

山西传统坩埚炼铁技术类型、分布及其形成原因

刘培峰^{1,2}, 李延祥², 潜伟²

(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)

摘要:山西传统坩埚炼铁技术可分为两种类型: 一步法和两步法, 每种类型又包含多种不同的方法。一步法主要集中在太行山南段, 两步法主要分布于太行山中段。形成两种类型的主要原因是各地不同的资源特征, 矿石品位低且还原性好、还原剂含硫量低的地区采用一步法; 矿石品位高且还原性差, 还原剂硫含量高的地方采用两步法。

关键词:坩埚炼铁; 一步法; 两步法

中图分类号: N031

文献标识码: A

文章编号: 1674 - 7062(2017)02 - 0086 - 07

一 研究背景

坩埚炼铁是我国传统冶炼工艺中一项独特的技术。学术界对坩埚炼铁技术的科学考察是从李希霍芬开始的, 1870年他对晋城坩埚炼铁技术进行调查, 较为细致地记录了这种工艺的相关技术^{[1]30-31}。1924年丁格兰著作《中国铁矿志》中汇总了清末民国时期众多国内外学者对坩埚炼铁调查结果^[2]。20世纪50年代, 范百胜实地考察了当时还在生产中的晋城坩埚炼铁法, 介绍了炼铁原料、工艺设备和操作步骤, 并对其物理化学特点做了分析^[3]。1983年韩汝芬、柯俊和张长生通过考察整理了方炉的结构和坩埚炼铁过程的资料, 并首次对坩埚炼铁渣进行了科学分析^[4]。

田野调查之外, 部分学者还做了综合研究。乔志强著《山西制铁史》参考太岳根据地档案对当时晋城地区的冶铁技术、生产组织和规模做了概括和总结^[5]。吴斗庆在《泽潞地区传统冶铁技术初探》中对晋城地区的坩埚炼铁法所用原料进行调查和分析, 并细致梳理、总结了坩埚炼铁法的工艺流程^[6]。

前人的调查主要集中在晋城市, 以至于后来出版的各种冶金(铁)史著作基本上都是引用国内外学者(主要是李希霍芬)对晋城坩埚炼铁法的描述。

实际上, 坩埚炼铁一直是山西传统炼铁的主体技术, 其中以晋城为代表的炼铁法只是坩埚炼铁技术的一个具体类型。为了更加全面地认识坩埚炼铁技术, 本文拟在田野调查的基础上, 发掘新史料, 总结前人研究成果, 整理与该技术相关的文献, 进行综合分析, 归纳出坩埚炼铁技术的主要类型及其在山西的分布情况, 并分析其形成原因。

二 技术类型及分布特征

不同地区的坩埚炼铁法在炉型结构、坩埚形状及鼓风、燃料等方面都有一定的差异, 区分起来比较复杂。以工艺过程为标准, 以生铁冶炼为基础, 可以分为一步法和两步法两种类型。一步法是经一次性冶炼把坩埚内的矿石还原为铁, 而且渣铁分离较好; 两步法是经两次在不同的坩埚内完成矿石的还原, 实现渣铁基本分离。尽管这两种类型可以涵盖山西大部分地区的坩埚炼铁法, 然而实际上每种具体方法中又有炉型、坩埚、鼓风、产品等方面的不同。

(一) 一步法及其分支方法

一步法是用坩埚一次性炼出生铁的工艺概括, 在这种方法之中, 由于炉型和鼓风的不同又可分为两种分支方法。

最具代表性的一步法是在方炉中冶炼, 以风箱

【收稿日期】 2016 - 10 - 09

【作者简介】 刘培峰(1978 -), 男, 山西代县人, 博士, 南京信息工程大学科学技术史研究院讲师, 研究方向为传统工艺;
李延祥(1962 -), 男, 辽宁铁岭人, 北京科技大学科技史与文化遗产研究院教授, 研究方向为科技考古;
潜伟(1972 -), 男, 江西赣州人, 北京科技大学科技史与文化遗产研究院教授, 研究方向为科学技术史。

鼓风。方炉建在平地之上,炉子的大小因技术传统和冶炼规模而不同,左右两边是用砖或粘土砌成的墙,前面和顶上敞开着。后墙连着一个矮小的茅屋,里边放着两个人拉的风箱”^{[1]30-31},炉后底部有鼓风口与小屋里的风箱相通。炉底用碎坩埚片铺成风道,其上再铺一些较大的坩埚片以便透气,上面放一层大块的无烟煤,之上再加一层小块的无烟煤。煤块层上均匀放置6-12堆点着的引火柴。坩埚一般呈圆筒状,大小不一,其中装入按一定比例混合均匀的矿石、黑土。装好的坩埚摆放在煤块层之上,数量因炉的大小而定,从几十到上百个不等。坩埚之间要留有一定的空隙,放入无烟煤块。顶上还要放一层煤块(有些地方还要加一层炉渣)。在装炉的同时把炉前用废坩埚或炉渣堵上。这样装炉就完成了(如图1)。



图1 (晋城)大阳方炉冶炼情形^{[7]854}

冶炼过程中最重要的操作技术就是鼓风,其次是看火色和听声音,这三者相结合形成的操作制度构成了整个冶炼工艺的主要内容。鼓风因地域和时代不同而有所差别,具有代表性的有两种,一种是先鼓风后自燃,另一种正好相反。炼出的铁大多呈饼状沉在坩埚底部,将底部打碎后就可以取出(如图2)。也有部分坩埚因温度和时间不够,渣铁还没有完全分离,需要把坩埚完全打碎,捡拾炉渣中的铁粒。

这种炼铁法在晋东南地区(山西省晋城市和长治市)有着悠久的历史,而且分布范围非常广泛。安泽县、交城县也采用一步法,炉型结构、坩埚形状,鼓风器具等基本相同,较为明显的区别在于炉料,坩埚中只加入矿石和煤末,不加黑土,冶炼方法和晋城一样^{[8]450-462}。

此外,还有一种一步法是在地下槽炉中冶炼,以木扇鼓风。建槽炉先在地下挖坑,中间安炉条,这样就把炉分为上下两部分。炉前端安两个烟囱,上部高出地面,下部通于炉条之上。炉后有孔洞斜向

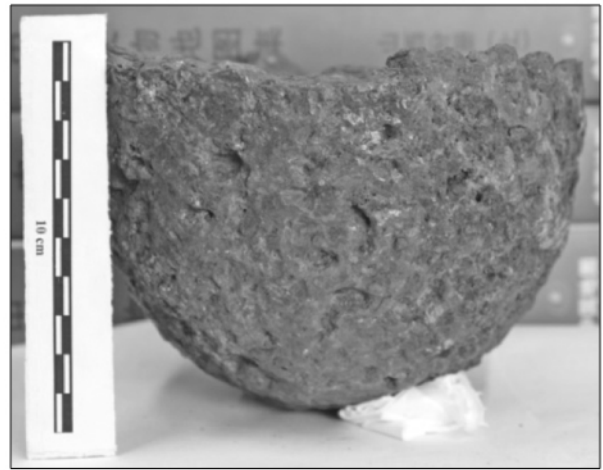


图2 坩埚铁(本样品由阳城许国龙提供)

通于地面,与安置好的木扇相连接。装炉时先在炉条上铺一层引火柴,柴上再放一层煤块,然后将装入矿石和煤末的坩埚放在煤块上。装好后点火冶炼,一昼夜即可炼成^{[8]470}。这种方法流传于以保德为代表的晋北地区。

(二) 两步法及其分支方法

两步法是将矿石还原过程分两次在不同的坩埚和炼炉中完成,两次所用的坩埚、炉子、鼓风方法及冶炼工艺均有一定差别,按照主要的工艺过程可以把两步法再分为“焖铁法”和“焖矿法”两种类型。

焖铁法的第一步是在方炉中进行冶炼。方炉结构非常简单,三面围以砖石砌成的墙,后墙留两孔以便通风,炉前留空,方便装炉时进出。炉底先铺坩埚片做风道,其上依次放置大块炭、小块炭和一层炭末。炭层之上分埋六把火,点燃后开始装坩埚。坩埚较高,其中装矿石与煤末。装坩埚时相互之间留有一定空隙,以小炭块填满。炉内所装坩埚的数量视炉之大小而定,一般装250-300个。坩埚顶部盖坩埚片。炉前下部用坩埚片砌成,与炉内风道,炉后孔洞相连以便通风,炉前上部用废坩埚(或炉渣)堵塞,抹泥封闭^[9]。装好炉之后,炉内燃料自行燃烧一到三天后等炉凉出炉(如图3)。

坩埚取出后,打破其下半部即可得黑色圆柱形海绵铁(阳泉地区称之为“焖铁”,如图4)。

焖铁可以熔炼为生铁直接用于铸造,还可以作为炒炼熟铁的原料。熔炼焖铁的炉与第一步所用的炉大致相同,只是尺寸略小,炉后装有鼓风机。与第一步相比,所用坩埚较小(如图5)。坩埚中放入打碎的焖铁,与第一步一样装入炉中,在坩埚之上覆盖煤末或炭块。炉装好后熔炼约24小时即可。用长铁钳取出坩埚就可以直接铸造各种铁货^{[8]86}。这种两步法主要分布于今阳泉地区。用焖铁炒熟铁则在

阳泉、隰县、宁武县都有。



图3 焖铁炉冶炼中^{[10]23}

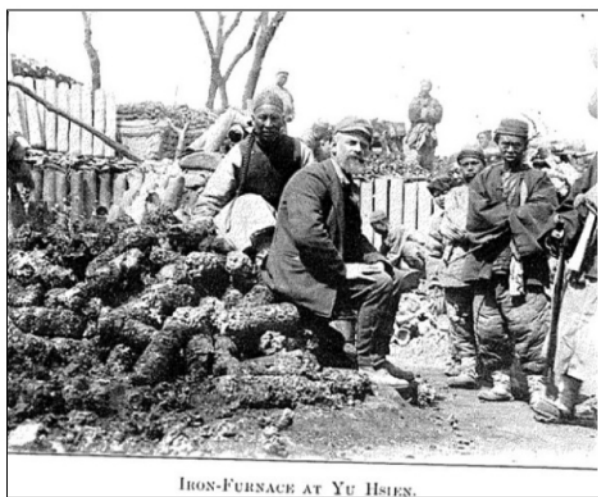


图4 焖铁^{[7]868}



图5 熔炼焖铁炉^{[10]24}

以上的两步法中,主要的还原过程是在第一步中进行的,但是由于温度低,还原不完全,渣铁不分。第二步主要是一个熔化的过程,同时也有部分渣中的铁被还原。

焖矿法不同之处是主要还原过程在第二步完

成,第一步冶炼与“焖铁法”中的第一步类似,焖四五天之后把坩埚从炉中取出,倒出其中的“焖矿”和煤灰,这种焖矿还原程度较低,仍保持着矿石的外形,还需要再次在坩埚中冶炼来得到生铁。这一步所用的坩埚可以多次使用。

冶炼生铁时将焖矿打碎和煤粉装入坩埚内,这种坩埚比第一步的要小。所用的方炉与焖铁炉不同,建在地上或半地上,尺寸比焖炉要小,炉后墙与风箱通过孔洞相连。装炉方法与焖铁炉大体相同,装好之后即开始鼓风,冶炼10个小时左右停风。待炉凉之后用长铁叉夹出坩埚,从下部击碎即可得到圆块状生铁^{[8]463}。在阳泉部分地区可以在炼出铁水之后直接铸造,而在和顺、昔阳、左权等地则是炼出生铁后或者再化为铁水铸造,或者把生铁炒为熟铁。

还有一种比较特别的两步法坩埚炼铁技术,即坑式炉自然风冶炼法。这种方法其实与“焖铁法”的第一步基本相同,都是炼出焖铁,只不过这里用的是坑式炉,炼出的铁不经再次熔炼,直接用来炒熟铁。这种技术主要分布于太原、阳曲等市县。

(三) 两种技术类型的分布特征

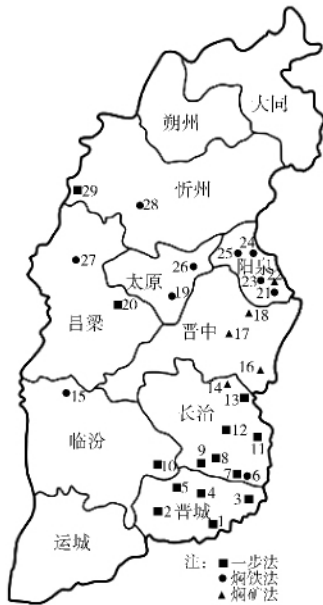
综合国内外专家学者的调查成果,可以把坩埚炼铁法在山西地区的主要分布区域总结如下:

总体来看(如图6),一步法主要分布在晋东南(长治市、晋城市),两步法中的焖铁法主要集中在晋东(阳泉市),焖矿法在晋中较多。从坩埚炼铁在山西省的总体分布来看,这种冶炼工艺集中于山西东部,沿太行山脉展开,其中一步法密布于太行山南段,两步法处于中段,两步法中的焖矿法居中段南部,焖铁法集中于中段北部。当然,这种分布只是各种技术集中分布的概括,并不绝对,在一些地方是几种方法共存的。

三 两种类型形成原因分析

以晋城为代表的一步法和以阳泉为代表的两步法都是坩埚炼铁技术,但具体工艺过程却不同,造成这种区别的原因是多方面的,其中最主要的是原料特征,其次是生产效率和技术传统。篇幅所限,下文仅从原料特征方面展开。

资源是构成生产方式的基础,技术类型与当地资源特征有很大关系,一定区域内的生产者总是采取适用于周围资源的生产方法,在某种程度上,资源决定生产方式。阳泉、晋中和晋城三地同属于沁水煤田,山西式铁矿遍布几个地区,但是,在相同的矿区,由于地质结构和地层变化的不同,造成各地主



1. 晋城市泽州县 2. 晋城市阳城县 3. 晋城市陵川县 4. 晋城市高平县 5. 晋城市沁水县 6. 长治市壶关县 7. 长治市长治县 8. 长治市区 9. 长治市长子县 10. 临汾市安泽县 11. 长治市平顺县 12. 长治市襄垣县 13. 长治市潞城县 14. 长治市武乡县 15. 临汾市隰县 16. 晋中市左权县 17. 晋中市和顺县 18. 晋中市昔阳县 19. 太原市区 20. 吕梁市交城县 21. 阳泉市平定县 22. 阳泉平定县 23. 阳泉市区 24. 阳泉市郊区 25. 阳泉市盂县 26. 太原市阳曲县 27. 吕梁市临县 28. 忻州市静乐县 29. 忻州市保德县。

图6 坩埚炼铁法分布图

要可采层的不同以及具体成分的差异,生产者会根据不同地域的矿产特征对技术做出调适,以更加合理的方式开发、利用资源。

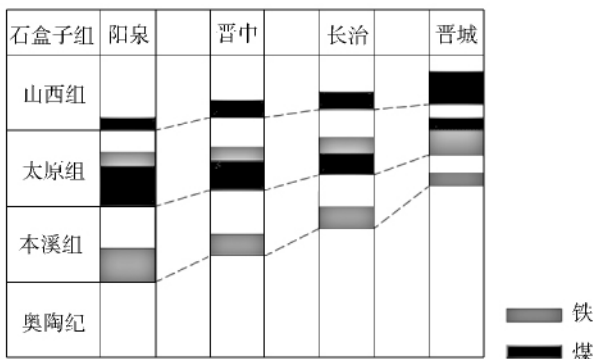


图7 太行山地区主要含矿地层特征

山西所在的华北地区,地层(如图7)由下向上依次可分为奥陶纪、石炭纪和二叠纪,其中石炭纪本溪组(统)、太原组(统)与二叠纪山西组(统)为主要含矿地层^[11]。本溪组在山西东部的阳泉地区厚度约45-55米,而在晋东南地区则分布不稳定,厚度明显降低,晋城部分地区本溪组缺失,太原组直接与奥陶纪侵蚀面接触。太原组在山西东部的阳泉地

区厚度约为80-90米,在晋东南一带该组厚度减至70米之下。山西组在厚度上也不同,在阳泉地区厚约80-90米,在晋城、长治地区厚度有所降低,约50-80米^[12]。

(一) 铁矿石的成分与还原性

铁矿主要含矿地层是石炭纪本溪组,其厚度不定,变化规律是北厚南薄,北部比南部厚且稳定;太原组也成矿,主要是在早期沉积层中夹含零散矿体,南部晋城一带分布较广,含矿性较好,晋城以北则变少,变差^[13]。由于以上原因,晋城地区的铁矿分布并不稳定,可采矿层主要分布于含煤的太原组内。民国时期专家学者的调查报告也验证了这一点。如侯德封发现晋城一带“产铁区多采自煤系上部及中部之砂岩中。砂岩中之矿石为褐铁矿。居民以燧石、结核石、灰岩之上者名为上五层,燧石、结核石、灰岩之下者曰下五层”^{[14]52-53}。步蟾元治在调查过程中发现采矿者仅采上五层之矿石,名曰砂矿^[15]。调查者注意到晋城矿工“在含煤系上部之矿岩内,采结核性之褐铁矿”^{[16]49-50}。

晋中地区和顺、左权、昔阳等县的铁矿采自不同矿层。以和顺为例,产于坩土内的结核形窝子矿叫老矿和小矿,产于砂岩之下的叫排矿,其成分以老矿为最佳,小矿次之,排矿最差^{[8]465-466}。

丁文江调查发现阳泉地区的铁矿“皆在五渡层中”^[17]这里的五渡层即本溪组。王景尊、王日伦通过调查发现阳泉地区铁矿主要产于石炭纪底部的铁矿陶土层(本溪组),该层产量大,含铁量高。在阳泉部分地区的石炭纪上部(太原组)砂岩中不均匀地分布着一薄层铁矿,其成分较劣,产量亦少^[18]。

铁矿石成分是影响冶炼方法的重要因素。由于沉积方式不同,位于较下地层(本溪组)的矿石品位高于较上地层(太原组)的矿石,如上文所述和顺县下层的老矿优于小矿,小矿优于上层的排矿。

民国时期中国学者对三地矿石成分的分析可以验证以上分析。根据王竹泉^[19]、颜沧波^[20]、王景尊^[18]、新常富^{[21]93-97}等人对阳泉、晋城地区铁矿石成分的50个记录进行整理,并取其平均值。阳泉铁矿石的平均含铁量为49.80%,属于富矿,硅含量为6.7%,硫含量为0.22%,磷含量为0.08%,锰含量为0.44%;晋城铁矿石的平均铁含量为45.06%,接近于富矿,硅含量为24.35%,硫含量为0.245%,磷含量为0.29%。阳泉的铁矿石成分与晋城的相比较,铁含量略高,硅含量明显低,硫含量相近,磷含量较低。晋中和顺、左权和昔阳的资料较少,从王竹泉^[22]、新常

富^{[21]99} 调查报告有限数据可知晋中部分地区铁矿石平均含铁量为 44% 结合相关文字记载可知 这里的矿石品位低于阳泉地区 与晋城相近。

从矿石成分来看 品位高、硅含量低的矿石适合于炼制焖铁 因为高品位矿石在低于熔化温度下冶炼时生成的铁量较大 相互凝结成为海绵铁 如果铁含量低 冶炼形成的铁无法凝结 不利于收集。另一方面 矿石中的脉石在低温还原时与已生成的铁相混合 而当温度超过一定值后 坩埚中的氧化亚铁和二氧化硅容易生成铁橄榄石 这种工艺矿的熔点为 1205℃ 左右 不仅难于还原 而且影响坩埚内的透气性 因而在低温还原时脉石越少 生成的铁橄榄石量就越小。所以，“焖铁法”选择品位高、硅含量低的矿石较为合适。阳泉地区的铁矿石符合这种要求。

一步法冶炼温度高 能够实现渣铁分离 所以对矿石的品位和硅含量要求较宽。晋城地区的铁矿石属于这种。

影响冶炼的另一个重要指标是矿石的还原性 还原性对生产速度、效率和能耗都有非常重要的影响。决定矿石还原性的主要因素是矿物种类、气孔率、粒度、脉石成分及其在矿石中的分布情况^[23]。位于较下地层的矿石一般比较坚硬、致密 这种矿石的还原性较差 难于直接冶炼 需要经过一定的前期加工。上文分析可知 阳泉地区的矿石在地层的下部 晋中地区上下都有 晋城地区在上部。所以 阳泉地区的矿石相对还原性差 需要在长时间的焙烧过程中变得酥脆 改善还原性之后炼出海绵铁；晋中地区则把还原性好和差的矿石混合后先在坩埚中经过焙烧再进行熔炼；晋城地区将还原性好的矿石直接进行冶炼。

上述分析在文献记载中得到了验证。壶关县坩埚炼铁炉分为两种 大方炉和小方炉。把经过露天氧化焙烧的矿石与焦煤（风化煤）混和放入坩埚内 在大方炉中炼一日一夜得煤铁。经过加工的煤铁碎块再入坩埚内熔炼 可得生铁。把铁矿石击碎与焦煤混和置坩埚中 放入小方炉内 不及一日即炼出生铁。从以上记载可知大方炉中冶炼采用的是焖铁法 只是前面多加了一道焙烧的工艺 小方炉炼铁采用的是 一步法。之所以用这两种不同的方法是因为“大方炉所用之铁矿成分高 质坚固 系从深处取出。小方炉所用之铁矿成分（含铁量）低 不坚固 系从浅处取出”^[24]。

（二）煤炭的硫含量

与矿石一样 作为还原剂的煤炭也是决定各地

炼铁工艺形成和选择的重要因素。

从几个地方的煤炭储藏来看 阳泉、长治、晋城全部及太原、晋中一部分都属于沁水煤田 煤田中上石炭纪太原组及下二叠纪山西组中夹有重要煤层 为我国最大的煤田之一^[25]。两煤层的硫分分布有以下特点（如图 8）：太原组硫分平均为 2.74% 山西组为 0.61% 前者远高于后者。太原组硫分在北部呈由西向东降低的趋势 在其东北部局部硫分小于 1.0%；中部硫分处于 2.0-3.0% 之间；南部大部分区域大于 3.0%。山西组在沁水煤田中普遍含硫较低 大都属于特低硫煤^{[26]13}。

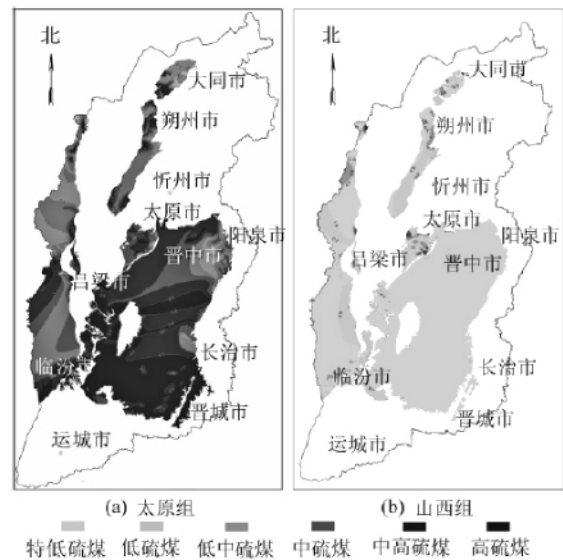


图 8 山西省煤炭硫分分布^{[26]14}

由于各地不同的地质条件 阳泉、晋中和晋城在主要可采层方面有所差别。晋城地区的太原组和山西组都属于主要可采层 如上所述 下层太原组的煤属于高硫、富硫 当地把这种煤称为“臭煤”，一般不用于冶炼；上层山西组的煤则因硫含量特别低而被称之为“香煤”，是自古以来的冶炼用煤。在阳泉和晋中地区 主要可采层位于下层太原组^[27] 硫含量在这两个地区有一个由北向南逐渐升高的趋势。通过以上分析可以发现 这三个地区的可采煤中 晋城煤硫分最低 阳泉次之 晋中最高。

生铁中硫含量主要来自于燃料 为了降低硫含量 提高产品质量 一方面燃料中的硫含量要控制在最低 另一方面要在冶炼过程中脱硫。由于传统坩埚炼铁工艺是不添加助熔剂的 很难通过炉渣来除硫。降低铁中硫含量成为坩埚炼铁技术的一个关键要素 三地采用了不同的方法。

晋城地区主要通过加入风化煤来控制硫含量。暴露于地表或位于地表浅部的煤层在大气中长期受

到阳光、雨雾、冰水等外界因素的作用下,煤逐渐崩解破碎成碎块和细粒,同时也使煤的矿物成分和化学组成发生改变,形成新的煤种——风化煤^[28]。相比原来的普通煤,风化煤水分高,挥发分显著增加,发热量急剧降低,氧含量增高,碳和氢含量降低,氮和硫含量比原来降低很多^[29],而且煤中氧化钙、氧化镁含量的变化幅度大。从现有的分析数据来看,同一区域内,普通煤的碳含量是风化煤的1.5倍,硫含量是风化煤的3.4倍^[30],换言之,相对于碳含量,风化煤中硫含量下降的比例更大。在晋城,风化煤被称为“黑土”,是装在坩埚里的主要炉料之一。以黑土为主要还原剂保证了进入坩埚中的硫含量较低,而且晋城矿石的硫含量普遍较低。除此之外,在十多个小时的加热过程中,煤和矿石中的硫经过分解、反应生成硫蒸气、气态硫氧化物和硫化物上升排出,再者,黑土中钙的增加有助于脱硫,从而提高了所产铁的质量。

晋中地区也有风化煤,但并不普遍,且矿石中硫含量较高,所以采用了一种将矿石和煤中的硫去除的工艺。焖矿法中的第一步包含了长时间的焙烧过程,炉料中的硫与氧在长时间的加热过程中相结合生成二氧化硫,大部分从坩埚顶部排出,由于整个过程中还原出来的铁有限,所以与硫结合生成硫化铁进入铁中的概率并不大。另一方面,在第一步的工艺过程中,矿石的品位提高,并部分还原(间接还原),第二步冶炼时需要的还原剂就少,燃料的需求量也随之降低。

阳泉地区焖铁法的脱硫压力小于晋中,所以在两步法中的第一步不仅长时间焙烧,而且在固态下还原,一方面矿石和煤都经过了焙烧,另一方面还原以间接还原的方式进行,硫较少进入铁中。在第二步加工时不需要还原剂或需要很少的还原剂,硫含量也不会增太高。而且,因为阳泉矿石中硅含量较低,在第二步加工时所产生的渣就少,这样就有冶炼和铸造一次性完成的可能。

四 结论

传统坩埚炼铁技术按工艺过程基本上可以分为一步法和两步法,两种类型之下又可以细分为多种方法。两种类型包含了山西境内主要的传统炼铁工艺,前者以太行山南部的晋城地区为主要分布区,后者则主要集中于太行山中部的阳泉地区和晋中地区。

不同的技术传统是前辈工匠们在长期实践中认识当地的资源特征,合理利用矿产的特性,追求最高

效益的过程中形成的。

【参 考 文 献】

- [1] RIHTHOFEN Von. Baron richthofen's letter [G]. Shanghai: North - China Herald Office, 1900.
- [2] TEGENGREEN F R. The iron ores and iron industry of China [M]. Beijing: Memoir Geol - Surv of China, 1924.
- [3] 范百胜. 山西晋城坩埚炼铁调查报告 [G] // 中国科学院自然科学史研究所技术史研究室. 科技史文集第十三辑. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 143 - 149.
- [4] 谭德睿, 孙淑云. 中国传统工艺全集·金属工艺 [M]. 郑州: 大象出版社, 2007: 61 - 64.
- [5] 乔志强. 山西制铁史 [M]. 太原: 山西人民出版社, 1978: 17 - 21.
- [6] 吴斗庆. 泽潞地区传统冶铁技术初探 [D]. 太原: 山西大学, 2007.
- [7] SHOCHLEY W H. Notes on the coal - and iron - fields of southeastern Shansi, China [J]. Transaction of the American Institute of Mining and Engineers, 1903.
- [8] 耿步蟾. 山西矿务志略 [M]. 太原: 山西省实业厅, 1920.
- [9] 孔令坛. 介绍山西省的两种土法炼铁 [J]. 钢铁, 1957 (6): 85 - 89.
- [10] READ T T. The mineral production and resources of China [J]. Transactions of American Institute of Mining and Metallurgical Engineer, 1912 (3).
- [11] 孙云铸. 建国九年来地层学方面的伟大成就 [J]. 地质评论, 1958 (5): 335 - 338.
- [12] 山西地质矿产局. 山西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989: 147 - 157.
- [13] 陈汉清, 卢维仁. 山西省晋东南北部地区“山西式”铁矿普查找矿工作总结报告: 1977 [A]. 北京: 全国地质资料馆 (56433): 2.
- [14] 侯德封, 韩修德. 晋绥地质图陵川幅说明书: 1937 [A]. 北京: 全国地质资料馆 (1166).
- [15] 步蟾元治. 调查山西晋城高平两县铁矿报告书: 1915 [A]. 北京: 全国地质资料馆 (8329): 6 - 16.
- [16] 王竹泉. 山西平孟潞泽煤铁矿地质: 1917 [A]. 北京: 全国地质资料馆 (978).
- [17] 丁文江. 调查正太铁路附近地质矿务报告书 [M] // 黄汲清, 潘云唐. 丁文江选集. 北京: 北京大学出版社, 1993: 24.
- [18] 王景尊, 王曰伦. 正太铁路线地质矿产 [J]. 地质汇报, 1930, 15: 49 - 92.
- [19] 王竹泉. 山西铁矿补志 [M] // 丁格兰. 中国地矿志. 北京: 农商部地质调查所, 1924: 310.
- [20] 颜沧波. 山西省平定县阳泉附近山西式铁矿床: 1949 [A]. 北京: 全国地质资料馆 (375): 18.
- [21] 新常富. 晋矿 [M]. 赵奇英, 高时臻, 译. 太原: 山西大国民印刷厂, 1913.

- [22] 王竹泉. 中国地质图太原榆林幅说明书: 1926 [A]. 北京: 全国地质资料馆(5139): 119.
- [23] 北京钢铁学院炼铁教研组. 炼铁学(中) [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1960: 149.
- [24] 山西省实业厅. 山西省壶关县、长治县、潞城县、襄垣县、长子县等五县矿产及地质调查报告: 1922 [A]. 北京: 全国地质资料馆(931): 15-16.
- [25] 费岳如. 山西省东南部太原统及山西统的上下界问题 [J]. 地质评论, 1959(9): 402-410.
- [26] 唐跃刚. 山西太原组和山西组煤质特征分析 [J]. 煤炭科学技术, 2013(7).
- [27] 《中国矿床发现史·山西卷》编委会. 中国矿床发现史·山西卷 [M]. 北京: 地质出版社, 1995: 72-176.
- [28] 郭晓峰. 自然界对煤的风化作用 [J]. 腐殖酸, 2003(2): 5-6.
- [29] 郑平. 煤炭腐殖酸的生产和应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1991: 9.
- [30] 赵尹桃, 姚建华. 黑岱沟露天煤矿6号煤层风化煤分布特征及成因探讨 [J]. 露天采矿技术, 2007(3): 32-63.

Types Distribution and Forming Cause of Crucible Smelting

LIU Pei-feng^{1 2}, LI Yan-xiang², QIAN Wei²

(1. *Research Institute of History for Science and Technology*,

Nanjing University of Information Science & Technology Nanjing 210044, China;

2. *Institute of Cultural Heritage and History of Science and Technology*,

University of Science and Technology Beijing Beijing 100083, China)

Abstract: Literature, surveys and interviews show that crucible smelting can be divided into two types: one-step and two-step smeltings. The former is by smelting the ore in the crucible of the reduction of iron and iron slag is separated better. The latter is the reduction of the ore in different crucibles, in which iron and slag are separated basically. The first method is mainly carried out in the southern section of the Taihang Mountains, and the second in the central section of the mountains. The two different methods are used mainly because of the different resource characteristics and the traditional technology in different regions. In the region with low iron content and low sulfur content, the first method is used and in the area with high-grade ore whose quality is poor, and whose sulfur content is high, the second is used.

Key words: crucible iron smelting; one-step smelting; two-step smelting

(责任编辑 魏屹东)