

湖田窑宋代青白瓷的组成及呈色特征

吴军明^{1,2}, 马泓蛟¹, 潜伟^{1*}, 郑乃章², 海金霞²

1. 北京科技大学科技史与文化遗产研究院, 北京 100083

2. 景德镇陶瓷大学古陶瓷研究中心, 江西 景德镇 333001

摘要 景德镇宋代以生产青白瓷而闻名, 其中湖田窑又是景德镇宋代窑址中最典型的一处, 其生产的青白瓷精巧细致, 有“假玉器”和“饶玉”之称。研究采用能量色散 X 荧光光谱分析仪和色差计, 分析了湖田窑宋代青白瓷的胎、釉化学组成和色度值, 初步探讨了不同时期青白瓷的组成、配方和呈色特征。研究表明, 湖田窑北宋和南宋青白瓷胎体组成特征基本一致, 均与当地瓷石原料较为接近, 极有可能采用了附近的三宝瓷石原料制胎。瓷釉组成结果显示釉中含有较高的 CaO 和一定量的 MnO 和 P₂O₅, 表明湖田窑青白瓷釉为“钙釉”, 且釉料配方中引入了一定量的草木灰。色度分析结果显示, 湖田窑北宋和南宋青白瓷釉主波长分别为 500 和 496 nm 左右, 均落在可见光波的绿色波段。但对比北宋和南宋瓷釉组成和色度结果发现, 北宋青白瓷釉无论是组成还是色度数据结果均较南宋更为分散, 且南宋青白瓷釉层呈色相较北宋样品 b 值更小, 釉色更为偏蓝。研究认为, 湖田窑青白瓷从北宋至南宋, 釉料配方经历了从探索逐渐走向成熟、稳定的过程。研究结果不仅为景德镇湖田窑青白瓷的断源断代提供了数据支撑, 也为湖田窑青白瓷制瓷技艺的传承和传播提供了一定的科学素材。

关键词 景德镇; 湖田窑; 青白瓷; 组成; 色度

中图分类号: O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)12-3855-06

引言

湖田窑址位于今景德镇市区东南约 4 km 的竟城镇湖田村, 如图 1 所示^[1], 窑业生产始于五代, 入宋以后, 以生产色质如玉的青白瓷为主, 至北宋晚期, 湖田窑逐渐在众窑场中脱颖而出, 从而成为景德镇乃至全国宋代诸窑之首, 并对周边地区青白瓷生产产生了深远的影响^[2]。自 1988 年至今, 湖田窑已经经历了 10 余次考古发掘, 出土了大量丰富的青白瓷标本、窑具等相关遗物, 为研究和探析湖田窑的文化和科技内涵提供了丰富的素材^[1]。近年来, 在湖田窑青白瓷起源与发展^[3]、装饰技法^[4]、时代特征^[5]、制作工艺^[6-7], 及其与我国其他地区青白瓷之间的关系^[8]等方面均进行了一些有益的研究工作。然而针对宋代湖田窑的呈色等内容的研究尚较为欠缺, 因此研究将采用能量色散 X 荧光光谱分析和色差计等光谱学分析方法, 对湖田窑出土的两宋青白瓷样品的胎釉组成及色度进行测试分析, 以探讨其组成、呈色及原料配方等内容。



图 1 湖田窑址地理位置图
Fig. 1 Map of Hutian kiln Site

收稿日期: 2019-02-24, 修订日期: 2019-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51862018, 51802017), 江西省教育厅项目(GJJ160879, JD15114)资助

作者简介: 吴军明, 1983 年生, 景德镇陶瓷大学副教授, 北京科技大学博士研究生 e-mail: woshiwxb@126.com

* 通讯联系人 e-mail: qianwei@ustb.edu.cn

1 实验部分

实验采用美国 EDAX 公司生产的 Eagle-III 型能量色散 X 荧光(EDXRF)无损分析仪,以 300 μm 束斑、50 kV 管压、200 μA 管流条件下,测试分析了景德镇湖田窑出土的 11 件

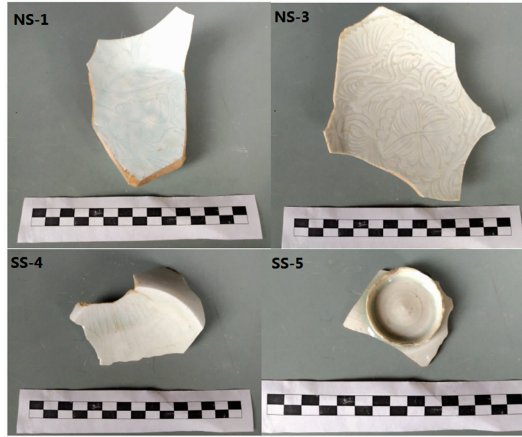


图 2 典型样品照片

Fig. 2 Photograph of some typical samples

北宋青白瓷样品(NS-1—NS-11)和 8 件南宋青白瓷样品(SS-1—SS-8),及景德镇周边常见瓷石原料(如图 2、图 3 所示)的化学组成,结果见表 1(“Porcelain Stone”缩写为“PS”)、表 2 和图 4、图 5 所示。为了确保无损测试的准确性和可比性,实验采用了中国科学院上海硅酸盐研究所和景德镇陶瓷大学古陶瓷研究所研制的古陶瓷无损测试专用系列标准参考物质,并用该仪器随带的软件 Delta-1 建立了各元素的标准曲线。

此外,实验还采用日本电色公司生产的 NF333 型色差计,对代表性样品釉面色度进行了测试,结果见表 3 和图 6、图 7。

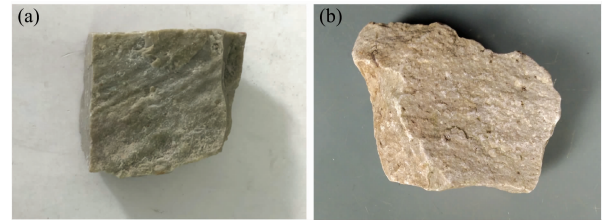


图 3 景德镇周边代表性瓷石原料

Fig. 3 Porcelain stone of Sanbao (a) and Yaoli (b) in Jingdezhen

表 1 青白瓷胎和周边代表性瓷石的主次要元素组成/Wt%

Table 1 Chemical composition of the bodies and local porcelain stones by EDXRF

No.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
NS-1	0.72	0.46	16.54	76.59	3.33	0.74	0.05	0.57
NS-2	1.23	0.26	17.25	75.85	3.31	0.41	0.03	0.65
NS-3	0.81	0.40	18.10	74.79	3.23	0.88	0.04	0.75
NS-4	1.00	0.35	20.11	72.43	3.27	0.89	0.08	0.87
NS-5	1.79	0.31	18.09	74.14	3.42	0.33	0.04	0.87
NS-6	1.45	0.14	16.14	77.04	2.51	0.77	0.07	0.88
NS-7	1.55	0.09	18.30	75.20	2.89	0.37	0.02	0.76
NS-8	2.07	0.46	19.42	72.10	3.45	0.75	0.03	0.73
NS-9	1.49	0.35	17.56	74.69	3.31	0.86	0.04	0.69
NS-10	0.57	0.57	17.39	76.05	2.83	0.82	0.07	0.69
NS-11	1.51	0.07	20.23	72.36	2.72	0.84	0.18	1.10
SS-1	0.52	0.55	17.31	75.94	3.08	0.90	0.04	0.65
SS-2	1.22	0.33	16.05	77.27	2.73	0.68	0.07	0.66
SS-3	1.23	0.63	15.14	77.64	2.62	0.99	0.07	0.67
SS-4	1.35	0.31	16.31	75.91	3.22	1.23	0.06	0.62
SS-5	1.23	0.43	19.33	72.89	3.54	0.72	0.09	0.76
SS-6	1.42	0.54	17.62	75.23	2.74	0.71	0.04	0.70
SS-7	1.38	0.48	20.95	71.64	2.84	0.92	0.06	0.73
SS-8	1.68	0.16	17.41	75.49	2.74	0.57	0.04	0.91
Sanbao PS	1.18	0.17	15.96	76.91	4.31	0.73	0.02	0.73
Yaoli PS	2.56	0.26	25.70	65.17	5.40	0.13	0.10	0.68
Guixi PS	1.13	0.36	21.84	71.51	3.37	0.77	0.06	0.96
Ningcun PS	0.28	0.34	19.05	77.74	1.82	0.40	0.01	0.35
Nangang PS	0.28	0.27	15.76	78.41	3.04	1.41	0.09	0.74
Qimen PS	3.18	0.11	21.71	69.53	3.22	1.29	0.03	0.92

表 2 青白瓷釉的主次量元素组成/Wt%

Table 2 Chemical composition of the glazes by EDXRF/Wt%

No.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅
NS-1	0.41	0.73	12.39	68.13	1.76	14.67	0.03	0.89	0.15	0.14
NS-2	0.23	1.93	12.41	67.16	2.08	14.19	0.05	0.95	0.10	0.23
NS-3	0.47	0.91	13.41	65.27	1.47	16.69	0.05	0.73	0.10	0.09
NS-4	1.41	0.54	13.82	62.77	1.78	17.57	0.04	1.06	0.08	0.11
NS-5	1.40	0.63	12.88	67.41	1.90	13.76	0.03	0.98	0.10	0.07
NS-6	1.42	0.53	12.33	66.15	1.66	15.64	0.04	1.23	0.09	0.07
NS-7	1.06	0.09	13.35	65.89	2.00	15.54	0.04	1.04	0.06	0.07
NS-8	1.49	1.48	12.28	60.67	1.45	20.88	0.05	0.71	0.11	0.18
NS-9	1.00	1.79	11.21	66.13	1.81	15.94	0.05	1.06	0.19	0.30
NS-10	1.12	0.58	12.68	68.96	1.64	12.83	0.04	1.15	0.11	0.07
NS-11	1.18	0.27	12.96	68.68	2.74	11.77	0.03	1.37	0.07	0.07
SS-1	0.24	0.70	13.48	66.07	1.69	15.79	0.04	0.99	0.07	0.06
SS-2	1.33	0.79	13.84	64.91	1.64	15.46	0.05	0.98	0.06	0.08
SS-3	1.20	0.47	13.86	65.80	1.79	14.86	0.03	1.01	0.05	0.09
SS-4	0.36	1.19	12.88	64.85	1.63	16.97	0.05	1.07	0.07	0.09
SS-5	1.30	0.66	13.77	66.12	2.38	13.85	0.04	0.87	0.07	0.08
SS-6	0.36	0.34	14.31	66.03	1.79	14.90	0.07	1.21	0.06	0.08
SS-7	1.58	0.31	13.38	67.76	1.87	13.24	0.04	0.81	0.05	0.06
SS-8	0.53	0.73	13.70	65.40	1.54	15.92	0.04	1.14	0.06	0.08

表 3 青白瓷釉色度测试结果

Table 3 Chromaticity of the bluish white glazes

No.	X	Y	Z	x	y	z	L	a	b
NS-1	50.39	54.68	62.05	0.301 5	0.327 2	0.371 3	73.95	-7.81	2.08
NS-2	37.53	40.84	43.63	0.307 6	0.334 8	0.357 6	63.91	-7.05	4.32
NS-3	48.9	52.84	54.81	0.312 3	0.337 6	0.350 1	72.69	-7.19	6.24
NS-4	47.31	51.77	56.01	0.305 1	0.333 8	0.361 1	71.95	-8.57	4.28
NS-5	45.23	48.96	47.91	0.318 3	0.344 5	0.337 2	69.97	-7.1	8.44
NS-6	41.99	45.49	44.8	0.317 4	0.343 9	0.338 7	67.45	-6.94	7.89
NS-7	44.41	48.13	45.93	0.320 7	0.347 6	0.331 7	69.38	-7.19	9.37
NS-8	37.94	41.82	44.48	0.305 4	0.336 6	0.358	64.67	-8.47	4.54
NS-9	48.13	52.09	53.77	0.312 6	0.338 3	0.349 2	72.17	-7.3	6.41
NS-10	39.94	43.25	42.39	0.318 1	0.344 4	0.337 6	65.76	-6.7	7.87
NS-11	37.56	41.47	45.96	0.300 5	0.331 8	0.367 7	64.4	-8.61	2.82
SS-1	46.53	50.36	53.51	0.309 4	0.334 8	0.355 8	70.96	-7.19	5.03
SS-2	44.43	48.28	53.85	0.303 2	0.329 4	0.367 4	69.49	-7.49	2.76
SS-3	37.17	40.34	41.84	0.311 4	0.338	0.350 6	63.51	-6.74	5.45
SS-4	52.94	57.22	58.83	0.313 3	0.338 6	0.348 1	75.65	-7.5	6.91
SS-5	49.06	53.15	57.26	0.307 7	0.333 3	0.359 1	72.9	-7.5	4.53
SS-6	38.97	42.57	44.44	0.309 3	0.337 9	0.352 8	65.25	-7.62	5.35
SS-7	31.83	34.95	37.47	0.305 3	0.335 3	0.359 4	59.12	-7.38	3.86
SS-8	36.52	39.62	40.33	0.313 5	0.340 2	0.346 3	62.95	-6.63	6.13

2 结果与讨论

2.1 胎、釉组成特征分析

从表 1 中胎体化学组成结果可看出, 湖田窑北宋和南宋青白瓷胎体组成总体特征相似, 均具有“高硅低铝”的典型特征^[9]。其中胎体中 Al₂O₃ 含量均值在 18% 左右、SiO₂ 的含量均值在 75% 左右、Na₂O 含量均值在 1.3% 左右、K₂O 含量

均值在 3% 左右, 与表 1 中景德镇周边所产瓷石原料组成对比可发现, 化学组成特征非常相似。从图 4 中湖田窑青白瓷胎体与景德镇周边地区所产瓷石原料硅铝质量比和钾钠质量比二维散点图中可更直观地看出, 湖田窑两宋时期青白瓷胎体组成基本处在同一范围内, 与三宝瓷石、祁门瓷石和贵溪瓷石组成点基本处在同一区域, 其中相比三宝瓷石仅 SiO₂/Al₂O₃ 稍微偏低。景德镇古代采用瓷石制胎需经过水碓等工具进行粉碎、淘洗等工艺处理, 而淘洗过程中在池底

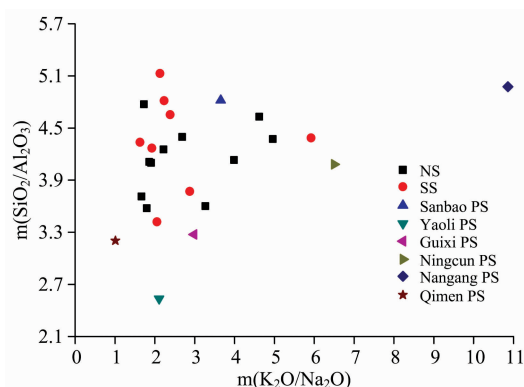


图 4 胎体和周边瓷石 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 质量比散点图

Fig. 4 Scatter plot of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ mass ratios of bodies and porcelain stones

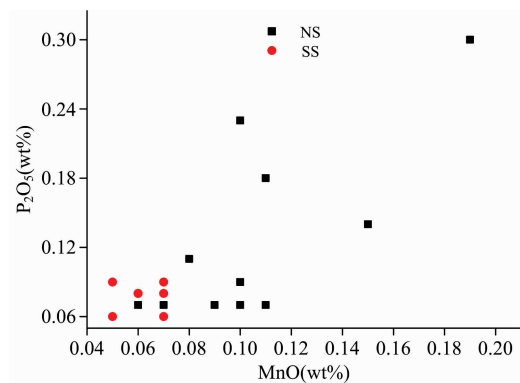


图 5 青白瓷釉 MnO 和 P_2O_5 含量散点图

Fig. 5 Scatter plot of MnO and P_2O_5 of glazes

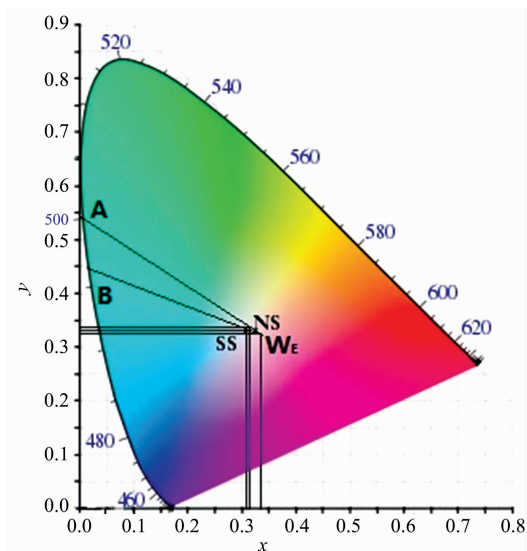


图 6 瓷釉色度结果 CIE 色度空间分布图

Fig. 6 The CIE spatial chromaticity of glazes

和排沙沟中沉积的主要是富硅的石英等矿物，这也是淘洗、沉淀后制备的瓷石精泥 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比高于瓷石原矿的主要原因。可见，湖田窑宋代青白瓷应是以周边盛产的单一瓷

石原料制胎，且极有可能就是选用了离湖田窑相距不到 5 km 的三宝瓷石，至少可说明此次分析的湖田窑北宋至南宋青白瓷胎尚未使用高岭土，这也为高岭土的始用年代之争中景德镇宋代瓷胎是否使用了高岭土提供了一定的科学素材^[9]。

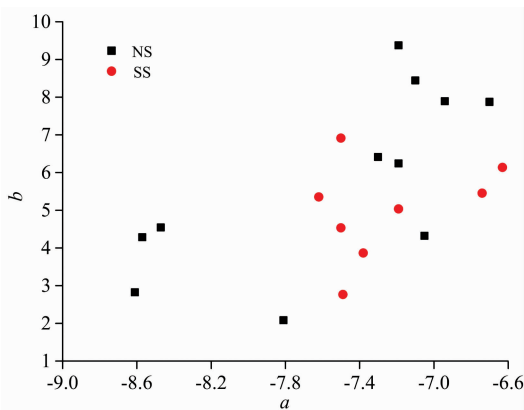


图 7 瓷釉色度 a, b 值二维散点图

Fig. 7 Scatter of the a, b values of glazes

表 2 中数据显示，景德镇湖田窑出土两宋青白瓷釉中主要助熔剂应为 CaO ，均值含量为 15.29%， K_2O 和 Na_2O 含量较低，均值之和仅为 2.77%，属典型的“钙釉”^[9]。另外，瓷釉中含有一定量的 MnO 和 P_2O_5 ，均值分别为 0.09% 和 0.11%。根据以往学者对景德镇草木灰、釉灰、釉果等制瓷原料的分析研究可知^[10]，草木灰和釉灰中有较高含量的 MnO (0.1%~3%) 和 P_2O_5 (0.1%~3%)，而釉果中 MnO 含量低于 0.02%， P_2O_5 含量基本为零^[11]。可见，湖田窑宋代青白瓷釉料配方中应该引入了釉灰或草木灰原料。另外，将表 2 中青白瓷釉的 MnO 和 P_2O_5 含量画散点图可看出，湖田窑南宋青白瓷釉 MnO 和 P_2O_5 组成点明显更为集中，而北宋样品则相反，如图 5 所示。表明，湖田窑青白瓷从北宋至南宋，釉料配方经历了从探索逐渐走向成熟、稳定的过程。

2.2 釉面呈色特征分析

表 3 中数据显示，湖田窑青白瓷釉红绿值 a 均为负数，黄蓝值 b 均为正数，表明其釉面呈色整体偏黄绿色。根据表 3 中数据计算得出，南宋样品色度颜色坐标 x 平均值为 0.308 06、 y 平均值为 0.335 56，北宋样品 x 平均值为 0.311 9、 y 平均值为 0.338 87，根据作图法，将湖田窑北宋和南宋样品釉面色度平均值分布点与等能白点 W_E (0.333 3, 0.333 3) 相连接并延长与光谱轨迹相交的 A 和 B 点，即为色度点所对应的波长，其中北宋主波长为 500 nm 左右，南宋主波长为 496 nm 左右，如图 6 所示，均落在可见光波的绿色波段，但随着波长增大则釉面呈色会逐渐向黄绿色调靠近，波长减小则会向蓝绿色调靠近^[12]，这与南宋釉面相对北宋釉面更为偏蓝绿相符。从图 7 中样品釉面色度 a 和 b 值散点图还可看出，南宋样品釉面色度 b 值分布相对较为集中，且略小于北宋样品，这同样与湖田窑南宋青白瓷釉料配方更为成熟稳定和釉面呈色更为偏蓝绿相符合。

3 结 论

(1) 景德镇湖田窑宋代青白瓷胎中 Al_2O_3 含量均值在 18% 左右、 SiO_2 含量均值在 75% 左右, 组成特征与距离湖田窑址直线距离不超过 5 公里的三宝瓷石原料十分相似, 基本可推测该胎体应是采用了三宝瓷石作为单一原料经淘洗等工艺加工制成。

(2) 景德镇湖田窑青白瓷从北宋到南宋瓷釉中组成特征

基本一致, CaO 含量均值高达 15.29%, 而 K_2O 和 Na_2O 含量均值之和仅为 2.77%, 应属“钙釉”, 但釉中 MnO 和 P_2O_5 含量变化特征表明, 湖田窑青白瓷釉从北宋至南宋釉料配方经历了一个从探索逐渐走向成熟、稳定的过程。

(3) 色度分析表明, 景德镇湖田窑北宋与南宋青白瓷釉主波长分别为 500 和 496 nm 左右, 均落在可见光波的绿色波段, 但南宋青白瓷釉面呈色更偏向于蓝绿色调, 这与南宋釉面更为偏蓝而北宋釉面更为偏黄的外观特征相符。

References

- [1] Jiangxi Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Jingdezhen Folk Museum(江西省文物考古研究所). Jingdezhen Hutian Kiln Site: Archaeological Excavation Report 1988—1999(景德镇湖田窑址 1988—1999 年考古发掘报告). Beijing: Cultural Relics Press(北京: 文物出版社), 2007. 1.
- [2] LIU Yi(刘毅). Relics from South(南方文物), 1996, (3): 71.
- [3] XIONG Chun-hua, RAO Zong-wang, CAO Chun-e, et al(熊春华, 饶宗旺, 曹春娥, 等). China Ceramics(中国陶瓷), 2007, 43(11): 80.
- [4] LAI Jin-ming(赖金明). Jiangnan Archaeology(江汉考古), 2004, (4): 64.
- [5] CHENG Lin, FENG Song-lin, FAN Chang-sheng, et al(程琳, 冯松林, 樊昌生, 等). Journal of the Chinese Ceramic Society(硅酸盐学报), 2004, 32(9): 1140.
- [6] 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, 30(1): 34.
- [7] WU Jun-ming, WU Lin, DING Yin-zhong(吴军明, 吴琳, 丁银忠, 等). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 2017, 29(6): 41.
- [8] CUI Ming-fang, ZHU Jian-hua(崔名芳, 朱建华). Southeast Culture(东南文化), 2016, (1): 98.
- [9] LI Jia-zhi(李家治). Chinese History of Sci-Tech Volume of Ceramics(中国科学技术史·陶瓷卷). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 1998. 331.
- [10] ZHU Gui-hong(祝桂洪). Traditional Technology of Jingdezhen Ceramic(景德镇陶瓷传统工艺). Nanchang: Jiangxi University Press(南昌: 江西高校出版社), 2004. 5.
- [11] WU Juan(吴隽). Ceramic Archaeology of Science(陶瓷科技考古). Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2012. 104.
- [12] JING Qi-cheng, JIAO Shu-lan, YU Bo-lin, et al(荆其诚, 焦书兰, 喻柏林, 等). Colorimetry(色度学). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 1979. 199.

Chemical Composition and Colorimetric Characteristics of Bluish White Porcelain of Jingdezhen Hutian Kiln

WU Jun-ming^{1, 2}, MA Hong-jiao¹, QIAN Wei^{1*}, ZHENG Nai-zhang², HAI Jin-xia²

1. Institute of Cultural Heritage and History of Science & Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2. Research Center of Ancient Ceramic, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333001, China

Abstract Jingdezhen is famous for producing bluish white porcelain in the Song Dynasty, and Hutian kiln is one of the main production sites of the time. The bluish white porcelain produced by Hutian kiln is exquisite and beautiful, and it is known as “false jade ware” and “Rao jade (Jingdezhen belonged to Raozhou government in ancient times)”. Chemical composition and colorimetric characteristics of glaze and body of Southern Song and Northern Song Jingdezhen Hutian kiln’s bluish white porcelain were analyzed by EDXRF and colorimeter in this study. The result shows that the body chemical compositions of Hutian kiln’s bluish white porcelain are basically the same in the Northern and Southern Song Dynasties, which are similar to local porcelain stones, such as the kind from Sanbo near Hutian kiln. The composition of glaze shows that it contains high CaO and a certain amount of

MnO and P_2O_5 , indicating that the glaze of Hutian kiln is “calcium glaze”, and a certain amount of plant ash is included in the glaze recipe. The result of colorimetric analysis shows that the main wavelengths reflected by Northern Song and Southern Song bluish white glaze are 500 and 496 nm respectively, and they belong to the green band of visible light. The glaze chemical composition and colorimetric data of Northern Song bluish white are more dispersed, and the Southern Song glaze has a smaller b value and bluer color. The study concluded that the glaze formulation of Hutian kiln bluish white porcelain went through a process from exploration to maturity and stability from the Northern Song Dynasty to the Southern Song Dynasty. The research results not only provide data support for the dating of bluish white porcelain in Hutian Kiln of Jingdezhen, but also provide scientific materials for the inheritance and dissemination of the techniques of making it.

Keywords Jingdezhen; Hutian kiln; Bluish white porcelain; Chemical composition; Colorimetric

(Received Feb. 24, 2019; accepted Jun. 10, 2019)

* Corresponding author

《光谱学与光谱分析》对来稿英文摘要的要求

来稿英文摘要不符合下列要求者，本刊要求作者重写，这可能要推迟论文发表的时间。

1. 请用符合语法的英文，要求言简意明、确切地论述文章的主要内容，**突出创新之处**。
2. 应拥有与论文同等量的主要信息，包括四个要素，即研究目的、方法、结果、结论。其中后两个要素最重要。有时一个句子即可包含前两个要素，例如“用某种改进的 ICP-AES 测量了鱼池水样的痕量铅”。但有些情况下，英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围，以及具有情报价值的其他重要信息。在结果部分最好有定量数据，如检测限、相对标准偏差等；结论部分最好指出方法或结果的优点和意义。
3. 句型力求简单，尽量采用被动式，建议经专业英语翻译机构润色，与中文摘要相对应。用 A4 复印纸单面打印。
4. 摘要不应有引言中出现的内容，换言之，摘要中必须写进的内容应尽量避免在引言中出现。摘要也不要对论文内容作解释和评论，不得简单重复题名中已有的信息；不用非公知公用的符号和术语；不用引文，除非该论文证实或否定了他人已发表的论文。缩略语、略称、代号，除相邻专业的读者也能清楚地理解外，在首次出现时必须加以说明，例如用括号写出全称。