

(本頁刻意留白)

標準檢驗局臺中分局 103 年自行研究計畫報告提要表		填表人：韓品翊 填表日期：103.12.31	
研究報告名稱	商品安全與環境試驗標準研析		
研究單位及人員	第一課 韓品翊、陳榮志	研究時間	自 103 年 01 月 01 日 至 103 年 12 月 31 日
報 告 內 容 提 要			
壹、 研究緣起與目的 商品安全問題，關係到民眾生命財產安全，及對廠家之營運造成衝擊，同時對產品驗證機構之形象亦有損害。因此，對商品安全相關之理論、知識及標準之有效掌握和理解實甚為重要，期能為商品失效及其事故問題分析提供事半功倍之效果，從而達到矯正與預防商品事故的目的。 貳、 研究方法與過程 一、 消費品安全 近年來，商品安全的思維，已不再只侷限於僅要求個別產品於進入市場前符合國家或國際標準規範之基本「單向」要求，擴展至全面、有動態回饋機制(「雙向」)並促成實質改進或標準修訂等積極作為的商品安全管理制度。其中，業者端(供應商)主動的資訊蒐集與積極參與，是促成全面提升商品安全最重要的動能。ISO 10377《消費品安全指引》提供相關作為之重要參考。除共通要求外，透過將供應鍊切分為「設計」、「生產」及「市場」三個主要階段，標準清楚禪明各階段供應商所扮演角色及應付責任。 二、 環境試驗標準 依前一部分研讀之 ISO 10377 標準第 4 章：通用要求之內文，供應商應確保商品有合理之最低壽命(或直接由法令規範最短期限)，並對其有效期限及合理使用壽命進行記錄；另外，也應透過各式管道了			

解商品於真實的使用情境中可能遭遇的各式狀況。環境試驗標準，提供於實驗室(或一個可被控制的試驗環境)模擬此些情況、預測商品壽命之重要依據，並已發展相當成熟。有鑑於模擬再現性試驗係為本課電器異常分析實驗室之發展重點，本部分針對 IEC 60068：《環境試驗》及其系列標準(尤以與溫溼度有關者為主軸)進行研讀及整理，以了解相關模擬試驗之實際作法。

三、 電器異常分析實驗室及異常模擬試驗

本部分介紹本課所屬之電器異常分析實驗室之現有設備，並簡介其於商品失效鑑定及模擬試驗的應用方式。其中較具特色者為：**金相顯微分析設備、短路模擬試驗箱體(附配可程式化溫溼度控制器)及循環通/斷水電試驗系統**。此外，也針對前部分所討論的環境試驗標準，評估所屬設備是否具備相應測試能力，作為未來採購、升級設備之參考。

參、 研究發現與建議

本研究除研讀多份標準，於過程中更針對所屬設備進行深入了解並編訂標準作業程序，並適度變更實驗室擺設及增加明確標示，使本課電器異常分析實驗室更符合 ISO 17025 之規範精神；另一併將研究心得及既有成果整理成教育訓練教材與課內同仁進行研討交流。期能將研究所投入之時間及心力，對於實驗室基礎能量推展發揮最大效益。

目次

目次.....	IV
壹、 總論.....	1
一、 消費品安全.....	1
二、 環境試驗.....	2
三、 電器異常分析實驗室及異常模擬試驗.....	2
四、 本報告組織.....	2
貳、 消費品安全.....	4
一、 ISO 10377《消費品安全指引》標準總論.....	4
二、 解決商品安全的基本原則.....	5
(一) 組織內部產品安全文化的推行.....	6
(二) 組織外部產品安全文化的推行.....	6
(三) 承諾提供安全的商品.....	6
(四) 持續改進.....	6
(五) 預防性措施.....	6
(六) 資訊分享.....	7
三、 對供應鍊上各成員的共通要求.....	7
(一) 承諾提供安全商品.....	7
(二) 持續改進.....	9
(三) 適用法規及標準.....	11
(四) 商品識別性及可追蹤性.....	11
(五) 了解使用者的立場.....	12
四、 設計.....	13
(一) 設計規格.....	14
(二) 風險評鑑.....	14
(三) 風險降低計畫.....	16
五、 生產.....	17
(一) 企業文化.....	17
(二) 商品製程.....	18
六、 市場.....	20
(一) 進貨確認.....	20
(二) 主動資料蒐集.....	21
(三) 持續風險評估.....	21
(四) 售後服務及保固.....	21
七、 危險識別案例.....	21
參、 可靠度及環境試驗標準.....	24
一、 商品環境試驗.....	24
二、 組合式環境可靠度試驗(CERT).....	25
三、 環境試驗之基礎因子.....	26
(一) 溫度.....	27
(二) 溼度.....	27
(三) 振動/衝擊.....	27

(四) 壓力.....	28
(五) 日照.....	28
(六) 啟/斷試驗.....	28
四、 全球環境試驗標準.....	32
肆、 IEC 60068 環境試驗標準.....	34
一、 IEC 60068 系列標準-總則說明.....	34
(一) 元件之測試注意事項.....	35
(二) 非元件型態樣品之測試注意事項.....	36
二、 IEC 60068 系列標準-共通結構.....	37
三、 環境因子-溫度.....	38
(一) 溫度因子概述.....	38
(二) 加速壽命試驗(溫度).....	40
(三) 定溫試驗(高/低溫試驗).....	42
(四) 冷熱衝擊試驗.....	43
四、 環境因子-溼度.....	49
(一) 溼度因子及失效概述.....	49
(二) 溼度因子之加速試驗.....	51
(三) 離子遷移測試.....	52
(四) 循環溼熱試驗.....	54
五、 環境因子-振動/碰撞.....	57
(一) IEC 60068-2-31《粗略模擬手持衝擊試驗》(代碼：Ec).....	59
(二) IEC 60068-2-27《衝擊》(代碼：Ea).....	62
六、 IEC 60068-2-53 組合氣候及動態試驗.....	62
伍、 臺中分局電器異常分析實驗室.....	64
一、 電器設備異常模擬.....	64
(一) 步入式恆溫恆溼箱體.....	64
(二) 數位化試驗監測系統.....	65
(三) 電熱水器循環通/斷水試驗治具.....	67
(四) 可程式化電源及電氣耐久性試驗.....	69
二、 金相分析.....	69
(一) 樣品截切及製備區.....	70
(二) 顯微分析及研究作業區.....	71
(三) 金相分析應用於電器火災事故鑑定.....	71
三、 其他設備.....	72
四、 未來實驗室設備採購建議.....	73
陸、 結語.....	75
柒、 參考資料.....	76

壹、總論

商品安全問題，關係到民眾生命財產安全，及對廠家之營運造成衝擊，同時對產品驗證機構之形象亦有損害。因此，對商品安全相關之理論、知識及標準之有效掌握和理解實甚為重要，期能為商品失效及其事故問題分析提供事半功倍之效果，從而達到矯正與預防商品事故的目的。本研究之主題分為三個部分，分別如下各節說明。

一、消費品安全

大部分國家之政府對於商品安全管理，都有設立專責機構及制定相關法規為之，以確保進入市場之商品盡可能的安全、對使用者不會有危害。而要求的對象，也逐漸的從各別商品，有擴大至所有「消費品」的趨勢。因此，商品安全的思維，已不能在只侷限於僅要求個別產品於進入市場前符合國家或國際標準規範如此基本的「單向」要求，而需擴展至全面、有動態回饋機制(「雙向」)並促成實質改進或標準修訂等積極作為的商品安全管理制度。意即：由原本只要產品符合標準或認可就可以販售、對於產品進入市場後之情況鮮少有關注的被動情況，改為積極主動地檢視產品在市場上及使用者端使用情形。主動進行資訊蒐集與供應鍊上各角色的積極參與，是促成全面提升商品安全最重要的動能。經由研讀及介紹 ISO 10377《消費品安全指引》，可以了解如何協助供應商落實資訊蒐集與積極參與之實質作為。依本標準，除共通要求外，供應鍊由頭端至尾端，依序可細分為「設計」、「生產」及「市場」三個主要階段，而供應商一詞(Supplier)可為此鍊上之任何角色，而依角色不同，責任與進一步所需負擔義務亦會有所不同。

二、環境試驗

依前一部分研讀之 ISO 10377 標準第 4 章：通用要求之內文，供應商應確保商品有合理之最低壽命(或直接由法令規範最短期限)，並對其有效期限及**合理使用壽命**進行記錄；另外，也應透過各式管道了解商品於**真實的使用情境中可能遭遇的各式狀況**。

環境試驗標準，提供於實驗室(或一個可被控制的試驗環境)模擬此些情況、預測商品壽命之重要依據。環境試驗為可靠度試驗之一分支，最初由美軍於二戰時期武器運輸需求而起，後續則陸續於航空工業、微型話電子零組件及汽車工業(安全氣囊、車用電子…)領域被廣泛應用，至今已發展的相當成熟且完備。

有鑑於模擬在現性試驗是為本課電器異常分析實驗室之發展重點，本部分針對 IEC 60068：《環境試驗》及其系列(與溫溼度有關)為主之標準進行研讀及整理，以了解相關模擬試驗之實際作法。

三、電器異常分析實驗室及異常模擬試驗

本部分介紹本課所屬之電器異常分析實驗室之現有設備，並簡介其於商品失效鑑定及模擬試驗的應用方式。本課於近幾年來已採購並建置多種儀器設備以強化產品失效鑑定之技術能量。其中較具特色者為：**金相顯微分析設備、短路模擬試驗箱體(附配可程式化溫溼度控制器)及循環通/斷水電試驗系統**。此外，也針對前部分所討論的環境試驗標準，評估所屬設備是否具備相應測試能力，作為未來採購、升級設備之參考。

四、本報告組織

依據前述一至三部分分章節依序進行撰寫(第二章至第四章)，

於最末章提出綜合討論作結，並附參考資料。

貳、消費品安全

一、ISO 10377《消費品安全指引》標準總論

大部分國家之政府對於商品安全管理，都有設立專責機構及制定相關法規為之，以確保進入市場之商品盡可能的安全、對使用者不會有危害。而要求的對象，也逐漸的從各別商品，有擴大至所有「消費品」的趨勢。因此，商品安全的思維，已不能在只侷限於僅要求個別產品於進入市場前符合國家或國際標準規範如此基本的「單向」要求，而需擴展至全面、有動態回饋機制(「雙向」)並促成實質改進或標準修訂等積極作為的商品安全管理制度。意即：由原本只要產品符合標準或認可就可以販售、對於產品進入市場後之情況鮮少有關注的被動情況，改為積極主動地檢視產品在市場上及使用者端使用情形。主動進行資訊蒐集與供應鍊上各角色的積極參與，是促成全面提升商品安全最重要的動能。特別在此指出的是，本標準的指引對象雖為供應商，然其所指出的所有準則及原理，其實亦適用於本局或商品安全主管機關。了解本份標準，除有助於未來作為改進商品安全管理制度之依據、增加主動積極之作為外，若能將所獲之觀念輔導予下轄廠商，協助其強化自主管理能力，則應使目前商品安全管理的方式更精進、效能更佳。

本標準中，供應商一詞(Supplier)可為供應鍊上之任何角色，而依所代表之角色不同，責任亦會有所不同。依供應鍊之流程，由頭端至尾端，依序可分為「設計」、「生產」及「市場」三個主要階段。

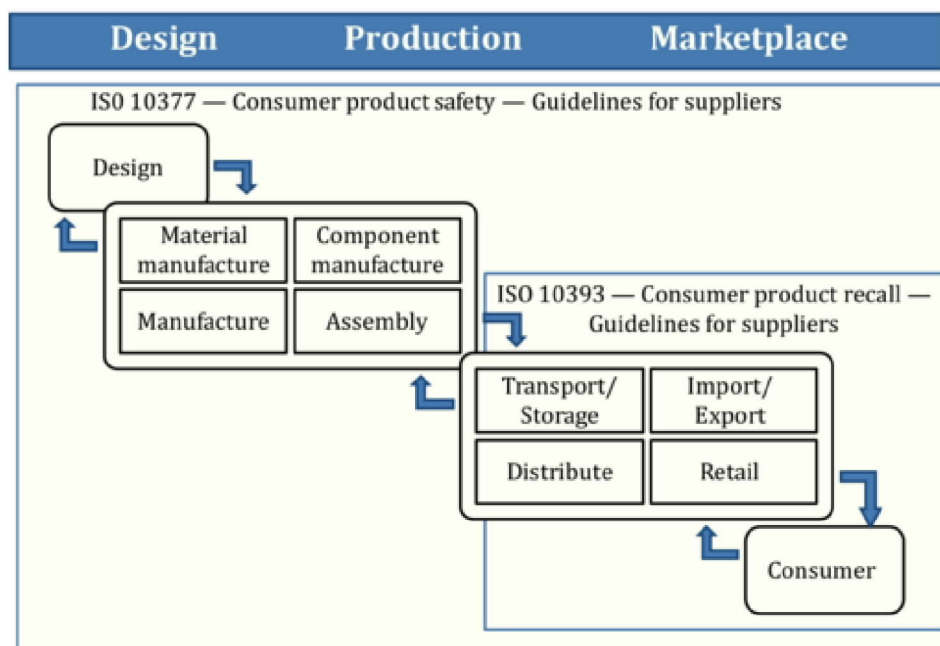


圖 1 供應鏈各成員示意圖

設計階段中參與的是產品設計公司及研發人員。生產階段，則涉及原物料供應商、零組件供應商、製造者及組裝廠。當成品完成之後，為進入市場、配送至各個銷售地點，因此需要有運輸物流業、倉儲業及最終的零售商參與，若產品來自非本國境入或欲銷往國外，則還可能會有進/出口代理商的配合。完整供應鏈的圖例說明如圖 1 所示。作為一本實用的指引，使供應鏈上各角色可以明白並建立商品安全有關之風險管理及評鑑制度，其三個主軸目標為：

1. 如何識別風險，又如何評估、降低甚至於去除商品的危險性？
2. 如何管理識別出的風險，讓它們降低到可被接受的程度？
3. 透過標識告知使用者商品相關的危險，如何安全使用商品？正確的處理不再使用的商品？

二、解決商品安全的基本原則

標準的第三章給出了商品安全的基本原則，這些原則適用供應鏈上的所有成員，細目分述如下。

(一) 組織內部產品安全文化的推行

此部分可藉由執行產品安全管理計畫、並由認證單位背書；了解有關法規和標準也是必要的。另外，對產品之符合性需負起責任，配置適當額度的資源給研發、設計、維護及市場監管部門以持續執行商品安全管理計畫。

(二) 組織外部產品安全文化的推行

意指除組織內部文化推廣外，亦需在整條供應鍊上推展。具體的作法可於合約中加入相關規範、建立合作關係、資訊分享…等，並提供給終端使用者完整的使用資訊。

(三) 承諾提供安全的商品

商品安全**最關鍵的階段為「設計階段」**；因為，只有根本地由基本設計將風險移除，才是解除危害的上策；且有效降低之後可能須於事故發生後召回產品的機會。事實上，召回之後的賠償、零組件替換甚至是重新設計或更換生產機具，都是高昂的成本。

(四) 持續改進

組織一套有系統的方式落實持續改進的目標。這些改進包括如何提升商品安全性、分析資料並將產出的資訊**回饋**到基本設計、製造及市場。這些改進的成果須要被文件化並加以研討，確保「持續改進」的目標達成。

(五) 預防性措施

此方法意味著某種在缺乏直接科學證據下控管風險或推遲危害的發生時間。畢竟，有些風險可能非可直接透過實驗或數據闡明，但經驗上又可佐證其若不加以注意可能造成不可逆或傷害人體的後果。例如：食品容器之部分構造材料可能於長時間使用後老化並可預期其將經由進食對人體造成慢性危害，然卻缺乏有關的統計數據

佐證。

(六) 資訊分享

資訊(特別是有關產品安全者)須持續於組織內部流通。這些資訊可能包含商品的性能表現、與標準的符合性及與供應鍊上其他的夥伴可能產生之風險。

三、對供應鍊上各成員的共通要求

標準第 4 章把前一章中的原則，進一步化為對供應鍊上所有角色之通用要求，並說明每個角色的功能。幾個重要概念如下：

1. 將商品安全融入基本設計。
2. 識別潛在風險(包含組織所擁有的其它類似商品)。
3. 估計暴露在此潛在風險的可能性
4. 評估此風險對消費者健康和安全性的危害。
5. 試圖將這些風險降至可接受的程度(可完全消去為佳)以管理這些風險。
6. 提供給使用者完整的警語及注意資訊，另外基本使用說明和安全使用、日後廢棄處理的資訊也是必要的。
7. 商品有任何的變更、零組件或原物料的替換，均需重行通過認可和商品安全管理機構同意。

而具體作法則分為以下幾部分說明。

(一) 承諾提供安全商品

具體作法有以下 3 要項：

1. 人員的稱職與否和是否充份訓練：組織需確保不論內外，所有與商品安全有關的人員都受到妥適的教育訓練，以稱

職地職行其角色。**文件化規範**是必須的，包括明確定義何謂「**是否稱職**」（例如是否通過某種訓練認可）、「**責任分配歸屬**」；另外，當識別出潛在的不安全性時，還有一個角色需能即時通報所有關係人員（包含已使用潛在使用不安全商品的消費者）。教育訓練的部分，則具有評量（由已通過認可的人執行）某人是否稱職的功能；而教材內容也需更新以反映出最新的情況，例如：標準變更。上述內容均需備有紀錄並留存。

2. 合適的資源配置：此點是為除了「風險管理」及「風險評鑑」兩大重點外，最常反覆於本標準中提及的概念。「**資源配置**」的多寡代表組織對於某一工作事項的重視程度。因此合理配置資源在產品安全相關的部門上表示組織重視其提供安全商品給使用者的承諾。資源被視為「技術」、「經費」及「人力」的總集，而具體的執行方式則舉例有：

- 紀錄的建立、保存及管制，可能需要建置資訊系統輔助。
- 舉辦教育訓練，學習專門技術、知識和參考有關技術資料提升商品安全。
- 驗證和測試產品甚至是製程的符合性。

以上作法均需有人事和部門預算充份的支援。

3. 紀錄管理和文件管制：這也是本標準的基本概念之一，即「**文件化**」和「**可追蹤性**」。依供應鍊的每個部分，本項列出了本標準所有文件化要求：

- 設計：流程中涉及風險管理者，例如：風險分析及降

低計畫、有關安全性之重要零組件選用之原則或理由、設計圖、零組件及原物料表、商品品管紀錄及通過測試之商品原型…等，若有法規要求，則第三方測試和認證評估也是必要的；本局於業者申請商品認可時要求其出具實驗室依據標準所執行之技術文件即為一例。

- 製造：優良的製程參數、生產計畫、品保紀錄、原物料採購規範及訂單、廠內測試及檢驗紀錄、設計變更要求及外包資訊…等；本局派遣人員至生產廠場執行工廠檢查及製程查核即檢視其是否具備此部分之能力。
- 市場：產品配送後之抽檢及稽查、客戶抱怨、意外事故、銷售紀錄、包裝文字及廣告內容、與使用者之通訊方式、客服紀錄…等。

最後，再次強調，本標準有特別提及：產品應訂定合理的使用壽命或使用期限，而上述所有相關文件，於此期間內都必須被完善保存。

（二）持續改進

持續改進必須是組織文化的一部分。改進的活動可以是組織內部或供應鍊上的大小事。一個實質上有效且有效率的改進，其基本概念是根據所擁有資訊、所接觸或學習到的新知識，對商品安全性作出明智的決擇。

- 設計：運用焦點團體法去構思其商品在使用者端各種可能的使用條件和表現優劣。團體的成員包含具代表性的顧客，透過討論交流，了解使用者於實際生活中

如何使用商品？和商品有何接觸？在什麼環境下使用商品？

- 製造：產線上成員的意見回報、產線即時測試及良率資料均可用於改善製程。
- 市場：根據下游供應商及顧客意見/抱怨回饋，並成立專案小組就意見資料作研討，提出對設計、製造方式的修正或變更。

值得注意的，不論是在哪個階段針對回饋訊息作出改進以為回應，這些改進都必須被定期的考核檢討，確保這些修正不會造成其它的意想不到的缺失，免生顧此失彼之憾。

至於持續改進的程序，則可仿效 PDCA (plan-do-check-act) 模式訂出明確的四個步驟(圖例說明見下圖 2)：

1. 識別問題，然後作出決定。
2. 制訂**改善計畫**。
3. 依據計畫對商品的設計或製程進行改變。
4. 關注供應鍊上各成員的改進情形。

上述 2. 的改善計畫，特別指出須檢視相關法規、標準是否有變更，確保產品的符合性；然某些時候，隨科技日新月異或消費者使用需求改變，不符合原因可能肇因於標準已不合時宜，則可於第三步中的執行改變中探討是否須改變標準；然實務上，變更標準須凝聚各方共識及政府單位更多嚴謹的考量，執行較為不易。

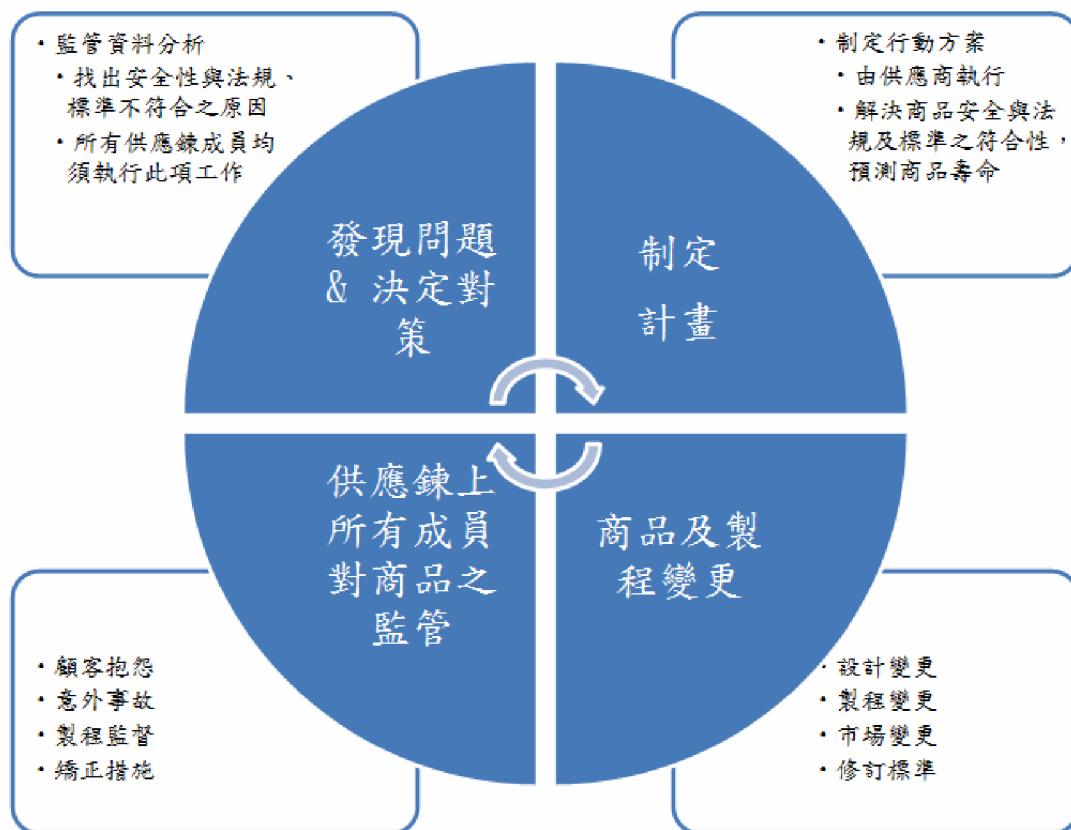


圖 2 運用 PDCA 方式進行持續改進

(三) 適用法規及標準

組織對於法規、標準的更新資訊和理解，可以透過合理的資源配置專責辦理，或參與政府或業界辦理的教育訓練、研討會接觸此類資訊。

(四) 商品識別性及可追蹤性

可追蹤性代表一個物件(可以是指商品本體、其內的一個結構、甚至是一個零組件)之歷史資料、應用方式或使用地點可以藉由適當資訊追溯。在供應鍊上，**每個物件至少都要能夠被往上游及下游各追溯一個階段**。若一個國家的隱私權法規許可、或在商品安全相關法規中特別規定，則可進一步追蹤至消費者端。

商品或物件的識別資訊應具有全球的唯一性，以供辨別在其產製的時間點，是否滿足當時法規或標準要求，並便利原物料及零組

件管理。若日後發生需召回商品，識別資訊也有助於釐清須召回之批量或特定日期區間生產之商品，提高效率並降低損失。所有的物件都必須要有唯一且可識別的資訊並詳加標示於本體或標籤上。標示的規格若有法規或標準加以規範(例如：電器產品標示基準)，從其規定。若無，則一常見的作法是採用條碼，嵌入序號、批號或料號甚至是日期等資訊。使用條碼的優點是可提升物件管理及進/出貨的效率。標示或編碼的原則，一經決定，則不可輕易改變。保持完整供應鍊的可追蹤性，是商品安全管理中最重要的一件事之一。

(五) 了解使用者的立場

依使用者接觸產品的時間順序區分，可分為以下幾個區段；而如本文各部分一再強調的，仍以儘可能提供完整的資訊給使用者為基本原則。

1. 購買前及使用前：供應商應於產品標示及廣告中，儘可能的提供商品資訊，例如：產品用途、適用年齡、應注意事項和潛在危險…等。其本身的名稱、聯絡資料也應清楚標示。詳細的標示規定，應從商品所販售國家或地區的規定為之。
2. 開始使用：包括安全使用方式、保養維護、儲存及使用年限。特別且需要被持續關注的事項，可直接標註在產品包裝、包裝說明書或官方網站甚至是以服務電話的方式提供資訊查詢。

此外，若商品危害不足僅以完整的資訊提供而控制在可接受範圍，供應商可能須進一步提供個人協助，提供例行且完整售後服務，可能內容含：零組件注意事項、組裝教育訓練、保養維護…等。目前已上市販售之電器產品，部分

商品甚至已將此部分以電子電路自動化內建於機體內，例如：飲水機具有濾心更換指示燈、冷氣機配有濾網清洗指示燈…等。

3. 使用中：供應商必須持續注意並蒐集使用者回饋的資訊，例如：顧客意見反映、抱怨、甚至是法律訴訟案，提交給主管機關有進行相關商品市場調查報告也是供應商應關心的。這些資訊，應被加以分類與分析並用於持續改進商品的安全性。供應商也有責任，鼓勵使用者填寫保固卡，並讓使用者知悉該商品的最新召回資訊。

在市場端，進來許多企業也注意到商品後續追蹤的重要性，因而祭出許多誘因強化消費者填寫保證卡寄回公司、或上網登錄的意願。提供回饋金、延長保固、或升級為到府收送的保固服務都是常見的做法。

另外需要被特別關注的，是較脆弱的使用者(vulnerable consumers)，他們可能沒有足夠能力正確安全使用商品或回饋資訊給供應商，例如：孩童或年長者。政府及供應商有責任幫助他們了解正確的使用方式。

本分局近年來陸續於社區大學及一般大學開設有相關課程，亦透過建置商品安全展示中心廣邀社會各界(含各年齡層之學生)前往參訪，可視為協助大眾理解商品安全之創新業務。

四、設計

本條首先點出，若在設計時欠缺周全考量，可能的後果為：對使用者造成傷害、訴訟及商品召回及需付擔的額外成本…等，可能也必須面對政府的處份。在設計階段的考量，須評估以下事項：

(一) 設計規格

商品生命週期中可能遭遇的部分均要盡可能的列入考慮，包括產品預期壽命。包裝、運輸配送、貯藏、組裝、安裝、售後服務、保養、維修、拋棄境是要詳細考慮的部分。商品生命終了時，必須**要以安全失效方式作結**。定義設計規格時，產品的主要用途？預期的使用方式或誤用？商品使用方式？風險視別？曝露在風險的機會？如何降低風險？

(二) 風險評鑑

可分為以下步驟：

1. 風險識別：此步驟企圖找出所有可能潛在會對使用者造成傷害的風險。尋找的來源包括退貨商品、顧客反映及抱怨、事故調查報告、使用者受傷資料分析、相關標準、技術專家之建議、使用者端的使用經驗分享(ex:網路聊天室、社群網站、焦點團體…等)，或由性質相近的商品取得以上資訊也是可行的作法。這邊特別強調，資料分析的作法有相當多種，參考文獻中列舉了故障樹分析(Failure Tree Analysis, FTA)，失效模式及效果分析(Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)，事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA)…等多種方法供參考。
2. 推測曝露在危險的機會：此部分是推斷商品潛在使用族群接觸到危險的機會和其使用(接觸)商品的時間。所有可能接觸或實際使用商品的人都須要列入考慮；他們使用商品的能力和身體特質是考量的重點。又如前面提及，脆弱的使用者如孩童或老人，是特別須被考量的對象。另外，不同商品呈現危險的顯著程度隨使用者特質的不同而有異。

例如：一把刀子，不論大人、年長者或稍有認知能力的孩童，大多明白其刀鋒的危險性；然而，一個不起眼但鋒利的金屬銳邊，除了解並可能經常使用的大人外，其他人可能不易察覺該危險。

3. 推測使用條件：可預期使用方式和誤用方式一同考量。例如：在廚房、衛浴…等潮溼環境下使用電器、甚至讓其掉落至水中，可能造成電擊；此時，潮溼或水就是一個要被注意的環境因子。設計商品時，必須加入適當對溼氣或水的防護(例如：CNS 3765 中有耐溼性及防水等級測試)。
4. 指出潛在的危險情境(情境分析)：即描述危險發生時可能的情況。例如：將手指伸入一有開孔的電器且碰觸到其帶電部件，會造成電擊。(防電擊測試)
5. 評估危險發生之嚴重性：風險的嚴重程度要可以被量化或描述，例如：輕微、尚可、重大、嚴重…等可顯現出傷害程度的描述。例如：使用者僅手指破皮，可以被分類為「輕微」；而傷至身體重要器官，則被評為「嚴重」。
6. 評估危險發生的機會(頻率)：危險有多大可能會發生也是設計者要問的問題。和「嚴重性」的部分相同，要是可以量化和比較的描述法。例如：百萬分之一的機會可被稱為「罕見」；每兩件就發生一件(50%)則算是「非常有可能發生」。在評估發生機率的時候，可以先算出「情境分析」描寫的每備步驟的發生機率，之後再全部相乘(假使每個步驟間相互獨立)即得到該危險情境發生的機率。而計算所需的機率值，可由歷史資料中統計而得。

7. 風險評鑑：經過前述的流程，並進一步搭配相關知識或求助技術專家，可進行本步驟，主要目標是評估風險「是否可以接受」。標準提供詳細的(流程如標準中之圖 4)說明。組織在進行本步驟時應遵循制定好的程序，評估過程大致包含前述 1.~6. 的內容。同時，分析時可以試著變更對危害的假設(發生的條件)，看發生的機率是否會改變。風險評估結果必須以書面記載，並經專家驗證通過以確保評估方法是正確(才能有正確結論)。若方法正確，而結果確是無法接受的風險，則必須緊接著下一個重點—風險降低計畫。

(三) 風險降低計畫

此部分是一個商品是否能順利上市的最後關鍵，若風險無法藉由任何方式降低至可接受程度，則這個商品將不存在進入市場的可能。制定一個風險降低或消除計畫包含以下步驟(流程如標準中之圖 5)：

1. 檢視為執行風險評鑑而前置作業的所有資料(即前述步驟)，找出風險源頭，即商品的哪個部分是產生風險的主因。
2. 評估風險可能可被降低到何種程度。
3. 試著加入防護措施阻隔危害源對人體的直接接觸。
4. 提供安全使用、組裝及保養維護的說明；警語和標籤也是必要的。

然必須切記的事，「**警語**」永遠是最後的手段，只有當所有的措施都無法免除掉危險時，才可訴諸此方法降低風險。而其標示的位置、符號需注意(可能需依照法規或標準為之)，也必須考慮到使

用者是否有能力可以明白警語的用意。

標準舉安全門之門栓設計為例，舉例何謂可接受的風險。假定評定門栓之安全標準為「該門栓不得使安全門被 5 歲以下的孩童打開」。考慮實際的安全門使用情況，為使其於緊急避難時能發揮功用，顯然不能將門栓設計在極高或門板上隱蔽的空間內，因此此風險不存在可被完全移除的可能；只能朝降低風險的方向思考。假使改良後設計出來的門栓還是能夠被 15% 的 2 歲孩童打開，這個情況明顯不能被接受。反之，若是僅 0.001% 的孩童只能夠在非常用力（以至於手指瘀青）的情況下才有可能將門打開，那此風險尚算可以接受。

由此例，個人認為，**我們之所以必須容忍適當的風險存在，是因為使用目的和產生風險範圍必然會重疊。我們只能儘可能的降低它，而非完全的排除它。**試想，若我們為了完美達到標準，將一個安全門的門栓設計的極度緊實，以確保力氣最大的 5 歲小孩都打不開，如此的確達成目的；但一來卻也產生力氣較小的青少年以至於成年人也打不開的窘境，於緊急逃生時可能反造成人員死傷，適得其反。因此，適度的接受與控制風險，才不會衍生出「因噎廢食」的荒謬情形。

五、生產

這部分可以分為精神上的企業文化及實務上的生產流程說明。

（一）企業文化

提升企業文化以製造安全商品，可以有以下作法：

1. 發展企業文化必須要有實踐，包括必須要求員工理解所生產的商品之風險、隨時注意最新的商品安全議題、參與商品之標準修訂工作…等。
2. 降低或消除製程瑕疵：即使可能無法完全避免，組織仍需在製程的每一個步驟採取行動，例如更改製程參數(例：機器鎖螺絲的力道)或環境條件(例：環境溫度)，盡可能的把問題和瑕疵降低。
3. 對商品安全的承諾：組織必須重視所有和商品安全有關的要素，在製造流程中所有階段的員工均必須接受妥適訓練。對於其上游之供應鍊也必須加以把關，以確保其提供之零組件、原物料…等，在商品安全的各個環節上也都有周全的考量。
4. 最佳製造實務(Best manufacturing practices, BMP)：組織必須遵循業界的最佳製造實務生產商品，持續確保安全和品質。然由於商品種類繁多，它們並不一定存在所謂的最佳製造方式；且**最佳製造實務造不必然等同於最低成本之製造方式**，以目前法規及標準的規範方式，本局似無強制手段要求業者對於某商品採特定方式生產，僅要求其能夠通過標準的最低要求即算合格。

(二) 商品製程

商品的製造流程，可分為三個階段：

1. 生產計畫：正式生產前，必須確認商品設計或其最新一次的設計變更，進行完整的試產，並對試產所製造出的樣品原型作評估和檢視。商品的設計確認標的包括規格、原物料及零組件採買、使用工具…等。

2. 原物料的部分要由組織執行進料檢驗把關，**必須不是壽命即將終結的舊品，也不得在未經驗證的情況下更換其它替代品(例如：本局的認可制度中的零組件變更核准機制)**。工具的部分必須合宜，員工也要透過訓練及考核以保證具備相應操作能力；訂定良率指標及工具的汰換標準也是必要的，以利整個製程的監控。此外，若有使用到量測儀器，則必須定期校正以確保量測品質。
3. 試產是測試製程的能力是否能達到預期；亦提供參數設定的參考經驗。而每次只要設計有變更，試產流程就必須重新執行，確保在排定的生產速率下所產出的商品瑕疵可以降到最低。試產出來的原型可以和之前生產的原型相比較，也必須接受驗證，可能的話，採用環境試驗法可以模擬其在使用者端真實的使用環境。待一切萬無一失，才可執行真正的批量生產。
4. 生產：不論在任何一回的製程及任何一條產線上，實際產製出來的產品都必須符合設計規格(一致性要求)。預排生產流程，可以使生產更有效率，成本更低。原物料的管控是基礎，除務必確保所有原物料的可追蹤性外，無法通過進料檢驗者必須和通過者確實隔離，避免其勿入產線。品保負責人必須定義足夠的取樣率和書面化的抽樣方案抽測線上商品，並記錄結果。整批生產完成後，再執行成品抽測，除商品本體外，說明書、標籤、包裝均在抽測範圍內。
5. 生產後：通過層層把關的商品，接著將於即將出廠要面對的包裝、運輸、儲存…等問題。若不謹慎，良品也可能在

這些過程中受到傷害形成瑕疵，而變成問題商品進入市場。因此，商品的包裝、紙箱是否適合運輸、重壓；檢核物流業的完整性和安全性，制定符合要求的配送計畫…等都是生產後重要的工作。

另外，以上三個階段，都需要有「生產支援」。生產支援包括稽查、法規標準、測試和文件化的管理系統。稽查由具備資格者(例如：第三方認證單位或是客戶直接赴現場執行)，確保製程和商品品質，發現和評估風險；基於風險評估進行的抽測，也提供商品持續改進的機會；而它們也必須確認這些改進的訊息和矯正措施有無確實被組織接收並執行。另外，對商品所欲輸往之國家，其法規標準必須被組織了解，並確保其商品之符合性。就個人實務上執行查核所觀察到的現象，就轄區內之中小企業來說，以上這些工作大都由品保部門(人員)統一承辦，以人力資源配置的角度而言，似乎稍有不足。

六、市場

在市場端，供應商的四大要務為「進貨確認」、「主動資料蒐集」及「持續風險評估」、「售後服務及保固」。

(一) 進貨確認

進貨時，必須確認所進的貨品對使用者是安全(包括較脆弱的使用者)且符合標準和法規要求；且適合目標客群及環境使用。因此，於採購合約中不但需加入相關文字可確保對進貨進行驗收的權利，並且加入目的使用環境、客層年齡…等要求至規格書中。至於驗收測試，可交由組織內部自測或第三方單位執行。現場抽測需訂定允收標準，測試也可改類似拆機比對純檢視方式進行。

(二) 主動資料蒐集

資料蒐集和分析可讓供應商明白商品安全最新趨勢，資料來源舉凡：瑕疵品、退貨率、維修率、商品事故、顧客意見/抱怨以至於法律訴訟案皆可。分析出的有效資訊可再回饋用於商品風險控管及持續改進，也幫助供應商更了解自己的商品和風險。

(三) 持續風險評估

即使商品已上市，供應商仍應持續追蹤商品情況。**執行市購檢驗**可了解商品於出廠後經過運輸、儲存及搬運後的情況，所得資訊可供改進「生產後」之配送前置(包裝)作業。消費者滿意度調查、退貨者資料、顧客中心及社群網站上所得資訊也是風險評估的資訊來源。

(四) 售後服務及保固

商品售出後，使用者可能會要求繼續提供商品支援及服務，供應商可直接提供這些服務，或委辦給其它單位執行。確保商品有備料可供維修，且人員受過訓練，不致於安裝或維修商品的過程中產生其他危險來源。供應商不重視售後服務品質，可能也會引發商品事故。例如：電熱水器安裝人員如不熟悉安裝相關規定，誤裝配管或未正確安置漏電斷路器，則可能引發事故。

七、危險識別案例

標準之附錄 C 提供了廣泛的例子作為識別商品危險之參考，簡要整理其中與電器商品較有關之部分如下。

表 1 識別商品危險列舉例(截錄)

危險	商品屬性	事故情境	造成傷害
----	------	------	------

燒燙傷	發熱表面 乘裝熱液體	未經意的碰觸熱表面、潑灑出容器內液體	燒燙傷
電擊	具可被接觸到之帶電導體 高電壓	碰觸到載流或高壓部分致電流通過身體	觸電、心跳停止、肌肉傷害
夾擠	有可相對活動、固定、閉合、夾緊功能之構造	身體任一部位於接合過程中進入兩構造間	瘀血、骨折或骨頭碎裂
紅外線	具發射電磁波(波長 780mm-1mm)之機構	曝射時間過長、或發射能量過強時	燒燙造成表皮組織受損
微波	具發射電磁波(波長 1mm-1m)之機構	屏蔽構造功能不彰	燒燙造成表皮組織受損、干擾其它機器運作
重覆動作	控制介面設計不良	人機介面需索碎反覆的由人工操作	肌肉及神經緊張/傷害
振動	偏心馬達	手持或需人站/坐於其上操作之振動器械	肌肉及神經緊張/傷害

標準亦選出上述部分危險進行風險評估以為範例，截取 2 例作

為參考如下。

表 2 危險視別及風險評估例

危險	情境例	傷害類型	評估方式
夾緊、受困於可動之夾緊、閉合構造或開口	嬰兒之頭部卡在嬰兒床之欄杆 手指被折疊椅夾住	骨頭碎裂傷、絞傷、拉傷	利用不同年齡孩童頭部及手指大小之統計資料進行分析及模擬
發熱表面	孩童碰觸發熱表面	第一級至第三級燒燙傷，視接觸時間長短而定	表面發熱溫度量測，並分析歷史燒燙傷資料了解受傷程度與溫度高低之關聯

參、可靠度及環境試驗標準

一、商品環境試驗

依前章研讀之 ISO 10377 標準第 4 章：通用要求之內文，供應商應確保商品有合理之最低壽命(或直接由法令規範最短期限)，並對其有效期限及**合理使用壽命**進行記錄；另外，也應透過各式管道了解商品於**真實的使用情境中可能遭遇的各式狀況**。

另外，由於消費者對產品要求日漸嚴苛，除安全性，對產品的耐用度、可靠度要求也日漸提高，對產品附加於其它設備上使用之相容性及可能因其失效而對整體系統造成的影響亦是被檢視的重點；因此以加速壽命與模擬各式環境應力為主之可靠度試驗，逐漸成為考驗產品品質之重要手段。

本章擬討論之環境試驗標準，提供於實驗室(或一個可被控制的試驗環境)模擬此些情況、產出定性、定量之數據、進而成為預測商品壽命之重要依據。環境試驗為可靠度試驗之一分支，最初由美軍於二戰時期武器運輸需求而起，後續則陸續於航空工業、微型話電子零組件及汽車工業(安全氣囊、車用電子…)領域被廣泛應用，至今已發展的相當成熟且完備。有鑑於模擬在現性試驗是為本課電器異常分析實驗室之發展重點，本部分針對 IEC 60068：《環境試驗》及其系列(與溫溼度有關)為主之標準進行研讀及整理，以了解相關模擬試驗之實際作法。

環境試驗的主要功能，除評定商品的性能和特性，且協助設計者或供應商明白其在各種環境條件下是否均能維持相同的表現水準？其商品的極限為何？失效(故障)的比率和速率…等關鍵問題，而環境試驗對產品的考驗，顧名思義，即各種「環境因子」對商品

造成的(不良)影響，而此些影響又會造成何種後果？又如何即早改進或預防？環境因子可以分為「自然」和「人為」產生兩大類：前者如溫度、溼度…等，後者則如運輸過程產生的振動、撞擊或掉落…等。

二、組合式環境可靠度試驗(CERT)

失效通常由產品周遭環境與其本質發生交互反應所造成，然欲在短時間內快速探知其與種類繁多的變化卻顯然不可行，無論在時效及成本上均過高。因此，組合式環境可靠度試驗(Combined Environmental Reliability Test, CERT)因應而生。依據對產品特質的了解及合理的假設使用環境，排除較不可能的失效情況，接下來之任務即草擬出盡可能貼近真實環境的環境試驗流程(通常是一種「加速」流程)；其中，各式因子的相關性必須被審慎考慮，必要時，須進一步探討因為混合各失效因子而新生的失效模式。

在僅考量單一因子之獨立環境試驗中，調高單一環境應力，可能僅造成 3 至 5 倍之加速效應；然當這些因子混合在一起時，各別調升的環境應力，所造成的可能是數百甚至是數千倍的加速效果；甚至如前段所述，可能是混合因子後「新產生之失效因子」，進而造成指數型成長失效率。

下舉一日常生活常見之混合環境因子範例，如一般之家庭之庭院，置於此處的電器(例如：電燈、捕蚊燈…等)。如圖 3 所示，庭院之 3 個最基本的環境影響因子不難理解，應為「溫度」、「溼度」及「沙塵」。設計可靠度試驗時，將這三種因子合併於同一環境試驗中進行測試，頗符合實際情況，且亦能節省不少測試時間。而潛在風險為無法明確得知究竟是哪個因子、或哪種因子組合造成產品

失效；本例中，三種因子共可混合出 7 種組合(2^3-1)，而我們卻不見的能從試驗結果有把握地把真正造成失效的組合找出，進而加以改進。然對於預估產品的壽命，卻已相當有幫助。

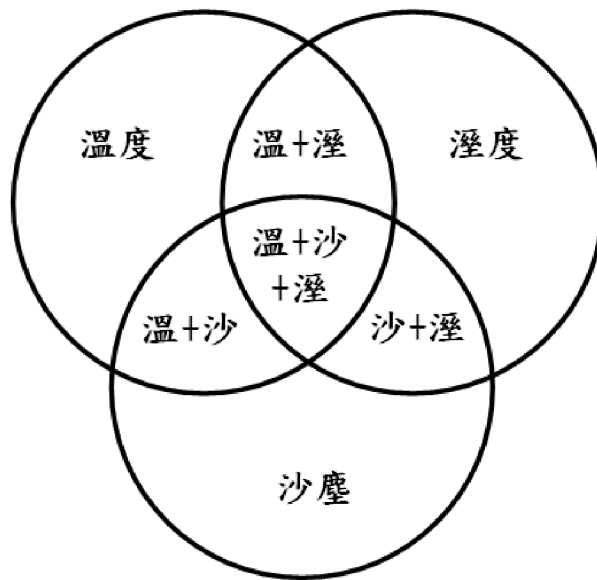


圖 3 環境因子組合示意圖(文氏圖)

然，有時為避免一環境因子對產品造成之衝擊而加上適度之保護，卻反而加劇另一種環境因子之傷害(或對系統另一個部分造成影響)。例如，承前例，為避免沙塵、溼氣對燈具及其線路造成影響，一般燈具通常會加上燈罩；但產生的後遺症卻造是造成燈泡散熱不良、內藏安定器線路傷害或壽命減損。因此，如何取得平衡、如何在有效控制其它副作用下如期保護欲保護的標的，又是另一個值得探討的議題。

三、環境試驗之基礎因子

實務上，商品的失效模式，最基礎的因子有三，分別為溫度、溼度及振動；約 80%以上之失效均由此 3 種基本因子和其它因子混合而成。以溫度而言，它可以考驗材質的品質、進而考驗結構上之

機械強度及電性特性是否會因不同溫度條件下而改變。

(一) 溫度

常見的試驗為循環高低溫測試，依溫昇/降的過程，又可分連續式及步階式2種，前者為平滑漸近的溫度變化，前者則是階梯式變化，所需的測試設備為可程式溫度控制器；若需激烈的溫度變化(要考驗「溫差」對產品的影響)，則需使用冷熱衝擊試驗箱。

此類試驗所造成的失效模式可能有：表面材質變化、膨脹、彎曲甚至出現裂痕，影響電擊防護特性。若待測物於試驗期間處於動作狀態，則可動部件會因反覆熱脹冷縮、或因潤滑劑失去作用而產生磨損，進而使動作不順暢、偏移而造成更大之傷害。原本用於密封之接合材料，可能也會產生破損。

(二) 溼度

通常溼度會連同溫度一起考慮。機體可能會因溼度的變化(極度的乾、溼)，而發生過度的水份吸收或蒸散，或在循環變化過程中發生水氣於設備上(內)凝結導致有效絕緣距離的下降(更易發生短路、擊穿)。另外，水氣也可能會潤滑劑造成負面的影響。然前述電性安規問題通常不為環境試驗標準所考量(因其並非針對電類商品而特別設計之規範，而是廣泛適用於各類型商品)，在大多數標準中，均有要求不得在試驗過程中使水氣凝結於樣品表面上之條文。此類試驗需要的是可程式化溼度控制器，通常也會和溫度控制器整合於一體。

(三) 振動/衝擊

振動試驗系列試驗又可分為較輕微的正弦振動(模擬運輸過程，例如海上波浪造成的振動)、隨機振動、共振試驗(使用正弦波作頻率掃描找出待測物的共振頻率)以至於較嚴苛之衝擊試驗、摔落試

驗。此類試驗產生的均是機械應力，造成結果是物理上之失效。電路、零件、絕緣可能在振動中損壞、脫落，機殼及零組件也可能發生裂痕、老化。振動也會造成運轉中的部件由軸心偏移，導致磨損。本類測試需使用到振動試驗機，可依須求反覆產生不同頻率的振動，和控制對待測物施以振動之時間。

(四) 壓力

產品可能於高山或水面下使用時，就必須考量壓力變化產生的影響。特別是關於產品上之密封材料是否會龜裂，使內部液、氣體溢出或外部氣體、溼氣滲入。

(五) 日照

模擬日曬對設備造成的影響。日照會造成表面退化、脆化甚至裂縫，影響結構及電擊防護安全。日照的加溫作用，可能也會對設備內部(特別是密封情況)之零組件造成傷害。

(六) 啟/斷試驗

此項非一般環境試驗標準之項目(因為環境試驗標準並非特別針對通電之商品所設計)，然卻常見於與電氣有關之零組件或家電安全標準中。反覆的啟動/關閉設備，考驗其耐久能力，特別是開關、繼電器則扮演導通電路角色之元件，需使用此類測試考驗其接點碳化程度和使用壽命。搭配高溫環境，於對設備不利條件下測試，可加速獲得試驗效果。

把前述的溫度、溼度、振動及其它腐蝕氣體混合成 CERT 試驗，很有可能製造出裂縫、腐蝕、疲勞…等失效結果。

下舉二例說明如何應用 CERT 以模擬商品於供應鍊上可能經歷過之環境條件，並了解哪些環境因子因納入考量。

例 1 基本 CERT 設計範例：失效機制

設計 CERT 之實驗流程，須考量實際情況及各因子間可能的因果關係而設計。

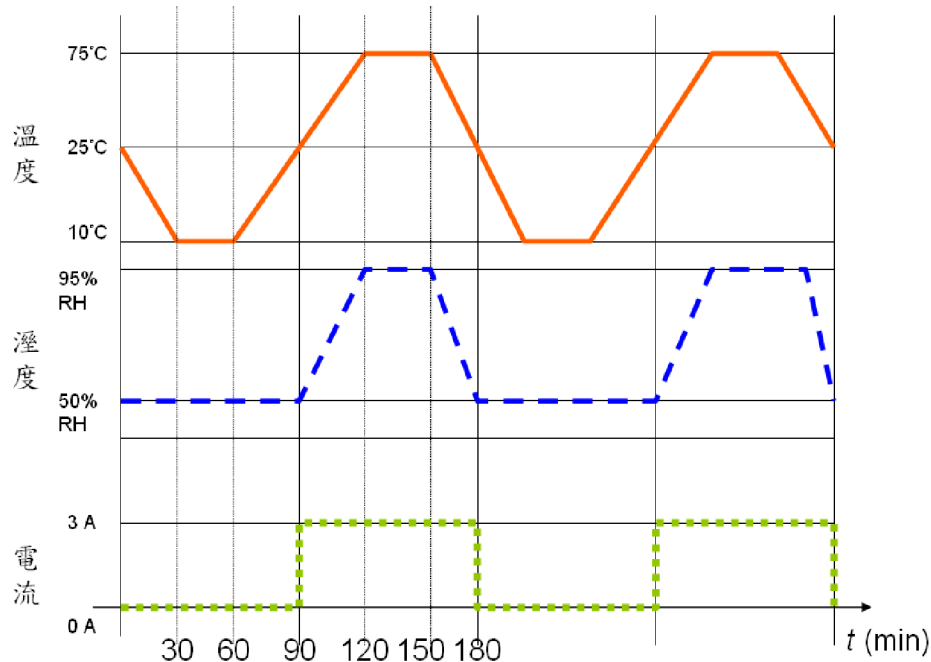


圖 4 範例：由溫/溼度兩因子構成之 CERT 行程(假定待測物額定電流為 3A)

如圖 4 所示為由溫溼度因子構成之 CERT 行程。溫度的部分採高低溫循環試驗，高溫 75°C、低溫 10°C，由於須計入設備溫昇/溫降所需時間，故高/低溫之轉換不會是一垂直變化的直線，而具有斜率，通常依標準要求為之，斜率越大，表示溫昇/降之速度越劇烈。透過溫度反覆變化，讓受測設備表面材質或零組件進行反覆的熱脹冷縮，測試其是否會產生龜裂、穿孔…等不良現象，加上振動測試，可以加劇現象造成的影響。另外，高溫時，孔洞較低溫時來的擴張，此時提高環境溼度(事實上，高溫狀態也較容易達成高溼度環境，故標準中通常將溼熱綁定在一起，可略分為穩態溼熱試驗、循環溼熱試驗二大類)，使水氣快速滲入機體；並啟動待測物電源量測其在此不利狀態下之電氣特性(例如：防電擊、洩漏電流…等特

性)。可以合理預期，一設計不良的產品，在此狀態下的電氣特性，將比一般使用情況惡劣許多。

例 2 實務 CERT 設計(環境因子的考量)：手機之可靠度設計

由於手機已成為現代人之必須品，人不管所到何處，幾乎都會帶著手機。而且，即便是同一款手機之銷售地區可能遍佈全球，所接受的環境考驗自然也是五花八門，且可能相當嚴苛；因此，舉手機為例來思考可靠度試驗的設計。

對手機而言，其由製程中、至正式出廠、配送、銷售以至於消費者購買使用，至期使用壽命終結前，其所有可能經歷過之情境分析如下：

1. 情境分析-製程

- 使用的 IC 晶片可能內部存在缺陷。
- 電子電路零件於焊接過程，焊熱對零件接腳及 PCB 板可能造成傷害。
- 組裝過程可能不夠確實，造成機身密合度不足，日後使用上更易受其它因子侵擾。

2. 情境分析-配送過程：

- 產品於倉儲中等待轉送，可能受到高溫及溼氣的影響，特別是若採用海運，其在貨櫃中的環境遠較空運嚴苛，另海洋及貨船引擎所產生的弦波及不隨機振動可能也必須納入考量。
- 交通運輸過程，高空低溫(空運)及載具振動(貨車、貨運火車)可能會造成影響。

3. 情境分析-消費者使用：

- 晴天於戶外使用時，接受太陽的照射及高溫影響。
- 雨天於戶外使用時，受到溼氣及雨水的侵擾。
- 夏季時，頻繁進出冷氣房(循環溫差)之影響。
- 手機摔落，受到衝擊、摔擊、加速度之影響。
- 至高緯度地區或高山地區，低溫對手機的影響。
- 於高山或高空地區，壓力變化可能也必須被計入考慮。
- 於沙、粉塵較多的工作環境中，可能會受到沙塵的影響。
- 一般使用者通常全天後開機

4. 因素分析：由以上情境，手機於生命週期中可能會遭遇的失效因子，可歸納如下：

- 製程階段：零組件本質問題、製程工藝(特別是焊接過程)…等。
- 配送階段：高溫、低溫、溼氣、振動…等。
- 使用階段：高溫、低溫、溼氣、水氣、溫差、沙/粉塵…等。

5. 擬定 CERT 計畫：由因素分析可見，對於一項產品而言，潛在的失效因子包羅萬向，且多種因子可能同時並存於環境，然欲同時考慮所有的因子顯然不可行(如前面篇幅所述：同時模擬越多因子，越接近真實，然卻更難究明失效發生之關鍵原因)，因此，擬定的可靠度測試方案可能初步先包含：高溫、低溫(包含溫差循環)、振動 3 個基本因子，同時進行測試。待結果產出並進行分析後，再決定是否對其他因子進行個別測試或另擬 CERT 計畫重新執行試

驗。本範例所展現手機於生命週期中所可能歷經之過程及環境因子，此探索過程於 IEC 60068 標準中稱之為 *Environmental test tailoring*。

四、全球環境試驗標準

目前代表性的可靠性及環境試驗標準以 IEC 系統及美軍 MIL 系統為主。有關標準列如表 3。本研究參考以 IEC 系列為準。一些常見環境因子之試驗項目(試驗代碼)之比較列於表 4。

表 3 有關環境試驗之標準

標準	最新版次	適用標的/主旨
IEC 60068	7.0 ¹ (2013)	廣泛適用於各領域零組件、商品及設備
MIL-STD 810	G(2008)	環境試驗方法和工程指引
MIL-STD 202	G(2002)	電機電子零組件
MIL-STD 750	F(2013)	半導體設備之測試標準
IEC 60749	2002 ²	半導體設備之機械和氣候測試

表 4 IEC 60068 及 MIL-STD 810G 有關環境試驗之差異比較

環境因子	簡要說明	IEC 60068	MIL-STD 810
溫度	高穩態/低溫，循環溫度，冷熱衝擊…等	Test A, B, N	500~503
溼度	穩態溼度、循環溼度、	Test	506-507, 512,

¹ 此為 60068-1 通則之版次

² 此為 60749-1 通則之版次

	溼氣、雨水…	C, D, R	521
壓力	高/低壓	Test M,	N/A
沙塵、 異物	沙與塵、黴	Test J, L	510, 508
日曬	模擬陽光照射	Test S	505
物理性擾 動	振動(含運輸過程產生之 振動)、衝擊、加速度、 音響…	Test E, F, G	513-517, 528
腐蝕性	鹽霧、混合性氣體	Test K	509, 511, 518, 526
複合試驗	混合各式因子之 CERT 試驗	Test Z	520
製程有關	焊接工藝、密封性、標 示耐用度…	Test T, Q, X	504
耐久性	循環或壽命試驗	N/A	N/A

肆、IEC 60068 環境試驗標準

一、IEC 60068 系列標準-總則說明

依 IEC 60068-1 總則之 Annex B 說明，環境試驗旨在提供一種俱某種程度保證，證明樣品可在特定條件下存續使用。系列之 IEC 60068-2 標準，列舉產品於生命週期中(儲存、運輸、操作…等)各個可能需加以考慮之環節，提供一系列之測試，試驗之設計上已盡可能使不同試驗之關聯儘可能獨立。這些試驗有兩個主要目標：

- 測試樣品於生命週期中各階段所處環境之耐受力，進而推估期合理產品壽命。
- 提供關於產品設計或製程品質之資訊。

運用環境試驗標準時，須確保與各系列標準規範之一致性，使得試驗可以被再現；也因此各次實驗所產出之結果可以被比較。另外，各系列標準係針對各種不同種類樣品設計，並非只限定適用於電類產品。一般而言，環境試驗多屬加速試驗，如何給定加速因子實屬難題，但仍應透過合適選擇，確保加速試驗有效，而非變成破壞試驗。

就測試樣品之種類而言，主要分為對「元件」和「元件以外之樣品(如：設備)」。前者試驗之特點在於通常會備有足夠數量樣品進行試驗俾利後續統計分析，且因未來元件可能應用的產品無法確定，使用環境亦無法確定，故試驗方法可能非常廣泛；相反地，後者則通常有數量稀少、甚至可能為單一或部分樣品，故無法進行破壞性試驗，此時選擇合適的測試序列是為其中關鍵。以測試序列為基礎之試驗方法可細分為兩類，為「複合試驗(Composite test)³」及

³ 注意，非 Combined Test。

「序列試驗(Sequence of test)」；兩者之差異為前者之各個試驗間隔時間有明確規定，後者則無(即間隔期間對結果無影響)；也因此前者通常會有一份代碼為 Z 之標準進行明確規範，例：「60068-2-38: Test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test」即是溫溼度複合試驗之規範。Annex B6.2 針對序列試驗之適用情境與對應之試驗目標，簡要整理如下表：

表 5 序列型試驗之適用情境與預期目標

適用情境	試驗目標
發展產品設計	觀察產品設計之失效趨勢，通常將最嚴苛(但不致使產品破壞)之測試置於試驗序列之開頭。
發展產品設計(但樣品有限時)	儘可能獲取樣品在破壞發生前之資訊
對產品進行標準認證測試	使用對樣品能夠造成顯著影響之序列試驗，觀察各試驗間(特別是前後關係)之影響。
對產品或整個系統進行標準認證測試，特別是未來之使用條件已知時	使用序列試驗，融入未來可能發生之環境因子，儘可能模擬真實之使用情況，並觀察試樣對環境之反應。

(一) 元件之測試注意事項

另外，由於各種「元件」之應用廣泛(元件本身種類也非常繁多)，通常難以預測其未來會裝在何種設備上，當然更無法確定其未

來之使用環境。因此，難以為元件型樣品訂定通用的序列試驗。惟為個別元件設計試驗序列時，有些共通精神必須被考慮：

- 試驗開始時，通常必須包含劇烈之溫度變化。
- 對於接腳及焊接端子之相關試驗(及 T 系列試驗)，須置於序列之前期部分。
- 所有有關機械應力之試驗均必須執行，因這些試驗可以加重一開始劇烈溫度變化對元件所造成之影響；並再透過循環氣候試驗(通常置於整個序列試驗之尾端)即很有機會讓這些影響顯現。執行密封性試驗，可以快速找出元件上之裂痕。
- 序列試驗之尾端，或結束後；常會執行穩態溼熱試驗以決定其在長期潮溼環境中之影響。
- 腐蝕、掉落、日照…等試驗通常不包含在序列試驗中，而以額外的樣品單獨執行試驗。

(二) 非元件型態樣品之測試注意事項

元件以外的裝備、整機樣品，也應視未來使用的環境進行序列試驗設計，然而 Annex B6.4.2 針對此類型樣品提供一通用指引供試驗者參考，整理截錄如下：

表 6 元件以外之測試樣品之參考測試序列

順序	代碼	試驗名稱	註解
1	A	冷	
2	E	乾熱	
3	N	快速溫度變化	造成機械應力，讓試樣對後續的試驗更敏感。
4	E	衝擊	

5	F	振動	
6	N	空氣壓力	揭露 1~5 試驗所造成之熱應力及機械應力。
7 b	I	溼熱(12h+12h)	
8	C	穩態溼熱	
9	K	腐蝕	
10	L	沙塵	加重 1~9 所造成之效果

另外，試驗 G(加速度)、J(黴)、S(日照)…等試驗，則視實際需要決定是否執行。

二、IEC 60068 系列標準-共通結構

此系列標準(至多)可分為 12 章(不同標準可能略有差異)，說明如下。

1. 適用範圍：說明標準之試驗範圍、用途；提供何種情境或環境因子之標準模擬程序。
2. 必要參考標準：指出此份標準可能和哪些標準有所關聯或交互引用。特別是複合試驗(代碼：Z)更須要參考它份標準以進行參數的選擇。
3. 名詞定義：進行相關專有名詞介紹與定義。
4. 測試設備描述/試驗總說明：對於測試設備之性能及規格要求；或對樣品的狀態作規範(例如：通電或斷電、是否去掉外包裝…等)。

5. 試驗程序及嚴苛度：試驗若有分支出不同子試驗項目，會說明它們之間的差異及適用情境；並提供數種嚴苛度(以時間長度、反覆次數、受力強度、溫度…等物理量作描述)，讓試驗執行者依合適的情況作選擇。
6. 預處理：若樣品或設備有須要在試驗前達到某特定狀態，會在此章作說明。
7. 初始量測及功能性試驗：於試驗正式開始前對樣品作參數量測與記錄，也可僅作目視檢查。
8. 測試：說明正試執行試驗之應注意事項。
9. 回復狀態：對應預處理，於試驗結束後，樣品可能也須回復至一指定狀態以作後續量測。
10. 最終量測：進行參數量測與紀錄，並與試驗前狀態作比對，以分析該環境試驗對樣品造成的影響。
11. 相關規範應列事項：若試驗有另立專門規範作為試驗程序(標準本身是一個通用、概念性且選擇多元的規範)，則其應列項目有哪些。
12. 測試報告應列事項：詳述測試報告應印有哪些項目、參數及其它資訊。

了解共通結構後，本章接下來的篇幅，將介紹三個和商品失效較有關之因子(並選擇數篇相關標準作概要說明)，分別是「溫度」、「溼度」及「物理性應力」。

三、環境因子-溫度

(一)溫度因子概述

溫度是環境試驗標準中最常見的因子，其可能造成的失效效應如下表 7(編修取自參考資料 2)。

表 7 溫度因子所造成的失效類型

子類別	失效類型	促成失效機制	環境因子	相關零組件
高溫失效	劣化	強度降低 絕緣降低	溫度	塑膠、樹脂
	化學變化	熱分解	溫度	塑膠、樹脂
	融化、蒸散	扭曲、變形	溫度	塑膠、金屬、熱熔絲
	氧化	氧化層	溫度	金屬觸點
	熱擴散	斷線	溫度	異質金屬介面
積熱	積熱致燃	燃燒	溫度 乾燥(溼度)	塑膠、熔點較低之合金
錫鬚	本質性	短路、絕緣退化	溫度 (200-400°C)	金、銀、銅、鐵、鋁...
	非本質性	短路、絕緣退化	溫度 (400-1000°C)	銅、銀、鐵、鎳...等金屬鹵化物
(離子)遷移	電性遷移	斷路、斷線	溫度+電流	鋁、銅、鎢

creep	金屬	疲勞、受損	溫度+應力	彈簧、結構 有關之零組 件
	塑膠	疲勞、受損	溫度+應力	彈簧、結構 有關之零組 件
低溫碎裂	金屬	受損	低溫(溫度)	體心立方金 屬晶體(例： 銅、鎢)及其 合金
	塑膠	受損	低溫、 乾燥(溼度)	具高溫纖維 化特質之塑 料

(二) 加速壽命試驗(溫度)

一般進行溫度類型的环境試驗時，為加速實驗過程，通常將環境因子之強度調升使其高於一般預期使用的條件，以溫度而言，即是調高環境溫度至高於一般正常的使用環境。而此溫度調升對商品壽命的影響，可概略的用「 θ 原則」來呈現。例如：若由經驗或反覆測試知道 $\theta=10^{\circ}\text{C}$ ，則表示此商品於環境溫度每調高 10°C 時，其壽命即減為原來的一半。因此，若調升溫度為 20°C 時，則壽命僅存原來之 $1/4$ 。不同商品、零組件或材料依特性不同，擁有不同之 θ 值， θ 值越大，表示其壽命受溫度因子影響的程度越深。然，要如何取得一結構複雜之商品 θ 值，至今仍無確定之方法。

另針對部分半導體零組件，目前已可簡單使用阿瑞尼士模型進行壽命推估。阿瑞尼士方程式(Arrhenius Equation)描述化學反應速率 V 與反應活化能 E_a 之關係為：

$$V = A \exp \left[-\frac{E_a}{RT} \right]$$

$$\ln V = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

其中 $E_a(eV)$ 為活化能， R 為波茲曼常數($8.6159 \times 10^{-5}(eV/K)$)。現假定於溫度 T_{acc} 下加速老化速率為 V_{acc} ，常溫 T_0 下老化速率為 V_0 ，並令加速因子 $K = \frac{V_{acc}}{V_0}$ ，則：

$$\ln V_{acc} = \ln A - \frac{E_a}{RT_{acc}}$$

$$\ln V_0 = \ln A - \frac{E_a}{RT_0}$$

兩式相減得：

$$\ln \frac{V_{acc}}{V_0} = \frac{E_a}{RT_0} - \frac{E_a}{RT_{acc}} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{acc}} \right)$$

$$\ln K = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{acc}} \right) = \frac{E_a}{RT_0} - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T_{acc}} = y_0 - m \cdot \frac{1}{T_{acc}}$$

將上式「加速因子對數值 $\ln K$ 」對「加速溫度之倒數 $\frac{1}{T_{acc}}$ 」作圖，可得圖 5 之斜直線。可發現，當試驗溫度越高($T_{acc} \uparrow$)，則橫軸之 $\frac{1}{T_{acc}}$ 越小，加速因子對數值 $\ln K$ 越大，當然加速因子 K 也就越大。假定溫度提升並未引入其它影響因子，則壽命試驗所需時間將降為原本的 $1/K$ 。

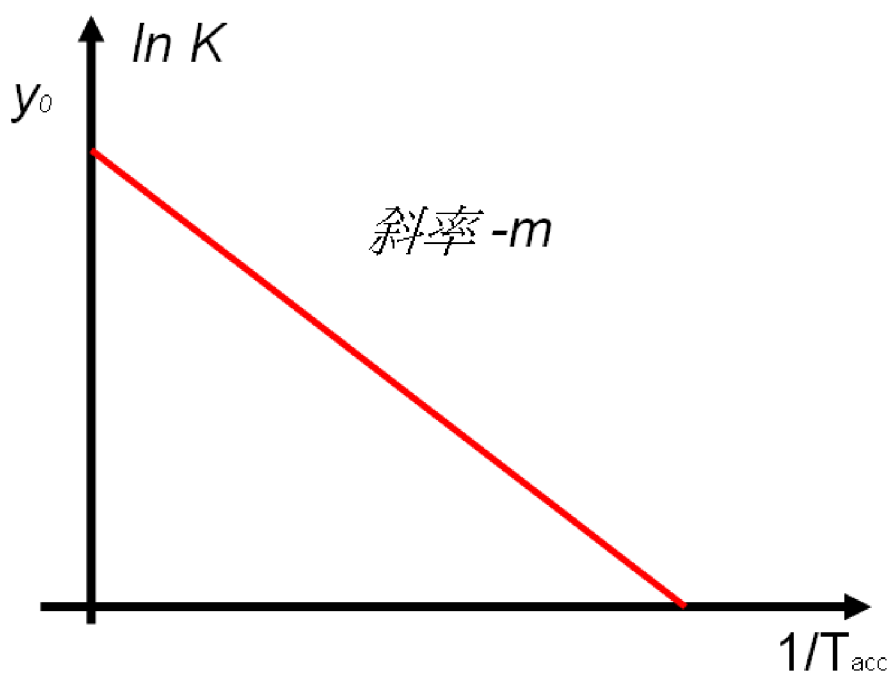


圖 5 加速因子-加速試驗溫度關係圖

(三) 定溫試驗(高/低溫試驗)

即在一固定溫度下測試商品特性，為所有環境試驗中最簡單的試驗。IEC 60068-2-1(冷/低溫，代碼 A)及 2-2(乾熱/高溫，代碼 B)兩份標準是為可參考的指引，其下又各依樣品的特性進一步分為 a, d, e 三種不同的試驗法。標準中提供簡明表格說明不同方法間的差異。

表 8 高/低溫試驗中 a, d, e 三種方法之比較

方法代碼	適用樣品類型	試驗箱空氣流動情況
Ab, Bb	不會發熱	高為佳 ⁴
Ad, Bd	會發熱 ⁵	低為佳
Ae, Be	需通電操作	低為佳

⁴ 風速的高低，以 0.5 m/s 為區分標準。

⁵ 發熱指樣品於穩態時，其表面最熱點高於週遭溫度 5°C 以上者，視為會發熱。

方法 Aa, Ba 針對不發熱之樣品而設計，樣品須於置入試驗箱後，和緩地由室溫降/升至指定之試驗溫度，另允許箱體內有較高速度之循環則有助於在較短的時間內達到目標溫度，對於需通電運作之樣品(只是它運作時滿足不發熱之條件)，待溫度穩定後才打開開關。至於會發熱或通電運轉之樣品，為盡可能貼近其真實的使用情況、使其發熱部位可忠實呈現，故限制箱體內循環風速，避免過大的風速影響發熱部位的形成。值得注意的，方法 a、d 及方法 e 最大的差異在於：前兩者將樣品於室溫條件下放入箱體，待溫度升/降至目標值後始得啟動電源；後者則是一置入箱體中便啟動電源，讓樣品在運作的狀態下隨同箱體溫度達到目標值。惟試驗時間之計算，均是待箱體溫度達穩態(且樣品也和箱體溫度達到平衡)後，才開始起算。

標準對於試驗箱的要求，其任意五分鐘內之溫度變化率應小於 1°C 。試驗的嚴苛程度，低溫建議值範圍由 $+5^{\circ}\text{C} \sim -65^{\circ}\text{C}$ ，時間 2 ~ 96 小時；高溫(乾熱)則是由 $+50^{\circ}\text{C}$ 至 $+1000^{\circ}\text{C}$ ，時間 2 ~ 1000 小時，且每立方公尺水氣不得逾 20 公克。

在試驗終了時，需進行回復作業，即讓樣品回至室溫狀態。a,d 方法需先斷電後才進行回復作業，e 方法則免(即持續通電)；回復過程中，溫度變化率不得大於 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (5 分鐘平均)，並置少於達到室溫後穩定 1 小時。

(四) 冷熱衝擊試驗

本試驗是一種重要的可靠度試驗。在商品生命週期的每個環節，都存在有歷經劇烈溫度變化的情境，例如：

- 製程中：使用焊錫回流技術(solder-reflowing)快速將電子零組件焊接在 PCB 板上時，為使已預先佈設於板上的焊錫膠(solder paste)熔化以接合零組件之接腳，其必須置於高溫烤爐上加熱至焊錫熔點(此時溫度快速上升)，待焊錫熔化並流入所需的接腳孔位後，即讓其冷卻使元件牢靠固定於板上(此時溫度迅速下降)。
- 運輸過程：以空運為例，飛機起飛至航行高度，溫度由地表溫度驟降至低溫(約零下 60°C)；反之，降落時，則由高溫快速升為高溫，此為一冷熱衝擊過程。
- 使用者使用：在天氣寒冷的國家，使用者若由家中的暖爐旁將商品帶至下雪的室外(反之亦然)，也為一冷熱衝擊過程。運轉中的設備突然遭遇降雨甚至是降雪亦同。

由以上例可了解冷熱衝擊之重要性及實用性。

例 3 劇烈溫度變化造成之接腳不良

圖 6(a)-(e)展示了一冷熱衝擊試驗可能造成 PCB 板失效之模式。原本插接器基座平貼於基板上，2 支針腳亦已焊錫牢靠固定(a)。經反覆冷熱衝擊後，焊點不堪劇烈溫度變化而碎裂(b)，失去固定功能(c)。在下一個溫升循環，插接器之塑料基底變形蜷曲，連帶拉升右側接腳(因為已無焊錫固定)，接著而來的溫降過程使焊錫迅速冷卻(其冷卻速度遠快過插接器之塑料基底)，使偏離的接腳無法再復歸至原正確位置(e)。若偏離幅度較大，將使此接點發生斷路造成電路失效。

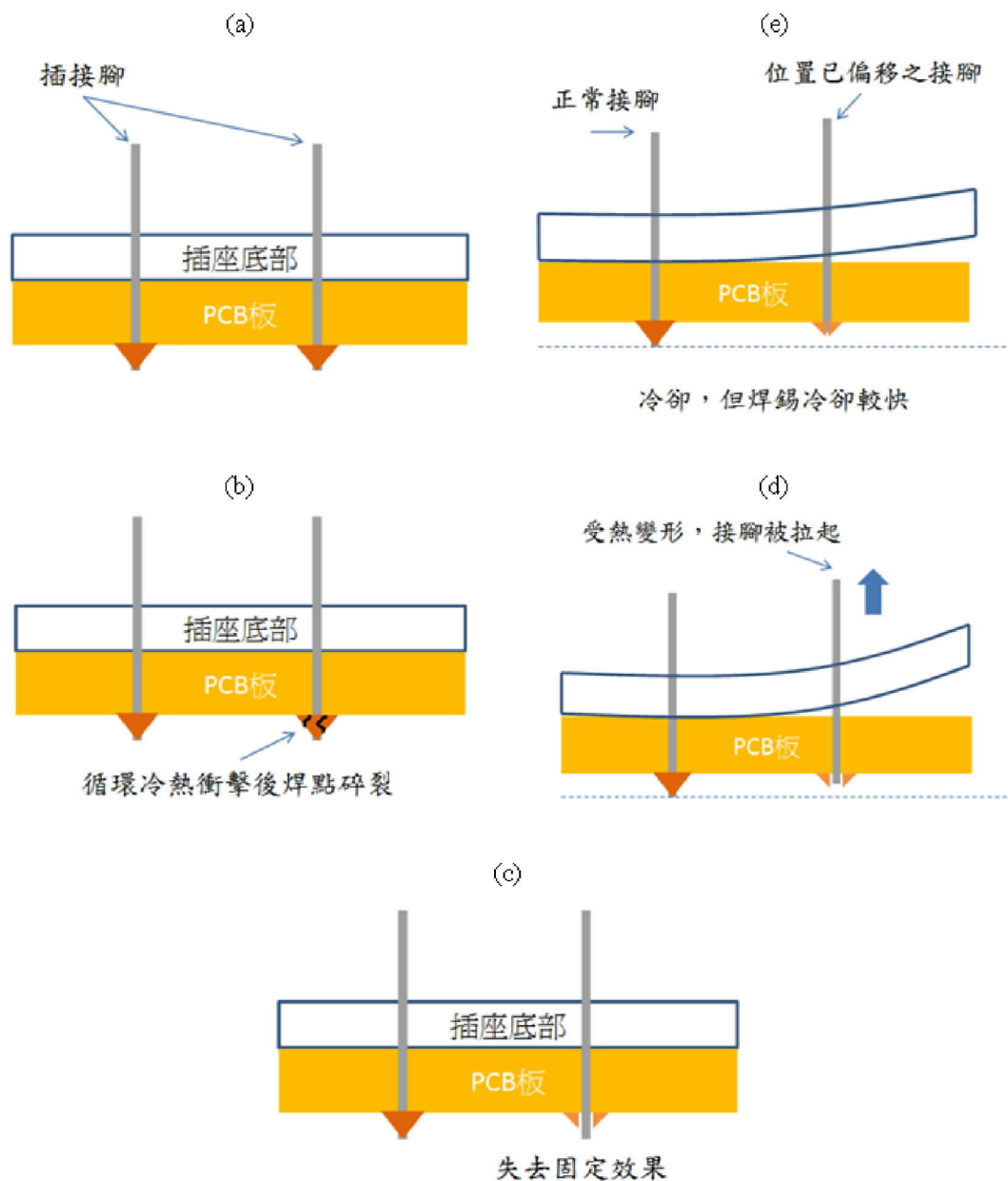
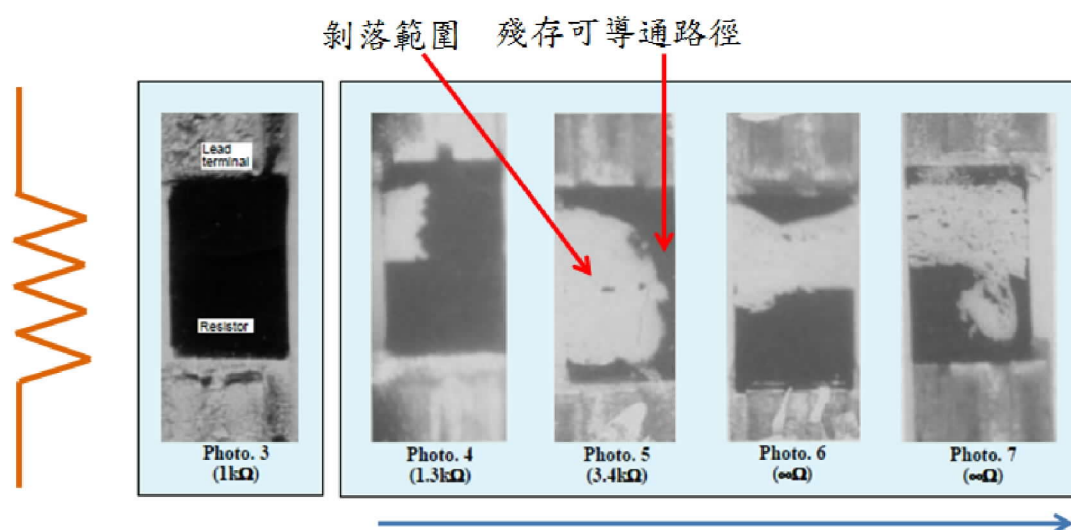


圖 6 冷熱衝擊試驗：接腳錯位之演進流程

其他例子，諸如：斷線、薄膜剝落…等，都是冷熱衝擊後所可能導致的現象。基本要因皆是各材質間的冷熱收縮特性不同(例：薄膜和其附著表面材質之膨脹係數不同、細線和其固定的兩端點材料膨脹係數不同)，兩材質的介面或固定端點於熱脹冷縮時的幅度不同，造成非預期的應力產生破壞。圖 7 展示一薄膜電阻片在冷熱衝擊試驗中薄膜電阻逐漸剝落、並至最後造成斷路的情況。可發現，

逐實驗的演進，可導電的電阻薄膜不斷剝落，造成可導通的範圍越來越小，至最後完全消失(右側二畫面)，電阻值變為 ∞ ，形成斷路。



圖片修改並取自: TABAI ESPEC CORP.: technology report No.3 (1997)

冷熱衝擊試驗時間

圖 7 薄膜電阻於冷熱衝擊試驗中薄膜逐漸脫落之情況

一般而言，冷熱衝擊試驗依溫度介質的不同，可以分兩大類：氣體衝擊法和液體衝擊法。採用液體介質進行溫度循環的效果遠高於氣體介質(因為液體的熱容量較大)，每個循環之的每個溫度階段之時間長度也遠較氣體衝擊法來的短，可以用較短的時間觀察到樣品失效的情況。然，其缺點為樣品的清洗相當麻煩，液體介質的成本也相當昂貴。另外，對於電類商品而言，若需進行線上測試(於電源啟動之狀態下進行測試)，則液體衝擊法也不可行，除非該樣品有足夠的防水等級可防止液體的侵入。

就循環溫度的區間而言，亦可分為兩大類：雙溫或三溫。前者僅高/低溫兩個狀態，後者則於高低溫轉換時再插入一個常溫狀態，使樣品可以稍有時間回復至常溫才進行下一個高/低溫測試(。顯然地，雙溫法可以造成較劇烈的溫度變化，是較嚴苛的測試方法。

IEC 60068-2-14 定義了三種冷熱衝擊試驗(試驗代碼 N)Na、Nb、Nc；各試驗之特點及適用條件整理如下：

表 9 IEC 60068-2-14 中 Na, Nb, Nc 方法之比較

試驗方法	特點(設定參數)	溫度區間	溫度傳遞媒介	適用目的
Na	低、高溫(T_A 及 T_B)及試驗時間	2/3	空氣	測試樣品或複合材料於多個溫度循環過後之電性、機械特性 考驗元件是否能承受人為應力
Nc	快速溫度循環	3	液體	
Nb	須指定溫升/溫降速率	2	空氣	評估溫度變化過程中之電性、機械特性

Test Na 之基本行程如圖 8 所示。計 4 個步驟，由兩個處置時間(t_1)加上兩個轉移時間(t_2)構成一個基本循環時間 $2(t_1+t_2)$ 。 t_1 為樣品於高/低溫下之處置時間，標準給定的建議值為 10 分鐘至 3 小時不等，若無特別指定，以 3 小時為主。注意溫度由常溫(T_N)升/降至目標溫度(T_A 、 T_B)所需的時間(t_{N-A} 、 t_{N-B})，不得佔逾 t_1 的 1/10。樣品進行高低溫轉換(例：由高溫試驗箱拿出，經過室溫環境，置入低溫試驗箱中)之時間(t_2)，不得逾 3 分鐘。而循環的次數預設為 5 次。以現今自動化轉換的冷熱溫箱設備(由機器自動將樣品於冷/熱試驗箱互轉)， t_2 可視為趨近於 0，此三溫行程可簡單的近似為雙溫行程。

注意，溫度的「穩定」、即達到目標溫度與否，以目前溫度距離目標溫度是否小於 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 為判定原則。

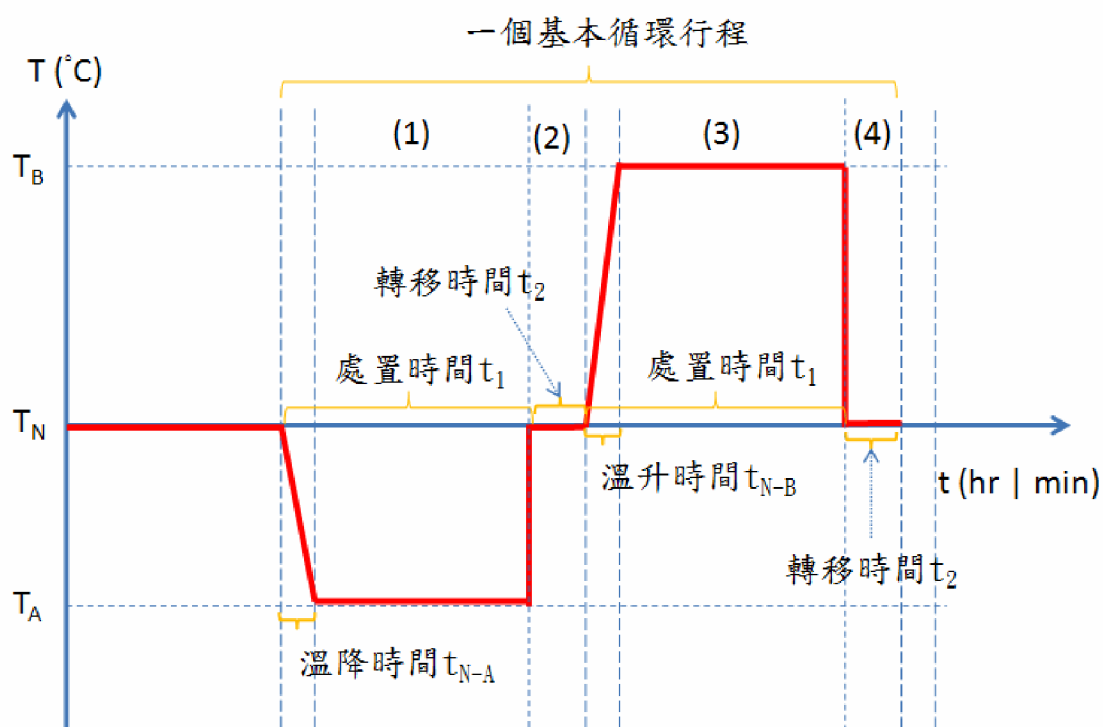


圖 8 IEC 60068-2-14 Test Na 之基本行程(三溫行程)

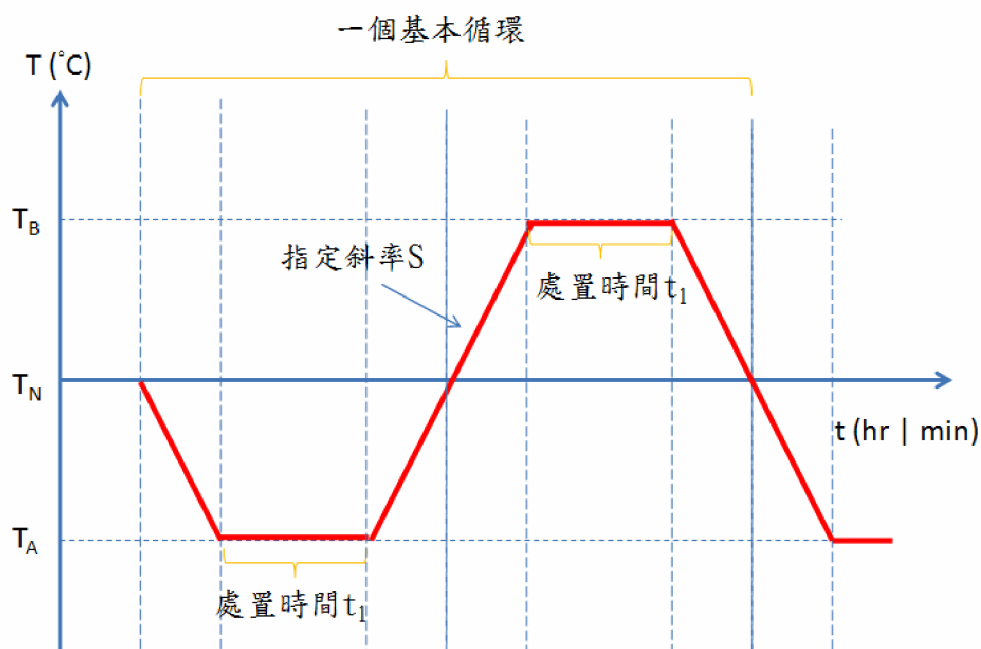


圖 9 IEC 60068-2-14 Test Nb 之基本行程(指定斜率行程)

Test Nb 之基本行程如圖 9，除設定高、低溫外，另外須由使用者決定溫度變化的速率(溫升/降斜率 $\pm S$)，其容許誤差值可達 20%。

建議斜率範圍由 $\pm 1\text{ K/min}$ 至 $\pm 15\text{ K/min}$ 不等。時間選擇同 Na，而建議循環次數則為 2 次。

最後的 Test Nc，則可視為 Na 方法的相似版本，惟其溫度變化的斜率趨近無窮大，即非常地劇烈。氣體介質無法達成如此激烈的變化，故改以液體達成目的。它是三種方法中最嚴苛考驗樣品的方法。高/低溫的選擇若無特殊要求，低溫預設為 $0^{+2}\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，高溫則是 $100_{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；循環次數為 10 次。高/低溫槽液體的選用，務必須注意兩者之相容性，也不可對樣品造成其它影響。其基本行程如圖 10 所示。

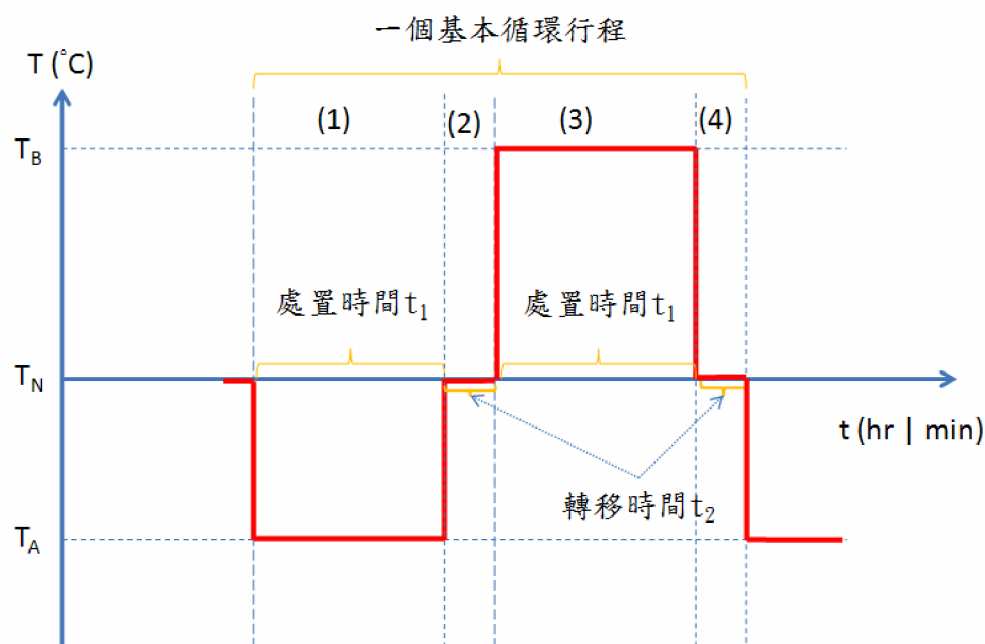


圖 10 IEC 60068-2-14 Test Nc 之基本行程(雙溫法，液體介質)

四、環境因子-溼度

(一) 溼度因子及失效概述

溼度是僅次於溫度以外第二普遍的環境因子，通常和高溫因子並存，其可能造成的失效類型整理如表 10(編修取自參考資料 3)。

表 10 溼度因子所造成的失效類型

失效類型	失效態樣	失效結果	環境因子	相關零組件
吸收溼氣	水份擴散	膨脹、絕緣劣化	溼度	密封用零組件或材料、低結晶化極性樹脂
	水解	化學變化	溫度、溼度	聚酯纖維、聚甲醛…
	(髮絲紋)裂痕	水氣侵入、絕緣劣化	溫溼度(冷熱衝擊)	樹脂外殼、密封用零組件或材料
腐蝕	電池外殼銹蝕	外觀變色 阻抗增加 斷路	異質金屬接觸、電場	金屬觸點
	電解腐蝕	同上	溼度、電場	電阻、樹脂塑封 IC
	氣體腐蝕	銹蝕、傷害	腐蝕性氣體(氨氣、氯氣…)	端子裂縫
遷移	離子遷移	短路、絕緣劣化	溼度、電場	銅、銀、鉛、錫…等金屬

黴菌	長黴	絕緣劣化	適溫(25-35 °C)、高溼 度(90%)	塑膠材料、 環氧樹脂
----	----	------	------------------------------	---------------

(二) 溼度因子之加速試驗

以半導體元件而言，隨時代進步其耐溼性已越來越強，溼度之壽命試驗所需時間也越來越長，因此，和溫度因子相似，加速壽命試驗成為主要趨勢。此類試驗可以分為兩大類，高壓蒸煮試驗(Pressure Cooker Test, PCT)及不飽和高壓蒸煮試驗(Unsaturated Pressure Cooker Test, USPCT)。



圖 11 USPCT/HAST 測試機台外觀⁶

PCT 故名思義，即測試時箱體內溼度會達 100%RH、溫度 100°C，此為最嚴苛條件。然由於溼度已飽和，箱體內壁容易形成水滴滴落在樣品上；另外，測試樣品表面溫度上升速度一般跟不上週遭水氣上升速度，此溫差也會造成水滴冷凝在表面上(通常標準會要求避免此狀況)。相反地，USPCT 則透過提升氣體壓力(水的沸點會提

⁶ 取自：http://www.kson.com.tw/chinese/product/hast_s.htm

升)，並獨立控制(加熱)水溫及箱體內溫度(乾球溫度)，使溼度可以低於 100%RH，免除冷凝水滴之困擾。USPCT 一般又被稱為加速應力測試(Highly Accelerated Stress Test, HAST)，提供高溫、高溼及高壓的試驗環境。測試機台之外觀圖如圖 11。

最後，不若溫度因子大都可簡易的使用阿瑞尼士模型近似，溼度因子目前無統一的加速模型可參考。

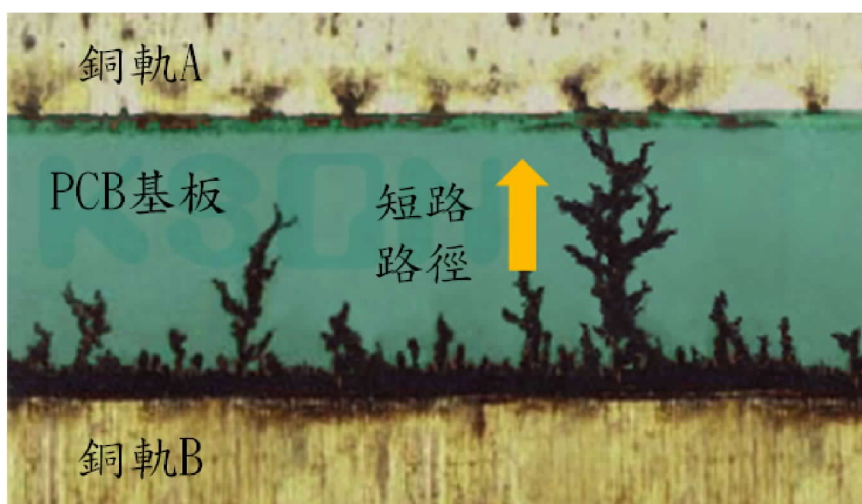
(三) 離子遷移測試

高溼度環境試驗的一個應用是對印刷電路版作離子遷移測試。此種測試可以模擬電路板上不同銅軌間(可能位處不同電位、進而形成電場)，在嚴苛環境下的實質變化和電氣特性。在高溫高溼度環境下並施與適當偏壓(圖 12)，形成電場，並經由高溼度環境(較易導電)使得部分電流路徑離開導體直接流至另一金屬導體形成短路，金屬導體部分並同步形成樹枝狀的導通路徑(如圖 13)。此時量測導通電流(洩漏電流)可了解離子遷移的嚴重程度，至完全短路時(兩端金屬導體直接接觸)，電路板即完全失效。可以發現，此環境下使得兩金屬導體間的空間距離、沿面距離變得不足，而「長出」的樹枝狀路徑更是加劇了此種現象、甚至破壞了電路原有的功能。



圖 12 PCB 板置於 USPCT 機台內並接上偏壓用導線⁷

⁷ 取自：http://www.kson.com.tw/chinese/study_15-19.htm



圖片修改並取自：http://www.kson.com.tw/chinese/study_15-17.htm

圖 13 發生於 PCB 板上之離子遷移

穩態溼熱試驗在 IEC 60068 中試驗代碼為 C；其系列 2-66, 及 2-67 之 Cx, Cy 測試方法可為參考。此 2 份標準之溼度條件均定在 85% RH，差異在於前者提供 3 種溫度、3 種時間長度共計 9 種嚴苛程度的選擇供使用者選用；後者則定溫於 85°C、且主要針對測試元件而設計，故其測試時間遠超過 Cx 方法中所定義的長度。加溼溫箱所使用的蒸餾水其電阻率不得小於 0.5MΩcm (23°C 時)，pH 值應介於 6 至 7.2 間。過程中，溫度的容忍誤差為±2°C、溼度部分則為±5%。

表 11 IEC 60068 中之穩態溼熱試驗(代碼 C)之試驗條件比較

方法	時限		環境條件		嚴苛程度(試驗時間)(小時)			
	達到穩態	回至標準狀態	溫度(°C)	溼度(%RH)	I	II	III	IV
Cx (-66)	< 1.5hrs ⁸	1~4 hr	110	85	96	192	408	-

⁸ 若無法達成，則可放寬至 3hr 以內，惟試驗時間要求至少 48 小時以上。

			120	85	48	96	192	-
			130	85	24	48	96	-
Cy (-67)	< 3 hrs	1~4 hr	85	85	168	504	1000	2000
Cab (-78)	< 2hrs	N/A	30	85/93	12, 16, 24; 2 days, 4 days, 10 days, 21 days, 56 days			
			40	85/93				

標準中也指出若有需要，也可對樣品加上偏壓，此即前述離子遷移試驗。偏壓應於試驗箱內部達穩態後始得施加在樣品上，並於試驗結束後、進入回復期間前移除。另不應持續通電，而採間歇式的通斷電為佳，建議期間為每通電 1 小時、斷電 3 小時，以避免持續流動的電流對樣品造成明顯地加熱效果。

另一份 2-78 標準(代碼：Cab)，則普遍適用於所有類型樣品(包含會有熱逸散者)。不同於 Cx, Cy 全將溼度固定於 85%，其提供 93%之溼度供選擇(在此容忍誤差為 $\pm 3\%$)；試驗溫度也較低，有 30°C 及 40°C 二種。時間方面，則由 12 小時至最長 56 天不等。另此份標準並無有關任何對樣品施以偏壓之說明。

(四) 循環溼熱試驗

相對於穩態溼熱，循環溼熱試驗(代碼 D)提供了更動態的測試方式，在高溼度的環境下進行溫度變化循環；IEC 60068-2-30 Test Db 之 24hr 循環溼熱試驗是為一例。測試的重點是觀察在潮溼環境下不斷變化溫度造成水滴凝結對樣品造成的影響，主要測試標的是大型設備；至於小型或質量較輕之設備或元件，則應參考-2-38 標準較為

合適。

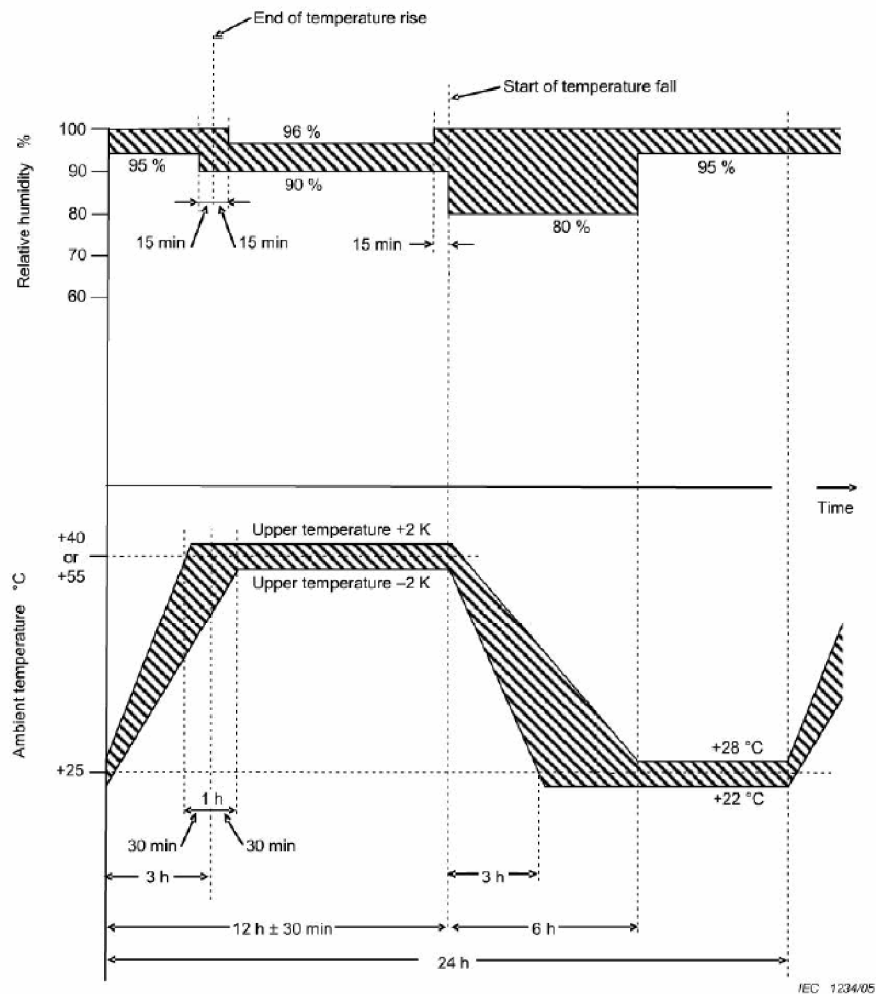


Figure 2b – Test Db – Test cycle – Variant 2

圖 14 IEC 60068-2-30 Figure 2b, 循環溫溼度試驗(Variant 2)之溫、溼度及時間限制示意圖

Test Db 之低溫定義為常溫 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ ，高溫則有 2 種選擇： 40°C 及 55°C ，容忍誤差為 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。基本測試行程為 12 小時高溫搭配 12 小時低溫，測試週期數則視選擇的高溫而不同， 40°C 時最高為 56 小時； 55°C 則最高為 6 小時。

樣品置入溫箱內時，溼度應不小於 95%RH，且維持在 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ ，並接著於 $3 \text{ hrs} \pm 0.5 \text{ hr}$ 之時間內達到指定之高溫，持續 $12 \pm 0.5 \text{ hrs}$ 。依樣品的特性，溫升於溫降過程進一步被區分為 Variant 1 和

Variant 2 兩種版本，前者適用於表面多孔洞、且易受呼吸作用 (Breathing Effect) 影響而吸收水氣進入內部的材質(例如：塑膠)，後者則廣泛適用於其它種類樣品，限制也較前者略為寬鬆。兩者之限制及要求在此不便一一細敘，惟標準中提供清楚地提供圖例說明整個行程關於溫度、溼度、時間所應注意的細節，截錄如圖 14。

IEC 60068-2-38 為溫溼度循環複合試驗(代碼：Z/AD⁹)，主要針對元件所設計，主要目標是考驗樣品「呼吸作用」造成之影響，而非單純的水份吸收問題。對於較易因水份吸收而產生問題之樣品，例如：塑封外殼之 IC、表面具髮絲紋或孔隙之樣品則更適合以穩態溼熱試驗彰顯其水份吸收、擴散之特性。本複合試驗之特點為較高且較範圍較廣之溫度變化造成劇烈之熱脹冷縮(呼吸作用)，具顯著加速作用；另測試行程包含 0°C 以下之低溫更可觀察進入樣品裂痕、孔洞之水氣結冰後所生之效果。

為解釋本標準，先行定義幾個基本名詞如下：

- 主循環：即標準定義的一個週期之基本行程；主循環分為兩種，由兩個溼熱子循環構成者，額外包含一個冷子循環者(如圖 15 所示)，惟兩者週期均為 24 小時；兩種主行程內含之子循環都跑完後，均須恆定於 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 至該主循環滿 24 小時為止。
- 溼熱子循環：一個基本的循環溼熱行程。
- 冷子循環：一個基本的低溫行程。

本試驗由 10 個主循環構成，前 9 個主循環須任選 5 個包含冷子循環(即這 5 個主循環於走完溼熱子溼熱部分後須進入到低溫部分)，其餘部分則為單純循環溼熱試驗。低溫部分溫度設為 $-10\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，應於

⁹ 故名思義，由低溫試驗(A)及循環溼熱試驗(D)複合組成的試驗標準。

30 分鐘內由 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 下降達成，持續 3 小時，並於 1.5 小時內回復至 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，並持續至主循環滿 24 小時為止。循環溼熱的部分溫度範圍介於 25°C 至 65°C (誤差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$)，溫升/降時間介於 1.5 至 2.5 小時；溫升及定溫期間，溼度保持 $93\pm 3\%\text{RH}$ ，溫降則允許介於 $80\%\text{RH}$ 至 $96\%\text{RH}$ 。試驗通常由兩個溫箱進行，除非溫箱滿足所需的溫升及溫降速率。

試驗樣品需進行預處理，靜置於 $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $20\%\text{RH}$ 以下之溫熱、乾燥環境 24 小時(同總則中定義之「輔助乾燥(assisted drying)」條件)。

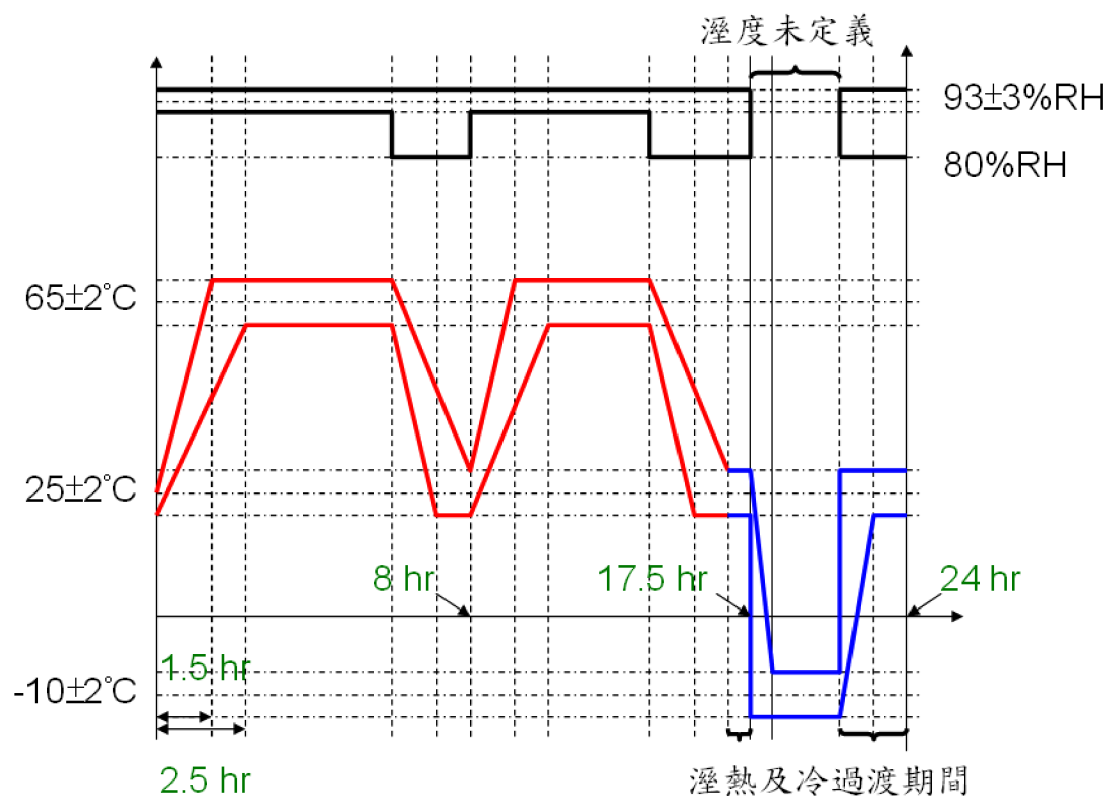


圖 15 IEC 60068-2-38 包含冷子行程之主循環示意圖(溫溼度於各時間均須落在粗線所限制的區間內)

五、環境因子-振動/碰撞

除了溫、溼度因子，在運輸或使用過程中另一個重要的因子為物理性應力(例：振動、衝擊、摔擊…)，振動最常發生的情境為交

通運輸過程、正常使用、不正常使用(含不當拖行、傾倒、摔落…等)。以較有規律可循之運輸過程中所發生的碰撞為例，歸納整理如下表 12(編修取自參考資料 4)。

表 12 運輸過程產生之振動因子所造成的失效類型

運輸類型	振動分類	說明	模擬/近似應力
公路	路面振動	路面不平整	隨機振動
	路面衝擊	路面坑洞	衝擊(Shock)
	其它碰撞	搬運、拖板碰撞	衝擊
鐵路	鐵路振動	火車行駛於鐵軌上 正常發生之振動	隨機振動
	車廂間碰撞	列車停止、或遇緊急煞車	水平方向衝擊
	其它碰撞	搬運、拖板碰撞	衝擊
海運	波浪振盪	由海浪所造成	正弦(Sine)振動
	波浪衝擊	由海浪所造成	衝擊
	引擎振動	引擎運轉之振動	多重 ¹⁰ 正弦振動 多重隨機振動
	其它碰撞	搬運、拖板碰撞	隨機方向衝擊
空運	氣流擾動	飛行中發生之不平穩氣流	隨機振動
	引擎振動	引擎運轉之振動，	多重正弦振動

¹⁰ 多種振盪頻率隨機發生

		隨飛行載具不同有不同之振動形同	多重隨機振動
	落地衝撞	飛機降落時造成的作用力	衝擊
	其它碰撞	搬運、拖板碰撞	隨機方向衝擊

本研究介紹二本 IEC 60068 系列中有關碰撞、摔擊的標準。

(一) IEC 60068-2-31 《粗略模擬手持衝擊試驗》(代碼：Ec)

針對非零組件類之樣品，本標準可以模擬出撞擊、顛簸、掉落…等狀況，適用經常需被手持使用之單品、或附屬於其它設備、可被拆卸更換之配件。對於已安置並需固定使用之樣品受於撞擊之影響，則適用於下一份將介紹的衝擊試驗。本標準區分為以下兩部分作說明：

1. 跌落(Drop)或使傾倒(Topple)：模擬手持或顛簸之情況。
此試驗進行前需先考慮結構的特徵，一為「質心高度-最小底邊比」(簡稱「c-g」比)，另一個則為「高度-最小底邊比」(簡稱「高度比」)。若前者小於 0.25，則跌落近乎不可能發生；若後者小於 0.5，則難以使其傾倒。一般試驗以測試四個底邊為度(若超過的話)。考驗的對象可以為樣品的：(a)「底座面」(b)「邊角」或 (c)「側面」。示意圖如：，而圖中的參數 a, h 則表示試驗嚴苛程度，以 h 參數而言：(a)(b)均有 25、50、100mm 可以選擇；或可以較不嚴苛的 30°仰角進行測試。

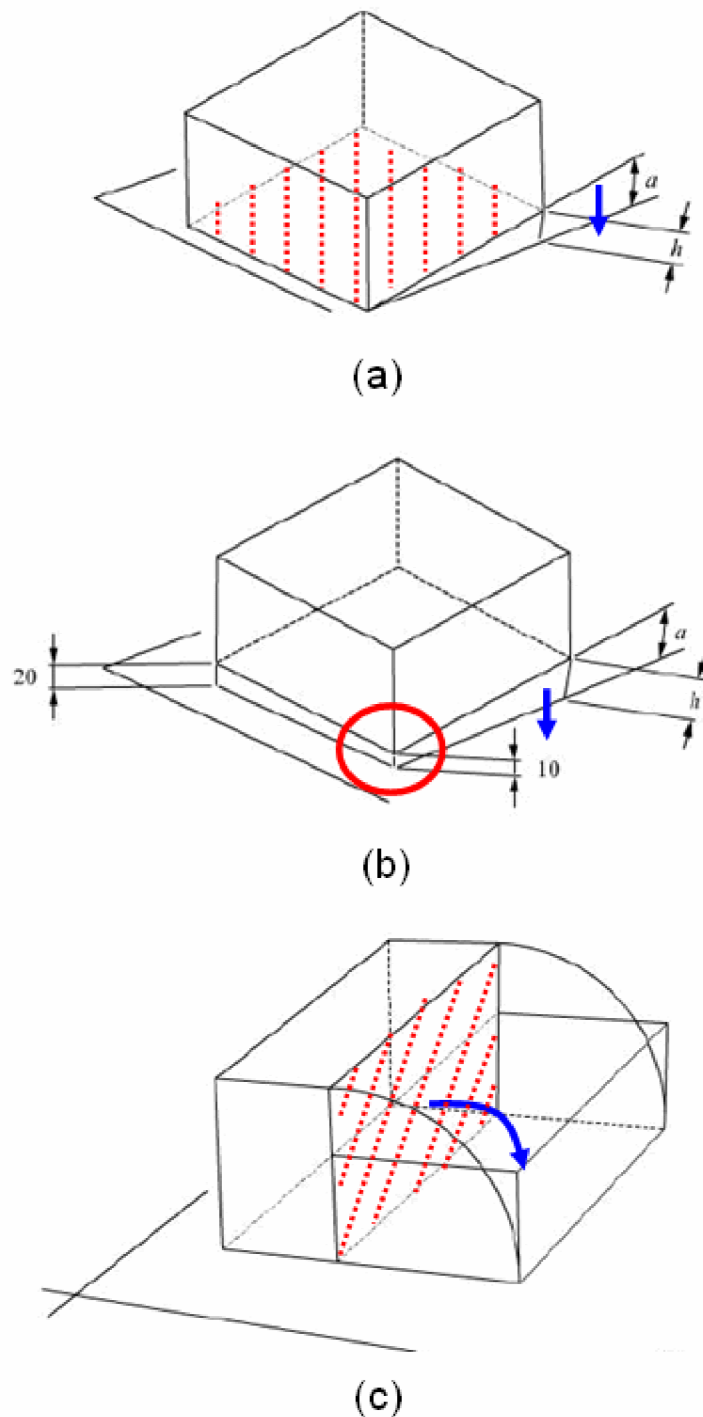


圖 16 三種跌落(Drop)或使傾倒(Topple)試驗 (a)底面 (b)邊角 (c)側面

2. 自由落體：又細分為「程序 1」和「程序 2」兩類。前者預設進行兩次自由落體試驗，以確定在正常運輸、使用之海拔高度下，樣品可承受合理的掉落、摔擊。後者則是測試樣品能否通過特定次數之掉落，遠較前者嚴苛許多。參數

及嚴苛程度之比較整理於表 13。標準本文及 Annex A 均有對測試治具作要求；於 Annex B 更直接舉例數的情境作為標準應用的參考。

表 13 自由落體之可用參數

自由落體試驗	預設循環次數	可選擇掉落高度	
程序 1	2	依樣品重量而定	
		重量範圍	可選用高度值(mm)
		< 1 kg	25
		(1kg, 10kg)	50 / 100 / 250 /500
		(10kg, 50kg)	750 / 1000 /1500
程序 2	50 /100 /200 /500 /1000 (mm)	500 / 1000 (mm)	

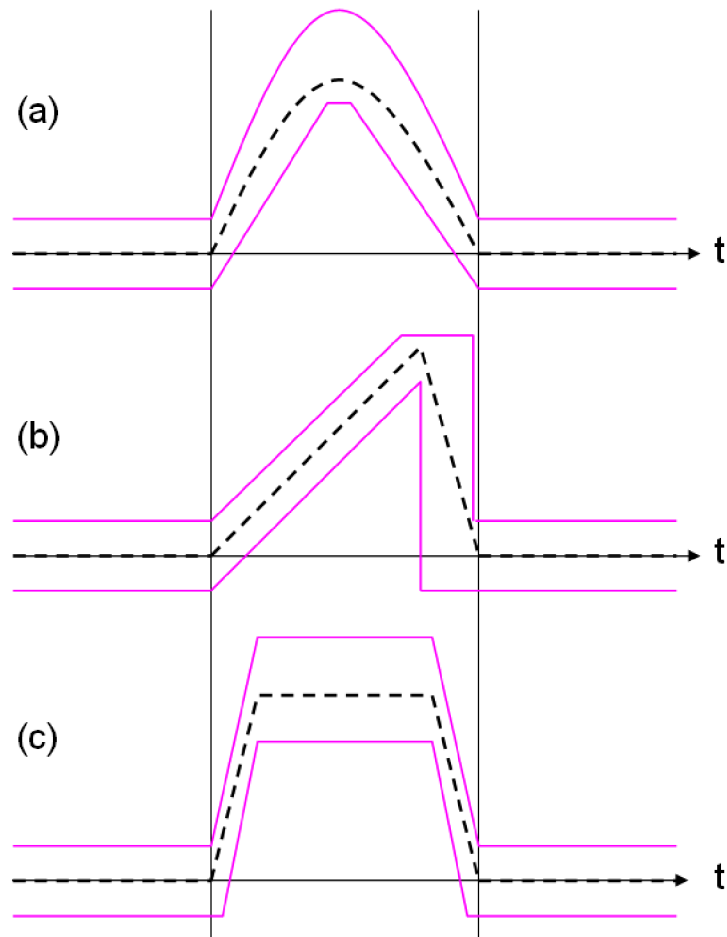


圖 17 衝擊波型圖(粉紅線為容許誤差) (a) 半正弦 (b) 鋸齒 (c) 梯形

(二) IEC 60068-2-27《衝擊》(代碼：Ea)

本標準提供單次或反覆衝擊試驗，定義有三種標準衝擊波形，用途說明如下，波形如圖 17 所示。

1. 半正弦衝擊波形：適合模擬線性系統之撞擊，例如撞擊彈性物體或結構。多數撞擊均可以此波形模擬，應用最廣泛。
2. 鋸齒狀波形：三個波形中其擁有最平滑、均勻之頻率響應。
3. 梯狀波形：它可以產生比半正弦波頻帶更寬之響應。主要模擬爆炸性撞擊，例如：人造衛星之發射；一般樣品較不適用。

實務上，若欲模擬撞擊之頻率響應已知，則應從上述三者選一個最接近者作試驗，反之，則可依標準附錄表 A.1 之建議作選擇；舉例來說，該表建議一般非元件型樣品對於其強度要求、或模擬手持及運輸過程，可由上述任 3 種波形中擇一，以峰值加速度 150 m/s^2 ，期間 11 ms 方式作模擬。而對於較嚴重之手持、運輸撞擊，則可用 1000 m/s^2 、期間 6 ms 辦理。另外，若無特別規定，樣品三個軸向都必須接受測試，而嚴苛度的選擇，則由 3 至 5000 次循環不等。

六、IEC 60068-2-53 組合氣候及動態試驗

此即 IEC 60068 系列中最具代表性也最具彈性的標準，完全符合 CERT 試驗之精神。使用者可由前述所提及的環境因子進行選擇、混合，模擬出合適的環境對樣品作考驗。

在氣候因子方面，可選擇的有：冷(A)、乾熱(B)、循環溫度變化(N)、循環溼熱(Db)、穩態溼熱(Cab)…等。而動態因子方面，可選

擇的則有：正弦振動(Fc)、衝擊(Ea)、混合振動(Fi)…等。而所有試驗中所需注意的細節，原則上從各個別標準之規定，本標準並未再特別提及任何注意事項。

其附錄中有多個 CERT 行程範例。在此截取 Figure A.2：循環溫度試驗配合振動試驗、以對循環通/斷電的樣品進行考驗的行程供參考。

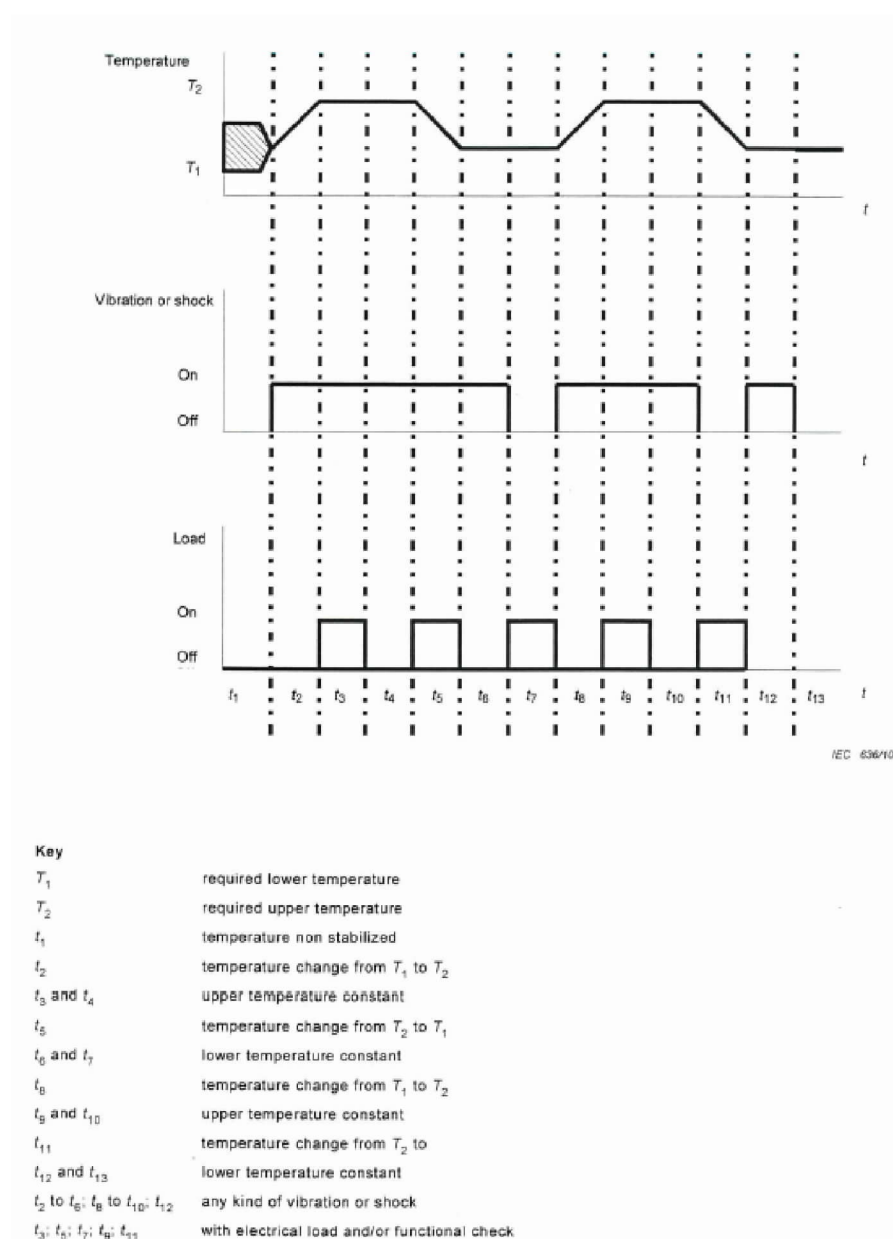


圖 18 截取自 IEC 60068-2-53 Figure A.2 (溫度循環搭配振動試驗之行程圖)

伍、臺中分局電器異常分析實驗室

第一課所屬的電性異常分析實驗室，目前規畫朝兩大面向發展，分別為：1) 電器設備異常模擬 及 2) 金相及顯微分析技術。

一、電器設備異常模擬

本課建置有專用治具專為模擬電器異常情況下，所可能產生的事故態樣及追蹤其發生之根本原因。又電器種類繁多，為集中資源深化技術發展，試驗治具之設計及購置，均以事故率較高之「電熱型廚衛電器商品」為主要標的。分別介紹此些設備如下。

(一) 步入式恆溫恆溼箱體



圖 19 步入式恆溫恆溼箱體及週邊設備

本箱體具良好之隔熱與耐燃設計，可提供穩定且安全之作業環境，為模擬電器異常、短路、燃燒…等高危險性試驗或一般環境試驗之首要設備。附配之可程式化溫溼度控制器(圖 20)可提供欲模擬之環境條件，另其內、外部有多項附屬設備可交互搭配使用，如後

各段說明。



圖 20 步入式恆溫恆溼箱體附配之可程式化溫溼度控制器

(二) 數位化試驗監測系統

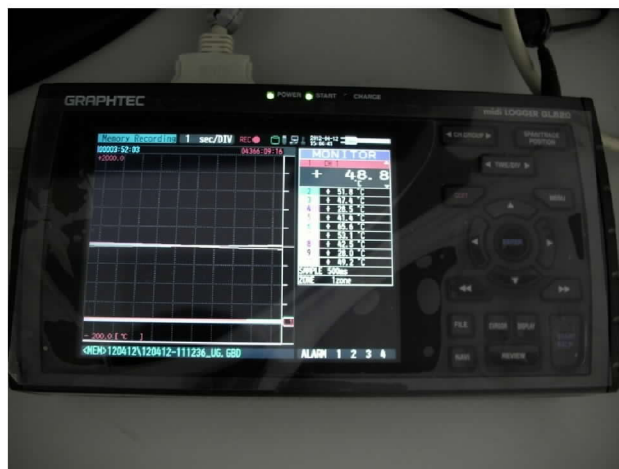


圖 21 數位記錄器

由於執行模擬電器異常、短路、燃燒…等試驗對試驗人員深具危險性，不宜親入恆溫箱體內觀察試驗實況；又如可靠度環境試驗之模擬時程冗長，無法在現場等候結果。因此，數位化的監控設備是必要的。高解析度攝影機及對應的電腦軟體可提供便捷且長時間的視訊錄影，透過具備訊號加強之延長線可讓鏡頭進入箱體內部依

所需的角進行近距離拍攝(例圖 24 執行短路燃燒試驗實況)。在環境及樣品特性的監測上，高達 40 通道之數位化紀錄器(圖 21)搭配各式感測器，可詳實紀錄幾乎所有的試驗參數變化，例如：溫度、溼度、電壓、電流、流量、水壓…等。

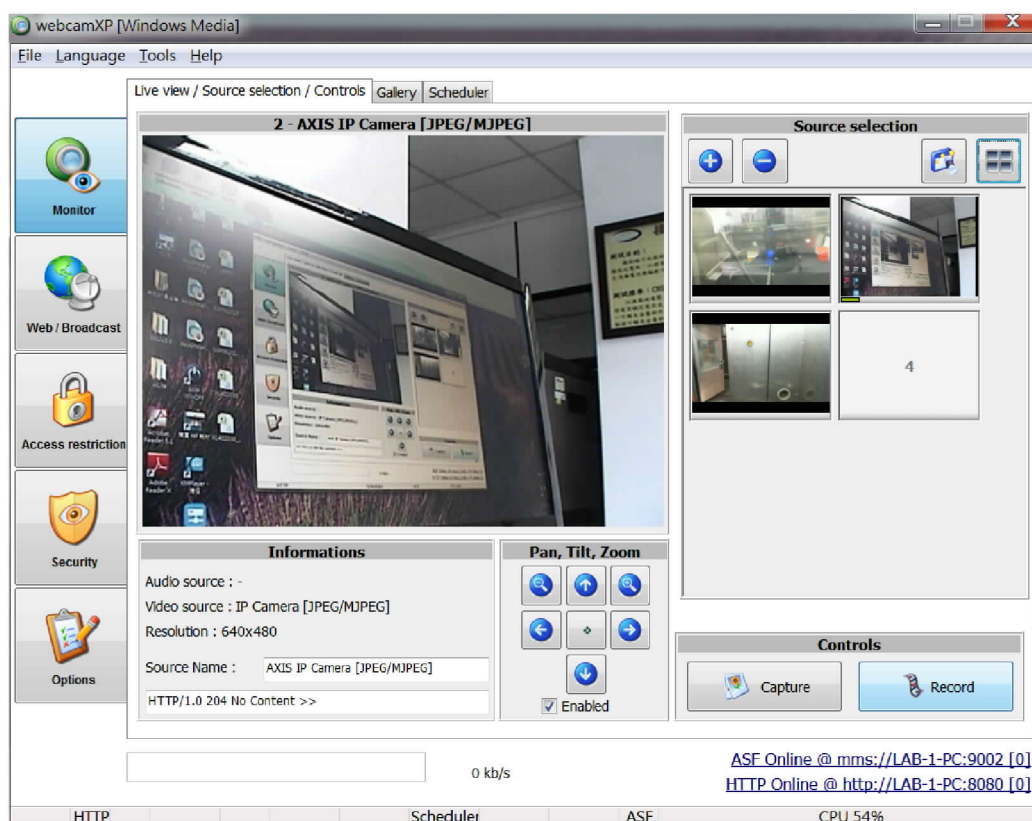


圖 22 試驗監控用錄影軟體



圖 23 視訊攝影鏡頭



圖 24 模擬短路試驗之實況

(三) 電熱水器循環通/斷水試驗治具

恆溫箱體內設有試驗架(圖 25)可供快速吊掛即熱式電熱水器，配電盤、水溫偵測器及進水管路均已佈設好，可快速配接進行試驗。通/斷水控制盤(圖 26)可設定通/斷水之時間及反覆次數，主要用以考驗水盤開關之耐久性。



圖 25 電熱水器循環通/斷水試驗架



圖 26 循環通/斷水試驗控制盤



圖 27 循環通/斷電試驗控制盤

(四) 可程式化電源及電氣耐久性試驗

除前項之循環通/斷水試驗，電氣耐久性及異常電源對電器造成之影響也是重要的考慮項目。



圖 28 自藕變壓器串接穩壓器

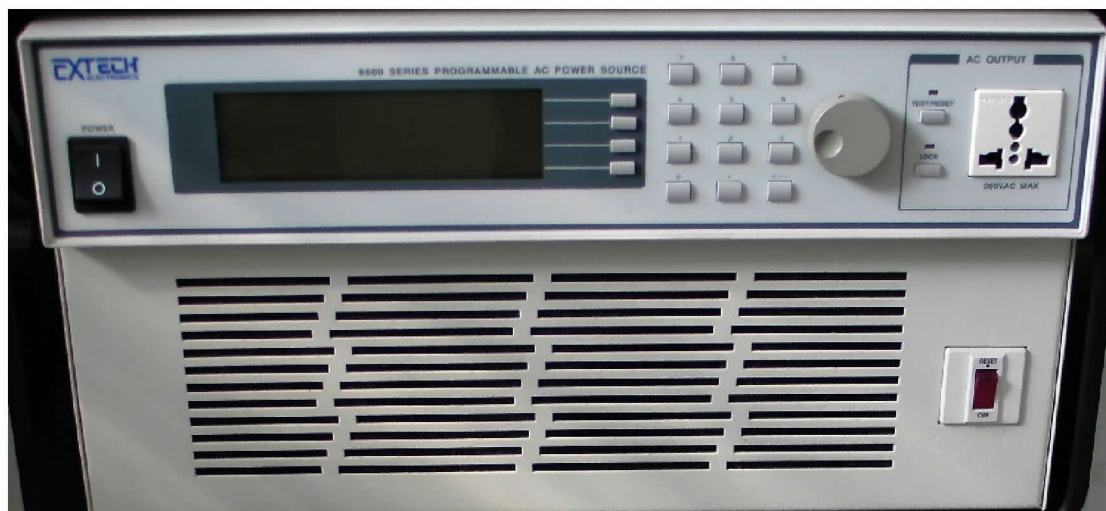


圖 29 可程式電源供應器

二、金相分析

本實驗室之金相分析設備係被視為產品失效鑑定技術發展之研

究重點之一，主因有二，其一是金屬是為良導體，大多數之家電產品之主要功能元件(導體、發熱體)均為金屬，金屬之退化，不論是物性、化性或電性者，均和產品失效和事故案件有密切關聯；第二，更近乎事實的，是以事故樣品通常已嚴重毀損，在無法供電觀察其運作動態之情況下，鑑定者更迫切需要另一種能靜態分析材料的方式，本篇介紹的金相分析即是此類方法中之一例。實驗室於建置時，依照金相分析各流程不同的環境需求，分為兩部分的空間設計：金相樣品製備區及金相顯微分析區。

(一) 樣品截切及製備區



圖 30 金相樣品製備區

本區照片(圖 30)，標準的金相試片製作，主要分為：取樣→、鑲埋、研磨、拋光等 4 個主要步驟，於下一章將會詳細說明。然因過程中，不論是哪個步驟、亦不論是試樣本身或搭配使用之化學粉末性材料，均容易產生大量之粉塵，長期下來恐影響其他儀器設備

(包含顯微鏡)，故特將這些製備設備獨立為一區放置。擺設時並依使用上之順序作需求為考量，以提供一良好的樣品製作動線。

(二) 顯微分析及研究作業區



圖 31 臺中分局第一課所屬之金相分析設備

由於顯微鏡為較精密之設備，為免其鏡頭及配屬之觀察、顯像電腦受到樣品製備過程中所產生粉塵之污染，故將其與樣品製作設備隔離，與其它精密之電子設備一同放置於另一空間，該區並特稱為「金相顯微分析區」(圖 31)。

(三) 金相分析應用於電器火災事故鑑定

一般而言，電氣火災可分為由電器本身過電流引起之火災，及由外部火源所引起的火災。前者導線僅局部(過電流點)溫度較高，其餘面積及環境溫度均相對低上許多，大溫差使得組織過渡區域甚為明顯，並且凝固過程甚快，使氣體不及逸出，僅會形成小孔隙，另氧化時間也短，生成的氧化銅不多，故表面僅會呈現不明顯的紅

色，以上特徵稱為「一次痕」。相對的，「二次痕」則是載流中的導線受到環境高溫持續作用而生成，在導線和環境溫度均呈現高溫之狀態下，溫差小造成過度區域不明顯，且長時間的高溫讓組織有充份時間凝固，雜質亦有時間進入其中形成較大的孔洞；另外，隨著受熱時間不同，凝固較慢者，有充份的時間與氧氣進行燃燒，會生成較厚且顏色較深之氧化銅層。在現今已發展出的火災鑑定技術中，此部分之研究及經驗已甚為成熟，足以成為警消判定事故原因及釐清案件偵辦方向之重要參考。

三、其他設備



圖 32 自動化安規測試機及其配接線

除前述設備外，本實驗室仍備有其它儀器可執行重點電氣安規試驗和基礎電氣特性分析。其中最具代表性者為圖 32 所示之自動化安規測試機(或稱綜合安規分析儀)，可自動化執行以下重點試驗：

- 交流耐壓測試(ACW)：對應 CNS 3765 §16
- 直流耐壓測試(DCW)
- 絕緣電阻測試(IR)

- 接地阻抗測試(GB)：對應 CNS 3765 §27
- 線上洩漏電流測試(LLT)：對應 CNS 3765 §13
- 單相電力分析功能(電壓、電流、功率、功因，簡稱 RUN Test)：對應 CNS 3765 §10

四、未來實驗室設備採購建議

綜合所有章节內容，可歸納出未來可採購的設備建議如下：

目前電器異常分析實驗室所屬恆溫恆溼箱體其溫控能力範圍為 10~90℃，溼度控制範圍為 30%~95%。其溫、溼度部分均滿足一般安規測試之需求，惟與 IEC 60068 中 A(冷), B(熱)試驗參考之溫度範圍相去甚遠，故亦影響循環溫溼度試驗能力(N, 因其循環之高、低溫度設定係由 A, B 中進行選擇)。

惟該恆溫恆溼箱體係步入式且體積甚大，顧及人員安全及考量其能耗甚劇(依經驗，僅執行 48 小時穩態室溫耐溼性試驗，耗電即超過 600 度)，未來恐不宜再升級其溫度控制範圍。又依臺灣地理環境，實際「冷」試驗並不太需要；「熱」試驗反而較有實驗上之利用價值，權衡實驗之經濟性，未來可考慮購置小型之高溫爐，應用於探討高熱對於家電小型零組件壽命之影響。但若需作實驗成果較顯著之冷熱循環(衝擊)試驗，可能還另須購特殊循環試驗箱。

各式衝撞擊試驗機應也是可考慮購置之標的。畢竟家電產品於一般消費者家中使用，無可避免的一定會發生撞擊、摔落、有輪機器之拖移(特別是在通電中之移動)，這些情境對家電的影響通常並不會有立即的影響，但卻可能是日後產品失效或事故的潛在原因。然此種試驗執行之困難通常在於發生在每個使用者之情境變異過大

(不小心掉落、蓄意摔落…等)、甚至和家中的成員組成異有關聯(小孩、青壯年人、老人對同一種產品造成的撞擊並不相同)，無法透過環境試驗法得到明確的結論。

至於其它設備，若以著眼於電器產品之異常分析，仍應以購置電性相關儀器為主，以探討各種電力因子對電器(特別是其零組件)之影響，例如來年預定採購之「交直流兩用電子負載」，可用於模擬各式電器，並會比實際之電器有更穩定的電性特性，目前擬用於電磁開關或繼電器之觸點耐久性測試上。

陸、結語

本研究計畫對消費品安全指引、環境試驗標準及電器異常分析實驗室現有設備進行概念性之了解。惟建構消費品安全制度與總局政策走向密切相關，亦對實驗室整體規畫有決定性影響。惟依目前事故通報制度，雖已有完善框架，但因本局對事故樣品無強制取回之權利、對事故現場有最完善了解之消費者本人也無了解和答覆之義務，導致可供用於調查、研究分析之資料樣本過少，各事故調查員(且通常是指派檢驗員輪流兼任)均是由零星、沒有系統的個案中累積自身經驗，而無系統性概念；故若欲成功整合眾人之經驗並完善的指出產品失效鑑定制度發展明路，應還有長遠的路必須要走。

柒、參考資料

1. Toshio Yamamoto. "Explanation of International Standard IEC 68-2-66, " Osaka, Japan, Espec Technology Report (Tabai Espec Corp.), Special issue: Evaluating Reliability 2 (1996)
2. Kin, Yoshinori, and Yasuko Sasaki. "What is environmental testing. part 1" Osaka, Japan, Espec Technology Report (Tabai Espec Corp.), Special issue: Evaluating Reliability 1 (1996)
3. Kin, Yoshinori, and Yasuko Sasaki. "What is environmental testing. part 2" Osaka, Japan, Espec Technology Report (Tabai Espec Corp.), Special issue: Evaluating Reliability 2 (1996)
4. Kin, Yoshinori, and Yasuko Sasaki. "What is environmental testing. part 3" Osaka, Japan, Espec Technology Report (Tabai Espec Corp.), Special issue: Evaluating Reliability 3 (1997)
5. Tanaka, Hirokazu, et al. "A Consideration of Methods for Evaluating Reliability of Electronic Parts." *Osaka, Japan, Espec Technology Report (Tabai Espec Corp.), Special issue: Evaluating Reliability 3* (1997)
6. Hirokazu Tanaka, et al. "Confirming Reliability of Printed Circuit Boards with Temperature Cycle and Thermal Shock." *Osaka, Japan, Espec Technology Report (Tabai Espec Corp.), Special issue: Evaluating Reliability 3* (1997)
7. ISO 10377: 2013 Consumer product safety - Guidelines for suppliers
8. IEC 60068-1: 2013 Environmental testing - Part 1: General and guidance
9. IEC 60068-2-1: 2007 Environmental testing - Part 2-1: Tests - Test A: Cold
10. IEC 60068-2-2: 2007 Environmental testing - Part 2-2: Tests - Test B: Dry heat
11. IEC 60068-2-14: 2009 Environmental testing - Part 2-14: Tests - Test N: Change of temperature
12. IEC 60068-2-27: 2008 Environmental testing - Part 2-27: Tests - Test Ea and guidance: Shock
13. IEC 60068-2-30: 2005 Environmental testing - Part 2-30: Tests - Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)
14. IEC 60068-2-31: 2008 Environmental testing - Part 2-31: Tests - Test Ec: Rough

handling shocks, primarily for equipment-type specimens

15. IEC 60068-2-38: 2009 Environmental testing - Part 2-38: Tests - Test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test
16. IEC 60068-2-53: 2010 Environmental testing - Part 2-53: Tests and guidance - Combined climatic (temperature/humidity) and dynamic (vibration/shock) tests
17. IEC 60068-2-66: 1994 Environmental testing - Part 2: Test methods - Test Cx: Damp heat, steady state
18. IEC 60068-2-67: 1995 Environmental testing - Part 2: Tests - Test Cy: Damp heat, steady state, accelerated test primarily intended for components
19. IEC 60068-2-78: 2001 Environmental testing - Part 2-78: Tests - Test Cab: Damp heat, steady state
20. 彭鴻霖. 《可靠度技術手冊：可靠度標準與規範》. @KekaoXing.com. (2000)
21. 衛廣昭, 曹建旺, 於進江. 《金相分析技術在電氣火因鑑定中的應用》. 消防技術與產品信息, 8. (2006)
22. 魏巍, 謝明立, 姚紅宇, 劉清貴, 張崢. 《電氣事故中銅導線短路熔珠金相組織分析》, 消防科學與技術, 2. (2007)