

# 機械元件疲勞設計程式分析

王栢村\* 廖學隆\*\*

國立屏東技術學院 機械工程技術系

## 摘要

本專題是針對疲勞破壞之相關理論，整理歸納其設計程序，利用交談式視窗螢幕，計算疲勞設計。希望以簡單的輸入方式，達到疲勞設計的目的。而一工程上常要預測機件壽命、安全因素，或決定機件之尺寸，所以本專題針對此兩種需求而設計。為了使操作者容易使用，本專題使用中文 Windows 視窗，利用 Visual Basic 製作中文問答視窗，並結合 C 語言的計算，以期本軟體能簡單化。

## 前言

當機件在非靜力狀況下，其破壞的最大應力低於材料極限強度，甚至低於降伏強度，此種破壞稱為疲勞破壞 (fatigue failure) [1]。所以疲勞破壞無法由應力分析得知，而且不易察覺其預兆，因此疲勞強度理論分析在機件設計上非常重要。

一般零件做疲勞分析時，過程相當繁雜，且計算大都是經驗公式，或實驗數據，故本專題整理出一般設計上常用之流程，指引操作者輸入，以簡化分析方式，避免人為錯誤，結果供設計者參考。

在疲勞設計分析原理方面，Shigley, J.E. [1][3] 有很初廣的介紹。目前疲勞設計程序的整理，及相關圖表的數值化已有相當好的成果 [2]，而本專題則為了提供更人性化的操作方式，且適用國內一般非專業人員使用的疲勞設計程式系統。

## 設計原理

在旋轉樑試樣中，估算平均耐久限 (mean endurance limit)  $Se'$  如下：

(1) 軸向負荷

$$Se' = (0.56 - 0.0000968 S_{uc}) S_{uc} \quad (1)$$

其中

$S_{uc}$ : 抗壓強度。(大部份的鋼  $S_{uc}$  取  $S_{ut}$ )

$S_{ut}$ : 抗拉強度。

若機件為軸向負荷時，其尺寸影響修正因素  $K_b$  取 1。

(2) 非軸向負荷

$$\begin{aligned} Se' &= 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 1400 \text{ Mpa} \\ Se' &= 700 \text{ Mpa} & S_{ut} > 1400 \text{ Mpa} \end{aligned} \quad (2)$$

一般工件上之零件不可能跟試件一樣，所以當求出旋轉樑試件之耐久限後，需要加以修正，才為元件之耐久限。

$$Se = K_a K_b K_c K_d K_e K_f Se' \quad (3)$$

其中

$Se$ : 機械元件之耐久限。

$Se'$ : 旋轉樑試樣之耐久限。

$K_a$ : 表面因素。

$K_b$ : 尺寸因素。

$K_c$ : 可靠性因素。

$K_d$ : 溫度因素。

$K_e$ : 應力集中因素。

$K_f$ : 其它因素。

(1) 表面加工

試件表面是經由高度拋光加工，所以一般機件需要修正。(拋光加工  $K_a$  取 1)

$$K_a = a(S_{ut})^b \quad (4)$$

a, b 值請參照表一。

$$K_d = 1 \quad T \leq 350^\circ\text{C}$$

$$K_d = 0.5 \quad 350^\circ\text{C} < T \leq 500^\circ\text{C} \quad (12)$$

表一. 表面修正因子 [1]

SURFACE FINISH	FACTOR a		EXPONENT b
	Kpsi	MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As forged	39.9	272.	-0.995

(2) 尺寸影響  
當受彎曲及扭轉之圓形桿

$$K_b = 1 \quad d \leq 8\text{mm}$$

$$K_b = 1.189 d^{-0.097} \quad 8\text{mm} < d \leq 250\text{mm} \quad (5)$$

其中  
d: 有效直徑。

若為旋轉空心圓桿

$$0.95 A = \pi/4 [d^2 - (0.95 d)^2]$$

$$= 0.0766 d^2 \quad (6)$$

若為非旋轉實心或空心圓桿

$$0.95 A = 0.0105 D^2 \quad (7)$$

D: 直徑

$$\text{可得有效直徑 } d = 0.370 D \quad (8)$$

若為矩形截面 (h × b)

$$0.95 A = 0.05 hb \quad (9)$$

$$\text{可得有效直徑 } d = 0.808 (hb)^{1/2} \quad (10)$$

若為槽形截面 (如手冊 [8] 附圖 02)

$$0.95 A = 0.05 ab \quad \text{軸 1-1}$$

$$0.95 A = 0.052 ax + 0.1tf(b-a) \quad \text{軸 2-2} \quad (11)$$

由 (6), (8), (10), (11) 式可得各種情況之 d 值, 再代入 (5) 式可得 K<sub>b</sub> 值。

(3) 可靠度

鋼的耐久限標準差在 8% 以內, 則給定可靠度 R (如手冊 [8] 附表 03), 可得 K<sub>c</sub> 值。

(4) 溫度的影響

許多材料因高溫造成差排移動, 並且降低抵抗疲勞的能力。

(5) 應力集中的影響

$$K_e = 1/K_f \quad (13)$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (14)$$

其中

K<sub>t</sub>: 應力集中因子 (可由手冊 [8] 附圖 04 查出)

q: 缺口敏感度 (可由手冊 [8] 附圖 05 查出)

(6) 其它的影響

工件若鍍鉻, 鍍鎳, 鍍鎳會減低耐久限約 5%, 鍍鋅則不影響。若工件經金屬噴砂處理, 會使疲勞強度降低 14%。

修正因素若不考慮者, 其因素皆取 1。由以上的修正, 可得元件的耐久限 S<sub>e</sub>。

若元件受非變動負荷, 其應力比耐久限大, 安全因素小於 1, 則壽命有限, 可由以下求得:

$$N = (10^{-c/b}) (S_f^{1/b}) \quad (\text{循環}) \quad (15)$$

其中

$$b = (-1/3) \log(0.8 S_{ut}/S_e) \quad (16)$$

$$c = \log((0.8 S_{ut})^2 / S_e) \quad (17)$$

S<sub>f</sub>: 工作應力。

若元件受變動負荷, 則

$$S_s = F_s / A \quad (18)$$

其中

S<sub>s</sub>: 預加之穩定負荷。

F<sub>s</sub>: 預加受力。

其應力範圍: (如圖一所示)

$$S_r = F_r / A \quad (19)$$

$$S_a = (S_{\max} - S_{\min}) / 2 \quad (20)$$

$$S_m = (S_{\max} + S_{\min}) / 2 \quad (21)$$

其中

S<sub>r</sub>: 應力範圍。

S<sub>a</sub>: 應力幅度大小。

S<sub>m</sub>: 平均應力。

S<sub>max</sub>: 最大應力。

S<sub>min</sub>: 最小應力。

畫改良 Goodman 圖, 先在其垂直軸、水平軸標出 S<sub>e</sub> 及 S<sub>ut</sub>, 並將其連線, 再點出 (S<sub>a</sub>, S<sub>ut</sub>) 座標, 若 (S<sub>a</sub>, S<sub>ut</sub>) 落在 S<sub>e</sub>, S<sub>ut</sub> 直線外側, 為破壞區, 壽命有限, 安全因素小於 1。若落在內側, 為安全區, 安全

## 操作與討論

本程式使用C語言[6][7]，及Visual Basic語言[4][5]撰寫，應用Window問答視窗，以期操作者能很容易使用，其操作方法請參閱操作手冊[8]。

實例一：

圖四(a)顯示一旋轉軸在A及D點被滾珠軸承所支持，並受到非旋轉力F的負荷。估算零件的壽命。

操作：開始→輸入機械性質→選擇估算壽命及安全因素→表面機械加工→受橫向負荷→輸入軸徑及橫向力矩→選擇旋轉軸棒→不考慮可靠度→不考慮工作溫度→選擇斷面改變之應力集中→輸入應力集中因素→輸入缺口敏感度→不考慮電鍍→不考慮金屬噴砂→靜態負荷。

結果：壽命為51642.8281(循環)，安全因素為0.7030203。

討論：(1)因為工作應力比預估點之耐久限大，所以此軸安全因素小於1，壽命有限。

(2)本程式未能計算機件受力情況，請依材料力學理論計算後輸入。

(3)機械性質 $S_{ut}$ 、 $S_y$ ，應力集中因素 $K_t$ ，缺口敏感度 $q$ ，皆因圖形或資料太多，需要操作者查閱手冊[8]後輸入，此實為本專題之最大遺憾。

實例二：

希望決定一個承受36 KN之拉力預負荷及一個變化於0至72 KN之變動應力的BS 080M50 能冷拉鋼棒尺寸。由於端部的設計，此棒有一對應於半徑為5 mm圓角之幾何形狀應力集中因素2.02。試對一個無限壽命，安全因素至少為2的狀況下決定適當的尺寸。

操作：開始→輸入機械性質→選擇估算軸徑→表面冷拉加工→受軸向負荷→輸入安全因素及受力→不考慮可靠度→不考慮工作溫度→選擇斷面改變之應力集中→輸入應力集中因素→輸入缺口敏感度→不考慮電鍍→不考慮金屬噴砂→動態負荷→輸入預加負荷→輸入負荷最大值及最小值。

結果：軸徑為30.60545 (mm)，耐久限為140.040161 (Mpa)，顯示Goodman圖及Soderberg圖。

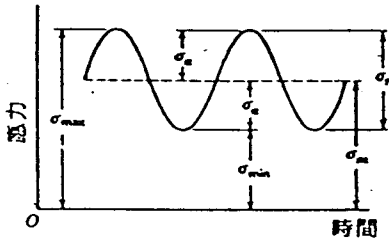
因素大於1，此時可將原點與 $(S_a, S_m)$ 連線會與 $S_e, S_{ut}$ 直線相交，再分別垂直、水平定出兩個強度值 $S_a', S_m'$ ，如圖二所示。(作圖時必須按比例畫)則

$$S_a \leq S_a' / FS \quad (22)$$

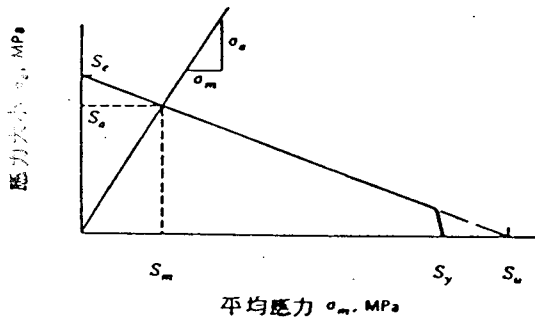
其中

FS:安全因素。

而Soderberg圖，則水平應力 $S_{ut}$ 以降伏強度 $S_y$ 取代，其原理同上。



圖一.應力與時間關係 [3]



圖二.疲勞破壞圖 [3]

## 程式架構

一般工程上的問題可分為以下兩類：

(1)已知：材料，負荷情況，尺寸，工作因素。

求：壽命，安全因素。

(2)已知：材料，壽命，安全因素，工作因素，負荷情況。

求：設計尺寸。

實用上的設計常是預測機件壽命，或決定設計尺寸，所以本專題針對此兩項而設計，其設計流程如圖三。

討論：(1)因為安全因素大於1，則疲勞破壞圖必落在安全區內。

(2)基於安全之故，軸徑請以進1去尾法選用，即d取31 mm。

## 結 論

本研究的目標，是開發一套實用性的自動設計軟體，整理出設計流程，及計算方式，希望能達到專家系統的模式。但是疲勞設計其一些估算值大都需要再以實驗確定，由於工業界上的設計，必須適用其特殊產品，或特有的材料，所以週邊資料需要再擴充。也可以依此程式為模式，更改成適用某特定機件的估算軟體。而本程式可很容易隨需要更改，或增減設計步驟。但因為使用中文視窗畫面，佔用很多記憶體，致使執行速度稍慢。

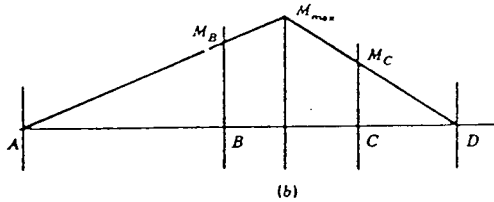
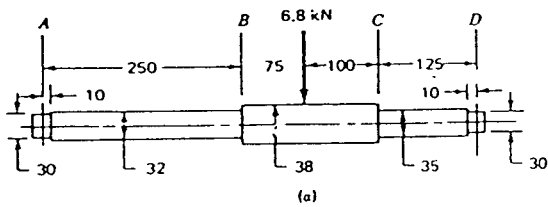
Visual Basic的特性是以一個視窗為單位，所以在圖三疲勞設計流程圖中，則是以一個視窗為單位的流程圖，如此可使欲更改修正程式者，很容易依流程圖找到欲修改之視窗，或增減視窗更改流程次序。

至目前本程式限用在鋼材下，受橫向彎曲或軸向負荷，求軸徑或壽命、安全因素。雖然本程式因資料限制，未能完全涵蓋疲勞設計的各種情況，但其可為一基礎，繼續擴充補足，成為一實用之自動設計系統。

## 參 考 文 獻

1. Shigley, J.E., and C.R. Mischke, Mechanical engineering design, 5th, McGraw-Hill Book Company, 1989, pp. 269-321.
2. Bannantine, J.A., J.J. Comer, and J.L. Handrock, Fundamentals of metal fatigue analysis, Prentice-Hall, 1990, pp. 1-39.
3. 吳嘉祥, 嚴孝全譯, 機械設計(公制版), 曉園出版社, 1986, pp. 263-330.
4. Microsoft Corporation, Microsoft Visual Basic Programmer's Guide, Cooper Software, 1991.
5. Microsoft Corporation, Microsoft Visual Basic Language Reference, Cooper Software, 1991.
6. 游志男, 賴森祿, C程式語言指引, 松崗電腦圖書公司, 台北市, 民國81年.
7. 洪冰儒, 看實例學BORLAND C++入門與應用, 暮峰資訊公司, 台北市, 1991.
8. 廖學隆, 疲勞設計程式操作手冊, 民國82年.





圖四 (a) 軸的輪廓；所有單位皆為 mm；所有圓角半徑皆為 3 mm。軸在旋軸而負荷是固定的；材料是 BS 080M40 鋼經過硬化及回火至硬度 200 Bhn，並經過機械加工。(b) 彎矩圖。[3]

## The Software Development Of Machine Element Fatigue Design

### ABSTRACT

This project is to develop an interactive program for machine element fatigue design. The process of fatigue design and its related theory are evaluated and summarized such that the fatigue design can be achieved by a simple input method. In most engineering application, upon the requirement of the prediction of machine element life, safety factor and the dimension of element, the project tends to design a program to meet this need. The program utilizes the Chinese Window and Visual Basic language in incorporated with Borland C language for computation to construct an interactive working environment. The program is user-friendly and easy for operation.