

文章编号:1005-1538(2019)02-0037-09

敦煌壁画色卡数字成像色彩管理应用研究

梁金星¹, 万晓霞¹, 孙志军²

(1. 武汉大学印刷与包装系, 湖北武汉 430079; 2. 敦煌研究院, 甘肃酒泉 736200)

摘要: 敦煌壁画高保真数字化采集是其数字保护工作的重要基础。依据前期研究及自主研制的敦煌壁画色卡, 对敦煌壁画高保真复制品数字采集工作中图像的色管理性能进行了研究, 并与标准色卡 Macbeth ColorChecker 的色彩管理效果进行了主观对比评价。研究结果表明, 相同拍摄条件下, 自主研制的敦煌壁画色卡的色彩管理主观视觉评价结果优于标准色卡, 且对于不同类型照明光源和不同偏色设定条件, 自主研制的敦煌壁画色卡可以对偏色图像颜色进行有效校正。

关键词: 敦煌壁画; 色卡; 数字保护; 数字成像; 色彩管理

中图分类号: K854.3 **文献标识码:** A

0 引言

历史文化遗产的数字化保护方法是当前文物保护领域的研究热点, 敦煌壁画作为我国珍贵的历史文化遗产, 是我国古代文明的重要组成部分, 蕴含着我国古代的政治、经济、文化、科学技术及生产工艺发展等重要历史信息, 承载着灿烂文明, 传承历史文化, 是研究我国古代人文学、社会学、美学以及自然科学的珍贵资源, 有效地挖掘壁画文物所蕴含的历史、文化和科学价值, 亦将发挥其公共文化服务和社会教育功能。

自 20 世纪 90 年代初, 敦煌壁画的数字化保护成为国内外研究的重点关注方向, 其中“数字敦煌”项目的开展取得了可观的研究成果^[1,2]。数字化的敦煌壁画不仅可以通过可视化手段显示于各种移动终端, 满足人民精神文明追求的需要, 同时又可以减缓壁画病害的发展, 为壁画保护工作赢得时间。目前, 敦煌壁画数字化保护主要采用数码相机设备对其色彩信息进行记录, 然后通过后期拼接和颜色校正等处理, 结合三维建模等相关技术^[3], 完成各个洞窟壁画内容的数字化重构。在当前壁画数字化采集工作中, 由于以下几个客观因素的存在, 导致数码

相机记录的壁画颜色与真实壁画颜色之间产生偏差问题: 1) 不同类型数码相机记录颜色属性不同, 可记录的颜色范围存在固有差异; 2) 同一数码相机受自身参数可多样化设定的影响, 记录同一幅壁画颜色存在偏差; 3) 同一数码相机受照明光源(光源色温)变化的影响, 记录同一幅壁画颜色存在偏差; 4) 数码相机应用的 RGB 颜色空间为非均匀颜色空间, 且不同类型 RGB 颜色空间记录和再现颜色的范围(色域)存在固有差异。

对于壁画颜色采集不准问题, 有效的颜色校正方法是通过色彩管理软件和色卡, 为数码相机创建颜色校正特性文件(ICC 特性文件), 利用 ICC 特性文件对偏色图像进行色彩校正。在利用色彩管理软件和色卡创建特性文件时, 色彩管理软件是以色卡所有色块的色度数据为节点, 以全局最优的方式创建颜色校正特性文件, 使得色卡所有色块经校正后的颜色偏差最小。因此, 色卡与被拍摄对象的颜色特征(如色域大小和色度值分布)的相关性或一致性, 直接决定 ICC 特性文件应用于偏色图像色彩校正的准确性^[4]。当前敦煌壁画图像的颜色校正过程工作中, 采用国际上通用的标准色卡为数码相机创建 ICC 特性文件, 对各种拍摄

收稿日期: 2016-11-08; 修回日期: 2017-05-20

基金项目: 国家 973 计划资助(2012CB725302), 国家文物局科技课题资助(2013-YB-HT-034), 国家自然科学基金资助(61275172, 61575147)

作者简介: 梁金星(1989—), 男, 2015 年硕士毕业于武汉大学制浆造纸工程专业, 博士研究生, 主要进行多光谱成像技术和文物数字化保护相关研究, E-mail: jxliang@whu.edu.cn

条件下的壁画图像进行颜色校正。这些标准色卡均是用哑光油漆或涂料模拟自然界典型物体的光谱曲线制作而成^[5],对自然界典型物体颜色具有较好代表性。但对物质基础和创作技法完全不同的敦煌壁画而言,不管是在色彩范围还是在色度分布方面,标准色卡与敦煌壁画的色度特性都存在一定差异。因此,在实际的颜色校正工作中,标准色卡对敦煌壁画颜色的校正效果不如自主研制敦煌壁画色卡效果好,这一点已经在前期的研究中得到初步证明^[6]。

但前期的研究主要基于敦煌壁画模拟样本开展,并未将自主研制的敦煌壁画色卡用于实际的敦煌壁画色彩管理之中,本研究以敦煌壁画高保真艺术复制品为具体研究对象,应用自主研制的敦煌壁画色卡对三幅敦煌壁画高保真复制品在不同拍摄偏色设定条件下,进行图像颜色的校正处理,并通过主观实验与 Macbeth Color Checker 的颜色校正效果进行对比,对自主研制的敦煌壁画色卡进行了更进一步的评价研究。

1 实验条件与方法

1.1 实验设备

研究使用的主要设备有:型号为 EOS 600D 的佳能数码相机,分辨率为 1 800 万像素,配备 EF-S 18-200 mm 变焦镜头,固定数码相机用三脚架;博物馆展陈照明专用光源及日光灯光源,其中展陈照明光源使用 Philips 卤素灯,色温为 4 000 K,显色指数为 82,日光灯光源使用 Philips 直管形荧光灯,色温为 6 500 K,显示指数为 85;Philips Hue 智能 LED 可控光源及配套软件 Hue Lights,可控色温在 2 000 ~ 6 500 K 范围,照度可调,利用 PR705 配合标准白板,在暗室中测量得到 2 500 K、3 500 K、4 500 K、5 500 K 和 6 500 K 五种色温下的相对光谱功率分布如图 1 所示,计算得到相应的显示指数分别为 91、89、84、81 和 79;自主研制敦煌壁画色卡;国际通用数码相机色彩管理标准色卡 Macbeth ColorChecker;爱色丽 SpectroEye 分光光度计;Profile Maker 5.0 Application 色彩管理软件;爱色丽 Eyeone 色彩管理设备;Adobe Photoshop CS5 图像处理软件;艺卓 Eizo CG223W 专业显示器。

1.2 实验对象

实验对象为三幅敦煌壁画高保真复制艺术品。用于对比自主研制敦煌壁画色卡和标准色卡 Color Checker 的高保真敦煌壁画复制品为敦煌莫高窟第

390 窟隋代藻井图案,如图 2a 所示。藻井正中画重瓣大莲花,周围盘茎上缀有十二朵小莲花。花心或四角描绘了莲花的形象,造型写实且充满变化。图 2a 藻井图片使用佳能 600D 数码相机自动档拍摄,光圈 f/5,曝光时间 1/60 s,拍摄距离约 2.2 m,采用博物馆顶棚漫反射展陈光源均匀照明。

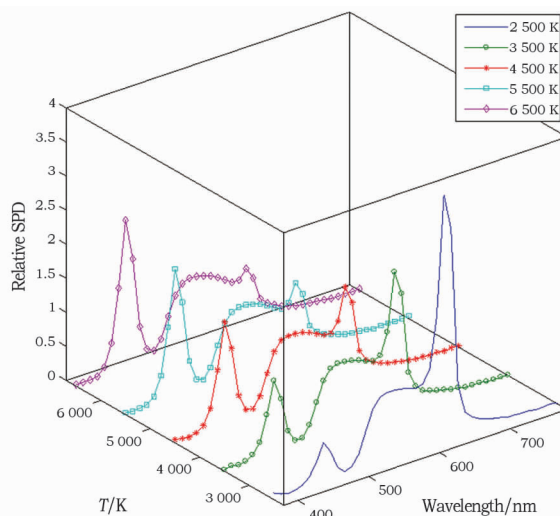


图 1 Philips Hue 智能 LED 光源在 5 种色温下的相对光谱功率分布

Fig. 1 Relative spectral power distribution of Philips Hue intelligent LED light source at five color temperatures

此外,研究利用自主研制敦煌壁画色卡对敦煌壁画唐代第 329 窟西披的“夜半逾城”和“乘象入胎”图像,以及莫高窟元代第 3 窟北壁的千手千眼观音图像偏色校正进行了相关研究。329 窟西披图像和元 3 窟千手千眼观音高保真复制品拍摄图像见图 2b 和图 2c,均采用佳能 600D 数码相机拍摄,拍摄条件均为自动档,其中 329 窟图案拍摄光圈和曝光时间分别为 f/5 和 1/100 s,采用博物馆顶棚灯漫反射展陈光源均匀照明,拍摄距离为 2.2 m;元 3 窟北壁图案采用两个 Philips Hue 智能 LED 可控光源 45° 对称照明,照明距离为 2 m,拍摄距离为 2.2 m,控制 LED 光源照度为 36Lux,色温为 6 500 K,自动曝光的光圈和时间分别为 f/5 和 1/20 s。

1.3 实验方法

1.3.1 偏色及多色温 LED 照明图像采集 为直观对比自主研制的敦煌壁画色卡和标准色卡 Color Checker 对各种偏色条件下的颜色校正效果,将数码相机调整到手动档拍摄模式,使用同一白平衡设置,手动调整拍摄图像的色度偏移值。在各个设定的图

像色度偏移值条件下分别拍摄包含色卡和不包含色卡的图像,完成实验研究所用偏色图像的采集。利用光源控制软件 Hue Lights 将 LED 调节至不同色温照明条件,均匀照射拍摄画面,完成 LED 不同色温照明条件下包含敦煌壁画色卡和不包含敦煌壁画

色卡的图像的采集。对自主研制敦煌壁画色卡在不同色温照明条件下色彩管理的效果进行研究;同时,拍摄 LED 光源在特定色温条件下的偏色图像,研究自主研制敦煌壁画色卡在对应条件下的色彩管理效果。



(a)为390窟藻井图案,(b)为329窟西披“夜半逾城”和“乘象入胎”图案,(c)为3窟北壁千手千眼观音图案

图2 敦煌壁画高保真复制品

Fig. 2 High - fidelity reproduction artworks of Dunhuang murals

1.3.2 数码相机特性文件制作 首先利用爱色丽 SpectroEye 分光光度计分别测量自主研制敦煌壁画色卡和标准色卡的光谱反射率数据。作为制作特性文件的参考标准,按照相应的数据格式导入到 ProfileMaker 5.0 Application 色彩管理软件安装文件的对应参考文件夹目录下。

对佳能 600D 拍摄得到的 RAW 格式图片不做

任何调整处理,保存为无压缩 TIFF 格式图像,在 Adobe Photoshop CS5 图像处理软件中打开保存的 TIFF 格式图像,截取图像中色卡的有效区域,将色卡图片保存为 TIFF 格式。

最后打开 ProfileMaker 5.0 Application 色彩管理软件,选择“CAMERA”功能项,在参考数据框中选择测量导入的参考文件。在照相测试色靶选项框

中选择保存的色卡图片,设定特性文件的意图为通用“General Purpose”,参考拍摄的 RAW 格式图像,选择与拍摄环境光源色温最为接近的计算光源,计算得到数码相机的特性文件。

1.3.3 主观评价 首先利用色彩管理设备 Eyeone 和色彩管理软件 ProfileMaker 5.0 Application 按照校正规范对艺卓显示器进行校正,使之达到最佳工作状态。将屏幕背景设定为 25% 中性灰,将经标准色卡和自制色卡校正后的壁画图像并列排放,用于图像颜色校正效果的主观评价比较。实际主观评价过程中,选取 20 名有颜色知识背景的研究生作为观察者,其中男、女各 10 名。20 名观察者首先在日光灯光照明条件下观察壁画高保真复制品图案约 30 min,形成对图案色彩的整体记忆,然后在标准暗室中进行 3 min 暗适应。最后在同一观察条件下,观察两个经色彩管理之后图案的色彩与记忆色彩的整体视觉感知一致性,对一致性做出判断,给出评分,其中评分规则为 7 个等级,对应 0~6 分,具体评分规则如表 1 所示。根据主观评分整体情况,取各实验对象的平均分。根据总体平均分对色彩管理效果进行最终比较和评价,总体平均分越高对应色彩管理效果越好。

表 1 主观视觉评分等级及评分规则

Table 1 Scoring scales and rules of the subjective visual test

评分等级	评分	评分规则
1	0	巨大差异
2	1	存在差异,程度很强
3	2	存在差异,程度较强
4	3	存在差异,程度明显
5	4	存在差异,程度较弱
6	5	存在差异,程度很弱
7	6	没有差异

2 结果与讨论

2.1 敦煌壁画色卡与标准色卡比较

研究首先对比自主研制敦煌壁画色卡与标准色卡 ColorChecker 的实际色彩管理效果。以图 2a 敦煌莫高窟 390 窟藻井高保真复制品为研究对象,利用佳能 600D 数码相机分别拍摄藻井图案在不同偏色设置条件下的图像,实验现场图和实验几何条件示意图分别如图 3a 和图 3b 所示。其中,数码相机设定为手动档、自动白平衡,固定相机光圈和快门分别为 $f/5.6$ 和 $1/40$ s,ISO 设定值为 1 600。

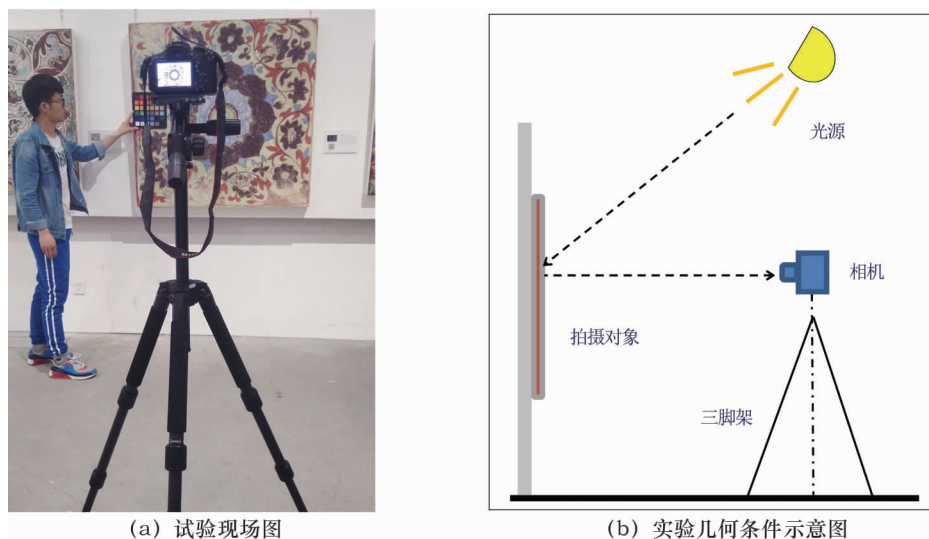
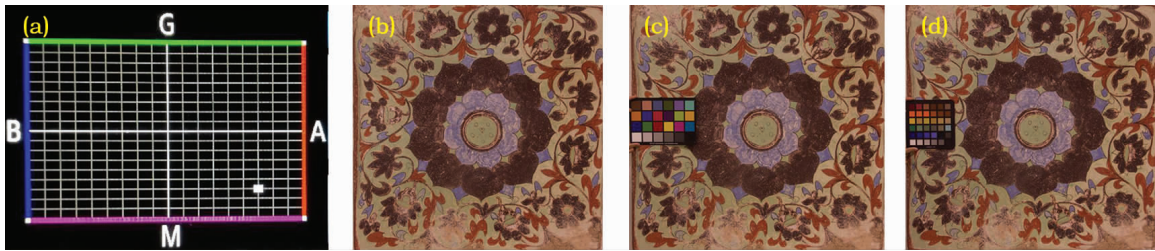


图 3 390 窟藻井图案色彩管理图像采集实验

Fig. 3 Capturing of the caisson pattern in Cave 390 for color management experiment

在上述实验条件下,分别设定数码相机偏色参数为 A3G3、G3B3、B3M3、A3M3、A6G6、G6B6、B6M6、A6M6 共 8 组偏色校对比实验。在上述偏色设定参数中,A 代表琥珀色、G 代表绿色、B 代表蓝色、M 代表品红。如果将偏色参数设定为 A3M3,则实际拍摄图片颜色略偏向 A 和 M 方向。若偏色参数设定为如图 4a

所示的 A6M6,则拍摄图片更加偏向 A 和 M 方向。按照上述原理,在每组实验条件下,分别拍摄不包含色卡的壁画复制品图像、包含敦煌壁画色卡的壁画复制品图像和包含标准色卡 ColorChecker 的壁画复制品图像,以 A6M6 偏色设定条件为例,拍摄的色偏图像如图 4b、图 4c、图 4d 所示。



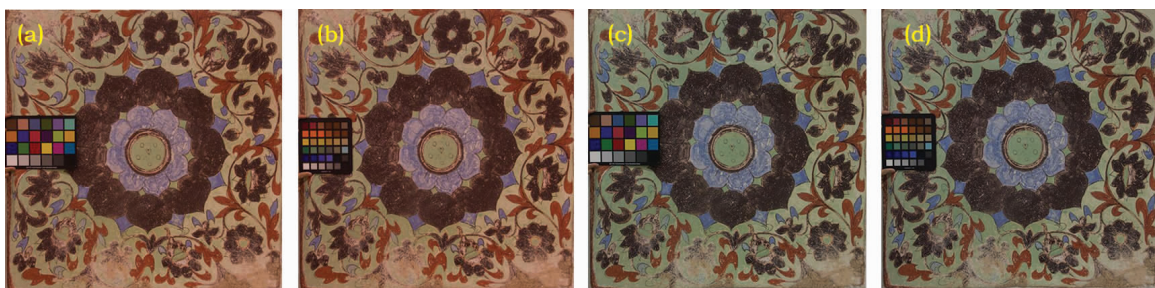
(a)为偏色参数设置面板,(b)、(c)、(d)为偏色图像

图4 偏色参数设定及对应拍摄偏色图片

Fig. 4 Color cast parameter setting for the digital camera and corresponding images

在完成自主研发敦煌壁画色卡及标准色卡色偏图像拍摄之后,研究首先对两种色卡在白平衡校正方面的效果进行了对比。利用 Adobe Photoshop CS5 图像处理软件分别打开包含两种色卡的 RAW 格式的偏色图片,如图 5a 和图 5b 所示。然后在白平衡选择框中选择自定义白平衡选项,选中自定义白平衡吸管工具,利用吸管工具分别提取 ColorChecker 标准色卡和自主研发敦煌壁画色卡灰

梯尺的第二个色块响应值,完成自定义白平衡校正。白平衡校正效果如图 5c 和图 5d 所示。由图 5 显示的结果可知,自主研发的敦煌壁画色卡和标准色卡 ColorChecker 均能较好地对白平衡校正。从主观视觉评价角度均难以区分两种色卡白平衡效果的差异。由此可知,自主研发的敦煌壁画色卡灰梯尺的准确性已达到标准色卡灰梯尺应用水平。



(a)、(b)为色偏图像,(c)、(d)为校正图像

图5 偏色设定为 A6M6 色偏图像及白平衡校正效果

Fig. 5 Color cast images of A6M6 and the effects of white balance correction

在完成白平衡校正对比之后,按照上述特性文件制作方法,在每种偏色设定条件下,利用 Profile Maker 5.0 Application 分别制作两个色卡的相应数码相机色彩管理特性文件。将特性文件保存至 Adobe Photoshop CS5 可以调用的目录文件夹中。在特性文件生成过程中,依据自动检测的博物馆光源照明色温,选择 D50 标准光源作为计算光源,使用自然白平衡条件进行计算。

完成特性文件制作之后,利用 Adobe Photoshop CS5 打开偏色图像,在“编辑”工具中选择“制定配置文件”选项,选择上述计算得到的色彩管理 ICC 特性文件,为偏色图像配置相应偏色设定条件下的色彩校正文件,进行偏色图像的整体色彩校正。将经过特性文件校正的偏色图像进行保存,在校正过

的艺卓专业显示器屏幕上等尺寸显示校正后的图像与参考图像。按照上述主观评价方法,对两种色卡色彩管理结果进行主观颜色视觉感知一致性评价对比。以 A6M6 的偏色图像的色彩管理为例,两种色卡校正效果图像以及主观评价实验场景如图 6 所示。

针对图 6 中偏色图像的色彩管理效果,从主观视觉颜色感知方面而言,采用 ColorChecker 色卡的校正图像整体仍略偏品红色。采用敦煌壁画色卡的校正图像中的颜色较为正常,且图像中蓝色和绿色颜色的校正效果整体优于 ColorChecker 的校正效果。采用 ColorChecker 与敦煌壁画色卡校正后的图像亮度上存在明显差异,敦煌壁画色卡校正后的图像亮度略高于 ColorChecker 色卡校正后的图像,由上述分析知,两种色卡对于敦煌壁画图像的色彩管

理效果存在一定程度的差异。为量化对比表达两种色卡的色彩管理效果与原作颜色视觉感知的一致

性,表 2 给出了 8 组偏色图像色彩管理效果主观评分的统计结果。

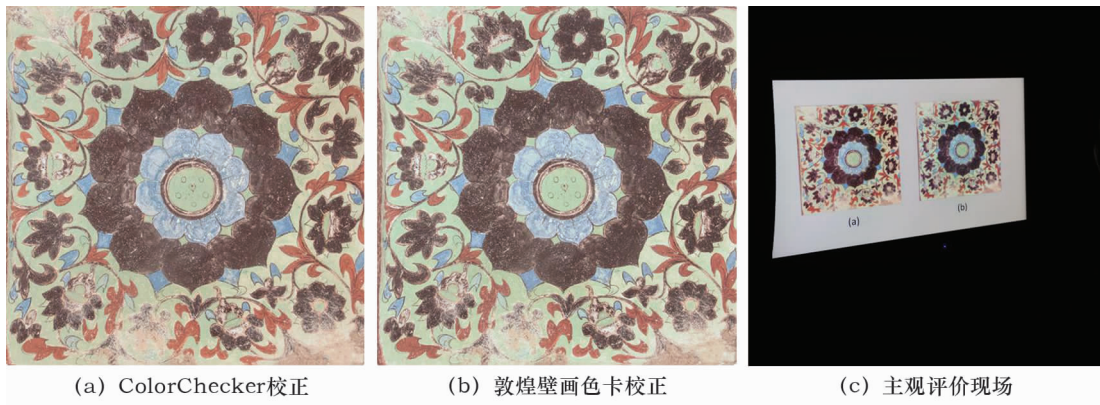


图 6 色卡校正效果图像以及主观评价实验场景

Fig. 6 Color correction effects of a caisson pattern and subjective experimental scene

由表 2 中的结果可知,针对 8 组偏色图像色彩管理效果而言,采用敦煌壁画色卡色彩管理效果主观评价的平均值均高于 ColorChecker 色卡,且敦煌

壁画色卡主观评分中有 5 组最大评分都达到了 6 分。由此可知,采用敦煌壁画色卡进行色彩管理的整体效果优于 ColorChecker 标准色卡。

表 2 偏色图像色彩管理效果主观评分的统计

Table 2 Subjective score of the color correction effect of the eight groups of color cast image

偏色参数	敦煌壁画色卡				ColorChecker			
	平均	最大	最小	标准差	平均	最大	最小	标准差
A3G3	4.70	6	4	0.73	4.25	5	3	0.72
G3B3	4.60	6	3	0.68	4.10	5	3	0.72
B3M3	4.55	5	3	0.51	4.25	5	3	0.64
A3M3	4.26	6	3	0.81	4.21	5	3	0.63
A6G6	4.47	5	3	0.70	4.16	5	3	0.69
G6B6	4.42	5	3	0.61	4.11	5	3	0.66
B6M6	4.37	6	3	0.76	4.05	5	3	0.62
A6M6	4.63	6	4	0.68	4.32	5	3	0.58

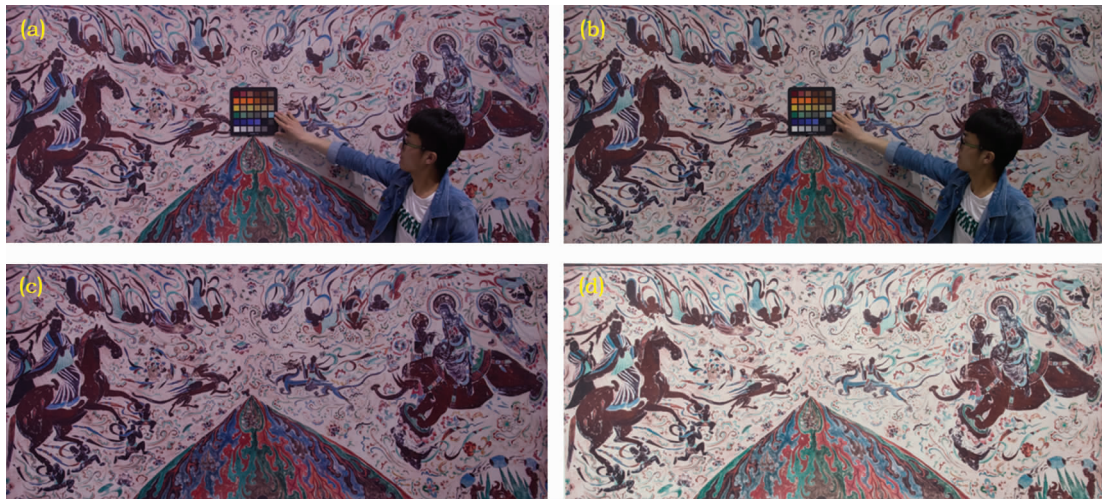
2.2 敦煌壁画色卡用于 329 窟壁画图案色彩管理

采用佳能 600D 数码相机分别拍摄包含敦煌壁画色卡和不包含敦煌壁画色卡的偏色图像。按照上述研究方法,对 329 窟西披壁画高保真复制品进行色彩管理研究,拍摄的色偏图像分为 A6G6、G6B6、B6M6 和 A6M6 共四组。图 7 给出了 A6M6 偏色图像的白平衡校正和颜色校正对比结果。

由图 7 中白平衡和颜色校正结果可知,敦煌壁画色卡能够较好地 对 329 窟西披的“夜半逾城”和“乘象入胎”图案颜色进行校正。四组偏色图像颜色校正主观评价的平均分分别达到 4.61(A6G6)、4.63(G6B6)、4.69(B6M6)和 4.66(A6M6)。

2.3 敦煌壁画色卡用于 LED 照明色彩管理

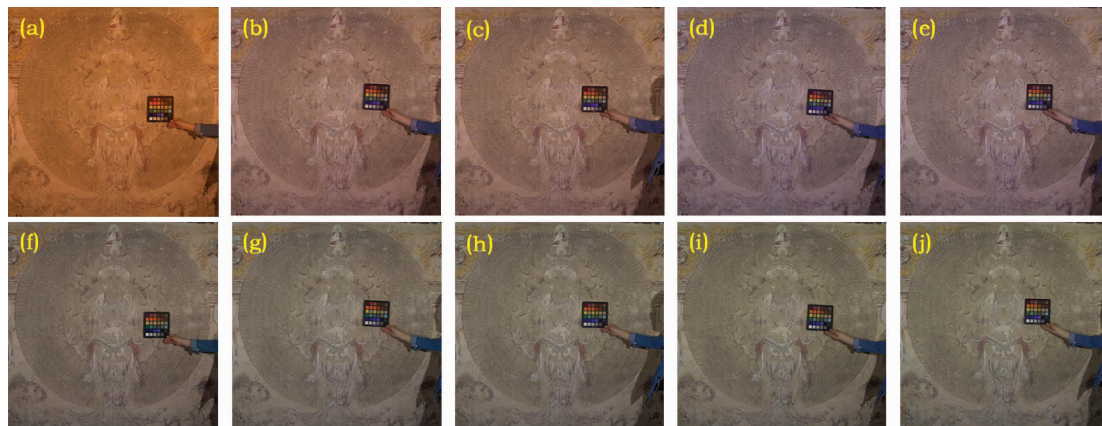
此外,为研究自主研制敦煌壁画色卡对多种照明光源的色彩管理适用性,本部分将自主研制的敦煌壁画色卡用于可控智能 LED 照明色彩管理。对不同 LED 照明色温条件下拍摄的图像进行颜色校正处理,并对特定色温条件下的偏色图像进行了色彩管理研究,研究对象为图 1c 所示敦煌莫高窟第 3 窟北壁千手千眼观音图案。按照内容 1.2 中所述的 LED 光源照明和拍摄条件,首先利用佳能 600D 数码相机自动档拍摄了 2 500 K、3 000 K、3 500 K、4 000 K、4 500 K、5 000 K、5 500 K、6 000 K 和 6 500 K 九组不同色温条件下的千手千眼观音图像。图 8 为 LED 光源色温在 2 500 K、3 500 K、4 500 K、5 500 K 和 6 500 K 下的图像及白平衡校正图像。



(a)、(c)为 A6M6 偏色图像,(b)为采用敦煌壁画色卡定义白平衡图像,(d)为采用敦煌壁画色卡进行色彩管理后的图像

图 7 329 窟西披“夜半逾城”和“乘象入胎”图案

Fig. 7 Patterns of “Ye Ban Yu Cheng” and “Cheng Xiang Ru Tai” on the west slope wall in Cave 329



(a)、(f)为 2 500 K,(b)、(g)为 3 500 K,(c)、(h)为 4 500 K,(d)、(i)为 5 500 K,(e)、(j)为 6 500 K

图 8 千手千眼观音在 5 种不同照明色温条件下图像及对应白平衡校正效果

Fig. 8 White balance correction effects of the Avalokiteshvara pattern under LED illumination with five different color temperatures

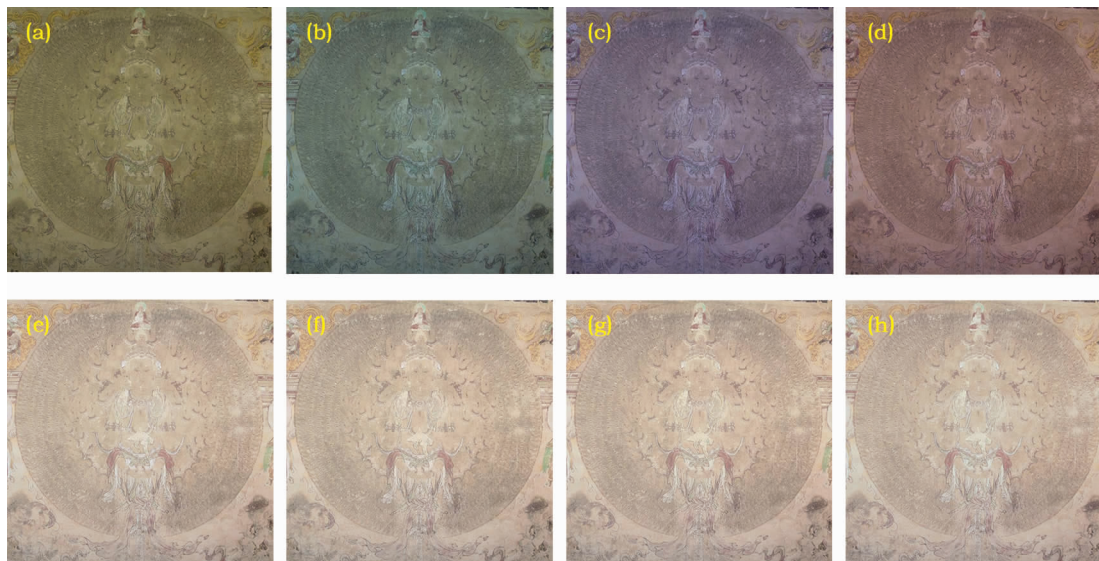
由图 8 中的不同照明色温条件下,千手千眼观音图像及对应白平衡校正效果可知,对于任意色温条件下拍摄的图像,使用自主研发的敦煌壁画色卡均能很好完成白平衡校正。仔细对比在五种色温条件下的白平衡校正图像可知,采用敦煌壁画色卡进行白平衡处理的图像之间看不出任何颜色方面的差异。由此可以证明敦煌壁画色卡在敦煌壁画色彩管理应用具有较好的稳定性。除此之外,研究对 LED 光源色温为 5 000 K 条件下的偏色图像色彩管理效果进行了测试,5 000 K 色温条件下拍摄的 A6G6、C6B6、B6M6、A6M6 如图 9a、9b、9c、9d 所示,对应色彩管理图像图 9e、9f、9g、9h 所示。

由图 9 所示 4 种不同色偏图像的色彩管理实际

效果可知,无论拍摄的敦煌壁画颜色偏向颜色空间的任何方向,都能通过敦煌壁画色卡对其颜色进行准确校正,获得其真实正确的色彩。证明敦煌壁画色卡可对于任意的色偏条件下的敦煌壁画偏色图像进行准确校正。

3 结 论

本研究以高保真敦煌壁画文物艺术复制品为对象,利用数码相机和专业色彩管理设备,对自主研发的敦煌壁画色卡的适用性进行了相关研究。研究结果表明,自主研发的敦煌壁画色卡对敦煌壁画数字成像色彩管理的效果优于标准色卡 Macbeth Color Checker,可对于任意偏色及任意照明色温条件下的



(a)、(e)对应 A6G6,(b)、(f)对 G6B6,(c)、(g)对应 B6M6,(d)、(h)对应 A6M6

图 9 LED 色温为 5 000 K 时的偏色图像和经过色彩管理之后图像

Fig. 9 Color correction effects of the Avalokiteshvara pattern under LED illumination with a color temperature of 5 000 K

偏色图像进行准确校正。上述研究结果表明,自主研制的敦煌壁画色卡在敦煌壁画数字化保护图像高保真采集工作中具有较好的应用前景,可为敦煌壁画的艺术品的色彩高保真采集、复制以及数字化传播提供有力的技术支持。

参考文献:

- [1] 樊锦诗. 敦煌石窟保护与展示工作中的数字技术应用[J]. 敦煌研究,2009(6):1-3.
FAN Jinshi. Digital technique application for conservation and exhibition of Dunhuang arts[J]. Dunhuang Research,2009(6):1-3.
- [2] 吴健. 石窟寺文物数字化的内涵——融学术、技术、艺术于一体[J]. 敦煌研究,2015(2):125-129.
WU Jian. Poly-Isometric digital culture——The presentation and display of the digital culture of Dunhuang caves[J]. Dunhuang Research,2015(2):125-129.

- [3] 张帆,高云龙,黄先锋. 基于球面投影的单站地面激光点云直线段提取方法[J]. 测绘学报,2015(6):655-662.
ZHANG Fan, GAO Yunlong, HUANG Xianfeng. Spherical projection based straight line segment extraction for single station terrestrial laser point cloud[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2015(6):655-662.
- [4] TRUMPY G. Digital reproduction of small gamut objects: A profiling procedure based on custom color targets[C]//Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision. Society for Imaging Science and Technology,2010(1):143-147.
- [5] MCCAMY C S, MARCUS H, DAVIDSON J G. A color- rendition chart[J]. Journal of Applied Photographic Engineering, 1976, 2(3):95-99.
- [6] 梁金星,万晓霞,刘强. 敦煌壁画文物数字化保护色卡制作方法研究[J]. 敦煌研究,2016(2):117-124.
LIANG Jinxing, WAN Xiaoxia, LIU Qiang. A study on how to make color charts for the digital protection of Dunhuang art paintings [J]. Dunhuang Research,2016(2):117-124.

Applied research on Dunhuang mural color charts used for color management of digital imaging

LIANG Jinxing¹, WAN Xiaoxia¹, SUN Zhijun²

(1. School of Printing and Packaging, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Dunhuang Research Academy, Jiuquan 736200, China)

Abstract: High – fidelity imaging is a key technique for digital protection of Dunhuang murals. Based on previous studies, we developed color charts and studied color management of digital imaging for Dunhuang murals. In terms of visual effects, our results show that the Dunhuang mural color charts we developed are superior to the standard Macbeth ColorChecker color charts based on subjective comparative evaluation under the same photo – shooting conditions. In addition, other results also show that the Dunhuang mural color charts can function well in color calibration under different illumination or color – bias conditions.

Key words: Dunhuang mural; Color chart; Digital protection; Digital imaging; Color management

(责任编辑 谢 燕)