

國立交通大學應用藝術研究所

碩士論文

馬賽克藝術中的錯視效果研究

The Application of Visual Illusions in Mosaic Design



研究生：邱煒傑 **Wei-Jei Chiou**

指導教授：陳一平 **Dr. I-Ping Chen**

中華民國九十五年七月

馬賽克藝術中的錯視效果研究

The Application of Visual Illusions in Mosaic Design

研究生：邱煒傑

Student：Wei-Jei Chiou

指導教授：陳一平

Advisor：Dr. I-Ping Chen

國立交通大學

應用藝術研究所

碩士論文



Submitted to Institute of Applied Arts

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Arts

In Design

July 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

誌謝

能夠完成這篇論文，要感謝很多人的幫助。

首先是支持我任性的轉換跑道的家人，讓我有機會跨出理工的領域，從不同的角度去感受世界。

感謝指導教授陳一平老師以無比的耐心和智慧指導我完成這篇論文，也感謝陳老師在研究所兩年期在課堂上的教導與解惑。希望自己也能夠像陳老師一樣，無時無刻以最認真的態度追求知識，以最熱情的態度體會藝術。

所長張恬君老師是我跨入這行的啓蒙導師。對於藝術和設計，以及應藝所的初步認識，都來自於張老師數年前在大學部開設的印象藝術通識課程。進入研究所以後，張老師在課堂上教授的許多哲理對我的影響遠超過課業的範疇，讓我知道無論是想當一個好的設計師或藝術家之前，要先修養自身的品格。

謝謝孫老師和賴老師抽空參加論文口試，兩位老師對於論文內容的指教都是讓這篇論文能夠變得更好的寶貴意見。

iaa93 的同學們，謝謝大家陪伴我一起渡過這兩年研究所生活，我會永遠珍惜這段時光，你們是最棒的朋友。另外還有基礎視覺實驗室的學長姐們，謝謝你們幫忙解答了許多學業和論文上的疑難雜症，讓這篇論文能夠提早出世。

透過這篇論文寫作，我了解到這 2 年研究生生活所學到的最重要的一件事，就是在藝術和設計的世界裡還有太多我不知道的。這讓我更有動力在這個圈子裡不斷的努力，追求知識和更好，更美的創作。

中華民國九十五年七月

馬賽克藝術中的錯視效果研究

學生：邱煒傑

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

馬賽克是一種以馬賽克嵌片(tesserae)製作，兼具保護與裝飾功能的古老藝術形式。馬賽克的起源約在西元前 2000 多年，到了現在，許多馬賽克作品已經不再付屬於建築物，而逐漸的成爲一種獨立的藝術形式。

創作者在製作馬賽克時最常遇到的問題之一是馬賽克嵌片的顏色種類太少。過去的馬賽克創作者必須花費許多的時間學習困難的嵌片混色技法，從一次又一次的嘗試中磨練對於混色結果的敏銳度。因此，本研究將色彩的視覺錯視導入輔助馬賽克設計，利用錯視效果改變馬賽克的主觀色彩，希望爲上述問題提供有別於傳統的解決途徑。

經過初步的資料收集以及分析以後，選定 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 以及 neon color spread illusion 這兩種錯視作爲研究對象，並分別設計了一系列這兩種錯視在馬賽克形式下的錯視效果實驗，藉此瞭解是否能夠透過操作馬賽克型式的基本要素以達到最強烈的錯視效果。實驗結果顯示了 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的錯視效果並不會隨著改變馬賽克型式的基本要素而產生顯著的變化，而 neon color spread illusion 則是和馬賽克嵌片的尺寸，填縫的寬度，以及填縫的色彩有明顯的關連性。之後進一步製作實體版本的 neon color spread illusion 馬賽克圖形，完成品符合先前歸納出的實驗結果。

關鍵字：馬賽克、視覺錯視、neon color spread illusion、Craik-O'brien-Cornsweet illusion

The Application of Visual Illusions in Mosaic Design

Student : Wei-Jei Chiou

Advisor : I-Ping Chen

Institute of Applied Arts
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Mosaic is an ancient art form made by pebbles or ceramics which called tesserae and has been used since 2000 BC. for protection and decoration. One of the difficult problems to create mosaic works is the limited range of colors of the material. In order to create the necessary colors that do not exist, mosaic artists have to spend lots of time on learning color mixture of tessera which is not always intuitive. In this research, we want to look for other possible solutions for increasing available colors by applying two different visual illusions on the mosaic design: Craik-O'brien-Cornsweet illusion and neon color spread illusion.

To find out if we can maximize the effect of illusion by manipulating the figural factors of mosaic, we designed a series of experiments to examine how these factors affect these two illusions. The results show all factors have no significant effect on the magnitude of Craik-O'brien-Cornsweet illusion. And there are 3 factors, scale of tesserae, width and hue of grout, that have significant effect on neon color spread illusion. Increasing width of grout will enhance the neon color spread illusion but, in contrast, the wider tesserae produce weaker illusion. As for the effects of hues of grout, green grout generated the strongest illusion, followed by red, blue and yellow grout in that order. We also create an Ehrenstein figure by ceramic tesserae according to result of the experiment and the illusion effect of this physical version supports the conclusion of the experiment of neon color spread illusion.

Keywords: Mosaic; Visual illusion; Neon color spread illusion;
Craik-O'brien-Cornsweet illusion

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	v
第 1 章 緒論.....	1
1-1 研究背景與動機	1
1-2 研究目的與問題	4
1-3 研究流程架構	5
1-4 研究限制	6
1-4-1 螢幕版本的實驗圖形和實體版本的落差	6
1-4-2 Neon color spread illusion 受測者內實驗樣本數不足.....	6
第 2 章 文獻探討.....	7
2-1 馬賽克發展簡介	7
2-1-1 馬賽克的起源	7
2-1-2 古希臘和古羅馬時期	7
2-1-3 拜占庭與回教	9
2-1-4 現代馬賽克設計的發展	10
2-2 馬賽克製作簡介	12
2-2-1 製作馬賽克使用的材料	12
2-2-2 馬賽克製作法	13
2-3 本研究欲探討的錯視現象	14
2-3-1 Craik-O'brien-Cornsweet illusion	14
2-3-2 Neon color spread illusion.....	17
第 3 章 研究方法.....	21
3-1 Craik-O'brien-Cornsweet Illusion 的錯視效果實驗	21
3-1-1 實驗目的與設計	21
3-1-2 實驗變項	24
3-1-3 實驗對象	24
3-1-4 實驗設備	24
3-1-5 實驗程序	28
3-2 neon color spread illusion 的錯視效果實驗.....	28
3-2-1 實驗目的與設計	28
3-2-2 實驗變項	31

3-2-3 實驗設備	32
3-2-4 刺激材料	32
3-2-5 實驗程序	36
3-3 neon color spread illusion 的實體製作與觀察	37
3-3-1 實驗目的與設計	37
3-3-2 實驗對象	37
3-3-3 實驗設備	37
3-3-4 刺激材料	37
3-3-5 實驗程序	38
第 4 章 實驗結果之分析與討論	39
4-1 馬賽克形式基本要素與 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 錯視效果之關連	39
4-1-1 構成畫面的馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響	40
4-1-2 馬賽克格線寬度對錯視效果的影響	41
4-1-3 Cornsweet edge 坡度對錯視效果的影響	43
4-1-4 整體數據分析	45
4-2 馬賽克形式的基本要素與 neon spread illusion illusion 錯視效果之關連	46
4-2-1 以主觀感覺比對評估色相的改變方向與幅度	46
4-2-2 馬賽克嵌片大小對於錯視效果的影響	48
4-2-3 馬賽克格線寬度對錯視效果的影響	49
4-2-4 不同填縫色彩的錯視效果比較	50
4-2-5 整體數據分析	51
4-3 neon color spread illusion 的實體馬賽克觀察分析	52
第 5 章 結論與建議	54
5-1 研究結論	54
5-1-1 實驗結果之歸納整理	54
5-1-2 綜合結論-研究問題	57
5-1-3 綜合結論-文獻探討	58
5-2 結論之貢獻與應用	58
5-2-1 研究貢獻	58
5-2-2 研究應用	59
5-3 後續研究建議	60
參考文獻	62
附錄一	65

圖目錄

圖 1-1 巴塞隆納的 Park Güell 馬賽克裝飾	1
圖 1-2 研究流程架構圖	5
圖 2-1 加爾底亞文明中使用馬賽克的遺跡	7
圖 2-2 描繪亞歷山大帝獵獅場景的馬賽克作品	8
圖 2-3 描寫戰爭場景的大型馬賽克作品	8
圖 2-4 古羅馬描寫酒神的馬賽克作品部份放大	8
圖 2-5 拜占庭地區教堂內的馬賽克作品	9
圖 2-6 回教清真寺內的馬賽克裝飾	9
圖 2-7 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的組成示意圖	14
圖 2-8 現實中類似 Cornsweet edge 的情形一	15
圖 2-9 現實中類似 Cornsweet edge 的情形二	15
圖 2-10 不連續的 Cornsweet edge 效果	15
圖 2-11 加上等明度邊界以後的 Craik-O'brien-Cornsweet illusion	16
圖 2-12 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的明度屬性示意圖	16
圖 2-13 彩色版的 Craik-O'brien-Cornsweet illusion	17
圖 2-14 Dario Varin 的版本	18
圖 2-15 Tuijl 的版本	18
圖 3-1 Craik-O'brien-Cornsweet Illusion 的實驗圖形範例	22
圖 3-2 心理計量曲線範例	23
圖 3-3 對照組圖形範例	23
圖 3-4 實驗組圖形範例	23
圖 3-5 Cornsweet edge 明度示意圖之一	25
圖 3-6 neon color spread illusion 實驗圖形範例	30
圖 3-7 無效圖形範例	31
圖 3-8 受測者調整的色環有格線實驗之範例圖形	33
圖 3-9 受測者調整的色環無格線實驗之範例圖形	33
圖 3-10 格線粗細造成的錯視效果比較實驗之範例圖形	34
圖 3-11 馬賽克方格大小造成的錯視效果比較實驗之範例圖形	35
圖 3-12 格線色相不同造成的錯視效果比較實驗之範例圖形	36
圖 3-13 實體版馬賽克對照組照片	38
圖 3-14 實體版馬賽克實驗組照片	38
圖 4-1 馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響實驗結果範例	40

圖 4-2 馬賽克格線寬度對錯視效果之影響實驗結果範例 42
圖 4-3 Cornsweet edge 坡度對錯視效果之影響實驗結果範例..... 44



表目錄

表 3-1 心理計量曲線範例數據表	22
表 3-2 馬賽克方格大小造成的錯視效果比較實驗之實驗條件表	25
表 3-3 馬賽克方格大小造成的錯視效果比較實驗之明度設定表	25
表 3-4 馬賽克格線寬度造成的錯視效果比較實驗之實驗條件表	26
表 3-5 馬賽克格線寬度造成的錯視效果比較實驗之明度設定表	26
表 3-6 Cornsweet edge 漸層坡度造成的錯視效果比較實驗之實驗條件表	27
表 3-7 Cornsweet edge 漸層坡度造成的錯視效果比較實驗之明度設定表	27
表 4-1 實驗結果列表	39
表 4-2 馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響實驗結果統計數據之一	40
表 4-3 馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響實驗結果統計數據之二	41
表 4-4 馬賽克格線寬度對錯視效果之影響實驗結果統計數據之一	42
表 4-5 馬賽克格線寬度對錯視效果之影響實驗結果統計數據之二	43
表 4-6 Cornsweet edge 坡度對錯視效果之影響實驗結果統計數據之一	44
表 4-7 Cornsweet edge 坡度對錯視效果之影響實驗結果統計數據之二	45
表 4-8 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 效果與實驗變因關係表	46
表 4-9 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 實驗變因效果比較	46
表 4-10 受測者調整的色環有格線之色差統計表	47
表 4-11 受測者調整的色環無格線之色差統計表	47
表 4-12 有格線和無格線之色差比較表	47
表 4-13 嵌片尺寸 29*29 之色差統計表	48
表 4-14 嵌片尺寸 14*14 與 29*29 之色差比較表	48
表 4-15 格線寬度 3 個像素之色差統計表	49
表 4-16 格線寬度 1 個像素與 3 個像素之色差比較表	49
表 4-17 不同填縫色彩的錯視效果色差統計表	50
表 4-18 不同填縫色彩的錯視效果之色差比較表	51
表 4-19 neon color spread illusion 效果與實驗變因關係表	51
表 4-20 neon color spread illusion 實驗變因效果比較	52
表 4-21 實體版馬賽克觀測統計	52

第1章 緒論

1-1 研究背景與動機

馬賽克(mosaic)是由小磚塊或陶瓷碎片排列出來的花紋或圖案，兼具保護與裝飾的功能 (Tiziana, 2004)。馬賽克起源於大約 4000 多年以前，當時用來製作馬賽克的材料是馬賽克嵌片(tessera)，早期是以陶土或石材為原料製成，後來馬賽克製作技術的演進而開始採用如彩色玻璃，玻璃琺瑯以及貴重金屬如金，銀等作為馬賽克嵌片。馬賽克的保護作用來自於本身的材質能夠抵抗人為或自然的侵蝕。這點從古代希臘羅馬地區發掘出的古代馬賽克裝飾壁面可以看出，經過了數千年，這些壁畫仍然保有不錯的完整性和色澤。

馬賽克的應用層面廣泛，在古羅馬時代，從路面，一般市井小民的居家生活裝飾，到宮廷內隨處可見製作精美的馬賽克裝飾。在現代，馬賽克仍然是建築或室內設計不可或缺的材料之一，而且有越來越多藝術和設計工作者看重馬賽克的獨特性格，將其推廣到家具，產品以及雕塑和裝置藝術上。下圖是新藝術運動建築師 Antoni Gaudi 和 Josep Maria Jujol 為巴塞隆納的 Güell 公園所合作設計的公共設施，由色彩鮮豔的陶製色磚以及各種碎片，現成物所組合而成的馬賽克作品顯得非常的華麗，不論色彩和質感都非常豐富的生動作品。另一個使用馬賽克為創作媒材的例子是法國藝術家妮基·桑法勒，她的雕塑作品常使用各種不同的馬賽克嵌片來表現出獨特的表面紋理和色彩，塔羅公園中的矗立的大型塔羅牌雕像的製作上便使用的大量的，各種不同材質的馬賽克。

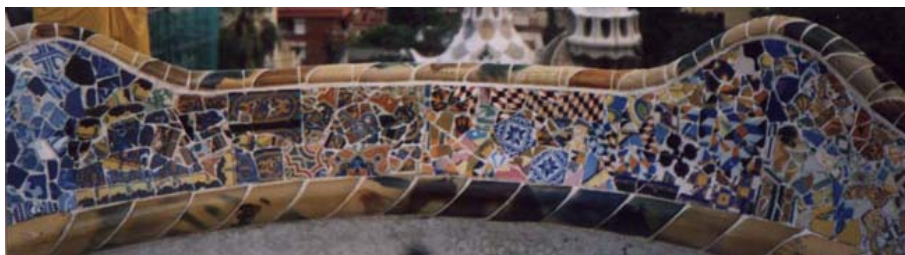


圖 1-1 巴塞隆納的 Park Güell 馬賽克裝飾

傳統的馬賽克大約可以分為抽象花紋以及再現寫實圖案兩種不同的表現形式。抽象花紋的作品中以數學幾何圖形為主題，古羅馬時代已經利用幾何結構的花紋馬賽克作為地面的裝飾圖案，回教的清真寺中也常見到大量精緻，用色鮮豔的幾何圖形馬賽克拼貼。再現寫實圖案的馬賽克和數學幾何形式有著截然不同的裝飾效果與美感和技術需求。在古羅馬的皇帝宮殿中常使用微型馬賽克

(micromosaic)製作，精美而且寫實程度極高的寫實圖形馬賽克。這種馬賽克作品表達寫實細節的能力完全不下於繪畫，但是卻能夠保存的更長久。現在有許多強調高質感與華貴的場合，如高級旅館的大廳天花板或地板，游泳池也會使用大面積的寫實風格馬賽克圖案。

雖然馬賽克做為一種藝術創作的媒材能夠創作出如同繪畫般的寫實細節，但是兩者的創作技巧有著極大的差異。傳統的西方繪畫最常使用的創作工具是筆和顏料。繪畫中所使用的筆不但有許多種類和尺寸可供選擇，而且各種不同的繪畫的技法可以讓筆觸產生多不同的紋理和質感，在表現能力上相當自由豐富。顏料隨著相關的化工科學日漸進步，在種類和色彩的數目上也跟著大幅增加。一位熟練的畫家只需準備幾種基本色的顏料便可以透過混合顏料，得到創作所需的顏色。馬賽克則是以馬賽克嵌片為主要材料，嵌片的原料和生產成本較顏料高。為了降低成本，嵌片通常由工廠大量生產，因此可以選擇的尺寸與形狀相當有限。馬賽克創作者也可以用馬賽克專用剪修整嵌片的形狀，但基本上仍然是有稜有角的多邊形。傳統的馬賽克強調由許多單一的嵌片構成整體作品，但每一顆馬賽克磚塊在作品中仍然具有獨立的性格，特別是在近距離觀看時。因此，在營造寫實細節上馬賽克嵌片比起畫筆明顯的受到更多的限制。在色彩方面，馬賽克嵌片出廠時已經有固定的顏色，而且由於填縫劑的關係，不同色彩的嵌片並置產生的效果，也不等同於點描畫的加法混色。早期使用的陶土以及各種石材的馬賽克嵌片色彩選擇不多，後來才有玻璃瑱瑱，彩色玻璃，上釉陶磁，以及貴重金屬等色彩鮮豔，色相選擇較多的嵌片出現。但是基於製作成本的考量，嵌片的色彩數目還是比繪畫顏料要少了許多。當創作者遇到想要表達但是嵌片本身無法提供的色彩時，只能依賴不同色彩的嵌片並置所產生的混色效果。

綜合上述馬賽克的特性，創作者在創作一幅馬賽克作品時最常會遇到下列幾點挑戰：

(1) 表現寫實物件的形狀

馬賽克創作者通常必須在有限的創作範圍以及成本以內，使用尺寸固定的嵌片去模擬物件的形狀。要注意的是這邊所謂的模擬物件形狀，並不需要將描寫對象的形狀所有的曲線和轉折絲毫不變的複製，而是考慮在作品預設的觀看距離下，嵌片之間搭配的效果會接近描寫對象的形狀。當然，在近距離觀看的時候這樣的效果便會消失，還原成鋸齒狀的嵌片邊緣。

(2) 表達光影變化

物件的光影變化(shading)是提供物件表面寫實量感的一個重要因素。以嵌片製作光影變化的效果時，要注意不能讓光影變化的漸層之間出現明顯的邊界線條，否則會破壞光影變化描寫物件量感的能力。平順的光影變化就代表明度漸層要有足夠的連續性，每個階層之間不可有過大的明暗變化。這點在色彩數目

不足的馬賽克嵌片創作時需要花費相當的成本或技巧來克服。

(3) 如何以馬賽克有限的色盤模擬寫實表現所需要的色彩

馬賽克創作者在這邊遇到的問題和表達光影變化的問題類似，而且更加的複雜。表達光影變化基本上要控制的是同一個色相之中，不同明度的嵌片之間的混色。但是要藉由兩種不同色相的嵌片混出想要的顏色，要考慮到色相和明度，甚至是馬賽克的材質可能造成的影響。

除此之外，製作馬賽克的基本工法：設計圖樣，切割瓷磚，鋪排磚塊，敷泥填縫，固著等，也都需要投資相當多的時間和精力去學習。從前的馬賽克創作者唯有親自花時間從實作中不斷的嘗試錯誤才得以累積足夠的經驗，特別是利用嵌片混色的技術，創作者在製作之初，很難憑空想像嵌片並置以後混出來的效果能否符合整體的需求，而且馬賽克創作花費的時間和材料成本相對於繪畫是比較高的，也因此在學習階段時嘗試錯誤會付出相當高的代價。因此任何有助於降低學習和製作成本的方法，對於馬賽克創作的實務都會有很大的幫助。

本研究希望將視覺錯視導入輔助馬賽克設計中。對於視力正常的觀賞者來說，只要圖形的設計符合某些特定的原則，觀賞者就可以看到錯視圖形。錯視圖形衍生的色彩或是形狀的變化在物理上是不存在的，只是視覺系統對於視網膜接收到的資訊做出錯誤解釋。現在已經有許多對於錯視現象的基礎研究，涵蓋層面從視覺現象的討論到神經生理階段發生的基礎。因此只要了解了某種錯視現象的成因以及必要條件以後，要複製該種錯視現象或是將其應用於不同的圖形設計中都相當容易。本研究的目的著重在將錯視的效果應用在馬賽克設計上，例如利用色彩錯視產生馬賽克嵌片缺少的顏色，或是改變我們對現有嵌片顏色的知覺。如果在馬賽克的圖案設計中加入這些錯視的要素，則完成的圖案看起來就會有原本的材質所沒有的色彩效果。這種作法或許會比生產新顏色的馬賽克嵌片，或是投資大量的試誤成本學習混色的技巧要來得有經濟效益。

經過初步的資料收集以及整理後，本研究決定把研究的範圍限定在兩種錯視效果，分別是 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 和 neon color spread illusion。Craik-O'brien-Cornsweet illusion 讓觀察者的知覺系統對於畫面的明暗產生不同於真實物理情況的解讀 (Purves, 2005)，neon color spread illusion 則是讓知覺系統對於畫面上受到錯視刺激影響的特定區域產生實際上不存在的色彩知覺 (Bressan, Mingolla, Spillmann, & Watanabe, 1997)。本研究希望針對馬賽克嵌片在明度漸層以及色盤數量不足這兩個問題，以視覺心理的角度提供不同以往的解決方法。具體作法是在實驗室的環境下，研究這兩種視覺錯視的馬賽克版本於不同條件下對觀測者所產生的錯視效果強弱，找出能夠操縱錯視效果的參數，並製作實體馬賽克加以驗證。

1-2 研究目的與問題

本研究的目的是在於探討 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 和 neon color spread illusion 在馬賽克創作上的應用價值。爲了在實體馬賽克上充分發揮錯視的效果，我們以定量的方式研究馬賽克形式的基本要素如何影響錯視效果。分析完成實驗室環境下取得的數據後，將之用在製做實體的馬賽克錯視圖形上，檢驗在實際的馬賽克設計中，操作這些因子是否可以得到相同的效果。由於這兩種錯視的特性不同，因此分別採用定值刺激法以及調整法來取得數據。兩種錯視的特性和可能的應用方式如下：

(1) Craik-O'brien-Cornsweet illusion

Craik-O'brien-Cornsweet illusion 影響主觀的明度知覺。它的作用方式是透過一組特殊的明度漸層使得原本相同的色塊變成主觀明度不同的色塊。研究這種錯視效果的主要目的是希望對馬賽克嵌片的明度漸層不足這個問題，提供除了自製或訂製嵌片以外的解決方法。

(2) Neon color spread illusion

Neon color spread illusion 是和色彩有關的錯視現象。只要將圖案或紋理的一部份置改變成特定的色彩，就能使知覺系統產生該區域的色彩向週邊外滲的錯覺。雖然 neon color spread illusion 影響的層面包括色彩的明度，色相以及飽和度，但將此錯視現象納入研究範圍最主要的因素還是在於它改變色相的特性，正好可以用以彌補馬賽克嵌片顏色少，混色難度高的障礙。

由於這兩種錯視表現出來的錯覺屬性不同，可以透過實驗量取的知覺變化也不同，因此本研究分別依照這兩種錯視現象的特性設計不同的實驗探討下列問題：

a. Craik-O'brien-Cornsweet illusion

- (1) 馬賽克嵌片的尺寸對錯視效果之影響
- (2) 馬賽克填縫寬度對錯視效果之影響
- (3) 刺激漸層的明度變化坡度對錯視效果之影響

b. Neon color spread illusion

- (1) 以主觀感覺比對評估色相的改變方向與幅度
- (2) 馬賽克嵌片的尺寸對錯視效果之影響
- (3) 馬賽克填縫寬度對錯視效果之影響
- (4) 馬賽克填縫色彩對錯視效果之影響

1-3 研究流程架構

本研究將收集 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 和 neon color spread illusion 相關的錯視現象研究以及和馬賽克製作與發展相關的文獻資料。接著根據想要了解的問題設計實驗，Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的實驗中希望利用定值刺激法研究錯視效果和構成錯視圖形的馬賽克方格大小，格線寬度，以及刺激漸層的坡度之間的關聯性。Neon color spread illusion 的實驗則是以調整法蒐集不同的馬賽克方格大小，格線寬度，以及格線色彩所造成的錯視效果資料。最後根據每個研究歸納的數據做出結論與建議。

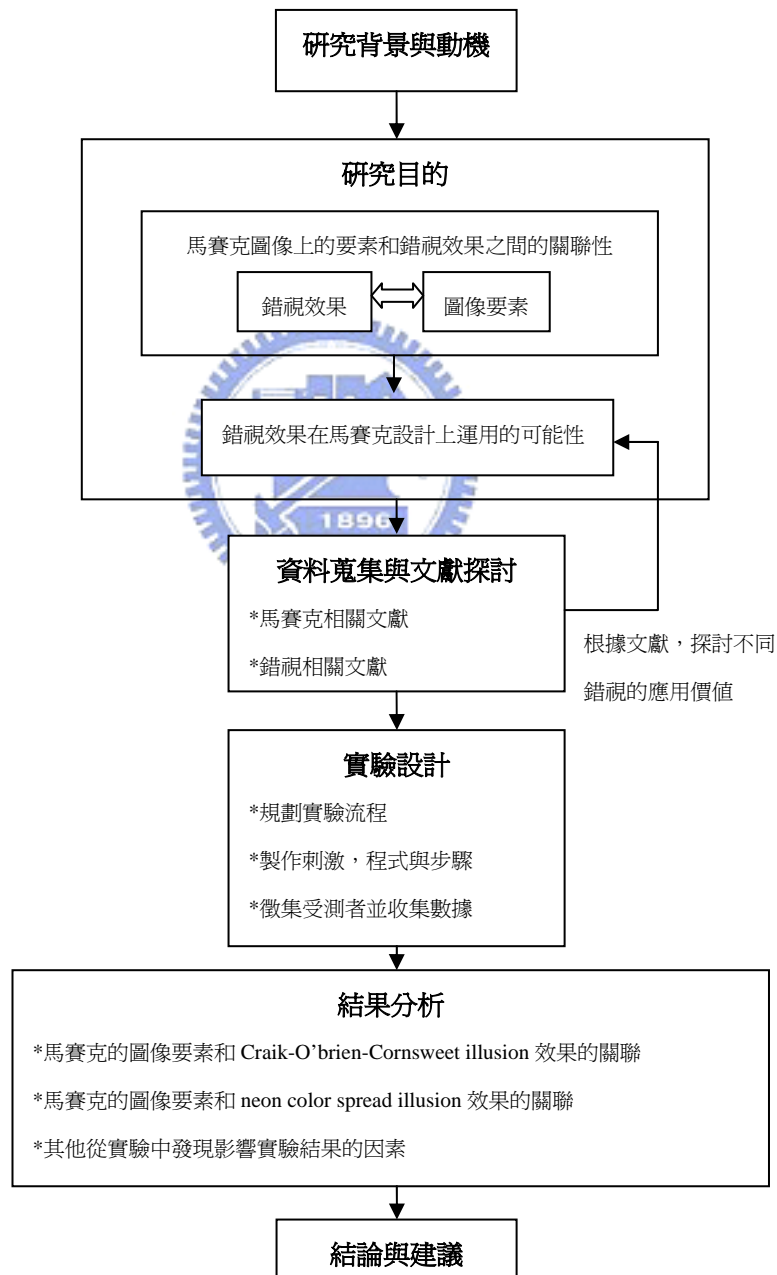


圖 1-2 研究流程架構圖

1-4 研究限制

1-4-1 螢幕版本的實驗圖形和實體版本的落差

本研究希望將視覺錯視運用在實體的馬賽克設計中，但是用來收集受測者的知覺反應數據的刺激圖形是顯示在電腦螢幕上，電腦螢幕與實體馬賽克之間的材質落差是本研究最主要的限制之一。電腦螢幕本身是發光體，我們在電腦螢幕上看到的圖形色彩是螢幕本身發出來的色光。而實體的馬賽克是反射平面，其色彩來自於反射以後的外來光線，兩者的色彩屬性對我們的知覺系統而言並不完全相同。

以實體版本的馬賽克進行實驗有以下幾個困難。首先，實體馬賽克的製作成本，無論是時間或金錢上都比用程式繪製的電腦圖形高許多，要製作滿足實驗方法需求數量的實體馬賽克已經超過本研究能負擔的時間和預算範圍。另外以實體版本的馬賽克進行實驗在實驗數據的收集上也比在電腦平台上繁複，以 *neon color spread illusion* 的實驗為例，在這部份的實驗中我們希望以調整法收集受測者主觀感受到的錯視色差，若是以實體馬賽克進行實驗的話則必須藉助色票，讓受測者從中挑選接近錯視圖形色彩的顏色。在比對較難以及色票的顏色有限(相對於用程式調整數值產生的色彩)的情況下，受測者勢必花費數倍的時間才能完成實驗，而可能導致收集到的樣本減少，或是較難徵集合適的受測者。

因此本研究雖採用電腦做為實驗平台，但在實驗結束以後製作實體版本的馬賽克。檢驗電腦上的錯視圖形在實體上是否能發揮作用，更進一步希望能檢驗電腦上收集到的變項之間的關聯性在實體上是否有同樣的效果，以彌補本研究的限制。

1-4-2 *Neon color spread illusion* 受測者內實驗樣本數不足

本研究的受測者來源為相關課程的修課同學，自由選擇參與本研究室的不同實驗。由於 *neon color spread illusion* 實驗花費的時間較長，受測者普遍難以在一個小時內完成照組和實驗組圖形的調整，因此在前幾次實驗遇到過實驗超時的情況後，將實驗流程調整為每次僅進行一組，之後再徵求受測者同意回頭進行同一個實驗的對照組，但受測者願意針對同一因子完成實驗組與對照組的意願不高，實驗最終取得的受測者內的資料並不多。

因此 *neon color spread illusion* 的實驗中，對於不同因子的色差比較有很大的比例屬於不同受測者之間的，經過檢定以後受測者內數據也顯示和受測者之間的數據有同樣的趨勢。

第2章 文獻探討

2-1 馬賽克發展簡介

2-1-1 馬賽克的起源

馬賽克的起源沒有特定的時間和地點，在許多不相關的古文明中都可以發現馬賽克或類似材質的使用 (Rod, 2001)。目前出土時間比較早的馬賽克遺址在西亞以及近東地區，例如位於美索不達米亞平原，年代約為西元前 2000 多年的加爾底亞(Chaldean)文明的遺跡中可以發現當時的人們在建築的柱子上嵌入黏土製的錐狀物做為裝飾，已經具有馬賽克的雛型。西元前 3000 多年前的古代蘇美遺跡中則發現到兩張裝飾用的鑲板，分別描繪著戰爭和和平場景。古埃及人很早就發現熔製玻璃的技術，因此在宮殿，神廟甚至船隻上都可以見到黏貼玻璃做為裝飾的情形，在埃及的亞歷山大港仍然可以見到這些馬賽克裝飾的遺跡。在其中甚至可以發現兩種不同的派別，其中一派傳往亞洲的敘利亞以及拜占庭，令一派則傳到希臘以及義大利半島地區。



圖 2-1 加爾底亞文明中使用馬賽克的遺跡

2-1-2 古希臘和古羅馬時期

到了古希臘羅馬時期，馬賽克從過去比較沒有結構的裝飾提升為一種獨立的，能夠長久保存的藝術表現形式。這種視覺裝飾和繪畫的目的有很大的不同，它不需要費心的保存，可以被人們踩過或任意刷洗卻又不損其美觀。當然古羅馬人也會利用馬賽克做為牆面裝飾，但是用在地板上更能顯示出馬賽克實用的特質。

古希臘早期的馬賽克使用已經非常普遍，在一般的市井小民住家中都可以發現馬賽克裝飾的牆面和地板。古希臘早期的馬賽克作品材料是小顆的卵石，以此拼排出表達寫實物件量感所需的色彩對比以及光影變化等細節，下面這幅馬其頓宮殿中描繪亞歷山大帝獵獅的馬賽克作品就是很好的例子。



圖 2-2 描繪亞歷山大帝獵獅場景的馬賽克作品

到了古典時期，人工製作的馬賽克嵌片取代了小卵石成為創作馬賽克的主要材料。嵌片比起卵石更小，可以切割加工，也可以加入彩色玻璃提高嵌片的彩度以及色彩數量，作品的精緻程度被提升到了更高的水準。而希臘人追求真實和完美的精神透過馬賽克這個媒材發揮得淋漓盡致。

古羅馬時期馬賽克受到一般大眾的歡迎，甚至發展成了相當完善的產業。當時的一般民眾可以向馬賽克工坊訂製馬賽克作品用來裝飾家居環境。古羅馬時期馬賽克常常以神話為主題，下圖 2-3 是龐貝出土的大型馬賽克壁畫，圖 2-4 是描寫酒神迪歐尼索斯的作品部份放大，這類作品使用的嵌片非常小而被稱為微型馬賽克(micromosaic)。



圖 2-3 描寫戰爭場景的大型馬賽克作品



圖 2-4 古羅馬描寫酒神的馬賽克作品部份放大

2-1-3 拜占庭與回教

以現今伊斯坦堡為中心的拜占庭文化則是發展出獨特風格的馬賽克藝術。這個地區的作品融合了東方的風格，並且在作品中使用了大量的玻璃琺瑯 (smalti)。這種材料產於義大利北部，由玻璃碎片製成，表面粗糙且內部有許多氣泡殘留，有時背面會貼上金，銀等反光材質。玻璃的強度較低，因此不同於古羅馬的馬賽克用於裝飾地面，拜占庭時期的作品被大量用在牆壁及天花板的裝飾。製作玻璃琺瑯馬賽克時較少使用膠著劑，每一片嵌片黏貼的施工方式並非平貼著牆面，而是以些微的角度被安插在牆上，這些安排都是為了讓嵌片能夠更容易接受來自各個方向的光線。透過嵌片內部的折射和反射產生炫麗奪目的效果。拜占庭馬賽克的主題大部分是基督教有關的場景，也有少部份描寫帝王和王族的作品。



圖 2-5 拜占庭地區教堂內的馬賽克作品

在西歐地區，摩爾人將伊斯蘭馬賽克帶進伊伯利亞半島，在著名的阿爾罕布拉宮內留存有許多令人贊嘆的作品 (Rod, 2001)。伊斯蘭馬賽克和拜占庭馬賽克著重圖像再現的風格呈現很大的對比。基於回教教義，伊斯蘭文化中的馬賽克主題主要是數學或是幾格圖案。嵌片的材質則是從石頭，玻璃，到陶器都有。在阿拉伯地區的回教國家則是更進一步發展出稱為 zillij 的獨特裝飾風格 (Rod, 2001)，使用特製的陶片，透過手工加工使得陶片能夠互相嵌合，完美的覆蓋住物體表面。



圖 2-6 回教清真寺內的馬賽克裝飾

2-1-4 現代馬賽克設計的發展

如同人們最初使用馬賽克一般，在許多現代的建築，道路或是公共空間中仍然可見到許多馬賽克的應用。例如新藝術運動的建築師 Antoni Gaudí 和 Josep Maria Jujol 在巴塞隆納的 Güell 公園內共同設計的公共藝術或是在義大利的馬賽克藝術發展重鎮 Ravenna 也仍然可以見到這種獨特的藝術傳統。

除了這些人們已熟知的應用外，馬賽克也漸漸的發展出獨立於環境裝飾藝術以外的形式，例如以當代文化為主題形式上則融合了平面和浮雕的馬賽克作品，或是和造型結合產生出獨特的表面質感和整體量感的雕塑。以下將針對使用的材質和表現風格兩方面介紹現代的馬賽克作品以及作家。

a. 材質

(1)傳統材質

馬賽克經過了數千年的發展，已經累積了相當多對於傳統的馬賽克材質的知識以及製作技巧。加上工具的改良，馬賽克創作者要把材料加工成適當大小的嵌片變得比以往容易許多，因此傳統的馬賽克材料如玻璃馬賽克、陶瓷馬賽克以及石材仍然為許多現代馬賽克藝術家使用。

玻璃馬賽克色彩鮮豔而飽和，是許多以純色彩，光影漸層，質感或是幾何構圖為主題的作家愛用的材料。現代陶瓷馬賽克的應用首推新藝術運動的幾位藝術家，例如 Antoni Gaudí 和 Gustav Klimt，他們對於陶瓷馬賽克的可能性作了許多實驗性的嘗試，用來表現新藝術運動充滿著律動感的線條和紋理。在這之後，現代陶瓷馬賽克創作上的自由度更高了，有創作者將自製的陶瓷作品混合馬賽克嵌片使用，也有完全使用手工燒製的特殊形狀馬賽克嵌片拼貼的作品。石頭馬賽克的自然特質從 2 千多年前開始被使用時一直到現在並沒有多大的改變，但其表現形式經過了這麼長的一段時間不斷的演進之後變得更成熟。石頭，岩塊，鵝卵石每種石材獨特的紋理經過精心的安排之後整體表現出的又是另一種自然、隨機的風格。

(2)混合媒材

混合媒材的馬賽克作品完全從不同的觀點出發，跳脫傳統的馬賽克嵌片為單元的概念。在混合媒材的作品中，將每個獨立的馬賽克嵌片完美的整合到整體作品中不再是必備條件，反而有許多作品會特別強調部分甚至是所有的組成元素。更極端的例子是將整個現成物，如陶偶或擺飾等，直接黏著到作品上，許多集合藝術(assemblage)的創作者便是使用這種手法來表現作品的主題，創造了不同於傳統馬賽克的特殊趣味。

一般認為從傳統馬賽克發展到混合媒材的關鍵是一種叫做 *pique assiette*(意思是“從盤子偷來的”)的技術 (艾瑪.畢格斯, 2005)。這個名子是由 Raymond Isidore 所創，他花了將近 25 年的時間以廢棄的陶器和碗盤碎片將整棟住宅變成他的作品，大約在 1960 年代完成。自此宣告了馬賽克自由創造的時代來臨 (艾瑪.畢格斯, 2005)。

每個創作者基於創作的概念或是個人喜好使用在馬賽克創作上的混合材質種類眾多，例如 Ellen Blakeley 擅長使用廢棄的櫥窗或汽車玻璃碎片，在玻璃背面貼上各種照片，報紙等有文字或圖案的紙張，整體呈現出一種獨特的紋理，但是在每塊玻璃嵌片的背後有包含了可以獨立觀賞的文字或圖樣。

b. 風格與主題

以下將介紹當前馬賽克創作幾種主要的形式以及相關的創作者 (Locktov & Clagett, 1998)。

(1) 紋理，材質與幾何形式

Erin Adams：Erin Adams 使用的材料主要是玻璃琺瑯，她運用這種色彩豐富的傳統的馬賽克材質創作的作品在紋理以及樣式上類似近東地區的織品，但是玻璃琺瑯嵌片卻帶給她的作品完全不同於織品的光澤和堅實的量感。

Lucio Orsoni：Lucio Orsoni 也使用玻璃琺瑯嵌片為創作材料，他的作品主題包含了幾何紋路，運用明暗變化營造的空間感，色彩的對比和漸層。在他的作品中可以見到非常細膩的傳統的嵌片混色技巧的使用。

(2) 立體造型

Felice Nittolo：Felice Nittolo 的作品結合了雕塑和傳統的玻璃馬賽克，他的作品常以大量純色嵌片為底色，點綴以金屬色的特殊嵌片。此外他也有一系列的作品將類似飲料顏色的嵌片放進玻璃空瓶內，營造出獨特的透明感。

Gary Stephens：Gary Stephens 大部分使用上釉的陶瓷嵌片為材料。他的作品主題大多是動作詼諧的人物雕塑，在雕塑的人物表面貼上大量鮮豔的藍、綠嵌片，點綴以紅、黃色嵌片拼成的水果或是直接使用上釉的水果雕塑，整個作品呈現了非常熱鬧、活潑的風格。

(3) 現代文化/流行文化

Diana Maria Rossi：Diana Maria Rossi 的作品屬於混合媒材。在她的作品中有強烈的色彩對比，大小不一的不規則玻璃嵌片排列出國旗或肖像等文化符碼，刻上標語的大理石，表現出馬賽克作品少見的強烈的情感衝擊。

2-2 馬賽克製作簡介

2-2-1 製作馬賽克使用的材料

a. 馬賽克嵌片

(1)無光陶瓷：無光陶瓷嵌片硬度高，表面屬無光霧面。適用於裝飾地板的馬賽克製作，成本較低。

(2)玻化玻璃：玻化玻璃的色彩種類較多，適用於天花板，壁面，桌面和飾品上。但受到外力撞擊時容易碎裂並不適用於地板。價格視顏色不等，其中色彩飽和度高，或具有金屬紋路的嵌片價格最高。

(3)釉面陶瓷：釉面陶瓷的種類相當有限，主色調為藍色和綠色，因此大多使用在游泳池或相關設施上。此外這種嵌片表面略帶弧狀，不適合切割使用。

(4)琺瑯玻璃：琺瑯玻璃是拜占庭式馬賽克所用的材料，通常切割成長方形的嵌片。這種嵌片的色彩鮮豔，價格昂貴，且表面佈滿許多小孔，為防止填縫劑滲入孔內破壞色澤，一般不使用填縫劑接著。由於琺瑯玻璃的形狀不規則，質地較脆，也不適用於地板，通常用在牆面和飾品上。

(5)釉面磁磚：一般鋪設於地面的釉面陶瓷壁磚和地磚經過切割後也能用於馬賽克創作。任何釉面磁磚經過切割後，釉彩和胚體之間的連結遭到破壞導致強度降低。高溫燒製的磁磚硬度高，較難切割，低溫磁磚切成小塊以後並不適用在地板。

(6)大理石：大理石是早期馬賽克常用的材料。大理石本身具備多種色調以及特殊的紋路。傳統上大多被用來鋪設地板，也可被用於牆面上。由於大理石的密度高，重量重，在固定時需要特殊的方法。大理石有許多種加工方法，例如精磨，拋光，劈裂或切削成條狀。

(7)鵝卵石：鵝卵石是另一種古老的馬賽克材料，由於它的質地較軟，最適合用於室內。小型的鵝卵石可以用來製作精細的寫實馬賽克作品。

(8)彩色玻璃：彩色玻璃也可用來製作馬賽克，其半透明的特性正好適合需要透光性質的運用。但是相對於其他種類的馬賽克嵌片而言，彩色玻璃易碎又缺乏強度，並不適用一般馬賽克運用的場合。

(9)貴金屬：帶有金屬色澤的特殊嵌片通常是以金或銀箔包覆磁磚，再上一層薄薄的玻璃保護，一般的馬賽克作品甚少使用這類昂貴的材料。

(10)其他現成物，鏡子或陶瓷器的碎片都可以用於馬賽克的創作，運用得當的話會是相當有創意的作品。

b. 填縫劑

填縫劑能夠讓嵌片之間彼此結合，不但是在物質上，更重要的是它對於整體作品色調的貢獻。人們常常把馬賽克作品當成是點描派的繪畫，在未上填縫劑的狀況下，嵌片的色彩之間的確可以在不受干擾的狀況下被當成色點混色。但是一旦在塗上填縫劑，嵌片之間就不是直接並置的狀態，也會影響到整體色調和感覺，可以使得整體畫面更統一，沈穩，也可以打散畫面，增加活潑自由的感覺。目前使用較多的填縫劑有三種色調，白色，中灰以及深灰色。在一般的情況下，選擇和作品的主色調相同的填縫劑是比較安全的作法，白色的填縫劑通常會打散整個畫面，產生斷裂，躍動的感覺。中灰色的填縫劑則能提供柔和的整體感，特別是在選用的嵌片是對比很大的色彩時提供調和畫面的功能。深灰色的填縫劑能夠強化不同色調之間的關係，使得深色調嵌片結合，增加和淺色調嵌片的對比。本研究的目地之一就是探討將不同的色彩加入無彩色的填縫劑中是否能夠帶給馬賽克創作上更多的選擇性。

2-2-2 馬賽克製作法(Wikipedia, 2006)

(1)直接施工法

直接施工法顧名思義就是直接在目標表現上進行設計製圖一直到黏貼嵌片的作業。這樣的作法最大的好處是在製作的過程中所見到的是馬賽克嵌片的正面，排列的效果接近完成品，創作者比較容易調整嵌片的排列或修改色調，適合對於細節要求較高的微型馬賽克或是立體表面如飾品或瓶罐等。由於這樣的做法必須直接在目標表面上施工，因此比較不適用於大面積的馬賽克製作。此外直接施工法的作品表面的平坦，對於某些具有機能性要求的表面也不太適合，例如桌面或地板。另一種比較現代的直接施工法，是將作品直接製作在玻璃纖維的網格上，然後再轉貼到目標表面上。這樣的施工法使得製作者不需要在現場完成所有的工作，貼在玻纖上的半成品也可以先分割至方便運送的大小後，再運送至目的組合。

(2)間接施工法

間接施工法屬於比較專業的施工法，在設計圖樣的階段，創作者必須設計反轉的圖像，嵌片上下顛倒的黏貼在作為轉介媒體上(通常是較具韌性的紙張或塑膠)，然後在馬賽克表面先後敷上填縫劑以及黏著劑後，再貼到目標表面上，除去轉介媒體就可以得到正常的圖案。間接施工法常被用在大型的作品中，特別是重複元素組成的紋路，幾何圖樣，大色塊的構圖等方便製作反轉圖形的類別。此外，馬賽克裝飾的桌子也常使用這種作法，因其完工後的表面相當平坦。

(3)雙重間接施工法

雙重間接施工法結合了以上兩種作法。首先，按照正常的圖樣將嵌片以直

接施工法製作在第一層媒介上，完工以後在其上覆蓋第二層同樣的媒介。將其反轉過來以後除去第一層媒介後，接下來就能以間接施工法再把作品轉貼到目標表面上了。雖然手續較多，但是不需要現場施工，在施工的過程中也方便直接監控半成品的狀態。因此這種作法常被用在注重細節的大型作品上，例如大面積的馬賽克壁畫。

2-3 本研究中探討的錯視現象

2-3-1 Craik-O'brien-Cornsweet illusion

a. 簡介與錯視特徵描述

Craik-O'brien-Cornsweet illusion 或稱 Craik-O'brien-Cornsweet effect(簡稱 COCE)是由 Tom Cornsweet 首次在 1960 年代晚期提出詳盡的描述，在此之前，Craik 和 O'brien 也分別提出過類似的現象的觀察 (Wikipedia, 2006)。

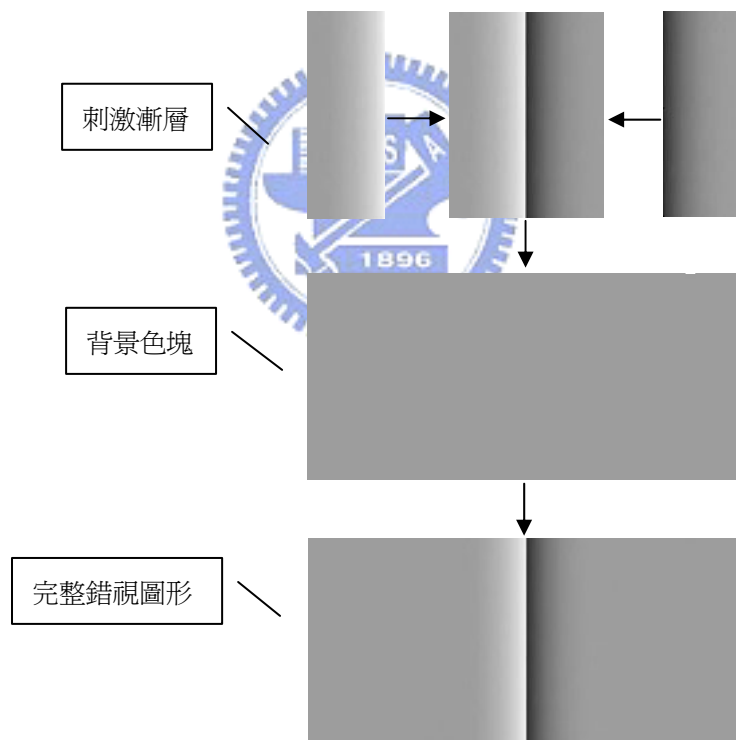


圖 2-7 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的組成示意圖

組成 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的圖形要素如上圖所示。在一均質的背景色塊上加上刺激漸層，刺激漸層分為漸亮和漸暗兩部分。在適當的觀察條件下將會發現原本屬性完全相同的背景色看起來變成兩個明度不同的色塊，左邊色塊看起來比右邊色塊亮。在此被引發錯視效果的刺激漸層稱為 Cornsweet edge (Purves, 2005)。

b. 成因

人類的知覺系統對於物件的邊界相當敏感，常用物體邊界的資訊判斷整個物體的性質，在判斷的過程中加上過去對類似邊界的經驗來輔助判讀。因此當看到 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 或是類似的同時明度對比的圖形時，知覺系統傾向將之判斷為過去看過的相同的亮度狀況 (Purves, 2005)，因而產生錯誤的解讀。我們可以從一般性的推測得知，Cornsweet edge 的明度漸層可能會產生在下列幾種情況，例如很直接的在平面上畫出相同的明度漸層，如下圖 2-8，另一種可能的情況如下圖 2-9，兩個明度不同的立方體同時受到同一盞光源照射時，圖中以紅色線條框起的部份的明度屬性也正好類似 Cornsweet edge。知覺系統實際上在判斷時會參照所有可能發生的情況，根據經驗已發生機率最高的狀況來解釋眼前的刺激。由 Cornsweet edge 的效果來看，很明顯的知覺系統傾向以下圖 2-9 的情形來解釋，因此才會造成原本相同的兩個色塊被錯認成明度不同的色塊 (Purves, 2005)。

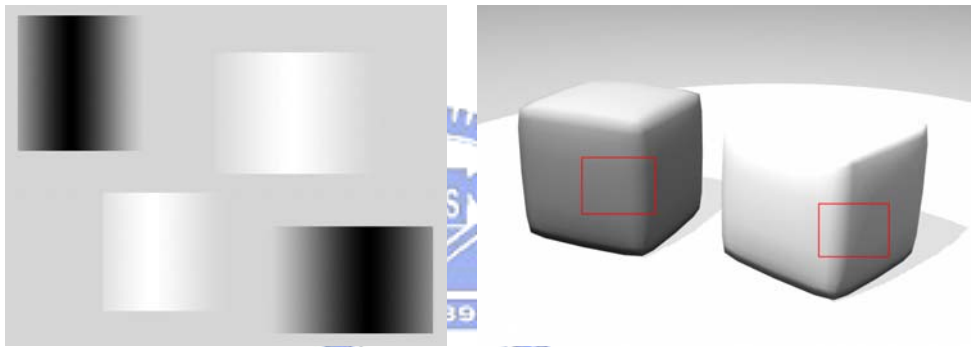


圖 2-8 現實中類似 Cornsweet edge 的情形一

圖 2-9 現實中類似 Cornsweet edge 的情形二

c. 形成的知覺要素

(1) 圖像

只要能夠符合知覺上類比條件，Craik-O'brien-Cornsweet illusion 可以發生在很多種不同的圖像條件下。明和暗的 Cornsweet edge 不需要相連接也能影響色塊遠端的主觀亮度，如圖 2-10。



圖 2-10 不連續的 Cornsweet edge 效果

Cornsweet edge 的形狀也沒有太多限制，不論是方形的，弧形的甚至是不規則的形狀都在容許範圍，且只要明度的設定正確，只需要相對於原始色塊很小的面積的 Cornsweet edge 也能夠影響整個圖形的主觀亮度。但是需要注意 Cornsweet edge 佔原始色塊太大的比例時，觀察到主觀亮度不等的效果有相當多的成分來自於漸層和背景色塊的明度平均印象，而不是錯視效果。

若在錯視圖形中加入更多的線索，如空間感的提示或背景圖形，來強化錯視圖形和經驗之間的類比，那麼 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的效果將會非常的強烈。相對的若加入的條件屬性會破壞眼前刺激和過去經驗的連結就會降低錯視的效果 (Purves, 2005)。例如在下圖中，在 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 外圍加上和原本色塊明度相同的外框以後，和圖 2-9 表示的情況較難產生連結，因此錯視的效果只侷限在 Cornsweet edge 附近的小範圍內。

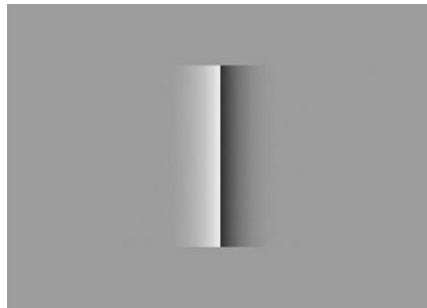


圖 2-11 加上等明度邊界以後的 Craik-O'brien-Cornsweet illusion

(2) 色彩

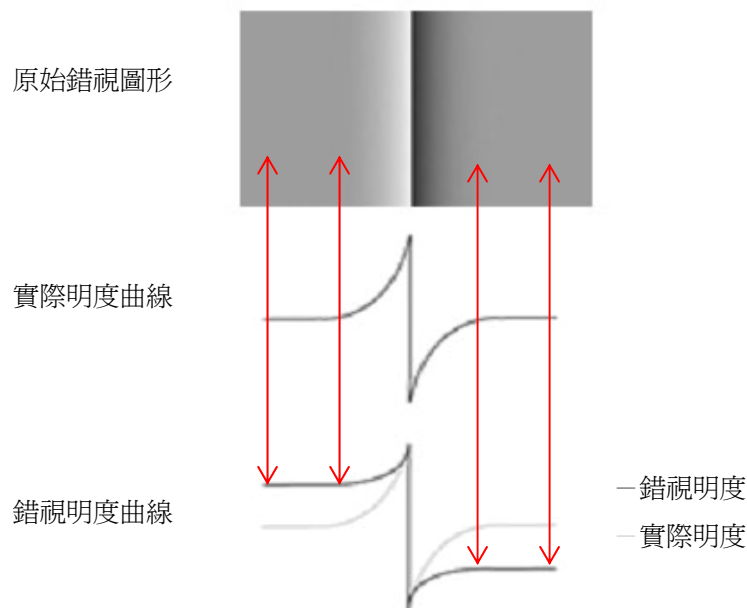


圖 2-12 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的明度屬性示意圖

Craik-O'brien-Cornsweet illusion 錯覺色彩可以用上圖來說明，上圖包括了三個部分，原始的錯視圖形、錯視圖形的真實明度曲線以及我們的知覺系統感知到的錯視亮度曲線。從真實明度曲線和錯視亮度曲線的比較可看出，原本相同明度值因 Cornsweet edge 的作用而產生的主觀亮度的差異。Cornsweet edge 要正常發揮作用，明暗的峰值差距有一定的限制，且有一端的明度必須接近背景色。若 Cornsweet edge 和背景色塊的明度差距過大而產生邊界，便會嚴重的削弱錯視效果。

除了明度知覺的版本以外，若 Cornsweet edge 的漸層是色相的變化同樣會造成背景色塊的色相知覺差異，如下圖。



圖 2-13 彩色版的 Craik-O'brien-Cornsweet illusion

2-3-2 Neon color spread illusion

a. 簡介

Neon color spread illusion 是一種來自於色彩對比的效果產生的視覺錯視。在 neon color spread illusion 圖形中，做為錯視效果來源的刺激圖形彷彿發出霓虹燈一般的光輝，使得某些局部的色彩滲出原本物理上的邊界，而將周邊的區域染上了一層微妙的色彩，但這些錯覺色彩很明顯的被限制在一定的錯覺邊界以內 (Bressan et al., 1997)。這些錯覺邊界結合起來形成了和一般的明度或色彩錯視很不一樣的，飄忽不定的錯視圖形。neon color spread illusion 和我們的視覺系統習慣以片段的刺激產生出完整的形狀有關，藉此我們能夠在畫面中區分出圖形和背景，並且分別賦予相對的色彩和深度上的差異。

1971 年，Dario Varin 在他的彩色對比與擴散專題的論文使用 neon color spread illusion 為封面 (Bressan et al., 1997)，下圖是一張仿製的作品，在周邊四個綠色同心圓組之中各有四分之一(九十度角)的圓弧是紅色的。產生的錯視效果就好像一面透明的紅色正方形的薄紗蓋在這四個同心圓組之上。這張薄紗帶著微妙的紅色調，猶如它本身發出極弱的光線，也像是從畫面的背後打一盞聚光燈在錯視圖形所在的位置。在圖形中這塊薄紗般的圖形完全是視覺錯視所產

生的，如果把錯視區域的反射光譜拿去和其他部分白色的背景比較，結果是完全相同的。

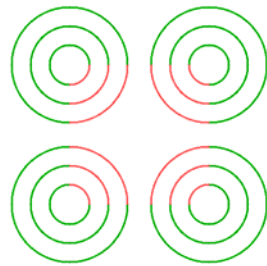


圖 2-14 Dario Varin 的版本

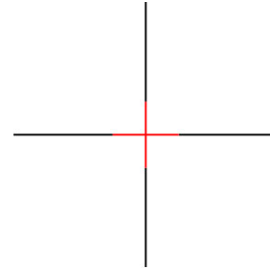


圖 2-15 Tuijl 的版本

四年後，Harrie Van Tuijl 在他的論述中提到了類似的錯視效果 (Bressan et al., 1997)，van Tuijl 使用的圖形比 Dario Varin 的圖形簡化，但有同樣強烈的效果。他的圖形中只有由垂直和水平的黑色線段交叉構成的格子，格子的部分由不同的色彩組成如下圖。從下圖可以很清楚的看到在不同色彩的線段交叉的地方浮現出發出淡淡的紅色光暈的菱形。這個錯視圖形的形狀正好符合完形理論中的 Ehrenstein 圖形，只是在 van Tuijl 的圖形中，原本不相交的放射線段端點由彩色的線段連接起來，使得原本的完形多了模糊的色調且帶有透明感。由於這種特別的色調加上圖形散發出光輝的感覺，van Tuijl 把這個錯視現象命名為 neonlike color spreading (Bressan et al., 1997)。

在 Varin 和 van Tuijl 所提出的這兩個例子中，我們可以發現 neon color spread 有兩個地方特別不同於實際上的色彩表面。在一般的情況下，色彩是被緊緊的限制在它所屬的色塊區域中，但在 neon color spread illusion 的情況下色彩不但外滲，而且形成和原本的圖形看似屬於不同深度的錯視圖形。另外，一般錯視圖形的錯視邊界比起以對比實際圖形，以對比為基礎真實界線而言是相對脆弱且不穩定，但 neon color spread illusion 的錯視邊界卻相當清晰且有穩定的形狀。

b. neon color spread illusion 的現象特徵

一般研究這個錯視效果最常用的圖形是把單色網格一部分的格線換成不同的色彩，換上的部份必須符合特定條件才能產生 neon color spreading 的效果。其中被換上不同色彩的格線便是用來產生錯視效果的錯視刺激，而格線之間的格子區域在錯視發生的情況下將會被染上錯視色彩，在錯視現象的說明上將會以這種錯視圖形為例。

(1) 色彩

仔細觀察這個現象可以發現，來自錯視刺激部分的色彩完全外滲且均勻填滿了鄰近受錯視影響的區域。這些受到錯視效果影響的區域相對於旁邊未受錯視影響的格子看起來比較模糊，不鮮明。但是當錯視刺激部分的格線長度過長的時候，色彩的外滲效果只會侷限在沿著格線附近狹窄面積以內，當刺激格線長到某個程度，錯視色彩面積將會小到只有在刺激格線和非刺激格線交叉的地方，Redies et al. (1984)稱這種現象為 local effect of neon flanks。

這種錯視效果並不只在彩色圖形中可以觀察到，黑色線條加上灰色格子也有很好的錯視效果，這種無彩色的版本也被稱為 **neon brightness spreading** (Bressan et al., 1997)。在這黑白版本的圖形中，部分的格線被和格子色彩對比比較低的線條取代，被錯視影響的格子看起來就好像被打上焦距模糊的聚光燈或是被蓋上半透明的濾鏡一般。而且根據對比條件的不同，這層濾鏡和整個圖形的相對深度也會不同。

當非錯視刺激的格線為彩色，錯視刺激格線是無彩色時的情況又是另一個極端的例外。在這種特殊的例子中，錯視區域染上的色彩並非刺激產生格線本身的灰色調，而是周邊格線色彩的補色。例如當週邊的格線是紅色的時候，錯視區域的色彩是綠色，更加極端的狀況是錯視刺激和非刺激格線都有色的情況，這時候產生出來的錯視色彩有可能不會是以上兩者之一，也不會是它們的補色。

(2)半透明效果

neon color spreading 圖形給人一種半透明的感覺，錯視圖形之下所覆蓋的方格看起來仍然是完整的，只是受到錯覺範圍影響的那一部分看起來像覆蓋在一層薄紗之下(Bressan et al., 1997)。這種知覺未必完全吻合實際上的半透明物質表現出來的特性。例如在 van Tuijl 的圖形中，覆蓋在粉紅色的錯視圖形下的線段看起來像紅色而非黑色。這種知覺上的半透明特性在覆蓋和非覆蓋的區域有強烈的對比時特別明顯。

(3)光輝

並非所有的 **neon color spread illusion** 的錯視區域看起來都會發出微弱光線。以 Varin 的圖形為例，如果將它以負片的效果重製，那麼所得到的圖形仍然保有原本的錯視區域，只我們將不再覺得這塊區域會發光 (Bressan et al., 1997)。一般而言，在無彩色的 **neon color spreading** 中，錯視刺激格線的明度比非錯視格線的明度低時，產生出來的錯視區域相對的模糊，微暗而且朦朧。利用符合產生光暈的 **neon color spreading** 的設定條件，可以設計出不少美麗的錯視紋路。

c. neon color spread illusion 形成的知覺要素

(1)圖形

有許多種類的雙色圖形能夠產生 **neon color spread illusion**，只要刺激區域和非刺激區域的空間要素設定正確。Redies 和 Spillmann (1981)證明了 Ehrenstein 圖形的 **neon color spreading** 即使產生一定範圍內的形變，刪減，碎裂，扭轉，以及其他種類的干擾力量之後仍然能夠產生錯視效果。而錯視效果最強烈的時候產生在刺激格線和非刺激格線連續，共線以及等寬的情況下，越遠離這些條件的圖形設定越會削弱錯視的效果。若不連續的間隔，互相錯開的位移，旋轉的偏移量，線條之間的粗細差距達到了 2 分的視角寬度時，錯視效果將會消失。此外，加上足以圍住錯視圖形的環形邊線或是刺激格線的長度過長(大約 35 分視角)的狀況下錯視效果也會消失 (Bressan et al., 1997)。相對的，非刺激格線的長度並不是那麼的重要，就算將非刺激格線縮短到只剩一個點(不能完全刪除)仍然

會有錯視效果。但另一方面 Bressan (1993)認為視覺系統事實上能夠容許的偏差比上述限制條件更大。她提出的例子中，只要刺激格線和非刺激格線看起來仍然屬於同一個結構，neon color spreading 仍然可以被觀測到。

(2)深度

如果刺激格線和非刺激格線的深度線索和半透明的覆蓋深度條件產生矛盾，則 neon color spreading 也會消失。在 Nakayama et al. (1990)製作的 Ehrenstein Pattern 的立體視覺版中，操作刺激格線在立體視覺圖形中的深度線索可以發現深度要素和錯視效果的關連性。當刺激格線看起來在前的時候可加強錯視效果，相反的，刺激格線看起來在後的狀況下，滲出的色彩和透明感都會消失。

但是 Bressan 和 Vallortigara (1991)提出了例外的情況，他們將一系列黑色同心圓的部份圓弧替換成紅色，當這些紅色的部份在整個同心圓的上方繞著圓心旋轉時觀測到的現象是一個粉紅色的霓虹棒在完整的黑色同心圓組下方跳動。這個例子中，neon color spreading 非但在非刺激區域之上，更未覆蓋住部分的非刺激區域。這樣的結果也間接支持 neon color spreading 的錯覺色彩並不來自於圖形本身的色彩。

(3)色彩

在純灰色的狀況下情況較為單純。基本上要能夠產生 neon 效果，van Tuijl 圖形中刺激格線的明度必須介於非刺激格線和背景的明度之間。但如果以 Varin 的圖形為例子，則任何可能的明度組合都能產生錯視的半透明效果。Bressan 因此提出圖像的要素才是 neon color spreading 發生的要件，明度的條件只是提供錯視中半透明的主觀感覺。

刺激格線和非刺激格線以及背景之間的明度的對比也會影響錯視的效果。Ejima, Redies, Takahashi, & Akita (1984)在觀察彩色的 Ehrenstein neon 圖形中發現非刺激格線的對比可以低於刺激格線，但是當兩這之間的差距過大(約大於 8:1)時，錯視的色彩將會相當微弱。

非刺激格線和刺激格線都是彩色的情況是 neon color spreading 比較極端的例子。當紅色的刺激格線搭配藍綠色的非刺激格線時會產生相當強的效果，但是配上橘色的非刺激格線正好相反。這點也說明了錯視區域的色彩並不只是來自於刺激區域所提供的色彩資訊。Bressan (1995)提出了比較簡單的解釋，認為在雙色的情況下，錯視色彩等於非刺激格線的補色和刺激格線顏色的加法混色，但 Sohmiya (2004)發現許多 Bressan 的模型無法解釋的色彩組合，另外提出了和補色無關的解釋。Sohmiya 以 Beck (1975)提出加法混色三原色(red, green, blue)和減法混色三原色(cyan, magenta, yellow)的轉換公式為基礎，提出另一種解釋，但也只適用於白色背景的狀況，當背景換成黑色以後又會有不同的結果。

第3章 研究方法

3-1 Craik-O'brien-Cornsweet Illusion 的錯視效果實驗

3-1-1 實驗目的與設計

a. 實驗目的

本實驗的目的在探討以馬賽克形式構成的 Craik-O'brien-Cornsweet Illusion 圖形中，改變馬賽克方格大小，格線寬度以及 Cornsweet edge 的明度坡度對於錯視效果的影響。使用的實驗方法是定值刺激法，實驗設計的目的在於收集實驗數據，繪製受測者對目標刺激的心理計量曲線，並加以分析。本實驗希望每個實驗因子至少有 5 組以上的有效數據。

(1)馬賽克方格大小與錯視效果

刺激圖形中的馬賽克方格在真實情況下對應的是馬賽克嵌片，組成馬賽克作品最主要的單元，直接影響了作品的成本，觀賞距離以及細緻程度，而且市面上的馬賽克嵌片規格有限。在一給定的面積應該使用何種尺寸的馬賽克嵌片才能收到最大的錯視效果是這個子實驗最主要的目的。

(2)馬賽克格線寬度與錯視效果

馬賽克格線在真實情況下對應於馬賽克嵌片之間的填縫，具有整合各個獨立的馬賽克嵌片的功能。這個子實驗希望探討填縫寬度應如何設定才能在兼顧畫面調性的同時，發揮最好的錯視效果。

(3) Cornsweet edge 的明度變化坡度

這個子實驗中控制的因子雖非馬賽克形式的構成要素，但是對於馬賽克作品來說非常重要。了解怎樣的明度坡度可以產生比較好的錯視效果才能更有效的利用為數不多的明度階層。

b. 實驗設計

(1)刺激圖形設計

本實驗使用的刺激圖形程式在 processing 平台上撰寫。原版圖形中並置的左右兩均質背景色塊，改以方格和格線交錯構成的馬賽克形式呈現。提供錯覺刺激的 Cornsweet edge 經過轉換為馬賽克形式後雖變為不連續漸層，但仍調整致看起來平順，避免受測者誤將焦點放在刺激漸層為原則。

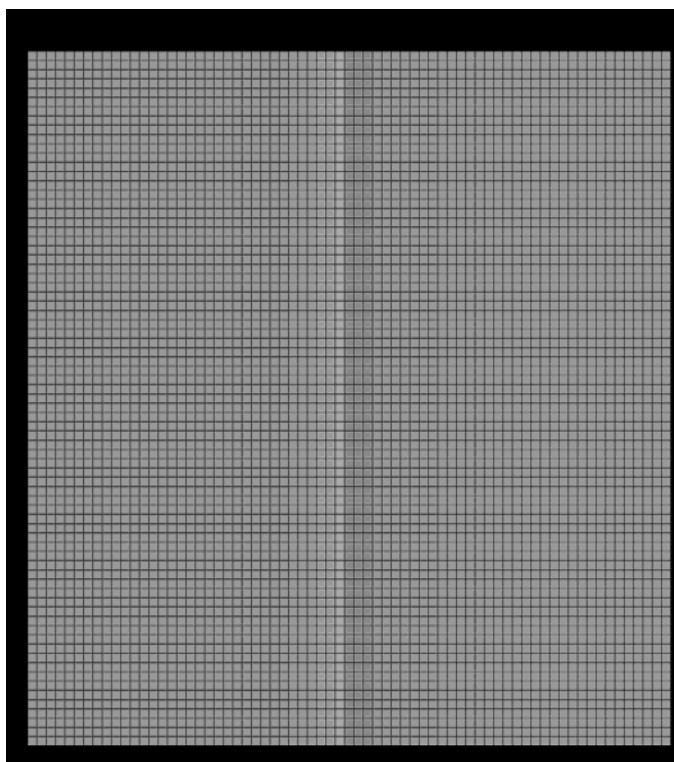


圖 3-1 Craik-O'Brien-Cornsweet Illusion 的實驗圖形範例

在原本的 Craik-O'Brien-Cornsweet Illusion 錯視圖形裡，左右兩背景色塊的明度相同，大部分的人都能很清楚的看到 Cornsweet edge 造成的主觀亮度差異。若右半邊屬性不變，左邊色塊的明度降低，則左半邊受到 Cornsweet edge 的影響後和右半邊的差異就不會和原來一樣明顯，觀察者觀察到明度差異的比率就不會是 100%。當左邊明度夠低時，Cornsweet edge 的效果將不足以讓左邊的主觀亮度高於右邊。本實驗在 100%有錯視效果到完全沒有效果這個明度區間內取 5 個等距的明度值，分別設定給 5 張刺激圖形的左半部，在實驗中隨機呈現這 5 張刺激圖形數次，請受測者回答是否感受到錯視效果，統計同一張圖形被受測者認為有錯視效果的比率，以這些數據繪製該刺激圖形的心理計量曲線。

其中一組受測者收集到的實驗數據如下，將這組數據輸入 Sigmaplot 進行心理計量曲線繪製可得到下圖 3-2。在 Sigmaplot 中進行圖形繪製時，為了製作方便將明度軸簡化，以中間明度為原點，明度由高至低(皆為等距)為-2，-1，0，1，2。比較對照組和實驗組的心理計量曲線之後，便可了解該實驗中的變相對於受測者而言是否有影響，以及影響的程度如何。

表 3-1 心理計量曲線範例數據表

明度	145	141	137	133	129
回答有錯視效果的比率	1.00	0.93	0.57	0.10	0.00

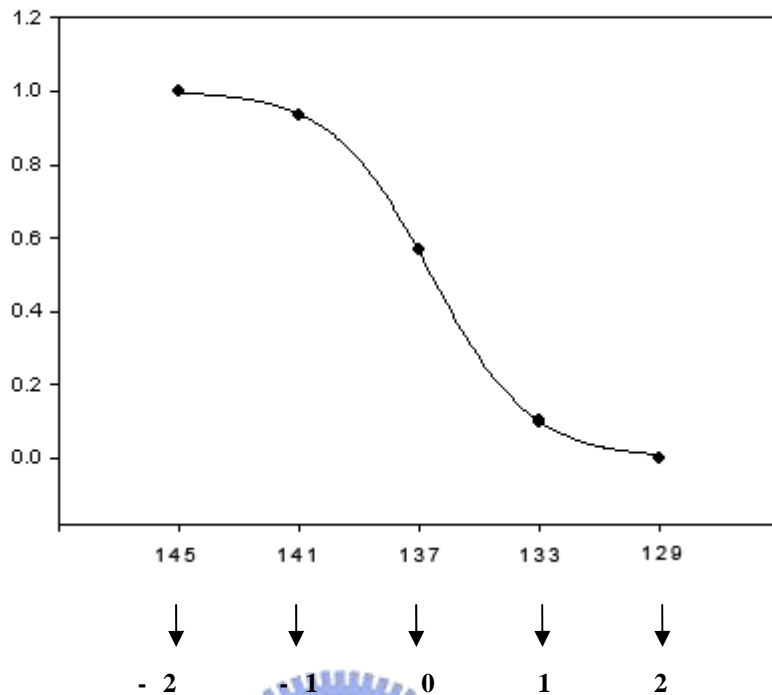


圖 3-2 心理計量曲線範例

(2) 實驗結構及流程設計

本實驗包含三組子實驗，每個子實驗擁有一個待量測的實驗因子，分別是馬賽克方格大小，格線寬度以及 Cornsweet edge 漸層坡度。每個子實驗中都準備了對照組以及實驗組。對照組的來源是事先以可調整的刺激圖形程式調整出錯視效果比較強烈的圖形設定。實驗組的刺激圖形僅改變基礎圖形中的實驗因子，其餘的屬性設定都和對照組相同。以馬賽克方格大小這個子實驗為例，圖 3-3 是對照組，圖 3-4 是實驗組。圖 3-4 的馬賽克方格邊長是圖 3-3 的 2 倍，其餘如明度，格線寬度，刺激漸層坡度都和左邊相同。

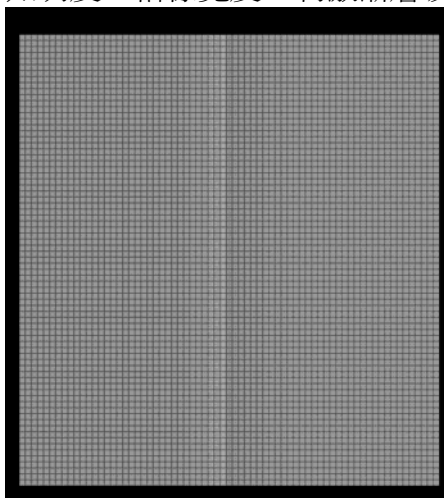


圖 3-3 對照組圖形範例

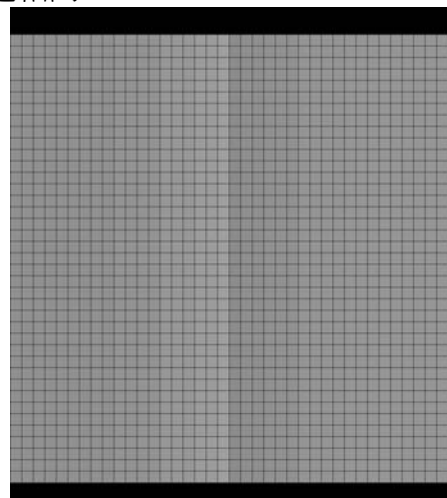


圖 3-4 實驗組圖形範例

每個子實驗應包含明度設定不同的 5 張的對照組圖形與 5 張實驗組圖形。

實驗流程分為對照組階段和實驗組階段，每個階段中，5 張刺激圖形以亂數次序呈現給受測者判斷，每張圖型總共出現的次數為 30 次。在每個刺激圖形之間安插 500 毫秒的干擾圖形，以消除上一個刺激圖形的印象。

(3)前測與修改

以上面這組刺激圖形做了 5 個人次的前測之後發現不同的受測者對於明度的敏感範圍差異極大。同樣一組圖形，不同受測者對於 5 張圖的反應有的是左邊比較亮的比率將近 100%或是 5 張圖型都覺得左邊比較暗。為了能盡可能在每個人次的實驗上取得有效數據，因此實驗流程上作了修正。首先製作數組不同明度範圍的前測刺激圖形(如表 3-3)，於正式實驗前，取其中一組的對照組進行前測，並立即統計前測數據是否有太大的偏差，若前測結果偏差過多則更換不同的前測圖形再次測試，直到找到適合受測者的明度範圍，在以此明度進行上述的正式實驗流程。

3-1-2 實驗變項

- (1)子實驗一：方格大小
- (2)子實驗二：格線寬度
- (3)子實驗三：Cornsweet edge 明度變化坡度

3-1-3 實驗對象

60 位國立交通大學研究生，在實驗前均接受過辨色能力測驗，確認有正常或校正至正常的視力。部分受測者會參與兩組不同以上實驗因子的測試。

3-1-4 實驗設備

刺激呈現在 EIZO FlexScan T965 21 吋彩色監視器上，螢幕解析度設定為 1280×1024 像素，更新頻率 75 Hz。這個監視器是以配備 Intel Pentium IV 3.0GHz CPU 核心、256 Mega bytes 記憶體、ATi Radeon 9200 顯示卡的 PC 所驅動的。實驗用的刺激圖形在 MIT Media Lab 開發的 Processing 平台上製做。實驗程序中，用以呈現刺激與記錄資料的平台則是 Neurobehavioral Systems Presentation Version 0.71 Build 09.24.03，並以 Systat Sigmaplot 7.0 製做心理計量曲線 (psychometric function)。實驗的環境為一暗室，受試者坐於一舒適的椅子上，椅子的高度調整至眼睛符合監視器的高度，而眼睛至監視器的觀測距離約為 80 公分，開始實驗前要求受測者盡可能保持此距離。受試者以 PC 鍵盤上的 Y, N 按鍵紀錄對於刺激圖形的反應。辨色能力測驗則是使用是 Richmond Products©的 Pseudo-Isochromatic Plates。

3-1-4 刺激材料

本實驗所有的刺激圖形以 Processing 製作，色彩模式設定為 HSB，255 個等級。圖形大小 800*900 像素，底色是明度為 0 的純黑色，格線的色彩均為明度 50 的純灰色。刺激圖形從 Processing 平台輸出時為 tiff 檔案格式，之後透過 Adobe

Photoshop 以不影響圖檔屬性的設定，將檔案轉換為 Presentation 能夠讀取的 windows bmp 格式，以下為這個部分三個子實驗的詳細設定資料。

子實驗一：馬賽克方格大小造成的錯視效果比較

實驗變項：馬賽克方格大小

實驗條件：

表 3-2 馬賽克方格大小造成的錯視效果比較實驗之實驗條件表

		對照組	實驗組
馬賽克方格大小		10*10 像素	20*20 像素
馬賽克格線寬度		1 像素	1 像素
Cornsweet edge 每個階層的明度	對照組	四個階層的明度從對比最高到最低為 B_i ($i=0\sim3$)，該圖的左邊背景色塊色彩為 B_b 。公式中的常數 160 與 140 為作者經過測試後，判斷為錯視較強的組合。 左半邊： $B_i = 160 - [k]*i$ ， $k=(160-B_b)/3$ 右半邊： $B_i = 140 + [k]*i$ ， $k=3$	
	實驗組		

Cornsweet edge 漸層從中間分別向左右為對比最高的部份 1 格，次高 2 格，再次高 3，最接近背景的 4 格，示意圖如下(實際明度以上表為準)。



圖 3-5 Cornsweet edge 明度示意圖之一

背景色塊方格的色彩設定如下表：

表 3-3 馬賽克方格大小造成的錯視效果比較實驗之明度設定表

		左邊背景色塊方格明度					右邊背景色塊方格色彩
		圖一	圖二	圖三	圖四	圖五	150
預設明度	明度範圍 a	145	141	137	133	129	
	明度範圍 b	145	143	141	139	137	
	明度範圍 c	145	144	143	142	141	
	明度範圍 d	148	145	142	139	136	
	明度範圍 e	148	146	144	142	140	

子實驗二：馬賽克格線寬度造成的錯視效果比較

實驗變項：馬賽克格線寬度

實驗條件：

表 3-4 馬賽克格線寬度造成的錯視效果比較實驗之實驗條件表

		對照組	實驗組
馬賽克方格大小		10*10 像素	10*10 像素
馬賽克格線寬度		1 像素	3 像素
Cornsweet edge 每個階層的明度	對照組	四個階層的明度從對比最高到最低為 B_i ($i=0\sim3$)，該圖的左邊背景色塊色彩為 B_b 。公式中的常數 160 與 140 為作者經過測試後，判斷為錯視較強的組合。 左半邊： $B_i = 160 - [k]*i$ ， $k=(160-B_b)/3$ 右半邊： $B_i = 140 + [k]*i$ ， $k=3$	
	實驗組		

Cornsweet edge 漸層每個明度階層設定的格數同子實驗一。

背景色塊方格的色彩設定如下表：

表 3-5 馬賽克格線寬度造成的錯視效果比較實驗之明度設定表

		左邊背景色塊方格明度					右邊背景色塊 方格色彩
		圖一	圖二	圖三	圖四	圖五	
預設 明度	明度範圍 a	140	136	132	128	124	150
	明度範圍 b	140	137	134	131	128	
	明度範圍 c	145	140	135	130	125	
	明度範圍 e	145	141	137	133	129	

子實驗三：Cornsweet edge 漸層坡度造成的錯視效果比較

實驗變項：Cornsweet edge 漸層坡度

實驗條件：

表 3-6 Cornsweet edge 漸層坡度造成的錯視效果比較實驗之實驗條件表

		對照組	實驗組
馬賽克方格大小		10*10 像素	10*10 像素
馬賽克格線寬度		1 像素	1 像素
Cornsweet edge 每個階層的明度	對照組	四個階層的明度從對比最高到最低為 B_i ($i=0\sim3$)，該圖的左邊背景色塊色彩為 B_b 。公式中的常數 160 與 140 為作者經過測試後，判斷為錯視較強的組合。 左半邊： $B_i = 160 - [k]*i$ ， $k=(160-B_b)/3$ 右半邊： $B_i = 140 + [k]*i$ ， $k=3$	
	實驗組	四個階層的明度從對比最高到最低為 B_i ($i=0\sim3$)，該圖的左邊背景色塊色彩為 B_b 左半邊： $B_{i+1} = (B_i + B_b)2^i$ ， $B_0=160$ 右半邊： $B_i = 140 + [k]*i$ ， $k=3$	

Cornsweet edge 漸層每個明度階層設定的格數同子實驗一。

背景色塊方格的色彩設定如下表：

表 3-7 Cornsweet edge 漸層坡度造成的錯視效果比較實驗之明度設定表

		左邊背景色塊方格明度					右邊背景色塊方格色彩
		圖一	圖二	圖三	圖四	圖五	
預設明度	明度範圍 a	140	136	132	128	124	150
	明度範圍 b	140	137	134	131	128	
	明度範圍 c	145	140	135	130	125	
	明度範圍 e	145	141	137	133	129	

3-1-5 實驗程序

本實驗進行時分為兩個階段，第一階段為前測，這部分要反覆進行，直到找到適合受測者明度範圍後才能正式進行實驗。

a. 前測：

- (a) 請受測者在暗室內以 D65 光源照射 Pseudo-Isochromatic Plates，進行辨色能力檢測。
- (b) 開啓實驗程式，讀入一組明度範圍的對照組刺激圖形，請受測者就定位後保持與螢幕之間的距離。
- (c) 簡略的對受測者說明實驗中所用的錯視現象，但是不提及實驗設計。
- (d) 根據設定好的指導語大綱告知受試者在刺激圖形出現之後，以第一眼的印象判斷『左邊的背景色塊是否比右邊的背景色塊亮』，當左邊的色塊比右邊色塊亮時，按下鍵盤上的 Y 鍵，其餘情況都是按鍵盤上的 N 鍵。並明確的提醒受測者，要比較的對象是左右兩背景色塊並非圖形中央的 Cornsweet edge，也切勿把視覺焦點放在單一個馬賽克方格上比較。當受測者難以辨別背景色塊和 Cornsweet edge 時，則請受測者比較刺激圖形中左邊和右邊約三分之一區域的明度。
- (e) 確認受試者已了解以上的提示後啓動實驗程式，實驗程式在啓動時讀入刺激圖形，刺激圖形讀取完畢後按下 Enter 鍵繼續實驗流程。
- (f) 按下 Enter 後再度顯示文字版的實驗說明，內容同指導語大綱，受測者閱讀完畢後按 Y 鍵開始前測實驗。
- (g) 前測中，實驗程式隨機顯示五張實驗刺激圖形，每張圖形出現 3 次，受測者總計需要判斷 15 張圖形。
- (h) 當前測結束後立即分析數據，數據中如果包括 100% 感到有錯視效果以及 100% 沒有錯視效果，則以此明度範圍符合受測者對明度變化的敏感度，適合當作接下來正視實驗的實驗刺激。若前測結果未達此要求，則更換不同的明度範圍繼續進行前測，直到找到適合該受測者的明度範圍為止。

b. 正式實驗：

- (a) 取得適合受測者的明度範圍後正式進行實驗。正式實驗的流程同前測，但受測者必須對選定的五張實驗刺激圖形每張各判斷 30 次，總計 150 次，平均分成三段顯示在螢幕上。在這三次之間受測者可自行決定是否按 Enter 繼續實驗，若感到眼睛疲勞則可短暫休息後再繼續實驗。實驗結束後顯示感謝受測者協助實驗進行字樣。
- (b) 當受測者做完對照組全部的刺激後，將實驗程式中的刺激圖形更換為實驗組，以相同的程序再執行一次。

3-2 neon color spread illusion 的錯視效果實驗

3-2-1 實驗目的與設計

a. 實驗目的

本實驗的目的在以調整法量測 Neon color spread illusion 在不同條件下的馬賽克圖形中所造成的主觀色彩偏移程度，也就是受錯視效果影響的主觀色彩和

實質色彩之間的色差。實驗包含了三種不同的馬賽克構成要素的子實驗，分別是馬賽克方格大小，格線寬度以及格線色彩，以及錯視效果比對的子實驗。

(1) 以主觀感覺比對評估色相的改變方向與幅度

在這個子實驗中欲探討的是 *neon color spread illusion* 的效果可以類比哪種知覺經驗。舉例來說，以白色的方格加上綠色的格線組合成的錯視區域，看起來會像整片淡綠色、無填縫的色塊，或是淡綠色的方格加上灰色的格線。當初設定此實驗因子的原意是要檢驗受測者在調整的時候，調整區域由馬賽克形式構成的或是均質色塊這兩者之間有沒有差別。但藉此實驗也正好可以了解灰色的馬賽克嵌片加上彩色的填縫產生的效果會近似於哪種顏色的馬賽克嵌片加上灰色的一般填縫，可以做為缺乏某色磚而想用錯視效果來取代時的參考。

(2) 馬賽克方格大小與錯視效果

從文獻可以得知 *neon color spread illusion* 的效果和刺激格線的長度相關，當馬賽克方格放大時也就意味著格線的長度必須跟著增加。因此馬賽克嵌片尺寸的選用對於將這個錯視運用在馬賽克創作的效果有很直接的影響。

(3) 格線寬度與錯視效果

這個子實驗的目的基本上和 *Craik-O'brien-Cornsweet illusion* 的格線寬度實驗相同。但是在 *neon color spread illusion* 中，格線本身就是錯視的刺激來源，和錯視效果的相依程度應該會更高。

(4) 格線色彩與錯視效果

本實驗想要了解黃、紅、綠、藍四個不同色彩的刺激格線產生的色彩偏移量，做為在選用 *neon color spread illusion* 刺激格線色彩時的參考。

b. 實驗設計

(1) 刺激圖形設計

本實驗的刺激圖形製作以及實驗程式均為 MIT 媒體實驗室開發的 *Processing* 平台。在 *Processing* 平台上製做互動圖形介面相當方便，且支援 *Photoshop* 相容的 *HSB* 模式色彩設定，遇到需要比對顏色的情況相當方便。

實驗程式的介面如圖 3-7，分為刺激區域與操作介面。刺激區域的背景基本上是由灰色的馬賽克方格和格線組成。在背景的中央有一環狀區域，從正中間分為左右兩半。左半邊的圖形是 *neon color spread illusion* 的圖形，也就是說這半環覆蓋的部分，格線是有色彩，方格則是和背景相同的灰色。右半邊則是受測者可以調整的圖形，格線色彩是和背景相同的灰色，環狀區域的方格色彩隨著受測者的調整而變動。

實驗圖形採取將一圓環分成兩半，要求受測者調整右邊去比對左邊。基於完形理論，左右兩半環看起來會是一整個圓環，左右的色彩只要有一點差異便會和完形的感知產生矛盾而被查知，受測者在調整的時候只要把握好把圖形調整成看起來像『一個完整的圓環』這個原則，調整起來將會比兩個分離色彩區域容易。本實驗的基本參數來自於最早進行的調整區域有無格線的實驗，選用做為方格色彩的灰色屬於中間明度，比較能夠和實際馬賽克嵌片的情況比對。嘗試過幾種色彩做為刺激色彩後，對施測者而言，綠色格線產生的錯視效果較

穩定清晰，容易調整。考慮到受測者可能產生疲勞的因素，因此在方格大小，格線粗細也同樣使用綠色的刺激格線。

由於馬賽克方格和格線的尺寸超過特定視角以後便難以產生錯視效果，因此方格和格線的尺寸以在實驗環境中，受測者和螢幕的距離限制下能夠清楚的看到錯視現象為原則。

程式最下方黑色的部份是操作介面，操作介面左上角為計數器，計數器右方數字提示受測者還有多少實驗圖形要調整。介面中間的 Hue，Saturation，Brightness 代表色相，飽和度以及明度，以滑鼠點擊這些文字左方的加號和減號可調整右半環的這三個屬性。本實驗需要量測的是受測者所看到的錯覺色彩，為了避免產生提示作用，受測者看不到任何的 HSB 數值，只有在受測者調整好圖形按下儲存後，數值才會被儲存在調整好的圖型上。

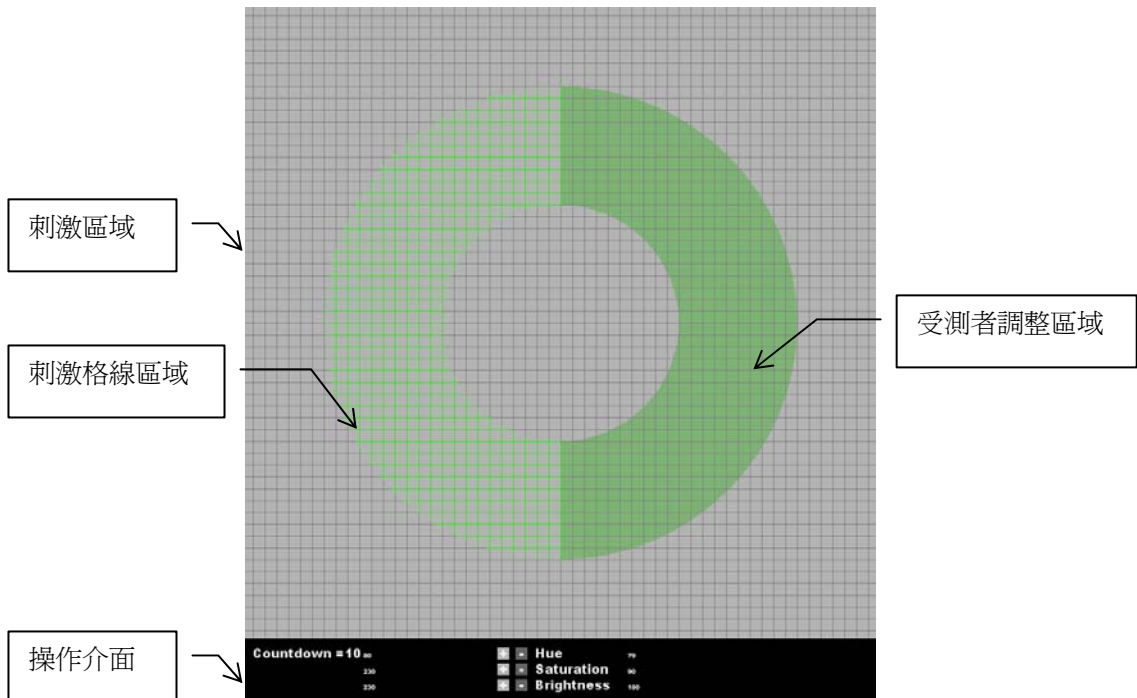


圖 3-6 neon color spread illusion 實驗圖形範例

(2) 實驗結構與流程設計

本實驗包含了 4 個子實驗，每一組的實驗均包含一個實驗因子，分別是調整區域格線的有無，馬賽克方格大小，格線寬度，以及刺激格線色彩。前三個子實驗的對照組為調整區域格線有無的子實驗中有格線的情況，根據實驗組包含的實驗因子不同做調整，非實驗因子的屬性則和對照組完全相同。以格線寬度的子實驗為例，此子實驗中格線寬度為 3 個像素對照組 1 個像素的 3 倍，其他的方格大小，刺激格線色彩等均和對照組相同。

第四個子實驗在設計時是希望了解在相同的明度和飽和度的條件下，不同色相的刺激格線造成的錯視效果之間的差異。在決定要比較哪些色彩時首先考慮的就是實用性，也就是實際上馬賽克的填縫劑有可能生產或是調配出來的顏

色。另一原則是使用標準色體系中的原色，選用標準色體系原色的好處是有了原色的數據，便可依照該色體系內部的機制推算其餘色彩可能產生的錯視效果。本實驗採用是 color opponent system 中的黃紅綠藍四色，在實驗中每位受測者需要調整這四種顏色的刺激圖形個 5 次，刺激出現的順序為亂數產生。

每個受測者在該次子實驗中，調整出的圖形至少要有 80% 屬於有效圖形，否則不採用該受測者的數據。圖 3-8 為無效圖形的範例，當調整出來的圖形可以輕易看出有左右有分別時就是無效的。

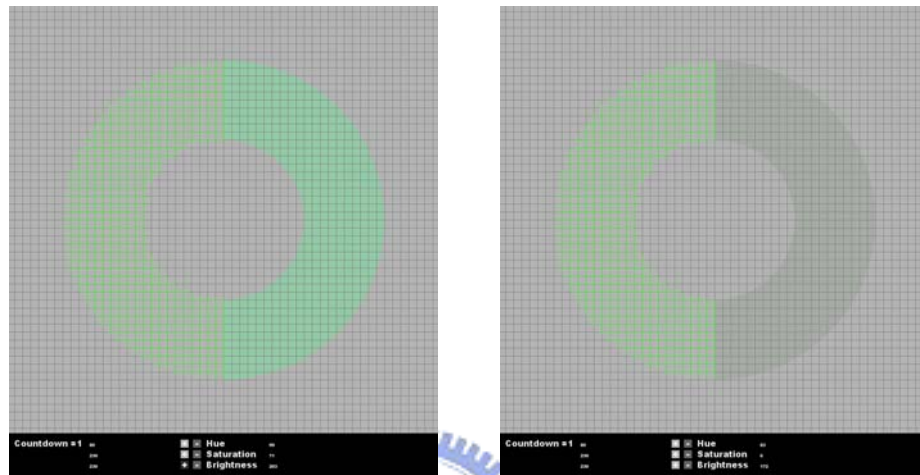


圖 3-7 無效圖形範例

實驗取得的數值為 Processing 設定下右半環方格色彩的 HSB 值，將有效圖形的 HSB 值平均之後得到的每一位受測者在該設定下對於錯視區域的色彩感覺平均值。以此平均值另外在 Processing 中繪製一均質方形色塊，以光學測色儀量測該色塊的 xyY 值。之所以多進行這個步驟的目的是希望把實驗用螢幕本身的状态也考慮進去，而不直接換算量測到的 HSB 平均值。接下來以 CIE 網站提供的 Color Calculator 將 xyY 換算成 CIE L*a*b，原本灰色方格也以同樣作法得到 L*a*b 值，將上面兩組 L*a*b 代入 CIE Color difference calculator 中算出 CIE2000 標準下的色差。

由於 neon color spread illusion 的實驗設計牽涉到色相的要素，因此在所有的正式實驗程序開始前必須請受測者進行辨色能力測驗，辨色能力未達標準的受測者將不採用。使辨色能力使用的工具是 Pseudo-Isochromatic Plates 辨色卡。

3-2-2 實驗變項

- (1) 子實驗一：調整區域的形式
- (2) 子實驗二：馬賽克方格大小
- (3) 子實驗三：格線寬度
- (4) 子實驗四：刺激格線色彩

3-2-3 實驗對象

60 位國立交通大學研究生，在實驗前均接受過辨色能力測驗，確認有正常

或校正至正常的視力。部分受測者會參與兩組不同以上實驗因子的測試。

3-2-3 實驗設備

刺激呈現在 EIZO FlexScan T965 21 吋彩色監視器上，並設定為 1280×1024-75 Hz 的模式。這個監視器是以含有 Intel Pentium IV 3.0GHz CPU、256 Mega bytes RAM、ATi Radeon 9200 顯示卡的 PC 所驅動的。呈現刺激與記錄資料的程式，撰寫於 MIT 媒體實驗室開發的 Processing 平台上。實驗的環境為一暗室，受試者坐於一舒適的椅子上，椅子的高度調整至眼睛符合監視器的高度，而眼睛至監視器的觀測距離約為 80 公分。受試者以滑鼠的左鍵點擊畫面上的圖形操作介面，並以 PC 鍵盤上的 Enter 鍵紀錄實驗結果。辨色能力測驗的工具是 Richmond Products©的 Pseudo-Isochromatic Plates。量測螢幕 xyY 值的儀器是 Photo Research 公司出產的 PR-650 光學測色儀。

3-2-4 刺激材料

本實驗所有的刺激圖形皆在 Processing 中製作，色彩模式設定為 HSB，255 個等級。實驗程式的大小為 800*880 像素，程式最下方 800*100 的區域為圖形操作介面。

左邊色環所覆蓋的馬賽克格線為配合不同實驗因子使用特定顏色，右邊色環是受測者可以透過實驗圖形介面來調整顏色的。根據實驗目的的不同，有的是均質的色環，有的是馬賽克方格構成的色環，在每個實驗因子的個別說明中有更詳細的圖形範例。以下說明附上的圖形範例皆為未經調整過的實驗刺激。

子實驗一：以主觀感覺比對評估色相的改變方向與幅度

(1) 受測者調整的區域為馬賽克形式

圖形尺寸設定：

所有馬賽克方格的大小皆為 14*14 像素，格線寬度為 1 個像素。以座標 $(x,y)=(400,400)$ 為圓心繪製一外部直徑為 600 像素，內部直徑為 300 像素的原環，從圓心分為左右兩半。

圖形色彩設定：

馬賽克方格的色彩為明度 180 的純灰色，非刺激格線的色彩，包括右半環區域的格線，為明度 130 的純灰色。左半環區域的刺激格線色彩設定為明度和飽和度較高的綠色，色相=80，飽和度=230，明度=230。右半環的馬賽克方格的色彩於第一次調整時預設值為色相=80，飽和度=230，明度=230。每次受測者調整好一個圖形並紀錄後，程式會將右半環的馬賽克方格的色彩重新設定為色相=80，飽和度從 0~100 之間取一亂數，明度從 150~240 之間取一亂數。飽和度和明度設定特別的亂數區域是為了避免極端的亂數值讓受測者花太多時間在調整單一圖形上，之後每個子實驗的設計皆有相同的考量。

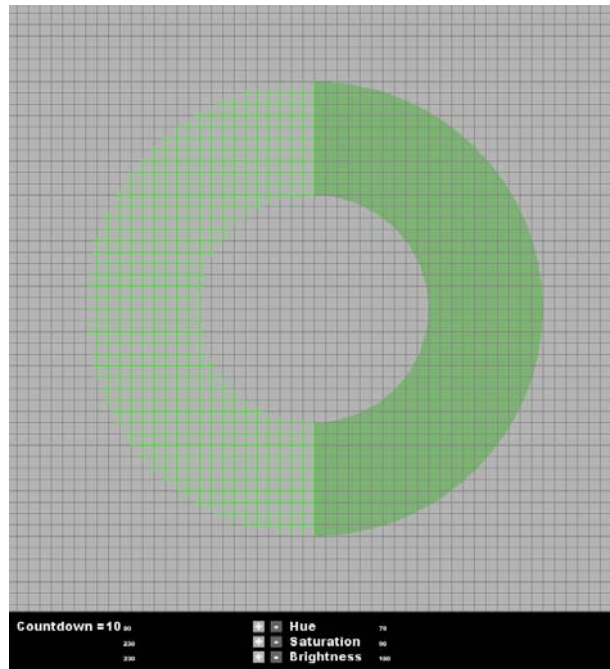


圖 3-8 受測者調整的色環有格線實驗之範例圖形

(2) 受測者調整的色環為均質

這個部份刺激的設定和(1)受測者調整的區域為馬賽克形式相同，唯一的差別在於右半環，也就是受測者調整以後來和左半環比對的區域是均質的色塊，未加上任何格線。

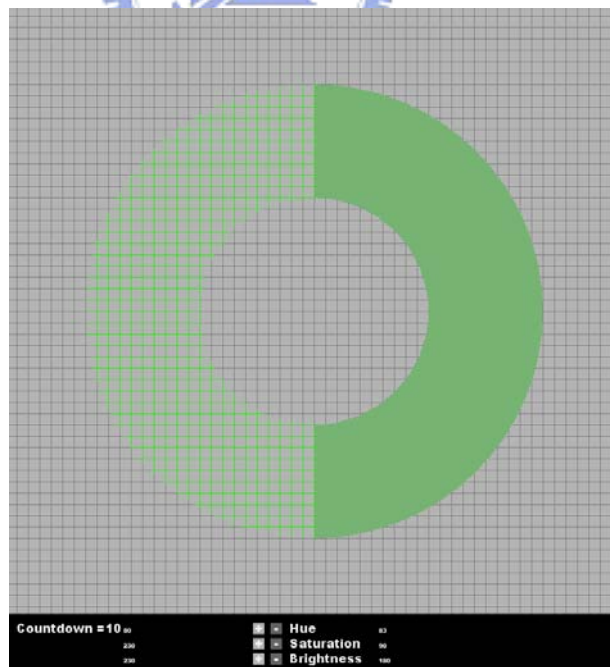


圖 3-9 受測者調整的色環無格線實驗之範例圖形

子實驗二：格線粗細造成的錯視效果比較

圖形尺寸設定：

所有馬賽克方格的大小皆為 14*14 像素，格線寬度為 3 個像素。以座標 (x,y)=(400,400) 為圓心繪製一外部直徑為 600 像素，內部直徑為 300 像素的原環，從圓心分為左右兩半。

圖形色彩設定：

馬賽克方格的色彩為明度 180 的純灰色，非刺激格線的色彩，包括右半環區域的格線，為明度 130 的純灰色。左半環區域的刺激格線色彩設定為明度和飽和度較高的綠色，色相=80，飽和度=230，明度=230。右半環的馬賽克方格的色彩於第一次調整時預設值為色相=80，飽和度=230，明度=230。每次受測者調整好一個圖形並紀錄後，程式會將右半環的馬賽克方格的色彩重新設定為色相=80，飽和度從 0~100 之間取一亂數，明度從 150~240 之間取一亂數。

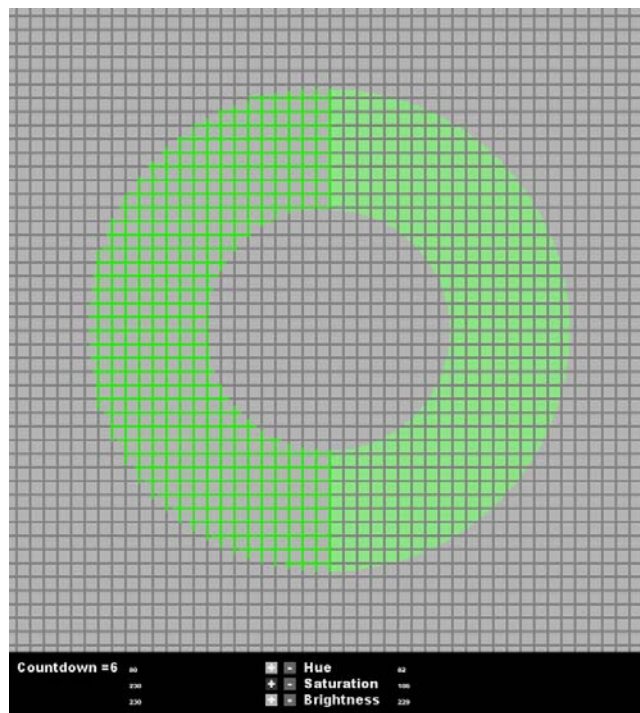


圖 3-10 格線粗細造成的錯視效果比較實驗之範例圖形

子實驗三：馬賽克方格大小造成的錯視效果比較

圖形尺寸設定：

所有馬賽克方格的大小皆為 29*29 像素，格線寬度為 1 個像素。以座標 (x,y)=(400,400) 為圓心繪製一外部直徑為 600 像素，內部直徑為 300 像素的原環，從圓心分為左右兩半。

圖形色彩設定：

馬賽克方格的色彩為明度 180 的純灰色，非刺激格線的色彩，包括右半環區域的格線，為明度 130 的純灰色。左半環區域的刺激格線色彩設定為明度和

飽和度較高的綠色，色相=80，飽和度=230，明度=230。右半環的馬賽克方格的色彩於第一次調整時預設值為色相=80，飽和度=230，明度=230。每次受測者調整好一個圖形並紀錄後，程式會將右半環的馬賽克方格的色彩重新設定為色相=80，飽和度從 0~100 之間取一亂數，明度從 150~240 之間取一亂數。

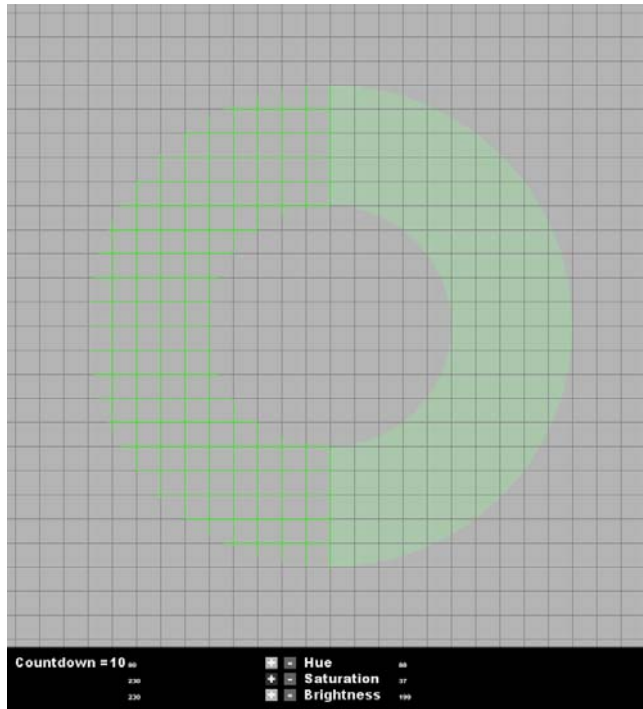


圖 3-11 馬賽克方格大小造成的錯視效果比較實驗之範例圖形

子實驗四：格線色相不同造成的錯視效果比較

圖形尺寸設定：

所有馬賽克方格的大小皆為 14*14 像素，格線寬度為 1 個像素。以座標 (x,y)=(400,400) 為圓心繪製一外部直徑為 600 像素，內部直徑為 300 像素的原環，從圓心分為左右兩半。

圖形色彩設定：

馬賽克方格的色彩為明度 180 的純灰色，非刺激格線的色彩，包括右半環區域的格線，為明度 130 的純灰色。

左半環區域的刺激格線色彩和右半環區域的方格色彩預設為黃色，色相=30，飽和度=180，明度=230。每次受測者調整好一個圖形並紀錄後，實驗程式會從下列四種設定隨機選出一種，每一種設定出現 5 次後就不再使用。

第一種刺激右半環的馬賽克方格的色彩是綠色，屬性預設值為為色相=80，飽和度從 20~120 之間取一亂數，明度從 180~220 之間取一亂數，左半邊色環的間隔格線色彩為 HSB=80,180,230，如圖 3-13-1。

第二種刺激右半環的馬賽克方格的色彩是黃色，屬性預設值為為色相=30，飽和度從 20~120 之間取一亂數，明度從 180~220 之間取一亂數，左半邊色環的間隔

格線色彩為 $HSB=30,180,230$ ，如圖 3-13-2。

第三種刺激右半環的馬賽克方格的色彩是藍色，屬性預設值為色相=160，飽和度從 20~120 之間取一亂數，明度從 180~220 之間取一亂數，左半邊色環的間隔格線色彩為 $HSB=160,180,230$ ，如圖 3-13-3。

第四種刺激右半環的馬賽克方格的色彩是紅色，屬性預設值為色相=240，飽和度從 20~120 之間取一亂數，明度從 180~220 之間取一亂數，左半邊色環的間隔格線色彩為 $HSB=240,180,230$ ，如圖 3-13-4。

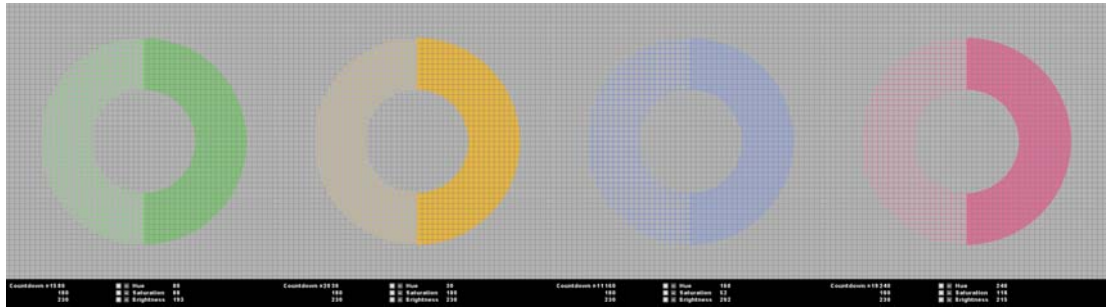


圖 3-13-1

圖 3-13-2

圖 3-13-3

圖 3-13-4

圖 3-12 格線色相不同造成的錯視效果比較實驗之範例圖形

3-2-5 實驗程序

- 請受測者在暗室內以 D65 光源照射 Pseudo-Isochromatic Plates，進行辨色能力檢測。
- 啟動實驗程式，請受測者就坐至定位。
- 簡略的對受測者說明實驗中所用的錯視現象，確認受測者了解 neon color spread 影響的區域。
- 根據事先擬定的指導語大綱告知受測者，刺激圖形下方的圖形介面文字代表的意義是右半環的顏色 Hue，鮮豔程度或飽和度 Saturation，以及明暗程度 Brightness。在這三個屬性前面的加號和減號按鈕可以調整這三個屬性的大小。請受測者利用這些按鈕調整右半環的方格色彩，使得右半邊的色環看起來接近受到 neon color spread illusion 影響下的左半邊的色環，或者是讓左右兩半邊的色環看起來像一個完整，色彩統一的圓環。
- 在同樣的電腦螢幕上展示數個事先調整好的範例給受測者參考。確認受測者了解所有的實驗程序以及調整的目標之後正式開始實驗。
- 在正式實驗中，受測者利用實驗程式的圖形介面按鈕調整右半邊色環的色彩屬性。當受測者認為調整完成後，按下鍵盤上的 Enter 鍵，實驗程式便會紀錄下受測者調整的結果，並且執行下一個刺激圖形。
- 受測者重複步驟二直到實驗次數計數器倒數至 0 為止。實驗過程中若受測者感到疲勞則請受測者稍事休息，直到受測者認為視力已經恢復正常狀況再繼續實驗。
- 受測者完成每組實驗所有的刺激圖形後，立刻檢驗是否有未經調整確儲存的實驗結果或是比較明顯的無效圖形。若有這些情況則請受測者繼續進行實驗，直到取得足夠的有效結果。

3-3 neon color spread illusion 的實體製作與觀察

3-3-1 實驗目的與設計

a. 實驗目的

本研究的目地之一是希望製作實體的馬賽克錯視圖形，以了解 neon color spread illusion 錯視效果在真實的馬賽克上是否能夠發揮作用，並檢驗螢幕版的馬賽克錯視圖形所得到的數據資料是否適用於真實版本的馬賽克製作。由於作者並非專業的馬賽克創作者，需要多花費不少時間摸索馬賽克製作的技法。因此僅能就改變馬賽克填縫寬度這個變項製作實體加以驗證。

b. 實驗設計

本實驗製作的 neon color spread illusion 馬賽克版本的圖形是由米白色的馬賽克嵌片組成的正方形區塊。圖形的構圖上是 Ehrenstein figure，但是填縫劑的色彩搭配參考了 Van Tuijl 版本的錯視圖形。

本實驗製作馬賽克使用的方法是間接施工法。先在電腦上繪製一比一的圖形，輸出之後轉貼在稍厚的紙板上並在圖形的方格部分塗上水溶性的接著劑。接著將馬賽克嵌片背面朝上黏到方格裡。待接著劑完全乾燥以後以填縫固定片圍出刺激區域，將調色好的紅色填縫劑填入這塊區域內。刺激區域的填縫劑乾燥約 8 成以後，取出填縫固定片，將剩餘的間隙填入黑色填縫劑。等所有的填縫劑完全乾燥以後整個反轉過來，馬賽克的背面朝下放置在塗上接著膠泥的底板上，適當的施加壓力以確定馬賽克的底部均勻接觸膠泥，並將多餘的膠泥壓擠出來確保整個施工表面的平整。所有黏著的部分都乾燥以後，以濕海綿將紙板整個浸軟以後撕去並清除表面殘膠以後完成整個馬賽克作品。

由於實體版本的數據難以量測，因此觀察的重點在於：

- (1) 實體版本是否能產生和螢幕實驗同樣清楚的錯視效果。
- (2) 可以看到錯視效果的距離。

3-3-2 實驗對象

應藝所基礎視覺實驗室成員。

3-3-3 實驗設備

米白色馬賽克嵌片，木製底板，黑色馬賽克填縫劑，白色馬賽克填縫劑，紅色廣告顏料，磁磚用接著膠泥以及各種輔助馬賽克製作的工具。

3-3-4 刺激材料

對照組

以邊長 23mm 的米白色正方形石英馬賽克嵌片排成邊長為 173mm 的正方形，每邊使用 7 個嵌片，嵌片之間預留 2mm 做為填縫寬度。從正方形的 4 個邊

各取位於正中間的嵌片，這四塊嵌片相連路徑上的填縫使用紅色的填縫劑。其餘部分則使用黑色的填縫劑。填縫完成以後的馬賽克黏貼於棕色，正方形的木板中央偏上處，木板的邊長為 300mm。

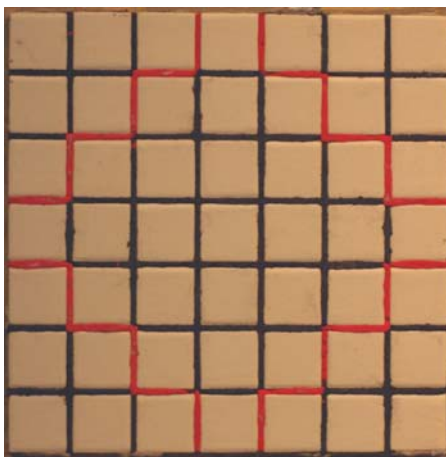


圖 3-13 實體版馬賽克對照組照片

實驗組

以邊長 23mm 的米白色正方形石英馬賽克嵌片排成邊長為 191mm 的正方形，每邊使用 7 個嵌片，嵌片之間預留 5mm 做為填縫寬度。從正方形的 4 個邊各取位於正中間的嵌片，這四塊嵌片相連路徑上的填縫使用紅色的填縫劑。其餘部分則使用黑色的填縫劑。填縫完成以後的馬賽克黏貼於棕色，正方形的木板中央偏上處，木板的邊長為 300mm。

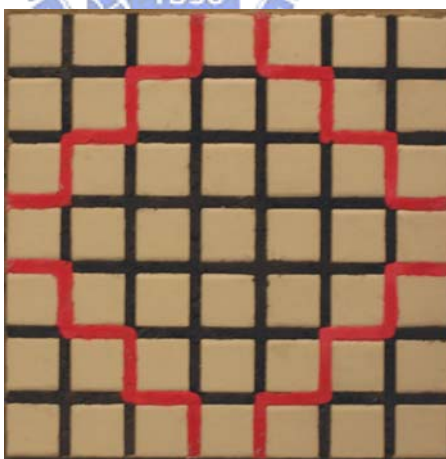


圖 3-14 實體版馬賽克實驗組照片

3-3-5 實驗程序

將製作完成的兩個馬賽克圖形並排放置在適當位置，觀察者移動到足以看見 neon color spread illusion 效果的距離以後比較對照組和實驗組的錯視效果。

第4章 實驗結果之分析與討論

本章旨在整理實驗數據並探討自變項和依變項之間的關連性。參與實驗的 60 名受測者為因應課程要求而參與本研究室進行的實驗。由於不強制規定實驗的時段和種類，因此部分受測者參與過兩種不同的錯視實驗中數個不同的子實驗，而有些受測者僅參與過一個子實驗。在受測者內的數據樣本上較為不足。

由於部份實驗變項中包括了色相因素，因此在受測者進行實驗前都必須先接受辨色能力檢定，經過統計後有 5 位受測者未達到標準。為儘可能排除干擾實驗結果的因素，因此這 5 位受測者的數據均不採用。

依照第三章所提出的實驗目的以及各子實驗中的自變項對於依變項的影響分為兩大部分進行實驗數據的整理與結果分析，如下表。

表 4-1 實驗結果列表

研究一：馬賽克形式的基本要素與 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 錯視效果之關連
(1) 改變構成畫面的馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響
(2) 改變構成畫面的馬賽克格線寬度對錯視效果之影響
(3) 改變構成畫面的 Cornsweet edge 漸層的坡度對錯視效果之影響
研究二：馬賽克形式的基本要素與 neon spread illusion illusion 效果之關連
(1) 以主觀感覺比對評估色相的改變方向與幅度
(2) 改變構成畫面的馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響
(3) 改變構成畫面的馬賽克格線寬度對錯視效果之影響
(4) 改變構成畫面的馬賽克填縫色彩對錯視效果之影響

4-1 馬賽克形式基本要素與 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 錯視效果之關連

依照實驗設計，原始實驗數據經過整理以後畫出受測者對每一個變因的心理計量曲線，畫出心理計量曲線後，曲線肩部不明顯的樣本視為無效。所有的受測者都在一個小時以內完成對照組以及實驗組的實驗以控制受測者視力的疲勞程度。

4-1-1 構成畫面的馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響

實驗結果經過分析之後，總共有 7 位受測者的數據可畫出有效的心理計量曲線，舉例如下圖，x 軸代表經過標準化以後的施測明度範圍，y 軸則是每一個明度值對應的感覺有錯視效果的機率。由於每位受測者實驗選用的明度範圍不同，標準化時乘算的係數也不同，因此數據分析的重點是在受測者內對照組和實驗組的心理計量曲線偏移量，以為 x （實驗組-對照組）， $y=50\%$ 時計算出來的數值表達。受測者之間的統計分析結果提供的訊息則是自變項和依變項的關聯趨勢。

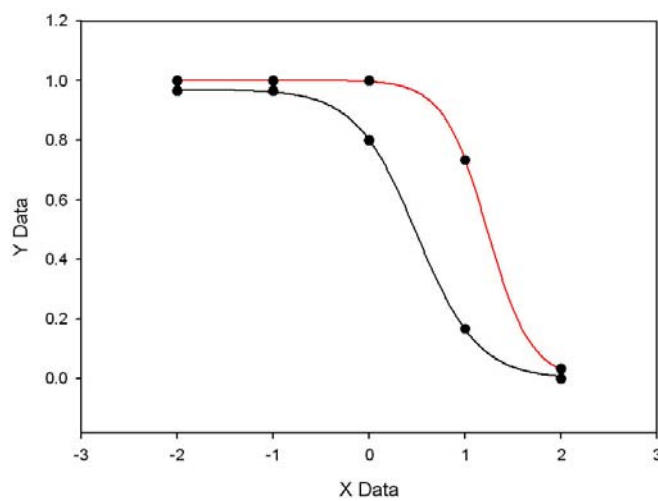


圖 4-1 馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響實驗結果範例

表 4-2 馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響實驗結果統計數據之一

	y=50%時 x 的偏移量
受測者 1	-0.323314374
受測者 2	0.753350075
受測者 3	-1.485274803
受測者 4	0.132436917
受測者 5	0.990139783
受測者 6	2.296941407
受測者 7	0.812992084

7 個有效樣本的實驗結果經過整理後如上表，當方格的面積從 10×10 像素變為 20×20 像素，面積增加 4 倍，有 5 位受測者的心理計量曲線產生正向的偏移，2 位受測者的心理計量曲線產生負向的偏移。以此可以推測當其他條件都相同的時侯，放大方格對大部分的人而言，可以產生較強的 Craik-O'brien-Cornsweet

illusion 效果。

表 4-3 馬賽克方格尺寸對錯視效果之影響實驗結果統計數據之二

	y=50%時 x 的偏移量
平均值	0.45389587
中間值	0.753350075
正向偏移最大值	2.296941407
正向偏移最小值	0.132436917
負向偏移最大值	-1.485274803
負向偏移最小值	-0.323314374
全距	3.78221621
變異數	1.195824545
標準差	1.093537629
T 檢定	0.268046404

統計結果顯示心理計量曲線偏移量的平均為 0.45，正向偏移量最大是 2.30，最小為 0.13，負向偏移量最大是-1.49，最小為-0.32。分析結果顯示，增加方格的尺寸時心理計量曲線會產生正向偏移。但根據統計檢定，在 95%的信心水準之下，兩者的差別並不顯著($p=0.27 > 0.05$)。這個結果顯示了在固定的觀看距離及面積下，大方格為單位的錯視效果會比小方格為單位強，但是兩者的差別並不顯著。

4-1-2 馬賽克格線寬度對錯視效果的影響

實驗結果經過分析之後，總共有 9 位受測者的數據可畫出有效的心理計量曲線，舉例如下圖，x 軸代表經過標準化以後的施測明度範圍，y 軸則是每一個明度值對應的感覺有錯視效果的機率。由於每位受測者實驗選用的明度範圍不同，標準化時乘算的係數也不同，因此數據分析的重點是在受測者內對照組和實驗組的心理計量曲線偏移量，以為 x（實驗組-對照組），y=50%時計算出來的數值表達。受測者之間的統計分析結果提供的訊息則是自變項和依變項大略的關聯趨勢。

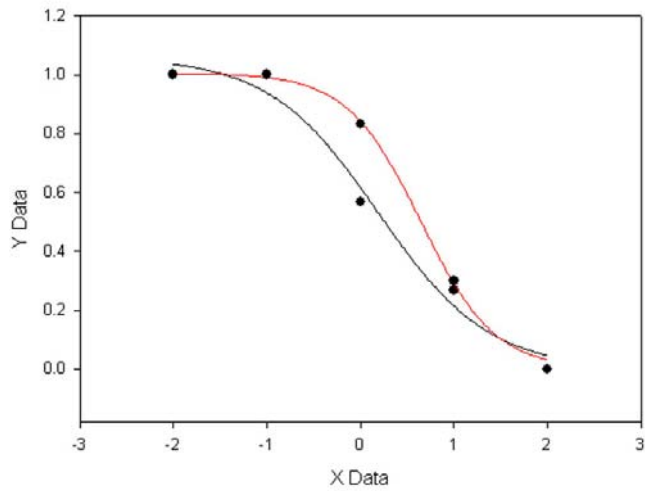


圖 4-2 馬賽克格線寬度對錯視效果之影響實驗結果範例

表 4-4 馬賽克格線寬度對錯視效果之影響實驗結果統計數據之一

	y=50%時 x 的偏移量
受測者 1	-0.141338769
受測者 2	0.578689484
受測者 3	0.742058724
受測者 4	1.114348885
受測者 5	0.389024704
受測者 6	0.65481279
受測者 7	0.715451529
受測者 8	1.003292059
受測者 9	-0.235514059

9 個有效樣本的實驗結果經過整理後如上表，當格線的寬度從 1 個像素變為 2 個像素時，也就是 2 倍寬，有 7 位受測者的心理計量曲線產生正向的偏移，2 位受測者的心理計量曲線產生負向的偏移。以此可以推測當其他條件都相同的時候，對大部分的人而言加寬格線可以產生較強的 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 效果。

表 4-5 馬賽克格線寬度對錯視效果之影響實驗結果統計數據之二

	y=50%時 x 的偏移量
平均值	0.535647261
中間值	0.65481279
正向最大值	1.114348885
正向最小值	0.389024704
負向最大值	-0.235514059
負向最小值	-0.141338769
全距	1.349862944
變異數	0.191008177
標準差	0.437044822
T 檢定	0.019948259

統計結果顯示心理計量曲線的偏移量平均為 0.54，正向偏移量最大是 1.11，最小為 0.39，負向偏移量最大是-0.24，最小為-0.14。分析結果顯示，增加格線的寬度時心理計量曲線會產生正向偏移。根據統計檢定，在 95%的信心水準之下，兩者的差別已達顯著($p=0.02 < 0.05$)。這個結果顯示了在固定的觀看距離及面積下，構成格線較粗的圖形錯視效果會比細格線構成的圖形強，且兩者之間有顯著的差異。

4-1-3 Cornsweet edge 坡度對錯視效果的影響

實驗結果經過分析之後，總共有 8 位受測者的數據可畫出有效的心理計量曲線，舉例如下圖，x 軸代表經過標準化以後的施測明度範圍，y 軸則是每一個明度值對應的感覺有錯視效果的機率。由於每位受測者實驗選用的明度範圍不同，標準化時乘算的係數也不同，因此數據分析的重點是在受測者內對照組和實驗組的心理計量曲線偏移量，以 x（實驗組-對照組），y=50%時計算出來的數值表達。受測者之間的統計分析結果提供的訊息則是自變項和依變項大略的關聯趨勢。

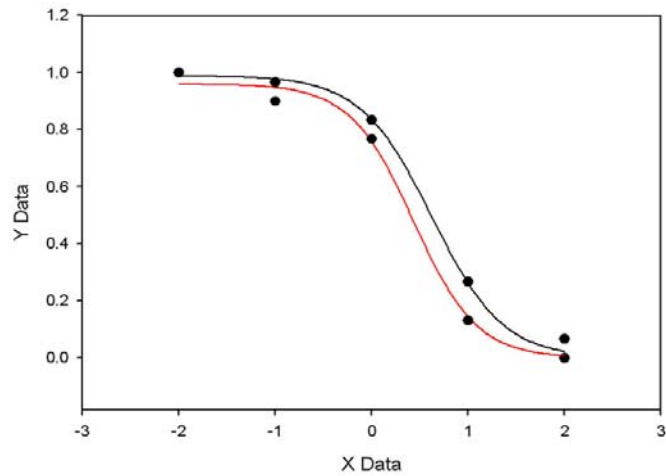


圖 4-3 Cornsweet edge 坡度對錯視效果之影響實驗結果範例

表 4-6 Cornsweet edge 坡度對錯視效果之影響實驗結果統計數據之一

	y=50%時 x 的偏移量
受測者 1	-0.128442341
受測者 2	-1.465919227
受測者 3	2.11015651
受測者 4	-0.725421173
受測者 5	0.185733276
受測者 6	-0.21009506
受測者 7	-0.320766395
受測者 8	0.138886419

8 個有效樣本的實驗結果經過整理後如上表，當 Cornsweet edge 的明度階層變化幅度變得比原來更大時，有 3 位受測者的心理計量曲線產生正向的偏移，5 位受測者的心理計量曲線產生負向的偏移。以此可以推測當其他條件都相同的時，對大部分的人而言明度階層變化幅度比較大的 Cornsweet edge 產生出來的 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 效果較弱。

表 4-7 Cornsweet edge 坡度對錯視效果之影響實驗結果統計數據之二

	y=50%時 x 的偏移量
平均值	-0.051983499
中間值	-0.1692687
正向偏移最大值	2.11015651
正向偏移最小值	0.138886419
負向偏移最大值	-1.465919227
負向偏移最小值	-0.128442341
全距	3.576075737
變異數	0.915451502
標準差	0.956792298
T 檢定	0.875319194

統計結果顯示心理計量曲線的偏移量平均為-0.05，正向偏移量最大是 2.11，最小為 0.14，負向偏移量最大是-1.47，最小為-0.13。分析結果顯示，增加 Cornsweet edge 坡度時心理計量曲線會產生負向偏移。根據統計檢定，在 95%的信心水準之下，兩者的差別未達顯著($p=0.88 > 0.05$)。這個結果顯示了在固定的觀看距離及面積下，明度階層變化緩和的 Cornsweet edge 會比明度階層變化幅度強烈的 Cornsweet edge 錯視效果強，但是兩者之間沒有顯著的差異。

4-1-4 整體數據分析

Craik-O'brien-Cornsweet illusion 這部份的實驗總計有 24 份有效數據，來自於 21 位受測者。將每個子實驗的實驗結果整理後如下表一。三個實驗變項中，方格的尺寸和格線寬度和錯視效果成正比，但是改變方格尺寸以後錯視效果的改變並未顯著。而改變格線寬度以後可以顯著的增加錯視效果。Cornsweet edge 的漸層坡度則是和錯視效果成反比，也就是說明度階層變化幅度變大以後錯視效果隨之變差。

表 4-8 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 效果與實驗變因關係表

	錯視效果改變平均值	顯着程度
子實驗一：增加方格面積	0.45389587	$p=0.268046404>0.05$ 未達顯著差異
子實驗二：增加格線寬度	0.535647261	$p=0.019948259<0.05$ 已達顯著差異
子實驗三：增加漸層坡度	-0.051983499	$p=0.875319194>0.05$ 未達顯著差異

另外將三個子實驗量測到所有受測者的錯視偏移量交互進行 T 檢定以後得到的結果如下表。所有的比對結果均未達到顯著差異，這顯示了操作這三個變項來改變錯視效果時並沒有哪一個要素對於效果的影響特別強烈。

表 4-9 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 實驗變因效果比較

	顯着程度
子實驗一對子實驗二	$p=0.167524>0.05$ 未達顯著差異
子實驗一對子實驗三	$p=0.867226>0.05$ 未達顯著差異
子實驗二對子實驗三	$p=0.395845>0.05$ 未達顯著差異

4-2 馬賽克形式的基本要素與 neon spread illusion illusion 錯視效果之關連

由於 neon color spread illusion 本身特性以及實驗設計時爲了避免經驗因素影響而在實驗刺激的屬性上加入了亂數，因此對於相同設定的錯視刺激，調整出來的圖形之間或多或少都有差異。爲了增加實驗結果的準確性，在過濾無效樣本時分爲兩階段，第一階段刪去無效圖形過多(超過 20%)的受測者，第二階段捨棄同一個受測者內偏離一般情況過多的圖形，判斷的依據是主觀感覺。

4-2-1 以主觀感覺比對評估色相的改變方向與幅度

本實驗共收集了 15 份有效數據，每位受測者分別針對受測者調整的區域爲馬賽克形式以及受測者調整的色環爲均質的情況調整 10 次，保留下來的有效圖形在 8 張到 10 張之間。

(2) 受測者調整的色環有格線的數據分析

表 4-10 受測者調整的色環有格線之色差統計表

	色差
平均值	13.95430813
中間值	13.569272
最大值	24.255491
最小值	10.34093
全距	13.914561
變異數	13.41637804
標準差	3.66283743

15 個有效樣本的實驗結果經過整理後如上表。統計結果顯示色差的平均值為 13.95，色差的最大值是 24.26，最小為 10.34。

(3) 受測者調整的色環無格線的數據分析

表 4-11 受測者調整的色環無格線之色差統計表

	色差
平均值	12.9412922
中間值	11.099189
最大值	27.466841
最小值	8.012311
全距	19.45453
變異數	19.6256593
標準差	4.4300857

15 個有效樣本的實驗結果經過整理後如上表。統計結果顯示色差的平均值為 12.94，色差的最大值是 27.47，最小為 8.01。

(4) 小結

表 4-12 有格線和無格線之色差比較表

	有格線	無格線
平均值	13.9543081	12.9412922
最大值	24.255491	27.466841
最小值	10.34093	8.012311
全距	13.914561	19.45453
T 檢定	$p=0.515217052 > 0.05$ 未達顯著差異	

將前面兩個部份的數據加以檢定以後結果如上。結果顯示在受測者調整區域有格線的狀況下，調整出來的色差略大於無格線的狀況。但在 95% 的信心水準下，兩種情況產生的色差並沒有明顯的差異存在($p=0.52>0.05$)。

4-2-2 馬賽克嵌片大小對於錯視效果的影響

表 4-13 嵌片尺寸 29*29 之色差統計表

	色差
平均值	6.68733783
中間值	6.112659
最大值	9.811584
最小值	4.652415
全距	5.159169
變異數	3.8428509
標準差	1.96031908

6 個有效樣本的實驗結果經過整理後如上表。統計結果顯示以 29*29 的方格組成的圖形色差的平均值為 6.69，色差的最大值是 9.81，最小為 4.65。

表 4-14 嵌片尺寸 14*14 與 29*29 之色差比較表

	14*14	29*29
平均值	13.9543081	6.687338
最大值	24.255491	9.811584
最小值	10.34093	4.652415
全距	13.914561	5.159169
T 檢定	$p=0.0000434<0.05$ 已達顯著差異	

將實驗結果和 14*14 方格組成圖形的效果比較如上表。結果顯示當組成圖形的方格放大，約為原來的 4.29 倍時，錯視圖形產生的色差反而會降低為原來的一半，且在 95% 的信心水準下兩者之間有非常顯著的差異($p=0.0000434<0.05$)。

4-2-3 馬賽克格線寬度對錯視效果的影響

表 4-15 格線寬度 3 個像素之色差統計表

	色差
平均值	28.5415378
中間值	29.166755
最大值	29.979829
最小值	25.902777
全距	4.077052
變異數	2.01748292
標準差	1.42038126

5 個有效樣本的實驗結果經過整理後如上表。統計結果顯示格線寬度為 3 像素的圖形色差的平均值為 28.54，色差的最大值是 29.98，最小為 25.90。

表 4-16 格線寬度 1 個像素與 3 個像素之色差比較表

	格線寬度 1 像素	格線寬度 3 像素
平均值	13.9543081	28.5415378
最大值	24.255491	29.979829
最小值	10.34093	25.902777
全距	13.914561	4.077052
T 檢定	$p=1.27E-09<0.05$ 已達顯著差異	

將實驗結果和格線寬度 1 像素圖形的效果比較如上表。結果顯示當組成圖形的格線寬度增加為原來的三倍時，錯視圖形產生的色差會增加約 2 倍，且在 95% 的信心水準下兩者之間有非常顯著的差異($p=0.0000434<0.05$)。

4-2-4 不同填縫色彩的錯視效果比較

(1) 數據分析

表 4-17 不同填縫色彩的錯視效果色差統計表

	色差-黃色	色差-綠色	色差-紅色	色差-藍色
平均值	4.23243457	10.4804731	5.29433243	4.42899757
中間值	4.333454	10.2245	5.995304	4.859369
最大值	5.549228	16.64912	7.404327	5.377025
最小值	2.701601	4.832448	1.035302	2.53825
全距	2.847627	11.816672	6.369025	2.838775
變異數	0.63404088	10.1600305	3.62761571	0.86811156
標準差	0.79626684	3.18748028	1.90463007	0.93172505

7 個有效樣本的實驗結果經過整理後如上表。統計結果顯示黃色的刺激格線產生的色差的平均值為 4.23，色差的最大值是 5.55，最小為 2.70。綠色的刺激格線產生的色差的平均值為 10.48，色差的最大值是 16.65，最小為 4.83。紅色的刺激格線產生的色差的平均值為 5.29，色差的最大值是 7.40，最小為 1.04。藍色的刺激格線產生的色差的平均值為 4.43，色差的最大值是 5.38，最小為 2.54。

(2) 小結

結果顯示這四個變項產生的色差的能力排序為綠>紅>藍>黃。綠色的刺激格線產生的色差很明顯的大於其他三個色相。紅色刺激格線產生的色差約為綠色的一半，藍色和黃色的刺激格線造成的色差相當接近。

表 4-18 不同填縫色彩的錯視效果之色差比較表

	顯著程度
綠色格線對黃色格線	$p=0.002556616 < 0.05$ 已達顯著差異
綠色格線對紅色格線	$p=0.006726708 < 0.05$ 已達顯著差異
綠色格線對藍色格線	$p=0.002904988 < 0.05$ 已達顯著差異
黃色格線對紅色格線	$p=0.243032224 > 0.05$ 未達顯著差異
黃色格線對藍色格線	$p=0.701488624 > 0.05$ 未達顯著差異
紅色格線對藍色格線	$p=0.344408957 > 0.05$ 未達顯著差異

將四個色相的色差交叉檢定以後如上表。在 96% 的信心水準下，綠色格線產生的色差和其他三個色像之間都有顯著的差異 ($p < 0.05$)。而紅，黃，藍三種刺激格線之間並未有顯著差異 ($p > 0.05$)。

4-2-5 整體數據分析

Neon color spread illusion 這部份的實驗總計有 33 份有效數據，來自於 25 位受測者，將每個子實驗的實驗結果整理後如下表。所有的平均色差中最小的結果為 4.23，表示在目前幾種馬賽克構成要素的設定的情況下 neon color spread illusion 都能讓原本的灰色方格產生很明顯的色彩偏移。受測者調整的區域有格線會較均質半圓環產生較大的色差，但兩者的差異並不顯著。

表 4-19 neon color spread illusion 效果與實驗變因關係表

		所有樣本的平均色差
子實驗一	受測者調整區域有格線	13.9543081
	受測者調整區域無格線	12.9412922
子實驗二	方格面積增加	6.68733783
子實驗三	格線寬度增加	28.54154
子實驗四	黃色刺激格線	4.23243457
	綠色刺激格線	10.4804731
	紅色刺激格線	5.29433243
	藍色刺激格線	4.42899757

將所有變項的色差交叉檢定以後結果如下表。方格放大和格線加寬這兩種改變產生的錯視效果有很顯著的差別，因為放大方格會降低錯視效果，而加寬格線則會增加錯視效果。方格放大和改變刺激格線的色相之間的比對，只有當刺激格線從原來的綠色換成黃色時錯視效果才會明顯的比方格放大的情況降低，其餘兩種色相的刺激格線產生的錯視效果則和方格放大的情況沒有顯著差異。格線加寬和改變刺激格線的色相之間的比對結果則是全部都有顯著的差異。

表 4-20 neon color spread illusion 實驗變因效果比較

	顯著程度
方格放大對格線加寬	$p=6.438E-07<0.05$ 已達顯著差異
方格放大對改變刺激格線色相黃色	$p=0.037179011<0.05$ 已達顯著差異
方格放大對改變刺激格線色相紅色	$p=0.260655063>0.05$ 未達顯著差異
方格放大對改變刺激格線色相藍色	$p=0.050843341>0.05$ 未達顯著差異
格線加寬對改變刺激格線色相黃色	$p=1.43249E-07<0.05$ 已達顯著差異
格線加寬對改變刺激格線色相紅色	$p=9.83558E-10<0.05$ 已達顯著差異
格線加寬對改變刺激格線色相藍色	$p=5.16924E-08<0.05$ 已達顯著差異

4-3 neon color spread illusion 的實體馬賽克觀察分析

經過實際觀察後，不論是對照組或是實驗組的實體馬賽克在適當的觀察範圍內，都能產生如同實驗版的錯視效果。太近觀察，填縫很清楚的成為構圖的獨立要素，無法影響嵌片，太遠觀察則幾乎察覺不到填縫，也不會產生錯視色彩。

當觀察者在實體版的正前方觀察時，和實體版距離約 4.98m 到 8.58m 之間可以看到相當清楚的 neon color spread illusion，範圍約 3.6m，實驗組的觀察距離則需拉開到 9.38m 到 18.98m，範圍約 9.6m，才能看到錯視效果。在適當觀察範圍內，對照組的格線寬度為 0.014 到 0.024 度視角，實驗組的格線寬度為 0.015 到 0.03 度視角。和 neon color spread illusion 的實驗用螢幕版比較如下表(視角計算請參閱附錄一)：

表 4-21 實體版馬賽克觀測統計

版本	填縫寬度	觀察距離		觀察距離下填縫的視角寬度	
		Far	Near	Far	Near
實體	2mm	Far : 8.58m	Near : 4.98m	Far : 0.014	Near : 0.024
	5mm	Far : 18.98m	Near : 9.38m	Far : 0.015	Near : 0.03
螢幕	1 像素	0.8m		0.0214	
	3 像素	0.8m		0.0644	

以上結果顯示當填縫的寬度增加時，實體版的適當觀察距離很明顯的變遠，而且可看到錯視的範圍也隨知增加。但實體和螢幕版的錯視效果很明顯不同點是對於填縫尺寸的容許程度，當實體版的填縫寬度超過 0.03 度視角時，錯視效果開始減弱以至於消失，而螢幕版的的格線寬度在 0.0644 度視角時仍然有很強烈的錯視效果。



第5章 結論與建議

本章的目的在於統整前四章的工作，探討實驗結果、研究目的、研究問題和文獻之間的呼應關係，並檢討實驗設計和實驗進行的過程。並根據最後的結果探討 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 和 neon color spread illusion 是否適合應用在馬賽克製作上。本章分為三個部份，第一個部份是研究結論，第二部份是研究貢獻，第三部份是對於後續研究的建議。

5-1 研究結論

研究結論的部份首先將總結第四章的實驗結果，從兩種錯視效果的實驗數據中整理各變項之間的關連性，檢視實驗結果是否能夠回答本研究想探討的問題，並根據實驗目的，比較這兩種錯視效果在馬賽克設計中運用的可能性。研究結論的最後並提出實體版本的製作心得與發現。

5-1-1 實驗結果之歸納整理

本研究的結構主要區分為 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 和 neon color spread illusion 兩大部分，兩部份共同的依變項都是錯視效果，自變項包括了馬賽克的圖形要素以及錯視的圖形要素。實驗結論從歸納自變項和依變項之間的關連性出發，最後再進行綜合性的比較。

a. Craik-O'brien-Cornsweet illusion

(1) 改變構成畫面的馬賽克嵌片的尺寸對錯視效果之影響

實驗結果顯示在固定的觀測距離以及觀測面積之下，將構成畫面的馬賽克方格面積增加以後可以增加錯視效果。也就是說原本兩邊明度相同的區域，受到 Cornsweet edge 影響下，主觀亮度的差異會隨著單位方格的增加而增加，但是明度差異增加的幅度並不明顯。

(2) 改變構成畫面的馬賽克填縫寬度對錯視效果之影響

實驗結果顯示在固定的觀測距離以及觀測面積之下，將構成畫面的馬賽克格線寬度增加以後可以增加錯視效果。也就是說原本兩邊明度相同的區域，受到 Cornsweet edge 影響下，主觀亮度的差異會隨著格線寬度的增加而增加，而且

增加的幅度相當顯著。

(3) 改變構成畫面的刺激漸層的坡度對錯視效果之影響

實驗結果顯示在固定的觀測距離以及觀測面積之下，將原本的 Cornsweet edge 置換為明度階層變化幅度較大的版本以後錯視效果降低。也就是說受到 Cornsweet edge 影響下比較亮的區域和比較暗的區域之間的主觀亮度差距隨之降低，唯降低的程度並不明顯。

(4) 變項之間的比較

在 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 實驗裡設定的三個變項對於錯視效果造成的影響並沒有明顯的差異。

b. Neon color spread illusion

(1) 以主觀感覺比對評估色相的改變方向與幅度

實驗結果顯示相同的錯視刺激區域對受測者而言，調整的區域有灰色格線會比調整區域沒有格線有略高的色差。但是兩者之間並無顯著差異。這也顯示了在調整區域有格線但是和背景格線的色彩相同的狀況下，調整區域的格線幾乎不會產生 neon color spread illusion，至於兩者之間些微的色差可能來自於色滲現象。

(2) 改變構成畫面的馬賽克嵌片的尺寸對錯視效果之影響

實驗結果顯示在固定的觀測距離以及觀測面積之下，將構成畫面的馬賽克方格面積增加以後會降低錯視效果，而且降低的幅度相當顯著。

(3) 改變構成畫面的馬賽克填縫寬度對錯視效果之影響

實驗結果顯示在固定的觀測距離以及觀測面積之下，將構成畫面的馬賽克格線寬度增加以後會加強錯視效果，而且提昇的幅度相當顯著。

(4) 改變構成畫面的馬賽克填縫色彩對錯視效果之影響

比較四種不同色相的 neon color spreading 效果的結果顯示在相同的明度和飽和度之下，綠色的格線造成的錯視效果最強，明顯的高於其他三種色相。接下來的順序是紅色，藍色，錯視效果最低的則是黃色的刺激格線。

c. 兩種錯視效果之比較

將這兩部份的實驗結果互相比較，我們可以發現對於馬賽克版本的 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 而言，改變格線寬度這個變項能使錯視效果產生

較明顯的變化，但是變化的幅度和其餘變相造成的變化相比並沒有顯著的差異。neon color spread illusion 很明顯的會受到馬賽克圖形變項影響，且改變格線的寬度、顏色與方格尺寸這些變項對於錯視效果都有顯著的影響。此外，屬於錯視構成要素變項的 Cornsweet edge 只要在總明度差(中央的峰值和被背景區域之間的明度差)不變的狀況下，改變高低之間的明度階層變化幅度對於錯視效果的改變並不明顯。同樣屬於錯視構成要素變項的刺激格線色相則會對 neon color spread 造成顯著的影響，大致結果為綠色格線>>紅色格線>>藍色格線>黃色格線。

根據本研究的目的，希望從操縱馬賽克的構成要素來達到最佳的錯視效果來輔助馬賽克設計這點來看，neon color spread illusion 在實際應用上的自由度較高。而 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 雖然可以在馬賽克的形式下達到改變明度的效果，且本研究所設定的三個變相也可改變 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的錯視效果，但是三個變相造成的效果差異不大，較難以此操縱錯視效果。另一方面，實驗的結果也顯示了 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 在所有設定的條件下都能發揮錯視效果，因此以 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 輔助馬賽克設計仍然是個值得研究的題目，具體的後續建議將在本章後半段提出。

d. 實體版本的觀察結論

根據 4-3 的觀察結果，實體版本的 neon color spread illusion 必須在適當的觀察範圍以內才能發揮效果，太近只能看到清楚的染色填縫，太遠則完全無法察覺到染色格線的存在。在其餘條件相同的情況下，比較寬的填縫容許的觀察範圍比較大。和螢幕上的 neon color spread illusion 圖形相比，實體版必須在填縫寬度呈現比較小的視角時才能看到錯視效果。螢幕版本雖然未對錯視可見的距離收集數據，但在格線寬度 3 個像素的實驗中，受測者所見的格線視角寬度約是實體版能容許的最大視角的 2 倍，仍然有很強的錯視效果。由此可見當錯視刺激本身是發光體，如電腦螢幕，製造 neon color spread illusion 要比在實體馬賽克等反射平面上有彈性。

此外，對於研究限制，也就是電腦平台和實體馬賽克之間的轉換部分，實體版本回答了部分問題。本研究製作的兩個依照實驗結果製作的實體馬賽克都有錯視效果。但因兩個版本適用的觀察距離沒有交集，因此尚無法驗證實驗得到的變項關聯性是否能直接套用到實體上。針對這點將在本章後半提供一些相關的後續研究建議。

e. 實驗檢討

在選用實驗用螢幕的階段進行過 gamma 校正與測試，校正的方式是透過電腦顯示卡 ATi Radeon 9200 的官方驅動程式所附的螢幕 gamma 校正程式。理想上螢幕的 gamma function 曲線最好是一直線，這樣輸入等距的明度值時，電腦螢

幕顯示出來的明度變化也才會是等距的。本實驗中使用的 EIZO FlexScan T965 21 螢幕經過調整以後，在中高明度的範圍內 γ function 逼近直線，但是在 Processing HSB(255 等級)50 以下的 γ function 曲率相當明顯。此外 neon color spread illusion 的實驗中需要以光學測色儀量測受測者調整出來的 HSB 經過實驗螢幕顯示以後的 xyY 值。但是發現 HSB 設定相同，以 Processing 繪製的色塊相隔數天後量測出來的 xyY 值和原本量測的數值並不一致。可能的原因一是螢幕本身機齡較為老舊，二是實驗室電壓並不穩定。由於其餘螢幕缺乏標準的出廠校正，因此仍然選用 EIZO FlexScan T965 21 作為實驗螢幕，並將 γ function 調整至實驗選用的明度範圍是直線的狀況。實驗前兩個小時預先將螢幕打開，待螢幕本身的電壓穩定以後再進行實驗。另外為了降低這方面的干擾因素，將測 xyY 的工作移到全部的數據統計完以後，在短時間內一次量取 neon color spread illusion 所有子實驗所需的 xyY 值。

對於以後要進行類似實驗建議使用機齡 3 年以內具有出廠校正的專業螢幕，同時實驗用機組必須透過運作正常的穩壓器連接到電源，才能降低硬體不穩定的干擾。

5-1-2 綜合結論-研究問題

在第一章提出過下列的研究問題，將研究結果中對於這些問題的回答整理如下。

a. Craik-O'Brien-Cornsweet illusion

- (1) 改變構成畫面的馬賽克嵌片的尺寸對錯視效果之影響
增加馬賽克嵌片尺寸會增加錯視效果，但不明顯。
- (2) 改變構成畫面的馬賽克填縫寬度對錯視效果之影響
增加馬賽克填縫寬度會顯著的增加錯視效果。
- (3) 改變構成畫面的明度階層變化幅度對錯視效果之影響
明度階層變化幅度加劇以後錯視效果降低，但不明顯。

b. Neon color spread illusion

- (1) 以主觀感覺比對評估色相的改變方向與幅度
有格線的調整區域會讓受測者調出比無格線版本略高的色差。
- (2) 改變構成畫面的馬賽克嵌片的尺寸對錯視效果之影響
增加馬賽克嵌片尺寸會明顯的降低錯視效果。
- (3) 改變構成畫面的馬賽克填縫寬度對錯視效果之影響

增加馬賽克填縫寬度會明顯的增加錯視效果。

(4) 改變構成畫面的馬賽克填縫色彩對錯視效果之影響

不同色相的刺激格線的錯視效果排序，綠色>紅色>藍色>黃色。綠色格線產生的色差明顯的大於其他色相。其餘三種色相之間則無顯著差異。

5-1-3 綜合結論-文獻探討

(1) Craik-O'brien-Cornsweet illusion 相關文獻與研究結果之探討

在本研究中設計了三個 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 相關的實驗，但是實驗結果顯示僅有格線寬度這個變項比較能影響錯視效果，但是和其他的變項相比卻無顯著差異。回顧第二章相關的文獻，Craik-O'brien-Cornsweet illusion 來自於知覺系統以經驗法則解釋眼前的資訊，或許可以解釋變項和錯視效果之間關連不顯著的問題。因為只要圖形一滿足錯視條件，知覺系統便在視網膜接收到的資訊中加入了經驗因素，而且從錯視效果造成強烈的亮度差異可以推測，在知覺中樞階段才加入的經驗因素在最終形成的的知覺經驗裡，比原始的視覺資訊要有優勢，也因此稀釋了實驗變項的效力。

(2) Neon color spread illusion 相關文獻與研究結果之探討

本研究的兩個關於刺激格線的實驗是目前收集到的文獻比較少提到的部份。文獻探討中對於 neon color spread illusion 的研究大多集中在格線的色相組合以及對於格線幾何結構的容許程度，本研究的結果則顯示了格線的寬度在 neon color spread illusion 的圖形要素中具有相當的優勢，而且相同明度和飽和度，不同色相的格線引起的錯視效果並不相同。

此外，錯視效果的主觀感覺比對和改變構成畫面的馬賽克嵌片的尺寸這兩部分得到的實驗結果，驗證了文獻探討中提到的 neon color spread illusion 的兩個特性。在文獻中提到錯視效果會隨著刺激格線的長度增加而減弱，當刺激格線長度超過 35 分視角以後錯視效果便會消失。實驗結果也顯示了隨著方格放大，也就是刺激格線拉長時，錯視效果會降低。錯視效果的主觀感覺比對實驗則說明了產生 neon color spread illusion 的知覺要素必須是刺激格線和非刺激格線的色彩之間必須有對比才能產生錯視效果，若刺激格線和非刺激格線顏色相同並無法產生錯視現象。因此受測者調整區域加上了灰色格線以後對於調整出來的結果並無顯著的影響。

5-2 結論之貢獻與應用

5-2-1 研究貢獻

(1)增進對於錯視現象的了解

雖然本研究以錯視現象在馬賽克中可能的應用為主，但相對的，透過研究結果也知道了 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 和 neon color spread illusion 和圖形變項的相關性。對於了解這兩種錯視形成的知覺要素也有一定程度的貢獻。

(2)為馬賽克創作提供更多的可能性

雖然 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的實驗結果沒有顯著的應用價值，但另一方面研究結果顯示了 neon color spread illusion 在馬賽克的形式中能夠產生充分的色彩偏移，讓無彩色的嵌片染上錯視的色彩。同時也找出了部份操控錯視強度的要素。對於馬賽克創作而言，缺乏某種顏色的嵌片時未必需要特別訂製嵌片或是更改圖形的設計，而可以用比較經濟的方式，調製有顏色的填縫劑，在需要顏色的區域以 neon color spread illusion 營造出想要的色彩。當然，這方面的實作的技術也需要透過嘗試以及經驗的累積才能準確的掌控最後的效果，但是對於馬賽克創作的領域也提供了更多的可能性。

5-2-2 研究應用

(1) Craik-O'brien-Cornsweet illusion

雖然在實驗室環境可以確定 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 在馬賽克的形式中也能夠產生相當程度的明度錯覺，但在實體版本製造時遇到了缺乏嵌片明度階層的問題。且實驗數據也顯示了 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 在實際的馬賽克設計要達到研究目的，控制畫面的明度這點上比較缺乏實用性。

但 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 這個錯視機制在創作上還是有應用的空間。在文獻中曾提到過 Cornsweet edge 並沒有形狀限制，因此在以色彩，幾何構成爲主題的馬賽克創作中仍然可加上 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 爲作品增加特殊的效果與趣味。

(2) neon color spread illusion

neon color spread illusion 的實驗結果顯示了這種錯視現象在馬賽克設計中有很多可能的應用方向，但是需要注意在實體環境下，觀察距離是錯視效果能否發生的要素之一，因此在設計馬賽克作品時應詳細規劃作品中使用的嵌片大小與預設的觀看距離。

a. 大型公共藝術

適合遠距離觀看的大型公共藝術正好符合了 neon color spread illusion 需要在一定距離觀看以及馬賽克本身耐久的特性。創作者可以只用單色的馬賽克嵌片，在設計好的圖形或紋理區塊內加上 neon color spreading 效果，從遠處觀看時

便能看到創作者設計的圖樣。

b. 以色彩為主題的馬賽克創作

文獻探討中提到色彩也是近代馬賽克創作常用的主題之一，neon color spread illusion 在這方面可能的應用除了增加嵌片色彩以外，還可以調整整體色調的感覺，讓作品有更豐富的欣賞層面。

c. 寫實風格的馬賽克創作

寫實風格的馬賽克創作最常碰到缺色的問題，neon color spread illusion 提供了傳統的嵌片混色技巧以外的另一種選擇。

5-3 後續研究建議

(1) 統一實驗刺激和實體版本的圖形樣式

本研究的限制之一，實體馬賽克和電腦螢幕上顯示的圖形之間的差別，在色彩的物理性質的不同較難解決。但另一方面，實驗用的圖形和實體之間還存在著尺寸以及圖形(例如構成畫面的格子數量)上的不同。因此，未來進行類似研究時，建議實驗刺激和實體製作使用形式和比例相同的圖形，減少這方面的不確定因素，或許能比較有效的以實體來檢驗實驗結果。

(2) 變項和錯視效果之間的關聯性之極限

本研究的結果顯示出某些變項和錯視效果之間的關聯性，但現有的資料並不能告訴我們這些關聯性是否會隨著變項達到某些極限值而改變。舉例來說，增加格線寬度可以提高 neon color spread illusion 的錯視效果，但是當格線寬度達到嵌片尺寸的三分之一，甚至是一半時，錯視效果是否持續增加仍然是不確定的。而對實際的馬賽克設計而言，了解變項影響錯視效果的極限可以避免過度操作變項，反而造成反效果。因此，這點也是值得作為後續研究的方向之一。

(3) Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的錯視效果與馬賽克嵌片大小的關連性

根據實驗結果，放大使用的馬賽克嵌片會增加 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 錯視效果。但是相對的放大馬賽克嵌片會使得 Cornsweet edge 漸層看起來更加的不連續，而且在實驗中不少受測者都反應過比較大的方格構成的 Cornsweet edge 會產生另一種 Chevreul illusion。因此欲操縱馬賽克嵌片尺寸來增加錯視效果時，可以考慮上述兩種效應造成的影響進一步探討放大嵌片增加錯視效果的關連性是否有限制。

(4) Cornsweet edge 的構成條件與馬賽克形式要素的相關研究

本研究關於 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的實驗結論雖然沒有比較明顯

的實用性，但 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 造成明度差異的效果是非常明顯的，在很多受測者的數據中，當左邊比右邊暗 10%時，仍有超過一半的機率受到錯視的影響而回答左邊比較亮。因此，後續的研究若能從不同的變相切入，或許還是能找到在馬賽克設計上運用 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 的技巧。

可能的方向之一是 Cornsweet edge 的形式要素和錯視效果的關聯性。馬賽克版本的 Craik-O'brien-Cornsweet illusion 中，Cornsweet edge 是以不連續的灰階構成的，比起連續的灰階還需要多考慮整個漸層的階數、組成的灰度數以及每階之間的明度差異等條件。因此，足以產生錯視效果所需的最少灰度數以及要產生的錯視效果，每階之間的明度差有何限制條件，都是可以在後續研究中探討的問題。

(5) neon color spreading 效果是否隨著馬賽克嵌片的材質改變

透過實體馬賽克版本製作，可以很確定這種錯視現象可以應用在實作上，本研究中使用的石英馬賽克嵌片是一種表面無光澤的不透明材質，接下來可進一步研究在不同嵌片材質上，如高反光不透明的釉面磁磚，半透明的玻璃琺瑯嵌片，透明高反光的玻璃磚，neon color spread illusion 的效果會有什麼樣的改變。

(6) 其餘色相和特殊色格線的效果

本研究中做為自變項的四種刺激格線色相都接近純色，其餘中間色的錯視效果是否可以透過純色的混色去推測，或是有完全不同的規則也是可做為後續的研究。對於實體版本而言，調配的填縫劑若是特殊色如螢光色，金屬色等，會產生怎樣的 neon color spread illusion 也是很有趣的問題。

(7) 綜合使用兩種錯視效果的可能性

本研究一開始想製作的實體版本馬賽克是 Craik-O'brien-Cornsweet illusion，只要嵌片的明度漸層能夠滿足 Cornsweet edge 的最低要求，這部份的實體製作比較不會像 neon color spread illusion 的實體版本上牽涉到實作技術的問題。但是實際收集市售馬賽克嵌片以後發現單就無彩色而言，明度漸層的階數夠多但是明度階層之間的差距變動太大，難以組成平順的漸層。若要純粹從嵌片上下功夫的話就只能訂製或是自製所需的馬賽克嵌片。另一個可能的方法就是利用 neon color spread illusion 改變嵌片的主觀亮度。對於這方面研究的建議，作者認為可以直接從實體的馬賽克製作著手。依照標準色票調配好數種明度的填縫劑和固定灰度的嵌片製成錯視圖形，施測時可以請受測者比對所見的錯視區域和色票。

參考文獻

<中文著作部分>

艾瑪.畢格斯 (2005)。馬賽克創作技法小百科(初版)(陳品秀譯)。台北：城邦。(原著出版年：2002)

<英文著作部分>

Beck, J. (1975) The perception of surface color. *Scientific American*, 232(2), 62-75.

Bressan, P. (1993). Neon color spreading with and without its figural prerequisites. *Perception*, 22, 353-361.

Bressan, P. (1995). A closer look at the dependence of neon color spreading on wavelength and illuminance. *Vision Research*, 35, 375-379

Bressan, P., & Vallortigara, G. (1991) Illusory depth from moving subjective figures and neon color spreading. *Perception*, 20, 637-644

Bressan, P., Mingolla, E., Spillmann, L., & Watanabe, T. (1997). Neon color spreading: a review. *Perception*, 26, 1353-1366.

Cornsweet, T. N. (1970). *Visual perception*. NY: Academic Press.

Ejima, Y., Redies, C., Takahashi, S., & Akita, M. (1984) The neon color effect in the Ehrenstein pattern: Dependence on wavelength and illuminance. *Vision Research*, 24, 1719-1726.

Locktov, J., & Clagett, L. P. (1998). *The art of mosaic design*. Massachusetts:Rockport.

Nakayama, K., Shimajō, S., & Ramachandran, V. S. (1990). Transparency: relation to

depth, subjective contours, luminance, and neon color spreading. *Perception*, 19(4), 497 – 513.

Purves, D., Lotto, R. B., & Nundy, S. (2002). Why we see what we do. *American Scientist*, 90(3), 236.

Redies, C., & Spillmann, L. (1981). The neon color effect in the Ehrenstein illusion. *Perception*, 10, 667-681.

Redies, C., Spillmann, L., & Kunz, L. (1984). Colored neon flanks and line gap enhancement. *Vision Research*, 24, 1301-1309.

<網站資料部份>

Kenneth, G. S. (2004). Classical Archaeology 49: The Archaeology of Greece. Retrieved May 5, 2006, from the World Wide Web:

<http://classics.unc.edu/courses/clar049/4th-cClass.html>

Purves, D. (2005). An Empirical Explanation: Craik-O'Brien-Cornsweet Effect.

Retrieved May 12, 2006, from the World Wide Web:

<http://www.purveslab.net/research/explanation/brightness/cornsweet.html>

Rod, H. (2001). The history of mosaic art. Retrieved May 5, 2006, from the World Wide Web:

<http://www.thejoyofshards.co.uk/history/index.shtml>

Sohmiya, S. (2004). A new analysis for color illusion on the basis of perceptual ambiguity in form and color. Retrieved May 20, 2006, from the World Wide Web:

<http://homepage3.nifty.com/somiyaseiyu/neon%20color%20spreading.html>

Tiziana, M. (2004). History of the Antique Mosaic Art. Retrieved May 5, 2006, from the World Wide Web:

<http://www.frammentiart.com/mosaic-history.asp>

Wikipedia. (2006). *Mosaic*. Retrieved May 1, 2006, from the World Wide Web:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Mosaic>

Wikipedia. (2006). *Cornsweet illusion*. Retrieved May 1, 2006, from the World Wide Web:

http://en.wikipedia.org/wiki/Craik-O%27Brien-Cornsweet_illusion



附錄一

螢幕版的 neon color spread illusion 格線寬度視角計算：

實驗用 21 吋螢幕的實際顯示範圍對角為 19.5 吋，寬高比為 4：3，因此螢幕可視寬度約為 $19.5*(4/5)=15.6$ 吋。實驗時設定的螢幕解析度為 1280*1024 像素，因此每吋包含了 $1280/15.6=82$ 個像素，每個像素大小為 $1/82$ 吋，換算以後約為 0.3mm。

受測者施測時距離螢幕約 0.8m，在此距離下格線的視角寬度為 θ

格線寬度 1 個像素時： $\tan(\theta/2) = (0.3/2)/800 \Rightarrow \theta = 0.0214$

格線寬度 3 個像素時： $\tan(\theta/2) = (0.9/2)/800 \Rightarrow \theta = 0.0644$

