

文章编号:1005-1538(2018)05-0063-14

# 关于浙江“黄岩窑”青瓷工艺技术相关问题的研究 ——以黄岩沙埠窑址群为例

娄佳清<sup>1</sup>, 王 好<sup>2</sup>, 罗永华<sup>3</sup>, 熊樱菲<sup>4</sup>, 周少华<sup>1</sup>

(1. 浙江大学文物与博物馆学系, 浙江杭州 210028; 2. 浙江台州市文管办, 浙江台州 318000;  
3. 浙江黄岩博物馆, 浙江台州 318020; 4. 上海博物馆, 上海 200003)

**摘要:** 为探索“黄岩窑”青瓷的工艺技术及艺术装饰特征,并探讨该窑场与同时期浙东地区的“越窑”青瓷的关系,本研究从田野考古调查入手,通过对黄岩沙埠窑窑址及窑场周围地面考古调查和典型青瓷标本的实物取样,结合科技考古的手段,着重对其产品特征、制瓷工艺技术及烧造年代等方面进行科学研究。通过光学显微镜解剖了黄岩出土青瓷胎釉的内部结构;通过热释光技术对黄岩出土青瓷典型标本进行年代测定;并运用 EDXRF 技术对黄岩出土青瓷标本和上林湖越窑标本的胎釉化学成分进行检测并对比分析。研究表明:浙江黄岩沙埠窑址是晚唐至南宋时期浙江重要的窑址遗存,具有较高的陶瓷烧造技艺。

**关键词:** 黄岩;青瓷;显微结构;热释光;EDXRF

**中图分类号:** K876.3 **文献标识码:** A

## 0 引言

黄岩原为县制,现属台州市,位于浙江黄金海岸线中部。其所在地区拥有丰富的森林、水源和丰富的瓷土等矿产资源,得天独厚的自然条件使得黄岩地区具备了建窑烧瓷的原料、燃料和水源等优越条件。黄岩沙埠青瓷窑址群为“黄岩窑”最具代表性窑址群,窑场总面积约达7万平方米,文化堆积层一般厚1~2m,最厚处可达6m。窑床均设置在山坡上,多属斜坡式龙窑,一般长50m左右,宽2.5m,烟囱在半山腰,窑炉火膛及制瓷作坊位于山脚平地。窑址群共分布有7处窑址:竺家岭、凤凰山、下山头、窑坦、金家岙、下余、瓦瓷窑(图1)。各窑址遗存堆积丰富,瓷器种类比较齐全,为研究“黄岩窑”青瓷提供了重要的材料来源。

黄岩沙埠窑址历史悠久,产品极具特色。然而由于地处偏僻,黄岩沙埠窑业这段辉煌的发展史因缺乏文献资料,一直未受到陶瓷考古界的广泛关注。直至1956年,浙江省文管会在黄岩秀岭水库考古时,才发现了沙埠窑址。在不到8平方公里的范围内,分布着规模较大的窑址11处,而

且各窑址遗物堆积相当丰富。黄岩窑工艺之精,产品质量之佳,引起了考古部门的关注,大量窑址遗存、遗物证明,在一千多年前该窑场已达到了鼎盛时期。

陶瓷界对于黄岩沙埠窑址的研究虽不多,但是对其评价却很高。成书于1987年的《简明陶瓷词典》在黄岩沙埠窑词目中记载:“五代、宋瓷窑,1956年发现,境内窑址较多,以青釉为主,精者属越窑系统,有釉色青绿,精细鸂鶒刻花的品种。”但是,到目前为止,学界对于黄岩沙埠窑址尚未有人深入研究,尤其是对于窑址产品的科技考古研究无人涉足。

本研究从遗址中选取若干“黄岩窑”典型标本,运用热释光断代技术进行科技断代研究;同时,运用先进科技手段,从工艺学与材料学入手,试图探索“黄岩窑”青瓷的工艺技术特征,并探讨该窑场与同时期浙东地区的“越窑”青瓷的关系。

## 1 样品介绍

为了尽可能地保证样品的代表性,增加实验的

收稿日期:2018-04-07;修回日期:2018-07-22

作者简介:娄佳清(1994—),女,硕士研究生,浙江大学文物与博物馆学系,研究方向为中国古陶瓷研究,E-mail: 864296695@qq.com

通讯作者:周少华,教授,浙江大学文物与博物馆系,E-mail: 602310463@qq.com



图1 黄岩窑窑址分布图

Fig.1 Kiln sites map of Huangyan Kiln

准确性,笔者多次前往黄岩地区沙埠窑址采集典型标本。同时,为了采集对比数据,笔者也曾前往上林湖越窑遗址进行考古调查,并选取窑址中质量上乘、具有越窑代表性特征的瓷片与黄岩沙埠窑典型标本在同等实验条件下共同进行科学检测研究,以增强检测数据可对比性。



经过多次对黄岩沙埠一带窑场的地面考古调查,采集了一批散落在地表的青瓷样品(窑址曾被盗挖,大量瓷片残器及窑具堆积丰厚),共有55件青瓷标本和少量窑具,并按照“采集年份-产地-序号”的形式对其进行编号。这批标本的器形种类主要有碗、盘、盏等,其中碗的数量最多。碗根据底

足可以分为玉环底碗、平底碗和圈足碗,其中圈足碗占绝大多数,玉环底碗和平底碗较少。从装饰技法来看,有素面、单面花和双面花,装饰多样,有细划花、深刻花、印花等不同的装饰技法,装饰纹样也丰富多彩,有牡丹纹、折扇纹、团菊纹、缠枝花卉纹、波浪纹、弦纹等等。另外,黄岩博物馆亦提供了几片有代表性的瓷片标本。








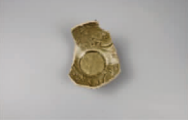



通过对现有标本的分类挑选,考虑到标本的尺寸大小、代表性以及为最大程度上保护标本的完整性,使实验对标本的破坏减少到最低程度。综合以上因素,最终选择了其中25件标本(表1)作为此次实验的样品。

表1 黄岩窑典型标本实验样品表












Table 1 Typical specimens of Huangyan Kiln

序号	编号	器形	胎		釉		纹饰	照片
			厚度/cm	胎色	厚度/cm	釉色		
1	17-HYY-001	碗底	0.5	灰白色,致密,气孔较少	<0.03	黄绿色	有	
2	17-HYY-002	碗底	0.35	灰白色,致密,气孔较少	<0.03	青色	有	


(续表1)

序号	编号	器形	胎		釉		纹饰	照片
			厚度/cm	胎色	厚度/cm	釉色		
3	17-HYY-003	碗底	0.4	灰白色,少量气孔,部分较大	<0.03	黄绿色	有	
4	17-HYY-004	碗底	0.5	灰白色,致密	<0.03	黄绿色	有	
5	17-HYY-005	碗底	0.5	灰黑色,致密,气孔较少	<0.03	青色	有	
6	17-HYY-006	碗底	0.4	灰白色,致密,气孔较少	<0.03	黄绿色	有	
7	17-HYY-007	碗底	0.45	灰色,致密	<0.03	青色	有	
8	17-HYY-008	碗底	0.3	灰色,致密,气孔较少	<0.03	青色	有	
9	17-HYY-011	碗底	0.6	灰白色,致密,少量气孔	<0.03	青色	有	
10	17-HYY-012	碗底	0.5	灰白色,致密,少量气孔	<0.03	黄绿色	有	
11	17-HYY-013	碗底	0.5	灰色,致密,气孔较少	<0.03	黄绿色	有	
12	17-HYY-014	碗底	0.5	灰白色,致密,少量气孔	<0.03	青色	有	
13	17-HYY-015	碗底	0.55	灰色,致密,气孔较少	<0.03	青色	有	

(续表1)

序号	编号	器形	胎		釉		纹饰	照片
			厚度/cm	胎色	厚度/cm	釉色		
14	17-HYY-017	碗底	0.4	灰白色,致密,少量气孔,部分略大	<0.03	青绿色	有	
15	17-HYY-022	碗底	0.25	灰色,致密	<0.03	黄绿色	有	
16	17-HYY-027	碗口沿	0.35	灰色,气孔略多	<0.03	黄绿色	有	
17	17-HYY-028	碗口沿	0.5	灰白色,致密,气孔较少	<0.03	青色	有	
18	17-HYY-030	盘残片	0.5	灰白色,致密,气孔较少	<0.03	青色	有	
19	17-HYY-032	碗底	0.5	灰白色,致密,少量气孔	<0.03	青色	无	
20	17-HYY-035	碗底	0.5	灰白色,致密,少量气孔	<0.03	青色	无	
21	17-HYY-041	盘底	0.5	灰色,致密,气孔较少	<0.03	青色	无	
22	17-HYY-042	碗底	0.3	黄白色,致密,少量气孔	-	无	无	
23	17-HYY-043	罐残片	0.4	灰白色,致密,少量气孔	<0.03	青色	无	
24	17-HYY-048	素烧碗底	3.5	黄色,少量气孔	-	无	有	

(续表1)

序号	编号	器形	胎		釉		纹饰	照片
			厚度/cm	胎色	厚度/cm	釉色		
25	17-HYY-049	素烧碗底	0.3	黄色,少量气孔	-	无	有	

为了更加准确地了解黄岩窑产品特点,此次科技检测实验主要涉及:

1) 显微结构分析,用体视显微镜和偏光显微镜观察标本的胎釉微观结构;

2) 热释光测年分析,确定标本的大致烧造年代,为相关研究奠定基础;

3) 能量色散 X 荧光无损分析,测定标本的胎釉成分,了解其配方特征。

在各项实验中分别选用 25 件黄岩窑青瓷样品中符合各项实验要求的若干样品进行检测。

## 2 胎釉显微结构分析

### 2.1 实验原理及目的

体视显微镜是一种具有正像立体感的目视仪器,主要用来检查肉眼不能清晰确认或观察的标本显微特征,为人们提供直观、细微的观察。偏光显微镜利用偏振光原理,可用来观察透明薄片的显微结构,精密测定标本细节,并鉴别矿物的种类<sup>[1]</sup>。

借助体视显微镜对黄岩窑青瓷样品的胎釉进行观察,可以看到样品的釉中的气泡分布、胎的气孔率

和致密程度;借助偏光显微镜则可以清晰地看到胎釉的内部结构和晶相状态。

### 2.2 实验设备与实验步骤

上海博物馆采用日本 KEYENCE 公司生产的超景深三维显微系统 VHX-5000 系列体视显微镜以及 ZEISS 公司生产的分析级偏光显微镜 Axio Lab. A1 Pol。

实验步骤:1)样品准备。将样品用切割机切割下一小块包括胎层和釉层的长方体;2)体视显微镜下观察。将样品切片放置于体视显微镜下进行观察;3)偏光显微镜下进行观察。将样品切片一面打磨后用胶水粘贴到载玻片上,再用研磨机将样品打磨成 $30\mu\text{m}$ 的薄片(先后使用 $75\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 的金刚石磨片),置于偏光显微镜下进行观察。可以滴入少许甘油以减少其折射率。

### 2.3 实验结果与分析

用体视显微镜和偏光显微镜观察 25 片黄岩窑青瓷残片的胎釉结构,选取其中两个样品进行分析,分别为 17-HYY-001、17-HYY-011。两个样品的体视显微照片和偏光显微照片分别列于图 2~9。

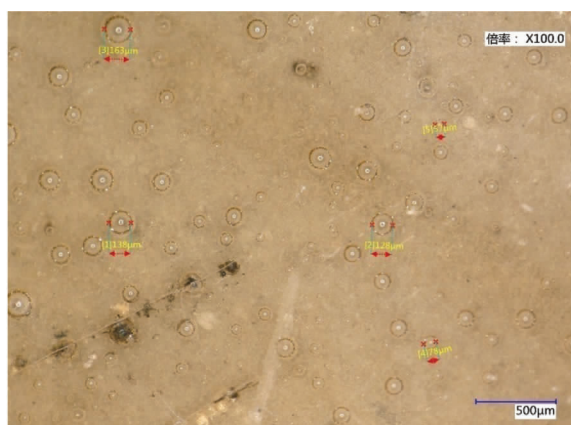


图 2 17-HYY-001 釉面显微照片

Fig. 2 Glaze microphoto of Sample 17-HYY-001

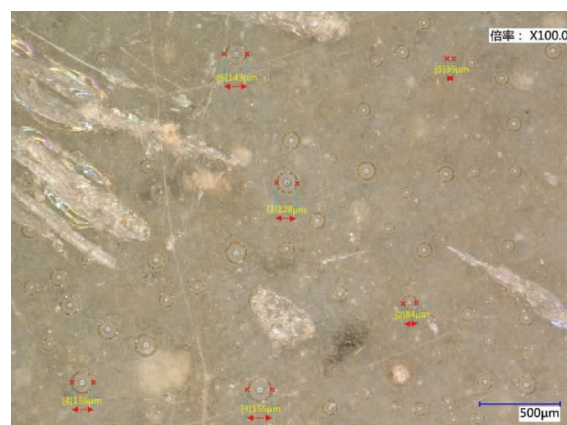


图 3 17-HYY-011 釉面显微照片

Fig. 3 Glaze microphoto of Sample 17-HYY-011

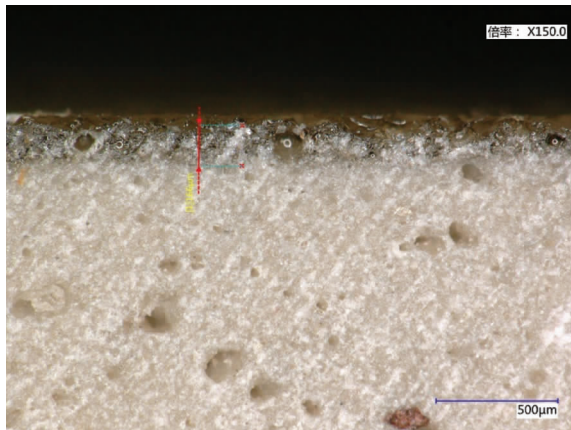


图 4 17-HYY-001 截面显微照片  
 Fig. 4 Section microphoto of Sample 17-HYY-001

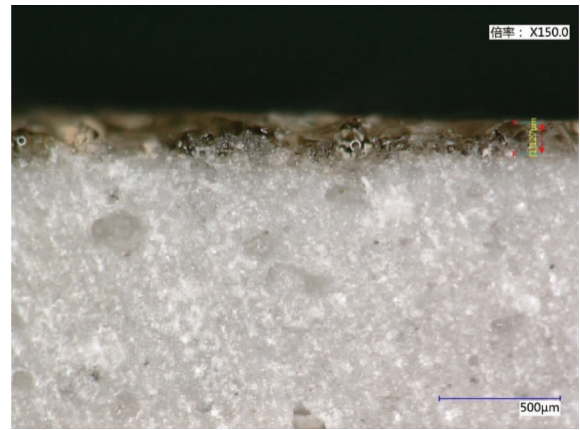


图 5 17-HYY-011 截面显微照片  
 Fig. 5 Section microphoto of Sample 17-HYY-011

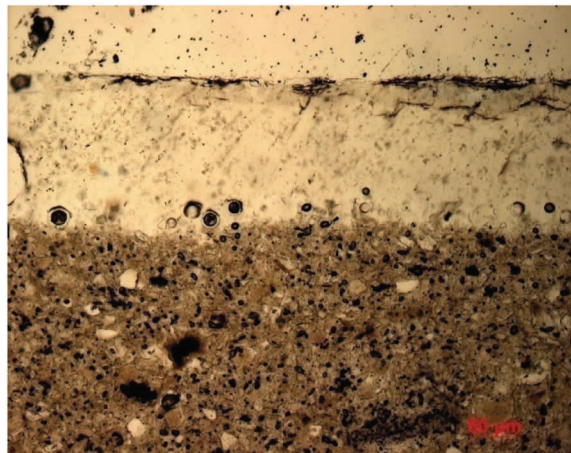


图 6 17-HYY-001 单偏光显微照片  
 Fig. 6 Plane-polarized light microphoto of Sample 17-HYY-001

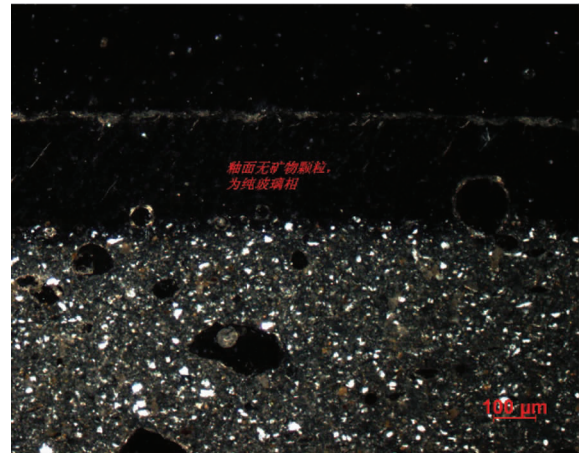


图 7 17-HYY-001 正交偏光显微照片  
 Fig. 7 Cross-polarized light microphoto of Sample 17-HYY-001

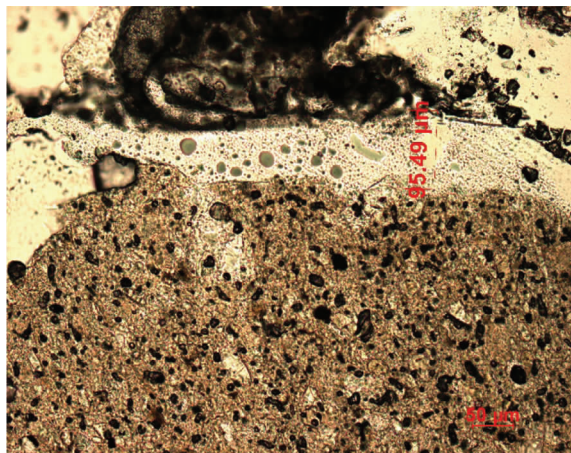


图 8 17-HYY-011 单偏光显微照片  
 Fig. 8 Plane-polarized light microphoto of Sample 17-HYY-011

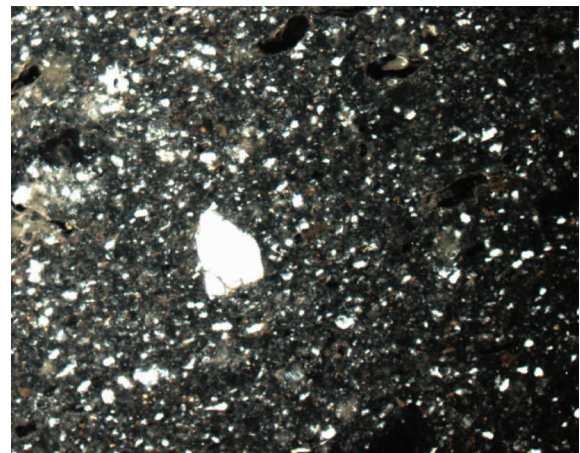


图 9 17-HYY-011 正交偏光显微照片  
 Fig. 9 Cross-polarized light microphoto of Sample 17-HYY-011

从两个样本的体视显微照片中可以看出,黄岩窑样品釉中气泡相对比较少,气泡直径在 50 ~ 160 $\mu\text{m}$  不等,分布均匀。从显微截面照片看,样品胎质细腻,大多成灰白色,胎体中分布有少量的气孔,打磨时明显感觉到硬度较大。釉层从偏光显微照片中可以看出,样品胎釉之间没有明显的反应层,且总体而言釉层较薄,釉面气泡比较少,主要集中在釉层底部。釉面无明显的残留矿物,多为玻璃相和少量气相。胎体中颗粒明显,分布有大量的残留石英颗粒以及较少的黏土团。胎体中石英颗粒多数在几十微米的范围内,且分布也比较均匀,可见其应该为瓷石原料所固有<sup>[2]</sup>。从图中可见,胎中的石英的棱角均已圆钝,说明其烧成温度比较高。

### 3 热释光断代测试

#### 3.1 实验原理与目的

实验原理:热释光是一种物理现象,它是固体受到电离辐射激发而积蓄起来的辐射能在加热过程中以光子形式释放出来的一种磷光。利用这种现象,可以测定陶瓷器和砖瓦等物体的烧制年代。因为热释光是用辐射吸收剂量来量度的,所以热释光测定年代主要是测量一件器物的“古剂量”(即陶瓷器烧成以来到测定年代为止所吸收的自然辐照累积剂量)和“年剂量”(即陶瓷器一年吸收的辐照剂量)这两个参数,只要将这件陶器的古剂量除以它自己的年剂量,就得到了这件器物最后一次受热以来所经过的时间或者烧制年代<sup>[3]</sup>。

$$\text{年代}(A) = \frac{\text{古剂量}(P)}{\text{年剂量}(D)}$$



图 10 黄岩沙埠窑热释光测试样品正面

Fig. 10 Front of the thermoluminescence test samples of Huangyan Shabu Kiln Sites

由于黄岩窑并未得到考古部门的正式发掘,因此出土陶瓷缺少地层信息而无法准确判断其烧造年代。因此,需要运用热释光技术作为辅助手段来验证古陶瓷的绝对年代。虽然通过热释光技术可以推算出古陶瓷的绝对年代,但是实验结果仍然会存在  $\pm 10\%$  左右的误差。

本次实验选取 5 片典型样品进行热释光测试,以此来推断黄岩窑沙埠窑址的绝对年代,从而弥补黄岩窑年代信息的缺失。

#### 3.2 实验设备与步骤

本次实验采用的测试设备为丹麦 Risø 国立热释光实验室研制的 Risø TL/OSL DA - 20 Dating System,测量时通高纯氮气(99.99%),放射源为铯 90。

测试前需要先进行制样,即从所选样品上取下一小块研磨成 200 $\mu\text{m}$  的粉末,然后用玻璃碟盛放后再放入仪器内进行测量。

#### 3.3 实验样品

本次实验主要按照种类、器形、胎釉等因素进行实验样品的挑选,确保实验对象具有一定的代表性。根据以上指标挑选出黄岩窑青瓷样品 5 件,分别为 17 - HYY - 001、17 - HYY - 006、17 - HYY - 011、17 - HYY - 041、17 - HYY - 043(图 10 ~ 11)。这五件标本器形涵盖碗、盘、罐,基本涵盖了整批标本的所有类型,所以这个测试结果可以基本代表这批标本的烧造年代。

#### 3.4 实验结果与分析

在本次实验测试中,实验样品测试结果误差在合理范围内,具体实验结果见表 2。



图 11 黄岩沙埠窑热释光测试样品底面

Fig. 11 Bottom of the thermoluminescence test samples of Huangyan Shabu Kiln Sites

表 2 热释光测定黄岩沙埠窑样品年代数据信息表  
Table 2 The age data of Huangyan kiln measured by thermoluminescence

样品编号	样品名称	信号强度	热释光年代(±10%)	公元年代(±10%)	对应朝代
17-HYY-001	黄绿釉牡丹花纹碗底	强	距今 891	1126	北宋晚期
17-HYY-006	青绿釉太阳牡丹纹碗底	强	距今 971	1046	北宋中期
17-HYY-011	青釉两面刻花碗底	强	距今 878	1139	南宋早期
17-HYY-041	青釉盘残片	强	距今 1187	830	唐代晚期
17-HYY-043	青釉罐残片	强	距今 1018	999	五代时期

从本次实验的测试结果来看,实验样本的年限跨度并不算大,年代上限为唐代晚期(公元 830 年),下限为南宋早期(1139 年)。按照年代的先后顺序实验标本排序如下:①17-HYY-041(青釉盘残片);②17-HYY-043(青釉罐残片);③17-HYY-006(青绿釉太阳牡丹纹碗底);④17-HYY-001(黄绿釉牡丹花纹碗底);⑤17-HYY-011(青釉两面刻花碗底)。

这一实验数据结果与学界一贯以来认为的黄岩沙埠窑的烧造年代为晚唐至北宋不同。结合黄岩沙埠窑 17-HYY-011 标本的热释光检测结果以及对于瓷片的直接观察,17-HYY-011 标本釉色偏青,与龙泉窑产品的发色相近。因此,有理由认为黄岩沙埠窑址的出土瓷片中存在部分南宋青瓷遗存。

所以,通过本次研究的热释光年代测定实验,可以得出以下结论:黄岩沙埠窑的陶瓷烧造年代跨度为唐代晚期至南宋早期。

## 4 胎釉成分 EDXRF 测试

### 4.1 实验原理与目的

能量色散 X-荧光光谱分析法(EDXRF)因具有简便、快速、非破坏性和多元素同时分析等特点,已被用来作为古陶瓷及其他文物材料成分测定及其特征分析的有效手段。能量色散 X-荧光光谱分析法(EDXRF)的工作原理是使用 X 射线激发待测样品,收集样品被激发后产生的 X 射线信息,经过特定的分析程序解析,从而得到样品的元素组成信息<sup>[4]</sup>。

本次实验拟通过 EDXRF 测试获取黄岩沙埠窑样品和上林湖越窑遗址样品胎釉中的常量元素(包括  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{MgO}$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;  $\text{K}_2\text{O}$ ;  $\text{CaO}$ ;  $\text{TiO}_2$ ;  $\text{MnO}$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )的组成信息。并将黄岩沙埠窑样品和上林湖越窑遗址样品的胎釉常量元素进行对比分析。

### 4.2 实验设备与步骤

本次实验采用的设备为上海博物馆购置的美国伊达克斯(EDAX)公司生产的 EAGLEIII XXL 能量色散 X 射线荧光光谱仪。控制及数据处理软件为 Vision32。辐射到样品表面的 X 射线束斑直径为 2mm。实验标样采用多标样的基本参数法。实验采用的标准样品来源为 10~20 个国家标准陶瓷样品以及上博自烧后经检测定值后的陶瓷样品。

实验步骤:1) 将同时露出胎釉的样品(胎体待测区域经釉面打磨去除、清洗形成平整胎面)放入样品台,确保样品低于探头保护装置 20mm;

2) 关闭样品室门,将空气抽至真空状态;

3) 设置测试条件,调整样品台方位以对焦测试点,进行陶瓷样品胎釉成分的检测;

4) 计算常量元素测试结果并输出。

### 4.3 实验样品

本次 EDXRF 测试选用了黄岩沙埠窑 25 件实验样品中具有代表性的样品 10 件进行胎釉化学成分检测,样品编号分别为:17-HYY-001;17-HYY-002;17-HYY-006;17-HYY-011;17-HYY-017;17-HYY-027;17-HYY-028;17-HYY-035;17-HYY-041;17-HYY-043(图 12~13)。同时,选取了 10 件上林湖越窑遗址的样品一同进行测试,以便比较两者胎釉成分的异同。上林湖越窑样品编号分别为:17-HSA-001;17-HSA-003-1;17-HSA-005;17-HSA-006;17-HSA-007;17-HSA-008;17-HSA-011;17-HSA-016;17-HSA-003-2;17-HSA-017(图 14~15)。

### 4.4 瓷胎的检测结果及数据分析

表 3 列出了 10 件黄岩沙埠窑出土青瓷样品和 10 件上林湖越窑出土青瓷样品瓷胎的常量元素组成信息。





图 12 黄岩沙埠窑 EDXRF 检测样品正面  
Fig. 12 Front of the EDXRF test samples of Huangyan Shabu Kiln Sites



图 13 黄岩沙埠窑 EDXRF 检测样品底面  
Fig. 13 Bottom of the EDXRF test samples of Huangyan Shabu Kiln Sites



图 14 上林湖越窑 EDXRF 检测样品正面  
Fig. 14 Front of the EDXRF test samples of Yue Kiln Site at Shanglin Lake



图 15 上林湖越窑 EDXRF 检测样品底面  
Fig. 15 Bottom of the EDXRF test samples of Yue Kiln Site at Shanglin Lake

表 3 黄岩沙埠窑 & 上林湖越窑出土青瓷样品胎常量元素组成

Table 3 Body element composition of porcelains excavated from Huangyan Shabu Kiln Site and Yue Kiln Site at Shanglin Lake (%)

序号	样品编号	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	17-HYY-001	0.59	0.56	16.67	76.24	0.06	2.69	0.30	0.77	0.03	2.08
2	17-HYY-002	0.78	0.49	14.85	77.85	0.06	2.78	0.38	1.00	0.02	1.79
3	17-HYY-006	0.88	0.67	20.18	71.06	0.07	3.15	0.30	0.75	0.03	2.92
4	17-HYY-011	0.67	0.54	16.50	75.68	0.05	3.14	0.24	0.92	0.03	2.22
5	17-HYY-017	0.46	0.57	18.82	73.26	0.07	3.03	0.34	0.85	0.03	2.56
6	17-HYY-027	0.85	0.59	19.39	72.32	0.07	3.17	0.30	0.69	0.03	2.61
7	17-HYY-028	0.44	0.58	16.53	76.39	0.08	2.40	0.47	0.88	0.02	2.20
8	17-HYY-035	0.64	0.55	16.96	76.52	0.05	2.34	0.21	0.83	0.01	1.88
9	17-HYY-041	0.49	0.53	16.34	76.57	0.07	2.38	0.34	0.93	0.02	2.31
10	17-HYY-043	0.64	0.53	19.09	73.80	0.06	2.49	0.23	0.86	0.02	2.29
11	17-HSA-001	0.93	0.56	15.48	76.88	0.06	2.84	0.32	0.82	0.01	2.09
12	17-HSA-003-1	0.92	0.60	16.40	75.65	0.07	2.89	0.38	0.85	0.02	2.23
13	17-HSA-005	1.28	0.49	14.58	77.46	0.06	2.68	0.36	0.80	0.02	2.29
14	17-HSA-006	0.97	0.51	15.19	77.25	0.05	2.90	0.31	0.78	0.01	2.03
15	17-HSA-007	1.01	0.51	14.71	77.50	0.06	2.73	0.32	0.83	0.02	2.31

(续表3)

序号	样品编号	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
16	17-HSA-008	0.95	0.54	14.79	77.69	0.05	2.73	0.30	0.81	0.02	2.10
17	17-HSA-011	1.02	0.48	14.74	77.65	0.06	2.56	0.41	0.80	0.02	2.26
18	17-HSA-016	0.92	0.60	16.13	75.73	0.06	3.13	0.39	0.81	0.02	2.22
19	17-HSA-003-2	0.96	0.64	16.92	74.86	0.06	2.82	0.33	0.85	0.02	2.53
20	17-HSA-017	0.73	0.63	17.81	74.05	0.06	2.95	0.35	0.76	0.02	2.64

其中,黄岩沙埠窑样品瓷胎中 Na<sub>2</sub>O 的含量在 0.44%~0.88% 之间波动, MgO 的含量在 0.49%~0.67% 之间波动, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量在 14.85%~20.18% 之间波动, SiO<sub>2</sub> 的含量在 71.06%~77.85% 之间波动, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的含量在 0.05%~0.08% 之间波动, K<sub>2</sub>O 的含量在 2.34%~3.17% 之间波动, CaO 的含量在 0.21%~0.47% 之间波动, TiO<sub>2</sub> 的含量在 0.69%~1.00% 之间波动, MnO 的含量在 0.01%~0.03% 之间波动, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量在 1.79%~2.92% 之间波动。其中,可以明显看出,黄岩沙埠窑和上林湖越窑的胎均具有高硅低铝的特性,制胎的主要原料应为瓷石质粘土。

为了更加直观地比较黄岩沙埠窑样品与越窑样品常量元素化学成分组成方面的差异与区别,数据处理运用 SPSS 22.0 软件对胎的常量元素组成做因子分析。指定利用分析变量相关矩阵为提取因子的依据,因子提取方法选主成分分析法,指定提取公共因子的数目为 3,因子旋转方法选则方差最大正交旋转法,因子得分的计算方法选则回归法。

从胎的常量元素因子分析的 KMO 和球形 Bartlett 检验结果来看, KMO 值为 0.209,说明原变量做因子分析不太适合。但 Bartlett 球度检验的概率值为 0.000,即假设被拒绝,也就是说可以认为相关

系数矩阵与单位矩阵有显著差异,即可以做因子分析。根据因子分析提取特征根的共同度, MgO、K<sub>2</sub>O、TiO<sub>2</sub> 和 MnO 的共同度只有 0.643、0.593、0.621 和 0.477,说明这两个变量的信息有部分丢失, Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、CaO 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的共同度分别为 0.881、0.939、0.961、0.905、0.949 和 0.824,说明这三个变量信息提取得比较完整。根据因子得分的系数矩阵可以得出:

$$F1 = -0.152Na_2O + 0.166MgO + 0.239Al_2O_3 - 0.227SiO_2 + 0.112P_2O_5 + 0.076K_2O - 0.077CaO - 0.044TiO_2 + 0.159MnO + 0.164Fe_2O_3$$

$$F2 = 0.516Na_2O + 0.069MgO - 0.139Al_2O_3 + 0.010SiO_2 - 0.137P_2O_5 + 0.310K_2O + 0.088CaO - 0.367TiO_2 - 0.045MnO + 0.156Fe_2O_3$$

$$F3 = 0.082Na_2O + 0.048MgO - 0.151Al_2O_3 + 0.086SiO_2 + 0.447P_2O_5 - 0.017K_2O + 0.611CaO + 0.048TiO_2 + 0.045MnO + 0.111Fe_2O_3$$

其中,第一,二,三个因子解释所有原始变量总方差的百分比分别为 44.726%、18.294%、14.905%,累计解释原始变量的总方差为 77.926%。表 4 给出的是旋转后的成分矩阵,可以看出第一个因子主要解释了 MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量,第二因子主要解释了 Na<sub>2</sub>O 的含量,第三个因子主要解释了 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 CaO 的含量。

表 4 旋转后的成分矩阵(胎)  
Table 4 Rotated composition matrix(body)

化学组成	组件		
	1	2	3
Na <sub>2</sub> O	-0.397	0.850	0.037
MgO	0.770	0.200	0.102
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.946	-0.116	-0.177
SiO <sub>2</sub>	-0.971	-0.103	0.091
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.515	-0.248	0.760
K <sub>2</sub> O	0.481	0.600	-0.050
CaO	-0.171	0.046	0.958
TiO <sub>2</sub>	-0.360	-0.691	0.115
MnO	0.682	-0.009	0.111
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.816	0.347	0.192

图 16 ~ 17 分别显示各个因子的得分散点图。样品简称意义如下:HYH——黄岩窑样品;YY——越窑上林湖样品。从表 3 中不难看出,黄岩窑和越窑的样品在第一个因子所代表的 MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量上有明显区别。而同样出自黄岩窑的样品也可分为两种类型。配合表 3 发现黄岩窑部分样品的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量达到了 18% 以上,这与越窑

样品相比略显偏高。图 16 显示,第二个因子所代表的 Na<sub>2</sub>O 含量两者有明显的区别。结合表 3 可以看出,黄岩窑的 Na<sub>2</sub>O 含量明显低于越窑。通过观察图 20,发现第三个因子代表的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 CaO 的含量上两类标本差别还是明显的。只是黄岩窑的标本并不完全一致。说明黄岩窑标本制胎用料可能并不出自同一矿源。

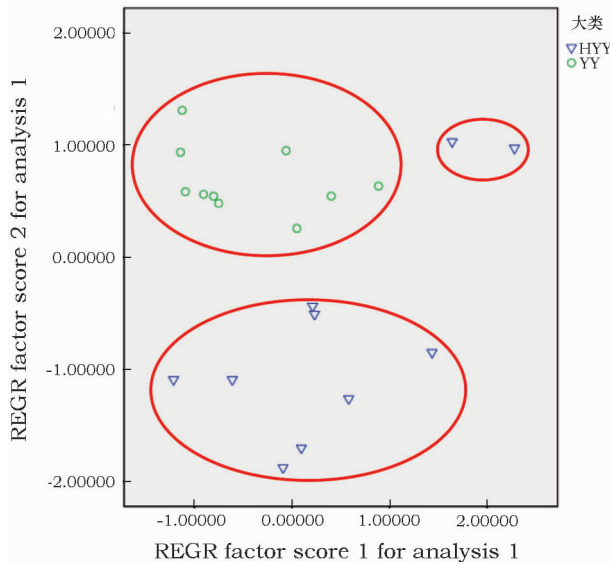


图 16 F1 与 F2 因子散点图

Fig. 16 Factor scatter diagram of F1 and F2

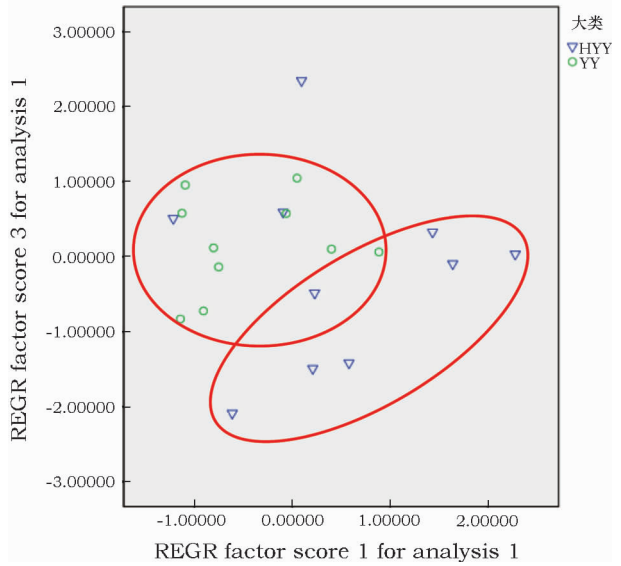


图 17 F1 与 F3 因子散点图

Fig. 17 Factor scatter diagram of F1 and F3

由于两张二维散点图可以反映三维散点图的全部信息,故 F1 和 F3 的散点图就不再赘述。综上,从胎的化学组成角度来讲,黄岩沙埠窑样品在 Na<sub>2</sub>O 含量上与上林湖越窑样品相比明显偏低,黄岩沙埠窑部分样品的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量也明显高于越窑样品,

除此之外,在其他元素组成上并无显著区别。

#### 4.5 瓷釉的检测结果及数据分析

表 5 列出了 10 件黄岩沙埠窑出土青瓷样品和 10 件上林湖越窑出土青瓷样品瓷釉的常量元素组成信息。

表 5 黄岩沙埠窑 & 上林湖越窑出土青瓷样品釉常量元素组成

Table 5 Glaze element composition of porcelains excavated from Huangyan Shabu Kiln Sites and Yue Kiln Site at Shanglin Lake (%)

序号	样品编号	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	17-HYY-001	0.60	3.22	13.11	60.71	0.75	1.96	16.08	0.67	0.75	2.15
2	17-HYY-002	0.72	3.06	11.06	63.14	0.72	1.70	15.73	0.80	0.58	2.50
3	17-HYY-006	0.81	2.91	13.17	59.19	0.69	1.72	16.76	0.65	0.63	3.46
4	17-HYY-011	0.68	2.88	11.67	58.92	0.71	1.62	19.66	0.66	0.54	2.65
5	17-HYY-017	0.82	2.49	12.66	60.94	0.62	2.11	16.72	0.74	0.55	2.36
6	17-HYY-027	0.71	2.54	11.31	63.14	0.71	1.85	16.14	0.71	0.59	2.30
7	17-HYY-028	0.85	2.47	10.87	64.40	0.58	3.01	14.13	0.69	0.42	2.59
8	17-HYY-035	0.81	2.14	12.30	64.16	0.67	2.22	14.37	0.65	0.32	2.37
9	17-HYY-041	0.60	1.65	13.63	68.50	0.45	2.56	9.18	0.69	0.36	2.29
10	17-HYY-043	0.66	1.54	13.51	64.46	0.53	3.68	12.29	0.68	0.27	2.38
11	17-HSA-001	0.86	3.14	11.15	62.49	0.77	1.48	16.42	0.59	0.60	2.50

(续表5)

序号	样品编号	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
12	17-HSA-003-1	0.80	2.98	12.50	61.98	0.65	1.44	15.97	0.61	0.50	2.58
13	17-HSA-005	0.93	3.04	11.80	62.56	0.70	1.38	15.63	0.63	0.63	2.70
14	17-HSA-006	0.90	2.96	12.63	64.45	0.68	1.47	13.00	0.64	0.50	2.79
15	17-HSA-007	0.94	3.17	11.91	62.29	0.69	1.38	15.70	0.64	0.63	2.66
16	17-HSA-008	0.91	3.20	12.25	63.60	0.72	1.59	14.12	0.58	0.43	2.60
17	17-HSA-011	0.77	3.25	11.45	61.42	0.75	1.38	16.80	0.62	0.68	2.87
18	17-HSA-016	1.03	2.29	11.03	66.27	0.52	2.92	13.01	0.56	0.38	2.00
19	17-HSA-003-2	0.86	2.99	12.88	62.45	0.62	1.43	14.89	0.63	0.48	2.77
20	17-HSA-017	0.97	2.60	10.34	68.34	0.50	2.10	11.04	0.59	0.38	3.14

其中,黄岩沙埠窑样品釉中 Na<sub>2</sub>O 的含量在 0.60% ~ 0.85% 之间波动, MgO 的含量在 1.54% ~ 3.22% 之间波动, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量在 10.87% ~ 13.63% 之间波动, SiO<sub>2</sub> 的含量在 58.92% ~ 68.50% 之间波动, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的含量在 0.45% ~ 0.75% 之间波动, K<sub>2</sub>O 的含量在 1.62% ~ 3.68% 之间波动, CaO 的含量在 14.13% ~ 19.66% 之间波动, TiO<sub>2</sub> 的含量在 0.65% ~ 0.80% 之间波动, MnO 的含量在 0.32% ~ 0.75% 之间波动, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量在 2.15% ~ 3.46% 之间波动。从釉中的化学组成来看,黄岩釉属于高钙釉,或称石灰釉,这与浙江越窑系青瓷的特征相符,釉用原料除瓷石外还有由石灰石、草木植物合炼而成的釉灰。

用与胎同样的方法对两类青瓷样品的青釉化学成分进行因子分析。同样提取 3 个公共因子。其中

第一个因子主要解释 MgO、SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、CaO 和 MnO 的含量,第二个因子主要解释 TiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量,第三个因子主要解释 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量。

图 18 ~ 19 分别显示的是各个因子的得分散点图。从 F1 与 F2 因子散点图可以比较清晰地看到它们内在特征的区别,黄岩窑中亦有个别标本有特别的个性表现。从 F1 与 F3 因子散点图中可见两窑有很大的区域几乎交混在一起难以区分,从而可以看到它们相似性的一面。部分黄岩沙埠窑的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量略高于越窑,而在 TiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量上,黄岩窑和越窑差别较为明显,黄岩窑青釉中 TiO<sub>2</sub> 的含量普遍略高于越窑,而 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量则普遍略低于越窑。这主要体现在两者的成色差别上,越窑釉的发色较黄岩窑而言更偏蓝绿色一些,大部分黄岩窑的釉色略显青中偏黄。

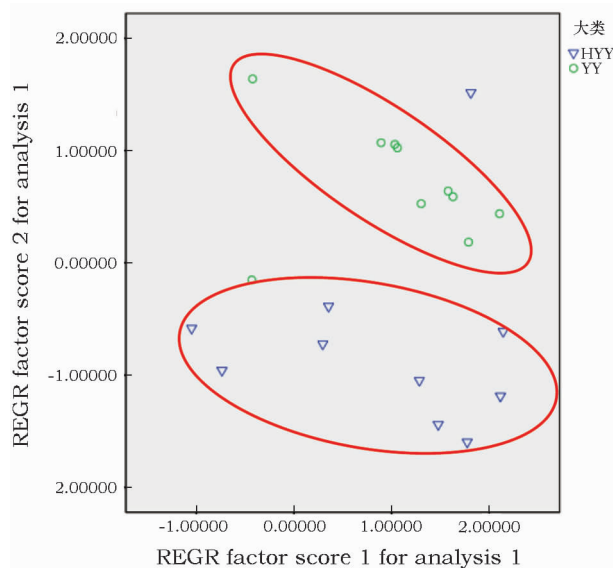


图 18 F1 与 F2 因子散点图

Fig. 18 Factor scatter diagram of F1 and F2

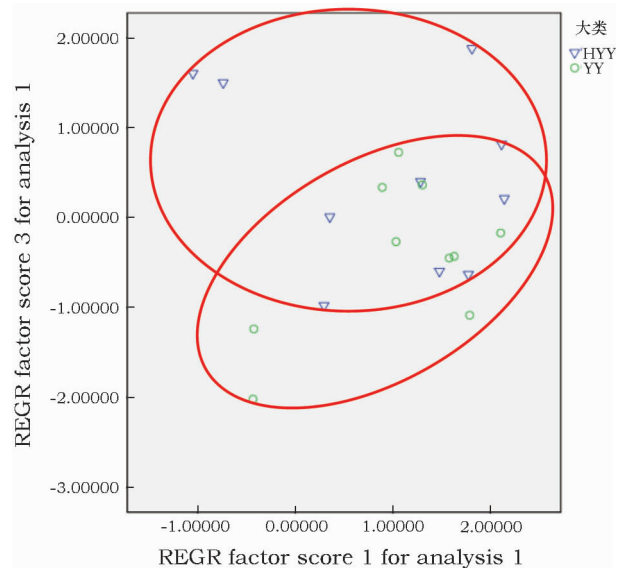


图 19 F1 与 F3 因子散点图

Fig. 19 Factor scatter diagram of F1 and F3

通过黄岩沙埠窑样品与上林湖越窑样品胎釉主成分化学组成的对比分析,不难发现,黄岩沙埠窑样品在胎釉化学成分的成分方面大部分元素的含量与越窑产品相似,两者均为使用本地产的瓷石单一原料配制而成。但是,两者之间还是存在一些区别。黄岩沙埠窑部分样品的胎釉在  $Al_2O_3$  的含量都明显高于越窑样品,此外,黄岩沙埠窑样品胎体中  $Na_2O$  的含量明显低于上林湖越窑样品,在釉质中黄岩窑青釉中  $TiO_2$  的含量普遍略高于越窑,而  $Fe_2O_3$  的含量则普遍略低于越窑。这主要使得黄岩沙埠窑产品的发色相比越窑产品偏深,釉烧成熟温度偏高。

## 5 结 论

本研究通过对黄岩沙埠窑址青瓷标本的科技检测研究,得到如下结论:

1) 运用了显微结构分析解剖“黄岩窑”产品的内部结构特征,显示其胎质细腻,致密度高,胎体中矿物颗粒细小,分布均匀,胎体中都存在少量气孔。釉中气泡分布均匀,主要集中在胎釉结合部。釉层较薄,平均在 0.02cm 左右,釉面无残留的矿物颗粒,为玻璃相与气相组成。从胎体残留的石英颗粒分布及晶相分析,可知其原料应该为瓷石,且烧成温度比较高。

2) 通过热释光技术测定黄岩沙埠窑址青瓷烧造的绝对年代,检测结果显示其烧制年代为唐代晚期至南宋时期,这是一个全新的发现和结论。在本次研究之前,学界一般认为黄岩沙埠窑的烧造年代为唐代晚期至北宋时期,而本次研究中通过热释光测试结果发现黄岩沙埠窑在南宋时期仍然存在继续烧造的情况。

3) 通过黄岩沙埠窑青瓷样品和上林湖越窑样品的 EDXRF 测试数据的对比分析,发现黄岩沙埠窑产品在胎釉化学成分的成分方面大部分元素的含

量与越窑产品相似,都是用本地产的瓷石单一原料配制而成。但是两者仍存在明显的差别,比如胎釉氧化铝含量偏高——硬度比越窑要高;釉中的氧化钛和氧化铁成分有异——影响成色等。说明所用本地原料之差别。

综上可得:“黄岩窑”是晚唐至南宋时期浙江重要的窑址遗存,具有较高的陶瓷烧造技艺。因此,“黄岩窑”是浙江陶瓷发展史的重要组成部分,具有极大的考古研究价值。

## 参考文献:

- [1] 王洪敏. 宋代瓷器若干问题的科技分析[D]. 合肥:中国科学技术大学,2010:1-95.  
WANG Hong-min. Technical analysis of several problems in Song Dynasty porcelain[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2010:1-95.
- [2] 李家治. 中国科学技术史·陶瓷卷[M]. 北京:科学出版社,1998:132.  
LI Jia-zhi. History of science and technology in China·Ceramic [M]. Beijing: Science Press, 1998:132.
- [3] 王维达. 古陶瓷热释光测定年代的研究和进展[J]. 中国科学(编辑:技术科学),2009,39(11):1767-1799.  
WANG Wei-da. The research and development of ancient ceramic thermoluminescence dating [J]. Science in China (Series E: Technological Sciences), 2009, 39(11):1767-1799.
- [4] 周少华,付 略,梁宝璠,等. 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 Shao-hua, FU Lue, LIANG Bao-liu, et al. The analysis of EDXRF trace elements in the source of cultural relics [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(5):1181-1185.
- [5] 周少华. 论“越窑”与“越窑系”[C]//中国越窑高峰论坛论文集. 文物出版社,2007:16-22.  
ZHOU Shao-hua. “Yue kiln” and “Yue ware system” [C]// Proceedings of Chinese Yue Kiln Summit Forum. Cultural Relics Press, 2007:16-22.

**Study of the related issues about celadon – making technologies  
of Huangyan Kiln in Zhejiang province  
——taking the Huangyan Shabu Kiln Sites as an example**

LOU Jia – qing<sup>1</sup>, WANG Yu<sup>2</sup>, LUO Yong – hua<sup>3</sup>, XIONG Ying – fei<sup>4</sup>, ZHOU Shao – hua<sup>1</sup>

(1. *Department of Cultural Heritage and Museology, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China;*

2. *Cultural Relics Management Committee of Zhejiang Taizhou, Taizhou 318000, China;*

3. *Huangyan Museum, Taizhou 318020, China;*

4. *Shanghai Museum, Shanghai 200003, China)*

**Abstract:** The object of our study was the “Huangyan Shabu Kiln Sites” in Zhejiang province. We investigated the Shabu Sites and the surrounding areas and also took some typical celadon samples through archaeological field surveys. We then used archaeometric methods to study the product characteristics, porcelain – making technologies, and the production time of the kilns. The internal structures of the body and glaze of the celadons unearthed from Huangyan were analyzed by optical microscopy. The chronological age of these typical celadon samples was determined using thermoluminescence. The chemical compositions of the body and glaze of samples from both Huangyan and Shanglin Lake were determined by energy dispersive X – ray fluorescence (EDXRF) and compared. In addition, by comparative study of the characteristics of Yue ware, we found the samples from the Huangyan Kiln were basically in line with the products of Yue ware system, in terms of raw materials, fuels, furnace structures, shape features, decorative arts and processing technologies. The study results show that the Huangyan Shabu Kilns in Zhejiang province are important kiln remains dating from the late Tang Dynasty to the Southern Song Dynasty. They belong to Yue ware system and show high ceramic – firing skills and significant archaeological research values.

**Key words:** Huangyan; Celadon; Microstructure; Thermoluminescence; EDXRF

(责任编辑 谢 燕)