

南昌西汉海昏侯墓车马坑出土车马器 研究性保护修复

◆ 黄 希

(中国社会科学院考古研究所)

◆ 张红燕

◆ 李文欢

(江西省文物考古研究院)

◆ 王浩天

(中国社会科学院考古研究所)

◆ 杨 军

(江西省文物考古研究院)

摘 要:通过对南昌西汉海昏侯墓车马坑出土的 147 件车马器进行研究性保护修复系统研究,在保护前对文物保存状态进行研究,包括文物保存环境对腐蚀的影响、文物本体病害类型调查、文物腐蚀及保护的预研究等几个方面,明确保护修复需要解决的核心是车马器表面除锈揭露纹饰、加固纹饰、脱盐及缓蚀、封护工作,针对不同材质、不同腐蚀程度的文物分别制定保护技术路线,并在保护修复进行过程中同步深入研究。本次研究性保护修复工作在不进行破坏性取样的前提下获取大量考古信息,对这批脆弱车马器文物进行有效保护,还原了文物的历史、艺术及科学价值。

关键词: 错金银; 鎏金银; 车马器; 保护修复

Abstract: Through the conservation research and restoration of the 147 carriages excavated from the tomb of the Marquis Haihun in Nanchang, the carriages were studied before the restoration, including the influence of the preservation environment on the corrosion and the investigation of the deterioration patterns, and the pre-study of the corrosion mechanism and restoration methods, it is clear that the core issue of the conservation is derusting and exposing ornamentation of the carriages, and fixing ornamentation, desalinization and sealing, protection routes were separately formulated in accordance with the different type of materials and the extent of corrosion, and in-depth research was carried out simultaneously during the restoration. A large amount of archaeological information was obtained without destructive sampling, and these fragile cultural relics were effectively protected.

Key Words: Gold-inlaying; Gilding; Carriage; Conservation research

一、前言

海昏侯墓是我国发现的面积最大、保存最好、内涵最丰富的汉代侯国聚落遗址,对研究西汉历史具有独特的重大意义^①。海昏侯墓车马坑是我国长江以南地区发现的唯一一座真车马陪葬坑,出土文物器类完备,结构复杂,工艺精湛,完整反映了西汉列侯

车马制度,显示出高超的工艺技术水平,具有极高研究价值。

2016~2020年期间,江西省文物考古研究所与中国社会科学院考古研究所合作对海昏侯墓出土的 147 件车马器进行了保护修复工作,器型主要为当卢、盖弓帽、马衔、节约、车𦍋等,文物质地为青铜、铁质和银质,包括错金银青铜器、鎏金青铜器、错金银铁器,还有鎏金/错金的铜-铁复合车马器,胎体普遍

较薄,经过南方酸性土壤的长期埋藏,文物腐蚀极为严重,金属基体几乎不存,质地极为酥脆。腐蚀产物将车马器表面精美的纹饰完全遮盖,影响后续的考古学研究工作,并给文物的长久稳定保存带来极大隐患。为了保证文物的长治久安,同时揭示、保存并展示车马器表面装饰工艺,恢复文物完整外形,辅助考古学研究,需要对这批珍贵的车马器文物进行保护干预处理。

在本次保护修复工作中,建立起一套系统的研究性保护工作方法,解决文物保护的实际问题。保护修复前对文物保存状态、工艺进行研究,包括文物保存环境对腐蚀影响、文物本体病害类型调查、文物腐蚀机理的研究及保护修复方法的研究等几个方面。同时,将分析研究工作贯穿始终,对除锈清理过程中显露出来的文物工艺信息、腐蚀信息进行及时深入地分析研究,在不进行破坏性取样的前提下获取大量的考古信息与文物保护研究材料。

二、保护前文物保存状态的研究

(一) 文物保存环境对腐蚀影响的研究

车马坑文物埋藏环境为典型的南方丘陵红壤,为酸性土壤,其土质粘重、通气性差、湿度大、导电性强,pH值检测结果在4.9~5.2之间,总电导率约为 $30\mu\text{s}/\text{cm}$,并含有较多的可溶盐(表一),这样的埋藏环境是导致金属文物严重腐蚀的诱因。

表一 江西新建海昏侯墓车马坑土样中可溶盐分析检测表

样品名称 (mmol/kg)	氯离子	硝酸根	硫酸根	有效磷
三号车旁土	0.53	1.28	3.43	0.25
西墙左壁土 (距发掘面1.0m)	0.2	0.42	2.3	0.35

鉴于车马坑椁室严重腐烂,器物堆放情况复杂且破损严重,为了系统、完整地进行文物提取与信息采集工作,对车马坑进行局部套箱提取到室内进行实验室考古发掘工作,实验室考古清理出的147件车马器经初步清理,先后移交首都博物馆和江西省博物馆参与《五色炫曜——南昌汉代海昏侯国考古成果展》,之后长期保存于江西省文物考古研究所库房中,至2020年7月移交南昌汉代海昏侯国遗址博物馆。2020年9月,中国社会科学院考古研究所文化遗产保护研究中心文物修复部团队赴江西南昌海昏侯工作站对本项目涉及的147件车马器进行保护修复工作。



图一 车马器病害情况

江西气候温暖湿润,青铜器、铁器文物本身极易发展腐蚀,且大部分车马坑文物表面的土壤附着物、锈蚀物并未清理,文物本身携带的可溶盐类没有脱出,大量有害离子的存在导致车马坑文物出土后继续发生了进一步腐蚀。在保护修复过程中发现,未经脱盐的铁质文物即使除去表面的锈层,常温下在空气中静置一天就会新生成肉眼可见的黄色带锈水珠,进一步发展即成为瘤状锈蚀产物。

(二) 文物本体病害类型调查

由于地下埋藏环境的长期作用,以及出土后保存环境的影响,这批车马器的整体保存状况非常差。参照中国国家标准《GB/T 30686-2014 馆藏青铜质和铁质文物病害与图示》^②,海昏侯车马器可观测到的病害有:通体矿化、断裂、裂隙、残缺、变形、孔洞、点腐蚀、瘤状物、表面硬结物等;鎏金银、错金银表面装饰的病害主要体现为鎏金层金银丝片脱落、起翘(图一)。

(三) 文物腐蚀及保护的预研究

在病害宏观认知的基础上,尽量使用无损方式,



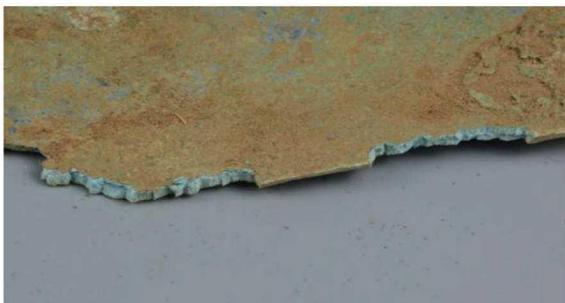
图二 K1:602 当卢

修复前-修复前 X 射线成像-修复后

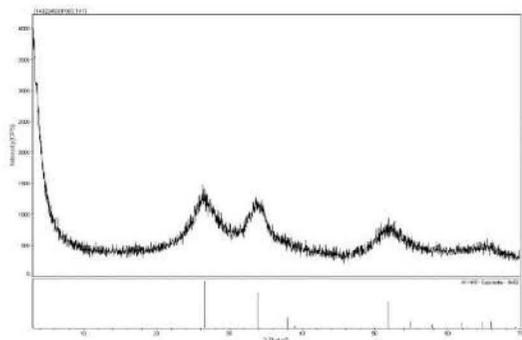
有针对性地对器物表面附着的土样及腐蚀迁移特征、表面锈蚀产物、金银残片等进行工艺、成分分析, 以此对文物腐蚀的诱发因素、文物本体腐蚀程度及稳定性进行定性定量的判断, 为后续合理的保护修复工作提供保证。

通过高倍光学显微观察了解文物表面腐蚀层情况, 并对车马器表面工艺信息及与制作相关的腐蚀现象进行观察记录。通过 X 光透射成像检测来考察每件文物铸造工艺、文物内部损伤状况和不同质地保存情况, 同时利用 X 光片显示的车马器锈层下纹饰的保存状况及分布, 来指导除锈及保护工作(图二)。通过离子色谱分析和硝酸盐滴定法来表征埋藏环境中的可溶性盐离子含量及分布状况, 并考察文物中活动性的腐蚀因素。通过扫描电镜、X 荧光光谱、X 射线衍射、拉曼光谱、金相分析等多手段配合对文物腐蚀发展过程、工艺信息、文物表面装饰细节进行深入分析。

海昏侯出土当卢腐蚀非常严重(图三), 通过分析可以看到, 腐蚀严重的当卢在靠近器物基体区域富含 Sn, 主要物相应为无定形 SnO_2 (图四), 器物周围土壤中有明显的 Cu、Pb 元素扩散, 在对主墓青铜器分析中也有类似现象^③。海昏侯车马器由于埋藏层位相对主墓更高, 受地表雨水淋雨与地下水侵蚀两方面综合影响, 在酸性富氧的环境中, Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 能够不断迁移流失, 使薄胎青铜器的表面锡含量高达



图三 K1:280 当卢内部完全矿化



图四 K1:280 当卢锈蚀物 XRD 结果: SnO_2

90%以上, 大量锡石的存在使得器物表面龟裂现象凸显。部分当卢金属基体已经完全不存, 完全转变为锈蚀产物二氧化锡, 质地极为酥脆, 机械强度几乎完全丧失, 这也使保护修复工作增加了难度。

海昏侯车马器普遍采用了鎏金银、错金银等装饰工艺, 金、银等贵金属的存在, 使更活泼的铜基体成为电化学反应中的负极, 腐蚀速度进一步加快, 并形成了缝隙腐蚀、点腐蚀等特异性腐蚀特征。腐蚀产物将车马器表面精美的纹饰完全遮盖, 破坏了表面纹饰的完整性, 并影响了纹饰的长久稳定保存, 需要进行除锈并排除活动性病害的风险。

通过保护前期对海昏侯车马器的病害类型、腐蚀机理和工艺特征等方面进行的系统研究, 明确本次保护修复需要解决的核心是车马器表面除锈揭露纹饰、加固纹饰、脱除有害离子及缓蚀、封护工作, 基于不改变原状原则、最小干预原则、可再处理性原则和可识别原则, 针对不同材质、不同腐蚀程度的文物分别制定科学、安全、合理的保护技术路线, 并在保护修复进行过程中同步深入研究, 对保护过程进行了完整全面的档案记录。

三、保护修复方法的研究

在保护前期研究的基础上可以认识到, 本次对南昌西汉海昏侯墓车马坑出土车马器保护修复需要解决的核心需求是车马器表面除锈揭露纹饰、加固纹饰、脱盐及缓蚀、封护工作。通过保护前期研究, 制定安全、合理的文物保护方案, 基于不改变原状原则、最小干预原则、可再处理性原则和可识别原则, 保护修复主要包括以下几个步骤: 表面清理及加固——除锈——脱盐——拼对粘接——缓蚀——封护及表面处理。在保护过程中做好档案记录, 对保护效果进行合理评估, 同时重视后期日常维护, 解决文物保护的实际问题。

(一) 青铜基体车马器保护修复

由于这批车马器、尤其是当卢腐蚀极为严重, 金属基体几乎不存, 一触即溃, 为了防止在除锈过程中断裂, 在文物背面添加背衬, 增加强度。同时, 为了完整展现表面的精美纹饰, 必须将覆盖在纹饰之上的腐蚀产物完全去除, 同时还不能损伤到金银丝片, 除锈主要采用化学方法分解软化锈蚀, 并小心地配合使用洁牙机、橡胶头打磨机等机械方法辅助除锈。在去除过程中, 脱落金银丝片, 先用浓度较高的 B72 回贴, 临时固定, 到除锈完成后, 再行粘接。

具体而言, 对青铜基体的车马器, 包括错金银铜

胎车马器、鎏金银铜胎车马器及素面铜胎车马器,使用脱脂棉浸润 10wt%六偏磷酸钠敷贴来对表面的土壤硬结物进行软化清除,去离子水洗净后,用脱脂棉浸润 pH=9 的 5wt% EDTA 敷贴来软化表面铜锈,每次敷贴时间一般不超过 2 小时,同时配合使用竹刀、洁牙机等在 X 成像图片指导下进行除锈。针对鎏金银铜胎车马器表面常出现的红色氧化亚铜锈蚀层,使用 pH=9 的半胱氨酸水溶液进行敷贴除锈^⑨。用 2%的 BTA 乙醇溶液对青铜器进行缓蚀,Paraloid B-72 进行封护。

(二) 铁基体车马器保护修复

对铁基体车马器,尤其是本次修复中大量出现的带有错金银、鎏金银装饰的铜-铁复合车马器,不同金属材料之间化学性质的差异导致最活泼的铁质部分腐蚀极为严重,铁质文物在南方酸性条件下的快速腐蚀常出现膨胀、疏松、开裂现象,对器物表面的错金银、鎏金银纹饰保存产生了严重影响。同时,根据前期分析可知,铁质文物的表面锈蚀层疏松多孔,极易吸附环境中的有害离子,在出土后的暴露于空气中继续发生快速腐蚀,进一步破坏文物的稳定性,所以对铁质文物进行脱盐是保护工作中最重要的环节。

本次保护修复工作将铁质文物浸没在 0.02wt% NaOH 水溶液中^⑩进行冷热交替循环法脱盐,使用热得快对水箱中的溶液进行加热,自动加热至 85 度维持 30 分钟后关闭热得快使溶液自然冷却至室温,多次循环加热-自然冷却的过程,以两天为一个周期整体换水。对每次得到的浸出液使用硝酸银滴定的方法定性分析浸出的氯离子含量,脱盐工作以浸出液硝酸银滴定无白色絮状沉淀为终点,同时使用精密 pH 试纸(5.5~9.0)测试每次脱盐前后浸泡液的 pH 变化。完成脱盐后将铁器用烘箱在 104℃进行迅速干燥。

虽然海昏侯墓埋藏环境整体盐分并不高,但铁器在腐蚀过程对带负电的有害离子具有吸附作用,同时锈蚀膨大产生大量孔隙,脱盐工作需要很长时间,使用冷水交替浸泡脱盐,一般也要脱盐 20 天。

由于铁基体车马器表面纹饰完全被锈蚀物覆盖,变形严重,为了保证修复后纹饰的连贯性,先对脱盐后的器物小残块进行拼对,再进行除锈工作。粘接拼对使用 914 树脂胶搭配 495 瞬干胶粘接,同时使用速成铜和速成铁胶棒对残缺处进行补配。选用六偏磷酸钠、EDTA 和草酸对表面锈层进行软化。铁锈先用 5wt%草酸酸化,过程中生成的草酸盐沉淀用 pH=9 的 5wt% EDTA 去除,同时使用 EDTA 敷贴除去铜质

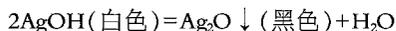
部分表面铜锈^⑪。每一阶段性的软化处理后,都要及时地用去离子水清洗至中性。外侧以黄铁矿、针铁矿、磁铁矿等为主的疏松、黄褐色的表面锈蚀和中间层致密坚硬的黄褐色软化后,使用竹刀、洁牙机、打磨机等继续去除锈层,内层靠近铁基体表面的致密黑色锈层硬度较低,状态类似铅笔芯,使用化学敷贴的方法较难去除,通过打磨机谨慎地缓慢去除。

由于海昏侯出土的铁质车马器腐蚀都极为严重,基体保存状况极差,铁质部分存在大量的孔隙,使用常规的 B72 无法保证完全隔绝铁质与空气,反而可能诱发新的孔隙腐蚀,使用虫白蜡来进行表面封护,将修复后的铁器浸没在 85℃融化的虫白蜡中,保证蜡液完全浸没铁器孔隙,使用松节油进行表面处理。

(三) 银胎车马器保护修复

海昏侯车马坑出土的银胎车马器数量较少,在本项目涉及的 147 件文物中只有四件,由于大量铜质、铁质车马器的存在,相对惰性的银胎车马器本体没有明显腐蚀,表面主要被铜质、铁质锈蚀产物覆盖,故在本项目中采用六偏磷酸钠与 EDTA 络合去除表面锈蚀,使用 3%BTA 溶液刷涂器物表面进行缓蚀处理后,使用 3%B72 刷涂在器物表面进行封护处理。用无水乙醇稀释漆片调和矿物颜料,对器物进行随色做旧处理,对银基体本身没有过多处理。

在对银胎车马器进行保护修复过程中,发现一些特殊现象。在尝试使用热风枪加热对变形银器进行校正时,发现受热部位表面鎏金层颜色一定程度变黄,为维持文物原始质感,综合考虑后对变形银器不进行矫形处理。在使用 pH=9 的 EDTA 软化银胎表面铜锈后,将银胎车马器浸泡在去离子水中清洗过程中,银胎当卢背面钮与基体连接部位出现黑色絮状物(图五),经分析为氧化银,应是银胎当卢局部银锈蚀物被 EDTA 络合,在碱性环境下形成氢氧化银,氢氧化银不稳定,立即分解为黑色氧化银。



图五 K1:1207 银胎当卢
修复过程中局部出现黑色氧化银析出

由于银胎当卢本身较为完整,对当卢本体未进行破坏性取样。在银当卢表面特定位置出现这一现象,说明当卢的钮相对其他部位更易发生银的腐蚀,显微观察也可在当卢钮连接部位发现疑似焊药堆叠的痕迹。参考海昏侯车马坑青铜基体当卢的成型工艺,结合保护过程中显示出的特定部位银腐蚀的线索,也可以侧面印证银当卢背面钮是焊接成型,使用了更易腐蚀的银铜焊药。

四、文物保护修复过程中的工艺与腐蚀研究

在本次保护修复工作中,将分析研究与保护处理有机结合,保护修复过程中有针对性地通过车马器残片、断茬和除去锈层后的纹饰表面等进行分析研究,在不做额外取样或是破坏性取样的前提下,对修复过程中显现出来的工艺信息进行分析记录,得到了以下新的认识:

(一)精美的错金银工艺

海昏侯出土精美的错金银车马器,篆刻前先勾勒出图案的大致轮廓形成起稿线,再使用丝錾和平錾进行细部刻画形成沟槽,将金丝、金片嵌入沟槽中,嵌入的金丝、片搭接处有明显的再加工痕迹,通过捶打落实,最后使用磨石进行磨错。嵌入的金丝片中金、银丝的纯度高,用量大,反映了西汉时期黄金矿产丰富,贵金属提纯和拔丝、压片技术已达到较高水平(图六、图七)。

(二)复杂的鎏金银合金工艺

对海昏侯出土当卢经过表面除锈、揭露纹饰后可以发现,同为鎏金器物,表面鎏金层颜色状态存在较为明显的颜色差异。总体而言,目前已发现的青铜基体当卢表面鎏金花色上可以分为四类^①:金色、黄色、浅黄-银白色、双色鎏。通过理化分析及复原实验研究,证明不同纹饰部位的不同颜色是使用了金银合



图六 K1:103 马轅 修复后(局部)



图七 K1:1360 盖弓帽修复前后及局部纹饰

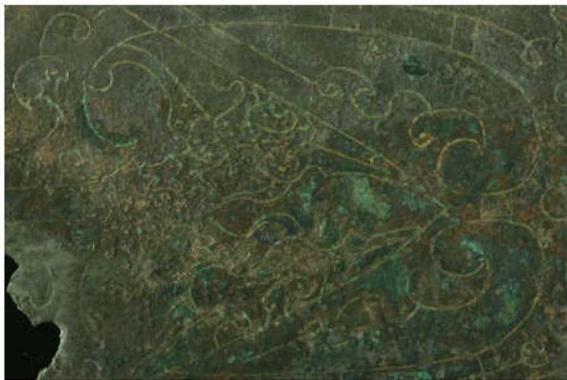
金汞齐,而不仅仅是以往所知的金汞齐。古人通过调整金银合金汞齐中金银成分比例,来展现不同的颜色效果,金色越浅的部位,金银合金中银含量越高,最高达到30%~40%时,即展现出银白色的所谓“鎏银”的效果,这实际是使用了金银合金汞齐的结果。

(三)银胎表面鎏金工艺

经过清理修复,发现了多件银胎鎏金车马器,表面纹饰篆刻成型后进行鎏金装饰,多有鎏金溢出篆刻沟槽的现象。结合鎏金工艺,鎏金过程将汞齐涂抹到器物表面,经过烤金后,还需要用玛瑙轧子进行辗轧平整,沟槽内可以看到因玛瑙仔子碾压不到而保留下的金汞齐原始形态的颗粒状团块。

(四)线刻纹样内鎏金工艺

在本项目涉及的当卢中,首次发现了线刻纹样内鎏金的工艺效果^②。K1:669当卢中仅在篆刻的纹饰线条沟槽内以鎏金装饰,并对溢出沟槽的鎏金层进行打磨,表现出青铜胎体上金线勾勒纹饰的效果(图八)。线



图八 K1:669 当卢纹饰细节



图九 K1:669 当卢
线刻纹饰内部鎏金

条极细,宽度在 150~200 微米范围内,表现出极高的工艺水平(图九)。

(五)南方埋藏环境中铜器的腐蚀机理

对南方埋藏环境中铜器的腐蚀机理进行深入研究,海昏侯车马器腐蚀严重,表面金银贵金属装饰的存在进一步加剧了青铜胎体中相对更活泼的铜锡铅元素的腐蚀,铜锡铅三者表现出明显的差异化腐蚀特征,铜离子几乎完全迁出不存,少量铅元素残留在文物表面以碳酸铅形式存在,文物基体几乎全部是锡元素原位腐蚀而成的无定型二氧化锡,质地极为酥脆。

(六)南方埋藏环境中铁质文物的腐蚀与保护

对南方埋藏环境中铁质文物的腐蚀与保护进行深入研究,认识到铁器腐蚀极为活泼,除了传统认识中的氯离子外,硫酸根、硝酸根等常见无机阴离子也在很大程度上影响了铁器腐蚀,脱盐工作是铁器保护中的重点。

五、结语

本次南昌西汉海昏侯墓车马坑出土车马器研究性保护修复过程,注重科学研究,强调研究性保护修复,将分析研究与保护处理有机结合、贯穿始终,全面认知文物物质属性、研究腐蚀发展过程、解读文物历史信息,制定了将科学保护方法与传统修复相结合的技术路线,克服了海昏侯墓出土车马器腐蚀糟朽严重的困难,有效地保护修复了这批脆弱车马器文物,保护修复报告和档案资料规范、齐全。在延长文物寿命的同时最大限度地揭示、保护、保存文物的历史信息,使车马器表面的精美纹饰得以展现,为考古学、文物保护科学研究和博物馆展陈提供了重要的研究资料。

致谢:参与南昌西汉海昏侯墓车马坑出土车马器保护修复工作的有中国社会科学院考古研究所杨小林、霍海

峻、韩化蕊、李其良、杨巍、郭正臣、李汉召、王宇,江西省文物考古研究院廖勇、李娜,南昌汉代海昏侯国遗址博物馆王小琴、江宇、袁龙辉,分析检测、X射线成像工作由北京大学考古文博学院胡东波教授、王鑫及中国社会科学院考古研究所杨巍、郭正臣、李汉召等完成。特此感谢!

注释:

①杨军、徐长青:《南昌市西汉海昏侯墓》,《考古》2016年第7期,第45~62页。

②国家文物局:《馆藏青铜质和铁质文物病害与图示GB/T 30686-2014》,2014-12-22。

③张吉、刘晟宇、胡东波等:《新建海昏侯墓北藏椁内青铜器及其埋藏环境的初步分析》,《南方文物》2018年第2期,第125~130页。

④杨小刚、刘屏、叶琳等:《基于水凝胶方法的重庆地区鎏金青铜器除锈新技术研究》,《文物保护与考古科学》2019年第1期,第35~40页。

⑤张红燕、王浩天:《魏家庄遗址出土铁质文物的脱盐处理研究》,《文物保护与考古科学》2017年第1期,第78~85页。

⑥王浩天、张红燕:《山东省济南市洛庄汉墓出土的两件错金银铁质马具保护修复研究》,《南方文物》2019年第2期,第283~289页。

⑦郭正臣、杨巍、黄希等:《南昌西汉海昏侯墓车马坑出土部分当卢的便携式荧光光谱仪检测分析研究》,《南方文物》待刊。

⑧杨巍、张红燕、郭正臣等:《西汉海昏侯外藏椁出土三件鎏金当卢工艺比对研究》,《南方文物》待刊。

(责任编辑:刘慧中)