

电视原理

第二章

三基色原理与计色系统

石东新

中国传媒大学信息工程学院

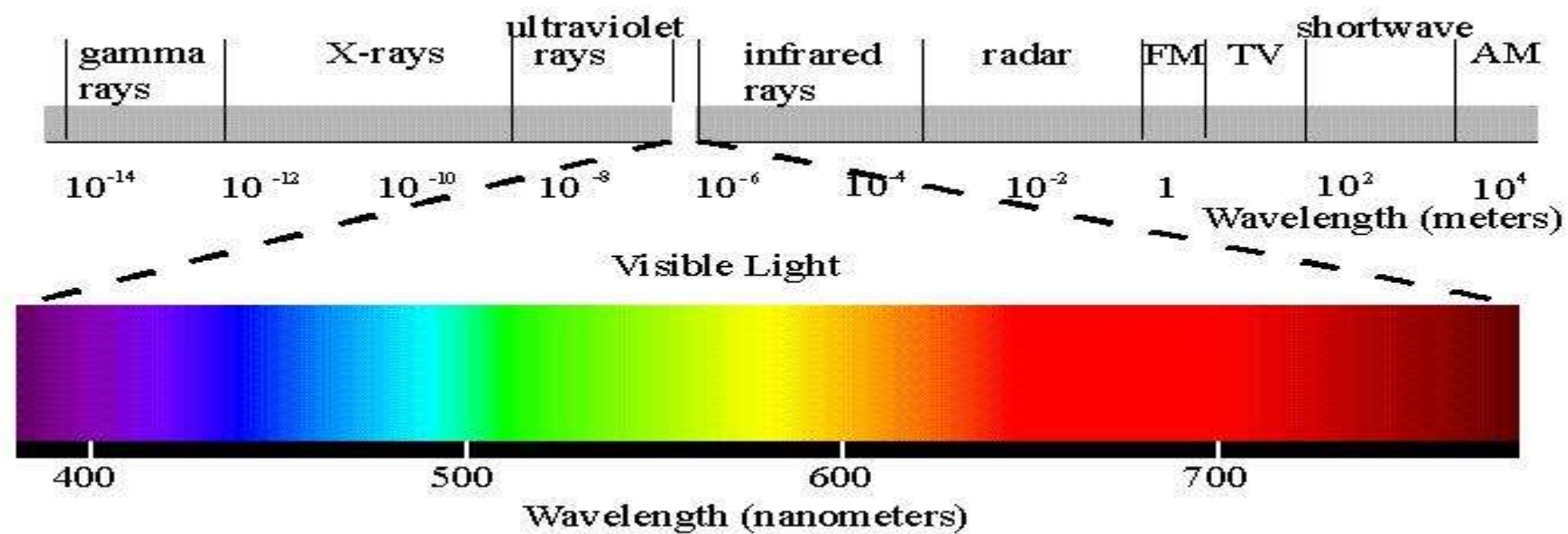
第一节 基准光源

1、可见光谱：

人眼对于不同波长的光有不同的颜色感觉：

波长 nm	780 ~ 630	630 ~ 590	590 ~ 530	530 ~ 495	495 ~ 475	475 ~ 430	430 ~ 380
色别	红	橙	黄	绿	青	兰	紫





2、物体的颜色：

物体能呈现各种颜色的原因：取决于光源的光谱成份和物体对照射光的反射和透射特性。如绿纸—反射绿光。

3、光谱功率分布

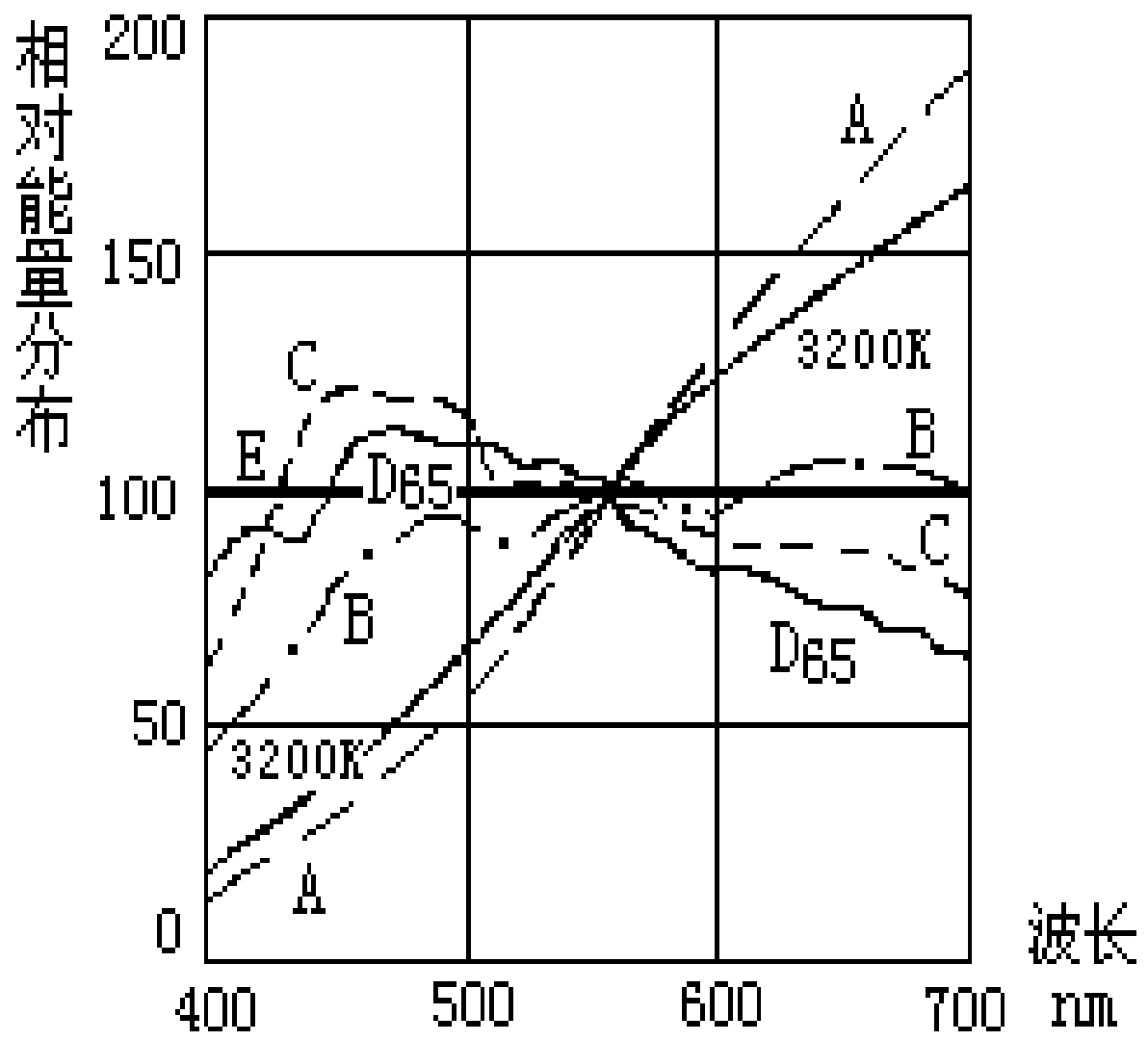
色温：用来描述光源的光谱分布的物理量。

绝对黑体：

当绝对黑体被加热时，能辐射出连续光谱，所以其光谱能量的分布只与加热的温度有关。

绝对黑体在一定温度下有一定的光谱功率分布，相应地也有一定的发光颜色。我们将绝对黑体在一定光色下的绝对温度（K）称为该光色的色温。

光源的光色接近某一色温，该色温称为该色光的相关色温。

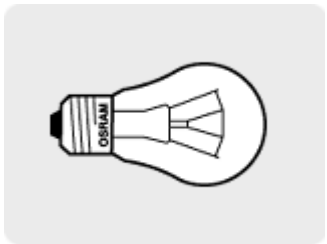


光谱功率分布:

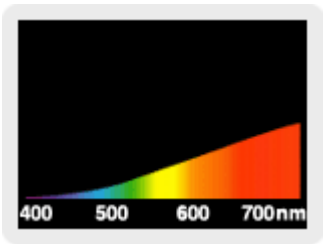
光源的光谱辐射功率按波长分布。

为了比较不同光源， 光谱功率分布的差异， 采用光谱相对功率分布， 即 纵坐标采用各波长辐射功率 和555nm辐射功率的比值（相对值）。

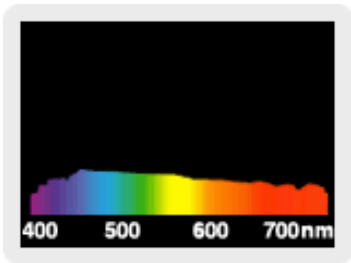
注意： 555nm处为1。



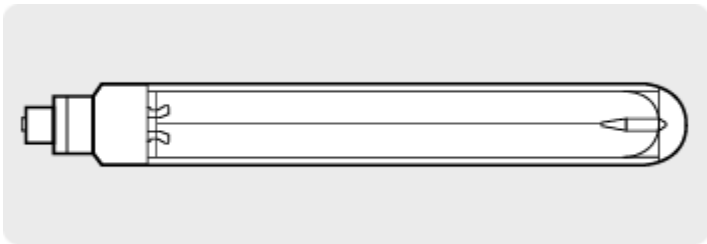
白炽灯



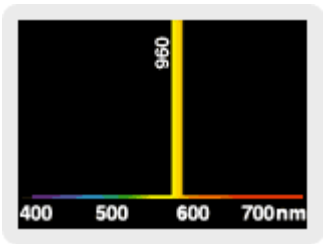
白炽灯光谱



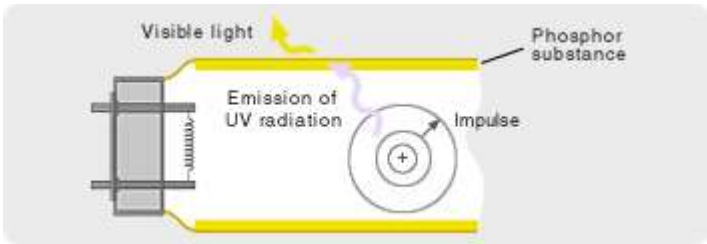
白天光谱



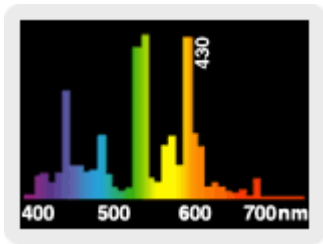
低压钠灯



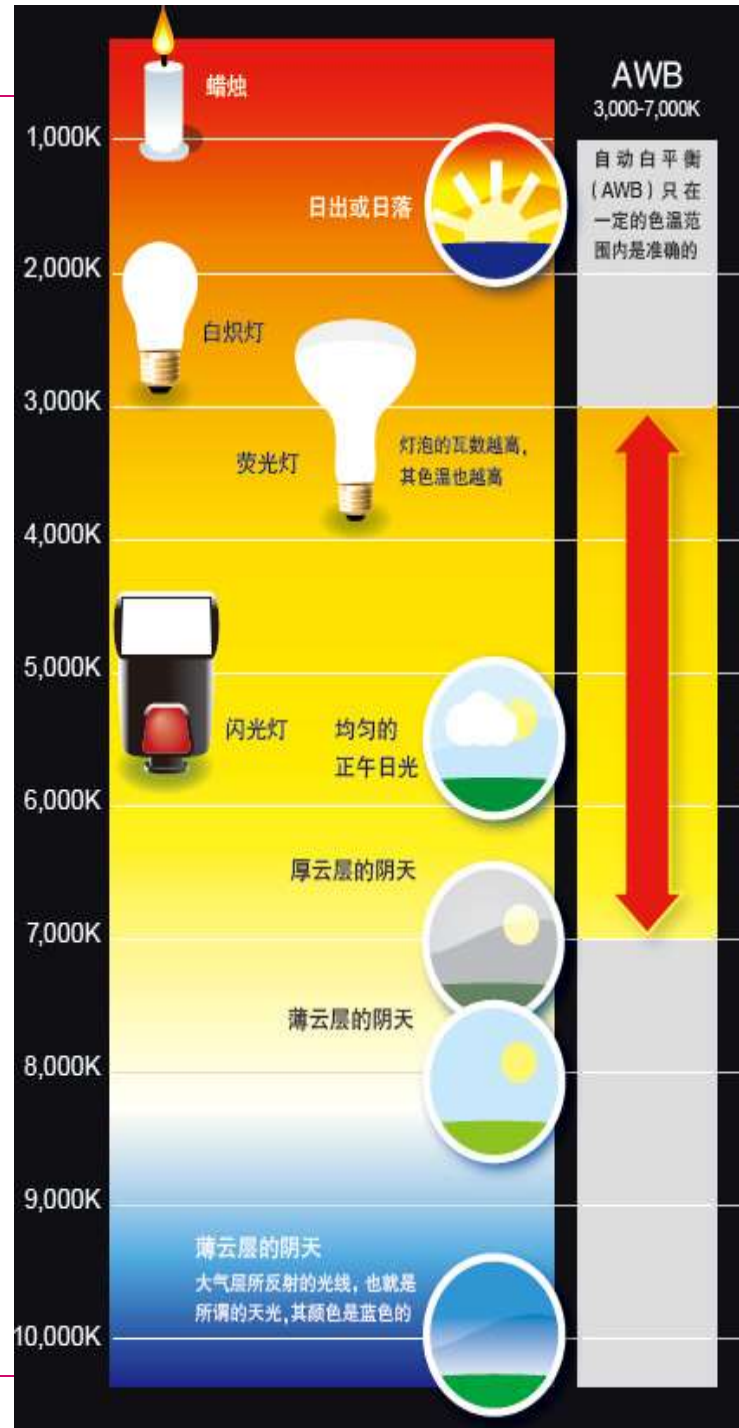
低压钠灯光谱



日光灯



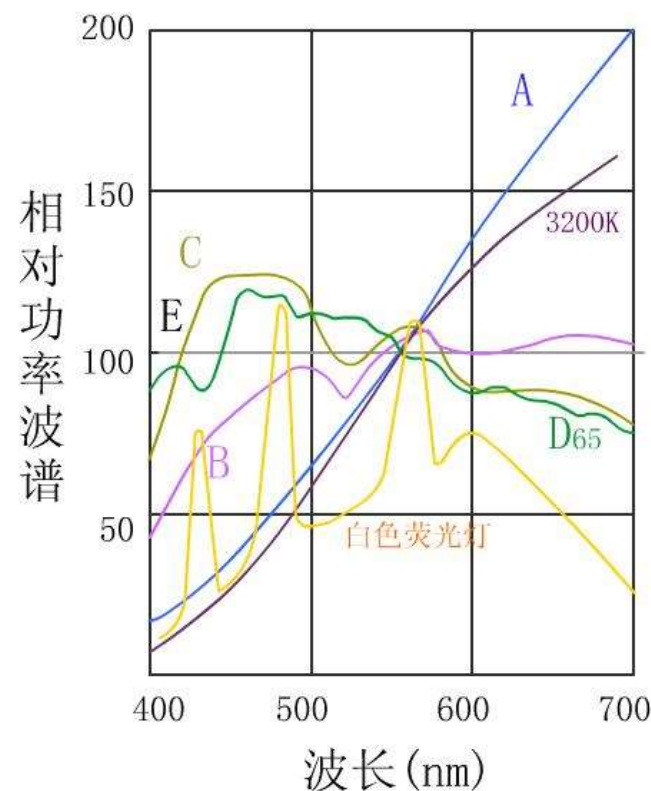
日灯光谱



基准光源： 指在黑白和彩色电视中应用的标准白色光源。
通常的白光都带有一定的色调。

电视中的基准白光有A、B、C、D₆₅（PAL）等几种。

- 1) **A白：** 对应于灯丝绝对温度为**2800K**的白炽灯发出的光（略带黄色）。实际可实现。色温为**2856K**。
- 2) **B白：** 相当于中午的直射阳光-----可用A白光源前加特殊的滤光器间接得到。相关色温为**4800K**。
- 3) **C白：** 近似于阴天天空的漫射光（略带蓝色调）--可用A白光源前加特殊的滤光器间接得到。相关色温为**6770K**。
- 4) **D65-光源：** 偏蓝程度比C白轻，但在**415**纳米以下的短波长能量大---无法人工产生，可用氙弧灯加滤光器获得。
D₆₅ 是彩色电视荧光屏应用的基准白光。
- 5) **3200K光源：** 略带淡黄色，演播室卤钨灯光源。
- 6) **E白（等能白）：** 假想光源，实际并不存在，用相关色温**5500K**代替。
9300K： 日本普遍采用



光源种类	显色指数
日光	100
普通日光灯	65~75
卤钨灯	99
白炽灯	97
高压钠灯	25
三基色荧光灯	95
氙灯	95
金属卤化物灯	90
LED	<95

显色指数

日光的显色指数定义为**100**（不是**100%**），其他光源的显色指数都低于**100**。

按照《电视演播室灯光系统设计规范》的规定，彩色电视照明要求光源的显色指数不低于**85**。

用高色温光源照明的电视演播室逐渐增多，摄像机对蓝色较敏感，电视图像让人感觉图像色饱和度高、图像清晰、景深较大。

现在，室外大型晚会和春节晚会都在使用高色温光源，甚至有大型演播室全部采用高色温光源的。

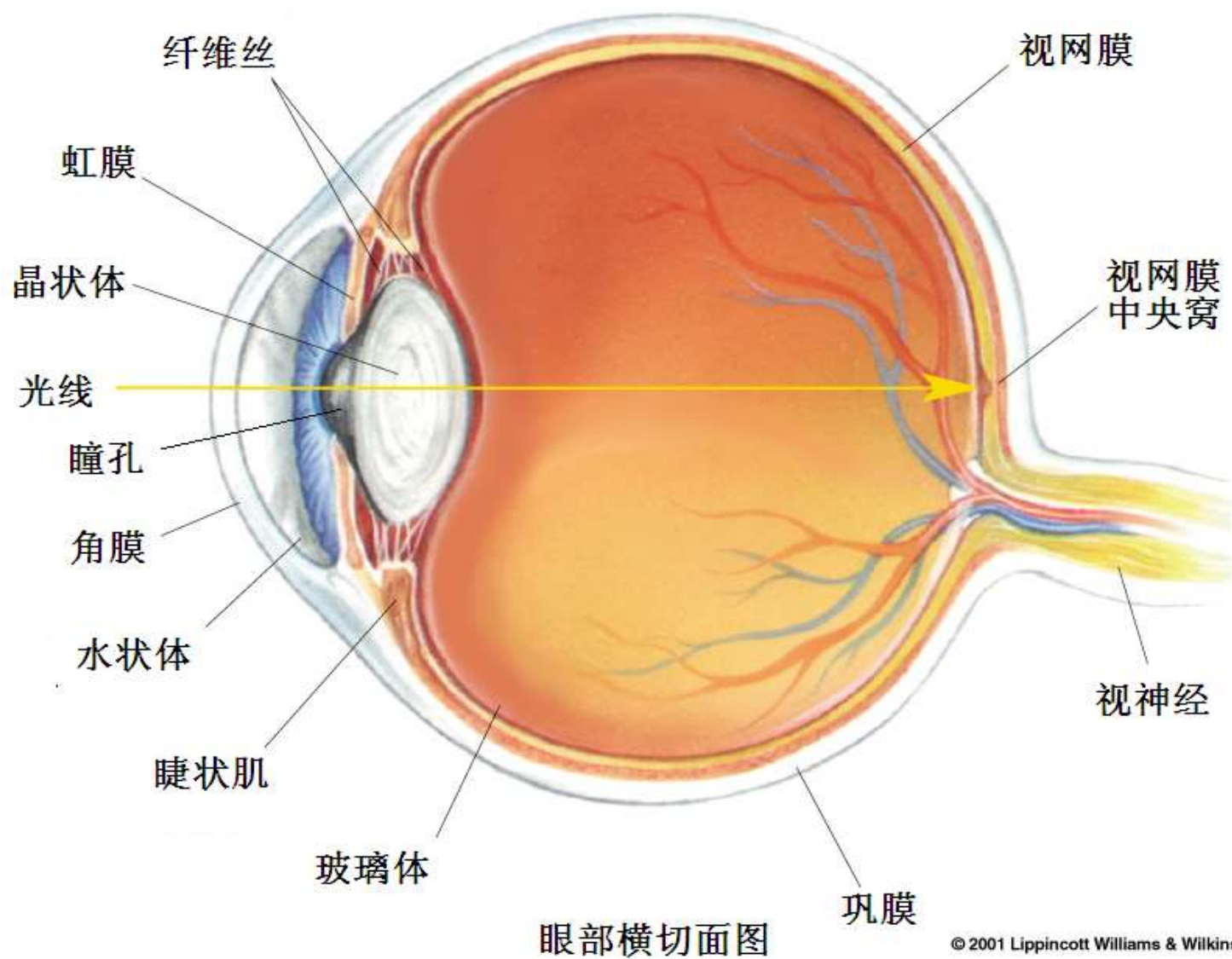
LED灯:

- 色温 2900 K ~ 6000 K 可调, 或固定色温 (如3200 K或5600 K)
- 寿命长, 约有 50000小时, 发光效率50-200流明, 耗电小. 表面温度低.
- 不产生噪音, 适用于精密电子仪器场合。
- 恒流工作, 启动快, 无闪烁, 保护眼睛
- 有衰减效应

卤钨灯:

- 3200K色温稳定, 显色指数高
- 寿命非常短, 小于 200 小时
- 发光效率低, 只有12-24流明, 耗电大. 表面温度高.
- 1kW卤钨灯会产生810W的红外辐射, 对相关工作人员造成一定危害

第二节 人眼的彩色视觉特性



• 眼睛可类比为**一个摄像机**：

角膜---镜头孔；

巩膜---机壳；

瞳孔---光圈；

虹膜---光圈控制；

脉络膜---暗箱；

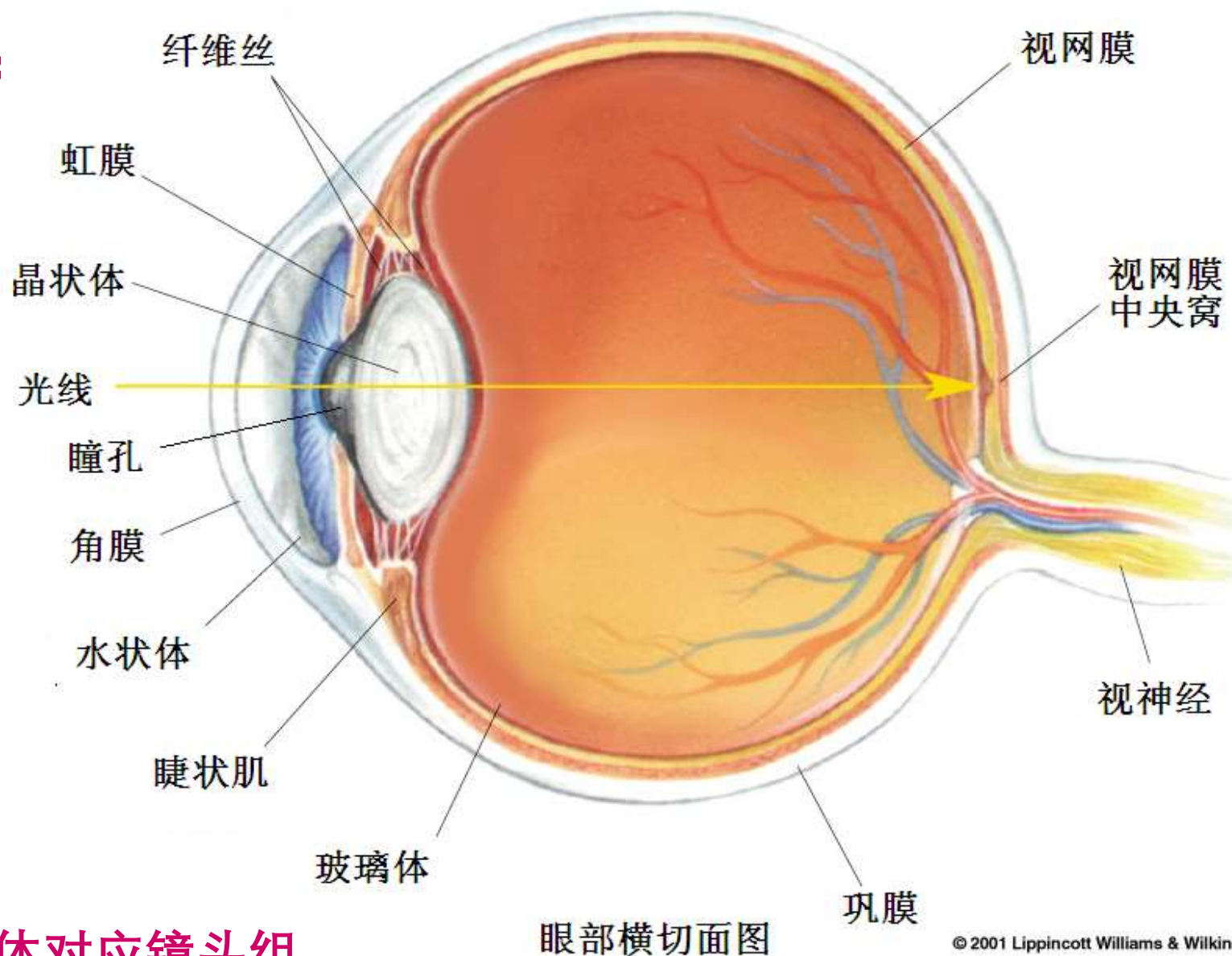
视网膜---感光体；

晶状体---变焦镜头；

睫状肌---聚焦控制；

玻璃体---滤光镜；

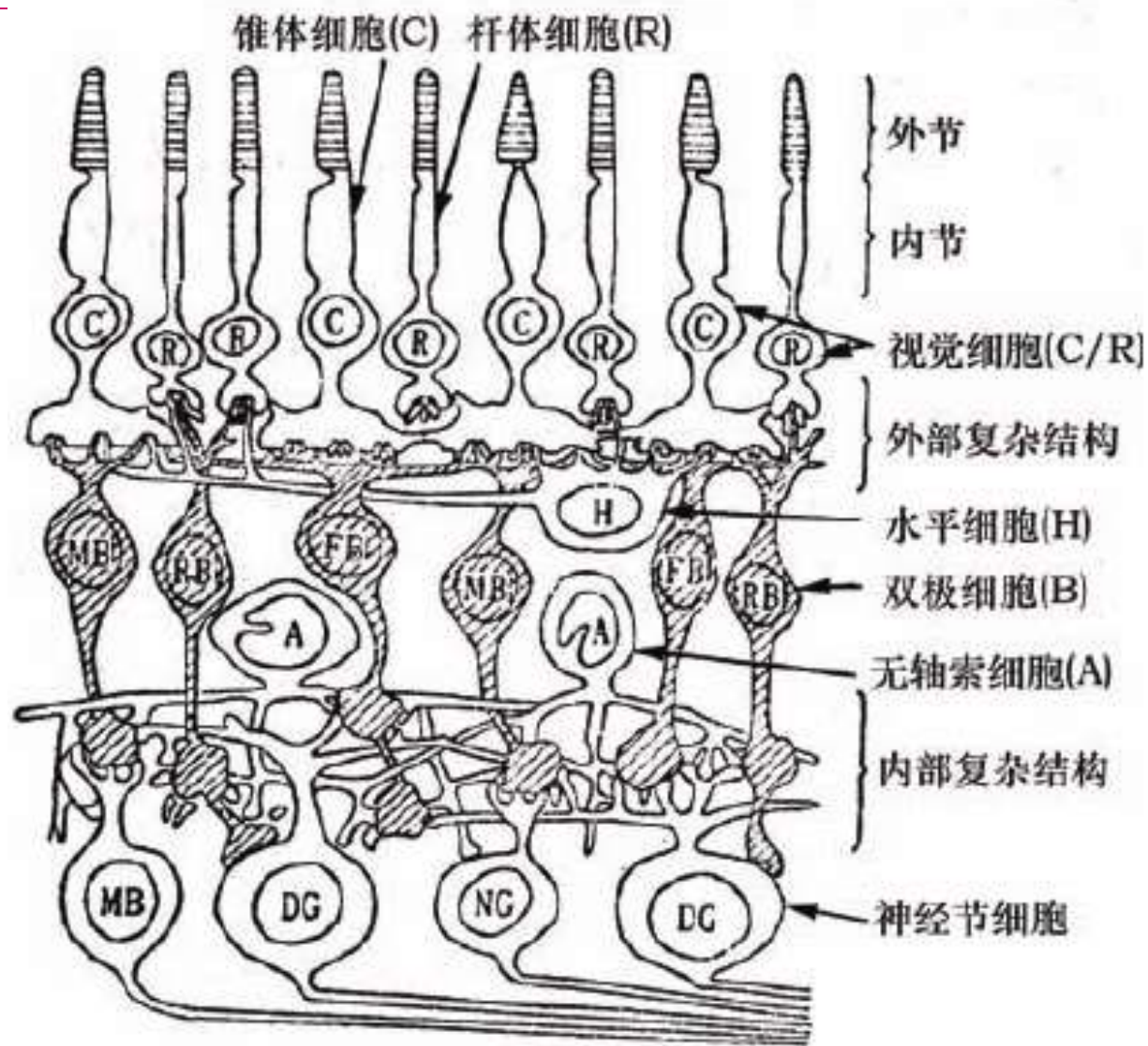
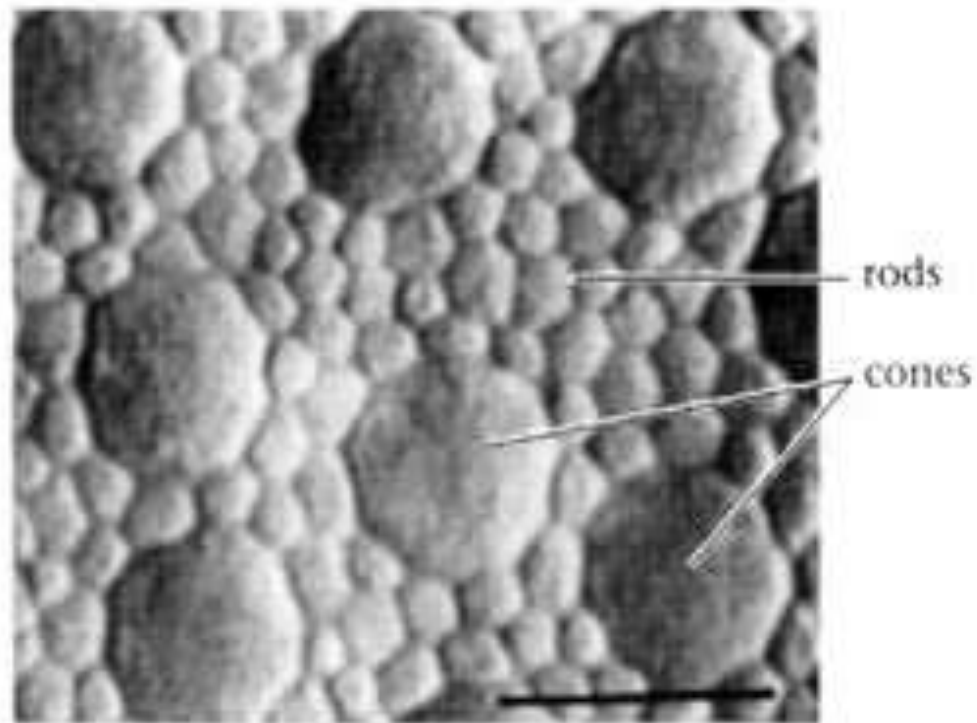
视神经---信号线。



角膜、水状体、晶状体、玻璃体对应镜头组

© 2001 Lippincott Williams & Wilkins

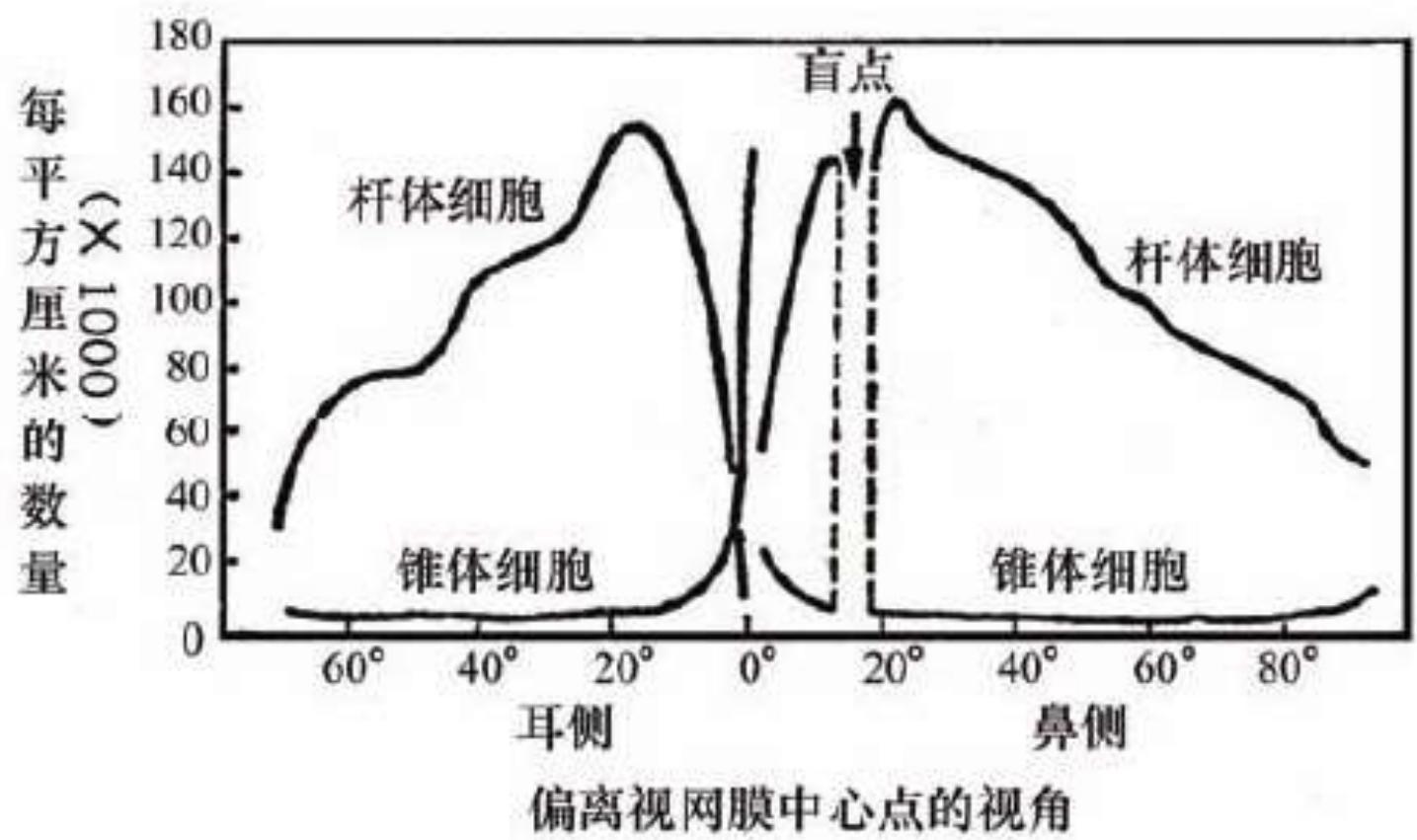
人眼视网膜通过光敏细胞来感知外部世界的亮度和颜色



- 锥体细胞在明亮的条件下工作，具有辨别波长(颜色)的能力；
- 杆体细胞则在暗环境下发挥作用，但其不具有辨色功能。

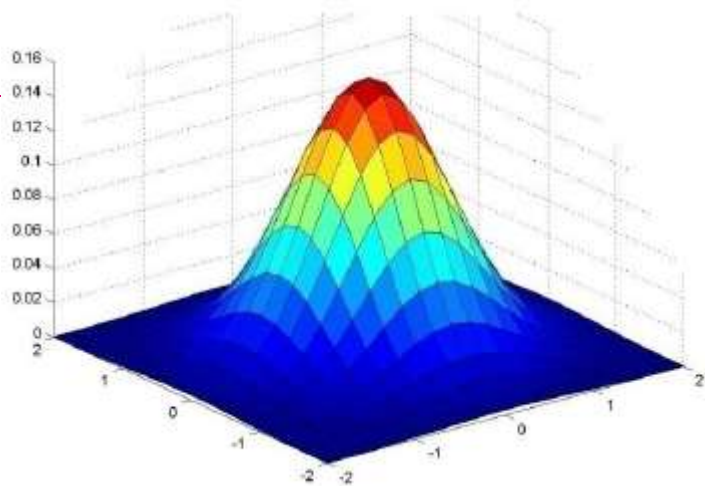
视网膜构造及其与神经细胞的联系

- 在视网膜中心部位的中央凹中，不包含杆体细胞，但随着视角偏离中央凹，锥体细胞数量下降，而杆体细胞数量上升。



锥体细胞约 0.7亿个，
杆体细胞约 1.3 亿。

视网膜锥体和杆体细胞的数量分布

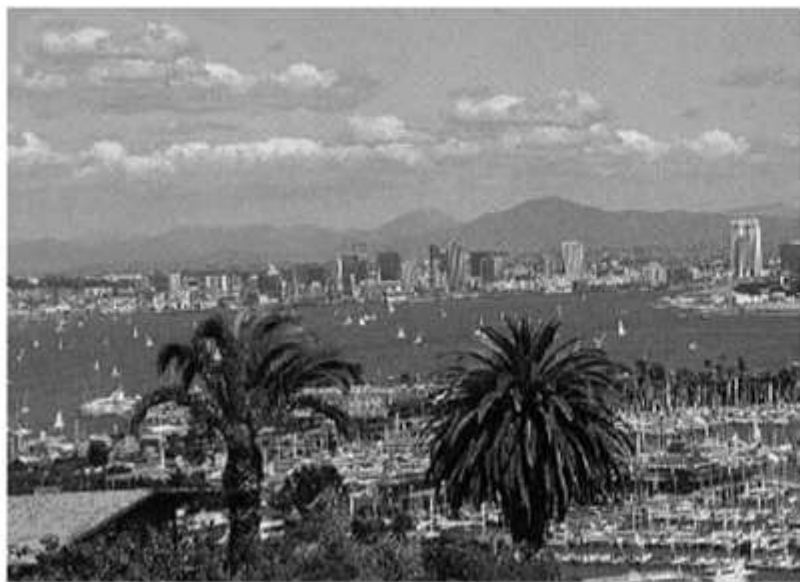


高斯滤波

- 人眼特性：离关注中心越远，感受精度越模糊

$$G_{\sigma} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

$$\begin{aligned} G_{\sigma}(x, y) &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)\right) \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right)\right) \end{aligned}$$



摄像头



人类视觉

人眼可以用点扩散函数来描述:

$$h(x_i - \tilde{x}_0, y_i - \tilde{y}_0) = \frac{1}{\lambda^2 d_0 d_i} \int_{-\infty}^{+\infty} P(x, y) \exp[j2\pi W(x, y)] \\ \cdot \exp\left\{-j\frac{2\pi}{\lambda d_i}[(x_i - \tilde{x}_0)x + (y_i - \tilde{y}_0)y]\right\} dx dy$$

式中 $(x, y, 0)$ 是人眼光瞳面, (x_i, y_i, d_i) 是视网膜上像点, $(\tilde{x}_0, \tilde{y}_0) = M(x_0, y_0)$, M 为成像放大率, $(x_0, y_0, -d_0)$ 是物点。 P 与 W 则代表了人眼的孔径与波像差。

视觉信息的生成和传递基本过程是：

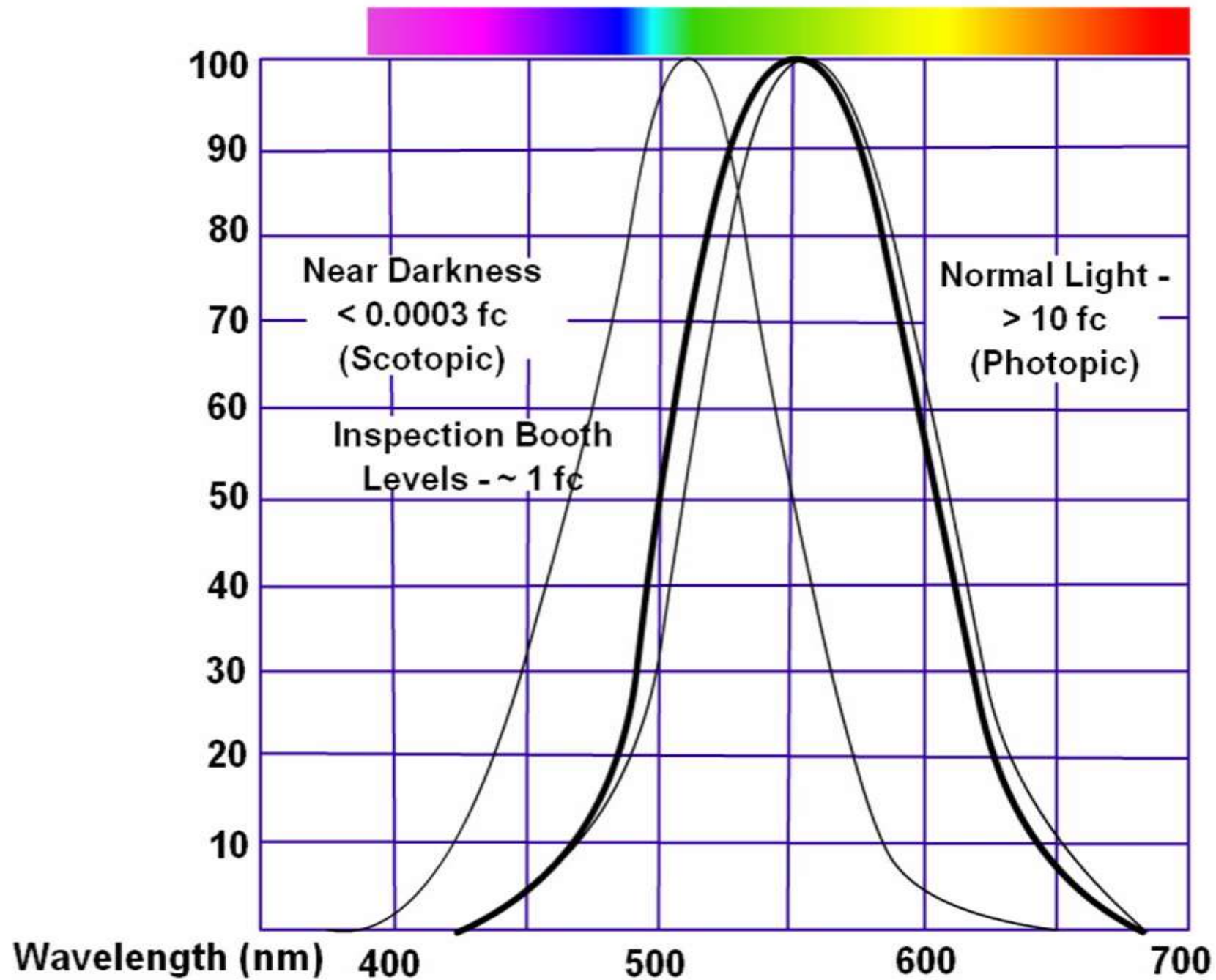
外界光线 → 眼球 →

视网膜 → 光学成像 → 视觉神经 → 大脑皮层视觉区 → 视觉影像



神经细胞有多个突触接受信息，由信息控制细胞兴奋或抑制状态。当细胞的兴奋水平升高到超过某一阈值后，神经细胞才会产生输出信息，最终才有可能使大脑皮层视觉区接收到视觉信息。外界干扰、内部神经信息传输过程中产生的干扰会影响视觉信息的最终形成，造成视觉空间分辨能力下降。

视觉感知 → 神经网络：激活函数



彩色视觉:

彩色三要素指的是彩色光的**亮度**、**色调**、**饱和度**这三个量。

- **亮度**: 指彩色光作用于人眼而引起的视觉上的明亮程度。光源的辐射能量越大, 亮度就越高; 不发光体的反射能力越强, 亮度越高。

复合光的亮度等于各个分量光的亮度之和。

另外, 亮度还和波长有关, 能量相同而波长不同的光对视觉引起的亮度感觉也不相同, 即**视敏特性**。

$$\text{光通量}(\lambda) = V(\lambda) \times P(\lambda)$$

- **色调**：指彩色的颜色类别。我们通常所说的红、绿、蓝等指的就是色调。前面讲到不同波长的光颜色不同，也是指的色调不同。
- **饱和度**是指彩色的深浅、浓淡程度。对于同一色调的彩色光，饱和度越高，颜色就越深、越浓。各种谱色光都是饱和度最高的彩色。饱和度与彩色光中掺入的白光比例有关，掺入的白光越多，饱和度就越小。

饱和度的大小用百分制衡量，100%的饱和度表示彩色光中没有白光成分，所有谱色光的饱和度都是100%；饱和度为零表示为灰白色，没有任何色调。

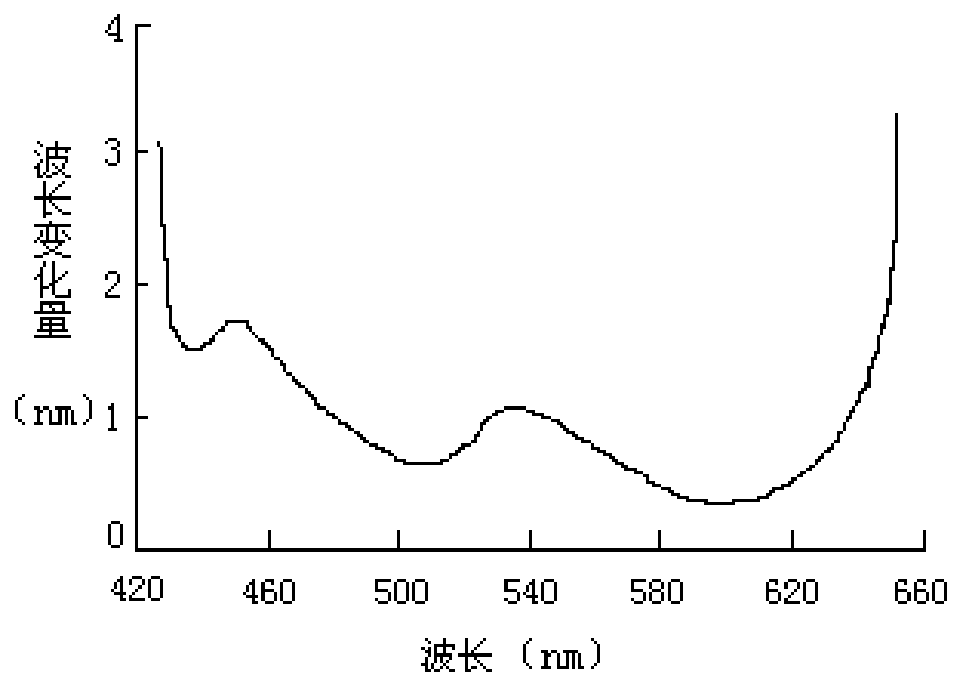
- **色度**：**色调和饱和度**合称为**色度**，它既说明了彩色光的颜色类别，又说明了颜色的深浅程度。

1、人眼的辨色能力

(1) 对色调的分辨能力

人眼对不同波长的谱色光有不同的色调感觉，可见光谱中有无数个谱色成分，**理论上**有无数种色调，但对于波长很接近的谱色光人眼不能区分它们色调的差异。

在整个光谱范围，人眼能分辨200来种不同色调。

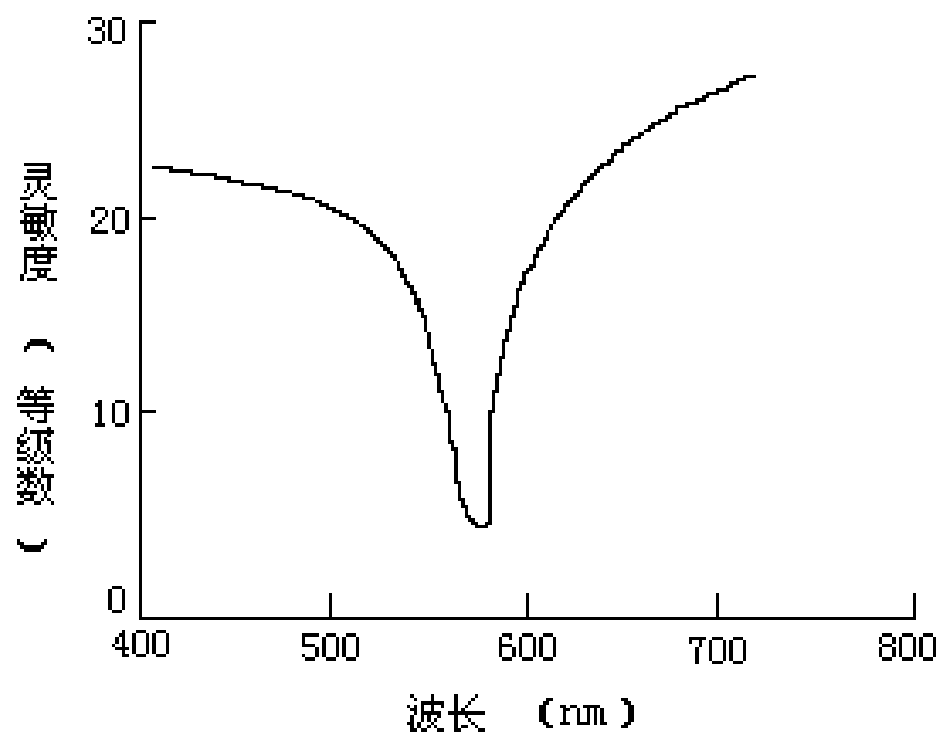


色调分辨域与波长关系

(2) 对饱和度分辨能力

谱色光-----100% 基准白-----0 %

对于580纳米附近的谱色光（黄色区域），从0 %到100% 饱和度，只能分辨10级的饱和度变化。在红色和蓝色区域，灵敏度高，可分辨出25级的饱和度的变化。



饱和度分辨阈和波长的关系

(3) 人眼的辨色种类

根据实验统计，人眼能分辨200种色调，每一色调平均分辨出15至20级饱和度，则共能分辨的彩色种类为3000—4000种。

(4) 人眼彩色感觉的非单一性

虽然不同波长的单色光对人眼会引起不同的彩色感觉，但实验表明，人眼相同的彩色感觉却可以是不同光谱成份组成的光。



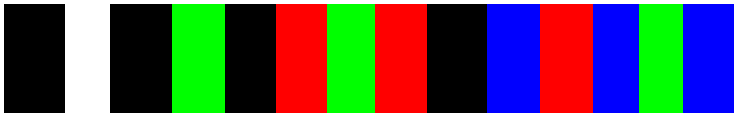
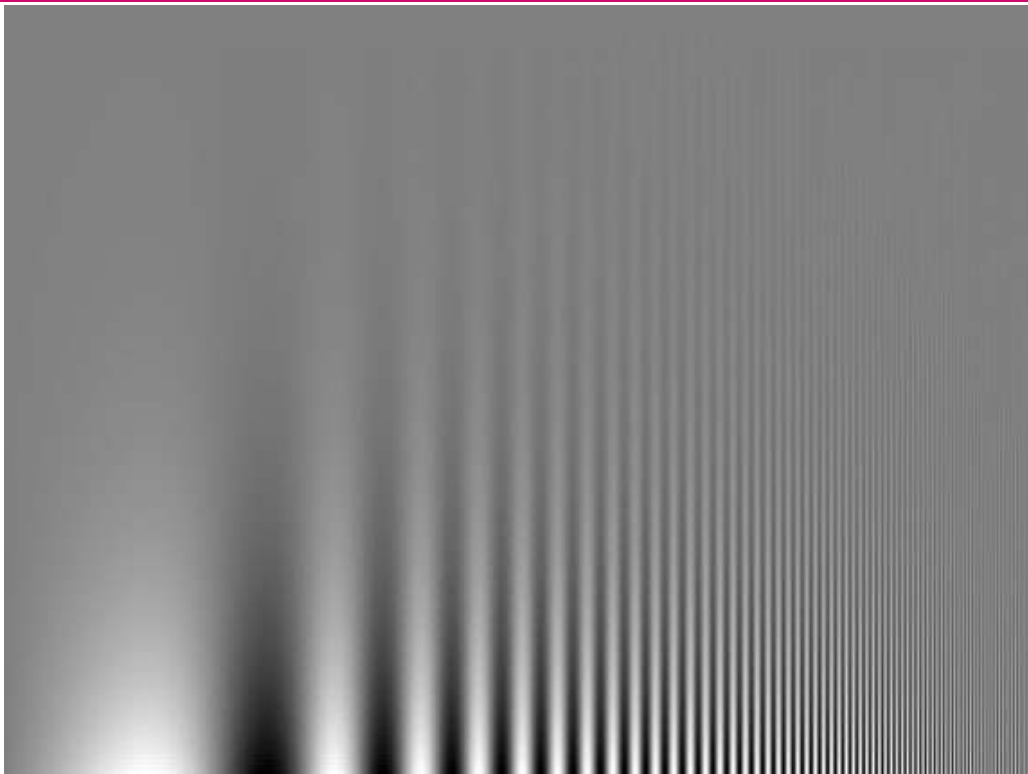
例如，由适当比例的红光和绿光混合后，人眼可以产生与黄单色光相同的彩色感觉；又如，白色的日光是一种连续光谱，但也可以由红、绿、蓝三种单色光以适当的比例混合出来。

自然界几乎所有的彩色都能由三种基本彩色光混配出。颜色感觉相同，光谱组成不同的光称为同色异谱色。

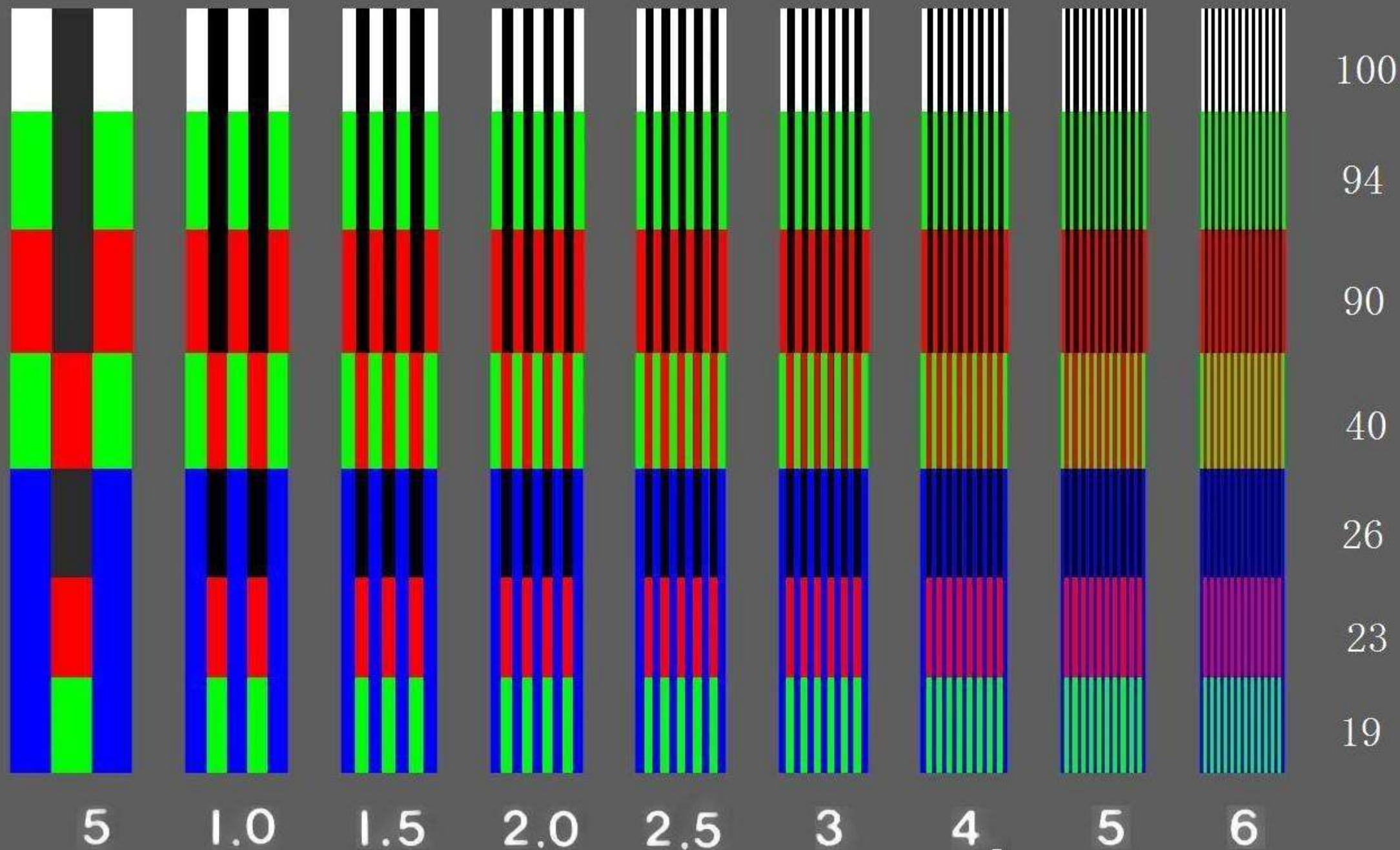
2、 人眼的彩色细节分辨力----低于黑白

- 细节分辨力是由分辨角来表示的，分辨角越小，分辨力越高。
- 静止图像黑白细节的分辨角为 $1' \text{---} 1.5'$ 。
- 人眼对彩色细节的分辨力低于黑白，分辨角比黑白细节分辨角大3至5倍。
- 不同的色调人眼具有不同的分辨能力。

- (1) 分辨力很大程度上取决于景物细节的亮度和对比度（最大亮度和最小亮度的比值）。亮度过低或过高，视力下降；细节对比度越小，也越不易分辨。
- (2) 人眼对彩色细节的分辨力要远低于对黑白细节的分辨力。根据这一特性，在彩色电视中只传送黑白图像细节，而不传送彩色细节，以减少色度信号的带宽，这就是大面积着色原理的依据。



细节色别	黑白	黑绿	黑红	绿红	黑蓝	红蓝	绿蓝
相对分辨力(%)	100	94	90	40	26	23	19



3、人眼对彩色感觉的空间混色和时间混色特性



空间混色，是指当人眼对彼此间隔很近的不同色光小单元，在一定的距离外观看时，由于**视觉分辨力的限制**而不能区分各自的彩色光点，感觉到的是混合色的颜色效果。**彩色显象管**

时间混色，是指在同一个位置轮流投射两种或两种以上的彩色光时，当轮换速度高到一定值后，由于人眼**视觉暂留效应**感觉到的是它们混合色。

双眼混色特性，即当左右两眼同时分别观看两种不同颜色时，会给出混合色光的感觉。

第三节 三基色原理

三基色原理（格拉斯曼颜色混合定律）

- （1）人的视觉只能分辨颜色的**三种变化**，即**亮度**、**色调**和**色饱和度**。
- （2）人眼所能感觉到的颜色**绝大部分**均可以由**三种线性无关**的颜色按一定的比例混合出来，这三种颜色称为**三基色**。三基色必须是相互独立的，即其中任何一种基色都不能由其它两种基色混合得到；
- （3）混合光的亮度等于各分量**光亮度之和**，即**亮度相加定律**；
混合光的**色调和饱和度**由三基色的混合**比例**决定；



(4) 光谱成分不同的光在视觉上可具有相同的色度感觉，即相同的颜色外貌。

替代律：外貌相同的光在混合中可以互相替代。

例如，若色A=色B，色C=色D，则：（等号的含义）

$$\text{色A} + \text{色C} = \text{色B} + \text{色D}$$

$$\text{色A} + \text{色D} = \text{色B} + \text{色C}$$

(5) 在由两个成分组成的混合色中，如果一个成分连续变化，混合色的外貌也将连续变化；

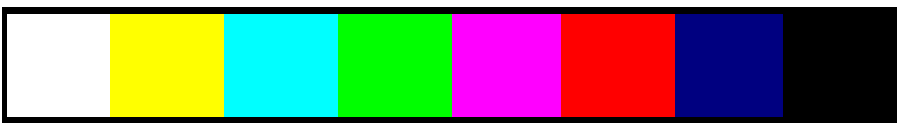
(A) 补色律

当两种颜色混合得到白色或灰色时，称这两种颜色互为补色。每种颜色都有一个相应的补色。

两种互为补色的颜色，如果不按混合出白色或灰色的比例混合，将出现两种颜色中一种色调的非饱和色。混合色的色调偏向于比重大的颜色。



比如蓝色光和黄色光互为补色。

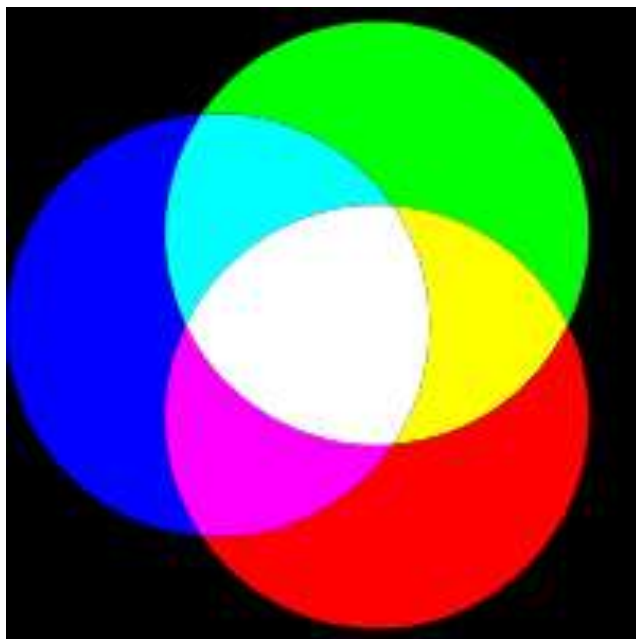


(B) 中间色律

任何两个非补色相混合，可产生出它们两色调之间的中间色，具体色调取决于两颜色混合的比例。

比如：红、绿光不为补色，可混合出橙、黄、黄绿等色调。

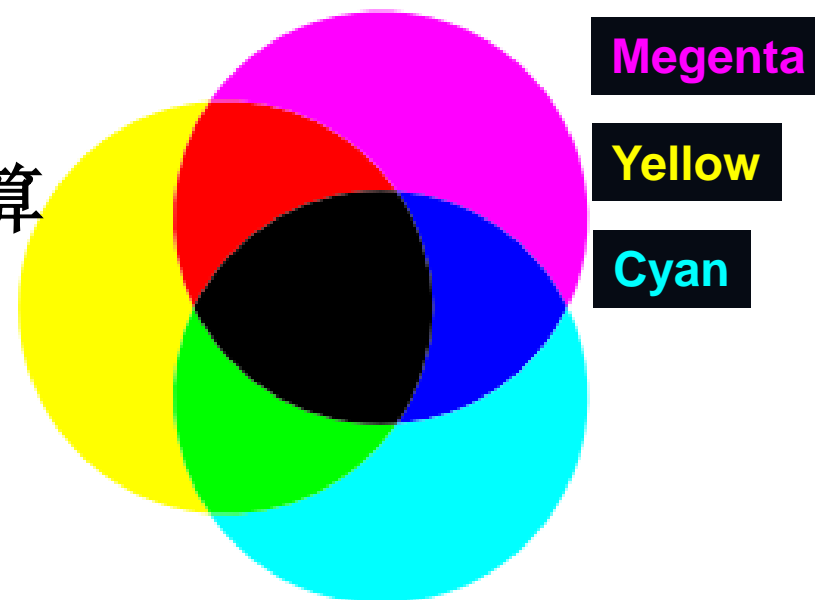
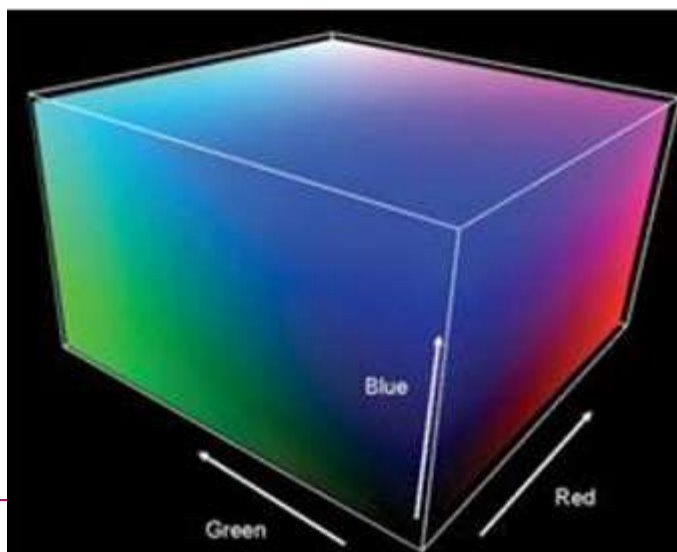




取值范围：
电视与计算机有区别！

计算机：
整型：[0,255]
浮点：[0.0,1.0]

Additive color mixing(加法混色)

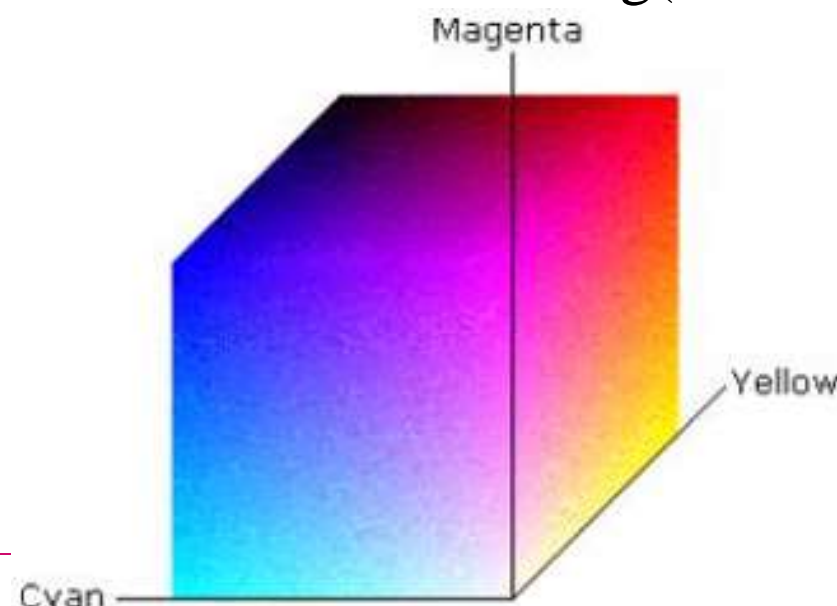


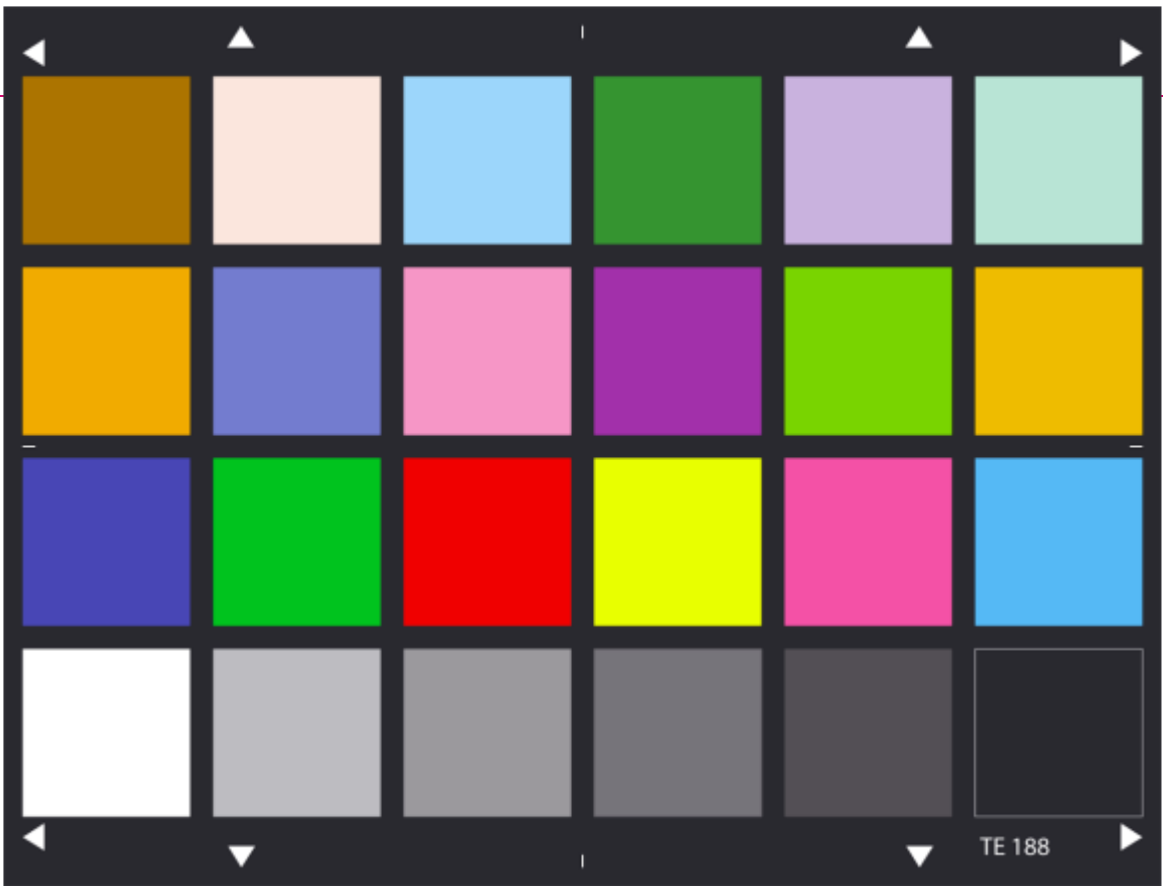
Magenta

Yellow

Cyan

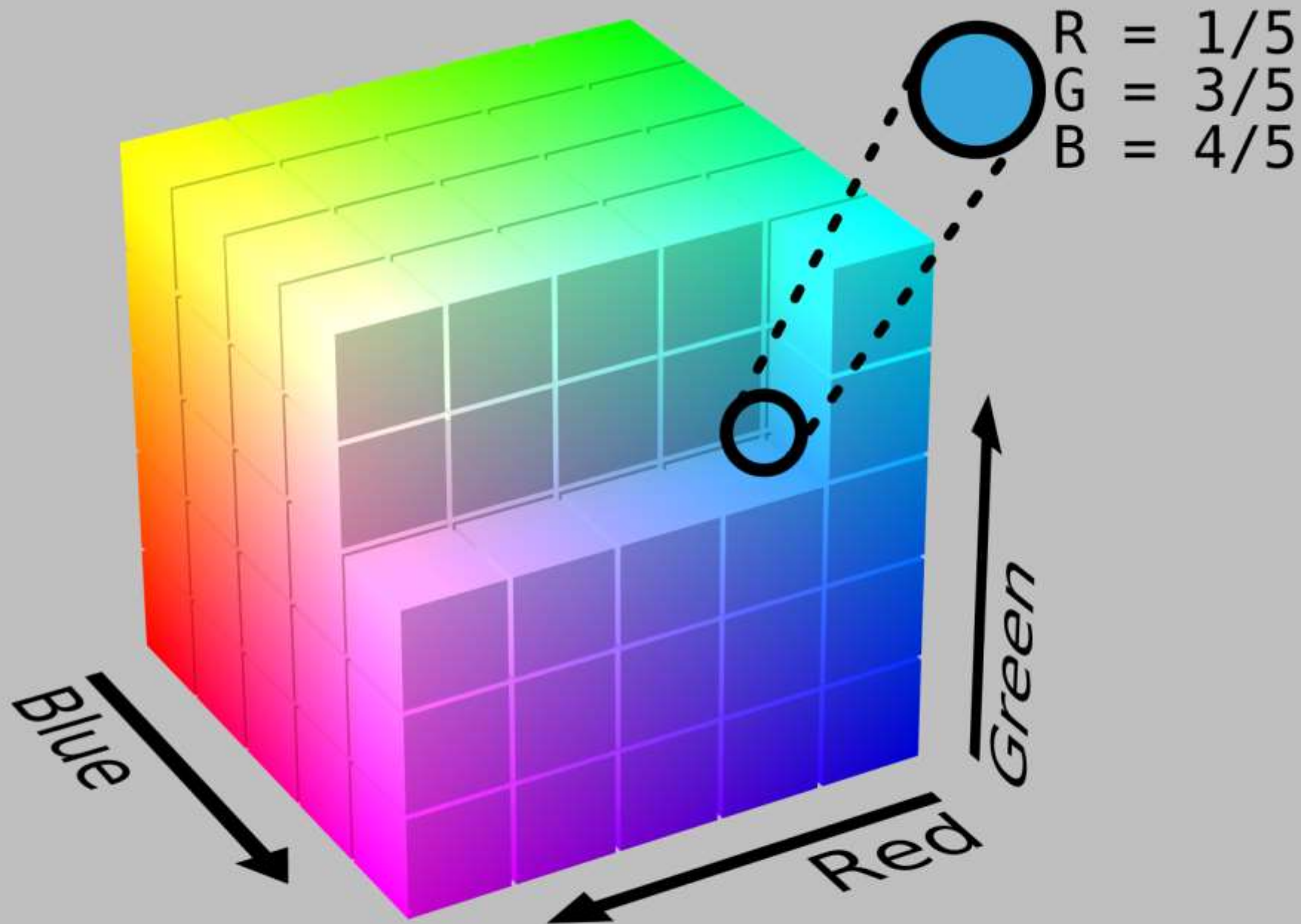
Subtractive color mixing(减法混色)

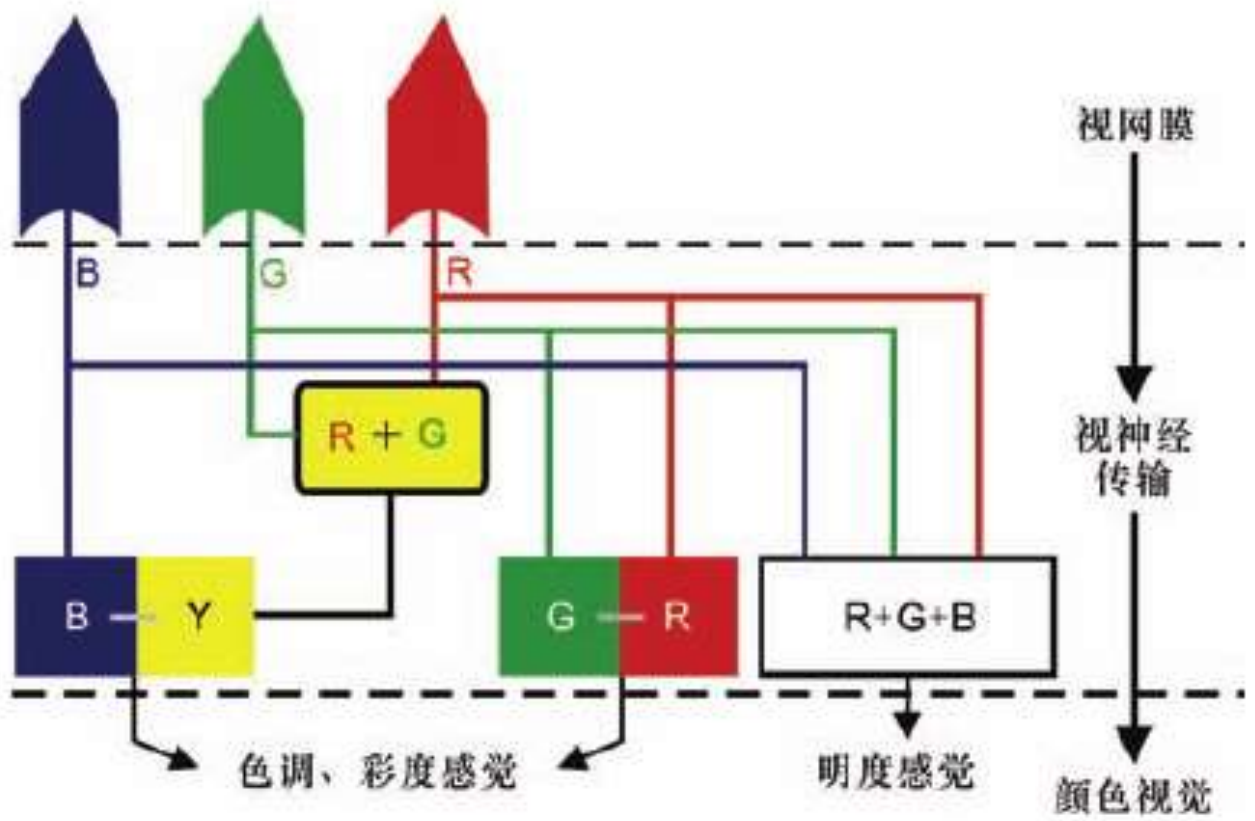




- A3 Blue
- B3 Green
- C3 Red
- D3 Yellow
- E3 Magenta
- F3 Cyan

- A1 Dark skin
- B1 Light skin
- C1 Blue sky
- D1 Foliage
- E1 Blue flower
- F1 Bluish green
- A2 Orange
- B2 Purplish blue
- C2 Moderate red
- D2 Purple
- E2 Yellow green
- F2 Orange yellow

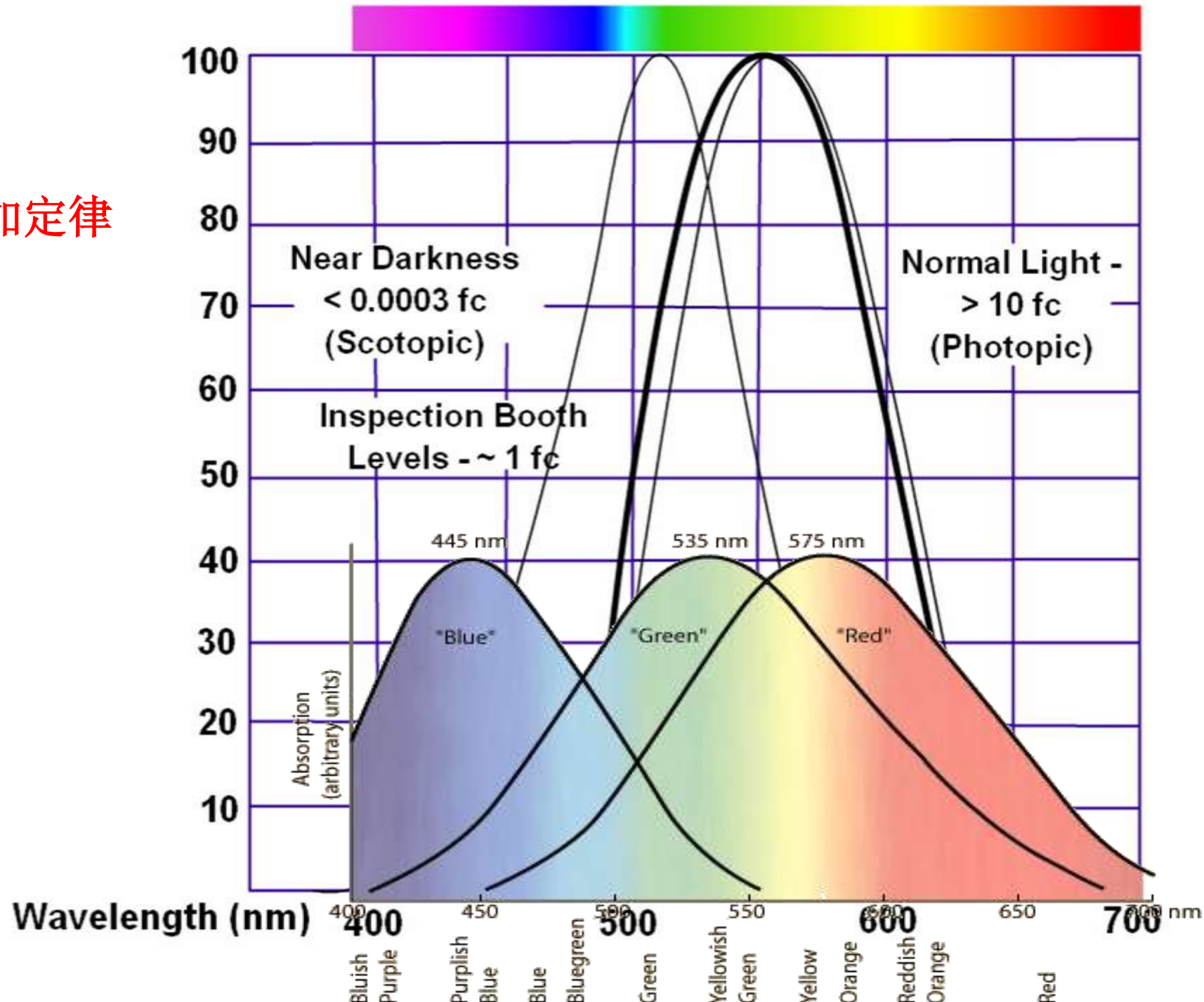




红绿色盲
黄蓝色盲

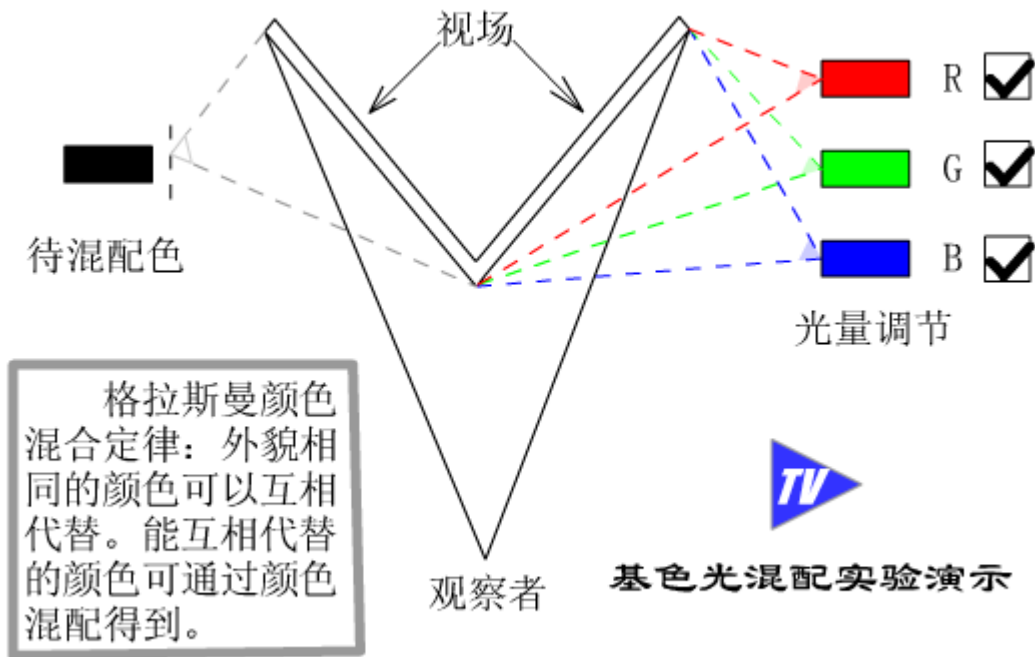
在红绿蓝三种信息产生后，信息向视神经传输的阶段中，三种信息重新组合，形成了黑/白、红/绿、黄/蓝三组神经响应。其中的黑/白响应能够产生明亮程度的感受，而红/绿及黄/蓝两组神经响应引发彩色视觉。这两组彩色视觉响应都具有对抗性，即：红/绿对抗及黄/蓝对抗，最终可以形成色彩亮度、色调、饱和度的彩色视觉。

亮度相加定律



二、配色实验

混配F色光所需的红、绿、蓝的比例，即三系数R、G、B的数值。



颜色的混配

颜色的混配是指一种颜色的光可以由其他几种颜色的光按一定的比例混合（混配）得到与其外貌相同的颜色。

在色度学的计算中，参与混配的光通常是红、绿、蓝三种光，称为基色光。

混配的目的：求出某一色光由三基色混配的比例。

1、物理三基色单位

CIE(国际照明委员会Commission Internationale d'Eclairage)对三基色光的波长和基色单位的规定如下:

- 波长为700nm, 光通量为1光瓦的红光作为1个红基色单位;
波长为546.1nm, 光通量为4.5907光瓦的绿光作为1个绿基色单位;
波长为435.8nm, 光通量为0.0601光瓦的蓝光作为1个蓝基色单位。
- 若混配时红、绿、蓝光都采用1个基色单位, 则可配得等能白光, 即 $E_{白}=1[R] + 1[G] + 1[B]$ 。

此时E白的光通量是三个基色光光通量之和:

$$1 + 4.5907 + 0.0601 = 5.6508 \text{ 光瓦}$$

- 若三基色光同时增大到原来的K倍, 则混配之后仍然得到E白, 只不过其光通量也增大到原来的K倍。

颜色方程与三刺激值

配色方程: $F = R[R] + G[G] + B[B]$

其中:

$[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ 称**基色单位量**，是由CIE规定的；

R 、 G 、 B 称为**三色系数**，由配色实验得到；

$R[R]$ 、 $G[G]$ 、 $B[B]$ 称F色光的**三个基色分量**；

方程式中的等号表示人眼视觉上的颜色相等，即等式两边是**同色异谱色**。

这个方程式表示F色光可由R个红基色单位，G个绿基色单位和B个蓝基色单位混配而得。



在RGB 计色系统中，任意彩色量F都可以表示为：

$$F = R(R) + G(G) + B(B)$$

三色系数 R、G、B的**比例关系**决定了所配色光的色度；
三色系数R、G、B的**数值大小**决定了所配色光的光通量。

$$\text{光通量 } |F| = R \times 1 + G \times 4.5907 + B \times 0.0601 \quad (\text{光瓦})$$

2、RGB色度图 & 相对色系数

在RGB 计色系统中，任意彩色光F都可以表示为：

$$F = R(R) + G(G) + B(B)$$

三色系数 R、G、B的值完全确定一种色光的三个参量。

$$\text{光通量 } |F| = R \times 1 + G \times 4.5907 + B \times 0.0601 \quad (\text{光瓦})$$

如果只考虑色度，只须计算R、G、B的比例关系。

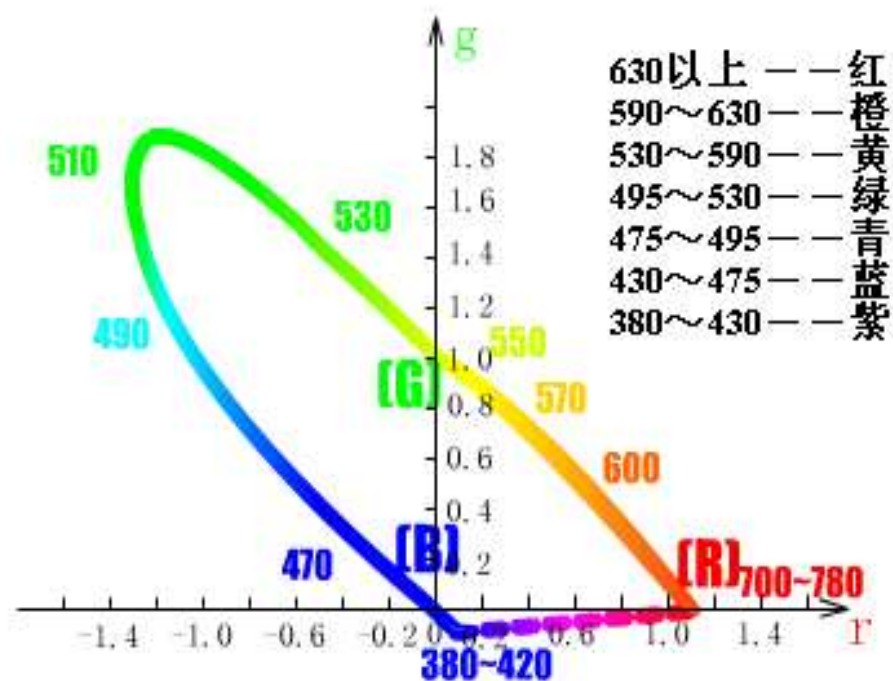
令三色系数之和 $R+G+B = m$ --- 称为色模，

$$\text{并令 } r = R/m, \quad g = G/m, \quad b = B/m$$

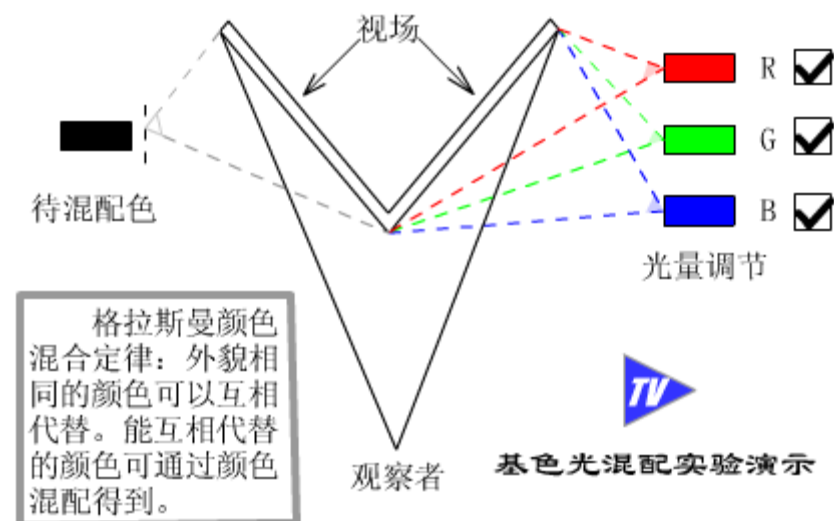
r、g、b 称为相对色系数 $r+g+b=1$

因此，彩色光 $F = m[r(R) + g(G) + b(B)]$ ，

$$\text{光通量 } |F| = m [r + 4.5907g + 0.0601b] \text{ 光瓦。}$$



RGB(r-g) 计色系统色度图



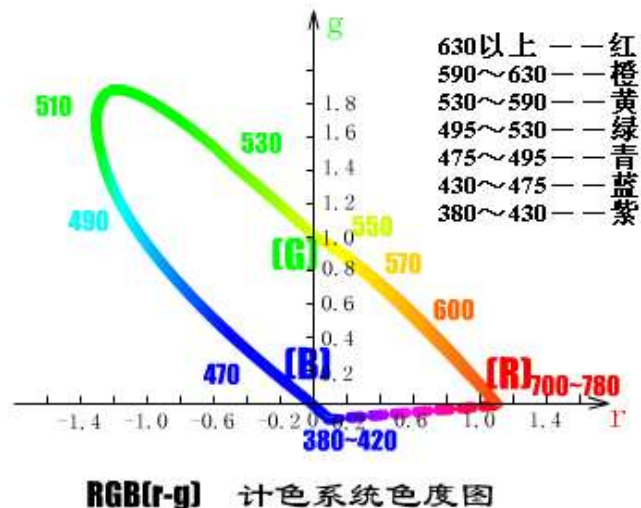
对于380---780纳米中每一谱色光经配色实验得到三色系数RGB值，然后算出相对色系数 r 、 g 、 b 值，作出谱色光在 r - g 坐标系中的谱色轨迹。

由于 $r+g+b=1$ ，所以在单独考虑色度时，用 r 、 g 就够了，即任意色光的色度用 r 、 g 表示即可。

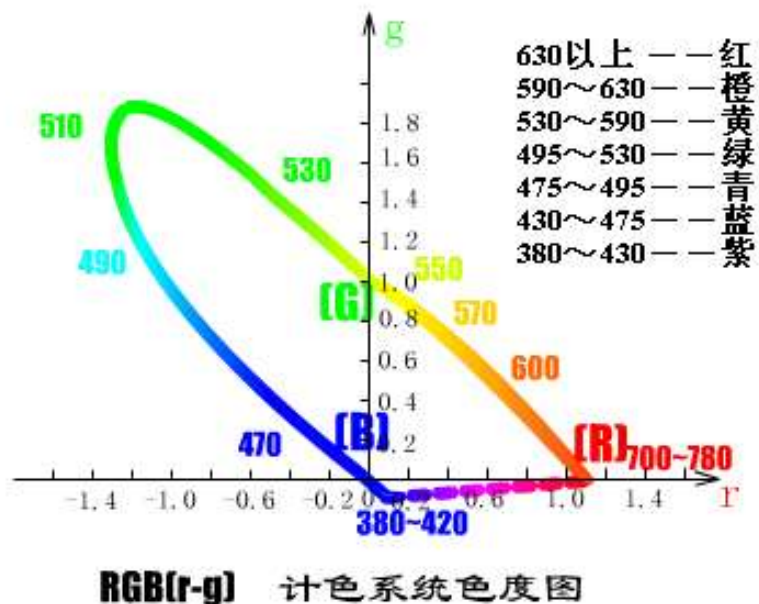
用 r 、 g 两个参量来表示所有色度的直角坐标图-----称为**RGB色度图**或 **r - g 色度图**。

说明：

- (1) 色度图是一个开口的舌形曲线，用直线把开口连起来可得到一个封闭的舌形曲线，自然界所有颜色都在其内；谱色光在曲线上；
- (2) 三基色的位置
- (3) 曲线上，饱和度均为100%；基准E白在 $r=g=b=1/3$ 的点；
- (4) 除了三种基色光外，其他谱色光的三个相对色系数，其中总有一个为负值（但有的可能绝对值很小可以忽略）。
- (5) 将三个基色位置连起来的等腰直角三角形称为物理三基色彩色三角形，重心为等能白，三角形内的颜色其相对色系数都大于或等于0，可以用三基色混合出来。



- (6) r 、 g 两个参量就可以表示色光的色调和饱和度；
- (7) 如果两个色光的三色系数比值相等 $R1:G1:B1=R2:G2:B2$
则它们的相对色系数相等，即具有相同的色调和饱和度。反之呢？
- (8) 将开口连起来的线称为品红线。其上面有红到蓝各种品色色调的颜色（饱和度为100%）。
- (9) 从E白点到闭和曲线任意点作一条连线，连线上各点具有相同的色调，只是饱和度不同。
- (10) 过E白点作一条直线，两端分别和舌形曲线相交，E白点两边直线上的颜色互为补色。



3、分布色系数:

辐射功率为1瓦的各谱色光的三系数 R_{1W} 、 G_{1W} 、 B_{1W} ，表示为:

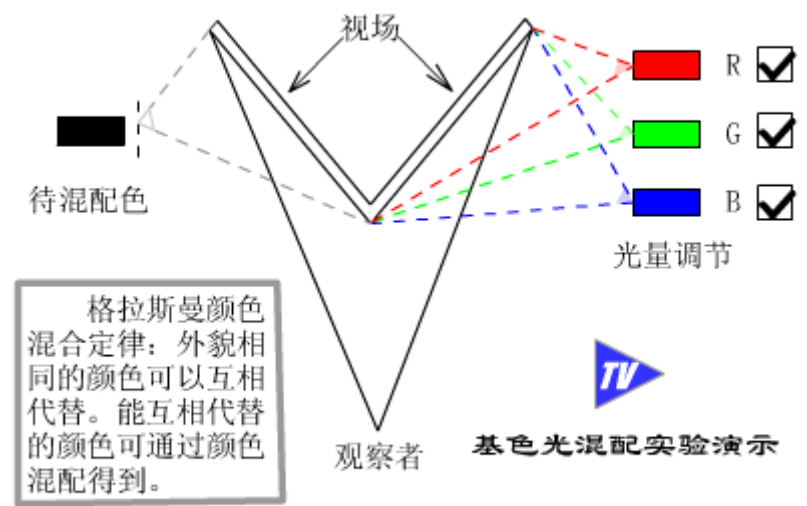
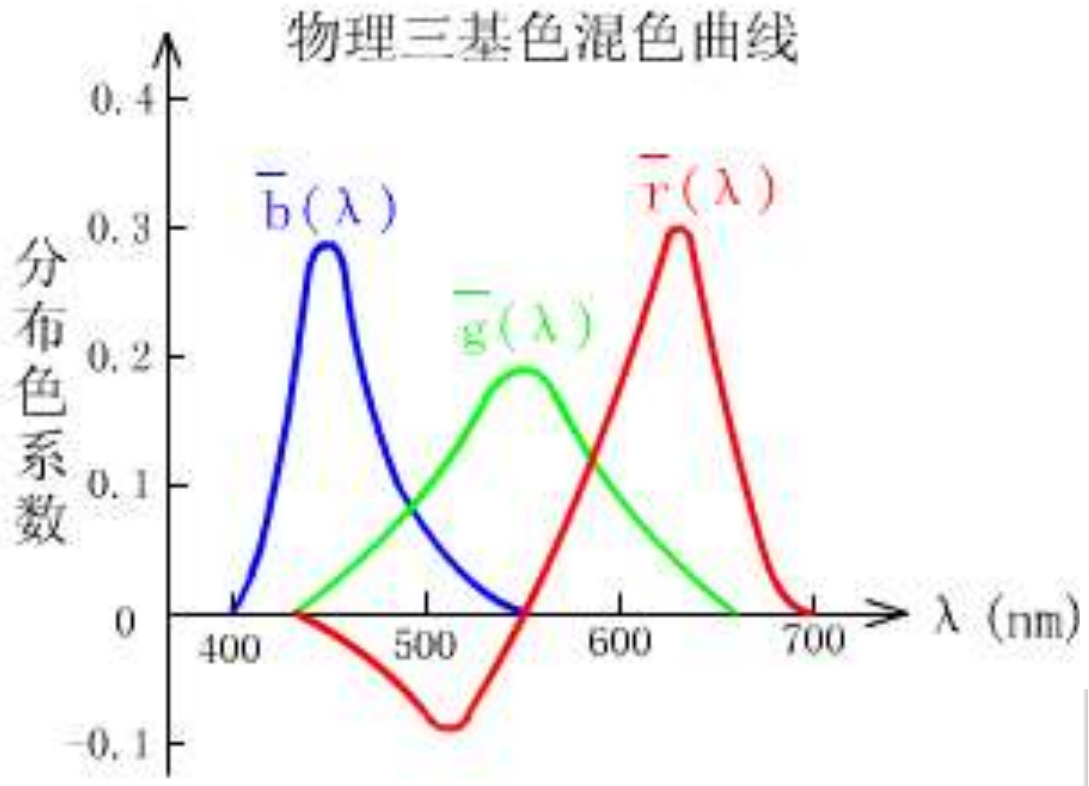
$$\bar{r}(\lambda) \text{ 、 } \bar{g}(\lambda) \text{ 、 } \bar{b}(\lambda)$$

配色方程为:

$$\begin{aligned} F_{1W}(\lambda) &= R_{1W}(R) + G_{1W}(G) + B_{1W}(B) \\ &= \bar{r}(\lambda)(R) + \bar{g}(\lambda)(G) + \bar{b}(\lambda)(B) \end{aligned}$$

由配色实验得到：

以波长为横坐标，以分布色系数为纵坐标，得到的三条曲线，称为**混色曲线**（物理三基色混色曲线）。



如果知道某光源F的功率谱 $P(\lambda)$ ，则其三色系数可利用分布色系数计算：

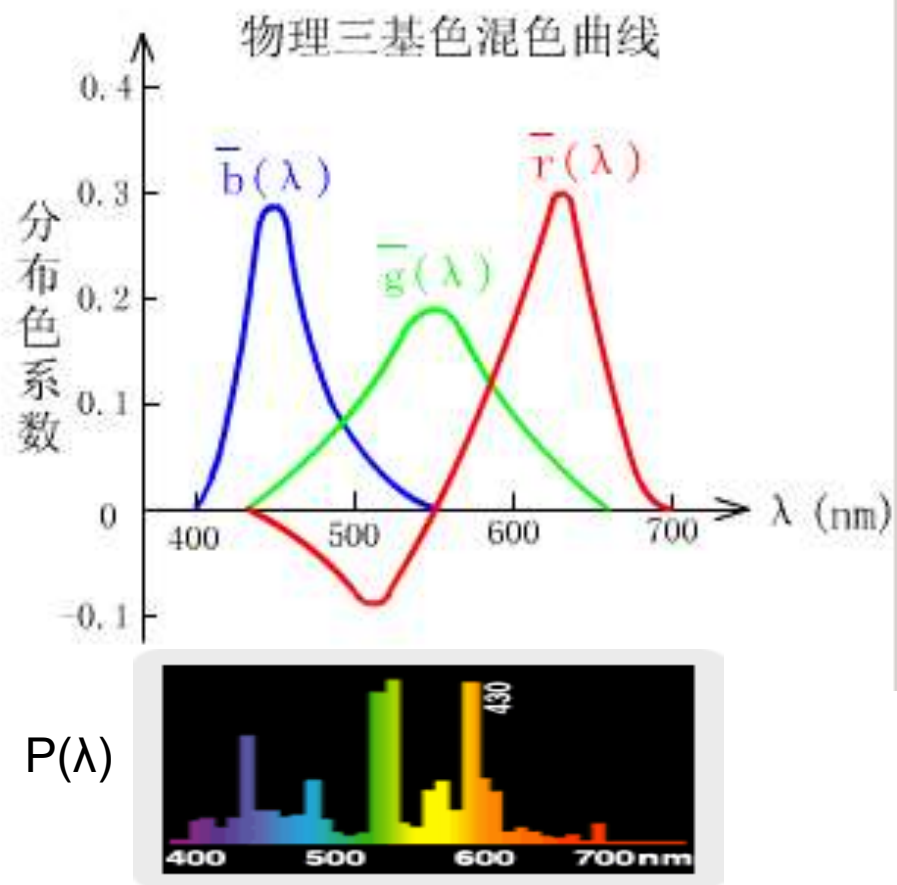
$$B = \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$R = \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

于是：

$$F = R(R) + G(G) + B(B)$$



第五节 CIE标准 (XYZ) 计色系统

物理计色系统缺点:

计色系统: 不能直接给出亮度;

混色曲线: 有负值, 计算不方便。

1、标准计色系统 基色X、Y、Z的确定

$$F = X(X) + Y(Y) + Z(Z)$$

X、Y、Z为三色系数, (X) (Y) (Z) 为基色量。

在选定三基色X、Y、Z和确定基色量时要考虑:

- ① 要保证任意色光的三色系数X、Y、Z都为正值;
- ② 色光的亮度仅取决于Y(Y), 和X、Z值无关, 且1(Y)的亮度=1光瓦, 计算光通量非常方便
(光F的色度仍取决于X、Y、Z的比值);
- ③ X=Y=Z时, 为等能白(E白)。
 $1(X) + 1(Y) + 1(Z) = 1$ 光瓦等能白。

2、根据这三点要求，可以先找出标准三基色XYZ在r-g色度图上的位置。

经计算：

基色X的色度坐标为：

$$r_X = 1.2750 \quad , \quad g_X = -0.2778,$$

$$b_X = 0.0028$$

基色Y的色度坐标为：

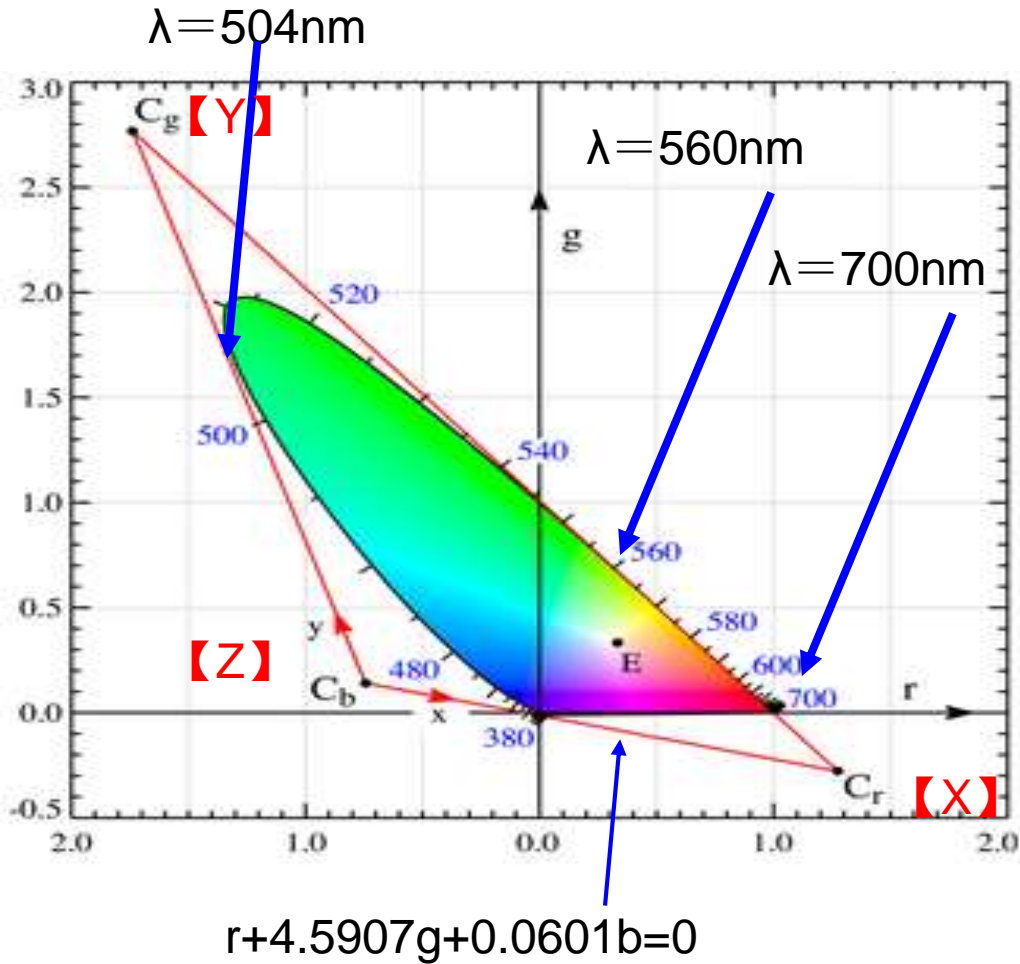
$$r_Y = -1.7393 \quad , \quad g_Y = 2.7673 ,$$

$$b_Y = -0.0280$$

基色Z的色度坐标为：

$$r_Z = -0.7431 \quad , \quad g_Z = 0.1409 ,$$

$$b_Z = 1.6022$$



$$1. \quad \left. \begin{aligned} 1(X) &= m_x [r_x (R) + g_x (G) + b_x (B)] \\ 1(Y) &= m_y [r_y (R) + g_y (G) + b_y (B)] \\ 1(Z) &= m_z [r_z (R) + g_z (G) + b_z (B)] \end{aligned} \right\}$$

$$2. \quad \begin{aligned} 1(X) + 1(Y) + 1(Z) &= \\ [m_x r_x + m_y r_y + m_z r_z](R) &+ [m_x g_x + m_y g_y + m_z g_z](G) + [m_x b_x + m_y b_y + m_z b_z](B) \\ &= 1 \text{ 光瓦 } E_{\text{白}} \end{aligned}$$

$$3. \quad \begin{aligned} &\text{因为: } 1(R) + 1(G) + 1(B) = 5.6508 \text{ 光瓦} \\ \therefore \frac{1}{5.6508} (R) + \frac{1}{5.6508} (G) + \frac{1}{5.6508} (B) &= 1 \text{ 光瓦 } E_{\text{白}} \end{aligned}$$

$$4. \quad \left. \begin{aligned} m_x &= 0.3282 \\ m_y &= 0.0912 \\ m_z &= 0.1115 \end{aligned} \right\} \xrightarrow{\text{带入1式中}}$$

2、 物理（RGB）系统和标准（XYZ）系统的转换

（1）基色量的转换

经计算：

$$1(X) = 0.4185(R) - 0.0912(G) + 0.0009(B)$$

$$1(Y) = -0.1587(R) + 0.2524(G) - 0.0025(B)$$

$$1(Z) = -0.0828(R) + 0.0157(G) + 0.1786(B)$$

$$F = X(X) + Y(Y) + Z(Z) = R(R) + G(G) + B(B)$$

$$\mathbf{X}(X) = 0.4185\mathbf{X}(R) - 0.0912\mathbf{X}(G) + 0.0009\mathbf{X}(B)$$

$$\mathbf{Y}(Y) = -0.1587\mathbf{Y}(R) + 0.2524\mathbf{Y}(G) - 0.0025\mathbf{Y}(B)$$

$$\mathbf{Z}(Z) = -0.0828\mathbf{Z}(R) + 0.0157\mathbf{Z}(G) + 0.1786\mathbf{Z}(B)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4185 & -0.1587 & -0.0828 \\ -0.0912 & 0.2524 & 0.0157 \\ 0.0009 & -0.0025 & 0.1786 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4185 & -0.1587 & -0.0828 \\ -0.0912 & 0.2524 & 0.0157 \\ 0.0009 & -0.0025 & 0.1786 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7518 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

(2) 三色系数的转换

$$X = 2.7689R + 1.7518G + 1.1302B,$$

$$Y = 1.0000R + 4.5907G + 0.0601B,$$

$$Z = 0.0000R + 0.0565G + 5.5943B。$$

由于标准三基色是不存在的，因此要求某一色光F在标准系统的三色系数X、Y、Z，只能从RGB系统三色系数进行转换。

3、标准系统的色度图（ $x - y$ 色度图）

和RGB系统相同，表示色光的色度只取决于三系数 X 、 Y 、 Z 的比值，所以：

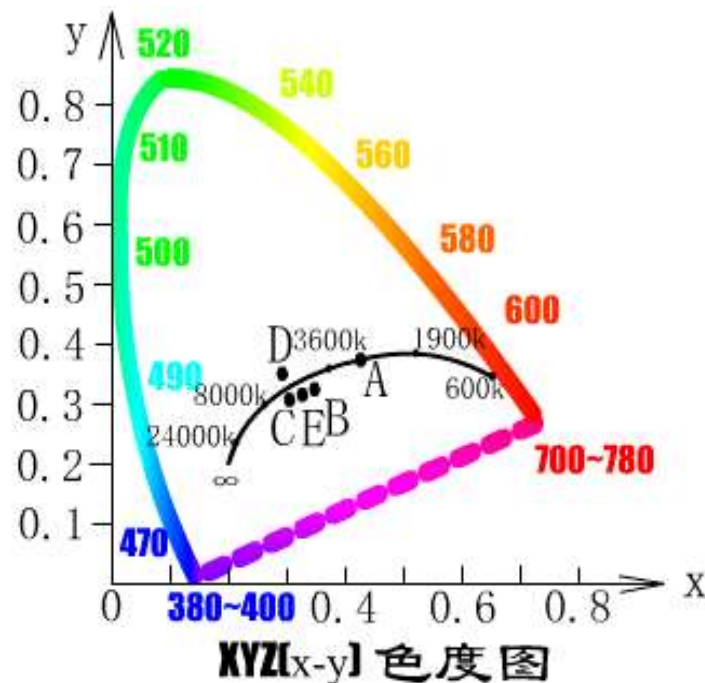
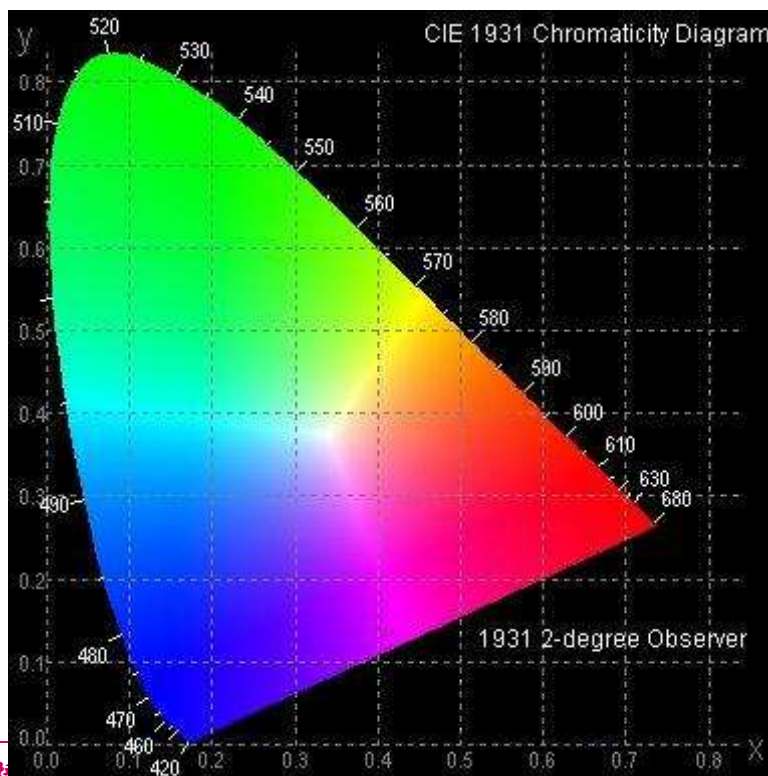
$$\text{色光 } F = X(X) + Y(Y) + Z(Z)$$

令 $X + Y + Z = m$ ----色模，

$X/m = x$ ， $Y/m = y$ ， $Z/m = z$ ---称为标准系统的相对色系数。

$$x+y+z=1。$$

用（ x 、 y ）就可以表示色光的色度。



说明：

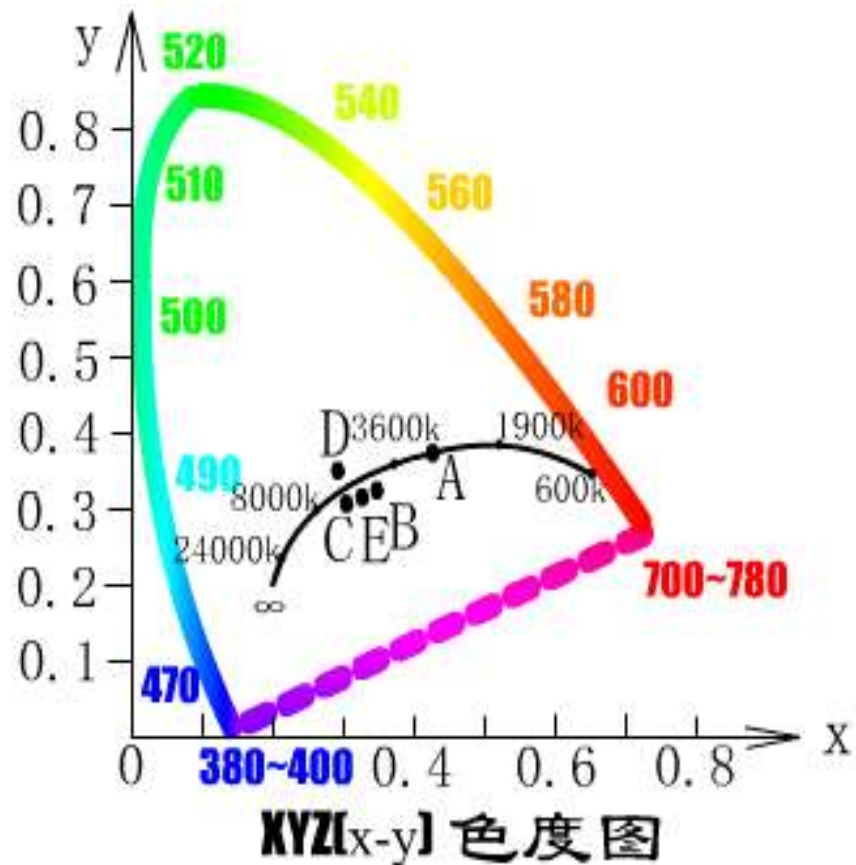
(1) 谱色光的轨迹是舌形曲线，

x 、 y 都大于0，并处于 $X(1, 0)$ 、 $Y(0, 1)$ 、 $Z(0, 0)$ 为顶点的等腰三角形内；

(2) 将380nm和780nm两点连起来，得到一个闭合的舌形曲线。所有颜色的色度都能在舌形曲线中找到相应的位置；

(3) E白的位置在 $x=y=z=1/3$ 的地方。

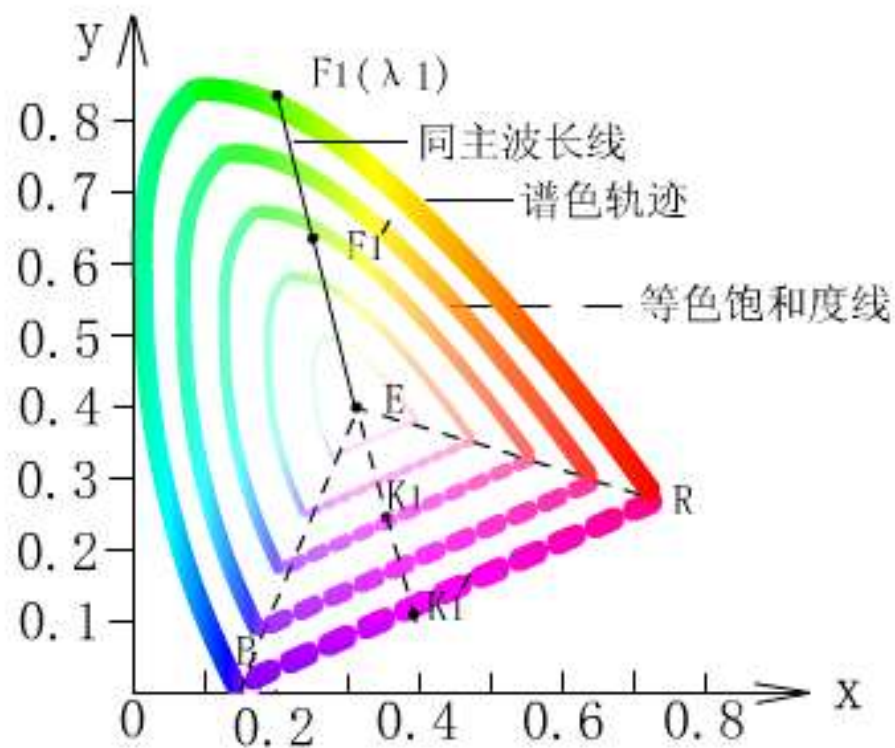
(4) 绝对黑体在不同温度下的光色及各种基准白光色度的位置。



(5) 色度的另一种表示方法-----主波长和色饱和度

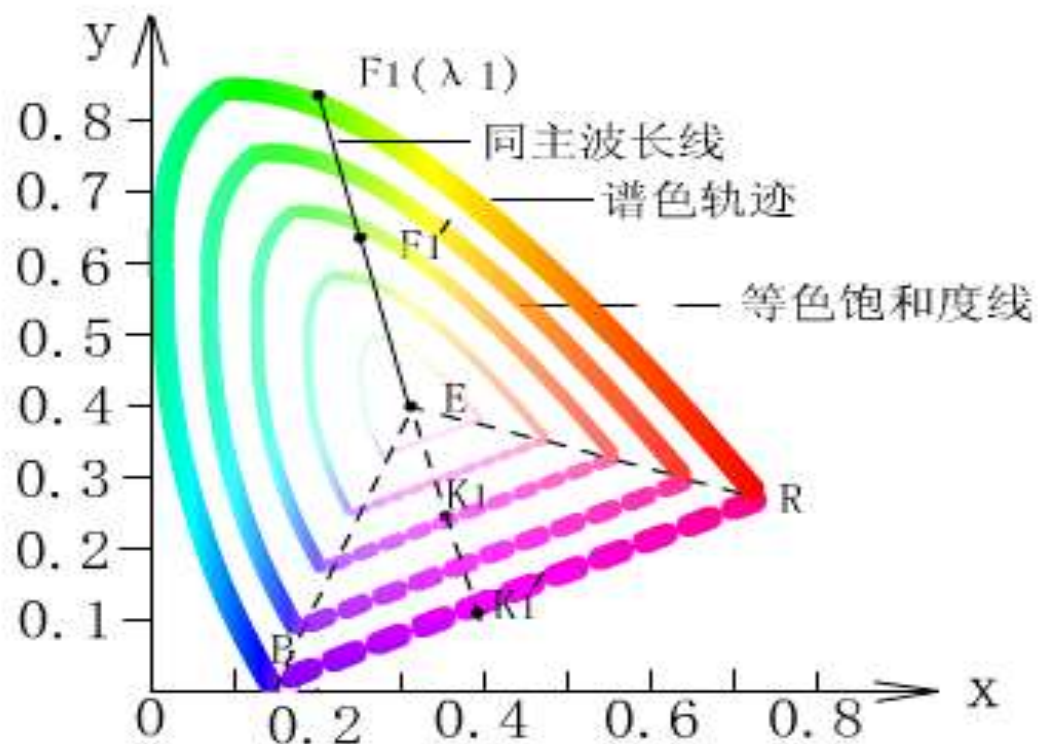
任一种色光的色度除了用 (r, g) 或 (x, y) 相对色系数表示外，还可用于主波长和色饱和度表示。

- (a) 在色度图的谱色轨迹上，
色饱和度为100%，色调由波长表示；
- (b) E白处，色饱和度为0；
- (c) 在舌形区三角形ERB外，
如F1'点，将F1'和E点的
连线延长，和谱色轨迹
交点的波长 λ_1 称为F1'点
的主波长，色饱和度为
 $F1'E/F1E$ ；



同主波长线和等色饱和度线

- (d) 在品色线上，色饱和度为100%，主波长称补色波长，是它和E连线的延长线与谱色轨迹的交点波长；
- (e) 三角形ERB内的主波长为补色波长，色饱和度的计算方法相同；
- (f) 同主波长线和等色饱和度线。



同主波长线和等色饱和度线

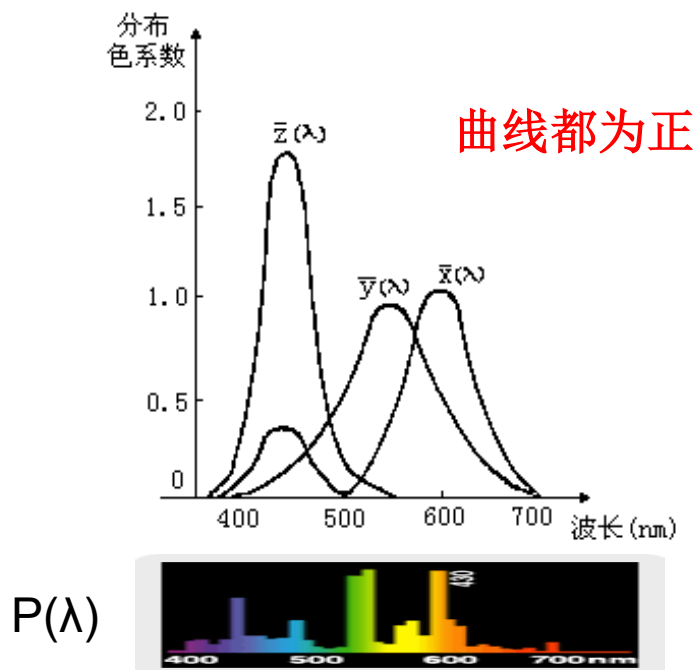
4、标准计色系统的的分布色系数

分布色系数是指混配出**辐射功率为1瓦**谱色光所需要的三色系数X、Y、Z的值。表示为标准计色系统的分布色系数可以由物理计色系统分布色系数转换得到。

$$\bar{x} = 2.7689\bar{r} + 1.7518\bar{g} + 1.1302\bar{b}$$

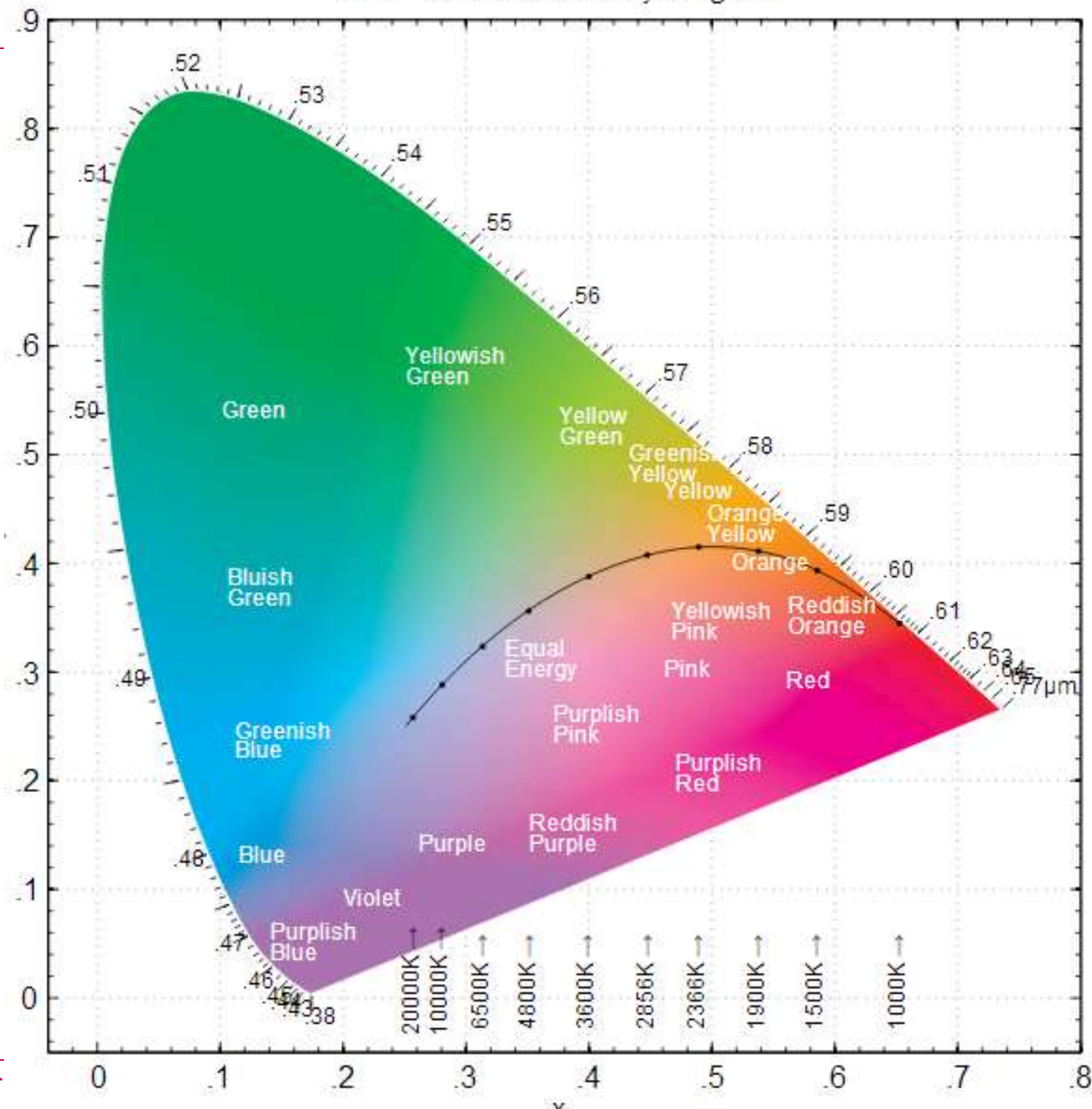
$$\bar{y} = 1.0000\bar{r} + 4.5907\bar{g} + 0.0601\bar{b}$$

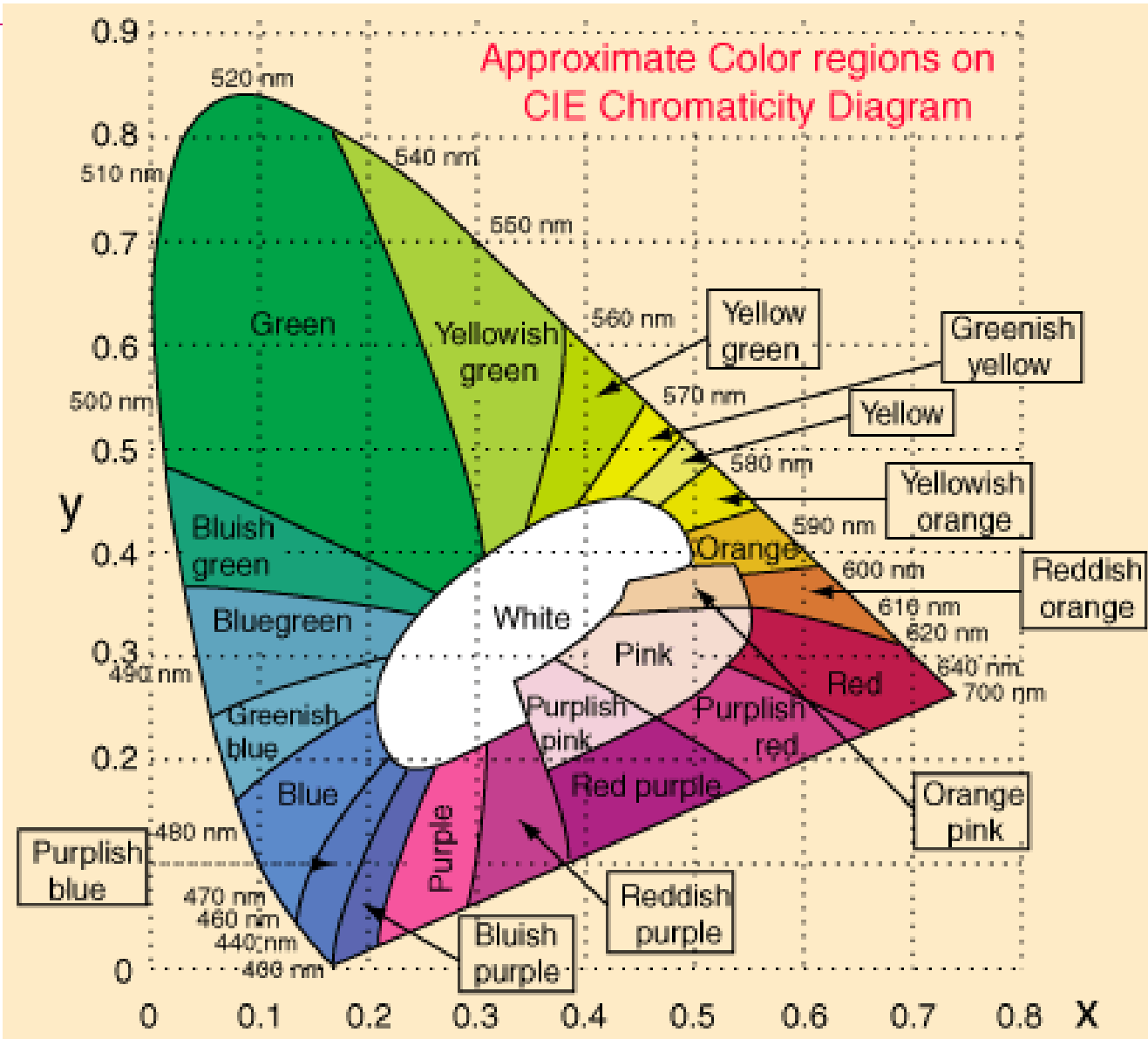
$$\bar{z} = 0.0000\bar{r} + 0.0565\bar{g} + 5.5943\bar{b}$$



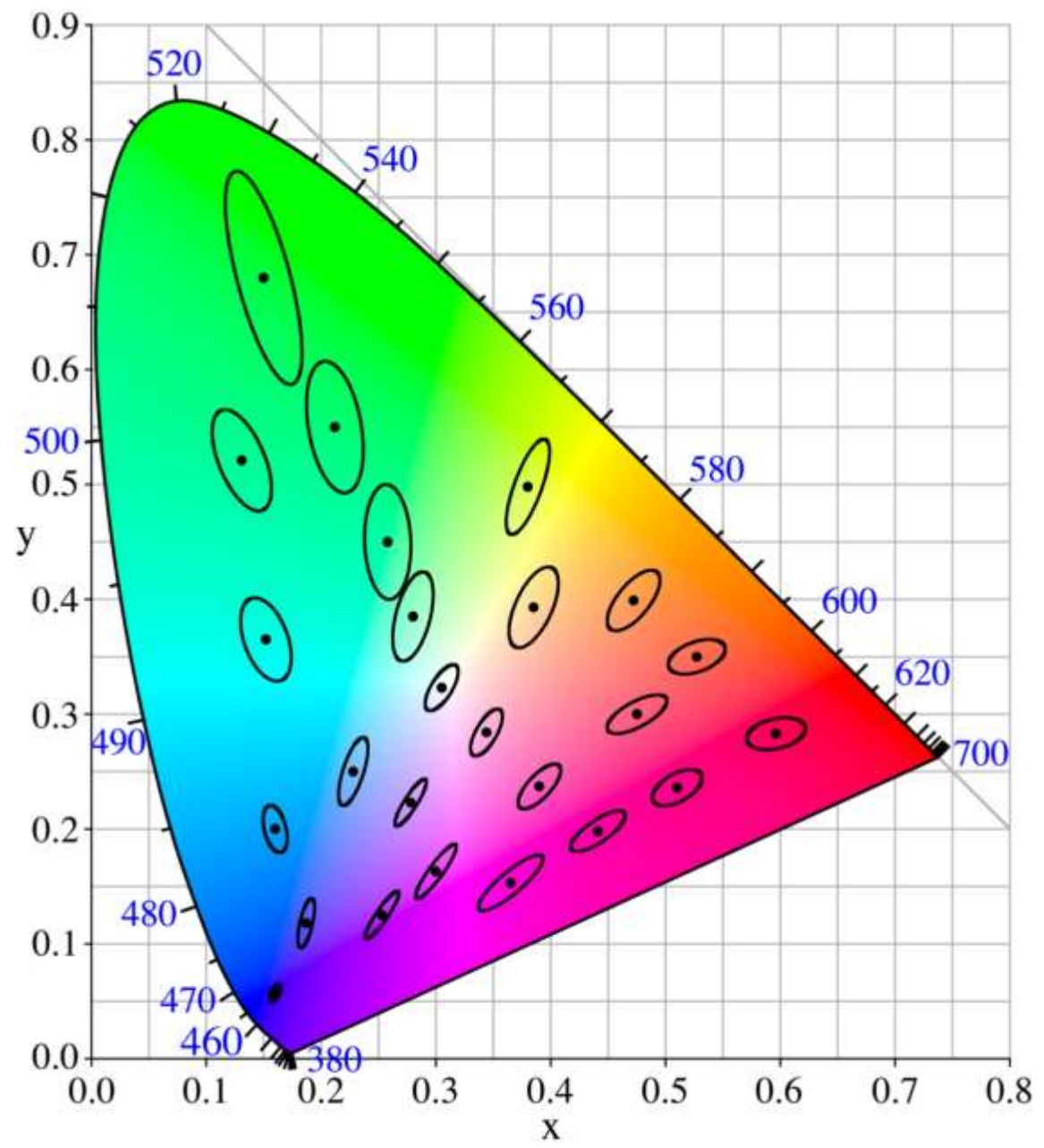
画成随波长变化的曲线称为标准三基色的混色曲线。

有了混色曲线，如果能用实验的方法得到某光源的辐射功率谱，可以通过计算的方法求出该光源的色度在x-y色度图上的位置。





粗分23个色域



色度在椭圆范围内变化时，视觉不能辨别出差异。
在非均匀的IE1931XYZ色度系统下，视觉对色调变化的敏感程度各不相同。

CIE-LAB对色空间（电视/计算机,计算机用的更多）

- 国际照明协会，1976
- 接近人类视觉，**致力于感知均匀性**
- 解决实际颜色空间的不均匀性
- 3通道
 - L^* : 亮度
 - a^* : 红/绿
 - b^* : 黄/蓝



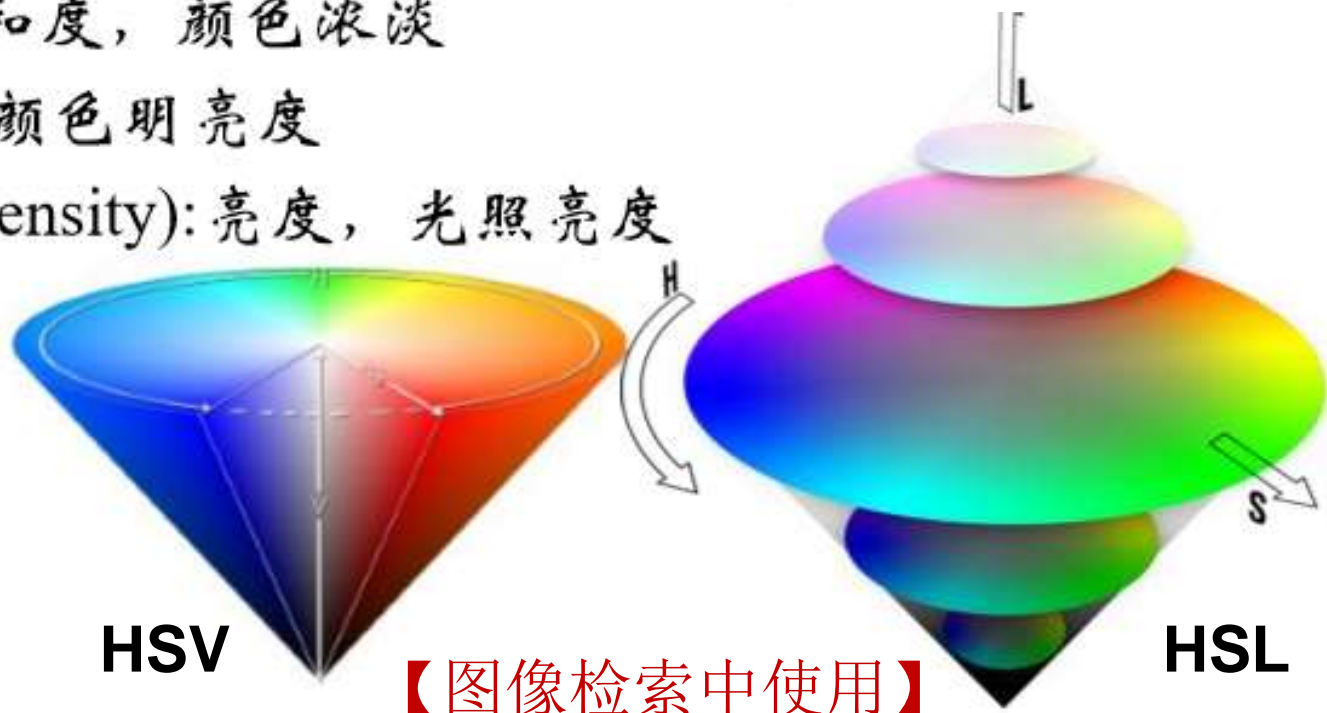
Opponent Color Scales of L, a, b.

新色差公式：CIE2000（计算机）

- 基于人类色差实验数据，**均匀性好**
- 所有颜色空间中，颜色检索效果最好*

HSV/HSL(I)颜色空间(计算机用)

- 人类视觉概念, 画家配色
- 3通道
 - H/Hue通道: 色调, 颜色种类
 - S/Saturation: 饱和度, 颜色浓淡
 - V/Value: 明度, 颜色明亮度
 - L/Lightness(I/Intensity): 亮度, 光照亮度
- 一个像素颜色值
 - (h, s, v/l/i)
- 取值范围
 - [0, 255]
 - [0.0, 1.0]



【图像检索中使用】

色度:

$$M = \max(R, G, B)$$

$$m = \min(R, G, B)$$

$$C = M - m$$

饱和度:

$$\text{HSV: } S_{HSV} = \begin{cases} 0, & \text{if } V = 0 \\ \frac{C}{V}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{HSI: } S_{HSI} = \begin{cases} 0, & \text{if } I = 0 \\ 1 - \frac{m}{I}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{HSL: } S_{HSL} = \begin{cases} 0, & \text{if } L = 1 \\ \frac{C}{1 - |2L - 1|}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

亮度:

$$\text{HSV: } V = M$$

$$\text{HSI: } I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

$$\text{HSL: } L = \frac{1}{2}(M + m)$$

HSV / HSL / HSI:

色调Hue，H的计算方法一样：

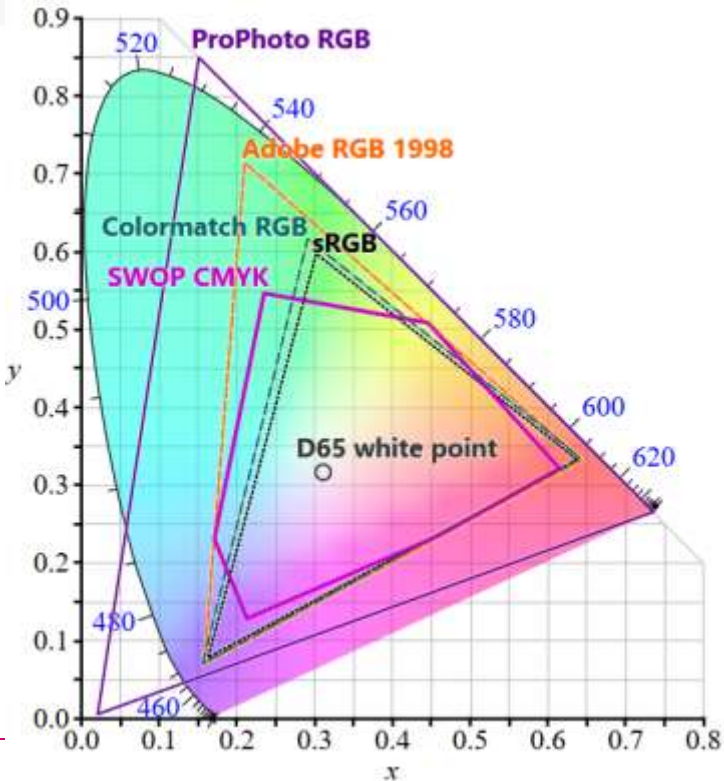
$$H' = \begin{cases} \text{undefined,} & \text{if } C = 0 \\ \frac{G-B}{C} \bmod 6, & \text{if } M = R \\ \frac{B-R}{C} + 2, & \text{if } M = G \\ \frac{R-G}{C} + 4, & \text{if } M = B \end{cases}$$

$$H = 60^\circ \times H'$$

或：

$$H = \begin{cases} 0 & (Max = Min) \\ 60 \times \frac{G - B}{Max - Min} & (Max = R, \quad G \geq B) \\ 60 \times \frac{G - B}{Max - Min} + 360 & (Max = R, \quad G < B) \\ 60 \times \frac{B - R}{Max - Min} + 120 & (Max = G) \\ 60 \times \frac{R - G}{Max - Min} + 240 & (Max = B) \end{cases}$$

Color space	
List of color spaces · Color models	
CAM	CIECAM02 · iCAM
CIE	CIEXYZ · CIELAB · CIECAM02 · CIELUV · Yuv · CIEUVW · CIE RGB
RGB	Color space · sRGB · RG chromaticity · Adobe · Wide Gamut · ProPhoto · scRGB · DCI-P3 · Rec. 709 · Rec. 2020 · Rec. 2100
YUV	YUV (PAL) · YDbDr (SECAM) · YIQ (NTSC) · YCbCr (Rec. 601 · Rec. 709 · Rec. 2020 · Rec. 2100) · ICtCp · YPbPr · xYCC · YCoCg
Other	CcMmYK · CMYK · Coloroid · LMS · Hexachrome · HSL, HSV · HCL · Imaginary color · OSA-UCS · PCCS · RG · RYB
Color systems and standards	ACES · ANPA · Colour Index International (CI list of dyes) · DIC · Federal Standard 595 · HKS · ICC profile · ISCC–NBS · Munsell · NCS · Ostwald · Pantone · RAL (list)



第六节 彩色电视中的三基色

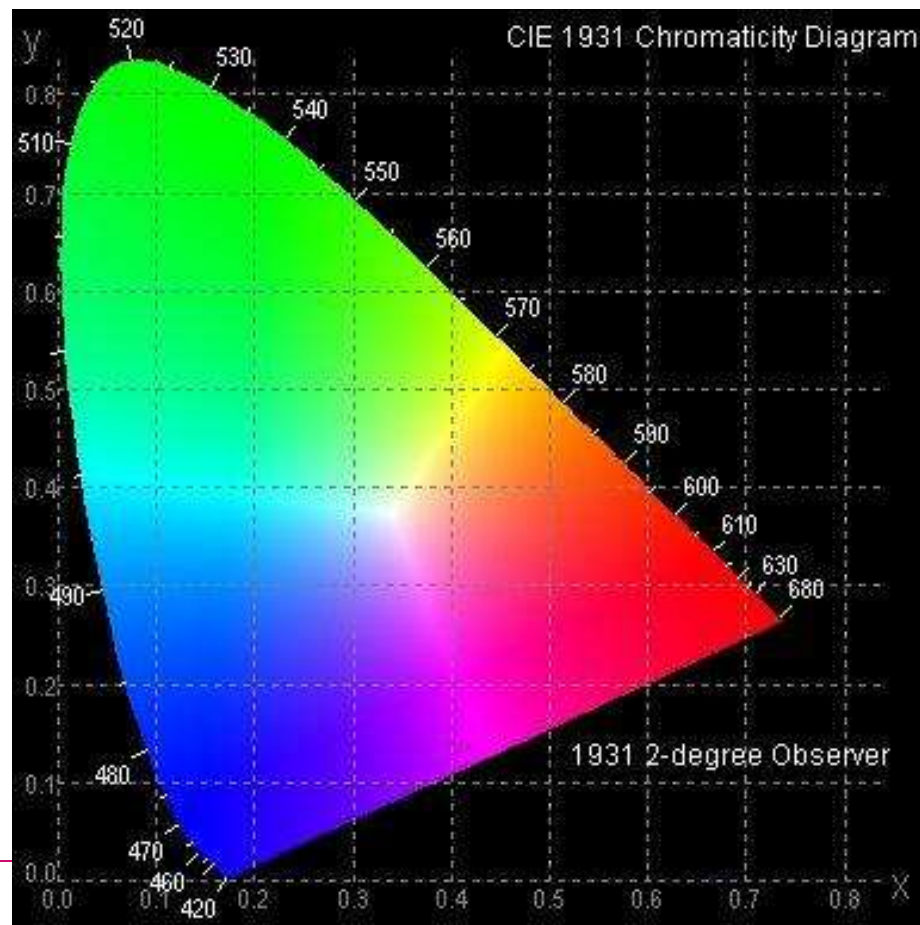
1、显像三基色的选择

电视三基色（显像三基色）是指显像管红、绿、蓝荧光粉发出的基色光，它们是**复合光**。

选择要求：

- （1）光色尽量靠近适当的谱色光（色域尽量宽）；
- （2）发光效率尽量高。

两个要求是矛盾的，折衷选择。



至今有三套三基色荧光粉：

1953年，**NTSC**（**N**ational **T**elevision **S**ystems **C**ommittee）制三基色荧光粉，以C白为基准白。混配出C白的亮度比为：

0.299： 0.587： 0.114 。

1970年，EBU制三基色荧光粉，混配出D65白的亮度比为：

0.222； 0.707： 0.071 。

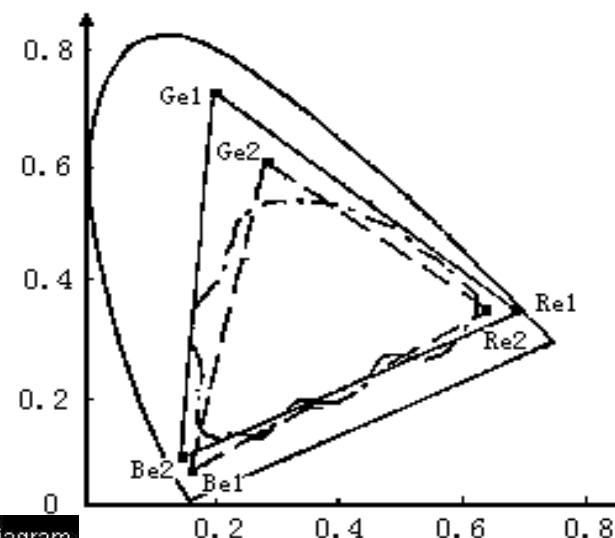
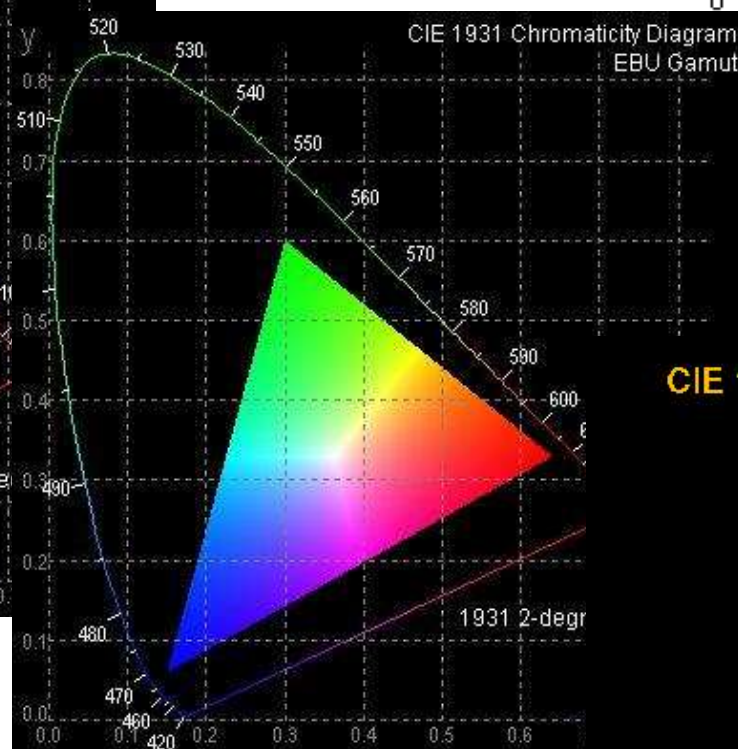
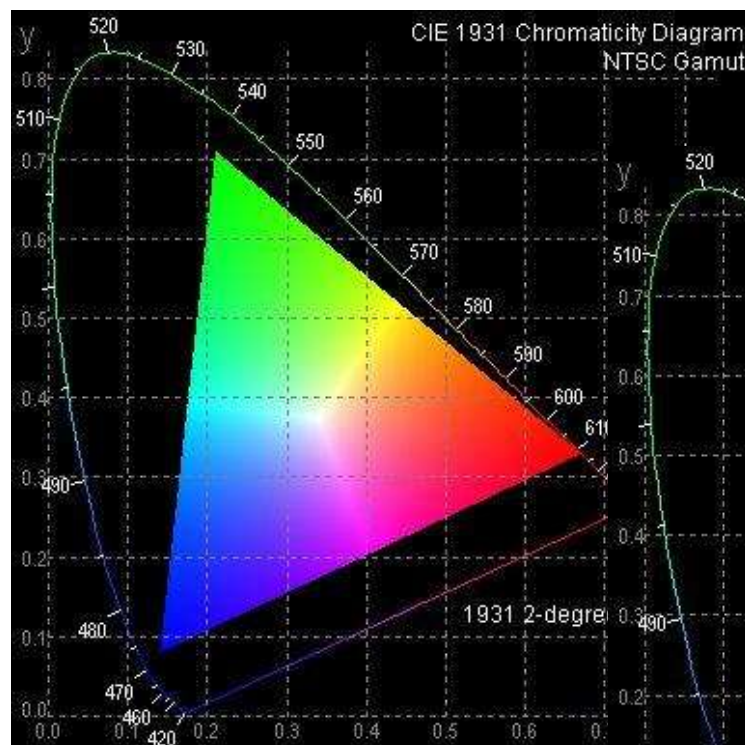
1973年，“NTSC制”（SMPTE-C制）三基色荧光粉，以D65为基准白，改进后的发光效率比早期的高两倍。

第一套色域最大，第二套色域稍小（但已足够），但发光效率高（特别是红色）。第三套荧光粉发光效率比第一套高两倍。

显像三基色
色度坐标

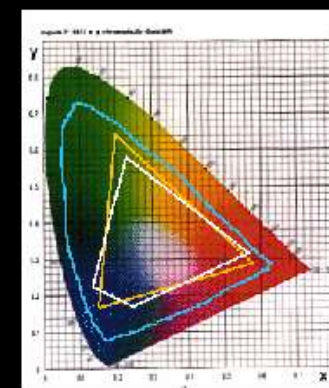
类别	基色、基准白	x	y
NTSC制（1953年） 标准：ITU-R BT.470	Re1	0.670	0.330
	Ge1	0.210	0.710
	Be1	0.140	0.080
	C白	0.310	0.316
EBU制（1970年） 标准：ITU-R BT.470 数字标清625制(1982年) 标准：ITU-R.BT.601	Re2	0.640	0.330
	Ge2	0.290	0.600
	Be2	0.150	0.060
	D65白	0.3127	0.329
SMPTE-C制（1973年） 标准：SMPTE RP 145 数字标清525制（1982年） 标准：ITU-R.BT.601,	Re3	0.630	0.340
	Ge3	0.310	0.595
	Be3	0.155	0.070
	D65白	0.3127	0.329
HD系统（1990年） 标准：ITU-R BT.709	Re4	0.640	0.330
	Ge4	0.300	0.600
	Be4	0.150	0.060
	D65白	0.3127	0.329
UHD系统（2012年） 标准：ITU-R BT.2020	Re5	0.708	0.292
	Ge5	0.170	0.797
	Be5	0.131	0.046
	D65白	0.3127	0.329

第一套荧光粉和第二套荧光粉的色域（点线为减色法中染料三基色的重现色域）。

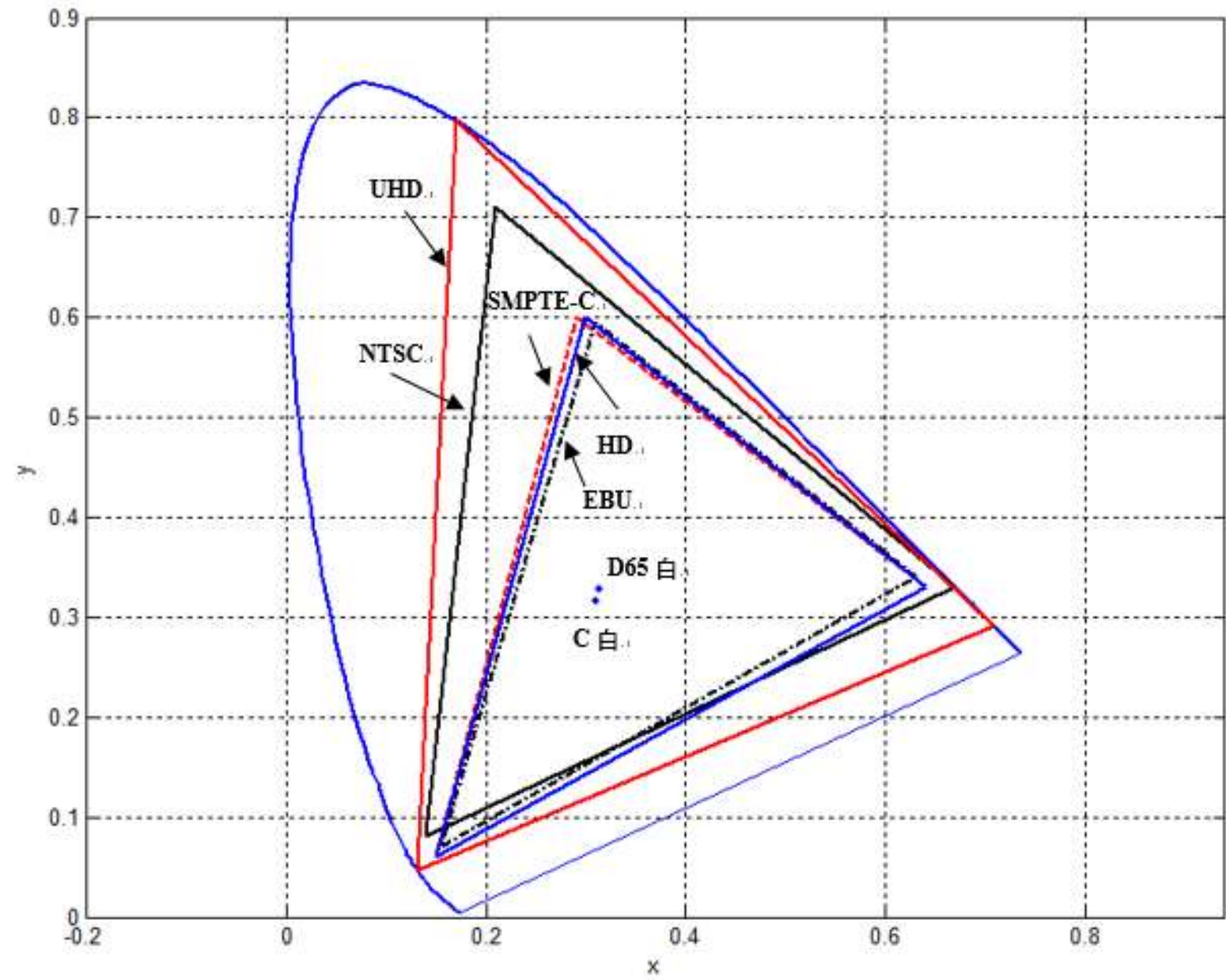


CIE 1931 xy chromaticity diagram

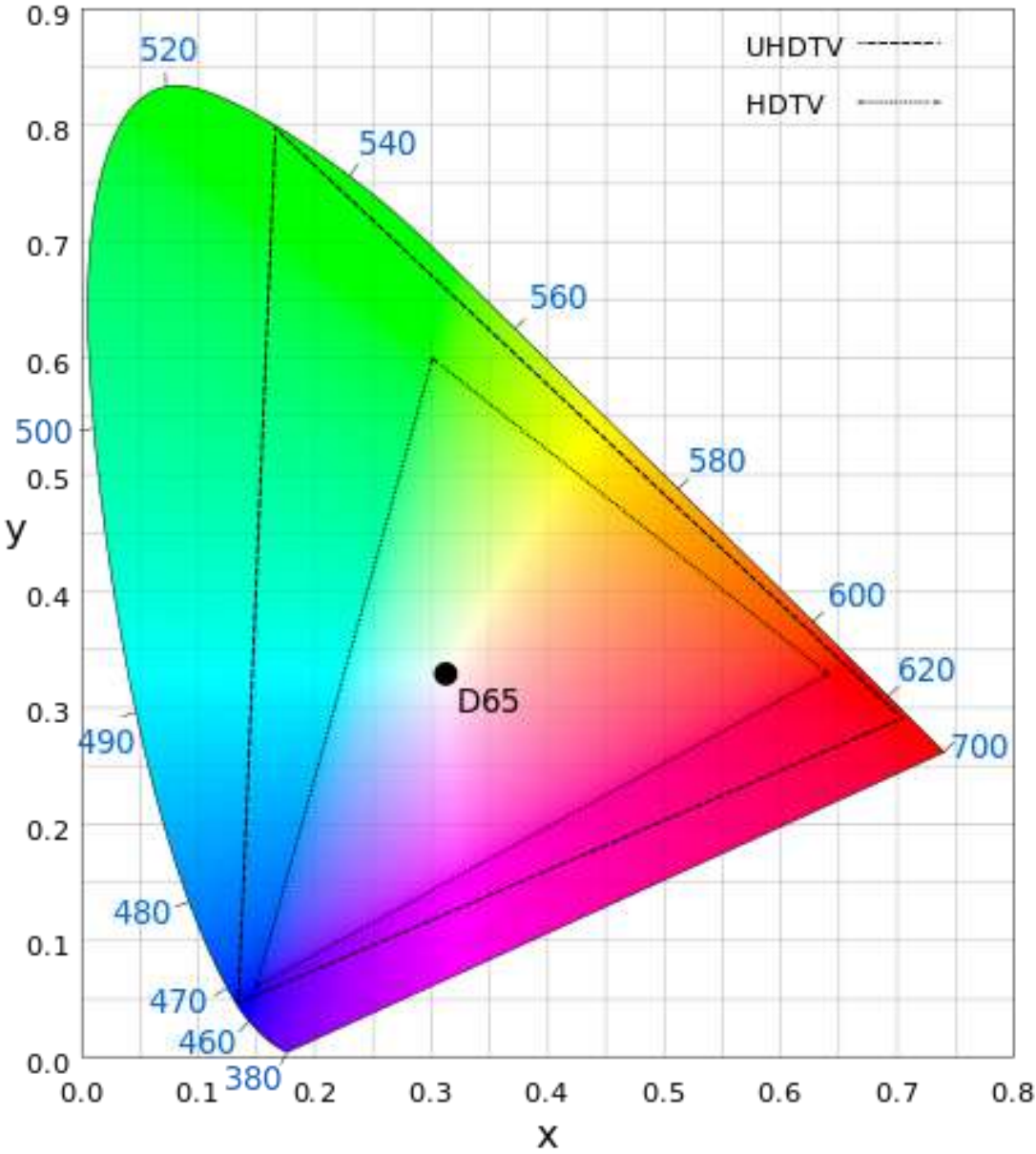
Commission Internationale de l'Eclairage



Film
Monitor
Printing Press



CIE 1931 色域



Rec. 2020 (UHDTV) 彩色空间
Rec. 709 (HDTV) 彩色空间
都采用D65基准.

2、亮度公式

显像三基色确定后，要规定它们的单位量，
1 (Re)、1 (Ge)、1 (Be) 为多少光瓦？

以第一套荧光粉为例（已知Re、Ge、Be和C白色度坐标）：

要求：1 (Re1) + 1 (Ge1) + 1 (Be1) = F_{C白} (1光瓦)

$$\begin{cases} 1(Re) = X_R(X) + Y_R(Y) + Z_R(Z) = \underline{m'_R} \underline{x_R}(X) + m'_R y_R(Y) + m'_R z_R(Z) \\ 1(Ge) = X_G(X) + Y_G(Y) + Z_G(Z) = \underline{m'_G} \underline{x_G}(X) + m'_G y_G(Y) + m'_G z_G(Z) \\ 1(Be) = X_B(X) + Y_B(Y) + Z_B(Z) = \underline{m'_B} \underline{x_R}(X) + m'_B y_B(Y) + m'_B z_B(Z) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} & \downarrow \\ & [m'_R x_R + m'_G x_G + m'_B x_R](X) + [m'_R y_R + m'_G y_G + m'_B y_B](Y) + \\ & [m'_R z_R + m'_G z_G + m'_B z_B](Z) = 1 \text{光瓦} \text{C白} \end{aligned}$$

$$\underline{m'_c} \underline{x_c}(X) + m'_c \underline{y_c}(Y) + m'_c \underline{z_c}(Z)$$

$$\downarrow \quad m'_C = \frac{1}{y_C} = \frac{1}{0.316} = 3.164$$

$$\downarrow \quad m'_C \underline{x_C}(X) + m'_C \underline{y_C}(Y) + m'_C \underline{z_C}(Z) = F_{C\text{白}}(1\text{光瓦})$$

$$\downarrow \quad 0.9810(X) + 1(Y) + 1.1835(Z) = F_{C\text{白}}(1\text{光瓦})$$

$$\downarrow \quad (m'_R x_R + m'_G x_G + m'_B x_B)(X) + (m'_R y_R + m'_G y_G + m'_B y_B)(Y) + (m'_R z_R + m'_G z_G + m'_B z_B)(Z) = 0.9810(X) + 1(Y) + 1.1835(Z) = F_{C\text{白}}(1\text{光瓦})$$

$$m'_R = 0.9060, \quad m'_G = 0.8286, \quad m'_B = 1.4320$$

$$\downarrow \quad \begin{cases} 1(Re) = m'_R x_R(X) + m'_R y_R(Y) + m'_R z_R(Z) \\ 1(Ge) = m'_G x_G(X) + m'_G y_G(Y) + m'_G z_G(Z) \\ 1(Be) = m'_B x_R(X) + m'_B y_B(Y) + m'_B z_B(Z) \end{cases}$$

经计算，这三个单位量用XYZ系统进行混配时，

$$1(\text{Re}) = 0.607(X) + 0.299(Y) + 0.000(Z)$$

$$1(\text{Ge}) = 0.174(X) + 0.587(Y) + 0.066(Z)$$

$$1(\text{Be}) = 0.200(X) + 0.114(Y) + 1.116(Z)$$

(Y) 前面的系数代表亮度，故1单位显像三基色的光通量为：

$$|1(\text{Re})| = 0.299 \text{光瓦},$$

$$|1(\text{Ge})| = 0.587 \text{光瓦},$$

$$|1(\text{Be})| = 0.114 \text{光瓦}.$$

如果某一彩色光F为：

$$F = R_e(\text{Re}) + G_e(\text{Ge}) + B_e(\text{Be})$$

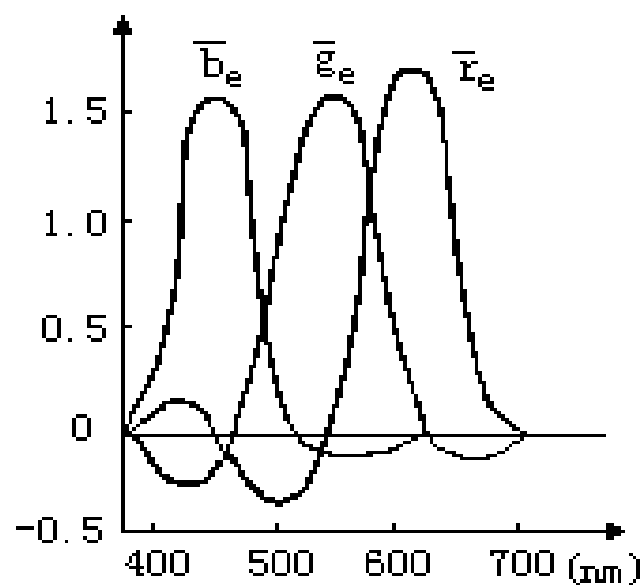
光通量 $|F| = 0.299R_e + 0.587G_e + 0.114B_e$ ----亮度方程。

3、混色曲线

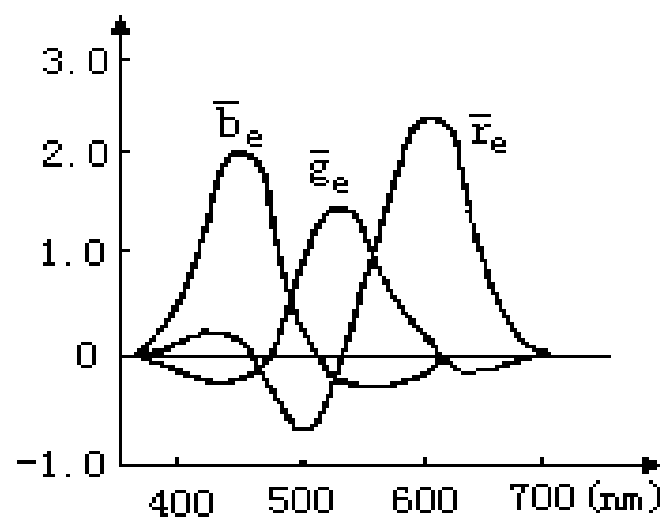
显像三基色确定后，就可以求出它们相应的分布色系数，即辐射功率为1瓦、波长为 λ 的谱色光，用显像三基色混配时的三色系数。

分布色系数和 λ 关系画成的曲线为荧光粉的混色曲线。

显像三基色混色曲线的求法：配色实验（复杂）和 计算（从XYZ系统分布色系数转换，简单）两种。

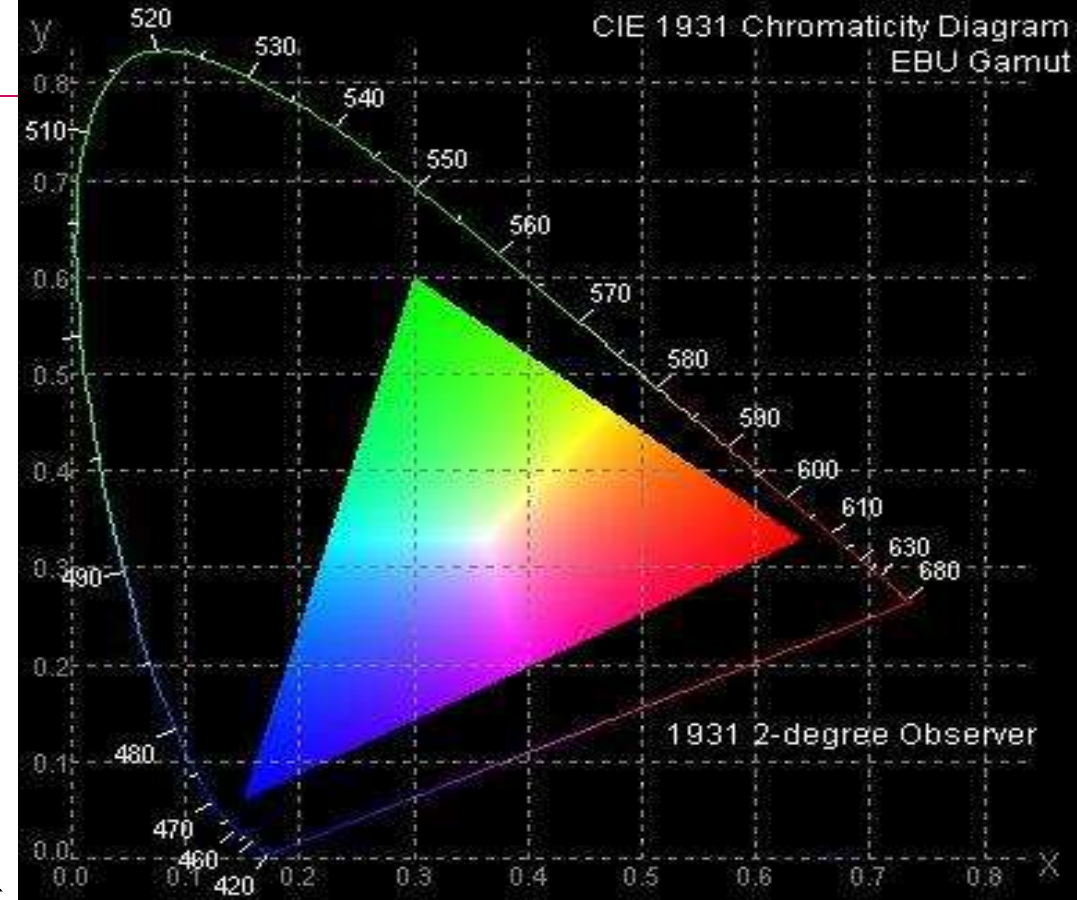


NTSC



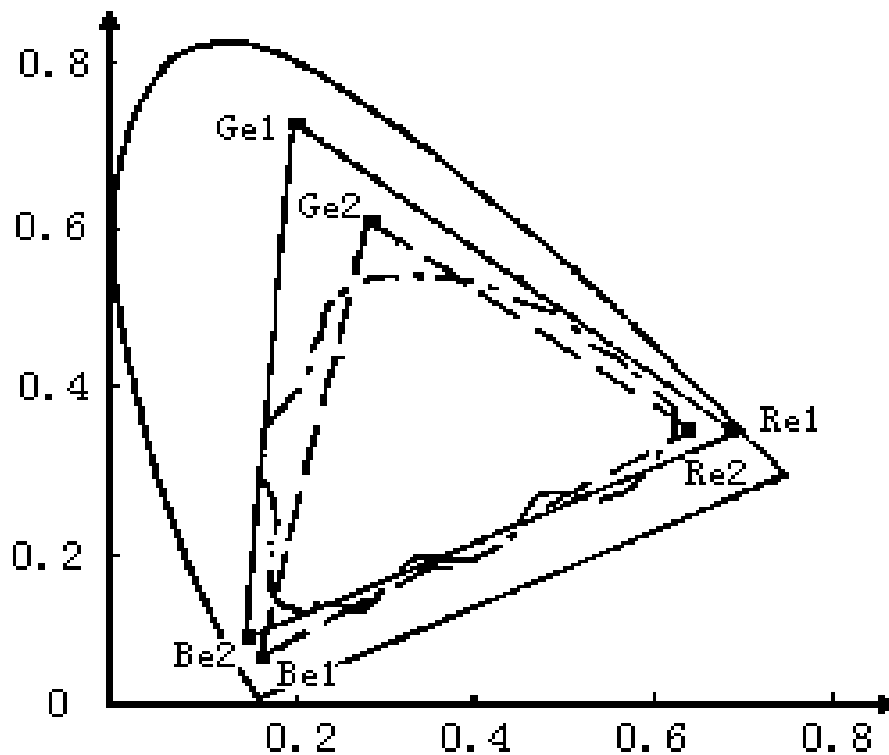
EBU

在混色曲线中，蓝色有正主瓣和负次瓣，绿色有一个正主瓣和两个负次瓣，红色有一个正主瓣、一个负次瓣、一个正次瓣。



关于电视系统100%饱和度和色度学中的不同

在电视系统中，
一个基色，
或两个基色混配出
的色光为100%
饱和度。



亮度公式

在XYZ计色制中，以C白光为标准白光源的NTSC制彩色电视制式,其亮度公式为：

$$Y=0.299R_{e1}+0.587G_{e1}+0.114B_{e1}$$

以D65光为标准白光源的PAL制彩色电视制式,其亮度公式的系数有所不同：

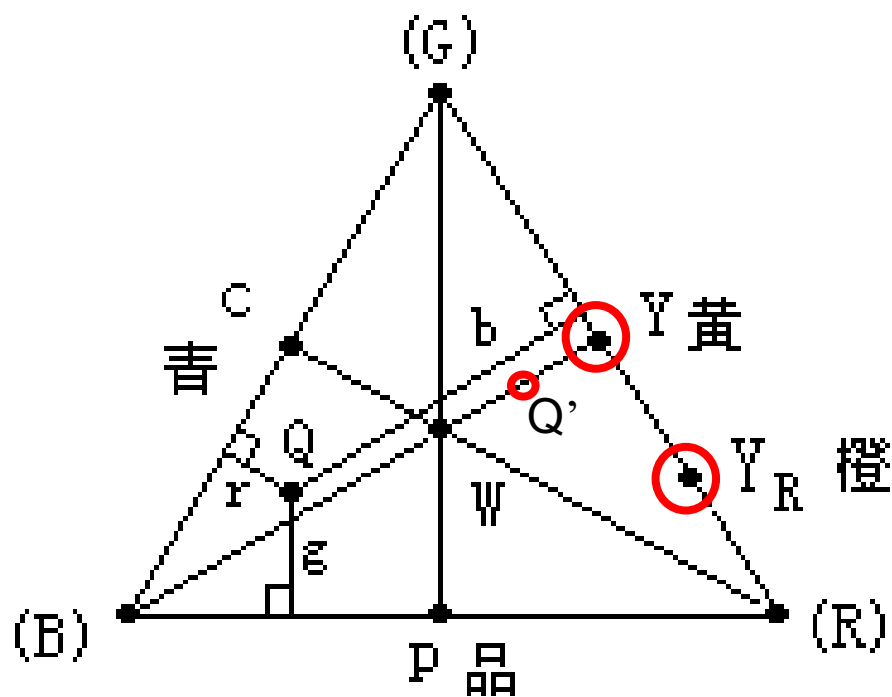
$$Y=0.222R_{e1}+0.707G_{e1}+0.071B_{e1}$$

注意：PAL制传输系统仍采用同NTSC制相同的亮度公式，即： $Y=0.299R_{e1}+0.587G_{e1}+0.114B_{e1}$



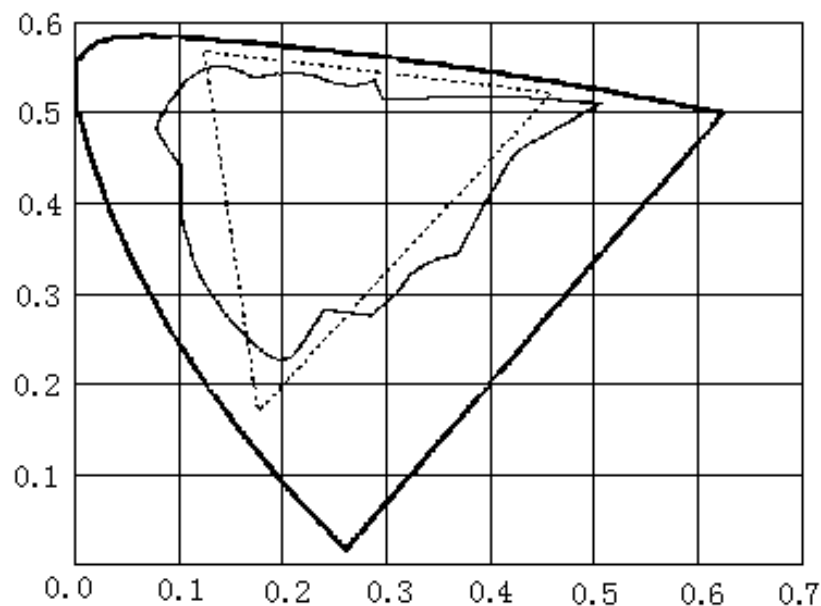
4、麦克斯韦彩色三角形

- 等边三角形，顶点：(R)、(G)、(B)；
- $r+g+b=1$ ， r 、 g 、 b 相对色系数；
- 谱色、补色、白色



5、高清晰度电视色域:

现行电视所能**重现**的色域局限在显像管三基色荧光粉在色度图中组成的三角形之内，此色域称为常规色域。



pointer色域拓宽了红、蓝和蓝、绿色区。

曲线表示**Pointer**彩色色域，虚线表示常规色域
常规色域和**Pointer**色域的比较

电视系统传输色域的大小主要决定于两个因素：系统所选择的基色坐标和信号的动态范围。

因此扩展色域的方法也有两种：

一种是选择一套新的基色荧光粉，使其在色度图上构成的基色三角形有更大的覆盖范围，这种方法与现行系统不兼容。

一种是保留已有的基色荧光粉坐标及彩色编码方式，而扩大摄像机的RGB三基色信号动态范围（将RGB信号的动态范围由现在的0到1扩展到小于0到大于1）来达到扩展色域的目的。

我国数字高清演播室视频参数标准选择后一种方法。

HD显像三基色的色度坐标

基色与光源		红	绿	蓝	光源(D ₆₅)
色坐标	x	0.640	0.300	0.150	0.3127
	y	0.330	0.600	0.060	0.3290

HD亮度方程式为

$$Y = 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B$$

我国在行业标准GY/T 155-2000中对扩展色域的技术参数也做了详细的规定。但就目前的国内外条件看，相关的硬件，尤其是显示器件还不完善，致使高清晰度电视的重现色域基本上还停留在常规色域范围。

UHD显像三基色的色度坐标

基色与光源		红	绿	蓝	光源(D ₆₅)
色坐标	x	0.708	0.170	0.150	0.3127
	y	0.292	0.600	0.797	0.3290

UHD亮度方程式为

$$Y = 0.2627R + 0.6780G + 0.0593B$$

我国于2017年开始着手建设UHD的播出建设。

UHD

Higher Dynamic Range (HDR)

Picture spatial characteristics

Parameter	Values	
Picture aspect ratio	16:9	
Pixel count Horizontal × vertical	7 680 × 4 320	3 840 × 2 160
Sampling lattice	Orthogonal	
Pixel aspect ratio	1:1 (square pixels)	
Pixel addressing	Pixel ordering in each row is from left to right, and rows are ordered from top to bottom.	

Higher resolution

Wide Color Gamut (WCG)

High Frame Rate (HFR)

TABLE 2

Picture temporal characteristics

Parameter	Values
Frame frequency (Hz)	120, 60, 60/1.001, 50, 30, 30/1.001, 25, 24, 24/1.001
Scan mode	Progressive

作业--第2章

第1次：1、3

第2次：9、10（2、13）、15、16、17