

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2015.01.014

基于漫射照明的镭射纸颜色测量方法研究

付 马¹, 程 卫²

(1. 武汉大学 印刷与包装系, 湖北 武汉 430079;
2. 伍珀塔尔大学 印刷及媒体技术学院, 德国 伍珀塔尔 42001-42399)

摘 要: 镭射纸包装材料表面有金属光泽和虹光效果, 这一特殊光学效果的存在, 使得对镭射纸印刷品表面的颜色测量变得较为困难。研究了不同测试因素对漫射照明条件下镭射纸测量精度稳定性的影响。研究结果显示: 不同的测量仪器摆放角度会对镭射纸的测量精度产生影响, 且其影响大于白卡纸与镀铝纸; 不同的测试点, 其测试精度也不相同, 通过取多个角度测量结果的平均值, 可提高不同测试点之间颜色测量结果的可比性; 不同精度的测量仪器也会对镭射纸的测量精度产生影响, 仪器本身的精度越高, 测量结果越稳定。

关键词: 颜色测量; 镭射纸; 漫射照明; 测量精度

中图分类号: TB484.1; TS801.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2015)01-0071-05

Study on Laser Paper Color Measurement Method Based on Diffuse Illumination

Fu Ma¹, Cheng Wei²

(1. School of Printing and Packaging, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
2. College of Printing and Media, Wuppertal University, Wuppertal 42001-42399, German)

Abstract: Laser paper packaging material is of metallic luster and A vision effect. The existence of the special optical effect makes it difficult to measure the printing color of laser paper surface. The effects of different factors on measurement precision stability of laser paper under diffuse lighting conditions were studied. The results showed the different placed angles of measuring instruments would influence the measuring precision, and the effect is greater than the white cardboard and aluminum plated paper. The measuring accuracy varied with different test points. By taking average value of multiple angle measurements, the comparability of color measurement results at different test points could be improved. The measuring instruments with different accuracy would also affect the measurement accuracy of laser paper, namely the higher the accuracy of the instrument, the more stable of measurement results.

Key words: color measurement; laser paper; diffuse illumination; measurement accuracy

0 引言

镭射纸包装材料表面有金属光泽和虹光效果, 可以使产品外观显得更加精美, 提升产品的附加值, 同时在一定程度上还具有防伪效果, 因而在包装行业中应用广泛^[1-3]。但正是镭射纸表面特殊光学效应

的存在, 使得对镭射纸印刷品表面的颜色测量变得较为困难^[4-6]。目前, 常规颜色测量仪器所获得的颜色数据一般波动较大, 无法直接准确地测量镭射纸表面的颜色信息, 因此不能直接指导生产实践。基于这一现实, 本文选取测量仪器摆放角度、测试点、

收稿日期: 2014-11-14

作者简介: 付 马(1989-), 男, 湖南岳阳人, 武汉大学硕士生, 主要研究方向为颜色测量技术, E-mail: 365410746@qq.com

仪器精度等测试因素,并以镀铝纸与白卡纸为参照,研究其对漫射照明条件下镭射纸测量结果稳定性的影响,以期对镭射纸表面的颜色测量实践提供数据参考。

1 镭射纸颜色测量原理

镭射纸张表面为高光泽的金属镀层,并且具有光栅纹理,其金属镀层多为镀铝或镀铜层,光栅纹理是人眼能够看到虹光效果的主要原因。当平行白光照射在平行光栅纹理的镭射纸张表面时,会产生清晰可见的彩色条纹,区别于反射原理所形成的物体表面颜色,由衍射和干涉原理产生,也被称为结构色^[7]。表面光栅结构产生的衍射光束朝各个方向射出,不同角度的衍射光线跟光栅纹理以及光的波长有关。目前,常规的颜色测量方法可用于标定漫反射物体和镜面物体的表面颜色,而对于具有虹光效果的材料如镭射纸,则难以标定,因为观察方位不同时,其颜色值也不一样。因此,以定向几何条件测得的颜色值所标定的镭射纸表面颜色信息是不完整的,而且无法保证试验测量的可重复性。以国际照明委员会(Commission Internationale de L'Éclairage, CIE)推荐的 $45^\circ/0^\circ$ 和 $0^\circ/45^\circ$ 几何条件为例,在同一测量点上,随机改变仪器摆放角度,测量结果也可能出现较大差异。这也是不能使用定向照明几何条件来测定镭射纸表面颜色信息的原因^[8]。因此,如需评价镭射纸产品的色差,首先需要选择一种稳定可靠的方式来标定镭射纸的表面色彩。光柱镭射纸在 45° 照明下的衍射纹理如图1所示。

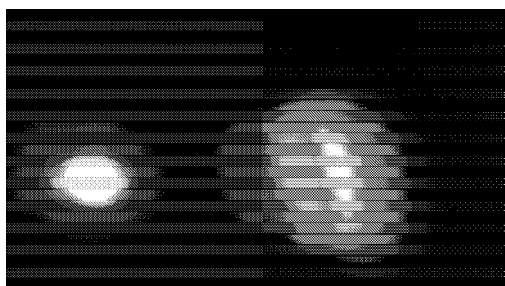


图1 光柱镭射纸在 45° 照明下的衍射纹理

Fig. 1 Diffraction texture beam laser paper produced in the 45° under illumination

为了摒除衍射条纹所产生的颜色差异,一种方法就是使用漫射几何条件的积分球式分光光度计,借助于积分球的匀光作用,获得漫射照明观察的几何条件,进而测得各个方向上的颜色信息^[9]。事实上,对X-Rite的2款 $d/8^\circ$ (漫射照明、 8° 接收)几何条件的积分球分光光度计的测量实践表明,镭射纸

的颜色测量结果仍无法保证很好的一致性,一个明显的表现为测量结果会因为测量仪器摆放角度的改变而产生波动,且波幅受镭射纸的纹理、仪器精度的影响较为明显。

本研究组对这种波动规律进行进一步研究,并给出对这种不确定性的评价方法。试验拟在颜色测量参照平面(reference plane)的 360° 范围内,以 15° 为间隔,改变测量仪器在测试样张上的相对摆放角度,获取24组颜色测量值,以分析积分球分光光度计在镭射纸颜色测量上的稳定性。试验选取的主要测试对象为光柱效果镭射纸,这种镭射纸的纹理结构均匀,衍射现象明显,图2为光柱镭射纸表面纹理放大500倍的图像。

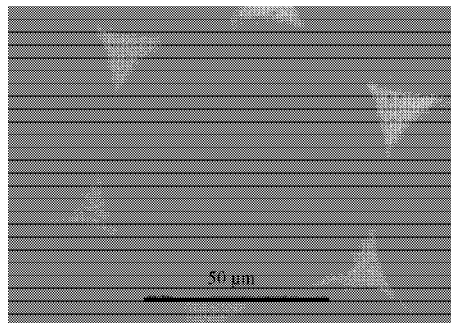


图2 光柱镭射纸放大500倍图像

Fig. 2 Laser paper 500 times magnification image

2 精度评价方法

仪器的精度指仪器测试结果的一致性,R.W.G. Hunt教授采用离均色差(mean color difference from the mean, MCDM)来衡量精度的大小^[10]。即采用同一台仪器,同一个样品,作多次测试,将各次数据的平均值当成一个样品,与各次测试值比较,求得色差,再求这些色差的平均值,这个与平均值的平均色差值就是仪器的精度,数值越小,精度越高。Hunt教授指出,对现代颜色测量仪器而言,其精度应达到0.1 CIELAB或CIELUV色差单位。本研究将使用这一精度参数,来评价24个不同摆放角度测试镭射纸所得测试结果的稳定性,单位为CIELAB色差单位,计算公式如式(1)所示^[11]。

$$E_{\text{MCDM}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\left(L^* - \bar{L}^* \right)^2 + \left(a^* - \bar{a}^* \right)^2 + \left(b^* - \bar{b}^* \right)^2} \quad (1)$$

试验同时给出每组数据的最大色差,表示测量结果的波动程度,用 ΔE_{Max} 表示。将多次测量的颜色数据两两相比,计算色差,其中的最大值就是最大色差。以本试验每组24个角度的颜色数据为例,最大色差就是这24个颜色值两两比较得到的276个色

差值中的最大值。本研究使用标准差和波动幅度来评价样张的色度值 L^* , a^* , b^* 值各自的波动程度。其中, 标准差用 S_{TD} 表示。波动幅度是最大值与最小值差值的 1/2。

3 试验方法

3.1 主要测量仪器及测试样品

X-rite SP62 积分球式分光光度计, 美国爱色丽公司生产。仪器参数: 光谱范围为 400~700 nm, 光谱间距为 10 nm, 照明观察条件为 D65/10° (气体压力钨丝灯), 几何条件为 $d/8^\circ$ (漫射照明, 8° 测量, 包含镜面成分), 测量孔径为 4 mm。

Gretag Macbeth Color-Eye 7000 A 积分球式分光光度计, 美国爱色丽公司生产。仪器参数: 光谱范围为 360~750 nm, 光谱间距为 10 nm, 照明观察条件为 D65/10°, 几何条件为 $d/8^\circ$, 测量孔径为 25.4 mm, 积分球直径为 15.2 cm^[12]。

光柱辐射纸 (1.250 g/m²)、真空镀铝纸 (2.250 g/m²)、白卡纸 (3.250 g/m²), 均为深圳市金永盛纸制品有限公司生产。

3.2 试验过程

为方便在纸样上作角度标记, 本研究从每张辐射纸上截取 12 块直径为 11.28 cm 的圆, 在边缘位置标注角度信息, 试验时测量其中心位置。

首先, 使用便携式 X-Rite SP62 积分球式分光光度计采集数据。针对待测纸样, 每种纸选取 4 个测量点, 每个测量点以 15° 为间隔, 在 0~360° 范围内测试, 并循环测量 3 次, 以验证试验的可重复性。通过所测数据来寻找测量角度与测量值之间的关联。然后, 使用精度更高的 Gretag Macbeth Color-Eye 7000 A 积分球式分光光度计进行测量, 并将所得数据与使用 X-Rite SP62 积分球式分光光度计测量得到的数据进行比较与分析。

试验测试环境为: 温度 (23 ± 1) °C, 湿度 (50 ± 2)%;

使用 X-rite SP62 测量时, 样张置于 250 g/m² 白卡纸上; 使用 Color-Eye 7000 A 测量时, 使用本身自带的白色衬垫, 不需另加衬垫。

如非特殊说明, 试验中均使用包含镜面反射方式的测量条件。

4 结果及分析

4.1 纸张及摆放角度对测量结果的影响

由于辐射纸表面同时具有高光泽特性和光栅纹

理特性, 为了比较这两种特性对测量稳定性造成的影响, 试验选取镀铝纸和白卡纸, 与光柱辐射纸进行对比测量。其中, 镀铝纸为光亮镀铝表面, 无光栅纹理; X-Rite SP62 对普通白卡纸的颜色测量精度已在实践中得到生产企业的认可。

图 3 为不同的摆放角度对不同纸张颜色测量值的影响。

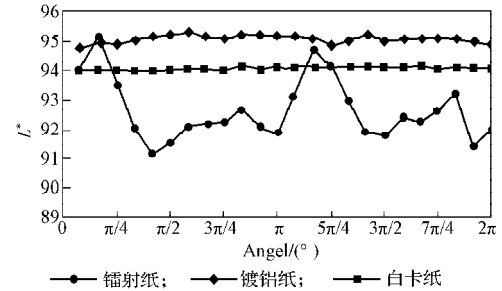


图 3 摆放角度变化对不同纸张颜色测量值的影响

Fig. 3 The effects of different placed angle on paper color measurements

分析图 3 可以得知, 3 种纸张的平均 L^* 值约为 95, 其中, 白卡纸的 L^* 值最为稳定, 其标准差为 0.050, 镀铝纸的标准差为 0.124, 光柱辐射纸的 L^* 值波动最大, 标准差达 1.026。由此可知, 与白卡纸相比较, 测量仪器摆放角度的变化对表面光亮平滑的镀铝纸有一定影响, 而对有光栅纹理的辐射纸的影响则非常明显。

表 1 为 3 种纸张的色度值波动幅度比较。

表 1 3 种纸张色度值波动幅度比较

Table 1 Comparison of color value fluctuation amplitude of 3 kinds of paper

| 纸张类型 | 波动幅度 | | |
|------|--------|--------|--------|
| | L^* | a^* | b^* |
| 辐射纸 | ± 1.98 | ± 1.64 | ± 5.01 |
| 镀铝纸 | ± 0.24 | ± 0.05 | ± 0.10 |
| 白卡纸 | ± 0.09 | ± 0.02 | ± 0.06 |

由表 1 可以得出, 镀铝纸与白卡纸的 L^* , a^* 和 b^* 值的波动幅度较小, 而辐射纸的波动幅度远大于镀铝纸、白卡纸的, 且其波动幅度具有一定的周期性, 这与光柱辐射纸表面纹理的对称性有关。

表 2 为 3 种纸张的测量精度比较。

表 2 3 种纸张的测量精度比较

Table 2 Comparison of measurement accuracy of 3 kinds of paper

| 纸张类型 | S_{TD} | | | E_{MCDM} | ΔE_{Max} |
|------|----------|---------|---------|------------|------------------|
| | L^* | a^* | b^* | | |
| 辐射纸 | 1.026 0 | 0.948 8 | 2.918 2 | 2.932 7 | 10.23 |
| 镀铝纸 | 0.124 0 | 0.027 7 | 0.046 9 | 0.121 1 | 0.47 |
| 白卡纸 | 0.050 2 | 0.008 9 | 0.035 1 | 0.057 2 | 0.18 |

由表2可以看出, 镭射纸的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值的标准差(S_{TD})、测量精度(E_{MCDM})、最大色差(ΔE_{Max}), 均远高于镀铝纸与白卡纸的相关值。这表明, 与其他两种纸张相比较而言, 镭射纸的测量精度较低。

4.2 不同测试点对测量结果的影响

在一张光柱镭射纸上, 分别截取4个不同的测试点(记为 S_1, S_2, S_3, S_4)进行测量, 将测量结果绘制成图。由于波动规律相似, 本文仅给出 L^* 值的测量结果, 如图4所示。

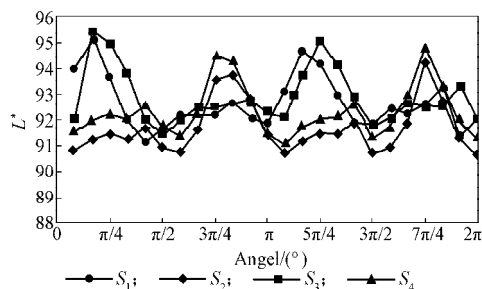


图4 镭射纸4个测量点的 L^* 值测量结果

Fig. 4 The measurement results of laser paper at 4 measuring point L^* value

由图4可看出, 不同测试点的整体波动规律一致, 均有相似的峰值, 其区别在于后2个测试点(S_3, S_4)的峰值位置发生了偏移。从显微图中可以看到, 光柱镭射纸的光栅条纹方向发生了大约 90° 的偏移, 这可能与镭射纸的制作工艺有关。

通过测量多个角度, 取平均值, 可以在一定程度上降低误差, 提高可比性。对4个测试点进行24个角度的测量, 取各测试点测量结果的平均值, 将 S_2, S_3, S_4 3个测试点测量结果的平均值与 S_1 的进行比较, 如表3所示。由表3可看出, 通过取多个角度测量结果的平均值, 可提高不同测试点之间颜色测量结果的可比性。

表3 S_2, S_3, S_4 与 S_1 的24个角度测量平均值比较

Table 3 Comparison of average value of S_2, S_3, S_4 and S_1 24 angle measurement

| 测试点 | L^*_{Ave} | a^*_{Ave} | b^*_{Ave} | ΔE_{Ave} |
|-------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| S_1 | 92.65 | -0.51 | 0.07 | |
| S_2 | 91.69 | 0.08 | 0.21 | 1.13 |
| S_3 | 92.88 | -0.20 | 0.09 | 0.39 |
| S_4 | 92.30 | -0.13 | 0.09 | 0.52 |

4.3 仪器精度对测量结果的影响

采用不同精度的测量仪器进行测量, 也会对镭射纸的测量精度产生影响。图5为采用X-Rite SP62积分球式分光光度计和Gretag Macbeth Color-Eye 7000 A积分球式分光光度计2种不同的测量仪器, 对

镭射纸测量精度的影响结果。

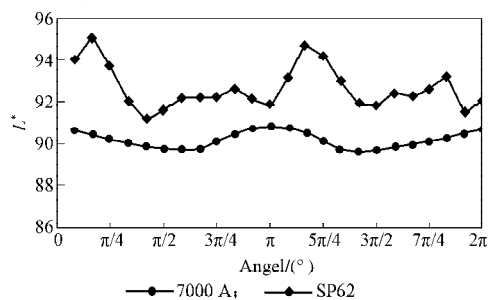


图5 不同仪器对测量精度的影响

Fig. 5 Effects of different instruments on measure precision

由图5可以看出: 仪器本身的精度对测量结果的一致性作用较明显, 即仪器本身精度越高, 测量结果就越稳定; Color-Eye 7000 A的测量结果尽管在波动幅度上较平稳, 但是其总体稳定性仍然不够理想, 如 L^*, a^*, b^* 值的波动范围分别约为 $\pm 0.615, \pm 0.02, \pm 0.110$ 。这样, 以本组测量数据为例, 同一测量点的24个测量值会在 180° 和 255° 的摆放角度产生最大色差, 最大色差达1.25, 因测量角度变化而带来的不稳定性仍然较为明显。

5 结论及建议

本文使用X-Rite SP62和Gretag Macbeth Color-Eye 7000 A 2种积分球式分光光度计, 分别测试了其在镭射纸颜色测量上的稳定性, 并与镀铝纸与白卡纸的颜色测量进行了对比, 得出如下结论:

- 1) 不同的测量仪器摆放角度会对镭射纸的测量精度产生影响, 且其影响大于白卡纸与镀铝纸;
- 2) 不同的测试点, 其测试精度各不相同, 通过取多个角度测量结果的平均值, 可提高不同测试点之间颜色测量结果的可比性;
- 3) 不同精度的测量仪器会对镭射纸的测量精度产生影响, 即仪器本身的精度越高, 测量的结果越稳定。

针对以上结论, 提出如下建议:

镭射纸的表面光学规律较复杂, 通过积分球式分光光度计所获得的平均光刺激下的颜色值, 并不能完全表明镭射纸表面真实的颜色信息, 但对镭射纸印刷品的颜色质量控制具有较高的实用性。受积分球式测量仪器的精度影响, 漫射照明、 8° 观察的几何条件下的测量结果仍然会随着仪器摆放角度的变化产生较明显的不一致性。因此, 可以考虑使用 0° 接收或漫射接收的几何条件, 进行进一步的测量试验, 以期进一步提高测量精度。

此外,镭射纸的颜色测量值对纹理较敏感,压纹不同,测量结果会有差异;而由于制作工艺的原因,同一批次的产品有时也会出现局部的纹理变化,或者有些镭射纸的表面纹理本来就不规则,这也可能导致颜色测量的可比性降低。因此,在与本文中光柱镭射纸颜色测量精度的数据作比较时,需要考虑这一因素。

参考文献:

- [1] 沙存根. 镭射纸在凹印中的自动套印[J]. 印刷杂志, 2011(12): 39-41.
Sha Cunghen. Laser Paper Automatic Overprint in Gravure [J]. Printing Field, 2011(12): 39-41.
- [2] 关东宁. 浅析镭射纸的印刷适性[J]. 印刷杂志, 2010(10): 46-49.
Guan Dongning. Printing Eligibility of Laser Paper[J]. Printing Field, 2010(10): 46-49.
- [3] 李 莎, 何 卉, 熊湘晖. 激光模压全息图在防伪包装领域中的应用[J]. 包装工程, 2002, 23(3): 82-84.
Li Sha, He Hui, Xiong Xianghui. Application of Embossing Technology in Anti-Counterfeiting Science & Technology [J]. Packaging Engineering, 2002, 23(3): 82-84.
- [4] 黄 敏, 王灵芳, 刘 瑜, 等. 光柱镭射纸的光谱和色度测量分析[J]. 光学学报, 2014, 34(6): 338-346.
Huang Min, Wang Lingfang, Liu Yu, et al. Measurement and Analysis of the Spectral and Chromaticity Values of Pillars of Light Pattern Holographic Paper[J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(6): 338-346.
- [5] 李双劲, 王灵芳, 黄 敏. 光柱镭射纸颜色测量方法的比较[J]. 印刷技术, 2014(8): 36-39.
Li Shuangjing, Wang Lingfang, Huang Min. Comparison of Beam Laser Paper Color Measurement Method[J]. Printing Technology, 2014(8): 36-39.
- [6] 葛宏伟, 裴 敏, 许 蕾, 等. 激光模压彩虹全息图的制作原理及工艺[J]. 华中理工大学学报, 1997, 25(9): 57-59.
Ge Hongwei, Pei Min, Xu Lei, et al. The Principle and Process of the Preparation of an Embossed Laser Rainbow Hologram[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 1997, 25(9): 57-59.
- [7] 万晓霞, 黄新国, 刘 振, 等. 镭射纸表面结构对颜色测量精度的影响[C]//第十三届包装工程学术会议论文集. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2010: 397.
Wan Xiaoxia, Huang Xinguo, Liu Zhen, et al. The Effect of Surface Structure of Holographic Paper on Color Measurement Accuracy[C]//Thirteenth Packaging Engineering Conference. Wuhan: Hubei Science & Technology Press, 2010: 397.
- [8] Shevell S K. The Science of Color[M]. Oxford: Elsevier Science, 2003: 35.
- [9] 曹从军, 郑元林. 镭射复合材料表面呈色性能的检测与分析[J]. 包装工程, 2004, 25(5): 170-171.
Cao Congjun, Zheng Yuanlin. Research on Measurement of Chromatic on Holographic Foil Materials[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(5): 170-171.
- [10] Hunt R W G, Pointer M R. Measuring Color[M]. Oxford: Wiley, 2011: 62.
- [11] 郑元林, 杨淑蕙, 周世生, 等. 色差公式CMC(1: c)、CIE94和CIEDE2000的对比研究[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 127-128.
Zheng Yuanlin, Yang Shuhui, Zhou Shisheng, et al. Comparative Studies on CMC(1: c), CIE94 and CIEDE2000 Color Difference Formulae[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 127-128.
- [12] Huang Xinguo, Wan Xiaoxia, Liu Zhen. Optimization of the Method for Color Measurement of Printing on Holographic Paper[J]. Color Research and Application, 2013, 38(2): 130-138.

(责任编辑: 徐海燕)