

等符号，记作“□”（图1），商代，二级文物。通高31.8cm，宽25.7cm，体圆，深腹，双立耳，三柱足，颈部饰一周涡纹，腹饰兽面纹。铭文在器内壁上。此鼎铸造精良，纹饰精美。文物档案上记载此件器物由北京市文化局自古玩商倪玉书处没收而来，1957年拨交给故宫博物院。

鼎是我国古代的一种礼器，是社会等级的标志和权力的象征，鼎也可以用来盛放食物，或在鼎的腹底烧火烹煮、加热。常见的鼎多为圆形，双耳，三足，也有方形，双耳，四足。古代时期用鼎制度等级森严，鼎常与簋一起组合使用，在西周时期列鼎制度最为明显，按照周礼，天子用九鼎八簋，诸侯用七鼎六簋，大夫用五鼎四簋，士用三鼎二簋。

修复保护前器物有一碎块脱落，碎块有一处严重的开裂，在碎块的边缘处有残留的焊锡；器身经碎块拼对后有轻微缺失，还有一处明显的裂隙，在器腹有多处黑色线条状痕迹；此外，器物口沿处还出现了疑似的青铜器有害锈（图2），这些都使得文物的情况变得不稳定，甚至有保存状况继续变差的风险。



图1 亚“□”鼎铭文



图2 亚“□”鼎修复前状况及疑似产生有害锈的部位

2 修前检测分析

对青铜器文物进行修复保护前的检测分析，有助于我们了解文物的材质、制作工艺和病害机理以及内部结构等重要信息，以此作为重要依据，有针对性地制定修复保护策略，选取适当的保护方法、材料及工艺。针对亚“□”鼎的实际情况，我们做了如下相关检测分析。

2.1 成分分析

使用Bruker Tracer3-SD型手持式X射线荧光光谱仪对亚“□”鼎进行多点位元素分析测试。测试金属构件使用黄色滤片，电压40kV，电流10.3mA，活时间40s，采用设备自带的标准合金分析模式。在鼎身和碎块选取的5个点位检测结果表明，此鼎为铜锡铅的三元合金，且各个部分无明显差异。

2.2 X射线成像分析

X射线成像技术是研究金属文物内部基本情况和结构的无损分析方法。通常来看，成像上相对较暗的区域，材料密度较低、厚度较小，可能存在裂隙或者锈蚀程度较高。同时由于传统的青铜器修复技艺中，经过焊接补配的青铜器都需在修复处进行做色修饰，也就是做旧，所以仅凭肉眼的直接观察是很难发现青铜器上的修复痕迹的。X射线成像技术是检测修复痕迹科学有效的方法。通过对亚“□”鼎的X射线成像的仔细观察，发现文物进行过多处修复：如图3所示，亚“□”鼎器腹部整体颜色较暗，应为此处金属基体矿化比较严重所致，因此在修复处理中要特别注意并选择科学有效的修复保护方法；亚“□”鼎的X射线成像可见多条裂缝清晰的贯穿分布在器腹部；裂缝及其周围的白色亮块，应该是在修复过程中用锡焊法焊接时留下的焊锡。



图3 X射线成像及显示为黑色缝隙的虚焊处（箭头所示）

2.3 锈蚀产物分析

通过X射线衍射仪（XRD）对亚“□”鼎绿色锈蚀物样本进行检测分析，发现有氯铜矿 $[\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}]$ ，副氯铜矿 $[\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}]$ ，赤铜矿 (Cu_2O) 。赤铜矿属于稳定的无害锈，而氯铜矿和副氯铜矿都属于有害锈。在青铜器的保护中，氯离子是形成有害锈的直接因素，氯离子会在适合的温湿度环境下使铜器不断地循环腐蚀，也就是所谓的“青铜病”。这对于青铜器来说是最严重的病害，必须及时加以保护处理。

3 修复保护技术路线与方法

根据文物的修复前状况以及前期检测分析结果，对亚“□”鼎进行修复保护，制定了由传统青铜器修复技艺、化学保护和预防性保护等结合的修复保护技术路线，主要工作有去除有害锈、缓蚀封护、黏接、加固、补缺、做色，详见表1。

表1 亚“□”鼎保护修复处理技术路线详解

序号	处理步骤	技术难点	前期检测分析数据指导	方法、材料
1	脱盐处理	有害锈的局部去除	检出有害锈和基体中的氯，为进行脱盐处理提供依据	用脱脂棉蘸取5%半碳酸钠溶液进行局部涂敷，置换去除有害离子
2	缓蚀封护	—	明确需要缓蚀、封护的部位	使用含BTA的5%丙烯酸树脂Paraloid B 72的丙酮溶液局部封护
3	黏接	黏接强度与材料	—	① 使用EVA热熔胶对碎块和器身临时定位； ② 使用HXTAL NYL-1树脂胶黏剂渗透完成黏接

续表

序号	处理步骤	技术难点	前期检测分析数据指导	方法、材料
4	渗透加固	材料选择	明确需要临时加固的区域	使用HXTALNYL-1树脂胶黏剂对裂缝处进行渗透加固
5	补缺	材料选择及纹饰补配		使用福乐阁 (Flügger) 精细表面填充膏进行补缺
6	做色处理	—	—	用乙醇调和虫胶漆并加入需要的矿物颜料, 用牙刷蘸取喷弹、毛笔点染在需要做色的部位达到锈色的协调一致

4 修复保护实施中的重点

由于亚“□”鼎有多处的修复痕迹, 青铜基体锈蚀、矿化的程度比较严重, 在修复保护技术路线的实施过程中, 经过试验调整了传统修复技艺中的一些具体的方法与材料工艺。在这一过程中, 许多传统保护修复技术难题得到了较好的解决, 科技和新材料的介入也使传统青铜器修复技术焕发了新的生命力, 并在文物修复保护的的实际工作中有效地解决了相关问题。

4.1 原修复方法与材料及病害成因分析

传统的青铜器修复技艺中较为重要的两个步骤为焊接和做旧。

焊接是将破裂脱落的碎块与器物重新连接的过程, 主要的工具是电烙铁, 材料为焊锡和焊剂。焊锡在电烙铁的加热作用下熔化并和焊剂发生反应, 待冷却后完成碎块的连接。

做旧是将青铜器上经过焊接等步骤修复过的部位按照器物原有锈色进行随色, 使修复过的部位从视觉效果上达到展览的要求。青铜器经过修复、做旧的意义是在展览中不使破损和修复处吸引观众的注意力, 而是使观众的注意力放到完整的文物上, 从而更好地实现文化和历史传播。传统做旧方法的工具主要是毛笔和牙刷, 材料为虫胶漆 (俗称漆皮)、乙醇溶剂以及矿物颜料。在做色时用毛笔或牙刷蘸取调好的颜色进行点染或喷弹。

由于亚“□”鼎在近四五十年间并无修复的记录, 其修复年代应为20世纪60~70年代, 根据



图4 亚“□”鼎断口处呈现严重矿化部位

X射线照片和传统工艺判断, 由于受到当时修复材料、工艺的局限, 从亚“□”鼎X射线照片中可以看到几乎所有的裂缝都是用焊接的方法进行修复的, 其主要原因应是当时并没有适合强度的胶黏剂的应用, 所以只能进行焊接。但鼎身的矿化程度比较高, 而焊接又恰恰要求两个断口的连接处有比较好的金属性质, 否则即使焊接完成也会出现虚焊的情况 (图4)。随着时间的推移, 虚焊处就会开焊脱落, 这也正是亚“□”鼎碎块脱落的主要原因。

4.2 鼎身有害锈的去除

除锈是青铜器修复保护中常见的工作步骤，去除的锈蚀产物以有害锈为主，青铜器表面致密稳定的无害锈蚀一般不予去除。

经检测分析可知，亚“口”鼎局部产生了含氯离子的有害锈，继续发展将使文物受到更严重的破坏，也易引发“青铜病”，因此宜使用倍半碳酸钠进行脱盐处理，科学有效地去除含氯锈蚀产物。选用了5%倍半碳酸钠溶液置换的方法去除有害锈（图5），并用含BTA的5%丙烯酸树脂 Paraloid B72的丙酮溶液局部封护，取得了比较理想的效果。



图5 亚“口”鼎有害锈的去除

4.3 黏接和加固

如前文所述，亚“口”鼎鼎身矿化程度较高，基体金属性质退化比较严重，并不适用于焊接的修复方法。如果再次选择焊接，依然会形成虚焊的效果，给文物结构稳定性造成隐患。所以在这次修复中我们选择了用现代高分子材料HXTAL NYL-1树脂胶黏剂进行黏接。

HXTAL NYL-1树脂是专为文物修复和保护而生产的树脂。它是一种双组分、低稠度、高强度、强耐光及老化的树脂，适用于黏接陶瓷、玻璃、金属材料等。在黏接的过程中，我们进行了渗透黏接，也就是先将碎块与鼎身连接好并用EVA热熔胶临时固定，然后将HXTAL NYL-1树脂用牙签蘸取渗入需要黏接的缝隙中，待固化后去除临时固定的材料完成黏接（图6）。这种方法有别于先在需要黏接的断口处涂胶再进行黏接的方式，利用了HXTAL NYL-1树脂良好的流动性的特点。

碎块黏接完好后，也用同样的方法和材料将鼎身几处裂隙进行了加固。

4.4 补缺

亚“口”鼎黏接、加固完成后，还有几处裂缝需要补缺。在补缺的材料上没有选择硬度较高的环氧树脂类的补缺材料，因为这会使之后的打磨和纹饰补配工作变得困难。几处裂缝较为细小，选择了福乐阁（Flügger）精细表面填充膏，其特点是强度和硬度适中，既可以满足修复保护工作的需要，又便于补缺后的打磨，也使补缺处的纹饰雕刻补配工作变得相对简单。补缺完成见图6（右）。

结 语

通过从前期检测分析、制定修复保护路线到具体实施的一系列修复保护过程，这件商代的青铜



图6 亚“口”鼎的黏接（左）、补缺（右）



图7 亚“口”鼎修复保护后

器亚“口”鼎基本修复完好，达到了展览和研究的要求（图7）。

在此过程中，我们使用现代仪器和科学方法对文物的材质、原有修复情况、锈蚀产物进行了较为全面的了解。结合国际通行的修复保护理念，以传统青铜器修复技艺为基础，加之现代科学保护手段和新材料、新方法制定了技术路线。此次科学修复保护工作取得了良好的实际效果。

任何一门传统技艺都不能一成不变，故步自封，都需要不断地创新发展，青铜器修复技艺也是如此。我们既要尊重传统、研究传统，又要结合相关领域科学发展带来的新技术、新成果、新方法、新材料，这样才能使传统技艺真正地保持活力，不断科学、规范地向前发展。

致谢：本研究中的X射线成像分析工作由故宫博物院张雪雁完成；X射线衍射分析工作由故宫博物院康葆强完成；此外一并感谢故宫博物院文保科技部王有亮、吕团结、荀艳对本研究的支持和指导。

参 考 文 献

- [1] 莫鹏. 中国青铜器修复技术源流刍议 [J]. 中国博物馆, 1998, (3): 82-87.