

DOI: 10.13957/j.cnki.txb.2021.06.022

南宋官窑与龙泉哥窑釉面成分对比分析

于欢¹, 陈猛¹, 周健儿², 董晓烽², 程家太³

(1. 景德镇学院, 江西 景德镇 333000; 2. 景德镇陶瓷大学, 江西 景德镇 333403;
3. 江西宏瑞新材料有限公司, 江西 丰城 336000)

摘要:通过能量色散 X 射线荧光光谱仪、X 射线衍射仪、扫描电子显微镜等仪器设备对杭州郊坛下南宋官窑和龙泉大窑、溪口瓦窑特征瓷片的瓷釉进行测试表征。结果表明, 瓷釉 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值及 Fe_2O_3 含量的相近是造成两者釉色相近的主要原因。但南宋官窑釉中气泡密集分布, 尺寸在 $10\ \mu\text{m}$ 左右, 结合釉中未熔细小石英晶体的叠加效应共同增强了釉层的漫反射效应, 导致釉面处于半无光的范畴, 均有效增强了釉面的玉质感; 釉式中 Al_2O_3 与 SiO_2 大都处于 $0.40\ \text{mol} \sim 0.54\ \text{mol}$ 及 $3.70\ \text{mol} \sim 5.20\ \text{mol}$ 的较小范围内, 用料考究。龙泉哥窑釉中气泡多处于几十微米至几百微米的较大尺寸范围而略显疏松, 结合较佳的瓷釉玻化程度均导致釉面的光泽度较高; 且因窑口众多, 釉式中 Al_2O_3 与 SiO_2 多处于 $0.40\ \text{mol} \sim 0.63\ \text{mol}$ 及 $3.50\ \text{mol} \sim 6.00\ \text{mol}$ 较大范围内。同时, 南宋官窑釉中 MnO 的含量比龙泉哥窑高约 $1000\ \mu\text{g/g}$, 差距较大, 故 Mn 元素可以作为区分两者瓷釉的指纹元素。

关键词:南宋官窑; 龙泉哥窑; 对比分析; 显微结构; 化学组成

中图分类号: TQ174.4⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1000-2278(2021)06-1072-08

Comparison of Glaze Composition between the Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln

YU Huan¹, CHEN Meng¹, ZHOU Jian'er², DONG Xiaofeng², CHENG Jiatai³

(1. Jingdezhen University, Jingdezhen 333000, Jiangxi, China;
2. Jingdezhen Ceramic University, Jingdezhen 333403, Jiangxi, China;
3. Jiangxi Hongrui New Material Co., Ltd., Fengcheng 336000, Jiangxi, China)

Abstract: In this paper, the characteristics of Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln's glazes were characterized by energy dispersive X-ray fluorescence (XRF) spectrometer, X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and so on from Hangzhou Jiaotianxia, Longquan Dayao and Xikou Wayaoyang. The results show that the glaze color is similar due to the similar content of Fe_2O_3 in the both glaze composition, also the L^* , a^* , b^* values of the glaze are similar. But the smaller size of bubbles in the glaze of Southern Song Guan Kiln and the concentration of bubbles in the glaze at about $10\ \mu\text{m}$. Combined with the superposition effect of unmelted fine quartz crystals in the glaze, the diffuse reflection effect of the glaze is enhanced, which results in the glaze being mostly in the category of semi-matte and effectively enhances the jade texture of the glaze. At the same time, the contents of Al_2O_3 and SiO_2 in glaze formula are mostly in the range of $0.4 \sim 0.54\ \text{mol}$ and $3.70 \sim 5.20\ \text{mol}$, the raw materials used are exquisite. But the bubble size in the glaze of Longquan Ge Kiln are mostly in the range of tens of microns to hundreds of microns, with large size, and the gloss of the glaze is higher combined with the better degree of glaze vitrification; And due to the large number of kiln sites, the contents of Al_2O_3 and SiO_2 in glaze

收稿日期: 2021-06-12。

修订日期: 2021-08-15。

基金项目: 国家自然科学基金(51762023); 江西省科技厅重点项目(20192ACB20018, jxsq2019201036); 景德镇市科技计划项目(2017GYZD021-03, 2021ZDGG006)。

通信联系人: 周健儿(1952-), 男, 博士, 教授。

Received date: 2021-06-12.

Revised date: 2021-08-15.

Correspondent author: ZHOU Jian'er (1952-), Male, Ph.D., Professor.

E-mail: 15961030@qq.com

formula are mostly in the wide range of 0.40~0.63 mol and 3.50~6.00 mol. The content of MnO in glaze of Southern Song Guan Kiln is about 1000 $\mu\text{g/g}$ higher than that of Longquan Ge Kiln. Trace element Mn can be used as a fingerprint element to distinguish between the both glazes.

Key words: Southern Song Guan Kiln; Longquan Ge Kiln; contrastive analysis; microstructure; chemical composition

0 引 言

《云麓漫钞》中记载：“今之太常所用祭器，雅乐，悉绍兴十六年(1146年)礼器局新造，祭器用博古图，乐器用大晟府制度……”，南宋官窑作为宫廷用瓷、专供皇室，传承与发扬了北宋官窑的美学特征及工艺特点，并结合浙江诸窑口的制瓷技术，在北宋官窑金丝铁线、紫口铁足的艺术特征基础上采用本地原料增强了瓷器薄胎厚釉的艺术效果^[1-2]。而龙泉青瓷历史悠久，窑址众多，受宋代审美观念影响，至南宋时期，龙泉地区的黑胎青瓷制作水平得到很大提高，此时的龙泉哥窑瓷釉玉质感较强，部分上乘之作与南宋官窑神似，从而达到以假乱真的效果^[3-4]。故明代高濂在《遵生八笺》中便提出了“官窑品格大率与哥窑相同”。

南宋官窑与龙泉哥窑共处同一历史时期，且同属浙江，地理位置相近，一直是古陶瓷学界的研究热点。整体而言相关研究大都为传统考古学方法。因此，本文运用陶瓷科技考古方法，选取南宋官窑与龙泉哥窑的特征瓷片，从外观特征、化学组成、物相结构、物理性能、显微结构等多角度研究南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉。

1 样品与测试

1.1 样品选取

本次实验沿用《南宋官窑与龙泉哥窑瓷胎的对比分析》^[5]一文中的 47 块南宋时期青瓷瓷片进行瓷釉测试。其中，上述瓷片编号的英文部分由相关窑址全称拼音的首个字母组合缩减为其窑口首字的第一个字母，而数字部分不变，故原编号为 JTX1-JTX3 的 3 块杭州郊坛下南宋官窑残片现记录为 J1-J3、原编号为 DY1-DY24 的 24 块龙泉大窑残片现记录为 D1-D24、原编号为 XKWYY1-XKWYY20 的 20 块龙泉溪口瓦窑埕残片现记录为 X1-X20。

1.2 测试与表征

采用德国 Bruker 公司 D8-Advance 型 X 射线衍射仪对试样瓷釉物相进行定性分析，使用美国

EDAX 公司 Eagle-III 型能量色散 X 射线荧光光谱分析仪测定瓷釉化学组成。选用日本 JEOL 公司 JSM-6700F 型场发射扫描电镜(SEM)对釉面进行显微观察。利用德国卡尔-蔡司股份公司生产的 Stemi508 型体视显微镜和 BK-POLR 型偏光显微镜对样品的微观形貌进行观察，并用 NF-333 型便携式色差计、国产汉普 HP-300 型单角度光泽度测量仪、Lambda850 型紫外-可见分光光度计分别对样品的釉面色度、光泽度、紫外可见光谱区的光源反射值进行测量。

2 结果与讨论

2.1 瓷片的外观分析

结合体视显微镜观察瓷片釉面的形态特征(釉面放大 64 倍)，如图 1 所示。

由图 1(a-c)可知，南宋官窑釉面的气泡尺寸主要集中在 10 μm 左右的范围内，且气泡多而密；而观察图 1(d-i)发现龙泉哥窑釉面的气泡尺寸多数分散在几十微米至上百微米大小的范围内，个别大气泡尺寸高达 200 μm ~300 μm ，气泡尺寸大但数量相对较少。

2.2 瓷釉的光学性能比较分析

本实验南宋官窑与龙泉哥窑共 40 块粉青釉色瓷片、7 块米黄釉色瓷片的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值及光泽度平均值和标准差见表 1。

由表 1 可见，实验选取的古瓷片中粉青色南宋官窑青瓷瓷釉的 L^* 、 a^* 、 b^* 平均值分别为 51.85、-3.67、7.46，而该色调龙泉哥窑的 L^* 、 a^* 、 b^* 平均值分别为 48.38、-4.20、5.35。粉青色的南宋官窑瓷釉的 L^* 、 a^* 、 b^* 值略高于龙泉哥窑。米黄色南宋官窑青瓷瓷釉的 L^* 、 a^* 、 b^* 平均值分别为 52.00、4.84、18.57，而该色调龙泉哥窑的 L^* 、 a^* 、 b^* 平均值分别为 38.70、2.46、12.48。同理，米黄色调南宋官窑瓷釉的 L^* 、 a^* 、 b^* 值也略高于龙泉哥窑。不难看出，与龙泉哥窑相比，南宋官窑釉面的明度 L^* 值较高而蓝绿色调较低，但总体而言，两者瓷釉在外观颜色上的差异较小。

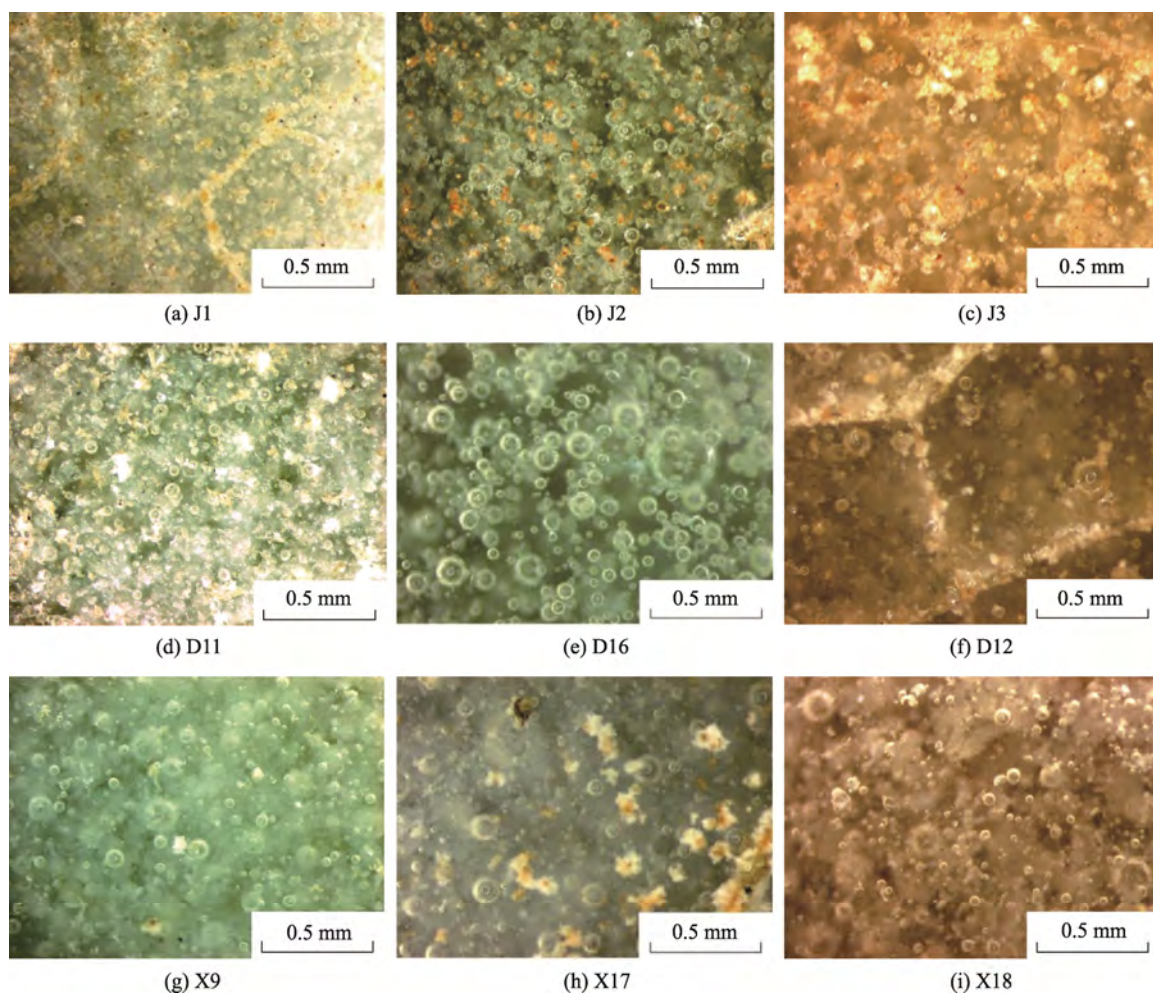


图 1 南宋官窑与龙泉哥窑釉面微观形态

Fig. 1 The glaze surface morphology of the porcelain glazes from the Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln

表 1 南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉 L^* 值、 a^* 值、 b^* 及光泽度平均值Tab. 1 The mean L^* , a^* , b^* and gloss of the glaze from Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln

Samples	The color of the glaze	L^*	a^*	b^*	Gloss
Southern Song Guan Kiln(2 blocks)	pink-green	51.85	-3.67	7.46	46.70
Longquan Ge Kiln(38 blocks)	pink-green	48.38	-4.20	5.35	60.56
Southern Song Guan Kiln (1 block)	cream-colored	52.00	4.84	18.57	45.20
Longquan Ge Kiln(6 blocks)	cream-colored	38.70	2.46	12.48	64.03

南宋官窑粉青色及米黄色瓷釉的光泽度平均值分别为 46.70 及 45.20, 低于龙泉哥窑粉青色及米黄色瓷釉的光泽度平均值(分别为 60.56 及 64.03)。即南宋官窑釉面的镜面反射能力低于龙泉哥窑。

采用紫外-可见分光光度计测量上述瓷片的分光反射率(编号 X9 号残器形制不符合测试要求而未能测量), 相应的分光反射率光谱见图 2。其中, 图 2(a)粉青色瓷釉的分光反射率峰值在 500 nm ~

550 nm 波长范围之内, 龙泉哥窑瓷釉在波长 450 nm ~ 700 nm 可见光范围内的分光反射率低于南宋官窑瓷釉; 图 2(b)米黄色瓷釉的分光反射率峰值在 600 nm ~ 700 nm 波长范围之内, 龙泉哥窑瓷釉在波长 500 nm ~ 900 nm 范围内的分光反射率亦低于南宋官窑瓷釉。

因此, 南宋官窑釉面对光的反射能力高于龙泉哥窑, 这也是造成前者釉面明度 L^* 值高于后者的主要原因。

2.3 烧成温度及瓷釉结构对比分析

本实验古瓷片的烧成温度是根据胎的耐火度经验公式^[6]及瓷釉的熔融温度计算公式^[7]共同推算。古瓷片瓷胎的化学组成测试数据在《南宋官窑与龙泉哥窑瓷胎的对比分析》^[5]一文中已列出，而瓷釉的化学组成见表 3。其中，耐火度经验公式如式(1)^[6]：

$$T=5.2A+1557-12RO$$
 (1)

式中： T 为胎的耐火度； A 为 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ 中 100%时， Al_2O_3 的百分含量； RO 为 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3=100\%$ 时，其他氧化物的百分含量。

釉的熔融温度系数 K 可用式(2)计算^[7]：

$$K=(a_1w_{a1}+a_2w_{a2}+\cdots a_iw_{ai})/(b_1w_{b1}+b_2w_{b2}+\cdots b_iw_{bi})$$
 (2)

式中， $a_1、a_2\cdots a_i$ 为易熔氧化物熔融温度系数； $b_1、b_2\cdots b_i$ 为难熔氧化物熔融温度系数； $w_{a1}、w_{a2}\cdots w_{ai}$ 为易熔氧化物质量分数； $w_{b1}、w_{b2}\cdots w_{bi}$ 为难熔氧化物质量分数。

由表 2 的计算结果可知：南宋官窑瓷胎的理论烧成温度比龙泉哥窑低 12.4 °C，且瓷釉理论的熔融温度比龙泉哥窑低 11.1 °C。与文献[8]中关于南宋官窑的烧成温度应略低于龙泉哥窑的结论相符。

根据图 1 釉面效果观察，J1、D11、X9 三块瓷片分别与 J2、D16、X17 相比，气泡的尺寸偏小且数量较多，均有利于增加釉面的玉质感；而 J3、D12、X18 三块瓷片为米黄色瓷釉，不符合南宋时期尚玉之风而追求瓷釉玉质感的主流审美。故选取 J1、D11、X9 三块瓷片进行瓷釉的结构对比分析。

图 3 为南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉的 XRD 及断面显微结构图，X 射线衍射观察到南宋官窑与龙泉哥窑的釉中均含石英晶体，但南宋官窑釉中的石英晶体含量低于龙泉哥窑^[9]。文献记载南宋官窑是采用最优质的制瓷原料及细腻的原料加工方式制作产品^[10]，故南宋官窑釉中的残留石英颗粒尺寸及含量均低于龙泉哥窑瓷釉。两者瓷釉的断面显微结构亦可观察到，南宋官窑瓷釉中气泡尺寸小而数量多，瓷釉的玻化程度较差；相反龙泉哥窑瓷釉中气泡尺寸大、数量少，但玻璃相较较多。

由此可知，南宋官窑因釉中的气泡尺寸小且密于龙泉哥窑瓷釉，结合悬浮在釉中未熔细小石英晶体的叠加效应，在釉层内形成较强的漫反射效应，使得前者釉面的光泽度虽低于龙泉哥窑，但其分光反射率却高于后者。可以得出相关结论：即南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉相比，其镜面反射能

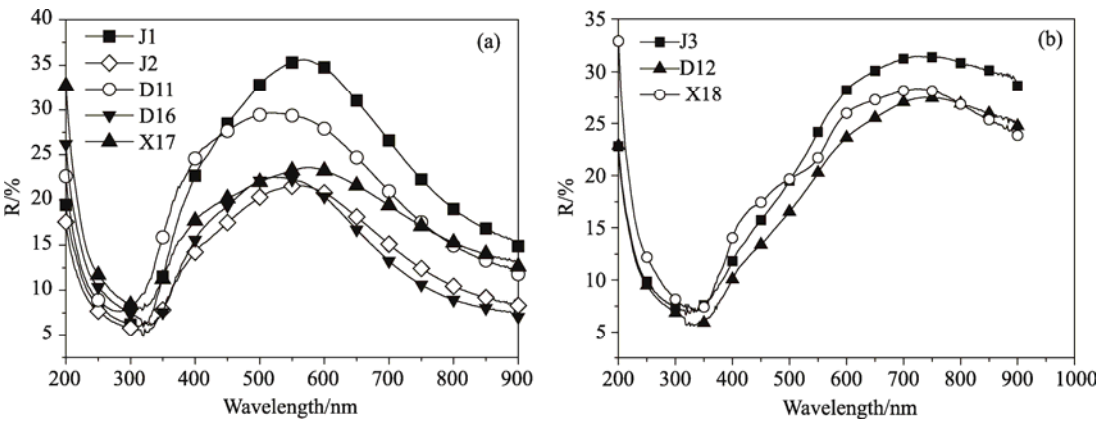


图 2 南宋官窑与龙泉哥窑的釉面分光反射率(a)粉青色，(b)米黄色
Fig. 2 The spectral reflectance of the glaze in Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln
(a) The pink-green color, (b) The cream-colored color

表 2 南宋官窑与龙泉哥窑胎、釉理论烧成温度
Tab. 2 The theoretical firing temperature in the body and glaze of Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln

Samples	Theoretical firing temperature of porcelain body (°C)	Theoretical firing temperature of porcelain glaze (°C)
Southern Song Guan Kiln 3 blocks	1289.00±3.40	1389.00±12.57
Longquan Ge Kiln 44 blocks	1301.40±14.46	1400.10±18.27

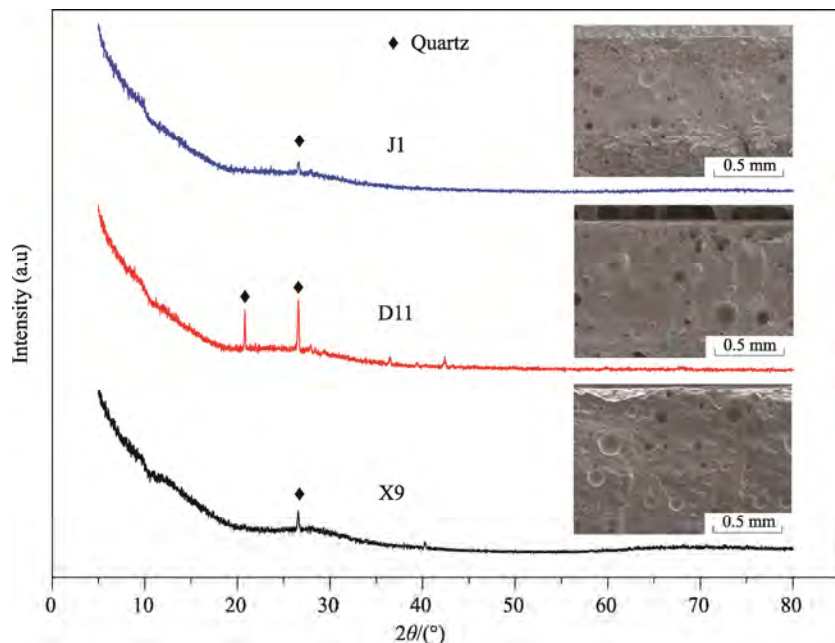


图3 南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉的 XRD 和断面结构图

Fig. 3 The XRD and section structure pictures of glazes in Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln

力及透光度虽低于后者，但釉中漫反射能力却远高于后者，使其整体对光的反射能力也高于后者。

南宋官窑因烧成温度较低，使得瓷釉的玻化程度较低，同时，釉中的大量细小气泡结合一定量未熔细小的石英晶体，均有效提高了瓷釉的玉质感，而龙泉哥窑烧成温度较高，使得瓷釉的玻化程度较高，并且釉中的小气泡因热动力条件较好而在上升的过程中不断汇聚成大气泡，使其釉面的玉质效果欠佳。

从图 4 可见，南宋官窑的胎釉中间层玻璃相少，钙长石晶体发育情况不佳；而龙泉哥窑的胎釉中间层玻璃相多，钙长石晶体发育情况良好。结合烧成温度分析可知，南宋官窑烧成温度普遍低于龙泉哥窑，其坯釉之间反应的热动力条件较差，导致南宋官窑胎釉中间层晶体的发育状况不及龙泉哥窑。

因此，在合理的瓷胎烧成温度范围之内，瓷釉选择较低的烧成温度可以使釉面具备良好的玉质感，符合南宋官窑“袭故京遗制”以及南宋皇室对北宋尚玉之风的情感追溯；而较高的烧成温度则增加了釉面的光泽度及透明度，为南宋晚期梅子青釉出现打下了一定的技术基础，符合南宋时期龙泉哥窑民营属性的多元化特征^[11]。

2.4 瓷釉的化学组成分析

通过对南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉的化学组成

进行分析，掌握两者在 Al_2O_3 与 SiO_2 摩尔含量、着色氧化物 Fe_2O_3 、 TiO_2 含量等方面的异同点，并以此推断各自的烧造工艺。

表 3 列出了南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉的主次量元素化学组成含量。由表 3 可知，南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉的化学组成差别较大。其特征为：一是郊坛下南宋官窑试样瓷釉的 SiO_2 含量平均值为 66.34，而大窑与溪口瓦窑垆龙泉哥窑瓷釉的 SiO_2 含量平均值分别为 69.24 与 69.45，南宋官窑中瓷釉的 SiO_2 含量比龙泉哥窑低 4.37%；二是南宋郊坛下南宋官窑瓷釉的 Al_2O_3 含量平均值为 14.02，而大窑青瓷与溪口瓦窑垆龙泉哥窑瓷釉的 Al_2O_3 含量平均值分别为 12.88 与 12.83，南宋官窑中瓷釉的 Al_2O_3 含量却比龙泉哥窑高 8.27%。整体而言南宋官窑瓷釉与龙泉哥窑相比呈现高铝低硅的特点。

根据文献[12]中南宋官窑瓷釉化学组成并结合瓷片相关测试数据，将相关组分中的 Al_2O_3 与 SiO_2 含量换算为釉式。其中，南宋官窑釉式的 Al_2O_3 与 SiO_2 多处于 0.40 mol ~ 0.54 mol 及 3.70 mol ~ 5.20 mol 的较小范围内，其釉面多呈半无光状态；而龙泉哥窑瓷釉的 Al_2O_3 与 SiO_2 的大都处于 0.40 mol ~ 0.63 mol 及 3.50 mol ~ 6.00 mol 范围内，该瓷釉多处于透明釉的范畴。根据两地瓷釉的特点可以推断，南宋官窑瓷釉配方相对稳定，符合其官府督造、用料考究、工艺严苛的皇家用

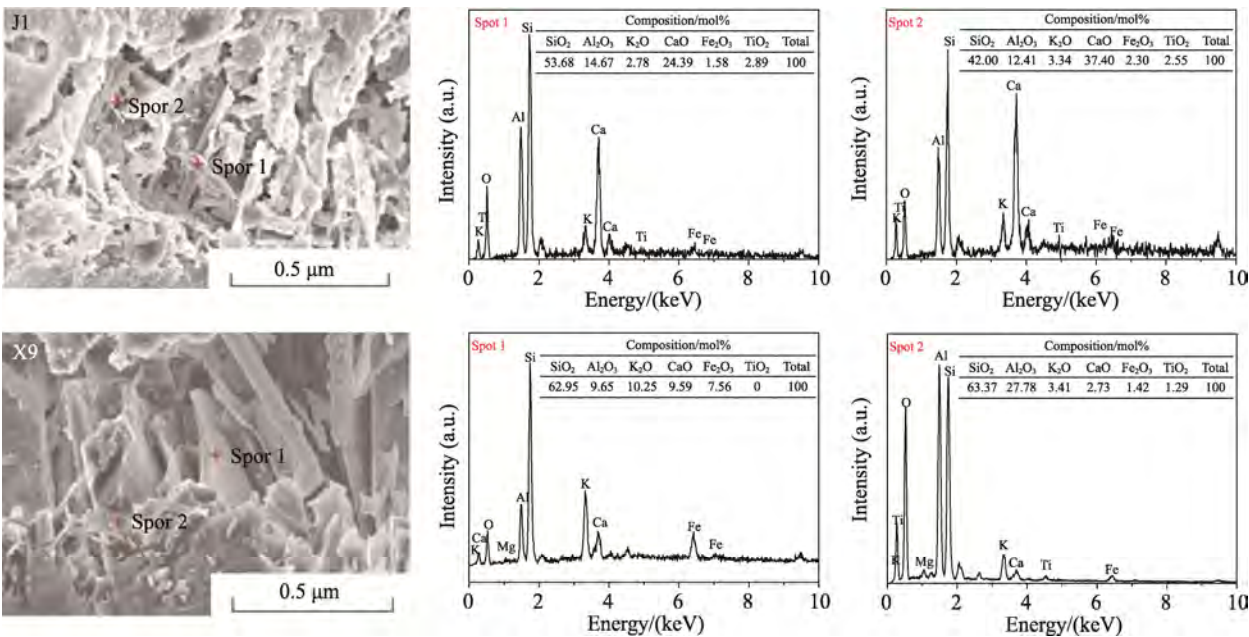


图 4 南宋官窑与龙泉哥窑胎釉中间层的 SEM/EDS 测试

Fig. 4 SEM/EDS testing with the middle layer of body and glaze in Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln

表 3 南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉主次量元素化学组成

Tab.3 The chemical compositions of glaze by primary and secondary elements in Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln

Samples	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
J1-J3	66.34±1.00	14.02±0.52	0.91±0.15	0.12±0.02	12.53±0.40	0.97±0.06	3.85±0.56	0.26±0.08
D1-D24	69.24±1.96	12.88±0.77	0.83±0.20	0.06±0.02	10.21±2.07	0.67±0.22	4.71±0.61	0.40±0.18
X1-X20	69.45±1.88	12.83±0.78	0.83±0.18	0.05±0.01	10.04±1.81	0.66±0.20	4.78±0.56	0.36±0.20

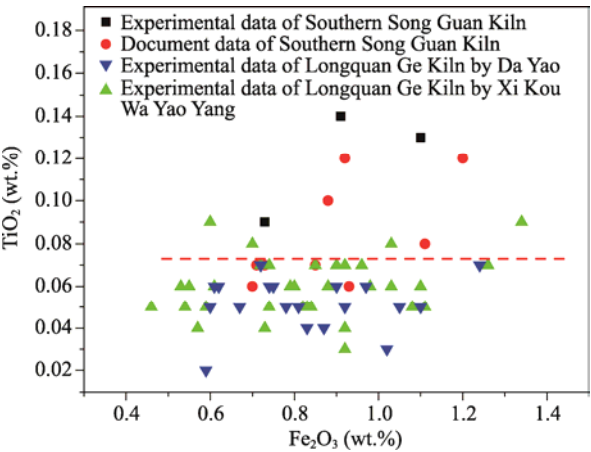


图 5 南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉 Fe₂O₃ 与 TiO₂ 含量/wt. %

Fig. 5 The content of Fe₂O₃ and TiO₂ in the glaze of Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln /wt. %

瓷标准^[13]；而同时期龙泉哥窑由于窑口众多，导

致瓷釉的配方差异性较大。

从图 5 可以看出，南宋官窑瓷釉组成中的 Fe₂O₃ 含量在 0.70 wt.% ~ 1.30 wt.% 范围内；而龙泉哥窑瓷釉的 Fe₂O₃ 含量分布较广，在 0.45 wt.% ~ 1.35 wt.% 的范围，该区间包含了前者的 Fe₂O₃ 含量范围。青瓷呈色主要与着色氧化物 Fe₂O₃ 的含量及烧成过程中的还原气氛有关，文献记载两地窑工彼此在南宋时期均存在技术交流与工艺借鉴的情况^[14-15]，使得两地的制瓷工艺相似度较高。故可推断，由于大部分龙泉哥窑瓷釉的 Fe₂O₃ 的含量与南宋官窑相近，使得两者在外观呈色上十分相似而难以区分。

此外，瓷釉组成中南宋官窑 TiO₂ 的含量在 0.06 wt.% ~ 0.17 wt.% 范围内，大都高于龙泉哥窑 TiO₂ (0.02 wt.% ~ 0.09 wt.%) 含量，推断南宋官窑制釉原料的 TiO₂ 含量高于龙泉哥窑^[5]。

表 4 南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉痕量元素化学组成/($\mu\text{g/g}$)Tab.4 The chemical compositions of glaze trace elements in Southern Song Guan Kiln and Longquan Ge Kiln /($\mu\text{g/g}$)

Samples	MnO	CuO	ZnO	PbO ₂	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	P ₂ O ₅
J1-3	2157±201	67±25	133±26	53±18	170±29	623±160	50±14	283±74	1433±123
D1-24	903±295	53±23	104±34	65±43	260±59	728±133	38±9	153±21	1064±284
X1-20	453±245	475±272	81±40	77±44	177±109	463±208	346±206	93±55	560±271

表 4 为南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉痕量元素化学组成含量,结合文献[16]中南宋官窑瓷釉化学组成中的 MnO 含量可知,南宋官窑瓷釉的 MnO 含量比龙泉哥窑高 1000 $\mu\text{g/g}$ 左右,差距较大。因此, Mn 元素可以作为区分南宋官窑与龙泉哥窑瓷釉的指纹元素。

3 结 论

(1) 瓷釉的化学组成测试分析可知,南宋官窑的 Fe_2O_3 含量(0.70 wt.% ~ 1.30 wt.%)处于龙泉哥窑 Fe_2O_3 含量范围内(0.45 wt.% ~ 1.35 wt.%), Fe_2O_3 含量相近是造成两者釉色相似的主要因素之一。但南宋官窑较之龙泉哥窑表现出高铝低硅的特点。其中,南宋官窑釉式中 Al_2O_3 与 SiO_2 多处于 0.40 mol ~ 0.54 mol 及 3.70 mol ~ 5.20 mol 范围内,化学组成范围较小,用料考究;而龙泉哥窑因烧造窑口众多,釉式中 Al_2O_3 与 SiO_2 多处于 0.40 mol ~ 0.63 mol 及 3.50 mol ~ 6.00 mol 较大范围内。同时,南宋官窑釉中的 MnO 含量比龙泉哥窑高约 1000 $\mu\text{g/g}$,差距较大,故 Mn 元素可以作为区分两者瓷釉的指纹元素。

(2) 显微结构测试表明,南宋官窑釉中的气泡密集分布,气泡尺寸大都集中在 10 μm 左右;但龙泉哥窑釉中的气泡多数处于几十微米至几百微米的较大范围内而略显疏松。同时,南宋官窑釉中的残留石英含量低于龙泉哥窑,釉面的玻化程度也不及龙泉哥窑瓷釉。

(3) 南宋官窑釉面的 L^* 、 a^* 、 b^* 的平均值虽略高于龙泉哥窑,但两者外观颜色差异较小。然而,南宋官窑的釉面玉质感要高于龙泉哥窑,这是由于前者釉中气泡小而密的状态特征结合悬浮在釉中未熔细小石英晶体的叠加效应,使得光线在釉层内形成较强的漫反射效应,导致南宋官窑釉面的光泽度低于龙泉哥窑。

参考文献:

- [1] 唐俊杰. 祭器、礼器、“邵局”——关于南宋官窑的几个问题[J]. 故宫博物院院刊, 2006(6): 45-60+156.
TANG J J. Palace Museum Journal, 2006(6): 45-60+156.
- [2] 邓禾颖. 南宋官窑探微——对南宋官窑若干问题的回顾与思考[J]. 东南文化, 2003(5): 69-72.
DENG H Y. Southeast Culture, 2003(5): 69-72.
- [3] 朱文科. 龙泉窑烧造始末[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2012(3): 9-14.
ZHU W K. Identification and Appreciation of Cultural Relics, 2012(3): 9-14.
- [4] 邱晓新. 基于技术史的龙泉青瓷发展思考 [D]. 景德镇陶瓷学院, 2011.
- [5] 包启富, 于欢, 董伟霞, 等. 南宋官窑与龙泉哥窑瓷胎的对比分析[J]. 陶瓷学报, 2021, 42(1): 122-129.
BAO Q F, YU H, DONG W X, et al. Journal of Ceramics, 2021, 42(1): 122-129.
- [6] 顾幸勇, 吴丽清. “粘土耐火度计算新方法初探”的再商讨[J]. 中国陶瓷, 1989(6): 17-19.
GU X Y, WU L Q. China Ceramics, 1989(6): 17-19.
- [7] 马铁成. 陶瓷工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.
- [8] 段鸿莺, 李合, 王光尧. 浙江龙泉哥窑与杭州老虎洞官窑青瓷瓷片的对比研究[A]. 史宁, 苗建民. 宋代五大名窑科学技术国际学术讨论会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [9] 于欢, 李其江, 包启富, 等. 南宋时期官窑青瓷与龙泉青瓷的对比分析[J]. 中国陶瓷, 2019, 55(6): 47-54.
YU H, LI Q J, BAO Q F, et al. China Ceramics, 2019, 55(6): 47-54.
- [10] 叶国珍, 叶佳星, 徐舜. 南宋官窑制瓷技术和文化艺术[J]. 中国陶瓷工业, 2012, 19(2): 241-257.
YE G Z, YE J X, XU S. China Ceramic Industry, 2012, 19(2): 241-257.

- [11] 李国桢, 叶宏明. 龙泉青瓷釉的研究[J]. 硅酸盐学报, 1964(1): 1-13+65-66.
LI G Z, YE H M. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1964(1): 1-13+65-66.
- [12] 周少华, 陈全庆. 杭州南宋郊坛下官窑原料的研究[J]. 中国陶瓷, 1994(2): 58-62.
ZHOU S H, CHEN Q Q. China Ceramics, 1994(2): 58-62.
- [13] 吴艳芳. 明代景德镇仿龙泉青瓷与龙泉青瓷对比研究 [D]. 景德镇陶瓷学院, 2013.
- [14] 王少宇. 从龙泉窑青瓷碗的风格演变看龙泉窑的历史变迁[J]. 中国陶瓷, 2018, 54(2): 85-89.
WANG S Y. China Ceramics, 2018, 54(2): 85-89.
- [15] 俞锦辉. 论南宋官窑与龙泉窑的关系 [D]. 景德镇陶瓷学院, 2013.
- [16] 周少华, 付略, 梁宝鏊. EDXRF 微量元素分析在文物断源断代中的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(5): 1181-1185.
ZHOU S H, FU L, LIANG B L. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(5): 1181-1185.

(编辑 王三海)