

DOM 產品可靠度試驗

¹ 衛志鋼 ² 黃乾怡

¹ 華梵大學 工業工程與經營資訊學系所 研究生

² 華梵大學 工業工程與經營資訊學系所 副教授

E-mail : jayhuang@cc.hfu.edu.tw

摘要

本研究主要是利用加速壽命原理，以冷熱衝擊試驗作為外在嚴苛應力，以較高的應力水準範圍做測試，並使用修正 Coffin-Manson 關係式求得加速因子，而在得到產品的失效數據後，經由壽命與應力間之關係，計算求得 DOM 產品在正常使用下的壽命為 176,303~190,759 小時。研究中並利用 -40°C~80°C 與 -40°C~100°C-40 兩種不同的溫度水準範圍，求得失效率曲線是否平行，來驗證此加速壽命溫度水準範圍是否正確。

關鍵字：加速壽命試驗、冷熱衝擊、加速因子、修正 Coffin-Manson 關係式、韋伯分配

Reliability Test for the DOM Products

Zhi-Gang Wei, CY Huang

Dep. of Industrial Management, HuaFan University

No. 1, Huafan Rd. Shihtin Hsiang. Taipei Hsien, Taiwan 223, Taiwan R.O.C

E-mail : jayhuang@cc.hfu.edu.tw

Abstract

The study utilizes the concept of accelerated life time test through the temperature cycling test. Two different test conditions are considered, -40C~80C and -40C~100C. The more severe test environment, -40C~100C, is proved to be representative and with the same failure mode as the other. The acceleration factor is obtained based on the Coffin Manson formula. The life time of DOM product under regular usage environment is estimated as 176,303~190,759 hours. .

Key Words: accelerated life test, thermal shock, accelerated factor, modified

Coffin-Manson, Weibull

1.前言

為了因應高度競爭的環境，提升產品品質以及產品可靠度，國內外許多知名業者，相繼投入大量金額改善產品設計及保證產品的可靠性。可靠度較佳之產品不僅能提高長時間之競爭力，更有助於建立該品牌在消費者心目中良好的形象。然而能夠正確的表達產品可靠度，其試驗工作為相當重要的一環。

欲尋求可靠度指標，必須藉助產品壽命試驗的數據來獲取。傳統的壽命試驗 (Life Testing, LT) 很難在短時間內估算產品平均壽命，需耗費相當多時間及大量金錢，因此，取而代之通常採用加速壽命試驗 (Accelerated Life Testing, ALT) 的方法來估算產品壽命。加速壽命試驗通常採用較高的環境應力 (High Environmental Stress) 在不改變產品失效模式下，縮短其所需試驗時間，進而推估產品在正常使用條件下的平均壽命。

2.研究目的

本研究針對無鉛 DOM 產品進行加速壽命試驗計劃，所期望達到之目的如下：

- 1、利用加速壽命試驗於短時間內獲得產品失效數據，再根據壽命與環境應力之關係，以適當的模式去推估 DOM 產品在正常使用條件下之壽命。
- 2、利用不同的溫度水準範圍，求得 DOM 產品失效率曲線是否平行，來驗證此溫度水準範圍是否正確，並選用試驗所得之最佳加速溫度水準範圍，提供業者做為日後對該產品壽命試驗之依據。
- 3、本研究中所使用之 DOM 產品為無鉛錒料，有鑒於歐盟在 2003 年通過 RoHS 指令，並將於 2006 年 7 月 1 日開始執行，故為此無鉛產品做可靠度驗證，期望可於短時間內驗證此產品壽命且縮短試驗時間及節省成本。

3.研究內容

本研究為了達成研究之目的，依循著研究流程進行實驗，如圖 1 所示。首先，藉由文獻探討以深入瞭解國內、外之研究發現，確立本研究之主旨後，找尋相關研究方法。其次為可靠度試驗計畫，在實驗前之準備，包括了蒐集產品相關資料、確認產品失效的定義、測試方法的選定、決定應力水準範圍與試件數量，最後則是平台架設與執行試驗。測試後結果，將失效數據做可靠度加速壽命分析，並且求得加速因子，進行推估產品正常壽命。



圖 1. 研究流程圖

3.1 可靠度加速壽命試驗

本研究以某電子科技公司所提供之微型硬碟記憶卡 (Disk On Module ; DOM) 產品作為研究對象，其組成材料為無鉛錒料。圖 2 為 DOM 產品圖。



圖 2. DOM 產品圖 (正、反面)

3.1.1 產品失效的定義

在進行加速壽命試驗時，加速應力下所造成的失效模式必須要與實際操作下相同，故產品失效定義為：若實驗執行中發現 DOM 無法正常讀寫資料或 Bad Block 數增加到達 24 區塊，即判定為失效。

3.1.2 測試方法的選定

在了解 DOM 產品後，得知產品在操作時，溫度是一重要的環境因素，而合作業者已做過固定高溫之加速壽命試驗，但其結果並不理想，且試驗的時間較長也

耗費較高成本，在此情況下，我們必須找到更快速的測試方法以縮短試驗時間，並求得產品在正常使用下的壽命。Tummala[12]提到電子產品有來自許多來源之疲勞，最有可能是電源被打開或關上時，大部分人們使用筆記型電腦及個人電腦遍及全日，電子產品被關上並打開數次，一般有五次之多，如此，超過五年間將有 9,125 循環，而 DOM 為電腦的零組件之一。由此可知，溫度循環也是其疲勞原因之一，故本研究選定溫度循環做為測試方法。

3.1.3 決定應力水準範圍及試件數量

由於 DOM 產品可承受之溫度範圍為 -40°C ~ 120°C ，但一般所使用之 IDE 接線與電源線可承受之溫度僅高達 105°C ，故本研究應力水準範圍設定二個不同溫度水準，即 -40°C ~ 80°C 與 -40°C ~ 100°C ，溫度變換率 $80^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，高、低溫持續時間 30 分鐘，樣本數各為 10，進行加速壽命試驗。

3.1.4 平台架設與執行實驗

在實驗開始執行之前，需要先架設工作平台，所需使用到的儀器設備與測試軟體列述如下：

- 1.冷熱衝擊試驗機：可在極短的時間內，經由極高溫及極低溫的連續循環下，對產品進行測試，藉以溫度間快速轉換，試驗其因熱漲冷縮所引起的化學變化或物理傷害。
- 2.DOM 讀寫程式：可以針對 DOM 產品的儲存容量進行資料 Copy 及 Delete，同時也可記錄讀寫的次數與總時間。
- 3.Bad Block 數測試軟體：需在 DOS 模式下執行。用以偵測 DOM 產品區塊損壞的個數。

最後，分別將 2 個 DOM 樣本以 IDE 接線連接於個人電腦上，共 5 台電腦同時進行試驗。

3.2 可靠度加速壽命試驗數據分析

實驗結束後，將失效數據彙整於表 1。曾勝滄[4]曾提到繪製直方圖可用來歸納失效數據，根據繪圖形狀建議壽命分配，作為適合度檢定的假設。失效率函數與機率繪圖估計法是繪圖法中常用來做非正式檢定模式適切性的工具，將於 3.2.1 節與 3.2.2 節分別討論。

表 1. DOM 產品失效數據

-40°C~80°C		-40°C~100°C	
測試時間 37 天		測試時間 24 天	
失效順序	失效時間 (cycles)	失效順序	失效時間 (cycles)
1	516	1	330
2	650	2	352
3	725	3	365
4	764	4	374
5	776	5	398
6	814	6	453
7	814	7	459
8	843	8	481
9	901	9	505
10	910	10	564

3.2.1 失效率函數繪圖

在利用高、低溫循環下所求得的失效數據，以公式 1 至 5 估計 DOM 產品在高、低溫循環水準下的組界、機率密度函數 $f(t)$ 、失效率函數 $h(t)$ 、可靠度函數 $R(t)$ 、累積機率密度函數 $F(t)$ ，如表 2、3。

$$N_c = 1 + 3.33 \times \log n \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{n_f(t)}{n_0 \Delta t} \quad (2)$$

$$h(t) = \frac{n_f(t)}{n_s(t) \Delta t} \quad (3)$$

$$R(t) = \frac{f(t)}{h(t)} \quad (4)$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (5)$$

其中， $n_f(t)$ 表示產品在時間 t 的失效數， $n_s(t)$ 表示產品在時間 t 的存活數， n_0 表示總樣本數， Δt 表示時間間隔。

表 2. 低溫-40°C~高溫 80°C 下， $f(t)$ 、 $h(t)$ 、 $R(t)$ 、 $F(t)$ 計算值

測試樣本數 10 個，有效失效數 10 個					
組號	組界	$f(t)$	$h(t)$	$R(t)$	$F(t)$
1	0~182	0.000000000	0.000000000		
2	182~364	0.000000000	0.000000000		

3	364~546	0.000549451	0.000549451	1	0
4	546~728	0.001098901	0.001221001	0.9	0.1
5	728~910	0.003846154	0.005494505	0.7	0.3

表 3. 低溫-40°C~高溫 100°C 下， $f(t)$ 、 $h(t)$ 、 $R(t)$ 、 $F(t)$ 計算值

測試樣本數 10 個，有效失效數 10 個					
組號	組界	$f(t)$	$h(t)$	$R(t)$	$F(t)$
1	0~113	0.000000000	0.000000000		
2	113~226	0.000000000	0.000000000		
3	226~339	0.000884956	0.000884956	1	0
4	339~452	0.003539823	0.003933137	0.9	0.1
5	452~565	0.004424779	0.008849558	0.5	0.5

在計算完可靠度相關函數後，繪製失效率函數圖如圖 3、4 所示。

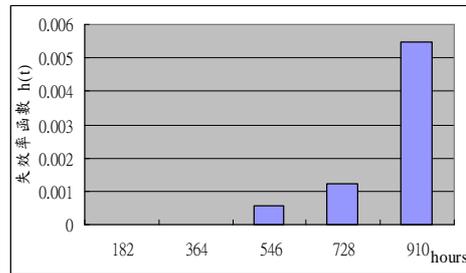


圖 3. 低溫-40°C~高溫 80°C 之失效率函數圖

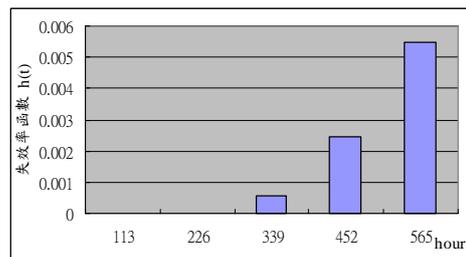


圖 4. 低溫-40°C~高溫 100°C 之失效率函數圖

韋伯分配之失效率函數曲線如圖 5。發現韋伯分配 $\beta=4$ 的失效率函數呈現遞增趨勢，較接近於 DOM 產品的失效率函數。因此，初步研判該組數據的機率分佈模式為韋伯分配。

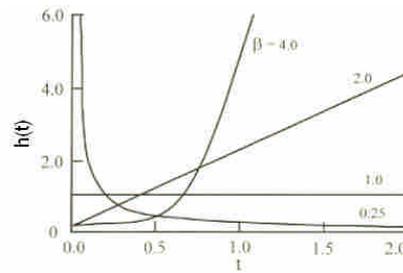


圖 5. 韋伯分配之失效率函數曲線圖

3.2.2 繪圖參數估計法

在初步研判得知，此失效數據之機率分配為韋伯分配，則可根據韋伯機率繪圖紙估算法，來求得其參數估計值。計算方式是將實驗中所產生之失效值，利用公式 6 中位值法估計求出 $F(t)$ ，如表 4、5，在以 $\ln(t)$ 為 X 軸座標之刻度值，為 Y 軸座標之刻度值，繪製出一直線，如圖 6、7。

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (6)$$

其中 i 表示第 i 筆數據， n 代表樣本數。

表 4. 低溫 -40°C ~ 高溫 80°C 下， $F(t)$ 、 $\ln(t)$ 、 $\ln(\ln(1/1-F(t)))$ 計算表

失效時間(t)	F(t)	ln(t)	$\ln\left(\ln\frac{1}{1-F(t)}\right)$
516	0.067308	6.2461068	-2.663843085
650	0.163462	6.4769724	-1.72326315
725	0.259615	6.5861717	-1.202023115
764	0.355769	6.6385678	-0.821666515
776	0.451923	6.6541525	-0.508595394
814	0.548077	6.7019604	-0.230365445
814	0.644231	6.7019604	0.032924962
843	0.740385	6.736967	0.299032932
901	0.836538	6.8035053	0.593977217
910	0.932692	6.8134446	0.992688929

表 5. 低溫 -40°C ~ 高溫 100°C 下， $F(t)$ 、 $\ln(t)$ 、 $\ln(\ln(1/1-F(t)))$ 計算表

失效時間(t)	F(t)	ln(t)	$\ln\left(\ln\frac{1}{1-F(t)}\right)$
330	0.067308	5.7990927	-2.663843085
352	0.163462	5.8636312	-1.72326315
365	0.259615	5.8998974	-1.202023115

374	0.355769	5.9242558	-0.821666515
398	0.451923	5.986452	-0.508595394
453	0.548077	6.1158921	-0.230365445
459	0.644231	6.1290502	0.032924962
481	0.740385	6.1758673	0.299032932
505	0.836538	6.2245584	0.593977217
564	0.932692	6.3350543	0.992688929

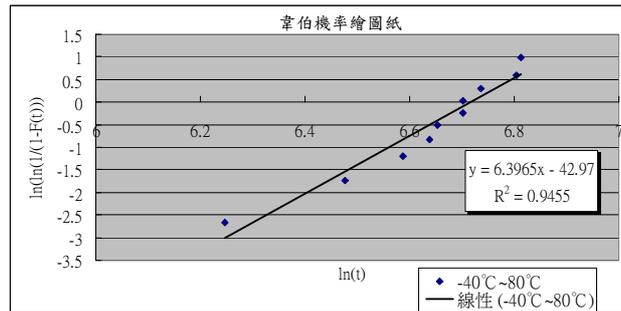


圖 6. 低溫-40°C~高溫 80°C 韋伯機率繪圖紙

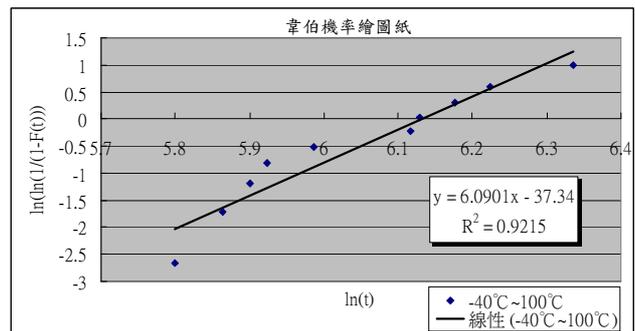


圖 7. 低溫-40°C~高溫 100°C 韋伯機率繪圖紙

由該線性方程式即可求得在-40°C~80°C與-40°C~100°C兩種應力水準下，韋伯分配之形狀參數 β_1 與 β_2 分別為 6.39 與 6.09。在失效率為 63.2%時，其特徵壽命 θ_1 與 θ_2 分別為 826 (cycles) 與 460 (cycles)。

3.2.3 適合度檢定

為確保所估算之結果能夠代表韋伯分配所適用，必須進一步透過適合度檢定來驗證。本研究中，每組試驗所選用之樣本數為 10 個，係屬於小樣本數。故利用 K-S 檢定檢驗進行適合度檢定，所檢驗的結果如下表 6、7 所示。

表 6. 低溫-40°C~高溫 80°C 下，K-S 檢定表

失效順序	失效紀錄(t_i)	觀測值(O_i)	期望值(E_i)	絕對差異($ O_i - E_i $)
1	516	0.0909091	0.04778	0.0431
2	650	0.1818182	0.192951	0.0111
3	725	0.2727273	0.350167	0.0774
4	764	0.3636364	0.452647	0.089
5	776	0.4545455	0.486156	0.0316
6	814	0.5454545	0.595059	0.0496
7	814	0.6363636	0.595059	0.0413
8	843	0.7272727	0.677256	0.05
9	901	0.8181818	0.822869	0.0047
10	910	0.9090909	0.841893	0.0672

表 7. 低溫-40°C~高溫 100°C 下，K-S 檢定表

失效順序	失效紀錄(t_i)	觀測值(O_i)	期望值(E_i)	絕對差異($ O_i - E_i $)
1	330	0.0909091	0.123891	0.033
2	352	0.1818182	0.177946	0.0039
3	365	0.2727273	0.216809	0.0559
4	374	0.3636364	0.246826	0.1168
5	398	0.4545455	0.338994	0.1156
6	453	0.5454545	0.597734	0.0523
7	459	0.6363636	0.627165	0.0092
8	481	0.7272727	0.730753	0.0035
9	505	0.8181818	0.828823	0.0106
10	564	0.9090909	0.968553	0.0595

在求得每筆失效數據之絕對差異後，需找出最大差異值與臨界值做比較。在此檢驗結果顯示，-40°C~80°C與-40°C~100°C之最大差異值 D 值分別為 0.089 與 0.1168，經 K-S 檢定表得知臨界值 $D_{n,1-\alpha}=D_{10,0.95}=0.40925$ ，因 D 值皆小於 0.40925，故兩種應力在顯著水準=0.05 下，皆接受韋伯分配的假設。

3.3 分析結果與討論

經過適合度檢定後，確認此假設韋伯分配可適用於此數據資料，即可以韋伯分配參數之估計值預估 DOM 產品在正常使用下之平均壽命。

在進行產品壽命預估時，加速因子的取得為一重要關鍵。由於本研究加速壽命試驗所考慮的環境應力為冷熱衝擊循環，而修正 Coffin-Manson 關係式，是針對高低溫循環且考量到溫度轉換頻率，故以修正 Coffin-Manson 關係式來求得其加速因子。表 8 為-40°C~80°C與-40°C~100°C之加速因子表，其中轉換頻率為高、低溫轉換次數。本研究以每一小時為一循環，故測試環境轉換頻率為 24。加速因子轉

換如公式 7 所示：

$$AF = (\Delta T_a / \Delta T_n)^m * (F_n / F_a)^n * EXP \left[1414 \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a} \right) \right] \quad (7)$$

AF：加速因子 ΔT ：高低溫溫差 F：高低溫轉換頻率 T：環境最高溫
下標 a：加速應力環境 下標 n：正常使用環境

其中參數 m 代表溫度對該產品之影響程度，參數 n 代表溫度轉換頻率對該產品之影響程度。一般而言，對於消費性電子產品參數 m 預設為 1.9，參數 n 預設為 0.33。故在 -40°C 到 80°C 與 -40°C 到 100°C 的測試環境下，其加速因子分別為 51.68 與 85.87。

表 8. -40°C~80°C 與 -40°C~100°C 測試環境下之加速因子

	高溫(絕對溫度)	低溫(絕對溫度)	轉換頻率(次/天)	溫差	加速因子
正常環境	40°C (313 ⁰ K)	25°C (298 ⁰ K)	5	15	1
-40°C~80°C	80°C (353 ⁰ K)	-40°C (233 ⁰ K)	24	120	51.68
-40°C~100°C	100°C (373 ⁰ K)	-40°C (233 ⁰ K)	24	140	85.87

在求得加速因子後，可利用韋伯分配之期望值計算出期望壽命。由先前所計算而得的形狀參數 $\beta_1=6.39$ 與 $\beta_2=6.0901$ 及特徵壽命 $\theta_1=826.94$ (cycles) 與 $\theta_2=460.01$ (cycles)，以公式 8 計算可得兩種環境應力下之期望壽命分別為 768.892 (cycles) 與 427.723 (cycles)。接著以公式 9 可推估 DOM 產品在正常使用下壽命為 39,741 (cycles) 與 36,729 (cycles)。

$$u = \theta \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (8)$$

$$\eta_n = AF \times \eta_a \quad (9)$$

研究中，分別透過兩種不同的嚴苛環境去執行加速壽命試驗，求得其在正常使用下壽命為 39,741 (cycles) 與 36,729 (cycles)，而我們根據文獻得知，在正常使用下的循環數為 5 cycles，即為 1 cycles 等於 4.8 小時，故推估在正常使用條件下之壽命為 176,303~190,759 小時。由圖 8 可以看出，其兩個不同應力之形狀參數分別為 6.3965 與 6.0901，且在韋伯機率繪圖紙上可觀察到兩條失效機率線幾乎為平行，而柯輝耀[1]曾提及若 Weibull 分析中，形狀參數 (β) 保持不變，即可確保失效模式不變，據此即可用運用應力加速模式，執行加速壽命試驗與分析。故本研究設計之加速壽命是正確且能夠快速的達到目的。

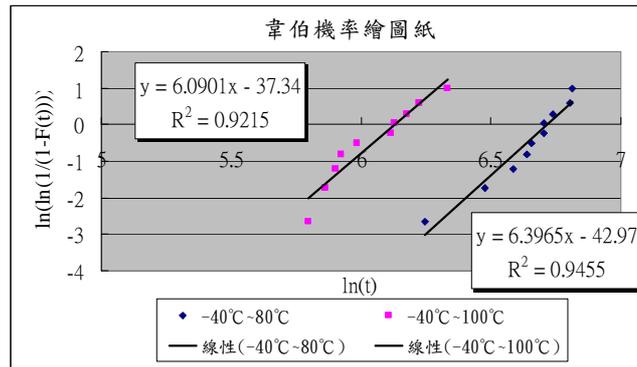


圖 8. DOM 產品韋伯機率繪圖紙

4. 結論與未來展望

4.1 結論

- 1、本研究以冷熱衝擊針對 DOM 產品進行加速壽命試驗，分別使用 $-40^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 與 $-40^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 兩種環境溫度作為應力水準，求得 DOM 產品在正常操作環境下，壽命為 176,303~190,759 小時。
- 2、於參數估計中，以韋伯機率繪圖紙所求得兩種應力下之方程式，兩條失效機率斜線幾乎為平行，即可代表此兩種環境是具有代表性，故可提供業者以 $-40^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 測試環境進行試驗，以縮短測試時間及節省成本。
- 3、提供業者可靠度試驗流程規劃，建議業者在日後進行相關可靠度試驗前，需先瞭解產品結構及其失效模式，再選用適當的加速應力水準，驗證及推估產品在正常使用條件之可靠度壽命值。

4.2 未來展望

- 1、在本研究中並未對於測試環境中改變溫度變化速率進行實驗及探討，但發現所使用之修正 Coffin-Manson 關係式並無考慮溫度變換率（即高溫至低溫的轉換速率 $^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ ），對於未來想繼續從事此研究著，建議可針對溫度變化率及此關係式做一深入探討。
- 2、關於修正 Coffin-Manson 關係式中，其中參數 m 代表溫度對該產品之影響程度，參數 n 代表溫度轉換頻率對該產品之影響程度。而本研究是以傳統消費性電子參數值去帶入，未來相關研究者，可針對導入無鉛產品後， m 與 n 值之變化做一探討。

誌謝

本研究承蒙華梵大學先進製造研究中心提供共用設備，得以完成實驗，特此誌謝。

參考文獻

1. 柯輝耀，2004，“可靠度保證-第三版”，中華民國品質學會。
2. 張正忠，2003，“產品加速壽命測試規劃之研究-以 8025 無刷直流風扇為例”，

- 國立高雄第一科技大學機械與自動化工程學系研究所，碩士論文。
3. 曾勝滄、黃登源、王啟旭，1988，“電子產品加速壽命試驗研究”，國科會研究計畫成果報告。
 4. 賀國芳，1995，“可靠性數據收集與分析”，國防工業出版社。
 5. 馮克林，1999，“可靠度加速測試概觀”，工業材料，第 151 期，169-176 頁。
 6. Elayed, E. A., 1996, “Reliability Engineering,” Addison-Wesley, MA.
 7. King J. R., 1981, “Probability Charts for Decision Making,” Tamworth, New Hampshire.
 8. Lau. J. H, 1995, ” Ball Grid Array Technology ,” McGraw-Hill, New York.
 9. Nelson, W., 1982, ”Applied Life Date Analysis,” John Wiley & Sons, New York.
 10. Rao. R. Tummala, 2002, ”Fundamentals of Microsystems Packaging,” McGraw-Hill, Inc.