

文章编号: 1000-8934(2017)04-0081-05

中国古代生铁冶炼炉壁材料体系刍议

刘海峰¹ 潜伟² 陈建立³

(1. 南京信息工程大学 科学技术史研究院, 南京 210044;

2. 北京科技大学 科技史与文化遗产研究院, 北京 100083;

3. 北京大学 考古文博学院, 北京 100871)

摘要: 中国古代发达的制铁技术以生铁与生铁制钢技术体系为核心, 是中国古代高温技术的巅峰。炉壁材料是冶金生产可耐高温的耐火材料, 是制铁技术得以发生和发展的重要物质保障。研究通过整理古文献和考古材料, 总结出中国古代生铁冶炼炉壁材料的发展历程, 在此基础上认为中国古代生铁冶炼形成了两种炉壁材料体系, 这两个体系的炉壁材料在时代分布上有较为明显的特色, 战国两汉时期以单一黏土质材料为主, 唐宋至明时期以石质炉体与砂泥质炉衬二元结构为主, 有后来居上的趋势。研究认为, 炉壁材料体系的流变与古代冶金、陶瓷手工业的关系变化存在一定的联系。

关键词: 冶金史; 耐火材料史; 材料体系; 技术流变; 陶冶手工业

中图分类号: N09 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19484/j.cnki.1000-8934.2017.04.015

引言

中国古代以生铁与生铁制钢技术为核心的制铁技术体系, 包括冶炼、熔炼、铸造、锻造、热处理和加工等多个环节, 是中国古代高温技术的巅峰。目前, 学界多从金属器物 and 炉渣的分析入手, 构建了较为完整的古代制铁技术体系, 但对作为核心设施的制铁炉(包括冶铁、熔铁、锻铁及其他热处理用高温设施)的本身研究不足, 对通过分析炉壁材料来探讨中国独特的生铁冶炼技术的研究尚未开展。

制铁炉为生铁冶炼及制钢提供了可耐高温的反应容器, 主要功能有支撑炉体、保温和耐火等, 是生铁技术发生和发展的重要物质保证。虽然在各遗址均发现有大量的炉壁材料遗存, 但目前对炉壁材料的基本信息掌握并不多, 研究多凭经验判断, 对砌筑、配料、性能等则知之甚少、空白较多, 影响了对古代制铁炉的全面认识, 不利于中国古代冶金史和耐火材料史的整体研究, 也掩盖了中国古代高

度发达的高温技术体系的重要一环。同时, 炉壁材料作为陶瓷、冶金手工业间的“跨界”材料, 考察其时代变化可以为考察古代陶瓷、冶金手工业之间的关系提供新的视角。

文章以反映中国古代制铁核心技术水平的生铁冶炼炉的炉壁材料为研究对象, 以文献和考古材料为基础, 探求其演变历程, 以及与制铁技术、陶冶手工业间的关系, 以更好地阐释中国古代制铁技术史、耐火材料史和陶冶手工业的科学问题。

一、中国古代生铁冶炼炉壁材料体系的考察

已知中国古代最早的生铁冶炼竖炉位于河南西平酒店境内, 时代约相当于战国晚期—汉代⁽¹⁻²⁾。何堂坤认为该冶铁炉利用了山坡筑炉, 使用了麝炭粉、粗砂的黏土材料夯筑长方形炉基, 可能使用了模制的“耐火材料块”筑炉⁽³⁾。

从公元前117年起, 汉武帝大力推行盐铁官营,

收稿日期: 2016-12-06

作者简介: 刘海峰(1988—), 安徽黄山人, 博士, 南京信息工程大学科学技术史研究院讲师, 主要研究方向: 科学技术史、科技考古; 潜伟(1972—), 江西赣州人, 博士, 北京科技大学科技史与文化遗产研究院教授、院长, 主要研究方向: 科学技术史、科学学与科技政策; 陈建立(1973—), 河南商丘人, 博士, 北京大学考古文博学院教授, 主要研究方向: 技术史、科技考古。

在全国设置了49处铁官,其中在以河南郡“河一”(巩义铁生沟)和“河三”(郑州古荥)冶铁遗址为代表的大型冶铁场中发现有多处冶铁炉。巩义铁生沟冶铁炉方形或长方形炉基中间用掺有石英砂粒和煤的黑色耐火材料夯筑而成,四周用红色或白色黏土夯筑。炉壁则由用红黏土夯筑的大块耐火砖砌筑而成,可能在关键部位使用了白黏土(铝土)⁽⁴⁻⁵⁾。同时期的郑州古荥2座冶铁炉炉基均用红黏土磨矿石粉、炭末加小卵石夯筑12层、厚4米之多,炉壁亦由黏土夯筑而成⁽⁶⁾。四川蒲江古石山冶铁遗址发现的汉代冶铁炉,也为黏土质冶铁炉⁽⁷⁾。在山东临淄齐故城出土了大量的冶铁炉炉壁,从其材质上来看,主要为黏土质炉坯,其炉衬和粘结材料亦为黏土质⁽⁸⁾²⁹。

稍晚至东汉的河南鲁山望城岗冶铁炉炉基基础坑由灰白色黏土夯筑而成,基础坑中部的炉缸基槽用红褐色黏土加石英或砂石颗粒、再加木炭颗粒均匀掺合形成的耐火土分层夯筑而成;炉壁材料可分为两层,内层用木炭粉和砂泥混合材料夯筑而成,外层用红色胶泥磨砂夯筑而成⁽⁹⁾。同时期的河南泌阳下河湾⁽¹⁰⁾、新安东孤灯⁽¹¹⁾、桐柏张畈和毛集⁽¹²⁾⁴⁴等遗址中也有用砂泥夯筑或砂泥砖砌筑的冶铁炉。徐州利国驿东汉冶铁炉炉基用黏土夯筑而成,炉壁材料主要由破碎的石英砂粒和黏土混合而成,采用夯筑的方法,每层厚6厘米,炉内无炉衬⁽¹³⁾。

汉代冶铁炉用含硅较高的黄土或红土烧成长方形或弧形的耐火砖砌筑,而郑州古荥的高炉是用黄土夯打而成的。有的高炉炉底用黄土掺石英砂和草拌泥构成,各地有差异,铁生沟掺的石英砂颗粒很细,直径只有0.5-1毫米,而望城岗掺入的石英砂直径有1-4毫米⁽¹⁴⁾。

在河南安阳、林州的后堂坡、铎炉村、正阳集、铁炉沟、申村等地点发现有较多的冶铁炉遗迹,各地点发现的炉壁材料不完全一致。安阳后堂坡发现有夯土和泥质砖,安阳铎炉村冶铁炉均为河卵石砌筑,林州正阳集有夯土和砂泥质砖,林州铁炉沟有黏土质炉壁和河卵石砌筑冶铁炉,林州申村有砂泥质砖和河卵石砌筑冶铁炉。这些遗址中的河卵石砌筑冶铁炉多为唐宋时期的冶铁炉,而夯土、泥质砖或砂泥质砖的冶铁炉时代早到汉代⁽¹²⁾⁴⁴。

宋代的河南南召下村冶铁遗址共有7座冶铁炉,均用河卵石砌筑⁽¹⁵⁾⁵⁷⁷。同时期的河北武安矿山村冶铁炉也用岩石砌筑⁽¹⁵⁾⁵⁸²。位于黑龙江阿城的

金代冶铁炉则多用当地的花岗岩砌筑⁽¹⁶⁻¹⁷⁾。在北京延庆大庄科乡冶铁遗址群发现的辽金时期冶铁炉多建于山前缓坡,依靠山崖,用巨石堆砌外围炉墙,炉墙内侧涂抹专门的材料作为炉衬^{(8)34, [18]}。

另有南方两处宋代遗址未使用岩石砌筑制铁炉,一处位于安徽繁昌竹园湾,使用的是泥质砖砌炉体、砂泥做炉衬⁽¹⁹⁾;一处位于福建同安(一说为明代),使用了高岭土、黄泥和谷壳等制成耐火砖,也是目前明确使用了高岭土的制铁炉遗迹⁽²⁰⁾。

金代以后少有制铁炉见诸考古报告,多从古文獻中窥探制铁炉炉壁材料的端倪,明清文献中还记载了一些非官营冶铁作坊“恢复”使用本地黏土作为主要原料。

明代朱国桢《涌幢小品》卷四“铁炉”记载“遵化铁炉,……俱石砌,以筒千石为门,牛头石为心,黑沙为本,石子为佐,时时旋下”⁽²¹⁾。遵化铁厂的冶铁炉全用石头砌成,以“牛头石”做炉内壁,以“筒千石”做炉门⁽²²⁾。对明代遵化铁厂冶铁遗址的调查,也进一步明确了遵化铁炉用巨石堆砌炉体支撑材料⁽²³⁾。

明代《天工开物》⁽²⁴⁾卷八记载“炉形如箕,铁条作骨,附泥造成。其下先以铁片圈筒,直透作两孔以受杠,穿其炉垫于土墩之上”。说明当时也用铁做炉子的骨架支撑,而黏土则作为炉子的外壳。《天工开物》卷十四“五金”还记载“凡铁炉用盐做造,和泥砌成,其炉多傍山穴为之,或用巨木匡围。塑造盐泥,穷月之力,不容造次,盐泥有罅,尽弃全功。……炉孔先用泥塞,每旦昼六时,一时出铁一陀,既出,即又泥塞”。明代《物理小识》卷七“金石类”亦记载有“凡铁炉用盐和泥造成”⁽²⁵⁾。说明明代还有一种用盐和泥砌成的冶铁炉,这种盐泥需经过长时间的锤炼,冶铁炉有的靠山穴筑成,有的用大木柱框围起来。

清代屈大均《广东新语》卷十五“货语”记载“炉,……以灰沙盐醋筑之,巨藤束之,铁力、紫荆木支之,又凭山崖一为固,炉后有口。口外为一土墙。……其二口皆镶水石,水石产东安大降山,其质不坚。不坚故不受火,不受火则能久而不化,故名水石”⁽²⁶⁾。说明当时的炉子建造在断崖边,筑炉的原料有砂、盐和醋等夯筑而成,并需要多种支护材料支撑,利用了“水石”堵塞出渣口和出铁口。

清代严如熠《三省边防备览》卷十记载了陕西汉中冶铁炉的耐火材料,“铁炉高一丈七八尺,四面

椽木作栅,方形,竖筑土泥,中空,上有洞放烟,下层放炭,中安矿石”^[27]。这段则非常简单地描述了利用泥土筑方炉的过程。

通过总结考古发现和文献材料,认为中国古代生铁冶炼炉壁材料具有明显的时代特征,有一个较为清晰的发展脉络,其炉体支撑材料最明显的变化是从黏土质材料向石质材料转变,炉衬耐火材料则由黏土质材料向砂泥质材料转变。

综合田野调查、对比研究、工艺考察和科学分析结果后,认为中国古代存在两种不同体系的生铁冶炼炉壁材料。一种以黏土为主要原料,采用夯制土炉或模制耐火砖砌筑冶铁炉的方法,建筑土质冶铁炉,是为单一黏土质炉壁材料体系;二是以石材为炉体支撑材料,以“保护牺牲性”砂泥质耐火材料为炉衬的石、土混合质地冶铁炉,是为二元结构炉壁材料体系。两种不同体系的炉壁材料在原料、宏观结构、微观结构、制作工艺、时代分布、地域分布上均呈现出较大的差异。

战国两汉时期的冶铁炉多使用黏土质炉壁材料,唐宋至明代的生铁冶炼炉多为二元结构的冶铁炉。

特别是河南林州铁炉沟和申村、河北武安经济村发现的冶铁炉体现出两种炉壁材料体系的过渡,为这一论断提供了坚实的证据。河南林州铁炉沟、申村冶铁遗址中的汉代冶铁炉多为一体炉,唐宋冶铁炉则为二元结构冶铁炉;河北武安经济村冶铁炉时代上可能为魏晋南北朝时期,该冶铁炉原先为单一黏土质,后经过改造,成为二元结构冶铁炉。因此,两处遗址实际上体现了二元结构的炉壁材料体系在唐宋时期后来居上,成为主要的冶铁炉炉壁材料。

二、炉壁材料体系的流变与陶冶手工业

炉壁材料体系的流变与铁业生产组织形态的变化等社会因素存在一定的关系。铁业生产组织的变化是与其他手工业赋存关系息息相关的,其中最为紧密的是与陶瓷手工业的关系。冶金与陶瓷手工业的关系主要体现在两者在技术、产品间交流和交换的关系。陶瓷类材料在冶金技术中利用的最早形态可能为坩埚或小型冶金炉,之后为大型冶金炉的炉壁材料。

坩埚、冶金炉可能直接来源于陶器,陶器的形

制、原料、制作、用火烧制等工艺以及人们对陶器性能的认识也可能被充分借鉴。研究表明,仰韶文化和龙山文化陶器的烧成温度已在 $950^{\circ}\text{C} \sim 1050^{\circ}\text{C}$ 之间,为之后冶炼金属所需的高温提供了坚实基础;大口尊和将军盔等器物可能直接用于熔铸金属;在陶器表面抹上一层耐火黏土以增加其强度和耐热保温的性能,在陶器中加入石英砂以改进陶土的成型性能和耐热急变性能等认识和利用,也为制造能够耐高温的冶金反应器皿提供了基础^[28];此外,冶金炉的结构、造型也可能借鉴了陶器生产中的设施,如竖炉在材料上、结构上可能借鉴了陶窑,其早期炉壁材料可能与陶窑窑坯一致,并烧制于陶窑中。这些认识表明,中国古人从古代制陶技术中吸收了高温技术、耐火材料、造型材料等技术来发展古代冶金耐火材料。

此外,不同的“冶金耐火材料”(亦称为冶金陶瓷,如坩埚和炉壁材料)材料上的差异也深刻影响了不同的冶金技术生产体系的建立。研究表明古人对坩埚、炉壁材料的原料选择、制备工艺不同,造成了两者材料上的差异,坩埚原料多精细、原料种类丰富、工艺制作较精良,而炉壁原料多原始、制作工艺简单,两者材料的不同导致技术性能的不同,也影响了两者在冶金生产中的作用,可能是形成坩埚和冶金炉两种不同技术体系的重要原因。虽然两者的起源及相互影响模式仍存在争议,但两者材料上的差异也是导致其不同功能的重要原因,如坩埚可用于小规模冶炼、多数用于熔炼和配制合金、铸造等;而冶金炉,特别是竖炉多用于大规模冶炼,促进了生产效率的提高,使得冶金生产规模化。因此,不同冶金耐火材料可能影响了不同的冶金技术,从而形成了不同的冶金生产组织。

单以生铁冶炼技术体系为例,研究认为战国—汉代的具有官营性质的冶铁作坊内以使用单一黏土质材料为主,如河南巩义铁生沟、郑州古荥、山东临淄齐故城等地。这些地点多在大型城址中的手工业作坊遗址群中,与其他手工业部门有着较为紧密的地理联系,甚至在山东临淄齐故城和山东章丘东平陵城等遗址中会同时发现制铁炉、陶窑、烘范窑等冶金和陶瓷生产设施,可能表明不同生产部门间生产关系密切,原料的同一来源、技术的交流、工艺的一致、产品的交换都存在可能。

通过分析山东临淄齐故城内同一遗址的制铁炉和陶窑的炉坯和窑坯,认为两者材质、成分基本

一致,可能说明它们的原料来源、制作工艺是一致的。冶铁炉炉坯和陶窑窑坯的生产技术更多的来源于制陶技术,甚至可能直接在“制陶部门”而非“冶金部门”内烧制。虽然不清楚制陶、冶金是否同属于一个部门,还是冶金部门下有专门的“制陶小组”,但在这样的生产关系下,冶金与陶瓷生产间的技术交流、产品交换可能较为密切。制陶技术和产品深刻影响到冶金生产,最直接的体现就是大量黏土质炉壁材料的利用。

而唐宋辽金时期的诸多冶铁炉多分布在矿点附近、远离城市中心和其他手工业作坊,遗址性质简单、以冶炼为主,工匠群体也单一化,可能不存在专门的以生产炉壁材料为主要任务的生产部门,炉壁的制作应由冶金工匠在冶金生产部门内完成,已经属于冶金活动中的依附环节,其生产关系较战国两汉时期简单。在这种情况下,简单的原料和制作工艺节省了人力和经济成本,因而制作精细黏土质炉壁的工艺消失,而直接利用岩石砌筑炉体、以当地土壤制备炉衬,其工艺简便、效率高,逐渐成为主流的炉壁材料。

冶铁业从复杂的手工业群体中独立出来成为专门的生产部门,改变了作坊中的技术门类和工匠群体,与其他手工业技艺(如制陶、制砖瓦)渐趋分离。工艺和工匠的改变,使得冶金工匠更多地利用本地资源、根据生产规模和技术的可行性来制作炉壁材料,可能导致了石质炉体+砂泥炉衬二元结构冶铁炉取代了单一黏土质冶铁炉。

综上,古代冶金和陶瓷生产之间的关系存在从集约型手工业部门向生产专门化发展的趋势。战国两汉时期,冶金与陶瓷可能同属于一个大的手工业管理部门,两者关系密切,生产技术、人员和产品可能存在直接交换。炉壁、陶窑窑壁、甚至陶器等均可在同一制陶作坊或陶窑中制作、烧制。而汉代以后,冶金部门趋向独立,炉壁材料的生产可能完全脱离了陶瓷生产部门。

“冶户”、“坑户”等专门从事冶金和金属矿开采的工匠群体的出现,也是冶金生产专门化的重要表现,虽然匠籍制度在元朝才出现,但是唐宋时期就已经出现了“冶户”、“坑户”⁽²⁹⁾。这些以特定手工业生产为核心的工匠群体,从事专门的生产,其他手工业技术的影响可能越来越弱。表现在唐以后的冶金手工业基本独立运行、陶瓷手工业与其分离,从而导致冶金炉及其炉壁材料的生产主要由冶

金工匠完成,炉壁材料的选材、制作、成型等环节逐渐偏离一般陶瓷的生产路径,可能导致了炉壁材料的特征发生重大变化。

三、结 语

以中国古代生铁冶炼炉壁材料为研究对象,对全国各遗址出土的炉壁材料进行了文献考察和田野调查,并引入古陶瓷学和矿物学研究方法开展了炉壁材料的科学研究。研究表明,战国两汉时期,冶铁炉主要使用了夯土和黏土坯作为炉壁材料,炉体与炉衬材料多数一致,是为单一黏土质炉壁材料体系。唐宋至明时期的冶铁炉则主要使用了石质材料作为炉体,砂泥质材料作为炉衬。至此,中国古代形成了两种不同体系的生铁冶炼炉壁材料体系,并且二元结构的炉壁材料体系后来居上。

通过考察不同遗址内手工业作坊的生业形态,认为炉壁材料的变化与生产关系的变化也存在一定的联系。冶金生产部门从复杂的手工业群体中走向专门化和独立,表明炉壁的制作可能从相关陶瓷生产部门中脱离,是“陶”与“冶”分离、更加专业化的表现之一,导致了工艺和工匠群体的变化,从而影响了炉壁材料的变化和发展。

参考文献

- (1) 河南省文物考古研究所,西平县文物保管所. 河南省西平县酒店冶铁遗址试掘简报[J]. 华夏考古,1998(4): 27-33.
- (2) 李京华. 古代西平冶铁遗址再探讨[J]. 中国冶金史料,1990(4): 71-74.
- (3) 何堂坤. 中国古代金属冶炼和加工工程技术史[M]. 太原:山西教育出版社,2009: 196-198.
- (4) 河南省文物局文物工作队. 巩县铁生沟[M]. 北京:文物出版社,1962: 17-18.
- (5) 赵青云,李京华,韩汝玢,丘亮辉,柯俊. 巩县铁生沟汉代冶铁遗址再探讨[J]. 考古学报,1985(2): 157-183.
- (6) 郑州市博物馆. 郑州古荥镇汉代冶铁遗址发掘简报[J]. 文物,1978(2): 28-47.
- (7) 成都文物考古研究所,蒲江县文物管理所. 2007年四川蒲江冶铁遗址试掘简报[J]. 四川文物,2008(4): 17-26.
- (8) 刘海峰. 中国古代制铁炉壁材料初步研究[D]. 北京:北京科技大学,2015.
- (9) 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[J]. 华夏考古,2002(1): 3-11.

- (10) 河南省文物考古研究所. 河南泌阳县下河湾冶铁遗址调查报告[J]. 华夏考古, 2009(4): 16-28.
- (11) 河南省文物研究所. 河南新安县上孤灯汉代铸铁遗址调查简报[J]. 华夏考古, 1988(2): 42-50.
- (12) 河南省文物研究所, 中国冶金史研究室. 河南五县古代冶铁遗址调查[J]. 华夏考古, 1992(1).
- (13) 南京博物院. 利国驿古代炼铁炉的调查及清理[J]. 文物, 1960(4): 46-47.
- (14) 河南省博物馆, 石景山钢铁公司炼铁厂, 《中国冶金史》编写组. 河南汉代冶铁技术初探[J]. 考古学报, 1978(1): 1-24.
- (15) 韩汝玢, 柯俊. 中国科学技术史—矿冶卷[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- (16) 黑龙江省博物馆. 黑龙江阿城县小岭地区金代冶铁遗址[J]. 考古, 1965(3): 124-130.
- (17) 黑龙江省博物馆. 黑龙江阿城县小岭地区金代冶铁遗址[C]// 孙进己主编. 中国考古集成·东北卷·金(1-2). 北京: 北京出版社, 1997: 1009.
- (18) 孔为. 北京延庆县大庄科乡三处冶铁遗址调查及炉渣研究[D]. 北京: 北京科技大学硕士学位论文, 2009: 17-24.
- (19) 胡悦谦. 繁昌县古代炼铁遗址[J]. 文物, 1957(7): 74.
- (20) 陈中光. 文物工作报道[J]. 文物, 1959(2): 75.
- (21) [明] 朱国祯. 涌幢小品(上) [M]. 上海: 上海古籍出版社, 2012: 95.
- (22) 杨宽. 中国古代冶铁技术发展史[M]. 上海: 上海人民出版社, 2004: 80.
- (23) 陈虹利. 明代遵化铁冶研究[D]. 北京: 北京科技大学博士学位论文, 2017: 43.
- (24) [明] 宋应星. 天工开物(中卷) [M/OL]. 明嘉靖刻本影印本.
- (25) [明] 方以智. 物理小识(卷七) [M]. 上海: 商务印书馆, 1938: 186.
- (26) [清] 屈大均. 广东新语[M]. 北京: 中华书局, 1985: 408-410.
- (27) [清] 严如煜. 三省边防备览(卷十) [M/OL]. 清道光十三年, 来鹿堂刻本.
- (28) 北京钢铁学院《中国冶金简史》编写小组. 中国冶金简史[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 28.
- (29) [后晋] 刘昫. 旧唐书·食货志下[M]. 北京: 汉语大词典出版社, 2004: 1658.

A Preliminary Research of Refractory Materials on Cast Iron Smelting in Ancient China

LIU Hai-feng¹, QIAN Wei², CHEN Jian-li³

- (1. Institute for History of Science and Technology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044;
2. Institute for History of Science and Technology and Cultural Heritage, University of Science and Technology Beijing, Beijing 10083;
3. School of Archaeology and Museology, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: As core technical materials of pyrotechnology, furnace materials played a key role on providing structural stability, keeping thermal stability, and maintaining chemical stability of furnaces during the metallurgical processing. There were two different systems of refractory materials: simple clay material system, and the stone and clay co-existing structure system. Rammed clay or stacked clay bricks were used during 4th C. BCE and 3th C. CE, while, from 7th to 13th C. CE, refractory material of clay with sands and gravel sized rock fragments was lined on the inner surface of stone wall. Such technological change was happened because of the relationship between ceramic and metallurgy in ancient China was on a way to separate, and it made the refractory materials making group changed, which directly caused the technology changed.

Key words: history of metallurgy; history of refractory materials; material system; technological change; handicraft industry of metallurgy and ceramic

(本文责任编辑: 董春雨)