



工程計算題解

韋立端著 · 萬里書店出版

代 序

強大的工業基礎，主要是建立在機械與數理化的理論上面。因此，對於各種專門工程技術工作的問題，有時不能憑個人的經驗臆測推斷，而必須根據科學化的數據來決定。

由於機械工程的範圍廣泛，一個從事工程技術的工作者，在日常工作中所接觸的問題必然相當繁雜，在這方面，學問水準很高，能夠輕易解決問題的固然不少，但實際上，經驗還不成熟的為數亦多。友人立端兄從事機械生產工作多年，有見及此，以嘗試的方式根據日常接觸到的問題，編擬了有關工程技術的實用計算示例二百餘題，一一解答，提供讀者參考。

本書特點主要是不涉高深的數理公式，而代以普通數學的計算方法，內容方面綜合有關機械工程、力學、熱力學、流體力學、蒸汽能量、鍋爐試驗、噴流馬力、發動機的測驗與試驗等計算，附有示意圖解，多姿多采，且饒有趣味，是一本非常適用於船塢、鐵工廠、鐵路機車、汽車修理、五金製造，以及一般輕工業、重工業、機械工業工程技術人員與工科學生解決問題的工具書。

陳鐵君

一九六九年三月

目 次

一、直線上的力 (1—6題)	1
二、應力和應變 (7—21題)	4
三、諸力作用於一點，三角形和多角形的 力，包氏記號法和向量 (22—32題)	15
四、平行諸力和力矩原理 (33—45題)	26
五、同平面的力 (46—50題)	38
六、斜面阻抗 (51—60題)	44
七、速度和加速度 (61—76題)	51
八、簡單機械 (77—84題)	63
九、工作，工率和能量 (85—96題)	70
十、慣性，動能，動量 (97—108題)	78
十一、動的問題 (109—120題)	90
十二、樑的強度，彎曲力矩和剪力 (121—133題)	98
十三、軸，扭轉，實心軸和空心軸，扭轉剛 性，傳遞馬力 (134—141題)	112
十四、熱，溫度，比熱 (142—149題)	119
十五、蒸汽特性，壓力能量，內在能量與總	

熱，乾燥分數，蒸汽表格的應用 (150—161題)	123
十六、氣體定律和基本熱力學 (162—169題)	133
十七、燃料的熱值，燃燒成分及生成物 (170—174題)	139
十八、鍋爐試驗，效率，發動機的測驗及試 驗 (175—180題)	144
十九、水力學，流體靜壓，壓力中心 (181—190題)	153
二十、液體的浮力，浮體活中心的高度 (191—194題)	161
二十一、液體的流動，白努理定律，凡條里 測量器，噴流馬力 (195—200題)	165
二十二、噴孔，收縮系數，速度及流放，使 罐放空的時間，由於管道突然擴大 而來的壓頭損失 (201—206題)	171
附 錄：學名定義淺釋	179

一、直線上的力

【1】彈簧在負荷 30 磅時伸展 4 吋，要是把它的負荷改爲 6 磅時，彈簧伸展多少？

由於伸展度與負荷成正比，

$$\frac{e}{W} = \frac{e_1}{W_1} \quad \therefore \quad \frac{4}{30} = \frac{e_1}{6}; \quad e_1 = \frac{24}{30} = \underline{0.80 \text{ 吋}}$$

【2】直徑 0.05 吋的線條負荷 50 磅，試求它的應力強度平均每方吋多少？

$$\begin{aligned} \text{線條的橫斷面積} &= 0.7854 \times (0.05)^2 \\ &= 0.00196 \text{ 方吋} \end{aligned}$$

$$\text{應力強度} = \frac{50 \text{ 磅}}{0.00196 \text{ 方吋}} = \underline{25,500 \text{ 磅，每方吋(約)}}$$

【3】試求能夠承受拉伸強度 12 噸，而應力強度每方吋不超過 7 噸的圓鋼桿直徑要多大才算適合？

設： d = 桿的直徑(吋)

$$\text{應力強度} = \frac{\text{負荷}}{\text{面積}}$$

$$\begin{aligned} \therefore 6 &= \frac{12}{0.7854 \times d^2}; \quad d = \sqrt{\frac{12}{7 \times 0.7854}} \\ &= \underline{1.46 \text{ 吋(約)}} \end{aligned}$$

【4】直徑 1.5 吋的圓鋼繫桿，承受 8 噸的拉伸負荷，求繫桿上的應力強度。

$$\text{繫桿的橫斷面積} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times (1.5)^2}{4} = 1.765 \text{ 吋}^2$$

$$\text{應力強度} = \frac{8}{1.765} = \underline{4.53 \text{ 噸(每方吋)}}$$

【5】兩個人拉一根繩子，繩子的一端繫在一個固定的鐵環上面，假設每人的拉力是 80 磅時，求繩子的牽力和鐵環所承受的力。

$$\begin{aligned} \text{繩子牽力} &= \text{兩人拉力的和} = 80 + 80 \\ &= 160 \text{ 磅} \end{aligned}$$

因為，動作和反動作是相等而又相對的，所以，
鐵環承受的力也是 160 磅

【6】內徑 10 吋的鑄鐵管子，假設管子裏的周應力不超過每方吋 1,000 磅時，管子的厚度要多大才能維持每方吋 50 磅的內壓力？

爆炸力 = 抵抗力

$$p \times d \times l = 2f \times t \times t$$

其中 p = 內壓力 · 磅/吋²

d = 鑄鐵管子內徑

t = 管子厚度 · 吋

f = 周應力 · 磅/吋²

l = 管子長度

$$t = \frac{Pd}{2f} = \frac{50 \times 10}{2 \times 1000} = \frac{500}{2000} = \underline{0.25 \text{ 吋}}$$

二、應力和應變

【 7 】長 20 呎，直徑 1.5 吋的鋼桿，承受 10 噸的負荷。

假設 E = 每方吋 13,000 噸的話，試求鋼桿的伸展度。

$$\text{橫斷面積} = 0.7854 \times (1.5)^2 = 1.767 \text{ 方吋}$$

$$\text{應力} = \frac{\text{總負荷}}{\text{面積}} = \frac{10}{1.767} = 5.66 \text{ 噸/吋}^2$$

$$E = \frac{\text{應力強度}}{\text{應變}}$$

$$13,000 \text{ 噸/吋}^2 = \frac{5.66 \text{ 噸/吋}^2}{\text{每吋的伸展度(吋)}}$$

$$\text{每吋的伸展度(吋)} = \frac{5.66}{13,000} = 0.000435$$

$$\begin{aligned} 20 \text{ 呎的總伸展度 (240 吋)} &= 240 \times 0.000435 \\ &= \underline{0.1044 \text{ 吋}} \end{aligned}$$

【 8 】直徑 1 吋的鋼桿，以 15 噸的拉力支配，求 10 吋長鋼桿上的總伸展度和最小的應度。

$$\text{設：} \quad E = 13,000 \text{ 噸/吋}^2$$

$$\text{橫斷面積} = 0.7854 \times (1)^2 = 0.7854 \text{ 吋}^2$$

$$\text{應力} = \frac{\text{總負荷}}{\text{面積}} = \frac{15}{0.7854} = 19.1 \text{ 噸/吋}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{每吋應變(吋)} &= \frac{\text{應力強度}}{E} \\
 &= \frac{19.1 \text{ 噸/吋}^2}{13,000 \text{ 噸/吋}^2} = \underline{0.00147} \\
 10\text{吋長度上的總伸展度} &= 10 \times 0.00147 \\
 &= \underline{0.01470 \text{ 吋}}
 \end{aligned}$$

【 9 】重 250 磅的物體，繫於 20 呎長未定頭的金屬線上，並產生了伸展 0.045 吋的現象，假設 $E=12,000$ 噸/方吋的話，求金屬線的直徑。

$$\begin{aligned}
 \text{設：} \quad d &= \text{金屬線的直徑(吋)} \\
 \text{橫斷面積} &= 0.7854 \times d^2 (\text{方吋}) \\
 \text{應力強度} &= \frac{\text{總負荷}}{\text{面積}} = \frac{250 \text{ 磅}}{0.7854 d^2 (\text{方吋})} \\
 \text{總伸展度} &= 20 \text{ 呎內伸展 } 0.045 \text{ 吋} \\
 \text{應變} &= \frac{0.045}{20 \times 12} = 0.0001875 \\
 \text{應變} &= \frac{\text{應力強度}}{E} \\
 0.0001875 &= \frac{250}{12,000 \times 2240} \\
 d^2 &= \frac{250}{0.0001875 \times 0.7854 \times 12,000 \times 2,240} \\
 d &= \underline{0.2484 \text{ 吋}}
 \end{aligned}$$

【10】自 0.125 吋厚的金屬片上沖出 2 吋大的孔眼一個，假設金屬片的極限剪應力是每方吋 45,000 磅的話，求需要多大的負荷。又，沖孔工具附在直徑 3 吋的沖鏈上時，沖鏈上的沖壓應力強度有多少？

$$\text{剪力極限強度} = \frac{\text{負荷}}{\text{孔周邊} \times \text{金屬片厚度}}$$

$$45,000 = \frac{\text{負荷}}{8 \times 0.125}$$

$$\text{負荷} = 45,000 \text{ 磅}$$

$$\text{沖鏈的應力強度} = \frac{\text{負荷}}{\text{面積}} = \frac{45,000 \text{ 磅}}{0.7854 \times (3)^2 \text{ 方吋}}$$

$$\text{應力強度} = \underline{6,366 \text{ 磅(每方吋)}}$$

【11】外徑 12 吋，內徑 9 吋，長 20 呎的空心鑄鐵圓柱，假設以 100 噸重的物體放在柱頂上面時，求柱體的短縮度。

$$\text{設：} \quad E = 8,000 \text{ 噸(每方吋)}$$

$$\text{橫斷面積} = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2)$$

$$= 0.7854(12^2 - 9^2) = 49.48 \text{ 吋}^2$$

$$\text{應力強度} = \frac{\text{總負荷}}{\text{面積}} = \frac{100}{49.48} = 2.02 \text{ 噸/吋}^2$$

$$\text{應變比例} = \frac{\text{應力強度}}{E} = \frac{2.02 \text{ 噸(每方吋)}}{8,000 \text{ 噸(每方吋)}}$$

$$= 0.000252$$

$$\text{鐵柱 20 呎長的總縮度} = 20 \times 12 \times 0.000252$$

$$= \underline{0.0606 \text{ 吋}}$$

【12】安裝在 3×0.5 橫斷面的長方形繫桿上的應變錶，在桿長 8 吋的地方時，錶上指出的應變是 0.0045 吋，當繫桿在不超負荷的情況下，求應力強度和繫桿的總負荷。

設： $E = 13,000$ 噸(每方吋)

$$\text{應變} = \frac{0.0045 \text{ 吋}}{8 \text{ 吋}}$$

$$= 0.0005625$$

$$\text{應力強度} = 0.0005625 \times 13,000$$

$$= 7.31 \text{ 噸/吋}^2$$

$$\text{總負荷} = 7.31 \times 3 \times 0.5 = \underline{11 \text{ 噸}}$$

【13】直徑 1 吋，具有每方吋 80 噸極限抗牽強度的鋼質高空線，假設它的安全系數是 5 的話，試計算 100 呎鋼線上的許可拉力和對應的延伸跨距。

設： $E = 13,500$ 噸(每方吋)

$$\text{橫斷面積} = \frac{\pi d^2}{4} = 0.7854 \times 1^2 = 0.7854 \text{ 方吋}$$

$$\text{工作應力} = \frac{80}{5} = 16 \text{ 噸(每方吋)}$$

$$\text{許可拉力} = 16 \times 0.7854 = 12.57 \text{ 噸}$$

$$\text{伸展度} = \frac{\text{應力強度}}{E} = \frac{16.0}{13,500} = 0.00119$$

$$\text{總延伸} = 100 \times 12 \times 0.00119 = \underline{1.428 \text{ 吋}}$$

【14】蒸汽管長 100 呎，在 15°C 時通過 200°C 的蒸汽，假

設管子是自由擴張的話，它的長度將增加多少？又，要是能夠防止它的擴張時，金屬體上的應力感應將有多大？

$$\text{設：} \quad E = 6,500 \text{ 噸/吋}^2$$

$$a = 0.000012 \text{ 每度(攝氏)}$$

$$\text{溫度變化} = 200 - 15 = 185^\circ \text{C}$$

$$\text{增加長度} = Tal$$

$$= 185 \times 0.000012 \times 100 = \underline{0.222 \text{ 呎}}$$

$$\text{金屬的應力感應} = TaE = 185 \times 0.000012 \times 6,500$$

$$= \underline{14.43 \text{ 噸(每方吋)}}$$

【15】柴油發動機的汽缸直徑 2.4 吋，汽缸裏的最大壓縮力是每方吋 250 磅，汽缸蓋以四根直徑 0.5 吋；長 2 吋的螺絲收緊，求每個螺絲的最大牽應力和延伸度。

$$\text{設：} \quad E = 30 \times 10^6 \text{ 磅(每方吋)}$$

每個螺絲承受的最大力限

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{250}{4} = 0.7854 \times 2.4^2 \times \frac{250}{4} \\ &= 282.7 \text{ 磅} \end{aligned}$$

每個螺絲的最大應力

$$\begin{aligned} &= f_t = \frac{\text{最大力限}}{\text{面積}} = \frac{282.7}{0.7854 \times (0.5)^2} \\ &= \underline{1440 \text{ 磅/吋}^2} \end{aligned}$$

每個螺絲的延伸度

$$= \frac{f_t \times l}{E} = \frac{1440 \times 2}{30 \times 10^6} = \underline{0.0000953 \text{ 吋}}$$

【16】直徑 0.025 吋的鋼線，在負荷 15 磅的情況下伸展了 0.39 吋，假設 $E=13,000$ 噸/吋² 的話，求鋼線的長度。

設： l = 鋼線的長度(吋)

$$\text{鋼線的橫斷面積} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times (0.025)^2}{4} \text{ 方吋}$$

$$\text{應力強度} = \frac{\text{負荷}}{\text{面積}} = \frac{15 \times 4}{\pi \times (0.025)^2}$$

$$\text{彈性模數 } E = \frac{\text{應力}}{\text{應變}} = \frac{\text{應力}}{\frac{\delta l}{l}}$$

$$\begin{aligned} \therefore 13,000 \times 2,240 &= \frac{\frac{15 \times 4}{\pi \times (0.025)^2}}{\frac{0.39}{l}} \\ &= \frac{15 \times 4 \times l}{\pi \times (0.025)^2 \times 0.39} \\ l &= \frac{13,000 \times 2,240 \times \pi \times (0.025)^2 \times 0.39}{15 \times 4} \\ &= \underline{371.5 \text{ 吋}} \end{aligned}$$

【17】直徑 0.07 吋的黃銅線和直徑 0.09 吋的鋼線各長 12 呎，在同一水平面上各距 6 吋垂下，並在各該線的下端繫一桿子，在桿子上（兩線之間的中途）加上 120 磅重的物體，由於兩種金屬線的物理性質不同，假設黃銅 $E=9 \times 10^6$ 磅/吋²，鋼 $E=30 \times 10^6$ 磅/吋² 的話，試計算桿子傾斜於水平面的角度。

$$\text{黃銅線的橫斷面積} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times (0.07)^2}{4} \text{方吋}$$

$$\text{鋼線的橫斷面積} = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi \times (0.09)^2}{4} \text{方吋}$$

由於負荷在兩線的中間

$$\text{每一線的負荷} = \frac{120}{2} = 60 \text{ 磅}$$

$$E = \frac{\text{應力}}{\text{應變}} = \frac{\text{應力}}{\frac{\delta l}{l}}$$

其中 δl = 增加長度(吋)

關於黃銅線:

$$9 \times 10^6 = \frac{\frac{60}{\frac{\pi \times (0.07)^2}{4}}}{\frac{144}{\delta l}} = \frac{60 \times 4}{\pi \times (0.07)^2} \times \frac{144}{\delta l}$$

$$\therefore \delta l = \frac{60 \times 4}{\pi \times (0.07)^2} \times \frac{144}{9 \times 10^6} = 0.249 \text{ 吋}$$

$$\text{關於鋼線: } \delta l = \frac{60 \times 4}{\pi \times (0.06)^2} \times \frac{144}{30 \times 10^6} = 0.0453 \text{ 吋}$$

$$\text{長度上的差異} = 0.249 - 0.0453 = 0.2037 \text{ 吋}$$

假設 θ = 桿子傾斜於水平面的角度

$$\sin \theta = \frac{0.2037}{6} = 0.0339$$

$$\therefore \theta = 56'$$

【18】薄襯套在直徑 9 吋的圓軸上發生收縮，假設 $E =$

30×10^6 磅/吋² 而圓軸上的壓縮應變不計較的話，問襯套的內徑在加熱前應該多大才能以每方吋 5 噸的牽力把圓軸箍緊？

設： d = 最初的內徑(吋)

x = 直徑的伸縮(吋)

這樣 $x + d = 9$

$$E = \frac{\text{應力}}{\text{應變}}$$

$$\therefore \frac{x}{d} = \frac{5 \times 2,240}{30 \times 10^6} = 0.000373$$

$$1.000373d = 9$$

$$d = \underline{8.996 \text{ 吋}}$$

【19】測量用捲尺名義上長 100 呎，闊 0.5 吋，厚 0.4 吋，在華氏表 90° 時以 15 磅的力拉出應用，它的長度是正確的。但在華氏表 100° 時以 10 磅的力拉出，它的長度就不十分正確了，試計算其中的差誤多少？

設： $E = 30 \times 10^6$ 磅/吋²

線膨脹系數：

假定 $a = 0.000006$ 每度(華氏表)

$l = 60^\circ \text{ F}$ 時的正確長度

x = 在 15 磅負荷下的伸展

$$\therefore l + x = 100 \times 12 \text{ 吋}$$

$$\frac{x}{l} = \text{應變} = \frac{\text{應力}}{E} = \frac{15}{0.5 \times 0.4 \times 30 \times 10^6} = \frac{1}{40,000}$$

$$\therefore 40,000x = l$$

$$\therefore 40,000x + x = 1,200$$

如果 x 是負荷 15 磅 = 0.03 吋

$$\therefore x_1 \text{ 是負荷 10 磅} = 0.02 \text{ 吋}$$

$$\therefore \text{在 10 磅拉力下的長度是 } 1199.97 + 0.02 \\ = 1199.99$$

由於溫度增加了 40°F ,

$$xt = 40 \times 0.000006 \times 1199.99 \\ = 0.288 \text{ 吋},$$

$$\text{捲尺長度} = 1199.99 + 0.288 = 1200.28 \text{ 吋}$$

$$\therefore \text{差誤} = \underline{0.28 \text{ 吋}}$$

【20】把鋼軌焊接起來，並使其在 60°F 時沒有內應力，不讓鋼軌彎曲，故不能伸長或縮短。設在 180°F 的溫度變化時，鋼的長度膨脹為原長的 0.0012， $E = 30 \times 10^6$ 磅/吋²，求在 120°F 時的應力。又設其彈性極限為 40,000 磅/吋²，問到了什麼溫度才會達到這個極限？

每長度單位的延伸度

$$120^\circ\text{F} = \frac{(120 - 60) \times 0.0012}{180} = 0.0004$$

$$E = \frac{\text{應力}}{\text{應變}}$$

$$\therefore \text{應力} = E \times \text{應變} = 30 \times 10^6 \times 0.0004 \\ = 12,000 \text{ 磅/吋}^2$$

如應力達到 40,000 磅/吋²,

$$\text{則 } 40,000 = 30 \times 10^6 \times \text{應變}$$

$$\text{應變} = \frac{40,000}{30 \times 10^6} = \frac{\text{升高溫度} \times 0.0012}{180}$$

$$\therefore \text{升高溫度} = \frac{40,000 \times 180}{30 \times 10^6 \times 0.0012} = 200^\circ \text{F}$$

$$\text{實際溫度} = 200 + 60 = \underline{260^\circ \text{F}}$$

【21】兩根長度相等的垂直線，上端固裝在互相距離 3 呎的物體上面，下端則連接着一根橫放的棒子，如圖 1。兩線其中一根是直徑 0.1 吋的銅線，另一根則是 0.2 吋的銅線，問金屬線經過伸展之後，棒子上的那一部份應該放置一些重量的物體才能保持棒子的平衡狀態？

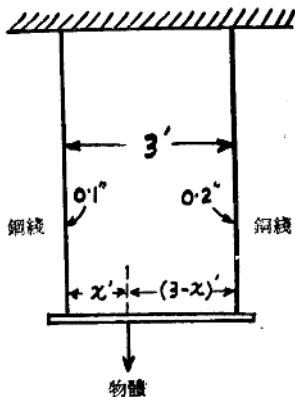


圖 1

$$\text{設: } E(\text{鋼}) = 30 \times 10^6 \text{ 磅/吋}^2$$

$$E(\text{銅}) = 15 \times 10^6 \text{ 磅/吋}^2$$

x = 物體與銅線距離

W = 物體重(磅)

$$\text{銅線荷重} = \frac{Wx}{3} \text{ 磅}$$

$$\text{銅線荷重} = \frac{W(3-x)}{3} \text{ 磅}$$