

科學圖書大庫

機械設計理論與習題精解

(下冊)

編譯者 嚴 轟

徐氏基金會出版

TH122

16/2

科學圖書大庫

機械設計理論與習題精解

(下冊)

編譯者 嚴 轟

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十八年十一月卅日初版

機械設計理論與習題精解

(下冊)

基本定價 4.10

編譯者 嚴 轟 中正理工學院 副教授
光 武 工 專

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
7815250

發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

前 言

美籍斯包德先生所著之 *Design of Machine Elements*，經汰陳補新以第四版問世迄今，廣受歡迎，我國大專多予採用。內容雖搜自廣泛的來源，但均予以整理和簡化，且引用統一的符號。全書在致力於敘述各種機械零件正確設計的基本原理，並舉出代表性的例題以示範如何應用。整個機械，當由諸零件之適切配合而組成。

筆者供職於機械工廠，瞬經二十五載，感於工教合一之相輔相成，亦廁身教界有年。本書我認為是最好的一本機械設計，但也是所見較欠嚴整的一本英文書。困惑之處，每可於例題領悟之餘，得能味其真義而予以解說清楚。錯誤雖有，但不失其優點之難能可貴。

學子在良師益友的砥礪下，固可奠定相當的學理基礎；而實際工作時期，尤須繼續努力精進不懈，理論與經驗並重，同仁智慧交流，最佳設計始能有成。

本立而道生，在基本原理的應用融會貫通以後，設計者對綜合性問題，方能迅速找出解決的途徑，故本書為大專生和工程師常需參考的基本書籍。

太空世紀，時效是成功的重要因素。不揣簡陋，爰謹摘譯本書理論之精華並詳解其習題，庶或有助於讀者設計時程的縮短。才疏學淺，復以付梓倉促，不妥之處，尚祈先進不吝斧正，無任銘感。

中華民國六十七年九月四日

嚴 轟於台北北投廬舍

目 錄

第七章 熔接和鉚接.....	1
1. 熔接的裝配.....	1
2. 融化熔接.....	2
3. 融化熔接的強度.....	3
4. 受偏心靜負荷的熔接組.....	4
5. 熔接的應力集中.....	9
6. 熔接的殘留應力.....	10
7. 熔接電極.....	11
8. 波動負荷的熔接設計.....	12
9. 電阻熔接.....	14
10. 他種熔接.....	15
11. 軟焊和硬焊.....	16
12. 爐熱硬焊.....	18
13. 有中心負荷的鉚接.....	19
14. 鉚接應力.....	20
15. 薄圓筒殼周向力和鉚接承力.....	21
16. 有偏心負荷的鉚接.....	24
17. 黏着劑.....	27
第八章 潤 滑.....	53
1. 黏性和牛頓定律.....	54
2. 黏性的測定.....	55

3. 黏性指數.....	60
4. Zn/p 曲線.....	61
5. 彼道夫軸承方程式.....	63
6. 頸軸承負荷.....	64
7. 頸軸承的負荷和摩擦曲線.....	66
8. 軸承熱的平衡.....	67
9. 油膜溫度和最小油膜厚度.....	72
10. 壓力潤滑軸承.....	74
11. 軸承材料.....	76
12. 軸承負荷.....	79
13. 軸承構造.....	79
14. 餘隙和油槽.....	80
15. 軸和軸承的彈性配合.....	83
16. 乾摩擦古典定律之適用性.....	84
17. 邊界或薄油膜潤滑.....	85
18. 混合或半流體潤滑.....	86
第九章 球軸承和滾子軸承	108

1. 球軸承的構造和型式.....	108
2. 球軸承的選擇.....	110
3. 軸向負荷對軸承的影響.....	113
4. 對變動負荷軸承的設計.....	115
5. 球軸承的靜容量.....	117
6. 軸承的摩擦和潤滑.....	118
7. 軸承材料和表面加工.....	119
8. 球軸承的裝置.....	121
9. 容許的軸承對準誤差.....	122
10. 不研磨的球軸承.....	123
11. 各種軸承的優點.....	123
12. 滾子軸承.....	124

13. 球和圓柱的接觸應力	126
14. 彈體的液體動力潤滑	127
第十章 正齒輪	139
1 正齒輪節圓的切線速度	140
2 正齒輪裝置的基本定律	140
3 漸開線齒輪的運動	142
4 擺線齒輪的齒	144
5 正齒輪的三種節	145
6 正齒輪的標準制度	148
7 正齒輪的製造方法	150
8 正齒輪的修整法	153
9 正齒輪傳遞的切向分力	154
10. 正齒輪的彎曲負荷	154
11. 正齒輪的形狀或路易因數	157
12. 正齒輪磨耗的限界負荷	158
13. 正齒輪誤差引起的動負荷	160
14. 正齒輪誤差和作用時間	160
15. 正齒輪彈簧常數和有效質量	160
16. 正齒輪動負荷設計方程式	163
17. 正齒輪有效質量之減小	165
18. 齒的接觸的對數	166
19. 齒輪材料	168
20. 齒輪齒的損壞	169
21. 齒負荷的決定	170
22. 齒輪潤滑和裝置	172
23. 齒隙	172
24. 齒輪尺寸註法	173
25. 齒少齒輪的清角	173
26. 長和短齒冠的齒輪裝置	175

27. 內或環齒輪.....	178
28. 齒輪系的轉速比和齒數.....	179
29 行星齒輪系.....	182
第十一章 斜齒輪、蝸輪和螺旋齒輪	219
1. 直齒斜齒輪.....	220
2. 直齒斜齒輪的彎曲強度.....	220
3. 直齒斜齒輪的磨耗限界負荷與動負荷.....	222
4. 斜齒輪的齒負荷.....	225
5. 蝸線斜齒輪.....	227
6. 蝸輪裝置.....	229
7. 蝸輪裝置的幾何關係.....	230
8. 蝸輪減速裝置的馬力容量.....	233
9. 蝸輪減速裝置的散熱馬力.....	238
10. 螺旋齒輪.....	241
11. 螺旋齒輪的節徑.....	243
12. 螺旋齒輪的型成齒數.....	245
13. 螺旋齒輪的中心距.....	245
14. 平行軸螺旋齒輪的齒負荷.....	248
15. 平行軸螺旋齒輪的彎曲強度、動負荷和磨耗負荷.....	248
16. 交叉軸螺旋齒輪的負荷容量.....	250
第十二章 雜機件	274
1. 厚筒的應力.....	274
2. 收縮或壓入配合.....	277
3. 壓入配合的應力集中.....	279
4. 圓盤飛輪的應力.....	281
5. 具輪輻和輪緣的飛輪.....	282
6. 飛輪的功用.....	285
7. 彈體的衝擊應力.....	289
8. 自由落體對懸桿的衝擊.....	294

9. 自由落體對簡支樑的衝擊.....	295
10. 密合墊和密封.....	296
11. 流體負荷密合墊之設計.....	299
12. 鋼絲繩.....	303
13. 特形橫斷面的曲梁.....	309
14. 矩形橫斷面的曲梁.....	312
15. 圓形橫斷面的曲梁.....	315
16. 曲率指數不甚小時曲梁的角變形.....	315
17. 凸輪.....	315
18. 中心滾子從動件的板凸輪.....	317
19. 中心滾子從動件板凸輪的製造.....	320
20. 平面從動件的板凸輪.....	322
21. 多力凸輪.....	323
22. 凸輪設計要領.....	324
23. 扣環.....	325
24. 平板.....	325
第十三章 尺寸註法和細節.....	371
1. 公差和成本.....	371
2. 多餘尺寸.....	372
3. 餘隙配合的尺寸註法—最大(多)材料.....	372
4. 緊度配合的尺寸註法—最小(少)材料.....	373
5. 單向和雙向公差.....	374
6. 選擇裝配.....	375
7. ASA 制的圓形體配合.....	377
8. 偏心度和不圓度.....	379
9. 累積和非累積公差.....	380
10. 孔心尺寸通常註法.....	381
11. 孔心尺寸真位置註法.....	382
12. 基準面和功用面.....	382

13. 性狀公差.....	384
14. 推拔尺寸註法.....	384
15. 機件和量規公差.....	386
16. 統計控制的自然公差.....	388
17. 裝配結果尺寸的考慮.....	389
18. 基本尺寸寧用數.....	390
19. 表面粗度.....	392
20. 孔件配螺栓的公差.....	395
21. 單孔配螺樁和突耳配缺口的公差.....	397
22. 大小頭圓柱配圓孔偏心度的決定.....	402
23. 設計應注意之細節.....	402
 第十四章 工程材料.....	 419
表 14-1 典型中碳鋼或直接硬化鋼的機械性質.....	420
表 14-2 典型低碳鋼和表面硬化鋼的機械性質.....	421
表 14-3 灰鑄鐵的機械性質.....	421
表 14-4 展性和延性鑄鐵的性質.....	422
表 14-5 質量對於鉻鉬鋼 4140 物理性質的影響.....	422
表 14-6 工程材料機械性質的平均質.....	422
圖 14-1 不同大小之水淬及回火碳鋼 1045 之性質.....	423
圖 14-2 不同大小之油淬及回火鎳鉻鉬鋼 4340 之性質.....	424
圖 14-3 不同大小之油淬及回火鎳鉻鉬鋼 8742 之性質.....	425
圖 14-4 在高溫 0.28 % 碳鋼鑄造、退火或正常化和軋、退火、或正 常化的拉性質.....	426
圖 14-5 中碳鑄鋼的機械性質.....	426
表 14-7 S A E 和 A I S I 鋼的基本數字.....	427
圖 14-6 4130 退火鋼隨溫度之增加，彈性模數減小.....	427
表 14-8 熔接用鋼的基本數字.....	427
表 14-9 A I S I 碳和合金鋼的化學成分.....	428
表 14-10 鑄鐵的成分.....	428

表 14-11 熟鋁合金規定制度.....	429
表 14-12 鋁的調質規定.....	429
表 14-13 熟鋁合金的成分和機械性質.....	430
表 14-14 熟鋁合金的主要性質和用途.....	431
表 14-15 砂鑄鋁合金的成分和機械性質.....	431
表 14-16 鎂合金的成分和機械性質.....	432
表 14-17 黃銅、青銅和各種鍛銅合金的成分.....	433
表 14-18 黃銅、青銅和各種鍛銅合金的性質.....	433
表 14-19 典型的黃銅和青銅鑄造合金.....	435
表 14-20 壓鑄件的近似尺寸和重量限界.....	435
表 14-21 壓鑄合金的公稱成分和機械性質.....	436
表 14-22 近似相當的硬度數.....	437
圖 14-7 在不同溫度鑄鐵顯微組織和共存相位的結論.....	438
圖 14-8 鐵碳圖的一部分，示成分、臨界溫度和正常化、退火與硬化的溫度範圍.....	439
圖 14-9 試驗機和相當的低碳鋼應力應變圖.....	440
圖 14-10 各種材料的應力應變圖.....	441

第七章 熔接與鉚接

熔接 (Weld) 是利用局部加熱，使兩金屬面接合。熟鐵的鍛造或壓力熔接，已實用數世紀；氣炬、電弧或電阻熔接僅在近年出現。後面數法的使用領域，在迅速擴展中。

鉚釘 (Rivet) 亦能用於零件的接合。熔接雖已廣泛代替鉚接 (Riveting)，但鉚釘仍被採用於某種型式的接合。此種結合法的長期經驗，對於鉚接的可靠性有信心。

A = 喉面積

FS = 安全因數

h = 熔接的寬度

I = 慣性矩

J = 極慣性矩

K = 應力集中因數

l = 熔接長度

M = 力矩

p = 壓力

P = 外力

r = 半徑

r_1 = 由接合的重心至熔接或鉚釘中心的距離

s = 拉或壓應力

s_{av} = 平均應力

s_e = 忍耐限界應力

s_r = 範圍應力

s_s = 剪應力

s_{vp} = 降伏點應力

s_{vvp} = 受剪的降伏點應力

s_{ult} = 極限應力

T = 扭矩

1. 熔接的裝配

由於成本較低，許多機械的零件，從前用鑄造製造的，現用熔接組成。零件可剪成，或由熱軋鋼板用火焰割成，繼經熔接於一起。第 7-1 圖示數典型的熔接裝配。有時物體的精細部分可鑄成或衝成。由板所製成的平面，用熔接接於其上。

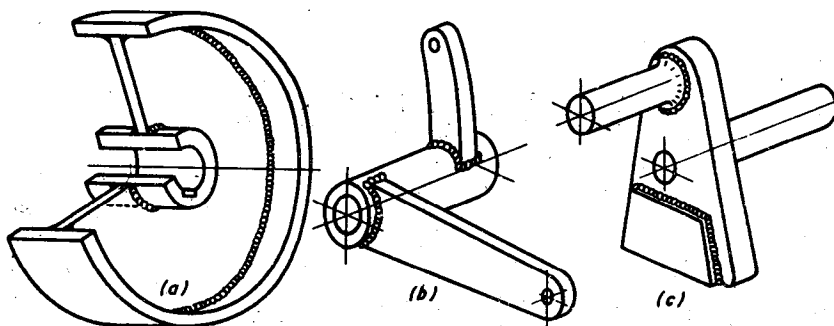


圖 7-1 熔接所製成的機件

熔接的裝配通常給出較大的強度，且重量減輕，對於機械運動的零件和交通設備，為重要的優點。熔接設計加工量通常較相當的鑄件的為小。

2. 融化熔接

在融化過程，熱量取自氧乙炔 (Oxyacetylene) 焰，或得自電極和工件間的電弧。零件邊緣加熱至熔解溫度，與由熔接條 (Welding rod) 融解來的填充材料，結為一體。

在金屬電弧熔接 (Arc welding)，電極由適當的填充材料所組成，當熔接繼續進行中，它熔解並填補至接合處。掩護電弧熔接用外覆有厚層助熔劑的電極。當其融解，覆層消耗，並完成助熔劑 (Flux) 的特有功用，如第 7-2 圖所示。當用氧乙炔火炬，融解金屬為火焰外圍所掩護，而不接觸大氣。火焰通常調整至其為中性或略帶還原性為止。助熔劑用於對若干金屬的氣體熔接 (Gas weld-

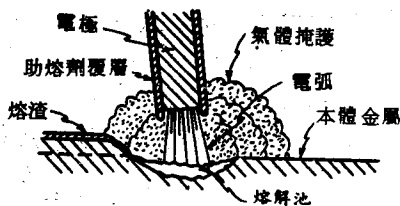


圖 7-2 用包覆熔接條的電弧熔接

ing)，以浮出可能存在的任何不潔物，遂有助於形成健全的熔接。

無論直流或交流，皆可用金屬電弧方法。當熔接大於約 $\frac{3}{8}$ 吋的最小厚度，它通常製成連續層。堆積的熔接金屬，常有鑄造金屬的粗糙結構特質。

3. 融化熔接的強度

幾種不同型式的熔接，其應力的方程式，起於已知負荷，如第 7-3 圖所示。對頭熔接 (Butt weld) 的寬度 h ，不包括凸出或加強 a 。 $\frac{1}{4}$ 吋厚和更厚的板，應在熔接以前，製成斜角，如圖所示。

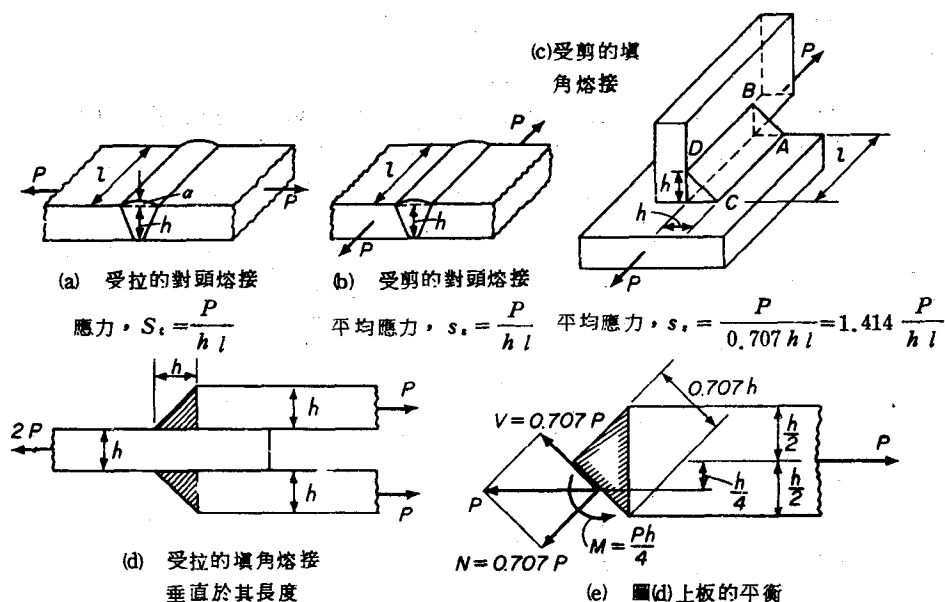


圖 7-3 熔接和負荷的各種型式

填角熔接 (Fillet weld) 的負荷，和其長度平行，示於第 7-3 圖 (c)。喉面積為 $0.707 h l$ ，而 l 為腳的長度。在喉面的剪應力為

$$s_s = \frac{P}{0.707hl} = 1.414 \frac{P}{hl} \quad (1)$$

可用靜負荷安全因數的通常方程式

$$FS = \frac{s_{sy}}{s_s} = \frac{0.5s_{sy}}{s_s} \quad (2)$$

例題 1. $\frac{1}{4}$ 吋填角熔接長 2 吋，支持 3,000 磅的穩靜負荷，與熔徑平行。熔接金屬有 50,000 磅/吋² 的降伏強度。求安全因數！

解 依(1)式 $s_s = 1.414 \times \frac{3,000}{(\frac{1}{4}) \times 2} = 8,490 \text{ psi}$

依(2)式 $FS = \frac{25,000}{8,490} = 2.95$

在熔接長度的垂直方向受負荷作用的填角熔接，第 7-3 圖(d)，有板不需精密裝配之益。上部板的平衡圖，示於圖(e)。熔接經喉切開，加有平衡必要的力 P 和力矩 M 。力 P 分解為法線分力 N 和剪分力 V 。

當僅有兩板，接合受偏心負荷作用，並受另加力矩作用，稍像第 7-14 圖所示單行鉚釘的搭接 (Lap joint)。由於熔接的形狀，起自負荷 N 、 V 和 M 的喉上應力情形，異常複雜，對於設計計算，無適當方程式可供利用。普通實用上，認為橫向填角熔接的喉上剪應力，僅為負荷除以喉的面積，又產生(1)式。

4. 受偏心靜負荷的熔接組

當熔接組受偏心負荷時，必須考慮扭矩或彎矩和直接受力的影響。此種接合的應力情形複雜，須作簡化的假設。

當熔接組包括數條熔接，習慣假設在任一點的扭矩應力，和距熔接組重心的距離成比例。設第 7-4 圖所示的熔接，為熔接組中之一條，而熔接組的重心在 O 。在熔接微小面 dA 的扭矩應力 s_s ，垂直作用於半徑 r 外端，其扭矩方向

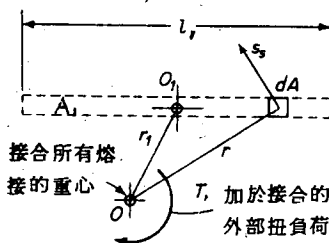


圖 7-4 偏心負荷的熔接接合微小面的應力

恒與外加的相反。外加之扭矩 T ，等於應力 s_s 的扭矩對全熔接組的積分

$$\begin{aligned} T &= \int s_s r dA = \int \frac{s_s}{r} r^2 dA \\ &= \frac{s_s}{r} \int r^2 dA = \frac{s_s J}{r} \\ s_s &= \frac{Tr}{J} \end{aligned} \quad (3)$$

s_s/r 比為一常數，因假設應力隨 r 而正變。(3)式中積分 $\int r^2 dA$ ，已替以 J ，即熔接組繞 O 的極慣性矩。於求最大扭應力，須用由重心 O 至最遠的 r 值。直接由力的應力，必須向量的加於扭矩應力，以得合成應力。於靜負荷通常實用假設，熔接的直接應力，均勻佈於全組喉面，方向恒與外力相反。

用平行軸方程式，可求一條熔接繞心 O 的 J_1 的值。第 7-4 圖的熔接，此式可寫成

$$J_1 = J_{o1} + A_1 r_1^2 \quad (4)$$

此方程式中的面積 A_1 ，指熔接的喉面積而言。填角熔接的喉和接合的面傾斜 45° ，不影響於 J_1 值。半徑 r_1 由一條熔接的心 O_1 ，伸至熔接組的重心 O 。符號 J_{o1} 代表一條熔接繞自己心 O_1 的極慣性矩。此值可由以下方程式求得。

$$J_{o1} = \frac{A_1 l_1^2}{12} \quad (5)$$

式中 A_1 為一條的喉面積， l_1 為其長度。

當(5)式代入(4)式，結果為

$$J_1 = A_1 \left(\frac{l_1^2}{12} + r_1^2 \right) \quad (6)$$

每條熔接繞 O 的 J_s 值，應依(6)式計算；結果相加，以得全熔接組的極慣性矩。

例題 2. 受偏心負荷作用的托架，熔接於支座，如第 7-5 圖所示。假如負荷穩靜，求熔接的最大應力。假如熔接金屬的降伏強度為 50,000 磅/吋²，托架厚 $\frac{1}{4}$ 吋，每條熔接寬度為 $\frac{1}{4}$ 吋，求其

安全因數！

解 由於對稱，水平方向的熔接組重心，在兩垂直熔接的中間。垂直方向的重心，由於取繞頂熔接的力矩得之。

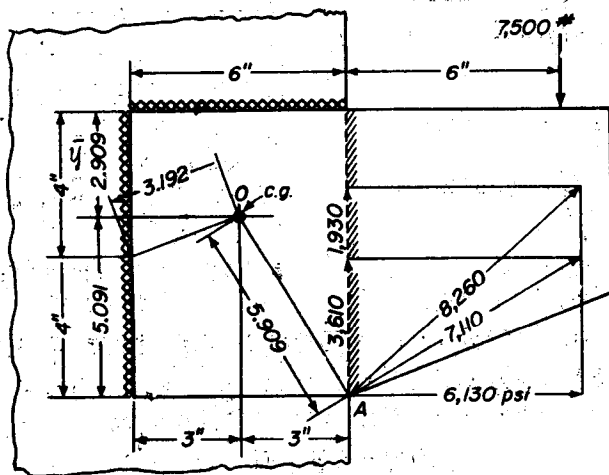


圖 7-5 例題 2

$$22 \bar{y} = 2 \times 8 \times 4$$

$$\bar{y} = 2.909 \text{ in 由頂}$$

喉寬度

$$b = 0.707 h = 0.707 \times \frac{1}{4} = 0.1768 \text{ in}$$

垂直熔接：

$$A_1 = 0.177 \times 8 = 1.414 \text{ in}^2$$

$$r_1 = \sqrt{1.091^2 + 3^2} = \sqrt{10.1903}$$

$$= 3.192 \text{ in}$$

依(6)式

$$J_1 = 1.4142 \left(\frac{8^3}{12} + 3.192^2 \right) = 21.953$$

$$\text{in}^4$$

頂熔接：

$$A_2 = 0.1768 \times 6 = 1.061 \text{ in}^2$$

依(6)式

$$J_2 = 1.061 \left(\frac{6^3}{12} + 2.909^2 \right) = 12.159 \text{ in}^4$$