

传统—现代融合修复工艺在出土脆弱银器保护中的应用

Application of Integrated Traditional and Modern Restoration Techniques in the Conservation of Fragile Excavated Silver Artifacts

杨 巍 (中国科学院科技考古与文化遗产保护重点实验室 北京 102488)

Yang Wei (Key Laboratory of Archaeological Sciences and Cultural Heritage, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488)

摘要 出土银质文物因埋藏环境复杂, 易出现腐蚀矿化、断裂破碎、严重变形等病害, 致使本体脆弱化, 给保护修复带来极大挑战。本文以宋代墓葬出土的素面银盆与鎏金银器盖为研究对象, 通过病害调查、X射线无损探伤等手段, 系统分析文物残损状态与层位关系。创新性融合传统细金工艺与现代科技, 采用退火再结晶、传统钎焊、碰焊及激光焊接的修复方法, 攻克了脆弱银片二次断裂、鎏金层保护等关键难题。修复后文物机械强度显著提升、器形完整复原, 既为同类脆弱银质文物保护修复提供可借鉴的范式, 也为宋代金银器工艺研究提供翔实实物资料。

关键词 脆弱银器; 保护修复; 退火处理; 激光焊接; 传统细金工艺

Abstract Affected by complex burial microenvironments, silver cultural relics excavated from ancient tombs commonly undergo corrosion, mineralisation, cracking and severe deformation, resulting in extreme brittleness and considerable difficulties in conservation and restoration. Targeting plain silver basins and gilded silver vessel lids unearthed from Song Dynasty burials, this paper investigates their deterioration characteristics and structural stratification via visual condition assessment and X-ray non-destructive analysis. Combining traditional exquisite silverware craftsmanship with contemporary conservation technologies, this study adopts annealing recrystallisation, traditional brazing, spot welding and laser welding to address key problems including secondary fracturing of fragile silver foils and protective stability of surface gilded layers. Following conservation treatment, the artefacts achieve greatly enhanced mechanical properties and intact morphological restoration. The outcomes establish a replicable scheme for fragile silver relic conservation, whilst providing reliable material evidence for research into Song Dynasty gold and silver manufacturing techniques.

Keywords Fragile silverware; Protective restoration; Annealing treatment; Laser welding; Traditional fine metalworking

一、引言

银质文物作为中国古代物质文化遗产的重要组成部分,以其精湛的工艺、独特的历史价值,成为研究古代冶金技术、社会经济与审美风尚的重要实物载体。然而,银作为化学性质较活泼的金属,在埋藏过程中易与土壤中的硫化物、氯化物等发生化学反应,形成硫化银、氯化银等腐蚀产物,导致文物本体矿化、脆化,再加上墓葬坍塌、发掘过程中的机械扰动等影响,出土银器常呈现出严重变形、断裂破碎、多层叠压等复杂残损状态。这类脆弱银质文物的保护修复,不仅需要解决残片提取过程中的二次损伤问题,还需在复原器形的同时,最大限度地保留文物原始信息与工艺特征,银器保护修复目前也是文物保护领域的重点和难点问题。

赵振茂先生曾将修复铜器的方法移植到银器修复中,即如果碎块儿还有银性,可以用锡焊上。如果碎块儿已失去了银性,可以用环氧树脂黏上^[1]。其锡焊技法亦用于辽代契丹族鎏金银马鞍^[2]、辽代鎏金银冠^[3]的修复中。近年来,随着文物保护理念的不断发展,传统修复工艺与现代科技的融合成为文物保护修复的主流趋势。金属文物修复领域中,传统焊接工艺与现代激光焊接等技术的结合,已展现出显著优势,既能降低热输入对文物的损伤,又能提升修复精度与稳定性。本文所涉及的M3-1:25素面银盆与M3-1:177鎏金银器盖均出土于宋代墓葬,两件文物均存在严重的腐蚀矿化、断裂破碎、变形叠压等病害,属于典型的脆弱银质文物。本文通过对这两件文物的保护修复实践,详细阐述修复过程中的技术要点与创新方法,旨在建立一套科学、系统、可操作的脆弱银器保护修复技术体系,为同类文物的保护修复提供理论支持与实践参考。

二、文物基本信息与病害调查

M3-1:25素面银盆(图1)与M3-1:177鎏金银器盖(图2)均为宋代墓葬出土的银质文物,二者在出土状态、保存情况及病害类型上存在显著共性,同时各具特性,具体如下:

两件文物的共同特征表现为出土时均已严重破碎,残片呈多层叠压状态,其中素面银盆整体被完全压扁,鎏金银器盖破碎为几十片并呈圆形排列,原始位置关系混乱,极大增加了残片拼对难度;素面银盆采用套箱石膏固定提取,鎏金银器盖以石膏衬托、中间用纱布加胶固定,经初步判断该鎏金银器盖及附着物体曾采用水溶胶进行加固处理;核心病害高度一致,均遭受严重的机械性损伤与化学腐蚀,残片多存在新鲜断裂茬口,表明在埋藏、提取或后期处理过程中受到强烈机械力作用及二次扰动,导致断裂、残缺甚至多次破



图1 M3-1 : 25 修复前



图2 M3-1 : 177 修复前

损，同时银质基体均发生腐蚀矿化，质地脆弱，鎏金银器盖部分残片边缘还呈白色粉末状，机械强度极低；此外，两件文物的残片表面均附着大量浮土、泥层及硬结物，鎏金银器盖的硬结物主要为土壤沉积物与胶结物的混合物，这些附着物不仅影响残片拼对，也对病害观察造成干扰。

两件文物的不同特性上，M3-1：25素面银盆为容器类文物，器形严重变形，口沿部、腹部与盆底受外力施压紧密贴合，该银盆底部边缘残损缺失，且套箱石膏固定层呈现上大下小的形态，与文物本体贴合紧密，无法通过侧方观察直接判断残片层位关系。M3-1：177鎏金银器盖为鎏金工艺银器，表面有篆刻纹饰，纹饰区域鎏金装饰，修复过程中需重点保护，避免焊接高温或机械操作造成进一步损伤。

三、保护修复技术路线与前期准备

（一）保护修复技术路线制定

针对两件文物的残损状态与病害特征，制定了“前期调查—层位识别—清理提取—应急保护—器形确定—拼对焊接—补配塑形—后期处理”的系统化保护修复技术路线。在修复过程中，重点解决三大关键问题：一是残片提取过程中的二次损伤控制，通过退火柔化处理提升脆弱残片的机械强度，这一思路借鉴了金属材料热处理的基本原理；二是层位关系混乱情况下的残片精准拼对，结合X射线探伤与实物观察确定残片位置，这种“无损检测+实物验证”的层位识别方法，能够有效避免盲目提取导致的残片位置丢失；三是不同类型文物的焊接技术选择，针对脆弱素面银盆及脆弱鎏金银器盖，分别采用传统钎焊、碰焊与激光焊接技术，确保焊接质量与文物安全。

（二）前期准备工作

1. 无损检测分析

采用X射线无损探伤技术对两件文物进行全面检测，获取文物内部残片分布、断裂情况与层位关系等信息，为残片提取与拼对提供科学依据。X射线无损探伤技术具有非接触、无损伤的优势，能够清晰呈现文物内部结构，是复杂残损金属文物修复前期调查的核心手段。对M3-1：25银盆的X射线检测结果显示，文物内部残片呈多层分布，底部边缘残缺严重（图3）；对M3-1：177鎏金银器盖的检测则明确了残片的大致排列范围与叠压顺序，大量残片局部存在暗裂隙（图4）。



图3 M3-1：25 X射线探伤片
(X射线探伤条件: 130kV/3mA/1min/80cm)

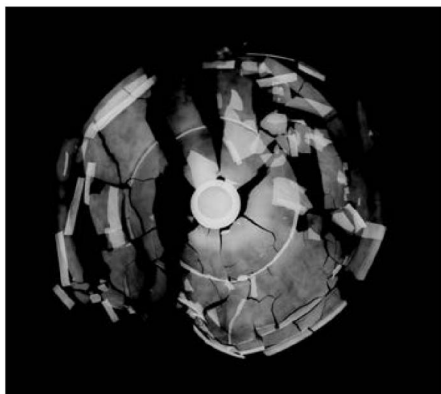


图4 M3-1：177 X射线探伤片
(X射线探伤条件: 110kV/3mA/1min/80cm)

2. 样品分析

选取两件银器文物的微量腐蚀产物样品，采用X射线衍射（XRD）对其表面腐蚀产物进行物相分析。结果表明，样品腐蚀产物主要为氧化银（图5）。对无法拼对的器物残片开展金相分析，金相组织显示退火晶粒结构且晶界含少量夹杂物，该特征与银器经锻打及后续退火处理的工艺相符，可作为其采用锻造成型工艺的间接证据（图6）。

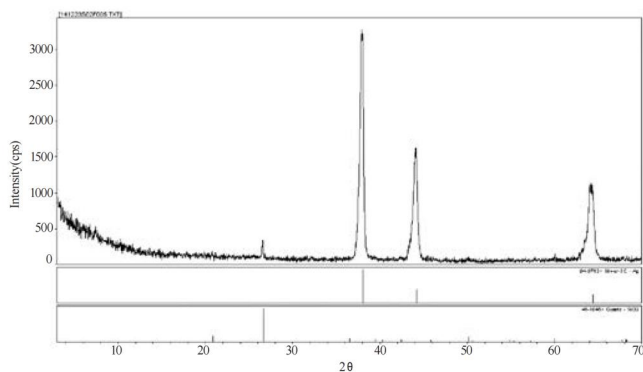


图5 氧化银

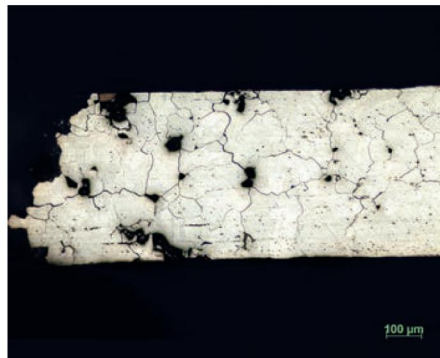


图6 金相图

四、保护修复过程

(一) M3-1：25银盆保护修复

1. 清理前层位关系观察

清理前对银盆的原始形态与X射线影像进行系统分析，确认文物严重变形、残片多层叠压的状态。由于套箱石膏固定层与文物本体贴合紧密，且呈现上天下小的形态，无法通过侧方观察直接判断层位关系，因此决定采用“先提取明确部位，再二次探伤”的方式，逐步厘清残片层位。这种循序渐进的层位识别方法，能够有效避免因层位误判导致的残片提取损伤。

2. 清理过程中层位信息记录与确定

在无法直接确定器形及层位关系的前提下，优先提取能够明确识别的严重变形口沿部分。对于口沿存在叠压的区域，按照“先上层后下层”的原则有序提取，避免残片位置关系混乱。完成口沿提取后，对文物进行二次X射线无损探伤（图7），结合口沿提取后的实物观察（图8），初步判断银盆残碎变形状态及层位关系。二次探伤能够补充第一次检测的信息盲区，为层位划分提供更精准的依据。

银盆残片大致分为五层。第一层为口沿残片，第二层为腹部残片，第三层与第四层为盆底残片，第四层仅局部有少许残片，另有少量腹部残片构成第五层。进一步观察发现，银盆两侧腹部圆弧被压平并基本贴合，形成破碎严重的平面残片，盆底近中心位置对折残断，四层叠加的残片呈水平状，每层间仅有少量泥层。层位划分的准确性直接影响后续拼对的效率与质量，这一过程需结合实物特征与无损检测结果综合判断。

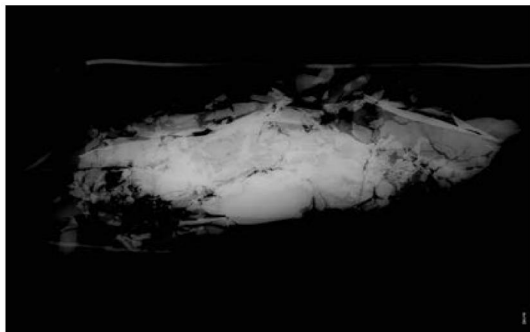


图7 M3-1 : 25 X射线探伤片
(X射线探伤条件: 120kV/3mA/1min/80cm)



图8 M3-1 : 25 口沿提取后

3. 清理提取与应急保护

在残片表面清理阶段，采用毛笔配合洗耳球的工具组合对其表层浮土进行轻柔清理，通过软质工具的低接触强度，规避硬毛刷对质地脆弱残片造成的机械性划伤或结构破坏。针对残片的不同保存状态与理化性能，制定差异化提取及预处理方案：其一，对于质地相对完好、具备基础结构强度的残片，采取直接提取的方式（图9），提取后随即开展退火处理，借助热处理实现残片韧性的针对性提升；其二，腹部残片因长期埋藏产生严重腐蚀矿化，不仅碎片数量较多，且部分残片存在新鲜断裂茬口，为最大程度降低提取过程中的二次残断风险，先在套箱内完成退火操作（图10），待残片随炉自然冷却至室温后，再实施提取作业。本次退火工艺的温度参数设定为650—800℃，该区间的确定兼具材料学理论依据与文物修复实践需求。从材料学角度而言，银及银合金的最佳再结晶退火温度为其热力学熔点温度的0.7—0.8倍，650—800℃的温度范围恰好覆盖这一核心区间，能够有效促使银质基体内部的加工硬化组织发生再结晶，恢复其韧性与塑性，使形变晶粒重新转变为均匀



图9 提取后退火



图10 提取前退火

的等轴晶粒，消除冷作硬化，提高延展性（塑性）^[4]；从文物修复特殊性层面考量，该温度区间既规避了低温退火难以完全消除内应力的缺陷，又可防止高温引发的银质晶粒粗大、合金成分偏析等次生病害，实现修复效果与文物本体安全的兼顾。

考虑到银盆残片过于破碎，后期拼对过程中易因扰动导致残片无法归位，采用“边提取、边修复”的方法，在提取过程中及时记录残片的位置信息与连接关系，最大程度复原残片的原始连接形态，为后续拼对成型奠定基础。这种“提取—修复同步”的模式，已在多件破碎脆弱银器文物修复中得到成功应用，能够有效提升修复效率与准确性。

4. 拼对成型和焊接、补配

拼对成型阶段，首先对口沿残片进行拼对焊接：先采用碰焊进行初步固定（图11），再通过传统钎焊增加连接强度。钎焊过程中，涂抹硼砂作为助焊剂，选用七成银铜锌合金焊药，其特点是流散和焊接性能好^[5]。确保焊接的牢固性（图12）。传统钎焊技术在金银器文物制作工艺应用历史悠久，我国最早的记载见于《汉书·西域传》：“蟲食其樹而沫出下流者，俗名爲胡桐淚，言似眼淚也，可以汗金銀也，今工匠皆用之”^[6]。其优势在于连接强度高、与文物本体兼容性好，而碰焊作为辅助固定手段，能够为钎焊提供稳定的拼接基础。对于变形严重的残片，采用加热整形与机械整形相结合的方式：通过喷火枪加热残片退火，利用“U”形钳垫木块进行缓慢整形，避免因用力过猛导致残片断裂；对于断裂残片，先采用10%硫酸溶液浸泡去除表面氧化层，再用纯净水清洗干净，使用胶锤、钳子进行整形，打磨断茬后采用冷焊机碰焊连接。加热整形与机械整形的结合，能够在保证残片安全的前提下，最大限度恢复原始形态。对于器物残缺部位，采用足银进行补配。经测量，银盆残缺边缘壁厚约为0.3—0.5毫米，因此选用0.5毫米厚的纯银片作为补配材料。补配流程如下：第一，下料。根据残缺部位的形状与尺寸，初步裁切银片；第二，锤揲与退火。对银片进行锤揲、退火、再锤揲的反复处理，使其逐渐贴合器物残缺部位的弧度，实



图 11 碰焊



图 12 钎焊



图 13 锤揲



图 14 鍍活

现随形定型，这一过程借鉴了传统细金工艺中的锤揲技法（图13），能够确保补配片与文物本体的形态一致性；第三，光活与定位。对定型后的补配银片进行光活，使用热熔胶将其临时固定在器物残缺处，准确画出残缺位置轮廓；第四，精细裁切。使用鍍弓子按照轮廓线精准裁切补配银片（图14），确保与残缺部位完美契合；第五，焊接固定。采用碰焊进行多点定位，取下热熔胶，再进行全面碰焊，对部分连接不紧密的位置进行敲打整形；第六，打磨修整。使用金刚磨头打磨凸出的焊点，再通过布砂轮进行内外打磨，对于打磨后出现的不平整部位，进行补焊后再次打磨。补配材料的选择遵循“同质地、同工艺”的原则，确保补配部分与文物本体的物理性能接近。

5. 器物具体形制确定

通过前期边清理边修复，银盆口沿基本完整，但腹部缺失严重。为准确确定器物形制，采用海绵制作内支撑，模拟银盆原始弧度，尝试对残片进行拼对（图15）。拼对过程中发现，底部与腹部存在两处明确衔接点（图16），以此为依据确定了银盆的基本器形与深



图 15 拼对



图 16 衔接点

度。进一步观察发现，已有残片的厚度变化均匀，无明显折痕，由此判断银盆的腹部与盆底连接为弧形转折，而非直角过渡，为后续补配工作提供了关键依据。器物形制的确定是修复工作的核心环节，需结合残片的衔接关系、厚度变化、工艺特征等多方面信息综合判断。

6. 后期处理

后期处理主要包括氧化层去除、清洗晾干与缓蚀封护三个环节：第一，氧化层去除。将修复后的银盆放入10%的硫酸溶液中浸泡，刷洗表面残留的附着物及焊接过程中产生的氧化物。第二，清洗晾干。用纯净水对银盆进行三次浸泡清洗，去除残留的硫酸溶液，然后自然晾干，纯净水的使用能够避免水中杂质对文物造成二次污染。第三，缓蚀封护。通过缓蚀剂渗透，使银器表面形成一层缓蚀膜，封护剂的喷涂采用多次薄涂的方式，确保封护层均匀、致密。保护修复后（图17），完成X射线探伤的影像记录（图18）。



图 17 M3-1 : 25 修复后

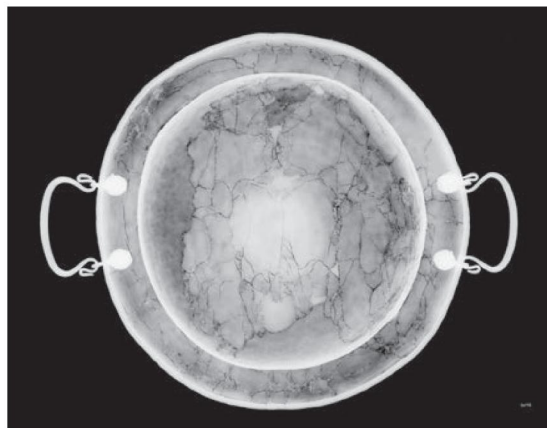


图 18 M3-1 : 25 X 射线探伤片
(X射线探伤条件: 120kV/3mA/1min/80cm)

(二) M3-1 : 177 鎏金银器盖保护修复

1. 清理前层位关系观察

清理前对鎏金银器盖的原始状态进行详细观察，确认文物破碎为几十片残片，呈圆形排列且相互叠压，部分残片保留篆刻花纹与鎏金层，背面有石膏衬托与纱布加胶固定。通过前期分析，确定文物及附着物体曾采用水溶性胶加固，这为后续清理工作提供了重要依据。水溶性胶的加固方式虽能在短期内保护文物，但长期存放可能导致残片黏连、老化失效等问题，需在修复前期进行妥善处理。



图19 提取拼对



图20 石膏模型定位

2. 清理过程中层位信息记录与确定

针对水溶性胶加固的特点,采用纯净水浸泡的方式进行清理。根据银片大小与附着物渗水能力,控制浸泡时间,浸泡过程中定期活动残片,加快胶的融化。待胶完全融化、残片松动后,使用小镊子小心提取残片,按照预设的圆形区域有序摆放,避免打乱残片的原始位置关系,为后续拼对提供便利。纯净水浸泡是去除水溶性胶的常用方法,具有温和、无损伤的优势,适用于脆弱残片的清理。经过拼对(图19),大致掌握了银器盖的基本器形,随后采用泥塑型的方式制作内模,再用石膏翻制外范模型,该模型用于残片修复过程中的整形与定位(图20),确保器形复原的准确性。

3. 初步拼对并做局部点焊

部分残片因氧化严重,边缘已呈白色粉末状,且文物表面带有鎏金花纹,因此焊接过程中需严格控制温度,避免

高温损伤鎏金层;鉴于碰焊机1.5—2毫米的焊缝宽度可能对鎏金纹饰造成二次影响,为最大程度保留原有纹饰,故选择焊接后焊缝更窄的脉冲式激光焊接机;激光焊加热速度快,热影响区窄,焊接应力和变形小,易于实现深熔焊和高速焊,特别适用于精密焊接和细微焊接^[7],可有效降低热输入、减少文物鎏金层的热损伤。焊接前,根据纹饰图案与残片茬口对应关系,对银器表面鎏金纹饰与银片进行精准拼对,确保茬口对接至观察无明显缝隙。随后调整激光焊接机参数:功率60—100瓦,脉冲宽度2毫秒,激光光斑尺寸0.2—0.3毫米,激光频率1赫兹,激光束移动速度2毫米/秒,以脉冲式激光沿残片对接茬口进行局部点焊固定。脉冲激光焊类似于点焊,加热斑点很小,约为微米级^[8],焊接精度高,既能保证连接强度,又能最大限度保护鎏金层与脆弱银质基体,这种参数组合经过多次试验优化,能够在焊接牢固性与文物安全性之间达到平衡。

4. 整体焊接及打磨

在局部点焊固定的基础上，依据器物厚度变化调整激光焊接机参数，进行整体焊接。沿断口走向进行连续脉冲式激光焊接，确保残片的牢固连接。焊接完成后，进行打磨处理，使用微型打磨机将焊接过程中局部重熔凝固产生的不平整表面与焊缝打磨平整，再依次使用橡胶轮与毛轮进行抛光，使器物表面光滑，纹饰清晰可辨，同时避免过度打磨导致鎏金层脱落。打磨过程需遵循“由粗到细”的原则，逐步细化表面粗糙度，确保修复后的表面质感与原始部位一致。

5. 后期处理

实施缓蚀封护处理，通过缓蚀剂渗透在银器表面形成缓蚀膜，封护剂采用多次薄涂工艺，确保封护层均匀覆盖于器物表面，既不影响器物外观质感，又能有效隔绝空气、水分与污染物，防止银质基体及鎏金层再次腐蚀，延长文物保存寿命。保护修复后（图21），完成X射线探伤影像记录（图22）。



图 21 M3-1 : 177 修复后



图 22 M3-1 : 177 X 射线探伤片
(X射线探伤条件: 120kV/3mA/1min/80cm)

五、保护修复技术创新与讨论

（一）多技术融合的修复体系创新

建立了“传统细金工艺+现代科技”的多技术融合修复体系，针对脆弱银器的不同残损特征，实现了修复技术的精准匹配：针对M3-1：25银盆残损、变形严重的问题，在基体焊

接环节，考虑到锡焊银器在再次软化回火的加工过程中会出现筛眼、孔洞等熔蚀现象^[9]，故采用银、铜、锌焊料保障连接强度，结合碰焊进行临时固定，兼顾了修复的牢固性与效率；对于M3-1：177鎏金银器盖的脆弱残片焊接，选用激光焊接技术，凭借其光斑小、温度低、精度高的优势，解决了损伤鎏金层的难题。这种“按需选技”的修复模式，突破了单一修复技术的局限性，与金属文物修复中传统工艺与现代技术融合的发展趋势一致，为复杂脆弱银质文物的修复提供了新的技术路径。

（二）退火工艺的优化应用

针对脆弱银器残片易二次断裂的问题，优化了退火工艺参数。对于普通银质残片，采用650—800℃的退火温度，既能有效去除残片内部应力，恢复银质的韧性，又避免高温导致文物变形；对于鎏金残片，在退火前先敷黄泥阻隔火焰，防止鎏金层因高温致汞挥发，成功解决了提取与修复过程中的二次损伤问题。经对比试验，退火温度区间优于500℃以下低温退火韧性恢复不足与900℃以上高温退火易导致文物变形，是兼顾韧性恢复与文物安全的最优参数区间。退火工艺的优化应用，丰富了脆弱金属文物柔化处理的技术方法。

（三）层位识别与“边提取边修复”方法的实践价值

对于多层叠压、位置关系混乱的脆弱银器，应用“X射线探伤+局部提取+二次探伤”的层位识别方法，成功厘清了M3-1：25银盆的五层残片结构，为精准拼对奠定了基础。这种层位识别方法借鉴了考古发掘中层位划分的理念，结合无损检测技术，能够有效解决复杂叠压残片的位置判断难题。同时，采用“边提取、边修复”的操作模式，及时记录残片的位置信息与连接关系，有效避免了因残片过多、位置混乱导致的拼对困难，提高了修复效率与拼对准确性，该方法对于多层叠压的破碎文物修复具有重要的推广价值。

（四）讨论

脆弱银质文物的保护修复是一项系统工程，需综合考虑文物的残损状态、病害类型、材质特性、历史价值等多方面因素。本文的修复实践表明，传统细金工艺中的锤揲、钎焊等技法，具有操作灵活、与文物本体兼容性好等优势，能够有效解决文物塑形、补配、外观复原等问题；而现代科技中的X射线无损探伤、激光焊接、材料成分分析等技术，为修复过程提供了科学依据，提高了修复的精准性与安全性。两者的有机融合，既保证了修复的科学性与规范性，又传承了传统修复工艺的精髓，是脆弱银质文物保护修复的必然趋势。

六、结 论

本文以M3-1:25银盆与M3-1:177鎏金银器盖两件宋代脆弱银质文物为研究对象,通过系统的病害调查、科学的技术路线制定、多技术融合的修复实践,成功解决了脆弱银器残片二次断裂、层位关系混乱、鎏金层保护、精密拼接等关键技术难题,实现了文物器形的完整复原和机械强度的显著提升。修复过程中建立的“表面清理—退火处理—拼对焊接—补配塑形—缓蚀封护”系统化修复流程,以及退火、传统钎焊—碰焊—激光焊接等多技术并行的修复方案,具有较强的科学性与可操作性,为同类脆弱银质文物的保护修复提供了可借鉴的范式。修复后的文物不仅恢复了原始的外观形态与艺术价值,还完整保留了文物的原始信息,为研究宋代金银器的工艺特征、审美风尚等提供了翔实的实物资料。

未来的脆弱银质文物保护修复工作,应进一步加强传统工艺与现代科技的深度融合,开展修复材料的耐久性研究、修复技术的标准化研究,建立更加完善的脆弱银质文物保护修复技术体系,为我国古代银质文物的保护、传承与利用提供更有力的技术支持。

附记: 特别感谢杨小林老师在钎焊材料技术与应用实践方面给予精准指导与严谨指正,为本文相关工艺环节的论证奠定了关键学术基础;由衷感谢李其良老师在鎏金银器激光焊接修复应用研究及相关工艺参数方面提供的重要支持;感谢同仁王卫杰,在银盆文物修复工作中的全程辅助与辛勤付出。

参考文献

- [1] 赵振茂. 金银铜器的传统修复技术[J]. 故宫博物院院刊, 1994(3): 64-83.
- [2] 潘炼. 辽代鎏金银马鞍的修复[J]. 文物修复与研究, 2016: 37-39.
- [3] 柏艺萌, 郭松雪. 一件辽代鎏金银冠的科学保护修复[J]. 辽宁省博物馆刊, 2016: 217-223.
- [4] 夏立芳. 金属热处理工艺学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1986: 30.
- [5] 杨小林. 中国细金工艺与文物[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 126.
- [6] [汉] 班固. 汉书[M]. [唐] 颜师古注. 北京: 中华书局, 1962: 3876.
- [7] 曹朝霞, 曹润平. 特种焊接技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2025: 7.
- [8] 李亚江, 王娟, 张永喜等. 特种焊接技术及应用[M]. 5版. 北京: 化学工业出版社, 2018: 16.
- [9] 杨小林. 中国细金工艺与文物[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 136.