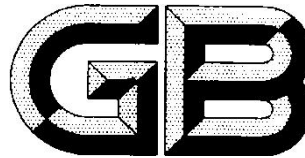


ICS 37.100.01

CCS A 17



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—202X/ISO 13655:2017

代替 GB/T 19437—2004

印刷技术 印刷图像的光谱测量和色度计算

Graphic technology — Spectral measurement and colorimetric computation for
graphic arts images

(ISO 13655:2017, IDT)

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X- XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 录

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	2
4 光谱测量要求	5
4.1 仪器标准化和调整	5
4.2 反射因子测量	5
4.3 投射因子测量	7
4.4 自发光显示（光谱辐射）测量	8
5 色度计算要求	10
5.1 反射和投射样本三刺激值的计算	10
5.2 自发光显示器的三刺激值计算	11
5.3 5.3 CIE 1976 (L*a*b*)颜色空间；CIELAB 颜色空间	12
6 测量数据报告要求	15
6.1 必要信息	15
6.2 推荐信息	15
6.3 电子数据报告	15
附录 A（规范性附录） 样本背衬	16
附录 B（资料性附录） 几何条件	20
附录 C（资料性附录） 改进仪器间一致性	23
附录 D（资料性附录） 经过认证的参考材料（CRMS）	24
附录 E（资料性附录） 扩展带宽的步骤	26
附录 F（资料性附录） 荧光样本	27
附录 G（规范性附录） 紫外线截断一致性的测量方法	28
附录 H（资料性附录） 特殊情况：使用偏振	30
附录 I（资料性附录） 将光谱测量值转换为三刺激值的示例计算	31
附录 J（规范性附录） CIELAB 总色差（ ΔE_{ab} ）的计算	37
附录 K（规范性附录） CIEDE2000 总色差（ ΔE_{00} ）的计算	38
附录 L（资料性附录） 测量带通过对光谱量的影响	41
参考文献	43

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。

本文件代替GB/T 19437—2004《印刷技术 印刷图像的光谱测量和色度计算》，与GB/T 19437—2004相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

a) 扩大了标准的使用范围，适用于反射物体、透射物体和自发光物体（例如平板显示器）的测量和色度计算的步骤（见第1章）。1996年版仅适用于反射与透射光谱测量和色度参数计算的方法，不适用于三滤色片（三刺激值）色度计（见2004年版第1章）；

b) 增加了采用白色、校准、CIELAB色度差、不透明度、不透明承印物、透明承印物、辐射因子、分光光度计、分光辐射度计、标准化、远程分光辐射度计等术语和定义（见第3章）；

c) 增加了测量条件M0、M1、M2、M3的规定（见4.2.2）；

d) 增加了对数据报告的要求（见4.2.5）；

e) 增加了自发光显示（光谱辐射）测量的条件、方法和数据报告要求等，用于满足自发光物体的测量和色度计算（见4.4和5.2）；

f) 更改了2004年版的附录D试样底衬材料，增加附录A样本背衬，规定了标准黑色背衬、标准白色背衬、黑/白背衬转换透明材料测量相关的方法和规定（见附录A）；

g) 更改了2004年版的附录E测量几何条件，对于反射测量中的角度、填充、采样孔径、扫描区域和透射测量方法和条件等进行了确定（见附录B）；

h) 更改了2004年版的附录H改进仪器间测量的一致性，对于设备校准、测量条件、参考材料等进行了规定（见附录C）；

i) 增加了附录D经过认证的参考材料，对于经过认证的参考材料的说明、使用等进行了规定（见附录D）；

j) 增加了附录G紫外线截断一致性的测量方法，对于测试材料、测量步骤进行了规定（见附录G）；

k) 增加了附录H特殊情况：使用偏振（见附录H）；

l) 修改了附录F荧光样本（见附录F，2004年版的附录G）；

m) 增加了附录I将光谱测量值转换为三刺激值的示例计算，用于描述用于采集材料或光源的基本光谱特性、将列表光谱数据转换成CIE三刺激值、CIELAB颜色空间坐标和计算两者之间的色差的方法（见附录I）；

n) 增加了附录L测量带通对光谱量的影响，确定了修正带通误差的技术参考（见附录L）。

本文件使用翻译法等同采用ISO 13655:2017《印刷技术 印刷图像的光谱测量和色度计算》。

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这些专利的责任。

本文件由全国印刷标准化技术委员会(SAC/TC 170)提出并归口。

本文件起草单位：上海出版印刷高等专科学校等

本文件主要起草人：孔玲君、杨晟炜等。

本文件2004年首次发布为GB/T 19437—2004，本次为第一次修订。

引 言

在进行光谱测量和色度计算时，允许有多种选择。不同的选择可导致同一样品的相同属性出现不同的数值。因此，除非被比较的数据都基于相同的测量集和相同的计算选择，否则可能无法进行有效的比较。本文件的目的是指定用于印刷图像和样本（如测试图标）的色度特性测量和计算的，可获得有效的和可比较数据的几种选择。虽然本文件引用了用于印刷图像和摄影观察条件的国际标准 ISO 3664，但无法预期测量色度数据提供与视觉色貌的绝对相关性。

当本国际标准开始修订时，可以看出，几乎所有的印刷样本表现出荧光。大多数情况下，这是由纸承印物中含有的荧光增白剂（OBA）造成的。少数的情况下，是因为印刷油墨带有荧光。根据本国际标准 1996 年版本的建议，这意味着用于测量的源（即样本照明的光谱功率分布）与 CIE 标准 D50 光源紧密匹配。然而，当 2009 年的修订版启动时，并没有任何一个销售给印刷市场的颜色测量仪器提供了与 CIE 标准 D50 光源紧密匹配的照明系统。相反，大多数仪器使用白炽灯作为光源。这种灯的光谱功率分布具有不同的 UV 含量。当测量使用了高水平荧光增白剂的承印物时，仪器之间 UV 含量的变化可以轻易地达到 $5 \Delta b^*$ 的色差。因此，未印刷纸承印物和较浅颜色的测量结果在不同仪器型号之间明显不同。有关荧光效应的详细研究，请参阅 CIE 出版物 163。

还观察到，印刷观察箱各不相同，甚至符合 1996 年版 ISO 3664 的观察箱的紫外线含量也各不相同。实际结果是具有几乎相同的测量色度特性的样本在观察箱中观察时，有时在视觉上不匹配，反之亦然。只有部分这种差异可归因于荧光。除了测量源偏离 CIE D50 之外，还可能由于“非标准”观察者或仪器波长误差造成的同色异谱效应。尽管存在这些其他的潜在影响，但提供测量解决方案被认为是重要的，该测量解决方案将最小化由纸张的荧光性和样本照明体的光谱功率分布变化相互作用而引入的系统误差。用于校正仪器误差的方法和用于可靠地评估彩色图像的步骤不在本文件的范围内。

在 2009 年的修订版中，为反射测量定义了四种测量选择。测量条件 M0 要求源照明与照明体 A 紧密匹配；这提供了与现有仪器和 ISO 5-3 的一致性。测量条件 M1 要求样本照明的色度特性与 CIE D50 光源紧密匹配。测量条件 M2 仅要求提供的样本照明的光谱功率分布在 400 nm 至至少 700 nm 的波长范围，并且在 400 nm 以下的波长范围内没有实质的辐射功率（通常称为“UVCut”）。测量条件 M3 具有与 M2 相同的样本照明要求，并且在光学路径的流入和流出部分中包括线性偏振器，其主偏振轴在正交或“交叉”方向。对于其中荧光主要是紫外激活蓝光发射的样品，可以使用由柯尼卡美能达[24] [25]的 Imura 报告的虚拟荧光标准的方法来确定 M0，M1 和 M2 条件的总辐射因子。在本次修订中，对附录 A 进行了修订，在白色背衬材料上提供了一组略窄且更现实的光谱容差。白色背衬材料的特性对于透明或半透明薄膜上包装印刷阅读的再现性是至关重要的。

最后，由于 CIE 从 CIE 出版物 15 的第二次修订开始已经建议使用 5 nm 间隔进行实际三刺激积分，并且印刷图像可以由从低值到高值的转换非常窄的颜色刺激函数组成，本修订版建议三刺激值基于采用 5 nm 间隔和 5 nm 带通采集的光谱数据。由于现在实际使用的许多仪器配备 10 nm 间隔和 10 nm 带通的分光光度计，因此建议在三刺激计算之前应用 ASTM E2729 中规定的光谱数据进行带通校正。除了使用这种非标准仪器监测先前特征化的材料或物体的状态之外，使用更宽采样间隔和带通的仪器已被弃用。

本文件的要求集中在用于印刷图像环境的色度测量设备上。有关承印物背衬材料、报告、标准化、标准和改进的色差指标、荧光以及改进仪器间一致性的方法等问题的有用信息也包括在内。这些对于印刷协会的技术顾问、专业印刷研究机构以及对测量和过程控制基础感兴趣的从业者是有用的。

印刷技术 印刷图像的光谱测量和色度计算

1 范围

本文件规定了适用于反射物体、透射物体和自发光物体（例如平板显示器）的测量和色度计算的步骤。它还规定了印刷图像的色度参数计算的步骤。印刷包括但不限于通过生产印刷工艺制备材料和批量生产，印刷工艺包括胶版印刷，凸版印刷，柔版印刷，凹版印刷，丝网印刷和数字印刷。

本文件不涉及适合其他特定应用需求的光谱测量，例如在打印纸和打样介质材料的生产过程中使用的光谱测量。

2 规范性引用文件

下面这些文件在本文件中部分或全部被引用且对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

ISO 5-2 摄影和印刷技术 密度测量 第2部分：透射密度的几何条件（Photography and graphic technology — Density measurements — Part 2: Geometric conditions for transmittance density）

ISO 5-4:2009 摄影和印刷技术 密度测量 第4部分：反射密度的几何条件（Photography and graphic technology — Density measurements — Part 4: Geometric conditions for reflection density）

ISO 3664 印刷技术和摄影 观察条件（Graphic technology and photography — Viewing conditions）

ISO 11664-1 色度法 第1部分：CIE 标准色度观察者（Colorimetry — Part 1: CIE standard colorimetric observers）

ISO 11664-3 色度法 第3部分：CIE 三刺激值（Colorimetry — Part 3: CIE tristimulus values）

ISO 11664-4 色度法 第4部分：CIE1976 L*a*b*颜色空间（Colorimetry — Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space）

ISO 28178 印刷技术 使用 XML 或 ASCII 文本作为颜色和过程控制数据的交换格式（Graphic technology — Exchange format for colour and process control data using XML or ASCII text）

CIE 出版物 15:2004 色度法 第3版（CIE Publication 15:2004, Colorimetry, 3rd ed.）

CIE 出版物 167:2005 用于颜色计算光谱数据制表的推荐实践（CIE Publication 167:2005, Recommended practice for tabulating spectral data for use in colour computations）

CIE 出版物 176:2006 颜色测量的几何容差（CIE Publication 176:2006, Geometric Tolerances for Colour Measurements）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

采用白色

由图像采集或测量装置得到的光谱辐射分布，并转换成被认为是完全消色的并且具有观察者单位自适应亮度因子的彩色信号，即被认为相当于完美白色漫射器的彩色信号。

[来源: ISO 22028-1]

3.2

带宽

仪器的光谱响应函数的宽度，半功率点之间的测量通常称为半高全宽（FWHM）。

3.3

校准

在特定条件下建立由测量仪器或测量系统指示的数值、材料测量或参考材料表示的值与由标准实现的相应值之间关系的一组操作。

注1：与常见用法相反，校准不是调整测量系统使它产生的信号被认为正确的过程。校准允许将测量值分配给指示（创建参考表）或做出重置或调整设备的决定。在重置或调整设备之后，需要验证校准以确保新设备设置在可接受的值内提供指示。

[来源: ISO/IEC Guide 99 (VIM)]

3.4

CIE 照明体

由国际照明委员会（CIE）根据相对光谱功率分布定义的照明体（3.6）

[来源: IEC 60050-845-03-12]

示例: CIE照明体A、C和各种CIE照明体D。

3.5

CIELAB 色度差

ΔC_h

在CIELAB颜色空间中，投射到恒定亮度平面上的亮度大致相同的两种颜色之间的差异。

注1: 计算公式为:
$$\Delta C_h = \sqrt{(CIEa_1^* - CIEa_2^*)^2 + (CIEb_1^* - CIEb_2^*)^2}$$

3.6

照明体

入射到试样表面的辐射（光）通量的相对光谱分布的数字表。

注1: CIE将照明体定义为“在影响物体颜色感知的波长范围内以相对光谱功率分布定义的辐射”。在日常英语中，该术语被更广泛地用于表示落在身体或场景上的任何类型的光。有关详细信息，请参阅IEC 60050-845。

[来源: IEC 60050-845-03-10]

3.7

不透明度

<承印物的>属性的度量，该属性描述样品隐藏其后面与其接触表面的能力。

注1: 本文件中使用的不透明度数值是承印物与黑色背衬（如A.2中所定义）的光反射因子和承印物与白色背衬（如A.3中所定义）的光反射因子之比的100倍。这与造纸业使用的ISO 2471中定义的不透明度的

度量不同。

3.8

不透明承印物

根据A.3测量方法，不透明度（3.7）为0.99或更大的承印物。

3.9

透明承印物

可见光吸收或散射最小的清澈材料。

注1：透明包装膜是这种材料的一个例子。

3.10

反射因子

在给定锥体限定的方向上反射的辐射或光通量与在相同方向上等同辐射或照射的完全漫反射器反射的辐射或光通量的比率。

注1：行业通常使用术语反射率而不是反射因子。

注2：建立给定测量条件的几何条件非常重要。见附录B。

3.11

辐射因子

<在非自辐射介质的表面元件，在给定方向上，在特定的照射条件下>表面元件在给定方向上的辐射与等同照射和观察的完全漫反射或漫透射器的辐射的比率。

注1：对于光致发光（荧光）介质，辐射因子包含2个分量，即反射辐射因子 β_R 和发光辐射因子 β_L 。反射和发光辐射因子的总和是总辐射因子， $\beta_T: \beta_T = \beta_R + \beta_L$ 这里使用下标R作为反射辐射因子，因为它比传统的S更直观，并且避免了使用S来表示偏振状态的混淆。

[SOURCE: IEC 60050-845-04-68]

3.12

样品背衬

在测量过程中放置在样品后面并与样品接触的材料。

注1：在本文件中，样本背衬可为白色或黑色。

3.13

分光光度计

用于测量材料在可见光谱中的相对光谱反射因子（3.10）或透射因子（3.18）以获得色度量的仪器。

3.14

分光辐射度计

用于在给定光谱区域内以窄波长间隔测量辐射量的仪器。

[来源: IEC 60050-845-05-07]

3.15

标准化

使用一个或多个均质样本或经过认证的参考材料，强制或调整测量系统以产生与先前建立的校准（3.3）相对应的读数的过程。

注1：如此处所定义，标准化通常由仪器使用者执行。

3.16

远程分光辐射度计

使用光学继电器组件，允许在离开样品一定距离处进行测量的分光辐射计（3.14）。

3.17

透射率（对于给定光谱成分、偏振和几何分布的入射辐射）

在给定条件下，透射辐射或光通量与入射光通量之比。

注1：指定建立给定测量条件的几何条件很重要，例如，直线集合条件产生规则的透射，积分球产生漫反射透射。但是蛋白石玻璃漫射器不能产生与积分球几何条件相同的读数。见附录B。

[来源：IEC 60050-845-04-59]

3.18

透射因子

在给定光学系统中由样本传输的通量与从采样孔移除样本时传输的通量之比

注1：例如，穿透投影仪中幻灯片到达屏幕的辐射与从投影仪中取出幻灯片仅剩幻灯片底座时的辐射的比较。

4 光谱测量要求

4.1 仪器标准化和调整

测量设备或系统应根据制造商的说明验证（标准化并可能调整）。另见附录C和D。

注1：ISO 15790定义了使用经过认证的参考材料（CRM）检查测量系统校准的方法。还提供了有关CRM使用、不确定的组合标准的判定及数据报告的其他信息。

注2：如果使用多台仪器进行测量，由于各仪器特性和测量条件的不同，所得数据可能存在差异。附录C和D提供了有关提升仪器间一致性和使用经认证的参考材料的信息。

4.2 反射因子测量

4.2.1 波长范围、波长间隔和波段

数据宜在380 nm至780 nm范围内测量，并应在400 nm至700 nm（含）范围内测量。数据宜以5 nm的间隔，按照ISO 11664-3中所述，以半功率点带宽为5 nm的三角形光谱响应函数测量。如果以其他间隔和带宽测量未知数据，采样间隔和带宽不宜超过10 nm。对于已完善建立样品光谱特性的应用，可以使用20 nm采样评估工艺要求一致性。大于10 nm间隔的测量数据宜使用CIE出版物167:2005中推荐的插值方法之一转换为10 nm间隔。如果测量数据以小于5 nm的带宽和间隔收集，可以使用附录E的方法拓宽测量数据。

4.2.2 照明要求和测量条件

4.2.2.1 测量条件 M0

过去，印刷领域中使用的许多分光光度计使用白炽灯，其相对光谱功率分布接近ISO 11664-2中所定义的CIE标准光源A。此外，这种光源过去一直用于密度测量。提供M0以允许识别使用现有仪器或针对摄影密度测量优化的仪器测量的数据（参见ISO 5-3）。

入射在试样表面上的光通量的相对光谱功率分布宜符合CIE光源A（与相关色温为2856K的白炽光源相一致）。在实际仪器中，这可以使用在400 nm至700 nm的光谱范围内的所有波长下提供辐射功率的任何源来实现。

由于相关色温的规范未定义UV，因此M0测量状态下不控制UV含量，建议在需要交换表现出荧光的样品上测量的数据时使用M1测量条件。当没有满足M1的仪器且相关数据足以用于过程控制或其他数据交换应用时，类似制造商和型号的M0仪器提供了可行的替代方案。

4.2.2.2 测量条件 M1

为了最大限度地减少由于荧光（通过承印物中的荧光增白剂和/或印刷和/或校样着色剂的荧光）导致的仪器之间测量结果的变化，用于测量的入射到样品表面上的光通量的光谱功率分布宜匹配CIE D50光源。

注1：由于ISO 3664也规定了D50的使用方法，这将改善条件M1下的测量结果与符合ISO 3664要求的观察室中视觉评估之间的一致性。

注2：对于ISO 5631-3中定义的材料测试，测试样本上照明中的UV含量已经调整为符合CIE光源C。因此，符合ISO 5631-3的测量可能与符合本文件的测量不兼容。

4.2.2.3 测量条件 M2

为了排除由于承印物表面中荧光增白剂的荧光而导致的仪器之间测量结果的变化，测量源在样品平面上的光谱功率分布应仅包含在400 nm以上波长范围内的实质的辐射功率。这可以通过适当设计测量源或通过测量源和样本之间添加滤色片来实现。

纸张中荧光增白剂的可见荧光通常在300 nm至410 nm的UV范围内被激发。为了完全消除荧光增白剂的任何荧光激发，UV成分的最佳截止波长为420 nm。然而，还希望测量400 nm和410 nm处的反射因子。因此，对于每种仪器类型，必须在充分抑制残余荧光激发和测量信号的合理信噪比之间找到最佳权衡。

注1：对于具有钨光源的普通分光光度计，典型的紫外线截止滤色片具有以下透射特性：

——在420 nm以上的可见光范围内大于0.85；

——在410 nm处小于0.5；

——在400 nm处小于0.10；

——在395 nm处小于0.01。

应使用附录G的试验步骤验证样品平面上光通量的光谱功率分布中紫外线部分是否适当抑制。

对于测量条件M2，未明确指定光源。但是，它应在420 nm至至少700 nm波长范围内的所有波长下提供辐射功率。每个波长间隔的辐射功率应足够高，以便根据仪器规格实现精确校准和可重复的测量结果。

M2数据的使用可以通过首先考虑待测样品的承印物是否含有任何荧光增白剂来确定。如果不含，测量条件M0，M1和M2将理想地产生相同的结果。在这种情况下，主要差异将归因于仪器的具体差异。

注2：附件F提供了有关荧光的信息和测试其存在的技术。

4.2.2.4 测量条件 M3

用于资料性附录H中详述的特殊情况，仪器可以配备偏振装置以便抑制第一表面反射对色度坐标的影响。配有偏振滤色片的仪器也应满足4.2.2.3的要求。使用下面修改的ISO 5-4:2009附录H的测试方法，应确定CIE X、CIE Y、CIE Z的光泽抑制因子；其中的任何一个都不应小于50。

当使用ISO 5-4的测试方法评估提供色度坐标的仪器时，将“测量值达到最大值”替换为“反射密度达到最小值”。公式（1）变为：

$$P = \frac{X_2}{X_1} \quad (1)$$

式中：

P 是光泽抑制因子；

X_1 是没有偏振装置测量的值；

X_2 是具配有偏振装置测量的值。

对于CIE Y和CIE Z，以类似的方式计算光泽抑制因子。

对于本文件未指定的定向和单平面测量几何结构，光源和测量通道的偏振矢量需要与测试对象的入射平面平行或垂直。

4.2.3 样本背衬材料

样本应由符合A.2的黑色材料或A.3的白色材料作为背衬。当通过反射测量的样品是透明物体时，所使用的背衬应为白色，并且可以使用A.5中所示的方法将这种测量校正为绝对参考。

注：有关使用哪种样品背衬材料的指导，请参阅应用标准，例如ISO 12647系列过程控制标准。

4.2.4 测量几何条件

测量几何条件应为(45°:0°)或(0°:45°)，环形或圆周(见附录B)。它还应符合CIE出版物176:2006中规定的几何条件，并应如小型采样孔所规定的，应满足照明区域和接收区域中较大者的实现边界在较小者的边界之外至少0.5 mm的要求。在测量时，样品应位于平坦表面上。仪器底座和样品表面应位于同一平面内。

注1：几何形状的角度和术语见B.1.1。

注2：使用(45°:0°)或(0°:45°)几何条件并不总能充分说明所有表面特性的变化。其他仪器可用于检测特定特征，例如表面反射效应。

注3：附件B提供了有关最小采样孔尺寸的进一步信息。

4.2.5 数据报告

反射因子应报告为相对于在所有波长下具有1000反射因子的完全漫反射面的最接近的0.001。该数据应报告为反射因子或百分比反射因子(即反射因子乘以100)。如果要数据用于进一步计算，为了最小化舍入误差的累积，宜继续代入计算的全部精度。应报告数据的带通特性，包括函数形状(三角形，梯形等)和带宽(FWHM)。有关仪器带通对光谱量计算影响的信息，见附件L。对于非不透明的样本-承印物，应报告在白色背衬上读取的未印刷承印物的CIEXYZ数据。建议也报告黑色背衬上的未印刷承印物的CIEXYZ数据，以便在必要时可以进行附录A中所述的白/黑转换。另见条款6。

4.3 透射因子测量

4.3.1 波长范围、波长间隔和带宽

数据宜在380 nm至780 nm范围内测量，并应在400 nm至700 nm(含)范围内测量。如上所述，数据宜以5 nm的间隔测量，如ISO 11664-3中所规定，光谱响应函数为三角形，在半功率点具有5 nm带宽。如果以其他间隔和带宽测量未知数据，则采样间隔和带宽不应超过10 nm。对于完全建立样品光谱特性的应用，可以使用20 nm采样评估工艺要求一致性。宽带通读数的估计数据应以10 nm的间隔报告。在以小于5 nm的间隔收集测量数据的情况下，可以使用附录I的方法将测量数据加宽到5 nm。

4.3.2 测量几何条件

测量几何应该是法线:漫射(0:d)或漫射:法线(d:0)，利用积分球。如果使用本测量几何条件，应符合CIE出版物176:2006中定义的几何条件。或者，符合ISO 5-2的入射光学器件也仅可用于相对比较。

注：更多信息请参阅B.2。

4.3.3 照明要求和测量条件

4.3.3.1 测量条件 M0

常规或漫射的透射材料很少有用于携带图像的介质包含荧光着色剂或添加剂的用例。因此，通常，使

用M0测量条件获取透射率和透射率因子读数。

入射在样本表面上的光通量的相对光谱功率分布宜符合CIE光源A（对应于相关色温为2856K的白炽光源）。在实际仪器中，可以使用在400 nm至700 nm的光谱范围内的所有波长下提供辐射功率的任何光源来实现。

由于相关色温的规范未定义UV，因此测量条件M0下不控制UV含量，因此建议在需要交换带荧光效果的样品上的测量数据时，使用测量条件M1。更多信息请参见4.2.2.1。

4.3.3.2 测量条件 M1

印刷复制中有一些用例，主要是大幅面数字印刷，其承印物是织物，纱线先前已经用荧光增白剂（OBA）处理，以便织物在印刷上图像时产生更白的外观。这些印花织物主要用作背光标志。虽然这种半透明材料的透射率未明确定义或标准化测量几何条件，但建议使用M1条件对这些材料进行特征化，以便创建标准化的参考条件，其中OBA将始终相对于着色剂对光的吸收被激发。

4.3.4 分辨率和数据报告

透射因子应报告为相对于在所有波长下具有10000的透射因子的完全透射漫射面的最接近的0.0001。该数据可以报告为十进制值或百分比。如果要将其用于进一步计算，为了最小化舍入误差的累积，宜继续代入计算的全部精度。应报告数据的带通特性，包括函数形状（三角形，梯形等）和带宽（FWHM）。有关仪器带通对光谱能量计算影响的信息，见附件L。还应报告使用乳白玻璃或其他平面扩散材料几何条件的事实。另见条款6。

注：蛋白石几何条件在ISO 5-2中讨论。

4.4 自发光显示（光谱辐射）测量

4.4.1 波长范围、波长间隔和带宽

数据宜在380 nm至780 nm范围内测量，并应在400 nm至720 nm（含）范围内测量。现代显示器具有背光，其在刚超过700 nm时有一个辐射尖峰，忽略该尖峰将导致色度测量中的明显误差。宜使用三角光谱响应函数和与测量间隔相等的半功率点带宽，以5 nm或更小的间隔测量数据。当光谱响应函数为三角形函数且在半功率点具有10 nm带宽数据时，应以10 nm的间隔测量。以10 nm间隔采集的数据宜根据ASTM E2729[18]进行带通校正。更宽的采样间隔或带宽不适合现代显示单元。

4.4.2 测量几何条件

4.4.2.1 概述

光谱数据可以用与显示器表面接触的光谱辐射计或放置在典型观察者位置的远程光谱辐射计来测量。测量应在垂直于显示表面的方向上进行。每个样品测量区域的直径应不小于4毫米，并且至少应包含150个像素。

对于用光谱辐射计或远程光谱辐射计进行的测量，传感锥的角宽度，即接收器感应流出的角度区域，不应超过 5.0° 的半角，且不宜超过 2.5° 的半角。

4.4.2.2 观察者位置

这些测量将特定于观察条件。通常，环境照明宜符合ISO 3664。但是，当在实践中使用的环境照明

是已知的时，可能希望利用该照明进行测量，宜报告在显示面板处测量的环境照明的照度等级和色度。宜注意尽量减少从显示面板到测量装置的环境照明的反射。宜避免镜面反射。

4.4.2.3 接触

宜在黑暗中对显示器进行测量。这可以通过覆盖显示器和测量装置或使房间变暗来实现。宜注意确保仅测量来自样品区域的辐射。

接触测量仅用于特征化显示器，与环境照明无关。如果进行接触测量但是需要观察者位置测量，则需要添加观察者观察到的杂光以获得与从观察者位置获得的测量相当的测量。

4.4.3 偏振

进行以下测试时，测量应与偏振效应无关：围绕显示器表面的法线旋转仪器。在CIE xy 色度坐标中得到的数据点应该适合于半径0.002的圆。每次测量的亮度与平均亮度的偏差应小于1%。

4.4.4 分辨率和数据报告

具有小角度感测锥的显示器表面的测量的流出通量相当于光谱辐射亮度。光谱的辐射值应以 $W/(m^2/sr/nm)$ 为单位，在规定的波长范围内以1 nm、5 nm或10 nm的等间隔波长间隔报告。如果要将数据用于进一步计算，为了最小化舍入误差的累积，宜继续带入计算的全部精度。应报告数据的带通特性，包括函数形状（三角形，梯形等）和带宽（FWHM）。有关仪器带通对光谱能量计算影响的信息，见附件L。可以报告根据5.2得到的基于辐射光谱的值，例如CIE X、CIE Y和CIE Z或CIE x 、CIE y 和CIE L。亮度CIE L应以 cd/m^2 报告。另见条款6。

应根据ISO 3664（短期重复性，75 cd/m^2 ，D65）定义仪器的不确定度，以测量典型显示器白色的色度坐标。在这些条件下，CIE xy 色度坐标的不确定度应在小于0.002的半径范围内。每次测量的亮度与平均亮度的偏差应小于1%。另见条款6。

5 色度计算要求

5.1 反射和透射样本三刺激值的计算

5.1.1 概述

三刺激值应根据ISO 11664-3中的步骤计算，该标准基于CIE出版物15中关于色度法的长期推荐。为了与ISO 3664中定义的印刷观察条件保持一致，计算的三刺激值应基于CIE D50光源和ISO 11664-1中所定义的CIE 1931标准色度观测者（通常称为2°标准观测者）。对于以5 nm获得的数据，CIE出版物15包含以5 nm间隔的D50光源和2°观测者函数的表格。附件I提供了进一步的背景和计算实例。

表示CIE D50光源和2°标准观测者乘积的加权因子，用于加权以10 nm间隔和带宽采集的光谱反射率和透射率数据，应为表I.2中给出的10 nm间隔的加权因子（经许可取自ASTM E 308-13）。ASTM表中的权重将10 nm间隔数据插值为1 nm间隔。

注1：CIE建议（ISO 11664-3）计算三刺激值（CIE X，CIE Y和CIE Z）的标准方法使用1 nm间隔。但是，该标准还指出，在某些情况下不能使用该标准方法，因为颜色刺激函数或相对颜色刺激函数在360 nm至830 nm的整个范围内以1 nm为间隔不可用。如果证明所产生的误差对于用户而言是微不足道的，则可以使用ISO 11664-1中定义的颜色匹配函数 $x(\lambda)$ ， $y(\lambda)$ ， $z(\lambda)$ ，在380 nm至780 nm范围内，以波长间隔 $\Delta\lambda$ 等于5 nm的数值求和来计算三刺激值。不建议使用更宽的采样间隔和带宽。

注2：2°标准观测者优于10°标准观测者，因为它更接近于观察印刷材料中图像细节的条件。当判断大面积的均匀实地时，例如在包装印刷中，已知10°标准观测者与视觉评价具有更好的相关性。

注3：表I.2中给出的权重取自ASTM E308-13，表5.9，理想情况下使用已校正为1 nm半功率宽度的10 nm数据。

注4：在表I.2中增加380 nm至780 nm的权重值并未给出X，Y和Z值。这是因为ASTM E 308-13的编写者使用CIE标准表计算X，Y和Z的精度高于表值合计给出的插值权重。表I.2中的校验和用于数据转录验证。

5.1.2 5 nm 间隔和带宽数据的计算

对于标准的5 nm采样间隔，三刺激值应根据ISO 11664-3中描述并在I.2中给出的步骤计算。在CIE出版物15中可获得D50光源和5 nm间隔的2°观测者函数值的表格。表I.1包含以5 nm为间隔的反射因子数据的样本以及使用该方案的三刺激值计算结果。

5.1.3 10 nm 间隔和带宽数据的计算

对于10 nm间隔和带宽，数据宜首先使用ASTM E2729[18]中的方法校正带通。三刺激值应使用取自ASTM E308-13，I.3中所示的步骤计算，其中光谱加权因子见表I.2。表I.3包含以10 nm为间隔的反射率数据样本以及使用该方案的三刺激值计算结果。

注：表I.2中给出的权重经许可取自ASTM E308-13，表5.9。用于已通过如ASTM E2729[18]、ISO 11664-3中所述的可用方法校正带通的10 nm数据。

5.1.4 其他间隔和带宽数据的计算

对于小于5 nm的间隔和带宽，宜使用附录E中的步骤将数据转换为5 nm间隔。然后，应使用5.1.2中的步骤计算三刺激值。

对于大于5 nm且小于10 nm的间隔和带宽，宜使用CIE出版物167中的插值方法之一将数据转换为5 nm间隔。然后，应使用5.1.2中的步骤计算三刺激值。

对于大于10 nm直到20 nm的间隔和带宽，数据宜首先使用ASTM E2729[18]中的步骤校正带通。然后宜使用CIE出版物167中的插值方法之一将数据转换为10 nm间隔。三刺激值应使用取自ASTM E308-13, I.3中所示的步骤计算，其中光谱加权因子见表1.2。

5.2 自发光显示器的三刺激值计算

三刺激值通过以下乘积的离散和获得。

$$X = K_m \cdot \sum_{380}^{780} S_n(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \quad (2)$$

$$Y = K_m \cdot \sum_{380}^{780} S_n(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \quad (3)$$

$$Z = K_m \cdot \sum_{380}^{780} S_n(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \quad (4)$$

式中：

λ 是波长，单位为纳米（nm）；

$S_n(\lambda)$ 是测量的光谱功率分布，单位为 $W/(m^2/sr/nm)$ ；

$\bar{x}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 是CIE 1931标准色度观测者的颜色匹配函数（见ISO 11664-1）；

$\Delta\lambda$ 是波长采样间隔，相当于仪器带宽或调整后的带宽；

K_m 是CIE标准物理光度测量系统中辐射的最大光谱发光效率，其值为683 lm/W。

如果可用数据的带宽和波长间隔是1 nm，则ISO 11664-1中相关颜色匹配函数和以1 nm间隔的数据应用于插入公式（2）至（4）。如果读数以5 nm带宽和采样间隔获得，则ISO 11664-1中的颜色匹配函数应在每第五个点提取。这些5 nm间隔的值与CIE 15中1931标准色度观察者5 nm表中的值完全相同。

如果可用数据仅在1 nm或5 nm以外的带宽和波长间隔可用，则应使用以下步骤之一从测量值计算5 nm间隔的辐射光谱值。

——如果可用数据的带宽和波长间隔大于1 nm但小于5 nm，则应使用附录E的方法从测量值计算5 nm间隔的辐射光谱值。

——如果可用数据的带宽和波长间隔大于5 nm但小于或等于10 nm，则应使用CIE出版物167:2005的插值步骤之一提供5 nm间隔的辐射光谱值。

相对值 X_r 、 Y_r 、 Z_r 应按照公式（5）至（7）获得：

$$X_r = 100X/Y_w \quad (5)$$

$$Y_r = 100Y/Y_w \quad (6)$$

$$Z_r = 100Z/Y_w \quad (7)$$

X_r 、 Y_r 和 Z_r 是相对于采用的白色的值；

Y_w 是采用的白色的Y值。

X_r 、 Y_r 和 Z_r 是相对于采用的白色的测量区域的值。大部分情况下，采用的白色将被选为显示器白点；但是，在某些情况下，它将被选择为亮度更低或更高。例如，如果显示器用于软打样，则可能将显示器白点设置为与纸白匹配，在这种情况下，采用白色的CIE Y值将高于显示器白点的值。在高动态范围显示器的情况下，采用的白色CIE Y值可能选择远低于显示白点的值，以允许在显示器上再现上述白色。

色度坐标 x 、 y 和CIE 1976 u' 、 v' 均匀色度坐标应使用公式（8）至（11）根据CIE 1931三刺激值计算。

$$x = X/(X+Y+Z) \quad (8)$$

$$y = Y/(X+Y+Z) \quad (9)$$

$$u' = 4x/(-2x+12y+3) \quad (10)$$

$$v' = 9y/(-2x+12y+3) \quad (11)$$

5.3 CIE 1976 ($L^*a^*b^*$)颜色空间；CIELAB 颜色空间

5.3.1 概述

值得注意的是，均匀的视觉颜色空间和色差公式的问题是CIE和相关组织重要活动的主题。这项工作大部分适用于D65下的纺织品评估。但是，通过类推，可以推断这项工作适用于在D50下观察的印刷图像。敦促读者遵循CIE的工作，了解统一视觉颜色空间和色差计算的最新进展。目前，对于印刷应用，CIELAB均匀颜色空间及其相关的色差计算就足够了。为了计算CIELAB色差，应使用附件J中的公式。根据ISO 11664-4，CIELAB值应使用5.3.2、5.3.3和5.3.4中给出的公式计算。

如果要将自发光显示器的CIELAB值与根据本文件确定的反射或透射材料的CIELAB值进行比较，则显示器的采用白色需要设置为D50。

5.3.2 CIELAB 颜色空间公式

CIELAB颜色空间公式如公式（12）至（20）所示。

$$L^* = 116[f(Y/Y_n)] - 16 \quad (12)$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (13)$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (14)$$

式中

$$f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3} \quad \text{如果} \quad X/X_n > (6/29)^3 \quad (15)$$

$$f(X/X_n) = (841/108)(X/X_n) + 4/29 \quad \text{如果} \quad X/X_n \leq (6/29)^3 \quad (16)$$

和

$$f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3} \quad \text{如果} \quad Y/Y_n > (6/29)^3 \quad (17)$$

$$f(Y/Y_n) = (841/108)(Y/Y_n) + 4/29 \quad \text{如果} \quad Y/Y_n \leq (6/29)^3 \quad (18)$$

和

$$f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3} \quad \text{如果} \quad Z/Z_n > (6/29)^3 \quad (19)$$

$$f(Z/Z_n) = (841/108)(Z/Z_n) + 4/29 \quad \text{如果} \quad Z/Z_n \leq (6/29)^3 \quad (20)$$

式中：

L^* 、 a^* 和 b^* 是 CIE 1976 L^* 、 a^* 和 b^* 坐标；

X 、 Y 和 Z 是根据 5.1 或 5.2 计算的三刺激值；

X_n 、 Y_n 和 Z_n 是根据 5.1 中规定的条件，表 I.1 中的白点。

根据 ISO11664-4，反向转换为：

$$f(Y/Y_n) = (L^* + 16)/116 \quad (21)$$

$$f(X/X_n) = a^*/500 + f(Y/Y_n) \quad (22)$$

$$f(Z/Z_n) = f(Y/Y_n) - b^*/200 \quad (23)$$

$$X = X_n[f(Y/Y_n)]^3 \quad \text{如果} \quad f(X/X_n) > 6/29 \quad (24)$$

$$X = (108/841)X_n[f(X/X_n) - 4/29] \quad \text{如果} \quad f(X/X_n) \leq 6/29 \quad (25)$$

$$Y = Y_n[f(Y/Y_n)]^3 \quad \text{如果} \quad f(Y/Y_n) > 6/29 \text{ 且 } L^* > 8 \quad (26)$$

$$Y = (108/841)Y_n[f(Y/Y_n) - 4/29] \quad \text{如果} \quad f(Y/Y_n) \leq 6/29 \text{ 且 } L^* \leq 8 \quad (27)$$

$$Z = Z_n[f(Z/Z_n)]^3 \quad \text{如果} \quad f(Z/Z_n) > 6/29 \quad (28)$$

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

注：整数比，例如4/29，用于本子条款中的公式以避免舍入误差。感知属性亮度，色度和色相的近似相关性计算如下。

CIE1976 亮度 L^* 与公式（17）定义一致

$$\text{CIE1976 色度} \quad C_{ab}^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (30)$$

$$\text{CIE1976 色相角} \quad h_{ab} = \arctan(b^*/a^*) \quad (31)$$

其中 a^* 和 b^* 是CIE 1976 a^* 和 b^* 坐标。

5.3.3 CIE1976 色差公式

附件J中给出的CIE 1976色差公式应用于计算CIELAB色差。

5.3.4 CIEDE2000 色差公式

附件K中给出的CIEDE2000色差公式应用于计算CIEDE2000色差。

6 测量数据报告要求

6.1 必要信息

当报告根据本文件生成的数据时，应附有以下信息：

- a) 声明测量和计算符合本文件，ISO 13655；
- b) 使用的测量条件（M0，M1，M2或M3）；
- c) 对于反射样本，样本背衬（黑色——也称为“bb”，白色——也称为“wb”）；
- d) 对于非不透明的样本承印物，应报告白色背衬下测得的未印刷承印物的CIEXYZ数据，宜报告黑色背衬下测得的实际的CIEXYZ数据（见4.2.5）；
- e) 仪器品牌/型号（单一仪器用于提供数据时）；示例：ISO 13655（M0，wb，Cosmodrive）。

注：可以从多个仪器创建特征化数据，因此不直接链接到特定仪器。一个典型的例子可被命名为：ISO 13655（M2，bb）。

- f) 应报告是否遵循了制造商的标准化要求。

6.2 推荐信息

必要信息宜也附有以下信息：

- a) 数据的发起者；
- b) 数据的创建日期；
- c) 对所报告数据的目的或内容的描述；
- d) 所用仪器的描述，包括但不限于采样孔径信息；
- e) 用于计算的波长间隔；
- f) 用于标准化的参考和用于确保或评估标准化一致性的过程；

示例1：根据制造商建议进行标准化并在内部定期验证。

示例2：使用内部认证的参考材料进行验证（如附录D中所述）。

6.3 电子数据报告

如果数据以电子形式报告，应符合ISO 28178。

附录 A

(规范性)

样本背衬

A.1 概述

用于摄影和印刷的许多承印物不是完全不透明的。因此，在测量期间样本后面的材料或在背面上的任何印迹的特性可以改变测量的反射因子。光谱反射因子数据的任何变化都会影响以该数据计算出的任何值，例如色度，密度等。

对测量值的影响取决于承印物的不透明度。当问题由承印物背面上的印迹造成时，通过使用黑色背衬可以部分地抑制影响。

如果承印物具有非常低的不透明度，则白色和黑色背衬之间的测量光谱反射因子数据的差异可能非常显著。A.4中给出了用白色和黑色背衬测量的数据之间的近似转换。

背衬材料的常见选择是：

——A.2中定义的标准黑色背衬；

——A.3中定义的标准白色背衬；

——用多张样本承印物自背衬。

自背衬仅在造纸工业中是优选的。但是，在本文件的范围内，只能使用标准的黑色或白色背衬。

注：无论何时测量样品，自背衬取决于未打印承印物的可用性。通常情况并非如此。自动扫描仪器会出现另一个问题，即背衬难以隐藏在仪器内。

A.2 标准黑色背衬

黑色材料应符合ISO 5-4。

ISO 5-4要求具有以下属性：

——光谱非选择性，即在400 nm至700 nm的整个波长间隔内的光谱漫反射密度的总范围不超过在相同间隔内获得的平均密度的5%；

——宜为漫反射体（例如，在典型的办公室室内照明条件下，在与法线成小于45°的任何角度观察时，很少或没有可察觉的镜面反射）。由于具有无光泽表面的黑色材料易受到物理损坏，黑色背衬材料宜为半哑光（ISO 8254-75°光泽度小于40 GU）；

——不透明承印物；

——最低ISO 5视觉反射密度为1.30；——最大ISO 5视觉反射密度为1.60。

A.3 标准白色背衬

白色材料应具有以下特性。

a) 应是不透明的（例如陶瓷，塑料或纸）。不透明度应等于或大于99。

$$O_B = (Y_b/Y_w) \times 100 \quad (\text{A.1})$$

式中：

O_B 是背衬材料的不透明度（0° :45°，D50,2°，Y）；

Y_b 是使用符合A.2的黑色背衬进行的测量计算出的CIE Y值。

Y_w 是通过使用至少三张待用于背衬的材料的叠层进行测量而计算的CIE Y 值。

b) 宜为漫反射体（例如，在典型的办公室室内照明条件下，在与法线小于 45° 的任何角度观察时，很少或没有可察觉的镜面反射——通常称为无光泽外观）。由于具有无光泽表面的白色材料易受到物理损坏，白色背衬材料应为半哑光（ISO 75° 光泽度小于40 GU）；

注1：许多印刷厂未配备ISO 8254- 75° 光泽度计。但是，随着角度增加，光泽度趋于增加，因此与油墨和涂料一起使用的角度为 60° 或 85° 时，可以使用相同的允差。

c) 其CIELAB C^* 值不应超过3且不宜超过2.4。

d) 它应是无荧光的（当被仪器光源激发时，在感兴趣的响应带中没有发射）。这相当于以M1和M2模式，并且在任何大于410 nm的波长读取背衬时，与仅使用M2模式的背衬的5个读数的偏差应小于或等于 3σ （3个标准偏差）。

光谱反射因子值应在表A.1给出的曲线范围内。

注2：虽然表A.1中的数据被描述为符合ISO/CIE几何条件 $0^\circ : 45^\circ$ ，但这并不排除使用具有 $45^\circ : 0^\circ$ 几何条件的仪器，因为背衬应为漫反射，因此将遵循Helmholz互惠定律，两个几何条件的读数相同。

表 A.1 - 光谱反射因子

波长 nm	光谱反射因子	
	上限	下限
380	0.74	0.12
390	0.80	0.19
400	0.84	0.37
410	0.87	0.61
420	0.88	0.75
430	0.89	0.78
440	0.90	0.79
450	0.90	0.79
460	0.91	0.79
470	0.91	0.79
480	0.91	0.79
490	0.91	0.79
500	0.91	0.79
510	0.91	0.79
520	0.91	0.79
530	0.91	0.79
540	0.91	0.79
550	0.91	0.79
560	0.91	0.79

570	0.91	0.79
580	0.91	0.79
590	0.91	0.79
600	0.91	0.79
610	0.91	0.79
620	0.91	0.79
630	0.91	0.79
640	0.91	0.79
650	0.91	0.79
660	0.91	0.79
670	0.91	0.79
680	0.91	0.79
690	0.91	0.79
700	0.91	0.79
710	0.91	0.79
720	0.91	0.79
730	0.91	0.79

A.4 黑/白背衬转换

一种可能的转换方法是基于以下观察[21]，如果绘制CIE X，CIE Y和CIE Z两种背衬材料（即黑色和白色）上进行的测量之间的差异与CIE X，CIE Y和CIE Z任一背衬上进行测量的关系图，最佳拟合结果大致为一条直线。由此近似得到线性转换。

对于CIE X:

$$X_w = X_b \cdot (1 + C) - X_{min} \cdot C \quad (\text{A.2})$$

且

$$C = \frac{X_{sw} - X_{sb}}{X_{sb} - X_{min}} \quad (\text{A.3})$$

式中:

X_w是样本X在白色背衬下的转换值

X_b是样本X在黑色背衬下的测量值

C是常量

X_{sw}是样本承印物X在白色背衬上的测量值

X_{sb}是样本承印物X在黑色背衬上的测量值

X_{min}是样本在黑色背衬上的最小值

实际上，四色实地的X值（ISO 12642-2中的ID 1286）非常接近或等于最小值，可以用作X_{min}。

CIE Y和CIE Z的转换以类似的方式完成，并且以类似的方式计算CIELAB值。

黑白背衬转换方法仍然是一个活跃的研究领域，建议用户根据相关用例测试每个模型。印刷承印物的不同不仅在颜色方面而且在物理性质方面。物理性质的变化影响油墨/承印物的相互作用和光散射。油墨/承印物相互作用和光散射的变化经常导致相同油墨沉积时印刷材料阶调值的变化。因此，印刷承印物的变化通常需要改变色度目标（根据纸张颜色），并且改变阶调再现和过程控制以校正阶调值的变化（由物理特性的变化引起）。

本附件中描述的校正技术仅考虑了承印物颜色的变化。油墨吸收率或附着力的差异将导致无法校正的颜色偏移，从而必须开发新的目标。

A.5 透明材料的测量

对于利用透射光观察的承印物，适用4.3的测量条件。在透明承印物的情况下，通过反射观察，使用具有A.3中描述特征白色样品背衬，使用 $0^\circ : 45^\circ$ 或 $45^\circ : 0^\circ$ 几何条件的反射因子测量是合适的。

透明材料的反射率测量高度依赖背衬材料的反射率。为了校正这些测量使它们相对于完全漫反射面，应进行以下计算：

$$R(\lambda) = R_t(\lambda)/R_b(\lambda) \quad (\text{A.4})$$

式中

λ 是波长，单位为纳米（nm）；

$R_t(\lambda)$ 是白色背衬材料上透明样品在波长 λ 处的的反射率；

$R_b(\lambda)$ 是白色背衬材料本身（未被透明承印物覆盖）在波长 λ 处的反射率；

$R(\lambda)$ 是波长 λ 的校正反射率。

也可以使用CIEXYZ进行校正，如下所示：

$$X = 100 \times (X_t/X_b) \quad (\text{A.5})$$

$$Y = 100 \times (Y_t/Y_b) \quad (\text{A.6})$$

$$Z = 100 \times (Z_t/Z_b) \quad (\text{A.7})$$

式中下标“t”和“b”与上述含义相同。

注：此校正仅适用于透明而非半透明的材料。

附录 B

(资料性)

几何条件

B.1 反射率测量

B.1.1 角度

任何不透明物体的外观主要是该物体的光谱反射率以及广泛的表面效应，如光泽，形状，纹理等组合的函数。遗憾的是，光谱反射率和表面效应的这种组合难以特征化和测量。可用于进行反射测量的基本仪器限于三种配置或几何条件，分别是（ $0^\circ : 45^\circ$ ）或（ $45^\circ : 0^\circ$ ）和（ $d:8^\circ$ ）仪器。遗憾的是，来自这些配置中任何一个的数据都不能轻易修改以匹配使用其他配置测量的数据。在某些情况下，光谱计算允许转换（参见参考文献[22]）。对于许多应用，几何条件并不是决定性的。对于其他应用，特定配置提供了独特的优势，对于某些应用，所使用的配置在历史实践和数据库中具有其基础而非该应用所要求。

在开发本文件时，考虑的主要应用之一是在纸上印刷图像的外观。可用信息强烈表明， $0^\circ : 45^\circ$ 或 $45^\circ : 0^\circ$ 几何条件提供了与人类观察者使用ISO 3664中规定的用于印刷和摄影的标准观察条件所见的反射率的最佳相关性。另外，在印刷领域中，色度数据通常与光密度数据结合使用。当前的反射光密度标准ISO 5-4规定了（ $0^\circ : 45^\circ$ ）或（ $45^\circ : 0^\circ$ ）几何条件的使用，CIE出版物176提供了关于目标容差的指导。

在本文件中指定的几何条件不适用的印刷应用的一个重要例子是确定油墨的“烫金”。为此需要积分球仪器。

符合ISO 5-4要求以下几何条件之一：“四十五度环形:法线”，“四十五度圆周:法线”，“法线:四十五度环形”，和“法线:四十五度圆周”。使用环形反射器实现环形几何条件，而圆周几何条件使用诸如围绕圆周放置多个光源/传感器作为环形几何条件的近似。见CIE出版物176:2006。

但是，如果感测和/或辐射限于单个方位角，则强调定向和纹理效果。这些几何条件在ISO 5-4和CIE出版物176中已弃用，因此在本文件中已弃用。它们被称为“四十五度方向:法线”和“法线:四十五度方向”。

注：有关测量几何条件和几何容差的更多详细信息，请参见CIE出版物176。

B.1.2 过度填充和填充不足

打印控制条上的控制色块很少大于5平方毫米，小孔（ $45^\circ : 0^\circ$ ）和（ $0^\circ : 45^\circ$ ）几何条件分光光度计可读取。控制色块的小尺寸和读取它们所需的小采样孔径需要特别考虑由于半透明模糊（横向散射）误差引起的变化。

当样本半透明时，至少在一定程度上，一些照明光穿透样本并横向散射到仪器检测头所观察的区域之外的点，导致报告的反射率值低于所有反射光都被收集的情况。

样品半透明度与仪器光学配置之间的相互作用称为半透明模糊，半透明样品上测得的反射因子与校正反射因子的差异称为半透明模糊误差[20][23]。

通常用于校准大采样孔径分光光度计的白色玻璃反射率标准和粉末压片通常是半透明的。印刷打样承印物和印刷承印物在某种程度上也是半透明的。

为了使半透明模糊误差最小化，通过照射大于样品孔径的光点（“过度填充”）或反之（“填充不足”）

来测量大的均匀样品。ISO 5-4声明“发光区域和接收区域中较大者的实现边界应在较小者的边界之外至少2 mm。如果需要小的采样孔，则该尺寸应至少为0.5 mm。产生的横向扩散误差的大小宜被接受作为整体测量不确定度的一部分，或者应该使用更大的边界差。”

为了最大限度地减少由于半透明模糊引起的误差，使用不透明的标准化参考材料非常重要。

B.1.3 采样孔径尺寸，扫描区域

测量半色调时，网目线数是选择仪器采样孔径时应考虑的另一个因素。如果测量的面积太小，则测量变得不稳定并且取决于恰好测量的半色调点的数量。对于周期性加网和单次测量，经验法则表明至少79个半色调点需要在采样孔径内，尽管177个点更好。这对应于以下规则：对于圆形孔，直径应该至少是网目宽度的10倍，最好是15倍。表B.1分别显示了最小和推荐的圆形采样孔直径和面积，作为网目线数的函数。如果采样孔不是圆形的，则尺寸不宜小于圆孔的直径。

如果通过在表B.1的第4列和第5列给出的范围内的多个测量值进行平均来减少单次测量的较大不确定性，则允许使用小于表B.1的采样孔径。该方法由扫描仪器应用。

对于没有恒定加网频率的半色调（非周期性加网），建议使用表B.1，其伪加网频率通过将0.120除以非周期性加网的最小图像元素的直径来计算。

示例：给定非周期性加网的最小直径为20 μm (0.002cm)。0.120除以0.002cm得到60/cm，因此推荐应用表B.1中标记为59.1 (150) 行。

表 B.1 圆形采样孔直径和半色调测量区域

加网频率	直径		面积	
	最小	推荐	最小	推荐
$\text{cm}^{-1}(\text{lpi})$	mm	mm	mm^2	mm^2
25.6 (65)	3.9	5.9	12.0	27.0
33.5 (85)	3.0	4.5	7.0	15.8
39.4 (100)	2.5	3.8	5.1	11.4
47.2 (120)	2.1	3.2	3.5	7.9
52.4 (133)	1.9	2.9	2.9	6.4
59.1 (150)	1.7	2.5	2.3	5.1
68.9 (175)	1.5	2.2	1.7	3.7
78.7 (200)	1.3	1.9	1.3	2.9
98.4 (250)	1.0	1.5	0.8	1.8

B.2 透射测量集合条件

透射测量几何条件在本文件中定义为符合ISO 5-2，即 (0:d) 或 (d:0)，其中以乳白玻璃或塑料作为漫射介质。漫射器的特性也在ISO 5-2中规定。对于半色调，B.1.3中给出的推荐也很有用。

正如ISO 5-2中所强调的那样，使用CIE出版物15:2004积分球方法进行的测量不会产生完全相同的结果。这主要是由于ISO 5-2方法中样本和漫射器之间发生的相互反射（这反映了许多实际情况）。实验证

据[21]表明，两种方法获得的差异在高透射率下最为显著，引入的误差通常与透射率（和CIEXYZ值）呈线性关系。使用蛋白石参考测量的CIEXYZ值将高于使用积分球参考获得的值。差异程度是蛋白石材料以及被测材料表面特征（光滑度、无光泽度等）的函数。

附录 C

(资料性)

改进仪器间一致性

C.1 校准

测量设备需要使用自己最新的标准化材料或经过认证的参考材料 (CRMs) 进行标准化。好的做法是首先验证参考材料有效期尚未到期。接下来, 检查存储在仪器中的反射值是否确实与要使用的白色参考有关, 这通常通过检查参考图块的序列号与仪器的序列号匹配来完成。然后, 作为完整标准化步骤的一部分, 测量白色反射参考, 如果作为制造商步骤的一部分提供, 则进行零反射测量 (在黑色陷阱装置上)。在任何情况下, 请遵循仪器制造商指定的步骤和参考材料附带的步骤。在大多数现代仪器中, 许多标准化步骤已经自动化, 几乎不需要人为干预。一旦完成校准, 通过再次测量参考材料并将结果与目标值进行比较来验证标准化步骤总是一个好主意。

C.2 网目线数和采样孔径

半色调区域无法通过太小而无法有效评估样品的采样孔径测量。有关在测量具有各种网目线数的半色调时所使用的孔径尺寸的更多详细信息, 请参阅附录B。不同的采样孔径测量样本的不同区域。因此, 最好使用通用采样孔径尺寸和形状来比较测量值。

C.3 测量条件

许多测量不一致的情况可以追溯到在不同条件下测量的数据的比较。操作员通常可以选择各种仪器及其物理选项, 例如几何形状 (0° : 45° 或漫射:法线, 包括或排除镜面反射分量, $di:8^\circ$ 或 $de:8^\circ$), 测量源通量的UV成分 (包括或排除) 或偏振器 (接合或不接合)。此外, 还有许多计算选项, 可以更改报告读数的值, 包括CIE光源 (A, D50, D65, C等) 和标准观察者函数 (2° 或 10° 视野大小)。确保仪器及其设置符合本文件的规定。

C.4 通用模型和制造商

当使用的设备来自单一制造商时, 可实现最好的一致性, 当来自同一产品系列时, 可实现更好的一致性。

C.5 参考材料

许多仪器采用拥有一个特性, 允许用户手动输入、通过参考材料测量过程或从具有界面的计算机系统下载参考数据到仪器的存储器中。然后相对于参考材料的值进行测量。当需要在不同样本之间进行比较或者宜使用“通过/失败”参数时, 这是有用的。需要注意确保不会意外激活此参考功能。这些错误可能导致两个或更多仪器之间的严重测量差异。详情请见附录D。

C.6 光谱校正

如果C.1至C.5中的测量建议不足以显著改善仪器间一致性, 可以考虑参考文献[19]和[22]中描述的方法。这些作者使用回归分析来校正测量的光谱, 使得它们接近所选参考仪器的光谱。

附录 D

(资料性)

经过认证的参考材料 (CRMs)

D.1 概述

如ISO指南30中所定义, 这些是参考材料, 附有证书, 其中一个或多个属性值通过步骤进行认证, 该步骤建立可追溯性以准确实现表达属性值的单元, 并且每个认证值都伴随着规定置信水平的不确定性。对于印刷行业, 通常认为大约95%的置信水平是足够的。这对应于2的包含因子, 或者在正态分布的情况下2个统计标准偏差。有关更多信息, 请参阅ISO 15790。

自从印刷技术中的颜色测量开始以来, 它一直受到相对较差的仪器间一致性的困扰。这就是在本文件中引入附录C的原因。最近, 使用高荧光纸作为印刷承印物进一步混乱了这种情况。这倾向于放大光源UV区域光谱成分不相同的仪器之间的差异。

由一个国际认可的基础标准机构认证或可追溯的一套经认证的参考材料, 几乎所有制造商都采用这些材料, 可达到以下目的:

- 提醒用户有关仪器间的问题;
- 当仪器超出规范时显示;
- 为逐渐减少仪器间差异奠定基础。

适合的CRM集

- a) 包括白色色块, 印刷原色的一次色和二次色实地, 以及许多三次色中间色调,
- b) 使用光谱相关性、表面和散射特性方面与实际印刷品和样张相当的着色剂和油墨配方,
- c) 最好是厚膜样品, 因为它们对磨损不太敏感,
- d) 将提供根据本文件测量的所有色块的光谱和CIELAB值, 以及
- e) 需要获得国际公认的基础标准机构, 如NIST (美国)、PTB (DE)、NPL (英国)、CTP (法国) 和NRC (加拿大) 的认证或可追溯。

CRMs将使用户能够确定他们的仪器是否在规范范围之内, 并且如果需要, 将允许他们让制造商重新校准仪器。或者, 仪器给出的数据可用于通过软件工具来校正数据, 这些工具需要由供应商提供。

在CRM包含荧光增白剂的情况下, 需要为测量条件M1和M2提供光谱和色度数据。

D.2 经过认证的参考材料的使用

按照制造商的步骤设置和标准化仪器, 测量CRM色块并将测量的CIELAB值与CRM证书中的参考值进行比较。

为使该比较有意义, 有必要确定测量结果的组合标准不确定度。为了确定该数量, 有必要首先估计该过程的每个组成部分的不确定度。(这些估算可以通过统计或其他方法确定。) 这个过程需要了解所有不确定度来源, 包括再现性, u_r , (见ISO 15790:2004, 6.1.5), CRM不确定性, u_{CRM} , (见ISO 15790:2004, 6.1.6), 以及其他已知的测量不确定度来源。当不确定度的每个分量表示为方差(对于正态分布, 这相当于一个标准差的平方)或其估计时, 方差之和(及其估计)的正平方根等于组合标准的不确定度(假设所有不确定度来源都是独立的, 即它们不相关); 见ISO 15790:2004, 6.1.7。

即使它们可能已经使用相同的仪器进行评估, CRM测量而确定的测量结果的不确定度可能不等于测量其他材料的结果的不确定度。例如, 反射密度CRM的光泽度是CRM的一个特征, 可能不会影响仪器精确测量

CRM密度的能力。但是，如果使用相同的仪器测量光泽度与CRM不同的样品，则该光泽度差异可能会影响测量结果的不确定度。在这种情况下，宜确定光泽度的影响，并与其他不确定度来源相结合。有关CRM的特性，请参阅ISO 15790，在评估测量不确定度时可能还需要考虑这些因素。

一旦确定了测量系统的组合标准不确定度，就应使用CRM验证仪器校准。如果测量值与CRM参考值之间差值的绝对值小于或等于组合标准不确定度，则不需要应用校正。如果测量值和参考值之间差值的绝对值大于组合标准不确定度，宜对测量结果进行校正。

优选使用参考文献[5]和[20]中提到的光谱方法进行校正。由于这些操作繁琐，因此最好使用驻留在仪器固件中的算法，或者由制造商提供的，作为与仪器通信的计算机的软件的算法。或者，可以由用户或制造商调整仪器。

当CRM测量的结果等于或在规范内时，性能通过验证并且不需要调整。当校准结果超出仪器规范时，测量方法、校准频率、仪器或CRM可能存在问题。

附录 E

(资料性)

扩展带宽的步骤

本文件描述了用各种带宽的仪器进行光谱测量的三刺激值积分的步骤。用于三刺激值积分的方法假设仪器带宽和采样间隔近似相等（5 nm采样间隔假设5 nm带宽）。还假设测量仪器是三角形响应函数，以半功率点定义带宽。该假设基于使用狭缝孔径和衍射光栅或棱镜的经典实验室仪器的设计。

如果可用数据的采集间隔与可用色度加权函数所需的5 nm间隔不对应，宜对其进行修改（重采样）以提供所需间隔的估计（伪）数据。只有当数据以小于期望的5 nm间隔采集并且带宽对应于采样间隔时，才宜这样做。应用于创建所需数据的技术是在基于期望的（新的）采样间隔和带宽的现有数据上，连续地用三角形加权函数。然后将该数据在该间隔上求和，并通过所使用的权重之和进行归一化。对于所需的每个新数据点重复该过程。

加权函数如方程E. 1所示：

$$W(\lambda_{Xn}) = \frac{\Delta\lambda - |\lambda_{Yn} - \lambda_{Xn}|}{\Delta\lambda} \quad (\text{E.1})$$

式中：

$W(\lambda_{Xn})$ 是波长 λ_{Xn} 的权重函数

λ_{Yn} 是即将计算的数据的波长

λ_{Xn} 是可用数据的波长

$\Delta\lambda$ 是期望带宽

函数定义在以下给定区间

$$|\lambda_{Yn} - \lambda_{Xn}| < \Delta\lambda$$

在测量范围末端没有数据的情况下，宜假设数据是统一的，并且宜使用最后一个可用的测量值来定义最终值。

示例：以下示例假设数据以3 nm的间隔可用，并且数据期望以5 nm的间隔采集。在420 nm的区域中，特定值在403 nm，406 nm，409 nm，... 436 nm的波长处。420 nm处的值的计算通过以下方式完成。

a) 由于带宽（ $\Delta\lambda$ ）为5 nm，因此只有410 nm至430 nm的数据用于计算（412 nm，415 nm，418 nm，421 nm，424 nm，427 nm和430 nm的数据值）。

b) 加权函数为412（0.2），415（0.5），418（0.8），421（0.9），424（0.6），427（0.3）和430（0）。权重之和为3.3。

c) 将每个波长 λ 的光谱数据乘以加权因子 X 的值，将乘积相加并除以权重之和（本例中为3.3）。然后，这是用于以420 nm为中心的5 nm带通的值。

d) 在波长范围为340 nm至780 nm，间隔为5 nm的条件下重复该过程。

使用相同的过程来修改其他可用数据间隔以提供用于色度计算的输入。

缩小带宽是一个更困难的过程，并且通常不是唯一的转换。有关如何修改测量反射系数曲线以缩小表观带宽的更多信息，请参见参考文献[18]，[27]，[28]和[30]。

附录 F
(资料性)
荧光样本

F.1 概述

目前，几乎所有的印刷承印物都呈现出显著的荧光。大多数情况下，这是由于印刷承印物中存在荧光增白剂。这些需要波长低于400 nm的紫外线辐射进行激发，然后在蓝色区域发光。结果是CIELAB b^* 坐标向蓝色偏移约1至10。

然而，在极少数情况下，在印刷油墨和打样油墨中使用的发荧光的着色剂，响应于远高于400 nm的可见光辐射进行激发。虽然通过符合4.2.2.3中的紫外线截断规范M2可以避免几乎所有的紫外激发荧光，但由于可见光荧光着色剂的影响是无法避免的，因此需要对它们的存在进行测试。

下面描述的测试仅适用于含有UV激发荧光的样本。在前一段中提到的含有所谓日光荧光的样本具有与可见光发射带显著重叠的激发带。这种可见光激发荧光剂不容易评估荧光的水平或存在。

F.2 荧光存在的历史测试

F.2.1 概述

下面描述的测试仅适用于含有UV激发荧光的样本。含有所谓日光激发荧光的样本，即具有与可见光发射带明显重叠的激发带，不能轻易评估荧光的水平或存在[25]。

F.2.2 双源测量

用两个光源测量样本，其中一个近似于光源A，另一个近似于D65。两个光谱功率分布差别很大。然后使用得到的光谱数据计算两个光源相对于D50的三刺激值。它们之间的CIELAB差异是荧光的量度。如果通过过滤单一来源获得两种来源是可接受的。如果仪器制造商提供测量源的两个光谱功率分布，则在传递结果时应引用这两个光谱功率分布以允许独立检查。

F.2.3 单紫外截断滤光片

该方法仅测试UV激发荧光是否存在。如果仪器配有可选的紫外线截断滤色片，例如4.2.2.3规范中隐含的透射特性的滤光片，则在照明光路中带有紫外线截断滤色片和不带紫外线截断滤色片测量样本。两次测量之间的CIELAB差异是UV激发荧光的量度。

F.2.4 含有和不含荧光增白剂的样本

该方法测试了相同白色材料不含增白剂和添加了高水平荧光增白剂之间的总辐射因子的变化。这些材料标准无需认证。该方法要求使用标准仪器条件读取这两个色块，并计算两个光谱辐射因子之间的差异。色块读数之间的CIELAB差异是UV激发荧光的量度。

附录 G

(规范性)

紫外线截断一致性的测量方法

G.1 测试材料

需要两个承印物和一个测试滤色片。

G.1.1 承印物

承印物1, 由不发荧光的白色标准 (WS) 组成; 一些仪器的白色校准块就足够了。承印物2, 具有高浓度荧光增白剂的纸, 其在使用紫外线截断滤色片和不使用紫外线截断滤色片的情况下测量的CIE b^* 的差异在3至5的范围内。

G.1.2 测试滤色片

需要具有以下光谱透射率特性的测试滤色片:

- a) 在420 nm以上的可见光范围内大于0.65;
- b) 在410 nm处小于0.5;
- c) 在400 nm处小于0.20;
- d) 在390 nm处小于0.01。

注: 这相当于市售的滤色片, 包括Wratten 2B和FujiFilm SC-41, 但不限于其中的任何一种。此信息是为了方便本文件的用户而提供的, 并不构成ISO对所命名产品的认可。

G.2 准备步骤

在执行此测试之前, 应注意以下步骤。

- a) 承印物应放在黑色背衬上。
- b) 宜注意保持适当的仪器放置在基板上。
- c) 对于G.3中描述的测试步骤, 只要在蓝色区域中产生的双重吸收不会增加信噪比到影响重复测量能力的程度, 测试滤色片可以放置在光路上或可选地放置在照明和拾取上。
- d) 在测试之前应验证仪器的可重复性。

G.3 步骤

仪器在M2测量模式下运行时, 执行以下测试测量。

- a) 第一次测量, 将测试滤色片 (G.1.2) 放在仪器的照明光路中, 并测量承印物1 (WS) (G.1.1) 的光谱反射因子。
- b) 第二次测量, 取下测试滤色片并测量承印物1 (WS) 的光谱反射系数。
- c) 第三次测量, 将测试滤色片放在仪器的照明光路中, 测量承印物2 (含荧光增白剂的纸) (G.1.1) 的光谱反射因子。
- d) 第四次测量, 取下测试滤色片并测量承印物2 (含荧光增白剂的纸) 的光谱反射因子。
- e) 将第三次测量值除以第一次测量值, 计算使用测试滤色片时, 承印物2相对于承印物1的光谱反射因子。
- f) 将第四次测量值除以第二次测量值, 计算不使用测试滤色片时, 承印物2相对于承印物1的光谱反射因子。

g) 为了消除绿色至红色波长区域中两个相对光谱之间的残余缩放误差，计算两种情况下光谱反射因子在550 nm至670 nm范围内的平均值，得到M5（使用测试滤色片的相对光谱平均值）和M6（不使用测试滤色片的相对光谱平均值）。

h) 然后将每一个使用测试滤色片的相对光谱值[e]乘以因子（M6/M5）。

i) 减去使用测试滤色片[h]和不使用测试滤色片[f]的相对光谱值。

j) 比较440 nm处的相对反射因子，差异应小于0.03。

附录 H

(资料性)

特殊情况：使用偏振

H.1 使用偏振

虽然第一表面反射是到达眼睛的光学刺激的重要组成部分，但是在特殊情况下，第一表面反射倾向于稀释或干扰人们试图测量的效果。交叉偏振滤色片的安装消除了大部分不需要的反射信号。由于大多数偏振滤色片的UV吸收相对较高，因此它们通常与UV截断滤色片结合使用，或者它们兼作UV截断滤色片。

一个典型的例子是单张纸胶印中油墨膜厚度的分光密度控制。已经发现交叉偏振滤色片的安装有助于将密度的线性部分相对于墨膜厚度的依赖性向更高的值延伸，并且有助于大大减小密度干退。由于油墨干退，CIELAB颜色漂移可观察到类似的效果；如果加入偏振片，漂移会显著降低。而且，CIELAB颜色轨迹对墨膜厚度的相关性的线性部分被延长。在使用高强度油墨印刷时，这对于准备阶段的过程控制非常有用。然而，为了控制生产运行（OK样张后的生产），宜注意与ISO 13656一致，密度测定是主要选择。

在油墨配方中，测量的颜色坐标与组分着色剂的浓度之间的相关性得到改善，因此改善了所得油墨配方的精确度。

进一步观察到，对于烫金油墨，视觉印象和测量的颜色坐标之间的相关性得到改善。

尽管在上述特殊情况下交叉偏振片有好效果，但需要注意的是，对于色度法中的大多数其他情况，使用偏振片是适得其反的。这包括但不限于亚光和光泽样本的比较（通常是打样和生产印刷品的情况）和印刷样品的测量，这些样品已经用复合薄膜进行表面处理或者由背面印刷的透明塑料材料构成。

附录 I

(资料性)

将光谱测量值转换为三刺激值的示例计算

I.1 概述

本文件描述了用于采集材料或光源的基本光谱特性、将列表光谱数据转换成CIE三刺激值、CIELAB颜色空间坐标和计算两者之间的色差的方法。这种转换被定义为基于颜色刺激函数 $\Phi(\lambda)$ 的数值积分，物体色度值通过将光谱反射率或透射率数据乘以来源于光源表的可用辐射（光）量来获得，如式（I.1）和（I.2）所示。

$$\Phi(\lambda) = R(\lambda) \times S(\lambda) \quad (\text{I.1})$$

或

$$\Phi(\lambda) = T(\lambda) \times S(\lambda) \quad (\text{I.2})$$

然后将颜色刺激函数与标准观察者或颜色匹配函数组合，并在380 nm至780 nm之间进行数值积分，如公式（I.3）所示。

$$\begin{aligned} X &= k \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) \times \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) \times \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) \times \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (\text{I.3})$$

$$k = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \times \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

虽然假设颜色刺激函数和颜色匹配函数是波长的解析函数，但这些函数的确切形式通常是未知的。因此，通常通过在所需范围（380 nm至780 nm）上均匀空间波长数据的离散采样来近似函数。需要无穷步骤的解析积分应使用数值积分来近似。

本附件提供了一组光谱数据的工作示例，以便本文件的用户可以验证他们实际上已正确实施了本文件。印刷复制中的标准做法是不在参考材料、特性文件和特征数据集中包含光谱数据。尽管这样的光谱数据是最初就获得的，但是数据集的创建者使用光谱计算三刺激值数据，然后丢弃原始光谱。因此，本附录的一个目标是，我们现在提供表格格式的标准数据集，可用于检查反射率曲线、光源（D50）和观察者（1931颜色匹配函数）的数值积分过程。

I.2 目标颜色的标准采样间隔计算步骤

当将测量的光谱反射率或透射率因子转换成色度值时，需要用更简单的加权求和来近似纳米单位数值积分。在代数求和中，归一化常数 k 在计算的分子和分母中包括常数 $\Delta\lambda = 5 \text{ nm}$ ，因此，与自发光色度法的情况不同，测量步长不需要包括在求和中。因此，如果已经以5 nm间隔和5 nm光谱带通采集了目标颜色数据，则该过程非常简单。见式（I.4）。

$$\begin{aligned}
 X &= k \sum_{380}^{780} R(\lambda) \times S(\lambda) \times \bar{x}(\lambda) \\
 Y &= k \sum_{380}^{780} R(\lambda) \times S(\lambda) \times \bar{y}(\lambda) \\
 Z &= k \sum_{380}^{780} R \times S(\lambda) \times \bar{z}(\lambda) \\
 k &= 100 / \sum_{380}^{780} S(\lambda) \times \bar{y}(\lambda)
 \end{aligned}
 \tag{I.4}$$

式中

λ 是波长，单位为纳米(nm)；

$R(\lambda)$ 是波长 λ 处的光谱反射因子；

$S(\lambda)$ 是波长 λ 处的相对光谱功率分布；

$\bar{x}(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE X 的光谱颜色匹配函数；

$\bar{y}(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE Y 的光谱颜色匹配函数；

$\bar{z}(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE Z 的光谱颜色匹配函数。

对于以推荐的5 nm采样间隔和5 nm带宽采集的数据，此处引用的权重仅仅是CIE光源和CIE标准观察者的乘积，例如D50和1931 2° 颜色匹配函数，取自CIE出版物15，表T.1和T.4。如果测量的光谱数据在大于360 nm的波长处开始，则应计算小于第一个测量波长的所有波长的加权值，求和并将其加到测量的第一个波长的加权值上。如果最后测量的光谱数据点的波长小于780 nm，那么大于最后测量波长的所有波长的加权值应相加并加到最后测量波长的加权值上。

表 I.1 原色集的反射因子数据

波长 (nm)	C	M	Y	K		波长 (nm)	C	M	Y	K
380	27.20	20.03	19.32	2.00		600	5.91	38.34	92.33	2.15
385	32.18	19.32	18.73	2.00		605	5.31	51.65	92.38	2.17
390	37.06	18.53	17.85	2.00		610	4.94	63.35	92.55	2.19
395	41.28	17.79	16.77	2.00		615	4.91	72.66	92.74	2.21
400	44.52	17.28	15.68	2.00		620	4.99	79.65	93.05	2.24
405	47.14	17.25	14.50	2.00		625	5.06	84.44	93.37	2.27
410	49.50	17.81	13.23	2.00		630	5.09	87.39	93.72	2.30
415	51.59	18.87	12.06	2.00		635	5.25	79.38	94.12	2.33
420	53.88	20.14	11.09	2.00		640	5.47	91.03	94.54	2.36
425	57.44	21.35	10.18	2.00		645	5.91	92.21	94.94	2.39
430	60.59	22.32	9.42	2.00		650	6.52	92.96	95.37	2.43

435	64.74	23.12	8.68	2.00		655	7.16	93.42	95.69	2.47
440	70.35	23.59	8.00	2.00		660	7.84	93.63	95.61	2.51
445	74.85	23.59	7.63	2.00		665	8.45	93.59	95.31	2.55
450	77.49	23.36	7.97	2.00		670	8.81	93.49	95.05	2.59
455	78.95	22.60	8.70	2.00		675	8.77	93.35	4.85	2.64
460	79.80	21.25	9.46	2.00		680	8.58	93.33	94.69	2.68
465	80.51	19.56	9.96	2.00		685	8.24	93.67	94.82	2.73
470	80.70	17.68	9.87	2.00		690	7.82	94.22	95.22	2.78
475	80.33	15.79	9.65	2.00		695	7.35	94.71	95.74	2.83
480	79.81	14.05	10.08	2.00		700	6.50	95.08	96.20	2.88
485	78.76	12.55	12.28	2.01		705	5.90	95.45	96.57	2.93
490	77.11	11.18	17.43	2.01		710	5.50	95.78	96.92	2.98
495	75.35	9.98	26.40	2.01		715	5.58	96.08	97.26	3.04
500	73.38	8.86	38.89	2.01		720	6.15	96.30	97.50	3.09
505	70.81	7.71	52.84	2.01		725	7.13	96.52	97.67	3.14
510	67.66	6.58	65.42	2.01		730	8.50	96.78	97.85	3.20
515	63.73	5.50	74.53	2.01		735	10.39	97.05	98.02	3.25
520	59.16	4.67	80.16	2.02		740	13.39	97.17	98.23	3.31
525	54.10	4.15	83.61	2.02		745	18.57	97.33	98.49	3.36
530	48.84	3.80	85.86	2.02		750	26.44	97.53	98.63	3.42
535	43.61	3.63	87.54	2.02		755	37.10	97.79	98.63	3.48
540	38.52	3.61	88.95	2.03		760	49.39	98.06	98.71	3.53
545	33.39	3.58	89.91	2.03		765	61.07	98.18	98.92	3.59
550	28.36	3.42	90.54	2.04		770	70.32	98.15	99.08	3.64
555	23.25	3.07	90.96	2.04		775	77.31	98.19	99.13	3.70
560	18.46	2.79	91.26	2.05		780	83.08	98.48	99.27	3.75
565	14.60	2.69	91.36	2.06						
570	11.98	2.71	91.39	2.07		X	18.90	35.72	77.84	2.07
575	10.16	2.97	91.47	2.08		Y	28,54	18.16	83.64	2.09
580	8.79	4.06	91.69	2.09		Z	60.60	16.01	10.62	1.65
585	7.72	7.36	91,93	2.10						
590	6.97	14.38	92.14	2.12						
595	6.45	25.22	92.32	2.13						

1.3 目标颜色的宽采样间隔计算步骤

当使用10 nm间隔的光谱数据计算三刺激值时，可以使用ASTM光谱权重方法近似数值积分。该方法在每个波长处应用加权函数，数值等效于将测量的光谱数据内插到1 nm间隔，然后将1 nm数据乘以取自ISO 11664-1和ISO11664-2的1 nm CIE D50光源和CIE标准观察者值。示例显示了光谱反射率和透射率读数。未测量的数据外推为等于最后的测量值。

$$X = \sum_{\lambda=360}^{780} R(\lambda) \times W_X(\lambda) \tag{1.5}$$

$$Y = \sum_{\lambda=360}^{780} R(\lambda) \times W_Y(\lambda) \tag{1.6}$$

$$Z = \sum_{\lambda=360}^{780} R(\lambda) \times W_Z(\lambda) \tag{1.7}$$

式中

λ 是波长，单位为纳米(nm)；

$R(\lambda)$ 是波长 λ 处的光谱反射因子；

$W_X(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE X 的加权因子；

$W_Y(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE Y 的加权因子；

$W_Z(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE Z 的加权因子。

透射样本数据的CIE X，CIE Y和CIE Z值的计算应如下所示：

$$X = \sum_{\lambda=380}^{780} T(\lambda) \times W_X(\lambda) \tag{1.8}$$

$$Y = \sum_{\lambda=380}^{780} T(\lambda) \times W_Y(\lambda) \tag{1.9}$$

$$Z = \sum_{\lambda=380}^{780} T(\lambda) \times W_Z(\lambda) \tag{1.10}$$

式中

λ 是波长，单位为纳米(nm)；

$T(\lambda)$ 是波长 λ 处的光谱投射因子；

$W_X(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE X 的加权因子；

$W_Y(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE Y 的加权因子；

$W_Z(\lambda)$ 是波长 λ 处 CIE Z 的加权因子。

注1：该步骤符合ASTM E 308-13。

表 I.2 光谱权重 $W(\lambda)$ ，用于 D50 光源和 2° 观察者，以 10 nm 间隔和 10 nm 带宽数据计算三刺激值

波长 (nm)	反射权重		
	$W_X(\lambda)^a$	$W_Y(\lambda)^a$	$W_Z(\lambda)^a$
380	0.004	0.001	0.019
390	0.012	0.000	0.057
400	0.060	0.002	0.285
410	0.234	0.006	1.113
420	0.775	0.023	3.723
430	1.610	0.066	7.862
440	2.453	0.162	12.309

450	2.777	0.313	14.647
460	2.500	0.514	14.346
470	1.717	0.798	11.299
480	0.861	1.239	7.309
490	0.283	1.839	4.128
500	0.040	2.948	2.466
510	0.088	4.632	1.447
520	0.593	6.587	0.736
530	1.590	8.308	0.401
540	2.799	9.197	0.196
550	4.207	9.650	0.085
560	5.657	9.471	0.037
570	7.132	8.902	0.020
580	8.540	8.112	0.015
590	9.255	6.829	0.010
600	9.835	5.838	0.007
610	9.469	4.753	0.004
620	8.009	3.753	0.002
630	5.926	2.443	0.001
640	4.171	1.629	0.000
650	2.609	0.984	0.000
660	1.541	0.570	0.000
670	0.855	0.313	0.000
680	0.434	0.158	0.000
690	0.194	0.070	0.000
700	0.097	0.035	0.000
710	0.050	0.018	0.000
720	0.022	0.008	0.000
730	0.012	0.004	0.000
740	0.006	0.002	0.000
750	0.002	0.001	0.000
760	0.001	0.000	0.000
770	0.001	0.000	0.000
780	0.000	0.000	0.000
校验和	96.421	99.997	82.524

白点	$X_n = 96.422$	$Y_n = 100.000$	$Z_n = 82.521$
a 所有权重函数的值都经授权提取自 ASTM E 308-13, 表 5.9			

由于数值舍入，检验和和白点值之间存在细微差别。这些差异比测量系统的分辨率小一个数量级，并且被认为对于计算是无关紧要的。计算CIELAB坐标时，建议使用 X_n 、 Y_n 和 Z_n 的白点值而不是校验和。

例：以10 nm带宽和间隔提供400 nm至700 nm的反射率数据。首先，将表I.2中包含的权重从380 nm加到390 nm和从710 nm加到780 nm，分别得到 $WX(\lambda)$ 、 $WY(\lambda)$ 和 $WZ(\lambda)$ ，然后分别将他们加到400 nm和700 nm的值上。将光谱和重量数据输入电子表格或类似步骤，并执行波长方式的乘法。该加和的结果是CIE X，CIE Y和CIE Z的值。

下面的示例从以10 nm间隔和10 nm带宽（400 nm至700 nm）的测量值计算XYZ和 $L^*a^*b^*$ 值。测量的样本是标准胶印原色油墨（青色，品红色，黄色和黑色）。

表 I.3 原色集的 10 nm 反射因子数据

波长 (nm)	C	M	Y	K	波长 (nm)	C	M	Y	K
400	43.56	16.85	15.39	1.91	570	11.71	2.75	89.10	1.67
410	48.24	17.27	12.86	1.83	580	8.59	4.04	89.40	2.25
420	51.95	19.65	10.99	2.04	590	6.78	13.46	89.86	1.78
430	58.96	21.63	9.27	1.97	600	5.83	37.56	90.14	1.88
440	69.12	23.30	7.91	2.01	610	4.75	62.00	90.23	2.00
450	75.82	23.05	7.86	2.12	620	4.86	77.82	90.89	2.06
460	77.82	20.69	9.15	1.85	630	4.90	85.23	91.53	2.16
470	78.96	17.24	9.63	2.00	640	5.29	88.99	92.36	2.45
480	77.82	13.56	9.81	1.70	650	6.37	90.54	92.85	2.15
490	75.39	10.90	16.77	1.91	660	7.63	91.30	93.12	2.39
500	71.77	8.79	37.79	2.21	670	8.71	91.65	93.11	2.38
510	66.17	6.57	64.58	2.15	680	8.41	91.02	92.41	2.83
520	57.81	4.47	78.10	1.90	690	7.52	91.98	92.82	2.65
530	47.62	3.66	83.66	2.00	700	6.17	92.77	93.96	2.71
540	37.67	3.55	86.94	2.11					
550	27.81	3.52	88.46	2.25	X	18.46	34.87	75.97	1.95
560	18.02	2.65	89.29	1.88	Y	27.89	17.73	81.66	2.01
					Z	59.22	15.67	10.38	1.63

附录 J

(规范性)

CIELAB 总色差 (ΔE^*_{ab}) 的计算J.1 CIELAB 总色差 (ΔE^*_{ab}) 的计算方法

CIE1976 色差公式如公式 (J.1) 至 (J.7) 所示:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{J.1})$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2 \quad (\text{J.2})$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2 \quad (\text{J.3})$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2 \quad (\text{J.4})$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab1} - C^*_{ab2} \quad (\text{J.5})$$

$$\Delta h_{ab} = h_{ab1} - h_{ab2} \quad (\text{J.6})$$

$$\Delta H^*_{ab} = k\sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*_{ab})^2}; k = -1 \text{ if } \Delta h_{ab} < 0, k = 1 \quad (\text{J.7})$$

式中:

ΔE^*_{ab} 是 CIE1976 L*, a*, b* 色差;

ΔL^* 是样本 1 和样本 2 之间的 CIE L* 差;

Δa^* 是样本 1 和样本 2 之间的 CIE1976 a* 值差;

Δb^* 是样本 1 和样本 2 之间的 CIE1976 b* 值差;

ΔC^*_{ab} 是样本 1 和样本 2 之间的 CIE1976 a, b 彩度差;

ΔH^*_{ab} 是样本 1 和样本 2 之间的 CIE1976 a, b 色相差;

Δh_{ab} 是样本 1 和样本 2 之间的 CIE1976 a, b 色相角差。

附录 K

(规范性)

CIEDE2000 总色差 (ΔE_{00}) 的计算K.1 CIEDE2000 总色差 (ΔE_{00}) 的计算方法

计算小色差的推荐步骤是使用CIE出版物15:2004和CIE出版物142中描述的CIEDE2000公式。建议咨询CIE网站 (<http://www.cie.co.at>) 获得该领域的最新出版物。

实验条件的变量参数因子 k_L , k_C , k_H 在以下条件下为1, 1, 1: 标准光源D65, 照度1000lx, 直接边缘接触的均匀着色物体样本, CIE 1976色差不超过5, 样本具有大于4° 的视角, 样品位于亮度为50的均匀中性灰色背景上。

目前, 对于几乎总是在印刷技术中使用的, ISO 3664中规定的观察条件P1, 即2000lx和D50, 没有确定的参数因子。在过渡期间, 在获得更具决定性的实验结果之前, 1, 1, 1的选择被认为是最佳解决方案。

CIEDE2000总色差公式修正了CIELAB色彩空间的不均匀性, 以便在参考条件下获得小的色差。通过修正亮度相关性、色度相关性, 色相相关性以及色相-色度相互作用对感知色差的影响, 对工业色差评估的总色差计算进行了改进。修改沿 a^* 轴的缩放以修正灰色观察到的不均匀性。CIEDE2000总色差 ΔE_{00} 及其计算的推荐结果总结如下, 引自CIE出版物15:2004。

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)} \quad (\text{K.1})$$

式中:

$\Delta L'$ 是样本1和样本2之间经过转换的亮度差[见公式 (K.2)];

$\Delta C'$ 是样本1和样本2之间经过转换的彩度差;

$\Delta H'$ 样本1和样本2之间经过转换的色相差;

R_T 是旋转函数[见公式 (K.11)];

$k_L k_C$ 和 k_H 是实验环境变量的参数因子;

$S_L S_C$ 和 S_H 是加权函数[见公式 (K.7) 至 (K.9)]。

首先, 进行沿 a^* 轴缩放的局部修改, 这对于低色度的颜色是最重要的。

$$L' = L^* \quad (\text{K.2})$$

$$a' = a^*(1 + G) \quad (\text{K.3})$$

$$b' = b^* \quad (\text{K.4})$$

并且

$$G = 0,5 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\bar{C}_{ab}^{*7}}{\bar{C}_{ab}^{*7} + 25^7}} \right\} \quad (\text{K.5})$$

和

$$\bar{C}_{ab}^* = 0,5(C_{ab1}^* + C_{ab2}^*) \quad (\text{K.6})$$

式中

L' 是经过转换的亮度;

a' 经过转换的 a^* （红绿）坐标；

b' 经过转换的 b^* （黄蓝）坐标；

G 是与样本1和样本2的平均彩度相关的量。

然后使用变换的 L' ， a' ， b' 值来计算色相角，色度和亮度。这些新数量由最佳标记指定。利用这些结果，使用公式（K.7），（K.8），（K.9）和（K.10）确定加权函数和旋转函数。

$$S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L}-50)^2}{\sqrt{20+(\bar{L}-50)^2}} \quad (\text{K.7})$$

$$S_C = 1 + 0,045\bar{C} \quad (\text{K.8})$$

$$S_H = 1 + 0,015\bar{C}T \quad (\text{K.9})$$

并且

$$T = 1 - 0,17 \cos(\bar{h} - 30^\circ) + 0,24 \cos(2\bar{h}) + 0,32 \cos(3\bar{h} - 6^\circ) - 0,20 \cos(4\bar{h} - 63^\circ) \quad (\text{K.10})$$

式中：

S_L, S_C 和 S_H 是加权函数；

\bar{L} 是样本1和样本2经过转换的亮度平均值；

\bar{C} 是样本1和样本2经过转换的彩度平均值；

T 是与样本1和样本2经过转换的色相角平均值相关的量；

\bar{h} 样本1和样本2经过转换的色相角平均值。

注：此处给出的计算平均色相角的方法与ISO 11664-6不同。对于大于 180° 的角度差异，ISO 11664-6提供了另外两种情况以确保视觉合理性而非数学连续性。这种差异大多可以忽略，但在某些情况下却不能。例如，三种颜色（Lab1=[90.00 -1.49 0.293]；Lab2=[60.00 68.00 -13.35]和Lab3=[60.00 67.00 -13.40]）的 ΔE_{00} （1和2）=30.28， ΔE_{00} （1和3）=30.25，以及2和3之间的色差 ΔE_{00} （2和3）=0.26。使用ISO 11664-6中定义的方法，色差 ΔE_{00} （1和2）=37.78，这是不连续的并且会出现问题，例如，在优化算法中或在计算颜色空间中的路径长度时。

最后，旋转函数根据公式（K.11），（K.12）和（K.13）计算：

$$R_T = -R_C \sin(2\Delta\theta) \quad (\text{K.11})$$

并且

$$\Delta\theta = 30^\circ \exp\left\{-\left[\frac{\bar{h} - 275^\circ}{25}\right]^2\right\} \quad (\text{K.12})$$

和

$$R_C = 2 \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}} \quad (\text{K.13})$$

式中：

R_T 是旋转函数；

$\Delta\theta$ 是与样本1和样本2经过转换的色相角平均值相关的色相角差；

\bar{h} 是样本1和样本2经过转换的色相角平均值；

R_C 是与样本1和样本2经过转换的彩度平均值相关的量；

\bar{C} 样本1和样本2经过转换的彩度平均值。

表 K.1 CIEDE2000 计算的示例数据

样本对	1		2		3	
颜色坐标	STD	BAT	STD	BAT	STD	BAT
X	19.41	19.55	22.48	22.58	29.00	28.77
Y	28.41	28.64	31.60	31.37	29.58	29.74
Z	11.58	10.58	38.48	36.79	35.75	35.60
L^*	60.26	60.46	63.01	62.82	61.29	61.43
a^*	-34.01	-34.18	-31.10	-29.79	3.72	2.25
b^*	36.27	39.44	-5.87	-4.09	-5.39	-4.96
C^*	49.71	52.19	31.64	30.07	6.55	5.45
h^*	133.16	130.91	190.68	287.82	304.61	294.37
L^*ave	60.36		62.91		61.36	
C^*ave	50.95		30.86		6.00	
G	0.0017		0.0490		0.4966	
a'	-34.07	-34.23	-32.62	-31.25	5.57	3.36
C'	49.76	52.22	33.14	31.53	7.75	5.99
h'	133.21	130.9	190.20	187.45	315.92	304.14
$C'ave$	50.99		32.33		6.87	
$h'ave$	132.08		188.82		310.03	
DL^*	0.21		-0.19		0.14	
DC'	2.46		-1.62		-1.75	
DH'	-2.00		-1.55		-1.40	
S_L	1.1427		1.1831		1.1586	
S_C	3.2946		2.4549		1.3092	
S_H	1.9951		1.4560		1.0717	
R_c	1.9932		2.8527		0.0218	
D_{Theta}	0.0000		0.0002		4.211	
R_T	0.0000		0.0000		-0.0032	
T	1.3010		0.9402		0.6952	
ΔE_{00}	1.26		1.26		1.87	

附录 L

(资料性)

测量带通对光谱量的影响

L.1 一般背景

本文件的本修订版建议以5 nm间隔测量数据，其中三角光谱响应函数在半功率点处具有5 nm带宽。引入此变化的主要原因是尽可能符合ISO 11664-3，以最小化由于带通误差引起的三刺激值计算中的误差。本文件的早期版本没有关注此问题，因为印刷应用对于10 nm带通的误差通常是适度的 (<1dE)。然而，在某些应用中，现在可能会关注这种程度的误差。

过去二十年的研究已经量化了仪器带通对三刺激值计算精度的影响。CIE和ASTM的委员会已经研究了计算方法来解决这个问题。但是，目前没有通用的CIE建议，因此在最近的ASTM标准 (E308, E2022, E2729) 中推荐的“带通校正”在本文件的本修订版中并不是严格要求。

本附录的目的是确定修正带通误差的技术参考，因为本文件的未来版本可能包括规范性要求。最终，带通校正的广泛采用可能对仪器间一致性产生有益影响。

L.2 仪器带通效应的校正

有两种解决仪器带通对光谱数据测量影响的通用方法。

CIE TC2-60最近发布了一份技术报告，CIE 214[29]，它提供了带通校正的全面介绍，以及用于光谱数据测量反卷积的“加权平均”算法的推导。现在在ASTM E2729[18]中推荐了这种类型的方法，并假设三角带通函数的采样间隔等于FWHM带宽。CIE 214概括并扩展了这种类型的公式，以包括任意带通函数。

CIE TC1-71研究了用于计算带通校正被“内置”到加权表中时三刺激值的计算方法[30][31][32]。只要实际校正的光谱数据不需要用于其他目的，这些方法就是适用的。在2010年之前，ASTM E308建议将称为“表6”的这种优化的加权因子用于计算未校正光谱数据的三刺激值。CIE TC1-71目前正致力于将该方法扩展到典型的三角形假设之外，以包括任意带通函数。

对于所有可能的彩色样本和测量条件，这两种方法都不能完全校正带通相关的误差。获得正确的三刺激值的最可靠方法是使用本文件的此版本中推荐的具有较窄带通和采样间隔的仪器。然而，在合理的假设下，数学带通校正可以帮助最小化在使用较宽带通光谱仪器时出现的颜色刺激函数（光源，观察者和物体的乘积）面积计算的误差。

L.3 与印刷数据中的带通依赖性有关的典型误差

研究人员使用印刷数据的光谱数据库进行的模拟揭示了由于带通依赖性可能发生的误差的严重程度。参考文献[33]中报告的以下误差统计数据对根据ISO 11664-3，以1124个Pantone颜色样本的1 nm数据在5 nm, 10 nm和20 nm下D50三刺激值的比较，其中数据间隔和带通首先使用附录E中定义的方法加宽。对于这些数据，使用前一节中描述的方法来减小误差是非常有效的。

表 L.1 颜色测量的带通和采样间隔效应

间隔和带通	无带通修正，根据 CIE 15 的 XYZ 计算	ASTM E2729 修正，根据 ASTM E308 的 XYZ 计算	优化的三刺激值权重和根据参考的 XYZ 计算
-------	--------------------------	-------------------------------------	------------------------

	ΔE^*_{avg}	ΔE^*_{max}	ΔE^*_{avg}	ΔE^*_{max}	ΔE^*_{avg}	ΔE^*_{max}
5 nm	0.062	0.240	0.005	0.008	0.0001	0.0002
10 nm	0.269	1.010	0.01	0.039	0.002	0.004
20 nm	1.147	4.308	0.151	0.533	0.032	0.140

用于印刷的大多数现代商业分光色度计提供10 nm至20 nm的物理带通。这些模拟表明，带通校正的普遍采用最终有助于提高准确度以及仪器间和型号间的一致性。

虽然超出了本文件的范围，但宜注意的是，对于具有极窄光谱尖峰的发光体，如荧光灯，通过带通校正的减小误差可能不如表L.1中所示的用于D50的计算减小的误差有效。

参考文献

- [1] ISO 5-3, Photography and graphic technology — Density measurements — Part 3: Spectral conditions
- [2] ISO 2471:2008, Paper and board — Determination of opacity (paper backing) — Diffuse reflectance method
- [3] ISO 5631-3, Paper and board — Determination of colour by diffuse reflectance -- Part 3: Indoor illumination conditions (D50/2 degrees)
- [4] ISO 12647 (all parts), Graphic technology — Process control for the production of halftone colour separations, proof and production prints
- [5] ISO 13656, Graphic technology — Application of reflection densitometry and colorimetry to process control or evaluation of prints and proofs
- [6] ISO 14981, Graphic technology — Process control — Optical, geometrical and metrological requirements for reflection densitometers for graphic arts use
- [7] ISO 15790:2004, Graphic technology and photography — Certified reference materials for reflection and transmission metrology — Documentation and procedures for use, including determination of combined standard uncertainty
- [8] ISO 22028-1, Photography and graphic technology — Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange — Part 1: Architecture and requirements
- [9] ISO Guide 30:1992, Terms and definitions used in connection with reference materials
- [10] ISO/IEC Guide 99, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and
- [11] IEC 60050-845:1987, International Electrotechnical Vocabulary Lighting associated terms (VIM)
- [12] CIE Publication 142:2001, Improvement to industrial colour-difference evaluation
- [13] CIE Publication 163:2004, The effects of fluorescence in the characterization of imaging media
- [14] CIE Publication 182:2007, Calibration methods and photoluminescent standards for total radiance factor measurements
- [15] CIE Publication DS 014-3.1, Colorimetry — Part 3 CIE tristimulus values
- [16] ASTM E 308-13, Standard Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System
- [17] ASTM D 2244, Standard practice for color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates
- [18] ASTM E 2729-13, Standard Practice for Rectification of Spectrophotometric Bandpass Differences
- [19] Berns R.S., & Petersen K.H. Empirical modeling of systematic spectrophotometric errors. *Color Res. Appl.* 1988, **13** (4) p. 243
- [20] Hsia J.J. Optical Radiation Measurements: The Translucent Blurring Effect — Method of Evaluation and Estimation. NBS Technical Note 594-12, Oct. 1976
- [21] McDowell. David Q., Chung, Robert, Kong, Lingjun. Correcting Measured Colorimetric Data for Differences in Backing Material. TAGA Proceedings, 2005, pp 302-309
- [22] Rich D.C., & Martin D. Improved model for improving the inter-instrument agreement of spectrophotometers. *Anal. Chim. Acta.* 1999, **380** pp. 263–276
- [23] Spooner D.L. Translucent blurring errors in small area reflectance spectrophotometer and densitometer measurements, TAGA Proc., 1991, pp. 130-143
- [24] Imura K New method for measuring an optical property of a printed sample on FWA-treated paper. *Color Research and Application.*, 32 2007, pp. 449–462.
- [25] Imura K. Practical method for measuring printed colors on FWA-treated paper. *Color Res. Appl.* 2012, **37** pp. 168–175
- [26] Billmeyer F.W., & Chen Y. Adjustment method of fluorescent sample measurement. *Color Res. Appl.* 1984, **9** pp. 175–178
- [27] Ohno Y. A Flexible Bandpass Correction Method for Spectrometers, Proceedings. AIC Colour 05 - 10th Congress of the International Colour Association, ed. by, J.L. Nieves and J.H-Andres, pp. 697-700, May 8-13, 2005, Granada, SP
- [28] Gardner J.L. Bandwidth correction for LED chromaticity. *Color Res. Appl.* 2006, **31** pp. 374–380
- [29] CIE Publication 214:2014, Effect of Instrumental Bandpass Function and Measurement Interval on Spectral Quantities.

- [30] Li C.J. Toward a unified method for computing tristimulus values. ISCC, 2014
 - [31] Li, CJ, TC1-171 Perspective on Computing Tristimulus Values. IS&T Color Imaging Conference, 2008
 - [32] Li C.J. „Testing the accuracy of methods for the computation of CIE tristimulus values using weighting tables. Color Res. Appl. 2016, **41** (2) pp. 125–142
 - [33] Rodriguez M.A. Impact of instrumental bandpass on spectral quantities in graphic arts, Proceedings of 2016 TAGA Conference, Printing Industries of America, www.printing.org/TAGA, 2016.
 - [34] ISO 8254-1:2009, Paper and board — Measurement of specular gloss — Part 1: 75 degree gloss with a converging beam, TAPPI method
 - [35] ISO 8254-2, Paper and board — Measurement of specular gloss — Part 2: 75 degree gloss with a parallel beam, DIN method
 - [36] ISO 11664-1:2007, Colorimetry — Part 1: CIE standard colorimetric observers
 - [37] ISO 11664-2:2007, Colorimetry — Part 2: CIE standard illuminants
 - [38] ISO/CIE 11664-6:2014, Colorimetry — Part 6: CIEDE2000 Colour-difference formula
-