

河南鲁山冶铁遗址群的技术特征研究*

张周瑜¹ 邹钰淇² 孙凯³ 许鹤立³
胡毅捷⁴ 潜伟¹ 陈建立^{4★}

(1. 北京科技大学科技史与文化遗产研究院, 北京市 100083; 2. 香港中文大学历史系, 香港 999077;
3. 河南省文物考古研究院, 河南 郑州市 450099; 4. 中国考古学研究中心, 北京市 100871)

关键词: 鲁山; 冶铁遗址群; 技术特征

摘要: 在以往关于鲁山地区冶铁技术研究结果的基础上, 我们持续开展了望城岗冶铁遗址与周边地区相关铁矿、冶铁遗址的田野调查, 补充分析了望城岗、西马楼、太平堡等冶铁遗址出土和采集的矿石、炉壁、陶范、炉渣等冶铸遗物, 揭示其蕴涵的技术特征, 发现各遗址虽均进行生铁冶炼或铸造活动, 但各遗址炉料配方差异明显, 导致差异的原因可能与多样性炉料配方、技术的历时性变化等因素有关。

Keywords: Lushan; Iron-smelting Site Complex; technical features

Abstract: Continuous fieldwork based upon the results of previous research into iron-smelting techniques ever used in the region where Wangchenggang Iron-smelting Site Complex is located has been carried out in this specific area and in the vicinity, targeting at surveying iron ore and other iron-smelting sites. There is a supplementary analysis of relics, including ore, remnants of the furnace wall, pottery moulds, slag and other leftovers collected from iron-smelting sites at Wangchenggang, Ximalou, Taipingbu and other places, uncovering features of ancient metallurgical techniques. It has been found out that, although pig-iron smelting, or casting, was conducted at each site, there were significant differences in terms of furnace charge formulations, which might be a result of diachronic changes in diversified furnace charge formulations and technologies.

DOI:10.16143/j.cnki.1001-9928.2022.02.012

河南省平顶山市鲁山县矿产资源丰富, 古代手工业遗址分布密集, 年代从战汉持续到明清时期, 其中冶铁遗址包括望城岗、黄楝树、西马楼、太平堡等。(图1)因此, 开展冶铁遗址的综合研究对于提高关于区域经济、技术发展历史的认识、推动手工业考古研究具有重要学术意义。

望城岗冶铁遗址位于鲁山县城南部, 2000年底至2001年初, 河南省文物考古研究所(今河南省文物考古研究院)对其进行了抢救性发掘, 发掘面积2000多平方米^[1]。

2009~2010年, 河南省文物考古研究所与北京大学考古文博学院联合再次对包括望城岗遗址在内的鲁山冶铁遗址群进行调查^[2]。2018年冬至2019年春, 河南省文物考古研究院对望城岗西区贺楼村一带进行了考古发掘。发现了炉前坑、窑、房址、鼓风机嘴、陶范、炉壁等遗迹、遗物。基于前期的田野调查、发掘与实验室分析工作, 我们已基本摸清望城岗遗址的分布范围、大致格局与保存状况, 初步确定了冶炼活动持续的时间, 对冶炼技术内涵也有了基本认识。望城岗遗址东起尹

* 本研究得到国家重点研发计划课题“无机质文物的技术发展及其与文明关系研究”(课题编号: 2019YFC1520205)、郑州中华之源与嵩山文明研究会重大课题“中国钢铁技术发展史——以中原地区为中心”和河南省青年人才托举工程项目(项目编号2019HYTP020)的共同资助。

★ 通讯作者

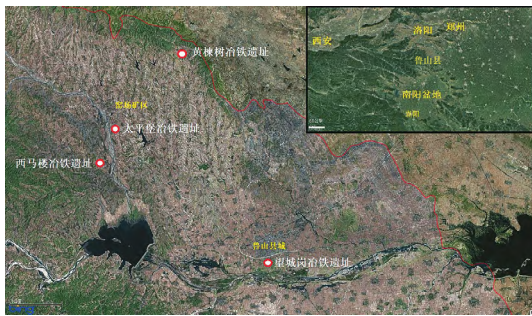


图1 鲁山四处冶铁遗址位置图

家岗，西至贺楼，南至望城岗村，紧临沙河，北至鲁平大道，总面积达33.5万平方米。根据遗址地表炉渣等冶金遗存密集程度，可将遗址分为东、西两区，于西区鲁平大道处系统揭露了一座冶炼炉及其附属设施（炉基、鼓风残部、炉前坑与积铁），以及排房与南北向陶窑，发现有丰富的冶金遗存，其中“阳一”“河口”“六年”铭文模范为遗址性质提供了参考。遗址集中冶铁时间为两汉时期，主要技术类型是高炉生铁冶炼、铸造及生铁制钢工艺。

黄楦树、西马楼、太平堡遗址均位于望城岗遗址西北山区^[3]。其中黄楦树遗址为战汉时期的冶铁遗址；西马楼、太平堡遗址位置接近，分布于昭平湖以北、沙河上游东西两岸的矿山地带，后者测年结果为宋代，冶炼过程或铁器加工环节可能使用了煤做燃料。

中国古代冶铁遗址以生铁冶炼、铸造为特色，而生铁冶铸具体内容是区分不同遗址内涵的重要基础。本文拟通过多种分析手段，进一步强化鲁山冶铁遗址群的技术研究，更加深入揭示矿石、炉渣、炉壁、陶范和积铁块以及木炭等各类遗物的信息特征，探索鲁山地区古代生铁冶炼相关的技术细节，为进一步讨论各遗址的生产组织模式，研究遗址之间的异同、联系，揭示区域冶炼技术特征提供良好参考。

1 取样与实验参数

本文分析的冶铸遗物样品主要取自望城岗（分东、西两区）、西马楼和太平堡三处冶铁遗址，有4件矿石、2件陶范、6件炉壁、15件玻璃态炉渣和3件渣炭锈结物。（图2）本文未对西马楼遗址的样品进行取样分析，后文讨论主要根据以往检测结果。

望城岗东区、西马楼和太平堡遗址样品均为地表采集。望城岗东区有1件陶范（LS450001）和5件炉壁（LS450007-1~3、LS450009-1、-2）。西马楼遗址包括3件矿石（LS450005-3~5）和4件玻璃态炉渣（LS450005-1、-2、-6、-7）。太平堡遗址包括1件矿石（LS450006-1）和8件玻璃态炉渣（LS450006-2~9）。

望城岗西区样品均为2018年发掘所获，出土于汉文化层中，包括1件陶范、3件玻璃态炉渣、3件渣炭锈结物和1件炉壁。其中，陶范（LS450002）、玻璃态炉渣（LS450003）出土于西区路沟底部；另外2件玻璃态炉渣（LS450004-1、LS450004-2）出土于H45；2件渣炭锈结物（LS450010、LS450011）出土于T0915汉文化层内；炉壁（LS450013）和渣炭锈结物（LS450012）出土于G2②。

实验过程包括前期记录、无损分析、有损分析与数据处理工作。前期记录要完成样品的宏观观察、拍照、测量、记录等工作。无损分析主要为铁矿石的便携式X射线荧光光谱分析（p-XRF），有损分析包括金相学研究、X射线衍射分析（XRD）与扫描电镜能谱分析（SEM-EDS）。

铁矿石的p-XRF检测工作由北京大学考古文博学院完成。使用仪器为Thermo Fisher研制的Niton XL3t600型便携能量色散p-XRF分析仪，配置Au靶和高性能微型X射线激发管，测

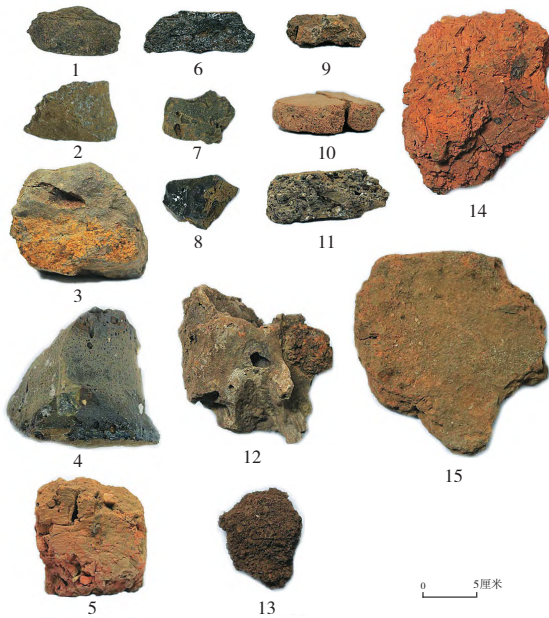


图2 冶铸遗物样品宏观形貌

1. 西马楼矿石 (LS450005-3)
2. 西马楼矿石 (LS450005-4)
3. 太平堡矿石 (LS450006-1)
4. 太平堡炉渣 (LS450006-5)
- 5、11~15. 望城岗炉壁 (LS450009-1、LS450013、LS450007-3、LS450007-2、LS450007-1、LS450009-2)
6. 望城岗西区炉渣 (LS450003)
7. 西马楼炉渣 (LS450005-7)
8. 望城岗西区炉渣 (LS450004-2)
9. 望城岗西区渣炭锈结构 (LS450012)
10. 望城岗东区陶范 (LS450001)

试电压30kV，工作电流40 μ A。配备电子冷却Si-PIN探测器，工作温度-35 $^{\circ}$ C。窗口材料为有机薄膜(MOXTEK AP3.3膜)。测试时间为30秒。标差为 $\pm 2\delta$ 。

有损分析工作由北京大学考古文博学院完成。该工作需先对样品进行前处理。对不同种类遗物取适当大小样品，进行冷镶、打磨、抛光，并使用上海光学仪器一厂13XF-PC型金相显微镜观察、拍照记录。炉渣、渣炭锈结构需经4%硝酸酒精溶液浸蚀后再进行金相观察。

SEM-EDS分析前，浸蚀过的样品需再次抛光，保证样品表面平整。分析仪器型号为HITACHI TM 3030扫描电镜与EDX能谱仪。分析条件：低真空，加速电压15kV，工作距离11~13mm，激发时间 ≥ 80 s。实验由北京大学考古文博学院完成。

矿石的XRD分析工作由北京大学化学与分子工程学院完成。使用仪器为Rigaku-DMAX2400型X射线衍射仪，靶物质为铜靶，X射线管电压为40kV，管电流为100mA，测量范围为 5° ~ 80° ，步长0.02，扫描速度为 $8^{\circ}/\text{min}$ ，狭缝宽度分别为发散狭缝 0.5° ，防散射狭缝 0.5° ，接受狭缝0.3mm。使用Jade6.0进行解谱。

2 矿石的成分与种类

2.1 矿石的分析结果

现代矿石分析检测手段多样，不同的检测手法在原理与应用上优缺点不同。p-XRF可在无损前提下进行多金属元素含量的快速定性，目前已有不少学者将其用于野外原位矿石、土壤的多元素测定，并获得了较为准确的定性信息；在降低几何效应影响的前提下，该方法还可进行半定量研究^[4]。应对矿石矿物成分分布不均匀的情况，可通过多次多点的p-XRF检测得到更为全面的矿石元素的定性数据，但该方法的缺点是无法检测矿石中的常见成分硅。

SEM-EDS的特点是，在揭示样品显微结构的前提下，对微区不同物相进行成分鉴定，同时在样品表面平整的前提下可进行微区平均成分的半定量分析，且可测定硅。该方法的缺点是对原子量较低的元素成分的测定结果准确性低。

相较于前两种分析手段仅能揭示样品所含元素信息，XRD是检测矿物化合物、晶体类型的重要手段之一，可以较准确地表征矿石的主要矿物类型。该方法的缺点是难以获取微量矿物信息与物相组合状态。同时，基于矿石的不均匀性，SEM-EDS的微区分析与XRD的样品量限制都会面临取样代表性问题。

综上所述，p-XRF可避免取样代表性问题，SEM-EDS可辅助解决微区物相与硅元素

测定问题, XRD可揭示矿物类型。因此, 本文应用这三种分析手段, 对西马楼、太平堡遗址矿石进行检测, 以快捷、全面地获得矿石特征信息。此外, 参考现代地质信息与以往对望城岗矿石的分析结果, 本文尝试对不同遗址的矿源进行初步探索。矿石的p-XRF和SEM-EDS化学成分分析结果分别列于表1、表2和图3~6, 矿石的XRD结构分析结果见图7。

分析结果汇总于表3。例如, p-XRF与SEM-EDS检测到矿石的主量成分基本一致。p-XRF结果显示4件矿石普遍含有一定量的Mn, 且了解到Mn、Ca不均匀分布性; SEM-EDS分析中, 未能在西马楼、太平堡矿石中检测到MnO的存在, 但发现了局部零星分布的磷灰石。XRD的检测则给出了具体的矿物类型。

综合分析结果可以确认, 西马楼、太平堡铁矿石类型相近, 矿石品位较低, 均为浸染状矿石, FeO含量在21.8%~57.4%, 金属矿物有磁铁矿与赤铁矿, 脉石矿物主要为石英、镁角闪石、绿泥蛇纹岩, 以及少量的磷酸钙。

2.2 矿石的种类与产地特征

西马楼、太平堡遗址距离较近, 同位于昭平湖北、沙河两岸, 该区域处于窑场铁矿矿区范围。现代地质信息显示, 窑场铁矿床属于火山沉积变质铁矿, 矿石平均品位较低(含铁29%左右), 根据该地区矿物的共生组合及含量可将该矿区矿石划分为辉石铁英岩型和角闪石铁英岩型两种矿石, 主要矿石矿物均为磁铁矿, 存在少量赤铁矿和镜铁矿, 辉石铁英岩型矿石主要脉石矿物为石英与辉石(富铁透辉石、斜铁辉石), 后者主要为

表1 矿石p-XRF成分分析结果

实验室编号	元素种类及成分 (ppm)										
	Bal	Fe	Cr	V	Ti	Ca	K	As	Mn	Zn	Zr
LS450005-3	752.6K	167.4K	454	336	2961	59.9K	12.5K		2643		40
	845.3K	105.8K	264	226	1812	35.3K	8742		2215		
LS450005-4	595.6K	392.3K	462	287	2086	3570	2218		1988	781	
	771.8K	211.6K	432	271	2223	4798	6048		1463	348	
LS450005-5	814.2K	181.9K	237	150	215	1772	1254				
	322.6K	657.6K	952	565	1044	5489	4296	289	2356		
LS450006-1	796.9K	163.7K	440	262	1390	15.9K	5020		15.7K		
	643.2K	330.9K	443	247	682	11.6K	2671		9351		

表2 矿石SEM-EDS成分分析结果

实验室编号	扫描方式	氧化物组成及成分 (wt%)											备注
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	P ₂ O ₅	TiO ₂	ZnO	其他	
LS450005-3	面扫	0.9	9.1	9.2	44.9	1.1	11.1	23.0		0.4	0.1	Cl0.1	平均成分
	面扫	0.9	9.2	9.4	44.5	1.2	11.3	22.8		0.5	0.2	Cl0.2	
	点扫	0.4	1.8	1.4	7.1	1	49.3	3.7	34.7			Cl0.6	
LS450005-4	面扫	0.1	20.4	6.9	14.3		0.1	57.4		0.2	0.6		平均成分
	面扫	0.2	25.7	9.5	19.9		0.3	43.9		0.3	0.3	Cr0.1	
LS450005-5	面扫	0.1		0.4	51.6		0.2	47.7			0.1	Cr0.1	平均成分
	点扫	0.3	0.5	0.7	3.2		47.5	15.1	32.9				磷灰石
LS450006-1	面扫	0.3	5.5	6.0	59.3	0.6	6.2	21.8			0.3		平均成分
	点扫	1.0	3.2	2.9	14.6	1.3	38.9	7.5	30.1			S0.5	磷灰石

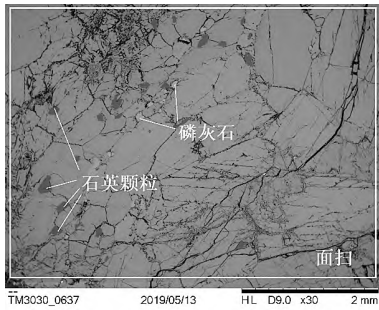


图3 西马楼矿石LS450005-3
(微区内未见富铁矿物)

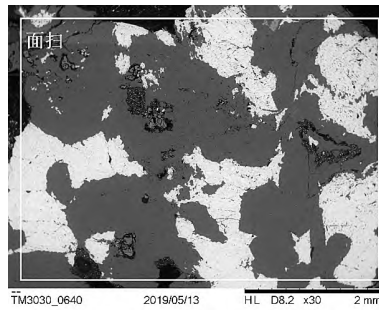


图4 西马楼矿石LS450005-4
(在非金属矿物基质内分布呈亮色粒状的富铁矿石矿物, 富铁矿物呈半自形粒状, 粒径0.2~1.0mm)

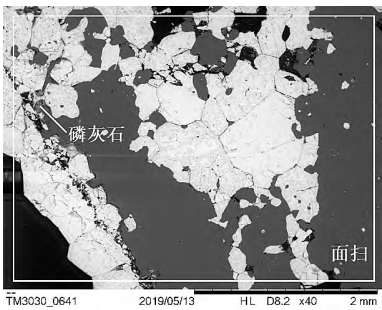


图5 西马楼矿石LS450005-5
(SiO₂脉石基质内分布呈亮色脉状的富铁矿石矿物。富铁矿物呈半自形粒状, 粒径0.2~1.1mm)

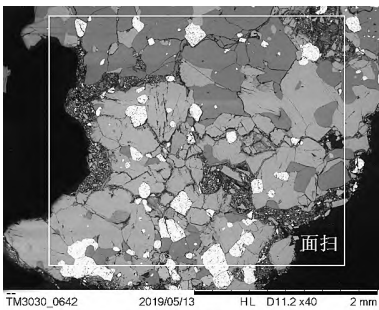


图6 太平堡矿石LS450006-1
(在SiO₂与非金属矿物基质内分布呈亮色星点状的富铁矿石矿物。富铁矿物呈半自形-他形粒状, 粒径0.2~0.3mm)

石英与角闪石(镁角闪石), 此外还有石榴子石等^[5]。本文分析的西马楼、太平堡遗址矿石品位、矿石构造、矿物物相及脉石物相

等方面均与矿区角闪石铁英岩相似度极高。因此, 西马楼、太平堡遗址冶铁活动矿源可能来自附近矿山, 使用了角闪石铁英岩为冶炼原材料。

以往对鲁山望城岗遗址采集矿石进行的SEM-EDS分析, 结果显示矿石品位、脉石成分等特征有别于西马楼、太平堡遗址。相较于西马楼、太平堡遗址采集矿石脉石成分的多元性, 望城岗矿石脉石成分以SiO₂、Al₂O₃为主, 含有一定量的MnO。

冶铁遗址炉壁与陶范的黏土质原料通常就地取材。不同地区风化黏土的矿物组成、结构特征和成分等存在一定差异。同时, 长期经历冶金活动的手工业作坊中的黏土材料可能混入铁矿石碎屑。因此, 冶金陶瓷材料中颗粒物的矿

表3

矿石信息汇总

遗址	实验室编号	宏观特征	XRD	SEM-EDS (氧化物模式)	p-XRF (矿石模式)
西马楼	LS450005-3	断口呈黑色矿石与白色、棕褐色斑点状脉石混合状。	镁角闪石	三件矿石品位存在一定差别(FeO含量分别为22.9、50.7、47.7wt%), 但显微结构与脉石成分差别不大, 均属浸染状铁矿石, 显微结构呈非金属矿物基质内分脉状或块状的富铁矿物, 富铁矿物呈半自形-他形粒状, 粒径0.2~1.0mm, 局部包裹有细小磷灰石颗粒。脉石主要成分为SiO ₂ 、MgO、Al ₂ O ₃ 、CaO, 其中SiO ₂ 最高。	三件矿石成分一致性高, 铁元素富集程度有别。脉石主要成分为Ca、Mn、Ti、K等, 元素存在分布不均匀的现象。其次矿石中存在少量Cr、V、Zn、As、Zr。
	LS450005-4	断口呈青灰色矿石间分布大量白色网纹状脉石。	磁铁矿、绿泥蛇纹岩		
	LS450005-5	表面呈暗红色, 断口呈灰黑色, 夹杂一定白色脉石。	赤铁矿、石英		
太平堡	LS450006-1	表面呈暗红色、褐色, 断口呈黑红色、灰黑色, 夹杂少量一定量斑点状白色脉石。	镁角闪石	矿石品位不高(FeO含量为21.8wt%), 显微结构呈非金属矿物基质内分布点状的富铁矿物, 富铁矿物呈半自形-他形粒状, 粒径0.2~0.3mm, 局部包裹有细小磷灰石颗粒。脉石主要成分为SiO ₂ 、MgO、Al ₂ O ₃ 、CaO, 其中SiO ₂ 最高。	矿石中铁元素富集程度不均匀。脉石主要成分为Ca、Mn、K、Ti等, 存在少量Cr、V。
望城岗	WCG-ore1至WCG-ore6 (以往分析结果)	无	无	矿石品位普遍相对较高, FeO含量普遍在43.4~81.1wt%, 1件为18.5wt%。脉石主要成分为SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ , 不均匀分布有MnO。	无

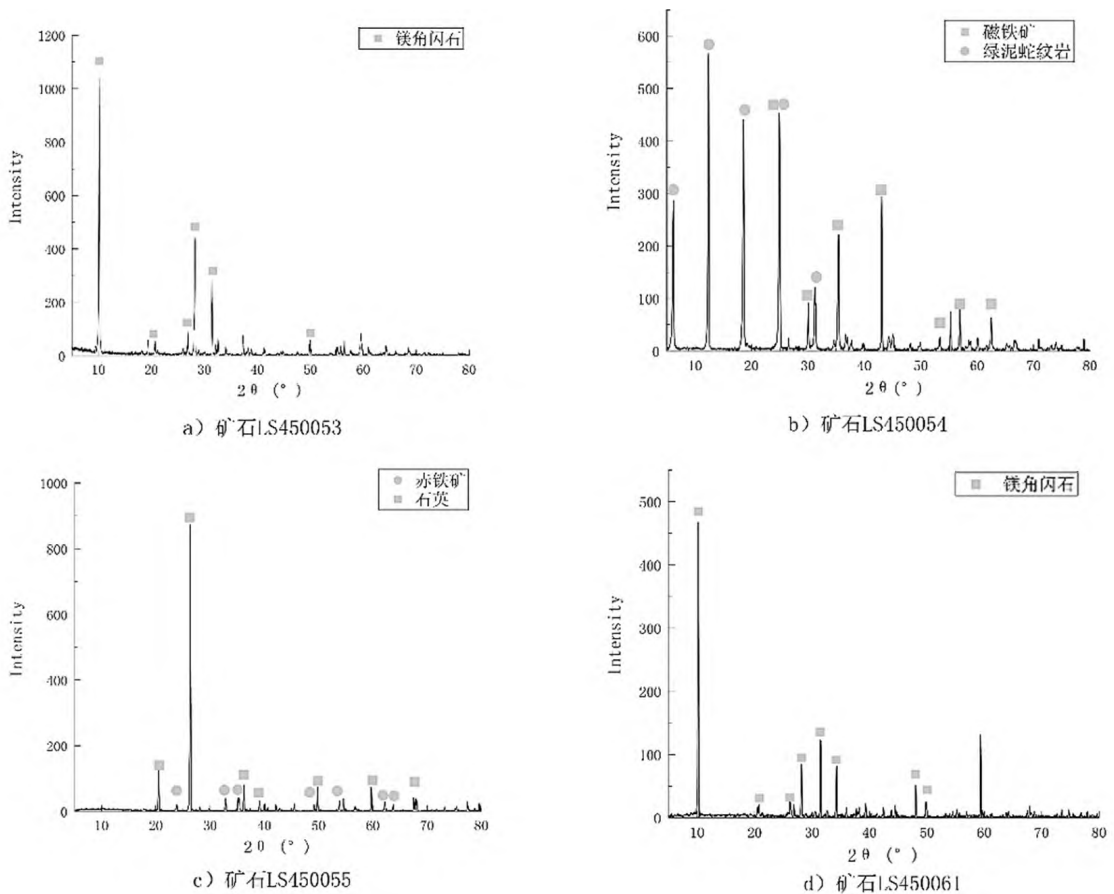


图7 矿石XRD检测结果

物类型除可作为本地生产的炉壁、陶范材料组分的组合特征外，还可以反映使用的矿石信息。即，除矿石本体外，遗址本地制造的冶金陶瓷材料中的含铁矿物亦能在一定程度上指征使用的矿石信息特征。

值得注意的是，望城岗遗址炉壁、陶范材料中除发现常见的黏土矿物外，还发现了高品位铁矿石、含铁矿物以及高猛矿物等颗粒物的存在。（表4）分析结果显示，高品位铁矿石颗粒占比远高于其他含铁矿物，且以纯铁氧化物矿石和含 SiO_2 、 Al_2O_3 的铁矿石为主，含 SiO_2 、 Al_2O_3 的铁矿石通常还有一定的 TiO_2 。低品位含铁矿物可分为硅铝系与硅铝镁钙系两类。由此可见，高品位矿石和硅铝系含铁矿物与前人分析结果基本一致，主要

成分与窑场矿区的辉石铁英岩型矿石类似；而硅铝镁钙系含铁矿物则与窑场角闪石铁英岩型矿石相似。

因此，望城岗遗址使用铁矿石亦可能来源于其西北方向的窑场矿区，且古人有意选择了矿区高品位铁矿石进行冶炼。但是，由于望城岗矿石仅有SEM-EDS分析的成分结果，从而无法确定望城岗矿石的矿物组分，故不排除望城岗矿石来源于其他矿区的可能。

鲁山周边矿脉较多，矿石金属矿物均以磁铁矿为主，但矿床成矿原因、矿石品位、成分、构造、自然矿石类型和脉石特征等方面均有差别，这都是探究矿石来源的重要参考。望城岗遗址西北、南均有矿山。以望城岗西北的栾川断裂为界，其南北铁矿床成因

表4 技术陶瓷部分矿物颗粒SEM-EDS成分分析结果

实验室编号	扫描方式	氧化物组成及成分 (wt%)									备注
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	P ₂ O ₅	MnO	
LS450002	点扫	1.9	10.6	12.4	45.6	1.2	12.9	15.3			矿物颗粒
	点扫		6.0	14.5	46.3	1.3	3.5	28.5			
LS450007-2	点扫			8.8	13.0	0.2	1.2	72.1	1.4	3.3	铁矿石 (图8)
	点扫			3.9	7.0		0.2	88.6	0.3		
	点扫			1.3	3.5			95.2			
LS450007-3	点扫			1.9	14.6	1.7	9.5			72.3	高锰矿物
LS450009-2	点扫	0.7	3.0	24.3	57.3	2.0	0.9	11.7			矿物颗粒
	点扫	1.6	5.1	19.0	39.3			35.1			铁矿石 (图9)
	点扫	0.6	0.8	4.9	18.1	1.0	1.0	73.4	0.1		
	点扫	1.9	1.1	8.2	21	0.5	1.7	63.3	2.3		
LS450013	点扫			1.6	9.7			88.7			熔融铁矿石 (图10)
	点扫			4.0	16.0			79.9			
	点扫			5.9	24	0.5		69.5			
	点扫			3.8	30.1		1.7	64.4			

就有差别,其北主要为矽卡岩型、沉积型、淋滤型铁矿,其南主要为热水喷流成因矿床。鲁山西南方向的嵩县南岭至南召梅子堖一带以风化沉积的贫铁矿为主,但鲁山县城东南处于鲁山-舞阳-新蔡成矿带上,其地舞阳铁山庙、泌阳高庄一带存在较多沉积变质型铁矿床。因此,基于丰富的地质资料,研究望城岗遗址铁矿石来源问题还需更多出土矿石样品的检测工作。

3 炉壁与陶范所反映的冶炼技术

3.1 炉壁与陶范的分析结果

冶炼活动中,堆砌窑炉的炉壁、浇铸铁器的陶范均使用包括黏土的泥与砂质材料制成,炉壁、陶范亦是生铁冶炼铸造遗址常见遗物,此类遗物与冶炼活动的成功直接相关。研究此类冶金陶瓷材料时,研究者常通过物相组分、平均成分和结构特征等方面来讨论材料的使用、制备以及性能评估。本文通过宏观观察法与SEM-EDS分析,研究望城岗冶铁遗址炉壁、陶范的原料选择与制备。(表5)

冶金陶瓷材料主要由黏土质、颗粒物(包括粉砂、粗砂、岩粒等)以及一些有机质材料等组成,制备过程中涉及物理筛选、机械混合、塑型、阴干与焙烧等过程。

炉壁的形制、材质与其对应的炉体位置有关。刘海峰等将炉耐火材料分为炉基材料、炉体支撑材料、炉衬材料、黏结材料、炉门材料与外围支护材料等六大类,并指出不同年代、不同地区使用的六类材料有所区别,战汉时期常见土坯砖为炉体框架的支撑材料,草拌泥为黏接材料,夹砂炉壁多为炉衬、炉底材料^[6]。冶铁遗址内除高炉外,还存在退火窑等高温遗迹,该类高温遗迹亦需要耐火材料参与建构。因此,夹砂状态、草本植物茎痕、炉壁形制与颜色及熔融状态等宏观信息是确定炉壁类别的重要信息。(表6)

3.2 炉壁、陶范的技术特征

本文分析的6件炉壁中,有5件样品未见明显烧瘤烧熔的状态。LS450007-1有明显草本植物茎痕,无规整形制,可能为黏接填缝材料;样品呈橘红色,说明材料所处

表 5 技术陶瓷SEM-EDS平均成分分析结果

实验室编号	扫描方式	氧化物组成及成分 (wt%)										备注
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	
LS450007-1	面扫	1.7	1.4	16.3	70.4	2.4	1.0	5.7			1.0	平均成分 (图 11)
	面扫	2.8	1.3	16.4	71.7	2.1	1.1	4.6				平均成分
LS450007-2	面扫			5.2	42.5		20.8	28.8	2.7			基质 (见图8)
LS450007-3	面扫	1.4	1.2	13.6	50.8	5.1	18.0	5.0		4.9		未熔区平均成分 (图 12)
	面扫	1.4	0.9	14.6	57.6	4.1	13.4	4.2		3.0	0.7	半熔区平均成分 (图 13)
	面扫	1.9	0.7	17.3	48.1	5.4	8.9	7.2		9.3	1.1	半熔区非均匀基质
	面扫	1.8	0.6	19.0	56.0	5.7	7.4	6.2		2.2	0.6	
	面扫	1.0	8.1	9.6	52.4	4.4	24.4					
	面扫	0.6	0.7	17.2	61.0	6.8	13.8					
LS450009-1	面扫	1.5	2.6	19.5	63.3	3.1	1.3	7.7	0.2		0.9	半熔区平均成分 (图 14)
	面扫	1.8	2.1	16.4	68.2	2.9	1.1	6.4			1.2	
	面扫	1.4	2.1	17.2	68.7	2.9	1.0	5.5	0.3		0.8	未熔区平均成分 (图 15)
	面扫	1.6	1.6	15.5	70.9	3.1	1.2	5.3			0.8	
LS450009-2	面扫	1.3	2.5	20.1	63.7	3.1	1.5	7.6	0.2			未熔区平均成分 (见图9)
LS450013	面扫	2.1	1.8	17.1	70.7	3.2	1.9	2.6			0.5	平均成分 (见图 10)
	面扫	1.6	1.9	15.3	73.3	3.2	1.2	3.5				基质
LS450001	面扫	1.2	1.6	15.5	70.7	3.0	2.2	5.8				平均成分 (图 16)
LS450002	面扫	2.1	1.5	13.4	73.2	2.3	1.7	5.2			0.7	平均成分 (图 17)
	面扫	2.0	1.1	12.9	76.6	2.3	1.5	3.5				平均成分

位置偏氧化气氛且温度并非炉内最高点。LS450009-1为泥质方砖，形制规整，可能为支撑窑或炉框架的土坯砖。LS450009-2为泥质薄板砖，属于非支撑结构炉壁，单侧有明显手工按压痕迹，样品呈橘红色，也说明其所处位置偏氧化气氛且温度并非炉内最高点。LS450007-2、LS450013均明显夹粗砂，且两者熔融状态不佳、颜色为青灰色或棕褐色，后者呈薄板状，可能为内层炉砖之间的黏结剂，前者无规整形制，可能为内层材料，但所处区域受热温度并非炉内最高点。LS450007-3呈烧熔状态，无规则形制，判断其类型需结合显微结构、成分分析结果。

根据望城岗遗址炉壁、陶范样品中颗粒种类及其粒径组的分析结果 (图18) 可推测，它们主要由黏土质与颗粒物 (砂料) 组

成，且不同材料的显微结构、各组分占比有明显差异。其中，颗粒物 (砂料) 粒径大小情况与材料类别存在对应关系。冶金陶瓷材料中颗粒物 (砂料) 粒径的规律性常与材料制备过程中的过筛、浮选、重选等行为有关。结合黏土质与颗粒物占比、显微结构特征的共性与差异性，可初步将本文分析的炉壁、陶范分为三种配方类型。第一类，以夹砂炉壁为特征，颗粒物粒径普遍大于80 μm ，粒径集中于80~1000 μm ，以铁矿石、石英为主，对应的该类材料SiO₂含量较其他两类略高。第二类，以泥质薄板砖与泥质方砖为特征，黏土质组分占比明显大于颗粒物，且材料孔隙率低，颗粒物粒径普遍小于40 μm 。第三类，以草拌泥与陶范为特征，材料颗粒物、孔隙率占比较第二类明显提升，颗粒物

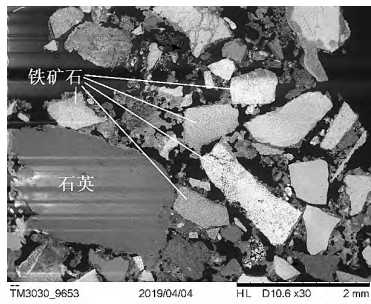


图8 夹砂炉壁LS450007-2

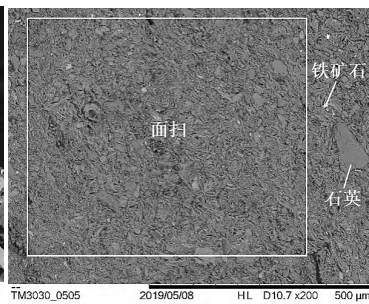


图9 泥质薄板砖LS450009-2

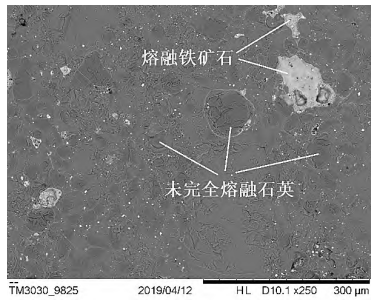


图10 夹砂炉壁LS450013熔融区

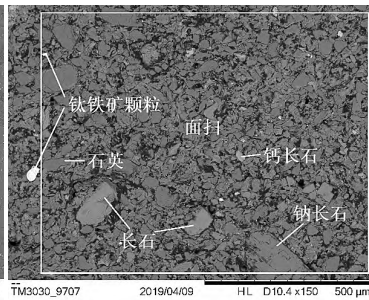


图11 草拌泥炉壁LS450007-1

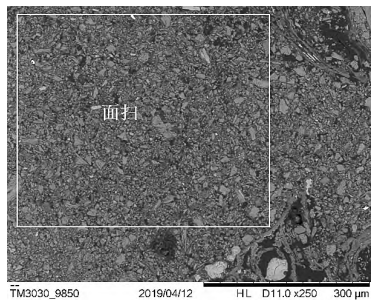


图12 炉壁LS450007-3芯部未熔区

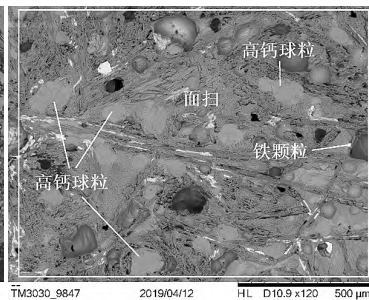


图13 炉壁LS450007-3表面半熔融区

粒径普遍小于 $80\mu\text{m}$ 。

基于上述分类特征, LS450007-3未熔区粒径普遍小于 $30\mu\text{m}$, 可能属于炉体上部内侧烧熔的泥质炉壁。

4 炉渣所反映的冶炼技术

炉渣是冶铁遗址最为丰富的遗物类型之一, 其包含了能直接反映冶炼技术类型、炉料配比、冶炼成功与否和炉内气氛等多方面的冶炼信息。以往对古代炉渣的研究常使用SEM-EDS分析来了解遗物显微结构、平均成分与特殊物相成分, 并结合遗址同出系列冶金遗存信息, 来进一步讨论遗址存在的技术内涵。目前, 学界已基本建立起从炉渣判定

冶铁技术的方法体系。

4.1 炉渣的分析结果

本文分析了望城岗西区、西马楼、太平堡遗址的18件炉渣与渣炭锈结物, 并结合前文分析的矿石、炉壁信息, 试讨论各遗址的技术类型及技术细节特征。各遗址炉渣、渣炭锈结物宏观与微观特征描述结果见表7, 炉渣的SEM-EDS成分分析结果见表8。

冶炼产生的炉渣类型多样, 中国古代成功冶炼的生铁渣明显区别于块炼铁、炒钢等其他类型炉渣。基于以往的发现与研究, 成功的生铁冶炼铸造活动由于还原气氛好、炉内温度高, 炉料中铁基本被还原, 渣铁分离度高, 炉渣常为硅钙系玻璃态炉渣, 流动性较强, 颜色丰富, 有蓝色、绿色和黑色等

多种色泽。炉渣中常包裹有一定量球形铁颗粒与燃料, 铁颗粒金相组织形态多样, 与炉渣成分、冷却环境与速度等因素有关。同时, 炉渣成分、冷却环境与速度的差异也会影响渣内析晶。

三处遗址炉渣玻璃化程度有所差别, 但炉渣类型基本一致, 均属于硅钙系玻璃态炉渣, 且炉渣铁颗粒均存在灰口铁、白口铁颗粒。因此, 可基本确定三处遗址的玻璃态炉渣均属于生铁冶炼或铸造的废弃产物。其中, 望城岗西区炉渣与渣炭锈结物中的木炭信息反映了遗址使用了栎属树种的木炭为燃料。

但是, 三处遗址炉渣平均成分中主量元素含量差异明显。(表9)这暗示了在技术类

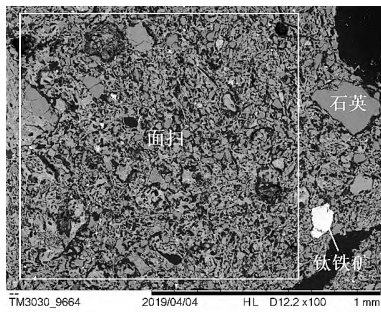


图14 泥质方砖LS450009-1表面半熔融区

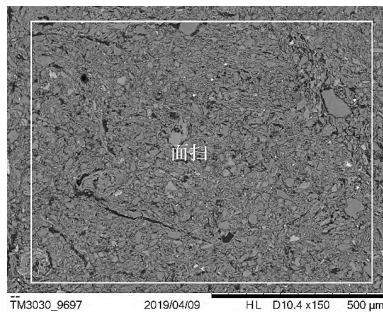


图15 泥质方砖LS450009-1芯部未熔区

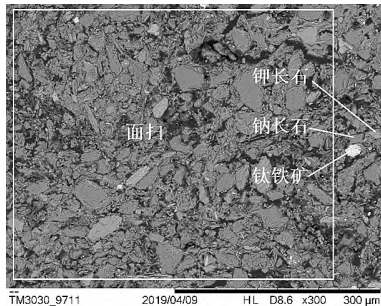


图16 陶范LS450001

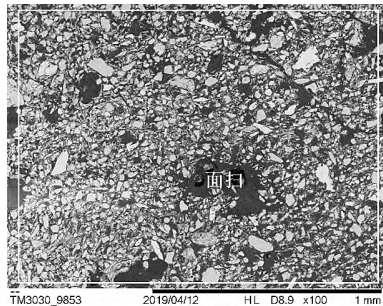


图17 陶范LS450002

型的共性前提下，各遗址冶炼技术细节存在不同。

4.2 望城岗遗址炉渣的技术特征

结合以往望城岗东区炉渣的分析结果，望城岗生铁渣主要成分包括 MgO、Al₂O₃、SiO₂、CaO、MnO，其中MgO、MnO则分别集中在两个区间，且两者表现出负相关特征，MgO为 [1.4%， 1.9%] ∪ [4.1%， 5.6%]，MnO为 [0.4%， 1.4%] ∪ [4.1%， 5.6%]。CaO

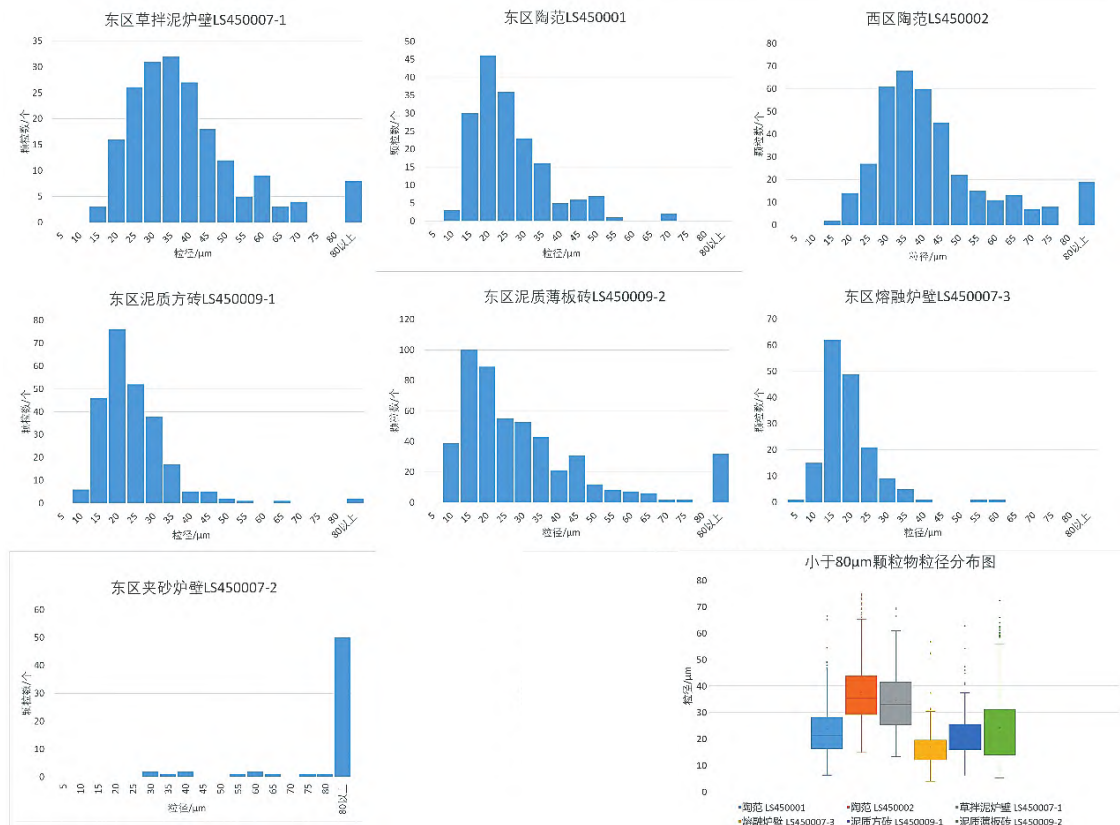


图18 各样品未熔区颗粒物粒径统计数据 (说明：统计数据均为颗粒物长径数据。)

表6 技术陶瓷信息描述

类别	实验室编号	宏观信息	微观结构信息
草拌泥炉壁	LS450007-1	橘红色，一面有弧度。黏土成分占主导，夹裹一定量大小不一的粗砂颗粒，断碴口可见草本植物茎痕。	未熔，颗粒物占比略大于黏土质。根据粒径，颗粒物分为粗细两类，细粒者为主要组分，大小相对均匀，普遍小于50 μm 。粗粒者为混入物，大小不均，粒径普遍大于80 μm 。颗粒物包括钠长石、石英、钙长石、石英，以及一定量的钛铁矿颗粒、锆石英等。
夹砂炉壁	LS450007-2	棕褐色，不规则形。由大量粗砂颗粒与黏土物质组成，粗砂大小均匀。	未熔，孔隙率较高，黏土质少。颗粒物粗大，粒径普遍大于500 μm ，大者可超过2mm，包括不同品位的铁矿石颗粒、石英颗粒等。
	LS450013	青灰色，呈薄板状，内部孔隙较大。由大量粗砂颗粒与黏土物质组成，粗砂大小均匀。	半熔融态，黏土质完全熔融，基质间分布大量细小铁颗粒，细颗粒矿物表面熔融，现存粒径普遍小于50 μm 。局部包裹有未完全熔融的铁矿石、石英、钛铁矿颗粒等。
熔融炉壁	LS450007-3	青灰色，呈不规则形，一侧呈多球形孔洞的玻璃态，玻璃化程度不高，存在较多球形孔洞，一侧未熔。	半熔区存在较多大小不一的球形孔洞、100 μm 左右的高钙球粒以及少量球形铁颗粒。局部保留未熔钛铁矿颗粒。未熔区黏土基质与颗粒物分界明显，颗粒物大小均匀，粒径普遍小于30 μm 。
泥质方砖	LS450009-1	橘红色，呈残方块状，黏土质地细腻均匀，局部可见极少量大卵石颗粒，粒径约长约1cm。	表面呈半熔融态，芯部未熔区以黏土质为主要组分。根据粒径，颗粒物可分为粗细两类，以细颗粒为主，大小相对均匀，普遍在50 μm 以下；粗颗粒零星分布，粒径大于100 μm 。颗粒物包括石英、钾长石，以及一定量的钛铁矿颗粒、锆石英等。
泥质薄板砖	LS450009-2	橘红色，呈薄板状，厚约3cm，一面较平，一面有手工按压痕迹。黏土质地细腻均匀。	未熔，以黏土质为主，颗粒物较少。细颗粒大小相对均匀，普遍小于30 μm ，有石英与锆石英等。局部零星分布少量钛铁矿粗颗粒（大于200 μm ）。
陶范	LS450001	橘红色，一侧表面平整，有白色涂层。	颗粒物与黏土质占比相当，颗粒物大小相对均匀，普遍在60 μm 以下，主要有钠长石、钾长石、石英，以及一定量钛铁矿颗粒。
	LS450002	橘红色，一侧表面平整，有白色涂层。	颗粒物与黏土质占比相当，颗粒物大小相对均匀，普遍在80 μm 以下，主要有石英、锆石英，以及一定量钛铁矿颗粒。

表7 炉渣、渣炭锈结物信息描述

遗址	实验室编号	宏观观察	显微观察	
			渣样	包裹物
望城岗西区	LS450003	望城岗西区3件炉渣相似度高，均为青黑色玻璃态炉渣，玻璃化程度高，断口锋利。LS450003断口可见渣内包裹有木炭屑。	均质	球形铁颗粒与较多木炭屑。铁颗粒以灰口铁颗粒为主。木炭被判定为壳斗科（图19a）。
	LS450004-1			较多球形铁颗粒，有熟铁颗粒、磷共晶铁素体颗粒等。
	LS450004-2			较多球形铁颗粒，有熟铁颗粒、铁素体片状石墨灰口铁颗粒、磷共晶铁素体片状石墨灰口铁颗粒、磷共晶铁素体颗粒等（图20）。
	LS450010	望城岗西区3件样品均为碎渣、木炭屑、土壤质、铁锈的锈结物。	均质玻璃态炉渣	LS450010包裹壳斗科属的木炭（图19b）。
	LS450011			LS450011包裹熟铁和共析钢颗粒。
LS450012	LS450012包裹白口铁与灰口铁颗粒（图21）。			
西马楼	LS450005-1	西马楼4件炉渣均为玻璃态炉渣，玻璃化程度较差，颜色包括灰蓝色、暗棕色、灰色，渣内普遍存在大量小气泡与不规则孔洞。LS450005-1包裹有木炭屑，LS450005-7包裹有未熔石英大颗粒。	局部析出条状灰灰晶体。	较多球形铁颗粒，有熟铁颗粒、灰口铁颗粒（以铁素体与磷共晶组织为主，存在少量珠光体，铁素体上析出较多粒状石墨）等。
	LS450005-2			局部包裹不规则流体态金属与铁氧化物，金属颗粒有亚共晶白口铁、熟铁。
	LS450005-6		大量条状、块状结晶析出。	球形铁颗粒有铁素体颗粒、磷共晶铁素体颗粒等。
	LS450005-7			较多球形铁颗粒，有熟铁颗粒、灰口铁颗粒（珠光体与铁素体组成的亚共析钢组织间析出片状石墨）（图22）。
太平堡	LS450006-2	太平堡8件炉渣相似度高，均为青黑色玻璃态，玻璃化程度较高，断口锋利，少数样品存在一定量大型起泡与流淌痕迹。	均质。 LS450006-4、LS450006-3有条状钙镁辉石析出。	较多球形铁颗粒，有亚共析钢颗粒、磷共晶珠光体颗粒、磷共晶亚共析钢颗粒等（图23）。
	LS450006-3			大量球形铁颗粒，以亚共析钢颗粒为主（图24）。
	LS450006-4			大量不规则球形铁颗粒，有铁素体颗粒、灰口铁颗粒（珠光体与片状石墨组成）等。
	LS450006-5			大量球形铁颗粒，有铁素体颗粒、磷共晶铁素体颗粒等。
	LS450006-6			一定量不规则球形熟铁颗粒，以铁素体颗粒为主，少数颗粒内析出粒状碳化物。
	LS450006-7			一定量不规则球形熟铁颗粒，以铁素体颗粒为主。
	LS450006-8			存在较多球形熟铁颗粒，以铁素体颗粒为主。
	LS450006-9			较多球形熟铁颗粒，以铁素体颗粒为主。

表8 炉渣SEM-EDS平均成分分析结果

遗址	编号	扫描方式	氧化物组层及成分 (wt%)										备注	
			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	P ₂ O ₅	SO ₂	MnO		TiO ₂
望城岗	LS450003	面扫	0.7	5.1	14.8	59.3	2.5	13.7	1.6	0.3	0.3	1.4	0.2	
	LS450004-1	面扫	0.5	4.2	17.1	58.3	2.9	15.5	0.4			1.1		图 25
	LS450004-2	面扫	0.5	4.1	17.0	57.3	2.9	16.2	0.4		0.1	1.1	0.4	
西马楼	LS450005-1	面扫	1.0	2.9	7.5	60.4	2.8	19.0	4.3	0.1		0.2	1.8	
	LS450005-2	面扫	0.6	10.1	9.6	47.4	2.3	23.4	3.8		0.4	0.4	1.9	图26
	LS450005-6	面扫	0.5	9.1	8.7	50.0	2.6	25.5	1.1		0.4	0.4	1.7	
	LS450005-7	面扫	1.6	4.8	9.1	54.5	2.9	20.0	3.8		0.1	0.3	3.0	
太平堡	LS450006-2	面扫	0.8	7.2	17.6	53.7	2.7	11.1	6.6			0.4		图27
	LS450006-3	面扫	1.1	7.8	26.8	54.5	1.7	6.1	0.9			0.6	0.5	
	LS450006-4	面扫	0.7	5.9	21.5	50.5	2.1	10.8	7.5			1.0		
	LS450006-5	面扫	0.5	9.1	26.4	47.9	1.5	7.1	6.3		0.1	0.7	0.3	
	LS450006-6	面扫	0.9	5.2	14.3	50.7	2.8	14.7	10.3	0.2		0.2	0.8	
	LS450006-7	面扫	0.7	8.3	16.5	47.9	2.2	16.8	6.2	0.1		1.0	0.5	
	LS450006-8	面扫	0.5	8.8	26.2	49.0	1.8	7.8	4.7			0.8	0.4	
LS450006-9	面扫	0.8	6.6	16.8	50.7	2.4	11.0	11.4			0.4			

表9 炉壁、助熔剂、炉渣、矿石主要成分汇总

遗址	年代	类型	wt%					
			Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MgO	CaO	MnO
望城岗	战国	西区夹砂炉壁	17.1	70.7	3.2	1.8	1.9	
		矿石脉石成分	√	√			√	√
		白云石				√	√	
		低锰中镁渣	14.5	58.6	2.8	4.7	16.2	1.0
		高锰低镁渣	17.1	56.4	3.4	1.7	8.5	5.4
		特殊炉渣 (45186)	20.9	47.4	6.8	1.6	12.0	
黄棟树	战国	炉渣	20.7	52.7	5.5	2.1	14.5	
		特殊炉渣 (45355)	16.2	52.3	2.9	1.8	10.9	5.5
西马楼	宋	矿石脉石成分	√	√		√	√	√
		高镁渣	9.2	48.7	2.5	9.6	24.5	0.4
		中镁渣	8.3	57.5	2.9	3.9	19.5	0.3
太平堡	未知	矿石脉石成分	√	√		√	√	√
		炉渣	20.8	50.6	2.2	7.4	10.7	0.6

表现出与MgO正相关特征，而Al₂O₃与SiO₂与前三者之间关系不明显，分别在 [10%，20.9%]、[51.4%，59.8%] 区间内连续分布。因此，望城岗遗址生铁渣可分为高锰低镁型与低锰高镁型两类。9件高锰低镁型炉渣多采样于东区，5件低锰中高镁型炉渣多出土于西区。

炉渣成分与炉料差异直接相关。炉渣属于炉料混合后的结果，其成分来源主要有矿石、脉石、助熔剂、炉衬与燃料灰分等。不同冶炼活动，各炉料组分对炉渣成分的贡献

程度不同。生铁冶炼过程中，矿石中的铁均被还原，燃料灰分比重相对较小，脉石元素、助熔剂和炉衬是影响炉渣成分最主要因素。

上文已总结望城岗遗址矿石、炉壁的部分特征信息：各类炉壁材料均以Al₂O₃、SiO₂为主，通常夹砂炉壁材质成分接近炉衬耐火材料，其主要成分Al₂O₃为15.4%~17.1%，SiO₂为70.7%~73.2%，基质；铁矿石品位较高，不均匀分布一定量Mn，脉石主要成分为Al₂O₃、SiO₂。通过对比主要成分差异可知，炉衬与矿石对炉渣硅、铝的贡献占主导，助熔剂对Si、

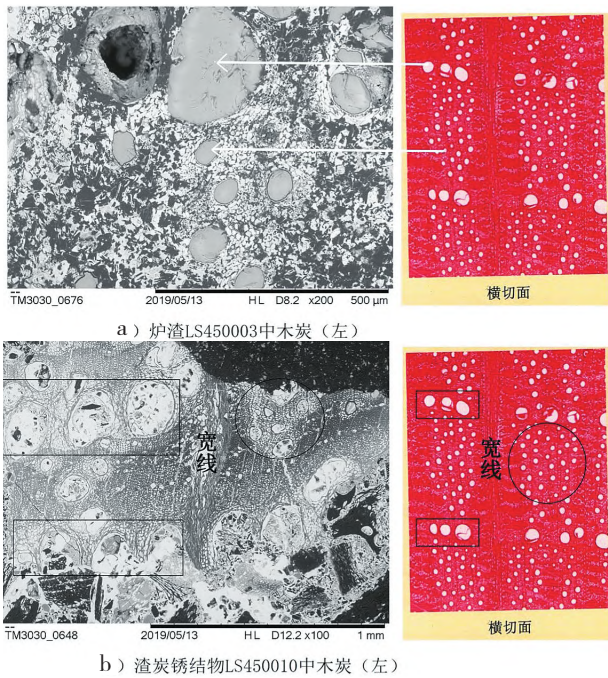


图19 样品包裹木炭与栎属树种横切面显微组织对比 (木材横切面标准图引自:《山西木材》, 2010年第134页。)

Al的贡献相对较弱。

而望城岗低锰渣以及西马楼、太平堡炉渣中, 锰含量普遍小于1%, 该类炉渣均具有未使用含锰助熔剂的特征, 渣中锰主要由含锰铁矿石引入。相较于易挥发的Zn、多源性的P和Mn作为区域铁矿石的特征元素, 亦是炉渣属于生铁冶炼渣的证据之一。此外, 望城岗低锰炉渣中高镁、高钙的现象指示, 冶炼中使用了钙镁系助熔剂。常见硅钙系矿物有碳酸盐类的白云石与硅酸盐类的透辉石。低锰中高镁型炉渣主要出土于望城岗西区。2018~2019年望城岗西区的发掘出土一批未完全熔融的白云石遗物, 这表明望城岗西区可能使用

了白云石为冶炼助熔剂。

低镁高锰型炉渣主要发现于望城岗东区, 锰含量集中于4.1%~5.6%, 东区炉壁中亦发现含硅钙的高锰矿石颗粒。这表明望城岗东区冶炼炉料配方区别于西区, 可能使用了锰系助熔剂或高锰铁矿石进行冶炼。

导致望城岗东、西区使用不同助熔剂的原因有多重, 到底是同时期空间上的技术配方差别、还是历时的配方变更, 需要更多的田野、实验室工作来辅助研究。

4.3 黄楝树遗址炉渣的技术特征

碳十四测年结果显示, 黄楝树遗址与望城岗遗址同属战汉时期冶铁遗址, 但黄楝树遗址炉渣既区别于望城岗遗址, 又与之联系紧密。

以望城岗炉渣为基准, 黄楝树炉渣表现出相对较高的Al₂O₃含量, 相应的SiO₂含量下降, K₂O含量升高, MgO、CaO含量处于望城岗两类炉渣之间。但是, 黄楝树5件不含锰炉

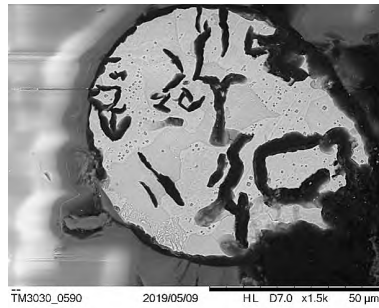


图20 望城岗西区LS450004-2灰口铁颗粒

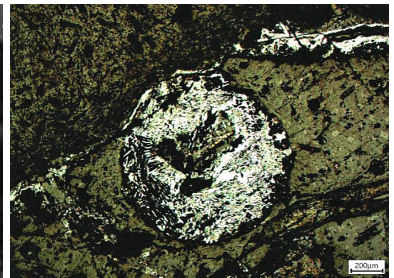


图21 望城岗LS450012白口铁颗粒

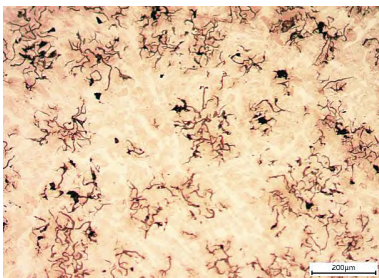


图22 西马楼LS450005-7灰口铁颗粒

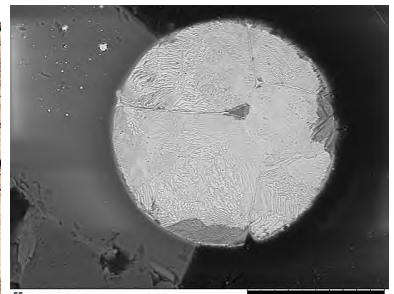


图23 太平堡LS450006-2共析钢颗粒

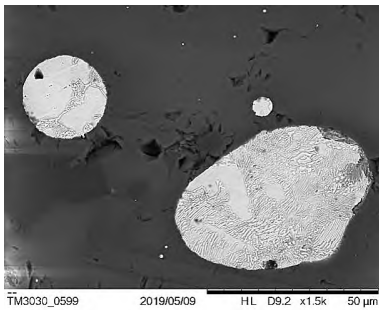


图24 太平堡LS450006-3亚共析钢颗粒

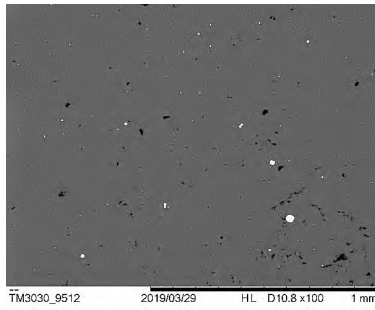


图25 望城岗西区炉渣LS450004-1

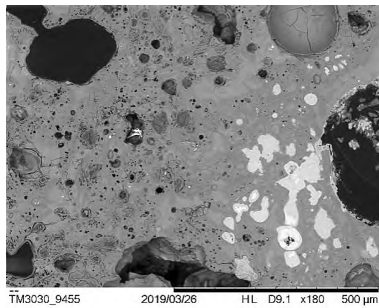


图26 西马楼炉渣LS450005-2

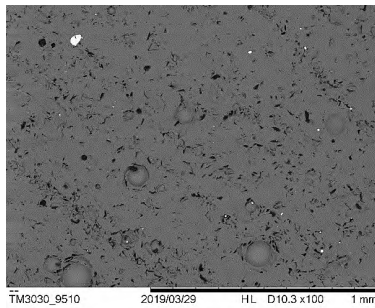


图27 太平堡炉渣LS450006-2

渣与望城岗特殊炉渣(45186)成分接近,1件高锰炉渣(45355)部分成分含量又区别于望城岗高锰炉渣。(见表9)

由望城岗高锰渣可知,其CaO、MnO主要由矿石脉石成分贡献,而 Al_2O_3 、 SiO_2 则同时由炉衬与脉石成分贡献。黄楝树炉渣(45355)与其CaO、MnO含量近似,(见表9)可能使用了与望城岗相同类型的铁矿石;有所区别的 Al_2O_3 、 SiO_2 含量可能指征两遗址使用的炉衬耐火材料配方的不同。此外,黄楝树遗址处于窑场矿区的山区内,其使用的铁矿石可能来自窑场矿区。

望城岗特殊炉渣(45186)和黄楝树其他5件不含锰炉渣,对应炉料中锰含量低。(见表9)因此,可将该类不含锰炉渣与望城岗低锰渣、夹砂炉衬进行比对。不含锰炉渣 Al_2O_3 、 K_2O 含量高于后二者, SiO_2 含量低于后二者。这说明该类不含锰的炉渣对应的炉料中加入了高铝物质,且该物质中还含有一定量钾。但由于缺乏黄楝树遗址其他遗物特征信息,难以确定的一是该类炉渣是冶炼渣还是熔炼

渣,二是难以确定高铝物质的来源问题。

4.4 西马楼与太平堡遗址炉渣的技术特征

西马楼与太平堡遗址炉渣普遍含有一定量锰,且两遗址均使用窑场矿区同类型铁矿石进行冶炼,所以两遗址炉渣成分的不同,则指征冶炼活动中的助熔剂、炉衬材料的差异。

西马楼遗址的4件炉渣普遍表现出低铝高钙的现象。通常相较于助熔剂,炉衬材料为保证较好的耐高温性,其 Al_2O_3 、 SiO_2 含

量较高。中国古代冶铁遗址中常见助熔剂以钙系、钙镁系为主。因此,西马楼低铝高钙渣可能是由于使用钙系助熔剂或低铝炉衬材料导致的。此外,以望城岗两类低镁渣(MgO : 1.7%)与中镁渣(MgO : 4.7%)为标准,西马楼炉渣还可分为中镁渣(MgO : 3.9%)与高镁渣(MgO : 9.6%)。中镁渣 SiO_2 含量高于高镁渣,而CaO含量低于高镁渣。这可能与助熔剂类型差异有关。

太平堡遗址8件炉渣成分一致性高,炉料配比接近。由于使用了同类铁矿石,太平堡与西马楼炉渣成分可进行对比。相较于西马楼遗址,太平堡炉渣表现出较高铝低钙的现象,即两遗址可能使用了不同类型的助熔剂。

5 结语

通过对望城岗等四处冶铁遗址各类冶炼遗物的系统分析,可初步总结出该地区古代钢铁冶炼技术的若干特征。

矿石的本体可直接反映遗址使用的矿料信息,而炉壁、陶范中铁矿石和含铁矿物颗粒

则能间接反映矿石信息。多手段的分析结果显示,四处遗址均使用了窑场矿区含锰铁矿石进行冶炼。窑场矿区主要有角闪铁英岩型与辉石铁英岩型两类铁矿石。西马楼与太平堡遗址矿石品位一般,脉石成分以 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 和 CaO 为主,使用了角闪铁英岩型铁矿石。望城岗遗址脉石成分以 Al_2O_3 、 SiO_2 为主,使用了辉石铁英岩型矿石。由于检测样品有限,本文不排除矿石多源性的可能。

望城岗遗址炉壁的陶范颗粒物与黏土配比至少存在三套配方。耐火温度较高的夹砂炉壁以 $80\sim 1000\mu m$ 粒径的粗颗粒物为主要成分,黏土质少,颗粒物以铁矿石、石英为主。泥质炉壁的黏土质组分占主导,材料孔隙率低,颗粒物粒径普遍小于 $40\mu m$ 。草拌泥炉壁与陶范颗粒物数量、粒径以及材料孔隙率明显高于泥质炉壁,颗粒物粒径普遍小于 $80\mu m$ 。

四处遗址均进行生铁冶炼或铸造活动,但各遗址炉料配方略有不同。其中,望城岗遗址使用了栎属木炭为燃料,东、西两区助熔剂材料有所不同,西区使用了白云石为助熔剂,而东区可能使用了锰系助熔剂或高锰铁矿石进行冶炼。与望城岗遗址年代接近的黄楝树遗址的炉料信息显示两遗址关系密切,但遗址所呈现的技术特征又有区别。黄楝树遗址以无锰渣为主,其成分具有高铝、钾的特征,与望城岗特殊炉渣(45186)类似;黄楝树1件高锰渣与望城岗高锰渣各成分含量接近,两遗址的关系值得深入研究。西马楼与太平堡遗址使用了同类型铁矿石冶炼,但太平堡遗址炉渣统一性高,以高铝渣为特征,可能使用了高铝的炉衬材料;而西马楼遗址炉渣以低铝高钙为特点,可能使用了钙系助熔剂,且根据 MgO 含量高低分为高镁渣与低镁渣。

上述生铁技术特征,体现了中国古代特

色的生铁冶炼技术内涵在共性前提下的多样性。这种多样性可通过遗址炉料配比、冶金陶瓷材料配方和矿石类型等技术细节的研究来判定。技术特征细节的解释也为进一步了解遗址内的生产组织模式、功能分区等问题提供了科学信息,为讨论该地区各遗址间共存关系及历时性问题提供了新视角。虽然工作有了很多收获,但诸如太平堡遗址的年代,西马楼遗址具体的技术类型,煤作为燃料存在于冶炼活动的哪一环节,多种手工业活动的相互关系,以及包括鲁山在内的南阳盆地及周边地区古代冶铁活动的生产组织、互动模式以及社会因素等各种问题,仍需开展更加系统、深入的研究工作。

- [1] 刘海旺,赵志文.河南鲁山望城岗汉代冶铁遗址一号炉发掘简报.华夏考古,2002,(1).
- [2] a.陈建立,洪启燕,秦臻,等.鲁山望城岗冶铁遗址的冶炼技术初步研究.华夏考古,2011,(3).
b.张周瑜,陈建立,潜伟.浅析中国古代生铁冶炼中的磷.南方文物,2018,(3).
c.张周瑜.河南鲁山冶铁遗址和方城赵河土炼铁炉渣分析//山东章丘东平陵故城冶铁遗址冶金考古研究.北京:北京大学,2014:118~125.
除特殊说明外,文中所引以往检测结果皆出自以上文献。
- [3] 同[2]c.
- [4] 马德锡,杨进,陈孝强,等.便携式X荧光仪在多金属矿区的应用.物探与化探,2013,(1).
- [5] a.张东阳,苏慧敏,秦松,等.河南窑场铁矿床地球化学特征及其地质意义.矿床地质,2009,(3).
b.张东阳,苏慧敏,田磊,等.河南窑场铁矿床成因矿物学研究及其地质意义.2010,(1).
- [6] a.刘海峰.中国古代制铁炉壁材料初步研究.北京:北京科技大学,2015.
b.刘海峰,潜伟,陈建立.中国古代生铁冶炼炉壁材料体系刍议.自然辩证法研究,2017,(4).

(责任编辑:张 凤)