

科學發展月刊9902-09...節錄一小段給同學參考，詳細內容請自行上網查詢。

http://ejournal.stpi.org.tw/NSC_INDEX/Journal/EJ0001/9902/9902-09.pdf

電腦的螢幕可以顯示出各種不同的圖案，這些圖案是怎麼顯示在螢幕上的呢？實際上，現在的電腦系統都是用許多小小的點組成螢幕上所有的圖案、文字。因為這些點都很小，所以不容易看出這些圖案是用小點組合起來的。如果拿一個大倍率的放大鏡去看螢幕上的圖案，就會看到這些小點。或者，把電視或電腦螢幕上的某個圖案放大5倍以後，通常就可以看出這個圖案其實是由很多小方格組成的，這些小方格稱為「像點」或「畫素」(pixel)。每個像點都有自己的顏色，這些像點的顏色存放在記憶體中，電腦採用一個二維的矩陣存放各個像點的顏色值。

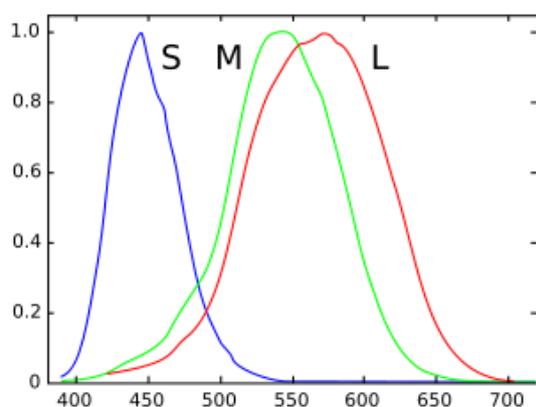
以物理的角度來看，光其實是沒有「顏色」的，顏色純粹是人的眼睛與大腦對光的頻率所產生的感覺。在人的眼球中，有兩種感光的細胞，一種是錐細胞，另一種是柱狀細胞。錐細胞又分為3種，各有不同的頻率響應。因此，人對顏色的感覺來自這3種錐細胞。因為人只有3種錐細胞，所以用3組數字就可以表示所有人眼可以看到的顏色。但是，這3種錐細胞的頻率響應曲線相當複雜，因此要產生所有人眼可以看到的顏色是非常困難的。不過，因為這3種細胞分別對紅光、綠光和藍光反應特別強，所以可以用這3種顏色的混合來產生大部分的顏色。因此，這3種顏色又稱為「色光的三原色」。

關於色彩學

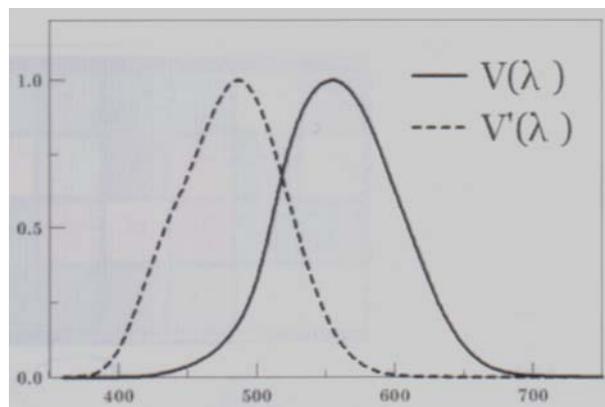
對各種不同標準光源的精確描述，主要是由光源光譜 (Spectrum) 上不同波長成分所具有的光通量 (Flux) 多寡來定義。

色彩刺激

對於形成色彩知覺的四大要素而言，我們對於光源、物體、感光細胞等三項要素的特性，已經有很好的方式來進行可重複性、可量化的評估。



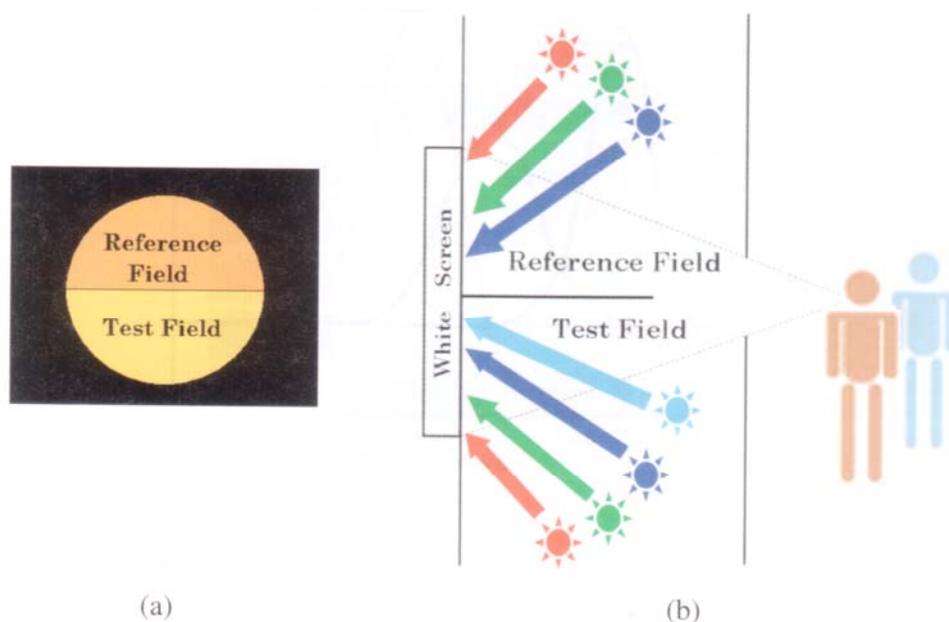
(a)對色彩的反應曲線



(b)對亮度的反應曲線

(圖) 人眼感光細胞對光線的反應曲線

Wright 與 Guild 二組研究群，在二十世紀初期各自獨立進行了一項相類似的配色實驗。想了解不同單波長的光線，對人眼視覺所能產生的色彩刺激強弱，進而得到一套可量化的評估模式。首先，先選定一組三原色的雷射，波長分別落在紅、綠、藍區域波段內，三雷射的光強度可以分別獨立調整。再將此三色雷射光投射至一白色反射屏幕比對區上，組合投射各種不同的顏色來。

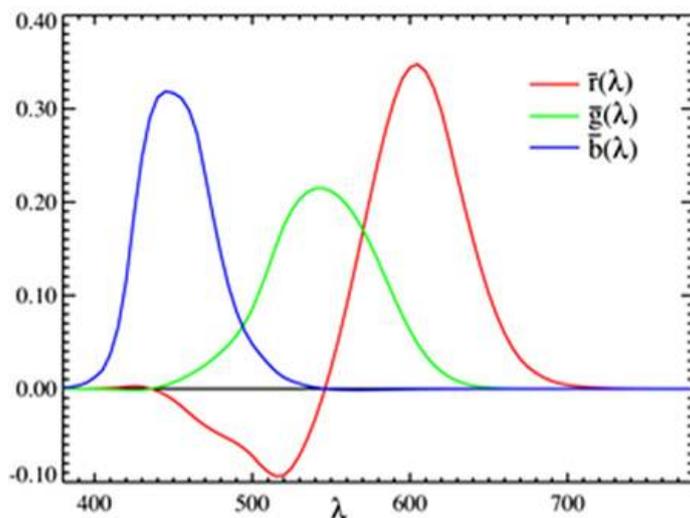


(圖) 配色實驗

在實驗中，將另一單波長的顏色呈現在下方的待測區內，再將觀察者直接進行二顏色間的比對，藉由調整三原色雷射光的個別強度，直接觀察者覺得比對區與待測區二者的顏色已經無法分辨初期差異為止。如此一來，每一待測顏色就可以利用此實驗的比對過程，得到一組三原色雷射光強度的混和光比例，可用來代表此顏色

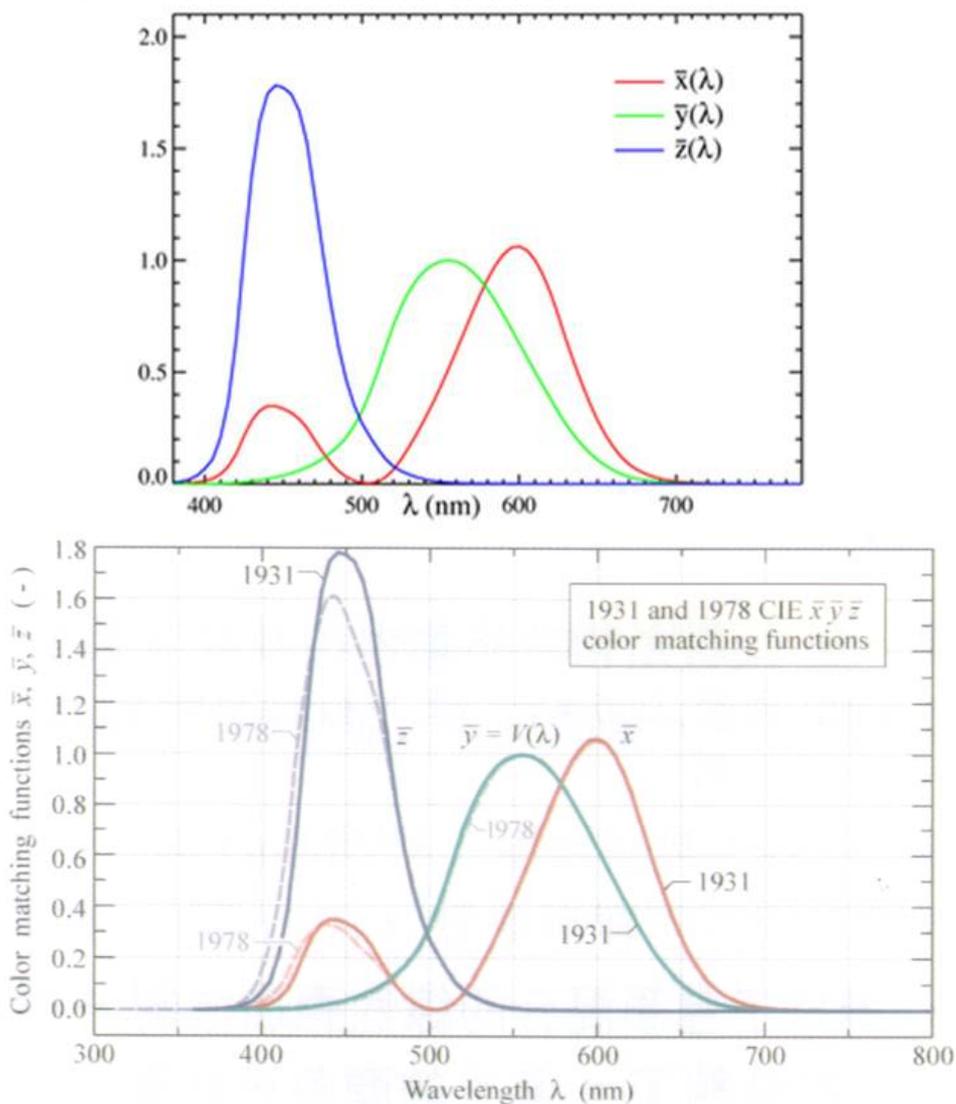
$$C_{\lambda} [r, g, b] = r_{\lambda} [\bar{R}] + g_{\lambda} [\bar{G}] + b_{\lambda} [\bar{B}]$$

現在任一單波長所呈現的顏色 C_{λ} ，都可以精確的表達以 $[\bar{R}]$ 、 $[\bar{G}]$ 、 $[\bar{B}]$ 三原色光為基礎的組合值 $(r_{\lambda}, g_{\lambda}, b_{\lambda})$ ，意義上是由 r_{λ} 單位強度的 $[\bar{R}]$ 紅光，加上 g_{λ} 單位強度的 $[\bar{G}]$ 綠光，再加上 b_{λ} 單位強度的 $[\bar{B}]$ 藍光而成。不過，我們並不需要對成千上萬的顏色都逐一進行相同比對，以確定其新的紀錄、方式。事實上，由於這個配色實驗的結果，維持了色彩混和的線性疊加機制。所以我們只要對可見光內的各種單波長光進行比對就夠了，其他顏色可以進一步地由單色光的比對結果重新組合。對單波長光線的比對結果，得到了三條組合強度對波長的曲線，稱為配色函數 (Color Matching function)，如圖 13.8。



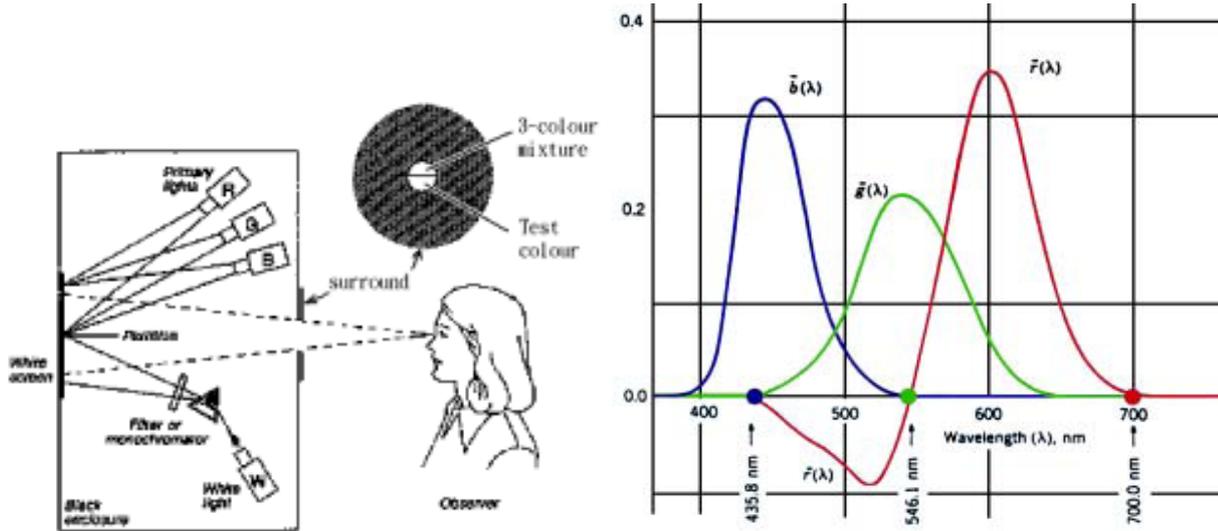
(圖) 13.8

\bar{r} 、 \bar{g} 、 \bar{b} 配色函數，後來再經由一連串的能量校正、正規化等程序，重新得到新的 \bar{x} 、 \bar{y} 、 \bar{z} 配色函數（如圖 13.9），由國際照明學會於西元 1931 年公告為色彩量測標準之一，現在仍然多使用此配色函數於色彩量測、色彩計算等實際應用。

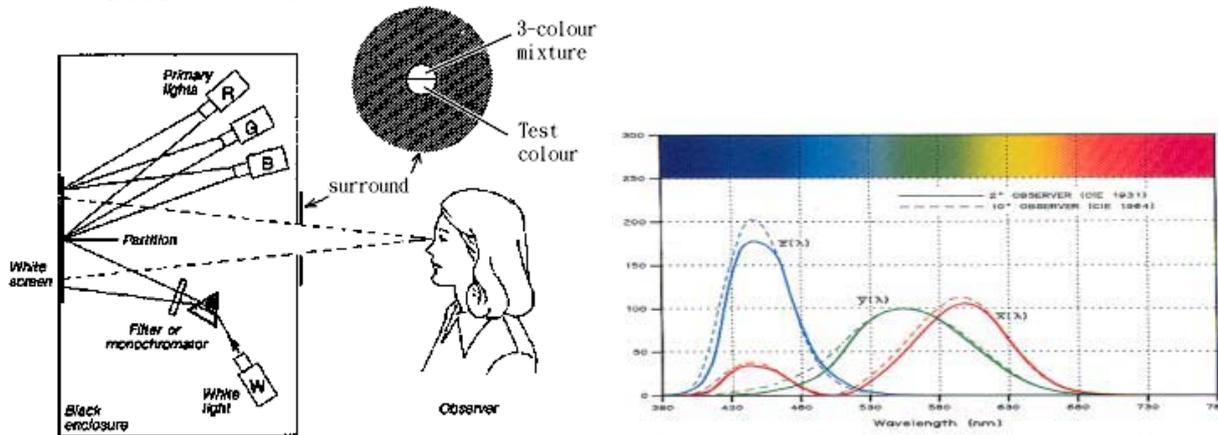


(圖 13.9) 圖中，1931 曲線指的是 2 度視角內的觀測結果。
1978 曲線指的是 10 度視角內的觀測結果。

2 度視角內的觀測結果：



10 度視角內的觀測結果：



光電實驗室

顏色



(圖) 七彩顏色筆

顏色或色彩是通過眼、腦和我們的生活經驗所產生的一種對光的視覺效應。人對顏色的感覺不僅僅由光的物理性質所決定，比如人類對顏色的感覺往往受到周圍顏色的影響。有時人們也將物質產生不同顏色的物理特性直接稱為顏色。

物理

可見光的光譜

| 顏色 | 波長 | 頻率 |
|----|--------------|---------------|
| 紅色 | 約 625—740 nm | 約 480—405 THz |
| 橙色 | 約 590—625 nm | 約 510—480 THz |
| 黃色 | 約 565—590 nm | 約 530—510 THz |
| 綠色 | 約 500—565 nm | 約 600—530 THz |
| 青色 | 約 485—500 nm | 約 620—600 THz |
| 藍色 | 約 440—485 nm | 約 680—620 THz |
| 紫色 | 約 380—440 nm | 約 790—680 THz |

Designed for monitors with [gamma](#)

[電磁波](#)的波長和強度可以有很大的區別，在人可以感受的波長範圍內（約 312.30 奈米至 745.40 奈米），它被稱為**可見光**，有時也被簡稱為**光**。假如我們將一個光源各個波長的強度列在一起，我們就可以獲得這個光源的**光譜**。一個物體的光譜決定這個物體的光學特性，包括它的顏色。不同的光譜可以被接收為同一個顏色。雖然我們可以將一個顏色定義為所有這些光譜的總和，但是不同的動物所看到的顏色是不同的，不同的人所感受到的顏色也是不同的，因此這個定義是相當主觀的。

一個彌散地反射所有波長的光的表面是**白色**的，而一個吸收所有波長的光的表面是**黑色**的。

一個**虹**所表現的每個顏色只包含一個波長的光。我們稱這樣的顏色為**單色的**。虹的光譜實際上是連續的，但一般來說，人們將它分為七種顏色：紅、橙、黃、綠、青、藍、紫；每個人的分法總是稍稍不同。單色光的強度也會影響人對一個波長的光所感受的顏色，比如暗的橙黃被感受為**褐色**，而暗的黃綠被感受為**橄欖綠**，等等。

單色和混合色

大多數光源的光譜不是單色的，它們的光是由不同強度和波長的光混合組成的。人眼將許多這樣的混合光的顏色與單色光源的光的顏色看成是同樣。比如上面表格中的橙色，實際上就不是單色的 600 奈米的光，實際上它是由紅色和綠色的光混合組成的（[顯示器](#)無法產生單色的橙色）。出於眼睛的生理原理，我們無法區分這兩種光的顏色。

也有許多顏色是不可能單色的，因為沒有這樣的單色的顏色。黑色、灰色和白色比如就是這樣的顏色，[粉紅色](#)或[絳紫色](#)也是這樣的顏色。

顏色與波動方程

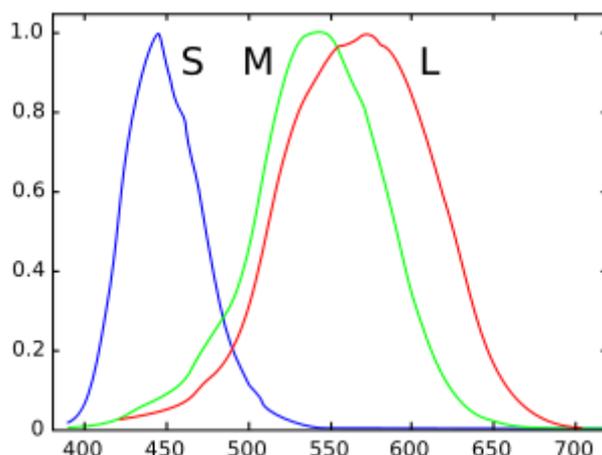
[波動方程](#)是用來描寫光的方程，因此通過解波動方程我們應該可以得到顏色的信息。在真空中光的波動方程如下：

$$u_{tt} = c^2(u_{xx} + u_{yy} + u_{zz})$$

c 在這裡是**光速**， x 、 y 和 z 是空間的坐標， t 是時間的坐標， $u(x,y,z)$ 是描寫光的函數，下標表示取**偏導數**。在空間固定的一點（ x 、 y 、 z 固定）， u 就成為時間的一個函數了。通過**傅立葉變換**我們可以獲得每個波長的**振幅**。由此我們可以得到這個光在每個波長的強度。這樣一來我們就可以從波動方程獲得一個光譜。

但實際上要描寫一組光譜到底會產生什麼顏色，我們還得理解**視網膜**的生理功能才行。

顏色的感受



(圖) 人類(S, M 和 L 類型的)**錐狀細胞**對單色光譜刺激的規範化典型反應

儘管**亞里士多德**就已經討論過光和顏色之間的關係，但真正闡明兩者關係的是**牛頓**。**歌德**也曾經研究過顏色的成因。**托馬斯·楊**在**1801年**第一次提出三元色的理論，後來**亥姆霍茲**將它完善了。1960年代人們發現了人眼內部感受顏色的色素，從而確定了這個理論的正確性。

人眼中的**錐狀細胞**和**桿狀細胞**都能感受顏色，一般人眼中有三種不同的錐狀細胞：第一種主要感受紅色，它的最敏感點在565奈米左右；第二種主要感受綠色，它的最敏感點在535奈米左右；第三種主要感受藍色，其最敏感點在420奈米左右^{[1][2]}。**桿狀細胞**只有一種，它的最敏感的顏色波長在藍色和綠色之間。

每種錐狀細胞的敏感曲線大致是鐘形的。因此進入眼睛的光一般相應這三種錐狀細胞和桿狀細胞被分為4個不同強度的信號。

因為每種細胞也對其他的波長有反映，因此並非所有的光譜都能被區分。比如綠光不僅可以被綠錐狀細胞接受，其他錐狀細胞也可以產生一定強度的信號，所有這些信號的組合就是人眼能夠區分的顏色的總和。

如我們的眼睛長時間看一種顏色的話，我們把目光轉開就會在別的地方看到這種顏色的補色。這被稱作顏色的**互補原理**，簡單說來，當某個細胞受到某種顏色的光刺激時，它同時會釋放出兩種信號：刺激黃色，並同時擬制黃色的補色藍色。

事實上，某個場景的光在視網膜上細胞產生的信號並不是完全被百分之百等於人對這個場景的感受。人的大腦會對這些信號處理，並分析比較周圍的信號。例如，一張用綠色濾鏡拍的白宮照片——白宮的形象事實上是綠色的。但是因為人大腦對白宮的固有印象，加上周圍環境的綠色色調，人腦的會把綠色的障礙剔除——很多時候依然把白宮感受成白色。這被稱作現象在英文中被稱作「Retinex」——合成了視網膜（retina）和大腦皮層（cortex）兩個單詞。**梵谷**就會使用過這個現象作畫。

人眼一共約能區分一千萬種顏色，不過這只是一個估計，因為每個人眼的構造不同，每個人看到的顏色也少許不同，因此對顏色的區分是相當主觀的。假如一個人的一種或多種錐狀細胞不能正常對入射的光反映，那麼這個人能夠區別的顏色就比較少，這樣的人被稱為**色弱**。有時這也被稱為**色盲**，但實際上這個稱呼並不正確，因為真正只能區分黑白的人是非常少的。

顏色的心理作用

不同的顏色可以產生不同的心理作用。從細節上來說這些感受每個人都各不相同，但總的來說即使是來自不同文化的人也往往有同樣的感受。比如紅色使人心情激動，藍色使人安靜。對藝術家、建築師、服裝設計師和廣告製作者等來說顏色的心理作用是非常重要的。

除此之外人對顏色的感受還有許多特別的效應。一個有趣的現象是假如一個畫家在繪畫時只使用少數幾種顏色，我們的眼睛會試圖將灰色或其他中立的顏色看成是缺乏的顏色。假如一幅畫中只有紅黃黑和白色，那麼我們就會把黃和黑的混合色看成一種綠色，把紅和黑的混合色看成一種紫色，而灰色會顯得有點藍。

亮度的效果

同一種顏色在不同的亮度中會產生不同的顏色感。這個現象的原因是我們的眼睛中除了有錐狀細胞外還有可以感光的**桿狀細胞**。桿狀細胞雖然一般被認為只能分辨黑白，但它們對不同的顏色的靈敏度是略微不同的，因此當光暗下來的時候，桿狀細胞的感光特性就越來越重要了，它可以改變我們對顏色的感覺。

文化的影響

不同的文化對顏色的定義有時會少許不一樣。比如在有些文化中中國的青色被看做是藍色的一種。

有一種理論認為最基本的顏色比如紅色、黃色、綠色、藍色等應該是在所有的文化中都一致萬能的。這個理論從**進化論**的角度來論證人對基本顏色的感受應該是一致的。

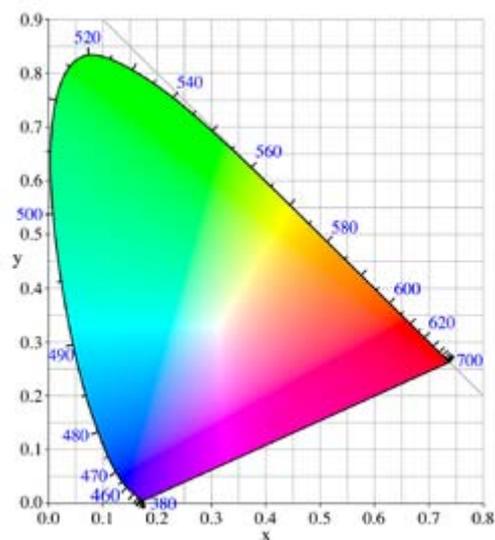
光源的影響

人在看顏色時總是試圖補償光源本身的顏色。因此我們在不同的光源下看到的同一種顏色實際上是不同的。

動物對顏色的感受

不同的動物感受顏色的細胞各不相同。有些動物有更多的感受顏色的細胞種類，比如**鳥**，有些動物感受顏色的細胞的種類比人少，比如大多數其它**哺乳動物**。有些動物可以感受到人看不見的顏色，比如**蜜蜂**可以感受**紫外線**。

色彩模型

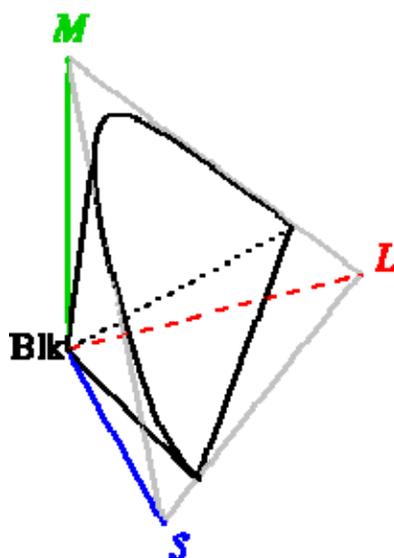


(圖)

CIE 1931 色彩空間色品圖。外側曲線邊界是光譜(或單色光)軌跡，標註了奈米波長。注意所描述的顏色依賴於你看到這個圖象所在的設備的色彩空間，所以特定位置的顏色、特別是單色光的顏色可能不是精確的表示。

色彩模型是一種用來將顏色表示為一組（一般三個或四個）數字的抽象的數學模型。這樣所組成的色彩的集合被稱為色彩空間。在這裡我們僅僅描寫人的色彩模型。

三元色 色彩空間



(圖) 人的色彩空間

假如我們用歐幾里得空間中的 x 、 y 和 z 軸相應表示人的三種錐狀細胞最敏感的波長強度的話，那麼我們就可以獲得一個三維的色彩空間。這個空間的原點代表的是黑色。離原點越遠，光的強度就越強。白色在這個空間中沒有固定的點，按照色溫以及周圍光的不同我們可能將這個圖中不同的點看做白色。人可以感受到的顏色在這個圖中是一個底部是馬蹄形的錐體。理論上來說這個錐體沒有止點，但過於強烈的光會損壞人的眼睛。在光的強度低的情況下，人對顏色的感受會發生變化，但總的來說，人對右圖中黑線所描繪的部分是敏感的。

精確地說，在這個圖中不存在棕色或灰色這樣的顏色，這些顏色實際上是比周圍顏色暗的橙色和白色。這一點我們很容易證明：我們在看一個投到一塊白布的 投影機的圖象時我們會看到白布上投的黑字，但實際上這些黑字的顏色與白布本來還沒有被投影時的顏色是一樣的。投影后這些黑字周圍的白布被照亮了，因此我們 感覺到它們比較黑了。

從右面的圖中我們還可以看到，人無法看到純的紅色、綠色或藍色，這是因為我們的錐狀細胞對其他顏色也起反應。在我們看純藍色時，我們的紅色和綠色的 錐狀細胞也產生信號，就好像在藍色中還夾雜著紅色和綠色一樣。

顏色的複製

不同的光譜可以在人眼中產生同樣的顏色感，比如日光燈的白光是由幾個相當窄的光譜線構成的，而太陽光則是由連續的光譜構成的。就其光而言，人眼無法區分兩者。只有當它們反射在不同顏色的物體上時，我們才看得出來一個是日光燈的光，一個是太陽光。

在大多數情況下人能看得出的顏色可以由元色搭配而成。照片、印刷、電視等就使用這種方式來體現顏色的。

儘管如此搭配出來的顏色往往與純的單色不完全相同，尤其在可見光譜的中部搭配的顏色只能非常地接近單色光，但無法完全達到它的效果。比如綠光（530 奈米）和藍光（460 奈米）搭配在一起可以產生青光。但這個青光總使人有不十分純的感覺。這是因為人的紅色錐狀細胞同時也可以感受到綠色和藍色，它們對搭配的顏色的反映比對純的青色（485 奈米）的反映要強一些，因此我們會感到搭配的顏色有點「紅」，有點不純。

此外一般在技術上使用的元色本身也都不純，因此一般來說它們無法完全地表現純的單色光。不過自然界中很少有真正的純的單色光，因此一般來說由元色組成的顏色可以很好地反映原來的顏色。一個技術系統能夠產生的顏色的總和被稱為色域。

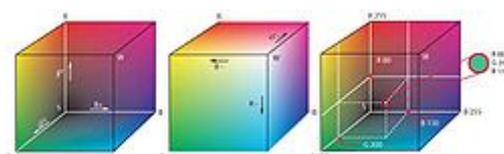
在通過照相機或掃描儀錄取顏色的時候也會產生誤差。一般這些儀器中的感光元件的感光特性與人眼的感光特性相差甚遠。因此在特別的光照下這些儀器所產生的顏色可能會與人眼所感受到的相差很大。

與人眼的顏色感受不同的動物（比如鳥可以感受四種不同的顏色）可以區分對人來說相同的顏色，因此對它們來說適合人看的圖象有時會非常不可理解。

色素

在印刷或圖畫中我們一般使用反射一定波長的色素。當白光照到這些色素上時，它們只反射一定的光而產生顏色的效果。

紅綠藍三原色 (RGB)

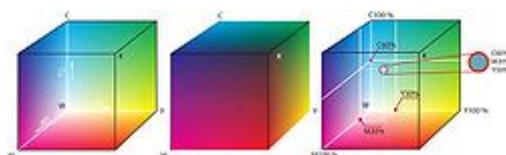


(圖) RGB 色彩立方體

發光的媒體（比如電視機）使用紅、綠和藍加色的三元色，每種光儘可能只刺激針對它們的錐狀細胞而不刺激其它的錐狀細胞。這個系統的色域占人可以感受到的色彩空間的大部分，因此電視機和計算機螢光屏使用這個系統。

理論上我們也可以使用其他顏色作為元色，但使用紅、綠和藍我們可以最大地達到人的色彩空間。遺憾的是對於紅、綠和藍色沒有固定的波長的定義，因此不同的技術儀器可能使用不同的波長從而在螢光屏上產生稍微不同的顏色。

青、洋紅、黃三元色 (CMYK)



(圖) CMYK 色彩立方體

理論上，青色、洋紅色和黃色半透明的顏料塗在白色的底上，顏料會結合而吸收所有光線，然後產生黑色。然而實際上會產生很暗的棕色。所以除了青色、洋紅色和黃色之外，還會加入黑色以平衡色彩的偏差。

色相、飽和度和明度系統 (HSB)

在製作計算機圖像時人們往往使用另一種顏色系統。這個顏色系統使用三個分別叫做色相、飽和度和明度的係數。色相決定到底哪一種顏色被使用，飽和度決定顏色的深淺，明度決定顏色的強烈度。

其他

結構色彩

假如一個物體的表面的結構使得它有間隙的吸光和反光的部分，而這些不同的光學特性的部分之間的距離與光的波長相應，那麼白光照射到這個表面上時就會發生繞射，一定顏色的光會被向一定的角度反射。這個物體的表面就會產生特別的彩虹般的閃光。孔雀的羽毛、許多蝴蝶的翅膀、貝母等就會產生這樣的結構顏色。最近一些汽車製造商也使用特別的漆來達到這樣的螢光效果。

顏色的意義

不同的顏色有不同的意義：

政治含義

- 紅色被作為左派以及共產主義的標誌。
- 棕色被作為極右派以及法西斯主義的標誌。
- 明黃色在中國大陸是天子皇帝的標誌。

主要地區的代表色

有些國家和地區有自己的代表色：

- [中國](#)：[紅色](#)、[黃色](#)；
- [荷蘭](#)：[橙色](#)；
- [法國](#)以及[俄羅斯](#)等[斯拉夫國家](#)：[紅](#)、[白](#)、[藍](#)；
- [阿拉伯國家](#)：[綠](#)、[紅](#)、[白](#)、[黑](#)
- [撒哈拉沙漠](#)以南[非洲](#)國家：[紅](#)、[黃](#)、[綠](#)。

色彩文化含義及文化差異

不同的文化在這裡可能有很大的差異，比如中國傳統白色是喪色，而在西方國家白色往往代表純潔。傳統上，中國人穿著黑色、白色、素色等[喪服](#)參與[喪禮](#)，相反地，西方國家以白色作為[婚禮](#)的[禮服](#)主色。中國人喜歡紅色為吉祥，但西方認為紅色為邪惡的象徵。

- [白色](#)表示樸素、純潔、乾淨、光明。
- [黑色](#)表示低沉、莊嚴、骯髒、黑暗。
- [紅色](#)在中國表示吉利、幸福、興旺；在西方則有邪惡、禁止、停止、警告。
- [藍色](#)有憂鬱、專業的形象，表示天空、海洋、水，也有節約環保的意味。在美國則有[色情](#)的意味。
- [黃色](#)表示[色情](#)的意味，也有金錢和明亮、不耐。
- [金色](#)表示貴氣、財富、堅硬。
- [綠色](#)表示植物，環保的標誌。在西方則有通行的意思。

參見

- [顏色列表](#)
- [網頁顏色模式](#)
- [原色](#)
- [色彩理論/色彩學](#)
- [色彩空間](#)
- [孟塞爾顏色系統](#)

參考資料

1. [^] Wyszecki, Günther·Stiles, W.S.(1982年)·Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd ed., New York: Wiley Series in Pure and Applied Optics · [ISBN 0-471-02106-7](#) ·
2. [^] R. W. G. Hunt(2004年)·The Reproduction of Colour, 6th ed., Chichester UK: Wiley - IS&T Series in Imaging Science and Technology, 11 - 12 · [ISBN 0-470-02425-9](#) ·

光電實驗室

一般說的可見光，是指波長 400nm~700nm。

但，各個色光的波長範圍，每筆找到的資料略有一點差異，以下表格僅供參考。

| 波長 (nm) | 顏色/區分 |
|----------|----------|
| 100 ~280 | 紫外線 UV-C |

| 波長 (nm) | 顏色/區分 |
|-------------|-----------------|
| 280 ~ 320 | 紫外線 UV-B , 燃燒光線 |
| 320 ~ 400 | 紫外線 UV-A , 老化光線 |
| 400 ~ 445 | 紫色可見光 |
| 445 ~ 500 | 藍色可見光 |
| 500 ~ 575 | 綠色可見光 |
| 575 ~ 585 | 黃色可見光 |
| 585 ~ 620 | 橙色可見光 |
| 620 ~ 740 | 紅色可見光 |
| 740 ~ 1500 | 紅外線 |
| 1500 ~ 3000 | 整個紅外線 |
| 3000 ~ | 遠紅外線 |

以下是 Yahoo 找到的資料：

可見光 通常指波長從 780nm 到 390nm 的電磁波。人眼睛可看見的範圍 可廣至 312nm - 1050 nm。只是『能見度』越來越差而已，且過度的照射 容易對眼睛造成傷害。

並不存在單獨頻率的『白光』。656nm 的紅光 + 492nm 的青綠色 cyan 光 加起來被可有『白光』的感覺。人眼睛並無法區分由不同頻率分佈所形成的同一色光。（耳朵則可以分辨不同音色）單獨 508THz 的光感覺是黃光，可是 507THz+ 509THz 合起來的光對於人眼睛感受會相同。除非以光學儀器否則人眼分不出是否看到單頻的光線。顏色並非光本身的特性，而是該頻率的光與視神經與腦海共同形成的感覺。因此對於『黃光』更精確的說法是『看起來黃色的光』。下表眼睛對於可見光所對應感覺的約略波段範圍。

| 顏色 | 頻率範圍 (THz) | 真空中波長 (nm) |
|----|------------|------------|
| 紅 | 384-482 | 622-780 |
| 橘 | 482-503 | 597-622 |
| 黃 | 503-520 | 577-597 |
| 綠 | 520-610 | 492-577 |
| 藍 | 610-659 | 455-492 |
| 紫 | 659-769 | 390-455 |

真空中 波長 540nm 的綠光 + 690nm 的紅光 同時進入眼中時，雖然其中一點黃光範圍的電磁波都沒有，卻會產生見到黃光的感覺。在日光下人眼睛對於黃綠光範圍的光線最敏感，太陽光譜最強的光線波長便是 560nm (2.2eV)。因此戴上黃綠光綠色的眼鏡片時 物體的清晰度（對比）最明顯。

以我們人的尺度而言，可見光的波長很短 (0.000 000 000 780 公尺)。可是對於原子的尺度(10-10m)而言卻是數千倍長。在太陽光下每平方公分約有 1017 個光子在一秒鐘內落下。因此很難看到光的粒子性。猶如一盆水那麼多的水分子，我們也主要注意到其波動性。人的眼

睛倒是相當敏銳，即使只有約 10 個光子進入眼中（約剩下一個到視網膜）我們依舊能感受到光子的訊號。可見光也可能會和部份物質起作用，引起化學反應。因此底片、酒類或部份藥品（阿司匹寧等）必須儲藏在陰暗處。早產兒就會放在有藍紫光較多的保溫室內將造成黃疸症的分子分解。每年地球上的植物藉由光和作用 取代了大量的 二氧化碳，也造就世界生物的循環鏈。

光電 實驗室

資料來源：

1、科學發展月刊 9902-09

http://ejournal.stpi.org.tw/NSC_INDEX/Journal/EJ0001/9902/9902-09.pdf

2、光電科技概論 五南出版社

3、維基百科

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A2%9C%E8%89%B2>

4、Yahoo