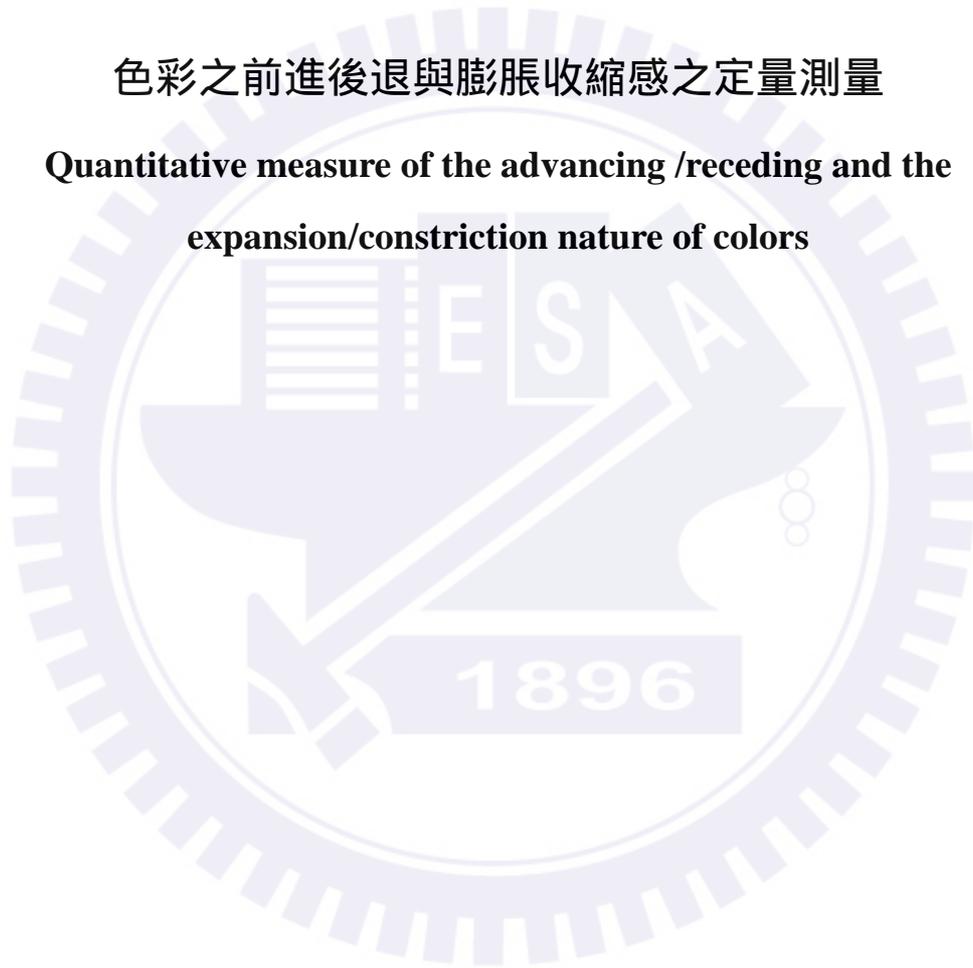


國立交通大學應用藝術研究所

碩士論文

色彩之前進後退與膨脹收縮感之定量測量

**Quantitative measure of the advancing /receding and the
expansion/constriction nature of colors**



指導教授：陳一平 博士

研究生：林智祥

中華民國九十三年八月

色彩之前進後退與膨脹收縮感之定量測量

學生：林智祥

指導教授：陳一平博士

國立交通大學應用藝術研究所碩士班

摘 要

色彩的前進後退以及膨脹收縮效果在色彩規劃的實務工作上具有極為重要的份量，舉凡利用配色來營造比實際來得寬闊的室內空間、比實際身材苗條的服裝設計、或是在平面上製造深度感覺等，均可利用色彩的前進或膨脹特性來發揮。在本研究中我們做了以下實驗：(一) 前進後退與膨脹收縮感與色相、明度關係的定量測量。(二) 在條件相等的情況下，比較前進色與膨脹色的順序關係。

我們選取十五個色彩樣本為刺激，涵蓋了五種不同色相，以及三種明度水準。這些樣本的前進與膨脹性質係以配對比較量表來做定量測量與分析，我們的實驗結果顯示以下結論：1. 色彩前進 / 後退的感覺取決於他們的色相與明度，色相愈是暖色調〈長波〉與高明度，則前進的感覺愈明顯。2. 關於色彩膨脹感覺無法如同前進的心理感覺可以單從色彩的色相、明度上作準確的預測。整體而言，明度在心理感覺色彩膨脹效果上，較色相提供更多的貢獻。

關鍵字：前進色，後退色，膨脹色，收縮色，配對比較量表。

Quantitative measure of the advancing /receding and the expansion/constriction nature of colors

Student : Jr-Shiang Lin

Advisor : I-Ping Chen

Institute of Applied Arts

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Colors are widely used to manipulate our impression of roominess of a space and the slimness of a figure. It is commonly taught in art schools that certain colors give more advancing and expanding look than the others. However, this observation remains anecdotal and needs to be verified with quantitative methods.

We did a quantitative measure of the advancing /receding and the expansion/constriction nature of colors in this study. Fifteen color samples (5 hues by 3 luminance levels) were used as the test stimuli. The order of advance-ness and expanded-ness of these samples was determined by the paired comparison scale. Our results indicate that: (1) The feel of advancing /receding of a color is determined by its hue and luminance. The more a hue moves towards the warm end (long wavelength) and the higher its luminance, the more advancing it appears. (2) The feel of expansion cannot be predicted by a color's hue and luminance as precisely as in the case of advance-ness. Overall speaking, luminance shows greater contribution than hue in determining our feel of expansion.

Keywords: advancing colors, receding colors, expanding colors, constricting colors, paired comparison scale.

致 謝

交大應藝所的兩年時光，充滿著快樂與挑戰，與志同道合同學一起創作的快樂，與自己喜愛研究領域的種種挑戰，共同交織出我回鍋當學生的精彩歲月。在此特別感謝陳一平老師對我的包容與細心教導，當我無法理解困頓時，以最深入淺出的方式讓我豁然開朗、吸收瞭解，也讓我學習到為人師表良善的態度與精神。另外，所長張恬君老師對我的鼓勵與打氣，也在我疲累撰寫論文時，提供了最佳的提神良藥。當然，莊明振老師給我色彩學研究的分享與建議，鄧怡莘老師廣識的學問，也讓我對設計領域有了更寬廣的認識與理解。

除了師長的諄諄教誨外，家人的不斷鼓舞與支持，也是讓我用心完成碩士論文的原動力。在求學與求職的抉擇十字路口上，爸媽始終願意付出所有心力幫助我完成學業，在此表達我深深的感恩與謝意！也謝謝老姊遠在日本幫我蒐集相關的色彩資料。

對我而言，朋友的扶持也是順利完成論文的另一助力。在實驗程式撰寫過程中，很感謝遠在美國的勝雄大哥、康琦大姊給我的熱情幫助，讓我的實驗可以有好的開始。在漫長又折磨人的實驗階段中，感謝諸多快被我弄瞎的同學朋友們：昆家、任遠、元嫻、雅靖、芳如、招財、明勳、愛堂、英宏、康珮、康瑄、康璋、雅馨、俊璋、嵩季等，沒有這些好友在前測實驗與正式實驗的傾力協助，我將無法獲得最關鍵的研究數據，非常謝謝你們耐心的做完實驗。在論文後期製作時期，非常感謝康珮、翠如、郁玫、林穎的大力相助，讓我可以文字撰寫與流程編排上過程順利，真的很高興認識你們這些好同學與好朋友，我會繼續努力，不會讓你們失望！

目錄

| | |
|-----------------------|-----------|
| 中文摘要..... | i |
| 英文摘要..... | ii |
| 致謝 | iii |
| 目錄 | iv |
| 圖目錄 | vi |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1.1 研究背景與動機 | 1 |
| 1.2 研究問題界定..... | 3 |
| 1.3 論文研究架構..... | 4 |
| 第二章 文獻探討 | 6 |
| 2.1 質性敘述文獻的整理..... | 6 |
| 2.2 深度知覺..... | 8 |
| 2.2.1 眼球運動的線索..... | 8 |
| 2.2.2 雙眼相差..... | 11 |
| 2.2.3 圖畫線索..... | 14 |
| 2.3 物體大小知覺..... | 18 |
| 2.3.1 以距離作判斷機制..... | 18 |
| 2.3.2 以擴散度作判斷機制..... | 20 |
| 2.3.3 大小恆常性..... | 20 |
| 2.4 明度與亮度..... | 21 |
| 2.4.1 亮度..... | 21 |
| 2.4.2 明度..... | 22 |
| 第三章 研究方法 | 23 |
| 3.1 心理物理學..... | 23 |
| 3.2 感覺閾..... | 24 |
| 3.2.1 配對比較量表..... | 24 |
| 3.2.2 調整法..... | 29 |
| 3.2.3 定值刺激法..... | 31 |
| 第四章 實驗 | 35 |
| 4.1 前置實驗..... | 35 |
| 4.1.1 實驗螢幕的伽瑪校正..... | 35 |
| 4.1.2 等明度的測量..... | 37 |

| | |
|----------------------|-----------|
| 4.2 正式實驗..... | 38 |
| 4.2.1 實驗目的..... | 38 |
| 4.2.2 受試者..... | 38 |
| 4.2.3 實驗環境..... | 38 |
| 4.2.4 實驗刺激..... | 39 |
| 4.2.5 實驗程序..... | 40 |
| 4.2.6 實驗結果..... | 45 |
| 第五章 綜合討論..... | 64 |
| 5.1 主要研究發現..... | 64 |
| 5.2 後續研究與建議..... | 67 |
| 第六章 參考書目..... | 69 |



圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1-1 瓦沙雷利 (Vasarely Victor 1908 ~ 1997)畫作，左圖 Heisenberg 1979 55x55cm；右圖 Billog 1975 55x40cm | 2 |
| 圖 1-2 前進膨脹法則若成立，圖中兩個面積相同的色塊，應有橙黃色較大的錯覺，詳見文 驗證色彩經驗法則中對於前進後退色與膨脹收縮色的實例..... | 3 |
| 圖 1-3 研究組織架構圖 | 5 |
| 圖 2-1 色像差示意圖..... | 9 |
| 圖 2-2 調節作用產生的前進與後退感覺..... | 10 |
| 圖 2-3 輻輳作用..... | 10 |
| 圖 2-4 物體與凝視平面的像差關係..... | 12 |
| 圖 2-5 Wheatstone 和 Brewster 首先分別獨立設計出實體鏡構造原理..... | 13 |
| 圖 2-6 經某一特殊經驗後，可以產生三度空間知覺的型態..... | 15 |
| 圖 2-7 質地遞變產生的斜坡印象..... | 16 |
| 圖 2-8 闡名物體介入的線索 | 17 |
| 圖 2-9 距離與視角的關係圖(a、b、c、d 代表四種不同距離)..... | 18 |
| 圖 2-10 鏡子實體鏡(圖片來源：劉英茂，民 76)..... | 19 |
| 圖 3-1 配對比較法的 F 矩陣 | 25 |
| 圖 3-2 在某一心理向度上，由兩個刺激所產生的分辨歷程分配..... | 26 |
| 圖 3-3 由兩個刺激所產生的分辨差異分配..... | 27 |
| 圖 3-4 受試者判斷 SB 大於 SA 的機率面積..... | 28 |
| 圖 3-5 配對比較量表中的 Z 矩陣，將 z 矩陣的每縱行求一個平均值..... | 28 |
| 圖 3-6 調整法中比較刺激調整結果之次數分配..... | 31 |
| 圖 3-7 以定值刺激法求絕對閾..... | 32 |
| 圖 3-8 產生時間誤差的情況..... | 33 |
| 圖 3-10 以定值刺激法求差異閾..... | 34 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 圖 4-1 RGB 三電子槍電壓與明度曲線圖..... | 36 |
| 圖 4-2 RGB 三電子槍電壓與明度曲線圖..... | 37 |
| 圖 4-3 光度計 PR650..... | 39 |
| 圖 4-4 HSB 系統上等距的五種色相的設定..... | 40 |
| 圖 4-5 實驗的刺激樣本編號與數值設定..... | 40 |
| 圖 4-6 實驗刺激放置在 CRT 螢幕上的位置設定..... | 41 |
| 圖 4-7 實驗環境示意圖..... | 41 |
| 圖 4-8 前測實驗中前進色的 F 矩陣..... | 42 |
| 圖 4-9 前測實驗中膨脹色的 F 矩陣..... | 43 |
| 圖 4-10 正式實驗刺激放置在 CRT 螢幕上的位置設定..... | 44 |
| 圖 4-11 正式實驗中前進色的 F 矩陣..... | 45 |
| 圖 4-12 色彩樣本的前進後退程度圖..... | 46 |
| 圖 4-13 高明度色相變化樣本的前進後退趨勢圖..... | 47 |
| 圖 4-14 中明度色相變化樣本的前進後退趨勢圖..... | 47 |
| 圖 4-15 低明度色相變化樣本的前進後退趨勢圖..... | 48 |
| 圖 4-16 三種明度色相變化樣本的前進後退趨勢圖..... | 49 |
| 圖 4-17 紫色在三種明度下的前進後退趨勢圖..... | 49 |
| 圖 4-18 藍色在三種明度下前進後退趨勢圖..... | 50 |
| 圖 4-19 綠色在三種明度下前進後退趨勢圖..... | 50 |
| 圖 4-20 黃色在三種明度下前進後退趨勢圖..... | 50 |
| 圖 4-21 紅色在三種明度下前進後退趨勢圖..... | 51 |
| 圖 4-22 五種色相樣本明度變化的前進後退趨勢圖 | 51 |
| 圖 4-23 前進趨勢色彩樣本排序圖 | 52 |
| 圖 4-24 正式實驗中膨脹色的 F 矩陣..... | 53 |
| 圖 4-25 色彩樣本的膨脹收縮程度圖..... | 54 |
| 圖 4-26 高明度色相變化樣本的膨脹收縮趨勢圖..... | 54 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 圖 4-27 中明度色相變化樣本的膨脹收縮趨勢圖..... | 55 |
| 圖 4-28 低明度色相變化樣本的膨脹收縮趨勢圖..... | 55 |
| 圖 4-29 三種明度色相變化樣本的膨脹收縮趨勢圖..... | 56 |
| 圖 4-30 紫色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖..... | 57 |
| 圖 4-31 藍色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖..... | 57 |
| 圖 4-32 綠色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖..... | 57 |
| 圖 4-33 黃色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖..... | 58 |
| 圖 4-34 紅色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖..... | 58 |
| 圖 4-35 五種色相樣本明度變化的膨脹收縮趨勢圖..... | 58 |
| 圖 4-36 膨脹趨勢色彩樣本排序圖..... | 59 |
| 圖 4-37 受試者對色彩樣本的主觀亮度排序..... | 60 |
| 圖 4-38 受試者對刺激樣本的主觀亮度排序..... | 61 |
| 圖 4-39 明度排序與主觀亮度排序散佈圖..... | 62 |
| 圖 4-40 前進程度排序與主觀亮度排序散佈..... | 62 |
| 圖 4-41 膨脹程度排序與主觀亮度排序散佈圖..... | 63 |
| 圖 5-1 三種明度色相變化樣本的前進後退與膨脹收縮趨勢圖..... | 64 |
| 圖 5-2 五種色相樣本明度變化的前進後退與膨脹收縮趨勢圖..... | 65 |
| 圖 5-3 前進與膨脹趨勢色彩樣本排序圖..... | 66 |
| 圖 5-4 受試者對刺激樣本的主觀亮度排序..... | 67 |

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

1.色彩心理效果應用於日常生活

色彩除了是表徵物體特質的重要訊息外，更重要的是它經由視覺傳達給觀賞者的心理感覺。在諸多色彩教育與色彩學書籍上，我們可以知道色彩可以產生輕重、大小、軟硬、前後的心理感覺，這些心理感覺的觀念與想法也存在我們日常生活中許久。如穿深色衣服會看起來比較瘦，因為它可以產生後退與縮小的心理感覺，因此在衣著的配色上有修飾身材的效果；室內設計上，偏暖的牆壁色調除了可以讓空間感覺溫暖外，也可以使較大的空間消弭開闊的心理感覺。這些應用色彩產生的心理效果我們只能略知大範圍的原則，並無法更深一步的探究其法則，而產生在設計上更精確的依據。

2.藝術發展注重視覺的心理效果

在過去的歷史當中，視覺藝術的形式發展與視覺科學其實是頻頻相會的，以現代藝術史當中的繪畫流派為例，除了點描派直接受色彩科學啟發而主導其技法與畫風之外，六〇年代興起的歐普藝術（Optical Art）流派也深受視知覺知識影響，專注於玩弄視錯覺、單眼深度線索與各種引起強烈視覺效果的繪畫型態，由該流派最重要的展覽的主題名稱「響應眼」（Responsive Eye, 1965）即可了解其核心理念。

歐普藝術家擅長在畫面上堆疊簡單的幾何形狀及色彩，常建構出令人暈眩的錯覺和立體幻象，他們的創作形式也許是有史以來最貼近視覺科學所使用的刺激目的的藝術品。無論是歐普藝術家或是當代設計師大多都接受色彩產生的心理現象，並引以為創作時的準則。

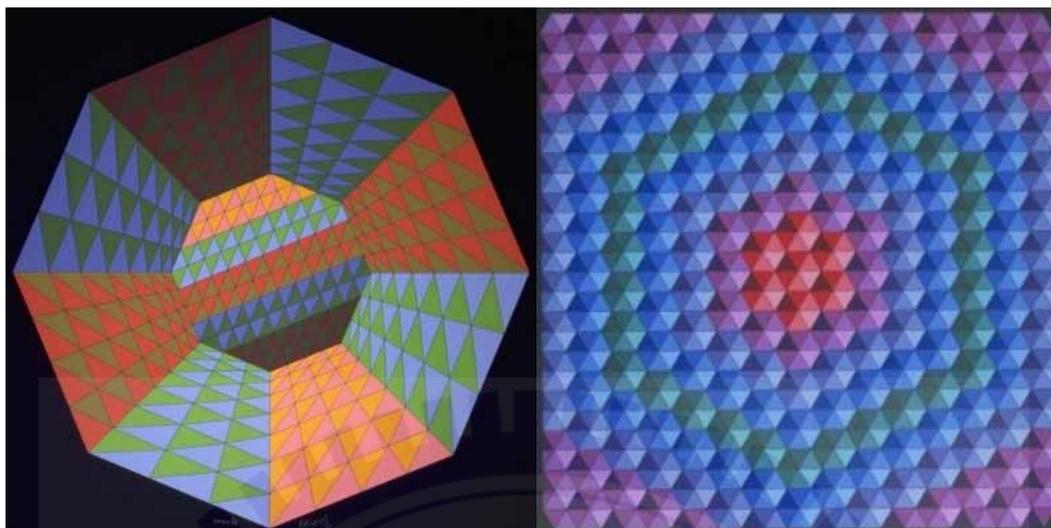


圖 1-1 瓦沙雷利 (Vasarely Victor 1908 ~ 1997) 畫作，
左圖 Heisenberg 1979 55x55cm；右圖 Billog 1975 55x40cm

3. 色彩教學著重經驗法則傳授

色彩的知識是整個視覺科學領域中最見系統性、成果最豐碩的領域，不過在色彩教育當中佔有舉足輕重角色的設計或藝術色彩學卻處在與其他色彩領域隔離的狀態，全國每年有上萬美工相關學子修習設計色彩學，但無論是國內或國外的教材，普遍著重於經驗法則的傳授，缺乏將這些原則置於一個可和其他色彩相關領域整合的理論框架，以致設計藝術界所談的色彩學未能與科學界所談的色彩學接軌，也缺乏一個對外吸納新知的機制，以充分利用各學術領域在色彩科學方面的進展。

4. 使用量化方法建立理論與實用數據

在色彩有關心理感覺的影響上，多半是原則性與經驗法則的傳授，除了在色彩教育上會產生模糊的觀念外，對於應用設計的色彩使用也無實際助益。因此研究者希望藉由科學實徵的方法，針對此類型的題目作量化的測量與分析工作，期待研究結果可供色彩教育與應用設計上更實用的方向與理論根據。

1.2 研究問題界定

色彩的空間營造能力—前進後退與膨脹收縮效果

色彩與心理感覺的研究問題有許多不同面向，本研究主要以針對色彩的前進後退感覺，及可能具相關性的膨脹收縮感覺作為研究主題。目前一致性的說法是認為：長波長的色相為暖色相、有前進及膨脹的效果，短波長的色相為寒色相、有後退及收縮的心理效果；另外大致上明度高的色彩感覺較前進、膨脹，明度低的色彩感覺較後退、收縮等。（林書堯，1998；鄭國裕、林磐聳，1999；賴一輝，民 1993）



圖 1-2 前進膨脹法則若成立，圖中兩個面積相同的色塊，應有橙黃色較大的錯覺，詳見文驗證色彩經驗法則中對於前進後退色與膨脹收縮色的實例。

在空間知覺上，物體的大小知覺與距離感的判斷是息息相關的，當過去設計教科書將前進後退色與膨脹收縮色分開討論時，明顯的會忽略這兩種特性可能為一體兩面的可能性。本研究將針對前進後退色與膨脹收縮色做定量測量，以釐清色相與明度各自貢獻的程度。

另外，經驗法則提到明度皆具有高度的前進趨勢與膨脹趨勢，而真正主導影響這些趨勢程度的是物理上的明度，還是視覺上主觀的亮度感覺，也是希望在此定量的實驗研究中，可以找到初步的方向與解釋。

在這樣的架構下本研究的細部規劃如下：

- 1.前進後退與膨脹收縮感與色相、明度關係的定量測量。
- 2.在條件相等的情況下，比較前進色與膨脹色的順序關係。
- 3.明度與主觀亮度對前進膨脹的影響程度。

1.3 論文研究架構

本研究是以心理物理學的研究法，來建立色彩樣本在明度與色相上有關前進後退與膨脹收縮的間距量表。首先，針對研究動機確立研究的主題與範圍，並藉著文獻探討來提供文獻質性的敘述內容，以及視知覺有關判斷深度與大小的理論基礎，並介紹亮度與明度的關係與差異。再者針對心理物理學中介紹可以使用在此類型主題的研究方法，並說明簡釋配對比較法的作法與意義。接著對研究主題設計實驗。在正式實驗前有硬體校正的前置實驗，並進行前測實驗以蒐集改進資料與檢驗實驗效能。正式實驗完後對資料作統計運算的工作，並建立配對比較量表，再將數據進行分析討論，提出實驗的綜合結論與未來繼續進行的目標。

本研究的組織架構突如下：

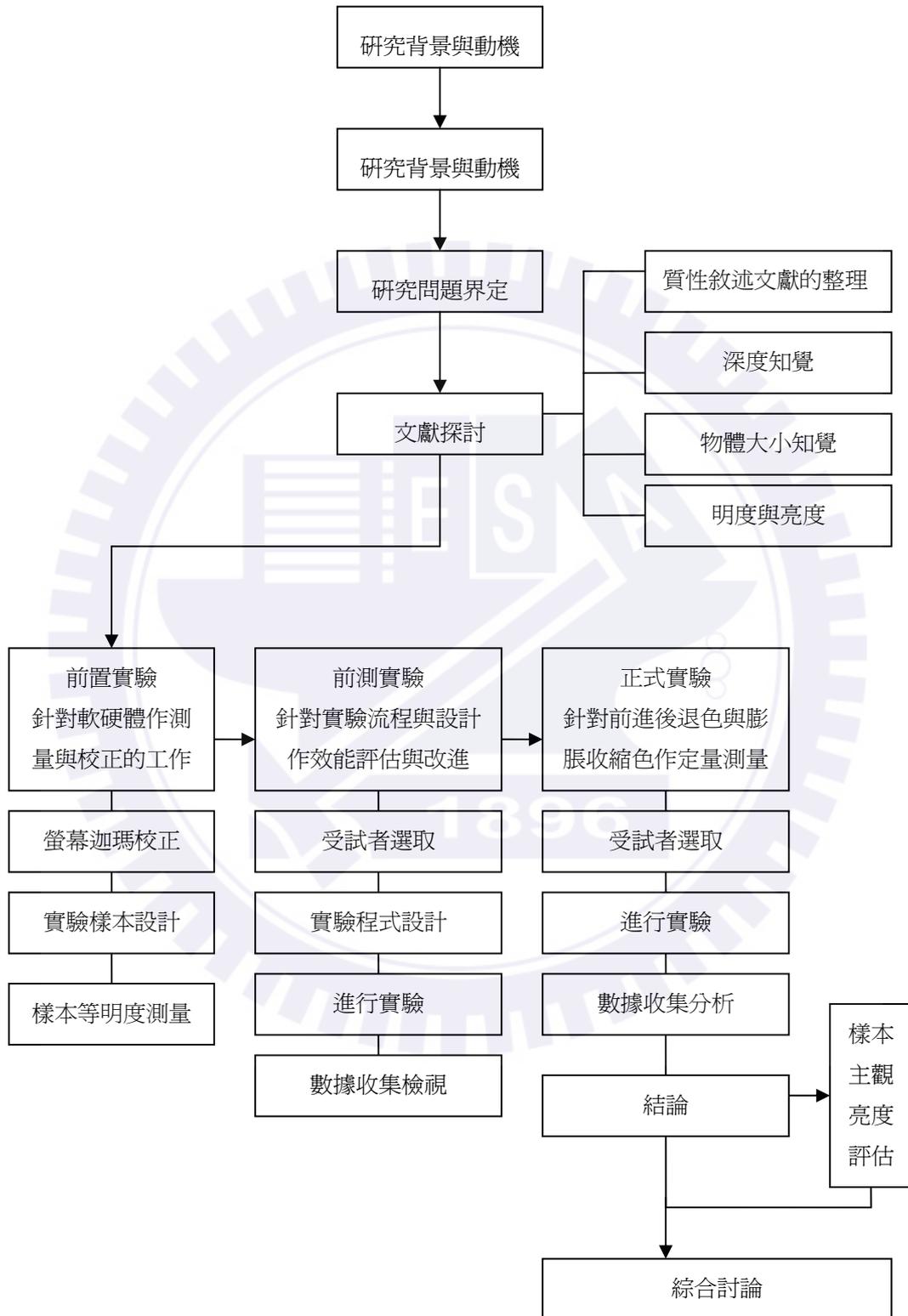


圖 1-3 研究組織架構圖

第二章 文獻探討

2.1 質性敘述文獻的整理

在許多的教科書與色彩學專書或有關色彩學的書籍中，多數都有提及前進色與後退色的說法，也有說明膨脹色與收縮色的關係，甚至常常將兩者的關係一併說明，認為明度高的暖色，即是前進色與膨脹色；認為明度低的寒色，即是後退色或收縮色。這些質性文獻的敘述多放置在有關心理感覺色彩的章節中，也多數只提供大方向的經驗法則，少有進一步的解釋與說明（但見莊明振，1996 之例外）。

以下列舉擷取書中相關敘述的文字段落：

「明度高的暖色，看起來會覺得比較大，也比較靠近，叫膨脹色或前進色。明度暗的寒色，看起來會比較小也比較後退，叫做收縮色或後退色。」

（色彩計劃，賴一輝編著，新形象出版事業有限公司，1993 第 2 版）

「色彩會使人感覺膨脹或收縮，一般而言，前進性的暖色，具有擴散性，看起來會比實際大些，稱為「膨脹色」。而後退性的涼色，含有收斂性，看起來比實際小些，稱為「收縮色」。以明度而言，明亮的色彩居於膨脹色，深暗的色彩屬於收縮色。」

（色彩計劃，鄭國裕、林磐聳編著，藝風堂出版社，1999 初版 14 刷）

「色相屬性的變化：按照上面的分析來說是長波長的色彩：赤、橙、黃，具有前進或擴大的特質，慢慢經過黃綠、赤紫趨近中性；進入短波長的色彩：青綠、青、青紫、紫，就有後退性或收縮性。明度屬性的變化：一般的情形，不分色彩種類使用明度高而亮的顏色，都會覺得前進而寬大，明度低而黑暗的顏色，則感覺上比較後退與狹小。色彩屬性的變化：彩度條件的情形也與明度差不多。高彩度的鮮豔色彩，不分色彩波長之長短，鮮的還是迫近力大且感覺得較為伸張，特

別是暖色最為厲害。彩度低而濁的，就普遍地退縮，而為明度之高低所左右。」

（色彩學，林書堯著，林書堯發行，1998 修訂 5 版）

暖色系或是明亮色系看起來有膨脹效果，而涼色系或是暗色系則有收縮效果。……顏色的膨脹收縮現象，如稍微換個角度來看，則會感覺出有進出和退後的效果。

（新・色彩の心理，西川好夫，法政大學出版局，1973）

比實際的視覺距離感覺還要接近的稱為前進色；感覺還要後退的稱為後退色。關於顏色的前進後退性，一般認為是因水晶體隨著單色光折射角的變化所引起的調節作用，以及因視網膜的興奮對其周邊所造成的影響。……另外，一般而言前進色看起來較膨脹，後退色則較收縮。故具有看起來比實際面積還要膨脹的顏色性質稱為膨脹性（看起來比較膨脹的稱為膨脹色）；反之，具有看起來比實際面積還要收縮的顏色性質稱為收縮性（看起來比較收縮的稱為收縮色）。

（色彩の科学，小磯稔，株式会社美術出版社，1972）

在寬廣的壁面上使用暖色系的膨脹色，可以消除一些寬廣的感覺，達到調節的功用；而在狹窄的房間裡用寒色系的顏色，亦可緩和狹隘感，這是因為膨脹色的前進性和收縮色的後退性，分別在心裡所造成的效果。因此，膨脹色又名前進色，收縮色又名後退色。據此可知，其機能雖相同，但因使用方式不同，而能產生出些許不同的效果。

（基礎色彩学—構造的アプローチ，本山智子，第一法規出版株式会社，1982）

在這些書中我們看到常將明度與色相混合說明，而這兩個色彩屬性皆具有影響色彩對心理的感覺，因此在這些質性文字敘述中，實無法辨別色相與明度對色彩前進後退或是膨脹收縮的關係，也無法瞭解到何者才是具有較大的影響優勢。

其次，將前進與膨脹連結，後退與收縮連結，似乎確信前後與大小的心理感覺是連帶關係，即是當心理感覺色彩前進時，因為前進感覺，視覺效果比較靠近，所以心理感覺也覺得色彩變大；後退的情形也相同，當覺得色彩後退時，視覺效果較遠，因此感覺色彩也比較小。真實的狀況果真如此？我們判斷前進與大小是同一組機制嗎？這些似乎在缺乏實徵資料的支持下，都不易提供有效的參考價值，也無法在設計作品或從事藝術創作時，可以準確無疑的將此類的色彩心理效果考慮進去。

2.2 深度知覺

網膜的視覺呈現可視為兩度空間的表現，所以網膜上自然不會紀錄有關距離的訊息，那我們對第三度空間的知覺該如何獲得便是需要瞭解的問題。目前研究可間接提供距離線索，讓我們產生三度空間的知覺有四種線索：在生理層次方面，水晶體的調節作用（accommodation）和雙眼的輻斂作用（accommodative convergence）所伴隨的肌肉緊張度，是身體機能上提供距離的線索，稱為眼球運動的線索（oculomotor cues）。

生理的反應不需要網膜影像的幫忙，但投射在網膜上面的視覺畫面，也都會提供重要的距離線索。雙眼像差（binocular disparity）和圖畫線索（pictorial cues）都是在靜態畫面上，可以讓人產生深度知覺的方法，在動態畫面上，觀察者的運動視差（motion parallax），也可產生深度知覺，由於運動視差屬動態的深度知覺線索，在此研究主題下故不多加介紹與探討。

2.2.1 眼球運動的線索

1. 調節作用

在鄭國裕、林馨聳編著的《色彩計劃》一書中，曾對色彩的前進後退效果做解釋：「當我們觀察色彩時，長波長的光線會在眼睛的網膜後方形成焦點；短波長光線則在網膜前方形成焦點，這前後不一的焦點，經眼睛的水晶體調整後，使

波長長的暖色看起來覺得較近，波長短的冷色看起來較遠。故暖色屬前進色，冷色屬後退色。」

這個解釋是基於色像差 (chromatic aberration) 以及調焦動作 (accommodation) 兩個歷程而來的。在解釋是兩名詞前，先概略敘述光與色彩的關係。光是一種電磁波，而電磁波是帶有能量的量子，震動所引起的，而量子的前進具有波動性質，波長較長的震動較慢，較短的震動較快，前進速度都是每秒 30 萬公里 (光速)。光的物理性質，決定於振幅與波長兩因素，振幅是光量，振幅的大小會產生明暗的區別。而物理的波長則對應到色彩上的色相，波長長的偏紅色，波長短的偏藍色，所以波長長的偏暖色調，波長短的偏寒色調。

色像差即是光線在通過三稜鏡時，由於折射率的不同，所以會導致白光色散成多種色彩的效果。如圖 2-1，長波長的顏色折射率較小，短波長的顏色折射率較大，所以當光線進入眼睛時，水晶體就如同稜鏡一般，會造成短波長光的影像成像在網膜之前；長波長光成像在網膜之後的現象。

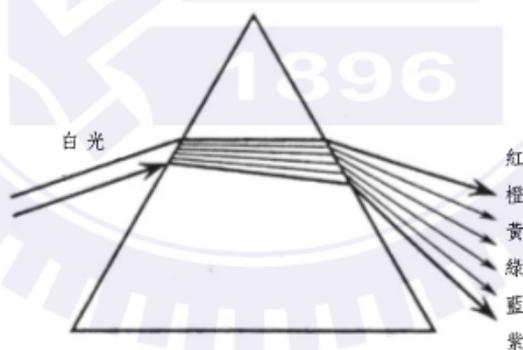


圖 2-1 色像差示意圖

若視覺系統意圖對焦於短波長光的影像，水晶體的厚度必須變薄，以降低屈率，若欲調焦對焦於長波長光的影像，水晶體的厚度必須變厚，以增加屈率。調焦動作是水晶體的變厚或變薄動作，而睫狀肌負責此工作，當肌肉有動作的訊息，此訊息傳達至腦部，可幫助形成知覺上之前進或後退感，如圖 2-2。

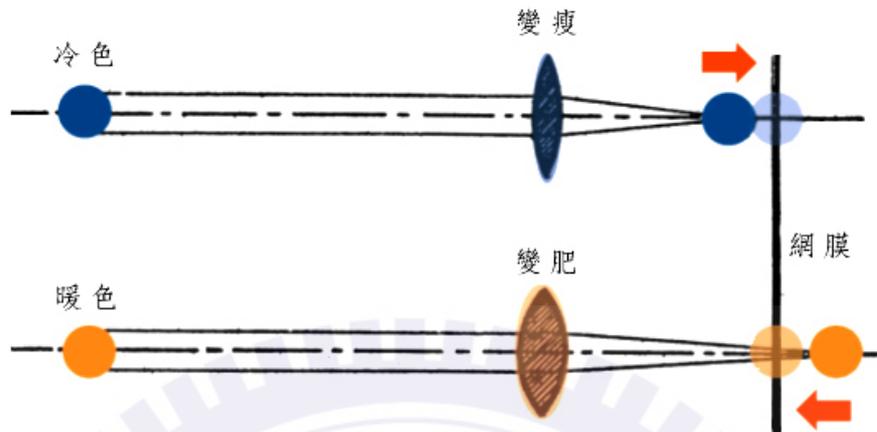


圖 2-2 調節作用產生的前進與後退感覺

2. 輻輳作用

除了控制水晶體的眼球肌肉外，例如在看近物的時候，動眼肌肉控制雙眼輻輳，使得雙眼較向鼻側內旋，而這個肌肉動作，也成為凝視物體時，提供大腦深度線索的另一個生理的途徑，如圖 2-3。



圖 2-3 輻輳作用

Berkeley (1685-1753) 認為水晶體的調節作用和雙眼的輻輳作用，兩者所提供的訊息，是第三度空間知覺的主要線索。相關的實驗是在無任何照明的實驗室裡進行，讓受試者的頭部固定不動，只向單一發光物體注視，這時候除了眼球的調節作用與輻輳作用外，其它所有線索都不能發生作用。實驗結果讓我們瞭解到

調節作用和輻輳作用是有效的深度知覺線索，且同時發生作用引發的深度知覺效果最好。但假使只有其中之一發生作用，則會大大減少其深度知覺的效力。不過實際很難只單獨運作其中一項，因為即使將眼睛遮住一眼，用單眼做試驗，遮蓋的眼睛仍然有輻輳作用發生的可能，因為該眼仍然受到另一眼的調節作用影響，而產生輻輳作用，不過知覺上的效果顯然差於普通的輻輳作用（雙眼同時使用）產生時，所以可知兩者同時發生作用，才是生理上取得距離資訊的最佳機制。

是否眼球運動的線索是主要構成感覺前進後退的要素，似乎也無法有確切的答案，在實驗中，可知這兩個線索僅在物體的距離為兩公尺以內時才有效，接著使用鏡子實體鏡單獨操弄輻輳作用，實體鏡可以分開輻輳作用和調節作用。當固定調節作用而操弄輻輳作用時，受試者只有感覺到物體大小改變的印象，並無法感覺到物體的距離的變化，也就是可能感覺不到物體前後的移動。顯然，距離和大小知覺是互相混淆不清的變項，也可知有別的線索（視覺上的線索）必須一起作用，才可以完整感受到物體距離或是大小的關係。

理想上欲驗證此假說需要單波長色光產生器，不過一個間接相關的比較，可以幫助我們評估這種以光學現象為依據的解釋之可行性。在同樣條件下，短波長光線的繞射程度比長波長的光線嚴重，這會使得短波長光線的刺激比長波長光線的刺激來得發散，因而造成在網膜上的覆蓋面積稍大的結果。此差異的幅度與上述假說的色像差約略相當，但應該影響到的是膨脹收縮的感覺。假若本實驗的結果顯示寒色調的物體看起來較大，則在質性的層次上與此分析一致，很間接地支持用光學理由來解釋前進與後退的可行性。不過所有教科書均強調暖色比寒色膨脹，我們須以實徵的資料來評斷結果。

2.2.2 雙眼相差

人類為何可利用兩隻眼睛卻看見單幅的立體的影像，立體視覺研究的始祖 Bela-Jules 便質疑人類雖然有雙眼，但是視覺成像方式卻是獨眼視覺，而雙眼像差便是造成的原因。簡單來說就是因為雙眼的位置稍有不同，因此可以提供物體

在第三度空間上的深度訊息。

人類由於雙眼集中於一面，較其他大多數的動物而言犧牲了視野範圍，卻增加了視覺判斷深度與距離的能力。這雙眼之間的平均距離約為 6 公分，因此不論使用哪隻眼睛去看近的物體，都一定會得到不同的遠背景，這種左右眼所見影像並不不同的現象，稱為雙眼像差（binocular disparity）。

雙眼像差的程度與和物體的距離有關，距離越接近，像差效果越顯著；越遠，則像差越小。當凝視某一個物體，所有距離與此物體相等的地方是一個球狀平面，稱為凝視平面（horopter）如圖 2-4。

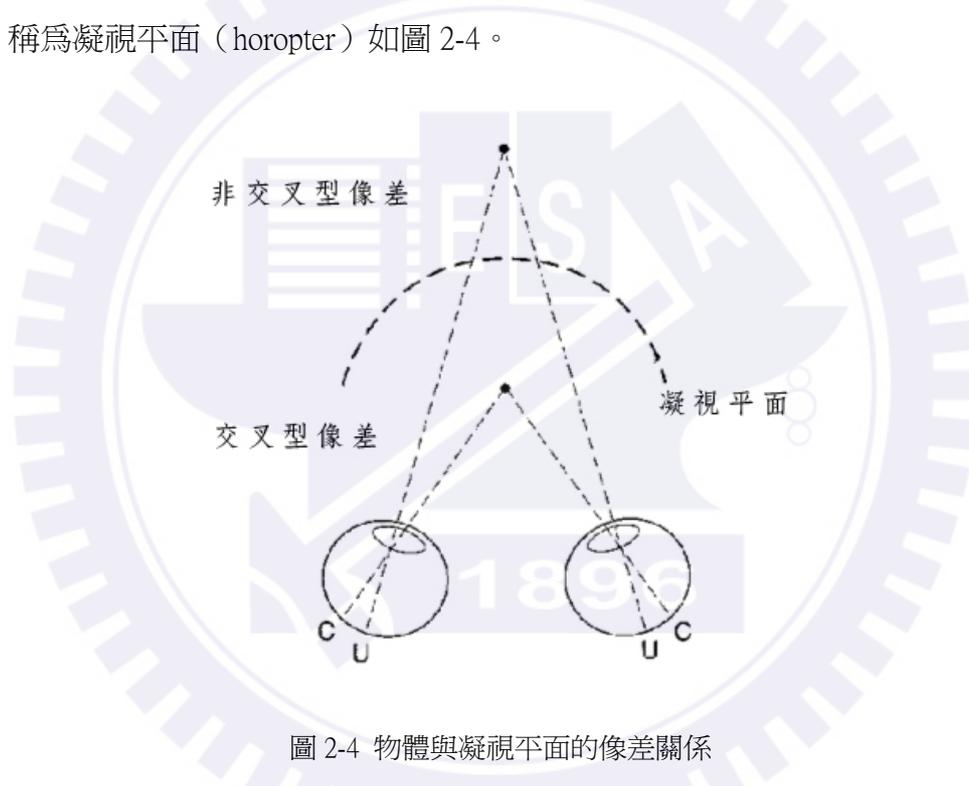


圖 2-4 物體與凝視平面的像差關係

物體與凝視平面產生的像差關係有三種：假如，兩眼視軸不會在遠處交叉，稱為非交叉型像差（uncrossed disparity）或遠像差；反之，在凝視平面前交叉，則造成交叉型像差（crossed disparity）或稱近像差。當物體與凝視平面重疊，則造成零像差（zero disparity），如圖 2-4。

儘管雙眼成像方式可以用物理方式解釋清楚。但經過大腦處理產生不同的遠背景和近物之間的深度與距離感，卻非物理方式和光學成像原理所能解釋。因此，必須由視覺深度的生理基礎來加以研究與解答。

假設當兩個物體在三度空間上同一個距離時，會在雙眼網膜上形成幾近相同的影像，但為什麼知覺不會看到兩個相同的影像，而會合併成一個影像。最早出現的是 Cyclopean eye 這個名詞，指稱雙眼訊息經過匯聚而融合成一個影像。後來研究又發現，即使兩眼的視覺方向不一樣，大腦仍不會產生兩個不同的視向（direction），而只會合成一個。十九世紀末 David Hubel 與 Torsten Wiesel 找到以生理測電方法可以直接在貓的大腦視皮質區內進行測試，進而找到雙眼敏感細胞（Binocular cell）。其後 Barlow, Blakemore 與 Pettigrew、Pettigrew, Nikara 與 Bishop 在貓大腦視皮質區中，找到兩眼不同位置（即不同像差）反應的細胞，這類細胞被稱為像差敏感細胞（Disparity cell 或 Disparity detectors）。可知左右眼網膜上帶有像差的影像，經過神經纖維，都會到達大腦視皮質區的同地點，再經過專門的細胞處理，我們才會由雙眼視覺的成像變成知覺上獨眼視覺的感覺。

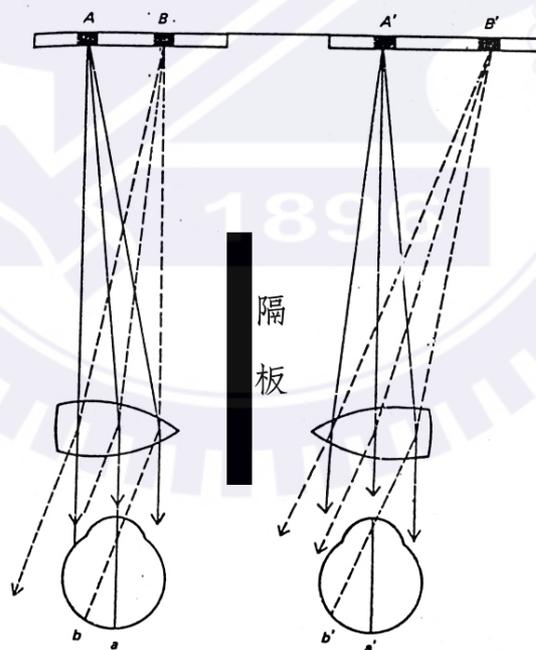


圖 2-5 Wheatstone 和 Brewster 首先分別獨立設計出實體鏡構造原理

（圖片來源：劉英茂，1987）

雙眼像差是偵測相對深度最精確有效的線索，Wheatstone 以實驗方法闡明。他推測假定雙眼像差真的是引起深度知覺的線索，如果向雙眼呈現有一定像差的兩幅平面圖畫時，受試者應該可以看到一幅有第三度空間的圖畫。Wheatstone 和 Brewster 首先分別獨立設計出實體鏡（stereoscope，圖 2-5 可知設計原理），此機構是採用兩個稜鏡，各置左右眼之前，通過各稜鏡的光線成爲平行光線，因此物體似乎在無限遠的距離，如此對各眼所呈現具適當條件像差的兩幅平面圖畫，都可以引起很清晰的立體感，這也是立體電影與許多立體視覺的基礎理論。

2.2.3 圖畫線索

圖畫線索（pictorial cues）就是圖畫所提供的距離線索，也就是二度空間引發三度空間的印象與深度的心裡感覺。

如何釐清這個知覺是由單純的二度平面空間所引發，有實驗加以證實。此實驗要求受試者先閉一隻眼睛，以固定頭部的方式，用另一隻眼從硬紙板上的一個小孔，窺視正前方的景色。實驗設計使所有遠近的物體都清楚呈現在焦點上，所以水晶體的肌肉調節不會作用；由於閉著上一隻眼睛，雙眼像差和眼球的輻輳作用無法提供距離的線索；頭部既然已固定，因此運動視差（因爲頭部移動，眼睛觀賞角度產生的深度知覺）也不構成一種距離的線索。理論上，因爲深度線索都被控制住，受試者應當看不出物體有遠近的差別。實際上，在此情況下，受試者仍然可以輕易看出，並分辨不同遠近距離的物體，這表示還有另一種線索可以提供視覺產生深度的知覺。

同樣模式的實驗改在暗室內實施，物體則用發光體來代替，這回受試者便無法判斷發光體的正確距離。兩個實驗結果來分析，主要的關鍵是在明亮的情況下，物體的表面或物體間的安排仍然可以提供距離的線索。所以當水晶體的調節作用、雙眼的輻輳作用、雙眼像差和運動視差，都不提供任何距離的線索。但從硬紙板的小孔中，以單眼看一幅圖畫，仍然可以看出三度空間的圖畫，而似乎圖畫本身二度平面空間上的線索，便足夠提供如三度空間的深度知覺。

是什麼生理機制或原則？讓二度空間的圖畫引起三度空間的深度印象，這個問題的看法，有三個理論：

(1) 先天論：認為圖畫上的線索是深度知覺的先天線索，即是先天便擁有認知這些線索會產生深度的能力。

(2) 單純論：立基點是認為人固有傾向會把事物看成是最單純 (simplest) 的東西，所以我們會把圖畫當成三度空間看，而如果當最單純的東西是三度空間的物體時，就看成立體。

(3) 經驗論：圖像的線索是基於過去的經驗，就是必須經過學習的過程。

目前研究傾向經驗論，實驗的結果是一個屬於二度空間的圖畫型態 (陌生的圖畫型態)，經過某種經驗後，它會賦予三度空間的印象。實驗的方法是將 a 或 b 鐵絲 (圖 2-6) 彎折成三度空間的形狀，然後放置於半透明銀幕後面旋轉。當受試者觀看投射在銀幕上旋轉的影子時，心理會產生很強度的深度知覺。實驗的最後階段，當再度呈現給受試者觀看時，僅呈現靜態的形狀 (等於是二度空間的圖畫)，受試者直覺會將它視為三度空間的型態。這種因學習所得到的三度空間知覺，僅對於實驗所使用的特殊形狀成立。

此實驗結果加以推測，所有圖畫線索可能都是由於過去的經驗學習來的。學習過程可能是當某一型態，在有某些線索 (會產生深度知覺) 的情況下，被視為三度空間的型態，未來當那些線索不存在時，該型態就被視為二度空間的型態了。

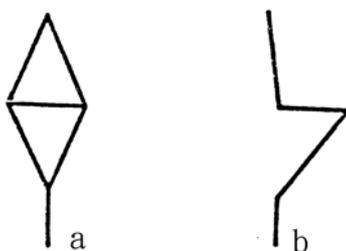


圖 2-6 經某一特殊經驗後，可以產生三度空間知覺的型態

以下簡單介紹這些圖畫的線索：

1.透視

這是繪畫界常使用的繪圖方法，此法除了是表現深度最基本的描繪手段外，也似乎是觀賞者最容易從二度空間畫作感受到深度知覺的表現法。

直線透視 (linear perspective)：在景色中的平行線，投射在網膜上所成的像，在水平線上似乎合而為一點。

大小透視 (size perspective)：當相同大小的物體，隨著距離的增加，物體的大小也逐漸減小；當物體之間間隔又相等時，隨著距離的增加，網膜上的物體像之間間隔也漸漸縮短。

質地的遞變 (texture gradient)：這是由 James Gibson 提出，認為深度知覺是依賴平面後退的知覺，尤其是依賴地面後退的知覺所產生。因為平面後退的知覺是由於平面有一定的質地 (textures) 所發生。如地面上的草與石頭都是構成質地的來源，而投射在網膜上形成的影像，由於地面質地密度的不同，也呈現有規則的變化。從實驗結果來看，質地的遞變的確可以使原有平面呈現斜坡的印象 (如圖 2-7)。

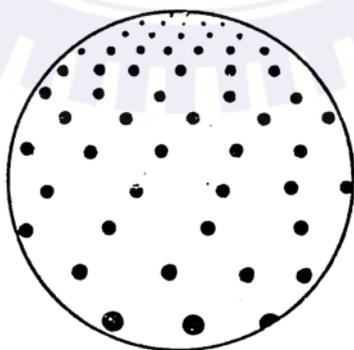


圖 2-7 質地遞變產生的斜坡印象

2.熟悉的大小

熟悉的大小提供的深度知覺，很明顯必須依賴記憶與經驗的累積，必須假定可以察覺網膜上影像的大小，還需要假定在記憶中保存著此熟悉物在某一距離的大小印象。

在實驗中，若呈現給受試者的撲克牌為實際大小的一半，受試者則通常以為它的位置是目前距離的兩倍；若所呈現的撲克牌為實際大小的兩倍，受試者就判斷，它的位置只有實際位置一半的距離。當呈現出實際大小撲克牌時，受試者對距離的判斷和真正的距離相差不大。這個實驗似乎在支持，熟悉物的大小是距離的有力線索。

不過實驗時，不同大小的刺激是同時或至少連續出現，因此受試者所利用的可能是相對的大小，而非熟悉物的大小，所以很可能的深度知覺線索是大小透視。

3.物體介入

在圖 2-8 中，觀者眼睛和 B 的方形之間，有 A 方形的物體介入 (interposition) 時，觀者會突然產生很清楚的深度知覺。不過物體介入的線索並不提供多大距離的資訊，但是卻提供強烈三度空間上先後的知覺印象。不過介入關係的兩個物體必須是觀者熟悉的，不然如果是兩個不熟悉的物體，觀者可能便會以連續性原理或共同的輪廓關係，來解釋物體介入線索的來源，因此物體介入是可以歸因於知覺組織原理的適用。

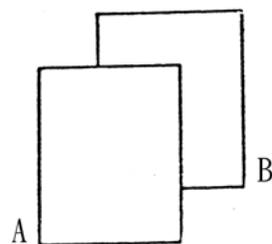


圖 2-8 闡明物體介入的線索

4.陰影

陰影是另一個很重要的圖畫線索。陰影呈現出的位置往往指明哪個區域是突出來的，那個區域是凹進去的。而一個二度空間平面的圓，如果在邊緣描繪出陰影，則馬上會在知覺上產生空間深度與立體的感覺。

2.3 物體大小知覺

南極的直昇機飛行員曾在白雪茫茫的世界中駕駛，由於缺乏資訊便無法推論距離，造成對物體大小知覺的判斷錯誤，一時錯認地上的火柴盒為卡車，差點造成墜機的意外。這裡也可以看出物體大小知覺的兩個問題點：一是網膜上所形成像的大小，如何影響我們知覺一個物體的大小。二是大小恆常性與距離的關係。

2.3.1 以距離作判斷機制

1.大小知覺的方程式

眼睛的成像方式如同相機，其水晶體相當於相機的透鏡，而網膜相當於底片或 CCD。自空間上一點發射的光線會透過水晶體，將光線集中投射到網膜上的一點形成影像，而我們知覺到的大小（perceived size），可以寫成距離和視角的函數： $\text{大小知覺} = \text{視角} \times \text{距離}$ 。如圖 2-9，此公式有兩種情況產生：（1）當固定距離而增加視角時，所知覺的物體會隨之增大。（2）當固定其視角，而增加物體的距離時，我們所知覺的大小，也隨著增加。

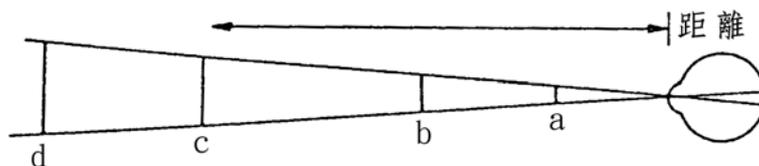


圖 2-9 距離與視角的關係圖（a、b、c、d 代表四種不同距離）

2. Emmert 定律：

注視物體一時間後，移動視線至某一個平面上，在這個平面上視線停留的地方，會產生後像（afterimage）。此後像顯然是網膜上一定的範圍，發生了生理上的改變所致。而在平面所得的後像應和原注視物體的大小相等，但如果把視線移到，和該物體有不同距離的平面時，在平面上所投射的後像大小，則會隨著平面的遠近有所不同。平面的距離愈遠，在平面上所形成的後像愈大，平面愈近，形成的後像則愈小。這便是 Emmert 定律，可以由大小知覺的方程式導出。

3. 距離是記錄的距離

在距離的意義上，傳統對距離的說法是，觀察者因為考慮到所知覺的距離（perceived distance），而對於觀察到的物體大小能作適當的判斷。在深度知覺的介紹中，可知水晶體的調節作用、雙眼的輻輳作用都是距離的訊息（distance information）。如果傳統的說法成立，當改變距離的訊息時，觀察者所知覺的距離應隨之改變。

以鏡子實體鏡（mirror stereoscope）做實驗，可以單獨改變雙眼的輻輳作用。若使雙眼幾乎平行注視，輻輳作用減少甚至不發生，理論上以傳統說法來看，所知覺的物體應來自遠處。然而，觀察者所知覺到的，並非距離的改變，而是所知覺物體的大小發生了很大的改變，可知在大小知覺的方程式中，距離的變項顯然並非指物理上的距離。

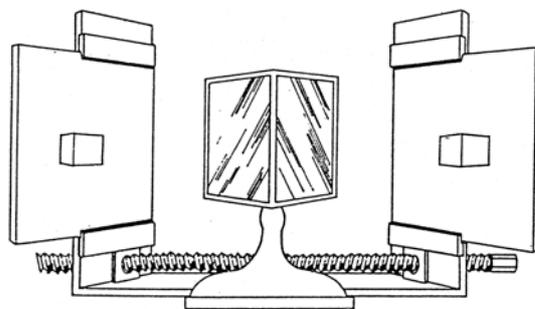


圖 2-10 鏡子實體鏡（圖片來源：劉英茂，1987）

決定物體大小知覺的距離，並不必要為觀察者所意識到。距離訊息可能直接為中樞所紀錄，因此大小知覺的方程式中，距離一項所指的，應當是紀錄到的距離（registered distance），而非知覺到的距離（劉英茂，1987）。

2.3.2 以擴散度作判斷機制

根據大小知覺的方程式可知，如果沒有距離的訊息，僅單從視角的大小將無法獲知物體的大小。不過實驗卻發現，雖然製造出完全無距離訊息的狀況，受試者卻仍然可以根據視角作大小的配對。受試者可以根據注視一個物體，所形成的物體視角，再比對其在整個視野所佔的比率，作為判斷大小的依據。這便是受試者對物體的大小判斷，是根據物體在整個視野的廣擴度（extensity）。

可知我們所知覺的大小有兩方面。第一種大小是根據紀錄到的距離作判斷的物體大小；第二種是純粹由於廣擴度（視角）的判斷所得大小。

2.3.3 大小恆常性

Holway & Boring（1941）設計了一個實驗來測量對物體大小的知覺。實驗者操弄深度線索的多寡，測量受試者對知覺物體大小的判斷。實驗的結果是具有深度線索的情況下，受試者的反應會遵循大小恆常性的原則；而當深度線索缺乏或不足的情況下，受試者比較會傾向於採用網膜上的成像大小來做判斷。

對於大小恆常性的維持，與深度知覺的關係如下：我們對物體大小的知覺(S)，受到網膜上成像大小(R)及我們主觀判斷該物體與我們的距離(D)的影響。這就是 Size-distance scaling： $S=K(R \times D)$ 。

2.4 明度與亮度

牛頓自從用稜鏡將白光分解成可見光譜中的各種色光後，可知光線並非本身帶有顏色，而是經過人的視覺系統接收，大腦轉譯後才形成色彩經驗。也就是人的主觀經驗，在所有的色彩經驗中扮演不可或缺的角色。

外界影像可以說是光與色彩的組合，因此在進入視覺系統後，基本上訊息的儲存應該有兩套圖像，一套是以光強度變化界定的圖像，另一套則是以波長變化所界定的圖像。視覺研究中，特別是色彩研究總希望將色彩與光強度分別來研究，才不會彼此混淆，無法察覺影響的因素為何？

在光的強度部分又區分為亮度與明度。亮度（brightness）指的是我們對物體的主觀亮度感覺；明度（luminance）特指由國際照明委員會（CIE）所制定出的 V_{λ} 圖形，接下來會針對兩者作較深入的說明。

2.4.1 亮度

欲測量不同波長的光對觀察者主觀所看到的強度，最顯而易見的方法是選一標準光，再將光譜中不同波長的光與之配對，使受試者調整這些不同波長的刺激與標準光的亮度相同，如此可以畫出分光敏感曲線圖（spectral sensitivity curve）。不過因為受試者很難不受差異性過大的顏色影響（藍光與紅光），而單獨只比較兩光現的亮度，所以資料往往個別差異大。後來便發展出逐步亮度的比較法（step-by-step brightness matching）使用兩個彼此相近的色光配對比較，因顏色接近，可以避免差異過大產生的干擾。

不過由於亮度的測量並不屬於線性原則，即是將紅光、綠光與白光調成亮度相同（例如各一單位），將綠光與紅光強度減半後（ $1/2$ 單位）再將兩光相加，結果發現兩者強度減半後再相加所得的強度卻比白光弱（ $1/2$ 單位綠光加上 $1/2$

單位紅光不等於 1 單位白光），使得無論使用直接或逐步配對的實驗法，都不容易將亮度與色彩的關係呈現的清楚明確，也因為亮度這種非線性的特性，才會發展出明度的線性系統。

2.4.2 明度

國際照明委員會（the Commission Internationale de l'Éclairage，簡稱 CIE）在 1924 年根據七個實驗室三百多個受試者實驗所得的資料，訂定出標準觀察者在一般照明情況下的分光敏感曲線圖（CIE relative photopic luminous efficiency function，簡稱 V_{λ} ）這些資料多數來自異色閃動測量法（heterochromatic flicker photometry），是利用兩色光以 15 至 20Hz 的閃動頻率（temporal frequency）呈現在一個 2 度視角的圓形上，受試者調整其中一色光的強度，讓兩色光看起來不會閃動。用此方法的資料符合線性原則，也將其定出來的單位稱為明度（luminance）。

除了異色閃動測量法，各個實驗室也發展出不同等明度的調整法。最不清楚邊界法（minimally distinct border，簡稱 MDB）是利用色彩視覺對邊界不敏感的特性，將不同色的兩色光各佔半圓擺在一個 2 度的圓形內，固定其中一色光強度，讓受試者調整另一色光的強度，直到這兩色光所構成的邊界最不清楚為止，此時對此受試者而言兩邊的明度是相等的。另外，最小運動知覺法（minimum motion method）則是將欲調整成等明度的兩色彩製成方波（square wave）或正弦光柵（sinusoidal grating）的刺激。如現在欲將紅綠兩色調整成等明度，調整將紅、綠兩色的光柵與暗黃、亮黃的光柵以 90 度的相位差依序呈現，若紅色的明度比綠色強，則會跟著亮黃的方向，否則會跟著暗黃的方向（右向）。受試者調整其中一色的強度直到光柵的方向不往其中任一方向移動（最小運動知覺）為止，此時表示紅綠一色的明度相同。（葉素玲，1999）這三種方法皆是對受試者個別施測，所得之值應稱為感覺明度（sensation luminance）。

第三章 研究方法

本研究採用心理物理學中的「配對比較量表」實驗法，利用不同色彩彼此配對讓受試者做孰高孰低的比較，可推算出心理感覺中對色彩相對的前進後退與膨脹收縮判斷的間距量表。

3.1 心理物理學

心理物理學 (Psychophysics) 是研究刺激與感覺之間關係的一門科學。最早提出這種感覺的測量方法與理論是在 1860 年，當時德國人 Gustav Fechner (1801-1887) 出版了一本書《心理物理學綱要》(Elements of Psychophysics)，書中內容提到心理物理學的基本方法，即是心理物理法 (psychophysical method)。這種實驗法是研究物理量與心理量之間的對應關係，它把抽象的感覺具體化為可比較分析的數據，這也是為什麼這種實驗方法對於實徵科學研究的用途歷久不衰的理由。

心理物理法由十九世紀發展至今，除了原先由 Fechner 所建立的古典心理物理學〈下文會有較為詳盡的說明〉之外，還有兩種新的發展：一是信號偵測理論 (theory of signal detection) 的發展。此理論是由 Tanner 與 Swets 於 1954 年將心理學與信號偵測理論 (Signal Detection Theory, SDT) 結合所發展出的新的研究工具。另一個是感覺大小 (sensory magnitude) 的直接測量法的提出與其相關理論的發展〈Stevenson, 1964〉。這兩種向度的發展，擴大了心理物理學的適用範圍，從原先只是感覺閾的測量，發展到成為可以應用於記憶、學習、感覺歷程、社會行為，甚至藝術感覺等廣泛領域研究的實徵工具。後來也為了加以區別這兩種不同類型的研究方法，因此將信號偵測理論稱之為心理物理法，而 Gustav Fechner 提出的基本心理物理法，則稱之為古典心理物理法。

3.2 感覺閾

心理物理學研究的重點，著重於物理刺激與心理感覺對應的關係，大致可以歸納為下列幾方面：(1) 絕對閾限；(2) 差別閾限；(3) 等量；(4) 感覺距離；(5) 感覺比率；(6) 刺激順序；(7) 刺激量的評定（孟慶茂，常建華，2000）。物理刺激和心理感覺的關係，通常可藉由閾限（threshold）的測量而得知。

閾限可分為二種：一種是絕對閾（absolute threshold或 absolute limen，簡稱AL），即是一個物理刺激由弱逐漸增強，直到某個程度大小以上才能被受試者感覺所覺知，此物理量稱為此心理感覺的絕對閾，嚴格說來是下絕對閾（lower absolute threshold 或 lower absolute limen）。而感覺閾（sensory threshold）的定義¹其實可以代表絕對閾，而絕對閾又等同於下絕對閾，所以感覺閾、絕對閾、下絕對閾通常是可以視為同義詞。

當刺激值超過下絕對閾的水準，若再繼續增加刺激值，心理感覺就會達到另一個水準，高於這個水準，受試者便沒有原來的感覺經驗，這種不再引起原來感覺經驗的刺激值稱為上絕對閾（upper absolute threshold 或 upper absolute limen）。

閾限的第二種是差異閾（difference threshold 或 difference limen，簡稱DL），當一個刺激值介於上下絕對閾之間時，若刺激值要增加減少一定的大小時，受試者恰好才會察覺，並且引發心理感覺的變化，則該刺激之差異量稱為該感覺的最小可覺差異（just noticeable difference，簡稱JND），這個刺激差異值也是所謂的差異閾。假定一個刺激的強度有10個單位，當這個刺激強度需要增加到14個單位時，才能在感覺上恰好產生明顯差異，則差異閾便是四個單位。

3.2.1 配對比較量表

許多研究物理刺激與心理感覺的實驗，最終的目的就是希望可以將受試者對

¹ 當一個刺激屬性的刺激值逐漸增加時，理論上會達到一定的刺激值。若低於這個刺激值，受試者不會經驗到該刺激屬性所相對應的感覺經驗，亦即不能發覺該刺激的存在。若大於此刺激值，受試者則能發現刺激的存在。這個刺激值稱為該刺激屬性的感覺閾。（劉英茂，1987）

刺激的心理感覺反應轉換成量化的數據，再將數據轉換成可以反映心理感覺程度的間距量表。配對比較量表是較容易與最接近此目標的實驗方法，因為配對，所以每次只會有兩樣刺激顯示，對於受試者而言，在兩樣刺激中就實驗者所要求的向度上選擇其中較為優勢的一個刺激，似乎是單純且難度較低的工作，且可以避免因為設計不良的問卷所導致實驗的偏誤，而最重要的是此法可以產生一個心理感覺的間距量表，因此我們在本研究中予以採用。

配對比較量表是將刺激彼此兩兩配對收集資料，因為一組刺激中的每一個刺激必須和其他所有刺激配對，若有 n 個刺激，受試者便要作 $n(n-1)/2$ 次的比較判斷，在受試者做完所有刺激配對的實驗後，要先將資料轉換成以 F （表示次數）矩陣的方式表示。假設有五種顏色（A、B、C、D、E），每次呈現兩種顏色，讓受試者選出比較溫暖的顏色，實驗的結果以次數的總和統計，用 F 矩陣的方式呈現。

| 樣本 | A | B | C | D | E |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|
| A | (f_{AA}) | f_{AB} | f_{AC} | f_{AD} | f_{AE} |
| B | f_{BA} | (f_{BB}) | f_{BC} | f_{BD} | f_{BE} |
| C | f_{CA} | f_{CB} | (f_{CC}) | f_{CD} | f_{CE} |
| D | f_{DA} | f_{DB} | f_{DC} | (f_{DD}) | f_{DE} |
| E | f_{EA} | f_{EB} | f_{EC} | f_{ED} | (f_{EE}) |

圖 3-1 配對比較法的 F 矩陣

圖 3-1 中， f_{AB} 表示當呈現 A 和 B 兩個刺激時，受試者的判斷是 A 優於 B 的次數。即是 A 刺激與 B 刺激配對時，覺得 A 顏色刺激比較溫暖的次數。若每一個受試者對每一配對刺激，只作一次判斷，則 f_{AB} 則是受試者中判斷 A 顏色比 B 顏色溫暖的人數。在配對比較法中，多半不會令受試者比較一個刺激與它本

身，因此在 F 矩陣中的 f_{AA} 、 f_{BB} 、……的地方不會記錄任何數值。

下一步驟要將 F 矩陣轉換成 p 矩陣，即是從次數轉換成比率的矩陣，只要將總次數當分母，所有 F 矩陣的次數便會轉換成 p 矩陣的百分率數值。如果要建立一個心理物理量表，在轉換成 p 矩陣後，還要利用 z 分數，將 p 分數查出相對應的 z 值，然後產生 z 矩陣，基於以下介紹 Thurstone 比較判斷定律的想法，由此 z 矩陣可導出最後的心理感覺間距量尺。以下即以深入淺出的方式說明此推導過程的原理。

Thurstone 假設呈現某種刺激會產生某種感覺歷程，他將這種歷程稱為分辨歷程 (discriminal process)。假設利用某刺激引發心理上的反應，在經過反覆不斷的實驗過程中，受試者對於刺激的反應，因為本身內部的波動，同一刺激第二次呈現時，並不產生完全相同的感覺歷程，因此在記錄上不可能落在同一點，也不會得到相同的結果。當實驗次數增加時，便會逐漸形成穩定的狀態，此時記錄的所有落點會呈現一常態分配，高度最高處是平均值，Thurstone 稱這個分配為分辨分散 (discriminal dispersion)。

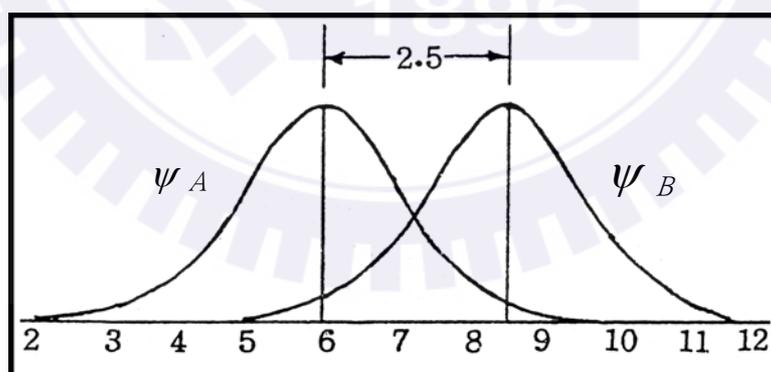


圖 3-2 在某一心理向度上，由兩個刺激所產生的分辨歷程分配

單一刺激所引發的心理狀態長久來看是一個常態分配圖，如果呈現兩個刺激 (S_A 和 S_B)，可能產生 S_A 和 S_B 的兩個常態分配情形 (如圖 3-2，以 ψ_A 與 ψ_B 表示)。所以當實驗配對呈現兩刺激 S_A 和 S_B 時，受試者是根據這兩個刺激所產

生的感覺歷程差異 $\psi_B - \psi_A$ 作判斷。在某些點彼此剛好抽到的狀況下， $\psi_B - \psi_A$ 大於 0，受試者會作 S_B 大於 S_A 的判斷；另外在某些點（例如剛好抽到 ψ_A 偏右側的點與 ψ_B 偏左側的點）相互嘗試的狀況下， $\psi_B - \psi_A$ 會小於 0，受試者則會作 S_A 大於 S_B 的判斷，可知在 $\psi_B - \psi_A$ 的長期累積結果，也會呈現一個常態分配的情形，這個分配的平均值是相當於 ψ_B 分配的平均值（以 $\bar{\psi}_B$ 表示）和 ψ_A 分配的平均值（以 $\bar{\psi}_A$ 表示）之間的差異。以 $\bar{\psi}_B$ 和 $\bar{\psi}_A$ 可以用來表示 S_B 和 S_A 的心理量表數值（ ψ ），而以 $\bar{\psi}_B - \bar{\psi}_A$ 的差異數值，便可以代表 S_B 和 S_A 對受試者而言，配對分辨兩者差異的數值，這個過程稱為分辨差異（discriminal difference）。如圖 3-3，如果兩分配的平均值距離（ $\bar{\psi}_B - \bar{\psi}_A$ ）愈大時，見圖 3-4，整個分配的形狀面積不會改變，而是會往座標右側移動，而讓小於 0 的面積逐漸減少。

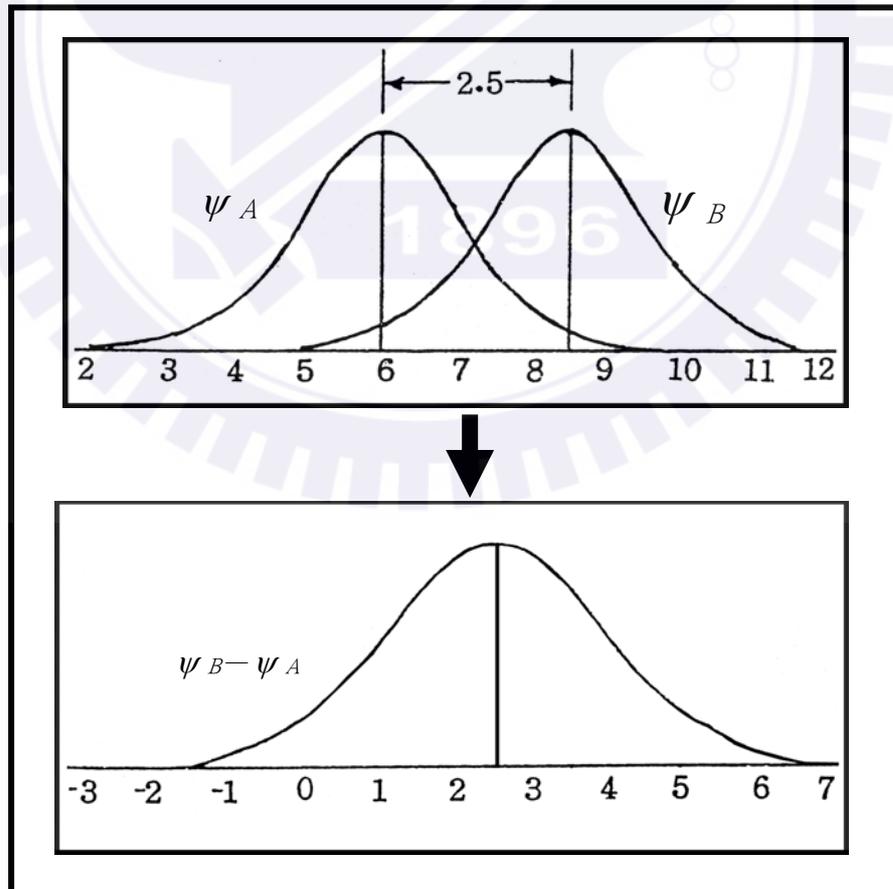


圖 3-3 由兩個刺激所產生的分辨差異分配

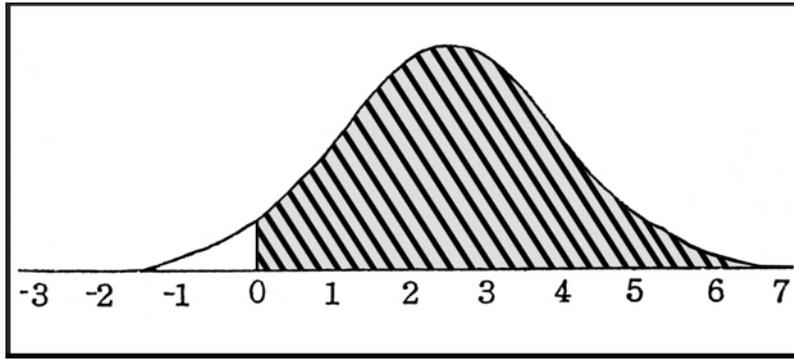


圖 3-4 受試者判斷 S_B 大於 S_A 的機率面積

不過以 P 分數仍然沒有辦法建立一個間距量表，只是呈現兩刺激的差異比率而已，不過既然以 $\bar{\psi}_B$ 和 $\bar{\psi}_A$ 可以用來表示 S_B 和 S_A 的量表數值，若能以 z 分數表示 $\bar{\psi}_B - \bar{\psi}_A$ ，則可以建立一個間距量表。

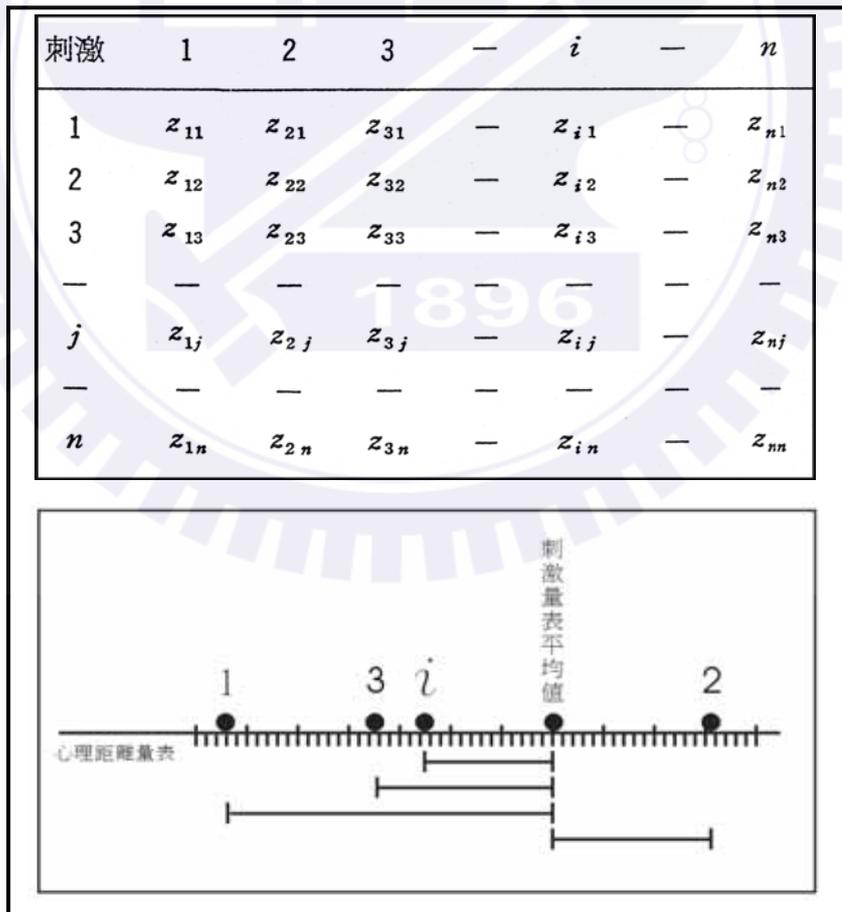


圖 3-5 配對比較量表中的 z 矩陣，將 z 矩陣的每縱行求一個平均值並乘以 $\sqrt{2}$ 就可以獲得該縱行刺激與所有刺激平均值之間的差異。

將 F 矩陣的統計次數轉變為 P 矩陣的分辨差異比率，再將資料轉換為有距離關係的 z 矩陣。而 z 矩陣中的 z 分數仍是兩刺激配對的距離關係，因此要建立一個單純比較所有刺激の間距量表還要經過一次轉換，便是將 z 矩陣的每縱行求一個平均值並乘以 $\sqrt{2}$ （詳細運算公式請見基本心理歷程第五章），就可以獲得該縱行刺激的量表數值與所有刺激的量表數值平均值之間的差異。如圖 3-5，因為所有刺激的量表數值平均值，可以視為一個常數，所以以平均值為原點の間距量表，產生的這些距離皆是有意義的。

配對比較量表雖然對受試者而言有容易判斷的機制，且經過不同矩陣的資料換算後，可以得到心理感覺の間距量表，不過配對比較量表也有許多限制，從實驗樣本與資料量來看，因為要彼此兩兩配對 ($n(n-1)/2$ ， n 是樣本數)，所以樣本的數目不能太大，否則做完一次諸多樣本的兩兩配對實驗，對受試者而言是相當辛苦的任務；另外配對比較量表要求每一次兩個樣本刺激比較的情況，均需要超過 30 筆以上的累積資料量，因此對較少受試者的實驗而言，實驗的時間與受試者的疲勞都是必須考量的。從實驗的目的來看，配對比較量表適合單一向面的問題，決策者作判斷時只有一個面向作考量，如提問受試者「喜不喜歡」時，此時受試者在作決策時心中其實已經有許多面向的考量，因此偏好度與喜好度此類多種面向的心理問題，當套用到配對比較量表時，準確度自然變會降低許多，而實驗出來的結果也只能視為「順序量表」而非「間距量表」。

3.2.2 調整法

調整法 (adjustment method) 是最古老也是最基本的心理物理學方法之一，最主要的特性是讓受試者自己來調整刺激值的大小，直到他感覺與標準刺激機相等，或是感覺不出差異與察覺到極限為止，由於受試者可以直接參與實驗的操作，因此較不易感到疲勞。此法適用於測量絕對閾與主觀相等點，也可以測量差異閾。又稱為平均差誤法 (method of average error)、再造法 (method of

reproduction)、均等法 (method of equation)。

調整法雖然是最直覺的實驗方法，但是卻不是多數問題都適用，其調整刺激值的向度必須是連續性的，如色相的變化、音量的大小等。另外，調整法中由於受試者自行使用儀器來調整比較刺激，因此相對也比較容易產生受試者內的誤差。若標準刺激沒有呈現某種程度的變化，受試者可能會產生記憶效應，影響實驗的效果。因此在實驗中適當加以控制標準刺激或比較刺激，讓受試者無法產生學習或記憶效應是很重要的。一般而言可採用多層次的 ABBA 法，或是讓實驗刺激由小變大或由大變小兩方面進行調整，好加以控制實驗因受試者特性所造成的誤差。

1. 調整法測定絕對閾的方法

先將刺激值定在遠離絕對閾刺激的一點，然後讓受試者自行調整刺激值的大小，調整到感覺消失或是察覺到臨界點為止。再將這些受試者多次調整的點加以平均，所求出來的便是實驗刺激的絕對閾。

2. 調整法測定差異閾的方法

差異閾的測定方法是以調整標準刺激與比較刺激差異的方式進行，與單一刺激的調整不相同。受試者一直以標準刺激作參考，然後調整比較刺激，直到受試者主觀認為兩者相同為止。由於受試者調整出的數據都會集中接近於標準刺激值，所以出現的統計數字將會呈現接近常態分佈的曲線，而其平均值就是 PSE (主觀相等點)。

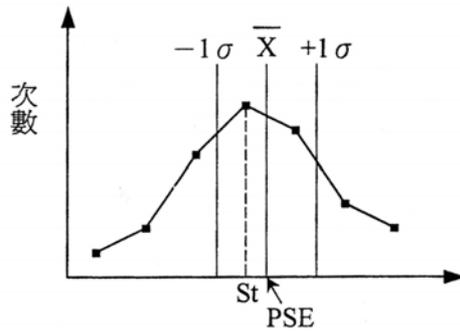


圖 3-6 調整法中比較刺激調整結果之次數分配

3.2.3 定值刺激法

定值刺激法（method of constant stimuli）是心理物理學中最準確且應用廣泛的實驗方法。定值刺激法可以用來測定出絕對閾、差異閾與其他許多的心理值。此法的特點有二：1.所使用的檢驗刺激集合是固定的，這是所以稱為定值刺激法的原因；2.檢驗刺激是依隨機的次序呈現（劉英茂，1987）。基於以上兩點，可以減低實驗時，刺激順序出現造成的習慣誤差與期望誤差的可能性。又稱為正誤法（true-false method）與次數法（frequency method）。

定值刺激法由於通常刺激只採用 5 至 7 個，因此刺激的選擇非常重要，在設計實驗時，選定刺激範圍時，所選定的刺激最大強度必須是受試者每回實驗皆能輕易發覺刺激存在的水準；相對的刺激最小強度則是每次呈現均不會發覺其存在的水準。範圍確立後，由其中選出距離相等的刺激 5 至 7 個，每個刺激在實驗中數值是固定不變的，且單一刺激需要向受試者呈現 50 到 200 次，受試者則針對這些反覆出現的刺激，報告他們對刺激產生的反應，然後統計受試者對不同刺激的反應次數，然後再測定絕對閾或差異閾。

1. 定值刺激法測定絕對閾的方法

當使用定值刺激法求絕對閾時，首先根據測試的結果，決定要使用的刺激集合，從最高的感覺強度到最低的感覺強度範圍內，選擇 5 到 7 個等距的刺激作為實驗的自變量。受試者的作業就是對每一個實驗中呈現的刺激，報告「+」或「-」

的反應。「+」代表發覺刺激的存在，「-」代表未發覺刺激的存在。實驗的結果是針對每一刺激值求「+」反應的比率，而作出的圖形曲線代表心理計量函數（psychometric function），這是表示物理刺激與心理反應之間關係的曲線。這條曲線並非是連結所有觀察值（圖形上的黑點）所得的曲線，而是配合整體觀察值的一般傾向所描繪成，這種形狀的曲線稱之為肩形曲線（ogive）。一般心理測量結果，都會得到常態的分配（normal distribution），肩形曲線就是將常態分配加以累積所得的一種形式。

利用肩形曲線，求出 50% 的次數被感覺到的刺激值，相當於「+」比率 0.50 的一點，向水平方向延伸，其與肩形曲線相交所相對應的刺激值，就相當於所求的絕對閾。

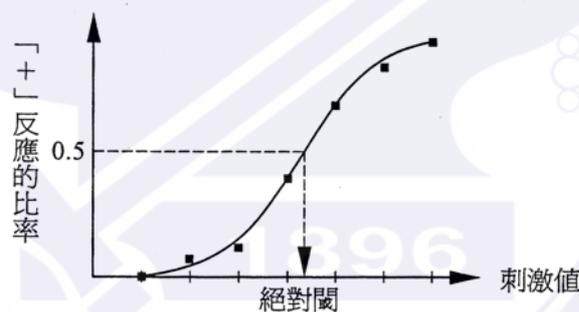


圖 3-7 以定值刺激法求絕對閾

2. 定值刺激法測定差異閾的方法

當使用定值刺激法測量差異閾時，與測量絕對閾不同的便是受試者要對兩個刺激作一個判斷。兩個檢驗刺激一個稱為標準刺激（standard stimulus，以 St 代表），另一個則稱為比較刺激（comparison stimulus，以 Co 代表）。實驗者選擇刺激集合的方法是先以一個標準刺激為中點，然後向上等距取刺激值較大的刺激 2 至 3 個，再向下取刺激值較小的刺激 2 至 3 個，故連同標準刺激在內，一共會有 5 到 7 個檢驗刺激。這些檢驗刺激中，除了彼此是等距分配外，另外刺激值最大

的刺激與標準刺激作比較，受試者應 100% 的作「+」判斷；相同的，刺激值最小的刺激與標準刺激作比較，受試者應 100% 的作「-」判斷。

因為實驗是標準刺激與比較刺激的配對呈現，自然會有兩個刺激（St 和 Co）無法在同一空間與同一時間呈現的問題，所以實驗時的設計必須考慮到時間誤差與空間誤差的問題。

（1）時間誤差（time error）

以聽覺為例，兩個聽覺刺激一般為避免彼此干擾，常使用一前一後的方式呈現，否則很難辨識。如圖 3-8 顯示，若在時間 A 呈現一個刺激，在時間 B 呈現另一個刺激，而在時間 C 時受試者作一個判斷。當在 C 點作判斷時，受試者只能依靠 A 與 B 先前留下的痕跡（trace）作判斷，很容易產生誤差，也很容易產生對其中刺激一致性的低估或高估現象。視覺上也會出現時間誤差的現象，當兩個光刺激連續呈現在網膜同一點時，由於網膜對前一點產生了適應現象，所以很容易低估了第二光刺激的能量強度，這也是因為時間誤差的關係。

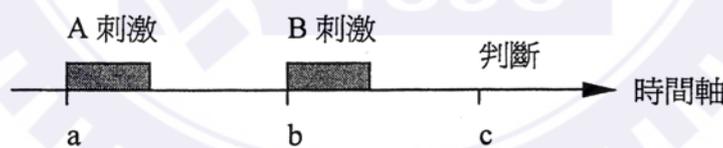


圖 3-8 產生時間誤差的情況

（2）空間誤差（space error）

當實驗必須同時呈現兩個視覺刺激時，避開一前一後可能產生的時間誤差，便是要將這兩個視覺刺激同一時間呈現在一個空間上，通常會採取一個刺激在左，一個刺激在右的方式。然而，即使一左一右的兩個刺激，還是無法到達接納器（感覺器官）的同一部位，若接納器的不同部位接受刺激，自然無法保證所產生的知覺完全相等（劉英茂，1987）。由於刺激無

法同時間呈現在空間上的同一位置上，所以因為空間因素產生的知覺誤判就是所謂的空間誤差。

為了解決平衡空間誤差與時間誤差，所以在實驗設計時，當呈現 St 與 Co 配對刺激時，平衡時間誤差便是一次 St 應在前，另一次則是 St 應在後；平衡空間誤差則是一次 St 應在左，另一次 St 應在右。因此，實驗為了平衡時間上與空間上的誤差，若檢驗刺激集合大小為 n 時，通常以每 n 或 $2n$ 嘗試為一區段，共 $2n$ 倍數的嘗試，隨機安排各配對的次序。

使用定值刺激法求差異閾，在實驗中隨機分配呈現 St 與 Co 後，受試者針對兩個檢驗刺激判斷那個大 (+) 那個小 (-)。即使差異極小也要強迫判斷兩者，將他們各自歸向 (+) 或 (-) 的向度。實驗結果以比較刺激 (Co) 為 X 軸橫座標，反應率為 (+) 的次數為 Y 軸縱座標，所描繪出來的心理計量函數仍是呈現肩形曲線的形式。

在心理計量函數中，差異閾的精確求法與絕對閾相同，在相當於反應率 0.5 的刺激值是主觀相等點 (PSE)，PSE 是受試者主觀上和標準刺激相等的一點，這一點與實際的標準刺激不一定等同，而 PSE 和 St 的差異表示一個常誤 (CE)。

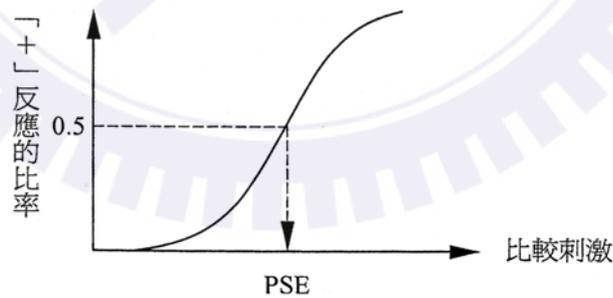


圖 3-10 以定值刺激法求差異閾

第四章 實驗

4.1 前置實驗

本研究以色彩外觀的心理感覺為研究對象，探討色彩、色相與明度對於主觀的進/退，收縮/膨脹感的影響。執行實驗之前必須使設定的實驗刺激可以符合色彩科學標準，以準確無誤的水準執行視覺實驗。硬體的校正為正式實驗前的必要前置工作，稱為前置實驗。前置實驗主要分兩部分：一是針對螢幕的輸出亮度作伽瑪校正；二是針對實驗刺激呈現在已校正的螢幕上時，以測光儀器作等明度的測量與修正。

4.1.1 實驗螢幕的伽瑪校正

1. 伽瑪校正

本研究主要目的為色相與明度對一色彩的距離和尺寸感覺是否有系統性的影響，其中「明度」為一重要探討因子，因此顯示器是否正確輸出刺激亮度是最基本的考量。由於 LCD 螢幕的輸出行為較 CRT（陰極射線管）螢幕複雜，校正難度高，目前很少為視覺實驗所採用。本實驗也是以視覺實驗常使用的 CRT 螢幕作為實驗刺激呈現的工具。

CRT 顯示器的實際輸出強度與電腦給予的輸入值關係並非線性關係，也就是說當我們對電腦指定某比例的強度時，與顯示器呈現的強度並不一致。在未經校正的螢幕上進行任何有關明度的實驗時，必定會失去條件控制或測量的意義。

將顯示器這種非線性的行為，校正成輸入值與輸出值成線性關係的過程稱為「伽瑪校正」。許多軟體已建立相關明度的校正機制，本實驗將藉助光度計 PR650，分別測量 RGB 三槍輸出值在原始狀態下的輸出強度。另外再開啓繪圖 Adobe Photoshop 7.0 軟體內建的 GAMMA 校正系統，重新以 PR650 分別測量 RGB 三槍的輸出強度曲線，觀察在伽瑪校正模式下，輸出的強度是否與輸入強度的數值呈現線性關係。

2.校正結果

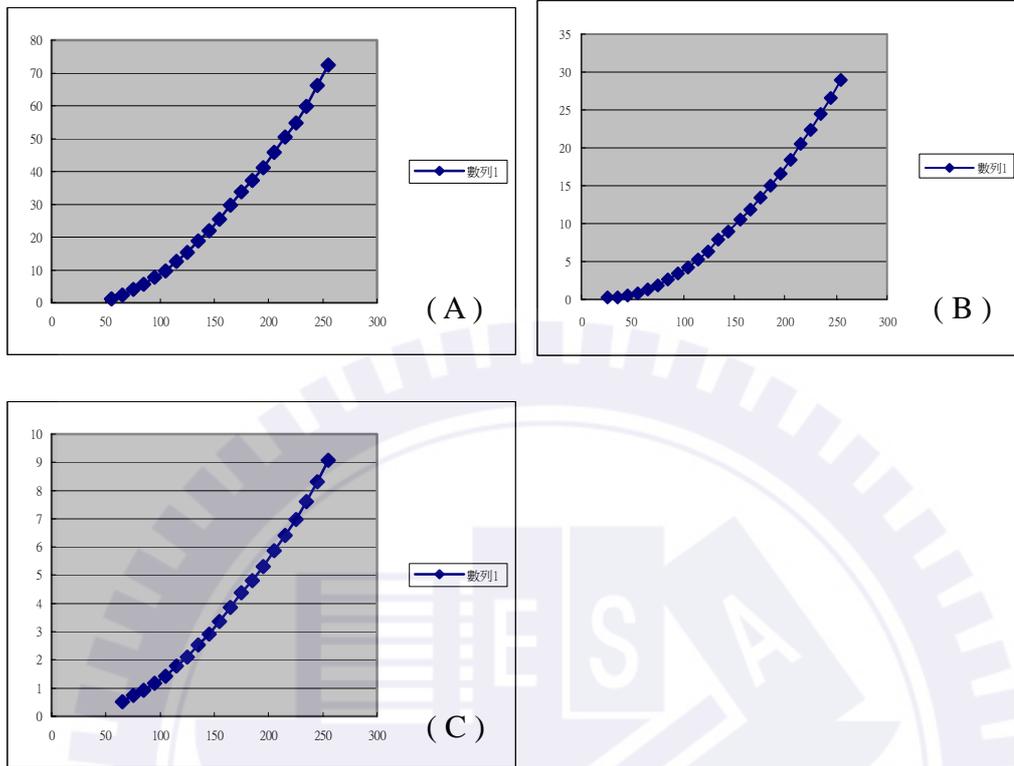


圖 4-1 RGB 三電子槍電壓與亮度曲線圖 (A 圖是紅槍曲線圖, B 圖是綠槍曲線圖, C 圖是藍槍曲線圖)

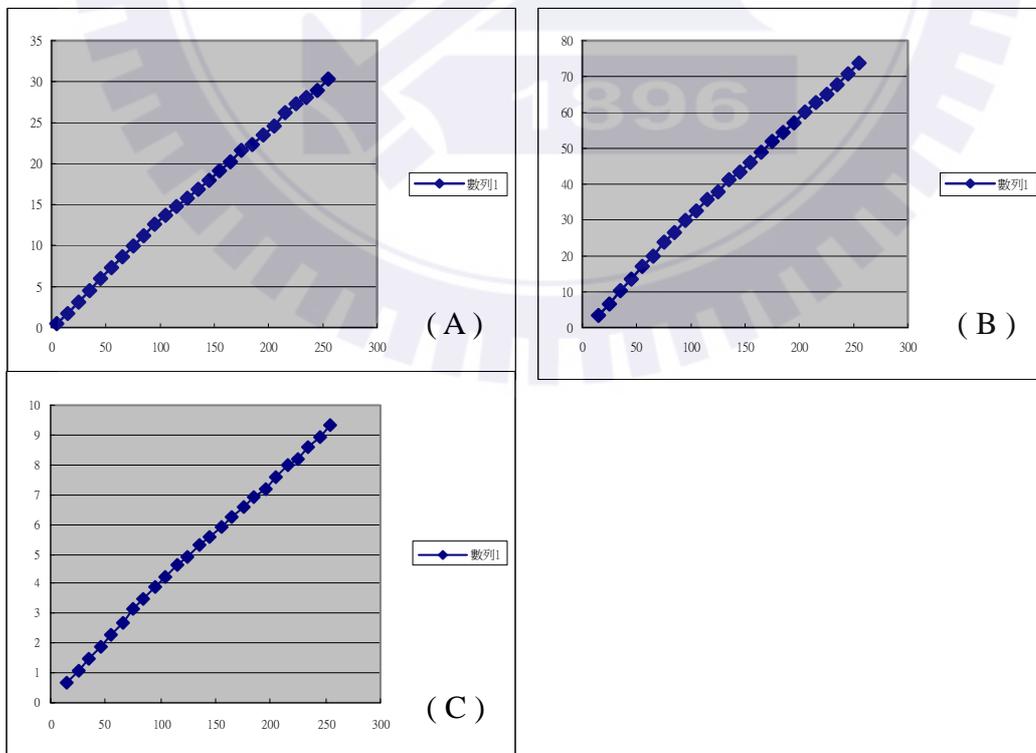


圖 4-2 RGB 三電子槍電壓與亮度曲線圖 (A 圖是紅槍曲線圖, B 圖是綠槍曲線圖, C 圖是藍槍曲線圖)

在圖 4-1 中可以看見，圖表中的縱軸代表輸出強度，橫軸代表螢幕輸入值，我們以 MATLAB 撰寫的程式，對 RGB 三電子槍輸出由低至高一致間隔的強度，再以光度計 PR650 測量明度數值，並以統計軟體繪出圖形，來觀察螢幕的狀況。在未做過伽瑪校正的 CRT 螢幕上，RGB 三槍的輸入/輸出強度的關係並非呈線性。當開啓軟體伽瑪校正的內建功能後，再重新測量，則見圖 4-2，螢幕已表現出理想的線性關係，達到本研究的前置校正工作。

4.1.2 等明度的測量

根據過去色彩視覺研究，色相與明度有交互作用的現象。本實驗由於是探討色彩在等明度的色相變化外，也探討不同明度色彩之間的關係，因此如果無法掌握色相與明度相互影響的狀況，恐怕也無法明確的解析分離出色相與明度在本研究課題中所扮演的角色。因此在對實驗 CRT 顯示器做完伽瑪校正後，接下來便是對實驗刺激作等明度的測量與修正。

本實驗先以軟體將分佈在色相範圍色彩等距的選擇出五種顏色，然後使用光度計 PR650 對這些色彩作明度（物理明度，即 CIE 系統上的大 Y 值）的測量，務必將實驗刺激調整在等明度的狀態，如此在控制住明度的狀態下，討論色相的變化才有意義。



圖 4-3 光度計 PR650

4.2 正式實驗

以配對比較量表分別針對實驗刺激作選擇心理感覺前進後退或是心理感覺膨脹收縮的實驗。

4.2.1 實驗目的

此實驗目的有三：一是在相同條件下，測得受試者對實驗刺激形成的前後與膨脹收縮的心理感覺資料。二是可以藉由資料進行統計分析，描繪出色相與明度的變化對心理感覺前後或是膨脹收縮的影響關係圖。三是可以將結果與受試者對刺激的亮度（brightness）排序作比較，找出兩者之間的差異性。

4.2.2 受試者

總共有六位的受試者，年齡從二十至五十歲，視力均矯正至正常無色弱色盲。CH、MO、VI、AT、MT、SI 六位，四位女性二位男性。其中有藝術背景者三位，其餘均無藝術相關經驗。實驗前詢問過受試者，皆對色彩有關前進後退的文獻之事不熟悉，因此不致於產生非知覺性的實驗偏誤。

4.2.3 實驗環境

1. 硬體

本實驗的控制裝置為 ASUS Pentium4 3.0GHz(800MHz FSB)桌上型電腦，顯示卡為幻雷者 920FX (ATI Radeon9200)。實驗刺激呈現為經過迦瑪校正的 ELZO FlexScan T965 21 吋螢幕。實驗進行時所有影響實驗的光源皆以黑色檔版遮蔽，使受試者注意力與螢幕都不會受到外在光源干擾。受試者的臉部以下巴固定架固定，與螢幕距離是受試者自行調整到最容易判別的距離。

2. 軟體

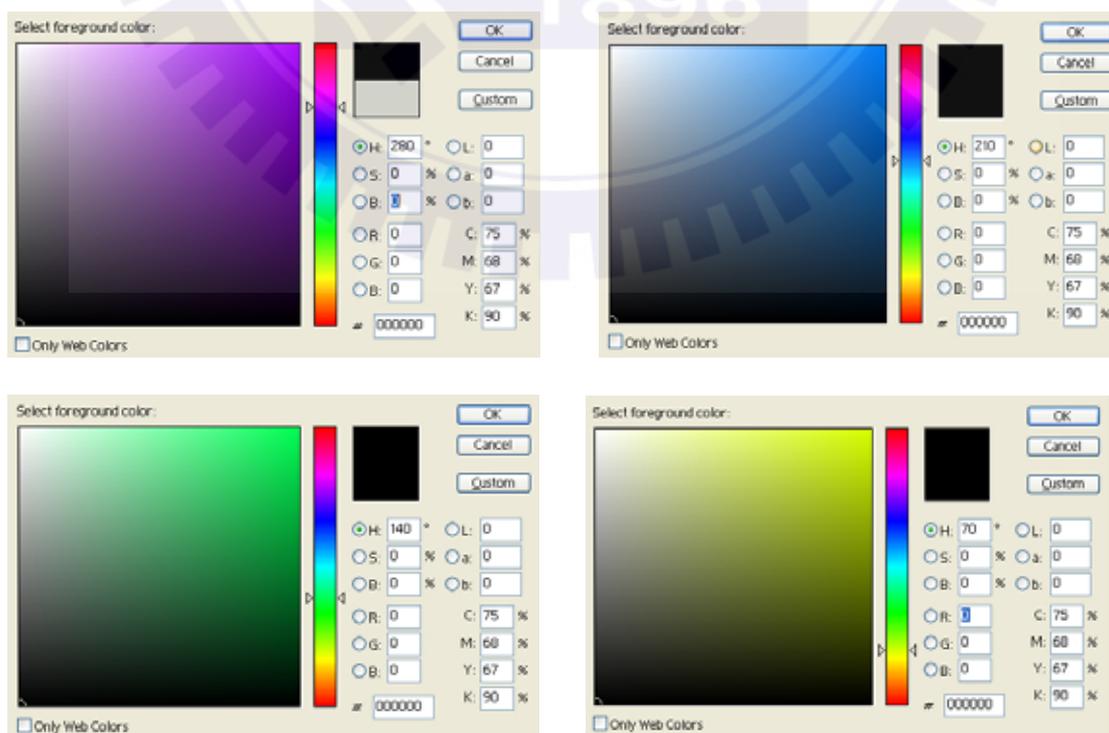
色彩樣本的製作軟體為 Adobe Photoshop7，以光度計 PR650 對製作出來的刺激作等明度的修正與調整。實驗刺激的呈現介面與受試者反應紀錄使用了

PRESENTION 軟體，此程式在經過伽瑪校正的顯示器上運作，並且可以完整的紀錄下受試者的準確反應。

4.2.4 實驗刺激

在 Adobe Photoshop7 的 HSB 〈Hue-Saturation-Brightness〉表色系統上，由 0 度紅色起，依照等比例每隔 70 度選出五個色彩，因此是 280 度、210 度、140 度、70 度、0 度這五種色彩。並且利用光度計 PR650 確定此五種顏色是在等明度的狀況下，將此五種色彩的明度值設定在 35cd/m^2 ，本研究視其為中明度的水準。再以此中明度的色彩為標準，等距將五種色彩明度往上調高至 60cd/m^2 ，另外製作出高明度的五種色彩；最後等距往下調整明度至 10cd/m^2 ，製作出低明度的五種色彩。

本實驗的刺激設定為五種色相，三階不同明度變化（高明度、中明度、低明度），總共十五種刺激，涵蓋冷色系至暖色系。



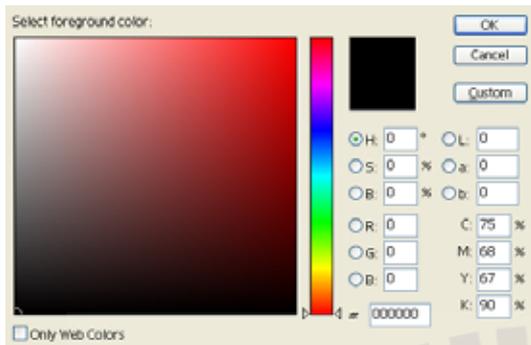


圖 4-4 HSB 系統上等距的五種色相的設定

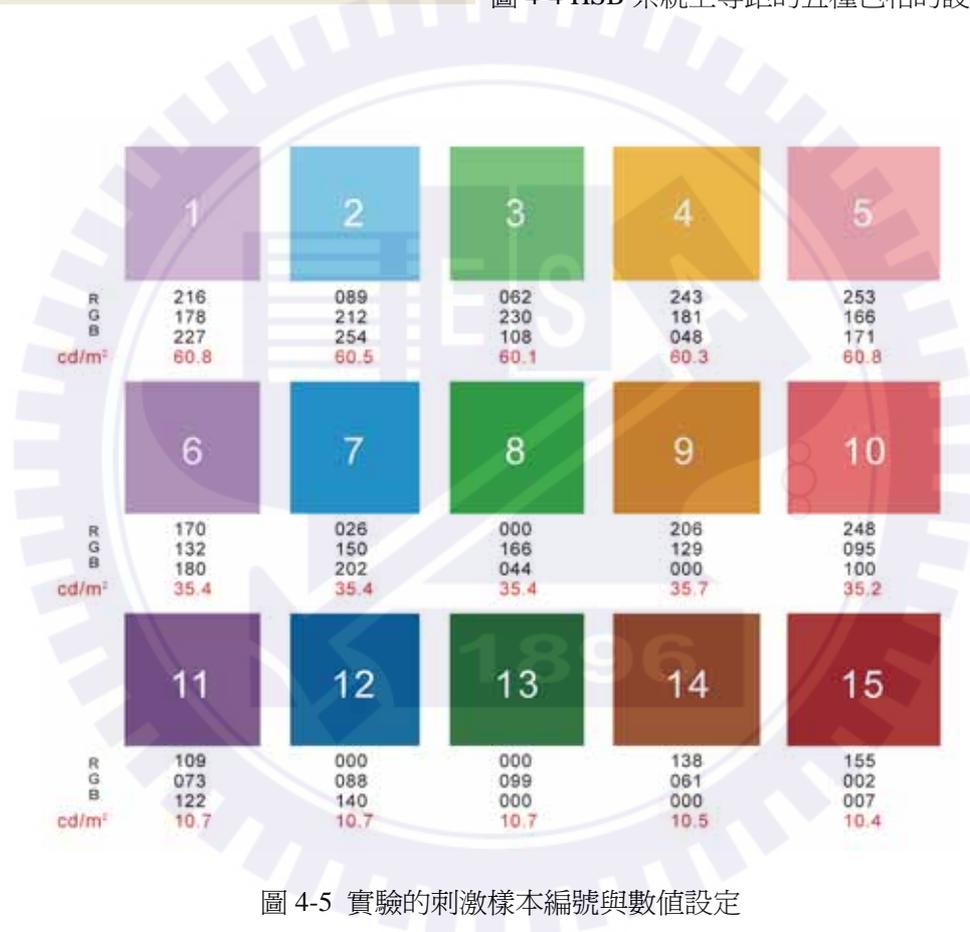


圖 4-5 實驗的刺激樣本編號與數值設定

4.2.5 實驗程序

1. 前測

前測實驗主要是讓受試者瞭解熟悉實驗的程序，找出適當的施測距離、刺激大小和受測者可以順利受試的裝置。前測實驗的程序與正式實驗的程序相同，讓六位受試者在上述的實驗環境下接受實驗，為了配合配對比較量表的運算，顯示器上會出現由 15 種實驗刺激中以隨機決定的兩個色彩供受試者選擇，所有色彩

均會逐一與其他 14 種色彩做兩兩配對比較，一個回合共有 105 次不同色彩的配對出現以亂數次序。CRT 螢幕顯示的畫面如下圖：

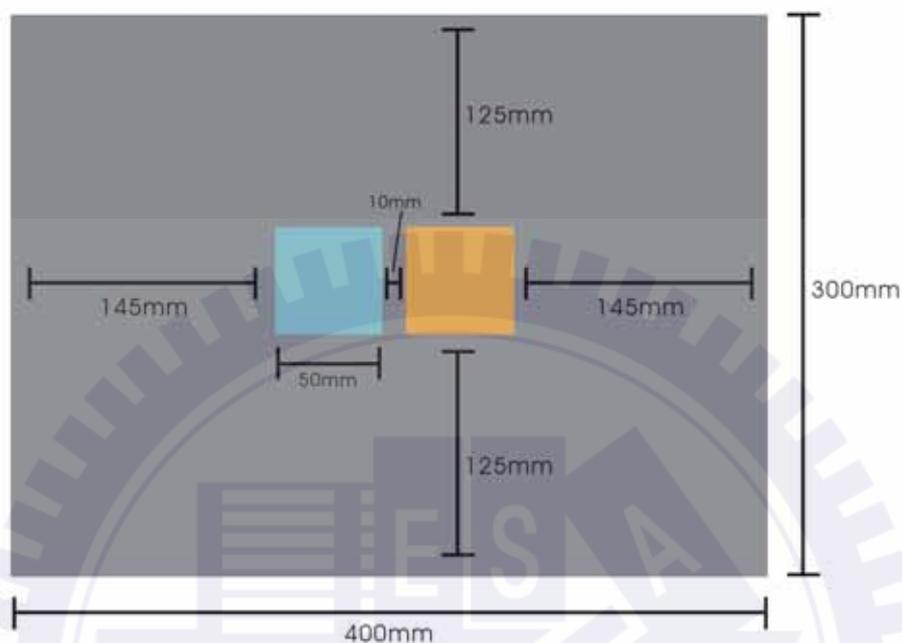


圖 4-6 實驗刺激放置在 CRT 螢幕上的位置設定

受試者在距離螢幕 55CM 處觀看此刺激，並有下巴固定器加以穩定。實驗刺激的大小尺寸與距離經過實驗者多次測試，並參考意見加以調整而成，可以在可視範圍內不受干擾的辨識兩色塊刺激，並經由色塊適當的大小對問題作出選擇。

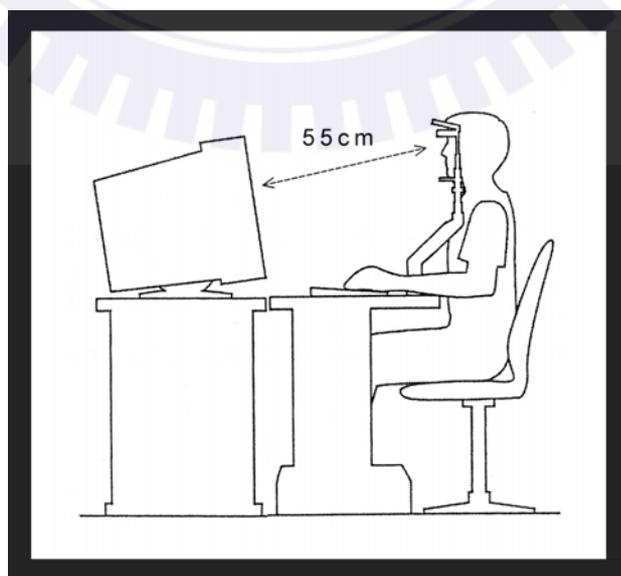


圖 4-7 實驗環境示意圖

六位受試者在前測實驗階段，總共要接受 2 次各 5 回合數實驗，每回有針對 15 種顏色的相互配對 105 次，一次中的 5 回合提問「哪個顏色比較前進？」另一次的 5 回合提問「哪個顏色比較膨脹？」然後每次依照問題選出主觀心理感受的答案，以二選一的方式按下鍵盤上設定好的左右其中一鍵。因此每兩個色塊的配對在六位受試者各做五回合的情況下，總共會有三十次的配對資料量，因此已達到配對比較量表對樣本數量的要求。

依據配對比較法，將資料次數統計成 F 矩陣，直列與橫列的數字代表色彩刺激的編號，而框格中的數字則是代表當直列的色塊與橫列的色塊比較時，選擇橫列色塊的次數總合。

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|---|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 0 | 19 | 24 | 26 | 22 | 1 | 1 | 2 | 3 | 13 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| 2 | | 0 | 16 | 12 | 12 | 0 | 1 | 2 | 1 | 6 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 |
| 3 | | | 0 | 16 | 4 | 3 | 4 | 0 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 |
| 4 | | | | 0 | 8 | 1 | 4 | 3 | 2 | 5 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 |
| 5 | | | | | 0 | 2 | 1 | 3 | 1 | 10 | 1 | 1 | 0 | 5 | 3 |
| 6 | | | | | | 0 | 19 | 18 | 26 | 28 | 9 | 14 | 14 | 17 | 21 |
| 7 | | | | | | | 0 | 19 | 23 | 26 | 11 | 8 | 12 | 16 | 18 |
| 8 | | | | | | | | 0 | 18 | 23 | 12 | 13 | 6 | 13 | 16 |
| 9 | | | | | | | | | 0 | 26 | 4 | 9 | 8 | 8 | 18 |
| 10 | | | | | | | | | | 0 | 3 | 1 | 4 | 4 | 2 |
| 11 | | | | | | | | | | | 0 | 17 | 15 | 21 | 25 |
| 12 | | | | | | | | | | | | 0 | 17 | 15 | 25 |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 0 | 15 | 23 |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 0 | 26 |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 0 |

圖 4-8 前測實驗中前進色的 F 矩陣

圖 4-8 的次數資料表，是受試者回答橫列色彩較有前進感覺的次數計量，其中每一格是 30 次的出現配對次數中，選擇橫向刺激為前進色的次數總和，即所得次數為 30 時，則是 100% 的 trial 都選擇橫向的色彩為前進色。實驗程序是兩刺激配對一次後便不會再出現，例如 A 刺激與 B 刺激，AB 出現後便不會出現 BA 的狀況。另外為了利於計算，將數值均集中一邊（如不同回合 AB 與 BA 的情形，在統計時均視為 AB），因此在次數統計的 F 矩陣中，會有一半是無記錄

的狀況，也就是黑色的部分。

在此 F 矩陣中，我們可以直接看出明度對前進色的影響佔相當優勢，如 1~5 的高明度色塊與 6~15 中低明度色塊配對比對，發現選擇 6~15 為前進色的次數明顯偏低許多，多半仍是判定高明度的色彩具有前進趨勢。在色相的方面，仍約略可以看出似乎有暖色調較具前進趨勢的現象，如直列色塊與橫列編號 5、10、15 色塊（暖色相刺激）比較配對，皆可發現次數值都有偏高傾向，初步資料顯示暖色相，以及高明度的色塊會讓受試者的心理感覺比較前進。

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|---|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 0 | 16 | 15 | 20 | 19 | 3 | 3 | 5 | 4 | 13 | 3 | 5 | 5 | 4 | 2 |
| 2 | | 0 | 15 | 17 | 14 | 6 | 4 | 4 | 7 | 10 | 4 | 3 | 5 | 6 | 5 |
| 3 | | | 0 | 12 | 13 | 1 | 2 | 5 | 5 | 7 | 4 | 5 | 5 | 3 | 5 |
| 4 | | | | 0 | 10 | 1 | 0 | 3 | 3 | 11 | 3 | 2 | 5 | 2 | 6 |
| 5 | | | | | 0 | 4 | 0 | 4 | 4 | 6 | 3 | 1 | 1 | 3 | 4 |
| 6 | | | | | | 0 | 10 | 14 | 19 | 25 | 16 | 16 | 10 | 16 | 15 |
| 7 | | | | | | | 0 | 20 | 24 | 28 | 12 | 15 | 22 | 19 | 19 |
| 8 | | | | | | | | 0 | 21 | 27 | 16 | 12 | 11 | 19 | 21 |
| 9 | | | | | | | | | 0 | 25 | 4 | 11 | 8 | 8 | 12 |
| 10 | | | | | | | | | | 0 | 2 | 5 | 6 | 4 | 7 |
| 11 | | | | | | | | | | | 0 | 18 | 14 | 25 | 24 |
| 12 | | | | | | | | | | | | 0 | 14 | 20 | 21 |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 0 | 19 | 27 |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 0 | 25 |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 0 |

圖 4-9 前測實驗中膨脹色的 F 矩陣

圖 4-9 是問受試者兩兩色塊中何者感覺較為膨脹色所做的資料統合表，在資料中每一格是 30 次的出現配對次數中，選擇橫向刺激為膨脹色的次數總和，即所得次數為 30 時，則是 100% 的 trial 都選擇橫向的色彩為膨脹色。黑色部分的情形與圖 4-8 的說明相同。

由前測實驗膨脹色 F 矩陣當中，我們可以簡單看出明度對膨脹色的影響還是與前進效果類似，具有明顯的優勢。如 1~5 的高明度色塊與 6~15 中低明度色塊配對比對，仍然發現選擇 6~15 為膨脹色的次數明顯偏低，多半受試者仍是判定高明度的色彩具有膨脹趨勢，也就是會讓受試者感覺它們是比較大的色塊。在色相的方面，則不似前進色般明顯，不容易看出一個趨勢。

前測實驗主要目的是針對實驗的流程與刺激作修正，檢驗實驗設計是否有良好效度。經過 30 次的累計，可以初步看出實驗效果，不過由於資料量以每位受試者而言，兩種不同色彩刺激比對只判別 5 次，並未達到可分析的次數，所以僅將前測資料做參考指標，不再做進一步的分析。

經過前測實驗與不同受試者的檢討中，研究者觀察到一效應，即受試者對於前進色或是膨脹色的判斷似乎會參考方塊的絕對位置與邊長。如果依賴來自形狀的輔助線索作為判斷依據，可能會模糊了原本測量色彩本身效果的出發點，也得到會誤導研究者的結果。因此研究者將原先方形的色塊改良成圓形的色塊，令觀者不易衡量其真正尺寸，如此便可避免掉受試者以位置和邊長來做判斷的疑慮。

2.正式實驗

正式實驗時的色塊刺激將是以正圓形的方式呈現，使受試者可以針對心理對色彩的感覺直接作答，比較不會有可以提供比較參考的形狀因素存在。

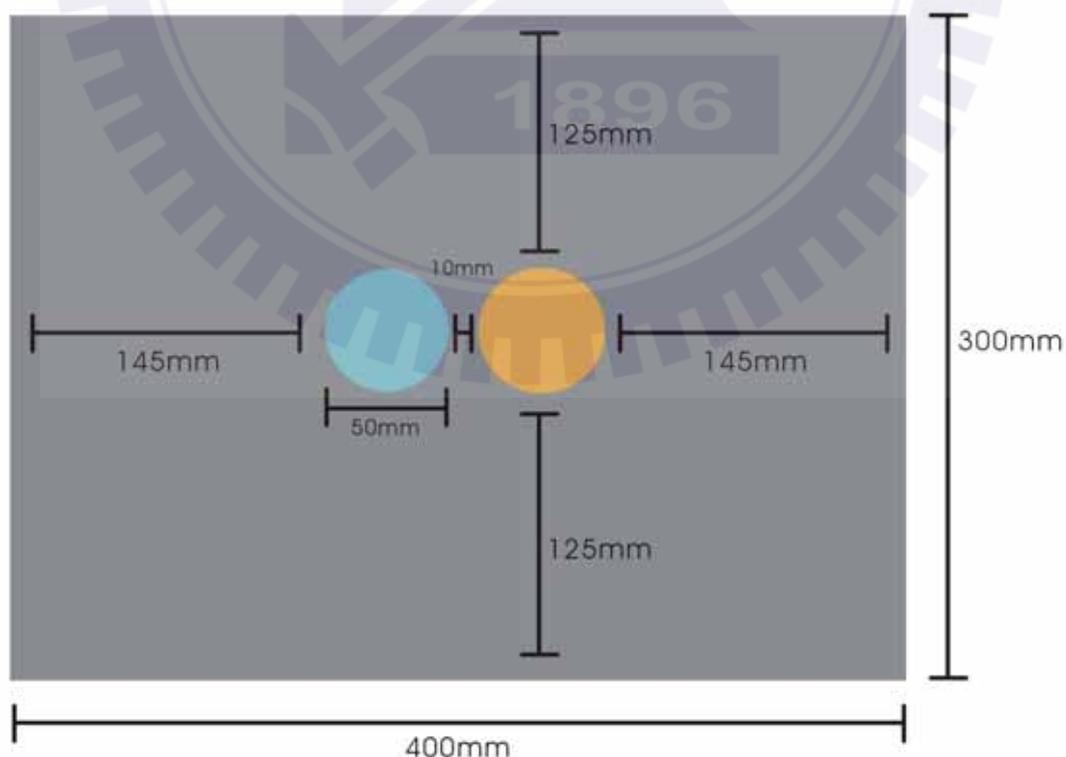


圖 4-10 正式實驗刺激放置在 CRT 螢幕上的位置設定

前測實驗中，六位受試者 CH、MO、VI、AT、MT、SI 是在每回合 105 次的色彩兩兩比對下，每人個作五回合，因此六個人會有 30 回的資料量，也就是每個顏色兩兩配對的情況下，會有 30 次的判斷數據。在正式實驗中，爲了提高實驗數據的穩定性與減少個人偏好造成的影響，每人實驗的回數從 5 回提高成 30 回，由於實驗需要高度的專注力，因此疲勞對於實驗的結果也是會產生影響，所以每人每日實驗的次數有限，所以正式實驗的時間約略進行了一個月，在實驗結束後，針對兩個顏色兩兩相配的判斷數據，也擁有 180 次的數據可供運算，高於配對比較量表基本要求的次數甚多，可以提供統計分析相當可靠的資料。

4.2.6 實驗結果

1. 色彩的前進後退關係

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
|----|---|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | | 124 | 119 | 109 | 102 | 25 | 34 | 50 | 44 | 104 | 29 | 23 | 34 | 34 | 59 | |
| 2 | | | 111 | 109 | 78 | 13 | 27 | 38 | 36 | 85 | 24 | 29 | 23 | 29 | 56 | |
| 3 | | | | 80 | 57 | 19 | 27 | 22 | 28 | 69 | 16 | 25 | 21 | 27 | 33 | |
| 4 | | | | | 76 | 27 | 26 | 39 | 26 | 85 | 24 | 23 | 15 | 35 | 47 | |
| 5 | | | | | | 25 | 23 | 41 | 31 | 85 | 23 | 24 | 29 | 40 | 49 | |
| 6 | | | | | | | 141 | 139 | 144 | 147 | 97 | 121 | 97 | 121 | 150 | |
| 7 | | | | | | | | 107 | 103 | 156 | 53 | 56 | 62 | 85 | 133 | |
| 8 | | | | | | | | | 89 | 144 | 50 | 67 | 36 | 67 | 109 | |
| 9 | | | | | | | | | | 121 | 43 | 46 | 57 | 54 | 125 | |
| 10 | | | | | | | | | | | 24 | 33 | 21 | 33 | 46 | |
| 11 | | | | | | | | | | | | 107 | 104 | 137 | 152 | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | 92 | 119 | 160 | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | 111 | 156 | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | 150 | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | 180 |

圖 4-11 正式實驗中前進色的 F 矩陣

正式實驗結束後，先將六位受試者的實驗資料建立成配對比較法的次數 F 矩陣。圖 4-11 的次數資料，是提問受試者對於哪個是色彩刺激是心裡感覺前進色所做的次數總和矩陣，在資料中每一格是 180 次的出現配對次數中選擇橫向刺激爲前進色的次數總和，也就是分母是 180，分子則是選擇橫列色塊刺激爲前進色的次數。因爲程式撰寫以一回實驗兩刺激配對一次後便不會再出現，因此在次

數統計的 F 矩陣中，會有一半是無記錄的狀況，也就是黑色的部分 F 矩陣的次數總和在經過幾回的轉換後，可以得到以間距量表表示的圖形。

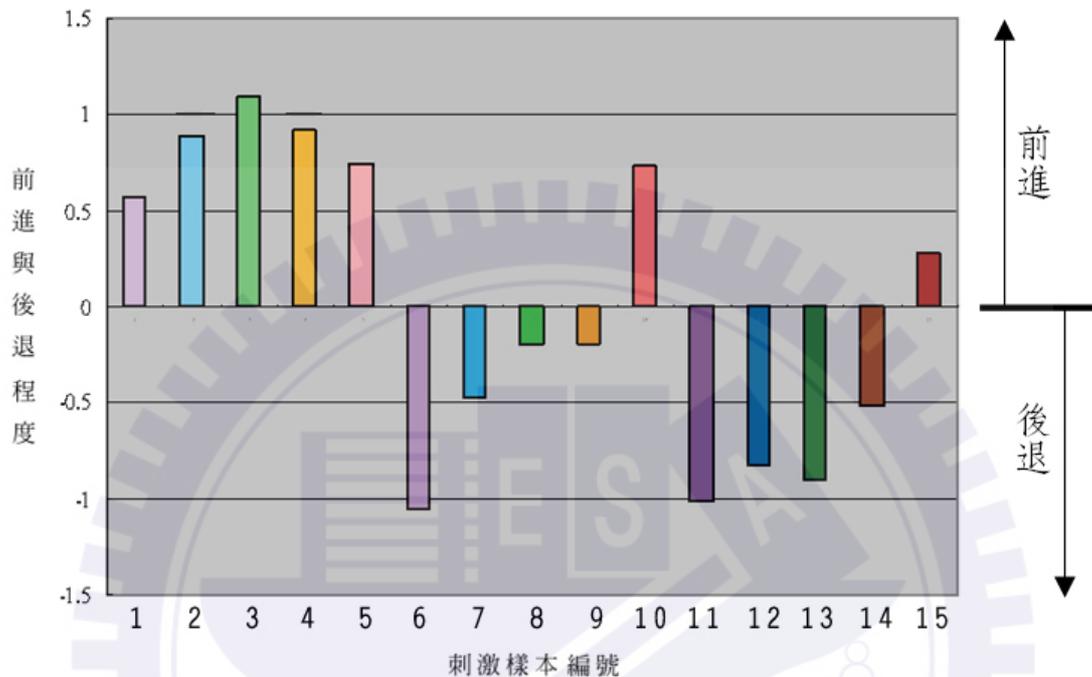


圖 4-12 色彩樣本的前進後退程度圖

配對比較法可運算受試者的回答次數，將個別色彩的數值與所有色彩的平均數值作比較，即可得到 15 種刺激以平均值為 0 點，有正有負的量化資料，而這種正負的數值關係剛好可以表現前進或是後退的概念見圖 4-12，透過以平均值為標準而呈現出來的 15 種色彩之心理進退圖，我們可以明顯地看出實驗變因所造成的影響效果。圖中編號 1~5、6~10、11~15 的色彩組分別屬於高、中、低明度，整體資料透露出明度高的色彩具有較明顯的前進感覺，而暖色調(特別是紅色調)似乎也相對的令人感覺前進。

接著以不同的統計資料圖進一步呈現明度與色相兩因子對影響前進與後退的效果作說明。圖 4-13、4-14、4-15 分別是高、中、低三個明度階層的色彩，來分析其色相對影響前進後退程度的關係。其 X 軸是色彩樣本編號，Y 軸是前進後退程度。

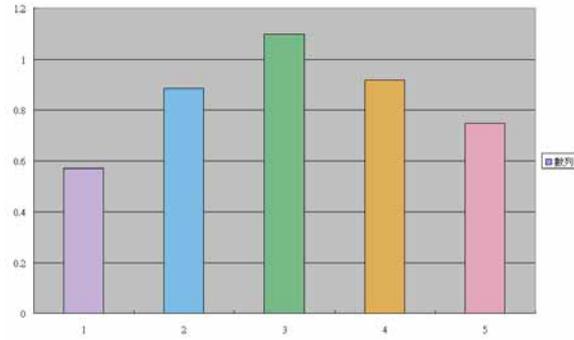


圖 4-13 高明度色相變化樣本的前進後退趨勢圖

在圖 4-13 高明度的色相變化上，其前進與後退（相對於前進）程度的曲線，是呈現一個中間偏高的山峰狀態，也就是綠色調（中間色相）的色彩給人的心裡感覺是最前進的，而逐漸偏暖或偏冷的色彩，則會呈現接近等比例逐漸後退的心裡感覺傾向。



圖 4-14 中明度色相變化樣本的前進後退趨勢圖

在圖 4-14 中明度的色相變化上，其前進與後退關係，似乎與許多教科書或色彩用書的說法相符，暖色調（特別是紅色）呈現前進的狀態，而冷色調（紫色與藍色）呈現後退的狀態。中明度暖色調的黃色，提供的前進感覺不如預期，在平均標準值的比較下還屬於稍微後退的感覺，因此整體曲線在此處下降落差大，無法呈現一個較平滑的曲線，與中間色調（綠色）可以說是呈現不前進也不後退的心裡感覺傾向。

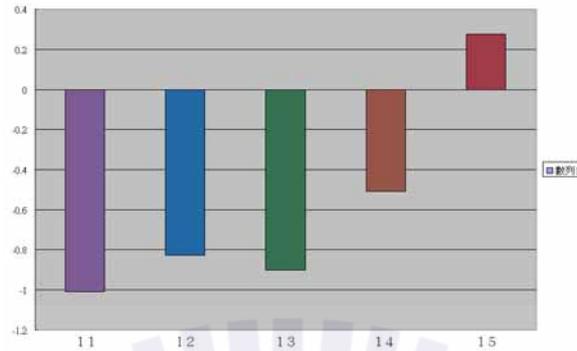


圖 4-15 低明度色相變化樣本的前進後退趨勢圖

在圖 4-15 低明度的色相變化上，其前進與後退關係，也略符合傳統教科書或色彩用書的說法，暖色調（深紅色）是屬前進色的，而冷色調（紫色與藍色）的色彩，則會呈現後退的心裡感覺傾向。不過在低明度的狀況下，中間色調（綠色）並非中性的感覺，其後退程度接近冷色調，甚至比冷色調的藍色感覺更後退。

圖 4-16 是將三個不同明度的色彩組，其色相與前進後退程度的曲線圖整合在一起，在此圖中，可以看見高明度絕對的前進優勢，不過明度似乎也影響了色相對於感覺前進後退的關係。在中間色調（綠色）上，在低明度的狀態下，其心裡感覺後退的程度與冷色調的色彩接近，甚至會更覺得後退些，不過隨著明度的逐漸提高，其提供前進的心裡感覺也逐漸提升，到了高明度時甚至優於暖色調。而暖色調紅色在中明度與高明度的狀況下，前進的程度似乎接近相同，沒有隨著明度升高而加強前進感覺的程度，至於是否逐漸後退，則會在同色相對不同明度的比較曲線下看出。也因為中間色調綠色與暖色調紅色的因素，使得色相與前進後退關係的曲線，隨著明度變化而呈現各自不同的曲線模式。

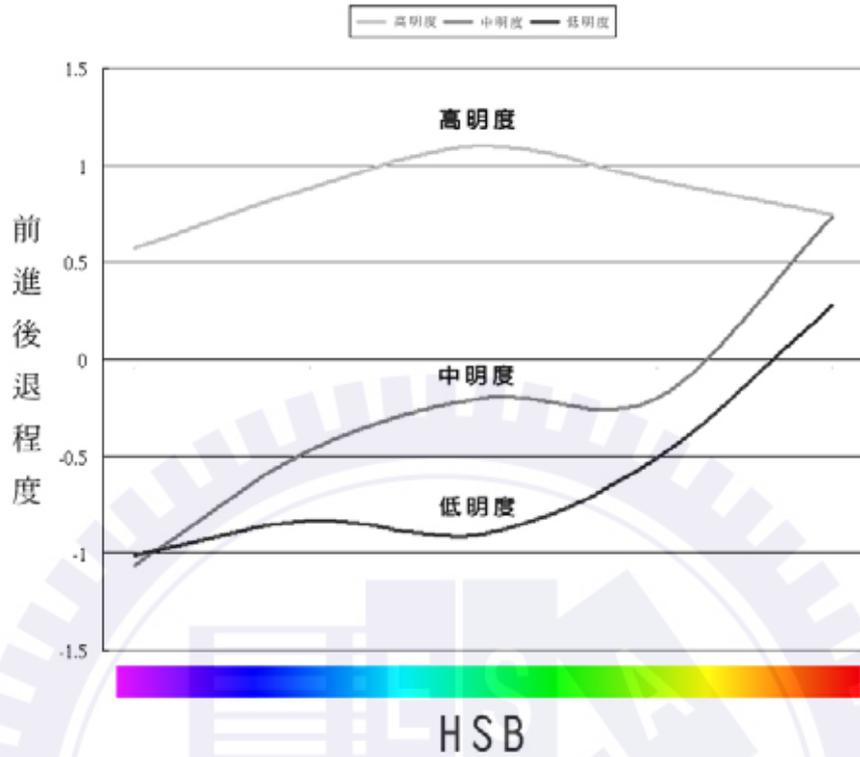


圖 4-16 三種明度色相變化樣本的前進後退趨勢圖

在分析過不同明度的色相變化對前進後退的曲線關係後，接著將不同明度相同色相的顏色抽離出來作比較，看本身的色彩特質在不同明度下對心理感覺前進後退程度（見圖 4-17 至圖 4-21）。其 X 軸是色彩樣本編號，Y 軸是前進後退程度。

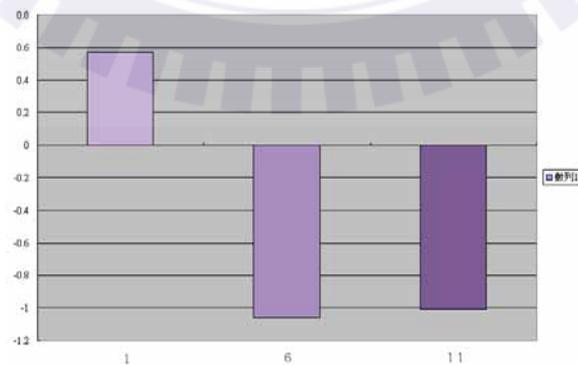


圖 4-17 紫色在三種明度下的前進後退趨勢圖

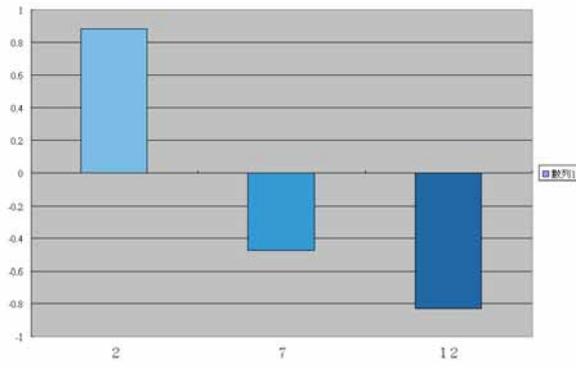


圖 4-18 藍色在三種明度下前進後退趨勢圖

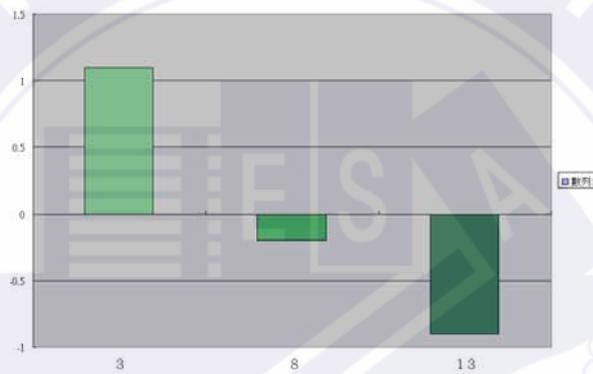


圖 4-19 綠色在三種明度下前進後退趨勢圖

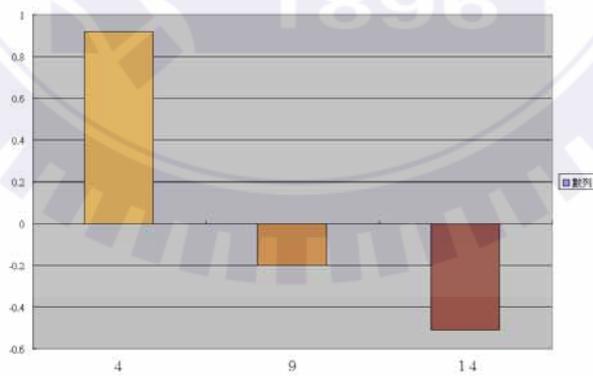


圖 4-20 黃色在三種明度下前進後退趨勢圖

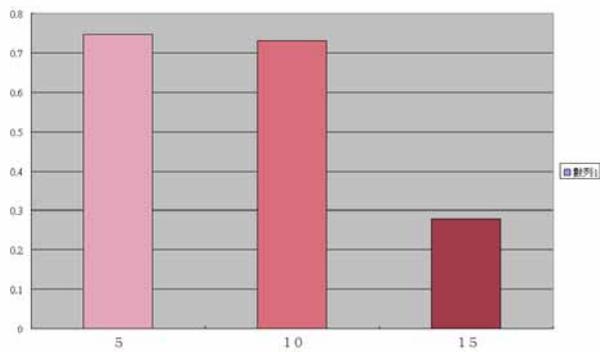


圖 4-21 紅色在三種明度下前進後退趨勢圖

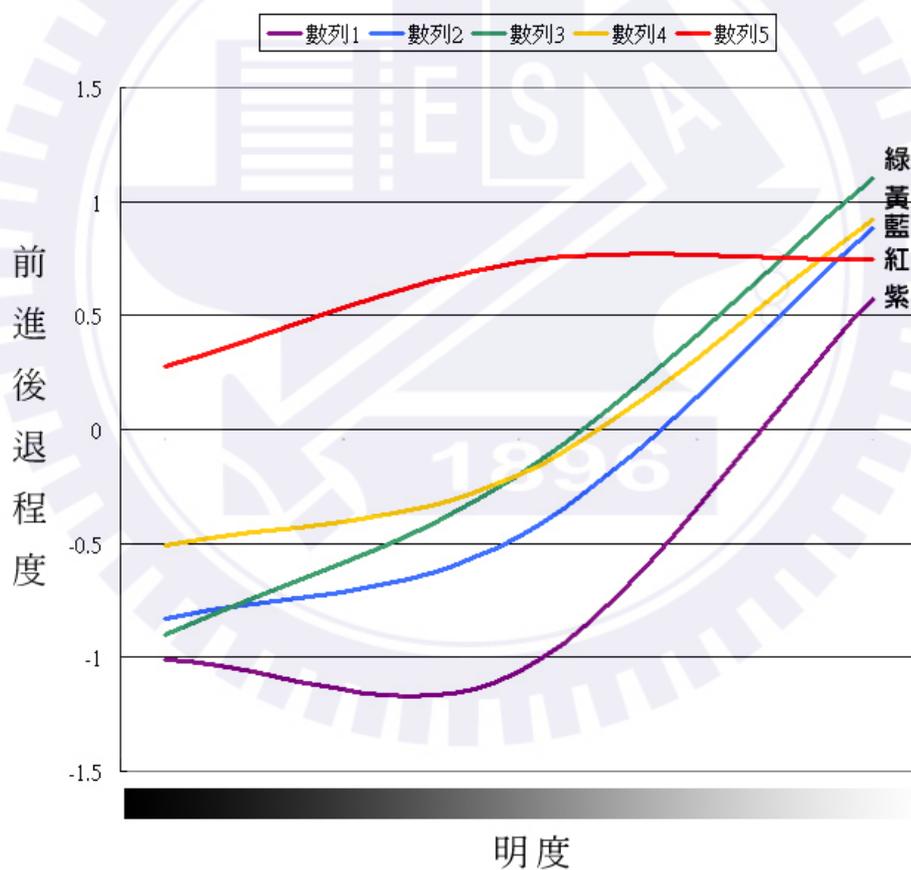


圖 4-22 五種色相樣本明度變化的前進後退趨勢圖

圖 4-22 是整合 5 種色相樣本對明度變化的前進後退趨勢曲線，冷色調紫色與同組色彩相比一直是穩定保持在後退的趨勢，中明度的後退程度甚至優於低明度，曲線有中間部分下凹的狀況。暖色調紅色的狀況則較特別，接近一直保持穩

定前進感的狀態，低明度時前進感稍微減弱些，不過變化弧度很緩和不明顯；在高明度的情況下，並沒有加強前進的感覺，反而有些下降，基本上接近持平的狀態。可知暖色調紅色其心理前進感覺不大受明度變化所影響，也因為如此，在許多色調會隨著明度增長、前進感增強的狀況下，暖色調紅色在高明度的前進感，甚至不如黃色、中色調綠色與冷色調藍色。

此圖中可以看出藍色、綠色、黃色的隨明度變化的趨勢頗為一致的，在高明度時呈現前進狀況，低明度呈現後退的狀況，中間色調的綠色呈現出接近線性的曲線，其前進與後退的程度隨著明度呈線性關係，因此在低明度（或極低明度）狀況下，其後退程度甚至超過冷色調藍色；相對的綠色在前進程度方面，中明度以上便已經優於暖色調黃色。

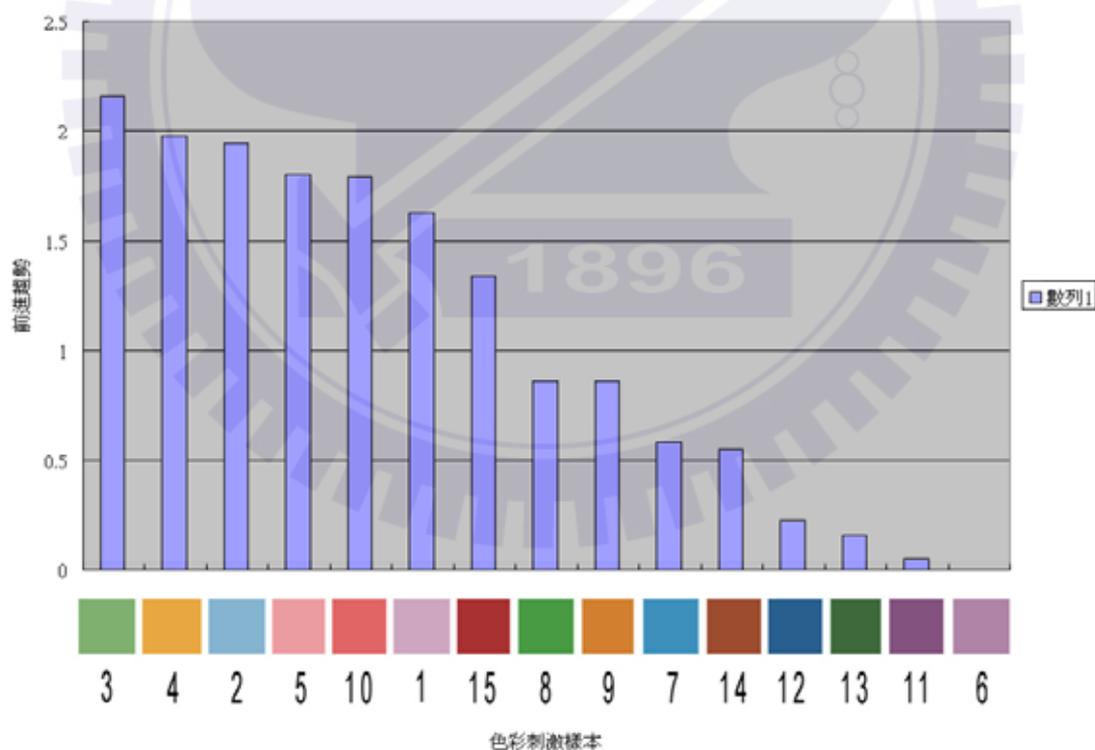


圖 4-23 前進趨勢色彩樣本排序圖

圖 4-23 中，把配對比較量表原先正負關係的數值，共同加上一個常數，如

此皆變成正數的關係，再加以排序便可以看出這 15 個色彩樣本對於心理感覺前進程度的差異。圖中可知最前進的顏色並非最高明度的最暖色，而是高明度的中間色調綠色，高明度黃色、高明度藍色也依序前進程度優於高明度的紅色。來看後退趨勢，中明度的冷色調紫色，其後退程度也比低明度的紫色調來的後退。

2.色彩的膨脹收縮關係

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
|----|---|----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 1 | | 84 | 116 | 104 | 90 | 47 | 68 | 87 | 77 | 103 | 70 | 61 | 65 | 84 | 120 | |
| 2 | | | 99 | 84 | 87 | 54 | 73 | 87 | 74 | 105 | 67 | 66 | 62 | 73 | 109 | |
| 3 | | | | 81 | 87 | 46 | 67 | 77 | 58 | 87 | 51 | 49 | 55 | 63 | 88 | |
| 4 | | | | | 82 | 47 | 68 | 73 | 64 | 89 | 57 | 51 | 44 | 63 | 100 | |
| 5 | | | | | | 56 | 69 | 75 | 67 | 99 | 61 | 57 | 53 | 77 | 117 | |
| 6 | | | | | | | 106 | 122 | 116 | 132 | 101 | 102 | 95 | 116 | 146 | |
| 7 | | | | | | | | 100 | 88 | 114 | 83 | 75 | 71 | 99 | 132 | |
| 8 | | | | | | | | | 100 | 103 | 75 | 79 | 61 | 94 | 128 | |
| 9 | | | | | | | | | | 121 | 71 | 71 | 79 | 85 | 130 | |
| 10 | | | | | | | | | | | 46 | 57 | 53 | 74 | 102 | |
| 11 | | | | | | | | | | | | 85 | 77 | 116 | 147 | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | 66 | 123 | 144 | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | 119 | 147 | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | 139 | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | 180 |

圖 4-24 正式實驗中膨脹色的 F 矩陣

圖 4-24 的次數資料，是提問受試者對於哪個是色彩刺激是心裡感覺膨脹色（看起來比較大）所做的次數總和矩陣，在資料中每一格是 180 次的出現配對次數中選擇橫向刺激為膨脹色的次數總和，也就是分母是 180，分子則是選擇橫列色塊刺激為前進色的次數。因為程式撰寫以一回實驗兩刺激配對一次後便不會再出現，因此在次數統計的 F 矩陣中，會有一半是無記錄的狀況，也就是黑色的部分 F 矩陣的次數總和在經過幾回的轉換後，可以得到以間距量表表示的圖形。

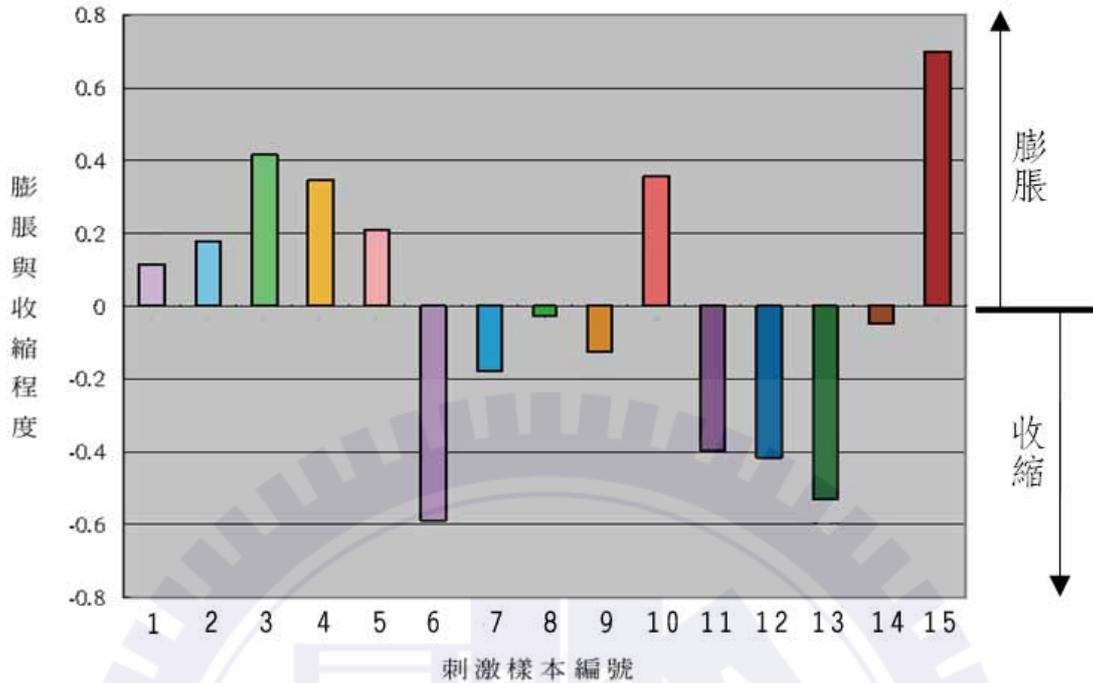


圖 4-25 色彩樣本的膨脹收縮程度圖

在圖 4-25 中，利用配對比較法正負的關係，可以表現膨脹（正值）或是收縮（負值）的概念。圖中編號 1~5、6~10、11~15 的色彩組分別同屬一個明度，因此可整體看出明度高的色彩具有膨脹感覺的絕對優勢，而暖色調紅色似乎也提供前進感覺較多的優勢，冷色調紫色則較為收縮。不過這是評估色相兩端的說法，並沒有以分析完整的色相曲線來說明。

接著進一步分別對明度與色相兩關係對色彩影響膨脹與收縮程度作解析。圖 4-26、4-27、4-28 是分別將三個不同明度的色彩組，來分析其色相對影響膨脹收縮程度的關係。其 X 軸是色彩樣本編號，Y 軸是膨脹收縮程度。

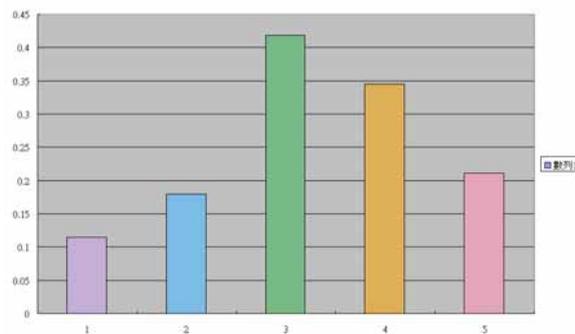


圖 4-26 高明度色相變化樣本的膨脹收縮趨勢圖

在圖 4-26 高明度的色相變化上，其膨脹與收縮（相對於膨脹）關係，曲線也是呈現一個中間偏高的山峰狀態，也就是綠色調（中間色相）的色彩給人的心裡感覺是最膨脹的，而逐漸偏暖或偏冷的色彩，則會呈現接近等比例逐漸收縮的心裡感覺傾向。

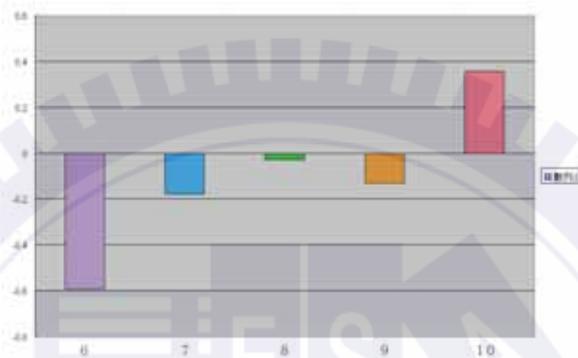


圖 4-27 中明度色相變化樣本的膨脹收縮趨勢圖

圖 4-27 是中明度的色相變化上，其膨脹與收縮程度的關係，曲線也非呈現一個完好的線性關係，在暖色調黃色的數值影響下，其收縮程度大於中間色調（綠色），接近於冷色調藍色，而暖色調紅色卻是膨脹程度極大，因此曲線在黃色調這範圍呈現一個下凹的範圍。

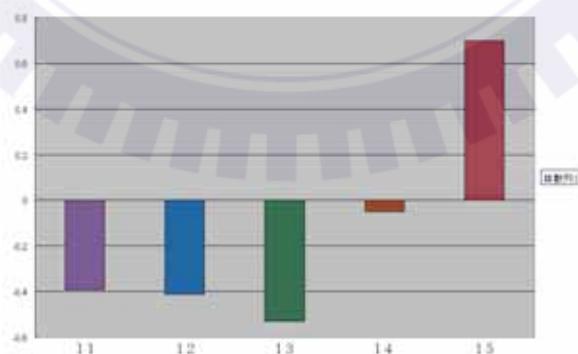


圖 4-28 低明度色相變化樣本的膨脹收縮趨勢圖

在圖 4-28 低明度色相變化與膨脹收縮的趨勢圖中，其曲線圖呈現一個倒山峰的狀態，在此色彩組中，暖色調紅色膨脹程度最為明顯，中間色調綠色則最為

收縮，可以說是隨著偏暖或偏冷色調，膨脹程度逐漸提高，往偏暖的色相方向，其膨脹程度會隨著愈暖色調的趨近而急遽提升；往偏冷的色相方向，其膨脹程度也會隨著愈冷色調的趨近而緩緩提升。

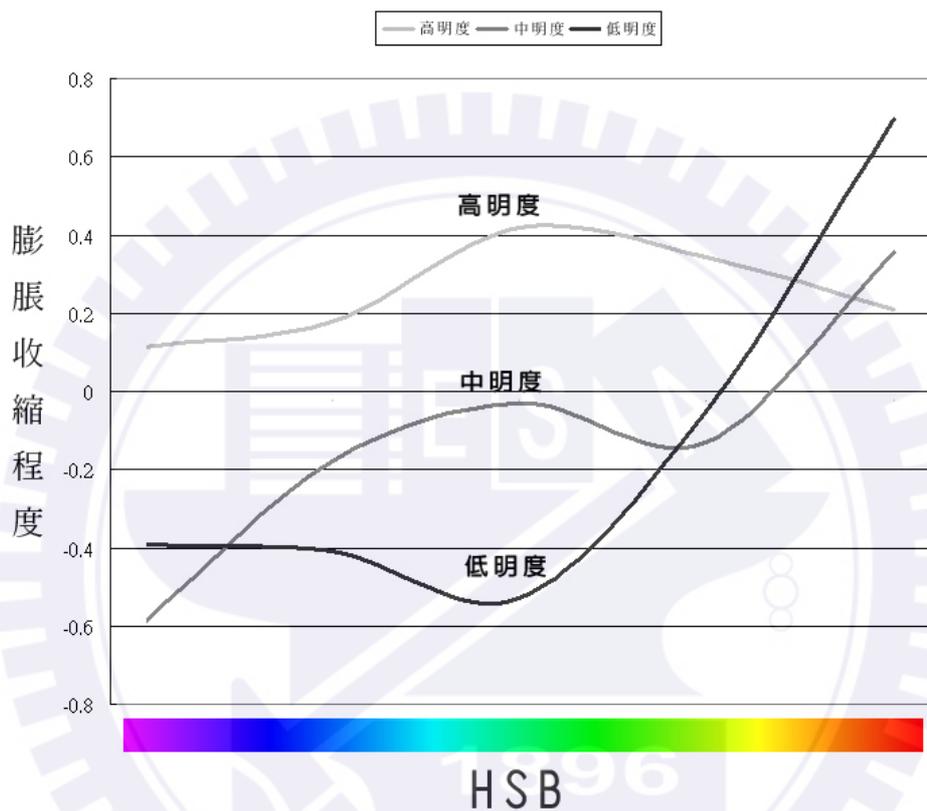


圖 4-29 三種明度色相變化樣本的膨脹收縮趨勢圖

圖 4-29 是整合 3 個不同明度變化時，色相產生的膨脹收縮效果的趨勢曲線，可以看出呈現不一致的曲線變化。高明度的色相對應於膨脹收縮曲線呈現山峰狀，而明度對大多色相仍有影響心理感覺膨脹的趨勢；而低明度的色相對應於膨脹收縮曲線則呈現倒置的山峰形狀；中明度的色相對應於膨脹收縮曲線比較接近於等量變化的關係，即是隨著色相變暖有逐漸膨脹的心裡感覺，不過在暖色調黃色的色相範圍有向後收縮的現象，可能與中間色調（綠色）隨明度產生心裡較大的膨脹感覺，因此讓黃色色相相對覺得收縮。在觀察這三個不同明度針對色相產生的膨脹收縮曲線，可以感覺三個曲線似乎有某程度的規律波形變化，不過還必須以更精確的實驗來驗證。分析過不同明度的色相變化對前進後退的曲線關係

後，接著將不同明度相同色相的顏色抽離出來作比較，看本身的色彩特質在不同明度下對心理感覺前進後退程度(見圖 4-30 至圖 4-34)。其 X 軸是色彩樣本編號，Y 軸是膨脹收縮程度。

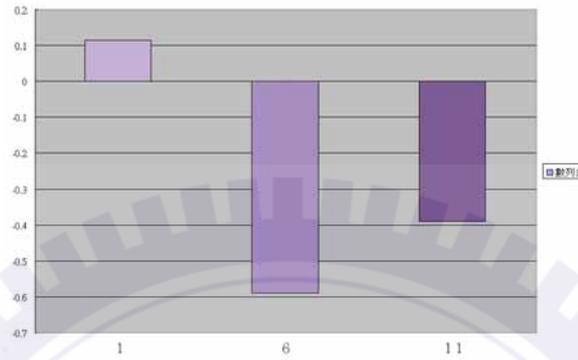


圖 4-30 紫色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖

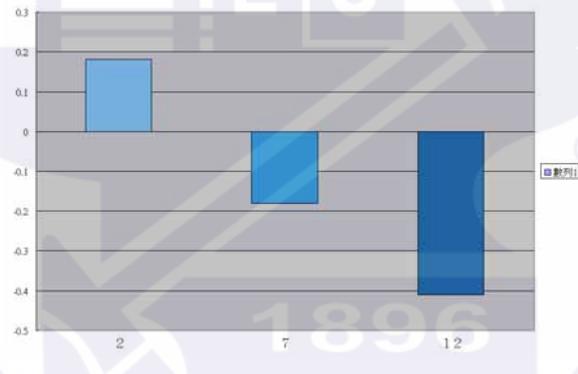


圖 4-31 藍色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖

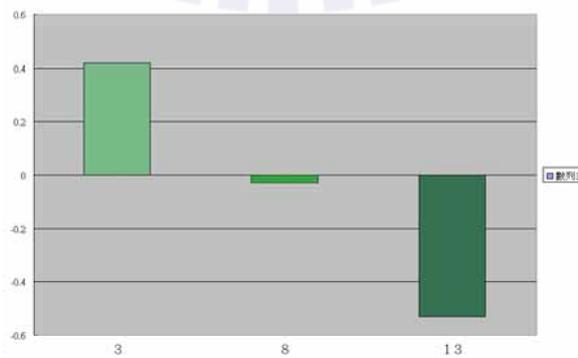


圖 4-32 綠色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖

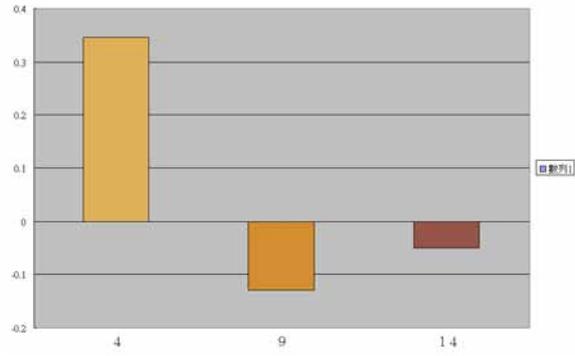


圖 4-33 黃色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖

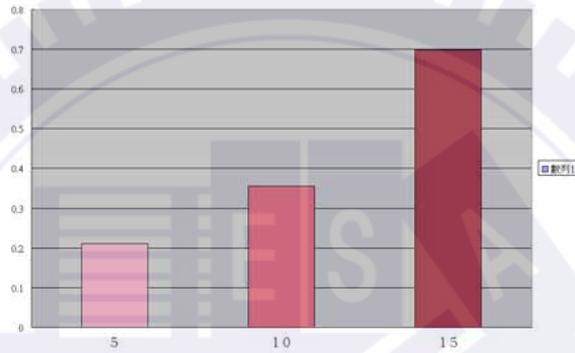


圖 4-34 紅色在三種明度變化下的膨脹收縮趨勢圖

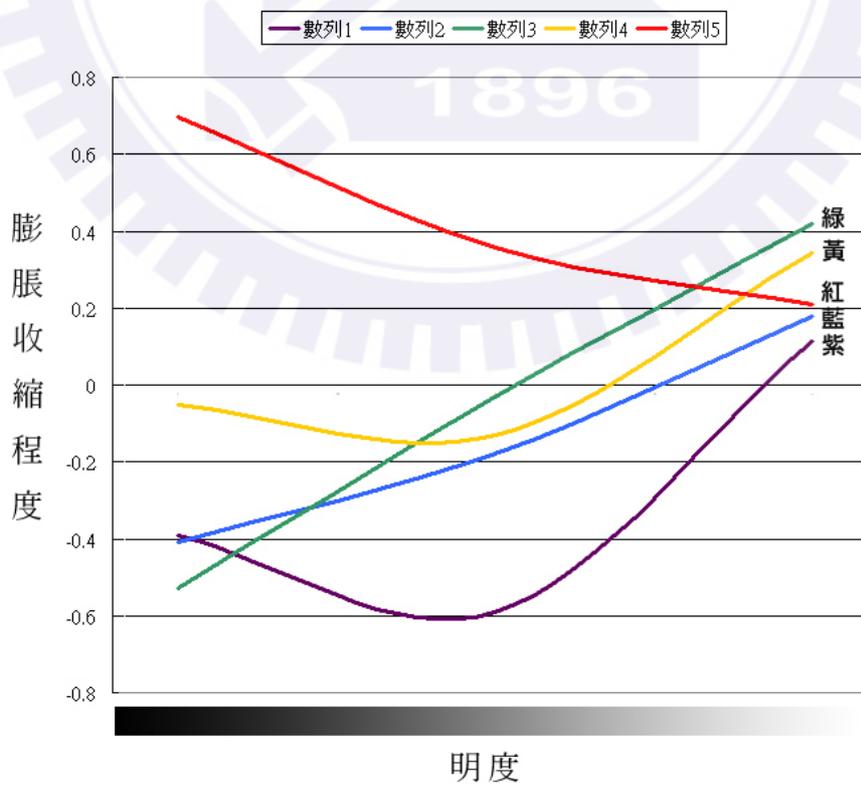


圖 4-35 五種色相樣本明度變化的膨脹收縮趨勢圖

圖 4-35 是整合 5 種色相樣本對明度變化的前進後退趨勢曲線，冷色調紫色與同組色彩相比多數是穩定保持在後退的趨勢，會隨著明度降低而收縮感增大（膨脹感減少），只有在低明度的情形下，才有逐漸膨脹的心理感覺。暖色調黃色也是趨近於紫色的曲線特性，隨明度降低而逐漸收縮，不過在低明度時則曲線上揚，膨脹感覺逐漸增強。

中間色調綠色是最完美的呈現線性關係，即是膨脹感覺會隨著明度減少而等量的縮減，冷色調藍色的明度對應膨脹收縮曲線也接近線性的關係，只是傾斜角度沒有綠色來的大，因此在低明度下，其感覺膨脹程度還略大於中間色調綠色的膨脹程度。

暖色調紅色的膨脹收縮曲線則是與其他色相皆不同，雖然是接近線性的關係，卻是其膨脹程度會隨著明度減低而逐漸增大，與其他色相隨明度逐漸感覺膨脹的特性成反比關係，因此在高明度的狀況下，紅色的心理感覺膨脹程度還不及綠色與藍色，在低明度的狀況下，其膨脹程度卻遠遠大於其他顏色許多。

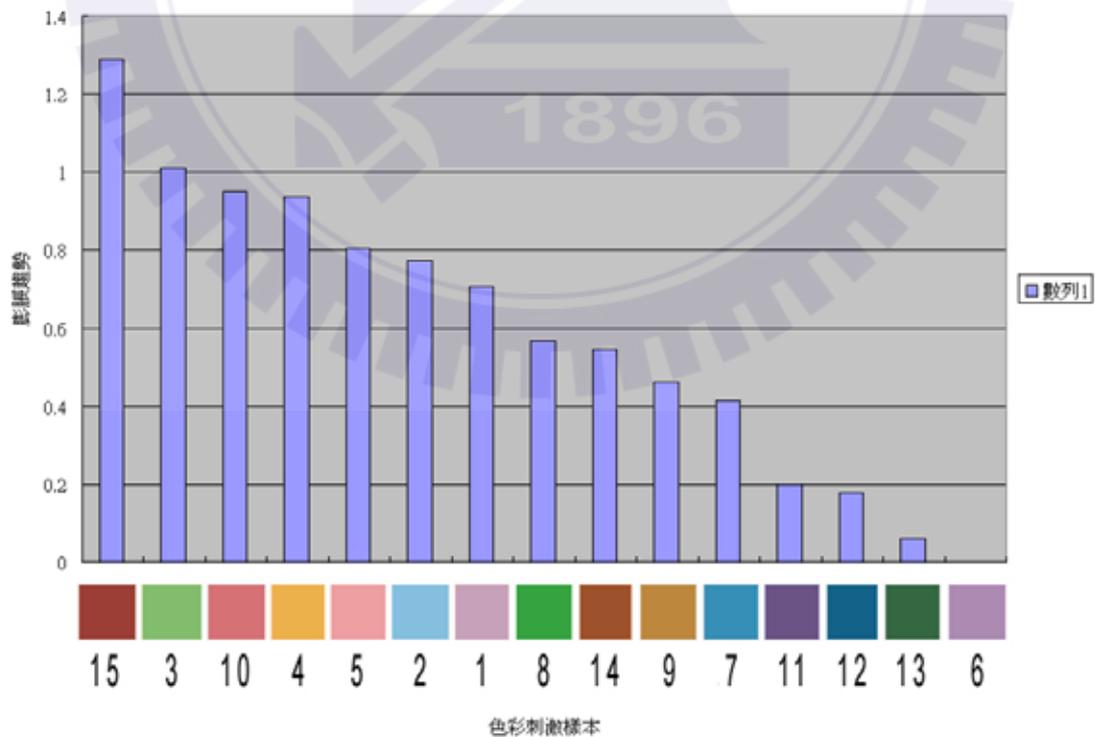


圖 4-36 膨脹趨勢色彩樣本排序圖

圖 4-36 中，同針對前進後退的配對比較量表數值一樣，把原先正負關係的數值，共同加上一個常數，使之皆變成正數的關係，再加以排序便可以看出這 15 個色彩樣本對於心理感覺膨脹收縮的差異。圖中可知最膨脹的顏色並非最高明度的最暖色 5 號，而是最低明度的最暖色紅色 15 號。其次是高明度的中間色調綠色 3 號，這與前進後退時的色彩樣本排序接近，顯示似乎有另一種因素在影響膨脹與前進感覺的判斷。

感覺最收縮的也不是最低明度最冷色調的紫色 11 號，而是中明度的紫色 6 號，而低明度的中間色調綠色 13 號也是呈現感覺非常收縮的狀態，這些收縮的排序，也非常接近於先前圖 4-23 的收縮排序圖，也更讓我們確信有另一個機制的判斷，介入了我們判斷色彩前進後退、或是膨脹收縮的心理感覺。

3.主觀亮度的判別

在以儀器控制了物理的明度後，之前所測量的等明度條件是以 PR650 內建的 CIE 明度做為標準，而非受試者主觀亮度。主觀亮度即是受試者在相同的實驗環境下，針對先前 15 種色彩樣本，以直覺方式對其作由亮到暗的排序。圖 4-37 是六位受試者針對色彩樣本的排序，橫排是受試者由最亮排到最暗的色彩樣本編號的排序。由於受試者主觀心理感受的抉擇，因此色彩樣本排序不盡相同，這裡取絕對多數（六位中被選中佔多數的樣本），也就是深色的編號區域，而最下面呈現的一組數列，便是經過取絕對多數，所選出受試者對色彩樣本的主觀亮度排序。

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|----|---|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|--|----|
| 10 | 2 | 3 | 5 | 1 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 13 | 14 | 15 | 11 | | MO |
| 2 | 1 | 4 | 3 | 5 | 10 | 9 | 7 | 6 | 8 | 12 | 13 | 15 | 14 | 11 | | CH |
| 2 | 3 | 1 | 10 | 5 | 4 | 9 | 7 | 8 | 6 | 12 | 11 | 15 | 14 | 13 | | VI |
| 3 | 3 | 4 | 1 | 5 | 10 | 7 | 6 | 8 | 11 | 9 | 12 | 15 | 14 | 13 | | AT |
| 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 12 | 11 | 15 | 14 | 13 | | MT |
| 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 10 | 9 | 7 | 8 | 6 | 12 | 11 | 14 | 15 | 13 | | SI |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 10 | 9 | 7 | 8 | 6 | 12 | 11 | 15 | 14 | 13 | | |

圖 4-37 受試者對色彩樣本的主觀亮度排序

在受試者對刺激樣本的主觀亮度排序中，以五個編號一組來看，可以看出樣本編號的變動均在相同明度的色彩組別中，不會出現高明度的色彩樣本，被受試者主觀的選入中明度或低明度的色彩組別中。因此三個明度的標準與受試者的主觀亮度標準大體是一致的，差別在於色相對亮度感覺所產生的影響，以致於在等明度的狀況下，會出現色相的主觀亮度不平等的排序。



圖 4-38 受試者對刺激樣本的主觀亮度排序

圖 4-38 是用實際色彩與三個明度層次的方式，將主觀亮度的排序表現出來，每一層明度的最左側色塊，便是主觀亮度最高的色彩樣本，而依次排序至右側。

第五章 綜合討論

5.1 主要研究發現

1. 書中著墨的色相前進膨脹法則只表達色相的兩極端

在色彩學用書與教科書的內容，以色相而言，多說明到暖色調是前進色也是膨脹色，冷色調是後退色也是收縮色，由於內容通常只提及到此階段，所以如果單看以每個不同明度的趨勢曲線來看，最暖的色相那點與最冷的色相那點相比，可以說是符合現在許多質性文字的敘述（見圖 5-1）。不過以往這些說法除了過於籠統與模糊外，且容易讓人產生以為是規則線性的關係，對於想利用色彩造成心理效果的设计實在少有助益。

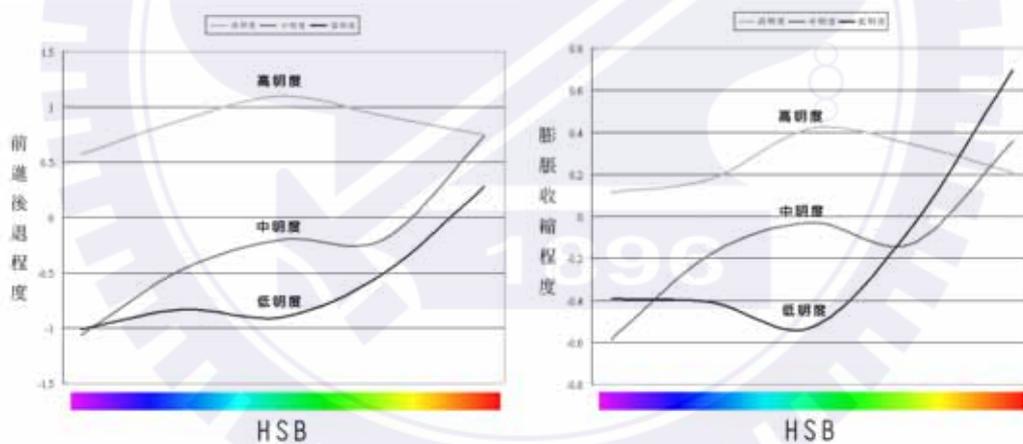


圖 5-1 三種明度色相變化樣本的前進後退與膨脹收縮趨勢圖

2. 色相前進後退與膨脹收縮趨勢呈現類似的非線性的關係

在圖 5-1 中，我們可以比較左圖與右圖在不同明度下，色相變化對應前進後退與膨脹收縮程度的曲線，發現兩者曲線變化模式幾近相同，唯有低明度的色相對應膨脹收縮曲線在暖色調區域膨脹程度較大，否則三條曲線的變化起伏趨勢實在近似，所以可以說當覺得此顏色前進時，同時也會在心理感覺它是膨脹的；反

之，當此顏色是感覺後退時，也多會在心理判斷它是收縮的。因此在同一明度下，以色相為變項，說明「前進色即是膨脹色，後退色即是收縮色的」是可以獲得證實的。

3.明度對前進與膨脹的心理感覺有絕對影響能力

在許多經驗法則中，多說明到明度高的色彩是前進色或膨脹色，而明度低的色彩是後退色與收縮色。見圖 5-2，進行分析時，針對單一色相抽取其明度變化與前進後退與膨脹收縮關係，再將每一色相的變化曲線作比較，可以明瞭的看出明度的優勢。在多數色相的曲線變化模式中，明度似乎明顯成為決定心理感覺前進與膨脹的重要因素。唯一令人意外的是暖色調的紅色，其變化模式前進後退與膨脹收縮似乎成相反的狀態，在明度變化與前進程度圖，可以發現隨明度降低而呈現逐漸後退狀態，這還符合暖色調在明度的變化上前進與後退的關係。不過暖色調的紅色在明度變化與膨脹程度圖上，則是呈現隨著明度下降而膨脹程度增加的狀態，這裡對這種現象還需進一步研究與分析，才能解釋其發生的原因。

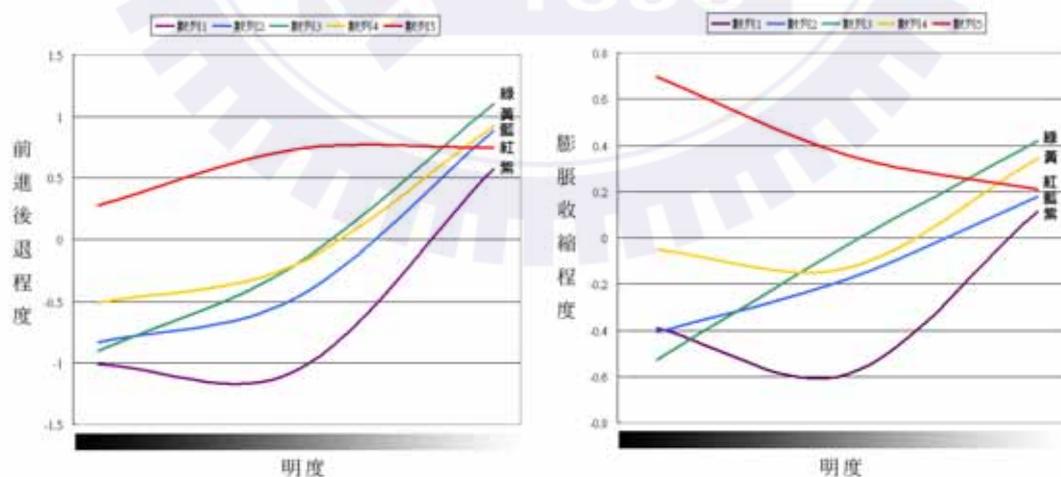


圖 5-2 五種色相樣本明度變化的前進後退與膨脹收縮趨勢圖

4.主觀亮度介入前進後退與膨脹收縮的心理感覺判斷

在圖 5-1 時，可以發現不管是那個明度的色相曲線，也不管是前進後退或是膨脹收縮的程度曲線，都呈現波浪狀的波形，且似乎呈現一個漸變的曲線形式，其中中間色調似乎扮演了關鍵角色，是什麼原因造成這種現象？明度已統一，所以影響原因可能是主觀亮度的判斷。假設明度相同時，當主觀亮度在某色相的影響力超過其它色相原先給予人的前進後退或膨脹收縮的心裡感覺，如此一來，當受試者覺得某色相亮度高於（或低於）它者時，其膨脹與收縮在心理感覺的程度變會大受影響。見圖 5-3 左圖，把顏色依照感覺前進排序到後退，右圖是把顏色依照感覺膨脹排序到收縮，我們可以看到中間色調綠色（樣本編號 3）在排序非常前面處，代表受試者認為其色相感覺極為前進與膨脹。由於前五名排序皆為等明度之色相，因此明度已非考慮因素。相同的，倒數五名的色相也同為等明度，而中間色調（編號 13）也排序在非常尾端處。接著比較圖 5-4 右圖是受試者的主觀亮度排序，我們可知編號 3 號主觀亮度極高，而 13 號則是主觀亮度非常低。因此當明度相同時，因色相產生的主觀亮度感覺，似乎主導了前進或膨脹優弱勢。

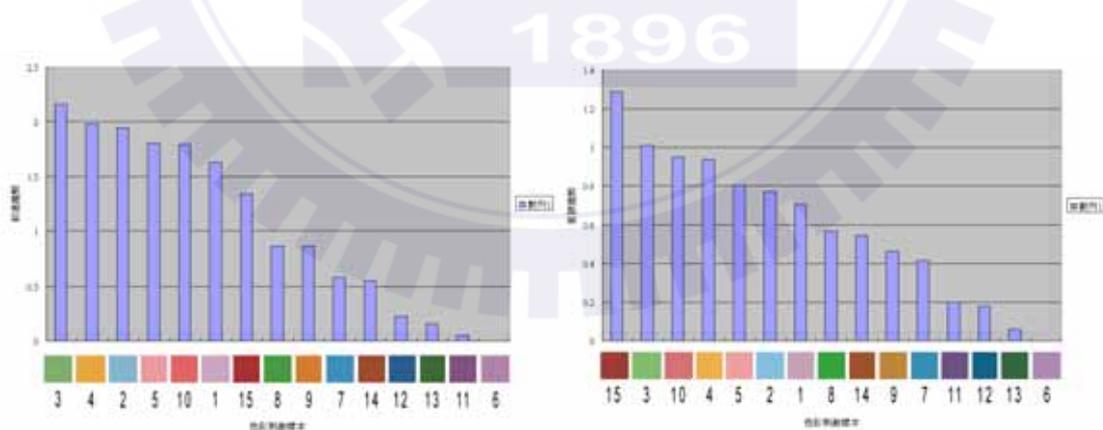
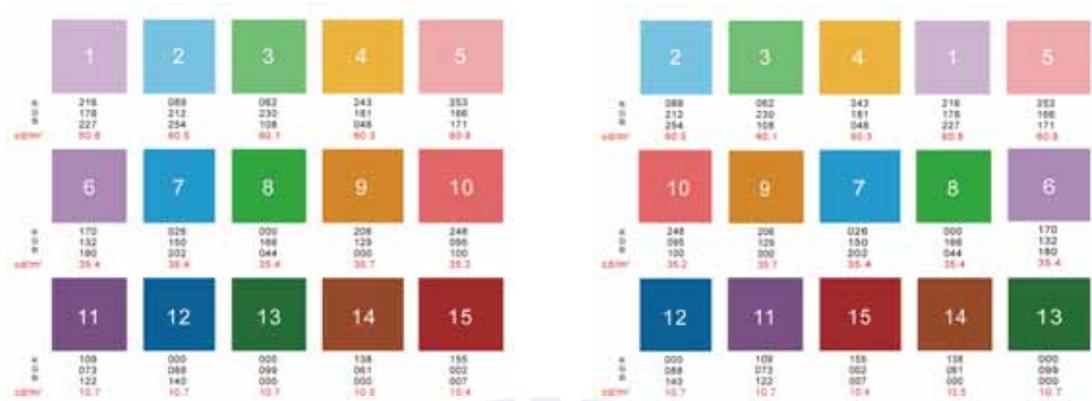


圖 5-3 前進與膨脹趨勢色彩樣本排序圖



5-4 受試者對刺激樣本的主觀亮度排序

5.2 後續研究與建議

本研究是針對色彩學上面對於前進後退色與膨脹收縮色作的實徵研究，目的希望可以補足質性文字敘述上面的不完整，希望建立一個有實質應用價值的色彩模型，讓設計者可以真正掌握每一個顏色對心理感覺的影響力，讓色彩學的知識與學問可以真正落實到設計的領域上。

1. 利用雙眼像差與調整法設計實驗

當初與本研究同時進行的立體視覺與調整法的研究法。此研究方法是利用雙眼像差的原理，讓受試者真正感受立體的前進與後退的感覺，再讓受試者以自行調整到與標準刺激同平面的感覺，如此可以更真實感受色彩前進後退的效果。此實驗在後期階段受限於 CRT 解析度不足的困難，導致一個 pixel 的調整距離便超過了感受的範圍，因此無法有足夠精細的數據資料。未來預計以高階立體眼鏡或更高解析度的實驗設備進行這個研究，希望藉由這個實驗，可以針對前進色與後退色有更多的瞭解與更深入的分析資料。

2. 利用立體視覺與定值刺激法設計實驗

這個實驗目前正在進行中，是接續立體視覺對於前進後退色的研究，由於目

前以心理物理學的調整法作為研究方法會受限於硬體設備解析度不足的困境，因此改良研究方法，以定值刺激法代替調整法，如此可以利用肩形曲線算出主觀相等點（PSE），可以用來分析某色相的顏色或某亮度的顏色，因為主觀相等點的往前與往後，而在主觀上認為此顏色是感覺前進還是後退的。

3.針對主觀亮度作完整的研究分析

本研究在設定實驗樣本時以色相與明度作為兩個研究方向，在數據分析時發現在等明度的狀況下，主觀亮度的影響可能超過色相對我們心理感覺的影響，即是色相雖然影響心理判斷前後的感覺，不過在主觀亮度較強勢的狀況下，可能會決定前進後退與膨脹收縮的色彩偏好。因此，在做完色彩明度與色彩色相有關前進後退與膨脹收縮心理感覺的研究後，會再針對色彩的主觀亮度對此主題的影響作進一步的完整的研究與分析討論。

4.應用於色彩設計處理心理感覺

色彩學有關前進後退色或膨脹後退色的說法，先前多是經驗法則的分享，無法真正應用在實際設計上，因為隨意兩個色彩樣本作比較，要準確的預測其對心理感覺是前進或是膨脹的效果極不容易，本研究初步已提供一個可參考的數據與變化規律，如高明度色相，欲傳達前進（膨脹）的心理感覺，綠色是最佳的配色，而低明度的色相，欲傳達後退（收縮）的心理感覺，綠色調也有最佳的效果。並且已針對十五種顏色作排序，如果要以範圍內的顏色作設計，相信可以提供很好的應用效果。未來希望可以把顏色與心理感覺前進（膨脹）後退（收縮）的關係，做成色盤，可以提供設計者真正在處理色彩時，有一套更能掌握心理感覺的設計工具。

第六章 參考書目

中文部分

- 文金揚（1982 第 1 版）：繪畫色彩學。濟南市，山東人民出版社。
- 王頌婉（1992）。最新實用色彩學。臺北市：國家。
- 王頌婉（1992）：最新實用色彩學。臺北市，國家。
- 朱介英（2001 初版）：色彩學：色彩計劃與配色。臺北市，美工科技。
- 色彩學研討會（2001 初版）：色彩設計、應用與科學論文集。色彩學研討會，中國文化大學，中華色彩學會。臺北市，中華色彩學會。
- 色彩學研討會（2002 初版）：色彩設計、應用與科學論文集。中華色彩學會，中國文化大學創新育成中心，色彩學研討會。臺北市，中華色彩學會。
- 李江山等人（1999）：視覺與認知—視覺知覺與視覺運動系統。臺北市，遠流。
- 李蕭錕（1996 初版）：色彩學講座。臺北市，藝術家出版，藝術圖書總經銷。
- 孟慶茂，常建華（2000）。心理實驗學。臺北市：心理。
- 林大川（1999 再版）：色彩學。臺北市，全華。
- 林書堯（19787 增訂七版）：色彩學概論。臺北市，林書堯，三民總經銷。
- 林書堯（1983 修訂初版）：色彩學。臺北市，林書堯發行，三民總經銷。
- 林啓昌、陳信夫（1983 改訂再版）：印刷色彩學。香港，東亞出版。臺北市，五洲總發行。
- 侯怡禎（2003 初版）。實用色彩學概論。臺北市：合慶。
- 曹緯初（1970 再版）：色彩學。臺北市，世界。
- 莊明振（1996）：色彩對面積知覺的影響研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫。
- 野村順一，沈永嘉（2000 初版）。色彩學與你。臺北市：大展。

- 陳一平、葉素玲（2000）：實驗用途的顯示器之迦瑪校正：理論與實務。應用心理研究（台灣），5期，143-164。
- 黃文範，巴拉蒙編輯群（1997 初版）。繪畫色彩學。臺北市：三民。
- 楊惠文（1999）：技職教育中基礎色彩學課程之教案規劃。研究指導教授：張育銘。59-62 碩士論文--國立成功大學工業設計研究所。
- 葉美莉（2000 初版）。商用色彩學。臺中市：果岩。
- 葉素玲（1999）：色彩在知覺空間所扮演的角色。見李江山等著：視覺與認知—視覺知覺與視覺運動系統。台北，遠流大學館，227-258。
- 葉素玲、陳一平（2000）：色彩視覺的三色論及其應用。應用心理研究（台灣），5期，115-141。
- 劉英茂（1987）。基本心理歷程。臺北市：大洋。
- 歐秀明（2000 四刷二版）。應用色彩學。臺北市：雄獅。
- 歐秀明，賴來洋（1983）。實用色彩學。臺北市：雄獅。
- 賴一輝（1997 初版）：設計的色彩心理：色彩的意象與色彩文化。[臺北縣]中市視傳文化。
- 藍萍（1999 初版）：色彩學習教室。臺南市，信宏出版，大坤總代理。

外文部分

- Boynton,R.M.(1979)*Human Color Vision*.New York:Holt,Reinhart and Winston.
- Berger-Schunn,A. (1994).*Practical Color Measurement* .New York, Wiley .
- Brill,Michael H. (1990).*Perceiving , measuring ,and using color* .Washington ,SPIE.
- Consweet, T. N. (1970). *Visual Perception*. New York: Academic Press.
- Gouras, P. (1991). *Color vision*. In E.R. Kandel, J. H. Schwartz, & T.M. Jessell(Eds.),
Principles of neural science (3rd ed., pp. 467-480). New York: Elsevier.
- Goldstein,E.B.(1999).*Sensation and Perception*.California:Brooks/Cole.

Healey,G.E.,Shafer,S.A.AndWolff,L.B.(1999)*Color*.Boston,Jones and Bartlett Publishers.

Hubel,D.H.(1988)*Eye,Brain,and Vision*.New York,Scientific American Library.

Kaiser,P.K.,&Boynton(1996)*Human color vision*.Optical Society of America.USA.

Vernon,M.D.(1962).*The psychology of perception*.Baltimore,MD:Penguin.

小磯稔（1972）：色彩の科学。東京，株式会社美術出版社。

本山智子（1982）：基礎色彩学—構造的アプローチ。東京，第一法規出版株式会社。

西川好夫（1973）：新・色彩の心理。東京，法政大學出版局。

