

立體圖的製作原理

曾志翔 賴奕佐 張永達
國立臺灣師範大學 生物學系

一、前言

市面上常見一些3D立體圖卡，這些圖卡大部分看起來可能都是一些毫無意義的奇怪圖形，但當用某些特別的方法來觀察它時，便會出現令人驚奇的圖像，而這些圖像竟然還是立體的！一張原本是平面的圖像為什麼會變成立體的呢？當學生問到這個問題時該如何回答呢？這是魔術嗎？還是眼睛花了？其實都不是，這只是一種自然的視覺現象，道理很簡單，以下我們便來好好的探討一下究竟是什麼原因造成的。

二、視覺原理

首先我們先來瞭解一下我們的眼睛是如何看到物體的，我們的眼球構造就像一架全自動的照相機一樣，當光線射到物體上經過反射進入眼球中，透過水晶體的調節然後可以成像在視網膜上。水晶體就像是照相機的鏡頭可以調整焦距，視網膜就好比是照相機的底片一般，可以將進入到眼球的光線的強弱、顏色等性質經由神經細胞傳送到大腦。人的視網膜上有兩種感光細胞，一種是錐狀細胞、另一種是桿狀細胞，錐狀細胞負責接受不同顏色的光線(即不同的光波長)，而桿狀細胞則是負責感受光的明暗(即不同的光振幅)，再藉由神經將不同的訊息傳遞給大腦，經過大腦的整合之後我們所見到的影像便產生了。

如前所述在我們的視網膜上面有兩種感光細胞，一種是桿狀細胞，另一種是錐狀細胞。而顏色的感覺是由錐狀細胞所負責，但是我們的大腦如何判斷出顏色的呢？其實顏色的判斷是取決於神經節細胞接受到紅、藍、綠光刺激所產生的相對活性。視網膜中的神經節細胞的接收區(receptive field)是圓形的，可分為中央部分及周圍部分，中央部分的錐狀細胞主要接受紅光而產生電流的訊號讓我們感覺到紅光，而周圍部分的錐狀細胞則接受綠光而產生電流訊號對紅光的感覺產生抑制作用。此外，負責接受藍、黃光的接收區亦如前所述，中央區為負責接受藍光的感光細胞，周圍則為接受黃光的區域，經由如此的拮抗作用我們便可以看到許多種的顏色，如白色光其實是含有各種顏色的光，在照射到視網膜之後由於所有的感光細胞彼此拮抗的結果，讓我們感覺出那是白光。

(1)視覺暫留

人的眼睛也像其他的光學儀器一樣有一定的極限，通常只有波長4000埃到7000埃左右的光我們才可以看見，這就稱為可見光。然而所有從眼睛進來的信息，大約能夠在大腦保持16分之一秒之久的印象，這種現象稱做視覺暫留，這是由於視覺細胞在接受到光的刺激之後需要一段時間之後才能回復到原來的狀況，而這中間

所空下的時間無法再接收其他的訊號，所以大腦中所顯示的訊號仍是前一次的訊號，所以才會有這樣的現象。因此，我們所看到的影像其實是斷斷續續的，只要兩個影像變換所需的時間小於影像殘留的時間，我們便很難察覺到影像是不連續的。我們日常生活中像卡通、電視、電影都是利用視覺暫留的原理所做成的，其實它們都是一幅一幅靜止的畫面，其間有些微的不同，因為變換太快所以我們無法察覺，便將他們看成連續的畫面，這些影像最慢每秒 24 幅，而最快的達到每秒 72 幅，一般多為每秒 30 幅畫面。

(2) 後像

至於後像的產生，便很容易解釋了，由於彼此拮抗的感光細胞其中之一產生疲勞，所以使另一個感光的細胞的訊號被強調出來所致。舉個例子來說，當我們注視紅色的影像一段時間，此時我們視網膜上的紅色感光細胞因接受到紅光而興奮起來，一段時間之後紅色的感光細胞便疲勞了，而此時如果我們移到白色的背景下，由於白光中含有紅光和綠光，所以會同時刺激紅色感光細胞和綠色感光細胞，正常時應該因互相拮抗而感覺出白色，但此時因紅色感光細胞疲勞所以綠色感光細胞的相對活性便比較大，便被強調出來，而使得我們感覺出綠色的後像。

(3) 立體視覺

人類在視網膜上所成的像實際上只能提供平面的資訊，但為什麼我們可以看到立體的影像。實際上是因為我們的眼睛有

兩個，而這兩個眼睛又位在同一個平面上，所以兩眼可以同時看到同一個物體。而兩眼所看到的影像視角又有一些不大相同，左眼和右眼所看到的影像由於眼睛位置的不同會有一點相位差，在經過大腦的整合之下兩個影像融合在一起，便形成了立體的影像，所以一隻眼睛失明的人便失去了立體視覺的能力，其他動物只要有兩眼且在同一平面上便也會有立體視覺的能力。

(4) 錯覺

人類的視覺所見的世界經常是不正確的，這給予我們相當多的方便的地方，例如電視就是利用視覺暫留現象所製成。如果我們的眼睛可忠實的呈現所有外界的景象，那麼像電視、電影等都將不可能產生。

我們看東西經常會受到我們的習慣所影響，例如兩條等長的線條一旦加上箭頭便看起來不等長(圖一)，另外我們看東西也常會受到眼睛位置的影響，由於我們的眼睛是位於左右兩旁，所以對於橫向的物體分辨能力較上下為強，因為橫向所見到的重疊區域較大，而上下重疊的區域較小，如 8 若站著看感覺上下的圓圈似乎差不多大，但如果橫放便會發現其實兩個圓圈相差滿多的(圖二)。又由於視覺所見的區域強調的是視野的中心位置，所以中心位置的物體形狀顏色便相當清楚，而周圍的便只能見到輪廓而顏色上便會有誤差。如圖三我們看起來好像有許多黑點，仔細看其實一個也沒有。而在判斷物體大小

時，常是利用相對的大小，所以當我們看到相同大小的球放在大球旁時，便覺得他比較小，相反的，看到放到小球旁時便覺得他比較大(圖四)。

另外，如視覺暫留、後像的產生等也都會影響我們視覺上的感受，大體上我們對於視覺的判斷都受到先天上生理構造，和後天心理認知的影響，視覺錯覺常常會使我們判斷錯誤，有時某些圖像投影在視網膜上，大腦會依據以往的經驗來判斷所見到的事物，但有的時候這樣的判斷是錯誤的。例如把兩個有蓋的桶子遞給別人，一個小桶裝滿了沙，另一個大桶裝的沙和小桶一樣多。大多數人提起兩個桶子時都會說小桶的比較重，他們之所以判斷錯誤是看見小桶較小，應該輕一些，誰知道提起來那麼重，於是立刻高估了它的重量。

(5)平面的立體影像

從古老的壁畫中我們就可以發現，其實我們的老祖宗從很久以前便想要將所見到的景物記錄下來以流傳後世，但從最古老的壁畫到後來演變出來的繪畫，甚至照片，他們所記錄的全都只是一個平面的紀錄，只是我們利用平時看東西的經驗將景深與視差等特徵描繪在平面上，便能使我們瞭解它所代表的立體圖像。照片雖然精確的記錄了物體的大小比例和相對的光照陰影關係，看起來很像是立體的，但若換一個角度看或撕破看，立體的效果馬上就穿幫了。

由於人類對於立體影像的嚮往，於是便發展出許多記錄立體影像的方法。1.紅藍立

體圖像：基本上紅藍立體圖是利用不同色光無法通過特殊濾光片的性質所做出來的，首先利用紅色和藍色兩種不同的顏色，分別做出不同角度的兩個像，利用的紅色濾光片濾掉藍色，藍色濾光片濾掉紅色，使左右兩眼所看到的影像不同，再經過大腦整合成為一個立體的影像。2.偏極光立體電影：偏極光立體電影的原理和紅藍立體圖像的原理是一樣的，只是偏極光立體電影是利用兩片偏振方向互相垂直的偏極片來濾掉不要的光線，播放時利用兩架同步放映的放映機，掛上互相垂直的偏極鏡頭，左右眼再戴上互相垂直的偏極光眼鏡，如此左右眼便可看到不同的影像，立體感便由此而生。偏極光立體電影的好處就是可以欣賞的全彩色的影像，因為偏極片不會濾掉不同的色光，而且偏極片就像太陽眼鏡一般也不會像紅藍濾光鏡那樣奇怪，所以現在大家都使用偏極片的方式來拍立體電影了，例如自然科學博物館的立體劇場便是利用這種原理製成的。3.全像片：全像片和照片並不相同，但拍攝的方式卻差不多，全像片拍攝時也是利用感光底片來感光，但是不同的是全像片上所記錄的並不是像一般照相底片所記錄的只有一個平面不同光波反射的強度值，而是一種很特別的記號，光學上稱之為干涉條紋，但並不是一般光學實驗中利用狹縫所產生的干涉條紋，而是實物上所反射出來的光波與另一束參考光波所共同留下的記號。拍攝時，只要在一旁加一束特定波長的參考光束，等到照片洗好之後再利用相同波長的光線照射，原來實物上的光波便會顯現出來。由於全像片所記錄

的記號是由兩組光波所共同造成的，所以，我們可以看到實物的景深和視差，也就是當你換一個角度去看他時，便和真實的景物一般可以看到不同的面，甚至在被撕破時仍可保持原有的立體感。全像片由於必須使用特定波長的光束去照射之後才會產生影像，而且照片無法複製所以仍不是非常的普遍，通常用作信用卡的防偽標誌，使用性並不是很廣。

4. 裸眼可見的立體圖片：上述的方法都必須透過特殊的道具來觀看，才能顯示出立體的效果來，在使用上不是很方便，然而我們用最簡單的方法也可以造出立體圖來，完全不需要藉助任何儀器的情形下也可以產生立體感。最簡單的方法就是利用像位差製造出兩張相近的圖片，分別利用雙眼去看兩張圖，當兩張圖像融合成為一張時，便會產生立體的效果。再來便是一開始我們提到的3D立體圖卡，這類的圖卡通常是利用隨機點所做出來的所以又稱之為隨機點立體圖 (random-dot stereogram 簡稱 R.D.S)，這類的圖形製作的方法其實很簡單，只要將兩張一模一樣的隨機點圖的其中一張，圈選一個特定形狀的範圍，將之做水平的位移，如此這兩張隨機點圖便有一點像位差，透過雙眼將兩張圖融合之後便產生立體影像了。

5. 電腦立體影像：由於資訊科技的進步，電腦亦成為相當普遍的工具，利用電腦軟體來製作立體圖像也已相當常見，如許多電腦遊戲都是利用立體影像製作而成的。電腦立體影像主要是利用電腦建構出一多邊行的骨架，再利用貼圖將每一面貼上一張圖案，並利用電腦計算出每一個面旋轉之後的角度，而做出

一個可以三百六十度旋轉的立體物件，例如利用電腦畫出一正立方體，再將其六面貼上圖便可做成一立體物件。早期的貼圖相當粗糙，而且電腦計算多邊形的能力也不強，所以做出來的物體都有稜有角相當難看，現在因繪圖晶片的發展再加上軟體的開發，已可做出相當逼真的立體畫面，例如友立公司推出的 Shade 5 在物件類型上除了傳統的多邊形外，已可加入貝茲曲線用來製作自由曲面的物件，而在貼圖材質上也可反映出光線的明暗變化、投射方向等特點，所製作出影像已與真實的影像相差無幾。

三、立體圖的設計與製作

最後我們來介紹最簡單的方法來製作立體圖，我們利用一連串重複的文字，將其中的一個字刪去，如此我們便會發現其他的幾個字便會浮凸出來，藉由此種方法我們便可以造出立體圖形來，例如：漢皇重色思傾國漢皇重色思傾國，當我們把其中的"皇"去掉之後"重色思傾國漢"便會浮凸出來，但這樣的方法我們只能看到一段突出的文字，如果我們只要其中的一個字或兩個字突出，我們先將此字之前的一個字刪除，然後在此字之後補上一個隨機的字，例如：侍兒扶起嬌無力始是新承恩澤時侍兒扶起嬌無力始是，如果我們想要讓"新"突出，我們可先將"新"之前的"是"刪除，然後在"新"之後補上一個任意的字，以後類推，變成：侍兒扶起嬌無力始新西承恩澤時侍兒扶起嬌無力始新西承，如此"新"便會突出來；如果想要多幾個字突出便在這幾個字之後再加上一個隨意字，例如：雲鬢花顏金步搖芙蓉帳暖度春

宵雲鬢花顏金步搖，若我們想要“蓉帳暖”突出，變成：雲鬢花顏金步搖蓉帳暖看度春宵雲鬢花顏金步搖蓉帳暖看度春，如此“蓉帳暖”便會突出，以此方法經過嚴密的安排便可以製造出相當漂亮的圖形來了(圖五)。

對於這類的立體圖通常有兩種方法可以用來觀看：1 平行法：一開始眼望遠方，保持這個焦距一段時間，然後將圖片由下往上插入，如此一來圖片就會變得非常模糊，保持視線模糊，試著將圖片前後移動，眼睛會在某一個點上對準焦距，立體圖像自然就會顯現出來。2 交叉法：先在圖片與眼睛中間豎起一支筆或一跟手指，凝視其尖端，以這樣的視線望向圖片，會顯現出模糊的影像，試著移動手或筆的位置，或改變圖片的距離，如此便會在某一個點上呈現出立體圖像來。在日本、美國有一些醫療機構，早已將此立體視覺遊戲作為斜視和弱視的復健方法。其中近視的人要用「平行法」，因為平行法是將眼睛的焦距放遠。而斜視的人要用「交叉法」，因為交叉法是訓練兩眼球向內迫擠，這樣有助於視力的改善，至於對一般正常人而言是否會對視力照成影響仍不可得知，所以提醒大家最好別太過度的使用以上方法來看立體圖，以免造成不良的影響。

四、立體圖在科學教育上的應用

在國民中學的教科書中對於視覺的部分所提到部分相當的少，只有在活動5-2 後像的部分有稍微提及，其中提到的正片後像就是指視覺暫留的現象，而負片後像的部分便和本文中提到的後像原理一樣是由於視覺的疲勞所造成的，而其他的視覺現象及原理都沒

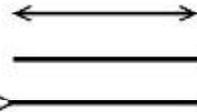
有提及，藉由立體圖的製作這個活動，除了可以補充教材上的不足之外，另外還可以培養學生創作、思考的能力，對於教師教學上應有相當的幫助。

五、結語：

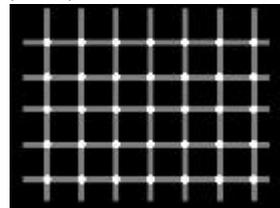
規劃、組織與實踐為九年一貫課程中要求培養的十大基本能力之一，平面立體圖的製作原理簡單，可用以指導學生自行規劃所要表現的立體圖案並自行組織、設計與製作對於培養學生的規劃、組織與實踐的能力很有正面的助益，學生製作立體圖時必須運用到電腦科技，並且需收集許多相關資訊才能製作完成一張立體圖，此過程有助於學生培養運用科技與資訊的能力，另外對於培養主動探索與研究及獨立思考與解決問題的能力上也有相當的幫助，值得教師推廣使用。



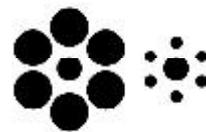
(圖一) 8字的兩個圈差不多大嗎？



(圖二) 哪一條比較長呢？



(圖三) 數一數有幾個黑點？



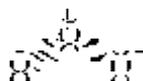
(圖四) 右邊中間的圓有比左邊的大嗎？

參考資料：

- 1.日本小學館 3D 立體視覺急轉彎2 尖端出版有限公司 民國 83 年。
- 2.日本小學館 3D 立體視覺急轉彎3 尖端出版有限公司 民國 83 年。
- 3.田憲儒、田憲忠譯 光學小百科(1) 牛頓文庫出版 民國 77 年。
- 4.田憲儒、田憲忠譯 光學小百科(2) 牛頓文庫出版 民國 77 年。
- 5.耿繼業、何建娃 編著 幾何光學 全新資訊圖書出版 民國 80 年。
- 6.高師大 adept 實驗室 <http://140.127.79.16/~adept/street/88b/88b-2.htm>。
- 7.唐大崙 深度知覺與各類立體圖製作方法 台大知覺心理研究室 <http://ceiba.cc.ntu.edu.tw/20734100/chapter8/Binocular.htm>。

(上承第 67 頁)

5. 【Ans : O_3 為角形分子。 O_3 分子的兩個氧原子為 sp^2 混成並以 $O = O$ 雙鍵結合。其中一個氧原子以其一對在 sp^2 混成軌域中的孤對電子與第三個氧原子配位形成鍵結。】



6. 【Ans : 氫鍵是分子間一種特別強的作用力，並非真正的化學鍵，故不應被稱為一種鍵。】
7. 【Ans : -24.72 。 $m(K_2CO_3) = [(38/138.21) / 62] \times 1000 = 4.43 \Rightarrow ?T_f =$

$$K_f m = 1.86 \times (4.43 \times 3) = 24.72 \Rightarrow \text{凝固點} = 0 - 24.72 = -24.72$$

8. 【Ans : 這是一個放熱的變化。當溫度降低，平衡向右移動。】
9. 【Ans : $K_{sp} = 1.50 \times 10^{-9}$ 。 $K_{sp} = [Ba^{2+}] \times [SO_4^{2-}] = (3.87 \times 10^{-5}) \times (3.87 \times 10^{-5})$ 】
- 10.【Ans : $N < C < Si < O < S$ 】
- 11.【Ans : 離子鍵： LiF , $CaBr_2$; 共價鍵： HF , PCl_3 。】
- 12.【Ans : BCl_3 : sp^2 ; PCl_3 : sp^3 ; SO_4^{2-} : sp^3 ; CO_2 : sp 】