

好用的可靠度數據分析 模型與實例介紹

Chance Defective Exponential Model

許芳勳 Hsu, Fang-Shyun、彭鴻霖 Perng, Horng-Linn、廖德銘 Liao, De-Ming

作者為睿地 (REDI) 團隊成員、品質學會可靠度委員

產品交給使用者使用後之維修記錄為產品品質與可靠度評估之最佳資料，通常這一類數據在產品保固期內最容易蒐集，尤其以汽、機車與高附加價值之電器產品都有維修資料的蒐集，可以做為可靠度分析評估之用；本文主要即為討論如何利用 CHANCE DEFECTIVE EXPONENTIAL (CDE) MODEL，藉由市場所回饋之維修資料，予以歸納整理，加以分析，以求得正常品及瑕疵品之失效率，以及瑕疵品所佔比率，藉以評估各零組件之設計與製程水準，文中將說明 CDE 模型基本理論及分析過程，並討論這些分析結果之各種可能應用方式，最後以實例介紹整個分析與應用過程。

前言

很多書本或教科書都會介紹各種可靠度數據分析的數學模型，但是在實務工作中常常會發現這些模型不適用於現有的產品數據，事實上不管是從試驗或實際使用所得到的數據，其來源通常都包含多種失效模式，不同的失效模式可能會表現出不同的可靠度行為，多種失效模式綜合在一起就會使得產品可靠度行為變得很複雜，不適合用一般書上所介紹簡化的數學模型來描述。



從可靠度的理論來看，產品雖然有很多種失效模式，但是可歸類為兩種失效機制，一為特性質或所受應力超過一定門檻而造成失效，此類失效在實務上因為產品與受力的變異而呈現隨機發生的行為，推常數學上可以利用指數分布模型來分析；另一類為產品受到的應力不足以造成立即失效，但是會使其受傷，而傷害會隨受力時間或次數累積而造成失效，此類失效在工程上以韋伯分布模型分析最為方便，當然也有很多其他模型可以分析。通常這兩類機制都是同時發生時的，加上產品生產時的零件或製造瑕疵，就會讓產品的可靠度行為呈現眾所熟知的浴缸形曲線，如圖一所示，要描述整個浴缸形曲線所需的數學模型就會變得很複雜！

在實務上，要獲得產品整個浴缸形曲線的可靠度資料很難，因為時間實在是太長，不論是試驗或是從市場上實際使用的記錄都很少見，比較常見的是可以從保固期獲得數據，但是一般保固期內蒐集的數據時間很短，所以所得到的數據都是以產品壽命週期前段的為主，也就是產品浴缸曲線的前段，如同圖一中圈起來的部分，此時要表達這種情形的可靠度模型就可以簡化一點，以浴缸曲線前半段而言，CHANCE DEFECTIVE EXPONENTIAL (CDE) MODEL 為很合適的一種模型，可分析出產品之正常品與瑕疵品之失效率，以及出廠產品中之瑕疵品比例，再透過基本統計理論，可預估產品在使用一定時間後，可能發生之失效數，對於公司保固期限訂定、維修成本分析、產品品質改進方向等決策，可提供很好的參考。本文主要就是介紹適合此類數據特性而且好用的可靠度分析模型 CHANCE DEFECTIVE EXPONENTIAL (CDE) MODEL，並以實際案例說明數據的處理方式與數學模型的應用。

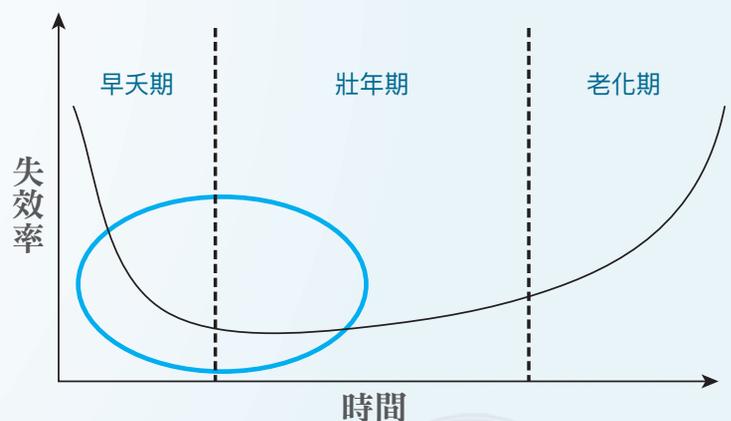
Chance Defective Exponential (CDE) MODEL

CDE模型乃假設出廠的真實的產品分為正常品與瑕疵品的組合，所得到的失效回饋數據亦為這兩種產品的失效混合數據，其假設如下：

1. 裝備中的瑕疵數為一獨立分佈，且為二項式分佈，其參數為 N 、 p 。

其中 N = 裝備中的零件數

p = 零件瑕疵品平均比例



圖一：浴缸形曲線

當 N 很大，而 p 很小時，則二項式分佈可近似為波桑 (POISSON) 分佈，定義 $D = N X p$ 為每一裝備中的瑕疵品數量，亦即瑕疵密度 (DEFECT DENSITY)，若以整批產品來看， D 即可視為出廠的產品瑕疵品比例。

2. 裝備中正常零件失效分佈形成一主分佈，其分佈函數為指數分佈，其失效率為 λ_0 ，亦可將 λ_0 表示為 $\lambda_0 = (N - D)\bar{\lambda}_G$ ，其中 $\bar{\lambda}_G$ 為正常零件之平均失效率，其可靠度函數則為

$$R_0(t) = e^{-\lambda_0 t} \quad (1)$$

3. 瑕疵品的失效分佈函數亦為指數分佈，其平均失效率為 λ_D ，其可靠度函數則為

$$R_D(t) = e^{-\lambda_D t} \quad (2)$$

假設一系統中有 n 個瑕疵零件，則系統條件可靠度為

$$R_S(t|n) = R_0(t) \cdot R_D(t)^n \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

根據二項式理論，設系統含有 k 個瑕疵的機率設為 $P(k)$ ，則

$$P(k) = \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k} \approx \frac{D^k e^{-D}}{k!} \quad (4)$$

所以可得到其聯合機率 (joint probability) 為

$$R_S(t|k) \cdot P(k) = R_0(t) \cdot R_D(t)^k \frac{D^k e^{-D}}{k!} \quad (5)$$

利用全機率理論，可得到系統可靠度為

$$\begin{aligned} R_S(t) &= \sum_{k=0}^{\infty} R_S(t|k) \cdot P(k) \\ &= R_0(t) \cdot \sum_{k=0}^{\infty} R_D(t)^k \frac{D^k e^{-D}}{k!} \\ &= R_0(t) \cdot e^{-D[1-R_D(t)]} \end{aligned} \quad (6)$$

將第 (1)、(2) 式代入第 (6) 式，得到

$$R_S(t) = \exp\left[-\lambda_0 t - D(1 - e^{-\lambda_D t})\right] \quad (7)$$

根據可靠度理論，危害率函數可寫為

$$h(t) = -\frac{d}{dt} \ln R_S(t) \quad (8)$$

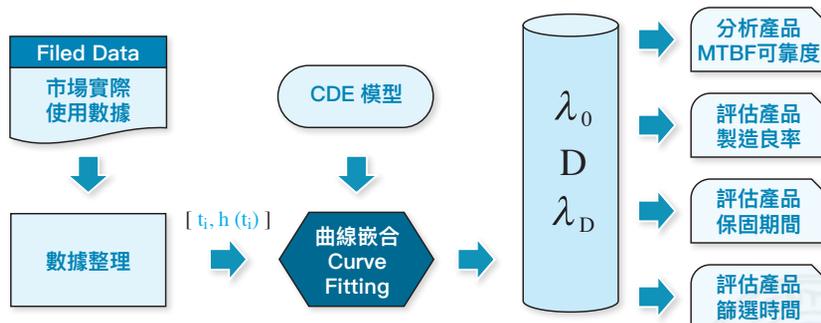
將第 (7) 式代入第 (8) 式，可得裝備之危害率為

$$h(t) = \lambda_0 + D\lambda_D e^{-\lambda_D t} \quad (9)$$

此即為 CDE 模型，若能由所獲得的可靠度資料整理出一組數據 $[t_i, h(t_i)]$ ，則可利用此模型進行曲線嵌合 (curve fitting)，分析出 λ_0 、 λ_D 、 D 等三個參數，即可瞭解產品之品質與可靠度特性，供做進一步決策分析使用，分析流程如圖二。

數據整理與分析流程

產品在市場上實際使用的記錄可以顯示出產品最真實的品質與可靠度表現，所以只要有可能，大都會以實際使用數據來評估產品品質與可靠度，本文就以市場實際使用數據來說明 CDE 模型



圖二：CDE 模型可靠度分析流程

的分析；但是市場實際使用的記錄回饋情形並不能像在試驗室一樣得到很完整的數據，難以直接應用，造成許多公司空有一堆市場回饋數據，卻不知如何使用，連帶使得回饋數據蒐集的工作被視為只是形式，不必在意，所蒐集之數據也就愈來愈不完整，這種惡性循環使得原本評估產品品質與可靠度的最佳方法無法運作，更進而使公司在決策時缺乏數據，難以做出最佳決策。

通常市場回饋資料特性如下：

1. 單一產品的回饋資料大都只有保固期內較完整，保固期外則難以控制，相對於產品壽命而言，蒐集的數據時間很短，以浴缸形曲線而言，只有前段；
2. 有些產品只能得到失效數據，得不到無失效的使用數據，例如機車；有些則即使無失效也可能可以知道使用年紀，例如汽車、工具機；
3. 數據為產品個別記錄，而個別產品進入市場使用的時間不一，較難掌握群組特性。

在這種數據特性的限制下，所蒐集的資料不宜直接用來分析可靠度，必需加以歸納整理，找出適合的分析方法，算出一組可以代表產品實際使用情況的數據 $[t_i, h(t_i)]$ 。

根據可靠度理論，假設有 N 個試件在時間 $t=0$

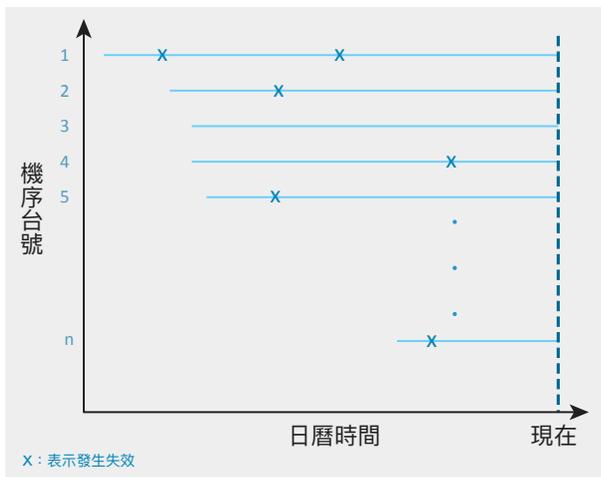
時開始操作即 $n(0) = N$ ，在時間進行至 t_i 時，尚在試驗或使用中之試件個數有 $n(t_i)$ ， $n_f(t_i)$ 為在 $[t_i, t_i + \Delta t_i]$ 區間的失效數，則其危害率函數為

$$h(t_i) = \frac{nf(t_i) / n(t_i)}{\Delta t_i} \quad \text{for } t_i < t \leq t_i + \Delta t_i \quad (10)$$

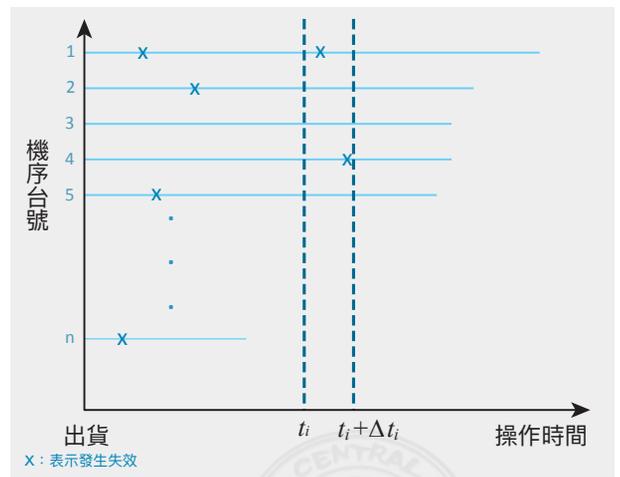
第 (10) 式就是計算 $[t_i, h(t_i)]$ 的基本公式，只要能整理出同類型產品出廠使用一段時間 t_i 時還在使用的數量 $n(t_i)$ ，還有在 $[t_i, t_i + \Delta t_i]$ 區間的失效數 $n_f(t_i)$ ，就可以算出一組數據 $[t_i, h(t_i)]$ 。

一般而言，保固期內之市場客訴資料所記錄的數據通常有失效維修產品序號、使用時間（或行駛里程）、失效現象、更換零件項目等，這樣算是相當完整的記錄了，但是還是不足以直接將這些回饋數據拿來使用，因為這些只有失效記錄，沒有 $n(t_i)$ ，必須再結合銷售紀錄，再經過適當的整理後才有足夠數據代入第 (10) 式進行可靠度分析。

圖三 (a) 為實際產品在市場上使用的紀錄示意圖，顯示每個產品在不同時間出貨進入市場使用，而中間可能會有一些失效發生，這樣的數據如果沒有經過整理沒法直接分析可靠度，如果把每個產品的出貨進入市場使用的日曆時間設為累積使用時間的零點，如圖三 (b) 所示，這樣就可以算出每個時間點 t_i 相對的 $h(t_i)$ 。



圖三 (a)：工具機銷售紀錄



圖三 (b)：工具機使用維修數據整理

經由以上的數據處理結果，就可以直接應用第(9)式之CDE模型進行curve fitting，分析出 λ_0 、 λ_D 、 D 等三個參數。

分析結果應用方式

CDE模型主要用來描述產品浴缸曲線之前半段，對於產品可靠度分析而言，若能掌握產品浴缸曲線前半段之狀況，將可得到許多資訊供決策參考，因此如果產品在市場上的使用失效情況符合浴缸形曲線，且保固期限足以使其危害率到達穩定階段，則利用CDE模型所分析的結果至少可以有以下用途：

1. 分析所得參數 λ_0 代表正常產品之失效率，可視為產品在到達穩定危害率後之失效率，此參數可評估產品設計之可靠度，取 λ_0 之倒數即可得平均失效時間(MTBF)。
2. 分析所得參數 D 為瑕疵密度，代表出廠產品含瑕疵之比例，若 D 過高時，可考慮檢討改善製造程序，降低製程瑕疵；或加強品管，提高瑕疵品之檢出率。
3. 根據可靠度理論，在產品出廠使用時間 T 內之整體產品可靠度為

$$R(T) = e^{-\int_0^T h(t) dt} = \exp\left\{-\left[\lambda_0 T + D(1 - e^{-\lambda_D T})\right]\right\} \quad (11)$$

累積失效機率函數 $F(T)$ 為

$$F(T) = 1 - R(T) \quad (12)$$

4. 單一產品在產品出廠使用時間 T 內之失效次數 n_f 可由浴缸曲線下之面積得到，亦即

$$\begin{aligned} n_f(T) &= \int_0^T h(t) dt \\ \Rightarrow n_f(T) &= \lambda_0 T + D(1 - e^{-\lambda_D T}) \end{aligned} \quad (13)$$

若考慮一批產品(設有 N 個)，在出廠使用時間 T 內之累積失效次數 N_f 則為

$$\begin{aligned} N_f(T) &= N \times n_f(T) \\ &= N \times \left[\lambda_0 T + D(1 - e^{-\lambda_D T}) \right] \end{aligned} \quad (14)$$

就整體而言，從第(12)式亦可得到出廠使用時間 T 內之累積失效次數 N_f 為

$$N_f(T) = N \times F(T) \quad (15)$$

第(14)式與第(15)式可以得到同樣的結果。

若保固期延長時，由以上分析可計算出可能發生之失效數，配合成本計算，可得到因保固期延長造成之成本損失，若加入整體成本分析，就可瞭解是否可以決定保固期延長，或最佳的保固期限應多長。

5. 若已知瑕疵品的失效率 λ_D 時，則瑕疵品之失效分佈函數可寫為

$$F_D(t) = 1 - e^{-\lambda_D t} \quad (16)$$

若欲篩除一定比率(設為 F)之瑕疵品時，則由上式可得篩選時間應為

$$t_{ESS} = -\frac{1}{\lambda_D} \ln[1 - F] \quad (17)$$

以上所介紹的各種應用，僅為基本應用參考，實際應用時可能需要幾種應用分析方法共同使用，或配合公司整體狀況，作全盤考量。

實例應用說明

以工具機市場維修回饋資料分析為例，現有從市場使用所蒐集之資料通常包括銷售進入市場使用時間與失效維修日期記錄。以某型工具機為例，其銷售紀錄與維修紀錄分別如表一、表二所示，其中交機簽收日設定為機台開始使用時間，就可以算出每次失效維修發生的使用時間，再按照上述數據整理方式整合銷售紀錄與維修紀錄就可以得到機台可靠度分析數據整理，如表三所示，配合第(10)式就可以得到一組 $[t_i, h(t_i)]$ ，如表四所示。

表一：機台銷售紀錄

出廠日期	交機簽收日期	機號	出廠日期	交機簽收日期	機號	出廠日期	交機簽收日期	機號
2011/1/15	2011/1/15	1	2012/4/13	2012/5/3	8	2013/6/2	2013/6/2	15
2011/3/14	2011/3/14	2	2012/5/25	2012/6/1	9	2013/6/2	2013/6/2	16
2011/5/7	2011/5/7	3	2013/1/11	2013/1/11	10	2013/8/5	2013/8/7	17
2011/11/24	2012/2/7	4	2013/1/9	2013/1/11	11	2014/9/1	2014/9/23	18
2011/10/31	2012/2/7	5	2012/12/13	2012/12/24	12	2016/6/8	2016/6/17	19
2011/11/10	2011/11/22	6	2013/2/27	2013/3/5	13			
2011/11/10	2011/11/22	7	2012/11/16	2012/11/16	14			

表二：機台維修紀錄

服務日期	出廠日期	交機簽收日期	機號	服務日期	出廠日期	交機簽收日期	機號	服務日期	出廠日期	交機簽收日期	機號
2012/5/2	2011/1/15	2011/1/15	1	2013/1/12	2013/1/11	2013/1/11	10	2015/2/9	2013/8/5	2013/8/7	17
2012/11/28	2011/1/15	2011/1/15	1	2013/1/12	2013/1/11	2013/1/11	10	2014/10/1	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/5/18	2011/1/15	2011/1/15	1	2013/2/20	2013/1/9	2013/1/11	11	2014/10/8	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/7/18	2011/1/15	2011/1/15	1	2012/12/28	2012/12/13	2012/12/24	12	2014/11/15	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/11/6	2011/1/15	2011/1/15	1	2014/8/12	2012/12/13	2012/12/24	12	2014/11/30	2014/9/1	2014/9/23	18
2012/11/26	2011/3/14	2011/3/14	2	2014/9/22	2012/12/13	2012/12/24	12	2014/12/2	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/3/4	2011/5/7	2011/5/7	3	2013/8/29	2013/2/27	2013/3/5	13	2015/2/16	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/1/10	2011/11/24	2012/2/7	4	2012/12/12	2012/11/16	2012/11/16	14	2015/3/24	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/3/22	2011/11/24	2012/2/7	4	2013/1/14	2012/11/16	2012/11/16	14	2015/3/26	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/7/31	2011/11/24	2012/2/7	4	2013/6/10	2013/6/2	2013/6/2	15	2015/6/25	2014/9/1	2014/9/23	18
2012/3/28	2011/10/31	2012/2/7	5	2013/6/28	2013/6/2	2013/6/2	16	2015/6/29	2014/9/1	2014/9/23	18
2012/8/20	2011/10/31	2012/2/7	5	2013/8/29	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/1/14	2014/9/1	2014/9/23	18
2012/11/1	2011/10/31	2012/2/7	5	2013/9/9	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/5/20	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/7/16	2011/10/31	2012/2/7	5	2014/2/6	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/7/1	2014/9/1	2014/9/23	18
2012/10/4	2011/11/10	2011/11/22	6	2014/3/21	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/10/11	2014/9/1	2014/9/23	18
2012/12/4	2011/11/10	2011/11/22	6	2014/3/28	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/10/27	2014/9/1	2014/9/23	18
2013/3/13	2011/11/10	2011/11/22	7	2014/6/19	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/6/23	2016/6/8	2016/6/17	19
2013/6/14	2011/11/10	2011/11/22	7	2014/7/11	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/9/10	2016/6/8	2016/6/17	19
2013/6/14	2012/4/13	2012/5/3	8	2014/9/30	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/10/19	2016/6/8	2016/6/17	19
2012/11/12	2012/5/25	2012/6/1	9	2014/10/23	2013/8/5	2013/8/7	17	2016/10/22	2016/6/8	2016/6/17	19
2013/7/29	2012/5/25	2012/6/1	9	2014/11/10	2013/8/5	2013/8/7	17				

應用CDE模型對上述整理過之工具機數據作CURVE FITTING，並求出相對應之 λ_0 、 λ_D 及D值。結果如圖四所示，與浴缸曲線之前半段吻合，其所得到的三個參數分別如下：

正常品之失效率 $\lambda_0 = 0.0647$

瑕疵品之失效率 $\lambda_D = 0.8460$

瑕疵品比例 $D = 1.2671$

亦即經過曲線嵌合所得到的危害率函數為

$$h(t) = 0.0647 + 1.0720e^{-0.8460t}$$

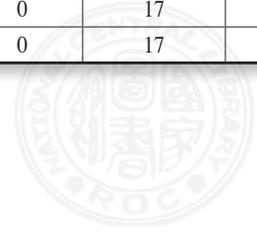
分析結果說明如下：

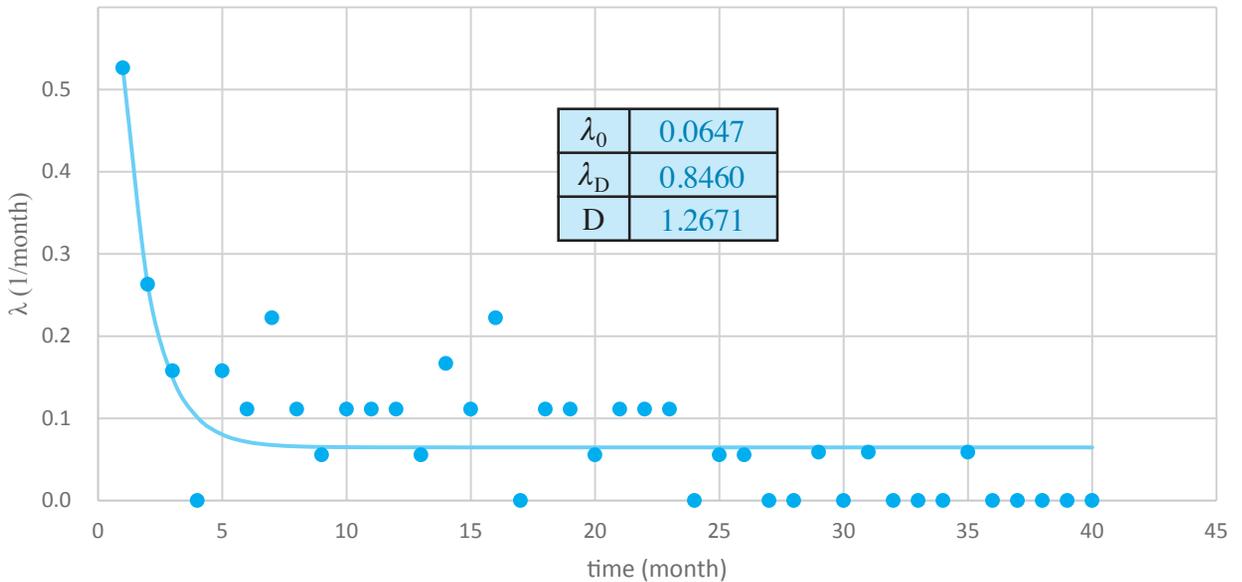
表三：機台市場維修數據整理

出廠日期	交機簽收日期	機號	安機後失效月分與次數																																															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40								
2011/1/15	2011/1/15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
2011/3/14	2011/3/14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2011/5/7	2011/5/7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2011/11/24	2012/2/7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2011/10/31	2012/2/7	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2011/11/10	2011/11/22	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2011/11/10	2011/11/22	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2012/4/13	2012/5/3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2012/5/25	2012/6/1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013/1/11	2013/1/11	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2013/1/19	2013/1/11	11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2012/12/13	2012/12/24	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2013/2/27	2013/3/5	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2012/11/16	2012/11/16	14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2013/6/2	2013/6/2	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2013/6/2	2013/6/2	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2013/8/5	2013/8/7	17	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2014/9/1	2014/9/23	18	2	1	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2016/6/8	2016/6/17	19	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

表四：機台市場使用可靠度分析

t_i (月)	$n_f(t_i)$ (失效數)	$n(t_i)$ (機台數量)	$h(t_i)$ 失效率
1	10	19	0.5263158
2	5	19	0.2631579
3	3	19	0.1578947
4	0	19	0
5	3	19	0.1578947
6	2	18	0.11
7	4	18	0.2222222
8	2	18	0.1111111
9	1	18	0.0555556
10	2	18	0.1111111
11	2	18	0.1111111
12	2	18	0.1111111
13	1	18	0.0555556
14	3	18	0.1666667
15	2	18	0.1111111
16	4	18	0.2222222
17	0	18	0
18	2	18	0.1111111
19	2	18	0.1111111
20	1	18	0.0555556
21	2	18	0.1111111
22	2	18	0.1111111
23	2	18	0.1111111
24	0	18	0
25	1	18	0.0555556
26	1	18	0.0555556
27	0	17	0
28	0	17	0
29	1	17	0.0588235
30	0	17	0
31	1	17	0.0588235
32	0	17	0
33	0	17	0
34	0	17	0
35	1	17	0.0588235
36	0	17	0
37	0	17	0
38	0	17	0
39	0	17	0
40	0	17	0





圖四：工具機市場回饋資料浴缸曲線分析

1. 正常機台的失效率 $\lambda_0 = 0.0647$ [1/月]，可靠度為 $MTBF = 15.4617$ [月]；
2. 瑕疵密度 $D = 1.2671$ ，表示平均每台機台有 2.5978 個瑕疵造成客訴；
3. 早期失效比較多，判斷大部分是因為出廠的機台的瑕疵；
4. 瑕疵品的失效時間分佈 $F = 1 - \exp(0.8460 * t)$ ，95% 機台瑕疵會在大約使用 3.54 個月內發生，亦即 3.54 個月以後機台會穩定的維持在固有的可靠度下操作。
5. 應用第 (14) 式或第 (15)，可計算出在一年的保固期內，預估平均每台工具機可能會發生 2.04 次失效；如果保固期延長為二年，則預估平均每台工具機可能會發生 2.82 次失效 (不是 2×2.04 次失效)，據此可以做為保固期訂定的參考。

壽命長的產品，要利用試驗方式評估其可靠度通常需要很長時間，在現實上很難做到，利用 CDE 模型則能夠在短期內評估其可靠度。

2. 市場回饋資料通常不可直接用來分析可靠度，要經過適當的整理才能分析。
3. λ_0 表示其失效率，決定於設計，若 λ_0 過大時，則需回饋至設計單位，以為設計時改進之參考。
4. λ_D 表示瑕疵品的平均失效率，其值通常會遠大於 λ_0 。
5. D 為瑕疵品之比例，決定於製程能力與品管要求，若 D 很大時則應回饋至製造單位改善製程，降低不良率。
6. 經由 CDE 模型觀察，可知此產品之失效在保固期內主要係因為瑕疵品之失效，亦即為生產製造過程所產生，如將資料回饋至製造單位後，可以用來決定是否檢討製程。
7. CDE 模型分析的結果可以配合產品維修成本訂定較具有競爭力的保固期。 

結論

1. CDE 模型利用產品使用初期的數據即可分析其可靠度相關特性，對於像工具機或機車這一類