晋中市文物局库房藏部分壁画制作材料初探

解　晋[1]　梁　萍[2]　双　瑞[2]　张政敏[2]

（1. 山西博物院，山西太原，030024；2. 山西省文物保护研究中心，山西太原，030024）

摘要　晋中市文物局库房藏部分壁画来源于2016年底晋中警方破获系列文物盗窃案时缴获的壁画，时代不明，材质不明。通过使用数码显微镜、扫描电子显微镜和能谱仪对壁画从显微结构和成分方面进行了检测，在壁画的材质、内部结构及制作工艺信息方面进行了初步分析，为盗割壁画在离开古建载体后的价值判定提供基础科学依据。

关键词　壁画　加筋材料　成分

引　　言

山西是中华民族重要的发祥地之一，是全国文物数量最多的省份之一，全国重点文物保护单位数量位居第一。山西古代寺观壁画作为古建筑的附属，有非常高的科学价值、文化价值和艺术价值，由于数量庞大和特定功能属性，更适合原址保存，无法全部揭取，纳入博物馆的文物保护工作体系。数量众多的古寺观零星散落于偏僻村镇，除自然损坏和人为破坏外，经常面临被盗割的巨大风险。寺观壁画难以集中保护，现状堪忧，是目前山西文保工作面临的难题之一。2016年底，山西晋中警方破获系列文物盗窃案时缴获了部分壁画，存入晋中市文物局库房。之后为了配合警方工作，这些壁画曾暂存山西博物院。在暂存期间为了解这批壁画的真伪和现状，对追缴壁画进行了初步检测，使用光学显微镜、扫描电子显微镜及能谱仪对部分壁画脱落残块进行了显微观察和成分分析。

1　实验样品和仪器分析方法

古代壁画结构大多由三部分组成，即支撑体、地仗层、颜料层。大部分寺观殿堂壁画多采用复合地仗，即多重地仗。多重地仗一般又分为粗地仗和细地仗。粗地仗一般是起找平的作用，其厚度不均，视支撑体的表面情况不同而不同。细地仗的作用主要是防止开裂和为绘画提供良好的吸水和着色表面。细地仗可以是多层的[1]。壁画的地仗材料一般由黏土、沙粒、石灰[2]、白垩、麦秸、草、麻、棉、纸等材料构成。还有一种较特殊的建筑壁画支持体，即在石灰地仗层表面贴一层画纸，然后在纸上作画[3]。此次警方追缴回来的壁画仅剩部分地仗层（白底层）和颜料层，其中屯留壁画有两种类型：绘在薄纸上的壁画和绘在白底层上的壁画。本次检测颜料样品收集自壁画颜料层起甲开裂脱落处，白底层样品采自壁画块边缘或背面脱落的断裂块。样品内容有屯留收缴壁画采

中国文物保护交下协会十后.indd 583 2020/5/25 16:28:54

集颜料及白底层、山水人物系列壁画采集白底层、平遥收缴八块壁画的脱落块、临汾翼城收缴壁画地仗脱落块（部分壁画见图1～图4）。（注：本次检测样品均以收缴地命名）

图1　屯留北客厅7-3壁画残块

图2　山水人物系列壁画9

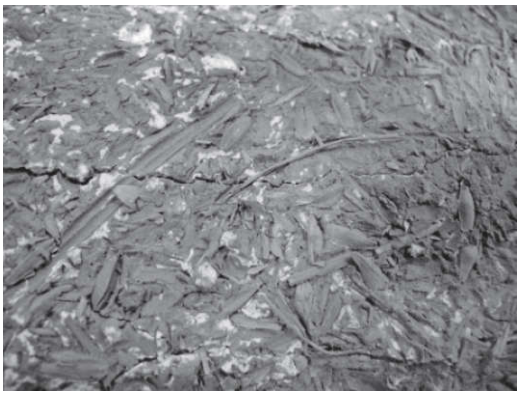

图3　平遥收缴壁画块的背面

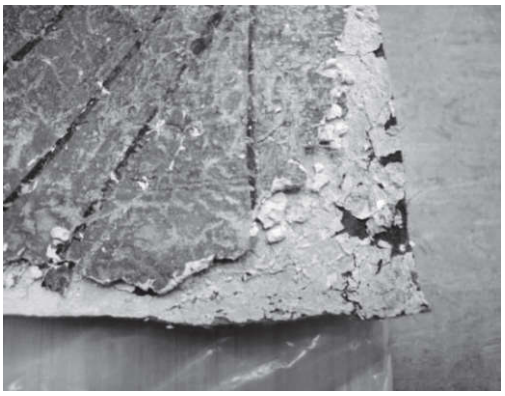

图4　屯留北客厅7-4壁画块边缘

实验仪器和分析方法如下：

（1）数码显微镜（超景深三维数码显微分析系统）仪器品牌为基恩士，型号为VHX-600。观察样品显微形貌。

（2）扫描电子显微镜仪器厂家为FEI公司，型号为Quanta650；能谱仪（EDS）厂家为OXFORDX，型号为-MaxN50；样品制备：取样品用导电胶粘在样品托上，压实后用洗耳球吹去表面未粘牢的浮尘。实验条件：工作电压：20.00kV，工作距离：10mm，放大倍数不固定。观察样品形貌并对其做成分分析。

2　分析检测结果

2.1　地仗及加筋材料显微对比观察

以天然植物和动物毛发纤维作为壁画的加筋材料已有几千年的历史，植物纤维一般是植物的

中国文物保护技术协会十后.indd 584　2020/5/25　16:28:55

秸秆类、麻、棉花等[4]。添加纤维主要目的是增加地仗强度和减小表面收缩以防止地仗干后开裂。纤维在地仗中可以形成网络，可以固定土质颗粒和增加韧性，提高土质颗粒间的黏接力的同时可以减轻地仗的重量[5]。将当今市售棉花取样和收集的壁画中的加筋材料进行对比显微观察（图5～图20）。

2.1.1 壁画样品

图5和图6是参照物样品，取自市售棉花和棉签，纤维显微观察显示，丝状、白色半透明、表面光滑、纤维长，纤维粗细14.1～25.12μm。

图5　市售棉花纤维1显微图

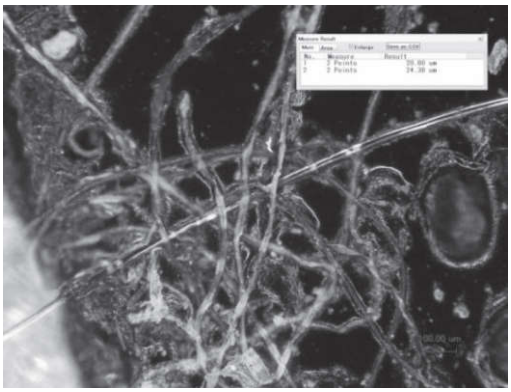

图6　市售棉签棉花纤维2显微图

从图7和图8来看，屯留北客厅7-1壁画样品中的加筋材料分布不多，条状、微发黄、纤维表面粗糙，表面呈现典型平行脉络，较短，较脆。纤维粗细27.53～65.79μm，非棉花，可能为麻。

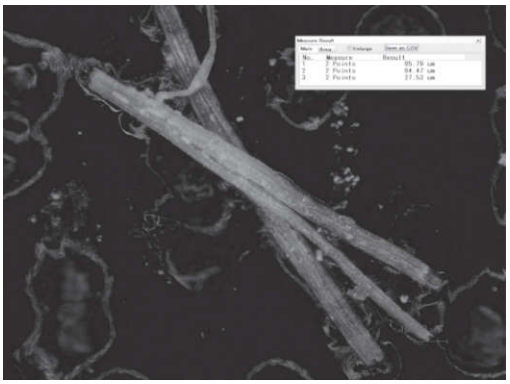

图7　屯留北客厅7-1壁画地仗加筋材料显微图

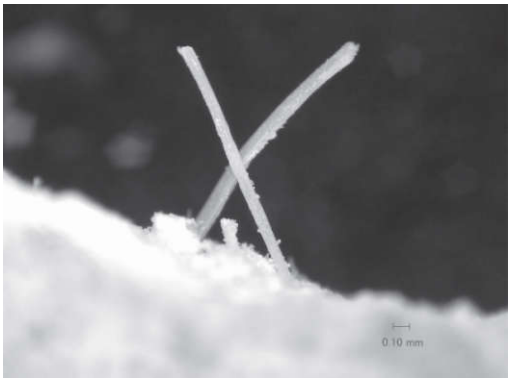

图8　屯留北客厅7-1壁画地仗边缘显微图

从图9和图10显微观察显示地仗中分布的纤维多、短、极细、较软，有分条现象。地面脱落块地仗。

图11和图12显示样品为禾本科植物片段，表面呈现典型平行脉络，质脆，粗细（径宽）133.6μm，地仗中夹杂的加筋材料分布不均匀，有韧性，呈条状，发黄，纤维较短，表面粗糙，脆。

中国文物保护技术协会十后.indd 585 2020/5/25 16:29:00

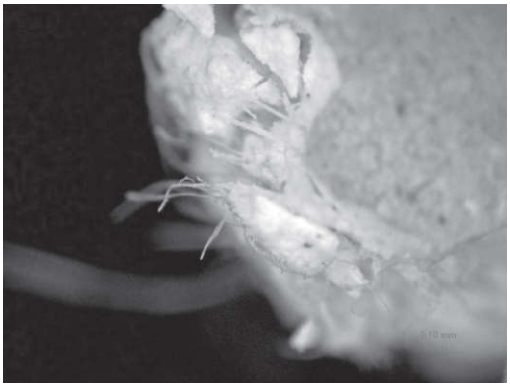

图9　屯留壁画脱落块显微图

图10　屯留壁画脱落块中加筋材料显微图

图11　地面脱落块中加筋材料显微图

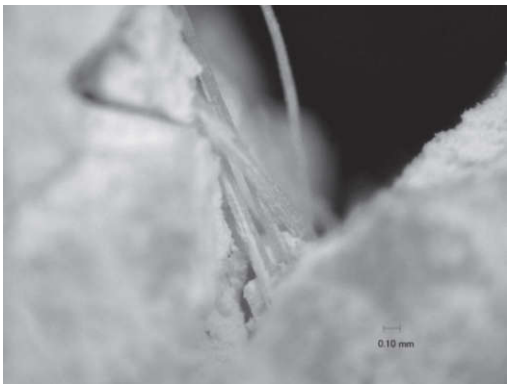

图12　地面脱落块地仗及加筋材料显微图

图13和图14显示壁画样品剖面有分层现象，可能为重层地仗。图14显示黑色颜料覆盖红色颜料，可以看到工匠的绘画程序。

图13　壁画脱落块剖面多重地仗显微图

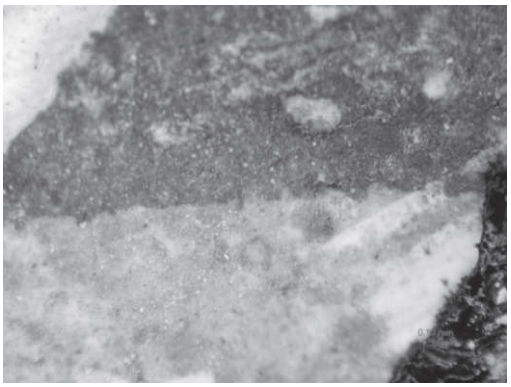

图14　壁画脱落块表面颜料层显微图

中国文物保护技术协会十后.indd 586　2020/5/25　16:29:04

2.1.2 临汾翼城壁画

图15显示临汾翼城壁画加筋材料可能为禾本科植物片段，表面呈现典型平行脉络，质脆。图16显示地仗中加筋材料较少，剖面上部的淡黄色渗透层证明壁画表面疑似经过处理。

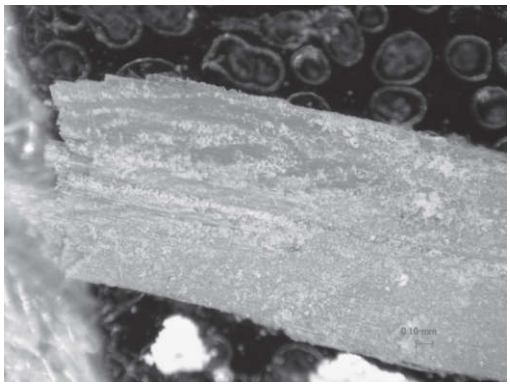

图15 临汾翼城壁画加筋材料显微图

图16 临汾翼城壁画地仗剖面显微图

2.1.3 屯留纸壁画

图17和图18可以看到纸壁画表面较光滑，有较均匀分布的圆形，疑似有胶。背面残留部分白底层，白底层可见有加筋材料。

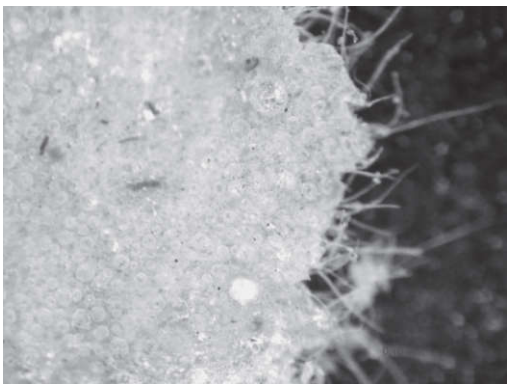

图17 纸壁画正面显微图

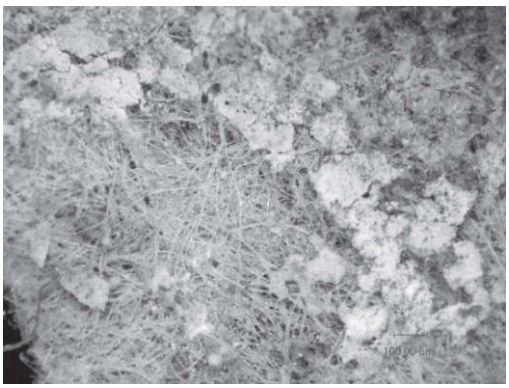

图18 纸壁画背面显微图

图19是纸壁画地仗中的加筋材料，分布较少，呈条状、淡黄色、纤维表面粗糙，呈现典型平行脉络，较短，脆，粗细（径宽）112.24μm，非棉花，可能为禾本科植物片段。图20为纸壁画边缘纤维，所测量的两处纤维粗细（径宽）分别为12.26μm、21.11μm。

中国文物保护技术协会十后.indd 587 2020/5/25 16:29:05

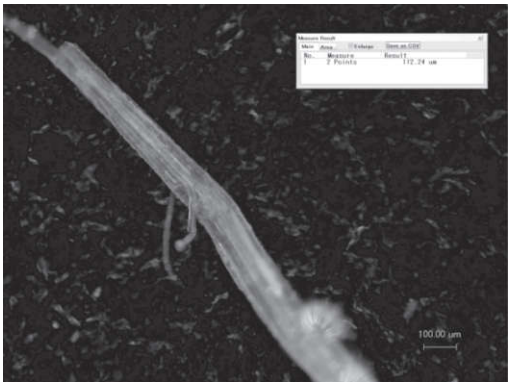

图19　纸壁画地仗层中的加筋材料显微图

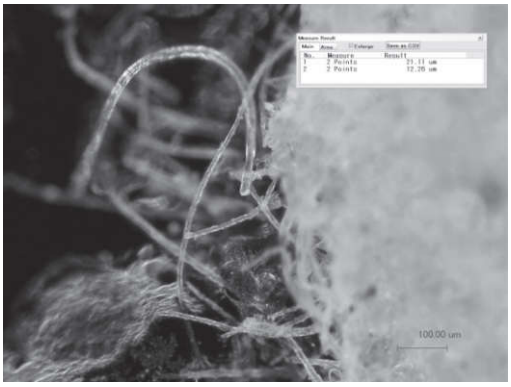

图20　纸壁画边缘纤维显微图

2.2　壁画颜料和地仗材质的电镜形貌观察和能谱成分分析

对壁画采集样品进行了电镜形貌观察（电子图像见图21～图30）和能谱成分分析。结果如下：

北客厅壁画颜料样品绿色、粉色、红色、肉色、橙红色、蓝色均为测到的明显显色元素，主要成分为C、O，该壁画颜料应不是矿物颜料。底色层为白色，成分主要为O 48.1%、Ca 33.7%、C 15.5%，从含量上看应为石灰。

山水人物花卉图壁画的黑色颜料主要成分为C 82.7%。绿色颜料主要含Cu 47.2%、Cl 6.9%、O 23.4%、C 15.7%，应为含铜的矿物颜料。底色层为白色，较薄，主要成分为O 40.2%、Ca 47.1%、C 10.3%，从含量上看可能为石灰。地仗中的加筋材料见电子图像（图21）显示，细密、软绵，成分以C、O为主，应为植物纤维。

白底单体人物图壁画的底色层色洁白，主要成分为O 46%、Ca 18.6%、C 26.8%、S 7.8%，从含量上看该壁画白底层较为特殊，不是单一成分，可能包含石灰、石膏。

加筋材料电子图像（图22）显示，为均匀粗细纤维，直径大约为28.29μm，结合成分以O

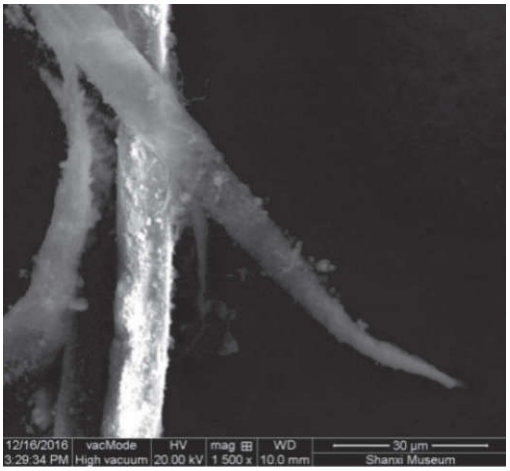

图21　山水人物花卉图壁画加筋材料SEM图

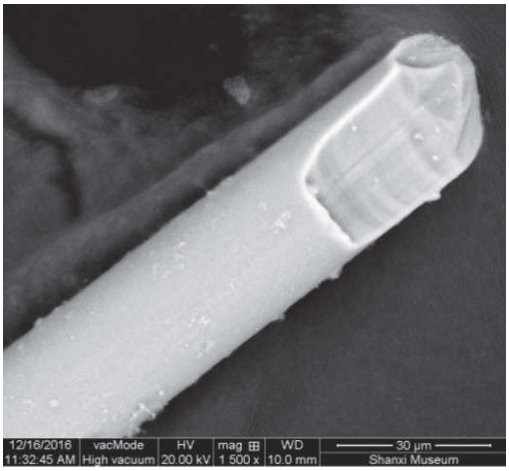

图22　白底单体人物图壁画地仗中的加筋材料SEM图

中国文物保护技术协会十后.indd 588 2020/5/25 16:29:07

（46.0）、Si（39.0%）、Na（14.9%）为主，与市场购买玻璃丝（图23）作对比，从形貌和成分上可以判断该加筋材料为玻璃纤维，不符合古代壁画传统工艺中白底层加筋材料为植物类纤维（棉花、麻刀、碎麦秸、纸）为主，此材料使用应为现代工艺。

平遥壁画粗泥层中加筋材料经肉眼观察可能为常见的麦秆、麦壳，高倍电子图像（图24）观察显示，纤维表皮有气孔，显微特征符合禾本科植物。底色层为白色，成分主要为O 47.1%、Ca 33.5%、C 14.0%，从含量上看应为石灰。

加筋材料电子图像（图25、图27、图29）显示纤维表面有环形节，多股成束，末端纤维较细，经与市场上买的天然麻的显微电子图像（图26、图28、图30）对比，加筋材料符合麻的显微特征，应为麻刀。

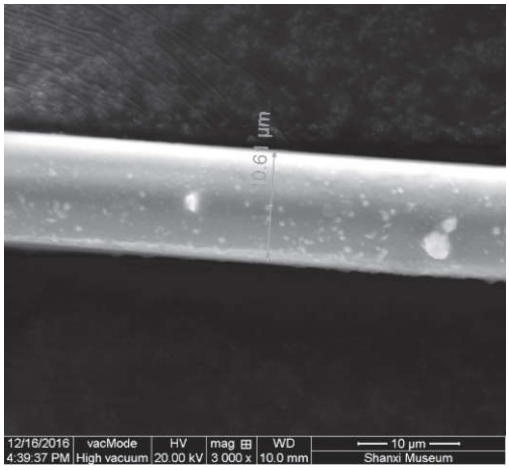

图23　市售玻璃丝SEM图

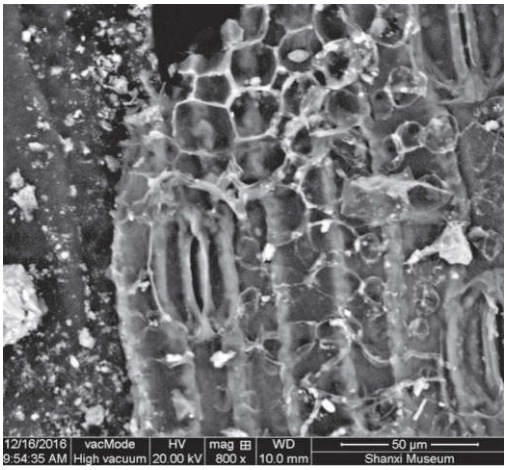

图24　平遥壁画粗泥层中加筋材料SEM图

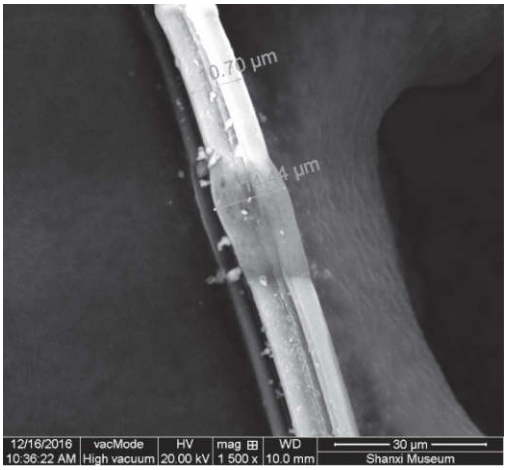

图25　平遥壁画加筋材料SEM图1

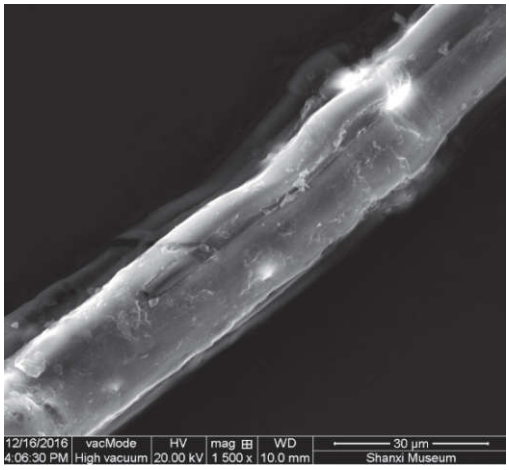

图26　市售麻SEM图1

中国文物保护技术协会十后.indd 589 2020/5/25 16:29:07

图27　平遥壁画加筋材料SEM图2

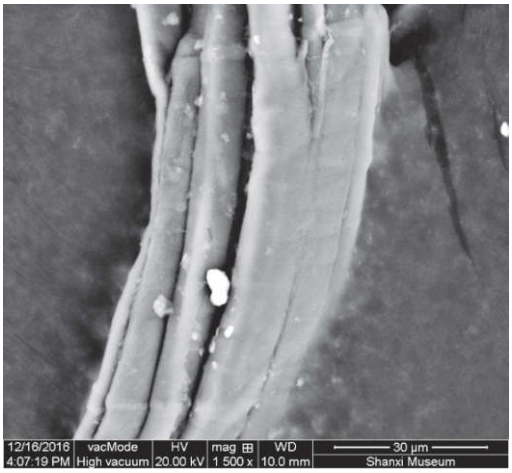

图28　市售麻SEM图2

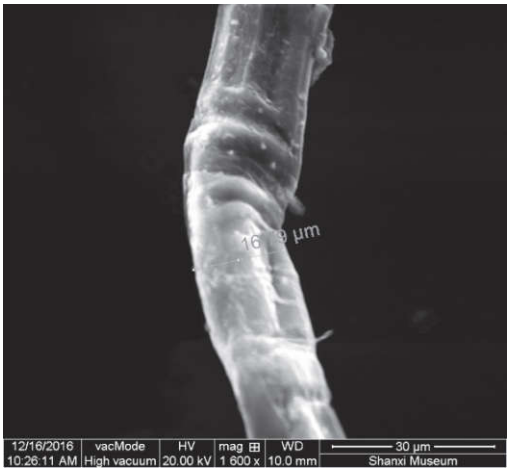

图29　平遥壁画加筋材料SEM图3

图30　市售麻SEM图3

样品能谱成分分析结果见表1。

表1　样品能谱成分分析结果

序号	位置	样品描述	成分检测结果
1	屯留南房6-1	画面外边缘绿色线条	主要成分为C、O，未测到显色元素，可能不是矿物颜料
2		画面绿色颜料	主要成分为C、O、Cu，显色元素为Cu，该颜料可能为含铜矿物颜料
3		白色地仗	主要成分为Ca、O、C，地仗主要成分为石灰
4		黑色颜料	主要成分为C
5	屯留纸壁画	纸纤维	主要成分为C、O，符合纸的成分
6	屯留最大块壁画1号样	绿色	主要成分为C、O、Cu，显色元素为Cu，该颜料可能为含铜矿物颜料
7		黄色	主要成分为C、O，未测到明显显黄色的元素
8		黑色	主要成分为C、O、Ca，显色元素为C，颜料层较薄，含有地仗成分

中国文物保护技术协会十后.indd 590　2020/5/25 16:29:12

续表

序号	位置	样品描述	成分检测结果
9	屯留北客厅7块-1	绿色颜料	主要成分为C、O、Ca、Cu，显色元素为Cu，该颜料可能为含铜矿物颜料，此外有高含量的Ca是由于颜料薄测到地仗成分
10		地仗	主要成分为Ca、O、C，地仗主要成分为石灰
11	屯留南房6-2	红色	主要成分为Pb、O、C，可能为铅丹（Pb_3O_4）
12	地面采集脱落块	红色	显色元素为Fe，但含量（3.7%）很低，可能为铁红
13		加筋材料	形貌为细丝状纤维，主要成分为C、O、Ca，其中C、O为植物纤维的主要成分，纤维表面附着地仗，故测到Ca
14	纸壁画-1	地仗	主要成分为O、Ca、C
15	临汾翼城壁画	加筋材料	形貌为淡黄色秸秆皮，主要成分为C、O
16	屯留最大块壁画2号样	红色颜料	显色元素为Fe，但含量（1.4%）很低，可能为铁红
17		黄色颜料	主要成分为C、O、Ca，未测到明显显黄色的元素，可能不是矿物颜料
18		绿色颜料	主要成分为C、O、Cu、Ca，显色元素为Cu，该颜料可能为含铜矿物颜料
19-1	屯留纸壁画	纸	主要成分为C、O、Si、Ca，除纸主要成分C、O外，Si、Ca可能来自纸的填料或者表面灰尘陈积
19-2		背后白色地仗	地仗主要成分为C、O、Ca，可能为石灰，纤维成分以C、O为主，可能是加筋材料来自植物类纤维
20	屯留北客厅7块-1	地仗中加筋材料	形貌为细条状纤维，主要成分为C、O、Ca，其中C、O为植物纤维的主要成分，纤维表面附着地仗，故测到Ca
21	医用棉签棉花	棉花纤维	成分为C、O，显微形貌为较长纤维，表面光滑

3 结　　论

（1）屯留南房6-1壁画画面绿色颜料为含铜矿物颜料，外边缘绿色线条成分不明应不是矿物颜料，可能是割壁画时人为所画。黑色颜料为碳，地仗成分为碳酸钙。屯留南房6-2壁画红色颜料可能为铅丹，地仗有少量细条状加筋材料。

（2）屯留纸壁画的表面成分以C、O、Si、Ca为主，除纸成分C、O外，Si、Ca可能来自纸的填料或者表面灰尘陈积。地仗中夹杂少量细条状植物纤维，地仗成分为碳酸钙。

（3）屯留北客厅7块-1壁画绿色颜料为含铜矿物颜料，地仗成分为碳酸钙。加筋材料为细条状植物纤维。

（4）临汾翼城壁画白色地仗样品中未找到加筋材料，但白色地仗表面夹杂大量形貌为淡黄色的秸秆皮，推测可能存在泥层，泥层的加筋材料为秸秆皮。

（5）地面采集脱落块壁画红色颜料含少量铁，可能为铁红。加筋材料地仗有片状和细条状两种，片状材料附在壁画背面最外层，从壁画背面可以看到存在较多泥土，该加筋材料可能存在泥层中，少部分进入白灰地仗层，形貌为淡黄色秸秆皮。细丝形貌为长条状纤维，应为植物纤维，均匀分布于白色地仗中。

（6）屯留最大块壁画（无编号）2块样品，绿色为含铜矿物颜料，黄色未测出，红色可能为铁

中国文物保护交下协会十后.indd 591 2020/5/25 16:29:12

红，黑色为碳，地仗为碳酸钙。地仗加筋材料有较多、极细短纤维，从成分来看为植物纤维。

由于山西是文物大省，古建筑数量众多，古建数量和文保力量的差距比较大，保护资金有限很难覆盖到每一处文保单位。近年来，山西省加强了对文物保护工作推进的力度，文物工作在保护理念上由注重抢救性保护向抢救性保护与预防性保护并重转变；在保护方法上由注重单一的实体保护向以实体保护为主、兼顾数字化保护、环境保护并重转变；在保护资金筹措上由注重单一的财政投入为主向吸引社会力量投入的多元化机制转变[6]。2016年，为防止古建筑构件失盗起草的《山西省文物建筑构件保护管理办法（草案）》，已列入省政府2016年出台的政府规章立法计划。2016年9月，山西省文物局公布了《山西省社会力量参与文物建筑保护利用暂行办法》，打通了社会资金进入文物保护领域的渠道。2017年3月，山西省又出台了《山西省动员社会力量参与文物保护利用“文明守望工程”实施方案》，成为我国省级政府首次制定社会力量参与文物保护利用的具体实施方案。与此同时，《山西省社会力量参与古建筑保护利用条例》也正式列入2017年地方立法规划[7]。

2018年以来，遵照习近平总书记关于文物安全和打击文物犯罪的重要指示精神，按照省委省政府和公安部工作要求，山西公安机关和广大公安民警，怀着对五千年历史文明高度负责、对子孙后代高度负责的精神，针对一些地方文物犯罪多发态势，特别是聚焦文物犯罪背后隐藏的黑恶势力和“保护伞”问题，在全省公安机关部署开展了为期三年的打击文物犯罪专项行动[8]，确保文物的安全，事关文化的传承，事关文明的永续，是既要面对历史又要面向未来的功德事业[9]。

参 考 文 献

［1］ 胡可佳．陕西安康紫阳北五省会馆壁画制作工艺及材质分析研究［D］．西安：西北大学，2013.

［2］ （明）宋应星．天工开物［M］．管巧灵，谭属春，点校，注释．长沙：岳麓书社，2002.

［3］ 赵林毅，李燕飞，于宗仁，等．丝绸之路石窟壁画地仗制作材料及工艺分析［J］．敦煌研究，2005，（4）：75-82.

［4］ 杜文凤，张虎元．莫高窟壁画加筋土地仗干缩变形研究［J］．敦煌研究，2015，（1）：116-123.

［5］ 王丹阳．古代泥塑彩绘分析中的植物纤维检测技术研究［D］．杭州：浙江大学，2016.

［6］ 杨珏．山西构建文物保护新机制［N］．光明日报，2017-06-12（001）.

［7］ 山西省文物局网站http://wwj. shanxi. gov. cn.

［8］ “山西公安机关打击文物犯罪成果展”在山西博物院展出［EB/OL］．http: //www. shanximuseum. com/about/news/3161. html.

［9］ 山西省教育厅，山西省公安厅．“守护文明 传承文化 珍爱文物”倡议书——致全省大中小学的同学们［EB/OL］. http:// news. sina. com. cn /0/ 2018-07-04/ oloc-ihevauxk 0276744. shtml.

中国文物保护技术协会十后.indd 592 2020/5/25 16:29:12