



中国文物保护技术协会 编
重庆市文化遗产研究院

中国文物保护技术协会 第九次学术年会论文集



科学出版社

中国文物保护技术协会第九次 学术年会论文集

中国文物保护技术协会 编
重庆市文化遗产研究院

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书收录中国文物保护技术协会第九次学术年会提交的文物保护、文物研究论文67篇,内容涵盖金属文物、石质文物、纸张、纺织品、竹木漆器、彩绘壁画、古建筑遗址等不同质地的文物保护研究与分析研究等。

本书可供文物保护、文物科技研究工作者及大专院校相关专业师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国文物保护技术协会第九次学术年会论文集 / 中国文物保护技术协会, 重庆市文化遗产研究院编. —北京: 科学出版社, 2018. 6.

ISBN 978-7-03-057558-6

I. ①中… II. ①中… ②重… III. ①文物保护-学术会议-文集
IV. ①G264-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第105703号

责任编辑: 王光明 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 张 放

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2018年6月第一次印刷 印张: 35

字数: 1 008 000

定价: 258.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

顾问委员会

委 员：蔡学昌 陈中行 黄克忠 姜怀英
李最雄 陆寿麟 马家郁 王丹华
王维达 奚三彩 余鸣谦 周宝中

编辑委员会

主 编：李化元 幸 军
委 员：杜晓帆 付清远 龚 良 侯卫东
黄 滋 李化元 梁 涛 罗 静
马清林 苗建民 潘 路 齐 洋
宋纪蓉 苏伯民 铁付德 万 俐
王立平 王时伟 王旭东 韦 荃
吴来明 吴顺清 杨小刚
主任编辑：邹后曦 王时伟
执行编辑：黄 悦 曲 亮

序

为贯彻《国务院关于进一步加强文物工作的指导意见》，加强不可移动文物的保护，对存在重大险情的文物保护单位及时开展抢救性的保护；加强可移动文物的保护，及时保护修复濒危的珍贵文物，优先保护脆弱的珍贵文物，实施预防性保护工程。国家文物局对“十三五”期间要加强文物科技工作的意见，明确指示：根据党的十八大精神高度重视科技创新的重要意义。文物科技事业面临诸多问题：我们对文物价值的认知不足，我们的科技手段也严重不足。国家文物局局长刘玉珠曾经指出：我们的队伍严重不足，结构不尽合理。这些都是目前迫切需要解决的问题。

文物是人类社会活动中保留下来的具有历史价值、艺术价值、科学价值的遗迹遗物，并在今后的社会生活和社会发展中还能发挥其积极的作用。从科技角度来看，社会上的一切物质材料被人们利用并赋予它历史价值，就可能成为文物，对它们的研究、保护、修复都必然要有知识的支撑。所有的文物都是由它们所蕴含的无形的价值来支撑的，文物是有形的实体，是价值信息的载体。文物的研究工作都是揭示它的价值信息来还原古代社会，并有效地发挥它的社会功能；文物的保护首先是对实体的有效保护和长久保存，是益寿延年的事情，皮之不存，毛将焉附，其核心还是全面保护、保留、保存文物一切价值信息；文物的修复，顾名思义是对残破了的器物修整、复原、恢复其形貌的完整，是为了体现和展示它的价值。所以在“十三五”期间文物科技工作以推进创新建设为总体目标。围绕价值的认知、保护修复和传承利用三个方面，加强基础理论的研究、应用并开发技术集成，加强人才培养和平台建设，将抢救性保护和建设预防性保护技术体系相结合。中国文物保护技术协会以建立文物保护修复的科学理念、指导思想、原则、方法，促进学科发展和人才培养为己任。

文物保护技术是一门多学科、综合性的应用技术，需要多学科、全社会的参与。社会上所有的学科和专业都可以在文物科技、文物保护、文物研究中发挥自己的作用；社会上的一切物质材料，只要对象明确，应用工艺、技术得当，都能成为文物保护材料。因此社会上一切新科研成果，一切新技术、新方法、新材料都是文物科研事业发展的需要，是物质技术的保证。所谓传统就是在人类社会的发展过程中传承下来，规范起来形成的一个体系，都不是一夜形成、永远不变的，都是在社会发展过程中随着理念的更新，一切新知识的吸收，一切新技术、新方法的引进，取其精华，弃其糟粕，不断进步，不断提高，不断完善的。今天要加强学科建设，促进学科的发展就应该打开门，走出去，请进来，广泛地与高等院校、科研院所相结合，消化吸收多门类的专业知识和技能以及一切新成果，加强国内外的学术交流和国内外的合作；加强科学研究，对文物的分析检测监测要科学化，应有的放矢，有明确的目标，检测监测数据能揭示文物的材料材质及其相应的工艺技术、价值认知的信息，环境的监测要提供有关文物病害、病因以及病变影响因素及条件的信息，能为针对性的治理方法和保护修复材料、工艺、技术、方法的筛选、应用和预防性保护体系的建立提供科学依据，能为文物保护的效果作出客观的评价。

我们自身应该加强应用技术的基础理论研究，构建一个文物保护的科学技术体系，提高文物科

技的能力和水平。坚持最小干预的原则，加强预防性保护的研究与实施，预防性保护的核心是创建一个有利于文物保存的环境和管理办法。到目前为止，我们还没有一套有利于各种材质、各种类型文物保存的环境标准并建立一套相应的监控体系，我们已经开始了对文物环境的监测，世界遗产组织也有对遗产地环境监测的要求，但是更重要的是文物环境的监测工作必须与文物的病变相结合，了解文物病变的环境影响因素，以此调控文物保存环境，才能缓解文物的病变、劣化。这是一项极其复杂的工作，但是必须启动。

加强人才培养。文物科技事业起步晚，至今还没有建立起完整的技术体系，人才队伍又严重匮乏，远远不能满足文物科技事业发展的需要。当前迫切需要培养一大批工作在第一线的能把握文物保护基本概念、原则、方法的技术上精益求精的文物保护修复师队伍；还必须有一批在实际工作中能不断发现问题，又有一定的研究能力，解决实际问题的工程师队伍；特别需要建立一支能够促进学科发展的学科带头人，文物科技战略科学家队伍，能把握文物科技事业发展方向，能充分了解文物科技事业发展的需求，能及时把握整个社会科技发展动态，了解科技最新成果的新材料、新工艺、新方法，能把握到新成果可能为文物科技事业发挥作用，有能力引导这些科学家了解文物科技工作的特点和要求，将其发明创新应用到文物科技工作中，解决文物科技中的疑难问题。战略科学家对新科技的引进建立一套科学的技术路线和方法，还有一套适合于文物保护事业需要的评价体系。这就要求我们的文物科技工作者积极努力把自己培养成一个文物科技事业的战略科学家。

中国文物保护技术协会将利用在中国科学技术协会旗下跨行业、跨部门的群众性学术团体的优势，号召全国热心于文物科技工作的各行各业专家积极参与，开展各种形式的学术交流和技术合作，为我国文物科技事业的学科发展培养人才作出积极的贡献。

陸嘉祥

2017年1月1日

目 录

序	陆寿麟 (i)
可移动文物保护技术研究	
鎏金青铜文物的凝胶清洗技术	顾来沅 叶琳 贾一鸣 (3)
西汉昭明单圈铭文镜的保护和修复	鲁茜 夏建建 杨凤霞 罗莎 (12)
破碎的铜镜在修复过程中对镜面弧度的还原	胡威 (18)
新疆新源出土乌孙时期铁鍍的保护修复研究	尚玉平 黄奋 (21)
低氧控湿环境中的铁腐蚀实验研究	费利华 吴耿烽 林永峰 (28)
故宫博物院藏三件高丽刀的保护修复	高飞 曲亮 王有亮 (37)
馆藏银器的保护研究	高晓阳 (46)
瓷器修复材料性质的研究	贾一鸣 (49)
浅说瓷器保护修复技术	吕淑玲 (55)
唐五代越窑青瓷250 μ m以下裂隙修复加固黏接材料的适用性模拟研究	王飞 楼署红 彭志勤 (60)
唐代彩绘陶武士俑的保护与修复	秦志芳 陈晓琳 (70)
曲阳修德寺塔出土木雕佛像保护修复	王景勇 (74)
考古整体提取遗迹实验室保护清理的几点认识	韩飞 (88)
残缺石质文物补配与陈列技术初探	刘洋 刘健 (93)
基于BP神经网络的饱水木质文物脱水后的预后评价	陈子繁 (103)
安阳西北绕城高速辛店村商代晚期漆器保护与研究	孔德铭 陈杰 (108)
传世漆器文物概述和修复保护实例	华春榕 (116)
桦树皮文献保护修复概述	吕晓芳 (127)
一幅油画藏品微生物病害的检测分析	唐欢 范文奇 王春 徐研 (136)
馆藏油画保护在实例修复中的应用	陈晓琳 (143)
试论纸质文物的病害因素及防护方法	赵晓龙 (148)
《青绿仙寿图》的保护修复研究	李晓晨 (154)

浅谈馆藏书画文物的保护·····	毛 芳 (157)
谈谈古籍修复中保护技术的运用·····	李爱玲 (167)
纸质文物酸化原因及防治·····	王欢欢 (170)
现代夹江书画纸与安徽宣纸纸张性能的比较·····	黄怡凡 韦 荃 罗雁冰 (174)
颐和园对彩绘、佛像及书画藏品使用改性萘麦面团进行表面除尘的效果评价·····	王敏英 何秋菊 吕高强 何海平 闫 丽 李 林 (188)

不可移动文物保护技术研究

大型石窟寺石质本体保护修复——以大足千手观音造像为例·····	陈卉丽 冯太彬 韩秀兰 彭柳升 (197)
大足千手观音修复的带漆金箔回贴材料选择实验·····	周双林 杨 琴 (216)
关于文物建筑保护中实施可识别原则的思考·····	王 丛 (222)
大高玄殿乾元阁修缮保护工作中的传承与创新·····	张 典 (229)
浅谈科技在古建筑本体病害监测中的应用程度和深度·····	孟诚磊 傅峥嵘 (244)
浙江砖石古城墙的典型病害与科学保护初探·····	崔 彪 傅峥嵘 张秉坚 (247)
安岳千佛寨摩崖造像的病害调查及分析·····	肖林芝 罗雁冰 (255)
中国古建筑彩画的传统工艺——以山东曲阜孔庙为例·····	张晓珑 (265)

预防性保护

关于博物馆文物预防性保护措施个性化的探讨·····	唐 铭 (281)
浅谈馆藏文物预防性保护项目建设对文物科技保护的意义·····	雷 淑 (285)
浅谈文物预防性保护在博物馆的实际应用·····	王 滨 (293)
熊家冢遗址博物馆车马坑展厅环境监测研究·····	陈 华 胡塔峰 曹军骥 (298)
昆明市博物馆馆藏文物保存环境初探·····	陈 颢 (308)
环境保护对纸质文物的重要性·····	程 廉 (317)
广西民族博物馆展柜空气中霉菌的分离及鉴定·····	田双娥 (324)
滚珠式文物展柜隔震装置性能试验·····	周 乾 闫维明 纪金豹 (331)
文物保存用无酸纸性能分析测试研究·····	王宜飞 王玉珑 (354)

文物科学研究

林州市博物馆藏出土战国青铜器锈蚀物检测及机理分析·····	陈晓琳 陈家昌 (363)
枣庄市徐楼村出土红铜铸镶青铜器腐蚀特征分析·····	胡 钢 王丽华 向桐葳 张 夏 (373)
山西博物院几件院藏青铜器的金相学研究·····	解 晋 (379)

- 青岛市博物馆馆藏青铜器的保存现状调查与评估……………胡可佳 张海燕 (385)
- 一件馆藏铜绿度母坐像表面锈蚀的无损分析……………赵雄伟 凡小盼 赵卓 王青 (393)
- 古玉沁色的仿制及科技鉴别……………何秋菊 (401)
- 江苏出土铜器锈蚀特征的金相学考察(一)——宁镇地区吴国铜器群和淮安战国铜器群……………
……………田建花 李军 (411)
- 几种常用修复用手工纸SEM分析……………云悦 (421)
- 故宫养心殿门窗玻璃的科学分析研究……………曲亮 杨波 庄立新 陈坤龙 赵鹏 (426)
- 桐油老化分析及颜料对其老化的影响研究……………王娜 和玲 (435)
- 高光谱成像技术用于书画颜料的无损分析——以张大千临摹敦煌壁画《隋藻井》为例……………
……………巩梦婷 冯萍莉 (444)
- 高光谱在书画鉴定中的应用研究——以清代司马钟《芭蕉仙鹤图》为例……………武望婷 彭森森 (453)
- 一幅清代拓片墨迹种类和脱落原因的微观结构分析……………杨娟 韦荃 杜少飞 (462)
- 故宫博物院藏清代乾隆时期唐卡和绣字康熙帝御笔“万寿无疆”匾中金线的显微结构及其成分分析……………马越 (469)

其 他

- 基于文献计量学浅析中国文物保护技术协会(首届—第八次)学术年会及《学术年会论文集》
的成果和发展……………马江丽 (481)
- 从国内外考古相关期刊被引频次分析考古学科发展动向——自然科学在考古中的分量……………
……………刘文兵 寇淑愉 (489)
- 关于对故宫博物院非物质文化遗产“青铜器修复及复制技艺”的科学化研究的思考……………
……………刘建宇 高飞 王有亮 史宁昌 雷勇 曲亮 (500)
- 十年磨一剑——博物馆文保中心建设与思考……………田宇 (506)
- 湖北省出土竹木漆器类文物资源现状分析……………刘德银 刘露 毛芳 杨莉 方芳 (510)
- 西夏瓷器解析——灵武磁窑堡窑……………王萍 (528)
- 新时期文物保护理念与对策研究……………王丽萍 于丽群 (535)
- 浅谈中意陶瓷修复理念与方法……………陶穿月 曹元 (540)
- “胡武功事件”后的反思……………何娟 (546)
- 后记…………… (549)

可移动文物保护技术研究

鎏金青铜文物的凝胶清洗技术

顾来沅 叶琳 贾一鸣

(重庆市文化遗产研究院, 重庆, 400013)

摘要 鎏金青铜器由于内因及外部环境长期腐蚀作用的影响, 腐蚀状况较为复杂, 表面大多存在各种类型的锈蚀产物。对鎏金青铜文物自身及腐蚀产物进行科学分析, 可以全面了解器物病害状况, 从而制定出适宜的保护处理措施。本文以重庆三峡出土的一件鎏金青铜文物为保护案例, 运用超景深视频显微镜、扫描电镜能谱仪、红外光谱仪及X射线衍射仪等对其表面形貌和腐蚀产物成分进行分析, 发现鎏金青铜器主要锈蚀产物有孔雀石 $[\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$ 、蓝铜矿 $[\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2]$ 、赤铜矿 (Cu_2O) 等。并采用凝胶清洗法对锈蚀产物进行去除实验, 考察浓度、反应时间对清洗效果的影响, 且对有效清洗组分进行对比研究, 结果表明以1.0%聚乙烯醇和4.0%聚丙烯酸树脂作为复合凝胶载体时, 选择0.02%甲酸作为清洗组分能有效地去除鎏金层表面铜锈。本研究结果为鎏金青铜文物铜锈的去除提供参考和借鉴。

关键词 鎏金青铜器 腐蚀 化学清洗 凝胶除锈

引言

鎏金工艺是中国2000多年来代代相传的传统工艺。根据报道, 我国的鎏金工艺始于春秋末年, 战国时期鎏金铜饰开始流行, 到秦汉时期鎏金工艺趋近成熟^[1, 2], 以后的各个时代也都有出土, 大量出土的鎏金文物成为有力的历史证据。作者在三峡从事文物保护工作十余年, 发掘了数以千计战国至六朝时期的墓葬, 峡江腹心地带出土了数量不少、有地域文化特色的鎏金青铜器, 为开展此地鎏金青铜器的研究提供了珍贵资料与广阔的学术空间^[3-5]。由于金自身具有很好的化学稳定性, 不易被介质腐蚀, 所以过去常常认为鎏金青铜器表面的鎏金层会阻止外界各种腐蚀因素对青铜基体的腐蚀。然而, 通过显微观察发现鎏金层表面存在大量的气孔, 环境中的氧气、水分等会通过微孔与青铜基体发生化学反应, 产生锈蚀^[6]。经过漫长的岁月, 鎏金青铜器表面会出现各种复杂的锈蚀产物。因此发掘出土的鎏金青铜器, 由于常年埋藏于地下, 受土壤及地下水中的可溶性盐、微生物、有机酸、温湿度变化等诸多腐蚀因素的影响, 当它被送进实验室时, 周身绝大部分都被泥土和各种锈蚀物包裹着, 只有极少处隐约可见鎏金层。

为了更好地展示鎏金青铜器的艺术价值且便于欣赏, 目前对于鎏金青铜器表面的锈蚀产物, 不论是有害锈还是无害锈, 多数文物保护工作者均主张完全去除。从鎏金青铜器表面鎏金层的微

观结构以及其锈蚀结构的特征来看,无论是机械清理法还是化学清理法都会对器物造成一定的损伤^[7]。机械清理法最常见的有手工除锈、超声波清洗和激光清洗等,其中手工除锈操作简单,方便灵活,使用范围广,但对粘连非常牢固的硬结物难以直接去除,且会留下明显划痕;超声波清洗除锈效率高,会使器物表面产生微小针孔,或造成鎏金层剥落;激光清洗则控性好、精确度高、对环境影响小,但效率低、成本高,对操作人员的眼睛有潜在危害,控制不当时会导致鎏金层局部过热释放出汞蒸气,造成鎏金层颜色偏红,改变其组成结构。化学清理法则泛指使用各种化学试剂来完成清除工作,当使用物理方法清除困难时,可以使用化学清理法,这种方法不会伤害鎏金图案,但清洗剂有可能透过表层渗入青铜基体,若清洗不完全将为青铜基体的再次腐蚀留下隐患。为了克服现有鎏金层清洗方法存在的缺陷,我们课题组开展了鎏金青铜器铜锈的凝胶清洗研究^[8],创新性地运用高分子复合凝胶作为载体,极大程度地改善了化学清洗剂的溶解性能、挥发速度和可操作性,不伤害鎏金层的同时提高了清洗效率。

1 实验材料和方法

1.1 试剂和仪器

试剂:聚乙烯醇(1799型)、聚丙烯酸树脂(卡波姆940)、硼砂、三乙醇胺、甲酸、柠檬酸、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)、蒸馏水等。

仪器:超景深视频显微镜、扫描电镜能谱仪(SEM-EDX)、红外光谱仪及X射线衍射仪(XRD)等。

1.2 样品和实验分析

为了保护器物的完整性,尽可能在器物不重要、不明显的地方取样,避开在花纹、铭文等重要位置取样。选取覆盖在鎏金层表面具有代表性的蓝色、绿色、褐色的部分,用手术刀轻轻刮取。尽可能多取几个部位,然后研磨成粉末,开展以下检测分析,以确定其物相及化学成分。

扫描电镜能谱分析:采用FEI公司的Quanta 200型环境扫描电镜,配备EDAX公司X射线能谱仪。测试条件:高真空(真空度为 5×10^{-3} Pa),加速电压20kV,分辨率3.5nm。

X射线衍射分析:采用全自动D/Max-3c X射线衍射仪,衍射角扫描范围为 $5^{\circ} \sim 80^{\circ}$,工作电压和电流分别为40kV和30mA,扫描速度为 $9.23^{\circ}/\text{min}$,步宽 0.02° ,连续扫描。

红外光谱分析:德国布鲁克生产的Tensor27傅里叶变换红外光谱仪,采用了KBr压片法,分辨率 4cm^{-1} ,光谱范围 $400 \sim 4000\text{cm}^{-1}$,叠加次数16次。

1.3 凝胶清洗剂的制备

采用聚丙烯酸交联树脂和聚乙烯醇作为复合凝胶载体,三乙醇胺作为调节凝胶黏度的中和剂,分别添加甲酸、柠檬酸、EDTA-2Na等作为有效清洗组分,制备具有无色透明、低流变性、缓释性好的鎏金层铜锈凝胶清洗剂。制备过程为:准确称取一定量的聚乙烯醇加入装有蒸馏水的烧杯中,在磁力搅拌下加热到 85°C ,当聚乙烯醇完全溶解停止加热;将溶液冷却到 55°C 左右,在电动搅拌下缓慢加入提前称量好的聚丙烯酸交联树脂,充分搅拌均匀;当溶液呈透明状无结块时,依次加入一

定比例的三乙醇胺、硼砂；最后分别加入相同质量分数的甲酸、柠檬酸或EDTA-2Na，搅拌均匀后停止加热，冷却至室温即得鎏金层铜锈凝胶清洗剂。

1.4 凝胶清洗鎏金青铜器表面锈层

将凝胶清洗剂在鎏金层铜锈上涂上薄薄的一层，待其软化0.5~1h后，观察颜色由无色透明变成蓝绿色，用脱脂棉将其轻轻擦拭掉，然后用无水乙醇将残余凝胶清洗剂去除，通过观察相同条件下不同凝胶清洗剂对锈蚀产物的反应现象，来判断清洗除锈效果。

2 结果与讨论

2.1 仪器分析结果

2.1.1 样品显微照片与能谱元素分析

图1和图2分别为鎏金-1号、2号样品的超景深显微镜照片，鎏金1号样品以绿色为主，其中夹杂了蓝色、白色及褐色土锈颗粒；鎏金2号样品以蓝色为主，其中夹杂了绿色、白色及褐色土锈颗粒。

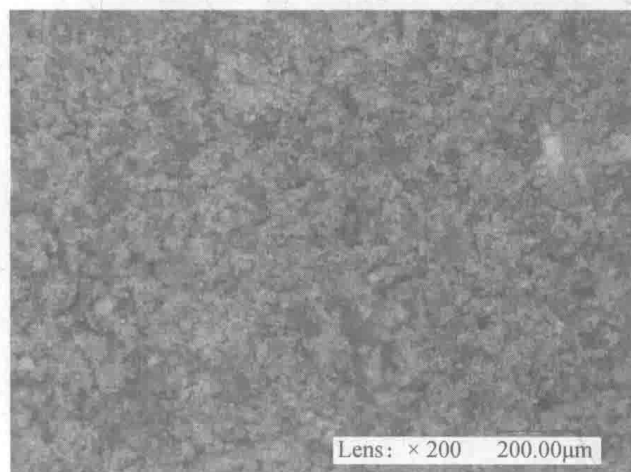


图1 鎏金-1号样品的超景深显微照片

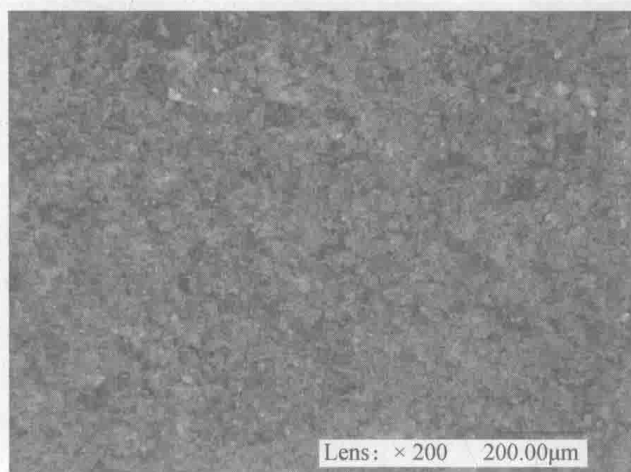


图2 鎏金-2号样品的超景深显微照片

图3是鎏金-1号样品元素分析区域及能谱图，表1是样品能谱仪检测元素含量数据，显示样品含有5.55% C，35.09% O，0.64% Mg，6% Al，16.49% Si，1.65% Pb，1.19% K，4.33% Fe，0.36% Co，28.7% Cu。

表1 鎏金-1号样品元素能谱检测数据

元素	C	O	Mg	Al	Si	Pb	K	Fe	Co	Cu
质量分数/%	5.55	35.09	0.64	6	16.49	1.65	1.19	4.33	0.36	28.7
原子百分含量/%	11.37	53.95	0.65	5.48	14.44	0.2	0.75	1.91	0.15	11.11

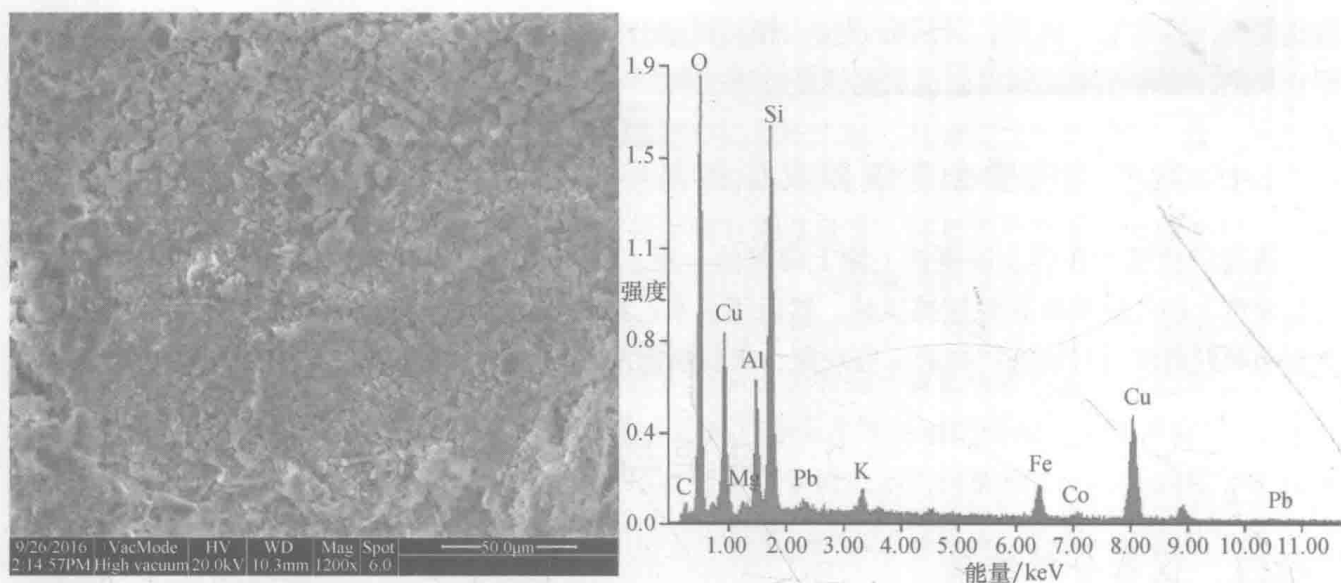


图3 鎏金-1号样品元素分析区域及能谱图

图4是鎏金-2号样品元素分析区域及能谱图，表2是样品能谱仪检测元素含量数据，显示样品含有7.08% C，32% O，0.65% Mg，4.55% Al，10.49% Si，1.37% Pb，0.69% K，0.38% Ca，2.97% Fe，39.81% Cu。

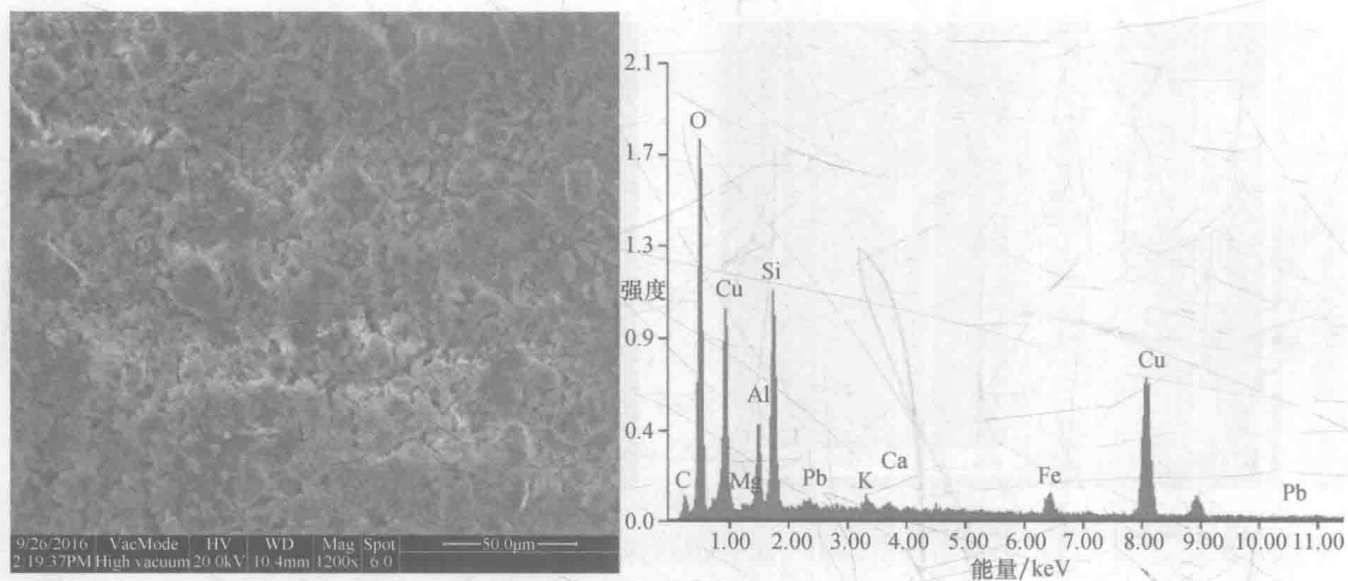


图4 鎏金-2号样品元素分析区域及能谱图

表2 鎏金-2号样品元素能谱检测数据

元素	C	O	Mg	Al	Si	Pb	K	Ca	Fe	Cu
质量分数/%	7.08	32	0.65	4.55	10.49	1.37	0.69	0.38	2.97	39.81
原子百分含量/%	15.22	51.66	0.69	4.35	9.64	0.17	0.46	0.24	1.38	16.18

2.1.2 样品的红外谱图分析

图5和图6分别为鎏金-1号、2号样品的FTIR图谱，由图可以看出，样品大部分红外特征吸收峰属于孔雀石，如 3405cm^{-1} 和 3320cm^{-1} 附近，是—OH对称伸缩振动所致； 1495cm^{-1} 和 1389cm^{-1} 附近，

是 CO_3^{2-} 非对称伸缩振动所致；在 1048cm^{-1} 和 877cm^{-1} 附近，是—OH弯曲振动所致； $800 \sim 600\text{cm}^{-1}$ 范围内的几个弱吸收峰，是 CO_3^{2-} 弯曲振动所致，其中 820cm^{-1} 附近的吸收峰是面内的 CO_3^{2-} 振动所致， 750cm^{-1} 和 713cm^{-1} 附近的吸收峰是面外的 CO_3^{2-} 振动所致；在 485cm^{-1} 附近的吸收峰，是Cu—OH伸缩振动所致。这些红外吸收特征峰与孔雀石基本一致。

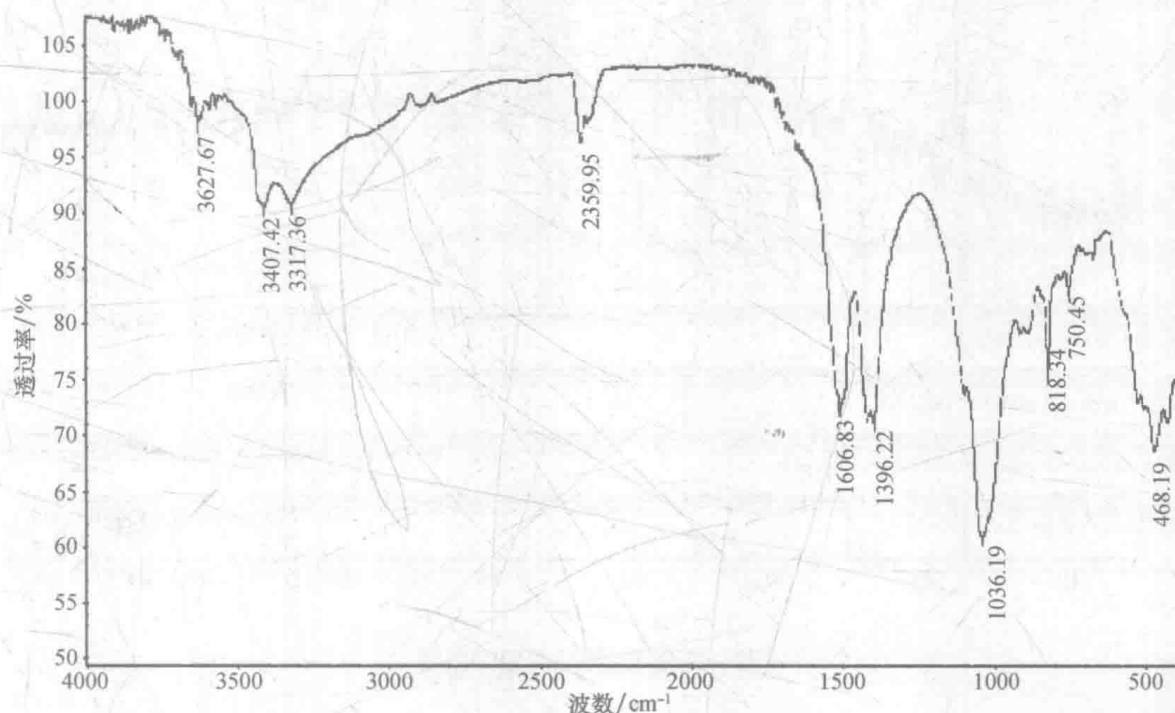


图5 鎏金-1样品的FTIR图谱

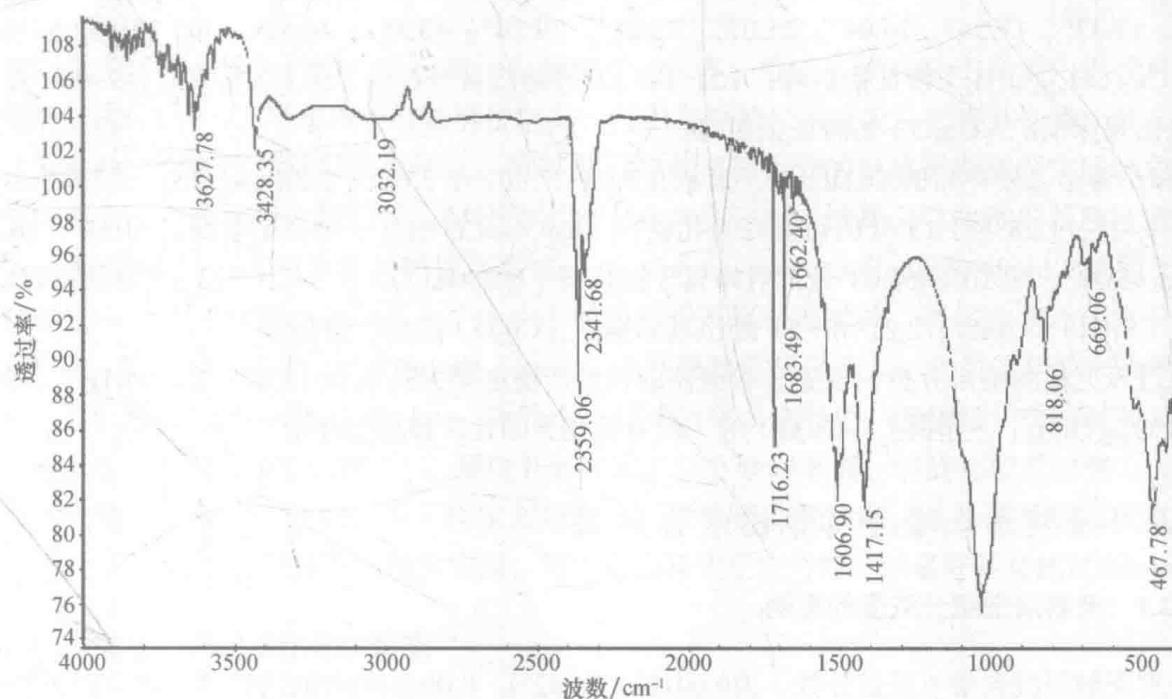


图6 鎏金-2样品的FTIR图谱

2.1.3 样品的X射线衍射分析

图7是鎏金-1号样品的XRD图谱，由图可以看出，在 5.03° 、 5.02° 、 3.68° 、 2.85° 、 2.50° 、

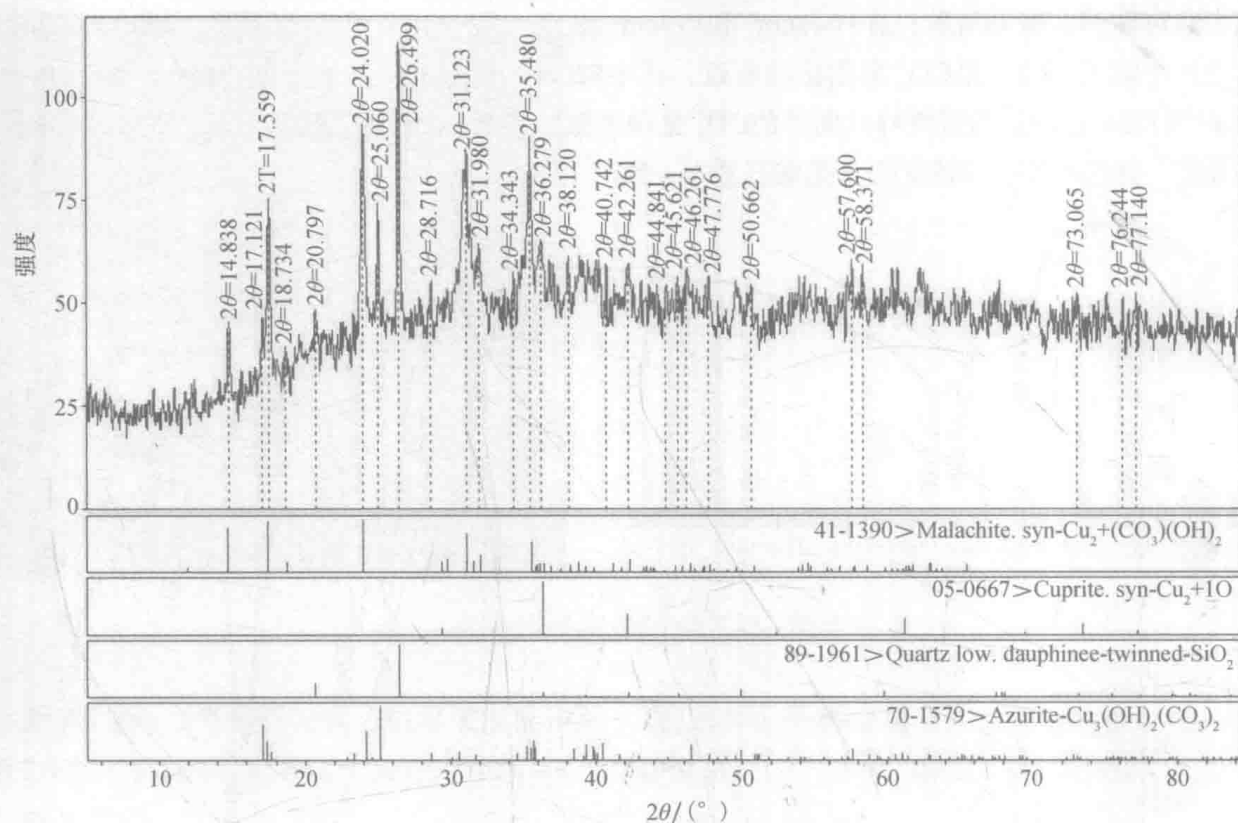


图7 鎏金-1号样品的XRD图谱

2.17°、2.12°、2.06°、1.42°、1.28°和1.25°处的衍射峰为孔雀石 $[\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 特征衍射峰；在 17.00°、17.33°、17.54°、24.04°、25.07°、35.68°、39.24°、40.38°、46.52°、50.71°和57.64°处为蓝铜矿 $[\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2]$ 特征衍射峰；4.21°和3.33°等处归属于石英 (SiO_2) 衍射峰；2.48°、2.21°和1.51°处出现赤铜矿 (Cu_2O) 的特征衍射峰。

图8是鎏金-2号样品的XRD图谱，显示在5.03°、5.02°、3.68°、2.85°、2.50°、2.17°、2.12°、2.06°、1.42°、1.28°和1.25°处的衍射峰为孔雀石 $[\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 特征衍射峰；23.53°、26.67°、27.46°、45.78°、50.16°和64.03°处衍射峰属于钠长石 $[\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)]$ ；4.21°和3.33°等处衍射峰归属于石英 (SiO_2)；2.48°、2.21°和1.51°处出现赤铜矿 (Cu_2O) 的特征衍射峰。

通过以上检测结果分析，该鎏金青铜器的锈蚀产物主要为孔雀石 $[\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 、蓝铜矿 $[\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2]$ 、赤铜矿 (Cu_2O) 等，没有检测到Cl元素和其化合物。

2.2 凝胶清洗鎏金青铜器表面锈层

2.2.1 考察清洗组分浓度的影响

分别配制甲酸含量（质量分数）为0.001%、0.002%、0.004%的凝胶清洗剂，在室温下30min，观察锈蚀物清除情况。从反应现象可以观察到，甲酸作为凝胶清洗剂的主要有效成分，其浓度越低，反应越慢。选择0.001%甲酸，反应时间过长，清洗效率不高；若甲酸浓度较高，则处理鎏金青铜器的时间不能过长，不易控制。因为本实验选择甲酸的最佳浓度为0.002%。