

實用
土木工程學



中國科學社工程叢書
實用土木工程學
第二冊

材料力學

BY
EDWARD R. MAURER
Professor of Mechanics, University of Wisconsin

譯述者
沈寶璋



中國科學圖書儀器公司發行

中國科學社工程叢書
實用土木工程學
第二冊

材料力學

一九四一年九月初版

一九五一年四月八版

版權所有 翻印必究

原書名	Civil Engineering: Strength of Materials
原著者	Edward R. Maurer
原出版者	American Technical Society
原書出版年月	1937-1938
譯述者	沈寶璋
主編者	汪胡楨 顧世楫
發行所	中國科學圖書儀器公司
印刷所	中國科學圖書儀器公司
分發行所	中國科學圖書儀器公司

上海(18)延安中路537號
南京:太平路 廣州:永漢北路

實價 ¥ 9,200

CE 2 15/2-0.10

譯者贅言

材料力學爲工程力學之一部分，使學者讀畢靜力學後，進而研究力與材料之關係，以爲從事各項結構設計之階梯。其中主要之理論，固仍由靜力學推演而得，但關於各項材料之性質及強度，幾無一非藉實地試驗，始可確定。且關於各種材料受外力後所生之應力，亦類多以假設爲根據，故欲詳究其奧妙，實非一種簡單之科學。惟在實用時，尙不妨將此等複雜之問題，暫置不論。

本書因欲避免高深之數學，故凡轉動慣量及垂度等之研究，頗感困難，蓋以其須藉積分法始能演算也。惟簡單形式之轉動慣量，本可藉公式計算，其他成形鋼件者，則恆由手冊檢查；至於垂度之研究，雖甚重要，惟在簡單結構中，用途殊少，故均從簡略。

本書關於例題之演算，甚爲完備，且每章均附有多數習題，綴以答案，極合學者觀摩之用。

一九四〇年一月

沈寶璋

原 序

人類之工作，在工程各部門內，其驚奇偉大與莊嚴，殆無過於土木工程師矣。夫有土木工程師，庶幾向視為無法飛渡之天塹，可以架橋跨越；建摩雲之鋼構，俾建築藝術家得以踵事增華；穿隧重巒，不差累黍；登山涉水，探測人跡未到之境域；他若建築巴拿馬運河，箭石壩，羅斯福壩，水廠濾池及一切公共工程，幾無一非土木工程師之偉績。

鑒於土木工程之重要性，及以清晰通俗文字陳述此廣大領域內一切理論與實際發展之需要，始引起出版者以編纂此巨著之旨趣。出版者之宗旨，在乎供給曾受訓練之工程師以權威之資料，俾易解決當前之問題，並使有志向學之士，得了然于近代之發展以急起直追也。

土木工程書籍，汗牛充棟，瀏覽匪易。此書說理力求簡賅，術語力求減少，重複之章節竭力刪除，輯為七冊，便於攜帶，附有索引，以利查檢，凡此均欲使適合讀者之需要耳。

本書在技術文學界之地位，久已為世人所推崇，一致認為標準之參考書，茲出版者，復不惜煩費，加以

修正，務使包羅益廣而效用益宏也。

在結語中，應向編著諸君子深致謝意。諸君子咸屬富有經驗之工程師與教育界知名之士，本書之得以問世，皆其努力協助之所賜也。

材料力學目錄

第一篇

頁數

第一章 簡單應力—— 1

1. 應力—— 1
2. 應力之單位—— 2
3. 應力之種類—— 2
4. 單位應力—— 3
5. 單位應力之單位—— 3
6. 變形—— 4
7. 單位變形—— 4
8. 彈性—— 6
9. 虎克氏定律及彈性限度—— 5
10. 極限強度—— 6
11. 應力與變形曲線圖—— 7
12. 實用應力, 強度,
及安全因數—— 8

第二章 簡單應力下之材料

- 強度—— 13
13. 受張力之材料—— 13
14. 木材—— 13
15. 鍛鐵—— 13

16. 銅—— 14
17. 鑄鐵—— 14
18. 受壓力之材料—— 15
19. 木材—— 16
20. 鍛鐵—— 16
21. 鋼—— 16
22. 鑄鐵—— 17
23. 磚—— 17
24. 石—— 17
25. 受剪力之材料—— 17
26. 木材—— 18
27. 鐵屬—— 18

第三章 支點之反動力—— 19

28. 力之力矩—— 19
29. 力矩之記號—— 19
30. 力矩之原理—— 19
31. 力之平衡—— 20
32. 梁之種類—— 21
33. 梁之反動力之決定—— 21

第四章 外剪力及彎曲

- 力矩—— 26

34. 外剪力	26	56. 荷重之種類	59
35. 記號規則	26	57. 中立面, 中立綫, 及 中立軸綫	59
36. 剪力之單位	27	58. 梁截面內應力之種類	61
37. 剪力之符號	27	59. 截面應力與荷重及 反動力之關係	62
38. 剪力圖	31	60. 纖維應力	63
39. 最大剪力	35	61. 抵抗力矩之值	64
40. 彎曲力矩	36		
41. 記號規則	36	第 二 篇	
42. 彎曲力矩之單位	37	第七章 梁之強度(續)	67
43. 彎曲力矩之符號	37	62. 第一梁公式	67
44. 力矩圖	40	63. 第一梁公式之應用	67
45. 最大彎曲力矩	45	64. 第一種應用	67
46. 最大剪力表, 最大 力矩表等	45	65. 第二種應用	71
第五章 重心及轉動慣量	47	66. 第三種應用	75
47. 面積之重心	47	67. 梁之強度之定律	78
48. 力矩原理應用於面積	47	68. 破裂係數	80
49. 構合截面之重心	50	69. 抵抗剪力	80
50. 轉動慣量	51	70. 第二梁公式	81
51. 轉動慣量之單位	53	71. 水平剪力	82
52. 矩形之轉動慣量	53	72. 木梁之設計	84
53. 轉變之公式	54	73. 荷重及梁之種類	86
54. 構合截面之轉動慣量	55	74. 彎曲與張力	86
55. 重心表及轉動慣量表	57	75. 彎曲與壓力	88
第六章 梁之強度	59		

76. 用更精確公式以計算彎
曲及直接之合併應力——90

第八章 柱之強度——93

77. 柱端方式——93
78. 柱之種類——94
79. 柱之截面——94
80. 迴轉半徑——94
81. 構合截面之迴轉半徑——95
82. 柱之荷重之種類——96
83. 郎肯氏之柱公式——96
84. 柱公式之圖示——101
85. 柱之合併公式——102
86. 直綫公式及歐拉氏

公式——102

87. 拋物綫公式及歐拉
氏公式——106

88. 斷折直綫公式——109

89. 柱之設計——110

第九章 軸之強度——114

90. 扭轉力矩——114

91. 抗扭應力——115

92. 抵抗力矩——116

93. 軸之強度之公式——116

94. 一軸所能傳達之功率——118

第十章 桿, 梁, 及軸之

強性——120

95. 彈性係數——120

96. 溫度應力——122

97. 梁之垂度——124

98. 軸之扭轉——125

99. 非彈性變形——126

第十一章 帽釘接合——128

100. 接合之種類——128

101. 帽釘之抗剪強度或
抗剪值——128

102. 鋁之支承強度及
支承值——129

103. 接合之磨擦強度——129

104. 帽釘鋁之抗張及抗
壓強度——130

105. 接合強度之計算——130

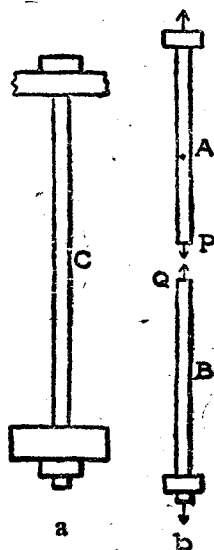
106. 接合之效率——132

材料力學

第一篇

第一章 簡單應力

1. 應力 凡外力加於一物體，多少均有破壞此物體之傾向。欲避免此種破壞，則物體內部每兩小部份間均發生一種力量，是為應力。用一鐵棒，懸挂一重量於其下端，則棒之下端，受向下拉力，棒之上端，受向上拉力；此拉力即有拉斷此鐵棒之傾向。在鐵棒之任何截面內，其兩側之鐵質，均竭力互相緊握；此種緊握力，即阻止鐵棒之被扯開者也。例如圖 1-a 表示鐵棒，其所懸之物，重 1,000 磅，故下端拉力即等於 1,000 磅，如棒之重不計，則上端之拉力，亦等於 1,000 磅。即上半段 A 施於下半段 B 之向上拉力 Q 為 1,000 磅，同時下半段施於上半段之向下拉力 P 亦為 1,000 磅；此兩力 P 及 Q ，即在截面 C 處，互相阻止棒之破裂，而在棒之任何截面均有與 P 及 Q 相同之兩力，以阻止破裂。

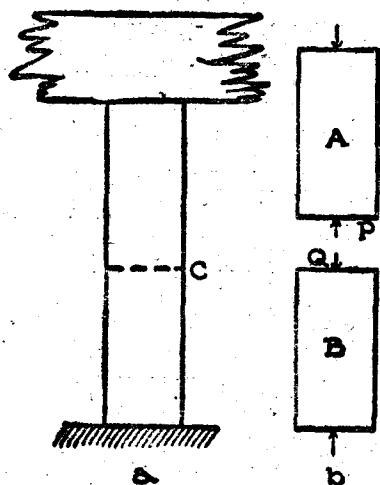


所謂每一截面處之應力，即此截面一

側之物體，所加於截面他側之力量是也，故截面 C 處之應力（圖 1.）即為 P（或 Q），等於 1,000 磅。

2. 應力之單位 在英制中，應力常用磅數以表示之，有時亦用噸數，故前節中之應力 P 即為 1,000 磅或 $\frac{1}{2}$ 噸。注意，此應力數值，與截面之大小無關也。

3. 應力之種類 (a) 外力加於一物體（如繩或桿）有拉開之傾向者，其截面上所發生之應力，名為張力或抗張應力；如圖 1 之 P 及 Q 均抗張應力也。拉緊之繩，屋架及橋梁中荷重之拉條，均發生抗張應力者。(b) 外力加於一物體（如短柱及磚等）有壓破之傾向者，其與外力相垂直之截面上，所發生之應力，名為壓力或抗壓應力；圖 2-a 表示一壓緊之短柱，圖 2-b 表示其上下兩部份，其上部壓



緊於下部 B，而下部壓緊於上部 A。P 或 Q 即截面 C 處之抗壓應力也。建築上之短柱，短樁及橋墩等均發生抗壓應力者。

(c) 外力加於一物體（如橋梁接合處之帽釘）有切斷或裁剪之傾向者，其截面上沿此切剪方向所發生之應力，名為剪力或抗剪應力，言如剪刀之切剪也。

此被切剪之物質，所生之剪力，

即抵抗被切剪之應力也；圖 3-a 表示一帽釘接合，圖 3-b 表示此帽釘之兩部份。此接合所受之外力，欲使 A 部移向左，B 部移向

右，故 B 部生出 P 力加於 A 以向右，而 A 部生出 Q 力以向左。此 P 或 Q 即帽釘之抗剪應力也。

張力，壓力，及剪力皆稱簡單應力，一物體感受外力可以在某一截面上，發生簡單應力之混合力，名為混合應力。梁內之應力，尋常均屬混合性質。此外尙有其他名稱，以解釋應力，當於後文述之。

4. 單位應力 論應力時，不僅須言其加於截面之全部應力，更常須言其加於單位面積（例如平方吋）之應力，此單位面積所感受之應力，即單位應力是也。

全部應力，以其所感受或分配之截面積除之，即得單位應力。

設 P 為全部應力，

A 為此應力所作用之截面積，

S 為單位應力；

$$\text{則 } S = \frac{P}{A}, \text{ 或 } P = AS \quad (1)$$

以嚴格而論，上式祇能適用於應力均勻分配於截面之時，例如每平方吋所受之應力均相等。如應力非均勻分配，即各平方吋所感受之應力不同，則 $\frac{P}{A}$ 不過代表此單位應力之平均值而已。

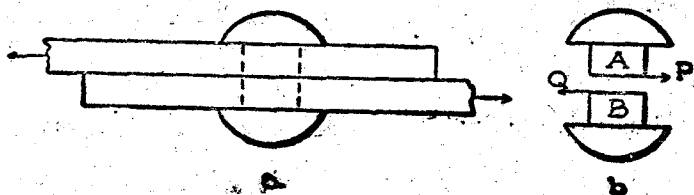


圖 3

5. 單位應力之單位 在英制中，單位應力常用每平方吋磅數表示之，有時亦用每平方吋之噸數。在上式(1)中，如 P 係磅數，

A 係平方吋數，則 S 即為每方吋磅數。如 P 係噸數，則 S 即為每方吋之噸數。

【例一】 假定圖 1 內所示之鐵棒之截面積為 2 方吋，所懸之重為 1,000 磅，問棒之單位應力為若干？

$$P = 1,000 \text{ 磅}, \quad A = 2 \text{ 方吋}$$

$$\text{故 } S = \frac{1,000}{2} = \text{每方吋 } 500 \text{ 磅}$$

【例二】 假定此鐵棒之截面積為 $\frac{1}{2}$ 方吋，問其單位應力為若干？

$$A = \frac{1}{2} \text{ 方吋}, \quad P = 1,000 \text{ 磅如上},$$

$$\text{則 } S = 1,000 \div \frac{1}{2} = \text{每方吋 } 2,000 \text{ 磅}$$

注意，欲求單位應力，必以全面積除之，不論其面積之大於或小於一單位也。

6. 變形 以外力加於物體，則此物體之大小形式，必有所變動；此種變動即為變形。變形之量，常用吋計之，如一桿被拉長 2 吋，即稱「伸長」= 2 吋

7. 單位變形 論變形時，不僅須言其全部變形之數值，更常須言物體單位長度所生之變形；此單位長度所起之變形，名為單位變形。

部全變形，以其所分配之全部長度除之，即得單位變形。

設 D 為變形之值， l 為物體之長度

s 為單位變形，

$$\text{則 } s = \frac{D}{l}, \quad \text{或 } D = ls \quad (2)$$

上式中 D 及 l 必須以同一單位表示之。

【例】假定有棒長 4 呎，今被拉長 $\frac{1}{2}$ 吋，問單位變形爲若干？

$$D = \frac{1}{2} \text{ 吋}; \quad l = 4 \text{ 呎} = 48 \text{ 吋},$$

$$\text{故 } s = \frac{1}{2} \div 48 = \text{每吋 } \frac{1}{96} \text{ 吋},$$

即棒長之每吋，被伸長 $\frac{1}{96}$ 吋也。

單位伸長，有時可用百分數表示之。求法：全部伸長(吋數)，以原長度(吋數)除之，再乘以 100，即得。

8. 彈性 多數固體物件，當變形之後，若將外力解除，則多少均能復原。此種恢復原形之性質，名曰彈性。

吾人得依其彈性程度，分析物體爲下列各類：

(1) 完全彈性體 此種物體，不論所加外力如何強大，祇須未及破壞程度，均能恢復其原狀。世上恐無此種物體，惟橡皮席幾近之。

(2) 不完全彈性體 此種物體，在外力不過大時，可以完全復原，有時外力雖大，祇須未及破壞程度，亦可幾乎復原。凡建築材料大都屬於此類。

(3) 非彈性體或粘體 此種物體，當外力解除時，毫無復原能力，如泥塊及油灰均屬之。

9. 虎克氏定律及彈性限度 在完全彈性物體，所加外力，如係逐漸增大，則其變形與外力成正比例；設 P 及 P' 爲兩外力(或應力)之值， D 及 D' 各爲其所生之變形，則

$$P : P' = D : D'$$

上項關係，在不完全彈性體，亦可成立，祇須 P 及 P' 不超過一定限度，此項限度，隨物質而異。在此限度以外，則變形之增加，較

外力更速；譬如在限度以內，外力每增加 1,000 磅，則變形增加 0.01 吋，若在限度以外，則同樣外力之增加，其變形之增加，大於 0.01 吋甚多。

物體彈性，達乎此正比例性限度以外時，其變形之一部份，即成爲永久性質；雖外力解除時，亦僅能恢復其一部份，此永久不能復原之部份，名爲『永久變形』。

此變形與外力，在一定限度內成正比例之事實，名爲虎克氏定律。在此限度時之單位應力名爲『彈性限度』，因在限度以內，則虎克定律可以適用，限度以外，則變形與外力，不成正比例。

10. 極限強度 凡一物體所能承受之最大單位抗張應力，抗壓應力或抗剪應力，即爲該物體之抗張應力，抗壓應力或抗剪應力之極限強度。

如上節所述，一物體感受外力，達彈性限度以外時，其變形之增加，即較速於外力之增加，至近於破壞限度時，則變形之增加更速。且物體變形時，不僅受張力者拉長，受壓力者壓短，即其截面積，亦隨之變化；受張力者截面減小，受壓力者截面膨大。求任何一物體之極限強度，即將該物樣體一塊，加以張力壓力或剪力，使外力逐漸增加，至破壞限度爲止，乃量所加之力。此項最大外力，除以樣體之截面積，即得極限強度之值。

【例】 在張力試驗，有一鍛鐵棒，其直徑爲 $\frac{1}{4}$ 吋，最大荷重爲 12,540 磅，問此種鍛鐵之極限強度爲若干？

棒之原截面積爲 $0.7854(\text{直徑})^2 = 0.7854 \times \frac{1}{4} = 0.1964$ 方吋

故 極限強度爲 $12,540 \div 0.1964 = \text{每方吋 } 63,850 \text{ 磅}$

11. 應力與變形曲線圖 欲試驗某種物質，以決定其彈性限度，極限強度，及其他性質，可將該物樣體一塊，加以各種外力，並隨時紀錄其變形，直至此樣體破碎為止。下表內第一第二兩行即紀錄一根 1 吋直徑鋼棒之張力試驗，第一行紀拉力數值，同時量得此樣體之伸長度，記入第二行內。其第三第四兩行，即將一二兩行內各值轉化為單位應力，及單位變形。如第一行內之數，以棒之截面積 0.7854 方吋除之，即得第三行。例如

$$3,930 \div 0.7854 = 5,000$$

$$7,850 \div 0.7854 = 10,000, \text{餘類推。}$$

又第二行內之數，以樣體之長度 8 吋（即紀錄伸長之部份）除之，即得第四行，

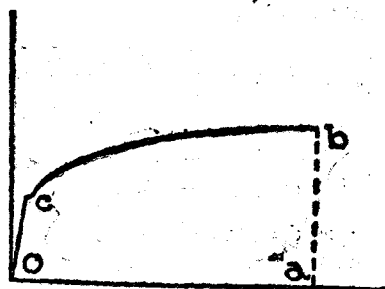
$$0.00136 \div 8 = 0.00017$$

$$0.00280 \div 8 = 0.00035, \text{餘類推。}$$

總拉力 P, 磅數	變形 D, 吋數	單位應力 S 每方吋磅數	單位變形 s 每吋, 吋數
3930	0.00136	5000	0.00017
7850	0.00280	10000	0.00035
11780	0.00404	15000	0.00050
15710	0.00538	20000	0.00067
19635	0.00672	25000	0.00084
23560	0.00805	30000	0.00101
27490	0.00942	35000	0.00118
31415	0.01080	40000	0.00135
35345	0.01221	45000	0.00153
39270	0.0144	50000	0.00180
43200	0.0800	55000	0.0100
47125	0.1622	60000	0.0202
51050	0.201	65000	0.0251
54980	0.281	70000	0.0351
58910	0.384	75000	0.048
62832	0.560	80000	0.070
65200	1.600	83000	0.200

觀上表一二兩行，知在第九數以前，伸長度與拉力大約成正比例，即拉力每增加一次，伸長度約增加 .00135 吋；但在第九數以後，則伸長度加速增進，故第九數大約即其彈性限度，即每方吋為 45,000 磅。表內最大拉力為 65,200 磅，即每方吋 83,000 磅，為其極限強度。

上述試驗所得結果，大致均可用一曲線表示之，即為應力與變形曲線。其法以單位伸長度（表內第四行）之數值，依某種便利之比例尺，從一定點繪於一水平線上，則此各點即表示各單位伸長度，然後依各點之垂直方向，繪相當之各單位應力（表內第三行）。然後將



各單位應力之頂端，連以光潔曲線。例如從 O 點（圖 4）繪出最大伸展度（0.20），即得 a 點，再從 a 點量取垂直距離等於最大單位應力（83,000），即得 b 點。其餘各點，亦同樣求得，連接之以成 ocb 曲線。線上 oc 部份，

因在彈性限度以內，故係直線，且近於垂直，其餘係曲線，且近水平。將近破裂點 b 時，其水平更甚。圖 5 係表示木材，鑄鐵，鍛鐵，軟鋼，硬鋼等材料，在張力壓力試驗中，所得之應力與變形曲線圖之一例。

12. 實用應力，強度，及安全因數 建築物之任何一部份，因負擔荷重而感受之最大單位應力，即為該部份之實用應力。如受張力壓力及剪力時，則其相當之最大單位應力，即名為其張力壓力及剪力之實用應力，故實用應力之種類，與應力之種類相同。一物質