

太平天国侍王府壁画表面修复材料的原位无损 FTIR 分析

王卓^{1,2}, 苏伯民^{1,2*}, 于宗仁^{1,2}, 水碧纹^{1,2}, 赵金丽^{1,2}, 崔强^{1,2}, 善忠伟^{1,2}, 李倩³

1. 国家古代壁画与土遗址保护工程技术研究中心, 甘肃 敦煌 736200
2. 甘肃省古代壁画与土遗址保护重点实验室, 甘肃 敦煌 736200
3. 太平天国侍王府纪念馆, 浙江 金华 321000

摘要 太平天国侍王府壁画是中国南方壁画的典型代表, 具有重要的历史、文化和艺术价值。历史上曾对多幅壁画进行过化学保护, 部分壁画表面形成了一定厚度的有机物涂层, 分析研究壁画保护修复材料成分对于文物保护具有重要的理论和现实意义。由于文物的珍贵性与不可再生性, 原位无损分析技术的研究和应用是未来文物分析的发展趋势, 基于便携红外光谱仪的反射红外光谱技术是对文物表面材质较为理想的无损分析手段。利用反射傅里叶变换红外(FTIR)光谱对侍王府壁画的地仗层和表面修复材料涂层进行了现场原位无损分析, 这在我国古代壁画及其保护修复材料分析中属首次。首先测试了无涂层壁画白色背景位置反射 FTIR 光谱, 并与标准无机矿物光谱比对确定了壁画地仗层成分主要为方解石和生石膏。在此基础上, 分析了无涂层和有涂层壁画表面的红外反射特性及地仗层化学成分对表面涂层反射 FTIR 光谱测试的影响, 探讨了应用 Kramers-Kronig(K-K)变换处理数据的可行性, 确定了 K-K 变换的应用范围, 分析了壁画涂层 K-K 变换后反射光谱与衰减全反射(ATR)光谱的差异, 并通过显微 ATR FTIR 光谱和热裂解气相色谱质谱联用(Py-GC/MS)技术分析验证了原位反射 FTIR 光谱测试结果的可靠性, 扫描电子显微镜(SEM)测量了涂层厚度, 证明不同厚度涂层均能得到可解析的高质量反射 FTIR 光谱。最终确定侍王府壁画曾使用过聚醋酸乙烯酯、聚二甲基硅氧烷和三甲树脂三种高分子材料进行过表面加固, 并得出壁画保存现状和修复材料及涂层厚度有较大关系。证明了基于反射模式的 FTIR 光谱技术能准确有效地获取文物表面有机物和部分无机物成分信息。该方法对表面有机涂层尤为敏感, 是壁画类文物较为理想的无损分析方法, 在壁画保护研究领域具有十分广阔的应用前景。同时, 该研究弥补了我国壁画类文物表面有机物原位无损分析的不足, 为该领域研究提供了一条新思路。

关键词 FTIR 光谱; 原位无损分析; 反射模式; K-K 变换; 壁画; 修复材料

中图分类号: O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)02-0356-06

引言

太平天国侍王府位于金华城东鼓楼里, 是现存最完整、壁画数量最多的太平天国遗址, 其壁画是中国南方壁画的典型代表。据记载, 历史上曾对多幅壁画进行过化学保护, 但修复材料尚无明确记录。分析历史修复材料成分对于壁画保存现状评估和保护修复均具有重要意义。目前, 该类材料通常采样后进行实验室分析, 会对壁画造成一定程度损伤, 寻求现场无损分析方法具有重要的现实意义。

近年来, 各种原位无损文物分析技术逐渐兴起^[1-3], 其中原位无损 FTIR 分析无需接触文物表面便可获取红外反射光谱, 解析光谱可得有机物和部分无机物信息, 在确定表面材料组成和结构的同时对文物并无损伤, 避免了取样造成的损害, 可方便地对不同区域进行对比分析。该技术已在国外文物研究中得到应用, 例如玛雅遗址玉器分析和西方油画成分鉴定等^[4-6]。目前国内将此技术应用于文物保护的报道很少, 在我国古代壁画及其修复材料中的应用还未见报道。本工作中, 原位无损 FTIR 技术被成功用于太平天国侍王府壁画修复涂层分析, 并通过多种方法验证了其可靠性和实用

收稿日期: 2019-01-07, 修订日期: 2019-05-12

基金项目: 国家文物局文物保护科技优秀青年研究计划(2014224), 甘肃省文物保护科学和技术研究课题(GWJ201809, GWJ201813, 201606), 甘肃省国际科技合作专项(17JR7WA012)资助

作者简介: 王卓, 1987年生, 敦煌研究院保护研究所副研究员 e-mail: 694711669@qq.com

* 通讯联系人 e-mail: 380746841@qq.com

性。

1 实验部分

1.1 样品

选择太平天国侍王府太狮少狮图、秋季捕鱼图、庭院梧桐图和樵夫挑刺图等代表性壁画进行原位无损 FTIR 测试,在部分有涂层壁画边缘采集微量涂层样品带回实验室分析验证现场无损测试的准确性。方解石和生石膏购自德国 KREMER 公司。

1.2 仪器与参数

现场使用 Bruker ALPHA 便携 FTIR 光谱仪前反射模式采集壁画光谱,DTGS 检测器,测试范围 $6\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$,首先测试金镜的反射光谱作为背景,然后选择壁画表面较为平整的白色背景区域进行测试。实验室使用 Thermo Scientific Nicolet iN10 MX 显微 FTIR 光谱仪采集光谱,液氮冷却 MCT/A 检测器,涂层样品使用 ATR 模式,测试范围 $4\ 000\sim 675\text{ cm}^{-1}$,方解石和生石膏标准样品使用反射模式,测试范围 $6\ 000\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 。光谱分辨率 4 cm^{-1} ,扫描 128 次。

热裂解气质联用仪由 Frontier Lab EGA-PY3030D 热裂解器、Agilent 7890B 气相色谱仪及 Agilent 5977B MSD 质谱仪组成。气相色谱柱为 HP-5MS($30\text{ m}\times 250\ \mu\text{m}\times 0.25\ \mu\text{m}$)毛细管柱。

KEYENCE VHX-600E 型便携式显微镜用于观察壁画表面微观形貌,镜头型号 VH-Z20R($20\sim 200\times$)。JEOL JSM-6610LV 型扫描电子显微镜用于分析壁画表面修复材料涂层厚度,分析电压 $20\sim 30\text{ kV}$ 。

2 结果与讨论

2.1 地仗层原位无损 FTIR 分析

红外反射光谱不同于透射光谱,受样品表面形貌影响很大,当表面较为光滑时镜面反射比例较高,较为粗糙时漫反射比例较高,因而会产生不同形式的光谱畸变,给光谱解析带来一定困难。镜面反射通常呈现一阶导数形光谱,对其进行 K-K 变换,将反射率光谱转换成吸光度光谱^[7],在有机物(包括聚合物)中较常见;强吸收谱带发生全反射常呈现倒峰,称为 Reststrahlen 谱带,在具有含氧阴离子的无机盐中较常见^[8];倍频峰和合频峰的增强则来源于漫反射。壁画类文物成分复杂,包含多种无机和有机组分,表面粗糙程度差别较大,因而其红外反射光谱会同时存在镜面反射和漫反射,限制了 K-K 变换的直接应用,需具体分析处理。

现场首先测试了无涂层壁画樵夫挑刺图白色背景位置的红外反射光谱(图 1),用以评估壁画地仗层对表面涂层红外光谱的影响,图中光谱强度为吸光度 $A=\log(1/R)$, R 为反射率。红外反射光谱中 $1\ 400\sim 1\ 500\text{ cm}^{-1}$ 处倒峰为碳酸根反对称伸缩振动的 Reststrahlen 谱带, $1\ 800\text{ cm}^{-1}$ 处尖峰为碳酸根对称伸缩和面内弯曲振动的和频峰, $2\ 513\text{ cm}^{-1}$ 处峰为碳酸根对称和反对称伸缩振动的和频峰, $2\ 875\text{ cm}^{-1}$ 处峰为碳酸根反对称伸缩振动的倍频峰^[7],推测地仗中含方解石。

红外反射光谱中 635 和 695 cm^{-1} 处尖峰为硫酸根反对称弯曲振动, $1\ 150\text{ cm}^{-1}$ 处倒峰为硫酸根反对称伸缩振动的 Reststrahlen 谱带, $1\ 635$ 和 $1\ 686\text{ cm}^{-1}$ 处尖峰为结合水中 O—H 弯曲振动, $2\ 115\text{ cm}^{-1}$ 处肩峰为硫酸根对称和反对称伸缩振动的和频峰, $2\ 230\text{ cm}^{-1}$ 处宽峰为 H_2O 弯曲振动的和频峰, $3\ 200\sim 3\ 600\text{ cm}^{-1}$ 处宽峰为 O—H 的伸缩振动, $5\ 140$ 和 $5\ 064\text{ cm}^{-1}$ 处峰归属于 H_2O 伸缩和弯曲振动的和频峰^[9],推测地仗中含生石膏。

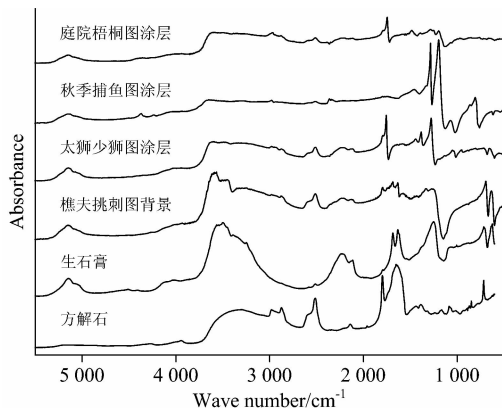


图 1 地仗层和有涂层壁画红外光谱
Fig. 1 Infrared spectra of ground layer and murals with coatings

为确认上述结果,测试了方解石和生石膏标准样品红外反射光谱(图 1),可以看出樵夫挑刺图背景光谱为方解石和生石膏红外反射光谱的叠加,由此确定地仗层表面主要为方解石和生石膏的混合物。光谱中出现了较强的倍频峰和合频峰,以漫反射为主,可能与表面较粗糙有关。与有涂层壁画红外反射光谱(图 1)进行对比,高于 $2\ 000\text{ cm}^{-1}$ 生石膏和方解石的倍频峰与合频峰对涂层物质光谱干扰较大,因此对壁画涂层光谱解析选择 $2\ 000\text{ cm}^{-1}$ 以下的光谱区域。

2.2 表面修复材料原位无损 FTIR 分析

如图 2 所示,通过光学显微镜和扫描电镜,可以从微观角度判断修复材料作用于壁画表面的效果,以及修复材料在表面形成涂层的结构特点。太狮少狮图表面轻微眩光,保存状态稳定,涂层厚约 $3\ \mu\text{m}$;秋季捕鱼图表面严重眩光,产生了较为严重的龟裂起甲,涂层厚达 $160\ \mu\text{m}$;庭院梧桐图表面微弱眩光,保存状态稳定,涂层厚度仅为 $0.9\ \mu\text{m}$ 。有涂层壁画的反射光谱低于 $2\ 000\text{ cm}^{-1}$ 的部分呈现一阶导数形光谱,几乎无地仗层光谱特征,是由于涂层表面较光滑,主要发生镜面反射所致,涂层显微图像也证明如此,而 K-K 变换仅可用于以镜面反射为主的反射光谱^[5],因此该光谱范围满足使用 K-K 变换的条件。鉴于 $2\ 000\text{ cm}^{-1}$ 以下光谱范围基本包含了高聚物主要指纹特征信息,因此对有涂层壁画的反射光谱在 $2\ 000\text{ cm}^{-1}$ 以下范围使用 K-K 变换以进行后续光谱分析。

太狮少狮图红外光谱如图 3 所示,自上而下分别为反射光谱、K-K 变换的反射光谱和 ATR 光谱。为了评估 K-K 变换光谱与 ATR 光谱的差异,定义 $\Delta\nu$ 为 K-K 变换光谱与 ATR 光谱峰值之差^[10]。经过 K-K 变换,反射光谱的一阶导

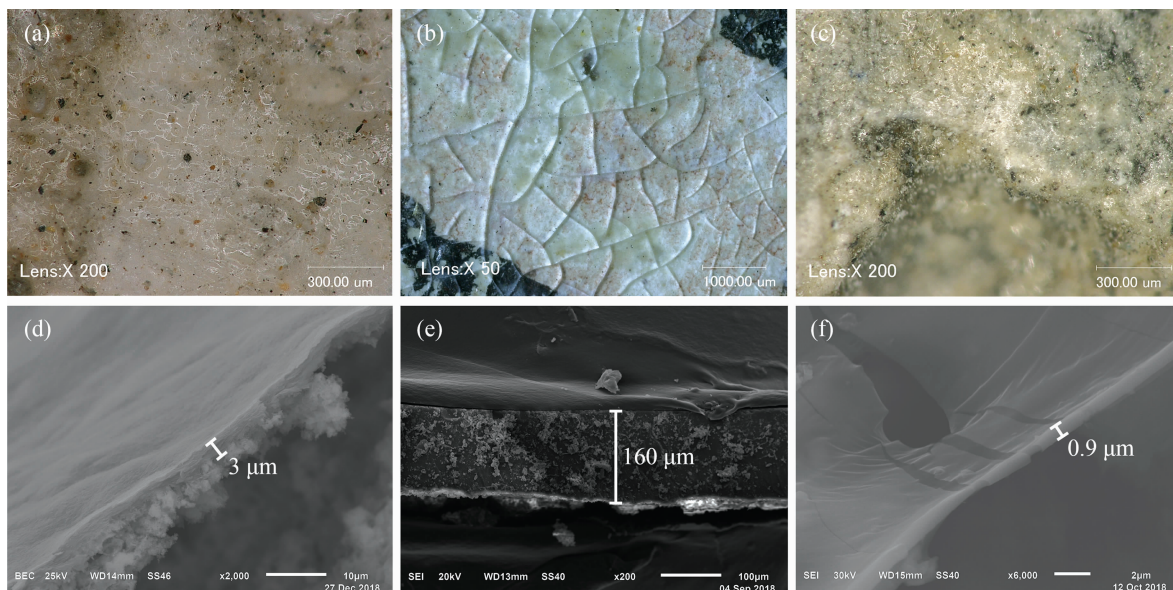


图 2 壁画表面显微图像和涂层横截面 SEM 图像

(a), (b), (c): 太狮少狮图、秋季捕鱼图、庭院梧桐图显微图像;

(d), (e), (f): 太狮少狮图、秋季捕鱼图、庭院梧桐图涂层横截面 SEM 图像

Fig. 2 Microscope images of mural surface and SEM images of coating cross-section

(a), (b), (c): Microscope images of Taishishaoshi, Qiujibuyu, Tingyuanwutong;

(d), (e), (f): SEM images of coating cross-section of Taishishaoshi, Qiujibuyu, Tingyuanwutong

数形峰均变为正常峰形，与 ATR 光谱对比，峰位和峰形均非常吻合， $\Delta\nu$ 为 $0\sim 18\text{ cm}^{-1}$ 。谱带归属见表 1， $1\ 743\text{ cm}^{-1}$ 处为最强吸收峰，为酯结构中 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动谱带；受相连羰基影响， $1\ 374\text{ cm}^{-1}$ 处甲基变形振动谱带强于 $1\ 428\text{ cm}^{-1}$ 处亚甲基变形振动谱带，是醋酸酯的显著特征； $1\ 249$ 和 $1\ 024\text{ cm}^{-1}$ 处谱带归属于 $\text{C}-\text{O}$ 伸缩振动，是聚醋酸乙烯酯的特征吸收带。由此推断，该表面涂层为聚醋酸乙烯酯。

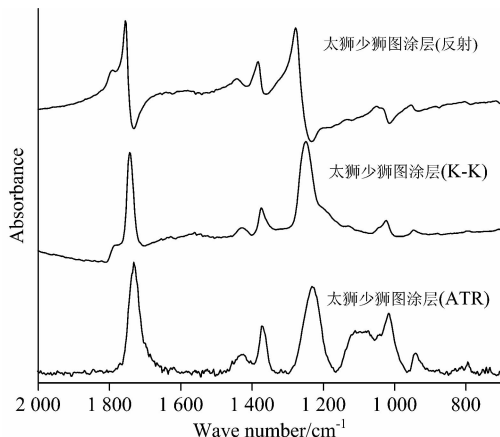


图 3 太狮少狮图红外光谱图

Fig. 3 Infrared spectra of Taishishaoshi

秋季捕鱼图红外光谱如图 4 所示，K-K 变换光谱与 ATR 光谱相似度很高，峰形正常，特征峰的 $\Delta\nu$ 为 $3\sim 26\text{ cm}^{-1}$ ，并未出现杂峰，可能与涂层较厚、表面光滑有关，同时龟裂起甲并未对测试产生干扰。谱带归属见表 1， $1\ 000\sim$

$1\ 200\text{ cm}^{-1}$ 的两个宽峰为 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 伸缩振动吸收， 783 cm^{-1} 处峰由 $\text{Si}-\text{CH}_3$ 中 $\text{Si}-\text{C}$ 伸缩振动产生，它们是聚二甲基硅氧烷的特征吸收，而 $1\ 424$ 和 $1\ 275\text{ cm}^{-1}$ 处峰为 CH_3 变形振动吸收，除此之外并未出现其他基团的吸收。因此，该表面涂层被确定为聚二甲基硅氧烷。

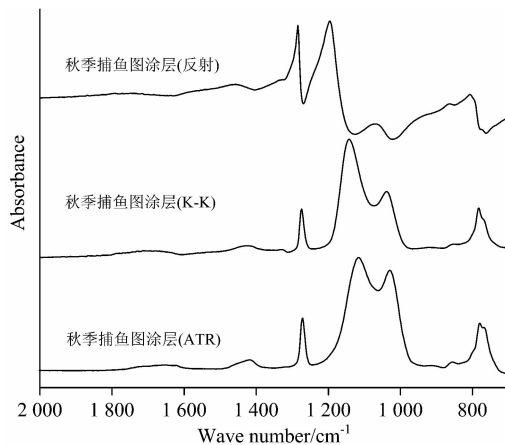


图 4 秋季捕鱼图红外光谱图

Fig. 4 Infrared spectra of Qiujibuyu

庭院梧桐图红外光谱如图 5 所示，经过 K-K 变换，谱图与 ATR 光谱高度吻合，主要峰的 $\Delta\nu$ 仅为 $0\sim 6\text{ cm}^{-1}$ 。谱带归属见表 1， $1\ 733\text{ cm}^{-1}$ 的 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动以及 $1\ 239$ 和 $1\ 148\text{ cm}^{-1}$ 的 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 伸缩振动是聚甲基丙烯酸酯类的特征谱带，两个 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 伸缩振动峰有一定分裂但并不明显，说明可能为短的甲基丙烯酸酯序列的共聚物或含有较大侧

基,可能含聚甲基丙烯酸丁酯;1 064 cm^{-1} 处有一小峰为间同立构峰,说明样品含少量间同立构体,可能由聚甲基丙烯酸甲酯形成,844 和 752 cm^{-1} 处小峰为 CH_3 变形振动,也证明其中可能含聚甲基丙烯酸甲酯。综合以上分析,该涂层可能为甲基丙烯酸(酯)类化合物的共聚物。为验证红外光谱分析结果,对涂层样品进行了 Py-GC/MS 测试。如图 6 和表 2 所示,由保留时间在 2.707, 4.148 及 6.825 min 的碎片,结合历史修复材料使用记载,确定涂层具体成分为三甲树脂,即甲基丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸丁酯和甲基丙烯酸的共聚物,证实了红外光谱分析结果。此外,该涂层厚度仅为 0.9 μm ,通过红外反射光谱仍能进行相当准确的测试分析。

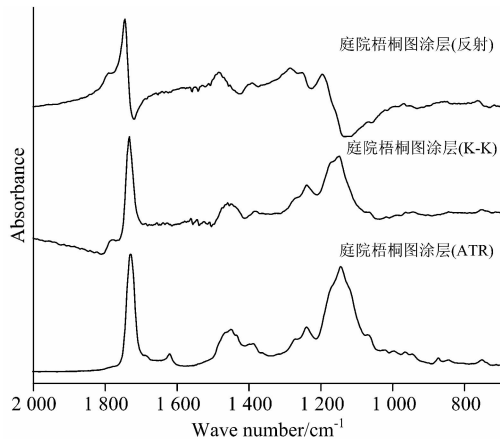


图 5 庭院梧桐图红外光谱图

Fig. 5 Infrared spectra of Tingyuanwutong

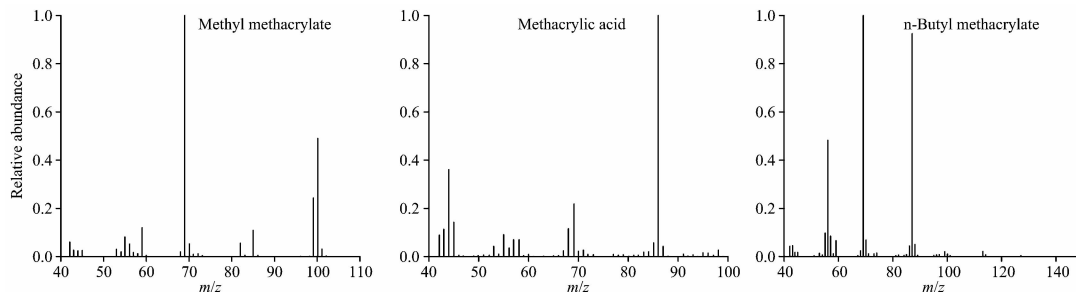


图 6 庭院梧桐图涂层 Py-GC/MS 质谱图

Fig. 6 Mass spectra of Tingyuanwutong's coating by Py-GC/MS

表 2 庭院梧桐图涂层 Py-GC/MS 化合物鉴别

Table 2 The compounds identified in Tingyuanwutong's coating by Py-GC/MS

Retention time/min	m/z	Components and fragments in the mass spectra	Formula
2.707	100	Methyl methacrylate(85.0, 69.0, 59.0, 42.1)	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$
4.148	86	Methacrylic acid(86.0, 69.0, 58.0, 44.0)	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$
6.825	142	n-Butyl methacrylate(87.1, 69.1, 56.1, 43.1)	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$

3 结论

通过对太平天国侍王府壁画原位无损反射 FTIR 光谱研究,确定地仗层为方解石和生石膏,呈漫反射光谱,在 2 000

表 1 壁画涂层 K-K 变换反射红外光谱和 ATR 红外光谱吸收峰位、差值及归属

Table 1 The absorption peaks, $\Delta\nu$ and assignments of coatings' K-K-transformed reflection FTIR spectra and ATR FTIR spectra

壁画名称	Wave number/ cm^{-1}			Assignment
	K-K	ATR	$\Delta\nu$	
太狮少狮图	1 743	1 732	11	$\nu(\text{C}=\text{O})$
	1 428	1 428	0	$\beta(\text{CH}_2)$
	1 374	1 371	3	$\delta_s(\text{CH}_3)$
	1 249	1 231	18	$\nu_{\text{as}}(\text{C}-\text{O}-\text{C})$
	1 024	1 016	8	$\nu_s(\text{C}-\text{O}-\text{C})$
	946	940	6	$\nu(\text{C}-\text{O})$
秋季捕鱼图	1 424	1 418	6	$\delta_{\text{as}}(\text{CH}_3)$
	1 275	1 272	3	$\delta_s(\text{CH}_3)$
	1 142	1 116	26	$\nu(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$
	1 038	1 030	8	$\nu(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$
庭院梧桐图	783	780	3	$\nu(\text{Si}-\text{C})$
	1 733	1 730	3	$\nu(\text{C}=\text{O})$
	1 455	1 450	5	$\beta(\text{CH}_2)$
	1 382	1 388	6	$\delta_s(\text{CH}_3)$
	1 239	1 240	1	$\nu_{\text{as}}(\text{C}-\text{O}-\text{C})$
	1 148	1 145	3	$\nu_s(\text{C}-\text{O}-\text{C})$
	1 064	1 068	4	间同立构峰
844	846	2	$\delta_{\text{面内}}(\text{CH}_3)$	
752	752	0	$\delta_{\text{面外}}(\text{CH}_3)$	

注: ν : 伸缩振动; β : 弯曲振动; δ : 变形振动; s : 对称; as : 不对称
Note: ν : stretching vibration; β : bending vibration; δ : deformation vibration; as : asymmetrical

cm^{-1} 以下对涂层反射光谱几乎无影响,此范围涵盖有机物指纹光谱区,适合涂层分析。表面涂层呈镜面反射光谱,在 2 000 cm^{-1} 以下可使用 K-K 变换,所得光谱与 ATR 光谱相似度很高,可进行峰位指认从而鉴定化合物种类,经过显微 ATR FTIR 和 Py-GC/MS 测试证明反射 FTIR 光谱可对壁画

涂层进行有效的原位无损测试,是一种对文物表面有机物高效可靠的无损分析方法,当涂层厚度仅为 $0.9\ \mu\text{m}$ 时仍能有效检测。在侍王府壁画表面鉴定出了 3 种高分子材料,分别为聚醋酸乙烯酯、聚二甲基硅氧烷和三甲树脂,修正和完善

了历史修复记录,也为后续研究和修复工作提供了重要参考信息,推定侍王府壁画的稳定保存和修复材料及涂层厚度均有较大关系。

References

- [1] Miliani C, Rosi F, Brunetti B G, et al. *Accounts of Chemical Research*, 2010, 43(6): 728.
- [2] LING Xue, WU Meng-lei, LIAO Yuan, et al(凌雪, 吴萌蕾, 廖原, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2018, 38(7): 2026.
- [3] XU Wen-juan(徐文娟). *Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学)*, 2012, 24(Z1): 41.
- [4] Robles A A D, Sil J L R, Claes P, et al. *Heritage Science*, 2015, 3(1): 20.
- [5] Manfredi M, Barberis E, Rava A, et al. *Analytical Methods*, 2015, 7(6): 2313.
- [6] Arrizabalaga I, Gómez-Laserna O, Aramendia J, et al. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2014, 129: 259.
- [7] WENG Shi-fu, XU Yi-zhuang(翁诗甫, 徐怡庄). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy Analysis(傅里叶变换红外光谱分析)*. 3rd ed (第 3 版). Beijing: Chemical Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2016.
- [8] Griffiths P R, de Haseth J A. *Fourier Transform Infrared Spectrometry*. 2nd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [9] Rosi F, Daveri A, Doherty B, et al. *Applied Spectroscopy*, 2010, 64(8): 956.
- [10] Buti D, Rosi F, Brunetti B G, et al. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2013, 405(8): 2699.

In-Situ Non-Invasive FTIR Analysis of Conservation Materials on the Surface of Mural Paintings in Prince Shi's Palace of the Taiping Heavenly Kingdom

WANG Zhuo^{1,2}, SU Bo-min^{1,2*}, YU Zong-ren^{1,2}, SHUI Bi-wen^{1,2}, ZHAO Jin-li^{1,2}, CUI Qiang^{1,2}, SHAN Zhong-wei^{1,2}, LI Qian³

1. National Research Center for Conservation of Ancient Wall Paintings and Earthen Ruins, Dunhuang 736200, China
2. Key Laboratory of Gansu Province for Conservation of Ancient Wall Paintings and Earthen Ruins, Dunhuang 736200, China
3. Prince Shi's Palace of the Taiping Heavenly Kingdom Memorial Museum, Jinhua 321000, China

Abstract The murals in Prince Shi's Palace of the Taiping Heavenly Kingdom are the typical examples of the murals in southern China, which have important historical, cultural and artistic values. In history, chemical conservation was carried out on many murals, and part of the murals formed a certain thickness of organic coating on the surface. It is of great theoretical and practical significance to analyze and study the compositions of mural conservation materials for the protection of cultural relics. Due to the rarity and non-renewability of cultural relics, the research and application of in-situ non-invasive analytical technique will be the trend in the future. Reflection infrared spectroscopy based on portable infrared spectrometer is an ideal method for non-invasive analysis of surface materials of cultural relics. In this paper, reflection Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to analyze ground layer and conservation materials of murals in Prince Shi's Palace, and it is the first time that this method was applied to the analysis of ancient Chinese murals and their conservation materials. In this study, the reflection FTIR spectrum of uncoated mural's white background was measured at first, and the compositions of ground layer were identified as calcite and gypsum by comparison with standard inorganic minerals by reflection FTIR spectra. On this basis, the infrared reflection features of uncoated and coated mural surfaces and the influence of ground layer on surface coatings were analyzed. The feasibility and applied range of using Kramers-Kronig (K-K) transform as a data processing method were discussed. The differences between K-K-transformed reflection spectra and attenuated total reflection (ATR) spectra of mural coatings were analyzed. The reliability of in-situ reflection FTIR spectroscopy was verified by microscopic ATR FTIR spectroscopy and pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry(Py-GC/MS). The thicknesses of coatings were measured by scanning electron microscopy(SEM), demonstrating that high-quality reflection FTIR spectra can be obtained for different thicknesses. Finally, it was

confirmed that the murals in Prince Shi's Palace were strengthened with three kinds of polymers; polyvinyl acetate, polydimethylsiloxane and acrylic resin, and it was concluded that the current preservation situations of murals are closely related to conservation materials and coating thicknesses. The above research proves that the information of organic compounds and some inorganic substances on the surface of cultural relics can be effectively obtained by reflection FTIR spectroscopy. This method is particularly sensitive to organic coatings on the surface, making it an ideal non-invasive analytical method for cultural relics of mural paintings, and it has a very broad application prospect in the field of mural conservation research. Meanwhile, this study makes up for the deficiency of in-situ non-invasive analysis of organic compounds on the surface of Chinese murals, and provides a new idea for the research in this field.

Keywords FTIR spectroscopy; In-situ non-invasive analysis; Reflection mode; K-K transform; Mural painting; Conservation material

(Received Jan. 7, 2019; accepted May 12, 2019)

* Corresponding author

《光谱学与光谱分析》期刊社决定采用 ScholarOne Manuscripts 在线投稿审稿系统

《光谱学与光谱分析》期刊社与汤森路透集团签约,自 2010 年 12 月 1 日起《光谱学与光谱分析》决定采用 Thomson Reuters 旗下的 ScholarOne Manuscripts 在线投稿审稿系统。

- ScholarOne Manuscripts, 该系统不仅能轻松处理稿件,而且能提速科技交流。
- 全球已有 360 多家学会和出版社的 3 800 多种期刊选用了 ScholarOne Manuscripts 系统作为在线投稿、审稿平台,全球拥有超过 1 350 万的注册用户,代表着全球学术期刊在线投审稿的一流水平。
- ScholarOne Manuscripts 与 EndNote, Web of Science 无缝链接和整合;使科研探索、论文评阅和信息传播效率大为提高。
- ScholarOne Manuscripts 是汤森路透科技集团的一个业务部门,拥有丰富的学术期刊业务经验,为学术期刊提供综合管理 workflow 系统,使期刊更有效管理投稿、同行评审、加工和发表过程,提高作者心中的专业形象,缩短论文发表时间,削减管理成本,帮助期刊提高科研绩效和实现学术创新。

《光谱学与光谱分析》采用“全球学术期刊首选的在线投稿审稿系统—ScholarOne Manuscripts”,势必对 2010 年 11 月 30 日以前向本刊投稿的作者在查阅稿件信息时,会带来某些不便,在此深表歉意!为了推进本刊的网络化、数字化、国际化进程,以实现与国际先进出版系统对接;为了不断提高期刊质量,加快网络化、数字化建设,加快与国际接轨的进程,希望能得到广大作者、读者们的支持与理解,对您的理解和配合深表感激。这是一件新事物,肯定有不周全、不完善的地方,让我们共同努力,不断改进和完善起来。

《光谱学与光谱分析》期刊社

2010 年 12 月 1 日