

ICS 17.180.20
A 17

团 体 标 准

T/ CAB 0071—2020

全息纸及其印刷品的色差测量方法

Measurement method of color difference for
holographic paper
and its prints

2020-10-23 发布

2020-10-23 实施

中国产学研合作促进会 发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构。除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

前 言

本文件按照 GB/T1.1—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。

本文件由中国产学研合作促进会提出并归口。

本文件起草单位：北京印刷学院、深圳劲嘉集团股份有限公司、深圳市宜美特科技有限公司、浙江美浓世纪集团有限公司、广东鑫瑞新材料科技有限公司、温州晶彩光电有限公司、曲靖福牌彩印有限公司、玉溪环球彩印纸盒有限公司、青岛澳科顺诚包装有限公司、杭州伟成印刷有限公司、湖州新天外绿包印刷有限公司、中钞特种防伪科技有限公司、绍兴毅龙镭射科技有限公司、安徽集友新材料股份有限公司、江苏顺泰包装印刷科技有限公司、青岛黎马敦包装有限公司、湖南福瑞印刷有限公司、中丰田光电科技（珠海）有限公司、中柔凹印技术服务（北京）中心。

本文件主要起草人：黄敏、许文才、刘浩学、吕伟、李华容、王可、林军、李谷萍、崔桂华、王亚宁、董雯光、薛慧林、李如鹤、费伟、常和峰、徐建林、王云龙、陈冬、姜赟、瞿小阳、朱伟剑、张云、冯梦珂、张保平。

引 言

本文件的发布机构提请注意,声明符合本文件时,可能涉及到本文件[4.1 行列测量方法和 5.2 数据计算方法]与一种光柱镭射纸张及其印刷品的色差测量方法,专利号: ZL201610575433.9 相关的专利的使用。本文件[4.2 定点旋转测量方法和 5.2 数据计算方法]与一种光柱镭射纸张及印刷品的颜色测量装置和方法,专利号: ZL201610398958. X 相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利的持有人已向本文件的发布机构承诺,他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下,就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得:

专利持有人: 北京印刷学院

地址: 北京市大兴区兴华大街(二段)1号

联系方式: 15600811536

请注意除上述专利外,本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

全息纸及其印刷品的色差测量方法

1 范围

本文件规定了彩虹光柱、哑光柱和素面全息纸及其印刷品的颜色测量与色差计算方法所涉及的术语和定义，试验方法，试验数据处理。

本文件适用于彩虹光柱、哑光柱和素面全息纸及其印刷品的颜色色差测量。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全息纸 holographic paper

纸基上具有特定方式排布的光栅条纹，在可见光下呈现光栅衍射图案的纸张。

3.2

光柱全息纸 holographic paper with light pillars

纸基上一维光栅条纹在正交方向中的一个方向不变，另一个方向从 0° 到 180° 周期性连续变化，可见光下可呈现平行柱状周期性排列的全息纸（3.1）。

3.3

彩虹光柱全息纸 holographic paper with rainbow light pillars

纸基上采用一维高频光栅技术，可见光下可呈现彩色动态变化的光柱全息纸（3.2）。

3.4

哑光柱全息纸 holographic paper with matte light pillars

纸基上采用一维低频和混频光栅技术，可见光下呈现白色明暗动态变化的光柱全息纸（3.2）。

3.5

素面全息纸 plain holographic paper

纸基上采用两个正交一维光栅相叠加的技术，获得多方向的衍射视场，可见光下从不同角度观察所反射的衍射光均具有相同规律色散的全息纸（3.1）。

3.6

光柱周期 period of light pillars

光柱全息纸（3.2）相邻两条最亮或最暗平行光柱间的垂直距离。

3.7

分光光度计 spectrophotometer

利用单色仪或特殊光源提供的一组特定波长的单色光通过标样和被分析样品,比较两者的光强度来分析物质光谱成分或物体表面光谱反射率的光谱仪器。

[来源: GB/ T 13962—2009, 7.114, 有修改]

3.8

积分球 integrating sphere

光度测量用的中空球体。在球的内表面涂有无波长选择性的(均匀)漫反射性白色涂料。在球内任一方向上的照度均相等。

[来源: GB/ T 13962—2009, 7.151, 有修改]

3.9

CIE 1964 标准色度观察者 CIE 1964 standard colorimetric observer

一种假想的观察者,这种观察者的色度特性与 $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 色度系统中的色匹配函数 $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ 一致。

[来源: GB/T 5698—2001, 4.37]

3.10

(CIE 1976) $L^*a^*b^*$ 色差公式(CIE LAB 色差公式) (CIE 1976) $L^*a^*b^*$ color difference formula

在 $L^*a^*b^*$ 色度系统中,以坐标 L^* , a^* , b^* 之差 ΔL^* , Δa^* , Δb^* 来表示二种色刺激之间的色差。符号为 ΔE_{ab}^* 。

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

[来源: GB/T 5698—2001, 4.66]

3.11

CIEDE2000 色差公式 CIEDE2000 color difference formula

基于 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间的改进型色差公式。符号为 ΔE_{00} 。

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H} \right) \right]^{0.5}$$

注: 具体计算公式参看 GB/T 7921-2008, 6.2。

4 试验方法

4.1 试验条件

4.1.1 试验环境

试验环境应为: 温度 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$; 相对湿度 50%~75%。

4.1.2 试验样品

样品的测量区域表面应干净整洁、无划痕。

4.1.3 仪器设备

4.1.3.1 测量仪器：积分球式分光光度计，测量几何条件： $d_i:8^\circ$ 。

4.1.3.2 测量条件：D65或D50光源照明，CIE 1964标准色度观察者，包含镜面反射光（SCI），测量孔径宜不大于4mm。

4.2 行列测量法

4.2.1 适用范围

适用于不小于一个光柱周期的彩虹光柱全息纸、哑光柱全息纸和素面全息纸及测量区域内颜色均匀、单一的印刷品。

4.2.2 测量原理

获取两个及以上样品各采样点的色度值，并比对其各对应采样点间的色度值，计算得到色差。光柱全息纸的采样如图1所示，在样品的垂直光柱方向（即图中的x方向）分步采样，采样距离宜为一个光柱周期或一个光柱周期的整数倍；素面全息纸的采样方向不做具体要求。

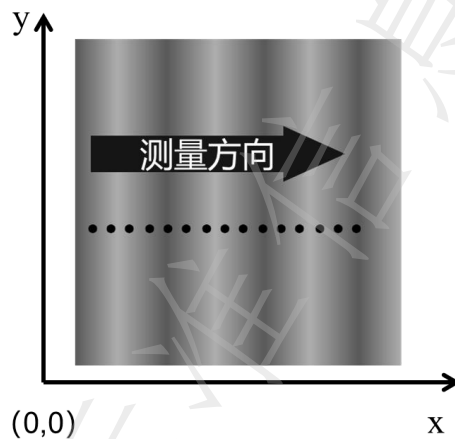


图1 光柱全息纸张行列测量区域分布示意图

4.2.3 测量步骤

4.2.3.1 放置并固定待测样品；并规定垂直光柱的测量方向为x方向，平行光柱的方向为y方向。素面全息纸的样品可沿任意方向测量，要求不少于3个测量点。

4.2.3.2 选取一个测试起始点 (x_0, y_0) ，在 x 方向的采样点个数乘以采样点间距应不小于一个光柱周期，且采样点间距相等，应不大于 5mm。允许测量方向与平行光柱方向的夹角在 $(90 \pm 5)^\circ$ 。

4.2.3.3 在测试样品的设定方向进行采样，记录各点的坐标位置 (x_i, y_i) 及对应的 $L^*_{10} a^*_{10} b^*_{10}$ 色度值。

4.3 定点旋转测量法

4.3.1 适用范围

适用于小于一个光柱周期的彩虹光柱全息纸、哑光柱全息纸和面积较小的素面全息纸及测量区域内颜色均匀、单一的印刷品。

4.3.2 测量原理

获取两个及以上样品固定采样点各旋转角度的色度值，并比对其各对应角度位置间的色度值，计算得到色差。全息纸的采样如图2所示（以光柱全息纸为例），应在固定采样点 180° 左右的旋转角度范围内分步采样。

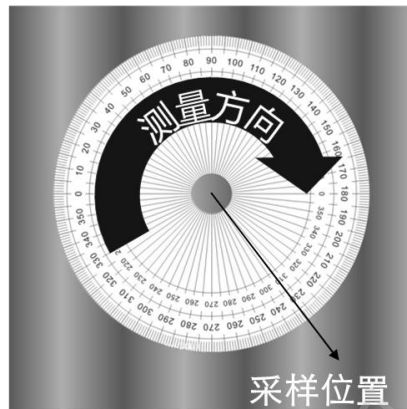


图2 光柱全息纸张定点旋转测量区域分布示意图

4.3.3 测量步骤

4.3.3.1 在待测样品的测量区域任意位置处选择测量点采样，设定采样角度个数和采样角度间隔，采样角度个数乘以采样角度间隔应接近 180° ，同时采样角度个数应不少于 4 个。

4.3.3.2 对固定的采样点按照设定的角度旋转测量，且每次旋转后采样的测量区域应完全重叠，记录各个角度的 $L^*_{10}a^*_{10}b^*_{10}$ 色度测量值。

4.4 采样数量

为了提高测量精度，采样点数量宜适量增加。

5 试验数据处理

5.1 数据采集

样品色度值的采集按照 4.2 或 4.3 的要求进行，应不少于 2 组类型相同的样品数据。其中一组数据作为标准数据，来源可以是标准样品测量值或给定的参考值。

5.2 色差计算

5.2.1 行列测量法的色差计算

5.2.1.1 正向排列数据：样品 1 和样品 2 的原始顺序 $L^*_{10}a^*_{10}b^*_{10}$ 色度测量值。

5.2.1.2 逆向排列数据：保持样品 1 原始 $L^*_{10}a^*_{10}b^*_{10}$ 色度值顺序不变，将样品 2 采样点数据进行逆序排列（即原始第一个采样点的数据变为最后一个采样点的数据）。

5.2.1.3 分别在正向排列数据和逆向排列数据中，找到第一个光柱周期中分别具有绝对值最大和最小 L^*_{10} 值、 a^*_{10} 值、 b^*_{10} 值的采样点，并分别以此采样点为基准，将所有色度值“平移”（平移相同个数的采样点）后对齐。

5.2.1.4 将对齐后的采样点一一对应，并比较、计算各采样点的 CIELAB 或 CIEDE2000 色差和所有采样点的平均色差值，取 L^*_{10} 值、 a^*_{10} 值、 b^*_{10} 不同对齐方式计算得到的平均色差值中的最小色差值，作为样品 1 和样品 2 的最终色差值，具体计算方法参见附录 A。

5.2.2 定点旋转测量法的色差计算

5.2.2.1 如果采样角度个数少于 10 个，可将所有采样角度的 $L^*_{10}a^*_{10}b^*_{10}$ 色度值分别取平均值，作为样品 1 和样品 2 的色度值，进行样品 1 和样品 2 的 CIELAB 色差或 CIEDE2000 色差计算，其计算结果为两个样品间的最终色差值，具体计算方法参见附录 A。

5.2.2.2 如果采样角度个数不少于 10 个，可采用 5.2.1 中行列测量的色差计算方法，进行样品 1 和样品 2 的 CIELAB 色差或 CIEDE2000 色差计算，其计算结果为两个样品间的最终色差值。

5.3 测试报告

报告应包含但不限于测试环境条件、仪器条件、测试样品名称、品牌、编号、测试样品的色差等。

附录 A

(资料性)

色差计算方法示例

A.1 行列测量数据计算方法示例

行列测量计算方法示例的原始数据见表A.1,其中垂直光柱方向的采样点个数为17个,采样点间距为3mm。

表 A.1 行列测量法采集彩虹光柱全息纸张样品 1 和样品 2 的 $L_{10}^*a_{10}^*b_{10}^*$ 色度值

| 采样点 | 样品 1 | | | 样品 2 | | | CIELAB 色差 |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | |
| 1 | 86.44 | 0.80 | 9.25 | 88.05 | 2.51 | 7.47 | 2.95 |
| 2 | 85.44 | 0.36 | 9.19 | 88.15 | 2.22 | 6.94 | 3.99 |
| 3 | 85.94 | 1.13 | 10.43 | 88.31 | 1.85 | 7.14 | 4.12 |
| 4 | 86.05 | 1.07 | 10.68 | 88.13 | 1.72 | 7.68 | 3.71 |
| 5 | 86.47 | 1.13 | 10.34 | 87.51 | 1.76 | 8.42 | 2.27 |
| 6 | 86.83 | 1.43 | 9.49 | 87.19 | 1.56 | 8.96 | 0.66 |
| 7 | 87.35 | 1.54 | 9.16 | 86.69 | 0.85 | 9.19 | 0.95 |
| 8 | 87.61 | 1.86 | 9.23 | 85.74 | 0.54 | 9.31 | 2.29 |
| 9 | 87.31 | 2.05 | 9.01 | 86.22 | 1.16 | 10.50 | 2.05 |
| 10 | 86.65 | 2.62 | 8.63 | 86.35 | 1.15 | 10.55 | 2.43 |
| 11 | 86.66 | 2.97 | 7.98 | 86.69 | 1.19 | 10.17 | 2.82 |
| 12 | 87.39 | 2.67 | 7.48 | 87.33 | 1.37 | 9.32 | 2.25 |
| 13 | 87.70 | 2.15 | 7.27 | 87.99 | 1.5 | 8.96 | 1.83 |
| 14 | 87.31 | 1.96 | 7.54 | 88.55 | 1.58 | 9.05 | 1.99 |
| 15 | 86.91 | 1.94 | 8.18 | 88.09 | 1.65 | 8.70 | 1.32 |
| 16 | 86.92 | 1.79 | 8.76 | 87.77 | 2.11 | 8.38 | 0.99 |
| 17 | 86.51 | 1.40 | 9.22 | 87.93 | 2.38 | 7.80 | 2.24 |

将样品1和样品2采样位置对应的色度值一一进行比较,计算得到样品1和样品2的17个采样点算术平均CIELAB色差为2.29。

将表A.1中样品2和样品1的 L_{10}^* 值最大值找出,样品1顺序号不变,将样品2的 L_{10}^* 值最大值(顺序号为14)与样品1中 L_{10}^* 值最大值(顺序号为13)对齐,并放在表A.2的同一行,其余数据按照表A.1中的顺序依次排列,直至表尾,超出部分从表A.2第一行继续顺序排列,直到将样品2所有数据全部按顺序排入表A.2中,排列后的数据见表A.2。

表 A.2 将表 A.1 中样品 1 和样品 2 的 $L_{10}^*a_{10}^*b_{10}^*$ 色度值按照 L_{10}^* 最大值对齐排列

| 采样点 | 样品 1 | | | 样品 2 | | | CIELAB 色差 |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | |
| 1 | 86.44 | 0.80 | 9.25 | 88.15 | 2.22 | 6.94 | 3.21 |
| 2 | 85.44 | 0.36 | 9.19 | 88.31 | 1.85 | 7.14 | 3.83 |
| 3 | 85.94 | 1.13 | 10.43 | 88.13 | 1.72 | 7.68 | 3.57 |

| | | | | | | | |
|----|--------------|------|-------|--------------|------|-------|------|
| 4 | 86.05 | 1.07 | 10.68 | 87.51 | 1.76 | 8.42 | 2.78 |
| 5 | 86.47 | 1.13 | 10.34 | 87.19 | 1.56 | 8.96 | 1.62 |
| 6 | 86.83 | 1.43 | 9.49 | 86.69 | 0.85 | 9.19 | 0.66 |
| 7 | 87.35 | 1.54 | 9.16 | 85.74 | 0.54 | 9.31 | 1.90 |
| 8 | 87.61 | 1.86 | 9.23 | 86.22 | 1.16 | 10.50 | 2.01 |
| 9 | 87.31 | 2.05 | 9.01 | 86.35 | 1.15 | 10.55 | 2.02 |
| 10 | 86.65 | 2.62 | 8.63 | 86.69 | 1.19 | 10.17 | 2.10 |
| 11 | 86.66 | 2.97 | 7.98 | 87.33 | 1.37 | 9.32 | 2.19 |
| 12 | 87.39 | 2.67 | 7.48 | 87.99 | 1.5 | 8.96 | 1.98 |
| 13 | 87.70 | 2.15 | 7.27 | 88.55 | 1.58 | 9.05 | 2.05 |
| 14 | 87.31 | 1.96 | 7.54 | 88.09 | 1.65 | 8.70 | 1.43 |
| 15 | 86.91 | 1.94 | 8.18 | 87.77 | 2.11 | 8.38 | 0.90 |
| 16 | 86.92 | 1.79 | 8.76 | 87.93 | 2.38 | 7.80 | 1.51 |
| 17 | 86.51 | 1.40 | 9.22 | 88.05 | 2.51 | 7.47 | 2.58 |

将样品1和样品2重新排序后采样位置对应的色度值一一进行比较，计算得到样品1和样品2的17个采样点的算术平均值CIELAB色差值为2.14。

将表A.1中样品2和样品1的 a_{10}^* 值最大值找出，样品1顺序号不变，将样品2的 a_{10}^* 值最大值（顺序号为11）与样品1中 a_{10}^* 值最大值（顺序号为1）对齐，并放在表A.3的同一行，其余数据按照表A.1中的顺序依次排列，直至表尾，超出部分从表A.3第一行继续顺序排列，直到将样品2所有数据全部按顺序排入表A.3中，排列后的数据见表A.3。

表 A.3 将表 A.1 中样品 1 和样品 2 的 $L^*_{10}a^*_{10}b^*_{10}$ 色度值按照 a_{10}^* 最大值对齐排列

| 采样点 | 样品 1 | | | 样品 2 | | | CIELAB 色差 |
|-----|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|--------------|
| | L^*_{10} | a^*_{10} | b^*_{10} | L^*_{10} | a^*_{10} | b^*_{10} | |
| 1 | 86.44 | 0.80 | 9.25 | 85.74 | 0.54 | 9.31 | 0.75 |
| 2 | 85.44 | 0.36 | 9.19 | 86.22 | 1.16 | 10.50 | 1.72 |
| 3 | 85.94 | 1.13 | 10.43 | 86.35 | 1.15 | 10.55 | 0.43 |
| 4 | 86.05 | 1.07 | 10.68 | 86.69 | 1.19 | 10.17 | 0.83 |
| 5 | 86.47 | 1.13 | 10.34 | 87.33 | 1.37 | 9.32 | 1.36 |
| 6 | 86.83 | 1.43 | 9.49 | 87.99 | 1.5 | 8.96 | 1.28 |
| 7 | 87.35 | 1.54 | 9.16 | 88.55 | 1.58 | 9.05 | 1.21 |
| 8 | 87.61 | 1.86 | 9.23 | 88.09 | 1.65 | 8.70 | 0.74 |
| 9 | 87.31 | 2.05 | 9.01 | 87.77 | 2.11 | 8.38 | 0.78 |
| 10 | 86.65 | 2.62 | 8.63 | 87.93 | 2.38 | 7.80 | 1.54 |
| 11 | 86.66 | 2.97 | 7.98 | 88.05 | 2.51 | 7.47 | 1.55 |
| 12 | 87.39 | 2.67 | 7.48 | 88.15 | 2.22 | 6.94 | 1.04 |
| 13 | 87.7 | 2.15 | 7.27 | 88.31 | 1.85 | 7.14 | 0.69 |
| 14 | 87.31 | 1.96 | 7.54 | 88.13 | 1.72 | 7.68 | 0.87 |
| 15 | 86.91 | 1.94 | 8.18 | 87.51 | 1.76 | 8.42 | 0.67 |
| 16 | 86.92 | 1.79 | 8.76 | 87.19 | 1.56 | 8.96 | 0.41 |
| 17 | 86.51 | 1.40 | 9.22 | 86.69 | 0.85 | 9.19 | 0.58 |

将样品1和样品2重新排序后采样位置对应的色度值一一进行比较，计算得到样品1和样品2的17个采样点的算术平均值CIELAB色差值为0.97。

将表A.1中样品2和样品1的 b_{10}^* 值最大值找出，样品1顺序号不变，将样品2的 b_{10}^* 值最大值（顺序号为10）与样品1中 b_{10}^* 值最大值（顺序号为4）对齐，并放在表A.4的同一行，其余数据按照表A.1中的顺序依次排列，直至表尾，超出部分从表A.4第一行继续顺序排列，直到将样品2所有数据全部按顺序排入表A.4中，排列后的数据见表A.4。

表 A.4 将表 A.1 中样品 1 和样品 2 的 $L_{10}^*a_{10}^*b_{10}^*$ 色度值按照 b_{10}^* 最大值对齐排列

| 采样点 | 样品 1 | | | 样品 2 | | | CIELAB 色差 |
|-----|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|
| | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | |
| 1 | 86.44 | 0.80 | 9.25 | 86.69 | 0.85 | 9.19 | 0.26 |
| 2 | 85.44 | 0.36 | 9.19 | 85.74 | 0.54 | 9.31 | 0.37 |
| 3 | 85.94 | 1.13 | 10.43 | 86.22 | 1.16 | 10.5 | 0.29 |
| 4 | 86.05 | 1.07 | 10.68 | 86.35 | 1.15 | 10.55 | 0.34 |
| 5 | 86.47 | 1.13 | 10.34 | 86.69 | 1.19 | 10.17 | 0.29 |
| 6 | 86.83 | 1.43 | 9.49 | 87.33 | 1.37 | 9.32 | 0.53 |
| 7 | 87.35 | 1.54 | 9.16 | 87.99 | 1.5 | 8.96 | 0.67 |
| 8 | 87.61 | 1.86 | 9.23 | 88.55 | 1.58 | 9.05 | 1.00 |
| 9 | 87.31 | 2.05 | 9.01 | 88.09 | 1.65 | 8.7 | 0.93 |
| 10 | 86.65 | 2.62 | 8.63 | 87.77 | 2.11 | 8.38 | 1.25 |
| 11 | 86.66 | 2.97 | 7.98 | 87.93 | 2.38 | 7.8 | 1.41 |
| 12 | 87.39 | 2.67 | 7.48 | 88.05 | 2.51 | 7.47 | 0.68 |
| 13 | 87.7 | 2.15 | 7.27 | 88.15 | 2.22 | 6.94 | 0.56 |
| 14 | 87.31 | 1.96 | 7.54 | 88.31 | 1.85 | 7.14 | 1.08 |
| 15 | 86.91 | 1.94 | 8.18 | 88.13 | 1.72 | 7.68 | 1.34 |
| 16 | 86.92 | 1.79 | 8.76 | 87.51 | 1.76 | 8.42 | 0.68 |
| 17 | 86.51 | 1.40 | 9.22 | 87.19 | 1.56 | 8.96 | 0.75 |

将样品1和样品2重新排序后采样位置对应的色度值一一进行比较，计算得到样品1和样品2的17个采样点的算术平均值CIELAB色差值为0.73。

将表A.1中样品2和样品1的 L_{10}^* 值最小值找出，样品1顺序号不变，将样品2的 L_{10}^* 值最小值（顺序号为8）与样品1中 L_{10}^* 值最小值（顺序号为2）对齐，并放在表A.5的同一行，其余数据按照表A.1中的顺序依次排列，直至表尾，超出部分从表A.5第一行继续顺序排列，直到将样品2所有数据全部按顺序排入表A.5中，排列后的数据见表A.5。

表 A.5 表 A.1 中样品 1 和样品 2 的 $L_{10}^*a_{10}^*b_{10}^*$ 色度值按照 L_{10}^* 最小值对齐排列

| 采样点 | 样品 1 | | | 样品 2 | | | CIELAB 色差 |
|-----|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|
| | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | |
| 1 | 86.44 | 0.80 | 9.25 | 86.69 | 0.85 | 9.19 | 0.26 |
| 2 | 85.44 | 0.36 | 9.19 | 85.74 | 0.54 | 9.31 | 0.37 |
| 3 | 85.94 | 1.13 | 10.43 | 86.22 | 1.16 | 10.5 | 0.29 |
| 4 | 86.05 | 1.07 | 10.68 | 86.35 | 1.15 | 10.55 | 0.34 |
| 5 | 86.47 | 1.13 | 10.34 | 86.69 | 1.19 | 10.17 | 0.29 |

| | | | | | | | |
|----|-------|------|------|-------|------|------|------|
| 6 | 86.83 | 1.43 | 9.49 | 87.33 | 1.37 | 9.32 | 0.53 |
| 7 | 87.35 | 1.54 | 9.16 | 87.99 | 1.5 | 8.96 | 0.67 |
| 8 | 87.61 | 1.86 | 9.23 | 88.55 | 1.58 | 9.05 | 1.00 |
| 9 | 87.31 | 2.05 | 9.01 | 88.09 | 1.65 | 8.7 | 0.93 |
| 10 | 86.65 | 2.62 | 8.63 | 87.77 | 2.11 | 8.38 | 1.25 |
| 11 | 86.66 | 2.97 | 7.98 | 87.93 | 2.38 | 7.8 | 1.41 |
| 12 | 87.39 | 2.67 | 7.48 | 88.05 | 2.51 | 7.47 | 0.68 |
| 13 | 87.7 | 2.15 | 7.27 | 88.15 | 2.22 | 6.94 | 0.56 |
| 14 | 87.31 | 1.96 | 7.54 | 88.31 | 1.85 | 7.14 | 1.08 |
| 15 | 86.91 | 1.94 | 8.18 | 88.13 | 1.72 | 7.68 | 1.34 |
| 16 | 86.92 | 1.79 | 8.76 | 87.51 | 1.76 | 8.42 | 0.68 |
| 17 | 86.51 | 1.40 | 9.22 | 87.19 | 1.56 | 8.96 | 0.75 |

将样品1和样品2重新排序后采样位置对应的色度值一一进行比较，计算得到样品1和样品2的17个采样点的算术平均值CIELAB色差值为0.73。

将表A.1中样品2和样品1的 a_{10}^* 值最小值找出，样品1顺序号不变，将样品2的 a_{10}^* 值最小值（顺序号为8）与样品1中 a_{10}^* 值最小值（顺序号为2）对齐，并放在表A.6的同一行，其余数据按照表A.1中的顺序依次排列，直至表尾，超出部分从表A.6第一行继续顺序排列，直到将样品2所有数据全部按顺序排入表A.6中，排列后的数据见表A.6。

表 A.6 表 A.1 中样品 1 和样品 2 的 $L_{10}^* a_{10}^* b_{10}^*$ 色度值按照 a_{10}^* 最小值对齐排列

| 采样点 | 样品 1 | | | 样品 2 | | | CIELAB 色差 |
|-----|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|--------------|
| | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | |
| 1 | 86.44 | 0.80 | 9.25 | 86.69 | 0.85 | 9.19 | 0.26 |
| 2 | 85.44 | 0.36 | 9.19 | 85.74 | 0.54 | 9.31 | 0.37 |
| 3 | 85.94 | 1.13 | 10.43 | 86.22 | 1.16 | 10.5 | 0.29 |
| 4 | 86.05 | 1.07 | 10.68 | 86.35 | 1.15 | 10.55 | 0.34 |
| 5 | 86.47 | 1.13 | 10.34 | 86.69 | 1.19 | 10.17 | 0.29 |
| 6 | 86.83 | 1.43 | 9.49 | 87.33 | 1.37 | 9.32 | 0.53 |
| 7 | 87.35 | 1.54 | 9.16 | 87.99 | 1.5 | 8.96 | 0.67 |
| 8 | 87.61 | 1.86 | 9.23 | 88.55 | 1.58 | 9.05 | 1.00 |
| 9 | 87.31 | 2.05 | 9.01 | 88.09 | 1.65 | 8.7 | 0.93 |
| 10 | 86.65 | 2.62 | 8.63 | 87.77 | 2.11 | 8.38 | 1.25 |
| 11 | 86.66 | 2.97 | 7.98 | 87.93 | 2.38 | 7.8 | 1.41 |
| 12 | 87.39 | 2.67 | 7.48 | 88.05 | 2.51 | 7.47 | 0.68 |
| 13 | 87.7 | 2.15 | 7.27 | 88.15 | 2.22 | 6.94 | 0.56 |
| 14 | 87.31 | 1.96 | 7.54 | 88.31 | 1.85 | 7.14 | 1.08 |
| 15 | 86.91 | 1.94 | 8.18 | 88.13 | 1.72 | 7.68 | 1.34 |
| 16 | 86.92 | 1.79 | 8.76 | 87.51 | 1.76 | 8.42 | 0.68 |
| 17 | 86.51 | 1.40 | 9.22 | 87.19 | 1.56 | 8.96 | 0.75 |

将样品1和样品2重新排序后采样位置对应的色度值一一进行比较，计算得到样品1和样品2的17个采样点平均CIELAB色差为0.73。

将表A.1中样品2和样品1的 b_{10}^* 值最小值找出，样品1顺序号不变，将样品2的 b_{10}^* 值最小值（顺序号为2）与样品1中 b_{10}^* 值最小值（顺序号为13）对齐，并放在表A.7的同一行，其余数据按照表A.1中的顺序依次排列，直至表尾，超出部分从表A.7第一行继续顺序排列，直到将样品2所有数据全部按顺序排入表A.7中，排列后的数据见表A.7。

表 A.7 表 A.1 中样品 1 和样品 2 的 $L_{10}^* a_{10}^* b_{10}^*$ 色度值按照 b_{10}^* 最小值对齐排列

| 采样点 | 样品 1 | | | 样品 2 | | | CIELAB 色差 |
|-----|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|--------------|
| | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | |
| 1 | 86.44 | 0.80 | 9.25 | 86.69 | 0.85 | 9.19 | 0.26 |
| 2 | 85.44 | 0.36 | 9.19 | 85.74 | 0.54 | 9.31 | 0.37 |
| 3 | 85.94 | 1.13 | 10.43 | 86.22 | 1.16 | 10.5 | 0.29 |
| 4 | 86.05 | 1.07 | 10.68 | 86.35 | 1.15 | 10.55 | 0.34 |
| 5 | 86.47 | 1.13 | 10.34 | 86.69 | 1.19 | 10.17 | 0.29 |
| 6 | 86.83 | 1.43 | 9.49 | 87.33 | 1.37 | 9.32 | 0.53 |
| 7 | 87.35 | 1.54 | 9.16 | 87.99 | 1.5 | 8.96 | 0.67 |
| 8 | 87.61 | 1.86 | 9.23 | 88.55 | 1.58 | 9.05 | 1.00 |
| 9 | 87.31 | 2.05 | 9.01 | 88.09 | 1.65 | 8.7 | 0.93 |
| 10 | 86.65 | 2.62 | 8.63 | 87.77 | 2.11 | 8.38 | 1.25 |
| 11 | 86.66 | 2.97 | 7.98 | 87.93 | 2.38 | 7.8 | 1.41 |
| 12 | 87.39 | 2.67 | 7.48 | 88.05 | 2.51 | 7.47 | 0.68 |
| 13 | 87.7 | 2.15 | 7.27 | 88.15 | 2.22 | 6.94 | 0.56 |
| 14 | 87.31 | 1.96 | 7.54 | 88.31 | 1.85 | 7.14 | 1.08 |
| 15 | 86.91 | 1.94 | 8.18 | 88.13 | 1.72 | 7.68 | 1.34 |
| 16 | 86.92 | 1.79 | 8.76 | 87.51 | 1.76 | 8.42 | 0.68 |
| 17 | 86.51 | 1.40 | 9.22 | 87.19 | 1.56 | 8.96 | 0.75 |

将样品1和样品2重新排序后采样位置对应的色度值一一进行比较，计算得到样品1和样品2的17个采样点的算术平均值CIELAB色差值为0.73。

表A.1~表A.7排序后计算得到的各CIELAB色差值的最小值为0.73，作为样品1和样品2的最终色差。

逆向排列的数据计算时，需将表A.1中样品2的数据进行反向顺序排列，然后按照表A.1~表A.7中类似的方法进行色差计算。

A.2 定点旋转测量计算方法示例

表A.8 定点旋转测量法采集彩虹光柱全息印刷品样品1和样品2的 $L_{10}^* a_{10}^* b_{10}^*$ 色度值

| 采样点 | 样品 1 | | | 样品 2 | | |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* | L_{10}^* | a_{10}^* | b_{10}^* |
| 0° | 33.97 | 16.68 | 7.111 | 33.34 | 19.21 | 8.33 |
| 45° | 34.72 | 15.92 | 7.265 | 33.48 | 19.02 | 8.20 |

| | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 90° | 34.03 | 16.63 | 7.34 | 33.36 | 18.72 | 8.16 |
| 135° | 32.93 | 17.26 | 7.191 | 32.96 | 19.05 | 8.41 |
| 180° | 32.64 | 17.27 | 7.166 | 32.77 | 19.43 | 8.42 |
| 平均值 | 33.66 | 16.75 | 7.21 | 33.18 | 19.09 | 8.30 |

计算得到样品1和样品2的CIELAB色差为2.62。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3977—2008[S], 颜色的表示方法.
- [2] GB/T 5698—2001[S], 颜色术语.
- [3] GB/T 13962—2009[S], 光学仪器术语.
- [4] GB/T 17000—2009[S], 全息防伪产品通用技术条件.
- [5] GB/T 18733—2002[S], 防伪全息纸.
- [6] 黄敏, 李泽阳, 石冰洁, 等. 光柱镭射纸及其印刷品的颜色质量评价方法. 光学学报[J], 2017, 37(2): 0233001.
- [7] 黄敏, 李泽阳, 史春洁, 等. 一种光柱镭射纸张的颜色测量方法: 中国, ZL201510746909.6 [P]. 2017-05-31.
- [8] 黄敏, 李泽阳, 崔桂华, 等. 一种光柱镭射纸张及其印刷品的色差测量方法: 中国, ZL201610575433.9 [P]. 2017-09-15.
- [9] 黄敏, 李泽阳, 史春洁, 等. 一种光柱镭射纸张及印刷品的颜色测量装置和方法: 中国, ZL201610398958.X [P]. 2018-01-26.
- [10] 黄敏, 李泽阳, 史春洁, 等. 一种光柱镭射纸张及其印刷品的颜色测量装置: 中国, ZL2016205448181.6 [P]. 2018-01-26.
- [11] 黄敏, 史春洁, 刘浩学, 等. 一种光柱镭射纸张及光柱质量自动检测系统: 中国, ZL201520082729.8 [P]. 2015-06-03.
-