

应用红外摄影研究木梯寺烟熏壁画

张 遥¹, 李 博², 郑 宇², 马显军³, 郭 宏^{1*}

1. 北京科技大学科技史与文化遗产研究院, 北京 100083

2. 北京国文琰信息技术有限公司, 北京 100192

3. 武山县文体广电和旅游局, 甘肃 天水 741300

摘 要 壁画作为我国最古老的绘画艺术形式之一,是极为重要的文化实物遗存。这种通过图像和色彩表达作者设想、装饰建筑、宣传思想、宗教崇拜的绘画存在于历史生活中的各个层面和角落。因历史上宗教活动、生产生活使用等人为因素干预,多处壁画表面存在烟熏,壁画内容被覆盖,常规方法无法识别绘画内容与风格。国内外至今没有无损且有效的技术手段完全清除烟熏层,致使此类壁画信息无法显现并解读。由于壁画绘制所使用的各类颜料对红外光吸收性存在差异,在红外光源的照射下,各物质形成反差,从而实现区分。利用红外光这种具有“穿透物质表层”的特性,可探测烟熏下壁画内容。红外摄影技术很早便在大型佛教石窟壁画的研究中有所运用,但未能广泛地应用于古代壁画研究,尤其是中小型石窟壁画。应用红外摄影技术对甘肃陇东南的小型石窟代表木梯寺石窟的烟熏壁画进行了研究,清晰识别可见光下无法观察到的画面主题、底稿墨线,甚至修改痕迹等信息,帮助推断壁画绘制年代。获取影像后,通过调整红外摄影图片容差和色阶,进一步获取画面更为丰富的局部细节。此次研究成果弥补了红外摄影技术在中小型石窟烟熏壁画研究领域的缺失,同时可以作为壁画当前保存状况的详细资料,为壁画的保护修复提供帮助。红外摄影作为一种非接触、无损、快速并直观的方法,对于研究古代烟熏壁画有着重要意义,可在石窟寺和寺观殿堂壁画的研究上进行推广,发挥其应有之用。

关键词 红外摄影; 烟熏壁画; 木梯寺; 绘画技法

中图分类号: K879.41 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)11-3628-05

引 言

多光谱摄影主要是指在不同波段光源下的一种拍摄方式,光源大体分为紫外光、可见光和红外光。多光谱成像技术已经应用到航天、天文、遥感、医疗、军事、刑侦等领域^[1]。近年,随着波段宽度变窄、分辨率变高,这种非介入的调查方法越来越多的应用于文物研究,尤其是在绘画作品的调查、文物保护档案的记录、前人修复工作的评估、文物最初状态的还原、艺术品真伪的辨别、画家创作技法演变的研究,甚至是矿物颜料的识别^[2]等方面均发挥着重要作用。

光学调查法因无需采样,以无损、非接触、不介入等优点越来越受到文物工作者的重视。X光照相摄影、泛光正射摄影、侧光正射摄影、红外成像、紫外荧光成像技术等已进入实际应用环节^[3]。

在揭示文物画面隐藏信息研究中,红外摄影技术凭借易操作、周期短、效果好、成本低等优势被使用。

在拜占庭 Protaton 教堂壁画的研究中, Daniilia 等^[4]使用红外摄影技术对绘画技法、画面内容进行了分析和记录,诠释受损状态及后期干预的壁画状况。Kamal 等^[5]对两幅拉丁美洲危地马拉玛雅文明晚期(AD600~800)壁画进行了分析,观测到诸多可见光下无法识别的细节。鹤林寺金堂中,严重烟熏柱子也通过此项技术识别了画像^[6]。胡可佳等对陕西安康紫阳北五省会馆壁画做了红外摄影调查,与可见光拍摄进行对比,探寻壁画绘制起稿线、笔触、号色标注等信息。柴勃隆^[1]利用红外摄影识别出莫高窟 275 窟南壁绘画线条。在韩休墓壁画中,许文忠等(见本刊 37 卷 10 期 3235 页)利用红外摄影观察出儿童更改为胡人的细节,同时增强毛毯边缘纹理,进一步推动壁画细节的研究工作。

由于壁画多保存于开放的石窟或寺院,自然环境和人为

收稿日期: 2020-01-13, 修订日期: 2020-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(51850410507)资助

作者简介: 张 遥, 1988 年生, 北京科技大学科学技术史博士研究生

e-mail: b20190644@xs.ustb.edu.cn

* 通讯联系人 e-mail: B1831678@ustb.edu.cn

因素对壁画表面造成影响,尤其是污染和材料变质导致字迹和线条不清,无法识别,常常给研究工作带来困难^[7]。红外摄影技术在具有影响力的大型佛教石窟壁画研究中有所应用,但在中小型石窟壁画研究中却极为少见。这与中小型石窟地理位置偏远、文化遗存较少、历史文献缺乏、佛教石窟学术研究薄弱等因素有关。但作为我国佛教石窟不可或缺的一部分,如何使用高效、便捷的方法研究壁画将成为石窟壁画研究的另一重要内容。以甘肃陇东南的小型石窟代表木梯寺石窟为研究对象,对壁画进行红外摄影数据采集,输出成果用于揭示烟熏下壁画隐藏信息,以达到恢复壁画画面、探讨壁画创作意图、佐证石窟开凿年代的目的。

1 红外摄影

红外摄影技术是利用光谱范围 780~3 000 nm 之间的红外光和物质相互作用所产生的反射、折射、透射以及物体本身所发射的红外荧光摄影成像的^[8]。

在可见光下,字迹或线条与周边物质具有相同的反射或透射率,人眼无法区分。有些绘画颜料对红外光有较高的吸收性,例如普鲁士蓝、石青、炭黑、墨汁等,它们在红外光源的照射下,与具有较强红外反射性的物质形成反差,从而同周围物质区分出来^[7]。利用红外摄影可以穿透物质表面而获得表层以下清晰影像的特性,可对壁画浮尘下面及肉眼无法辨识的壁画内容进行探测与研究^[1],同时用于研究可见光下观察不到的隐藏信息,例如覆盖层底下的画面、底稿或重描的线条^[8],甚至是损坏、剥落、修复、绘制变更等历史信息^[9]。

红外摄影技术可揭示出壁画被烟熏遮盖画面和颜料层下底稿信息。应用此技术调查和研究甘肃木梯寺石窟烟熏壁画。

木梯寺石窟位于甘肃省天水市武山县,龛窟分布于桐树湾和松树湾。具体建造年代无籍可考,根据近年发掘出土的明代重建寺序(木牌),木梯寺石窟开凿于北魏^[10],现能查找到年代最为久远的遗物为唐代的 14 号大佛窟。现存龛窟 20 个,各类造像 70 尊,壁画约 130 m²。壁画主要分布在 1 号、5 号、7 号、13 号窟,尤以 1 号窟(称朝阳洞或接引佛洞)、13 号窟(玉皇阁)壁画最为精美。但这些壁画因宗教活动,表面烟熏严重,画面不清,不利于文物价值的揭示。

2 烟熏壁画红外摄影调查与研究

选取朝阳洞北壁壁画和玉皇阁西壁壁画为对象,进行红外摄影数据采集。

主要设备有:型号为 EOS 60D 的佳能数码相机,配备定焦 78 mm F3.8 镜头,固定数码相机所用的三脚架或升降作业平台;猎踪专业红外光源,发光波长为 400~1 100 nm;成像窄带 850 nm 滤光片。

将光源置于相机两侧等距离垂直于镜头,保证光线均匀。因红外光波长和可见光波长不同,两者焦点不在同一平面上,故而确定取景范围后,需手动调节焦环,反复对焦,

直至光照范围内客体表面清晰地呈现在显示屏幕上。根据现场环境进行设置,拍摄参数:相机调至“C”的拍摄模式下,光圈 f/5.6,曝光时间 1/15 s,拍摄距离约 0.8 m。

2.1 壁画画面调查

由于长期的宗教活动,朝阳洞北壁壁画烟熏严重,病害覆盖面积超过 60%,厚度达 25 μm ,壁画画面内容已无法识别。根据文献可知,朝阳洞窟东、西壁壁画均为清代绘制,各绘制 2 天王 1 力士。北壁壁画分为上下层,上层为清代绘制,内容为藤草纹和火焰纹组成的背光图案,部分脱落,目前残存云纹;下层壁画为明代绘制,两端各绘制一身菩萨像^[10]。



图 1 朝阳洞北壁烟熏壁画现状图

Fig. 1 Status of sooty murals on the north wall of Chaoyang cave

在肉眼不可识别的情况下,使用 KEYENCE VHX-5000 显微镜原位观察北壁画面,如图 2 所示。

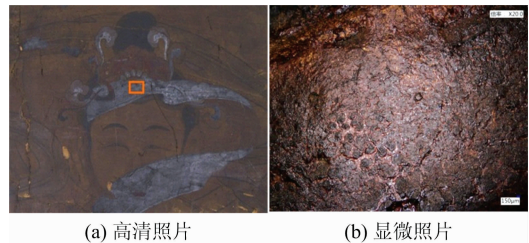


图 2 烟熏壁画显微镜观察

Fig. 2 Microscopic observation of sooty murals

(a): High-resolution photo; (b): Microphotograph

由于烟熏长时间积累,厚度较大,显微镜放大 20 倍后,壁画画面仍不可识别,仅见烟熏表面。使用红外摄影对烟熏严重菩萨像的腹部、足部进行拍摄,获取壁画信息,如图 3 所示。

可见光下菩萨像腹部为黑褐色,无线条和纹饰;红外光下腹部可见服饰褶皱,左手腕处的手镯轮廓也清晰可见。菩萨像原为赤足踩莲设计,由于烟熏污染,足部轮廓被覆盖,红外光照片中观察,足部线条绘制流畅、清晰。

受作业空间限制,无法直接拍摄菩萨全身红外照片。应

用激光打线器将画面划分成大小一致的区域,在保证拍摄距离一定的条件下,升降作业平台,获取红外光照片,并按顺序拍摄每一个区块,保证相邻影像间 80% 左右的重叠度,拼接后获得菩萨全身像红外光照片,如图 4 所示。

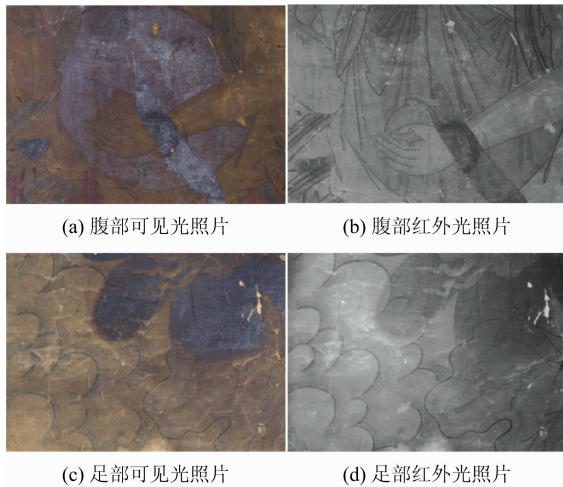


图 3 朝阳洞北壁壁画菩萨像局部

Fig. 3 Part of the Bodhisattva on the north wall of Chaoyang Cave

(a): Visible image of the abdomen; (b): Infrared image of the abdomen; (c): Visible image of the feet; (d): Infrared image of the feet

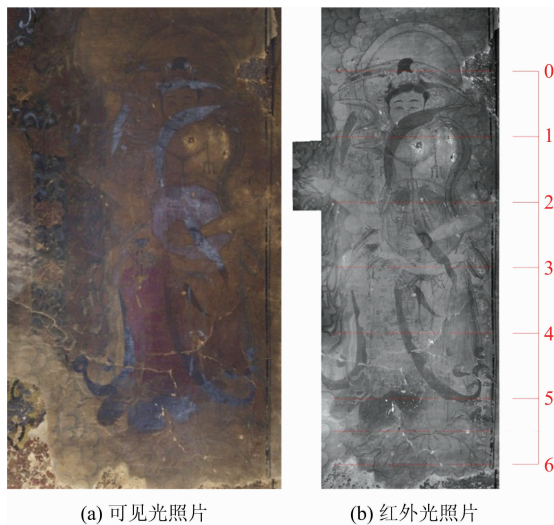


图 4 朝阳洞北壁下层壁画菩萨像

Fig. 4 The Bodhisattva of lower layer on the north wall of Chaoyang Cave

(a): Visible image; (b): Infrared image

由图 4 可知,菩萨下着裳裙、外披飘带;面朝大门方向,双手佩戴手环并结印,赤足立于莲叶之上,身高五头半,比例协调,造型匀称。颈部佩戴璎珞,圆形佛头光,面相丰满,衣褶层叠,造像端庄雍容,华而不媚。

该处菩萨像为先绘制主体,填色完成后,添加飘带点缀,在其面部、胸部、手腕等处有所遮盖。飘带覆盖区域颜料层较厚,烟熏严重。利用红外光拍摄后,获取了壁画的底稿,但遮挡部分仍未可知。将图片导入软件中,在“色彩范

围”中提取飘带色彩,自动选取画面中飘带范围,调整色彩容差值和色阶,直至画面清晰。

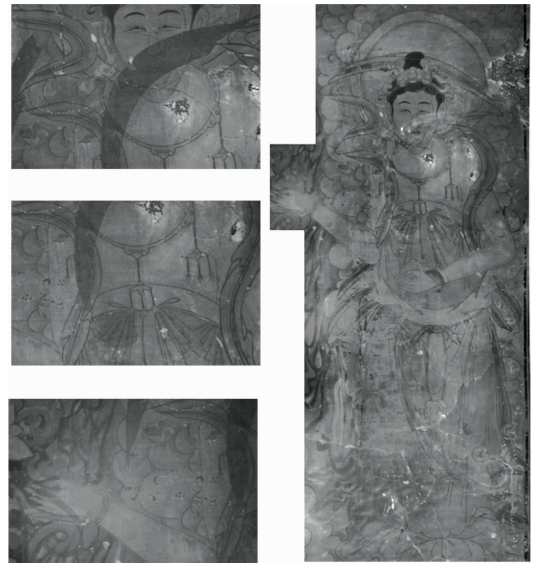


图 5 朝阳洞北壁下层壁画菩萨像色彩容差处理图

Fig. 5 The Bodhisattva of lower layer on the north wall of Chaoyang Cave with Color tolerance

(a): Part of the image with unadjusted tolerance; (b): Whole image with adjusted tolerance

唇部、鼻部、下颌轮廓基本清晰,面部轮廓完整;原本被飘带覆盖的左胸挂件也可观察到,与右胸挂件形状一致;左手掌心、右手手腕处也清晰可见,恢复菩萨像原本形态面貌。

2.2 壁画底稿调查

玉皇阁内存 3 幅壁画,明代绘制^[10]。北壁壁画绘制花卉屏风;东西两壁各绘制 2 身手持兵刃、身着长袍的道教护法神。窟内烟熏污染相对较少,壁画多存有积尘、蜘蛛网,画面基本可识。可见光照片对壁画颜料层表面信息进行记录,绘制工艺仅停留在可观察到的表层图案上。对于原有绘制内容无法直观、清晰再现,壁画绘制技法也不能进行深层次地分析。

对玉皇阁前殿壁画进行红外线拍摄,探索颜料层下壁画绘制底稿或初期形态。发现西壁男女护法神面部底稿与颜料层表面有所差异,如图 6、图 7 所示。

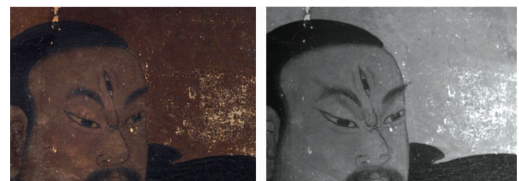
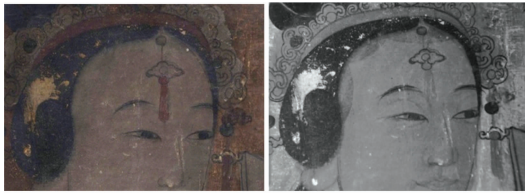


图 6 玉皇阁西壁壁画男护法神

Fig. 6 The male deity on the west wall of Yuhuang Cave

(a): Visible image; (b): Infrared image

图 6 的可见光照片中护法神眉毛成弧形, 严肃的神情中带有慈爱的目光。红外照片中男护法神眉毛最初设计为射线状, 说明在壁画绘制之处, 原是将护法神刻画为凶狠、威严、严肃的形象, 反映了壁画绘制过程中创作意图的改变。



(a) 可见光照片 (b) 红外光照片
图 7 玉皇阁西壁壁画女护法神

Fig. 7 The female deity on the west wall of Yuhuang Cave

(a): Visible image; (b): Infrared image

另外, 女像的头部也有更改。图 7 中可见光照片女像发束高高梳起, 额头部位为圆弧形状、光洁圆润, 塑像面部慈爱、柔美、庄重。观察红外照片却发现女像的头部原定为铜钱头, 又称额妆。

额妆出自昆曲, 现在京剧、评剧等许多地方戏曲也一直沿用。古代女子出门不便, 戏剧扮演的女角由男子完成。男子串戏时, 因脸型棱角分明, 过于硬朗, 为修饰脸型而画铜钱头。额妆通常要求面部勾画浓妆, 造型比较夸张, 形象多过于妩媚。可见, 铜钱头与寺院庄重、宁静、淡泊的氛围并不相符合, 所以后期上色的时候, 画师更改了原本设定。值得注意的是, 铜钱头从明代开始流行于世, 也从侧面证实玉皇阁的修建年代为明。这与殿内一处梁记相符合, 此处题记记载明崇祯六年(公元 1663 年)建玉皇阁之事^[10]。

古代壁画是我国宗教传播、美术史、科技史等方面研究的重要实物资料。壁画是一种各类素材相互重叠而成的多层结构体, 各层之间相互作用、相互影响。建立健全壁画图文档案、深入挖掘文物信息是壁画研究的前提。在学术研究、保存修复前, 应尽量采用非破坏性的方法详细地掌握文物现

状及历史信息。红外摄影是文物信息采集、记录中较为高效、安全、实用的技术。通过对木梯寺壁画的调查研究可知, 红外摄影可以帮助识别污染物下的壁画画面, 可为后期壁画保护修复提供依据; 此外, 红外摄影可获得壁画颜料层下底稿墨线及其修改痕迹, 可用于壁画原始绘画内容、风格、技法的研究。综合当时文化背景, 佐证了玉皇阁的开窟年代为明代, 为研究明代陇东南地区石窟艺术提供素材。这一技术的引用, 有效扩展了学者对壁画内容的认识范围, 极大丰富了对壁画内容研究的资料。

3 结 论

(1)应用红外摄影技术可有效调查和研究烟熏壁画的内容、风格、绘画技法。

(2)红外摄影应用于木梯寺烟熏壁画的调查, 清晰地显示出被烟熏覆盖的画面内容、壁画底稿以及绘制时修改的痕迹, 此信息有助于研究壁画的绘画风格、创作意图, 并为绘画时代判定提供依据。

(3)将红外摄影所获取的图片置于分析软件中, 通过调整色彩容差、色阶来处理照片隐藏信息, 获得更加细致和清晰的画面图像。通过分幅拍摄和拼接的方法, 可揭示整幅壁画被覆盖和隐藏内容。

(4)红外摄影作为无损分析技术, 是一种用于调查和研究烟熏壁画行之有效的方法, 可作为研究古代壁画便捷、经济、直观的拓展技术。

(5)红外摄影可凭借其自身技术优势在我国中小型石窟壁画研究中有效克服人员少、经费少、周期短等困难, 进而广泛使用, 促进中国石窟寺及文化传播研究。

致谢:在使用红外摄影技术研究木梯寺石窟烟熏壁画时, 得到了武山县文体广电和旅游局、木梯寺文物保护管理所、北京国文琰信息技术有限公司木梯寺数字化勘察测绘项目组的大力支持与指导, 在此表示衷心感谢。

References

- [1] CHAI Bo-long, WANG Xiao-wei, TANG Ai-ling, et al(柴勃隆, 王小伟, 汤爱玲, 等). Dunhuang Research(敦煌研究), 2008, (6): 54, 121.
- [2] LI Jun-feng, WAN Xiao-xia(李俊锋, 万晓霞). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2018, 38(1): 200.
- [3] ZHANG Qun-xi(张群喜). Wenbo(文博), 2009, (6): 222.
- [4] Daniilia S, Sotiropoulou S, Bikiaris D Panselinos. Journal of Cultural Heritage, 2000, (1): 91.
- [5] Kamal O S, Ware G A, Houston S, et al. Journal of Archaeological Science, 1999, 26: 1391.
- [6] SHENTING Xin-xing, JIANG Tao(神庭信幸, 江涛). Infrared(红外), 2000, (9): 33.
- [7] XU Zhi-zheng, QIU Yuan-xun(许志正, 裘元勋). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 1998, (2): 22.
- [8] Geert Verhoeven. Journal of Archaeological Science, 2008, 35: 3087.
- [9] Claudia Daffara, Raffaella Fontana. Microscopy and Microanalysis, 2011, 17: 691.
- [10] SUN Xiao-feng, ZANG Quan-hong(孙晓峰, 臧全红). Dunhuang Research(敦煌研究), 2008, (1): 27, 115, 122.

Investigating and Studying of the Sooty Murals at Mutisi Grottoes With the Infrared Photography

ZHANG Yao¹, LI Bo², ZHENG Yu², MA Xian-jun³, GUO Hong^{1*}

1. Academy of History of Science Technology and Cultural Heritage, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China
2. Guowenyan Conservation Science and Information Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China
3. Wushan Administration of Culture and Tourism, Tianshui 741300, China

Abstract As one of the oldest painting art forms, the mural is an extremely important cultural relic. This kind of painting, which expresses the author's ideas, decorate buildings, propagates ideas and expresses religious worship through images and colors, exists in every aspect and corner of historical life. Because of the religious activities, production and other human factors intervention in history, there are a large number of sooty murals in grottoes and temples. The contents and styles of murals cannot be identified by conventional methods. We still cannot completely remove the sooty layer on the murals with the effective technical means without any damage, so the study and appreciation of murals are seriously affected. Because of the different absorptivity of all kinds of pigments used in the murals under the infrared light, we can achieve the distinction. Using the property of infrared spectrum which can penetrate the surface of the material, the investigation and study of the sooty murals can be identified clearly. Infrared photography has been used in the study of the murals in large buddhist grottoes for a long time, but it has not been widely used in the study of ancient murals, especially in small-scale and medium-scale grottoes. In this paper, the sooty murals of the MutisiGrottoes which are the representation of small-scale grottoes in the Southeast of Gansu were studied by using infrared photography. It provides important information about the contents of the images, the ink lines of the manuscripts and even the modification marks which cannot be observed in visible light. It is also helpful to infer the date of the painting. The local details can be further obtained by adjusting the tolerance and color levels of the infrared images. This paper makes up for the lack of infrared photography in the study of small-scale and medium-scale grottoes. At the same time, it can also be used as detailed information on the present preservation status of murals, which is helpful for the protection and restoration of murals. Infrared photography has a great significance for the study of ancient sooty murals with non-contact, lossless, fast and intuitive properties. This method can be popularized in the study of the murals in the grottoes and temples and plays a key role in the study of ancient sooty murals.

Keywords Infrared photography; Sooty murals; Mutisi Grottoes; Rendering techniques of the paintings

(Received Jan. 13, 2020; accepted Apr. 28, 2020)

* Corresponding author