

# 湖北柳树沟墓群 M24 出土汉代薄胎铜镜的保护修复

南普恒<sup>1</sup>, 田进明<sup>1</sup>, 王晓毅<sup>1</sup>, 李志敏<sup>2</sup>

(1. 山西省考古研究所, 山西太原 030001; 2. 山西省文物技术中心, 山西太原 030001)

**摘要:** 借助超景深视频显微镜、扫描电镜、拉曼光谱仪等现代检测分析仪器对湖北柳树沟墓群出土的一件汉代薄胎残损铜镜进行了检测分析。分析包括基体的微观腐蚀形貌、合金成分、金相组织及表面锈蚀物的物相和元素组成, 从而确定了此面铜镜的腐蚀程度、材质、组织结构及表面锈蚀物类型。在此基础上, 采用表面清洁、点焊粘接、补全、随色及缓蚀封护等保护修复措施恢复了铜镜的器型, 展现了文物原貌。

**关键词:** 文物保护修复; 汉代铜镜; 科学分析; 保护修复; 湖北柳树沟墓群

**中图分类号:** K876.41 **文献标识码:** A

## 0 引言

2008~2009年, 在南水北调中线工程丹江口水库淹没区的文物保护工作中, 山西省考古研究所对位于湖北省武当山旅游经济特区的柳树沟墓群进行了考古勘探与抢救性考古发掘, 发现了一批时代分属战国、秦、汉、宋及明清时期的墓葬, 出土了大量的陶、铜、铁及骨器等文物。此墓群处于丹江口水库沿岸的湖滩及山包上, 四面环水, 枯水季节为小岛, 蓄水期则全部淹没于水面以下。由于长期的江水侵蚀, 致使有些墓葬的开口呈斜坡状, 多数墓葬的骨架也已荡然无存, 有的随葬品也因长期浸泡而酥软成堆或破碎严重<sup>[1-2]</sup>。在其中的汉代墓葬 M24 中出土了一面厚约 1mm 且断裂为数块的薄胎铜镜, 编号 M24:12。由于 M24 墓口受江水冲蚀而向湖面倾斜, 且开口距离地表仅 0.1m, 长期受江水浸泡。在此种保存环境下, 历经两千多年的地下埋藏, 此面铜镜发生了较为严重的化学或电化学腐蚀, 本体强度较低, 断裂为数块, 残片难以直接提取。为此, 略微清理后, 便采用套箱的方法对其进行了整体提取, 并在考古发掘结束后运回实验室进行室内保护修复。借助现代检测分析仪器, 在病害认知、材质认知、工艺认知的基础上, 参考诸多铜镜保护修复案例, 在现代保护修复理念的指导下, 采用传统铜镜修复工艺和现代科技保护技术相结合的方法成功实施了此面铜镜的保护修复, 还原了铜镜的原貌, 取得了较好的效果。

## 1 实验样品和方法

### 1.1 实验样品

在室内将套箱重新打开后, 发现套箱内包裹器物的泥土已经完全干透, 硬度较高, 难以直接剔除。为此, 使用乙醇作为湿润剂, 采用滴淋的方法, 一边润湿, 一边使用手术刀、微型牙模刀具等不锈钢器具进行二次室内清理, 并将相互粘连的铜镜残片转移出套箱(图1)。之后, 使用医用脱脂棉签和乙醇清洗残片表面泥污, 并根据残片断裂碴口拼对复原(图2)。

室内清理后, 发现此面铜镜断裂为 12 块残片。残片大体完整, 仅局部少量缺失, 表面局部存在绿色锈蚀物。初步拼对后发现, 此面铜镜呈圆形, 直径约 13cm、厚约 0.1cm, 桥形钮, 圆形钮座, 表面有环形、云雷纹及菱形回纹等纹饰。



图1 M24:12 铜镜清理前

Fig. 1 M24:12 bronze mirror before cleaning



图2 M24:12 铜镜清理后

Fig. 2 M24:12 bronze mirror after cleaning

此外,在清理过程中,在铜镜断裂的残片局部采集基体样品 1 块,取样位置如图 2 所示。同时,在铜镜纹饰面和无纹饰面分别采集了 2 小块锈蚀物样品。

## 1.2 实验方法

必要的检测分析是制定科学合理的保护修复方案和实施保护修复措施的重要前提。为了解 M24:12 铜镜的腐蚀程度、材质、组织结构及表面锈蚀物类型,以便选择适宜的保护修复方法和材料,将采集于铜镜断裂残片边缘的基体样品按照金相分析的方法进行镶嵌、磨光及抛光,并使用 X 射线荧光能谱仪、金相显微镜、扫描电镜、超景深视频显微镜及拉曼光谱仪等对其和锈蚀物样品进行了以下检测分析。

**1.2.1 腐蚀程度** 使用超景深视频显微镜对磨光、抛光后铜镜试样的腐蚀区域进行显微观察和测量分析。

仪器型号:基恩士 VHX-2000 型。

**1.2.2 合金材质** 由于采集的金属基体试样较小,为此采用微聚焦能量色散型 X 荧光光谱仪对试样进行了合金成分微区分析。此仪器具有微区成分分析功能,可将荧光光束聚焦到微区范围内对微小的金属基体进行了检测分析。

仪器型号:美国 EDAX International Inc 生产的 EAGLE-III  $\mu$ XXL 型。参数:管压 40kV,管流  $100\mu\text{A}$ ,真空光路,光斑直径为  $100\mu\text{m}$ ,  $\text{MnK}\alpha$  处的分辨率  $137.5\text{eV}$ ,死时间约 20%~26%,Res 134.5,时间 100s,测定 2 次。

**1.2.3 金相组织** 使用金相显微镜和扫描电子显微镜对磨光、抛光后的铜镜试样进行金相组织观察和分析。

仪器型号:德国徕卡 DM4000M 型金相显微镜;美国 FEI Quanta 200 型环境扫描电子显微镜,其配备 EDAX Genesis 2000 X 射线能谱仪(EDS 分辨率  $<131\text{eV}$ ),可对部分典型区域进行了成分分析。测试条件:高真空模式  $6 \times 10^{-4}\text{Pa}$ ,加速电压 20KV,分

辨率  $3.5\text{nm}$ 。

**1.2.4 锈蚀物组成** 采用扫描电镜配备的能谱仪和拉曼光谱仪对采集于铜镜表面的锈蚀物样品进行元素分析和物相组成分析。

仪器型号:美国 FEI 公司的 Quanta 200 型环境扫描电子显微镜及其配备能谱仪。首先,在样品台上粘附少量导电胶;随后,使用钢针挑取少量样品粉末置于导电胶之上;最后,将承载锈蚀物样品的样品台置于扫描电镜样品仓中进行测试;

法国 HORIBA 公司的 XpLORA 型共焦显微拉曼光谱仪。首先使用钢针挑取少量样品粉末置于载玻片上,随后点滴少量乙醇溶液使样品充分分散。最后,将承载样品的载玻片置于仪器中进行测试。测试条件为  $532\text{nm}$  光源,放大倍数  $50\times$ ,扫描频次  $5 \times 10\text{s}$ 。

## 1.3 实验结果

**1.3.1 腐蚀程度** 超景深显微分析结果见图 3 和表 1。

在铜镜截面样品的显微照片(图 3)中,1 区为靠近镜背纹饰面腐蚀区,2 区为未腐蚀的基体,3 区为无纹饰面的腐蚀区,4 为铜镜样品整个截面。结合显微测量的数据,可以看出,此面铜镜本体腐蚀可能已经过半,且严重腐蚀区域位于镜背纹饰一面,镜面无纹饰一面腐蚀相对轻微。此外,截面可见较多微小裂隙。

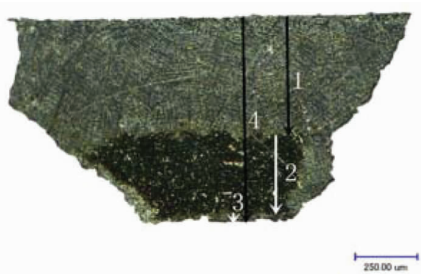


图3 铜镜试样的截面显微照片

Fig. 3 Bronze mirror: cross section

表1 铜镜试样的显微测量结果

Table 1 Micro morphology results of mirror sample

序号	测试	结果/ $\mu\text{m}$
1	2 Point	451.16
2	2 Point	311.38
3	2 Point	45.82
4	2 Point	822.39

**1.3.2 合金材质** 铜镜试样的合金材质分析结果见表 2。

目前,学界多以 2% 为标准,将青铜合金分为铅青铜、铅锡青铜、锡青铜等材质<sup>[3]</sup>。可以看出,此面铜镜的合金材质为低铅高锡的铅锡青铜,其高含量的锡应与金属本体严重腐蚀,Cu 元素流失所致。

表 2 铜镜样品金属基体元素分析结果

Table 2 XRF results of mirror sample (%)

样品序号	主量元素				合金材质
	Cu	Sn	Pb	Fe	
TJ-1	58.4	37.2	4.2	0.1	铅锡青铜

### 1.3.3 金相组织

1) 金相显微镜分析由于铜镜本体腐蚀严重,因此未经侵蚀即可观察出其金相组织,分析结果如图 4~7 所示。

金相分析显示,铜镜样品整体腐蚀严重(图 4),

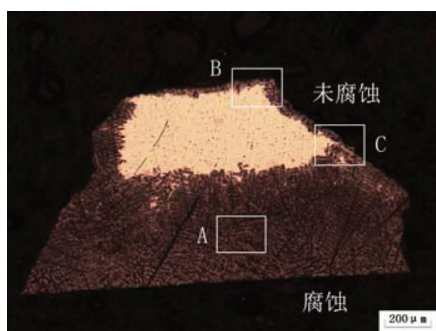


图 4 铜镜侵蚀前金相组织(整体)

Fig. 4 Metallographic structure before erosion

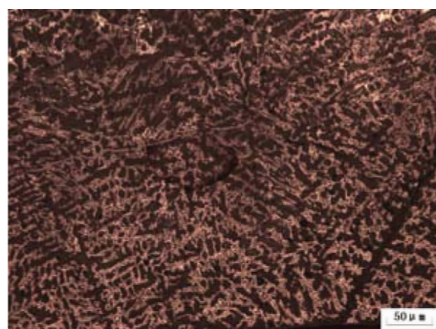


图 5 铜镜试样侵蚀前金相组织(A区)

Fig. 5 Metallographic structure before erosion

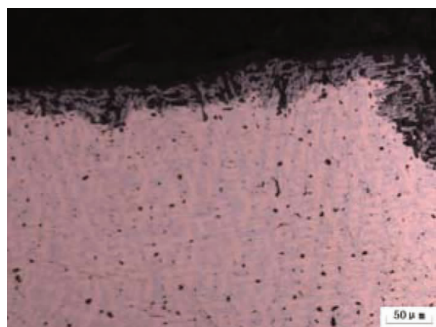


图 6 铜镜侵蚀前金相组织(B区)

Fig. 6 Metallographic structure before erosion



图 7 铜镜侵蚀前金相组织(C区)

Fig. 7 Metallographic structure before erosion

2) 扫描电镜及能谱仪分析结果见图 8~9 和表 3。

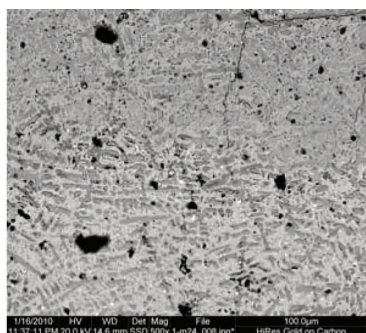


图 8 铜镜试样二次电子像

Fig. 8 Bronze mirror; SEM - SE analysis

图 8 上半部分为铜镜样品的腐蚀区,下半部分为未腐蚀区,腐蚀部位沿晶界存在裂隙,形成腐蚀通

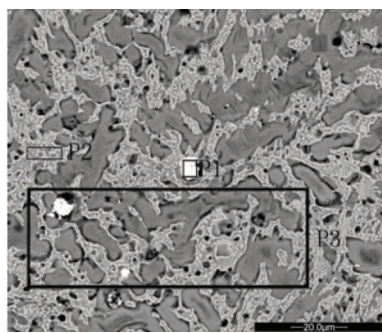


图 9 铜镜试样成分测试区域(白色为铅颗粒)

Fig. 9 Bronze mirror; area analyzed

道。图 9 中亮白色物质为铅颗粒。结合能谱仪分析结果(表 3),可知此面铜镜为铅锡青铜材质,与 XRF 分析结果吻合。

表 3 铜镜试样 SEM-EDS 成分分析结果  
Table 3 SEM-EDS results of mirror sample

测试位置	元素含量						备注
	Si	P	Ca	Cu	Sn	Pb	
P1	—	7.6	1.8	4.8	—	85.9	铅颗粒
P2	1.3	—	—	50.8	38.6	9.3	( $\alpha + \delta$ )相
P3	1.4	0.2	—	50.6	38.3	9.4	铅锡青铜

1.3.4 锈蚀物组成 为确定铜镜表面腐蚀物的结构组成,采用 SEM-EDS 和 Raman 对分别采集于铜镜纹饰面和无纹饰面的四处锈蚀物(图 10~11)进行了成分组成和物相组成分析。

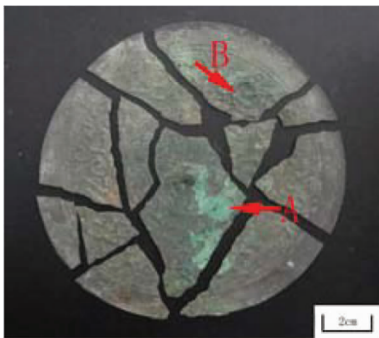


图 10 铜镜锈蚀物分析点  
Fig. 10 Corrosion analyzed

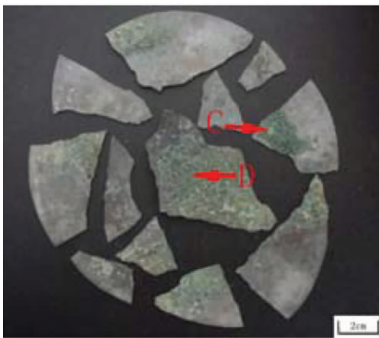


图 11 铜镜锈蚀物分析点  
Fig. 11 Corrosion analyzed

1) 扫描电镜及能谱仪分析  
SEM-EDS 分析结果如表 4 所示。

表 4 铜镜锈蚀产物扫描电镜-能谱分析结果

Table 4 SEM-EDS results of mirror corrosion sample(%)

检测序号	分析元素									
	Cu	Sn	Pb	Al	Si	Fe	Ca	Co	P	Mg
A	53.7	13.0	14.0	1.3	2.9	12.0	0.7	0.7	1.6	—
B	67.6	17.5	10.2	1.2	2.3	1.2	—	—	—	—
C	48.0	32.7	13.1	0.8	3.8	0.9	—	—	—	0.7
D	48.8	21.3	16.9	2.6	8.1	2.3	—	—	—	—

锈蚀物元素分析结果显示,锈蚀物中除了铜镜本体所含的 Cu、Sn 和 Pb 外,还检测到 Al、Si、Fe、P、Ca 及 Mg 等,未发现含有 Cl 元素。

2) 拉曼光谱分析

Raman 分析结果如图 12~15 及表 5 所示。

Raman 分析结果显示,铜镜表面 4 处锈蚀物样品均具有相似的拉曼峰值,与相关文献<sup>[4-8]</sup>中孔雀石的拉曼峰值极为接近,应为孔雀石无疑。

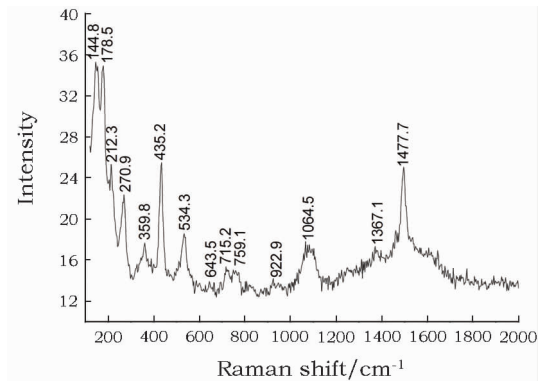


图 12 铜镜 A 处锈蚀物 Raman 图谱

Fig. 12 Raman spectrum of mirror corrosion spot A

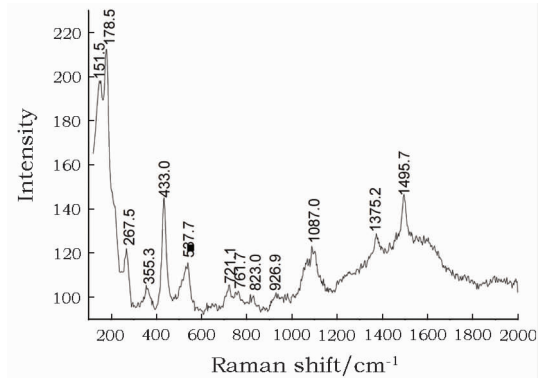


图 13 铜镜 B 处锈蚀物 Raman 图谱

Fig. 13 Raman spectrum of mirror corrosion spot B

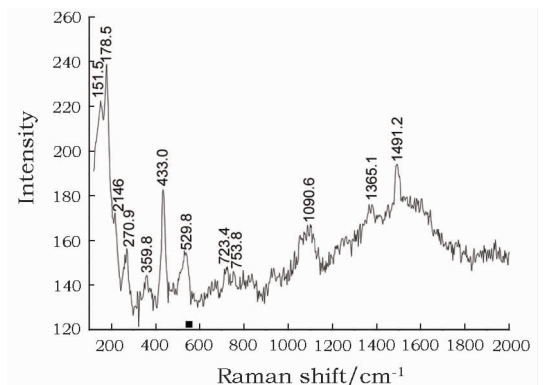


图 14 铜镜 C 处锈蚀物 Raman 图谱

Fig. 14 Raman spectrum of mirror corrosion spot C

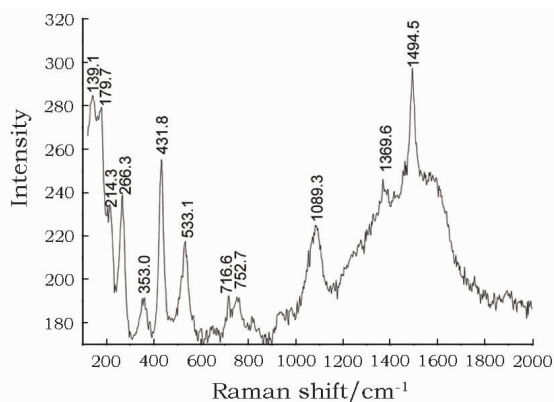


图15 铜镜D处锈蚀物 Raman 图谱

Fig. 15 Raman spectrum of mirror corrosion spot D

表5 铜镜表面锈蚀物 Raman 分析结果

Table 5 Raman results of mirror corrosion sample

样品编号	Raman 峰值/cm <sup>-1</sup>
A	144.8、178.5、212.3、270.9、359.8、435.2、534.3、643.5、715.2、759.1、922.9、1064.5、1367.1、1477.5
B	151.5、178.5、267.5、355.3、433.0、537.7、721.1、761.7、823.0、926.9、1087.0、1375.2、1495.7
C	151.5、178.5、214.6、270.9、359.8、433.0、529.8、723.4、753.8、1090.6、1365.1、1491.2、
D	139.1、179.7、214.3、266.3、353.0、431.8、533.1、716.6、752.7、1089.3、1369.6、1495.5

## 1.4 小结

结合以上分析,可知铜镜 M24:12 的基体为低铅高锡的铅锡青铜铸造成型。目前,其基体腐蚀多数可能已经过半,且纹饰面腐蚀较为严重,无纹饰区域腐蚀相对较轻。铜镜表面腐蚀产物多为孔雀石,未发现含有含氯锈蚀物存在。

## 2 保护修复

### 1) 修复档案建立

建立 M24:12 铜镜的保护修复档案,为铜镜后期的保护、修复及利用等提供详实的资料。

在保护修复前,详细记录铜镜的编号、名称、材质、出土地点、尺寸、重量、纹饰、保存现状等。在保护修复中,详细记录铜镜的检测分析结果、保护修复技术路线、保护修复方法与材料,绘制病害图,并使用数码相机全面系统记录整个保护修复过程。在保护修复后,详细记录铜镜的最终修复效果和制作技术特征、纹饰特征等相关信息。

### 2) 锈蚀物去除

SEM-EDS 和 Raman 分析结果表明,铜镜表面的锈蚀物主要为化学性质较为稳定的孔雀石,

未发现存在严重影响铜镜本体安全和稳定的含氯锈蚀物。孔雀石类锈蚀物属铜的碳酸盐矿物,性质稳定,一般不会造成铜镜的循环腐蚀,影响其稳定和安全。一定程度上,此类锈蚀物也是铜器自身的一种保护层。同时,铜镜表面的孔雀石锈蚀物也是器物年代久远的象征,属于文物历史、艺术、科学的信息与价值的一部分,应尽可能予以保留。因此,在保护修复中,仅需要去除铜镜表面局部影响纹饰体现或疏松与本体分离的锈蚀物即可。

在修复中,使用超声波洁牙机、医用手术刀等对铜镜纹饰面局部影响纹饰显现的绿色锈蚀物和土垢等进行去除。而对铜镜无纹饰面的锈蚀物则全部予以保留,仅使用超声波洁牙机对局部的土垢等实施了表面清洁处理。

### 3) 锡焊点焊修复

显微分析和金相分析结果表明,此面铜镜纹饰面腐蚀较为严重,局部存在微小裂隙,无纹饰面腐蚀情况则相对轻微。因此,在对铜镜残片实施保护修复时,不能在纹饰面采用干预本体的焊接修复方法,而无纹饰面腐蚀轻微,且未腐蚀区的金属结构保存较好,可以采用粘接或微损本体的焊接修复方法。

目前此面铜镜已断裂为 12 块,胎体轻薄,且局部缺失,如果仅使用粘接的方法,可能会由于粘接面过小,局部强度较低等原因影响修复后文物的结构稳定。针对铜镜无纹饰面金属基体部分保存较好的情况,可以在局部实施焊接修复,以保证文物修复后整体结构的稳定和强度。然而需要注意的是,铜镜腐蚀已经过半,焊接修复方法也仅能以点焊方式局部使用,不能以连续焊或通焊的方法大范围使用。

有鉴于此,结合铜镜类文物修复的诸多案例<sup>[9-13]</sup>,最终确定采用点焊焊接和树脂粘接相结合的方式对其断裂残片实施连接修复。

首先,根据断裂残片的茬口和纹饰形态对铜镜残片进行拼对。接着,使用微型牙钻的不锈钢磨头在局部茬口吻合的断裂缝隙处间隔 2~3cm 处进行轻微打磨,待金属基体裸露时停止。随后,以打磨出的半球形锉口为焊口实施锡焊点焊连接修复(图 16),基本恢复铜镜的器型。最后,使用纯净水进行冲洗,去除焊药残留,并使用吹风机强制干燥。

### 4) 树脂灌胶粘接

铜镜器型基本恢复后,在铜镜纹饰面沿残片断



图 16 点焊连接的铜镜纹饰面

Fig. 16 Spot - welding



图 17 修复后的铜镜纹饰面

Fig. 17 Bronze mirror after restoration

裂缝隙粘贴纸胶带,并使用 10% 的 B72 丙酮溶液以滴渗的方式从铜镜无纹饰的一面沿断裂缝隙进行灌注,实施粘接修复。最后,调制适量 E44 环氧树脂,在电吹风加热的辅助下,将其灌注于部分缝隙较大的茬口处进行补充粘接修复。

#### 5) 树脂补全修复

粘接修复完成后,调制适量 E44 环氧树脂,待其固化 1h 后,使用微型牙模雕刻刀将其缓慢填充于铜镜局部缺失部位实施补全修复。待环氧树脂完全固化后,根据铜镜表面纹饰的分布,使用微型刻刀以雕刻的方式将缺失纹饰补全。

#### 6) 随色做旧处理

补全修复完成后,使用较细的砂纸将点焊和补配处高于铜镜表面地方打磨平整,使其衔接吻合,表面光滑。随后,根据铜镜断裂和缺失处周围的颜色和锈蚀状况,使用颜料和酒精漆片以点、涂等方式实施随色做旧,以使修复部位具有良好的质感与色泽,与其他区域颜色和谐。

#### 7) 缓蚀封护保护

为了延缓铜镜修复后的腐蚀,最大限度的延长铜镜寿命,采用 BTA 和 B72 对其进行了缓蚀封护保护处理。

为确保缓蚀剂与铜镜充分接触,采用浸泡的方法,用吹风机充分干燥后,将铜镜浸泡入 3% 左右的 BTA 乙醇溶液中,静置 24h。浸泡之后,使用医用脱脂棉签蘸取无水乙醇对铜镜表面局部的白色 BTA 结晶进行擦拭去除。

由于 BTA 溶于水,且在室温下容易升华。为此,采用涂刷的方法,在充分干燥后,用微型羊毛刷蘸取 1.5% 的 Paraloid B72 丙酮溶液对铜镜实施表面封护保护(图 17 ~ 18)。B72 溶于丙酮等有机溶剂,不溶于水,透明、化学稳定性好,能够很好地隔绝氧气和水,为铜镜提供较好的封护保护。

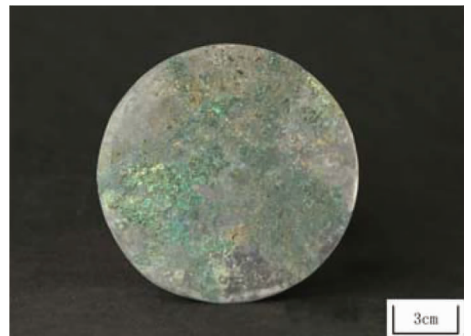


图 18 修复后的铜镜镜面

Fig. 18 Bronze mirror after restoration

## 3 讨论

### 3.1 腐蚀机理

出土文物的腐蚀是其在埋藏环境中受到相关介质的影响而发生的变质和破坏,而表面锈蚀产物的形成则与墓葬或遗址中的水、可溶盐及微生物等直接相关。土壤是由土壤颗粒、水、空气等组成的复杂多相有机无机混合物。在此种多相结构的空隙或孔洞中,充满了空气、水及氯离子、碳酸根离子、硫酸根离子等金属侵蚀性阴离子,极易引起埋藏文物的化学或电化学腐蚀。

结合铜镜表面锈蚀物的分析结果,可知其合金中铜的腐蚀过程应为:表面的 Cu 与埋藏土壤中的  $O_2$  和可溶盐发生化学或电化学反应生成  $Cu^+$ 、 $Cu^{2+}$ , 再与埋藏土壤中溶解的  $CO_3^{2-}$  反应生成  $Cu_2(OH)_2CO_3$ , 并逐渐富集于铜镜表面。

而柳树沟墓群主要分布在江水中凸出的山包上,海拔较低,且多数位于丹江口水库库区水位线之下,随着江水涨落,其长期处于潮湿与半潮湿的交替状态。在此种保存环境下,铜镜极易发生化学或电化腐蚀,且潮湿与半潮湿的交替更加剧了腐蚀的发生。这也正是此面铜镜发生严重腐蚀的重要原因。

值得注意的是,金相分析显示铜镜中的  $\alpha$  固溶

体相优先于( $\alpha + \delta$ )共析体相发生腐蚀,其原因可能与特殊的埋藏环境有关。

### 3.2 保护方法

现代的文物保护修复工作并不仅仅是表面污染的去除和器型的恢复,而是在保存和延续文物本体的前提下,尽可能地对其蕴含的历史、艺术、科学信息与价值进行挖掘、认识及评估。同时,文物的保护修复也不仅仅是本体的修复保护,还包括历史信息的记录、病害的分析评估、保护修复方案的制定、制作技术的研究及后期的保养、维护、监测等,已经成为一个全面系统的文物研究过程。

利用现代科学分析仪器,首先对此面铜镜的材质、腐蚀程度及锈蚀物组成等进行了较为全面和详实的科学分析,并据此对其保存现状进行了科学认知和评估。最后,结合铜镜的保存现状和检测分析结果,有针对性地制订和实施了“锡焊焊接和树脂粘接相结合”的保护修复方案,使残损铜镜的器型恢复,纹饰清晰,稳定性得以加强,整体处于一个较为稳定和安全的状态。

此外,最小干预、可再处理及可辨识性是现代文物保护修复工作应严格遵守的基本准则。在保护修复中,采用物理方法去除表面污染物和局部影响艺术价值体现的锈蚀物,采用局部点焊和粘接的方法对残片进行连接修复,如需解除连接状态,可使用有机溶剂溶解和焊点局部加热等方法。在保护文物稳定和安全的条件下,实现了最低程度的干预和处理过程的可再处理。同时,结合铜镜的腐蚀程度和保存现状,选用环氧树脂进行补全修复。此种材料与铜镜本体差异较大,利用X光探伤或红紫外照相等方法,可方便地进行辨识,实现了修复工作的可辨识性。

不难看出,传统的文物修复已经不再是现代文物保护修复工作的全部,需要不同学科领域的专家学者共同参与,通力合作,共同完成。因此,在整个文物保护修复工作中,学习和吸收现代文物修复理念和相关科学技术与方法,并加强沟通和交流就显得极为重要。

### 3.3 保存建议

铜器的保存状况与其保存环境,尤其是温、湿度及有害气体等密切相关。一般而言,干燥的环境能够抑制铜器的化学或电化学腐蚀,即使温度稍有波动,也能够使铜器处于一个较为稳定的状态,有利于铜器的保护。铜器的保存环境,应控制相对湿度在45%以下,控制温度在20℃左右,并尽可能将温湿度的波动控制在一个较小的范围内。

当宏观环境难以控制时,建议将铜镜保存在透明、密封、除氧、干燥的特制塑料袋中或具有除湿材料且密封效果较好的陈列柜中,营造一个干燥、洁净的小环境来保证文物的相对安全,最大限度地降低温度、相对湿度、有害气体等环境因素对铜镜的损害。

此外,此面铜镜残损、腐蚀较为严重,虽然在修复中使用点焊焊接的方法提高了修复后文物的本体强度,但其整体强度仍极为脆弱。因此,在提取、运输等过程中必须轻拿轻放,并尽可能置于囊匣中保存。

## 4 结 论

1) 此面汉代铜镜的材质为铅锡青铜,铸造成型,含铅量较低,含锡较高。文物本体腐蚀较为严重,近半的基体可能已腐蚀。表面锈蚀物主要为化学性质较为稳定的绿色孔雀石。文物本体硬度较高,但脆性较大,且腐蚀严重,存放时应注意轻拿轻放,做好防震措施,最好置于内衬软质的囊匣之中,并注意定期检查其保存状况,做好日常维护保养。

2) 整个保护修复过程,既坚持了不改变原状和最小干预的原则,又恢复了铜镜的原貌,并较为充分地利用现代检测分析技术手段为文物保护修复方法的选择提供了较为坚实的科学依据,对于类似对腐蚀严重、胎体较薄金属文物保护修复具有一定的参考和借鉴意义。

3) 文物保护修复已经成为一个全面系统的文物研究过程,需要不同领域的专家学者通力合作,共同完成。

### 参考文献:

- [1] 湖北省文物局,湖北省移民局,南水北调中线水源有限责任公司. 武当山柳树沟墓群[M]. 北京:科学出版社,2015:1-6. Cultural Heritage Bureau of Hubei Province, Resettlement Bureau of Hubei Province. Mid-route Source of South-to-North Water Transfer Corp. The Liushugou Cemetery Site in Wudang Mountain, Hubei[M]. Beijing: Science Press, 2015: 1-6.
- [2] 湖北省文物考古研究所. 湖北武当山柳树沟墓群2010年发掘简报[J]. 江汉考古,2013,(2):42-53. Hubei Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. A preliminary year-2010 excavation report on the Liushugou cemetery in mountain Wudang[J]. Jiangnan Archaeology, 2013(2): 42-53.
- [3] 朱凤瀚. 中国青铜器综论[M]. 上海:上海古籍出版社,2009:688. ZHU Feng-han. China bronze[M]. Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 2009: 688.

- [4] 罗武干, 秦颖, 王昌燧, 等. 九连墩楚墓青铜器锈蚀产物的拉曼光谱分析[J]. 岩矿测试, 2007, 26(2): 138-140.  
LUO Wu-gan, QIN Ying, WANG Chang-sui, *et al.* Raman spectrometric analysis of corrosion products from ancient bronzes excavated from Jiuliandun Tombs[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2007, 26(2): 138-140.
- [5] Bouchard M, Smith D C. Catalogue of 45 reference Raman spectra of minerals concerning research in art history or archaeology, especially on corroded metals and coloured glass[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular*, 2003, 59(10): 2247-2266.
- [6] 李怀诚. 深圳铁仔山古墓群出土铜器腐蚀情况研究[J]. 文物保护与考古科学, 2015, 27(1): 65-70.  
LI Huai-cheng. Study of the corrosion of bronzes from the ancient tombs of Tiezaishan in Shenzhen[J]. *Sci Conserv Archaeol*, 2015, 27(1): 65-70.
- [7] 马菁毓, 梁宏刚, 王菊琳. 浙江瓯海出土一件西周青铜器腐蚀成因研究[J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24(2): 84-89.  
MA Jing-yu, LIANG Hong-gang, WANG Ju-lin. The formation of corrosion products on the bronze of Western Zhou Dynasty excavated from Ouhai Zhejiang province [J]. *Sci Conserv Archaeol*, 2012, 24(2): 84-89.
- [8] 山西省考古研究所. 绛县横水西周墓地青铜器科技研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 206-2210.  
Shanxi Provincial Institute of Archaeology. The scientific study of Western Zhou Dynasty bronze in Jiangxian Hengshui Site[M]. Beijing: Science Press, 2012: 206-2210.
- [9] 方萍, 齐扬, 杨军昌. 现代修复理念与传统修复技术的结合——唐代四鸾衔绶金银平脱铜镜的保护修复[C]//王惠贞, 宋迪生, 王璜生, 等. 文物保护与修复纪实——第八届全国考古与文物保护(化学)学术会议论文集. 广州: 岭南美术出版社, 2004: 125-130.  
FANG Ping, QI Yang, YANG Jun-chang. Combining modern thought and traditional restoration technique – the restoration of one Tang Dynasty bronze mirror[C]//WANG Hui-zhen, SONG Di-sheng, WANG Huang-sheng, *et al.* The collection of thesis about the 8th conference preservation of cultural relics and archaeology. Guangzhou: Folk art, Chinese, 2004: 125-130.
- [10] 张勇剑, 杨忙忙, 苗红. 扶风县馆藏唐清晖镜的保护修复与分析研究[C]//中国文物保护技术协会, 新疆文物古迹保护中心. 中国文物保护技术协会第六次学术年会论文集. 北京: 科学出版社, 2010: 12-17.  
ZHANG Yong-jian, YANG Mang-mang, MIAO Hong. The study and restoration of Tang Dynasty bronze mirror [C]// The collection of thesis about the 6th conference preservation of cultural relics. Beijing: Science Press, 2010: 12-17.
- [11] 王赴朝. 从馆藏铜镜的修复谈中国古代工艺对文物修复的应用[J]. 中国历史博物馆馆刊, 1998(1): 115-122.  
WANG Fu-chao. Talking about the application of traditional technique on cultural relics restoration [J]. *J Nat Museum Chin Hist*, 1998(1): 115-122.
- [12] 莫泽. 一面战国铜镜的保护修复[J]. 湖南省博物馆馆刊, 2013(10): 537-540.  
MO Ze. The restoration of one bronze mirror from the Warring States Period [J]. *Hunan Provincial Museum*, 2013(10): 537-540.
- [13] 马宇. 蟠螭菱纹铜镜的保护修复[M]//陕西省秦俑学研究会, 秦始皇兵马俑博物馆. 秦俑博物馆开馆三十周年国际学术研讨会暨秦俑学第七届年会论文集. 西安: 三秦出版社, 2010: 403-408.  
MA Yu. The restoration of bronze mirror [M]//The collection of thesis about the 7th international conference of research on Emper Qin's Terra-cotta warriors. Xi'an: Sanqin Press, 2010: 403-408.

## Conservation and restoration of one Han Dynasty thin bronze mirror excavated from M24 of Liushugou cemetery in Hubei province

NAN Pu-heng<sup>1</sup>, TIAN Jin-ming<sup>1</sup>, WANG Xiao-yi<sup>1</sup>, LI Zhi-min<sup>2</sup>

(1. Shanxi Provincial Institute of Archaeology, Taiyuan 030001, China; 2. Shanxi Culture Relics Technology Center, Taiyuan 030001, China)

**Abstract:** In this paper, digital video microscopy, scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray, Raman spectroscopy, and X-Ray Fluorescence were used to study the microcorrosion morphology, alloy composition, metallurgical structure and phase and elemental composition of a Han Dynasty thin bronze mirror excavated from the Liushugou Cemetery in Hubei Province. The degree of corrosion, material, metallurgical structure and type of surface corrosion were determined. Based on the results, it is tried to restore the original look of the object by cleaning, spot welding, bonding, completing the missing part, balancing the color and coating with protective materials.

**Key words:** Conservation and restoration; Han Dynasty bronze mirror; Scientific analysis and research; Liushugou Cemetery in Hubei Province