

琉璃瓦非接触式颜色测量最优条件研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2020.01.011

盛夏

武汉大学

印刷与包装系

湖北 武汉 430079

摘要:为分析琉璃瓦非接触式颜色测量中不同测量条件对测量结果的影响,以 X-Rite Spectro Eye 分光光度计测得的数据为标准值,用非接触式颜色测量设备 PR705 光谱辐射度计获取琉璃瓦碎片的颜色信息,以不同的照明距离、测量距离、仪器曝光时间为试验条件,色差为试验指标,进行单因素试验和正交试验,并对试验结果进行极差分析与方差分析。试验结果显示:测量值与参考值的色差最小为 1.0220,最大为 1.6510,影响试验指标的因素主次顺序为照明距离、仪器曝光时间、测量距离,琉璃瓦非接触式测量参数的最优组合为照明距离 1.5 m、仪器曝光时间 2000 ms、测量距离 1.0 m;最优测量条件下,色差更小,仅为 1.0143。

关键词:琉璃瓦;颜色测量;测量条件

中图分类号: O432.2

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2020)01-0076-06

引文格式: 盛夏. 琉璃瓦非接触式颜色测量最优条件研究 [J]. 包装学报, 2020, 12(1): 76-81.

0 引言

对文物的修复与再现是人们亘古不变的追求,也是人们一直在研究的重要课题^[1-3]。修复与再现文物时,先要对其外观进行分析与复制。文物的传统复制方法一般包括制范、制芯、浇铸、拼接、修整、作色^[4]等工序。琉璃瓦^[5-6]作为中国对世界建筑发展作出最伟大的贡献之一,包含了无数前人的智慧与经验,是人类宝贵的文化遗产,具有非常重要的研究价值^[7-10],其修复与再现也受到极高重视^[11]。琉璃瓦因绚丽的外观而成为富丽堂皇的代名词,其外观修复与复制的关键问题之一是其表面颜色的复制^[12-14]。

采用颜色测量可获得琉璃瓦的表面颜色。颜色测量是一种利用颜色测量设备获取目标物体颜色信息的方法。从与目标物体的接触情况,颜色测量设备可分为接触式颜色测量设备与非接触式颜色测量设备。传统的接触式颜色测量设备包括密度计、分光光度计等,

其应用范围较广,如纺织印染、化妆品、造纸、油漆、塑料、交通、医药、汽车和家电等行业^[15-16]。但对于古迹、壁画、琉璃瓦等文物而言,接触式测量设备存在损坏文物的风险,因此对于此类测量目标需使用非接触式颜色测量设备以获取其颜色信息^[17-18]。

在使用非接触式颜色测量设备的研究中,早期日本的 Hasegawa A. 等^[19]利用非接触式测量设备 Photo Research PR-650 光谱辐射度计采集了不同年龄人群牙齿的颜色信息,并分析了这些颜色之间的差异,此研究使非接触式颜色测量设备的应用范围扩大。Gozalo-Diaz D. J. 等^[20]在 45°/0° 的光照条件下使用非接触式测量设备测量了颌面结构的光谱反射率。李东方等^[21]使用非接触式颜色测量设备 Photo Research PR-650 光谱辐射度计测量了不同牙龈色瓷材料在不同厚度时的透射率和颜色,研究不同材料桩核对全瓷冠不同部位半透性和颜色的影响。不同测量条件(如测量距离、照明距离以及仪器曝光时间等)会对非接

收稿日期: 2019-12-14

作者简介: 盛夏(1995-),女,湖北武汉人,武汉大学硕士生,主要研究方向为颜色测量, E-mail: shengxia733@qq.com

触式颜色测量设备的测量结果造成一定的影响^[22-23]。但上述研究均未深入分析不同测量条件对测量结果的影响。

因此,琉璃瓦非接触式颜色测量的最优条件需要被进一步研究。由于琉璃瓦为文物,为了避免对琉璃瓦的损害,本研究以 PR705 光谱辐射度计作为非接触式颜色测量设备,以 X-Rite Spectro Eye 分光光度计作为接触式颜色测量设备,以老化掉落在地的琉璃瓦碎片作为试验对象,研究琉璃瓦非接触式颜色测量的最优测量条件,以期为琉璃瓦及其他文物、艺术品的修复与复制中非接触式颜色测量设备的使用提供一定的参考。

1 基本理论

物体对不同波长的电磁波会产生选择性反射,这是物体颜色测量的基础。光谱反射率是指物体在某波段的反射通量与该波段的入射通量之比。三刺激值是引起人体视网膜对某种颜色感觉的三种原色的刺激程度量,可由光谱反射率、光源相对光谱功率分布和标准观察者三刺激函数进行积分得到。

本试验使用 PR705 光谱辐射度计,先在特定光源、测量条件下对标准白板进行测量以获取光谱辐照度值,再在相同条件下对琉璃瓦碎片进行测量,将两次测量得到的光谱辐照度值进行计算,得到琉璃瓦碎片的光谱反射率 $\rho(\lambda)$,进一步计算得到测量对象的三刺激值 X 、 Y 、 Z 。计算式为:

$$\begin{cases} \rho(\lambda) = \frac{V_i}{V_s} r_s, \\ X = \int_{380}^{780} S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \\ Y = \int_{380}^{780} S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \\ Z = \int_{380}^{780} S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda. \end{cases} \quad (1)$$

式中: V_i 为琉璃瓦碎片的光谱辐照度值; V_s 为标准白板的光谱辐照度值; r_s 为标准白板的光谱反射率; $S(\lambda)$ 为光源相对光谱功率分布; $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 为标准观察者三刺激值。

国际照明委员会(International Commission on Illumination, CIE)提出了 CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 颜色空间,也称为 CIE LAB 颜色空间。此颜色空间是一种与设备无关的测定颜色的国际标准。该空间三维直角坐标的亮度 L^* 和两个颜色通道坐标 a^* 、 b^* 的计算公式为:

$$\begin{cases} L^* = 116 f(Y/Y_0) - 16, \\ a^* = 500 [f(X/X_0) - f(Y/Y_0)], \\ b^* = 200 [f(Y/Y_0) - f(Z/Z_0)]. \end{cases} \quad (2)$$

式中: X_0 、 Y_0 、 Z_0 为标准光源照射到完全漫反射面上的三刺激值,且 $X_0=96.422$ 1, $Y_0=100.000$ 0, $Z_0=82.522$ 1;

$$f(I) = \begin{cases} I^{1/3}, & I > 0.008 856, \\ 7.787I + 16/116, & I \leq 0.008 856. \end{cases} \quad (3)$$

色差是定量表示的色知觉差异,即用亮度、色调和饱和度 3 种颜色属性的差异来表示。通过 CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 色差公式可得色差,即

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}。 \quad (4)$$

2 试验部分

2.1 材料与条件

本试验以 PR705 光谱辐射度计为非接触式颜色测量设备, X-Rite Spectro Eye 分光光度计为接触式颜色测量设备,爱玲珑 Scanlite 1000 连续光灯为照明光源,琉璃瓦碎片为测量目标。

进行非接触式颜色测量试验时,为保证目标物体表面的光照均匀性,试验采用 CIE 推荐的 $45^\circ/0^\circ$ 颜色测量几何条件,两个相同的标准 A 光源分别置于测量目标两侧,且与测量目标的法线成 45° 夹角,颜色测量设备与测量目标垂直。具体试验几何条件设置如图 1 所示。

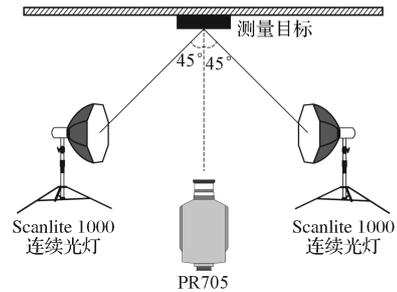


图 1 非接触式颜色测量几何条件图

Fig. 1 Geometric conditions of non-contact color measurement

2.2 试验步骤

本试验包括 3 个主要部分:利用接触式颜色测量设备测量琉璃瓦碎片标准值;利用非接触式颜色测量设备进行琉璃瓦碎片颜色测量的单因素试验;利用非接触式颜色测量设备进行琉璃瓦碎片颜色测量的正

交试验。具体试验步骤如下：

1) 将琉璃瓦碎片表面进行清洗、晾干，框选出其表面颜色均匀、杂质较少的区域，每次颜色测量均在框选区域内；

2) 使用 X-Rite Spectro Eye 分光光度计获取琉璃瓦碎片颜色信息，多次测量取平均值，作为琉璃瓦碎片颜色标准值；

3) 将琉璃瓦碎片利用支架等辅助工具固定，与爱玲珑 Scanlite 1000 连续光灯、PR705 光谱辐射度计调整为图 1 所示的状态；

4) 打开爱玲珑 Scanlite 1000 连续光灯与 PR705 光谱辐射度计，均预热 30 min，预热后对目标物体进行颜色测量测试，在相同条件下多次测量后显示测量结果稳定，可以进行下一步测量；

5) 调整照明距离、测量距离与测量仪器曝光时间的参数，进行单因素试验；

6) 对单因素试验结果进行处理分析，选出进行正交试验的参数水平组合；

7) 重复步骤 3 和 4，调整照明距离、测量距离与测量仪器曝光时间的参数，进行正交试验。

2.3 单因素试验

单因素试验是指在试验过程中，保持其他变量不变而使某单一变量在不同水平下分别进行试验，然后通过比较分析各组试验的结果，得出单一变量能达到最佳试验结果的变化范围。此单因素试验的目的是为后面正交试验水平的选取提供依据。

本试验中，变量因素包括照明距离、测量距离以及仪器曝光时间，在不同因素的组合条件下均可得到测量目标的光谱辐射度值，利用式(1)~(4)，可以计算出不同条件下使用 PR705 光谱辐射度计非接触式颜色测量与使用 X-Rite Spectro Eye 分光光度计测量所得标准值的色差。所有接触式颜色测量与非接触式颜色测量均选取琉璃瓦碎片颜色均匀的同的一处作为测量目标，综合各组试验结果选择最佳的因素水平范围。单因素试验的不同因素水平设置具体如下：

1) 将照明距离作为试验因素时，测量距离为 1.5 m，仪器曝光时间为 1200 ms，照明距离分别为 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 m；

2) 将测量距离作为试验因素时，照明距离为 1.5 m，仪器曝光时间为 1200 ms，测量距离分别为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 m；

3) 将仪器曝光时间作为试验因素时，测量距离为 1.5 m，照明距离为 1.5 m，仪器曝光时间分别

为 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100, 2400, 2700, 3000 ms。

单因素试验结果如图 2~4 所示。

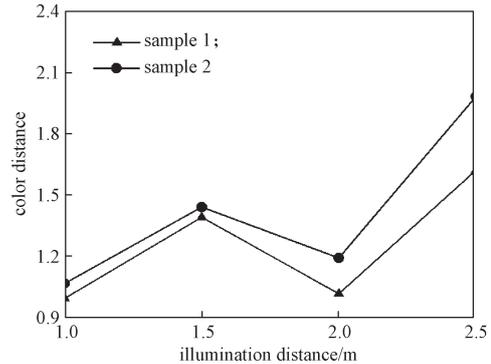


图 2 照明距离对测量结果(色差)的影响

Fig. 2 Impact of illumination distance on the results (color difference)

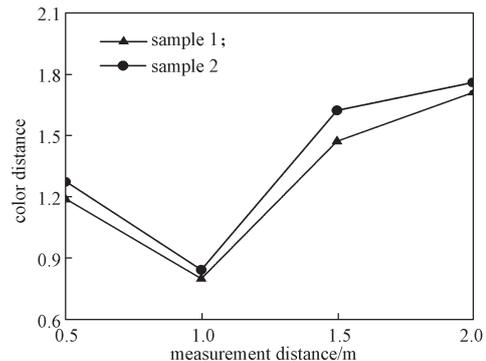


图 3 测量距离对测量结果(色差)的影响

Fig. 3 Impact of measurement distance on the results (color difference)

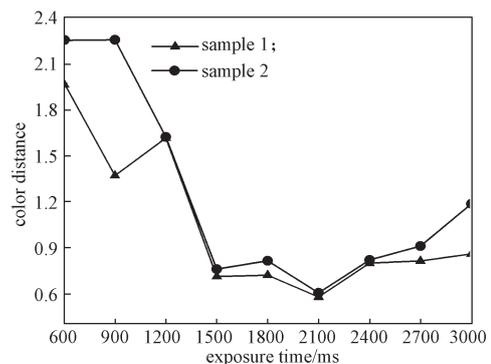


图 4 仪器曝光时间对测量结果(色差)的影响

Fig. 4 Impact of exposure time distance on the results (color difference)

由图 2~4 可知，当照明距离在 1.0~2.0 m 区间，测量距离在 0.5~1.5 m 区间，仪器曝光时间在 1500~2700 ms 区间时，色差最小。因此，照明距离的正交试验水平分别选取 1.0, 1.5, 2.0 m，测量距离

的正交试验水平分别选取 0.5, 1.0, 1.5 m, 仪器曝光时间的正交试验水平分别选取 1500, 2000, 2500 ms。

2.4 正交试验

正交试验是一种利用正交表来安排与分析多因素试验的方法, 挑选试验因素中部分有代表性的水平组合进行试验, 分析此试验结果进而找出最优的水平组合。综合单因素试验结果, 设置三因素三水平正交试验, 评价指标为色差。试验三因素为照明距离(A)、仪器曝光时间(B)、测量距离(C), 正交试验结果见表 1。

表 1 正交试验结果

Table 1 The result of orthogonal test

试验序号	试验因素			ΔE
	A/m	B/ms	C/m	
1	1.0	1500	0.5	1.6131
2	1.0	2000	1.0	1.3410
3	1.0	2500	1.5	1.4033
4	1.5	1500	1.0	1.1165
5	1.5	2000	1.5	1.0220
6	1.5	2500	0.5	1.0536
7	2.0	1500	1.5	1.6510
8	2.0	2000	0.5	1.3305
9	2.0	2500	1.0	1.4354
K_1	4.357 40	4.380 60	3.997 20	
K_2	3.192 10	3.693 50	3.892 90	
K_3	4.416 90	3.892 30	4.076 30	
$K_1/3$	1.452 47	1.460 20	1.332 40	
$K_2/3$	1.064 03	1.231 17	1.297 63	
$K_3/3$	1.472 30	1.297 43	1.358 77	
极差 R_j	0.408 27	0.229 03	0.061 14	

3 分析与讨论

3.1 正交试验结果的极差分析

正交试验的极差 R_j 可确定各因素的主次顺序, R_j 越大对试验指标的影响越大; $K_j/3$ 可确定各因素的最优水平, 色差越小, 因素水平越好。

由表 1 可知: $R_1 > R_2 > R_3$, 即照明距离影响最大, 仪器曝光时间影响次之, 测量距离影响最小, 影响试验指标的试验因素主次顺序为照明距离、仪器曝光时间、测量距离; 对于照明距离 $K_3/3 > K_1/3 > K_2/3$, 因此照明距离的最优水平为 1.5 m, 同理仪器曝光时间和测量距离的最优水平分别为 2000 ms 和 1.0 m。因此本试验各因素的最优参数组合为: 照明距离 1.5 m, 仪器曝光时间 2000 ms, 测量距离 1.0 m。

3.2 正交试验结果的方差分析

正交试验结果的方差分析法可以估计误差的大

小, 并且可以估计各因素对试验指标影响的显著程度, 弥补了极差分析法无法区分试验条件改变与试验误差(e)引起的数据波动的缺陷。方差分析法与极差分析法相结合可以得到更加准确的试验结果分析。

方差分析法将数据的总变异分解成因素引起的变异和误差引起的变异两部分, 分析过程包括偏差平方和的计算与分解、平均偏差平方和与自由度的计算、F 统计量的构造、F 检验, 即可判断因素作用是否显著。偏差平方和的计算如式(5)~(6)所示:

$$S_T = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} T^2, \quad (5)$$

$$S_j = \frac{1}{r} (K_{1j}^2 + K_{2j}^2 + K_{3j}^2) - \frac{1}{n} T^2, \quad (6)$$

式中: S_T 为总偏差平方和; S_j 为各列偏差平方和。

由式(5)~(6)及表 1 可得, $S_A=0.317 96$, $S_B=0.083 34$, $S_C=0.005 64$, $S_e=0.009 69$ 。各因素自由度及总自由度计算如下:

$$f_A=f_B=f_C=m-1=2, \quad f_e=2。$$

式中: m 表示 A、B、C 因素的水平数, 本试验中 $m=3$ 。

由各列偏差平方和及各因素自由度得各因素平均偏差平方和, 即 $V_A=S_A/f_A=0.317 96/2 \approx 0.158 98$, 同理, $V_B \approx 0.041 67$, $V_C \approx 0.002 82$, $V_e \approx 0.004 85$ 。由于 V_e 较小, F 检验灵敏度较低, 即使因素对试验指标有影响, 用 F 检验也无法判断, 因此需要提高 F 检验灵敏度, 即将 C 因素的偏差平方和与自由度并入误差的偏差平方和与自由度, $V_{e^*} = V_C + V_e = 0.015 33$, $f_{e^*} = f_C + f_e = 4$ 。由 F 值计算公式可得, $f_A=41.48147$, $f_B=10.87287$, $f_C=0.73597$ 。查找 F 分布表得, $F_{0.05}(2,4)=6.94$, $F_{0.01}(2,4)=18.0$ 。方差分析结果如表 2 所示。

表 2 方差分析表

Table 2 Variance analysis table

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	临界值	显著水平
A	0.317 96	2	0.158 98	41.481 47	$F_{0.05}(2,4)=6.94$	**
B	0.083 34	2	0.041 67	10.872 87	$F_{0.01}(2,4)=18.0$	*
C	0.005 64	2	0.002 82	0.735 97		—
e	0.009 69	2	0.004 85			
e^*	0.015 33	4	0.003 83			

由表 2 可以看出, $F_A > F_{0.01}(2,4)$, $F_{0.05}(2,4) < F_B < F_{0.01}(2,4)$, $F_C < F_{0.05}(2,4)$, 可见照明距离和仪器曝光时间对试验指标有显著影响, 测量距离对试验指标无

显著性影响。由表2中F值的大小可以确定因素的主次顺序为：照明距离、仪器曝光时间、测量距离，与极差分析结果一致。

3.3 最优方案验证

结合以上极差分析和方差分析可得最优颜色测量条件为：照明距离1.5 m、仪器曝光时间2000 ms、测量距离1.0 m。由于正交试验中没有最优条件试验，因此需要补充验证试验，以证明其最优性。在上述最优颜色测量条件下进行试验，所得试验指标（色差）为1.0143，其结果优于正交试验中的最小色差（1.0220），因此所得试验条件为最优方案。

4 结语

本研究以琉璃瓦碎片为测量对象，利用X-Rite Spectro Eye分光光度计与PR705光谱辐射度计颜色测量仪器，对琉璃瓦非接触式颜色测量最优条件进行了相关研究，以照明距离、仪器曝光时间、测量距离作为3个因素，先通过单因素试验分析，选取正交试验中各因素的试验水平，再以色差为试验指标进行正交试验。通过极差分析与方差分析得到各因素对试验结果影响的主次顺序为照明距离、仪器曝光时间、测量距离，其中照明距离和仪器曝光时间对试验指标有显著影响，测量距离对试验指标无显著性影响，并得出测量参数的最优组合为照明距离1.5 m、仪器曝光时间2000 ms、测量距离1.0 m。综上所述，本研究所得琉璃瓦非接触式颜色测量最优条件可为琉璃瓦非接触式颜色测量提供参考。

参考文献：

- [1] 赵晓刚, 李树义, 林 栋, 等. 辽宁沈阳汗王宫遗址发掘简报[J]. 文物, 2018(2): 39-53.
ZHAO Xiaogang, LI Shuyi, LIN Dong, et al. The Excavation of the Khan Palace Site in Shenyang, Liaoning[J]. Cultural Relics, 2018(2): 39-53.
- [2] 郗海风. 基于计算机虚拟仿真技术下的文化遗产再现与复原[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(4): 937-938.
QIE Haifeng. Computer-Based Virtual Simulation Techniques, the Reproducibility and Recovery of Cultural Heritage[J]. Computer Knowledge and Technology, 2010, 6(4): 937-938.
- [3] 成仲旭, 吴海涛. 博物馆的文物复制[J]. 中国博物馆, 1993, 10(2): 59-62.
CHENG Zhongxu, WU Haitao. Museum Relics Reproduce[J]. Chinese Museum, 1993, 10(2): 59-62.
- [4] 李瑞亮, 靳 鹏. 九华山历史文物馆藏谛听的复制[J]. 中国民族博览, 2019(7): 226-227.
LI Ruiliang, JIN Peng. Jiuhuashan Historical Relics Museum Collection Reproduction [J]. China National Exhibition, 2019(7): 226-227.
- [5] 胡 强. 邳南城东魏北齐宫城釉陶瓦及相关问题[J]. 文物世界, 2019(1): 9-12.
HU Qiang. Glazed Ceramic Tiles of Yenan City, Eastern Wei Dynasty, Northern Qi Dynasty, Gongcheng and Related Problems [J]. World of Antiquity, 2019(1): 9-12.
- [6] 冯 凯. 屋面上的中国: 风雨千万岁, 有瓦即为家[J]. 砖瓦, 2018(7): 5-6.
FENG Kai. Fabulous Chinese Tile Roofs: Ancient and Modern Roof Tiles Constitute Homes[J]. Brick-Tile, 2018(7): 5-6.
- [7] 马岸奇. 魅力中国琉璃瓦[J]. 砖瓦, 2018(9): 17-18.
MA Anqi. Enchanted Chinese Glazed Tiles[J]. Brick-Tile, 2018(9): 17-18.
- [8] 郭媛媛, 吕丹娜, 郑 红. 透过大政殿探究沈阳故宫色彩的运用[J]. 美术大观, 2019(7): 68-69.
GUO Yuanyuan, LÜ Danna, ZHENG Hong. Exploring the Use of Colors of the Shenyang Palace Museum through the Dazheng Palace [J]. Art Panorama, 2019(7): 68-69.
- [9] 黄臻炜. 浅谈建筑的色彩[J]. 城乡建设, 2019(9): 56-59.
HUANG Zhenwei. Analysis of the Building Color [J]. Urban and Rural Development, 2019(9): 56-59.
- [10] 杨桂美, 杨玉璋, 姚政权, 等. 凤阳明中都遗址出土琉璃瓦胎体制作工艺研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(4): 1280-1287.
YANG Guimei, YANG Yuzhang, YAO Zhengquan, et al. Study on Manufacturing Technique for Glazed Tiles Bodies from Mingzhongdu Site, Fengyang[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(4): 1280-1287.
- [11] 方 心. 非遗保护背景下的北京门头沟“官式琉璃”发展研究[J]. 艺术科技, 2017, 30(11): 319-320.
FANG Xin. Research on the Development of “Official Glaze” in Beijing Mentougou in the Background of Intangible Heritage Protection [J]. Art Science and Technology, 2017, 30(11): 319-320.
- [12] 赵 兰, 苗建民, 王时伟, 等. 清代官式建筑琉璃瓦件颜色与光泽量化表征研究[J]. 故宫学刊, 2014(2): 230-239.
ZHAO Lan, MIAO Jianmin, WANG Shiwei, et al. Research on Quantitative Characterization of Color and Gloss of Glazed Tiles of Official Buildings in Qing Dynasty [J]. Journal of Gugong Studies, 2014(2): 230-239.

- [13] 卜卫民. 残损古陶瓷配缺修复方法的比较研究[J]. 文物保护与考古科学, 2018, 30(2): 83-88.
BU Weimin. Comparative Study on the Methods of Filling a Vacancy in Ceramic Restoration[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2018, 30(2): 83-88.
- [14] 卫 国. 浅析“吉祥天母像”的复制翻模工艺[J]. 西藏科技, 2019(8): 76-77.
WEI Guo. Analysis on the Copying and Turnover Process of “Auspicious Heavenly Mother” [J]. Tibet’s Science & Technology, 2019(8): 76-77.
- [15] 刘 娟. 颜色测量方法[J]. 印刷质量与标准化, 2008(6): 34-37.
LIU Juan. Color Measurement Method [J]. Printing Quality & Standardization, 2008(6): 34-37.
- [16] 李宏光, 吴宝宁, 施浣芳, 等. 几种颜色测量方法的比较[J]. 应用光学, 2005, 26(3): 60-63.
LI Hongguang, WU Baoning, SHI Huanfang, et al. The Comparison of Multicolor Measurement Methods[J]. Journal of Applied Optics, 2005, 26(3): 60-63.
- [17] 李志杰, 庞也驰, 虞朝阳. 浅谈艺术品复制非接触式扫描技术的应用[J]. 中国印刷, 2015, 33(7): 83-84.
LI Zhijie, PANG Yechi, YU Zhaoyang. Analysis About the Application of Non-Contact Scanning Technology for Art Reproduction [J]. China Print, 2015, 33(7): 83-84.
- [18] 郭 涛. 浅谈文物保护中无损检测技术的综合应用[J]. 信息系统工程, 2018(12): 39.
GUO Tao. Analysis About Comprehensive Application of Non-Destructive Testing Technology in Cultural Relics Protection [J]. China CIO News, 2018(12): 39.
- [19] HASEGAWA A, MOTONOMI A, IKEDA I, et al. Color of Natural Tooth Crown in Japanese People[J]. Color Research, 2000, 25(1): 43-48.
- [20] GOZALO-DIAZ D J, LINDSEY D T, JOHNSTON W M, et al. Measurement of Color for Craniofacial Structures Using a 45/0-degree Optical Configuration[J]. Journal of Prosthetic Dentistry, 2007, 97(1): 45-53.
- [21] 李东方, 万乾炳, 杨 璞. 桩核材料对全瓷冠半透性和颜色的影响[J]. 实用口腔医学杂志, 2011, 27(2): 173-176.
LI Dongfang, WAN Qianbing, YANG Ying. Influence of Different Posts and Cores on the Translucency and Color of All-Ceramic Crown[J]. Journal of Practical Stomatology, 2011, 27(2): 173-176.
- [22] 万晓霞, 付 马, 黄新国, 等. 非接触式颜色测量参数的最优化研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(9): 2889-2893.
WAN Xiaoxia, FU Ma, HUANG Xinguo, et al. Optimization Study of Non-Contact Color Measurement Parameters[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016, 36(9): 2889-2893.
- [23] 张雨豪, 王 辉, 史太川. 敦煌壁画颜料颜色非接触式测量条件优化研究[J]. 包装学报, 2017, 9(3): 82-88.
ZHANG Yuhao, WANG Hui, SHI Taichuan. Optimization Study on the Condition of Non-Contact Color Measurement of Dunhuang Mural Pigment[J]. Packaging Journal, 2017, 9(3): 82-88.

(责任编辑: 邓 彬)

Research on Optimal Conditions for Non-Contact Color Measurement of Glazed Tile

SHENG Xia

(School of Printing and Packaging, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: In order to analyze the influence of different measurement conditions on the measurement results of non-contact color measurement of glazed tiles, the data measured by X-Rite Spectro Eye spectrophotometer was used as the standard value, and the non-contact color measurement equipment PR705 spectroradiometer was used to obtain the color information of glazed tiles. Single-factor tests and orthogonal tests were performed by taking different illumination distance, measurement distance, instrument exposure time as the test conditions, and the color difference as the test index, then the test results were analyzed by range analysis and variance analysis. The test results showed that the minimum color difference between the measured value and the reference value was 1.0220 while the maximum was 1.6510. The primary and secondary order of the test factors affecting the test indicators were the illumination distance, the exposure time of the instrument, and the measurement distance. The optimal combination of non-contact measurement parameters for glazed tiles was an illumination distance of 1.5 m, an exposure time of 2000 ms, and a measurement distance of 1.0 m. Under the optimal measurement condition, the color difference was as small as 1.0143.

Keywords: glazed tile; color measurement; measurement condition