

材 料 力 學

上册

(1984年第二版)

[美] S. P. 铁木辛哥 J. M. 格尔 著

曉 園 出 版 社
世 界 圖 書 出 版 公 司

材 料 力 學

(1984年第二版)

原著者 Gere. Timoshenko

譯著者 李 春 亮

上册

曉 園 出 版 社

世界图书出版公司

北京·广州·上海·西安

1992

内 容 简 介

本书是晓园出版社教材丛书之一。书中包括材料力学所有的标准论题,强调基本概念和力学分析方法,还涉及某些较高深的特殊内容。每章都有例题和习题。

材料力学 上册(1984年第2版)

S·P·铁梓哥 J·M·格尔 著

李春亮 译

晓 园 出 版 社 出 版

世界图书出版公司北京分公司重印

(北京朝阳门内大街137号)

北 京 中 西 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华店经售

1985年出版

开本:850×1168 1/32

1992年7月 重印

印张 14.5

印数:0001—1400

ISBN:7-5062-1372-9/TB·13

定价:12·80元(WB9202/27)

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向晓园出版社

购得重印权 限国内发行

中譯本序

Timoshenko，這位近代力學史上的巨擘，不僅在力學的發展過程中，留下了不可磨滅的貢獻；在力學的教育史上也留下了深遠的影響。自從 1930 年他在美國出版其第一冊材料強度學以來，他的每一本著作都風行於世界各地，而其取材及寫法也幾乎成了其他同類著作的範本。

這本書是大師的最後遺著，此書出版不久他便以 94 歲高齡去世。而在歷經 12 個年頭之後，本書由其高足 Gere 加以整編並注入新的內容，賦予新的風貌，但保留了 Timoshenko 著作的傳統精神——內容精闢，易讀易懂。本書的內容與特色在作者的序言中已有詳細說明，無庸贅述，但可想見的是本書必將舉世矚目。

為了對 Timoshenko 大師表示崇高的敬意，中譯本除敦聘李春亮先生譯述外，初稿並由嚴孝全老師審校，排版後之校對由張瑞宏、顏有利二位先生負責，最後嚴孝全、林震兩教授細校全文，希望本社的嚴謹態度能使此中譯本與原書一樣，成為有價值的教科書和參考書。

編 審 部

原 序

材料力學的課程使兩件事成為可行：第一，教導學生基本工程問題，第二，擴展他們分析及解題能力。在籌備此增訂版時，我謹守此兩要點，並以易於教授及易於學習的方式，加上豐富的討論及許多說明實例來呈現事實，理論及方法論，所以大學部學生應可完全吸收其菁華。同時，本書亦強調基本觀念及如何去分析機械及結構系統，學生必須對許多問題做基本的思考。

本書涵蓋材料力學所有的標準論題，並以適合大學二、三年級程度的水準寫出來，另外，許多較高深而特殊的內容亦包括於其中，因此，本書可用作課本，亦可作為永久保存的參考書。

只要看過本書的目錄，即可瞭解本書所涵蓋的論題。這些論題包括分析承受軸向負荷、扭矩和彎曲力矩作用之結構元件，以及材料力學所有的基本觀念，像應變能、應力和應變之轉換、非彈性行為等等。其他較普遍受注意的論題有應力 - 應變的轉換、梁之變形、柱之行為以及應變能。較為特殊的題目有熱及預應變效應、壓力容器、非稜柱形元件、非對稱彎曲、應變中心、非彈性彎曲及不連續函數。

本書包含的內容無法在一學期內授完，因此教師可以選取自認為最基本且合適的來教。教師們亦將欣賞數以百計的新習題（總共超過 1,000 題），它們可指定為課外作業及講堂討論的題材。

本書中的範例及習題中兼用國際單位系統 (SI) 及美國慣用系統 (USCS)，兩系統之討論及其轉換因數表置於附錄中。

參考資料及歷年大事紀收錄於本書後面，包括了主要內容的原始來源及開創這些內涵的工程師、科學家及數學家們的略傳。

本書在某些意義上是以材料力學的全新寫法的新書；但在另一方面，由於它是由Timoshenko (1878 - 1972) 教授較早的書演化而來，所以它又是舊書。Timoshenko的第一本材料力學是在1908年刊行於蘇俄，其首本材料力學的美國書是以上、下冊的型態由D. Van Nostrand公司印行於1930年，書名為材料強度 (Strength of Materials)；其第二版刊行於1940及1941，三版刊行於1955及1956。由現作者Gere由早期書中取材而寫成的材料力學 (Mechanics of Materials) 之初版則刊行於1972。

這個第二版已經完全擴增改寫使易於閱讀。並加入更多的實例及習題，和幾個新論題（包括壓力容器、不連續函數及非彈性挫曲）。每個努力方向均在消除錯誤，但毫無疑問的，仍有部份錯誤是無可避免，若你發現任何錯誤，請剪下並寄往作者處 (Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, CA 94305)；我們會在下次印行時改正。

要一一提出感謝每個對本書有貢獻的人實為不可能，但主要貢獻來自於我以前在Stanford的老師（力學的大師，包括Timoshenko本人，Wilhelm Flügge, James Norman Goodier, Miklós Hetényi, Nicholas J. Hoff及Donovan H. Young），從他們處，我學到了許多，我目前的同事（特別是Ed Kavazanjian, Tom Kane, Anne Kiremidjian, Helmut Krawinkler, Jean Mayers, Cedric Richards, Haresh Shah及Bill Weaver）曾對本書提建議及在寫作時提供合作，幾個校對者及朋友（包括Jim Harp, Ian Johnston, Hugh Keedy, and Aron Zaslavsky）提供了可貴的意見，而上進的研究生（Thalia Anagnos, João Azevedo, Fouad Bendimerad, and Hassan Hadidi-Tamjed）則檢測證明過程。手抄稿是由Susan Gere Durham, Janice Gere, Lu Ann Hall, and Laurie Yadon 仔細打字而成，出版及編輯是由Ray Kingman of Brooks/Cole及Mary Forkner

of Publication Alternatives, Palo Alto.以高度技巧及合作精神完成的。內人 Janice 在整箇計劃中的耐心及給予的鼓勵，而其他家庭成員——Susan 及 DeWitt Durham, Bill Gere 及 David Gere ——也有同樣的表現，對於這些可敬愛的人們，我衷心地表達我的祝福。感謝所有的人，我祝福他們。

James M. Gere

符 號 說 明

A	面積，作用力（或力偶），常數
a, b, c	尺寸，距離，常數
C	積分常數，形心，壓力
c	自梁上中性軸至最外表面之距離
D	位移（平移或轉動）
d	直徑，尺寸，距離
E	彈性模數，第二種橢圓積分
E_r	彈性縮減模數
E_t	正切之彈性模數
e	偏心距，尺寸，距離，單位體積變化（膨脹，容積應變）
F	力，第一種橢圓積分，撓性，不連續性函數
f	剪力流，塑性彎曲之形狀因數，撓性，頻率（Hz）
f_s	剪力之形狀因數
G	剪力之彈性模數
g	重力加速度
H	距離，力，反作用力，馬力
h	高度，尺寸
I	平面之慣性矩（或二次矩）
I_x, I_y, I_z	對 x, y, z 軸之慣性矩
I_{xy}	對 x 及 y 軸之慣性積
I_p	極慣性矩
I_1, I_2	主慣性矩
J	扭轉常數
K	挫曲彈性模數，柱之有效長度因數
k	$\sqrt{P/EI}$ 之符號，彈簧常數，剛性

L	長度，跨度，距離
L_e	柱之有效長度
M	彎矩，力偶，質量
M_p	梁之塑性力矩
$\bar{M}$	梁之降伏力矩
$\bar{m}$	單位長之力矩，單位長之質量
N	軸向力
n	安全因數，數目，比值，整數，每分鐘之轉速 (rpm)
O	座標原點
O'	曲率中心
P	力，集中負荷，軸向力，功率
P_{allow}	容許負荷 (或工作負荷)
P_{cr}	柱之臨界負荷
P_r	柱之縮減模數負荷
P_t	柱之正切模數負荷
P_u	極限負荷
P_y	降伏負荷
p	壓力
Q	力，集中負荷，平面積之一次矩 (或靜力矩)
q	均佈負荷之強度 (單位長度之負荷)，均佈扭矩之強度 (單位長度之扭矩)
q_u	極限負荷強度
q_y	降伏負荷強度
R	反力，半徑，力
r	半徑，距離，迴轉半徑 ($r = \sqrt{I/A}$)
S	力，梁之剖面模數，剪力中心，剛度
s	距離，曲線之長度
T	溫度，扭曲力偶或扭矩，拉力
T_u	極限扭矩
T_y	降伏扭矩

t	厚度，時間
U	應變能
u	應變能密度（單位體積之應變能）
u_r	彈性能模數
u_t	韌性模數
U^*	補能
u^*	補能密度（單位體積之餘能）
V	剪力，體積
v	梁之撓度，速度
$v', v'', \text{etc.}$	$dv/dx, d^2v/dx^2, \text{等}$
W	重量，功
W^*	補功
X	靜定贅力
x, y, z	矩形座標，距離
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	形心座標
Z	梁之塑性模數
α	角度，熱膨脹係數，比值，無因次比，剛性，彈簧常數
α_s	剪力係數
β	角度，無因次比，彈簧常數，剛性
γ	剪應變，每單位體積重
$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$	在 xy, yz 及 zx 平面上之剪應變
γ_θ	斜軸上之剪應變
$\gamma_{x_1 y_1}$	x_1, y_1 平面上之剪應變
δ, Δ	撓度，位移，伸長
ϵ	正向應變
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	在 x, y 及 z 方向之正向應變
ϵ_θ	斜軸上之正向應變
$\epsilon_{x_1}, \epsilon_{y_1}$	在 x_1, y_1 方向之正向應變
$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$	主正向應變
ϵ_y	降伏應變

θ	角度，單位長之扭角，梁軸之旋轉角
θ_p	與主平面或主軸所成之角
θ_s	與最大剪應力平面所成之角度
κ	曲率 ($\kappa = 1/\rho$)
κ_s	降伏曲率
λ	距離
ρ	半徑，曲率半徑，極座標上之徑向距離，質量密度 (單位體積之質量，比質量)
ν	鮑生比
σ	正向應力
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	垂直於 x, y 及 z 各軸的平面上之正向應力
σ_θ	斜面上之正向應力
$\sigma_{x_1}, \sigma_{y_1}$	垂直於旋轉軸 x_1, y_1 之平面上的正向應力
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主應力
σ_{allow}	容許應力 (或工作應力)
σ_{cr}	柱之臨界應力 ($\sigma_{cr} = P_{cr}/A$)
σ_{pl}	比例極限應力
σ_r	殘餘應力
σ_u	極限應力
σ_s	降伏應力
τ	剪應力
$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$	垂直於 x, y 及 z 軸之平面上且平行於 x, y 及 z 軸之剪應力
τ_θ	斜面上之剪應力
$\tau_{x_1y_1}$	垂直於旋轉後的 x_1 軸之平面上且平行於 y_1 軸的剪應力
τ_{allow}	容許剪應力 (或工作剪應力)
τ_u	極限剪應力
τ_s	降伏剪應力
ϕ	角度，扭曲角
ϕ	無因次比

ω 角速度，角頻率 ($\omega = 2\pi f$)

* 星號表示較困難或較深之章節、例子或習題。

希臘字母

A	α	Alpha	N	ν	Nu
B	β	Beta	Ξ	ξ	Xi
Γ	γ	Gamma	Ο	o	Omicron
Δ	δ	Delta	Π	π	Pi
E	ϵ	Epsilon	Ρ	ρ	Rho
Z	ζ	Zeta	Σ	σ	Sigma
H	η	Eta	Τ	τ	Tau
Θ	θ	Theta	Υ	υ	Upsilon
I	ι	Iota	Φ	ϕ	Phi
K	κ	Kappa	X	χ	Chi
Λ	λ	Lambda	Ψ	ψ	Psi
M	μ	Mu	Ω	ω	Omega

目 錄

第一章 拉力、壓力和剪力 1

1-1 緒 言 1

1-2 正向應力與應變 2

1-3 應力-應變圖 10

1-4 彈性及塑性 19

1-5 線彈性及虎克定律 23

1-6 剪應力和剪應變 28

1-7 容許應力及容許負荷
34

習題 42

第二章 軸向負荷元件 61

2-1 緒 言 61

2-2 軸向負荷元件的撓度
62

2-3 位移圖 69

2-4 靜不定結構(撓性法)
72

2-5 靜不定結構(剛性法)
81

2-6 溫度及預應變效應 87

2-7 斜面上的應力 98

2-8 應變能 105

*2-9 動態負荷 115

*2-10 非線性行為 125

習題 132

第三章 扭 轉 179

3-1 緒 言 179

3-2 圓桿之扭轉 180

3-3 非均勻扭轉 187

3-4 純 剪 191

3-5 彈性模數 E 及 G 間的關係 197

3-6 圓軸的動力傳送 199

3-7 靜不定扭轉元件 202

3-8 純剪及扭轉的應變能
206

3-9 薄壁管 212

*3-10 圓桿之非線性扭轉 220

習題 224

第四章 剪力及彎曲力矩 243

- 4-1 梁之型式 243
- 4-2 剪力及彎曲力矩 246
- 4-3 負荷、剪力及彎矩間的關係 252

- 4-4 剪力及彎矩圖 257
- 習題 266

第五章 梁中應力 275

- 5-1 緒言 275
- 5-2 梁之正向應變 278
- 5-3 梁之正向應力 283
- 5-4 梁之剖面形狀 293
- 5-5 矩形梁之剪應力 300
- 5-6 翼梁腹板之剪應力 307

- *5-7 圓梁之剪應力 311
- 5-8 組合梁 314
- *5-9 非稜柱形梁之應力 318
- *5-10 複合梁 326
- 5-11 軸向負荷梁 336
- 習題 342

第六章 應力及應變分析 369

- 6-1 緒言 369
- 6-2 平面應力 370
- 6-3 主應力及最大剪應力 378
- 6-4 平面應力之莫爾圓 387
- 6-5 平面應力之虎克定律 398
- 6-6 球形及圓筒形壓力容器 (雙軸向應力) 402

- 6-7 合併負荷 (平面應力) 411
- 6-8 梁中之主應力 413
- 6-9 三軸向應力 415
- *6-10 三維應力 421
- 6-11 平面應變 424
- 習題 438

第七章 梁的撓曲 459

- 7-1 緒言 459
- 7-2 撓曲曲線之微分方程式 459
- 7-3 以彎距方程式之積分求得撓度 464
- 7-4 由剪力及負荷方程式積分求得撓度 471
- 7-5 力矩 - 面積法 476
- 7-6 重疊法 491
- 7-7 非稜柱形梁 497
- 7-8 彎曲應變能 500
- *7-9 不連續性函數 507
- *7-10 利用不連續函數以求得梁撓度的方法 519
- *7-11 溫度的影響 528
- *7-12 剪力變形之效應 529
- *7-13 梁之大撓曲 538
- 習題 543

第八章 靜不定梁 561

- 8-1 靜不定梁 561
- 8-2 撓曲曲線微分方程式分析 563
- 8-3 力矩 - 面積法 566
- 8-4 重疊法 (撓性法) 572
- 8-5 連續梁 582
- *8-6 溫度效應 590
- *8-7 梁端之水平位移 592
- 習題 594

第九章 不對稱彎曲 609

- 9-1 緒言 609
- 9-2 有歪斜負荷之雙對稱樑 611
- 9-3 不對稱樑的純彎曲 615
- 9-4 純彎曲之一般理論 624
- 9-5 側向負荷造成的樑之彎曲、剪力中心 630
- 9-6 薄壁、開口剖面之樑中剪應力 635
- 9-7 薄壁、開口剖面之剪力中心 642
- *9-8 剪應力之一般理論 650
- 習題 658

第十章 非彈性彎曲 673

10-1 緒 言 673

10-2 非彈性彎曲之方程式
673

10-3 塑性彎曲 675

10-4 塑性鉸 683

10-5 樑之塑性分析 685

*10-6 撓 曲 694

*10-7 非彈性彎曲 698

*10-8 殘餘應力 706

習題 708

第十一章 柱 721

11-1 挫曲及穩定性 721

11-2 銷支承端之柱 724

11-3 其他支承狀況下的柱
732

11-4 有偏心軸向負荷的柱
739

11-5 正割公式 743

*11-6 柱中的缺陷 748

11-7 彈性及非彈性柱行為
750

*11-8 非彈性挫曲 752

11-9 柱設計公式 757

習題 764

第十二章 能量法 777

12-1 緒 言 777

12-2 虛功原理 777

12-3 計算位移之單位 - 負
荷法 782

12-4 交互定理 801

12-5 應變能和補能 808

12-6 應變能法 823

12-7 補能原理 836

12-8 卡氏第二定理 849

*12-9 梁之剪力撓曲 855

習題 861

附 錄 885

部分習題答案 953

索 引 967

第一章

拉力、壓力和剪力

1-1 緒 言

材料力學是應用力學的一部門，它討論固體材料承受不同型式負荷下所發生之行爲。它另有各種不同之名稱，包括材料強度（strength of materials）和變形體力學（mechanics of deformable bodies）。本書中所討論之固體材料包括軸向負荷之桿、軸、梁和柱以及由此等構件所組成之結構物。通常我們分析的目的乃是決定應力、應變和由負荷所產生之變形。若對低於破壞負荷之所有負荷造成的應力、應變及變形均可求出，則吾人可對此物體之機械特性有一完整的認識。

無論是建築物及橋樑、機器及馬達、潛艇及船、或是飛機及天線，所有的結構體之安全設計均要求對機械特性有一徹底認識。因此，材料力學在許多工程範疇內均為一基本主題。當然，靜力學及動力學也非常重要，但它們主要是在處理質點及剛體上的力及運動而已。在材料力學中，我們更進一步地檢視在負荷下，一真實物體內部因變形而造成的應力及應變，吾人將在後續數節提到許多的理論定律觀念以及材料之物理性質（利用實驗求得）以達到此目的。

對研究材料力學而言，理論分析和實驗結果是同樣重要。在許多情況中，我們可以合理地推演出很多公式和方程式，用以預測機械特性。但是同時我們必須了解，除非對於該材料之某些性質有所認識，否則這些公式不能使用於實際情況。某些性質祇有在實驗室裏做過適當的實驗，才能為我們所用。另外在工程中有許多重要的實際問題，單靠理論無法做有效之處理時，實驗測定便成為必要。

材料力學之發展，理論和實驗是交互進行的。在某些例子中，實驗證實了有用的結果，而在其他例子中，則在理論上證實有效。著名人物中如達文西（Leonardo da Vinci 1452-1519）及伽利略（Galileo Galilei 1564-1642）