

可靠度技術手冊  
壽命試驗規劃技術



彭鴻霖 編著  
中華民國八十六年十一月三日

# 壽命試驗規劃技術

## 目 錄

1	前 言 .....	1
2	壽命試驗概論 .....	1
2.1	壽命試驗目的 .....	1
2.2	壽命試驗規格 .....	1
2.3	壽命試驗工作流程 .....	2
2.4	壽命試驗技術內容 .....	3
3	操作壽命試驗 .....	3
3.1	壽命週期與任務輪廓 .....	3
3.2	壽命試驗輪廓 .....	4
3.3	試驗條件與應力水準 .....	6
3.4	軍用裝備操作壽命試驗輪廓 .....	6
3.4.1	陸上固定軍用裝備試驗輪廓 .....	7
3.4.2	陸上機動軍用裝備試驗輪廓 .....	8
3.5	民用裝備操作壽命試驗輪廓 .....	10
3.5.1	室內攜帶式穩定使用裝備低模擬程度優選試驗條件 .....	11
3.5.2	氣候保護位置穩定使用裝備高模擬程度優選試驗條件 .....	15
4	加速壽命試驗 .....	19
4.1	加速壽命試驗的方法 .....	20
4.1.1	時間加速 .....	20
4.1.2	應力加速 .....	20
4.1.3	判定加速 .....	20
4.2	加速壽命試驗應力施加方式 .....	20
4.3	加速壽命試驗的問題 .....	21
4.4	加速壽命試驗規劃注意事項 .....	22
5	可靠度試驗執行 .....	22
5.1	可靠度試驗作業規劃 .....	22
5.1.1	確定可靠度試驗規格 .....	22
5.1.2	確定失效定義與準則 .....	23
5.1.2.1	相關失效 .....	24
5.1.2.2	非相關失效 .....	24
5.2	可靠度試驗執行方案與程序 .....	25
5.3	試驗設備 .....	25
5.3.1	溫度試驗櫃 .....	25
5.3.2	試件冷卻 .....	25
5.3.3	振動試驗設備 .....	26
5.3.4	試驗儀器與設備 .....	26
5.3.5	校正 / 準確度 .....	26
5.3.6	試驗設備運轉測試 .....	27
5.4	試件安裝在試驗設備 .....	27

5.5	性能參數量測 .....	27
5.6	試驗記錄 .....	28
5.6.1	試驗日誌與資料記錄 .....	28
5.6.2	裝備失效記錄 .....	28
5.6.3	失效摘要記錄 .....	28
5.6.4	失效的標籤 .....	29
5.7	失效報告、分析與改正行動 .....	29
5.8	預防維護 .....	29
5.9	試驗時間累積 .....	29
5.10	失效改正後再試驗 .....	30
5.11	試驗後試件之整修 .....	30

# 壽命試驗規劃技術

## 1 前言

凡是與產品失效及失效所產生的效應有關而執行的各種試驗統稱為可靠度試驗。進行可靠度試驗的目的是為了在產品的研發與製造過程中，評價、驗證、保證或提高產品可靠度，以確保交貨之後，在規定的使用時間內及規定的使用條件下，能夠達到規定的可靠度指標提供有關的數據。廣義的可靠度包括性能試驗、環境試驗、壽命試驗及應力篩選。由於可靠度特別是強調產品的時間績效品質，因此狹義的可靠度試驗則是專指壽命試驗。壽命試驗是獲得可靠度數據的主要來源之一，是進行可靠度設計與分析的基礎。通過壽命試驗可以發現產品研發與設計階段所無法掌握的一些潛在問題，明確是否需要進行設計修改或變更。同時，可以對改善後的可靠度指標進行評定與驗證。本報告以可靠度試驗中之操作壽命試驗與加速壽命試驗技術為主，首先概要說明壽命試驗的目的、規格、工作流程、技術內容，然後分別從軍用裝備與民用裝備的觀點討論如何規劃建立操作壽命試驗之試驗週期，加速壽命試驗技術與方法，最後討論在執行可靠度試驗時的一些注意事項。

## 2 壽命試驗概論

### 2.1 壽命試驗目的

當可靠度規格確定，產品的基本設計架構完成之後，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。尤其是當實體硬品產生後，無論它是雛型件、原型件或定型件，壽命試驗為評估與驗證物品時間績效中的可靠度是否滿足需求，最客觀、有效的試驗方法之一，其主要目的有：

- (1). 評鑑產品的可靠度水準；
- (2). 驗證產品的環境適應能力；
- (3). 剔除早期失效產品或選擇具有一定可靠度水準的產品；
- (4). 了解產品的失效時間的規律及其分佈參數，做為設計、分析、生產及使用產品提供必要的資訊；
- (5). 暴露或發掘產品的弱點，以便經不斷地監控與改進的可靠度成長過程，提高產品可靠度，使其儘早達到規定之水準。

### 2.2 壽命試驗規格

在一般產品常見的五種可靠度指標中，與壽命有關的計有失效率、平均失效間隔時間(MTBF)及平均壽命(mean life)，都是選取一定數量的樣品試件，將之施加規定的工作與環境條件，按規定連續或間歇操作試件，記錄及累積操作總時間與失效次數等試驗數

據，從而根據假設的壽命機率分佈與數理統計方法，計算與評價物品的壽命參數及其可靠度水準。以失效率為其可靠度指標者多為組合層次極低的電子零組件，其相對應的可靠度試驗為失效率試驗；對於機械零組件，則以磨耗壽命為試驗的主要對象。失效率和磨耗壽命試驗，由於其組合層次較低，且其失效模式較具系統性，因此包括工作與環境兩項應力的試驗條件較為單純，試驗技術的重點在於如何規劃試驗樣本及研判決策，及根據試驗所得的壽命資料推算所需的失效率或平均壽命。

### 2.3 壽命試驗工作流程

產品壽命試驗作業為可靠度試驗與評估作業中的一部份，可靠度試驗與評估流程如圖 1 所示，其中有關壽命或失效數據分析以及可靠度推論與推測等比較屬於數據定量分析部份為可靠度評定估的工作，而試驗的規劃、試驗條件與試驗輪廓等的決定，這些比較屬於工程技術性質的項目，則是壽命試驗的內容。

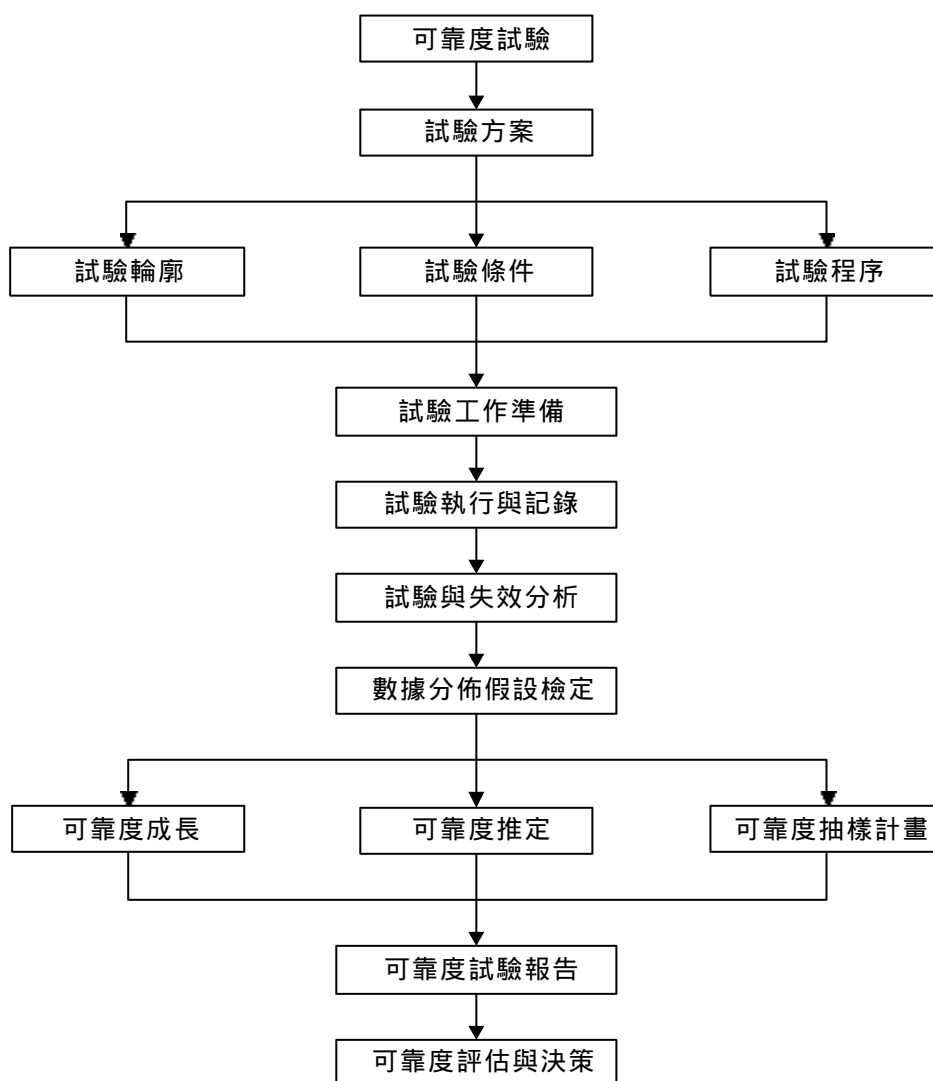


圖 1: 可靠度試驗與評估工作流程

## 2.4 壽命試驗技術內容

壽命試驗工作內容主要是在如何確定每一個執行壽命試驗的樣本個體的試驗條件，包括試件內在的工作應力與外加的環境應力，依照試驗時施加應力水準與實際任務應力水準之關係，壽命試驗可分為正常壽命試驗和加速壽命試驗兩種。正常壽命試驗按其操作模式又可以分為貯存壽命試驗和操作壽命試驗。貯存壽命試驗有自然存放(室內、棚下、露天、坑道和庫房外)和高溫貯存；操作壽命試驗則由間斷操作壽命和連續操作壽命兩種，而後者有分為靜態操作與動態操作。由於此類試驗輪廓多為由任務輪廓及環境輪廓分析所建立之複合環境試驗輪廓，因此正常操作壽命試驗又稱為複合環境可靠度試驗，第 3 節將討論如何建立複合環境可靠度試驗之試驗輪廓。加速壽命乃為節省試驗時間、快速地評價產品壽命而執行之可靠度試驗，加速壽命試驗必須在失效機制不改變、失效原因不增加的前題下進行，有關加速壽命試驗技術將在第 4 節中予以討論。

其次是在執行可靠度試驗時必須注意那些事前準備事項，如何準備試驗方案與程序、如何規劃與安排試驗所需的設備、儀器，及按規定的試驗方法與程序執行試驗，撰寫記錄與報告，不論是何種壽命或可靠度試驗，此部份為共同的項目，一般由實驗室負責，將在第 5 節中詳加討論。

## 3 操作壽命試驗

操作壽命試驗一般分為間斷操作壽命試驗和連續操作壽命試驗兩種，後者又分為靜態操作壽命試驗與動態操作壽命試驗兩類。操作壽命試驗輪廓多為由任務輪廓及環境輪廓分析所建立之複合環境試驗輪廓，因此正常操作壽命試驗又稱為複合環境可靠度試驗，以下討論如何建立複合環境可靠度試驗之試驗輪廓。

### 3.1 壽命週期與任務輪廓

壽命週期(life cycle)對系統與裝備的研發與生產而言有兩方面的意義：一為系統壽命週期(system life cycle)，另一為產品壽命週期(product life cycle)。產品壽命週期是指產品從材料、零件採購加工、生產製造、裝配組合、安裝部署、儲存運輸、到最後使用或除役報廢的整個過程，此一定義係針對實體產品而言，亦即「從搖籃到墳墓」的過程，如圖 2 所示。一般產品壽命週期可分為後勤週期(logistic cycle)與操作週期(operational cycle)兩大部份。對一般產業而言，後勤週期又稱為銷售服務(after sale service)週期。

系統或裝備構成物品的好壞狀態可分為可用狀態與失效狀態兩大類，操作週期為系統與裝備處於可用狀態的時間，包括自由時間(free time)、備用時間(standby time)和操作時間(operating time)，備用時間又稱為惰態時間(dormat time)。裝備在自由時間與備用時間中都是處於不操作狀態，以電子裝備為例，其間的差別是後者的電源已接上，隨時可以因需要進行操作使用。備用時間與操作時間之和又稱為需要時間(required time)，此一時間構成物品的工作循環(duty cycle)。由不操作(含惰態)與操作狀態所構成可用時間一般又稱為任務週期(mission cycle)或任務輪廓(mission profile)。可用時間與停用或故障時間即構成物品的壽命週期(life cycle)的一個循環，或物品在其壽命週期中只有一次任務循環者稱為單次功能物品。

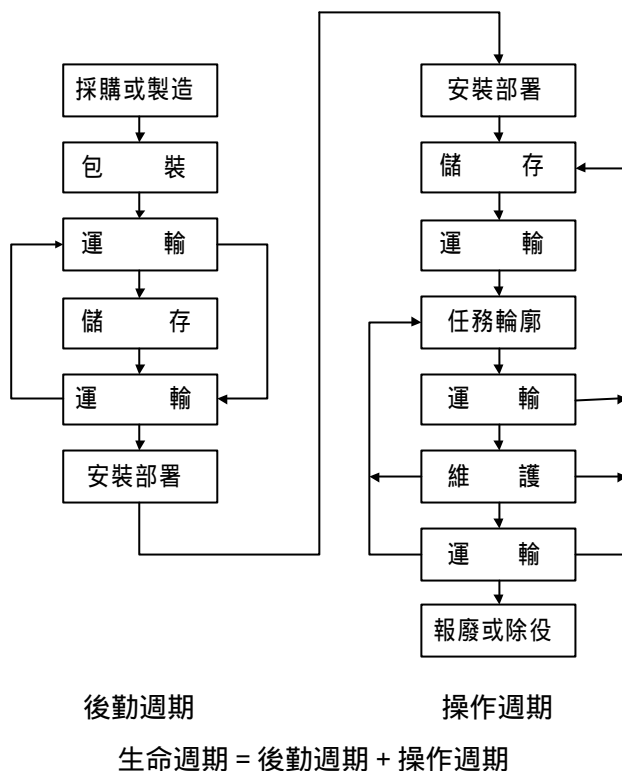


圖 2: 系統與裝備典型的壽命週期

### 3.2 壽命試驗輪廓

操作壽命試驗(operational life test)之目的為評價物品在操作階段的操作時間績效。為求正確獲得有意義的結果，試驗時依照物品規範定義的實際使用條件決定的一系列環境條件及應力位準作為試驗條件，這些試驗條件是按一定的時間次序安排，一般稱之為試驗輪廓或試驗週期(test profile or test cycle)。此一試驗輪廓係推導自產品的實際壽命週期或任務輪廓。基於此一考量，執行試驗時所使用試驗輪廓通常是由許多工作及環境條件複合而成的，因此稱為複合環境試驗輪廓(combined environmental test profile)，而稱以此所規劃執行的操作壽命試驗為複合環境可靠度試驗(combined environmental reliability test, CERT)。所使用的試驗條件必須針對特定的系統、載具(platform)和操作環境等作分析，並經適當的裁適(tailoring)才能確定而提出。

對系統和裝備而言，不論是在研發或生產階段，在執行諸如可靠度成長試驗、可靠度鑑定試驗及生產可靠度接收試驗等試驗時，所使用的試驗輪廓是由電性輸入特性、溫度、振動、濕度及其他適當之環境或使用條件等應力所組成的，此一輪廓是在硬品進行壽命試驗必須確定的項目。

常用的試驗輪廓是以 24 小時或其分數為基本單元，按各項應力的特性及其可能效應加以規劃安排。由於溫度的熱傳特性、效應、作用時間及試驗時試件需達溫度穩定的需求，一般試驗輪廓的規劃以溫度與時間的變化關係(亦即溫度輪廓)為主，首先考慮物品在四季使用時可能遭受之常溫、高溫、常溫及低溫組合，必要時並區別操作溫度與儲存溫度，然後就不同穩定溫度下配合物品任務特性，在各種溫度下考量操作(加電)與不

操作(不加電)等工作條件，電性應力(電壓、電流)，以及振動、濕度等環境條件所組合而成。

若物品的設計僅是應用於單一任務或單一型式之重複任務，則試驗輪廓與任務、壽命週期環境輪廓為一對一的關係，試驗條件則模擬任務的實際應力水準。若裝備之設計為應用於多種任務與多項環境條件，試驗輪廓則以多種任務經組合後而決定，其試驗應力水準和時間則依據裝備壽命週期之不同任務型式百分比而定。

各類軍用裝備之壽命試驗主要是依據 MIL-STD-781 及 MIL-HDBK-781 所提供之複合環境可靠度試驗輪廓進行試驗。試驗輪廓必須以裝備之壽命週期及任務輪廓定義為依據，經過環境輪廓分析後確定適宜的項目、位準及時間，然後依照硬品的特性及試驗設備能力等加以規劃擬訂壽命試驗的基本輪廓週期，試驗時循環的重複此一基本輪廓週期，在試驗過程中持續或定期觀察試件失效的情形，一般的可靠度試驗為量測試件的失效時間。典型的軍用裝備壽命試驗輪廓如圖 3 所示。

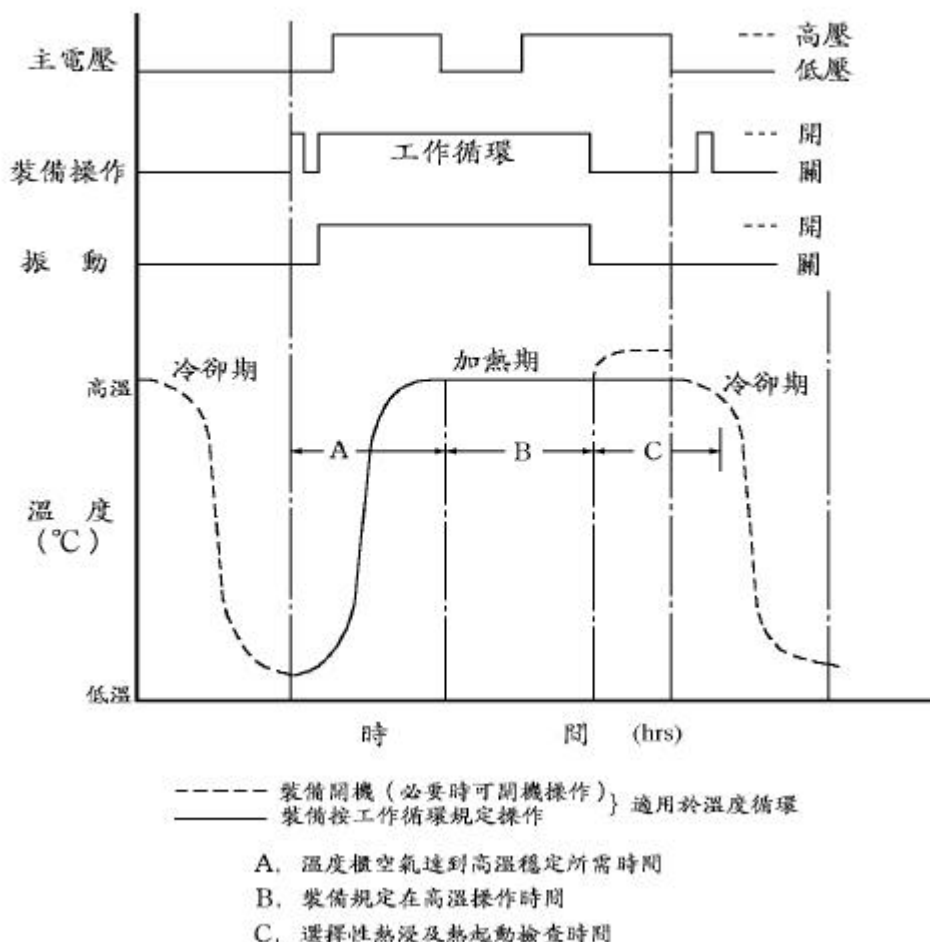


圖 3: 典型的軍用裝備壽命試驗輪廓



有關各類民用裝備之壽命試驗輪廓，主要可參考國際標準 IEC 605 系列中的 IEC 605-2 及 IEC 605-3 之規定。所建議使用的試驗輪廓含蓋物品在正常使用時的功能運轉、開關切換、搬運和運輸等操作情形。此處所謂的運輸並不包括由長期儲存地點移動到使用位置的運輸，這一部份是屬於後勤週期的項目，一般是以前處理試驗(pre-exposure test)的方式來評價其對物品壽命或可靠度的影響。試驗輪廓中主要包括操作條件、氣候條件、機械應力條件；操作條件又包括操作模式(開或關)和供電模式(市電、不可充電電池或可充電電池。除此之外，視使用定義尚可加入一些其他條件，如生物條件、化學作用物質、機械作用物質等。至於電磁環境，通常是以型式試驗(type test)、型式認可(type approval)或品質鑑定試驗(qualification test)的方式分開進行評價，一般並不納入壽命試驗輪廓中。

### 3.3 試驗條件與應力水準

為導出實際的試驗條件和水準，應量測裝備在實際任務操作的真實環境(尤其是溫度及振動二項)；若無上述資料可資利用，則可參考相關規範或資料，以訂定出試驗條件和水準。環境應力水準之取決，應以下述優先次序為之：

#### (1). 量測應力

試驗時所加環境應力型式與水準，應基於實際任務輪廓內、預定的應用情形與場所遭遇之環境應力量測數據。

#### (2). 預估應力

如無法獲得環境應力之實際量測值，則可參考任務輪廓、使用情形與場所相類似裝備的環境資料，決定試驗所加應力型式與水準。

#### (3). 規範應力

按照系統或裝備之分類及使用特性，一般軍用裝備則可參考美軍手冊 MIL-HDBK-781、美軍標準 MIL-STD-781 及 MIL-STD-810 及等相關章節之規定；而民用裝備可參考國際標準 IEC 605-2、IEC 605-3 及 IEC 721-3 系列相關章節之規定。

### 3.4 軍用裝備操作壽命試驗輪廓

複合環境可靠度試驗之試驗輪廓與系統裝備類別、載具(platform)和操作模式等特性習習相關，美軍手冊 MIL-HDBK-781 依照裝備的用途將試驗輪廓分為：

- (1). 陸上固定裝備；
- (2). 陸上機動裝備；
- (3). 船舶裝備；
- (4). 噴射飛機裝備；

- (5). 螺槳飛機與直昇機裝備；
- (6). 飛彈及飛機外掛裝備。

其中陸上機動裝備又分為輪型車輛裝備、履帶車輛裝備、野戰帳篷裝備及人員背負裝備；船舶裝備又分為海軍艦船、海軍潛艇、碼頭駁船及水下交通工具；噴射飛機裝備又分為固定翼及短程垂直起降飛機；飛彈與飛機外掛裝備又分為空射飛彈、飛機外掛裝備及地射飛彈。茲以陸上固定裝備及陸上機動裝備為例，簡單說明試驗輪廓之內容。

### 3.4.1 陸上固定軍用裝備試驗輪廓

陸上固定裝備通常都是安裝於有控制環境之建築物內，因此不需執行循環溫度式的試驗輪廓，不過對於戶外使用的固定裝備，則需考慮循環溫度的複合環境條件。由於此種裝備在運送到最後的安裝地點時必經運輸過程，因此在執行各項可靠度試驗前應先執行不加電的振動試驗。典型的陸上固定裝備複合環境試驗輪廓，其試驗時間為 24 小時或其分數為試驗輪廓的基本週期。

#### (1). 電性應力和加電時機

裝備操作時之電壓輸入，其時間分配為：正常電壓佔 50%，最高與最低電壓各佔 25%；若無特別規定，輸入電壓範圍則為正常電壓之  $\pm 7\%$ 。操作循環時間則視裝備使用而定，典型的有每天 4、8 或 16 小時，或全天連續操作但做週期性的關機保養。裝備的加電循環，其中 90% 為加電，其餘不加電的時機則可隨機選擇調配。

#### (2). 振動應力

通常在環境輪廓中的操作階段並無振動試驗之需求。若裝備運送至安裝地點之過程中無特殊包裝，則在執行可靠度試驗之前應執行振動試驗，此振動試驗為單頻正弦波，試驗水準為  $2.2G_{pk}$ ，頻率範圍為 20~60Hz 的非共振頻率，試驗時間為 20 分鐘。

若裝備有特定的運輸形態，則在執行可靠度試驗之前應依據運輸振動和衝擊試驗等之環境鑑定試驗需求，鑑定其包裝設計。運輸振動和衝擊試驗需求規格可參考 MIL-STD-810 之方法 514.3，其原則說明如下述條件 a.~c.：

- a. 基本運輸：試驗程序 I，試驗條件 I-3.2.1。
- b. 大件運輸：試驗程序 II，試驗條件 I-3.2.2。
- c. 鬆裝運輸：試驗程序 III，試驗條件 I-3.2.3。

#### (3). 熱應力

可靠度試驗之熱應力以裝備規定的操作溫度為主，若無規定，則可參考下述 a.~f. 之條件：

- a. 冷浸(cold soak)不操作溫度：全世界通用裝備為  $-54^{\circ}\text{C}$ ，台灣地區使用裝備則為  $-10^{\circ}\text{C}$ 。
- b. 熱浸(hot soak)不操作溫度：全世界通用裝備為  $+85^{\circ}\text{C}$ ，台灣地區使用裝備則為  $+60^{\circ}\text{C}$ 。
- c. 若裝備安裝於有空調之建築物內，則操作溫度為  $+25^{\circ}\text{C}$ ，電腦裝備則應控制在  $+20^{\circ}\text{C}$ 。
- d. 若裝備安裝於無空調之建築物內，則操作溫度為  $+40^{\circ}\text{C}$ 。
- e. 若裝備安裝於亞熱帶或熱帶之無空調房屋，則需考慮循環式的溫度輪廓，其操作溫度 50%時間執行  $+60^{\circ}\text{C}$ ，25%執行  $+40^{\circ}\text{C}$ ，25%執行  $+20^{\circ}\text{C}$ 。
- f. 對於戶外使用之固定裝備，其操作溫度之擬訂原則為：全世界通用裝備為  $-40^{\circ}\text{C} \sim +71^{\circ}\text{C}$ ，台灣地區使用裝備則為  $-10^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 。

#### (4).濕度

濕度試驗除非在合約上有規定，否則無此需求；詳細的濕度環境需求可參考 MIL-STD-210 有關濕度氣象需求之指南。

#### 3.4.2 陸上機動軍用裝備試驗輪廓

機動裝備在應用上以軍用裝備為主，且以戶外使用居多，一般可分為輪型車輛裝備、履帶車輛裝備、野外帳篷裝備及個人攜帶裝備等數種。此類裝備之可靠度試驗需考量其複合環境，各種自然環境條件之水準依其使用地理位置及氣候型態而定，MIL-STD-210 提供了各種地理分區的氣候極值規格之參考。

有關振動環境需求，MIL-STD-810 提供了有關的指南。裝備在移動的載具(包含輪型及履帶車輛)或停止行進時操作，則應考量循環式試驗，其試驗時間為 24 小時或分割成幾個時段。

自然環境之氣候極值和振動資料均應考量最大條件；實際試驗的環境條件應包含各項預期環境的分布情形，最大條件之試驗水準應只佔一小部份。陸上機動裝備之複合環境可靠度試驗輪廓如圖 4 所示。

#### (1).電性應力和叻電時機

裝備操作循環中之輸入電壓，其時間分配為正常電壓佔 50%，最高與最低電壓各佔 25%；輸入之電壓範圍，若無特別規定，請參考下述原則 a.~d.：

- a. 輪型車輛裝備：正常電壓之  $\pm 10\%$  或按合約規定；
- b. 履帶車輛裝備：正常電壓之  $\pm 10\%$  或按合約規定；

- c. 野戰帳篷裝備：正常電壓之  $\pm 10\%$  或按合約規定；
- d. 個人攜帶裝備：24V 直流電壓，最高電壓為 32V，最低電壓為 20V。

操作試驗週期之時間以任務需求和裝備設計時控制的規格為基礎。加電循環時間的規劃為 90% 加電，10% 不加電，不加電的時機可隨機分配。若裝備設計為連續操作 8 小時，則操作循環為 8 小時，但在下次操作前應完全關機，而且此一時間應足夠長到使裝備與周圍空氣溫度達到穩定。

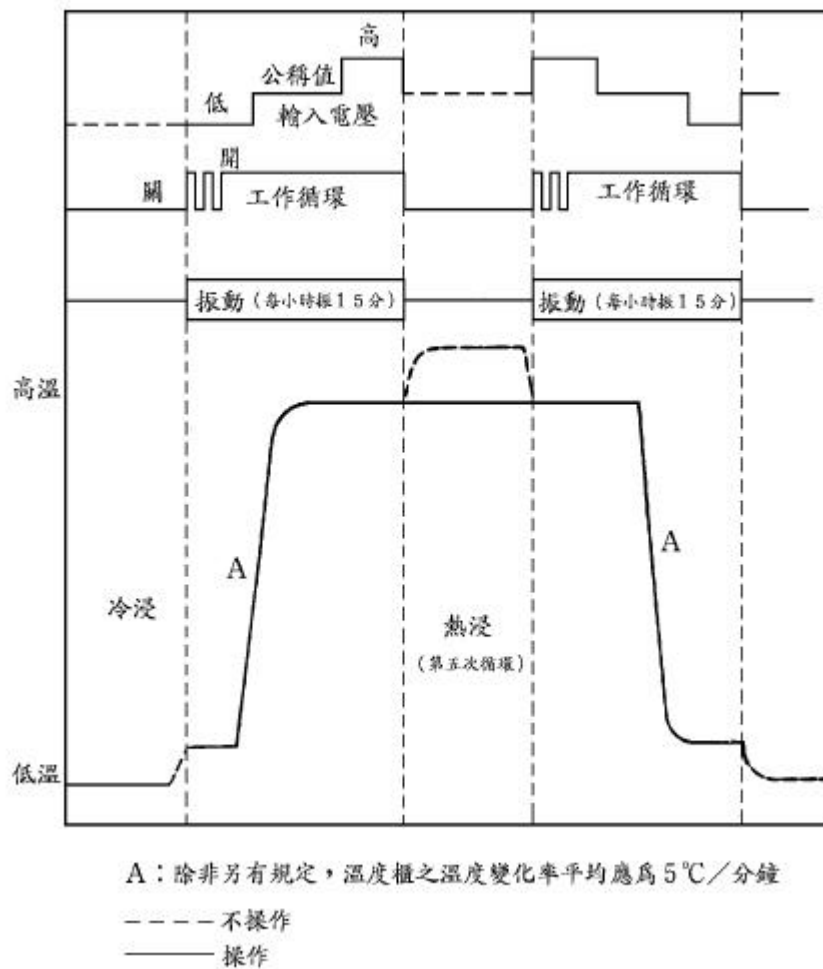


圖 4: 陸上機動裝備之可靠度試驗輪廓

## (2). 振動應力

除非合約上有規定，否則操作壽命試驗之振動應力需以 MIL-STD-810 試驗方法 514.3 試驗程序 I，試驗條件 I-3.2.10 為指南，一般參考原則如下述 a~d. 之條件：

- a. 輪型車輛裝備：其振動應力正弦掃描振動，頻寬為 5~200~5Hz，最長時間為 5.5 小時，每循環 12 分鐘，執行三軸向，最大 G 值為 3.5G，最大雙位移為 1 英吋。

- b. 履帶車輛裝備：其振動應力為正弦掃描振動，頻寬為 5~500~5Hz，最長時間為 3 小時，每循環 15 分鐘，執行三軸向，最大 G 值為 4.2G，最大雙位移為 1 英吋。
- c. 野外帳篷裝備：考量野外帳篷裝備都是以輪型車輛載運為主，其振動應力比照輪型車輛裝備，為正弦掃描振動，頻寬為 5~200~5Hz，最長時間為 5.5 小時，每循環 12 分鐘，執行三軸向，最大 G 值為 3.5G，最大雙位移為 1 英吋。
- d. 個人攜帶裝備：考量個人在野戰期間搭乘裝甲運輸車輛作部隊集結運動之可能性，個人攜帶裝備之振動應力比照履帶車輛裝備，為正弦掃描振動，頻寬為 5~500~5Hz，最長時間為 3 小時，每循環 15 分鐘，執行三軸向，最大 G 值為 4.2G，最大雙位移為 1 英吋。若確定此類裝備在其壽命週期中只有以輪型車輛運輸的可能性，則其振動應力應依照輪型車輛裝備之需求規劃擬訂。若裝備操作時，其載具大部份時間為靜止狀態，則振動僅須加在載具運動之時間。

### (3). 熱應力

裝備須在規定的最大與最小溫度下操作，若無規定，則可參考下述 a.~c.之條件：

- a. 冷浸溫度：全世界通用裝備為  $-54^{\circ}\text{C}$  (由正常循環開始)，台灣地區使用裝備則為  $-10^{\circ}\text{C}$ ；
- b. 熱浸溫度：全世界通用裝備為  $+85^{\circ}\text{C}$  (每 5 循環執行一次)，台灣地區使用裝備則為  $+60^{\circ}\text{C}$ ；
- c. 操作溫度：全世界通用裝備為  $-40^{\circ}\text{C} \sim +71^{\circ}\text{C}$ ，台灣地區使用裝備則為  $-10^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 。

### (4). 濕氣

若裝備在未來服役後的環境，會使濕氣水準大到產生凝結和結霜，則需執行試驗。試驗時濕度不必保持恆定，試驗週期時在適當時間應使濕氣達到高水準，濕度環境規格之擬訂可參考 MIL-STD-210 之規定。

## 3.5 民用裝備操作壽命試驗輪廓

國際標準 IEC 605 系列有關試驗輪廓的規定為第 2 部份 IEC 605-2 及第 3 部份 IEC 605-3。IEC 605-2：「試驗週期規劃指引」(IEC 605-2, Guidance for the design of test cycle)目前正在草擬準備中，尚未發行。IEC 605-3：「優選試驗條件」(IEC 605-3, Preferred test conditions)則是針對不同裝備應用狀況與試驗模擬程度加以描述之各種建議引用的優選試驗條件。在裝備應用位置方面，大致分為室內使用(無氣候保護)、部份氣候保護及(完全)氣候保護三類；在使用狀況方面分為攜帶式、穩定使用及非穩定使用三種。

國際標準 IEC 605 系列將裝備壽命試驗依照試驗條件的模擬程度分為高模擬程度及低模擬程度兩種。所謂低模擬程度乃是指在規劃擬訂試驗條件時，針對下述項目擇其一或一項以上加以簡化而成：

- (1). 環境參數數目；
- (2). 有關環境參數之應力水準數目；
- (3). 裝備可能的操作模式數目；
- (4). 這些參數的次序與複合情形。

高模擬程度的試驗週期比較複雜、且接近實際使用條件，當然在實際執行試驗的成本也比較高。一般選用高模擬程度的場合是在試驗結果非常重要時，例如失效會造成安全或經濟損失後果、或與環境污染等法規抵觸等關鍵問題時。當失效後果比較不重要的場合，例如休閒娛樂用的電視機與收音機，則可採用低模擬程度的試驗條件。當選用低模擬程度時，雖然試驗週期已經被簡化過，但是仍然必須根據失效模式和可靠度特性數值的需求，維持試驗的再生性和重複性。一般在不同時刻與不同實驗室，對同一物品進行試驗時，必須特別注意把握此一原則。同樣，不同模擬程度的各種試驗之間，也要維持相當程度的一致性。高模擬程度試驗所得到的可靠度應該更接近現場可靠度評估結果。

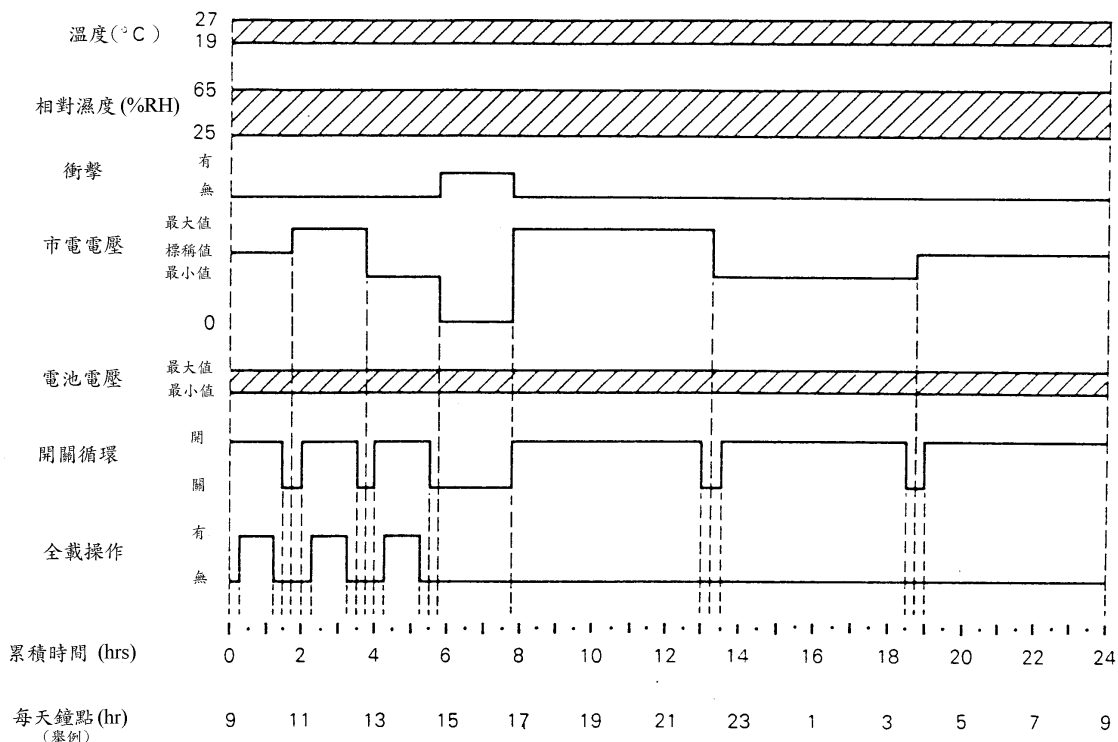
目前國際標準已發行優選試驗條件的民用裝備包括：

- (1). IEC 605-3-1： 「室內攜帶式裝備低模擬程度優選試驗條件」  
(IEC 605-3-1, Preferred test conditions, Indoor portable equipment - Low degree of simulation)
- (2). IEC 605-3-2： 「氣候保護位置穩定使用裝備高模擬程度優選試驗條件」  
(IEC 605-3-2, Preferred test conditions, Equipment for stationary use in weatherprotected locations - High degree of simulation)、
- (3). IEC 605-3-3： 「部份氣候保護位置穩定使用裝備低模擬程度優選試驗條件」  
(IEC 605-3-3, Preferred test conditions, Equipment for stationary use in partially weatherprotected locations - Low degree of simulation)、
- (4). IEC 605-3-4： 「攜帶式與非穩定使用裝備低模擬程度優選試驗條件」  
(IEC 605-3-4, Preferred test conditions, Equipment for portable and non-stationary use - Low degree of simulation)、

### 3.5.1 室內攜帶式穩定使用裝備低模擬程度優選試驗條件

室內攜帶式穩定使用裝備低模擬程度優選試驗條件適用的裝備，一般是只作為在穩定位置操作使用、且重量不超過 15kg 的攜帶式裝備，在移動和搬運時，一般是處於停用狀態，操作時的電源供應主要是電池及(或)市電。所有的操作、移動和搬運，都是在室內完成的；當移到室外時，則是在有保護的狀態。

常見的適用裝備例如：辦公室使用的小型辦公室用機器、實驗室或工廠的工作台上的儀器、和一般家庭起居室內使用的小型家電裝備。此類裝備的優選試驗週期如圖 5 所示。



605-3-1/029/86

圖 5: IEC 605-3-1 建議之室內攜帶式裝備優選試驗週期

基於狀況及低模擬程度的要求，在擬訂此種試驗週期的試驗條件時，有一些基本原則和建議的試驗週期條件說明如下：

**(1). 本試驗週期所含蓋之相關裝備壽命週期範圍**

此一試驗週期的規劃原理是將受試裝備安置在正常使用情況下操作，以便觀察其功能能力隨時間的變化情形。試驗週期所含蓋的項目包括：開關切換、搬運和運輸。至於，由工廠到使用地點的運輸和長期儲存，並不在試驗條件的規劃之列。

**(2). 前處理試驗**

當然，儲存和運輸條件會影響裝備廣義的可靠度，假如這些影響不可忽視時，建議將同一試件加以適當的包裝後執行前處理試驗，以模擬壽命週期中者這幾個時期對於裝備可靠度可能造成的效應。這些前處理試驗的結果，不可以被用來取代有關包裝規定的品質鑑定試驗。

### (3). 電源供應

此類裝備有電池與市電兩用、只用電池及只用市電三種電源供應方式，電池又可分為不可充電電池和可充電電池兩種。各種狀況的需求說明如下：

#### A 市電與電池兩用供電

市電/電池兩用供電操作裝備是指由市電與電池交互循環供應電源，當電池無法在 24 小時的循環時間中維持一定的電容量，則電池供電時間只限於裝備在全操作的開機時間供電，在週末其短期休假，最好完全由市電供給必要的電源。

#### B 只用市電供電

一般電力線電壓的變異範圍在  $\pm 10\%$  之間，因此在採用市電執行試驗時，依照規定變化供應的電壓：最大電壓值應該在標稱值  $+7\%$  至  $+10\%$  之間；最小電壓則在標稱值  $-7\%$  至  $-10\%$  之間。假如在裝備規範中另有要求，則應該維持更小的電壓變動範圍。由於本優選試驗週期為低模擬程度試驗週期，因此市電及電力線中斷所造成的暫態電壓並不在試驗週期的模擬範圍。假如裝備對於暫態電壓很敏感，則必須模擬此種應力。

#### C 只用不可充電電池

電池操作裝備是由指定使用的電池提供必要的電源，使用時必須維持最小電池電壓。在試驗開始時，使用新的電池，並且在使用達到電池有用壽命，或是在負載狀況下電池電壓降低至裝備規範中規定的最小值時，則更換新的電池。

#### D 使用可充電電池

在試驗開始時，電池應該先充滿電。若在試驗時，充電電池與市電連接當作緩衝之用，則在裝備以市電操作使用時，應該能夠自動對充電電池充電。假如電池是當作替代電源供應時，在使用市電操作的試驗期間應該根據相關規範所提供的詳細說明，對充電電池進行充電，並且應該時常在負載狀況檢查電池。

假如裝備只有由充電電池供電，則可以在關機階段停止試驗，對電池進行充電。

相關的規範應該定義電池是否為裝備整體的一部份，假如是如此，則在整個試驗過程中應該使用同一個電池。

### (4). 操作條件

#### A 操作模式

一般假設這種裝備每天只有數小時是在「開機」使用狀態，少數幾次的開關切換動作，而且在許多場合即使是開機也很少是全載操作狀態。

#### B 開關切換循環



試驗時藉由受試裝備的開關切換循環來執行開關循環，晚間作業的循環次數可以利用經過適當規劃的外加開關來執行。使用外加切換開關可以獲致顯著的電源開關循環，在週末或假日時不需要派員加班看管試驗的進行。安裝外接開關時，有些裝備可能必須做一些微小的線路變更。若試驗操作是採用手動開關循環，在週末和短假日期間，可以省略開關動作，而使受試物品維持在開機狀態。

### C. 全載操作

有關全載操作 IEC 605-1 中第 8.2 節之說明，應該依照相關產品規範所描述者執行之。

## (5). 氣候條件

此一試驗週期適用的裝備，一般是在有正常暖氣和通風的房間內操作使用。氣候條件的變化可能是由於室外的日夜和四季氣候變化，以及暖氣或通風系統經常或偶而進行開關切換所造成的。正常的週圍溫度在介於  $+19^{\circ}\text{C}$  與  $+27^{\circ}\text{C}$  之間、極值溫度很少超出  $+13^{\circ}\text{C}$  與  $+32^{\circ}\text{C}$  之外。正常濕度介於 36%RH 與 54%RH 之間，極值濕度很少超過 25%RH 與 65%RH 之外。一般假設溫度和(或)濕度的正確數值、以及在規定範圍內的變動情形，對裝備的可靠度不會有很嚴重的影響。

試驗時的溫度設定在  $+19^{\circ}\text{C}$  至  $+27^{\circ}\text{C}$  之間，並且儘量避免保持在接近界限值的常數溫度值。試驗時儘量避免造成熱衝擊。相對濕度設定在 25%RH 至 65%RH 之間。除了溫度與濕度值與容差之外，試驗係依照國際環境試驗標準 IEC 68-2-2 的試驗方法 Bb 或 Bd 規定的相關程序進行。

由於此項試驗是低模擬程度試驗，因此試驗條件不包括氣候條件的變異。試驗進行時應該非常小心，避免將試驗物品暴露於太陽輻射、熱輻射、凝結、霉菌、空氣污染以及灰塵。

## (6). 機械應力條件

當裝備由一個地點移動或搬運到另外一個地點時，即使是非常小心地進行搬運作業，難免會發生一些機械應力。重量低於 5kg 的輕型裝備，通常是用手來移動，因此在將裝備安置在桌面或棚架上時，總是避免不了衝擊的產生。較重的裝備在搬運時一般都會比較小心，例如使用小型拖車，因此破損的風險比較小。裝備通常是在拔掉市電插頭的關機狀態下遭受到這些機械應力。

本試驗週期的機械應力條件只考慮在移動與搬運時所造成的衝擊環境。在試驗進行過程中，應該儘量避免使受試物品遭受到比正常搬運還大的機械應力。

### A 振動

由於本項試驗週期的模擬程度低，因此拖車或其他運輸工具所造成的振動並不在機械應力試驗條件的考慮之列。

### B 衝擊

基於振動應力同樣的理由，本試驗週期的衝擊應力條件只考慮裝備在拔掉市電插頭、處於關機狀態下進行正常搬運過程中受的衝擊應力。

除非在相關規範中另有規定，應該依照國際標準 IEC 68-2-32 方法 1 規定的程序進行衝擊試驗，亦即：對於 5kg 重以下的裝備，每次循環以 100mm 高度跌落三次；超過 5kg 重的裝備，每次循環以 50mm 跌落一次。受試物品依照正常使用時的角度位置跌落在混凝土表面上。跌落時，裝備是在不操作及關機狀態。對於以電池操作的裝備，執行此一試驗時電池應該維持在定位。

### (7). 其他條件

至於其他如太陽輻射、熱輻射及凝結等氣候條件，霉與菌等生物條件，各種氣體空氣污染物等化學作用物質，以及灰塵等機械作用物質，雖然這些環境條件在裝備操作使用階段可能存在，但是其濃度或強度有限，而本試驗週期是屬於低模擬程度，因此，上述條件並不包括在試驗條件中。

至於一定水準以上的電磁場產生干擾環境條件，一般只是暫時性的影響裝備的操作，並不會對裝備可靠度造成長期的效應，因此電磁干擾也不包含在試驗條件之中。

### (8). 允許之修改

由於本試驗週期為低模擬程度，在每週七次循環中可以去掉兩次一般需要人工操作的試驗週期，只要在任何一週內的修改次數不超過三次，在短期休假時同樣也允許做此種修改。

### (9). 相關試驗時間

相關試驗時間的一般定義參考國際標準 IEC 605-1 第 9.5 節。相關試驗時間包括圖 5 中事先規劃好的開關週期，維修、預防維護或外部電池充電所需的停機時間不應該計入相關試驗時間。重新組立和移動至不同試驗設施所造成的試驗中斷也不應該列入相關試驗時間之計算。

## 3.5.2 氣候保護位置穩定使用裝備高模擬程度優選試驗條件

氣候保護位置穩定使用裝備高模擬程度優選試驗條件適用的裝備為只有在穩定位置操作使用的裝備或功能單元，裝備每天關機一次或持續加功率，所有的操作與維修作業均依照裝備規範之規定。裝備主要利用市電操作使用的，可能是交流電也可能是直流電。使用時可能以電池作為備用電源。常見的適用裝備例如：通信中心的通信裝備；辦公室的電子打字機。辦公室或家庭用迷你電腦和微電腦，外加週邊設備，輕工業工廠或控制室的過程與機器控制裝備。國際標準 IEC 605-3-2 對於此類裝備所建議的優選試驗週期如圖 6 所示。

基於實際操作使用狀況及高模擬程度的要求，在擬訂此種試驗週期的試驗條件時，有一些基本原則和建議的試驗週期條件說明如下：

### (1). 本試驗週期所含蓋之相關裝備壽命週期範圍

此一試驗週期的規劃原理是讓受試裝備在正常的使用條件下長時間操作，以便觀察其功能能力隨時間的變化情形，試驗週期所含蓋的項目，包括：開關切換、功能操作、搬運和運輸等環境項目。至於由工廠到使用地點的運輸和長期儲存並不在試驗條件的規劃之列。

另外，在試驗過程中，必須確保受試裝備的確是維持在穩定的狀態下操作使用，並且依照特定的維修需求，由訓練有素的人員進行所有的維修作業。

### (2). 前處理試驗

原則上，此一試驗週期的規劃並不包含前處理試驗(pre-exposure test)的需求。不過有些裝備，在儲存和運輸時期所遭受的環境條件是會影響到產品廣義可靠度的。假如這些條件對這些裝備的影響程度大到不可以忽視時，建議先將同一受試裝備加以適當的包裝後，執行前處理試驗，以模擬在產品壽命週期中，這幾個時期對於裝備可靠度可能造成的效應。當然，這些前處理試驗的結果，是不可以被用來取代有關包裝規定的品質鑑定試驗。

### (3). 操作條件

#### A 供應電壓

此類裝備的電源以市電供應為主，根據國際標準 IEC 38 型式 I 的規定，一般電力線電壓的正常變異範圍在可以在  $\pm 10\%$  之間，當然假如裝備規範中有特別註明，則必須考慮更緊的界限值。

規劃試驗週期時，供應電壓必須依照圖 6 規定的情形進行變化：最大電壓值應該在標稱值  $+7\%$  至  $+10\%$  之間；最小電壓則在標稱值  $-7\%$  至  $-10\%$  之間。假如在裝備規範中另有要求，則應該維持更小的電壓變動範圍。

#### B 暫態電壓干擾

正常的供應電壓都會存在著暫態現象，在規劃試驗週期時必須將暫態電壓納入考慮之列。暫態電壓發生的機會相當頻繁(大約每 10 小時 1 次脈衝)，而且應力水準高(從 400V 到 2,000V)，不過脈衝峰值超過正常電壓 10 倍以上則是很少發生的。1ms 左右的短時間暫態電壓最長發生，因此必須規劃在試驗週期之中。

其它暫態電壓或其它干擾源，可能也會影響裝備的可靠度，例如：連接在長程信號輸入線的裝備，可能會遭遇到在電力線頻率 0.2s 下的 450V<sub>rms</sub> 電力線干擾，以及 1.5kV 10/700 $\mu$ s 的閃電干擾(脈衝定義參閱國際標準 IEC 60-1)。由於是這些干擾專屬於特定的應用或裝備，因此在規劃優選試驗週期時並沒有納入考慮之列。這些其他的暫態干擾，應該在相關的裝備可靠度試驗規範中加以描述。

由於本優選試驗週期為高模擬程度試驗週期，因此試驗週期的模擬範圍納入市電電力線中斷所造成的暫態電壓及信號線的干擾兩項暫態電壓條件。若是在相關裝備可靠度試驗規範中沒有特別規定，則每次施加每分鐘重複 1 次，每次 5 個暫態電

壓峰值為正常電壓峰值的 10 倍、作用時間為 1ms 的電力線暫態電壓。信號線干擾則是依照相關裝備可靠度試驗規範的規定進行試驗。

### C. 功能操作模式

電源供應應該依照圖 6 的規定進行開關切換動作，對於連續操作使用裝備，除了為了搬運之需外，例如進行振動試驗，可以省略此一切換動作。

試驗時可以利用經過適當規劃的外加開關來執行開關循環，以便在夜間、週末或假日時，不需要派員加班看管試驗的進行作業，而仍然可以獲得必要的試驗循環次數。安裝外接開關時，有些裝備可能必須做一些微小的線路變更。

## (4). 氣候條件

此一試驗週期適用的裝備，一般是在下述氣候保護位置下操作使用的：

- A 有溫度控制位置；
- B 暖氣或冷氣可能會間歇性的關閉，但是會避免發生極值低溫情形；
- C 可能加裝必要的除濕設備，以避免太過於乾燥或潮濕；
- D 提供了對於每天外界氣候變化的保護措施；
- E 在建築物內，裝備的功率散熱量不會使週圍溫度超過正常的溫度與濕度範圍。

此類裝備正常的週圍溫度在介於  $+16^{\circ}\text{C}$  與  $+33^{\circ}\text{C}$  之間、極值溫度很少超出  $+5^{\circ}\text{C}$  與  $+40^{\circ}\text{C}$  之外。正常濕度介於 19%RH 與 70%RH 之間，極值濕度很少超過 5%RH 與 85%RH 之外。一般假設，氣候極值條件不會超過如國際標準 IEC 721-3-0 IEC 721-3-3 之 3K4 級、以及圖 7 所示氣候圖中規定溫度與濕度範圍。一般而言，這些氣候統計資料沒有辦法在氣候圖內指出確切的區域。它們會隨著外界氣候的日夜與季節變化而不同。

試驗時的溫度和濕度應該依照圖 6 所描述的情形予以變化，除了在試驗週期中必須控制濕度部份外，試驗程序依照國際標準 IEC 68-2-2，試驗方法 Bd：「溫度逐漸變化散熱試件之乾熱試驗」之規定進行。試驗進行時應該特別小心，避免暴露於太陽與熱輻射、凝結水、霉菌、空氣污染及灰塵等環境條件。

## (5). 機械應力條件

此類裝備偶而會遭受到振動應力條件，但是沒有顯著的衝擊。這兩項機械應力條件分別說明如下：

### A 振動

此類裝備的操作位置不是沒有顯著的振動應力來源，就是僅僅遭受到來自地面交通工具或附近機器操作、經由安裝結構傳遞過來的低水準振動。

對於直接安裝在地板上的裝備，其所遭受的振動嚴厲度一般假設有極值和正常兩種情況，分別說明如下：

#### (A). 極值狀況

此類裝備所遭受的極值振動為正弦振動，頻率在 150Hz 以下，不同頻率範圍的正弦振動振幅不超過下述數值：

$f < 10\text{Hz}$ ：等位移 = 0.125mm；

$10 < f < 50\text{Hz}$ ：等速度 = 7.8mm/s；

$50 < f < 150\text{Hz}$ ：等加速度 = 2.5m/s<sup>2</sup>。

#### (B). 正常狀況

此類裝備所遭受的正常正弦振動也是正弦振動，頻率在 55Hz 以下，不同頻率範圍的正弦振動振幅不超過下述數值：

$f < 5\text{Hz}$ ：等位移 = 0.04mm；

$5 < f < 40\text{Hz}$ ：等速度 = 1.25mm/s；

$40 < f < 55\text{Hz}$ ：等加速度 = 0.3m/s<sup>2</sup>。

對於安裝在支撐結構(例如軌道)上的輕型裝備，所遭受到的振動振幅約為地板安裝裝備的 2 至 5 倍，此一數值已考量支撐結構可能產生的共振現象。此一最大振動值的預期發生時間大約為操作總時間的 0.1%。

在規劃試驗週期時，依照圖 4 所描述的時機執行振動試驗，振動試驗水準有兩種選擇：對地板安裝裝備而言，在轉折頻率以下的位移振幅為 0.35mm，在轉折頻率以上的加速度振幅為 1m/s<sup>2</sup>；對結構安裝裝備而言，在轉折頻率以下的位移振幅為 0.75mm，在轉折頻率以上的加速度振幅為 2m/s<sup>2</sup>。

振動必須依照國際標準 IEC 68-1：「基本環境試驗程序，第 1 部份：一般原則與指引」之規定，在標準大氣條件下進行試驗。

對於試件質量與尺寸的實質問題必須特別加以注意，可能會限制到可以用來執行試驗的振動機。當發生這種問題時，必須供應與採購雙方應該取得共識，並在細部可靠度試驗規範中予以規定清楚。

## B 衝擊

經過安裝基座結構所傳遞至裝備的衝擊一般假設不顯著，即使有也侷限於試驗過程中正常維修作業時因為搬運所引起的衝擊。因此，此一優選試驗週期並不含衝擊環境試驗項目。

## (6).其他條件

至於其他如太陽輻射、熱輻射及凝結等氣候條件，霉與菌等生物條件，各種氣體空氣污染物等化學作用物質，以及灰塵等機械作用物質，雖然這些環境條件在裝備操作使用階段可能存在，但是其濃度或強度有限，而本試驗週期是屬於低模擬程度，因此，上述條件並不包括在試驗條件中。

至於一定水準以上的電磁場產生干擾環境條件，一般只是暫時性的影響裝備的操作，並不會對裝備可靠度造成長期的效應，因此電磁干擾也不包含在試驗條件之中。

## (7).允許之修改

由於本試驗週期為低模擬程度，在每週七次循環中可以去掉兩次一般需要人工操作的試驗週期，只要在任何一週內的修改次數不超過三次，在短期休假時同樣也允許做此種修改。

## (8).相關試驗時間

相關試驗時間的一般定義參考國際標準 IEC 605-1 第 9.5 節。相關試驗時間包括圖 6 中事先規劃好的開關週期，維修、預防維護或外部電池充電所需的停機時間不應該計入相關試驗時間。重新組立和移動至不同試驗設施所造成的試驗中斷也不應該列入相關試驗時間之計算。

## 4 加速壽命試驗

操作壽命試驗(包括截尾壽命試驗)方法是基本的可靠度試驗方法，在正常的工作條件下，測試物品的各種可靠度特徵量。這種壽命試驗方法對壽命特別長的物品而言，由於試驗耗時過長，並不是一種最適合最有效的試驗方法，甚至於來不及作完試驗獲得壽命相關資訊，新的或改良的物品又設計推出，原有物品已經被淘汰了。因此，操作壽命試驗無法配合迅速發展的物品，必須考量應用加速壽命試驗方法。

加速壽命試驗是利用物品的特性隨時間劣化的關係，在較高的應力下進行壽命試驗，在短期間內獲得失效的試驗結果，然後根據已知或假設的劣化關係，推定物品在實際正常使用狀況下的壽命或失效率，由於此種試驗技術可以縮短試驗所需時間，因此稱之為加速壽命試驗(accelerated life test, ALT)。對於劣化機制較為單純的物品而言，加速試驗理論很簡單，加速壽命試驗計畫之擬訂也比較容易。但是，當物品的實際失效是由許多失效機制所造成的，而且這些失效機制彼此之間有關聯時，即使在試驗技術實務上可以將它們同時加速，加速的過程也會因失效機制不同而異，甚至可能產生在實用上不重要或不存在的失效模式。因此，規劃加速壽命試驗時，要盡量選取失效機制不會發生變化的試驗條件，或失效機制容易單純化的試驗條件，使試驗結果的適用範圍明確化。另外，實際物品的壽命在反應速度論上，往往取決於數種劣化反應中最慢的反應 - 亦即律速反應，所以，若選取相當於律速反應的失效機制，即可擬訂實用上適稱的加速壽命試驗計畫。

## 4.1 加速壽命試驗的方法

加速壽命試驗方法很早就應用於電子零件、絕緣材料、機械零件、以及量產系列產品。加速壽命試驗有各種的方案，通常是利用一些有用的經驗法則、壽命模型說明加速壽命與實用壽命之間的關係。常見的加速壽命試驗方法可分類為時間加速、應力加速及判定加速三種。實際應用上通常是組合這三種加速方法，以綜合增大加速效果。

### 4.1.1 時間加速

在進行壽命試驗時，增加單位時間內間歇動作的反覆次數，或規劃成連續動作的方式，即可縮短試驗的時間，此類加速壽命試驗方法又稱為狹義的加速壽命試驗、縮時加速試驗。實際上，有很多裝置或零件在使用時是進行開關(on-off)的動作，所以在執行壽命試驗時常使用時間加速方式增加單位時間的開關次數，使其超過實際使用條件以上，例如：自動電話交換機用的選擇開關(由上一個上升旋轉開關及五個水平型繼電器所構成)，電信局一年間的動作次數約 5 萬次，以加速率約 250 倍的時間加速壽命試驗，37.5 小時的試驗時間約相當於實際使用 40 年(約運轉 200 萬次)。比較加速壽命試驗發生的失效件數與電信局實際運轉時的失效件數，可知加速壽命試驗的失效數約為實際運轉失效數 12 倍。總合這些結果，選擇開關可實施約 3,000 倍加速率的加速壽命試驗，可知時間加速的有效性。

### 4.1.2 應力加速

這是加重使用應力或環境應力，短時間內強制物品發生失效的方法，又稱為加嚴加速試驗 強制劣化試驗。通常施加一定應力，有時也用應力隨時間變化的階梯應力試驗。應力加速法須慎選應力的種類、大小及施加法。

### 4.1.3 判定加速

以劣化失效為對象時，特性參數的壽命終止點比實際劣化程度嚴苛的話，可在短時間判定壽命，此即判定加速法。

## 4.2 加速壽命試驗應力施加方式

加速壽命試驗依照應力施加方式可分為三種：

- (1). 固定應力加速壽命試驗：將一定樣本數量的試件分為數組，每組固定在一定的應力位準下進行壽命試驗，試驗時所使用的應力位準比正常使用條件下的位準高，試驗做到每一組樣本都有一定數量的試件失效為止。
- (2). 步進應力加速壽命試驗：首先選定一組應力位準， $S_1 < S_2 < \dots < S_k$ ，每一個位準都高於正常使用條件下的應力位準  $S_0$ 。試驗開始時，取一定樣本大小的試驗在應力位準  $S_1$  下進行壽命試驗，經過一段時間( $T_1$ )後，將試驗的應力位準提高至  $S_2$ ，未失效的試件在此應力位準下繼續進行壽命試驗，如此繼續下去，直到一定數量的試件發生失效為止。

- (3). 逐次應力加速壽命試驗：試驗時施加的應力位準隨時間等速上升，直到一定數量的試件發生失效為止，這種試驗方法需要有專用的試驗設備。

上述三種應力加速壽命試驗中，以固定應力加速壽命試驗的技術最為成熟，儘管這種加速壽命試驗的試驗時間並不是最短的，不過比起正常壽命試驗的試驗時間還是縮短許多，因此是經常被採用的加速壽命試驗方法。

### 4.3 加速壽命試驗的問題

一般假設，當加速壽命與實用壽命的失效機制相同的話，即可用加速壽命試驗來求取產品的壽命資訊。但實際上，即使失效模式相同，失效機制也有可能不同；或即使失效機制相同，但失效判定條件或動作條件變動的話，加速性就變化；而在漫長的產品壽命週期中，設計或製造方法可能會發生徐徐變化，或顧客的使用條件改變；而即使是按規定的技術方法生產的產品，也會因一些無法控制因素的影響，而改變其失效機制；以上這些狀況都造成無法利用加速壽命試驗。因此，在應用加速壽命試驗時須考慮這些問題，慎重選定加速壽命試驗的試驗條件，決定適用的範圍。

電子管的壽命滿足 Arrhenius 的關係式，所以增高陰極溫度，實施加速壽命試驗，例如，電視機用映像管若使陰極溫度成額定值的 110%，可實施加速率 2.2~3.0 倍的加速壽命試驗。但是，陰極溫度低於額定溫度值，或不從陰極取電流而使用電子管時，有時會顯著減短壽命。失效模式都是電子放射不良，但兩者的失效機制不同。電子管常因陰極活性物質的減少而使電子放射特性劣化，但陰極溫度減低的話，管內不純氣體的作用會使電子放射特性劣化。不取電流而動作的話，陰極內部生成的中間層化合物電阻增大，電子放射特性劣化，即使判定壽命的失效模式相同，失效機制也不同，所以，電子管須檢討實際使用時陰極溫度的偏差、間歇動作等條件，決定加速壽命試驗方法。

依據可靠度物理的研究，韋伯分佈的形狀參數  $m$  值隨著決定壽命終止點的劣化失效基準而異，若選較小的劣化量為壽命終止點，則  $m$  值減小。彩色映像管的加速壽命試驗採用最大陽極電流  $M_{Ib}$  劣化為初值的 80% 時為壽命終止失效點，表 1 為改變壽命終止點劣化基準時的平均壽命與  $m$  值，符合理論，失效等級 ( $M_{Ib}$  的%) 愈高時， $m$  值愈大，假設市場的壽命終止點為 30% 時，則在 80% 的判定加速率成為 2.2。但是，韋伯分佈的  $m$  值因判定失效等級而異，所以決定比較壽命時間的累積失效率或可靠度值，宜用一定加速率。

應力加速壽命試驗為以短時間評價，盡量選大應力，但是，應力過大時，加速性不成立。電機裝備用絕緣材料的絕緣壽命與施加電壓的  $n$  次方成反比，利用此關係可從高電壓的施電壽命，推定實用時的壽命。應力大時，失效機制單純，容易發生產品固有的磨耗失效，但是，應力減小的話，即使失效模式相同，有時失效機制也會變複雜，例如在疲勞破壞，應力達耐久限附近時，材料的性質、環境條件等會有影響，疲勞壽命的數據很不均勻。將試驗結果畫示於韋伯機率紙， $m$  接近 1，壽命成偶發失效型的指數分佈， $m$  增大，接近磨耗失效形常態分佈，因而，由應力大的壽命數據推定應力低的實用條件之壽命時，須先考慮  $m$  的變化。

在實用操作條件，應力的變動大，失效判定條件也因顧客而異，即使是失效機制相同的失效現象，觀測的壽命數據也很不均勻。另外一方面，在工廠的壽命試驗，應力的不均勻度小，例如彩色電視機映像管在現場被判定電子放射不良者之韋伯形狀參數  $m$  為



1~1.5，同一批次的工廠壽命試驗卻為 1.8~2.2(m 愈大時，壽命不均度愈小)，所以，從工廠壽命試驗結果推定市場壽命時，須規定累積失效率而比較壽命，平均壽命會過大評價市場壽命，宜在 1~10%的累積失效率點評價市場壽命。

表 1: 彩色映像管壽命終止點與韋伯參數m的關係

壽命終止點(%)	韋伯參數(m)	平均壽命(hr)	判定加速率
80	2.1	3100	2.2
70	2.2	3730	1.8
60	2.3	4450	1.5
30	2.6	6700	1.0

#### 4.4 加速壽命試驗規劃注意事項

人們很早就開始研究物品壽命與應力的關係，並將其研究成果應用於加速壽命試驗，其中以經驗和實驗求得者居多，但也有從理論的立場檢討各種失效模型者，反應速率理論模型即為其中在實際應用上最廣泛的典型代表。

### 5 可靠度試驗執行

#### 5.1 可靠度試驗作業規劃

##### 5.1.1 確定可靠度試驗規格

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，因此，在物品發展規範(B 規範)或產品規範(C 規範)、或可靠度試驗規範中必須敘述說明的試驗規格內容至少必須包括：

(1). 可靠度試驗規格：

常見的可靠度規格有下列五種表示法：

- A 成功機率，%；
- B- 存活機率，%；
- C 平均失效間隔時間或平均壽命，MIBF 或  $\theta$ ；
- D 可靠度係數， $\delta$ ；
- E 失效率， $\lambda$ ；
- F 不良率， $p_0$

(2). 功能測試規格與失效定義。

(3). 試驗輪廓環境水準與工作應力規格：

A. 工作週期：工作/不工作，開/關循環；

B. 使用條件：功率，電壓；

C. 環境條件：溫度、振動、濕度。

(4). 試驗時間。

(5). 決策準則：

當選擇抽樣試驗作為允收/拒收的執行方式，在美軍標準 MIL-STD-781，以可靠度規格中的設計規格或標稱值為「MIBF 檢定上限」，以最小可接收值或鑑證目標為「MIBF 檢定下限」。

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，最重要的是應該從如何、何人、何時、何地等四個「何」字檢核規定要素，確定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

一般可以由研製承約者、採購者或獨立的機構來執行壽命試驗。

### (3). 試驗在何時實施

依照產品研發階段、生產階段或現場操作使用階段，決定何時應該執行壽命試驗。

### (4). 在何處執行試驗

決定應該是在研製單位內、外購件供應單位或獨立的試驗室執行必要的壽命試驗。

## 5.1.2 確定失效定義與準則

在可靠度試驗規劃之初，必須先確定試件清楚的失效定義，作為試驗後評估產品可靠度的基礎。在試驗進行中或試驗後，裝備全部或其中任何一部分不能按其規定的性能需求正常運作，該試件即視為失效。

失效一般常按下列原則加以分類：

(1). 相關失效與非相關失效；

(2). 可歸責失效與不可歸責失效；

- (3). 致命失效、嚴重失效、主要失效及次要失效。

### 5.1.2.1 相關失效

所有在產品使用服勤時的正常操作情形下所發生的失效均可稱為相關失效，此類失效應列入可靠度計算。常見的相關失效包括：

- (1). 設計缺失與疵病；
- (2). 工藝不良與製造疵病；
- (3). 零組件不良；
- (4). 物理或功能參數劣化至超出規格範圍；
- (5). 間歇性或暫時性失效，同一種間歇性或暫時性失效發生多次時，僅記為一次失效；
- (6). 有壽限零件在規定壽命之前發生的失效；
- (7). 確定不屬於非相關性之失效；
- (8). 自測失效；
- (9). 軟體程式失效；
- (10). 不明原因之失效，失效無法重現或正在追查中，或找不出原因者。

### 5.1.2.2 非相關失效

非相關失效為異常狀況，或在實際服勤中不可能遭遇到的狀況下操作所發生之失效，此類失效不可列入可靠度計算。常見的非相關失效例如：

- (1). 不適當安裝所造成的損害；
- (2). 意外或不正常搬運所造成的損害；
- (3). 試件以外監測或測試裝備儀器故障所造成之失效；
- (4). 由於試驗設備之意外或操作錯誤而引起試驗應力超出規格範圍狀況下所造成之失效；
- (5). 正常的操作調整或換修作業，在裝備規範或說明書已明載者；
- (6). 技術人員程序錯誤等人為誤差造成之失效；
- (7). 直接由於系統中其他零件失效所造成的二次失效。

## 5.2 可靠度試驗執行方案與程序

在執行可靠度試驗之前，必須規劃擬訂可靠度試驗程序及可靠度試驗執行方案，規定試驗目的、範圍、試驗規格、試驗設備、試驗地點、試驗程序與步驟等資料，作為試驗執行之依據。

## 5.3 試驗設備

執行可靠度試驗所使用的試驗設施、試驗櫃與儀器應能符合可靠度試驗輪廓所需的試驗條件與規格要求。一般可靠度試驗的條件多是複合環境條件，因此其試驗設備以提供試驗環境條件及執行判定成功與失效所需的儀具設備為主。除此之外，有關執行試驗時試驗設備與試件系統之佈置簡圖，所需使用試驗設備之一般性說明，試驗地點之說明、保密需求與安全特徵等亦在準備試驗設備時應注意之事項。

### 5.3.1 溫度試驗櫃

溫度試驗櫃提供的環境條件應該能夠維持規定的試驗水準，並且在試驗過程中，試件周圍空氣與試驗櫃的強制流動空氣溫度應該維持在規定的試驗溫度規格的 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 範圍內。在加熱與冷卻循環所使用熱媒體的溫度變化率平均不得小於 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。試驗櫃與試件的冷卻空氣溫度應該連續或定期地以足夠的次數加以監測，以確保試驗櫃的是在正常的操作狀態。設定試驗溫度循環之範圍與時間所使用自動控制程式應該提供中斷的方法，直到試驗櫃溫度滿足最大與最小的空氣度需求條件為止。為防止溫度失控情形，應該安裝能夠同時關閉在試驗中的試件與試驗櫃加熱器的保護裝置。不過，假如試件是使用強制冷卻，則應該維持空氣流通，以免在執行試驗時造成試件過熱的現象。

### 5.3.2 試件冷卻

假如試件在正常操作使用時有冷卻系統的設計，則在執行試驗時試件應該藉著它本身設計時所設定之冷卻系統加以冷卻，當以試件和它的操作冷卻系統一起進行試驗有實務上的困難時，模擬用冷卻劑的條件與屬性在試驗之前必須經過權責單位認可，並且規定在試驗相關文件中。不管冷卻的方法為何，所有試件應該遭受到符合試驗輪廓所指定的任務/環境輪廓條件。有關冷卻劑的屬性說明如下：

#### (1). 外在冷卻劑法

當試件的冷卻劑，例如管線輸送之氣體、液體或直接吹氣法，與試驗櫃空氣媒體之間只是些微混合或完全無混合時，這種冷卻法所使用的冷卻劑應該具有下列特性：

- A 為應用於正常操作時所使用的種類；
- B 當試驗櫃的溫度為最高時，冷卻劑應該是在最高溫度與最小流動率狀態(依照試件規格中所規定的冷卻劑輸入需求條件)；

- C 當試驗櫃的溫度為最低時，冷卻劑應該是在最低溫度與對大流動率狀態。當櫃溫低於規定的冷卻空氣溫度下限，同時試件是在關機狀態時，所供應的冷卻空氣應該與試件實際安裝使用時預期的狀況相一致。

## (2). 內在冷卻劑法

當以溫度櫃之空氣作為試件的冷卻劑時，應該具備下列特性：

- A 溫度應該為經核可的試驗程序中所規定的試驗溫度水準；
- B 當試驗櫃的溫度為最高時，對試件的冷卻流動率要最小(依照試件規格中所規定的冷卻劑輸入需求條件)；
- C 當試驗櫃的溫度為最低時，對試件的冷卻流動率要最大。

### 5.3.3 振動試驗設備

對於正弦掃描或單頻振動時，試驗之振動值應為規格值之 $\pm 10\%$ 。隨機振動的需求詳細如 MIL-STD-810「試驗方法 514.2 振動試驗」之規定，有關試驗控制信號的功率頻譜密度公差不得大於下列規定：

+100, -30%(+3, -1.5dB), 頻率在 500Hz 以下；

+1100, -50%( $\pm 3$ dB), 頻率在 500 至 2000Hz 之間。

若在 500~2,000Hz 之間的累積最大頻寬為 100Hz，則其允許偏離量可為 +300%, -75%( $\pm 6$ dB)。

振動試驗設備每操作 24 小時應作檢視以保持適當操作，並要有自動監視設備以防試驗之振動值超過試驗規格。

### 5.3.4 試驗儀器與設備

除了環境試驗櫃所需之儀器外，應該依照試驗程序之規定準備量測及測試試件性能參數所需要之儀具設備。

### 5.3.5 校正/準確度

環境試驗與功能監測所使用之儀器設備應該依照 MIL-STD-45662 之規定，確定使用時是在適當的操作條件。所有執行可靠度試驗時所使用的儀器與試驗設備，其精準度要比量度變數的容差更高。

### 5.3.6 試驗設備運轉測試

在執行試驗之前，所有的試驗設備都應該事先作運轉測試，以決定這些設備可以規定的試驗需求條件下適當地操作。除非另有規定，測試試驗設備是否能夠按規定正常操作的測試用試件應該與執行可靠度試驗所用的試件不同。

### 5.4 試件安裝在試驗設備

除非另有規定，執行試驗時試件在試驗設備中的安裝方式應該模擬實際服勤使用的安裝情形，試件週圍的空氣流動情形也應該模擬預期的操作狀況，並且安排必要的連接器與附屬儀器設備。在操作時不需要、但在服勤時存在的塞子、封套與檢驗蓋板應該安裝於適當的位置。試驗時不需要使用、或者在服勤時有正常保護的機械式或電子式連結器與接頭應該適當地加蓋保護。對於溫度是在控制狀況下的試驗，當安裝試件時的試驗櫃應該是在標準狀況。安裝後試件應該加以操作測試，以決定是否由於安裝或搬運不當所導失效或損壞。

### 5.5 性能參數量測

裝備應該量測的性能參數以及量測頻率應該由專案計畫單位(或採購單位)予以規定。當任何一項必需的性能參數不在規定的範圍內時，即記錄為一次失效。若失效時間無法確定，則假設失效是發生在最後一次記錄時的觀測時間或者是該參數量測成功的時間。當裝備在經過任何一段規定的停機時間之後開始加功率操作時，至少必須有一組的量測記錄。

執行試驗時應該依照規定項目與頻度量測必要的性能參數，下列基本原則應該在試驗方案中加以敘述：

- (1). 暫時性失效：每一項間歇性或暫時性的失效都必須當作相關失效計算，假如有數個間歇性或暫時性失效的原因可以直接確定是因為單一的硬體或軟體失常所造成的，而這種失常情形在試驗過程時均已經過改正與驗證，則只當作一個相關失效計算。
- (2). 失效分類：所有在執行可靠度試驗時發生的失效，在經過承約者執行失效分析後應該加以分類為相關失效或不相關失效。根據失效分析結果，承約者應該判斷發生的失效是相關或不相關，並且獲得採購者之認可。
- (3). 重複失效：重複失效的定義為在相同的或類似的應用中，同一個零件所發生的三個或以上的相關失效，而且經過統計分析其失效率的 95% 信賴下限超過預估值。
- (4). 試驗組裝、檢修除錯或檢修結果驗證時發現之失常現象：在試驗組裝、檢修除錯或檢修結果驗證時所發生的失常現象不應該視為可靠度試驗之失效，不過，這些失常現象必須由承約者加以記錄與分析以決定失常的原因，並且確定可能的設計或零件缺陷。

## 5.6 試驗記錄

為對於必要的試驗事件所做的扼要敘述性記錄，在試驗之前應該表列所有應進行試驗的試件名稱與序號，每一次檢驗試件時都應該在試驗記錄中登載，包括日期、時間、累積時間及結果(例如：合格/異常顯示/失效或其他)，試驗設備或裝備的檢驗亦應在記錄簿中登載(例如加速儀、熱電偶、輸入功率、自測等)。當發生失效或顯示異常時，所有相關的資料都應該加以記錄，例如試驗條件、試驗設備狀況、試驗參數及失效顯示情形。隔離或改正失效所採取的行動也應該記錄。不論是工程變更或是裝備變更都應該在記錄簿上記錄。

一般的試驗記錄包括：

- (1). 試驗日誌與資料記錄
- (2). 裝備失效記錄
- (3). 失效摘要記錄
- (4). 失效的標籤
- (5). 失效報告

### 5.6.1 試驗日誌與資料記錄

對在試驗中每一裝備而言，試驗日誌與資料記錄是需求試驗資料的一個完整的記錄，其格式要參考每一裝備的試驗記錄。在提交採購單位之前完整的試驗日誌表可以複寫，但不能重複影印。在試驗日誌與資料記錄中要有一項記錄，係試驗的裝備中每一次加以查驗。時間、日期、馬錶讀數。所測的任何參數值皆要加以記錄。試驗人員應將任何相關的事情記錄在備註欄中。

### 5.6.2 裝備失效記錄

對每裝備之失效記錄應加以記錄。對於每一被試驗裝備的整個試驗記錄要保存在一單張記錄表中，如當裝備試驗行為產生很大差異時，能很容易地辨認。在可靠度試驗之前，必須要作註解以瞭解特別裝備的重要歷史。

### 5.6.3 失效摘要記錄

失效摘要記錄要包含在試驗樣本中達到允收/拒收決策的所有必須的資料。所有記錄可以直接作，但在允收/拒收決策之前沒有必要處理資料。失效摘要包括對所有在試驗中裝備的失效區分為「相關的」和「可歸責的」。記錄中將能表示目前的試驗狀態，包括試驗總時間的資訊、失效，在試驗中所有裝備的 MIBF。

### 5.6.4 失效的標籤

失效的標籤提供相關的記錄頁與行的數字，適用於操作表，失效日誌和失效報告的系列數字。空白位置係由有關於在裝備修理表與失效報告格式系列數字中之適當記錄頁與行數字的修理作業，提供以應用於在修護中所發現任何額外的零件失效。失效的標籤可在失效發現時，立即附在失效的裝備上。當失效的裝備在修理完成回復到繼續試驗時，此標籤可由試驗操作員移去並送回至修理作業的代表，他將附有失效報告之完成標籤加以歸檔，以證實裝備的改正作業已確實完成。其他的失效標籤可作為可適用的失效報告格式系列數字的參考。失效標籤根據確認的試驗程序，在必要時加以填寫。

### 5.7 失效報告、分析與改正行動

產品執行可靠度試驗時，若有異常或失效現象發生，均應予以記錄，並填寫失效報告表，然後採取適當的失效分析，以期找出失效原因，並謀求改正對策，失效問題處理最有效的方法為閉路的『失效報告、分析與改正行動系統』(failure report, analysis, and corrective action system, FRACAS)，簡稱為 FRACAS，又稱『失效報告、分析與改正作業體系』。

失效報告、分析與改正行動體系之主要目的為：

- (1). 確認問題，作為設計改正之資料，使設計符合規格要求。
- (2). 作為品質狀況之重要資料，並藉以印證 FMEA 或 FMECA 資料之正確性，並進一步發掘事先未能發現的失效模式，俾採行矯正措施。
- (3). 提供可靠度分析所需之參考數據。

基本上，FRACAS 主要是由失效報告、失效原因分析、和改正行動三部份工作項目所構成。所有重要失效應由專業的『失效分析小組』負責分析其發生原因，然後根據失效分析結果、確定必須採取的改正行動。改正行動又可分為失效件的改正與設計形態改變兩種。整個失效報告、分析與改正行動，應由失效評審會(failure review board, FRB)來處理與管制其作業程序。

### 5.8 預防維護

只有在服勤使用時規定的並且條列在認可的試驗程序中的裝備預防維護程序，才能在進行可靠度鑑定試驗時實施。除非經過專案計畫單位(或採購單位)特別許可，否則裝備在進行可靠度鑑定試驗或換修時不能夠採取任何額外的預防維護作業。

### 5.9 試驗時間累積

在試驗週期中只有裝備「加」功率(power on)部份的時間才可以累積為試驗時間，而且所有的功能都應該按規定操作。操作循環以外所累積的操作時間不能列入計算，例如在試驗時檢驗組裝與驗證檢修結果的操作時間。同時，操作劣化模式的累積時間也不能列入計算。



### 5.10 失效改正後再試驗

對於裝備之設計變更可採取下列原則：

- (1). 試驗符合拒收決策之後：經過採購者認可，裝備可以重新設計，並且時間由零開始重新試驗。
- (2). 試驗拒收前之主要設計變更：為了改正主要問題，承約者可以停止試驗，設計變更之後由時間為零重新開始作試驗。
- (3). 試驗拒收前之次要設計變更：經過採購者認可，承約者可以暫停試驗進行次要設計變更，試驗時間由停止時恢復計算，同時所執行的設計變更不能影響已經發生失效的分類。經過採購者認可，試驗時亦可以進行由於其他試驗結果所做的次要設計變更，這種變更不必視為試件的一次失效。

### 5.11 試驗後試件之整修

除非專案計畫單位(或採購單位)另有規定，裝備在完成可靠度鑑定試驗之後應該經過整修並且恢復至可以滿意操作的狀態。除非專案計畫單位(或採購單位)另有指示，失效的組件以及已經劣化但尚未超出規定的公差範圍的組件都應該更換。所有整修過的裝備在交運之前應該成功的完成接收試驗程序。