第 49 卷第 9 期
2021 年 9 月

硅 酸 盐 学 报
JOURNAL OF THE CHINESE CERAMIC SOCIETY

Vol. 49，No. 9
September，2021

http://www.gxyb.cbpt.cnki.net

DOI：10.14062/j.issn.0454-5648.20200913

宋代吉州窑不同类型复合装饰瓷的制瓷工艺对比

徐嫦松[1,2,3]，李伟东[1,2,3]，鲁晓珂[1,2,3]，张文江[4]，刘晓玉[5,6]

(1. 中国科学院上海硅酸盐研究所，上海 201899；2. 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；3. 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；4. 江西省文物考古研究所，南昌 330008；5. 吉安市吉州窑瓷烧制技艺研究院，江西 吉安 343000；6. 景德镇陶瓷大学，江西 景德镇 333403)

摘 要：利用能量色散 X 射线荧光光谱仪和光学显微镜对吉州窑黑釉茶盏、白覆轮以及内白外黑双色瓷进行化学组成及宏观结构分析，以此探讨吉州窑同时期烧造的复合装饰瓷的制瓷工艺特征及其工艺关联性。结果表明：吉州窑黑釉茶盏、白覆轮与内白外黑双色瓷 3 种复合装饰产品在制瓷原料、配方、施釉工艺等方面既存在一致性，也存在差异性。除了原料与配方的合理选择，对釉层厚度的控制以及施釉过程中，口沿刮釉对坯体的轻微修整而形成的高度差，都是白覆轮黑与白对比鲜明且界线分明的关键。

关键词：吉州窑；复合装饰瓷；化学组成；制瓷工艺
中图分类号：K876.3　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：0454–5648(2021)09–1957–07
网络出版时间：2021–07–26

A Comparative Study on Manufacture Techniques for Different Composite Decorated Porcelains from Jizhou Kiln in Song Dynasty

XU Changsong[1,2,3], *LI Weidong*[1,2,3], *LU Xiaoke*[1,2,3], *ZHANG Wenjiang*[4], *LIU Xiaoyu*[5,6]

(1. Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201899, China; 2. Key Laboratory of the Comprehensive Analysis Technology for Ancient Ceramics and its Application, Ministry of Culture and Tourism (Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences), Shanghai 201899, China; 3. Key Scientific Research Base of Ancient Ceramics, State Administration for Cultural Heritage (Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences), Shanghai 201899, China; 4. Jiangxi Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Nanchang 330008, Jiangxi, China; 5. Ji′an Academy of Jizhou Porcelain kiln Firing Technology, Ji′an 343000, Jiangxi, China; 6. Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333403, Jiangxi, China)

Abstract: The chemical compositions and macrostructures of black-glazed tea bowls, white-rim black porcelains and dual-colored porcelains from Jizhou in the Song dynasty, China, were determined by energy-dispersive X-ray fluorescence and optic microscopy to investigate the manufacture techniques for different composite decorated porcelains. The results show that there are both consistency and difference in porcelain making materials, recipes and glazing techniques of the Jizhou black-glazed tea bowls, white-rim black porcelains and dual-colored porcelains. In addition to the reasonable selection of raw materials and recipes, the control of the glaze thickness and height difference formed by the slight trimming of the body in glaze scraping process is a key to the sharp contrast and clear boundaries between black and white of the white-rim black porcelains.

Keywords: Jizhou kiln; composite decorated porcelains; chemical compositions; manufacturing technique

收稿日期：2020–12–09。　修订日期：2021–01–19。
基金项目：国家重点研发计划(2019YFC1520202)；国家自然科学基金面上项目(51672302)；文化和旅游部重点实验室项目资助。
第一作者：徐嫦松(1990—)，女，博士，助理研究员。
通信作者：李伟东(1966—)，女，博士，研究员。

Received date: 2020–12–09.　**Revised date:** 2021–01–19.
First author: XU Changsong (1990–), female, Ph.D., Assistant Professor.
E-mail: xcs@mail.sic.ac.cn
Correspondent author: LI Weidong (1966–), female, Ph.D., Professor.
E-mail: liwd@mail.sic.ac.cn

“复合装饰”是利用 2 种或 2 种以上的高温釉对釉面进行装饰的技法，又被称为“高温釉上彩”。一般采用釉色明显不同的高温色釉施于同一器上，经 1 次烧制而成[1]。我国生产复合装饰瓷的历史悠久，西晋晚期越窑创烧的点彩就是高温釉上彩最早的表现形式[1]。随着制瓷技术的发展与交流，复合装饰瓷在吉州窑、鲁山段店窑、黄道窑、长沙窑、磁州窑、定窑、临城窑、钧窑、石湾窑、宜兴窑、下白峪窑等南北方窑场均有烧造。

吉州窑是我国宋元时期黑釉瓷生产中心之一。根据考古发掘资料[2]，“复合装饰”被广泛用于吉州窑产品的釉面装饰之中，其中最具代表性的就是黑釉茶盏。在已发表的文章中[3–5]，详细探讨了吉州窑黑釉茶盏双层釉工艺、胎釉化学组成、显微结构、呈色机理、制瓷原料与配方等多个方面的问题。吉州窑黑釉茶盏利用了一种独特的双层釉工艺进行釉面装饰：先在胎上施加高铁深色底釉，再在底釉之上局部或全部施加浅色高钙面釉。组成差异显著的底釉与面釉在高温下的熔融、扩散、流淌、沸腾等作用，造成微区具有不同的分相结构尺度，对入射可见光产生不同的散射作用。因此，吉州窑黑釉茶盏的釉面呈现丰富多变的斑纹效果。

除了著称于世的吉州窑茶盏名品外，吉州窑还生产包括白覆轮及内白外黑双色瓷在内的其他复合装饰瓷品种。白覆轮是对整体施黑釉而口沿施透明釉的白胎瓷器的称谓，这类产品黑白对比鲜明，制作规整。白覆轮的审美来源可能与瓷器口沿镶嵌金银扣的装饰方法有关[6]。与黑釉茶盏不同的是，吉州窑白覆轮的釉色相融现象并不明显。内白外黑双色瓷指外壁施黑釉而内壁施透明釉的一类产品，一般为芒口，外壁的黑釉与口沿的浅色胎体同样形成了黑与白对比的艺术效果。这类产品在窑岭、官家塘岭、猪婆石岭、七眼塘岭、松树岭、曹门岭、上蒋岭、斜家岭、枫树岭等遗址均有发现[6]。

目前，针对吉州窑复合装饰瓷的研究更多地关注于黑釉茶盏，而对白覆轮及内白外黑双色瓷等吉州窑同时期烧造的复合装饰瓷的关注不足。因此，本工作将通过黑釉茶盏、白覆轮及内白外黑双色瓷胎釉的对比分析，进一步探究 3 种复合装饰瓷的制瓷工艺特征及其工艺关联性。这对进一步完善吉州窑宋代复合装饰工艺的科学认知具有重要意义。

1 实验

1.1 样品制备

5 件内白外黑双色瓷、2 件白覆轮和 3 件黑釉茶盏均由江西省文物考古研究所提供，样品照片见图 1。利用安装有金刚石锯的切割机将具有典型釉面特征的小区域从残片上切下。利用抛光机对样品断面进行抛光处理。随后进行超声清洗与烘干，以待测试。

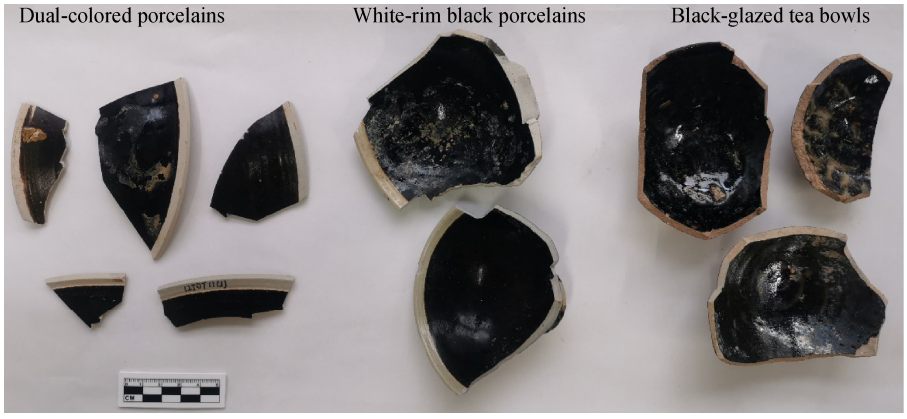


图 1 吉州窑复合装饰瓷样品照片

Fig. 1 Photos of the Jizhou composite decorated porcelains

3 种窑址周边开采的现代制瓷原料由吉安市吉州窑瓷烧制技艺研究院提供。利用这 3 种原料进行淘洗模拟实验。选取整块矿石原料放置于烧杯中，加入去离子水混合，并利用磁力搅拌机进行搅拌。搅拌至无团聚物后，静置 24 h，随后烘干。提取上层原料，以待测试。

1.2 样品表征

利用 Bruker M4 TORNADO 能量色散 X 射线荧光光谱仪分析胎釉以及淘洗前后现代制瓷原料的化学组成，测试条件：Si(Li)探测器，X 光聚焦点直径 25 μm，测试点间距 50 μm，0.5 mm×0.5 mm 范围多点平均测量。利用 KEYENCE VHX-2000 光学显微

镜观察样品表面及抛光断面，釉层厚度利用 OM 软件自带的测距功能进行测量。

2　结果与讨论

2.1　结果

对内白外黑双色瓷(DCB)、白覆轮(WRB)、黑釉茶盏(BG)这 3 种南宋吉州窑生产的复合装饰瓷胎及黑釉的主量与微量化学组成进行分析，结果见表 1 和表 2。由于吉州窑黑釉茶盏所采用的双层釉工艺，釉面白色区域的组成测试结果会受到其下黑釉的影响，因此，未对吉州窑黑釉茶盏中的白色区域进行组成数据采集。表 3 为吉州窑内白外黑双色瓷和白覆轮透明釉的主量与微量化学组成分析结果。

表 1　吉州窑复合装饰瓷胎的化学组成

Table 1　Chemical composition of the bodies of the Jizhou composite decorated porcelains　　*w*/%

Sample No.	Date	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3
DCB-1	Southern Song	0.31	0.05	25.12	65.34	5.57	0.74	0.61	1.26
DCB-2	Southern Song	0.52	0.03	30.35	58.46	7.19	0.62	0.59	1.23
DCB-3	Southern Song	0.41	0.06	25.49	65.57	5.42	0.18	0.63	1.25
DCB-4	Southern Song	0.40	0.07	26.26	63.64	6.31	0.34	0.74	1.25
DCB-5	Southern Song	0.79	0.03	27.00	62.02	6.98	0.20	0.59	1.39
WRB-1	Southern Song	0.35	0.05	25.97	64.04	6.41	0.15	0.62	1.40
WRB-2	Southern Song	0.39	0.02	24.77	64.89	6.52	0.32	0.57	1.52
BG-1	Southern Song	0.47	0.04	23.10	66.55	5.27	0.22	0.64	2.70
BG-2	Southern Song	0.55	0.08	23.69	64.81	6.90	0.10	0.64	2.22
BG-3	Southern Song	0.71	0.06	21.97	67.62	5.96	0.37	0.61	1.69

w—Mass fraction.

表 2　吉州窑复合装饰瓷黑釉的化学组成

Table 2　Chemical composition of the black glazes of the Jizhou composite decorated porcelains　　*w*/%

Sample No.	Date	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5
DCB-1	Southern Song	0.18	2.22	12.19	68.44	6.21	4.45	0.37	4.94	0.30	0.27
DCB-2	Southern Song	0.55	2.41	12.32	67.03	6.55	5.16	0.32	4.65	0.35	0.29
DCB-3	Southern Song	0.28	1.63	12.70	68.08	5.51	5.54	0.40	4.85	0.34	0.34
DCB-4	Southern Song	0.29	2.23	12.63	67.27	6.41	5.05	0.37	4.75	0.35	0.28
DCB-5	Southern Song	0.52	2.03	12.54	65.73	6.91	5.54	0.40	5.34	0.34	0.25
WRB-1	Southern Song	0.34	2.66	12.12	65.86	5.76	6.52	0.41	5.34	0.26	0.30
WRB-2	Southern Song	0.40	1.75	12.85	66.00	6.50	5.70	0.39	5.42	0.23	0.27
BG-1	Southern Song	0.18	1.57	11.79	70.13	4.73	6.11	0.37	4.12	0.33	0.27
BG-2	Southern Song	0.24	2.48	12.72	68.31	5.90	4.64	0.44	4.27	0.32	0.32
BG-3	Southern Song	0.00	1.77	12.53	68.11	5.13	5.65	0.55	5.26	0.29	0.37

表 3　吉州窑复合装饰瓷透明釉的化学组成

Table 3　Chemical composition of the transparent glazes of the Jizhou composite decorated porcelains　　*w*/%

Sample No.	Date	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5
DCB-1	Southern Song	0.53	0.73	14.16	68.33	4.87	8.56	0.36	1.46	0.09	0.09
DCB-2	Southern Song	0.79	0.51	13.48	69.28	6.33	7.01	0.31	1.28	0.11	0.07
DCB-3	Southern Song	0.11	0.64	11.20	73.14	5.29	6.49	0.36	1.77	0.11	0.08
DCB-4	Southern Song	0.24	0.73	13.17	70.33	5.72	7.16	0.36	1.30	0.09	0.09
DCB-5	Southern Song	0.20	0.42	14.57	68.08	5.28	8.76	0.33	1.36	0.14	0.13
WRB-1	Southern Song	0.54	2.17	13.44	67.80	6.86	5.89	0.16	2.14	0.26	0.29
WRB-2	Southern Song	0.16	1.05	16.57	67.36	7.29	4.53	0.35	1.68	0.16	0.19

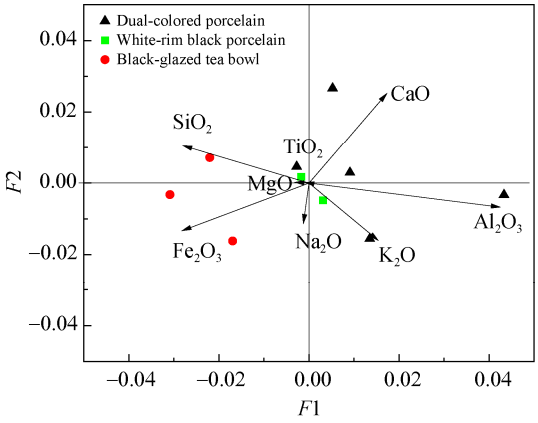
2.2　讨论

2.2.1　吉州窑复合装饰瓷制胎工艺对比　　中国古代瓷器的生产一般为就地选土，因此形成了南方富硅质瓷，北方富铝质瓷的特征。南方制瓷所用的瓷土原料中 Al_2O_3 含量一般在 20% (质量分数)以下[7]。由表 1 可以看出，吉州窑复合装饰瓷胎中的 Al_2O_3 含量为 21.97%～30.35%，明显高于南方瓷土。这主要由于吉州窑利用当地绢云母质粘土制胎[5]。制胎原料中绢云母的存在是胎中 K_2O 含量较高，达到 5.27%～7.19%的主要原因。

为了进一步探究吉州窑复合装饰瓷胎的组成差异，对其进行多元统计分析，结果见图 2。由图 2 可以看出，白覆轮及内白外黑双色瓷的样品点比较接近，说明白覆轮及内白外黑双色瓷制胎原料没有太大差别。但是，黑釉茶盏的样品点与白覆轮及内白外黑双色瓷的样品点距离较远，黑釉茶盏胎相对来说具有更高的 SiO_2、Fe_2O_3 含量和较低的 Al_2O_3、K_2O 含量。

图 3 为吉州窑复合装饰瓷胎的光学显微镜照片。由图 3 可以看出，内白外黑双色瓷与白覆轮胎体呈浅灰色或浅黄色，仅有少量气孔。而黑釉茶盏胎体呈现黄褐色，夹杂有较多的粗颗粒矿物。结合光学显微镜分析结果推测，胎中 SiO_2 和 Al_2O_3 含量的差异，可能与原料处理过程中的淘洗步骤有关。传统原料制备方法是采用水碓进行原料粉碎，并经过淘洗去除粗粒的石英、长石、云母等杂质[8]。利用吉州窑现代制瓷原料进行淘洗的模拟实验，结果见表 4。可以看到，淘洗之后，原料中 Al_2O_3 和 K_2O 含量有不同程度的提高，SiO_2 含量有所降低。黑釉茶盏胎中夹杂的大量粗颗粒矿物说明，在制瓷原料的处理过程中可能没有进行淘洗，或者在淘洗之后选择了粗颗粒较多的余渣制胎。这一部分泥料由于含有较多的游离石英而呈现高 SiO_2，低 Al_2O_3、K_2O 的组成特征。白覆轮及内白外黑双色瓷这一类精细瓷则选用了精泥制胎，呈现出低 SiO_2，高 Al_2O_3、K_2O 的组成特征。

结合表 1 可以看出，白覆轮及内白外黑双色瓷胎中 Fe_2O_3 含量为 1.23%~1.52%，而黑釉茶盏胎中的 Fe_2O_3 含量为 1.69%~2.70%。虽然制瓷原料的淘洗可以去除部分大颗粒的含铁矿物，但是由于 Fe_2O_3 在绢云母中的固溶[9]，淘洗很难改变制瓷原料的 Fe_2O_3 含量。从表 4 也可以看出，淘洗过后，除了富



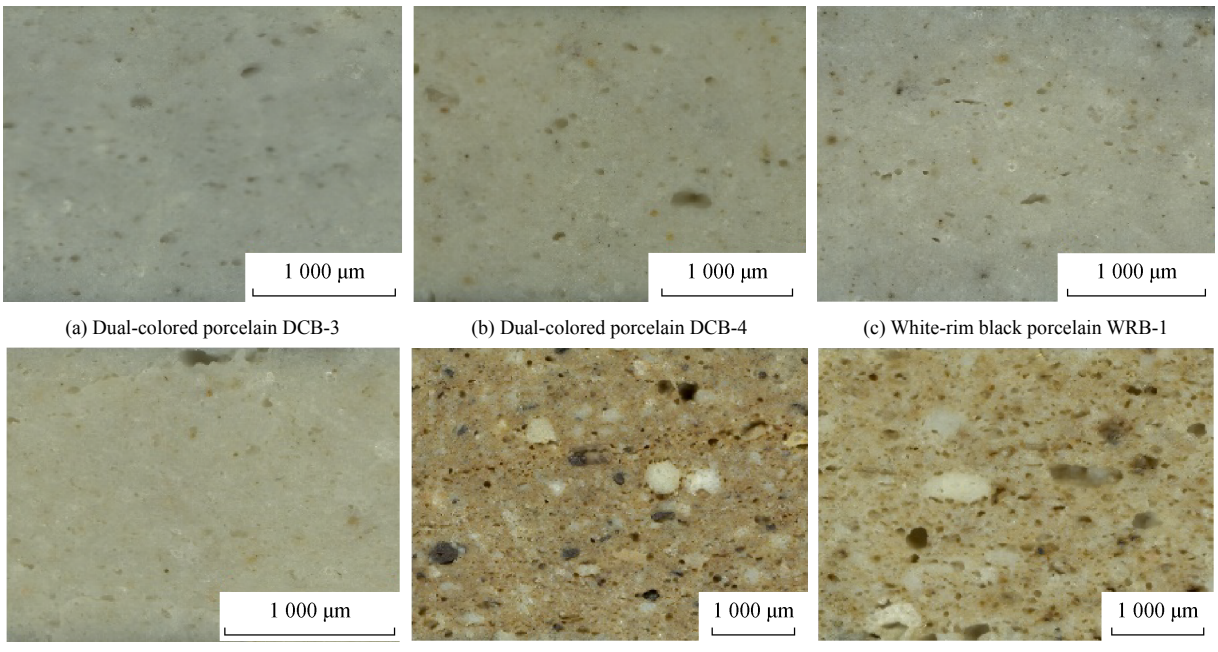
Factor contribution rate 78.59%;

$F1=-0.001Na_2O-0.003MgO+0.042Al_2O_3-0.028SiO_2+0.015K_2O+0.017CaO-0.0009TiO_2-0.028Fe_2O_3$;

$F2=-0.011Na_2O+0.0002MgO-0.007Al_2O_3+0.010SiO_2-0.016K_2O+0.025CaO+0.0002TiO_2-0.013Fe_2O_3$

图 2 吉州窑复合装饰瓷胎的化学组成因子载荷图

Fig. 2 Factor loading diagram of the chemical compositions of the bodies of the Jizhou composite decorated porcelains



(a) Dual-colored porcelain DCB-3 (b) Dual-colored porcelain DCB-4 (c) White-rim black porcelain WRB-1

(d) White-rim black porcelain WRB-2 (e) Black-glazed tea bowls BG-1 (f) Black-glazed tea bowls BG-2

图 3 吉州窑复合装饰瓷胎的光学显微镜照片

Fig. 3 OM images of the bodies of the Jizhou composite decorated porcelains

表 4　吉州窑现代制瓷原料淘洗实验结果

Table 4　Chemical composition of the Jizhou modern raw materials before and after elutriation　　*w*/%

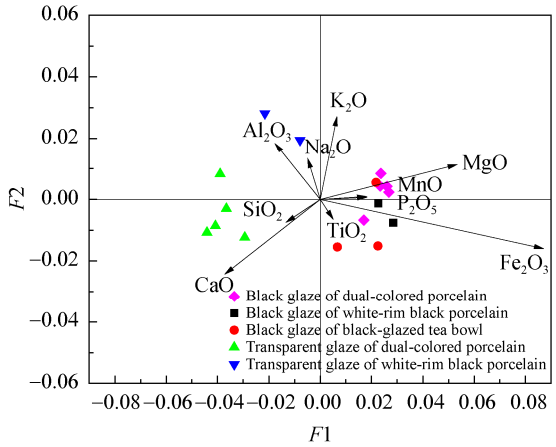
Modern raw material	Elutriation	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3
Nanshan	Before	0.07	0.90	19.81	72.94	2.07	0.33	0.72	2.15
Nanshan	After	0.31	1.15	23.87	66.76	2.74	0.40	0.71	3.06
Litian	Before	0.33	1.13	23.49	68.29	3.58	0.07	0.65	1.46
Nanshan	After	0.27	1.24	23.42	67.53	4.06	0.16	0.67	1.65
Futan	Before	0.19	1.11	25.07	65.50	2.33	0.26	0.66	3.87
Futan	After	0.30	1.21	26.08	64.08	2.59	0.33	0.75	3.67

滩黑泥中的 Fe_2O_3 含量降低了 0.2%外，其他原料中 Fe_2O_3 含量都有一定程度的提高。由此可见，白覆轮、内白外黑双色瓷和黑釉茶盏胎中的 Fe_2O_3 含量差异主要与原料的筛选有关。虽然吉州窑复合装饰瓷均利用当地的绢云母质黏土制胎，但是含铁量不同的制瓷原料被区分开，并用于不同产品的生产。铁含量较高的低品位原料被用作黑釉茶盏的制胎原料，而为了不影响透明釉的装饰效果，铁含量较低的高品位原料则被用作白覆轮及内白外黑双色瓷的制胎原料，以保证胎体白度。不同品位原料的使用也是造成吉州窑复合装饰瓷胎中 SiO_2、Al_2O_3、K_2O 含量差别的原因之一。

2.2.2　吉州窑复合装饰瓷制釉工艺的对比　　图 4 为吉州窑复合装饰瓷釉的化学组成因子载荷图。由图 4 可以看出，黑釉样品点重叠在一起，说明对于不同的复合装饰瓷产品来说，黑釉的组成差别较小。内白外黑双色瓷和白覆轮透明釉样品点分散在 2 处，说明这 2 种透明釉组成存在差异。

由表 2 还可以看出，黑釉属于铁系釉，Fe_2O_3 含量为 4.12%～5.42%。除此之外，釉中的主要熔剂为 K_2O 和 CaO，含量分别为 4.73%～6.91%和 4.45%～6.52%。透明釉中的主要熔剂也为 K_2O 和 CaO，含量分别为 4.87%～7.29%和 4.53%～8.76%。将 Fe_2O_3 作为外加氧化物，利用罗宏杰等提出的钙系釉类型划分方法[10]，计算各样品碱土金属氧化物的系数 b，结果见表 5。由表 5 可以看出，黑釉的 *b* 值在 0.65～0.74 的范围内，透明釉的 *b* 值在 0.58～0.74 的范围内，均属于钙碱釉。

中国古代瓷釉主要利用硅质原料和熔剂按一定比例配制而成。由于吉州窑当地绢云母质粘土中较高的 K_2O 含量，因此，釉中的 K_2O 可能主要由风化较浅的硅质原料引入。而釉中的 CaO 含量则主要由熔剂引入。植物灰和釉灰是中国古代制釉配方中 CaO 的主要来源[11]。根据《陶记》的记载，釉灰是将石灰石与狼萁草堆叠煨烧而成。目前已知釉灰的使用和制备年代可以追溯到北宋徽宗时期[12]。



Factor contribution rate 82.12%;

$F1$=–0.005Na_2O+0.053MgO–0.018Al_2O_3–0.013SiO_2+0.007K_2O–0.037CaO +0.005TiO_2+0.087Fe_2O_3+0.018MnO+0.018P_2O_5;

$F2$=0.013Na_2O+0.011MgO+0.018Al_2O_3–0.007SiO_2+0.027K_2O–0.024CaO–0.006TiO_2–0.016Fe_2O_3+0.001MnO+0.001P_2O_5.

图 4　吉州窑复合装饰瓷釉的化学组成因子载荷图

Fig. 4　Factor loading diagram of the chemical compositions of the glazes of the Jizhou composite decorated porcelains

表 5　吉州窑复合装饰瓷釉的碱土金属氧化物系数 *b* 值

Table 5　RO coefficient *b* value of the glazes of the Jizhou composite decorated porcelains

Sample No.	*b*	
	Black glaze	Transparent glaze
DCB-1	0.67	0.74
DCB-2	0.67	0.64
DCB-3	0.70	0.70
DCB-4	0.67	0.69
DCB-5	0.65	0.74
WRB-1	0.74	0.67
WRB-2	0.66	0.578
BG-1	0.74	
BG-2	0.69	
BG-3	0.73	

然而，植物灰的使用并无明确的文献记载。不过，由于植物灰较釉灰具有更高的 Mn、P 含量，因此，釉中的 MnO 和 P_2O_5 含量是判断制釉配方中熔剂来源的重要依据之一。黑釉中的 MnO 和 P_2O_5 含量分别为 0.23%～0.35%和 0.25%～0.37%，推测可能利

用植物灰制釉。

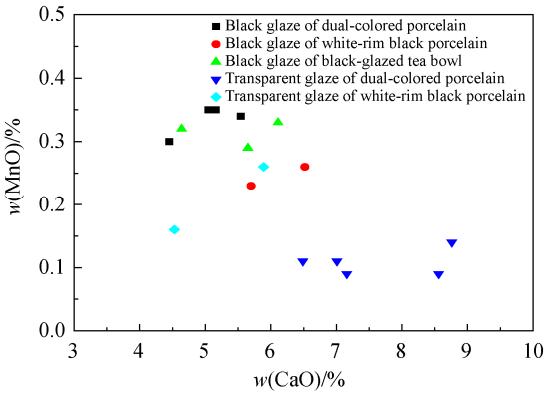
由于目前的考古发掘还未发现高铁的硅质原料，吉州窑周边的植物灰也无法提供足够的 Fe_2O_3 含量[5]，因此，除了风化较浅的绢云母质粘土与植物灰外，黑釉的制釉配方中可能还外加了一部分含铁矿物。这一配方被普遍用于生产吉州窑复合装饰瓷产品中所施的黑釉。由于含铁矿物中的铁元素对于烧成气氛较为敏感[13]，吉州窑复合装饰瓷黑釉较薄处呈现出的棕色说明，其烧成气氛为偏氧化。

图 4 中 MnO、P_2O_5 组成点较为接近，说明釉中的 MnO、P_2O_5 是由同一原料引入。图 5 为吉州窑复合装饰瓷釉 CaO、MnO、P_2O_5 含量对比图。由图 5 可以看出，釉的样品点主要分布在 2 个区域中，白覆轮透明釉样品点与黑釉样品点聚集于分布图的左上方，右下角主要分布有内白外黑双色瓷透明釉样品点。由此说明，白覆轮透明釉的熔剂来源与黑釉一致，可能利用植物灰制釉。相对于其他瓷釉组成，内白外黑双色瓷透明釉中 CaO 含量更高，但是 MnO、P_2O_5 含量更低，说明植物灰并不是内白外黑双色瓷透明釉中的熔剂来源，CaO 和 MnO、P_2O_5 是由不同的原料引入。吉州窑考古发掘出土的由石英、方解石、霰石和球霰石构成的钙质原料[5]可能作为熔剂用于内白外黑双色瓷透明釉的制釉配方之中。

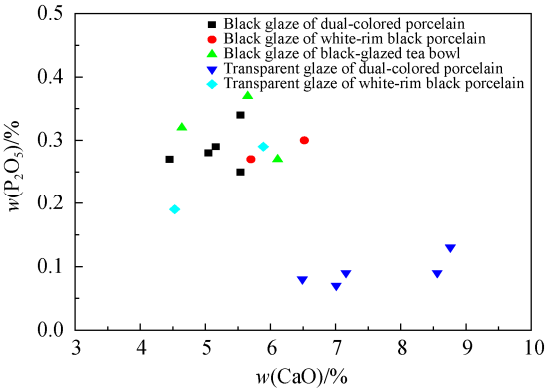
2.2.3 施釉工艺对白覆轮艺术外观的影响 白覆轮的做法是整体施黑釉，随后刮去口沿处釉料，再施加透明釉。这类产品在宋元时期，磁州窑、定窑、涂山窑等南北方黑瓷窑场均有发现[6]。与吉州窑同时期，利用双层釉工艺烧造的黑釉茶盏不同，白覆轮黑白界线分明，呈现规整的艺术效果。

图 6 为白覆轮光学显微镜照片。由图 6a 和图 6b 可以看出，虽然未对肉眼观察产生影响，但是透明釉与黑釉之间仍然存在浅棕色过渡区域。外壁形成的浅棕色区域宽度约为 1 300 μm，内壁形成的浅棕色区域宽度仅有外壁的一半，约为 630 μm。

从图 6c 样品断面的光学显微镜照片可以看到，白覆轮所施透明釉的釉层较薄，仅为 70~100 μm，而黑釉的釉层厚度可达 250～400 μm。内壁(下表面(口沿透明釉下方胎体有明显的修整痕迹，与黑釉下方的胎体形成了约 240 μm 的台阶。而外壁(上表面(胎体则没有观察到修整痕迹。较薄的透明釉层以及刮釉过程对坯体的轻微修整而形成的高度差，使得高温下由于重力作用而流淌的透明釉层聚集在台阶处，有效地阻止了透明釉与黑釉的相互作用，对于保持黑与白鲜明的对比，有明显的效果。该样品外壁刮釉的深度较浅，未对胎体造成影响，因此形成了相对较宽的透明釉与黑釉的过渡区域。



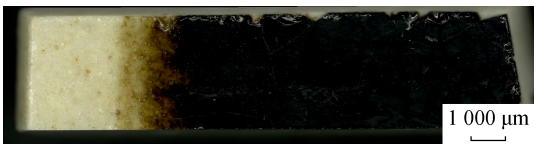
(a) CaO–MnO



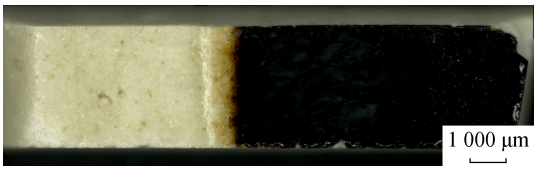
(b) CaO–P_2O_5

图 5 吉州窑复合装饰瓷釉 CaO、MnO、P_2O_5 含量对比图

Fig. 5 Analysis diagrams of CaO、MnO、P_2O_5 contents in the glazes of the Jizhou composite decorated porcelains



(a) Outer wall



(b) Inner wall



(c) Cross-section

图 6 白覆轮光学显微镜照片

Fig. 6 OM images of the white-rim black porcelain

3　结论

1) 吉州窑同时期烧造的黑釉茶盏、白覆轮与内白外黑双色瓷 3 种复合装饰产品在制瓷原料、配方、施釉工艺等方面既存在一致性，也存在差异性。

2) 制胎原料的筛选与处理是导致复合装饰瓷胎中 SiO_2、Fe_2O_3、Al_2O_3、K_2O 含量差异的主要原因。经过精细淘洗，铁含量较低的高品位原料被用于制作白覆轮及内白外黑双色瓷的胎体。而黑釉茶盏除了利用铁含量较高的低品位原料制胎之外，原料处理过程并没有严格控制，或者选用了粗颗粒较多的余渣制胎。

3) 吉州窑复合装饰瓷中所施的黑釉与透明釉均为钙碱釉。风化较浅的绢云母质粘土、植物灰、含铁矿物这一配方被普遍用于黑釉的生产。内白外黑双色瓷和白覆轮透明釉的制釉配方中则采用了不同的熔剂来源。

4) 较薄的釉层与口沿刮釉对坯体的轻微修整而形成的高度差，有效地阻止了透明釉与黑釉的相互作用，是白覆轮保持黑与白界线分明的关键。

参考文献:

[1] 张福康. 中国古陶瓷的科学[M]. 上海: 上海人民美术出版社, 2000.

[2] 余家栋, 陈定荣. 吉州窑遗址发掘报告[J]. 江西历史文物, 1982(3): 1–24.
YU Jiadong, CHEN Dingrong. Cult Relics Jiangxi (in Chinese), 1982(3): 1–24.

[3] XU C, LI W, LU X, et al. Unveiling the science behind the tea bowls from the Jizhou kiln. Part I. Chemical compositions and the two-layer glazing technique[J]. Ceram Int, 2018, 44(7): 8540–8549.

[4] XU C, LI W, LU X, et al. Unveiling the science behind the tea bowls from the Jizhou kiln. Part II. Microstructures and the coloring mechanism[J]. Ceram Int, 2018, 44(16): 19461–19473.

[5] 徐嫦松, 李伟东, 张文江, 等. 吉州窑黑釉瓷胎釉原料分析与配方探讨[J]. 硅酸盐学报, 2018, 46(6): 846–853.
XU Changsong, LI Weidong, ZHANG Wenjiang, et al. J Chin Ceram Soc, 2018, 46(6): 846–853.

[6] 方忆. 宋元时期浙江地区的黑瓷生产及其相关问题初探[J]. 东方博物, 2014(4): 61–68.
FANG Yi. Cult Relics East (in Chinese), 2014(4): 61–68.

[7] 郭演仪. 南北方古代的制瓷原料和瓷器的特征[J]. 景德镇陶瓷学院学报, 1984, 5(1): 55–68.
GUO Yanyi. J Jingdezhen Ceram Inst (in Chinese), 1984, 5(1): 55–68.

[8] 熊理卿, 卢清瑞. 传统手工制瓷泥釉料配制工艺简介[J]. 景德镇陶瓷, 1984(1): 64–67.
XIONG Liqing, LU Qingrui. Jingdezhen Ceram (in Chinese), 1984(1): 64–67.

[9] 李家治. 中国科学技术史[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

[10] 罗宏杰, 李家治, 高力明. 中国古瓷中钙系釉类型划分标准及其在瓷釉研究中的应用[J]. 硅酸盐通报, 1995(2): 50–53.
LUO Hongjie, LI Jiazhi, GAO Liming. Bull Chin Ceram Soc (in Chinese), 1995(2): 50–53.

[11] MA H, HENDERSON J, EVANS J. The exploration of Sr isotopic analysis applied to Chinese glazes: part one[J]. J Archaeol Sci, 2014, 50: 551–558.

[12] 秦大树. 釉灰新证[J]. 考古, 2001(10): 78–82.
QIN Dashu. Archaeol (in Chinese), 2001(10): 78–82.

[13] 施佩, 王芬, 罗宏杰, 等. 五代耀州窑与北宋汝窑及南宋官窑青瓷釉的对比[J]. 硅酸盐学报, 2020, 48(12): 1935–1943.
SHI Pei, WANG Fen, LUO Hongjie, et al. J Chin Ceram Soc, 2020, 48(12): 1935–1943.