

結合光與運動的動態虛形體研究— 以殘像轉速實驗與殘像色光實驗為例

The Dynamic Virtual Shape Combined Light and Motion-

A Case of Afterimage Study in Rotational Speed Experiment and Colored Light Experiment

陳光大* 葉民鋒**

*國立雲林科技大學數位媒體設計系

**國立雲林科技大學數位媒體設計系

摘要

動態造形在科技藝術領域逐漸嶄露頭角，動態是一種強烈的視覺吸引力，本研究將藉由運動知覺中的運動殘像原理，了解在開發「動態虛形體」的過程中，轉速與色光對造形本身的效果差異。本研究分兩階段進行，第一階段以運動殘像與視覺暫留的理論基礎為參考評估之依據，並蒐集線性材質作為研究樣本，再進行材料彙整；第二階段則利用實驗方式進行殘像轉速實驗與殘像色光實驗，並彙整結果。

轉速實驗結果顯示，棉線、中國繩、麻繩、蠟線、金屬鍊等材質的可視度調查皆高於中位數標準；接受度調查則以金屬鍊為最高，其次為蠟線與中國繩，顯示線材的粗細也是決定殘像形態的要素之一；殘像色光實驗結果發現，無論是單一色或複合色的樣本可視度與接受度調查均高於中數值標準，顯示色光效果更適合運用在動態虛形體的開發。

關鍵詞：運動知覺、運動殘像、動態虛形體

一、研究動機

動態造形本身屬於立體構成的範疇，其以立體形態呈現，但實質上有動態的表現效果，與傳統靜態雕塑有很大不同，因此已由立體構成中脫離，自成一格為運動構成。在運動構成中，除了實體造形的構成，虛形體的構成也是一個值得探討的方向，利用「運動（movement）」與「時間（time）」兩大元素所產生的虛形體造形，本研究在此稱作「動態虛形體」。

動態虛形體與「殘像（afterimage）」有其連帶關係。「殘像」的意義在一般研究中所提到的形式，大多以受到色彩刺激所產生的「視覺疲勞」所帶來的「殘像」，這是以靜態或平面為主的「色覺活動」。由於「視覺暫留」與現今熱門的影像傳播息息相關，導致許多人紛紛投入此領域鑽研，相較之下造形藝術領域運動知覺中的「殘像」表現，就不及影像傳播的魅力。由實際運動（real movement）所產生的「殘像」現象，又會產生哪些動態虛形體的變化及造形表現，有許多尚待釐清與探討的問題，這是本研究試圖想去瞭解，與透過實驗嘗試創造新造形的主要動機，也希望藉由此研究開發出新形態。

二、研究目的

人類之所以可以看到連續不斷的流暢畫面，是人類視覺的錯覺。能將影像暫時保存，並短時間的停留於眼前，就是所謂的「視覺暫留」；實際運動所形成的「動態虛形體」則是屬於相同物件做規律的運動所構成的虛像。但由於此現象與「視覺暫留」的界定頗不清楚，所以在此將過去的文獻進行整理及歸納，並做清楚的定義。

本研究將利用各種不同線性特質的媒材，將其裝上馬達加以旋轉運動，加入「運動」此一元素，由線或面所構成具有空間感的型態，可從原本的虛形面構成一個虛形的體，運用「運動殘像」的原理可創造出無限的形體，延伸出許多虛實的不同變化的造形。利用實驗的方式，創造出不同的動態造形，透過攝影方式將其結果記錄下來，同時希望達到以下幾點目標：

- (一) 整理動態虛形體的造形原理以及認識相關學理。
- (二) 探討材質與轉速、色光與動態虛形體之間的關係。
- (三) 分析與歸納實驗結果，作為開發動態虛形體的依據。

三、文獻探討

3.1 運動知覺

動態是一種強烈的視覺吸引力。沒有任何的視覺經驗不是運動知覺的產物；由於眼球始終保持著運動的狀態，基本上所有的視覺訊號都可說是攜帶著運動知覺的本質。在大腦中樞的部分，視覺訊息主要是在處理認識顏色、形狀、材質與空間的定位，除此之外的另一個職責就是處理運動訊息。若喪失運動知覺儘管辨識物體無礙，卻無法察覺物體的運動，可以看到一格一格靜止的影像，卻無法感覺到這一幕到下一幕的連續狀態。喪失運動知覺對正常人的生活將造成巨大影響，例如倒水進杯子時無法察覺何時水滿、過馬路或開車時無法預測其他車輛與行人的行進路線與速度（陳一平，2011）。因此，大部分的視覺知覺都有涉入運動訊息，本質上皆屬運動知覺。

根據文獻蒐集、分析與彙整，以視覺效果將運動方式加以分類，可分為：(1) 實際運動(real movement，又稱「真實運動」)、(2) 運動殘像(movement afterimage，又稱「運動後效(movement aftereffect)」)、(3) 似動運動(apparent movement，又稱「假象運動、視覺暫留」)、(4) 誘導運動(induced motion 或 induced movement，又稱「誘發運動」)、(5) 自動運動(autokinetic movement) 五種，在本研究中，由「運動殘像」所形成的「動態虛形體」是主要探討與實驗之對象，透過理性的實驗與歸納，希望在運動知覺的領域中，關於動態虛形體的研究，有進一步的瞭解。

根據文獻的分析回顧，「視覺暫留」與「殘像」之定義頗為模糊不清，在此將部分相關文獻重整。視覺暫留(persistence of vision)是光對視網膜所產生的視覺，在光停止作用後，仍保留一段時間的現象，其具體應用是電影的拍攝和

放映。

視覺實際上是靠眼睛的晶狀體成像，感光細胞感光，並且將光信號轉換為神經電流，傳回大腦引起人體視覺。據文獻記載，法國人保羅·羅蓋（Paul Roget）在 1828 年發明了留影盤（Thaumatrope），它是一個被繩子在兩面穿過的圓盤，盤的一個面畫了一隻鳥，另一面畫了一個空籠子，當圓盤旋轉時，鳥在籠子裡出現了。這證明了當眼睛看到一系列圖像時，它一次保留一個圖像。

殘像（afterimage）是一種視覺錯覺，也就是原始影像停止後，眼睛如同相機一般，經長時間曝光後而隨之出現的影像。最常見的例子，當人的眼睛看到光源後會產生幾秒鐘的光暈浮動感。而在漫畫（繪畫）作品中，也常用不斷複製的殘像來描繪具有運動與速度感的畫面。

殘像依眼睛所見的顏色可分為陰性和陽性兩種形式，陰性殘像（負像）是眼球視網膜所產生的現象，為一種負片顏色；陽性殘像（正像，保留原來的顏色）背後所產生的過程是未知的，但被認為和視神經適應作用有關，如同夜間施放的煙火，常看到一條條連續不斷的各種造型的亮線，其實煙火無論在任何位置上只能是一個亮點，由於視覺殘像的特性，前後的亮點卻在視網膜上引成線狀。而陰性殘像正是所謂的補色殘像（complementary afterimage），當我們盯著某一顏色，其顏色突然從視線中移除，此時該顏色的互補色（例如：紅色的補色為青色、綠色的補色為洋紅色、青色的補色為黃色）可能會停留在視覺中。

運動殘像（movement afterimage）是當你凝視著某一物體有方向性的運動，該物體突然停止時，視覺上殘留的影像仍是一種視覺印象，看起來就像該物體的殘影作反方向運動，例如，當我們站在瀑布前，直視瀑布一段時間後再看旁邊的景色，會發現旁邊的景色會往對瀑布流動方向相反的方向移動。這種現象稱為瀑布錯視（waterfall illusion），或稱作運動後效（movement aftereffect）（黃書鴻，2003）。運動殘像的原理類似於視覺暫留的原理，不同的是視覺暫留是運用連續性有意義的圖像，而運動殘像則是單一形態的物體經由規律或不規律運動所呈現的虛形。

3.2 視覺感官與動態

視覺是人類所有感知中最重要的感覺。人之所以可看見影像，是因為物體影像通過角膜、虹膜中的瞳孔經過控制焦距的水晶體，最後成像在視網膜上，再經由視神經的傳導至大腦的視覺區，我們才得以看到影像。視知覺的傳導過程是非常快速，並且非常精確的。視知覺的領域中，其涵蓋範圍相當廣泛，從感知色彩、形狀、運動等都包含在內。

英國倫敦大學神經生物學家 Semir Zeki (2001) 的研究說明，人類的腦中有一區專門掌管「看」與「理解」的「視覺皮質區」，當中又區分為 V1~V5 等視覺處理區，其中的 V5 就是負責運動的部分。此區絕大多數的細胞都只對運動物體有反應，對靜止的物體則沒有反應（潘恩典，2001；黃書鴻，2002）。而觀看實際動作時，我們會運用到大腦的「V1 區」（接收視覺影像）及「V5 區」（林書堯，1986；張世瑒，2006）。動態虛形體的形成與此區的感應速度有關，當物體的速度超過一定的閾值時，就會產生虛形的影像。

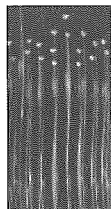
3.3 相關研究歷程

本研究根據文獻探討的分析結果發現，「運動殘像」大多都為視覺感官及錯視的相關記錄。早在 15000 年西班牙的阿爾塔米拉（Altamira）洞窟壁畫中就發現洞窟的岩壁上，畫著許多表現動態的動物圖像。到古埃及文明時，也有著人對於動態的紀錄，例如：在同一平面上繪製許多連續性的動作或是由生到老的圖像。

到 19 世紀，因光學與動力學的盛行，視覺暫留的相關理論才由彼得·馬克·羅傑（Peter Mark Roget），於 1824 年在英國皇家學會提出《移動物體的視覺暫留現象》（Persistence of Vision with Regard to Moving Objects），報告書中指出：「影像刺激在最初顯露後，能在視網膜上停留若干時間。這樣，各種分開的刺激相當迅速的連續顯現時，在視網膜上的刺激信號會重疊起來，影像就成為連續進行的了。」（黃玉珊、余為政，1997）至此，才正式說明了視覺暫留的原理，開

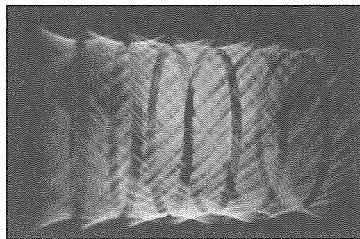
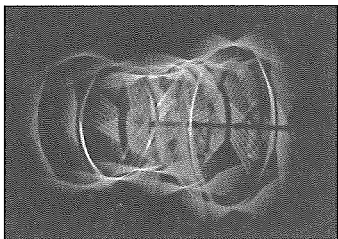
始讓世人瞭解在視覺中，如何產生動態的過程及現象。

根據文獻記載，「運動殘像」最早出現運用在藝術表現上的第一人是納姆·賈伯（Naum Gabo），並於 1920 年發表《Standing ware》，此作品是在軸心上插上鐵線，用簡易式的馬達使其鐵線旋轉產生離心力，鐵線便會產生運動殘像的虛量感效果（圖一）。隨著光電科技的發達，1950 年後機動藝術漸漸開始活躍，並以「運動」為主要的主題帶入創作作品中。蔡文穎於 1971 年製作的作品《Double Diffraction》（圖二），利用頻閃裝置為作品的主要光源，結合聲控裝置控制，當旋轉的金屬棒與頻閃裝置不同步時，金屬棒會產生殘像般的虛量感。1991 年蔡文穎再度發表作品《沙漠之泉》（圖三），此一作品以聲控的形式與觀者互動，能讓作品隨音樂擺動，並產生動態虛形的現象（陳光大，2004）。

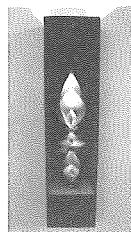
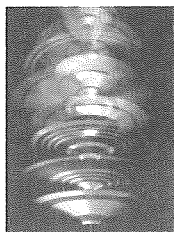
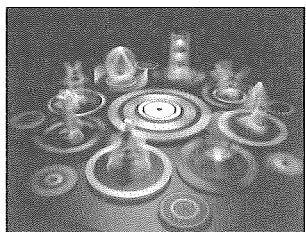


【圖一】納姆·賈伯(Naum Gabo) 'Standing ware', 1920 【圖二】蔡文穎, Double Diffraction, 1971 【圖三】蔡文穎, 沙漠之泉, 1991

美國的光藝術家夫婦亞利漢羅德·希納與莫依拉（Alejandro and Moira Siña）擅長利用霓虹燈管結合風力、機動力等做一系列動態作品，其中 1978 年的作品《Spinning Shaft》（圖四、五）利用高速旋轉一連串不同角度的霓虹燈管，使其產生光的殘像效果；松村泰三（Taizo Matsumura, 1929-2007）同樣也擅長利用光與馬達的組合做創作，在 2002 年發表的作品《Surface》（圖六）與 2006 年的《Surface[2]》（圖七、八）運用光學原理與同步閃光燈，將色光三原色照射在白色的雕塑造形上，以馬達旋轉造形體，使色光反射產生如彩虹般的立體殘像。



【圖四】【圖五】亞利漢羅德·希納與莫依拉（Alejandro and Moira Siña），Spinning Shaft，1978



【圖六】松村泰三（Taizo Matsumura），【圖七】【圖八】松村泰三（Taizo Matsumura），Surface[2]，2006

四、研究方法

本研究的執行方法主要採用實驗設計的方式進行，預計分二個階段進行。第一階段為蒐集相關文獻資料及實驗樣本，文獻部份進行分析與歸納資料。由於動態虛形體構成的最基本要素，需考慮轉速與色光的不同程度，可能形成不同造形效果，因此第二階段透過運動殘像原理設計「殘像轉速實驗」與「殘像色光實驗」並進行分析，提出新的可能性之創意觀點。初步的研究步驟，大致如下：

（一）第一階段：

1. 以文獻探討之方式深入蒐集國內外有關運動殘像的相關研究資料，作為本研究之參考評估之依據。
2. 依據不同之線性材質，紀錄其材料的優異，並將結果進行彙整與紀錄。

（二）第二階段：

1. 根據動態虛形體的構成要素，透過實驗設計進行殘像轉速實驗與殘像色光實驗，並彙整轉速實驗結果，以了解材質與轉速的關係，作為殘像色光實驗的依據。
2. 分析討論殘像轉速實驗、殘像色光實驗的實驗結果之可延伸運用的設計。
3. 將上述之結果加以發想，藉以發想出合於現有最佳方法的新模式，並進行分析與討論。最後整合各種實驗階段的結果進行討論，獲得研究結論，提出新的研究觀點。

4.1 實驗一：殘像轉速實驗

（一）實驗目的

本研究以實驗法進行，主要探討動態虛形體的轉速變化，經由實驗前置的樣本收集與分類，篩選出適合的材質，利用馬達旋轉以探討線材或其他導光性材質，在動態表現上所產生的殘像形態，探討轉速與動態造形之間的關係，並進一步探討是否可延伸運用設計，藉以發想出合於現有最佳方法的新模式，而實驗參加者依據不同的樣本材質所呈現之殘像做問卷記錄，針對以下三個方向調查：

1. 「最小轉速速度閾」：選出可樣本材質產生殘像的最小轉速數值。
2. 「可視度」：目的為調查樣本材質的殘像效果是否顯著。
3. 「接受度」：目的為調查樣本材質是否適合發展動態虛形體造形。

（二）實驗方法

將所設定的六種線材，分別將線材兩端固定於木桿的兩端上，並將其直立固定於視覺步進系統上，控制系統轉速，由 0 rpm/min 至 150 rpm/min 逐漸遞增，依據轉速觀察所產生的殘像變化，並記錄轉速所形成運動殘像的視覺變化之「最小轉速速度閾」，「可視度」、「接受度」數值最小為 1，最大為 5，觀察距離為 1 公尺；實驗前給參加者進行實驗說明與相同實驗流程。

(三) 實驗參加者

本實驗由 20 個人參加，男性 10 名、女性 10 名；年齡 19 至 24 歲。參加實驗者兩眼正常視力為 0.9 至 2.0 之間，或視力矯正後（配戴眼鏡或隱形眼鏡）達 0.9 至 2.0 之間之正常水平，以此標準來觀察線材在視覺步進系統上旋轉，依轉速所形成的動態虛形體。

(四) 實驗環境

1. 照明環境：

實驗環境控制在正常照明下進行，採用日光燈 200 至 250 瓦，無眩光或反光的現象，並保持安靜讓受測者盡量不受外界的干擾。

2. 實驗設備：

訂製的視覺步進系統一台，最大轉速約為 150rpm/min 的步進馬達，實驗時轉速由 0 rpm/min 逐漸地增到 150 rpm/min。線材固定於高度約 30 公分的木桿兩端並直立置於步進系統上，顏色以材質原色為主，觀察距離為 1 公尺。

3. 測試樣本：

本殘像轉速實驗所設定的六種樣本，為線材長度相同約 40 公分、粗細差異小之線性材質，材質如下（表一）。

【表一】殘像轉速實驗樣本材質與殘像形態

樣本	樣本材質	殘像攝影圖示	樣本	樣本材質	殘像攝影圖示
A1	棉線		A2	中國繩	
A3	麻繩		A4	蠟線	
A5	魚線		A6	金屬鍊	

（資料來源：本研究整理）

（五）實驗程序

- A. 實驗前，請實驗參加者現場測量雙眼視力，兩眼正常視力為 0.9 至 2.0 之間，或視力矯正後（配戴眼鏡或隱形眼鏡）達 0.9 至 2.0 之間之正常水平，方可參加實驗。
- B. 實驗開始，請實驗參加者坐在視覺步進系統正前方，距離約 1 公尺。
- C. 研究者依步進系統的轉速，由 0 rpm/min 至 150 rpm/min 逐漸遞增。
- D. 實驗參加者依據轉速觀察所產生的殘像變化，記錄轉速所形成運動殘像的視覺變化之「最小轉速速度閾」、「可視度」與「接受度」。
- E. 研究者依樣本編號更換實驗樣本置於視覺步進系統上，直到實驗參加者將六個實驗樣本的轉速變化記錄完畢，即實驗結束。

4.2 實驗二：殘像色光實驗

（一）實驗目的

本研究以實驗法進行，主要探討動態虛形體的色光變化，經由殘像轉速實驗的樣本整理與分析，篩選出合適的材質，以螢光色塗料上色，在黑暗無光害的環境下配合 Black Light，利用馬達旋轉，以探討加工過後的線性材質，在動態表現上所產生的殘像形態，開發出結合光與運動的新造形型態，並進一步探討是否可延伸運用設計，藉以發想出合於現有最佳方法的新模式。

（二）實驗方法

將從「殘像轉速實驗」所篩選出的材質樣本中，選擇較容易上色（螢光塗料）的材質，如棉線與中國繩，且將部分樣本材質加粗以作為本實驗樣本，並記錄轉速所形成運動殘像的視覺變化之「可視度」、「接受度」數值最小為 1，最大為 5，觀察距離為 1 公尺；實驗前給予參加者進行實驗說明與相同實驗流程。

（三）實驗參加者

本實驗由「實驗一：殘像轉速實驗」之相同 20 位受測者參加，男性 10 名、

女性 10 名；年齡 19 至 24 歲。參加實驗者兩眼正常視力為 0.9 至 2.0 之間，或視力矯正後（配戴眼鏡或隱形眼鏡）達 0.9 至 2.0 之間之正常水平，以此標準來觀察線材在視覺步進系統上旋轉，依轉速所形成的動態虛形體。

（四）實驗環境

1. 照明環境：

實驗環境控制在無光害之暗房，且在視覺步進系統兩側打上 Black Light，並保持安靜讓受測者盡量不受外界的干擾。

2. 實驗設備：

訂製的視覺步進系統一台，最大轉速約為 150rpm/min 的步進馬達，以「殘像轉速實驗」所統計之樣本轉速，並將轉速維持在平均值以上。兩支 20WT8 的 Black Light 燈管固定於視覺度進系統兩側。線材固定於木桿兩端並直立置於步進系統上，顏色以色光三原色（紅、綠、藍）的單一色和複合色為主，觀察距離為 1 公尺。

3. 受測樣本：

本殘像色光實驗所設定的六種樣本，線材長度相同約 40 公分，材質分別如下（表二）。

【表二】殘像色光實驗樣本材質與殘像形態

樣本	樣本材質	材質形態	殘像攝影圖示
B1	棉線	螢光紅，單一色。	
B2	棉線	螢光綠，單一色。	
B3	棉線	螢光藍，單一色。	

B4	棉線	螢光紅＋材質原色白色， 複合色，線材加粗。	
B5	中國繩	螢光紅＋螢光綠， 複合色，線材加粗。	
B6	棉線	螢光紅＋螢光綠＋螢光藍， 複合色，線材加粗。	

（資料來源：本研究整理）

（五）實驗程序

- A. 實驗前，請實驗參加者現場測量雙眼視力，兩眼正常視力為 0.9 至 2.0 之間，或視力矯正後（配戴眼鏡或隱形眼鏡）達 0.9 至 2.0 之間之正常水平，方可參加實驗。
- B. 實驗開始，請實驗參加者坐在視覺步進系統正前方，距離約 1 公尺。
- C. 研究者依樣本編號順序，將實驗樣本置於視覺步進系統上，並以「殘像轉速實驗」所統計之樣本轉速為基礎，將轉速維持在最小轉速速度閾的平均值以上。
- D. 實驗參加者依據轉速觀察所產生的殘像變化，記錄轉速所形成運動殘像的視覺變化之「可視度」與「接受度」。
- E. 實驗參加者將六個實驗樣本的轉速變化記錄完畢，即實驗結束。

五、實驗分析與討論

本研究針對實驗一「殘像轉速實驗」與實驗二「殘像色光實驗」，彙整兩個實驗結果，並加以分析與討論。

5.1 實驗一：殘像轉速實驗結果分析

本實驗以「實驗參與之男女性」為依變項，六種材質樣本分別為編號 A1-棉線、編號 A2-中國繩、編號 A3-麻繩、編號 A4-蠟線、編號 A5-魚線、編號 A6-

金屬鍊，問卷數據以 Microsoft Excel 軟體作初步統計整理與 T 檢定，針對「可視度」與「接受度」對實驗參與之男女性作分析。

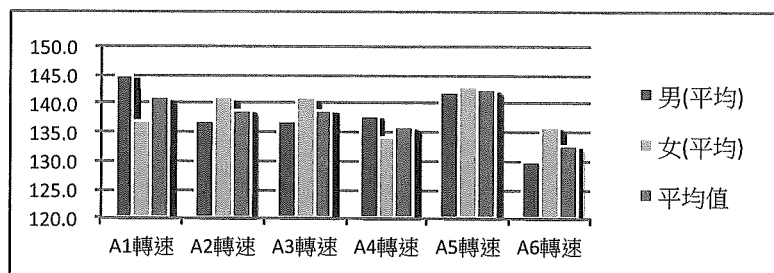
5.1.1 殘像轉速實驗樣本之最小轉速速度閾

透過殘像轉速實驗，將其「最小轉速速度閾」調查結果彙整如表三與圖四所示。由於本研究實驗器材之限制，視覺步進系統最大轉速值為 150 rpm/min，而動態虛形體的產生，轉速必須超過最低平均為 138.33 rpm/min 的閾值，才能產生虛量的影像，六種樣本所調查之結果，轉速平均值都接近 150 rpm/min，因此本研究由此推測，轉速越快所產生的殘像，應效果越好。

【表三】殘像轉速實驗樣本之「最小轉速速度閾」平均值

樣本編號	A1	A2	A3	A4	A5	A6
轉速平均值 (rpm/min)	141.0	139.0	139.0	136.0	142.5	133.0

（資料來源：本研究整理）



【圖四】殘像轉速實驗樣本「最小轉速速度閾」之平均值（資料來源：本研究整理）

5.1.2 殘像轉速實驗樣本之可視度

透過殘像轉速實驗，將其「可視度」調查結果彙整，並將六個樣本的實驗結果綜合以圖表呈現，如表四、表五、圖五所示。除了樣本編號 A5 的魚線以外，其他五個樣本材質皆高於中數值標準，顯示魚線這類型偏細的材質作為實驗樣本，較難產生殘像，而其餘五項材質的殘像可視度符合本研究實驗標準，

可視度最高為金屬鍊，其次為蠟線與中國繩。表五顯示樣本編號 A2 的中國繩，男女性在可視度上有顯著差異，綜觀男女性於殘像轉速實驗可視度調查的平均值，發現女性在 A1、A2、A4 和 A6 樣本的平均值均高於男性，而上述幾個樣本的殘像，均屬於較為完整且外觀平滑的殘像形態，但 A3 麻繩和 A5 魚線所呈現的殘像形態則相反，同時女性在 A5 的可視度平均值也低於男性，故由此推測，女性對於可視程度的認定為殘像較為完整的形態。

【表四】殘像轉速實驗樣本「可視度」之平均值

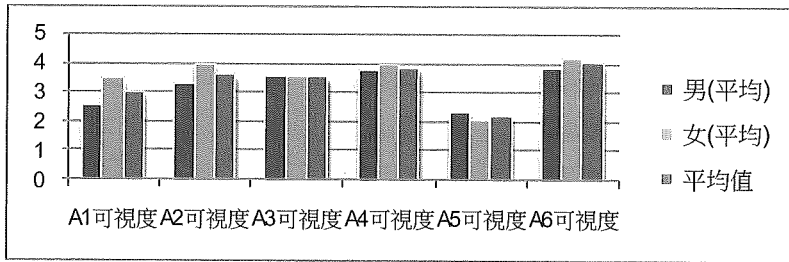
樣本編號	A1	A2	A3	A4	A5	A6
可視度平均值	3.05	3.65	3.60	3.90	2.25	4.05

（資料來源：本研究整理）

【表五】殘像轉速實驗樣本「可視度」之 T 檢定分析表

樣本編號	男性（平均）	女性（平均）	P 值	結論
A1	2.60	3.50	0.065	男女無顯著差異
A2	3.30	4.00	0.026	男女有顯著差異
A3	3.60	3.60	0.500	男女無顯著差異
A4	3.80	4.00	0.307	男女無顯著差異
A5	2.40	2.10	0.251	男女無顯著差異
A6	3.90	4.20	0.196	男女無顯著差異
若 P 值小於 0.05 則結論男高於女或女高於男				

（資料來源：本研究整理）



【圖五】殘像轉速實驗樣本「可視度」之平均值（資料來源：本研究整理）

5.1.3 殘像轉速實驗樣本之接受度

透過殘像轉速實驗，將其「接受度」調查結果彙整，並將六個樣本的實驗結果綜合以圖表呈現，如表六、表七、圖六所示。除了樣本編號 A5 的魚線以外，其他五個樣本材質皆等於或高於中數值標準，其中接受度最高為金屬鍊，其次為蠟線與中國繩，並顯示魚線這類型偏細的材質，所產生之效果較不適合發展動態虛形體。表七顯示樣本 A6 的金屬鍊，男女性在接受度上有顯著差異，針對女性的調查結果，從統計資料中發現，在 A6 金屬鍊的接受度平均值為六個樣本中最高，本研究初步推測，由於六個樣本在相同長度的情況下，金屬鍊於實驗過程中較容易產生殘像，加上可視度調查結果中，女性對於可視程度的認定較容易影響接受度之結果，因此造成 A6 樣本男女上的差異。

【表六】殘像轉速實驗樣本「接受度」之平均值

樣本編號	A1	A2	A3	A4	A5	A6
接受度平均值	3.00	3.40	3.30	3.80	2.25	3.95

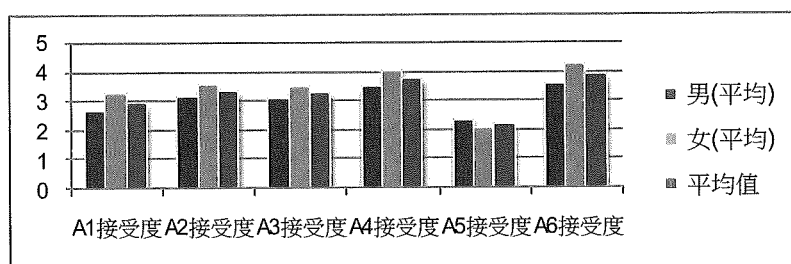
（資料來源：本研究整理）

【表七】殘像轉速實驗樣本「接受度」之 T 檢定分析表

樣本編號	男性（平均）	女性（平均）	P 值	結論
A1	2.70	3.30	0.149	男女無顯著差異

A2	3.20	3.60	0.162	男女無顯著差異
A3	3.10	3.50	0.200	男女無顯著差異
A4	3.50	4.10	0.106	男女無顯著差異
A5	2.40	2.10	0.251	男女無顯著差異
A6	3.60	4.30	0.038	男女有顯著差異
若 P 值小於 0.05 則結論男高於女或女高於男				

(資料來源：本研究整理)



【圖六】殘像轉速實驗樣本「接受度」之平均值 (資料來源：本研究整理)

5.1.4 殘像轉速實驗討論

本研究透過殘像轉速實驗發現，太輕、太細或具有韌性的線性材質，如樣本編號 A5 的魚線，固定於視覺步進系統上高速旋轉時，除了容易纏繞在木桿上，也不易產生殘像，因此將特定線性材質加粗或硬化，更有助於動態虛形體的產生。

5.2 實驗二：殘像色光實驗結果分析

本實驗以「實驗參與之男女性」作為依變項，六種材質樣本分別為編號 B1-棉線（螢光紅）、編號 B2-棉線（螢光綠）、編號 B3-棉線（螢光藍）、編號 B4-棉線（螢光紅+白）、編號 B5-中國繩（螢光紅+螢光綠）、編號 B6-棉線（螢光

紅＋螢光綠＋螢光藍），問卷數據以 Microsoft Excel 軟體作初步統計整理與 T 檢定，針對「可視度」與「接受度」對實驗參與之男女性作分析。

5.2.1 殘像色光實驗樣本之可視度

透過殘像色光實驗，將其「可視度」調查結果彙整，並將六個樣本的實驗結果綜合以圖表呈現，如表八、表九、圖七所示。六個樣本材質皆高於中數值標準，證明運用色光的方式，確實更能將殘像效果呈現，也更能夠產生動態虛形體。

【表八】殘像色光實驗樣本「可視度」之平均值

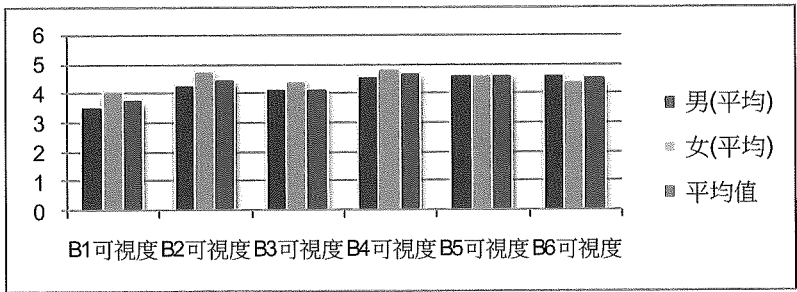
樣本編號	B1	B2	B3	B4	B5	B6
可視度平均值	3.85	4.55	4.20	4.75	4.70	4.60

（資料來源：本研究整理）

【表九】殘像色光實驗樣本「可視度」之 T 檢定分析表

樣本編號	男性（平均）	女性（平均）	P 值	結論
B1	3.60	4.10	0.069	男女無顯著差異
B2	4.30	4.80	0.052	男女無顯著差異
B3	4.20	4.50	0.500	男女無顯著差異
B4	4.60	4.90	0.182	男女無顯著差異
B5	4.70	4.70	0.500	男女無顯著差異
B6	4.70	4.50	0.194	男女無顯著差異
若 P 值小於 0.05 則結論男高於女或女高於男				

（資料來源：本研究整理）



【圖七】殘像色光實驗樣本「可視度」之平均值（資料來源：本研究整理）

5.2.2 殘像色光實驗樣本之接受度

透過殘像色光實驗，將其「接受度」調查結果彙整，並將六個樣本的實驗結果綜合以圖表呈現，如表十、表十一、圖八所示。六個樣本材質皆高於中數值標準，顯示色光效果更適合運用於運動殘像的動態造形，所產生的動態虛形體形態，變化也可以更豐富多樣。表十一顯示樣本 B2、B4，男女性在接受度上有顯著差異，本研究初步推測，此為男女性對於殘像配合不同色光所呈現之效果的喜好程度不同所致，除了樣本 B3 男女性平均值相同以外，其他五個樣本在接受度調查中，女性平均值均高於男性平均值，顯示女性更能夠接受殘像色光的表現方式。

【表十】殘像色光實驗樣本「接受度」之平均值

樣本編號	B1	B2	B3	B4	B5	B6
接受度平均值	3.95	4.55	4.20	4.85	4.80	4.40

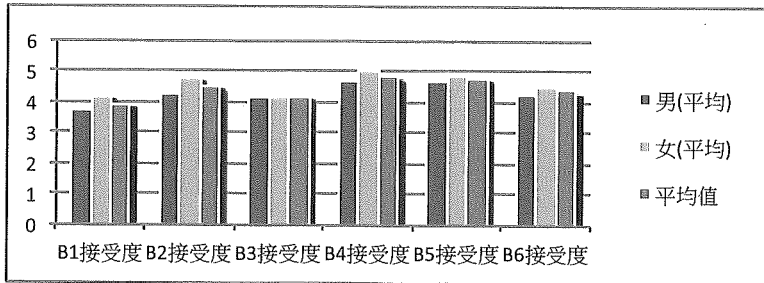
（資料來源：本研究整理）

【表十一】殘像色光實驗樣本「接受度」之 T 檢定分析表

樣本編號	男性（平均）	女性（平均）	P 值	結論
B1	3.70	4.20	0.073	男女無顯著差異
B2	4.30	4.80	0.031	男女有顯著差異
B3	4.20	4.20	0.500	男女無顯著差異
B4	4.70	5.00	0.033	男女有顯著差異
B5	4.70	4.90	0.144	男女無顯著差異
B6	4.30	4.50	0.263	男女無顯著差異

若 P 值小於 0.05 則結論男高於女或女高於男

（資料來源：本研究整理）



【圖八】殘像色光實驗樣本「接受度」之平均值（資料來源：本研究整理）

5.2.3 殘像色光實驗討論

在無光害的暗房內以色光的方式進行殘像實驗，相對於正常照明下的殘像，以人的雙眼直視，殘像效果更顯得清楚可見。

本研究透過殘像色光實驗發現，色光波長較長的紅色，與綠色和藍色相較下，在可視度調查結果中並非最高，因此本研究推測影響殘像的可視程度除了色光以外，材質的長短與粗細等選擇也是一大重點；另外，樣本 B2 與樣本 B4 在接受度調查的數據上顯示男女性有顯著差異，本研究初步推測造成顯著差異

的結果，可能是男女性對於顏色表現上的喜好程度不同，後續研究將進一步針對此這部分做更深入的探討。

5.3 實驗綜合討論

動態虛形體的構成因素有材質、色光、轉速、照明環境等，經實驗研究發現，只要線性材質同時在轉速與色光兩個基本條件之下，本身能延展構成一個空間體，各種材質進行加工過後，如將線材加粗或硬化等，都可能產生殘像，並形成動態虛形體。

而後續研究將依此分析結果，蒐集更多不同性質的樣本，思考除了線性材質以外，點與面性的材質是否可加以利用，也根據殘像色光實驗結果中，男女性對於不同樣本的顯著差異作進一步探討，創造不同形式的動態造形，進行「動態虛形體」所產生之動態造形可延伸運用之設計，並作為造形教育和新形態開發之參考依據。

六、結論與建議

高速的「運動殘像」會產生動態虛形體，本研究藉由線性材質所構成具有空間感的形態，可從原本的「線」構成「虛形面」，再由「虛形面」構成一個「虛形體」。過去認為「運動殘像」與「視覺暫留」有相當緊密的關係，雖然兩者都為連續性的動態行為，但透過相關文獻的深入研究後發現，「運動殘像」與「視覺暫留」的關係是有差異的。「視覺暫留」為有意義的連續性圖像所構成，而「運動殘像」則為無意義的單一運動所形成。

本研究實驗結果顯示，殘像的最低轉速速度閾平均值落在 133 rpm/min 至 143 rpm/min 之間，而材質「可視度」與「接受度」調查最高為金屬鍊，其次為蠟線與中國繩，由此推測，構成動態虛形體的因素，從殘像轉速實驗的可視度與接受度數據中發現，材質、轉速、色光、粗細，均是構成虛形體的主要因素。

本研究在殘像色光實驗的樣本製作上，選擇較容易上色（螢光塗料）的材

質，如棉線與中國繩，將樣本材質加粗或硬化，更能獲得較佳的殘像效果，並進一步發現，無論是單一色或複合色的樣本，在「可視度」與「接受度」調查中均高於中數值標準，顯示色光效果更適合運用在動態虛形體的開發；但在接受度調查的數據上顯示男女性有顯著差異，初步推測造成顯著差異的結果，可能是男女性對於顏色表現上的喜好程度不同，將在後續研究作進一步探討。

後續研究不排除全面使用較粗的線材作為實驗樣本，並嘗試更多與色光結合的動態造形，並將依此分析結果，進行「動態虛形體」可延伸運用之造形開發，作為造形教育和新形態開發之參考依據，並將之應用在科技藝術、多媒體設計的構圖元素上，亦或戶外公共空間藝術、戶外媒體設計、展覽空間、展示設計、夜間照明系統及室內空間設計等，將光與動態藝術帶入生活中，創造出新的視覺享受。

參考文獻

（一）中文文獻

1. SemirZeki, 2001,《腦內藝術館》，潘恩典譯，臺北市：商周出版社。
2. 林書堯，1986,《色彩認識論》，臺北市：三民書局。
3. 呂清夫，1984,《造形原理》，臺北市：雄獅圖書股份有限公司。
4. 林崇宏，2001,《造形藝術》，臺北市：美工科技。
5. 林崇宏，2005,《造形設計原理：點線面體空間的研究與探索（二版）》，新北市：視傳文化。
6. 林美婷，2004,〈光的動態造形研究及創作〉，臺南市：崑山科技大學視覺傳達設計研究所碩士論文。
7. 莊雅淳、曾薰儀，2011,〈動態造形表現形式之初探—以留影盤裝置為例〉，《2011 第七屆國際視覺傳達設計研討會》，臺南市：崑山科技大學。
8. 陳一平，2011,《視覺心理學》，臺北市：雙葉書廊有限公司。
9. 陳光大，1997,〈運動造形的運動形態之研究〉，《1997 基本設計研討會》，臺中縣：朝陽科技大學。

10. 陳光大，1999，〈運動造形對視覺傳達設計的關係與應用〉，《1999 跨世紀視覺設計研討會》，臺南市：崑山科技大學。
11. 陳光大，2003，〈運動知覺動態中的實踐與運用〉（研究計畫編號：NSC91-2411-h-168-001），臺北市：行政院國家科學委員會。
12. 陳光大，2004，《運動構成的體系建立與實踐》，臺北市：全華科技圖書股份有限公司。
13. 陳光大、林品章，2007，〈動力學造形的發展源流〉，設計學報第 12 卷第 3 期，第 45-61 頁。
14. 陳光大、林品章，2007，〈動力學造形的理論基礎及其在造形教育中的地位〉，設計學報第 12 卷 2 期，第 37-52 頁。
15. 陳韻如，2008，〈從科技藝術探討當代跨領域創作之發展〉，臺北市：國立台灣藝術大學多媒體動畫藝術學系碩士論文。
16. 陳鵬暉，2010，〈反射材質結合圖形變化的光造形形態開發〉，臺南市：崑山科技大學視覺傳達設計研究所碩士論文。
17. 勝井三雄、神田昭夫、廣橋桂子，1995，《VISUAL DESIGN：平面・色彩・立體構成》，林品章譯，臺北市：龍溪圖書。
18. 朝倉直巳，1998，《藝術・設計的立體構成》，朱炳樹、洪嘉永、林品章譯，臺北市：龍溪設計叢書。
19. 黃玉珊、余為政，1997，《動畫電影探索》，臺北市：遠流出版。
20. 黃書鴻，2002，〈運動呈現效果與主觀速率判斷的關係〉，新竹市：國立交通大學應用藝術研究所碩士論文。
21. 張世瑋，2006，〈歐普藝術的圖像刺激與「霸腦皮質區」的幻覺反應－探究「抽象構成」與「具象圖形」並存的視覺藝術創作〉，臺北市：臺北市立教育大學視覺藝術研究所。
22. 葉謹睿，2003，《藝術語言@數位時代》，臺北市：藝術家出版社。
23. 葉謹睿，2005，《數位藝術概論》，臺北市：藝術家出版社。

(二) 外文文獻

1. Cassandra Moore & Stephen A. Engel (1999). Visual perception: Mind and brain see eye to eye. *Current Biology*, 9(2), R74-R76.
2. David M. Eagleman (2001). *Visual illusions and neurobiology*. Macmillan Magazines, 2, 920-926.
3. Leonard Matin & G. Ernest MacKinnon (1964). Autokinetic Movement: Selective Manipulation of Directional Components by Image Stabilization. *Science Magazine*, 142(3602), 147-148.
4. Nicholas Wade & Michael Swanson (2001). *Visual Perception: An Introduction* (2nd ed.). London: Psychology Press.
5. Stuart Anstis, Frans A.J. Verstraten and George Mather (1998). The motion aftereffect. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(3), 111-117.
6. 鬼沢貞，1972，残像の本性：とくに視覚残像について，岩手大学人文社会科学部，10，1-15。
7. 横山智也，1985，〈キネティック・アート（筑波大学芸術年報）〉，筑波市、日本：筑波大学芸術学系。

(三) 網路資源

1. Derin A. Sherman (n.d.). Deceptions of the senses are the truths of perception. -J. Purkinje. Retrieved from <http://people.cornellcollege.edu/dsherman/illusions/index.html>
2. 朱宗慶，2010，〈最夯的科技藝術〉，取自 <http://blog.udn.com/jublog/4563186>

致謝

本論文為國立雲林科技大學專題計畫 101-T10 之研究成果，感謝國立雲林科技大學給予研究經費

The Dynamic Virtual Shape Combined Light and Motion : A Case of Afterimage Study in Rotational Speed Experiment and Colored Light Experiment

Guang-Dah Chen* Min-Feng Yeh**

*Department of Digital Media Design, National Yunlin University of
Science and Technology

**Department of Digital Media Design, National Yunlin University
of Science and Technology

Abstract

Through the principle of movement afterimage, understanding the process of developing "dynamic virtual shape", the difference of the rotational speed and colored light of the shape itself. The study conducted in two stages. First stage use theories and foundations of movement afterimage and persistence of vision, to collect linear material as the study sample. Second stage is perform the experiment of afterimages and rotational speed, with the experiment of afterimages and colored light, finally integrating the results.

In rotational speed experiment result, the material visibility survey of cotton threads, Chinese rope, hemp ropes, wax rope and metal chain were higher than the median of standard. There is the acceptance of material survey results: the highest is metal chain, the second is wax rope, and the last is Chinese rope. The result also shows thickness of the material is decided afterimage form. In colored light experiment result, the both of material 'single color samples' and 'composite color samples' were higher than the median of standard. The colored light effect is more suitable for the development of dynamic virtual shape.

Keywords: motion perception, movement afterimages, dynamic virtual shape