

液晶顯示器呈現動態畫面品質在色彩偏移分析之 視覺評量方法研究

陳瀚凱* 管倖生**

* 國立雲林科技大學設計學研究所、明道大學數位設計學系

hankai@mdu.edu.tw

**國立雲林科技大學設計學研究所

ssguan@yuntech.edu.tw

摘要

近年來，液晶顯示器 LCD 的發展越來越具有國際競爭力，我國目前也致力於創新性技術的研發。由於 LCD 顯示器屬於新興產業，對於影像之品質評估模式仍屬於發展階段，尤其以往的評估方式較偏向機器量測的物理量數據，反而忽略人眼視覺評量的心理量機制，因此，如何建立一套標準化，並符合人眼與機器評量的影像品質評估模式，是一項非常重要的研究議題。本研究鑒於動態畫面品質評估模式建立與應用之迫切性，導入動態畫面之視覺評估，並以色彩偏移（Color-shift）分析測試為主要架構，藉由高速攝影取像技術與心理之視覺評估影像參數同時進行驗證測試。研究目的：（1）驗證測試動態畫面之視覺評量的方法，並提出有關動態畫面品質之視覺評量模式及改良建議。（2）比對視覺評量與高速攝影取像兩者量測之結果，藉以驗證視覺評量方法的信度與效度。（3）提出一套呈現動態畫面品質影響觀者之視覺評量方法，作為國內產業或設計界應用之參考。

關鍵詞：動態影像、色彩偏移、視覺評估

論文引用：陳瀚凱、管倖生(2008)。液晶顯示器呈現動態畫面品質在色彩偏移分析之視覺評量方法研究。
設計學報，13(1)，51-70。

一、前言

近年來，液晶顯示器（Liquid crystal display, LCD）的發展越來越具有國際競爭力，目前我國也致力於創新性技術的研發。由於 LCD 是屬於新興產業，對於影像之品質評估模式仍屬於發展階段，尤其以往的評估方式較偏向機器量測的物理量數據，反而忽略人眼視覺評量的心理量機制，因此，如何建立一套標準化，並符合人眼與機器評量的影像品質評估模式，是一項非常重要的研究議題。尤其是普遍呈現動態畫面的今天，設計師更應該對呈現相關動態畫面的媒介技術（例如：液晶螢幕、單槍投影、顯示器等），

也必須有同步的認知與瞭解，如此在數位設計的管理過程，例如：視訊設計、動畫設計、廣告設計或網頁設計等，才能有更好的設計品質呈現。事實上，影響動態畫面品質的因素非常多，包括：色彩偏移、解析度、對比度、畫面亮度、均勻度及反應時間等，且均牽涉到許多人因工程方面的問題，欲獲得較佳的影像品質，從驅動系統的設計、液晶面板的製作技術以及 LCD 整體光學架構等都必須密切配合。更重要的工作是，如何執行有關影響影像品質的視覺評估與量測，這也是鑑定顯示器品質好壞與否過程中非常重要的一環，畢竟液晶顯示器最終的目的是必須正確無誤地把所有動態影像內容傳遞到人眼知覺感官的途徑，因此，人眼能夠如何即時感知影像品質的好壞與否，似乎才是執行視覺評量的關鍵因素。本研究鑒於動態畫面品質評估模式的建立與應用之迫切性，以顯示器動態畫面之品質呈現評估，並以「色彩偏移」(Color-shift) 分析測試為主要架構，藉由高速攝影取像技術與心理之視覺評估影像參數進行同時驗證測試。研究目的：(1) 驗證測試動態畫面之視覺評量方法，並提出有關動態畫面品質之視覺評量模式及改良建議。(2) 比對視覺評量與高速攝影取像兩者量測之結果，藉以驗證視覺評量方法的信度與效度。(3) 提出一套動態畫面呈現品質影響觀者之視覺評量方法，作為國內產業或設計界應用之參考。

二、文獻探討

2-1 關於影像品質之視覺評量標準與方法

影像評估之相關規範或技術，於鑑定 LCD 品質的過程中是一件相當重要的工作。人眼知覺 LCD 所顯示的影像及感受的視覺品質，便可以稱為影像品質。所以，一般考量影像品質的問題時，常會將人眼作為評估的標準。有關 LCD 影像品質的探討，楊克勤、馬光璋、張永昇(1992)曾根據國內外文獻歸納，以視知覺的主觀判斷與視覺心理性作為評估基準，共分成下列五項因素，即：解析度(Resolution)、對比度(Contrast)、畫面亮度與均勻度(Luminance & luminance uniformity)、畫面的色彩品質(Color appearance)、畫面閃爍(Flicker)等。但本研究發現上述文獻，論述視覺評估之影響因素，大部分皆與 LCD 之視覺呈像技術等有其密切關係，反而，較缺乏人眼對視覺設計主觀心理判斷所產生的影響，針對視覺評估方法之實驗設計等則著墨不多。

本研究主要探討動態影像的「色彩偏移」(Color-shift)與色彩配對組合在視覺評量的差異關係。因此，有關色彩與視覺評估的研究方式，管倅生與童鼎鈞(2002)曾歸納出目前較常採用的六種評估方式：灰階比對法(Grey scale method)、成對比較法(Pair comparison method)、排序法(Ranking method)、比率法(Ratio method)、歸類法(Category method)、絕對閾法(Absolute threshold method)等。第一、「灰階法」，是要求受測者由實驗給予之無彩色灰階標準色樣尋找相類似的色差對。灰階中包含幾個色樣對，全是無彩色且所有樣本的材質皆為相同，此方法的優點在於允許不同時間、環境條件下，以相同灰階判斷下的視覺結果可相互作比較。第二、「成對比較法」，主要是以比較實驗樣本是否有較標準樣本佳？兩者差異性？以及能否區別等。第三、「排序法」，乃根據個人主觀認知對影像樣本差異性進行排序。第四「比率法」，於影像評估中常採用，主要是以標準影像樣本之某一特徵當作基本單位，然後讓受測者判斷實驗影像樣本之某一特徵相對於基本單位的比率(倍數或分數關係)。第五、「歸類法」，主要以標準樣本與一群測試樣本同時呈現給受測者，受測者評估各樣本間之差異，並且根據差異距離之範疇分成六級：1.沒有差異、2.恰好達顯著差異、3.顯著差異、4.相當大的差異、5.大差異、6.非常大的差異。第六、「絕對閾法」，始評估時，呈現有無差異的影像樣本對給受測者，然後再把不同測試影像樣本予以配對，拿給受測者看，直到受測者可以發覺已達到可以區辨差異的狀況。

2-2 動態畫面品質測試與視覺評估相關研究

Yamamoto、Aono 與 Tsumura (2000) 曾評估 AMLCD (Active-matrix liquid crystal display) 呈現動態影像品質的研究, 提出:「時間基礎影像積分測量系統」(Time-based-image integration measurement system, TIM), 模擬視覺感知的動態影像與移動的影像輪廓。上述研究認為; 觀看連續動態的影像時, 影像認知是經由人眼的生理機制而產生融合的效果, 因此, 當評估 AMLCD 呈現動態影像品質時, 應將動態的影像, 以時間點區分的方式, 重新呈現「靜態的單一圖形」, 藉以模擬人眼觀測動態影像時, 影像於視網膜的呈像狀態。而 TIM 系統則有助於重新呈現動態影像以及影像輪廓, 藉由 TIM 系統將動態影像「還原」為靜態影像, 以利影像品質的評估。研究中並以影像邊緣的模糊寬度 (Blurred-edge-width, BEW) 以及動態對比度 (Dynamic contrast ratio, DCR) 的方式, 評估影像品質。此外, 有關 LCD 製造技術對影像品質提昇的影響方面, Oda、Yuuki 與 Teragaki (2002) 的研究, 則提出兩項; 其一為 FFD (Feed forward Driving) 技術; 其二為 SISB (Sequentially intermittent switched backlighting)。研究認為, 人眼觀看動態影像, 眼球會追蹤影像, 所以影像在視網膜中得到的資訊應是「靜態的影像」。研究採用感光耦合元件攝影機 (Charge-coupled device camera, CCD Camera) 為擷取動態影像的主要工具, 同時為了使 CCD Camera 擷取之影像, 可模擬人眼觀看動態物件時物件於視網膜的呈像狀態。因此, 研發轉動攝影機的裝置 (Camera-rotating device), 以轉動角度配合物件移動的速度, 獲取近似視網膜呈像的靜態畫面, 研究稱之為追蹤攝影系統 (Pursuit camera system)。然而, 本研究發現, Oda 等人的研究只追蹤所謂的橫向水平移動狀態, 卻缺乏縱向遠近移動的量測比對。通常要真實察覺目標物的移動, 其原則要符合下列兩種要素: 第一為縱向的遠近移動, 當物體由遠而近的移動, 則物體尺寸呈現由小而大的變化, 如速度愈快, 則變化的頻率就愈快。第二是橫向的左右移動, 無論是往左或往右邊方向, 視知覺所觀測的方向與實際物體的移動方向相反, 離視網膜愈近者, 移動速度較快, 反之, 離視網膜較遠者, 則移動速度較慢。因此, 如果要使動態影像的評估趨於真實性, 則與物體在視網膜的呈像, 諸如: 方向、重疊、大小、頻率等刺激, 有密切關聯。

Kurita 與 Saito (2002) 在研究中採用「眼球追蹤整合模式」(Eye-tracing integration model) 時間頻率特性, 對於觀看動態影像的影響研究, 則是採用主觀評量的方式, 針對 AMLCD 呈現影像頻率作評估。研究認為, 人眼感知的動態模糊效果與視網膜階段的視覺訊息處理模式有關, 且可將此種模式視覺假想為 AMLCD, 因為「定位運算」(Hold-type) 而產生的動態模糊現象。該實驗利用人眼主觀判斷之「視覺比對」方式, 請受測者於 AMLCD 調整影像的振幅, 以瞭解動態振幅圖形移動後, 視覺感知的振幅變化現象, 並於不同的環境光源條件下進行實驗。研究發現, 視覺處理模式的動態影像整合準確度, 會因外在環境光源的增加而有降低的趨勢。Nakamura、Okuda、Someya 與 Yamakawa (2002) 則以無色彩 CCD Camera 擷取影像, 並以「高點雜訊比」(Peak-signal to noise ratio, PSNR) 的分析方式, 評估 LCD 顯示動態影像的品質, 而研究中發現此種影像品質的評估方式, 可以延伸運用於自然型態的影像品質評估。上述研究, 雖提出屬於人類視覺心理之視覺比對方式, 但主觀性的判斷卻會因受測者的外在環境因素而有變項差異。相對的, 則提出純機械式的 CCD Camera 擷取影像, 雖摒除了視知覺心理性與嗜好性的干擾, 且其量測值也較精密, 但缺點是 LCD 螢幕品質最終還是必須考慮使用者觀點, 人眼的視覺評量還是有其必要性。因此, 如果適當改良並結合這兩項研究方法的優缺點, 或許可以使動態畫面品質評估更有意義。

綜觀上述相關研究都有一些共通點: 各研究雖因不同目的, 採用不同的螢幕測量或評估的方式, 但研究中皆採用高速攝影影像擷取設備, 以取得精確的影像參數。而研究樣本部分, 對於如何評估自然真實之視訊影片與數位動態影像則未見深入探討。此外, 有關結合動態畫面品質測試模組之視覺評價與高

速攝影影像量測系統結果之比對的研究量測，其相關研究文獻也極缺乏。因此，本計畫考量目前相關研究仍具持續發展之空間以及尚未標準化評估影像品質方式，希望藉由實驗的過程與分析，提出測試 LCD 動態畫面品質的方法及品質判斷的準則，以及動態畫面品質高速攝影影像測試系統驗證測試及改良。

2-3 動態畫面的色彩偏移 (Color-shift)

以 LCD 呈像技術而言，動態畫面會造成模糊邊緣 (Motion blur edge)，進而產生色彩偏移 (Color-shift) 現象，這其實與 LCD 的液晶材料反應時間 (Low response speed) 有密切關聯。「反應時間」是指一個液晶晶元 (Liquid crystal cell) 從發光到不發光，再回到發光的狀態所需要的時間。簡單的說，就是一個像素由黑到白再轉黑，所需的時間 (Tr+Tf)。反應時間以毫秒 (ms, milliseconds) 為單位。而造成反應時間差異的因素主要有二，第一為液晶的黏度；第二則為驅動液晶旋轉的電壓。液晶的黏度是液晶材料的基本要求，黏度越低則顯示的反應時間便會縮短。而電壓量的部分則是指驅動液晶旋轉時所需要的電壓量，一般而言，螢幕反應時間是指，顯示器的一個液晶元件從黑色變成白色，再加上由白轉成黑的時間加總 (周秀光，1999)。然而，事實上，液晶螢幕由黑色轉成白色的電壓量是最高的，此時液晶的旋轉速度也最快，若是螢幕呈現不同色彩，則所需的電壓也就不相同。例如，由黑色轉換成白色，電晶體的電壓是由 0 增加至 1 伏特，當電壓達到最高時，液晶變化達到最快速的移動。但若由中性灰色轉換至白色時，僅需要一半的電壓，此電壓值對液晶的刺激度較低，因此，移動的速度也較慢。因此，當不同的景色與背景色間之配對組合，就會影響不同的驅動液晶旋轉電壓量之高低，造成 LCD 呈現動態影像時出現模糊邊緣，進而產生動態色彩偏移的狀況 (楊克勤、馬光璋、張永昇，1992)。

以視知覺而言，動態色偏其實是受到「視覺正負殘像」與「色彩同化效果」 (Color assimilation effect) 雙重影響的結果。所謂的正殘像 (Positive afterimage) 乃視知覺對一連串類似形象刺激所感覺到的動態效果，屬於一種視知覺的持續紀錄現象；會自動記憶先前光覺刺激，所遺留下的刺激持續時間通常不超過一秒鐘。當受測者觀察移動的前景色邊緣時，視知覺會因「感覺持續」 (Persistency period) 紀錄現象，自動記憶先前的顏色光覺刺激，而與背景色相互混色。同時，有關負殘像的影響，則是在移除光刺激一秒後還是會持續出現，連續的色刺激產生色適應而造成感受性的失衡疲勞，因此補色殘像便會出現，藉以彌補感受性失衡的影響，因此，經由「視覺正負殘像」的雙重影響，就會產生色彩偏移與干擾畫面品質的效果。「色彩同化效果」，則是指前景色底紋密度會影響背景色，例如以黑色為背景的動態紅色矩形，其動態邊緣閃爍晃動的狀態會產生所謂的條紋密度，此時若注意觀察模糊邊緣，會看到帶有黑色的紅色邊緣，這是就色同化效果所產生的影響 (山中俊夫，2003/黃書倩譯，2003)。

三、研究方法與步驟

3-1 關於實驗設計

3-1.1 兩大評量部分

實驗可分為「高速攝影影像取樣」與「視覺評量」兩項，同時，驗證不同影像播放硬體對於影像色偏現象之影響，高速攝影取樣評估部分由 TTLA (中華民國台灣薄膜電晶體液晶顯示器產業協會) 執行 (參圖：1.a)，本研究則負責視覺評估部分 (參圖 1.b)。

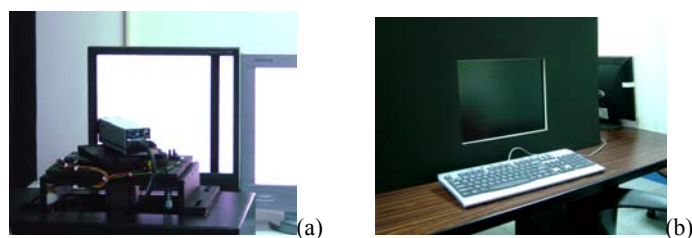


圖 1：實驗可分為：(a)「高速攝影影像取樣」與(b)「視覺評量」

3-1.2 受測者

採用 15 位通過視覺色彩辨識檢測(Farnsworth-munsell 100-hue test)考驗者為主要受測者，每人進行兩次視覺評價，總共 30 人次。

3-1.3 實驗者

實驗人員位於受測者電腦旁邊，除了架設受測者端電腦硬體外，主要工作是為了紀錄受測者端電腦所呈現的數據，以及相關實驗與操作說明。

3-1.4 實驗之LCD螢幕機型

本研究選用三台不同反應時間的 LCD 作驗證測試。相關規格如下表所示：

表 1：關於三台 LCD 之機型規格表

液晶顯示器品牌	反應時間	螢幕尺寸	最高解析度	平均亮度	平均對比度
View Sonic VP171s	16ms	17吋TFT	1280×1024	300 cd/m ²	600:1
View Sonic VA-720	25ms	17吋TFT	1280×1024	300 cd/m ²	600:1
IBM SLIMAGE-821	40ms	17吋TFT	1280×1024	300 cd/m ²	600:1

3-1.5 受測者端電腦

以「桌上型電腦主機」作為播放圖形範本。受測者操作電腦進行實驗，實驗程式與圖形樣本之呈現都在該電腦上執行，電腦硬體為：P4 2.6Ghz、1.0GRAM，操作系統為 Windows-XP。

3-1.6 環境光源

根據 Kurita 與 Saito (2002) 研究發現，視覺處理模式的動態影像整合準確度，會因外在環境光源的增加而有降低的趨勢。因此，本實驗於正式測試時是在完全密閉的暗室進行實驗，所有的環境光源予以消除，只保留螢幕光源以增加驗證的準確度。

3-2 實驗方法評估

本研究嘗試透過專家會議，針對下列三項之視覺評量方法，分別為：「等階法」、「比較法」以及「絕對閾法」等作優缺點之效益評估。有關參與「專家會議」的專家共有三位；第一位專家，專長於色彩影像科學研究，以及使用性工學的視覺評量方法研究，設計資歷 10 年以上。第二位專家，專長於視覺信息與認知心理學的研究，同時為大學專任教師，設計資歷 8 年以上。第三位專家，專業背景為視覺傳達設計師，設計實務經驗豐富，設計資歷 8 年以上。

為達到本實驗的目的，專家會議之評估流程有三個步驟：(一)先由本研究提出相關的視覺評量方法，分別為：「等階法」、「比較法」以及「絕對閾法」等。(二)在專家會議中詳細講解與說明三種視覺評量的設計過程，以及互相比較後之效益評估。(三)最後，由三位專家討論、並選出彼此都能達成共識

的視覺評量方法。相關視覺評量之效益評估重點，如下所列：

3-2.1 關於等階法 (Scale method) 評估

1. 主要提供受測者在標準色樣中尋找類似的色差對，並允許在不同時間、環境條件下，以相同的階度判斷的視覺結果。本研究嘗試以不同影像軟體的漸層工具，製作「7 階色彩漸層階度」的視覺評量視窗，希望從過程中找出較適切的評量方法，為後續實驗的基準。
2. 有利點：(1) 可更精簡實驗樣本的數量，只需製作 52 組即可。(2) 以「色彩同化效果」基礎，找出前景色至背景色的漸層變化過程即可。(3) 提供受測者在每一組標準色樣尋找類似的色差對。(4) 允許在不同時間、環境條件下，以每一組配色對的相同漸層階度，判斷其視覺結果。(5) 可同時比較 3 台反應時間與機器量測所呈現的結果。
3. 問題點：(1) 如何正確找出每一組配色對的漸層階度與製作方式？(2) 其漸層階度值轉換成 Lab 值的公式換算方法？(3) 漸層階度由物理量轉換成心理量間所產生的問題。
4. Illustrator 軟體之漸層製作評估：以兩色間的色差為距離長度，再依指定階數的多寡，平均分配漸層的數量。(1) 本實驗採取 7 階漸層，以 7 階平均分配漸層色差的距離。(2) 優點，可精確的指定階數。(3) 缺點，則是無法即時把 RGB 數值轉換成 Lab 數值(參圖 2.a、圖 2.b)。

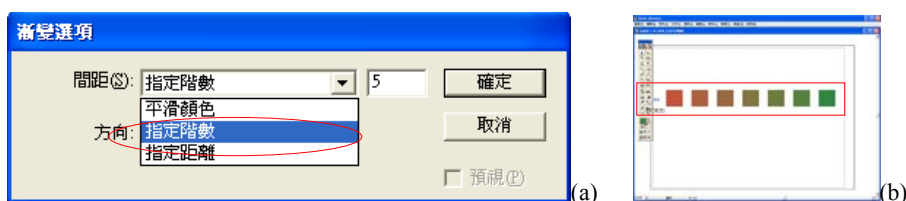


圖 2：關於 Illustrator 繪圖軟體之漸層製作評估：(a)使用漸變 (Blend) 指令；(b)指定共 7 個階數

5. Photoshop 軟體之漸層製作評估：依據漸層色間的色彩變化百分比計算漸層階數。漸層階數=256 灰度階*色彩變化的百分比。而色彩百分比也是以兩色間的最大色差為平均長度，再依 256 色階分配漸層的數量，通常一個 pixel 會平均分配一個色階。(1) 因本實驗以 7 階漸層作為標準，因此，必須以 7*7pixel 定為平均分配漸層色差的長寬距離(通常第 1 階稍緩，第 7 階較急遽)。(2) 設定前景色至背景色，選擇線性漸層工具。(3) 以最接近像素法擴大影像解析度，到 70*70pixel。(4) 以顏色滴管選取各色階的 Lab 數值，最後製作 7 階漸層色票(參圖 3.a、圖 3.b)。



圖 3：關於 Photoshop 繪圖軟體之漸層製作評估：(a)使用漸變 (Gradient) 指令；(b)指定共 7 個階數

3-2.2 關於比較法(Comparison method)評估

1. 藉由每組色彩配對所轉換的機器量測數據，使其成為視覺上可觀察驗證的色票，並配合人眼評量的實驗視窗作相互比對。
2. 有利點：以機器量測數據為主，可視為縮減實驗樣本的依據。同時也可在視覺評量上加以比對

機器量測的數據，在機器量測範圍內藉以控制視覺評量的色閾範圍，便於比較。

3. 問題點：(1) 視覺評量是否會看到，機器量測數據以外的顏色？(2) 由於，每一組都是一對一的數據比對，無法同時比較其它組別。(3) 視覺評量必須根據每一組機器量測數據(包括 3 組反應時間)製作視窗，因此，初步估計必須製作 162 組實驗視窗，包括：飽和 RGBCMY-81 組，以及不飽和 RGBCMY-81 組(樣本數非常龐大)。
4. 實驗視窗的設計步驟：(1) 每一組色彩配對的機器量測數據共有 700pixel。(2) 因此以 100pixel 為基本單位，依順序排列共分成 7 階色票，藉以模擬視覺 7 階等距表，使受測者有參考選擇的依據。(3) 主要目的是為了瞭解，是在哪一階的色閾範圍之內(參圖 4)。



圖 4：以 B-R 700pixel 的數據資料為例

3-2.3 關於絕對閾法(Absolute threshold method)評估

1. 開始評估時，提供有或沒差異的影像樣本對給受測者，然後再改變測試影像樣本予以配對，直到受測者可查覺此影像對已達到可區辨差異的狀況。
2. 有利點：(1) 以機器量測數據為主，定為縮減實驗樣本的依據。(2) 在視覺評量方面可加以比對機器量測數據，能更瞭解人眼評量的色閾範圍，並精確指出是哪一組顏色。
3. 問題點：(1) 由於每一組都是一對一的數據比對，無法同時比較其它組別。(2) 視覺評量必須根據每一組機器量測數據(包括 3 組反應時間)製作視窗，因此，初步估計必須製作 162 組實驗視窗，包括：飽和 RGBCMY-810 組，以及不飽和 RGBCMY-810 組(樣本龐大)。
4. 實驗視窗的設計步驟：(1) 必須根據先前實驗，由受測者比對色彩偏移的範圍後，再往下點選，並展開色票成為 10 個色票(參圖 5.a)。(2) 每一組色彩配對的 10 個色票，共有 100pixel 的量測數據資料。(3) 主要目的是由受測者控制往左或往右鍵，使動態畫面的色彩偏移顏色與底下的顏色，相互融合為止(從有差異至無差異)(參圖 5.b)。

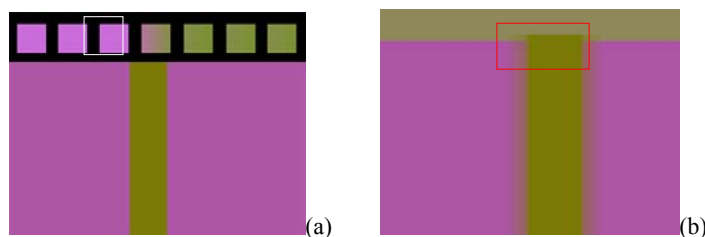


圖 5：關於絕對閾法之視覺評估方法：(a) 閾限 7 階視窗圖；(b) 動態畫面的色彩偏移與背景顏色之融合程度

3-3 關於實驗視窗設計部分

3-3.1 有關動態畫面的色偏現象於視覺評量方面

本研究經由幾位專家評估上述漸層製作方式後，最後，決定以 Photoshop 的漸層工具為主，並依此製作視覺 7 階漸層等距表，主要原因有下：

1. 漸層階數的計算，主要是以色彩影像的兩端點明度差、256 灰階與色彩變化百分比等三種概念製作，因此，在明度與彩度的控制變項會較好掌控。
2. 漸層階數的變化，呈現類似等差級數的變化，但由於第 1 階與第 2 階的變化較急遽，第 6 階與第 7 階間的變化較緩和。因此，其色彩變化的階度類似心理量的變化。
3. 其 RGB 數值與 Lab 數值的公式轉換較為迅速方便，所見即所得。
4. 在 Lab 色彩空間的預測，可運用線性迴歸公式，計算視覺 7 階等距表間每一階的色彩變化 (LAB)，預測率可到小數點後 1 位，即可利用迴歸式 (參表 3)，預測每一組色彩配對，最多可達 70 階的變化，請參考最後完成的實驗視窗設計 (參圖 6.a、圖 6.b)
5. 實驗視窗規格：總長寬為：1024*768 pixel，前方移動的「矩形」規格為：128*598 pixel，上方的「漸層等距表」規格為：1024*170 pixel，每一個漸層色票規格為：100*100 pixel，最後，「矩形的移動方向」是固定從左到右，並以每一影格 Frame 移動 30 pixel 進行。
6. 視角 (Visual angle) 會影響視覺敏銳度 (Visual acuity)，視角愈小敏銳度愈高，通常視角介於 6-10 度之間，皆屬合理。本研究擬將受測者眼睛 (視線) 與螢幕上動態矩形在水平線的夾角大小定義為「視角」。目標物 $d \approx 60\text{mm}$ (128*598 pixel)，螢幕與人眼距離 $D \approx 500\text{mm}$ ，因此，以公式換算視角 $\Theta \approx 6.8^\circ$ 。

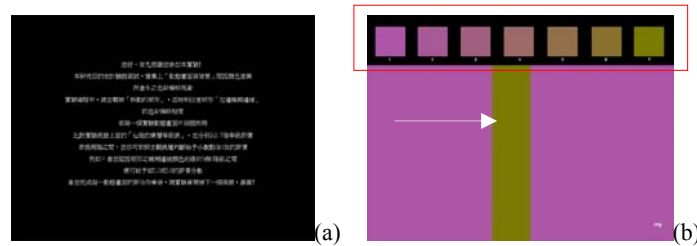


圖 6：關於實驗視窗最後確認：(a)實驗視窗首頁；(b)實驗視窗操作畫面

3-3.2 色彩樣本量測與配對樣本選定

本研究經由 PR-650 光譜色度計先行量測液晶螢幕顏色，PR-650 光譜色度計是依據「光譜色彩測量法」原理所設計的測色儀器，能快速掃描「光譜輻射電波」，取得光學輻射從 380-780nm 可見光譜，並同步以微電腦控制 (CMOS) 的方式擷取資料。色彩測量於接目鏡可見測色範圍約為人眼視角 1 度左右，再運用 Spectra win 配套軟體，將色彩資料下載。關於色彩樣本設計共分成三個階段：

1. 第一階段的量測數據稱為：「飽和的 RGBCMY」(參表 2)。

表 2：飽和與非飽和色彩的 RGBCMY 量測數據

飽和色彩	明度-L	彩度-a	彩度-b	非飽和色彩	明度-L	彩度-a	彩度-b
R	57.60	79.76	64.69	R	50	43	35
G	87.46	89.88	76.08	G	50	-42	36
B	33.88	69.71	-104.54	B	50	30	-46
C	90.28	-52.81	-15.28	C	50	-53	-15
M	64.06	93.63	-55.35	M	50	47	-28
Y	98.15	-20.12	87.71	Y	50	-12	54

2. 第二階段的數據稱為：「非飽和的 RGBCMY」，主要為配合樣本縮減與便於後續資料分析。因此，本研究藉由統一 R（紅色）、G（綠色）、B（藍色）、C（青色）、M（洋紅色）、Y（黃色）等色彩明度與彩度達成目的，明度統一 L=50，彩度以 C 色為彩度參考依據，因其彩度距離最短（參見表 2）。
3. 經由「飽和色彩」與「非飽和色彩」共分成四大項目，與 54 種色彩配對組合（參見表 3）。

表 3：54 組色彩配對組合

四大項目	各項目的色彩配對組合
(1) 不飽和的RGBCMY (色彩相互正向配對)	分別為：RG、RB、RC、RM、RY、GB、GC、GM、GY、BC、BM、BY、CM、CY，MY等15組色彩兩兩正向配對(背景RGBCM-前景GBCMY)。
(2) 不飽和的RGBCMY (與黑白背景配對)	分別為：BL-R、BL-G、BL-B、BL-C、BL-M、BL-Y、W-R、W-G、W-B、W-C、W-M，W-Y等12組色彩配對(黑白背景-前景RGBCMY)。
(3) 飽和的RGBCMY (色彩相互正向配對)	分別為：RG、RB、RC、RM、RY、GB、GC、GM、GY、BC、BM、BY、CM、CY，MY等15組色彩兩兩正向配對(背景RGBCM-前景GBCMY)。
(4) 飽和的RGBCMY (與黑白背景配對)	分別為：BL-R、BL-G、BL-B、BL-C、BL-M、BL-Y、W-R、W-G、W-B、W-C、W-M，W-Y等12組色彩配對(黑白背景-前景RGBCMY)。

四、實證結果分析與探討

4-1 關於 4 組色彩配對組合之漸層等階表迴歸預測分析

本研究擬以線性迴歸式，預測 54 組色彩配對時，驗證測試人眼觀測螢幕之「動態畫面與背景」左側邊緣模糊，因顏色差異所產生之色彩偏移現象，以等階法 (Scale method) 評估的概念，在實驗視窗上方放置每一組色彩配對的「漸層等階表」，同時用 PR-650 光譜色度計量測各組色彩配對在液晶螢幕所呈現的顏色，並把每組色票轉換為 LAB 數值。

最後，經由線性迴歸統計分析發現，除了第一組不飽和的 R-M (紅底-洋紅色)=0.875 稍低外，其餘在「漸層等階表」的色彩預測率都非常高，各組色彩配對組合的預測程度皆達 0.9 以上，最高預測率可達 $R^2=1$ ，符合預測標準（參見表 4）。

4-2 關於 4 組色彩配對組合之視覺評量結果分析

本實驗經由 30 位受測者的驗證，實驗過程是由受測者觀察「移動的矩形」（參見圖 6.a），並特別注意矩形「左邊模糊邊緣」的色彩偏移程度，每一個實驗動態畫面片段播放時，比對實驗視窗上面的「七階漸層等距表」，並分別以 1-7 階等級評價，若為兩階之間，亦可依照主觀視覺判斷給予小數點後 1 位的評價，例如，當受測者認為矩形之模糊邊緣顏色約落於 5 與 6 階之間，便可給予如 5.3 或 5.8 的評價分數。最後，本研究再依據 30 受測者對每一組色彩配對所給予的平均分數，以線性迴歸公式轉換成 LAB 數值（參見表 4），視覺評量結果可參考下一章節作詳細說明。

本研究為探討色彩配對組合所產生的偏色效果高低，擬以「色差的觀念」來驗證測試，CIE $L^*a^*b^*$ 色差 (ΔE) 公式如下： $\Delta E = [(L1-L2)^2 + (a1-a2)^2 + (b1-b2)^2]^{1/2}$ ，即當兩色的色彩差異愈類似時，則在色彩空間中的距離應該愈近，此時，色差就會愈小。因此，本研究假設當動態畫面「左邊模糊邊緣」

表 4：五十四組色彩配對組合之漸層等階表迴歸公式

第一組：不飽和的 RGBCMY (色彩相互正向配對) 明度統一 L=50			
R-G(紅底 L=50、a=44、b=36-綠色 L=50、a=-39、b=35)		R-B(紅底 L=50、a=44、b=36-藍色 L=50、a=25、b=-46)	
$A=(0.1944*\text{階數 } 3)+(-3.1071*\text{階數 } 2)+(-0.0159*\text{階數})+47$	R2=1	$A=(0.0833*\text{階數 } 3)+(-0.85711*\text{階數 } 2)+(-1.0833*\text{階數})+45.8571$	R2=0.998
$B=(0.1111*\text{階數 } 3)+(-0.9167*\text{階數 } 2)+(0.8294*\text{階數})+36$	R2=0.993	$B=(0.1111*\text{階數 } 3)+(-1.8929*\text{階數 } 2)+(-4.7897*\text{階數})+42.8571$	R2=0.999
R-C(紅底 L=50、a=44、b=36-青色 L=50、a=-32、b=-10)		R-M(紅底 L=50、a=44、b=36-洋紅色 L=50、a=44、b=-27)	
$A=(0.5*\text{階數 } 3)+(-5.4962*\text{階數 } 2)+(2.6667*\text{階數})+46.4286$	R2=1	$A=(0.0278*\text{階數 } 3)+(-0.2143*\text{階數 } 2)+(0.1151*\text{階數})+44.1429$	R2=0.875
$B=(0.1667*\text{階數 } 3)+(-1.5952*\text{階數 } 2)+(-4.4048*\text{階數})+42.1429$	R2=0.999	$B=(-0.0556*\text{階數 } 3)+(-0.0952*\text{階數 } 2)+(-6.6111*\text{階數})+43.1429$	R2=0.998
R-Y(紅底 L=50、a=44、b=36-黃色 L=50、a=-9、b=53)		G-B(綠底 L=50、a=-39、b=35-藍色 L=50、a=25、b=-46)	
$A=(-0.1667*\text{階數 } 3)+(1.4167*\text{階數 } 2)+(-10.631*\text{階數})+53.8571$	R2=0.996	$A=(-0.0278*\text{階數 } 3)+(1.369*\text{階數 } 2)+(1.254*\text{階數})-41.714$	R2=0.999
$B=(-0.0595*\text{階數 } 2)+(3.2976*\text{階數})+32.7143$	R2=0.999	$B=(0.1111*\text{階數 } 3)+(-2.0714*\text{階數 } 2)+(-3.254*\text{階數})+40.7143$	R2=0.999
G-C(綠底 L=50、a=-39、b=35-青色 L=50、a=-32、b=-10)		G-M(綠底 L=50、a=-39、b=35-洋紅色 L=50、a=44、b=-27)	
$A=(0.0278*\text{階數 } 3)+(0.0833*\text{階數 } 2)+(-1.0873*\text{階數})-38.143$	R2=0.993	$A=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(2.7143*\text{階數 } 2)+(-0.004*\text{階數})-42$	R2=0.999
$B=(0.0278*\text{階數 } 3)+(-0.869*\text{階數 } 2)+(-2.1111*\text{階數})+38.1429$	R2=0.999	$B=(0.1667*\text{階數 } 3)+(-2.3095*\text{階數 } 2)+(-1.3333*\text{階數})+38.8571$	R2=0.999
G-Y(綠底 L=50、a=-39、b=35-黃色 L=50、a=-9、b=53)		B-C(藍底 L=50、a=-25、b=-46-青色 L=50、a=-32、b=-10)	
$A=(0.0278*\text{階數 } 3)+(0.2619*\text{階數 } 2)+(1.3056*\text{階數})-40.714$	R2=0.999	$A=(0.1111*\text{階數 } 3)+(-1.4286*\text{階數 } 2)+(-4.3986*\text{階數})+31$	R2=0.999
$B=(0.0278*\text{階數 } 3)+(-0.369*\text{階數 } 2)+(4.3889*\text{階數})+30.8571$	R2=0.998	$B=(0.0833*\text{階數 } 3)+(-0.3124*\text{階數 } 2)+(3.8095*\text{階數})-49.714$	R2=0.999
B-M(藍底 L=50、a=-25、b=-46-洋紅色 L=50、a=44、b=-27)		B-Y(藍底 L=50、a=-25、b=-46-黃色 L=50、a=-9、b=53)	
$A=(-0.1111*\text{階數 } 3)+(1.2738*\text{階數 } 2)+(-1.3294*\text{階數})+25.2857$	R2=0.994	$A=(0.1944*\text{階數 } 3)+(-1.8333*\text{階數 } 2)+(-1.2421*\text{階數})+27.7143$	R2=0.999
$B=(0.0556*\text{階數 } 3)+(-0.369*\text{階數 } 2)+(2.9325*\text{階數})-48.714$	R2=0.997	$B=(-0.3333*\text{階數 } 3)+(4.6429*\text{階數 } 2)+(-1.5238*\text{階數})-48.857$	R2=1
C-M(青底 L=50、a=-32、b=-10-洋紅色 L=50、a=44、b=-27)		C-Y(青底 L=50、a=-32、b=-10-黃色 L=50、a=-9、b=53)	
$A=(0.3611*\text{階數 } 3)+(-2.2738*\text{階數 } 2)+(10.5079*\text{階數})-40.857$	R2=0.981	$A=(0.1667*\text{階數 } 3)+(-0.5357*\text{階數 } 2)+(-1.4167*\text{階數})-30$	R2=0.998
$B=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(-1.2024*\text{階數 } 2)+(-1.127*\text{階數})-7.8571$	R2=0.999	$B=(-0.1944*\text{階數 } 3)+(2.6786*\text{階數 } 2)+(0.1587*\text{階數})-12.857$	R2=1
M-Y(洋紅底 L=50、a=44、b=-27-黃色 L=50、a=-9、b=53)			
$A=(0.0556*\text{階數 } 3)+(-1.0476*\text{階數 } 2)+(-3.6032*\text{階數})+49$	R2=0.998		
$B=(-0.3056*\text{階數 } 3)+(4.0714*\text{階數 } 2)+(-1.8373*\text{階數})-29$	R2=1		
第二組：不飽和的 RGBCMY (與黑白背景配對)			
BL-R(黑底 L=0、a=0、b=0-紅色 L=50、a=44、b=36)		BL-G(黑底 L=0、a=0、b=0-綠色 L=50、a=-39、b=35)	
$L=(-0.1667*\text{階數 } 3)+(2.5952*\text{階數 } 2)+(-2.9524*\text{階數})+0.2857$	R2=0.999	$L=(-0.1111*\text{階數 } 3)+(1.8929*\text{階數 } 2)+(-0.496*\text{階數})-1.7143$	R2=0.998
$A=(-0.0556*\text{階數 } 3)+(0.7857*\text{階數 } 2)+(4.2698*\text{階數})-5.8571$	R2=0.993	$A=(0.0556*\text{階數 } 3)+(-0.6905*\text{階數 } 2)+(-4.1746*\text{階數})+5.5714$	R2=0.993
$B=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(1.8571*\text{階數 } 2)+(-0.9325*\text{階數})-1.2857$	R2=0.996	$B=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(1.7619*\text{階數 } 2)+(-0.3135*\text{階數})-1.8571$	R2=0.996
BL-B(黑底 L=0、a=0、b=0-藍色 L=50、a=25、b=-46)		BL-C(黑底 L=0、a=0、b=0-青色 L=50、a=-32、b=-10)	
$L=(-0.1111*\text{階數 } 3)+(1.9643*\text{階數 } 2)+(-1.0675*\text{階數})-1.1429$	R2=0.998	$L=(-0.1111*\text{階數 } 3)+(1.9881*\text{階數 } 2)+(-0.7579*\text{階數})-1.5714$	R2=0.998
$A=(-0.2728*\text{階數 } 3)+(0.4643*\text{階數 } 2)+(2.0635*\text{階數})-2.8571$	R2=0.995	$A=-+(-0.0278*\text{階數 } 3)+(-0.1667*\text{階數 } 2)+(-5.623*\text{階數})+6.2857$	R2=0.995
$B=(0.0833*\text{階數 } 3)+(-1.119*\text{階數 } 2)+(-3.4881*\text{階數})+5.1429$	R2=0.997	$B=-+(-0.0357*\text{階數 } 2)+(-1.9643*\text{階數})+2.1429$	R2=0.987
BL-M(黑底 L=0、a=0、b=0-洋紅色 L=50、a=44、b=-27)		BL-Y(黑底 L=0、a=0、b=0-黃色 L=50、a=-9、b=53)	
$L=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(2.2619*\text{階數 } 2)+(-1.8849*\text{階數})-0.5714$	R2=0.998	$L=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(2.2619*\text{階數 } 2)+(-1.8849*\text{階數})-0.5714$	R2=0.998
$A=(-0.1111*\text{階數 } 3)+(1.369*\text{階數 } 2)+(2.7659*\text{階數})-4.8571$	R2=0.994	$A=-(-0.0238*\text{階數 } 2)+(-1.3095*\text{階數})+1.4286$	R2=0.994
$B=(0.0556*\text{階數 } 3)+(-0.7619*\text{階數 } 2)+(-1.6032*\text{階數})+2.7143$	R2=0.996	$B=(-0.2222*\text{階數 } 3)+(2.6786*\text{階數 } 2)+(0.0437*\text{階數})-3$	R2=0.997
W-R(白底 L=100、a=0、b=0-紅色 L=50、a=44、b=36)		W-G(白底 L=100、a=0、b=0-綠色 L=50、a=-39、b=35)	
$L=(-0.2222*\text{階數 } 3)+(2.1905*\text{階數 } 2)+(-13.159*\text{階數})+111.571$	R2=0.997	$L=(0.1667*\text{階數 } 3)+(-2.2262*\text{階數 } 2)+(0.8214*\text{階數})+101.143$	R2=1
$A=(0.1667*\text{階數 } 3)+(-1.6429*\text{階數 } 2)+(10.9762*\text{階數})-9.8571$	R2=0.998	$A=(0.1389*\text{階數 } 3)+(-1.7857*\text{階數 } 2)+(0.3611*\text{階數})+1.2857$	R2=1
$B=(0.1944*\text{階數 } 3)+(-2.0119*\text{階數 } 2)+(11.0079*\text{階數})-9.5714$	R2=0.997	$B=(-0.0833*\text{階數 } 3)+(1.3571*\text{階數 } 2)+(-0.7738*\text{階數})-0.4286$	R2=1
W-B(白底 L=100、a=0、b=0-藍色 L=50、a=25、b=-46)		W-C(白底 L=100、a=0、b=0-青色 L=50、a=-32、b=-10)	
$L=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(1.2143*\text{階數 } 2)+(-10.29*\text{階數})+109.429$	R2=0.999	$L=(0.0556*\text{階數 } 3)+(-1.0476*\text{階數 } 2)+(-2.6032*\text{階數})+103.714$	R2=1
$A=(0.1111*\text{階數 } 3)+(-1.119*\text{階數 } 2)+(6.7698*\text{階數})-5.8571$	R2=0.998	$A=(0.2222*\text{階數 } 3)+(-2.3095*\text{階數 } 2)+(0.4683*\text{階數})+1.5714$	R2=1
$B=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(1.3095*\text{階數 } 2)+(-10.194*\text{階數})+9.1429$	R2=0.999	$B=(0.0833*\text{階數 } 3)+(-0.7976*\text{階數 } 2)+(-0.0238*\text{階數})+0.7143$	R2=0.998

W-M(白底 L=100、a=0、b=0-洋紅色 L=50、a=44、b=27)		W-Y(白底 L=100、a=0、b=0-黃色 L=50、a=9、b=53)	
$L=(0.1667 \times \text{階數 } 3)+(-2.1786 \times \text{階數 } 2)+(0.4405 \times \text{階數})+101.571$	R2=1	$L=(-0.1389 \times \text{階數 } 3)+(1.2738 \times \text{階數 } 2)+(-10.587 \times \text{階數})+109.714$	R2=0.999
$A=(-0.1111 \times \text{階數 } 3)+(-1.6548 \times \text{階數 } 2)+(-0.2341 \times \text{階數})-1.2857$	R2=1	$A=(0.0278 \times \text{階數 } 3)+(-0.3929 \times \text{階數 } 2)+(0.0079 \times \text{階數})+0.2857$	R2=0.961
$B=(0.0833 \times \text{階數 } 3)+(-1.1071 \times \text{階數 } 2)+(-0.0476 \times \text{階數})+1$	R2=0.999	$B=(-0.0278 \times \text{階數 } 3)+(0.75 \times \text{階數 } 2)+(4.4921 \times \text{階數})-4.7143$	R2=0.994
第三組：飽和的 RGBCMY (色彩相互正向配對)			
R-G(紅底 L=54、a=81、b=70-綠色 L=88、a=-79、b=81)		R-B(紅底 L=54、a=81、b=70-藍色 L=30、a=68、b=-112)	
$L=(0.1111 \times \text{階數 } 3)+(0.5119 \times \text{階數 } 2)+(-4.8135 \times \text{階數})+58.5714$	R2=0.997	$L=(0.1111 \times \text{階數 } 3)+(-1.3333 \times \text{階數 } 2)+(0.3413 \times \text{階數})+55.1429$	R2=0.997
$A=(1.1389 \times \text{階數 } 3)+(-13.786 \times \text{階數 } 2)+(18.8611 \times \text{階數})+74.5714$	R2=0.999	$A=(0.1389 \times \text{階數 } 3)+(-0.5238 \times \text{階數 } 2)+(-5.877 \times \text{階數})+87.1429$	R2=0.999
$B=(2.6548 \times \text{階數 } 2)+(-19.417 \times \text{階數})+86.2857$	R2=0.993	$B=(0.0556 \times \text{階數 } 3)+(-1.7024 \times \text{階數 } 2)+(-19.758 \times \text{階數})+92$	R2=0.999
R-C(紅底 L=54、a=81、b=70-青色 L=91、a=-51、b=-15)		R-M(紅底 L=54、a=81、b=70-洋紅色 L=60、a=94、b=-60)	
$L=(0.1111 \times \text{階數 } 3)+(-0.5357 \times \text{階數 } 2)+(-4.504 \times \text{階數})+58.1429$	R2=0.998	$L=(0.0278 \times \text{階數 } 3)+(-0.25 \times \text{階數 } 2)+(1.4356 \times \text{階數})+52.8571$	R2=0.977
$A=(0.9444 \times \text{階數 } 3)+(-10.726 \times \text{階數 } 2)+(10.1151 \times \text{階數})+80.7143$	R2=0.999	$A=(0.0833 \times \text{階數 } 3)+(-0.2619 \times \text{階數 } 2)+(-0.4881 \times \text{階數})+81.2857$	R2=0.985
$B=(0.0278 \times \text{階數 } 3)+(1.8571 \times \text{階數 } 2)+(-30.599 \times \text{階數})+99.2857$	R2=0.999	$B=(0.0278 \times \text{階數 } 3)+(-1.2857 \times \text{階數 } 2)+(-12.885 \times \text{階數})+84.4286$	R2=0.999
R-Y(紅底 L=54、a=81、b=70-黃色 L=98、a=-16、b=93)		G-B(綠底 L=88、a=-79、b=81-藍色 L=30、a=68、b=-112)	
$L=(0.0833 \times \text{階數 } 3)+(0.119 \times \text{階數 } 2)+(1.6071 \times \text{階數})+52$	R2=0.999	$L=(0.3333 \times \text{階數 } 3)+(-3.7262 \times \text{階數 } 2)+(1.1548 \times \text{階數})+90.1429$	R2=1
$A=(0.1667 \times \text{階數 } 3)+(-3.7381 \times \text{階數 } 2)+(4.3095 \times \text{階數})+80.2857$	R2=0.999	$A=(-0.3333 \times \text{階數 } 3)+(7.4881 \times \text{階數 } 2)+(-16.393 \times \text{階數})-68.714$	R2=0.999
$B=(0.0556 \times \text{階數 } 3)+(0.9524 \times \text{階數 } 2)+(-6.9603 \times \text{階數})+75.2857$	R2=0.987	$B=(-1.4444 \times \text{階數 } 3)+(12.4643 \times \text{階數 } 2)+(-50.877 \times \text{階數})+122.429$	R2=0.916
G-C(綠底 L=88、a=-79、b=81-青色 L=91、a=-51、b=-15)		G-M(綠底 L=88、a=-79、b=81-洋紅色 L=60、a=94、b=-60)	
$L=(0.0278 \times \text{階數 } 3)+(-0.1905 \times \text{階數 } 2)+(0.4246 \times \text{階數})+87.7143$	R2=0.946	$L=(0.4167 \times \text{階數 } 3)+(-3.7619 \times \text{階數 } 2)+(1.6786 \times \text{階數})+89.5714$	R2=1
$A=(0.0833 \times \text{階數 } 3)+(-0.119 \times \text{階數 } 2)+(0.869 \times \text{階數})-79.857$	R2=1	$A=(-0.7222 \times \text{階數 } 3)+(12.2738 \times \text{階數 } 2)+(-28.29 \times \text{階數})-61.286$	R2=0.999
$B=(-0.0556 \times \text{階數 } 3)+(-0.8929 \times \text{階數 } 2)+(-5.623 \times \text{階數})+87.5714$	R2=0.999	$B=(1.5833 \times \text{階數 } 3)+(-18.345 \times \text{階數 } 2)+(33.7143 \times \text{階數})+63.1429$	R2=0.970
G-Y(綠底 L=88、a=-79、b=81-黃色 L=98、a=-16、b=93)		B-C(藍底 L=30、a=68、b=-112-青色 L=91、a=-51、b=-15)	
$L=(0.0556 \times \text{階數 } 3)+(-0.2262 \times \text{階數 } 2)+(0.2897 \times \text{階數})+87.8571$	R2=0.995	$L=(0.0556 \times \text{階數 } 3)+(0.5952 \times \text{階數 } 2)+(2.1825 \times \text{階數})+27.2857$	R2=0.999
$A=(0.1389 \times \text{階數 } 3)+(0.5119 \times \text{階數 } 2)+(-1.5556 \times \text{階數})-78.429$	R2=0.998	$A=(0.6111 \times \text{階數 } 3)+(-8.9881 \times \text{階數 } 2)+(17.3294 \times \text{階數})+59.5714$	R2=0.999
$B=(0.1111 \times \text{階數 } 3)+(-0.2976 \times \text{階數 } 2)+(-1.9802 \times \text{階數})+82.5714$	R2=0.955	$B=(0.0278 \times \text{階數 } 3)+(1.4524 \times \text{階數 } 2)+(2.8532 \times \text{階數})-116$	R2=0.999
B-M(藍底 L=30、a=68、b=-112-洋紅色 L=60、a=94、b=-60)		B-Y(藍底 L=30、a=68、b=-112-黃色 L=98、a=-16、b=93)	
$L=(0.0833 \times \text{階數 } 3)+(-0.7976 \times \text{階數 } 2)+(6.619 \times \text{階數})+24.4286$	R2=0.998	$L=(0.0278 \times \text{階數 } 3)+(1.0238 \times \text{階數 } 2)+(1.496 \times \text{階數})+27.4286$	R2=0.999
$A=(0.5595 \times \text{階數 } 2)+(-0.5119 \times \text{階數})+68.8571$	R2=0.998	$A=(0.5833 \times \text{階數 } 3)+(-7.0238 \times \text{階數 } 2)+(8.9643 \times \text{階數})+66.1429$	R2=0.998
$B=(0.1667 \times \text{階數 } 3)+(-1.7143 \times \text{階數 } 2)+(12.8333 \times \text{階數})-122.71$	R2=0.997	$B=(-0.3889 \times \text{階數 } 3)+(6.5595 \times \text{階數 } 2)+(3.7341 \times \text{階數})-122$	R2=1
C-M(青底 L=91、a=-51、b=-15-洋紅色 L=60、a=94、b=-60)		C-Y(青底 L=91、a=-51、b=-15-黃色 L=98、a=-16、b=93)	
$L=(0.3333 \times \text{階數 } 3)+(-2.9405 \times \text{階數 } 2)+(-0.631 \times \text{階數})+94.2857$	R2=1	$L=(0.1111 \times \text{階數 } 3)+(-0.8929 \times \text{階數 } 2)+(2.1389 \times \text{階數})+88.5714$	R2=0.997
$A=(-0.4722 \times \text{階數 } 3)+(7.8929 \times \text{階數 } 2)+(-12.135 \times \text{階數})-45.857$	R2=1	$A=(0.4167 \times \text{階數 } 3)+(-2.4167 \times \text{階數 } 2)+(1.381 \times \text{階數})-50.429$	R2=0.999
$B=(0.6389 \times \text{階數 } 3)+(-6.119 \times \text{階數 } 2)+(5.0278 \times \text{階數})-14.571$	R2=1	$B=(-0.1111 \times \text{階數 } 3)+(2.5476 \times \text{階數 } 2)+(3.7302 \times \text{階數})-20.714$	R2=0.999
M-Y(洋紅底 L=60、a=94、b=-60-黃色 L=98、a=-16、b=93)		/	
$L=(0.0556 \times \text{階數 } 3)+(-0.5357 \times \text{階數 } 2)+(-1.1627 \times \text{階數})+60.5714$	R2=0.998		
$A=(0.1667 \times \text{階數 } 3)+(-3.5595 \times \text{階數 } 2)+(0.7024 \times \text{階數})+96.4286$	R2=1		
$B=(-0.2778 \times \text{階數 } 3)+(5.1548 \times \text{階數 } 2)+(0.004 \times \text{階數})-65.143$	R2=0.999		
第四組：飽和的 RGBCMY (與黑白背景配對)			
BL-R(黑底 L=0、a=0、b=0-紅色 L=54、a=81、b=70)		BL-G(黑底 L=0、a=0、b=0-綠色 L=88、a=-79、b=81)	
$L=(-0.1944 \times \text{階數 } 3)+(3.0476 \times \text{階數 } 2)+(-4.3294 \times \text{階數})+(1)$	R2=0.998	$L=(-0.2222 \times \text{階數 } 3)+(3.4167 \times \text{階數 } 2)+(-0.004 \times \text{階數})+(-4)$	R2=0.996
$A=(-0.0556 \times \text{階數 } 3)+(0.4881 \times \text{階數 } 2)+(12.8294 \times \text{階數})+(-14.571)$	R2=0.995	$A=(-0.0566 \times \text{階數 } 3)+(0.8452 \times \text{階數 } 2)+(-16.813 \times \text{階數})+(16.7143)$	R2=0.996
$B=(-0.4167 \times \text{階數 } 3)+(5.4643 \times \text{階數 } 2)+(-8.3333 \times \text{階數})+(2.5714)$	R2=0.997	$B=(-0.0833 \times \text{階數 } 3)+(0.8571 \times \text{階數 } 2)+(11.4405 \times \text{階數})+(-13.429)$	R2=0.998
BL-B(黑底 L=0、a=0、b=0-藍色 L=30、a=68、b=-112)		BL-C(黑底 L=0、a=0、b=0-青色 L=91、a=-51、b=-15)	
$L=(0.1111 \times \text{階數 } 3)+(-1.0595 \times \text{階數 } 2)+(7.1151 \times \text{階數})+(-6.4286)$	R2=0.983	$L=(0.1944 \times \text{階數 } 3)+(3.0595 \times \text{階數 } 2)+(1.754 \times \text{階數})+(-5.4286)$	R2=0.981
$A=(0.2778 \times \text{階數 } 3)+(-2.8214 \times \text{階數 } 2)+(18.0437 \times \text{階數})+(-16)$	R2=0.985	$A=(-0.0833 \times \text{階數 } 3)+(1.0595 \times \text{階數 } 2)+(-12.214 \times \text{階數})+(11.4286)$	R2=0.983
$B=(-0.4444 \times \text{階數 } 3)+(4.381 \times \text{階數 } 2)+(-28.317 \times \text{階數})+(25.1429)$	R2=0.996	$B=(-0.0566 \times \text{階數 } 3)+(3.07262 \times \text{階數 } 2)+(-5.1468 \times \text{階數})+(4.5714)$	R2=0.985

BL-M(黑底 L=0、a=0、b=0-洋紅色 L=60、a=94、b=-60)		BL-Y(黑底 L=0、a=0、b=0-黃色 L=98、a=-16、b=93)	
$L=(3.0833*\text{階數 } 2)+(-3.5794*\text{階數 } 2)+(0.00000000000017)$	R2=0.997	$L=(-0.1389*\text{階數 } 3)+(2.4167*\text{階數 } 2)+(4.9127*\text{階數 } 2)+(-8.1429)$	R2=0.998
$A=(-0.5357*\text{階數 } 2)+(18.4365*\text{階數 } 2)+(-19.286)$	R2=0.996	$A=(-0.0556*\text{階數 } 3)+(0.7024*\text{階數 } 2)+(-5.0992*\text{階數 } 2)+(4.5714)$	R2=0.993
$B=(-0.0278*\text{階數 } 3)+(0.5357*\text{階數 } 2)+(-12.722*\text{階數 } 2)+(12.8571)$	R2=0.997	$B=(-0.0278*\text{階數 } 3)+(0.1071*\text{階數 } 2)+(16.2778*\text{階數 } 2)+(-17.571)$	R2=0.997
W-R(白底 L=100、a=0、b=0-紅色 L=54、a=81、b=70)		W-G(白底 L=100、a=0、b=0-綠色 L=88、a=-79、b=81)	
$L=(0.25*\text{階數 } 3)+(-2.6429*\text{階數 } 2)+(-0.75*\text{階數 } 2)+(103.143)$	R2=1	$L=(0.0833*\text{階數 } 3)+(-0.7976*\text{階數 } 2)+(-0.381*\text{階數 } 2)+(101.143)$	R2=0.999
$A=(5.6905*\text{階數 } 2)+(-5.123*\text{階數 } 2)+(0.00000000000034)$	R2=1	$A=(0.5*\text{階數 } 3)+(-5.2143*\text{階數 } 2)+(0.0714*\text{階數 } 2)+(4.7143)$	R2=1
$B=(0.0833*\text{階數 } 3)+(0.881*\text{階數 } 2)+(-0.131*\text{階數 } 2)+(-0.8571)$	R2=1	$B=(-0.4444*\text{階數 } 3)+(5.3571*\text{階數 } 2)+(-4.0556*\text{階數 } 2)+(-0.8571)$	R2=1
W-B(白底 L=100、a=0、b=0-藍色 L=30、a=68、b=-112)		W-C(白底 L=100、a=0、b=0-青色 L=91、a=-51、b=-15)	
$L=(0.3333*\text{階數 } 3)+(-4.0833*\text{階數 } 2)+(2.0119*\text{階數 } 2)+(101.714)$	R2=1	$L=(0.0566*\text{階數 } 3)+(-0.4881*\text{階數 } 2)+(-0.7579*\text{階數 } 2)+(101.143)$	R2=0.999
$A=(-0.0833*\text{階數 } 3)+(2.5714*\text{階數 } 2)+(-4.4881*\text{階數 } 2)+(2.4286)$	R2=0.99	$A=(0.2778*\text{階數 } 3)+(-2.6667*\text{階數 } 2)+(-3.0159*\text{階數 } 2)+(5.7143)$	R2=0.999
$B=(0.5278*\text{階數 } 3)+(-6.619*\text{階數 } 2)+(4.2103*\text{階數 } 2)+(1.8571)$	R2=1	$B=(0.0556*\text{階數 } 3)+(-0.369*\text{階數 } 2)+(-2.7103*\text{階數 } 2)+(3.1429)$	R2=0.998
W-M(白底 L=100、a=0、b=0-洋紅色 L=60、a=94、b=-60)		W-Y(白底 L=100、a=0、b=0-黃色 L=98、a=-16、b=93)	
$L=(0.2222*\text{階數 } 3)+(-2.2262*\text{階數 } 2)+(-1.5198*\text{階數 } 2)+(103.714)$	R2=1	$L=(0.0833*\text{階數 } 2)+(-0.9881*\text{階數 } 2)+(100.857)$	R2=0.936
$A=(-0.5556*\text{階數 } 3)+(6.2262*\text{階數 } 2)+(-2.504*\text{階數 } 2)+(-3.2857)$	R2=1	$A=(0.0556*\text{階數 } 3)+(-0.381*\text{階數 } 2)+(-2.7937*\text{階數 } 2)+(3.2857)$	R2=0.997
$B=(-0.3611*\text{階數 } 3)+(-3.7381*\text{階數 } 2)+(-0.6706*\text{階數 } 2)+(4.1429)$	R2=1	$B=(-0.5*\text{階數 } 3)+(5.619*\text{階數 } 2)+(-0.9524*\text{階數 } 2)+(-4.2857)$	R2=1

的色彩偏移程度，如果愈趨近於「漸層等距表」的右側時（即愈趨近於原來的前景色），則視覺評量的平均值顏色與動態畫面彼此間產生的色差就會愈小；反之，當兩者間的顏色差距愈大時，則所產生的色差就會愈大。本研究上述推論，主要是依據「選擇性注意」（Selective attention）的認知範疇概念，即當受測者注意追蹤動態畫面時，是以「前景色」作為注意目標對象，屬於注意目標信息來源時，而選擇忽略或減弱週遭過多刺激干擾的能力。因此，當受測者觀察動態畫面時，會因為液晶顯示器反應時間的快慢，以及前景色與背景色因移動時間因素所產生的混色效果等，上述因素皆會影響受測者之「選擇性注意」的判斷。Treisman 與 Gelade（1980）認為，當信息的物理差異較大時，選擇性注意會增強，且較容易判斷目標物；反之，當信息的物理差異較小時，則選擇性注意會被減弱，且較難判斷目標物。

4-2.1 關於第一組（不飽和色彩正向配對）的Color-shift量測數據分析

由實驗數據可發現，視覺評量動態色偏最小的色彩組合，以 B-M（藍底-洋紅色）的色差最小 $\Delta E=9.6$ ，亦即受測者觀察的顏色最趨近於原來的色彩；其次為 G-Y（綠底-黃色） $\Delta E=12.1$ 、G-C（綠底-青色） $\Delta E=19.5$ 。此外，動態色偏最嚴重的色彩組合，以 G-B（綠底-藍色）的色差最大 $\Delta E=47.2$ ，亦即受測者所觀察的顏色，較易受到背景色的干擾，而與原來顏色差距甚多，其次為 B-Y（藍底-黃色） $\Delta E=40.9$ 、G-M（綠底-洋紅色） $\Delta E=39.8$ （參見表 5）。

4-2.2 關於第二組（不飽和色彩與黑白背景配對）的Color-shift量測數據分析

黑色背景的視覺評量，動態色偏最小的色彩組合，以 BL-R（黑底-紅色）的色差最小 $\Delta E=22.5$ ；動態色偏最嚴重的色彩組合，以 BL-B（黑底-藍色）的色差最大 $\Delta E=50.8$ 。此外，白色背景的視覺評量，動態色偏最小的色彩組合，以 W-M（白底-洋紅色）的色差最小 $\Delta E=15.2$ ；動態色偏最嚴重的色彩組合，以 W-B（白底-藍色）的色差最大 $\Delta E=28.1$ （參見表 6）。

表 5：第一組不飽和的 RGBCMY (明度統一 L=50) 量測數據

R-G 紅底-綠色	R-B 紅底-藍色	R-C 紅底-青色	R-M 紅底-洋紅	R-Y 紅底-黃色	G-B 綠底-藍色	G-C 綠底-青色	G-M 綠底-洋紅
L=50	L=50	L=50	L=50	L=50	L=50	L=50	L=50
A=-2.7	A=29.3	A=-7.1	A=42.9	A=10.9	A=-6.7	A=-37.8	A=10.2
B=31.2	B=-15.1	B=5.3	B=-1.9	B=48.9	B=-11.0	B=8.4	B=-5.9
$\Delta E=36.5$	$\Delta E=31.2$	$\Delta E=29.3$	$\Delta E=25.1$	$\Delta E=20.4$	$\Delta E=47.2$	$\Delta E=19.5$	$\Delta E=39.8$
G-Y 綠底-黃色	B-C 藍底-青色	B-M 藍底-洋紅	B-Y 藍底-黃色	C-M 青底-洋紅	C-Y 青底-黃色	M-Y 洋紅-黃色	
L=50	L=50	L=50	L=50	L=50	L=50	L=50	
A=-20.3	A=-7.2	A=36.8	A=1.2	A=4.4	A=-30.3	A=10.2	
B=48.7	B=-31.5	B=-36.0	B=13.4	B=-26.8	B=29.1	B=27.9	
$\Delta E=12.1$	$\Delta E=32.9$	$\Delta E=9.6$	$\Delta E=40.9$	$\Delta E=39.6$	$\Delta E=32.0$	$\Delta E=31.5$	

表 6：第二組不飽和的 RGBCMY (與黑白背景配對)

BL-R 黑底-紅色	BL-G 黑底-綠色	BL-B 黑底-藍色	BL-C 黑底-青色	BL-M 黑底-洋紅	BL-Y 黑底-黃色
L=34.0	L=31.3	L=32.8	L=28.8	L=28.2	L=32.1
A=31.5	A=-26.9	A=-21.0	A=-28.1	A=28.5	A=-6.2
B=26.1	B=24.6	B=-33.2	B=-6.5	B=-16.9	B=39.2
$\Delta E=22.5$	$\Delta E=24.5$	$\Delta E=50.8$	$\Delta E=24.7$	$\Delta E=28.6$	$\Delta E=22.7$
W-R 白底-紅色	W-G 白底-綠色	W-B 白底-藍色	W-C 白底-青色	W-M 白底-洋紅色	W-Y 白底-黃色
L=68.6	L=65.2	L=68.6	L=69.0	L=64.9	L=66.1
A=28.4	A=-28.3	A=15.0	A=-27.6	A=29.8	A=-7.1
B=22.4	B=23.1	B=-28.5	B=-9.4	B=-19.4	B=38.9
$\Delta E=27.9$	$\Delta E=15.6$	$\Delta E=28.1$	$\Delta E=16.6$	$\Delta E=15.2$	$\Delta E=21.5$

4-2.3 關於第三組 (飽和色彩正向配對) 的 Color-shift 量測數據分析

由實驗數據可發現，視覺評量中動態色偏最小的色彩組合，以 B-M (藍底-洋紅色) 的色差最小 $\Delta E=27.5$ ，有趣的是，這與第一組所量測的結果相吻合；其次為 G-Y (綠底-黃色) $\Delta E=33.4$ 、R-M (紅底-洋紅色) $\Delta E=43.7$ 。此外，動態色偏最嚴重的色彩組合，以 G-B (綠底-藍色) 的色差最大 $\Delta E=143.7$ ，這部分也與第一組所量測的結果相吻合；其次為 B-Y (藍底-黃色) $\Delta E=94.9$ 、M-Y (洋紅底-黃色) $\Delta E=84.2$ (參見表 7)。

4-2.4 關於第四組 (飽和色彩與黑白背景配對) 的 Color-shift 量測數據分析

黑色背景的視覺評量，動態色偏最小的色彩組合，以 BL-R (黑底-紅色) 的色差最小 $\Delta E=42.8$ ；動態色偏最嚴重的色彩組合，以 BL-C (黑底-青色) 的色差最大 $\Delta E=60.9$ 。此外，白色背景的視覺評

量，動態色偏最小的色彩組合，以 W-C（白底-青色）的色差最小 $\Delta E=12.8$ ；動態色偏最嚴重的色彩組合，以 W-M（白底-洋紅色）的色差最大 $\Delta E=85.1$ （參見表 8）。

表 7：第三組飽和的 RGBCMY 量測數據



















R-G 紅底-綠色	R-B 紅底-藍色	R-C 紅底-青色	R-M 紅底-洋紅	R-Y 紅底-黃色	G-B 綠底-藍色	G-C 綠底-青色	G-M 綠底-洋紅
							
L=58.8	L=37.3	L=36.9	L=57.7	L=73.6	L=46.9	L=88.7	L=54.5
A=-23.5	A=62.0	A=-7.8	A=84.0	A=28.9	A=-12.2	A=-66.8	A=30.4
B=53.7	B=-43.0	B=0.5	B=-17.5	B=71.3	B=6.1	B=26.3	B=-40.6
$\Delta E=68.4$	$\Delta E=69.6$	$\Delta E=70.9$	$\Delta E=43.7$	$\Delta E=55.5$	$\Delta E=143.7$	$\Delta E=44.3$	$\Delta E=66.7$
G-Y 綠底-黃色	B-C 藍底-青色	B-M 藍底-洋紅	B-Y 藍底-黃色	C-M 青底-洋紅	C-Y 青底-黃色	M-Y 洋紅-黃色	
							
L=92.1	L=66.1	L=47.9	L=62.8	L=58.5	L=91.3	L=47.6	
A=-46.8	A=-14.6	A=80.3	A=9.8	A=36.9	A=-49.5	A=24.4	
B=81.6	B=-52.4	B=-80.6	B=8.6	B=-63.7	B=53.0	B=39.0	
$\Delta E=33.4$	$\Delta E=57.8$	$\Delta E=27.5$	$\Delta E=94.9$	$\Delta E=57.2$	$\Delta E=52.6$	$\Delta E=84.2$	

表 8：第四組飽和的 RGBCMY（與黑白背景配對）

BL-R 黑底-紅色	BL-G 黑底-綠色	BL-B 黑底-藍色	BL-C 黑底-青色	BL-M 黑底-洋紅	BL-Y 黑底-黃色
					
L=31.1	L=48.2	L=16.4	L=91.4	L=33.7	L=52.9
A=54.7	A=-49.4	A=38.2	A=-31.4	A=61.5	A=-9.5
B=45.3	B=50.5	B=-62.1	B=42.7	B=-39.9	B=57.6
$\Delta E=42.8$	$\Delta E=58.3$	$\Delta E=59.7$	$\Delta E=60.9$	$\Delta E=46.3$	$\Delta E=57.7$
W-R 白底-紅色	W-G 白底-綠色	W-B 白底-藍色	W-C 白底-青色	W-M 白底-洋紅色	W-Y 白底-黃色
					
L=66.6	L=90.3	L=54.3	L=92.7	L=67.8	L=98.1
A=53.7	A=-58.9	A=30.8	A=-38.7	A=71.5	A=-12.4
B=27.5	B=53.1	B=-71.8	B=-12.0	B=-120	B=62.8
$\Delta E=52.0$	$\Delta E=34.4$	$\Delta E=59.9$	$\Delta E=12.8$	$\Delta E=85.1$	$\Delta E=30.4$

4-3 關於 3 種不同反應時間的液晶顯示器其視覺評量結果之差異

本研究針對視覺評量差異性比較分析的部分，主要是探討 3 種不同反應時間的液晶顯示器，依序為：編號 1—View Sonic VP171s (16ms)、編號 2—View Sonic VA-720 (25ms)，編號 3—IBM SLIMAGE-821 (40ms)，其視覺評量結果是否有所差異性？基於上述，在數據分析的部分，主要是根據受測者接受視覺評量時，於實驗過程中所看到的色彩偏移顏色，同步比對「漸層等距表」，所獲得的平均數作為基準。因此，在視覺評量分析，是以「視覺評量之平均數」為基準，先進行單因子變異數分析，如果有差異再進行 Duncan 多重事後檢定作比較。

本研究根據所有組別，共五十四種「色彩配對」，進行驗證三台在不同組別的色彩配對之反應時間差異性，相關數據分析如下：（1）「第一組－不飽和色彩正向配對」，經由變異數分析，唯有編號 1－View Sonic VP171s (16ms) 之 R－G (紅底－綠色)，在三種反應時間上有顯著差異 (Alpha=0.00)，再進行 Duncan 多重事後檢定，數據呈現出 16ms 獨自為一群，25ms 以及 40ms 等，則為另一群。至於，該組之其他 14 種色彩配對，則無顯著差異性。（2）「第二組－不飽和色彩與黑白背景配對」，唯有編號 3－IBM SLIMAGE-821(40ms)之 BL－R(黑底－紅色)，在三種反應時間上有顯著差異(Alpha=0.014)，再進行 Duncan 多重事後檢定，數據呈現出 40ms 為一群，16ms 以及 25ms 等，則為另一群。至於，此組之其他 11 種色彩配對，則無顯著差異性。（3）「第三組－飽和色彩正向配對」，15 組色彩配對皆無顯著差異性。（4）「第四組－飽和色彩與黑白背景配對」，12 組色彩配對也皆無顯著差異性。

基於上述，本研究認為，人眼評量液晶螢幕之色彩配對差異，實際上並不會因 LCD 反應時間的快慢，而對最後的視覺評量結果有所影響。至於少數呈現有差異性的兩種配色組合，R－G (紅底－綠色) 以及 BL－R (黑底－紅色)，是否能夠證明，此兩種配色對視覺評量之反應時間差異的影響，則留待後續研究加以驗證。

4-4 關於視覺評量結果與TTLA機器量測之數據比較

本研究導入色差 ΔE 概念，以每組色彩配對與目標色、背景色之色差數值 ΔE 為基準，藉以計算 54 組配對之色差數值 ΔE，最後，再以 ΔE 數值比對視覺評量與機器量測的相關係數。

表 9：TTLA 機器量測 3 組之 ΔE 平均數值

第一組：不飽和的 RGBCMY (色彩相互正向配對)														
R-G	R-B	R-C	R-M	R-Y	G-B	G-C	G-M	G-Y	B-C	B-M	B-Y	C-M	C-Y	M-Y
L=51.2	L=53.3	L=51.0	L=54.1	L=52.5	L=52.2	L=53.3	L=51.6	L=52.0	L=53.7	L=55.1	L=53.0	L=52.8	L=52.5	L=52.8
A=-0.6	A=37.8	A=-0.1	A=47.9	A=18.7	A=-26	A=-44	A=-25.6	A=-35.0	A=3.33	A=43.2	A=5.5	A=-16.4	A=-30	A=18.1
B=31.8	B=-9.7	B=4.7	B=2.9	B=38.8	B=16.6	B=10.2	B=16.2	B=39.1	B=-35.6	B=-46.6	B=-2.2	B=-6.9	B=12.1	B=6.2
ΔE=39	ΔE=39	ΔE=35	ΔE=31	ΔE=31	ΔE=81	ΔE=23	ΔE=82	ΔE=30	ΔE=44	ΔE=21	ΔE=57	ΔE=64	ΔE=46	ΔE=54
第二組：不飽和的 RGBCMY (與黑白背景配對)														
BL-R	BL-G	BL-B	BL-C	BL-M	BL-Y	W-R	W-G	W-B	W-C	W-M	W-Y			
L=28.0	L=23.3	L=22.9	L=25.5	L=23.5	L=27.3	L=81.5	L=81.7	L=84.3	L=82.9	L=82.8	L=82.5			
A=27.4	A=-26.9	A=11.6	A=-19.0	A=29.8	A=-8.3	A=19.9	A=-4.9	A=6.2	A=4.6	A=19.2	A=-6.6			
B=-0.6	B=-12.2	B=-45.3	B=-32.4	B=-38.5	B=0.7	B=9.4	B=4.3	B=-3.7	B=-10.1	B=-16.2	B=15.5			
ΔE=46	ΔE=56	ΔE=30	ΔE=38	ΔE=32	ΔE=57	ΔE=48	ΔE=49	ΔE=58	ΔE=41	ΔE=36	ΔE=50			
第三組：飽和的 RGBCMY (色彩相互正向配對)														
R-G	R-B	R-C	R-M	R-Y	G-B	G-C	G-M	G-Y	B-C	B-M	B-Y	C-M	C-Y	M-Y
L=66	L=44	L=67	L=60	L=74	L=61	L=89	L=73	L=93	L=61	L=50	L=62	L=76	L=94	L=78
A=4	A=70	A=19	A=89	A=33	A=-33	A=-66	A=-9	A=-61	A=12	A=77	A=21	A=17	A=-38	A=43
B=67	B=-18	B=18	B=9	B=77	B=12	B=36	B=19	B=88	B=-64	B=85	B=-17	B=-38	B=32	B=8
ΔE=87	ΔE=95	ΔE=82	ΔE=69	ΔE=57	ΔE=163	ΔE=53	ΔE=130	ΔE=45	ΔE=85	ΔE=32	ΔE=121	ΔE=81	ΔE=65	ΔE=105
第四組並未有機器量測數據 (因樣本數量太過龐大，因此僅量測第 1 至 3 組，以第 1、2 組為主，第 3 組僅供參考)														

4-4.1 第一組「不飽和色彩正向配對」，視覺評量與機器量測之相關分析

本研究以 Pearson 相關係數考驗，同時驗證視覺評量與機器量測，在 15 組不飽和色彩正向配對之平均色差 ΔE，Pearson 相關係數=0.85**，顯著性為 0<0.01 (具顯著差異)，由此證明第一組之視覺評量數值與機器量測之結果，呈現相關性，敘述如下：

動態色偏最小的色彩組合，以 B-M（藍底-洋紅色）的色差最小 $\Delta E=21$ ，其次為 G-C（綠底-青色） $\Delta E=23$ 、G-Y（綠底-黃色） $\Delta E=30$ 。相對的，動態色偏最嚴重的色彩組合中，以 G-M（綠底-洋紅色） $\Delta E=82$ 的色差最大；其次為 G-B（綠底-藍色） $\Delta E=81$ 、C-M（青底-洋洪色） $\Delta E=64$ 。本研究比對視覺評量與機器量測間的差異時，發現有趣的是，在動態色偏最小的色彩組合兩者都是相同的，只是排序略有差異，而在動態色偏最嚴重的色彩組合兩組也有相互吻合，這表示無論是視覺評量或機器量測結果，B-M（藍底-洋紅色）、G-C（綠底-青色）、G-Y（綠底-黃色）這三種都屬於色差最小的色彩配對組合。

4-4.2 第二組「不飽和色彩與黑白背景配對」，在視覺評量與機器量測上之相關分析

從數據發現，12 組不飽和的 RGBCMY（與黑白背景配對）之平均色差 ΔE ，Pearson 相關係數=-0.35，顯著性為 $0.26 > 0.05$ （未達顯著差異）。基於上述，本研究認為，第二組之視覺評量結果與機器量測有其差異性：

黑色背景的視覺評量，動態色偏最小的色彩組合，以 BL-B（黑底-藍色）的色差最小 $\Delta E=30$ ，動態色偏最嚴重的色彩組合，以 BL-Y（黑底-黃色）的色差最大 $\Delta E=57$ 。此外，白色背景的視覺評量，動態色偏最小的色彩組合，以 W-M（白底-洋紅色）的色差最小 $\Delta E=36$ ，動態色偏最嚴重的色彩組合，以 W-B（白底-藍色）的色差最大 $\Delta E=58$ 。本研究比對視覺評量與機器量測間的差異時，發現兩者在黑色背景的動態色偏最小的色彩組合呈負相關，亦即以 BL-B（黑底-藍色）在視覺評量的色差最大，反而在機器量測的色差最小。而白色背景的動態色偏中兩組相互吻合，這表示無論是視覺評量或機器量測結果，W-B（白底-藍色）、BL-B（黑底-藍色）這兩種都屬於色差最小與最大的色彩配對組合。

4-4.3 第三組「飽和色彩正向配對」，在視覺評量與機器量測上之相關分析

在 15 組飽和色彩正向配對之平均色差 ΔE ，Pearson 相關係數=0.913，顯著性為 $0 < 0.01$ （具顯著差異）。由此驗證第三組之視覺評量數值與機器量測之結果，呈現顯著之相關性，敘述如下：

動態色偏最小的色彩組合，以 B-M（藍底-洋紅色）的色差最小 $\Delta E=32$ ，其次為 G-Y（綠底-黃色） $\Delta E=45$ 、G-C（綠底-青色） $\Delta E=53$ 。此外，動態色偏最嚴重的色彩組合，以 G-B（綠底-藍色） $\Delta E=163$ 的色差最大，其次為 G-M（綠底-洋紅色） $\Delta E=130$ 、B-Y（藍底-黃色） $\Delta E=121$ 。本研究比對視覺評量與機器量測間的差異時，發現兩者之動態色偏最小的色彩組合皆相同，只在排序略有差異，而動態色偏最嚴重的色彩組合有兩組相互吻合，即 G-B（綠底-藍色）與 B-Y（藍底-黃色）。

4-4.4 所有組別在視覺評量與機器量測上之相關分析

最後，本研究驗證 42 組色彩配對之平均色差 ΔE ，結果發現，Pearson 相關係數=0.895，顯著性為 $0 < 0.01$ （具顯著差異），視覺評量數值與機器量測之結果，呈現顯著之相關性。歸納上述，可發現本研究所設計之視覺評量方法，視覺評量結果大部分與機器量測結果相互吻合，意即在驗證測試是具有信度與效度的。

五、結論與建議

5-1 關於呈現動態畫面之視覺評量方法建構

有關動態畫面在液晶螢幕上之影像評估方式，研究發現，絕大部分的文獻論述，都是以「機器或技術」觀點探討相關視覺評估的方式，其目的藉以提升影像品質與技術，但是較缺乏以「視覺心理與設計

觀點」來整合。基於上述，本研究嘗試導入「視覺心理」觀點，主要目的，除了提升影像品質的技術層面，同時也必須考慮以「人性」的層面。其次，「視覺設計」觀點，也是本研究要提出的議題，畢竟動態畫面的呈現，除了視覺相關信息（例如：色彩偏移、明暗對比、造形等）的準確以外，更重要的是，透過動態信息，對觀者所產生的視覺心理影響，例如注意程度、嗜好程度、認知程度等，而上述相關因素，皆會影響人們對動態畫面呈現的觀感。

基於此，本研究所拋出的相關議題，不單只是視覺評量的準確度而已，尤其在動態畫面呈現普及化的今天，設計師更應該對相關動態畫面呈現的媒介技術（例如：液晶螢幕、單槍投影、顯示器等），也必須有同步的認知與瞭解，如此在數位設計的管理過程，例如：視訊設計、動畫設計、廣告設計或網頁設計等，才能期待有更好的設計品質呈現。基於上述，本研究透過「等階法」的概念，以七階漸層並導入線性迴歸式，嘗試簡化視覺評估的流程。結果顯示，「漸層等階表」的色彩預測率都非常高，各組色彩配對組合的預測程度皆達 0.9 以上，最高預測率可達 $R^2=1$ ，建議可撰寫應用程式，開發符合業界與設計界都能使用的視覺評估流程與評估視窗介面。本研究認為，動態信息除了影響影像品質外，就視覺傳達設計而言，同時也會影響觀者對動態影像的認知與傳達性（例如：記憶性、辨識性、視認性、嗜好性等），這些都是後續可以繼續探討的議題。

5-2 關於導入色差概念來驗證色彩偏移程度

本研究的創見，主要是導入「色差的觀念」來驗證具有複雜信息的動態畫面品質，即當兩色的色彩差異愈類似時，則色彩空間中的距離應該愈近，此時色差就會愈小。主要依據選擇性注意（Selective attention）的認知範疇，即當受測者注意追蹤動態畫面時，嘗試以「前景色」作為注意目標對象，驗證當觀者注意目標信息來源時，而選擇忽略或減弱週遭過多刺激干擾的能力。因此，當受測者觀察動態畫面時，會因為前景色與背景色因移動時間因素所產生的混色效果等，而影響受測者對選擇性注意的判斷。研究發現，從視覺評量以及機器量測的相關係數驗證，結果是具有有效度的，在四個組別中，除了第二組「不飽和色彩與黑白背景配對」與機器量測較無呈現相關性外，其他三組皆與機器量測數據呈現相關性，即視覺評量結果大部分與機器量測結果相互吻合，由此可證明。承上，本研究認為第二組的色彩配對，由於皆統一為中明度 $L=50$ ，因此，當與黑白背景互相配對時，視覺判斷會因為前景與背景的明暗對比降低，而間接影響觀者的視覺判斷。最後，本研究認為較為不足之處，是皆以「前景色」作為目標觀測對象，而忽略了「背景色」也是驗證色偏程度的重要依據，如果在數據分析，輔助以「背景色」的色差概念，或許會讓本研究更加完整。

5-3 關於LCD反應時間對視覺評量的影響

本研究藉由變異數分析，驗證五十四種「色彩配對」在三台反應時間的差異性。研究發現，絕大部分的色彩配對，皆無顯著性差異，其視覺評量並不會因 LCD 反應時間的快慢，而對最後的視覺評量結果有所影響。基於此，本研究認為，通常人們的視覺判斷，會因為視知覺的補償心理機制，諸如選擇、補充、構成、判斷等主動作用，對差異性不大，以及較不易辨識與判讀的視覺特徵因子（例如：反應時間、明暗對比、模糊程度等），執行主動的群化作用（Rule of group），意即會把類似的視覺特徵信息，視為同一群。因此，本研究希望能夠提供另外一種思維方向，意即當觀者評估各種呈現動態畫面的媒介時，例如：LCD、CRT、投影機等，視覺評估的標準其實不應只有準確性而已，而必須思考觀者的視覺心理因素，實際使用產品所重視的「視覺心理品質」。基本上，除了視覺評估的準確性等技術層面外，更應重視的是舒適性、嗜好性、審美性等心理因素。所以，本研究探討「視覺傳達機能性」對動態畫面呈現品質的影響，其研究成果可作為視覺評估的參考。

5-4 關於視覺評量成果在視覺設計上的應用

1. 關於配色組合對呈現動態畫面的影響：當視覺設計師執行有關動態畫面之媒體傳達設計時，經本研究實驗證實，不同的配色組合確實會影響人眼對目標色的視覺判斷（例如：動畫設計、網頁動態設計等），因而也會讓觀者對該信息的認知判斷產生誤差。又，目前的 LCD 使用普及化，動態影像所產生的「色彩偏移」（Color-shift）現象，是身為視覺設計師，不可忽視的問題。因此，本研究企圖拋出一個議題，意即當設計師設計動態畫面信息時，相關的配色組合，不單只是從平面靜態的配色理論來思考，同時也必須考慮，動態畫面的配色方式，是否有別於平面的配色。
2. 關於四組色彩配對之視覺評量結果歸納：本研究嘗試歸納出四組色彩配對，色偏差異最小與最大的配對組合，藉以提供視覺設計師執行動態畫面設計的參考。
 - A. 第一組（不飽和色彩正向配對）：以 B-M（藍底-洋紅色）、G-Y（綠底-黃色），G-C（綠底-青色）等色偏最小。以 G-B（綠底-藍色）、B-Y（藍底-黃色），G-M（綠底-洋紅色）等色偏最大。
 - B. 第二組（不飽和色彩與黑白背景配對）：黑色背景的視覺評量，以 BL-R（黑底-紅色）的色偏最小，以 BL-B（黑底-藍色）的色偏最大。白色背景的視覺評量，以 W-M（白底-洋紅色）的色偏最小，以 W-B（白底-藍色）的色偏最大。
 - C. 第三組（飽和色彩正向配對）：以 B-M（藍底-洋紅色）、G-Y（綠底-黃色），R-M（紅底-洋紅色）等色偏最小，以 G-B（綠底-藍色）、B-Y（藍底-黃色），M-Y（洋紅底-黃色）等色偏最大。
 - D. 第四組（飽和色彩與黑白背景配對）：黑色背景的視覺評量，以 BL-R（黑底-紅色）的色偏最小，以 BL-C（黑底-青色）的色偏最嚴重。白色背景的視覺評量，以 W-C（白底-青色）的色偏最小，以 W-M（白底-洋紅色）的色偏最大。

參考文獻

1. Kurita, T., & Saito, A. (2002). A characteristic of the temporal integrator in the eye-tracing integration model of the visual system on the perception of displayed moving images. *IDW'02*(pp.1279-1282), *VHF 2-1*. Tokyo: IDW.
2. Nakamura, Y., Okuda, N., Someya, J., & Yamakawa, M. (2002). The moving picture evaluation method of LCD by PSNR. *IDW'02*(pp. 1287-1290), *VHF 2-3*. Tokyo: IDW.
3. Treisman, A., & Gelade, G. (1980). Feature integration theory. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-100.
4. Oda, K., Yuuki, A., & Teragaki, T. (2002). Evaluation of moving picture quality using the pursuit camera system. *Euro Display 2002*(pp. 115-118), *VHF 6-3*. Nice: Euro Display.
5. Yamamoto, T., Aono, Y., & Tsumura, M. (2000). Guiding principles for high quality motion picture in AMLCDs applicable to TV monitors. *SID 2000 Digest*(pp. 456-459), *VHF 30-2*. London: SID.
6. 山中俊夫（2003）。*色彩學的基礎*（色彩の基礎）（黃書倩譯）（130-141 頁）。台北市：六合。（原作 2003 年出版）
7. 周秀光（1999）。液晶顯示器之顯示原理。*電子技術雜誌*，163，82-88。

8. 陳丁振 (2001)。液晶顯示器用液晶材料。《*化工資訊*》，15，40-47。
9. 楊克勤、馬光璋、張永昇 (1992)。液晶顯示器影像品質探討。《*電子發展期刊*》，171，17-29。
10. 管倅生、童鼎鈞 (2002)。CIELAB、CMC、BFD、CIE94 色差公式之績效評估-以 ABS 塑膠材料為例。《*設計學報*》，7 (2)，23-46。

The Color-shift Analysis and Visualized Evaluation of Moving Image Quality on LCD

Han-Kai Chen* Shing-Sheng Guan**

* Graduate School of Design, National Yunlin University of Science and Technology
Department of Digital Design, Ming Dao University
hankai@mdu.edu.tw

** Graduate School of Design, National Yunlin University of Science and Technology
ssguan@yuntech.edu.tw

Abstract

In recent years, the development of liquid crystal display (LCD) in the international market is getting more competitive. The government is also devoted to the study of the innovative technique. Because LCD is a sunrise industry, the image quality evaluation method has not been established. Therefore, it is an important and emerging issue how to build up a standard method for image quality evaluation. This study aims to evaluate the display quality of dynamic pictures on LCD by using the Color-shift analysis and test module. The image picking technique from high speed camera and visualized evaluation data from the mentality were applied for the analysis. The purposes are triple fold: (1) to set up a method for color-shift analysis and the visualized evaluation of moving image quality, (2) to compare and contrast the results of visualized evaluation from moving image quality testing module with the evaluated data from the high speed camera, (3) to build the visualized evaluation method and operational instructions for moving picture quality on LCD. Results from the study can serve as references for the image quality evaluation in domestic industry.

Keywords: Moving Image Quality, Color-shift, Visualized Evaluation