

DOI: 10.13957/j.cnki.tcx.2021.02.003

陶瓷文物表面沉积物病害研究进展

石俊雯¹, 张茂林^{1,2}, 李其江^{1,2}, 袁枫²

(1. 景德镇陶瓷大学 艺术文博学院, 江西 景德镇 333403;

2. 景德镇陶瓷大学 古陶瓷研究中心, 江西 景德镇 333403)

摘要: 陶瓷文物表面沉积物难以清理, 不仅影响瓷器美观, 并且易造成侵蚀等损害, 已经引起了我国研究者的广泛关注。本文对出土陶器表面“银釉”形成机理、表面沉积膜的去除方法及出土瓷器表面沉积物成分分析、形成原因、清理方法等研究进行系统梳理、总结, 为进一步研究陶瓷器表面沉积物形成机理、保护措施和清洗方法奠定基础。此外, 还对目前陶瓷器保护未解决的难题、可以深入研究的问题进行了探讨。

关键词: 陶瓷器保护; 沉积物; 出水瓷器; 出土瓷器

中图分类号: K876.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-2278(2021)02-0256-07

Research Progress on Surface Sediment Diseases of Ceramic Relics

SHI Junwen¹, ZHANG Maolin^{1,2}, LI Qijiang^{1,2}, YUAN Feng²

(1. School of Art and Archaeology, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333403, Jiangxi, China;

2. Ancient Ceramics Research Center, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333403, Jiangxi, China)

Abstract: It is difficult to clean the sediments on the surface of ceramic relics, which not only affects the beauty of porcelains, but also easily causes erosion and other damages, thus arousing widespread concern of Chinese researchers. In this paper, the formation mechanism of "silver glaze" on the surface of unearthened potteries, the removal method of surface deposited films, the composition analysis, formation reasons and cleaning methods of surface deposits of unearthened porcelain were systematically combed and summarized, which laid a foundation for further study on the formation mechanism, protection measures and cleaning methods of the surface deposits of potteries and porcelains. In addition, the unsolved problems and those that can be further studied are also discussed.

Key words: ceramic protection; sediments; effluent porcelain; unearthened porcelain

0 引言

陶瓷是中华文明的伟大创造, 分布在祖国大地上的窑业遗址以及古陶瓷文物具有极高的历史、艺术和科学价值。在陶瓷文物保护工作中, 表面沉积物的形成机理、清理方法等一直以来是学术界研究的热点问题。

关于沉积物, 地质学科已经有较为详尽的研究。《现代地理科学词典》将沉积物定义为通过侵蚀、风化、搬运作用, 水体中的物质沉降下来形成的物质, 称为沉积物。广而言之, 冰成或风成

的沉积物质, 包括其中的动植物遗骸, 都属于沉积物^[1]。陶瓷器表面的沉积物形成与埋藏环境和埋藏时间有很大的关系, 陶瓷器长期被地下水冲刷、微生物和珊瑚腐蚀、海水中的盐类侵蚀, 一些硅质矿物、有机物、炭黑、海洋盐类、铁质器、颗粒较大的黏土等粘附和沉积下来, 在陶瓷器表面形成了难以去除的沉积物, 亦有学者称之为硬结物、凝结物、土沁、沉积膜等。

早期国内学者对陶瓷器表面沉积物的研究主要集中在成分测试和清洗方面, 未对其形成机理进行深入探究。本文对出土陶器表面“银釉”形

收稿日期: 2020-11-03。

修订日期: 2020-12-24。

基金项目: 国家自然科学基金(51762027)。

通信联系人: 张茂林(1981-), 男, 博士, 研究员。

Received date: 2020-11-03.

Revised date: 2020-12-24.

Correspondent author: ZHANG Maolin (1981-), Male, Ph.D., Researcher.

E-mail: 33376224@qq.com

成机理、表面沉积膜的去除方法,出土瓷器表面沉积物成分分析、形成原因、清理方法等研究进行系统梳理、总结,为进一步研究陶瓷器表面沉积物形成机理、保护措施和清洗方法奠定基础。

1 瓷器表面沉积物研究

早期研究认为瓷器质地坚硬,表面有一层烧制而成的硅酸盐釉层,吸水率低,受水的侵蚀不大,它的损毁更多来自于外力的冲击而导致的挤压、碰撞^[2-5]。近年来,随着越窑、龙泉窑、钧窑、御窑厂等遗址大量瓷器出土,“南海I号”“华光礁I号”“南澳I号”三艘沉船相继被发现,人们对瓷器的病害有了新的认知:不论是早期的青瓷还是出现时间相对较晚的青花瓷、釉上彩瓷,釉面、胎体、茬口部位都有不同程度的沉积物附着(图1)^[6, 7]。有的附着于器表,遮盖器物的颜色、纹饰等信息,影响瓷器的美观^[7, 8],甚至还会对器物造成进一步腐蚀,导致瓷器表面出现大小不一的坑洼、掉釉、掉彩;还有些附着于残断的茬口,侵蚀瓷器的胎体,使其胎体变色^[6]。目前,对瓷器表面沉积物、脏污的清洗方法较为常见的有机械剔除、化学试剂浸泡以及近年来新兴的激光清洗技术^[7-12]。针对不同埋藏环境下沉积物的去除,我国学者也有相应的研究。

1.1 出土瓷器沉积物研究

目前,我国仅有少数学者对常规瓷器(这里的常规瓷器是指除低温釉上彩瓷和低温釉瓷外,釉

面、彩面较为牢固的瓷器)表面沉积物成分和去除方法开展研究。在瓷器保护研究中,较早提及瓷器表面沉积物是在王惠贞教授所著《文物保护学》一书中,她认为陶瓷器文物表面沉积物、污垢一般有石灰质(碳酸盐)、石膏质(硫酸盐)及硅质(硅酸盐)三种,均难溶于水和有机物,对其本身没有影响,但会遮盖表面的彩绘纹饰而影响形象,所以需要清洗去除^[4]。

上世纪九十年代,北京大学学者周双林用日本理学 D/MAX-3B 自动 X 射线衍射仪对一批禹县出土的瓷器进行了研究,结果表明,这批瓷器表面附着的硬结物是以二氧化硅及硅酸盐为主的硅质水垢,并首次提出地下水中的可溶二氧化硅在复杂的埋藏环境下会附着于瓷器表面,形成坚硬的硬结物^[5]。

2002-2004 年,经国家文物局批准,北京大学考古文博学院、江西省文物考古所、景德镇市陶瓷考古研究所联合对御窑厂进行了发掘。胡东波、张红燕、刘树林三位学者对景德镇明代御窑遗址出土的瓷器进行了研究。运用 X 射线衍射(XRD)分析和傅立叶变换红外光谱(FTIR)对瓷器表面的沉积物进行了成分检测,结果显示,御窑厂出土明代瓷器的白色沉积物主要是以方解石为主的钙质沉积物;其他沉积物虽颜色不同,但都是以二氧化硅和硅酸盐为主的硅质沉积物。该论文首次提出瓷器是因出土导致所处的平衡被打破,从而导致瓷器被进一步腐蚀^[11]。腐蚀表征不仅限于剥

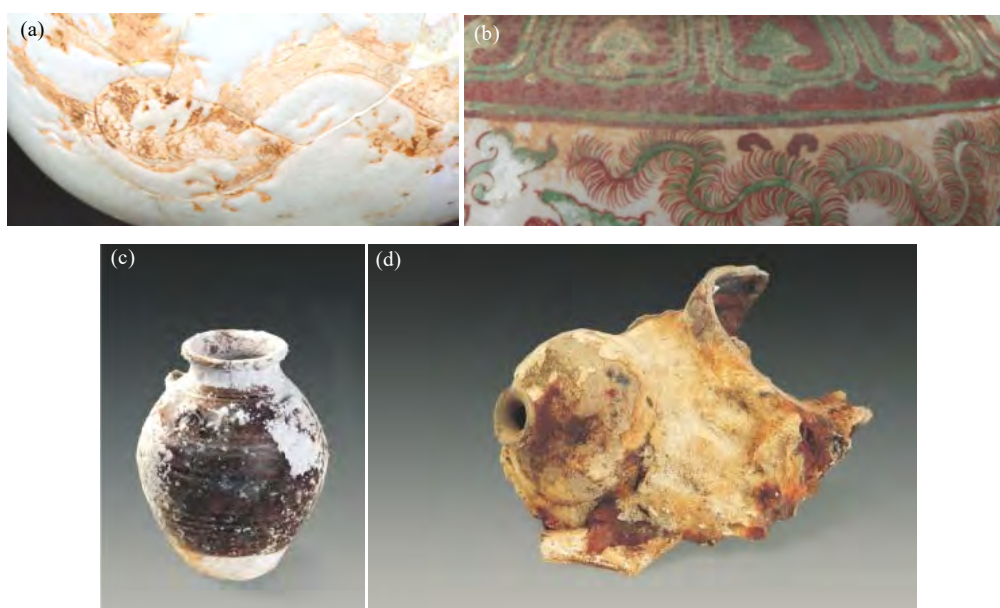


图 1 (a, b)出土陶瓷器表面沉积物, (c, d)海洋出水陶瓷表面沉积物^[7]
Fig. 1 Surface deposit of ceramic wares: (a, b) unearthed and (c, d) effluent^[7]

釉、开裂、酥解、腐蚀坑、粉化、虹彩等,颜色改变、光泽减淡、表面沉积物也是其中的表征之一;并认为制瓷工艺的缺陷、埋藏环境等因素均是导致腐蚀现象出现的原因^[6,7]。这一理念,与较早时期王蕙贞教授提出瓷器表面沉积物对其本身无损害有所不同^[4],可在后期进行深入探讨。

因长期处在复杂的环境中,出土瓷器表面都附着了较难去除的脏污,采用机械去除的方法容易对瓷器表面造成二次伤害。为了更好地去除瓷器文物表面的脏污,国内学者对几种清洗剂进行了研究^[5,7-9]。

王蕙贞教授提出,对于石灰质沉积物,清洗前用水浸泡后,可用10%盐酸或硝酸进行分解,再用水洗去生成的盐和过量的酸;石膏质沉积物用水润湿后,滴少量浓硝酸于其上,溶解后可机械剔除,最后用水洗去余酸;硅质沉积物可用1%的氢氟酸反复多次涂抹,再用水洗净,每次涂抹几分钟;螯合剂也可用于沉积物的清洗^[4]。上述实验均未就清洗剂对瓷器表面是否有损坏进行评估。周双林教授采用氢氧化钠复合溶液对出土瓷器表面硅质硬结水垢进行清洗,获得了较好的效果,并且将浸泡过和未浸泡过的同类瓷片在显微镜下放大100-500倍观察,未发现差别^[5]。胡东波、张红燕选择了几种常用的瓷器清洗剂对出土瓷器进行了清洗试验,结果表明,盐酸、草酸、柠檬酸、六偏磷酸钠、EDTA二钠盐对附着紧密的黄色沉积物有较显著的清洗效果;各种清洗材料对瓷器或多或少均有一定的损伤,碱性溶液、络合物对瓷器的腐蚀比较强,酸性清洗剂中的硝酸、草酸、盐酸也会产生较强的腐蚀作用;清洗能力强的清洗剂对瓷器的损伤也很大,严重的会对釉面造成腐蚀,导致釉面开薄片并剥落^[12]。上海博物馆的戴维康为了寻找新的清洗材料和清洗手段,运用干冰清洗技术对晚清胎质较厚、釉质较好的瓷器进行表面环氧树脂及脏污的清洗,结果表明,其对瓷器表面脏污有较好的剥离效果,但对深层环氧树脂清洗效果欠佳,清洗结束后在显微镜下未观测到釉面的损伤^[9]。

上述研究大多是针对出土的高温釉瓷器,但笔者前期在梳理相关资料时,发现沉积物也附着于低温釉上彩瓷和低温釉瓷表面,并且对此类瓷器的釉面、彩面渗透力更强,有的甚至出现表面酥粉现象。由于这类瓷器表面釉层、彩层较为脆弱,稍有处理不当就会造成永久性的损坏,去除表面脏污仍是当今较为棘手的问题;又因难以将

其表面沉积物进行分离,致使对沉积物的成分检测也较为困难。因此,这也成为了当今出土瓷器保护研究中急需解决的难题之一。

1.2 出水瓷器沉积物研究

目前,国内外出水瓷器的研究对象大都为海洋出水瓷器,淡水湖泊出水瓷器鲜有研究。我国对出水瓷器沉积物的研究,主要围绕着“南海I号”“华光礁I号”“南澳I号”等展开^[13-16]。由于海洋中恶劣的环境所致,三艘沉船出水的瓷器都不同程度地附着贝类、珊瑚、可溶盐等沉积物,有的甚至被同船载运的铁器包裹,相关保护工作难度较大^[13]。但随着科技的发展,扫描电镜、X荧光分析技术、热分析技术、光学显微镜等逐渐应用于古陶瓷的研究^[17,18],出水古陶瓷的保护工作得以开展。与出土瓷器表面沉积物相比,我国学者对出水瓷器表面沉积物的研究成果更为丰富。

2015年,海南省博物馆的包春磊等学者利用扫描电镜(SEM)和能谱(EDS)、X射线荧光光谱分析(XRF)、X射线衍射分析(XRD)三种分析方法对“华光礁I号”沉船出水的青白瓷表面沉积物进行了结构和化学组成的测试,结果表明,沉积物主要以碳酸盐类的文石、方解石以及含铁类的磁铁矿、针铁矿为主^[10]。包春磊还对“华光礁I号”沉船出水陶瓷器表面黄白色沉积物进行了结构和化学组分的确定,以青白瓷为例,通过利用X射线荧光光谱分析(XRF)、X射线衍射分析(XRD)等测试技术,确认黄白色沉积物主要以碳酸盐类的文石、方解石为主^[11]。

对“华光礁I号”出水瓷器表面的沉积物成分进行检测后,包春磊等几位学者也对此表面沉积物进行了清洗实验。“华光礁I号”出水的瓷器表面附着的白色和黄色凝结物多为石灰质类的碳酸盐类化合物,部分厚度达3 mm-4 mm^[11,12]。因此,在进行清洗实验时,较多地参考了出土瓷器的清洗试剂^[8],结果显示,在所选用的几种清洗试剂(此次试验选用了柠檬酸、苹果酸、二乙三胺五乙酸、环己烷二胺四乙酸、乙二胺二琥珀酸、EDTA-2Na、柠檬酸三铵、六偏磷酸钠八种试剂对出水瓷器表面凝结物进行了清洗实验)中,柠檬酸、苹果酸、二乙三胺五乙酸、环己烷二胺四乙酸、EDTA-2Na都对凝结物有很好的去除效果,化学溶液浓度越高,效果越明显,并总结出了比较适用于出水青白瓷器文物表面碳酸盐类凝结物和石灰质凝结物的清洗去除剂的浓度^[11,12]。

广东省博物馆张欢采用了激光清洗技术对

“南澳I号”沉船出水瓷器类文物表面凝结物进行清洗。研究表明,海洋出水瓷器表面的钙质凝结物、硅质凝结物均可采用激光清洗,1064 nm 比 532 nm 和 355 nm 波长激光清洗更有效;采用湿式激光清洗法,明胶或琼脂作为辅助介质可提高瓷器基底的激光损伤阈值,提升激光清洗效果和安全性;但对瓷器表面铁质凝结物的激光清洗效果不理想^[18]。这一清洗方法,或许将来可应用于出土瓷器表面钙质、硅质沉积物的去除。

2 出土陶器表面凝结物分析研究

陶器物质地疏松、自身的多孔结构易吸水,因此不断吸附雨水或地下水,在这过程中溶入各种酸、碱、盐、有机物,从而给陶器带来损坏^[3]。地下水将陶胎中的钙、镁等阳离子溶出在陶器表面形成坚硬沉积层^[4]。有学者将陶器表面的沉积物定义为陶质文物表面粘有不同程度的污垢和覆盖凝结物,多为文物表面覆盖的土层,颗粒较大的粘土,以及硫酸盐、硅酸盐等物质,另外,还有部分表面沉积物是埋藏环境中的锈斑、油污斑、动植物和微生物繁殖和腐烂后遗留的印迹等^[19]。

不同地区出土的陶器表面的沉积层基本可分为石灰质(碳酸盐)、石膏质(硫酸盐)、硅质(硅酸盐)和氢氧化物^[4]以及器物表面覆盖的土层颗粒较大的黏土^[19]。有的出土铅釉陶器表面出现被称之为“银釉”的腐蚀物,“银釉”表面呈现出结构疏松、程度不同的腐蚀坑,有的深至陶胎,严重地破坏了平滑的釉面^[20];部分出土彩绘陶器表面也有沉积膜的覆盖(图 2),这些沉积膜不仅影响陶器外观展现,还会影响文物的安全。因此,需要对彩绘陶器进行保护修复。

2.1 出土铅釉陶、彩绘陶表面沉积物腐蚀沉积机理研究

铅釉陶器是我国陶器文物中的一种,最早出现于西汉时期^[21]。我国出土的铅釉陶表面大多出现不同程度的泛白、泛黄现象,常形成一种层状结构的物质(俗称“银釉”)^[22]。上世纪八十年代,张福康等对“银釉”进行了显微观察、X 射线衍射分析等一系列实验,最先指出银釉是具有层状结构的非晶态物质^[23]。上世纪九十年代,姜晓霞对河南省博物馆所藏汉代绿釉陶器进行了分析,认为“银釉”是长期处于潮湿墓葬中的铅绿釉陶器,釉面裂纹集聚地下水和空气凝结水,最先被 CO₂ 侵蚀,溶出白铅矿,与绿釉分解出来的石英在一定条件下由外向内沉积而成,主要成分是白铅矿和石英;“银釉”易生长在绿釉面缝隙处,断面与陶器铅绿釉相比结构疏松,呈现不同的腐蚀坑形,有的深至陶胎,严重破坏平滑的绿釉面^[20]。

朱铁权等人利用 X 射线衍射(XRD)、傅里叶红外光谱(FTIR)、能量色散 X 射线荧光光谱(EDXRF)、拉曼光谱(RS)等方法,对湖北黄冈地区出土的宋代绿釉陶表面“银釉”(图 3)的形成机理展开了研究,结果发现银釉中富含钙、磷、铅等元素,并有磷酸铅钙物相存在。根据出土前铅釉陶器埋藏环境为弱酸性的土壤,推测出银釉应为土壤中羟磷灰石及各种磷酸化合物与釉陶表面 Pb²⁺发生化学反应的产物^[24]。随后又对 3 块不同时代、不同埋藏环境铅釉陶表面腐蚀物的化学组成、物相结构进行了分析测试^[25]。结果表明,汉代釉陶表面的腐蚀物主要为白铅矿;宋代绿釉陶表面的腐蚀物主要为磷酸铅钙,锈蚀物中黄色是缘自其中一定量氧化铁的存在;唐三彩表面的腐蚀物中有磷酸铅钙与白铅矿两种物相结构的存在,锈蚀物表面的棕褐色是少量氧化铁与炭黑共同致色的结果。

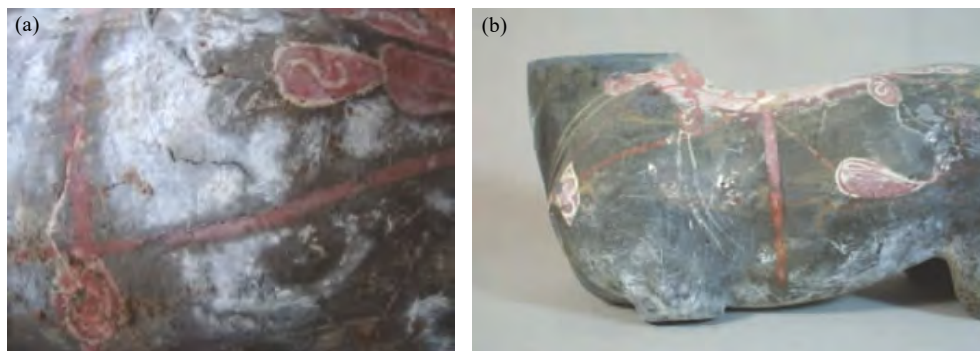
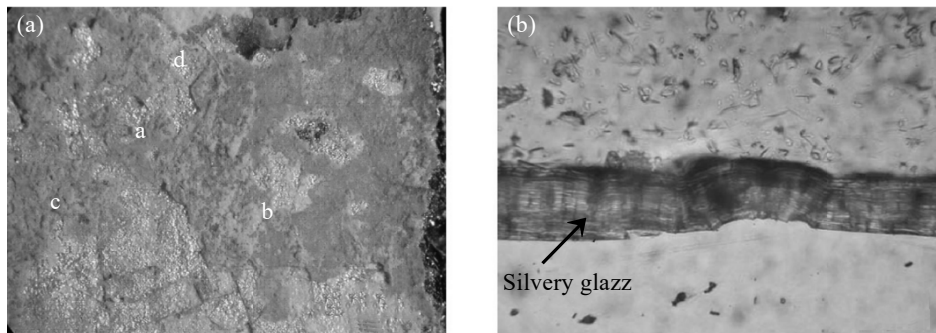


图 2 彩绘陶器表面的白色物质^[19]

Fig. 2 White substance left on the surface of polychromy pottery^[19]

图3 绿釉陶的显微照片^[24]Fig. 3 Micrographs of the green lead glazed pottery^[24]

首都博物馆何秋菊等人采用了光学显微镜(OM)、能量色散X射线荧光光谱(EDXRF)、X射线衍射分析(XRD)、拉曼光谱分析(RAMAN)、傅立叶变换红外光谱(FTIR)等方法对河北临漳县曹村窑出土的青黄釉陶器残片表面覆盖着一层有光晕的层状腐蚀物进行了分析^[26]。结果表明,腐蚀物主要成分是白铅矿和石英,可分为三层,最上层土褐色,中间金黄色,最下层银白色。因曹村窑地下埋藏环境很潮湿,釉中的铅离子和土壤中的碳酸根等可溶性盐类在表面析出。沉积物与釉面的接触并不紧密,水分进入空隙继续溶蚀。达到一定厚度时,在光线的干涉作用下,产生银白色光泽,氧化铁含量较高时便呈现金黄色甚至土褐色。

赵倩在对信阳城阳城之战国楚墓出土彩绘陶器保护修复研究时,利用便携X荧光对表面硬结物进行检测分析,结果显示其成分钙和铅的含量比较高,为钙类盐^[27]。党小娟等人运用X-射线衍射分析和偏光显微分析等技术手段,对山东青州香山汉墓出土彩绘陶器表面的白色盐分产物进行了检测^[19]。结果表明,表面盐分产物成分为碳酸钙和硫酸钙;并对其腐蚀病害及产生机理进行了论述,发现陶器表面风化是云母类矿物内部化学键断裂以及保存环境中的可溶盐的破坏应力所致。

2.2 出土彩绘陶清洗研究

陶器因质地粗糙,孔隙率大,长期埋藏于地下,受到各种物理、化学、生物侵蚀严重,导致一些出土陶器较为脆弱、表面附着沉积物等^[4]。有鉴于此,我国学者对出土陶器的清洗展开了较为全面的研究,但因前文所提及铅釉陶表面“银釉”物质大多专家学者不建议进行清洗,所以下文主要对出土彩绘陶器的清洗展开叙述。

申茂盛对素面陶和彩陶的清洗步骤和方法进

行了简单介绍^[28]。西北大学的刘成针对酥粉陶器表面、带彩绘的陶器和体积很大的陶器改进了传统的清洗方法,提出纸糨糊敷除垢法:在一定的时间内,利用纸浆吸附络合剂(氮川三乙酸氨性溶液、氨三乙酸氨性溶液与过氧乙酸的混合液、六偏磷酸钠、乙二胺四乙酸二钠盐等)对器物表面腐蚀物进行溶除,同时进行局部的糊敷、络合软化,最终达到清洗水垢的目的^[29]。上海博物馆的张力程和周浩运用激光清洗技术对馆藏的身上遍布黑斑的汉代彩绘女陶俑进行了清洗:采用LQS模式下,输出能量为150 mJ,频率为3 Hz的系统光学参数,并选择光斑直径在3 mm-4 mm的范围,用激光垂直照射液膜法进行清洗。结果发现部分区域清洗效果较好,而部分区域清洗效果一般。造成不同效果的原因,主要在于黑色污染物与基底结合的牢固程度以及激光能量的选择,实验证明,激光清洗陶器表面的黑斑具有可行性^[30]。临夏州博物馆工作人员运用干冰清洗技术对陶器文物表面可溶盐、霉菌、沉积膜等进行清洗实验,效果显著且未对陶器表面造成损害。干冰清洗机压力增至0.2 MPa时,可洗掉实验样品表面沉积膜。一般情况下,干冰的输出量越大,清洗效果越好。清洗时,器物的硬度、彩料的脆弱程度、烧成工艺成熟度、胎质结合致密度等因素,都可能影响清洗效果^[31]。

因为埋藏环境不同,出土陶器表面沉积膜大致为石灰质(碳酸盐)、石膏质(硫酸盐)、硅质(硅酸盐)和氢氧化物四种^[4]。与瓷器不同的是,硅质沉积膜在陶器表面较为少见。出土铅釉陶表面的“银釉”不但改变器物原有颜色,严重者引起釉层局部脱落,深入陶胎^[20, 24]。也有学者认为,应当保存“银釉”的存在^[20]。

在对沉积膜的清洗研究中,陶器的清洗需要更为谨慎,虽激光清洗技术对彩绘陶器表面黑斑

有较好的清洗效果,但假设黑斑与陶瓷表面结合较为牢固,或许会对陶瓷表面造成不可逆的损毁;根据前人的清洗研究,干冰清洗技术的运用也需要进一步完善;纸糊糊敷于陶瓷表面去除沉积膜的方法操作简单,或可拓展至出土釉上彩瓷器和低温釉瓷器表面沉积物的清洗中。

3 结 语

根据对现有资料的梳理,总结出出土瓷器和陶器,出水瓷器等沉积物的类型、清洗方法。根据埋藏环境的不同可划分为:出土瓷器表面的硅质水垢、硅质沉积物、钙质沉积物;出水瓷器表面的碳酸盐类的文石、方解石以及含铁类的磁铁矿、针铁矿;出土陶器表面的石灰质(碳酸盐)、石膏质(硫酸盐)、硅质(硅酸盐)、氢氧化物以及颗粒较大的黏土。不同的沉积物有不同的清洗方法,目前有四种方法:手术刀或是竹签机械剔除;化学试剂浸泡;激光清洗;干冰清洗。其中,前面两种方法较为常见。对瓷器表面沉积物的研究,目前还未有学者对它的形成机理进行深入、全面的探讨。在未来的研究中,可从以下几个方面深入开展:

(1) 针对低温釉瓷和釉上彩瓷表面沉积物的清洗、沉积物的成分测定可进行深入研究,脆弱陶瓷器文物表面沉积物的有效清洗方法需进一步探索和研究;

(2) 瓷器表面的沉积物对瓷器釉面是保护作用还是会对瓷器造成进一步的腐蚀、侵蚀的损坏也值得探讨;

(3) 瓷器表面沉积物是否与埋藏环境、制造工艺、胎釉彩结合情况有关联也是需要讨论的问题。

以上问题都值得进一步探究,我国出土和出水的瓷器不计其数,其承载的历史信息意义深远,瓷器保护工作任重道远。

参考文献:

- [1] 刘敏,方如康.现代地理科学词典[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] 王成兴,尹慧道.文物保护技术[M].合肥:安徽大学出版社,2005.
- [3] 宋迪生.文物与化学[M].成都:四川教育出版社,1992.
- [4] 王惠贞.文物保护学[M].北京:文物出版社,2009.
- [5] 周双林.瓷器表面硅质水垢的清洗[J].中原文物,1995,(2): 111.
- [6] 胡东波,张红燕,刘树林.景德镇明代御窑厂出土瓷器分析研究(下)[M].北京:科学出版社,2011.
- [7] 张红燕.景德镇明代御窑遗址出土瓷器的腐蚀分析和瓷器常用清洗材料研究[D].北京大学,2008.
- [8] 胡东波,张红燕.常用清洗材料对瓷器的影响研究[J].文物保护与考古科学,2010,22(1): 49-59.
- [9] 戴维康.干冰清洗技术应用于陶瓷文物清洗的探索研究[J].文物保护与考古科学,2015,27(1): 116-120.
- [10] 包春磊,贾世杰,符燕,等.“华光礁1号”沉船出水青白瓷表面沉积物的分析[J].化学研究,2014,25(1): 76-81.
- [11] 包春磊.华光礁出水瓷器表面黄白色沉积物的分析及清除[J].化工进展,2014,33(5): 1108-1112.
- [12] 张欢.“南澳1号”沉船出水瓷器类文物表面凝结物激光清洗实验研究[J].中国文化遗产,2019,(5): 23-30.
- [13] 包春磊.海洋出水陶瓷器的科技保护[J].文物鉴定与鉴赏,2013,(7): 52-57.
- [14] 胡晓伟.几件西沙华光礁1号沉船遗址出水瓷器的保护研究[J].文物保护与考古科学,2013,25(4): 54-64.
- [15] 金涛.海洋条件下的水下文物埋藏环境概述[J].文物保护与考古科学,2017,29(1): 98-107.
- [16] 魏峻.“南海1号”沉船考古与水下文化遗产保护[J].文化遗产,2008,(1): 148-153.
- [17] 曹春娥,顾幸勇,王艳香,等.无机材料测试技术[M].南昌:江西高校出版社,2011.
- [18] 吴隽.陶瓷科技考古[M].北京:高等教育出版社,2012.

- [19] 党小娟, 容波, 段萍, 等. 山东青州香山汉墓出土西汉彩绘陶器腐蚀病害及其机理分析[J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24(2): 50-55.
DANG X J, RONG B, DUAN P, et al. Sciences of Conservation and Archaeology, 2012, 24(2): 50-55.
- [20] 姜晓霞. 汉代铅绿釉陶器“银釉”的分析[J]. 文物, 1992, (6): 79-83.
JIANG X X. Cultural Relics, 1992, (6): 79-83.
- [21] 金辉. 浅析出土彩绘陶器的清洗技术[J]. 赤峰学院学报: 汉文哲学社会科学版, 2016, 37(9): 32-35.
JIN H. Journal of Chifeng University (Philosophy and Social Science Chinese Edition), 2016, 37(9): 32-35.
- [22] 李家治. 中国科学技术史·陶瓷卷[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 464.
- [23] 中国硅酸盐学会. 中国古陶瓷论文集[C]. 北京: 文物出版社, 1982: 133.
- [24] 朱铁权, 王昌燧, 王洪敏, 等. 宋代绿釉陶表面“银釉”的分析及其形成机理[J]. 应用化学, 2007, (9): 977-981.
ZHU T Q, WANG C S, WANG H M, et al. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2007, (9): 977-981.
- [25] 朱铁权, 王昌燧, 毛振伟, 等. 我国古代不同时期铅釉陶表面腐蚀物的分析研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(1): 266-269.
ZHU T Q, WANG C S, MAO Z W, et al. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(1): 266-269.
- [26] 何秋菊, 吕淑玲, 裴亚静, 等. 曹村窑青黄釉陶表面腐蚀物成分及形成原因初步分析[J]. 文物保护与考古科学, 2014, 26(2): 16-21.
HE Q J, LV S L, PEI Y J, et al. Sciences of Conservation and Archaeology, 2014, 26(2): 16-21.
- [27] 赵倩. 信阳城阳城址战国楚墓出土彩绘陶器保护修复研究[D]. 西北大学, 2017.
- [28] 申茂盛. 陶器修复中的清洗[J]. 文博, 1999, (1): 94-96.
SHEN M S. Relics and Museology, 1999, (1): 94-96.
- [29] 刘成. 纸糨糊敷法在清除脆弱陶器表面沉积膜中的应用[J]. 文物修复与研究, 2003: 148-152.
LIU C. Restoration and Research of Cultural Relics, 2003: 148-152.
- [30] 张力程, 周浩. 激光清洗技术在了一件汉代彩绘女陶俑保护修复中的应用[J]. 文物保护与考古科学, 2017, 29(2): 67-75.
ZHANG L C, ZHOU H. Sciences of Conservation and Archaeology, 2017, 29(2): 67-75.
- [31] 临夏州博物馆“干冰清洗技术对陶器文物清洗的探索”课题组, 杜马玉. 干冰清洗技术对陶器文物清洗的探索[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2019, (21): 55-59.
Research Group of Linxia Museum "Exploration of Cleaning Pottery Cultural Relics by Dry Ice Cleaning Technology", DU M Y. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2019, (21): 55-59.