

概述几种彩绘文物的分析技术

李蔓

彩绘类文物主要包括彩绘陶器、壁画、符瓦及其他带颜料的文物，是我国文物数量较多的一类。其颜料层附着于文物表面，是其精华所在。目前国内外已经有很多技术手段应用于彩绘文物的分析检测，常见的检测方法包括偏光显微分析、拉曼光谱分析、扫描电镜-能谱分析、X射线衍射分析、金相显微分析、红外光谱分析、高光谱成像分析等，每种分析技术有其各自的工作原理及特点。

偏光显微分析

偏光显微镜分析法是一种通过分辨颜料晶体的大小、形状、颜色、表面形态、折射率和消光性等性质来鉴别颜料的方法。在实际应用中通过对颜料晶体的形状、折射率、消光性等进行观察，通过和已建立的颜料数据库中各类颜料的物相特点比对，从而对所分析颜料种类进行判别。

进行偏光显微分析时，首先通过肉眼判断的晶体颜色进行判别，进而通过同色系不同颜料晶体在单偏光下的大小、折射率以及正交偏光下的消光性等的不同进行确定，有的晶体仅在单偏光下即可判断，如绿色颜料，由于在我国绿色颜料的使用历程中，主要有石绿、碱式氯化铜和巴黎绿，而石绿在单偏光下很明显的特征是长条纤维状、碱式氯化铜为不规则椭圆形、巴黎绿为扇叶形，形态特征十分明显，因此仅凭这一点即可判别出来。

这种方法并不适用于所有的颜料，如古代常用的红色矿物颜料—朱砂、铅丹、铁红，这三种颜料在单偏光下均呈现深浅不同的红色，且这三种的折射率均大于1.662，因此仅通过这些特征不能对这三种颜料进行判别，又由于这三种晶体在正交偏光下呈现不同的晶体特点：朱砂为强效光、四次消光；铅丹呈现蓝绿异常消光；铁红为弱消光，因此通过正交偏光下的特性，可以将其判别出来。

值得注意的是，偏光显微分析对样品的用量要求十分少，且速度快，从制样到得出结果仅需5分钟左右，是所有分析手段中最迅速的。偏光显微分析在实际应用中也存在一些缺陷：并不是所有的颜料都可以通过这种手段进行分析，如在偏光镜下，红色、黄色、绿色、蓝色、紫色、白色颜料均可以分析，唯独黑色颜料，均在偏光下呈现全消光，导致无法判别，这与偏光镜的构造有关；偏光显微分析无法对同分异构体颜料进行分析，如碱式氯化铜颜料包括氯铜矿、羟氯铜矿、副氯铜矿和斜氯铜矿，这4种物质的晶体在偏光下十分接近，无法通过该手段区分出来。由于实际分析中文物样品较为复杂，而数据库中记录的样品有限，因此有时也会出现分析出的物质在数据库中无法查找到的情况，因此该分析手段的使用需要结合其他分析手段。

拉曼光谱分析

每一种物质都有自己的特征拉曼光谱，就像人的指纹一样，利用拉曼谱线的频率、强度和偏振度的不同，可以研究物质的结构和性质。在文物分析中，拉曼光谱分析对样品形状没有要求，剖面样品、粉末样品均可，样品需要量很少；另外也可直接将样品放在分析平台上，真正实现无损分析。

拉曼分析中主要依据分析出的样品峰位和峰强与建立的数据库中标准样品的特征进行比较而分析的手段，具体操作步骤是：首先在分析中确定打点的样品颜料，之后与同颜色物质的拉曼峰位、峰强进行比对，从而可对分析物质进行判别。

在分析时，需要注意的是拉曼光谱分析可对所有物质进行分析，其中无机物分析时用的激光器激发波长一般为514nm、532nm，有机物一般使用785nm、1024nm的激光器，粉末样品的峰强度比剖面样品的好，这是由于剖面样品中胶结物的荧光效应，会影响拉曼峰位的强度。

在实际分析中，拉曼不仅能分析出单一的物质，也可以分析几种混合在一起的物质，充分说明拉曼光谱在物质成分鉴定上的敏感性。

X射线衍射分析

将具有一定波长的X射线照射到结晶性物质上时，X射线因在结晶内遇到规则排列的原子或离子而发生散射，散射的X射线在某些方向上相位得到加强，从而显示与结晶结构相对应的特有的衍射现象。X射线衍射也是一种十分常用的颜料分析手段，利用该手段可以快速达到对物质成分的鉴定，因此在颜料分析手段中占据重要地位，在偏光显微分析和拉曼光谱分析手段不甚普遍的时候，国内主要利用该手段，在很多文献中均有利用该手段进行颜料分析的实例，取得了十分瞩目的成就。

在分析中，由于该手段主要分析的样品形态为粉末样，因此需将待分析的颜料收集，研磨成粉末状待用；另外也有做法将粉末状的颜料样品直接置于单晶硅片上，此做法减少了样品用量。

采用X射线衍射手段对物质成分进行分析，主要利用不同物质在不同角度上的强度上的差异而进行成分判定，既可以进行定性分析，又可以进行半定量分析，这是其他分析手段不能达到的，是十分常用的分析手段。

扫描电镜-能谱分析

不同物质在扫描电镜中会呈现出其特征的形貌，这_{是在扫描电镜中鉴定矿物的重要依据，其成像包括二次电子成像和背散射成像；而将电子背散射衍射仪安装在}

扫描电镜上，可以通过测定不同矿物的晶体结构而进行矿物成分的判别。

另外扫描电镜由于放大倍率较大，可以达到1万倍，因此可以清楚地看清不同晶体颗粒的形貌、外观。如常用的红色颜料朱砂，其来源共有天然矿料和人工制造两种。人工制造包括湿法制造和干法制造，而通过拉曼光谱分析和X射线衍射分析无法对此进行进一步的判别，而采用扫描电镜观察，将其放置于同一倍率下观察，可以发现，天然矿料来源的朱砂颗粒较大且大小不一，而湿法制造的朱砂颗粒很小、十分均一，干法制造的朱砂略呈片状，颗粒较大，因此利用该手段可以快速鉴别出来。

红外光谱分析

红外光谱属于分子光谱，红外光谱和核磁共振光谱、质谱、紫外光谱一样，是确定分子组成和结构的有力工具。主要依据未知物红外光谱中吸收峰的强度、位置和形状，可确定该未知物分子中包含哪些基团，从而推断该未知物的结构。

笔者此前采用红外光谱分析邯郸鸡泽县宋金墓葬壁画上的黑色物质，红外光谱分析结果(图1)显示特征峰位包括3382cm⁻¹、1756cm⁻¹、1633cm⁻¹、1393cm⁻¹、1000cm⁻¹、869cm⁻¹、776cm⁻¹、711cm⁻¹、595cm⁻¹。红外光谱中3354cm⁻¹为O—H振动收缩峰，980cm⁻¹、910cm⁻¹此处极强的峰为—CH=CH₂面外振动，1720cm⁻¹为C=O伸缩振动，1680~1620cm⁻¹为C=C伸缩振动，1000~650cm⁻¹为C—H面外弯曲。通过比对，发现该物质在3382cm⁻¹、1756cm⁻¹、1633cm⁻¹、1393cm⁻¹、1000cm⁻¹、869cm⁻¹和腐殖酸的特征吸收峰接近，初步判断该物质为腐殖酸，和之前判断的火烧论点相悖。

金相显微分析技术

借助光学(金相)显微镜和体视显微镜等对材料显微组织、低倍组织和断口组织等进行分析研究和表征，其主要反映和表征构成材料的相和组织组成物、晶粒(亦包括可能存在的亚晶)、非金属夹杂物乃至某些晶体缺陷(例如位错)的数量、形貌、大小、分布、取向、空间排布状态等。

采用金相剖面显微镜观察彩绘剖面层次，可以了解彩绘的层次结构，揭示彩绘的工艺特征、历史发展、病变成因等信息，是彩绘文物上十分常用的分析方法。笔者此前做过多个壁画颜料的剖面分析，挑选其中部分结果进行展示(图2)。

高光谱成像技术

高光谱成像技术可以将光谱范围拓展到近红外、中红外甚至是远红外，这大大拓展了普通成像设备所能捕捉到的图像信息，它是基于多个较窄波段的影像数据技术，将成像与光谱技术相结合。它可以获得所摄影物的图像信息和每个像素的光谱信息，即图谱合一。相对于其他领域，高光谱成像技术在文物上应用开始较晚，但是因为它不会对文物造成损害，通过光谱来识别颜料，由于不同颜料的光谱差异性，即便是同色颜料，通过光谱的细微差异也可将其区分开来，然后在图像空间中进行显示，因其这一特点，很快就被文物研究者所接受并使用，尤其是彩绘文物研究方面。

红外成像技术。不同物质在光谱图像的不同波段有不同的反应，其在某些谱段下看不到，但在一些特殊谱段或者特征变换下可能被观察到，利用这种性质可以探测到一些隐藏信息。与可见光相比，红外光对物体有更好的穿透力，利用颜料与文物本体对红外线的吸收差异大这一特点，可将文物表面模糊或覆盖的信息重现出来。

紫外成像技术。紫外摄影分为紫外光摄影和紫外荧光摄影两种。紫外光对有机物质具有荧光效应，所以紫外—可见光谱可用于鉴定有机化合物。由于物体在紫外线的激发下辐射荧光的能力和强度不同，这些荧光可以用影像的方式进行记录。在可见光照射下色调相近的物质，在紫外荧光下显示出很大的荧光亮度反差，利用此特点可对表面材料进行鉴别。

上述几种分析手段是彩绘文物分析中常用的手段，由于其各自的优缺点，在实际的应用中使用频率不甚相同。无机矿物颜料分析常用偏光显微分析、扫描电镜能谱分析、拉曼光谱分析、X射线衍射分析等，有机颜料、如植物颜料和动物颜料分析常用拉曼光谱分析、红外光谱等，金相显微分析用于彩绘文物结构分析，表面及表面下隐藏痕迹的显现常用高光谱成像技术、红外成像技术、紫外成像技术等。通常在实际分析工作中，这几种手段相互配合、相互补充，在彩绘文物分析工作中各有侧重，在实际工作中可根据具体需求进行挑选。

(作者单位：邯郸市文物保护中心)

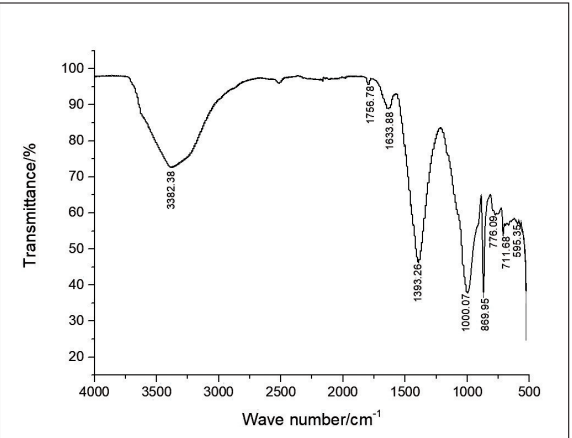


图1 黑色物质红外光谱(腐殖酸)

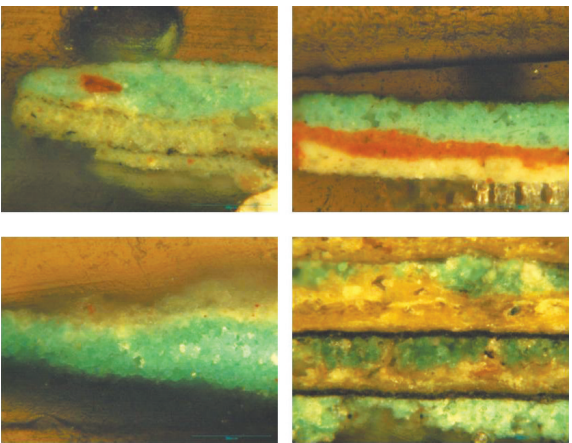


图2 金相显微分析壁画颜料层剖面结构

安康博物馆现有藏品4000余件，其中珍贵文物近千件。春秋战国时期巴、蜀、楚文化遗物，汉魏南北朝时期的青瓷器、画像砖和陶俑，明清时期名人书画等为馆藏特色。安康博物馆陈列展览包括“天赋安康——安康自然资源展”“脉源安康——安康古代文明展”“凿空秦巴——安康三线(襄渝铁路)建设展”“家在秦巴汉水间——安康非物质文化遗产展”和“家和万事兴——安康市家风展”，系统地展示了“安康”特色资源、人文历史、重大事件、新民风建设”等，发挥着“安康文化祠堂”和“安康会客厅”的功用。安康博物馆作为地方文化的重要载体，备受社会各界关注，近几年陆续有收藏者向博物馆捐赠个人藏品，馆内目前收藏的143件油画，为清华大学美术学院教授王玉翎捐赠的作品，均为当代布面有框油画，主要以风景油画、人物油画题材为主。尺寸大小不等，最大尺寸为150×86厘米，最小尺寸为22×33厘米。

截至目前，安康博物馆馆藏保护从未接触过油画藏品，油画的管护是个全新的领域，通过组织参加培训班，工作人员对油画及其管护有了一定的了解和认识。本文结合馆内实际情况从存在的保管风险进行细致分析，同时提出合理的解决办法，以保障油画藏品的合规管护。

保管风险

由于自身材料特性及外界多种因素影响，油画在保管过程中面临诸多风险。对这些风险进行系统分析并寻求有效的解决途径，对于油画的长期保存至关重要。

环境因素风险

温湿度波动。年平均气温在15℃—17℃，冬季寒冷少雨，夏季多雨且有伏旱现象，春季温暖干燥，秋季凉爽湿润并多连阴雨。安康博物馆库房目前未设置恒温恒湿设备和文物柜架，日常通风依靠新风换气系统，温湿度调节依靠加湿器、空调机和风



《太行深处》



展厅灯光



定期检查库房灭火系统



油画藏品保管与养护培训



现有纸质文物存储专用柜架

扇。若库房温湿度调控系统不够精准，油画可能面临严重威胁。温度过高会加速油画颜料、油彩的氧化与老化，导致色彩褪色、变暗；温度过低则可能使颜料层变脆，产生龟裂。湿度过高容易滋生霉菌，侵蚀画布与画框，使画布腐烂、画框变形；湿度过低会使画布收缩绷紧，引发颜料层剥落。

光照危害。安康博物馆展厅和库房照明均为全人工采光，能够满足文物藏品展出光照要求，但油画对光照更为敏感，自然光照与人工照明均可能对油画造成损害。其中紫外线是导致油画颜料褪色的关键因素，长期暴露在有紫外线的光照下，油画的颜色鲜艳度会逐渐降低，尤其是一些有机颜料更为敏感。此外，光照产生的热量也会对油画的材料产生不良影响，加速其老化进程。

空气污染。安康市常住人口约246万人，市内虽没有大型工业，但人口较为密集，交通尾气、取暖设备、施工扬尘等可能产生二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等污染物。二氧化硫和氮氧化物等酸性气体与空气中的水分结合形成酸雨或酸雾，会腐蚀油画的颜料层和金属画框；颗粒物沉积在油画表面，不仅会影响画面的清晰度，还可能在湿度适宜时成为霉菌滋生的温床。

人为因素风险

操作不当。在油画的搬运、移动过程中，如果工作人员未经过专业培训，可能因操作不当而对油画造成直接损害。如搬运时未使用合适的工具和方法，可能导致油画碰撞、跌落，使画布撕裂、画框损坏、颜料层脱落等。

保管制度不完善。若博物馆缺乏完善的油画保管制度，如藏品出入库登记不规范、定期检查制度缺失或执行不力等，可能导致油画的保管状况无法得到及时准确的掌握，难以及时发现潜在问题并采取相应措施。

安全防范不足。博物馆的安全防范措施对于油画保管同样重要。若安全监控系统存在漏洞，可能出现油画被盗或被恶意破坏的情况；同时，若防火、防水等安全设施不完善，在发生火灾、水灾等灾害时，油画将面临巨大危险。

材料老化风险

随着时间的推移，油画本身的材料会自然老化。画布的纤维会逐渐变脆、断裂，导致画布强度下降；颜料层中的油彩会发生氧化、聚合等化学反应，使颜料失去原有的光泽与弹性，甚至出现粉化现象；画框的木材也会因受潮、虫蛀等原因腐朽、变形，影响油画的整体稳定性。

解决办法

温湿度控制。安装温湿度监测与调控设备。油画保管的最佳温湿度要求(温度18℃—22℃，湿度45%—55%)，安康博物馆基于库房现有状况，将对纸质文物库房进行提升改造，定制恒温恒湿柜架，配备应急电源，确保在停电等突发情况下温湿度调控设备仍能正常运行。

光照管理。采用无紫外线或低紫外线的照明灯具。安康博物馆展厅和库房均为全人工采光，库房为LED照明系统，展厅及展柜照明系统已超十年，计划进行更新。在换新的照明系统时，将合理规划照明布局，控制光照强度与时间，避免油画长时间暴露在强光下。考虑设置光照自动调节系统，根据馆内人员活动情况和自然光照强度自动调整灯光亮度。

空气净化。安装专业的空气净化设备。增加展厅、库房空气过滤器、活性炭吸附装置等，有效祛除空气中的酸性气体、颗粒物等污染物。定期请专业公司对馆内空气质量进行检测，及时更换空气净化设备的滤网和吸附剂，加强博物馆的通风换气管理。

专业培训。对陈列保管工作人员开展定期的油画保管专业培训，包括油画的材料特性、搬运技巧、保管要求等方面的知识与技能培训。邀请油画保护专家举办讲座与实践指导，提高工作人员的业务水平与安全意识。

完善制度。依据文物藏品管理办法，建立健全油画保管制度，规范油画出入库流程，实行严格的登记制度，详细记录油画的出入库时间、经手人员、移动原因等信息。制定定期检查制度，明确检查周期、检查内容与检查标准，确保油画保管状况得到及时监控。同时，完善保管责任制度，将每一幅油画的保管责任落实到具体人员。

安全强化。博物馆安全监控中心24小时人员值守，监控系统均采用高清摄像头、智能监控软件技术，存储时间达到安全检查要求，达到全方位、全天候的监控覆盖，职工出入馆舍均刷门禁卡出入，进入库房区域须陈列保管部门人员授权方可进入，这样就限制了无关人员进入藏品保管区域。配备火灾报警器、灭火器材、防水闸等设备。纸质文物库房定制七氟丙烷气体灭火设备，发生火灾时会自动启动，确保纸质藏品安全。定期进行安全演练，提高应对突发事件的能力。

材料保护与修复

预防性保护。根据油画存放要求，采用合适的包装材料与存放设施，计划定制无酸纸盒对油画进行保存，减少油画与外界环境的直接接触。定期对油画进行微环境监测，如使用小型温湿度传感器、气体传感器等监测油画周边的局部环境，及时发现潜在风险。

修复处理。目前博物馆馆藏油画暂时还未达到修复的需求，在后期保管维护中，若有发现以上问题，馆内将邀请专业公司专业人员进行修复。

小结

安康博物馆馆藏油画的保管面临着环境、人为、材料老化等多方面的风险，通过对这些风险的深入分析并采取相应的优化环境调控、提升人员管理、加强材料保护与修复等措施，可以有效降低风险发生的概率，提高油画保管的质量与安全性。在实际工作中，博物馆将持续关注油画保管技术的发展动态，不断完善保管措施，确保馆藏油画的保存环境。

(作者单位：安康博物院)

王晓洁

安康博物馆馆藏油画保管风险与应对策略探析