

• 今日铸造 Today Foundry •
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.11.021

一件战国红铜嵌镶青铜豆的工艺逻辑探究

盛崇珊¹, 胡 钢¹, 付淑华²

(1. 北京大学 考古文博学院, 北京 100871; 2. 北京市怀柔区博物馆, 北京 101400)

摘 要: 青铜器的红铜嵌镶工艺是一种高超的青铜器表面修饰技法, 对于其工艺特点及流程, 学界有较为完整的推测, 但尚无实例证实。通过观察法、金相分析、SEM-EDS 分析等, 探索分析北京怀柔出土红铜嵌镶青铜豆的形态特征、组织特征和器物成分特征, 推断其表面装饰工艺逻辑。结果表明, 首先制作青铜器体, 铸造后使用錾刀依据纹饰在青铜器表面錾刻出嵌槽; 使用红铜丝或红铜片制成纹饰, 并对其进行反复热锻, 使纹饰基本吻合青铜凹槽形状, 再直接捶打嵌入青铜基体。研究增强对于红铜嵌镶青铜器的认识, 为保护修复红铜嵌镶青铜器提供科学依据

关键词: 红铜嵌镶; 青铜器; 表面装饰工艺

中图分类号: K876.4; TG291

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2019)11-1215-05

Study on the Red Copper Inlaying Craft into Bronze Bean of the Warring States Period of Ancient China

SHENG Chongshan¹, HU Gang¹, FU Shuhua²

(1. School of Archaeology and Museology, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Huairou District Museum, Beijing 101400, China)

Abstract: Bronze inlaying craft was a superb technique for surface modification of bronzeware. For its technological characteristics and process, the academia had a more complete speculation, but there was no example to prove. By means of observation, metallographic analysis and SEM-EDS analysis, the morphological, structural and component characteristics of copper inlaying into bronze beans unearthed were explored in Huairou, Beijing, and the surface decoration process logic was deduced. The results show that the body of the bronze ware is firstly made and the chisel is used to carve the groove on the surface of the bronze ware after casting. Red copper wire or copper plate is used to make the decoration, and repeated hot forging is carried out to make the decoration basically conform to the shape of bronze groove, and then it is directly hammered into the bronze matrix. In order to provide a scientific basis for the protection and restoration of bronze inlaying ware, this study is conducted to enhance the understanding of bronze inlaying ware.

Key words: copper inlaying craft; bronze, surface decoration technology

青铜器的红铜嵌镶工艺是一种高超的青铜器表面修饰技法, 使用颜色紫或淡红的纯铜制作纹饰, 在颜色青金的铜锡铅合金表面进行装饰。目前出土的使用该技法装饰的青铜器, 几乎集中在东周时期。贾云福、胡才彬、华觉明等曾提到两件商代的红铜嵌镶青铜器, 一件为安阳出土、现藏于北京故宫博物院的商戈, 镶有青铜花纹; 一件为李学勤在美国旧金山亚洲艺术博物馆所见的商钺, 在内部有

细线条构成的兽面纹, 内嵌红铜, 是中国目前为止已发现最早的红铜装饰青铜器实物^[1]。

对已发现的红铜纹饰青铜器制作技术进行分类, 根据红铜纹饰与青铜表面结合方式, 可分为“嵌镶法”、“铸镶法”两种^[2,3]。目前, 对于“嵌镶法”的工艺特点及流程, 学界有较为完整的推测^[4]。首先制作青铜器体, 在铸造过程中预留凹槽或在铸造后使用錾刀錾刻出嵌槽, 并捶打嵌入红铜纹饰而成^[5]。红铜纹饰在嵌入青铜凹槽前进行了热锻处理, 使纹饰首先基本吻合青铜凹槽形状^[6], 然而, 该过程仅为推测, 尚无实例的严格证实。

1999年4月, 北京怀柔商业街西区危房改造工地于施工过程中发现一破损红铜嵌镶青铜豆(0652(135)), 经过保护修复, 发现其为实柄有盖青铜豆, 从形制到装饰工艺均为典型的燕式^[7], 年代定为战

收稿日期: 2019-08-12

作者简介: 盛崇珊(1997-), 女, 河南固始人, 硕士生。研究方向:

文物保护。电话: 18600203322,

E-mail: lanshan_anna@126.com-

通讯作者: 胡 钢(1971-), 湖北黄冈人, 博士, 副教授。研究方向:

文物保护。电话: 13651286682,

E-mail: hugang@pku.edu.cn

国中早期。除去表面土锈,可见红铜纹饰位于青铜豆的足部及柄顶部,足部为回首虎纹,柄上与盘接口处为一圈三角形几何纹饰,图案清晰可辨,断裂处可见支出的红铜丝,其表面具有棱角,对应断口处在青铜基体上有相应的凹槽,如图1所示。初步推断其工艺为“嵌镶法”。

为探究怀柔出土青铜豆的具体工艺类型及工艺流程,延续此前的研究思路,通过直接观察、体视镜、金相显微镜、扫描电子显微镜及X射线微区能谱分析等手段,对该青铜豆进行探究,从而增进对红铜嵌镶青铜器的认识,对红铜嵌镶青铜豆的工艺流程展开证明与合理推断,也为保护修复红铜纹饰青铜器提供科学依据。

2 实验样品及实验方法

2.1 样品获取

分析样品为该青铜豆的红铜纹饰、青铜基体、嵌口等多处部位脱落的小残片,具有一定特征性和代表性。对样品进行编号,将样品编号及样品描述记录在表1中。

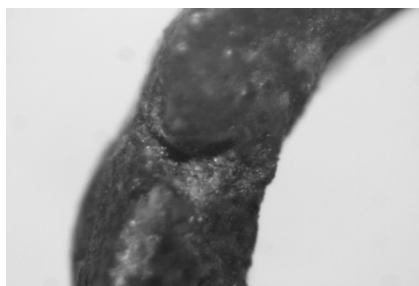
表1 红铜嵌镶青铜豆取样表
Tab.1 The sampling table of the copper inlaying bronze bean

样品编号	样品描述
HR00011	豆足处红铜丝
HR00012	豆足处红铜丝
HR00003	豆盖处青铜基体
HR00005	豆足处嵌镶部位

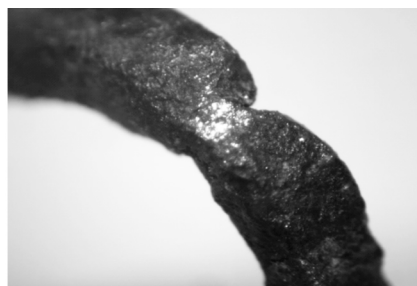


图1 青铜豆底部断口处及柄顶部纹饰

Fig.1 Bronze bean bottom fracture and handle top decoration



(a)×600



(b)×400

图2 红铜丝表面捶打痕迹

Fig.2 The embedded trace on the surface of the red copper wire

2.2 分析检测方法

根据所获得样品情况,分别选择体视显微镜、金相显微镜、扫描电子显微镜对样品进行分析研究:

所使用的体视显微镜仪器型号为:上海光学仪器厂 SX-5 型体视显微镜。

所使用的金相显微镜仪器型号为:德国 Leica DM4000M 半自动金相显微镜。

所使用的 SEM-EDS 仪器型号:日本 Hitachi TM3030 超景深台式电子显微镜及 EDS 能谱。加速电压 15.0 kV,工作距离 9.70 mm,扫描时间大于 90 s。

3 结果与讨论

3.1 形态特征观察

样品 HR00011、HR00012 取自同一段红铜丝,样品 HR00005 取自红铜纹饰与青铜基体的嵌口处,表面可见红铜纹饰。对其进行直接观察和金相分析,表面锈蚀层薄,肉眼可见保存状况良好的青铜基体与纹饰形貌,部分加工痕迹清晰可辨。

(1)红铜纹饰 样品 HR00011、HR00012 为弧形细丝状,直径约为 0.5 mm,表面覆盖均匀、致密的薄锈层。红铜丝整体呈现明显的棱角,如图2,表面可见明显捶打留下的凹陷痕迹,捶打位点一侧可见红色有金属光泽的红铜基体,四周被锈蚀覆盖。由此可推断,红铜首先通过捶打制成纹饰,再嵌入青铜基体表面与纹饰吻合的嵌槽。

(2)红铜纹饰与青铜基体的嵌口处 样品 HR00005 的红铜与青铜表面覆盖一薄层锈蚀,截面

处锈蚀层下可观察到保存状况较好的浅红色红铜基体与青金色青铜基体。青铜基体上有一凹槽,深度约为基体厚度的 $1/3$,丝状的红铜纹饰镶嵌其中。部分纹饰与青铜基体贴合严密,红铜纹饰和青铜基体的边界由于锈蚀模糊不清、无法分辨。部分纹饰起翘,突出青铜基体表面,在起翘纹饰的一端,纹饰脱落,留下青铜嵌槽,如图 3。

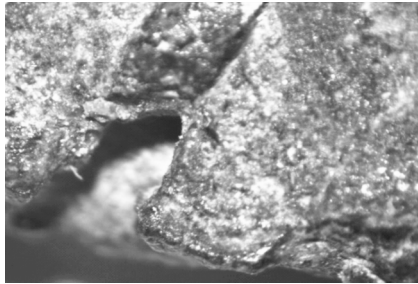


图 3 纹饰起翘和脱落

Fig.3 Decorative case become warped and fall off

观察起翘纹饰的断口处,可见红铜丝与青铜凹槽底部不贴合,两者中间存在缝隙,并且红铜丝上表面明显高于青铜基体表面。由于红铜纹饰与青铜基体的锈蚀层薄且均匀,覆盖在基体表面,推测红铜纹饰的不贴合和起翘应与锈蚀情况无关,可能为工艺缺陷。在红铜纹饰嵌入的过程中,由于捶打、磨错不充分,导致红铜纹饰未能完全嵌入嵌槽。

观察红铜纹饰未起翘的一侧,截面处为青铜嵌口,可见红铜纹饰与青铜嵌槽的挤压接触特征。嵌口底端纹饰与基体接触较为紧密,红铜纹饰截面顶端有一处不规则的斜面缺损,这是捶打所致(图 4)。红铜纹饰的截面呈现 U 型,底部有一定弧度,与口部宽度大体相同,有一定歪斜。嵌槽为斜角的平行四边形,錐刀刀面斜着捶打入嵌槽处,形成这样非直上直下的嵌槽截面特征,是典型的錐刻特征。



图 4 嵌口处捶打痕迹

Fig.4 The embedded trace on the junction of the red copper and the bronze

3.2 金相组织特征

观察 4 个样品的金相组织特征,并对其进行侵蚀,可见大量冷热加工痕迹。

(1)红铜纹饰与青铜基体嵌口处 对样品 HR00005 嵌口处的金相情况进行观察。嵌槽为含一

锐角的四边形,红铜纹饰则接近直角,在锐角处,红铜纹饰与青铜基体之间存在一道深缝,嵌槽锐角处无红铜纹饰(图 5)。这是“嵌镶法”的特有现象,红铜纹饰在捶打进已錐好的凹槽中时,錐刻形成的锐角处无法完全与纹饰贴合。而在“铸镶法”中,青铜液浇入已固定红铜纹饰的范内,红铜纹饰与青铜基体紧密结合,不会出现缝隙。观察锐角处的嵌槽边缘,可见錐刀刀尖在壁上撞击形成的凹陷(图 6)。

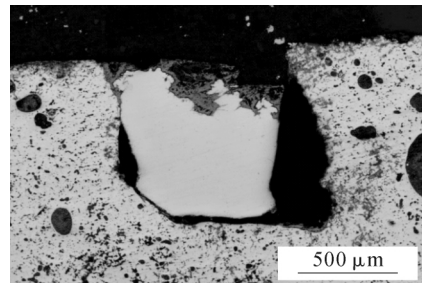


图 5 红铜与青铜间的缝隙

Fig.5 The gap between the red copper and the bronze



图 6 嵌槽上的錐刻痕迹

Fig.6 The engraving trace on the decorative groove

(2)红铜纹饰 对样品 HR00011 进行侵蚀,观察侵蚀后的红铜纹饰金相组织,出现再结晶的 α 固溶体等轴晶晶粒及孪晶,少量氧化物被打碎分布于晶界内,在部分晶粒内部发现滑移线痕迹(图 7),但未发现晶粒沿特定方向拉长、变形等典型的冷加工痕迹特征,说明其进行了退火热锻处理。

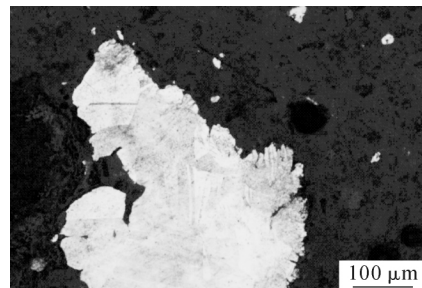


图 7 红铜纹饰金相

Fig.7 The microstructure of the red copper wire

根据红铜纹饰金相组织特征,对红铜纹饰制作和嵌入过程工艺进行推测。制作红铜纹饰时并非一次铸造,而是反复热锻,使得红铜纹饰形状与嵌槽基本吻合,再将红铜纹饰捶打入嵌槽中。退火后的红铜纹饰变得柔软,易于捶打塑形,稍微受力即可嵌入嵌

槽中,红铜纹饰在嵌槽中冷却,发生略微的回缩,使其与嵌槽之间出现缝隙。

当加热温度高于再结晶温度时,红铜晶粒发生再结晶,得到 α 等轴晶及孪晶组织。所得的 α 等轴晶及孪晶组织生长较为均匀,大小相近,说明加热较为均匀稳定,红铜部分整体加热温度相近。金相组织中存在部分未再结晶的 α 固溶体晶粒,这说明红铜纹饰部分退火时温度不高或加热时间不长,再结晶不完全。虽然有晶粒内部出现滑移线,但未发生大量的晶粒变形,且滑移线集中在边缘的晶粒中,说明嵌入时冷加工较少,红铜纹饰与嵌槽形状已基本吻合,捶打受力仅在红铜纹饰表面发生。

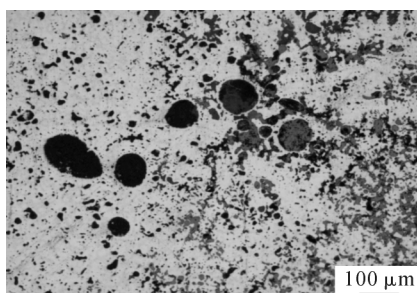
对比错金银工艺中金银丝嵌入凹槽的过程,金银丝也需要经过预先加热,即退火,使其软化后在压入或捶打入嵌槽。因此,以上过程的推断是符合逻辑的。

对比“铸镶法”中红铜纹饰的金相组织特征,将熔融状态下的青铜液浇入范中时,由于其与纹饰接触有限,红铜纹饰边缘受热且受热不均匀,仅在边缘存在大颗粒再结晶晶粒,尚未形成标准的等轴晶,且不存在滑移线。

(3)青铜基体 样品 HR00003 取自豆盖无纹饰处,样品 HR00005 为含纹饰区域。观察两者青铜基体部分的金相组织特征,Cu 与 Sn 主要以 α 固溶体和 $(\alpha+\delta)$ 共析体的形式存在, α 固溶体存在树枝状偏析,多角状的 $(\alpha+\delta)$ 共析体在树枝晶间弥散分布。对于该青铜豆不同位置所取的青铜基体,Pb 均以独立相存在,但含量和存在状态差异较大。

对于样品 HR00003,Pb 主要为沿枝晶弥散分布的细小颗粒。此外,在边缘极个别地观察到了红铜晶粒析出现象,说明 Pb 含量较小。而对于样品 HR00005 的青铜基体部位,Pb 既存在沿枝晶弥散分布的细小颗粒,也存在大量条带状、球状或椭球状的大颗粒。此外,可见大量铸造缩孔,以及红铜晶粒析出现象(图 8)。

不论 Pb 含量的差异,青铜基体部分的组织特征均为典型的一次铸造特征,且状态均匀。



金锐等曾对湖北勋县乔家院墓地出土的战国铜器进行金相与成分分析^[8],其中有一件红铜嵌镶青铜壶,所得金相结果与该青铜豆极为相似。青铜部分为一次铸造而成,红铜部分存在退火形成的等轴晶晶粒与孪晶,同时含有少量灰色氧化夹杂。可见,两地青铜器尽管相隔千里,但其嵌镶工艺过程是极为相似的。

3.3 SEM-EDS 下的器物成分特征

对样品 HR00003 与样品 HR00005 青铜基体部分分别进行 SEM-EDS 分析,发现豆盖处青铜基体锡铅含量远远低于纹饰处青铜基体。发现有少量硫化物与铅颗粒共同分布,有部分氯化物、钙的化合物夹杂,此外还有部分氧化铝夹杂。

将青铜豆上不同部位所得铜锡铅含量进行对比,结果列在表 2 中。

表2 青铜豆不同部位成分对比 $w(\%)$

Tab.2 comparison of the ingredient of different part on the bronze bean

样品	Cu	Sn	Pb
样品 HR00003 青铜基体	87.87	2.11	6.69
样品 HR00005 青铜基体	63.01	9.73	23.53

对比发现,怀柔青铜豆红铜纹饰处的青铜基体,锡铅含量均远高于豆盖处的青铜基体。将 HR00005 青铜基体数据与乔家院出土青铜壶基体成分含量对比,发现这一部分青铜基体的铜锡铅比例与乔家院青铜壶基体的铜锡铅比例大体相似,铅含量高于乔家院青铜壶,锡含量小于乔家院青铜壶。而青铜豆豆盖处的青铜基体,其铜锡铅比例与乔家院青铜壶中的芯撑较为相似。

推测青铜豆无纹饰与有纹饰处青铜基体锡铅含量的差异,可能有两个原因:其一,高锡铅含量的青铜,熔点降低,易于铸造,强度较大,与红铜纹饰硬度的差异增大,使得嵌槽在红铜丝捶入过程中不易变形;其二,在锡含量相同的情况下,铅含量的提高使得青铜硬度有所下降,便于铸后在青铜基体表面錾刻出嵌槽。对于低锡铅含量的豆盖,其脆性降低,韧性较大,不易破碎,由于在使用过程中豆盖需要不断开合,脆性的降低能够增加其使用寿命。

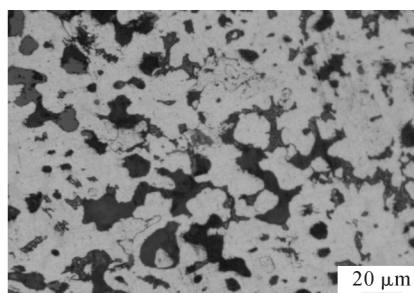


图 8 青铜基体金相结果

Fig.8 The microstructure of the bronze

此外,青铜合金中锡铅含量增加,锡与铜在凝固过程中生成共析体,铅在铜锡合金中以独立相存在,会减缓青铜液的凝固时间,有利于提高青铜液的流动性。对于器壁较薄的青铜器而言,青铜液熔点降低、流动性提高,有助于青铜液充满范内细小部位的凹槽。对于乔家院青铜壶而言,根据金锐等人的研究,其嵌槽制作工艺与怀柔青铜豆略有差异,为铸造过程中在范内制作纹饰凸起,直接预留出嵌镶所需的凹槽。纹饰细小,导致范内腔体复杂,青铜锡铅含量增加更有利于青铜液充满范内除预留凹槽以外的空间。而怀柔青铜豆的凹槽,根据之前的推测已知为铸后篆刻而成,并非铸造时预留,因此这一优势并非其与豆盖处青铜成分差异的主要原因。

另外,对于乔家院青铜壶芯撑的锡铅含量远低于其余部分,这是由于锡铅含量与合金熔点成反比,器物选取熔点较高、锡铅含量较低的材料作为芯撑,以保证其不被高温铜液所熔化。

3.4 工艺逻辑分析

根据以上结果,对北京怀柔出土红铜嵌镶青铜豆表面装饰工艺流程推测如下。

首先铸造青铜豆,豆盖与豆身采取不同的合金配比,豆盖处锡铅含量较低,有纹饰的豆身处锡铅含量较高。在豆身相应位置处篆刻出与纹饰形状吻合的凹槽。即在豆柄顶部与豆盘接触的位置,篆刻一圈三角形纹饰,在豆足处篆刻两对称的回首虎纹,纹饰均为单线,凹槽斜鑿而成,深度大约为器壁厚度的 $1/3$ 。

取红铜丝制作纹饰,反复加热锻打,使之成型,形状与嵌槽基本吻合。将已成型的红铜纹饰趁热捶打进入嵌槽之中,柔软的红铜纹饰轻轻受力,已完全被捶入嵌槽之中,并且大部分的纹饰与嵌槽结合紧密。由于嵌槽为含锐角的四边形,而红铜纹饰为直角,捶入的纹饰在锐角处与嵌槽存在缝隙。

红铜纹饰完全捶入后,对青铜器表面进行磨错处理,使得红铜纹饰与青铜基体表面高度平齐且有光泽。这件青铜豆的捶打和磨错过程具有一定工艺缺陷,少量红铜纹饰发生起翘。

对比红铜嵌镶青铜豆与乔家院红铜嵌镶青铜壶,确定“嵌镶法”制作工艺流程大体如上。在青铜基体上纹饰嵌槽的制作上,则存在一定差异。青铜壶在制范时于范上预先留下纹饰,铸造过程中使用高锡铅含量的青铜液,直接在铸造过程中于青铜器表面预留出纹饰凹槽。对于较细较复杂、不便于铸造时预留的纹饰凹槽,或铸造后不清晰的纹饰凹槽,可在铸造后在表面进行篆刻。这两种制作凹槽的方法可以根据青铜器纹饰情况进行选择。

4 结语

北京怀柔出土红铜嵌镶青铜豆体现了战国中早期燕地青铜器高超的表面装饰工艺,通过对其形态特征、组织特征和组成成分特征的分析研究,证实该青铜豆使用“嵌镶法”制造。

形态特征中,青铜豆纹饰嵌口处存在捶打痕迹、纹饰脱落起翘、嵌槽存在篆刻痕迹。组织特征中,红铜纹饰部分发生均匀退火,晶粒内存在滑移线,青铜基体为典型的一次铸造。成分特征中,红铜纹饰附近的青铜基体相比无纹饰的豆盖部分,锡铅含量较高,合金硬度较大,青铜液流动性较好。

根据以上特征,推测出“嵌镶法”的工艺流程:首先制作青铜器体,铸造后使用篆刻刀依据纹饰在青铜器表面篆刻出嵌槽,对红铜纹饰进行反复热锻,使纹饰基本吻合青铜凹槽形状,再直接捶打嵌入青铜基体,最后进行磨错。怀柔出土青铜豆作为实证,极有代表性地验证了这一工艺流程。

参考文献:

- [1] 贾云福,胡才彬,华觉明.曾侯乙红铜纹铸法的研究[J].江汉考古,1981(S1):57-66.
- [2] 贾峨.关于东周错金镶嵌铜器的几个问题的探讨[J].江汉考古,1986(4):34-47.
- [3] 张临生.国立故宫博物院所藏东周错金器研究[J].故宫学术季刊,1989(2):1-77.
- [4] 史树青.我国古代的金错工艺[J].文物,1973(6):66-72.
- [5] 朱凤瀚.中国古代青铜器[M].天津:南开大学出版社,1995.
- [6] 王海文.青铜镶嵌工艺概述[J].故宫博物院院刊,1983(1):67-68.
- [7] 李健.燕国青铜器红铜嵌错工艺三题[J].首都博物馆论丛,2014:246-256.
- [8] 金锐,罗武干,王昌燧.湖北郧县乔家院墓地出土战国及东汉铜器的成分与金相分析[J].文物保护与考古科学,2013(2):8-12.

精铸用

石英砂、石英粉、铝矾土、高铝砂

灵寿县德泰矿产品有限公司是一家专业从事非金属矿物的生产厂家,设备先进,技术力量雄厚。

让客户满意是我们的宗旨

化学成分

石英砂	石英粉	铝矾土	高铝砂
$\text{SiO}_2 \geq 98.7\%$	$\text{SiO}_2 \geq 98.7\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 55\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 52\%$

地址:河北省灵寿县洞里工业区

电话:0311-82617801(传真),15175156717

联系人:刘喜亮