

ELEMENTS OF STRENGTH
OF MATERIALS / TIMOSHENKO - YOUNG
fifth edition

材料力學原理

唐 山 譯



東華書局印行

71.221
9022

材料力學原理

著 者

S. TIMOSHENKO

D. H. YOUNG

譯 者

唐 山

東華書局印行

027432



版權所有・翻印必究

中華民國六十三年十月初版

中華民國六十五年十月二版

大學
用書 材料力學原理 (全一冊)

定價新臺幣八十元

(外埠酌加運費匯費)

著 者 S. TIMOSHENKO D. H. YOUNG

譯 者 唐 山

發行人 卓 鑫 森

出版者 臺灣東華書局股份有限公司

臺北市博愛路一〇五號

印刷者 合 興 印 刷 廠

大理街 130 巷 2 弄 1 號

內政部登記證 內版臺業字第一〇三一號

(63053)

序

這本教科書係根據鐵氏 (S. Timoshenko's) 於一九三〇年初版之「材料力學」(Strength of Materials) 改編。當年所出版原著包括初等與高等材料力學兩方面，改編本則經相當刪節，主要目的在供美國大學及工程院校初習基本材料力學學生使用。

第五版「材料力學原理」(Elements of Strength of Materials) 書中，曾對原節編本重排重寫，並致力於保存原著對本解問題相同之一般方法。這本書，在處理上主要係從最簡單的情況漸進於複雜情況，並依賴物理及幾何方面之顧慮，以確定在種種載荷方式下應力分布之圖形。當然，和「彈性理論」(theory of elasticity) 對照起來，這就是「材料力學方法」(strength of materials approach) 之特質。這種方法似乎已是老式的 (old-fashioned)，但作者堅信對於初學者，仍不失為較正確的教學方法。在我們致力於賽跑前，必須學習舉步。

在全書裡，有許多新例題及新習題已經取代了老的。全部問題均已附有答案。

第一章在導入非直線性應力應變行為有關之複雜應用之前，詳述在彈性極限內應力應變觀念。第二章則討論在拉力下桿之傾斜斷面上應力之狀態，然後漸次及於用完整應力應變圖對比例極限、屈服點、極限強度等有更佳之了解。本章亦包含塑性分析 (Plastic Analysis) 與極限設計 (Limit Design)。

第三章開始先就薄壁容器中應力加以討論，然後導入雙軸向應力問題。雙軸向應力分析後詳細討論關於莫氏圓 (Mohr's circle)。由此合理地引導純剪之討論，此一問題為扭轉作適當處理所不可或缺，故與第四章發生聯繫。在後兩章 (第五、六章) 所討論者為梁中彎應力及剪應力問題。第五章為彎曲基本理論，第六章所處理者為梁之彎

曲特殊問題之處理。第七章爲平面應力一般問題之討論并導入主應力之定義。梁中主應力之應用及因彎曲與扭曲合併而引起之應力；均予討論。第七章後一部分討論平面應變分析及菊形應變儀之用途。

第八章致力於研討梁之撓度計算方法。內容包括彈性線微分方程式、矩面定理、及重疊法，靜不定梁在第九章討論。因應變能之觀念已在前幾章啓發，故就此點討論卡氏定理（Castigliano's theorem）以及其對靜不定問題之應用。本章最後一節利用塑性鉸（plastic hinge）觀念對靜不定梁作極限分析。

第十章涉及柱之理論，在寫作上強調合理方法并減少經驗公式。最後一章討論材料之機械性質。在大學教本中採用此等教材旨在希望學生對材料力學實驗這方面的重要性，有較佳之瞭解。

S. Timoshenko

D. H. Young

譯者的話

近年來科技方面之發展一日千里，無論施工技術與乎材料之應用，亦有長足進步。工程力學，工程材料與材料力學等在建設方面受到重視，乃自然的結果，讀者亦不難從原著之序中獲知本書所論及之範圍，與其在應用上之重要性。

本書第一作者鐵氏 (Stephen Timoshenko) 為美國史坦福大學理論與應用力學名譽教授。他從 Institute of Engineers of Way of Communication 獲得工程學位。鐵氏於一九二二年進入美國，在此以前幾乎有二十年在歐洲各大學講課。亦曾在工業界担任研究工作，鐵氏担任史坦福大學理論及應用力學教授以前，曾在密歇根大學開課，鐵氏在史坦福大學服務直至退休。鐵氏著述甚豐，尤以「Strength of Materials」(兩冊)，「Applied Elasticity」，「Theory of Elasticity (與 J.N. Goodier 合著)」，「Theory of Elastic Stability, and Theory of plates and Shells」等，風行一時，迄今仍和本書一樣為各國大學選為教本。美國麻省工學院教授 J.P. Den Hartog 在所著「高等材料力學」一書序中鼓勵學有根基之學生如涉及高深學理時，可自鐵氏有關彈性力學、板及薄殼，彈性穩定等著作中查得資料，鐵氏大著受學術界之重視，由此可見一斑。

本書第二作者楊格 (D. H. Young) 曾獲美國密歇根大學科學博士學位，為史坦福大學土木工程系教授。他曾與鐵氏合作著述其他四本書：「Engineering Mechanics」，「Theory of Structures」，「Advanced Dynamic」及「Vibration Problems in Engineering」。 楊氏在進入史坦福大學以前，曾先後在華盛頓大學及密歇根大學開課。

譯者學識淺薄，譯文疏忽錯失之處在所難免，敬祈海內外先進海涵，教正是幸。

唐山

民國六十三年六月

符 號

A	面積
a, b, c	大小尺度
c	中主軸至梁頂面或呈梁底面 (緣維 extreme fiber) 之距離
d	直徑
E	彈性模數
e	偏心度、偏心距
F	力
G	剪力模數
g	重力加速度常數
h	高、梁之深度
hp	馬力
I	面積慣性力矩
i	環動 (旋轉) 半徑
J	面積極軸慣性力矩
K	應力集中係數
k	$\sqrt{P/EI}$ 之符號, 彈簧常數, 因數
l	長
M	撓 (力) 矩, 彎 (曲) 力矩
N	垂直力
n	安全因數; 每分鐘轉數 (rpm); 數目
P	力; 載荷 (荷重, 載重)
p	單位面積壓力; 螺紋距
Q	力; 面積靜力矩

q	單位長度之載荷
R	反作用, 半徑
r	半徑; 旋轉半徑
S	應力合力
s	弧長
T	轉矩; 溫度
t	厚度
U	應變能
u	單位體積應變能
V	剪力; 體積
v	速度
W	重量; 總荷重
w	單位長度之荷重; 單位體積重量
X, Y, Z	力
x, y, z	座標
Z	斷面模數
α	溫度膨脹係數; 角
β	角
γ	剪應變; 重量密度
δ	撓度 (變位); 總增長
ϵ	拉或壓應變
θ	彈性曲線斜率; 單位長度之扭轉角
μ	波遜比
ρ	曲率半徑; 徑向座標
σ	垂直應力
τ	剪應力
ϕ	扭轉角; 角座標
ω	角速 (度)

目 錄

序	i
譯者的話	iii
符號及標記	viii

第一章 拉力、壓力與剪力：I

1-1 導論	1
1-2 內力、應力	2
1-3 彈性、應變	10
1-4 拉與壓之靜不定問題	18
1-5 薄環	25

第二章 拉力、壓力與剪力：II

2-1 應力隨斷面狀況之變化	30
2-2 應力-應變圖、工作應力	36
2-3 極限設計	39
2-4 拉與壓之應變能	45
2-5 拉或壓構件之應力集中	52

第三章 雙軸向拉力與壓力

3-1 薄壁壓力容器之應力	56
3-2 雙軸向應力之進一步分析	62
3-3 雙軸向應力之莫氏圖	67
3-4 純剪力	71
3-5 壓力容器之鉚接與焊接	74

第四章 扭轉

4-1 圓軸之扭轉·····	80
4-2 密圈螺旋彈簧·····	89
4-3 剪力與扭轉之應變能·····	94
4-4 薄壁管之扭轉·····	99
4-5 矩形斷面軸·····	105

第五章 梁中應力：I

5-1 剪力及撓（彎力）矩·····	110
5-2 剪力與彎力矩圖·····	119
5-3 梁中彎（撓）應力·····	126
5-4 各種梁斷面·····	136
5-5 梁中剪應力·····	14
5-6 組合梁之應力·····	150

第六章 梁中應力：II

6-1 梁之塑性彎曲·····	157
6-2 雙料梁·····	163
6-3 鋼筋混凝土梁·····	168
6-4 任意斷面梁之彎曲·····	174
6-5 薄壁側面梁中剪應力·····	180
6-6 曲梁之彎應力·····	187

第七章 平面應力與平面應變分析

7-1 平面應力一般狀況·····	194
7-2 梁中主應力·····	200
7-3 彎曲與扭轉之複合應力·····	204
7-4 應變分析·····	211
7-5 應變量測儀器·····	216

第八章 梁之撓度

8-1 彈性線之微分方程式	220
8-2 矩面法	229
8-3 重疊撓度	237
8-4 彎曲應變能	245
8-5 剪應變所生撓度	254

第九章 靜不定梁

9-1 重疊法	259
9-2 三力矩問題	269
9-3 卡氏定理	277
9-4 卡氏定理對靜不定問題之應用	284
9-5 靜不定梁之極限分析	290

第十章 柱之理論

10-1 偏心荷載之短柱	297
10-2 長柱、歐勒氏柱公式	302
10-3 歐氏柱公式進一步討論	310
10-4 正割公式	314
10-5 用相當之偏心率代表不完整	321
10-6 柱之經驗公式	325

第十一章 材料之機械性質

11-1 抗拉試驗	331
11-2 屈服點	334
11-3 超越屈服點後鋼之伸長	337
11-4 拉斷裂之形式	341
11-5 壓力試驗	347
11-6 複合應力下之材料試驗	349
11-7 強度理論	350

11-8	衝擊試驗.....	357
11-9	金屬疲勞.....	361
11-10	複合應力作用下之疲勞.....	366
11-11	疲勞與應力集中.....	368
11-12	高溫下金屬之物理性.....	375

附錄 A

普通結構材料之物理性質.....	378
表A-1 普通金屬之平均物理性質.....	379
表A-2 構造木材之平均物理性質及工作應力.....	380
表A-3 建築石料，磚及混凝土之平均物理性質.....	381
表A-4 鋼之機械性質.....	382

附錄 B

平面面積之慣性矩.....	383
B-1 對其平面內一軸線平面面積之慣性矩.....	383
B-2 平面面積之極慣性矩.....	385
B-3 平行軸定理.....	387
B-4 慣性積、主軸.....	389
B-5 軸向變換，主軸之決定.....	391

附錄 B-1

表.....	396
表 B-1 普通斷面要素.....	397
表 B-2 寬緣鋼斷面要素.....	399
表 B-3 美國標準 I 形梁斷面要素.....	403
表 B-4 美國標準槽形鋼斷面要素.....	405
表 B-5 等長角鋼斷面要素.....	407
表 B-6 不等長角鋼斷面要素.....	409

第一章 拉力、壓力、 與剪力：I

1-1 導論

各種構造物與機械——橋樑、起重機 (cranes)、飛機、船隻等——經過檢查，均可發現皆由能執行有用功能并抵抗外施載荷之許多相連之零件或構件 (members) 所組成。例如：設有如圖 1-1 a 所示簡單壓力機 (press)，其功能在檢試受壓縮 (compression) 之各種材料標本，執行此項試驗，標本係置於底座 *A* 板上，螺旋之一端經由旋動頂上之手輪 (handwheel) 向下加力而頂住該標本。標本及螺旋下部皆受軸向壓力 (axial compression, 圖 1.1 d) 之力，而側邊構件 *N* 則受軸向拉力 (axial tension, 圖 1.1 b)。同時還可以看到十字頭 (crosshead) *M* 受到彎曲 (撓曲 bending 1.1 c)，螺旋上部則

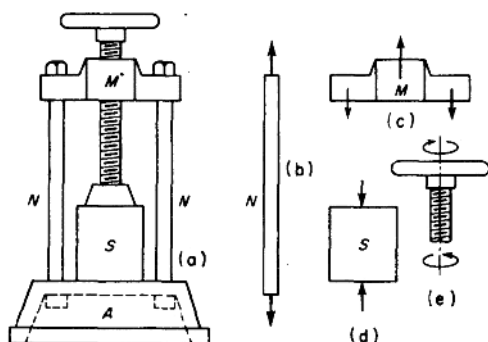


圖 1.1

受扭轉或扭力 (twist 或 torsion, 圖 1.1 e)。構件上所受上述四種基本載荷, 在構造物與機械設計問題上, 經常遇到。可以說, 它們是材料力學 (Strength of Materials) 的主要課題。在以後各章, 將按照它們的複雜性質, 依次對拉力、壓力、扭轉和彎曲加以考慮。在後面許多情況將看到一特殊構造物或機械之構件在組合中受到這些基本載荷之兩個或更多, 同時作用。這時候, 構件的分析與設計問題, 益形複雜。

像圖 1.1 所示之任何構造物或機械之分析與設計, 有兩個主要問題必須考慮: (1) 結構強度是否經得起所施之載重? (2) 其勁性 (剛強性 stiffness) 是否足可避免過度變形 (deformation) 或變位 (撓曲 deflections)? 在靜力學 (Statics) 中, 構造物之構件, 以剛體 (rigid bodies) 處理; 但實際凡材料皆能變形, 此項特性, 以後均加入考慮。故材料力學可視為可變形或彈體 (elastic body) 之靜力學。例如, 圖 1.1 a 中樣本之壓縮, 很明顯地僅須經由再旋緊壓力機之螺旋穿過十字頭 M 完成。這個機械的兩個零件 (parts) 間的相對位移, 一部分可以由樣本之縮短及螺旋下部說明, 一部分亦可由側桿 N 之伸長及十字頭 M 之若干彎曲變形說明。故, 對樣本上所施壓力與手輪一轉相當的量, 依機械各構件之相對勁性 (剛強性) 決定。結構構件之強度 (strength) 與勁性為其大小與形狀之函數, 亦為製造該機械使用材料之某種物理特性之函數。材料的這些物理性質, 主要可由材料在試驗或檢定機械 (試機), 內之行爲試驗研究而得。材料力學之研究着重在判斷構造物在服務狀況下其幾何學的及物理學的性質如何影響其行爲。此一研究課題應用極廣, 任何工程上皆可發現。茲以簡單的載荷型式, 即軸向拉力或直角桿 (straight prismatic bar) 之壓縮, 開始研究。

1-2 內力; 應力

圖 1.2 表示一角桿 AB 由施於 B 點之垂直載荷 P 之作用之軸向拉力并沿桿軸 AB 作用, 角桿之重量不計。此作用使桿條稍見伸長, 亦傾向於將之拉開, 亦即產生破裂 (坍陷 rupture)。此種破壞趨勢為

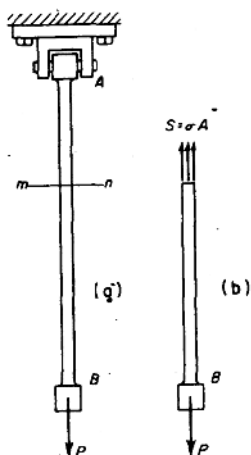


圖 1.2

桿之內力所阻，亦即其種種粒子間之作用與反作用所阻。欲使這些內力具體化，設此桿為垂直於其軸之一斷面 mn 所截，其下部分乃因之被隔離而成一自由體 (free body, 圖 1.2b)。在這部分桿的下端，受外力 P 所作用。在上端，係桿上部的粒子對下部作用之代表。這些力連續分佈在斷面 mn 上。處理這種分佈力，即單位面積之力的力之強度 (intensity of force)，極為重要。設桿為縱紮之纖維製成，每條纖維均有其明確之載荷，因此在這種狀況下，力在斷面上均勻* (uniform) 分布，應該作合理假設。就自由體平衡 (equilibrium) 狀況看，內力均布之合力 (resultant) 應等於外部載荷 P 。故，若 A 表示桿之斷面積， σ 為單位面積上之力，則有 $S = \sigma A = P$ ，由此得

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.1)$$

*在接近連接點 (junction points) A 及 B 的斷面上，分布可能并非均勻，但此種影響祇是局部的，目前暫可不計。進一步討論見 2.5 節。

此單位面積之力為桿內之應力 (stress)；總拉力 $S = \sigma A$ 亦常稱為應力合力 (stress resultant)。力通常用磅表示，面積用平方吋，故應力之大小乃為每平方吋若干磅，以 psi 表之。

欲使圖 1.2 的加載荷 (applied load) P 能如上述假設在桿的每個斷面上發生均勻應力 σ ，其作用線應通過每一斷面之形心；即 P 應沿桿之質量中心軸 (或形心軸 centroidal axis)。要證明這一點，設如圖 1.3 所示之任意形狀斷面， dA 為面積中任何元素 (元件 element)。為配合前設之均勻應力分布， σ 在斷面上為一常數，作用在 dA 上力的元件為 σdA ，垂直於斷面之平面。這些平行力之合力為：

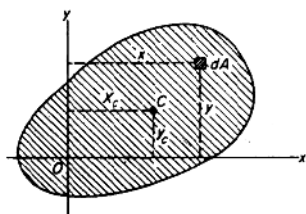


圖 1.3

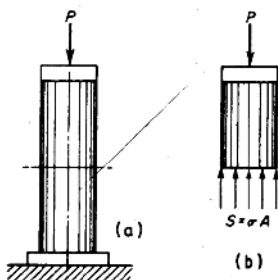


圖 1.4

$$S = \int \sigma dA = \sigma \int dA = \sigma A, \quad (a)$$

而且亦垂直於斷面。

應力合力 S 之施力點可由力矩 (moments) 定理求出：合力繞座標軸 x 或 y 之一的力矩應等於元件力 σdA 繞同一軸的力矩之和。故，以 $\bar{x}$ 及 $\bar{y}$ 表合力施力點之座標，可得：

$$\left. \begin{aligned} \sigma A \bar{x} &= \int x \sigma dA = \sigma \int x dA = \sigma A x_c \\ \sigma A \bar{y} &= \int y \sigma dA = \sigma \int y dA = \sigma A y_c \end{aligned} \right\} \quad (b)$$

式中 x_c 及 y_c 為斷面重心 C 之座標，由方程式 (b) 知 $\bar{x} = x_c$ 及 $\bar{y} = y_c$ 。故

在均勻應力分布上，應力合力之作用通過斷面重心。尤有進者，由圖 1.2 b 知力 S 應與施用力 P 共線 (collinear)。所以，祇要 P 之作用係通過斷面重心 (形心)* 便產生均勻應力分布。

前述討論凡受如圖 1.4 之壓力載荷者均適用於短柱或短桿。在此處之載荷 P 係沿柱軸作用而產生如圖 1.4 b 所示之均勻壓應力 σ 。在壓力構件方面，此種條件經常難以滿足，在細長桿或柱 (columns) 之壓縮，必須作特殊考慮，詳見第十章。

直接剪力 (direct shear) 再取圖 1.2 細察拉力構件之上端與天花板間之連接狀況。顯然，理想設計之重要者，此連接或接頭應足夠強，以發展桿 AB 本身之全負載之能力。此連接之放大細圖，如圖 1.5 a 所示，從圖可知拉力構件上之載荷 P 應經由連接兩零件 (部分) 之橫向樞針 (horizontal pin) 傳遞於叉頭 (fork) 上。樞針之自由體圖，

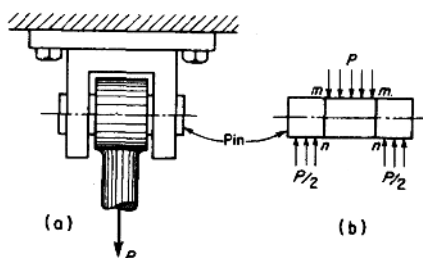


圖 1.5

如圖 1.5 b 所示，樞針主要呈剪力狀況，傾向於過斷面 mn 切割**。設阻止此一傾向之內剪力係均布於斷面 mn 上。由符號 τ_{xy} 之註釋，

*不沿桿 (桿) 之重心軸作用之拉伸載荷 (tensile load) P 必產生彎曲及桿之拉力。容第 10.1 節討論。

**此外另有樞針撓曲，但如間隙 (clearances) 甚小，重要性居次。在目前討論中，僅考慮剪力作用。