



## 3.1 色彩视觉理论

人的视觉系统究竟是如何产生色彩感觉,色彩感觉形成的机理究竟是什么呢?只有搞清楚色彩感觉形成的机理,才有可能模拟色彩的产生,实现色彩的计算和复制。为此,许多科学家进行了大量的研究,根据各自的实验结果提出了各种假设。历史上,对色彩视觉模型的假设有两大典型学派:一个是以英国科学家杨(Thomas. Young,1773—1829)与德国科学家赫姆霍尔兹(Herman von Helmholtz,1821—1894)为代表的三色学说;另一个是以德国心理学家赫林(Ewald Hering,1834—1918)为代表的四色学说。这两大学派的假说都有大量的实验结果支撑,都能够解释一些色彩视觉现象,但也都有不足,因此长期争持不下。直到现代色彩视觉理论诞生后,才将这两派的学说加以统一,形成了现在的色彩视觉理论,称为阶段学说。

### 3.1.1 三色学说

三色学说是由杨·赫姆霍尔兹提出的。1807年英国的医学家、物理学家 Young 根据红、绿、蓝3种原色以不同比例混合可以产生白色和其他各种颜色的规律,提出了红、绿、蓝3种原色以不同比例混合可以产生白色和其他各种颜色的假设。这个假设为以后的颜色混合实验所证实。在此基础上,1862年德国的生理、物理学家 Helmholtz 提出了一个颜色视觉的生理学理论。他假设在人眼内有3种基本的颜色视觉感觉纤维,即感红纤维、感绿纤维和感蓝纤维,3种颜色感觉纤维的光吸收曲线如图3.1所示,其峰值部位分别在680nm、540nm和430nm附近。后来生理学研究也证实了3种感色细胞的存在,并测出3种不同光谱敏感性的视色素的光谱吸收峰分别在570nm、535nm和440nm附近,图3.2所示为Wald于1964得到的曲线。

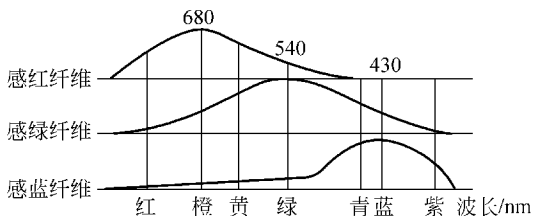


图 3.1 三色学说的神经纤维光谱兴奋曲线

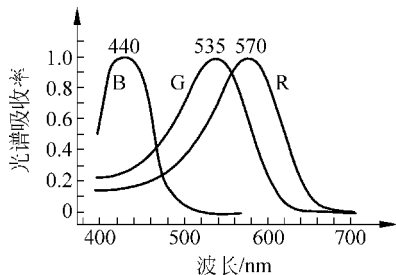


图 3.2 视网膜3种锥体细胞的光谱兴奋曲线

近代的三色理论认为3种颜色感觉纤维实际上是视网膜的3种锥体细胞。每一种锥体细胞包含一种色素,3种锥体细胞色素的光吸收特性不同,所以在光照射下它们吸收和反射不同的光波。当色素吸收光时,锥体细胞发生生物化学变化,产生神经兴奋。锥体细胞吸收的光越多,反应越强烈;吸收的光越少,反应就越小。因此,当光谱红端波长的光射到第一种锥体细胞上时它的反应强烈,而光谱蓝端的光射到它上面时反应就很小。由此可见,第一种锥体细胞是专门感受红光的红细胞。同理可得,第二种和第三种锥体细胞则分别是感受绿光和蓝光的。

由于3种锥体细胞对可见光谱不同谱段的兴奋程度不同,使不同波长的光所造成的3种锥体细胞反应的强度不同,三者不同程度兴奋的比例关系决定人们看到的将是什么颜色。当用红光刺激眼睛时,将会引起感红锥体细胞的反应,而只引起绿和蓝锥体细胞很小的反应,这3种细胞不同程度的兴奋结果便产生红色的感觉。当用黄光刺激眼睛时,将会引起感红、感绿两种锥体细胞几乎相等的反应,而只引起感蓝细胞很小的反应,这3种细胞不同程度的兴奋结果产生黄色的感觉。当用白光刺激眼睛时,会同时引起3种锥体细胞的兴奋,在视觉上就会产生白色感觉。

三色学说理论能够很好地解释各种颜色混合现象,即在颜色混合中,混合色是3种感色细胞按特定比例兴奋产生的结果。三色理论是现代色度学的基础,颜色的定量描述与测量都是以三色理论为基础的。根据三色学说理论,可以用3种基本颜色来混合产生各种混合色,这种颜色混合理论是现代彩色印刷、彩色摄影以及彩色电视等彩色复制技术的基础,很多彩色复制设备都是根据三色理论设计的,有着广泛的应用。因此,实践证明三色学说是正确的,是符合人类视觉规律的。

但是,三色学说也存在一定的问题。最主要的问题是它对有些颜色现象不能很好地解释,如色盲现象、颜色对比和颜色适应等现象。比如,黄—蓝色盲能感觉到绿色和红色,绿色盲和红色盲能感觉到黄色等这些现象,三色学说不能解释。这些现象都说明,尽管三色学说是正确的,但它仍然不完善,还有不全面的地方,因此就出现了四色对抗学说。

### 3.1.2 四色学说

四色学说于1864年由德国生理、心理学家赫林提出,又称为对立学说。赫林观察到颜色感觉总是以红—绿、黄—蓝、黑—白成对的关系出现。因此,赫林假设视网膜中有3对视素,即白—黑视素、红—绿视素和黄—蓝视素,每对视素的代谢作用包括分解和合成两种对立过程,3对视素的对立过程的组合产生各种颜色感觉和各种颜色混合现象。如图3.3所示, $x-x$ 轴以上起分解作用,以下起合成作用。曲线a代表黑—白视素的代谢作用,b代表黄—蓝视素的代谢作用,c代表红—绿视素的代谢作用。

对红—绿视素来说,红光刺激时使红—绿视素分解引起红色感觉;绿光刺激时使红—绿视素合成产生绿色感觉。对黄—蓝视素来说,黄光刺激使它分解产生黄色感觉;蓝光刺激使它合成引起蓝色感觉。光的刺激使白—黑视素分解,引起神经冲动产生白色感觉;无光刺激时,白—黑视素便重新合成产生黑色感觉。因为各种颜色都有一定的明度,即含有白色的成

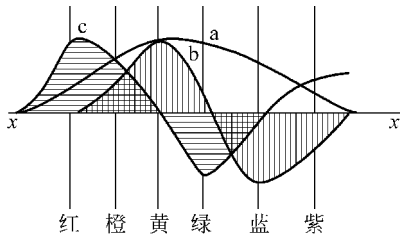


图 3.3 对立学说的视素代谢作用

分,所以每一颜色不仅影响其本身视素的活动,而且也影响白—黑视素的活动。

当补色混合时,某一对视素的两种对立过程形成平衡,因而不产生与该视素有关的颜色感觉。但所有颜色都有白色成分,所以引起白—黑视素的分解,从而产生白色或灰色感觉。同样,当所有颜色同时都作用到各种视素,红—绿、黄—蓝视素的对立过程都达到平衡,而只有白—黑视素活动,这就引起白色或灰色感觉。

赫林学说能够很好地解释色盲现象:色盲是由于缺乏其中一对视素(红—绿或黄—蓝)或两对视素(红—绿、黄—蓝)的结果。这一解释与色盲常是成对出现(即红—绿色盲或黄—蓝色盲)的事实是一致的。缺乏两对视素时便产生全色盲,但全色盲仍有白—黑视素,虽然没有彩色感觉,但还能够有明、暗感觉。用四色学说也可以非常方便地解释颜色对比、色适应和负后像等视觉现象。

四色学说的最大缺点是不能说明三原色能混合出一切光谱色这一现象,而这一现象恰恰是近代色度学的基础,说明四色学说也不完善。

### 3.1.3 阶段学说

三色学说和四色学说一个世纪以来一直处于对立的地位,曾在一个时期内,三色学说占有优势,因为它有更大的实用意义。然而,最近二三十年,由于新的实验材料的出现,人们对各种颜色的视觉现象进行了深入探讨,对这两个学说有了新的认识,证明二者并不是不可调和的。事实上,每一学说都只是对问题的一个方面获得了正确的认识,而必须通过二者的相互补充才能对颜色视觉获得较为全面的认识。

现代研究成果证实,人的颜色视觉机制需要经历几个不同的过程,在不同的过程中视觉的机理和信号也是不同的,三色学说和四色学说都只是其中的一个过程。因此一些科学家提出了颜色视觉的阶段学说,将颜色视觉过程分为3个阶段,如图3.4所示。

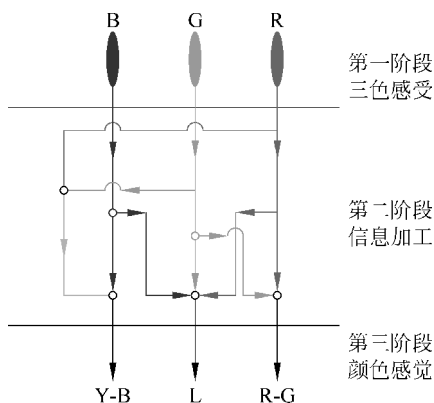


图 3.4 阶段学说颜色视觉过程示意图

第一阶段为视网膜的三色感受阶段。视网膜内有3种独立的锥体感色物质,每种锥体细胞具有不同的光谱敏感特性,它们有选择地吸收可见光光谱中长、中、短波长的辐射,产生红、绿、蓝的视觉信号,同时每一物质又可单独产生白和黑的反应。在强光作用下产生白的反应,无外界刺激时是黑的反应。第一阶段符合三色学说。

第二阶段为信号加工阶段。把第一阶段的3种锥体细胞的刺激进行重新组合编码,形

成三对神经反应：红—绿、黄—蓝和白—黑，并向大脑皮层传导。第一种颜色编码信号是红—绿信号，它接受来自红、绿两种锥体细胞的输入，然后依照它们的相对强度发生信号。第二种信号编码是黄—蓝信号，其中黄色信号是红、绿两种锥体细胞的输入加以混合而得出的。由3种锥体细胞的输入编码而成的信号是一个光的亮度（白—黑）信号。白—黑神经反应产生明亮的感觉，红—绿和黄—蓝两对神经反应产生彩色的感觉。第二阶段符合四色学说。

第三阶段为信号识别（颜色感觉形成）阶段。大脑皮层的视觉中枢接受这些输送来的信号，并通过心理反应产生各种颜色的感觉。可见，三色学说和四色学说终于在颜色视觉的阶段学说中得到了统一。

长期对立的三色学说和四色学说终于被阶段学说统一了起来，圆满地克服了三色学说和四色学说的缺点，可以更加完美地解释各种颜色视觉现象。当然随着科学的发展，人们可能还会有新的发现、新的解释。

### 3.1.4 色觉缺陷

正常色觉的人视网膜内有3种感色锥体细胞，分别对红、绿、蓝3种色光敏感，从而可以感觉到自然界中各种各样的色彩，称其为三色觉者。但有些人由于先天遗传或后天病变或药物影响，使视网膜内的锥体细胞上的某种或几种类型的感色细胞的功能发生变异或完全丧失。这样的现象称为色觉缺陷。按照辨色能力的异常的程度分为色弱、局部色盲和全色盲3种。色弱和色盲大多发生于男性。

#### 1. 色弱

色弱属于轻度色觉异常者，也称三色觉异常者，他们仍具有三色视觉，可以感觉到各种色彩，但对同一色彩感觉的结果与正常视觉者不同，因为他们感色细胞的敏感程度与正常人不同。他们对光谱中的红色和绿色区域的颜色分辨能力较差，在照明较暗的环境下，他们可能将红色和绿色相互混淆，如果对红色的辨别能力差，就属于红色弱，在看黄色时，就会看成是绿色或黄绿色；如果对绿色的辨别能力差，就属于绿色弱，看黄色时，就会看成是红色或橘红色。红色弱者约占男性人口的1%，绿色弱者约占男性人口的5%。

#### 2. 局部色盲

局部色盲又称二色觉者，对可见光中某些波长的光不敏感，多数是由视网膜疾病造成的。局部色盲可分为红色盲、绿色盲和黄—蓝色盲。

红色盲又称甲型色盲，对光谱长波段650nm以上波长的光不敏感，几乎感觉不到。整个可见光谱上只能看到两种色彩即黄和蓝，将光谱上所有的红、橙、黄、绿部分都看成不同饱和度的黄色，将光谱上青、蓝、紫等各部分看成不同饱和度的蓝色。光谱上蓝和黄之间（约493nm处）看成没有彩色的中性色。光谱上最亮的地方比正常人向短波方向偏移了15nm，即在540nm处。

绿色盲又称乙型色盲，将光谱上的绿色区（497nm处）看成是灰色或暗黑色，整个可见光谱上只能看到黄和蓝两种色彩，光谱上最亮的地方比正常人向长波方向偏移了5nm，即在560nm处。

黄—蓝色盲又称丙型色盲，将光谱上的黄色区（580nm处）和蓝色区（470nm处）看成是灰色或暗黑色，整个可见光谱上只能看到红和绿两种色彩，光谱上最亮的地方在560nm处。

红色盲和绿色盲大约各占男性人口的1%，黄—蓝色盲约占男性人口的0.002%。

### 3. 全色盲

全色盲者只有明暗感觉，完全不能分辨颜色，把各种色彩都看成明暗不同的白、灰、黑。全色盲者一般都是先天性的，是因为视网膜上缺少锥体细胞，或者锥体细胞功能丧失了，主要由杆体细胞起作用。全色盲者较为罕见，只占人口的0.002%~0.003%。

## 3.2 混色原理

将不同的颜色混合在一起而形成另一种颜色的过程称为混色(Color Mixture)。在日常生活中和工农业生产中，经常会用到颜色混合的情况。舞台上的丰富多彩的灯光通常是用几种颜色的灯合成的效果，属色光合成；显示器上能显示出各种各样的颜色，也只是通过红、绿、蓝3种发光磷粉的发光强度不同合成出的效果。这些都是色光的混合。彩色打印机只用黄、品、青、黑4种墨水就可以输出丰富多彩的图画，画家画水彩画时，也只是用有限颜色的颜料就可以画出多彩的精美术。这些都是属于色料的混合。

由于色光混合时，随着参与混合的成分色数量的增加，合成光的能量越来越大，明亮度越来越高，因此也叫加色混合。而色料混合时，每种色料会有选择性地吸收照射在其上的光，随着参与混合的成分色数量的增加，合成光的能量越来越小，明亮度越来越低，故称为减色混合。

### 3.2.1 加色混合呈色

#### 1. 色光三原色

牛顿的色散实验说明，白光是由很多种单色光合成的，如果再将这此单色光混合在一起，又能够再呈现出白光效果。从牛顿的色散实验结果可以发现，红、绿、蓝3种色光所占的区域较宽，且最鲜明和突出。在对人眼研究中发现，人眼视网膜上有3种感色锥体细胞即感红、感绿、感蓝细胞，分别对红、绿、蓝光较为敏感。在色光合成实验中发现，红、绿、蓝3种色光是混合其他色光的基本成分，3种光以不同比例混合，基本上可产生自然界中全部的色光，混合色域最大；且红、绿、蓝三色光各自独立，其中任何一种色光都不能由其余两种光混合产生，即红光和绿光合成不出蓝光，红光和蓝光合成不出绿光，绿光和蓝光也合成不出红光。因此人们称红(R)、绿(G)、蓝(B)三色光为色光三原色。

#### 2. 色光加色法

色光加色法有3种类型，即同时混合、继时混合、空间混合。

加色混合时，如果多个色光在光路传输过程中就混合在一起，同时刺激人眼产生另一种色彩效果，这种混合称为同时混合。光源一般都属于同时混合。

当两种色光以很快的速度交替连续刺激人眼，从而产生另一种色彩效果的混合称为继时混合或时间混合，如颜色转盘实验。这种混合是利用了人眼的视觉暂留现象，物体在快速运动时，当人眼所看到的影像消失后，人眼仍能继续保留其影像0.1~0.4s的图像，这种现象被称为视觉暂留现象。这是人眼具有的一种性质。人眼观看物体时，物体成像于视网膜上，并由视神经输入人脑，从而感觉到物体的像。但当物体移去时，视神经对物体的印象不会立即消失，而要延续0.1~0.4s的时间，这种残留的视觉称“后像”，人眼的这种性质被称

为“眼睛的视觉暂留”。电影、电视以及动画就利用人眼的视觉暂留现象,每秒播放 24 帧或 25 帧(与制式有关)。

对于在空间上排列非常相近的色点,当距离人眼有一定距离(视角小于  $1'$ ),人眼就无法分辨出色点,只能看到它们的混合色,这种混合称为空间混合。彩色电视、计算机显示器等都属空间混合。

不管是哪种混合方式,都是多种色光刺激人眼,产生另一种色光效果的合成。因此人们把由两种或两种以上色光相混合,呈现另一种色光效果的现象,称为色光加法。

三原色光两两等量相加,如图 3.5(彩图 3.1)所示,会产生黄、品、青 3 种色光,它们是减色混合的 3 个原色。可表

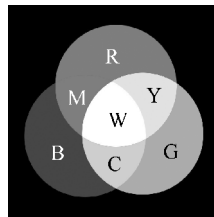


图 3.5 色光等量相加示意图

红光+绿光=黄光 或  $R+G=Y$

红光+蓝光=品红光 或  $R+B=M$

绿光+蓝光=青光 或  $G+B=C$

如果两种原色光以不同的比例混合,就会得到一系列渐变的混合色。以红光和绿光混合为例,两种色光等量混合时得到黄光,然后,红光不变,逐渐减少绿光的含量,便可以看到由黄→橘黄→橙→红等一系列颜色的变化;反之,绿光不变,逐渐减少红光的量,又会看到黄→黄绿→嫩绿→绿等一系列颜色的变化。在上述的颜色混合过程中,混合色光的颜色总是趋向于比例大的那种颜色。

3 种原色色光等量相加,会产生白光,可表示为

红光+绿光+蓝光=白光 或  $R+G+B=W$

三原色色光等量合成时,产生白光,如果三原色量逐渐等量减少,则会得到一系列由浅渐深的灰色,也可以认为是由明逐渐转暗的白光。如果三原色色光不等量混合,便会得到更丰富的颜色混合效果。

在色光加法中,任何两种色光相加混合后得到白光,那么这两种色光就称为互补色光(Complementary Colors)。因此,红光和青光是互补色光,绿光和品红光是互补色光,蓝光和黄光是互补色,可表示为

红光+青光=白光 或  $R+C=W$

绿光+品红光=白光 或  $G+M=W$

蓝光+黄光=白光 或  $B+Y=W$

补色光合成效果如图 3.6 所示。补色光不等量合成,合成色偏向比例大的色光。

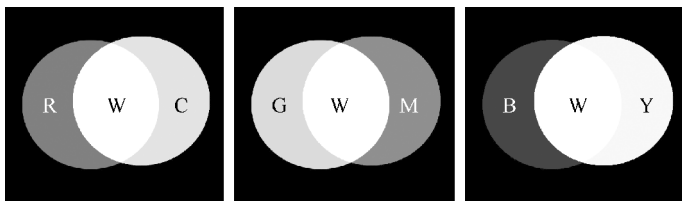


图 3.6 补色光相加效果示意图

色光混合相加时,由于参与加色混合的每一种色光都具有一定的能量,因此新产生的色光的能量是参与混合的原色色光的能量之和。由于能量的增大,使得新色光的亮度明显增高。由此可见,色光加色法的实质是色光能量相加,越加明亮度越高,所以,加色混合的结果是得到能量值更高、更明亮的新色光。简而言之,色光相加,能量相加,越加越亮。

### 3. 格拉斯曼颜色定律

1854年德国格拉斯曼(Hermann Grassman,1809—1877)将颜色现象和颜色混合现象总结成颜色混合定律。

(1) 色彩心理三属性。人的视觉只能分辨颜色的3种变化,即明度、色相和饱和度,称为色彩心理三属性。

(2) 亮度相加律。几种色光相混合,混合色光的亮度等于混合前各色光亮度之和。如图3.7所示,图中数据为实验所得,从数据中可以分析出亮度相加律的正确性。根据亮度相加率计算如下:

$$\text{黄色块亮度: } Y_1 + Y_2 = 14.5 + 45.7 = 60.2$$

$$\text{青色块亮度: } Y_2 + Y_3 = 45.7 + 3.8 = 49.5$$

$$\text{品色块亮度: } Y_1 + Y_3 = 14.5 + 3.8 = 18.3$$

$$\text{灰色块亮度: } Y_1 + Y_2 + Y_3 = 14.5 + 45.7 + 3.8 = 64.0$$

实际得到的黄、青、品、灰色块亮度为:  $Y_{12} = 60.3$ 、 $Y_{23} = 49.9$ 、 $Y_{13} = 18.4$ 、 $Y_{123} = 64.1$ ,误差最大只有0.4(可能由实验过程计算误差引起),从而证实了亮度相加律。

因此,色光加色法实质是能量的叠加,越加越亮。

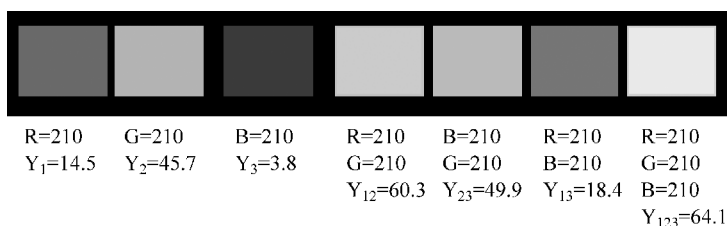


图 3.7 亮度相加效果示意图

(3) 在由两个成分组成的混合色中,如果一个成分连续地变化,混合色的外貌也连续变化。可导出补色律和中间色律。

补色律是指某色与其补色以适当比例混合,可产生白色或灰色。如果按其他比例混合,则得到比例大的颜色,如图3.8所示。

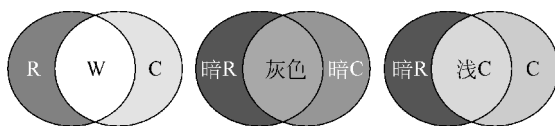


图 3.8 补色律效果示意图

中间色律是指任何两个非补色相混合,便产生中间色,其色调取决于两个颜色的相对数量,其饱和度取决于两者在色相顺序上的远近。用色相环(图3.9,彩图3.2)很容易表示清楚,色相环上任意两色相混合时,其混合色的位置一定在连接此两色的直线上,而且混合色

靠近比例大的色彩。通过色相环中心白点的直线上的两色为互补色,按等比例混合为白色,任意比例混合成的色彩偏向比例大的色彩。

(4) 代替律。凡是视觉上相同的色彩,都可以相互替代,不影响最终视觉效果。只要视觉上两色彩没有差异,不管它们的光谱组成是否一样,就可以互相代替,即如果

$$A \equiv B, C \equiv D$$

则

$$nA \equiv nB, A+C \equiv B+D, A-C \equiv B-D$$

式中的符号“ $\equiv$ ”表示色彩的外貌相同。

代替律是现代色度学和颜色复制理论的基础。

需要注意的是,代替律在光谱的蓝紫端不成立,且仅适用于色光的混合和匹配。

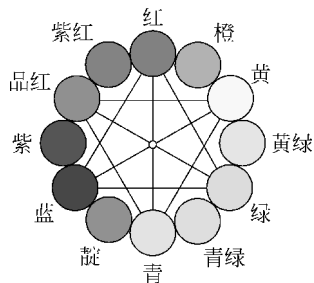


图 3.9 色相环

### 3.2.2 减色混合呈色

#### 1. 色料三原色

各种物体都具有不同的颜色,这是由于它们的表面对照在其上面的可见光进行选择吸收的结果。能够对不同波长的可见光进行选择吸收,并呈现出各种不同色彩的物质,称为色料。色料可分为染料和颜料,可以是有机物质,也可以是无机物质。

在色光混合中,确定了红、绿、蓝三色光为色光原色光。在色料中是否也存在几种最基本的原色料,它们的不同比例不仅能调制出其他各种各样的颜色,而且这些色料是相互独立的。

首先看能否用红、绿、蓝作为色料的3个原色。假设可以,来分析一下,红色料和绿色料混合,红色料吸收白光中的绿光和蓝光,反射红光,而红光又被绿色料吸收了,可见红色料和绿色料等量混合是黑色,同理红色料和蓝色料、绿色料和蓝色料等量混合都是黑色。显然不能用红、绿、蓝三色料作为色料三原色。由1.3节和3.1节可知,人眼视网膜中含有感红、感绿、感蓝3种感光锥体细胞,人眼感觉到自然界的各种颜色可以认为是这3种锥体细胞受到不同刺激所产生的反应,也就是红、绿、蓝三原色光的刺激量比例不同,从而形成不同的颜色感觉。因此,只要能够有效地控制(增加或减少)进入人眼的红、绿、蓝三原色光的刺激量,也就相对控制了自然界各种物体的表面色彩。要控制红光的量,色料就应该具有吸收红光的本领,青色是红色的补色,因此青色料可以吸收红光,通过青色料的量就可以控制照射在其上的红光的反射量;同理,通过品红色料的量可以控制照射在其上的绿光的反射量,通过黄色料的量可以控制照射在其上的蓝光的反射量。因此通过改变黄、品红、青自身的浓度(或厚度),就能够很容易地改变对红、绿、蓝三原色光的吸收量,从而达到控制进入人眼的红、绿、蓝三刺激值的数量。

另外在色料合成的实践中,人们发现青、品红、黄3种色料以不同的比例混合,能匹配出自然界中几乎所有的色彩,得到的色彩最多、色域最大,而这3种色料中任何一种,都不能用其余两种原色料混合而成。

基于以上分析,选择青、品红、黄3种色料作为色料的三原色。

## 2. 色料减色法

当白光照射到色料上时,色料从白光中吸收一种或几种单色光,从而呈现另一种颜色的方法称为色料减色法,简称减色法(Subtractive Mixture)。用一表示吸收,三原色色料的减色过程可以表示为

黄色料:  $W - B = R + G = Y$

品红色料:  $W - G = R + B = M$

青色料:  $W - R = G + B = C$

可用图 3.10 说明青、品、黄三色色料的减色过程,由于红、绿、蓝三色光等量合成为白色,因此这 3 束光代表白光。

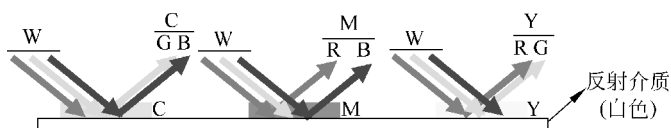


图 3.10 三色色料的减色过程示意图

在此假设色料可以完全吸收其补色,完全反射本色(组成自身颜色的色光)。色料本身不能发光并呈现颜色,而是吸收了照射在它上面的光的一部分,反射剩余部分光,这些反射光刺激人眼后就产生了颜色感觉。因此,色料呈色的原理是减色法原理,各种彩色物体的呈色原理同样是减色法原理。

色料三原色黄、品红、青两两等量混合,可以合成色光的三原色,可表示为

黄 + 品红 = 白 - 蓝 - 绿 = 红 即  $Y + M = W - B - G = R$

黄 + 青 = 白 - 蓝 - 红 = 绿 即  $Y + C = W - B - R = G$

品红 + 青 = 白 - 绿 - 红 = 蓝 即  $M + C = W - G - R = B$

三原色色料两两等量合成的效果如图 3.11(彩图 3.3)所示。图 3.12 是理想情况下三色油墨两两等量印在白纸上的呈色效果。

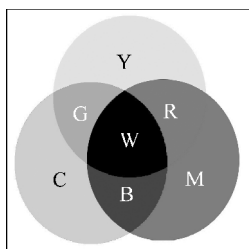


图 3.11 色料等量混合示意图

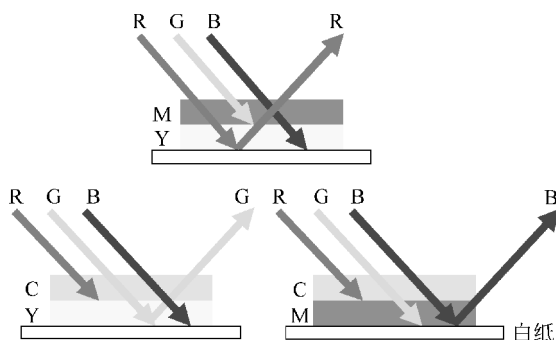


图 3.12 两色油墨等量叠合呈色效果示意图

如果两种原色料以不同的比例混合,就会得到一系列渐变的混合色。以黄色料和品红色料混合为例,两种色料等量混合时得到红色,然后,黄色料不变,逐渐减少品红色料的量,便可以看到由红→橘红→橘黄→黄等一系列颜色的变化;反之,品红色料不变,逐渐减少黄色料的量,又会看到红→桃红→品红等一系列颜色的变化。在上述的颜色混合过程中,混合

色料的颜色总是趋向于比例大的那种颜色,图 3.13(a)是理想情况下青油墨和品油墨不等量叠合时的效果,青油墨的量不足以将白光中的红光全部吸收,有少量的红反射出来,品红油墨完全吸收了白光中的绿光,因此最终呈现出偏品的蓝色。两种原色料混合得到的颜色称为二次色或间色。包括等量混合与不等量混合。

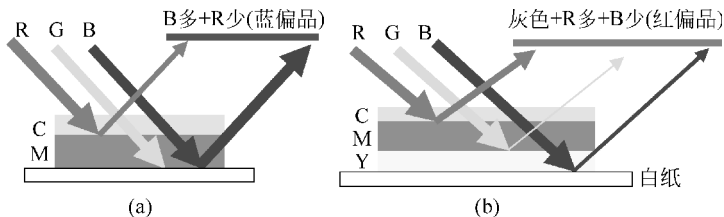


图 3.13 油墨不等量叠合的效果

3 种原色等量混合,将光全部吸收,呈现为黑色,表示为

$$\text{黄} + \text{品红} + \text{青} = \text{白} - \text{蓝} - \text{绿} - \text{红} = \text{黑} \quad \text{即 } Y + M + C = W - B - G - R = \text{Bk}$$

3 种原色料等量混合时,可以得到黑色。如果将三原色色料逐渐等量减少,就会得到一系列由深到浅的灰色。如果将三原色色料进行不等量混合,便会得到各种的混合色。图 3.13(b)是理想情况下青、品、黄三色油墨以不同比例叠合的效果,品红油墨最多,黄油墨次之,青油墨最少,最后呈现色彩为红偏品。3 种原色料以不同比例混合得到的颜色称为三次色,或复色。复色中一定会含有由三原色色料合成的黑色。

综上所述,三原色色料按照减色法混合后,便可产生自然界中几乎所有的颜色。各种色料和彩色物体呈色都是减色法的原理,绘画、彩色摄影也是以减色法为理论基础的。彩色滤色片、油墨、墨水都是减色物质,利用它们的减色作用,以不同比例混合就可以得到各种色彩。

在色料减色法中,如果两种色料混合后得到黑色,那么这两种色料就称为互补色料。因此,青色料和红色料是互补色料,品红色料和绿色料是互补色料,黄色料和蓝色料是互补色料,可表示为:

$$\begin{aligned} \text{红色料} + \text{青色料} &= \text{黑色料} & \text{或 } R + C &= \text{Bk} \\ \text{绿色料} + \text{品红色料} &= \text{黑色料} & \text{或 } G + M &= \text{Bk} \\ \text{蓝色料} + \text{黄色料} &= \text{黑色料} & \text{或 } B + Y &= \text{Bk} \end{aligned}$$

补色色料不等量合成,合成色偏向比例大的色料。

色料相混合遵循减色法原则,混合后的新颜色总是比混合前的颜色暗。例如,黄色料和品红色料混合后得到红色,红色的明度就比黄色和品红色的要小。这是由于减色法是通过色料对光的选择性吸收,减去一种或几种单色光,使得反射或透射的光的能量减少,混合后刺激人眼的色光能量就会降低,呈现的色彩明亮度就会变低(暗)。由此可见,色料减色法的实质是,色料的选择性吸收使色光能量削弱,新呈现的色彩的明亮程度就会降低、变暗。简言之,色料相加,能量减弱,越加越暗。

但这种减色并不是真正按照减法规律产生的,其明亮度会降低,但不是照射光的明度与吸收光的明度差。

### 习 题 3

1. 什么是三色学说？它有什么优、缺点？
2. 什么是四色学说？它有什么优、缺点？
3. 三色学说和四色学说如何统一于阶段学说？
4. 为什么称 R、G、B 为色光三原色？
5. 什么是色光加色法？说明色光等量相加的规律。
6. 说明格拉斯曼颜色定律的内容。
7. 为什么称 C、M、Y 为色料三原色？
8. 什么是色料减色法？画图说明色料等量相加的规律。什么是间色、复色和补色？
9. 画图并说明 R、G、B、Y、M、C 滤色片的光谱特性。
10. 试分析比较加色法与减色法的异同。