

文章编号:1005-1538(2018)01-0011-07

六安双龙墓群出土西汉黑陶呈色机理研究

潘坤容¹,王 荣²,姚政权³

(1. 上海视觉艺术学院文物保护与修复学院,上海 201620; 2. 复旦大学文物与博物馆学系,上海 200433;
3. 安徽省文物考古研究所,安徽合肥 230061)

摘要: 为了探索六安双龙机床厂墓葬出土西汉黑陶的呈色机理,利用现代科技分析手段对黑陶的黑色物质进行物相分析、显微观察和成分分析。拉曼光谱结果显示黑色物质是无定形碳;SEM显示黑色物质均匀覆盖在胎体表面,其颗粒大小为 $3\mu\text{m}$ 左右,属于炭黑颗粒;能谱分析显示碳元素分布较为均匀;红外光谱检测出黑色层中含有生漆成分。综合分析显示黑陶样品的呈色机理是:胎体表面被均匀地涂饰了一层由生漆和炭黑构成的黑色物质。该研究对探讨黑陶呈色机理具有重要意义,对了解黑陶制作工艺的发展有一定的补充作用。

关键词: 西汉黑陶;呈色机理;炭黑;生漆

中图分类号: K854.2 **文献标识码:** A

0 引言

黑陶即黑色陶器,考古学上专指器表全黑的陶器。据考古资料显示,黑陶最早使用于新石器时代中期长江流域的跨湖桥遗址(公元前6000—前5400年)和淮河流域的双墩遗址(公元前5000年),此后在长江下游地区的河姆渡文化(公元前5000—前4000年)、马家浜文化(公元前5000—前4000年)、崧泽文化(公元前4000—前3300年)、良渚文化(公元前3300—前2100年),长江中游地区的大溪文化(公元前4500—前3300年)、屈家岭文化(公元前3300—前2500年),山东地区的大汶口文化(公元前4200—前2600年)、龙山文化(公元前2600—前2000年)中都有使用^[1,2]。黑陶文化历史悠久,于新石器时代晚期达到高峰。汉以后,由于瓷器的成熟,黑陶及各色陶器不再占据主要地位。学者多对高峰时期的黑陶进行研究,探讨其呈色机理,多数学者认为是渗碳工艺的运用^[3];但仍难以准确把握黑陶工艺的传承性和创新性。

六安,别称“皋城”,位于安徽省西部地区,是衔接出土大量黑陶的中部地区和东部地区的重要区域。西汉时期,六安是重要的诸侯国,规格颇高的第一代六安王刘庆的“黄肠题凑”墓彰显着该地

区曾经的辉煌。2007—2008年,六安双龙机床厂墓群共计发掘西汉墓葬300座,而出土黑陶的墓葬多达176座(共出土黑陶557件)^[4]。这些黑陶仅在陶胎表面附着一层黑色物质,而胎体多为灰色、红色,有别于一般胎体为黑色或灰色的黑陶。鉴于此历史时期黑陶的研究颇少,本研究选择六安双龙机床厂墓群出土的西汉黑陶进行探索,目的在于探讨其呈色机理,从而了解黑陶工艺在不同时期、不同地域的特色,期望对黑陶研究领域有一定的补充作用。

1 实验样品及方法

1.1 实验样品

黑陶样品由六安皖西博物馆提供,均出土自安徽六安双龙机床厂墓群,均为陪葬品,年代为西汉^[4]。选择其中两件黑陶残片进行分析,编号为1号和2号,样品详细信息见表1。

1.2 实验方法

为了确认六安双龙机床厂西汉黑陶外表面的黑色物质的物相和成分,探索其呈色机理,利用便携式拉曼光谱仪(Raman)、扫描电子显微镜(SEM)、傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)对黑陶进行详细的分析。



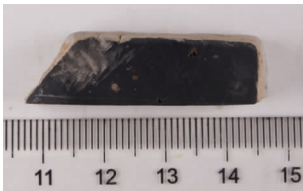

收稿日期:2017-01-03;修回日期:2017-06-19

作者简介:潘坤容(1990—),女,2015年硕士毕业于复旦大学文物与博物馆学系,现工作于上海视觉艺术学院文物保护与修复学院,助教,研究方向为文物保护与修复材料,E-mail: ilu5599627@163.com

通讯作者:王 荣,复旦大学副教授,E-mail: wangrong@fudan.edu.cn

表 1 黑陶样品^[4]信息

Table 1 The surface characteristics and pictures of the black pottery of Lu'an

| 样品号 | 出土地址 | 样品正面 | 样品反面 | 外观描述 | 备注 |
|---------|------------------|---|--|---|---|
| 1 陶饼 | 六安双龙 机床厂 M782 |  |  | 泥质灰陶, 胎体内 外表面有黑色层。 直径 5.0cm, 高 1.6cm | 同墓葬出土了 20 件 漆陶器, 其中 5 件漆 陶的胎体和漆层之 间具有黑色中间层 |
| 2 陶杯 | 六安双龙 机床厂 M373 |  |  | 泥质灰陶, 胎体外 表面有黑色层。厚 0.8cm | 同墓葬出土了 11 件 漆陶器, 其中 3 件漆 陶的胎体和漆层之 间具有黑色中间层 |

1.2.1 拉曼光谱分析 拉曼光谱主要用于对黑色物质进行物相分析。仪器为必达泰克光电科技(上海)有限公司生产的 i-Raman 型便携式拉曼光谱仪。测试条件为:在室温、暗室条件下,激光波长为 785nm,能量为 300mW,放大倍数 $10\times$,测试时间为 10s,光谱测试范围为 $65\sim 3200\text{cm}^{-1}$,测试前扣除背景电流。

1.2.2 扫描电子显微镜分析 扫描电镜主要对黑色层进行显微观察和成分分析,所用仪器为日本 Hitachi 的 S-520 型扫描电子显微镜,荷兰 Phenom-World 的 Phenom ProX 型台式扫描电子显微镜(能谱版)。在 2 号样品中取大小为 $5\text{mm}\times 4\text{mm}\times 2\text{mm}$ 的测试样品,对较为平整的剖面进行喷金处理,观察黑色层的表面形态和剖面结构,并使用能谱仪对黑色层剖面进行元素分布分析。

1.2.3 傅里叶变换红外光谱分析 红外光谱主要

对黑色物质中的有机物质进行分析。分析仪器为美国 NICOLET 公司的 Nicolet Nexus 470 型傅里叶变换红外光谱仪,分辨率为 4cm^{-1} ,检测器为 DTGS,光谱范围为 $400\sim 4000\text{cm}^{-1}$,采用 KBr 压片制样,KBr 量为 100mg,样品量为 1mg。

2 结果与讨论

2.1 黑色层物质的物相分析

为了确定黑色层物质的成分组成,用拉曼光谱对 1 号和 2 号样品进行物相分析,结果见图 1。1 号和 2 号样品黑色层物质的拉曼谱图极其相似,在 1324cm^{-1} 和 1592cm^{-1} 附近均有峰位。其中 1592cm^{-1} 附近的峰位称为 G 峰,显示构成物质是“石墨”; 1324cm^{-1} 附近的峰位称为 D 峰,该峰宽大弥散,显示构成物质的“非晶化”^[5]。拉曼结果显示:两个样品的黑色物质均由无定形碳构成^[6]。

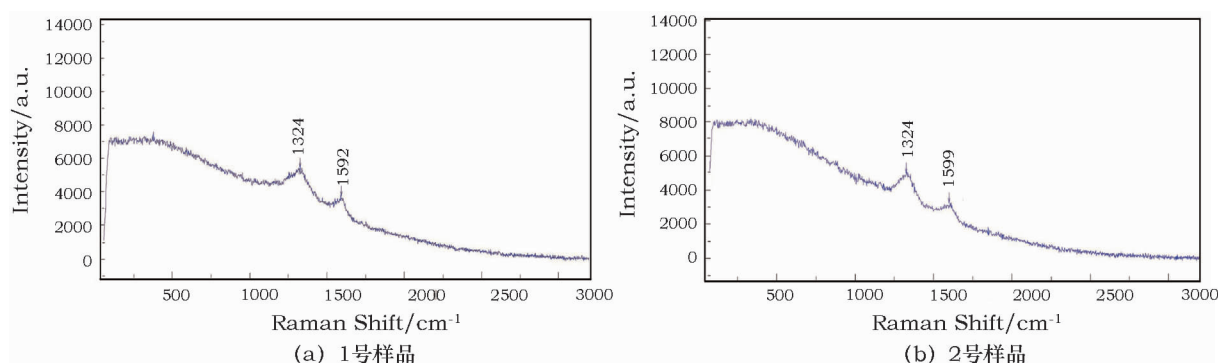


图 1 1 号和 2 号样品黑色层物质的拉曼谱图

Fig. 1 The Raman spectrum of sample 1 and sample 2

2.2 黑色层物质的显微观察

无定形碳包括炭黑、木炭、焦炭、骨炭、糖炭等,而不同种类无定形碳的颗粒大小和聚集形态是不一样的^[7]。对黑陶的黑色层物质进行显微观察,可以了解黑色物质的形态;而对陶胎剖面进行显微观察,可以了解黑色层在胎体中的分布状况,从而了解黑色层的制作工艺。

在无定形碳的种类中,油烟的颗粒大小约5~11nm;松烟的颗粒大小不一,有些颗粒大小在5~10nm之间,有些能达到100nm;炭黑的颗粒大小约3~5 μm ^[8]。图2可见无定形碳颗粒的大小

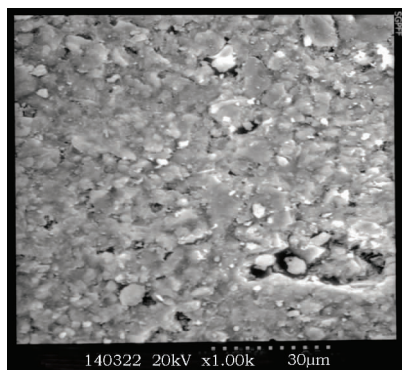


图2 2号样品黑色层的表面形貌显微图

Fig. 2 The morphologic picture of the black layer on the surface of sample 2

约3 μm ,在炭黑颗粒的尺度范围之内,据此认为黑色层碳物质为炭黑。此外,黑色层的表面形貌显示,炭黑颗粒并不是一颗颗单独存在的,而是由胶结物包裹着。图3黑色层的剖面图可观察到炭黑层是一层较为均匀的黑色层,覆在胎体表面层之上,并在胎体衔接处有明显的分界线。对此剖面层的黑色物质进行线扫描分析,如图4所示,结果显示碳层的碳元素分布较为均匀,与朱铁权等^[9]所发现的碳元素在渗碳黑陶剖面的分布是由外向内逐渐减少的现象不同,从而更加明确了这层黑色物质不是因渗碳所致。

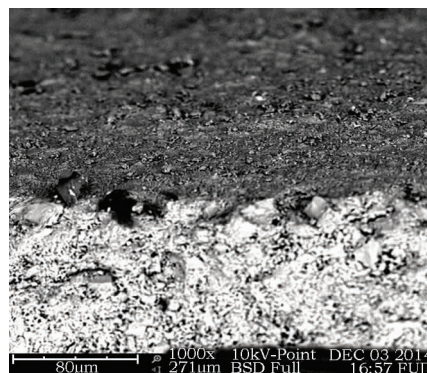


图3 2号样品黑色层的剖面形貌显微图

Fig. 3 The morphologic picture of the black layer on the cross - section of sample 2

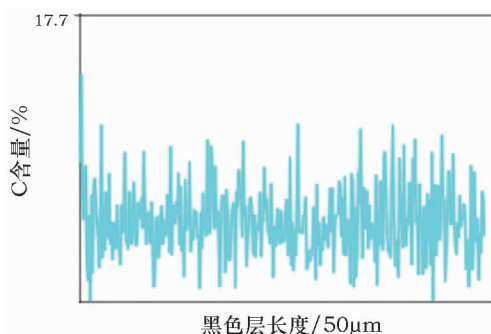


图4 2号样品黑色层剖面的碳元素能谱图

Fig. 4 The line scanning of carbon on the cross - section of sample 2

2.3 黑色层包裹物的成分分析

对黑色层进行显微观察,可知炭黑颗粒是由胶状物质包裹着的,为此采用红外光谱对这类物质进行成分分析,见图5。1号和2号样品黑色层物质的红外谱图与生漆的红外谱图非常相似,在 3430cm^{-1} 、 2926cm^{-1} 、 2855cm^{-1} 、 1627cm^{-1} 、 1443cm^{-1} 、 1086cm^{-1} 、 796cm^{-1} 附近都有吸收峰,而这些谱峰属于漆酚的特征峰,说明黑色层包裹物为

生漆,即使用了生漆作为黑色层的调和剂。生漆红外谱图谱峰的具体解析见表2^[10]。

红外分析的结果表明:这层黑色物质含有生漆成分,生漆有黏度大、附着力强的特点,可推测其制作工艺是,在陶胎烧成后,在其表面使用生漆和炭黑的混合物进行涂抹。

2.4 讨论

学术界通常将黑陶细分为夹砂黑陶、夹炭黑陶、夹植物陶、泥质黑陶、黑皮陶、蛋壳陶或泥釉黑陶等。从中可见:由于各地文化和制陶工艺的差异,不同地区的黑陶有着各自的特色,如著名的良渚文化的黑皮陶、山东龙山文化的蛋壳陶都是黑陶中的精品^[11]。

20世纪50年代末60年代初,一些学者开始对黑陶制作工艺与呈色机理进行研究,如周仁等^[12]对龙山文化的黑陶进行定碳分析和加热失重实验,提出黑陶呈现黑色的原因是临近烧成结束时用烟熏法进行渗碳。这是自1928年首次发现龙山文化黑陶以来,第一次以实验探索的方式提出碳是黑陶的呈色原因,其来源是渗碳工艺。李家治等^[13]使用化学成分分析、热膨胀仪、加热失重等方法对河姆渡文

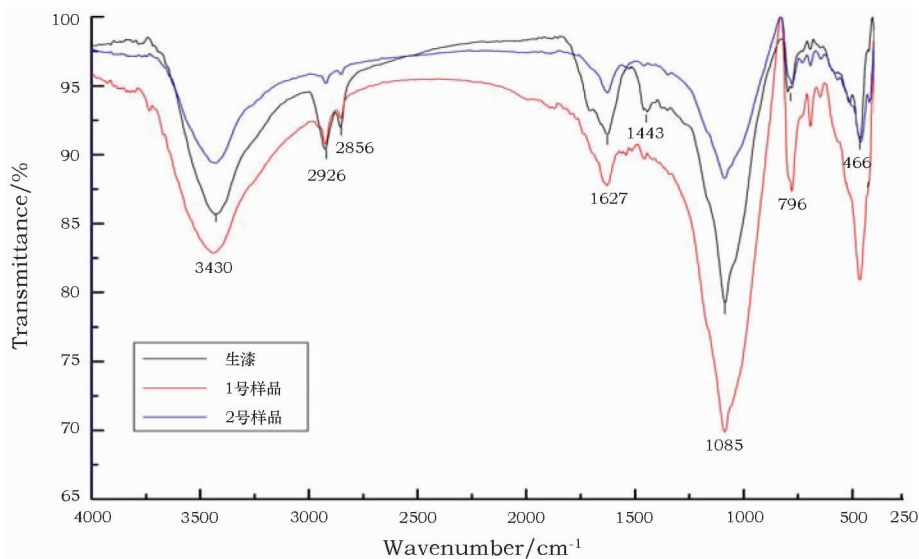


图 5 1 号、2 号样品的黑色粉末和生漆的红外谱图

Fig. 5 The IR spectra of the black material of sample 1, 2 and lacquer

表 2 生漆红外谱图的解析

Table 2 The specific analysis of the peaks of infrared spectrum of lacquer

| 谱峰 | 对应基团 | 谱峰 | 对应基团 |
|--|--|------------------------------|-----------------------------|
| 3430 cm^{-1} | -OH 酚羟基的伸缩振动 | 1443 ~ 1470 cm^{-1} | 漆酚中的 -CH ₂ 的变形振动 |
| 2926 cm^{-1} 、2855 cm^{-1} | 漆酚中的 -CH ₂ 的不对称伸缩振动峰和对称伸缩振动 | 1086 cm^{-1} | 苯环上的 C-O 的伸缩振动 |
| 1627 cm^{-1} | 烯烃 C=C 的伸缩振动吸收 | 796 cm^{-1} | 1,2,3-取代的漆酚苯环特征 |

化的夹炭黑陶、夹砂黑陶、泥质黑陶分别进行了研究,发现夹炭和夹砂黑陶的含铁量较低,并认为是有意识掺和进去的;而泥质黑陶含铁量较高,常表现为内外和表里颜色不一,认为是受烧成气氛(还原气氛)影响而不是另外施加陶衣。不过,郭强^[11]认为仅还原气氛是不可能烧成纯黑色黑陶的,他通过烧制实验认为黑陶呈色的关键在于烧成后期的渗碳工艺,指出河姆渡文化夹炭黑陶的呈色机理是胎体里混杂着许多有机质物质,在烧制过程中又处于强还原性气氛,因此有机质炭化产生的碳颗粒和胎体中的铁还原一起影响了陶胎的颜色;此外,郭强认为良渚文化和大溪文化黑皮陶的呈色机理也是渗碳,之所以仅表面黑色是由于在烧成后期渗碳时间过短,导致渗碳不足,炭黑仅停留在陶体表面形成墨色薄层所致。李文杰^[14]也认为大溪文化黑陶及其他陶器黑色区域的黑色均是渗碳的结果,并根据陶器的黑色外观,探讨了渗碳的方法,分为窑内和窑外渗碳法,如在偏远的云南佤族地区,人们也还使用窑外渗碳工艺,尽管用的方法不尽相同,但原理都是渗碳;同时,他通过大量的仿制实验,解释了渗碳的基本原

理,即陶器需要有吸收碳粒的能力,且环境中需要有微小的碳粒,在一定温度范围内逐渐渗入陶胎空隙。而渗碳保温时间的长短决定渗碳层的深浅,即决定着黑陶是内表皆黑,抑或仅表皮为黑色,即成为“黑皮陶”或“黑衣陶”。

此外,部分发掘时间较晚的遗址所出土的黑陶,也引起了学者的注意。他们试图探索这些黑陶的呈色机理是否同样与渗碳工艺有关,如朱铁权^[9]利用重烧实验、拉曼光谱、SEM 等多种分析手段探讨双墩遗址出土黑陶的呈色机理,成分分析结果显示黑色物质是碳,SEM 观察分析中发现碳元素的分布在陶胎上由外到里逐渐减少,从而判断碳是因渗碳作用而来,黑陶的黑色同样是渗碳工艺所致。邓泽群^[15]研究跨湖桥遗址陶器时发现黑光陶表面黑色层成分和内部成分相差不大,推断光亮的黑光陶表面不是用“泥釉”方法做成的,至于是何工艺所致,还需继续探讨。林嘉伟^[16]对跨湖桥黑光陶的呈色机理进行了研究,⁴He 离子束共振背散射测试结果显示黑陶的碳含量非常高,是龙山文化黑陶的 2 倍,他结合 XRF 分析结果认为龙山文化黑陶是由碳和

铁共同致色,而跨湖桥黑陶仅由碳呈色;不过,林嘉炜对煤烟渗碳的方法提出异议,认为跨湖桥黑陶是由于制陶原料本身含有天然存在的大量有机物,在烧制过程中产生炭黑而呈色,这与年代稍晚的河姆渡文化夹炭黑陶的呈色机理一致。至于黑光陶形成光泽度非常好的表面的原因,他也没有得出明确的结论。

现今,黑陶行业仍然有着其旺盛的生命力,可从较为人所熟知的馆陶黑陶、德州黑陶、尼西黑陶和绥棱黑陶中窥见一斑^[17],许多学者仍在不断探索灿烂的黑陶文化,试图让黑色瑰宝重现异彩。在前人探索黑陶呈色机理及渗碳工艺的基础上,刘鹏^[18]利用河北沧州黏土来仿制黑陶,进一步探讨了渗碳机理,发现黑陶的墨黑颜色是在600℃以下渗碳而成,且烧成温度在630℃以下时陶器可以保留表面原有的抛光光泽,高于630℃时黑色变弱,高于900℃以上时陶器内部逐渐变灰白色。该项研究解释了“黑如漆、亮如镜”的黑陶制作工艺。沈建兴等^[19]也对制作水平很高的龙山文化黑陶进行了细致深入的分析,发现虽然龙山文化黑陶胎体的含铁量较高(一般在7%左右),但黑陶的呈色机理却不是因为其胎体含铁量高。他总结了陶体气孔率和渗碳时间是影响渗碳量和黑陶呈色的主要因素,为仿制黑陶提供了科学的依据。上述模拟实验再次肯定了黑陶呈色是渗碳的结果。

可见,大多数学者们认为“碳”的存在是黑陶的主要呈色因素。但有部分学者发现,有些黑陶的黑色外观却不是因为“碳”。如鲁晓柯^[20]发现龙山文化陶寺遗址出土黑皮陶的陶衣原料为高铝、钾、铁的粘土,推测其制作工艺可能是在陶体表面涂了一层含磁铁矿和伊利石的粘土,即黑色是由铁呈色。浙江江山遗址出土了大量泥釉黑陶,年代在商前或与商同期,这些黑陶的器表内外均似覆盖了一层黑色泥料,器表粗糙、无光、吸水,泥釉极易剥落。李家治^[21]从化学成分上对其进行分析,发现这层泥釉同样是使用了高铝、钾、铁的粘土,厚度一般为0.2mm。

结合上述学者的大量研究,可以大致推出史前至商时期黑陶工艺的历史发展脉络,考古资料显示最早使用的黑陶出现在跨湖桥遗址、河姆渡文化。基本为通体黑色的夹炭黑陶,呈色机理相似,均为制陶原料中夹杂的有机物在烧造过程中炭化产生的炭黑颗粒渗入陶体所致;年代稍晚的双墩遗址的颜色不均匀黑陶、大溪文化的胎体内外皆黑的黑陶、良渚

文化的黑皮陶(胎心为黄色、红色或灰色)、龙山文化的蛋壳黑陶,这些泥质黑陶的呈色机理均为渗碳所致,包括窑外和窑内方法,通过控制烧造条件,致使黑陶的渗碳量和深度有所不同;年代更晚的陶寺遗址的黑皮陶(器表黑亮,胎心为黑灰色)、浙江江山遗址的泥釉黑陶(器表无光,胎心有两种颜色,灰白色和略带红的橙黄色,有时在同一陶胎内存在两种颜色,胎质疏松,肉眼可见大量气孔)的黑色外观不是因渗碳技术所得,而是涂了一层高铁、铝、钾的黑色陶衣。总的来说,可将史前至商时期黑陶的呈色机理归纳为两种,一为渗碳,现代的黑陶生产技术也仍然使用此法获取黑色外观;二为陶衣,即在陶体表面涂抹含铁量高的陶衣,致使陶胎表面呈现黑亮的光彩。

六安双龙机床厂墓葬出土的西汉黑陶仪器表呈现黑色,胎体多为灰色、红色,黑色层物质与胎体表面有清晰的分界线,这与因渗碳工艺所得的黑陶的剖面形态不同,从其碳元素在剖面的分布情况来看,也与一般渗碳黑陶的分布情况不同,由此排除了渗碳的可能。尽管从形貌上看双龙机床厂西汉黑陶与浙江江山遗址的泥釉黑陶非常相似,但双龙机床厂西汉黑陶的黑色层物质是炭黑和生漆的混合物,与泥釉黑陶的黑色层物质成分不同,因此呈色机理也不相同。值得注意的是,在出土黑陶的176座六安双龙西汉墓葬中,还出土了大量漆陶,部分漆陶的胎体也是黑色陶胎。经分析发现,这些黑色陶胎的呈色机理跟这两件黑陶样品呈色机理是一样的,同样是在陶体表面有一层炭黑混合生漆的黑色物质^[22]。在漆器制作工艺中有髹漆灰的做法,“漆灰”是用大漆和灰作腻子使用,江苏盱眙东阳汉墓^[23]和山东日照海曲汉墓^[24]出土漆器的漆灰层中都检测出大漆成分,目的是使胎体平整,有利于后续髹漆工序的进行。以无定形碳作为漆灰主要成分的髹漆工艺已有发现,如在长沙仰天湖M14楚墓和长沙马王堆M2西汉墓^[25]出土的漆器中就有使用,因此,此黑色层极有可能扮演着漆陶漆灰层的角色。可以推断,西汉六安地区的黑陶工艺可能创新性地参考了漆器的漆灰层制作工艺。在双龙机床厂西汉墓群中,有16座墓葬同时出土了黑胎漆陶和黑陶,如M162西汉墓成套出土了黑胎漆陶钵和黑陶钵、黑胎漆陶小壶和黑陶小壶、黑胎漆陶盒和黑陶盒,其造型、大小相同,只是表面髹漆与否的区别^[4]。因此,这种表面髹涂了炭黑与生漆混合材料的陶器,一方面可以直接作为黑陶成为陪葬明器,另一方面可以作为漆器

的底胎,继续加工,从而成为精美的漆陶。这也说明当时不同手工行业之间的技术是可以相互借鉴的。

综上所述,至晚在汉代,黑陶的呈色机理已不局限在渗碳,或涂抹陶衣,而是出现了使用炭黑混合生漆涂抹在陶器表面制成黑陶的新工艺。这也是六安双龙机床厂墓群出土西汉黑陶的特色所在。

3 结 论

通过以上分析和探讨可以得到如下结论:

1) 对六安双龙墓群西汉黑陶的黑色层物质进行物相分析和成分分析,发现黑色层是由炭黑混合生漆构成的,炭黑颗粒的大小为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 。显微镜观察可知,该黑色层仅分布在陶体的外表面。西汉时期六安地区出现了在陶胎完成后,将生漆与炭黑的混合物均匀地髹涂在陶胎外表面的黑陶制作工艺。这一工艺不仅使不同颜色的陶体均能获得黑色外观,还有助于胎体的加固,并且使得陶胎表面更加致密光滑。

2) 以往研究表明,黑陶的黑色多是以渗碳工艺获得,包括窑外、窑内渗碳;或者是涂抹高铝、钾、铁的陶衣来获取。六安双龙机床厂西汉黑陶系将炭黑和生漆的混合物涂抹在已烧成的陶胎表面使得陶器呈现黑色,这在黑陶呈色机理的研究中是首次发现,其工艺可能借鉴于漆器工艺。

黑陶文化是中国陶瓷史文化中非常灿烂的一笔,这样的艺术形态有赖于中国传统的审美情趣。自古,人们对黑色就有种特殊的喜爱,黑色端庄凝重,使人的心灵得到沉静,因此黑陶一直以来被人喜爱。现今仍有制陶行业和艺术家在延续黑陶的风采,因此充分了解黑陶的呈色机理,剖析其制作工艺及发展史,不仅是陶瓷科技史的有益补充,而且为中国非物质文化遗产的传承和创新提供依据。

参考文献:

- [1] 张之恒. 中国考古通论[M]. 南京:南京大学出版社,2012:121-270.
ZHANG Zhi-heng. Chinese neolithic age culture[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2012: 121-270.
- [2] 中国社会科学院考古研究所. 中国考古学新石器时代卷[M]. 北京:中国社会科学出版社,2010:802.
The Institute of Archaeology Chinese Academy of Social Sciences. Chinese archaeology Neolithic[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2010: 802.
- [3] 熊 寥. 中国古代制瓷工程技术史[M]. 太原:山西教育出版社,2014:25-26.
XIONG Liao. The engineering history of porcelain making in ancient

- China[M]. Taiyuan: Shanxi Education Press, 2014: 25-26.
- [4] 安徽省文物考古研究所,武汉大学历史学院考古系,六安市文物局. 双龙机床厂墓群发掘报告[M]. 上海:上海古籍出版社,2016.
Anhui Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Department of Archaeology, School of History of Wuhan University, Lu'an Bureau of Cultural Heritage. The report on the excavation of the tombs of Shangyong District of Lu'an[M]. Shanghai: Shanghai Guji Press, 2016.
- [5] 江功武,于 翔,王成彪. 类金刚石碳膜的研究进展[J]. 金属热处理,2003(11):1-6.
JIANG Gong-wu, YU Xiang, WANG Cheng-biao. Research progress of diamond-like carbon film[J]. Heat Treatment of Metals, 2003(11): 1-6.
- [6] Erich F. Application of laser-Raman spectroscopy for characterization of carbon fiber[J]. High Temperature High Press, 1987,19(5):573-544.
- [7] 黄思林. 人造石墨与硅石墨复合负极材料的制备及性能研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
HUANG Si-lin. Preparation and characterization of artificial graphite and silicon-graphite composite anode materials[D]. Changsha: Central South University, 2013.
- [8] 曹雪筠,杨 军,方晓阳,等. 江西南昌雷钟墓出土墨锭的分析研究[J]. 南方文物,2011(2):152-157.
CAO Xue-jun, YANG Jun, FANG Xiao-yang, et al. The analysis of the ancient ink stick excavated from Leitiao Tomb in Nanchang, Jiangxi Province[J]. Relics from South, 2011(2): 152-157.
- [9] 朱铁权,王昌燧,徐大力,等. 双墩遗址黑陶渗碳工艺初探[J]. 文物保护与考古科学,2005,17(5):1-8.
ZHU Tie-quan, WANG Chang-sui, XU Da-li, et al. Preliminary exploration to the carbonization technique of the black pottery in Shuangdun site[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2005,17(5): 1-8.
- [10] 金章岩,陈天佑. 中国生漆的红外光谱分析[J]. 中国生漆,1985(1):1-10.
JIN Zhang-yan, CHEN Tian-you. Infrared spectrum analysis of Chinese lacquer[J]. Chinese Lacquer, 1985(1): 1-10.
- [11] 郭 强. 黑陶呈色原理与烧制工艺[J]. 山东陶瓷,1996,19(3):35-37.
GUO Qiang. The colorific mechanism and the firing technique of the black pottery[J]. Shangdong Porcelain, 1996,19(3):35-37.
- [12] 周 仁,张福康,郑永圃. 我国黄河流域新石器时代和殷周时代制陶工艺的科学总结[J]. 考古学报,1964(1):13-17.
ZHOU Ren, ZHANG Fu-kang, ZHENG Yong-pu. Studies on the technology of Neolithic and Yin and Chou pottery unearthed in the yellow river valley[J]. The Chinese Journal of Archaeology, 1964(1):13-17.
- [13] 李家治,陈显求,邓泽群,等. 河姆渡遗址陶器的研究[J]. 硅酸盐学报,1979,7(2):1-9.
LI Jia-zhi, CHEN Xian-qiu, DENG Ze-qun, et al. A study of the pottery unearthed at Hemudu[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1979,7(2):1-9.

- [14] 李文杰, 黄素英. 浅说大溪文化陶器的渗碳工艺[J]. 江汉考古, 1985(4):46-50.
LI Wen-jie, HUANG Su-ying. Research on the carbonization technique of the pottery in Daxi Culture[M]. Jiangnan Archaeology, 1985(4):46-50.
- [15] 邓泽群, 吴隽, 吴瑞, 等. 跨湖桥遗址陶器的研究[C]//2005古陶瓷科学技术国际讨论会论文集6. 上海:上海科学技术文献出版社, 2005:1-8.
DENG Ze-qun, WU Jun, WU Rui, et al. Study on pottery excavated at Kuahuqiao site[C]//Proceedings of the 2005 International Symposium on Ancient Ceramics 6. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Press, 2005:1-8.
- [16] 林嘉伟. PIXE 在古陶瓷产地和制造工艺中的研究[D]. 上海:复旦大学, 2007.
LIN Jia-wei. PIXE study on provenance and production technique of ancient ceramics[D]. Shanghai: Fudan University, 2007.
- [17] 段伟. 馆陶黑陶的工艺造型及其装饰研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2014.
DUAN Wei. Process modeling and decoration of Guantao black pottery[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2014.
- [18] 刘鹏. 黑陶渗碳机理研究[J]. 硅酸盐通报, 1996(5):20-26.
LIU Peng. The research on cementation mechanism of black pottery[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 1996(5):20-26.
- [19] 沈建兴, 翟纪伟, 李传山, 等. 龙山黑陶显微结构分析和渗碳工艺研究[J]. 中国陶瓷, 2008, 44(3):43-45.
SHEN Jian-xing, ZHAI Ji-wei, LI Chuan-shan, et al. Longshan black pottery microstructure analysis and cementation craft research[J]. Chinese Ceramic, 2008, 44(3):43-45.
- [20] 鲁晓柯, 李伟东, 罗宏杰, 等. 陶寺遗址龙山时代黑色陶衣的研究[J]. 中国科学:技术科学, 2011, 41(7):906-912.
LU Xiao-ke, LI Wei-dong, LUO Hong-jie, et al. The black pottery coating of Longshan times from Taosi Site[J]. Science China Technological Sciences, 2011, 41(7):906-912.
- [21] 李家治. 浙江江山泥釉黑陶及原始瓷的研究[C]//中国古陶瓷研究, 北京:科学出版社, 1987:56-63.
LI Jia-zhi. The research on the black glaze pottery and the proto-porcelain of Jiangshan of Zhejiang province[C]//The ancient ceramic research, Beijing: Science Press, 1987:56-63.
- [22] 潘坤容. 六安出土西汉漆陶的制作工艺研究[D]. 上海:复旦大学, 2015.
PAN Kun-rong. Studies on production techniques of the lacquer pottery excavated in Lu'an during the Western Han Dynasty[D]. Shanghai: Fudan University, 2015.
- [23] 金普军, 毛振伟, 秦颖, 等. 江苏盱眙出土夹红胎漆器的测试分析[J]. 分析测试学报, 2008, 27(4):372-376.
JIN Pu-jun, MAO Zhen-wei, QIN Ying, et al. Analysis of Ramee-Lacquer Unearthed in Xuyi City of Jiangsu Province[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2008, 27(4):372-376.
- [24] 吴双成, 贺娜, 蔡友振, 等. 山东日照海曲墓地出土漆膜的分析测试[J]. 文物保护与考古科学, 2014, 26(1):67-70.
WU Shuang-cheng, HE Na, CAI You-zhen, et al. Study on chemical composition of fabric core lacquer wares excavated from Haiqu Cemetery in Rizhao City[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2014, 26(1):67-70.
- [25] 王荣, 陈建明, 聂菲. 长沙地区战国中期至西汉中期漆工艺中的矿物材料使用初探[J]. 湖南省博物馆馆刊, 2014(10):235-255.
WANG Rong, CHEN Jian-ming, NIE Fei. Preliminary study on the use of mineral materials in lacquer technology during the middle Warring States period to the Western Han Dynasty in Changsha[J]. Bulletin of Hunan Provincial Museum, 2014(10):235-255.

Studies on coloration mechanisms of the black pottery of the Western Han Dynasty excavated from the tombs in Shuanglong District of Lu'an

PAN Kun-rong¹, WANG Rong², YAO Zheng-quan³

(1. School of Conservation, Shanghai Institute of Visual Arts, Shanghai 201620, China;

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

3. Anhui Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Hefei 230061, China)

Abstract: Several experimental methods including Raman, scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy and Fourier-transform infrared spectroscopy were used to analyze the two black potteries of the Western Han Dynasty excavated from the tombs in the Shuanglong District of Lu'an. We found that the black layer was applied evenly on the outer surface of the pottery body. The black layer was made from carbon black and raw lacquer. The results are important for the understanding of the craftsmanship of black pottery.

Key words: Black pottery; Coloration mechanism; Carbon black; Raw lacquer

(责任编辑 马江丽)