

可靠度技術手冊

可靠度應力篩選技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十九年十二月十八日

可靠度應力篩選技術

目 錄

1. 前言	1
2. 可靠度應力篩選之基本原理	1
3. 執行可靠度應力篩選之效益	4
4. 可靠度應力篩選方法與規格	5
4.1 零組件層次可靠度篩選	5
4.1.1 放大鏡檢查	7
4.1.2 X 射線檢查	8
4.1.3 紅外線掃描	8
4.1.4 顆粒碰撞噪音檢測	8
4.1.5 高溫貯存	9
4.1.6 溫度循環	9
4.1.7 熱衝擊	10
4.1.8 機械振動	10
4.1.9 機械衝擊	10
4.1.10 高速離心加速度篩選	10
4.1.11 測漏	10
4.1.12 預燒或功率熟化	11
4.1.13 電性能測試	12
4.2 製程環境應力篩選	12
4.2.1 溫度循環	13
4.2.2 隨機振動	14
4.3 成品可靠度保證試驗	16
4.4 篩選應力之有效性	17
5. 建立有效率之應力篩選制度	17
5.1 應力篩選制度的特質與工作內容	18
5.2 制定應力篩選程序的重點	18
5.3 制定應力篩選程序的流程	19
5.4 執行應力篩選與精進篩選作法	19
6. 可靠度應力篩選在產品研製過程中各階段的意義	20
6.1 產品設計發展階段	20
6.2 產品量產製造階段	21
6.3 產品維修與精進改良階段	22
6.4 備份件補充製造階段	23
7. 結語	23

可靠度應力篩選技術

1 前言

可靠度應力篩選(reliability stress screening)為大家已經相當熟悉的環境應力篩選(environmental stress screening, ESS)的擴充，為現代高科技產品一種相當盛行的品質與可靠度保證方法。目前在歐美各國，所有的電子硬品，上自太空和國防武器系統，下至一般民生家電器材，從零組件、模組、到最終產品，不論是在研發階段或量產階段，除傳統的品質管制檢試外，可靠度應力篩選已經是製造過程中必然要求的程序或道次。本報告首先探討可靠度應力篩選的基本原理和可靠度應力篩選的效應，然後分別從零組件、製程、成品等層次探討可靠度應力篩選方法與規格，其次討論如何建立有效率之可靠度應力篩選制度，最後從產品研製過程的各個階段討論對於可靠度應力篩選的需求以及注意事項。

2 可靠度應力篩選之基本原理

事實上篩選(screening)是歷史相當老的品管技術，廣義的篩選應包括傳統的品管篩選、鑄造件(金屬、火工)的非破壞檢驗(non-destructive testing, NDT)(如X光、超音波等)、以及高壓容器的耐壓試驗(proof pressure test)，所有這些方法都是對試件施加「應力(stress)」，使利用普通檢驗方法無測得之潛存疵病提前暴露出來，能夠輕易的發現而將之剔除，達到管制品質的目的。只是在今日廣用電子設計的時代，所使用的應力以「環境應力(environmental stresses)」的功効特別突出，在1979年以後在可靠度工作範圍漸成一獨立的領域。然考慮其通用性，可靠度應力篩選乃為包涵範圍較為廣泛的名稱。

顧名思義，可靠度應力篩選乃利用外加的環境與工作應力，使潛存於物品中製程中因較弱零組件與不良工藝等因素所造成之非設計瑕疵提早發生而曝露出來，然後利用各種適切的檢驗或測試方法，將這些帶有疵病的產品找出來予以剔除，或採取改正行動加以檢修，以便提高硬品之製造品質，維持設計時賦予之水準，因此，通過篩選的交貨產品都是具有優良品質與高可靠度者，可以放心地正常使用。如此，對製造者而言可保持出廠產品品質穩定，對使用者而言則可降低失效率減少維修成本，兩者都有好處。

產品的失效率隨生命週期時間而變化，一般的變化趨勢呈浴缸形，稱之為浴缸曲線(bathtub curve)，典型的產品浴缸曲線如圖1所示。失效率浴缸曲線大致可分為三個階段：早夭失效期(infant mortality period)、偶發失效期(random failure period)和磨耗失效期(wear-out failure period)。當產品剛製造完成時，就好像嬰兒容易生病一樣，失效率很高，因而稱為早夭失效期，在這個階段中產品的失效率隨時間增加而逐漸遞減，稱為遞減失效率(decreasing failure rate, DFR)。當失效率隨時間減低至某一程度後即不再有顯著變化，失效現象為偶然隨機發生，因此稱為偶發失效期，其失效率幾乎為一常數值，稱為常數失效率(constant failure rate, CFR)，這段時間屬於產品設計的有用壽命期間，因此又稱為有用壽命期(useful life period)或壯年期。過了偶發失效期，當時間接近產品的壽命時，由於在這個階段發生的失效現象都是因為長期操作應力破壞累積所造成的磨耗型失效，因此稱為磨耗失效期，在這個階段產品的失效率急速隨時間增加，稱為遞增失效率(increasing failure rate, IFR)。

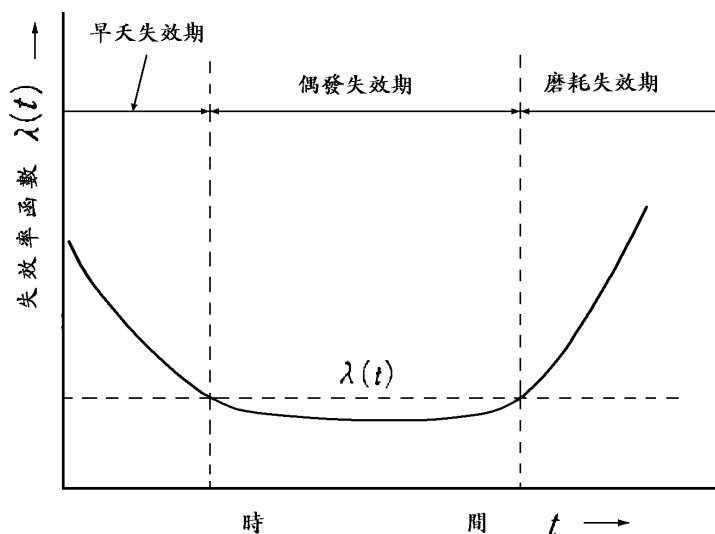


圖 1: 典型的失效浴缸曲線

一般產品若按設計藍圖選料和製造，理想中硬品的強度多為由正常群體 (main population) 所構成的單峰分佈，然而在實際製造時，由於材料、零組件的品質不穩定，以及製造過程中技術人員素質不一、人為疏忽、或突發狀況等因素造成的工藝水準 (workmanship) 不良，而產生一些帶有缺陷 (flaw) 的產品，在正常群體中混合了一些早夭群體 (infant population) 或畸型群體 (freak population)，使產品的強度力分佈呈雙峰或多峰分佈，如圖 2 所示為典型的裝備強度機率密度函數曲線。可靠度應力篩選之目的即在篩除其中的早夭及畸型群體部份，而保留正常群體。這些早夭及畸型群體在遭受正常的環境與使用應力即發生失效現象，無法與正常群體一樣正常使用，因此必須藉篩選應力的處理與各種檢測方法的應用，才能有效的將產品中的疵病發現而將之剔除。

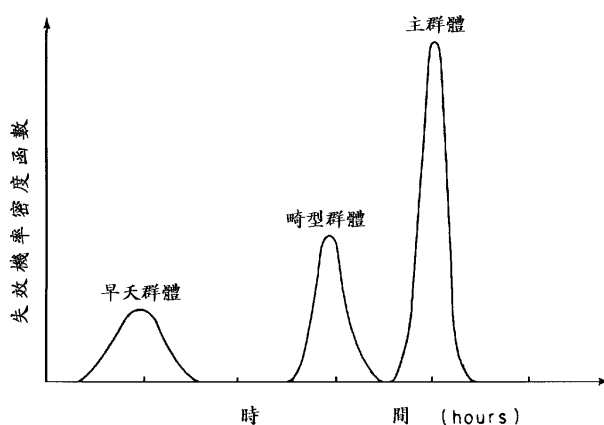


圖 2: 典型的裝備強度機率密度函數曲線

一般製造者關心的是在交貨前後產品的可靠度，將圖 1 浴缸曲線的早夭失效期部份加以放大如圖 3 所示。

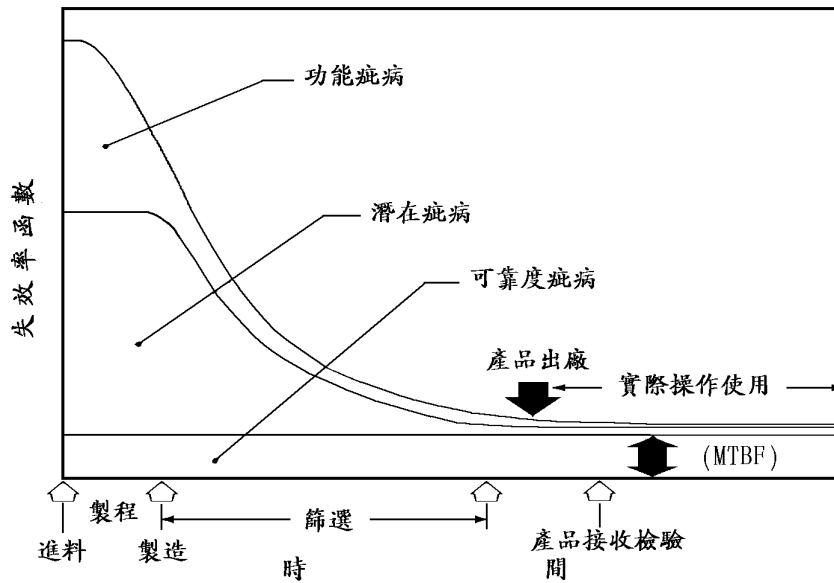


圖 3: 早夭失效期之疵病分類

由圖可知，在早夭失效期的產品疵病依據測試能力可分為下列三類：

(1). 功能疵病(functional quality defects)

此類疵病是由於製程中材料或工藝不良而產生、能夠以一般簡單的功能測試發現的產品疵病。

(2). 潛在疵病(latent quality defects)

此類疵病也是由於製程中材料或工藝不良而產生，但必須藉由外加的應力，才能加速使缺陷提早曝露出來的產品疵病。

(3). 可靠度疵病(reliability defects)

此類疵病是設計時所賦予的產品疵病，在產品的生命週期(life cycle)中隨機發生，除非修改設計，否則無法以任何適當的程序消除這種疵病。

上述第一類疵病在一般功能測試時，很快就可以發現而加以修正。第三類疵病須靠設計的改良，提高產品的設計能力，才能降低其發生的機率。第二類的疵病，如果沒有經過適當的可靠度應力篩選處理，則會在使用初期漸漸地出現，使產品發生失效。由於這些疵病的存在，在生產廠內應採取適當的措施或處理，使這一類的疵病提早曝露出來，配合功能測試發掘這些強度較弱的部份，並予以檢修剔除或報廢，使出廠產品維持穩定的品質，使用時具有定型設計時所賦與的強度，亦即原始設計入 (design-in) 的固有可靠度 (inherent reliability)，如此既可降低維修成本，又可避免因失效而導致的不必要損失，此即為可靠度應力篩選最主要的目的。

不論對電子零件的生產過程進行多麼嚴格的生產品質管制，材料、工藝、設備、操作、生產環境等總不可能絕對不變，因此，在一批產品中，不可避免地有一部份產品存在一些潛在的缺陷和弱點。最典型的如半導體零件的晶片，在生產過程中就較易受到損傷或污染。這一部份存在缺陷和弱點的電子零件即具有早期失效特性的零件，它們的平均壽命比正常產品要短很多，如果不加以分辨隔離而將之一起組裝至系統、裝備，就會使得系統與裝備的早期失效率大幅度增加，而且當電子零件已組裝在系統、裝備之後再發生失效時，為尋找失效部位、加以排除、重新調試、檢測等的工作量則相當大，因此應該在電子零件安裝在系統與裝備之前，就要設法把具有早期失效的零件儘可能地加以剔除。此外，某些裝備或系統的某些部份所用的電子零件對某幾項特性參數有一些特定的要求，例如比規定的公差容許範圍要小、或需要進行選配等等，並不是生產合格批的任何一個零件都能滿足要求的，此時可能需要在合格生產批中根據特定的要求進行檢測，挑選出合乎要求的產品，這種「為選擇具有一定特性的產品或剔除早期失效而進行的工作稱為「篩選(screening)」。

綜合上述的討論，可以對可靠度應力篩選作一個較明確的定義如下：

『可靠度應力篩選是一種利用環境與工作應力進行產品品質管制的程序(process)，其主要作用為利用特定且低於產品設計強度的環境與工作應力，使產品潛在的疵病提早曝露出來而加以剔除，使出廠產品具有穩定的設計品質，避免在正常使用時因這類疵病的存在而發生失效，減少維修成本及失效引致不必要的損失，因而提供產品之可靠度。』

3 執行可靠度應力篩選之效益

經過 20 年的應用與演進，已經證實可靠度應力篩選的確對於提昇產品的品質有很大的效益，其效益可以歸納如下：

- (1). 確認具有潛伏性疵病的零組件。
- (2). 發掘作業人員不純熟或疏忽所造成的工藝不良。
- (3). 降低較高產品組合層次失效退修或報廢的機率，減低時程延誤、節省產品製造和維修整體成本，各組合層次的發生單個失效所需的平均改正成本如表 1 所示。
- (4). 提早汰除早夭期失效，亦即降低使用時的失效率，提高 MTBF 或可靠度，增強使用者的信心。
- (5). 在研發階段可協助早期發現設計問題，提高設計之可靠度，並可藉此縮短研發時程。

除了上述一些實值而有形的效益之外，經過應力篩選的產品在顧客手中使用時的失效率較低，可提高顧客對公司產品的信心，這是一種無形卻非常重要的效益。

表 1: 不同組合層次單個失效的平均改正成本(美元)

組合層次	經驗法則	美國海軍	休斯飛機公司	MIL-HDBK-338
零組件	1	-	-	1-5
電路板	10	345	68	30-50
單機	100	495	346	250-500
系統	1000	1100	1506	500-1000
現場	2000-20000	15545	-	1000-10000

4 可靠度應力篩選方法與規格

可靠度應力篩選主要參考資料為美國環境科學學會(Institute of Environmental Sciences, IES)所發行之指引(guidelines), 以及一些美軍標準、規範。主要是按試件之組合層次分類, 包括零組件、模組及總成等組合層次, 分別說明如下。

4.1 零組件層次可靠度篩選

一個系統的整個可靠度需求是由許多因子所決定的, 包括成本效益, 而最終產品的品質與可靠度, 除設計與製造工藝之外, 零件的品質佔著相當重的地位, 而且有許多實際的案例顯示, 零件問題是系統與裝備可靠度問題的最重要根源。零件的品質取決於採購政策與系統的最終用途, 例如, 一個外太空探測器, 一旦系統發射之後, 不可能進行換修的工作, 因此需求非常高的可靠度, 不管複雜篩選所需的固有成本是多少。另外一方面, 對於在地面基地使用的收音機而言, 可靠度試驗次序的要求就不會那麼嚴苛, 因為一旦零件失效, 以普通的成本就可以輕易的進行換修, 對於篩選的要求就可較鬆些。

為了選擇具有一定特性的零件, 需要對合格批的產品進行 100% 的特性測試, 例如為了要保證零件在規定的溫度範圍內的某幾項特性滿足要求, 就需要對零件進行 100% 的高低溫特性測試; 為了剔除早期失效的零件, 則首先要弄清楚造成失效的主要失效機制, 這就要蒐集現場失效或加速試驗中失效的零件, 進行失效物理分析與研究, 然後針對結果選擇一些應力, 例如熱、電、機械應力或它們的組合, 使那些具有潛在缺陷或弱點的零件加速失效或提前暴露。因此, 應該選擇什麼應力或方法? 使用的應力水準為何? 及應力作用時間的長短是篩選的一個重要課題。如果應力不大、時間不長, 可能無法發揮暴露、剔除的效果。例如某一公司對用於電視機上的高功率電子管所使用的篩選規格, 開始是進行 4 小時的高溫電功率熟化, 但是根據現場數據顯示, 經過這樣的篩選後, 儘管在 4 小時高溫電功率熟化能夠篩選掉一部份早期失效的零件, 但是組裝後的早期失效率仍較高, 為此該公司進行了「篩選調查試驗」, 取一批電子管進行高溫功率熟化, 並進行定期監測, 試驗結果顯示: 即使熟化至 72 小時, 仍有少量的早期失效零件未能剔除乾淨, 一直到熟化至 96 小時以後, 剩下的零件繼續熟化達 480 小時也未再出現失效, 因此該公司最後訂定該電子管的高溫功率熟化時間為 96~120 小時。

另外有一家生產積體電路的工廠, 為了擬訂高溫電路貯存作為一種篩選手段, 同樣進行了篩選調查試驗, 取 100 個積體電路在 227 °C 下進行高溫貯存, 並定期測試, 試驗結果如表 2 所示。由表可知, 有 19 個在高溫貯存 655 小時內失效, 剩下的 81 支一直到 1,160 小時仍不失效, 因此將高溫貯存熟化時間定為 227 °C、700 小時。

表 2 積體電路高溫貯存篩選測試數據案例

測試時間(hr)	40	150	180	200	225	270	310	355	565	655	824	1160
失效數	1	5	3	0	2	1	1	1	2	3	0	0
累計失效數	1	6	9	9	11	12	13	14	16	19	19	19

當然，理想的篩選應使篩選後的零件的失效率降低至浴盆曲線上早期失效期結束、隨機失效期剛開始的轉折點時的失效率。但是如果使用上不要求這麼低的失效率，則可以放寬一些篩選條件，使篩選後的失效率儘管未達到理想水準，但已滿足使用要求，這樣可以節約篩選經費。例如上述電子管的篩選，對電視機而言，96~120 小時的高溫功率熟化確有實際困難，則可以視情況適當放寬。

零組件可靠度應力篩選條件的選定由下列四個主要因素決定：

- (1). 實際零件的主要失效模式、失效機制及應力大小、作用時間長短的關係。
- (2). 工藝設計、材料的特點及生產品質管制的水準。
- (3). 使用者對零件的可靠度要求程度。
- (4). 所規定的實際中的最嚴苛的環境條件。

在制訂篩選條件時，很重要的一項工作是制定失效準則。失效通常分為「突發失效」和「漸變失效」兩類，突發失效如開路、短路、喪失功能等等，用所謂「通過 - 不通過(go/no-go)檢測即可發現之；比較頭疼的是漸變失效，即性能參數由於逐步蛻化而變成超規格失效，它直接影響零件的長期可靠度。為此，應檢測一些與今後可能蛻化有密切關係的關鍵參數、敏感參數，觀測其變化程度，作為剔除與否的標準。例如對於分立式半導體裝置，可取反向漏電流、正向壓降或飽和壓降及電流放大係數；對 MOS 裝置，可取源漏飽和電流或靜態電流、開後電壓、輸入阻抗等等，容許的變化程度則根據篩選應力及對零件的要求而定。例如對一般使用的二極體、電晶體，電流放大係數可以容許的變化為 15~20%，但對海底電纜用的高可靠度要求的二極體、電晶體，則電流放大係數只能容許變化 3%。

對電子零組件而言，可以根據篩選所使用之應力、工具、手段，將各種常用的篩選方法分為下列四類：

- (1). 檢查篩選：包括放大鏡檢查(含顯微鏡或電子掃描顯微鏡檢查)、X 光透視、紅外線掃描等，主要的篩選對象為表面缺陷。
- (2). 環境應力篩選：包括高溫貯存或穩定烘烤、溫度循環、熱衝擊、機械振動、衝擊、離心加速度等，主要篩選對象為內部結構缺陷。
- (3). 密封篩選：包括粗漏、細漏等，主要的篩選對象為表面介面缺陷。
- (4). 電應力篩選：包括功率熟化、電性能測試等等，主要篩選對象為功能缺陷。

零件篩選的主要參考規範以美軍標準與規範為主，一般零件為 MIL-STD-202，半導體裝置為 MIL-S-19500 及 MIL-STD-750，微電路則為 MIL-M-38510 及 MIL-STD-883。為了符合微電路高可靠需求的範圍，MIL-STD-883B 建立了三種明顯的產品保證篩選水準，以

符合產品實際應用的需求條件。這三個等級分別為 S 級(適於太空等重要的應用情形)、B 級(適於空置及地面等應用等級較次一等的系統)和 C 級(適於簡單、可維修的地面使用情形)。三個等級之篩選需求分別說明如下：

(1).C 級微電路

C 級篩選為最輕微的可靠度試驗次序，包括 100% 內部目視檢查與一些環境試驗，但無預燒需求，而且電性測試只在常溫狀態下進行，必須執行品質鑑定與品質符合試驗。

(2).B 級微電路

多年來，B 級流程已變成工業標準流程，所有的產品都必須經過 C 級規定的試驗，加上 160 小時的預燒，以及 100% 高溫和低溫電性功能測試，同樣必須執行品質鑑定與品質符合試驗，不過有部份試驗項目的 LTPD 與 C 級的規定不同。

(3).S 級微電路

S 級流程要求更多的試驗項目，而且試驗條件更嚴厲。增加的試驗項目包括顆粒碰撞噪音檢測、非破壞性焊點拉力試驗、一些新增的強制性電性處理步驟、輻射線檢驗、以及不同的品質鑑定程序，其中有些試驗條件更嚴厲，例如內部目視檢查規定在 A 狀態下執行，一般則在較輕微的 B 狀態下進行。預燒的時間較長，而且不只是要求一個篩選過程。

以下就常用的電子零件篩選方法分別加以介紹。

4.1.1 放大鏡檢查

由於零件的晶片在生產過程中易受損傷或污染，所以最有效的辦法是在關鍵生產道次上，例如切片分類後、熱壓後、封裝前，都加以檢查。由於目視檢查容易漏檢，所以用一般放大鏡或顯微鏡檢查，如果在關鍵道次上都進行放大鏡檢查有困難，則至少也應在封裝前加以檢查，如此對晶片上存在裂紋、沾污、雜物、光刻或金屬化缺陷(如刻偏、圖形不正確、有毛邊、氧化層厚薄不均、有劃傷或針孔、台階處裂紋等)，焊合缺陷(如壓點位置不正確、形狀不符合要求等)，導線缺陷(導線過長、線上有瓶口、缺口、部份導線相距太近、上下交叉等等)，都能發現而加以剔除，如能用電子掃描顯微鏡取代普通光學顯微鏡，效果就更好。

放大鏡最好按美軍標準 MIL-STD-883B 試驗方法 2010.3 執行，放大鏡檢驗項目所採用的顯微鏡放大倍數如表 3 所示。

表 3: 放大鏡檢驗項目之放大倍數

項目編號	放大鏡檢驗項目	顯微鏡放大倍數
1	金屬化缺陷檢查	100-200
2	擴散層及鈍化層失效檢查	100-200
3	割片及晶片缺陷檢查	100-200
4	玻璃鈍化缺陷檢查	100-200
5	電介質隔離檢查	100-200
6	焊合檢查	30-60
7	內導線檢查	30-60
8	薄膜電阻器、電容器檢查	30-60

4.1.2 X射線檢查

X射線具有穿透物質的特性，並能使照相底片感光，對密封零件而言。一般說來，用 X 射線檢查的優點是不影響受檢查零件的品質及固有的失效模式(只有一些特殊零件才不能用 X 射線檢查，例如 X 射線可能改變石英晶體的頻率)。常見的零件對 X 射線照相可能引起損傷的輻射線劑量值如表 4 所示，因此使用 X 射線檢查時，劑量不宜過大。

在零件封裝後，有時由於封裝工藝操作不當，會帶來雜物，特別是帶入可動金屬微粒時，問題就很大，這些微粒在振動條件下可能落入零件中的某些部位，因而導致短路或其他失效。所以如果經費許可，應用 X 射線檢查，剔除內部含有金屬雜物的零件。用 X 射線檢查還可檢查零件內部的焊料缺陷，如零件內部焊料燒結不好存在空隙，則在溫度循環下有可能引起失效。用 X 射線亦可檢查零件內導線焊合的缺陷，例如內導線焊合的位置偏離規定要求、內導線下垂等等。它還可用以檢查積體電路內部結構的相對位置、連結關係、晶片裂紋、晶片與底座間有氣孔等缺陷。由於其應用廣泛，故美軍標準 MIL-STD-883B 及 MIL-STD-750C 中都推薦以 X 射線檢查做為對零件進行無損檢查的主要手段之一。

表 4: 常用零件之輻射線損傷劑量

品名	輻射線損傷劑量(R) [*]
矽材元件	7×10^6
鍍材元件	5×10^4
電容器	$3-7 \times 10^8$
電阻器	$2-5 \times 10^8$

* IR = 2.58×10^4 c/kg

4.1.3 紅外線掃描

通過檢查零件的熱分佈特性，可以觀察到體內或晶片表面熱缺陷嚴重的零件，例如由於針孔、擴散尖峰形成氧化層台階的局部熱點等，特別適用於功率密度比較大的零件。

4.1.4 顆粒碰撞噪音檢測

顆粒碰撞噪音檢測(particle impact noise detection)，簡稱 PIND，它用於檢測密封零件空腔中有無鬆散的顆粒，包括導電或非導電粒子、軟或硬粒子。這些顆粒有的是在封裝

前就沾在晶片上的，也有的是由於環境潔淨度不夠，在封裝時帶入的或在進行點焊時濺入的。在振動環境條件下使用時，這些顆粒可能到處亂竄，使零件短路、開路或影響正常工作而造成失效。根據美國洛克希德公司對繼電器失效機制的分析結果，72%是由於鬆散顆粒所造成的。

X射線檢驗是目前探索封裝零件內部空腔有無多餘的鬆散顆粒較廣泛使用的方法，但 X射線的檢驗分辨能力或解析度有限，如顆粒直徑太小，X射線就發現不了，而現在的 PIND 設備已可能檢驗出重量小於一微克、直徑小於 25 μm 的多餘顆粒。

PIND 的原理是通過檢測鬆散顆粒碰撞外殼或顆粒間彼此相互碰撞所發生的聲能，來判定內部是否有鬆散顆粒。理論上只要用一個振動器產生機械振動，經過連結裝置傳輸到感應器上，待檢測零件用膠粘劑固定在感應器上，感應器的輸出經過超音波轉換及放大器輸出到可聽的頻譜波段，然後用擴音器監聽有無特殊的噪音，或將聲音信號顯示在示波器上進行監視。

由於有些顆粒是以靜電力、磁力或機械粘附方式沾在零件內部的，所以 PIND 試驗還要求對零件進行輕輕敲擊，將它們撞擊出來。PIND 試驗費用比振動試驗費用少，而且效率還高，美國已於 1977 年將之正式納入 MIL-STD-883B 中，這是一項值得推廣的篩選手段。

4.1.5 高溫貯存

零件失效很多是由於表面狀態的變化和其他物理化學反應所造成的，例如 PN 接合表面有雜質離子和其他污染物，在電場與溫度作用下形成導電通道，使反向電流加大，由於表面復合速度加大使電流放大係數降低，或者由於焊合點形成脆弱的金屬化合物造成開路失效模式等等。一般情況下，化學反應隨溫度的增高而加速，將零件貯存在高溫條件下可以大大加快水汽及其他離子所引起的腐蝕作用、表面污染漏電及金鋁間的化合物成長速度，使具有早期失效特性的零件中潛存的疵病或缺陷提前暴露，使零件失效而加以剔除。它對於鍍片的體內缺陷、氧化層或鋁膜中的缺陷等也有一定的篩選作用，同時對正常零件也可使性能穩定熟化。高溫熟化設備簡單，但要求高溫箱中安放受試零件區域具有均勻的溫度場。篩選時的貯存溫度取決於零件的工藝，鍍質元件最高不能超過 200 $^{\circ}\text{C}$ ，矽質元件則可達到 300 $^{\circ}\text{C}$ ，這樣的溫度並不算太高，因為矽鋁絲的共熔點為 756 $^{\circ}\text{C}$ ，金鋁的共熔點為 377 $^{\circ}\text{C}$ ，所以 300 $^{\circ}\text{C}$ 對於矽質元件是可以忍受的溫度範圍。對金鋁系統零件而言，由於金鋁系統在高溫下會產生 5 種中間相或金屬間化合物[AuAl₃(即紫斑)、AuAl、Au₂Al(即白斑)、Au₃Al、Au₄Al]，這五種相的晶格常數、熱膨脹係數各不相同，容易使相界面產生裂紋，造成較弱的焊合或時斷時通的間歇性失效，而焊合點紫斑一般要在 300 $^{\circ}\text{C}$ 溫度下貯存數十小時才能暴露，所以美國貝爾實驗室對金鋁系統零件用 300 $^{\circ}\text{C}$ 貯存 16~20 小時，接著進 20,000g 的離心加速篩選，對消除紫斑潛在疵病具有極為明顯的效果。

4.1.6 溫度循環

如果零件不同結構材料之間的熱匹配特性不好，則在高低溫迅速變化時容易暴露出來。溫度循環對於發現並剔除晶片組裝、焊合或封裝工藝上的缺陷，加速晶片或焊合中潛在裂紋造成的失效，發現台階上薄金屬化合物層以及多層、佈線台階上的微裂

紋等缺陷，是非常有效的篩選方法。美國軍用規範 MIL-M-38510 及軍用標準 MIL-STD-883B 試驗方法 5004 中，對於積體電路裝置規定有 A、B 及 C 三個篩選等級，其中溫度循環的規格為 -65 +150 -65，共執行 10 次循環。

4.1.7 熱衝擊

熱衝擊的原理與溫度循環相似，它是溫度變換更迅速的溫度循環，通常是在液態介質中進行，例如在 0 的冰水與 100 的沸水之間循環，不同溫度間的轉移時間很短，一般為不超過 5 秒或 30 秒。由於它比溫度循環的條件更為嚴苛，因此對某些潛在疵病或缺陷也更有效，特別適合於檢驗封裝材料之間的熱匹配。一般說來，做了熱衝擊就不必再做溫度循環了。

4.1.8 機械振動

機械振動的目的是篩選焊合不可靠的晶片及封裝品質不高、晶片有潛在裂紋的零件，可以篩選封裝後的內部有無可動多餘導電物、似斷非斷、時斷時續的焊合點、過長的引腳，在振動時還可對零件的電性加以監測。由於振動機設備限制，有的採用單軸振動、有的則為三軸振動；振動頻率一般多在 20~60Hz 之間；時間則從幾小時到幾十小時不等。目前常見的規格為正弦掃描振動，20~50Hz 為 1.5mm 全波位移、50~200Hz 為 10g 振幅、200~2,000Hz 為 15g 振幅，水平與垂直兩軸向各往返掃描 30 分鐘。

機械振動是一種破壞性的篩選手段，它的某些作用可用高速離心試驗替代，所以在零件層次的篩選現已不普遍使用，即使使用，往往也只抽樣執行而已。

4.1.9 機械衝擊

機械衝擊的目的與機械振動相同，但篩選條件更為嚴苛。衝擊力的大小決定於衝擊距離及承受衝擊物體的結構特性。一般在垂直於晶片的 y_1 方向以 1,500g 衝擊 5 次，也可以 20,000g 一次衝擊代替，不過此一規格需要使用氣動式衝擊機才能做到。

4.1.10 高速離心加速度篩選

高速離心加速度篩選的目的是通過高速旋轉所產生的強大離心力的作用，剔除掉焊壓合不可靠，焊合絲配置不當，導絲過鬆、過長、中間垂下，或者導絲間隔太近等的物品。離心所產生的加速度值決定於焊合絲材的質量與殼體的大小，小功率和扁平封裝常用 30,000g，大功率零件則要小一些；作用時間一般為 1 分鐘，必要時也有達 5 分鐘以上者；離心力一般作用在 y_1 方向，亦即使得焊合絲向外受拉的方向，必要時也可以再加 y_2 方向。

有人懷疑幾萬 g 的離心試驗有破壞性，其實這個擔心是多餘的，如某一積體電路的內引線直徑為 30 μ m、長 3mm，則在 20,000g 離心加速度下，焊合點所受到的拉力可經計算得只有 0.114 克，正常的焊合點強度可以承受好幾克的拉力，因此離心試驗的拉力不是破壞性的。

4.1.11 測漏

漏是指氣密性不好，外界氣體中的濕氣或離子污物可能使焊合點及鋁膜產生腐蝕作用，造成零件性能逐漸退化而失效。目前半導體裝置的封裝有金屬、陶瓷、玻璃和塑膠四種方法；其中，玻璃封裝主要用於二極體。塑膠封裝成本最低，適合於大批量生產。但是塑膠封裝有兩項主要缺點，一則因為塑膠材料的熱膨脹係數不易匹配，使塑膠材料封裝容易漏氣，亦即氣密性差，從而壽命不長；二則塑膠材料中往往含有對零件有害的物質。所以在封裝用塑膠材料這兩項問題解決之前，對於可靠度要求高的零件一般不用塑膠材料封裝。

金屬封裝及陶瓷封裝的氣密性較高，密封作業應在清潔乾燥的條件下進行，封裝環境空氣中的水汽含量應不到 10ppm，亦即 10^{-6} 以下，如果封裝時再充填氮氣，則效果更好。

即使是密封性再好也不能保證每個產品都不漏氣，因此，在產品塗漆之前，要進行 100% 的測漏，因為塗漆後可能產生漆材把漏孔暫時堵塞的現象。一般測漏技術分為粗漏與細漏兩種，漏氣速度低於 5×10^{-5} atmml/sec 的稱為細漏，大於此一數值的叫做粗漏。一般執行時乃先進行細漏，再進行粗漏。

細漏通常採用無損壞性氦質譜儀測漏法，先將產品放在一個密閉的真空壓力容器內，用一定壓力的氦氣加壓一段時間，然後將產品取出，迅速放在測漏工作台的真空容器內進行測漏。在取出產品時，注意要將吸附在產品表面的氦氣吹乾淨。

較廣泛應用的粗漏方法是加壓氟化物氣泡檢驗法，其過程為：將產品放在真空壓力容器內，保持一段較長的時間，例如一小時左右，然後灌入低沸點追縱液體三氟化三氯乙烷(亦即 F-113、化學式為 $\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$)，將產品全部浸沒，加 5 個大氣壓保持 1~2 小時，然後解除壓力，將產品自然乾燥半小時左右，將產品底面朝上投入到加熱至 120 ± 5 的高沸點加熱顯示液體全氟三丁胺{化學式為 $[(\text{C}_2\text{F}_5)_3\text{N}]$ }中，在良好的照明下觀察是否有氣泡。如果沒有氣泡出現，即表示產品通過粗漏測試；如果有氣泡群大量出現，則產品是有漏的。如果局部出現穩定的氣泡流，則要仔細觀察，如果氣泡流立即出現，產生的部位是任意的，則產品是有漏的；如果氣泡流慢慢產生，產生部位在接腳根部，且氣泡小而密，上升過程中大小基本不變，則這種氣泡可能不是漏氣造成的，而是物體本身表面有缺陷、污物等因素所引起的。

4.1.12 預燒或功率熟化

預燒(burn-in)在國內有相當多的稱法，包括：老化、燒入、崩應等等，每一種稱法所涵蓋範圍也不盡相同，其中以預燒最為廣泛，若從工程角度來看，電功率熟化或功率熟化應為較具體的稱法，取其使電子零件由早期失效而進入成熟有用的隨機失效期之義。預燒的目的在於通過電應力或熱應力，提前暴露一些零件製造工藝過程中存在的一系列表面、體內及金屬化層的潛在疵病或缺陷，這些疵病及缺陷為構成早期失效的主因，例如表面污染、表面變形、渠道漏電、氧化層針孔、金屬間化合物如紫斑、晶片粘結不好等等。

加電應力之大小決定於加電應力後的接面溫度，鍍質元件在 120 之間、矽質元件則在 175 ~300 之間，對於一般的二極體、三極體和簡單開門電路，可以在常溫下用加大功率來控制內部接面溫度，以進行功率熟化。例如由於小功率電晶體的功率裕度

為一般為額定的三至四倍，故小功率電晶體使用 2 倍額定功率；中功率電晶體的功率裕度為二、三倍，故中功率電晶體用 1.5 倍額定功率；大功率電晶體的功率裕度一般只有 1.5 倍左右，故使用額定功率。但是高功率對積體電路，特別是中大規模的積體電路，往往是難以辦到的，因此對積體電路的功率熱化通常採用額定功率，在執行且常提高環境溫度，例如到 125℃，使篩選應力加強。對積體電路之類產品的加電方法，最常用的是直流靜態法與交流動態操作法兩種。前者對金屬化缺陷比較有效，後者則對表面效應之類的潛在疵病與缺陷比較有效。功率熱化的時間最好長一些，例如 48 小時以上。有的單位由於設備限制或其他因素，只作 24 小時，根據統計分析其結果就差一些，因此對高可靠度要求的零件，熱化時間應該更長些。

4.1.13 電性能測試

在很多篩選項目(特別是功率熱化)前後，一般都要進行有關電性的測試，測試本身對不少工藝缺陷，特別是參數不穩定，有一定的篩選作用。電性測試包括在常溫、高溫及低溫下進行直流靜態、功能測試及交流動態測試。溫度規格視零件的規格而定，最常見者一般低溫定為-55℃、高溫對鍍質元件為+70℃、矽質元件及積體電路為+125℃，通常是保溫 30 分鐘後再進行測試工作。

4.2 製程環境應力篩選

根據美國環境科學學會在 1981 年及 1984 年所分別發表的環境應力篩選有效性報告，在各種常用的篩選應力中，按其篩選效率加以比較，依次為溫度循環、隨機振動、高溫、電性應力、熱衝擊、定頻正弦振動、低溫、正弦掃描振動、複合環境、機械衝擊、濕度、加速度、高度，其中溫度循環和隨機振動的效率最佳，如圖 4 所示。就溫度循環與隨機振動所篩出的疵病加以比較，溫度循環約佔 77%~79%，隨機振則為 21%~23%。

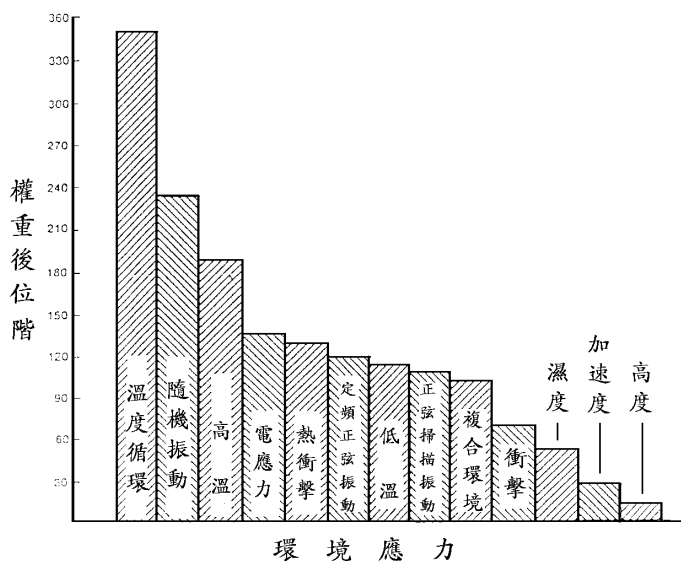


圖 4: 各種篩選環境應力之相對篩選效率

製程環境應力篩選常見的方法包括高變溫率「溫度循環」和「隨機振動」兩項，它是近幾年國際間發展很快的一種高可靠度電子產品的篩選技術。根據資料顯示，環境應力篩選可以很少的試驗工作量暴露 90%以上的工藝缺陷，特別是隨機振動篩選對整機來說極為重要。據某些資料報導，通過隨機振動篩選，可使整機失效率約降低 2/3。

製程環境應力篩選主要應用的對象為印刷電路板、佈線線帶與電纜、以及模組、單機等組和層次，常用的篩選方法分別為：

(1). 常用的PCB 與佈線線帶篩選方法為：

- a. 溫度循環

(2). 常用的模組篩選方法為：

- a. 溫度循環
- b. 隨機振動

4.2.1 溫度循環

高變率溫度循環的溫度值與循環次數視產品特性而定，溫度範圍一般取 100℃，循環次數則為 1~32 次，溫度變率為 5~15℃/min。

依照美國環境科學學會(IES)環境應力篩選指引，溫度循環的建議規格說明如下：

(1). 溫度範圍

印刷電路板、單機、系統等各硬品組合層次溫度循環篩選的溫度範圍規格如表 5 所示。

表 5: 溫度循環篩選溫度範圍建議規格

硬品層次	最大	一般	最小
電路板	-65 +100	-50 +75	-40 +65
單機	-55 +85	-40 +70	-40 +60
裝備	-55 +70	-40 +65	-40 +50

(2). 溫度變化率

印刷電路板、單機、系統等各硬品組合層次溫度循環篩選的溫度變化率規格如表 6 所示。

表 6: 溫度循環篩選溫度變化率建議規格

硬品層次	最大	一般	最小
電路板	+35 /min	+10 /min	+5 /min
單機	+10 /min	+5 /min	+5 /min
裝備	+10 /min	+5 /min	+1 /min

(3). 循環數

印刷電路板、單機、系統等各硬品組合層次溫度循環篩選的循環數規格如表 7 所示。

(4). 硬品操作狀態

電路板層次：不加電

單機與系統層次：加電

表 7: 溫度循環篩選循環數建議規格

硬品層次	最大	一般	最小
電路板	40	20	10
單機	20	12	8
裝備	20	12	8

4.2.2 隨機振動

由於試驗技術的限制，早期振動篩選是以「單頻正弦」和「正弦掃描振動」為主，但其結果很不理想。推究其原因，主要是產品在共振頻率時才會產生疲勞破壞，而所選的單頻正弦頻率不一定正好選在其共振頻率；正弦掃描法則因激發共振時間往往不夠，所以它不一定能暴露產品的缺陷。隨機振動則包含了可能發生共振的各種頻率成份，所以篩選效率很高。目前使用最多的隨機振動篩選，其加速度功率頻譜，在 80~350Hz 範圍內為平譜，加速度功率頻譜密度值為 $0.01\sim 0.1g^2/Hz$ ，隨產品而異，20~80Hz 和 350~2,000Hz 之間的曲線以 $\pm 3dB/oct$ 變化，輸入振動值約為 $6.0g_{rms}$ ，振動時間為 3~10 分鐘。典型的軍品隨機振動篩選規範是平譜加速度功率頻譜密度為 $0.04g^2/Hz$ ，振動 5 分鐘。除此之外，目前也有部份公司發展出使用溫度循環與隨機振動複合的篩選專用設備。另外，振動試驗會損傷產品部份的疲勞壽命，據分析， $0.04g^2/Hz$ 級的隨機振動所造成的疲勞只等於 $2.5g$ 正弦振動，所以隨機振動在對產品疲勞壽命的影響上也比單頻正弦振動為小。

美國環境科學學會所推薦的隨機振動篩選規格引述如下：

(1). 振動頻譜

常見的隨機振動篩選頻譜規格如圖 5 及圖 6 所示。

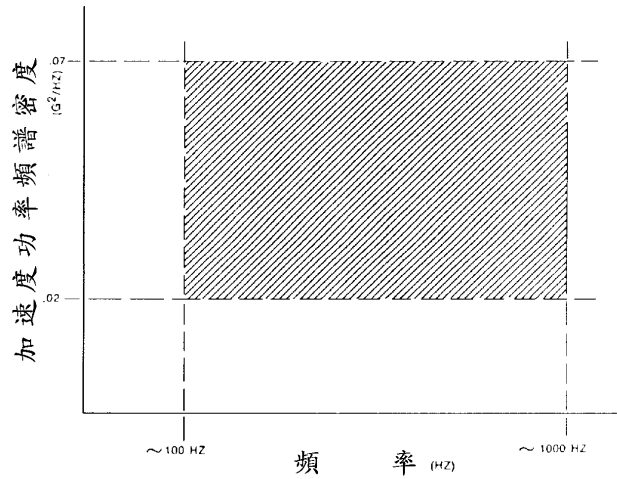


圖 5 IES 推薦之隨機振動篩選頻譜規格

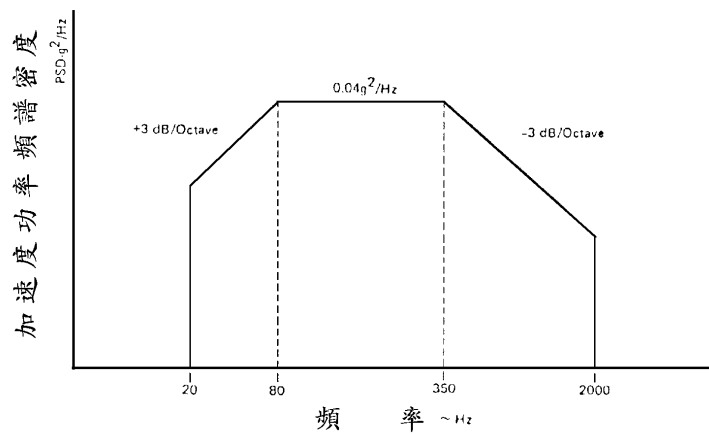


圖 6: MIL-STD-781C 及 NAVMAT P-9492 規定之隨機振動篩選頻譜規格

(2). 振動值

常見的隨機振動篩選振動 G 值如下：

- 最大 ~10g_{rms}
- 一般 6g_{rms}
- 最小 3 g_{rms}

(3). 振動時間

最大：每軸向 15 分鐘

一般：每軸向 10 分鐘

最小：單軸向 10 分鐘

雙軸向或三軸向 5 分鐘

(4). 硬品操作狀態

電路板層次：操作或不操作

單機與系統層次：操作

4.3 成品可靠度保證試驗

儘管零件與製程是經過嚴格篩選的，但在裝配成整機及調試過程中，仍還需要對零件進行加工，例如：彎腳、焊接、測試等等，這些裝配中的加工有時候可能會損傷零件，例如：彎腳不當，使接腳受損傷；浸錫時間過長，使電晶體晶片受到傷害。另外，如焊接操作也不是絕對可靠的。為此，整機在組裝調試後應該進行整機的預燒或電熟化，它有助於暴露裝配調試過程中帶來的早期失效，並且還可以暴露一些篩選中沒有剔除乾淨的具有早期失效的零件。成品常用的篩選方法為：

- (1) 預燒或電功率熟化
- (2) 溫度循環
- (3) 隨機振動

某一電視機生產廠對某型機種的一批批量為 11,230 的電視機進行了 14 小時環境溫度為 40 的整機電熟化篩選，在熟化篩選過程中總共發生的失效次數如表 8 所示。其中發現的主要零件失效資料如表 9 所示。

表 8: 電視機整機電功率熟化失效統計

測試時間(hr)	2	4	6	8	10	12	14
發現新失效數	81	38	19	20	12	17	9
累計失效數	81	119	138	158	170	187	196

表 9: 電視機整機電功率熟化主要零件失效資料

失效名稱	測試時間(hr)								累 計
	2	4	6	8	10	12	14		
發現新失效數									
電解電容器(393050個)	2	2	0	2	0	0	0	6	
其他電容器(854550個)	2	0	0	2	1	1	0	6	
變壓器(67380個)	11	8	3	1	1	0	0	24	
VHF調諧器(11230個)	5	7	3	1	0	1	1	21	
三極管電晶體(414440個)	19	10	2	2	2	1	1	37	
工藝性失效	21	5	8	6	5	3	3	51	
畫面不穩定	0	0	0	0	1	1	2	4	

從整機電熟化的失效來分析，由於虛焊、假焊、零件相碰、零件電地短路、插件未真正插入等工藝性失效佔總失效的很大比例，達 26%，可見電熟化對暴露裝配帶來的早期失效有幫助。另外，整機電熟化中也暴露了一些性能失效，如畫面露底、畫面重現率不足等畫面不穩定失效。

從上述數據分析，三極管電晶體在 14 小時電熟化中失效 37 支，佔總數 414,440 支的 0.00892%，相當於失效率為 6.3×10^{-6} fr/hr，說明失效率還是很高的，顯然這些裝上機電晶體的早期失效並未剔除乾淨，亦即篩選還不夠，其他的失效零件也有類似的問題，由上述數據可知，整機成品的應力篩選確實可以更進一步剔除早期失效零件。

4.4 篩選應力之有效性

由於使用不同類型的應力施加在試品上，所激發暴露的缺陷類型也各不相同，因此，在試驗前須設法了解物品可能存在的缺陷類型，借助 FMECA 及 FTA 等手段判斷最常出現的與嚴重程度最大的失效類型，再選擇對缺陷的激發暴露最有效的應力進行試驗。隨著產品的研製中的改進和生產中工藝技術的提高與成熟，產品的主要潛在疵病也在不斷地變化，因此對產品進行篩選的應力也要不斷地調整，表 10 列出幾種被公認的篩選應力和其有效作用範圍。

5 建立有效率之應力篩選制度

基於現有電子產品的技術水準，無法避免零組件疵病與工藝不良等的存在，目前已公認應力篩選為保證產品之品質與可靠度較為可行的技術，為發揮應力篩選應有的功能，必須針對產品的特性，並配合由零件(part/component)、模組(module)、單機(unit)、到系統(system or equipment)各組合層次的製程與品管檢試，建立一套具有完整作業程序的應力篩選制度，作為執行篩選之依據。

表 10: 各種篩選應力的篩選用途

篩選應力種類	適用之物品組合層次	所能激發暴露之缺陷
溫度循環	各級組合層次	參數漂移；電性功能失調；化學污染；零件與印刷電路板之缺陷；零件安裝與焊接問題。
隨機振動	單機或整機層次	多餘物料；焊接問題；裝配連接、硬體鬆動與結構問題。
高溫電應力熟化(預燒)	各級組合層次	與時間、電應力等有關之零件缺陷或工藝過程缺陷。
高溫貯存	各級組合層次	與時間及非電之靜應力有關之缺陷(具有節省經費之優點)。
熱衝擊	零件與印刷電路板	可暴露一般無法測出之暗傷、裂縫及參數變動缺陷。
定頻正弦振動	零件層次	可作為工藝檢驗，暴露硬體之間的連接、接觸與焊接問題。

5.1 應力篩選制度的特質與工作內容

一套完整的應力篩選制度應包括下列幾項特質：

- (1). 有效率的篩選應力，能使產品中潛在的疵病很快的曝露出來。
- (2). 符合成本效益。
- (3). 適當的檢驗與功能測試。
- (4). 選用的篩選應力不超過產品之設計強度，以致使正常的產品損耗太多的可用壽命或遭受破壞。
- (5). 具有健全的失效處理與改正行動體系和完備的品質與可靠度資訊系統。

一套完整的應力篩選計畫，其工作內容大致應包括：不同的篩選項目及應力水準對產品產生的效應分析，產品於篩選中可能產生的潛在疵病項目的定義，篩選後的產品使用情形的分析，篩選應力對硬品不同組合層次的影響分析，及整個應力篩選成本效益分析模式的建立等。

5.2 制定應力篩選程序的重點

設計一套有效率的應力篩選制度與程序須把握下列幾項重點：

- (1). 篩選的環境應力與使用及設計的環境規格無直接關係，祇要不超過裝備之環境設計規格，且能有效的達到篩選目的的環境項目，皆可做為篩選的環境應力。
- (2). 篩選的應力水準不可超過產品設計強度，以免對正常的產品造成傷害，所以要及早瞭解產品的設計強度，作為擬訂篩選應力水準之依據。但是要注意的是設計產品時不可以應力篩選的規格為依據，必須以生命週期可能遭遇的環境應力為主。有些設計者為了滿足合約上的應力篩選需求，設計產品時只根據應力篩選規格為設計之依據，這是一種本末倒置的作法，絕對要避免。
- (3). 訂定篩選的應力時，先要對產品的振動特性及熱傳特性作深入的分析後，才能設計出有效而安全的篩選程序。
- (4). 根據 IES 在 1981 年 ESSEH 委員會所發表的統計分析資料，發現溫度循環與隨機振動為產生最大效應的環境應力，且兩種篩選所找出之失效比率分別 79% 及 21%，目前國內應力篩選也常採用溫度循環及隨機振動方式執行；另外，複合環境的效益與單一環境並沒有很大的差異，但卻比單一環境所花費的經費高出甚多，所以沒有必要以複合環境應力來篩選。
- (5). 篩選產品組合層次的選擇，對於成本及篩選效率有很大的影響。一般而言，產品組合層次愈高，執行篩選的總成本較低，而失效時所需的修復成本確較高，而且修復成本隨產品組合層次的提高而增加的速率，遠大於執行應力篩選的總成本的降低速率；若考慮篩選的效應時，有些瑕疵要在較高的產品組合層次時才能發現。如果只對低組合層次的產品進行篩選時，就可能會使有些存在於較高組合層次產品的潛在疵病無法剔除，而在使用時發生失效，這種情形下所須

的維修成本則更遠高於在尚未出廠時的失效檢修。綜合上述討論，得到一個重要的結論為：在愈低組合層次發現疵病愈好，而較適當的做法是從零組件、印刷電路板、模組，甚至到系統層次，都要有不同應力水準的篩選。

- (6). 決定篩選應力的主要條件在於其效率，為了瞭解各種不同應力水準的篩選效率，必須分析在不同應力水準下的篩選結果，並做比較，找出較有效率的應力。
- (7). 篩選的結果一定要做詳細的分析，並根據分析的結果隨時修訂應力篩選的程序，以達到較佳的篩選效率。篩選結果分析的好壞，關鍵在於記錄是否完整詳實，所以在篩選計畫中要訂定詳細的記錄資料需求，並確實記錄。另外產品實地使用情形的回饋資料，也是訂定好的應力篩選程序的重要依據，所以在產品使用前，也要建立產品使用的資料回饋系統。

5.3 制定應力篩選程序的流程

當實際有了應力篩選的需求時，為了能順利而有效率的進行應力篩選計畫擬訂，其中最主要的工作項目是擬訂一個適當的應力篩選程序做為開始，然後依照所訂的篩選程序進行產品的篩選，再分析篩選的結果並評估其效益，據以修改篩選的程序，以便得到較佳的應力篩選程序。典型的應力篩選程序制訂流程如圖 7 所示。

但是在擬訂最初的篩選程序時，由於尚未有任何的資料可以依據，此時有幾個途徑可以訂出較適當的原始應力篩選程序，做為整個應力篩選計畫的開始：

- (1). 設計一個應力篩選的實驗，選定幾個不同的篩選程序進行試驗，分析其結果，找出較好的程序。
- (2). 參考以往的計畫執行應力篩選的經驗，並分析其執行成果。
- (3). 參考 ESSEH 委員會的所發表的 ESS Guidelines，選擇出較適合的程序做為開始。

上述三個途徑以第三種方式最為經濟，而且可行性最高。另外在擬訂應力篩選程序的同時，也要擬訂好實地使用情形的資料回饋系統，並建立成本效益分析的模式，以便對應力篩選的結果做分析。還有對於產品的振動及熱傳特性也要同時做研究，以便在做應力篩選之效應分析時，能確實瞭解使產品失效的真正應力。

5.4 執行應力篩選與精進篩選作法

當應力篩選制度與程序的規劃工作完成後，接著就可以開始執行應力篩選，分析應力篩選的記錄，並依據這些記錄，配合成本效益分析模式及產品的振動和熱傳特性，分析成本效益及篩選效應；另一方面於產品出廠後，藉回饋系統蒐集使用情況並加以分析，最後將這些分析的結果合併起來進行綜合分析，據以修訂出較佳的應力篩選程序。

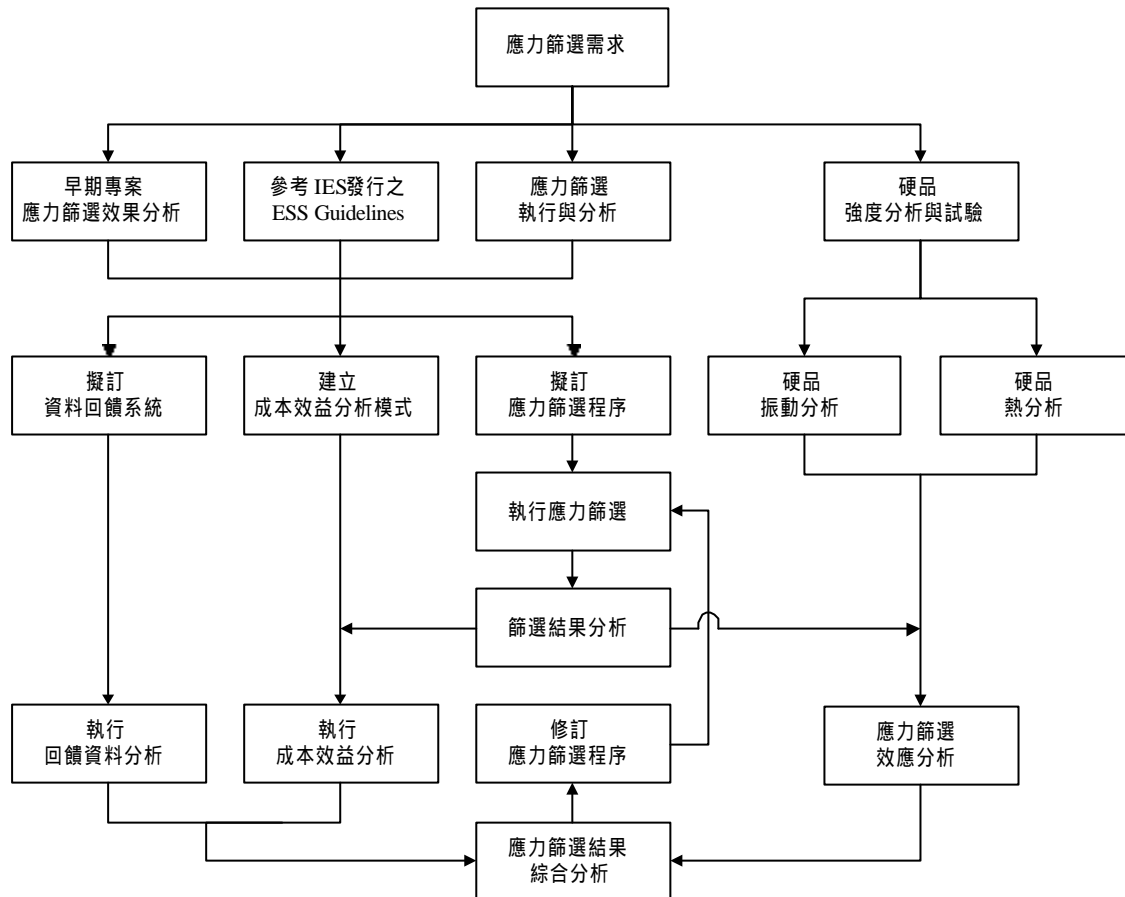


圖 7: 有效率的可靠度應力篩選程序制訂流程

6 可靠度應力篩選在產品研製過程中各階段的意義

一般而言，在產品設計發展階段就應該開始規劃執行可靠度應力篩選計畫，因為每一種產品有效的可靠度應力篩選程序各不相同，若能提早瞭解其特性，就可以定出較有效應的可靠度應力篩選程序；另外，可靠度應力篩選程序須視製造時執行的結果加以分析，根據得到的結論隨時機動的加以修改，因為製造技術可能隨時在改進或退化，而且應力篩選程序沒有絕對最好的，所以須隨時視實際情況修改才能得到最大的效益。另外產品的維修與改良或備份件製造階段也是運用可靠度應力篩選的時機。以下分別就可靠度應力篩選在產品之設計發展、量產製造、維修與精進改良及備份件補充製造等各階段之意義與作法簡要地加以說明。

6.1 產品設計發展階段

大部份探討可靠度應力篩選問題的論述多是針對在量產製造階段的產品，若是在新產品的研發階段執行可靠度應力篩選時，除了可以發現零件疵病及工藝不良等引起的失效外，還可發現一些屬於設計問題的失效，對於產品的研發有極大的幫助。所以在研發階段執行可靠度應力篩選不但可以早期發現一部份設計問題加以修改，提高設計之可靠度，而且能藉此縮短研發時程。除此之外，對於可靠度應力篩選本身而言，

在研發階段執行可靠度應力篩選，可協助提早定出較有效率而且不損害產品的可靠度應力篩選程序。

雖然可靠度應力篩選普遍被視為一項製程的工具，但是在設計發展階段使用可靠度應力篩選也有下列明顯的好處：

- (1). 研發階段的初期設計審查 (preliminary design review, PDR) 對於產品的發展是非常重要的工作項目，因為審查過程的評估回饋資料能夠對不同的設計提供極佳的參考意見，不過這時所有的努力應集中於設計性能方面的失效，而不希望被製程的不良與零件品質問題所產生的失效誤導方向，所以用來做試驗評估性能規格的硬品，必須是已無可篩選的瑕疵存在，可靠度應力篩選正是提供此項需求的絕佳工具。
- (2). 產品競標評估對於 OEM 產品而言是非常重要的，因為委製廠商在準備 OEM 品及不同競標者的評估時多已經投入許多金錢與時間，承製廠商此時必須能證明其所製造的產品優於其他的競爭承包商，以便能獲得後續的生產合約。毋庸贅言，在這個產品競標評估的關鍵時刻，如果發生原預期應該已經篩除的瑕疵，則是一種無法忍受的錯誤，將失去後續研製計畫得標的機會，而可靠度應力篩選正是避免發生這類錯誤的方法。
- (3). 設計發展階段的時程與可提供的原型產品數量通常都受到限制，如果設計的產品未經過適當的篩選，則每次因一些潛在瑕疵 (latent flaw) 所引起的產品失效，必耽誤了極重要的設計發展時程，應用可靠度應力篩選可篩除這些疵病，因而節省除錯迴圈 (debug loop) 所浪費的寶貴時間。
- (4). 可靠度應力篩選除用以剔除劣質零件或工藝缺點等早期不良外，同時也可以挑出設計缺點，經由失效分析及改正行動，可以有效的改進設計缺點，防止失效重現，因而促進可靠度成長，因此可靠度應力篩選可以視為 TAAF 的延伸工作。

一般電子工業的經驗顯示設計的產品中可篩除的瑕疵高達 90%，其中工藝佔 60%、零件佔 30%，而設計疵病只佔 10%。為能成功的執行量產製造階段的應力篩選計畫，其重要關鍵之一為在設計發展階段即建立良好的可靠度應力篩選制度，並將設計發展階段所獲得的篩選資料加以分析，並作些微調整以供量產製造階段之用。

6.2 產品量產製造階段

量產與製造階段是可靠度應力篩選主要的應用時機，此階段執行可靠度應力篩選的效益最好，其目的在於建立與維護產品整個製造組裝過程，控制製程、工藝水準與組裝操作程序的品質。在本階段執行可靠度應力篩選的意義說明如下：

- (1). 因為檢驗測試與維修的成本，隨著產品組合層次的複雜而成級數增高，因此儘量於較低的組合層次偵測出瑕疵，可大量降低維修成本，量產製造階段使用可靠度應力篩選可以提早於較低的組合層次促發潛在瑕疵，減少因維修所造成的瓶頸，提高生產力。

- (2). 可靠度應力篩選制度配合完善的改正行動體系，可以避免失效的重複出現，可靠度應力篩選計畫的目的在於剔除瑕疵的根源，使生產製造流程順暢，而不像一般品管程序僅在於檢驗，而反造成生產瓶頸。
- (3). 對部份熟悉可靠度應力篩選的人來說，它僅被視為將硬品早夭失效促發為顯現失效的一項製程而已。不過，平均而言，在所有篩除的瑕疵中有 18%~40%都是工藝不良所造成的。這些瑕疵的導入，皆可由可靠度應力篩選的失效分析所確定出來，從而研判出某個作業站因作業員異動、或經驗不足所造成的潛在瑕疵。在量產製造階段應力篩選可以大量的降低工藝不良原因所引起的失效，若能輔以人員訓練與獎勵制度，則在品質與生產力兩方面均能大幅提昇。
- (4). 隔絕品質不良的零組件最佳方式，為加強零件進料接收檢驗，尤其是對於大量採購的電子零組件而言更加重要。雖然，批量接收技術已廣泛的應用於進料檢驗，但是解決關鍵電子零組件的品質與可靠度問題，可靠度應力篩選扮演著十分重要的角色。它可協助生產管理者確認出供應商所送來有瑕疵的零組件，避免導入生產線上，造成難以彌補的損失。
- (5). 承包商製造產品的目的，在於獲取適當的利潤，以便維持永續經營的能力，而消費者對於購買產品的要求，在於採購到滿足性能與可靠度需求的產品。生產者的責任在製造能滿足顧客對產品的可靠度要求，不過，若未執行可靠度應力篩選，似乎不易達成這項要求，因為可靠度應力篩選的主要目的之一係維持產品設計的固有可靠度。另外，有部份的人將量產製造階段的可靠度應力篩選視為可靠度成長過程，這種說法是把可靠度成長的意義給誤解了。這種因剔除不良硬品所造成的產品可靠度提昇是在花費某些成本(篩選處理過程及不良品成本)的結果，並不能改變原設計的可可靠度能力，因此有人稱之為非成長之成長(no-growth growth)，真正的可靠度成長應該在產品的設計發展階段，經過設計精進變更程序而得到，而不是在量產製造階段藉由篩選程序與檢測方法達到的，此階段實行可靠度應力篩選計畫或目視、檢驗等其他技術，目的在使產品可靠度趨近並維持在其設計固有值。

6.3 產品維修與精進改良階段

如果產品經由維修或精進改良所獲得的利益勝過重新研製新產品的利益，則對於已使用一段時間的產品加以維修或精進改良，並建立適當的可靠度應力篩選計畫，也可以獲得部份的利潤。其方式係於主要的維修站建立良好的可靠度應力篩選計畫，以迫使各項維修或精進改良程序所導入的瑕疵成為可以檢測出來的「硬式失效(hard failure)」。

[註：所謂硬式失效即無論有無環境應力作用，均可偵測到的失效；而軟式失效(soft failure)則僅於環境應力作用之下，才可偵測的失效。]

本階段常見的疵病包括：

- (1). 產品維修、精進改良或提昇作業時所導入的工藝或製程瑕疵。
- (2). 不良供應商或不當搬運所造成的潛在的或初期的零組件瑕疵。

- (3). 產品在執行維護作業時所導入的瑕疵。
- (4). 因未篩選或隨意篩選即運交的合約產品所產生的非設計瑕疵。
- (5). 間歇性失效或無法複製的失效。

6.4 備份件補充製造階段

產品操作性的重要指標之一為其零組件備份計畫，備份件必須具備與原來產品組裝時的零組件相同的品質與可靠度要求，因此所有備份件應該經過原生產組裝件的品質與可靠度保證程序，執行與 OEM 產品相同組合層次和相同應力水準的可靠度應力篩選，則顧客在使用時，可以確保所補充的備份件安裝於產品後，仍能滿足顧客的可靠度要求。

7 結語

可靠度應力篩選技術在國內雖然不算新鮮，但是一般電子工業廠商在引進及應用可靠度應力篩選時，其進展不僅相當緩慢，甚至還多少遭遇到一些痛苦經驗，這種情形主要的原因在於對可靠度應力篩選的內涵不瞭解所造成的。本報告乃是以國外執行可靠度應力篩選的經驗為基礎，配合我國發展軍品所建立的可靠度篩選技術加以彙整完成。文中所探討的一些問題大多是在工作過程中所累積的經驗，我國正在積極朝電子通信電腦產業發展，並且在國際間已佔有一席之地，為求研製產品的品質與可靠度，除在概念宣導須加強外，有必要根據產業特性建立適切的可靠度篩選技術，做為執行可靠度應力篩選的參考。本報告所彙整的資料雖然已涵蓋零組件、製程及成品所需的可靠度應力篩選技術，不過仍然有些部份需要在實際導入應用才能建立其個別特徵，因此有必要以此為起點繼續進行研究，尤其在案例的蒐集分析以及效益建立與比較方面，以使此一技術更符合實際的應用需要。