

東 海 大 學
工業工程與經營資訊研究所

碩士論文

DVD光碟片故障監控之研究

A Study of DVD Diskette Malfunction
Monitoring

研 究 生：張竣翔

指 導 教 授：張炳騰 博士

曾宗瑤 博士

中 華 民 國 九 十 七 年 六 月

A Study of DVD Diskette Malfunction Monitoring

By
Chun-Hsiang Chang

Advisor: Dr. Ping-Teng Chang
Dr. Tsueng-Yao Tseng

A Thesis
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and Enterprise
Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2008
Taichung , Taiwan , Republic of China

DVD光碟片故障監控之研究

研究生：張竣翔

指導教授：張炳騰 博士
曾宗瑤 博士

東海大學工業工程與經營資訊研究所

摘要

隨著網際網路發達，光學讀取、燒錄與儲存技術的進步，DVD光碟片已然成為時下儲存媒體的主流。市面上不同廠牌的DVD光碟片越來越多，品質難免參差不齊。除廠牌外，相較於傳統的CD，DVD光碟片在規格、容量和功能上具有更多樣化的性質，高複雜度的市場結構，使消費者在選購DVD光碟片產品時，亦增加不少決策上的困難度。

本研究以消費者角度為考量，透過情境設計、實際燒錄測試，控制各種可能影響DVD光碟片燒錄品質的因素，對於測得數據加以討論分析，並經由品質門檻之設定，在資料儲存成本與故障風險間取捨。所得結果有助於一般消費者，根據對故障率接受度，選擇符合需求的DVD光碟片，以及適當的備份時機。

其次，以燒錄品質指標為基礎，探討各項可能影響故障率的因素，作為觀察DVD光碟片品質衰退趨勢之依據。另導入迴歸分析模型，作為燒錄品質衰退趨勢之分析工具，持續監控DVD光碟片故障前之品質衰退現象，並以t檢定(student t-test)分析比較三種特定使用習慣下衰退趨勢。據此分析結果，比較廠牌間與使用習慣間對DVD光碟片品質衰退是否存在顯著差異，並有助於現實上使用DVD光碟片在故障前提早備份，降低資料遺失之風險。

關鍵字詞：DVD光碟片、燒錄品質、迴歸分析

A Study of DVD Diskette Malfunction Monitoring

Student : Chun-Hsiang Chang

Advisor : Dr. Ping-Teng Chang

Dr. Tsueng-Yao Tseng

Institute of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

As internet network being developed, optics reads, burns the progress which records and storage technology, DVD has already become the mainstream of storing the media at present. There is more and more DVD of different brands on the market, and quality is widely different. Besides brand, the looks, relatively in traditional CD, DVD has more diversified nature functionally in the specification, capacity, the market structure of high complexity, make consumers while choosing DVD products, may increase the difficulty of decision.

In order to consider in terms of consumer this study, through the experimental design, burning and testing on the spot. And find out the factors which may influence DVD's quality of record in various kinds of factors. Discuss and analyses in testing the income data, and the settlement via the quality threshold, store the choice among the cost and malfunction risk in data storage. The result of the income contributes to general consumers, according to accepting degree of malfunction rate, choosing suitable DVD and back-up time based on the demand.

Secondly, regard DVD burning quality index as the foundation, probe into every possible factor influencing malfunction rate, as the basis of observing the trend that DVD quality declines. Moreover, implement regression model to analyze the trend of quality decline of record, monitoring the phenomenon continuously that the DVD quality decline before malfunction, and use Student t-test to analyze and compare the trend of declining in three kinds of specific habits. Comparing the difference between brands and use habits influence on DVD quality decline according to this analysis result, and can help users to back-up early before DVD malfunction, and reduce risk of data loss.

Keywords: DVD; Burning quality of record; Regression analysis

誌謝

倒數30天，是出生以來最漫長的30天。兩年的事濃縮成一個月，簡直跟地獄一樣充實。雖有些糊裡糊塗，自然而然也就水到渠成，人類的潛能真奇妙。口試完，花了好一陣子，才慢慢適應「這一秒」跟前幾秒的差別。很感謝張炳騰恩師，在我最低潮時拉我一把，讓差點全盤放棄的我，一步一腳印打完這場硬仗。

「穩下腳步，慢慢來，重新結構自己…」

「絕不要鬆懈，否則可能一輩子都救不回來…」

「到xx前還有時間，別在這裡多耗日子，先衝衝看再說…」

好多好多……，

如果沒有這些受用的話，外加每週三次緊盯我進度，以及兩年來陪我共度無數場meeting風雨、幫我辦妥很多事的研究室夥伴們，恐怕難以完成這項艱鉅的挑戰。要謝的太多太多，不一而足，然而，要是沒這些人事物，就跟沒有昨天一樣。

最後一次meeting，跟第一次一樣：兩手空空、腦袋空空。有一切終歸虛無的感覺，也總算體會到什麼都是表象，磨練與成長才是真實。大度山的六年就這麼寫下句點，實在不可思議！沉澱後，又是未知的序曲。

張峻翔 謹誌於

大度山

智慧知識系統研究室

中華民國九十七年七月

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 現有問題.....	2
1.3 研究方向與架構.....	3
第二章 文獻探討.....	7
2.1 DVD光碟片市場現況分析.....	7
2.1.1 DVD光碟片產品分類.....	8
2.1.2 DVD光碟片產品比較.....	10
2.2 DVD光碟片燒錄品質指標.....	12
2.3 DVD光碟片讀寫策略概述.....	16
2.4 加速壽命試驗概述.....	17
2.4.1 加速試驗數據處理方式.....	18
2.4.2 分配配適度檢定.....	19
第三章 研究方法.....	21
3.1 迴歸分析流程.....	22
3.2 燒錄品質後續分析.....	24
3.2.1 單因素結構.....	24
3.2.2 多因素結構.....	29
3.2.3 衰退趨勢比較.....	29
3.3 設定品質門檻.....	30
3.4 實驗流程與限制.....	31
3.4.1 實驗流程.....	31
3.4.2 實驗限制.....	34

第四章 實驗分析.....	36
4.1 燒錄品質衰退趨勢分析	36
4.1.1 多元迴歸分析.....	36
4.1.2 單因素結構分析.....	39
4.1.3 多因素結構分析.....	40
4.2 衰退趨勢比較分析.....	42
4.2.1 情境設定.....	42
4.2.2 情境間比較分析.....	43
4.2.3 廠牌間比較分析.....	46
4.2.4 小結.....	50
4.3 品質門檻設定與監控.....	50
第五章 結論與建議.....	53
5.1 研究總結.....	53
5.2 未來研究建議.....	53
5.2.1 案例式推理之應用.....	54
5.2.2 阿氏加速試驗模式.....	56
5.2.3 支援向量迴歸預測.....	58
參考文獻.....	62
附錄A.....	64
附錄B.....	66

表目錄

表2.1 DVD光碟片規格與容量之差異 (12cm結構).....	11
表2.2 DVD光碟片規格與容量之差異 (8cm結構).....	11
表2.3 DVD光碟片燒錄品質指標.....	14
表4.1 多元迴歸模式摘要.....	36
表4.2 變異數分析表.....	36
表4.3 多元迴歸模式之係數表.....	37
表4.4 三種使用習慣之模擬方式.....	43
表4.5 情境間衰退趨勢比較表.....	50
表4.6 廠牌間衰退趨勢比較表.....	50
表A.1 衰退趨勢分析原始資料 (PIE Max).....	64
表A.2 衰退趨勢分析原始資料 (PIF Max).....	64
表A.3 衰退趨勢分析原始資料 (Jitter Max).....	65
表B.1 三種情境比較分析原始資料 (PIE).....	66
表B.2 三種情境比較分析原始資料 (PIF).....	66
表B.3 三種情境比較分析原始資料 (Jitter).....	67

圖目錄

圖1.1 台灣光碟片產業結構.....	1
圖1.2 本研究架構圖.....	4
圖1.3 各章節架構圖.....	5
圖2.1 DVD光碟片燒錄品質測試結果.....	12
圖2.2 DVD光碟片資料儲存結構.....	13
圖2.3 TE/FE測試圖(4X).....	15
圖2.4 TF/FE測試圖(8X).....	15
圖2.5 DVD光碟片讀寫策略差異.....	16
圖3.1 DVD光碟片故障監控流程.....	21
圖3.2 迴歸分析流程.....	22
圖3.3 多因素結構下對故障率之影響.....	29
圖3.4 品質門檻設定示意圖.....	30
圖3.5 實驗流程圖.....	32
圖3.6 實驗操作截圖(一).....	33
圖3.7 實驗操作截圖(二).....	34
圖4.1 標準化殘差之常態P-P圖.....	38
圖4.2 Time對故障率之迴歸模式.....	39
圖4.3 PIF Max對故障率之迴歸模式.....	40
圖4.4 三種使用情境設定圖.....	42
圖4.5 門檻值設定圖-Time.....	51
圖4.6 門檻值設定圖-PIF Max.....	52
圖5.1 CBR執行流程圖.....	55

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

台灣資訊儲存產業經過十年的蓬勃發展，產業結構已趨向成熟，並存在著大者恆大的現象。以國內而言，在2003年三大光碟片生產廠商部份，中環、銖德及精碟的營收皆有顯著成長。台灣光碟片產業結構如下圖所示：



資料來源：工研院光電所整理，2004年5月。

圖1.1 台灣光碟片產業結構

市面上關於DVD光碟片的廠牌和種類眾多，價格落差也頗大。消費者初次購買時，面對多樣的規格和種類，難免不知如何下手。而隨著近幾年來光學儲存媒體需求量大增，對於DVD光碟片燒錄品質也越來越受到重視。DVD光碟片相較於其他種類的儲存媒體，具有以下優勢：

1. 可用容量高
2. 單位儲存成本低
3. 檔案儲存壽命長
4. 環境容忍度高
5. 不需高深的技術水準
6. 影音支援度高

然而DVD光碟片燒錄成功不保證後續皆安全無虞，資料的保存性才是品

質的關鍵。而DVD光碟片保存性跟燒錄品質息息相關，若燒錄品質不好，即使燒錄成功，隨著時間過去，資料衰變的機率還是會比燒錄品質好的空白片高。再者，燒錄品質不好的片，在讀取和相容性上也較差。因此，選擇具優良品質的DVD光碟片，配合適當的燒錄策略，才得以讓資料保存成本降到最低。

本研究選定國內外數家具代表性的DVD光碟片空白片生產廠商，藉由Nero CD-DVD Speed軟體進行燒錄品質的測試，試圖比較不同廠牌、規格和不同的寫入策略環境下，各項燒錄品質指標之差異。以燒錄品質指標為基礎，依據實驗情境設定，持續觀察並記錄DVD光碟片燒錄品質衰退趨勢，直到該片DVD光碟片故障為止。再者，導入迴歸分析，對於燒錄品質測試所得的數據加以分析，針對特定使用習慣，分別建立後續品質衰退現象之監控模式，隨時確保資料儲存上的安全性。

1.2 現有問題

對於DVD光碟片資料儲存壽命，威寶(Verbatim)公司以阿瑞尼亞斯(Arrhenius)加速試驗模式，分別在攝氏70度與80度、溼度85%環境下進行高溫加速實驗，根據實驗結果，該公司宣稱自家所生產的DVD光碟片產品，在攝氏25度環境下，資料可保存至少100年。但此固有可靠度僅代表理想環境下，DVD光碟片之壽命理論值。一般保存環境下，影響DVD光碟片操作可靠度的因素極多。本研究以使用者角度為基礎，從現實面考量個人使用習慣與特定環境下，探討DVD光碟片之保存性差異。

DVD Media檢証場以控制日照、溼度、壓力、煮沸、紫外線……等嚴苛條件下，分別進行耐久性測試，並設定準則將DVD光碟片燒錄品質評等。該實驗中，絕大部分以單一時間點所測得數據為結果，唯日照部份採多個時間點，每二到三天為一回合，依次記錄品質衰退狀態。但最終僅止於各廠牌DVD光碟片最終品質狀態比較，對於燒錄品質衰退趨勢，並無後續比較或分析。本研究以迴歸分析為理論基礎，分析DVD光碟片品質衰退趨勢，針對DVD光碟片保存性建立後續監控模式。

DVD光碟片空白片儲存容量大，單位價格低，為時下主流的光學儲媒之一。但對於燒錄品質的判定，始終限於單一時間點測試數據，無法持續有效判斷資料是否仍安全無虞。對於DVD光碟片整體品質的評價，以及燒錄後資料保存性的掌握，需仰賴長期的持續觀察與追蹤。針對不同衰退趨勢，分別建立適當的監控模式，方能確保在適當的時間點進行備份。

本研究所採用之Nero CD-DVD Speed工具軟體，測試DVD光碟片燒錄結果，會產生PIE、PIF、Jitter…等品質指標。由於Nero CD-DVD Speed軟體測試所得之品質分數僅與PIF最大值有關，但事實上PIE、Jitter…等指標，對於DVD光碟片燒錄品質的評判亦可能存在的影響。故本研究將先以多元迴歸模式，檢定各因子對DVD光碟片故障率影響之顯著程度，進而選定影響因子，分析比較其衰退趨勢，達到持續監控之目的。

1.3 研究方向與架構

本研究以選定若干家DVD光碟片生產廠商為實驗對象，進行實測結果分析與品質監控，以迴歸分析為理論基礎，建立DVD光碟片後續的故障監控模式。研究架構如下所示：

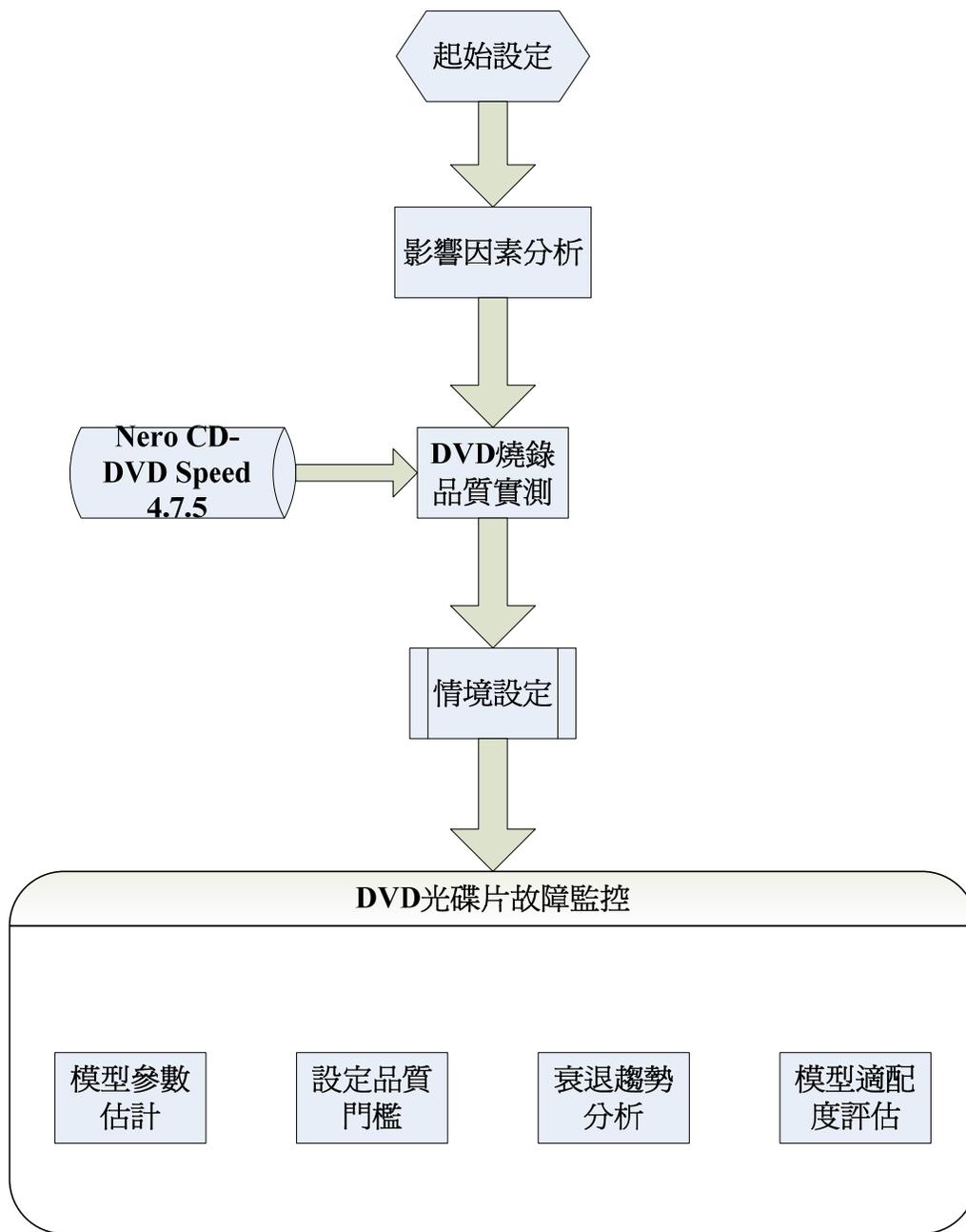


圖 1.2 本研究架構圖

本研究之方向與範圍如下：

1. 建立DVD光碟片燒錄品質衰退趨勢模型
2. 設定品質指標門檻值
3. 特定不同使用情境間之衰退趨勢比較分析

本研究之最終目的，欲達成以下貢獻：

1. 以使用者角度持續監控品質，對DVD光碟片資料保存具穩定掌握；
2. 降低資料遺失風險和儲存成本。

本論文共分五章，各章節之內容安排如下：

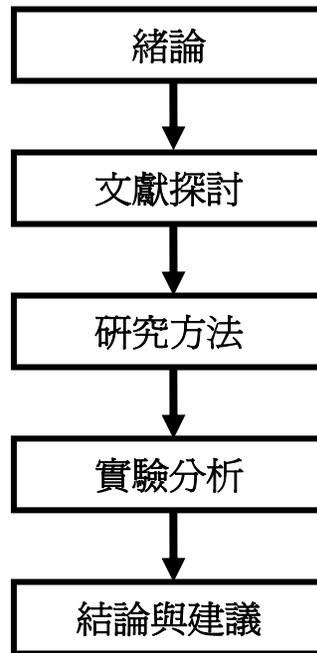


圖1.3 各章節架構圖

第一章：緒論，介紹本文之研究動機與目的。

第二章：主要針對目前市場現況著手，分類與比較不同規格DVD光碟片產品之異同。接著介紹DVD光碟片的資料儲存結構、糾錯機制，以及燒錄品質指標的計算原理。並介紹可靠度工程與迴歸分析相關之基本理論。

第三章：主要為研究方法之介紹。首先導入迴歸模式，建構DVD光碟片可能的品質衰退趨勢模型。後續分析部份，經由燒錄後首次實測後，持續記錄DVD光碟片燒錄品質衰退趨勢，比較衰退趨勢之差異。依據

不同特性之衰退趨勢，執行品質門檻值之設定。其次，擬定實驗範圍與步驟，採浸泡方式為加速因子，以單位時間分段進行實測。

第四章：依據前部分的研究流程，選擇一特定案例實測與演練，模擬個人使用行為設定情境，建立後續品質衰退趨勢模型，設定品質門檻，持續監控DVD光碟片品質。

第五章：結論與建議，對前一章之案例演練所得結果作一總結，並提出未來可行之研究方向與其他可應用之研究方法。

第二章 文獻探討

本章首先介紹目前DVD光碟片市場現況，分類與比較不同用途、規格DVD光碟片的功能及特性。第二節由DVD光碟片糾錯機制為起點，介紹DVD光碟片燒錄品質指標及計算原理，說明燒錄品質判定上所扮演的角色及代表意義。第三節對於DVD光碟片燒錄工作方面，介紹四種常見讀寫策略。最後探討可靠度工程領域中，加速壽命試驗相關處理方式，及其在實務上的應用。

2.1 DVD光碟片市場現況分析

全球光學儲存市場發展的主流，大致可看出已由CD (compact disk)系列產品，進入DVD (digital video disk)系列產品，而以藍光技術為基礎的DVD光碟片的下一代產品HD DVD光碟片也成為世界最先進公司目前積極研發的重點。國際DVD Forum自2001年開始由17家指導委員會成員開始討論HD DVD光碟片規格訂定，2003年5月SONY首先推出Blu-Ray DVD產品，預計還需5~6年將技術成本壓低以便大量生產後，市場才有機會普及。但在HD DVD光碟片產品問市前，仍會有一段時間，是以DVD光碟片產品規格及品質的提升為市場競爭關鍵。

以一片12公分的光碟片而言，CD的儲存容量為650MB，DVD光碟片單面單層的儲存容量為4.7GB，而HD-DVD光碟片單面單層的儲存容量更可能高達20GB左右。隨著多媒體產業的蓬勃發展，加上應用軟體的複雜化及個人資訊需求的快速成長，且對於儲存資料需求亦不斷提升，因而促進光儲存技術的快速發展。DVD光碟片系列產品被視為新世代光儲存產品的主流。DVD光碟片市場因網際網路頻寬發達，消費者下載量、儲存容量等需求的提升而受到重視。

台灣由CD-ROM起步，隨著PC產業的成長，逐步發展光碟機產業。隨著光學讀取、燒錄與儲存技術的進步，消費性多媒體時代已經從商用需求，融入個人及家用市場，形成以數位內容為主的消費趨勢。藉由目前主流的DVD光碟片數位儲存媒體及播放器，讓消費者享有更高級的視聽及娛樂享受，不僅對於流行的追求者有市場，高品質的影音對於一般消費大眾更有很大的吸

引力。更多的儲存容量、更快的讀取速度、更便利的操作介面、更豐富的內容，以及更低廉的消費價格，這種便利的低門檻，促使DVD光碟片成為消費性電子市場獲利的熱門產品。

記錄型DVD光碟片市場的成長，起於2001年日本Matsushita與Pioneer等公司積極推動DVD錄放影機開始後才逐漸加溫。2003年記錄型DVD光碟片成長至7.99億片，估計2004年產量更將倍增至23.03億片。其中，一次寫入型DVD光碟片仍為市場主力，2003年全球產量為6.81億片，2004年達19.14億片，而複寫型DVD光碟片也由2003年1.18億片成長至2004年的3.89億片（資料來源：經濟部技術處，2004）。

一次寫入型DVD光碟片，規格包括DVD-R與DVD+R二種。由於產品毛利尚高，並看好產品未來市場需求，台灣廠商全力擴線，2003年年產量為5.18億片，繼2002年超越日本，至2005年仍為全球產能最大的國家，比重佔75%。複寫型DVD光碟片規格，包括DVD-RW、DVD+RW與DVD-RAM三種，2003年台灣首次超越日本成為產能最大的國家，產量為7,300萬片，佔全球產能62%。若能繼續維持此競爭優勢，則能為台灣創造龐大的商機（資料來源：經濟部技術處-ITIS計劃，2005）。

2.1.1 DVD光碟片產品分類

近年軟體程式複雜化及消費者對影音品質需求不斷提高，儲存容量700MB的CD (compact disk)光碟片已逐漸無法滿足需求，新一代高儲存容量、資料儲存密度提高的DVD (digital video disk) 系列產品因應而生。DVD光碟片產品發展初期即由電影業者與電腦業者共同參與，以消費性電子與電腦資訊產品 (DVD-Video、DVD -Audio、DVD-ROM、DVD±R與DVD±RW等) 同時並進。DVD光碟片製作成本與CD-R/RW差不多，但是技術關鍵在於要精密的讀寫頭，因為DVD光碟片磁軌寬度為0.74微米相較於CD的0.16微米小了兩倍多，因此需要精密的讀寫頭以較短的波長以讀取資料。一般而言，DVD光碟片的相關產品包含了以下數種分類方法：

1. 依用途分類：

- DVD-Video：應用MPEG-2壓縮技術儲存高品質的影像和聲音。
- DVD-Audio：可提供更高品質及長度更長的音樂。
- DVD-ROM：用做儲存電腦資料的媒介可提供比CD更大的儲存空間及更快的讀取速度。

2. 依規格分類：

- DVD-ROM (Read-only)：可重覆讀取，但不可寫入的DVD光碟片。
- DVD+R/DVD-R (Write-once)：僅可寫入一次，寫入前須先定義選擇內容格式(Data or Video)，重覆讀取但不可重覆寫入。其寫入倍速有4X、8X、12X、16X...等。
- DVD+RW/DVD-RW (ReWritable)：可重覆寫入及讀取。其寫入倍速有1X、2.4X、4X、6X、8X...等。

目前市面上的第三代DVD光碟機其讀取速度平均一倍速為1350KB/Sec，也就是1.35MB/Sec，以第三代DVD-ROM讀取速度都在四倍以上來算，四倍速就有5.4MB/Sec，目前市面上則以16倍速機種為主流。如此高速的速度與一般光碟機CD-ROM平均一倍速的150KB/Sec相差約九倍，DVD光碟片讀取速度確實快了許多。

3. 依結構分類：

- 12cm: 單面單層(DVD-5)、單面雙層(DVD-9)、雙面單層(DVD-10)、雙面雙層(DVD-18)。

除上述直徑12cm的規格外，還有一種迷你型DVD光碟片，稱為Single DVD，直徑8cm，也有單面/雙面及單層/雙層之設計。

- 8cm: 單面單層(DVD-1)、單面雙層(DVD-2)、雙面單層(DVD-3)、雙面雙層(DVD-4)。

4. 依廠商分類：

- 日系(MIJ)：太陽誘電(Taiyo Yuden)、三菱(Mitsubishi Kagaku Media)、理光(Ricoh)、TDK、Maxell, ...
- 台製(MIT)：銖德、精碟、中環、國碩、浩瀚、達信、南亞、遠茂...等。

2.1.2 DVD光碟片產品比較

就規格上而言，主要可分DVD+R (plus)和DVD-R (minus)兩大陣營。DVD-R是由Pioneer主導發展的一次寫入型DVD光碟片規格，較早發展，也較早讓DVD Forum接受。而DVD+R是後期由SONY、PHILIPS、RICOH以及HP共同制定的規格，由於不受DVD Forum認可，所以自行建立其DVD Alliance聯盟。在2002年的DVD燒錄機市場上，DVD+R/RW與DVD-R/RW一直各據一方，後來因為“-”規格的技術瓶頸仍無法突破，市場逐漸傾向了由PHILIPS研發的“+”規格。

之後陸續有廠商推出了結合“+”和“-”的燒錄機種，亦所謂同時支援DVD±R/RW的DUAL規格。故目前為止，市售的DVD燒錄機不論DVD+R或只是DVD光碟片-R都有支援，它們在讀取DVD光碟片規格上，都是通行的。故兩者剩下之區別，僅在於寫入(定址)方式的差別：

DVD-R的wobble*頻率為1406 kHz，定址方式是直接在凸軌處預刻定址訊坑(預現先在凹槽之間的坑洞)；而DVD+R的wobble頻率為8174 kHz，定址是在凹軌處預刻定址訊坑，以wobble的相位調變來達成。

此外，DVD+R的訊號辨識率比DVD-R來得好，且製造過程的金屬模板較DVD-R來得不複雜，符合了DVD+R聯盟聲稱的「易高倍寫」、「易生產製造」…等好處。而DVD-R的定址方式訊號辨識度較差，當倍速拉高時，會有定址不易的情形，故DVD-R要高倍燒錄困難度比DVD+R稍高。

以保存性角度而言，無關DVD+R或DVD-R，其決定關鍵是「染料」等級差異。同樣的染料可使用在DVD+R，也可用在DVD-R上。只要染料一樣，則DVD光碟片的保存性即相差不大。總言之，DVD+R的發展性比較好，但DVD-R的相容性跟價錢比較占優勢。

至於不同結構下，DVD光碟片規格與容量之差異如表2.1和2.2所示：

* wobble：引導軌會搖擺或抖動之現象。

表2.1 DVD光碟片規格與容量之差異 (12cm結構)

光碟片類型	DVD-5	DVD-9	DVD-10	DVD-18
層數面數	單面單層	單面雙層	雙面單層	雙面雙層
儲存容量	4.7GB	8.5GB	9.4GB	17GB
影片長度	135min	240min	270min	480min

表2.2 DVD光碟片規格與容量之差異 (8cm結構)

光碟片類型	DVD-1	DVD-2	DVD-3	DVD-4
層數面數	單面單層	單面雙層	雙面單層	雙面雙層
儲存容量	1.4GB	2.7GB	2.9GB	5.3GB

目前市面流通之記錄型DVD光碟片，主體上可分為日系片(MIJ)與台製片(MIT)兩大貨源。日系片無論在保存性、相容性都有不錯的口碑和極高的評價，品管方面十分嚴格，用料(染料、反射面鍍膜或塑膠基層)品質穩定，筒裝單片價格約NT.25，盒裝單片約NT.50~70，但市面上幾乎難以直接買到，通常須藉由上網參加團購方能購得。而台製片方面，品質穩定度較低，仿code充斥，染料衰退迅速，需仰賴定期重複備分，以確保資料安全無虞。而散裝單片價格大多在NT.15內就可購得，其他雜牌片則在NT.6~8間，幾乎與CD-R價格相仿。

2.2 DVD光碟片燒錄品質指標

圖2.1為一隨機抽樣DVD+R之燒錄品質測試結果：

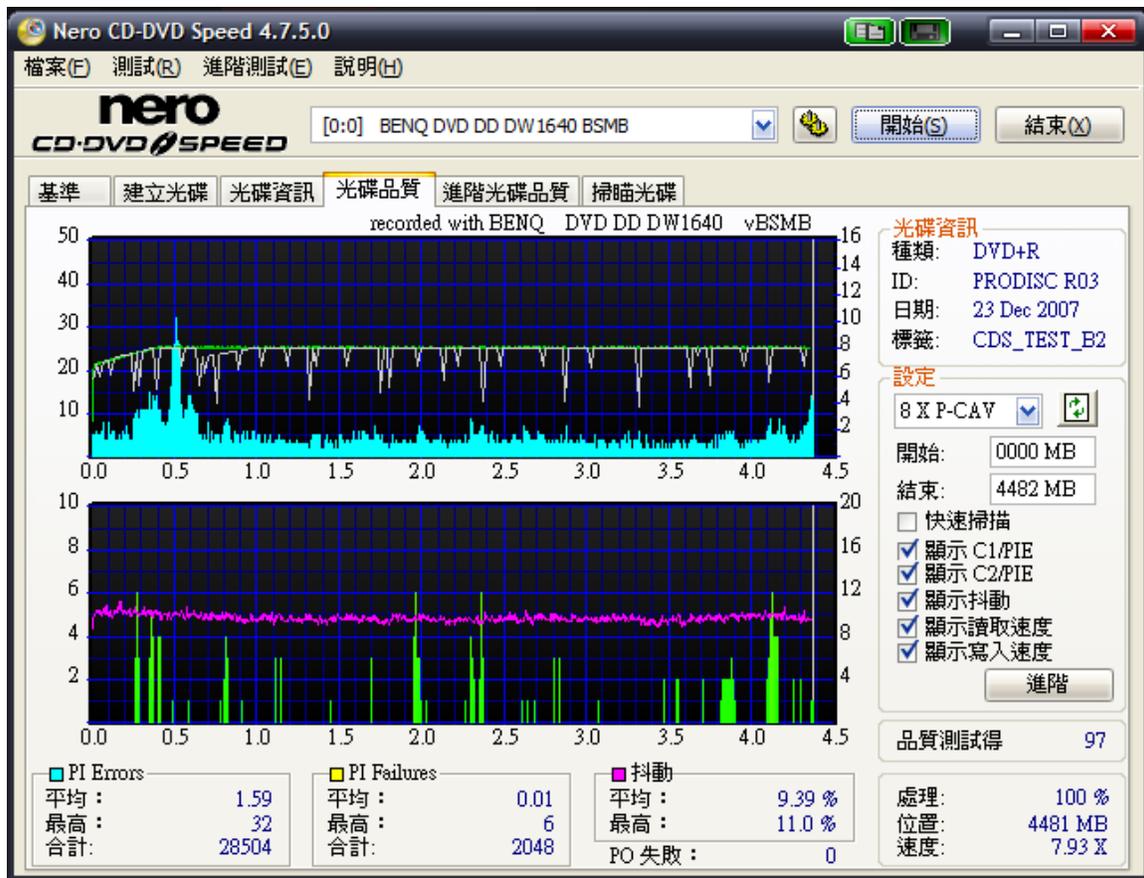


圖2.1 DVD光碟片燒錄品質測試結果

如上圖，根據施威銘研究室（民93）所述，PIE (Parity Inner Error，內部奇偶校驗碼錯誤率) 和PIF (Parity Inner Failure，內部奇偶校驗碼失敗率) 是判斷DVD光碟片燒錄品質的主要依據，這兩者代表DVD光碟片光碟上的資料有可能被修正的錯誤，會直接影響DVD光碟片讀取的效能表現，其意義相當於CD-R光碟片品質測試中所出現的C1 Error (C1錯誤率)。

在DVD光碟片上的儲存區段中包含了對應原始資料的糾錯碼 (Error Correct Code, ECC)，DVD光碟片的任何一個資料區塊 (Block) 中均包含原始資料與PI (Parity Inner，內部奇偶校驗碼)、PO (Parity Outer，外部奇偶校驗碼)。

每個Block的每個列上，有16 Bytes的PO，而每個行上有10 Bytes的PI，也就是說，一個Block有208(列) × 182(行)，其儲存結構如圖2.2所示。藉由ECC可以檢測出Block中哪裡有錯誤，並由每台讀取機各自的糾錯能力，試圖加以修正。



圖2.2 DVD光碟片資料儲存結構

關於DVD光碟片的糾錯機制係指PI及PO兩種，分述如下：

第一層糾錯被稱為PI糾錯機制，出現1 Byte錯誤時為1個PI Error (PIE)。當ECC Block的一行中出現超過5 Bytes的錯誤時，就變成PI-uncorrectable errors (不可修正的PI錯誤)，為一個PI Failure (PIF)。當有PIF出現時，PO糾錯機制就啟動。

第二層糾錯被稱為PO糾錯機制，理論上可處理4 Bytes錯誤，但不全然代表超過4 Bytes標準便無法被修正。當PO仍不能修正時，就變成POF (Parity Outer Fails)，這代表此區段的資料可能無法正確讀出(類似CD-R品質偵測的C2 Error)，基本上若測試結果出現POF，是不被允許的，換言之，該片DVD光碟片的某部份資料已經徹底損毀，且無法藉由任何糾錯機制來修正。

根據上述原理可知，PIE、PIF兩數值越低，皆表示品質績效越高。根據Plextor公司的測試標準，燒錄品質良好的DVD光碟片，其PIE平均值應該在20

以下，POF則為0 (8個ECC Block)。根據歐洲電腦製造協會 (European Computer Manufacturers' Association, ECMA)的規定，8個ECC Block的PIE之和不得超過280 Bytes，1個ECC Block的PIF之和不得超過4 Bytes，亦即8個ECC Block的PIF之和不得超過32 Bytes。目前支援PIE、PIF偵測，且較具參考價值的機種如：BenQ、LiteOn、Plextor...等廠牌的DVD燒錄機。

除PIE、PIF外，Jitter (抖動值) 為另一項關鍵性的燒錄品質指標，它代表寫入的資料週期與標準資料週期之間的誤差。DVD光碟片在燒錄的過程中，一個取樣點包含振幅 (RF/HF) 和時間這兩項資料，而Jitter造成的振幅，沒有在準確的時間呈現出來，使得波型扭曲。當讀片機器轉速不穩定時，每秒讀出的資料數量就有誤差，電路工作時脈就受到影響，電路工作時間所決定的各個取樣點，其出現時間與實際的時間就產生微量誤差。而當Jitter的誤差超過硬體判斷標準時，會導致資料讀取錯誤。通常而言，PIE、PIF和Jitter有一定程度的正相關。比如燒錄出來的DVD±R，PIE和PIF值皆在理想範圍內，但因Jitter過高，造成資料讀取時仍有錯誤情況發生。

茲將DVD光碟片燒錄品質指標統整歸納如下表：

表2.3 DVD光碟片燒錄品質指標

品質指標類型	計算原理	實質意義
PI Error (PIE)	ECC Block 的一行中出現 1 Byte 錯誤時為一個 PIE	可修正的錯誤，由 PI 修正
PI Failure (PIF)	一行中出現超過 5 Bytes 的錯誤時，為一個 PIF	不可修正的 PI 錯誤，由 PO 來修正
PO Failure (POF)	PO 仍不能修正錯誤時，即為一個 POF	出現 POF 值，某區段的資料可能無法正確讀出
Jitter (抖動值)	寫入的資料週期與標準資料週期之間的誤差率	代表一張碟片品質穩定程度

同理，Jitter值越低，代表品質績效越高。DVD Forum對於DVD-ROM/DVD-R/DVD-RW/DVD-RAM的品質標準，建議Jitter值應在8%之內；DVD Alliance對於DVD+R/+RW (以1X的讀取倍速測試) 的品質標準，建議Jitter值應

在9%之內；CDRinfo公司建議在使用BenQ-DW1620的測試環境下，Jitter值在12%以下為品質標準。美國國會圖書館 (The Library of Congress) 針對壓片式CD保存性做過測試，發現首先影響到CD保存性的是Jitter而不是C1/C2 Error，故由此顯示以Jitter值為燒錄品質指標已日漸受到重視。

此外，TE (Tracking Error)是雷射讀寫頭在空白片的循軌錯誤率，而FE (Focus Error)是雷射讀取頭在空白片的聚焦錯誤率。兩者數值均可由將資料燒錄至DVD光碟片前測得，如圖2.3與圖2.4所示：



圖2.3 TE/FE測試圖(4X)

圖2.4 TF/FE測試圖(8X)

對於一隨機抽樣的DVD+R空白片，進行資料燒錄動作之前，所測得之TE/FE值愈小，意指該片DVD光碟片變動程度越小，光學讀寫頭越容易以正確的角度，把正確的雷射功率打在空片軌道上，進行資料寫入。圖2.3是以4X進行燒錄前測試，結果顯示TE/FE皆在安全範圍內，系統建議可採取4X寫入策略進行資料燒錄；而圖2.4為該DVD光碟片以8X進行燒錄前測試，結果顯示TE/FE

已超出安全範圍，程式不建議對該DVD光碟片採取8X寫入倍速進行資料燒錄。

一般而言，燒錄機雖有能力將TE/FE調整過來，但任一燒錄機的調整力都不同，越高速寫入，燒錄機的調整能力越弱，所以TE/FE值偏高的空片建議採取低倍速寫入策略。再者，TE/FE值偏高的空片，燒錄出來的品質指標 (PIE和PIF) 也會隨之偏高。目前可偵測燒錄前TE/FE值的DVD燒錄機種有BenQ 16xx系列 (搭配自家軟體QScan或QSuite)，以及Plextor 71x系列 (搭配自家軟體PlexTool)。

2.3 DVD光碟片讀寫策略概述

對DVD光碟片的燒錄動作而言，設定燒錄機的讀寫策略是影響燒錄品質的關鍵性因素。梁仁楷、吳權威 (民92) 歸納介紹一般常見有CAV、CLV、P-CAV和Z-CLV四種讀寫模式，分述如下：

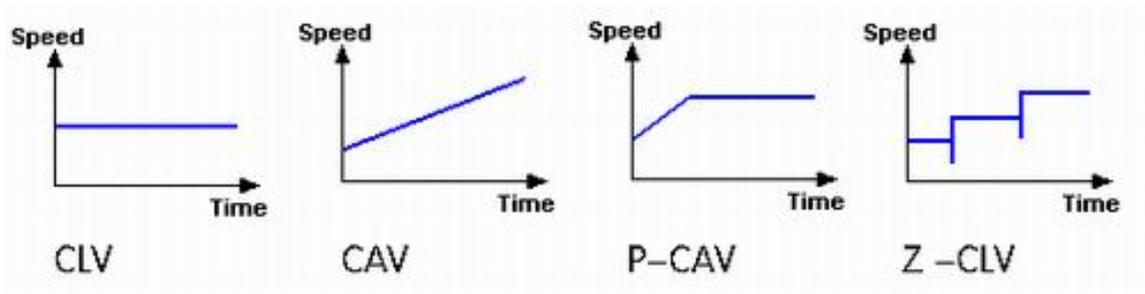


圖2.5 DVD光碟片讀寫策略差異

- **CLV (Constant Linear Velocity) 恆定線速度**

CLV是早期光碟機的讀取方式。由於光碟片和硬碟不同，光碟片上每個部分的密度都是一樣的，在同樣旋轉一圈的情況下，圓周較長的外圈在讀取資料時會比內圈快，所謂的恆定線速度是指從內到外都是同樣的讀取速度，而為了保持一開始內圈的速度，機器會將光碟的轉速調高，而到外圈時則會降低光碟片的轉速來配合讀取速度。

- **CAV (Constant Angular Velocity) 恆定角速度**

但是CLV因為不停的更改機器的轉速，會對機器的壽命造成一定的影響，而且光碟轉速也不可能無限制的加快，為了這兩個原因，後來出現了將光碟轉速固定的讀取方式，也就是CAV，而因為光碟轉速固定，所以讀取速度會從內圈到外圈慢慢變快。

- **P-CAV (Partial Constant Angular Velocity) 局部恆定角速度**

P-CAV是CLV和CAV的結合，一開始在內圈時採用CAV，讀取速度會慢慢上升，等達到最大讀取速度時就改成CLV，此時讀取速度固定而轉速則會慢慢下降，而因為P-CAV比CAV更快達到最高速度，所以理論上平均速度會比較快。

- **Z-CLV (Zoned Constant Linear Velocity) 區域恆定線速度**

有點像是改良的CLV，為了避免CLV所需要的高轉速，Z-CLV是將整張光碟由內到外分為好幾個區域，在同一個區域內燒錄的速度是恆定(CLV)，而可想而知的是內圈區域的速度一定比較慢，而越到外面會越快，現在大部分的高速燒錄機都採用這種方式，而何時可達到最高速的區域就變成平均速度的關鍵。

2.4 加速壽命試驗概述

關於可靠度之定義，一般根據美國國防部成立的電子裝備可靠度顧問小組 (Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment, AGREE; 1952) 針對電子設備可靠度實驗後，所作的結論指出：「可靠度是指一產品(系統或元件) 在期望的壽命時間內，與規格制定的使用環境與條件下，可正常運作其功能，達成工作目標而不產生失效或故障的機率。」而對於連續使用型的產品而言，產品可靠度即為產品壽命，尤以電子產品最具代表性。

當欲研究的對象產品實際壽命很長時，若在正常環境條件下實驗與估計，必然需耗費極大量的時間和成本，很可能因此錯失產品競爭優勢。為了有效節省時間、成本與人力，同時確保實驗結果精確度，須使用加速壽命試驗 (Accelerated Life Testing, ALT)，在更嚴苛的環境條件進行實驗，例如：改變溫度變化範圍、增加使用頻率...等。控制嚴苛環境條件，促使產品加速衰

退的因素統稱為「加速因子 (Accelerated Factor)」，表示正常使用環境與加速試驗環境下產品壽命之比值，通常採用溫度、溼度、光照、衝擊、壓力、震盪或其他應力(stress) 條件來執行，以達成壽命加速，短時間內掌握研究對象衰退趨勢之目的。

使用加速壽命試驗的先決條件，須先確認加速試驗環境與正常使用環境下，產品的失效過程與衰退結果一致。而關於故障率隨時間變化的電子產品，常被用來衡量可靠度的指標有「平均故障發生時間」與「平均故障間隔時間」，兩種統計量計算方法分別如下：

- 平均故障發生時間 (Mean Time To Failure, MTTF)

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

其中 $R(t)$ 為可靠度函數，受時間 t 變化所影響。MTTF即為產品之平均壽命，適用於不可修復型的產品，持續試驗到產品發生故障為止。唯對於可修復型產品而言，則代表其首次故障發生的試驗時間。

- 平均故障間隔時間 (Mean Time Between Failure, MTBF)

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \frac{T}{r}$$

其中， T 為產品總試驗時間， r 為產品試驗時間內發生的總故障個數。MTBF僅適用於可修復型產品，可由收集各次故障之數據，計算得產品每次故障的平均發生時間。它亦等同於產品之平均壽命，且在故障率為常數之假設下，產品可靠度函數可表示成 $R(t) = e^{-t/MTBF} = e^{-\lambda t}$ ，式中的 λ 即為該產品之故障率。

2.4.1 加速試驗數據處理方式

所謂加速試驗，是指鑒於研究時間限制，利用極端環境加速產品老化現象，反向推算出研究對象實際壽命的試驗方法。然而，基於成本考量，往往需選擇負擔最小的處理方式，避免過於影響現況運作。柯輝耀 (民 94) 對於不同的故障型態與失效模式，歸納三種加速試驗時間(T) 常用的計算方式如下：

1. 完整數據 (Complete Data)

$$T = \sum_{i=1}^n t_i$$

2. 單階時間檢別型數據 (Singly Type I Censored Data)

$$T = \sum_{i=1}^r t_i + (n-r) \cdot t_c$$

3. 單階失效檢別型數據 (Singly Type II Censored Data)

$$T = \sum_{i=1}^r t_i + (n-r) \cdot t_r$$

其中， n 為試驗樣本數， r 為失效個數， t_i 為第 i 個失效時間， t_c 則為預先規劃之試驗終止時間。

2.4.2 分配配適度檢定

得知原始數據的近似分配，有助於迅速找到模型估計參數，增加計算上之便利性。以統計的次數分配著手，藉由繪製直方圖，可直接由圖型分布狀況，觀察資料呈現的機率分布。一般而言，數據越多可用的組數越多，但組數劃分並無特定規律可循。關於組數決定，可依據 King (1981) 的經驗法則，由下列公式計算而得：

$$N_c = 1 + 3.3 \cdot \log n$$

其中， n 大表樣本數，而 N_c 則為建議劃分的組數。因為誤差度為 $1/\sqrt{n}$ ，由此亦可知，樣本數越大，可使統計結果誤差越小。

此外，於理論實證面而言，可以卡方適合度檢定，來驗證原始數據是否服從假設分配。其基本假設為將樣本數分為 N_c 個區間，對於每個區間，以 O_i 和 E_i 分別表示第 i 個區間的觀察失效數與期望失效數。並定義 χ^2 為

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N_c} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

此統計量近似具有 ν 個自由度的卡方分配，其中 $\nu = N_c - k - 1$ (k 代表利用測試數據所計算的失效分布模型之參數個數)。在顯著水準為 α 的情況下，若 $\chi^2 > \chi_\alpha^2(\nu)$ ，則否定虛無假設；反之，若 $\chi^2 < \chi_\alpha^2(\nu)$ ，則不否定虛無假設，可接受服從原先假定原始數據所服從的分配。

第三章 研究方法

本研究為了探討 DVD 光碟片發生資料無法讀取之故障情況，以持續監控品質衰退趨勢為目的，導入迴歸分析，選擇對燒錄品質衰退趨勢具有影響效應的指標探討之，並對於 DVD 光碟片的衰退趨勢分別建立迴歸模式，進而比較不同廠牌或使用行為下，其燒錄品質衰退趨勢之差異。最後，根據實驗分析結果，在單因素結構下，對於選擇的品質指標設定門檻值。進行流程如下：

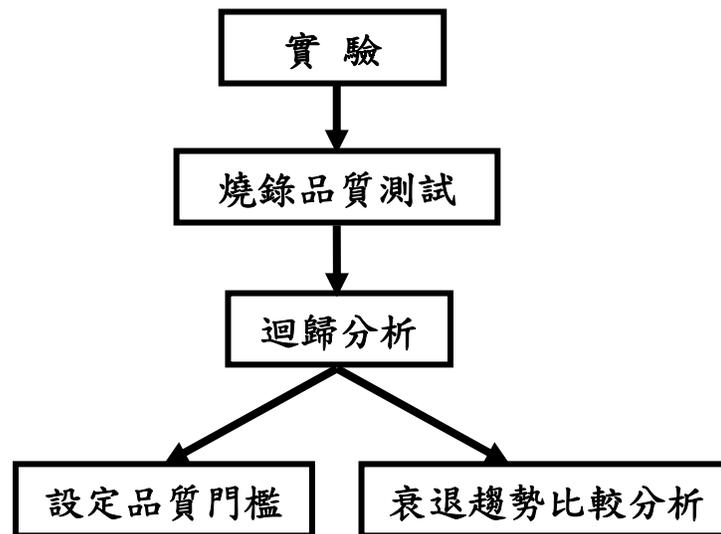


圖3.1 DVD光碟片故障監控流程

DVD 光碟片故障監控流程如圖 3.1 所示，首先經由實驗設計，模擬若干種特定使用情境，再根據 DVD 光碟片燒錄品質測試結果，對於回合數，以及 PIE/PIF/Jitter...等品質指標，分別記錄數據，描繪出各片樣本的衰退趨勢。

其次，以迴歸分析結果，從模式中選擇影響燒錄品質的指標，針對多種不同的衰退趨勢，分別建立迴歸模型，對 DVD 光碟片發生故障前可能的衰退趨勢持續有效地監控。

最後根據迴歸分析結果，配合個人使用需求，從模式中來決定個別指標之品質門檻，並對於不同測試環境或個人使用行為而造成不同的衰退趨勢，

進行後續相對比較分析。

3.1 迴歸分析流程

為達到 DVD 故障監控之目的，本研究採用迴歸方法，對於燒錄品質衰退趨勢進行分析，評估何種狀況適用何種迴歸模式解釋。一般迴歸分析流程如下：



圖3.2 迴歸分析流程

首先實驗收集原始資料，完成數據記錄，將所有可能影響燒錄品質衰退趨勢的指標，導入多元迴歸模式。再經由模型適合度判定、共線性評估、殘差圖分析...等過程，選擇品質指標進行後續探討。再以非線性迴歸建立最適模型，進行 DVD 光碟片燒錄品質衰退趨勢之監控與後續統計推論。茲列舉幾種常用的迴歸模式，分述於後。

多元迴歸模式 (multiple regression model) 又稱複迴歸模式，是屬於簡單線性迴歸模式之推廣，可探討多種自變項間對於依變項之影響顯著程度。

為了探討各種影響故障率的可能因子，以「故障率」作為依變項，利用多筆重複實驗樣本，計算各取樣點 DVD 光碟片發生故障之比率。影響變項部分，除了前一章所介紹 DVD 光碟片經由軟體測試而可得之各項燒錄品質指標外，本研究另探討對於不同廠牌間可能存在之影響，以及讀取時間、讀取頻率等個人使用習慣相關的影響因子，均納入後續分析範圍。

關於上述各項可能影響 DVD 光碟片燒錄品質衰退趨勢的影響因素，對故障率影響效應的初始模型之建構，可藉由一多元迴歸模式表示如下：

$$\begin{aligned} \text{故障率(\%)} = & b_0 + b_1(\text{Time}) + b_2(\text{PIE}) + b_3(\text{PIF}) + b_4(\text{Jitter}) \\ & + b_5(\text{廠牌}) + b_6(\text{讀取時間}) + b_7(\text{讀取頻率}) + \dots \end{aligned}$$

對於影響程度達到顯著的自變項因子，若對依變項存在獨立影響，可由個別因素進一步建模。以下為探討單因素結構時，幾種常用型態的非線性迴歸模式：

- 二次多項式： $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$
- 三次多項式： $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3$
- 指數型態： $Y = ae^{bX}$ 或 $Y = ae^{(b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots)}$
- 漸進線型態： $Y = b_0 + b_1e^{b_2X}$ 或 $Y = b_0 - (b_1(b_2^X))$
- 密度型態： $Y = (b_0 + b_1X)^{-1/b_2}$ 或 $Y = (b_0 + b_1X + b_2X^2)^{-1}$
- 高斯(Gauss)型態： $Y = b_0(1 - b_2 \exp\{-b_1X^2\})$
- 對數羅吉斯(Logistic)型態： $Y = b_0 - \ln(1 + b_1e^{-b_2X})$
- 二次方比： $Y = (b_0 + b_1X + b_2X^2)/(b_3X^2)$
- 三次方比： $Y = (b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3)/(b_4X^3)$
- 韋伯(Weibull)型態： $Y = b_0 - b_2 \exp\{-b_3X^{b_4}\}$

此外，多元判定係數 (R-Square) 相當於總變異中可被解釋的百分比比例，亦可作為模式適配度 (Goodness of Fit) 之指標。唯須注意的是，凡考量的影響因素增加，均可能造成 R-Square 假性膨脹，因此，若影響因素個數很多，則視情況以調整後的判定係數 (Adjusted R-Square) 取代原本的判定係數，以維持模式之穩健度。

導入迴歸模式後，皆可藉由 R-Square (或 Adjusted R-Square)，找出適配度較佳的迴歸模式，以期對 DVD 光碟片燒錄品質可能的衰退趨勢進行合理解釋。

3.2 燒錄品質後續分析

本研究主要採用迴歸模式來分析 DVD 光碟片燒錄品質衰退現象，分別探討不同廠牌或特定使用習慣下，DVD 光碟片燒錄品質之衰退趨勢。首先經由實驗及測試，記錄各項燒錄品質指標數據，根據迴歸分析後結果，對於所選擇的指標個別設定品質門檻，作為 DVD 光碟片故障前的判別依據。其次，對於迴歸模式所建構的衰退趨勢，持續監測品質，更有效達成故障監控目的，掌握備份的時間點，以期降低儲存成本，並避免資料損失風險。

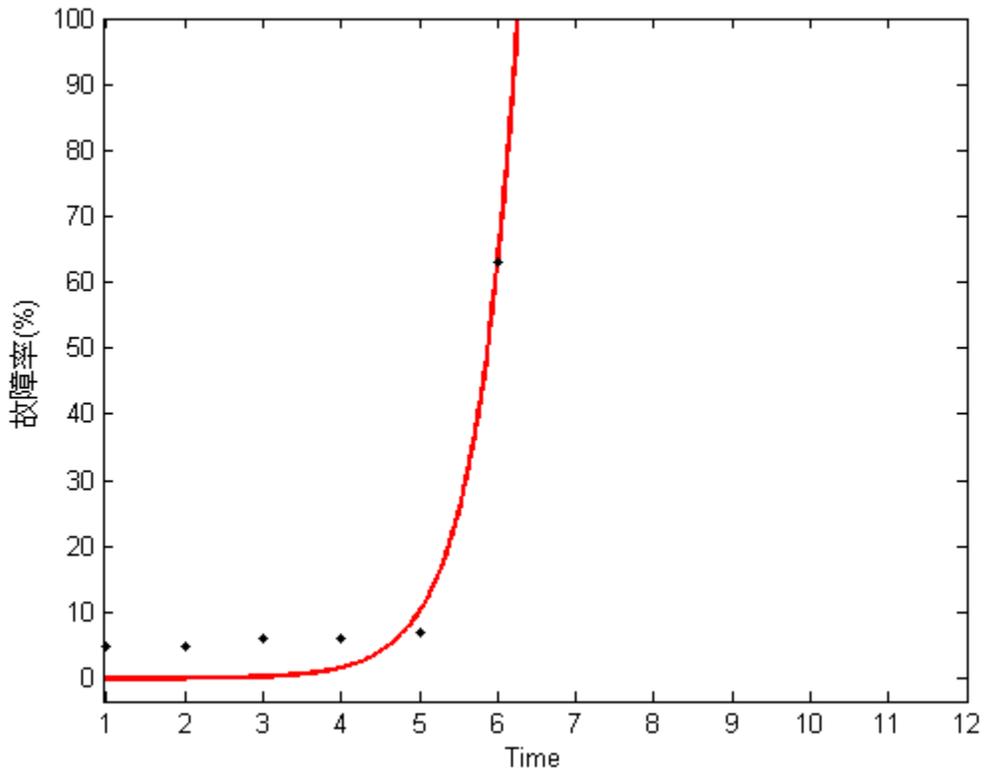
此外，因為 DVD 光碟片的燒錄品質衰退趨勢，對於保存性與故障監控存在關鍵性影響，一片 DVD 光碟片的整體品質，亦可由持續監控它的衰退趨勢來評估。是故關於後續分析部份，本研究方法分為「迴歸模式導入」、「衰退趨勢比較」，以及「設定品質門檻」三部份進行。而詳細內容及實際做法，係先探討其因素結構，再由單因素結構下執行 DVD 光碟片品質門檻之設定，實際做法分述於後。

3.2.1 單因素結構

本研究利用重複實驗，控制讀取時間與讀取頻率，依各回合監控品質指標，記錄故障筆數佔總樣本數之百分比，計算各取樣點之累積故障率作為依變項。此外，為了便於後續品質門檻之設定，故從多項影響因子中選擇若干因子，分別在單因素結構下建立迴歸模式具有必要性。

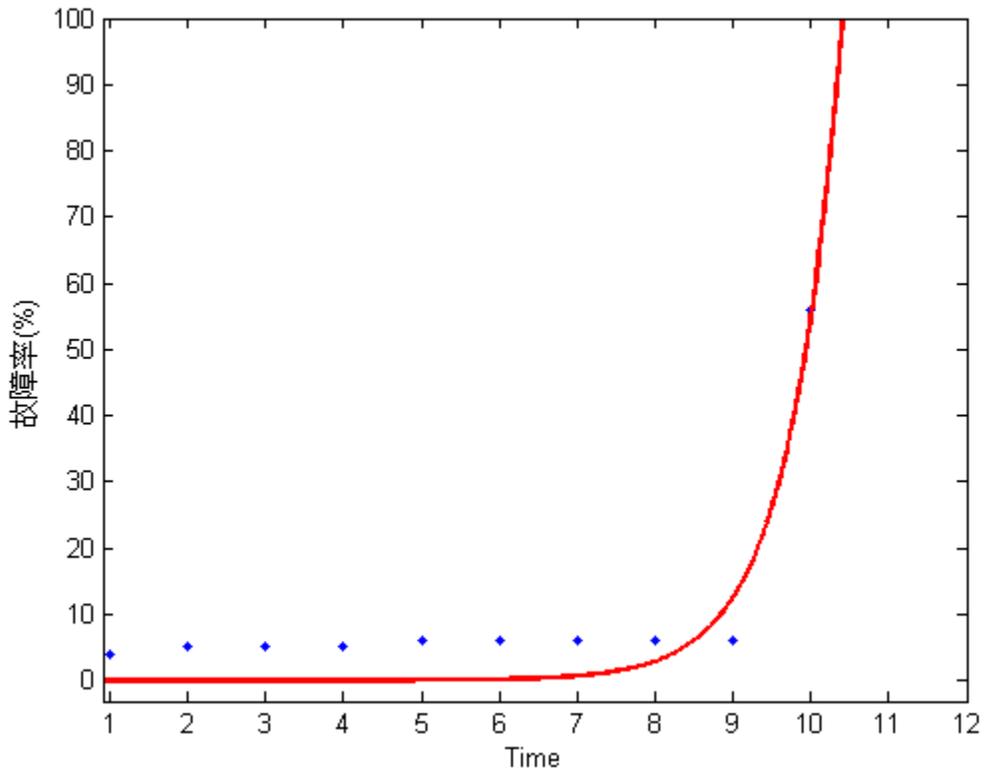
由於複雜的環境因素（如：廠牌、燒錄品質、個人使用行為...等）皆可能影響 DVD 光碟片的保存性。因此，先於多元迴歸模式中，分析適合獨立探討的影響因子，考量以下幾種可能的衰退趨勢，以單位時間(Time)對故障率(%)為例，各建構適用的非線性迴歸模式，分述如下：

- 初期陡升型



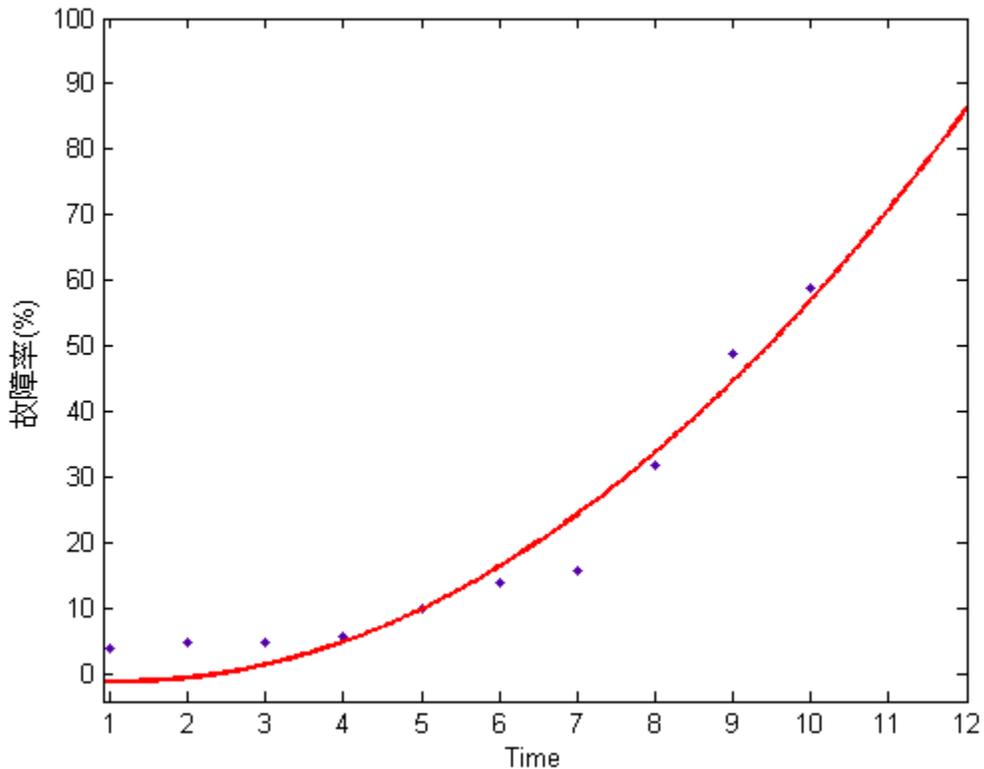
此類DVD光碟片品質差，壽命短，容易發生早夭。由於保存性差，且衰退速率極快，必須增加定時備份資料的頻率。故障前，難以由燒錄品質錯誤率指標測試數據判斷出預警訊息，僅能以保存時間來監控。對於此類極端的衰退趨勢，建議使用指數型態的迴歸模式，具有較佳的解釋效果。

- 末期陡升型



此類DVD光碟片衰退趨勢與前一類相較，僅在壽命上存在差異。有很長的一段平穩的潛伏期，保存到末期時，錯誤率突然爆增。整體而言，保存性雖比早夭型長，但故障前的燒錄品質錯誤率指標依舊呈驟升現象，幾乎無法從數據上判別出品質警示訊息。同理，對於衰退速率極快的情況，建議使用指數型態的迴歸模式，具有較佳的解釋效果。

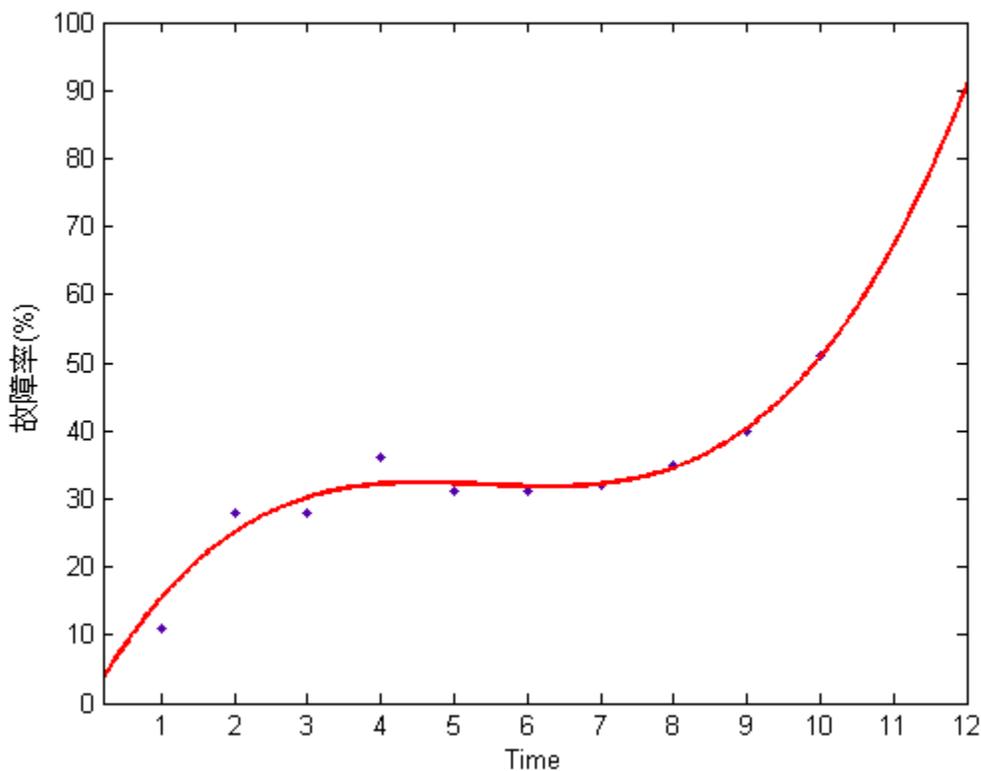
- 遞升型



此類DVD光碟片為較理想的衰退趨勢，故障前，燒錄品質錯誤率會有稍微升高的現象，可經由品質指標測試數據來監控，在預警上也比較容易作準確判斷。衰退速率越接近末期會越快，但跟前兩類末期驟升的極端情況相較，屬於較平緩的遞升，建議使用二次型態的迴歸模式。

唯須注意二次曲線的最小值前端，若有充分理由解釋迴歸線會通過原點，則可令常數項為0，亦即省略二次迴歸模式的截距項。

● 特殊型



此類DVD光碟片為較特殊的衰退趨勢，其焦點在於衰退期間，燒錄品質指標有回穩的現象。理論上而言，錯誤率只會遞增，不可能降低或自動恢復。發生此現象的可能原因，除了DVD光碟片本身品質穩定度不佳、染料塗佈不均勻外，亦可能因測試平台差異，或人為操作上而造成無規律可循的隨機誤差。

一般而言，雖然誤差幅度通常不大，但仍建議同一DVD光碟片，盡可能於單一環境下進行燒錄品質測試，以排除環境因素，確保能有效監控品質衰退趨勢。而對於此類DVD光碟片，建議以三次型態的迴歸模式來解釋。

3.2.2 多因素結構

經由多元迴歸分析過程，可逐步檢測出多項因子對於 DVD 光碟片故障率影響之顯著性，以及各項影響因子間之相關程度。茲以燒錄品質指標(PIF)和保存時間(Time)為例，可藉由三維空間繪圖，觀察兩因子同時對 DVD 光碟片故障率影響之趨勢，如圖 3.3 所示：

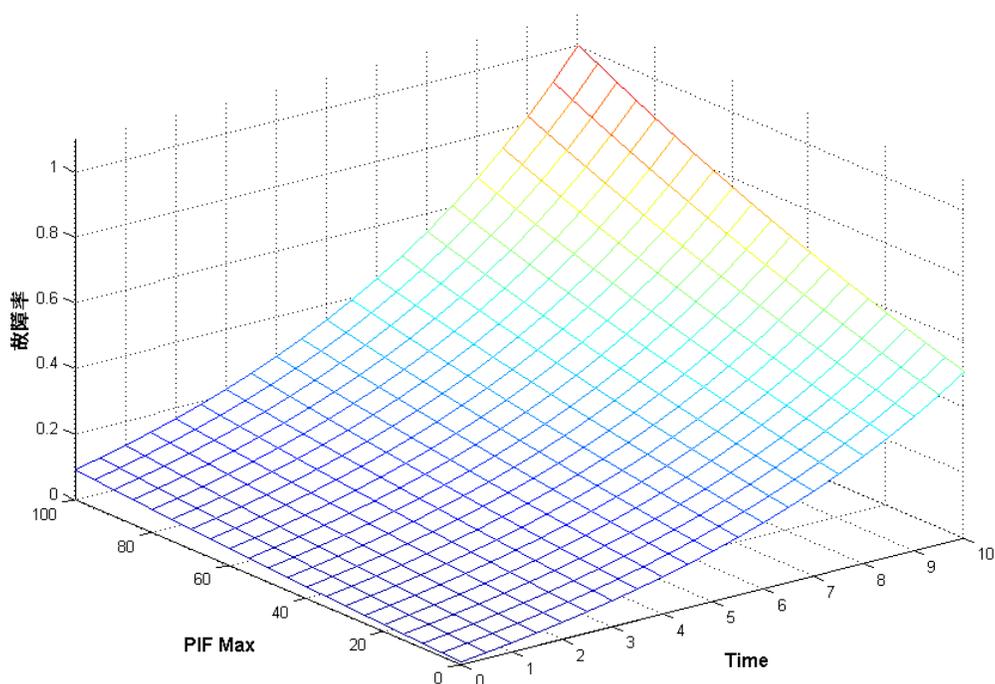


圖3.3 多因素結構下對故障率之影響

3.2.3 衰退趨勢比較

鑒於影響 DVD 光碟片燒錄品質因素錯綜而複雜，即便建立迴歸模式，亦難保在不同測試環境下絕對準確。本研究考量廠牌與個人使用行為（讀取頻率、讀取時間）兩種影響保存性之因素，控制因子水準，觀察同一測試環境、數種不同處理下，燒錄品質衰退趨勢之差異，並且利用統計學方法中適用於小樣本的 t 檢

定(student t-test)，就初期、中期、長期三階段，相對比較衰退趨勢差異之顯著程度。

3.3 設定品質門檻

為監控 DVD 光碟片衰退趨勢，須選擇影響指標個別設定品質門檻，以便在 DVD 光碟片故障前，由品質測試數據預先獲得警示訊息。

根據前一章 DVD 光碟片燒錄品質指標之原理，POF 值為判定一片 DVD 光碟片故障與否的直接指標，經燒錄品質測試後，若出現 POF 值，則顯示該 DVD 光碟片的某些資料儲存區塊，已存在無法修復的錯誤。對於一 DVD 光碟片，0 代表未故障，1 則代表發生故障。但由於依變項是屬於集合{0, 1}的二元類別變數，無法直接使用迴歸模式進行分析。

為解決上述問題，故以連續變數「故障率(%)」作為依變項，取代二元類別變數 POF，配合多元迴歸模式中所選擇的影響燒錄品質之指標為自變項，建立迴歸模式如下：

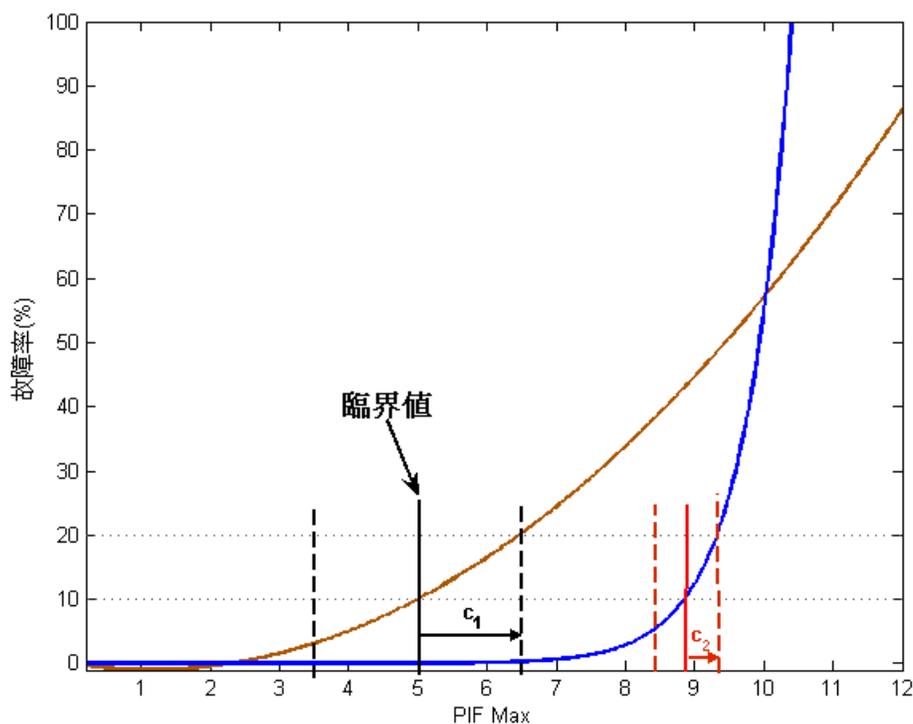


圖3.4 品質門檻設定示意圖

圖 3.4 是以 PIF(Max)值對故障率(%)之關係，以二次型態與指數型態建立之迴歸模式為例，分別描述遞升與陡升的 DVD 光碟片燒錄品質衰退趨勢。藉由觀察衰退趨勢圖，使用者可依個人對故障風險接受度與容忍寬度及來設定品質門檻。

假設使用者可接受 10%的 DVD 光碟片故障率，與 10%的容忍度。對於遞升型的衰退趨勢而言，其臨界值設為故障率 10%所對應的 PIF 值為 5，設為中度預警值；以此值為中心，往後推移 10%容忍度，得到故障率 20%所對應的 PIF 值為 6 到 7 之間，設為高度預警值；再由高度與中度預警兩者之差距得到 c_1 之容忍寬度，往前推移 c_1 ，可得 PIF 值為 3 到 4 之間，設為初步預警值。

同理，對於陡升型的衰退趨勢而言，故障率 10%所對應的 PIF 值趨近於 9，設為中度預警值；以此值為中心，往後推移 10%容忍度，得故障率 20%所對應的 PIF 值為 9 到 10 間；再由 c_2 容忍寬度往前推移得 PIF 值在 8 到 9 間，設為初步預警。

唯須注意的是，遞升型與陡升型衰退趨勢之差異，會使 $c_1 > c_2$ ，也就是說，遞升型相較於陡升型，其衰退趨勢擁有較寬的風險區間。

此外，為提高執行上的彈性與精確度，可藉由多筆樣本重複實驗，收集並記錄 DVD 光碟片發生故障時所測得之品質指標數據，以次數分配法繪製直方圖，進行分配配適(distribution fitting)及參數估計，再推導出品質指標臨界值的機率性分布。

3.4 實驗流程與限制

3.4.1 實驗流程

本研究基於時間和資源限制，採單一測試環境，以 Intel C2D Conroe E6750, 2.67GHz、2.0GB DDR2-800 SDRAM 的個人電腦主機為測試平台，以 BenQ DW1640 (Firmware 版本：RSMB) 之 DVD 燒錄機為燒錄與測試環境。

至於測試軟體部分，由於 Nero AG公司所開發的 Nero軟體，自 1995 年至今仍為全球最廣為使用的 CD/DVD 光碟片燒錄應用程式軟體，而其附屬的 Nero

CD-DVD Speed* 則是目前公認最佳檢測燒錄模式的工具，除檢測光碟機或燒錄機的讀取、抓取音軌能力，其功能還包含檢測讀取模式、讀取速度、光碟片類型及燒錄品質...等，是一套操作便利，功能多元化的測試軟體。故統一讀寫策略，並選擇Nero CD-DVD Speed燒錄品質測試軟體的實測數據作為效能比較基礎。流程分述如下：

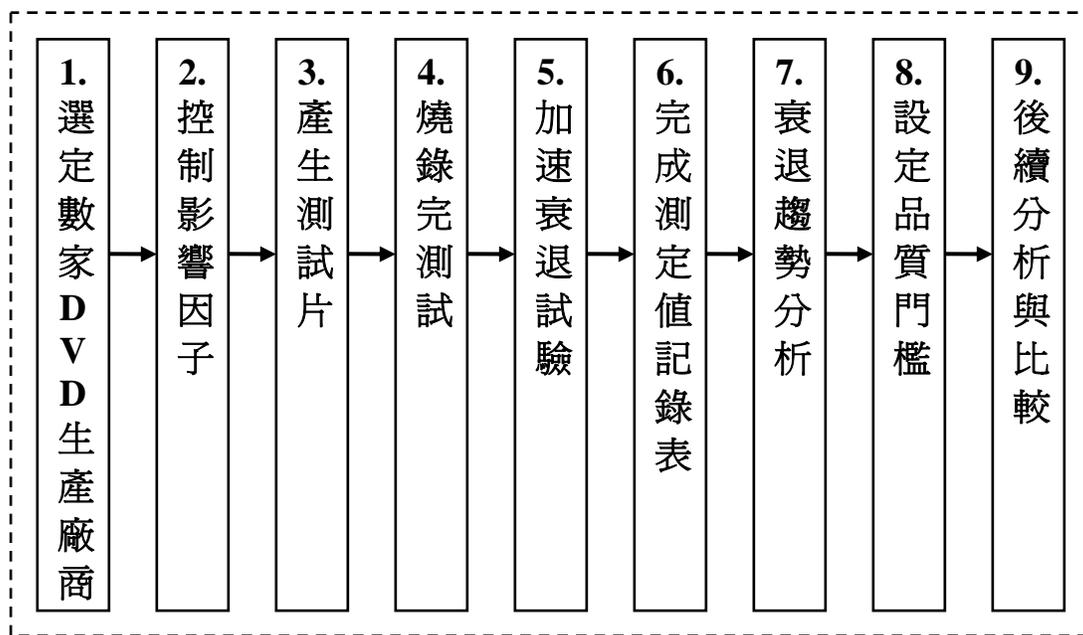


圖3.5 實驗流程圖

1. 選定數家DVD生產廠商：以至少三家不同廠牌，每廠牌各取6片DVD光碟片作測試樣本為原則。
2. 控制影響因子：以單一平台，BenQ DW1640燒錄機，統一燒錄環境。
3. 產生測試片：開啟Nero CD-DVD Speed，執行「測試」→「產生資料測試片」，採6-8X P-CAV策略寫入模式，各廠牌產生6筆樣本。
4. 燒錄完測試：將步驟3中燒錄完成之資料測試片，以BenQ DW1640搭配Nero CD-DVD Speed，採取8X P-CAV為讀取策略，執行首次「燒錄品質測試」。

*Nero CD-DVD Speed：原為Erik Deppe所開發的免費軟體，後為Ahead公司採用，加入Nero附屬程式中。它亦是一套獨立軟體，可自<http://www.cdspd2000.com>下載使用。

5. 加速衰退試驗：採常溫浸泡為加速因子，每浸泡固定時間後，待其自然風乾後，執行DVD光碟片燒錄品質測試。
6. 完成測定值記錄表：記錄測試所得之PIE/PIF/Jitter...等品質績效指標。
7. 衰退趨勢分析：導入迴歸模式，求得不同使用行為下，DVD光碟片品質衰退趨勢線。
8. 設定品質門檻：根據迴歸模式，對品質指標分別設定初/中/高度警戒點之臨界值，作為資料損毀前，向使用者發出警訊之依據。
9. 後續分析與比較：根據實驗數據，記錄衰退趨勢，比較不同使用行為下，對於DVD光碟片衰退趨勢影響之顯著程度。



圖3.6 實驗操作截圖(一)

圖 3.6 為燒錄完成之待監測樣本，每片 DVD 光碟片樣本間皆以墊片相隔，確保每片 DVD 光碟片樣本皆與水完全接觸，且接觸面均勻受潮。



圖3.7 實驗操作截圖(二)

圖 3.7 為加速衰退環境，將待測樣本置入臉盆，加水至 DVD 光碟片樣本完全浸泡於水內為原則，於常溫下靜置，直到實驗所設定之時間後取出，等其自然風乾後，進行該回合之品質測試。

3.4.2 實驗限制

關於 DVD 光碟片耐久性試驗，凡溫度、溼度、光照...等影響，皆可成為實驗之加速因子，本研究構思之初，所考量的方式則有日照、烤爐、浸泡等。

以日照方式方面，溫度、溼度皆難以精確控制，難以進行 DVD 光碟片實際壽命的換算；而對於以烤爐方式而言，礙於設備不足，樣本取得成本昂貴，且實驗進行期間，難以控制標準流程，及分段記錄其衰退資料點，與本研究欲建構出衰退趨勢之目的不符。

加速壽命試驗所選定的加速因子，一般依照產品所能承受溫度與濕度條件來調控，故本研究採常溫浸泡方式為加速因子進行實驗，試圖將濕度控制

於 100%，由於水之比熱較空氣大，亦有將溫度變化差異影響減至最小之效果。採定時換水，避免水溶液與 DVD 光碟片用料接觸過於頻繁而產生化學變質。

本研究假設衰退趨勢線容許等比例縮放，亦即加速環境與一般環境下 DVD 光碟片的燒錄品質衰退趨勢一致。由於 DVD 光碟片品質衰退屬於不可修復之現象，故以 MTTF 統計量為故障率計算依據，各樣本持續進行若干回合加速試驗直到發生故障，亦即 DVD 光碟片品質測試出現 POF 值為止。定時測得各資料點後，即放大時間軸，求得不同廠牌受測 DVD 光碟片衰退趨勢，配合情境設定模擬個人使用行為，進行後續品質追蹤。

第四章 實驗分析

本章以設計實際案例進行實驗分析。首先，以多元迴歸分析影響 DVD 光碟片燒錄品質衰退趨勢之因子，再根據模式分析結果選擇影響因子，分別就單因素、多因素結構來分析 DVD 光碟片燒錄品質衰退趨勢，並建立迴歸模式。

其次，設計三種情境，以不同的實驗方式進行個人使用習慣的模擬，並分別就廠牌間、情境間兩角度分析比較衰退趨勢之差異。

最後，由迴歸模式導入結果，對於選定之品質指標設定門檻，作為本案例 DVD 光碟片故障監控之參考。

4.1 燒錄品質衰退趨勢分析

本案例以 16 筆 DVD 光碟片樣本進行實驗，以故障率為依變項，利用多元迴歸模式分析 DVD 光碟片故障率之影響因子，對於選定因素，分別進行單因素、多因素結構分析，並對於 DVD 光碟片燒錄品質衰退趨勢建立適配的迴歸模式。

4.1.1 多元迴歸分析

考量時間軸(Time)，與各項燒錄品質指標(PIE/PIF/Jitter)之 Max 值為影響因子，導入多元迴歸分析，以 SPSS (ver.12) 統計軟體執行結果如下：

表4.1 多元迴歸模式摘要

模式	R	R-Square	估計的標準誤
1	.993	.987	.07017

表4.2 變異數分析表

模式		平方和	自由度	均方	F統計量	顯著性
1	迴歸	2.213	4	.553	112.333	.000
	殘差	.030	6	.005		
	總和	2.242	10			

表 4.1 的 R-Square 值為 0.987，表示此多元迴歸模式對於 DVD 光碟片故障率的解釋力高達 98.7%。再由表 4.2 變異數分析表可知，此模式之 P-value 非常顯著，表示模式中各係數不全為 0，亦即各影響變項的顯著關係存在。

此外，為了探討多元迴歸模式中，各因素對故障率之影響是否具代表性，須考量各變項間是否存在多重共線性 (multi-collinearity) 問題。所謂「共線性」，是指由於各影響變項間之相關程度太高，造成迴歸分析模式之干擾。換言之，變項間若存在共線性問題，表示該影響變項極可能是其它變項的線性組合。如果一影響變項與其它變項間有共線性問題，則這個變項迴歸係數的估計值不夠穩定，迴歸係數的計算值會產生很大誤差。

對於共線性存在與否的評估指標，一般可由變異數膨脹因子 (Variance Inflation Factor, VIF) 判斷之，它即為允差 (Tolerance value) 之倒數。允差值即為容忍度，兩者間之關係式與計算方式為： $\text{允差} = 1 - R^2 = \text{VIF}^{-1}$ 。其中 R-Square 為模式的解釋能力，若某一影響變項之 R-Square 過大，亦即容忍度過小與 VIF 太高，模式越存在共線性問題程度越嚴重。實務上而言，設定 VIF 值約在 10 左右為可接受範圍，並可依問題特性來決定嚴謹度。

表4.3 多元迴歸模式之係數表

影響因素	未標準化係數		標準化係數	t	顯著性	迴歸係數 B 的 95% 信賴區間		共線性統計量	
	B 之估計值	標準誤	Beta 分配			下限	上限	允差	VIF
Time	-.006	.015	-.065	-.384	.714	-.043	.031	.076	13.145
PIE	.019	.006	1.525	3.154	.020	.004	.033	.009	106.462
PIF	.019	.002	1.273	9.767	.000	.014	.024	.129	7.733
Jitter	-.070	.018	-1.849	-3.907	.008	-.115	-.026	.010	102.016

當多元迴歸模式存在共線性時，統計上常用的調整作法歸納如下：

1. 刪除較不重要的影響變項
2. 增加實驗樣本數
3. 將具有高度VIF值之影響變項合併
4. 進行資料轉換或標準化

5. 以主成分 (principle component) 進行迴歸分析
6. 改用脊迴歸 (ridge regression procedure) 分析

從表 4.3 可知，PIF 對 DVD 光碟片故障率影響顯著程度最高，且由變異數膨脹因子判斷，PIF 與 Time 兩因子的 VIF 值分別為最小與次小，表示共線性干擾程度不高，屬於尚可接受的範圍。

而 PIE 與 Jitter 影響因子雖亦達顯著，但 VIF 值皆高於 100，存在極嚴重的共線性，表示可能跟其他影響因子間存在相關性，會導致迴歸模式係數的估計值不夠穩定，且迴歸係數的計算值也可能造成極大誤差。

為便於獨立探討，避免影響迴歸模式分析之效率，故在單因素結構分析與品質門檻設定階段，將 PIE 與 Jitter 二種影響因子排除，選擇 PIF 與 Time 作為後續分析與品質門檻設定之依據。而關於 PIE 與 Jitter 之探討，則於多因素結構分析部份納入考量，以將具有高度共線性之影響因子合併之方式，加入交互作用項，進行最終迴歸模式之建構。

本案例之殘差分析部份，由圖 4.1 觀察可知，圖形呈近似 45 度直線，表示觀測值與預期值的機率分配趨於一致，也代表此迴歸模式之殘差分配服從常態性假設。

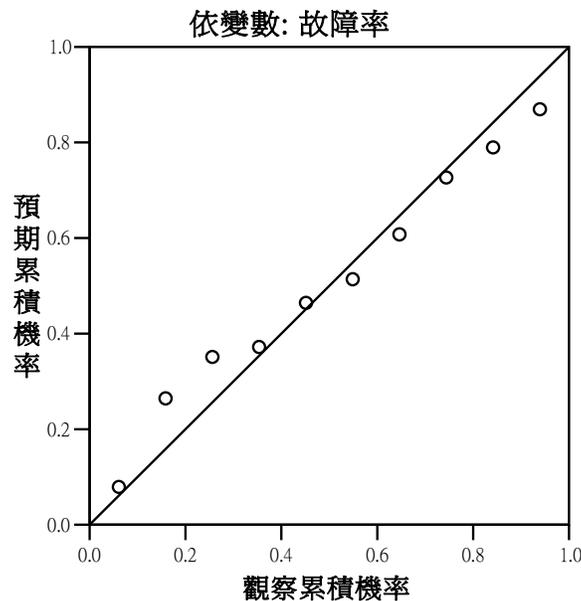


圖4.1 標準化殘差之常態P-P圖

4.1.2 單因素結構分析

由多元迴歸模式所選出之影響因子 Time 與 PIF(Max)，對故障率分別建立迴歸模式：

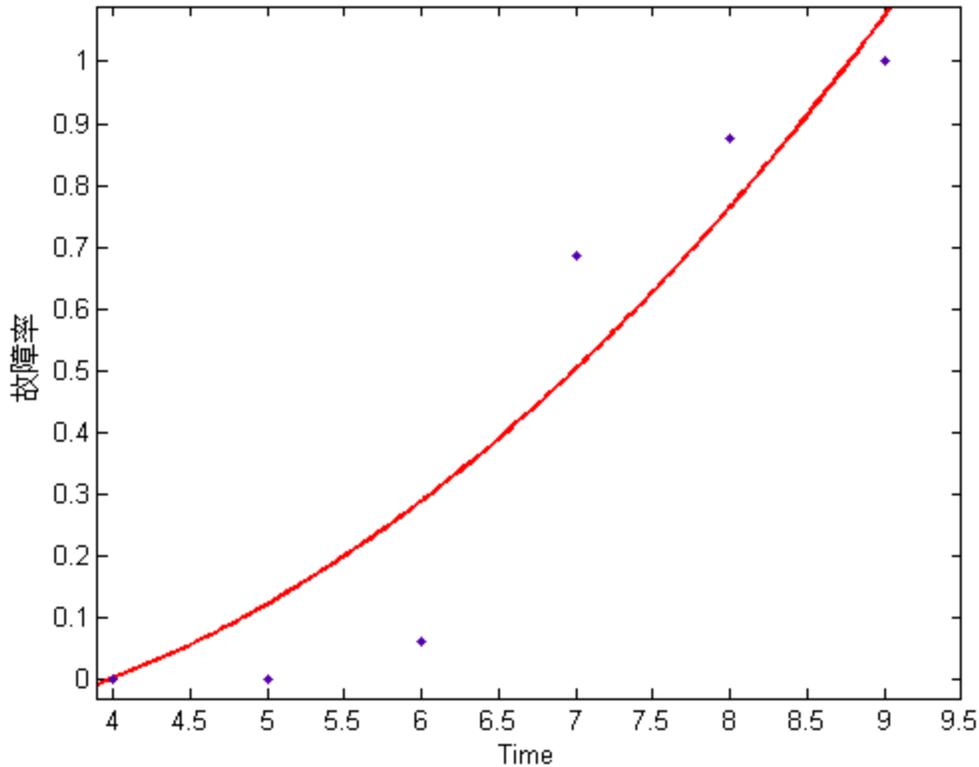


圖4.2 Time對故障率之迴歸模式

圖 4.2 為實驗回合數(Time)對故障率之迴歸模式。由於二次多項式型態之 R-Square 為 91.23%，適配度略優於指數型態的 87.19%，比較後，故以二次多項式型態建立迴歸模式(無截距項)如下：

$$\text{故障率(\%)} = 0.0237(\text{Time})^2 - 0.09407(\text{Time})$$

對於 DVD 光碟片故障監控而言，本案例的實驗回合數(Time)對故障率是屬於遞升型衰退趨勢。

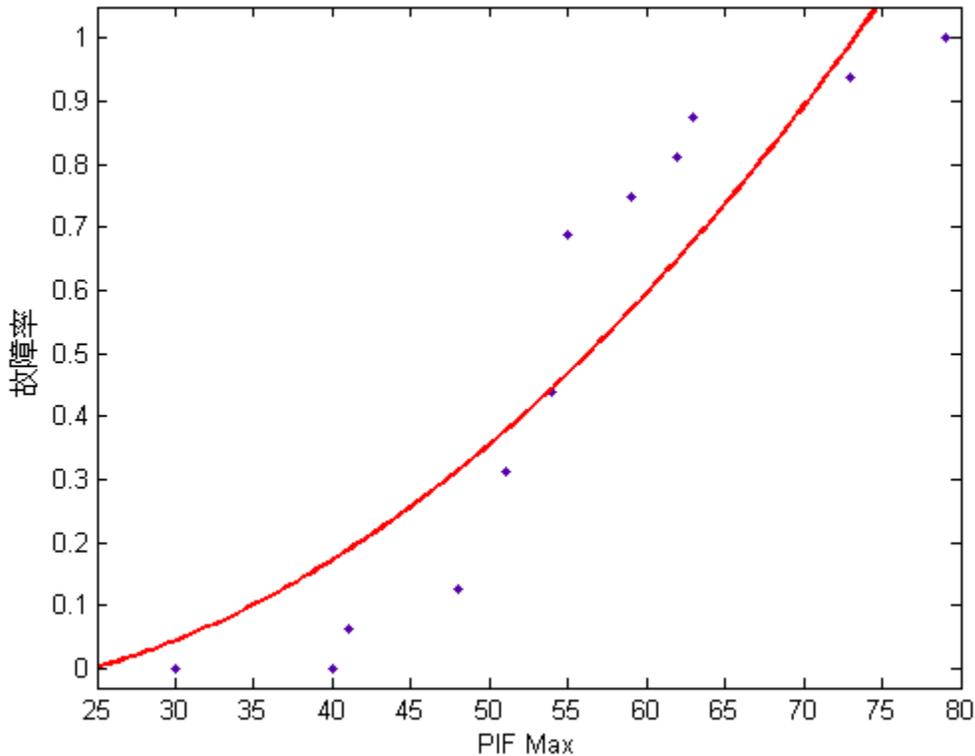


圖4.3 PIF Max對故障率之迴歸模式

圖 4.3 為 PIF(Max)值對故障率之迴歸模式，由於以指數型態測試之 R-Square 皆為負值，表示適配度極差，故以二次多項式型態建立之迴歸模式(無截距項)如下：

$$\text{故障率(\%)} = 0.0002813(\text{PIF})^2 - 0.006959(\text{PIF})$$

此模式之 R-Square 為 87.51%，適配度仍在可接受範圍內。且本案例的 PIF(Max)值對故障率亦屬於遞升型衰退趨勢。

4.1.3 多因素結構分析

針對前二小節選擇之實驗回合數(Time)與 PIF(Max)值兩影響因子，先以 SPSS (ver.12) 執行非線性多元迴歸分析，建立多元迴歸(含交互項)模式如下：

$$\begin{aligned} \text{故障率(\%)} = & -0.17898787 \times (\text{Time}) + 0.005958468 \times (\text{PIF}) \\ & + 0.001374572 \times (\text{Time} \times \text{PIF}) \end{aligned}$$

由模式中係數可知，PIF(Max)值對故障率影響程度較大，而 Time 與 PIF 之交互作用對故障率也存在輕微幅度之影響。此外，本案例模式之 R-Square 為 92.56%，此現象表示即使排除 PIE 和 Jitter 兩影響因子，模式仍維持不錯的解釋能力。

但模式中 Time 的係數為負值，與現實情況不符。為了解決此問題，故將具有高度共線性的影響因子併於顯著性最高的 PIF 內，亦即加入 (PIF×PIE×Jitter)、(PIF×PIE)、(PIF×Jitter)、(PIE×Jitter) 四個交互項，並限制模式中所有係數皆大於等於 0，將原模式作以下修正：

$$\begin{aligned} \text{故障率(\%)} = & b_1(\text{Time}) + b_2(\text{PIF}) + b_3(\text{Time} \times \text{PIF}) \\ & + b_4(\text{PIF} \times \text{PIE} \times \text{Jitter}) + b_5(\text{PIF} \times \text{PIE}) + b_6(\text{PIF} \times \text{Jitter}) \\ & + b_7(\text{PIE} \times \text{Jitter}) \end{aligned}$$

由 SPSS 執行結果，求得調整後之迴歸模式：

$$\begin{aligned} \text{故障率(\%)} = & 4.39598 \times 10^{-9} \times (\text{Time}) + 0.000507651 \times (\text{Time} \times \text{PIF}) \\ & + 0.000226019 \times (\text{PIF} \times \text{PIE}) \end{aligned}$$

經調整後，模式之 R-Square 為 93.43%，解釋能力微幅改善。由模式中係數可知，PIF 與 Time 的交互作用對故障率影響最巨，其次為 PIF 與 PIE 之交互作用。表示 PIF 為影響 DVD 光碟片故障率之主效應，且其效應隨 Time 與 PIE 影響而定。此外，由 Time 的係數可知，保存時間對於 DVD 光碟片故障率亦獨立存在極小的影響。

4.2 衰退趨勢比較分析

4.2.1 情境設定

對於影響 DVD 光碟片保存性的因素，本研究考量個人使用習慣，選定「讀取時間」、「讀取頻率」兩項人為因子，分別設定二種因子水準，模擬三種特定使用情境，並對照正常使用情境，以不同浸泡操作分別進行實驗及測試，比較品質衰退趨勢及不同廠牌與情境間之差異。情境設定分述如下：

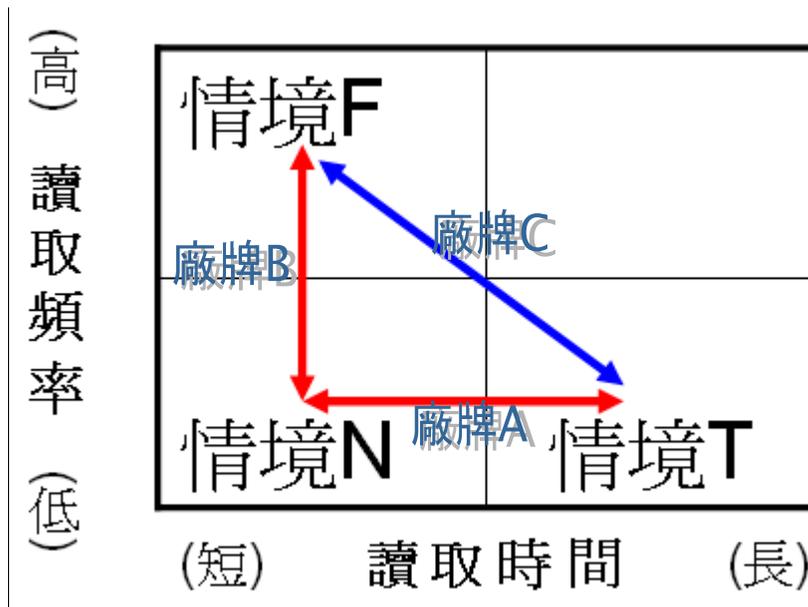


圖4.4 三種使用情境設定圖

如圖 4.4 所示，以「讀取時間」與「讀取頻率」兩因素作為人為影響因子，各具有高／低二種水準，分別模擬三種特定模式之使用習慣。

情境 N (Normal)為短讀取時間配低讀取頻率，表示正常使用習慣，以每回合浸泡 10 秒為基準操作方式；情境 F (Frequency)為短讀取時間配高讀取頻率，代表高讀取頻率使用習慣，以每回合浸泡約 2 秒，並重複操作 5 次為原則；情境 T (Time)為長讀取時間配短讀取頻率，代表長讀取時間使用習慣，以每回合浸泡 60 秒為原則。模擬三種使用習慣之操作方式整理如表 4.4：

選定 A、B、C 三款廠牌之 DVD 光碟片樣本，對於六種處理組合各進行 3 筆重複實驗，在三種特定情境下進行實驗後，分別就「廠牌間」、「情境間」角度，以初期／中期／末期三個時間點截取單點觀察值，再利用 t 檢定分析比較各品質指標衰退趨勢差異。

表4.4 三種使用習慣之模擬方式

使用習慣	操作方式
正常使用(情境N)	10sec – 10sec – 10sec – 10sec – 10sec –...
高讀取頻率(情境F)	(5×2sec) – (5×2sec) – (5×2sec) – (5×2sec) – (5×2sec) –...
長讀取時間(情境T)	60sec – 60sec – 60sec – 60sec – 60sec –...

4.2.2 情境間比較分析

● 情境N 與 情境F (正常使用 vs. 高讀取頻率)

PIE :

初期	情境 N	情境 F	中期	情境 N	情境 F	末期	情境 N	情境 F
平均數	14.1566	14.0866	平均數	14.8966	15.3733	平均數	15.2716	16.3966
變異數	0.5609	0.7884	變異數	1.7030	2.1476	變異數	5.3836	2.3586
觀察值個數	3	3	觀察值個數	3	3	觀察值個數	3	3
假設的均數差	0		假設的均數差	0		假設的均數差	0	
自由度	4		自由度	4		自由度	3	
t 統計	0.104374		t 統計	-0.42073		t 統計	-0.70133	
P(T<=t) 單尾	0.460948		P(T<=t) 單尾	0.347785		P(T<=t) 單尾	0.266802	
臨界值：單尾	2.131847		臨界值：單尾	2.131847		臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.921896		P(T<=t) 雙尾	0.69557		P(T<=t) 雙尾	0.533604	
臨界值：雙尾	2.776445		臨界值：雙尾	2.776445		臨界值：雙尾	3.182446	

PIF :

初期	情境 N	情境 F	中期	情境 N	情境 F	末期	情境 N	情境 F
平均數	0.001	0.0013	平均數	0.001	0.004	平均數	0.001	0.3766
變異數		03.33E-07	變異數		00.000027	變異數		00.046233
觀察值個數	3	3	觀察值個數	3	3	觀察值個數	3	3
假設的均數差	0		假設的均數差	0		假設的均數差	0	
自由度	2		自由度	2		自由度	2	
t 統計	-1		t 統計	-1		t 統計	-3.02612	
P(T<=t) 單尾	0.211325		P(T<=t) 單尾	0.211325		P(T<=t) 單尾	0.047025	
臨界值：單尾	2.919986		臨界值：單尾	2.919986		臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.42265		P(T<=t) 雙尾	0.42265		P(T<=t) 雙尾	0.094049	
臨界值：雙尾	4.302653		臨界值：雙尾	4.302653		臨界值：雙尾	4.302653	

Jitter :

初期	情境 N	情境 F	中期	情境 N	情境 F	末期	情境 N	情境 F
平均數	8.93339	0.0333	平均數	9.11	9.1033	平均數	9.08	9.1733
變異數	0.0041	0.0761	變異數	0.0324	0.1457	變異數	0.0217	0.1094
觀察值個數	3	3	觀察值個數	3	3	觀察值個數	3	3
假設的均數差	0		假設的均數差	0		假設的均數差	0	
自由度	2		自由度	3		自由度	3	
t 統計	-0.61135		t 統計	0.027359		t 統計	-0.44642	
P(T<=t) 單尾	0.301598		P(T<=t) 單尾	0.489946		P(T<=t) 單尾	0.342776	
臨界值：單尾	2.919986		臨界值：單尾	2.353363		臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.603197		P(T<=t) 雙尾	0.979892		P(T<=t) 雙尾	0.685552	
臨界值：雙尾	4.302653		臨界值：雙尾	3.182446		臨界值：雙尾	3.182446	

● 情境N 與 情境T (正常使用 vs. 長讀取時間)

PIE :

初期	情境 N	情境 T	中期	情境 N	情境 T	末期	情境 N	情境 T
平均數	7.3233	7.0833	平均數	7.5466	7.64	平均數	7.6133	7.4167
變異數	0.1385	0.0652	變異數	0.3729	0.5196	變異數	0.4970	0.3364
觀察值個數	3	3	觀察值個數	3	3	觀察值個數	3	3
假設的均數差	0		假設的均數差	0		假設的均數差	0	
自由度	4		自由度	4		自由度	4	
t 統計	0.920885		t 統計	-0.17111		t 統計	0.373119	
P(T<=t) 單尾	0.204612		P(T<=t) 單尾	0.436221		P(T<=t) 單尾	0.363996	
臨界值：單尾	2.131847		臨界值：單尾	2.131847		臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.409224		P(T<=t) 雙尾	0.872441		P(T<=t) 雙尾	0.727991	
臨界值：雙尾	2.776445		臨界值：雙尾	2.776445		臨界值：雙尾	2.776445	

PIF :

初期	情境 N	情境 T
平均數	0.0333	0.02
變異數	0.0004	0.0001
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	1	
P(T<=t) 單尾	0.195501	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.391002	
臨界值：雙尾	3.182446	

中期	情境 N	情境 T
平均數	0.0267	0.0233
變異數	0.0002	0.0002
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	0.267261	
P(T<=t) 單尾	0.401241	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.802482	
臨界值：雙尾	2.776445	

末期	情境 N	情境 T
平均數	0.0367	0.0267
變異數	0.0001	0.0004
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	0.727607	
P(T<=t) 單尾	0.259749	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.519498	
臨界值：雙尾	3.182446	

Jitter :

初期	情境 N	情境 T
平均數	9.4367	9.3867
變異數	0.0086	0.0046
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	0.751882	
P(T<=t) 單尾	0.246972	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.493944	
臨界值：雙尾	2.776445	

中期	情境 N	情境 T
平均數	9.44	9.38
變異數	0.0073	0.0016
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	1.101582	
P(T<=t) 單尾	0.175547	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.351093	
臨界值：雙尾	3.182446	

末期	情境 N	情境 T
平均數	9.49	9.4333
變異數	0.0559	0.0100
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	0.38224	
P(T<=t) 單尾	0.363877	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.727755	
臨界值：雙尾	3.182446	

● 情境F 與 情境T (高讀取頻率 vs. 長讀取時間)

PIE :

初期	情境 F	情境 T
平均數	2.3067	3.1267
變異數	0.0208	1.4684
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-1.16383	
P(T<=t) 單尾	0.18228	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.36456	
臨界值：雙尾	4.302653	

中期	情境 F	情境 T
平均數	2.2167	3.35
變異數	0.0444	1.7812
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-1.45282	
P(T<=t) 單尾	0.141718	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.283437	
臨界值：雙尾	4.302653	

末期	情境 F	情境 T
平均數	4.783	2.733
變異數	2.4229	1.6132
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	1.298958	
P(T<=t) 單尾	0.131888	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.263776	
臨界值：雙尾	2.776445	

PIF :

初期	情境 F	情境 T
平均數	0.007	0.06
變異數	0.00003	0.0061
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-1.17277	
P(T<=t) 單尾	0.180831	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.361662	
臨界值：雙尾	4.302653	

中期	情境 F	情境 T
平均數	0.007	0.0567
變異數	0.00003	0.0065
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-1.06209	
P(T<=t) 單尾	0.199741	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.399482	
臨界值：雙尾	4.302653	

末期	情境 F	情境 T
平均數	0.6233	0.0633
變異數	0.1186	0.0070
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	2.736142	
P(T<=t) 單尾	0.055823	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.111646	
臨界值：雙尾	4.302653	

Jitter :

初期	情境 F	情境 T
平均數	9.7467	9.9333
變異數	0.0329	0.0129
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	-1.50966	
P(T<=t) 單尾	0.114139	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.228278	
臨界值：雙尾	3.182446	

中期	情境 F	情境 T
平均數	9.5767	10.053
變異數	0.1089	0.0049
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-2.44668	
P(T<=t) 單尾	0.067112	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.134223	
臨界值：雙尾	4.302653	

末期	情境 F	情境 T
平均數	9.8333	10.003
變異數	0.0704	0.0624
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	-0.8078	
P(T<=t) 單尾	0.232253	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.464506	
臨界值：雙尾	2.776445	

4.2.3 廠牌間比較分析

● 情境N(正常使用習慣：廠牌A vs. 廠牌B)

PIE :

初期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	7.3233	14.157
變異數	0.1385	0.5609
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	-14.1517	
P(T<=t) 單尾	0.000382	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.000764	
臨界值：雙尾	3.182446	

中期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	7.5467	14.897
變異數	0.3729	1.7030
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	-8.83564	
P(T<=t) 單尾	0.001528	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.003056	
臨界值：雙尾	3.182446	

末期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	7.6133	15.27
變異數	0.4970	5.3836
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-5.46875	
P(T<=t) 單尾	0.015924	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.031848	
臨界值：雙尾	4.302653	

PIF :

初期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	0.0333	0.001
變異數	0.0004	0
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	2.690296	
P(T<=t) 單尾	0.057424	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.114847	
臨界值：雙尾	4.302653	

中期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	0.0267	0.001
變異數	0.0002	0
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	2.910326	
P(T<=t) 單尾	0.050284	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.100568	
臨界值：雙尾	4.302653	

末期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	0.0367	0.001
變異數	0.0001	0
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	5.35	
P(T<=t) 單尾	0.016604	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.033207	
臨界值：雙尾	4.302653	

Jitter :

初期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	9.4367	8.9333
變異數	0.0086	0.0041
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	7.71574	
P(T<=t) 單尾	0.000759	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.001519	
臨界值：雙尾	2.776445	

中期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	9.44	9.11
變異數	0.0073	0.0324
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	2.868662	
P(T<=t) 單尾	0.03206	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.06412	
臨界值：雙尾	3.182446	

末期	廠牌 A	廠牌 B
平均數	9.49	9.08
變異數	0.0559	0.0217
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	2.549257	
P(T<=t) 單尾	0.041999	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.083997	
臨界值：雙尾	3.182446	

● 情境F (高讀取頻率使用習慣：廠牌B vs. 廠牌C)

PIE :

初期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	14.087	2.3067
變異數	0.7884	0.0208
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	22.68089	
P(T<=t) 單尾	0.000969	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.001938	
臨界值：雙尾	4.302653	

中期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	15.373	2.2167
變異數	2.1476	0.0444
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	15.39145	
P(T<=t) 單尾	0.002097	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.004195	
臨界值：雙尾	4.302653	

末期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	16.397	4.78
變異數	2.3586	2.4229
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	9.201499	
P(T<=t) 單尾	0.000387	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.000775	
臨界值：雙尾	2.776445	

PIF :

初期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	0.001	0.007
變異數	00.00003	
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-2	
P(T<=t) 單尾	0.091752	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.183503	
臨界值：雙尾	4.302653	

中期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	0.004	0.007
變異數	0.000030	0.00003
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	-0.70711	
P(T<=t) 單尾	0.259259	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.518519	
臨界值：雙尾	2.776445	

末期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	0.3767	0.6233
變異數	0.0462	0.1186
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	-1.05222	
P(T<=t) 單尾	0.184985	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.36997	
臨界值：雙尾	3.182446	

Jitter :

初期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	9.0333	9.7467
變異數	0.0761	0.0329
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	-3.74117	
P(T<=t) 單尾	0.016659	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.033318	
臨界值：雙尾	3.182446	

中期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	9.1033	9.5767
變異數	0.1457	0.1089
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	-1.62458	
P(T<=t) 單尾	0.089788	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.179576	
臨界值：雙尾	2.776445	

長期	廠牌 B	廠牌 C
平均數	9.1733	9.8333
變異數	0.1094	0.0704
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	4	
t 統計	-2.69544	
P(T<=t) 單尾	0.027175	
臨界值：單尾	2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.054351	
臨界值：雙尾	2.776445	

● 情境T (長讀取時間使用習慣：廠牌A vs. 廠牌C)

PIE :

初期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	7.0833	3.1267
變異數	0.0652	1.4684
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	5.533815	
P(T<=t) 單尾	0.015569	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.031138	
臨界值：雙尾	4.302653	

中期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	7.64	3.35
變異數	0.5196	1.7812
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	4.898673	
P(T<=t) 單尾	0.00814	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.016279	
臨界值：雙尾	3.182446	

末期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	7.4167	3.2733
變異數	0.3364	1.6132
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	5.139612	
P(T<=t) 單尾	0.007135	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.014271	
臨界值：雙尾	3.182446	

PIF :

初期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	0.02	0.06
變異數	0.0001	0.0061
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-0.87988	
P(T<=t) 單尾	0.235865	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.471729	
臨界值：雙尾	4.302653	

中期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	0.0233	0.0567
變異數	0.0002	0.0065
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-0.70186	
P(T<=t) 單尾	0.277723	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.555446	
臨界值：雙尾	4.302653	

末期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	0.0267	0.0633
變異數	0.0004	0.0070
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	2	
t 統計	-0.73497	
P(T<=t) 單尾	0.269428	
臨界值：單尾	2.919986	
P(T<=t) 雙尾	0.538856	
臨界值：雙尾	4.302653	

Jitter :

初期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	9.3867	9.9333
變異數	0.0046	0.0129
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	-7.14395	
P(T<=t) 單尾	0.002824	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.005647	
臨界值：雙尾	3.182446	

中期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	9.38	10.053
變異數	0.0016	0.0049
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	-14.4286	
P(T<=t) 單尾	0.000361	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.000722	
臨界值：雙尾	3.182446	

末期	廠牌 A	廠牌 C
平均數	9.4333	10.003
變異數	0.0100	0.0624
觀察值個數	3	3
假設的均數差	0	
自由度	3	
t 統計	-3.66747	
P(T<=t) 單尾	0.017531	
臨界值：單尾	2.353363	
P(T<=t) 雙尾	0.035062	
臨界值：雙尾	3.182446	

4.2.4 小結

茲將衰退趨勢比較分析結果整理如下：

表4.5 情境間衰退趨勢比較表

情境間比較	PIE			PIF			Jitter		
	初期	中期	末期	初期	中期	末期	初期	中期	末期
N vs. F						#			
N vs. T									
F vs. T									

表4.6 廠牌間衰退趨勢比較表

廠牌間比較	PIE			PIF			Jitter		
	初期	中期	末期	初期	中期	末期	初期	中期	末期
A vs. B	# #	# #	#			*	**	*	*
B vs. C	**	**	**				#		#
C vs. A	*	**	**				# #	# #	#

其中，對於以 t 檢定比較平均值而言，若在顯著水準為 5% 下達顯著，以 * 表示前者略高於後者，若在顯著水準為 1% 下亦達顯著，以 ** 表示前者明顯高於後者；反之，若在顯著水準為 5% 下達顯著，以 # 表示後者略高於前者，若在顯著水準為 1% 下亦達顯著，以 # # 表示後者明顯高於前者。

4.3 品質門檻設定與監控

針對本章第一節之實驗案例所導入的迴歸模式，以單因素結構為考量，分別對 Time 和 PIF(Max) 值進行個別門檻值設定，以達成後續監控之目的。如圖 4.5 與圖 4.6 所示：

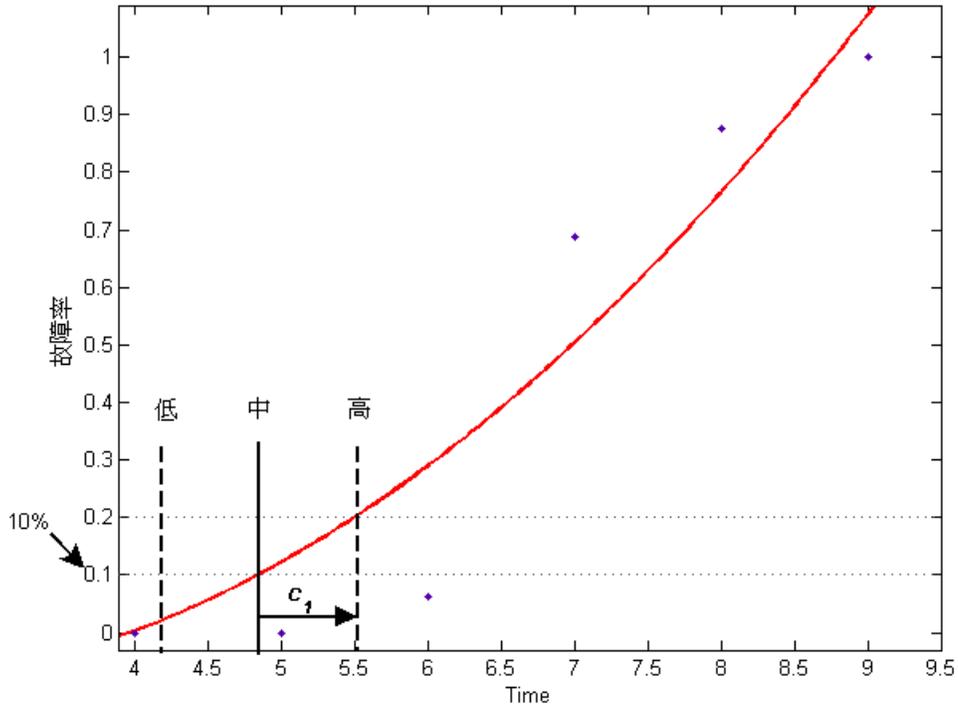


圖4.5 門檻值設定圖-Time

圖 4.5 為單位時間(Time)對故障率(%)之關係，以二次型態建構之迴歸模式。

假設使用者可接受 10% 的 DVD 光碟片故障率，與 10% 的容忍度。代入本章第一節對於 Time 所建構的迴歸模式：

$$\text{故障率}(\%) = 0.0237(\text{Time})^2 - 0.09407(\text{Time})$$

根據上式，求得故障率為 10% 時，臨界值為 4.8408(單位時間)，容忍寬度 $c_1 = 0.662$ 。故可設定單位時間為 4.1788 時為初步預警；單位時間為 4.8408 時為中度預警；單位時間為 5.5028 時為高度預警。

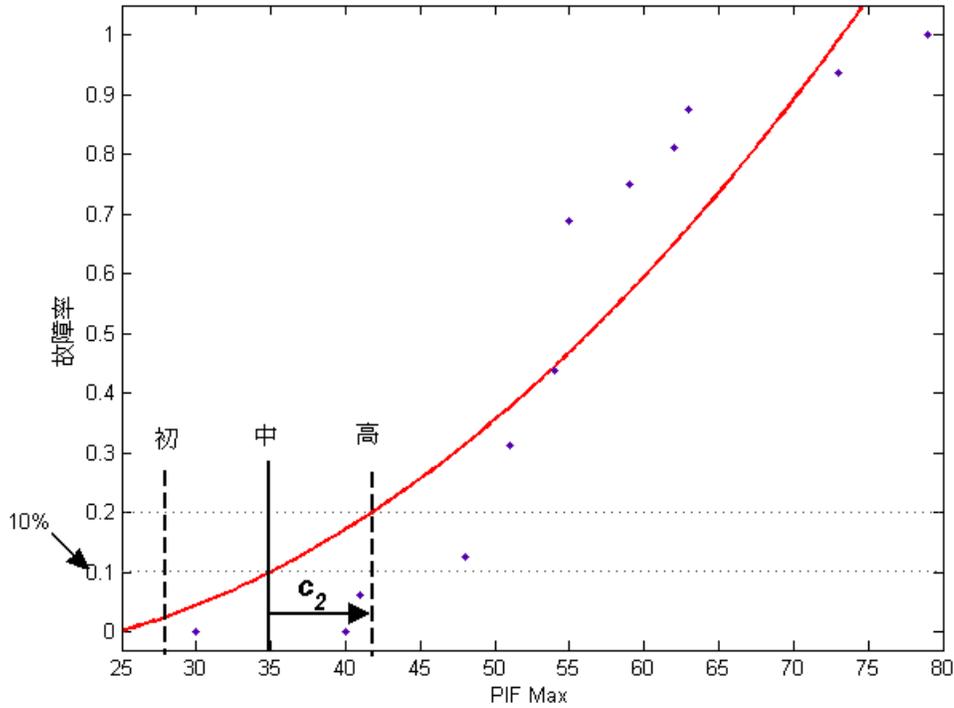


圖4.6 門檻值設定圖-PIF Max

圖 4.6 為 PIF(Max)值對故障率(%)之關係，以二次型態建立之迴歸模式。承上例，假設使用者可接受 10%的 DVD 光碟片故障率，與 10%的容忍度。代入本章第一節對於 PIF 所建構的迴歸模式：

$$\text{故障率(\%)} = 0.0002813(\text{PIF})^2 - 0.006959(\text{PIF})$$

根據上式，求得故障率為 10%時，PIF 值為 34.9192，容忍寬度 $c_2 = 6.8438$ 。同理，故設定 PIF 值為 28.0754 時為初步預警；PIF 值為 34.9192 時為中度預警；PIF 值為 41.7630 時為高度預警。

第五章 結論與建議

5.1 研究總結

一般現實環境下，影響 DVD 光碟片燒錄品質衰退趨勢的因素極為複雜，儘管多將燒錄品質指標納入考量，仍無法保證不同環境之條件下的故障率一致，因此，實驗中之模擬方式與測試所得之數據，僅供後續操作演練上參考。

本研究由前一章實驗分析，可歸納為以下幾點結論：

1. PIF值為影響DVD光碟片故障率的主要品質指標，且其效應分別受保存時間(Time)與PIE值所影響，其中，保存時間對故障率亦獨立存在極細微影響。
2. 情境間分析比較部份，由表4.5可知，唯正常使用相較於高讀取頻率，在末期的PIF值存在差異。此結果顯示，依個人使用習慣而言，正常、高讀取頻率與長讀取時間之三種使用習慣間，DVD光碟片燒錄品質各指標之衰退趨勢皆無明顯差異。或者，不同情境之操作方式可能無法適切模擬現實環境之差異，尚需在未來實驗中持續加以調整改良。
3. 廠牌間分析比較部份，由表4.6可知，對PIE而言，廠牌A << 廠牌C << 廠牌B；對PIF而言，除廠牌A在末期略高於廠牌B外，皆無明顯差異；對Jitter而言，廠牌B < 廠牌C << 廠牌A。此結果表示，廠牌對於品質指標之數值是一項關鍵影響因素，亦即，選擇燒錄品質錯誤率較低的DVD光碟片，可確保資料儲存穩定性，並降低故障風險。
4. 對於任一廠牌的DVD光碟片，藉由品質指標門檻值設定，使用者可依個人對故障率接受度與容忍度，從迴歸模式求得低／中／高三種風險等級之門檻值，此資訊有助於DVD光碟片故障前持續監控，並作為資料備份時機點之參考依據，進而在資料儲存成本與故障風險間取得較佳之決策。

5.2 未來研究建議

由於影響 DVD 光碟片燒錄品質的因素眾多，本研究僅考量特定幾種廠牌、讀取時間與讀取頻率，盡可能控制其他因素一致性，相對比較幾種特定

環境間衰退趨勢之差異。然而，對現實複雜多變的環境而言，舉凡資料寫入量、寫入策略、讀取頻率與讀取時間混合的使用模式，以及測試軟體、測試環境差異，或因樣本測試先後順序，機器疲乏而造成的品質指標之變異……等，皆可能成為影響燒錄品質與衰退趨勢之關鍵因素。

本研究的後續方向，建議可從其他影響 DVD 光碟片燒錄品質的因素著手，考量更多因子，以提升對於衰退趨勢的解釋能力，同時對故障監控也具有更多元的掌握。

關於研究方法部份，本研究基於實驗限制，採浸泡方式為加速試驗因子，而以實驗的回合數模擬大環境之時間軸，並未精確估算出實際時間。以實務面而言，推導出 DVD 光碟片燒錄品質衰退趨勢後，亦可結合實際壽命換算，增加故障監控時間點之精確度。

以下分別簡介案例式推理法與可靠度工程中常用的阿氏加速試驗模式，以及近年來由統計學習理論發展出的支援向量迴歸預測方法，作為後續研究之參考。

5.2.1 案例式推理之應用

案例式推理 (Case-Based Reasoning, CBR) 是由 Schank (1982) 最先提出的概念，主要以「問題描述」和「解決方法」為動態記憶的基礎。其一般定義整理如下：

- Bradley (1994)：透過改編解決舊問題的方法，嘗試解決新問題。
- Jeng 和 Liang (1995)：以修改或使用舊問題的解決方法，來套用在新問題上使用之。
- Sun 和 Chen (1996)：擷取過去類似問題的經驗，使用其解決方法來解決現有問題。

總括而言，CBR 可藉由一動態知識庫，從舊問題中尋找相似案例之解決方法，作為解決新問題的參考依據。換言之，它可依據過去的經驗案例來幫

我們推理新案例的發展情形，屬於人工智慧範疇中一種不錯的資料探勘技術。

關於 CBR 的執行流程，Kolodner (1996) 提出一套實施步驟如下：

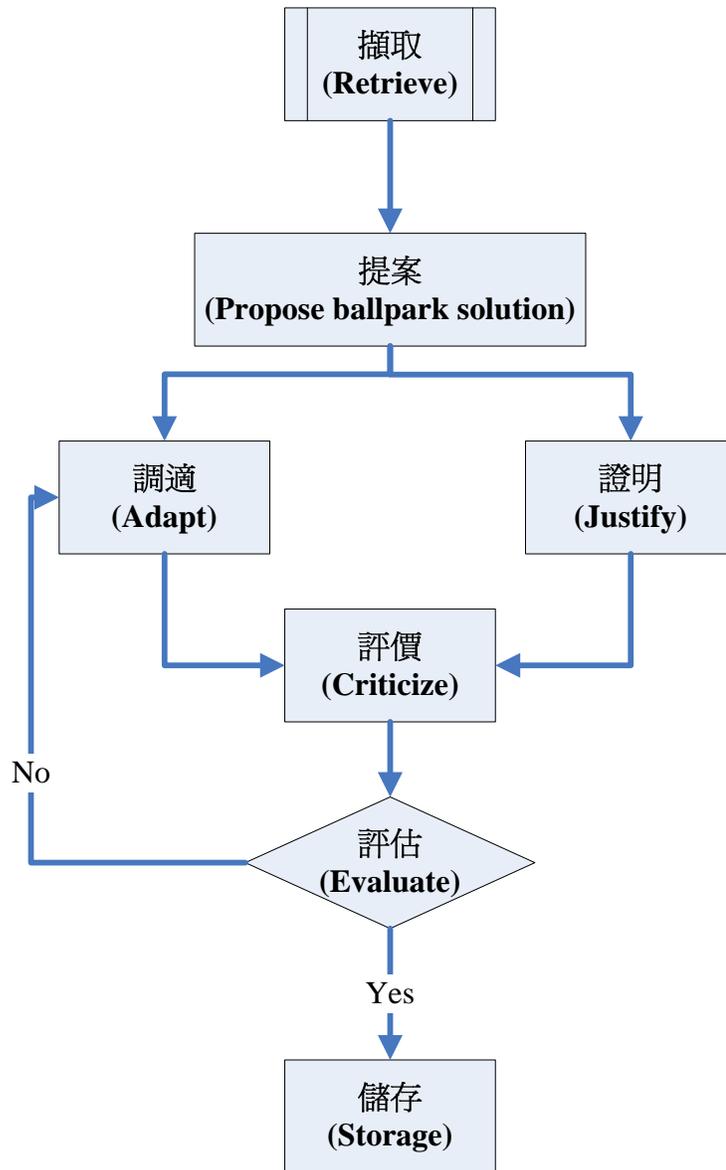


圖 5.1 CBR 執行流程圖

如圖 5.1 所示，CBR 作法首先對一問題作描述 (Presentation)，再從知識庫中擷取 (Retrieval) 最類似的案例，然而，挑選出的最類似案例也不盡然跟現有問題完全相同，故要依照問題特徵，針對案例的解決方法 (Solution) 進一步作調適 (Adapt) 動作，唯對於解釋型的案例，則經由證明 (Justify) 過

程，產生具說服力的解釋。之後，將調整後的結果與使用者或大環境來評價 (Criticize) 與評估 (Evaluate)，必要時回饋給調適階段作更精確的調適，直到找出最適的解決方法，則將此新案例與解決方法儲存 (Storage) 到知識庫中。從上述遞迴過程可知，CBR 可藉由持續學習，達到知識擴充的效果。

本研究以 DVD 光碟片為對象，導入 CBR 後，可將 DVD 光碟片實驗後，各種衰退趨勢的可能模式視為舊案例之解決方法，使用一款未知 DVD 光碟片的同時，可由知識庫中尋找類似的衰退趨勢進行預測，適時評估並修正衰退趨勢，有效避免大量與重複實驗所需耗費的成本。

再者，本研究以低單位儲存成本的一次寫入型 DVD 光碟片為主，亦可將研究方法視為一案例解決方法，套用於未來相似類型的高單價的產品，例如：Blu-ray DVD 或 HD DVD。藉由 CBR 的實施步驟，改編研究方法，進行高單價產品的趨勢分析與品質門檻之設定。

5.2.2 阿氏加速試驗模式

承第二章第四節所介紹之加速壽命試驗，Nelson (1990) 提出最常用的加速因子為「溫度」之調控。對於以溫度作為加速因子之加速試驗方法而言，阿瑞尼亞斯 (S.A. Arrhenius, 1859-1927) 首先以化學依存性觀點，提出能普遍描述「溫度」對「反應速率」影響的方程式。他並指出反應速率常數(k)之對數值隨溫度(T)的變化率與絕對溫度平方之倒數成正比之結論。進而推導出阿瑞尼亞斯方程式 (Arrhenius equation) 如下：

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T^2}$$

其中，正比常數由活化能 E_a (Energy of activation)，以及理想氣體常數 R^* 所組成。上式經由移項後，將等號兩邊積分後可得到 Arrhenius 方程式的積分式：

*理想氣體常數 $R = 8.314$ (joule / g-mole·K)。

$$\int d \ln k = \frac{E_a}{R} \cdot \int \frac{1}{T^2} \cdot dT$$

$$\ln k = \frac{-E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + A$$

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

其中，積分常數 A 稱作頻率因子 (frequency factor)，具有特定的物理意義，與反應物分子的碰撞頻率有關。此外，Arrhenius 方程式的定積分形式如下：

$$\int_{\ln k_1}^{\ln k_2} d \ln k = \frac{E_a}{R} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{T^2} \cdot dT$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

若測得 T_1 、 T_2 兩不同溫度下之反應速率常數 k_1 與 k_2 ，代入上式，即可求得反應物的活化能 (E_a)。再配合某一溫度下的反應速率常數 k_i ，即可求得任何溫度下之反應速率常數。

關於阿氏加速試驗模式，實際壽命換算之基本流程歸納如下：

1. 假設待測樣本在兩種不同溫度下之活化能 (E_a) 相同
2. 取得加速環境溫度 (T_a)、一般環境溫度 (T_n)，及待測物之活化能 (E_a)
3. 求得 T_a 對 T_n 之加速因子 (A) = $e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a} \right)}$ = $\frac{\eta_n(\text{正常壽命})}{\eta_a(\text{加速壽命})}$ ，其中 k 為波茲曼 (Boltzmann) 常數，其值為 $8.617 \times 10^{-5} (\text{eV/K})$ 。
4. 計算加速環境下之平均壽命 ($\bar{\eta}_a$)
5. 根據加速因子 (A)，估算一般環境 (常溫) 下之平均壽命 ($\bar{\eta}_n$) = $A \times \bar{\eta}_a$

5.2.3 支援向量迴歸預測

支援向量機 (Support Vector Machine, SVM) 最早是由 Vapnik 和 Chervonenkis (2001) 經由統計學習理論 (Statistical Learning Theory, SLT) 延伸出結構風險最小化 (structural risk minimization), 再利用結構風險最小化改良而成。它可用來處理分類(classification)以及迴歸(regression)的問題, 唯在執行之前必須設定自由參數 (free parameters)。近年來, 支援向量迴歸 (Support Vector Regression, SVR) 被廣泛使用於金融市場、股價指數、可靠度...等實務上的預測。

輸入一個資料點集合 $G = \{(x_i, d_i)\}_i^n$ (x_i 代表輸入的向量, d_i 代表期望得到的預測值, 即為歷史觀測數據的實際數值, n 代表是歷史觀測數據的筆數), 以迴歸的方式來逼近未知的函數 $y = f(x, w) = w\phi(x) + b$

其中當 $f(x)$ 函數為非線性時, $\phi(x)$ 代表高維度的特徵空間 (high dimensional feature space)。欲使用支援向量迴歸進行預測, 則必須決定模式中的最佳權重值 w , 以及偏差值 b 。

關於 w 和 b 的估計, 可由 $R_{SVR}(C) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_\varepsilon(d_i, y_i) \right)$ 的結構風險最小化而得到。其中 $\frac{1}{2} \|w\|^2$ 為懲罰項, C 為懲罰常數 (regularization constant), 用來控制產生誤差時的懲罰程度, 並調整懲罰項和經驗風險兩者間比重。 $C \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_\varepsilon(d_i, y_i) \right)$ 為經驗風險 (empirical error), 它可藉由一損失函數 $L_\varepsilon(d_i, y_i)$ 來估計。

損失函數 (loss function) 主要是用來檢測迴歸方程式與訓練資料間的距離, 排除雜訊或離群值, 使用少量資料點便能提供足夠的預測樣本, 訓練資料的預測精確度, 以確保預測資料的穩健性。用於 SVR 的經驗風險估計中, 可分四種形式: ε -insensitive、Quadratic、Huber 和 Laplace。最常用的為 ε -insensitive (不敏感損失函數), 表示如下:

$$L_\varepsilon(d_i, y_i) = |d - y|_\varepsilon = \begin{cases} 0 & \text{if } |y - d| \leq \varepsilon \\ |d - y| - \varepsilon & \text{otherwise} \end{cases}$$

將 $R_{SVR}(C)$ 式中加入緩衝變數(slack variable)—— ζ 和 ζ^* ，則可將模式建構為新目標式：

$$\text{Min } R_{SVR}(w, \zeta, \zeta^*) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\zeta_i + \zeta_i^*)$$

Subject to

$$d_i - w\phi(x_i) - b_i \leq \varepsilon + \zeta_i,$$

$$w\phi(x_i) + b_i - d_i \leq \varepsilon + \zeta_i^*$$

$$\zeta, \zeta^* \geq 0$$

藉著拉格朗其運算子(Lagrange multipliers)，可以將上式改寫為以下形式：

$$f(x, \alpha_i, \alpha_i^*) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i, \alpha_i^*) K(x, x_i) + b$$

為求二次規劃問題最小化，可將原始問題，轉為最大化的對偶問題 (dual problem) 形式：

$$\begin{aligned} \text{Max } R(\alpha, \alpha^*) = & -\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*)(\alpha_j - \alpha_j^*) K(x_i, x_j) \\ & - \varepsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i + \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^n d_i (\alpha_i + \alpha_i^*) \end{aligned}$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C$$

$$0 \leq \alpha_i^* \leq C, i = 1, 2, \dots, n$$

再由 Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 條件，可求解 w 和 b 估計值：

$$\hat{w} = \sum_{i=1}^n (\alpha_i^* - \alpha_i) \phi(x_i)$$

$$\hat{b} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{w}^T \phi(x_i)) \right)$$

上述模式中， $K(x_i, x_j)$ 為核函數，為特徵空間中 x_i 和 x_j 兩向量之內積，即 $K(x_i, x_j) = \varphi(x_i) \cdot \varphi(x_j)$ 。低維度不可線性分割的資料，可藉由核函數轉換到高維空間中線性分割。也就是說，核函數功能主要作為空間轉換之用途，將輸入空間映射到特徵空間，進而可以處理任意維度的空間，而不必實際計算 $\varphi(x)$ 。關於核函數轉換，常用類型如下：

1. 線性(linear)： $K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$
2. 多項式(polynomial)： $K(x_i, x_j) = (\sigma x_i^T x_j + r)^d, \sigma > 0$
3. 放射型(radial basis function, RBF)：
 - 高斯型態： $K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right), \sigma > 0$
 - 指數型態： $K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|}{2\sigma^2}\right), \sigma > 0$
4. S型(sigmoid)： $K(x_i, x_j) = \tanh(\sigma x_i^T x_j + r), \sigma > 0$

其中， σ 、 r 和 d 均為核函數之參數。

Hsu et al. (2003) 建議，選擇核函數時，應優先考慮放射型 (RBF)，因為它能分類非線性且高維的資料，只有兩個參數— C 和 σ 需要調整，減少操作上的複雜性，應用於實際問題上能夠達到較佳的預測效果。且輸入資料限定在 $[0, 1]$ 之間，減少運算的複雜度和時間。

相對於古典迴歸分析方法，SVR擁有較高的彈性，尤其對於非線性的資料結構而言，能有效解決小樣本、多維度等問題，且只需決定少量的參數，對入門研究者而言便於設計可迅速熟悉的操作介面。故應用SVR理論探討多因素結構下DVD光碟片燒錄品質衰退趨勢，藉由資料本身特徵融合人工智慧訓練與學習的演算法，亦可望達到不錯之成效。

參考文獻

中文部份

- [1] DVD Media檢証場，<http://dvd-r.jpn.org/>。
- [2] 工研院IEK中心，2004，「產業技術白皮書」，經濟部技術處—產業資訊服務推廣計畫。
- [3] 行政院國科會，民93，「九十二年政府科技發展策略規劃報告（光電領域）」。
- [4] 批踢踢實業坊，「CD-R」電子佈告欄論壇，<http://www.ptt.cc/bbs/CD-R/index.html>。
- [5] 施威銘研究室，民93，「PCDIY 2005 DVD燒錄十全大補」，旗標出版社。
- [6] 柯輝耀，民94，「可靠度保證—工程管理技術之應用（第三版）」，中華民國品質學會。
- [7] 曹青雲，民93，「影音3D大玩家：DVD/VCD/CD轉燒備份全攻略」，碁峰資訊。
- [8] 梁仁楷、吳權威，民92，「光碟燒錄實務」，碁峰資訊。
- [9] 黃欣怡，2004，「我國資訊用光碟機發展趨勢」，IEK-ITIS產業評析。
- [10] 資策會資訊市場情報中心，2003，Advisory & Intelligence Service Program (AISP)—情報顧問服務。

英文部分

- [11] “CD reliability and quality”, JVC Disc America Technical Report.
- [12] Bradley, P.A. (1994). “Case-based reasoning: Business applications”, *Knowledge Engineering Systems*, 37(3): 40-42.
- [13] DVD Fourm Official Website: <http://www.dvdforum.com/forum.shtml>.
- [14] DVD+RW Alliance: <http://www.dvdrw.com/>.
- [15] Elsayed, A.E. (1996). *Reliability Engineering*, Addison Wesley.
- [16] Fred R.B. (2003). *Care and Handling of CDs and DVDs: A Guide for Librarians and Archivists*, Council on Library and Information Resources, Washington, DC.
- [17] Hicks, C.R. (1999). *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*, 5th ed., Oxford University Press, USA.
- [18] Hsu, C.W., Chang, C.C. and Lin, C.J. (2003). “A practical guide to support vector classification”. Available: <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/guide/guide.pdf>.

- [19] Hugh, B. (2004). *Understanding Recordable & Rewritable DVD*, Optical Storage Technology Association (OSTA). Accessed: June, 2008 (E-book). Available: <http://www.osta.org/technology/dvdqa/pdf/dvdqa.pdf>.
- [20] Jeng, B.C. and T.P. Liang (1995). "Fuzzy indexing and retrieval in case-based system", *Expert Systems with Applications*, 8(1): 135-142.
- [21] Joe, I. (2005). "The relative stabilities of optical disc formats", *Restaurator*, 26(2): 134-150.
- [22] Kecman, V. (2001). "Learning and soft computing: support vector machines, neural networks, and fuzzy logic models", *Massachusetts Institute of Technology*, pp.121-189.
- [23] King, J.R. (1981). *Probability Charts for Decision Making*, 2nd printing, Revised ed., Tamworth, New Hampshire.
- [24] Kolodner, J.L. and D.B. Leake (1996). "A tutorial introduction to case-based reasoning". In: Leake, D.B. (Ed.), *Case-Based Reasoning Experience, Lessons & Future Directions*, AAAI Press: Menlo Park, CA., pp. 31-65.
- [25] Nelson, W. (1990). *Accelerated Testing: Statistical Model, Test Plans, and Data Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [26] Schank, R. (1982). "Dynamic memory: A theory of learning in computers and people," University of Cambridge. Press: New York.
- [27] Sun, S.H. and J.L. Chen (1996). "A fixture design system using case-based reasoning", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 9(5): 504-533.
- [28] Verbatim DataLifePlus DVD-R General Media Technical Report. Accessed: June, 2008. Available: http://www.jvc-pro.de/jvcpro/Jukebox_DVD-R_Lebensdauer.pdf.

附錄A

表A.1 衰退趨勢分析原始資料 (PIE Max)

樣本號	回合	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		119	134	33	90	37	34	99	56		
2		31	35	34	41	32	35	34	69		
3		39	36	37	35	39	31	40	47	55	
4		37	33	47	35	45	43	37	42		
5		33	34	43	32	32	35	35	44		
6		45	37	36	38	37	39	79	38		
7		41	42	41	38	45	42	41	44	47	61
8		42	44	36	41	42	43	42	53	71	
9		43	35	40	40	40	40	42	55		
10		42	58	44	50	55	85	48	64	64	
11		13	14	12	13	15	21	24	25		
12		13	13	12	13	16	21	35			
13		18	17	17	18	16	20	22	29		
14		19	21	38	27	26	16	21	39		
15		16	16	16	16	18	17	17	39		
16		12	12	11	12	15	13	11	17	20	30

表A.2 衰退趨勢分析原始資料 (PIF Max)

樣本號	回合	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		12	12	11	11	11	10	11	73		
2		6	7	6	6	6	7	12	79		
3		16	15	16	15	16	16	16	27	62	
4		7	6	7	7	7	7	7	54		
5		6	7	7	7	7	6	7	55		
6		7	10	10	10	10	10	10	55		
7		4	4	5	4	4	4	4	16	16	103
8		5	6	6	5	6	5	6	26	54	
9		4	4	4	4	20	23	35	51		
10		5	5	6	6	7	17	13	33	63	
11		6	6	6	6	16	33	26	59		
12		8	9	9	9	20	21	55			
13		6	6	7	5	9	23	32	55		
14		10	10	10	10	9	10	12	48		
15		12	13	12	13	12	14	15	51		
16		7	6	6	6	7	7	6	26	31	41

表A.3 衰退趨勢分析原始資料 (Jitter Max)

樣本號	回合	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		11.0	11.5	10.7	11.3	11.4	10.8	11.0	14.1		
2		10.6	10.2	11.7	10.6	12.1	11.5	11.8	15.1		
3		10.7	12.8	11.9	12.5	11.8	12.9	10.9	13.4	14.6	
4		10.6	10.3	10.6	11.3	10.9	10.4	10.5	13.8		
5		11.0	11.6	10.9	11.6	11.2	11.2	12.1	13.9		
6		11.6	10.5	11.7	10.4	10.3	11.6	12.2	15.6		
7		10.1	10.1	10.2	10.5	10.2	9.9	10.2	11.2	12.3	14.8
8		10.3	10.0	10.6	10.9	10.5	10.1	10.1	12.5	13.5	
9		9.7	9.7	9.6	9.9	13.9	11.9	12.9	12.7		
10		11.4	11.9	11.6	12.7	13.0	11.6	11.7	14.5	13.5	
11		10.7	10.8	10.5	10.6	10.9	12.8	13.1	12.8		
12		11.3	11.1	11.3	11.2	12.3	13.7	14.8			
13		10.9	11.0	10.7	10.9	11.0	12.7	13.4	15.7		
14		12.8	12.1	12.5	11.7	11.6	13.7	12.2	13.7		
15		12.1	12.5	12.9	12.3	12.2	12.8	12.6	13.9		
16		11.5	11.4	12.3	11.2	11.3	11.2	11.2	13.1	14.3	17.5

附錄B

表B.1 三種情境比較分析原始資料 (PIE)

Disc Tag	回合	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NA1		7.67	7.81	7.71	8.14	7.71	7.89	8.24	13.76		
NA2		6.93	6.89	6.88	6.92	6.46	6.85	7.75	13.63		
NA3		7.37	7.40	7.37	7.58	7.10	6.80	6.85	10.25	14.02	
TA4		7.33	7.86	7.01	7.60	7.80	6.81	7.41	11.93		
TA5		6.82	7.11	7.25	6.94	7.16	6.84	6.84	10.83		
TA6		7.10	8.12	7.96	8.38	7.40	7.51	8.00	11.67		
NB1		14.83	15.59	15.00	16.34	16.38	17.38	17.87	15.98	20.47	22.51
NB2		14.29	14.51	13.94	13.80	14.47	14.41	14.53	16.61	16.76	17.42
NB3		13.35	13.52	13.60	14.55	13.57	13.34	13.41	15.54	15.70	
FB4		13.07	13.20	13.79	13.93	15.11	16.00	16.34	18.32		
FB5		14.48	15.37	14.44	15.33	14.88	17.40	14.89	16.97	21.48	
FB6		14.71	15.53	15.24	16.86	24.37	22.79	17.96	18.31		
FC1		2.14	2.17	2.04	2.16	2.35	3.65	4.26	5.11		
FC2		2.39	2.50	2.26	2.45	2.88	4.44	6.53			
FC3		2.39	2.12	2.02	2.04	2.18	3.29	3.55	4.34		
TC4		3.55	3.60	4.43	4.17	4.25	3.32	3.92	8.05		
TC5		4.07	4.26	3.93	4.07	4.13	4.23	4.09	8.18		
TC6		1.76	1.77	1.67	1.81	1.90	1.91	1.81	3.31	3.31	5.12

表B.2 三種情境比較分析原始資料 (PIF)

Disc Tag	回合	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NA1		0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.93		
NA2		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	1.24		
NA3		0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.85	1.63	
TA4		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.39		
TA5		0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.99		
TA6		0.03	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	1.20		
NB1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.10	1.09
NB2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	0.86
NB3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.43	
FB4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.19	0.59	0.95		
FB5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.11	0.16	1.07	1.86	
FB6		0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.36	0.38	1.38		
FC1		0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.41	0.40	0.78		
FC2		0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	0.60	1.02			
FC3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.23	0.45	0.74		
TC4		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.85		
TC5		0.15	0.16	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	1.23		
TC6		0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.32	0.34	0.99

表B.3 三種情境比較分析原始資料 (Jitter)

Disc Tag	回合	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NA1		9.54	9.50	9.46	9.53	9.45	9.47	9.76	9.68		
NA2		9.41	9.27	9.44	9.36	9.47	9.34	9.39	9.49		
NA3		9.36	9.35	9.37	9.43	9.44	9.42	9.32	9.61	9.68	
TA4		9.31	9.37	9.29	9.34	9.50	9.41	9.32	9.48		
TA5		9.41	9.44	9.55	9.42	9.59	9.37	9.47	9.59		
TA6		9.44	9.31	9.35	9.38	9.28	9.39	9.51	9.67		
NB1		8.98	9.05	9.00	9.11	9.00	9.21	9.21	9.13	9.36	9.33
NB2		8.86	8.90	8.91	8.93	8.96	8.84	8.92	8.94	9.08	8.97
NB3		8.96	9.03	9.09	9.29	9.07	9.21	9.11	9.13	9.23	
FB4		8.72	8.75	8.59	8.67	8.75	8.78	8.83	8.87		
FB5		9.24	9.28	9.25	9.25	9.19	9.23	9.20	9.52	9.58	
FB6		9.14	9.36	9.30	9.39	9.43	9.64	9.49	9.53		
FC1		9.54	9.28	9.41	9.25	9.26	9.66	9.56	9.79		
FC2		9.82	9.56	9.72	9.57	9.70	9.93	10.09			
FC3		9.88	9.75	9.59	9.91	9.85	9.92	9.85	9.87		
TC4		10.06	10.06	10.08	10.12	10.19	10.12	10.22	10.42		
TC5		9.90	9.75	9.58	9.98	9.74	9.82	9.73	10.32		
TC6		9.84	9.87	9.83	10.06	10.09	10.09	10.06	10.04	10.12	10.20