

荥阳官庄遗址制陶作坊出土陶泥陶坯的科学分析

陈娟¹, 崔剑锋², 崔天兴¹, 郜向平¹

(1. 郑州大学历史学院, 河南郑州 450000; 2. 北京大学考古文博学院, 北京 100871)

摘要: 河南省荥阳官庄遗址发现了用于制陶的粘土原料以及未烧制的陶坯, 这为研究西周中期以后中原制陶技术提供了不可多得的研究资料。为此, 本研究利用能量色散 X 射线荧光光谱仪、X 射线衍射分析仪分析了部分原料和陶坯, 并使用马弗炉对其中的陶泥进行了烧制实验。结果发现, 官庄遗址的制陶原料含铁量较高, 烧制过程中析出磁铁矿等铁类矿物, 且烧成陶色偏深; 此外, 制陶原料和同期陶片之间物相的趋同性和化学成分聚类性, 显示陶器本地生产的特性。研究结果为研究西周晚期至春秋早期时期制陶技术提供了基础材料。

关键词: 官庄遗址; 陶坯; 烧失值; 产源分析

中图分类号: K876.3 **文献标识码:** A

0 引言

迄今为止, 黄河流域发现的先秦时期陶窑有 500 余座^[1]。目前相关研究多集中在陶窑形制结构^[2~4]、生产标准化及制作工艺^[5]、烧制温度^[6]、吸水率^[7]、原料来源等方面^[8~9], 发掘报告^[10]及相关简报^[11~13]里介绍过发现陶泥料、陶坯等与制陶原料直接相关的遗物, 但相关科学研究却少见进行。实际上, 对制陶黏土及陶坯的分析可以直接获取制陶原料的信息, 显然比分析陶器再做推断更为可靠科学。本研究对河南省荥阳市官庄遗址出土的西周晚期至春秋早期的一批陶泥、陶坯进行实验研究, 以期对该遗址两周之际陶器原料选取、烧制工艺等进行分析和探讨, 并通过和遗址周边陶器的成分进行对比, 试图了解陶窑产品的输出情况。

官庄遗址位于河南省荥阳市高村乡官庄村西^[14], 于 1981 年全国第一次文物普查时发现。2004 年 8 月, 郑州市文物考古研究院在对该遗址进行了复查和试掘, 发现西周晚期和春秋中期的文化遗存; 2009 年 8 月, 再次在遗址的中北部进行了小规模发掘。2010 年起, 郑州大学考古系对官庄遗址进行了全面调查^[15]、勘探和发掘, 陆续发现有西周晚期、春秋战国、唐宋及明清等多个时期的文化堆

积, 其中以西周至春秋时期的文化遗存最为丰富完整^[16~18]。

2015 年秋至 2016 年春的发掘中, 在大城北中部发现了分布较为集中的制陶遗存, 包括陶窑、泥料储藏坑、制陶工具、烧流陶器、陶坯、及以石英砂为主的掺合料等。这些制陶遗存的年代较为集中, 大致属于西周晚期至春秋早期; 其中 H1029 底部发现大量制备好的泥料团块, 形制较规范、大小基本一致。制陶作坊集中发现为了解西周晚至春秋早期中原地区陶器生产工艺以及探讨城中出土这一时期陶器的来源等问题提供了重要资料。

为确定该窑址制陶工艺以及官庄遗址出土西周晚期至春秋早期的陶器与该制陶作坊的关系, 特选取陶泥料、陶坯及部分同期陶片设计了烧失实验^[19~20]、能量色散 X 荧光光谱分析 (EDXRF)^[21~23]、物相分析 (XRD)^[24~25] 三个实验。通过实验测定陶泥料与陶坯的烧失值, 探讨在封闭的环境中陶泥烧制过程中流失的物质种类, 影响烧失值的因素, 确定陶化后陶坯中析出的粉末物质; 同时也可确定陶泥料、陶坯及出土陶片是否属同一来源。

1 实验样品和方法

1.1 实验样品

收稿日期: 2016-09-25; 修回日期: 2017-05-15

基金项目: 河南省教育厅人文社会科学重点研究基地项目资助, 教育部人文社会科学研究青年基金项目资助 (12YJC780001)

作者简介: 陈娟 (1987—), 郑州大学文物与博物馆专业夏商周考古方向, 硕士, E-mail: 15617657947@163.com

通讯作者: 崔天兴, 郑州大学历史学院, 副教授/硕导, E-mail: tianxingcui@163.com; 崔剑锋, 北京大学考古文博学院, 副教授/硕导, E-mail: cuijianfeng@pku.edu.cn

本实验样品共 27 件,其中陶坯、陶泥料共 11 件,均采自大城北中部发掘区南部西周晚期至春秋早期的三个灰坑内,为与遗址内土壤对比分析,另采集 H962:1 坑壁红土样及遗址南部红土样 CW:1;历年典型灰坑西周中晚期至春秋晚期陶片 12 件、烧土块 2 件,实验编号采用出土单位与实验顺序相结合的编号方法,例 H1:71①,表示 H1 出土的第 71 个标本,实验顺序为①,依此类推。

1.2 实验仪器、条件及方法设计

1.2.1 烧失量的测定 13 件样品的烧制实验在北京大学考古文博学院科技考古实验室完成。烧制实验所使用的仪器有小型烘干机,马弗炉,电子天平(精准度在 0.001g)。采用烧失量法,利用差热-热重分析来测定陶坯料的烧失值,在 100℃,2h 内,将样品放置烘干机内进行干燥处理;在 900℃^[26],14h 内,将样品放置马弗炉内在空气环境下进行烧制处理。烧失量计算公式为:烧失量(%) $S=(G1-G2)/G1\times 100$,G1 指烧前质量,G2 指烧后质量。

1.2.2 X 射线衍射分析实验(XRD) 实验采用美国伊诺斯公司生产的便携式 X 射线衍射仪 Terra,利用粉末法,在郑州大学科技考古实验室对 27 件样品及烧出物的矿物晶体组成分析,测试中 X 射线管采用钴作靶材,工作管电压、管流分为 30kV 和 0.35mA。数据采用该仪器随带的 X Powder 软件及 Origin 绘图软件,通过背景扣除、分峰和积分强度运算。

1.2.3 能量色散 X 荧光光谱分析实验(EDXRF) 实验采用日本 Horiba 公司生产的 XGT-7000 型 X 荧光显微镜,在北京大学考古文博学院科技考古实验室对样品新鲜断面(尽量避开掺合颗粒)进行常量元素组成分析,仪器测试条件如下:X 入射线光斑直径 1.2mm;X 光管管电压 30kV;X 光管管电流 0.059mA;数据采集时间 90S。解谱方法为单标样基本参数法。利用 SPSS 18.0 进行主成分分析。

2 结果与讨论

2.1 陶坯、陶泥料的烧失量分析

烧制结束后,样品均呈深红色,坍塌底部可见少量具有黑色金属光泽的粉末状物质,且磁性较强。官庄遗址出土的陶泥料、陶坯的烧失值总体不高。由图 1 分析可知,烧失值在总体 4%~7% 之间,其中 H821:1 夹砂陶泥、H821:4 泥质陶坯、CW:1 南部红土的烧失值分别为 2.41%、0.59%、2.94%,不在此范围之内,前二者的差异可能与取样大小相关,而 CW:1 烧失值的不同则需进一步实验研究。此外。从样品烧制前后的形态上来看,烧失值既与样品在烧制的过程中有机物、结晶水、易分解盐的化学反应有关^[27],还受烧制过程中析出固体物质影响。

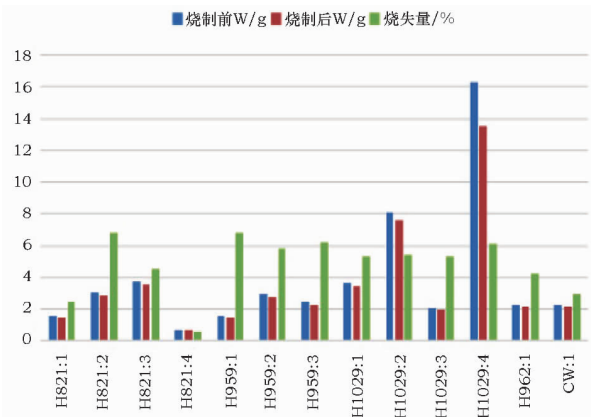


图 1 官庄遗址样品烧失值
Fig. 1 Loss on ignition to the samples of Guanzhuang Site

2.2 陶泥料、陶坯、陶片及烧出物的物相分析

经 X Powder 及 Origin 软件解谱,测试结果见表 1,部分分峰拟合图形见图 2。如表 1 所示,样品的矿物均以石英、长石类为主,部分含有云母类矿物;陶泥料、陶坯与陶片的矿物成分大体一致,差异体现在赤铁矿的含量上,并且烧制前后陶泥料矿物成分发生了转变,这与两者的烧制环境不同及遗址内土壤铁含量较高^[28]相关。据此说明陶泥料来源于当地,包含一类低价铁的矿物,在烧制过程中被氧化成高价铁。

表 1 样品物相分析结果

Table 1 Phase analysis results of the experimental samples

实验编号	名称	物相分析结果
H821:1	夹砂陶泥料	石英、钠长石、微斜长石、赤铁矿
H821:2	夹砂鬲坏腹片	石英、钠长石、赤铁矿
H959:2	夹砂陶泥料	石英、钠长石、钙长石、赤铁矿
H959:3	夹砂纺轮坯	石英、微斜长石、赤铁矿
H1029:3	夹砂鬲坏腹片	石英、钠长石、赤铁矿

(续表 1)

实验编号	名称	物相分析结果
H1029:2	夹砂陶泥料	石英、钠长石、赤铁矿/石英、云母类、钠长石、伊利石(烧制前)
H1029:4	夹砂鬲足坯	石英、钠长石、赤铁矿
H962:1	坑壁红土	石英、钠长石
H1029:1	泥质陶泥料	石英、赤铁矿、微斜长石
CW:1	南部红土	石英、赤铁矿
H959:1	泥质陶泥料	石英、钙长石、钠长石、赤铁矿/石英、云母类、伊利石(烧制前)
H821:4	泥质陶坯	石英、钙长石、钠长石、赤铁矿
H821:3	泥质陶盆坯腹片	石英、钠长石、赤铁矿
ST:1	红色烧土块	石英、钠长石、云母
ST:2	灰色烧土块	石英、钠长石、赤铁矿
H1:71①	商式鬲	石英、伊利石、微斜长石
H1:51②	商式鬲	石英、伊利石、微斜长石
H1-3:90③	商式鬲	石英、伊利石、钠长石、微斜长石
H122:3④	商式鬲	石英、伊利石、云母、单晶斜系
H1:5⑤	商式鬲	石英、伊利石、云母、单晶斜系
H1:64⑫	仿铜陶鬲	石英、伊利石、单晶斜系
H1029:5⑩	鬲腹片	石英、钠长石、伊利石、云母、微斜长石
T1311-4:4⑪	商式鬲	石英、伊利石、微斜长石
T1311-4:4⑥	瓦楞纹鬲	石英、伊利石、微斜长石
T1311-4:3⑦	瓦楞纹红鬲	石英、伊利石
T1311-4:4⑧	瓦楞纹灰鬲	石英、伊利石
T1311-4:4⑨	束颈鬲	石英、钠长石、伊利石

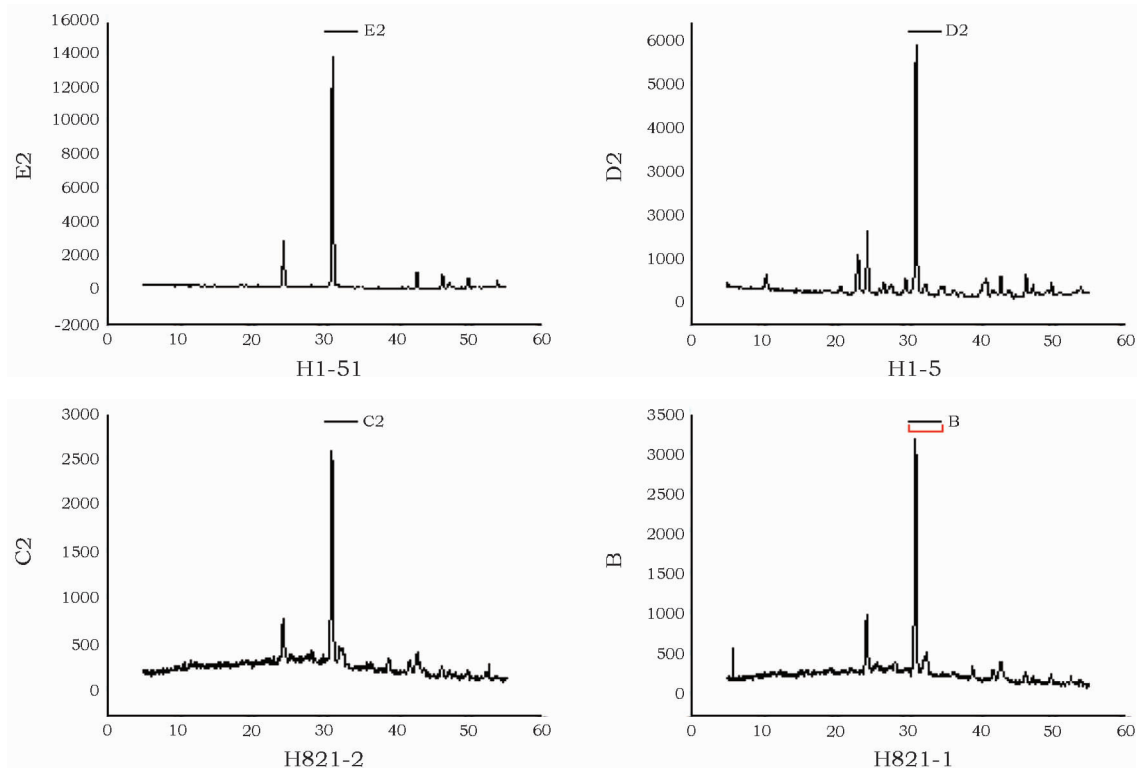


图 2 H1:5⑤、H821:2、H1:51②、H821:1 谱图
Fig.2 Spectra of black power of H1:5⑤, H821:2, H1:51② and H821:1

从图 3 可知,黑色粉末物质属铁矿物一类,含大约 54.3% 的磁铁矿(Fe_3O_4)、27.2% 赤铁矿(Fe_2O_3)及 4.6% 尖晶石 (Mg,Fe,Zn,Mn) (Al,Cr,Fe) $_2\text{O}_4$,磁性较强。

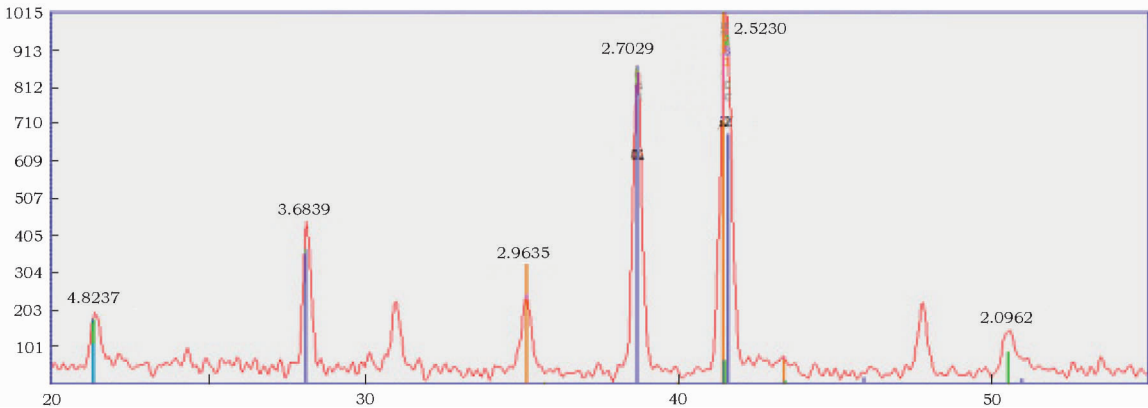


图 3 黑色粉末 D 值及拟合谱
Fig. 3 D value and fitting spectra of black powder

2.3 陶泥料、陶坯、陶片及烧土、土样的化学组成分析

如图 4 所示,结合李文杰先生对制陶黏土类别的论述^[29],官庄遗址陶泥料、陶坯、出土陶片的原料主要为 Al 的含量在 14% ~ 20.07% 之间、Si 的含量在 58% ~ 69% 之间普通易熔黏土,另有两个样品 SiO_2 含量 >70%,属高硅质黏土。

为进一步分析样品之间的差异性,选用 SPSS 统计中的主成分对比分析及因子分析。利用 KMO 与球形度检验,去掉其中得分最低的 K_2O ,对其余的七种主要常量元素进行因子分析,检验值为 0.569,符合分析条件。

图 4 ~ 6 显示,所有样品整体上聚类,铁、铝的含量与硅元素的含量呈反向线性相关。结合物相分析结果,综合表明从西周中期偏晚阶段至春秋晚期,官庄遗址内制陶黏土来源大体一致,出土陶器属本地烧制;西周中期偏晚阶段的夹砂陶鬲,呈离散分布,原料中 Si 含量在 57.09% ~ 79.29% 之间,Fe 含量在 4.33% ~ 9.98% 之间,Al 的含量在 9.24% ~ 20.07% 之间,三者含量差异较大,显示西周晚期阶段该遗址内制陶黏土主成分的多样化,但因陶片取样数量的局限性,结论需要更多的材料支持。

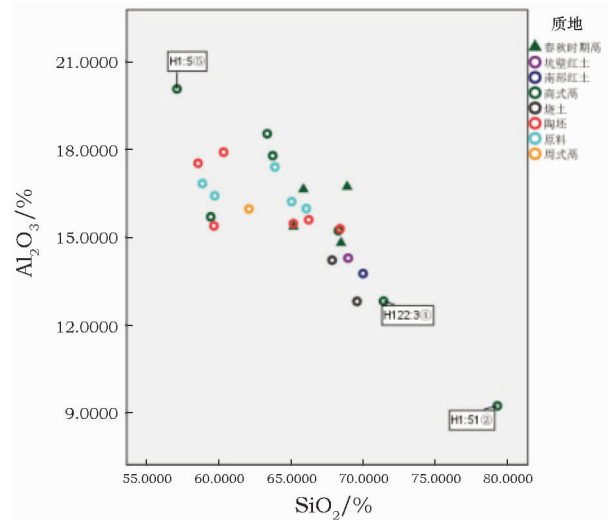


图 4 官庄遗址 27 件样品硅铝元素含量散点图
Fig. 4 Difference of Si/Al content of the 27 Guanzhuang Site samples

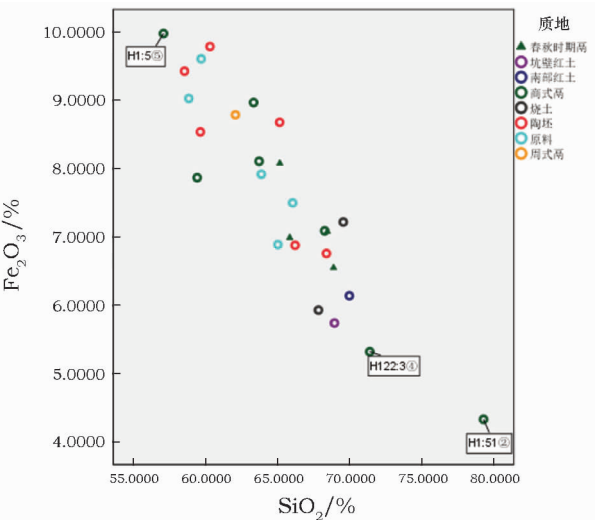


图 5 官庄遗址 27 件样品硅铁元素含量散点图
Fig. 5 Difference of Si/Fe content of the 27 Guanzhuang Site samples

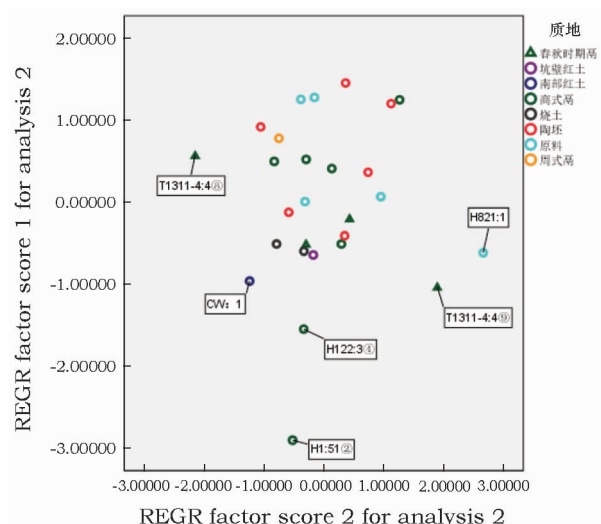


图6 官庄遗址样品胎体化学成分组成因子散点图

Fig.6 Scatter diagram of chemical composition of the Guanzhuang Site samples

3 结论

陶坯的烧失量变化范围为 0.5% ~ 6%, 总体来说烧失量不是很大, 说明其中高温易分解的物质含量并不很高。但所有陶坯在烧成后都有少量的黑色物质析出, 经 XRD 分析为磁铁矿类物质。官庄遗址的制陶原料以及遗址所出的陶片, 经过 XRF 分析可以发现含铁量都较高, 这与遗址内粘土含铁量较高有关。

常量元素组成可以反映官庄遗址内陶器的原料种类。官庄遗址陶泥料、陶坯、出土陶片的原料主要为 Si 含量在 67% ~ 69% 之间的本地普通易熔黏土, 另有少数 SiO₂ 含量大于 69% 的高硅质粘土。西周中期偏晚阶段的夹砂陶鬲, 呈离散分布, 原料中 Si、Fe、Al 含量的波动范围较大, 显示西周晚期阶段该遗址内制陶黏土主成分的多样化。

遗址内出土制陶泥料、烧土块和陶片的成分非常类似, 制陶原料来源于本地, 同时期的陶窑可能是陶器的一个重要输出点。遗址内相关灰坑出土的陶泥料应为废弃的经过陶工处理的制陶原料。

本实验仅是对官庄陶窑的制陶原料的初步研究, 得到了陶窑制陶原料的地球化学特征, 在之后的研究当中, 将会扩充官庄遗址以及临近区域其他遗址出土的同时期陶器的分析数量, 来进一步探讨官庄陶窑产品的输出问题。

参考文献:

[1] 张明东. 黄河流域先秦陶窑研究[J]. 古代文明, 2004(3): 115 -

118.

ZHANG Ming - dong. The study of pre Qin pottery kiln in the Yellow River Basin[J]. The Journal of Ancient Civilizations, 2004 (3): 115 - 118.

[2] 刘锐. 黄河中下游地区周代陶窑研究[D]. 西安: 西北大学, 2013.

LIU Rui. Research on the Zhou Dynasty pottery kiln in the middle and lower reaches of the Yellow River[D]. Xi'an: Northwest University, 2013.

[3] 方迪. 中国北方地区商周时期制陶作坊研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.

FANG Di. A study of pottery workshop in Northern China, Shang - Zhou Period[D]. Jinan: Shan Dong University, 2014.

[4] 李清临. 周代砖瓦窑炉技术及相关问题研究[J]. 中原文物, 2015(1): 43 - 53.

LI Qing - lin. Study on Zhou dynasty brick and tile kiln technology and related issues[J]. Cultural Relics of Central China, 2015 (1): 43 - 53.

[5] 李文杰. 中国古代制陶工艺研究[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 183 - 300.

LI Wen - jie. A study of the pottery - making technology in ancient China[M]. Beijing: Science Press, 1996: 183 - 300.

[6] 郁永彬. 南方地区典型遗址出土早期陶器比较研究[D]. 景德镇: 景德镇陶瓷学院, 2011.

YU Yong - bin. Comparative study on early pottery from typical sites in Southern China[D]. Jingdezhen: Jingdezhen Ceramic Institute, 2011.

[7] 李敏生, 黄素英. 山西襄汾陶寺遗址陶片的测试和分析[J]. 考古, 1993(2): 177 - 180.

LI Min - sheng, HUANG Su - ying. Test and analysis of Shangxi Xiangfen pottery of the Taosi site[J]. Archaeology, 1993 (2): 177 - 180.

[8] 王小娟, 王晓毅. 山西襄汾陶寺遗址陶土成分分析[J]. 考古与文物, 2013(2): 106 - 111.

WANG Xiao - juan, WANG Xiao - yi. The analysis of Shanxi clay Xiangfen Taosi Site components[J]. Archaeology and Cultural Relics, 2013(2): 106 - 111.

[9] 王小娟. 晋南地区新石器末期陶器工业[D]. 北京: 北京大学考古文博学院, 2014.

WANG Xiao - juan. The research on the pottery industry of Neolithic Later Periods in Jinnan Area[D]. Beijing: Peking University Archaeology and Museology College, 2014.

[10] 陕西省考古研究院, 宝鸡市考古研究所, 凤翔县博物馆. 陕西秦雍城豆腐村战国制陶作坊遗址[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

Shanxi Provincial Institute of Archaeology, Baoji City Institute of Archeology, Fengxiang County Museum. Shaanxi Qin Yong Town Tofu village Warring States pottery workshop site[M]. Beijing: Science Press, 2013.

[11] 李德保. 河南新郑郑韩故城制陶作坊遗迹发掘简报[J]. 华夏考古, 1991(3): 37 - 41.

LI De - bao. A brief report on the excavation of the pottery workshop in old capital of Zheng and Han Kingdoms Site of Capital

- of Kingdom Zheng and Han Xinzheng, Henan [J]. *Huaxia Archaeology*, 1991(3): 37-41.
- [12] 陕西省考古研究所秦陵考古队, 临潼县文物工作队. 秦芷阳制陶作坊遗址清理简报[J]. *考古与文物*, 1995(5): 17-20.
Shaanxi Provincial Institute of Archaeology the Archaeological Team of Qin Tomb, Lintong County Work Team of Cultural Relics. Qin Zhiyang Pottery Workshop site excavation [J]. *Archaeology and Cultural Relics*, 1995(5): 17-20.
- [13] 田亚岐, 王保平, 陈 钢, 等. 秦雍城豆腐村制陶作坊遗址发掘简报[J]. *考古与文物*, 2011(4): 5-6.
TIAN Ya - qi, WANG Bao - ping, CHEN Gang, *et al.* Qin Yong Town tofu village pottery workshop site excavation [J]. *Archaeology and Cultural Relics*, 2011(4): 5-6.
- [14] 刘伟伟. 官庄遗址保护利用模式初探[D]. 郑州: 郑州大学历史学院, 2014.
LIU Wei - wei. Discussion of the protection and utilization mode of Guan Zhuang site [D]. Zhengzhou: School of History, Zhengzhou University, 2014.
- [15] 郑州大学历史学院历史文化遗产保护研究中心. 河南荥阳官庄城址周边系统调查与初步收获[J]. *中原文物*, 2015(4): 6-7.
Research Center of Historical and Cultural Heritage Protection, College of History, Zhengzhou University. The investigation and preliminary harvest in Henan Xingyang Guanzhuang site surrounding System [J]. *Cultural Relics of Central China*, 2015(4): 6-7.
- [16] 陈朝云, 单 晔. 河南荥阳市官庄遗址春秋墓葬发掘简报[J]. *华夏考古*, 2012(1): 3-12.
CHEN Chao - yun, SHAN Ye. Henan Xingyang Guanzhuang sites during the Spring and Autumn Bulletin of tombs [J]. *Huaxia Archaeology*, 2012(1): 3-12.
- [17] 陈朝云, 刘亚玲. 河南荥阳市官庄遗址西周遗存发掘简报[J]. *考古*, 2014(8): 29-35.
CHEN Chao - yun, LIU Ya - lin. Henan Xingyang Guanzhuang sites excavation of the remains of the Western Zhou Dynasty [J]. *Archaeology*, 2014(8): 29-35.
- [18] 河南省文物局. 荥阳官庄遗址[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 53-132.
Administration of Cultural Heritage of Henan Province. Xingyang Guanzhuang Site [M]. Beijing: Science Press, 2015: 53-132.
- [19] 朱广玮, 秦伯强, 等. 灼烧对沉积物烧失量及铁、磷测定的影响[J]. *分析实验室*, 2004, 23(8): 72-76.
ZHU Guang - wei, QIN Bo - qiang, *et al.* Effects of ignition on determination of loss on ignition, iron and phosphorus in sediments [J]. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2004, 23(8): 72-76.
- [20] 朱铁权, 王昌燧, 徐大力, 等. 双墩遗址黑陶渗炭工艺初探[J]. *文物保护与考古科学*, 2005, 17(2): 1-8.
ZHU Tie - quan, WANG Chang - sui, XU Da - li, *et al.* Preliminary exploration to the carbonization technique of the black pottery in Shuangdun site [J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2005, 17(2): 1-8.
- [21] 吴 瑞, 李家治, 吴 隽, 等. 广西桂林甑皮岩遗址陶器的科学研究[J]. *中国陶瓷工业*, 2005, 12(4): 7-10.
WU Rui, LI Jia - zhi, WU Juan, *et al.* Scientific research on Zen PI Yan Pottery in Gui Lin, Guangxi Province [J]. *China Ceramic Industry*, 2005, 12(4): 7-10.
- [22] 吴 隽. 陶瓷科技考古[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 224.
WU Juan. Ceramic archaeology of science [M]. Beijing: Higher Education Press, 2012: 224.
- [23] 郑乃章, 吴军明, 吴 隽, 等. 古陶瓷研究和鉴定中的化学组成仪器分析法[J]. *中国陶瓷*, 2007(5): 52.
ZHENG Nai - zhang, WU Jun - ming, WU Juan, *et al.* Chemical composition analytical methods be instruments on the identifications and studies of ancient ceramics by instruments [J]. *China Ceramic*, 2007(5): 52.
- [24] 李乃胜, 张敬国, 毛振伟, 等. 五千年前陶质建材的测试研究[J]. *文物保护与保护科学*, 2004, 16(2): 17-19.
LI Nai - sheng, ZHANG Jing - guo, MAO Zhen - wei, *et al.* Test on ceramic building material of 5500 years ago [J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2004, 16(2): 17-19.
- [25] 倪 琳. 关于商周时期德清“原始瓷”的初步研究[D]. 杭州: 浙江大学人文学院, 2012: 76-80.
NI Lin. Primary study on Deqing “Proto - Porcelain” of the Shang and Zhou Dynasties [D]. Hangzhou: School of Humanities, ZheJiang University, 2012: 76-80.
- [26] 胡黠见. 官庄陶瓷的产地和烧制技术研究[D]. 郑州: 郑州大学历史学院, 2014.
HU Xia - jian. The origin and firing technology research of Guanzhuang Ceramic [D]. Zhengzhou: School of History, Zhengzhou University, 2014.
- [27] 胡彩莉, 马玉贞, 郭 超, 等. 烧失量法测定土壤有机质含量的实验条件探究[J]. *地球与环境*, 2016, 44(1): 110-116.
HU Cai - li, MA Yu - zhen, GUO Chao, *et al.* Optimization of the experiment conditions for estimating organic matter content with loss - on - ignition method [J]. *Earth and Environment*, 2016, 44(1): 110-116.
- [28] 张德才, 任全有, 张延才. 荥阳市土地志[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.
ZHANG De - cai, REN Quan - you, ZHANG Yan - cai. Land records of Xingyang [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1998.
- [29] 李文杰. 中国古代制陶工艺研究[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 329-342.
LI Wen - jie. A study of the pottery - making technology in ancient China [M]. Beijing: Science Press, 1996: 329-342.

Scientific analysis of pottery clay and billets excavated from the pottery workshop at the Guanzhuang Site in Xinyang

CHEN Juan¹, CUI Jian-feng², CUI Tian-xing¹, GAO Xiang-ping¹

(1. Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China; 2. Peking University Archaeology and Museology College, Beijing 100871, China)

Abstract: Clay used as the raw material for pottery, and unfired pottery billets were found at the Guanzhuang Site in Xinyang, Henan province. This excavation provides precious research materials for the study of Zhongyuan (the central plains of China) pottery-making technologies used after the middle of the Western Zhou Dynasty. In this study, we analyzed some raw materials and pottery billets using energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) and X-ray diffraction (XRD) methods, and conducted re-sintering experiments on the clay in a muffle furnace. The experiments show that the iron content of the pottery raw materials from the Guanzhuang Site is high, with some iron minerals such as magnetite precipitating during firing, and that the pottery color is deep. In addition, the homogeneity of the phases and the clustering features of the chemical compositions between the raw materials and the potteries of the same period indicate the local characteristics of pottery production. This work provides basic information on pottery-making technologies from the late Western Zhou Dynasty to the early Spring and Autumn Period.

Key words: Guanzhuang Site; Pottery billet; Loss on ignition; Provenance analysis

(责任编辑 谢燕)