

基於資訊分析應用在退化失效下消費性產品可靠性模型與評估方法研究

洪玲隆
建國科技大學
副教授
Email:hlh@ctu.edu.tw

陳鍾賢
金屬工業研究發展中心副組長

jacky@mail.mirdc.org.tw

摘要

基於性能退化資料的可靠性分析方法是一種評估產品可靠性的有效方法。本文研究的主要目標是：基於試驗樣品的性能退化資料，建立具有一定通用性的產品可靠性預測模型和資訊計算程式，以應用於在消費產品的無失效資料的情況下，分析電子產品等長壽命產品的可靠性。本文應用資訊科技應用於消費家電產品可靠性測試的技術原理及其特點，然後總結出了一些家電產品在研發過程中的可靠性測試方法，詳細闡述了可靠性測試的過程，基於資訊分析應用在退化失效下消費性產品可靠性模型與評估方法研究如何在家電產品中經濟高效的進行可靠性測試。

關鍵詞：性能退化，可靠性，消費性產品，退化失效。

Abstract

The reliability analysis based on the performance degradation data is an effective approach to evaluating the reliability of long-life products. The main purpose of this paper is to develop a general-purpose reliability prediction model and the calculation program based on the degradation data of the test samples, the reliability model and reliability of the long-life product, such as the electric equipment. The competing risk problems involving degradation failures are modeled for the reliability evaluation at competing risk involving multiple failures. The degradation level dependence of traumatic failure rate is included into the model.

Keywords: Performance degradation reliability, Consumer, Degradation failure,

1. 前言

相對於傳統的基於失效時間資料的分析方法，及基於性能退化資料的可靠性分析方法更加適用於可靠性高、試驗費用昂貴的產品的可靠性評估。因為對於可靠性高的產品，即使在加速試驗的條件下，在試驗時間較短時也很難得到失效資料；對於試驗費用昂貴的高可靠性產品，失效時間資料亦難以得到。這時，傳統的基於失效時間資料的統計方法將不再適用，而性能退化資料則可以在產品(或系統)的運行期內即時測量得到，因而性能退化資料成為分析系統或零部件可靠性的一種重要資料絕大多數失效機制可以追蹤其潛在的性能退化(或衰減)過程[1-5]。性能退化表達的是產品的工作能力隨時間逐漸降低的現象。退化最終引起失效，在我們生活的每個方面幾乎都能找到相應的例子(例如，金屬結構/元素的疲勞失效是由迴圈載荷作用下逐漸增長的裂紋而引起的，當電子性能特徵(例如電流、輸出電壓、電容率、電容量等)衰減到一個難以承受的程度時，大部分半導體設備都不能正常工作等)。因此，在當前家電產品研發階段中如何應用科學資訊、有效地實施可靠性測試就成為了提高產品可靠性設計水準、降低家電產品生產成本以及增強家電產品市場競爭力的關鍵所在。

可靠性的定義主要是指產品在規定的條件以及時間範圍內，完成指定功能的能力，這其中規定條件主要包括產品使用的負載條件、維護條件以及環境條件，例如供電電壓、輸出功率、負載、使用方法、使用頻率、維修方法、氣候環境、生物化學環境、機械環境以及電磁環境等[6-9]。家電產品的可靠性測試主要是檢驗該產品對極限環境的適應能力，快速激發出家電產品潛在的缺陷問題，通過對故障進行分析研究，提出具體的改進措施從而提升家電產品的可靠性。與傳統的基於環境模擬真實性試驗方法相比，可靠性測試施加的應力量更加明

顯，能夠有效地提升潛在缺陷問題的激發效率，即在短時間內可以激發出檢測產品諸多潛伏和間歇性的缺陷問題。智慧型家電與人們的日常生活密切相關，因此對於家電產品的可靠性研究是關係家電行業發展的首要問題。在人們的日常生活中，接觸的最多的即為家用電器，因此家用電器產品的電磁相容性直接影響著人們的生活，而家用電器的電磁相容性研究也成為越來越引起人們重視的一個研究課題。

對於家電產品可靠性的測試主要運用的是產品失效原理和荷載強度干涉理論。家電產品的設計強度與外場經受的環境荷載，例如溫度、振動等量級均呈現出一定的統計分佈。通常情況下，產品的可靠性具有較窄的產品設計強度和環境荷載分佈，大安全忍收度和低的在粗糙度。隨著時間和應力積累的租用，產品的性能會發生某種程度的退化，產品強度分佈與環境荷載肺部間隔將會逐漸變小，產品中相對薄弱的單元、器件則會相繼失效。對於大多數的電子產品，產生失效的類型主要有暫態失效和永久性失效。如果在某些應用水準上發生了暫態失效，則當應力減小的時候，產品將能夠恢復到正常的工作水準，而永久性失效則無法恢復。對家電產品總體來說導致暫態和永久性失效的應力水準同樣呈現出一定的統計分佈。對家電產品進行可靠性測試可以確定產品的工作極限以及破壞極限，通過不斷提高家電產品的設計強度，拓寬產品強度與環境荷載之間的安全間隙，增大安全裕度從而提升家電產品的可靠性。

鑑於我國內外銷市場皆面臨與低價、或高技術和新穎概念的家電產品競爭，為幫助家電製造業者改善此窘境，並展望未來家電產品的發展趨勢，惟有首重自我加強研發能力，如研發具備足夠「可靠性」(reliability)的產品，才有長期的市場價值及競爭力。再鑑於全球貿易自由開放、市場競爭日趨激烈及消費權益意識高漲的浪潮下，其在產品「安全性」(safety)方面的功能漸被高度期待，特別是我國加入世界貿易組織與簽訂「兩岸經濟合作架構協議」(Economic Cooperation Framework Agreement, ECFA)後，商品安全管理與國際社會接軌而出現新環境、新問題和新特點，如一般消費品管理、商品安全資訊、商品安全責任等新的元素，導致全球經貿模式改變、內外銷市場受衝擊，且消費使用者的期望與需求提高，產品的「安全性」逐漸受到高度期待[10-13]。

2. 研究方法與資訊評估分析方法

對於消費性家電產品在選材、設計、生產等環節中往往會存在一定的缺陷，從而降低了家電產品的可靠性與退化，嚴重時還會危及使用者的生命安全。因此必須對其進行可靠性測試，找出家電產品中的缺陷，並以此為依據採取糾正措施，提高家電產品的使用品質和可靠性。從資訊統計學的角度分析，影響家電產品可靠性的因素主要有零配件的缺陷、設計缺陷以及生產工藝的缺陷，糾正這些缺陷可以有效地提升家電產品的可靠性與減緩退化，這便是測試所要達到的最終目的[14-15]。目前家電產品可靠性測試主要分為工程測試和統計測試兩種類型，其中工程試驗的目的是檢測家電產品暴露出的問題，並且採取針對性的措施進行改進。在工程測試的過程中，一旦發現家電產品中的零部件存在缺陷，更換後繼續進行測試，並且對這些零部件缺陷產生的原因進行分析，以便採取有效措施對後續的生產環節進行優化升級。

對消費性家電產品進行可靠性測試的根本目的是為了以最快的速度檢測出家電研發過程中的薄弱環節，找出家電產品在設計、加工以及各類元器件潛在的缺陷，然後為家電產品的優化設計、制定維修策略提供有力依據。通過資訊分析可知家電產品可靠性測試主要有低溫步進應力試驗、高溫步進應力試驗、振動步進應力試驗以及綜合應力試驗，通過借鑒國外先進技術[8-11]，提出了產品設計餘度 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 的方法，根據普通消費類電子產品，規格上通常將工作溫度標注為 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，但是在可靠性測試過程中的溫度應力範圍則是 $-30^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$ ，對該範圍內出現故障都需要經過故障原因分析找出相應的糾正措施，超出溫度應力範圍的故障則不需要採取糾正措施。振動步進應力試驗通常是用來分析家電產品生產工藝的缺陷問題，大多數成型的家電都存在一定程度損傷的高腳器件，通過振動測試容易出現斷腳失效，某些電路板設計不合理，將電容器、電感器等元器件懸空插裝造成引腳局部的應力過於集中，容易產生疲勞斷裂失效等。

家電產品的可靠性設計是提高家電產品可靠性的關鍵措施，主要包括簡約化設計、模組化設計、冗餘設計、熱設計、穩健設計、振動雜訊設計、抗衝擊設計以及環境防護設計等。運用資訊統計分析的方法，以可持續發展為指導進行家電產品可靠性設計，即在家電產品的設計以及生產的過程中必須要確定出家電產品的可靠性指標，通過失效模式與影響分析等方法對家電產品

的潛在問題進行推測分析，並且根據可靠性設計減少家電產品發生失效的可能性。總之，通過科學、合理的可靠性設計，增強家電產品的可靠性，從而提升家電產品的使用品質。

3.實例應用：

本文探討了吸塵器家電產品諧波電流發射超標的抑制措施，並提供了有效的RLC電路抑制方法。電容C對不同頻率的正弦信號呈現出不同程度的容抗特性，即“隔直通交”和“通高頻、阻低頻”特性。容抗 X_c 與交流電流頻率 f 有如下關係： $X_c = 1/(2\pi f_c)$ ，即交流電流頻率越高，容抗越小，交流電流能通過電容的就越多；反之則越少。電感具有“通低頻，阻高頻”的特性。電感自身不會諧振，要和電容一起才能構成諧振回路，也就是常說的高通濾波和低通濾波（高通就是讓頻率高的信號通過，而對低頻信號阻隔，使用了電容對低頻顯高容抗，對高頻顯低容抗特性；而低通就是讓頻率低的信號通過而阻隔高頻信號，使用電感對低頻顯低感抗，對高頻顯高感抗特性，設計處理）。在RLC組成的諧振電路中存在一個諧振頻率， $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ ，由此構成了RLC電路圖路的幅頻特性曲線，如圖1所示。由於電感和電容的共同作用，使得電路有了一個上限頻率和下限頻率，組成了一段頻率帶寬，使得在此帶寬內的電流可以通過，而不在此段頻率之間的電流則很難通過，起到了濾波的作用。因此選擇不同的濾波元器件參數，可以配合PCB板上的整流電流對諧波電流進行抑制。

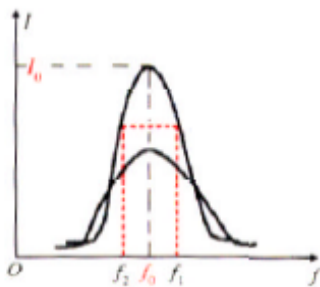


圖 1 RLC 電路的幅頻特性曲線

常用的RLC電路一般構成低通和帶通濾波器。由於諧波是基頻倍數的高頻波，宏觀上是由電路中的電容電感產生的，微觀上是由RLC的共振電路產生。對於出現的超過限值的諧波電流值，在吸塵器產品的整改中採用的方法和元器件的選型也有多種選擇。

4.實例說明：

本節係「家電產品品質特徵退化評估方法的研析」之研究成果的主要內容，以吸塵器機產品及其內、外部組件或材料為例，研討基於退化失效分析技術之新電動電熱類家電產品之安全評估與技術發展的可行性策略，如使用壽命分析與預測、安全使用年限實施與掌握、產品安全可靠設計、產品風險管理制度建立與實施等措施，有效益協助家電產品製造業，提升其產品品質與競爭力。

吸塵器之馬達使用而造成其性能特徵符合性退化的因素很多，一般不外乎於外因是能量應力的作用，內因則是材料性能和狀態發生了不可逆轉的變化，如金屬材料的變形與腐蝕、塑性材料的斷裂與老化、動部件的磨損與疲勞等，這些損傷因素不是各自獨立發展，係在一定條件下交互作用產生。為了解與綜合其各種損傷因素的相互作用結果，利用退化資料提供的更多過程壽命資訊，進而能較準確地進行產品的壽命預測。本小節建立吸塵器馬達強度退化失效模型。藉由進行吸塵器馬達加速壽命試驗及其參數估計方法，得到退化失效模型，並進行了吸塵器風扇馬達壽命預測方法研究。針對吸塵器馬達運轉過程中的應力分佈狀態，以期得到其壽命預測結果。

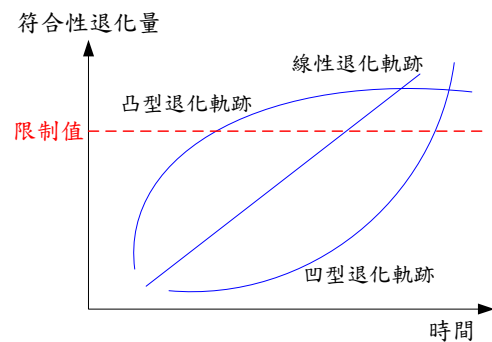


圖 2 吸塵器馬達產品退化軌跡可能的形狀

吸塵器馬達產品及其組件的退化過程可以用退化軌跡來進行描述。常見的退化軌跡有線性、凸形、凹形，如圖2所示。為能準確描述吸塵器馬達其性能特徵符合性退化過程，假設單個吸塵器馬達相對時間的實際退化軌跡用 $D(\alpha, \beta, t)$ 表示，考慮吸塵器馬達性能特徵符合性退化與使用條件和環境有關，我們以一組函數方程式詮釋之，如公式(1)所示：

$$y(t) = D(\alpha, \beta, t) + \delta(t), \quad t > 0 \quad (1)$$

式中， $D(\alpha, \beta, t)$ 為常態機率函數， $\delta(t)$ 為隨機偏差部分，是一個平均值為零的標準常態機率函數 $\delta(t) \sim N(0, \sigma)$ 。

根據中央極限定理，當性能特徵退化量的隨機個數夠多時，此時 $y(t)$ 的機率分配會近似於常態分佈，如圖3所示。當 $y(t)$ 的機率分佈和符合性管制標準推薦之限制值併行考慮時，評估吸塵器馬達其性能特徵不符合所能容許的機率位準，如圖3中 b 點所顯示。

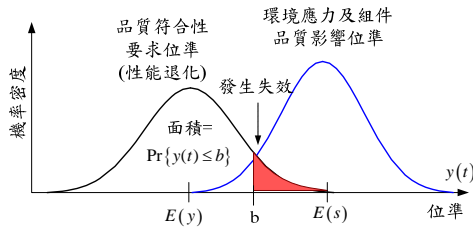


圖 3 馬達品質特徵的機率限制位準之圖示

依照圖3所示，借助機會限制規劃的理論。我們發展出一個評估吸塵器馬達性能特徵退化的機率限制定義式，如公式(2)所示。當 $y(t)$ 隨時間演變下降超過限制值 b 時，產品發生失效。

$$\Pr\{y(t) \leq b\}, \quad t > 0 \quad (2)$$

為了計算方便，藉由 $y(t)$ 的演變規律推導吸塵器馬達使用壽命 T 的累積分佈函數 $F_T(t)$ ，如公式(3)所示。

$$F_T(t) = \Pr\left\{\frac{y(t) - E(y)}{\sigma(y)} \leq \frac{b - E(y)}{\sigma(y)}\right\}, \quad (3)$$

$$= \phi\left(\frac{b - E(y)}{\sigma(y)}\right)$$

式中， $\phi\{\bullet\}$ 為標準常態分佈累積分佈函數， $E(y)$ 、 $\sigma(y)$ 分別為性能參數的平均值、標準差。若對吸塵器馬達性能特徵退化失效之指標要求規定上限時 b_U ，或規定上限 b_U 、下限 b_L 時，由公式(3)進一步推導結果，如公式(4)及公式(5)所示。

$$F_T(t) = \Pr\{y(t) \geq b_U\}, \quad (4)$$

$$= \Pr\left\{\frac{y(t) - E(y)}{\sigma(y)} \geq \frac{b_U - E(y)}{\sigma(y)}\right\}$$

$$= 1 - \phi\left(\frac{b_U - E(y)}{\sigma(y)}\right)$$

$$F_T(t) = \Pr\{b_L \geq y(t) \geq b_U\}, \quad (5)$$

$$= \Pr\left\{\frac{b_L - E(y)}{\sigma(y)} \geq \frac{y(t) - E(y)}{\sigma(y)} \geq \frac{b_U - E(y)}{\sigma(y)}\right\}$$

$$= 1 - \phi\left(\frac{b_U - E(y)}{\sigma(y)}\right) + \phi\left(\frac{b_L - E(y)}{\sigma(y)}\right)$$

另其性能可靠度函數，如公式(6)所示。結合公式(1)吸塵器馬達性能特徵符合性退化模型，公式(6)之性能可靠性評定問題將可轉化為對分佈參數 β 的估計問題。根據此固定退化部分的平均值、標準差與隨機偏差的物理含義，藉由性能參數的測量，由呈現曲線的擬合和參數估計方法即可得到上述參數的估計，從而得到吸塵器馬達產品壽命 T 的累積分佈函數 $F_T(t)$ ，以達到預測壽命的目的。測試參數資料：表 1

$$R(t) = 1 - F_T(t), \quad (6)$$

測試頻率範圍與限制值 Frequency range and limits

頻率範圍 (MHz)	家電產品	
	準峰值 dB (μV)	平均值 dB (μV)
0.15-0.5	66-56	59-46
	隨頻率的對數線性遞減	
0.5-5	56	46
5-30	60	50

表 1 消費性產品測試參數資料

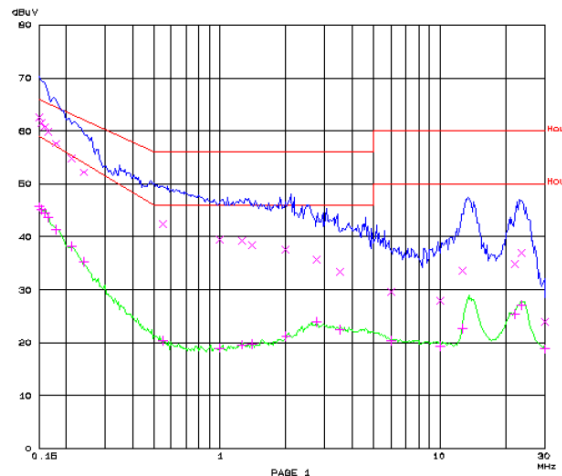


圖 4 連續性傳導干擾測試圖

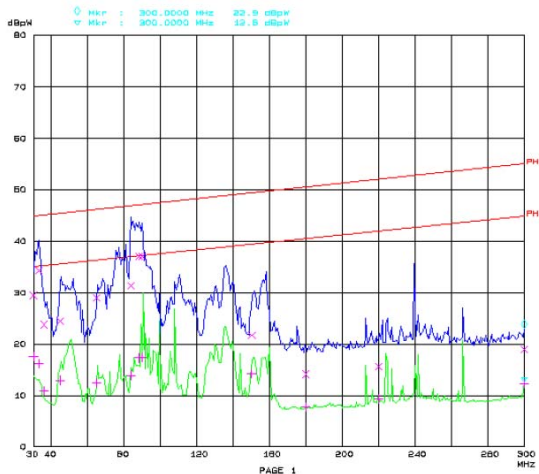


圖 5 連續性輻射干擾測試圖

由上圖之大量測量結果表明，在選擇RLC 電路的元器件參數時，電容對諧波的影響比電阻和電感的影響要大得多。原因在於，諧波電流的頻率很低（100~2000Hz），在該頻段，電容的容抗敏感性很強。圖4~5為某真空吸塵器產品整改後諧波電流的測試結果。

5. 結論：

本文著重研究了消費性產品-家電產品可靠性測試問題與性能退化資料的分析。可靠性分析方法是一種評估產品壽命與可靠性的有效方法。家電產品的可靠性測試主要是指使用現代化的技術以及手段，對家電產品設計生產以及流通等各個環節中所隱含的問題進行及時的預防、發現以及糾正，最大限度的減小家電產品失效的可能性。本文首先透過資訊分析了家電產品可靠性的基本概念及其特點。並且從完善家電產品的可靠性設計、用現代化的技術優化家電生產環節以及重視家電產品的電磁干擾之環境方面探討了提高家電產品可靠性與退化的方法。總之，消費性產品-家電生產企業只有制定適當和明確的可靠性政策，把高可靠性當作企業的一個重要戰略目標，而且要得到最高層管理者特別關注，把可靠性滲透到所有影響可靠性的企業部門，才能有效的開展可靠性工作。

參考文獻

- [1] 劉明治，可靠性試驗，電子工業出版社，民國 84 年。
- [2] 孫智、江利、應鵬展，失效分析基礎與應用，機械工業出版社，民國 83 年。

- [3] 張棟、鍾培道、陶春虎，失效分析，國防工業出版社，民國 97 年。
- [4] 財團法人台灣電子檢驗中心，我國驗證服務業發展策略之研究，標準檢驗局 91 年度委託研究報告。
- [5] 標準檢驗局，標準化實務與符合性評鑑制度訓練教材，民國 88 年 5 月。
- [6] 張志平，應用風險分析為概念的延伸型失效模式與效應分析於工業電腦採購循環之研究，華梵大學工業管理研究所碩士論文，民國 95 年。
- [7] 吳明哲，製程失效模式與效應分析於電子組裝產品之實證研究，雲林科技大學工業管理研究所碩士論文，民國 96 年。羅應浮，專案管理的失效模式與效應分析，中華大學工業工程與管理研究所碩士論文，民國 96 年。
- [8] IEC Std. 61508-1：1998, Functional safety of electrical electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 1：General requirements.
- [9] IEC Std. 61508-2：2000, Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems - Part 2: Requirements for electrical-electronic/programmable electronic safety-related systems.
- [10] IEC Std. 61508-3：1998, Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems - Part 3: Software requirements.
- [11] IEC Std. 61508-4：1998, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 4: Definitions and abbreviations.
- [12] IEC 812, Analysis Techniques for System Reliability-Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Geneva, Switzerland, 1985.
- [13] MIL-STD-1629A, Military Standard Procedure for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Department of Defense, Washington, DC, 1980.
- [14] 蔡冠星、林仲璋、王宏魯、蕭景文，機電產品實驗室規劃及風險評估之研究，經濟部標準檢驗局 96 年度研究發展計畫。
- [15] 王宏魯，”建立危害預防機制於提升產品安全驗證效益之研究”，經濟部 97 年度研究發展計畫，經濟部標準檢驗局。