

可靠度技術手冊

可靠度驗證與評估技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十六年十一月三日

目 錄

1	前 言	1
2	可靠度驗證與評估概論	2
2.1	可靠度驗證規格	2
1.2	可靠度驗證方法	4
3	可靠度預估	7
4	可靠度試驗概論	8
4.1	可靠度試驗之目的	9
1.2	可靠度試驗之種類	10
1.2.1	按試驗結果分類	10
1.2.2	按試驗目的分類	11
1.2.3	按試件的組合層次別分類	11
1.2.4	按物品研發程序分類	11
1.3	可靠度試驗技術	11
1.3.1	性能試驗	12
1.3.2	環境應力篩選	12
1.3.3	環境試驗	12
1.3.3.1	環境發展試驗	12
1.1.1.2	設計驗證試驗	13
1.1.1.3	環境接收試驗	13
1.1.1.4	環境鑑定試驗	13
1.1.1.5	環境查證試驗	14
1.1.4	可靠度試驗	14
1.1.1.1	調查試驗	14
1.1.1.1.1	熱調查	14
1.1.1.1.2	振動調查	15
1.1.1.2	可靠度發展 / 成長試驗	15
1.1.1.3	可靠度鑑定試驗	16
1.1.1.4	生產可靠度接收試驗	17
1.4	可靠度試驗文件	17
1.1.1	可靠度試驗需求文件	18
1.1.2	可靠度試驗規範	19
1.5	整體可靠度試驗規劃	20
2	可靠度數據分析與評估	25
2.1	可靠度數據分析	25
2.2	可靠度成長管理與監測	28
2.3	可靠度鑑證與抽樣計畫	29
3	可靠度試驗與評估相關標準與規範	32
3.1	國際電工委員會國際標準	32
3.1.1	IEC 605 系列「裝備可靠度試驗」	33
3.1.2	IEC 68 系列「基本環境試驗程序」	35
3.1.3	IEC 319	37
3.1.4	IEC 410 (1973)	37

3.1.5	IEC 419 (1973)	37
3.2	美軍標準(MIL)	37
3.2.1	MIL-STD-105.....	37
3.2.2	MIL-STD-202.....	38
3.2.3	MIL-STD-690.....	38
3.2.4	MIL-STD-750.....	38
3.2.5	MIL-STD-757.....	39
3.2.6	MIL-STD-781.....	39
3.2.7	MIL-STD-810.....	39
3.2.8	MIL-STD-883.....	40
3.2.9	MIL-STD-1556.....	40
3.2.10	MIL-STD-1635 (EC)	41
3.2.11	MIL-STD-2068 (AS)	41
3.2.12	MIL-STD-2074 (AS)	41
3.3	日本工業標準(JIS).....	41
3.3.1	JIS C 5003-74.....	41
3.3.2	JIS 其他有關可靠度試驗之標準.....	42
	參考資料.....	43

1 前言

在研發設計階段，設計人員盡其最大努力將系統與裝備的可靠度需求轉換成設計需求及參數，然後使用最佳的材料、零件，參照可用的設計指引與準則，將可靠度設計入產品中，在設計發展過程中，當然必須配合各種可靠度量測(reliability measurement)方法，發掘或確認設計品的可靠度是否達到或符合可靠度目標需求。在設計概念形成，首先運用各種可靠度設計技術，確保設計品為可靠的產品，不過這些設計技術只能提供一些定性的資訊，當設計逐漸成熟定型之後，可以透過一些分析技術的應用，預測可靠度特徵值。至於物品實際的數量化可靠度達成度，尤其當設計硬品開始製造完成之後，則須運用各種可靠度試驗技術與方法來獲得。

可靠度數據的獲得過程與任何一種過程一樣，都必須經過規劃、執行、考核及行動的循環程序，一般稱之為可靠度驗證與評估(reliability verification and evaluation)，其目的在於證明研製產品的品質特性是否滿足需求，一般常見的方法有審查、分析、模擬、預估、稽核、檢驗、試驗、實證等。在研發設計時期，可藉各種設計分析、模擬預估、設計審查等方法，事先『預防』失效發生、確保設計品符合需求。當硬品完成後，則採用稽核、檢驗、試驗、實證等手段來評估『驗證』產品的品質與可靠度水準滿足需求。在所有的驗證方法中，特別是當已經有了研發實體時，試驗為最有效的驗證方法。有時後對於一些無法由理論掌握的設計參數，更須藉重試驗來發掘、獲取所需的特性資料。

一般經由各種試驗所量測得的個別數據，經由適切的評估程序計算所需的產品機率分佈參數，根據產品績效函數即可評估任何已知需求條件下的可靠度評估值。推論機率分佈參數常用的方法有推定(estimation)與檢定(test)兩種，前者由個別量測數據組成的樣本數據計算樣本統計量，然後根據抽樣統計理論求得群體參數之推定值；後者則是假設群體參數為已知的某些特定值，然後利用統計假設檢定原理，證明群體參數為那一個假設值。推論產品特性參數所使用的方法的抽樣計畫決定試件樣本數、試驗時間及允收/拒收準則。除了直接由量測數據推論計算產品特性參數外，亦可由過去所建立的資料庫數據預估之；或者由試驗量測數據配合過去的量測數據或工程經驗，利用貝氏理論推論這些特性參數，此為貝氏評估法。另外，累積特性參數隨時間的變化趨勢，可利用迴歸分析或時序分析法，配合適切的成長模型，推測(project)未來時間時的數值。

本章首先對於可靠度驗證與評估作一綜合性與概論性的介紹，包括可靠度驗證規格、可靠度驗證方法，其次簡單說明可靠度預估之應用，以及可靠度試驗定義、可靠度試驗分類、常用的可靠度試驗技術、可靠度試驗文件需求、和整體可靠度試驗規劃，然後介紹可靠度數據分析與評估技術，最後介紹可靠度驗證與評估有關之標準與規範。

2 可靠度驗證與評估概論

無論是哪一種型態的系統與裝備，在研發與生產過程中之可靠度工作依其性質大致可分為規劃與管理、設計與分析、驗證與評估、及文件與資訊等四大類，如圖 1 所示，可靠度工作流程如圖 2 所示。

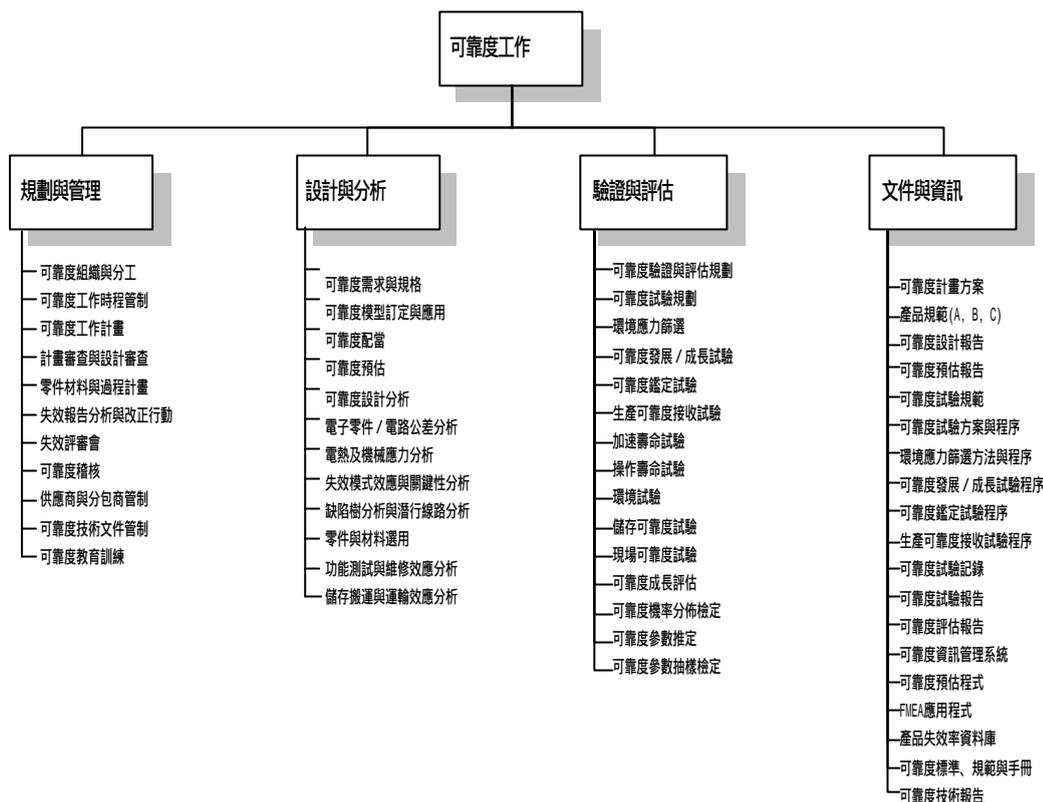


圖 1: 可靠度工作項目

在產品的研發與生產過程中，可靠度的達成與否，需要藉重各種驗證的方法來確認之。本項技術的主要內容包括：常用驗證方法(分析、預估、試驗)的比較，可靠度驗證規劃，可靠度評估模式應用，可靠度預估，可靠度成長管理及試驗，分析與改進(TAAF)技術的應用，可靠度試驗輪廓規劃，可靠度試驗環境規格擬訂，可靠度試驗規劃與執行，失效分析與改正，可靠度評估與報告，可靠度趨勢分析，可靠度鑑證與結果研判準則之訂定與應用等。可靠度驗證與評估工作流程如圖 3 所示。

2.1 可靠度驗證規格

無論是在研發階段或已進入正式生產，產品可靠度規格的驗證是不可或缺的保證項目之一。關於系統與裝備的可靠度規格，若只是規定單一的數字需求(例如可靠度 = 95%或 MTBF = 1000 小時)是不夠完備的，在常見的可信度表示方法中，不論是以成功機率、存活機率、平均失效間隔時間、失效率或可靠度係數等五種指標中那一種來定量的表示物品的可靠度，可靠度需求的規格至少要含有兩種敘述方式：

- (1). 使用者滿意的標稱值(nominal)或設計值，或
- (2). 最小可以接收的數值，低於此一數值使用者認為此一系統完全不能接收，亦即無法在操作環境下使用，通常此一數值是根據實際操作需求而決定。

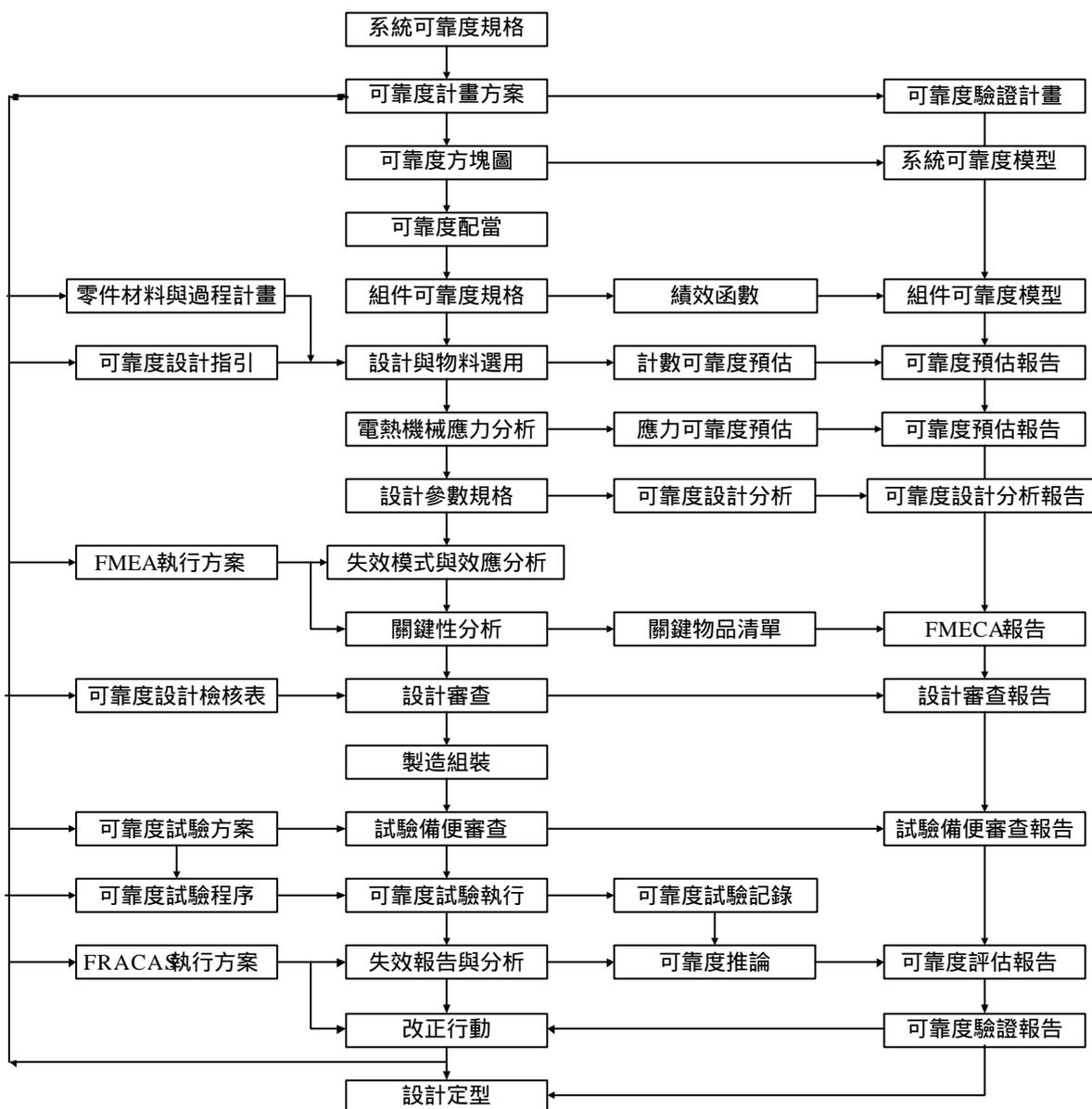


圖 2: 產品研發可靠度工作流程

第(1)項規格為產品的可靠度設計目標，依美軍規範體系，應在發展規範(B 規範)或產品規範(C 規範)的第 3 節「需求」中予以規定；而第(2)項規格為鑑證目標，應在規範的第 4 節「品質保證條款」中予以規定。美軍標準 MIL-STD-781「系統與裝備設計鑑定與生產接收可靠度試驗」，規定系統與裝備的研製者與使用者買賣雙方合約行為，假設產品失效特性符合指數分佈，則可以用平均失效間隔時間作為產品的可靠度指標，按照一定的生產者風險與使用者風險值選定適切的抽樣方案(sampling plan)執行可靠度試驗，試驗結果所得到的失效時間數據，利用統計假設檢定(hypothesis test)的方法決定定型設計或生產批的可靠度水準是否達到合約的規格需求。在假設檢定一般以標稱值為「MIBF 檢定上限」(upper test limit, θ_0)，而以最小可接收值為「MIBF 檢定下限」(lower test limit, θ_1)， $d = \theta_0/\theta_1$ 稱為鑑別比(discrimination ratio)，代表選定的抽樣方案判斷好批與壞批的鑑別能力。

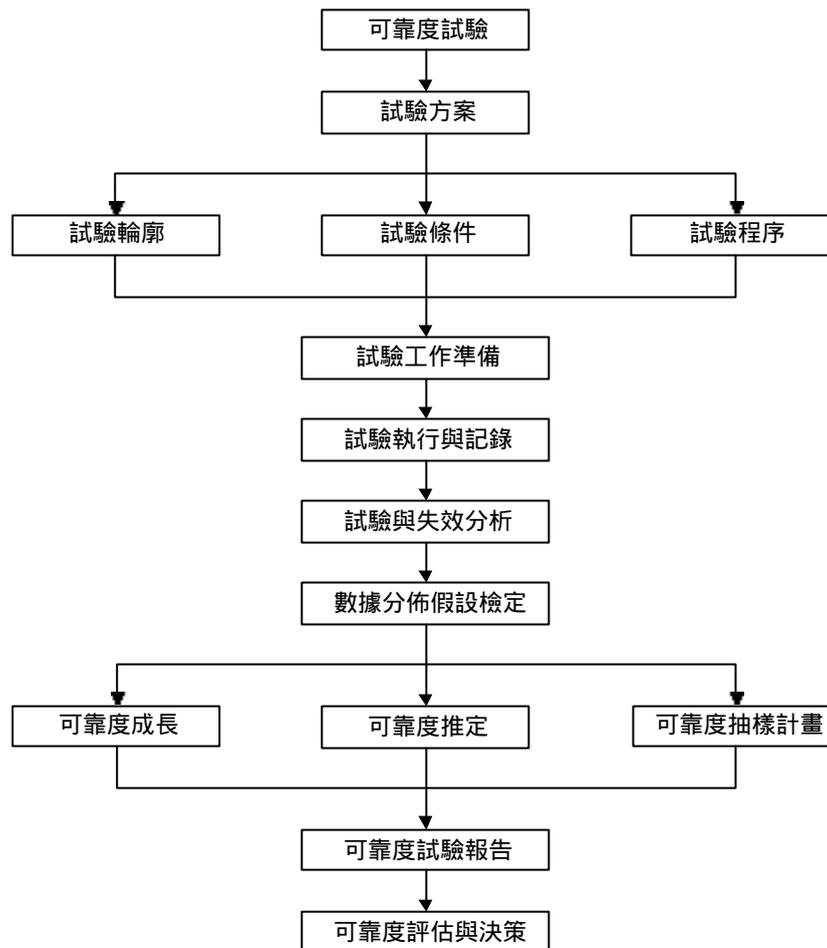


圖 3: 可靠度試驗與評估工作流程

不論是使用那一種方式規定可靠度需求，有兩項基本原則必須考慮：

- (a). 當規定以標稱值為需求規格時，通常是規定系統設計時必須超過的下限值；
- (b). 當規定以最小值為需求規格時，最小值的定義必須很明確。

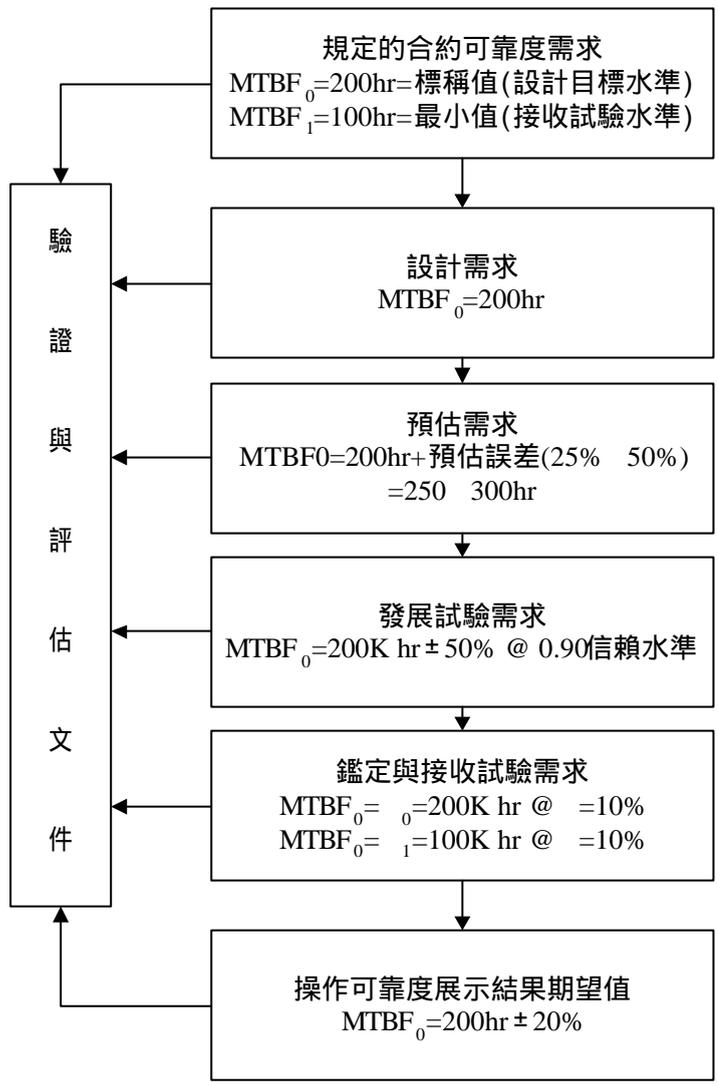
在這兩種方式中第一種是最好的表示法，因為它自動的說明了設計目標必須等於或大於某一最小值。

當可靠度規格確定之後，即可配合研發之進度必須運用各種驗證方法證明研發物品的可靠度是否能夠滿足規定的需求，可靠度驗證規格擬訂邏輯如圖 4 所示。

2.2 可靠度驗證方法

整個系統與裝備的概念、設計、發展、生產、安裝、部署、操作、維護、甚至除役或報廢，所有這些過程，都必須運用系統工程技術。在研發設計階段，設計人員盡其最大努力將使用者對於系統與裝備的各項產品特性與績效需求轉換成設計需求及參數，然後使用最佳的材料、零件，參照可用的設計指引與準則，將這些產品特性設計入產品中，並運用各種分析技術，確保設計品為功能好、耐用、耐久、易修、安全的

產品。但是，所有這些設計與分析工作，只能提供產品在定性方面的資訊，至於數量化的達成度，則須使用各種測試與評估(test and evaluation)的技術與方法來獲得數據加以證明。



K為試驗條件與使用條件之間差異的調整係數，又稱試驗加速因子，其值視模擬試驗條件之真確性而定，當試驗條件接近預期使用條件時，K=1

圖 4 可靠度驗證規格擬訂邏輯

證明研製產品的特性是否滿足規格需求，一般常見的方法有分析(analysis)、模擬(simulation)、預估(prediction)、審查(review)、稽核(audit)、檢驗(inspection)、量測(measurement)、試驗(test)與實證(demonstration)等。在研發設計時期，可藉各種設計分析、模擬預估、設計審查等方法，事先「預防」失效發生、確保設計品符合需求。當硬品完成後，則採用型態稽核〔包括功能型態稽核(functional configuration audit, FCA)與實體型態稽核(physical configuration audit, PCA)〕、量測、檢驗、試驗、實證等手段來評估「驗證」產品的特性水準滿足設計目標。可靠度驗證方法與體系如圖 5 所示。



圖 5 可靠度驗證方法與體系

各種驗證方法的定義說明如下：

分析：利用相關輸入資料，藉由技術性的分析，以驗證硬品的可靠度是否滿足設計需求。

模擬：利用相關輸入資料，藉由統計模擬技術，以驗證硬品的可靠度是否滿足設計需求，目前模擬多以電腦來完成。

預估：利用現有的類似裝備、組件失效與可靠度資料，依照一定的預估模型，推測研發產品之固有可靠度。

審查：審查相關的數據與文件，確定產品的可靠度特性是否可滿足需求。

稽核：針對必要的各項可靠度工作，利用稽核的方式查核是否按規定程序作業，確保物品可靠度之達成。

試驗：利用模擬的環境與使用條件的試驗方法，以驗證硬品的可靠度是否滿足設計需求。通常試驗是在地面實驗室內完成，試驗與實證的最大差別為試驗條件的可控性與重複性。

實證：又稱展示，利用實地部署試用，如飛行試驗，操作試用等，在真實的環境下即時的利用簡單的定性檢驗與功能測試，驗證硬品的可靠度是否滿足設計目標。

檢驗：利用尺寸、物性檢驗、功能測試等基本品管檢驗方法，以驗證硬品的品質是否滿足設計需求。

在所有的驗證方法中，在研發設計階段以預估為最常見的驗證方法，當已經有了研發實體時，試驗則為最有效的驗證方法。有時候對於一些無法由理論掌握的設計參數，更須藉重試驗來發掘、獲取所需的特性資料。

3 可靠度預估

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。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。

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、以及每一個零件的降額特性。

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 6 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。

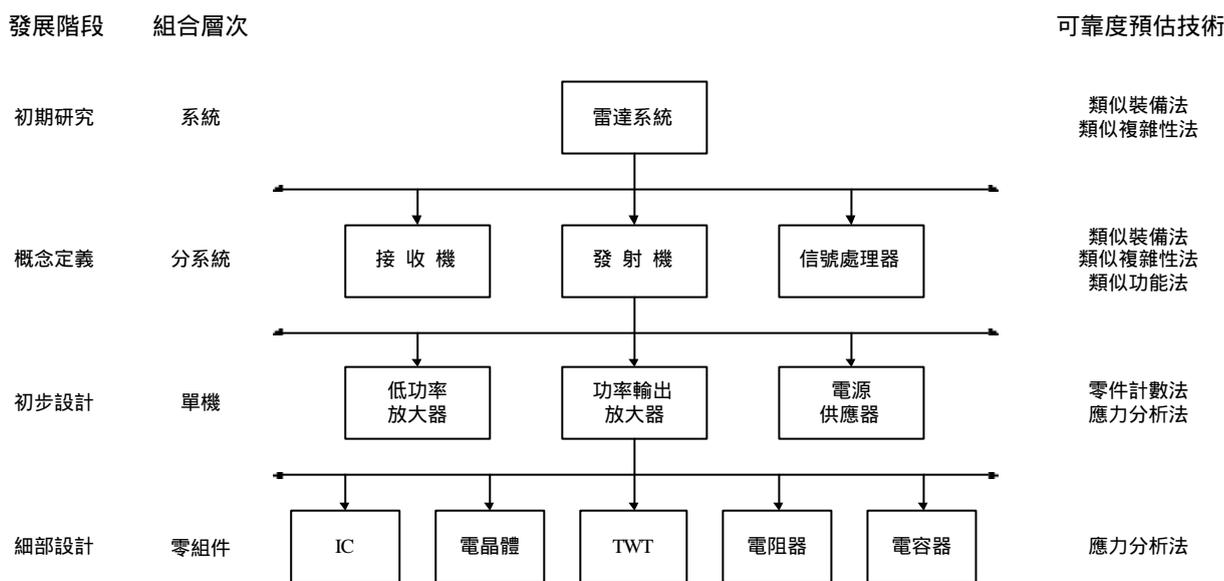


圖6 可靠度預估法在系統研發過程之應用

4 可靠度試驗概論

可靠度試驗為驗證物品可靠度是否滿足需求最客觀、有效的方法，因此，若要確實獲得結果，可靠度工程人員必須瞭解「什麼」(What)是可靠度試驗，「為什麼」(Why)要做可靠度試驗，「多少」(How Much)可靠度試驗準則，「如何」(How)做可靠度試驗，「何人」(Who)、「何時」(When)、「何地」(Where)做可靠度試驗。

「試驗」用於不同的場合通常代表著不同的意義，而且試驗與「測試」、「檢驗」和「量測」之間並沒有很明確的定義區別。一般而言，「測試」為將物品的性能以數值表示，例如：電性功能測試、液壓功能測試、機械功能測試等；「檢驗」為調查物品的性能是否充分、調查材料是否有缺陷，例如：非破壞檢驗、尺碼檢驗、目視檢驗；而「試驗」則是對物品加以特定的處理或將之置於特定的條件之下，然後配合測試、檢驗和量測之應用，觀察這些處理或條件對物品性能的影響，可靠度試驗即為明顯之例證。

4.1 可靠度試驗之目的

可靠度的基本定義中包含了四大要素，其中機率是表現物品可靠度的量度指標，望文生義，自然是要用機率與統計理論方能說明其特性，另外三項：時間、條件(包括工作條件與環境條件)及性能，基本上也是變數，而且一般情形可能都是隨機變數，使得系統的可靠度數學變得相當複雜。在規劃執行驗證試驗時，自然必須同時考慮這四項要素，不過要同時模擬全部因素，在實質上是耗時耗財的，因此有必要配合實際狀況加以裁適，依照物品本身的特色及使用要求，選擇所要強調的要素項目(亦即影響因素較多、變化較大的項目)規劃試驗以探討其影響，亦即固定其中一項或兩項。

例如：

「性能試驗」：固定時間和使用條件兩項要素，而且是在標準的環境條件，尋求物品性能的能力範圍與變化情形。

「環境試驗」：固定時間與性能，而尋求環境條件對物品之影響。

「壽命試驗」：固定性能與環境，尋求時間對物品的影響。

因此，廣義的可靠度試驗方法應該包括性能試驗、環境試驗、壽命試驗(亦即狹義之可靠度試驗)。另外，實際物品的在製造程序常會影響其設計時所賦與之固有可靠度，因此，除以上三種以設計可靠度為試驗量測對象的試驗外，通常另外針對製程規劃執行一些確保硬品製造可靠度的應力篩選與保證試驗，特別是電子裝備。

試驗的目的如果不同，當然試驗的種類就有所不同，因此，必須對各種試驗目的加以澄清、作個區別。

一般說來，可靠度試驗的目的就是實施可靠度試驗到底想知道些什麼，或者是想做些什麼？大致上，可靠度試驗的目的可分類為：

- (1). 測定試件的可靠度(廣義上包括耐環境能力、維護度、可用度等設計可靠度)，亦即量測型可靠度試驗；
- (2). 根據試驗所量測的可靠度結果，找出技術上的問題點並加以改善，亦即改善型可靠度試驗；
- (3). 根據試驗所量測得之可靠度結果，判別、比較物品的好壞，並決定合格與否，亦即鑑定型、確認型或認證型可靠度試驗。

4.2 可靠度試驗之種類

可靠度試驗之種類依各種分類原則有不同之稱法，大致上可歸納如圖 7 所示。

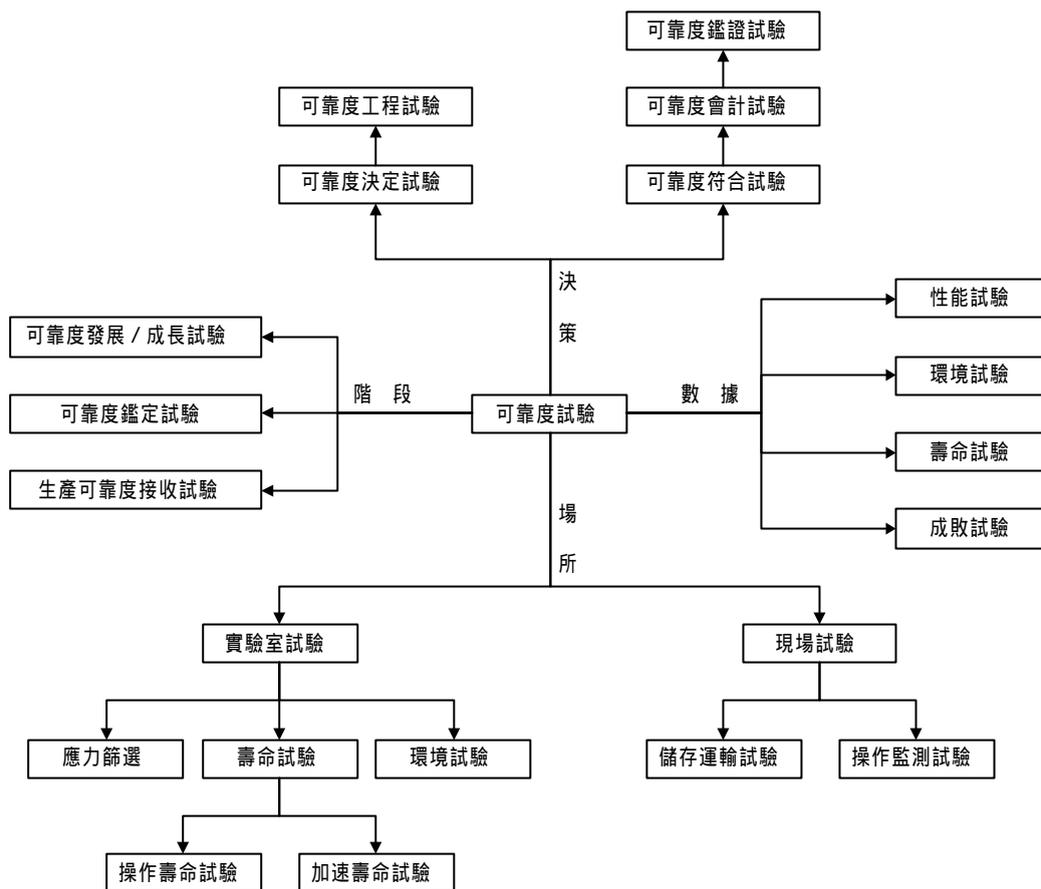


圖 7: 可靠度試驗方法

4.2.1 按試驗結果分類

按照試驗結果對於可靠度的說明屬性，可分為定性與定量兩種：

- (1). 定性試驗：當可靠度技術資料少、過去的經驗不易活用時，或者必須在短時間發現製品的弱點或潛在缺陷、確認其品質保證程度所實施的可靠度試驗稱為定性可靠度試驗。這種可靠度試驗的結果無法具體、客觀的以統計分析方法獲得試件數字化的定量可靠度值，但能配合其他資料、主觀的知道約略的可靠度範圍或保證具有某一程度的可靠度。此類試驗包括：應力篩選，環境試驗，階梯或步進應力試驗等。
- (2). 定量試驗：所謂定量試驗，顧名思義就是根據試驗結果所獲得的資料及產品的可靠度模式可以直接推測試件的可靠度值，此類試驗包括：壽命試驗、耐久試驗，MIBF 試驗、失效率試驗等。

4.2.2 按試驗目的分類

可靠度試驗按其目的可分類為下列三種：

- (1). 改善型可靠度試驗，包括：環境發展試驗，可靠度發展 / 成長試驗，設計驗證試驗，零件、材料鑑定試驗，加嚴或加速壽命試驗，階梯或步進應力試驗，失效應力或設計強度試驗等；
- (2). 選別型可靠度試驗，包括：零件可靠度篩選，製程環境應力篩選，成品可靠度保證試驗、出廠驗收試驗、環境接收試驗等；
- (3). 確認型可靠度試驗，包括：可靠度鑑定試驗、MTBF 試驗、失效率試驗、壽命試驗、耐久試驗。

4.2.3 按試件的組合層次別分類

按試件分類，可靠度試驗可分為：

- (1). 零件試驗：進料試驗、零件鑑定試驗、零件可靠度篩選等。
- (2). 組件試驗：製程環境應力篩選、製程功能試驗等。
- (3). 系統(產品)試驗：出廠驗收試驗、環境接收試驗、可靠度鑑定試驗、環境鑑定試驗、生產可靠度試驗、環境查證試驗等。

4.2.4 按物品研發程序分類

若將可靠度試驗按系統與裝備研製過程加以分類，各階段所須加以分類，則有下列幾種：

- (1). 設計發展階段：工程發展試驗、功能發展試驗、環境發展試驗、可靠度發展 / 成長試驗等。
- (2). 品質鑑定階段：功能鑑定試驗、環境鑑定試驗、可靠度鑑定試驗等。
- (3). 生產接收階段：功能接收試驗、環境查證試驗、生產可靠度試驗等。

4.3 可靠度試驗技術

可靠度試驗按執行試驗所使用的技術特性，可以分為：

- (1). 性能或功能試驗；
- (2). 環境應力篩選；
- (3). 環境試驗；
- (4). 操作壽命或可靠度試驗；
- (5). 加速或加嚴壽命試驗。

4.3.1 性能試驗

性能試驗(performance test)，又稱為功能試驗(functional test)，是一個驗證設計可行性的試驗工作，以便及早發現設計上之缺失或弱點，適時加以改進。試驗通常是在實驗室標準狀況下進行性能與功能測試，試件通過性能試驗不表示就符合系統之品質需求，除非它能更進一步通過耐強(環境試驗)及耐久(可靠度試驗)等之驗證試驗。

4.3.2 環境應力篩選

環境應力篩選之目的為利用環境應力，使在電子硬品在製程因較弱零組件與不良工藝等因素所造成之非設計疵病，提早暴露而被檢測出來，因而得以採取修改行動或將之剔除，提高該硬品之製造品質，使之維持設計時賦予之水準。

4.3.3 環境試驗

環境試驗(environmental test)乃在實驗室內利用模擬的試驗設備，驗證試件承受或抵抗環境應力的能力。環境試驗主要的參考資料為美軍標準 MIL-STD-810D(1983)。按照試驗的理論基礎及模擬環境的特色，環境試驗可分為自然環境試驗和動力環境試驗；按施加環境的項目可分為單一環境試驗和複合環境試驗，一般多以單項序列試驗執行。目前常見的環境試驗依其目的可分為環境發展試驗、設計驗證試驗，環境接收試驗、環境鑑定試驗、和環境查證試驗等。

4.3.3.1 環境發展試驗

環境發展試驗(environmental development test, EDT)又稱為工程發展試驗(engineering development test)，其目的為在設計發展階段能夠儘快地發現新設計的缺失，瞭解設計硬品在各種環境應力下之功能特性及設計安全邊際，以便在必要時採取適切的改正行動修改設計。

此項試驗為失效導向，意思就是說失效是受歡迎的，試驗者希望發現的失效愈多愈好，使產品的設計強度達到系統的環境規格需求，並確保設計硬品在執行實際任務前之各項環境試驗時(包括環境應力篩選及飛行接收試驗)，不致因試驗強度過高而影響其壽命與功能。環境發展試驗的模擬環境可為單一環境或複合環境，試驗水準的選擇也相當彈性，試驗者並不需要事先預估那一項環境應力狀態或水準最重要，而裁適試驗程序。為快速達到預期的目的，通常可採用加速或加嚴的試驗方法。

環境發展試驗的另一項目的為瞭解試件對於環境的反應特性，特別是熱與動態環境。例如試件的熱傳特性，試件達到溫度穩定所需時間；試件的動態結構特性，自然頻率、振動模式、阻尼係數等。此即通常所稱的熱特性調查(thermal survey)及振動特性調查(vibration survey)。

除耐環境本身目的外，若試驗數量足夠，則根據試驗結果可求硬品之故障模式或硬品強度分佈曲線，以評估其耐強度方面的資料。

4.3.3.2 設計驗證試驗

設計驗證試驗(design verification test, DVT)，其目的為驗證設計硬品在系統的環境規格需求下，試驗硬品的功能是否能符合設計目標，瞭解設計硬品強度水準，建立信心，確保研發的系統或裝備有能力耐載具的環境，在正式執行鑑定試驗時，不會發現有許多發展工作尚未完成。

環境發展試驗結果資料，可依試驗項目、數量及結果，部分或全部用以代替設計驗證試驗。通過設計驗證試驗之試件通常不宜作為部署或飛行用件，但可且應該繼續執行設計強度試驗，以增加資料的信賴水準。假如設計驗證試驗的試件型態、製造單位都與進入生產時相同，則設計驗證試驗結果，可用以取代正式品質鑑定試驗。

4.3.3.3 環境接收試驗

環境接收試驗(environmental acceptance test, EAT)，或稱環境適應性試驗(environmental worthiness test)、飛行接收試驗(flight acceptance test, FAT)、飛行適合性評價試驗或適航飛行試驗(flight worthiness test)、或飛行或操作支援試驗(flight or operational support test)。

環境接收試驗之目的為在試用、試飛之前在總成層次所做的短時間試驗，用以確定及驗證可能發生的失效，有助於消除簡單、早期發生的問題，瞭解試用或試飛硬品承受使用或飛行環境應力的能力，提高試用、試飛成功的機率，以免因為這些問題而阻礙或延緩試用或飛行試驗之進行。

環境接收試驗項目的選擇，以和操作或飛行任務有關的項目為主。此項試驗並不加速，試驗水準為一般服勤操作或飛行試驗最惡劣狀況，試驗時間則為預期之最大操作時間，或足夠檢查測試試件功能的時間，通常為 5 至 10 分鐘。對於有足夠安全邊際考慮的設計而言，環境接收試驗可能造成的破壞累積不會比實際操作使用時大。若安全為試驗的考慮因素時，則試驗規格的選擇必須足夠，以確保安全操作或失效但安全操作的準則。

4.3.3.4 環境鑑定試驗

環境鑑定試驗(environmental qualification test, EQT)，是研究發展階段後正式生產前，依據系統環境規格執行之一系列環境試驗，用以鑑定硬品是否符合系統環境規格，作為可進行正式生產設計定型之依據。通過試驗之硬品，不可作為部署或飛行件。若在研發階段執行之設計驗證試驗結果可充分證明設計硬品之耐環境能力，則環境鑑定試驗可酌于抵減或完全取代。

4.3.3.5 環境查證試驗

環境查證試驗(environmental certification test, ECT)，亦即環境重鑑定試驗(environmental re-qualification test)，為正式生產過程中，當品質狀況發生顯著變異時，視狀況定期或不定期抽樣執行之環境試驗，其試驗項目、規格、次序及其他注意事項，原則上與環境鑑定試驗相同。

4.3.4 可靠度試驗

可靠度試驗(reliability test)乃驗證產品在時間方面的特性，又稱為壽命試驗(life test)、持久性試驗(longevity test)或耐久性試驗(durability test)。可靠度試驗的分類，在研發與生產階段上依據美軍標準 MIL-STD-785B(1983)之說明，可分為調查試驗(survey test)、可靠度發展 / 成長試驗(reliability development/growth test, RD/GT)、可靠度鑑定試驗(reliability qualification test, RQT)、生產可靠度接收試驗(production reliability acceptance test, PRAT)等四類。可靠度試驗的主要參考規範為美軍標準 MIL-STD-781D (1986)，和美軍手冊 MIL-HDBK-781D(1986)，前者說明可靠度試驗的一般需求與規定，後者提供各種裝備分類的可靠度試驗複合環境輪廓、標準統計試驗方案、以及可靠度估算方法。

4.3.4.1 調查試驗

調查試驗之目的係在說明規劃與執行熱及振動調查試驗之程序，用以決定裝備的溫度穩定時間與結構動態共振特性。

熱與振動調查試驗應該以裝備的樣本進行，以便決定裝備的溫度穩定水準及找尋共振條件與設計弱點。溫度與振動調查應該在執行可靠度成長試驗之前實施，若有規定時，在可靠度鑑定試驗與環境應力篩選之前亦應該執行。除非經過採購單位特別許可，選定執行可靠度試驗的裝備不得作為調查試驗之用。

4.3.4.1.1 熱調查

熱調查應該在試驗用裝備中選擇一個樣本，在可靠度試驗程序中規定的溫度與工作循環條件下實施。熱調查主要在決定裝備中的熱點與具有最大熱惰性的組件，以及建立裝備與試驗櫃溫度之間的時間 - 溫度關係，這些關係應該用以決定裝備的熱穩定水準。試驗溫度下限的穩定時間為裝備中熱惰性最大點的溫度達到試驗溫度下限的 2σ 之內或溫度變化率小於每小時 2σ 。試驗溫度上限的穩定時間為裝備中熱惰性最大點的溫度達到試驗溫度上限的 2σ 之內或溫度變化率小於每小時 2σ 。在執行量測與試驗時，應該同時持續記錄裝備冷卻空氣與試驗櫃空氣的溫度。一旦熱調查的結果顯示局部溫度顯著的比最終熱設計分析的預估結果還高，或者比可靠度預估所用的減額定值還大時，則在開始進行可靠度試驗之前應該採取必要的改進行動，並且經過驗證與認可。

4.3.4.1.2 振動調查

振動調查應該在試驗用裝備中選擇一個樣本實施以找尋共振條件與設計弱點。除非採購單位另有規定，調查用的振動條件應該依照可靠度試驗程序中之規定。任何在執行振動調查試驗過程中發生的失效都應該加以記錄、調查及分析原因；在開始執行可靠度試驗之前應該完成必要的改正行動，並且經過驗證與認可。振動調查時裝備的安裝情形應該模擬實際使用時的安裝情形。

4.3.4.2 可靠度發展 / 成長試驗

可靠度發展 / 成長試驗，(reliability development/growth test, RDGT)，是在研發過程正式鑑定之前、將系統或裝備放在實際的、模擬的或加速的任務輪廓複合環境下進行試驗，加速失效的發生。當失效發生時，分析與隔離失效的原因，據以執行適當的設計改正行動，並再試驗驗證改正行動之成效。經由此一連串有計畫的試驗、分析與改正(test, analyze, and fix, TAAF)的過程，可以儘早發現設計弱點及疵病，排除在將來生產型系統與裝備可能發生的類似失效現象，因而促進可靠度成長，達到增加系統與裝備現場或實地可靠度(field reliability)的目的，因此又有人將可靠度成長 / 發展試驗稱之為TAAF。其實光是試驗本身並不能使可靠度成長，唯有能防止試驗時的失效再在實際操作時發生的設計改正行動，才能真正地改進裝備的可靠度。

目前美國國防部的政策是，在全型發展、發展與生產並行(必須經認可)及初期部署時，可靠度都必須成長。研發者必須擬訂可靠度成長管理計畫，規定可靠度啟始值及目標，以及在研發過程的每一階段中特定里程點的可靠度成長預估值，計畫中同時規定每一個里程點所需執行的試驗，以及改正試驗時發現的缺陷和疵病所需的時間與手段，以免這些失效在實際操作時重現。可靠度成長計畫經評估核可後，必須強制執行，以免因可靠度工程變更提議而在行政上造成延誤。在可靠度成長 / 發展試驗時發生的失效是受歡迎的，而且研發階段的重點工作為估算設計產品的可靠度真值，因此研製單位不會受罰則的約束。

廣義的可靠度成長可分為表面成長和階梯成長兩種。表面成長是因為篩除試件中的較弱零件及不良工藝所造成的，而階梯成長則是因為改正設計所造成的。表面成長不會由原型件轉到生產件，但是會在裝備的每一單件上重複發生，因此又有人稱之為非成長之成長(no-growth growth)。由於有效的加入設計改正行動，階梯成長則確實會轉移到生產件上。因此，TAAF 過程包括一序列的試驗時間(表面成長)，而每一試驗時間後則必須跟著一段改正時間(階梯成長)。當有兩件或兩件以上的試件同時進行試驗時，試驗與改正時間必須錯開，如此當一件試件在執行試驗時，其它則在進行改正行動。RDGT 必須改正的主要失效種類包括(1).減低操作有效性的失效，以及(2).造成維護與後勤支援成本的失效。改正前者，可提高任務可靠度；改正後者，則可減低維護人力成本。

在研發初期最好能夠獲得的一或二件裝備進行 RDGT，因為設計初期難免會有不成熟或考慮不週之處，假如延遲發現失效的時間，一旦進入正式的型態管制循環後再改正設計，因為增加可靠度工程變更所需的行政處理程序，反而會引起更大的研發時程耽擱。這種耽擱累積的結果，將造成計畫後期無法避免的配合困難問題，甚至於可能無法採取必需的設計改正行動。

執行 RDGT 時，以電子裝備為例，一般的程序為：(1).先執行 ESS，以消除試件中不良工藝和較弱零件等非設計疵病，(2).其次依照 MIL-STD-810 規定之方法與程序執行環境試驗，確定硬品耐環境極值的能力，(3).最後再以壽命週期輪廓的複合環境應力，按試驗 - 分析 - 改正原則進行可靠度試驗。

在系統壽命週期中，由於失效原因及模式之不同而產生浴缸曲線式的失效率變化，研發初期所存在的失效率往往比理想的失效率為高，可依失效類別安排適當試驗，將相關失效模式發掘及排除，在 RDGT 初期利用超應力(overstress)及複合應力(combined-stress)，可獲致提早改進設計缺失之效果，以防止在漫長貯存期中失效模式之突然出現。

依據 785B 之需求，一個適當的可靠度計畫，應當強調 ESS 及 RDGT，而後適度執行 RQT 及 PRAT，但非完全不做。RDGT 與 RQT 最大的不同為 RDGT 之目的在發掘失效，而 RQT 則是履約的依據。

4.3.4.3 可靠度鑑定試驗

可靠度鑑定試驗(reliability qualification test, RQT)，可靠度鑑定試驗之目的是在裝備進入生產前，對研製裝備滿足最低可靠度需求的合理保證。可靠度鑑定試驗的試驗輪廓必須考慮壽命週期的實際操作狀況。同時 RQT 是一種合約性的行為，利用統計的原理，抽樣試驗檢定可靠度參數是否達到約定的目標，作為研判履約與否的依據，試驗結果可以推算可靠度估計值，但必須考慮樣本大小的因素。在所選用的統計試驗方案必須預先訂定裝備的合格準則(允收)，此一準則規定裝備真實可靠度小於最小允收可靠度需求以及大於最大拒收可靠度需求的冒險機率極限，前者即為生產者冒險(α)，後者為消費者冒險(β)。統計試驗方案的選擇必須跟據成本與時程有效的加以裁適。

在可靠度試驗的實務上，常會遭遇到一種困擾的現象，亦即不管是否與統計上的假設矛盾，試驗十件試件、每件試驗十小時，並不等於試驗一件試件、每件試驗一百小時，除非試件的 MIBF 小於 10 小時、且 100 小時的試驗時間尚未達試件老化的時期。

可靠度鑑定試驗是正式生產前先導生產階段的試驗，目的在決定生產製造能力已經可製造設計成熟的系統或裝備，因此 RQT 必須及時完成，以便作為生產決策的管理資訊輸入資料。在開始執行 RQT 之前，有一些必要的試驗執行與管制文件必須事先備便，這些文件包括：可靠度鑑定試驗計畫，及可靠度鑑定試驗細部程序，試件清單，裝備規範，可靠度鑑定試驗環境輪廓、統計試驗方案，以及確實規定試驗權責單位、試驗時間、試驗地點、以及所使用試驗儀具設備的可靠度鑑定試驗執行方案。

4.3.4.4 生產可靠度接收試驗

生產可靠度接收試驗(production reliability acceptance test, PRAT)，生產可靠度接收試驗也是利用統計檢定的方法驗證交貨裝備或生產批的可靠度是否符合設計規定。試驗環境條件必須是代表實際任務輪廓的操作與環境狀況，在統計試驗方案中，必須訂定允收準則，以及特定信賴(冒險)水準下的最小允收可靠度。此一準則必須依據成本與時程效率而加以裁適。試驗結果或許可以提供驗證得可靠度的推定值，但是由於所選定試件樣本數的限制，其信賴水準將受影響。

生產可靠度接收試驗結果有時可代替書面或口頭的使用保證，作為反應製造者正面或負面財務狀況的基礎。

由於本項試驗必須模擬裝備的壽命週期與操作環境，生產可靠度接收試驗可能需要相當昂貴的試驗設備，因此一般都不建議採用所有裝備，亦即 100% 抽樣的試驗方案。因為此項試驗結果為履約的依據，因此生產可靠度接收試驗應該儘可能由與研製者無關的獨立單位來負責。最後由於生產可靠度接收試驗具有提供使用者的保護機能，以及對於研製者品質管制計畫的激勵作用，當生產運作一切都很健全和順利時，通常抽樣頻率可以適度地予以放鬆，但是此一調整並不意味著生產可靠度接收試驗的需求可以完全擱置或加以廢止。

4.4 可靠度試驗文件

所有的可靠度驗證工作必須經過完善地規劃，並建立適切的文件。一般的試驗技術文件包括：試驗與評估主方案(test and evaluation master plan, TEMP)，整體試驗與評估方案(integrated test and evaluation plan, ITEP)，細部試驗方案與程序(detailed test plan and procedure)。試驗與評估主方案(TEMP)為由顧客產生的管理文件。整體試驗與評估方案(ITEP)由承包單位產生，其內容定義所有的試驗與評估工作項目並排定時程。試驗方案定義每一個別試驗的詳細規劃事宜，其內容說明一步一步過程之程序，以及整合各種測試專業的方案。試驗程序則為規定試驗步驟之指令。通常試驗方案與測試程序可以安排在一起，也可以個別的單行本的方式發行。

關於試驗需求應該規定在相關的技術文件中，以落實試驗工作的執行。一般而言，包含這些試驗需求的技術文件有：

- (1). 合約文件；
- (2). 設計指令；
- (3). 硬體藍圖；
- (4). 技術備忘錄；
- (5). 試驗需求規範；
- (6). 系統、發展及產品規範的節「品保條款」；
- (7). 試驗需求文件(test requirement document, TRD)。

4.4.1 可靠度試驗需求文件

當硬品完成後，無論是雛型件、原型件、定型件或是生產件，試驗為有效的驗證方法之一。當決定以試驗做為驗證可靠度之方法時，則同時也應該說明如何運用試驗的方法。驗證可靠度需求必須有相對的試驗需求文件，所有的試驗技術文件，特別接收試驗需求文件，必須符合下列需求：

- (1). 依照規範制定格式撰寫；
- (2). 必須經過使用單位認可；
- (3). 經過認可之後，由專案計畫管制單位進行變更管制；
- (4). 可靠度試驗文件的內容包括：
 - a. 試驗範圍
 - (a). 試件及試驗之描述
 - (b). 可靠度需求規格；

成功機率，%；
存活機率，%；
平均失效間隔時間，MIBF；
可靠度係數， δ ；
失效率， λ ；或
不良率， p_0

b. 試驗需求

(a). 試驗時工作與環境應力規格：

工作週期，工作 / 不工作，開 / 關；

功率，電壓；

溫度；

振動；

濕度。

(b). 試驗時間

c. 特性分類

(a). 功能測試規格；

(b). 失效定義：

致命失效；

關鍵失效；

主要失效；

次要失效。

d. 裁適性及調整性需求；

e. 注意事項；

f. 表列的輸入 / 輸出特性。

4.4.2 可靠度試驗規範

除上述各項規格要素外，一般而言，當在規劃與執行可靠度試驗時，最重要的是應該檢核規定的要素是否能夠答覆下列問題：

(1). 系統或裝備將如何作試驗

規定的試驗條件，諸如：環境條件、試驗量測、試驗時間長度、裝備操作條件、允收 / 拒收準則、試驗報告需求等等。

(2). 由誰來執行試驗

研製承約者、採購者、獨立的機構。

(3). 試驗在何時實施

研發階段、生產階段、現場操作使用階段。

(4). 在何處執行試驗

研製單位內、外購件供應單位、或獨立的試驗室。

4.5 整體可靠度試驗規劃

系統與裝備的研發與製造過程，以系統產品成熟度為基準(baseline)可以分為：合約基準(contract baseline)、功能基準(functional baseline)、配當基準(allocation baseline)、原型基準(prototype baseline)、生產前基準(pre-production baseline)及生產基準(production baseline)，每一基準階段的主要機能及所需的試驗與評估需求也不儘相同。合約基準主要是定義顧客所希望的產品性能，主要的試驗與評估機能為確定環境。功能基準階段定義功能技術特徵、試驗需求，並且確認所採用的方式是可行的。配當基準階段定義設計時可以視為個別實體的產品元件，試驗工作的主要目的是在支援模擬的工作，並驗證設計所採用的方式。原型基準階段為定義原型硬體及軟中體需要製造與試驗的物品，透過各項試驗鑑定設計是否符合需求。生產前基準階段：原型的新增項目，包括可生產性變更、生產試驗與測試設備，透過測試與驗證鑑定技術數據包(TDP)。生產基準階段根據生產合約用來製造與測試的生產型硬體與軟體，主要執行生產試驗。圖 8 為整體試驗與評估體系樹，整體試驗與評估計畫應配合產品研發階段妥善規劃。

試驗與評估之特定需要應在建立全系統需求的概念設計階段初期予以定義，經過可行性研究確定系統層次需求，諸如操作需求與維護概念等之後，必須建立評估和後續決定這些需求是否滿足的方法。如此，一旦新需建立之後，接著的問題就是我們如何決定需求是否滿足，以及在這種情況下該使用那一種量測方法。

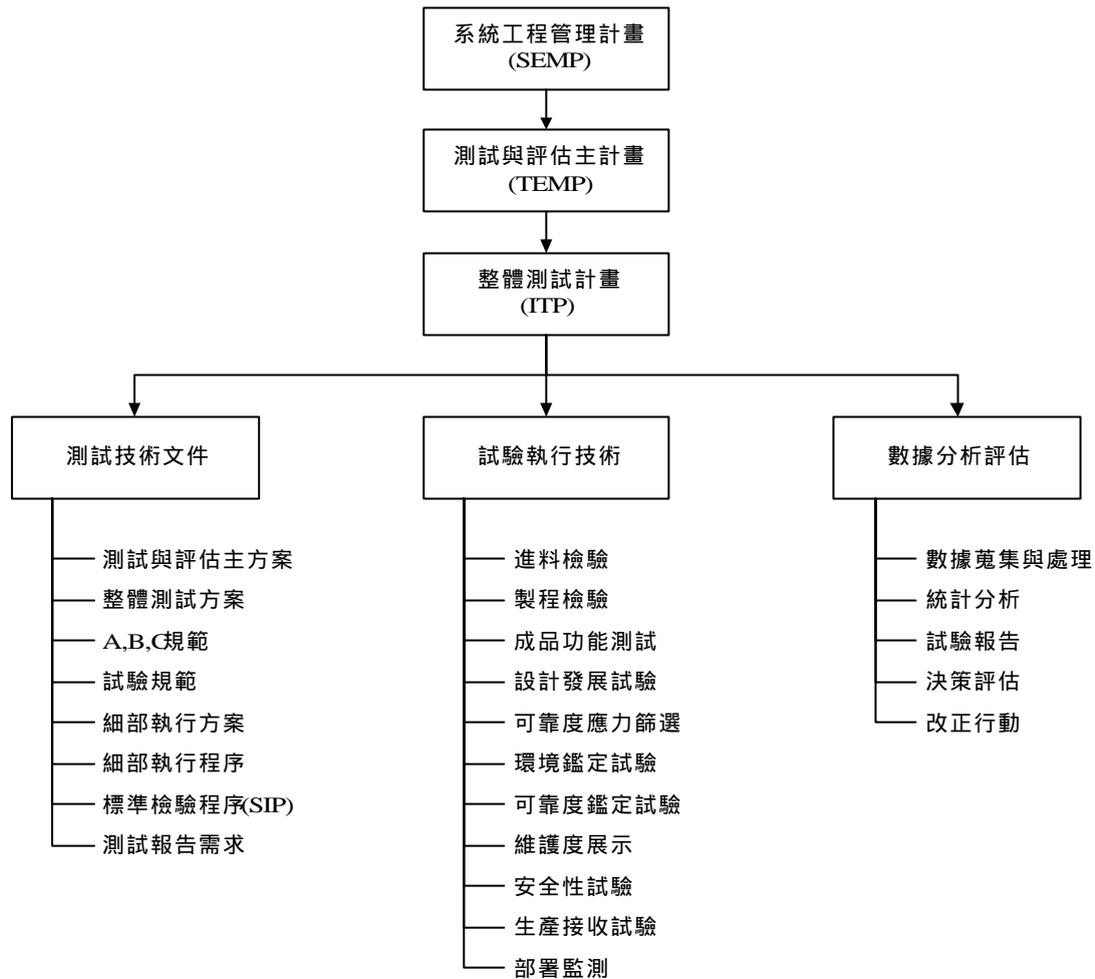


圖 8: 整體試驗與評估體系樹

當系統層次需求的初期定義確定之後，即開始進行反覆的評估過程。在系統設計過程初期，可能是使用分析技術來評估和預估新誕生系統預期的特性。定義操作需求和維護概念、完成功能分析、執行擇優與最適化、以及建立優先選用型態，這些是連續的設計與評估工作。以規定的需求為基礎，從各個角度審查設計，當發現些部位反映無法反映這些需求時，即刻採取改正行動，並且(或者)指出產品精進之處。在生命週期中這個階段相對上很容易採取變更措施，通常成本也比較低。

系統與裝備的主要特性需求包括：

- (1). 性能(performance)；
- (2). 環境強健性(environmental robustness)；
- (3). 可靠度(reliability)；
- (4). 維護度(maintainability)；
- (5). 系統安全性(system safety)等。

整個產品的品質需求就是要產品能夠功能優異、結構堅固，可靠耐用、易於維修、且對人員無傷。試驗為驗證產品品質是否滿足需求最有效的方法之一，因此，整體試驗的規劃，必須同時考慮功能、結構耐環境能力、可靠度、維修度及安全性的驗證。亦即：

整體試驗 = 功能試驗 + 環境試驗 + 可靠度試驗 + 維護度驗證 + 安全性驗證

整體試驗規劃就是將功能、環境強度、可靠度、維修度、安全性、人員能力及後勤支援等試驗需求整合在一起成為一個整體的、有效的、及完整的試驗計畫。不過，一個完整、適當的整體試驗計畫，應當強調決定產品能力的研究與發展工程性試驗，如環境發展試驗、可靠度發展與成長試驗，及消除工藝與製程變異的應力篩選，如零件可靠度篩選與預燒、製程環境應力篩選、非破壞性檢驗等；而後再適度地執行計算產品能力的符合性試驗如環境鑑定試驗、可靠度鑑定試驗、及生產可靠度接收試驗等，但並非完全不做。

考慮整體試驗需求時，應該可以體認到，從與評價全系統性能與有效性有關的角度來看，一個真正的試驗，在本質上是在操作環境下部署並且遭受實際使用條件情況下對一個系統進行評估。例如，一架飛機或一座發電廠，應該是在實際操作使用條件下執行其預期的任務時進行試驗。在指定的現場測試與支援裝備、技術手冊程序等等之協助下，使用單位人員應該能夠完成操作員和維護工作的職能。在這種狀下，在實際環境下的操作與維護經驗可以記錄下來並做後續的評估，以反映系統設計的真正能力。此類的展示最好在採用正常資源(亦即產品使用與後勤支援功能規定的需求)支援的標準作業下，由使用單位完成。

整體試驗計畫為產品執行試驗與評估之依據，應包括承約單位內所有部門或外包單位研發之系統、分系統層次之發展或驗證試驗。整體試驗方案包括採購單位(政府單位)、主承約單位及次承約單位等不同層次之整體試驗方案。整體試驗規劃應考慮以下要點，以獲得最大的試驗效益。

- (1). 儘早發掘工程缺點，以利改正。
- (2). 儘可能模擬實際使用之環境執行試驗。
- (3). 確保關鍵硬品不致承受過多或不必要之操作。
- (4). 配合工程進度先完成實驗室驗證，再執行實地操作驗證。
- (5). 充分利用所有試件，以達試件成本最適化。
- (6). 連續管制試件型態。
- (7). 驗證需求及程序之規劃須配合計畫發展時程。
- (8). 充分利用各項試驗結果，減少重複試驗。

配合系統與裝備研製時程之進展，藉由各種可靠度試驗的實施，選擇幾個具有代表性的樣品施加適當的環境應力與工作應力，暴露產品的一些可靠度問題，這些問題主要是因為設計、工藝或生產管理、操作程序不完善等原因而造成的產品潛在缺陷；通過分析，針對設計或工藝等問題進行改正，重新設計與製造，然後再做試驗。這種

「試驗 分析 改正 再試驗」的反覆循環，使產品的失效根源逐步減少，從本質上逐步提昇產品的可靠度，使之成長達到需求目標。研製中產品缺陷的暴露與改正流程如圖 9 所示；設計發展階段之整體可靠度試驗流程如圖 10 所示，品質鑑定階段之整體可靠度試驗流程如圖 11 所示，生產接收階段之整體可靠度試驗流程如圖 12 所示。

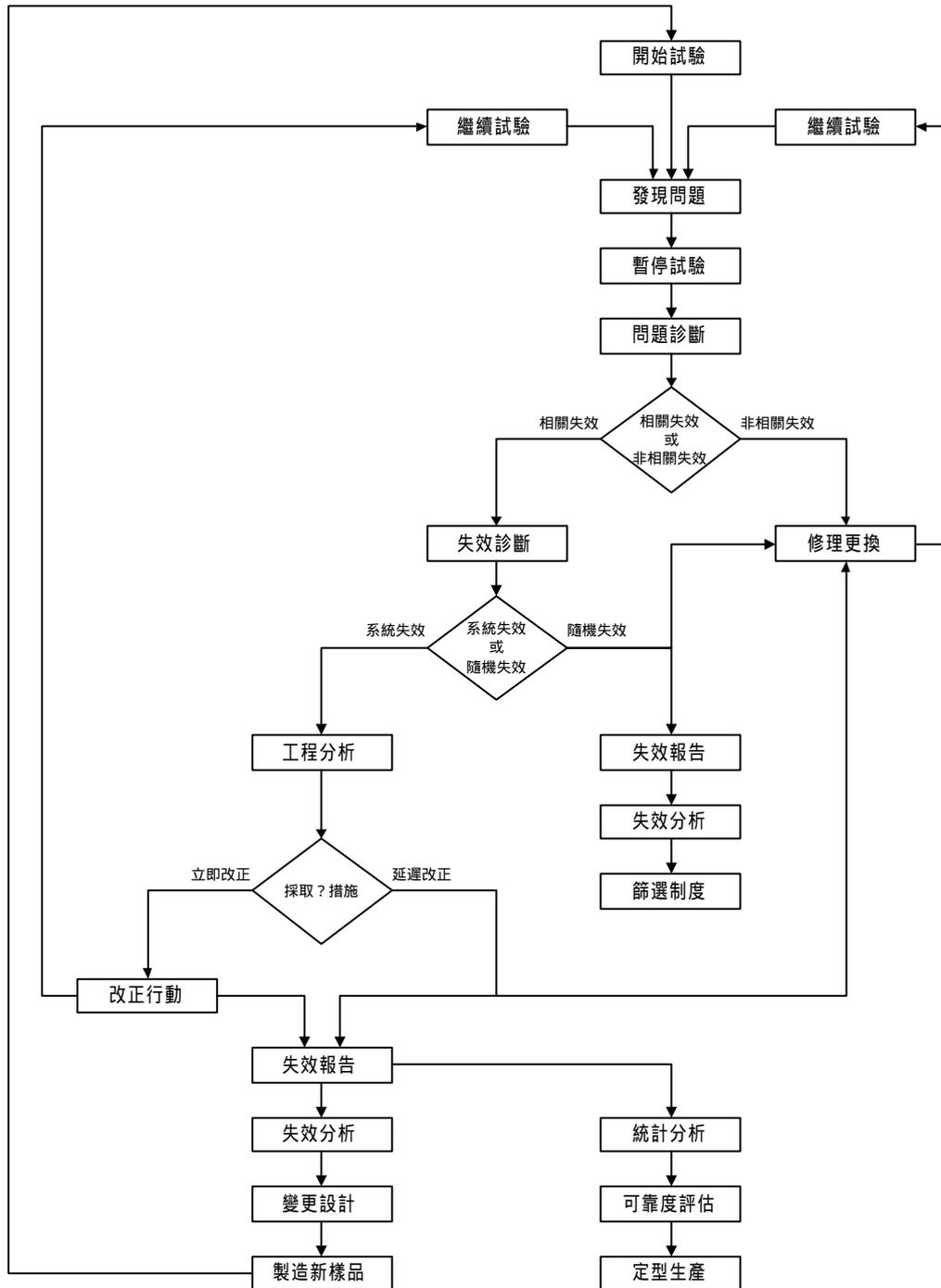


圖 9: 研製中產品缺陷的暴露與改正流程

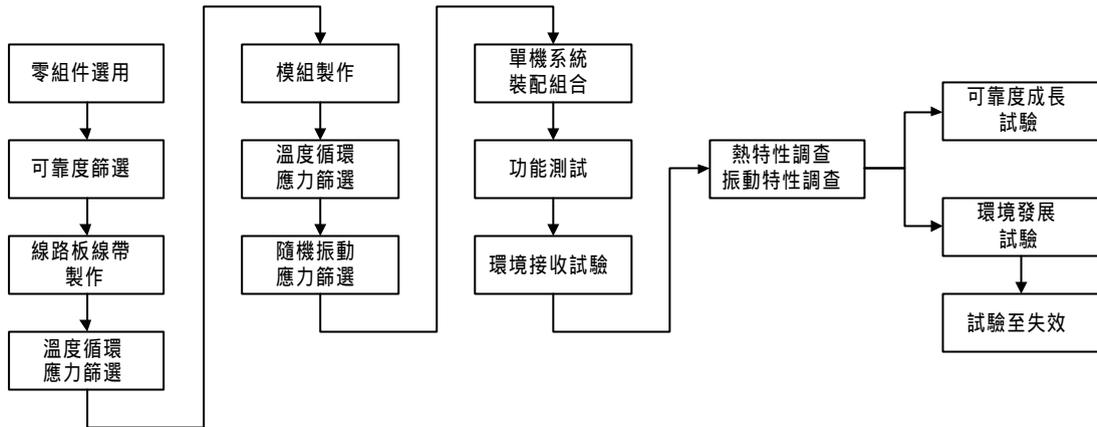


圖 10: 設計發展階段之整體可靠度試驗流程

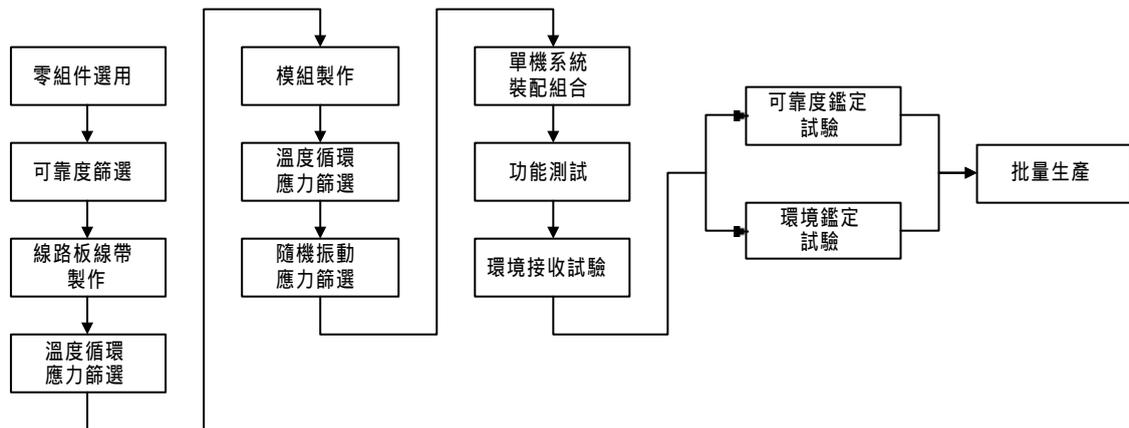


圖 11: 品質鑑定階段之整體可靠度試驗流程

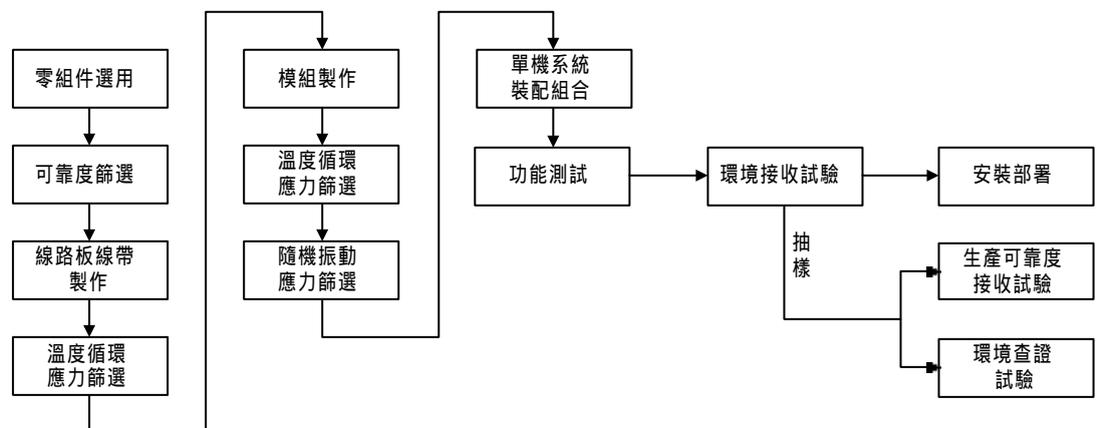


圖 12: 生產接收階段之整體可靠度試驗流程

5 可靠度數據分析與評估

一般產品的可靠度特性按照數據之工程上的特性大體上可分為功能、結構、和時間三類。由於構成產品可靠度特性的各種特性變數與參數大多具不確定性，因此可以使用適切的機率分佈來加以描述。一般決定產品特性機率分佈的方法不一，有時可根據工程經驗決定數據的機率分佈種類，例如一般的物性、功能多以二項分佈、常態分佈、對數常態分佈等機率分佈來描述，結構強度多為常態分佈、對數常態分佈、韋伯分佈、瑞雷分佈等機率分佈來描述，而時間數據則多以指數分佈、韋伯分佈、常態分佈等機率分佈來說明。

描述產品特性的機率分佈函數通常是由常數、參數與變數所構成的，其中變數即為代表特性的隨機變數，參數則隨產品不同而異。一般常見的機率分佈參數有位置參數(location parameter)、尺度參數(scalar parameter)與形狀參數(shape parameter)，例如指數分佈只有一個參數：尺度參數；常態分佈有兩個參數，分別為位置參數 μ 和尺度參數 σ ；而韋伯分佈則三個參數都有，不過在實務上一般以二參數韋伯居多，分別為尺度參數 η 和形狀參數 m 。

可靠度數據乃是由抽取樣本試件執行可靠度試驗所量測得者，為獲得正確且客觀的數據，試件必須是在根據系統生命週期分析所推導得的可靠度試驗輪廓條件下完成試驗。完整的可靠度試驗輪廓包括：試件的內部使用條件，如電壓、電流等；外部環境條件，如溫度、振動等；及描述試件開、關循環的工作週期定義。

一般經由測試所量測得的個別數據，經由適切的評估程序計算所需的可靠度機率分佈參數，根據可靠度函數即可評估任何已知需求條件下的可靠度評估值。推論機率分佈參數常用的方法有推定(estimation)與檢定(test)兩種，前者由個別量測數據組成的樣本數據計算樣本統計量(平均數 \bar{x} 及標準差 s)，然後根據抽樣統計理論求得群體參數之推定值；後者則是假設群體參數為已知的某些特定值，然後利用統計假設檢定原理，證明群體參數為那一個假設值。推論可靠度參數所使用的方法的抽樣計畫決定試件樣本數、試驗時間及允收 / 拒收準則。除了直接由量測數據推論計算可靠度參數外，亦可由過去所建立的資料庫數據預估可靠度；或者由試驗量測數據配合過去的量測數據或工程經驗，利用貝氏理論推論可靠度參數，此為貝氏評估法。另外，累積可靠度參數隨時間的變化趨勢，可利用迴歸分析或時序分析法，配合適切的可靠度成長模型，推測(project)未來時間的可靠度值。詳細可靠度評估邏輯如圖 13 所示。

5.1 可靠度數據分析

如前所述，常見的可靠度數據有功能、結構與時間三種，其中以時間最為普遍，時間數據分為失效時間與壽限兩類，實際量測數據又可分為完全數據、中止數據、及檢驗數據三種，如圖 14 所示。完全數據為所有的失效數據都有完整的失效時間，亦即所有的試件都試驗至失效。

中止數據又稱檢別數據，當試驗至一定時間或失效數時即中止試驗，因此在試驗停止時有部份試件仍然是正常的，其壽命大於試驗中止時間。中止數據又分為 I 型中止和 II 型中止兩種，I 型中止為到達一定試驗時間時停止試驗，II 型中止則是當一定數量的失效發生時停止試驗。一般而言，I 型中止在實務上用的多，主要是因為時間控制容易，而 II 型中止則在學術界討論的多，原因是其理論基礎在統計數學上比較有依據。

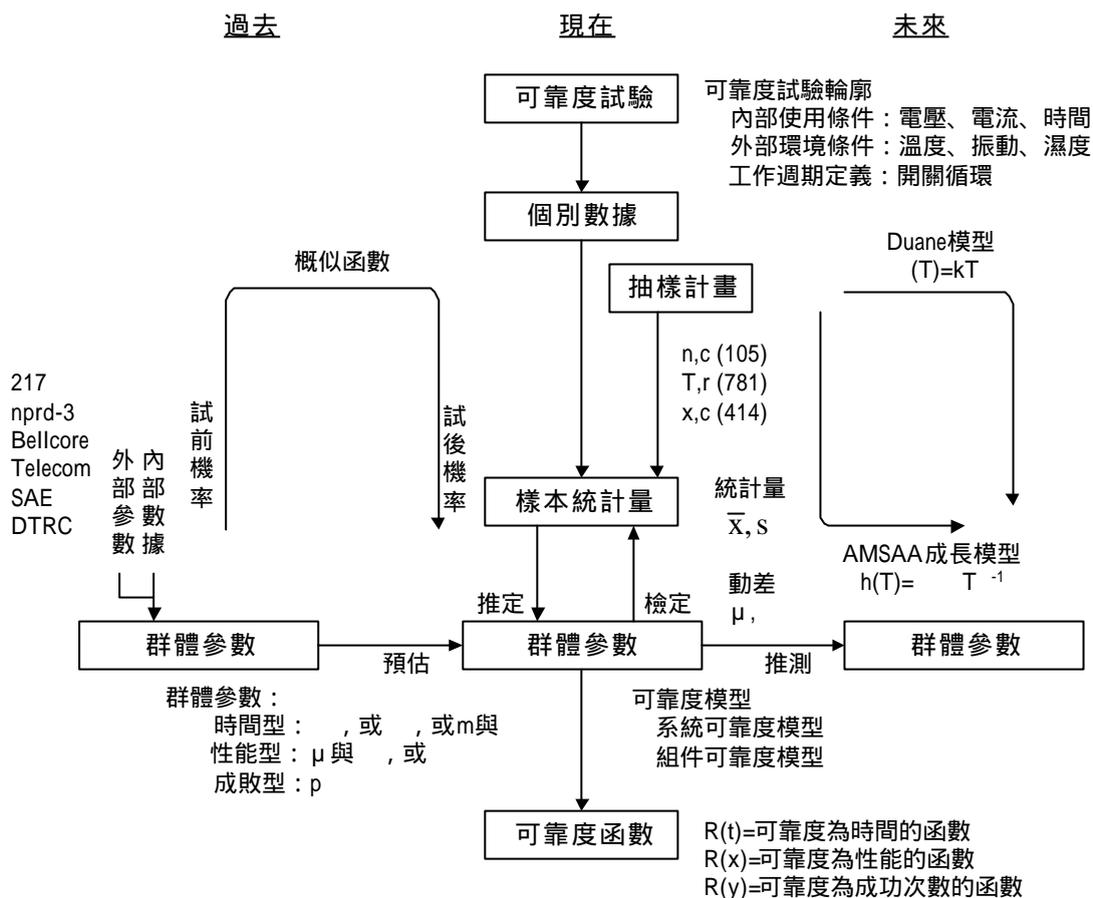


圖 13: 可靠度評估邏輯

檢驗數據通常是在定期監測之結果，又可分為單點檢驗和區間檢驗數據兩種。單點檢驗大多為單發功能件，使用一次該試件即破壞，試驗時成功只能說成功時間大於等於試驗時間，若試驗失效則失效時間可能在開始與試驗時間之間。區間檢驗數據的試件大多是功能可重複測試者，或失效可更換零件者，因此若發生失效，很明顯的，失效時間一定是在兩次檢驗之間發生。通常檢驗數據的分析推定結果較差，若要具有足夠信賴水準，則必須有較多的樣本資料或較精確的統計分析技術。

試驗數據為樣本的觀測值，試驗的目的在追求樣本所代表群體的特性，而群體的特性，不管是特性本身或樣本的統計值都是隨機變數。按統計上的特性可分為分立(計數型)變數和連續(計量型)變數兩類。常見的驗數據分析方法有表列法、圖解法、和解析法三種。表列法與圖解法為最簡潔、快速的方法。若要更進一步研究數據的特性，則應採用較精確的解析法。

圖解法有直方圖或柏拉圖、扇形圖或圓餅圖、趨勢圖、機率圖等。常用機率圖包括韋伯分佈機率圖、常態分佈機率圖、對數常態機率圖及極值分佈機率圖。

解析法主要是在機率與統計方面的應用，當產品可靠度特性的機率分佈的類型確定後，接著為估算機率分佈的參數，常用的參數估算法有最大概似法(maximum likelihood method, MLE)和動差法(method of moment, MOM)。前者一般數學較複雜，常需利用電腦程式才能輕易獲得解答；後者數學上較簡單，通常由對原點的一階動差 μ 與樣本平均數 \bar{x} 及對平均數的二階動差 σ^2 與樣本標準差 s 之間的關係，即可求解群體分佈的參數。

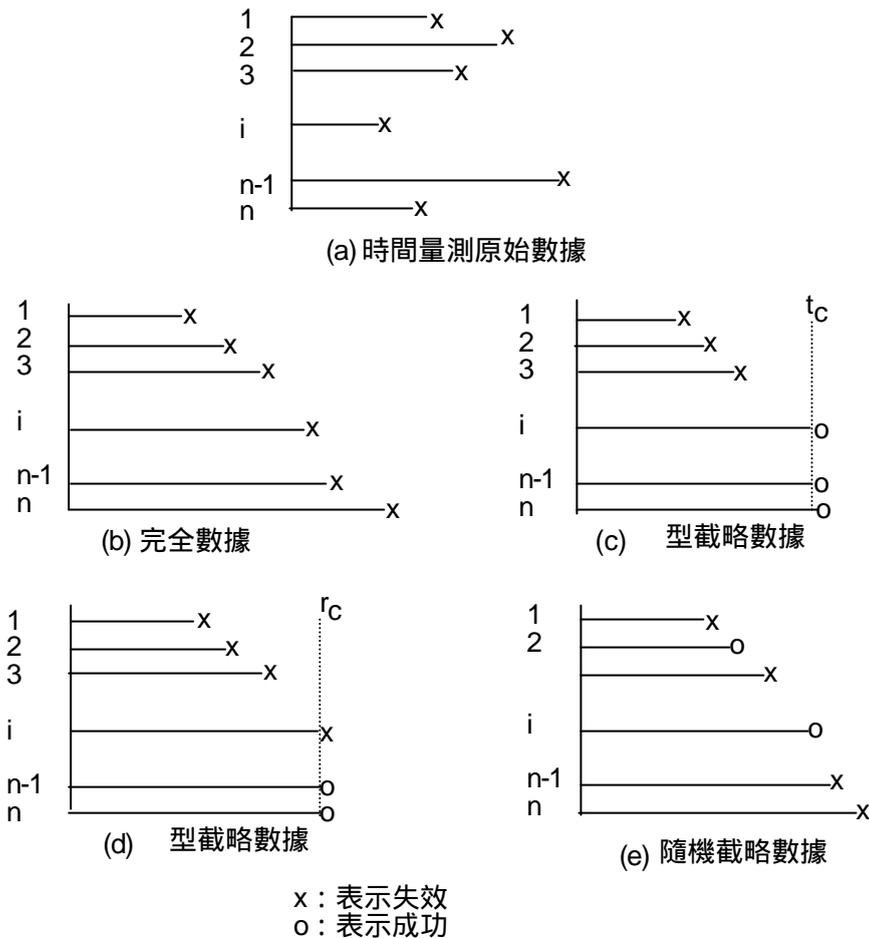


圖 14: 時間量測數據之種類

由於群體機率分佈參數係依據樣本的測試數據計算得，參數的統計量為隨機變數，同樣必須選用適切的機率分佈來描述之，常用的樣本分佈為常態分佈。因此參數的推定值有點推定(point estimation)和區間推定(interval estimation)兩種。

當獲得參數推定值後，為確保所選用的群體機率分佈能夠充分的描述問題的特性，有時必要對量測數據再作統計分析，利用機率分佈適合度檢定法(goodness of fit)檢定數據是否來自假設機率分佈的群體，常用的檢定方法有卡方檢定法與 K-S 檢定法。

若決策判斷需要使用多種試驗數據的組合，則需考慮不同變數間的相關性問題，此類問題多頗複雜，常需特殊的解法，如變異數分析(ANOVA)、回歸分析、時序分析、風險分析及決策理論等。

5.2 可靠度成長管理與監測

在系統與裝備的研發過程中，經由不斷的試驗、失效分析及設計改正行動，產品的可靠度水準會隨著研發進度而變化，通常其變化為增加的趨勢，稱之為可靠度成長，可靠度成長之管理邏輯如圖 15 所示。可靠度成長管理需要有適當的可靠度成長模型，一般分為連續成長模型(continuous growth model)與分立成長模型(discrete growth

model)，美軍手冊 MIL-HDBK-189「可靠度成長」總共搜集了 17 種模型，其中以 Duane 模型與 AMSAA 應用最廣。另外，對於單次功能件則可採用 Bonis 模型。

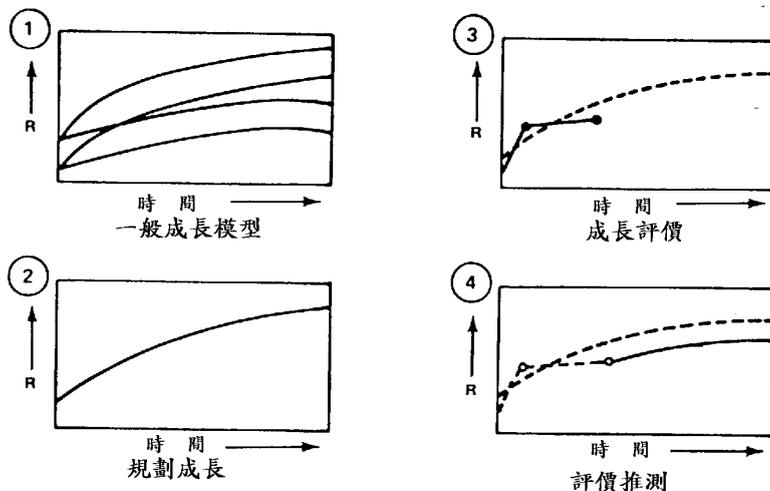


圖 15: 可靠度成長規劃與管理

在進行可靠度發展/成長試驗過程中應該監測可靠度成長趨勢，並將之與規劃的可靠度成長曲線比較，以點估計表示的可靠度實得數值應該與預估的可靠度曲線畫在同一張圖上，如圖 16 所示。可靠度發展/成長試驗及其他任何合適的試驗所得到的數據都可以用來繪製成長曲線，評估實際的成長趨勢，並將之與預先規劃的成長曲線比較，作為修訂或改進之依據。

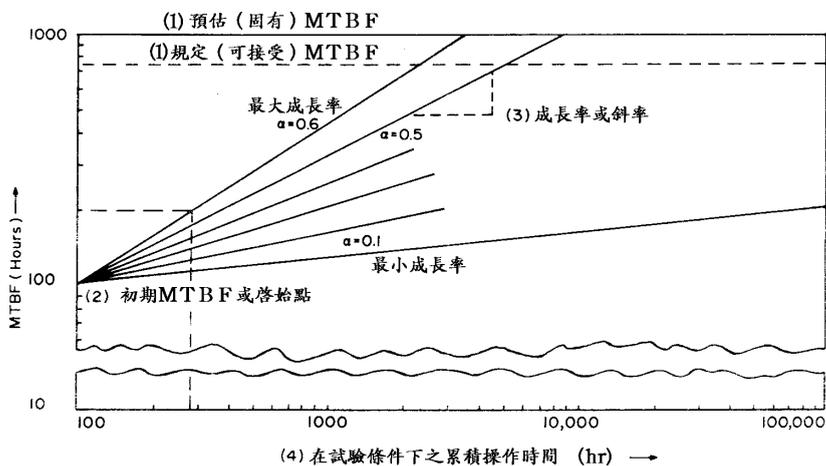


圖 16: 可靠度成長規劃曲線

5.3 可靠度鑑定與抽樣計畫

在研製過程的品質鑑定與生產接收等階段，需採用較正式且經濟有效的試驗方法來驗證產品的可靠度水準是否符合規格需求，作為管理決策之依據，抽樣檢定試驗為

其中最常用的方法，依照協定生產者冒險及使用者冒險選定適當的抽樣計畫，確定試驗樣本、試驗時間、允收及拒收失效數等決策數據，由於抽樣計畫之內容影響執行可靠度試驗所需之成本與時間，因此，在執行試驗之前必須先規劃確定選擇何種抽樣計畫是相當重要的工作項目，以免在作決策時造成不必要的擇擾，特別是作為履約與否之判定依據時。

可靠度抽樣計畫之構成概念及類別與一般品質管制抽樣計畫是基於同樣的理論基礎，根據統計假設檢定(hypothesis testing)之原理而規劃擬訂。在品管抽樣計畫中，檢定的對象是產品特性(如尺寸、重量、功能)之不良率，在可靠度抽樣計畫中，檢定的對象則為說明產品可靠度的指標，如成功機率、失效機率、存活機率、平均壽命或失效間隔時間(θ)、失效率(λ)、功能規格及可靠度係數(δ)等可靠度參數。

鑑證試驗按照評估可靠度的方法加以分類，假如每一組件的試驗結果只是分類為可接受與不可接受，則鑑證試驗為計數值檢定，假如試件在試驗時記錄的服勤壽命是以時間為單位，並且假設服勤壽命可以用一特定的機率分佈來描述，例如常態分佈或韋伯分佈，則這種試驗為計量值檢定，不過即使機率分佈為常態或韋伯，也可將失效時間判定為可接受與不可接受而執行計數值檢定，計數值檢定執行上一般比較簡單而且便宜，但是要達到與計量值檢定一樣的 α 和 β ，則需要較大的樣本大小。

可靠度抽樣試驗可按照評估可靠度的方法所需的數據型態加以分類，假如每一裝備的試驗結果只是分類為可接受與不可接受，則稱此種試驗數據型態為計數值，假如試件在試驗時記錄的服勤壽命是以時間為單位，並且假設服勤壽命可以用一特定的機率分佈來描述，例如常態分佈或韋伯分佈，則這種試驗數據為計量值，不過即使機率分佈為常態或韋伯，也可將失效時間判定為可接受與不可接受而執行計數值檢定，計數值檢定執行上一般比較簡單而且便宜，但是要達到與計量值檢定一樣的 α 和 β ，則需要較大的樣本數量。

可靠度抽樣計畫的種類根據抽樣決策之時機，可分為單次抽樣、多次抽樣及逐次抽樣。若依照產品特性觀測數據的表示方式、可靠度參數的類別、產品產(批)量等之差異，可靠度抽樣計畫大致可做如下之分類：

(1). 計數值數據

- a. 小批量抽樣檢定方案
- b. 大批量抽樣檢定方案
- c. 大批量抽樣檢定方案(波桑近似法)
- d. 使用 MIL-STD-105D 計數值抽樣計畫
- e. 逐次二項抽樣檢定方案

(2). 計量值數據

- a. 試驗時間截略抽樣檢定方案(定時抽樣檢定)
 - (a). 指數分佈

- (b). 常態分佈
- (c). 韋伯分佈
- b. 失效數目截略抽樣檢定方案(定數抽樣檢定)
 - (a). 指數分佈
 - (b). 常態分佈(σ 已知)
 - (c). 常態分佈(σ 未知)
 - (d). 韋伯分佈
- c. 逐次抽樣檢定
 - (a). 指數分佈
 - (b). 常態分佈
- d. 干擾抽樣檢定
- e. 貝氏逐次抽樣檢定

在擬訂抽樣計畫時，通常是以可靠度指標及其相對允收機率之操作特性曲線 (operating characteristic curve, OC Curve) 簡稱 OC 曲線，圖 17 所示為平均失效間隔抽樣檢定之 OC 曲線。

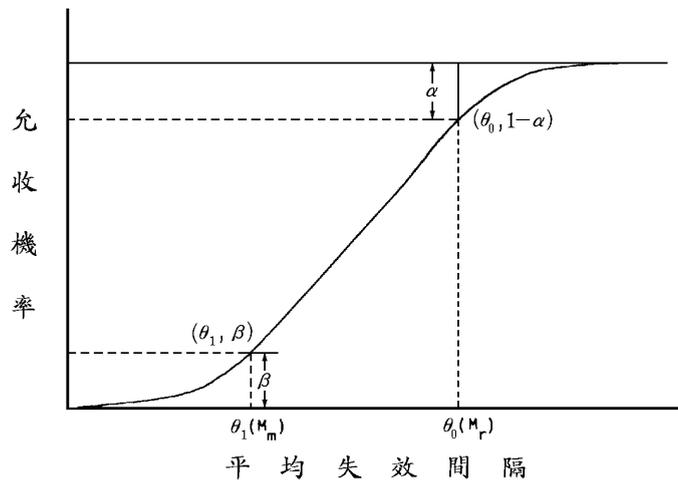


圖 17 以平均失效間隔時間為參數之可靠度抽樣 OC 曲線

OC 曲線一般是由五個因子所構成的，以平均失效間隔()為例，這五個因子分別為：

- θ_0 : 為 MIBF 檢定上限, 當物品的 MIBF 真值等於或大於此一數值時, 有很高的機率 $(1 - \alpha)$ 判定為合格可以允收, 因此又稱為可靠度允收水準(reliability acceptance level, RAL)。
- θ_1 : 為 MIBF 檢定下限, 當物品的 MIBF 真值等於或小於此一數值時, 有很高的機率 $(1 - \beta)$ 判定為不合格必須拒收, 因此又稱為可靠度拒收水準。
- α : 為生產者冒險值, 當物品的 MIBF 真值等於 θ_0 而被判定拒收的機率, 當 MIBF 真值高於 θ_0 時卻被拒收的機率小於 α 。
- β : 為使用者冒險值, 當物品的 MIBF 真值等於 θ_1 而被判定允收的機率, 當 MIBF 真值低於 θ_1 時卻被接收的機率小於 β 。
- d : 為鑑別比, θ_0 與 θ_1 之比值($d = \theta_0/\theta_1$)。

對於可靠度指標為壽命或失效時間的物品, 通常假設失效時間為指數分佈, 根據這種假設而規劃的抽樣計畫可參考 DOD-H-108, MIL-HDBK-781 等文件。若可靠度變數為二項分佈或常態分佈, 則其抽樣計畫可參考 MIL-STD-105 或 MIL-STD-414。MIL-HDBK-781 將可靠度抽樣計畫的種類根據抽樣決策之特性與應用時機區分為固定長度抽樣檢定、逐次抽樣檢定與全數生產可靠度接收抽樣檢定等三類。

固定長度抽樣檢定之優點由其名稱即可看出, 由於事先對於試驗時間資訊的瞭解, 使得試驗規劃人員可以在試驗時間、生產者風險及使用者風險之間執行擇優研究, 常用於評定合約是否有效的可靠度鑑定試驗。依照停止試驗的準則是固定試驗時間(簡稱定時)或固定失效數(簡稱定數), 以及執行試驗發生失效時失效件是否進行換修, 固定長度抽樣檢定共分為四種檢定方案, 亦即定時可換修、定時不可換修, 定數可換修及定數不可換修。

顧名思意, 逐次抽樣檢定試驗乃是每獲得一試驗數據即行分析, 根據準則做決策研判。由於是決策研判所使用的準則為每次發生失效時不同可靠度水準條件下失效發生機率的比值, 因此逐次抽樣檢定又稱為機率比逐次抽樣檢定(probability ratio sequential test, PRST)。781 規定的標準逐次檢定方案分為兩類: 基本檢定方案(basic test plan)(又稱標準 PRST 檢定方案(standard PRST)及短期高風險檢定方案(short-run high-risk test plan)。前者應用於一般生產者與使用者風險值, 通常為 10% 或 20%; 後者應用於因為成本與時程壓力而必須縮短試驗時間, 生產者與使用者都願意冒較大的風險的專案計畫。

在相同的風險與鑑別比需求下, 對於允收高 MIBF 及拒收非常低 MIBF 的物品而言, PRST 檢定方案的決策時間比固定長度檢定方案還要快速。PRST 檢定方案的總試驗時間變化很大, 因此必須依據專案計畫的成本與時間而作截略的規劃。

當每一項裝備失效經過分類或在其他任何合適的時間, 應該由專案計畫單位(採購單位)審查研判試驗結果是否已經鑑定合格。合格與否的研判係依據審查時累積的試驗總時間與可歸責失效總數而決定。

(1). 合格決定:

比較試驗結果與規定的試驗方案的允收或拒收準則決定鑑定合格與否。試驗累積時間為裝備操作總時間，或暴露在複合環境條件下的總時間，視何者較合適而定。裝備的累積試驗時間以小時數為記錄的單位。根據擬議的改正行動為基礎而歸類為可歸責的失效不應該再歸類為不可歸責失效。

(2). 允收決策：

當試驗結果符合規定的試驗方案與可靠度鑑定試驗程序的需求，而且達到允收決策的標準時，就可靠度而言，裝備設計應該是通過鑑定可以進入生產。當任何一個裝備的累積試驗時間小於所有進行試驗的裝備的理論平均失效時間時，則不可以做成任何允收決策。

(3). 拒收決策：

當可靠度鑑定試驗結果達到拒收決策標準時，就可靠度而言，已經證明裝備設計不夠資格進入生產階段。當研判依據為拒收決策時，應該依照規定採取必要改正行動。當改正行動經認可並導入裝備中之後，應該以相同的樣本數或經過專案計畫單位或採購單位認可的試驗樣本數重新進行試驗。當採取改正行動改變了原設計在熱與振動方面的特性時，除非專案計畫單位或採購單位另有規定，否則應該重新進行熱特性與振動特性調查試驗。

6 可靠度試驗與評估相關標準與規範

可靠度試驗與評估有關之標準與規範，在軍用裝備方面以美軍標準(MIL)為主，在民用裝備則以國際電工委員會(IEC)所發行之國際標準為主。各項試驗與評估工作相對應之標準如圖 18 所示。

6.1 國際電工委員會國際標準

在國際間，國際電工委員會(IEC)可恃度(含可用度、可靠度、維修度、維護支援等與物品績效有關之能力)擔任相關國際標準之編訂工作，有關可恃度部份係由第 56 技術委員會(TC 56)負責，此一技術委員會編訂的重點標準為 IEC 50(191)或稱 IEC 191：可恃度與服務品質名詞定義，IEC 300 系列：可恃度管理，IEC 605 系列：可靠度試驗，IEC 706 系列：維修度管理，以及一些應用指南和工具；有關環境需求分類部份係由第 75 技術委員會(TC 75)負責，此一技術委員會編訂的重點標準為 IEC 721 系列：環境條件分類；而有關環境試驗部份則由第 50 技術委員會(TC 50)負責，此一技術委員會編訂的重點標準為 IEC 68 系列：環境試驗方法與程序。這三個技術委員會所編訂的可靠度驗證與評估相關國際標準列述如下：

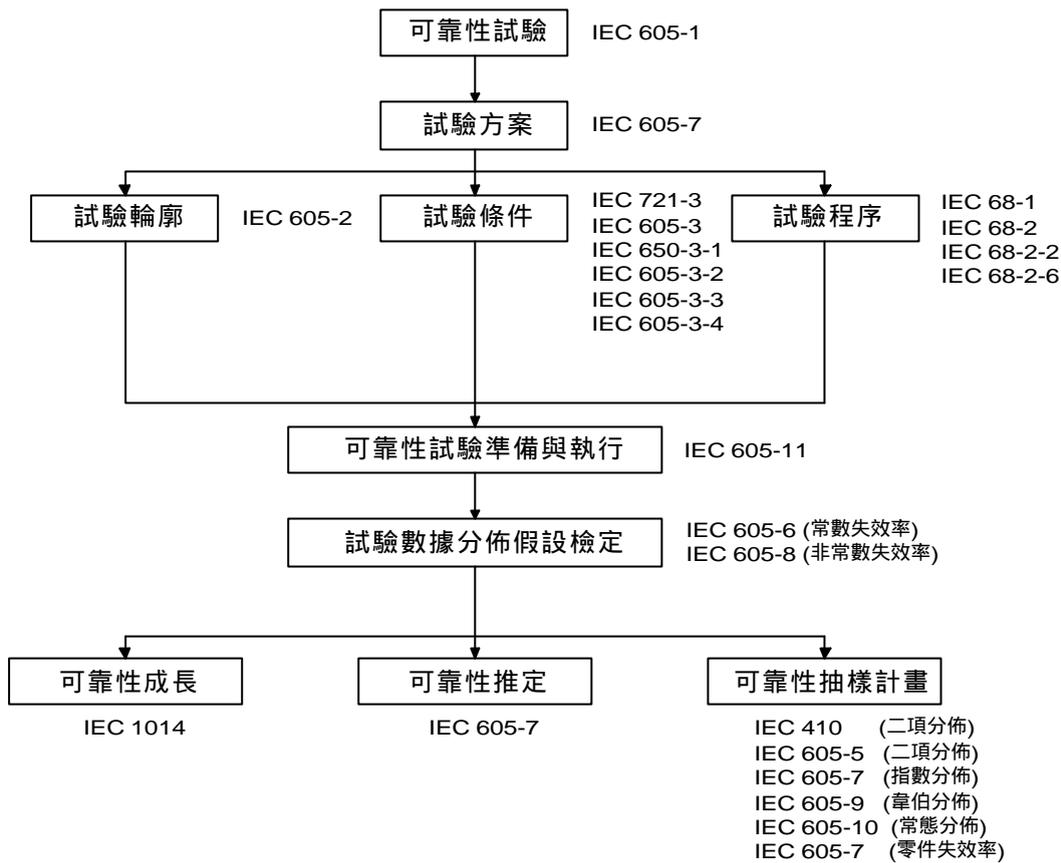


圖 18 可靠度試驗與評估相關標準體系

6.1.1 IEC 605 系列「裝備可靠度試驗」

國際標準 IEC 605 系列(IEC 605, Equipment Reliability Testing)提供裝備可靠度符合試驗與可靠度決定試驗之程序，其內容包涵一些特殊程序，這些程序主要是作為在試驗規劃、試驗執行、數據蒐集及數據分析等階段所必須使用的。大部份合適的程序係由引用此一國際標準的使用者自行選擇決定的。IEC 605 系列的各個部份包括：

(1). 第1 部份：一般需求，

IEC 605-1 (1978), Part 1: General requirements

IEC 605-1 (1982), Amendment No.1

本部份乃是規定與描述有關可靠度試驗要求事項的文件，內容包括可靠度試驗條件的選擇、細部可靠度規範的準備、可靠度試驗所獲得數據資訊的評估及可靠度試驗數據記錄與報告等的方法與程序，所討論的試驗方法與程序主要是以電子裝備為對象，但是它也適用於其它的裝備及系統，例如電氣機器及機械裝備，甚至於壓縮空氣機器、水壓機器。

(2). 第2 部份：裝備可靠度試驗之試驗循環規劃指引

IEC 605-2 (199X), Part 2: Guidance for the design of test cycles for equipment reliability testing

(3). 第3 部份：裝備可靠度試驗之優先選用試驗條件

IEC 605-3, Part 3: Preferred Test Conditions

此一部份針對各種裝備應用情形，按照各種不同模擬程度的使用條件，提供一些建議的優先使用試驗循環，目前已發行者有 4 章。

IEC 605-3-1 (1986), Preferred Test Conditions - Indoor Portable Equipment (Low degree of simulation)

IEC 605-3-2 (1986), Preferred test conditions - Equipment for stationary use in weather-protected locations (High degree of simulation)

IEC 605-3-3 (1992), Preferred test conditions - Test cycle 3: Equipment for stationary use in partially weatherprotected locations - Low degree of simulation

IEC 605-3-4 (1992), Preferred test conditions - Test cycle 4: Equipment for portable and non-stationary use - Low degree of simulation

(4). 第4 部份：裝備可靠度決定試驗點推定與信賴界限之決定程序

IEC 605-4 (1986), Part 4: Procedures for determining point estimates and confidence limits from equipment reliability determination tests

IEC 605-4 (1989) Amendment No.1

(5). 第5 部份：成功比率之符合檢定方案

IEC 605-5 (1982), Part 5: Compliance test plans for success ratio (1987), Amendment No.1

IEC 605-5A (199X), Supplement, Procedure for preparing and applying of compliance test plans for success or failure ratio

本部份適用於可靠度要求以成功機率來表示的產品的可靠度試驗符合檢定方案。以觀測所得的數據資料估算得的成功機率，作為符合允收決策的依據。成功機率的定義為無失效產品的數量或者在測試終了時成功的實驗次數與全部產品數量或實驗次數的比值。

(6). 第6 部份：常數失效率假設之真確性檢定

IEC 605-6 (1986), Test for the validity of a constant failue rate assumption

IEC 605-6 (1989), Amendment No.1

(7). 第7 部份：假設常數失效率下之失效率與平均失效間隔時間符合檢定方案

IEC 605-7 (1978), Part 7: Compliance test plans for failure rate and mean time between failure assuming constant failure rate

IEC 605-7A (199X), Supplement, Procedure for the design of test plans

本部份是以失效率、MIBF、MTTF 等為可靠度參數的產品，在進行的可靠度試驗時作為允收決策依據的符合檢定方案。

(8). 第8 部份：非常數失效假設之真確性檢定

IEC 605-8 (199X), Tests for the validity of non-constant failure rate assumption

(9). 第9 部份：假設失效時間為韋伯分佈之符合檢定方案

IEC 605-9 (199X), Compliance test plans assuming Weibull distribution of times to failure

(10). 第10 部份：假設失效時間為常態分佈之符合檢定方案

IEC 605-10 (199X), Compliance test plans assuming Normal distribution of times to failure

(11). 第11 部份：說明可靠度試驗準備與執行工作之流程圖

IEC 605-11 (199X), Flow chart describing preparations for and execution of reliability testing

6.1.2 IEC 68 系列「基本環境試驗程序」

IEC 68: Basic Environmental Testing Procedures

國際標準 IEC 68 系列「環境試驗」(IEC 68, Environmental testing)係由國際電工委員會(IEC)第 50 技術委員會負責編訂工作，主要是在於制訂各種環境試驗方法與程序。IEC 68 包括一系列的環境試驗方法及其適切的嚴厲度，並且說明為了評價試件在預期運輸、儲存及所有操作使用等方面之績效能力，執行所需的各種量測與試驗時之大氣條件。

根據 IEC 所發行國際標準的定義，早期的應用侷限於電工裝備，後來 IEC 為了配合 ISO 關於技術性國際標準之制定。因此，此一國際標準系列適用之產品種類範圍已擴充至包括電子、電機、及機電裝備之系統、分總成及其構成零件和組件。它是為了對於上述產品生命週期中的儲存、搬運以及使用等過程所遭遇的各種環境條件下，對產品的環境耐久性做評價的一種標準試驗程序。

IEC 68 標準之目的在於針對準備產品規範的人員和從事產品試驗的人員，提供一系列具有一致性及可再生的環境(主要為氣候與機械強健性)試驗方法，以及量測與試驗之標準大氣條件。這些試驗方法乃根據適切的國際性工程經驗與判斷，主要是設計作為提供有關試件下列特性的資訊：(a)在溫度、壓力、濕度、機械應力或其他環境，以及某些組合環境等環境條件規定容差界限內的操作能力；(b)抵抗運輸與儲存環境條件的能力。在架構上，IEC 68 系列由 5 個單元所構成的。

(1). 第1 部份：概論與指引

IEC 68-1 (1982) Part 1: General and Guidance

第 1 部份包括有關大氣條件量測與試驗之資料，討論一般性問題並提供一般指引資料；說明評估在儲運及操作使用條件下驗證電氣產品耐環境能力時，設定的環境試驗方法及嚴厲程度系列中的基本事項通則。

(2). 第2 部份：試驗方法

IEC 68-2 Part 2: Tests

第 2 部份(IEC 68-2)為一套另外獨立發行的小冊子，每一冊討論系列試驗、或單一特定試驗、或這些試驗之應用指南；對於各種不同的個別環境試驗方法加以詳細規定的文件，各個試驗方法乃按英文字母之先後順序分類，並個別出版。

(3). 第3 部份：背景資料

IEC 68-3, Part 3: Background information

第 3 部份(IEC 68-3)為一套另外獨立發行的小冊子，每一冊討論系列試驗之背景資訊。

IEC 68-3-1 (1974), Section one - Cold and dry heat tests

IEC 68-3-1A (1978), First supplement

IEC 68-3-2 (1976), Section two - Combined temperature/low air pressure tests

IEC 68-3-3 (1991), Section three: Guidance. Seismic test methods for equipment

(4). 第4 部份：規範撰寫者資料 - 試驗摘要

IEC 68-4 (1987), Part 4: Information for specification writers - test summaries

第 4 部份(IEC 68-4)提供規範撰寫者所需之資訊，分兩節出版，其中第 2 節為散裝形式，包括現行 IEC 68-2 中所有試驗之摘要。

(5). 第5 部份：試驗方法草擬指南

IEC 68-5, Part 5: Guidance to drafting of test method

第 5 部份(IEC 68-5)為草擬試驗方法的指南，目前有兩節，第 1 節為一般原則(General principles)，第 2 節為名詞與定義(Terms and definitions)。

IEC 68-5-1 (1991), General principles

IEC 68-5-2 (1990), Terms and definitions

6.1.3 IEC 319

IEC 319 (1978), Presentation of Reliability Data on Electronic components or Parts

這是一份說明有關建立與製作電子零組件可靠度資料時，應記載的可靠度資訊，以及必須具有的特徵與要求事項的詳細文件。

6.1.4 IEC 410 (1973)

IEC 410 (1973), Sampling Plans and Procedures for Inspection by Attributes

這是規定計數值抽樣檢驗計畫的檢定方法和程序的文件，這些方法和程序，其適用的範圍包括最終產品、零組件以及原材料。

6.1.5 IEC 419 (1973)

IEC 419 (1973), Guide for the Inclusion of Lot-by-Lot and Periodic Inspection Procedures in Specifications for electronic Components or Parts

這是有關電子零件個別規範的逐批檢驗和定期檢驗抽樣計畫的應用指南，在附錄並提供了上述兩種檢驗程序分組適當的個別抽樣檢定計畫圖表。

6.2 美軍標準(MIL)

有關裝備可靠度驗證與評估之美軍標準依次簡要介紹如下。

6.2.1 MIL-STD-105

MIL-STD-105, Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attribute

MIL-STD-105：計數值檢驗抽樣程序與表格

目前的版本是 1989 年 5 月 10 日發行的 E 版，共有 73 頁。本文件的內容包括抽樣檢定方案，批量大小，檢驗水準，平均品質水準(AQL)，疵病分類，多重抽樣，以及正常、加緊與鬆減抽樣等主題。對於有些裝備而言，以操作時間為主的逐次抽樣檢定方法可能不適用，則可採用以成功比值為基礎的抽樣方法。本文件包括許多圖表，顯示各種抽樣計畫的允收 - 拒收水準與操作特性曲線(OC Curve)。

6.2.2 MIL-STD-202

MIL-STD-202, Test Methods for Electronic and Electrical Component Parts

MIL-STD-202：電氣與電子零組件試驗方法

目前的版本是 1980 年 4 月 1 日發行的 F 版，本標準建立電子與電氣零組件一致的試驗方法，包括決定對於裝備操作時造成有害效應的週圍自然因素與條件的抵抗能力

的基本環境試驗，以及物理與電性測試。基於本標準之目的，「零組件」一詞包括電容器、電阻器、開關、繼電器、變壓器及夾頭等物品。本標準只適用於小零件，除非特別註明，像變壓器和電感器，重量必須在 300 磅以下，而均方根測試電壓必須在 50,000 伏特以下。

所有試驗方法分為三大類，試驗方法編號 101 至 199(含)為環境試驗；編號 201 至 299(含)為物理特性試驗；編號 301 至 399(含)為電氣特性測試。在每一分類之中，試驗方法按照該試驗方法加入本標準的時間依序排列。

6.2.3 MIL-STD-690

MIL-STD-690, Failure Rate Sampling Plans and Procedures

MIL-STD-690 : 失效率抽樣檢定方案與程序

目前的版本是 1989 年 4 月 28 日發行的 B 版，Notice 3。本文件規定壽命試驗記錄樣本、失效率抽樣檢定方案、60%及 90%信賴水準失效率表、和一篇可靠度專題論文，所提供的表格可以用來決定一批物品的鑑定合格機率。

6.2.4 MIL-STD-750

MIL-STD-750, Test Methods for Semiconductor Devices

MIL-STD-750 : 半導體裝置試驗方法

目前的版本是 1983 年 2 月 23 日發行的 C 版，本標準建立半導體一致的試驗方法，包括基本環境試驗以決定對於裝備操作時造成有害效應的週圍自然因素與條件的抵抗能力，以及物理與電性測試。基於本標準之目的，「裝置」一詞包括電晶體、二極體、電壓調節器、整流器、透納二極體、及其他相關零件。本標準只適用於半導體裝置，所有的試驗方法係為下列數項目的而準備：

本標準所規定的試驗方法共分為五類：試驗方法編號 1001 至 1999(含)為環境試驗；試驗方法編號 2001 至 2999(含)為機械特性試驗；電性試驗分為兩組：編號 3001 至 3999(含)為電晶體試驗方法，編號 4001 至 4999(含)為二極體試驗方法；試驗方法編號 5000 至 5999(含)則為應用於太空裝備之高可靠度半導體。

6.2.5 MIL-STD-757

MIL-STD-757, Reliability Evaluation from Demonstration Data

MIL-STD-757 : 由鑑證數據評估可靠度

本文件規定評估實有可靠度的程序與最小輸入資訊需求，定義所需蒐集的最小資訊準則，以及一些簡單的可靠度計算方法，本標準的效用相當有限，目前已被作廢。

6.2.6 MIL-STD-781

MIL-STD-781, Reliability Design Qualification and Production Acceptance Tests: Exponential Distribution

MIL-STD-781 : 可靠度設計鑑定與生產接收試驗 - 指數分佈

本文件涵蓋需求及規定失效時間為指數分佈的裝備有關可靠度鑑定試驗(生產前)及可靠度接收試驗(生產)的細節，這些是以時間為操作基礎的可維修裝備的主要正式可靠度鑑定試驗方法，試驗時間以設計平均失效時間間隔的倍數計算。本文件適用的裝備包括地面固定、地面運動、船舶、噴射飛機、螺旋槳及直昇機、以及空中發射武器裝備等。規定三個參數中的兩個，亦即 MIBF 檢定下限、MIBF 檢定上限、或兩者之比值，在設定的決策風險下，即可決定該採用何種統計檢定方案。目前 781 的版本將有關統計檢定方案及環境試驗輪廓的詳細討論以 MIL-HDBK-781 另外在 1987 年 7 月 14 日發行，共 374 頁；MIL-STD-781 則配合 MIL-STD-785 的精神，重新改變章節的編排，於 1986 年 10 月 17 日發行，共 45 頁，使其成為可以根據專案計畫特性而裁適的工作項目為基礎，以避免原先雜亂無章全包式的應用情形。

6.2.7 MIL-STD-810

MIL-STD-810, Environmental Test Methods and Engineering Guidelines

MIL-STD-810 : 環境試驗方法與工程指引

目前的版本是 1990 年 2 月 9 日發行的 E 版，共有 426 頁。本文件乃在於規定更仔細評估產品在其生命週期所遭遇的環境的抵抗能力，以及各種詳細的試驗方法，每一種試驗方法說明的細節包括目的、環境效應、決定試驗程序與試驗條件的指引、參考文獻、儀器、試驗準備、程序、必須記錄的資訊等，文件並且提供了許多環境曲線，例如兩輪拖車橫向軸功率頻譜密度對頻率的曲線。

6.2.8 MIL-STD-883

MIL-STD-883, Test Methods and Procedures for Microelectronics

MIL-STD-883 : 微電路試驗方法與程序

在 1960 年代中期，美國各個負責微電路可靠度的政府機構發現，在去除一些可以篩選的疵病之後，廠內估算得的裝備失效率約為每千小時 1%，因為深入執行失效分析的結果，使他們能夠掌握什麼是重要的失效機制。在這期間美國空軍羅馬航空發展中心(RADC)的固態組受命研究發展篩選程序的工作，以便消除先前造成高失效率之早夭失效現象，在與其他半導體可靠度專家密切作業的結果，RADC 的工作人員在 1968 年發展出了初版的 MIL-STD-883。MIL-STD-883 的目的在於創造經濟上可行、標準化的積體電路篩選流程，使通過 B 級篩選程序的裝備失效率為每千小時 0.08%，而通過 A 級(後來改名為 S 級)的裝配失效率為每千小時 0.004%。多年來，此一標準繼續的成長與成熟，由於可靠度資訊與失效分析結果愈來愈詳細，也增加了許多新的試驗方法，這些發展結果因而造就了一份可以獲得的最健全與完整的篩選規範，MIL-STD-883，目前的版本是 1985 年 11 月 29 日發行的 C 版，Notice 4。

根據 MIL-STD-883 的說明，這份標準的目的是在建立微電路裝置一致的試驗方法，包括決定對於裝備軍事與太空應用操作時造成有害效應的週圍自然因素與條件抵抗能力的基本環境試驗，以及物理與電性測試。基於本標準之目的。其適用的微電路「裝置」包括單晶、多晶、薄膜、厚膜與混合微電路，微電路相列，以及形成電路與相列的元件。MIL-STD-883 的試驗方法主要分為兩部份，第一部份詳細說明怎麼做的規範，包括試驗方法 1001 至 4007，第二部份為篩選、品質鑑定與品質符合試驗需求，包括試驗方法 5001 至 5009。仔細觀察每一部份，很明顯的就可看出 MIL-STD-883 的動力所在。

MIL-STD-883 建立測試微電路裝置一致的試驗方法與程序，為一些環境、機械(物理)、目視與電性試驗(線性與數位)等試驗方法的集合體，同時也涵蓋了失效分析、極限試驗、晶片批量接收及破壞性物理分析等試驗程序，本文件對於目視檢查的疵病問題有很深入且廣泛的論述。這些方法清楚的定義試驗的相關規定，使製造廠商及使用者能夠據以執行，篩除可靠度有關的問題。所涵蓋的試驗方法包括耐濕性、高溫儲存、中子輻射照射、衝擊與加速度、目視、輻射線檢驗、以及尺寸檢驗，以上所提只是其中的一小部份。在電性測試的部份，規定的試驗包括負載條件、電源供應、短路電流等測試，以及其他的試驗。每一種試驗都是為了會影響半導體特定品質與可靠度的問題而擬訂。

6.2.9 MIL-STD-1556

MIL-STD-1556, Government/Industry Data Exchange Program (GIDEP)

MIL-STD-1556 : 政府與工業界數據交換計畫

目前的版本是 1986 年 2 月 24 日發行的 B 版，共有 26 頁。本文件定義參與 GIDEP 計畫的需求，包括工程、失效經驗、可靠度 - 維護度數據交換(RMDI)、及度量衡數據交換。此一計畫適用的對象為政府的主要合約商及次合約(使用零件者)。RMDI 計畫包括零件、組件、總成、分系統及材料，根據現場性能資訊及裝備、分系統及系統可靠度試驗建立失效率與模式及更換率數據。此項數據交換同時包括有關可靠度與維護度理論、方法、技術、與程序的報告。

6.2.10 MIL-STD-1635 (EC)

MIL-STD-1635 (EC), Reliability Growth Testing

MIL-STD-1635 : 可靠度成長試驗

此一標準自 1978 年 2 月 3 日發行之後即無再修訂，共有 39 頁，主要是因為後來有關可靠度試驗之美軍標準都整合在 MIL-STD-781 及 MIL-HDBK-781。本文件包含可靠度發展(成長)試驗的需求與程序，詳細說明規劃需求、必須執行的試驗、試驗條件、失效記錄、分析、文件、及改正行動，以及試驗審查的需求，另外提供一篇附錄討論有關 Duane 可靠度成長模式及移動平均法。

6.2.11 MIL-STD-2068 (AS)

MIL-STD-2068 (AS), Reliability Development Tests

MIL-STD-2068 : 可靠度發展試驗

本文件的目的是主要是依據 MIL-STD-785 的準則，強調可靠度發展試驗的需求，它與 MIL-STD-781C 的最大不同點在於並不提供定量的可靠度鑑證需求或硬品的接收性，本文件所規定的試驗主要在確保可靠度問題大部份都已解決。

6.2.12 MIL-STD-2074 (AS)

MIL-STD-2074 (AS), Failure Classification for Reliability Testing

MIL-STD-2074 : 可靠度試驗失效分類

目前的版本仍然是 1978 年 2 月 15 日發行的原始版本，共有 11 頁。本文件包含在執行可靠度試驗時的失效分類準則，將失效分類為相關或非相關兩類，以便據以產生 MIBF 報告。

6.3 日本工業標準(JIS)**6.3.1 JIS C 5003-74**

JIS C 5003-74 電子零件失效率試驗方法通則

JIS C 5003 乃是規定有關電子零件失效率檢定方法一般性需求的日本工業標準，此一通則的適用範圍是以本質上屬於同一設計，並且按照已確定的品質管制程序連續生產製造的電子裝備零件為對象，而且假設其失效分佈為指數分佈，內容說明失效率水準的判斷、維持、及擴張原則，規定試驗時間、試件樣本數目、試驗時間、以及所得結果的處理程序。在此一通則中規定，失效率的允收水準為 60% 及 90% 兩種，如果沒有特殊規定，則為 60%。但是，在失效率水準的維持之確認上，是以 10% 為信賴水準。所提供的表列資料是以每 10^3 小時或者每 $1\%/10^3\text{hr}$ 為 1，並且將它視為 M 水準，更以其為基準而作成的。雖然，失效率水準的判斷、維持、擴張的試驗，原則上是有一定格式的，但也可以在可能的情況下同時採用「加速」。但是以一定格式換算了的總試驗時間或總操作次數的 $1/4$ 以上，必須以一定的格式來測試方可。

6.3.2 JIS 其他有關可靠度試驗之標準

除 JIS C 5003 之外，目前常用的 JIS 可靠度試驗標準摘述如下：

JIS C 5001-67, 電子零件環境試驗通則

JIS C 5021-78, 電子零件耐寒性試驗方法

JIS C 5022-78, 電子零件耐熱性試驗方法

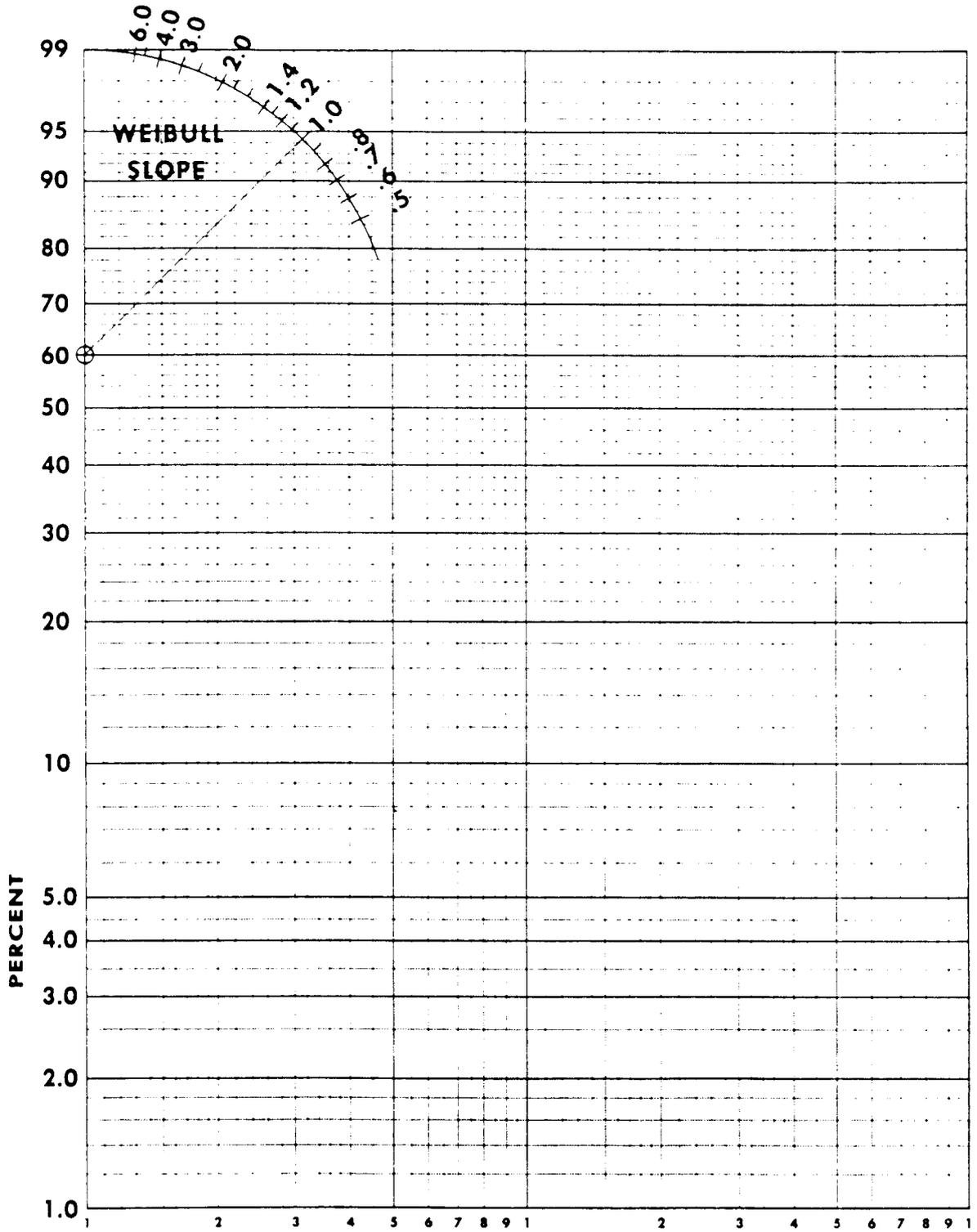
JIS C 5023-78, 電子零件(穩定狀態)耐濕性試驗方法

JIS C 5024-78, 電子零件(溫、濕循環)耐濕性試驗方法

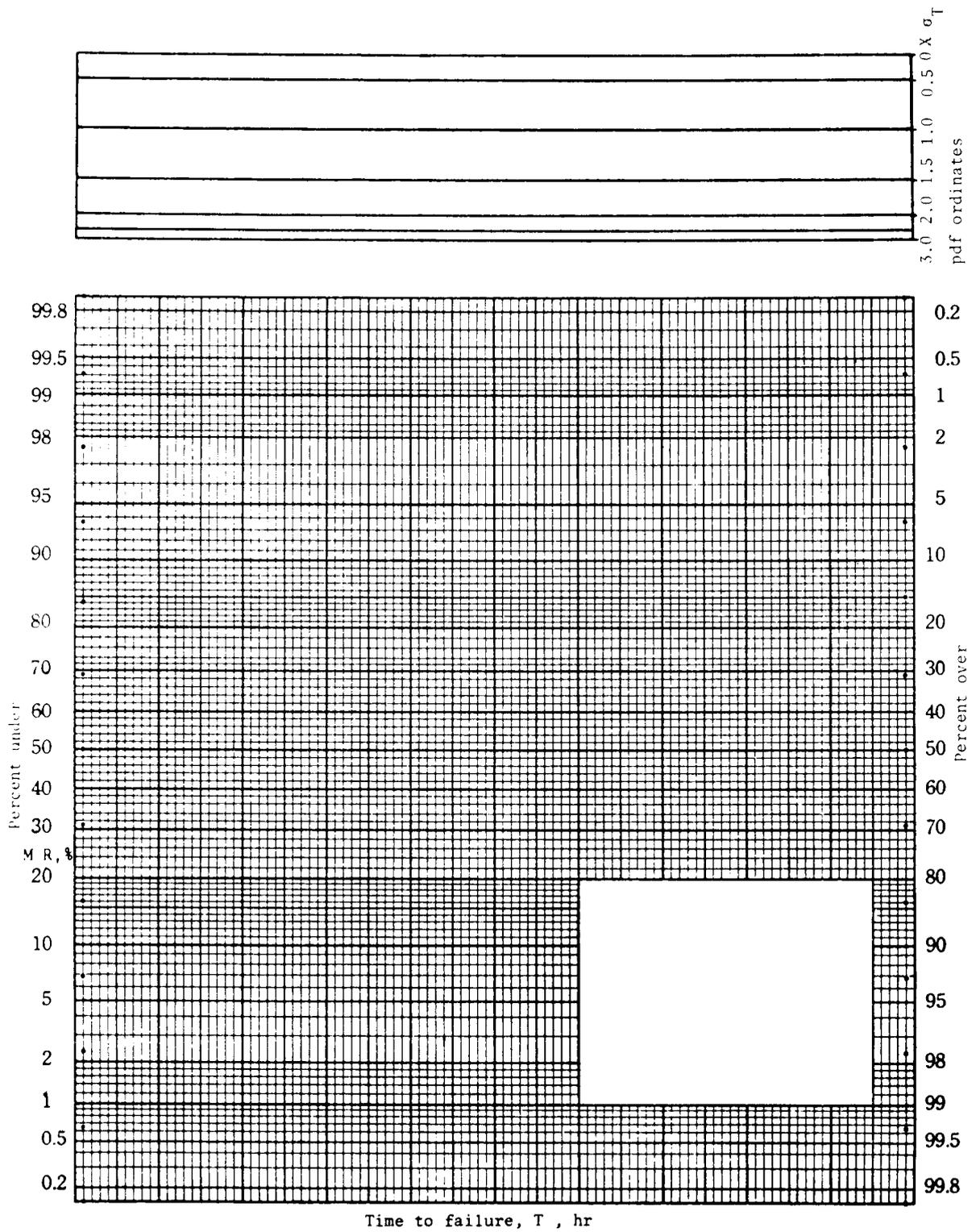
JIS C 5027-75,	電子零件低溫儲藏試驗方法
JIS C 5028-75,	電子零件鹽水噴霧試驗方法
JIS C 5029-75,	電子零件減壓試驗方法
JIS C 5030-78,	電子零件溫度循環試驗方法
JIS C 5031-75,	電子零件氣密性試驗方法
JIS C 5032-75,	電子零件浸泡循環試驗方法
JIS C 5035-75,	電子零件端子強度試驗方法
JIS C 5036-75,	電子零件長時間電氣動作試驗方法
JIS C 5037-75,	電子零件機械性反覆動作試驗方法

參考資料

1. MIL-HDBK-338-1,
2. MIL-HDBK-781,
- 3.



韋伯分佈機率圖



常態分佈機率圖