

機械設計

原理及題解

A · S · 霍尔 A · R · 霍洛温科 等著



曉園出版社
世界图书出版公司

機械設計

原理及題解

王 總 守 譯

曉 園 出 版 社

世界圖書出版公司

机械设计原理及题解

A. S. 霍尔 A. R. 霍洛温科 等著

王总守 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 各地新华书店经售

1992年5月 重印 开本 787×1245 1/20

1992年5月第一次印刷 印张 20

印数: 0,001—1,700

ISBN: 7-5062-1185-8/TH·15

定价: 20.60元

世界图书出版公司通过中华版权代理公司

购得重印权 限国内发行

譯 序

機械設計理論與題解一書係由美國普度大學機械工程學教授 Allen S. Hall, Jr., Alfred R. Holowenko, 及 Herman G. Laughlin 三位所著。本版為 SI 版，正適合現行國家推行之政策。本書除扼要說明有關之理論以及原則外，主要以題解方法闡釋理論，可使讀者把握問題之重心，瞭解正確之解題方法及步驟。依個人之經驗，本書不但可以當作機械設計之補充教材，尚可當作考試之參考用書，有助於讀者獲得相關的基本知識。

根據個人於南亞塑膠及中山科學研究院從事機械設計的經驗；任何設計的優劣，並非全賴於科學方面的訓練，需要甚多條件相配合；諸如判斷力、熟悉設計規範、設計標準、經驗法則及對最新相關型錄的蒐集、新產品零件的認識等等。雖然這些經驗僅能於實際工作中去體驗，然而我相信如能於教材中，加強機械設計理論的合理應用，並知道如何假設及求得近似值的概念，這些將有助於日後從事機械設計之基礎。而本書正是針對此目的而做的。

本書共分二十七章，其中除了部分應用力學及材料力學的複習之外，有關機械設計的其他部分，如齒輪強度設計、軸之臨界轉速、軸承、潤滑、機件撓度、振動學之介紹均有詳細說明。

本書之譯作，力求與原意相吻合，所用譯名則以機械工程名詞辭典為準，書末附索引以供查驗。惟譯者才疏學淺，謬誤之處，在所難免，尚祈學者及先進們不吝指正，以供修正。

1987年3月25日于工技院

王總守 謹識

原 序

本書是初等機械設計課本的理想參考書，它提供一些範例及詳解，使讀者能熟悉並牢記機械原理。本書對理論和原理之敘述相當詳細，如果適當控制講授時間，本書也可當教科書使用。

各章的編寫順序是先對各名詞下定義再敘述其理論，其次是範例及詳解，最後是補充題。範例和詳解是用來說明理論並敘述如何的運用，使讀者加深印象並徹底了解。同時許多理論和公式也在範例和詳解部分予以證明，補充題為每章複習之用。

各章討論的主題，大都和標準的機械課程相同，這些代表性的主題足夠說明一般機械設計上的問題。有些問題有不只一種解法，作者盡量用最好的方法去解答。在某些情況下，則交互使用各種解法，有些問題更有別出心裁的解決方法。因此，本書雖不完全與普通教科書相同，但對機械設計整體而言，作者認為它相當有價值。

本書有些較特別的部分，如：書中包括一系列的應用力學 (applied mechanics) 複習問題；和設計有關之材料力學 (strength of materials) 的範例；用梯階函數 (step function) 和卡斯提哥連諾理論 (Castigliano theorem) 來求機件之撓度；振動學 (Vibration) 之介紹；及最近由 Boyd 和 Raimondi 所提出有關於潤滑問題的解法。由 AFBMA 標準所摘錄出來有關徑向球軸承 (radial ball bearings) 的靜力 (static)、動力 (dynamic) 負荷率計算。齒輪力 (gear forces) 的計算，本書較標準教科書有更詳細的說明。對於軸之臨界轉速 (critical speeds) 有精確而細心的處理。關於機件之剛度 (rigidity) 和機件強度計算同樣有完整的處理；在本書中包括流量控制 (flow control)、自動電力控制 (automatic electrical control)、品質管制 (quality control) 和創意性設計 (creative design) 問題等三十六個設計課題。

大家都知道設計能力除了科學方面的訓練外，還有許多相關因素，諸如：創造力 (ingenuity)、判斷力 (judgment)、對經驗數據熟悉程度、設計規範及設計標準方面的知識均非常重要，而這些設計能力惟有多年的實際工廠上經驗，才能完全地發展出來。然而，學生所能學的只是基本的概念，亦即機械設計理論的邏輯應用，加上一些假設或近似值 (approximations) 的觀念。所以本書就是針對此目的而寫的。

作者受到許多人的幫助，如在機械設計、材料力學及機械動力學方面發表過的論文曾被作者研究及比較過。以上這些論文對作者的思考均有相當幫助。此外普度大學 (Purdue University) 對機械設計有研究的同仁，對本書許多章節處理提出改進意見，作者在此謹向他們建設性的批評和建議致最大的謝意。

特別感謝普度大學機械設計教授 E. S. Ault 的鼓勵。Ault 教授於本書以路易斯公式 (Lewis formula) 討論齒輪設計計算，更是功不可沒。

也感謝 Henry Hayden 先生對於排版上的設計及製圖，這些精確的製圖對本書的研讀有所助益，尤其在空間的視覺效果扮演相當重要的角色。

下列各公司行號允許印上許多參考材料，於此一併致謝：

The Lincoln Electric Company, The Anti-Friction Bearing Manufacturers Association, and Mr. A. A. Raimondi and Mr. John Boyd of the Westinghouse Electric Company.

A. S. Hall, Jr.

A. R. Holowenko

H. G. Laughlin

1961 年 6 月於普度大學

SI (米制)版序

根據 BS 5555: (1976) (ISO 1000-1973) 所公佈，本書原來採用的呎 - 磅 - 秒英制系統單位已經被轉換成 S. I. 系統，本書習題因此有些許改變，且某些設計方法經過適當的一連串數字變換而成新制單位系統。

然而，我們希望沒有破壞了原作者在第一版序言中所敘述之目的。

1980 年 4 月於 Royal Military
College of Science

M. D. Bennett
P. C. Hills

目 錄

第 一 章	緒 論	1
第 二 章	簡單機件的應力	7
第 三 章	金屬的配合和公差	25
第 四 章	彎 樑	35
第 五 章	機械構件之撓度與屈曲	51
第 六 章	受變動負荷的機件設計	99
第 七 章	機械之振動	121
第 八 章	軸之臨界轉速	139
第 九 章	動力傳導軸	155
第 十 章	聯結器之設計	177
第 十 一 章	鍵、銷、方栓槽	187
第 十 二 章	傳力螺旋和螺紋扣件	197
第 十 三 章	螺栓之負荷	211
第 十 四 章	離合器	223
第 十 五 章	制動器的設計	241
第 十 六 章	彈 簧	257
第 十 七 章	齒 輪	279
第 十 八 章	正齒輪	303
第 十 九 章	螺旋齒輪	321
第 二 十 章	斜齒輪	331
第 二 十 一 章	蝸形齒輪	343
第 二 十 二 章	滾動承軸	353
第 二 十 三 章	潤滑和軸承設計	381
第 二 十 四 章	皮帶驅動	399
第 二 十 五 章	鉚 接	415
第 二 十 六 章	飛 輪	433
第 二 十 七 章	設計計畫	447

第一章

緒論

工程設計 (ENGINEERING DESIGN)

工程設計乃是計畫的創立，其目的在使機械、構造物、系統或程序能執行所希望的機能。

設計程序 (THE DESIGN PROCESS)

工程設計的程序包括下列各步驟：

- (1) 認識所需並對它做全面性的說明，由此確定問題。
- (2) 考慮解決此問題的各種計畫，選定一個作詳盡研究。在此步驟發展階段中有一特徵便是常須用某些專門的理論，以探討各種計畫的可行性。
- (3) 對所要選擇的機械、構造物、系統或程序進行初步設計，以概略確認所有特徵，然後列出主要部門的規格。
- (4) 設計所有的零件，繪製所需藍圖並詳列其規格。

在設計過程最初階段，設計師就是創作家。因此，設計師應該發揮其發明才能及想像力。

對一個完整的設計而言，藍圖和詳細的規格是多數大大小小決定的記錄。而在設計過程後階段，設計師必須遵循各種科學原則，再以經驗上所得的資料為補充做各種決定。然而有一點必須了解，即科學僅能給所要做的決定設定一個界限，或用統計的圖形說明各種決定的後果。決定，仍舊是設計師所必須做的。因此，判斷力對一位優良設計師在下決定時，是非常重要的。

機械設計 (THE DESIGN OF A MACHINE)

設計機械均必須依循如圖 1-1 所示程序。

一般的規格決定後，必須建立機械各部分的運動關係，或稱之為骨架。接下來是力的分析（某些設計需用動力學理論，因此動件的質量若為未知，力的分析是不完整的）。依力的分析的資料便可設計零件（因力尚無法完全知道，故此只是試驗性提案），接著是做更明確的力的分析以及修正原先設計。最後的決定仍受到強度和剛度以外

2 機械設計原理及題解

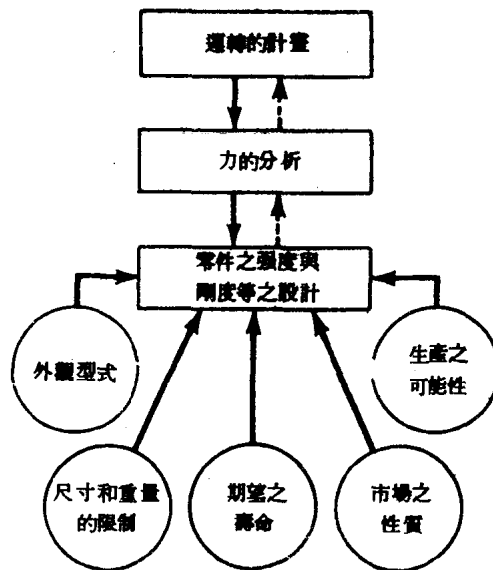


圖 1-1

的許多因素所影響而有所修正，如外觀、重量、空間限制、材料的供應和製造的技術等等。

上述為機械設計的一個概略，值得謹記在心。每一步驟間均有關聯，虛線所示即其反饋。例如：第一階段的暫時設計之後，力的分析發現慣性力太大此不良因素時，便立即命令改變機械的運轉計畫。

機械設計的基礎學科 (THE SCIENCES UNDERLYING MACHINE DESIGN)

機械設計所需的學科包括數學和物理，而運動學、靜力學、動力學和材料力學尤其重要。然而在工學課程中任何技術或自然科學的科目，均是設計者所必須具備的知識，其中較重要的有製圖、經濟、冶金、熱力學和熱傳遞學、流體力學、電路理論等，初學機械設計者，對這些都應有所認識。

從基礎力學中，列出下面一些複習題及問題，提供各位同學做自我測驗力學的程度，不須翻閱參考書應能答對 90 % 以上，否則需趕快複習力學。

力學複習測驗

(限時 3 小時，答案附於本章之末)

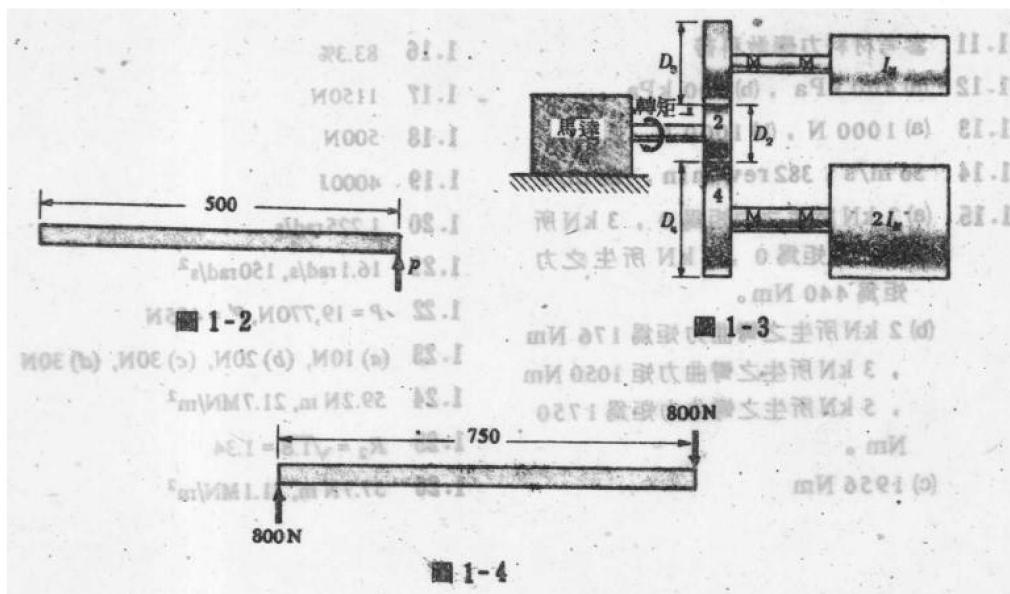
可畫簡圖，答案須註明單位

- 1.1 假設機械效率 85 %，試問有水平阻力 2 kN 的車，以每 1 小時 100 km 的速度前進，其動力須為多少？

- 1.2 一傳力螺桿 (power screw) 施以 150 Nm 的穩定轉矩, 使其轉速維持恆定, 試問每轉消耗多少能量?
- 1.3 在二軸承相距 750 mm 之軸心中央, 支撐一直徑 250 mm 的滑輪, 滑輪由皮帶帶動, 兩端皆垂直向上。假若在皮帶緊邊拉力為 27 kN, 而在鬆邊之拉力為 900 N, 若動力由一撓性聯結器傳出, 問其最大彎力矩和最大扭轉力矩各為多少?
- 1.4 在自由迴轉的滑輪上繞有一繩, 而繩之一端繫重 100 kg, 另一端則繫重 25 kg 之物。若不考慮滑輪的質量及繩子的摩擦力, 則繩子的張力為多少?
- 1.5 有一鋼鐵構架 A, 乃由栓連結三條直線型的構件, 停留在一個光滑平面上, 在其頂部施加一 F 的力。試畫出每一構件的自由圖形, 並指出所有各力的正確方向及位置。
- 1.6 (a) 面之二次矩 (second moment) 的數學定義為何?
 (b) 用微積分證明矩形截面對於平行於底邊的形心軸之二次矩為 $bd^3/12$ 。
 (c) 試證 (b) 題之截面係數 (section modulus) 為 $bd^3/6$ 。
 (d) 已知圓形截面沿直徑之二次矩為 $\pi d^4/64$, 求外徑 100 mm, 內徑 50 mm 之空心圓形截面之二次矩為何?
 (e) 說明如何可以精確的求出不規則截面積之二次矩的近似值。
- 1.7 一電馬達的轉子直徑 100 mm, 質量 5 kg, 假設轉子為均勻圓柱體, 電力轉矩為 2.25 Nm。問在無負荷時, 電馬達的轉速由 0 增至每分鐘 1800 轉需時多久?
- 1.8 何謂彎曲力矩? 一般如何定其正負號? 試繪一隨意地支撐之自由體之圖, 以說明其兩端之短截面, 在其左端受正彎曲力矩, 右端附近受負彎曲力矩。
- 1.9 一彈簧受力 2 kN, 撓度 50 mm, 問慢慢加此負荷於其上時, 彈簧吸收之能量為多少?
- 1.10 試證 $1 \text{ Hp} = 0.746 \text{ kW}$ 。
- 1.11 求下列各題梁軸之垂直截面之應力分佈圖。
 (a) 單梁之彎曲應力 Mc/I , (1) 對稱於截面之中立軸, (2) 與截面之中立軸不對稱。
 (b) 受軸向負荷, 各截面之張應力或壓應力 P/A 。
 (c) 圓形截面受扭轉負荷之扭轉應力 Tr/J 。
 (d) 單梁上之橫向應力 VZ/Ib : (1) 矩形截面, (2) 圓形截面, (3) 左右對稱的 I 形截面。
- 1.12 (a) 一機械受力在某一點上, 其三個主應力分別為張力 600 kPa, 張力 800 kPa 和 0, 問此點的最大剪應力為多少?
 (b) 同上, 若三個主要應力分別為壓力 600 kPa, 張力 800 kPa, 0, 問此點的最大剪應力為多少?
- 1.13 (a) 若一人將繩子之一端綁於樹上, 另一端用 1000 N 之力拉之, 問繩子所受之張力為多少?
 (b) 若兩端均由人拉之, 各出力 1000 N, 其張力應為多少?

4 機械設計原理及題解

- 1.14 一卡車其輪之直徑為 0.9 m ，以 18 m/s 之速度前進，問輪上距地面最遠之點相對於地面的瞬時速度為多少？而在此情況下輪的角速度 (rev/min) 又為多少？輪與地面接觸之點的加速度為多少？
- 1.15 一斜齒輪其平均直徑為 176 mm ，裝於一軸的突出端，離較近的軸承為 350 mm ，而此斜齒輪的負荷為：切線力 $F_t = 5\text{ kN}$ ，徑向力 $F_r = 3\text{ kN}$ ，軸向力 $F_a = 2\text{ kN}$ 。
(a) 求出每力對軸的轉矩為多少？
(b) 在近軸承處，每力對軸的彎曲矩為多少？
(c) 求出在近軸承處，各力對軸的彎曲矩之總和為多少？
- 1.16 一減速器其速率比率為 $10:1$ ，若輸入速率為 1000 rev/min ，輸入轉矩為 6 Nm ，其輸出轉矩為 50 Nm ，問此減速器之效率為若干？
- 1.17 砂由漏斗之底端落在一水平運動的輸送帶上，若輸送帶之速率為 610 m/min ，而砂進率 6800 kg/min ，試問帶動輸送帶需力多少？輸送帶和原動機械之阻力不計。
- 1.18 簡單支撐之梁上一點 A ，受力 2 kN ，則 B 點撓曲 4 mm ，問若要 A 點撓曲 1 mm ， B 點應受力多少？
- 1.19 行星齒輪系上有一圓柱形齒輪，重 5 kg ，直徑 150 mm 。此齒輪之中心速度為 12 m/s ，且其轉速為 20 rad/s ，問其動能為多少？
- 1.20 一單一自由度質量之彈簧阻尼系統，其運動的微分方程式為 $8\ddot{x} + 5\dot{x} + 12x = 0$ ，問其振動之固有頻率 (Natural frequency) 為若干？(以 kg ， m 和 s 為單位)
- 1.21 一連桿在運動時，一端對另一端的相對加速度為 600 m/s^2 ，方向為與連接兩端的直線成 30° ，且兩端相距 200 mm ，問其角速度與角加速度各為多少？
- 1.22 一鋼索繞於柱上兩層，索一端受力 P ，索之另一端受力 3000 N ，若摩擦係數為 0.15 ，問 (a) P 應多大才會使鋼索往受 P 力的一端移動？(b) 欲使鋼索不向受力 3000 N 的一端移動，則需 P' 多少？
- 1.23 一滑車重 100 N ，停置在一水平面上，若靜摩擦與動摩擦之係數皆為 0.3 ，問若沿水平方向在滑車上加 (a) 10 N ，(b) 20 N ，(c) 30 N ，(d) 40 N ，則摩擦力為何？
- 1.24 如圖 1-2 所示，一長 500 mm ，寬 25 mm ，厚 25 mm 之鋼條，停置在一水平無摩擦之平面上，當突然加力 $P = 800\text{ N}$ 於鋼條上，問 (a) 最大彎曲力矩為若干？(b) 最大彎曲應力為若干？
- 1.25 如圖 1-3 所示，一電馬達運轉其慣性矩 $= I_M$ ，接受一固定之電力矩，小齒輪帶動兩個齒輪，一與慣性矩 $= I_M$ 之物相連，一與慣性矩 $= 2I_M$ 之物相連，而齒輪比為 $R_1 = D_1/D_2 = 3$ ，問欲使第 4 個齒輪達最大角加速度，則 $R_2 = D_4/D_3$ 應為多少？(齒輪之質量不計)



- 1.26 如圖 1-4 所示，長 750 mm，寬 250 mm，厚 25 mm 的鋼條，停留在一光滑水平面，兩方向相反的力突加於其上，設鋼條為鋼體，問(a)最大彎曲力矩，(b)最大彎曲應力多少？

力學原理應用的能力

合理的分析機件的設計和其他活動一樣必須經過多次練習。以下各章利用解題的方式，使學習者達到練習的目的。

學生應按照下列計畫去研讀本書各章。

- (1) 詳讀原理和理論的陳述。
- (2) 用紙、筆親自確實做好範例（有些解答已詳盡，但有些省略部分步驟）。
- (3) 練習補充題，仔細思考是否須應用那些原則，若非必要切勿參考範例，保留自己所做答案，以供將來參考。研讀下一章時，前一章所得答案往往可利用得到。
- (4) 複習各理論直至牢記在心。

複習測驗解答——第 1 章

- | | |
|---|---------------|
| 1.1 65.3 W | 1.6 參考力學教科書 |
| 1.2 942 J | 1.7 0.523 s |
| 1.3 $M_1 = 675 \text{ Nm}$, $T = 225 \text{ Nm}$ | 1.8 參考材料力學教科書 |
| 1.4 392 N | 1.9 50 J |
| 1.5 邊由三力所構成 | 1.10 參考力學教科書 |

6 機械設計原理及題解

- 1.11 參考材料力學教科書
- 1.12 (a) 400 kPa , (b) 700 kPa
- 1.13 (a) 1000 N , (b) 1000 N
- 1.14 36 m/s , 382 rev/min , 720 m/s²
- 1.15 (a) 2 kN 所生之力矩為 0 , 3 kN 所生之力矩為 0 , 5 kN 所生之力矩為 440 Nm。
(b) 2 kN 所生之彎曲力矩為 176 Nm , 3 kN 所生之彎曲力矩 1050 Nm , 5 kN 所生之彎曲力矩為 1750 Nm。
(c) 1956 Nm
- 1.16 83.3%
- 1.17 1150N
- 1.18 500N
- 1.19 4000J
- 1.20 1.225rad/s
- 1.21 16.1 rad/s, 150rad/s²
- 1.22 $P = 19,770\text{N}$, $P' = 455\text{N}$
- 1.23 (a) 10N, (b) 20N, (c) 30N, (d) 30N
- 1.24 59.2N m, 21.7MN/m²
- 1.25 $R_2 = \sqrt{I_2} = 1.34$
- 1.26 57.7N m, 21.1MN/m²

第二章

簡單機件的應力

機械設計之要點 (MACHINE DESIGN)

機械設計必須考慮的因素之一即是使一適當大小的零件能承受得住所受的彎曲、扭轉、軸向、橫向等應力。在一般情況下，如軟鋼之類的展延性材料，所能承受的剪應力較弱。因此，在設計上常以其所能承受的剪應力作基準。而如鑄鋼、硬鋼之類的脆性材料，其設計則常以其所能承受的壓應力或張應力作基準。

最大正向應力與最小正向應力 (THE MAXIMUM AND MINIMUM NORMAL STRESSES)

s_n (max) 或 s_n (min) 表最大或最小的正向壓應力 (compressive stress) 或張應力 (tensile stress)，對一質點上之二次元負重其可表為：

$$(1) \quad s_n(\max) = \frac{s_x + s_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{s_x - s_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$(2) \quad s_n(\min) = \frac{s_x + s_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{s_x - s_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

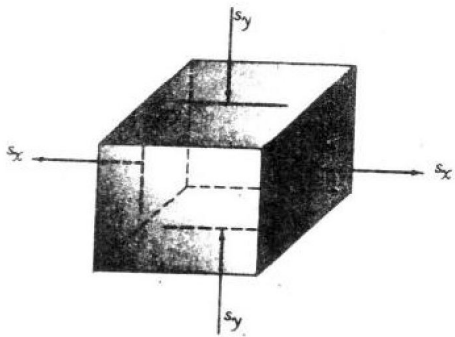
方程式(1)與(2)乃代數的極大值和極小值，其中

s_x 為臨界點之正向張應力或壓應力，其可能來自軸向力 (axial load)，或彎曲力 (bending load)，或為二力的結果。當 s_x 為張應力時，加一“+”號，若為壓應力，則加一“-”號。

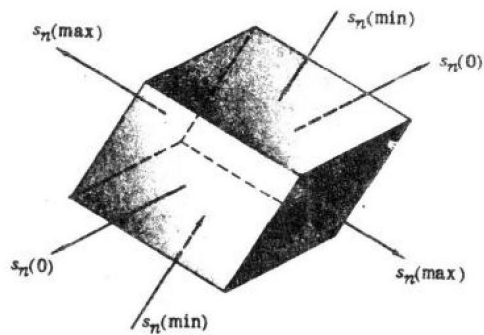
s_y 為臨界點的張應力或壓應力，其方向與 s_x 垂直，且正負號與 s_x 相同。

τ_{xy} 為臨界點的剪應力 (shear stress)。而剪力作用在垂直 y 軸 (xz 平面) 和垂直 x 軸 (yz 平面) 之平面， τ_{xy} 可能來自扭轉力矩 (torsional moment) 或橫向力 (transverse load)，或來自二力結合。其方向如次頁圖 2-1 所示。

s_n (max) 和 s_n (min) 稱之為主應力 (principal stress) 而與其方向垂直的平面稱之主平面 (principal plane)。主平面的剪應力等於零。二次元負重只有 2 個主應力，其第 3 個主應力為零，如次頁圖 2-2 所示。



■ 2-1



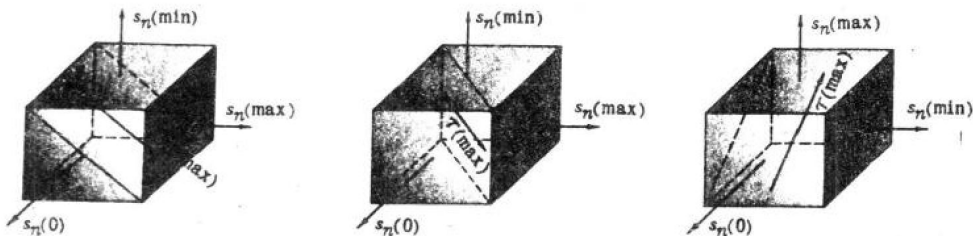
■ 2-2

臨界點之最大剪應力 (THE MAXIMUM SHEAR STRESS)

從研究中，臨界點的最大剪應力 $\tau(\max)$ 由最大和最小主應力所決定，其大小等於二者之差的一半，而在質點上之二次元負重中，第三主應力為零，故

$$\tau(\max) = \frac{s_n(\max) - s_n(\min)}{2} \quad \text{或} \quad \frac{s_n(\max) - 0}{2} \quad \text{或} \quad \frac{s_n(\min) - 0}{2}$$

上面三值中最大的就是 $\tau(\max)$ ，而最大的剪應力所在的平面必與主平面成一 45 度角。如下圖 2-3 所示。



■ 2-3

方程式之應用 (THE APPLICATION)

上頁方程式(1)和(2)之應用必需先知道機件上臨界點的 s_x , s_y 和 τ_{xy} 。臨界點為施加之用負重產生最大組合應力之點。若機件屬於一種橫梁 (beam)，且方程式(1)和(2)中所求之點相同，則 s_x , s_y , τ_{xy} 求法如下：

$$s_x \text{ 和 } s_y = \pm \frac{MC}{I} \pm \frac{P}{A} \quad (\text{正負號應視其為張應力或壓應力而定})$$

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} + s_o, \quad (\text{當截面為圓形，應力為互相平行時})$$

M = 彎曲力矩, Nm
 c = 中心軸至外表之距離, m
 r = 圓截面之半徑, m
 I = 截面之矩形慣性矩, m^4
 P = 軸向力, N
 A = 截面積, m^2
 T = 扭轉力矩, Nm
 J = 圓截面的極慣性矩, m^4
 s_x = 橫向剪應力, Pa 或 N/m^2

$$s_x = \frac{VQ}{Ib}$$

其中

V = 截面的橫向剪力, N
 b = 包含臨界點的截面寬度, m
 Q = 在臨界點上方或下方之截面, 其對於中心軸的力矩, m^3

$$s_x(\max) = \frac{4V}{3A} \quad (\text{圓形截面的 } s_x(\max) \text{ 乃發生在中心軸})$$

$$s_x(\max) = \frac{3V}{2A} \quad (\text{矩形截面的 } s_x(\max) \text{ 乃發生在中心軸})$$

$$s_x(\max) = \text{乃代數和爲最大的應力, } N/m^2$$

$$s_x(\min) = \text{乃代數和爲最小的應力, } N/m^2$$

$$\tau(\max) = \text{乃最大剪應力, } N/m^2$$

N/m^2 亦可寫成 Pa, 其乃數學家 Pascal 之定義, 即每一平方公尺有一牛頓。

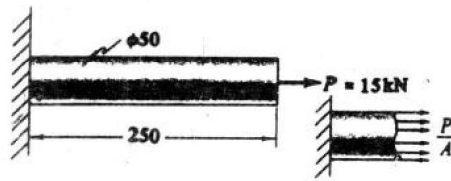
習題與解答

- 2.1 假設一機件長 250 mm, 直徑 50 mm, 一端固定, 而成一肱梁 (cantilever), 今欲求其在各種單軸負重的作用下, 所受的張應力、壓應力、剪應力之值各爲若干? 在此例中, 臨界點之 $s_x = 0$ 。

答 (a) 只有軸向力, 如次頁圖 2-4。

在此情況下, 每一點所受的應力都相同。

$$A = \frac{\pi}{4} (50 \times 10^{-3})^2 = 1.96 \times 10^{-3} m^2$$



■ 2-4

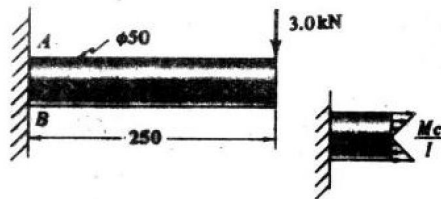
$$s_x = +\frac{P}{A} = +\frac{15 \times 10^3}{1.96 \times 10^{-3}} = 7.65 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_{xy} = 0$$

$$s_x(\max) = s_x = 7.65 \text{ MN/m}^2$$

$$\tau(\max) = \frac{1}{2} \times 7.65 = 3.83 \text{ MN/m}^2$$

(b) 只有彎曲力，如圖 2-5。



■ 2-5

A 點與 B 點是臨界點。

$\tau_{xy} = 0$ 在 A 點與 B 點均無橫向剪應力)

$$s_x = +\frac{Mc}{I} = +\frac{3 \times 10^3 \times 250 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^{-3} \times 64}{\pi(50 \times 10^{-3})^4} = 61.1 \text{ MPa (在 A 點)}$$

$$s_x = -\frac{Mc}{I} = -61.1 \text{ MPa (在 B 點)}$$

$$s_x(\max) = +61.1 \text{ MPa (在 A 點之張應力)}$$

$$s_x(\min) = 0 \text{ (在 A 點)}$$

$$s_x(\max) = 0 \text{ (在 B 點)}$$

$$s_x(\min) = -61.1 \text{ MPa (在 B 點之壓應力)}$$

$$\tau(\max) = 1/2(61.1) = 30.6 \text{ MPa (在 A 點與 B 點之剪應力)}$$

(c) 只有扭轉力，如次頁圖 2-6。

機件表面的每一點都是臨界點。

$$s_x = 0$$

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{1 \times 10^3 \times 25 \times 10^{-3} \times 32}{\pi(50 \times 10^{-3})^4} = 40.7 \text{ MN/m}^2$$