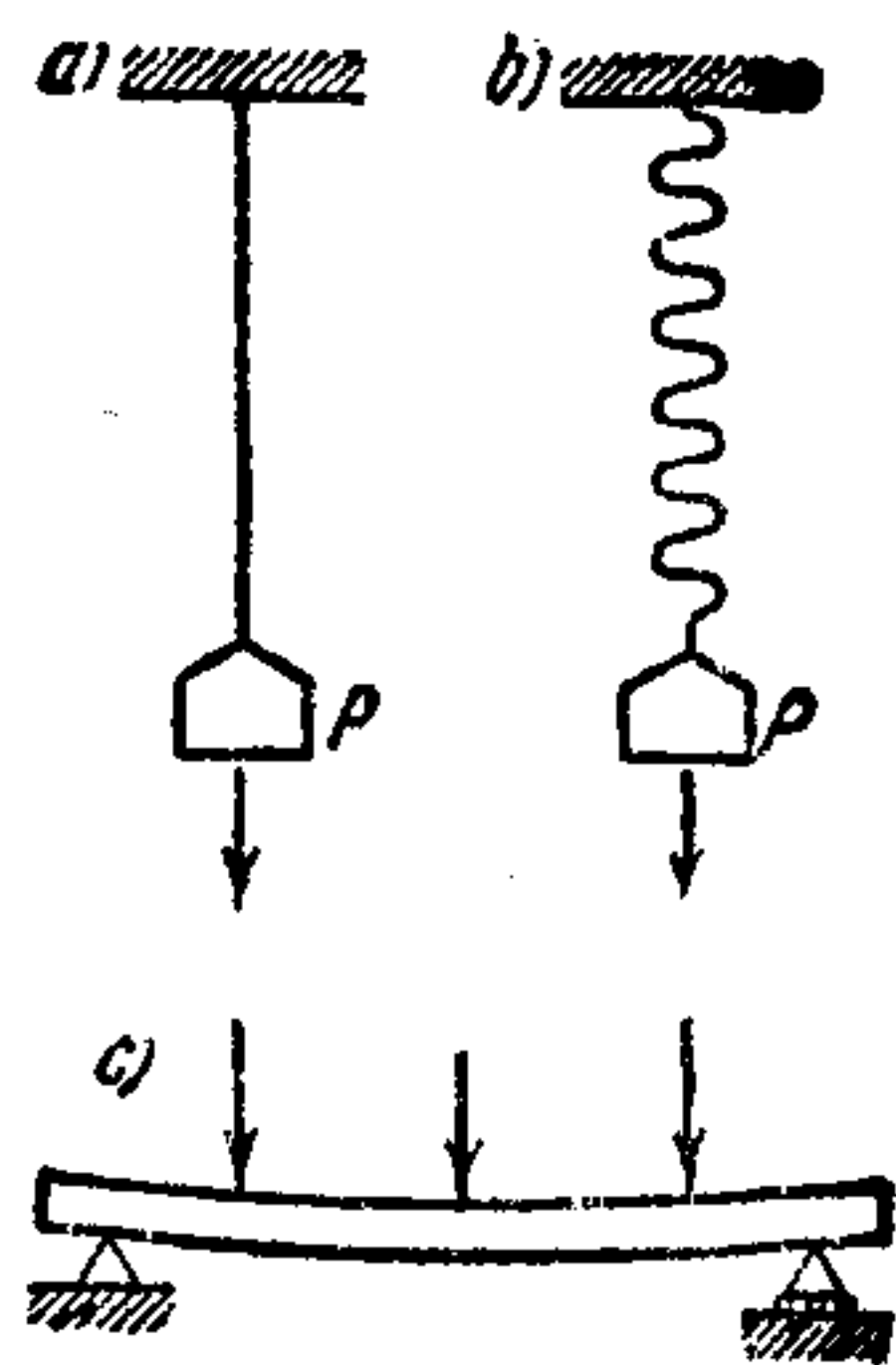


圖 1

建築用的材料的物理性質，以後要較詳細的研究的；這裏只指出許多材料都有某種程度的彈性，就是材料受力作用時，稍變形，在力取消時，就回到原先的形狀和大小。彈性是材料的極重要的性質，這性質在建築和機械製造中廣泛利用着。

許多物體就是受很大力作用時，變形也極微小；這就有可能在許多關係到這樣的物體的問題中，把變形略去不計，而把物體看作是絕對剛

體；研究絕對剛體的平衡和運動的理論力學中，解決的問題，就是這種問題。

這就十分清楚，絕對剛體這概念是一個抽象的概念，在變形不大的情形用來簡化問題的解決的。那時在許多情形中，變形是可以略去不計的。例如，靜力學中解決梁（圖 1 c）在支座上的壓力問題，梁上放重物時，梁稍彎曲，因此梁上加荷重的那些點相對於支座點的位置稍有改變；但如果梁的彎曲很小，像普通實際情形中那樣，那麼所說的力位置的改變極微小，就可以略去不計，就是說，這樣的梁在求反力時就可以看作是絕對剛體。

（二）但是許多非常重要的實際問題，不先研究物體的變形，就不能澈底研究作用在這些物體上的力，這種問題叫作靜不定問題。例如，設剛才講起的梁（圖 1 c），若不是有二個，而是三個支座，用靜力學方法，就不可能求出這梁在支座上的壓力，因為靜力學給出的方程式數目不夠；應用這些方程式，得不到支座反力的確定值。

其實，要解決這問題，就該把荷重和梁的重量的合力分解為一個平面內的三個平行力。大家從靜力學知道，這可以有無數個作法。然而還是不能說明到底那一個分解是實際發生的。

不難了解，這時候各支座壓力的分配和梁本身的變形有關。設梁的中間支座（圖 2 a）比端支座稍低，如果梁是彈性的，但足夠“剛硬”，

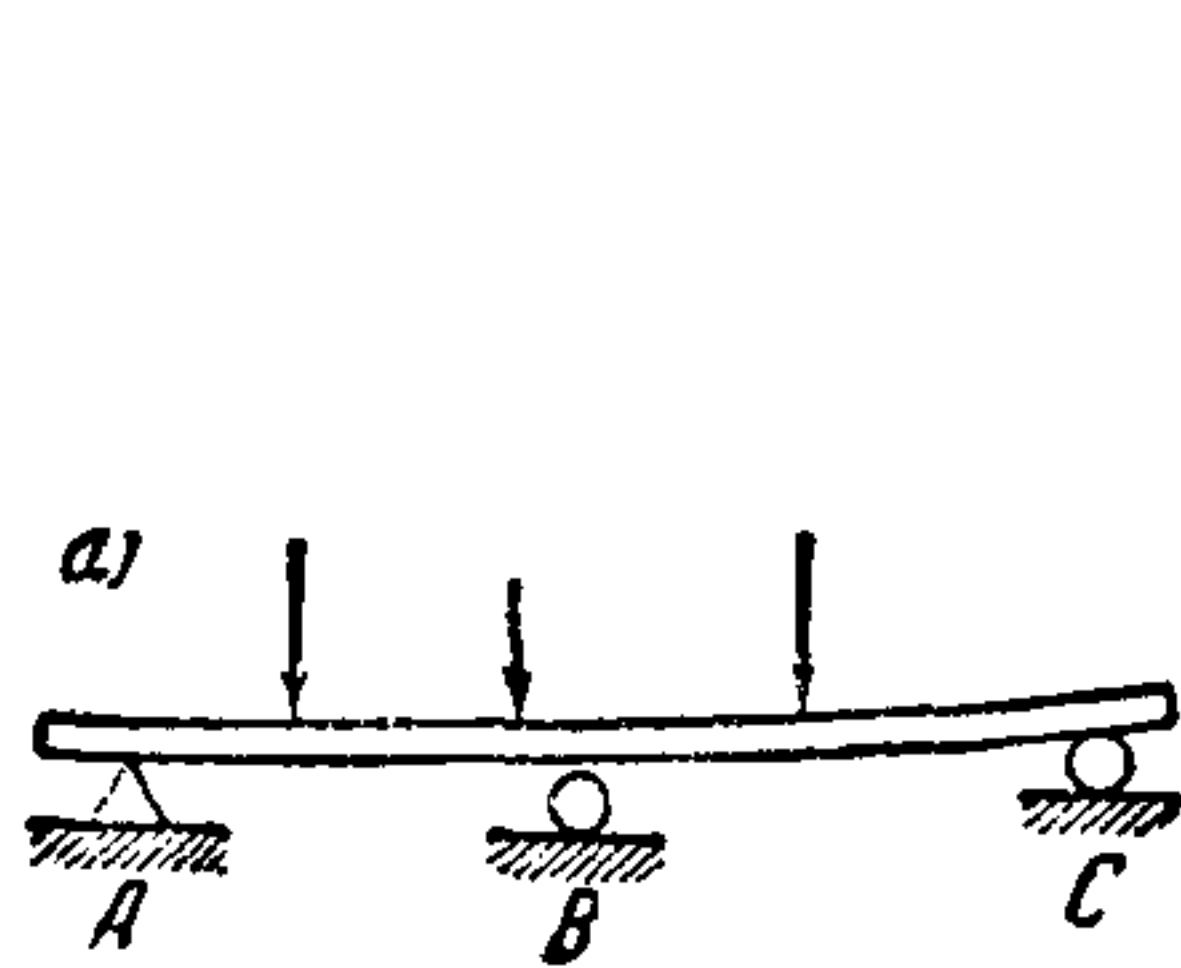


圖 2

由於自重和荷重所生的下垂度不大，可能仍沒碰到中間支座上，而全部壓力分配在端支座 A 和 C；而如果梁較軟，那麼下垂之後，也就落到中間支座上了；這時候壓力就分配在所有三個支座上。顯然，這分配和梁的剛度有關，就是

說，和梁受一定荷重時產生大或小的垂度的能力有關。

由上所述，顯然有些問題中爲求各力的大小（這是今後必需解決的），往往不得不先研究受這些力作用的物體的變形，雖然這不是被解決的問題中所直接關心的。

這關係到極大多數的問題，因此，建立結構的強度和穩定性理論時，必須像以上分析的例子那樣，幾乎在一切關係到力在物體上作用的，我們往後將研究的問題中，研究如下的三個方面：

（1）靜力學給出的作用在物體上的各力間的關係（問題的靜力方面）。

（2）變形的幾何性質（問題的幾何方面）。

（3）聯系力和變形的，即給出兩者互相間關係的物理定律（問題的物理方面）。

這三個方面決定了一切類似性質的問題所共同的方法。

§ 2 外力和內力

（一）我們稍仔細的講一下材料力學問題的靜力方面。

以前討論中，我們說到作用在物體上的力；今後這些力應分爲兩類：（甲）外力；（乙）內力。

外力指那些加在物體上的力，是由別의物體的作用產生的；外力又可分爲：

（1）表面力；名稱本身就指出，這些力是加在物體表面的；例如梁上的荷重，梁支座反力（加在梁上），掛在彈簧下的重物；

（2）體積力或質量力，一般說來，即加在物體內所有點的力；例如萬有引力，以及對於地球面上的物體——物體重量；這裏也包括慣性力，迴轉物體（例如飛輪、蒸氣透平的輪葉）中的離心力。

內力指物體一部分對別部分作用引起的力。甚至在一物體不受任何外力時，物體內還是有內力的；正是內力維持了物體存在的樣子。在這物體上加外力，會引起內力的一些改變；換句話說，由於在物體上加

了外力，物體內就發生了附加的內力。往後我們注意的主要就是這些附加內力，因為和物體對外力作用的抵抗力，因而也就是和強度問題有緊密聯系的，正是這些附加內力。

內力的性質和物體變形現象還在十九世紀就用物質構造的分子理論說明了。大家知道，現代物理在原子構造的研究方面有驚人的成就；由試驗發現了巨大的原子內力；物體受外力作用時變形的理論充分的改善了，但這理論利用到作實際應用和結論，就顯得非常複雜。因此在彈性理論、塑性理論和材料力學中到現在為止根據的都是物體密實結構的假設，依這假設，物體整個幾何容積假定都充滿了物質。因為由這假設可建立和實驗很相符合的理論，我們就把它作為一個有用的假設，不是用來說明在物體內部進行的現象的本質，而是用來簡化必需的實用性質的結論。

但是應用這個有用的假設，必須注意使材料力學在論證上不脫離它借用了方法和結論的一般力學。因此我們應該，第一、論證密實結構物體中的內力的存在，第二、作出方便實用的方法，把這些力揭示出來，且定出大小，即作出方便實用的方法，把內力轉為外力，因為我們對外力的概念較明瞭，對外力的處理也較習慣。

(二)爲了把這二個問題都解決，我們從牛頓第三定律出發^①。這定律的全部意義簡短歸結為如下諸原理：

- (1)作用在任一個物體上的力的原因，只可能也是一個物體。
- (2)只有當物體不少於兩個時才可能論證力的作用。
- (3)兩物體互相的作用是相等而且相反的。

① 我們回憶一下作為全部力學基礎的牛頓三定律的陳述：

(1)任何物體，如果沒有作用力迫使它改變狀態，將處在靜止或等速運動狀態。

(2)運動的改變和作用力大小成比例，而方向沿力的方向。

(3)有作用就總有相等而相反的反作用或兩物體互相間的作用總是相等而方向直接相反的。

其中第二條向我們提出了問題：怎樣論證給定的一個物體內部力的存在？

這問題的解決用如下的一般方法，這是一切有關內力的結論的基礎：用假想平面（或一般的任意面）把物體分成兩部分 A 和 B ；我們根據牛頓第三定律，可把 B 部分在 A 部分上的作用拿力代替； A 部分在 B 部分上的作用應該用同樣大小，但是相反方向的力代替（圖 3）。

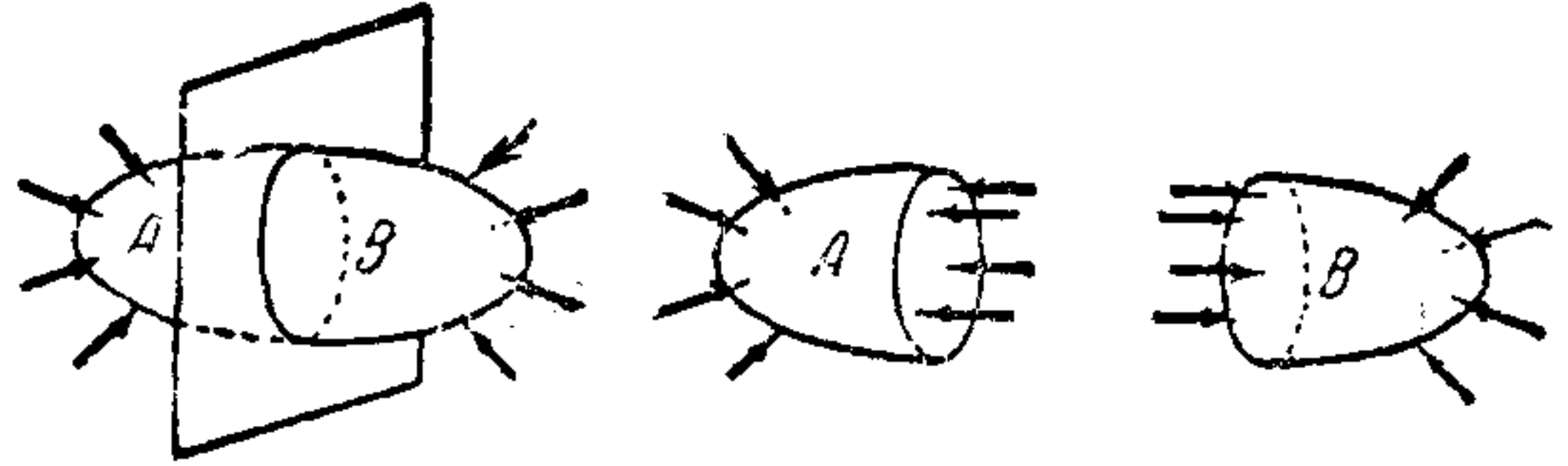


圖 3

我們看到這方法可以，第一、論證給定的一

個物體內部的力的存在，即指出這些力存在的原因，第二、把這些力轉成普通外力。例如，研究物體部分 A ，我們發現在它表面上，一方面加有給定的那些力，別方面（在斷面平面內）加有代替移去部分 B 在留下部分 A 上的作用的力。

這種研究的方法在材料力學中起非常重要的作用，因為就實質說，這就引到了材料力學的基本方法——斷面法。斷面法不只揭示出物體內力，而且將繼續發展，指出確定內力大小的方法。其實，設給定一物體 AB （圖 3）在外力作用下，處於平衡狀態。因為我們所用的揭示內力的方法不應該改變物體 AB 的狀態，所以物體在作斷面後的每一部分，在移去別部分而別部分的作用拿力代替時，也應在全部加在這部分物體上的力的作用下保持平衡。於是我們揭示的在斷面平面中的作用在譬如說部分 A 上的內力，應該和加在部分 A 上的外力相平衡；這就容許我們對這物體部分（ A 或 B ）應用靜力平衡條件，得到六個方程，其中既包含了已知外力也包含了未知內力。

$$\sum X = 0; \quad \sum M_x = 0;$$

$$\sum Y = 0; \quad \sum M_y = 0;$$

$$\sum Z = 0; \quad \sum M_z = 0。$$

有些實際很重要的問題，能簡化到這種程度，只要一組靜力學方程式，就可定出原來是未知的內力；這就是靜定問題。

§ 3 材料力學問題的解題步驟

上面已經指出過，在大多數情形，單是一組靜力學方程式，是不足以求內力的，作為補充，應引進新的方程式，考慮物體（或結構）的變形條件，並藉物理定律把這些變形和力聯繫起來。

於是，解決那些需要揭示和確定內力的問題，在一般情形，有下列步驟：

- (1) 用斷面把研究的物體分成二部分，有時分成二個以上的部分。
- (2) 留下一部分，移去所有別的部分。
- (3) 把移去部分在留下部分上的作用拿力代替。
- (4) 立留下部分的平衡方程式。

(5) 變形的幾何研究結果應得到幾個聯系各變形的方程式；這些方程式簡稱變形的幾何方程。

(6) 用聯系變形和力的物理定律；這樣可把得到的變形幾何方程用未知內力來表示，把這些方程叫作變形的物理方程。可以證明，如物體變形的物理性質經充分研究，而相當的方程和靜力學方程合在一起，方程總數就會等於未知內力的數目，而未知內力可以求出。

舉如下簡單例來逐步考察剛才指出的解題過程。

重物 P 掛在彈簧下面，且由平台托住（圖 2b）。已知彈簧拉伸的規律：

$$X = kx, \quad (1.1)$$

式中 X —彈簧拉力； x —彈簧伸長值； k —常數（彈簧係數）。

此外已知彈簧未受拉時，重物和平台間的距離等於 a 。需求重物在平台 B 上的壓力和懸掛點 A 的反力。研究這些力和彈簧的彈性，即和係數 k 的有什麼樣的關係。