

機械設計問題詳解

4th Edition

希格利 原著



曉園出版社
世界圖書出版公司

内 容 简 介

本书是著名教授 Shigley, J. E. 所著美国各工科院校流行教材《机械工程设计》一书的习题详解

机械设计问题详解 第4版

希格利 原著

关学 译著

晓园出版社出版

北京世界图书出版公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

通州印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992 年 10 月第一版 开本 711×1245/24

1992 年 10 月第一次印刷 印张 13.75

印数: 0001—2400

ISBN: 7-5062-1332-X/TH·16

定价: 10.70 元 (W_B9201/31)

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

前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，曉園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。曉園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。

Shigley 機械設計問題詳解

(目 錄)

第一章	機械設計的基礎	1
第二章	應力分析	5
第三章	撓度分析	55
第四章	材料的性質	85
第五章	設計的統計考慮	89
第六章	靜力強度的設計	97
第七章	疲勞強度的設計	113
第八章	螺絲、扣件與連接合設計	145
第九章	熔接、硬焊與膠合接點	169
第十章	機械彈簧	181
第十一章	正齒軸承	199
第十二章	潤滑與頸軸承	213
第十三章	正齒輪	227
第十四章	螺旋齒輪、蝸齒輪和斜齒輪	255
第十五章	軸	281
第十六章	離合器、制動器、聯軸器和飛輪	299
第十七章	柔性機械元件	319

第一章

機械設計的基礎

1-8 將下列數值換算成“SI”單位。

- (a) 0.5英畝面積土地。
- (b) 30 psi 輪胎壓力。
- (c) 2400 rpm。
- (d) 一部汽車的質量 3200 lbf。
- (e) 引擎排氣量 425 in³。
- (f) 2 U. S. qt 及 1 pt。
- (g) 55 mph。
- (h) 15 gal 汽油。
- (i) 14.7 大氣壓力。

解：(a)一英畝等於 43,560 ft²，所以 0.5 英畝面積用 m² 表示為：

$$A = \frac{1}{2} (43,560) (0.305)^2 = 2025 \text{ m}^2$$

$$(b) p = (30 \text{ psi}) \left(\frac{6890 \text{ Pa}}{\text{psi}} \right) \left(\frac{1}{10^3 \text{ Pa/kPa}} \right) = 207 \text{ kPa}$$

$$(c) n = \left(2400 \frac{1}{\text{min}} \right) \left(\frac{1}{60 \text{ s/min}} \right) = 40 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{或 } n = (40 \text{ s}^{-1}) (2\pi) = 251 \text{ rad/s}$$

$$(d) m = 3200 / 32.2 = 99.4 \text{ slug}$$

$$m = (99.4) (14.6 \text{ kg/slug}) = 1450 \text{ kg}$$

$$(e) V = (425 \text{ in}^3) (0.0254 \text{ m/in})^3 (10 \text{ dm/m})^3 = 6.96 \text{ dm}^3$$

也就是等於 6.96 ℓ。

$$(f) V = 2.5 / 4 = 0.625 \text{ US gal}$$

$$V = (0.625 \text{ US gal}) (0.00378 \text{ m}^3 / \text{gal}) (100 \text{ cm/m})^3 \\ = 2360 \text{ cm}^3 (2360 \text{ ml})$$

$$(g) v = (55 \text{ mi/hr}) (1.61 \text{ km/mi}) = 88.5 \text{ km/hr}$$

$$(h) V = (15 \text{ gal}) (0.00378 \text{ m}^3 / \text{gal}) = 0.0567 \text{ m}^3$$

$$(i) p = (14.7 \text{ psi}) \left(\frac{6890 \text{ Pa}}{\text{psi}} \right) \left(\frac{1}{10^3 \text{ Pa/kPa}} \right) = 100 \text{ kPa}$$

1-9 彎曲應力的公式為 $\sigma = \frac{32M}{\pi d^3}$ ，若 $M = 300 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，以及 $d = 20 \text{ mm}$ ，則應力 σ 的值為何？(MPa) 若以 kpsi 為單位又為何？

■： $\sigma = \frac{32M}{\pi d^3}$ ， $M = 300 \text{ N}\cdot\text{m}$ ， $d = 20 \text{ mm}$ ， $\sigma = \frac{32 \times 300}{\pi \times (0.02)^3} = 382 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} 1 \text{ Pa} &= 1 \text{ N/m}^2 = \frac{1 \times 2.2 \times (39.37) \times \frac{1}{12} \times \frac{1}{32.174}}{(39.37)^3} \text{ lbf/in}^2 \\ &= 1.45 \times 10^{-4} \text{ psi} \end{aligned}$$

$\therefore \sigma = 55.39 \text{ kpsi}$

1-10 一樑的撓度公式為 $y = \frac{64F\ell^3}{3\pi E d^4}$ ，若 $F = 0.450 \text{ kN}$ ， $\ell = 300 \text{ mm}$ ， $E = 207 \text{ GPa}$ ， $d = 19 \text{ mm}$ ，求 y 的撓度 (μm)。

■： $y = \frac{64F\ell^3}{3\pi E d^4}$ $F = 0.450 \text{ kN}$ $\ell = 300 \text{ mm}$

$E = 207 \text{ GPa}$ $d = 19 \text{ mm}$

$\therefore y = \frac{64 \times 0.45 \times 10^3 \times (0.3)^3}{3\pi \times 207 \times 10^9 \times (0.019)^4} \times 10^6 = 3058 \mu\text{m}$

1-11 在問題 1-10 中的公式，產生撓度 $y = 1.50 \text{ mm}$ ，需要力 F 多少 kN，若 $\ell = 250 \text{ mm}$ ， $E = 207 \text{ GPa}$ ， $d = 20 \text{ mm}$ 。

■： $y = 1.50 \text{ mm}$ $\ell = 250 \text{ mm}$ $E = 207 \text{ GPa}$ $d = 20 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} F &= \frac{3\pi y E d^4}{64 \ell^3} \\ &= \frac{3\pi \times 1.5 \times 10^{-3} \times 207 \times 10^9 \times (0.02)^4}{64 \times (0.25)^3} \times 10^{-3} \\ &= 0.468 \text{ kN} \end{aligned}$$

1-12 在 1-9 的公式中，若 $M = 200 \text{ N}\cdot\text{m}$ ， $\sigma = 150 \text{ MPa}$ ，求直徑 d 。

■： $d = \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi\sigma}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 200}{\pi \times 150 \times 10^6}} \times 10^3 = 239 \text{ mm}$

1-13 螺旋彈簧中的能量儲存公式為 $U = 4F^2 D^2 N / d^4 G$ ， N 為線圈的圈數，若 F

$=4N$, $D=11\text{ mm}$, $N=36$, $G=79.3\text{ GPa}$, $d=1.2\text{ mm}$, 計算能量儲存(用 $\text{N}\cdot\text{m}$)。

解: $F=4N$ $D=11\text{ mm}$ $N=36$ $G=79.3\text{ GPa}$ $d=1.2\text{ mm}$

$$U = \frac{4FD^3N}{d^4G} = \frac{4 \times 4^3 \times (0.011)^3 \times 36}{(0.0012)^4 \times 79.3 \times 10^9} = 0.0186\text{ N}\cdot\text{m}$$

1-14 若撓度公式為 $y=8FD^3N/d^4G$, 求問題 1-13 中彈簧的撓度 (mm)。

解: $F=4N$ $D=11\text{ mm}$ $N=36$ $d=1.2\text{ mm}$ $G=79.3\text{ GPa}$

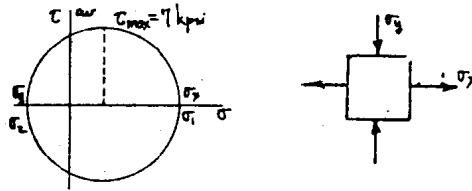
$$y = \frac{8FD^3N}{d^4G} = \frac{8 \times 4 \times (0.011)^3 \times 36 \times 10^3}{(0.0012)^4 \times 79.3 \times 10^9} = 9.32\text{ mm}$$

第二章 應力分析

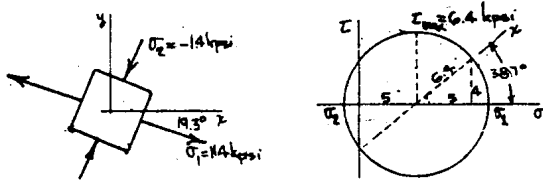
問題2-1~2-8試依所列各應力狀況，各作摩爾圓，求出主應力及最大剪應力。並自 x 軸原點繪一應力單元，以表示主應力及其方向。並計算 σ_1 與 x 軸間的夾角

2-1 $\sigma_x = 10 \text{ kpsi}$, $\sigma_y = -4 \text{ kpsi}$

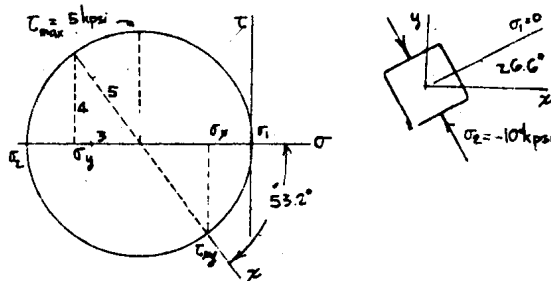
解：



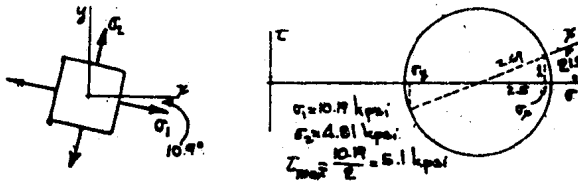
2-2 $\sigma_x = 10 \text{ kpsi}$, $\tau_{xy} = 4 \text{ kpsi ccw}$



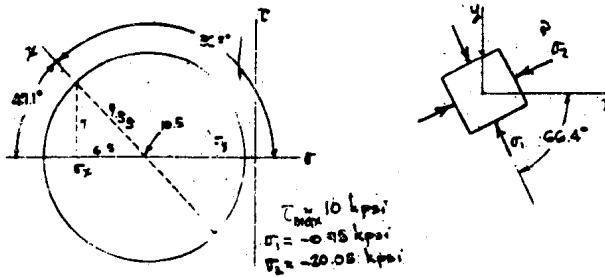
2-3 $\sigma_x = -2 \text{ kpsi}$, $\sigma_y = -8 \text{ kpsi}$, $\tau_{xy} = 4 \text{ kpsi ccw}$



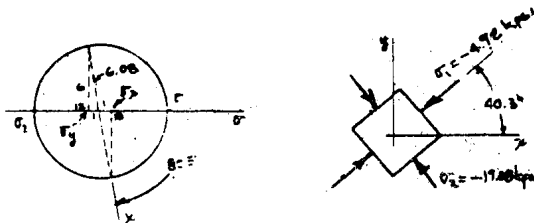
2-4 $\sigma_x = 10 \text{ kpsi}$, $\sigma_y = 5 \text{ kpsi}$, $\tau_{xy} = 1 \text{ kpsi cw}$



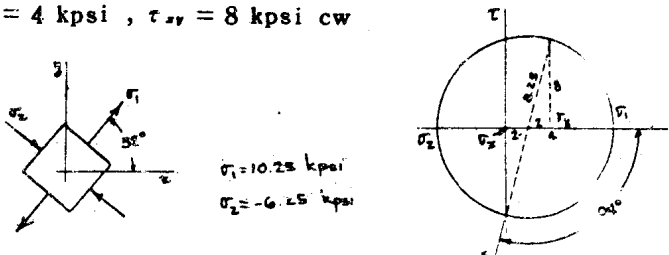
2-5 $\sigma_x = -17 \text{ kpsi}$, $\sigma_y = -4 \text{ kpsi}$, $\tau_{xy} = 7 \text{ kpsi cw}$



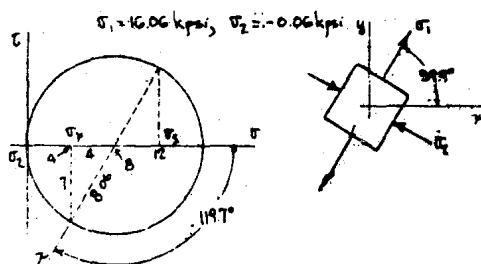
2-6 $\sigma_x = -10 \text{ kpsi}$, $\sigma_y = -12 \text{ kpsi}$, $\tau_{xy} = 6 \text{ kpsi ccw}$



2-7 $\sigma_x = 4 \text{ kpsi}$, $\tau_{xy} = 8 \text{ kpsi cw}$

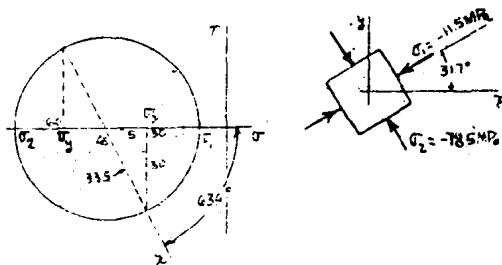


2-8 $\sigma_x = 4 \text{ kpsi}$, $\sigma_y = 12 \text{ kpsi}$, $\tau_{xy} = 7 \text{ kpsi ccw}$

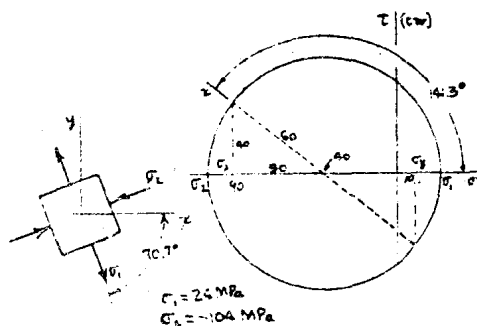


問題2-9~2-12依下列各應力狀況，作摩爾圓，求主應力及其方向，並依 xy 座標表示應力單元的方位。

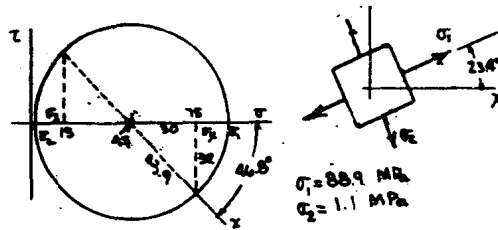
2-9 $\sigma_x = -30 \text{ MPa}$, $\sigma_y = -60 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 30 \text{ MPa ccw}$



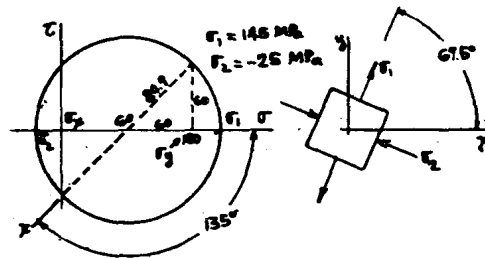
2-10 $\sigma_x = -90 \text{ MPa}$, $\sigma_y = 10 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 40 \text{ MPa cw}$



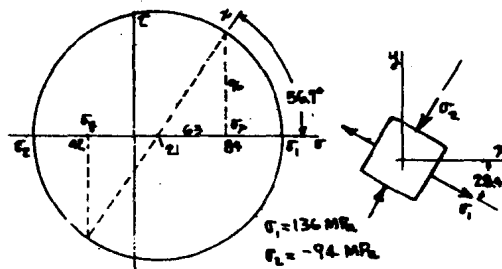
2-11 $\sigma_x = 75 \text{ MPa}$, $\sigma_y = 15 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 32 \text{ MPa ccw}$



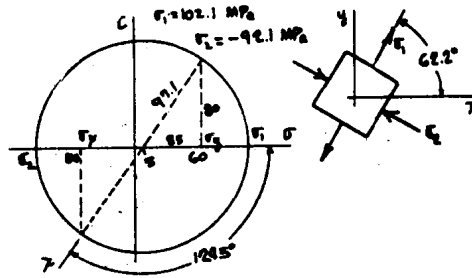
2-12 $\sigma_x = 120 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 60 \text{ MPa ccw}$



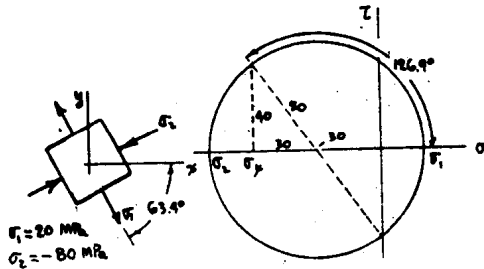
2-13 $\sigma_x = 84 \text{ MPa}$, $\sigma_y = -42 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 96 \text{ MPa cw}$



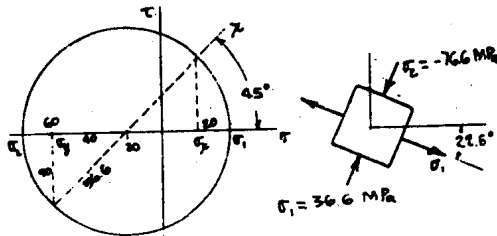
2-14 $\sigma_x = -50 \text{ MPa}$, $\sigma_y = 60 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 80 \text{ MPa ccw}$



2-15 $\sigma_x = -60 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 40 \text{ MPa cw}$



2-16 $\sigma_x = 20 \text{ MPa}$, $\sigma_y = -60 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 40 \text{ MPa cw}$

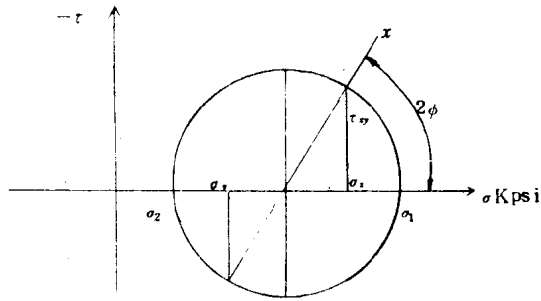


2-17 若 $\sigma_1 = 12 \text{ kpsi}$, 以及 $\sigma_2 = 2 \text{ kpsi}$, 若自 x 軸到 σ_1 的角度為 30° CW ,
 30° C.C.W 時 σ_x 、 σ_y 和 τ_{xy} 為多少?

解: ① $\sigma_1 = 12 \text{ kpsi}$ $\sigma_2 = 2 \text{ kpsi}$ $\phi = -30^\circ$

由圖可知

$$\sigma_x = \frac{12+2}{2} \cos 60^\circ + \frac{12-2}{2} = 9.5 \text{ kpsi}$$



$$\sigma_x = \frac{12+2}{2} - \frac{12-2}{2} \cos 60^\circ = 4.5 \text{ kpsi}$$

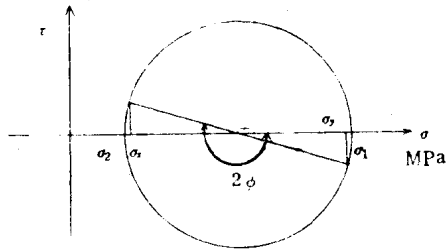
$$\tau_{xy} = \frac{12-2}{2} \sin 60^\circ = 4.33 \text{ kpsi C.W.}$$

② $\phi = 30^\circ$ $\sigma_x = 9.5 \text{ kpsi}$ $\sigma_y = 4.5 \text{ kpsi}$
 $\tau_{xy} = 4.33 \text{ kpsi C.C.W.}$

2-18 假設最大主應力為 14 MPa 以及 $\sigma_2 = 6 \text{ MPa}$ ，若自 x 軸到最大主應力的角度為 100° C.C.W，求 σ_x 、 σ_y 和 τ_{xy} ，若為 80° C.W. 呢？

解：① $\sigma_1 = 14 \text{ MPa}$ $\sigma_2 = 6 \text{ MPa}$ $\phi = 100^\circ$

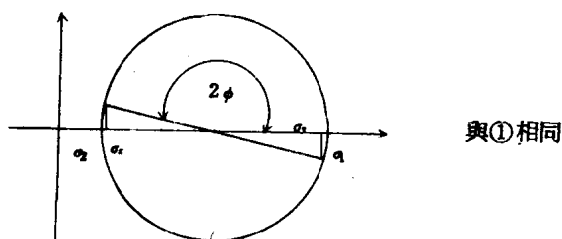
$$\sigma_x = \frac{14+6}{2} - \frac{14-6}{2} \cos 20^\circ = 6.24 \text{ MPa}$$



$$\sigma_x = \frac{14+6}{2} + \frac{14-6}{2} \cos 20^\circ = 13.76 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = \frac{14-6}{2} \sin 20^\circ = 1.37 \text{ MPa C.W.}$$

② $\phi = -80^\circ$



2-19 在表 2-1 中求所有奇數題的三個主應力及最大剪應力。

關：由 1-7 題可得下列答案

	σ_1	σ_2	σ_3	$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	
2-1	10	0	-4	7	kpsi
2-3	0	0	-10	5	
2-5	0	-0.95	-20.05	10.03	
2-7	10.25	0	-6.25	8.25	

2-20 與 2-19 相同，做偶數題。

關：由 1-8 可得下列答案

	σ_1	σ_2	σ_3	$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	
2-2	11.4	0	-1.4	6.3	kpsi
2-4	10.2	4.8	0	5.1	
2-6	0	-4.92	-17.08	8.54	
2-8	16.06	0	-0.06	8.06	

2-21 做表 2-9 中的奇數題，與 2-19 相同。

關：由 9-16 可得下列答案

	σ_1	σ_2	σ_3	$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	
2-9	0	-11.46	-78.5	39.25	MPa
2-11	88.9	1.14	0	44.45	
2-13	136	0	-93.8	114.9	
2-15	20	0	-80	50	

2-22 與 2-21 相同做偶數題。

解：由 9-16 可得下列答案

	σ_1	σ_2	σ_3	$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	
2-10	24	0	-104	64	MPa
2-12	144.9	0	-24.9	84.9	
2-14	102.1	0	-92.1	97.1	
2-16	36.6	0	-76.6	56.6	

2-23 一根碳鋼桿件長 80 mm，直徑為 15 mm，承受壓力 175 kN。試求：

- (a) 壓應力 (b) 軸應變 (c) 變形 (d) 直徑的增加量

解：(a) $A = \frac{\pi (15)^2}{4} = 177 \text{ mm}^2$; $\sigma = \frac{-175}{177} = -0.989 \text{ GPa}$

(b) $\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{-0.989}{207} = -4.78 (10)^{-3} \text{ m/m}$

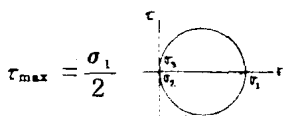
(c) $\delta_s = \frac{\sigma \ell}{E} = \frac{-0.989(80)}{207} = -0.382 \text{ mm}$

(d) $\delta = -\mu \delta_s = -(0.292)(-0.382) = 0.112 \text{ mm}$

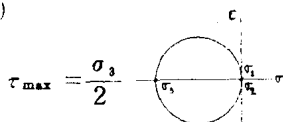
2-24 繪出摩爾三圓圖 (Mohr's three-circle diagram)，根據下列各條件，求三個主應力及最大剪應力：

- (a) 純伸張 (b) 純壓縮 (c) 純扭轉 (d) 在 x 及 y 方向受到相同的伸張

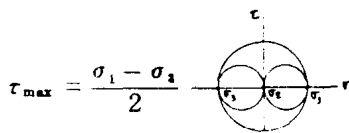
解：(a)



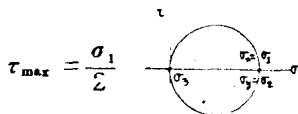
(b)



(c)



(d)

**2-25** 一鋼棒其直徑為 $\frac{1}{2}$ in，長為 40 in，承受 3000 lb 伸張載荷：

- (a) 試求棒的應力及伸長量。

(b) 若該棒用鋁棒代替，如限其伸長量相同，求其直徑應為若干？

(c) 試求鋁棒的應力。

解：(a) $A = \frac{\pi (0.5)^2}{4} = 0.196 \text{ in}^2$; $\sigma = \frac{3000}{0.196} = 15,300 \text{ psi}$

$$\delta = \frac{\sigma \ell}{E} = \frac{(15,300)(40)}{30(10)^6} = 0.0204 \text{ in}$$

(b) with $A = \frac{F \ell}{\delta E}$

$$A = \frac{3000(40)}{0.0204(10.3)(10)^6} = 0.570 \text{ in}^2$$

$$d_{\text{al}} = \sqrt{\frac{4(0.570)}{\pi}} = 0.852 \text{ in}$$

(c) $\sigma = \frac{3000}{0.570} = 5240 \text{ psi}$

2-26 一壓力被設計，使得四個鋼元件 A ，伸長量不超過 0.0625 in ，所以拉伸應力不超過 15 kpsi ，若壓力額定為 5 tons ，求元件的直徑，用 $E = 30 \text{ Mpsi}$ 。

解：(a) $A = \frac{FL}{\delta E} = \frac{5000 \times 36}{0.0625 \times 30 \times 10^6} = 0.096 \text{ in}^2$

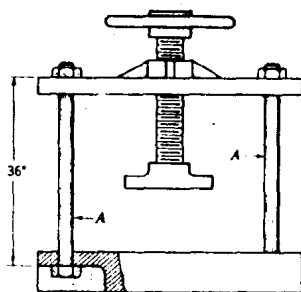
因有四根鋼棒

$$\therefore A = \frac{1}{4} \times 0.096 = 0.024 \text{ in}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4(0.024)}{\pi}} = 0.175 \text{ in}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{5000}{0.096} = 52083 \text{ psi} < 15000 \text{ psi}$$

故 $d = 0.175 \text{ in}$ 合用



習題圖 2-26

2-27 一塑性球膨脹以致產生切應力 $\sigma_x = \sigma_y = 300 \text{ psi}$ ，在膨脹之前球的徑向厚度為 0.05 in ，若伸張彈性模數為 500 kpsi ，以及剪力模數為 200 kpsi ，求膨脹後的厚度，並計算 x 方向的單位切線應變。

解： $E = 2G(1 + \mu)$ $500 = 400(1 + \mu)$

$$\therefore \mu = 0.25$$