

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

上 冊 第一分冊

Н. М. БЕЛЯЕВ 著 王光遠等譯



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

上 冊 第一分冊

H. M. 別捷耶夫著 王光遠等譯

商 務 印 書 館

本書係根據 1951 年蘇聯國營技術理論書籍出版社 (Государственное издательство технико-теоретической литературы) 出版的別達耶夫 (Н. М. Беляев) 著“材料力學” (Сопротивление материалов) 第七版修正增訂本譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為高等工業學校教科書。

本書分上下二冊出版。

參加本書翻譯和互校工作的為哈爾濱工業大學 王光遠 (第一篇)、張守鑫 (第二篇)、楊文鶴 (第三篇)、干光瑜 (第四篇)、顧震隆 (第五篇)、和黎紹敏 (第六篇)。

材 料 力 學

上 冊 第一分冊

王 光 遠 等 譯

★ 版權所有 ★

商務印書館出版

上海河南中路二一號

中國圖書發行公司發行

商務印書館上海廠印刷

(64943A1)

1953 年 8 月初版 1953 年 7 月再版
(9月第2次印) 31,001—36,000 定價 ¥ 18,000

上海市書刊出版業營業許可證出〇二五號

七 版 序 言

在此第七版中，重新修定了 H. M. 別遼耶夫教授之教本。與第五版相較，有下列之增添及改變。對馬爾——維力沙金計算變形之方法加以較詳細之論述。增加了一章關於薄壁桿件之計算方法。計算材料疲勞時考慮了尺寸比例之影響。給予了有關蠕滑現象的工程上之計算方法。在附錄中載有我國各種金屬的規格表來代替‘金屬之機械性能’表；添上了不等邊角鋼之尺寸種類表以及工字鋼及槽鋼之扇性性質表。除此以外，更重新檢查了原文。有些地方加以節刪，有些地方加以補充及修改。

在做修訂工作的作者之間，關於修訂工作之分工仍與第五版相同。新增的關於薄壁桿件計算的一章（按新的順序為第三十章）為 Я. И. 克依潑尼斯副教授所寫。有關蠕滑計算之第三十九章為 A. K. 西尼茨基副教授所寫。

做修訂工作的作者們向 A. H. 米靖斯基教授及所有對上版提出意見的人們致謝。

B. K. 喀秋林教授

五 版 序 言

此 H·M·別遼耶夫教授教本之第五版在作者逝世五年之後及前版發表四年之後問世。前版尚爲 H·M·別遼耶夫親自整理付印者。

在此教本中作了下列幾點最主要之改變。

我們祖國的科學家們在材料力學發展中所起的作用有了更完全的反映。以附錄之表格代替了關於工程上常用材料之一章。由於反映近代材料力學現況之必要，大大的改寫了有關材料強度、鉚接計算及結構構件穩定諸問題。

爲了適應教學進度之要求及必要之精簡，不得不部分地改寫了下列諸節：選擇強度安全係數之基礎；柔索；複雜應力情況；接觸應力；剪切及扭轉；複合樑之計算；彎曲時的變形之計算；曲桿；撞擊下之應力。研究下列問題之各章有了重要的補充：在複雜外力作用下應力計算之一般情況；彎曲之平面穩定；旋轉圓盤之計算；彈性體系振動問題。

準備此版之小組由列寧格勒鐵道運輸工程學院及以加里寧命名的列寧格勒工程學院材料力學教研室（即 H·M·別遼耶夫教授主持過的教研室）的工作人員所組成。此小組儘力保持前版講述之順序、方法及風格。

做修訂工作之作者間之分工如下：Л·А·別遼勿斯基副教授負責十五到二十五及三十到三十一諸章；Н·И·克依潑尼斯副教授負責第七到第十四及第三十二到第三十三諸章；Н·Ю·庫捨列夫副教授負責第一到第六諸章及附錄；А·К·西尼茨基副教授負責第二十四到第二十九及第三十四到第三十七諸章。

尼可萊·米哈依洛維奇·別遼耶夫的學生們及同事希望已故的
B·Г·茲僚爾金院士在本書前版結束序言中所說的話對他們所準備付
印之本版亦為正確。他說：

“本書及其作者之材料力學習題集和材料力學實驗工作指導包括了該課程之全部內容。此三書以一共同之觀念連繫起來，這就是在嚴密的科學的基礎上發展的關於強度實際運算的觀念。尼可萊·米哈依洛維奇永遠用這種精神教育他的大量的學生和同事。即在他逝世後，他的教本亦將以同樣的精神教育他們”。

B·K·喀秋林教授

三 版 序 言

本書爲一九三八年所發行之‘材料力學’教本的第一部分經過全部重新改寫後之第三版，並以重寫的包括從研究彎曲變形開始的教材內容之第二部分加以補充。

在編寫此書時首先考慮的是材料力學對工程師的實用意義。因此對於正確安排內容的次序方面均加以特別的注意。

在解決材料力學的基本問題——爲結構物及機器之構件選擇材料及斷面尺寸——時，除了會計算應力外，對於真實材料的機械性質的知識也是必要的。因而必須在實驗室裏進行實驗研究工作。爲此在本書中爲材料的機械性質及各種變形下之物理現象之研究留出相當的地位。在書末附有關於材料性質的詳細表格。實驗室工作爲材料力學教學過程中不可分割的部分。關於它的記述，另編有實驗指導，因爲它們的進度及數量在很大的程度上由實驗室的設備所決定。

在本書中所採用的同時對解析的及物理的問題之研究應當使學生習慣於看出公式中所反映的各種變形下的物理現象，同時使他們知道真實材料的抵抗強度。爲了使工程師具有解決實際問題的能力，材料力學應當給予他們精深的有關所用材料強度的知識和精深的、明晰的有關在結構構件中應力分佈情形的概念。

本書指定爲大學生及研究生所用。它的目的不僅要給出理論方面的材料，而且以例題說明所得結果之應用並給出家庭作業的材料。因此每節均附有習題，並提供實際技術條件之摘錄。

在所有的習題裏，已知條件均以代數形式及數字形式給出。當解

題時任何時候學生均不應急於利用數字。照例應當盡量利用代數的形式將題作完。但是求出數字的結果也是必要的；計算時所有數字的結果由左至右只須保留三四位有效數字。

在原文中我避免了對文獻的引證。在結尾時我有責任表明對 B. A. 各斯契夫及 C. B. 西林生教授的謝意。他們閱讀了手稿並提出許多有價值的意見。向 H. Ю. 庫捨列夫工程師致謝，由於他在技術形式、校對及準備付印各方面的幫助。向所有對本書第一部分提出自己意見的人們致謝。

H. M. 別遼耶夫教授

一九三九年五月十八日

第一分冊目錄

七版序言

五版序言

三版序言

第一篇 緒論 拉伸及壓縮

第 一 章 緒論	1
§ 1 材料力學之任務	1
§ 2 作用於結構構件之力之分類	4
§ 3 關於變形及應力之概念	6
§ 4 解決材料力學基本問題之步驟	9
§ 5 變形之種類	12
第 二 章 在彈性極限內拉伸及壓縮之應力及變形斷面之選擇	14
§ 6 垂直於桿軸之斷面上之應力計算	14
§ 7 實用應力 斷面之選擇	16
§ 8 拉伸及壓縮時之變形 虎克定律	19
§ 9 橫向變形係數	27
§ 10 例題	30
第 三 章 各種材料拉伸及壓縮的實驗方面之研究及選擇實用應力的基礎	35
§ 11 拉伸圖 材料之機械性質	35
§ 12 應力圖	41
§ 13 真正拉伸圖	44
§ 14 塑性及脆性材料之拉伸圖	48

§ 15 壓縮時塑性與脆性材料破壞之情況 壓縮圖	47
§ 16 塑性及脆性材料機械性質特點之比較	51
§ 17 選擇強度安全係數之基礎	55
§ 18 各種材料在拉伸及壓縮時的實用壓力	61

第二篇 拉伸與壓縮的複雜情形

第四章 按實用壓力計算靜不定體系

§ 19 靜不定體系	63
§ 20 不準確的製造對於靜不定結構構件的內力之影響	71
§ 21 由不同材料組成的桿件的拉伸和壓縮之計算	75
§ 22 溫度改變所引起的應力	78
§ 23 同時考慮各種因素	81
§ 24 較複雜的靜不定結構	88
§ 25 例題	84

第五章 按許可荷重計算靜不定問題

§ 26 按許可荷重計算之概念 在靜定體系裏之應用	90
§ 27 按許可荷重計算靜不定結構	91
§ 28 用許可荷重法計算鋼筋混凝土構件	96

第六章 本身重量對於簡單拉伸與壓縮之影響 索之計算

§ 29 考慮本身重量時斷面之選擇 (在拉伸及壓縮時)	98
§ 30 在本身重量作用下的變形	104
§ 31 柔索	105
§ 32 例題	118

第七章 複雜的受力狀態 應力與變形

§ 33 受軸向拉伸和壓縮 (單向受力狀態) 時斜斷面上的應力	117
§ 34 關於主應力的概念 材料受力狀態的形式	120

§ 35 二向和三向受力狀態的例子 圓筒鍋爐的計算 關於接觸應力的概念	122
§ 36 在二向受力狀態真的應力	125
§ 37 求應力之圖解法(馬爾圖)	129
§ 38 用應力圖求主應力	133
§ 39 三向受力狀態的最大應力之求法	136
§ 40 在二向受力狀態與三向受力狀態中變形的計算	138
§ 41 在複雜的受力狀態下彈性變形之位能	142
第 八 章 在複雜受力狀態下材料的強度檢查	146
§ 42 關於強度理論的概念	148
§ 43 按照不同理論的強度檢查	149
§ 44 強度檢查的例題	156
第 九 章 接觸應力	158
§ 45 一般概念 接觸應力的公式	158
§ 46 接觸體的強度檢查	159

第三篇 剪切與扭轉

第 十 章 剪切變形之實例 純剪切	164
§ 47 關於剪切的觀念 鉚釘的剪切計算	164
§ 48 鉚釘擠壓和主拉斷的校核	167
§ 49 例題	173
§ 50 鉚接計算	175
§ 51 例題	183
§ 52 棒接計算	185
§ 53 純剪切 主應力的求法和強度校核	188
§ 54 純剪切時應力與變形的關係 剪切的位能	193
第十一章 扭轉強度校核及變形之計算	196
§ 55 關於扭矩之概念	198

§ 58 作用在軸上的力矩之計算	200
§ 58 圓軸扭轉時應力的求法	202
§ 58 極慣性矩和軸之斷面係數之計算	206
§ 59 扭轉時的強度條件	210
§ 60 扭轉時變形的求法	211
§ 61 扭轉時在和桿軸傾斜的斷面上之應力	213
§ 62 扭轉時的位能	214
§ 63 被扭桿件極限承載能力之求法	216
§ 64 例題	218
§ 65 密圈螺旋彈簧中的應力及其變形	220
§ 66 例題	226
§ 67 非圓斷面桿之純扭轉	228
§ 68 例題	231

附 錄

附錄 I 幾種鋼的機械性質	1
附錄 II 在重複荷重下的碳鋼和結構鋼的機械性質	4
附錄 III 碳鋼及灰口鑄鐵鑄錠之機械性質	6
附錄 IV 銲接及熔鍊金屬的機械性質	6
附錄 V 幾種有色金屬的機械性質	7
附錄 VI 某幾種材料的強度極限	10
附錄 VII 彈性係數及波桑係數	11
附錄 VIII 在 1°C 時的線膨脹係數	12
附錄 IX 按照 GOST 10014-39—10017-39 之輾鋼規範	13
表 1 等邊角鋼	13
表 2 不等邊角鋼	16
表 3 工字鋼	19
表 4 槽鋼	22

上册中俄名詞對照表

上册俄中名詞對照表

材 料 力 學

第一篇 緒論，拉伸及壓縮

第一章 緒論

§ 1 材料力學之任務

在設計建築物及機械時爲了使其每一構件不發生毀壞或形狀扭曲的危險，絕對可靠的承担其相鄰部分加予它的外力，換言之，爲了保證其正常作用，工程師必須爲每個構件選擇適當的材料及斷面尺寸。材料力學給予他們以正確解決此項問題之基礎。

這門科學研究在力的作用下各種材料所表現的性能，並揭示如何在結構的絕對安全及最大經濟條件下，爲每一構件選擇適當的材料及斷面尺寸。

有時材料力學必須解決形式上有些不同的問題——校核已設計妥的，或已經存在的結構之尺寸是否够用。

可靠性的要求經常與最大的經濟互相矛盾。前者導致材料消耗之增加，而後者要求減低此項消耗。此矛盾即係引致材料力學按科學方法發展最重要之因素。

時常發生這樣的情形：已有之材料及校核強度之方法不能滿足解決新問題的實際需要（在我們的時代裏，如航空、長跨度之頂蓋、動力學

的問題，一般在技術上高速度之應用及其他均屬此種情況）。此時開始尋求新的材料，研究其性能，改良並創造新的計算及設計方法。材料力學之進步應當趕得上技術之普遍進步。當完成結構時，除了基本要求——安全與最大經濟——之外，在若干情況下工程師尚須滿足其他條件：例如建築之快速（在恢復已破壞之建築物時），最少之重量（在製造飛機時）等等。此等情況亦反映在結構各部分材料、尺寸及形狀之選擇上。

材料力學，當作一門科學來說，有時認為開始發展於 1638 年，而與意大利名科學家加利略的名字是分不開的。加利略是帕都地方的數學教授。他生在封建社會解體，商業資本及國際的海外往來發展，並且採礦冶金工業萌芽的時代。

這時代新的經濟情況提出了一系列新的技術問題。海外商業來往的活躍提出了增大船隻噸位的問題，而這問題招致改變船隻結構的必要性；同時出現了改造及建設新的內河交通，包括建造運河及水閘的問題。這些技術問題是不能用單純抄襲舊的已有的船隻及建築物結構來解決的；因而學會用計算的方法按結構物各構件之尺寸及其承受外力之大小來估計其強度即成為必要的了。

加利略工作的重要部分貢獻於解決有關樑及其他桿件之尺寸與其所能支持荷重間的關係之問題上。他指示我們他所得到的結果可以“在建造巨大船隻，特別在甲板及頂蓋之加固上帶來巨大的利益。因為在這一類的結構上，重量之減輕具有重大的意義”。加利略的研究發表於其著作“Discorsi e Dimostrazioni matematiche”（1638, Лейден, Голландия）。

材料力學的繼續發展與建築及機械製造技術的發展平行前進，而且與科學家、數學家、物理學家及工程師的整個貢獻緊密的連繫着。在

這些人中間俄羅斯的和蘇維埃的科學家佔着重要的地位。

在十八世紀，彼得堡科學院院士廖那達·歐拉在材料力學上提供了偉大的貢獻；他解決了有關壓桿的穩定之問題。

在十九世紀，Л. И. 儒拉夫斯基及 X. C. 高勞文的工作獲得了世界的榮譽。由於設計及建造彼得堡與莫斯科間之尼可萊鐵路（目前的十月鐵路）上的許多橋樑，Л. И. 儒拉夫斯基解決了一系列重要的、有趣的、有關樑之強度的問題。X. C. 高勞文首先正確地解決了有關曲桿強度的問題。由於研究某些橋樑毀壞的原因，使 Ф. C. 雅生斯基關於結構構件穩定的問題的研究工作，穩步的進入了世界科學的領域。H. A. 別利留勃斯基教授組織並長期的領導了彼得堡交通學院巨大的材料實驗室。在很多年中，他擔任了國際材料實驗協會的主席。

自二十世紀之始，俄羅斯的學者們在材料力學中開始起領導作用。И. Г. 布勃諾夫教授是近代有關船隻強度科學的奠基人。A. H. 克瑞勞夫院士除了繼續發展有關船隻強度計算的問題之外，亦由於在動荷作用的計算中之巨大研究而聞名。H. И. 普舊列夫斯基教授創立了彈性基礎上樑的新計算法。從 B. Г. 各僚爾金的大量著作中可以提出其有關發展力學的各種方法，彈性力學中的空間問題之一般解法和薄板計算。許多強度計算的問題都與 C. И. 鐵木辛可之研究有關。

在蘇維埃的時代，我們國家的先進作用在更大的程度上鞏固起來。A. H. 克瑞勞夫和 B. Г. 各僚爾金院士繼續了其工作。A. H. 濟尼克院士發表了一系列關於結構構件穩定的巨作。H. M. 蓋爾西凡諾夫曾有效地在土壤力學及解決建築及機械的基礎之強度與穩定問題之科學領域中工作。И. Ф. 伯潑考維奇及 Ю. A. 西曼斯基教授在研究船隻強度問題的學者中佔着首要的地位。H. H. 達維特考夫和他的學生們創了解釋材料毀壞原因的新理論。他的關於動荷作用的強度及在撞擊下

的毀壞問題的研究成績具有重大的意義。由於我們工程師們的努力完成了新的鋼筋混凝土結構的計算理論。這一理論比國外所採用的更為正確，它反映了這些建築物的真實性質，並在保證強度的條件下給予很經濟的尺寸。H. И. 慕斯黑利西維利院士發展了近世的複變數函數論及奇異積分方程式論，並將其應用於一系列的問題上。B. 3. 勿拉沙夫教授創立了新的獨創的關於在設計各種結構時廣泛應用的薄壁殼體及細桿的計算理論。

§2 作用於結構構件之力的分類

當結構物及機械工作時，其各部分均承受荷重，並將其互相傳遞。壩承受其本身重量及其支持的水之壓力，並將其傳遞於基礎。橋之鋼架經車輪及鋼軌而承受火車之重量，然後傳給石質的支座，並經支座將荷重傳遞給基礎。蒸汽機汽缸裏蒸氣的壓力傳遞給活塞桿。火車頭的牽引力經過連接煤水車與車廂間之連接器而傳給車廂。如是結構構件所承受之力或係作用於各該構件之體積力(本身重量)或係相互作用於該構件與其相鄰構件或該構件及與其相接觸之介質(水、蒸汽、空氣)間之互作用力[●]。給結構的這個或那個部分加以外力的這種說法，我們將理解為由相鄰介質或相鄰部分傳遞給該部分的壓力(或運動)。

力的分類可按幾種特徵來進行。

我們將力分為集中的與分佈的兩類。

經由與結構構件本身相較為極小之面積傳遞給該構件之壓力，例如火車車輪傳給鋼軌者，稱為集中力。

在計算時，因為傳遞壓力之面積甚小，一般可認為集中力作用於一

● 嚴格說來物體重量亦係作用於物體及地球間之互作用力。

點。必須記住這是爲了簡化計算而提出的近似說法，事實上要經由一個點來傳遞任何壓力均不可能。不過由此近似概念所引起的誤差很小，所以在一般應用上可以略去不計。

連續作用於結構物上某段長度或面積上之外力稱爲分佈荷重。倒在橋樑的人行道上等厚度之沙層即係作用於該面積上的均佈荷重；如沙層厚度不同則爲不均佈荷重。任何樓板之樑的本身重量均爲分佈在該構件全長之分佈荷重。

集中荷重以單位力(噸、公斤)計量；作用於平面之分佈荷重以單位面積上之單位力計量(T/m^2 ; kg/cm^2)；作用於構件某段長度上之分佈荷重以單位長度上之單位力計量(kg/cm)。

荷重尙可分爲永久荷重及暫時荷重。前者作用於結構物存在之全部時間，如建築物之本身重量。後者僅在若干時間內作用於結構物上，例如通過橋樑時火車之重量。

按照荷重作用的性質可分爲動荷重及靜荷重。

靜荷重逐漸加於結構物上；它們不變化或很小變化；城市及水利結構上大部分之荷重均屬此類。當靜荷重傳遞給結構物時，其所有部分均處於平衡狀態；結構構件無加速度，或小得可以略去不計。

如此等加速度相當顯著或機械及其他結構構件在較短的時間內速度發生變化時即爲動荷重。

突加荷重、撞擊荷重及重複荷重均爲動荷重。

突加荷重突然將其全部分量傳給結構物。進入橋樑之機車車輪的壓力即爲此種荷重。

撞擊荷重發生於相接觸的結構物構件間速度迅速改變之時。例如在打樁時打樁機上碰對樁之撞擊。

重複荷重多次重複地作用於結構構件上。例如重複的蒸汽壓力往