

文章编号:1005-1538(2023)03-0025-10

DOI: 10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.20201201980

# 河南荥阳官庄遗址陶范物源及制作工艺分析

陈博,尹邵君,许俊杰,郟向平  
(郑州大学历史学院,河南郑州 450001)

**摘要:** 为了解河南荥阳两周时期官庄城址出土陶范物源及其制作工艺,利用粒度、X射线荧光光谱法(XRF)、岩相分析法对官庄陶范、自然沉积地层土壤样品进行分析探讨。研究表明:1)制范原料取自于遗址文化层之下的晚更新世马兰黄土层,马兰黄土在用于制作陶范前经过了简单的人工淘洗,澄泥池与早期陶范制作中的原料淘洗环节有关;2)陶范制作过程中会加入少量草木灰及钙结核粉末作为羼合料以增加耐高温性能;3)容器范的面范、背范选料与制作工艺不同,面范主要选用马兰黄土,而背范材质则由马兰黄土与河砂混合而成,掺和比例约为7:5;与工具范相比,容器范的优势粒径更偏细粒,显示不同器型的陶范加工工艺有所不同,而容器范制作更为精细;与早期陶范制作相比,晚期陶范制作相对粗糙,但差别不明显。4)双层范岩相特征结果指示面、背范存在不同制作工艺。面范在制作过程中是经淘洗选取100 μm以下较细颗粒的马兰黄土作为原料,有定向修整的痕迹;而背范则由粗细两部分矿物混合制成,未见明显处理加工痕迹。

**关键词:** 官庄遗址;陶范;粒度;XRF;岩相分析

**中图分类号:** K876.3 **文献标识码:** A

## 0 引言

官庄遗址位于河南省荥阳市高村乡官庄村西,枯河与索河之间。自2011起,郑州大学历史学院联合郑州市文物考古研究院等单位,对官庄遗址展开持续的勘探与发掘工作,发现一座两周时期的城址。城址平面呈凸字型布局,由南北相连的大城与小城两部分组成,周边有多道城壕环绕。2015年以来,在大城中北部区域发现了丰富的手工业遗存,包括大量与铸铜生产相关的遗迹、遗物<sup>[1]</sup>。其中,已出土陶范三千余块,其种类多样,有容器范、工具范、车马器范、兵器范、钱范、芯范等。根据陶范器型和纹饰并结合共存陶器特征,官庄遗址陶范分为两期,第一期的年代主要为春秋早期,上限或可到西周晚期,第二期的年代大致属春秋早期偏晚到春秋中期偏早<sup>[2]</sup>。

西周至春秋时期青铜器风格的转变是中国古代青铜器发展中的一次重要变革。虽然先秦时期铸铜

遗存的发现与研究已有大量积累,但两周之际这一关键阶段的铸铜遗存却相对缺乏。官庄遗址的陶范是反映此次变革的珍贵材料,也可以为研究此背景下铸铜技术发展问题提供重要资料。

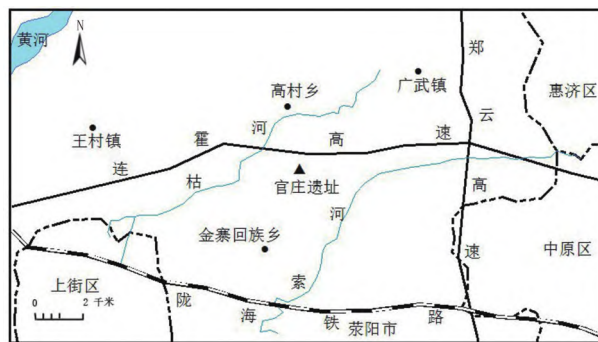


图1 官庄遗址位置示意图

Fig. 1 Location map of Guanzhuang site

陶范制作工艺是铸铜技术研究中的一项重要内容。前人相关工作中主要研究思路有以下两种:一

收稿日期:2020-12-23;修回日期:2021-08-11

基金项目:国家社会科学基金项目(18CKG003)资助

作者简介:陈博(1983—),男,2014年博士毕业于以色列希伯来大学东亚系东亚考古专业,研究方向为战国秦汉考古,郑州大学历史学院考古系讲师,E-mail: chenbozzu@qq.com

通信作者:许俊杰(1984—),男,研究方向为环境考古,郑州大学历史学院考古系讲师,E-mail: tonyjjxu@163.com

种是采用类型学等传统考古学方法,研究陶范造型技术<sup>[3]</sup>、纹饰施加方法<sup>[4]</sup>等问题;另一种是利用科技考古方法对陶范的微观结构和化学元素特征进行检测分析,以探讨陶范原料的选择与加工<sup>[5]</sup>、陶范性能<sup>[6]</sup>、处理工艺<sup>[7]</sup>等问题。常用的科技检测技术有化学成分分析与 X 射线衍射分析<sup>[8-10]</sup>、扫描电子显微镜结构分析<sup>[11-12]</sup>、岩相与物相分析<sup>[13-14]</sup>等。科技考古方法的加入极大拓展了相关研究的广度与深度,显著提升了研究水平。囿于考古资料的不足,两周之际时期陶范的研究工作仍存在一定欠缺。其中,制范原料来源这一重要问题的探讨也较为薄弱。环境考古学在沉积动力、沉积过程以及追溯物源方面已有较为成熟的方法和实践<sup>[15]</sup>,可为该问题的进一步深入探讨提供新思路。本研究通过环境考古系统调查,对官庄陶范、铸铜相关遗迹以及周边自然地层沉积土壤样品进行分析研究,可为揭示陶范物源、制备过程、制作工艺问题提供新的线索。

官庄城址处于郑州地区嵩山北麓一处平缓的岗

地上,自晚更新世以来堆积了深厚的马兰黄土层,全新世早中期又发育了一套厚约 1 m 左右的全新世古土壤层。官庄城址就直接坐落于这套全新世古土壤地层之上。本研究选取官庄陶范、作坊区内澄泥池与周边自然沉积土壤样品进行系统的粒度、XRF、岩相分析方法进行分析实验,探讨官庄遗址铸铜生产中陶范原料来源及相关加工工艺问题。

## 1 研究对象和方法

### 1.1 研究对象

研究选取陶范样品共 38 个,来自 2016—2019 年官庄遗址出土陶范标本,按陶范类别可分为单层容器范(其中早期样品 19 个,晚期样品 3 个,其余期别不明)、双层容器范(早期样品 4 个)、容器范外层所敷草拌泥(早期样品 3 个)、工具范四种(其中早期样品 3 个,其余期别不明)。另采集有遗址周边环境中的马兰黄土、全新世古土壤、河砂样品及遗址中发现的澄泥池土样进行检测。样品情况详见表 1。

表 1 测试样品基本情况表

Table 1 Basic information of samples

样品	数量	编号	来源单位	岩性描述
单层容器范	24	GZTF01 ~ GZTF61	2016—2019 年遗址手工业作坊区	厚 12 ~ 35 mm, 砖红色粉细砂, 结构较疏松, 胶结程度较低。
双层容器范	4	GZTF01 ~ GZTF61	2016—2019 年遗址手工业作坊区	面范厚 10 ~ 22 mm, 浅砖红色粉细砂, 结构较致密, 胶结程度较高; 背范厚 15 ~ 35 mm, 砖红色粉细砂, 夹杂钙结核、石英颗粒、炉渣、碳屑, 结构较疏松, 胶结程度较低。
草拌泥	3	GZTF01 ~ GZTF61	2016—2019 年遗址手工业作坊区	厚 12 ~ 32 mm, 黄色偏灰粉细砂, 结构疏松, 夹杂一定量的草木灰, 胶结程度低。
工具范	7	GZTF01 ~ GZTF61	2016—2019 年遗址手工业作坊区	厚 14 ~ 47 mm, 较纯净砖红色粉细砂, 结构致密, 胶结程度较高。
马兰黄土	4	GZ401 ~ GZ404	遗址手工业作坊区内自然沉积剖面	灰黄色黏土质粉砂, 结构较疏松, 包含少量钙结核。
全新世古土壤	7	GZ405 ~ GZ411	遗址手工业作坊区内自然沉积剖面	褐色粉砂质黏土, 结构较致密, 包含少量钙结核。
澄泥池样品	54	GZ101 ~ GZ119 GZ201 ~ GZ235	2015XCGH939 2017XCGH1969	褐色及黄褐色粉细砂, 结构较疏松, 包含少量钙结核。
河砂	2	GZ401 ~ GZ402	枯河河道	黄色细砂, 结构较疏松。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 粒度分析** 粒度实验在郑州大学中原历史与文化研究院环境考古实验室完成,采用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer - 3000 型激光粒度仪。样品前处理流程为:1) 清除有机质。称量 0.3 ~ 0.5 g 样品,加入 30% 的双氧水溶液使样品与双氧水充分反应,多次添加直至有机质去除完毕。2) 清除碳酸盐矿物。每 12 h 加一次 10% 的盐酸溶液,直至碳酸盐去除完毕。3) 洗酸。多次加水直至烧杯

中溶液呈中性,pH 值为 7 时洗酸完毕。4) 加入分散剂。添加 0.05 mol/L 的六偏磷酸钠溶液为分散剂,加热、煮沸,冷却后前处理结束,等待上机测试。

**1.2.2 XRF 分析** 实验在河南省文化遗产保护中心实验室完成,采用德国布鲁克 S2 RANGER 型号的 X 射线荧光光谱仪。取出大约 5 g 样品研磨成粉末状,然后使用压片机把样品压片,放入 X 荧光光谱仪中对 Na、Mg、Al、Si、P、K、Ca、Ti、Mn、Fe 等常量及微量元素分析,得出的数据为元素数据换算成氧

化物的结果。

**1.2.3 岩相分析** 实验在河南省岩石矿物测试中心完成,使用卡尔蔡司 Axio Scope. A1 透反射偏光显微镜观察并对样片进行拍照和测量,按照 GB/T 17412.1~3—1998《岩石分类和命名方案》等相关标准进行检测,同时配以显微镜单偏光及正交偏光下的照片。

## 2 结果与讨论

### 2.1 粒度结果

采用乌登-温特沃斯粒级标准,即粒径小于  $4\ \mu\text{m}$  为黏土、 $4\sim 63\ \mu\text{m}$  为粉砂、大于  $63\ \mu\text{m}$  为砂。自然沉积土样与陶范的粒度参数取均值后结果如表 2。马兰黄土粒径分布范围在  $1\sim 142\ \mu\text{m}$  之间,优势组份为  $25\sim 70\ \mu\text{m}$ ,峰值粒径为  $50\ \mu\text{m}$ ;全新世古土壤粒径分布范围在  $1\sim 142\ \mu\text{m}$  之间,优势组份为  $25\sim 60\ \mu\text{m}$ ,峰值粒径为  $40\ \mu\text{m}$ ,比马兰黄土稍细。

平均粒径代表粒度分布的集中趋势,全新世古

土壤略细于马兰黄土。双层范面范的平均粒径为  $36.8\ \mu\text{m}$ ;双层范背范的平均粒径为  $120\ \mu\text{m}$ ;草拌泥的平均粒径为  $34.6\ \mu\text{m}$ ;工具范的平均粒径为  $37.5\ \mu\text{m}$ ;晚期容器范平均粒径为  $39\ \mu\text{m}$ 。

分选系数与样品中大小颗粒分布情况有关,分选性差则分选系数大。马兰黄土与全新世古土壤分选性都较差。容器范面范与草拌泥、工具范的分选系数稍好于马兰黄土。

偏度可以判别粒度分布的对称性,并表明平均值与中值粒径的相对位置,偏度为负则沉积物为粗偏,偏度为正则沉积物为细偏。马兰黄土与全新世古土壤均为负偏即众数偏向粗粒端。大部分陶范的偏度也都为负偏。

峰态是衡量分布曲线的峰凸程度,峰态为正值,是窄峰态;峰态为负值,则为宽峰态。马兰黄土峰态值为  $1.09\sim 1.12$ ,全新世古土壤峰态值为  $0.99\sim 1.05$ ,陶范的峰态值在  $1.06\sim 1.21$  之间,均为中等峰态。

表 2 官庄遗址自然沉积土样、陶范各项粒度参数

Table 2 Particle size parameters of natural sedimentary soil samples and pottery moulds from Guanzhuang site

样品	黏土/%	粉砂/%	砂/%	平均粒径/ $\mu\text{m}$	分选系数	偏度	峰态
马兰黄土	5	74	21	37.90	1.39~1.43	-0.33	1.09~1.12
全新世古土壤	7	78	15	32.60	1.46~1.53	-0.33	0.99~1.05
容器范面范	5	74	21	36.80	1.21~1.40	-0.29~-0.28	1.07~1.08
容器范背范	5	56	39	120.00	2.21~2.63	-0.26~0.10	1.07~1.21
草拌泥	5	79	16	34.60	1.30~1.40	-0.31~-0.23	1.06~1.11
工具范	5	73	22	37.50	1.39~1.44	-0.32~-0.26	1.08~1.14

**2.1.1 容器范样品粒度频率分布特征** 由于相同类别陶范的粒度频率分布曲线趋势近似重合,因此在后文讨论中,每一类别陶范各选取一个较具有代表性的样品来做比较。各器型陶范、自然沉积土样、河砂、澄泥池样品的粒度频率分布曲线见图 2 和 3,因加砂样品粒径范围较大,对加砂陶范与河砂样品的粒度频率分布曲线使用对数坐标进行对比分析,其他样品的粒度频率分布曲线使用线性粒度标尺,可以使对比结果更加清晰地呈现。

双层范面范粒度频率分布特征:样品 GZTF03-1 为早期容器范面范,与马兰黄土、全新世古土壤对比如图 2a,三者粒度分布范围相似,在小于  $20\ \mu\text{m}$  粒径区间,陶范与马兰黄土的粒度曲线基本重合,优势组份范围相同在  $25\sim 70\ \mu\text{m}$  之间,峰值粒径均为  $49\ \mu\text{m}$ ;在小于  $10\ \mu\text{m}$  及大于  $70\ \mu\text{m}$  的粒径区间,古土壤的粒度明显细于陶范与马兰黄土,峰值粒径更偏细粒,约为  $43\ \mu\text{m}$ ,曲线整体显示陶范与马兰黄土

的变化趋势更为接近。

双层范背范粒度频率分布特征:样品 GZTF03-2 为早期容器范背范,与马兰黄土、全新世古土壤对比如图 3a,在小于  $100\ \mu\text{m}$  的粒径区间,三条曲线变化趋势大致相同,陶范和马兰黄土的峰值粒径约为  $48\ \mu\text{m}$ ,古土壤的峰值粒径约为  $42\ \mu\text{m}$ ,在小于  $20\ \mu\text{m}$  粒径区间,古土壤的粒度细于陶范和马兰黄土;陶范的粗端曲线差异明显,因加砂现象出现第二个峰值。

草拌泥粒度频率分布特征:样品 GZTF58 为早期容器范外层草拌泥,与马兰黄土、全新世古土壤对比如图 2b,草拌泥与马兰黄土的极细端基本重合,在小于  $20\ \mu\text{m}$  的粒径区间,古土壤的粒度更细。三者峰值粒径略微不同,马兰黄土约为  $49\ \mu\text{m}$ ,草拌泥约为  $43\ \mu\text{m}$ ,古土壤约为  $38\ \mu\text{m}$ ;在  $80\sim 153\ \mu\text{m}$  粒径区间,古土壤粒度最细,陶范的粒度又细于马兰黄土。

早晚期容器范粒度频率分布特征:取早、晚期单

层容器范 GZTF52 与 GZTF06 进行对比如图 2c, 曲线显示晚期陶范的峰值粒径略微偏右, 约为 50  $\mu\text{m}$ , 早期陶范的峰值粒径约为 40  $\mu\text{m}$ , 极细端曲线基本

重合, 晚期陶范在 100 ~ 150  $\mu\text{m}$  这一粒径区间粗端粒径比例约为 6%, 早期陶范约为 4%, 整体曲线差异不大。

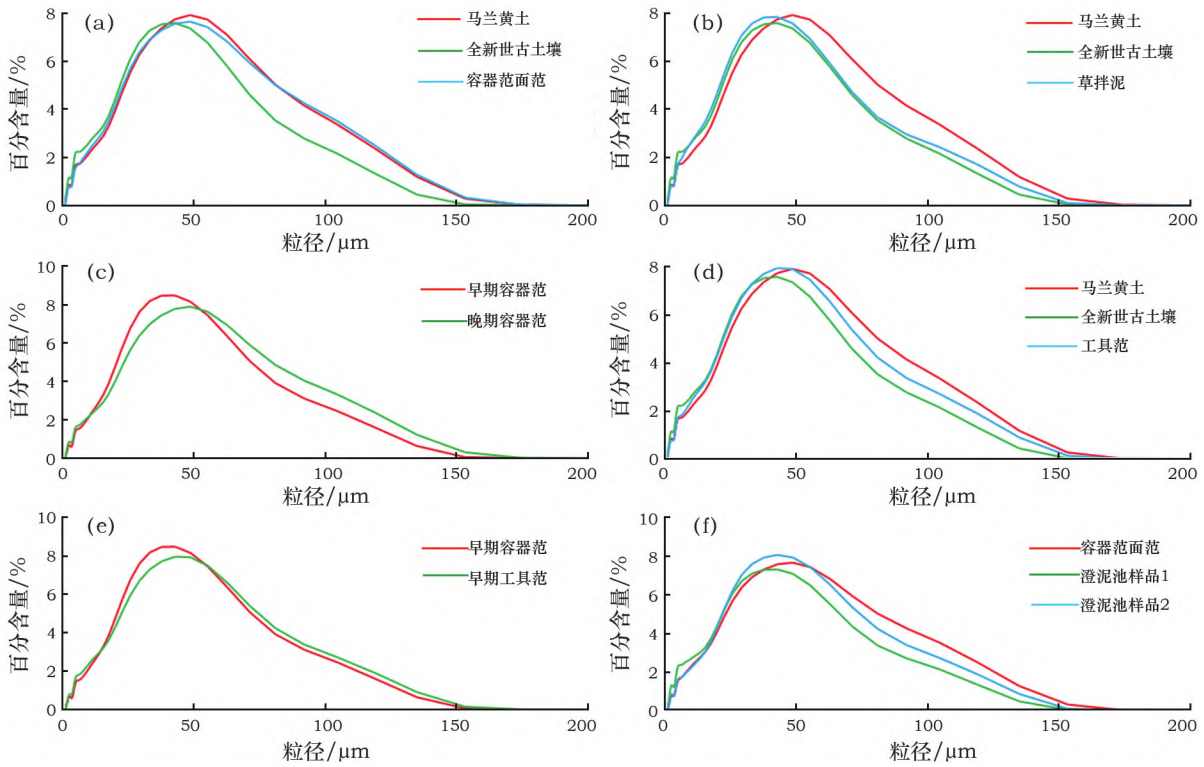


图 2 陶范、自然沉积、澄泥池样品粒度频率分布曲线

Fig. 2 Particle size frequency distribution curves of the samples from pottery moulds, natural sedimentary soil and mud - clarifying ponds

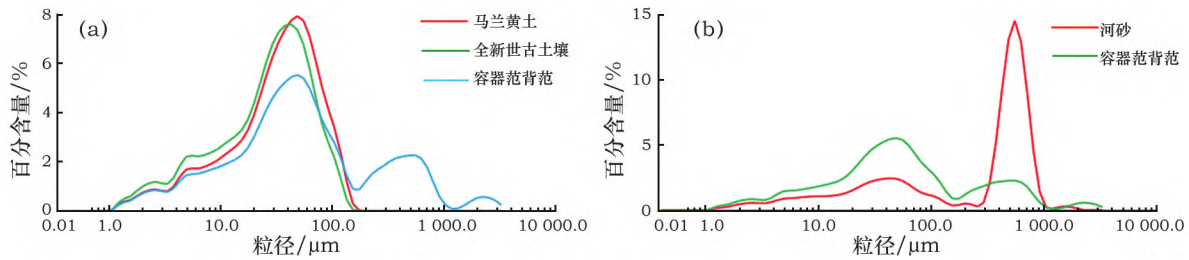


图 3 陶范、自然沉积、河砂样品粒度频率分布曲线

Fig. 3 Particle size frequency distribution curves of the samples from pottery moulds, natural sedimentary soil and river sand

**2.1.2 工具范粒度频率分布特征** 工具范都未分层, 选取样品 GZTF54 与马兰黄土、古土壤对比如图 2d, 工具范与马兰黄土的粒度曲线在 1 ~ 38  $\mu\text{m}$  的粒径区间基本重合, 优势组份都在 25 ~ 70  $\mu\text{m}$ , 陶范的峰值粒径约为 43  $\mu\text{m}$ , 马兰黄土的峰值粒径约为 50  $\mu\text{m}$ , 三条曲线相比, 陶范更接近于马兰黄土, 在小于 10  $\mu\text{m}$  的粒径区间, 古土壤比陶范和马兰黄土的粒度更细。

再选取早期单层容器范样品 GZTF52 与早期工

具范样品 GZTF54 对比如图 2e, 容器范的粒径比工具范的粒径稍细, 波峰偏左, 容器范的峰值粒径约为 43  $\mu\text{m}$ , 工具范的峰值粒径约为 49  $\mu\text{m}$ , 容器范在 1 ~ 50  $\mu\text{m}$  粒径区间所占比例更大, 工具范在 100 ~ 150  $\mu\text{m}$  粒径区间所占比例更大。

**2.1.3 河砂粒度频率分布特征** 河砂样品与样品 GZTF03 - 2 加砂陶范背范的粒度曲线对比如图 3h, 陶范的波峰变化趋势与河砂一样, 都有两个波峰, 第一个峰值陶范与河砂相近, 峰值粒径约为 48  $\mu\text{m}$ , 第

二个峰值粒径陶范约为 553  $\mu\text{m}$ ,河砂约为 550  $\mu\text{m}$ ,参数非常相近,在 250 ~ 1 000  $\mu\text{m}$  的粒径范围,陶范的频率分布曲线被河砂完全涵盖。

**2.1.4 澄泥池样品粒度频率分布特征** 澄泥池 1 各层样品平均粒径在 31.66 ~ 36.62  $\mu\text{m}$  之间,澄泥池 2 各层样品平均粒径在 31.62 ~ 37.49  $\mu\text{m}$  之间波动,都属于自然沉积中粗粒的部分。两组澄泥池平均粒径结果曲线(图 4)显示,随着取样高度的不同,样品的平均粒径呈现上下波动趋势,以 35  $\mu\text{m}$  为界,各层样品平均粒径的波动划分为粗细两部分沉积物,参数呈现明显的波动旋回变化,可见两组澄

泥池剖面自下而上都有三组细粒层段,这样就反映有三次由粗到细的沉积旋回,而在澄泥池偏上部即 300 cm 之上的部分旋回特征不明显,粒径明显偏粗。澄泥池样品的分选系数同样存在波动,范围在 1.30 ~ 1.54 之间,波动趋势与平均粒径相同。偏度在 -0.33 左右,峰态值在 0.99 ~ 1.2 之间。粒度频率分布曲线图 2f 显示,把陶范的面范样品分别与澄泥池粒径偏粗、偏细的两部分样品比较,在 1 ~ 20  $\mu\text{m}$  极细端的粒径区间,陶范与平均粒径为 36.4  $\mu\text{m}$  的粒径偏粗样品澄泥池 1 更为接近,在 50 ~ 150  $\mu\text{m}$  区间,陶范的粒度大于澄泥池样品粒度。

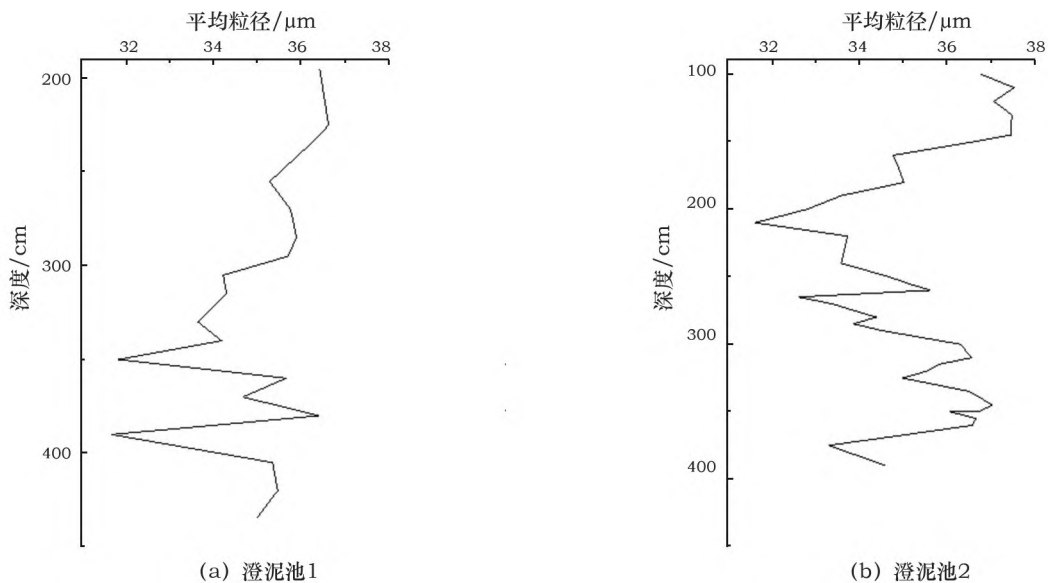


图 4 两组澄泥池样品平均粒径结果曲线

Fig. 4 Result curves of average particle size of the samples from two mud - clarifying ponds

**2.2 XRF 分析结果**

各样品数据取均值后,分析结果如表 3,官庄陶范、马兰黄土与全新世古土壤化学元素组成比较相似,马兰黄土中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$  含量略小于全新世古土壤。陶范中的  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$  成分含量均高于自然沉积土样,并且含有  $\text{P}_2\text{O}_5$  成分, $\text{P}_2\text{O}_5$  成分自然沉积土中没有的。 $\text{Na}_2\text{O}$  的含量容器范面范 > 容器范背范 > 草拌泥, $\text{MgO}$  的含量工具范 > 容器范, $\text{Al}_2\text{O}_3$  的

含量工具范 > 容器范面范 > 容器范背范 > 草拌泥, $\text{SiO}_2$  的含量容器范背范 > 容器范面范 > 草拌泥; $\text{P}_2\text{O}_5$  的含量草拌泥最高,且容器范高于工具范; $\text{CaO}$  的含量同样是草拌泥最高(这里指的是遗物,澄泥池  $\text{CaO}$  值更高,但其归类为遗迹,下文有解释),容器范整体(面范和背范合在一起)高于工具范。澄泥池样品的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量与陶范相近, $\text{CaO}$  含量明显偏高,这与土壤中  $\text{CaO}$  溶于水并富集于澄泥池有关。

表 3 官庄遗址测试样品荧光测试元素含量平均值

Table 3 Mean values of element contents measured using fluorescence testing for the samples from Guanzhuang site (%)

样品	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
马兰黄土	1.19	3.51	16.23	66.50	—	3.34	1.72	0.84	0.11	5.39
全新世古土壤	0.86	3.48	17.43	65.47	—	3.36	2.25	0.85	0.11	5.57
容器范面范	1.46	3.46	15.72	66.50	0.54	3.42	2.55	0.79	0.08	5.09
容器范背范	1.41	3.40	15.20	67.10	0.50	3.30	3.04	0.74	—	4.69

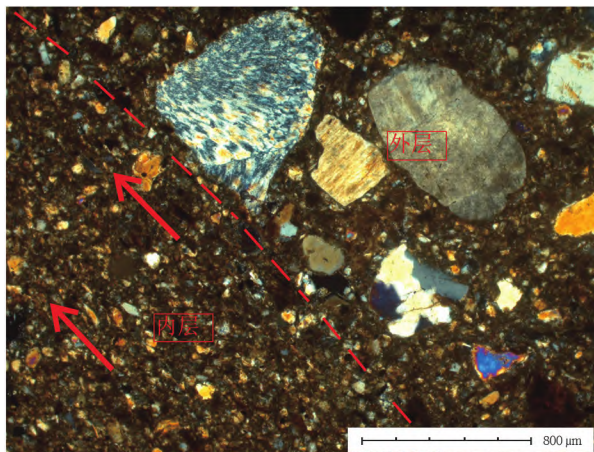
(续表 3)

样品	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>
草拌泥	1.31	3.41	15.02	64.68	0.88	3.57	3.67	0.81	—	4.95
工具范	1.45	3.58	15.88	66.43	0.43	3.22	2.61	0.80	—	5.19
晚期容器范	1.30	3.53	16.00	67.20	0.51	3.27	1.86	0.81	0.12	5.14
澄泥池	1.10	3.38	15.71	65.26	—	3.30	4.59	0.85	0.09	5.31

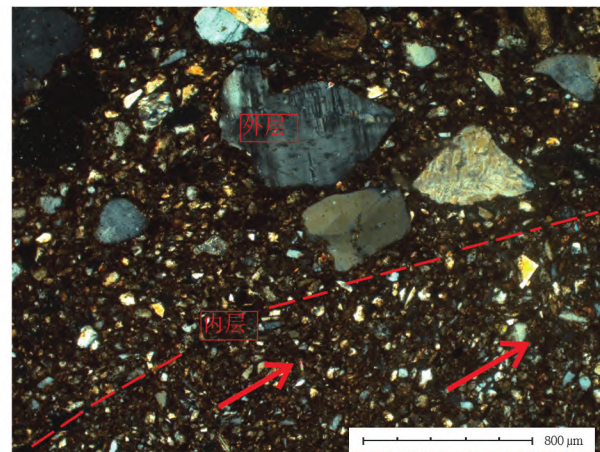
### 2.3 岩相分析结果

岩相分析的两个双层容器范样品为 GZTF03 和 GZTF04(图 5)。其中,图 5a 为 GZTF03 的岩相分析图片,显微结构显示内层局部定向明显,表明内范在制作过程中有定向的修整;主要由碎屑石英、长石和云母组成,含少部分黏土矿物和岩屑,碎屑物呈次棱角状-棱角状。黏土矿物粒径普遍在 0.01 mm 以下,均匀分布在其他碎屑间隙中。外层定向性不明显,主要由粒径明显大小不等的两部分碎屑组成。以次棱角状-棱角状为主,磨圆度差。图 5b 为 GZTF04 的

微观结构,其分层明显,内层主要由石英、长石、云母和黏土矿物等碎屑矿物组成,含少部分绿泥石,少量岩屑、气孔和金属矿物。碎屑物呈次棱角状-棱角状,磨圆度差。石英粒度介于 0.01 ~ 0.22 mm 之间。外层主要由粒径明显大小不等的两部分碎屑组成。较细颗粒者主要由石英、长石、云母和黏土矿物组成,以次棱角状-棱角状为主,粒度普遍在 0.12 mm 以下。较大颗粒者主要由石英、长石等单矿物碎屑和岩屑组成。这些碎屑矿物以次圆状-次棱角状为主,磨圆度中等-较差,碎屑粒径大小为 0.23 ~ 2.31 mm。



(a) GZTF03的微观结构



(b) GZTF04的微观结构

图 5 双层范切片显微结构

Fig. 5 Sectional microstructures of pottery moulds

## 3 讨论

已有研究表明<sup>[16]</sup>,陶范制作过程中会加入少许的草木灰等有机质作为羼合料。但是,首先在粒度实验前处理过程中,已使用过量的盐酸和双氧水清除干净样品中的有机质,并且在静置、洗酸的过程中把细小的悬浮物质清洗完毕;其次,草木灰的 80% 的成分为碳酸钾,实验中过量的稀盐酸与碳酸钾已经中和;最后,前人研究陶范中所添加羼合料 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的量极少<sup>[5,8]</sup>,因此,这些处理对陶范粒度分布并没有影响。

通过粒度的各项参数对比,虽然马兰黄土与全

新世古土壤粒度分布范围基本一致,但古土壤的平均粒径、峰值粒径均小于马兰黄土,黏土含量大于马兰黄土,说明古土壤的粒度比马兰黄土细。官庄遗址马兰黄土的优势粒径约为 25 ~ 70 μm,峰值粒径约为 50 μm,平均粒径约为 37.9 μm,陶范的优势组份范围同样在 25 ~ 70 μm 之间,双层范面范的平均粒径为 36.8 μm,草拌泥的平均粒径为 34.6 μm,工具范的平均粒径为 37.5 μm,晚期容器范平均粒径为 39 μm,而古土壤平均粒径略细为 32.6 μm,不同器型及不同时期的陶范平均粒径均与马兰黄土更接近。根据陶范与自然沉积土的粒级组成可以看出,陶范面范的粉砂含量与马兰黄土相同为 74%,工具

范的粉砂含量为73%,古土壤的粉砂含量为78%,陶范与马兰黄土的粒级组成更接近。分选系数、峰态、偏度几项参数也都显示陶范与马兰黄土的粒度参数更相似。陶范的分选系数比马兰黄土略小,说明范料经过简单淘洗的分选过程。粒度频率分布曲线对比后显示,在粒径小于20  $\mu\text{m}$  这一粒径区间,陶范的粒度曲线更接近于马兰黄土,而古土壤粒度曲线比陶范和马兰黄土偏细,若选用古土壤作原料再经淘洗,陶范的粒度不应粗于古土壤,因此古土壤不是用作陶范的原料。双层范背范的砂应是来自官庄遗址附近河道的河砂,粒度结果显示它们的波峰变化范围一致、峰值也相似。化学元素分析结果同样显示,各类别陶范与马兰黄土的化学成分更为接近,这表明陶范范料就地取材,以当地自然沉积的马兰黄土为主要成分,另经过一定的加工。因此官庄遗址陶范的原料来源为本地文化层下的晚更新世马兰黄土而非全新世古土壤。

不同器型陶范,其制作工艺有所差别。加砂陶范均为双层容器范的背范,原料由马兰黄土及河砂共同制成,加砂含量约为23%,马兰黄土与砂的掺和比例为7:5。岩相分析显示双层范的内外层粒径有明显差别,内层颗粒分布均匀,呈定向分布,可能由于工匠制作陶范时有意识定向修整造成;外层矿物颗粒粒径大小不一,应为人工添加石英、长石等矿物碎屑。石英加热时膨胀值较大,会大大减少泥料因加热收缩而引起的陶范变形与开裂,而且还可提高陶范的耐火度使陶范足以承受铜液的高温作用<sup>[8]</sup>。陶范加砂现象在殷墟时期就已出现,谭德睿曾对商周时期陶范的处理技术进行分析,得出结论古陶范的范料多为就地取材,并有另行加砂的工序;这种泥料就地取材,经淘洗和练泥等处理、在夹砂陶中加砂、掌握干燥和烧成等制陶技术在新石器时代的中原地区已经出现<sup>[17]</sup>。而至迟从殷商晚期开始的陶范,反映出当时不仅继承了这项技术成就,更增加了砂的加入量,以适应铸铜时承受高温作用和耐急热的特殊要求<sup>[8]</sup>。不加砂的单层容器范、工具范和草拌泥的峰值粒径均细于马兰黄土,说明工人选取范料时经过简单的淘洗。容器范面范与马兰黄土的粒度频率分布曲线对比显示容器范面范的峰值偏左,说明工匠在洗土时是洗去较粗的部分,留下较细的10~40  $\mu\text{m}$  这一粒级范围的马兰黄土,再添加羸合料制成。马兰黄土在淘洗的过程中,粒径在50~100  $\mu\text{m}$  粗颗粒端被淘洗掉,以GZTF03-1与马兰黄土的对比为例:GZTF03-1在50~100  $\mu\text{m}$  粗颗

粒端所占比例为25%,10~40  $\mu\text{m}$  细颗粒端所占比例为53%,而马兰黄土50~100  $\mu\text{m}$  粗颗粒端所占比例为29%,10~40  $\mu\text{m}$  细颗粒端所占比例为50%,这表明50~100  $\mu\text{m}$  粒径部分在淘洗的过程中被洗掉少许。在1~40  $\mu\text{m}$  的较细粒级区间,容器范的粒度小于工具范,优势粒径更偏细,说明容器范的范料选取比工具范更为细致,需要淘洗掉粗颗粒。陶范早、晚期范料无明显变化,晚期陶范的粗端粒径相比早期偏粗,可能与春秋中期城址的衰落有关。总体来看官庄手工业作坊的制范过程并未经过非常细致的分选,而是先简单的淘洗马兰黄土,再经过人为加砂的工序,且制范的应为同一批手工业者,或是不同手工业者继承了早期制范工艺,并未发生较大改变。

澄泥池的平均粒径波动变化反映出其有三次由粗到细的沉积旋回,指示沉积时期搬运动力方面发生了周期性变化。官庄遗址在晚更新世以来就是高地,因此这种变化应是人为造成的,而在澄泥池偏上部即300 cm之上的部分旋回特征不明显,粒经明显偏粗这一现象,可能是由于晚期澄泥池的功用发生了改变。澄泥池大部分样品粒度分布特征与马兰黄土相似,而且陶范与澄泥池样品的粒度分布趋势也基本一致,其平均粒径大于澄泥池样品,把陶范的面范分别与澄泥池偏粗、偏细的两部分样品比较后发现陶范与平均粒径为36.4  $\mu\text{m}$  的偏粗部分样品接近,说明当时的手工业者在澄泥池中对黏土进行水选法分选,不同粒级的黏土按粒径大小先后沉降(底部粒径最粗,顶部粒径最细),这一步骤淘洗掉过粗和过细的马兰黄土,留下的原料用来制作陶范的面范,分选好的原料并不会被全部取出,每次取料时会在底部剩余薄薄一层泥料,久而久之泥料坑被填满,显示出上下波动的粒度特征及明显的色度分层。殷墟孝民屯遗址发现范土沉淀坑、练泥坑,皆堆积十分纯净的泥土<sup>[18]</sup>,官庄遗址发现的澄泥池中所堆积的土样,应与孝民屯的沉淀坑作用类似。

化学元素分析结果可知,官庄遗址陶范与马兰黄土的化学成分组成大致相同,以 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 为主要成分, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{CaO}$ 这几个成分出现差别应与分选过程、羸合料的添加有关。陶范 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量低于马兰黄土,应是马兰黄土经过淘洗造成的; $\text{SiO}_2$ 含量的不同反映出陶范的背范加砂含量最大,是由于当时工人有意识区分陶范的面料与背料;陶范中所添加的马兰黄土中不含有的 $\text{P}_2\text{O}_5$ 成分,应与人为添加的羸合料有关。陶范中添加草木灰可以

降低陶范的蓄热指数,增强其充型能力<sup>[16]</sup>。尤其草拌泥的  $P_2O_5$  含量明显比其他陶范高。陶范的 CaO 含量高于马兰黄土,也与麝合料有关,麝合料的成分可能含有氧化钙或碳酸钙,用肉眼观察陶范时也能看到部分陶范夹杂着少量的钙结核。中国古代陶器为改善耐急冷急热性能,往往在陶器内加入大量粗颗粒物质<sup>[8]</sup>,这种现象很早就存在于陶器制作中,陶范中添加麝合料的目的与陶器类似,有研究表明钱范制作过程中同样也存在有加入草木灰的现象<sup>[19]</sup>:一方面可以减少钱范的收缩变形,同时又可改善钱范的热物理性能,增加液态金属技术在钱范中的充填能力,提高钱币成型合格率。

容器范的岩相分析结果表明,官庄遗址双层容器范分层明显,并且有着不同的岩相特征,指示面、背范存在着不同的制作工艺。其中面范则多由小于 0.01 mm 的石英、长石、云母矿物组成,同时在制作过程中有着定向修整的痕迹;而背范则由粗细两部分矿物混合制成,较粗部分矿物为棱角状、磨圆度较差的石英和长石,粒径在 0.23 ~ 2.31 mm 之间,未见明显的处理加工痕迹。

纵向对比前人的研究,刘煜、岳占伟<sup>[7]</sup>对殷墟出土陶范的材料及处理工艺得出结论,陶范的原料取自当地原生土,陶范中有添加麝合料的现象,主要成分为二氧化硅和碳酸钙,在外范的背层中掺杂碳酸钙颗粒物的现象较为普遍,此外也有背面层同时添加麝合料现象,表明当时人们已经意识到背料面料的区别,但还不成熟规范。金锐等<sup>[20]</sup>对殷墟孝民屯出土陶范进行 XRF 分析发现陶范的二氧化硅含量较高,可能是通过淘洗、精选原土后去除土中多余的黏土来提高砂所占比例,再进行人工加砂步骤。刘煜等<sup>[10]</sup>对周原出土陶范进行 X 衍射分析发现陶范为就地取材,与殷墟陶范主要成分的差别如 Ca、Fe 含量的偏高是与本地原生土壤矿物组成不同有关,周原陶范没有添加麝合料。横向对比前人的研究,谭德睿<sup>[5]</sup>对侯马东周陶范材料的研究得出结论,侯马陶范的原料就地采用马兰黄土,经过选择处理并调节,淘洗后分选出不合使用要求过细的组份后,加入以石英为主成分的细砂,降低了 CaO、MgO 等含量,改变其矿物组成和粒度构成后符合青铜器铸造要求,淘洗掉的黄土被废置在淘洗工地形成沉积,这与官庄出土澄泥池的作用相一致。谭德睿<sup>[6]</sup>对比多个遗址出土陶范发现,侯马陶范不仅加入了一定数量的草物质,还加入了木炭屑作为植物硅酸体,提升陶范的透气性。官庄遗址陶范外层的草拌

泥与其作用类似。官庄遗址两周之际的陶范与其他不同时期陶范相比,原料同样取自本地原生土,有添加麝合料的现象,主要成分为  $SiO_2$ 、 $P_2O_5$ 、CaO,面范背范的原料处理方式比殷墟时期更加成熟,与同时期的侯马陶范相比,工艺较为相似。

## 4 结 论

1) 官庄遗址陶范是取自于遗址所处台地厚层的晚更新世马兰黄土,双层范背范有加砂情况,其中砂的原料来自官庄遗址附近枯河的河砂。马兰黄土在被用于制作陶范前经过简单的人工淘洗,其中 50 ~ 100  $\mu\text{m}$  粗颗粒端被洗掉少许而细颗粒端被留下。澄泥池遗迹中下部沉积土样的粒径循环波动显示在其中有多次进行淘洗分选的行为,应为早期制范时的原料淘洗遗迹。

2) 不同器型陶范的选料与加工工艺有所不同,容器范的面范主要由马兰黄土制成,背范主要由马兰黄土及河砂两种原料制成,掺和比例约为 7:5。与工具范相比,容器范的优势粒径更偏细粒,双层范的面范在淘洗时洗去一部分 50 ~ 100  $\mu\text{m}$  粒径范围的马兰黄土,表明容器范制作更为精细;与早期陶范制作相比,晚期陶范制作相对粗糙,但差别不大,早晚制范应为同一批手工业者,或是不同手工业者沿袭早期制范工艺,并未有较大改变。范料经过淘洗后,会人为添加含有  $P_2O_5$ 、CaO、 $SiO_2$  成分的麝合料如草木灰及钙结核粉末以增加陶范的耐高温性能。

3) 双层范岩相特征不同结果指示面、背范存在着不同的制作工艺。其中面范在制作过程中是经淘洗选取 100  $\mu\text{m}$  以下的马兰黄土作为原料,颗粒大小均匀,存在定向修整的痕迹;而背范则由粗细两部分矿物混合制成,未见明显处理加工痕迹,制作过程相对粗糙。

## 参考文献:

- [1] 韩国河,陈康,刘彦锋.河南荥阳市官庄周代城址发掘简报[J].考古,2016(8):25-40,2.  
HAN Guohe, CHEN Kang, LIU Yanfeng. The excavation of the city site of the Zhou Dynasty at Guanzhuang in Xinyang City, Henan[J]. Archaeology, 2016(8):25-40,2.
- [2] 赵昊,郜向平,丁思聪.河南荥阳市官庄遗址铸铜作坊区 2016 ~ 2017 年发掘简报[J].考古,2020(10):53-54,128,55-77,2.  
ZHAO Hao, GAO Xiangping, DING Sicong. Brief report on the 2016 ~ 2017 excavation of the bronze casting workshop area at the Guanzhuang site in Xinyang City, Henan[J]. Archaeology, 2020(10):53-54,128,55-77,2.



- [3] 张昌平,刘煜,岳占伟. 二里冈文化至殷墟文化时期青铜器范型技术的发展[J]. 考古,2010(8):79-86.  
ZHANG Changping, LIU Yu, YUE Zhanwei. The development of moldmaking technology from the Erligang culture to YinXu periods [J]. Archaeology,2010(8):79-86.
- [4] 岳占伟,岳洪彬,刘煜. 殷墟陶范的施纹方法[J]. 考古学集刊,2010(2):200-210.  
YUE Zhanwei, YUE Hongbin, LIU Yu. The engraving method of pottery moulds from YinXu [J]. Archaeological Collectanea,2010(2):200-210.
- [5] 谭德睿. 侯马东周陶范的材料及其处理技术的研究[J]. 考古,1986(4):355-362,369.  
TAN Derui. A study on the materials and processing techniques for pottery moulds during the Eastern Zhou Dynasty in Houma [J]. Archaeology,1986(4):355-362,369.
- [6] 谭德睿,徐惠康,黄龙. 中国青铜时代陶范铸造技术研究[J]. 考古学报,1999(2):211-250,263-274.  
TAN Derui, XU Huikang, HUANG Long. A study of the techniques of bronze casting with clay moulds in Bronze Age China [J]. Acta Archaeologica Sinica,1999(2):211-250,263-274.
- [7] 刘煜,岳占伟. 殷墟陶范的材料及处理工艺的初步研究[C]//王宇信,宋镇豪,孟宪武,等. 夏商周文明研究(六)——2004年安阳殷商文明国际学术研讨会论文集. 北京:社会科学文献出版社,2004:461-467.  
LIU Yu, YUE Zhanwei. A preliminary study on materials and processing technology for pottery moulds in YinXu [C]//WANG Yuxin, SONG Zhenhao, MENG Xianwu, et al. Xia, Shang and Zhou Civilizations Research(6); Proceedings of the 2004 Anyang Yinshang Civilization International Symposium. Beijing: Social Sciences Academic Press(China),2004:461-467.
- [8] 谭德睿. 商周青铜器陶范处理技术的研究[J]. 自然科学史研究,1986(4):346-360.  
TAN Derui. A study of bronze pottery moulds processing technology for Shang and Zhou Dynasties [J]. Studies in the History of Natural Sciences,1986(4):346-360.
- [9] 廉海萍. 河北省易县燕下都战国陶范的分析研究[J]. 文物保护与考古科学,1992,4(2):25-31.  
LIAN Haiping. A study on the performance of the casting clay moulds in Warring States in Yan - xiadu, Yi County, Hebei Province [J]. Sciences of Conservation and Archaeology,1992,4(2):25-31.
- [10] 刘煜,宋江宁,刘歆益. 周原出土铸铜遗物的分析检测[J]. 考古与文物,2007(4):94-100.  
LIU Yu, SONG Jiangning, LIU Xinyi. Testing and analysis of bronze casting relics unearthed in Zhouyuan [J]. Archaeology and Cultural Relics,2007(4):94-100.
- [11] 岳占伟,荆志淳,刘煜. 殷墟陶范、陶模、泥芯的材料来源与处理[J]. 南方文物,2015(4):152-159.  
YUE Zhanwei, JING Zhichun, LIU Yu. Material source and processing of pottery mould & ceramic mold & clay core in the Yin Ruins [J]. Cultural Relics in Southern China,2015(4):152-159.
- [12] LIU Siran, WANG Kai, CAI Quanfa. Microscopic study of Chinese bronze casting moulds from the Eastern Zhou period [J]. Journal of Archaeological Science,2013,40(5):2402-2414.
- [13] 魏国锋,秦颖,姚政权. 利用泥芯示踪九连墩楚墓青铜器的产地[J]. 岩石矿物学杂志,2011,30(4):701-715.  
WEI Guofeng, QIN Ying, YAO Zhengquan. Determining the foundry area of the bronze vessel from Jiuliandun tombs using the casting core residue of the bronzes [J]. Acta Petrologica et Mineralogica,2011,30(4):701-715.
- [14] 南普恒,秦颖,谢尧亭. 横水西周墓地部分青铜器残留泥芯的矿物组成及成分分析[J]. 岩矿测试,2008,27(4):259-262.  
NAN Puheng, QINYing, XIE Yaoting. Analysis of mineral and chemical compositions of clay core collected in bronze vessels excavated from cemetery of Western Zhou Dynasty in Hengshui [J]. Rock and Mineral Analysis,2008,27(4):259-262.
- [15] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京:地质出版社,1978.  
The Geology Team of Chengdu College of Geology. Analysis of particle size and its application [M]. Beijing: Geology Press, 1978.
- [16] 李迎华,杨益民,周卫荣. 古代陶范原料配方含有草木灰的化学判断方法[J]. 岩矿测试,2009,28(2):134-138.  
LI Yinghua, YANG Yimin, ZHOU Weirong. Method for chemical discrimination of plant ash in row materials of ancient Chinese pottery - moulds [J]. Rock and Mineral Analysis,2009,28(2):134-138.
- [17] 周仁,张福康,郑永圃. 我国黄河流域新石器时代和殷周时代制陶工艺的科学总结[J]. 考古学报,1964(1):1-27,132-139.  
ZHOU Ren, ZHANG Fukang, ZHENG Yongpu. Studies on the technology of Neolithic and Yin and Chou pottery unearthed in the Yellow River Valley [J]. Acta Archaeologica Sinica,1964(1):1-27,132-139.
- [18] 马赛. 商周时期铸铜相关遗迹的特征与功能[J]. 中国国家博物馆馆刊,2018(7):17-29.  
MA Sai. Features and functions of bronze casting remains of the Shang and Zhou Dynasties [J]. Journal of National Museum of China,2018(7):17-29.
- [19] 施继龙,王昌燧,戴志强,等. 萧梁钱范原料的矿物组成及其处理技术初探[J]. 中国钱币,2004(3):12-18,81.  
SHI Jilong, WANG Changsui, DAI Zhiqiang, et al. Preliminary studies on mineral composition and processing techniques of the clay coin mould of the Liang Dynasty in the Six Dynasties [J]. China Numismatics,2004(3):12-18,81.
- [20] 金锐,岳占伟,朱剑,等. 殷墟孝民屯铸铜遗址出土陶范烧制工艺初探[J]. 南方文物,2016(2):141-147.  
JIN Rui, YUE Zhanwei, ZHU Jian, et al. Preliminary study on the firing process of pottery moulds unearthed from the bronze - foundry site at Xiaomintun, Yin Ruins [J]. Cultural Relics in Southern China,2016(2):141-147.

## Analysis of the material sources and craftsmanship of bronze casting moulds unearthed from Guanzhuang site in Xinyang, Henan Province

CHEN Bo, YIN Shaojun, XU Junjie, GAO Xiangping  
(School of History, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Guanzhuang site is located in the west of Guanzhuang Village, Gaocun Township, Xinyang City, Henan Province. From the site, more than 3 000 pottery moulds have been unearthed, with various types, including the moulds for containers, tools, chariots, weapons, money and core, etc. According to the types and decorations of pottery moulds and the characteristics of co-existing pottery, the pottery moulds of Guanzhuang site can be divided into two periods—Phase I dating from the late Western Zhou Dynasty to the early Spring and Autumn Period, and phase II considered between the early and middle Spring and Autumn Period.

The change of bronze ware styles from the Western Zhou Dynasty to the Spring and Autumn Period was important in the development of ancient Chinese bronze wares. Due to the lack of archaeological data, research on pottery moulds during the two-week period was still insufficient; discussion of the important issue of standardizing the sources of raw materials was also relatively weak. Environmental archaeology has relatively mature methods and practices in depositional dynamics, depositional processes and provenance tracing, which could provide new ideas for further in-depth discussions on this issue.

In order to understand the material sources and craftsmanship of pottery moulds unearthed from Guanzhuang site in Xinyang, Henan Province, samples of Guanzhuang pottery moulds and natural sedimentary strata were studied using particle size analysis, XRF and petrographic analysis to give the following results. 1) The raw materials for mould-making were taken from the late Pleistocene Malan loess layer under the cultural layer of the site. The Malan loess underwent simple manual elutriation before being used to make pottery moulds. 2) A small amount of plant ash and calcium nodule powder was added during the production process of pottery moulds as an admixture to increase the high-temperature resistance. 3) The inner side of pottery mould for container was mainly made of Malan loess, while the outer one was made of a mixture of Malan loess and river sand with a blending ratio of about 7:5. Pottery moulds for various ware types had different processing techniques (e.g., moulds for containers were more refined). Besides, compared with early pottery moulds, later ones are relatively rougher, but the difference is not obvious. 4) The petrographic characteristics of double-layer container moulds indicate that there are different production processes for the inner and outer sides of mould. The inner side was made of Malan loess with finer particles—below 100  $\mu\text{m}$ —as the raw material after elutriation, and there were traces of directional trimming. The outer one was made of a mixture of two parts of minerals (coarse and fine), and there was no obvious processing trace.

Analysis of sample particle size is a new attempt to discuss the material sources of pottery moulds. The related discussion of mud-clay ponds is also helpful to understand the function of such relics and the formation process of accumulation in them. This study has important reference significance for exploring the material and craft characteristics of pottery moulds before and after the early Spring and Autumn Period in the Central Plains.

**Key words:** Guanzhuang site; Pottery mould; Particle size; XRF; Petrographic analysis

(责任编辑 潘小伦;校对 马江丽)