

MECHANICAL
ENGINEERING
MECHANICAL
ENGINEERING
MECHANICAL
ENGINEERING

機械設計

徐仁輝 編著

 正文書局

七十二年 月十日出版

機械設計

下 冊

每冊定價 一八〇元

版權所有・翻印必究

出版者：正 文 書 局

台北市重慶南路一段五十九號

編著者：徐 仁 輝

發行人：黃 開 禮

印刷所：正 文 書 局

發行所：正 文 書 局

台北市和平東路二段三五號

電話：〈02〉7081406

門市部：正 文 書 局

台北市重慶南路一段五十九號

電話：〈02〉3813712

〈02〉3813713

〈02〉3813714

郵局劃帳號：5 9 6 1

分銷處：各地各大書局

出版登記證：局版台業字六一八號

編輯大意

- 1 本書的目的是為促使讀者在瞭解組成各種機械之基本機件的原理、構造、性能之後，進而計算及預測機件間互相組合時之應力、應變的情況，選用適當材質與最佳的搭配，設計出符合經濟耐用、性能優越之真善美的現代化機械產品。
- 2 本書為了配合工業界的實際設計現況，以及國際標準化的要求，有關的分析、計算、設計皆採用公制單位，但在螺絲、潤滑的部分，國際上絕大部分仍以英制為單位的情況下，同時採用了公制、英制兩種單位，可使讀者，尤其是在校同學，過去在校所學之各種設計單位皆採用英制，而進入工廠則又全為公制，使之有無所適從的缺點不再出現，使每位讀者皆能學以致用，因此，本書亦特別適合於現場設計人員的自修、參考之用。
- 3 本書共分十四章，可供一般大專工程科系、二專、三專、五專之機械設計課程每週授課四小時之用，亦為工程設計人員自修及參考的資料。
- 4 本書所有名詞都依教育部公布之機械工程名詞一書為準。
- 5 本書各章都附有練習題，作為讀者練習及複習之用，如嫌不足，授課教師可斟酌補充。
- 6 本書之編撰、校對、皆在公餘課畢之隙，雖對編撰、校對力求嚴謹，但疏漏誤謬之處，恐仍在所難免，尚祈讀者先進惠予指正，俾於再版時加以訂正。

編著者 徐仁輝謹識

.1982.8.

於台北逸士華園

目 錄

第八章 軸的設計

8-1 圓軸之扭轉.....	1
8-2 僅受彎曲力矩作用之軸.....	3
8-3 僅受扭轉力矩作用之軸.....	7
8-3-1 符號.....	7
8-3-2 軸之扭轉強度設計.....	8
8-4 受兩種以上不同負荷作用之軸.....	10
8-4-1 符號.....	10
8-4-2 軸之傳達力計算.....	10
8-5 傳動軸.....	13
8-5-1 符號.....	13
8-5-2 軸之傳達力計算.....	14
8-5-3 支撐傳動軸之軸承距離.....	16
8-6 旋轉軸之臨界速度.....	17
練習問題.....	21

第九章 軸 承

9-1 軸承的形式.....	25
9-2 滑動軸承.....	26
9-2-1 符號.....	26

2 機械設計

9-2-2 軸頸強度設計	26
9-2-3 軸頸之長徑比	28
9-3 徑向滑動軸承之摩擦	31
9-4 軸向止推滑動軸頸之摩擦	34
9-4-1 軸承壓力	34
9-4-2 軸承之摩擦功	36
9-5 滾動軸承之型式與分類	40
9-6 滾動軸承之稱呼型號及其表示法	40
9-7 滾動軸承之基本額定負荷與壽命	45
9-7-1 基本動額定負荷的計算	45
9-7-2 各種機械用軸承之額定壽命	46
9-7-3 各型軸承之基本動額定負荷與基本靜額定負荷	46
9-8 滾動軸承之等值負荷	53
9-8-1 等值負荷	53
9-8-2 等值徑向負荷	53
練習問題	56

第十章 齒 輪

10-1 齒輪的分類	61
10-2 齒輪術語及其定義	62
10-3 齒輪啮合之基本定律	65
10-4 漸開線齒輪	67
10-4-1 齒條	68
10-4-2 標準齒輪與移位齒輪	69
10-5 擺線齒輪	70
10-6 漸開線齒與擺線齒的比較	72
10-7 各種齒形標準	74

10-7-1	14 ½° 壓力角混合制	74
10-7-2	14 ½° 壓力角全深制	74
10-7-3	20° 壓力角全深制	74
10-7-4	20° 壓力角短齒制	74
10-7-5	20° 壓力角 Fellows 制	74
10-8	斜齒輪	75
10-9	蝸輪傳動	79
10-9-1	螺輪傳動	79
10-9-2	蝸輪傳動	80
10-10	齒輪的尺寸計算	81
10-11	齒輪強度的計算	86
10-11-1	齒輪的回轉力	86
10-11-2	齒輪傳達之動力	87
10-12	斜齒輪尺寸計算	91
10-12-1	符號	91
10-12-2	相關計算式	91
10-13	螺旋齒輪的尺寸計算	94
10-14	蝸桿與蝸輪的尺寸計算	96
10-15	螺輪	97
	練習問題	98

第十一章 彈 簧

11-1	彈簧的形式	103
11-1-1	線形彈簧	103
11-1-2	板片彈簧	105
11-2	螺旋彈簧	107

4 機械設計

11-2-1	符號	107
11-2-2	強度計算	108
11-2-3	雙重螺旋線圈彈簧	110
11-2-4	受扭轉負荷之螺旋彈簧	111
11-2-5	串聯及並聯系之彈簧計算	113
11-2-6	螺旋彈簧之能量儲存	115
11-2-7	螺旋彈簧之設計規則	116
11-3	板片彈簧	117
11-3-1	符號	117
11-3-2	單板片式彈簧	118
11-3-3	四分之一橢圓式板片彈簧	119
11-3-4	半橢圓式板片彈簧	120
11-3-5	全橢圓式板片彈簧	121
11-4	彈簧之疲勞與預防	123
11-5	彈簧的防震與緩衝作用	124
11-6	各種材料的彈性係數	126
11-7	其他各型彈簧之有關計算式	126
	練習問題	129

第十二章 撓性傳動件

12-1	撓性傳動	133
12-2	傳動帶的形式	133
12-3	帶圈的接合方式	137
12-4	帶輪的傳動與速比	140
12-5	塔輪與帶圈長度	143
12-5-1	開口帶塔輪	144

12-5-2	交叉帶塔輪·····	147
12-6	皮帶裝置定律·····	150
12-6-1	使用導輪時的裝置法·····	152
12-6-2	使用拉緊輪時的裝置法·····	153
12-7	帶圈傳動與馬力·····	154
12-8	V形帶之傳動設計·····	160
12-9	繩與繩輪的傳動·····	167
12-9-1	鋼絲索·····	168
12-9-2	棉繩與蔴繩·····	171
12-9-3	繩索的掛法·····	171
12-10	鏈與鏈輪之傳動·····	173
12-10-1	鏈條種類·····	175
12-10-2	鏈輪·····	176
12-11	滾子鏈·····	180
12-11-1	符號·····	180
12-11-2	鏈條之傳動速度計算·····	180
12-11-3	鏈條之長度計算·····	180
12-11-4	鏈傳動之馬力計算·····	181
12-11-5	鏈輪之設計·····	184
	練習問題·····	187

第十三章 飛輪與制動器

13-1	飛輪·····	191
13-2	圓盤飛輪之應力分析·····	195
13-3	飛輪之輸出能量·····	196
13-4	飛輪之平衡·····	198

6 機械設計

13-5 塊狀制動器	200
13-5-1 符號	200
13-5-2 單塊式塊狀制動器	200
13-5-3 雙塊式塊狀制動器	202
13-6 帶狀制動器	203
13-7 其他形式的制動器	207
13-8 棘輪與爪制動裝置	208
練習問題	210

第十四章 自動控制機構設計

14-1 何謂自動控制	215
14-2 液壓傳動	216
14-3 液壓傳動裝置	218
14-4 空氣傳動裝置	221
14-5 電動式控制器	223
14-6 自動控制之實例	225
練習問題	231

第八章 軸的設計

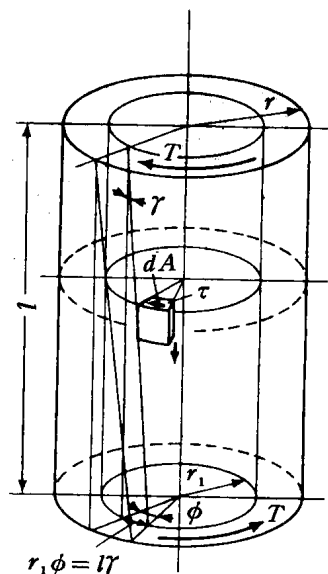
軸的種類有很多，由它的長度來分有長軸、短軸；由截面形狀分有圓軸、方軸、矩形軸、多角形軸，或是分爲實心軸與空心軸；從材料來分有一般鋼軸與特殊鋼軸；按使用的情況可分爲傳動軸、機械軸、曲柄軸、撓性軸等；最常用的是由受到負荷作用的情況來分，有彎曲、扭轉、或同時受兩種以上不同負荷作用者。

軸都是成旋轉運動，因此最常見到的是圓形軸，可能爲實心，亦可能爲空心圓軸。軸的設計包括前幾章所介紹過之與軸有相互關係的鍵、銷、聯軸器之外，還包括將於以下各章陸續介紹之軸承，傳動輪與皮帶、鏈與鏈輪等，本章僅以軸本身受不同負荷時之強度考慮來加以說明。

8-1 圓軸之扭轉

8-1 圖爲均勻截面之圓軸，兩端承受扭轉力矩（Torque） T 使其對縱軸扭轉的情形。

圓桿受扭轉力矩作用後，僅在截面彼此間有相對旋轉，如 8-1 圖所示者旋轉了一個 ϕ 角。在半徑 r_1 之圓柱體表面上的微小塊，其各邊之長度沒有改變，但各角之角度由原來的 90° 值變更了 γ 角，而微小塊受到純剪應力的作用。由 8-1 圖上可以看出： $r_1 \phi = l\gamma$ 。代入虎



8-1 圖

2 機械設計

克定律 $\gamma = \tau / G$ ，可得

$$\tau = \frac{\phi G r_1}{l} \dots\dots\dots (8-1)$$

上式中之 G 為剪彈性係數。

由於 8-1 圖中之 ϕ ， G ，與 l 均為常數，故剪應力 τ 之值與半徑 r 成比例變化。若將 8-1 圖中之微小塊 dA 上方的部分移去，而剪應力 τ 之扭力矩對整個截面求總和或積分，其結果將等於所施之扭力矩 T ，因此，

$$T = \int_0^r \tau r_1 dA = \int_0^r \frac{\tau}{r_1} r_1^2 dA = \frac{\tau}{r_1} \int_0^r r_1^2 dA = \frac{\tau}{r_1} J$$

剪應力最大值發生於 $r_1 = r$ 的外表面，因此：

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{16T}{\pi d^3} \dots\dots\dots (8-2)$$

(8-2) 式中之 J 稱之為極慣性力矩 (polar moment of inertia)。 J/r 之比稱為軸之截面係數 (section modulus)。對一實心圓截面而言：

$$J = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi r^4}{2} \dots\dots\dots (8-3)$$

圓之 J 值為相當之 I 值的兩倍。對於外徑為 d_o ，而內徑為 d_i 之空心軸而言，極慣性力矩之淨值等於外圓之 J 值減去內圓之 J 值。因此，一空心軸之 J 為：

$$J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{2} (r_o^4 - r_i^4) \dots\dots\dots (8-4)$$

由 (8-1) 式與 (8-2) 式可得

$$\phi = \frac{Tl}{JG} \dots\dots\dots (8-5)$$

例題 8-1 直徑 30mm，長 500mm 之圓棒受扭矩作用後，在軸之截面上產生 1° 的扭角，問該圓棒所生之最大應力若干？

($G = 8.2 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$)

解： $G = 8.2 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$, $r = 15 \text{ mm}$, $\phi = 1^\circ = \pi/180 \text{ rad}$
 , $l = 500 \text{ mm}$,

$$\therefore \tau = \frac{\phi G r}{l} = \frac{\pi \times 8.2 \times 10^3 \times 15}{180 \times 500} = 4.29 \text{ kg/mm}^2$$

答：最大扭轉剪應力為 4.29 kg/mm^2

例題 8-2 有一空心軸需在 5.6 kg/mm^2 之剪應力下承受 350,000 mm - kg 之扭力矩作用，設內徑為外徑之 0.65，試求此中空軸之外徑尺寸。

$$\text{解： } J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{32} [d_o^4 - (0.65d_o^4)] = 0.08065d_o^4$$

$$\text{又 } J = \frac{Tr}{\tau} = \frac{350,000 \times 0.5d_o}{5.6} = 0.08065d_o^4$$

$$\therefore d_o^3 = 38746.5713$$

$$\text{即 } d_o = 72.9 \div 73 \text{ (mm)}$$

答：此空心軸之外徑為 73 mm

8-2 僅受彎曲力矩作用之軸

A. 符 號

M ：彎曲力矩 (kg - mm)

σ_b ：彎曲應力 (kg/mm²)

δ ：撓度 (mm)

E ：縱彈性係數 (楊氏係數) (kg/mm²)

d ：實心圓軸之直徑 (mm)

d_o ：中空圓軸之外徑 (mm)

d_i ：中空圓軸之內徑 (mm)

x ： d_i/d_o ，中空圓軸之內外徑比。

I ：慣性矩 (mm⁴)

4 機械設計

$$\text{實心圓軸時：} I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\text{中空圓軸時：} I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{64} d_o^4 (1 - x^4)$$

Z ：截面係數 (mm³)

$$\text{實心圓軸時：} Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$\text{中空圓軸時：} Z = \frac{\pi}{32} \left(\frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o} \right) = \frac{\pi}{32} d_o^3 (1 - x^4)$$

B. 軸之強度設計

當軸只受到彎曲力矩作用時，軸受到之彎曲力矩大小由軸本身之彎曲應力與截面係數成正比，即，

$$M = Z \cdot \sigma_b$$

$$\text{在實心圓軸時 } M = \frac{\pi}{32} d^3 \sigma_b \dots\dots\dots (8-6)$$

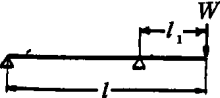
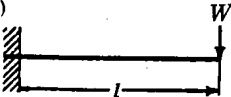
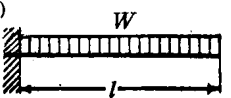
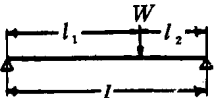
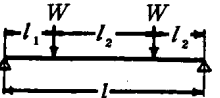
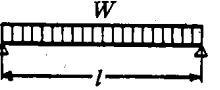
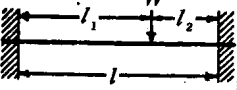
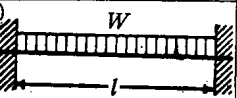
$$\therefore d = \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi \sigma_b}} \dots\dots\dots (8-7)$$

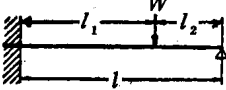
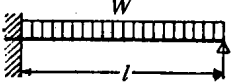
$$\text{在中空圓軸時 } M = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o} \sigma_b = \frac{\pi}{32} d_o^3 (1 - x^4) \sigma_b \dots\dots (8-8)$$

$$d_o = \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi(1-x^4)\sigma_b}} \dots\dots\dots (8-9)$$

8-1 表為軸受到各種不同負荷時之最大彎曲力矩及其最大撓度。

8-1表 最大彎曲力矩及最大撓度

(1)		$M = W l_1$ (右支點)	$\delta = \frac{W l_1^2 l}{3EI}$ (右端)
(2)		$M = W l$ (固定端)	$\delta = \frac{W l^3}{3EI}$ (自由端)
(3)		$M = \frac{W l}{2}$ (固定端)	$\delta = \frac{W l^3}{8EI}$ (自由端)
(4)		$M = \frac{W l_1 l_2}{l}$ (荷重點)	$l_1 > l_2$ 時, $\delta = \frac{W l_2 (l^2 - l_2^2)^{3/2}}{9 \sqrt{3} E I l}$ (距左 $\{(l^2 - l_2^2)/3\}^{1/2}$)
(5)		$M = W l_1$ (荷重點間)	$\delta = \frac{W l_1 (3 l^2 - 4 l_1^2)}{24 E I}$ (中央)
(6)		$M = \frac{W l}{8}$ (中央)	$\delta = \frac{5 W l^3}{384 E I}$ (中央)
(7)		$l_1 \geq l_2$ 時 $M = \frac{W l_1^2 l_2}{l^2}$ (右固定端)	$l_1 \geq l_2$ 時, $\delta = \frac{2 W l_1^3 l_2^2}{3 E I (3 l_1 + l_2)^2}$ (距左方 $\frac{2 l_1 l}{3 l_1 + l_2}$)
(8)		$M = \frac{W l}{12}$ (兩固定端)	$\delta = \frac{W l^3}{384 E I}$ (中央)

	$l_1 \geq \sqrt{2}l_2$ 時 $M = \frac{Wl_1^3l_2}{2l^3}(2l_1+3l_2)$ (荷重點) $l_1 \leq \sqrt{2}l_2$ 時 $M = \frac{Wl_1l_2^2}{2l^2}(l_1+2l_2)$ (固定端)	荷重點位置的撓度 $\delta = \frac{Wl_1^3l_2^2(3l+l_2)}{12EI l^3}$
(10) 	$M = \frac{Wl}{8}$ (固定端)	$\delta = \frac{Wl^3}{184.6EI}$ (距右 0.4215l)

8-2表為各種不同負荷之軸的 δ/l 容許值

8-2 表

軸 的 種 類	δ / l
工廠用傳動軸	1 / 1200
具有齒輪的傳動軸	1 / 3000
渦輪機 (圓筒形轉軸)	1 / 4000 ~ 1 / 8000
電氣機械 (圓盤形轉軸)	1 / 6000 ~ 1 / 8000

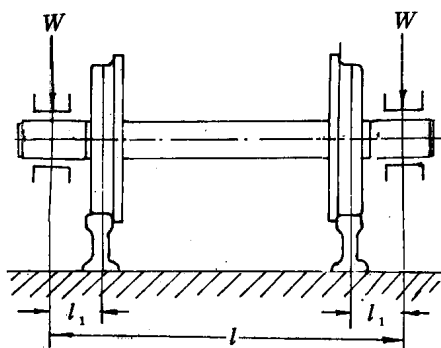
例題 8-3 如 8-2 圖所示有一車輛用軸，當 $W = 4000 \text{ kg}$ ， $l_1 = 200 \text{ mm}$ ，容許彎曲應力 $\sigma_b = 4.5 \text{ kg/mm}^2$ 時，求軸徑 d 應為若干？

解：最大彎曲力矩為作用於軸承間，其

$$\begin{aligned} \text{值為：} M &= Wl_1 = 4000 \times 200 \\ &= 800,000 \text{ mm} \cdot \text{kg} \end{aligned}$$

$$\therefore d = \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi \sigma_b}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 800,000}{\pi \times 4.5}}$$

$$= 122 \text{ (mm)}$$



8-2 圖 車輛用軸

答：軸徑 d 爲 122 mm

例題 8-4：設有一懸臂軸長 200 mm，自由端受 500 kg 之集中負荷，求其最大撓度若干？設軸之直徑爲 50 mm， $E = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ 。

$$\text{解： } I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi (50)^4}{64} = 306796 \text{ (mm}^4 \text{)}$$

$$\begin{aligned} \text{由 8-1 表得 } \delta_{\max} &= \frac{W l^3}{3EI} = \frac{500 \times (200)^3}{3 \times 2.1 \times 10^4 \times 306796} \\ &= 0.207 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

答：最大撓度爲 0.207 mm

8-3 僅受扭轉力矩作用之軸

8-3-1 符 號

T ：扭轉力矩 (mm - kg)

τ ：扭轉應力 (kg/mm²)

G ：剪彈性係數 (kg/mm²)

θ ：單位長度相當之扭角 (rad/mm)

d ：實心圓軸之直徑 (mm)

d_o ：中空圓軸之外徑 (mm)

d_i ：中空圓軸之內徑 (mm)

x ： d_i / d_o 中空圓軸之內外徑比

Z_p ：極截面係數 (mm³)

$$\text{實心軸時： } Z_p = \frac{\pi d^3}{16}$$

$$\text{中空軸時： } Z_p = \frac{\pi}{16} \left(\frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o} \right) = \frac{\pi}{16} d_o^3 (1 - x^4)$$

8-3-2 軸之扭轉強度設計

軸受到扭轉作用時，其強度的計算如下：

A. 實心圓軸時

(a) 扭轉強度

$$T = Z_p \cdot \tau = \frac{\pi}{16} d^3 \cdot \tau \dots\dots\dots (8-10)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau}} \dots\dots\dots (8-11)$$

(b) 扭轉剛性

由(8-5)式得

$$\theta = \frac{\phi}{l} = \frac{T}{JG}$$

$$T = \frac{\pi}{32} d^4 G \theta \dots\dots\dots (8-12)$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{32T}{\pi G \theta}} \dots\dots\dots (8-13)$$

B. 中空圓軸時

(a) 扭轉強度

$$T = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o} \tau = \frac{\pi}{16} d_o^3 (1 - x^4) \tau \dots\dots\dots (8-10')$$

$$d_o = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi(1-x^4)\tau}} \dots\dots\dots (8-11')$$

(b) 扭轉剛性

$$T = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4) G \theta = \frac{\pi}{32} d_o^4 (1 - x^4) G \theta \dots\dots\dots (8-12')$$