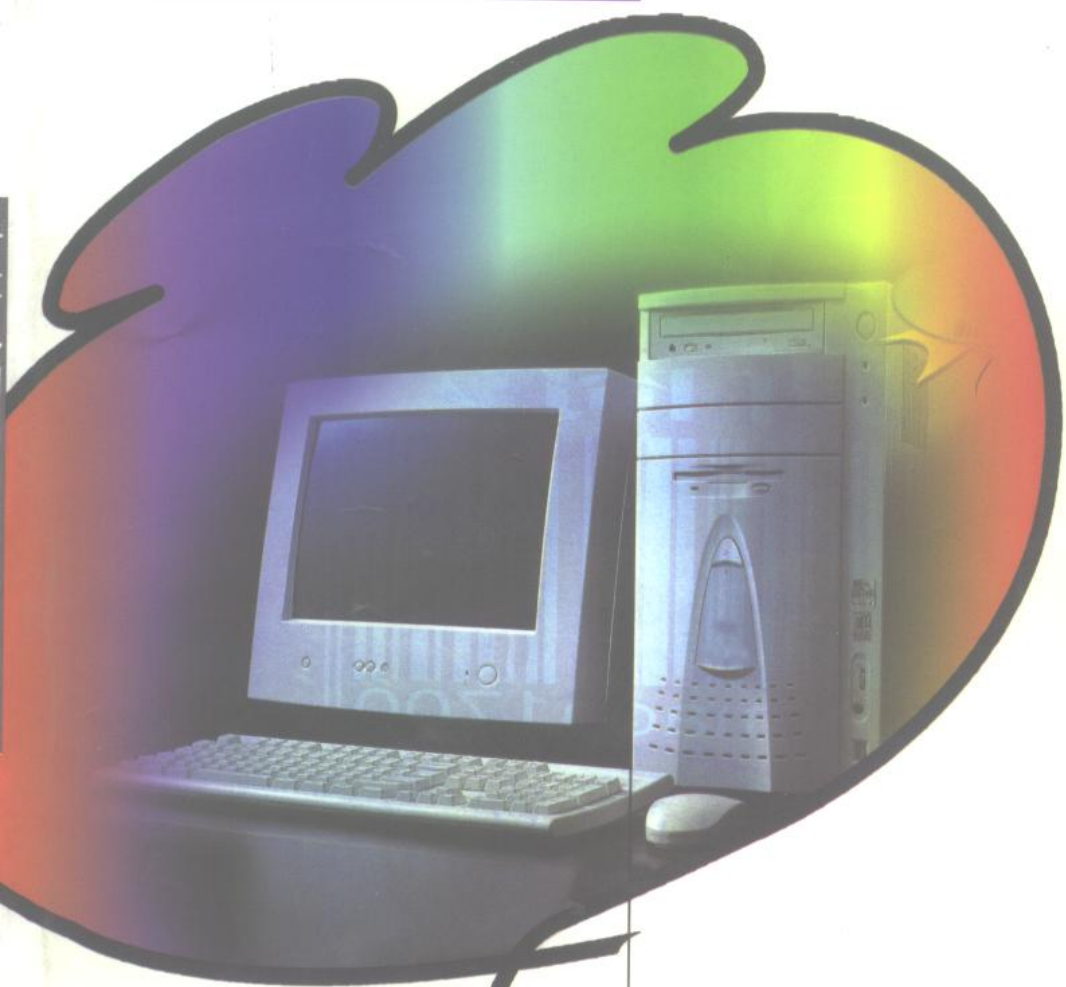


电脑应用丛书



S193

S/1

# 计算机 测色与 配色新技术

徐海松 编著

中国纺织出版社

17.11.15.11  
XHS/1

电脑应用丛书

# 计算机测色与配色新技术

徐海松 编著



中国纺织出版社

050838

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机测色与配色新技术/徐海松编著. —北京:中国纺织出版社,1999.1

(电脑应用丛书)

ISBN 7-5064-1510-0/TS·1247

I. 计… II. 徐… III. ①测色-计算机应用 ②配色-计算机应用 IV. TS193.1-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 22514 号

J5357/34

中国纺织出版社出版发行

(北京东直门南大街6号)

邮政编码:100027 电话:010-64168226

中国纺织出版社印刷厂印刷 各地新华书店经销

1999年1月第一版 1999年1月第一次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:3.875

字数:101千字 印数:1—3000

定价:9.00元

## 出版说明

自 20 世纪中叶(1946 年)第一台电脑问世以来,电脑技术一直蓬勃向前发展,到本世纪末,其发展速度更无与伦比,应用范围已经渗透到各个行业、各个领域,甚至各个家庭。其实,电脑的生命就在于应用,应用的需求又提出新的课题,而解决这些课题又带来了更大的应用领域,周而复始,电脑就是这样滚雪球似的向前发展。

纺织是最古老的行业之一。从猴子变成人的时候开始,人就跟纺织结下了不解之缘。虽然曾经有人把纺织业称为“夕阳工业”,但是近年来西方发达国家纺织业的比重又有所回升,因为人类就像离不开粮食一样,也离不开纺织。只是,新的纺织技术不同于传统纺织,电脑赋予了它新的灵魂。最现代的技术给最古老的行业注入了青春的活力,而最古老的行业又为最现代的技术提供了广阔的表演舞台。

这套丛书着眼于纺织、印染、丝绸、针织、服装等各行业中的应用,旨在推广计算机的应用新技术,振兴我国的纺织工业。

中国纺织出版社

1997 年 12 月

## 前 言

本书是作者在从事多年计算机自动测色与配色研究的基础上,结合有关应用的经验,并参阅了国内外大量的科技文献,经过系统的整理和总结而写成的。该书介绍了计算机自动测色与配色的最新技术,供广大读者参考。

全书内容共分四章。第一章系统介绍 CIE 标准色度系统、均匀颜色空间以及颜色的色差计算和同色异谱评价方法。第二章讲述物体表面色的测量原理与方法,详述仪器的结构类型及其硬件与软件系统的设计,并对国际上现有的快速分光测色系统进行了对比分析。第三章简要讨论在计算机彩色显示器上进行模拟色仿真的技术及其实现的算法。第四章分析计算机自动配色的现状及其理论基础,推导染料配方预测的算法并给出配色的技术条件,论述计算机自动配色的定标着色及其基础光学数据的误差修正方法,介绍了自动配色软件包的功能模块及其流程设计,针对计算机自动测色与配色技术在纺织印染中应用的工艺过程进行简要的总结,给出技术要求及操作程序,并对配色误差进行系统的讨论。

本书有关配色模型及配方预测等内容的研究获得了国家自然科学基金(No. 69678024)的资助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,经验不足,不妥或疏漏之处在所难免,恳望专家和读者不吝批评指正。

作 者

1998年7月

# 目 录

<b>第一章 色度学基础知识</b> .....	(1)
<b>第一节 CIE 标准色度系统</b> .....	(1)
一、CIE1931—RGB 系统 .....	(1)
二、CIE1931—XYZ 系统 .....	(5)
三、CIE1964 补充色度系统.....	(12)
四、标准照明体和标准光源.....	(15)
<b>第二节 均匀颜色空间和色差计算</b> .....	(21)
一、均匀颜色空间.....	(21)
二、常用色差公式.....	(23)
<b>第三节 同色异谱颜色</b> .....	(27)
一、基本概念.....	(27)
二、同色异谱程度的评价方法.....	(29)
<b>第二章 物体表面色的测量</b> .....	(33)
<b>第一节 测色方法概论</b> .....	(33)
一、综述.....	(33)
二、测色原理.....	(35)
三、测色仪器的结构组成及工作过程.....	(39)
<b>第二节 快速测色仪的硬件系统</b> .....	(51)
一、光电信号的处理.....	(51)
二、照明光源的驱动与控制.....	(56)
三、计算机接口.....	(57)
<b>第三节 快速测色仪的软件系统</b> .....	(60)
一、光谱定标软件.....	(60)
二、光度定标软件.....	(61)

三、快速测色软件·····	(62)
四、主体测色软件·····	(62)
<b>第三章 计算机模拟色仿真技术</b> ·····	(64)
第一节 计算机模拟色仿真技术概述 ·····	(64)
第二节 彩色显示器色度特性定标 ·····	(65)
一、白场平衡调整·····	(65)
二、荧光粉色度特性的测定·····	(66)
第三节 颜色仿真算法 ·····	(69)
一、初始数据准备·····	(69)
二、CIE—XYZ 色度系统向荧光粉 RGB 三原色 系统的转换·····	(70)
三、三原色缓冲器输入值的计算·····	(72)
<b>第四章 计算机自动配色</b> ·····	(76)
第一节 计算机自动配色综述 ·····	(76)
一、引言·····	(76)
二、国内外发展概况·····	(77)
第二节 计算机颜色匹配的理论基础 ·····	(79)
一、理论分析·····	(79)
二、Saunderson 修正 ·····	(83)
第三节 染料的配方预测 ·····	(84)
一、配方预测原理和技术特点·····	(84)
二、三刺激值匹配算法·····	(85)
第四节 颜色匹配的技术条件 ·····	(90)
一、色度标准及色差公式的选择·····	(90)
二、配色计算的波长带宽及过程控制·····	(91)
三、Kubelka—Munk 理论的应用分析 ·····	(92)
第五节 计算机自动配色的定标着色 ·····	(94)
一、定标着色方法·····	(94)
二、基础光学数据的误差修正·····	(94)

第六节 计算机自动配色软件包 .....	(97)
一、总述 .....	(97)
二、基础光学数据库的建立与管理 .....	(98)
三、配方计算软件流程 .....	(99)
四、配方管理功能 .....	(101)
第七节 计算机自动测色与配色的工艺过程 .....	(101)
一、染色工艺要求 .....	(101)
二、测色系统的校正 .....	(102)
三、染料的定标着色 .....	(102)
四、染料配方的预测 .....	(103)
五、配色误差的分析与讨论 .....	(105)
六、小结 .....	(106)
参考文献 .....	(107)



# 第一章 色度学基础知识

## 第一节 CIE 标准色度系统

随着颜色在科学研究和工业生产中的应用不断普及,有必要对颜色的特性进行研究使之量化和标准化以适应计算机测色和配色技术的需要。国际照明委员会(CIE)在第八届会议(1931年)上提出了包括 CIE1931 标准色度观察者、色标系统、三个标准光源(A、B和C)以及标准照明和观察条件在内的若干建议,由此奠定了现代色度学的基础。CIE 为了弥补其适用于 $1^{\circ}\sim 4^{\circ}$ 视场颜色测量的“CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值”数据在应用于视场大于 $4^{\circ}$ 时的颜色精密测量中不够精确的缺陷,1964年又推荐了“CIE1964 补充标准色度观察者光谱三刺激值”,它适用于 $10^{\circ}$ 视场的颜色测量。这两组数据是进行颜色测量和色度计算的最基本参数。

### 一、CIE1931—RGB 系统

实验证明,几乎所有的颜色都可以用三原色按某个特定的比例混合而成。对不同波长的光谱线颜色可采用如图 1-1 所示的实验装置进行颜色匹配,在白色屏幕的右边投射红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色,并将三原色的单位调整到相等数量相加匹配出等能白色,观察视场限制在 $2^{\circ}$ 范围之内。如果在屏幕的左边投射波长为 $\lambda$ 的单色光C,适当调节三原色的投射能量,可在屏幕上获得两半视场的颜色匹配,其颜色方程可以写成

$$C = \bar{r}(R) + \bar{g}(G) + \bar{b}(B) \quad (1-1)$$

在进行这样的匹配实验时,对某些光谱色需要把三原色中的一个原色加到待配光谱色上去,再经过仔细调节才可使两半视场

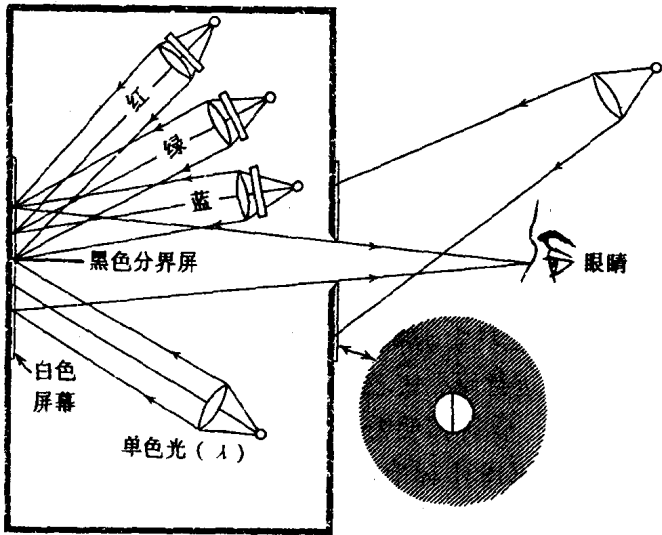


图 1-1 加混色实验装置示意图

达到匹配。假定在匹配某一光谱色时需将红原色(R)加到待配光谱色上去,则其颜色方程应为

$$C = \bar{b}(B) + \bar{g}(G) - \bar{r}(R) \quad (1-2)$$

经过这样的匹配实验可以得出如图 1-2 的一组曲线  $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$  和  $\bar{b}(\lambda)$ , 这三条曲线称为光谱三刺激值曲线。1931 年 CIE 正式推荐了 CIE1931—RGB 系统标准色度观察者光谱三刺激值, 如表 1-1。在此系统中, 匹配等能白光的三原色(R)、(G)、(B)的波长分别为 700nm、546.1nm、435.8nm, 其亮度比例为 1.0000 : 4.9507 : 0.0601; 辐亮度比例为 72.0962 : 1.3791 : 1.0000。

加混色实验说明, 任何一个颜色都可以用线性无关的三个原色适当地相加混合与之匹配, 改写方程(1-1)为

$$C = \bar{c}(C) = \bar{r}(R) + \bar{g}(G) + \bar{b}(B) \quad (1-3)$$

式中  $\bar{r}$ 、 $\bar{g}$ 、 $\bar{b}$  是匹配颜色 C 所需要的三原色的刺激量, 称为颜色 C 的三刺激值。方程(1-3)可变换为

$$\frac{\bar{c}}{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}(C) = r(R) + g(G) + b(B) \quad (1-4)$$

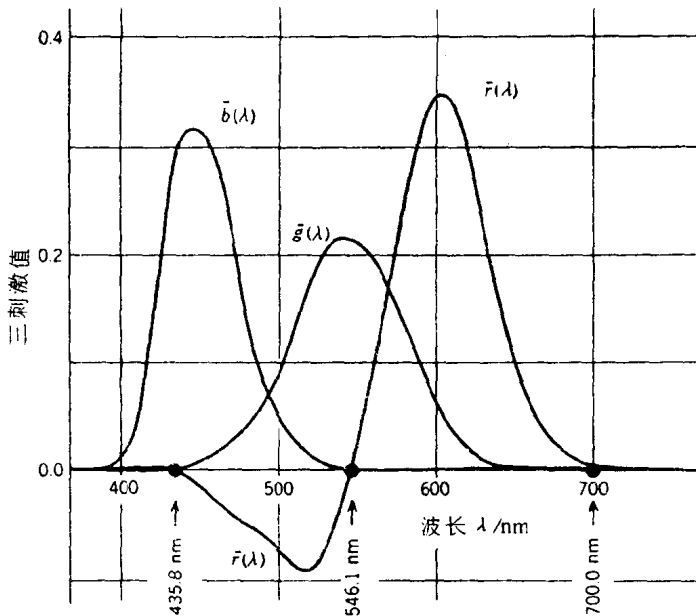


图 1-2 CIE1931-RGB 系统光谱三刺激值曲线

表 1-1 CIE1931-RGB 标准色度观察者  
色品坐标和光谱三刺激值

$\lambda/\text{nm}$	色 品 坐 标			三 刺 激 值		
	$r(\lambda)(700.0\text{nm})$	$g(\lambda)(546.1\text{nm})$	$b(\lambda)(435.8\text{nm})$	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$
380	0.0272	-0.0115	0.9843	0.0000	0.0000	0.0012
390	0.0263	-0.0114	0.9851	0.0001	0.0000	0.0036
400	0.0247	-0.0112	0.9865	0.0003	-0.0001	0.0121
410	0.0225	-0.0109	0.9884	0.0008	-0.0004	0.0371
420	0.0181	-0.0094	0.9913	0.0021	-0.0011	0.1154
430	0.0088	-0.0048	0.9960	0.0022	-0.0012	0.2477
440	-0.0084	0.0048	1.0036	-0.0026	0.0015	0.3123
450	-0.0390	0.0218	1.0172	-0.0121	0.0068	0.3167
460	-0.0909	0.0517	1.0392	-0.0261	0.0149	0.2982
470	-0.1821	0.1175	1.0646	-0.0393	0.0254	0.2299
480	-0.3667	0.2906	1.0761	-0.0494	0.0391	0.1449

续表

$\lambda/\text{nm}$	色 品 坐 标			三 刺 激 值		
	$r(\lambda)(700.0\text{nm})$	$g(\lambda)(546.1\text{nm})$	$b(\lambda)(435.8\text{nm})$	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$
490	-0.7150	0.6996	1.0154	-0.0581	0.0569	0.0826
500	-1.1685	1.3905	0.7780	-0.0717	0.0854	0.0478
510	-1.3371	1.9318	0.4053	-0.0890	0.1286	0.0270
520	-0.9830	1.8534	0.1296	-0.0926	0.1747	0.0122
530	-0.5159	1.4761	0.0398	-0.0710	0.2032	0.0055
540	-0.1707	1.1628	0.0079	-0.0315	0.2147	0.0015
550	0.0974	0.9051	-0.0025	0.0228	0.2118	-0.0006
560	0.3164	0.6881	-0.0045	0.0906	0.1970	-0.0013
570	0.4973	0.5067	-0.0040	0.1677	0.1709	-0.0014
580	0.6449	0.3579	-0.0028	0.2453	0.1361	-0.0011
590	0.7617	0.2402	-0.0019	0.3093	0.0975	-0.0008
600	0.8475	0.1537	-0.0012	0.3443	0.0625	-0.0005
610	0.9059	0.0949	-0.0008	0.3397	0.0356	-0.0003
620	0.9425	0.0580	-0.0005	0.2971	0.0183	-0.0002
630	0.9649	0.0354	-0.0003	0.2268	0.0083	-0.0001
640	0.9797	0.0205	-0.0002	0.1597	0.0033	0.0000
650	0.9888	0.0113	-0.0001	0.1017	0.0012	0.0000
660	0.9940	0.0061	-0.0001	0.0593	0.0004	0.0000
670	0.9966	0.0035	-0.0001	0.0315	0.0001	0.0000
680	0.9984	0.0016	0.0000	0.0169	0.0000	0.0000
690	0.9996	0.0004	0.0000	0.0082	0.0000	0.0000
700	1.0000	0.0000	0.0000	0.0041	0.0000	0.0000
710	1.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0000	0.0000
720	1.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000
730	1.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
740	1.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000
750	1.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
760	1.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
770	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
780	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

式中  $r = \frac{\bar{r}}{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}$ ,  $g = \frac{\bar{g}}{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}$ ,  $b = \frac{\bar{b}}{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}$ 。  $r, g, b$  称为颜色 C 的色品坐标, 如果定义颜色 C 的一个单位为  $1(C) = r(R) + g(G) + b(B)$ , 即  $\bar{c} = \bar{r} + \bar{g} + \bar{b}$ , 很明显  $r + g + b = 1$ , 于是可以用  $r, g$  作为直角坐标绘制出一个直角坐标图。各种颜色由其色品坐标确定其在图中的位置, 这种坐标图在色度学中称为  $r-g$  色品图。图 1-3 是根据表 1-1 的数据所绘制的 CIE1931- $RGB$  色品图,  $W_E$  代表等能白。

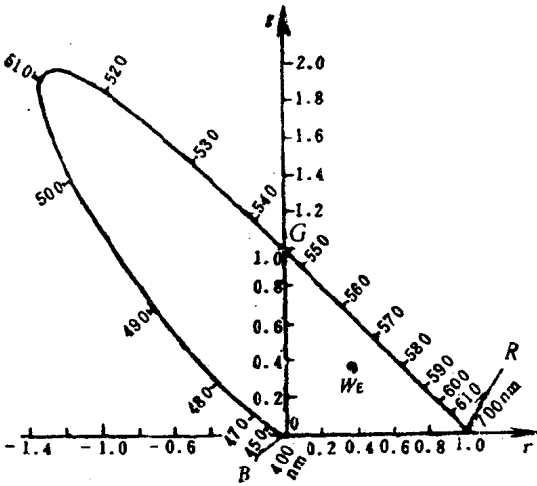


图 1-3 CIE1931- $RGB$  色品图

$R-700\text{nm}$   $G-546.1\text{nm}$   $B-435.8\text{nm}$   $W_E$ —等能白色

## 二、CIE1931- $XYZ$ 系统

在由 CIE1931- $RGB$  色度系统计算颜色的三刺激值时会出现负值, 从而给大量的数据处理带来不便。因此, 国际照明委员会推荐了一组新的曲线, 即 CIE1931- $XYZ$  色度系统。

在建立新的色度系统时, 主要从以下三个方面进行考虑和选择:

1. 为了避免 CIE1931- $RGB$  系统中的  $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$  光谱

三刺激值和色品坐标出现负值,就必须在(R)、(G)、(B)三原色之外选择一组新的三原色(X)、(Y)、(Z),如图 1-4 所示,由此组成的三角形能包围整个光谱轨迹。可见这三个原色是假想的,其中(X)代表了假想的红色,(Y)代表了假想的绿色,(Z)代表了假想的蓝色。

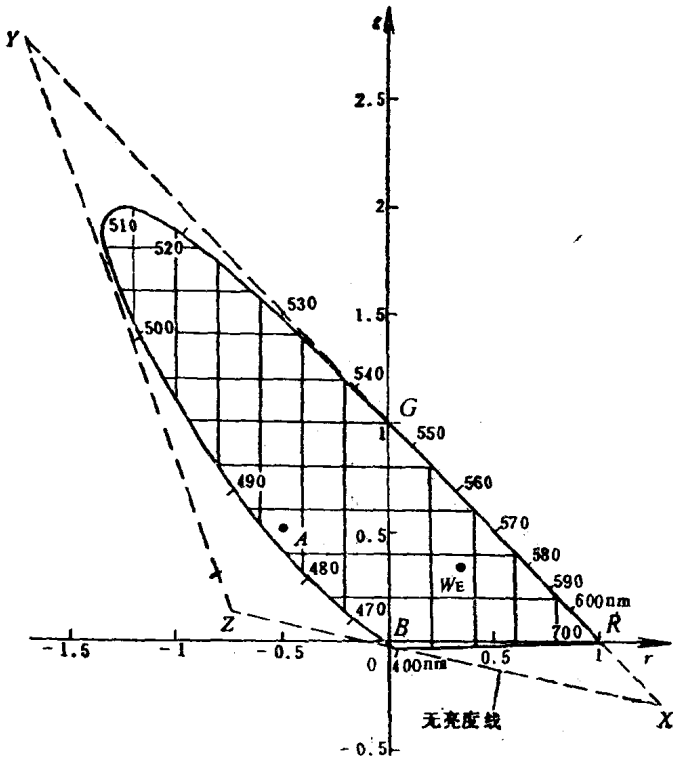


图 1-4 CIE1931-RGB 向 CIE1931-XYZ 的转换

2. 在 CIE1931-RGB 系统中光谱轨迹 560~700nm 是一条直线,在这一直线上的两个颜色混合就能得到这两种颜色之间的各种光谱颜色,所以新三原色的 XY 边应选择与这一直线重合,且求得其直线方程为

$$r + 0.99g - 1 = 0 \quad (1-5)$$

3. 设定原色(X)和(Z)的亮度为零, XZ 线称为无亮度线(仅代表色度), (Y)同时代表颜色的亮度和色度。

根据 CIE1931—RGB 系统中三原色匹配成等能白时的相对亮度比例关系  $Y(R) : Y(G) : Y(B) = 1.0000 : 4.5907 : 0.0601$ , 可写出(R)、(G)、(B)三原色的亮度方程为:

$$Y = r + 4.5907g + 0.0601b \quad (1-6)$$

如果该颜色正好处在无亮度线 XZ 上, 则  $Y=0$ , 上式成为

$$r + 4.5907g + 0.0601b = 0 \quad (1-7)$$

又因为  $r+g+b=1$ , 故方程(1-7)可变换为

$$0.9399r + 4.5306g + 0.0601 = 0 \quad (1-8)$$

上式即为 XZ 无亮度线方程。

XYZ 色三角的另外一边 YZ 是选取光谱轨迹上靠近 503nm 点的一条直线, 其方程是:

$$1.45r + 0.55g + 1 = 0 \quad (1-9)$$

上述三条直线方程(1-5)、(1-8)和(1-9)的交点就是(X)、(Y)、(Z)三原色在 RGB 系统中的位置:

	$r$	$g$	$b$
(X):	1.2750	-0.2778	0.0028
(Y):	-1.7392	2.7671	-0.0279
(Z):	-0.7431	0.1409	1.6022

由此可以进一步推导出从 CIE1931—RGB 系统向 CIE1931—XYZ 系统转换的方程为

$$\begin{aligned} x(\lambda) &= \frac{0.49000r(\lambda) + 0.31000g(\lambda) + 0.20000b(\lambda)}{0.66697r(\lambda) + 1.13240g(\lambda) + 1.20063b(\lambda)} \\ y(\lambda) &= \frac{0.17697r(\lambda) + 0.81240g(\lambda) + 0.01063b(\lambda)}{0.66697r(\lambda) + 1.13240g(\lambda) + 1.20063b(\lambda)} \\ z(\lambda) &= \frac{0.00000r(\lambda) + 0.01000g(\lambda) + 0.99000b(\lambda)}{0.66697r(\lambda) + 1.13240g(\lambda) + 1.20063b(\lambda)} \end{aligned} \quad (1-10)$$

式中  $x, y, z$  表示 CIE1931 色品坐标:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}, z = \frac{Z}{X+Y+Z}, \text{且 } x+y+z=1$$

由此将各波长谱线的坐标点连接起来即成为 CIE1931-XYZ 系统色品图(如图 1-5)。

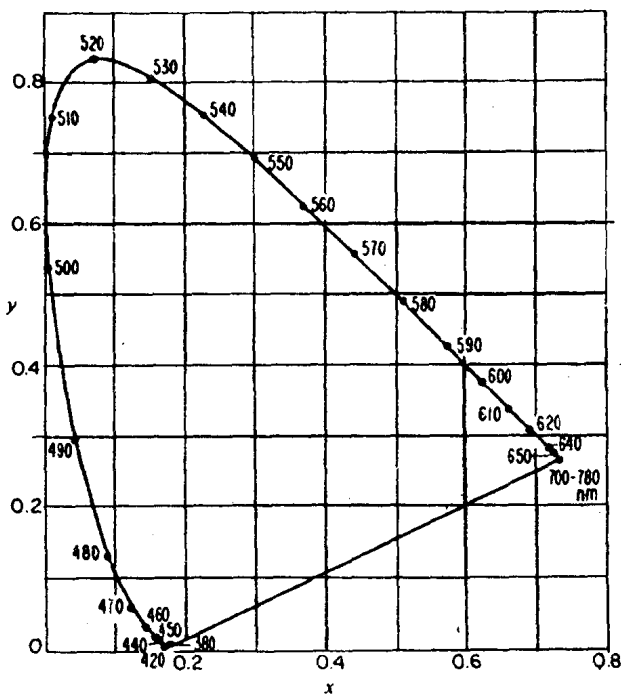


图 1-5 CIE1931-XYZ 系统色品图

由 CIE1931-RGB 系统按下述转换关系可以获得  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  三条曲线,并称之为“CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值”(见图 1-6):

$$\begin{aligned} \bar{x}(\lambda) &= 2.7696\bar{r}(\lambda) + 1.7518\bar{g}(\lambda) + 1.1301\bar{b}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) &= 1.0000\bar{r}(\lambda) + 4.5907\bar{g}(\lambda) + 0.0601\bar{b}(\lambda) \quad (1-11) \\ \bar{z}(\lambda) &= 0.0000\bar{r}(\lambda) + 0.0565\bar{g}(\lambda) + 5.5942\bar{b}(\lambda) \end{aligned}$$

上述曲线分别表示匹配等能光谱在各个不同波长所需原色光



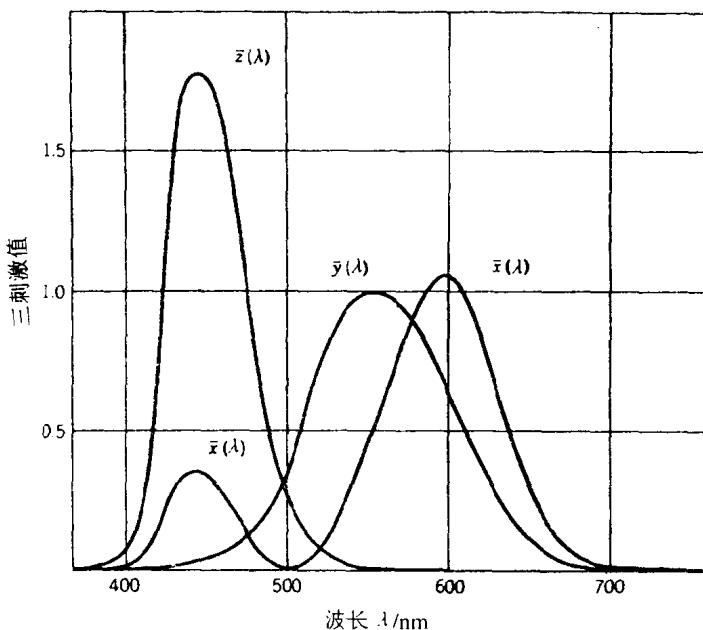


图 1-6 CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值

(X)、(Y)、(Z)的数量,详细数据列于表 1-2 中。

表 1-2 CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值及色品坐标( $\lambda=380\sim780\text{nm}, \Delta\lambda=5\text{nm}$ )

$\lambda/\text{nm}$	光谱三刺激值			色品坐标		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
380	0.0014	0.0000	0.0065	0.1741	0.0050	0.8209
385	0.0022	0.0001	0.0105	0.1740	0.0050	0.8210
390	0.0042	0.0001	0.0201	0.1738	0.0049	0.8213
395	0.0076	0.0002	0.0362	0.1736	0.0049	0.8215
400	0.0143	0.0004	0.0679	0.1733	0.0048	0.8219
405	0.0232	0.0006	0.1102	0.1730	0.0048	0.8222