

文章编号:1005-1538(2022)05-0136-11

DOI: 10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.20210902237

早期白瓷的界定与起源问题综述

宗若菲^{1,2}, 鲁晓珂^{1,2,3,4}, 李伟东^{1,2,3,4}, 王会民⁵

[1. 中国科学院上海硅酸盐研究所古陶瓷研究中心, 上海 201899; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 古陶瓷多元信息提取技术及应用文化和旅游部重点实验室(中国科学院上海硅酸盐研究所), 上海 201899;
4. 古陶瓷科学研究国家文物局重点科研基地(中国科学院上海硅酸盐研究所), 上海 201899;
5. 河北省文物考古研究院, 河北石家庄 050033]

摘要: 白瓷的出现打破了青瓷一统天下的局面,并为后世颜色釉瓷的烧制奠定了基础,被誉为中国古陶瓷工艺发展过程中的“第四里程碑”,但是长期以来白瓷的起源问题悬而未决。早期白瓷是处于白瓷创烧时期的过渡品种,釉色介于青和白之间呈不均匀分布,因此如何科学界定“早期白瓷”直接关系到白瓷起源问题的研究。为此,本研究在梳理早期白瓷相关研究的基础上,结合考古发现与科学研究现状,重点分析了目前关于古代陶瓷釉面白度科技研究中存在的问题,提出应统一采用轻工行业标准中日用陶瓷白度的测定方法来计算古代陶瓷的白度,使得今后不同研究者之间公布的白度数据可以互相比对;并提出利用白度、化学组成、烧制工艺等参数作为区分早期白瓷与青瓷的重要指标,这为研究白瓷起源提供了新的方法和思路。

关键词: 早期白瓷;白度;界定标准;起源

中图分类号: K876.3 **文献标识码:** A

0 引言

白瓷是我国传统瓷器重要品种之一,在中国陶瓷工艺发展过程中扮演着不可或缺的角色。白瓷最早出现于我国北方,一般认为其是由青瓷过渡而来^[1]。白瓷的出现不仅打破了青瓷独步天下的局面,同时其在工艺发展成熟过程中所取得的技术突破也成为后世彩绘瓷、颜色釉瓷等创烧及发展的必要条件。北方白釉瓷的突破被誉为中国陶瓷科学技术史上的“第四个里程碑”^[2],因此白瓷的起源问题一直是古陶瓷学界极为重视的课题。迄今,有关白瓷的研究已取得了丰硕成果,但在一些关键问题上仍存在不少争议,如白瓷出现的具体时间、地点、原因、典型特征,以及其与青瓷器、釉陶器的关系等。而诸家论断争议的根源即是对初创时期的白瓷缺乏统一的认识,即判定标准不尽相同。因此,在探究白瓷起源之前,亟需解决对早期白瓷的界定问题。本研究通过对早期白瓷及其起源问题研究现状的归纳总结,分析了目前研究中存在的问题,并对如何科学

界定早期白瓷提出了相应的研究方法和思路。

1 早期白瓷的界定问题

1.1 “早期白瓷”概念的提出

冯先铭先生在《中国古陶瓷图典》中将白瓷定义为“胎与釉均为白色的瓷器,要求胎、釉中杂质含量比青瓷少,其中铁的氧化物不超过1%,以氧化火焰烧成,胎体白,釉层纯净而透明”^[3]。考虑到白瓷在其工艺趋向成熟的过程中存在阶段性差异,王睿等学者对白瓷的定义进行了补充修订,将其总结为“胎体为白色或较为纯净的浅色(大部分含铁的氧化物只占1%,个别有高于这个指标的),外施以透明釉或乳浊白釉,以1200℃左右的高温烧成的瓷器品种。由于时代、原料及烧成温度的差异,可能会出现白中泛青、白中泛黄等情况”^[4]。此定义包含了中国古代白瓷中常见的3类:一是胎料杂质极少外施加透明釉表现为“白胎白釉”的白瓷;二是胎料含杂质,胎色不纯,施白色化妆土后,外施透明釉的白瓷;三是胎料普通,外施白色乳浊釉的白瓷。这3

收稿日期:2021-09-02;修回日期:2021-10-13

基金项目:国家自然科学基金项目(52072384)资助,国家重点研发计划项目(2019YFC1520202)资助

作者简介:宗若菲(1998—),女,中国科学院大学硕士研究生,研究方向为陶瓷科技考古,E-mail: Zongrf13@foxmail.com

通信作者:鲁晓珂(1982—),男,高级工程师,中国科学院上海硅酸盐研究所古陶瓷研究中心,E-mail: luxiaoke@mail.sic.ac.cn

类白瓷多见于白瓷工艺日渐成熟的隋唐时期,此时白瓷已渐渐褪去了其创烧初期的原始面貌。但针对白瓷起源这一问题,所要研究的对象显然不是这些工艺成熟的白瓷,而是创烧初期的白瓷。对此,不少学者开始使用“早期白瓷”“原始白瓷”的概念,将研究对象聚焦于中国最早的白瓷^[5]。但对于这两种概念的使用,学者们又提出了不同的观点:一种认为中国白瓷起源于北朝晚期的北方地区,以北齐范粹墓出土的白釉器为代表,称“早期白瓷”^[6];另一种则认为白瓷首先出现于东汉时期,以湖南东汉墓出土的接近于白瓷的瓷器为代表,由于其从外观上看还带有一定的原始性故称“原始白瓷”^[7]。上海博物馆对这类“原始白瓷”的胎釉成分进行了科学检测,结果显示其釉的化学组成有两类:一类以PbO为主要熔剂,属铅釉陶;另一类则以K₂O、Na₂O为主要熔剂,K₂O含量在4.49%~9.04%,Na₂O含量在2.73%~7.47%,与同时期的青瓷钙釉存在较大差别^[8]。后者这种高钾高钠的配方在当时的瓷釉中极为少见,反而与玻璃的成分更为相似,加之秦汉时期长沙地区是玻璃的制造中心^[8],推测该釉层可能是受玻璃技术的影响,出现较为偶然,并且无规模化生产且发展缺乏连续性,因此在源流方面仍对这一“原始白瓷”存疑,只能暂将其列为特例或孤例。

学者们对于“早期白瓷”的理解也存在着不少差异:主要体现在划分时间的不同意见上。有学者将北朝至隋期间青瓷向白瓷过渡时期产生的瓷器认定为早期白瓷^[9-10];亦有学者认为唐、五代及其以前的白瓷都应归于早期白瓷^[6,11-12];日本学者则依据白瓷器物的实用性与使用阶层,提出将北朝晚期至盛唐时期的白瓷划为早期白瓷,认为早期白瓷属于高级瓷器品类,代表了较高的社会等级性,区别于八世纪后期之后在各个阶层开始广泛使用作为实用日用器的白瓷^[13]。

根据现有考古资料,北方众多窑口(最典型如邢窑)在隋代便已开始批量生产白瓷,不仅数量大,而且产品种类丰富,以碗、杯、钵等日用器物为大宗。同时,隋代邢窑遗址中还发掘了一批胎质细腻,胎壁轻薄,釉色甜白的精细白瓷,尤其以透影白瓷为最,胎体厚度不足1 mm,瓷化程度很高,已达到半脱胎的状态。此外,北方隋墓如西安南郊隋苏统师墓^[14]、西安隋元威夫妇墓^[15]等墓葬中也均有瓷质细腻、釉面洁白光润的精细白瓷出土。另外,目前的考古发掘表明,定窑、景德镇窑、德化窑等著名窑场开始生产白瓷的时间相对较晚,并且每个窑口也都

存在创烧期,但是关于中国陶瓷史上白瓷起源的研究还是应该遵循时间的先后顺序。因此,以邢窑为例,白瓷工艺技术在隋代就已基本达到了成熟,那么早期白瓷出现的时间也必定在此之前,关于早期白瓷及其起源的研究也应该集中于北朝晚期至隋初这个时间范围内。

1.2 早期白瓷的基本面貌

目前学术界普遍认为最早生产白瓷的窑场一般包括河北内丘邢窑、河南巩义白河窑及河南安阳相州窑,其生产早期白瓷的时间至迟在北朝晚期。邢窑创烧于北朝,盛于中唐、衰于唐末五代时期,其内丘遗址发现的白瓷产品是目前发现时代最早的白瓷。根据窑址调查发现,北朝时期邢窑以青釉瓷为主,白釉瓷次之,其中白瓷胎质粗糙厚重,略优于青瓷,胎色泛灰、泛黄,施化妆土,釉白度较低^[16]。此外,近年来在内丘邢窑遗址中首次发现了邢窑北朝时期的窑炉,其周围堆积的北朝时期遗物中也不乏有青中泛白的瓷器^[17]。巩义窑是对河南省巩义市白河两岸系列瓷窑址的统称,包含白河窑、黄冶窑、铁匠炉窑等,均以烧制白瓷为主,三彩陶器次之。其中,白河窑出土的白瓷最早可上推至北魏时期,据发掘简报称,这批“北魏白瓷”胎体厚重细白,器壁厚薄均匀,器内满釉,常见积釉,器外施釉过腹,少见垂釉,釉色多为白中泛青,部分器物施化妆土^[18]。但也有学者对这批白瓷的年代界定存在质疑,认为白河窑所谓北魏时期的产品可能更晚,约在东魏、北齐之际^[9]。相州窑始烧不晚于北齐,隋代发展至鼎盛,主要产品为青瓷、白瓷。根据发掘整理结果^[19-20],相州窑最初被认定为青瓷的器物中有少部分胎体精细灰白,釉质细腻光亮,玻璃质感较强,釉色白中泛黄,釉厚处泛青,胎釉之间明显施化妆土,已呈现若干白瓷特征,后被认为早期白瓷。

北方地区部分北朝至隋初的墓葬、城址等遗址中也有外观特征大同小异的早期白瓷出土,与北方窑业发展情况基本吻合。北齐贾宝墓出土的瓷器中除青釉外,还存在部分近白釉的器物,其瓷胎细白,釉色多为青白,略泛黄,接近白釉,但火候较低,接近釉陶^[21]。北齐范粹墓出土的白釉器胎质洁白细腻,釉质莹润,呈乳浊状淡青色,釉薄处呈乳白色^[22-23],长期以来都被视为中国最早的白瓷。北周独孤藏墓出土的白瓷盘口唾壶,胎质灰白,釉层匀润,器表施白釉,釉色白中闪黄,瓷胎上敷有一层白色陶衣^[24]。安阳县固岸墓地出土的北齐白瓷,白胎白釉,但胎质较粗,釉色偏青,表面釉层很薄,与胎体结合不牢,应

是青瓷向成熟白瓷过渡阶段的产品^[25-26]。隋代张盛墓出土瓷器在原报告中均被认定为青瓷^[27],但经多番比对观察,许多学者认为从胎质和釉色来看,这批器物可以分作青瓷和白瓷两大类,其中白瓷釉色白净而微微泛灰色,玻璃质较强,釉面有细碎开片,聚釉处泛青色^[20,28]。与之类似的是北魏洛阳城西城郭大市遗址出土的北朝瓷器,发掘者将其中的青

瓷分为两类,认为Ⅱ式青瓷胎质洁白,薄胎薄釉,釉色淡青,釉质明亮,透白色胎骨,质地坚硬,火候较高,具有某些白瓷的特色^[29],而后许多学者将该部分青瓷重新认定为早期白瓷。随后,北魏洛阳城津阳门内大道遗址中也出土了北朝白瓷,其白胎细腻,白釉清亮,积釉处略泛黄、泛青^[30]。北方地区北朝至隋初的墓葬、城址遗址中出土白瓷的情况如表 1 所示。

表 1 北方地区北朝至隋初的墓葬、城址遗址中出土白瓷

遗址	出土地	年代	出土白瓷
洛阳孟津邙山西晋北魏墓 M17 ^[31]	河南洛阳	北魏	白瓷盘 1 件
贾宝墓 ^[21]	河南安阳	北齐武平四年(573 年)	瓷高足盘 2 件,瓷罐 4 件,瓷碗 9 件
范粹墓 ^[22]	河南安阳	北齐武平六年(575 年)	三系瓷罐 2 件,长颈瓷瓶 1 件,四系瓷罐 2 件,瓷壶 1 件,瓷碗 2 件
孤独藏墓 ^[24]	陕西西安	北周宣政元年(578 年)	白瓷盘口唾壶 1 件
安阳固岸墓地 M2 ^[25]	河南安阳	北齐	白瓷罐 1 件
张盛墓 ^[27]	河南安阳	隋开皇十五年(595 年)	瓷器近 70 件,器型种类丰富
北魏洛阳城津阳门内大道遗址 ^[30]	河南洛阳	北朝晚期	白瓷杯 10 件

综上,在考古学者的观察描述中,早期白瓷大多具有胎体厚重灰白、釉层薄且光亮、釉色多为青中泛白、白中闪青、积釉处泛青、部分施化妆土的外观特征,其面貌既不完全同于北方青瓷,又有别于成熟白瓷。由于学者们常用釉色来划分瓷器品种,因此这类器物被称为“早期白瓷”。但仅凭目视及经验判断往往会引发争议,如前文提到的相州窑、张盛墓及大市遗址出土的白瓷器在发掘时都被认定为青瓷。同时,由于学界对早期白瓷判断标准模糊,不同学者依据不同标准对纪年墓出土器物是否为早期白瓷也就存在争议,例如武夏等将东魏天平四年(537 年)赵明度墓、北齐天保四年(553 年)元良墓、北齐天统二年(566 年)崔昂墓中出土的部分瓷器也归为早期白瓷^[9],而小林仁等则认为尚无北朝纪年墓出土早期白瓷^[32-33],由此对于白瓷起源的具体时间便出现了不同的观点。此外,最典型如范粹墓中出土的白釉器早年间一直被认为是中国有明确纪年的最早的白釉瓷器,但也有研究者认为可能是铅釉器^[33-34];发掘报告中常提到早期白瓷施化妆土以掩盖胎体缺陷,但已有科学研究表明邢窑^[35]、巩义窑^[36]、相州窑^[37-38]出土的早期白瓷中并未发现化妆土的存在。由此可见,通过目视观察来判断器物是否为早期白瓷并不可靠,亟需建立起以科学技术为支撑的早期白瓷界定标准。

1.3 早期白瓷的界定方法

通过以上分析可以看出早期白瓷一般具有以下

特征:1)北朝晚期至隋初北方地区生产的器物;2)胎色较浅,外施透明薄釉,釉色多呈现青中泛白或白中闪青;3)应为高温釉一次烧成,区别于白胎铅釉器。以上这些特征基本涵盖了早期白瓷的时空范畴、外观特征、烧制工艺及其科学内涵,因此从物理化学角度提出相应的界定方法和标准,将为有效判别早期白瓷及研究其起源问题提供重要依据。

由于对早期白瓷与青瓷的区分很大程度上还是依赖于主观观察的判断,考古学者通常采用青中泛白、白中闪青等语言进行描述,如此定性的表述并不能明确地体现出青瓷与早期白瓷在颜色上的区别,且主观评价也难免会掺有人为因素,不利于白瓷起源的深入研究。因此,有学者试图将色度学的方法引入古代白瓷的研究,为白瓷釉色的表述提供一个非主观的、定量的科学依据,以此来更为准确地界定白瓷^[39]。随后,有较多研究者通过色度测试结合统计学分析方法对古代白瓷的颜色进行量化表征,其所用于色度评价的指标都是颜色在不同色彩空间如 CIEXYZ^[37,39-40]、CIELCH^[41]、CIELab^[42-43] 等中的坐标参数。此类表征采用的色度指标都是颜色的特征属性,虽然可以区分出各窑口不同器物的釉色特征,但难以简单辨别不同窑口、不同时代白瓷产品的色调差异,并且该方法需要考虑的因素过多,不够直观。因此,对于白瓷的釉面评价通常还是以白度这一指标为主。目前,在陶瓷科技考古研究中,不同研究者发表的白度数据所采用的评价方法多样,包

括亨特(Hunter)白度^[44-45]、CIE86白度^[46]、蓝光白度^[42]等。然而,这些方法并不适用于陶瓷白度的评价。蓝光白度是单波段白度公式,测量的是试样在短波段457 nm的蓝光漫反射因数,故而该方法只适用于反射曲线比较平坦且在蓝光区域内可分辨的产品,对于测试泛青泛黄的白瓷则效果不佳^[47]。亨特白度采用色差原理来衡量白度,能够正确区分白度序列,但未能把白度值拉开,即白度分辨率低,不能很好地区分白度相近的产品,且该公式不能体现出白瓷的色调^[48]。CIE白度考虑到了这些不足,对不同等级产品白度值差距大,利于产品的分级,同时还提出用淡色调指数 T_w 来衡量偏色:当 T_w 为正时,表示白中带绿,为负值时,则白中带红,且数值越大,偏色程度越大。但在实际检测中,CIE白度并不适用于陶瓷行业,因为其有效测试范围的条件过于苛刻——白度($40 < W < 5Y - 280$)和淡色调指数($-3 < T_w < 3$),一些可以认为是“白色”的样品不能被评价^[49]。为此,张建平^[49]研究了日用陶瓷白度的测试方法,并建立了中国轻工行业标准QB/T 1503—2011《日用陶瓷白度测定方法》,强调应考虑我国陶瓷“北方泛黄、南方泛青”的特点,根据色调角(h_{ab})建立“青白”和“黄白”两类公式计算白度值(W),即当 $135^\circ \leq h_{ab} < 315^\circ$ 时,为青白:

$$W = Y - 250(x - x_n) + 3(y - y_n) \tag{1}$$

当 $h_{ab} < 135^\circ$ 或 $h_{ab} \geq 315^\circ$ 时,为黄白:

$$W = Y + 818(x - x_n) - 1365(y - y_n) \tag{2}$$

式中, Y 为样品三刺激值中的 Y 值; x 、 y 为样品的色品坐标值; x_n 、 y_n 为CIE1964标准照明体D65的色品坐标值,其中 $x_n = 0.313\ 8$, $y_n = 0.331\ 0$ 。

公式符合主观感知,能够反映日用陶瓷白度的实际情况。本研究采用美能达CM-700d分光测色计,对邢窑隋代的青瓷和粗白瓷部分样品进行了反射光谱测试,并运用亨特白度和日用陶瓷白度两种计算方法进行了对比分析,结果如表2所示。

表2 邢窑隋代青瓷和粗白瓷的釉面白度
Table 2 Whiteness of the celadon and coarse white porcelain of the Sui Dynasty from Xing kiln site (%)

类别	亨特白度	日用陶瓷白度
青瓷	41.50 ~ 56.58	- 11.33 ~ 7.68
粗白瓷	56.27 ~ 86.87	20.41 ~ 63.22

从表2可以看出:以往所采用的亨特白度计算方法对于青瓷样品的白度结果明显偏高,不符合客观情况,并且青瓷和白瓷的差值区间较小,不能很好

地反映不同类别器物白度的区别;而日用陶瓷白度对于大多数青瓷样品的计算结果在10以下或者为负,说明青瓷不适合用白度值评价,这符合用白度来定义白瓷的基本要求,因此可以有效地区分青瓷和白瓷,并且粗白瓷的白度值用日用陶瓷计算方法后有所降低,符合肉眼目测的实际情况。古代白瓷大多是日用器物,由于烧制气氛的不同就会造成“泛黄”和“泛青”两种现象,所以采用日用陶瓷白度的评价方法来计算古代白瓷的白度是比较合理的,并且能够使得不同研究者之间的白度数据可以相互比较。因此,通过对不同时代、不同类别样品的系统检测与分析,以色度学的量化数据来界定早期白瓷以及粗白瓷、细白瓷等器物,从而建立起一套有别于现代白瓷的判断标准是今后工作的重点。

2 早期白瓷的起源问题

学术界普遍认为白瓷是由青瓷演变而来,早期白瓷是在北方青瓷改良过程中产生的。赵宏先生通过对比观察北朝时期瓷窑遗址和墓葬中出土的青瓷和白瓷的胎釉特征,将早期白瓷出现的原因归于当时北方青瓷烧制工艺的不成熟,并推断最早的白瓷必定出现于生产青瓷的窑场而不可能出现于专烧白瓷的窑场^[50]。现今考古资料也尚未发现早期白瓷的独立窑场,在前文讨论的有关窑址在早期烧制的产品大多以青瓷为主,并且这些北方窑址中也存在青瓷和白瓷堆积的明显叠压关系^[18,51],显示出从青瓷到白瓷的转变轨迹。由此可见,白瓷由青瓷演变而来是主流观点。

根据现有考古资料,学界普遍认为北方青瓷的产生与南方制瓷技术的传入有关。Huang等^[52]系统分析了我国华北地区各青瓷窑场生产的早期青瓷,发现青瓷工艺在向北方传播的过程中,由于南北方资源环境与窑业技术的不同,各地青瓷在胎釉方面存在显著的差异。北方早期青瓷普遍胎质粗劣,釉层薄而不均,质量较差。为此,北方窑工在吸收南方青瓷技术的基础上,纷纷依据当地资源的特点对其进行本土化调整,从而发展出了多种青瓷改良的方法。秦大树先生对这些方法大致总结为3类(一是二次施釉;二是改善制胎原料,改良胎釉配方;三是施化妆土),并认为是后两种方法催生了白瓷的出现,白瓷从创烧伊始就产生了白胎白釉的精细白瓷和施化妆土的化妆白瓷两种趋势^[53]。但已有研究中对邢窑、白河窑及相州窑出土瓷器的显微观察

分析却显示这些窑址中出土的早期白瓷并没有施加化妆土的痕迹,尚无确切证据可以证明在胎釉之间施加一层化妆土是促进早期白瓷产生的途径之一^[37,54]。鉴于以上科技分析中的样本量较少,研究者们所选用的标本或许未能包含研究对象的全部信息,因此,对于是否存在施化妆土类早期白瓷的问题仍有待进一步的科学检测与分析。那么,早期白瓷与青瓷生产之间究竟存在何种关系呢?下面将从北方青瓷、白瓷的胎釉成分和制瓷工艺等方面来进行

讨论。

表 3 列出了部分南北朝至隋代南北方青瓷、早期白瓷胎的化学组成,可以看出南北方瓷胎的化学组成存在很大的差异:南方青瓷表现出高硅低铝的特征,而北方不论是青瓷还是白瓷都呈现高铝低硅的特征。这是因为古代制瓷所需原料一般是就地取材,而南北方地质环境存在差异,南方多采用含石英和绢云母的瓷石作制胎原料,北方则多使用含高岭土较多的二次沉积黏土或高岭土^[55]。

表 3 南北朝至隋代我国南北方青瓷、早期白瓷胎的化学组成^[2,35,40,44,56-58]

Table 3 Chemical compositions of the bodies of celadon and early white porcelain from the Southern and Northern Dynasties to the Sui Dynasty (%)

窑口	时代	品类	原编号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / FeO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
越窑	南朝	青瓷	SFNC-1	75.18	16.99	2.45	1.05	0.44	0.66	2.01	0.66	0.02	—
			N64	76.90	16.20	2.00	0.77	0.22	0.56	2.89	0.50	0.01	—
			10	77.29	15.92	2.05	0.75	0.34	0.67	2.61	0.66	—	—
邢窑	北朝晚期	青瓷	平均值	67.82	25.71	1.69	0.74	0.87	0.60	2.19	0.31	0.02	0.07
		白瓷	平均值	68.79	24.98	1.36	0.78	0.37	0.65	2.52	0.41	0.02	0.14
	隋	青瓷	平均值	66.13	26.23	1.96	0.64	1.03	0.79	1.87	0.34	0.01	0.02
		粗白瓷	平均值	63.78	29.15	1.97	0.76	0.70	0.86	1.42	0.22	0.02	0.02
		粗白瓷化妆土	平均值	57.10	34.20	1.38	0.60	2.74	0.80	1.78	0.39	—	—
		细白瓷	02-005	61.15	27.97	0.75	0.15	0.35	0.14	7.19	1.30	0.01	—
			02-010	57.53	37.83	1.17	0.52	0.34	0.60	0.79	0.22	0.01	0.01
		透影白瓷	平均值	62.41	25.63	0.80	0.14	0.70	0.21	7.76	1.36	0.01	—
巩义窑	北朝	青瓷	平均值	66.12	27.52	1.20	0.69	0.47	0.57	2.04	0.41	—	—
		白瓷	平均值	66.55	27.26	1.00	0.71	0.34	0.59	2.14	0.42	—	—
	隋	白瓷	平均值	65.09	27.31	0.82	1.21	0.63	0.67	2.31	0.68	—	0.89
相州窑	北朝晚期—隋	青瓷	平均值	68.08	25.03	2.09	1.37	0.43	—	1.99	—	—	—
		白瓷	平均值	61.06	27.14	1.69	1.32	0.52	—	2.26	—	—	—
临漳曹村窑	北齐	青瓷	平均值	69.14	24.84	1.10	1.45	0.50	0.40	2.36	0.22	—	—

值得注意的是,表 3 中数据显示北方多数窑场出土的青瓷和早期白瓷的胎体具有相似的化学组成,说明窑工在烧制这两种瓷器时可能采用了相同的原料。朱铁权等^[59]在对隋代邢窑大量生产的粗白瓷进行成分分析后,发现在胎料的选择上,粗白瓷与同时期的青瓷没有明显的差异,并推测使用的胎料均是当地的一种高岭土,且有可能直接采用该原料作为胎料进行烧制。马颖等^[35]进一步对比了内丘邢窑出土的早期青瓷与白瓷的胎釉成分,同样认为其制胎原料构成基本一致。Li 等^[57]对白河窑出土标本的科技分析表明,白河窑北魏时期青瓷胎的原料虽然与大多数白瓷胎存在一定的差别,但是也有少部分白瓷胎与青瓷胎的组成接近(图 1),说明由青瓷胎到白瓷胎的转变之间可能存在一个过渡过

程,它们在原料选择和处理的工艺上可能存在一些差别。

此外,瓷胎中铁、钛等着色元素含量也十分值得注意。对比表 3 中的数据,可以看到南北方瓷胎中 TiO₂ 含量相近,均在 1% 左右,Fe₂O₃ 含量则相差显著。南方青瓷胎中 Fe₂O₃ 含量普遍大于 2%,而北方青瓷与早期白瓷胎中的着色元素的含量相近,铁氧化物含量在 1%~2%。这说明北方窑场使用的制瓷原料的着色元素含量较南方要低,如邢窑附近赞皇白家窑白矸土的 Fe₂O₃ 含量为 0.34%,巩义窑巩县黏土的 Fe₂O₃ 含量为 0.44%^[2]。相比之下,南方同期越窑所用制瓷原料都含有一定量的 Fe₂O₃ 和 TiO₂,并且浙江地区所产的部分瓷石中的铁元素大

多以离子形式存在于绢云母的晶体中,通过淘洗等工艺很难将其降低,甚至反而会提高^[55,60]。由此可见,北方用于制瓷的黏土本身着色元素含量较少,满足烧造白瓷所需要的基本物质条件,这也解释了为何北方青瓷创烧后,在较短的时间内就出现了白瓷,邢窑、巩义窑的考古发掘也证实早期白瓷与青瓷相伴生,也说明北方早期青瓷与白瓷的制作工艺之间没有显著的鸿沟。

相比胎料而言,北方窑场的青瓷和白瓷在釉料方面的差异则更为明显。从表 4 可以看出,多数窑场的白瓷釉料中的 Fe_2O_3 含量均明显低于青瓷的。降低铁含量这一方法在窑工改善北方青瓷质量时就已经开始进行了。当时窑工为获得细腻的胎体,对制瓷原料进行了精细筛选和充分的淘洗、提炼,并在此过程中降低了原料中的铁含量,使得青瓷的胎体变白。同时,以该原料配成的釉料,其釉色也变得浅淡而透明,可烧制出呈淡青绿色并具有较强玻璃质感的青瓷^[53]。低铁的制瓷原料,加之北方半倒焰式馒头窑还可以产生还原焰,偶有青瓷呈现介青白之

间的釉色,窑工受此启发从而进一步降低制瓷原料中的铁元素的含量,以提高瓷器的白度。

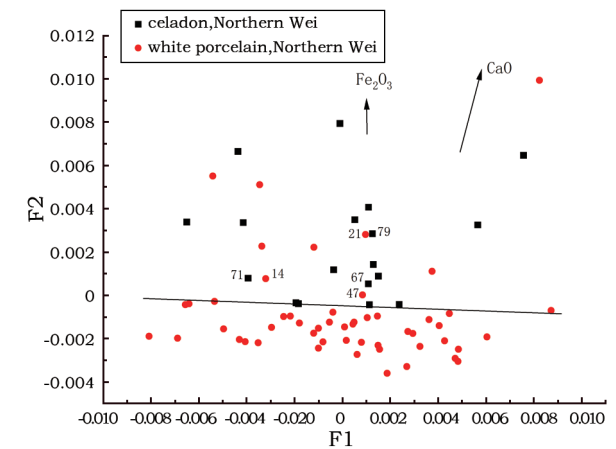


图 1 白河窑早期青瓷和白瓷胎样品主次化学组成二维对应分析图^[57]

Fig. 1 Two dimensional correspondence analysis diagram of the main chemical compositions of the bodies of celadon and white porcelain from Baihe kiln site

表 4 南北朝至隋代我国南北方青瓷、早期白瓷釉的化学组成^[2,35,40,44,56-58]

Table 4 Chemical compositions of the glazes of celadon and early white porcelain from the Southern and Northern Dynasties to the Sui Dynasty^[2,35,40,44,56-58] (%)

窑口	时代	品类	原编号	SiO_2	Al_2O_3	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_5
越窑	南朝	青瓷	SFNC-1	59.37	13.11	2.63	0.71	19.58	2.20	1.17	0.52	0.29	0.82
			SL8-2	61.42	13.06	1.65	0.57	15.87	2.49	1.70	0.74	0.30	0.91
			9	58.02	9.99	2.72	0.69	21.33	2.83	2.19	0.68	0.54	1.04
邢窑	北朝晚期	青瓷	平均值	55.52	15.90	1.61	0.54	14.16	1.84	2.86	2.83	0.05	0.39
		白瓷	平均值	54.36	15.98	1.04	0.56	15.76	1.36	2.89	2.92	0.09	0.33
	隋	青瓷	平均值	64.87	12.11	2.73	0.27	12.78	2.74	2.90	0.60	0.06	0.21
		粗白瓷	平均值	65.49	14.02	1.14	0.09	12.14	3.32	2.28	0.53	0.04	0.19
		青瓷	02-004	70.62	13.66	0.81	0.05	3.73	3.21	6.04	0.88	0.03	0.07
		细白瓷	02-010	68.55	15.30	1.13	0.09	7.30	2.69	2.78	1.05	0.05	0.12
		青瓷	02-011	61.26	16.16	1.35	0.13	10.57	2.56	6.37	0.61	0.06	0.14
巩义窑	北朝	青瓷	平均值	70.60	13.58	0.89	0.05	3.41	2.73	6.54	1.21	0.03	0.06
		白瓷	平均值	60.11	13.95	2.26	0.34	16.82	2.00	2.84	0.69	—	—
	隋	白瓷	平均值	61.17	14.08	1.18	0.22	16.30	3.15	2.39	0.51	—	—
相州窑	北朝晚期-隋	青瓷	平均值	63.94	12.56	1.46	0.19	13.18	1.59	3.97	1.24	—	1.54
		白瓷	平均值	64.28	11.91	3.26	0.58	15.95	—	3.02	—	—	—
临漳曹村窑	北齐	青瓷	平均值	65.81	12.57	2.39	0.52	15.68	—	2.15	—	—	—
		白瓷	平均值	62.04	17.10	1.55	0.94	12.81	2.23	2.62	0.34	<0.21	0.35

此外,表 4 中还显示出北方各窑场青瓷与白瓷釉中助熔剂的含量存有明显差异。例如,巩义白河窑的早期白瓷釉中的 MgO 含量大多在 3% 左右,高于同时期的青瓷,推测当时釉配方中可能加入了含

镁的低铁矿料,如白云石等^[61]。当地窑工可能基于外观与实际经验认识到此类颜色较白的原料可用以制作白瓷,故试将其引入白釉配方中。此外,也有研究者对白河窑出土的早期青瓷与唐代时期的普通白

瓷进行对比分析,推测二者使用的釉料配方均是以胎料为基配以草木灰,但后者瓷釉中的高 SiO_2 含量暗示其配方还可能添加了一种石英类原料^[62],这与高镁的早期白瓷釉有所不同,体现出白瓷产品在发展过程中配方的多元调整。相比之下,邢窑早期青瓷与白瓷釉中的助熔剂成分的差异则相对较小,推测窑工在烧制白瓷时可能延用了青瓷釉的配方。Ma 等^[62]利用 Sr 同位素分析方法,探讨了北方邢窑瓷器的釉料配方,认为邢窑早期白瓷釉是由草木灰、胎料混合含钠矿物配制而成。该结论与 Huang 等^[52]在研究北朝青瓷时所推测的邢窑青瓷釉配方一致,均显示釉中添加了一定含量的钠,而这种配釉方式在其他烧制北方青瓷的窑口并未出现,可见邢窑早期白瓷与青瓷釉之间存在的传承关系,二者配方组分相同,但窑工可能因追求白色而有意识地调整组分配比。隋代邢窑还出土了一批精细白瓷,这些白瓷釉料中助熔剂含量大幅降低,由此可见其工艺发展可分为两步:一是降低 RO 含量,出现钙碱釉;二是增加 K_2O 含量,在釉料中添加钾长石原料,创造出 R_2O 含量超过 RO 的碱钙釉^[44,61]。从钙釉到钙镁釉、钙镁碱釉以及碱钙釉的发展是制瓷技术的一大突破,釉料配方的改良使得釉的质量也在不断改进:如 MgO 含量的增加可提高灰釉的高温黏度,使釉面更为光滑晶莹^[61];又如 K_2O 的引入则能够促进釉中玻璃相增加,提高透明度^[63]。

釉层厚度也是影响瓷器外观颜色的重要因素之一。以相州窑出土的早期青瓷与白瓷为例,两者釉在显微结构方面最主要的差异就在于其釉层的厚度:白瓷釉层较薄,一般在 $100 \sim 150 \mu\text{m}$;而青瓷釉则相对较厚,在 $300 \sim 400 \mu\text{m}$ ^[40]。对于透明釉来说,瓷器的外观颜色是自然光被釉层吸收与胎体反射之后得到的叠加效果,而釉的着色则取决于呈色离子的吸收光谱。众所周知,铁元素是瓷釉最重要的着色剂,在釉中存在 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 两种价态的离子,其中 Fe^{2+} 在近红外区中具有很高的吸收率,并延伸至红色和黄色区域,可使釉料呈现蓝色,而 Fe^{3+} 则在紫外区和蓝色中有一些较低的吸收带,使釉料带黄色,二者共同决定了釉在可见光区的吸收光谱^[64]。同时,基于比尔-朗伯定律,可知釉层对光的吸收程度 (A) 与其厚度 (l) 之间存在如下关系^[65]:

$$A = K \cdot l \cdot c \quad (3)$$

式中, K 为吸收系数, c 为着色离子浓度。在釉料相同的条件下, K 、 c 可视为常数,这样釉层的吸光度与

其厚度就成正比关系。若瓷器釉层越厚,则釉中铁离子的吸光度越高,即对特定波长光的吸收更强烈,而剩余部分则在釉料与坯体的界面处反射,反射光被人眼感知呈吸收光的互补色,使得釉面呈绿色的效果加强。相反,若施加较薄的釉层,则可以减少釉层对非绿色光的吸收,使得釉面呈绿色的效果减弱,可以提高瓷器的白度^[40,46]。目前肉眼所观察到的部分早期白瓷样品釉层较薄的地方呈现较浅的颜色,而积釉处呈现较深的青绿色,就是由于釉层厚度不均匀造成的。

综上,北朝晚期至隋初,北方各地窑工发展出了多种改良青瓷质量的方法,并在此过程中创烧了早期白瓷。以邢窑等为代表的窑场,采用含铁量偏低的瓷土,在烧制时就容易呈现浅色的胎体,透明釉加上浅色的胎体使得瓷器外观色调有别于青瓷的青绿色。在此基础上,窑工们所采用的降低胎釉原料中铁含量、改良釉料配方的方法更是进一步提高了瓷器的白度,烧成了一种釉色介于青和白之间的器物,即所谓的“早期白瓷”。

影响瓷器釉面白度的内在因素是胎釉原料和烧制工艺。因此,在色度学分析的基础上,通过原料、烧制工艺、同位素溯源等分析,综合研究早期白瓷与青瓷的区别,以白度、化学组成、烧制工艺等综合参数作为区分早期白瓷与青瓷的重要指标是今后研究白瓷起源的必由之路。这需要科技界和考古界开展广泛的合作,聚焦于北朝晚期至隋初的邢窑、相州窑、曹村窑、寨里窑等窑址以及纪年墓葬出土器物中具有早期白瓷特征样品的系统科技检测与分析,有望对我国白瓷起源问题给出一个较为客观、合理的解答。

3 结 语

早期白瓷是白瓷处于创烧时期的一个过渡品种,也是解决白瓷起源问题的重要研究对象。本研究通过对早期白瓷界定及起源问题研究现状的综合分析,得出以下结论:

1) 早期白瓷一般具有以下基本特征:北朝晚期至隋初北方地区生产的器物;胎色较浅,外施透明薄釉,釉色多呈现青中泛白或白中闪青;应为高温釉一次烧成,区别于白胎铅釉器。

2) 在对古代白瓷器物釉面白度的测试中,应统一采用轻工行业标准中日用陶瓷白度测定方法,考虑“青白”和“黄白”所带来的色调角的影响。

3) 以白度、化学组成、烧制工艺等综合参数作

为区分早期白瓷与青瓷的重要指标是解决白瓷起源问题的关键。

参考文献:

- [1] 郭仁. 关于青瓷与白瓷的起源[J]. 文物, 1959(6): 13-14.
GUO Ren. The origin of celadon and white porcelain[J]. Cultural Relics, 1959(6): 13-14.
- [2] 李家治. 中国科学技术史·陶瓷卷[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 5.
LI Jiazhi. History of science and technology in China (volume of ceramics) [M]. Beijing: Science Press, 1998: 5.
- [3] 《中国古陶瓷图典》委员会. 中国古陶瓷图典[M]. 北京: 文物出版社, 1998: 53.
Committee of Ancient Chinese Ceramic Atlas. Ancient Chinese ceramic atlas[M]. Beijing: Cultural Relics Press, 1998: 53.
- [4] 王睿. 白瓷起源及相关问题探讨[M]//中国古陶瓷学会. 中国古陶瓷研究. 第十五辑. 北京: 紫禁城出版社, 2009: 27-40.
WANG Rui. The discussion about the origin of white porcelain and related question [M]//Chinese Society of Ancient Ceramics. Research on Ancient Chinese Ceramics (Volume 15). Beijing: The Forbidden City Press, 2009: 27-40.
- [5] 项坤鹏. 中国早期白瓷与白釉彩瓷专题研讨会综述[J]. 故宫博物院院刊, 2009(6): 145-150.
XIANG Kunpeng. Summary of Symposium on Chinese Early White Porcelain and White Glaze Colored Porcelain[J]. Palace Museum Journal, 2009(6): 145-150.
- [6] 李辉柄. 白瓷的出现及其发展[C]//上海博物馆. 中国古代白瓷国际学术研讨会论文集. 上海: 上海博物馆, 2002: 43-52.
LI Huibing. The rise and growth of white ware [C]//Shanghai Museum. Symposium on Ancient Chinese White Porcelain Proceedings. Shanghai: Shanghai Museum, 2002: 43-52.
- [7] 周世荣. 浅谈湖南出土的白瓷[C]//上海博物馆. 中国古代白瓷国际学术研讨会论文集. 上海: 上海博物馆, 2002: 20-42.
ZHOU Shirong. White wares excavated in Hunan Province [C]//Shanghai Museum. Symposium on Ancient Chinese White Porcelain Proceedings. Shanghai: Shanghai Museum, 2002: 20-42.
- [8] 李建毛. 湖南出土的东汉“早期白瓷”[C]//上海博物馆. 中国古代白瓷国际学术研讨会论文集. 上海: 上海博物馆, 2002: 198-206.
LI Jianmao. Early whitewares of the Eastern Han Dynasty found in Hunan [C]//Shanghai Museum. Symposium on Ancient Chinese White Porcelain Proceedings. Shanghai: Shanghai Museum, 2002: 198-206.
- [9] 武夏, 桂冠, 张馨芳. 论巩义白河窑出土的早期白瓷年代[J]. 文物世界, 2015(1): 38-41.
WU Xia, GUI Guan, ZHANG Xinfang. On the age of early white porcelain unearthed from Baihe kiln in Gongyi [J]. World of Antiquity, 2015(1): 38-41.
- [10] 董波. 试论早期白瓷中的西域要素[J]. 中原文物, 2010(6): 81-91.
DONG Bo. The cultural influence of Western Regions on early white porcelain[J]. Cultural Relics of Central China, 2010(6): 81-91.
- [11] 王睿. 早期白瓷使用情况分析[J]. 华夏考古, 2011(2): 78-93, 102.
WANG Rui. On the use of early white porcelain [J]. Huaxia Archaeology, 2011(2): 78-93, 102.
- [12] 周高亮. 河南地区出土早期白瓷研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
ZHOU Gaoliang. Researches on white porcelains in early stage excavated in Henan Province [D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [13] 常盘山文库中国陶磁研究会. 初期白磁[M]. 东京: 东京印书馆, 2018.
Tokiwayama Bunko Chinese Ceramics Study Group. The early white porcelain [M]. Tokyo: Tokyo Press, 2018.
- [14] 李岗, 袁明, 李举纲, 等. 西安南郊隋苏统师墓发掘简报[J]. 考古与文物, 2010(3): 3-6, 113-114.
LI Gang, YUAN Ming, LI Jugang, et al. A brief report on the excavation of Su Tongshi Tomb of the Sui Dynasty in Southern Xi'an [J]. Archaeology and Cultural Relics, 2010(3): 3-6, 113-114.
- [15] 赵宝良, 王仓西, 王光利, 等. 隋元威夫妇墓发掘简报[J]. 考古与文物, 2012(1): 24-34, 116-120.
ZHAO Baoliang, WANG Cangxi, WANG Guangli, et al. A preliminary report of the excavation of the joint tomb of Yuan Wei and his wife of the Sui Dynasty [J]. Archaeology and Cultural Relics, 2012(1): 24-34, 116-120.
- [16] 贾忠敏, 贾永禄. 河北省内丘县邢窑调查简报[J]. 文物, 1987(9): 1-10, 97-99.
JIA Zhongmin, JIA Yonglu. Investigation brief of Xing kiln in Neiqiu, Hebei Province [J]. Cultural Relics, 1987(9): 1-10, 97-99.
- [17] 河北省文物研究所, 邢窑考古队. 2012年邢窑遗址发掘有重要收获[N]. 中国文物报, 2013-03-01(8).
Hebei Provincial Institute of Cultural Relics, Archaeology Team of Xing kiln. The excavation of Xing kiln site yielded important results in 2012 [N]. China Cultural Relics News, 2013-03-01(8).
- [18] 孙新民, 刘兰华, 赵志文, 等. 河南巩义市白河窑遗址发掘简报[J]. 华夏考古, 2011(1): 26-57, 86, 153-169, 171.
SUN Xinmin, LIU Lanhua, ZHAO Zhiwen, et al. A brief report on excavation of Baihe kiln site in Gongyi City, Henan Province [J]. Huaxia Archaeology, 2011(1): 26-57, 86, 153-169, 171.
- [19] 河南省博物馆, 安阳地区文化局. 河南安阳隋代瓷窑址的试掘[J]. 文物, 1977(2): 48-56.
Henan Museum, Anyang Prefectural Cultural Bureau. Trial excavation of the Sui Dynasty porcelain kiln site in Anyang, Henan [J]. Cultural Relics, 1977(2): 48-56.
- [20] 杨爱玲. 白瓷的起源与发展——从河南博物院藏白瓷谈起[J]. 中原文物, 2002(4): 71-75.
YANG Ailing. The origin and development of white porcelain from the collection of white porcelain in Henan Museum [J]. Cultural Relics of Central China, 2002(4): 71-75.
- [21] 河南省文物局. 安阳北朝墓葬[M]. 北京: 科学出版社, 2013:

- 80-97.
Henan Provincial Cultural Relics Bureau. Northern Dynasty tombs in Anyang[M]. Beijing: Science Press, 2013: 80-97.
- [22] 河南省博物馆. 河南安阳北齐范粹墓发掘简报[J]. 文物, 1972(1): 47-57, 86.
Henan Museum. A brief report on the excavation of the Fan Cui Tomb of the Northern Qi Dynasty in Anyang, Henan[J]. Cultural Relics, 1972(1): 47-57, 86.
- [23] 李知宴. 谈范粹墓出土的瓷器[J]. 考古, 1972(5): 53-55.
LI Zhiyan. On the porcelain unearthed from the Fan Cui Tomb[J]. Archaeology, 1972(5): 53-55.
- [24] 员安志. 中国北周珍贵文物——北周墓葬发掘报告[M]. 西安: 陕西人民美术出版社, 1993: 76-93.
YUN Anzhi. A report on the excavation of tombs in the Northern Zhou Dynasty of China[M]. Xi'an: Shaanxi People's Fine Arts Publishing House, 1993: 76-93.
- [25] 潘伟斌, 薛冰, 裴涛, 等. 河南安阳县固岸墓地2号墓发掘简报[J]. 华夏考古, 2007(2): 2, 30-38, 51, 153-155, 169.
PAN Weibin, XUE Bing, PEI Tao, et al. A brief report on the excavation of the No. 2 Tomb of Gu'an Cemetery in Anyang, Henan[J]. Huaxia Archaeology, 2007(2): 2, 30-38, 51, 153-155, 169.
- [26] 潘伟斌, 聂凡. 河南安阳固岸墓地考古发掘收获[J]. 华夏考古, 2009(3): 19-23, 167-172.
PAN Weibin, NIE Fan. Archaeological excavations and harvests of Gu'an Cemetery in Anyang, Henan[J]. Huaxia Archaeology, 2009(3): 19-23, 167-172.
- [27] 考古研究所安阳发掘队. 安阳隋张盛墓发掘记[J]. 考古, 1959(10): 541-545, 591-595.
Anyang Excavation Team of the Institute of Archaeology. Excavation of the Zhang Sheng Tomb in Anyang[J]. Archaeology, 1959(10): 541-545, 591-595.
- [28] 马世之. 关于隋代张盛墓出土文物的几个问题[J]. 中原文物, 1983(4): 72-77.
MA Shizhi. Some questions about the unearthed cultural relics of the Zhang Sheng Tomb of the Sui Dynasty[J]. Cultural Relics of Central China, 1983(4): 72-77.
- [29] 杜玉生. 北魏洛阳城内出土的瓷器与釉陶器[J]. 考古, 1991(12): 1090-1095, 1155.
DU Yusheng. Porcelain and glazed pottery unearthed in Luoyang City of the Northern Wei Dynasty[J]. Archaeology, 1991(12): 1090-1095, 1155.
- [30] 刘涛, 钱国祥, 肖淮雁, 等. 河南洛阳市北魏洛阳城津阳门内大道遗址发掘简报[J]. 考古, 2009(10): 49-58, 108-109.
LIU Tao, QIAN Guoxiang, XIAO Huaiyan, et al. Excavation on the ruins of the trunk road inside the Jinyangmen Gate in Luoyang City of the Northern Wei period in present-day Luoyang City, Henan[J]. Archaeology, 2009(10): 49-58, 108-109.
- [31] 310国道孟津考古队. 洛阳孟津邙山西晋北魏墓发掘报告[J]. 华夏考古, 1993(1): 42-51.
Mengjin Archaeological Team on State Highway No. 310. Excavation of the tombs of the Western Jin and Northern Wei Dynasties in the Mangshan Mountain, Luoyang[J]. Huaxia Archaeology, 1993(1): 42-51.
- [32] 小林仁. 白瓷的诞生——北朝瓷器生产的诸问题与安阳隋张盛墓出土的白瓷俑[M]//中国古陶瓷学会. 中国古陶瓷研究(第十五辑). 北京: 紫禁城出版社, 2009: 61-78.
KOBAYASHI J. The birth of white porcelain: the questions of porcelain production in the Northern Dynasties and the white porcelain unearthed from the Zhang Sheng Tomb in Anyang[M]//Chinese Society of Ancient Ceramics. Research on Ancient Chinese Ceramics (Volume 15). Beijing: The Forbidden City Press, 2009: 61-78.
- [33] 小林仁, 刘晶晶. 北齐铅釉器的定位和意义[J]. 故宫博物院院刊, 2012(5): 104-111, 162.
KOBAYASHI J, LIU Jingjing. Historical significance of lead-glazed ware of the Northern Qi Dynasty[J]. Palace Museum Journal, 2012(5): 104-111, 162.
- [34] 王建保, 张志忠, 李融武, 等. 河北临漳县曹村窑址考察报告[J]. 华夏考古, 2014(1): 24-29, 155-159.
WANG Jianbao, ZHANG Zhizhong, LI Rongwu, et al. Exploration of the kiln-site at Caocun Village in Linzhang County, Hebei[J]. Huaxia Archaeology, 2014(1): 24-29, 155-159.
- [35] 马颖, 马清林, 马泓蛟. 河南巩义窑、河北邢窑出土瓷器的原料来源研究——以北朝和隋唐时期出产的青瓷、白瓷为例[J]. 文物保护与考古科学, 2018, 30(5): 84-97.
MA Ying, MA Qinglin, MA Hongjiao. Comparative study of compositions of porcelains from Gongyi and Xing Kilns[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2018, 30(5): 84-97.
- [36] LI Weidong, LUO Hongjie, SUN Xinmin, et al. Microstructure and its physicochemical basis for the white porcelain from Gongyi Kiln of Henan Province in China[J]. MRS Online Proceedings Library, 2011, 1319: 361-381.
- [37] 薛冰. 河南安阳北朝至隋代瓷器的制作工艺与产地的相关研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2007.
XUE Bing. The research of porcelain's manufacturing crafts and areas from Bei Periods to Sui Dynasty in local Anyang area of Hunan Province[D]. Hefei: Anhui University, 2007.
- [38] 方可可. 现代实验技术在相州窑陶瓷中的应用[D]. 郑州: 郑州大学, 2017.
FANG Keke. Researching on Xiangzhou Kiln porcelains by using modern experimental technology[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2017.
- [39] 凌雪. 我国古代北方白瓷的色度及其相关研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2004.
LING Xue. Research on the chroma of ancient North China white porcelain[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2004.
- [40] 朱铁权. 我国北方白瓷创烧时期的工艺相关研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.
ZHU Tiequan. Study on the craft of white porcelain in North China during the period of creation[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2007.
- [41] 欧阳瑞丰. 景德镇五代白瓷至宋代青白瓷的演变对比分析[D]. 景德镇: 景德镇陶瓷学院, 2014.
OUYANG Ruifeng. Comparative study on the evolution from white

- porcelain in the Five Dynasties to greenish white porcelain in the Song Dynasty in Jingdezhen[D]. Jingdezhen: Jingdezhen Ceramic Institute, 2014.
- [42] 解晋. 山西地区宋金窑址采集瓷片科技研究[D]. 太原: 山西大学, 2017.
- XIE Jin. Shanxi region collection kiln porcelain of Song and Jin Dynasty technology research [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2017.
- [43] PINTO A, GROENEN J, ZHAO Bing, *et al.* Chromogenic mechanisms in blue – and – white porcelains [J]. Journal of the European Ceramic Society, 2020, **40**(15): 6181 – 6187.
- [44] 鲁晓珂, 李伟东, 罗宏杰, 等. 邢窑的科学研究[J]. 中国科学: 技术科学, 2012, **42**(10): 1204 – 1221.
- LU Xiaoke, LI Weidong, LUO Hongjie, *et al.* A scientific study on the Xing Kiln of ancient China[J]. Scientia Sinica (Technologica), 2012, **42**(10): 1204 – 1221.
- [45] 罗宏杰, 李伟东, 鲁晓珂, 等. 中国白瓷和青花瓷的起源研究[J]. 自然杂志, 2017, **39**(2): 137 – 148.
- LUO Hongjie, LI Weidong, LU Xiaoke, *et al.* Origin and evolution of Chinese white porcelain and blue – and – white porcelain [J]. Chinese Journal of Nature, 2017, **39**(2): 137 – 148.
- [46] WU Juan, HOU Tiejun, ZHANG Maolin, *et al.* A technical comparison of three Chinese white porcelains: Ding, Shufu, and Dehua[J]. Studies in Conservation, 2014, **59**(5): 341 – 349.
- [47] 张清文, 刘忠. 关于白度, ISO 亮度与 D65 亮度[J]. 中国造纸, 2005, **24**(6): 56 – 58.
- ZHANG Qingwen, LIU Zhong. How to correctly understand the terms of whiteness, ISO brightness and D65 brightness[J]. China Pulp & Paper, 2005, **24**(6): 56 – 58.
- [48] 张幼红, 徐路. 定量评价纺织品白度的研究[J]. 山东纺织工学院学报, 1995, **10**(增刊1): 5 – 9.
- ZHANG Youhong, XU Lu. Study on quantitative evaluation of textile whiteness [J]. Journal of Shandong College of Textile Technology, 1995, **10**(Suppl 1): 5 – 9.
- [49] 张建平, 柳慧. 日用陶瓷白度测试方法的研究[J]. 中国陶瓷, 1991(6): 37 – 39.
- ZHANG Jianping, LIU Hui. Analysis for whiteness quality of the domestic ceramics[J]. China Ceramics, 1991(6): 37 – 39.
- [50] 赵宏. 北朝、隋代白瓷考[J]. 陶瓷研究, 1995, **10**(2): 108 – 111.
- ZHAO Hong. Study on white porcelain of the Northern Dynasties and Sui Dynasty[J]. Ceramic Studies, 1995, **10**(2): 108 – 111.
- [51] 王会民, 张志中. 邢窑调查试掘主要收获[J]. 文物春秋, 1997(增刊1): 8 – 14, 43.
- WANG Huimin, ZHANG Zhizhong. The main harvest of Xing Kiln investigation and excavation [J]. Wenwu Chunqiu, 1997 (Suppl 1): 8 – 14, 43.
- [52] HUANG Shan, FREESTONE I C, ZHU Yanshi, *et al.* The introduction of celadon production in North China: technological characteristics and diversity of the earliest wares[J]. Journal of Archaeological Science, 2020, **114**: 105057.
- [53] 秦大树. 早期白瓷的发展轨迹[C]//上海博物馆. 中国古代白瓷国际学术研讨会论文集. 上海: 上海博物馆, 2002: 81 – 94.
- QIN Dashu. The development of early white porcelain [C]// Shanghai Museum. Symposium on Ancient Chinese White Porcelain Proceedings. Shanghai: Shanghai Museum, 2002: 81 – 94.
- [54] 潘伟斌. 从安阳灵芝瓷窑遗址看其生产工艺[M]//王昌燧. 科技考古论丛(第三辑). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003: 99 – 102.
- PAN Weibin. Production technology of Lingzhi Kiln site in Anyang [M]//WANG Changsui. Collections of Scientific and Technological Archaeology (Volume 3). Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2003: 99 – 102.
- [55] GUO Yanyi. Raw materials for making porcelain and the characteristics of porcelain wares in North and South China in ancient times[J]. Archaeometry, 1987, **29**(1): 3 – 19.
- [56] 陈尧成, 张志中. 邢窑隋唐细白瓷研究[J]. 景德镇陶瓷学院学报, 1990, **11**(1): 45 – 53.
- CHEN Yaocheng, ZHANG Zhizhong. Study on fine white porcelain of Xing Kiln in Sui and Tang Dynasties [J]. Journal of Jingdezhen Ceramic Institute, 1990, **11**(1): 45 – 53.
- [57] LI Weidong, LU Xiaoke, LUO Hongjie, *et al.* Tracing the origin and evolution of white porcelain in ancient China [J]. Recent Advances in the Scientific Research on Ancient Glass and Glaze, 2016, **2**: 333 – 352.
- [58] 赵维娟, 高田, 王东艳, 等. 用多元统计分析研究黄冶窑白瓷的原料特征[J]. 原子核物理评论, 2020, **37**(3): 791 – 796.
- ZHAO Weijuan, GAO Tian, WANG Dongyan, *et al.* Raw material characteristics of the white porcelain from Huangye Kiln by multivariable statistics analysis [J]. Nuclear Physics Review, 2020, **37**(3): 791 – 796.
- [59] 朱铁权, 王昌燧, 张尚欣, 等. 隋代邢窑粗白瓷胎料配方研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, **29**(3): 313 – 318.
- ZHU Tiequan, WANG Changsui, ZHANG Shangxin, *et al.* The recipe of the body of the coarse white porcelain from Xing Kiln of China's Sui Dynasty [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2010, **29**(3): 313 – 318.
- [60] TITE M S, FREESTONE I C, WOOD N. An Investigation into the relationship between the raw materials used in the production of Chinese porcelain and stoneware bodies and the resulting microstructures[J]. Archaeometry, 2012, **54**(1): 37 – 55.
- [61] 张志中, 姚毅. 邢窑工艺技术研究[J]. 河北陶瓷, 1987(2): 6 – 26.
- ZHANG Zhizhong, YAO Yi. Research on Xing Kiln technology [J]. Hebei Ceramics, 1987(2): 6 – 26.
- [62] MA Hongjiao, HENDERSON J, EVANS J, *et al.* Searching for the earliest use of limestone as a flux in Chinese high – fired ceramic glazes—evidence from Sr isotopic analysis of Chinese northern porcelain[J]. Journal of Archaeological Science, 2021, **131**: 105395.
- [63] 张志中, 王会民. 邢窑隋代透影白瓷[J]. 文物春秋, 1997(增刊1): 26 – 30.
- ZHANG Zhizhong, WANG Huimin. The transparent white porcelain of Xing Kiln in the Sui Dynasty [J]. Wenwu Chunqiu, 1997 (Suppl 1): 26 – 30.
- [64] PRADELL T, MOLERA J. Ceramic technology. How to characterise

- ceramic glazes[J]. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2020, **12**(8):1–28.
- [65] 陈全庆,周宇松,周少华. 南宋官窑青瓷釉呈色机理研究[J]. *陶瓷学报*,1996, **17**(1):42–47.
- CHEN Quanqing, ZHOU Yusong, ZHOU Shaohua. Research on celadon glaze coloration mechanism of Southern Song Guan Ware [J]. *Journal of Ceramics*,1996, **17**(1):42–47.

Review on the definition and origin of early white porcelain

ZONG Ruofei^{1,2}, LU Xiaoke^{1,2,3,4}, LI Weidong^{1,2,3,4}, WANG Huimin⁵

[1. *Ancient Ceramic Research Center, Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201899, China;*

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Key Laboratory of the Comprehensive Analysis Technology for Ancient Ceramics and its Application (Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences), Ministry of Culture and Tourism, Shanghai 201899, China;

4. Key Scientific Research Base of Ancient Ceramics (Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences), National Cultural Heritage Administration, Shanghai 201899, China;

5. Hebei Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Shijiazhuang 050033, China]

Abstract: Known as the “fourth milestone” in the development of ancient Chinese ceramics, the emergence of white porcelain broke the dominance of celadon and laid a foundation for the firing of color – glazed porcelain in later generations. However, the question of the origin of white porcelain has long been unresolved. Early white porcelain with uneven color distribution between blue and white is a transitional variety during the period when white porcelain was created. Therefore, scientifically defining “early white porcelain” has a direct bearing on the study of the origin of white porcelain. On the basis of related research on early white porcelain, we analyzed the problems in the scientific research on the whiteness of ancient ceramic glazes and suggested that the test method for whiteness of domestic ceramics in the light industry standard should be adopted to calculate the whiteness of ancient ceramics, so that the whiteness data published by different researchers can be compared with one another. In addition, it was proposed to use parameters of chromaticity, raw materials and firing processes as important indicators to distinguish early white porcelain from celadon, which provides new methods and ideas for the study of the origin of white porcelain.

Key words: Early white porcelain; Whiteness; Definition standard; Origin

(责任编辑 张存祖;校对 谢 燕)

· 科技信息 ·

古代陶器生产用混合黏土薄片鉴定

古代陶工在陶器成型前会对所选用黏土进行一定程度的前处理。其处理方式可分为单组分黏土的干燥、研磨、筛选、沉淀、精选以及不同组分的混用,包括麝和料的添加以及不同黏土混合。目前“麝和料”与“混合黏土”的概念有部分重合,“麝和料”更多的是指代陶工有意加入的松散的非塑性颗粒,如矿物颗粒、陶渣、贝壳、植物等。“混合黏土”则是指代有意混用的两种或两种以上黏土。多种黏土混合制陶技术在新石器时代的爱琴海、中美洲、撒哈拉以南非洲、印度、菲律宾等地区广泛存在。无论是麝和料还是混合黏土,其目的都是为了改善成型过程中的可塑性,减小干燥和烧造过程中的收缩率以及提高成品使用过程中的强度、韧性以及抗热震性能。

两种及以上成分、外观不一致的黏土会因为古代陶工混合不均匀而在岩相薄片留下明显的异质性,该性质有助于判别混合黏土工艺。但如果两种或两种以上黏土混合较好,在显微镜下的薄片上则观察不到这种异质性。且这种异质性的条纹、漩涡和分层也可能出现在未充分均一化处理的天然单组分黏土制成的陶器中。因此判别古代陶工是否使用了多组分黏土混合工艺是较为困难的。

为了鉴别陶器制作采用的黏土是否为多种黏土混用,该研究采用了实验考古的方法,制备了4种类型的岩相分析样品:未经处理的天然非均质黏土,均一化处理后的天然非均质黏土,两种人工黏土混合,两种天然黏土混合。样品成型为小型试块,干燥后在750℃大气环境下烧制1h,然后磨制成标准厚度薄片进行岩相分析。同时比较了该实验制备的薄片与过去文献报道认为使用了混和黏土工艺的出土陶器薄片的岩相结构。

该文提出了显微镜下描述陶器黏土基质岩相特征新术语的定义如条纹(streak)、折叠(fold)、分层(lamination)、凸起(lense)及黏土团块(argillaceous lump)。实验观察结果表明在未处理的天然非均质黏土样品薄片条纹及分层结构较为普遍,而经过均一化处理后该结构则基本完全消失。但未完全均一化处理的杂色黏土结构与人工混合黏土岩相结构有一定的相似度,且这些特征与混合过程中黏土含水率,黏土矿物粒径以及混合程度均有关。该研究表明,在薄片中所观察到的具有内部不均匀性的黏土团块可能来自于杂色黏土源。而人工混合黏土岩相结构所表现出来的条纹、分层等现象比均质化处理后的单一黏土更为细腻均匀。此外,均质杂色黏土显示出的塑性特征更有可能更具层次性,而混合黏土则更具有序性。

Ho等比对了模拟实验结果与以往文献报道的一系列岩相照片,进一步分析了混合黏土工艺在实际制陶过程中的应用,并认为薄片出现的黏土团块并不能作为混合黏土的鉴定特征,因为单组分黏土在颗粒较大且加水较少的情况也会出现团块现象。认为由于大多数黏土都有包含物,因此在很多文献中黏土麝和料与麝和料实际指代了同一种意思。

Ho等还指出了该研究只考虑了两种不同黏土混合的情况,而实际上古代陶工可能同时使用了3种甚至更多种黏土混合,再加上麝和料的使用,将会让岩相结构变得更为复杂。且黏土成型方法是该研究中未考虑的另一个变量,实际成型过程中所施加的力及其方向都可能对该研究造成影响。因此目前混合黏土是一个复杂的问题,这个问题在陶器考古领域很重要,但研究者的认知仍然较浅,未来进行更多控制变量的实验考古是厘清该问题最有效的方法。

王恩元 参考文献 *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2021, **37**:102945.