

可靠度技術手冊

可靠度預估技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十九年十二月十八日

可靠度預估技術

目錄

1 前言	1
2 可靠度預估原理	1
2.1 可靠度預估之目的	1
2.2 可靠度預估技術之種類	2
2.3 可靠度預估技術之應用	3
2.3.1 可行性預估	3
2.3.2 初步設計預估	4
2.3.3 細部設計預估	4
2.4 可靠度數學模型	4
2.5 可靠度預估之限制	6
3 可靠度預估方法	7
3.1 類似裝備法	7
3.2 類似複雜性法	7
3.3 類似功能法	7
3.4 零件計數法	7
3.5 應力分析法	7
4 零件失效率模型	7
4.1 基本失效率	7
4.2 修正因子	7
4.2.1 電氣應力因子	7
4.2.2 溫度因子	7
4.2.3 品質因子	7
4.2.4 使用環境因子	7
參考文獻	7

可靠度預估技術

1 前言

近年來，系統與裝備的性能不斷提高，構造也漸趨複雜，可靠度不僅是產品所應具有的重要特性之一，而且在研發初期與設計階段就必須能夠預估出來。可靠度預估(reliability prediction)是一種在系統與裝備研製過程中，針對正在研發或已經存在的產品設計，提供設計固有可靠度期望值的指引，定量評估與驗證其可靠度現況是否符合規定需求的技術。本章首先說明從目的、用途、技術種類與應用說明可靠度預估之原理，其次說明預估時所需使用之可靠度數學模型與數據資料，最後敘述各種預估方法之詳細步驟。

2 可靠度預估原理

2.1 可靠度預估之目的

可靠度預估本身對於系統可靠度或許沒有實值的意義，但是在選擇影響產品可靠度的行動方案過程中，根據可靠度預估結果可以估計或證明物品現階段的可靠度能否達到使用者需求所確定的合約可靠度，提供相關單位作為決策方面的參考準則。在研究與發展階段，預估值可作為設計品可靠度定量的指引，判斷各種可行設計方案之間的差異。計畫管理者與設計者在實施設計審查時，可以利用可靠度預估值作為實施零件的選用、潛在設計問題的確定、後勤支援規劃與成本分析研究、數據數量需求足夠與否的判定、擇優決策的選定、資源與需求分配等作業的依據，同時也可以提供作為規劃與執行設計精進成長計畫及驗證與評估計畫的準則。這是一種在產品研發過程中對設計品可靠度初期評估的方法，也是一種反覆性的工作。可靠度預估作業在系統硬品完成製造與測試之前的設計及採購初期最有效用與具經濟意義。此項作業一般進行至設計硬品製造完成，可以用試驗的方法驗證其可靠度為止。

進行預估作業時，所選用代表產品可靠度的定量指標，如成功機率、平均失效時間或失效率，主要是依據轉換得到此種指標所需的資料、以及這些資料的應用方法與可獲得情形而定。一般實施可靠度預估時，係根據研製產品的設計資料，諸如所使用的零件種類與數量、操作使用環境、採購政策、功能方塊圖等，以及可靠度與失效率資料庫中類似物品的資料等，配合適當的可靠度模型，評定該產品的可靠度水準。

可靠度預估主要的目的與用途包括：

- (1). 在規劃計畫文件、初期設計規範及承約計畫書等之需求時，建立明確的可靠度需求與規格，以及決定擬議可靠度需求的可行性。
- (2). 在採購作業時，對於準備承約計畫書、承約者評估與最終承約者的評選，提供一致的相互比較基礎。
- (3). 在研發初期，預估結果可作為評估及比較各種不同設計方案間的差異、提供管理階層作為各種方案之間擇優決策、以及規劃、分配預算與時程的參考。

- (4). 確認當代設計與製造技藝水準的適用性與可行性，評估零件選用情況，掌握零件及應力效應，了解設計弱點，確定設計之關鍵零組件，從可靠度觀點提供設計保證作業的改進建議。
- (5). 評估設計品在各階段的可靠度現況，適時反應現階段研製產品的可靠度水準是否滿足可靠度需求。
- (6). 作為規劃執行可靠度成長試驗與可靠度鑑定試驗之指標。
- (7). 提供產品未來維修保養與成本分析之參考。

由於可靠度預估是一種理論模型與參考資料的運用，所選用的資料多為資料庫數據的統計平均值，而且在預估的過程中有許多因素為假設條件，因此在可靠度預估之計算過程應該儘量進行產品生命週期分析，用以了解產品預期的操作模式及可能遭遇的環境狀況，增加預估結果的有效性。當然太過於樂觀的估計，會造成超出目標值太多的結果，往往會使後期可靠度驗證的決策界限放寬，因而增加通過試驗的機率，同時設計者在開發過程中也將付出設計水準太高、成本太高之困難代價。所以設計開發產品時，必須限定預估值與需求目標值之公差範圍(tolerance)，為保守起見，通常產品的可靠度預估值必須大於配當值，此即為安全因子的應用，一般實用上此一安全係數為 1.25 倍，假若預估值未達到此一標準，則可用下列方法達到：

- (1). 提高零組件品質
- (2). 採用減額定設計
- (3). 採用複聯設計
- (4). 採用簡化設計
- (5). 檢討性能規格
- (6). 改變操作模式
- (7). 重新配當可靠度值

2.2 可靠度預估技術之種類

一般而言，工程人員在選用適當的可靠度預估技術時受到下列兩個因素的影響：

- (1). 設計知識的深度；
- (2). 裝備與零組件過去的可靠度數據可以應用的情形。

當系統設計由概念、經由全型發展、到生產階段逐步進展時，用以描述系統設計的數據範圍非常廣，包括對於系統功能的定性敘述，到適合生產硬品的細部規範與藍圖。因此，可靠度預估技術的發展歷史，自然是累積了不同的可靠度研究與分析需求的結果，以及在系統設計進展過程中各種詳細數據可以應用的情形。這些可靠度預估方法，依照數據的類型與可用的資訊，可以概略分為下列五種：

- (1). 類似裝備法(Similar Equipment Technique)：比較研發中的裝備與已知可靠度的類似裝備，根據可用的資訊推定系統設計達成可靠度的可能水準。
- (2). 類似複雜性法(Similar Complexity Technique)：根據設計物品與類似典型物品間相對複雜性的函數關係，推定新設計的可靠度。
- (3). 類似功能法(Similar Function Technique)：考慮以往已經驗證過的操作功能與可靠度之間的關係，獲得新設計的可靠度預估值。
- (4). 零件計數法(Part Count Method)：裝備可靠度為一般性零件數目、品質水準及應用環境的函數，裝備中的零件並按一定的原則分為數個等級。
- (5). 應力分析法(Stress Analysis Method)：根據所有個別零件的失效率按一定的函數關係推定裝備的失效率，執行預估時考慮的因素包括零件的類別、操作應力水準、以及每一個零件的減額特性。

2.3 可靠度預估技術之應用

依照美軍標準 MIL-STD-756 之說明，可靠度預估技術按其在產品研製過程的應用目的，可分為下列三類：

- (1). 第一類(Type I)：可行性預估
- (2). 第二類(Type II)：初步設計預估
- (3). 第三類(Type III)：細部設計預估

通常在產品開發初期可行性研究階段所採用的方法為類似裝備法和類似複雜性法；在概念定義階段，常用的預估方法為類似裝備法、類似複雜性法和類似功能法；當研發進入初步設計時，則可採用零件計數法和概略的應力分析法；在產品研發進入細部設計階段時，由於資料應已相當完整，採用應力分析法可獲得較精確的預估值，圖 1 以雷達系統的部份組成架構資料說明各種預估技術在不同系統組合層次及發展生命週期階段之應用情形，以下分別詳細說明其應用情形。

2.3.1 可行性預估

可行性預估主要應用在裝備研發過程的初期研究與概念定義階段，在此一階段，細部設計資料的水準局限在裝備的全盤性描述，詳細的形態數據一般都很有有限，通常只能參考既有的或已經發展完成的類似裝備的資料，然後根據這些類似裝備的功能和操作需求推導而得。可行性預估可用的預估方法有類似裝備法、類似複雜性及類似功能法等。

2.3.2 初步設計預估

初步設計預估主要應用在產品研發過程進入細部設計之前的初步設計階段，此時設計形態資料大都是敘述在工程設計說明書及初步藍圖等文件，所能獲得的細部資料有限，往往由於最終產品的零件清單內容尚未確定，無法獲得詳細且正確的應力分析資料。初步設計預估可用的預估方法為零件計數法與概略的應力分析法。

2.3.3 細部設計預估

細部設計預估主要應用於產品研發過程中的細部設計及後續發展階段，所有生產該產品所需的零件、材料、及加工程序等資料，均已描述在定型設計藍圖中，產品中每一個零件在預估時所需要的數據，都可依照規定的設計分析程序與量測技術，進行操作應力及溫度分析而獲得。細部設計預估可用的預估方法為應力分析法。

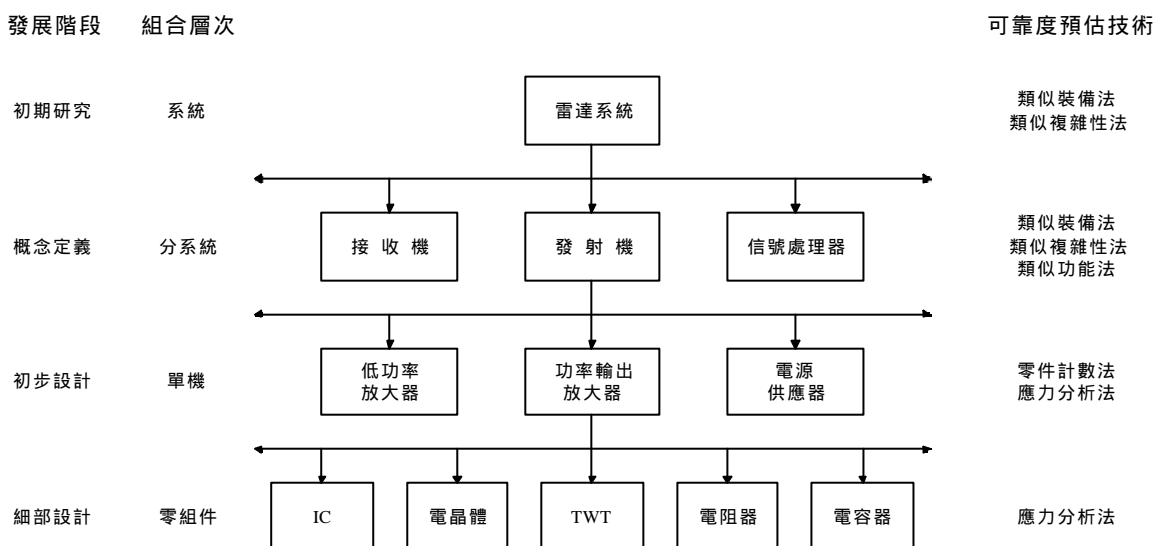


圖1: 可靠度預估法在系統研發過程之應用

2.4 可靠度數學模型

可靠度預估作業為系統設計發展過程中的關鍵項目之一，使可靠度需求能夠融入設計中成為整體研發程序的一部份。為有效的達到此一目的，所使用的可靠度預估技術必須配合適切的可靠度數學模型，說明工程變數與可靠度變數之間的關係。所謂工程變數係指設計工程人員的術語，諸如：功率、電壓、距離、尺寸、重量、抗拉強度、韌性、硬度、擴散率、腐蝕率等。而可靠度變數則為可靠度工程人員的術語，諸如：成功數、失效數、失效時間、壽命、安全係數、安全裕度等。

以一個由N個獨立元件/分系統串聯在一起組成的最簡單裝備/系統為例，其可靠度數學模型為：

$$R_s = \prod_{i=1}^N R_i \quad (1)$$

式中： R_s = 裝備/系統之可靠度；
 R_i = 每一元件/分系統之可靠度。

上式簡單的表示成功機率，通常應用於失效率隨時間而變化的裝備或單次功能物品。在此例中，系統係指由N個元件組成的裝置，其中任何一個元件失效即造成系統失效。

當時間為重要因素時，可靠度可以表示為：

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^N R_i(t) \quad (2)$$

式中： $R_s(t)$ = 系統在時間為t之前不失效的機率；
 $R_i(t)$ = 系統中第i個元件在時間為t之前不失效的機率。

最後，若每一個元件的可靠度 $R_i(t)$ 服從失效率為常數 λ_i 的指數分佈，則系統可靠度變成：

$$\begin{aligned} R_s(t) &= \exp(-\lambda_s t) = \prod_{i=1}^N R_i \\ &= \prod_{i=1}^N \exp(-\lambda_i t) \exp\left(-\sum_{i=1}^N \lambda_i t\right) \end{aligned} \quad (3)$$

亦即

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (4)$$

式中： λ_s = 系統失效率
 λ_i = 系統中每一獨立元件之失效率
 N = 系統中的元件數目

根據失效時間呈指數分佈的假設，系統平均失效時間(MTBF)為：

$$MTBF = \theta_s = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (5)$$

式(3)、(4)及(5)為電子裝備/系統可靠度預估的基本方程式。

在實際應用上，指數分佈的假設並不一定完全真確，不過由於其在數學上的簡單性以及許多研究學者所發展出來有關指數分佈的應用理論，使得指數失效密度仍然在可靠度工作領域中扮演著極為重要的角色。當然，假如觀測的失效數據顯示無法支持指數分佈的假設，或者磨耗作用為造成失效的顯著因子時，則指數假設有可能會導致錯誤的結論。在這種情況，應該選用其他較為適切的可靠度或失效機率分佈，如常態分佈、對數常態分佈、伽瑪分佈、貝他分佈及韋伯分佈等連續計量型分佈，或二項分佈及波桑分佈等分立計數型分佈，以便獲得更真確的預估結果。而系統組成也並非都是串聯模型，應該按實際應用情形考慮使用並聯、串並聯、複聯、N 中取 K 及多重功能等可靠度模型。除此之外，有關時間的效應，如工作循環模式、組件操作時間不同、隨任務階段而變化的應力水準、以及不操作與情態可靠度，也是在建立適切的可靠度數學模型時必須特別注意的項目。詳細情形可參考有關可靠度模型建立技術之資料。

2.5 可靠度預估之限制

由以上的討論可知，可靠度預估工作的成效，其關鍵在於失效率資料來源。在失效率數據方面，目前有關提供各種零組件失效率資料的來源包括：

- (1). MIL-HDBK-217F, Reliability Prediction of Electronic Equipment (1992)
- (2). BellCore, Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment
- (3). British Telecom Reliability Handbook
- (4). NPRD-3, Nonelectronic Parts Reliability Data, RAC, IITRI (1985)
- (5). DTRC-90/010, Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment (1990)
- (6). RADC-TR-85-194, RADC Nonelectronic Reliability Notebook (1985)
- (7). RADC-TR-80-136, Nonoperating Failure Rates for Avionic Study (1980)

一般可靠度資料庫如 MIL-HDBK-217 及 NPRD-3 等資料所提供的失效數據，大部份只是可靠度預估的共同基礎，根據在資料發行時所能獲得的最佳數據所做的分析而建立的。當然提供這些資料的機構或單位自然是期望儘可能使之成為最好的可靠度預估工具，然而，就如同任何一種工具一樣，使用可靠度預估技術必須考慮及各種應用與限制條件，而不是一味的應用公式與代入數據。

這些資料庫的第一個限制為所提供的失效率模型都是根據所能獲得數據所做的統計點推定值，因此，只有在與分析數據相同的條件下以及所含蓋的相同零件，根據它們所做的預估結果才是完全正確無誤的。當然在模型發展過程中是使用了一些外推的技巧，但是模型固有的經驗本色造成應用時相當大的限制。例如，這些數據通常都不足以用來預估核輻射存活性及離子輻射的效應。

其次，即使在類似的操作使用環境條件下，不同系統應用之間的可靠度表現也可能有相當顯著的差異。一般而言，陸用電子裝備的可靠度預估結果比空用電子系統的

可靠度預估結果更接近實有可靠度，這是因為在陸面應用方面，不同的系統之間的環境變異比較小，現場操作條件比較接近建立預估模型所蒐集數據的環境條件。不過可靠度預估結果還是比較接近鑑證得的產品固有可靠度，因為在現場操作使用環境條件下，裝備的可靠度會受到操作時序、操作人員的個性與人性因子、操作人員訓練、技術手冊內涵、不同裝備使用站的操作與維護政策與實務、測試裝備與測試技、和失效定義之間的差異等因素的效應，而影響到失效率的計算結果。因此，可靠度預估結果決不可以視為等於可以由使用者測量得到的預期現場可靠度(亦即平均維護間時間、平均拆除間時間等)，當然這樣的說法並不是就完全否定可靠度預估是一種重要工程工具的價值，只是要注意到當討論及可靠度預估的應用情形時，最好不要將預估結果與現場量測值做比較，以免因為應用不當而造成管理決策上的困擾。

另外值得注意的是電子技術本身就具有動態的特色，新型的零件與新的製造程序持續不斷的在引進、更多數據的產生和技術的進展與成熟，再再增加可靠度預估的多變性與困難度。改良型的改變或許還可利用現有的模型運用外推技巧來處理，但是革命型的改變，則有可能要否定所有的分析結果。因此，在應用失效率資料時，要特別注意引用的資料庫是否定期做更新的處理。當然並不是所有的零件失效率都會隨時間而改變，例如 MIL-HDBK-217 有關分立式半導體的失效率資料，由 1978 年到 1990 年之間幾乎都是保持不變的。可靠度預估技術的另外一項限制為預估過程本身，例如應力分析預估法雖然預估結果相當準確，但是需要相當有意義的細部設計資料，這自然會造成時間與成本方面的犧牲，最明顯的就是在設計的初期階段，許多設計細節根本無法獲得，基於此一理由，在競標規劃及設計初期階段僅能採用較為簡單的零件計數法來進行可靠度預估工作。

3 可靠度預估方法

3.1 類似裝備法

當產品在作可行性分析時，尚未完成任何有關系統特性的規劃與設計，因此對於其可靠度是否能滿足需求，僅能就以往類似產品的可靠度經驗與資料，比較兩者之異同加以分析推算，估計新產品之可靠度值，一般稱為類似裝備法(similar equipment techniques)。這種預估技術的基本原理就是根據類似功能裝備的操作經驗，以 MTBF、失效率或類似的參數，推定研製裝備的可靠度。一般而言，進行類似裝備可靠度預估法的程序如下：

- (1). 決定研發新產品的種類與型式(如雷達)、操作模式與條件、使用環境(如陸面固定)、以及任何已知的資料。
- (2). 根據以上條件與資料，在現有產品中找出性質相近、已經發展成功產品的使用狀況和可靠度資料。
- (3). 將類似裝備的這些資料與即將要發展之產品的條件加以分析比較，特別注意其操作條件和使用環境應儘可能相近。
- (4). 綜合以上結論，利用現有產品可靠度資料，評估與判定新研發產品的可靠度可能值。此一結論乃是假設類似的裝備應該具備有類似的可靠度達成可能，尤其

是由既有系統演變發展的下一代新產品。此一預估技術可以根據類似功能裝備所得到的操作經驗，在研發初期推定系統的失效率。當然，可靠度推定值的精確度受到經驗數據的品質、新裝備和現有裝備的相似程度的影響很大。

明顯的，假如所使用數據是根據類似產品的現場使用結果，則所獲得的預估將更有意義及精確，同時，其他如設計實務與生產技術等因素也有必須有相似性，例如現有的裝備由同一研製單位所設計與製造，其預估結果當然比由其他單位所設計與製造者的結果還好。在大部份的例子中，此種預估技術主要是在現有的技藝水準限制下，評估研發產品能夠滿足最小可靠度目標的可行性。表 1 為 RADC 在 1988 年所發表以 MTBF 表示有關雷達系統、通信裝備、計算機裝備及一些雜項裝備已具備的可靠度水準，類似的數據為主要參考資料來源。圖 2 與圖 3 則為美國長期發展戰鬥機所得到的不同機種整機與空電裝備的平均失效時間的發展趨勢。

表 1: 現代電子裝備已具備之可靠度水準

裝備名稱	MTBF(hr)	裝備名稱	MTBF(hr)
雷達系統		計算機裝備	
地用旋轉式莖索雷達	75 - 175	地用計算機	1000 - 5000
大型固定式相列雷達	3 - 6	地用單色顯示器	15000 - 75000
地用戰術機動雷達	25 - 75	地用彩色顯示器	2500 - 7500
空用戰鬥機火控雷達	50 - 200	地用硬式磁碟機	5000 - 20000
空用莖索雷達	300 - 500	地用磁帶記憶裝置	2500 - 5000
空用識別雷達	200 - 2000	地用列表機	2000 - 8000
空用導航雷達	300 - 4500	地用數據機	20000 - 50000
通信裝備		雜項裝備	
地用收音機	5000 - 20000	空用反制系統	50 - 300
地用手提式收音機	1000 - 3000	空用電源供應器	10000 - 50000
空用收音機	500 - 10000	地用電源供應器	10000 - 50000
地用電子干擾器	500 - 2000		

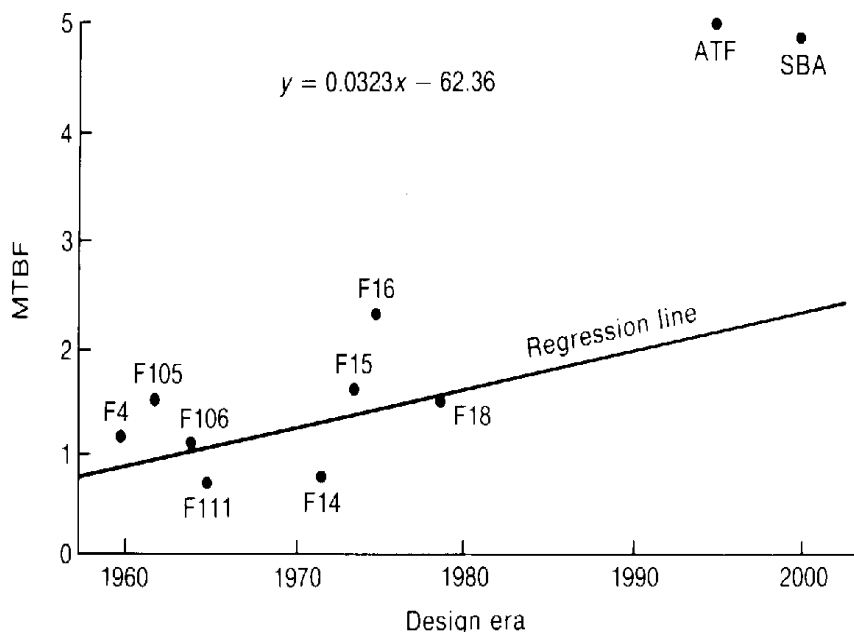


圖 2: 戰鬥機整機平均失效時間發展趨勢

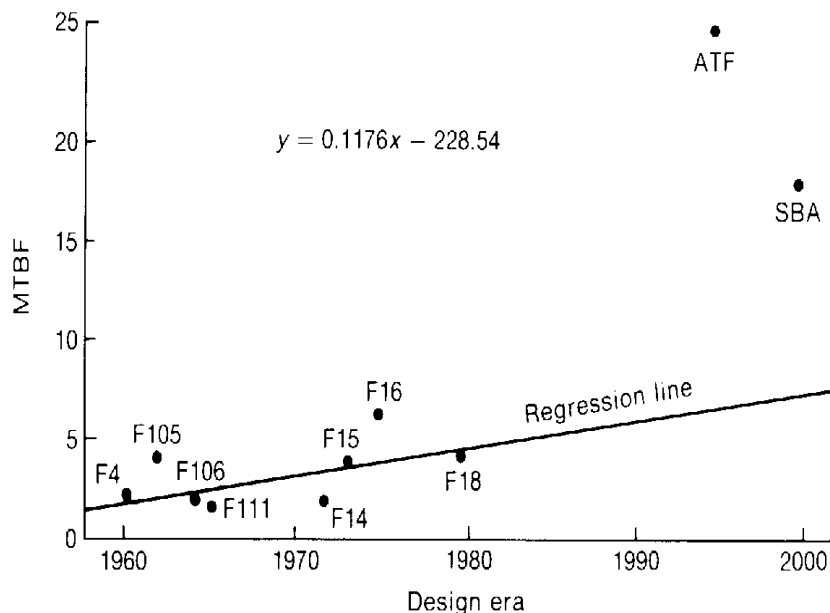


圖 3: 戰鬥機空電裝備平均失效時間發展趨勢

3.2 類似複雜性法

一般而言，產品的可靠度與其複雜性有關，越複雜的產品越不容易達到高可靠度的需求，特別是電子產品，其所用的主動零件越多，發生失效的機率越高，因此可靠度就越低。由於此一預估方法以非複雜的主動零件為主要考量項目，因此又稱為主動零件歸類法(active element group, AEG)。符合主動零件定義的零件包括真空管、電子管、電晶體、半導體、積體電路、繼電器及整流二極體等。基於此一道理，一些歷史悠久的公司或企業，根據他們過去的經驗，發展出一套可靠度與產品複雜性(功能複雜性、零件數量多寡)的圖表資料，所考慮的條件還包括使用環境(空用、地用固定、地用運動、船用、飛彈、及太空)，以及低級、一般、高級三種品質等級。因此，只要找出新研發產品中預定使用的主動零件數量、使用環境、及品質等級，即可查圖表粗略估計該產品可能的可靠度水準，圖 4 與表 2 為取自 MIL-HDBK-338-1 的典型資料。

表 2: 電子裝備可靠度等級

裝備總類	可靠度等級		
	低 級	一 般	高 級
真空管，空用	A ₁	A ₂	A ₃
電晶體化	B ₁	B ₂	B ₃
真空管，地用固定式	B ₁	B ₂	B ₃
電晶體化，地用固定式	C ₂	C ₃	D ₁
真空管，地用運動式	A ₂	A ₃	B ₁
電晶體化，地用運動式	B ₂	B ₃	C ₁
真空管，飛彈用	A ₁	A ₂	A ₃
電晶體化，飛彈用	B ₁	B ₂	B ₃
真空管，船用	B ₁	B ₂	B ₃
電晶體化，船用	C ₁	C ₂	C ₃
真空管，太空用	B ₁	B ₂	B ₃
電晶體化，太空用	C ₁	C ₂	C ₃

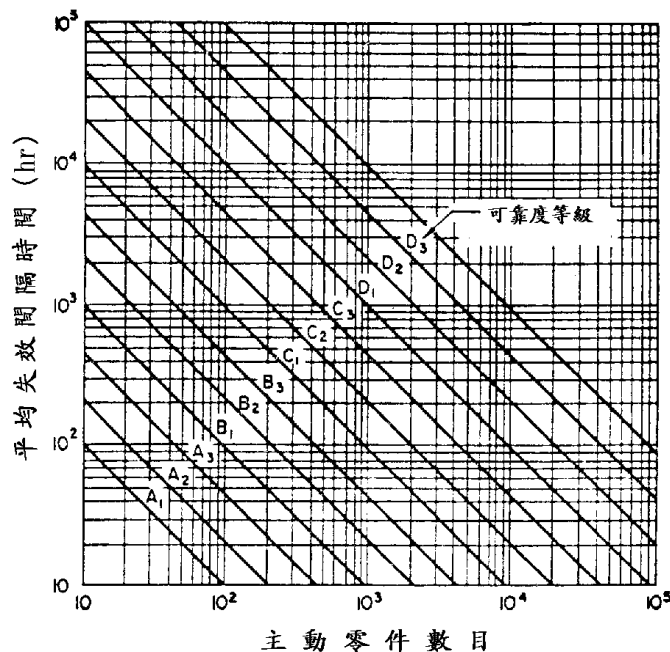


圖 4: 不同可靠度等級主動元件數與平均失效時間關係

根據所查得之平均失效時間(MTBF= θ)即可依照下式計算可靠度函數：

$$R = \exp\left(-\frac{t}{\theta}\right) \tag{6}$$

式中 t 為計算可靠度之系統操作時間， θ 為系統之平均失效時間。

例如有一空用系統，採用高級電晶體化的零組件，總共使用 500 個主動元件，預估其可靠度。由表 2 可知，此一例子的可靠度等級為 B_3 ，由圖 2 橫座標查得 500 個主動元件的垂直線與 B_3 斜線的交叉值，讀得裝備平均失效時間(MTBF)的推定值為 90 小時。

很可惜的是，此種預估技術的圖表資料並未增添近年來應用極為廣泛的微電路資料。不過，此種方法對於複雜設計的相對比較多少還是相當有用的。

3.3 類似功能法

類似功能法的原理與類似複雜性法相同，這種技術係根據產品顯著的功能特性與操作可靠度間的統計相關性分析，建立從可靠度觀點看最顯著功能與預期裝備可靠度兩者之間的迴歸方程式，作為估算研發產品可靠度的依據。

此種方法的原始公式早在 1960 年代即發展完成，可能已經不太適用。最近完成的結果為 1974 年，RADC-TR-74-235，這些迴歸公式或多或少還有一些真確性。目前已建立有類似資料並經發表迴歸公式的裝備計有雷達、計算機、顯示器、及通信裝備等四種。除預期功能需求外，有些預估模型的輸入資料尚包括零件分佈及使用環境。

例如，雷達的迴歸公式為：

$$\begin{aligned} \ln P = & -0.8277 + 0.307 \times 10^{-2} (DY) + 3.586 \times 10^{-1} (MTR) \\ & + 3.87 \times 10^{-2} (DR) + 6.959 \times 10^{-2} (PW) + 7.603 \times 10^{-1} (HP) \\ & - 4.70 \times 10^{-3} (MTR)(DR) - 2.2 \times 10^{-4} (DR)(RDR) \end{aligned} \quad (7)$$

式中：ln= 自然對數；
 P = 平均零組件數量；
 DY= 設計年份，例如1970；
 MTR= 多目標解析度，仟呎；
 DR= 偵測範圍，海浬；
 DR= 偵測範圍，海浬；
 PW= 脈波寬度，微秒；
 HP= 半功率波束寬度，度；
 RDR= 接收機動態範圍，dB。

計算得 P 之後，可由下式計算得預期之 MTBF：

$$MTBF = \frac{1}{(FR)(P)} \quad (8)$$

式中：P = 平均零組件數量；
 FR = 每一零件之平均失效率。

為熟悉此一預估方法的計算過程起見，以一個空用雷達為例演練一次，假設雷達的設計特性如表 3 所示。

表 3: 雷達系統之設計特性

設計參數	單位	數值
設計年份(DY)	--	1970
偵測範圍(DR)	海浬	150.0
接收機動態範圍(RDR)	dB	60.0
多目標解析度(MTR)	仟呎	0.1
脈波寬度(PW)	微秒	4.0
半功率波束寬度(HP)	度	1.0

將設計數值代入第(7)式中，可得此一雷達系統計預估的零件數為：

$$\begin{aligned} \ln P = & -0.8277 + (0.00307)(1970) + (0.3586)(0.1) + (0.0387)(150) \\ & + (0.06959)(4) + (0.7603)(1) - (0.00471)(0.1)(150) \\ & - (0.00022)(150)(60) \\ = & 10.0491 \end{aligned}$$

$$P = e^{10.0491} = 23,134$$

亦即，粗略估計，此一空用雷達系統可能使用的零件數目估計為23,134個。

為了計算裝備失效率，我們需要每一裝備中的零件分佈資料、每一種零件的一般失效率和空用環境的環境 K 因子，這些資料如表 4 及表 5 所示。

因此，

$$\begin{aligned}\lambda_e &= P[(0.1855)(0.0496)(8.646) + (0.313)(5.81)(3.111) \\ &\quad + (0.2169)(1.0)(4.322) + \dots + (0.0089)(12)(7)] \\ &= P(13.4347) \text{ fr}/10^6 \text{ hrs}\end{aligned}$$

將先前計算得的零件數目P=23134代入，即可得

$$\begin{aligned}\lambda_e &= (23143)(13.3828) \text{ fr}/10^6 \text{ hr} \\ &= 310798 \text{ fr}/10^6 \text{ hrs}\end{aligned}$$

而平均失效間隔時間(MTBF)為：

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda_e} = 3.2 \text{ hrs}$$

另外，計算機的迴歸公式為：

$$\begin{aligned}\ln \bar{\lambda} &= 371.4246 - 1.8263 \times 10^{-1}(\text{DY}) - 7.981 \times 10^{-1}(\text{AST}) \\ &\quad + 1.1 \times 10^{-3}(\text{PD}) - 1.564 \times 10^{-2}(\text{INST}) \\ &\quad + 5.99 \times 10^{-3}(\text{AST})(\text{INST}) - 4.3 \times 10^{-4}(\text{MS})(\text{PD})\end{aligned} \quad (9)$$

式中：ln= 自然對數；
 λ = 裝備失效率；
 DY= 設計年份，例如1970；
 AST= 加 / 減時間，微秒；
 PD = 消耗功率，瓦特；
 INST = 指令數目；
 MS = 記憶體速度，微秒。

同理，裝備之平均失效時間為：

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (10)$$

因此，按照前述計算空用雷達例子，利用式(9)及(10)即可預估計算機的可靠度值。

如前所述，RADC-TR-74-235 對於此項可靠度預估技術及其他裝備的應用情形有詳細的說明，當然表 4 及表 5 必須做適當的更新，以反應現代的技藝水準。不過，在新產品的研發概念階段，對於裝備中可能使用的零件種類及數量一般並不是很清楚時，特別是不同研發方案之間的評選，以及決定選定設計方案的可行性時，此一預估技術仍然是相當有用的方法。

表 4: 零件分佈

零件型式	雷達	計算機	顯示器	通信裝備
電容器	0.1855	0.1508	0.1399	0.3912
電阻器	0.3130	0.2709	0.2272	0.3416
二極體	0.2169	0.1372	0.2553	0.0382
電晶體	0.1127	0.0532	0.1420	0.0717
積體電路	0.1158	0.3610	0.1706	0.0130
電感器	0.0393	0.0132	0.0527	0.1076
電子管	0.0079	0.0000	0.0122	0.0000
混合積體電路	0.0089	0.0137	0.0001	0.0067

表 5: 美軍手冊 MIL-HDBK-217 之失效率數據

零件型式	失效率($\times 10^6$)	零件k因子		
		空用 K_A	地用 K_G	船用 K_S
電容器	0.0496	8.646	1.0766	5.907
電阻器	5.8100	3.111	0.2145	0.101
二極體	1.0000	4.322	0.8740	1.290
電晶體	1.1900	8.004	1.5008	0.363
積體電路	6.0000	7.000	1.0000	3.000
電感器	0.3400	1.000	1.0000	1.000
電子管	1.3130	6.002	1.0000	1.000
混合積體電路	12.0000	7.000	1.0000	3.000

3.4 零件計數法

一般廠商在競標準備承製建議書(proposal)及初期設計階段產品研發進入硬品初步設計時，由於設計尚未完全定型，可用的可靠度預估資料並不完全，但是對於所使用零件的型式(type)和樣式(style)應該已經有大致的概念，因此可以實際計算或估算得所需的零件數量。但是對於最終設計中每一個零件所可能遭受的應力水準則沒有足夠的數據。預估時先計算每一種類或等級的零件數量，將此一數值乘上每一零件型式或樣式的通用失效率(generic failure rate)，然後計算所有乘積的總和即可得到裝備的失效率，此一程序中所謂的零件型式(type)是指具有特定功能的所有零件，例如：電阻器、電容器、變壓器等；而零件樣式(style)則是在同一種類零件中再做細分類，例如：固定組合電阻器、固定繞線電阻器。

零件計數法與應力分析法為 MIL-HDBK-217 所提供的可靠度預估方法，基於失效率資料庫資料蒐集的特性，這兩種預估方法所獲得的為固有可靠度的推定值，亦即成熟設計的可靠度值。

零件計數法預估產品可靠度所需的資料包括：

- (1). 一般性零件型別(微電路包括複雜性)與數量；

- (2). 零件品質水準；
- (3). 裝備的使用環境。

MIL-HDBK-217 所提供的各種零件通用失效率資料已按各種標準使用環境條件列表提供資料，因此，只要根據零件類型及使用環境，由表查得各種零件的通用失效率，乘上品質因子即為該零件的失效率，然後將所有零件的失效率累加在一起，即可得到裝備失效率。對一特定的裝備環境而言，裝備失效率的計算公式如下：

$$\lambda_{eq} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_g \pi_Q)_i \quad (11)$$

式中： λ_{eq} = 裝備之總失效率；
 λ_g = 第*i*項一般零件之通用失效率(fr/10⁶frs)；
 π_Q = 第*i*項一般零件之品質因子；
i = 第*i*項一般零件；
n = 裝備中所用一般零件之種類數；
 N_i = 第*i*項一般零件之數量。

上式係應用於假設整個裝備係在同一種環境下使用的情形，若裝備的單機係在數個不同的環境條件下操作使用，例如某一型空用電子裝備的單機同時在空用有人(AI)及無人(AU)環境，則利用上式計算應用於每一種環境狀況時的裝備失效率，然後將這些環境 - 裝備失效率累加在一起即可決定裝備的總失效率。

零件計數法所需之通用(平均)失效率(λ_g)及品質因子(π_Q)可參考最新版本的美軍手冊 MIL-HDBK-217，217 目前的版本為 F 版，零件計數法為附錄 A，每一種零件的品質因子 π_Q 與通用失效率 λ_g 一起提供。手冊中表列提供一般失效率的零件包括微電路、分立式半導體、電子管、雷射元件、電阻器、電容器、電感器、迴轉元件、繼電器、開關、連接器、介面連接裝配組合(PCB)、單一接點、儀表板、石英晶體、燈泡、電子濾波器、保險絲等。一般而言，零件計數法與應力分析法並不一定要採用一樣的 π_Q 。表 6 及表 7 為節錄自 217F 有關固定電阻器的通用失效率， λ_g ，與品質因子， π_Q 。

除了品質因子(π_Q)之外，微電路元件的失效率預估模型中需要考慮另外一項修正因子， π_L ，一般稱之為學習因子，此一因子計算製造程序的成熟度，當元件的生產時間超過兩年以上，則不需要此一修正因子，生產時間在兩年以下的微電路元件，則必須乘上適切的學習因子 π_L 。

由於每一種混合微電路幾乎都是唯一的元件，到目前為止，這種元件尚未標準化，相同或類似名稱的混合微電路可能具有相當廣泛的複雜性，根本無法根據它們的命名或功能加以歸類判定其複雜性，因此在最新版本的 217F 附錄 A 並沒有提供有關混合微電路的基本失效率資料。若設計中有可能使用及混合微電路，則應徹底的研究其應用與構造，然後利用應力分析法預估其失效率。

表 6: 固定電阻器通用失效率 λ_g (fr/10⁶hrs)

零件名稱	樣式	環境代號	GB	GF	GM	NS	NU	SF	MF	ML	CL
		T _a ()	30	40	45	40	45	30	45	55	40
		MIL-R-									
複合	RCR	39008	0.00050	0.0022	0.0071	0.0037	0.012	0.00025	0.0098	0.035	0.36
複合	RC	11	0.00050	0.0022	0.0071	0.0037	0.012	0.00025	0.0098	0.035	0.36
膜	RLR	39017	0.0012	0.0027	0.011	0.0054	0.020	0.00025	0.014	0.044	0.69
膜	RL	22684	0.0012	0.0027	0.011	0.0054	0.020	0.00025	0.014	0.044	0.69
膜	RNR	55182	0.0014	0.0031	0.013	0.0061	0.023	0.00028	0.016	0.050	0.78
膜	RN	10509	0.0014	0.0031	0.013	0.0062	0.023	0.00028	0.016	0.050	0.78
膜, 功率	RD	11804	0.012	0.025	0.13	0.062	0.21	0.0060	0.18	0.47	8.2
膜, 網路	RZ	83401	0.0023	0.0066	0.031	0.013	0.055	0.0011	0.055	0.15	1.7
繞線	RBR	39005	0.0085	0.018	0.10	0.045	0.16	0.0068	0.13	0.37	5.4
精確	RB	93	0.00085	0.018	0.10	0.045	0.16	0.0068	0.13	0.37	5.4
繞線	RWR	39007	0.014	0.031	0.16	0.077	0.26	0.0042	0.21	0.62	9.4
功率	RW	26	0.013	0.028	0.15	0.070	0.24	0.0038	0.19	0.56	8.6
繞線	RER	39009	0.0080	0.018	0.096	0.045	0.15	0.0040	0.13	0.37	5.5
基座安裝	RE	18546	0.0080	0.018	0.096	0.045	0.15	0.0040	0.13	0.37	5.5

T_a=設定之週圍空氣溫度()

表 7: 固定電阻器零件計數預估法之品質因子

品質水準	品質因子, Q
已建可靠度(ER)	
S	0.03
R	0.10
P	0.30
M	1.00
L	1.50
軍規(MIL-SPEC)	3.00
較低等級	10.00

由於可以使用的數據更精細，例如實際或估定的零組件數目，此種預估法之結果自然比類似功能法更準確，因此零件計數法是在確實掌握每一種零組件的實際應力之前的裝備 / 系統初期設計階段最有用的預估方法。

表 8 為利用零件計數法預估一陸面搜尋雷達 MTBF 及可靠度的例子，雖然在這個例子中所用的零組件在技術上或許已經過時，但是其基本方法則是一樣的。

由表可知，總失效率為 3926.57×10^{-6} fr/hr，因此裝備平均失效時間為：

$$MTBF(\theta) = \frac{10^6}{3926.27} = 255 \text{ hrs}$$

亦即，此一陸面搜索雷達操作使用 100 小時不失效的成功機率，或可靠度，為：

$$R(100) = \exp\left(-\frac{100}{255}\right) = e^{-0.392} = 0.676$$

表 8 零件計數法預估可靠度簡單案例

零件型式	使用數量	零件失效率(fr/10 ⁶ hrs)	總失效率(fr/10 ⁶ hrs)
接收電子管	96	6.00	576.00
發射電子管	12	40.00	480.00
磁控電子管	1	200.00	200.00
陰極射線電子管	1	15.00	15.00
高k值固定式陶瓷電容器	59	0.18	10.62
鋁箔固定電容器	2	0.45	0.90
紙質固定電容器	108	0.01	1.08
碳質組合固定電阻器	467	0.0207	9.67
功率薄膜固定電阻器	2	1.60	3.20
繞線固定電阻器	22	0.39	8.58
組合可變電阻器	38	7.00	266.00
繞線可變電阻器	12	3.50	42.00
同軸連接器	17	13.31	22.47
電感器	42	0.938	39.40
電氣儀表	1	1.36	1.36
吹風機馬達	3	630.00	1890.00
同步器馬達	13	0.80	10.40
晶體罐裝繼電器	4	21.28	85.12
接觸式繼電器	14	1.01	14.14
捺跳開關	24	0.57	13.66
旋轉開關	5	1.75	8.75
功率及濾波器變壓器	31	0.0625	1.94
合計			3926.57

3.5 應力分析法

當系統與裝備研發工作進入細部設計階段之後，大部份的設計均已完成，而且可以獲得包括零件應力的詳細零件清單，則可以使用應力分析法預估裝備的可靠度。此一預估方法同時也可以在設計後期的細部設計階段，作為可靠度擇優時考量零件選用及零件應力等因素的資料來源。由於在這時候有關零件、零件使用的應力及環境已經有詳細的資料可詢，所預估出來的數據一般較為精確。

應力分析法為 MIL-HDBK-217 最新版本 F 版的主要預估方法，以零件失效率資料為預估工作的基本項目，將電子裝備中常用的所有標準零件按其功能予以分類，

例如：電阻器、電容器、變壓器等；而零件樣式則是在同一型式零件中再做細分類，例如：固定組合電阻器、固定繞線電阻器。在此一手冊的正文中提供了應用於電子裝備各種零件的失效率數學模型與相關資料，包括微電路、分立式半導體、電子管、雷射元件、電阻器、電容器、電感元件、迴轉元件、繼電器、開關、連接器、介面連接裝配組合(如印刷電路板與分立式佈線)、接點、石英晶體、燈泡、電子濾波器、保險絲及雜項零件(如振動器、霓虹燈泡、光纖線纜、單纖光學連接器、同軸與導波微波元件、微波鐵質裝置及啞負載等)。

217F 中所列的失效率為裝備在正常操作使用條件下的結果，亦即裝備是處於開電源的狀態，並且在規定的環境條件下執行其規定的功能。操作使用條件超過表列值的任何情況，例如高溫或零下溫度、電應力值大於 1.0，利用外插的方式決定失效率模型

或模型修正係數，然後計算零件失效率都是不正確的，只能以適用的公式，電應力在 0 與 1 之間內插求得基本失效率。

決定電路板層次(或系統層次)失效率的一般程序為將每一個零件計算得的失效率累加在一起，其和再相加上 217F 第 16 節的介面連接裝配組合失效率，即可得到線路板(包括將零件焊接在其上的效應)的失效率。

對於焊接在一起的零件或線帶(例如兩個零件之間的跳線)，則應該使用 217F 第 17 節的接點失效率資料。最後，將電路板連接在一起的效應則再加上每一個連接器的失效率(參考 217F 第 15 節連接器)。連接器之間的失效率一般假設為零。對於不同服勤使用輪廓的應用場合、工作循環及複聯設計，則應該使用 MIL-STD-756，可靠度模型建立與預估，所說明的程序，以便決定有效的系統層次失效率。

零件應力分析所需的資料一般包括：

- (1). 基本失效率， λ_b ；
- (2). 溫度、電性應力及其他應力因子， π_T 、 π_V 、 π_C ；
- (3). 零件使用之環境因子， π_E ；
- (4). 零件品質因子， π_Q ；
- (5). 零件失效率模型， λ_p ，因零件種類、材質而異。

4 零件失效率模型

電子零件之失效率模型大多以基本失效率為基礎，再乘上各種修正因子。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_{fj} \quad (12)$$

式中： λ_p = 零件失效率；

λ_b = 零件基本失效率；

π_{fj} = 各種修正因子。

除了微電路的零件失效率模型與其他電子零件的模型有很顯著的差異，詳細參考 217F 第 5.0 節，其餘大部份零件的失效率模型則大同小異，以分立式半導體中的低頻雙極電晶體(217F 第 6.3 節)為例說明如下：

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_S \pi_R \pi_A \pi_T \pi_E \pi_Q \quad (13)$$

式中： λ_p = 零件失效率；

- λ_b = 基本失效率，通常為考慮零件電氣與溫度應力影響關係的數學模型，在217F中則仍然大多以表列方式說明；
- π_S = 電壓應力因子；
- π_R = 功率額定因子；
- π_A = 應用因子；
- π_T = 溫度因子；
- π_E = 環境因子；
- π_Q = 品質因子。

幾乎所有的零件失效率模型都有 π_E 和 π_Q 兩項修正因子，至於其他的修正因子則依各種零件的可靠度特性而有差別，一般只存在於某些特定的模型。

4.1 基本失效率

一般而言，電子零件之基本失效率與電氣應力和溫度應力有關，217F 所提供的本失效率(λ_b)包括數學模型與表列資料兩種方式，以便利計算機程式計算或人工查表計算。

表列的 λ_b 數據則根據溫度與電氣應力的額定值而加以截略，因此，當在超過截略值的情形下使用零件將造成零件負荷過度的現象。以 MIL-S-19500 第 I 組傳統半導體為例，其表列式基本失效率如表 9 所示。

數學模型法主要是在現代電腦資訊設備發達，可以將 λ_b 寫成計算機程式直接計算。當使用數學模型，則必須考慮零件的額定限制，當負荷應力超過零件額定值時， λ_b 數學式在數學上仍然是連續的，但是所計算得的失效率則已經不正確了，因為使用應力已經屬於負荷過度的範圍。以矽質電晶體為例，其基本失效率的數學模型公式為：

$$\lambda_b = A \exp \left[\left(\frac{N_T}{273 + T + (\Delta T)S} \right) + \left(\frac{273 + S + (\Delta T)S}{T_M} \right)^P \right]$$

其中：A = 失效率形狀因子；

e = 自然對數底，2.718；

N_T = 尺度參數；

T_M = 尺度參數；

P = 形狀參數；

T = 操作溫度， T_M ，為週圍溫度或外殼溫度，依使用情形而定；

ΔT = 無接面電流或功率(全額)典型最大允許溫度與全額接面電流或功率典型最大允許溫度之差值；

S = 操作電應力與額定電應力之應力比。

上述參數均可由 MIL-HDBK-217F 所提供表格查得，以矽質 NPN 電晶體為例， $A = 0.0189$ 、 $N_T = -1052$ 、 $T_M = 448$ 、 $P = 10.5$ 、 $\Delta T = 150$ ；而矽質 PNP 電晶體則為， $A = 0.0648$ 、 $N_T = -1324$ 、 $T_M = 448$ 、 $P = 14.2$ 、 $\Delta T = 150$ 。

表 9: MIL-S-19500 第 I 組 NPN 矽質傳統半導體之基本失效率 λ_b (fr/10⁶hr)
(MIL-HDBK-217E)

溫度	功率應力									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.00049	0.00060	0.00071	0.00084	0.00099	0.00120	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270
10	0.00056	0.00067	0.00079	0.00093	0.00110	0.00130	0.00160	0.00190	0.00250	0.00340
20	0.00063	0.00075	0.00089	0.00100	0.00120	0.00150	0.00180	0.00230	0.00300	0.00430
30	0.00071	0.00084	0.00099	0.00120	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270	0.00380	
40	0.00079	0.00093	0.00110	0.00130	0.00160	0.00190	0.00250	0.00340	0.00490	
50	0.00089	0.00100	0.00120	0.00150	0.00180	0.00230	0.00300	0.00430		
60	0.00099	0.00120	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270	0.00380			
70	0.00110	0.00130	0.00160	0.00190	0.00250	0.00340	0.00490			
80	0.00120	0.00150	0.00180	0.00230	0.00300	0.00430				
90	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270	0.00380					
100	0.00160	0.00190	0.00250	0.00340	0.00490					
110	0.00180	0.00230	0.00300	0.00430						
120	0.00210	0.00270	0.00380							
130	0.00250	0.00340	0.00490							
140	0.00300	0.00430								
150	0.00380									
160	0.00490									

表 9b MIL-S-19500 第 I 組 PNP 矽質傳統半導體之基本失效率 λ_b (fr/10⁶hr)
(MIL-HDBK-217E)

溫度	功率應力									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.00065	0.00082	0.00100	0.00120	0.00150	0.00180	0.00210	0.00260	0.00330	0.00440
10	0.00076	0.00095	0.00120	0.00140	0.00170	0.00200	0.00240	0.00300	0.00400	0.00560
20	0.00088	0.00110	0.00130	0.00160	0.00190	0.00230	0.00280	0.00360	0.00500	0.00770
30	0.00100	0.00120	0.00150	0.00180	0.00210	0.00260	0.00330	0.00440	0.00650	
40	0.00120	0.00140	0.00170	0.00200	0.00240	0.00300	0.00400	0.00560	0.00920	
50	0.00130	0.00160	0.00190	0.00230	0.00280	0.00360	0.00500	0.00770		
60	0.00150	0.00180	0.00210	0.00260	0.00330	0.00440	0.00650			
70	0.00170	0.00200	0.00240	0.00300	0.00400	0.00560	0.00920			
80	0.00190	0.00230	0.00280	0.00360	0.00500	0.00770				

90	0.00210	0.00260	0.00330	0.00440	0.00650
100	0.00240	0.00300	0.00400	0.00560	0.00920
110	0.00280	0.00360	0.00500	0.00770	
120	0.00330	0.00440	0.00650		
130	0.00400	0.00560	0.00920		
140	0.00500	0.00770			
150	0.00650				
160	0.00920				

表 9c MIL-S-19500 第 I 組 PNP 鍺質傳統半導體之基本失效率 λ_b (fr/10⁶hr)

(MIL-HDBK-217E)

溫度	功率應力									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.0031	0.0038	0.0047	0.0056	0.0067	0.0080	0.0096	0.0110	0.0140	0.0170
10	0.0041	0.0050	0.0060	0.0071	0.0085	0.0100	0.0120	0.0105	0.0190	0.0250
20	0.0053	0.0063	0.0075	0.0090	0.0110	0.0130	0.0160	0.0210	0.0280	0.0410
30	0.0067	0.0080	0.0096	0.0110	0.0140	0.0170	0.0230	0.0310	0.0480	
40	0.0085	0.0100	0.0120	0.0150	0.0190	0.0250	0.0360	0.0570		
50	0.0110	0.0130	0.0160	0.0210	0.0280	0.0410				
60	0.0140	0.0170	0.0230	0.0310	0.0480					
70	0.0190	0.0250	0.0360	0.0570						
80	0.0280	0.0410								
90	0.0480									

表 9d MIL-S-19500 第 I 組 NPN 鍺質傳統半導體之基本失效率 λ_b (fr/10⁶hr)

(MIL-HDBK-217E)

溫度	功率應力									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.0077	0.0095	0.0120	0.0140	0.0170	0.0200	0.0250	0.0300	0.0370	0.0460
10	0.0100	0.0120	0.0150	0.0180	0.0220	0.0260	0.0320	0.0400	0.0510	0.0670
20	0.0130	0.0160	0.0190	0.0230	0.0280	0.0340	0.0430	0.0550	0.0750	0.1100
30	0.0170	0.0200	0.0250	0.0300	0.0370	0.0460	0.0610	0.0840	0.1300	
40	0.0220	0.0260	0.0320	0.0400	0.0510	0.0670	0.0950	0.1500		
50	0.0280	0.0340	0.0430	0.0550	0.0750	0.1100				
60	0.0370	0.0460	0.0610	0.0840	0.1300					
70	0.0510	0.0670	0.0950	0.1500						
80	0.0750	0.1100								
90	0.1300									

4.2 修正因子

零件失效率模型中的修正因子主要在於調整零件在實際使用時與標準狀況下所得到的基本失效率之間的差異，大致可分為功能性、結構性與製造性三大類。功能性修正因子主要是從零件使用功能觀點的考量因子，諸如功率因子、電壓因子、電流因子等；結構性修正因子包括零件載具本身的結構與載台介面結構兩方面，載具本身的結構性因子諸如形態因子，載台條件修正因子包括溫度因子、環境(除溫度外)因子；製造性修正因子包括品質因子、學習因子等。

4.2.1 電氣應力因子

有許多工作應力因子決定電子零件之失效行為，因而會影響裝備中之可靠度，在應用時通常採用適切的減額定(derating)政策，以維持高可靠度；以電子裝備而言，常用的工作應力包括電壓、功率、電流等。在零件失效率模型中，考慮應力效應的因子，例如微電路之電壓應力減額因子 π_V 、半導體中的額定因子 π_R 、電壓應力因子 π_{S2} ；電阻器的電壓因子 π_V 。

對 CMOS 微電路零件而言， $V_{DD} < 12V$ 之 $\pi_V = 1.0$ ； $12V \leq V_{DD} \leq 20V$ 之 π_V 則按下列公式計算：

$$\pi_V = 0.110 \exp \left[\frac{0.168 V_S (T_J + 273)}{298} \right]$$

其中 e 為自然對數底， $e = 2.718$ 。 V_S 為實際應用時之操作供應電壓。 T_J 為零件在最惡劣狀況下之接面溫度()。

4.2.2 溫度因子

以 Monolithic 微電路元件為例，溫度因子的通用公式為：

$$\pi_T = 0.1 \exp \left[-A \left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{298} \right) \right]$$

其中 A 為參數，隨零件型式不同而異，例如永久密封包裝之 ASTTL、CML、TTL、HTTL、FTTL、DTL、ECL、ALSTIL 等微電路零件， $A = 4635$ ；而非密封包裝之微電路零件， $A = 5214$ 。其中 e 為自然對數底， $e = 2.718$ 。 T_J 為元件最劣狀況下之接面溫度，此一溫度應該經過實際量測得到，或利用下式估算得到：

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P$$

其中 T_C 為外殼溫度(case temperature)，若無法決定外殼溫度時，可依照各種使用環境條件分類參考 MIL-HDBK-217 建議之溫度值。 θ_{JC} 為零件焊接在印刷電路版之後由元件接面至外殼之熱阻(/watt)，與零件的包裝方式有密切的關係。若在計算時無法獲得真正的 θ_{JC} 時，則可使用最接近的類似零件規範所提供的數值或參考 MIL-HDBK-217 提供之數值。 P 為零件應用於系統時在最惡劣狀況下實測得之消耗功率；若無法獲得 P 值，則使用該零件規範或最類似零件規範所規定之最大消耗功率值。

4.2.3 品質因子

零件的品質對零件失效率有直接的影響，在失效率模型中以一個係數來修正，一般稱之為品質因子，以 π_Q 表示之。許多符合軍規的零件規定有數個品質水準，因此，每一種零件的失效率模型中的 π_Q 配合每一品質等級自然也有其相對的數值。各種軍規

電子零件的品質等級代號如表 10 所示，除了微電路以外，這些品質等級的詳細需求都規定在適用的零件規範中，微電路品質等級則是按照該零件所接受的 MIL-STD-883 篩選(或等量)編號而訂定。

表 10: 各種電子零件之品質等級代號

零件名稱	品質等級代號
微電路	S, B, B-1, 其他, 按篩選水準判定品質等級
分立式半導體	JANTXV, JANTX, JAN, 較低等級, 塑膠封裝
已建可靠度(ER)電容器	D, C, S, R, B, P, M, L
已建可靠度(ER)電阻器	S, R, P, M
已建可靠度(ER)模製無線電線圈	S, R, P, M
已建可靠度(ER)繼電器	R, P, M, L

有一些由較老舊規範所規定的零件，稱之為非已建可靠度零件(Non-ER)，並沒有多品質水準的情形，這些零件的失效率模型一般有兩個品質水準，分別以「軍規等級(MIL-SPEC)」與「較低等級(Lower)」兩種代號表示之，假如所採購的零件完全依照適用規範的規定，預估失效率模型中的 π_Q 則使用軍規等級的數值，假如任何一項需求有被擱置，或者所採購的零件為商用等級，則 π_Q 應該使用低級等級的數值。分立式半導體典型的 π_Q 值如表 11a 及表 11b 所示。

前面所討論的是採購時的零件品質，不良的裝備設計、生產與測試設備均有可能會降低零件的品質水準，使用高品質水準的零件必須要有完整的裝備設計與品質管制程序來與高品質水準零件搭配，假如裝備生產程序會損傷零件或導入一些潛在的疵病，則一味的採購高品質水準零件就完全沒有意義了。混合使用不同的零件品質會影響整個裝備計畫有關可靠度管理與品質管制作業的運作，一個採用先進技術與要求高可靠度需求的系統研發計畫自然需要高品質的零件，當然研發計畫也必須注意整體的規劃考量，因為零件品質並非唯一要素。

4.2.4 使用環境因子

除溫度以外的使用環境條件同樣會影響裝備的可靠度，所有電子零件可靠度模型都是透過環境因子 π_E 的運用來涵蓋除了離子輻射以外的環境應力效應，這些環境項目以裝備的主要應用範圍加以分類，目前在應用上大多參考 MIL-HDBK-217 之定義。大致上是以軍用裝備的用途，分為陸用、海用、空用、太空用、飛彈用及加農砲用等類別，每一類再根據其特性加以細分。

1986 年版之 217E 將環境因子區分為 27 類，分別為陸用溫和(G_B)、陸用飛彈地窖(G_{MS})、陸用固定(G_F)、陸用運動(G_M)、人員背負(M_P)、海用有遮(N_S)、海用無遮(N_U)、海用海下無遮(N_{UU})、海用潛艇(N_{SB})、海用水翼船(N_H)、空用貨機有人區(A_{IC})、空用訓練機有人區(A_{IT})、空用轟炸機有人區(A_{IB})、空用攻擊機有人區(A_{IA})、空用戰鬥機有人區(A_{IF})、空用貨機無人區(A_{UC})、空用訓練機無人區(A_{UT})、空用轟炸機無人區(A_{UB})、空用攻擊機無人區(A_{UA})、空用戰鬥機無人區(A_{UF})、空用迴旋翼(A_{RW})、太空飛行(S_F)、飛彈發射(M_L)、加農砲發射(C_L)、海下發射(U_{SL})、飛彈自由飛行(M_F)及吸氣式飛彈飛行(M_{FA})，如表 12 所示。

1992 年的 217F 版則將之簡化分為 14 類，分別為陸面溫和(G_B)、陸面固定(G_F)、陸面運動(G_M)、海用有遮(N_S)、海用無遮(N_U)、空用貨機有人區(A_{IC})、空用戰鬥機有人區(A_{IF})、空用貨機無人區(A_{UC})、空用戰鬥機無人區(A_{UF})、空用迴旋翼(A_{RW})、太空飛行(S_F)、飛彈飛行(M_F)、飛彈發射(M_L)及加農砲發射(C_L)。

MIL-HDBK-217 對於每一項電子零件失效率模型所使用的環境因子 π_E 均規定有定量的數值，如表 13 所示。在實際正常應用時，有的裝備在其生命週期中可能遭遇到一種以上的環境分類，這種情形應該分階段進行可靠度分析，例如太空船裝備，在發射推進階段及由軌道重返地球階段採用飛彈發射環境(M_L)，而在太空軌道中航行階段則用太空飛行環境(S_F)。

表 11a MIL-HDBK-217E 分立式半導體之品質因子， π_Q (應力分析法)

分立式半導體		品質因子 Q				
零件名稱	217E 章節	JANTXV	JANTX	JAN	較低等級	塑膠封裝
I 傳統電晶體	5.1.3.1	0.12	0.24	1.2	6.0	12.0
II FET, 矽質	5.1.3.2	0.12	0.24	1.2	6.0	12.0
III 單一介面	5.1.3.3	0.5	1.0	5.0	25.0	50.0
IV 一般用二極體	5.1.3.4	0.15	0.3	1.5	7.5	15.0
V Zener & Avalanche	5.1.3.5	0.3	0.6	3.0	15.0	30.0
VI Thyristor, 矽控整流器	5.1.3.6	0.5	1.0	5.0	25.0	50.0
VII 微波二極體	5.1.3.7	1.0	2.0	3.5	5.0	-
VIII Varactor, Step Recovery, Tunnel	5.1.3.8	0.5	1.0	5.0	25.0	-
IX 微波電晶體	5.1.3.9	1.0	2.0	4.0	10.0	-
X 光電半導體	5.1.3.10	0.01	0.02	0.1	0.5	1.0

表 11b MIL-HDBK-217F 分立式半導體之品質因子， π_Q (應力分析法)

分立式半導體		品質因子 Q				
零件名稱	217F 章節	JANTXV	JANTX	JAN	較低等級	塑膠封裝
	6.1	0.7	1.0	2.4	5.5	8.0
	6.2	0.5	1.0	1.8	2.5	-
	6.3	0.7	1.0	2.4	5.5	8.0
Si FET	6.4	0.7	1.0	2.4	5.5	8.0
Unijunction	6.5	0.7	1.0	2.4	5.5	8.0
	6.6	0.5	1.0	2.0	5.0	-
	6.7	0.5	1.0	2.0	5.0	-
	6.8	0.5	1.0	2.0	5.0	-
	6.9	0.5	1.0	2.0	5.0	-
	6.10	0.7	1.0	2.4	5.5	8.0
	6.11	0.7	1.0	2.4	5.5	8.0
	6.12	0.7	1.0	2.4	5.5	8.0

表 12: 環境因子 (π_E) 符號與說明(MIL-HDBK-217E)

環境	E 符號	說明
陸用, 溫和	G_B	不運動, 隨時備便可接近進行維護工作的實驗室環境; 包括實驗室用儀器與測試裝備、醫療用電子裝備、商用與科學用電腦設備等。
陸用, 飛彈地窖	G_{MS}	在地窖中之飛彈與支援裝備。
陸用, 固定	G_F	安裝於比永久式固定架、有足夠冷卻空氣等理想狀況稍差之條件中, 以及可能安裝於無加熱系統之建築物內; 包括永久式安裝之航空管制、雷達及通信設備。
陸用, 運動	G_M	安裝於輪型或履帶車輛上; 包括戰術飛彈支援裝備、機動式通信裝備、戰術發射指揮系統。
太空, 飛行	S_F	地球軌道飛行, 接近溫和陸用環境。不是在動力飛行或重返大氣層等階段之飛行載具; 包括人造衛星及太空梭。
人員背負	M_P	在操作時有人員搬運之攜帶式電子裝備; 包括攜帶式野外通信設備、雷射定位器及測距器。
海用, 有遮	N_S	有氣候保護之有遮或甲板下條件; 包括海面船用通信、電腦及聲納裝備。
海用, 無遮	N_U	無保護直接暴露於氣候條件之海面船用裝備, 包括安裝於桅桿上之裝備及飛彈、砲彈發射控制裝備。
海用, 海下無遮	N_{III}	浸泡於海水中之裝備; 包括聲納感測器及特殊反潛戰裝備。
海用, 潛艇	N_{SB}	安裝於潛艇中之裝備; 包括航行及發射控制系統。
海用, 水翼船	N_H	安裝於水翼船艙內之裝備。
空用, 貨機有人區	A_{IC}	有機員活動, 無氣壓、溫度、衝擊及振動環境極值之貨機機艙典型條件, 安裝於長途任務運輸機上。
空用, 訓練機有人區	A_{IT}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能訓練機上。
空用, 轟炸機有人區	A_{IB}	有機員活動, 無氣壓、溫度、衝擊及振動環境極值之轟炸機機艙典型條件, 安裝於長途任務轟炸機上。
空用, 攻擊機有人區	A_{IA}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能地面支援飛機上。
空用, 戰鬥機有人區	A_{IF}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能戰鬥機及攔截機上。
空用, 貨機無人區	A_{UC}	炸彈艙、裝備艙、尾艙, 或是會遭遇氣壓、振動與溫度循環, 並且受到機油、液壓油及引擎排氣等污染而變劇之機艙; 安裝於長途任務運輸機上。
空用, 訓練機無人區	A_{IUT}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能訓練機上。
空用, 轟炸機無人區	A_{UB}	炸彈艙、裝備艙、尾艙, 或是會遭遇氣壓、振動與溫度循環, 並且受到機油、液壓油及引擎排氣等污染而變劇之機艙; 安裝於長途任務轟炸機上。
空用, 攻擊機無人區	A_{IUA}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能地面支援飛機上。
空用, 戰鬥機無人區	A_{IUF}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能戰鬥機及攔截機上。
空用, 螺旋翼	A_{RW}	安裝於直昇機上裝備; 包括雷射定位器和發射控制系統。
飛彈, 發射	M_L	與飛彈發射(空中及陸面)有關之嚴厲條件, 太空載具發射加力 A_{UC} 至軌道位置上、載具重返大氣層及降落傘降落著陸。此條件亦可應用於火箭推進動力飛行。
加農砲, 發射	C_L	與155mm加農砲及5吋導彈砲發射有關之嚴厲條件, 此條件適用於從發射到碰撞目標。
海下, 發射	U_{SF}	與海下魚雷任務及發彈發射有關之嚴厲條件。
飛彈, 自由飛行	M_{FF}	無動力自由飛行之飛彈。
吸氣式飛彈, 飛行	M_{FA}	與吸氣式飛彈動力飛行有關之條件; 包括巡弋飛彈。

13a: 各種電子零件之應用環境因子 π_E (MIL-HDBK-217E)

零件類型	環境因子 π_E									
	G_B	G_{MS}	G_F	G_M	M_P	N_{SB}	N_S	N_U	N_H	N_{UU}
Monolithic	0.38	0.65	2.5	4.2	3.8	4.0	4.0	5.7	5.9	6.3
Hybrid	0.20	0.27	0.78	2.2	2.0	1.0	1.7	3.2	3.1	3.4
SAW	1.0	1.4	3.9	11.0	10.0	5.0	8.5	16.0	16.0	17.0
Transistor	1.0	1.6	5.8	18.0	12.0	9.8	9.8	21.0	19.0	20.0
FET	1.0	1.4	4.0	18.0	12.0	6.0	8.6	21.0	19.0	20.0
Unijunction	1.0	1.4	4.0	18.0	12.0	9.3	9.3	21.0	19.0	20.0
Diodes	1.0	1.4	3.9	18.0	12.0	4.8	4.8	21.0	19.0	20.0
Zener & Avalanche Diode	1.0	1.4	3.9	18.0	12.0	5.8	8.7	21.0	19.0	20.0
Thyristor	1.0	1.4	3.9	18.0	12.0	5.8	8.7	21.0	19.0	20.0
Microwave Diode	1.0	1.7	6.4	31.0	35.0	8.0	11.0	33.0	54.0	58.0
Varactor, Step Recovery, Tunnel	1.0	1.4	3.9	18.0	12.0	5.8	8.7	21.0	19.0	20.0
Microwave Transistor	1.0	1.1	2.0	7.8	7.4	3.6	4.7	11.0	11.0	12.0
Opto-electronic	1.0	1.2	2.4	7.8	7.7	3.7	5.7	11.0	12.0	13.0
Semiconductor Laser	1.0	1.2	2.4	7.8	7.7	3.7	5.7	11.0	12.0	13.0
Tubes	0.5	0.6	1.0	9.0	18.0	7.6	7.6	13.0	28.0	30.0
TWT	1.0	1.3	3.0	10.0	18.0	6.3	6.3	6.0	28.0	30.0
Lasers	0.2	0.3	1.0	5.0	2.3	1.1	5.0	5.0	3.6	3.9
Composition Resistors	1.0	1.2	2.9	8.3	8.5	4.0	5.2	12.0	13.0	14.0
Film Resistors	1.0	1.2	2.4	7.8	8.8	4.2	4.7	14.0	14.0	15.0

表 13b 各種電子零件之應用環境因子 π_E (MIL-HDBK-217E)

零件類型	環境因子 π_E										
	A_{RW}	A_{IC}	A_{IT}	A_{IB}	A_{IA}	A_{IF}	A_{UC}	A_{UT}	A_{UB}	A_{UA}	A_{UF}
Monolithic	8.5	2.5	3.0	5.0	4.0	6.0	3.0	4.0	7.5	6.0	9.0
Hybrid	4.5	1.5	1.5	2.5	2.0	3.0	2.5	2.5	4.0	3.0	4.0
SAW	23.0	7.5	7.5	13.0	10.0	15.0	13.0	10.0	20.0	15.0	20.0
Transistor	27.0	9.5	15.0	35.0	20.0	40.0	15.0	25.0	60.0	35.0	65.0
FET	27.0	7.5	9.0	35.0	30.0	40.0	10.0	15.0	55.0	50.0	65.0
Unijunction	27.0	9.5	15.0	35.0	20.0	40.0	15.0	25.0	60.0	35.0	65.0
Diodes	27.0	15.0	20.0	30.0	25.0	35.0	25.0	30.0	50.0	40.0	50.0
Zener & Avalance Diode	27.0	4.5	6.5	45.0	25.0	45.0	7.5	10.0	70.0	40.0	70.0
Thyristor	27.0	9.5	15.0	35.0	20.0	40.0	15.0	25.0	60.0	35.0	65.0
Microwave Diodes	78.0	30.0	40.0	65.0	50.0	70.0	50.0	60.0	105.0	80.0	110.0
Varactor, Step Recovery, Tunnel	27.0	4.5	6.5	45.0	25.0	45.0	7.5	10.0	70.0	40.0	70.0
Microwave Transistor	16.0	2.5	3.5	6.0	3.5	6.0	5.0	7.0	10.0	7.0	10.0
Opto-electronic	17.0	2.5	3.5	5.5	3.5	8.0	3.0	5.5	8.0	5.5	10.0
Semiconductor Laser	17.0	2.5	3.5	5.5	3.5	8.0	3.0	5.5	8.0	5.5	10.0
Tubes	40.0	2.0	5.5	7.5	6.5	10.0	2.5	6.5	9.5	8.0	15.0
TWT	40.0	5.0	9.0	15.0	9.0	20.0	6.0	10.0	18.0	10.0	25.0
Lasers	5.2	3.0	4.0	6.5	5.0	7.0	5.0	6.0	10.0	8.0	10.0
Composition Resistors	19.0	3.0	3.5	5.0	3.5	6.5	5.0	7.0	10.0	7.0	15.0
Film Resistors	19.0	2.5	3.0	6.5	6.0	9.0	7.0	6.5	15.0	15.0	20.0

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

表 13c 各種零件之應用環境因子 π_E (MIL-HDBK-217E)

零件類型	環境因子 π_E					
	S_F	M_{FF}	M_{FA}	U_{SL}	M_L	C_L
Monolithic	0.9	3.9	5.4	11.0	13.0	220
Hybrid	0.32	2.1	2.9	6.1	7.0	120
SAW	1.6	11.0	15.0	31.0	35.0	600
Transistor	0.4	12.0	17.0	36.0	41.0	690
FET	0.6	12.0	17.0	36.0	41.0	690
Unijunction	1.0	12.0	17.0	36.0	41.0	690
Diodes	1.0	12.0	17.0	36.0	41.0	690
Zener & Avalanche Diode	1.0	12.0	17.0	36.0	41.0	690
Thyristor	1.0	12.0	17.0	36.0	41.0	690
Microwave Diode	1.0	36.0	50.0	110.0	120.0	2000
Varactor, Step Recovery, Tunnel	1.0	12.0	17.0	36.0	41.0	690
Microwave Transistor	1.0	7.5	11.0	22.0	25.0	250
Opto-electronic	1.0	7.8	11.0	23.0	26.0	450
Semiconductor Laser	1.0	7.8	11.0	23.0	26.0	450
Tubes	0.5	18.0	25.0	53.0	61.0	1000
TWT	0.2	18.0	25.0	53.0	80.0	1000
Lasers	0.2	2.4	3.3	7.0	8.0	-
Composition Resistors	1.0	8.6	13.0	25.0	29.0	490
Film Resistors	0.4	8.9	12.0	26.0	30.0	510

表 14a: 應力分析法可靠度預估環境因子, π_E , (MIL-HDBK-217F)

零件分類與名稱	G_B	G_F	G_M	N_S	N_U	A_{IC}	A_{IF}	A_{UC}	A_{UF}	A_{RW}	S_F	M_F	M_L	C_L
5 微電路	0.5	2.0	4.0	4.0	6.0	4.0	5.0	5.0	8.0	8.0	0.5	5.0	12.0	220.0
6 分立式半導體														
6.1	1.0	6.0	9.0	9.0	19.0	13.0	29.0	20.0	43.0	24.0	0.5	14.0	32.0	320.0
6.2	1.0	2.0	5.0	4.0	11.0	4.0	5.0	7.0	12.0	16.0	0.5	9.0	24.0	250.0
6.3	1.0	6.0	9.0	9.0	19.0	13.0	29.0	20.0	43.0	24.0	0.5	14.0	32.0	320.0
6.4	1.0	6.0	9.0	9.0	19.0	13.0	29.0	20.0	43.0	24.0	0.5	14.0	32.0	320.0
6.5	1.0	6.0	9.0	9.0	19.0	13.0	29.0	20.0	43.0	24.0	0.5	14.0	32.0	320.0
6.6	1.0	2.0	5.0	4.0	11.0	4.0	5.0	7.0	12.0	16.0	0.5	9.0	24.0	250.0
6.7	1.0	2.0	5.0	4.0	11.0	4.0	5.0	7.0	12.0	16.0	0.5	9.0	24.0	250.0
6.8	1.0	2.0	5.0	4.0	11.0	4.0	5.0	7.0	12.0	16.0	0.5	9.0	24.0	250.0
6.9	1.0	2.0	5.0	4.0	11.0	4.0	5.0	7.0	12.0	16.0	0.5	9.0	24.0	250.0
6.10	1.0	6.0	9.0	9.0	19.0	13.0	29.0	20.0	43.0	24.0	0.5	14.0	32.0	320.0
6.11	1.0	2.0	8.0	5.0	12.0	4.0	6.0	6.0	8.0	17.0	0.5	9.0	24.0	450.0
6.12	1.0	2.0	8.0	5.0	12.0	4.0	6.0	6.0	8.0	17.0	0.5	9.0	24.0	450.0
6.13	1.0	2.0	8.0	5.0	12.0	4.0	6.0	6.0	8.0	17.0	0.5	9.0	24.0	450.0
7 電子管														
7.1 一般電子管	0.5	1.0	14.0	8.0	24.0	5.0	8.0	6.0	12.0	40.0	0.2	22.0	57.0	1000.0
7.2 TWT	1.0	3.0	14.0	6.0	21.0	10.0	14.0	11.0	18.0	40.0	0.1	22.0	66.0	1000.0
7.3 磁控管	1.0	2.0	4.0	15.0	47.0	10.0	16.0	12.0	23.0	80.0	0.5	43.0	133.0	2000.0
8 雷射元件	0.3	1.0	4.0	3.0	4.0	4.0	6.0	7.0	9.0	5.0	0.1	3.0	8.0	NA
9 電阻器														
9.1 RCR RC	1.0	3.0	8.0	5.0	13.0	4.0	5.0	7.0	11.0	19.0	0.5	11.0	27.0	490.0
9.2 RLR RL RN	1.0	2.0	8.0	4.0	14.0	4.0	8.0	10.0	18.0	19.0	0.2	10.0	28.0	510.0

9.3 RD	1.0	2.0	10.0	5.0	17.0	6.0	8.0	14.0	18.0	25.0	0.5	14.0	36.0	660.0
9.4 RZ	1.0	2.0	8.0	4.0	14.0	4.0	8.0	9.0	18.0	19.0	0.5	14.0	28.0	510.0
9.5 RBR RB	1.0	2.0	11.0	5.0	18.0	15.0	18.0	28.0	35.0	27.0	0.8	14.0	38.0	610.0
9.6 RWR RW	1.0	2.0	10.0	5.0	16.0	4.0	8.0	9.0	18.0	23.0	0.3	13.0	34.0	610.0
9.7 RER RE	1.0	2.0	10.0	5.0	16.0	4.0	8.0	9.0	18.0	23.0	0.5	13.0	34.0	610.0
9.8 RTH	1.0	5.0	21.0	11.0	24.0	11.0	30.0	16.0	42.0	37.0	0.5	20.0	53.0	950.0
9.9 RTR RT	1.0	2.0	12.0	6.0	20.0	5.0	8.0	9.0	15.0	33.0	0.5	18.0	48.0	870.0
9.10 RR	1.0	2.0	18.0	8.0	30.0	8.0	12.0	13.0	18.0	53.0	0.5	29.0	76.0	1400.0
9.11 RK	1.0	2.0	16.0	7.0	28.0	8.0	12.0	NA	NA	38.0	0.5	NA	NA	NA
9.12 RP	1.0	3.0	16.0	7.0	28.0	8.0	12.0	NA	NA	38.0	0.5	NA	NA	NA
9.13 RJR RJ	1.0	3.0	14.0	6.0	24.0	5.0	7.0	12.0	18.0	39.0	0.5	22.0	57.0	1000.0
9.14 RV	1.0	2.0	19.0	8.0	29.0	40.0	65.0	48.0	78.0	46.0	0.5	25.0	66.0	1200.0
9.15 RQ RVC	1.0	3.0	14.0	7.0	24.0	6.0	12.0	20.0	30.0	39.0	0.5	22.0	57.0	1000.0

表 14b: 應力分析法可靠度預估環境因子, π_E , (MIL-HDBK-217F)

零件分類與名稱	G_B	G_F	G_M	N_S	N_U	A_{IC}	A_{IF}	A_{UC}	A_{UF}	A_{RW}	S_F	M_F	M_L	C_L
10 電容器														
10.1 CP CA	1.0	2.0	9.0	5.0	15.0	6.0	8.0	17.0	32.0	22.0	0.5	12.0	32.0	570.0
10.2 CZR CZ	1.0	2.0	9.0	7.0	15.0	6.0	8.0	17.0	28.0	22.0	0.5	12.0	32.0	570.0
10.3 CPV CQR	1.0	2.0	8.0	5.0	14.0	4.0	6.0	11.0	20.0	20.0	0.5	11.0	29.0	530.0
10.4 CH CHR	1.0	2.0	8.0	5.0	14.0	4.0	6.0	11.0	20.0	20.0	0.5	11.0	29.0	530.0
10.5 CFR	1.0	2.0	10.0	5.0	16.0	6.0	11.0	18.0	30.0	23.0	0.5	13.0	34.0	610.0
10.6 CRH	1.0	4.0	8.0	5.0	14.0	4.0	6.0	13.0	20.0	20.0	0.5	11.0	29.0	530.0
10.7 CMR CM	1.0	2.0	10.0	6.0	16.0	5.0	7.0	22.0	28.0	23.0	0.5	13.0	34.0	610.0
10.8 CB	1.0	2.0	10.0	5.0	16.0	5.0	7.0	22.0	28.0	23.0	0.5	13.0	34.0	610.0
10.9 CY CYR	1.0	2.0	10.0	6.0	16.0	5.0	7.0	22.0	28.0	23.0	0.5	13.0	34.0	610.0
10.10 CK CKR	1.0	2.0	9.0	5.0	15.0	4.0	4.0	8.0	12.0	20.0	0.4	13.0	34.0	610.0
10.11 CC CD	1.0	2.0	10.0	5.0	17.0	4.0	8.0	16.0	35.0	24.0	0.5	13.0	34.0	610.0
10.12 CSR	1.0	2.0	8.0	5.0	14.0	4.0	5.0	12.0	20.0	24.0	0.4	11.0	29.0	530.0
10.13 CL CLR	1.0	2.0	10.0	6.0	16.0	4.0	8.0	14.0	30.0	23.0	0.5	13.0	34.0	610.0
10.14 CL CLR	1.0	2.0	12.0	6.0	17.0	10.0	12.0	28.0	35.0	27.0	0.5	14.0	38.0	690.0
10.15 CE	1.0	2.0	12.0	6.0	17.0	10.0	12.0	28.0	35.0	27.0	0.5	14.0	38.0	690.0
10.16 CV	1.0	3.0	13.0	8.0	24.0	6.0	10.0	37.0	70.0	36.0	0.4	20.0	52.0	950.0
10.17 PC	1.0	3.0	12.0	7.0	18.0	3.0	4.0	20.0	30.0	32.0	0.5	18.0	46.0	830.0
10.18 CT	1.0	3.0	13.0	8.0	24.0	6.0	10.0	37.0	70.0	36.0	0.5	20.0	52.0	950.0
10.19 CG	1.0	3.0	14.0	8.0	27.0	10.0	18.0	70.0	108.0	40.0	0.5	NA	NA	NA
11 電感元件														
11.1 TF TP	1.0	6.0	12.0	5.0	16.0	6.0	8.0	7.0	9.0	24.0	0.5	13.0	34.0	610.0
11.2 線圈	1.0	4.0	12.0	5.0	16.0	5.0	7.0	6.0	8.0	24.0	0.5	13.0	34.0	610.0
12 迴轉元件														
12.1 同步器等	1.0	2.0	12.0	7.0	18.0	4.0	6.0	16.0	25.0	26.0	0.5	14.0	36.0	680.0
12.2 計時器	1.0	2.0	12.0	7.0	18.0	5.0	8.0	16.0	25.0	26.0	0.5	14.0	38.0	NA
13 際電器														
13.1 機械式, 軍規	1.0	2.0	15.0	8.0	27.0	7.0	9.0	11.0	12.0	46.0	0.5	25.0	66.0	NA
13.2 機械式, 低級	2.0	5.0	44.0	24.0	78.0	15.0	20.0	28.0	38.0	140.0	1.0	72.0	200.0	NA
13.3 固態, 延時	1.0	3.0	12.0	6.0	17.0	12.0	19.0	21.0	32.0	23.0	0.4	12.0	33.0	590.0
14 開關														
14.1	1.0	3.0	18.0	8.0	29.0	10.0	18.0	13.0	22.0	46.0	0.5	25.0	67.0	1200.0

14.2	1.0	3.0	18.0	8.0	29.0	10.0	18.0	13.0	22.0	46.0	0.5	25.0	67.0	1200.0
14.3	1.0	3.0	18.0	8.0	29.0	10.0	18.0	13.0	22.0	46.0	0.5	25.0	67.0	1200.0
14.4	1.0	3.0	18.0	8.0	29.0	10.0	18.0	13.0	22.0	46.0	0.5	25.0	67.0	1200.0
14.5	1.0	3.0	15.0	8.0	27.0	7.0	9.0	11.0	12.0	46.0	0.5	25.0	66.0	NA
15 連接器														
15.1 一般, 軍規	1.0	1.0	8.0	5.0	13.0	3.0	5.0	8.0	12.0	19.0	0.5	10.0	27.0	490.0
15.2 一般, 低級	2.0	5.0	21.0	10.0	27.0	12.0	18.0	17.0	25.0	37.0	0.8	20.0	54.0	970.0
15.3 PCB, 軍規	1.0	3.0	8.0	5.0	13.0	6.0	11.0	6.0	11.0	19.0	0.5	10.0	27.0	490.0
15.4 PCB, 低級	2.0	7.0	17.0	10.0	26.0	14.0	22.0	14.0	22.0	37.0	0.8	20.0	54.0	970.0
15.5 線路插座	1.0	3.0	14.0	6.0	18.0	8.0	12.0	11.0	13.0	25.0	0.5	14.0	36.0	650.0
16 介面連接組裝														
16.1	1.0	2.0	7.0	5.0	13.0	5.0	8.0	16.0	28.0	19.0	0.5	10.0	27.0	500.0
17 接點														
17.1	1.0	2.0	7.0	4.0	11.0	4.0	6.0	6.0	8.0	16.0	0.5	9.0	24.0	420.0
18 儀表板														
18.1	1.0	4.0	25.0	12.0	35.0	28.0	42.0	58.0	73.0	60.0	1.1	60.0	NA	NA
19 石英晶體														
19.1	1.0	3.0	10.0	6.0	16.0	12.0	17.0	22.0	28.0	23.0	0.5	13.0	32.0	500.0
20 燈泡														
20.1	1.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	6.0	5.0	0.7	4.0	6.0	27.0
21 電子濾波器														
21.1	1.0	2.0	6.0	4.0	9.0	7.0	9.0	11.0	13.0	11.0	0.8	7.0	15.0	120.0
22 保險絲														
22.1	1.0	2.0	8.0	5.0	11.0	9.0	12.0	15.0	18.0	16.0	0.9	10.0	21.0	230.0
23 雜項零件														
23.1 鐵質元件	1.0	2.0	8.0	5.0	12.0	5.0	8.0	7.0	11.0	17.0	0.5	9.0	24.0	450.0
23.2 啞負載	1.0	2.0	10.0	5.0	17.0	6.0	8.0	14.0	22.0	25.0	0.5	14.0	36.0	660.0

參考文獻

1. MIL-HDBK-217, Reliability Prediction of Electronic Equipment
2. Bellcore, Reliability Prediction Procedures for Electronic Equipment
3. British Telecom Reliability Handbook
4. NRPD-3, Nonelectronic Parts Reliability Data, RAC, IITRI, 1985.
5. DTRC-90/010, Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment, 1990.
6. RADC-TR-85-194, RADC Nonelectronic Reliability Notebook, 1985.
7. RADC-TR-80-136, Nonoperating Failure Rates for Avionic Study, 1980.