

广西古代生铁高锰渣与中国生铁冶炼技术多样化发展

- ◆ 黄全胜 (广西广播电视大学 广西民族大学科学技术史系)
- ◆ 梁 婵 (广西兴业县文物管理所)
- ◆ 李延祥 (北京科技大学 冶金与材料史研究所)
- ◆ 陈建立 (北京大学 考古文博学院)
- ◆ 李建西 (陕西省考古研究院)
- ◆ 覃 芳 (广西考古研究所)

摘要:中国大约公元前14世纪开始出现人工冶铁块炼铁制品。大约春秋时期,中国中原地区最早发明创造并使用生铁冶金技术。战国秦汉之后,中华文化圈内大规模使用生铁制品,创新发展了多种生铁制钢工艺,为世界文明进程提供技术动力。广西地区至迟战国时期开始使用生铁制品,大约公元9世纪开始出现生铁冶炼遗址。这些生铁冶炼遗址主要分布在广西玉林市兴业县龙安镇到太平山镇约30平方千米范围内,是迄今为止世界发现最早规模最大的高锰渣生铁冶炼遗址群。揭示广西玉林地区古代生铁冶炼技术面貌,将为探讨古代生铁冶炼技术在岭南地区传播的时空框架,古代生铁冶炼技术的多样性发展,及其对历史文化影响、遗址保护提供新的科学依据。

关键词:冶金史;岭南地区;唐宋时期;生铁冶炼;冶金考古

Abstract: China began to use bloomery iron products in the fourteenth century BC. About the Spring and Autumn period, the Central China first invented and used cast iron smelting technology in the world. After the Warring States period, the cast iron smelting technology has been used on the large-scale in the Chinese culture circle, and has developed a variety of steel-making techniques and provided technical impetus for the process of civilization around the world. The Guangxi Region began to use cast iron products no later than the Warring States period. About the ninth century, the sites of cast iron smelting began to appear in the Region. These cast iron smelting sites are mainly located in the area of about 30 square kilometers in the vicinity of Longan Town, Xingye County of Guangxi, which is the largest and earliest cast iron smelting sites of high manganese slag found in the world to date. Discovering the appearance of the ancient cast iron smelting technology found in the Guangxi Region will provide useful informations for exploring the space-time frame of the ancient cast iron smelting technology in the Lingnan region, the diversifying development of Chinese ancient cast iron smelting technology, the historical and cultural influence, and the conservation of the relic remains.

Key Words: historical metallurgy; Lingnan region; Tang and Song dynasties; cast iron smelting; archaeometallurgy

冶铁技术是青铜时代之后古代人类社会又一次重大革命性的技术发明,迄今为止钢铁仍然是现代社会主要的基本生产生活材料之一。掌握块炼法炼铁技术不久,中国就成为了世界最早发明创造并使用生铁冶金技术的国家^①,生铁冶金技术的发明应用及生铁制钢工艺不断创新,为我国的统一巩固强大、中华各民族大家庭的融合、华夏文明的延续发展等奠定了坚强的物质基础,对世界文明的发展具有重大贡献和影响。

一、中国古代生铁冶炼与生铁冶金技术

中国古代生铁冶炼技术是世界技术史的重大创造发明,而生铁制钢技术为推进世界文明特别是中华文明的发展和传播提供了强大的技术生产力和推动力。

近几十年来,国外冶金考古学者在西亚、南亚、欧洲、非洲等地区对古铁矿冶遗址和出土铁器开展了

较为深入的研究,揭示了以小亚细亚为起源地、以块炼铁为主的西方冶铁技术传统大格局,以及块炼铁渗碳钢为主要的炼钢技术特点^②。在中国,数十年来考古发掘及其研究工作的积累,已经在我国境内发现出土了大量的古代铁器及古铁矿冶遗址;迄今大约4千件出土铁器经过了系统的科学检测研究^③,初步揭示了中国古代炼铁炼钢冶金技术的基本特征。韩汝玢等检测了出土于山西天马曲村的迄今世界最早(约公元前8世纪)的生铁制品^④;柯俊^⑤、韩汝玢^⑥、陈建立^⑦、潜伟^⑧、李晓岑^⑨等专家学者,对中原地区、东北地区、西北地区、东南地区、西南地区出土的铁器研究,初步探明了中国铁器时代早期中原地区块炼铁和生铁几乎并存的现象,春秋战国之后中原地区就大规模长期使用生铁冶炼技术并发明创造了铸铁脱碳、炒钢、灌钢等多种生铁制钢工艺的铁冶金主要传统,并在包括东北亚、东南亚等中华文化圈内产生了重大影响。陈建立等近年检测发现了出土于甘肃磨沟村的目前中国境内最早的人工冶铁的证据,即公元前14世纪左右的块炼铁制品^⑩,稍晚于西亚铁器时代早期。陈建立等^⑪近几年来还报道了俄罗斯南西伯利亚出土匈奴时期较多的铁斧、犁铧等生铁制品,在图瓦共和国、米努辛斯克地区和阿阿尔泰地区也出土汉代以后较多的生铁制品。

王巍^⑫、白云翔^⑬、唐际根^⑭、陈戈^⑮、韩建业^⑯等学者则从考古学国际文化大背景下探讨中国冶铁技术的起源、东传西进等问题。与此同时,中国中原地区对古铁矿冶遗址的发掘和研究也相当充分^⑰,个别遗址如郑州古荥汉代冶铁遗址还得到了较好的保护。近期以来,中原地区等古铁矿冶遗址调查与研究又取得了较大进展^⑱。陈建立等^⑲对河南鲁山望城岗西汉至宋代冶铁遗址的调查研究,发现MnO含量6%~0.4%的高钙生铁炉渣,使用的矿石是含锰的褐铁矿;杜宁等^⑳对山东临淄齐国故城东北部冶铁遗址的调查研究,发现遗存高钙生铁炉渣,使用了磁铁矿;李延祥等^㉑对河北邯郸武安市经济村宋代炼铁遗址的考察,发现遗存高钙生铁炉渣;陈建立等^㉒对四川蒲江铁牛村汉代冶铁遗址出土冶炼遗物的初步分析,发现其是钢铁冶炼遗址,使用石灰石为助熔剂;王启立等^㉓对燕山地带部分辽代冶铁遗址的初步调查,发现以石灰石和白云石为助熔剂的生铁渣和炒铁渣。袁晓红等^㉔对新疆宋元时期若羌瓦石峡遗址的研究发现了高钙炒铁渣等。这些研究成果对中国冶铁技术的来源、创新与发展、传播与交流的探索提供了珍贵的科学资料。

二、广西古代高锰渣生铁冶炼技术

广西是中原文化区与东南亚文化区主要的连接地带,从古至今就是各个民族交往、各种文化交融的

重要区域,是中原文化南传的必经之道、海上丝绸之路的主要驿站之一,一直都是历史学、考古学、民族学、人类学等关注的重点地区,因其地缘关系决定了广西历来都具有重要的政治、军事、经济、文化战略意义。

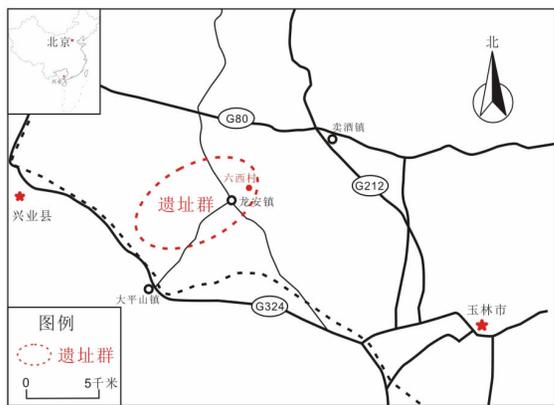
以往考古发掘及其科学研究结果显示,广西武鸣马头镇安等秧战国墓葬出土的铁锤为生铁制品,广西桂平市大塘城汉代长铁剑为炒钢制品^⑳。研究结果揭示了迟于战国时期中原地区的生铁技术、农耕技术传播到广西南部地区,迟于汉代广西地区出现炒钢制品等重要的技术文化特质。

目前考古调查及其科学研究结果显示,广西地区大约9世纪(唐末时期)开始出现生铁冶炼技术遗址^㉑。这些生铁冶炼技术遗址主要分布在广西玉林市兴业县龙安镇到太平山镇约30平方千米范围内。据史料记载,冶炼遗址所在的广西玉林市兴业县龙安镇,古称绿霞,因山得名,谐音绿鸦。北宋时期,绿鸦是岭南名镇;南宋时期是中国主要的冶铁基地之一,亦称绿鸦场。考古工作者据遗址遗存伴随物陶片材质和纹饰特征认为遗址始于唐、盛于宋、衰于明。考古工作者曾于20世纪80年代末对这些遗址作过初步普查,但此后未开展实质性的发掘和科学研究工作。1996年古绿鸦冶炼遗址群列入广西壮族自治区重点文物保护单位。在前人工作的基础上,2006年秋季期间,课题组已经对兴业县古绿鸦冶炼遗址群进行了初步调查,并于2007年初作了简要报道^㉒,2008年和2011年秋季又对冶炼遗址群进行了再考察和复查。

在以往相关的研究过程中,课题组成员在广西玉林地区发现考察了兴业县龙安镇六西村、蕨菜冲、冲塘岭、高岭、胜果寺、大陂头、牛栏冲、牟村圈岭和加岭等9处古代冶炼遗址(见图一),并采集了炉渣、鼓风管、木炭等冶金遗物近200件;对所采集部分遗物炉渣的初步检测表明,所有炉渣基体检测都显示了低铁高锰的特征,炉渣中遗存夹杂铁颗粒的金相组织为生铁颗粒,高岭等四处遗址炉渣基体MnO平均45.8%(wt),其它5处遗址炉渣基体MnO平均都在40%(wt)以上;高岭遗址的炉渣遗存铁颗粒含锰平均2.45%(wt),高岭遗址炉渣内遗存一份木炭样品的碳十四测年初步探明了该遗址迟于9世纪晚期(唐末时期)开始生铁冶炼活动,并报道了初步考察结果,揭示了该地区遗存有迄今为止世界发现最早规模最大的高锰渣生铁冶炼遗址^㉓。2011年11月广西文物考古单位与广西兴业文物管理所联合发掘冲塘岭遗址的一座遗存相当完整的炼炉,在炼炉底部采集到遗存矿石、炉渣、木炭等冶金遗物,这是历年调查中第一次在遗址采集到与冶炼过程直接相关的矿石样品;在龙安镇的沙铲岭新发现了采矿遗址并采集了矿石样品;近期,课题组成员在龙安镇山底岭、

杨前村后山腰山底、长居村、歧阳岭和太平山镇陈村附近又新发现了多处冶炼遗址(见图一),采集炉渣、鼓风管等冶炼遗物数百件,并作了初步检测分析,相信该地区尚有更多类似的遗址未被发现。

本文主要报道近期开展调查及研究的其中一处的六西村冶炼遗址。六西村遗址位于龙安镇六西村六乐屯一山脚处,中心地理坐标在 22°43'559N,110°01'285E,海拔约 98 米,面积约 3000 平方米(GPS 实测数据)。如图一所示。遗址所处地势较为平缓,植被比较茂盛;现有一条公路从遗址旁通过。如图二所示。遗址东边为地势平坦开阔的大片水田,西边约 3 公里处为南流江流域上游干流鸦桥江。考察期间发现遗存 2 个炼炉,炉壁材质坚硬,似为三合土筑成;炉顶部分残破,炉身已经被掩埋。其中一个炼炉露出地面顶部高 135 厘米,炉壁 12 厘米-7 厘米不等,炉顶直径 45 厘米,靠近地面炉身直径 80 厘米,炉身深度不明。见图三。遗址地表散落或堆积大量碎片状炉渣、鼓风管残片、陶范残片等遗物。炉渣堆积深度估计 2 米以上。炉渣表面多呈玻璃态,多为褐色或褐绿色;截面为褐色,偶有空隙。见图四。鼓风管为长筒圆通形制,夹沙泥质;长度一般约为 45 厘米,外直径约 12-15 厘米,内直径约 4-5 厘米;与炼炉炉膛接触端常有炉渣黏附。未发现铁矿石遗存。采集到炉渣、鼓风管残片、陶范残片等遗物。



图一 广西玉林古代冶铁遗址位置示意图

炉渣样品在大量的排出片状炉渣中随机选取,经过清洁、打磨、镶嵌、磨光、光学观测、表面喷碳等处理制成样品。使用北京科技大学材料学院的剑桥 S-360 扫描电镜配备 Tracor Northern 524 X 射线能谱仪对 6 个炉渣样品进行检测,每次扫描均依样品大小选取最大内接面积进行分析,以确定其平均成分。在北京科技大学冶金与材料史研究所和北京大学考古文博学院徕卡 DM4000M 型金(矿)相显微镜下观察样品的金相组织,并拍摄照片。在北京科技大学地质系 OLYMPUS BH2-UMA 矿相显微镜和冶金与材料史研究所徕卡 DM4000M 型金(矿)相显微镜下观测样品的矿相组织。炉渣的矿相观测结果表明,炉渣基体均未发现矿石等其他固体残余物,熔化状态好,铁颗粒均为均质金属,未发现 Fe₂O₃ 等残存。

表一为其炉渣样品基本成份 SEM-EDS 检测分析结果。样品基体基本成份面扫未发现 Cu、Pb、Zn、Ag 元素及其金属颗粒存在。6 个炉渣样品渣体的基本成份均为锰硅系,基体多呈玻璃态,偶有空隙。所检炉渣样品都残存有 20-1200μm 大小不等、数量不等的铁颗粒,其基本成份多为铁磷系或铁锰系。检测的金属颗粒共 16 颗,含锰有 14 颗,平均含锰为 1.03%(Wt%);含磷有 14 颗,平均含磷为 2.21%(Wt%)。参见表二和图五。对残存有较大铁颗粒的样品进行侵蚀,侵蚀后在金相显微镜下观测,铁颗粒均



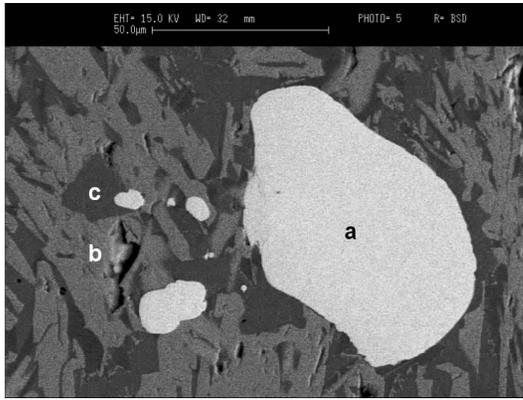
图二 广西玉林六西村冶炼遗址远眺



图三 广西玉林六西村冶炼遗址遗存一竖炉



图四 玉林六西村冶炼遗址片状炉渣及鼓风管残片遗存



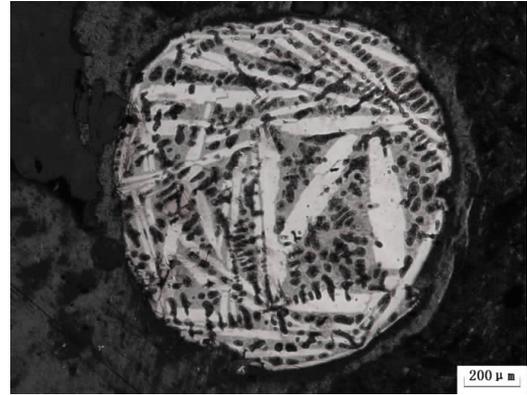
图五 炉渣 XL004 背散射图片

a-亮白相为铁颗粒,面扫 Fe 98.11%、P 1.42%、Mn 0.20%,
b-灰相为锰橄榄石,点扫 Mn 79.45%、Si 16.10%,c-黑相玻
璃态,点扫 Mn 57.74%、Al 37.67%、Fe 1.87%。

为生铁组织。参见图六。

综上,六西村冶炼遗址的炼炉、鼓风管形制,与该地区其它遗址遗存的炼炉、鼓风管形制具有一致性。六西村冶炼遗址的6个炉渣样品渣体均为锰硅系,基体以玻璃态硅酸盐为主,其中4个样品常有锰橄榄石。检测的炉渣样品均发现有金属铁颗粒的存在。综合炉渣基体的基本成份及显微结构,根据国内外古代炉渣研究成果及判定标准^⑧,可以认定6个炉渣样品为炼铁炉渣,六西村冶炼遗址为炼铁遗址。据炉渣中残存铁颗粒的金相观测,铁颗粒均为生铁组织。由此可以认定,六西村冶炼遗址采用的是生铁冶炼技术。

六西村冶炼遗址的检测炉渣中的 Fe-Si 百分含量平均比值为 0.17,所见中国古代生铁炉渣的 Fe-Si 百分含量比值一般都在 0.3-0.1 左右¹⁸⁻¹¹¹。由铁硅比可知,六西村冶炼遗址的生铁冶炼技术水平是相对比较成熟的。据表一可知,六西村冶炼遗址炉渣样品的炉渣碱度 $[CaO]/[SiO_2]$ 为 0.05, $[MnO]/[SiO_2]$ 为 1.32, $([K_2O] + [CaO] + [MnO])/[SiO_2]$ 为 1.44,而所见



图六 炉渣 XL003 残留铁颗粒金相图片 生铁组织

中国古代生铁炉渣的炉渣碱度 $[CaO]/[SiO_2]$ 一般都在 1.0-0.5 左右^⑨。从碱度看,六西村冶炼遗址炉渣属于高碱性炉渣,炉渣流动性良好。从炉渣基体成份可知,六西村冶炼遗址炉渣样品的特点为高锰低钙,而其它地区所见古代生铁炉渣基本特征是高钙低锰。主要原因是冶炼过程中使用的助熔剂不同。据 SEM-EDS 的分析结果,为粗略推测其冶炼温度,将生铁炉渣中基本成份分别进行配氧后求和平均,结果如表一所示。由表中可知该遗址炉渣样品的 MnO、SiO₂、Al₂O₃ 的百分含量之和占总百分含量的 90%左右,因此可只考虑这三种化合物。根据 MnO-SiO₂-Al₂O₃ 三元渣系图,炉渣样品的平均软熔温度为 1200℃左右。见图七所示。由于过热度的存在,实际冶炼温度可能会高于上述推测的温度。

可见,六西村冶炼遗址的炉渣性质、冶炼技术及其水平、使用的铁矿石和助熔剂、炉渣的软熔温度、铁颗粒及产品等技术特征与该地区已经开展研究的其它遗址的技术内涵是一致的。

目前广西地区以外的古代冶铁遗址炉渣报道含有高锰的仅见几处,但锰硅系的古代生铁冶炼炉渣在广西以外其他地区尚未见报道。在欧洲和非洲地区,艾尔思(L. Iles)等^⑩在非洲乌干达西部发现了公

表一 六西村冶炼遗址炉渣样品基本成份(配氧后)SEM-EDS 分析

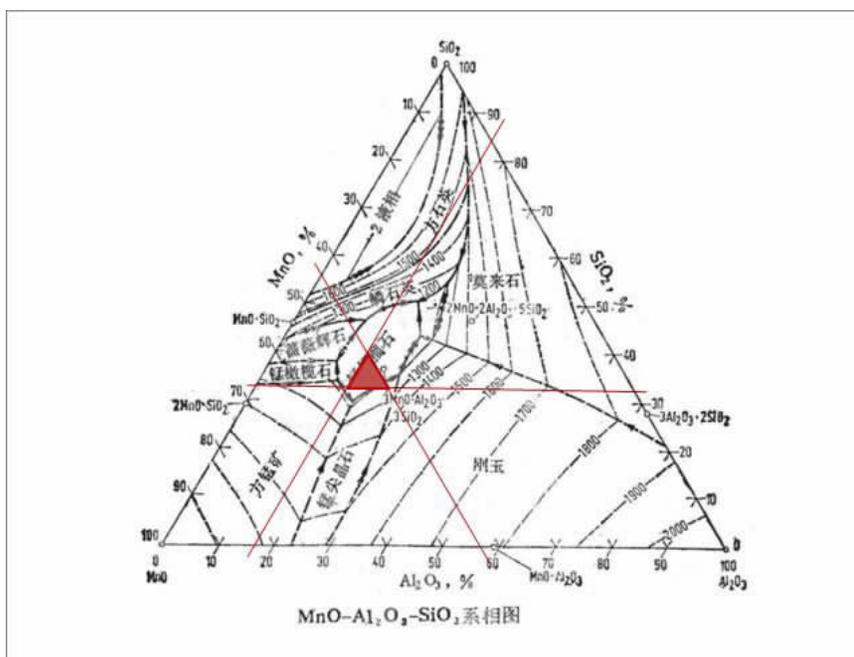
序号	实验室编号与分析位次		主要元素组成(Wt%)									备注
			MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P	S	K ₂ O	CaO	MnO	FeO	
1	XL001	面扫平均	0.24	11.77	38.31	n.d	0.49	2.18	1.39	43.46	2.54	
2	XL002	面扫平均	0.28	19.67	39.27	n.d	0.02	2.82	2.10	24.76	11.10	
3	XL003	面扫平均	0.30	22.12	25.11	n.d	0.32	1.93	1.32	48.56	0.65	
4	XL004	面扫平均	0.28	15.21	29.30	n.d	0.44	1.66	2.44	48.29	2.83	
5	XL005	面扫平均	0.30	15.80	32.06	n.d	0.36	2.21	1.67	47.35	0.60	
6	XL006	面扫平均	0.28	16.79	31.52	n.d	0.33	2.82	1.72	45.12	1.70	
基本成份元素平均			0.28	16.90	32.60	n.d	0.33	2.27	1.77	42.92	3.24	

注:n.d 为未检出含量。

表二 六西村冶炼遗址炉渣中金属颗粒锰和磷含量 SEM-EDS 分析

序号	样品编号	粒径 (μm)	锰 (Wt%)	磷 (Wt%)	序号	样品编号	粒径 (μm)	锰 (Wt%)	磷 (Wt%)	备注
1	XL001	1200	0.11	0.32	9	XL004	80	0.26	0.28	
2	XL001	30	1.10	n.d	10	XL004	200	n.d	0.68	
3	XL001	20	0.73	n.d	11	XL004	100	0.20	1.42	
4	XL002	60	0.42	0.38	12	XL005	60	3.35	3.80	
5	XL002	30	n.d	9.55	13	XL005	1000	2.27	0.34	
6	XL002	50	0.63	5.73	14	XL006	100	0.28	7.26	
7	XL003	1000	2.34	0.19	15	XL006	100	1.42	0.50	
8	XL003	60	1.23	0.19	16	XL006	600	0.11	0.30	

注:n.d 为未检出含量。金属颗粒平均含锰:1.03%(Wt%),金属颗粒平均含磷:2.21%(Wt%)。



图七 玉林六西村冶炼遗址炉渣软熔温度图

元 14 世纪以降炉渣含 MnO 均低于 12% 的三处块炼铁冶炼遗址。布沃沃德(V. B. Buchwald)等^②在瑞典发现了多处公元 13 世纪以降的生铁冶炼遗址,其中 Lapphyttan 的一处冶炼遗址炉渣属于硅锰镁钙多元系,其 MnO 为 13.18%,其余遗址的炉渣基体是高钙特征。在中国中原地区,陈建立等^③对河南鲁山望城岗西汉至宋代冶铁遗址的调查研究,也发现 MnO 含量 6%~0.4% 的高钙生铁炉渣,使用的矿石是含锰的褐铁矿。这些科学资料将为我们下一步的深入研究提供有益的线索和借鉴。

三、中国古代生铁高锰渣与生铁冶炼技术多样化发展的思考

我国历史悠久,疆域辽阔,民族众多,各地区的

自然禀赋差异较大,各民族的优秀文化及历史遗存有待发现和发掘。广西玉林地区古代高锰渣生铁冶炼遗址的发现,为中国古代生铁冶炼技术多样化发展的研究提供了一份宝贵的物质文化历史遗产,相信这仅仅是探索古代生铁冶炼技术多样化发展的一个开端。广西玉林地区地处岭南地区的中心区域,是古代中原与岭南交往要地,揭示玉林地区古代高锰渣生铁冶金技术及其与周边各地区的相互影响,对阐明中国古代生铁冶金技术多样性发展和在岭南地区的传播时空框架等重大考古学历史学命题具有重要意义。

考古文物调查普查和地矿资料显示,广西玉林周边地区还有古铁矿冶铸相关遗存。周卫荣、李延祥等^④对广西贺县宋代铁屎岭遗址开展了初步调查研究,林泽人、李延祥、余天佑^⑤对广西梧州宋代元丰监遗址也开展了初步调查研究。广东韶关西下坑马屋村宋代沙山矿冶遗址、广东阳春石望镇五代南汉王朝小垌铁屎径村遗址、广东阳山太平镇宋至明代牛鼻岩冶铁遗址、广东乐昌长来镇五汪村宋代铁屎岭矿冶遗址、广东罗定炉下村及铁炉村明代冶铁遗址等遗存有冶铸遗物,但尚未见相关检测研究报告。下一步的研究着力点主要开展以下几个方面工作:

一是矿冶遗址考察研究。除补充调查现已确定的高锰渣生铁冶炼遗址外,重点调查以往研究期间在广西玉林地区发现有矿冶遗物遗存的其它矿冶遗址

并采集各种矿冶遗物样品,查明前期了解到在该区域尚未被发现的有采矿冶炼遗迹或遗物遗存的信息和线索。另外,结合文博考古及地矿资料,对目前发现有铸铜遗物的广西贺州、广西梧州、广东韶关、广东阳山、广东阳春和乐昌等遗址进行调查取样研究。

二是开展冶金技术研究。通过采矿冶炼遗址的调查取样,开展矿石、助熔剂、炉渣、金属等冶金遗物的科学检测分析,调查广西玉林地区的锰矿分布情况,重点探明该区域的高锰渣生铁冶金技术内涵。采用目前已基本成熟的冶金考古之研究方法,通过合理选取能够较全面反映各技术环节的样品,探明高锰渣生铁冶炼的采矿、冶炼工艺、产品流向等问题。同时探索与古代中原地区相类似的高钙渣生铁冶炼遗址及其冶金技术,关注周边地区其它遗址是否有高钙渣生铁冶炼遗物以及生铁制钢遗迹遗物等遗存。开展高锰渣与高钙渣的关系研究,通过各地区自然资源条件和冶炼技术内涵特征等比较研究,考察炉料选择与自然资源禀赋的关联性,进而探讨两种不同渣型的生铁冶炼技术之间的关系。此外还探索广西地区从块炼铁到生铁冶炼炉料的变化特点。

三是遗址年代研究。通过考古调查资料,结合陶瓷器类型学研究,配合必要的碳十四年代测定,断定各处遗址的冶炼活动年代及延续时间。

四是生铁产品流向研究。通过炉渣、矿石、助熔剂、金属等冶金遗物微量元素特征的对比,示踪追溯该区域所用矿石、助熔剂的可能来源,结合对比出土铁器检测和以往考古资料发表的铁器的微量元素特征,可探索追踪该地区冶炼的铁锰系产品大致流向。

五是遗址保护研究。在充分揭示高锰渣生铁冶炼遗址的科学信息和历史价值上,基于中国传统文化天人合一和谐发展的理念,借鉴国内外工业遗产保护的成功经验,为独具特色的广西玉林古代高锰渣生铁冶炼遗址的保护及开发利用等提供科学依据和参考方案,探索既利于遗址保护又符合当地社会文化特质的管理保护模式,填补以往冶金遗址研究缺乏工业遗产保护研究重要环节的缺憾。

四、结语

由上可见,高锰渣生铁冶炼是一种独特的冶金方法,在中国乃至世界冶金史上都有着重要地位。广西玉林地区多处高锰渣生铁冶炼遗址的发现和冲塘岭冶炼遗址遗存炼炉的发掘,为研究这种高锰渣生铁冶炼技术提供了重要契机。目前对高锰渣生铁冶炼技术的研究处于初步研究阶段,一系列问题亟待进一步的系统研究予以解决:譬如广西古代高锰渣生铁冶炼遗址有什么样的时空分布特点或规律?是否都集中广西玉林地区或为什么存在该地区?该地区的生铁冶炼为什么以锰矿作为助熔剂,而不是以石

灰石作为助熔剂?该地区属于典型的喀斯特地貌地区,遗址附近拥有大量的石灰石,为什么当时的工匠不学习中原地区的工艺添加石灰石作为助熔剂呢?当地的工匠为什么当时就知道以锰矿可以作为助熔剂呢?是有意地添加锰矿作为助熔剂呢?还是使用铁锰共生矿石冶炼生铁?采矿遗址的矿料是否炼炉遗存的矿料一致?其铁锰系产品流向大致如何?玉林地区及周边各地区其他冶炼遗址是否存在高钙渣生铁冶炼技术?高锰渣生铁冶炼与高钙渣生铁冶炼的技术是否存在差异?玉林地区及周边各地区是否存在生铁制钢如炒钢等工艺?等等。综上,广西玉林地区生铁冶炼遗址群是迄今为止世界发现最早规模最大的高锰渣生铁冶炼遗址,全面开展该地区高锰渣生铁冶炼遗址群的系统深入研究工作,揭示该区域高锰渣生铁冶金技术的时机及条件已经成熟,及时开展抢救性的矿冶遗址考察研究和遗址保护工作很有必要。

在以往研究期间初步掌握了其高锰渣生铁冶炼的显著特征,深入全面地对该区域及周边地区已知古代生铁矿冶遗址开展考古学研究和科学检测,通过实验分析和科学测年等手段判定各遗址的矿冶技术内涵、冶炼年代及延续时段,并探讨铁锰系生铁产品流向,将为揭示岭南地区古代生铁冶金技术面貌、中国古代生铁冶炼技术多样性发展状况以及开展矿冶遗址保护提供重要的科学证据。

附记:在研究过程中,得到国家自然科学基金项目(编号:51674004)资助;北京科技大学韩汝玢教授、孙淑云教授,英国剑桥李约瑟研究所所长梅建军教授,广西民族大学万辅彬教授等给予大力支持和帮助,谨此一并致以衷心感谢!

注释:

①a.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年第2期;b.柯俊:《中国大百科全书·矿冶卷》,第755-756页,中国大百科全书出版社,1984年;c.韩汝玢:《天马-曲村遗址出土铁器的鉴定》,北京大学考古学系商周组、山西省考古研究所:《天马-曲村1980-1989》,第1178-1180页,科学出版社,2000年。

②Tylecote R. F. A history of metallurgy[M]. 2nd ed. Institute of Materials, London 1992.

③①陈建立:《中国古代金属冶铸文明新探》,第192-235页,科学出版社,2014年。

④韩汝玢:《天马-曲村遗址出土铁器的鉴定》,北京大学考古学系商周组、山西省考古研究所:《天马-曲村1980-1989》,第1178-1180页,科学出版社,2000年。

⑤柯俊:《中国大百科全书·矿冶卷》,第755-756页,中国大百科全书出版社,1984年

⑥韩汝玢:《中国科学技术史·矿冶卷》,第344-630页,科学出版社,2007年。

⑦a.陈建立、韩汝玢、万欣、李延祥:《北票喇嘛洞墓地出土铁器的金相实验研究》,《文物》2001年第2期;b.陈建

立、韩汝玢、斋藤努、今村峰雄：《从铁器的金属学研究看中国古代东北地区铁器和冶铁业的发展》，《北方文物》2005年第1期；c.陈建立、韩汝玢：《汉晋中原及北方地区钢铁技术研究》，北京大学出版社，2006年；d.陈建立、杨琮、张焕新、林繁德：《福建武夷山城村汉城出土铁器的金相实验研究》，《文物》2008年第3期；e.陈建立、黄全胜、李延祥、韩汝玢：《贵州赫章可乐墓葬出土铁器的金相实验研究》，贵州省文物考古研究所：《赫章可乐2000年发掘报告》第195-206页，文物出版社，2008年。

⑧潜伟、张平、伊弟利斯：《新疆龟兹钱币的金属学初步研究》，《中国钱币》2003年第1期。

⑨a.李晓岑、张新宁、韩汝玢、孙淑云：《云南江川县李家山墓地出土金属器的分析和研究》，《考古》2008年第8期；b.李晓岑、贡雅丽、刘杰、李穆斌：《云南祥云红土坡古墓群出土金属器的初步分析》，《文物》2011年第1期。

⑩陈建立、毛瑞林、王辉、陈洪海、谢焱、钱耀鹏：《甘肃临潭磨沟寺洼文化墓葬出土铁器与中国冶铁技术起源》，《文物》2012年第8期。

⑪王巍：《东亚地区古代铁器及冶铁术的传播与交流》，中国社会科学出版社，1999年。

⑫白云翔：《先秦两汉铁器的考古学研究》，科学出版社，2005年。

⑬唐际根：《中国冶铁术的起源》，《考古》1993年第6期。

⑭陈戈：《察吾乎沟口文化的类型划分和分期问题》，《考古与文物》2001年第5期。

⑮韩建业：《新疆的青铜时代和早期铁器时代文化》，文物出版社，2007年。

⑯郑州市博物馆：《郑州古荥镇汉代冶铁遗址发掘简报》，《文物》1978年第2期。

⑰⑱a.河南省文物研究所、中国冶金史研究室：《河南省五县古代铁矿冶遗址调查》，《华夏考古》1992年第1期；b.河南省文物研究所、信阳地区文物科：《信阳毛集古矿冶遗址调查简报》，《华夏考古》1988年第4期。

⑲⑳陈建立、洪启燕、秦臻、刘海旺、韩汝玢：《鲁山望城岗冶铁遗址的冶炼技术初步研究》，《华夏考古》2011年第3期。

㉑杜宁、李建西、张光明、王晓莲、李延祥：《山东临淄齐国故城东北部冶铁遗址的调查与研究》，《江西理工大学学报》2011年第6期。

㉒李延祥、王荣耕：《河北邯郸武安市经济村炼铁遗址考察》，《华夏考古》2014年第4期。

㉓陈建立、杨颖东、周志清、村山恭通：《四川蒲江铁牛村冶铁遗址出土冶炼遗物的初步分析》，《成都考古发现》，第260-270页，科学出版社，2007年。

㉔王启立、潜伟：《燕山地带部分辽代冶铁遗址的初步调查》，《广西民族大学学报(自然科学版)》2014年第1期。

㉕袁晓红、潜伟：《新疆若羌瓦石峡遗址出土冶金遗物的科学研究》，《中国国家博物馆馆刊》2012年第2期。

㉖黄全胜、李延祥、郑超雄、陈建立、冯桂淳等：《广西战国汉代墓葬出土铁器的科学研究》，《南方文物》2016年第1期。

㉗黄全胜、李延祥：《广西兴业县高岭古代遗址冶炼技术研究》，《自然科学史研究》2012年第3期。

㉘黄全胜、李延祥、万辅彬：《广西兴业古绿鸦冶炼遗址初步考察》，《广西民族大学学报(自然科学版)》2007年第2期。

㉙a. Huang Quansheng, Li Yanxiang. A New Discovery: Manganese as a Flux Agent at the Song Dynasty Iron-Smelting Sites in Xingye County, Guangxi, China [M]. Metals and Civilizations. Bangalore: NIAS, India. 2015: 87-94; b. 于永平、黄全胜、李延祥：《广西兴业三处冶铁遗址考察》，《有色金属》2010年第3期。c.黄全胜、李延祥：《广西兴业县高岭古代遗址冶炼技术研究》，《自然科学史研究》2012年第3期。

㉚a.李延祥、洪彦若：《炉渣分析揭示古代炼铜技术》，《文物保护与考古科学》1995年第1期；b.李延祥：《铜绿山、九华山古代炼铜炉渣研究》，北京科技大学科学技术史专业博士学位论文，1995年；c.陈建立、张周瑜：《基于炉渣分析的古代炒钢技术判定问题》，《南方文物》2016年第1期；d.黄全胜、李延祥、陈建立、铁付德：《基于炉渣分析为主揭示古代炼铁技术研究探索》，《中国国家博物馆馆刊》2016年第11期；e.黄全胜：《广西贵港地区古代冶铁遗址调查及炉渣研究》，北京科技大学科学技术史专业博士学位论文，2008年；f.黄全胜：《广西贵港地区古代冶铁遗址调查及炉渣研究》，漓江出版社，2013年；g. Bachmann H G. The identification of slags from archaeological sites. London: Institute of Archaeology Occasional Publication, No. 6. 1982.; h. Craddock P T, Freestone I C, Gale N H, et al. The investigation of a small heap of silver smelting debris from Rio Tinto, Huelva, Spain [M] // Furnaces and Smelting Technology in Antiquity, British Museum Occasional Paper, No. 48. London: British Museum, 1985: 199-218; i. Rothenberg B A, Blanco-Frejero. Studies in ancient mining and metallurgy in south-west Spain [M]. London: Institute for Archaeo-Metallurgical Studies, 1981: 312; j. Tholander E. Microstructure examination of slags as an instrument for identification of ancient iron-making processes [M] // Pleiner R. Archaeometallurgy of Iron: Results Achieved 1967-1987. Czech, Liblice: UISPP Prague, 1989: 35-42; k. Gordon R B. Process deduced from ironmaking wastes and artefacts [J]. Journal of Archaeological Science. 1997. 24 (1): 9-18.

㉛Illes L. The exploitation of manganese-rich 'ore' to smelt iron in Mwenge, western Uganda, from the mid second millennium AD [J]. Journal of Archaeological Science. 2014 (49) 423-441.

㉜Buchwald V B, Wivel H. Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects [J]. Materials characterization. 1998. 40 (2): 73-96.

㉝a.李延祥、周卫荣：《广西贺县铁屎岭遗址宋代锡铅及含锡铁钱冶炼技术初步研究》，《有色金属》2000年第2期；b.周卫荣、李延祥：《广西贺县铁屎岭遗址北宋含锡铁钱初步研究》，《文物》2000年第12期。

㉞林泽人、李延祥、余天佑：《梧州钱监遗址炉渣研究》，《广西民族大学学报(自然科学版)》2016年第3期。