

## 《CIE1976 色度空间》

L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup>

色度空间（一）、CIE1976

L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup>

色度空间及色差公式从一开始研究色彩学，人们为了使色彩设计和复制更精确、更完美，为色彩的转换和校正制定合适的调整尺度或比例，减少由于空间的不均匀而带来的复制误差，在不断寻找一种最均匀的色彩空间，这种色彩空间，在不同位置，不同方向上相等的几何距离在视觉上有对应相等的色差，把易测的空间距离作为色彩感觉差别量的度量。若能得到一种均匀颜色空间，那么色彩复制技术就会有更大进步，颜色匹配和色彩复制的准确性就得到加强。从 CIE1931RGB 系统到 CIE1931XYZ 系统，再到 CIE1960UCS 系统，再到 CIE1976LAB 系统，一直都在向"均匀化"方向发展。CIE1931XYZ 颜色空间只是采用简单的数学比例方法，描绘所要匹配颜色的三刺激值的比例关系；CIE1960UCS 颜色空间将 1931xy 色度图作了线形变换，从而使颜色空间的均匀性得到了改善，但亮度因数没有均匀化。为了进一步改进和统一颜色评价的方法，1976 年 CIE 推荐了新的颜色空间及其有关色差公式，即 CIE1976LAB（或 L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup>）系统，现在已成为世界各国正式采纳、作为国际通用的测色标准。它适用于一切光源色或物体色的表示与计算。CIE1976L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup>

a

\*

b

\*

）系统，现在已成为世界各国正式采纳、作为国际通用的测色标准。它适用于一切光源色或物体色的表示与计算。CIE1976L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup>

a

\*

b

\*

## 《CIE1976 色度空间》

空间由 CIEXYZ 系统通过数学方法转换得到，转换公式为：

$$\begin{cases} L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\ a^* = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \\ b^* = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \end{cases}$$

$$Y/Y_0 > 0.01$$

(5-17) 其中 X、Y、Z 是物体的三刺激值；X<sub>0</sub>、Y<sub>0</sub>、Z<sub>0</sub> 为 CIE 标准照明体的三刺激值；L

表示心理明度；a

、b

为心理色度。从上式转换中可以看出：由 X、Y、Z 变换为 L

、a

、b

时包含有立方根的函数变换，经过这种非线形变换后，原来的马蹄形光谱轨迹不复保持。转换后的空间用笛卡儿直角坐标体系来表示，形成了对立色坐标表述的心理颜色空间，如图 5-43 所示。在这一坐标系统中，+a

表示红色，-a

表示绿色，+b

## 《CIE1976 色度空间》

表示黄色， $-b$

表示蓝色，颜色的明度由  $L$

的百分数来表示。

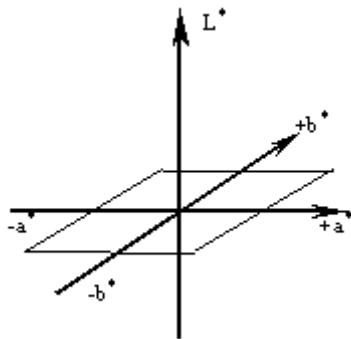


图 5-43 色差是指用数值的方法表示两种颜色给人色彩感觉上的差别。若两个色样样品都按  $L$

、  $a$

、  $b$

标定颜色，则两者之间的总色差  $\Delta E$

$ab$  以及各项单项色差可用下列公式计算：明度差：  $\Delta L$

$=L$

$1-L$

2 色度差：  $\Delta a$

$=a$

## 《CIE1976 色度空间》

1-a

2  $\Delta b$

=b

1-b

2 总色差:

$$\Delta E^*_{ab} = \left[ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2}$$

(5-18) 计算举例: 在  $2^\circ$  标准观察者和 C 光源的照明条件下, 测得用黄色油墨印制的三个样品的色度坐标为: No1:  $Y=71.79$ ,  $x=0.4210$ ,  $y=0.4788$  No2:  $Y=70.67$ ,  $x=0.4321$ ,  $y=0.4889$  No3:  $Y=67.95$ ,  $x=0.4441$ ,  $y=0.4947$  C 光源:  $Y_0=100$ ,  $x_0=0.3101$ ,  $y_0=0.3162$  下面再按式 (5-17) 进行计算 L

, a

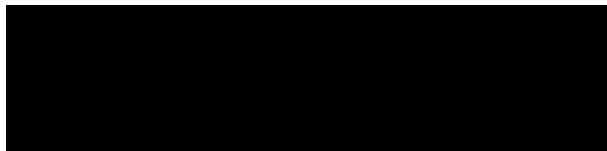
, b

。首先根据式 (5-14) 求各样品色的三刺激值

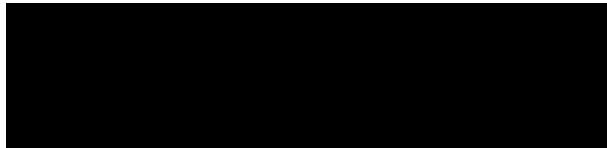
$$\begin{cases} X = xY/y \\ Y = Y \\ Z = zY/y = (1 - x - y)Y/y \end{cases}$$

由此得到: No1:  $Y_1=71.79$ ,  $X_1=63.13$ ,  $Z_1=15.02$  No2:  $Y_2=70.60$ ,  $X_2=62.46$ ,  $Z_2=11.43$  No3:  $Y_3=67.95$ ,  $X_3=61.00$ ,  $Z_3=8.40$  C 光源:  $Y_0=100$ ,  $X_0=98.07$ ,  $Z_0=118.22$  把这些数值代入式 (5-17) 求得: No.1

## 《CIE1976 色度空间》



No. 2



No. 3



假定以样品色 No.1 为标准，则可计算出它们的色差值为： $\Delta L^*$

$\Delta a^*$

$\Delta b^*$

$\Delta E^*$

abNo.2-No.1 -0.6638 1.3287 7.6053 7.7490No.3-No.1 -1.9727

3.5920 14.3055 14.8809 (二)、色差单位的提出与意义 1939 年，美国国家标准局采纳了贾德等的建议而推行  $Y_1/2$ 、 $a$ 、 $b$  色差计算公式，并按此公式计算颜色差别的大小，以绝对值 1 作为一个单位，称为 "NBS 色差单位"。一个 NBS 单位大约相当于视觉色差识别阈值的 5 倍。如果与孟塞尔系统中相邻两级的色差值比较，则 1NBS 单位约等于 0.1 孟塞尔明度值，0.15 孟塞尔彩度值，2.5 孟塞尔色相值（彩度为 1）；孟塞尔系统相邻两个色彩的差别约为 10NBS 单位。NBS 的色差单位与人的色彩感觉差别用表 5-5 来描述，说明 NBS 单位在工业应用上是有价值的。后来开发的新色差公式，往往有意识地把单位调整到与 NBS 单位相接近，例如 ANLAB40，Hunter Lab 以及

## 《CIE1976 色度空间》

CIE LAB 、 CIE LUV 等色差公式的单位都与 NBS 单位大略相同（不是相等）。因此，我们不要误解以为任何色差公式计算出的色差单位都是 NBS。彩色包装装潢印刷复制技术是多工序的系统工程，装潢印刷品最终质量的色彩误差，多按正态分布规律  $N(\mu, \sigma^2)$ ，采用"三倍标准差法"，取 $\pm 3\sigma$ 作为上、下控制公差。根据国内、外的经验表明：对无特殊要求的一般产品，取  $6\Delta E$

\*

$ab$  色差单位作为装潢印刷品颜色公差的控制范围是较为合理的。在色彩复制质量要求上，由国家标准局颁布的装潢印刷品 GB7705-87（平印）、GB7706-87（凸印）、GB7707-87（凹印）的国家标准中，对彩色装潢印刷品的同批同色色差为：一般产品  $\Delta E$

\*

$ab \leq 5.00 \sim 6.00$ ，精细产品  $\Delta E$

\*

$ab \leq 4.00 \sim 5.00$ ，同时还将这一质量标准作为国家企业晋升的一项条件。表 5-5 NBS 单位与颜色差别感觉程度 NBS 单位色差值感 觉 色 差 程 度 0. 0~0.5 0.5~1.5 1.5~3 3~6 6 以上（微小色差）感觉极微（trave）（小色差）感觉轻微（slight）（较小色差）感觉明显（noticeable）（较大色差）感觉很明显（appreciable）（大色差）感觉强烈（much）（三）、CIE a

\*

b

\*

心理色度图的形状分析 CIE rg 色度图和 CIE xy 色度图中色度坐标所反映的是三原色各自在三刺激值总量中的相对比例，它表示了颜色相同和彩度相同而亮度不同的那些颜色的共同特征，色度图的范围代表颜色的色域。我们以  $Y=19.77$ （孟塞尔明度  $V=5$ ）时的 xy 色度图（图 5-44）为例来观察转换后 a

\*

## 《CIE1976 色度空间》

b

\*

心理色度图的情况。图中射线为孟塞尔色卡中恒定色相轨迹。利用式 (5-17) 进行转换，这是一种非线形转换，图 5-44 中的马蹄形光谱轨迹不复保持，而成为一种不规则的楔形（图 5-45），在 CIEa

b

\*

心理色度图中，蓝原色向右下方伸展形成楔形的尖。

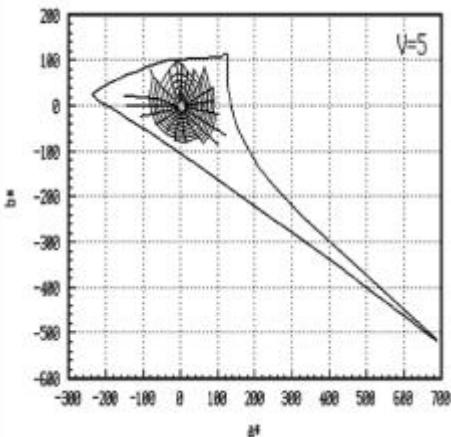
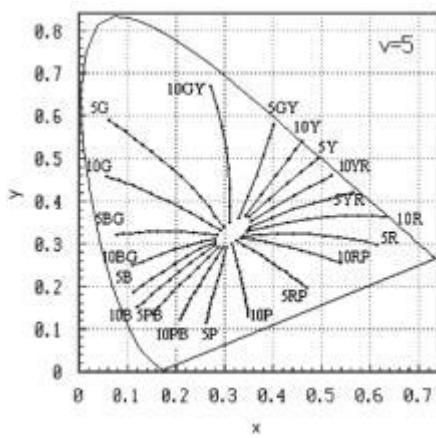


图 5-44 xy 色度图

图 5-45 a

b

\*

## 《CIE1976 色度空间》

心理色度图图 5-46 为图 5-45 的局部，反映出孟塞尔明度  $V=5$  时，孟塞尔色卡中恒定色相轨迹和恒定彩度轨迹，可以看出 a

b

心理色度图具有较好的均匀性。

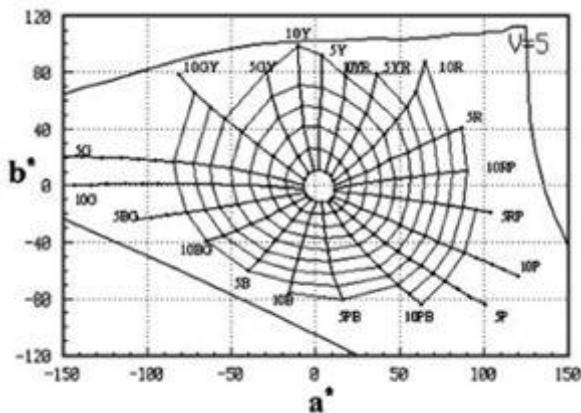


图 5-46  $Y=19.77$  ( $V=5$ ) 时 a

b

心理色度图如果知道了色样的刺激值 Y (亮度因数)，则式 (5-17) 中的刺激值 X、Z 可用色度坐标来表示：

$$X = xY/y$$

$$Z = (1 - x - y)Y/y$$

..... (5-19) 将式 (5-19) 代入式 (5-17) 中，得

$$\left. \begin{aligned} a^* &= 500Y^{1/3} \left( \left[ x/(yX_0) \right]^{1/3} - (1/Y_0)^{1/3} \right) \\ b^* &= 200Y^{1/3} \left( (1/Y_0)^{1/3} - [(1 - x - y)/(yZ_0)]^{1/3} \right) \end{aligned} \right\}$$

..... (5-20) 由式 (5-20) 知转换过程中 a

b

## 《CIE1976 色度空间》

心理色度图的大小范围与亮度因数  $Y$  有关，随着  $Y$  值的增大， $a$

$b$

\*

色度图的范围也逐渐增大，当  $Y$  达到最大值 100 时， $a$

$b$

\*

色度图的范围最大。图 5-47 中外圈曲线  $S1$  表示  $a$

$b$

\*

色度图的最大范围，内圈曲线  $S2$  表示  $Y=19.77$  ( $v=5$ ) 时的范围。目前在实用技术上，色彩设计及处理软件使用某一区域（如  $-120 < a < 120$ ， $-120 < b < 120$ ）来表示  $a$

$< 120$ ， $-120 < b$

$< 120$ ）来表示  $a$

$b$

\*

色度图的范围。

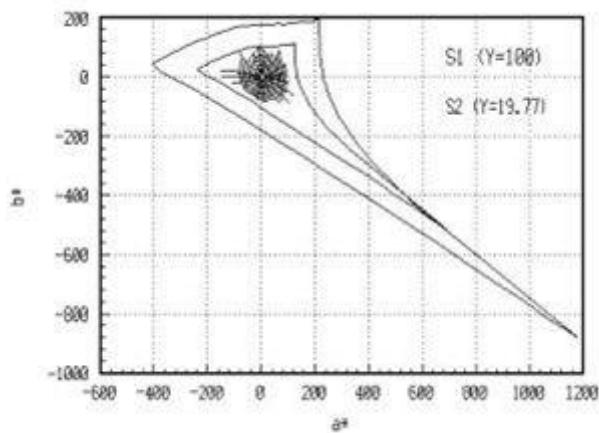


图 5-47  $Y=100$  时  $a$

## 《CIE1976 色度空间》

b

\*

心理色度图的范围（四）、CIE L

a

\*

b

\*

色度空间的均匀性 CIE LAB (CIE L

a

\*

b

\*

)色度空间是 1976 年国际照明委员会推荐的均匀颜色空间，1987 年我国发布的 GB7921-87 将 LAB 空间作为国家标准。目前色彩设计及复制等行业在色彩校正、计算以及 DTP 系统中，CIE LAB 空间已被普遍使用。虽然 CIE LAB 色度空间是 CIE 推荐的均匀颜色空间，颜色的均匀性较 Yxy 空间有很大改善，而实际上 CIE LAB 空间对于人眼的色彩感觉来说也还是不均匀的。在该空间的某个区域（如红色区域）取两个色样点与另一区域（如绿色区域）同等距离的两个色样点作比较，会发现在红色区域的两个色样的视感觉差别和绿色区域的两个色样的视感觉差别不一样，即在不同颜色区域，色彩的宽容量数值是不相等的。这种颜色空间的不均匀性给我们在彩色复制过程带来了误差，在使用 CIE LAB 空间进行颜色转换和校正时，如果在红色区域和绿色区域按照同样的尺度和比例进行调整，就会因为颜色空间的不均匀性而产生色偏。实际工作中，技术人员在色彩设计软件中的 CIE LAB 空间进行调整和校正时，往往根据经验来进行操作，因此迫切需要对空间进行均匀性研究，找出在不同颜色区域，颜色宽容量的数值以及颜色空间不均匀性的变化规律，为彩色复制时色彩的转化和校正制

## 《CIE1976 色度空间》

定合适的调整尺度和比例，从而减少由于空间的不均匀而带来的复制误差。1、分析方法的选择孟塞尔系统是从视觉心理的角度，根据人的视觉特性以等间隔的方法对颜色进行分类和标定的。因此经常被用来检验与某一色差公式有关的颜色空间的均匀性。因为孟塞尔新标系统本身的每个色样都是用 HVC 和 Yxy 两种方法标定的，如图 5-33～5-41 所示，这为我们分析 LAB 色彩空间的均匀性提供了可靠的数据依据。当把相等视觉色彩间隔的等彩度圈（如 /2～/4～/6～/8～……）画在孟塞尔系统中时，各等彩度圈是以中央灰度轴为圆心的一系列同心圆；同样，当把相等视觉间隔的等色相线（如 5.0R～10.0R～5.0YR～10.0YR～……）画在孟塞尔系统中时，各等色相线应是一系列从中心轴出发的等角度间隔的射线。依照这个特性，我们也把孟塞尔彩度和色相的 CIE1931Yxy 数值经式（5-17）转换后所得的 H-C 图画在 a

b

\*

\*

图上（图 5-48～图 5-50），来分析某一明度下的均匀性。利用 CIE LAB 色彩空间的色差公式（5-18），把空间中视觉等间隔的两点（等彩度间隔或等明度间隔），作为求色差的两点，这样色差值就反映了该色彩空间在视觉等间隔时空间的均匀程度。

### 2. 不同明度的 a

b

\*

\*

图分析从“孟塞尔新标系统颜色样品的 CIE1931 色度坐标 (Yxy) ”表中选取各个明度的数据，将色度坐标 Y、x、y 转换成 L

a

\*

b

\*

## 《CIE1976 色度空间》

值。对应于孟塞尔系统的十个主要色相（红、黄红、黄、绿黄、绿、蓝绿、蓝、紫蓝、紫、红紫）中的 5.0 和 10.0 值，在  $a$

图上画出 20 条等色相线。由于所用数据都为等色相线和等彩度线的交点处值，故可将等彩度值连接为等彩度圈，如图 5-48～图 5-50 所示。图中等彩度圈最内圈的彩度值为 2，外面彩度圈依次加 2。

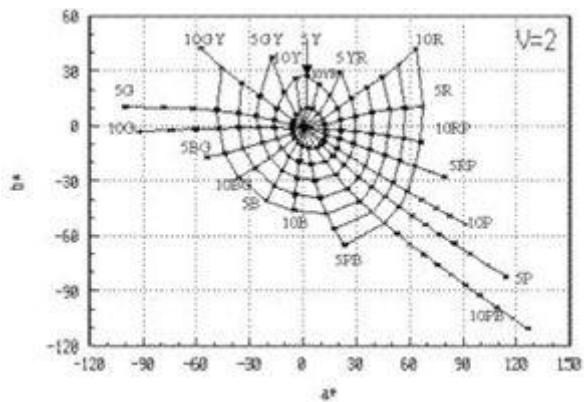


图 5-48

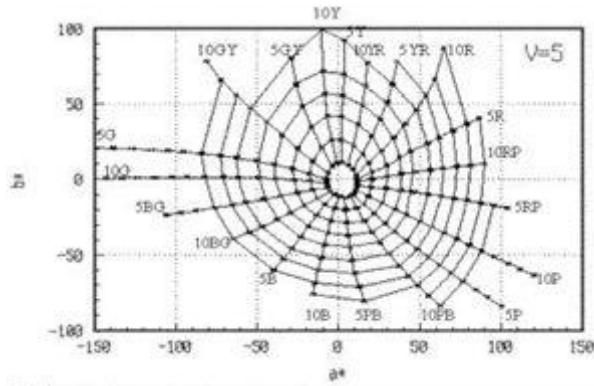


图 5-49

## 《CIE1976 色度空间》

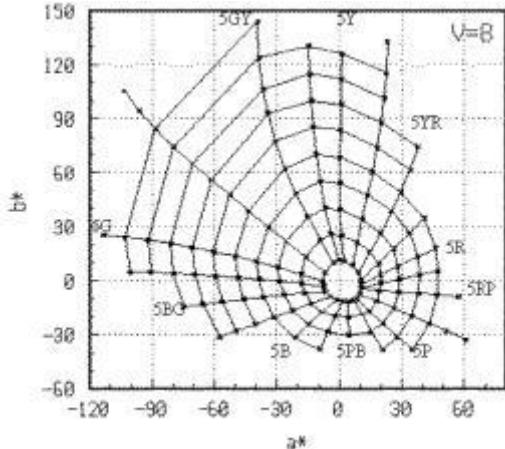


图 5-50 结合图 5-48~图 5-50 中的各明度的网状图分析，依 20 条等色相线及等彩度圈，可以看出：① 若 CIE LAB 颜色空间是理想均匀的，等彩度圈应是以中心  $a^*=0$  和  $b^*=0$  处为圆心的一系列同心圆。但从图 5-48~图 5-50 a

=0 处为圆心的一系列同心圆。但从图 5-48~图 5-50 a

b

图中可以看出，各等彩度圈偏离了圆，在低彩度时偏离较轻，随着彩度的提高偏离就越严重，有些还出现尖点，尤其在  $H=10Y$  附近偏离最严重。由于各等彩度圈之间的彩度相差 2，若 CIE LAB 颜色空间是理想均匀空间，图中各等彩度圈之间的间隔也应是相等的。但从各图中可以看出，随着彩度的增加，等彩度圈之间的间隔距离也有所变化，在  $H=5YR$  到  $H=5GY$  色相之间增加明显。以上分析说明，CIE LAB 颜色空间在心理彩度 C

分布上（和孟塞尔系统比较）是不均匀的。② 若 CIE LAB 颜色空间是理想均匀空间，各图中等色相线应是从中心  $a^*=0$  和  $b^*=0$

=0 和 b

## 《CIE1976 色度空间》

=0 点出发的射线（直线），且各射线间的夹角也应相等。但从各图中可以看到，各等色相线并不是直线，而是偏离直线的曲线，等色相线的彩度越大，弯曲也越严重，其中以  $H=10R$ 、 $H=5YR$ 、 $H=5GY$ 、 $H=10GY$ 、 $H=5G$ 、 $H=5PB$ 、 $H=10PB$ 、 $H=5P$  等色相线弯曲尤为严重。同时从图中也可以看出，中明度时的射线弯曲明显比低明度时严重。另一方面等色相线之间的夹角也不相等，尤其从色相  $H=10Y$  到  $H=5G$  和从  $H=10B$  到  $H=5P$  之间，各夹角明显比其它色相线之间的夹角大。以上分析说明，CIE LAB 颜色空间在心理色相  $h$

分布上（和孟塞尔系统比较）是不均匀的。③ 从不同明度  $a$

$b$

图上的  $H-C$  曲线分析可以看出，各色相线也偏离了  $a$

、  $b$

坐标所代表的颜色。色度坐标  $+a$

代表的是红色，但等色相线  $H=5R$  并没有在  $+a$

附近，而是分布在远离  $+a$

的上方，最接近  $+a$

的色相是  $10RP$ ；色度坐标  $-b$

## 《CIE1976 色度空间》

代表的是蓝色，但等色相线  $H=5B$  也没有在  $-b$

\*

附近，最接近  $-b$

\*

的色相是  $10B$ 。只有等色相线  $5Y$  在色度坐标  $+b$

\*

附近，与色度坐标所表达的黄色基本一致。由于一些代表色相偏离了  $a$

\*

、  $b$

\*

坐标所代表的颜色，就造成了  $a$

\*

$b$

\*

色度图不能准确地反映出颜色的色相，给  $a$

\*

、  $b$

\*

值的分析和颜色的校正带来了困难。3.  $\Delta E$

\*

$ab-H-C$  三维图及等值线图分析三维图和等值线图如图 5-51、5-52、5-53 所示。

图中彩度  $C$  轴上所标的数值为对应的孟塞尔彩度； 色相  $H$  轴上从 1 到 20 为各色相，  
20 个色相依次为  $5R$ 、 $10R$ 、 $5YR$ 、 $10YR$ 、 $5Y$ 、 $10Y$ 、 $5GY$ 、 $10GY$ 、 $5G$ 、 $10G$ 、 $5BG$ 、  
 $10BG$ 、 $5B$ 、 $10B$ 、 $5PB$ 、 $10PB$ 、 $5P$ 、 $10P$ 、 $5RP$ 、 $10RP$ ； 色差  $\Delta E$

\*

$ab$  为各色样点与周围相邻点间色差的平均值。在等值线图上，每条等值线上所标的数据为各等值线的色差值  $\Delta E$

## 《CIE1976 色度空间》

\*

ab。理想均匀空间相邻点间的色差均应相等，而各三维图中，色差三维曲面并不是平行于 H-V 底面的平面，随着彩度的增加，色差值也相应地增加，各色相中随彩度增加时其色差增加的程度也不尽相同。综合各三维图分析，在 7、8、9 色相线，即  $H=5GY$ 、 $H=10GY$ 、 $H=5G$  色相线附近色差增加明显，特别是高明度区域。在等值线图上随着彩度的增加等值线值也增大，表明色差值随彩度的升高而增大；而中低明度图的等值线条数较少且线线间隔较大，这表明低明度下色差随彩度增加的程度比高明度下的小。而在高明度等值线图中，色相 8、9、10 附近，色差等值线几乎垂直于色相轴且分布很密，这表明色差对该色相反应很大，该色相的颜色宽容量较大。

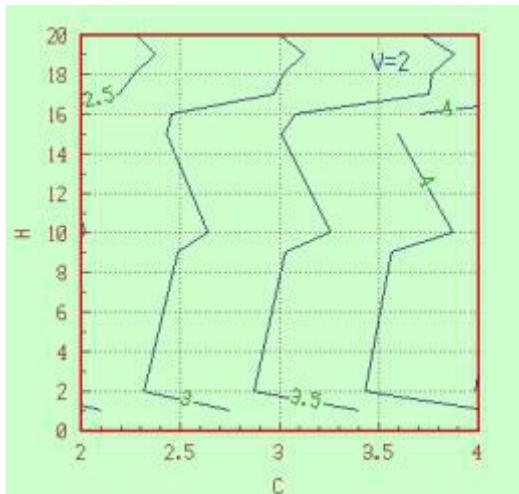
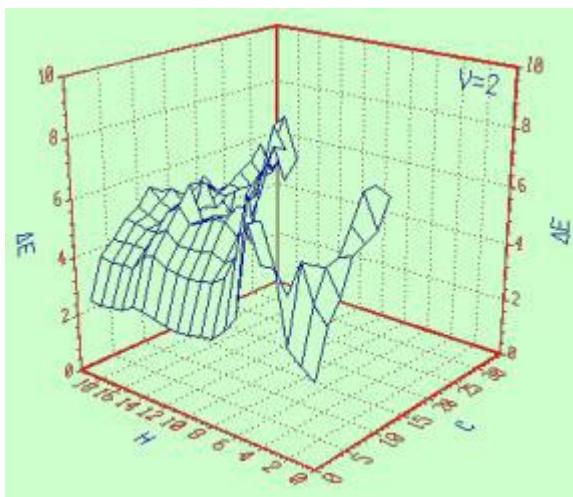


图 5-51 三维图及等值线图 ( $V=2$ )

## 《CIE1976 色度空间》

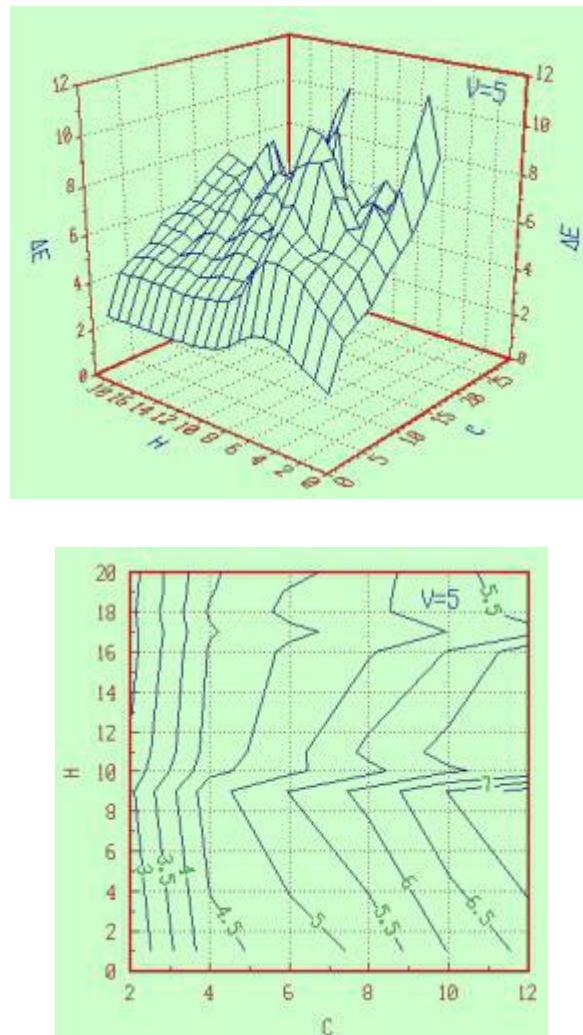
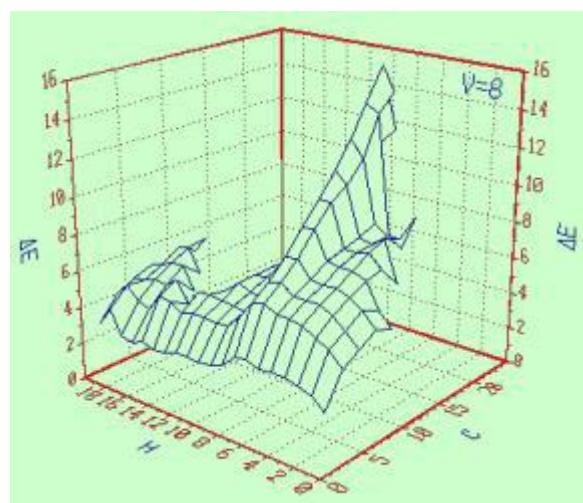


图 5-52 三维图及等值线图 ( $V=5$ )



## 《CIE1976 色度空间》

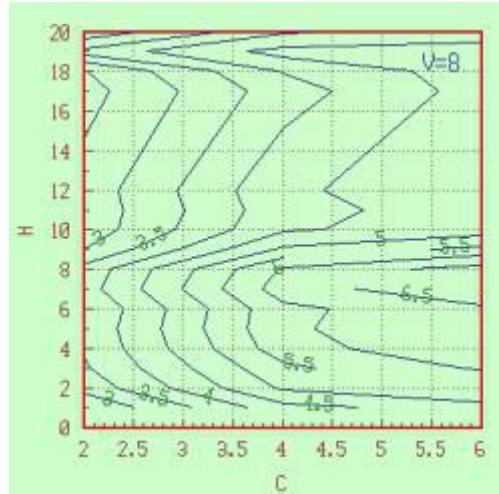


图 5-53 三维图及等值线图 ( $V=8$ ) 结合图 5-48 至图 5-50 的各明度 a

b

图中的  $H-C$  曲线和三维图及等值线图分析可以看出，色差最大的区域是在高明度图中从色相  $H=5GY$  到  $H=5G$  色相线之间的区域，并且在中高彩度区，即  $C=14、16、18$  的彩度圈内，表现在心理色度坐标上范围为 a

值从 -30 到 -100 之间， b

值从 30 到 100 之间，其中色差值最大点 ( $\Delta E$

$ab$  平均为 11 左右) 是在  $H=10GY$  和  $C=20$  (或 a

$=-90$ , b

$=80$ ) 的交点附近；色差最小值区域 ( $\Delta E$

$ab$  不超过 4) 是低彩度  $C=2$  区域，即 a

b

## 《CIE1976 色度空间》

图中的原点附近，色差值最小点（ $\Delta E$

$a_b$  平均为 2.5 左右）在  $H=10^{\circ}$  和  $C=2$ （或  $a$

$=10$ ,  $b$

$= -10$ ）的交点附近。最大与最小色差值之比达 4 倍以上，说明 CIE LAB 颜色空

间不是理想的均匀的颜色空间。CIE 标准色度学系统是对色彩进行定量描述的基础。

CIE RGB 系统具有真实的三原色，但系统具有负值；CIE XYZ 系统消除了负刺激值，其 xy 色度图在对色域的描述上有重要的地位，然而该系统具有较大的不均匀性；CIE LAB 是 CIE 推荐的均匀颜色空间，其均匀性已有了很大的改善，该系统与设备无关，色度值和明度值（阶调）可以独立调节，而且当颜色的色差大于视觉的识别阈限（恰可察觉）而又小于孟塞尔系统中相邻两级的色差时，能较好地反映物体色的心理感受效果。