

鲁山望城岗冶铁遗址的冶炼技术初步研究*

陈建立¹ 洪启燕¹ 秦臻¹ 刘海旺² 韩汝玢³

(1. 北京大学中国考古学研究中心, 北京市 100871; 2. 河南省文物考古研究所 河南郑州市 450000; 3. 北京科技大学冶金与材料史研究所, 北京市 100083)

关键词: 鲁山望城岗冶铁遗址; 冶金考古; 冶铁技术

摘要: 本文通过对河南鲁山望城岗冶铁遗址出土和采集的冶铁遗物的综合分析, 证明该遗址是个集冶炼、铸造和炼钢为一体的大型工场, 持续时间较长, 具体工艺表现为采用选好的褐铁矿在高炉中炼出生铁, 然后铸成器物, 存在脱碳制钢的处理工艺, 并且在冶炼时可能使用了煤炭作为燃料。

Key words: Wangchenggang iron - work in Lushan county; Archaeometallurgy; iron smelting technology

Abstract: The remains of an oval - shaped blast furnace with clear structure whose volume is estimated to be the biggest one in ancient China was excavated at Wangchenggang iron - work in Lushan county. Iron, slag and ore samples unearthed from the site had been analyzed by using metallographic, SEM - EDS and AMS - ¹⁴C dating methods. These objects were made by white cast iron, gray cast iron and decarburized steel making from cast iron in solid state. Hematite with high phosphorus content and limestone was used for iron smelting. The research provides new information for the study of the Chinese metallurgy history.

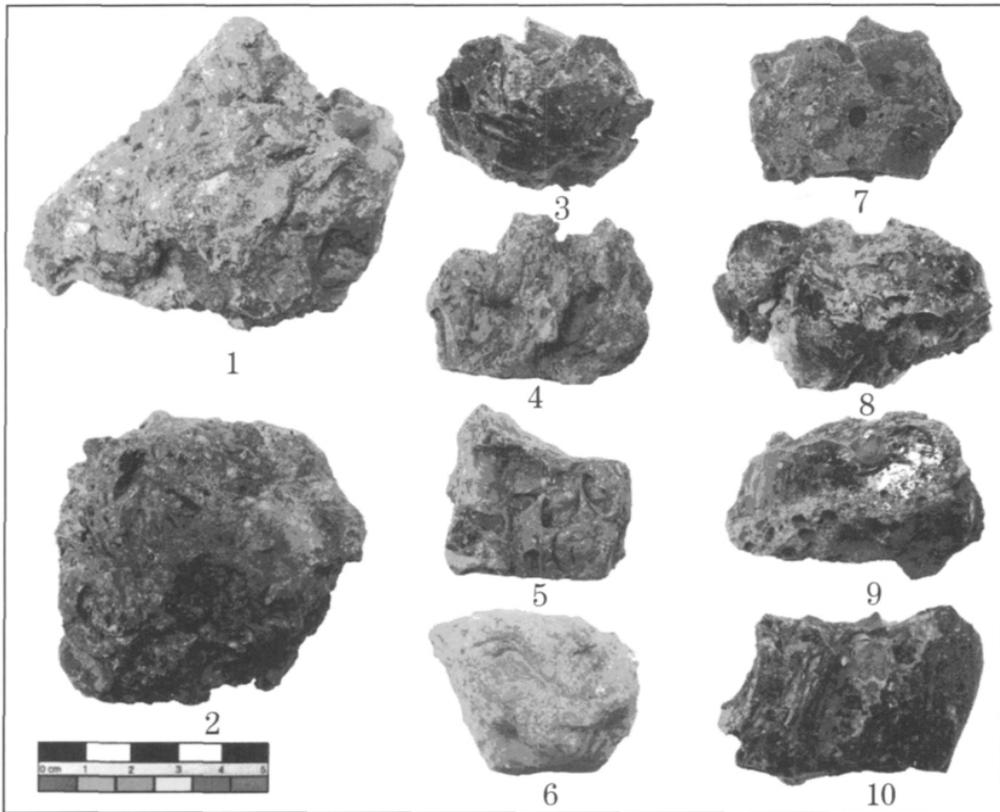
鲁山县位于河南中西部, 距省会郑州约 200 千米, 南面紧邻战国时楚国北方边界方城县和南召县, 秦汉时隶属南阳郡。20 世纪五六十年代, 考古学者在鲁山南关外望城岗进行田野调查, 发现有大量炼渣、陶范、鼓风管残块等汉代冶铁遗物, 遗址面积大约 60 万平方米, 后被列为第六批全国重点文物保护单位。2000 年 11 月至 2001 年 1 月, 河南省文物考古研究所对望城岗汉代冶铁遗址进行了抢救性考古发掘。这次发掘面积近 2000 平方米, 主要清理了两个泥模范残块堆积坑, 出土了大批用于铸造铁农具的泥模范残块, 其中的一些残块上带有铭字; 发现的汉代大型椭圆冶铁高炉炉基及其附属系统遗迹, 是继 20 世纪 70 年代郑州古荥汉代冶铁遗址后的又一重大发现。为更深入了解该遗址所反映的钢铁技术, 陈建立等又分别于 2009 年 8 月和 2010 年 8 月两次赴该遗址进

行调查, 考察其矿石来源, 以及同时期鲁山县其他地点冶铁遗址情况。2000 ~ 2001 年度考古发掘和 2009 ~ 2010 年度调查中共采集矿石、炉壁、陶范、炉渣、残铁器等冶铁遗物标本 200 余件进行检测分析, 该项工作目前还在进行之中。本文选择少量标本, 包括铁器残片, 炉渣, 矿石(图一)等进行了金相组织观察和元素组成分析, 以判定该遗址的冶炼技术, 并对部分铁器进行加速质谱碳十四(AMS - ¹⁴C)年代测定分析, 现将分析结果报告如下。

一、显微组织观察及成分分析

本文采集 6 件矿石、7 件炉渣和 7 件铁器共 20 件样品进行显微组织观察和成分分析。在取样、镶样和磨抛之后, 铁器样品用 4% 硝酸酒精溶液进行浸蚀, 然后观察金属显微组织, 拍摄金相组织照片, 矿石和炉渣

* 本文得到国家自然科学基金(51074010)和国家文物局“指南针计划”专项资助。



图一 采集的部分炉渣、矿石和积铁块

1、2. 积铁块 6. 矿石 7~10. 炉渣

样品在拍摄组织照片后，用扫描电镜及其所带的能谱仪分析样品的元素组成。本次检测分别完成于北京大学考古文博学院、日本国立历史民俗博物馆和英国伦敦大学考古学院。

1.1 矿石

采集 6 件矿石样品进行检测分析，其中样品 WCG-ore4 采自望城岗遗址北部 II 区 2000LNW TB12J2 底层，其余 5 件自遗址内随机采集。样品 WCG-ore1 呈红色，直径小于 1 厘米，表面附着炉渣。其他 5 件样品呈红黄色，粒径均小于 4 厘米。将 6 件样品抛光后进行显微观察，石英等脉石颗粒弥散分布于铁的氢氧化物之中，为典型的褐铁矿组织。扫描电镜能谱分析结果见表一。

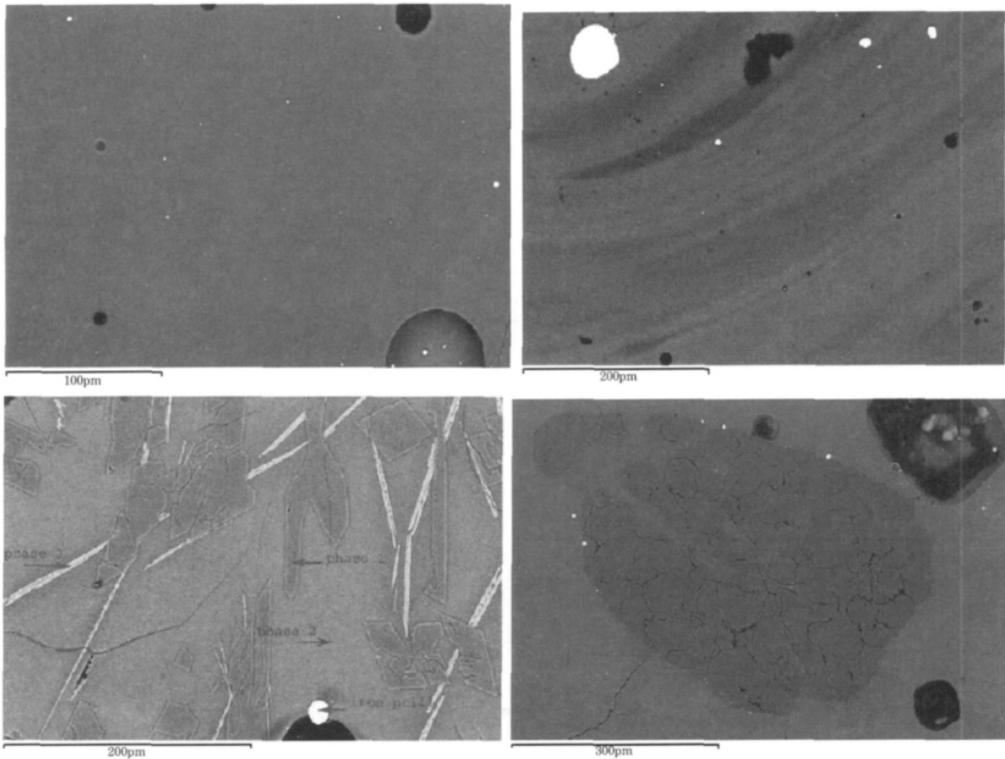
1.2 炉渣

望城岗冶铁遗址发现大量炉渣，多呈绿色或黑色、多孔的玻璃状。选择 7 件炉渣样品进行显微组织和元素组成成分分析，根据分析结果可将炉渣分为两组，即有 6 件冶炼渣和 1 件熔融炉壁材料。

其中冶炼渣主要由两相组成，即玻璃态基体和铁颗粒。从炉渣基体的显微组织看，尽管玻璃态基体呈现均匀性不同的外观或结晶程度，（图二）这种显现主要与炉渣的冷却速度有关。因此，通过分析玻璃态基体和铁颗粒的元素组成，可推测其形成过程并研究冶炼工艺。本文在分析炉渣基体成分时，尽量选择没有铁颗粒部位，这样可较准确的反映其成分，表二为炉渣元素组成的扫描电镜能谱分析结果。利用扫描电镜能谱对炉渣中的铁颗粒进行的成分分析结果见表三。

表一 望城岗冶铁遗址出土部分矿石的扫描电镜能谱分析结果 (wt%)

样品编号	分析区域	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO
WCG - ore1	低锰区			3.6	6.2	1.4		0.3	2.2		1.5	84.8
	高锰区			1.9	4.4	0.8		0.3	1.5		13.8	77.4
WCG - ore2	面扫	0.2	0.9	12.0	40.0	0.6	0.1	1.3	0.5	0.5	0.4	43.4
WCG - ore3	面扫		0.6	18.5	27.6	0.4		5.2		1.0		46.7
WCG - ore4	面扫	0.1		12.8	16.5	0.2	0.2	0.1	0.2	0.0	0.3	69.5
WCG - ore5	面扫	0.3	0.1	32.6	45.6	0.2		0.1	0.5	2.0		18.5
WCG - ore6	面扫			10.8	33.3			0.5		0.4		54.9



图二 冶炼渣的背散射电子像

左上. 样品 WCG - slag1 的均匀玻璃态基体

右上. 样品 WCG - slag6 的不均匀玻璃态基体 左下. 样品 WCG - slag2 的结晶态玻璃基体

右下. 样品 WCG - slag2 炉渣基体中的半熔融石英颗粒

表二 望城岗冶铁遗址炉渣玻璃态基体的扫描电镜能谱分析结果 (wt%)

样品号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO
WCG - slag1	0.3	5.6	13.7	58.1	2.3	16.1	0.8	0.9	2.1
WCG - slag2	1.0	4.7	10.0	59.8	3.4	18.3	0.7	0.4	1.6
WCG - slag3	0.4	1.5	15.3	58.9	3.1	10.1	0.7	3.7	6.2
WCG - slag4	0.5	1.7	17.7	58.3	3.3	9.0	0.8	5.8	2.9
WCG - slag5	0.4	1.9	16.9	56.9	3.6	10.1	0.9	6.0	3.4
WCG - slag6	0.5	1.4	15.1	51.4	2.8	7.6	0.8	5.5	14.9

表三 炉渣内铁颗粒的扫描电镜能谱分析结果 (wt%)

样品号	分析部位	Si	P	S	Ca	Mn	Fe
WCG - slag1	铁颗粒 1		1.3				98.7
	铁颗粒 2		1.8	5.8	0.2		92.2
WCG - slag2	铁颗粒 1		2.5				97.5
	铁颗粒 2	0.6	1.7	1.0	0.2		97.5
WCG - slag3	铁颗粒		1.3				98.7
WCG - slag4	铁颗粒 1		0.6			0.4	99.0
	铁颗粒 2		1.5				98.5
WCG - slag5	铁颗粒		1.1		0.2		98.7
WCG - slag6	铁颗粒 1		0.5				99.5
	铁颗粒 2	0.4			0.3	0.4	98.7

表四 望城岗冶铁遗址出土铁器的金相组织观察结果

	样品号	样品名	样品来源	金相组织
1	7203	残铁器	2000LLHTA7J1 底层	共晶白口铁组织, 图三。
2	7204	耒铤	2000CNW 北部 II 区 TD61/2: (1)	全部为珠光体组织, 含碳量约为 0.8%, 晶粒间有磷共晶组织存在, 硫化亚铁夹杂物较多, 如图四和图五, 为铸铁脱碳钢制品。
3	7205	残铁器	2000LLHTA3J2 内	珠光体 + 铁素体组织, 含碳量约为 0.5%, 几乎没有夹杂物, 图六, 为铸铁脱碳钢制品。
4	7206	残铁器	2000LLHTA1 北 10 米	珠光体 + 片状石墨的灰口铁组织, 图七。
5	7207	积铁块	2000LNW 北部 II 区	全部锈蚀, 但从锈蚀结构中可看出是过共晶白口铁组织, 图八。
6	7208	残铁器	2000LNW 北部 III 区 J3 内 (汉代)	虽锈蚀严重而不能判定其组织, 在金相及电子显微镜下观察, 可发现有发亮的原晶粒间界和块状磷化物, 并有部分夹杂物延加工方向延伸。

1.3 铁器

采集 7 件铁器进行金相组织观察，其中 1 件样品锈蚀严重而无法判定其金相组织，其余 6 件样品的进行组织观察结果见表四，7204 犁铧的扫描电镜能谱分析结果见表五。

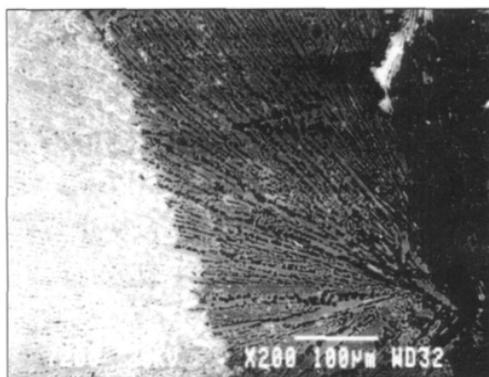
表五 望城岗冶铁遗址出土 7204 犁铧的扫描电镜能谱分析结果 (wt. %)

扫描部位	Si	P	S	K	Ca	Mn	Fe
夹杂物 1		0.3	24.1			0.1	75.6
夹杂物 2		0.2	29.8		0.1	0.2	69.6
夹杂物 3	1.0	0.3	31.4			0.2	66.6
高磷部位面扫		3.2			0.1	0.1	96.6
基体面扫 3 次平均	0.1	0.2	1.1	0.1		0.1	98.5

二、望城岗冶铁遗址的碳十四年代测定

为确定该遗址的年代，除对考古发掘遗物进行相对年代的判定外，又选择木炭和铁器样品进行 AMS - ¹⁴C 年代测定。本文先公布 6 件铁器样品和 1 件木炭样品的 ¹⁴C 年代测定结果，其中 7202 - 7206 等 6 件样品为残铁器或积铁块，LLH1 为炉渣中残留的木炭，基本可以代表该遗址的冶炼和使用年代。因工作还在进展之中，更多的木炭样品的树种鉴定和 ¹⁴C 测定结果将另文报道。

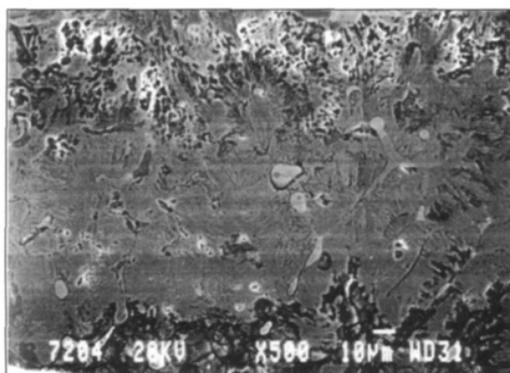
利用铁器样品进行 ¹⁴C 年代测定的程序是：1) 将铁器表面的锈蚀去除，然后将剩余的金属用丙酮清洗；2) 将剩余金属破碎，并再次清洗、干燥；3) 按照样品的碳



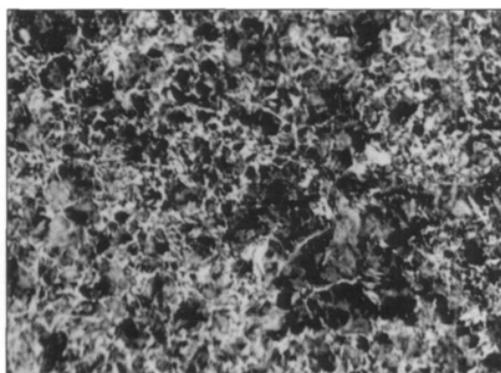
图三 7203 共晶白口铁组织的二次电子像



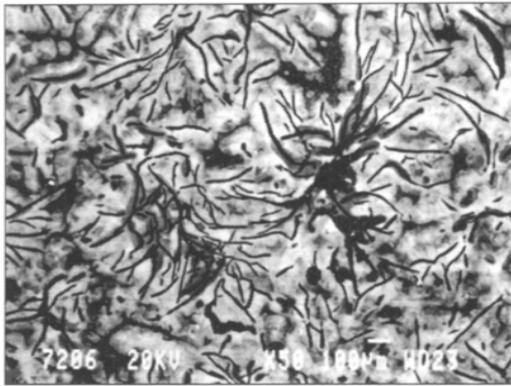
图四 7204 珠光体组织及硫化亚铁夹杂物的二次电子像



图五 7204 锈蚀层珠光体、夹杂物及磷共晶痕迹的二次电子像



图六 7205 珠光体及渗碳体组织 X200

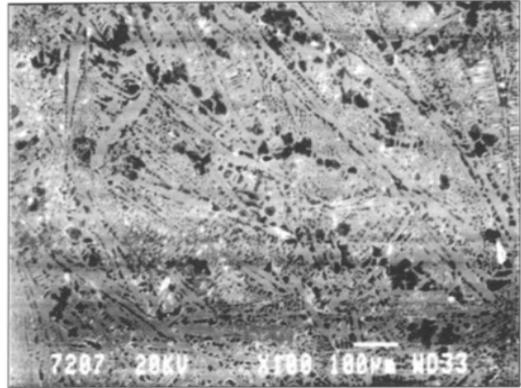


图七 7206 灰口铁组织的二次电子像

含量称取一定量的样品与氧化铜及脱硫剂混合密封于直径 9 毫米的石英管中; 4) 在 850℃ 下加热 3 小时, 使铁中的碳变为 CO₂; 5) 利用冷阱对 CO₂ 进行纯化以除去其他气体, 最后利用氢气作为还原剂铁粉为催化剂将 CO₂ 制成 1.5 毫克左右的石墨; 6) 将石墨与铁粉一起装入加速器靶中, 在加速器质谱仪上测定碳的同位素比值, 并进行年代计算。对于木炭样品采用标准的酸碱酸法 (AAA) 进行前处理。铁器及木炭的前处理、合成石墨和制靶工作在日本国立历史民俗博物馆完成, 加速器质谱年代测定在日本东京大学原子力研究中心加速器实验室进行。年代测定结果见表六, 采用碳十四的半衰期为 5568 年, 1950 年为纪年起点, 误差为 1 个标准差。

表六 样品的碳十四年代测定结果

样品号	样品名	年代 (BP)	树轮校正年代 (1σ)
7202	残铁器	2099 ± 34	170BC (68.2%) 50BC
7203	残铁器	1871 ± 34	80 AD (53.2%) 180AD 190AD (15.0%) 220AD
7204	犁铧	死碳	未校正
7205	残铁器	2273 ± 34	400BC (37.8%) 350 BC 290BC (30.4%) 230 BC
7206	残铁器	1763 ± 35	230AD (68.2%) 350 AD
LLH1	木炭	1834 ± 104	70AD (68.2%) 340 AD



图八 7207 过共晶白口铁组织的二次电子像

三、关于望城岗冶铁遗址的几点讨论

1. 炉子结构与遗址性质

到目前为止, 中国各地已发现数量较多的汉代冶铁炉。河南西平酒店冶铁遗址椭圆形冶铁竖炉, 直径 1.70 ~ 2.10 米, 炉内径约 1 米, 残高 2.25 米, 其年代为战国至汉代, 可能为目前中国最早的冶铁竖炉^[1]。在河南巩义铁生沟汉代冶铁遗址中, 发掘出各种冶炼炉、熔炉、锻炉、炒钢炉、退火脱硫炉、烘范窑、积铁坑、配料池、坑等设施^[2]。郑州古荥汉代冶铁遗址也出土了冶铁炉及上料、供水、出铁和出渣等各种配套设施。

本次望城岗冶铁遗址特大椭圆冶铁高炉炉基及其附属系统遗迹的发掘, 出现了许多前所未有的新的技术上和设计上的特点, 为进一步探究汉代生铁冶炼的技术水平以及技术进步的过程提供了极其珍贵的实物资料^[3]。清理发现, 在建高炉之前, 先挖一南北长 17.6 米, 东西宽 11.7 米, 深 1.8 米的长方形基础坑, 在基础坑底部用木炭、石灰和夯土等进行防潮处理后, 再用经过细加工的灰白色土分层夯筑填平。为建高炉炉缸, 在夯土基础中部又挖一长方形基槽, 该基槽开口东西长 7 米, 南北宽 5.1 米, 深度推测与基础坑等深或稍深, 基槽南北两侧向下分层内收。基槽做好后, 用耐火材料土分

层夯填,形成炉缸耐火材料土基床,而耐火土系用红褐色粘土加粒度非常均匀的石英、砂石和木炭颗粒混合而成;耐火夯土层一般厚5~10厘米。竖炉炉缸即建在耐火材料基床的中部,从现存迹象仍可清楚地判断炉缸的内径。

更加可贵的是在此炉缸基础上发现的一次重大改建痕迹,即在此竖炉炉基上,先是建成了一个内径长轴约4.0米,短轴约2.8米的特大椭圆炉缸,经过一段时间的冶炼后,由于某种原因将其放弃后,炉缸又改建成了一个内径长轴约2.0米,短轴约1.1米的较小的竖炉,为中国古代冶铁竖炉的发展及演变过程提供了鲜明的实物例证,填补了中国冶铁史的空白。由于技术的限制,椭圆形大型炼铁竖炉自东汉以后即不再使用,而是采用截面较小的圆形或长方形的竖炉,这样的小型竖炉的鼓风就变得相当容易,生产的成功率也得以提高。从发现的安徽繁昌^[4]、河北邯郸^[5]、河南南召^[6]和林县^[7]等宋代冶铁竖炉的形状上看,均是采用圆形截面,竖炉已经接近现代高炉,具有炉腹角和炉身角,成为两端小、中间大的腰鼓状。这种炉型有利于炉气合理分布,改善炉况,延长炉龄,是竖炉发展的又一重大改进。

在炉基的东侧,也就是炉后,存在一个附属设施的遗迹。在炉基的右前侧有一条出渣沟,方向与炉基的长轴方向一致,两侧壁及底部均用与高炉相同的耐火材料夯衬,厚约5~10厘米。在炉基的西侧有一较大的炉前坑,在坑的东北部紧靠炉基的位置,东西顺放着一底部向上的椭圆形重约30吨的特大积铁,推测是被翻进去的。紧靠大积铁的南侧又有一圆形坑,底部亦有一圆形积铁。

很显然,这一区域在当时就是以该高炉为中心的冶炼区。该高炉炉基现存结构相当清晰,上料可能从南北两侧坡道进行,所以炉基夯土基础南北两侧较前后方向宽出许多。属首次发现的炉后系统可能用于鼓风,

也就是为架鼓风设施(囊)而立柱,而进风口仍然应位于炉缸的南北两侧,亦即短轴上。当然,石柱础的使用,也有可能是用于承重,也就是存在用来上料的可能性。至于炉前的有上下台阶的两座坑的性质现在还难以明了。炉前出渣沟也是汉代冶铁高炉的首次明确发现,出渣与出铁的分开,自然会提高操作的便利。

2. 钢铁冶炼技术

通过对矿石、炉渣和铁器的微观组织和元素组成的分析可以探讨冶炼工艺。

从矿石的成分分析结果看,除样品WCG-ore5的铁含量较低以外,其余5件样品的氧化亚铁(FeO)含量从43.4%到84.8%,是比较适合于冶铁生产的褐铁矿。矿石中另外两种主要的氧化物是二氧化硅(SiO₂)和氧化铝(Al₂O₃),这也是常见的脉石成分。矿石中镁(Mg)、钙(Ca)的含量较低,说明在矿石的自熔性较差,在冶炼时需另加入石灰石等助熔剂。另外从遗址中出土的矿石粒径多为3~4厘米,表明在冶炼之前,人们已经将其破碎和选矿以更有利于冶炼流程的进行。

从炉渣的分析结果表明,炉渣基体主要由二氧化硅、氧化铝和氧化钙(CaO)组成,约占总重量的90%,其余为氧化亚铁、氧化锰(MnO)、氧化镁(MgO)、氧化钛(TiO₂)、氧化钠(Na₂O)和氧化钾(K₂O)等氧化物,未检测到磷和硫,为典型的低铁高钙生铁冶炼炉渣,可能使用了石灰石作为助熔剂;样品WCG-slag1和WCG-slag2的镁钙含量高锰含量低,而样品WCG-slag3、WCG-slag4、WCG-slag5和WCG-slag6的镁钙含量相对较低而锰含量高。这两种可能,一是铁矿石有不同的来源、二是采用不同的助熔剂。

炉渣中的铁颗粒呈球形,说明在冶炼过程中,铁是以液态的形式包埋在炉渣内并冷却形成的,这也间接证明这种炉渣是生铁冶

炼过程中形成的。多数样品的铁颗粒含有较高的磷，一定量的硅、钙和锰，说明这些炉渣可能采用了高磷矿石进行冶炼；并且在样品 WCG - slag1 和 WCG - slag 中还发现含硫的铁颗粒，但这是否说明采用高硫矿石或者用煤作为燃料是值得深入研究的。

尽管这次分析只选择了 6 件铁器样品，并且有 1 件样品由于锈蚀严重而不能判定其组织，但所发现的几个现象还是能够说明其冶炼技术的。

经判定有 2 件生铁制品。出土于 2000LLHTA7J1 底层的 7203 残铁器是共晶白口铁组织，如图三；出土于 2000LNW 北部 II 区的 7207 积铁块是由条状渗碳体和共晶莱氏体组成的过共晶白口铁组织，如图八。研究表明，中国最早的生铁制品是在山西天马 - 曲村遗址发现的，年代约为公元前 8 ~ 7 世纪，也是世界上最早的生铁制品^[8]。从生铁的开始使用到该遗址所代表的大规模钢铁冶炼体系的出现，技术的进步是显而易见的。但遗憾的是，迄今尚未发现早于公元前 4 世纪的冶铁炉，这也许是今后中国冶铁考古的重点之一。

从金相组织夹杂物形貌和成分分析来看，于 2000CNW 北部 II 区 TD61/2: (1) 内出土的 7204 鏃和于 2000LLHTA3J2 内出土的 7205 残铁器两件样品可以确定为铸铁脱碳钢制品，如图四、图五和图六。对生铁铸件采用脱碳的方法处理得到的钢，称为铸铁脱碳钢。这种炼钢方法是战国中晚期或更早时期在铸铁退火处理工艺的基础上发展起来的。铸铁退火处理是在退火窑中成批进行的。在战国和汉代的冶铸遗址中发现的烘范窑，可以稳定地达到 900 ~ 1000℃ 的高温，还可以控制燃烧速度、窑温和炉内气氛^[9]。古代铸铁退火处理的应用有两种情况：一种是用生铁铸成器物，然后对其进行退火处理；另一种方法是先将铁铸成板材，然后对板材进行退火处理，再将板材锻制成器

物^[10]。如果在生铁铸件脱碳退火时适当控制时间和温度，基本不析出石墨而不成为可锻铸铁，从而使得铸铁件中部分碳被氧化成气体脱掉变成了钢。该工艺的特点：一是有控制地脱碳；二是钢件中夹杂物很少。这种固体脱碳制钢技术的进一步的发展，不但广泛使生铁铸件脱碳成为钢件，而且能够利用这种成形的钢材再锻造成工件，河南登封阳城铸铁遗址即发现有战国晚期的铸铁脱碳钢板材。这样，既扩大了生铁的使用范围，增加了优质钢材的来源，又促进了钢铁生产。如河南登封、郑州古荥、巩县铁生沟和南阳瓦房庄都发现了用于铸造这种板材的淘范，表明生产铸铁脱碳钢板材和条材等原材料的工艺已经比较普遍。可以说，由于脱碳铸铁板材的推广使用，是铸铁脱碳钢成为一个独立的炼钢方法的标志。目前，已经在河南登封阳城、古荥、铁生沟和南阳等地冶铁或铸铁遗址都相继发现了这种板材，北京大葆台西汉墓出土环首铁刀、铁斧等，徐州狮子山西汉墓出土凿、铁甲片等，南阳出土的西汉铁刀，河南郑州东史马东汉剪刀等多件铁器就是用铸铁脱碳钢板材锻造加工制成的^[11]。本次在鲁山望城岗汉代冶铁遗址发现的这两件样品又为铸铁脱碳钢的发明提供了新的例证。由于本次发掘只是该遗址的一部分，而没有发现退火脱碳炉，相信随着该遗址的继续工作，是有希望找到更多的证据的。

出土于 2000LLHTA1 北 10 米的 7206 残铁器的金相组织为珠光体 + 片状石墨的灰口铁组织，如图七，是古代灰口铁制品的又一次发现。随着冶炼技术的发展，通过提高冶炼温度和控制铸造时的冷却速度，战国中晚期出现了麻口铁。实验证明冷却速度对铸铁石墨化影响很大，冷却愈慢，越有利于石墨化。灰口铸铁的性能介于白口铁和韧性铸铁之间，至今仍是工业使用最广、产量最大的铸铁材料。大冶铜绿山出土的战国中期的铁

锤已有片状石墨^[12]。河北满城刘胜墓出土的车铜、铁范中锄内范和镢内范是迄今为止发现的中国古代最早生产的灰口铁铸件^[13]。除此之外,还在河南浍池及四川绵阳发现了多件灰口铁制品。望城岗冶炼遗址灰口铁制品的发现及大量铸造铁器所用的陶范的出土,表明该遗址是集钢铁冶炼、铸造于一体的综合性铁工厂。

在检测的样品 7204 犁铧中发现夹杂了大量的硫化亚铁 (FeS), 其中硫的来源值得关注。如果样品 7204 的硫来自矿石, 那么利用 AMS - ¹⁴C 年代测定应该像样品 7203 一样能够测出其年代, 但是该件样品中的碳是死碳, 即样品中的碳不是来自木炭, 而应该是煤炭。从金相组织上看, 该件样品是铸铁脱碳钢, 又排除了铸铁脱碳成熟铁之后又渗碳的可能, 而众所周知的是煤炭中含有较多的硫的, 所以可以肯定样品 7204 犁铧是采用了煤炭作为燃料冶炼而成的。但是仅从这一件样品的发现来判定汉代采用了煤炼铁看来还为时过早。作者在该遗址发掘现场也发现了一定数量的煤炭, 并且河南郑州古荥和巩县铁生沟等其他冶铁遗址均出土有煤块和煤饼, 所以探讨煤炭在钢铁冶炼中的使用亦需要深入进行。但是从大量汉代铁器的检测结果看, 由于铁器中硫含量很低, 说明此时还没有使用煤作为燃料炼铁。中国自宋代开始普遍使用煤来冶炼生铁, 表现在宋代以后的铁器中硫含量开始增多, 这是由于煤中较多的有机硫化物和硫酸盐在冶铁时进入了铁中, 而在当时的条件下不能有效地去除所致。

3. 铁器的 AMS - ¹⁴C 年代测定

随着¹⁴C 年代测定技术的发展, 特别是仅需要极少量的碳样品的加速器质谱法的普及, 国际上对铁器进行¹⁴C 年代测定的研究亦逐年增多, 本文利用望城岗冶铁遗址出土的铁器和木炭样品进行 AMS - ¹⁴C 年代测定, 现进行简单讨论。

利用铁器进行¹⁴C 测年的第一步是如何分离出铁器中的碳, 目前主要采取两种方法进行, 一是采用化学溶解并收集的方法, 二是采用燃烧的方法, 二者各有优缺点。本文采用比较容易操作的燃烧法进行碳的回收, 碳的回收率约 60 ~ 90% 左右, 比例较高。

年代测定结果表明, 样品 7202 的¹⁴C 年代为距今 2099 ± 34 年, 经树轮校正后的年代为公元前 170 至公元前 50 年 (68.2%); 样品 7203 积铁块的¹⁴C 年代为距今 1871 ± 34 年, 经树轮校正后的年代为公元 80 ~ 180 年 (53.2%), 190 - 220 年 (15.0%); 7206 的¹⁴C 年代为距今 1763 ± 35 年, 树轮校正年代为公元 230 ~ 350 年 (68.2%)。这 3 个铁器样品的¹⁴C 年代结果与考古学的证据比较一致, 而后两个数据又基本与炉渣中的木炭 LLH1 的¹⁴C 年代相当, 其¹⁴C 年代为距今 1834 ± 104 年, 校正年代为公元 70 ~ 340 年 (68.2%)。从这 4 件样品的¹⁴C 年代基本可以确定该冶铁作坊自西汉代已开始使用。

样品 7205 的¹⁴C 年代比前述 4 件样品偏老, 其可能是战国时期遗留的残铁器, 亦有可能是在冶炼过程中有偏老的碳混入, 具体原因需进一步探讨。

7204 犁铧中的碳经测定为死碳, 没有计算其年代。结合从此件样品的金相组织可以看出, 该件样品可能系采用了煤炭进行的冶炼而得到的。前述已经表明, 中国自宋代才开始用煤炼铁, 所以该炼铁作坊可能一直到宋代还在使用。

根据这些样品的¹⁴C 年代测定结果, 可初步推断至迟在西汉时期或更早已在望城岗遗址进行生铁冶炼活动, 并可能一致持续到宋代, 但由样品太少, 这一结论还需进一步修正。

四、结 论

通过对河南鲁山望城岗冶铁遗址的发掘

及出土矿石、炉渣和铁器的检验,证明该遗址是个集生铁冶炼、铸造和炼钢为一体的大型工场,其表现为采用选好的褐铁矿高炉中炼出生铁,然后铸成器物,存在脱碳制钢的处理工艺,并且在冶炼时可能使用了煤炭作为燃料。在冶炼炉的工艺方面,汉代工匠在总结经验和教训的基础上,将特大型高炉适当地减小其规模,以提高冶炼效率,这点在中国冶铁史上具有重要意义。通过冶铁遗址出土铁器进行的 AMS-¹⁴C 年代测定,结果表明至迟在西汉时期或更早已在望城岗遗址进行生铁冶炼活动,并可能一致持续到宋代。

- [1] Han Rubin. The Development of Chinese Ancient Iron Blast Furnace, the Forum for the Fourth International Conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys (Proceedings), Jan. 16 - 17, Shimane, Japan, 151 - 174.
- [2] 赵青云,李京华,韩汝玢等. 巩县铁生沟汉代冶铸遗址再探讨. 考古学报,1985,(2): 157~183.
- [3] 河南文物考古研究所,鲁山县文物管理委员会. 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): 3~11.
- [4] 胡悦谦. 繁昌县古代炼铁遗址. 文物,1959,(7):

(上接 87 页)

- [23] 苏兆庆主编. 莒县文物志. 济南: 齐鲁书社, 1993.
- [24] 同 [7].
- [25] 张学海. 龙山文化. 北京: 文物出版社, 2006.
- [26] 范黛华等. 山东日照市两城镇龙山文化陶器的初步研究. 考古, 2005, (8).
- [27] 同 [7].
- [28] 同 [20].

74.

- [5] a. 陈应祺. 邯郸矿山村发现宋代冶铁炉. 光明日报, 1959-12-13.
- b. 刘云彩. 中国古代高炉的起源和演变. 文物, 1978, (2): 18~27.
- [6] 河南文物工作队. 河南南召发现古代冶铁遗址. 文物, 1959, (1): 21.
- [7] 北京钢铁学院《中国冶金史》编写组. 中国冶金简史. 北京: 科学出版社, 1978: 148~150.
- [8] 韩汝玢. 天马-曲村遗址出土铁器的鉴定. 见: 北京大学考古系商周组, 山西省考古研究所编, 天马-曲村 1980-1989, 北京: 科学出版社, 2000: 1178~1180.
- [9] 李众. 中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨. 考古学报, 1975, (2): 1~22.
- [10] 韩汝玢. 阳城铸铁遗址铁器的金相鉴定. 见: 河南文物研究所, 中国历史博物馆考古部编, 登封王城岗与阳城, 北京: 文物出版社, 1992: 329~336.
- [11] 韩汝玢, 于晓兴. 郑州东史马剪刀与铸铁脱碳钢. 中原文物, 1983 年特刊: 239~241.
- [12] 大冶钢厂冶军. 铜绿山古矿井遗址出土铁制及铜制工具的初步鉴定. 文物, 1975, (2): 21.
- [13] 北京钢铁学院金相实验室. 满城汉墓部分金属器的金相分析报告. 见: 中国社会科学院考古研究所, 河北省文物管理处编. 满城汉墓发掘报告. 北京: 文物出版社, 1980: 369~376.

(责任编辑: 辛 革)

- [29] 中美两城地区联合考古队. 山东省日照市两城镇遗址 1998—2001 年发掘简报. 考古, 2004, (9). 山东省博物馆, 日照县文化馆东海峪发掘小组. 一九七五年东海峪遗址的发掘. 考古, 1976, (6). 临沂地区文物管理委员会, 日照县图书馆. 日照尧王城龙山文化遗址试掘简报. 史前研究, 1985 (4).

(责任编辑: 方燕明)