

色彩技術原理與應用

台北工專紡織科

李國世 編著

永大書局印行

序

色彩技術由於牽涉數學、物理、化學、生理及心理是非常錯綜複雜的科學。本書給予簡化，避免深奧難懂的數學理論，而簡潔地介紹色彩基本概念、色彩表示方法、色彩和色差的測量、物質的着色與色彩技術問題，及電腦配色應用原理，以建立讀者正確的色彩技術觀念及對現今色彩技術問題的瞭解，並且希望能夠引發讀者的興趣而做更廣泛深入詳細的探討研究，因此本書最後列出一些書籍與文獻，以供參考查閱。

本書之編著係利用課餘之暇，且筆者才疏學淺，恐有筆意未達及誤漏之處，祈請諸位先進惠予指正為感。

李 陽 世 謹識

七十三年八月於台北工專

色彩技術原理與應用

目 錄

第一章 色彩的基本概念	1
1-1 光 源	1
1-2 被照射物體	5
1-3 眼睛與頭腦	10
1-4 色彩的描述	14
1-5 演色性與色彩適應性	17
1-6 色變現象	18
第二章 色彩的表示方法	21
2-1 顯色系統	21
2-1-1 Ostwald 表色系統	22
2-1-2 Munsell 表色系統	25
2-1-3 DIN 表色系統	27
2-1-4 OSA 表色系統	28
2-1-5 Nature Color 系統	29
2-1-6 Chroma Cosmos 5000 系統	29
2-2 世界性色彩語言	29
2-3 混色系統	34
2-3-1 CIE 標準光源及照明體	34
2-3-2 CIE 標準觀測者	34
2-3-3 CIE 三刺激值 X Y Z 的運算	42
2-3-4 CIE 的色度座標及色度圖	46
2-3-5 色變現象	53
2-3-6 CIE 系統的轉換	58

2-3-6-1	CIE的線性轉換	58
2-3-6-2	CIE的非線性轉換	61
2-3-7	一度色彩規格	69

第三章 色彩和色差的測量

3-1	測色的基本觀念	73
3-2	測色的試樣	73
3-3	視覺的測色	74
3-4	儀器的測色	78
3-4-1	照明方法的分類	78
3-4-2	分光儀的原理	79
3-4-3	測色計的原理	86
3-4-4	測色儀器的選擇	94
3-5	色差的評估	94
3-5-1	視覺方法之評估	94
3-5-2	儀器方法之評估	94
3-5-2-1	色差方程式基於 Munsell 資料	95
3-5-2-2	色差方程式基於恰可知覺的色差資料	96
3-5-2-3	色差方程式基於配色的標準偏差	99
3-5-2-4	最近CIE推薦的色差公式	104
3-5-2-5	JPC 1979 公式	106
3-5-2-6	各種色差公式的比較技術	111
3-5-3	可知覺性和可接受性	115
3-5-4	色差計算的適當應用	115
3-5-5	評估色彩變化及沾染的灰色標	116
3-6	色彩的指定與容許度	118

第四章 工業上物質的着色及色彩技術的問題

4-1	混色原理	121
4-2	配 色	128

4-2-1	配色的型態	129
4-2-2	色料的選擇	131
4-2-2-1	色料——染料與顏料	131
4-2-2-2	配色的目標	133
4-2-2-3	最初的配方	134
4-2-2-4	相同物質的配色	135
4-2-2-5	不相同物質的配色	135
4-2-2-6	色料之檢定	135
4-2-2-7	色域	136
4-2-3	色料的力度	140
4-2-3-1	視覺方法	142
4-2-3-2	測定染料之儀器方法	142
4-2-3-3	測定顏料之儀器方法	143
4-2-4	最初的配色	144
4-2-4-1	視覺配色	144
4-2-4-2	儀器及電腦輔助的配色	146
4-2-5	配色的調整	152
4-3	生產上色彩的控制	154
4-3-1	色彩的偵測	154
4-3-2	色彩的調整	154
4-3-3	色彩的控制	156
4-4	色彩技術的問題	156
第五章 電腦配色		165
5-1	前言	165
5-2	理論	166
5-2-1	色樣的吸收與散射現象	167
5-2-2	表面反射與修正係數	171
5-2-3	電腦配色之基本原理	173
5-3	電腦配色步驟	180

5-3-1	已輸入貯存於電腦中的資料.....	180
5-3-2	需輸入之資料.....	180
5-3-3	電腦配方的計算.....	189
5-3-4	配方之印出.....	207
5-3-5	配方之試染.....	207
5-3-6	配方之修正.....	207
5-3-7	校正後新配方之試染.....	218
5-3-8	其他情況的電腦配色.....	218
5-4	電腦配色的限制.....	224
5-5	世界電腦配色系統簡介.....	231
附 錄		239
參考文獻		250
英漢對照索引		

第一章 色彩的基本概念

色彩的感覺是一種錯綜複雜的過程，涉及到各種科學的領域——化學、物理、生理及心理。從純粹的物理觀點來處理，例如一個被感覺有紅色的物體，普通需要三個要件——一個光源，一位觀測者，和著紅色的固體本身。首先光源必須能發出輻射能，其光譜含有介於 380 和 770 nm (nonometer) 間之波長，然後入射於紅色固體，其短中波長被固體吸收，轉變為熱能；加熱固體。其長波長被反射進入正常觀測者的眼睛和頭腦，而感覺此物體為紅色。因此簡言之，色彩產生的三要素是：①光源。②被照射物體。③可感覺色的眼睛和頭腦。在測色學上，眼睛可由光感偵測器和輔助設備所取代而來偵測光。

1-1 光源

宇宙間許多種發光體稱為光源。太陽發光是我們最主要的光源，太陽能發出一種電磁波的振動，而向四週傳達光與熱，其電磁波光譜 (electromagnetic spectrum) 的範圍很廣，如圖 1-1。其中我們肉眼能感覺見到的光譜波長只是一小部份，其範圍為 $3800 \text{ \AA} \sim 7700 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 1 \text{ Angstrom} = 10^{-8} \text{ cm}$)，因而此一部份光稱為可見光。若可見光經過三稜鏡或繞射光柵分解就可見到真正的色彩光譜——紅 ($6300 \text{ \AA} \sim 7500 \text{ \AA}$ 波長)，橙 (約 $5950 \text{ \AA} \sim 6300 \text{ \AA}$)，黃 (約 $5800 \text{ \AA} \sim 5950 \text{ \AA}$)，黃綠 ($5600 \text{ \AA} \sim 5800 \text{ \AA}$)，綠 (約 $5000 \text{ \AA} \sim 5600 \text{ \AA}$)，藍綠 (約 $4800 \text{ \AA} \sim 5000 \text{ \AA}$)，藍 (約 $4350 \text{ \AA} \sim 4800 \text{ \AA}$)，紫 (約 $4000 \text{ \AA} \sim 4350 \text{ \AA}$)，排列方式是連續的，彼此之間沒有明顯的界限。可是太陽光譜由精密儀器來觀測，則會發現光譜中間存在著許多黑線，稱為夫勞荷斐線 (Fraunhofer lines)，此乃因太陽球周圍較冷的氣體層層吸收部份太陽輻射能所致。其他光源如電燈、煤氣燈、燭光等所成的光譜與太陽光相似，但無黑線，可稱之為連續光譜。

2 色彩技術原理與應用

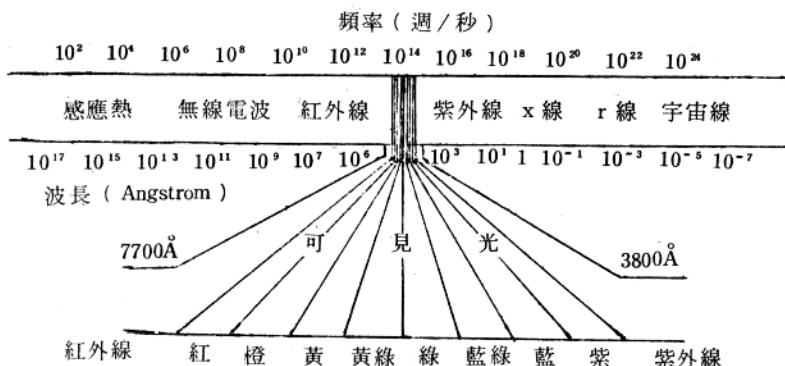


圖 1 - 1 電磁波光譜

陽光的強度隨時隨地都在改變中，若要對色或配色很難有一定的標準，因此有人工光源的製造，現在已有幾種光源普遍被採用；國際照明委員會（International Commission on Illumination, Commission International de l'Eclairage, CIE）亦定義了幾個標準光源：

1. CIE 光源 A：

是鎢絲燈光（tungsten-filament lamp），其色溫度（color temperature）是 2854°K 。所謂光源色溫度，是指黑體與光源之顏色對色時之溫度，其色溫度應不恰巧等於此光源的實際溫度。

2. CIE 光源 B：

是鎢絲燈光經特殊過濾後的光，其色溫度是 4800°K ，相似於中午的陽光（noon sunlight）。

3. CIE 光源 C：

是鎢絲燈光經特殊過濾後的光，其色溫度是 6740°K 相似於自北方 45° 仰角的天空日光。

4. 氙弧燈光（Xenon arc lamp）：

其色溫度是 6000°K ，相似於自然日光（nature daylight）。

5. Macbeth 7500°K Daylight :

是鎢絲燈光經玻璃過濾後的光，色溫度是 7500°K，相似於北方天空的日光 (north sky daylight)。

6. 冷白色螢光燈光 (Cool White Fluorescent Lamp) :

色溫度是 4200°K。

7. CIE D₆₅ :

色溫度是 6500°K，相似於平均自然日光 (average nature daylight)，此光源目前還無法由實物製造出來，因此只能稱為照明體 (illuminant)。若能由實際光源模仿製造，則此照明體就成為一個標準光源。

每種光源或照明體都有其獨特光譜能量分佈 (spectral power distribution) 曲線；此曲線為一相對能量分佈是以 550 nm 或 560 nm 的能量當作 100，然後測定其他波長的相對能量而得此分佈曲線，是由實驗測定，如圖 1-2 至 1-4。大多數弧燈光，諸如汞、鈉、氬等未放出所有波長的光，而只是放出一些特殊波長線特性，其光譜能量分佈不是連續的，如圖 1-5。

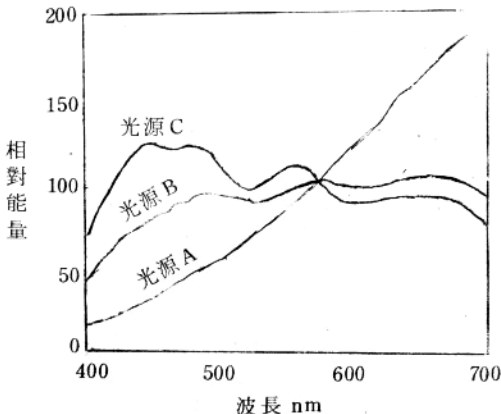


圖 1-2 各種光源之光譜能量分佈曲線

4 色彩技術原理與應用

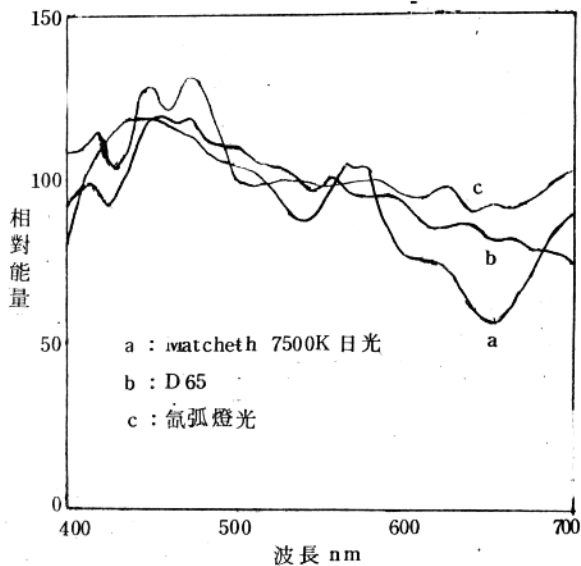


圖 1 - 3 各種光源之光譜能量分佈曲線

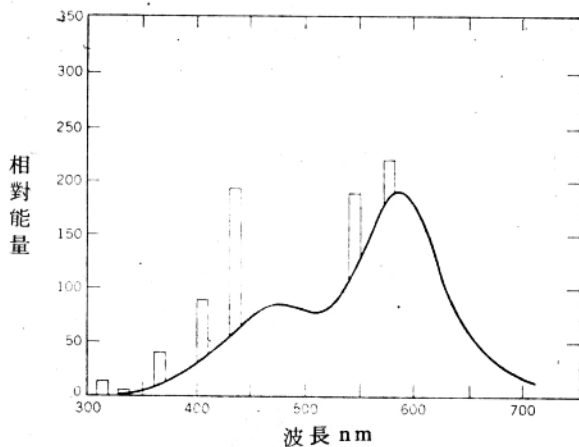


圖 1 - 4 冷白色螢光燈之光譜能量分佈

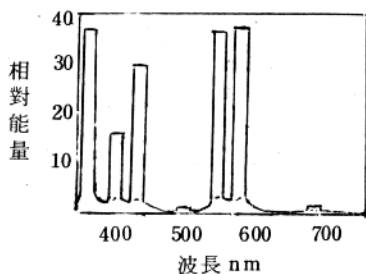


圖 1-5 汞弧燈光之光譜能量分佈

1-2 被照射物體

當光照射到物體時會發生幾種現象，如圖 2-1。

1. 透射 (Transmission)：

透射是入射光經過折射穿過物體的現象，被透射之物體為透明體或半透明體。若物體是無色，除了少數光從物體的兩個表面反射外，大多數光是透射過物體。

當一光束自一介質進入另一介質時，其方向改變，此現象稱為光之折射，方向角度改變大小視光在兩物質中速度的比率而定，此比率即稱為折射率 (refractive index)，一般所謂的折射率係指光在空氣中的速度與在物質中速度之比率，如圖 2-2。

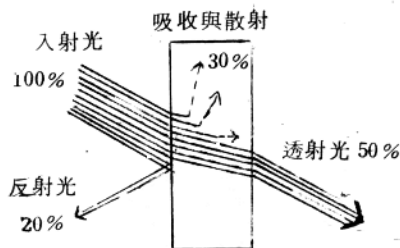


圖 2-1 物質對入射光之各種現象

透射率是入射光的強度 I_0 與透過後光強度 I 的比，即 T (透射率)

$$) = \frac{I}{I_0}。$$

透射比 (Transmittancy) 是兩透射率的比值，如溶液的透射率與溶劑的透射率之比。

2. 吸收 (Absorption) :

當入射光照射在物體上，此物體吸收部份可見光，則會顯出色彩，被吸收光的某部份轉變為熱。若物體吸收所有光，則顯出黑色，是為不透明體。

(1) 朗伯定律 (Lambert's Law) :

當入射光照射在同厚度的物質上，則會有相同的吸收量。若一公分厚的物質吸收入射光的一半，另一公分厚的物質吸收透過第一層物質光的一半，即 $1/2 \times 1/2$ 或 $1/4$ 的光透過物質，若用 2 cm 厚的物質，則透過的光也是 $1/4$ ，如圖 2-3。假如每一波長分開來考慮，且無散射光，則朗伯定律總是事實。

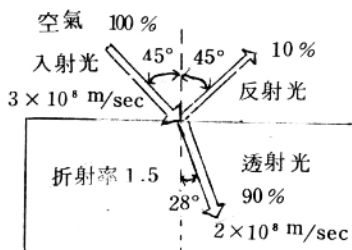


圖 2-2 物質之反射

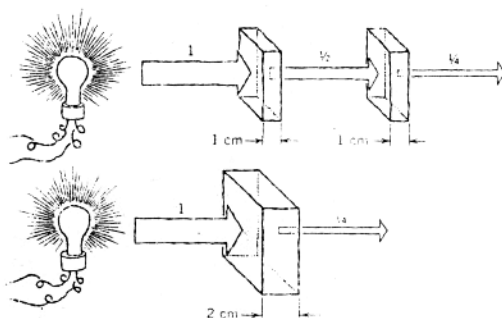


圖 2-3 朗伯定律敘述相同厚度的物質有相同的吸收數量

(2) 比耳定律 (Beer's Law) :

當入射光照射在同一數量的吸收物質上，則會有相同的吸收量，如圖 2-4。此定律可用來解釋透明物質內色料濃度對色彩的效應，但並非所有物質遵循此定律。

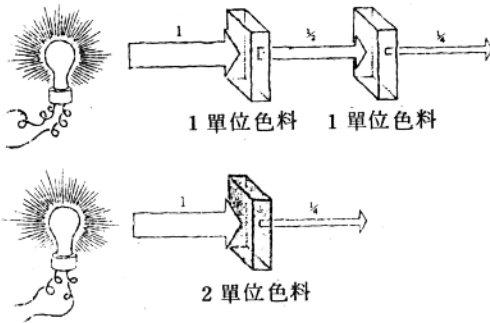


圖 2-4 比耳定律敘述相同數量的吸收物質有相同的吸收數量

(3) 朗伯—比耳定律 :

將前二定律合併，就可以得此定律。

$$\log \frac{I_0}{I} = A_s = a_s \cdot \ell c$$

I_0 : 入射光的強度

I : 透射物質後光的強度

$$\log \frac{I_0}{I} = A_s : \text{吸光度 (absorbancy) 或光密度 (optical density)}$$

a_s : 吸光指數 (absorbancy index) 或消光係數 (extinction coefficient)

ℓ : 試樣的厚度

c : 吸光物質的濃度

3. 反射 (Reflection) :

反射分為兩種：

(1) 鏡面反射 (Specular reflection) :

發生於平而光滑的表面上，當光以某種角度射在平面上，則以同角度反射其光，如圖 2-5，物體的光澤是來自鏡面反射。

(2) 擴散反射 (Diffuse reflection) :

一般發生於不平、粗糙表面上。入射光以很多不同的角度被反射，如圖 2-6，此擴散反射能顯示物體的形狀、大小、顏色和組織構造。

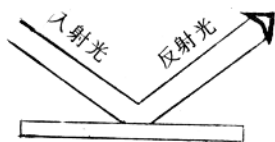


圖 2-5 鏡面反射

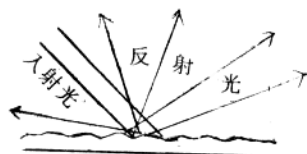


圖2-6 粗糙表面的擴散反射

大多數半透明體及不透明體的平滑表面，同時具有鏡面反射和來自表面下散射的擴散反射，如圖 2-7。

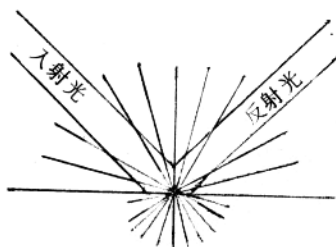


圖 2-7 鏡面反射與擴散反射

(3) 散射 (Scattering) :

散射是光被細粒子紊亂轉向的現象，例如天空的青藍色和雲的白

色，都是散射現象的結果。當有足夠散射時，我們可以說光從物質被
 擴散反射。

散射光的多寡依賴於粒子的粗細；非常細的粒子很少有散射光，
 粒子增大時，散射光隨著增加，直到粒子的大小和光波長度大約相等
 時，散射光才隨著粒子的增大而減少，如圖 2-8。

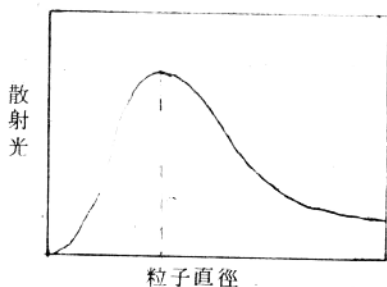


圖 2-8 散射是粒子大小的函數

此外，散射的產生也是由於粒子的折射率不同於周圍物體的折
 射率。因此散射光的數量是依賴於兩物體折射率差大小而定，折
 射率差越大，散射光就越多，如圖 2-9。若粒子和物體有相同的
 折射率，就無散射光；且他們之間的界限亦無法被看到。

基於上述兩個理由，當顏料的粒子直徑大約相等於光之波長及
 折射率是十分不同於所用樹脂的折射率時，則此顏料是最具有
 效率的光散射者。相反地，顏料之粒子很小，且具有相同於樹
 脂之折射率，則散射很少的光，以致於看起來是透明的。

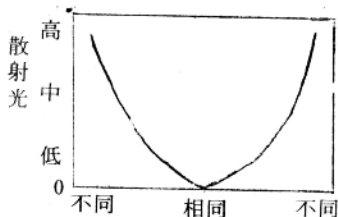


圖 2-9 相對折射率

因此散射大小可基於粒子大小及折射率來加以控制選擇。如果只能選擇其中之一來控制散射大小时，則要以選擇粒子大小方法來控制，因為粒子大小對散射之影響比折射率不同較為重要。

從色彩觀點，每一物體對光的效應能夠以分光透過率（對透明物體）或反射率（對不透明物體）分佈曲線來描述；對半透明物體則需以兩者一起來描述。此分光反射（或透過）率分佈曲線（spectral reflectance or transmittance curve）為一相對值分佈，是物體反射光量與標準白色面的反射光量（當作 100）之比，或物體透過光量與標準樣品（一般常為空氣）透過光量之比。在可見光譜內每隔波長 20 nm 或 10 nm 測定一 R_s ，共測定 16 點或 31 點 R_s 值就可構成此分佈曲線，如圖 2-10。

$$\begin{aligned} \text{絕對反射率} = R_A &= \frac{I}{I_0} \times 100 & I_0 &= \text{入射光強度} \\ & & I &= \text{反射光強度} \\ \text{分光反射率} = R_s &= \frac{R_A (\text{Sample})}{R_A (\text{Standard})} \times 100 \end{aligned}$$

從這些不透明色物體的分光反射率分佈曲線，可以了解這些色物體反射他們自己的色彩而吸收其對補色，因此我們可以培養能力從分光反射率分佈曲線來判斷色彩。

1-3 眼睛與頭腦

最重要的色彩偵測器是眼睛、神經系統及頭腦。眼睛的構造如圖 3-1；網膜（retina）是眼睛感光最重要的部份，它含有兩種不同的感光細胞——桿狀體（rods）和圓錐體（cones）。桿狀體只有在非常暗淡光之下才會發生作用——明暗的辨別，對色彩無感覺作用；圓錐體在光線逐漸加強時才有色彩的辨別能力。圓錐體大部份集中於黃點中央，離開中央，圓錐體細胞就比較少而桿狀體細胞則增多，黃點是物影剛好投射的地點。盲點是視神經集中處，但沒有圓錐體，不能辨別色光。

圓錐體細胞對各種不同波長色光有不同的感應，因此有分光感應

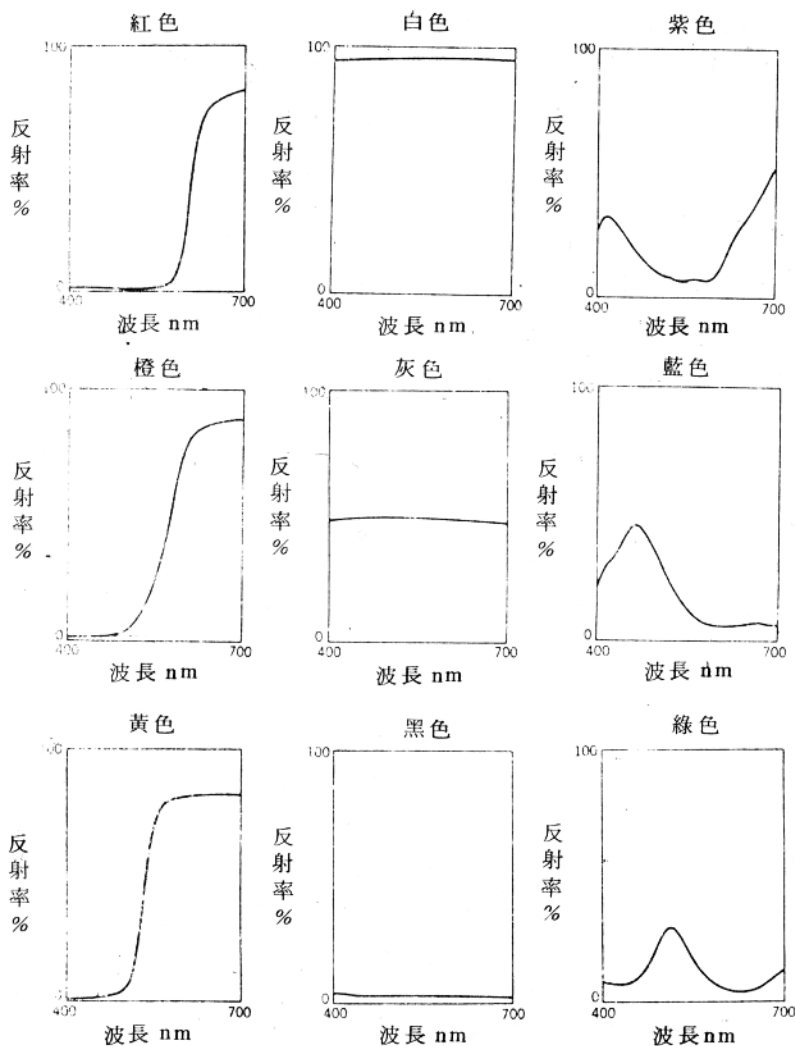


圖 2-10 不同色的不透明物體之分光反射率分佈曲線