

文章编号: 1000-7032(2018)05-0723-07

# 基于色差分析的中国淡彩绘画保护性照明光源

党睿<sup>1</sup>, 刘杰<sup>1</sup>, 刘刚<sup>1</sup>, 张海滨<sup>2\*</sup>

(1. 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;

2. 重庆大学 建筑城规学院, 重庆 400044)

**摘要:** 为得到博物馆照明光源对中国传统淡彩绘画的色彩影响规律, 并确定不同类型中国传统淡彩绘画的最低损害光源, 以3种博物馆典型照明光源作为实验光源, 分组照射中国传统淡彩绘画模型试件, 对模型试件的CIE LAB色度数据进行周期性测量。基于实验数据计算不同周期色差变化值, 并绘制色差随曝光量的周期性衰变曲线。进而对色差值变化数据进行回归分析, 拟合得到不同光源对4种淡彩绘画颜料的相对影响函数公式, 提出不同光源对各类型淡彩绘画的相对影响系数。结果表明: 3种照明光源对工笔淡彩绘画的影响系数为  $K_{\text{金卤灯}}:K_{\text{卤钨灯}}:K_{\text{WLED}} = 1.00:0.92:0.84$ ; 对小青绿淡彩绘画的影响系数为  $K_{\text{金卤灯}}:K_{\text{卤钨灯}}:K_{\text{WLED}} = 2.05:1.71:1.65$ ; 对水墨淡彩绘画的影响系数为  $K_{\text{金卤灯}}:K_{\text{卤钨灯}}:K_{\text{WLED}} = 1.17:0.94:0.91$ 。在淡彩绘画照明保护性照明光源选择时, 应选择RYGB型WLED光源。

**关键词:** 中国传统绘画; WLED; 色彩衰变; 光照保护

中图分类号: O432

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20183905.0723

## Protective Light Source for Chinese Light Color Painting Based on Color Difference Analysis

DANG Rui<sup>1</sup>, LIU Jie<sup>1</sup>, LIU Gang<sup>1</sup>, ZHANG Hai-bin<sup>2\*</sup>(1. Tianjin Key Laboratory of Architectural Physics and Environmental Technology,  
School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Faculty of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

\* Corresponding Author, E-mail: jason0374@163.com

**Abstract:** To establish the influencing rules of different light sources on traditional paintings and to determine the minimum damage light source of different types of traditional paintings, we utilized a white light emitting diode (WLED) as experimental light source, a metal halide lamp (MHL), and a tungsten halogen lamp (THL) as contrast light sources to illuminate Chinese paintings, periodically measuring CIELAB color data. First, we calculated the color difference based on the data and plotted color difference against exposure. Then, we plotted fitting curves of color difference against exposure for four pigments, and obtained the relative influence coefficient of different light sources on four organic pigments *via* analyzing the regression equation. According to the experiment results, for fine brushwork light color paintings, the ratio of the average effect is  $K_{\text{MHL}}:K_{\text{THL}}:K_{\text{WLED}} = 1.00:0.92:0.84$ ; for small green light color paintings, the ratio of the average effect is  $K_{\text{MHL}}:K_{\text{THL}}:K_{\text{WLED}} = 2.05:1.71:1.65$ ; for ink light color paintings, the ratio of the average effect is  $K_{\text{MHL}}:K_{\text{THL}}:K_{\text{WLED}} = 1.17:0.94:0.91$ . According to the above results, for the three types of Chinese traditional light color paintings,

收稿日期: 2017-09-14; 修订日期: 2017-12-05

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题(2016YFB0601702); 天津市自然科学基金(17JCYBJC22400)资助项目

Support by National Key Research and Development Program(2016YFB0601702); Tianjin Natural Science Fund(17JCYBJC22400)

the illumination damage from RYGB-type WLED is less than metal halide lamp and tungsten halogen lamp. The RYGB-type WLED is the light source resulting in the least damage to the painting colors.

**Key words:** Chinese traditional painting; WLED; color decay; illumination protection

## 1 引 言

中国传统绘画是中华民族的艺术瑰宝。目前我国拥有保存绘画类展品的历史、艺术类博物馆 4 000 余座,且以年均 7.6% 的建设速度增长。其中传统绘画藏品逾 70 万余件,有着极大存世量<sup>[1]</sup>。同时千百年来留存下海量绘画珍品,历史和艺术价值极高,是世界文化遗产的重要组成部分。

但由于保护方面存在的问题,我国 50.66% 的馆藏传统绘画存在不同程度的损坏,且均为不可逆的永久性损伤<sup>[2]</sup>。光照、温度、湿度、空气质量是文物受损的影响因素,但在博物馆环境中,温度、湿度、空气质量均可通过相关技术手段调节至绘画保存所需的最适宜状态,而任何光照都会对绘画产生影响。同时在世界各个国家和国际组织的相关标准中,中国传统绘画的光敏感度均为最高等级<sup>[3-6]</sup>,因此展陈照明光源中的光学辐射是造成绘画受损的最重要因素,导致展品褪色、变色、甚至颜色消失<sup>[7]</sup>等严重破坏。

中国传统绘画可分为淡彩画和重彩画;其中淡彩画使用有机颜料作画,重彩画以使用无机颜料为主<sup>[8]</sup>。由于有机颜料比无机颜料更易受到光照辐射而发生物理化学反应,敏感性更高,因此本文主要研究中国传统淡彩绘画。

关于绘画光照保护方面的研究,国外学者开展的较多,但研究样本均为西方绘画类型,研究结论对中国传统绘画并不适用<sup>[9-14]</sup>。我国学者对中国传统绘画的光照保护研究主要是定性描述照明对绘画的影响,量化结论较为缺失,实际适用性不强<sup>[15-17]</sup>。

本课题组对多座著名博物馆进行了调研,调研结果显示,绘画照明所采用的主要光源类型是金卤灯、卤钨灯和白光 LED (White light emitting diodes, WLED)<sup>[18]</sup>。但上述光源的光谱功率分布 (Spectral power distribution, SPD) 不同,对绘画的光照损伤存在差异,因此如何根据绘画类型选择最低损伤光源进行照明尚不明确;此外,目前满足

中国传统绘画照明要求的低色温 ( $T_{\text{CCT}} \leq 3\ 300$  K)、高显色性 ( $R_a \geq 90$ ) WLED<sup>[3-6]</sup> 均为 RYGB 型,其光谱主要成分均为红、黄、绿、蓝 4 种单色光<sup>[19]</sup>,但该类光源的出现时间较短,其对绘画色彩的损伤尚未得到验证,限制了其在绘画照明中的应用。

综上所述,通过实验方法得到博物馆典型光源对中国传统淡彩绘画的量化影响规律,提出不同光源对各类淡彩绘画的相对损伤系数,可为绘画照明的光源选择提供依据,为博物馆照明标准的修订提供参考,从而更好地保护文物原真性。

## 2 实 验

### 2.1 模型试件

实验所用模型试件由天津大学美术研究所制作:首先,选用中国传统淡彩绘画所使用的胭脂、藤黄、花青、松墨 4 种典型有机颜料,通过严格配比颜料浓度进行均匀绘制,确保颜料在基材上各部分的浓度相同;其次,将绘制完成的红、黄、青、黑 4 色样本分别切割为 3 等份,然后重新组合成 3 组,作为 3 种光源的照射对象,每组包括 4 种颜色,见图 1。

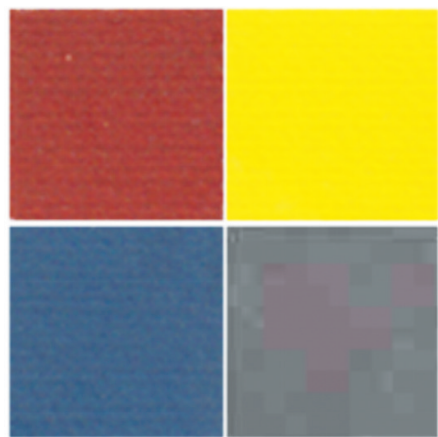


图 1 实验模型试件

Fig. 1 Model specimen for the experiment

### 2.2 实验光源

以博物馆专用金卤灯 ( $T_{\text{CCT}} = 2\ 700$  K,  $R_a =$

95,35 W)、专用卤钨灯并结合使用红外滤光片滤除其红外光谱( $T_{CCT} = 2\,700\text{ K}, R_a = 97, 50\text{ W}$ )、以及 RYGB 型 WLED ( $T_{CCT} = 2\,700\text{ K}, R_a = 92, 13.3\text{ W}$ )作为实验光源。采用 Photo Research PR670 分光辐射亮度计测量金卤灯、卤钨灯、WLED 的光源光谱分布,见图 2。同时对光源参数进行周期性检测,一旦发现光源有光衰现象马上进行更换,保证实验精度。

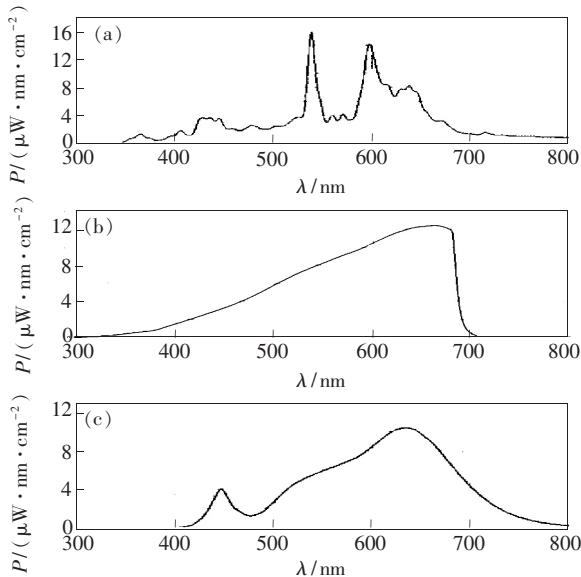


图 2 金卤灯(a)、卤钨灯(b)、RYGB型WLED(c)的光谱功率分布。

Fig. 2 Spectral irradiance distribution of metal halide lamp (a), tungsten halogen lamp (b), and RYGB-type WLED (c), respectively.

为保证各个周期实验测试的科学一致性,测试均选择在标准光源  $D_{65}$  的照射条件下进行。 $D_{65}$  光源是国际照明委员会(International Commission on de L'Eclairage, CIE)NO51(TC-1.3)文件推荐使用的人工日光标准光源,其色温为  $(6\,500 \pm 200)\text{ K}$ ,显色指数大于 96,可保证测试时试件的颜色效果近似在太阳光下观测效果<sup>[20]</sup>。

### 2.3 实验方案

实验在天津大学全暗光学实验室中进行,按光源种类分为 3 个照射组同时开展:首先,设置 3 台具有相同环境参数控制指标的照明实验箱,按照标准对箱内的温度、湿度、空气质量进行调节,使其满足标准要求并在实验过程中保持恒定<sup>[21]</sup>;其次,使用遮光帘对 3 台实验箱进行分隔,保证各试验箱之间不产生干扰;第三,将绘画试件置于光源下方进行垂直照射,并通过

调整光源照射时距离试件的高度使每组试件表面辐照度相等。各绘画模型试件表面辐照度均为  $17.5\text{ W/m}^2$ 。图 3 为实验方案示意图。

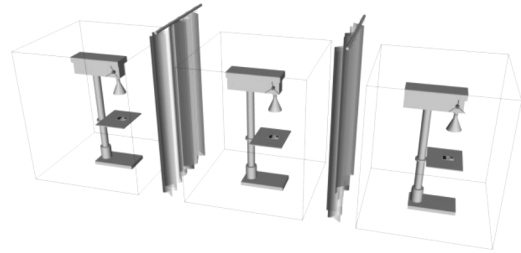


图 3 实验方案示意图

Fig. 3 Schematic diagram of experimental program

实验共进行 20 个周期,每个周期照射 6 d,每天 12 h。随着总曝光量累加,色彩参数随之发生变化。以周期为单位测量试件的色彩参数:首先,在  $D_{65}$  标准光源下,采用 Topcon BM-5A 型色彩亮度计对绘画模型试件的 CIELAB 色坐标( $a, b$ )和米制亮度值  $L^*$  进行测量,对测量的数据进行整理,并利用公式  $\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^2 + \Delta b^2}$  计算 4 种颜色的色差值,绘制色差随曝光量的变化曲线图。然后对不同周期色差值随曝光量变化数据进行回归分析,拟合得到不同光源对 4 种淡彩绘画色彩的相对影响函数公式及不同光源对 4 种颜料的相对影响系数,研究技术路线见图 4。

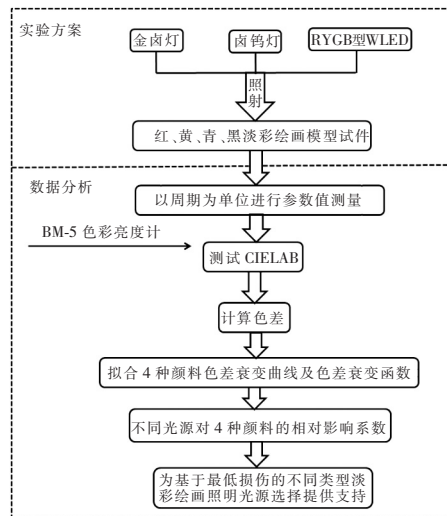


图 4 研究技术路线

Fig. 4 Research technique route

## 3 结果与讨论

### 3.1 色差变化曲线

根据实验测得的 CIE LAB 基础数据,计算

脂(红色)、藤黄(黄色)、花青(青色)、松墨(黑色)4种颜色在金卤灯、卤钨灯、WLED 3种光源照射下,各个周期相对于初始状态的色差值 $\Delta E_{abi}^*$ ,计算公式如下:

$$\Delta E_{abi}^* = \sqrt{(L_i^* - L_0^*)^2 + (a_i - a_0)^2 + (b_i - b_0)^2}, \quad (1)$$

其中, $i = 1 \sim 20$ 。

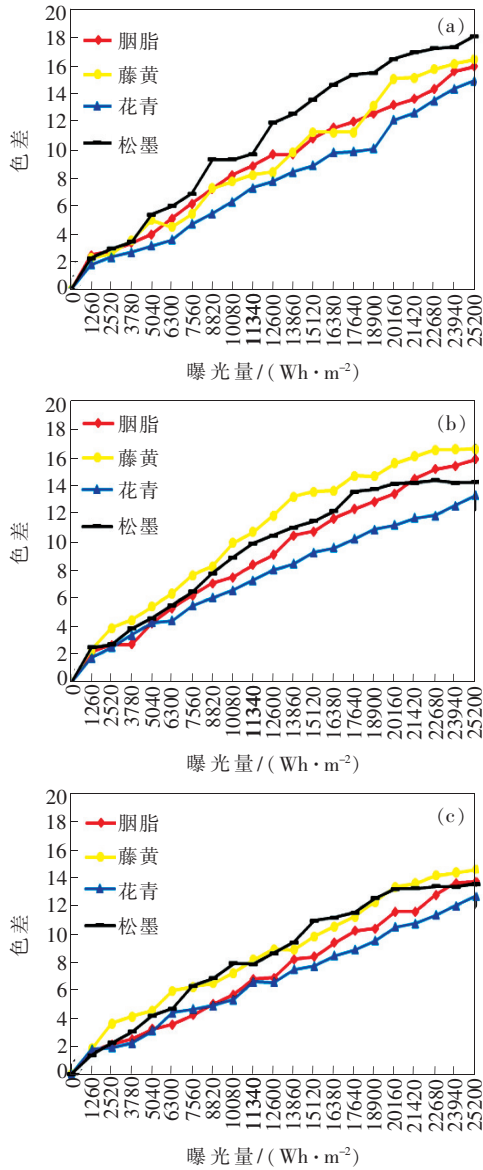


图5 在金卤灯(a)、卤钨灯(b)、WLED(c)照射下,4种颜料色差随曝光量变化的实验结果。

Fig. 5 Plot of color difference against exposure for four pigments to light of metal halide lamp(a), tungsten halogen lamp(b), and RYGB-type WLED(c), respectively.

根据计算结果,以曝光量为横坐标,以色差值为纵坐标,绘制各个周期色差随曝光量变化的实验结果折线图(图5)。

### 3.2 色差变化函数

观察颜料色差变化折线图可以发现,不同光源照射下4种颜料色差随曝光量变化基本符合对数函数关系,因此对各光源影响下4种颜料色差随曝光量变化数据进行回归分析,拟合颜料色差随曝光量变化对数曲线(图6)。

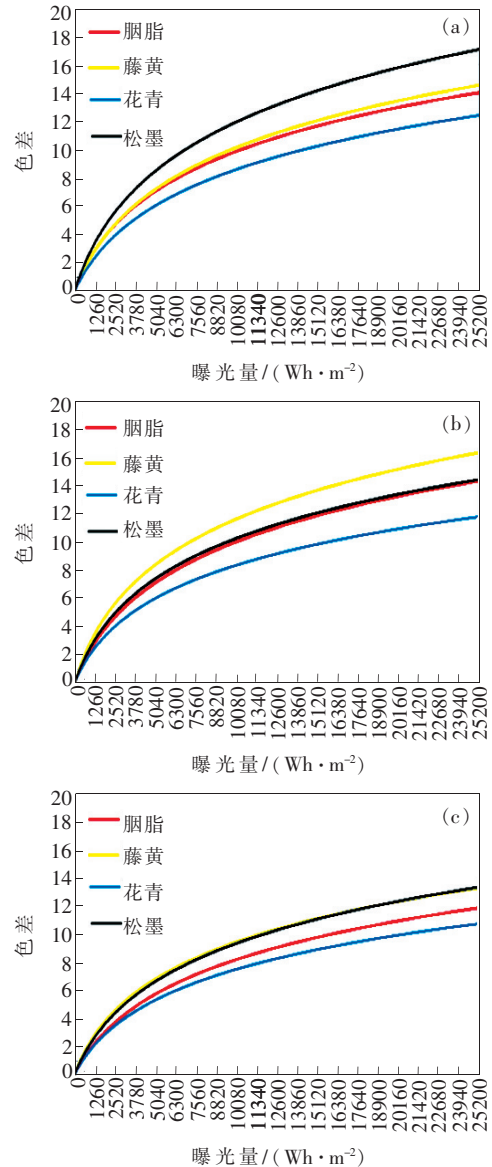


图6 在金卤灯(a)、卤钨灯(b)、WLED(c)照射下,4种颜料色差衰变函数曲线图。

Fig. 6 Logarithm curves of color differences against exposure for four pigments to light sources of metal halide lamp(a), tungsten halogen lamp(b), and RYGB-type WLED(c), respectively.



根据色差变化函数曲线,各光源照射下 4 种颜料色差  $\Delta E_{ab}^*$  随曝光量  $H_{dm}$  的变化曲线符合对数函数关系。实验过程中为得到不同光源的量化影响,控制各书画试件表面辐照度  $E_{dm}$  相同,均为  $17.5 \text{ W/m}^2$ ,因此根据公式(2):

$$\Delta E_{ab}^* = f(H_{dm}), H_{dm} = E_{dm}t, \quad (2)$$

表 1 各光源对 4 种颜料的色差影响函数

Tab. 1 Regression equation of color difference against exposure

| 光源类型 | 颜料 | 函数关系   | 拟合优度 ( $R^2$ ) |
|------|----|--|----------------|
| 金卤灯  | 胭脂 | $\Delta E_{ab}^* = 4.997\ln(t + 93) - 22.620$  | 0.887          |
|      | 藤黄 | $\Delta E_{ab}^* = 5.346\ln(t + 102) - 24.684$ | 0.847          |
|      | 花青 | $\Delta E_{ab}^* = 4.684\ln(t + 110) - 21.980$ | 0.834          |
|      | 松墨 | $\Delta E_{ab}^* = 6.210\ln(t + 99) - 28.489$  | 0.909          |
| 卤钨灯  | 胭脂 | $\Delta E_{ab}^* = 5.226\ln(t + 100) - 24.041$ | 0.886          |
|      | 藤黄 | $\Delta E_{ab}^* = 5.623\ln(t + 84) - 24.876$  | 0.930          |
|      | 花青 | $\Delta E_{ab}^* = 4.116\ln(t + 88) - 18.388$  | 0.907          |
|      | 松墨 | $\Delta E_{ab}^* = 4.973\ln(t + 84) - 22.019$  | 0.921          |
| WLED | 胭脂 | $\Delta E_{ab}^* = 4.506\ln(t + 112) - 21.258$ | 0.842          |
|      | 藤黄 | $\Delta E_{ab}^* = 4.588\ln(t + 85) - 20.364$  | 0.887          |
|      | 花青 | $\Delta E_{ab}^* = 3.934\ln(t + 101) - 18.144$ | 0.858          |
|      | 松墨 | $\Delta E_{ab}^* = 4.842\ln(t + 99) - 22.215$  | 0.926          |

### 3.3 不同光源影响系数

通过观察图 6 色差变化曲线可以发现,在各光源照射下,4 种颜料色差呈现出先快后慢并逐渐趋缓的变化趋势,最终随曝光量的不断增加将趋于稳定。因此可以认为,当曝光量增加到无穷大时,颜料色差将趋于某一稳定值不再变化。为了确定不同光源对颜料的最终影响,当照射时间  $t$  足够长时,将 4 种颜料在各光源照射下色差的变化函数关系式求比值,可得到各光源照射下 4 种颜料的相对影响系数。

现定义 4 种颜料在金卤灯照射下的最终色差平均值为 1.00,按该系数对各光源最终照射结果

表 2 不同光源对 4 种颜料的相对影响程度

Tab. 2 Relative influence coefficient of light sources on four pigments

| 光源   | 胭脂   | 藤黄   | 花青   | 松墨   | 平均值  |
|------|------|------|------|------|------|
| 金卤灯  | 0.94 | 1.01 | 0.88 | 1.17 | 1.00 |
| 卤钨灯  | 0.98 | 0.99 | 0.77 | 0.94 | 0.92 |
| WLED | 0.85 | 0.86 | 0.74 | 0.91 | 0.84 |

可拟合得到各光源照射下 4 种颜料色差随曝光量的函数关系式(表 1)。其中,拟合优度 ( $R^2$ ) 是指回归线对观测值的拟合程度, $R^2$  的值越接近 1,说明拟合程度越好。表 1 中函数公式的  $R^2$  均大于 0.8,说明拟合效果较好,该函数关系式可应用于推理得到任何曝光量值下的色差变化值。

进行折减,可得到各光源照射下 4 种颜料的相对影响系数,用来评价各光源对 4 种颜料色彩的相对影响程度(表 2)。

## 4 结 论

由于使用有机颜料绘制的中国传统淡彩绘画主要有 3 种类型,不同类型所采用的颜料也有差异,因此不同类型绘画所采用的照明光源应根据表 2 结果进行选择:

(1)工笔淡彩的画面色彩丰富,胭脂(红色)、藤黄(黄色)、花青(青色)、松墨(黑色)4 种颜料均会使用。因此对工笔淡彩绘画照明光源进行选择时,应考虑光源对 4 种颜料的综合影响。3 种照明光源对 4 种颜料的综合影响系数为  $K_{金卤灯}:K_{卤钨灯}:K_{WLED} = 1.00:0.92:0.84$ 。因此,在照射工笔淡彩绘画时,应选择 RYGB 型 WLED 光源。

(2)小青绿淡彩的画面以使用花青颜料的青色和松墨颜料的黑色为主,因此对小青绿淡彩绘画照明光源进行选择时,应考虑光源对这两种颜料的综合影响。3 种照明光源对两种颜料的综合

影响系数为  $K_{\text{金卤灯}}:K_{\text{卤钨灯}}:K_{\text{WLED}} = (0.88 + 1.17): (0.77 + 0.94): (0.74 + 0.91) = 2.05:1.71:1.65$ 。因此,在照射小青绿淡彩绘画时,应选择 RYGB 型 WLED 光源。

(3) 水墨淡彩的画面主要以松墨颜料的黑色为主,因此对水墨淡彩绘画照明光源进行选择时,应考虑光源对松墨颜料的影响。3 种照明光源对

松墨颜料的影响系数为  $K_{\text{金卤灯}}:K_{\text{卤钨灯}}:K_{\text{WLED}} = 1.17:0.94:0.91$ 。因此,在照射工笔淡彩绘画时,应选择 RYGB 型 WLED 光源。

根据上述结果,在照射 3 种类型中国传统淡彩绘画时,RYGB 型 WLED 对画面色彩造成的损伤均小于金卤灯和卤钨灯,该类型光源在中国传统淡彩绘画照明中有着广泛的应用前景。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 中华人民共和国国家文物局. 国家文物事业发展“十三五”规划 [S]. 北京:国家文物局, 2017.  
State Administration of Cultural Heritage. *The National Cultural Heritage Development Plan in 13th Five-Year* [S]. Beijing: State Administration of Cultural Heritage, 2017. (in Chinese)
- [ 2 ] 陈凌云. “互联网+”时代博物馆发展对策研究 [J]. 江南论坛, 2016(1):33-35.  
CHEN L Y. The development strategy for museums in “internet +” age [J]. *Inforum*, 2016(1):33-35. (in Chinese)
- [ 3 ] ICOM 3TC3-22. *Museum Lighting and Protection Against Radiation Damage* [S]. Vienna: Commission International de l'Éclairage, 2004.
- [ 4 ] CIE 157. *Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation* [S]. Vienna: Commission International de l'Éclairage, 2004.
- [ 5 ] Illuminating Engineering Society of North America. *ANSI/IESNA RP-30-1996 Recommended Practice on Museum and Art Gallery Lighting* [S]. New York: IESNA, 1996.
- [ 6 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T23863-2009 博物馆照明设计规范 [S]. 北京:中国标准出版社, 2009.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. *GB/T23863-2009 Standard of Museum Illumination Design* [S]. Beijing: China Standard Press, 2009. (in Chinese)
- [ 7 ] 雷祖康. 气候适应性的博物馆展示微环境研究-以漆木类文物为例 [D]. 北京:清华大学, 2005.  
LEI Z K. *Study on Climate Adaptability of The Micro Environment of Museum Exhibition* [D]. Beijing: Tsinghua University, 2005. (in Chinese)
- [ 8 ] 武金勇. 先秦两汉绘画颜料研究 [D]. 天津:天津大学, 2011.  
WU J Y. *Research of Pigments in The Pre-Qin and Han Dynasties* [D]. Tianjin: Tianjin University, 2011. (in Chinese)
- [ 9 ] CUTTLE C. Light for art's sake, lighting for artworks and museum displays [J]. *Lighting Res. Technol.*, 2008(3):259.
- [ 10 ] SAUNDERS D, KIRBY J. Wavelength-dependent fading of artist's pigments [C]. In *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, London, 1994:190-194.
- [ 11 ] FELLER RL. *Accelerated Ageing: Photochemical and Thermal Aspects* [M]. Los Angeles: J. Paul Getty Trust, 1994.
- [ 12 ] MORRIS H R, WHITMORE P M, COLALUCA V G. Preventing discoloration in films of acrylic artists' media by exposure to ambient light [J]. *Studies in Conservation*, 2003, 48(2):95-102.
- [ 13 ] FARKE M, BINETTI M, HAHN O. Light damage to selected organic materials in display cases: a study of different light sources [J]. *Studies in Conservation*, 2014, 59(10):279-288.
- [ 14 ] NORD A G, BILLSTRÖM K, TRONNER K, et al.. Lead isotope data for provenancing medieval pigments in Swedish mural paintings [J]. *J. Cult. Herit.*, 2015, 16:856-861.
- [ 15 ] 李宏宇. 国画色彩观的演变 [D]. 石家庄:河北师范大学, 2010.  
Li H Y. *The Evolution of Color Concept of Chinese Painting* [D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2010. (in Chinese)
- [ 16 ] 王毅. 画山水的色彩运用研究 [J]. 美术研究, 2015(4):1-5.  
WANG Y. Study on the application of landscape painting color [J]. *Art Res.*, 2015(4):1-5. (in Chinese)
- [ 17 ] 葛祥云. 色彩的情感传达——工笔人物画色彩简析 [D]. 北京:首都师范大学, 2011.

- GE X Y. *The Emotional Transmission of Color—A Brief Analysis of the Color of Fine Brushwork Figure Painting* [D]. Beijing: Capital Normal University, 2011. (in Chinese)
- [18] 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 Illumin. Eng. J.*, 2013, 24(3):18-23. (in Chinese)
- [19] ARMAS J. Lighting for museums [C]. *8th International Symposium Topical Problems in The Field of Electrical and Power Engineering, Pärnu, Estonia*, 2011:10-15.
- [20] ADSABS. HARVARD. EDU. Method for assessing the quality of daylight simulators for colorimetry [J]. *Appl. Opt.*, 1982, 21:1343-1347.
- [21] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ66-2015 博物馆建筑设计规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of The People's Republic of China. *JGJ66-2015 Standard of Museum Building Design* [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2009. (in Chinese)



党睿(1981-),男,河北唐山人,博士,副教授,博士研究生导师,2010年于天津大学获得博士学位,主要从事建筑技术的研究。  
E-mail: dr\_tju@163.com



张海滨(1984-),男,山西运城人,博士,讲师,2012年于天津大学获得博士学位,主要从事建筑技术的研究。  
E-mail: jason0374@163.com