

# 機 械 設 計

(1986年公制版)

原著者 Joseph Edward Shigley

譯著者 吳嘉祥 嚴孝全

曉 園 出 版 社

世界圖書出版公司

# 機 械 設 計

(1986年公制版)

原著者 Joseph Edward Shigley

譯著者 吳嘉祥 嚴孝全

曉 園 出 版 社

世界圖書出版公司

北京·廣州·上海·西安

1993

# 机 械 设 计

J. E. 希格利 著

吴嘉祥 严孝全 译

\*

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司 重印

北京朝阳门内大街 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

\*

1993 年 11 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1993 年 11 月第一次印刷 印张: 25.25

印数: 0001-1000 字数: 60.6 万字

ISBN: 7-5062-1644-2/TH·22

定价: 19.50 元 (W<sub>9304/15</sub>)

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向台湾晓园出版社购得重印权  
限国内发行

# 譯 序

無論任何行業，一旦涉及設計，都不會是件容易的事，因為它是一種分析及決策的過程。每件設計工作的進程序，首先必須確定設計條件，然後依賴充份的理論基礎和實際經驗，作為如何設計出滿足設計條件之最適成品（optimal product）的指引。其間，由於牽涉的實際經驗因人而異，而解決任何問題的方法，又常不僅一種，因而形成設計的一項特質，那就是：同樣的問題，容許有不同的答案。

以設計為論題的教科書，必須能提供設計的理論基礎，以及顯示設計的特質，方能稱之為優良的教本。本書原著 J. Edward Shigley 的 Mechanical Engineering Design 即是能合乎上述要求的名著。因為

1. 本書的第一部分—機械設計基礎，提供了設計者瞭解機件如何損毀所需的知識；第二部分—機械元件的設計，則以各元件設計的基本假設出發，演繹出設計所需的式子，經驗式極少。使研習者於分析或設計時能有堅實的理論依據。
2. 習題中含 \* 號者，有較多的自由度，容許出現不同的答案，使研習者在學習過程中，即能領會設計的特性。這是其他教本所沒有的特點。
3. 已將機械中必要的元件搜羅無遺，作了最適切的介紹。並且提供了最新的設計數據資料。

以上各點也是使本書數拾年來，一直雄踞全美機械設計教本排行榜

首位的原因。它確是值得譯介的教本。

譯述這種有份量的著作，譯者是本著戰戰兢兢，唯恐譯本失色的態度來進行的。當然，成果如何，應由讀者評斷。但譯者對校註的心力，有相當的信心。然而，任何第一版的書籍，疎誤難以避免。我們期待讀者們的指正，俾便改進。

1987年9月

譯 者 謹識

# 原 序

本公司制版保留了第三及第四版中的最佳內容並納入最新發展的技術及材料。先前數版的讀者給我許多幫助並提供改進內容的方法。幾乎所有的讀者建言都已用於此新版本之中。

若缺乏各界熱切的支持及皇家軍事科學院 Peter C. Hills 的寶貴意見，那麼這本書的完成勢必困難重重。尤其感謝 Peter 將第四版從頭到尾的校閱及批註。

另外謝謝編輯，Margaret M. Tilling 小姐，在籌劃期間給予本人諸多珍貴的協助。尤其是協助取得標準及其他公制刊物，助益良多。

謝謝多倫多大學 Fred Rimrott 教授提供 SI 單位的使用法及其他擾人問題的建議，對寫作頗多助益。

最後感謝本人另一寫作專案的同仁，愛阿華州立大學 Charles R. Mischke 教授，在寫作期間給予本人諸多技術部分的協助。

Joseph Edward Shigley

# 符 號 表\*

|        |                                     |
|--------|-------------------------------------|
| $A$    | 面積；常數                               |
| $a, a$ | 加速度；常數；單位；齒冠高                       |
| $B$    | 常數                                  |
| $b$    | Weibull 指數；齒根高；剖面寬度；單位；常數；疲勞強度指數    |
| $C$    | 係數；彈簧指數；額定軸承負荷；柱端部狀況常數；齒輪因數；中心距離；比熱 |
| $c$    | 間隙；樑之中立軸至外表面之距離；疲勞 - 延性指數；黏性係數      |
| $D, d$ | 直徑                                  |
| $E$    | 彈性模數；動能                             |
| $e$    | 偏心度；效率；應變值                          |
| $F, F$ | 力量                                  |
| $F$    | 表面寬度                                |
| $f$    | 頻率；摩擦係數                             |
| $G$    | 剪彈係數                                |
| $g$    | 重力加速度                               |
| $H$    | 硬度碼；吸收熱或損失熱；動力                      |
| $h$    | 剖面高度；軸承間隙                           |
| $I$    | 慣性矩；幾何形狀因素                          |
| $i$    | $x$ 方向之單位向量                         |
| $i$    | 整數                                  |
| $J$    | 極慣性矩；幾何形狀因素；熱之機械當量                  |

---

\* 參考 A-24 表之希臘字母。

|        |                                                                 |
|--------|-----------------------------------------------------------------|
| $j$    | $y$ 方向之單位向量                                                     |
| $j$    | 整數                                                              |
| $K$    | 應力集中因素；Buckingham 磨損因素；Wahl 修正因素；齒輪因素；承載額定比率；強度係數；應力集中因素；螺栓扭矩係數 |
| $k$    | $z$ 方向之單位向量                                                     |
| $k$    | 彈簧率；耐久限修正因素；迴轉半徑                                                |
| $L$    | 長度；壽命；導程                                                        |
| $l$    | 長度                                                              |
| $M, M$ | 力矩                                                              |
| $m$    | 質量；安全界限；斜率；接觸比；模數                                               |
| $n$    | 安全因素；應變 - 硬化指數；以 rev/min 表示的轉速                                  |
| $P, P$ | 力量                                                              |
| $P$    | 軸承壓力；力                                                          |
| $p$    | 壓力；線性節距或周節                                                      |
| $Q$    | 一次面積矩；體積流量                                                      |
| $q$    | 負荷強度；缺口敏感度；弧長                                                   |
| $R, R$ | 在支撐及聯接處之反力；位置向量                                                 |
| $R$    | 可靠度；面積縮減量                                                       |
| $r$    | 半徑；徑向指示器；相關係數                                                   |
| $S$    | 強度；長度比例；軸承特性號碼                                                  |
| $s$    | 樣品標準差；距離                                                        |
| $T$    | 扭矩；溫度                                                           |
| $t$    | 厚度；切線方向；時間                                                      |
| $U$    | 能量；速度；係數                                                        |
| $u$    | 單位能量；速度；座標                                                      |
| $V$    | 剪力；速度；軸承旋轉因數                                                    |
| $v$    | 體積；動黏度                                                          |
| $W$    | 重量；負荷；冷作因數                                                      |
| $w$    | 單位重量；寬度                                                         |
| $X$    | 軸承徑向因數                                                          |

|                |                         |
|----------------|-------------------------|
| $x$            | 直角座標；距離                 |
| $Y$            | 軸承止推因數；Lewis 齒形因數       |
| $y$            | 直角座標；距離；Lewis 齒形因數      |
| $Z$            | 斷面模數；黏度                 |
| $z$            | 直角座標；距離；標準統計變數          |
| $\alpha$       | 熱膨脹係數；螺紋角；軸向疲勞應力修正因素；角度 |
| $\beta$        | 部份承載角                   |
| $\Gamma$       | 節距角                     |
| $\gamma$       | 剪應變；節角；活節角              |
| $\Delta$       | 增加量或改變量                 |
| $\delta$       | 總變形或伸長量                 |
| $\epsilon$     | 單位工程應變；偏心比              |
| $\varepsilon$  | 真實應變                    |
| $\eta$         | 效率                      |
| $\theta$       | 扭轉角；斜率；Weibull 參數       |
| $\lambda$      | 導角                      |
| $\mu$          | 母集團平均值；摩擦係數；絕對黏度        |
| $\nu$          | 波依桑比                    |
| $\rho$         | 曲率半徑；密度                 |
| $\Sigma$       | 總和符號                    |
| $\sigma$       | 正交應力                    |
| $\hat{\sigma}$ | 母集團標準差                  |
| $\tau$         | 剪應力                     |
| $\phi$         | 壓力角                     |
| $\psi$         | 螺旋角                     |
| $\omega$       | 角速度                     |

# 目 錄

## 第一篇 機械設計之基礎知識 1

### 第一章 簡 介 3

1. 設計的意義 3 / 2. 機械工程設計 5 / 3. 設計的步驟 6 / 4. 認識與確認 7 / 5. 評估與表達說明 8 / 6. 設計的考慮因素 10 / 7. 安全因素 11 / 8. 法規及標準 15 / 9. 經濟性 16 / 10. 可靠度 19 / 11. 安全及產品的責任 19 / 12. 單位 20 / 13. 使用 SI 單位之規則 23 / 14. 量的精確度與取捨 24 / 15. 試誤法及可程式計算機 27 / 習題 28

### 第二章 應力分析 31

1. 應力 31 / 2. Mohr 圓 32 / 3. 三軸向應力 39 / 4. 均佈應力 41 / 5. 彈性應變 42 / 6. 應力 - 應變的關係 44 / 7. 剪力及彎曲力矩 46 / 8. 奇性函數 48 / 9. 彎曲所造成之正交應力 52 / 10. 向量程式 60 / 11. 非對稱斷面之樑 63 / 12. 樑中剪應力 64 / 13. 矩形斷面樑之剪應力 67 / 14. 其它斷面形狀的彎曲應力 69 / 15. 剪力中心 70 / 16. 扭矩 73 / 17. 厚壁圓筒內之應力 77 / 18. 壓入及收縮配合 80 / 19. 熱應力及應變 82 / 20. 受彎曲之彎曲元件 84 / 21. HERTZ 接觸應力 91 / 習題 96

### 第三章 撓度及剛性之考慮 109

1. 彈簧率 109 / 2. 拉力、壓力及扭力 111 / 3. 彎矩所造成之撓度 112 / 4. 應用奇性函數求解撓度 115 / 5. 重疊法 119 / 6. 數值積分法 122 / 7. 應變能 128 / 8. Castigliano 理論 132 / 9. EULER 柱 136 / 10. Euler 柱與 Johnson 柱之比較 140 / 11. 非彈性挫曲 142 / 12. 正割公式 144 / 13. 柱之設計 145 / 習題 149

### 第四章 材料及其性質 157

1. 靜強度 157 / 2. 塑性變形 162 / 3. 強度及硬度 166 / 4. 衝擊性質

169 / 5. 潛變及溫度性質 170 / 6. 合金鋼 172 / 7. 耐蝕鋼 174 / 8. 鑄造材料 174 / 9. 非鐵金屬 177 / 10. 塑膠 180 / 11. 彈性體 183 / 12. 黏彈性 183 / 習題 185

## 第五章 統計之考慮 187

1. 隨機變數 187 / 2. 算術平均數、變異及標準誤差 190 / 3. 回歸分析法 194 / 4. 常態分配 196 / 5. 母集團之合併 201 / 6. 尺寸一定義及標準 202 / 7. 公差之統計分析 206 / 8. WEIBULL 分配 207 / 習題 209

## 第六章 針對靜力強度之設計 213

1. 靜強度 219 / 2. 靜負荷及安全因素 220 / 3. 破壞理論 223 / 4. 最大正交應力理論 224 / 5. 最大剪力理論 224 / 6. 畸變能理論 226 / 7. 延性材料之破壞 229 / 8. 脆性材料之破壞 234 / 9. 應力集中 239 / 10. 應力集中因素之決定 240 / 11. 應力集中圖表 246 / 12. 應力集中及靜負荷 246 / 13. 破壞力學簡介 247 / 14. 裂痕中的應力狀況 248 / 15. 臨界應力強度因素 249 / 16. 破壞韌性因素 252 / 17. 應力腐蝕 258 / 習題 259

## 第七章 針對疲勞強度之設計 263

1. 簡介 263 / 2. S-N 圖 265 / 3. 低循環疲勞 271 / 4. 高循環疲勞 278 / 5. 耐久限修正因素 280 / 6. 表面加工 281 / 7. 尺寸的影響 281 / 8. 可靠度 287 / 9. 溫度的影響 290 / 10. 應力集中的影響 292 / 11. 其它的影響 295 / 12. 變動應力 300 / 13. 變動應力下之疲勞強度 302 / 14. KIMMELMANN 安全因素 308 / 15. 扭轉 309 / 16. 合併負荷造成之應力 311 / 17. 累積疲勞破壞 316 / 18. 表面強度 319 / 習題 322

## 第二篇 機械元件之設計 331

### 第八章 螺絲、扣件及連接元件之設計 333

1. 螺紋標準及定義 333 / 2. 動力螺旋力學 336 / 3. 螺紋應力 343 /  
4. 螺紋扣件 343 / 5. 在拉力下之螺栓接合 344 / 6. 螺栓接合元件之壓力 349 / 7. 所需之扭矩 351 / 8. 強度規格 355 / 9. 螺栓預負荷：靜負荷 355 / 10. 螺帽之選擇 360 / 11. 疲勞負荷 360 / 12. 密合墊接頭 364 /  
13. 承受剪力之螺栓及鉚釘接頭 367 / 14. 螺栓群之中心 370 / 15. 因為偏心負荷造成螺栓及鉚釘的剪力 370 / 16. 鍵、銷、扣環 375 / 習題 378

## 第九章 熔接、硬焊與膠合接點 385

1. 熔接 385 / 2. 對焊與填角焊 388 / 3. 熔接接合處的扭力 392 / 4. 熔接接合處的彎矩 399 / 5. 熔接接合的強度 403 / 6. 電阻熔接 404 / 7. 膠合接合 405 / 習題 407

## 第十章 機械彈簧 411

1. 螺圈彈簧中的應力 411 / 2. 螺圈彈簧的撓曲 414 / 3. 拉張彈簧 416 / 4. 壓縮彈簧 419 / 5. 彈簧材料 420 / 6. 螺圈彈簧的設計 425 / 7. 螺圈彈簧的臨界頻率 426 / 8. 疲勞負荷 428 / 9. 螺圈扭轉彈簧 431 /  
10. 貝里彈簧 435 / 11. 雜項彈簧 436 / 12. 儲能容量 439 / 習題 439

## 第十一章 滾動接觸軸承 445

1. 軸承類型 445 / 2. 軸承壽命 449 / 3. 軸承負荷 454 / 4. 滾珠及直筒滾子軸承的選擇 457 / 5. 錐形滾子軸承的選擇 459 / 6. 潤滑 469 /  
7. 安裝與封閉 470 / 習題 476

## 第十二章 潤滑與軸頸軸承 482

1. 潤滑的型式 482 / 2. 黏度 483 / 3. Petroff 定律 485 / 4. 穩定潤滑 486 / 5. 厚膜潤滑 487 / 6. 液動理論 489 / 7. 設計考慮事項 496 /  
8. 軸承效率 497 / 9. 最適化技巧 511 / 10. 壓力供油軸承 514 / 11. 熱平衡 520 / 12. 軸承設計 522 / 13. 軸承型式 524 / 14. 推力軸承 526 /

15. 軸承材料 527 / 16. 邊界潤滑軸承 528 / 習題 531

### 第十三章 正齒輪 535

1. 專有名詞 535 / 2. 共軛作用 537 / 3. 漸開線性質 538 / 4. 基本原理 539 / 5. 接觸比 546 / 6. 干涉 548 / 7. 輪齒的成形 549 / 8. 齒之基本尺寸 553 / 9. 齒輪系 554 / 10. 作用力分析 558 / 11. 輪齒應力 562 / 12. 動態效應 571 / 13. 齒輪大小的估計 573 / 14. 疲勞強度 576 / 15. 安全因數 579 / 16. 表面耐久性 582 / 17. 表面疲勞強度 585 / 18. 熱的散逸 588 / 19. 齒輪材料 589 / 20. 齒輪胚的設計 590 / 習題 593

### 第十四章 螺旋齒輪、斜齒輪與蝸桿齒輪 603

1. 平行軸螺旋齒輪—運動學 603 / 2. 螺旋齒輪—輪齒比例 606 / 3. 螺旋齒輪—作用力分析 607 / 4. 螺旋齒輪—強度分析 610 / 5. 交叉螺旋齒輪 614 / 6. 蝸齒輪組—運動學 616 / 7. 蝸齒輪系—作用力分析 619 / 8. 展望及一些索引 628 / 9. 直齒斜齒輪—運動學 628 / 10. 斜齒輪—作用力分析 631 / 11. 蝸線斜齒輪 635 / 習題 639

### 第十五章 軸 645

1. 導言 645 / 2. 靜負荷的設計 646 / 3. 設計法演進的歷史 647 / 4. 反覆彎曲及穩定扭矩 648 / 5. Soderberg 法 649 / 6. 古德曼法 655 / 7. 一般性解法 657 / 8. Sines 法 658 / 9. 計算機求解的建議 660 / 習題 661

### 第十六章 離合器、剎車、聯軸器及飛輪 665

1. 靜力學 666 / 2. 內部擴張的環式離合器與剎車 668 / 3. 外部收縮的環式離合器與剎車 678 / 4. 帶式離合器與剎車 683 / 5. 摩擦接觸式軸向離合器 685 / 6. 錐型離合器與剎車 688 / 7. 能量的考慮 690 / 8. 溫度升高量 693 / 9. 摩擦材料 693 / 10. 雜項離合器及聯軸器 695 / 11. 飛輪 697 / 習題 703

## 第十七章 撓性機械元件 709

1. 皮帶 709 / 2. 平皮帶驅動 711 / 3. V 皮帶 715 / 4. 滾子鏈條 717 /  
5. 繩索驅動 724 / 6. 鋼絲索 724 / 習題 729

## 部份習題解答 731

## 附 錄 735

1. 標準 SI 字首 735 / 2. 美國常用單位轉換成 SI 單位的轉換因數 736 /  
3. 彎應力、扭轉應力、軸向應力及直接剪應力選用之 SI 單位 736 /  
4. 彎應變及扭轉應變選用之 SI 單位 737 / 5. 材質之物理常數 737 /  
6. 結構型鋼性質—等邊角鋼 738 / 7. 結構型鋼性質—不等邊角鋼 739  
/ 8. 結構型鋼性質—槽鋼 740 / 9. 剪力、彎矩及樑的撓度 741 / 10. 標準  
正常分佈曲線下面積 749 / 11. 較佳數值 750 / 12. mm 之較佳公制尺  
寸 750 / 13. 剖面性質 752 / 14. 一組國際公差等級 753 / 15. 軸之基本偏  
差 753 / 16. 鋼材的機械性質 754 / 17. 部分高強度鋼之性質 756 / 18. 可  
鍛鋁合金之機械性質 757 / 19. 翻沙鋁合金之機械性質 758 / 20. 灰鑄鐵  
之機械性質 759 / 21. 部分銅基合金之典型性質 760 / 22. 部分不銹鋼之  
機械性質 762 / 23. 理論應力集中因數線圖 763 / 24. 希臘字母 770 /  
25. 公制六角螺栓尺寸 771 / 26. 公制六角螺絲基本尺寸 771 / 27. 內六角  
螺絲基本尺寸 772 / 28. 公制六角螺帽之基本尺寸 772 / 29. 鋼管標準規  
格 773 / 30. 鋼板及鋼片標準厚度 774 / 31. 非鐵板材及薄片標準厚度  
774 / 32. 圓鐵及非鐵鋼線基本直徑 775 / 33. 螺旋鑽孔規矩 776

## 索 引 777

# 第一篇

## 機械設計之 基礎知識



# 第一章

## 簡介

本書主要是學習下決定的步驟 ( decision-making processes )，機械工程師們依此可以了解機械、裝置及系統。此種下決定的步驟可以應用於所有的工程設計中，而不僅限於機械工程的設計。爲了要了解此種步驟，將其應用於實際狀況，並從它們得到效益，仍然需要了解一些特別的狀況及方法。因此我們在這本書中選擇以機械工程爲範疇做爲學習應用“下決定的步驟”之學習工具。

本書分爲兩部分，第一部分討論下決定所需的基本知識、數學和分析方法，並且將這些方法應用於實際的問題中。有的時候你可能會遇到一個你所熟悉的主題。因此，若是有必要，你可以複習一下。但是，更重要的是不斷地從書中較進階的部分建立專業知識來應用，並可做爲日後之參考來源。

在第二部分中，將基礎的知識應用於許多典型的設計問題中，這些問題皆發生於機械系統元件的設計及選擇。本書將第二部分做刻意的安排，因此可以從較基礎或較常見的元件開始學習。依此方式，當你熟悉了單一元件的設計以後，你就可以將它們放在一起組成完整的機器或系統。所以，有關整個系統的設計，第二部分採用循序漸近的方式使習者更易了解。爲了達此目的，第二部分應該依編排先後按序逐章學習。

### 1.1 設計的意義

設計是將構想充分而明確地表達出來以滿足人類的需求。在開始之時所要滿足之特別需求可能相當地明顯。以下是兩個明顯需求的例子。