

河南漯河古城遗址出土宋代青白瓷化学组成及来源研究

崔名芳¹, 朱建华^{2*}

1. 安徽工业大学马克思主义学院, 安徽 马鞍山 243000

2. 安徽工业大学冶金减排与资源综合利用教育部重点实验室, 安徽 马鞍山 243000

摘要 该研究中,对发掘于河南漯河古城遗址宋金土层的瓷器样品进行了综合表征。青白瓷显微结构分析表现为典型的南方石英、绢云母质瓷;能量色散型X荧光光谱(EDXRF)分析表现出“高硅低铝”特性,胎体制作过程中采用了单一瓷石为原料的“一元配方工艺”;结合胎釉外观特征及白度值,可判定其属于典型的南方青白瓷。鉴于瓷胎的成分具有一定的地域特征,借助主成分分析方法(PCA)将该批瓷器样品与南方同时代周边青白瓷瓷胎的主量化学元素进行比较,结果显示其与景德镇湖田窑和安徽繁昌窑样品的数据点分布具有很高的重合度,而与其他窑口样品明显偏离,表明这三个窑口的样品在化学组成上有高度的相似性。进一步将这3个窗口的胎釉常量化学元素进行散点图分析比较,发现该批样品与江西湖田窑青白瓷在化学元素组成上具有更高的共性。综合各种分析,推测该批青白瓷样品应产自宋代景德镇湖田窑,为景德镇供奉开封中上层统治者使用的瓷器,后期通过贸易流通到中原地区。结合古代文献资料,推测出其可能的流通过程。该研究对探明我国古代青白瓷的制瓷工艺、瓷器贸易流通状况及挖掘漯河古城遗址的历史文化价值具有重要意义。

关键词 漯河古城遗址青白瓷;能量色散型X射线荧光光谱;制瓷工艺;古代贸易流通

中图分类号: K878.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)08-2634-06

引言

青白瓷是我国宋元时期的著名的瓷器种类之一,其釉色介于青瓷和白瓷之间,青中泛白、白里显青,具有胎质洁白细腻、透光见影、釉面莹和、色泽如玉等特征。根据现有的考古发掘资料,安徽繁昌窑五代时期已开始烧制青白瓷,是目前所知最早的青白瓷窑场,入宋以后,青白瓷生产迅速发展,在我国南方地区形成了以景德镇窑为中心的庞大的青白瓷窑系,其窑址遍布江西、安徽、福建、湖北等地。考古研究表明,除南方地区外,我国北方也出土了大量的青白瓷器,而考古发掘资料显示,宋元时期的青白瓷窑址基本集中在我国南方地区,目前对北方地区出土青白瓷的生产工艺和产地等问题的研究尚较为薄弱。

河南漯河古城遗址,位于河南省漯河市郾城县城遗址内。2012年3月—5月,河南省文物考古研究所与漯河市文物考古研究所对遗址进行了抢救性考古发掘,发掘面积215 m²。遗址文化堆积厚4~5 m。发现有明清、金元、宋、唐晚

期和五代四期文化,地层堆积分为八层。青白瓷片标本发掘于第六层的宋金时期土层,该层距地表深3.50~3.87 m,自身厚0~0.54 m。出土有砖瓦残块、少量瓷片,有青白瓷、白瓷、黄釉、钧釉、酱黑釉、陶片等,器型有碗、罐、壶、碟、瓶等。本文主要对其中的宋代青白瓷标本,从白度、显微结构和化学组成等几个方面进行分析,探讨其产地来源、生产流通状况,为研究漯河古城遗址的历史地位及区域间的经济文化交流状况提供有价值的资料和信息。

1 实验部分

1.1 样品

实验所用青白瓷(编号为TG1—TG9)样品皆发掘于河南省漯河市郾城富华小区遗址第六地层,为宋金时期土层,共9件。标本皆为青白瓷残片,器型多属碗类,这批标本胎色洁白、胎质细腻,器表施透明青白釉,釉层较薄,薄釉处呈浅绿色,厚釉处呈青绿色;釉面分布密集的冰裂纹,这些釉面上的细小开片是由釉和胎的热膨胀系数不同造成;器表多

收稿日期:2019-07-05,修订日期:2019-11-18

基金项目:教育部人文社科规划青年基金项目(16YJC780001),国家自然科学基金面上项目(21571004)资助

作者简介:崔名芳,女,1980年生,安徽工业大学马克思主义学院讲师 e-mail: cuimf@mail.ustc.edu.cn

* 通讯联系人 e-mail: thesea@ustc.edu.cn

为素面,个别器物内底内有印花装饰,样品如图 1 所示。



图 1 河南漯河古城遗址出土青白瓷样品图

Fig. 1 Qingbai porcelain samples excavated from Luohe city site

1.2 测试与表征

1.2.1 样品制备

为准确观察瓷片的胎质、胎色及胎内包含物的宏观特征,对样品进行了清洗处理,首先用去离子水和乙醇超声洗净,烘干,详细描述和记录样品特征;然后用陶瓷切割机从瓷片上切下约 0.5 cm^2 的小块,去离子水超声清洗 2 次,置于在 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干,用于成分分析。将剩余陶瓷样品沿横界面切割制成厚度为 0.03 mm 的薄片,备光学分析。

1.2.2 仪器测试

白度测试使用 WD-2 型白度仪;偏光显微分析使用德国蔡司偏光显微镜(Axio Scope A1POL)。成分分析借助美国 EDAX 公司生产的 Eagle-III 型能量色散 X 射线荧光分析仪,实验仪器为-EAGLE-III μ 能量色散型 X 射线荧光光谱仪;实验条件为:管电压 40 kV ,管电流 $600 \mu\text{A}$,管压 40 kV ,管流 70 mA ,束斑直径 3 mm 。真空光路,死时间 25% 左右。定量分析采用校正曲线法,参考样为中国科学院上海硅酸盐研究所研制的一套古陶瓷无损测试的 13 个专用系列标准参考物质。

2 结果与讨论

2.1 白度值测试

此次发掘的青白瓷样品的白度皆在 $50 \sim 60$ 度之间,最高达到 66 度;该批样品白度值介于青瓷和白瓷之间,对比之前所做过的一批骆冲青白瓷,白度值大多在 50 度左右;而白瓷的白度均达到 70 度以上;1958 年经国家科学测定,德化白瓷白度高达 88.1 度以上,由此可见,此批样品属于典型的青白瓷。

2.2 显微结构

显微镜下观察显示,该批样品青白瓷呈透明的玻璃态,釉内没有发现残留的未熔颗粒,表明烧成温度较高,釉层较薄、透明,熔融较完全,近胎处分布较多大小不同的气泡[图 2(b)]。胎釉之间中间层不是很明显,在紧邻瓷胎釉层处,发育有钙长石针状晶体[图 2(a,b)],推测是高温烧成时,莫来石晶体在瓷胎中生长时,尚处于熔融状态的釉向胎内扩散,胎内的 Al_2O_3 与釉中的 CaO 以及胎釉内的 SiO_2 成分反应形成的,这一特殊的过渡层起到增强釉胎间结合力的作用。

瓷胎胎质细腻、致密,胎中有含量较高的 SiO_2 ,在大量

的玻璃基质连续相中有许多折射率较高的云母残骸和大量融蚀蚀明显的残留石英;瓷胎中的绢云母呈细分散状,在高温过程中易于充分反应形成玻璃相[图 3(a)],其偏光也显示为非晶相,如图 3(b)胎中石英残骸比较少。瓷胎的矿相结构显示该批陶瓷属于我国南方典型的石英、绢云母质瓷。

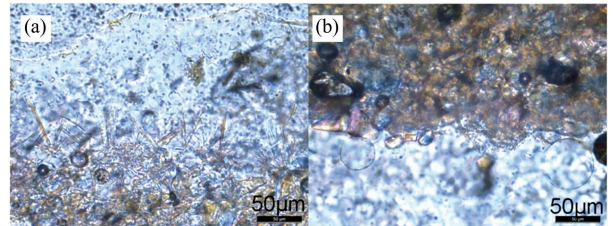


图 2 漯河古城遗址出土青白瓷光学显微结构图

(a): 胎釉分界处钙长石针状晶体; (b): 胎釉分界处泡状结构

Fig. 2 Optical images of Qingbai porcelain body and glaze excavated from Luohe city site

Anorthite fibers (a) bubble-like microstructures (b) at glaze body interface

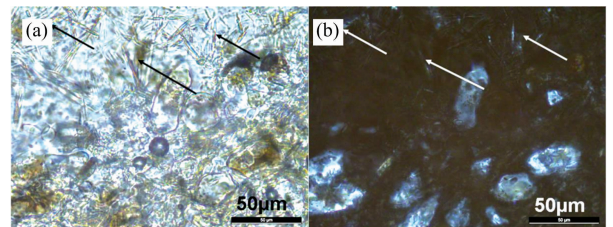


图 3 漯河古城遗址出土青白瓷胎釉偏光显微结构图

(a): 光学显微图; (b): 偏光图

Fig. 3 Polarizing microscope images of Qingbai porcelain body and glaze excavated from Luohe city site

(a): The optical images; (b): Polarized light images

2.3 瓷胎化学组成分析

将各陶瓷样品进行 EDXRF 分析,结果如表 1 所示,所测样品胎体中 Al_2O_3 的含量在 $16\% \sim 21\%$ 之间,而 SiO_2 的含量大都高于 70% ,"高硅低铝"的成分特性表明这些陶瓷样品属于我国南方青白瓷系^[1]。在所测样品中,青白瓷胎体中 Al_2O_3 的含量大都低于 20% ,且其主量元素组成特征与我国南方地区盛产的瓷石原料相近,推测其胎体的主要原料应为瓷石。此外,瓷胎中 K_2O 含量约 3% ,铁含量低于 1% ,较低的铁含量表明此类瓷片釉色应偏白,与之前白度测试结果一致。瓷胎中 CaO 含量较低,大部分在 1% 以下。从其化学成分来看, Al_2O_3 含量较高,K 和 Ca 等氧化物含量较低,使得瓷胎的透明感很强;因其矿物组成中含有一定量的绢云母与高岭石,使得其胎质细腻,胎体较为细薄。

河南本地烧制的青白瓷产品,均为各青瓷窑场兼烧,采用与汝窑相同的支钉仰烧,参照宋代钧窑瓷器胎中氧化铝含量为 $25.4\% \sim 28.9\%$ ^[2],可知河南各窑兼烧的青白瓷胎中必然是氧化铝含量高,加之其生产青白瓷窑,均为当地大窑兼烧,产量较少,而且在瓷业极度发达的中原地区,工艺落后,未能就近引入先进的覆烧工艺,市场占有率极低,在当时商品激烈竞争中,未见创烧青白瓷有力的证据。同时,宋代湖

北青山窑和德化窑瓷器中钾含量比较高,明显高于此批样品;宋代福建安溪窑瓷器中铁含量比较高,且各窑普遍使用

较先进的覆烧工艺,也排除了它们来源于湖北青山和福建窑场的可能性。

表 1 漯河古城遗址出土青白瓷样品胎体常量元素成分表

Table 1 Chemical composition of the sample bodies excavated from Luohe city site (%)

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
TG1	2.29	17.09	75.70	2.89	0.55	0.14	0.08	0.68
TG2	1.89	16.55	76.23	2.60	0.73	0.17	0.09	0.66
TG3	1.83	17.81	75.21	2.71	0.82	0.14	0.08	0.72
TG4	2.26	17.80	74.84	2.47	0.83	0.17	0.12	0.84
TG5	2.45	17.25	75.25	2.37	0.81	0.16	0.09	0.66
TG6	2.47	18.26	74.19	2.51	0.58	0.18	0.11	0.87
TG7	2.45	19.74	72.14	2.83	0.86	0.18	0.12	0.92
TG8	2.56	16.71	75.52	2.59	0.76	0.16	0.10	0.80
TG9	2.46	20.71	70.94	3.07	0.92	0.16	0.11	0.86

多元统计方法便于处理大批量的复杂信息资料,揭示多个变量之间的相互关系,在古陶瓷科技考古领域已被广泛应用。其中主成分分析(principal component analysis, PCA)是将多个分析变量转换成不相关的少数几个线性综合指标来反映事物的内在联系^[3]。各个窑口的青白瓷在釉的成分上没有明显的差别,而胎的成分则具有一定的地区性特征。为进一步研究漯河城址青白瓷的来源,验证上述推断,应用 PCA 方法同时对这几个相近窑口的宋代青白瓷胎的主量元素数据进行了统计分析,提取两个主因子 Factor 1 和 Factor 2,分析结果如图 4 所示。

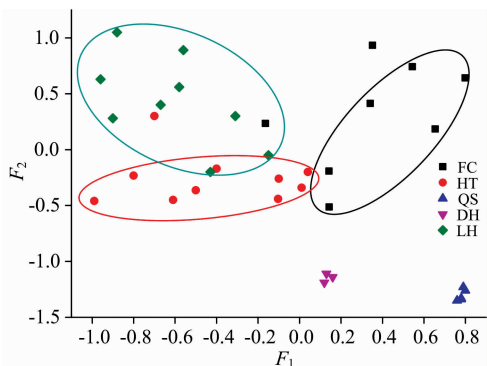


图 4 不同窑口青白瓷胎体主成分分析图^[4-7]

LH: 河南漯河古城遗址青白瓷; HT: 江西景德镇湖田窑青白瓷; FC: 安徽繁昌柯家冲青白瓷; QS: 湖北青山窑青白瓷

Fig. 4 Principal component analysis of major elements for Qingbai porcelain body from different kilns^[4-7]

LH: Qingbai porcelains excavated from Luohe city site; HT: Qingbai porcelains excavated from Hutian Kiln; FC: Qingbai porcelains excavated from Fanchang Kiln; QS: Qingbai porcelains excavated from Qingshan Kiln; DH: Qingbai porcelains excavated from Dehua Kiln
 $F_1 = 0.131ZX_1 + 0.206ZX_2 - 0.214ZX_3 + 0.090ZX_4 + 0.119ZX_5 + 0.136ZX_5 + 0.201ZX_6 + 0.211ZX_7$, $F_2 = 0.187ZX_1 - 0.218ZX_2 + 0.184ZX_3 - 0.451ZX_4 - 0.159ZX_5 + 0.383ZX_5 + 0.231ZX_6 + 0.097ZX_7$

从图 4 中可见,漯河古城遗址青白瓷和景德镇湖田窑、

安徽繁昌窑的样品数据点分布相对集中,且有重合,而与其他几个窑口样品数据点的分布明显偏离,显示这三个窑口的样品在化学组成上有高度的相似性,也说明漯河古城遗址发掘的青白瓷来源于这两个窑口的可能性最大。

为更清楚地揭示各元素具体的化学组成特征,将河南漯

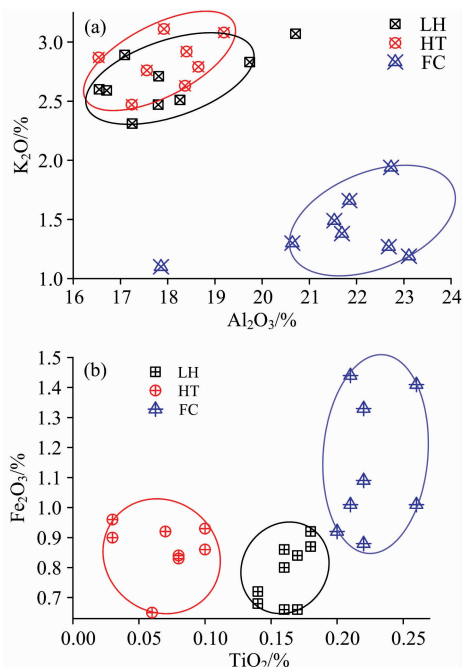


图 5 漯河古城遗址、湖田窑和繁昌窑青白瓷胎体 Al₂O₃-K₂O (a), Fe₂O₃-TiO₂ (b) 元素散点图^[4,6-8]

LH: 河南漯河古城遗址青白瓷; HT: 江西景德镇湖田窑青白瓷; FC: 安徽繁昌柯家冲青白瓷

Fig. 5 Scatter diagrams of Al₂O₃ and K₂O (a), Fe₂O₃ and TiO₂ (b) content of Qingbai porcelain body excavated from Luohe city site, Hutian kiln and Fanchang kiln^[4,6-8]

LH: Qingbai porcelains excavated from Luohe city site; HT: Qingbai porcelains excavated from Hutian Kiln; FC: Qingbai porcelains excavated from Fanchang Kiln

河青白瓷的 EDXRF 分析数据与上述两个窑口的青白瓷数据进行了比较。从胎体中元素的散点图可以看出,河南漯河古城出土的宋代青白瓷和江西湖田窑青白瓷胎在元素组成上具有较大的共性,两个窑口的青白瓷测试数据显示,其 Al_2O_3 和 K_2O 的含量几乎重合(图 5)。与繁昌窑青白瓷胎体元素比较显示,其 Al_2O_3 的含量要低于繁昌窑,而 K_2O 含量高于繁昌窑,不符合繁昌青白瓷胎高铝低钾的典型特征。

胎体中 Fe_2O_3 和 TiO_2 元素比较也显示,所测样品数据与湖田窑青白瓷 Fe_2O_3 的含量几乎一致,在 0.6% 和 1% 之间; TiO_2 的含量相差也不大,基本分布在 0.05%~0.2% 之间(图 5)。同时,通过散点图分布也可看出,该批样品中 Fe_2O_3 的含量低于繁昌窑,表明其胎体颜色比繁昌窑产品要白。

胎体特征元素相似性暗示着漯河地区发掘的青白瓷与湖田窑青白瓷胎体的原料配方具有一致性。为此对制备青白瓷器胎体的原料,也进行了对比分析,详情见表 2。

所测样品数据显示(表 2),胎体中 Al_2O_3 的含量与湖田

窑青白瓷相近(15%~20%),且与湖田地区制作胎体的原料瓷石成分相近(表 2)。研究表明,采用瓷石制胎,随着淘洗程度的加深, Al_2O_3 的含量会提高,但 Fe_2O_3 , TiO_2 等着色剂, K_2O 和 Na_2O 等助熔剂的含量也会有所增加^[11]。由此推测其胎体是采用瓷石作为原料的一元配方工艺且淘洗程度不是很深,不同于繁昌窑的制瓷工艺^[6-7],在胎体原料配方工艺上也更接近湖田窑。

2.4 瓷釉化学组成分析

从漯河青白瓷釉的化学组成(表 3)可以看出,瓷釉中 CaO 的含量较高(>12%),属高温钙釉,表明在釉中加入了石灰石成分; K_2O 含量多在 1.4%~1.8% 之间,由此可见,这些青白瓷釉是以 CaO 和 K_2O 为主要助熔剂。将釉中 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比(4.34~5.73)与胎相比,发现瓷胎中 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比(3.42~4.60)明显低于釉,说明釉并未和胎采取同种原料配制,同时釉中 K_2O 的含量较高,应是加入草木灰所致。因此,釉的配方工艺应是由一种“釉石”加入石灰石及草木灰制成。

表 2 湖田窑原材料常量元素成分表^[9-10]

Table 2 Chemical composition of Hutian raw materials(%)

	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3
南港瓷石	0.30	1.36	16.93	74.26	3.15	0.87	0.09	0.62
三宝瓷石	3.79	0.16	15.30	73.70	4.13	0.70	0.04	0.74
祁门瓷石	0.58	0.34	15.61	73.05	3.75	1.82	0.09	0.56
紫金土	1.03	0.42	20.53	62.70	2.70	0.23	0.73	6.23

表 3 河南漯河古城遗址出土青白瓷样品瓷釉常量元素成分表

Table 3 Chemical composition of the sample glaze excavated from Luohe city site(%)

	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
TG1	1.96	14.72	65.58	2.86	12.99	0.17	0.15	1.06
TG2	2.13	12.75	69.33	1.42	12.74	0.19	0.16	0.74
TG3	1.96	14.09	65.33	1.54	15.89	0.13	0.14	0.53
TG4	1.85	14.12	65.28	1.44	15.02	0.12	0.15	1.33
TG5	2.21	12.03	68.90	1.41	13.63	0.21	0.17	0.76
TG6	2.26	12.39	68.20	2.91	12.52	0.18	0.10	0.78
TG7	2.31	15.18	65.87	1.58	13.20	0.16	0.11	0.80
TG8	2.15	13.00	66.27	1.76	14.80	0.18	0.14	0.96
TG9	2.17	14.27	66.13	1.76	13.79	0.19	0.11	0.79

将该批样品与湖田窑和繁昌窑的青白瓷釉的主要元素组成进行了比较。从瓷釉元素散点分布图[图 6(a,b)]可以看出,河南漯河地区发掘的青白瓷与湖田窑青白瓷的釉质中 Al_2O_3 , SiO_2 , CaO 和 K_2O 四种化学元素的重合度最高。 Al_2O_3 和 SiO_2 的含量基本相同, CaO 和 K_2O 的成分也基本分布在同一区域,表明其釉的配方和烧结温度基本相同。而与繁昌窑青白瓷釉数据比较显示,其釉中 CaO 和 K_2O 的含量都高于繁昌窑。

关于景德镇青白瓷在国内的流通情况,文献中已有记载。浮梁人程筠在北宋崇宁四年(1105 年)给河南修武当阳峪窑窑神庙写碑文时,曾提到:“番君之国善陶冶,运以口口遍天下。”形象地表明了当时景德镇瓷业的生产及流通盛况。南宋蒋祈在《陶记》中记载:“江、湖、川、广,器尚青白,出

于镇之窑者也。……两淮所宜,大率皆江、广、闽、浙澄泽之余。”在描述南宋首都临安繁华都市生活的耐得翁《都城纪胜》和吴自牧《梦粱录》中也记载有销售青白瓷器的专卖店。这些记载都描绘出当时景德镇青白瓷器有着广阔的商业市场。结合古代文献资料,对宋代青白瓷器的流通路线进行了推测。在南方以水运为主的交通条件下,水运不仅运费低廉,而且船舶载重量远非人力、畜力可比。因而宋代景德镇等江西窑场瓷器运输多借助河道,避免陆运。依据古代交通史料,推测漯河古城遗址发掘的青白瓷可能的流通路线:由景德镇先装小船顺昌江而下,到鄱阳县换大船,入鄱阳湖,经长江到九江,自淮阴溯淮入颍,引颍水(今清颍河)分流入颍,又自长社(今河南许昌),至开封。

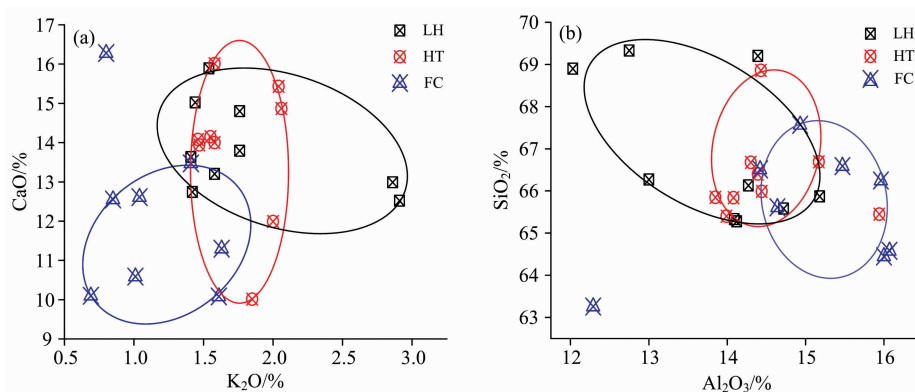


图 6 漯河古城遗址、湖田窑和繁昌窑青白瓷釉 $\text{CaO-K}_2\text{O}$ (a), $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (b) 元素散点图^[4,6-8]

LH: 河南漯河古城遗址青白瓷; HT: 江西景德镇湖田窑青白瓷; FC: 安徽繁昌柯家冲青白瓷

Fig. 6 Scatter diagrams of CaO and K_2O (a), Al_2O_3 and SiO_2 (b) content of Qingbai porcelain glaze excavated from Luohe city site, Hutian kiln and Fanchang kiln

LH: Qingbai porcelains excavated from Luohe city site; HT: Qingbai porcelains excavated from Hutian Kiln;

FC: Qingbai porcelains excavated from Fanchang Kiln

3 结论

(1) 河南漯河发掘的瓷器样品具有“高硅低铝”特征, 属于我国古代典型的南方青白瓷。

(2) 成分分析显示样品胎体制作选用单一瓷石原料, 推测运用了“一元配方”制瓷工艺; 瓷釉以 CaO 为主要助熔剂的高温钙釉, 釉的配方是由一种“釉石”加入石灰石及草木灰制成。

(3) 综合 EDXRF 光谱分析和多元素分析统计方法, 可以推测该批样品的产地为景德镇湖田窑, 是景德镇供奉开封中上层统治者使用的瓷器。结合宋代运道的文献资料, 推测其可能的贸易流通路线为以汴河、黄河、惠民河、广济河为主干线, 将南方的物资向北运输再向西直达开封。

致谢: 感谢河南省漯河市文物局、安徽省考古所和中国科学技术大学对样品和科技检测的支持和协助, 在此谨致谢意。

References

- [1] WANG Yan-rong, ZHU Tie-quan(王艳蓉, 朱铁权). Rock and Mineral Analysis(岩矿测试), 2014, (3): 332.
- [2] LIU Tao(刘涛). Palace Museum Journal(故宫博物院院刊), 2017, (3): 44.
- [3] CHEN Tie-mei(陈铁梅). Quantitative Archaeology(定量考古学). Beijing: Peking University Press(北京: 北京大学出版社), 2005. 212.
- [4] LI Jia-zhi(李家治). History of Science and Technology in China • Ceramic Volume(中国科学技术史 • 陶瓷卷). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 1998. 327.
- [5] CHEN Yao-cheng, CHEN Hong, TIAN Hai-feng, et al(陈尧成, 陈虹, 田海峰, 等). Jiangnan Archaeology(江汉考古), 1994, (4): 92.
- [6] CUI Ming-fang, ZHU Jian-hua(崔名芳, 朱建华). Journal of University of Science and Technology of China(中国科学技术大学学报), 2015, (2): 132.
- [7] CUI Ming-fang, ZHU Jian-hua, XU Fan(崔名芳, 朱建华). Journal of University of Science and Technology of China(中国科学技术大学学报), 2018, (9): 770.
- [8] WU Rui, WU Juan, DENG Ze-qun, et al(吴瑞, 吴隽, 邓泽群, 等). Chinese Ceramics(中国陶瓷), 2005, (2): 77.
- [9] CAO Chun-e, RAO Zong-wang, CHEN Yun-xia, et al(曹春娥, 饶宗旺, 陈云霞, 等). Journal of Ceramics(陶瓷学报), 2009, (1): 34.
- [10] XIONG Chun-hua, RAO Zong-wang, CAO Chun-e, et al(熊春华, 饶宗旺, 曹春娥, 等). Chinese Ceramics(中国陶瓷), 2007, 43(11): 80.
- [11] CUI Ming-fang, ZHU Jian-hua(崔名芳, 朱建华). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2018, 38(11): 3598.

Study on the Chemical Composition and Origin of Qingbai Porcelains in Song Dynasty Excavated From Luohe City Site

CUI Ming-fang¹, ZHU Jian-hua^{2*}

1. Marx's College of Anhui University of Technology, Maanshan 243000, China

2. Metallurgical Reduction and Comprehensive Utilization of Resources of Key Laboratory (Ministry of Education), Anhui University of Technology, Maanshan 243000, China

Abstract In this paper, the ancient porcelains excavated from Luohe city site in Song and Jin stratum were characterized comprehensively. The microscopic optical structures of the porcelain body reveal that they are typical south quartz and sericite porcelains. The energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) spectra show that they contain high silicon and low aluminum chemical component. They were produced via unitary formulation process, and china stone might be the single raw material. Combined with the appearance of enamel and the whiteness, we concluded that they were typical Qingbai porcelains produced in the south of ancient China. As the regional feature could be disclosed by the composition of porcelain body, we compared the porcelain body and glaze of these samples with other Qingbai porcelain samples produced in the south kilns nearby at the same time via the PCA method, which provided sufficient supporting information to reveal the Qingbai porcelains' technique level and trace the origin of these excavated porcelains. The scatter diagrams demonstrated that there were great similarities between the excavated porcelains and those produced in Hutian Kiln of Jingdezhen and Fanchang Kiln of Anhui. Further analyses based on the scatter diagrams of all chemical component implied that these excavated Qingbai porcelains were most possibly fired in Hutian Kiln, which were produced for the upper-middle class in Kaifeng. They were transported to central China by means of the ancient trade circulation. Combined with the ancient documents, the possible routine of ancient trade circulation was estimated. Our studies are of great importance to ascertain the ancient technique level of Qingbai porcelains and the routine of ancient trade circulation, as well as to establish the historical and cultural status of Luohe cite the site.

Keywords Qingbai porcelains from Luohe city site; EDXRF; Techniques of producing porcelain; Ancient trade circulation

(Received Jul. 5, 2019; accepted Nov. 18, 2019)

* Corresponding author