

不稳定金属器的技术修复

宋玉军

摘要：本文主要论述馆藏金属器物特别是铜器、铁器的主要病害特征，并针对已经出现被病害侵蚀的器物，采用传统修复工艺和现代科技手段，进行技术保护，延缓馆藏金属器的腐蚀损失程度。

关键词：金属器 技术 保护 缓蚀

众所周知，金属器物特别是铜器、铁器一旦出现“青铜器的粉状锈及铁器的酥粉锈”，后果不堪设想。这是金属器最大的敌人。如果长时间得不到清除，它就会慢慢腐蚀到整个器物，使整个器物酥瘫粉化，并且还会影响到其他的器物。最终，铁质器将无法辨认，而会变成锈块粉渣。

一、保护修复原则

依据文物保护法，修复、保护馆藏文物应遵守不改变文物原状的原则，本方案即以此为准则。而将残损、破碎的器物修正复原，不可能与未修前的状态完全一样。在不改变文物原状的前提下，将按下列具体原则执行，即消除隐患原则、保存历史信息遗存原则、最小干预原则、可再处理原则。按上述原则对文物修复的方法、材料和工艺进行筛选，择优采用。

二、保护修复技术方案

在金属器的修复过程中，我们将根据不同的器物类型、材质、损坏程度来决定选择何种工艺材料及方法。在此之前还要进行必要的信息采集、检测分析、方法试验筛选和技术咨询等前期工作。对这批青铜器和铁器的修复保护，将采用成熟有效的修复保护技术，以优秀的传统修复工艺和现代保护科技相融为一体的技术路线，在不改变文物原状的前提下完成修复任务。

（一）前期准备工作

1. 信息采集

藏品影像资料。将待修文物进行整体和局部拍照，包括正负片和数字影像，特别记录其残损状况。

文献调查。将待修文物的发掘报告、埋葬环境资料、主要研究著作等文献，做征集调研。

保管资料。将出土文物、征集文物的保管、使用经历、收藏保存环境、修复保养记录做综合

了解。

同时对每件文物建立技术保护档案。

2. 检测分析

对待修青铜器、铁器的合金基本材料，腐蚀产物，器物表面的硬结覆盖层及污物等进行检测分析，采用现代无损及微量检测技术，金相显微分析，器表形貌分析，X射线无损探伤及出土文物埋葬环境分析等。所采用的主要分析技术手段包括：电子探伤、等离子放射光谱分析、X射线衍射结构分析、扫描电镜、X射线探伤等。

该分析工作将从有代表性的器物中，重点选择以进行检测分析，并非对每件器物都进行。检测分析工作，将由中国国家博物馆和中国科学院应用化学研究所协助完成。

(二) 方法材料的选定

1. 青铜器有害锈的清除稳定

关于青铜病的问题，已经有了比较清楚的认识。我们认为当青铜器在埋藏过程中受到氯化物污染时，有一种蜡状腐蚀产物 CuCl 在金属表面、微小裂纹和凹痕中形成并渗入金属基体。根据埋藏环境中存在的离子不同，腐蚀层中会形成不同的腐蚀产物。一经发掘，空气中水分、氧气可将 CuCl 层激发成活性，不断腐蚀器物。阻止青铜病的发生，或者将 CuCl 除去，或者阻止其与空气中水分、氧气反应，使其失去活性。如果处于惰性气体环境或相对湿度低的（低于 35%）干燥环境则可缓解其腐蚀漫延，若不能提供给文物较好的环境，则必须选择一种稳定处理措施。做到既使有害锈得以清除缓蚀，又保持青铜器古色古香的锈层。

对青铜器有害粉状锈去除的稳定方法，经过文物保护科技界长期的探索研究，已有较成熟有效的方法，包括下述几种。

(1) 倍半碳酸钠法。将腐蚀青铜器置于倍半碳酸钠溶液中浸泡，使铜的氧化物逐渐转换成稳定的铜的碳酸盐，氯离子被置换于浸泡液中，而使之去除。直至浸液中再无氯化物为止。但此法使器物的色彩变化较大，目前已很少使用。

(2) 氧化银法。对斑点状局部腐蚀的青铜器，先用机械工具剔除器物表层粉状锈和氯化亚铜，再将氧化银与乙醇调成的糊剂填涂于孔洞处，使氧化银与未清除的氯化亚铜生成角银膜，将氯化亚铜封闭起来，使青铜器稳定。此为传统的老方法，效果也受局限。

(3) 苯并三氮唑法。苯并三氮唑（BTA）与铜及铜盐形成络合物，使铜合金表面生成不溶解且相当牢固的透明膜，抑制铜体腐蚀。

(4) 电化还原法。电化还原仅用于青铜器有害锈的局部处理，原则使青铜器矿化层被破坏。还原金属用锌或铝粉，电解质溶液为氢氧化钠溶液，对被锈层覆盖的铭文及纹饰，用此法效果良好。其中以锌粉法应用较多。

以上方法根据器物实际情况选择使用，而以苯并三氮唑法和锌粉法综合使用，较为适宜，此外， $\text{BTA-Na}_2\text{MoO}_4\text{-NaHCO}_3$ 复合缓蚀剂、AMT 缓蚀剂等都可进行应用试验，择优使用。

2. 清除污物

青铜器、铁器上的泥土、污垢、硬结覆盖和可溶性盐类等有害物质，长期伴随文物，是其受损

的重要有害因素，故应适当清除，避免使器物病害缠身，但对锈层要选择性地清除和保留。清除方法有：机械法、溶液法和纸糨糊敷法等。

(1) 机械法。用喷砂机、超声波、清除机和医用手术工具等，对器物表面的泥土、硬结锈垢、疏松锈、污垢等进行机械清除。此方法均由修复技术人员手工操作，以严格控制清除的限度。

(2) 溶液法。一般用蒸馏水浸泡清洗器物，除去器表泥垢和器物孔隙内的可溶性盐类等有害物质。浸泡溶液要定时反复更换，此时有害物质已进入溶液中，应测得浸液中无氯化物检出为宜。浸液除蒸馏水外，也可用碱性溶液，为使清除速度加快，提高清洗效率，在溶液浸泡过程中可伴加热，手工刷洗或置于超声波清洗器中完成。

(3) 纸糨糊敷法。对不适宜整体浸泡的器物，可采用纸糨糊敷法，将器内可溶性盐类吸附于纸浆上，定时更换纸浆，则可将盐类除去。

3. 整修复原

用中国优秀的传统文物修复工艺，对器物进行整形、补配、连接、加固、表面修饰等整修复原处理，同时结合使用现代科技手段和新材料。

(1) 整形。根据器物残损状况，对变形破碎的器物进行矫正和残片拼合。此工艺要尽量避免对器物造成新的损伤。不使用传统的锯解法。

(2) 补配。对器物残损的部位，依据可靠的资料，可进行补配。有参照部位者，可用翻膜铸造配件。配件材料可选用铜材或高分子合成树脂材料。对已全部腐蚀无金属基体者或器形弧度较大者，可用合成树脂材料补配。补配部位的花纹、铭文，一般不再补刻。传统的篆刻工艺一般不用。

(3) 连接。对器物残碎片和补配件进行连接成器的技术手段，有焊接和黏结或两者结合使用。对尚有铜基体的可用锡焊或银焊，其连接部位的强度有保证。对已全部腐蚀部位的连接，得采用黏结技术。

(4) 加固。对糟朽脆弱部位，应予加固技术处理。加固方法有机械加固法和渗透加固法。机械法有加衬和暗销工艺，渗透法则用高分子材料渗透。常用的加固材料有：有机硅、有机氟树脂、丙烯酸甲酯（B72）等。用何材料要试验筛选。

(5) 表面修饰。经上述工艺后，整器已成形，但修复部位与整器表面的色彩有一定差异，为保持器物的整体视觉效果，需要对器物表面作修饰做旧处理。做旧工艺所用材料主要是黏结剂和着色材料，色料宜采用与金属腐蚀物相类似的天然矿物颜料。此工艺要掌握做旧的程度，不宜改变器物原有色彩。

4. 封护缓蚀

封护工艺是为防止和缓解修复处理后的器物，再受环境因素的影响，而采取的预防性保护措施。可采用浸、刷、喷涂布手段。早期用的封护剂为蜂蜡、白蜡、低熔点（49℃）石蜡。在高于100℃的温度下，将除过锈、清理干净的文物在蜡液中浸泡几分钟后取出，放在过滤纸上晾干，用电吹风机除去多余的表面沉积，使熔蜡均匀地分布渗入金属多孔的文物表面。成为保护层，阻止水分及有害气体对青铜器的侵蚀。蜡为传统工艺材料，具有对金属材质无损，不与金属发生化学作用，不溶于水，无色透明，成膜快速，操作方便，来源广泛，具可逆性和再处理等优点，故仍可采用。在蜡材的选择上要用不易黏结空气中降尘的蜡质。还可选用丙烯酸树脂、乙酸树脂、聚乙烯

丁醛、硝化纤维素、有机氟树脂、有机硅树脂等对青铜器进行封护处理。特别是 B72 有机硅树脂和有机氟树脂其效果较以前所用的材料性能优良。

5. 关于铁质器物的处理方法

馆藏铁质器物，大多数已破裂、起层、酥粉、断裂。对锈蚀严重的器物可先加固再清理复原。选择渗透性强、柔韧性好的有机材料做加固剂，如聚酯树脂、环氧树脂等，以适当溶剂稀释后反复多次渗透加固，这样才能保证器物在后期的除锈过程中不至于彻底散架、垮塌。其次根据 X 射线照片提供的锈层厚度、腐蚀深度选择保护修复方案。

引起铁器生锈的因素很多，空气中的氧气、水分、二氧化碳，土壤中的无机盐离子如氯离子等以及土壤中的细菌、微生物等都是导致铁器锈蚀的原因。其中氯离子被认为是铁器发生致命性腐蚀的主要因素。要消除铁质器物的腐蚀因素，首先就应该清除其可溶性盐类。常用的方法是将铁器在弱碱性缓冲溶液中进行提取和置换，可以将铁器上可溶性盐类从锈层中提取出来。同时，也有一部分腐蚀活性成分可以转化为较耐腐蚀的稳定性成分，有效地降低电化学腐蚀的活性。根据现有的工作条件，仅在常温、常压条件下对铁器进行盐类的提取和置换工作，每次提取后的提取液也都要用硝酸银检测方法进行检测，直到提取液中检不出氯离子为止。

铁器的缓蚀处理。铁本身就是一种比较活泼的金属，即使将出土的铁器上的从地下带来的可溶性盐类全部清除干净了，在自然环境中还是有化学和电化学腐蚀的可能性，为了进一步有效地防护，有必要对已经清除了可溶性、吸湿性盐类的铁器进行缓蚀处理。筛选适宜的化学物质，它具有一定的可测量的饱和蒸汽压，可在金属表面形成微气候，隔绝外界环境对金属的腐蚀影响。或者在金属表面形成无色透明的单分子保护膜。以阻止金属的被腐蚀过程。

铁器表面的防腐蚀封护处理。铁器经过以上的处理后，已经相对地稳定。但是金属缓蚀剂具有可测量的饱和蒸汽压，这说明它有一定的挥发性。经过一段时间后会挥发散失而逐渐失去它的防腐功能。为了有效地提高它的缓蚀效果和延长有效的时间，同时也能更有效地隔绝环境对器物的腐蚀影响，可用高分子材料做金属表面的封护处理。选用丙烯酸类树脂做表面封护材料，它具有良好的耐老化性能，无色透明，无炫光，且对金属材质不会产生什么影响，不改变文物的原貌，既阻止了金属缓蚀剂的挥发散失，能隔绝环境气体对金属的侵蚀，还能渗透到锈层的空隙和裂缝中，增加金属的强度。

(三) 后期保证措施

经保护修复技术处理后的文物，要进行藏品技术档案的登录工作，并提出藏品保存收藏环境的改善建议，包括陈列室和文物库房室内环境的控制和创造文物箱、柜内最佳微环境的有效措施。保护修复后的文物要定期检查，防止再受损，若发现问题及时处理，建立文物修复的问责制。

作者单位：宋玉军，宁夏文物保护中心

联系方式：宁夏银川市兴庆区文化东街 8 号，邮编 750004