

巴中水宁寺摩岩石刻的彩绘颜料分析

孙 凤^{1,2}, 王若苏², 梁雅鑫², 刘伽如², 姚 雪³, 赵 凡⁴

1. 文化遗产研究与保护技术教育部重点实验室, 陕西 西安 710069
2. 西北大学文化遗产学院, 陕西 西安 710069
3. 西南民族大学旅游与历史文化学院, 四川 成都 610041
4. 四川省文物考古研究院, 四川 成都 610041

摘 要 巴中水宁寺摩崖造像以题材广泛、形式多样、雕刻精致著称于世,但潮湿的环境,不稳定的崖体,半露天的保存环境使水宁寺石刻遭到了严重的破坏,影响了石刻的艺术性,因此水宁寺摩崖造像保护修复工作迫在眉睫。通过对水宁寺石刻颜料的分析,获取彩绘颜料的信息,一方面为颜料复原提供科学依据,另一方面也有利于文物工作者展开针对性保护工作,具有重要的文物保护意义。采用超景深三维视频显微分析、X射线荧光光谱分析(XRF)、X射线衍射实验分析(XRD)以及激光拉曼光谱分析,从物质的外观、结构和成分综合分析水宁寺摩崖造像颜料的主要组成矿物。实验结果表明1号样品主要矿物为黄赭石,2号样品主要矿物为铅丹,3号样品主要矿物为石绿,4号样品主要矿物为硫酸铅,5号样品主要矿物为青金石,6号样品主要矿物为针铁矿,颜料下层的白粉层为二水石膏。因造像长期暴露在潮湿、半露天的环境下,少数颜料不能直接检测出标准物质,需要根据相关资料进行二次分析,如黄赭石因长期风化导致最后测出的主要矿物是 Fe_2O_3 ;铅丹在潮湿及微生物存在的环境条件下发生分解变成 K_2PbO_2 与 PbO_2 ;针铁矿是由赤铁矿或黄铁矿经化学反应而生成的。另外,通过对比人造群青的合成时间与造像的开凿年代,加之Fe元素的检出暗指天然青金石中金星的主要成分黄铁矿,可以判断本样品的颜料是由天然青金石制作的,丰富了天然青金石的使用案例。

关键词 水宁寺石窟; 彩绘颜料; 分析研究

中图分类号: K878.8

文献标识码: A

DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)02-0505-07

引 言

巴中市位于四川省,属于盆地地形,地势北高南低,石窟造像内容丰富且分布广泛。所研究的彩绘颜料出自距巴城三十余公里的水宁寺,由于古时是南北交通的要道,故经济、文化较为发达,因此产生了许多装饰形式多样、题材广泛、雕刻精致的龕。古寺今已无存,但其周围仍然有造像39龕,316尊。采集的样品均来自于8号龕(图1),始建于隋唐时期(581年—907年)。

截至目前,国内外学者对巴中石窟的研究较少,还处于调查阶段,研究资料仅有程崇勋的《巴中石窟艺术调查简报》、《四川巴中水宁寺唐代摩崖造像》、巴中市文管所联合北大考古系调查汇总发表的《巴中石窟调查简报》等文献资

料。由于水宁寺石窟地处偏僻,交通不便,加之上百年的风雨侵蚀,给水宁寺摩崖造像带来了许多病害,其中颜料层的



图1 水宁寺8号龕

Fig. 1 No. 8 niche of Shuining Temple

收稿日期: 2020-06-29, **修订日期:** 2020-08-05

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(22101226), 教育部人文社会科学研究青年基金项目(18YJCZH154), 西北大学文化遗产研究与保护技术教育部重点实验室开放课题(wsys201902)资助

作者简介: 孙 凤,女,1986年生,西北大学文化遗产学院副教授 e-mail: sunfeng@nwu.edu.cn

变色以及大面积脱落,病害严重影响了文物的外观与保存。通过综合使用各类分析仪器分析颜料的元素、结构来确定颜料的成分、种类等信息,不仅为颜料复原提供科学依据,同时也在一定程度上为颜料史研究提供有力的支撑,对中国颜料史的发展研究有着推进的作用。

以水宁寺 8 号摩岩造像的颜料层为研究对象,利用超景深显微镜、激光拉曼光谱分析、X 射线荧光光谱分析(XRF)和 X 射线衍射(XRD)进行元素和结构分析,获取彩绘颜料的信息,为其工艺制作方面的研究提供参考,促进相关研究工

作的进行。



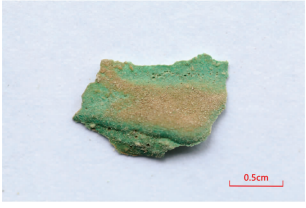

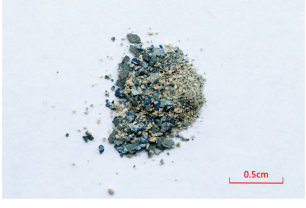

1 实验部分

1.1 样品描述

彩绘样品全部来自水宁寺八号龕,见图 1,共取得颜料样品 6 个,颜色分别为黄色、红色、绿色、白色、蓝色、黑色,样品编号、照片、取样位置、描述如表 1 所示。

表 1 水宁寺样品概况表

Table 1 Sample profile of Shuining Temple

样品编号	照片	取样位置	样品描述
1 号		水宁寺八号龕左天王右胸处	块状,黄色颜料层加麻灰地仗
2 号		水宁寺八号龕左侧一手抱孩子的天龙八部神像的胸前	块状,红色颜料层加麻灰地仗,颜料块中有明显的絮状稻草
3 号		水宁寺八号龕左天王下颚处	块状,绿色颜料层加麻灰地仗,颜料层表面有黄色杂质
4 号		水宁寺八号龕左天王右胸处	块状,白色颜料层加麻灰地仗,颜料层表面覆盖黄色杂质
5 号		水宁寺八号龕左弟子衣摆处	粉末状,蓝色颜料和地仗层颗粒,其中蓝色颗粒包括天蓝色和蓝黑色
6 号		水宁寺八号龕左菩萨发髻处	粉末状黑色颜料颗粒混杂着灰麻地仗层颗粒

1.2 仪器与方法

1.2.1 超景深三维视频显微系统

日本浩视公司 KH-7700 型超景深三维视频显微系统采用先进的金属卤素冷光源, 放大倍数 0~7 000 倍, 具有多种测量模式(2D, 3D 图像)。使用各种透镜和适配器, 用于观察样品表面细节。

1.2.2 X 射线荧光分析仪

采用德国布鲁克的 ARTAX-400 便携式 X 射线荧光光谱仪, 测定条件: 电压 40 kV, 电流 600 μ A, 气氛为 Air, 测定时间 200 s。

1.2.3 X 射线衍射仪

本实验采用的是日本理学 SmartLAB 转靶型 X 射线衍射仪, 具有高精度测角仪, 适合多种类型样品的检测。因为颜料样品极少, 信号强度低, 故将普通模式与微区模式相结合, 从而对晶体结构进行解析。将样品直接固定于制样框中, 检测表面颜料层区域。

1.2.4 显微激光拉曼光谱仪

采用英国 Renishaw 公司的 inVia 显微激光拉曼光谱仪, 配备 514.5 nm Ar 离子激光器, 显微镜目镜放大倍率 10 倍, 物镜放大倍率 50 倍, 可以进行空间分辨的原位无损检测。光栅狭缝 20 μ m, 强度为 100 mW。

2 结果与讨论

2.1 超景深显微观察

以超景深显微镜在 200 倍下观察样品微观表面, 结果见图 2, 同时结合样品表中的照片对比观察, 结论描述如下: 图 2(a)1 号样品表面颜料分布均匀, 部分区域分布着细小的黑色和白色颗粒, 200 倍下可观察到颜料块表面混有少量的白色絮状物, 应是为提高地仗层强度加入的的秸秆或者稻草丝。图 2(b)2 号样品颗粒分布呈棱角状且被密集的白色颗粒覆盖, 颜料层中夹杂着黄色的杂质颗粒, 画面中有亮光点, 推测其为可反光的物质。图 2(c)3 号样品颜料块中夹杂有黑色点状杂质及条状的黄色硬结物, 分布密集且不均匀。样品边缘有大量蜂窝状孔隙, 推测发生了风化酥粉。图 2(d)4 号样品正面覆盖黄色杂质, 表面有黑色颗粒不均匀分布。200 倍下颜料颗粒感明显, 应是由于当时技术原因, 使用的颜料颗粒比较大, 所以也会出现颜色不均匀的情况。图 2(e)5 号样品呈粉末状, 由不规则颗粒组成, 200 倍下发现有深浅不一的蓝色样块, 部分颜料块有明显裂痕, 推测可能经过风化磨蚀后, 彩绘层变得酥松易碎。图 2(f)6 号样品呈粉末状, 由黑白两种颜色的不规则状颗粒组成, 大多数黑色颜料块背面粘附着白色的地仗层。

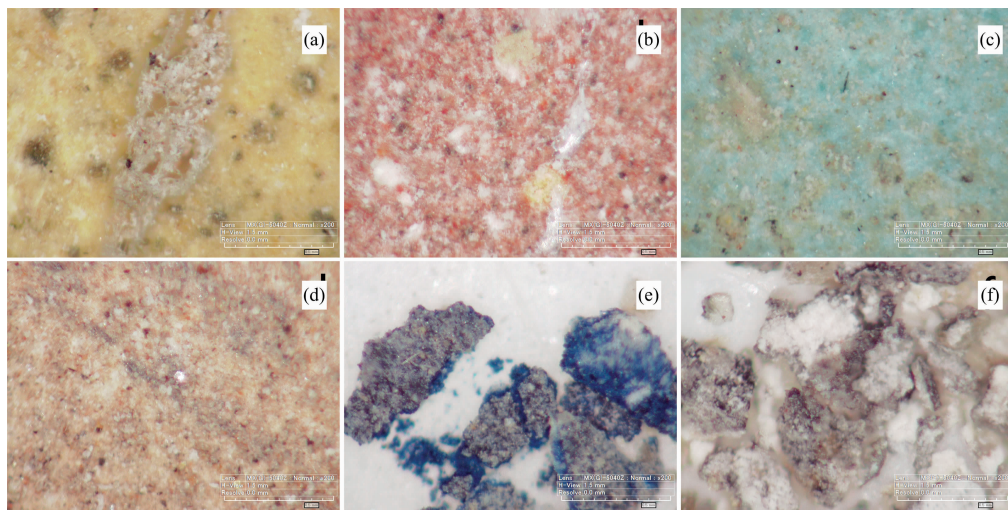


图 2 样品放大 200 倍后的图片

(a): 1 号样品; (b): 2 号样品; (c): 3 号样品; (d): 4 号样品; (e): 5 号样品; (f): 6 号样品

Fig. 2 The image of the sample after 200 times magnification

(a): Sample No. 1; (b): Sample No. 2; (c): Sample No. 3; (d): Sample No. 4; (e): Sample No. 5; (f): Sample No. 6

2.2 X 射线荧光光谱分析

为研究颜料元素组成, 对 6 个样品表面进行 X 射线荧光光谱分析, 因没有标准样品, 故无法进行定量分析。定性分析结果见表 2。

2.3 X 射线衍射分析

对巴中水宁寺摩岩石刻进行 XRD 分析, 如图 3 所示。结果显示各样品所含成分如下: 1 号样品为二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2 号样品为二氧化铅 PbO_2 、铅酸钾 K_2PbO_2 及二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 3 号样品为石绿 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)$ 、二

表 2 水宁寺样品 X 射线荧光分析结果

Table 2 X-ray fluorescence analysis results of Shuining Temple samples

样品编号	颜色	主要元素组成
1 号	黄色	S, Ca, Fe 等
2 号	红色	S, Ca, Fe, Pb 等
3 号	绿色	S, Ca, Cu 等
4 号	白色	S, Ca, Fe, Pb 等
5 号	蓝色	Ca, Fe, As 等
6 号	黑色	Ca, Fe, As 等

氧化硅 SiO_2 及二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 4 号样品为硫酸铅 PbSO_4 、硫酸钙 CaSO_4 及二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 5 号样品为青金石 $\text{Na}_6\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)_2$ 、长石 $\text{CaAl}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8\text{OH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、二氧化硅 SiO_2 及二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 6 号样品为针铁矿 $\text{FeO}(\text{OH})$ 及二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。根据分析结果可判断彩绘颜料: 2 号样品为铅丹 Pb_3O_4 ; 3 号样品为石绿 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)$; 4 号样品为硫酸铅 PbSO_4 ; 6 号样品为针

铁矿 $\text{FeO}(\text{OH})$ 。1 号样品颜料成分结晶度较低, 5 号样品彩绘颜料青金石的峰值过低, 故两者需要进一步分析确认。另外, 结果显示 6 种样品颜料中均含二水石膏, 经分析其应为地仗中的白粉层。白粉层是在细泥层上涂刷一层厚约 0.01~0.02 cm 的石膏层, 用普通石膏水涂刷而成, 待干燥后形成白色底层, 以利于勾线添彩^[1]。

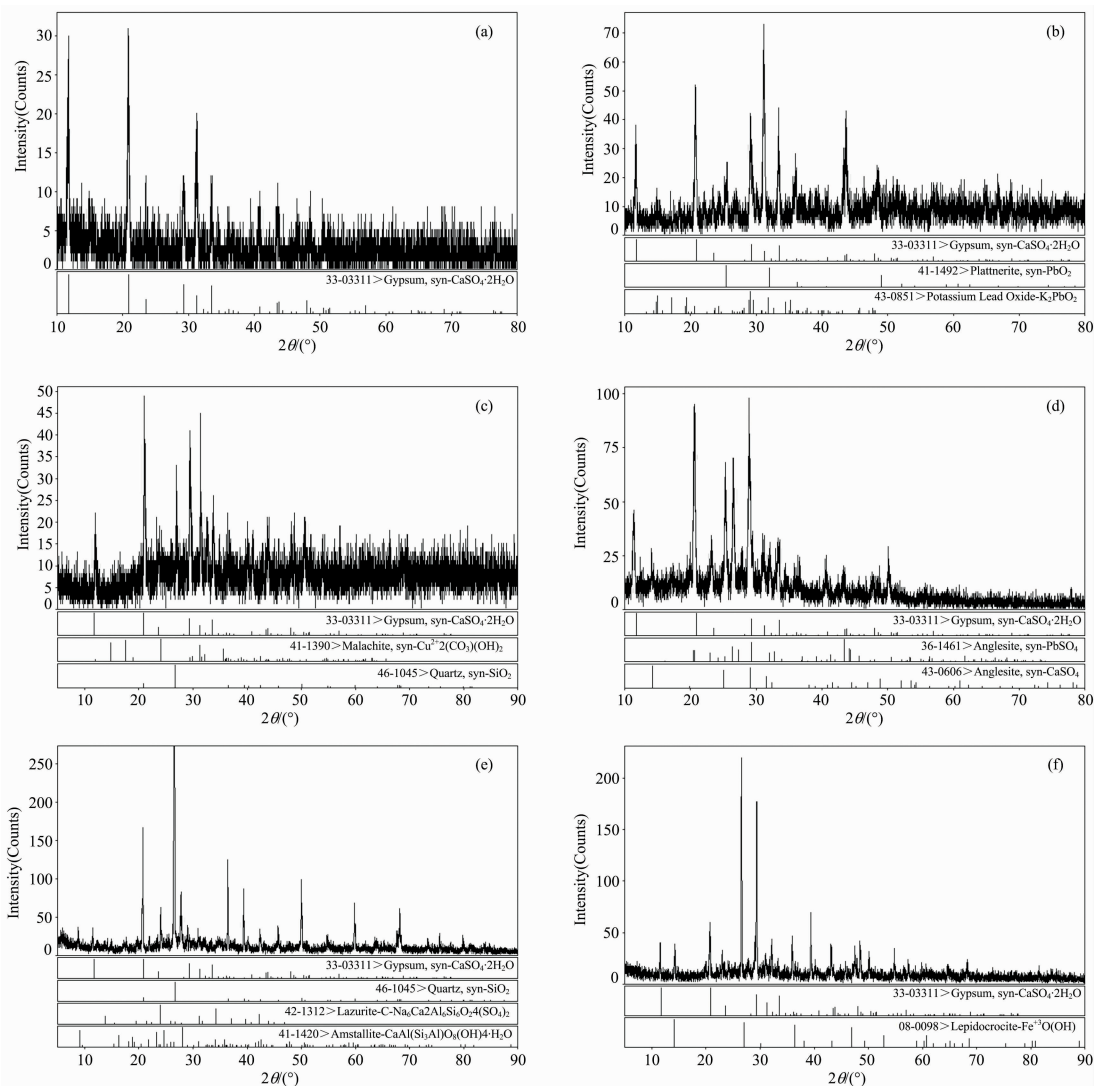


图 3 样品 XRD 分析图

(a): 1 号样品; (b): 2 号样品; (c): 3 号样品; (d): 4 号样品; (e): 5 号样品; (f): 6 号样品

Fig. 3 sample XRD analysis diagram

(a): Sample No. 1; (b): Sample No. 2; (c): Sample No. 3; (d): Sample No. 4; (e): Sample No. 5; (f): Sample No. 6

铅丹是我国古代常用的红色颜料, 1993 年贾建业等^[2]在秦俑彩绘红色颜料中检测出氧化铅与少量铅丹, 2007 年王丽琴^[3]等在西北大学唐代墓葬彩绘陶缸残片中检测出铅丹颜料, 同年夏寅^[4]等在内蒙古阿尔寨石窟壁画表面检测出黑色的二氧化铅, 并发现内层存在尚未完全变色的橘红色铅丹。对于 2 号样品, X 射线衍射结果主要显示是 PbO_2 与 K_2PbO_2 。铅丹在潮湿、碱性介质及微生物存在的环境条件下会变色分解^[5], 产物为氧化铅和二氧化铅: ($\text{Pb}_3\text{O}_4 = 2\text{PbO}$

+ PbO_2), 由于水宁寺地处气候潮湿的四川地区, PbO 会与水可溶盐钾离子反应生成化合物 K_2PbO_2 。结合上述相关案例与 XRD 物相分析结果考虑, 有理由相信检测到的 PbO_2 及 K_2PbO_2 是铅丹的分解产物, 样品本身的彩绘颜料为铅丹。

石绿, 又名孔雀石。早在 1984 年, 王进玉等^[6]在青海通过颜料分析发现明代瞿昙寺二号样品颜料为纯石绿; 2013 年, 来自洛阳墓葬中的陶俑上的绿色颜料经分析为石绿^[7];

2015 年在李舒涵等^[8]采集于西藏部分地区正在使用的绿色藏传颜料样品中, 分析结果显示显色物质同样为石绿。可见石绿颜料是我国古代久用不衰的绿色表生矿物, 在各地的彩绘中都被普遍应用。

硫酸铅作为白色颜料在我国古代使用并不广泛, 目前在四川地区的重庆钓鱼城卧佛造像^[9]及广元千佛崖莲花洞^[10]的颜料样品中先后发现硫酸铅的使用, 位于西北地区的莫高窟隋朝 401 窟经分析显示使用硫酸铅为颜料^[11]。

针铁矿呈棕黑色、黄褐色或暗褐色, 由于赤铁矿和黄铁矿易与空气中水蒸气反应生成针铁矿变色^[12], 且经过与文献对比发现常用动物骨骼或植物灰炭所制成的墨、无定形碳、磁铁矿、黑铜矿等作为黑色颜料, 经调查目前尚未有使用针铁矿作为黑色颜料的案例, 因此根据现有参考资料, 推测本样品颜料是由赤铁矿或黄铁矿经化学反应被氧化, 进而生成的黑色 $\text{FeO}(\text{OH})$ 。

2.4 拉曼光谱分析

为了得到进一步的分析结果, 对 1 号和 5 号样品进行拉曼光谱分析。通过将所得谱图与各个物质的标准拉曼谱图进行对比, 分析结果如下: 1 号样品在 422.18, 492.13, 630.25, 671.15, 1 024.1 和 1 164.07 cm^{-1} 等位置出现了一系列散射峰, 与 Fe_2O_3 标准图谱基本一致(如图 4), 因此确定样品颜料为黄赭石。5 号样品在 544.02 cm^{-1} 处检测出的信号最强, 在 1 098.05 cm^{-1} 出现的信号次强, 在 206.56 cm^{-1} 出现中等强度峰, 在 809.64 cm^{-1} 的信号最弱, 与青金石标准图谱的峰基本一致, 如图 5, 因此确定彩绘颜料为青金石。

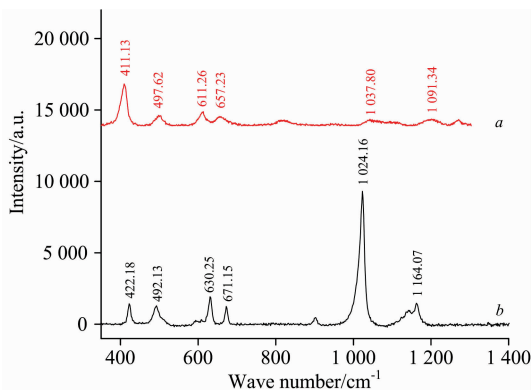


图 4 Fe_2O_3 和 1 号样品拉曼图谱

a: Fe_2O_3 的拉曼标准图; b: 1 号样品拉曼图谱

Fig. 4 Fe_2O_3 and Raman Atlas of Sample No. 1

a: Fe_2O_3 Raman standard diagram;

b: Raman diagram of Sample No. 1

黄赭石的主要成分是 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, 颜料在长期风化的过程中可能发生失水的物理过程, 导致最后测出的主要矿物是 Fe_2O_3 , 结果与 X 射线荧光光谱分析结果相符。因颜色与泥土相似, 黄赭石受到各个时期画师们的青睐, 成为古代常用颜料之一。周国信等^[13]对麦积山壁画中北魏、北周、明等朝代十四个洞窟中的黄色颜料检测, 发现大部分均为黄赭石; 刘赵军等^[14]在河南济源明代墓葬中的黄色颜料中发现

含有黄赭石; 在唐代永泰公主墓中的陶器彩绘上也检测出含有黄赭石^[15]。

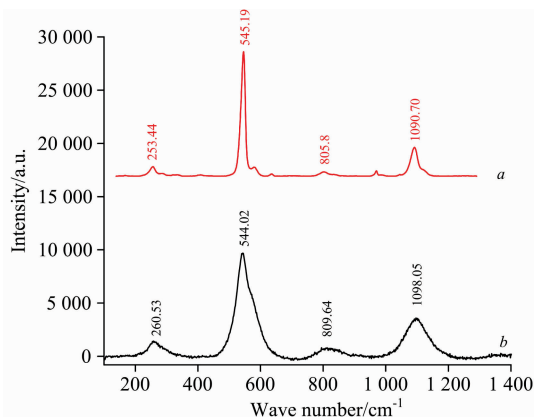


图 5 青金石和 5 号样品拉曼图谱

a: 青金石的拉曼标准图; b: 5 号样品图谱

Fig. 5 Lapis lazuli and Raman atlas of sample No. 5

a: Raman standard diagram of Lapis lazuli;

b: Sample Atlas of No. 5

青金石是一种很古老的玉石, 属碱性铝硅酸盐化合物, 经丝绸之路传入中国, 在克孜尔石窟壁画、敦煌莫高窟、炳灵寺石窟和麦积山石窟的壁画或彩塑中均有青金石的使用^[16]。青金石分为天然青金石与人造群青, 因化学组成与结构相似, 在分析中常常被混淆。人造群青多用于彩绘, 如四川成都武侯祠彩塑^[17]、清代道教人物画像^[18]和甘肃永登连城鲁土司属寺壁画^[19]的蓝色颜料中均发现人工合成群青。人造群青合成时间为 1830 年^[20], 而本文所采集的样品来自开凿与隋唐时期(581 年—907 年)的造像, 且样品均为单层彩绘。同时天然青金石表面常含有黄色的黄铁矿颗粒及白色的方解石团块^[21], 5 号样品的 XRF 结果显示主要元素有 Ca, Fe 和 As 等, 其中 Ca 和 Fe 元素分别指示了方解石(CaCO_3)与黄铁矿(FeS_2)的存在。因此, 判断此处使用应为天然青金石。

据综合分析, 巴中水宁寺摩岩石刻的彩绘颜料分析结果归纳如下:

- 1 号样品: 黄赭石 [$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$]
- 2 号样品: 铅丹 [Pb_3O_4]
- 3 号样品: 石绿 [$\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)$]
- 4 号样品: 硫酸铅 [PbSO_4]
- 5 号样品: 青金石 [$\text{Na}_6\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)_2$]
- 6 号样品: 针铁矿 [$\text{FeO}(\text{OH})$]

3 结 论

通过采用超景深显微镜观察、X 射线荧光分析、X 射线衍射分析和激光拉曼光谱分析, 检测了各样品颜料的成分, 丰富了各颜料在我国的使用案例。其中黄赭石、铅丹、石绿等都是我国古代常用的彩绘颜料, 在唐代多有使用, 与本造像开凿时期相符, 但在潮湿、半露天的环境下, 少数颜料

不能直接检测出标准物质: 黄赭石在长期风化的过程中发生失水的物理反应, 导致最后测出的主要矿物是 Fe_2O_3 ; 铅丹在潮湿及微生物存在的环境条件下发生分解, 生成氧化产物 PbO_2 。另外, 通过对比人造群青的合成时间与石窟的开凿年代, 加之 Fe 元素的检出暗指天然青金石中金星的主要成分

黄铁矿, 可以判断本样品的颜料是由天然青金石制作的。

通过对水宁寺石刻颜料的分析, 获取彩绘颜料的信息, 一方面为颜料复原提供科学依据, 为其工艺制作方面的研究提供参考, 另一方面也有利于文物工作者展开针对性保护工作, 促进相关研究工作的进行, 具有重要的文物保护意义。

References

- [1] LI Ying-liang, YE Mei, WANG Li-dan, et al(李英亮, 叶梅, 王力丹, 等). Scientific Research on Chinese Cultural Relics(中国文物科学研究), 2012, (4): 78.
- [2] JIA Jian-ye, LIU Jian-chao(贾建业, 刘建朝). Geology of Shaanxi(陕西地质), 1993, (1): 72.
- [3] WANG Li-qin, ZHOU Wen-hui, ZHAO Jing(王丽琴, 周文晖, 赵静). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 2007, (4): 1.
- [4] XIA Yin, GUO Hong, WANG Jin-hua, et al(夏寅, 郭宏, 王金华, 等). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 2007, (2): 41.
- [5] WANG Li-qin, FAN Xiao-lei, WANG Zhan(王丽琴, 樊晓蕾, 王展). XIBU KAOGU(西部考古), 2008, (3): 285.
- [6] WANG Jin-yu, LI Jun, TANG Jing-juan, et al(王进玉, 李军, 唐静娟, 等). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 1993, (2): 23.
- [7] Liu Zhaojun, Han Yunxia, Han Ligang. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2013, 109: 42.
- [8] LI Shu-han, ZHU Tie-quan(李舒涵, 朱铁权). Journal of Tibet University(西藏大学学报), 2015, 30(2): 47.
- [9] JIANG Kai-yun, SUN Yan-zhong, ZHANG Zhi-xia(姜凯云, 孙延忠, 张志霞). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 2020, 32(1): 98.
- [10] SUN Yan-zhong, JIANG Kai-yun, ZHANG Ning(孙延忠, 姜凯云, 张宁). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 2019, 31(2): 77.
- [11] ZHOU Guo-xin(周国信). Coating Industry(涂料工业), 1990, (4): 43.
- [12] WANG Ji-ying, WEI Ling, LIU Zhao-jun(王继英, 魏凌, 刘照军). The Journal of Light Scattering(光散射学报), 2012, 24(1): 86.
- [13] ZHOU Guo-xin(周国信). Archaeological(考古), 1991, (8): 744.
- [14] LIU Zhao-jun, HAN Yun-xia, YANG Rui, et al(刘照军, 韩运侠, 杨蕊, 等). China Laser(中国激光), 2013, 40(6): 309.
- [15] YAN Jing, ZHAO Xi-chen, LIANG Jia-fang, et al(严静, 赵西晨, 梁嘉放, 等). Relics and Museology(文博), 2016, (1): 93.
- [16] ZHOU Zhi-bo, YANG Jie, GAO Yu-min(周智波, 杨杰, 高愚民). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 2019, 31(4): 109.
- [17] YANG Jin-song, GUO Hong, CHEN Kun-long, et al(杨晋松, 郭宏, 陈坤龙, 等). Scientific Research on Chinese Cultural Relics(中国文物科学研究), 2016, (2): 64.
- [18] HE Qiu-ju, LI Tao, SHI Ji-long, et al(何秋菊, 李涛, 施继龙, 等). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 2010, 22(3): 61.
- [19] LEI Yong, WEN Ming, CHENG Xiao-lin(雷勇, 文明, 成小林). Palace Museum Journal(故宫博物院院刊), 2012, (2): 133.
- [20] WANG Jin-yun(王进玉). Dunhuang Studies(敦煌研究), 2000, (1): 76.
- [21] QIAN Wei-ji(钱伟吉). Quality and Standardization(质量与标准化), 2019, (12): 30.

Analysis of Color Paint for Moyan Stone Carvings in Shuining Temple in Bazhong

SUN Feng^{1, 2}, WANG Ruo-su², LIANG Ya-xin², LIU Jia-ru², YAO Xue³, ZHAO Fan⁴

1. Key Laboratory of Cultural Heritage Research and Conservation, Northwest University, Xi'an 710069, China

2. School of Cultural Heritage, Northwest University, Xi'an 710069, China

3. College of Tourism and History and Culture, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China

4. Sichuan Institute of Cultural Relics and Archaeology, Chengdu 610041, China

Abstract Shuining Temple in Bazhong is famous for its wide range of themes, diverse forms and exquisite carving. However, the wet environment, unstable cliff body and the semi-open preservation environment caused serious damage to the stone carvings of Shuining Temple, which affected the artistry of the stone carvings. Therefore, the protection and restoration work of the cliff statues of Shuining Temple is extremely urgent. In this paper, through the analysis of the pigments for the stone carvings in Shuining Temple, the information of the pigment is obtained, which, on the one hand, provides a scientific basis for the restoration of the pigments, and on the other hand, is conducive to the targeted protection of cultural relic workers, which is of great significance for the protection of cultural relics. This paper used superdepth three-dimensional video microanalysis, X-ray fluorescence spectrum analysis (XRF), X-ray diffraction experiment analysis (XRD) and laser Raman spectrum analysis to comprehensively analyze the main composition minerals of shuining Temple moyan pigment from the appearance, structure and composition of the material. The results showed that the main mineral of sample No. 1 was yellow ochre, sample No. 2 was leaden, sample No. 3 was celadon, sample No. 4 was lead sulfate, sample No. 5 was lapis lazuli, sample No. 6 was goethite, and dihydrite was the white powder layer under the pigment layer. Due to the long-term exposure of the statues to the damp and semi-open environments, a few pigments could not be directly detected as standard substances, so secondary analysis should be conducted according to relevant data. For example, the main component of yellow ochre detected due to long-term weathering was Fe_2O_3 . K_2PbO_2 and PbO_2 were decomposed under the environmental conditions of moisture and microbial presence. Goethite is produced by a chemical reaction of hematite or pyrite. In addition, by comparing the synthetic time of artificial lapis lazuli with the excavation age of the statue, and by detecting the element Fe, which implies that pyrite is the main component of Venus in natural lapis lazuli, we can judge that the pigment of this sample is made of natural lapis lazuli, which enriches the use cases of natural lapis lazuli.

Keywords Shuining Temple Grottoes; Coloured drawing pigments; Analysis and research

(Received Jun. 29, 2020; accepted Aug. 5, 2020)