

# 寿州窑瓷器的测试与初步分析

尹若春<sup>1</sup>, 姚政权<sup>2</sup>, 李迎华<sup>3</sup>, 汪常明<sup>4</sup>

(1. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 安徽合肥 230026; 2. 安徽省文物考古研究所, 安徽合肥 230061;  
3. 南昌大学人文学院, 江西南昌 330033; 4. 广西民族大学科学与社会发展研究中心, 广西南宁 530006)

**摘要:**采用能量色散 X 射线荧光(EDXRF)技术和热膨胀法对寿州窑瓷器的元素组成和烧成温度进行了测试分析. 研究表明:寿州窑瓷器的瓷胎具有高铝低硅的特点;瓷釉属于钙釉,寿州窑的青釉和黄釉产品不是由于着色元素的差别引起的,很可能是在不同的烧造氛围中形成的;管咀孜窑口的青釉瓷器烧成温度在1 200 °C 以上,住院部窑口的黄釉瓷器烧成温度在1 100 °C 以上,1 200 °C 左右.

**关键词:**寿州窑;青釉;黄釉;能量色散 X 射线荧光(EDXRF);热膨胀法

**中图分类号:**K87      **文献标识码:**A      doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2011.01.004

## Test and preliminary analysis of porcelains from Shouzhou kiln

YIN Ruochun<sup>1</sup>, YAO Zhengquan<sup>2</sup>, LI Yinghua<sup>3</sup>, WANG Changming<sup>4</sup>

(1. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;  
2. Anhui Institute of Archaeology and Cultural Relics, Hefei 230061, China;  
3. School of Humanities, Nanchang University, Nanchang 330033, China;  
4. Research center of STS, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China)

**Abstract:** The composition and firing temperature of Shouzhou porcelains were analyzed using energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) technology and thermodilatometry, respectively. The results indicate that: Shouzhou porcelain has the feature of high-aluminum and low-silicon in porcelain body; the porcelain glaze of Shouzhou kiln is calcareous glaze and the difference of celadon and yellow glaze probably results from variant oxidizing conditions in the kiln instead of the difference of colored elements contained in glaze; the firing temperature of celadon porcelains from Guanzuizi kiln is above 1 200 °C, and that of yellow glaze porcelains from Zhuyuanbu kiln is above 1 100 °C and about 1 200 °C.

**Key words:** Shouzhou kiln; celadon; yellow glaze; energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF); thermodilatometry

## 0 引言

寿州窑创烧于南北朝中晚期,兴盛于隋至唐中期,衰落于唐晚期,前后延续了约 350 年<sup>[1]</sup>. 寿州窑是我国隋唐时期具有特色的民间瓷窑,在世界上第

一部茶学专著——唐代陆羽的《茶经》中就有“寿州瓷黄,茶色紫”的记载<sup>[2]</sup>. 窑址位于安徽省淮南市. 淮南市在唐代隶属寿州,故名. 窑址主要分布在淮南市上窑镇的管家嘴、余家沟、住院部、外窑村、马家岗、泉山、三座窑以及凤阳县的临泉寺、上刘庄、大刘庄

收稿日期:2010-10-13;修回日期:2011-01-15

作者简介:尹若春(通讯作者),男,1976年生,博士. 研究方向:科技考古. E-mail: yrc@mail.ustc.edu.cn

等地(图 1),从东至西长约 80 公里<sup>[1]</sup>.窑址的位置与权伯华在《古瓷考略》中的“唐寿州窑在今安徽寿州”记载相吻合,故断定这类窑址为寿州窑址<sup>[3]</sup>.

寿州窑隋代烧青瓷,到唐代改烧黄釉瓷器,并且以独具特色的黄釉名闻天下,其黄色有蜡黄、鳝鱼黄和黄绿等数种.釉下普遍施有白色化妆土,遮盖了厚重的胎体,釉面光滑,开片细小.寿州窑是使用化妆土装饰材料卓有成效的名窑之一,其造型多为碗、盘、壶、瓶、枕类的日用器皿.

由于种种原因,目前寿州窑的研究仍较薄弱,而且主要采用传统的考古学方法进行研究<sup>[1, 3-6]</sup>,利用科技手段的研究很少<sup>[7-9]</sup>,以至于对该窑的发生、发展和时代变迁等问题基本上是一种推测,关于产品的原料组成、生产工艺等问题也十分模糊.针对上述问题,结合寿州窑的实地调查结果,本文采用能量色散 X 射线荧光(EDXRF)技术和热膨胀法对寿州窑早期的青釉产品和兴盛时期的黄釉产品进行了科学分析,以期对寿州窑瓷器的生产工艺和结构特点有进一步的了解.

## 1 样品采集

在淮南市博物馆工作人员陪同下,到寿州窑的各个窑址进行了实地调查,针对寿州窑早期的青釉产品和后来最具特色的黄釉产品,选取了具有代表性的上窑镇管咀孜和住院部二处窑址采集的样品进

行研究.管咀孜窑址属寿州窑隋代窑址,位于上窑镇南约 2.5 km 处,管家嘴的中部.窑址三面环水,遗存较薄,不超过 1 m.调查取样的过程中,只发现有青釉瓷片以及完整的三、四盆支托和支钉.管咀孜窑址的瓷片釉色发青,胎质细,灰白(图 2 左),属于寿州窑早期的产品.住院部窑址属寿州窑唐代窑址,位于上窑镇医院住院部东侧,沿窑河长约 250 m,南北宽约 50 m.调查取样的过程中,发现有黄釉、黑釉瓷片以及完整的三盆支托和支钉.住院部窑址瓷片中黄色居多,胎质粗,夹砂(图 2 右),属于寿州窑兴盛时期的产品.本次科技分析研究选取的样品包括管咀孜窑址采集的三块青釉瓷片和一个三盆支钉以及住院部窑址采集的两块黄釉瓷片、一块釉陶(未施釉)和一个三盆支钉.

## 2 实验方法

### 2.1 成分测定

实验是在安徽省文物考古所文物保护与科技考古实验室内完成的.EDXRF 测定陶瓷样品是一种无损定量的分析方法,实验过程按照实验室通过陶瓷参考标样确定的最佳检测条件进行测试.分析仪器为美国 EDAX International Inc. 公司生产的 EAGLE-III  $\mu$  型能量色散型 X 射线荧光分析仪.侧窗铑(Rh)靶,40WX 光管,下照射式,掠射角 65°,毛细管光学系统聚焦,照射在样品上的光斑直径为



图 1 寿州窑窑址分布图

Fig. 1 The distribution of Shouzhou kilns

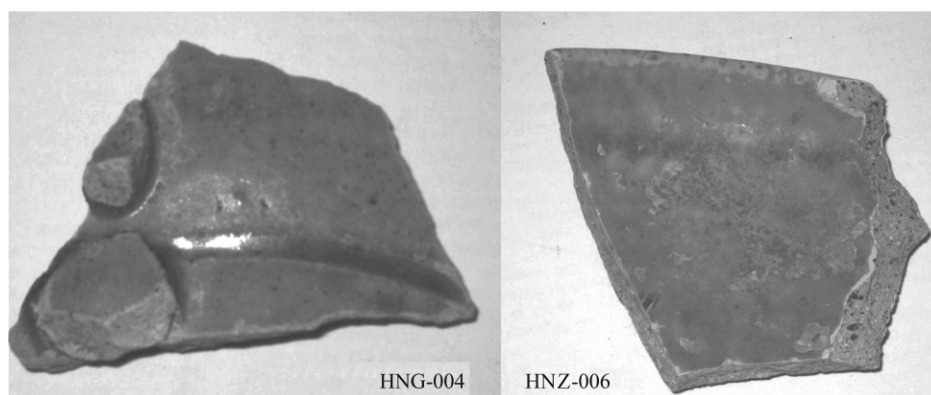


图 2 管咀孜窑址的青釉瓷片(左)和住院部窑址的黄釉瓷片(右)

Fig. 2 Celadon porcelain sherd (left) from Guanjuizi kiln and yellow glaze porcelain sherd (right) from Zhuyuanbu kiln

40  $\mu\text{m}$ , 样品受激产生的 X 射线荧光以  $60^\circ$  出射角射出, 经狭缝被 Si(Li) 探测器记录. 采用 Al-Cu 合金 Al  $K\alpha$  和 Cu  $K\alpha$  峰标定能量刻度.

测试前, 首先将样品切割成  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$  的小方块, 保证切面平行, 然后放入水中超声清洗, 取出晾干后进行测试. 测试时, 将样品放于样品架上, 平行的切面方向朝上, 抽真空, 启动仪器上配有的 VISION32 收谱和谱分析软件, 先在 10 倍条件下, 找到样品, 然后在 100 倍条件下调节焦距. 测试时的管电压为 40 kV、管电流为  $600\ \mu\text{A}$ 、死时间约为 30%, 每点测量时间为 5 s, 真空光路. 测试成分时, 样品的胎、化妆土和釉部分各测三个不同的点, 结果取三个点的平均值. 线扫描分析时, 扫描的方向是从釉到胎, 扫描长度 0.50 mm, 共 32 个点, 点与点之间部分重叠, 为连续扫描.

## 2.2 烧成温度测定

实验是在中国科学院研究生院完成的. 陶瓷烧成温度的测定采用热膨胀法<sup>[11]</sup>, 常用的仪器有膨胀分析仪和差热分析仪(DTA). 本研究中使用的是德国 NETZSCH 公司生产的热膨胀仪(DIL 402 PC). 测试时, 首先打磨去除样品表面的釉和化妆土, 然后将样品制成  $1.0\text{ cm} \times 0.5\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$  的长方体, 置于热膨胀仪中进行测试, 样品的升温速度为  $40\ ^\circ\text{C}/\text{min}$ . 利用仪器自带的 Netzsch Proteus-Thermal analysis 测量与分析软件对每条热膨胀曲线进行分析. 物体在温度升高  $\Delta T$  后, 长度增量为  $\Delta L$ ,  $\Delta L/L_0$  为热膨胀率, 用  $dL/L_0$  表示.

## 3 结果和讨论

### 3.1 样品成分

样品的主微量元素测定结果列于表 1 中. 从表

中可以看出, 支钉和胎中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的范围在 20%~27% 之间, 平均值为 22.90%,  $\text{SiO}_2$  含量在 54%~64% 之间, 平均值为 56.73%, 很明显属于高铝低硅质瓷胎, 与北方瓷器的特点相同<sup>[12]</sup>. 为了更清楚地反映样品中主要成分  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的变化情况, 根据表 1 绘制了这两种成分的散点分布图, 如图 3 所示. 管咀孜样品的胎和化妆土分布在高铝低硅的 IV 区内, 支钉在 I 区内, 住院部样品的胎和化妆土分布在低铝高硅的 II 区内, 支钉在 III 区内, 这表明两个窑址瓷器胎的成分还存在着一定的差异. 根据两个窑址的实地考察和市博物馆研究人员的介绍, 两个窑址很近, 而且生产瓷器的原料就在住院部窑址的东边不远处, 推测可能是由于长期取样, 从隋代到唐代, 采到不同层位的原料引起的, 也有可能是原料处理、加工方法或者工艺的不同引起的, 这方面还有待于进一步的研究.

瓷釉的分类基准多种多样, 罗宏杰等<sup>[13]</sup>根据釉

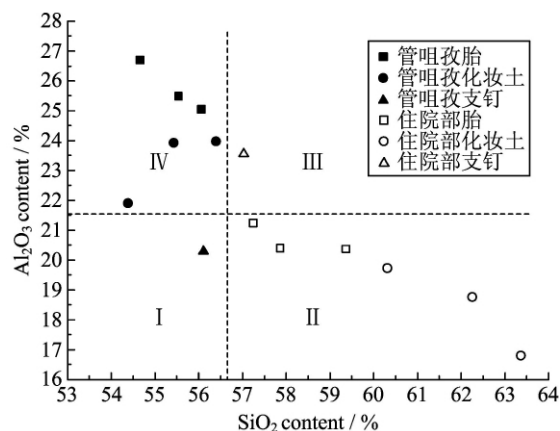


图 3 样品  $\text{SiO}_2$  对  $\text{Al}_2\text{O}_3$  散点图

Fig. 3 Scatter plot of  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in samples

表 1 样品的主、次量元素组成(质量分数/%)

Tab. 1 Chemical compositions of main and major elements (mass fraction/%)

样品编号	窑址	样品	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO <sub>2</sub>	
HNG-001	管咀孜	灰褐色支钉	56.11	20.33	4.58	2.73	0.95	4.95	2.77	2.25	0.05	0.11	
HNG-002	管咀孜	青釉瓷片	胎	56.06	25.05	3.51	1.29	0.78	4.94	2.01	2.99	0.14	0.037
		化	56.39	23.98	3.09	1.23	1.73	4.29	4.04	1.83	0.14	0.04	
		釉	45.89	15.38	2.81	0.85	19.46	4.90	3.74	1.06	1.40	0.54	
HNG-003	管咀孜	青釉瓷片	胎	55.54	25.49	3.40	1.27	0.88	5.01	1.91	3.43	0.087	0.047
		化	54.38	21.90	2.40	0.92	5.48	5.23	3.48	2.66	0.33	0.077	
		釉	46.49	13.69	3.88	0.81	20.44	4.95	2.60	1.22	1.18	0.42	
HNG-004	管咀孜	青釉瓷片	胎	54.66	26.69	2.69	1.19	0.91	4.97	1.25	4.36	0.23	0.057
		化	55.43	23.93	2.11	0.94	1.37	5.06	4.16	3.97	0.17	0.043	
		釉	47.4	12.6	2.38	0.73	19.87	5.38	4.01	1.43	1.26	0.42	
HNZ-005	住院部	灰色支钉	57.03	23.61	3.33	1.43	1.11	4.90	2.32	3.06	0.18	0.06	
HNZ-006	住院部	黄釉瓷片	胎	59.37	20.37	4.7	0.96	1.06	4.80	2.54	2.64	0.18	0.083
		化	60.31	19.73	2.67	1.03	1.21	5.35	2.63	3.31	0.22	0.063	
		釉	48.88	11.94	3.80	0.77	17.92	5.07	4.35	1.57	1.47	0.52	
HNZ-007	住院部	黄色釉陶	胎	57.24	21.25	4.53	1.00	0.87	5.19	2.78	3.40	0.37	0.093
		化	62.24	18.75	3.24	1.21	0.84	4.98	2.87	3.10	0.18	0.037	
HNZ-008	住院部	黄色瓷片	胎	57.86	20.39	5.25	1.02	1.25	4.80	2.93	2.89	0.11	0.083
		化	63.36	16.81	3.36	0.67	1.73	5.56	2.22	2.51	0.10	0.053	
		釉	47.48	11.25	5.48	0.63	17.94	5.27	3.00	2.11	1.25	0.51	

中主要氧化物种类将中国古瓷釉分为两大体系:铁系釉和钙系釉. 其中钙系釉的釉式表示为  $aR_2O \cdot bRO \cdot cR_2O_3 \cdot dRO_2$ , 式中  $R_2O$  代表碱金属氧化物,  $RO$  代表碱土金属氧化物,  $R_2O_3$  和  $RO_2$  分别代表 3 价和 4 价金属氧化物,  $a, b, c$  和  $d$  分别是各类氧化物在碱性氧化物( $R_2O, RO$ )的物质的量为 1 时的系数. 钙系釉根据  $b$  值的变化又可以划分为钙釉 ( $b \geq 0.76$ )、钙-碱釉 ( $0.76 > b \geq 0.50$ ) 和碱-钙釉 ( $0.50 > b$ )<sup>[13]</sup>. 通过对寿州窑瓷釉釉式的计算得到  $b$  值的范围在 0.85~0.91 之间, 平均值为 0.88, 远大于 0.76, 因此寿州窑的瓷釉属于钙系釉中的钙釉. 釉中氧化钙的含量很高, 在 17.92%~20.44% 之间, 而 MgO, K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O 含量较低, 与胎和化妆土中的含量相近, 可见寿州窑瓷釉是以氧化钙为主要助熔剂, 在釉的配方中加入了石灰石或者草木灰来降低釉的熔融温度<sup>[14]</sup>. 此外, 釉中 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的含量明显高于胎和化妆土中的含量, 在 1.18%~1.47% 之间, 这表明在釉料中加有草木灰成分.

寿州窑瓷釉中铁的含量较高 (2.38%~5.48%), 钛锰的含量较低 (分别为 0.63%~0.85% 和 0.42%~0.54%), 因此釉中的主要着色元素为铁元素. 寿州窑瓷胎和化妆土中 MnO<sub>2</sub> 的含量在 0.037%~0.093% 之间, 比釉中的 0.42%~0.54%

低了一个数量级, 很可能在制釉的过程中, 添加了含有 MnO<sub>2</sub> 的成分, 为了进一步比较着色元素的含量, 同时排除釉中添加 CaO 等助熔剂带来的影响, 绘制了每个样品着色元素 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub>) 含量相对于 SiO<sub>2</sub> 含量的柱状图 (图 4). 从图中可以看出, 每个样品瓷胎和釉中的着色元素含量基本相同, 可以推断制釉的过程中没有额外添加着色元素铁和钛; 管咀孜青釉样品与住院部黄釉样品中的着色元素铁和钛在胎和釉中的含量也基本相同, 因此青釉和黄釉很可能是由于烧成气氛的不同形成的, 在还原气氛中形成青釉, 在氧化气氛中形成黄釉, 青釉中的二价铁离子要多于黄釉, 三价铁离子少于黄釉. 从图 4

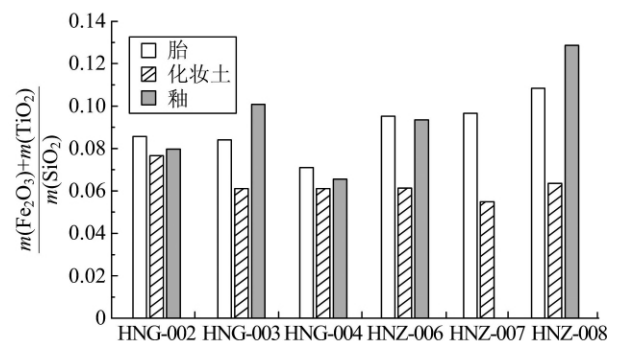


图 4 着色元素含量柱状图

Fig. 4 Histogram of colored element contents

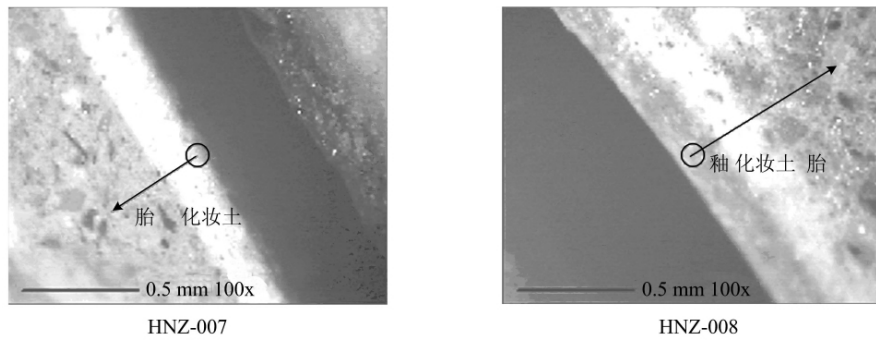


图 5 样品线扫描示意图

Fig. 5 Line scanning picture of samples

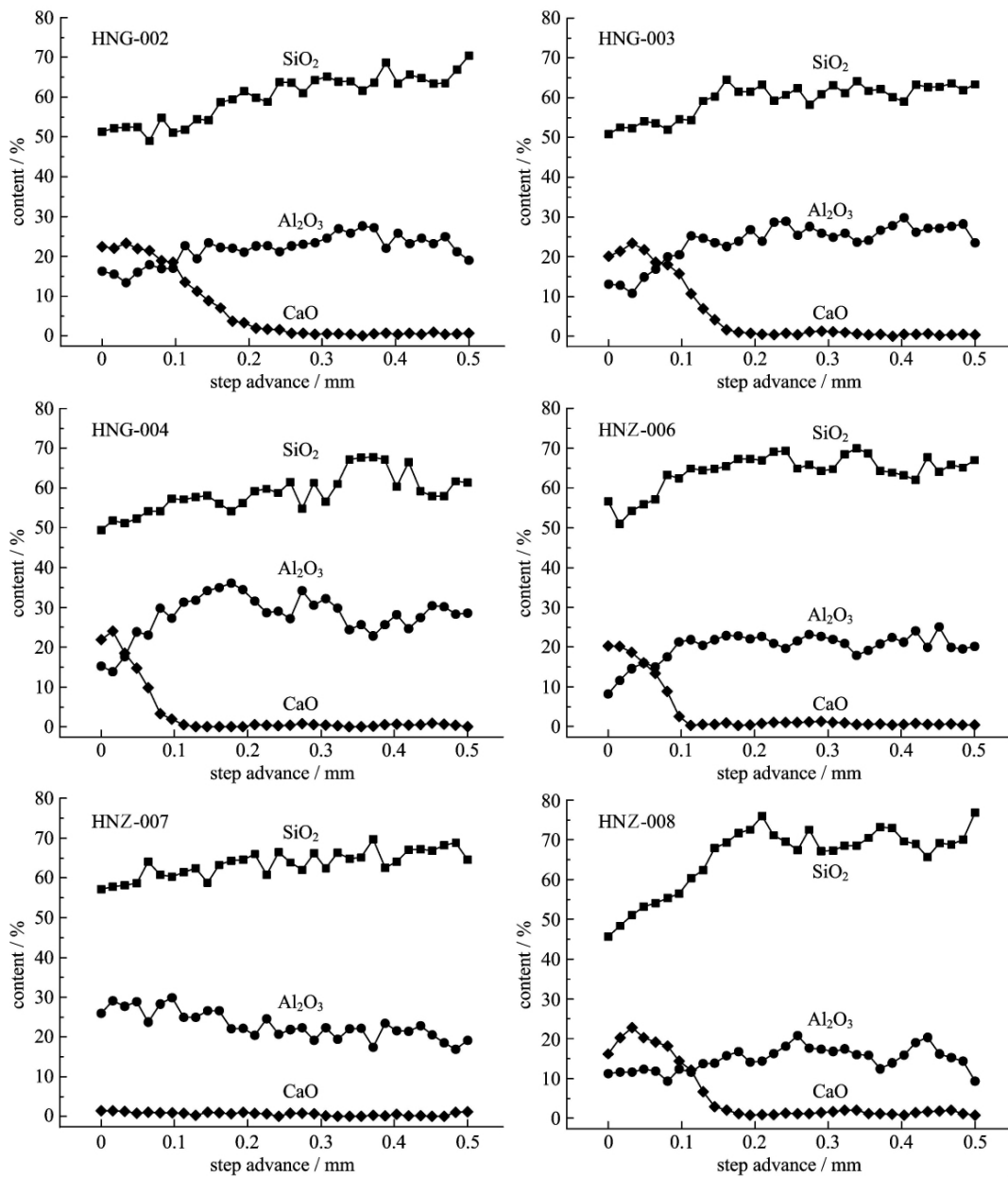


图 6 样品 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> 和 CaO 含量线扫描图

Fig. 6 Line scanning contents of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> and CaO in samples

中还可以看出,化妆土中铁和钛的含量都稍低于胎和釉中的含量,可能是由于化妆土的颗粒较细,在去除大颗粒杂质的过程中,把某些含有铁和钛较高的粒子也去除了。

### 3.2 线扫描的结果

瓷片样品在进行线扫描时,在胎和釉之间可以很清楚地观察到一个灰白色的中间层——化妆土层,如图 5 所示,箭头所示的方向为线扫描的方向。HNZ-007 样品没有施釉,只有胎和化妆土层,其他的瓷片样品都有明显的釉、胎和化妆土层。线扫描的结果表明胎和化妆土的成分比较相近,而与釉的成分存在着一定的差别。为了更清楚地反映样品釉、胎和化妆土的化学组成情况,根据扫描结果,对主成分中含量较高的  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{CaO}$  的变化情况作图进行分析(图 6)。由图 6 可见, $\text{SiO}_2$  的含量从釉到胎都有所增加; $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量从釉到胎变化不大; $\text{CaO}$  的含量从釉到化妆土层迅速降低,从化妆土层到胎没有明显的变化。由于 HNZ-007 样品没有釉层,因此  $\text{CaO}$  的含量从化妆土层到胎基本一致。

### 3.3 烧成温度

热膨胀法是通过陶瓷在重烧过程中出现净收缩时的温度来推断其最初的烧成温度<sup>[15]</sup>。虽然热膨胀法在陶瓷研究中得到了广泛应用,但是实际测温过程中会遇到陶瓷样品“异常”膨胀和重烧测温曲线无明显拐点的特殊情况,这两种情况一直没有得到很好的解释。本次测温过程中就遇到了无明显拐点的情况。李迎华等人针对上述两种现象,进行了模拟实验研究,文章待发表<sup>①</sup>。在模拟实验中,首先制作了三个陶瓷样品,陶瓷样品的原料中含有较多高岭石成分,烧成温度分别为  $1\ 100\ ^\circ\text{C}$ 、 $1\ 200\ ^\circ\text{C}$  和  $1\ 300\ ^\circ\text{C}$ ,然后在与本文实验方法相同的条件下,对三个样品进行重烧测温研究,实验结果如图 7 所示,曲线 1、2 和 3 分别代表烧成温度为  $1\ 100\ ^\circ\text{C}$ 、 $1\ 200\ ^\circ\text{C}$  和  $1\ 300\ ^\circ\text{C}$  的样品,从图中可以看出,曲线 1 发生净收缩时的温度为  $1\ 194\ ^\circ\text{C}$ ,与瓷器的实际烧成温度误差为  $94\ ^\circ\text{C}$ ;曲线 2 在  $1\ 283\ ^\circ\text{C}$  附近发生了膨胀现象,这是由于样品在  $850\sim 950\ ^\circ\text{C}$  时,少量的初始莫来石由高岭土直接形成,伴随着大量  $\text{SiO}_2$  分凝,当温度升至  $1\ 200\ ^\circ\text{C}$  后,分凝的  $\text{SiO}_2$  和  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  开始形成大量的二次莫来石<sup>[16-17]</sup>,引起了样品体积变大;曲线 3 没有发生明显的净收缩现象,这是由于

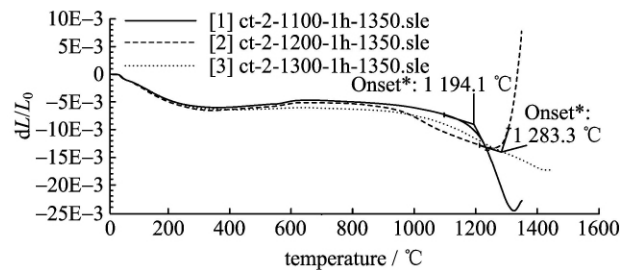


图 7 烧成温度为  $1\ 100\ ^\circ\text{C}$ 、 $1\ 200\ ^\circ\text{C}$  和  $1\ 300\ ^\circ\text{C}$  的模拟陶瓷样品的测温曲线

Fig. 7 Thermal chart of simulated porcelain samples at temperature of  $1\ 100\ ^\circ\text{C}$ ,  $1\ 200\ ^\circ\text{C}$  and  $1\ 300\ ^\circ\text{C}$

在烧制的过程中,大量的二次莫来石在  $1\ 200\sim 1\ 300\ ^\circ\text{C}$  时形成<sup>[16]</sup>,而莫来石具有很强的热稳定性,导致样品 3 的重烧曲线呈现出缓慢收缩无明显拐点的现象。

寿州窑瓷片样品的重烧测温曲线如图 8 所示。样品 HNZ-006、HNZ-007 和 HNZ-008 的测温曲线发生了明显收缩,可以通过曲线发生净收缩时的温度来判断其原始的烧成温度。样品 HNG-002、HNG-003 和 HNG-004 的测温曲线未发生明显的净收缩现象,与模拟实验中的曲线 3 相似,因此可根据模拟实验对这三个样品的测温曲线进行类似分析。经分析校正后得到寿州窑样品的烧成温度<sup>[18]</sup>,结果列于表 2 中。测温数据表明管咀孜窑口的三块青釉瓷片的烧成温度高于  $1\ 200\ ^\circ\text{C}$ ,住院部窑口的三块黄釉瓷片的烧成温度在  $1\ 107\sim 1\ 219\ ^\circ\text{C}$  之间,青釉瓷片的烧成温度稍高于黄釉瓷片。根据两个窑址调查取样的结果和模拟实验的情况分析:管咀孜窑址青釉瓷片的胎质细,化妆土层较薄,可能对胎的要求较高,制胎原料中含有较多的高岭石成分,烧成温度要高于  $1\ 200\ ^\circ\text{C}$ ,形成大量的二次莫来石来增加瓷胎的硬度和强度;住院部窑址黄釉瓷片的胎质

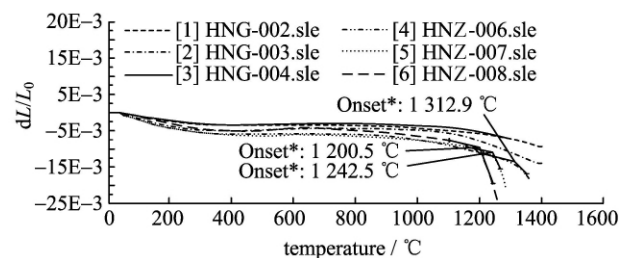


图 8 寿州窑样品的测温曲线

Fig. 8 Thermal chart of Shouzhou kiln samples

① 李迎华,王昌燧,李立新,等. 瓷器测温的模拟实验研究[J]. 待发.

粗, 化妆土层较厚, 可能随着化妆土和瓷釉生产技术的提高, 瓷器产品对胎的要求降低, 制胎原料中的高岭石成分减少, 不需要把温度烧到 1 200 °C 以上形成大量的二次莫来石. 图 3 中管咀孜样品比住院部样品中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量稍高、 $\text{SiO}_2$  含量稍低的现象可能也是由于管咀孜窑址瓷器原料中含有较多的高岭石引起的.

表 2 瓷片样品烧成温度

Tab. 2 Firing temperature of samples

样品编号	DIL 曲线	校正结果
HNG-002	无明显收缩现象	>1 200 °C
HNG-003	无明显收缩现象	>1 200 °C
HNG-004	无明显收缩现象	>1 200 °C
HNZ-006	1 313 °C	1 219 °C
HNZ-007	1 201 °C	1 107 °C
HNZ-008	1 243 °C	1 149 °C

## 4 结论

通过对管咀孜青釉瓷片和住院部黄釉瓷片的实验分析, 对寿州窑瓷器得出以下初步认识:

(I) 寿州窑的瓷胎属于高铝低硅质瓷胎; 管咀孜青釉瓷器比住院部黄釉瓷器中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量稍高,  $\text{SiO}_2$  含量稍低, 可能是由于管咀孜瓷器的原料中含有较多的高岭石所导致.

(II) 寿州窑的瓷釉属于钙釉; 釉中高含量的 CaO 为主要助熔剂; 釉中高含量的  $\text{P}_2\text{O}_5$  是由于添加了草木灰成分引起的.

(III) 寿州窑瓷釉的主要着色元素为铁元素, 其含量在釉、胎和化妆土中相近; 青釉瓷器和黄釉瓷器很可能是由于烧成气氛的不同形成的.

(IV) 线扫描的照片和结果表明, 寿州窑瓷器在釉和胎之间存在着一个明显的化妆土层, 化妆土层的成分与胎相似, 而与釉存在着明显差别.

(V) 测温结果表明, 寿州窑管咀孜青釉瓷器的烧成温度在 1 200 °C 以上, 住院部黄釉瓷器的烧成温度在 1 100 °C 以上、1 200 °C 左右.

**致谢** 本文取样和实验过程中得到了淮南市博物馆刘继武, 安徽省文物考古研究所徐靖、王子尧的热心帮助, 在写作过程中得到了中国科学技术大学陈彪老师的耐心指导, 在此深表感谢!

### 参考文献 (References)

[1] 胡悦谦. 谈寿州瓷窑[J]. 考古, 1988, (8): 735-750.

- [2] 陆羽. 茶经[M]. 北京: 中国工人出版社, 2003: 17.
- [3] 胡悦谦. 寿州窑窑址调查记略[J]. 文物, 1961, (12): 60-66.
- [4] 汪景辉, 阙绪杭, 徐孝忠, 等. 淮南市泉山九十六工程处窑址的发掘[J]. 文物研究, 1998, 11: 160-167.
- [5] 李广宁. 唐代寿州窑黄釉瓷注子与定窑同类产品的鉴别[J]. 文物, 1999, (4): 86.
- [6] 王业友. 安徽省博物馆藏寿州窑瓷器——兼谈寿州窑产品种类和外销[J]. 文物研究, 1994, 9: 243-252.
- [7] 胡悦谦. 寿州窑瓷器釉色的科研成果[J]. 文物研究, 1995, 10: 2-7.
- [8] Zuo Jian, Wu Ruo. Analysis of the Shouzhou yellow porcelain by Raman microscopy [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Science and Technology), 2006, 31 (supplement): 17-19.
- 左健, 吴若. 唐寿州窑黄釉瓷片的显微拉曼光谱分析[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2006, 31(增刊): 17-19.
- [9] 林淑钦, 陈树榆, 王昌燧, 等. 唐寿州窑黄釉瓷器[J]. 文物研究, 1995, 10: 7-10.
- [10] 杨爱玲. 略谈寿州窑黄釉瓷器的艺术特色及影响[J]. 文物研究, 1995, 10: 68-70.
- [11] Tite M S. Determination of the firing temperature of ancient ceramics by measurement of thermal expansion [J]. Nature, 1969, 222(5188): 81.
- [12] 罗宏杰. 中国古陶瓷与多元统计分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997: 88-91.
- [13] 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]. 硅酸盐学报, 1995 (2): 50-53.
- [14] 李家治. 中国科学技术史(陶瓷卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 12.
- [15] Tite M S. Determination of the firing temperature of ancient ceramics by measurement of thermal expansion: A reassessment [J]. Archaeometry, 1969, 11: 131-143.
- [16] Guo Jiugao, He Hongping, Wang Fuya, et al. Kaolinite-mullite reaction series: A  $^{27}\text{Al}$  and  $^{29}\text{Si}$  MAS NMR study [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1997, 17 (3): 250-259.
- 郭九皋, 何宏平, 王辅亚, 等. 高岭石-莫来石反应系列:  $^{27}\text{Al}$  和  $^{29}\text{Si}$  MAS NMR 研究[J]. 矿物学报, 1997, 17 (3): 250-259.
- [17] Wei Cundi, Yang Dianfan, Li Yi, et al. Influence of temperature on phase transformation of calcined kaolinite and Si, Al activity [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2005, 25(3): 197-202.
- 魏存弟, 杨殿范, 李益, 等. 煅烧温度对高岭石相转变过程及 Si, Al 活性的影响[J]. 矿物学报, 2005, 25(3): 197-202.
- [18] 李迎华. 热膨胀测温方法的初步研究及其在考古中的应用[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2008.