

色彩距离，条件等色及颜色方程式

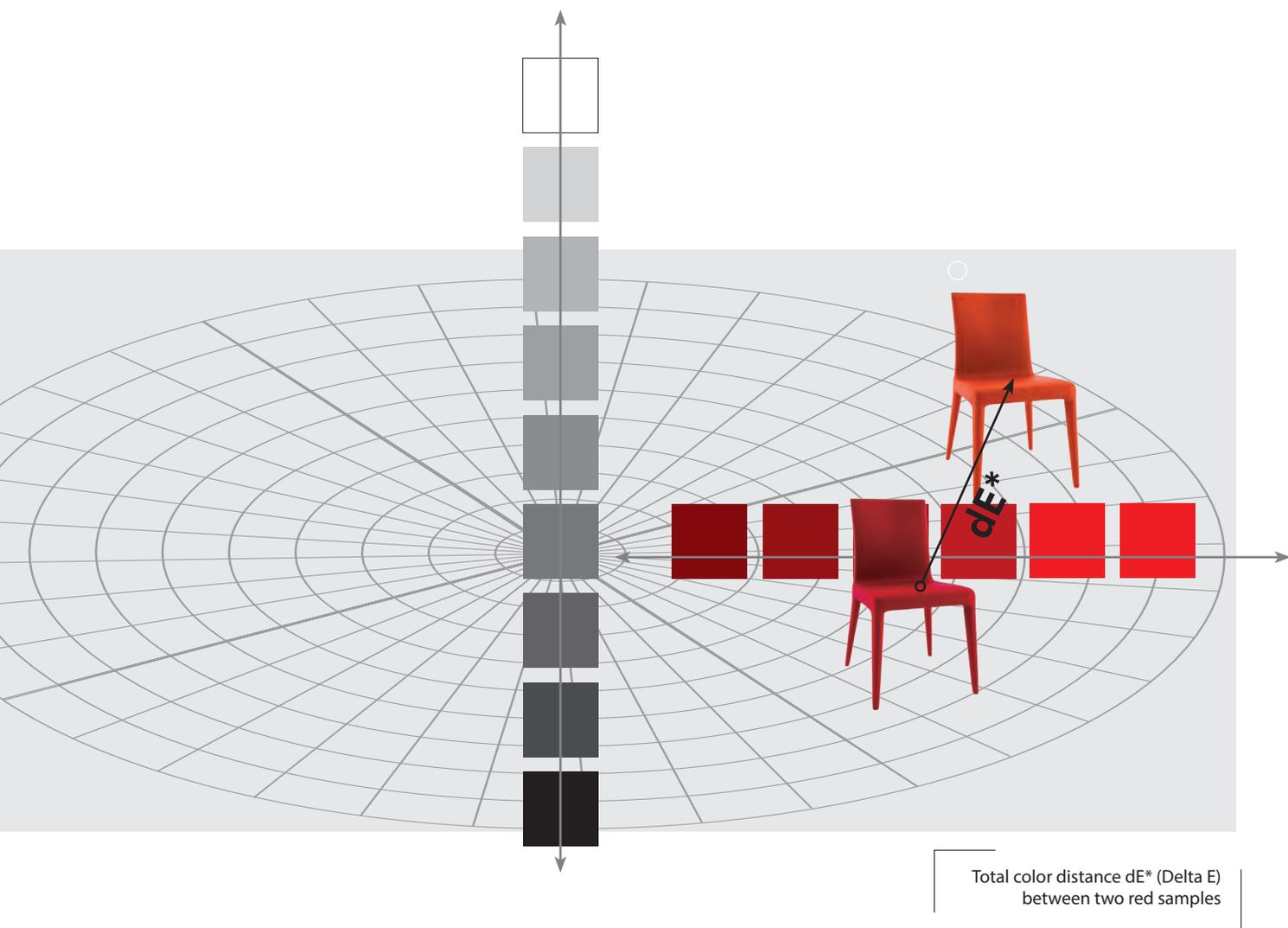
色彩距离和 色彩可接受性

简介

大多数行业都要求产品各批次色彩一致。例如，如果在粉刷墙壁时涂料用尽，您会预计使用的两批涂料之间没有明显差异。也有产品要求多种材料之间色彩一致。汽车包含色彩相同的零件，例如由不同材料和工艺制成的塑料扶手、地垫和布料内饰等。通常，在平放对比时，这些零部件可能显示出微小色差，但如果差异很小，您认为它们在视觉上可以接受。无论哪种情况下，如果色彩极不一致，您可能会以次品为由拒不接受产品。

实际上，一般不可能 100% 精确再现产品色彩，在下例中，T 恤衫可能在不同环境下展现出细微色差，即使我们无法在视觉上辨认出任何差异。运用色度学知识，便可测量和记录此类色差。在遵守客户与供应商之间

商定的规范方面，色彩测量和色差评估对供应商有很大帮助。为确定两个样本之间色差，将标准和再造色彩坐标输入色彩空间，这两个色点之间距离表示样本色差。按照以色彩系统三大变量的空间投影为基础的关系计算两点之间距离。这是 CIELab 色彩系统及其确定的色差的主要应用。



CIE Lab 色彩空间内色差

两种色彩之间色差指定为 dE （也可记作：Delta E 或 ΔE ）。它可通过 1976 年确立的公式加以计算。因此，CIE Lab 色彩空间可使用以下算法表示色偏差：

■ 对于直角坐标 L^* 、 a^* 和 b^* ，公式如下：

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}}$$

其中

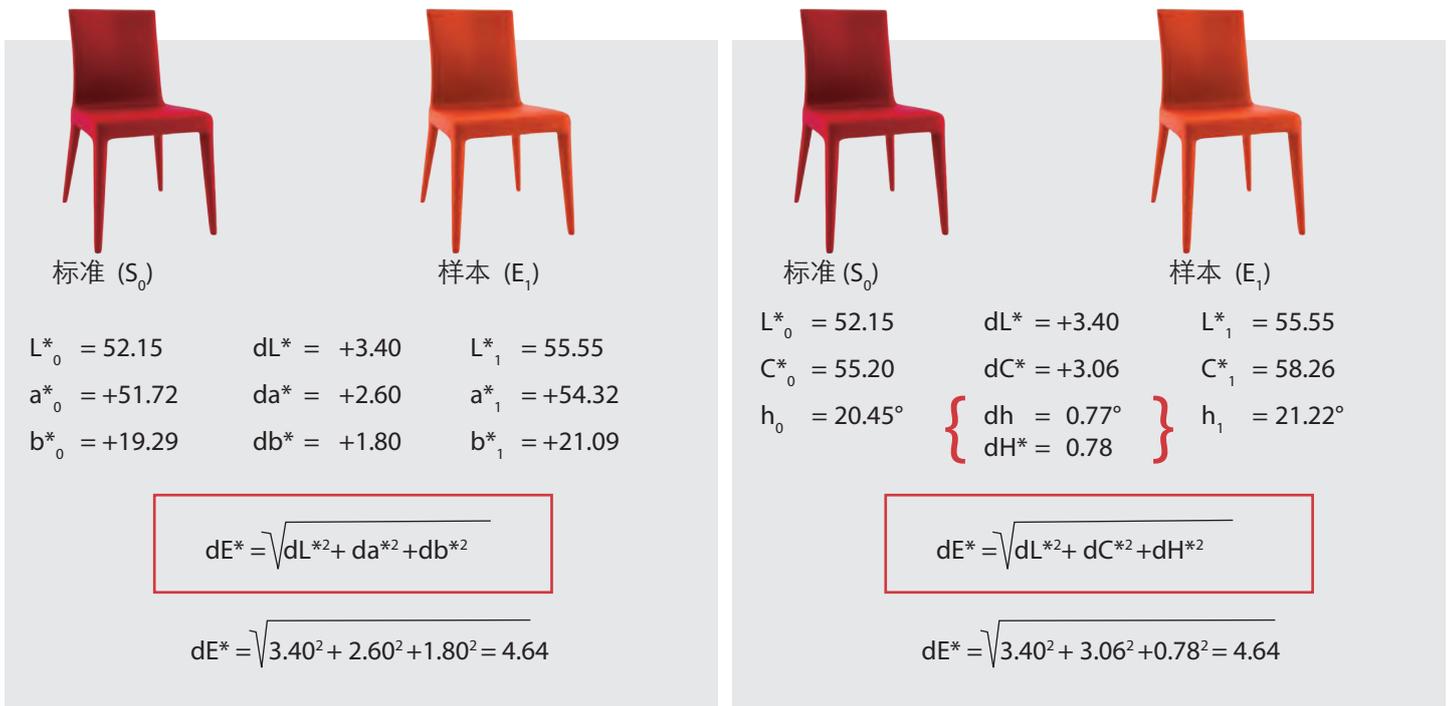
- dL^* 表示沿 L^* 轴亮度偏差
- da^* 表示沿 a^* 轴红绿偏差
- db^* 表示沿 b^* 轴黄蓝偏差

■ 对于柱坐标 L^* 、 C^* 和 h ，公式如下：

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + dC^{*2} + dH^{*2}}$$

其中

- dL^* 表示沿 L^* 轴亮度偏差
- dC^* 表示沿半径 C^* 彩度或色度偏差
- dH （度）表示沿 h 色相角偏差



By D65 / 10°

CIE Lab 色彩空间。以 L^*
 a^* b^* 表示色彩距离

By D65 / 10°

CIE Lab 色彩空间。以 L^*
 a^* b^* 表示色彩距离

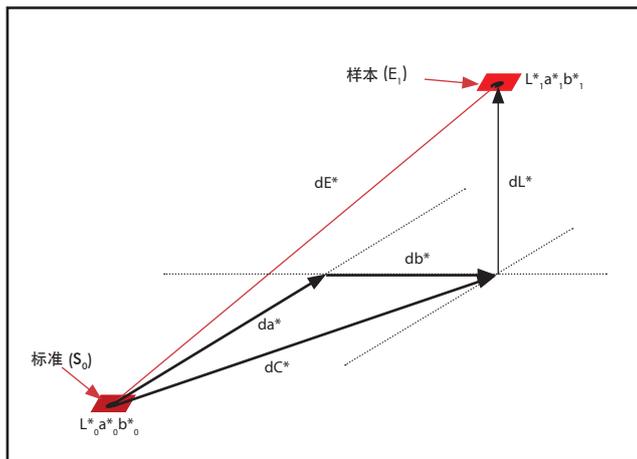
由于只能以长度单位表示距离计算等式（对于参数 dh ），所以将色相角 dh （实际以 $^\circ$ 表示）转换为长度单位。这一色相距离与表示色度的色环 C^* 半径均以 dH^* 指定。

CIELab L* a* b* 色彩空间内色偏差和色容差

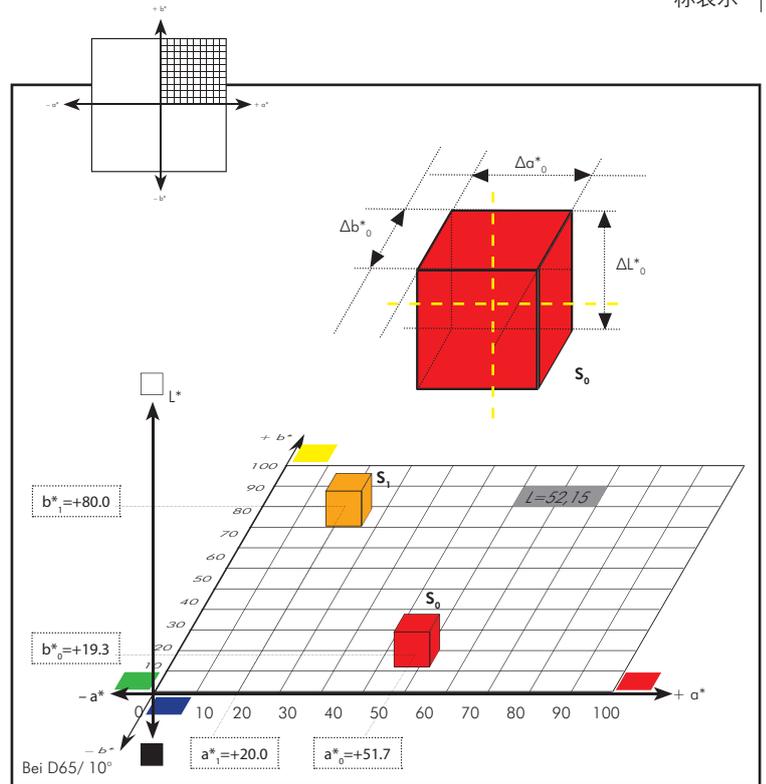
在 CIELab 色彩空间内，以直角坐标表示

就感知物理学而言，以直角坐标 L*、a* 和 b* 表示色偏差遵循对立色理论：

- 红/绿偏差：a* 轴投影距离
- 黄/蓝偏差：b* 轴投影距离



以直角坐标表示色偏差
dL* da* db*



dE* 总计色彩距离

dL* 亮度差异 (⊖ = 更暗; ⊕ = 更亮)

da* 绿色差 ⇔ 红 (⊖ = 更绿; ⊕ = 更红)

db* 黄色差 ⇔ 蓝 (⊖ = 更蓝; ⊕ = 更黄)

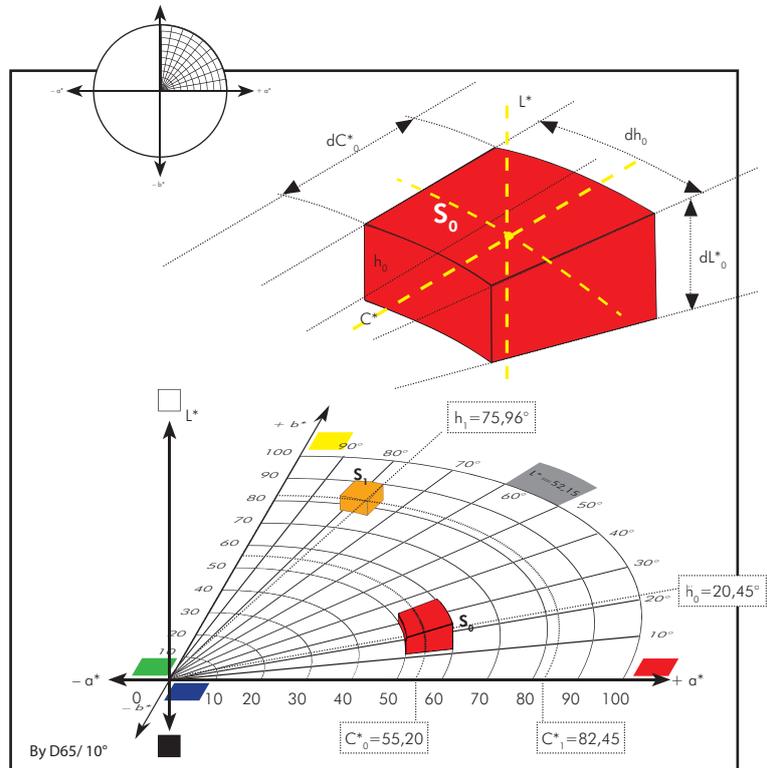
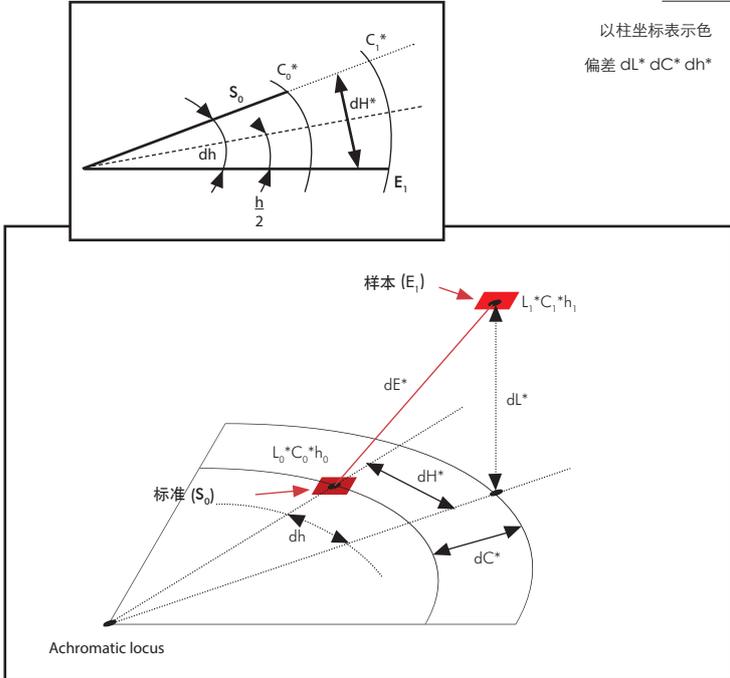
CIELab L* C* h 色彩空间内色偏差和色容差

与 L*a*b* 理论系统相反，实际感知空间内色彩互相之间没有线性关系。人眼对色彩距离（绿、红、黄、蓝）的感知达不到与彩度（色度）和亮度差异相同的程度。一般而言，人首先感知色泽距离，然后是彩度距离，最后是亮度距离。例如，色彩距离 dE = 1 是对亮黄或亮绿色泽来说可以接受的色差，但对消色灰来说恰恰相反，dE = 1 表示不可接受的不同色彩。

L*、C* 和 h 确定色偏差使色彩与色彩距离描述能够符合我们亲眼所见。总色差 (dE*) 分为亮度差 (dL*)、色差差 (dC*) 和色相差 (dH*)。

因此，数学差同样为 1，但与我们的视觉印象并不对应。在“消色”方面，CIELab 色彩空间 L* C* h 提供一种备选方案。在 CIELab 色彩空间内，通过柱坐标

在 CIELab 色彩空间内，以柱坐标表示
容差 $dL^* dC^* dh^*$



公式如下：

$$dE^* = \sqrt{(dL^*)^2 + (dC^*)^2 + (dH^*)^2}$$

- L^* 亮度轴
- dL^* = 亮度差：值和解释与 $L^*a^*b^*$ 系统描述相同
- C^* 色度 (彩度)
- dC^* = 彩度差：表示从每个色点到亮度轴的距离之差
- H° 色泽 (角)

$dC^* = C^*_1 - C^*_0$
其中 C^*_0 = 标准色度,
 C^*_1 = 样本色度

- 如果 dC^* 为正，说明样本色度高于标准
- 如果 dC^* 为负，说明样本色度低于标准

dh = 色相角差：表示与两种色彩 (标准和样本) 相关的矢量夹角 (度) 之差。使用以下变换公式将角差转换成长度为 dH^* 的距离：

$$dH^* = 2 \sqrt{C^*_0 C^*_1} \cdot \sin\left(\frac{dh}{2}\right)$$

以此方式将总色差 dE^* 分为 dL^* 、 dC^* 和 dH^* ，便可使用自然分类中的视觉评估相应描述色偏差。由于更加简单并贴合实际，所以这是最常用的方法。

如果 $C^* \leq 5$ 并按 $L^*C^*H^* > 5$ 计算色彩距离，色彩专家经常使用

CMC 修正系统

CIELab 色彩空间 L*a*b* 和 L*C*h 中的色彩距离公式具有相对简单实际的应用优势。

但缺点是，CIELab 色彩系统在视觉上不均匀。对于所有色彩而言，计算出的色彩距离与感知到的色彩距离都不相符。

实际上，这意味着，人眼对消色只能区分出最轻微的色差。相应地，必须在此确定可能最低的 dE*ab 数值。计算的色泽越亮，

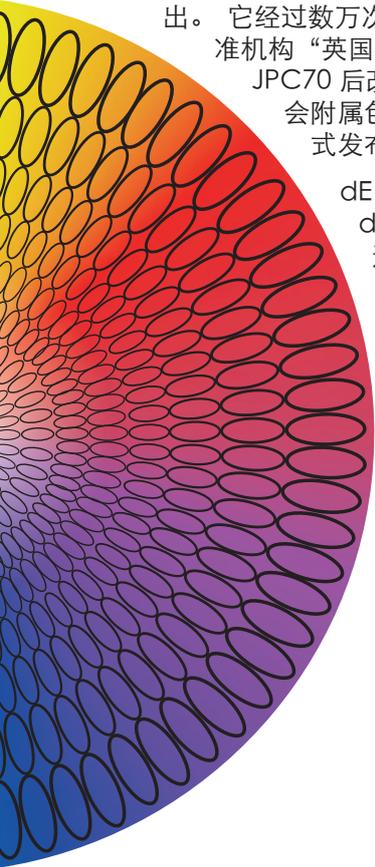
即 C 值越高，CIELab 系统中的色彩相距越远，人眼对色彩距离的反应灵敏性越低。在此特别强调，眼睛无法识别数值更高的 dE*ab 差。用户对色泽差的评估能力强于亮度差或色度差（闪耀）。

为了不必按照 CIELab 系统中的色彩确定色容差，并使其与人眼所见更加相符，进一步完善了 dE*ab 色彩距离公式。因此产生许多公式，例如目前在纺织行业内广泛使用的 CMC 公式。

CMC 公式产生自英国，自 1970 年起经过不断研究得出。它经过数万次视觉评估测试，最终由英国标准机构“英国标准学会”确立为标准。原名 JPC70 后改为 CMC（表示英国染色家协会附属色彩测量委员会）。CMC 公式发布于 1984 年。

dE 的“分量”（即 dL、dC 和 dH）由修正系数 SL、SC 和 Sh 进行加权，而修正系数本身则取决于亮度、彩度和

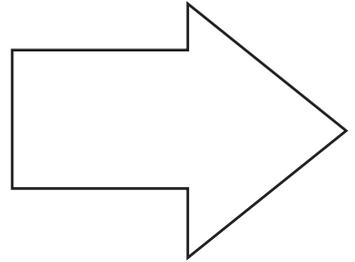
色相。SL、SC 和 Sh 在本质上是双曲线函数，确保 dL 和 dC 随着色彩变暗消光（更灰）而增大。dH 则随着色度增大而减小。也根据色环情况做出修正。



CMC 色彩距离公式如下：

$$dE_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{l S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{c S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{S_H}\right)^2}$$

- l 亮度系数
- c 色度系数
- S_L L 的函数
- S_C C 的函数
- S_H H 和 C 的函数



- 对 S_L 有效：
如果 L* < 16 β S_L = 0.511

$$\text{if } L^* \geq 16 \beta \quad S_L = \frac{0.040975L^*}{1 + 0.01765L^*}$$

则随着色度增大而减小。也根据色环情况做出修正。

- 对 S_C 有效：

$$S_C = \frac{0.0638C^*}{1 + 0.0131C^*} + 0.638$$

对于参数 SC，接近消色轴的 dC 值权重大约升高 60%。对于亮色（高色度值），CMC 减小现有 DC 值。

- 对 S_H 有效：

$$\beta S_H = (FT + 1 - F) S_C$$

$$\text{其 } F = \sqrt{\frac{C^{*4}}{C^{*4} + 1900}}$$

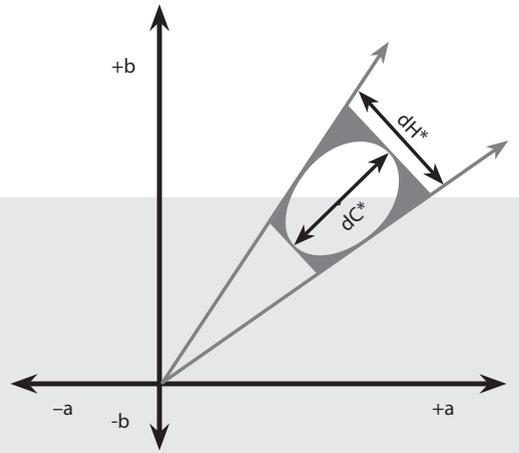
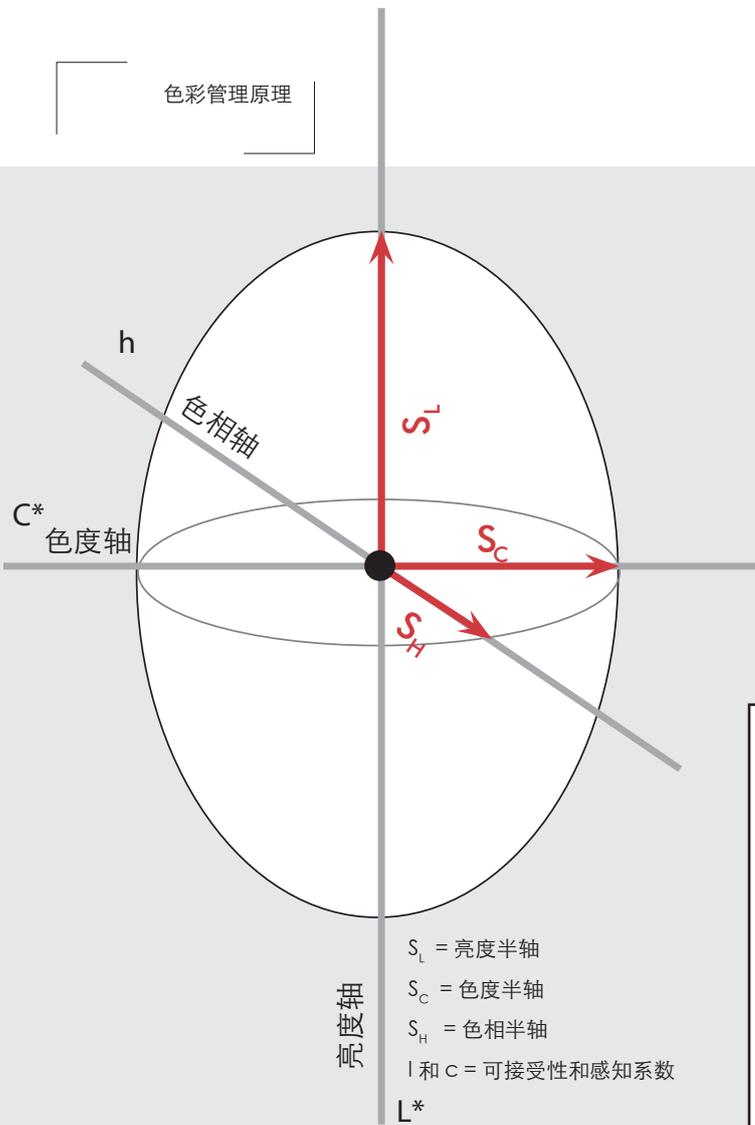
$$\text{中 } F = 0.36 + |0.4 \text{ Cos } (35 + h)|$$

除非 164° < h < 345°

$$\text{否则 } T = 0.56 + |0.2 \text{ Cos } (168 + h)|$$

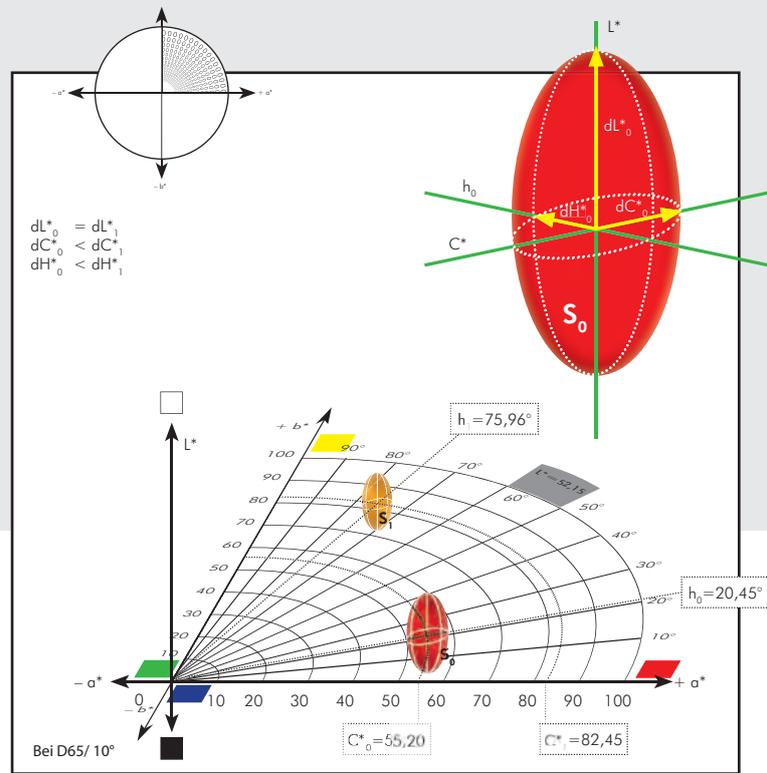
Note: | 表示绝对值

因受 SC 影响，接近消色轴的 dH 值权重升高，但未高到与 SC 相等的程度（因受系数 f 影响）。按照 CMC 公式，dH 在橙色和紫色范围内增大，而在绿蓝和紫红范围内减小。



$$dE_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{l S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{c S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{S_H}\right)^2}$$

CMC - 容差 = 椭圆体



CMC 色彩距离公式基于在 D65 照明条件下匹配并使用 CIE64 10° 标准观察者函数测量的大约 2,000 个纺织样本。

因此，修正参数 (\$S_L - S_C - S_H\$) 经过

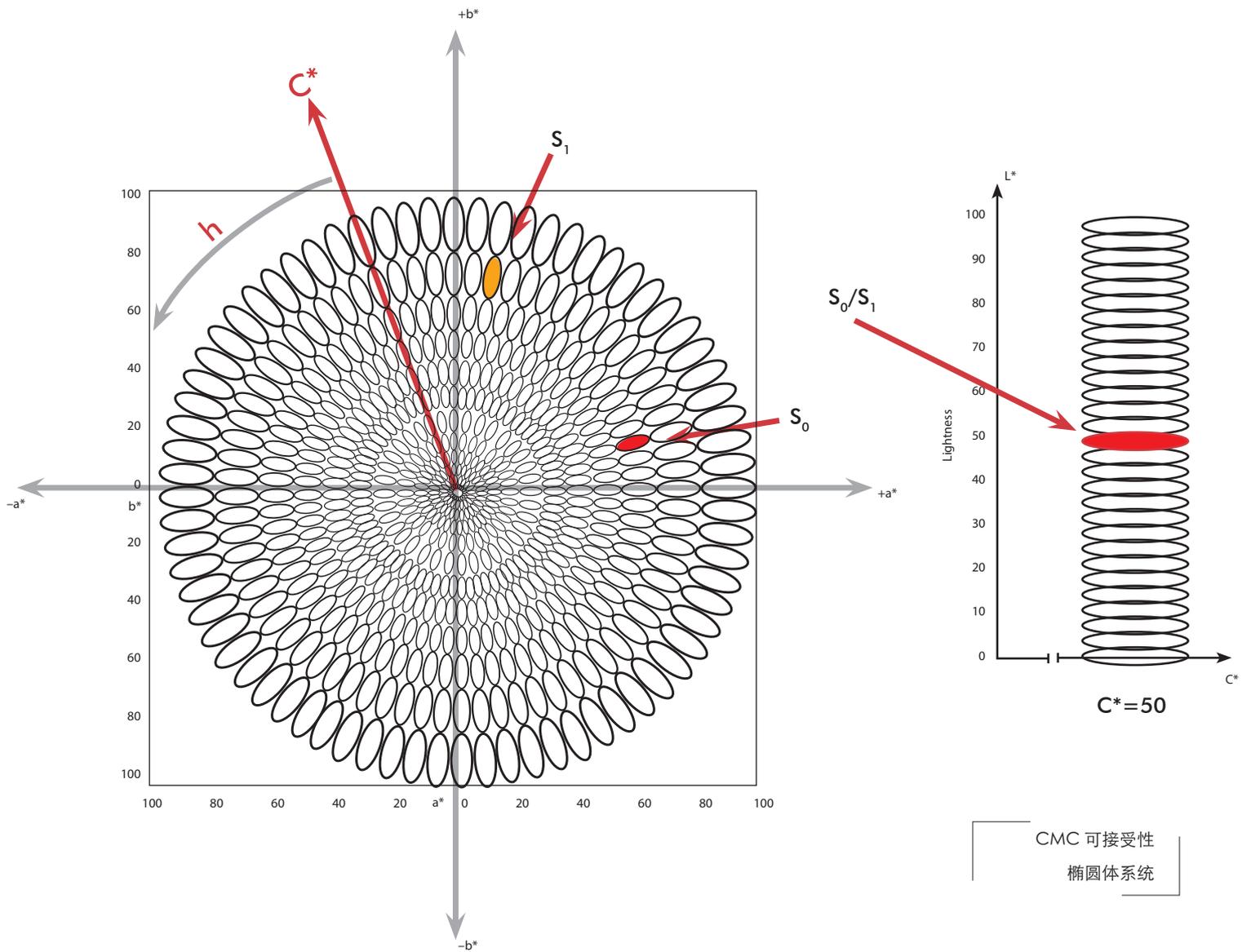
实证评估，也有与先前计算兼容的公式。此外，两个附加系数 \$l\$ (亮度) 和 \$c\$ (色度) 也可对结果产生影响，具体取决于如何看待问题，特别是偏差的可接受性。

用户可更改修正参数 \$l\$ 和 \$c\$。二者都等于 1。这对应于评估色偏差的可感知性时的最常见情况。为评估可接受性，可增大或减小值 \$l\$ 和 \$c\$。例如，在纺织行业内使用 CMC 组合 (2,1)，其中 \$l = 2, c = 1\$。在此，\$l = 2\$ 意味着，只有一半的亮度距离用于计算总计色彩距离。

只通过亮度更改亮度差 (\$dL^*\$)。它随亮度值降低而升高，反之随亮度值升高而降低。

只通过彩度更改彩度差 (\$dC^*\$)。与 CIE Lab 系统相比，它们一般更小，除非彩度值小于 6。

只通过色相角和彩度更改色相偏差 (\$dH^*\$)。可以看出，特别是对橙色而言，相对于绿色的色偏差变大，如果色彩相对饱和，则与 CIE Lab 系统相关的色偏差显著降低。



这些修正系数的影响如上图所示。视觉辨认出的等幅度差异指定为表示 a^*/b^* 面积的椭圆（零度恒定）。人眼将椭圆内差异视为相等。右图显示 L^* 轴上可接受性椭圆（恒定彩度 $C^* = 50$ ，但可变亮度 L^* 为 0 -100）。

点的实证评估计算色偏差和可接受性。

在完善可接受性公式和色彩距离的背景下，CIE 开发出色彩距离公式 CIE94 和 CIE2000。

图示说明一点：CMC 公式既不提供均匀表示系统，也不形成色彩空间，但可根据 CIELab 色彩空间内任意色

CIE94 色彩距离公式

1994 年，CIE 发布 CIE94 色彩距离公式。它以 CMC 公式的类似方法为基础，但提供可按应用领域相应优化的三个修正参数 (k_L 、 k_C 和 k_H)。公式新增观察条件，用作样本表示和观察基础。

CIE94 色彩距离公式如下

$$dE_{94} = \sqrt{\left(\frac{L_2^* - L_1^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C_2^* - C_1^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

$$L_2^* - L_1^* = dL^*$$

2 经过用户加权调整的一个色彩样本之间总计色彩距离 dE_{94} 表示色彩空间 (CIE Lab) 距离。指定参考条件下，公式考虑色彩距离分量，例如亮度差 (dL^*)、彩度差 (dC^*) 和色相差 (dH^*)。

系数 S_L 、 S_C 和 S_H 分别表示亮度差、彩度差和色相差加权系数。计算和加权公式如下：

$$\begin{aligned} S_L &= 1 \\ S_C &= 1 + 0.045 C^* \\ S_H &= 1 + 0.0015 C^* \end{aligned}$$

参考条件

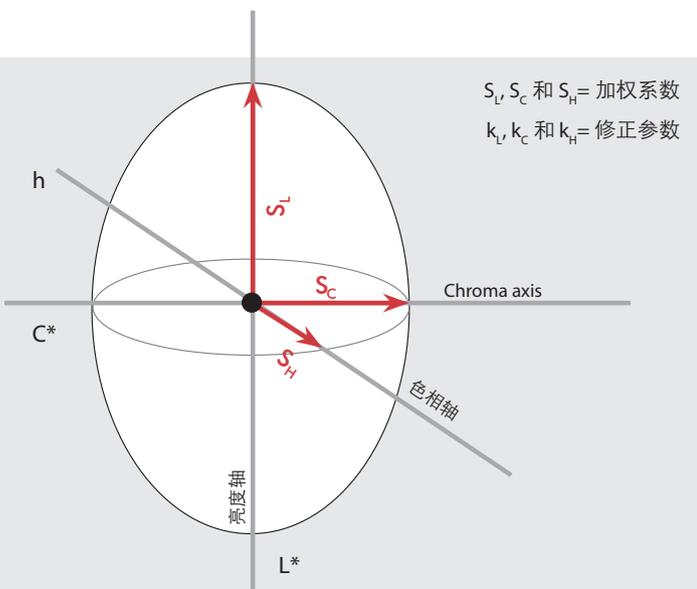
- 照明光源：光源模拟 D65 标准光源类型（相当于日光）
- 样本照明光强约为 1000 勒克斯
- 环境：均匀观察背景，中性灰色，亮度 $L^* = 50$
- 观察面（样本）必须
 - 观察视场和距离必须有照明，以使视场大于 4° 中心固定视场
 - 样本必须并排放置，不能分离而且必须直接接触，以使分隔线尽可能不明显
 - 结构、纹理和色彩必须尽可能均匀。

注：

对于特殊的先决条件，修正系数 k_L 、 k_C 和 k_H 求值精度仍然很差。对于参考条件，修正系数 k_L 、 k_C

和 k_H 等于 1。在纺织行业内，以下系数常用： $k_L = 2$ ， $k_C = k_H = 1$ 。

CIE 色彩距离公式必须以 dE_{94}^* 形式表达，并使用缩写 CIE_{94} 。修正参数 k_L 、 k_C 和 k_H 不必等于 1。这种情况下，必须以缩写 dE_{94}^* 表示。例如在纺织行业内，对于系数 $k_L = 2$ 和 $k_C = k_H = 1$ ，表示法为 $CIE_{94}^*(2:1:1)$ ，符号为 $dE_{94}^*(2:1:1)$ 。



$$dE_{94} = \sqrt{\left(\frac{L_2^* - L_1^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C_2^* - C_1^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

CIE94 容差图

CIE94 色彩距离公式

CIE2000 – 最新 CIE 色差公式

虽然是对 CMC 公式的改进，但 CIE94 基本未获行业接受。因此，它使用新数据集加以完善，并由 CIE2000 新公式取代。CIE2000 色差公式是

目前与视觉最为相符的公式。它不只包含亮度、彩度和色相加权函数，而且包含混合项。混合项考虑彩度对色相的其他依赖关系。

CIE2000 色彩差公式如下：

$$dE_{00} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{dC^*}{k_C S_C}\right) \left(\frac{dH^*}{k_H S_H}\right)}$$

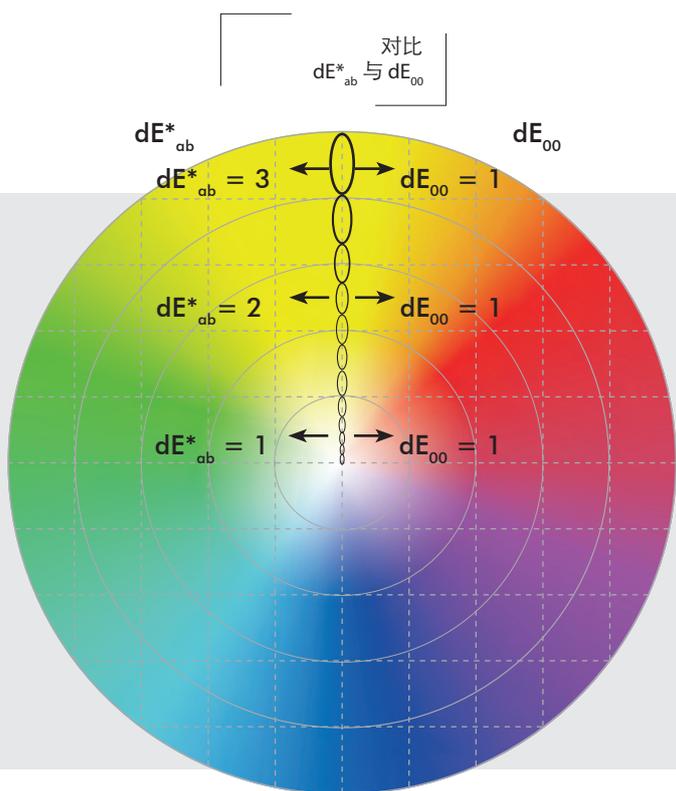
公式最后一项又称旋转项。这引入了取决于“旋转”色相的附加权重，应该可以修正特别差的情况，即在蓝色范围内视觉感知与计算出的色彩距离不符。

直到现在所述全部色彩距离公式均可通过上式表示。因此，对于 CIE94 和 CMC， $SL = 1$ 。CMC 和 CIE94 色彩距离公式不存在旋转项，因此为零 ($RT=0$)。

CIE2000 非常接近所有色泽都有相等色彩距离这一目标。

CMC、CIE94 和 CIE2000 简要评价

对原始 CIE Lab dE 公式的所有修正都是色差评估的重大改进。然而，只要 DIN 或 ISO 标准不存在，经过修正的 dE 公式就不会获得实际接受。因此，DIN 色彩技术标准委员会（特别是第 4 工作委员会）在 CIE (CIE2000) 发展的同时提议，彻底变换色彩空间以使色度更加均匀，而不是修改色彩距离公式本身。由此产生新的色彩坐标系，进而定义对较小色彩距离有均匀色度的色彩空间。由于现可根据色彩坐标（即 L99、a99 和 b99）将色彩距离计算成矢量长度，所以这称为“欧几里得色彩空间”。1999 年推出相关公式，即 DIN 99 公式。



相对色差 – 以不同方式计算出的色差比较

		L*	a*	b*	C* _{ab}	dE* _{ab}	dE ₉₄	dE ₀₀	dE ₉₉
Cyan (C)	1	54	-37	-50	62.2	6.00	3.54	2.29	2.16
	2	52	-41	-46	61.6				
Magenta (M)	1	47	75	-6	75.2	6.00	2.94	2.66	2.54
	2	45	79	-2	79.0				
Yellow (Y)	1	88	-6	95	95.2	6.00	2.77	2.69	2.54
	2	86	-10	91	91.5				
Black	1	18	0	-1	1.0	6.00	5.78	6.28	4.76
	2	16	4	-5	6.4				
C+M	1	26	22	-45	50.1	6.00	3.73	4.56	3.97
	2	24	26	-41	48.5				
C+Y	1	49	-65	30	71.6	6.00	3.26	2.97	2.83
	2	47	-69	26	73.7				
M+Y	1	48	65	45	79.1	6.00	3.23	3.48	2.59
	2	46	69	41	80.3				
Paper	1	93	0	-3	3.0	6.00	5.45	6.13	4.09
	2	91	4	-7	8.1				

DIN 99 色彩空间

DIN₉₉ 色彩空间以 CIELab 色彩空间及其坐标 L*、a* 和 b* 为基础。

从 CIELab 到 DIN₉₉ 的变换分两部分进行：亮度变换为新的 DIN₉₉ 亮度 L₉₉，此外还有彩度或色度变换。

变换后，即可计算色度 (C₉₉)、色相角 (h₉₉) 和色彩距离 (dE₉₉) 等值。

DIN₉₉ 公式适合计算中小色彩距离。建议用于较小色彩距离（最大 5 dE CIELab），例如在质量保证和配方计算中处理的色彩距离。

计算

亮度变换

亮度 L* 变换为 DIN₉₉ 亮度

$$L_{99} = \left(\frac{1}{k_E} \right) \cdot (105.51 \cdot \ln(1 + 0.0158 \cdot L^*))$$

这种变换是为了更好地区分暗色。变换类似于指数为 0.75 的幂函数。暗色面积扩大，亮色面积缩小。在亮度轴上，中等亮度值向上平移。

变量 k_E 表示观察条件变化的影响。

在参考条件下，k_E = 1。

彩度变换

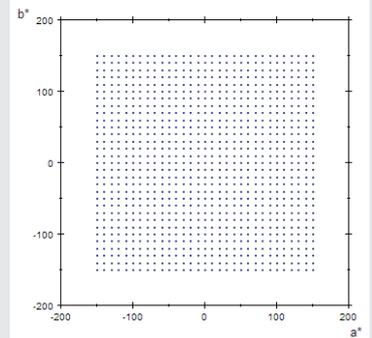
彩度坐标变换分三步进行：

- 彩度轴旋转 16°
- 黄/蓝轴乘以系数 0.7，因此缩小
- 彩度（色度）值围绕 L₉₉ 轴径向对数缩小

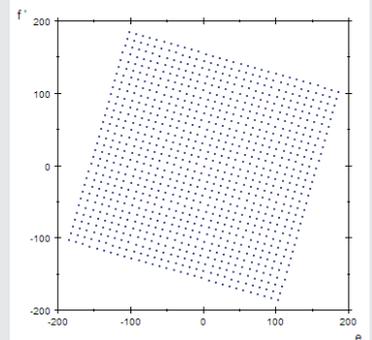
与 CIE94 和 CIE2000 公式不同，不必确定色相角即可计算色差。

初始情况：a*/b* 平面。在此及以下图示中，各点分别表示各组

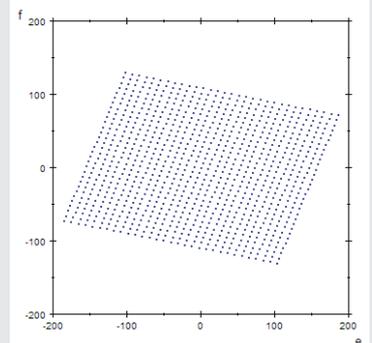
a*/b* 坐标（范围是 -150 至



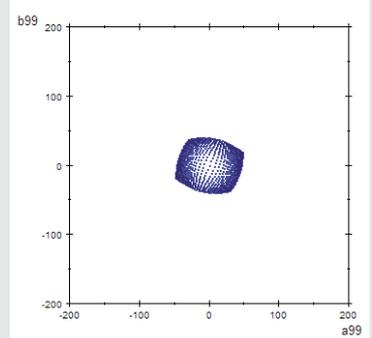
第 1 步：a*/b* 平面旋转 16°



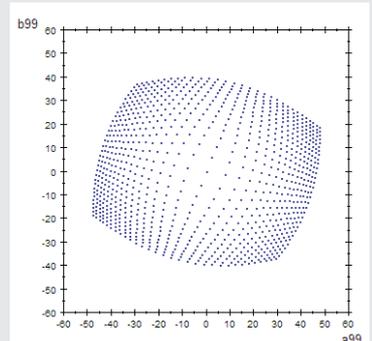
第 2 步：f 轴缩小



第 3 步：e/f 平面径向缩小



a₉₉/b₉₉ 平面放大视图



各项计算如下：

a^* 和 b^* 变换为：红度值（红/绿轴）

$$e = (a^* \cdot \cos(16^\circ) + b^* \cdot \sin(16^\circ))$$

黄度值 f （黄/蓝轴）

$$f = 0,7 \cdot (-a^* \cdot \sin(16^\circ) + b^* \cdot \cos(16^\circ))$$

由此计算色度值 G （彩度）：

$$G = \sqrt{e^2 + f^2}$$

缩小系数

$$k = \frac{\ln(1 + 0.045 \cdot G)}{(k_{CH} \cdot k_E \cdot 0.045)}$$

得出

色相值

$$a_{99} = k \cdot \frac{e}{G}$$

$$b_{99} = k \cdot \frac{f}{G}$$

若 $a^* = b^* = 0$ ，且 $e = f = G = 0$ ，则 $a_{99} = b_{99} = 0$ 。

相较于其他修正方法的优势在于，变换 a_{99} 和 b_{99} 后，即可完全按照 CIELab 继续计算，例如计算 C_{99} （修正彩度/色度）或 H_{99} （修正色相）。

公式相应变化如下：

$$dH_{99} = \frac{(a_{99B} \cdot b_{99P}) - (a_{99P} \cdot b_{99B})}{\sqrt{0,5 \cdot ((C_{99B} \cdot C_{99P}) + (a_{99B} \cdot a_{99P}) + (b_{99B} \cdot b_{99P}))}}$$

或

$$dE_{99} = \sqrt{(dL_{99})^2 + (da_{99})^2 + (db_{99})^2}$$

其中

$$dE_{99} = \sqrt{(dL_{99})^2 + (dC_{99})^2 + (dH_{99})^2}$$

$$C_{99} = \sqrt{(a_{99})^2 + (b_{99})^2}$$

在 DIN 99 系统中， dC 和 dH 计算与 CIELab 完全相同。下标 B 表示参考或比较样本，P 表示样本。

质量及其他进展

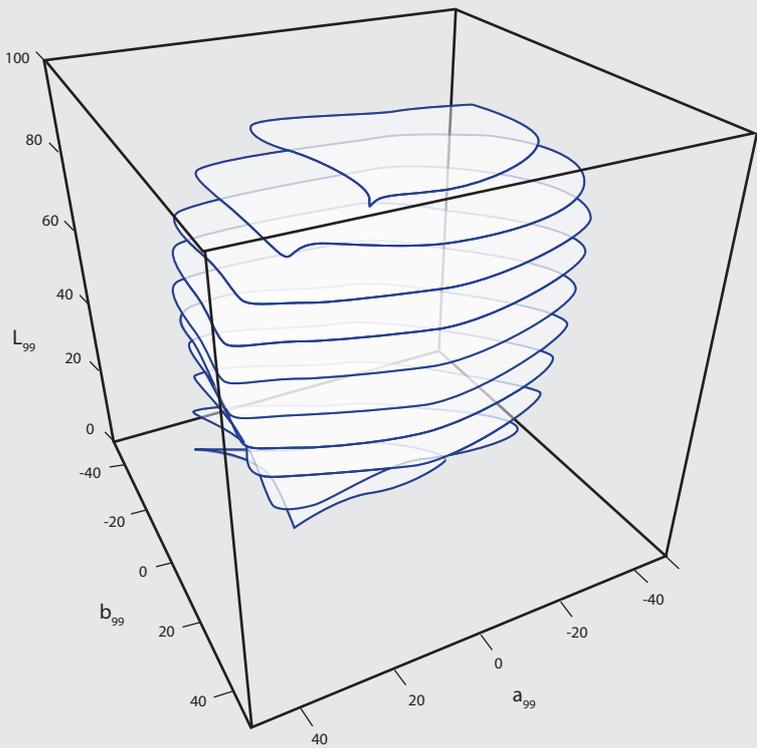
DIN 99 色彩空间非常接近 CIE94 色差公式，也有与 CMC(l:c) 相当的类似质量特性。与 CIE94 相比，一大优势在于计算过程中样本与比较样本可以置换，使得置换完全轻松可逆。

不同于 CIELab 的是，计算与感知的色差更加相符。DIN 99 公式与 CIELab 公式处理方式相同。

修改亮度轴并通过压缩极度饱和色彩提高接近消色轴的色彩权重，显著改善了感知到的色彩距离均匀性。

与 CIELab 相比，亮度轴和色相轴（黄/蓝和红/绿）

的评估类别保持不变。与计算非常复杂的 CMC(l:c)、CIE94 和 CIE2000 相比，以简单欧几里得距离形式计算色差是一大优势。

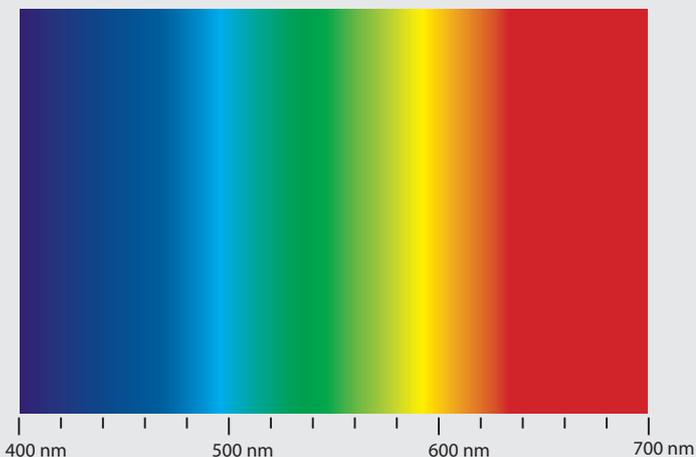


DIN 99 最佳色彩立方体 - 标准

现代色彩空间示例：

DIN 99 最佳色彩立方体剖面图。亮度 $L = 5$ 至 95 （步长为 10 ）的剖面。 a_{99} 表示黄/蓝 99 方向， b_{99} 表示红/绿方向。由于在现代色彩空间内，色彩与亮度的联系是一个系数，所以产生失真。通过光谱建立这一色彩立方体的面积。面积表示所有最佳色彩（色度和耀度最高的色彩）的整体。色彩立方体的体积表示在理论上可能存在的所有色彩。

可见光谱



结论和展望

仪器色彩测量是对工业质量保证至关重要的辅助工具。它是视觉色彩匹配的有力补充，并可引入数值 作为容差。因此，供应商与客户便可重复协作，双方都使用技术测量。但重要的是，色度评价与 视觉评价尽可能相符。

历年来开发出的色彩空间现在非常接近目视色觉，但也有不足之处，因为在许多情况下，视觉感知到的色彩距离并不对应于测量出的色彩距离参数 dE^* 。

在完全均匀的色彩空间开发、色彩距离公式以及表示视觉的简单可接受性方面，不断开展深入

以及统计研究也提高了可接受性公式效率，使其自动使用从未如此可靠。因此，可以有把握地说，在色彩和色彩距离的客观自动控制领域内，通过适当运用和妥善处理最新数学模型计算，现可精确应用色彩测量确保有色产品具有高质量。

同色异谱

同色异谱是一对样本的特性。特定观察者在特定灯光下观测时，两个样本匹配。但在灯光或观察者发生变化时，色彩看起来不再匹配。配方中的染色剂对样本同色异谱程度产生影响。计算机配色系统包括相应设置，可为配色选择同色异谱程度最低的公式。所选公式可能在多种光照和观测条件下与色彩最匹配，而在任一条件变化时，您可能在视觉上辨认不出样本同色异谱

在原始样本中使用相同原料进行配色时，可按波长匹配物体的光谱曲线。然而，这对再现色彩并不必要。在商业应用中，按标准惯例通常匹配特定色彩的色度描述。针对特定光照和观测条件，查找与色彩的三色刺激值匹配的公式。为此，不必拥有与用于产生目标色彩的染色剂完全相同的染色剂。多种不同的配方均可配色。但要记住，一旦光照或观测条件变化，色彩的色度描述随之变化。在匹配三色刺激值时，如果任一条件变化，色彩可能不再匹配。

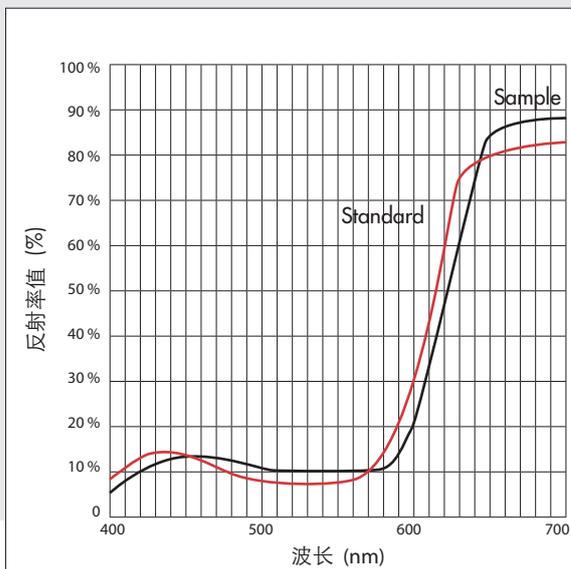


同色异谱

10° 正常观察者标准规范 (X-Y-Z)

	光源类型 D65 (日光)		光源类型 A (灯光)	
	标准 STD.N	样本 2 ECH2.N	标准 STD.N	样本 2 ECH2.N
X	$X_{0D} = 31.28$	$X_{2D} = 31.28$	$X_{0A} = 47.88$	$X_{2A} = 52.66$
Y	$Y_{0D} = 20.28$	$Y_{2D} = 20.28$	$Y_{0A} = 27.57$	$Y_{2A} = 31.41$
Z	$Z_{0D} = 12.71$	$Z_{2D} = 12.71$	$Z_{0A} = 4.04$	$Z_{2A} = 4.42$

色彩匹配函数



List of references

- Farbe sehen, Corinna Watschke, 01.2009 [www.planet-wissen.de],
- Farbmanagement in der Digitalfotografie (ISBN 3-8266-1645-6), 2006, Redline GmbH, Heidelberg
- Beschreibung und Ordnung von Farben, Farbmeterik, Farbmodelle, DMA Digital Media for Artists – Archiv 2006-2011, Kunstuniversität Linz, Gerhard Funk
- Messen – Kontrollieren – Rezeptieren, Dr. Ludwig Gall [www.farbmeterik-gall.de]
- Farbabstandsformeln, 2012, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e.V. [www.fogra.org]
- Wikipedia, various articles about color and color measurement [<http://de.wikipedia.org/wiki/Farbe>]
- Various representations of color models and color spaces [http://www.chemie-schule.de/chemieWiki_120]
- Praktische Farbmessung, Anni Berger-Schunn, 2. überarbeitete Auflage, 1994, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen – Zürich
- Farbabstandsformeln in der Praxis, SIP 01.2011
- Schläpfer, K.: Farbmeterik in der grafischen Industrie, 3. Aufl. St. Gallen; UGRA 2002 (Tabelle S. 48)

Publication data

发布者:

Datacolor, Inc. 5 Princess Road, Lawrenceville, NJ 08648, USA

电话: 1-800-982-6497 | 传真: 609-895-7472 | marketing@datacolor.com | www.datacolor.com

正文:

Gabriele Hiller, Hiller Direct Marketing, Stühren 41, 27211 Bassum, Germany

www.hiller-direct-marketing.de

2019 年10月

© 版权 Datacolor。保留所有权利。

欧洲

Datacolor AG Europe
6343 Rotkreuz
电话: +41 44.835.3800

美国

Datacolor 总部
Lawrenceville, NJ
电话: +1 609.924.2189

亚洲

Datacolor Asia Pacific Limited
Hong Kong
电话: +852 24208283