

# 安阳鞠庆墓出土陶瓷样品的科学分析研究

王星 刘煜 孔德铭 康葆强 丁银忠 李合 李媛

(北京 100009) (北京 100101) (河南 安阳 475000)

**摘要:**2020年,河南安阳隋代鞠庆夫妇墓考古出土一批陶瓷制品。本研究使用X射线荧光光谱仪、扫描电镜、X射线衍射仪等仪器对该墓出土陶瓷制品进行成分分析、显微结构观察和物相组成分析,并使用热膨胀仪测定部分陶瓷制品的烧成温度。分析可知,鞠庆墓部分出土陶瓷标本的烧成温度约为1200℃,已达到古代高温瓷器烧成标准。在部分陶瓷标本胎体内部发现有含铅物相,表明此时北方地区高岭土胎陶瓷制品的原料处理工艺波动较大,可能处在技术摸索阶段。

**关键词:**安阳隋代鞠庆夫妇墓;陶瓷制品;科学分析;早期白瓷

中图分类号:K854.2

文献识别号:A

文章编号:1001-0327(2024)03-0138-08

隋代瓷器在中国陶瓷发展史上具有重要地位,为北方瓷业发展奠定了坚实基础。今河南安阳地区是北朝至隋代北方重要瓷业中心之一,代表性窑址有相州窑等。目前学界对隋代安阳地区陶瓷制品的认识仍有不足,经科学分析的陶瓷样品数据积累不够。

2020年,河南省安阳市考古研究所抢救发掘了隋代开皇十年(公元590年)鞠庆夫妇合葬墓<sup>①</sup>。该墓早期被盗,但仍出土遗物300余件,包括一批陶瓷制品。本研究选取该墓出土17件陶瓷样品,对其胎釉成分、显微结构、物相组成和烧成温度等进行科学分析,为讨论隋代安阳地区陶瓷制品的材料选择和制作技术,进而了解隋代陶瓷业基本面貌提供科学依据和技术支持。

## 一、样品介绍

本次检测分析样品由河南省安阳市考古研究所提供,共分析鞠庆墓出土陶瓷器标本17件,均为残片,将其依次编号为QQM-1至QQM-17。

根据是否施釉、胎色与器类属性等外观特征,17件样品可初步分为四组。第一组即QQM-1至QQM-6,共6件。它们均是带釉瓷片,胎体较薄,釉层呈色在青、白之间,应是日用器残片。第二组共9件,包括QQM-7至QQM-13、QQM-15和QQM-16。该组样品属白胎无釉器。部分样品器表有红彩或黑彩残留,多是俑和模型明器残片。第三组仅1件,即QQM-14。灰胎陶片,应属日用器形。第四组仅1件,即QQM-17。红胎陶片,应是日用器残片。17件样品详细信息参见表一。

## 二、分析方法及仪器介绍

本次实验对这批样品进行了成分分析、显微分析、物相分析和烧成温度测定四项工作。

第一,胎釉成分分析。采用美国EDAX公司ORBIS型号X射线荧光光谱仪进行元素分析。该能谱仪配制的X射线管为铑靶,Si(Li)探测器。管电压最大40kV,电流800 $\mu$ A,测量时间60s,为半定量分析结果。

**作者:**王星,中国社会科学院考古研究所;刘煜,中国社会科学院考古研究所;孔德铭,安阳市文物考古研究所;康葆强、丁银忠、李合、李媛,故宫博物院文保科技部。

表一 安阳鞠庆墓出土的陶瓷标本信息

编号	组别	胎釉信息	器型
QQM-1	第一组	淡青白釉,白胎	日用器残片
QQM-2	第一组	淡青白釉,白胎	日用器残片
QQM-3	第一组	淡青白釉,白胎	日用器残片
QQM-4	第一组	淡青白釉,白胎	日用器残片
QQM-5	第一组	淡青白釉,白胎	日用器残片
QQM-6	第一组	淡青白釉,白胎	日用器残片
QQM-7	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-8	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-9	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-10	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-11	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-12	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-13	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-14	第三组	无釉,灰胎	日用器残片
QQM-15	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-16	第二组	未施釉,白胎	俑和模型明器残片
QQM-17	第四组	无釉,红胎	日用器残片

第二,显微分析。采用捷克TESCAN公司的MIRA3型场发射扫描电子显微镜(SEM)对样品的胎体、釉层、颜料及胎釉中间层等显微结构进行观察。实验测试条件为:高亮度肖特基电子枪,背散射电子探头,低真空模式,扫描电镜电压为25kV,背散射电子图像分辨率为3.0nm。采用与上述场发射扫描电镜相配的美国EDAX公司Pegasus型X射线能谱仪与电子背散射衍射一体化分析系统,Octane Elite

硅漂移探测器,对样品的胎体、釉层、颜料及胎釉中间层等的微区元素组成进行测试分析。实验测试条件为:扫描电镜电压25kV,分辨率129eV,测量时间60s。为便于显微结构的比较与统计,待测样品均被制成表面抛光的电子探针片。

第三,胎体和颜料的物相分析。采用德国布鲁克D8 Discover X射线衍射仪,Co靶,束斑400μm。管电压40kV,管电流375μA。2θ=20-60°,步进扫描,步数:3,每步100秒。探测器:二维面探测器Vantec-500,测角仪半径198mm。

第四,烧成温度测定。运用德国耐驰公司DIL402C型热膨胀仪测定其中5件标本样品的重烧热膨胀曲线。测试条件如下:样品尺寸为25mm×5mm×5mm,测试升温速率为5°C/min,吹扫气为氮气,流量为50ml/min。

### 三、分析结果

#### (一)成分分析

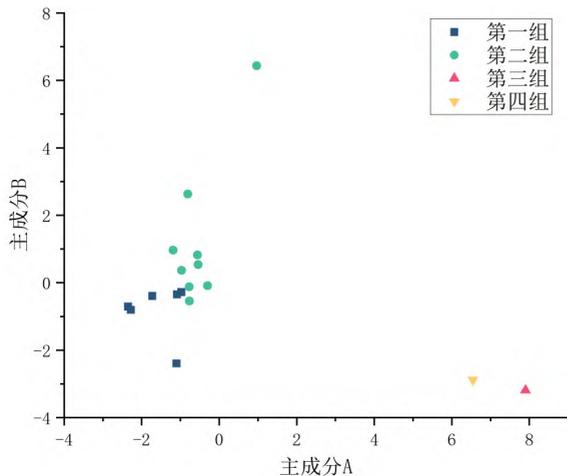
##### 1.胎体成分

本次检测17件陶瓷样品胎体元素组成含量参见表二。使用统计分析软件Stata对表二数据进行了主成分分析(principle components

表二 安阳鞠庆墓样品胎体元素组成含量表

(Na<sub>2</sub>O~Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>单位为质量百分比wt.%, MnO~ZrO<sub>2</sub>单位为ppm)

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>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CuO	ZnO	PbO <sub>2</sub>	Rb <sub>2</sub> O	SrO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>
QQM-1	1.10	1.50	25.21	67.28	0.15	2.03	0.39	1.08	1.14	93	88	65	161	154	125	77	491
QQM-2	1.72	1.32	25.45	66.37	0.16	1.94	0.42	1.03	1.46	98	81	57	177	156	119	91	525
QQM-3	0.75	1.17	22.44	71.59	0.18	1.90	0.27	0.97	0.62	64	80	24	128	153	106	82	511
QQM-4	1.20	1.26	21.66	71.75	0.12	1.90	0.28	1.05	0.67	71	79	45	166	144	93	61	516
QQM-5	1.01	1.47	21.77	70.47	0.16	2.35	0.87	0.89	0.89	70	80	52	282	171	119	91	439
QQM-6	1.69	1.34	23.49	68.51	0.18	2.15	0.54	1.15	0.83	90	76	42	215	148	97	66	520
QQM-7	0.82	1.78	24.82	67.76	0.17	2.16	0.40	1.02	0.92	43	105	49	498	163	133	97	484
QQM-8	0.74	1.54	25.39	66.91	0.19	2.18	0.77	1.10	0.99	76	109	52	711	167	116	98	471
QQM-9	1.09	1.61	26.85	65.26	0.27	1.98	0.64	1.15	1.02	66	92	49	440	155	123	80	432
QQM-10	0.74	2.09	25.19	66.63	0.27	2.07	0.73	1.08	1.03	81	105	43	437	164	132	97	456
QQM-11	0.89	1.70	31.40	60.59	0.70	1.24	0.53	1.22	1.34	74	139	49	2680	136	126	98	600
QQM-12	0.37	1.19	26.07	67.39	0.17	1.93	0.40	1.11	1.21	64	138	43	447	145	116	81	504
QQM-13	1.72	1.62	25.43	66.00	0.24	1.90	0.60	1.15	1.18	78	98	38	517	136	119	73	448
QQM-14	1.69	4.12	19.56	57.81	0.48	2.44	6.04	0.77	6.85	1173	134	170	142	162	226	66	289
QQM-15	0.49	1.29	22.88	69.44	0.24	2.03	1.01	1.00	1.43	148	98	58	1003	132	118	95	493
QQM-16	0.83	1.49	29.05	63.67	0.22	1.63	0.42	1.16	1.39	64	121	57	434	122	118	73	542
QQM-17	1.56	3.85	20.99	59.79	0.37	2.50	1.57	0.88	8.25	1117	174	211	163	179	173	109	326



图一 主成分散点图

analysis), 获得两个主成分。其中主成分A指示着相对含量较高的Mg、Sr、Fe、Mn、Zn、Cu、Ca, 以及相对含量较低的Si、Zr、Ti等元素的氧化物。主成分B指示着相对含量较高的Pb、Al, 以及相对含量较低的K等元素的氧化物。用这两个主成分绘制了样品散点图(图一)。从散点图可以看出四组样品区隔明显, 说明基于外观特征的考古学观察相对准确。其中, 第一、二组聚为一类, 与第三、四组相距较远。第一、二组之间也有明显区隔。

其中, 第一组和第二组的胎体成分, 虽有区别但差异不大, 各元素组成较为接近。主要表现为: (1) 氧化铝含量较高, 达20%以上。氧化硅含量较低, 多在70%以下。这显著区别于隋唐时期我国南方地区常用的瓷石原料高硅低铝的特征<sup>[9]</sup>, 而呈现出高铝低硅特征。应与安阳地区丰富的高岭土资源有关。(2) 两组样品胎体中氧化铁含量均在1.5%以下, 个别样

品低于1%。(3) 从图一可以看到, 第二组样品QQM-11显著离群, 结合表2该样品氧化铝含量极高, 达31.4%, 这一数据特征与样品胎色发白外观特征相吻合。同时, 该样品P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量显著高于其他样品, K<sub>2</sub>O含量则显著低于其他样品, 这有待于进一步分析研究。

第三组和第四组均为泥质陶片, 胎体基本元素组成较为接近。主要特征表现为: (1) 两组样品氧化铁含量显著高于第一和第二组。其中, 第三组即QQM-14, 氧化铁含量为6.85%。第四组即QQM-17, 氧化铁含量为8.25%。这与普通泥质陶器多采用高铁质易熔粘土的认识相符合。(2) 这两件样品的MnO含量也较其他样品要高。前者为1173ppm, 后者为1117ppm。

值得注意的是, 全部样品胎体之中均检出一定量的PbO, 且第二组相对含量较高。对此尚需进一步研究。

## 2. 釉层成分

四组之中, 仅第一组样品施釉。对该组6件样品釉层进行成分分析, 结果见于表三。

从表三可以看出, 本次测试的6件带釉标本表面釉层的元素组成基本类似。其釉中氧化钙的平均含量约16%, 氧化钾的平均含量约2.11%, 氧化镁的平均含量约4.52%, 氧化铁的平均含量约1.1%。结合样品外观特征, 这6件样品釉色介于青、白之间, 积釉处明显发绿。与文献所见隋代青、白瓷样品相比<sup>[9]</sup>, 该组样品的突出特征是氧化镁的含量显著高于目前所见隋代其他样品。

另外, 根据氧化铁含量可将第一组6件样品再次进行区分, 即QQM-1至QQM-3三件样

表三

安阳鞠庆墓样品釉面元素组成含量表

(Na<sub>2</sub>O~Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>单位为质量百分比wt.%, MnO~ZrO<sub>2</sub>单位为ppm)

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>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CuO	ZnO	PbO <sub>2</sub>	Rb <sub>2</sub> O	SrO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>
QQM-1	1.25	4.63	14.14	60.91	0.55	1.98	14.50	0.55	1.34	286	136	56	234	124	214	80	439
QQM-2	1.15	4.90	13.79	60.59	0.63	2.18	14.62	0.55	1.35	333	167	96	810	137	212	93	446
QQM-3	1.02	3.70	15.58	60.31	0.62	1.66	14.76	0.55	1.51	605	142	140	978	158	231	85	566
QQM-4	1.22	4.61	13.25	60.84	0.48	2.07	16.11	0.50	0.72	240	100	61	888	133	165	64	469
QQM-5	0.92	4.54	12.90	59.46	0.65	2.47	17.62	0.47	0.83	249	117	48	250	116	183	78	416
QQM-6	0.90	4.75	12.68	59.13	0.47	2.27	18.38	0.44	0.84	239	107	47	218	93	224	56	336

表四 样品QQM-11胎体、疑似釉层和条带区域EDS面分析结果 (wt%)

样品编号	部位	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
QQM-11	胎体	0.26	0.31	26.5	67.92	1.77	0.68	1.56	0.15	0.86
QQM-11	条带区域	0.51	0.72	27.6	66.12	1.8	0.56	1.36	0.32	1.01
QQM-11	疑似釉层	1.16	0.44	22.12	64.05	3.54	6.96	0.32	0.10	1.30

品釉中氧化铁含量均大于1%，而QQM-4至QQM-6的氧化铁含量均低于1%。以QQM-4为例，该样品与QQM-1至QQM-3相比，釉色确实更加浅淡，同时胎体明显较薄。

### (二) 显微分析

依据上述胎釉元素结果选取8件代表性样品进行观察，包括：第一组中的QQM-2、QQM-3、QQM-4；第二组中的QQM-10、QQM-11、QQM-13；第三组的QQM-14；第四组的QQM-17。其显微结构特征如下。

第一组，本组3件样品显微结构比较接近，均可清晰地观察到样品三层结构，胎体、釉层和胎釉中间层(图二，D)。这3件样品的胎体烧结程度比较接近，均由基质、不均匀的颗粒物质和形态各异的孔隙组成。据微区元素分析可知，胎中的颗粒物质主要包括残余石英颗粒、未烧结的黏土团块、铁和钛的残余物相等。值得一提的是，在样品QQM-2胎体之中还发现有含铅残余相(图二，2)。

由釉层观察可知，釉层厚度不均匀，在150~350μm之间。还可观察到常见的残余石英颗粒、稀疏的气孔和一些针状的晶体(见图二，D)。这些晶体成分以Ca为主，且分布具有一定规律，多在釉面狭长裂纹处汇集出现。推测可能是长期埋藏于地下，受地下水侵蚀而成，具体原因有待进一步研究。

第二组，本组3件样品胎体显微结构与第一组差别不大，但胎体烧结程度较低，不如第一组(图三，D)。与第一组QQM-2相同的是，在样品QQM-13胎体之中也发现有含铅残余相(图三，2)。此外，仍有两个特殊结构层值得关注。首先，在QQM-11胎体的最外层，发现一个狭长型条带(图三，3)，不连续且厚度不均匀，在20~120μm之间。SEM-EDS成分结果(表四)显示，条带区域的基本成分与胎体成分较为

一致，但它的颗粒度较胎体颗粒度更加精细，没有烧结痕迹。其次，在QQM-11胎体部分区域还发现有疑似釉层存在(图三，4)。SEM-EDS成分结果(表四)显示，该区域基本成分与胎体成分有差别，更接近釉层成分。上述两个结构层的形成原因，尚需进一步研究。

第三组，灰陶样品。扫描电镜结果显示，该样品胎体颗粒度较细，坑洞分布不均匀，尺寸差别也较大，胎体之中还有铁和钛的残余相(图四，D)。胎体烧结程度一般。

第四组，红陶样品。扫描电镜结果显示，该样品胎体之中坑洞随处可见，有含铁和钛的残余相(图四，2)。胎体烧结程度一般。

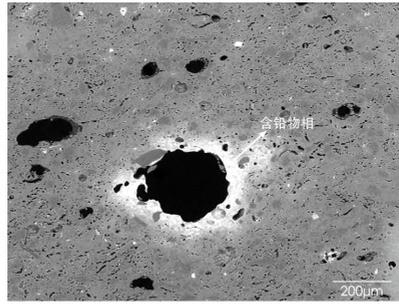
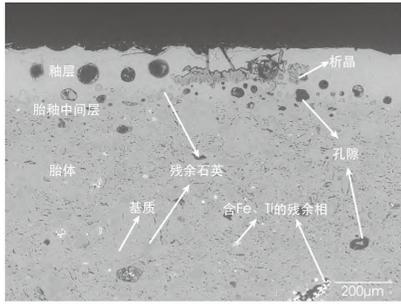
### (三) 胎体及颜料的物相分析

对四组样品胎体及彩绘陶的红色颜料进行X射线衍射分析，分析结果(图五、六)表明：第一组和第二组样品都含有莫来石，与胎体原料的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量较高且胎体烧成温度较高有关。第三组和第四组样品中均未检测出莫来石，与其胎体成分Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量较低、胎体烧成温度较低对应。QQM-16表面的红色颜料为朱砂(表五)。

第一组QQM-3和第二组QQM-7的胎体中均含石英、莫来石，且前者所含莫来石含量高于后者(详见图五中2θ=30~31°范围的肩峰)，说明前者的烧成温度高于后者。第三组QQM-14中检出的透辉石，与该样品化学成分中CaO含量较高相符，应为胎体原料中的方解石受热分解生成的CaO与胎体中的SiO<sub>2</sub>反应生成的物相。第四组QQM-17中检出较多赤铁矿，与其化学成分中含8.25%的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>相符。

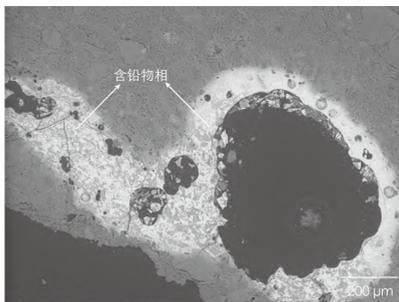
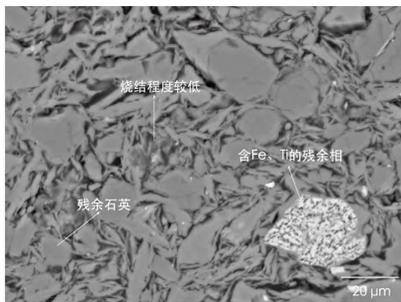
### (四) 烧成温度测试

采用热膨胀法测定样品胎体的烧成温度，即重烧热膨胀曲线拐点法<sup>[4]</sup>，选取各组标本样品共5件，即QQM-2、QQM-3、QQM-11、

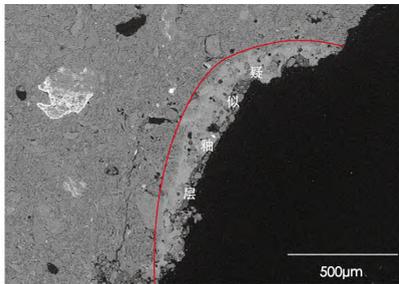
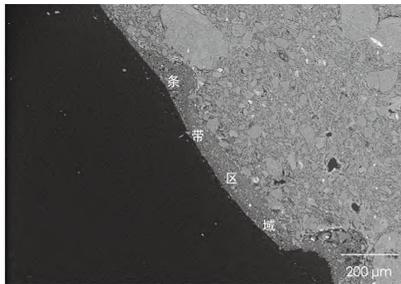


1  
2  
图二 部分样品胎、釉显微结构(第一组)

1.QQM-2的胎、釉显微结构 2.QQM-2胎体中的含铅物相

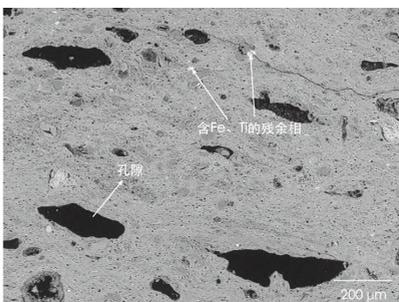
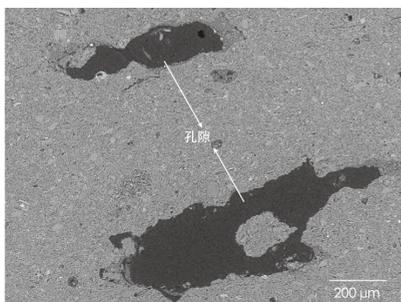


1  
2



3  
4  
图三 部分样品胎、釉显微结构(第二组)

1.QQM-11 2.QQM-13含铅物相 3.QQM-11条带区域 4.QQM-11疑似釉层



1  
2  
图四 胎体显微结构(第三、四组)

1.QQM-14的胎体显微结构 2.QQM-17的胎体显微结构

QQM-14及QQM-17进行烧成温度测试。测试结果如表六所示。

从表六可知,第一组样品QQM-2和QQM-3烧成温度分别为近1180℃与1220℃,平均温度约为1200℃。已达到古代高温瓷器的烧成温度标准<sup>[5]</sup>。第二组样品QQM-11烧成温度约为1050℃。这一温度也略高于普通泥质陶胎器的烧成温度,应与此类制品以高岭土作胎,其中含有较高的氧化铝有关。第三组样品QQM-14烧成温度约为1010℃。第四组样品QQM-17烧成温度约为980℃。相对而言,后两组样品烧成温度略低,与它们是普通泥质陶器,即胎土原料多采用高铁质易熔黏土相关。

## 四、讨论

(一) 铅成分来源问题

四组17件样品的成分分析结果显示,全部样品的胎体表面均检出一定含量的含铅氧化物。第一组带釉瓷片釉层之中也检测到微量的含铅氧化物。另外,扫描电镜结果显示,在样品QQM-2(第一组)和QQM-13

表五 安阳鞠庆墓样品的X射线衍射结果

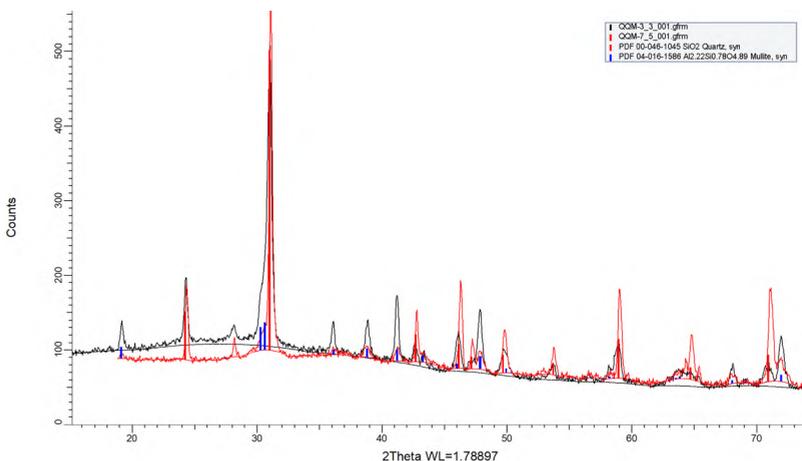
样品编号	物相结果
QQM-3	石英、莫来石
QQM-7	石英、莫来石
QQM-14	石英、钙长石、微斜长石、透辉石
QQM-17	石英、钠长石、赤铁矿
QQM-16红色颜料	朱砂

表六 安阳隋鞠庆墓样品的胎体烧成温度(°C)

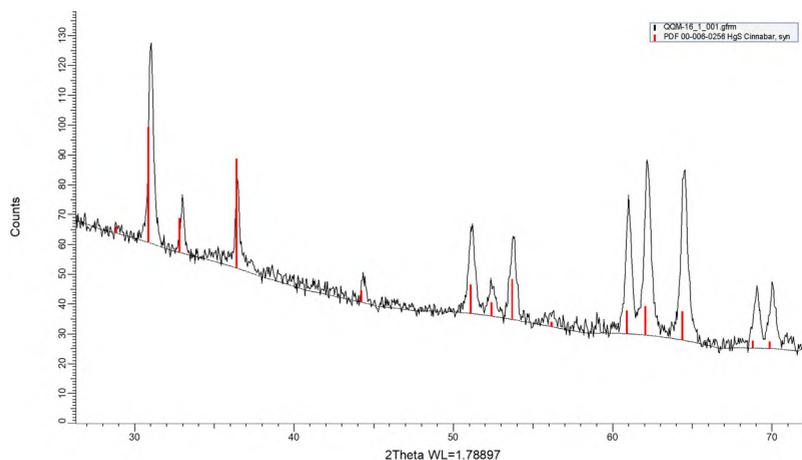
编号	T 测试烧成温度(±20°C)
QQM-2	1180
QQM-3	1220
QQM-11	1050
QQM-14	1010
QQM-17	980

(第二组)的胎体之中均发现有含铅物相。这些现象略显特殊，值得关注。

第一，关于四组样品胎体表层铅成分的来源问题。(1)扫描电镜和X射线衍射仪观察显示，四组样品的胎体表面均未发现有铅层，因此排除掉四组样品在胎体之上施加铅釉或涂刷铅水的可能性。(2)胎体之中铅含量最高的2个样品为QQM-11和QQM-15，均为第二组样品。从表二可知，第二组样品的含铅量略高于其余3组。就该组样品而言，它们多是俑或模型明器残件，器表多有彩绘。样品QQM-10是一圆形小盒残件，墓葬内发现有同类盒，盒内有红彩或黑彩颜料残留痕迹。结合这一情况，不排除该组部分器物胎体表层的铅成分来自含铅颜料的可能性，但这一推断尚需更多材料检测验证。(3)由于所有样品胎体表面和釉层表面均检出微量的铅，因此不能排除地下水污染的可能。但是需要注意的是，在扫描电镜观察第一组带釉瓷片的过程中，发现有疑似地下水污染侵蚀瓷片釉面的现象。在这些疑似受到地下水污染的瓷片釉面



图五 QQM-3与QQM-7的X射线衍射图谱 (黑色谱线为QQM-3和红色谱线为QQM-7)



图六 QQM-16红色颜料的X射线衍射图谱

之上发现有以Ca为主要成分的晶体，未见有铅。因此，初步认为所有样品所含的氧化铅受地下水污染所致的可能性较低。

第二，关于第一组带釉瓷片釉层含铅问题。成分分析和扫描电镜结果显示，该组瓷片釉层应属钙釉系。虽然在钙釉系样品之中检出微量铅的现象很常见<sup>[6]</sup>，但本次检测的瓷釉

层中氧化铅的含量比以往所见我国南北方典型瓷釉中氧化铅的含量略高,值得注意。

第三,关于样品QQM-2和QQM-13的胎体之中发现含铅物相的问题。从该相与胎体的结合状态看,这2件样品中的含铅物质不在胎体表层,而在胎体内部,应由胎料引入。这一现象值得重视。2件样品分属第一组和第二组,对这两组样品的成分分析显示,它们的胎土原料特征一致,应是高岭土。

综上,在本次分析的17件安阳麴庆墓出土陶瓷制品中检测到异于典型瓷器的氧化铅含量。无论是否出于窑工本意,这至少表明在烧造第一组和第二组两类制品的窑场之中高岭土和铅料的加工区域离得不远,即可能存在高岭土与铅料偶然混合的情况。这和以往研究显示隋唐时期巩义窑和邢窑等北方白瓷窑址既生产白瓷也生产三彩器且二者均使用高岭土作为胎土原料的现象较为一致<sup>[7]</sup>,进一步表明北方窑址将高温钙釉系白瓷器和低温铅釉系三彩器在同一窑场烧造的现象或许在隋代已经出现。

## (二) 青、白瓷问题

本次检测结果表明第一组带釉瓷片的胎釉成分特征与隋唐时期北方典型白瓷器的胎釉成分基本一致,即均以富含高岭土的瓷土作胎,其上施加钙釉。该组样品烧成温度已近1200℃,属于古代陶瓷制品中的高温瓷器。问题在于,这批带釉瓷片的呈色介于青、白之间,积釉处明显发绿,是否应将其定性为高温白瓷器或高温青瓷器。对这个问题的回答,关乎这批器物是否是目前可确认的时代最早的北方白瓷器<sup>[8]</sup>或青瓷器。

就科学属性而言,区分青瓷和白瓷的一个重要依据在于着色剂含量,主要是铁和钛的含量。一般认为,铁含量在1%以下的可被视为白瓷;铁含量在1%以上的则被视为青瓷<sup>[9]</sup>。就此而言,本次检测的第一组6件样品可分为两类。其中第一类是QQM-1、2、3,铁含量在1%~1.5%之间,钛含量在0.55%左右。第二类是QQM-4、5、6,铁含量均低于1%,钛含量

在0.4%~0.5%之间。两类样品的外观特征也有区别,第一类3件样品胎体略厚,釉色略显青黄;第二类3件样品胎体更薄,釉色较第一类更显浅淡。综合而言,本次测试的第一组样品明显介于二者之间,既不属于典型青瓷,也不属于典型白瓷。第一组第二类样品(QQM-4、5、6)的外观呈色在青白之间更趋浅淡,同时釉层之中虽然钛的含量仍在0.4%以上,但铁含量已明显低于1%,与典型白瓷的铁含量已较为接近。由此从科技分析角度上可以认为这类样品处在向典型白瓷发展的早期过渡阶段。

需要申明的是,白瓷起源问题之所以复杂,多年以来引起学者们持续讨论的其中一个重点和难点便在于如何界定早期白瓷概念。因此,从陶瓷研究综合角度出发,本文所检测分析的麴庆墓出土带釉瓷片中的第二类样品,是否确属北方早期白瓷,仍需谨慎对待。

## 五、结论

本次科技分析可得到如下初步结论。

第一,至迟在隋开皇年间,北方地区已经出现了高温瓷器,其烧成温度已近1200℃。这类瓷器与隋唐时期北方典型高温瓷器相比,二者的胎釉特征较为一致,即均以高岭土作胎,施加钙釉;区别在于麴庆墓出土带釉瓷器的釉色介于青、白之间,釉层之中主要着色剂铁和钛的含量也和隋唐时期北方典型青、白瓷略有差别。从外观特征和成分分析数据来看,部分带釉瓷片可能处于向典型白瓷发展的过渡阶段。

第二,北方窑址将高温钙釉系白瓷器和低温铅釉系三彩器在同一窑场烧造的现象,或许在隋代已经出现。这一认识是基于样品QQM-2和QQM-13的胎体之中发现含铅物相推断而得。

第三,在样品QQM-2和QQM-13的胎体之中发现含铅物相,这种含铅物质不存在于所有样品胎体之中,仅在第一组和第二组的这2件样品中出现,显示出一定偶然性。同时含铅物相在这两个样品胎体内部的分布也不均

匀。结合第一组和第二组样品显微结构的变化规律,虽然两组样品都使用高岭土作为胎土原料,但是胎料处理工艺波动较大,烧结程度也有差别。这或许与此时北方瓷业,尤其是高岭土胎陶瓷制品正处于技术摸索期有关。

第四,以第二组样品为代表的素胎器值得重视。麴庆墓出土的大部分俑和模型明器均属此类制品,成分分析结果显示它的胎土原料应是高岭土。高岭土是北朝隋唐时期北方瓷业的重要地区特色之一,典型唐三彩器也采用高岭土作胎。因此,这类器物与此后出现的唐三彩之间的关联也是值得关注的学术问题。

#### 注释:

[1]安阳市文物考古研究所、河南省文物考古研究院:《安阳隋代麴庆夫妻合葬墓发掘简报》,《考古学报》2023年第3期,第393~434页。

[2]李家治主编:《中国科学技术史·陶瓷卷》,科学出版社,1998年,第149页。

[3]马颖、马清林、马泓蛟:《河南巩义窑、河北邢窑出土瓷器的原料来源研究——以北朝和隋唐时期出产的青瓷、白瓷为例》,《文物保护与考古科学》2018年第5期。

[4]关于这一方法的详细原理,参见周仁、李家治:《景德镇历代瓷器胎、釉和烧制工艺的研究》,《硅酸盐》1960年第2期。

[5]王睿:《白瓷起源及相关问题探讨》,《中国古陶瓷研究》第十五辑,紫禁城出版社,2009年,第27~40页。

[6]牛沛:《广州旧铸管厂地块南越国至南朝墓葬出土带釉器的科技分析》,《中国陶瓷》2018年第11期。

[7]李知宴:《中国釉陶艺术》,轻工业出版社、两木出版社,1989年,第131~135页。

[8]北方白瓷起源是北方瓷业重要学术议题之一,目前学界在讨论相关问题时重点关注两批材料,一是北齐范粹墓(公元575年)出土的白釉器,二是隋代张盛墓(公元595年)出土的白釉器。近年“范粹墓出土的白釉器应是低温铅釉器”这一认识得到学者们普遍认可,因此目前学界多倾向于认为张盛墓出土的若干白釉器或是至今可确认的时代最早的高温白瓷器。颇为遗憾的是,由于张盛墓发掘年代较早,该墓出土白釉器的科技分析报告和相关数据至今未见公开刊布,学者对该墓出土白釉器的判断与认识多基于目测。本次发掘的隋代麴庆墓时代与张盛墓十分接近,为讨论相关问题提供了新材料。该墓出土带釉陶瓷制品的科技分析具有关键意义。

[9]秦大树:《早期白瓷的发展轨迹》,上海博物馆编:《中国古代白瓷国际学术研讨会论文集》,上海书画出版社,2005年,第81~94页;王睿:《白瓷起源及相关问题探讨》,《中国古陶瓷研究》第十五辑,紫禁城出版社,2009年,第27~40页。

## Scientific Analysis of Ceramic Samples Excavated from Qu Qing and His Wife's Tomb in Anyang

WANG Xing, LIU Yu, KONG Deming, KANG Baoqiang, DING Yinzong, LI He, LI Yuan  
(Beijing 100009) (Beijing 100101) (Anyang, Henan 475000)

Abstract: In 2020, a collection of ceramic artifacts was unearthed from Qu Qing and his wife's tomb of the Sui Dynasty in Anyang of Henan Province. This study used an X-ray fluorescence spectrometer, scanning electron microscope, and X-ray diffractometer to determine the chemical and mineral compositions of ceramic products unearthed from the tomb. Additionally, a dilatometer was used to determine the firing temperature of some ceramic products. The analysis revealed that some ceramic artifacts were fired around 1200 ° C, meeting the standards for ancient high-temperature porcelain. Lead-containing phases were found in the body of some ceramic samples, indicating significant fluctuations in the raw material processing technology of kaolin clay-based ceramic products in the northern region, possibly indicating a stage of technological exploration.

Keywords: Qu Qing and his wife's tombs of Sui Dynasty in Anyang; ceramic artifacts; scientific analysis; early white porcelain

(责任编辑、校对:马志亮)