

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.01.011

# 白光 LED 对中国传统书画色彩的影响

党睿,王立雄,刘刚,雒琛

(天津大学建筑学院;天津市建筑物理环境与生态技术重点实验室,天津 300072)

**摘要:**为得到低色温高显色性白光 LED 光谱对中国传统书画色彩的量化影响规律,论证白光 LED 在书画展陈照明中的实际适用性,基于满足书画照明标准的 RYGB 型白光 LED 光源照射书画模型试件的实验方法,周期性测量试件色彩参数,进而绘制色坐标和亮度值随时间周期性变化曲线图,通过分析色坐标在 CIE 1931 色度图上的变化情况以及亮度衰变曲线,得到此类白光 LED 对书画色相、饱和度、明度的量化影响规律,提出 RYGB 型白光 LED 在书画展陈照明中的应用依据。

**关键词:**展陈照明;白光 LED;传统书画;色彩;量化影响

**中图分类号:**TU 113.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)01-0061-06

## Influence of WLED on color of Chinese traditional calligraphy and painting

*Dang Rui, Wang Lixiong, Liu Gang, Luo Chen*

(School of Architecture; Tianjin Key Laboratory of Architectural Physics and Environmental Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, P. R. China)

**Abstract:** In order to quantify the WLED's impact on color of Chinese traditional calligraphy and painting, and explore the practical applicability of using WLED as display lighting, an experiment was carried out on the RYGB type of WLED irradiated models of calligraphy and painting. And the color parameters was tested periodically to make curve charts of color coordinate and luminance over time. The impact of the WLED on hue, saturation, brightness was quantified based on the curve to provide evidence of application of WLED.

**Key words:** display lighting; WLED; calligraphy and painting; color; quantitative influence

光学辐射是造成展品受损的重要因素,因此人工光环境质量是衡量博物馆水平的一项重要技术指标,而直接作用于展品的展陈照明更是重中之重<sup>[1]</sup>。

由于不科学照明会对展品造成不可逆的永久性损伤,导致文物的历史信息流失和遗产价值降低,因此必须避免或减小光学辐射损害<sup>[2]</sup>。

**收稿日期:**2014-07-08

**基金项目:**国家自然科学基金(51308384);天津市自然科学基金(13JCQNJC07600)。

**作者简介:**党睿(1981-),男,主要从事建筑技术科学研究,(E-mail)dr\_tju@163.com。

刘刚(通信作者),男,副教授,(E-mail)lglgmike@163.com。

**Received:**2014-07-08

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(No. 51308384); Tianjin Natural Science Foundation(No. 13JCQNJC07600); Peiyang Scholar Plan of Tianjin University

**Author brief:** Dang Rui(1981-), main research interest: building technology science, (E-mail)dr\_tju@163.com.

Liu Gang(1977-), male, associate professor, (E-mail)lglgmike@163.com.

在对多座博物馆进行调研后发现,中国绝大多数博物馆都设有书画展厅,中国传统书法绘画是最主要的展品类型之一,存量巨大<sup>[3]</sup>。而且作为中国传统文化的精髓,千百年来出现了许多国宝级书画珍品,具有极高的艺术价值和文物价值。但中国传统书画由于自身的基材和颜料特性,较其它类型文物更易受到光学辐射损害而发生褪色和变色。国外学者对该问题进行了较为深入的探索,但研究样本均为油画等西方绘画类型<sup>[4-5]</sup>,其基材、颜料、制作工艺等都与中国传统书画存在很大差异,研究结论对我国书画并不适用,而中国学者主要是对光照影响机理进行定性描述<sup>[6-7]</sup>,缺乏深入的量化研究。

荧光灯、卤钨灯、金卤灯 3 种传统光源是目前在书画照明中所采用的主要类型<sup>[8]</sup>,而 WLED(White Light Emitting Diodes)的出现,为展陈照明提供了新的光源选择。中国《博物馆照明设计规范》(GB/T 23863—2009)(以下简称《标准》)中,对用于书画类展品照明的光源参数要求为: $T_c < 3\ 300\ K$ ,同时 $R_a > 90$ 。但目前 WLED 的最主要制备方法是使用蓝光 LED 芯片激发黄色荧光粉,由于该方法所获得的 WLED 光谱中缺少红绿部分,因此难以同时实现低色温、高显色性的技术指标<sup>[9]</sup>。另一种制备方法是通过将红、绿、蓝三色 LED 芯片按照一定比例混合得到<sup>[10]</sup>,这种 WLED 虽可达到较好的显色水平,但它存在的发热量高和蓝光较多等问题正是书画照明所不允许的。通过紫外 LED 芯片配合 RGB 荧光粉也可得到 WLED<sup>[10]</sup>,但其光谱中过高的紫外含量将对书画造成严重损伤。目前能够满足《标准》要求的 WLED 制备方法是,采用蓝光 LED 芯片激发黄、红、绿三色荧光粉,通过优化 3 种颜色荧光粉之间的比例,可得到低色温高显色性 WLED<sup>[11]</sup>,这种新型光源的出现,为 WLED 在书画展陈照明中的应用提供了基础。因为这类 WLED 不仅节能环保、寿命长、易维护,同时还具有光谱中的紫外线和红外线含量低、能够根据需求调节 SPD(Spectral Power Distribution)<sup>[12]</sup>、可见光波段中蓝光光谱少等特点,使其在理论上非常适合用于书画照明<sup>[13]</sup>。但由于 WLED 面世时间较短,而且光谱组成较传统光源有很大差异,对书画色彩的损伤情况尚不明晰,因此 WLED 的实际适用性缺乏科学依据。

为解决上述问题,设计了低色温高显色性 WLED 对中国传统书画模型的光照影响实验<sup>[14]</sup>。首先按照传统方法制作 6 种典型颜色的书画试件,使之最大程度接近真实展品;其次测量 WLED 出射光谱,保证满足实验精度要求;进而周期性测量试件

的色彩参数,并绘制变化曲线图;最后通过数据分析得到 WLED 对书画色相、饱和度、明度的量化影响规律。

## 1 技术路线

实验技术路线见图 1。

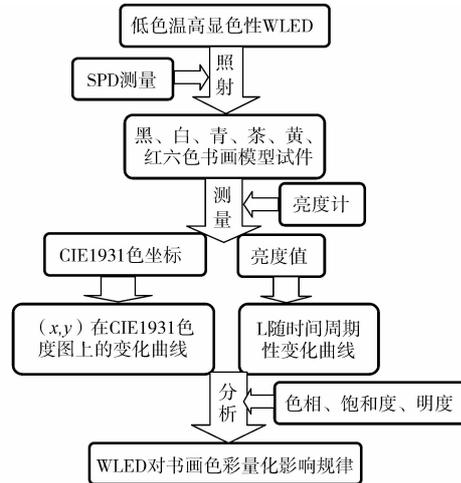


图 1 研究技术路线

Fig. 1 Technical route

## 2 实验方法

1)模型试件:由天津大学工笔重彩研究所按传统技法和工艺,制作中国书画模型试件。以宣纸和丝绢作为基材,在上面绘制中国书画使用最为广泛的黑(石墨)、白(铅白)、青(石青)、茶(赭石)、黄(雌黄)、红(朱砂)共 6 种颜料,并使用小麦淀粉制成的糨糊按照古典技法进行手工装裱,使模型试件能够最真实反映中国传统书画特点。

2)实验光源:采用蓝光 LED 芯片激发红、黄、绿三色荧光粉的方法,获得了能够满足《标准》的 RYGB(红黄绿蓝)型 WLED 成品。这种光源的色温 $T_c = 2\ 700\ K$ ,显色指数 $R_a = 92$ ,功率 $13.3\ W$ ,发光效率 $49.6\ lm/W$ ,同时测定红、黄、绿、蓝是其主要单色光谱成分,红外和紫外光谱含量极少。

3)实验方案:实验在地下全暗光学实验室中进行,同时温度、湿度、空气质量保持恒定。实验采用循环照射,每天照射 8 h,每 6 d 为一个测量周期,随着照射时间延长,被照物总曝光量随之累加,每个照射周期后进行测量。采用 BM-5 型亮度计在 D65 标准光源下测量试件的 CIE 1931 色坐标 $(x, y)$ 及亮度值 $L$ ,记录所测数据并绘制统计表格,进而将色坐标数据绘制于 CIE 1931( $2^\circ$ 视场)色度图上进行表示<sup>[15]</sup>,将亮度值拟合为变化曲线图。

需要说明的是,实验中试件表面的辐照度为  $1.75 \text{ mW/cm}^2$ ,根据该 WLED 光源的 SPD,折合照度为  $4603.48 \text{ lx}$ ,而《标准》中对于书画类展品的表面照度要求为  $50 \text{ lx}$ ,因此实验照度为标准照度的 92 倍,属于加速老化实验。由于不同种类颜料的物理化学特性存在差异,因此在加速老化实验中的光照强度、照射时间、样本衰变程度并不一定与正常照射时存在线性关系,也不能够依据实验数据对正常照射情况下,样本未来的衰变数值进行准确预测。但目前国际上对于这类实验的评价标准为:只要保证实验方法和操作过程科学,加速实验结果与正常条件下具有一致性,实验数据能够证明所设定条件对样本的实际影响程度及影响规律<sup>[16]</sup>。

### 3 实验数据

#### 1) WLED 光谱

按照书画照明常用照射距离,在刻度式铁架台上将光源调节到距试件  $50 \text{ cm}$ ,同时由于测试目的是探求光照对展品的物理损伤情况,因此实验采用辐照度(单位  $\text{mW/cm}^2$ )而非照度(单位  $\text{lm}$ )作为限定指标,此时试件表面辐照度为  $1.75 \text{ mW/cm}^2$ 。进而采用分光光度计(量程为  $300 \sim 1100 \text{ nm}$ )对 WLED 的光谱进行测量,测量结果见图 2。

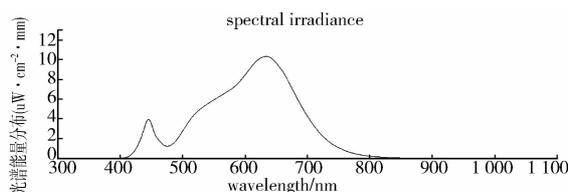


图 2 WLED 光谱分布图

Fig. 2 Spectrum distribution of WLED

根据测试结果可知:首先,光谱能量主要分布于  $380 \text{ nm} \sim 780 \text{ nm}$  的可见光区域,几乎不含红外和紫外光谱;其次,在可见光谱区域内蓝光成分较少,由于蓝光波长较短能量较强,是可见光谱中对展品损害最大的谱段,因此该光源有利于书画照明保护;第三,在可见光谱区域内并不缺少红绿部分,这对于还原书画作品丰富的色彩、提高视看效果具有重要作用。所以,实验所选用的 WLED 完全能够满足书画展陈照明需求。

#### 2) 色彩参数

采用 BM-5 型亮度计在 D65 标准光源下测量六种颜色试件的 CIE 1931 色坐标( $x, y$ )及亮度值  $L$ ,连续测试 5 个周期,将测试结果记录后整理成表格。为保证测试结果准确,每组数据均为 3 次测量后的平均值。色彩参数见表 1。

表 1 书画试件色彩参数变化表  
Table 1 Changes of color parameter on specimen

| 参数     |     | 颜色         |            |            |            |            |            |
|--------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|        |     | 黑色<br>(石墨) | 白色<br>(铅白) | 青色<br>(石青) | 茶色<br>(赭石) | 黄色<br>(雌黄) | 红色<br>(朱砂) |
| 第 1 周期 | $x$ | 0.334 4    | 0.339 0    | 0.258 0    | 0.441 3    | 0.423 9    | 0.429 9    |
|        | $y$ | 0.331 6    | 0.340 9    | 0.280 8    | 0.347 0    | 0.421 9    | 0.330 8    |
|        | $L$ | 46.71      | 203.63     | 38.34      | 14.33      | 85.05      | 27.94      |
| 第 2 周期 | $x$ | 0.328 5    | 0.334 2    | 0.268 5    | 0.437 2    | 0.425 8    | 0.431 8    |
|        | $y$ | 0.339 7    | 0.342 6    | 0.281 4    | 0.349 6    | 0.420 1    | 0.327 5    |
|        | $L$ | 46.75      | 203.98     | 38.76      | 14.88      | 84.35      | 27.47      |
| 第 3 周期 | $x$ | 0.331 6    | 0.341 6    | 0.261 8    | 0.431 1    | 0.424 2    | 0.440 6    |
|        | $y$ | 0.342 5    | 0.341 8    | 0.297 6    | 0.351 7    | 0.417 7    | 0.321 7    |
|        | $L$ | 46.98      | 202.79     | 39.20      | 15.12      | 84.0 1     | 27.55      |
| 第 4 周期 | $x$ | 0.321 7    | 0.347 2    | 0.278 3    | 0.425 1    | 0.424 0    | 0.455 8    |
|        | $y$ | 0.348 8    | 0.350 1    | 0.298 4    | 0.347 6    | 0.413 1    | 0.327 9    |
|        | $L$ | 47.22      | 201.47     | 39.29      | 15.35      | 83.65      | 27.86      |
| 第 5 周期 | $x$ | 0.330 8    | 0.351 2    | 0.279 1    | 0.403 2    | 0.425 1    | 0.467 6    |
|        | $y$ | 0.351 4    | 0.353 5    | 0.237 5    | 0.345 6    | 0.402 6    | 0.321 1    |
|        | $L$ | 47.53      | 200.78     | 39.97      | 15.23      | 83.12      | 28.43      |

### 4 数据分析

为了进行 WLED 对书画色彩的辐射影响分析, 通过坐标点法将实验所得  $(x, y)$  数据绘于 CIE1931

( $2^\circ$  视场) 色度图中形成色坐标变化曲线, 图中坐标点由 1 到 5 为 5 个周期的依次检测结果, 见图 3。将亮度值  $L$  拟合为随时间周期变化曲线, 见图 4。

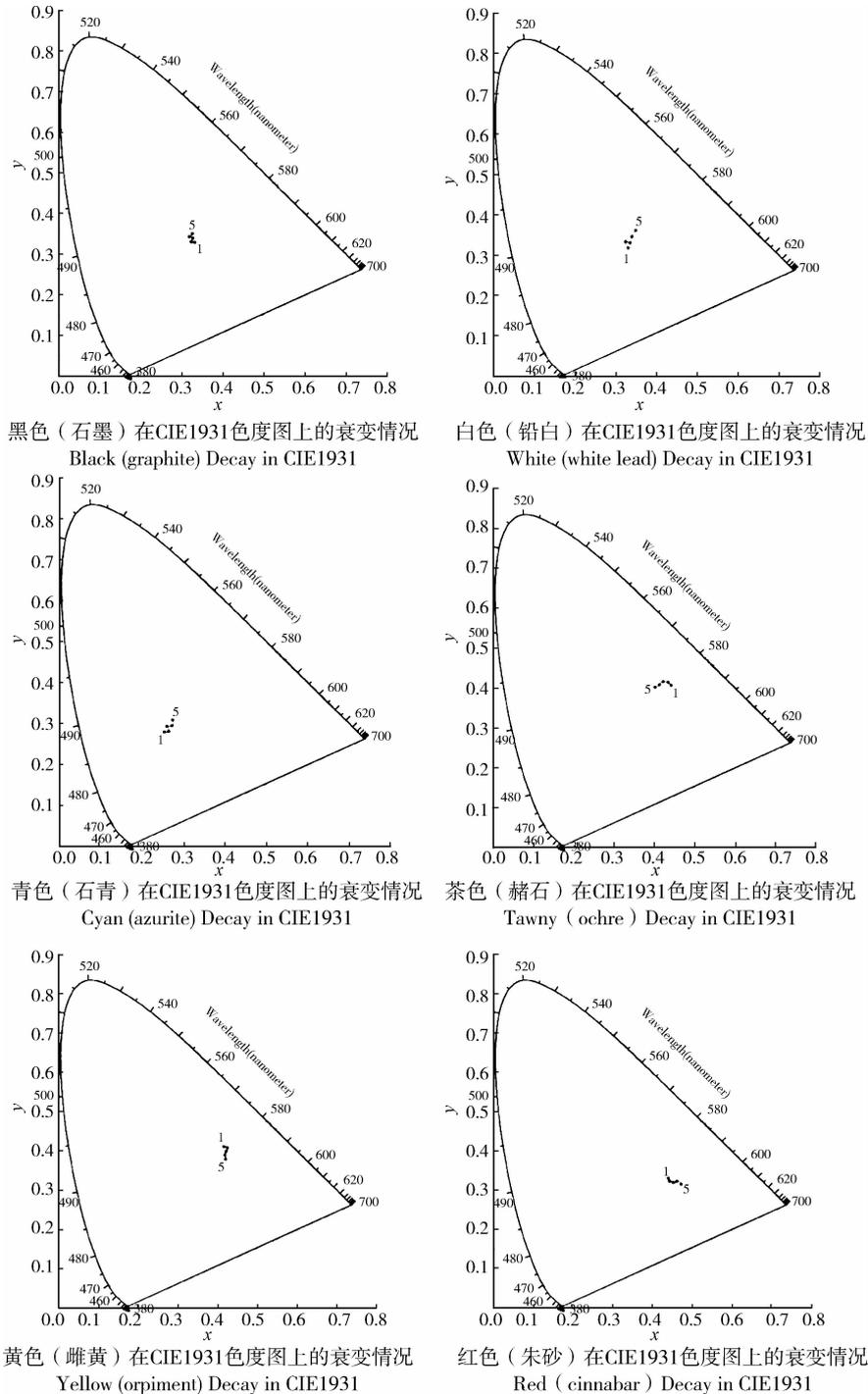


图 3 色坐标在 CIE1931 ( $2^\circ$  视场) 色度图中的变化曲线

Fig. 3 Curve of color coordinate in CIE1931 ( $2^\circ$ )

由图 3 和图 4 可知:

1) 黑色(石墨): 色坐标仅发生微小变化, 变化范围一直在色度图中心点附近, 只稍向上方偏移, 变色

情况不明显; 亮度从第 2 周期开始提高, 即有泛白迹象。由于黑色能够吸收各个波段的光子能量, 在入射光谱相同的情况下, 相比于其他颜色, 光照对黑色

的影响应该最为明显,但实验结果表明并非如此。主要原因在于构成黑色颜料的石墨材料特性,石墨主要成份是碳素,它是有机烃类化合物,经热解后形成多面体碳微粒<sup>[6]</sup>,其物理和化学性质及其稳定,耐光、耐热、耐酸碱,因此光照对黑色影响并不十分显著。

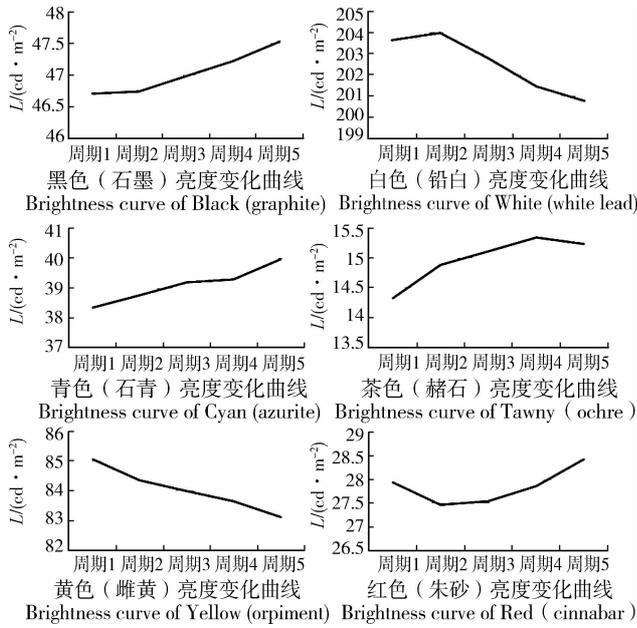


图 4 亮度值随时间周期性变化曲线

Fig. 4 Cyclic variation curve of brightness

2) 白色(铅白):色坐标变化较为明显,由第 1 周期的(0.339 0, 0.340 9)变化到第 5 周期的(0.351 2, 0.353 5),即沿中心白点逐渐向 570 nm 主波长方向迁移,说明颜色开始由白变黄,有发黄迹象;亮度从第 2 周期开始下降,发乌变暗。白色能够反射各个波段的光谱,因此在入射光相同时白色获得的能量最少,应该比其他颜色受光照影响更小,但实验结果显示其色坐标发生了较为明显的变化。究其原因,仍与颜料性质有关,铅白为碱式碳酸铅<sup>[6]</sup>,化学性质不稳定,易受光照影响而分解为氧化铅,因此有较为明显的变黄和发乌现象。

3) 青色(石青):色坐标总体上由(0.258 0, 0.280 8)向中心白点方向振荡移动,色相有略微改变且饱和度降低;亮度在整个照射周期内逐步提高,有发白褪色现象。根据混色原理,青色是由蓝色和绿色混合而成,因此颜料呈现青色是由于其反射入射光中的蓝、绿光谱而吸收其他波段的光谱。根据图 2 可知,实验所用的 RYGB 型 WLED 光谱中,波长较短的蓝、绿光含量较低,而黄、红等中、长波部分含量很高,所以青色在吸收大量辐射后,其变色程度本应比较明显,但实验证实它的颜色只发生了微小

变化。经分析原因如下:变色现象是由于颜料中的分子获得大于其活化能的能量后<sup>[17]</sup>,发生光化学反应而降解所导致的,而青色虽获得了大量辐射,但主要为中、长波,这部分光谱由于光子振动频率低、能量小,数量虽大但能量不强,因此青色在吸收大量的中、长波辐射后色彩衰变并不明显。

4) 茶色(赭石):色坐标由第 1 周期的(0.441 3, 0.347 0)变化到第三周期的(0.431 1, 0.351 7)后,沿 580 nm 主波长向中心白点偏移,色相有小幅改变,饱和度降低;亮度由第 1 周期到第 4 周期逐步升高,第 4 到第 5 周期变化不大,有一定褪色现象。茶色主要反射波长在 580~610 nm 之间的光谱,实验光源中位于该范围的光谱含量较高,因此茶色所吸收的光谱总量要低于青色,但由于茶色吸收了含有很高能量的蓝绿光谱,同时构成赭石颜料的三氧化二铁与构成石青颜料的碱性铜碳酸盐光化学性质类似<sup>[6]</sup>,因此茶色的变色幅度高于青色。

5) 黄色(雌黄):色坐标由第 1 周期的(0.423 9, 0.421 9)变化到第 5 周期的(0.425 1, 0.402 6),基本沿色度图边界的同心圆向下偏移,即色相由黄到橙,而饱和度略降但改变不明显;亮度由第 1 周期到第 5 周期逐步降低,说明有发乌变暗现象。实验光源中的黄色光谱含量略低于茶色,且黄色与茶色均吸收了高能的蓝绿光,同时构成雌黄的三硫化二砷化学性质与赭石类似<sup>[6]</sup>,因此黄色的变色程度高于茶色。

6) 红色(朱砂):色坐标由第 1 周期的(0.429 9, 0.330 8)变化到第 5 周期的(0.467 6, 0.321 1),变色趋势与黄色较为类似,基本沿色度图边界的同心圆向下偏移,饱和度稍有提高而变化幅度不大;亮度由第 1 周期到第 2 周期降低后便开始逐步升高,但总体变化并不显著,说明有微弱褪色现象。实验光源中的红色光谱含量很高,因此红色颜料所吸收的光谱相比于茶色更少,加之二者都不反射高能的蓝绿光,在构成朱砂的硫化汞光化学性质与赭石类似<sup>[6]</sup>的条件下,红色的变色程度比茶色更低。

综上所述,光照对 6 种颜料的色彩影响程度为:白色最明显,然后依次是黄色、茶色、红色、青色、黑色。

## 5 结论

光照影响颜料色彩衰变的主要因素有 4 个:光照强度、照射时间、颜料光化学稳定性、光源 SPD。在 RYGB 型 WLED 照射中国传统书画实验中,各组试件的光照强度和照射时间始终保持一致,因此颜料光化学稳定性和光源 SPD 两个因素对色彩衰变的影响结论如下:

1) 颜料光化学稳定性对色彩改变影响更大, 这从 6 种颜色的变色程度实验结果中能够得到印证: 白色虽吸收的光谱能量最少, 可是其光化学稳定性最差, 因此变色最为明显; 黑色虽吸收各个波段的光谱能量, 然而石墨具有极其稳定的光化学特性, 所以变色最不显著。但颜料对光的敏感程度是其自身的固有属性, 是不可改变的。

2) 从实验结果分析可看出, 高能量的短波辐射是造成颜料色彩改变的首要因素: 青色虽受到的辐射总量高于茶色、黄色和红色, 但其所吸收的主要是中、长波光谱, 能量不强, 因此变色程度低于茶、黄、红三色。而在其他条件相同时, 颜料对于光谱的选择性吸收特性决定了其各自的光照受损程度: 茶、黄、红 3 种颜料的光化学性质类似, 且对光源短波辐射的吸收情况相同, 但由于三者对光谱中、长波部分的吸收存在差异, 导致变色程度略有差别。

3) 实验所使用的 RYGB 型 WLED 光谱中, 不含有紫外和红外成分, 同时在可见光波长范围内, 蓝、绿光等短波含量较低, 中、长波含量虽高但其不是造成颜色衰变的主要因素。因此, 实验结果表明 RYGB 型 WLED 虽然对书画试件有一定程度影响, 但无论是从色相、饱和度还是亮度, 参数变化幅度并不大, 说明该类型 WLED 光源未来在书画展陈照明中具有一定的应用前景。

## 6 研究展望

通过研究 WLED 对中国传统书画色彩影响, 探索出了“试件照射实验-关键参数测量-参数分析整理-衰变曲线拟合-实际问题量化-科学结论凝练”这一技术路线, 该方法可在同类型研究中进行拓展应用。因此在后续研究中, 将以卤钨灯、金卤灯、荧光灯 3 种博物馆展陈照明既有典型光源作为实验光源, 对书画试件进行光照影响实验。并将研究结果与 WLED 作横向对比分析, 以 WLED 的影响因子为 1, 计算得到卤钨灯、金卤灯、荧光灯的相对损害系数, 以明确目前 4 种展陈照明典型光源对中国传统书画的量化损伤情况。

### 参考文献:

[1] 王嘉亮. 相机结合 HDR 图像技术在博物馆光环境分析中的应用与验证[J]. 照明工程学报, 2011, 22(5): 68-73  
Wang J L. Application and evaluation of the hdr photography combined with camera for analyzing museum lighting environments [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2011, 22(5): 68-73. (in Chinese)

[2] Jelena A. Lighting for museums [C]//International Symposium-Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering. January 10-15, 2011.

[3] 党睿, 张明宇, 刘刚, 等. 基于文物保护的博物馆展陈照明调查研究[J]. 照明工程学报, 2013, 24(3): 18-23  
Dang R, Zhang M Y, Liu G, et al. Investigation and research on display lighting in museum based on protected historical relics [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2013, 24(3): 18-23. (in Chinese)

[4] Cuttle C. Light for art's sake, lighting for artworks and museum displays [J]. Lighting Research and Technology, 2008, 4(3): 259.

[5] Jelena Armas. Lighting for Museums [C]//International Symposium-Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering. January 10-15, 2011.

[6] 武金勇. 先秦两汉绘画颜料研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.

[7] 苏晓萌. 博物馆照明现状分析及改进设计研究[J]. 中国照明电器, 2009, 9(8): 7-11  
Su X M. Status Quo analysis and improvement research on lighting designs for museums [J]. China Light & Lighting, 2009, 9(8): 7-11. (in Chinese)

[8] 党睿, 魏智慧, 张明宇. 美术馆展厅光环境调查研究[J]. 照明工程学报, 2013, 24(5): 16-21  
Dang R, Wei Z H, Zhang M Y. Investigation and research on light environment in exhibition room of art gallery [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2013, 24(5): 16-21. (in Chinese)

[9] Mark S R. Opinion: The future of LED lighting: Greater benefit or just lower cost [J]. Lighting Research and Technology, 2010, 42: 370.

[10] 吴海彬, 王昌铃, 何素梅, 等. 绿荧光粉的白光 LED 显色性研究[J]. 光学学报, 2008, 28(9): 1778-1782.  
Wu H B, Wang C L, He S M. Research of color rendering of white led based on red and green phosphors [J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(9): 1778-1782. (in Chinese)

[11] Naoki K, Ken S, Syunichiro H, et al. Extra high color rendering whitelight-emitting diode lamps using oxynitride and nitride phosphors excited by blue light-emitting diode [J]. Applied physics letters, 2007, 90(5): 051109.

[12] 戴树春, 郭自泉, 吕毅军, 等. 中性色温下两基色、三基色荧光粉转换白光 LED 的光谱优化[J]. 发光学报, 2012, 33(8): 873-878  
Dai S C, Guo Z Q, Lv Y J, et al. Spectrum optimization of bi-color and tri-color phosphor-converted white leds in neutral correlated color temperature system [J]. Chinese Journal of Luminescence, 2012, 33(8): 873-878. (in Chinese)