

中央人民政府高等教育部推薦

中等技術學校教材試用本

材料力學

A. A. П О П О В 著

王光遠等譯



商務印書館

中央人民政府高等教育部推薦
中等技術學校教材試用本



材 料 力 學

A. A. 波 波 夫 著
王 光 遠 等 譯

商 務 印 書 館

本書係根據蘇聯國立機械製造出版社(Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы)出版的波波夫(А. А. Попов)著“材料力學”(Сопротивление материалов)1953年版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為機械製造中等技術學校教學參考書。

參加本書翻譯工作的為哈爾濱工業大學張守鑫(第一章及第二章)、王光遠(第三章)、王光根(第四章至第六章)、張澤華(第七章及第八章)和關士義(第九章至第十一章)五位同志,並由王光遠同志校訂。

材 料 力 學

王光遠等譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

(64943·1)

1954年1月初版 版面字數202,000

印數1—15,000 定價¥10,000

前 言

在我們國家裏，正以暴風雨般的速度發展着機器製造業，聯動機的能量日益增大，日益須要能在高速、高壓和高溫裏工作的機器。關於利用新材料以滿足工業上日益增長着的需要也就成了許多重要問題中的一個。我們的機器必須在工作中堅固可靠，輕巧方便，具有長久的工作期限。所有這些問題沒有精深的材料力學知識是決不能解決的。

材料力學這門科學產生很早。其有系統地發展的開端可推至 1638 年，是在著名的意大利科學家加利略的“關於兩種新科學的敘述與數學證明”^①一書出版之後。在威尼斯建造船舶、建築運河及水閘時所提出的一系列實際問題，乃是編寫這本書的一個推動力。

此後，隨着建築與機械製造業的發展，材料力學的發展便與理論力學的發展平行前進，這就使得新科學的一些基本法則與原理的研究方便了。這發展應歸功於許多傑出的學者與工程師的勞動，在這些學者與工程師中我國的學者也佔有很顯著的地位。

應該指出在十八世紀時彼得堡科學院院士 Л. 歐拉和 Д. 伯努利在材料力學理論的發展上所作的重大供獻。到了十九世紀，俄國學者 М. В. 奧斯特洛格拉得斯基、Д. И. 儒拉夫斯基、Ф. С. 耶生斯基等的傑出工作是很有名的，他們推進了彈性體理論的發展。在材料實驗方面必須指出 Н. А. 別利留勃斯基教授的工作。

從二十世紀開頭起，俄國學者在材料力學方面即起着領導作用。И. Г. 希勃諾夫教授創造了船舶強度理論，院士 А. Н. 克瑞勞夫——最出色的實用數學和力學專家，亦因其動荷作用過程之研究而聞名，院士 Б. Г. 加僚爾金解決了一系列重要的彈性力學問題，還有其他學者。

^① С. Н. Дюроа 的俄文譯本，國家工程理論出版局，1934年。

在偉大的十月社會主義革命之前，在俄國對材料力學理論的發展有寶貴供獻的學者中還有很多使理論能廣泛地運用於工程計算中去的學者；這便應該舉出 B. Л. 克依爾皮契夫、H. H. 米靖斯基、Л. Л. 普若斯庫梁考夫和 И. К. 胡嘉考夫教授。

在十月革命之後，我國便開始了空前未有的建設，這就使得材料力學有突飛猛進的發展。

蘇聯的科學家們在這方面的工作是傑出的。一系列的問題被他們解決了。這些問題以能够適應近代技術要求的新計算法來武裝了工程師。這些工作的主要項目涉及到薄壁桿件及薄殼的強度 (B. З. 勿拉沙夫、A. A. 烏曼斯基)，結構穩定 (A. H. 濟尼克、B. З. 勿拉沙夫、И. Ф. 伯潑考維奇)，塑性力學 (A. A. 依里由申、B. B. 沙闊勞夫斯基)，靜荷及振動強度 (H. H. 達維靖可夫、C. B. 西林生) 及接觸強度 (H. M. 別達耶夫、И. Я. 西泰依爾曼)。

在本書中受力狀態之敘述和許多問題之解決都嚴格地以作者所提出的統一的計劃為基礎。

在書中廣泛地應用了剛度係數。這些係數顯著地簡化了許多問題之解決，特別是靜不定問題，並創造了獲得普遍結論的可能性。在實際計算中應用它們是非常適當的。

在循環荷重的計算中，作者首先在材料力學課程中引入了資用應力的減低係數。它使我們大大地簡化了疲勞強度之計算，並使其在廣泛的實際運用上更為方便。

作者創立的並在解決不同範圍的許多問題上得到應用的焦點圖解法利用來計算圓的及梯形的慣性矩，並利用來決定樑的彈性曲線的單元，這裏在複雜的情況下得出非常簡單的解法。因為此法之應用範圍遠遠超出材料力學範圍之外，所以它值得嚴重的注意。

在編輯此書時，還利用了作者以前的材料。^①

① 卡茨恩森廉包根 И. B.、波波夫 A. A.、斯托耳賓 Г. B. 和雅考夫列夫 H. A.，應用力學和機械零件，機械工程書籍出版局，1949。

採用的主要符號

符 號	名 稱	單 位
l	桿件長度	CM, M
a, b, h	桿件斷面之尺寸	CM, M
F	斷面面積	CM^2, MM^2
J_y, J_z	軸慣性矩	CM^4
J_p	極慣性矩	CM^4
S	靜矩	CM^3
r_y, r_z	慣性半徑	CM
J_{yz}	慣性積	CM^4
W	斷面係數	CM^3
φ	絕對扭轉角	弧度
θ	單位扭轉角, 旋轉角, 角位移	弧度
f	桿件之撓度, 彈簧之撓度	CM, MM
Δl	絕對伸長	CM, MM
ϵ	單位伸長, 線變形	
γ	單位剪切, 角變形	
α	絕對剪切	CM, MM
ϵ_0	體積變形	
ψ	斷面之單位收縮	
β	長度係數, 角	
n	旋轉次數	
λ	桿件之柔度	
σ	垂直應力	KG/CM^2
τ	切應力	KG/CM^2
σ_{II}, τ_{II}	比例極限	KG/CM^2
σ_T, τ_T	屈伏點	KG/CM^2
σ_{Ty}	假定的屈伏點	KG/CM^2
σ_B, τ_B	強度極限(暫時抗度)	KG/CM^2
σ_{OT}	斷裂應力	KG/CM^2
$\sigma_\alpha, \tau_\alpha$	斜斷面上之應力	KG/CM^2

符 號	名 稱	單 位
$\sigma_{\max}, \tau_{\max}$	最大之應力	kg/cm^2
$\sigma_{\min}, \tau_{\min}$	最小之應力	kg/cm^2
σ_a, τ_a	應力振幅	kg/cm^2
σ_{cp}, τ_{cp}	平均應力	kg/cm^2
σ_{-1}, τ_{-1}	持久極限	kg/cm^2
σ_{∂}	相當應力	kg/cm^2
$[\sigma_p]$	抗拉實用應力	kg/cm^2
$[\sigma_{cm}]$	抗壓實用應力	kg/cm^2
$[\sigma_{cm}]$	擠壓實用應力	kg/cm^2
$[\sigma_y]$	穩定實用應力	kg/cm^2
$[\tau]$	剪切實用應力	kg/cm^2
σ_{kp}	臨界應力	kg/cm^2
α_k	集中係數	
φ	軸向彎曲時應力之減低係數	
$\varphi_{\sigma}, \varphi_{\tau}$	循環荷重時應力之減低係數	
n_T	按屈伏點之安全係數	
n_B	按強度極限之安全係數	
n_y	穩定之安全係數	
E	彈性係數	kg/cm^2
G	抗剪彈性係數	kg/cm^2
∂	能量	kg cm
$\partial \Pi$	位能	kg cm
∂	比能	kg/cm^2
κ	線位移之剛度係數	kg/cm
κ	角位移之剛度係數	kgcm/弧度
N	比率	I. C.
N	垂直力	kg
Q	切力	kg
T	切線力, 支反力	kg
M_K	扭矩	kgcm
M_{u3}	彎矩	kgcm
P	力	kg
P_{kp}	臨界荷重	kg
q	單位長度上的垂直荷重	kg/cm
i	單位長度上的切線荷重	kg/cm

中央人民政府高等教育部推薦 中等技術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，是全國中等技術學校調整後的一項重大工作。在我國中等技術學校裏，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系實際的。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，有計劃地翻譯蘇聯中等技術學校的各科教材，並將繼續向全國推薦，作為現階段我國中等技術學校教材的試用本。

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

目 錄

前言	i
採用的主要符號	iii
緒言	1
§ 1 基本原理	1
§ 2 基本的假設和假定	2
§ 3 位移與變形的概念	4
§ 4 截面法・斷面中的應力，力及力矩的概念	5
§ 5 從理論上研究變形物體中的現象的統一步驟	7
第一章 單向中心拉伸與壓縮	9
§ 6 等直桿件的拉伸	9
§ 7 在靜拉伸下以試件進行實驗的主要結果	12
§ 8 虎克定律	18
§ 9 波桑係數	21
§ 10 拉伸的變形能	21
§ 11 桿件的壓縮	23
§ 12 在靜壓縮下以試件進行實驗的主要結果	24
§ 13 在拉伸與壓縮時的靜荷強度的方程式	28
§ 14 本身重量對桿件拉伸的影響・疊加原理	31
§ 15 最簡單的靜不定體系	35
§ 16 初應力和溫度應力	38
§ 17 關於應力集中的觀念	41
§ 18 撞擊荷重所引起的桿件的拉伸	43
§ 19 圓環的拉伸	45
第二章 剪切	49
§ 20 剪切的受力狀態	49

§ 21 剪切實驗的結果	53
§ 22 剪切的虎克定律	55
§ 23 剪切的變形能	56
§ 24 抗剪彈性係數與抗拉彈性係數間的關係	57
§ 25 在剪切時靜荷強度的方程式	58
第三章 影響金屬的靜荷強度的因素・金屬的疲勞	60
§ 26 在重覆的靜荷重作用下金屬的表現・冷作	60
§ 27 熱處理對金屬靜荷強度的影響	61
§ 28 高溫對金屬強度的影響	63
§ 29 金屬的蠕滑	63
§ 30 循環荷重的特徵	64
§ 31 金屬的疲勞	65
§ 32 非對稱循環的應力振幅的兩個限制	67
§ 33 循環強度的方程式	69
§ 34 減低持久極限的幾種因素	72
第四章 二向受力狀態	74
§ 35 二向拉伸和壓縮	74
§ 36 強度理論	78
§ 37 薄壁容器的計算	82
§ 38 二向受力狀態的一般情況	84
§ 39 主應力及其方向・最大切應力	86
§ 40 二向受力狀態中的強度計算・單向拉伸並剪切的情況	89
第五章 桿件的平面斷面的幾何性質	92
§ 41 靜矩	92
§ 42 慣性矩	93
§ 43 矩形、梯形和圓形的慣性矩的計算	94
§ 44 軸的平行移動	99
§ 45 軸的轉動	100
§ 46 圖形的主軸和主慣性矩	101
第六章 純彎曲	105
§ 47 純彎曲時的受力狀態	105

§ 48 桿件旋轉角、撓度和彎曲位能的決定	111
§ 49 純彎曲時的強度方程式	113
§ 50 在彎曲中樑的經濟斷面	115
§ 51 純彎曲中的彎矩圖	117
第七章 剪切彎曲	119
§ 52 剪切彎曲的概念・彎曲的近似理論中的假設	119
§ 53 彎矩與切力的求法・儒拉夫斯基定理	120
§ 54 彎矩圖及切力圖的繪製	122
§ 55 按圖解法繪製 M_x 圖及 Q_x 圖的一般指示	125
§ 56 剪切彎曲中的切應力・儒拉夫斯基公式	138
§ 57 剪切彎曲中的主應力及最大切應力	142
§ 58 樑的剪切彎曲的實驗結果	145
§ 59 剪切彎曲中的強度檢查	146
§ 60 組合樑的計算	149
§ 61 等強度樑	152
§ 62 疊板彈簧的構造及計算	154
§ 63 關於樑在不是對稱面的主平面中的彎曲・彎曲中心	155
第八章 樑的彈性曲線・靜不定樑	158
§ 64 以單位力法求位移	158
§ 65 維力沙金公式	161
§ 66 藉助焦點進行圖形互乘	164
§ 67 焦點力矩的求法	165
§ 68 靜不定樑	171
§ 69 三彎矩方程式	178
第九章 扭轉	183
§ 70 圓軸在扭轉時的受力狀態	183
§ 71 扭轉角和扭轉位能的求法	187
§ 72 空心軸的扭轉	189
§ 73 軸的強度與剛度計算	191
§ 74 扭矩圖和扭轉角圖的作法	195
§ 75 當扭矩為靜不定時的情況	198

§ 76 扭轉時的應力集中	201
§ 77 非圓斷面的桿件的扭轉	202
§ 78 螺旋彈簧的應力和變形	203
第十章 力和力矩對於桿件的各種作用情況	207
§ 79 斜彎曲	207
§ 80 偏心拉伸或壓縮	212
§ 81 斷面核心	215
§ 82 扭轉兼彎曲或兼拉伸	217
§ 83 簡單的曲柄軸的計算	224
第十一章 軸向彎曲	228
§ 84 關於變形體系的穩定的概念	228
§ 85 軸向彎曲的基本計算公式	229
§ 86 歐拉公式	231
§ 87 經驗公式	234
§ 88 計算軸向彎曲的實用方法	235
中俄人名對照表	238
中俄名詞對照表	240
俄中名詞對照表	247

材 料 力 學

緒言

§ 1 基本原理

材料力學乃是關於建築和機器各部份之強度的科學。其目的在於選擇既可靠而又最經濟的斷面。

在理論力學裏，物體是被看作一組其間距離不改變的質點體系。但在自然界中那樣的絕對剛體是沒有的。事實上當物體上有外荷重作用時，其微粒間的距離就會發生改變。這時物體改變了它的尺寸和原來的形狀——變形。

作用於微粒間的內力，反抗作用於物體上的外荷重。此抗力之大小乃決定於物體變形之程度與作成此物體的材料之物理性質。物體之變形直繼續到最後的外荷重與反抗的內力之間能平衡時為止。物體的這種狀態將稱為受力狀態。

在材料力學課程中將研究下列基本問題：

- a) 確定各種來源的外力影響所引起的固體的受力狀態。
- b) 分析和歸納由各種材料做成的試件在不同的外力影響下所作實驗的結果。
- b) 確定在變形時物體尺寸之改變。
- r) 確定物體可靠的尺寸，使其重量最小而又能長期承擔所給與的荷重，不破壞，變形也不超過規定。

物體可靠尺寸之確定我們將簡稱為物體之計算。在此項計算中對

物體是提出了強度、剛度和穩定的要求。

在所允許的變形範圍內能够安全地承擔荷重的物體便是夠強度的物體。假若物體在變形時，其尺寸之改變在規定的範圍以內，則這物體便具備了所須要的剛度。假若物體變形時仍能保持其本來的形狀，則這物體便是穩定的。

在計算中常會遇到下面三類實際問題：

- 1) 在荷重為已知的情況下求出物體可靠的尺寸，使能滿足上述三個要求之一。
- 2) 在已知物體的情況下求出許可荷重。
- 3) 在已知荷重和尺寸的情況下，檢查物體之強度、剛度和穩定。

§ 2 基本的假設和假定

真實物體所固有的複雜的形狀和材料的物理機械性質的多種多樣性嚴重地阻礙了以理論的方法來研究受力狀態。因此對於每一種特殊情况都必須按照所要求的準確度，把計算的理論建立在一系列使真正物體理想化的假設或假說上。下面提出幾個在材料力學理論的建立上常用的基本假設。

平面斷面假設 假若在變形之前在物體內想像地作一平的斷面（圖1,a），則在變形之後這斷面便不再是平面了。但也存在很多在實際上極重要的情形，在此等情況下斷面仍然為平面或者只與平面有很小的偏差。

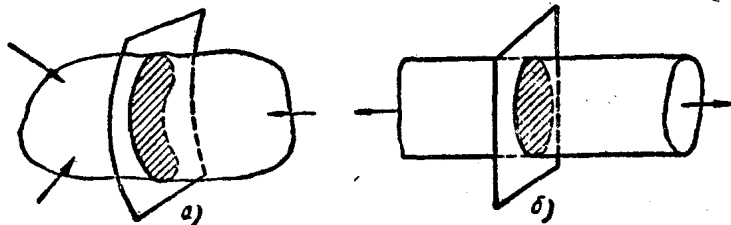


圖 1

在材料力學中，除開剪切彎曲之外，必須作下面假設：即變形前在物體內作的平的斷面，在變形後仍為平面（H. 伯努利假設）。對於等直桿件最常將此假設用於橫斷面（圖1,б）。

關於變形很小之假設 物體在變形時總要或多或少地改變它的尺寸和幾何形狀。不過形狀改變對於剛性的物體不太顯著而對於柔性的物體却極明顯。在圖2中引證了剛性的和柔性的桿件變形的兩種情況。第一根桿件在荷重的作用下形狀幾乎沒有改變，而第二根之軸線便非常彎曲了（圖2,а和б）。

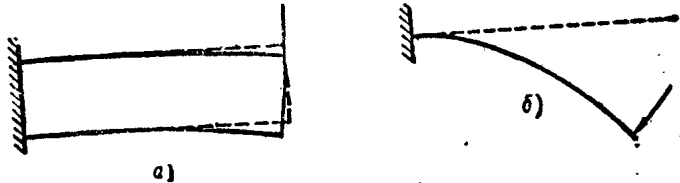


圖 2

在計算剛性的物體時，我們假設；物體幾何形狀之改變與其總的尺寸比較起來是不顯著的。

關於材料純粹性及連續性的假設 按照材料的物理機械性質，真正物體並不是純粹的。這種物體假若不假定物體的物理機械性質在其所有各點上都是一樣的，而且材料是均勻地、無空隙地填塞滿了物體的整個體積的話，便很難確定其受力狀態。

這個假設對於這些材料，如鋼、銅、鑄鐵等是完全可以容許的，對於木材、混凝土、磚及其他建築材料則不太合宜。

關於材料各向同性與單向同性的假設 在各方向都具有相同的物理機械性質的純粹的材料，稱為各向同性的材料。鑄鋼、鑄銅、玻璃及做得很好的混凝土等都可稱為各向同性的材料。

具有純粹性，但只在纖維（平行某一直角座標系統的軸而分佈着）的一定方向上才有相同的物理機械性質的材料，便稱為單向同性材料。

例如鍋爐鐵、輥鋼、鋼絲，和一些木層直而無節的木材都屬於這一類材料。

不具備各向同性和單向同性的材料稱為各向異性材料。例如木層傾斜的木材和在冷的狀態下扭轉了的鋼絲都屬於這類材料。

在研究受力狀態時，在材料力學裏必須永遠假設物品是由各向同性或者單向同性的材料做成的。

§ 3 位移與變形的概念

作用於物體上的外荷重，會使物體的幾何形狀隨着點、線及面的位移而發生不同的改變。沿着直線產生的位移稱為線位移。與線和平面(斷面)轉動有關之位移稱為角位移。在圖 3 裏用實線表示出了在其端頭斷面上有不同種類的荷重作用而處於變形狀態中的三根桿件。這裏，線位移 Δl 乃產生於拉伸時(圖 3, a)，角位移 φ 乃產生於扭轉時(圖 3, b)。在彎曲時(圖 3, c) 端頭斷面便同時完成了兩種位移：線位移——撓度 f 及角位移——轉角 θ 。

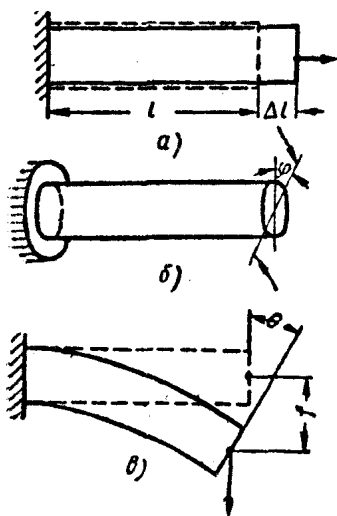


圖 3

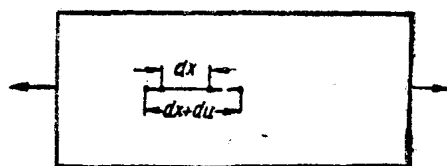


圖 4

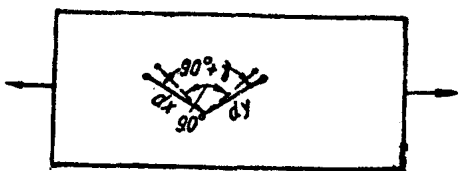


圖 5

在變形之前，若在物體上註明彼此相隔 dx 的兩點，則在變形之後， dx 之尺寸便改變了 du (圖4)。若兩點間之距離增加，則 du 之值我們稱之為絕對伸長，若距離減少，則稱為絕對縮短。我們稱比值 $\varepsilon = \frac{du}{dx}$ 為單位伸長或縮短。

有時稱 ε 之值為線變形。

在變形之前，若在物體上劃出兩根成 90° 角的線段 dx 和 dy (圖5)，則在變形之後這角便改變了 γ ，此值稱為單位剪切或角變形。

在變形時，物體改變了它的體積。對於單元體積 dv 我們以 do 來代表這個改變，並稱之為體積的絕對改變，而比值 $\varepsilon_0 = \frac{do}{dv}$ 稱為體積的單位改變，或體積變形。

位移(線的及角的)和變形(線的、角的及體積的)在互相比較下可分為大的與小的。在物體變形中，其原來的幾何形狀有顯著改變時，便得到大的位移。在荷重作用下而產生變形的柔性桿件(圖2, 6)可便作為例子。從圖裏可以看到變形了的桿件的形狀與用虛線畫出的原來形狀大不相同。巨大變形主要發生在金屬冷拉和金屬在高溫下錘鍛之時，而小的位移和變形發生於在荷重作用下不易變形的物體裏。

在圖2, a裏舉出了這種物體(形式為剛性桿件)的例子。很容易看出來，在變形之後這桿的形狀改變得並不顯著。

若物體在去掉荷重之後能完全恢復其原來的幾何形狀，則這物體通常便認為是完全彈性的；假若不是全部恢復，便認為是部份彈性的。因此我們將把位移和變形分為彈性的(去掉荷重後就消失了的)和非彈性的——殘餘的(在去掉荷重後仍然存留於物體中的)兩種。

在部份彈性的物體中發生的變形，若與彈性變形相較其殘餘變形很大時，便稱為塑性變形。

§ 4 截面法·斷面中的應力，力及力矩的概念

為了弄清楚當變形時在物體裏面引起的內力因素，人們乃採用截