

文章编号:1005-1538(2017)02-0076-06

· 工作简报 ·

广西上林县馆藏东汉至南朝铜鼓科技分析研究

黄献源¹, 汪常明², 金正耀³

(1. 复旦大学文物与博物馆学系, 上海 200433; 2. 广西民族大学民族学与社会学学院科技史系, 广西南宁 530006;
3. 中国科学技术大学科技考古实验室, 安徽合肥 230026)

摘要: 为配合保护修复的需要, 利用金相显微镜、扫描电镜能谱仪对广西上林县馆藏 6 面东汉至南朝时期的冷水冲型铜鼓进行了科技分析。结果表明, 这 6 面铜鼓均为铜锡铅三元合金组成, 且为铸造成型, 其工艺利用泥范法和失蜡法相结合的方法。由于冷水冲型铜鼓的合金成分和铸造工艺研究尚未见报道, 因此, 本研究分析数据为更深入研究冷水冲型铜鼓的科技内涵提供了重要参考。

关键词: 广西上林; 铜鼓; 合金工艺

中图分类号: K875.8 **文献标识码:** A

0 引言

广西上林县博物馆馆藏六面铜鼓, 于 1972 年至 1992 年间, 分别出土于上林县境内。六面铜鼓都属于冷水冲型铜鼓, 因考古部门即将对这六面馆藏铜鼓进行修复保护工作, 故对其残损部分取样, 运用金相显微镜对其组织进行观察和照相, 扫描电子显微镜能谱进行化学成分分析, 目的是为了研究这批铜鼓的合金成分和铸造工艺, 为后期保护修复提供参考。关于冷

水冲型铜鼓的金相及成分研究尚未见报道, 本研究的分析数据也将丰富冷水冲型铜鼓的研究资料。

1 样品与方法

1.1 样品采集

对上述广西上林县出土的馆藏残破铜鼓进行采样, 获得 6 个样品。馆藏器物编号、器物类型、文物等级、所属年代、出土地点、实验编号及取样部位见表 1。

表 1 上林县博物馆馆藏铜鼓基本情况
Table 1 The general description of Shanglin bronze drum

器物编号	器物类型	文物等级	年代	出土地点	出土时间	实验编号	取样部位
0206	四蟾蜍饰变形羽人纹铜鼓	二级	东汉	三里镇双罗村云聪屯	1992 年 2 月	GSL-01	鼓足
0207	蛙负鱼饰羽人纹铜鼓	一级	东汉	三里镇双罗村云聪屯	1992 年 2 月	GSL-02	鼓足
0009	阔沿四蛙饰羽人纹铜鼓	二级	南朝	明亮镇万古村	1975 年 3 月	GSL-03	鼓腹
0204	四蛙羽人纹铜鼓	三级	南朝	三里镇双罗村云聪屯	1991 年 12 月	GSL-04	鼓腹
0008	鼓腹四蟾蜍羽人纹铜鼓	二级	东汉	铜鼓岭	1974 年 11 月	GSL-05	鼓胸
0205	四蛙间饰屎壳郎羽人纹铜鼓	二级	东汉	三里镇双罗村云聪屯	1992 年 2 月	GSL-06	鼓足

1.2 金相分析方法与成分分析方法

样品经过环氧树脂包埋, 对样品表面进行打磨抛光, 去除划痕之后, 分别在 XJL-3 型立式金相显微镜下观察未经侵蚀和经 3% 三氯化铁盐酸乙醇溶

液侵蚀后的样品^[1]。利用金相显微镜观察铜鼓样品组织构成、晶粒度、夹杂物等, 并对其进行金相显微技术的分析, 研究这 6 件铜鼓的制作工艺^[2]。上述样品经过除锈, 清洗等预处理后, 利用扫描电镜能

收稿日期: 2015-04-23; 修回日期: 2016-08-12
基金项目: “三区”人才支持计划文化工作者专项资助(桂文发[2013]77 号), 广西高校科学技术研究项目资助(YB2014093)
作者简介: 黄献源(1989—), 男, 广西南宁人, 复旦大学文物与博物馆学系考古学专业 2016 级在读博士研究生, 研究方向: 文物保护。
E-mail: 81953137@qq.com

谱仪(SEM-EDS)对铜鼓样品金属部位进行了成分分析。测试仪器为德国 ZEISS 的 EVO18 的扫描电镜、能谱仪一体机。实验条件:电压:20.0kV,工作环境为高真空环境,小于 $8\text{e}^{-5}\text{mbar}$ 。

2 实验结果

2.1 成分分析结果

对铜鼓样品的金属区域进行面扫描,各铜鼓的成分含量见表2。可以从测试的数据中看出,这六面铜鼓都为铜锡铅三元合金,其中GSL-01、GSL-

06 的含铅量都较高,均大于14%。GSL-05 含铅量低于5%,差别较大。这样的配比应该是与铸造时铸液的流动性有关,古代铸工有意为之的措施。铅含量较高的两面铜鼓的铜含量都较低,它们的含铜量都低于70%,其余四面铜鼓含铜量都在80%左右。五面铜鼓锡含量相差不多,只有GSL-04 锡含量偏低,在6%左右。一般来说锡含量低,则器物硬度较低,可能这件铜鼓只是作为装饰或是一种摆设,并不适宜用于击打发声等实用的功能。这六面铜鼓都含有As元素,其原因需要予以关注。

表2 广西上林县馆藏铜鼓合金成分 SEM-EDS 分析结果

Table 2 Composition of Shanglin bronze drum samples (%)								
实验编号	器物编号	器物	Cu	Sn	Pb	As	S	合金
GSL-01	0206	铜鼓	49.7	11.0	30.8	2.8	-	铜锡铅
GSL-02	0207	铜鼓	80.1	11.0	8.0	0.4	0.6	铜锡铅
GSL-03	0009	铜鼓	78.5	11.0	7.0	1.9	0.1	铜锡铅
GSL-04	0204	铜鼓	84.1	6.7	6.8	2.0	0.4	铜锡铅
GSL-05	0008	铜鼓	79.6	12.9	4.6	1.9	-	铜锡铅
GSL-06	0205	铜鼓	64.9	12.4	17.2	2.9	-	铜锡铅

2.2 金相分析结果

金相分析照片如图1所示,金相分析结果见表3。由金相分析结果可知,这些铜鼓都是铸造成型,样品中的铅颗粒,分布形态不一,有椭圆、球状和树枝状小颗粒状态,而铅含量大部分较高。铸造时加入的铅多,可以增加铸造液流动性、成型能力,并且

降低铸造时的熔点^[3-4],降低铸造难度,但铜鼓的机械性能降低。铅在铜锡铅三元合金中是以独立相形态存在的,并且铅熔点低,它是在合金凝固的最后阶段填补在枝晶的空隙中,可以改善合金流动性,提高充型性,其形态、颗粒大小、分布状态与其含量有直接的关系^[5]。

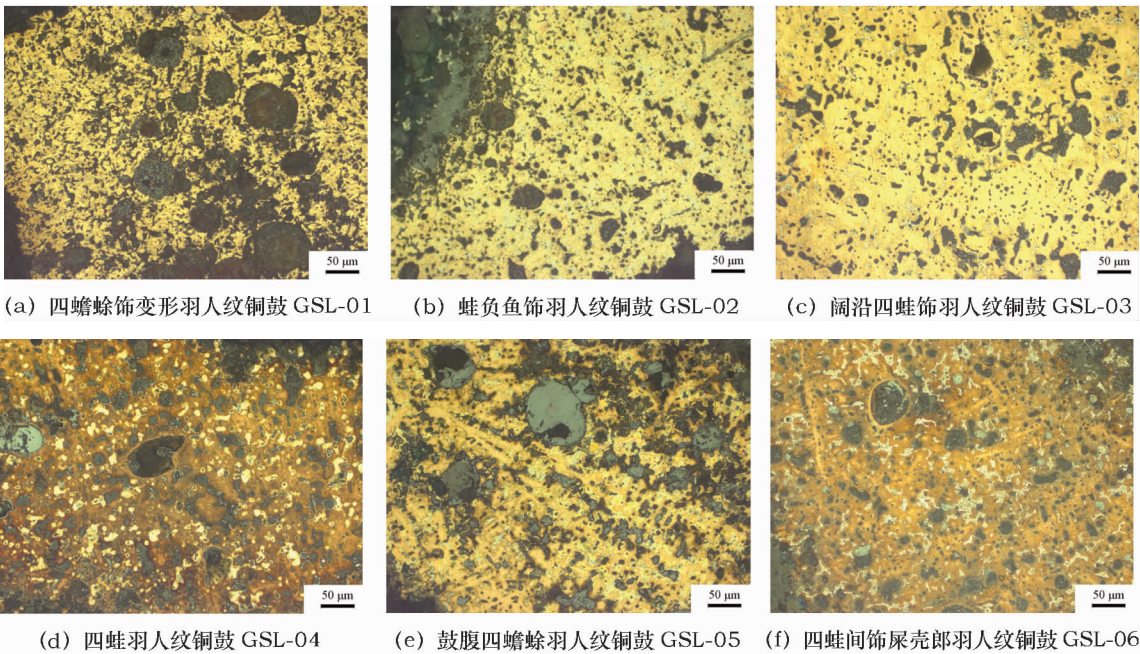


图1 广西上林县馆藏铜鼓金相图

Fig.1 Metallographic chart of Shanglin bronze drum samples

样品编号为 GSL-01 的器物从金相图(图 1a)可知,铅组织数量较多,分布较广。根据成分分析结果,该铜鼓铅含量高达 30.82%,与金相结果分析一致。而这些铜鼓的金相组织为 α 固溶体树枝晶。晶体有明显的偏析现象,并且都有 $(\alpha + \delta)$ 共析体组织。根据不同的锡含量和铸造冷却速度的不同,其

$(\alpha + \delta)$ 共析体组织的形态也不同。 $(\alpha + \delta)$ 共析体组织数量多且连成网状,代表其含锡量高,冷却速度慢^[6]。样品编号为 GSL-05、GSL-06 的器物, $(\alpha + \delta)$ 共析体组织数量明显多于其他铜鼓,而样品编号为 GSL-04、GSL-01 的器物 $(\alpha + \delta)$ 共析体组织数量较少,这都与锡含量与冷却速度有关。

表 3 广西上林县馆藏铜鼓金相分析结果
Table 3 The results of metallographic analysis of Shanglin bronze drum samples

器物名称	样品编号	金相结构	制作工艺
四蟾蜍饰变形羽人纹铜鼓	GSL-01	α 固溶体树枝状偏析明显, $(\alpha + \delta)$ 共析体组织孤立细小,并且分散,有部分已锈蚀,铅颗粒大小不等,出现大球状,椭球状铅	铸造
蛙负鱼饰羽人纹铜鼓	GSL-02	α 固溶体树枝状偏析明显, $(\alpha + \delta)$ 共析组织细小,分布较散,铅呈现大小不等的颗粒状,沿铸造枝晶分布,彼此孤立分散	铸造
阔沿四蛙饰羽人纹铜鼓	GSL-03	α 固溶体树枝状偏析明显, $(\alpha + \delta)$ 共析体组织细小,分布十分分散,机体存在铸造缺陷,有些许腐蚀,较多小颗粒状和团块状铅	铸造
四蛙羽人纹铜鼓	GSL-04	α 固溶体树枝状偏析明显, $(\alpha + \delta)$ 共析组织呈细小岛屿状,铅呈大小不一的球状或条状分布,且沿枝晶分布,大部分已经腐蚀	铸造
鼓腹四蟾蜍羽人纹铜鼓	GSL-05	α 固溶体树枝状偏析明显, $(\alpha + \delta)$ 共析体组织细小分散,铅颗粒大小不等,大部分被腐蚀,有的已经成为孔洞	铸造
四蛙间饰屎壳郎羽人纹铜鼓	GSL-06	α 固溶体树枝状偏析明显, $(\alpha + \delta)$ 共析体细密连成网状,铅呈现大小不等的颗粒状或球状,基体有较多腐蚀	铸造

3 讨 论

3.1 不同合金配比铜鼓的金相组织结构分析

分析结果表明,样品都为铜锡铅三元合金。根据铅锡比例不同,可对这些铜鼓进行分类^[7],共有如下 3 类:

1) 低铅锡青铜($Pb < 10\%$, $Sn < 17\%$),样品编号为 GSL-02、GSL-03、GSL-04、GSL-05 的铜鼓均为此类。此类青铜组织的特点是均匀分布于晶粒间界,彼此孤立分散, $(\alpha + \delta)$ 共析体组织数量和形态大小随锡含量增加而增加。结合扫描电镜分析结果可知,这 4 面铜鼓符合这种青铜的特点。

2) 高铅低锡青铜($Pb > 20\%$, $Sn < 17\%$),样品编号 GSL-01 的铜鼓为此类青铜。其特点是 $(\alpha + \delta)$ 共析组织或 δ 相数量随含锡量增加而增多,形状及分布状态随含锡量及铸件冷却速度不同而变化。铅形态大小各异,大颗粒状铅数量多,有大的球状或椭球状铅存在。

3) 其他含量的铅锡青铜($10\% < Pb < 20\%$, $10\% < Sn < 17\%$),文物编号 GSL-06 的铜鼓为此类青铜,铅锡含量多在 15% 左右,铜锡 α 树枝晶偏析明显; $(\alpha + \delta)$ 共析组织较多,形态根据冷却速度不同,尺寸大小有别。铅一般呈较大颗粒状,分布较均匀,其中有少量铅颗粒呈球状。

3.2 上林铜鼓的铸造工艺

由上述分析结果可知,这六面铜鼓都是铸造而成。目前广泛认可的铜鼓铸造工艺,一是泥型合范法,从前人的研究中可以看出,大致要经过制外范、制作纹饰、制内范、放垫片、合范浇注、清理铸件这几个步骤^[8]。二是失蜡法:以牛油、黄蜡、松香等为主要原料,制成蜡模,用泥料制成外范,加热后蜡模熔化流出,所得铸型完整无披缝。在型腔内浇铸金属液,冷却后打开铸范,得到完整的铸件^[9]。这 6 面上林县博物馆馆藏铜鼓的鼓身全部有明显的披缝,并且都有大量的垫片痕迹,可知道其鼓身全部是用泥型合范法铸造而成。而这些铜鼓鼓面太阳纹凸起(图 2),由此可推断这些铜鼓的浇注方式可能为中心顶注式浇注。而对于鼓面的塑像(图 3),可以看出铸件跟鼓面有明显的铸接痕迹。可推断出,这些铜鼓表面的雕塑是单独铸造好之后再铸接到铜鼓表面上,利用的是分铸法。同时,这些鼓面雕塑花纹都十分精美,而且形态各异,活灵活现,并且没有披缝,没有垫片的痕迹,推断失蜡法铸造的。因此,上林铜鼓的铸造很可能是泥型合范法和失蜡法结合起来使用的。前人的铜鼓研究中,也有这样的观点:铸造铜鼓的民族往往将泥范法与失蜡法结合使用,用泥型做鼓身,用蜡型做鼓耳和各种动物塑像,巧妙地施用以中心顶注式浇注为主的各种浇铸系

统^[10]。说明上林县博物馆馆藏 6 面铜鼓的铸造技术已经十分纯熟。



图 2 广西上林馆藏铜鼓鼓面太阳纹

Fig. 2 The drum surface solar pattern of Shanglin bronze drum



图 3 广西上林馆藏铜鼓鼓面雕塑图

Fig. 3 The drum surface sculpture figure of Shanglin bronze drum

3.3 上林县馆藏铜鼓的铅含量分析

由表 2 数据可知,本研究中的 6 件铜鼓样品中,GSL-01 含铅量高达 30.8%,属于高铅合金配比。GSL-06 含铅量 17.2%,也比较高。GSL-02、GSL-03、GSL-04 含铅量为 8.0%、7.0%、6.8%在 5%~10%之间,2 个样品含铅量低于 5%,GSL-05 含铅量为 4.6%,属于低铅合金配比。这 6 件上林铜鼓,铅含量分布高低不一,其中高铅合金配比的只有 2 件,大部分都是低铅合金配比。这两件铜鼓为何铅含量较高呢?

本实验所测得的两件高铅铜鼓,一件为四蟾蜍饰变形羽人纹铜鼓,其蟾蜍和鼓面纹饰必须加入较高的铅才能达到。一件是四蛙间饰屎壳郎羽人纹铜鼓,档案资料显示鼓面上有屎壳郎装饰的全世界仅

此一面。两者表面装饰物造型都十分复杂、栩栩如生。要达到这种艺术效果,合金的流动性十分关键,此两件铜鼓含铅量高可能正是为了达到这种目的而有意添加的。本研究实验分析是采用铜鼓残片样品进行分析。前文提到鼓面雕塑和鼓身是分铸而成,铜鼓是广西古代少数民族贵族的“重器”。少数民族贵族把铜鼓作为代表自己的统治权力的象征^[11]。铜鼓如此重要,所以铸造时可能是每面铜鼓一个合金配比,铸件和鼓面的合金配比不应该分开配比。

两个高铅铜鼓含铅量较高可能是当时铜鼓铸造的时候铸工刻意加入的,以提高流满率,使青铜礼器的纹饰更清晰^[12],为了满足当时铸造的需要。但是,铅加入多了以后,会产生椭圆或者大颗粒状的不溶物,这些不溶物多了,青铜器就难以进行热处理,青铜器的脆性提高。从金属学的角度分析,合金中含铅量增加,会使青铜合金抗拉强度和抗冲击值下降^[13],从机械性能角度考虑的话,含铅量低于 10% 较为合适。从实验分析结果来看,大部分铜鼓铅含量成分都符合这个特点。所以从以上推断中可知,当时已经掌握了合理运用铅合金配比技术,既能够保证铸造成功,又能够保证铜鼓的机械性能。

3.4 上林县馆藏铜鼓的含锡量分析

由表 2 数据可知,GSL-04 含锡量为 6.7%。而其他五个样品含锡量都在百分之十几,符合一般的青铜器合金配比。因为青铜合金中随着含锡量的增高而呈现不同的用途,故“六齐”用“钟鼎”来代表青铜礼乐器。青铜乐器为锤击发音,需有一定韧性,并要求声音宏亮、悦耳。同时,作为古代权力的象征,这些器物更需具有金亮辉煌的色彩。“钟鼎之齐”的配料比为铜 85.71%、锡 14.29%。这种合金的强度(约 3.3kg/mm²)、硬度(HB 约 145)、塑性(σ 约 8%)完全符合上述礼乐器的功能要求,并可获得橙黄似金的色泽^[14]。表 2 中数据可以看出,这 6 件铜鼓中有 5 件为可以符合礼乐器的锡合金配比,其功能应该是礼乐器。

一般随着锡含量的增高,青铜器的硬度加强,并且要获得适宜强度、较高硬度、金黄颜色和一定的塑性,则锡应选择在 12%~18%。但是 GSL-04 铜鼓锡含量为 6.7%。虽然在青铜中锡含量为 6% 时,塑性最好,但其硬度和音质可能就达不到最佳效果。至于该青铜器锡含量为何偏低,需要做进一步的研究。

4 结 论

- 1) 本研究分析的 6 个铜鼓样品中,其制造工艺全是铸造成型,并且全部为铜锡铅三元合金。
- 2) 广西上林出土的 6 面铜鼓根据其用途或制作需要,进行不同的铅锡合金配比。
- 3) 在铸造方法上,选择用泥型合范法和失蜡法相结合的方法来铸造出精美的铜鼓,反映了当时广西地区汉代至南朝期间铜鼓的制作技术已经十分成熟,并且对于合金规律已有了比较深刻的认识。

参考文献:

[1] 刘艳英,臧金旺,李宪武. 金相试样制备过程概述[J]. 金属世界,2010(1):46-48.
LIU Yan - ying, ZANG Jin - wang, LI Xian - wu. Summarize of metallographic sample preparation process[J]. Metal World, 2010 (1):46-48.

[2] 孙淑云,韩汝玢,李秀辉,等. 中国古代金属材料显微组织图谱有色金属卷[M]. 北京:科学出版社,2011:71-119.
SUN Shu - yun, HAN Ru - bin, LI Xiu - hui, et al. The micro-structure of metal materials of ancient China nonferrous metal rolling [M]. Beijing: Science Press, 2011:71-119.

[3] David A Scott. 古代金属的微观组织[J]. 文物保护与考古科学, 1995,7(1):56-60.
David A Scot. The microstructure of ancient metal[J]. Sci Conserv Archaeol,1995,7(1):56-60.

[4] 韩汝玢,孙淑云,李秀辉,等. 中国古代铜器的显微组织[J]. 北京科技大学学报,2002,24(2):219-230.
HAN Ru - bin, SUN Shu - yun, LI Xiu - hui, et al. Microstructure of ancient Chinese copper artefacts[J]. J Univ Sci Technol Beijing, 2002,24(2):219-230.

[5] 姚智辉,孙淑云,邹后曦,等. 峡江地区部分青铜器的成分与金相研究[J]. 自然科学史研究,2005,24(2):106-118.
YAO Zhi - hui, SUN Shu - yun, ZOU Hou - xi, et al. Studies on the bronzes excavated from the tombs in the Xiajiang river region [J]. Stud Hist Nat Sci,2005,24(2):106-118.

[6] 孙淑云,姚智辉,万辅彬. 越南铜鼓及相关器物金相分析[J]. 桂

林工学院学报,2005,25(4):498-505.
SUN Shu - yun, YAO Zhi - hui, WAN Fu - bin. Metallographical study on ancient bronze drums and artifacts from Vietnam [J]. J Guilin Univ of Tech, 2005,25(4):498-505.

[7] 孙淑云,韩汝玢,李秀辉,等. 中国古代金属材料显微组织图谱有色金属卷.[M]. 北京:科学出版社,2011:71-119.
SUN Shu - yun, HAN Ru - bin, LI Xiu - hui, et al. The micro-structure of metal materials of ancient China nonferrous metal rolling [M]. Beijing: Science Press,2011:71-119.

[8] 万辅彬,李世红,蒋廷瑜,等. 世界铜鼓之王—北流型 101 号铜鼓铸造工艺研究[J]. 文物保护与考古科学,1995(1):11-20.
WAN Fu - bin, LI Shi - hong, JIANG Ting - yu, et al. A research on the casting technique of 101 Beiliu bronze drum—the king of bronze drums in the world[J]. Sci Conserv Archaeol,1995(1):11-20.

[9] 吴坤仪. 中国古代铸造技术史略[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版),2001,3(4):39-42.
WU Kun - yi. The history of foundry technique in ancient China [J]. J Harbin Inst Technol (Soc Sci), 2001,3(4):39-42.

[10] 蒋廷瑜. 铜鼓研究—世纪[J]. 民族研究,2000(1):27-37.
JIANG Ting - yu. Researches on bronze drums for a century[J]. Nat Res,2000(1):27-37.

[11] 洪 声. 广西古代铜鼓研究[J]. 考古学报,1974,(1):45-90.
HONG Sheng. Study on Guangxi ancient bronze drums[J]. Acta Archaeol Sinica,1974,(1):45-90.

[12] 苏荣誉,华觉明,李克敏,等. 中国上古金属技术[M]. 山东:山东科学技术出版社,1995:282.
SU Rong - yu, HUA Jue - ming, LI Ke - min, et al. China ancient metal technology[M]. Shandong: Shandong Science and Technology Press Co., Ltd,1995:282.

[13] 张利洁,赵福生,孙淑云,等. 北京琉璃河燕国墓地出土铜器的成分和金相研究[J]. 文物,2005(6):82-91.
ZHANG Li - jie, ZHAO Fu - sheng, SUN Shu - yun, et al. Study on the composition and microstructure of bronzes unearthed in Beijing Liulihe Yan cemetery[J]. Cult Relics,2005(6):82-91.

[14] 吴来明. “六齐”、商周青铜器化学成分及其演变的研究[J]. 文物,1986(11):76-84.
WU Lai - ming. “Six Al - loys”、studies on the chemical constituents of the bronze of Shang and Zhou Dynasties and its evolution [J]. Cult Relics,1986(11):76-84.

Study on the science and technology of bronze drums of Guangxi Shanglin County
in Eastern Han Dynasty to Southern Dynasties

HUANG Xian – yuan, WANG Chang – ming, JIN Zheng – yao

(1. Department of Cultural Heritage and Museology, Fudan University, Shanghai 200433, China;

2. Guangxi University For Nationalities, School of Ethnology and Sociology, The History of Science and Technology Department, Nanning 530006, China;

3. Archaeological Science Laboratory of University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: In order to protect and repair bronze drums, optical microscopy and scanning electron microscopy with energy dispersive X – ray (SEM – EDX) were used to analyze six bronze drums from Shanglin County, Guangxi. These drums are dated to a period from the Eastern Han Dynasty to the Southern Dynasties. The studies suggested that 1) these six bronze drums are made from a Cu – Sn – Pb alloy; 2) they were made by casting molding; 3) the modeling methods include both the mud and lost wax methods. This is the first report on the alloy composition and casting method used for cold water washed bronze drums. Therefore, this paper provides information for future re-search on the technology of bronze drums of a similar type.

Key words: Guangxi Shanglin; Bronze drum; Alloy process

(责任编辑 谢 燕)

· 科技信息 ·

伊兹尼克瓷釉与拜占庭玻璃生产中的苏打熔剂含量分析

土耳其奥斯曼帝国从 15 世纪末开始烧制的伊兹尼克瓷器代表了伊斯兰世界陶瓷技术和艺术的最高峰。该瓷器胎的含铁量较低(<1% FeO) 呈白色, 而釉料中钾, 镁和钙含量也较低, 导致 Na/K, Na/Mg, Na/Ca 摩尔比显著高于传统伊斯兰世界以沿海草木灰及富碱沙粒为原料的铅碱釉。因此, 一般认为伊兹尼克瓷器釉料中的来源于高钠含量砂砾或者未知的纯碱矿源。

最近, Schibille (2011) 研究指出来自帕加马的中晚期拜占庭玻璃中 Na/K 和 Na/Mg 的值也高于传统草木灰玻璃制品。这些拜占庭玻璃中硼含量及锂含量亦均超过使用碳酸钠矿物或草木灰的玻璃制品。Schibillere 认为土耳其西部富碳酸钠蒸发岩伴随着硼砂的沉积可能是这些玻璃制品中熔剂的来源。

在这些研究的基础上, Tite 测试了一组伊兹尼克瓷片以及有相同元素含量的伊兹尼克铅碱玻璃块(这些玻璃块可能为瓷器釉料原料)。该实验通过扫描电镜能谱仪(SEM – EDS) 检测主量和微量元素, 激光剥蚀等离子体质谱仪(LA – ICP – LS) 检测痕量元素(B, Li, P, Sr)。作者将伊兹尼克瓷片与玻璃块的测试数据与罗马玻璃及拜占庭玻璃一起同土耳其西部温泉水中元素组成数据作对比。因为有文献指出该温泉水可以作为伊兹尼克瓷器生产过程中熔剂的来源。

SEM – EDS 检测结果表明伊兹尼克瓷器及玻璃块中 Na/K (11 ~ 20), Na/Mg (30 ~ 71), Na/Ca (7 ~ 14) 以及 Na/B (43 ~ 57) 的摩尔比与 Afyon – Gazligöl 温泉中这些元素的摩尔比相近(分别为 12 ~ 14, 24 ~ 54, 6 ~ 17, 66 ~ 74)。而 LA – ICP – MS 分析结果显示来自 Pargemon, Sagalassos 以及 Aphrodisias 的拜占庭玻璃中高 Na/B 比(38 ~ 85, 19, 40) 也与来自 Afyon – Gazligöl, Salihli 和 Urganli 温泉水中的 Na/B 比(66 ~ 74, 15, 57) 相似。因此来自土耳其西部的富碳酸氢钠型温泉水通过蒸发结晶或其它方式析出碳酸钠或碳酸氢钠晶体是伊兹尼克瓷器的熔剂来源, 同时也是该地区一部分拜占庭玻璃的原料来源。该结论成立的前提为土耳其奥斯曼帝国时期温泉水的元素组成与含量与现代含量一致。在该前提下, 该地区温泉蒸发矿物可以直接用来制作独特的低钾钙镁含量的伊兹尼克瓷器。