



中等專業學校教學用書

材料力學初級教程

P. C. 基那索希維里著

高等教育出版社



中等專業學校教學用書



材料力學初級教程

P.C.基那索希維里著

陳子晴等譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立技術理論書籍出版社(Государственное издательство технико-теоретической литературы)出版的基那索希維里(Р. С. Кинасшвили)著的“材料力學初級教程”(Элементарный курс сопротивления материалов)1952年第三版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為中等技術學校教科書。

本書係由中央人民政府第二機械工業部第四局學校管理處翻譯組(中央人民政府第二機械工業部第四局學校管理處翻譯組的譯稿曾經該部工程師黃志千、方城金、李永嘉校閱)及交通大學陳子晴翻譯的,並由陳子晴負責校訂。本書最後修正稿曾經朱城校閱。

材料力學初級教程

P. С. 基那索希維里著

陳子晴等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

京華印書局印刷 新華書店總經售

書號566(課497) 開本 850×1168 1/32 印張 10 1/2 字數 282,000

一九五四年八月北京新一版

一九五五年十二月北京第六次印刷(合訂本)

印數 1—12,000 定價 (7) 7 0.95

第二版序言

本書內容符合於中等技術學校的教學大綱，並與高等工業學校非機械製造專業教學大綱所規定的內容相近。

著者力求把那些對於技術員在工作中所必須具備的知識，作一初步的敘述。在本書末，有份量不多的一章，專門敘述金屬疲乏的問題，雖然這些問題並不包括在中等技術學校的教學大綱內，但是，我們不得不加以簡要地敘述，因為疲乏計算在實際上的應用如今已愈來愈廣泛了。

爲了便於掌握本書的內容，爲了培養學生具有善於利用材料力學的基本知識來解決實際問題的技能，書中列舉了許多附有解答的例題。在書中每章的結尾，則列有一些複習問題。這一版已更充份地把祖國學者在發展強度這門科學中所起的作用反映了出來。

P. C. 基那索希維里教授

目 次

第一章 緒論	1
§ 1. 關於變形和彈性體的概念。材料力學的任務	1
§ 2. 桿和薄壁殼	6
§ 3. 斷面方法。應力	7
§ 4. 力的分類。變形的基本形式	9
§ 5. 複習問題	11
第二章 拉伸和壓縮	13
§ 6. 變形。應力。虎克定律	13
§ 7. 材料機械試驗的分類	17
§ 8. 靜拉伸試驗	18
§ 9. 拉伸曲線圖及其中各特性點	20
§ 10. 滯後現象	26
§ 11. 拉伸變形功	26
§ 12. 壓縮試驗	30
§ 13. 硬度	31
§ 14. 金屬的衝擊試驗	32
§ 15. 一些主要因素對於金屬機械性質的影響	33
§ 16. 關於局部應力的概念	37
§ 17. 在靜載荷和衝擊載荷下應力集中對強度的影響	39
§ 18. 關於金屬疲乏的概念	39
§ 19. 材料的疲乏試驗	43
§ 20. 不對稱循環下的疲乏極限	45
§ 21. 零件絕對尺寸對疲乏極限數值的影響	46
§ 22. 在交變載荷下應力集中的影響	47
§ 23. 工程上採用的一些主要材料的機械特性	48

§ 24. 許用應力。安全因數	50
§ 25. 複習問題	53
第三章 拉伸和壓縮的計算	55
§ 26. 拉伸和壓縮的計算方程式	55
§ 27. 拉伸或壓縮時材料自重的影響	59
§ 28. 階段形桿	61
§ 29. 薄壁容器的計算	64
§ 30. 由衝擊而產生的拉伸	70
§ 31. 拉伸和壓縮中的靜不定問題	72
§ 32. 溫度改變所引起的應力	76
§ 33. 複習問題	79
第四章 剪切	80
§ 34. 關於割斷和剪切的觀念。切應力。剪切虎克定律	80
§ 35. 切應力雙生定律	82
§ 36. 剪切的計算方程式	83
§ 37. 擠壓	84
§ 38. 剪切和擠壓的計算	85
§ 39. 複習問題	89
第五章 在拉伸和壓縮的複雜情形下的應力和變形	90
§ 40. 受縱向力作用時在斜斷面上的應力	90
§ 41. 在兩個相互垂直方向受拉伸或壓縮時的桿內應力	94
§ 42. 桿在兩個相互垂直方向受到拉伸和壓縮時的純剪切	96
§ 43. 在拉伸和壓縮時的橫向變形	97
§ 44. 在兩個相互垂直方向受拉伸或壓縮時的變形。單位變形功	99
§ 45. 彈性模數 E 和 G 之間的關係	101
§ 46. 複習問題	104
第六章 扭轉	105
§ 47. 關於圓柱扭轉的一般概念	105

§ 48. 圓柱的應力和扭轉角方程式的推論	106
§ 49. 圓和圓環的極慣性矩和抗扭矩	110
§ 50. 扭轉的計算方程式	112
§ 51. 軸的扭矩圖	119
§ 52. 扭矩和軸的轉數及軸所傳輸的功率之間的關係	123
§ 53. 按所傳輸的功率及轉數來計算軸	125
§ 54. 關於矩形斷面桿的扭轉計算的概念	127
§ 55. 扭轉中的位能	130
§ 56. 小螺距圓柱形螺旋彈簧的計算	131
§ 57. 複習問題	134
第七章 平面圖形的靜力矩重心和慣性矩	136
§ 58. 平面圖形的靜力矩	136
§ 59. 平面圖形的慣性矩	139
§ 60. 當軸平行移動時慣性矩的換算公式	140
§ 61. 某些簡單圖形的慣性矩	143
§ 62. 計算一些由最簡單圖形組合而成的複雜圖形之慣性矩	146
§ 63. 當軸迴轉過某一角度 α 時慣性矩的換算公式	148
§ 64. 主慣軸的概念及其位置的決定	151
§ 65. 主慣性矩的計算	154
§ 66. 複習問題	157
第八章 直梁的彎曲。彎矩和剪力	159
§ 67. 一般概念	159
§ 68. 梁的支點構造	162
§ 69. 支點反作用力的決定	164
§ 70. 在斷面上的彎矩和剪力。剪力和彎矩之間的關係(朱拉夫斯基定律)	168
§ 71. 彎矩圖和剪力圖	171
§ 72. 一端嵌入梁的彎矩圖和剪力圖的作法	172
§ 73. 自由地放在兩個支點上時梁之彎矩圖和剪力圖的作法	178
§ 74. 複習問題	191

第九章 彎曲時的應力。梁之斷面的選擇	192
§ 75. 彎曲時正應力的計算	192
§ 76. 彎曲的計算公式	198
§ 77. 一些最常見斷面的抗彎矩	200
§ 78. 梁的計算例題	204
§ 79. 矩形斷面梁在彎曲時的剪應力、朱拉夫斯基公式	207
§ 80. 工字梁內的切應力	212
§ 81. 彎曲時的主應力	214
§ 82. 複習問題	220
第十章 梁的彈性曲線。等強度梁	222
§ 83. 梁的彈性曲線	222
§ 84. 彈性曲線的一般方程式的推論	226
§ 85. 按彈性曲線的一般方程式計算幾個梁的變形的特殊情況	230
§ 86. 彎曲強度恆等的梁	238
§ 87. 複習問題	244
第十一章 彎曲時的靜力不定情況	245
§ 88. 關於靜不定梁的概念。多力作用時的獨立性原理	245
§ 89. 一端嵌入另一端自由地位在支點上的梁	246
§ 90. 兩端嵌入的梁	252
§ 91. 三支點梁	261
第十二章 複雜抗力	267
§ 92. 斜彎曲	267
§ 93. 彎曲與拉或壓的合成	273
§ 94. 偏心壓縮	276
§ 95. 偏心壓縮或偏心拉伸的一般情況	278
§ 96. 關於強度理論的概念	280
§ 97. 彎曲和扭轉的同時作用	287

§ 98. 扭轉和拉伸或扭轉或壓縮的同時作用	292
§ 99. 複習問題	294
第十三章 縱彎曲	295
§ 100. 縱彎曲現象的實質	295
§ 101. 歐拉公式	297
§ 102. 歐拉公式的適用範圍、縱彎曲時的計算表	302
§ 103. 縱彎曲的計算例題	303
§ 104. 複習問題	310
第十四章 變動載荷時的強度	311
§ 105. 在應力的不對稱循環下安全因數的決定	311
§ 106. 近似疲乏曲線圖的繪製並據之而定出安全因數	313
§ 107. 在帶有交變應力的複合應力狀態下安全因數的確定	321
§ 108. 變動載荷時強度計算的例題	322

第一章 緒論

§ 1. 關於變形和彈性體的概念。材料力學的任務

當建築物和機器被使用時，它們都要受到外來載荷的作用；例如，在鐵路橋的橋墩上就作用着通過橋上的火車的重量和橋本身的重量，在蒸汽機的活塞桿上作用着汽缸中蒸汽的壓力。

爲了使建築物和機器的零件，簡稱爲構件，能承受作用在它們上面的載荷而不損壞且不過度地變形，則它們就應該由適宜的材料所做成並有適當的尺寸。構件的這些尺寸是用計算求得的。

材料力學是從事於建立構件強度計算的原理的科學。

所設計零件的尺寸大小是根據用來製造這個零件的材料的性質而決定的。爲了合理地選擇材料並能更充份地利用材料，我們就必須具備說明各種建築材料（鋼、生鐵、木材、混凝土、石料等等）的最重要的物理-工程性質的數據。這裏我們首先要注意的是表示材料強度的數據，而所謂材料的強度，就是材料抵抗外來載荷而不損壞的能力。

在目前，關於在實驗研究的基礎上定出說明材料強度的各種量之數值的許多問題，已得到了廣泛的發展。材料力學一方面和材料學以及材料試驗的研究有關，另一方面也和普通的力學緊密地連系着。

材料力學也用普通力學的定律和定理爲基礎；可是材料力學有它自己固有的問題，與普通力學的問題不同。爲了解決這些問題，在材料力學中就引用一些新的概念。這些新概念中最重要和最基本的是變形

和內部彈性力的量度，即應力的概念。問題是這樣，在理論力學中，爲了使問題的解答簡便起見，都把固體規定爲絕對剛體，即假定在外力的作用下，剛體本身的形狀是絕對不改變的。可是，由實驗知道，在外力作用下，所有的固體都是要變形的。外力使物體內的諸質點改變位置，同時也就改變了物體的尺寸和形狀。

在外力作用下，固體的改變形狀是固體的基本性質之一。此外，固體有抵抗改變其質點間相對位置的能力。這表現於在物體內的力之產生，這些力不僅阻礙着物體的變形，同時還能使各質點回復到它們在變形前所佔的位置。這種力叫做內力或者彈性力。在外力停止作用後，固體能消除由外力所引起的變形，這一種特性就叫做彈性。

在外力作用中止後，能完全消除由外力所引起的變形的物體，叫做完全彈性體或者絕對彈性體。完全非彈性體就是那些物體，在外力作用中止之後，在物體內產生的變形將被完全地保留着。

在自然界中既沒有完全彈性體也沒有完全非彈性體。可是像鋼、木材等等材料，就其性質而論，是很近於完全彈性體的。但這些材料也祇在一定的、由實驗規定的載荷限度之內，才能認爲是完全彈性體。超過了這個限度，在作用着的外力除去之後，物體內也殘留着不可忽略的變形。

在外力作用中止後，能完全消失掉的變形叫做彈性變形。消失不掉的變形則叫殘餘變形或者塑性變形。設計構件時，照例是要給與物體這樣一些幾何尺寸，使在物體中不致有殘餘變形產生。

如上面所講，作用在固體上的外力將在固體中引起對抗這些外力的內力。例如，假使固體是被外力所拉，內力就要對抗這個拉伸；而固體各質點間的相互引力就開始作用。內力的作用是隨着外力的加大而增加的。但是，對每一種材料而言，內力的增加祇能在這種材料所特有的一定限度之內發生。所以，外力祇可以大到這樣的程度，使物體的內力在已知的幾何尺寸下能與之平衡，否則物體就將損壞了。

現在，多少已經熟悉了一些關於變形和物體內部彈性力的概念，我們也可以更明確地來說明材料力學所研究的內容。材料力學是要在外力作用的各種不同場合下，確定外力、構件的幾何尺寸、所產生的彈性力和變形四者之間的數學關係。利用這些關係以及材料強度的特性，就能決定設計着的構件所必需的尺寸。

像在所有的科學中一樣，在確定這些關係時都作了若干假定和限制。這些假定和限制都是必要的，因為要把所研究的現象的全部複雜性一下概括盡是不可能的。

首先，製造構件的材料都被假定為：在物體的所有各點都是連續的、均勻的，並在各個方向都有相同的性質（即各向同性的）。

事實上，某些建築材料，如鑄造金屬，都有很高的均勻性（在這裏，生鐵是例外）。其他一些建築材料，諸如木材等所具有的均勻性就較金屬為差。材料愈均勻，同時它在所有各部分各個方向的性質愈相同，則理論的結果也能更符合於實驗。

照例在材料力學所討論的問題中，物體受外來載荷作用後所產生的變形比起物體本身的尺寸來都是很小的。最後這一點，使我們可以忽略：由於物體變形而引起的外力的位移。

除了已經列舉的假定以外，在材料力學中還有着其他的假定和假設，這些都將在書中有關章節分別說明。

在選擇材料和決定構件的形狀和尺寸時，要注意到一系列的基本問題：所設計的零件在將來的工作條件，對它的強度、耐久性和經濟性的要求。

在某些場合，對設計的構件還提出其他特殊的要求；例如，在設計飛機和航空引擎的零件時，重量要輕就是這類特殊的要求。當然，對臨時的建築物，譬如在戰時趕造的，就和對那些造來要用很多年的建築物提出不同的要求。對結構所提的某些要求，例如强度高、重量輕和經濟性是彼此矛盾的。加厚了航空引擎的汽缸壁，可以增加汽缸的強度和

可靠性,但是,在另一方面,它的重量就要增加了;或者爲了適應重量輕的要求而把航空引擎的曲軸鉗空,這樣,曲軸的重量是減輕了,但是加工就會增多,也就是它的全部成本要提高。

在設計中選擇結構各部分的材料和決定它的尺寸時,必須同時考慮對結構所提出的全部要求:基本的要求(如強度、耐久性、經濟性)以及對這結構所提出的特殊的要求。對結構所提要求之間的矛盾,是材料力學這門科學發展的動力之一。

沒有材料力學的基本知識,就不可能造一部即使不複雜的機器使能符合於對每一結構所提出的要求。

在材料力學中,試驗、實踐以及理論三者之間是緊密地連繫着的;這門科學同時是理論的又是試驗的。所有理論上的假定和推論以後都要經過實踐的考驗,也祇有在它們的真實性被肯定之後,它們才能被作爲真理來接受。由於問題的過於複雜以致理論不能解決時,就用試驗來輔助理論。

隨着技術的進展,材料力學也就獲得更大的意義。

古時的建築者並沒有理論,祇不過在膚淺的經驗指導下摹做一些熟悉的模型;它們的建築物都以笨重著稱,並且常常要經過整個世紀才能造好。隨着十七世紀中新經濟的發展,當時國際間的航海貿易業已開端,冶金、礦山事業都擴展了,也就出現了解決有關船舶和建築物等強度的、較複雜問題的必要性。老的一套方法變爲不適用了。而這個時候有時也就被認爲是材料力學這門科學發展的開端。

在十七世紀的前半期,伽利略開始進行強度學領域內的初步研究。在 1678 年洛勃脫虎克根據了某些觀察的結果作出重要的定律,證實了:在彈性體中,變形的大小和載荷成正比例。以後,隨着和技術進展有關的需要的增加,材料力學開始很快地發展起來,成爲關於強度方面的淵博科學。

很多學者用他們自己的工作促進了材料力學的發展。一向愛好技

術的俄羅斯人民，曾提供了許多最偉大的學者和工程師，他們的研究是對材料力學的巨大供獻。

傑出的建築工程師 Д. И. 朱拉夫斯基 (1821—1891) 曾進行了一系列的光輝研究，這些研究使他發展了梁彎曲的理論，並創造了計算斜桿桁架的方法。關於曲桿強度問題的第一個準確解答是由 X. C. 高洛維提出的。

在十八世紀，彼得堡科學院院士利奧那達·歐拉，解決了有關壓桿^①的穩度問題。十九世紀末了，Ф. C. 葉辛斯基在這方面的工作，為壓桿的近代計算方法的發展奠定了基礎，因而也獲得世界聲望。世界上首先在橋樑建築中採用鑄鐵的 И. A. 別列留勃斯基教授，曾任國際材料試驗協會的會長多年。B. Л. 基爾比却佛教授，曾在材料力學的範圍內，寫下了一系列傑出的著作。當時最偉大的數學家 and 力學家之一，A. H. 克萊洛夫院士，曾研究出船舶計算的理論，以及計算彈性基礎梁的理論；他在振動方面的工作，全世界都在廣泛地採用。B. T. 伽略爾金院士在一般理論方面、在平鈹計算範圍內的一系列研究的結果，以及他計算複雜構件的近似方法，也都得到了世界盛名。

當偉大的十月社會主義革命，給蘇聯人民解除了那些目前還在資本主義國家中阻礙着技術發展的枷鎖之後，在有關強度的科學內，俄羅斯學者就擔當了領導的角色。

在材料疲乏現象的研究範圍內，以及在制訂零件強度計算的新方法中使用實驗研究結果這方面，蘇聯學者：И. И. 達維金柯夫、И. A. 阿金克、С. B. 薛林生等都獲得了不少成就。И. И. 達維金柯夫曾提出了新的金屬損壞的一般性理論，並發展了衝擊現象的理論。

B. 3. 符拉索夫教授，提出了計算薄壁殼和長柱的一般原理。

И. И. 馬斯赫利斯維利院士，曾發展了特殊的數學方法，來解決一系列複雜的強度問題。A. H. 金尼克和 И. Я. 舒泰耶爾孟在接觸強度方

① 壓桿即柱。——譯者註

面的工作，是計算一系列以接觸強度為決定性因素的零件的基礎。

蘇維埃學者 A. A. 依留申和 B. B. 薩克洛夫斯基，在研究塑性理論方面也都得到了偉大的成就。

發展強度這門科學的傑出的俄羅斯學者的名字，是不勝枚舉的，但是，祇有很好地熟悉了這門科學，特別是它最近的成就之後，才能對那些由俄羅斯學者帶給這門科學的偉大供獻，作出完全的估價。

§ 2. 桿和薄壁殼

一個剛體，倘它的橫向尺寸的數值是屬於同一數級而它的長度却相對地很大時，就叫做桿^①。桿的軸(AB)可以是曲線，也可以是直線(圖 1, a 和 b)。

今後我們祇研究直線軸的桿，並且主要是研究各處斷面都相等的桿。根據它們所擔任工作的不同，直線軸的桿又分別稱為棒、梁和支柱。

若剛體的厚度比起它在其他兩個方向的尺寸來，是非常小，這剛體就叫

做薄壁殼，例如圓柱形蒸汽鍋爐、箱、各種各樣的水槽和容器等。

在材料力學中，主要地討論桿。但在事實上，在設計機器的實踐

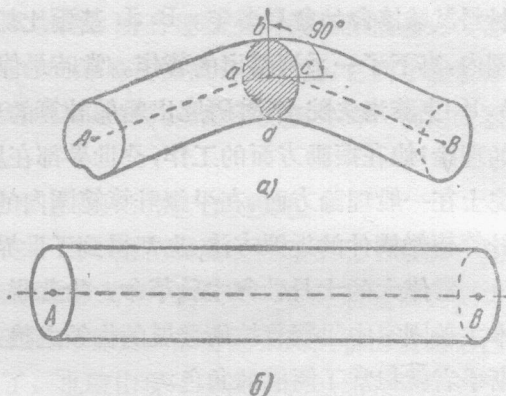
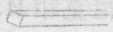
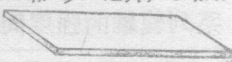


圖 1

① 這裏的意思是說：桿的長度要相對地很大，但桿的橫向尺寸本身却不能大小懸殊，

應該屬於同一數級。如剛體的斷面是圓的，祇要 $l \gg d$ ，就可以當作桿。但是，對於矩形斷面($b \times h$)的桿，則除了要求 $l \gg b$ 和 $l \gg h$ 之外， b 和 h 這兩橫向尺寸却不能相差過大。因此  可以當作桿，而  却不能作為桿，而祇能當作板來看待。——譯者註

中，有時會碰到一些具有十分不規則形狀的構件。機器和其他結構的這些零件，是不能用材料力學的方法來計算的。對另外一些零件，則在一定的近似範圍內，可以引用桿的概念。在材料力學中，有時也計算這一類的構件，可是這時要注意，所得的結果是不會很準確的。準確的結果可以用實驗的方法求得，有時也可以用彈性和塑性力學中比較複雜的計算求出。

§ 3. 斷面方法。應力

上面曾說過，作用在剛體上的外力要在物體內引起內力。

外力使物體變形；內力要保持物體原來的形狀和體積，即要消除物體所得的變形。

要解決材料力學的問題，就必須會求物體的內力和變形。在求物體內任一斷面上的內力時，可以利用斷面方法。這個方法的本質如下。

取一在力系 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 的作用下而處於平衡狀態的任何彈性體（圖 2, a）。

這時，顯而易見，這個物體的各部分，都要受到加在這一部分上的外力以及物體內各個質點間相互作用之內力的作用，而處於平衡狀態。這樣，如果我們把物體中假想被分離

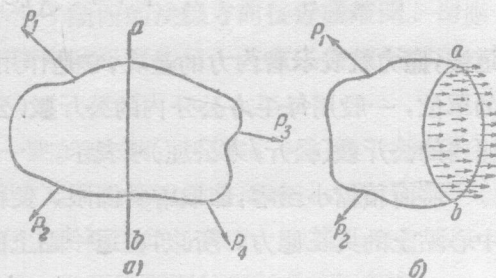


圖 2

開的一部分視作某一新的整體，則對它就能使用靜力平衡的條件。

例如，假使我們所要討論的是作用在 ab 斷面上的內力，我們就可以想像沿這斷面把物體切開，並把其中的一部分，如右面部分拿開。這時，在剩下的左面部分上（圖 2, b）作用着外力 P_1 和 P_2 。要使這一部分物體仍舊平衡，就必須在整個斷面上，加施在切開前曾經作用於這斷

面上的內力。

這些力代表着被拿開了的物體的右面部分對剩下的左面部分的作用。在整個物體中它們是內力，但對於分離部分而言，它們就起了外力的作用。這些內力的合力的大小，可以從這個分離部分的平衡條件求得。這些內力在斷面上分佈的規則，一般講來，我們是不知道的。要解答這個問題，就必須知道在每一個具體場合下，所研究的物體受外力作用後是怎樣變形的。

這樣，斷面方法祇不過使我們能求得作用在斷面上的內力總和。這些力的總和可以化爲一個力，一個力偶，或者在一般情形下，化爲一個力和一個力偶。

如果在斷面上劃分出無限小的一塊面積 ΔF ，同時又假定內力是連續地作用在整個斷面上的，則這塊小面積上就作用着一個無限小的力 ΔP 。內力 ΔP 對面積 ΔF 的比率，就是這塊小面積上的平均應力：

$$p_{\text{平均}} = \frac{\Delta P}{\Delta F}。$$

這樣，應力就表示着內力的量度，它是作用在單位面積上的內力。應力的單位，一般用每平方公分內的公斤數(公斤/方公分)，或者每平方公厘內的公斤數(公斤/方公厘)來表示。

將面積縮小至零，即取零爲極限，便得到某一點，例如面積 ΔF 的中心點上的真正應力。所以，在這一點上的真正應力是：

$$p_{\text{真正}} = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{dP}{dF}。 \quad (1)$$

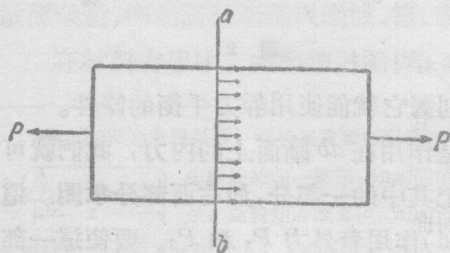


圖 3

假使已知內力(彈性力)是平均分佈在斷面上的(圖3)，則在這個最簡單的場合下，以斷面的全面積除作用在斷面上的全部彈性力的總和，便得到