



中华人民共和国国家标准

GB/T 20147.4—2023

色度学 第4部分:CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 颜色空间

Colorimetry—Part 4:CIE 1976 $L^*a^*b^*$ colour space

(ISO/CIE 11664-4:2019,MOD)

2023-08-06 发布

2024-03-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和缩略语 1

5 计算方法 2

 5.1 基本坐标 2

 5.2 明度、彩度和色调的相关性 3

 5.3 色差 3

附录 A（资料性） 逆向变换 5

参考文献 6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 20147《色度学》的第4部分，GB/T 20147 已经发布了以下部分：

——第3部分：CIE 三刺激值；

——第4部分：CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 颜色空间。

本文件修改采用 ISO/CIE 11664-4:2019《色度学 第4部分：CIE1976 $L^* a^* b^*$ 颜色空间》。

本文件与 ISO/CIE 11664-4:2019 的技术差异及其原因如下：

——用规范性引用的 GB/T 2900.65 替换了 CIE S 017(见第3章)，以适应我国的技术条件，增加可操作性。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国轻工业联合会提出。

本文件由全国照明电器标准化技术委员会(SAC/TC 224)归口。

本文件起草单位：中国计量科学研究院、佛山电器照明股份有限公司、浙江大学、深圳市康冠科技股份有限公司、广东中思微光电股份有限公司、成都恒坤光电科技有限公司、深圳市森邦照明有限公司、深圳北极之光科技有限公司、复旦大学、北京电光源研究所有限公司、武汉大学、中国照明学会、无锡学院、中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所。

本文件主要起草人：刘慧、余少涛、徐海松、叶炜、陈茂华、程胜鹏、霍永峰、李正君、谢青波、林燕丹、张博、刘强、徐欣欣、黄孙港、李丰田。

引 言

在直角坐标系中由 CIE 三刺激值(X, Y, Z)所绘制的三维颜色空间在视觉上是不均匀的, (x, y, Y) 颜色空间和 CIE(x, y) 二维色品图也是不均匀的。在这些空间中的相等距离并不代表颜色刺激间的颜色感知上的差异。因此, 1976 年 CIE 引入并推荐了两个新的颜色空间(被称为 CIELAB 和 CIELUV), 其坐标是 X, Y 和 Z 的非线性函数。该建议的推出是为了统一当时由实践产生的诸多均匀颜色空间和色差公式。这两种更接近均匀的颜色空间都已被广泛接受和使用。其用简单的欧氏几何距离或更复杂的公式来近似描述色差大小, 以提高颜色感知与色差的相关性。

本文件旨在定义计算 L^*, a^*, b^* (CIELAB) 颜色空间的色品坐标和基于这些坐标的欧氏色差的过程。本文件不包括基于 CIELAB 颜色空间的更复杂的色差公式, 如 CMC 公式、CIE94 公式、DIN99 公式和 CIEDE2000 公式, 也不包括可供选择的均匀颜色空间 CIELUV。

根据不同工作场所的特点, GB/T 20147 拟分为以下 6 个部分。

- 第 1 部分: CIE 标准色度观察者。目的是规定色度学中的两组颜色匹配函数。
- 第 2 部分: CIE 标准照明体。目的是规定色度学中的两种标准照明体。
- 第 3 部分: CIE 三刺激值。目的是规定计算已知光谱分布颜色刺激三刺激值的方法。
- 第 4 部分: CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 颜色空间。目的是规定计算 CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 颜色空间坐标的方法及两种在此空间计算欧几里得色差的方法。
- 第 5 部分: CIE 1976 $L^* u^* v^*$ 颜色空间和 u', v' 均匀色品标度图。目的是规定计算 CIE 1976 $L^* u^* v^*$ 颜色空间坐标的方法, 两种在此空间计算欧几里得色差的方法, 以及计算 u', v' 均匀色品标度图坐标的方法。
- 第 6 部分: CIEDE2000 色差公式。目的是规定依据 CIEDE2000 色差公式计算色差的方法。

色度学 第4部分:CIE 1976L* a* b* 颜色空间

1 范围

本文件规定了一种计算 CIE 1976 L* a* b* 颜色空间坐标明度、彩度和色调相关量的方法,它包括两种在颜色空间中表示颜色感知差异的欧氏几何距离的计算方法。

本文件适用于使用色匹配函数计算三刺激值的 CIE 1931 标准色度系统或 CIE 1964 标准色度系统。本文件可用于描述反射或透射物体的颜色特性,在这种情况下,需要一个比三刺激颜色空间更均匀的三维颜色空间。

本文件适用于自发光显示器,如阴极射线管,如果它们被用于模拟反射或透射物体的颜色刺激,并且颜色刺激已适当归一化。

本文件不适用于主要由光源自身发光的区域或者镜面反射该发光区域的颜色刺激。

附录 A 中给出了逆向变换计算的方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2900.65 电工术语 照明[GB/T 2900.65—2004,IEC 60050(845):1987,MOD]

3 术语和定义

GB/T 2900.65 界定的术语和定义适用于本文件。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

X, Y, Z	使用 CIE 1931 标准色度系统(也称为 CIE 2 标准色度系统)的色匹配函数计算的三刺激值
X_n, Y_n, Z_n	使用 CIE 1931 标准色度系统的色匹配函数计算的特定白色刺激的三刺激值
L^*	CIE 1976 明度(CIELAB 明度)
a^*, b^*	CIELAB a^*, b^* 色品坐标
C_{ab}^*	CIE 1976 a, b 彩度(CIELAB 彩度)
h_{ab}	CIE 1976 a, b 色调角(CIELAB 色调角)
ΔL^*	CIELAB 明度差
$\Delta a^*, \Delta b^*$	CIELAB a^*, b^* 色品坐标差
ΔC_{ab}^*	CIELAB a^*, b^* 彩度差
Δh_{ab}	CIELAB 色调角差

ΔH_{ab}^* CIELAB 色调差

ΔE_{ab}^* CIELAB 色差

如果字符“ Δ ”不可用,则可以用字符“D”代替。

术语“CIE 1976 $L^*a^*b^*$ ”和术语“CIELAB”可以互换使用。

如果使用 CIE 1964 标准色度系统(也称为 CIE 10°标准色度系统)的色匹配函数计算三刺激值则应在所有上述符号后添加下标 10。

5 计算方法

5.1 基本坐标

CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 颜色空间是通过在直角坐标 L^*, a^*, b^* 中绘制按公式(1)~公式(3)定义的量而产生的三维近似均匀的颜色空间:

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (2)$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (3)$$

式中:

$$f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3} \quad (X/X_n) > (6/29)^3 \quad (4)$$

$$f(X/X_n) = (841/108)(X/X_n) + 4/29 \quad (X/X_n) \leq (6/29)^3 \quad (5)$$

$$f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3} \quad (Y/Y_n) > (6/29)^3 \quad (6)$$

$$f(Y/Y_n) = (841/108)(Y/Y_n) + 4/29 \quad (Y/Y_n) \leq (6/29)^3 \quad (7)$$

$$f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3} \quad (Z/Z_n) > (6/29)^3 \quad (8)$$

$$f(Z/Z_n) = (841/108)(Z/Z_n) + 4/29 \quad (Z/Z_n) \leq (6/29)^3 \quad (9)$$

式中:

X, Y, Z ——按照 ISO/CIE 11664-1 中定义的 CIE 1931 标准色度系统得到的被测试颜色样品的三刺激值;

X_n, Y_n, Z_n ——特定白色刺激的相应三刺激值。

对于在自发光显示器上产生的模拟反射或透射物体发光的情况,所有三刺激值应首先用相同的因子进行归一化,以使反射率或透射率为 100% 的物体的 Y 值等于 100。

如果被测试样品对眼睛的张角在 $1^\circ \sim 4^\circ$ 之间,则应使用 CIE 1931 标准色度系统的色匹配函数计算样品的光谱三刺激值 X, Y, Z 。如果张角大于 4° ,则应使用 CIE 1964 标准色度系统的色匹配函数计算样品的三刺激值 X_{10}, Y_{10}, Z_{10} 。对于所有要进行相互比较的颜色样品应采用相同的色匹配函数和特定白色刺激。

当使用 ISO/CIE 11664-1 中定义的 CIE 1964 标准色度系统的三刺激值时,应在公式(1)~公式(9)中的所有符号中添加下标 10。

如果(被测颜色样品的)三刺激值 X, Y, Z 是通过光谱光度测定法得到的,则应使用相同的方法计算特定白色的三刺激值 X_n, Y_n, Z_n (相同的色匹配函数,相同的波长范围和间隔,相同的带宽)。如果三刺激值 X, Y, Z 是通过使用积分型(三刺激值)色度计直接测量得到的,也应使用也相同的色度计和一个依据理想漫反射体标定的白色标准板测量得到 X_n, Y_n, Z_n 。

注 1: 对于真实物体的颜色,通常 X_n, Y_n, Z_n 是用与测量被测试物体相同的光源照射理想漫射体所反射出的白色光的三刺激值。在这种情况下, X_n, Y_n, Z_n 是白色光的三刺激值,通过公因数归一化,使 Y_n 等于 100。对于模拟的目标物体颜色,通常所选择的特定白色与理想漫反射体的色貌一致,再通过一个公因数进行归一化,以使

Y_0 等于 100。

注 2: 已经发表了特定照明体的 X_0 、 Y_0 和 Z_0 值的示例和具体的计算方法^[24]。

注 3: 公式(5)、公式(7)和公式(9)是基于 Pauli^[25] 的建议。

注 4: 公式(5)、公式(7)和公式(9)中(841/108)项的近似值约等于 7.787。该近似值常用于实际应用。

注 5: 公式(4)~公式(9)中(6/29)³项的近似值约等于 0.008 856。该近似值常用于实际应用。

注 6: 公式(4)~公式(9)中的分数(6/29)和(4/29)与 CIE 15^[26]中出现的分数(24/116)和(16/116)完全相同。

注 7: 公式(5)、公式(7)和公式(9)中(841/108)项是从(1/3)×(29/6)²推导而来,两值相等。

注 8: 当 $Y/Y_0 \leq (6/29)^3$ 时,公式(1) L^* 简化为 $L^* \approx 903.3(Y/Y_0)$ 。

当 CIECLAB 值在报告中给出时,应附带与测量条件和用于计算输入三刺激值的步骤相关的所有信息。

5.2 明度、彩度和色调的相关性

颜色的感知属性明度、彩度、色调应根据公式(10)和公式(11)计算:

CIE 1976 明度(CIELAB 明度): L^* 如 5.1 所定义。

CIE 1976 a^* 、 b^* 彩度(CIELAB 彩度):

$$C_{ab}^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (10)$$

CIE 1976 a^* 、 b^* 色调角(CIELAB 色调角):

$$h_{ab} = \arctan(b^*/a^*) \quad (11)$$

CIELAB 色调角 h_{ab} , 若 a^* 和 b^* 均为正值, 则 h_{ab} 在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间; 若 b^* 为正值而 a^* 为负值时, 则 CIELAB 色调角 h_{ab} 在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 之间; 若 b^* 和 a^* 均为负值, 则 CIELAB 色调角 h_{ab} 在 $180^\circ \sim 270^\circ$ 之间; 若 b^* 为负值而 a^* 为正值, 则 CIELAB 色调角 h_{ab} 在 $270^\circ \sim 360^\circ$ 之间。

注: 当 X/X_0 、 Y/Y_0 、 Z/Z_0 采用相应线性公式(3)、公式(7)或公式(9)时,可得出 h_{ab} 的异常值。对于反射物体的颜色,出现异常值的可能性较低,但对于色品靠近光谱轨迹或紫线的具有低亮度因数的透明体则可能会出现异常值。

5.3 色差

当观察者适应于 ISO/CIE 11664-1 中定义的 CIE 标准照明体 D65 测色视场,在同一白色到中灰色的背景上观看同样尺寸和外形大致相同的(一对)颜色样品时,CIELAB 颜色空间中的欧氏距离能近似表达它们的色差感知的大小。本文件给出的值可能与其他观测条件下的色差感知不完全一致。

根据公式(12)~公式(17)计算两个颜色刺激之间的色差。这里下标 0 通常表示参照体,下标 1 通常表示试样。

$$\Delta L^* = L_1^* - L_0^* \quad (12)$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_0^* \quad (13)$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_0^* \quad (14)$$

$$\Delta C_{ab}^* = \Delta C_{ab,1}^* - \Delta C_{ab,0}^* \quad (15)$$

$$\Delta h_{ab} = h_{ab,1} - h_{ab,0} \quad (16)$$

$$\Delta H_{ab}^* = 2(C_{ab,1}^* \cdot C_{ab,0}^*)^{1/2} \sin(\Delta h_{ab}/2) \quad (17)$$

对于远离无彩轴的小色差 $\Delta C_{ab}^* = 0$ 时,公式(17)简化为公式(18):

$$\Delta H_{ab}^* \approx (C_{ab,1}^* \cdot C_{ab,0}^*)^{1/2} \Delta h_{ab} \quad (18)$$

其中, Δh_{ab} 的单位为弧度。如果连接两颜色的线与正 a^* 轴相交,则公式(16)给出的值将超出 $\pm 180^\circ$ 。在这种情况下,应通过加或减 360° 来校正 Δh_{ab} 的值,使其在此范围内。

注 1: ΔH_{ab}^* 的引入是为了使人们对色差的感知(能分解成)与明度差、彩度差和色调差的矢量和一致。

注 2: 随着 Δh_{ab} 的绝对值接近 180° , 将 CIELAB 色差分为彩度差和色调差的作用逐渐减弱。

注 3: 在信息技术和其他领域,有时使用下标 r(参照)和下标 t(测试)代替 0 和 1。同样,在小色差的工业评估中,有

时会使用 s(用于标准)和 b(用于批量)。在其他应用程序中,有时会使用 std(用于标准)和 spl(用于样品)。

两种颜色刺激之间的 CIE 1976 a, b 色差 ΔE_{ab}^* , 根据公式(19)或公式(20)计算颜色空间中表示两颜色刺激的点之间的欧氏距离:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (19)$$

或

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{ab}^*)^2 + (\Delta H_{ab}^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (20)$$

ΔE_{ab}^* 的这两个定义是等效的。

其他计算 ΔH_{ab}^* 的方法如公式(21)所示:

$$\Delta H_{ab}^* = [(\Delta E_{ab}^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C_{ab}^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

ΔE_{ab}^* ——由公式(19)计算得出;

ΔH_{ab}^* ——与 Δh_{ab} 具有相同的正负号。

$$\Delta H_{ab}^* = k [2 (C_{ab,1}^* \cdot C_{ab,0}^* - a_1^* \cdot a_0^* - b_1^* \cdot b_0^*)]^{1/2} \dots\dots\dots (22)$$

如果 $a_1^* \cdot b_0^* \geq a_0^* \cdot b_1^*$, 则 $k = -1$, 否则 $k = 1$ 。

或

$$\Delta H_{ab}^* = (a_0^* \cdot b_1^* - a_1^* \cdot b_0^*) / [0.5 (C_{ab,1}^* \cdot C_{ab,0}^* + a_1^* \cdot a_0^* + b_1^* \cdot b_0^*)]^{1/2} \dots\dots\dots (23)$$

注 4: 在被比较的彩度中, 任何一个彩度为零时公式(23)不能使用, 任何一个彩度接近接近零时公式(23)不准确。

注 5: 关于计算 ΔH_{ab}^* 的各种方法, Séve^[11]、Stokes 和 Brill^[12]、Sève^[13] 分别给出了公式(17)、公式(22)、公式(23)的更多细节。

在不同的实际应用中, 可能有必要对公式(20)中的 ΔL^* 、 ΔC_{ab}^* 和 ΔH_{ab}^* 使用不同的权重因子进行改良, 以使得色差与色感知具有更好的相关性。2001 年, CIE 在新的公式中推荐了这些权重, 以适用于小色差的工业评估, 但这超出了本文件的范围。以这种方式获得的色差不是 CIELAB 色差, 因此不应使用符号 ΔE_{ab}^* 。

附录 A

(资料性)

逆向变换

公式(A.1)~公式(A.9)表示逆向变换,即在已知 L^* , a^* , b^* 的情况下计算 X 、 Y 、 Z :

$$f(Y/Y_n) = (L^* + 16)/116 \quad \text{..... (A.1)}$$

$$f(X/X_n) = a^*/500 + f(Y/Y_n) \quad \text{..... (A.2)}$$

$$f(Z/Z_n) = f(Y/Y_n) - b^*/200 \quad \text{..... (A.3)}$$

$$X = X_n [f(X/X_n)]^3 \quad f(X/X_n) > 6/29 \quad \text{..... (A.4)}$$

$$X = (108/841) X_n [f(X/X_n) - 4/29] \quad f(X/X_n) \leq 6/29 \quad \text{..... (A.5)}$$

$$Y = Y_n [f(Y/Y_n)]^3 \quad f(Y/Y_n) > 6/29 \quad \text{..... (A.6)}$$

$$Y = (108/841) Y_n [f(Y/Y_n) - 4/29] \quad f(Y/Y_n) \leq 6/29 \quad \text{..... (A.7)}$$

$$Z = Z_n [f(Z/Z_n)]^3 \quad f(Z/Z_n) > 6/29 \quad \text{..... (A.8)}$$

$$Z = (108/841) Z_n [f(Z/Z_n) - 4/29] \quad f(Z/Z_n) \leq 6/29 \quad \text{..... (A.9)}$$

注1: 公式(A.6)成立的条件为 $L^* > 8$ 。

注2: 公式(A.7)成立的条件为 $L^* \leq 8$ 。

参 考 文 献

- [1] ISO/CIE 11664-1:2019 Colorimetry—Part 1; CIE Standard Colorimetric Observers
- [2] ROBERTSON A. R. Historical development of CIE recommended color difference equations. Color Res. Appl., 1990, 15, pp. 167-170
- [3] CIE 15 Colorimetry
- [4] CLARKE F. J. J., Mc DONALD R., RIGG B. Modification to the JPC79 colour difference formula. J. Soc. Dyers Col., 1984, 100, pp. 128-131
- [5] CIE 116-1995 Industrial colour difference evaluation, 1995
- [6] DIN 6176 Farbmtrische Bestimmung von Farbabstnden bei Krperfarbennach der DIN99-Formel. Deutsches Institut fr Normung, 2001
- [7] ISO/CIE 11664-6 Colorimetry—Part 6; CIEDE2000 Colour-difference formula
- [8] CIE 142-2001 Improvement to industrial colour-difference evaluation, 2001
- [9] ISO/CIE 11664-5 Colorimetry—Part 5; CIE 1976 $L^*u^*v^*$ colour space and u', v' uniform chromaticity scale diagram
- [10] Pauli H. Proposed extension of the CIE recommendation on “Uniform color spaces, color difference equations, and metric color terms”. J. Opt. Soc. Am., 1976, 66, pp. 866-867
- [11] McLaren K. CIELAB hue-angle anomalies at low tristimulus ratios. Color Res. Appl., 1980, 5, pp. 139-143
- [12] Sève R. New formula for the computation of CIE 1976 hue difference. Color Res. Appl., 1991, 16, pp. 217-218
- [13] STOKES M., BRILL M. H. Efficient computation of ΔH^*ab . Color Res. Appl., 1992, 17, pp. 410-411
- [14] Sève R. Practical formula for the computation of CIE 1976 hue difference. Color Res. Appl., 1996, 21, pp. 314
- [15] ISO 11664-2:2007/CIE S 014-2:2006 Colorimetry—Part 2; CIE standard illuminants