

京图书馆藏

30066

中文资料
内部资料

炼铁研究

1978

113157

LIANTIEYANJIU

3

首钢炼铁厂

113157

TFE

b751/17

目 录

1. 中国古代高炉的起源和演变	刘云彩	(1)
2. 热风炉陶瓷燃烧器的研究和应用	黄晋 马松令 张伯鹏	(16)
3. 四高炉高产稳产操作经验	师守纯 陈欣田	(32)
4. 用“压量指数”判断高炉顺行	自动化工段数模组	(43)
5. 三、四号高炉破损调查	陈欣田 杨立宗 董福洋 马振德	(62)
6. 机械化换风口机	北京钢铁设计院 首钢炼铁厂	(83)
7. 用等离子喷涂法改进高炉直吹管的耐热及抗氧化性能	机械厂 炼铁厂	(87)
8. 高炉炉前厚壁冷却渣沟使用经验	刘万元	(94)



A794550

中国古代高炉的起源和演变

刘云彩

中国是古老国家，是世界文明发达最早的国家之一。她的无数创造，大大地丰富了人类的物质生活，中国高炉的出现，是对人类物质生活的重要贡献。

大约五十万年前，北京猿人已经掌握了火的使用。“因为用火烧土，发明了烧制陶器的方法；因为用火烧制陶器，又发明了冶铜术和冶铁术；”〔1〕

大约四万年前，山顶洞人已经用赤铁矿作颜料和装饰品〔2〕。赤铁矿是最易还原的铁矿，把它从大自然中单独分离出来，充实人类生活，对冶铁术的发明，有重要意义。

六千年前西安半坡遗址出土的陶窑，说明我国已经熟练地掌握了火地应用〔3〕。商代硬陶的烧成温度，已有 1180°C 〔4〕，这种高温为金属冶炼创造了良好条件；而商代晚期炼铜技术的进步，对高炉出现更有决定性的作用。

一、高炉起源于炼铜炉

中国早期炼铜的原料是氧化矿，其中包括孔雀石〔5〕。我国早期使用的氧化铜矿，多与铁矿共生，已经发掘的殷商和春秋时期的冶铜遗址中，均有铜矿与赤铁矿放在一起，铜渣中的氧化铁也很高，有的达到40%左右〔5〕〔6〕。这些遗物证实，在炼铜过程中，铁矿石曾经被带到炉内。战国时期的文献《山海经》，对铜矿与铁矿伴生曾有多次记载：白马山“其阴多铁、多赤铜”；丙山“多金、铜、铁”〔7〕。这种伴生现象，可能是炼铜炉最早使用含铜铁矿的原因。

炼铜炉在初始阶段，温度较低，原料中的铁还不能大量地还原出来，但随着炼铜炉的加高、加大，炉料经过充分予热，炉温逐渐提高，从铜铁相图分析，纯铜的熔点是 1083°C ，随着铜中的含铁升高，熔点逐渐升高，炼铜炉必须控制温度在 1200°C 以下，以保证得到较纯的铜。从我国对火的使用水平，特别是从陶窑的水平分析，大约在西周的末年或东周初年，炼炉温度已经能达到

1200°C 以上，使炼铜炉炼出生铁成为可能；而我国炼铜原料中确有易还原的赤铁矿并存，就使这种可能变成现实。在铜绿山遗址附近，曾出土含铁5.44%的铜锭〔6〕，虽然

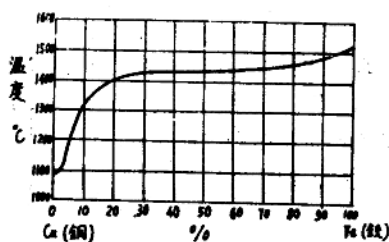


图1 铜铁合金相图〔8〕

它本身的年代可能较晚，作为反推过去的状况，还可作为参考。铜中含铁5.44%，在平衡状态已超过1200℃，由于铜水过热和渣的熔化，实际炉温至少1300℃以上，这种温度炼出生铁是毫无疑问的。

这样的技术推论，从文献和古物两方面可以得到印证。

《国语·齐语》曾记载管仲向齐桓公（公元前685—643年）建议的一段话：“美金以铸剑戟，试诸狗马；恶金以铸钼夷斤斲，试诸壤土”恶金就是生铁，把生铁叫恶金，说明其不足珍贵；且用作生产工具，显然不是高炉初期水平所能达到的。

公元前580年前后铸造的“齐侯钟”铭文上，有“造莪徒四千”一段文字，郭沫若指出“莪”是铁字的古写〔9〕，这一推测是有道理的，“莪”字从“土”从“戈”：从“土”，因可做农具破土；从“戈”，因可做武器作战。在古金属中，兼有这两种功能的只有青铜和铁，“铜”当时已有固定字义，“莪”字只能是铁，虽然还不能证明是什么铁。成书于战国中期的《左传》曾记载公元前513年晋国铸铁的事件：“晋赵鞅、荀寅帅师，城汝滨，遂赋晋国一鼓铁，以铸刑鼎，著范宣子所为刑书焉。”对这条文献，有人提出怀疑，认为“一鼓铁”语意不通，我认为“一鼓”是计量单位，可能指一座高炉在一代寿命中所炼出的铁量。古代高炉不大，寿命较短，从点火开炉到炉破停止鼓风，炼出的铁量大体一定。所以用“一鼓”、“两鼓”作为计铁单位，是比较简练的说法。六合程桥一号墓出土的春秋末年的铁球〔10〕，是铸件〔11〕，时间和《左传》记载相符，说明公元前六世纪确有高炉，虽然铁球造形简单，还不能作为铸刑鼎的证明。侯马西北庄出土的铁犁铧说明春秋末期的铁铸件已用于农业生产〔12〕，只有高炉产品数量和质量均有相当水平，才会有铁农具出现，决不是高炉初期所能达到的。综上分析，推测高炉发生于春秋初期或更早，是有可能的。早期的铸铁实物，今后有可能出土。

依古代传说写成的《吴越春秋》和《越绝书》，虽然成书较晚，但干将、莫耶的字句，在成书于战国时代的《庄子》〔13〕、《韩非子》〔14〕和《荀子》〔15〕等均已出现过，说明这些故事的由来已久。这些传说有两点值得注意：

1. 欧冶子、干将同师学冶，既会炼铜，又会炼铁，炼铜以铸铜剑，炼铁以铸铁剑。
2. “昔吾师作冶金铁之类不销”，“使童女童男三百人鼓橐装炭，金、铁乃濡，遂以成剑”。说明炉子既可炼铜，又可炼铁〔16〕〔17〕。大约在二书成书的汉代，炼铜炉和炼铁炉还有很多相似之处，以至当时的文人，能这样生动的把炼铁、炼铜从冶炼工匠到冶炼炉，都作统一的描写。这些传说也深刻地反映了高炉起源于炼铜炉。

二、战国到西汉，高炉容积扩大期

春秋战国之际，正是我国由奴隶社会向封建社会过渡时期，新兴地主阶级以土地私有和耕战为中心的富国强兵政策，需要大量铜铁，因此，对冶炼生产十分重视，《管

子》有“官山海”、“今铁官之数”等记载〔18〕。秦统一后亦设铁官，著名历史学家司马迁的祖先就当过铁官〔19〕，公元前119年汉王朝颁布盐铁官营的法令，全国设铁官46处〔20〕，管理全国冶铁生产。政府认为“盐铁、均输，万民所戴仰而取给者”〔21〕。因此，在封建社会上升时期，冶铁官营“财用饶、器用备”〔21〕，所以高炉出现不久，就得到较快的发展。公元前81年曾为盐铁政策开过一次辩论会，《盐铁论》就是根据会议结果于公元前一世纪“推行”而成的。

春秋时期的高炉较小，产量较低，消耗很大，这点可以从“一鼓铁”的量中作出大致的推测：按吴承洛研究，“一鼓”重16钧，周朝一斤相当0.4577市斤〔22〕，依此折合一鼓铁是110公斤，大致可以衡量当时的冶铁水平。

战国时期高炉继续发展，承德出土的战国中期的铁范，水平很高〔23〕。湖南出土的战国铁铲，“铲的厚度仅1—2毫米左右，外形细致端正，壁薄，显示了战国铸铁技术已达很高水平。”〔24〕这么薄的铸件，说明铁水的温度充足。比较战国和西汉铁水含Si量，可以看出战国和汉朝较接近，说明战国时期高炉水平也已经很高。高炉炉温对生铁成分有重要影响，炉温高，铁中含硅量也高，图2是我国古代生铁含硅量的变化。

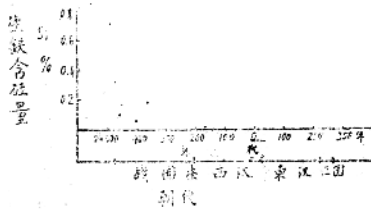


图2 古代生铁含硅量变化〔6〕〔25〕〔26〕

世界上最早关于高炉事故的记载是《汉书》：“河平二年（公元前27年）正月，沛郡铁官铸铁，铁不下，隆隆如雷声，又如鼓音，二十三人惊走。音止，还视地，地陷数尺，炉分十，一炉中销铁散如流星，皆上去，与征和二年（公元前91年）同象”〔20〕。“只有高炉

相当高，悬料（“料难下”）很久，高炉下部很长一段炉料已经烧空、熔化，炉缸堆积了很多铁水，当上部炉料突然下落时，因炉缸承受的压力过大，才会将炉子破坏”〔27〕。

公元490年发现的公元前二世纪的炼铜炉“高一丈，广一丈五尺”〔28〕，说明当时的炼铜炉高三公尺，直径约1.3公尺*。已经发掘的高炉遗址表明，到西汉时期，重要的冶铁基地，高炉已经很大，巩县铁生沟的高炉，内径1.5公尺〔38〕，河南夏店遗址的汉代高炉，直径约2公尺〔29〕，承德的汉代高炉，直径约三公尺〔30〕，说明自战国到西汉这五百年间，高炉向大型化发展，达到了当时送风机械所能容许的最高水平。

* 按吴承洛《中国度量衡史》〔22〕，南北朝时期每尺合今市尺0.8853，以此折算高一丈，约三公尺，炉直径 $d = \sqrt{\frac{15}{0.785}} = 4.37$ 尺，相当 $0.8853 \times 4.37 = 3.87$ 尺，约合 $3.87 \div 3 = 1.29 \approx 1.3$ 公尺。

这期间高炉的鼓风设备是橐。写于公元前四世纪的《墨子》有“橐以牛皮”的记载〔31〕，说明战国时期的橐是牛皮做的，能经受较大的压力。汉时著作《淮南子》有：“故罢马之死也，剥之若橐。”〔32〕说明鼓风用的橐像剥下来的马皮。较完整的形象是汉画像石〔33〕，王振铎依汉画像石复原，使我们了解了橐的全貌〔34〕。我们依据汉画像石推算，汉代的橐容积约0.23立方公尺，每分钟往复20次，扣除漏风等影响，风量约2立方公尺〔26〕。《吴越春秋》有：“使童女童男三百人鼓橐装炭”，反映了汉代高炉鼓风的规模。



图3
汉画像石中的橐

随着炉子的扩大、加高，用橐鼓风，风力显得不足，直径三公尺以上的高炉，风量已经吹不到中心。高炉中心的炉料不能熔化，高炉不能正常生产，大约在西汉中期，经过多年实践证明，三公尺以上的大高炉并不能多出铁，多次拆修高炉，使人们发现中心炉料未能充分利用，造成原因显然是鼓风量吹不到高炉中心引起的，汉代漆器盛行，器形有圆的和椭圆的，同样面积，椭圆两侧距中心，比圆形近的多。工匠们经过长期观察，并受椭圆器物的启发，创造了椭圆高炉，从而克服了风量吹不到中心的困难。

鹤壁发现的汉代冶铁遗址中，有十三座椭圆高炉，炉体宽2.2—2.4公尺，长2.4—3公尺，最大的一座炉缸面积5.72平方公尺，其中一座残高尚有2.99公尺〔35〕，完整时一定更高。利国驿发掘的东汉时期高炉也是椭圆的。〔36〕

高炉断面由圆发展到椭圆，在鼓风机机械能力很弱的古代，是扩大高炉容积一个途径。我国两千年前的做法，在国外，也有类似的探索。1850年美国建成两座椭圆高炉，同一年英国也建成了一座。而后不久，在当时的主要产铁国家瑞典和俄国，也相继建成了椭圆高炉。虽然这些高炉出现于十九世纪中叶，在我国之后一千八百多年，在当时的欧洲，仍被当成新创造，取得了较好的成绩〔37〕。

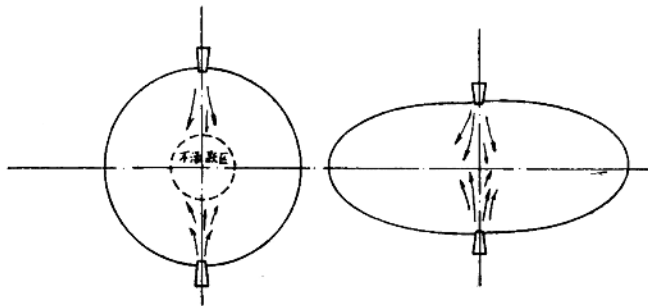


图4 圆形与椭圆形高炉的比较

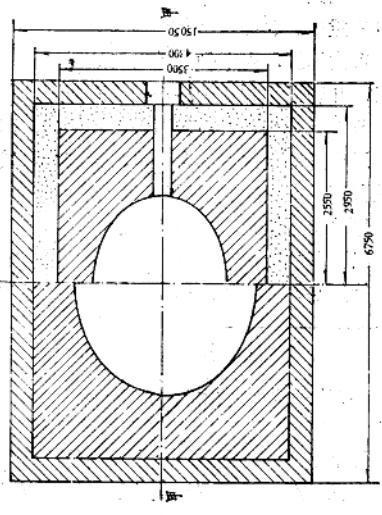
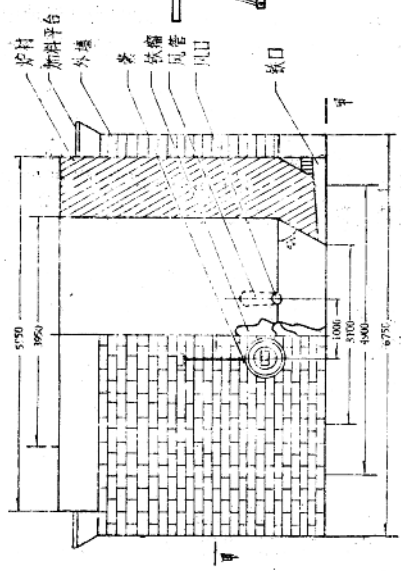
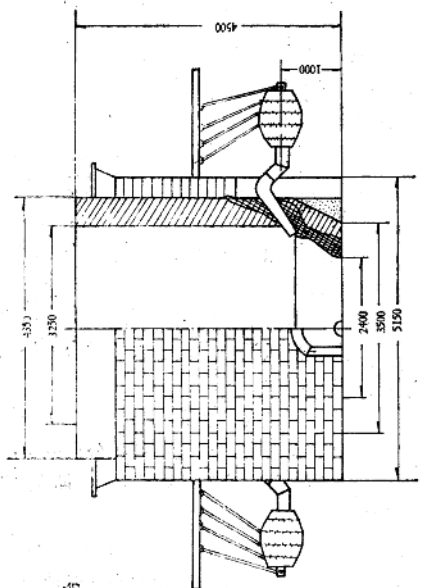


图5 古荣高炉复原图

古莱镇遗址的汉代高炉，经复原，具体尺寸如图5〔26〕。古莱高炉，体现了汉代冶铁技术的新水平：

1. 它是椭圆形的，说明炉缸工作与送风机械的关系已被人们认识。

2. 炉子下部炉墙向外倾斜，与水平成 62° 角（在冶金上叫炉腹角）。如果是直壁炉墙，风量大部分沿墙壁上升，这里阻力最小，又是直路，煤气（鼓进炉内的风与碳燃烧

生成气体叫煤气）顺炉墙经过最多，中心部分不能很好的和煤气起作用，浪费了煤气，多耗燃料。炉墙外倾后，边缘炉料和煤气接触较充分，能节省燃料。

高炉下部炉墙外倾是高炉发展史上一个跃进，反映了人们对冶金炉认识的深化。

随着高炉加高，煤气穿过高炉的阻力也增加，高度增到四公尺以上，

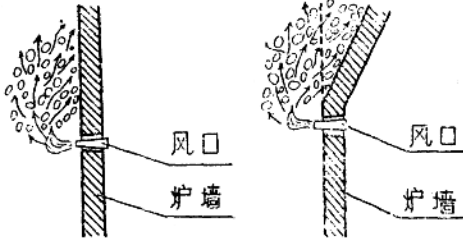


图6 炉墙外倾对煤气分布的影响

用橐鼓风已相当困难，这个矛盾的出现，严重阻碍高炉发展。冶铁工匠经过长期的实践，发现炉料粒度整齐能减少煤气阻力，炉料整粒工作随着高炉的加高、扩大而发展起来。在巩县铁生沟遗址中，还保留着经过破碎筛分后粒度整齐的块矿和筛除的粉末〔38〕。整粒技术在我国冶金发展中作为成功的经验保留下来，在宋、元的冶铁遗址中，还能见到大量筛除的粉末存在〔39〕。二十世纪50年代，整粒技术在国外得到发展，曾引起世界重视。〔40〕

古代炼铁，由于炉渣中的二氧化硅过高，渣子较粘，给高炉操作带来困难，至迟到西汉，我国已发明在炉料中配入石灰石，使渣中的二氧化硅和氧化钙结合，降低炉渣熔点，改善高炉操作。石灰石起助熔作用，因之叫熔剂。使用熔剂，不仅能降低炉渣熔点，还能降低生铁中的含硫量，改善生铁质量。巩县铁生沟遗址中保留有石灰石，炼出的铁和钢，硫量确实很低〔38〕。

炼铁使用熔剂，是冶金史上的重大发明，为高炉进一步发展，奠定了技术基础。

汉代高炉生产水平很高，古莱一座容积约44立方公尺的高炉，日产生铁约500公斤。据严格的物平衡推算，具体生产指标如下〔26〕：

炉料名称	木炭	矿石	石灰石
每炼一吨铁需要量，公斤	7850	1995	160

二千年前，这座世界最大的高炉，取得的技术指标也是很先进的。

西汉时期，重要冶铁基地的高炉，容积较大，但春秋以来的小型高炉依然继续存在，曾在鲁山发掘一座汉代高炉，炉缸内径只有0.87公尺〔41〕。

三、东汉到宋元，新技术创造期

高炉容积扩大，特别是椭圆高炉出现后，风口增加了，送风的囊也相应增加，人力需要极多。以古荣44立方公尺高炉为例，有四个囊，需要12个人同时操作，如果半数轮换，就要18个人，一天两班，鼓风一项，就需要36名工人。鼓风大量占用工人，迫切要求新的动力出现，公元31年南阳太守杜诗集中劳动人民创造，发明了水排，“铸为农器，用力少，见功多，百姓便之”〔42〕。经过二百年，三国时韩暨进一步改良推广：“暨乃因长流水为水排，计其利益，三倍于前”〔43〕。水力鼓风的发展，大量节省人力，对冶金工业发展，作用十分巨大。

魏晋、南北朝，水力鼓风继续使用〔44〕〔45〕。宋朝继续应用〔46〕，到元朝，水力鼓风已经少见，所以王祯说水力鼓风“…去古已远，久失其制度，今特多方搜访，列为图谱，庶冶炼者得之，不惟国用充足，又使民铸多便，诚济世之秘术。幸能者述焉”。〔47〕从王祯的图可以证明，他本人并未见到水力鼓风设施实物，所以画的图有点毛病。

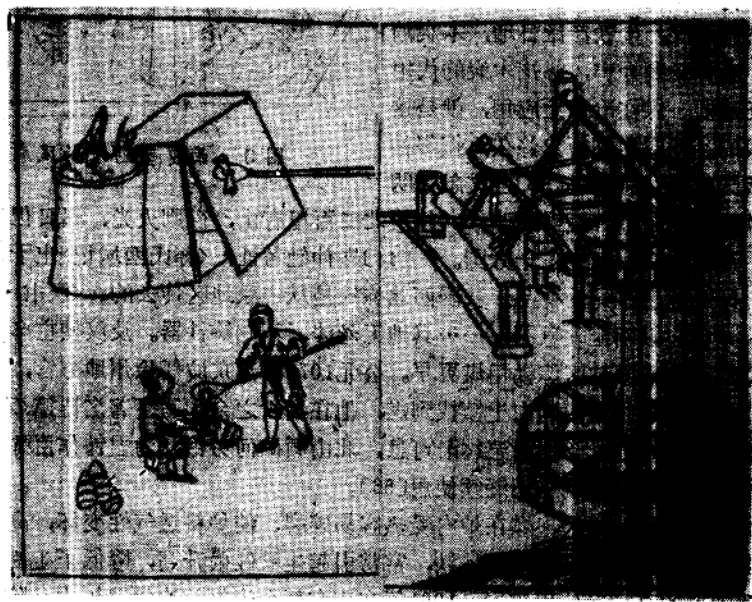


图7 王祯《农书》中的水排

宋朝，结构较坚固的木风扇已经发明〔48〕，风扇由木箱和木扇组成，刚性较皮囊好的多，操作即方便，风压也较大。曾公亮的原图和杨宽的说明图〔49〕均未画出风箱和木扇之间的折叠皮盒，没有皮盒，木扇开阖鼓出的风量减小。

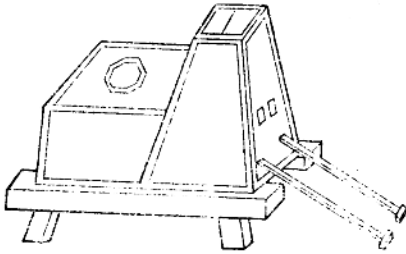


图8 王禎风扇

风扇操作方便，漏风减少，很快代替了橐。因为送风人力减少，运输炉料消耗的人力上升为主要矛盾，因此到宋朝，高炉近矿出和燃料基地的更多，在河边的铁冶渐少，由是水力鼓风日渐衰落。

轻便的风扇，一个人操作两个(图9)〔50〕，较大的风扇2—3个人操作一个。宋元时期，风扇流行较广，清初尚有应用〔51〕。

高炉水力鼓风，在欧洲兴起较晚，最早一批水力鼓风的高炉是十六世纪出现的，水力鼓风给高炉带来的巨大发展，也是非常明显的〔52〕

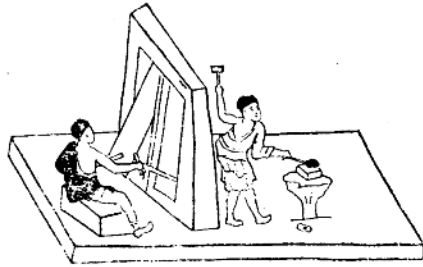


图9 西夏壁画中的风扇

从战国到西汉，生铁产量日增，木炭消耗量太大，森林受到损害，寻找木炭的代用品成为迫切需要。煤在冶铁上应用，就是这种背景促成的。我国用煤历史悠久，据岑仲勉考证，战国时期已经用煤〔53〕，文献上明确记载炼铁用煤的是〈释氏西域记〉：

“屈茨北二百里山，夜则火光，昼日但烟，人取此山石炭，冶此山铁，恒充三十六国。”〔44〕岑仲勉考证，〈释氏西域记〉出于晋朝道安之手〔54〕，即公元四世纪的作品。我国西北炼铁是从中原地区传去的，〈汉书·西域传〉明确记载：“自宛以西至安息国，……其地无丝漆，不知铸铁器。及汉使亡卒降，教铸作它兵器。”可知中原地区炼铁用煤更早。公元1078年苏东坡任徐州地方官，派人四出找煤炼铁，终于在徐州西南的白土镇找到煤，他在高兴之余，写下著名诗篇〈石炭〉，热情歌颂用煤炼铁的好处：“南山栗林渐可息，北山顽矿何劳锻。为君铸作百炼刀，要斩长鲸为万段。”〔55〕到明朝煤还继续使用〔56〕。

用煤炼铁，局限性很大，煤在炉内受热容易碎裂，使炉料透气性变坏，高炉不易顺利生产；煤中含硫一般较高，用煤炼铁，常常引起生铁硫磺升高，降低了生铁质量。南宋末年，我国有的高炉已使用焦炭。1961年在广东新会发掘的冶铁遗址中，除有炉渣、石灰石、矿石外，还有焦炭出土，这是1270年前后的炼铁遗址〔57〕，是世界上最早发现的焦炭。

焦炭在我国最早出现，决不是偶然的，早在晋朝，我国就有将煤破碎成粉末人工成

型的记载，晋人裴启写的《语林》曾有一段记述：“洛下少林木，炭止如粟状，羊豸骄豪，乃捧小炭为屑，以物和之作兽形，后何召之徒共集，乃以温酒，火蒸即猛，兽皆开口向人，赫然。然诸豪相矜，皆服而效之”。〔58〕这种煤粉成型受热的过程，已完成焦炭生产的大部分工序，只要把这种成型的煤块放到密闭的地方加热，就有可能炼出焦炭。

明朝，焦炭炼铁已较普遍，成书于1650年前后的《物理小识》曾叙述了炼焦及用焦炭炼铁的过程：“煤则各处产之，臭者烧熔而闭之成石，再凿而入炉曰礁，可五日不绝火，煎矿煮石，殊为省力。”〔59〕出版于1665年的《颜山杂记》也有焦炭和用焦冶炼的论述〔60〕，是书作者孙廷铨曾于康熙二年(1663年)亲自请山西冶铁工匠到青州用焦炭炼铁〔61〕。

焦炭的发明，对世界冶金工业的发展，作出了重要贡献，我国从煤炭加工成型到发明焦炭，经历了大约八百年的孕育过程，可以看出这一伟大发明经历了漫长的实践和艰苦的探索。

一千多年后，西方重新走上了中国早已走过的道路。十六世纪英国用木炭炼铁，到十七世纪，全国森林受到严重破坏，英国女王不得不下令，限制砍伐森林烧炭，1619年多德在他父亲经营的炼铁厂里首次用煤，他在后来出版的《Metallum Marti.》中写道：“我遇到的最大困难是木炭奇缺，而周围充足的煤，鼓励我尝试新的发明——用煤炼铁”。〔62〕

又过了100多年(1735年)杰尔比把焦炭用在英国的高炉上〔62〕。

春秋以后，高炉上部形状的变化，还缺少完整的资料，一般保留下来的古代高炉，上部多半毁坏，究竟何时高炉上部的炉墙开始内倾，即由直筒状变成坛子状，现在尚不清楚。至迟到宋朝，高炉内型(炉墙里边的形状，叫内型)已发展到具有现代高炉基本特征的样子，现代高炉好像一个大腰鼓，两头细，中间粗。河北省矿山村发现的宋代高炉，“现仅存半壁，高约六公尺。炉的外形很像现在的土高炉，成园锥形，炉底周园小于炉腹，从炉腹至炉顶逐渐缩小。”〔63〕以照片测量各部比例和尺寸，并参考北方土高炉，绘出复原图如下*。

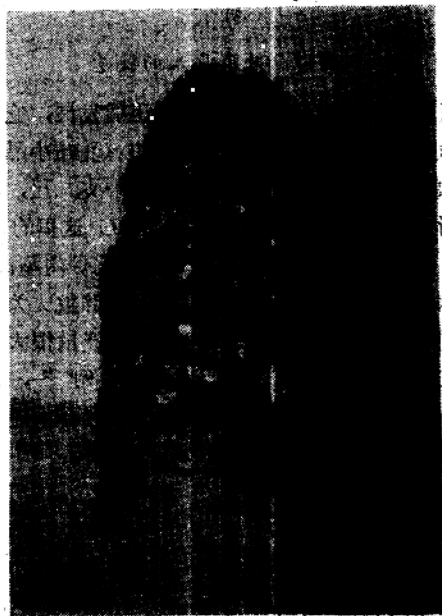


图10 矿山村宋代高炉

高炉上部叫炉身，炉身炉墙与水平面形成的夹角叫炉身角。现代高炉的炉身角一般在 $80-86^{\circ}$ 之间。高炉炉身内倾的意义和

。照片是中国历史博物馆的展品，是“中国冶金史编写组”供给的。

炉腹外倾的意义相近，一方面煤气分布趋向均匀，炉料和煤气充分接触，改善矿石的还原和换热过程，节省燃料消耗；同时减少下降的炉料对炉墙的摩擦，有利于炉料顺利下降，并延长了炉墙寿命。所以炉身内倾是高炉发展史上又一次飞跃，是技术上的重要创造。这一创造，以目前掌握的材料分析，至迟完成于十一世纪〔63〕〔64〕〔65〕。

中国炼铁生产，到明朝发展加快，从政府收入的铁量（不是全国产量）可以明显的看出来〔49〕。

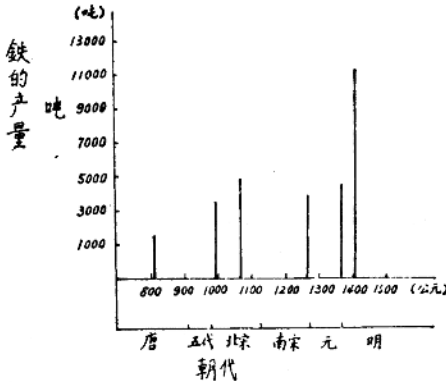


图11 政府收入的铁量

从汉到宋，由于鼓风设施的限制，高炉内径很难超过三公尺，炉子扩大的趋势在东汉以后已经停止下来。随着炼铁生产的发展，更多的小型高炉相继建立起来。小型高炉随着技术上的不断改进，到明朝产生质的变化，高炉向小型化发展。

汉朝鲁山的小炉内径只有0.87公尺〔41〕，唐宋时期繁昌的高炉，直径约1.15公尺〔66〕。阿城冶铁遗址的高炉，炉缸内径约0.9公尺〔67〕，大约是十三世纪的〔68〕。到明朝，由于木

风箱的出现〔56〕，小高炉得到迅猛发展，它的优越性，很快显示出来。大高炉，在极短时间内消失。作于1622年前后的《涌幢小品》详细描述了明政府的重要冶铁基地——遵化高炉的构造：“遵化铁炉，深一丈二尺，广前二尺五寸，后二尺七寸，左右各一尺六寸，前辟数丈为出铁所。”〔69〕这里的“深”，是指从高炉炉底到炉喉的高度，明尺一尺相当现在0.933尺〔22〕，此炉内型高度（高炉炉墙里面的形状，叫内型）合： $12 \times 0.933 + 3 = 3.73$ 公尺。”前辟数丈为出铁所的“前”，是指高炉前面的出铁场，炉前出铁场有好几丈长，可见高炉产量很大。“广”是指面积而言，《南齐书刘俊传》〔28〕所谈炼铜炉“广一丈五尺”的“广”，是指面积，《广东新语》记述高炉“口广丈许”的“广”，也是指面积〔51〕。接合上述分析，“前广二尺五寸”是说明出铁口面积2.5平方尺，由计算出铁口的砌砖直径：

$$\text{铁口的砌砖直径} = \sqrt{\frac{2.5}{0.785} \times 0.933 + 3} = 0.55 \text{公尺}$$

“后”是指渣口，“左右”指风口，按铁口的算法，得出渣口的砌砖直径0.57公尺，风口的砌砖直径0.44公尺。成书于1690年前后的《广东新语》，对高炉的描述反映了另一种类型：“炉之状如瓶，其口上出，口广丈许，底厚（周）三丈五尺，崇半之。身厚二尺有奇。”〔51〕按上述方法推算，炉缸（高炉下部叫炉缸）内径2.1公尺，炉喉（高炉上口）内径1.2公尺，高5.6公尺，其形状和解放前云南流行的大炉相似〔70〕。

风箱是从风扇演变过来的，风扇推压，将风送到炉内，拉开时无风，所以用风扇多

半成对，“一开一阖”，保证风量不断的流入。风箱双向进风，往返都有风量产生，风量的稳定性提高了；风箱全是木结构，刚性强，产生的风压很大，可到300mm水柱〔71〕，为高炉加高创造了条件。由于风压较高，炉料粒度可以小一些，粉末也无需筛除干净。风压升高，风向炉内穿透更深，炉缸活跃，炉缸温度因之升高，能炼出含硅较高的灰口铁，铸件可以更薄。木结构风箱：只有活塞在木箱中作往复运动，它较风扇或囊的运动部件少得多，能够做的严密、坚固，漏风较少，效率提高。这种高效率的风箱，使高炉产量成倍增长，一个较小的高炉，不仅超过大炉的产量，而且炉缸缩小后一扫大炉缸难以操作的弱点，高炉中心活跃，容易顺行，操作更有把握。

高炉的原料准备，我国历来重视，汉代要求整粒，矿石破碎筛分相当吃力，人们在实践中发现，矿石经过火烧，易于破碎，可能由此发明焙烧。中国古代开矿，有“火攻”方法，在矿体上加火，使矿体破裂，这可能导致焙烧矿石技术的广泛使用。1570年前后写成的《徽州府志》有焙烧矿石的记载：“即得矿石，必先烹



12 宋应星《天工开物》炼铁图中的风箱

炼，然后入炉。”〔72〕这里明确的指出，矿石入炉前，先经焙烧，显然这时焙烧矿石，完全为了改善矿石的冶炼性能，成为冶炼前的一道工序。

明朝在提高冶炼水平上作了许多有意义的工作。水洗矿石选矿的广泛使用，是原料加工上的重要成就。

高炉第二种熔剂萤石，明朝已经使用。《涌幢小品》中详细的论述了萤石所起的作用：“遵化铁炉，……俱以石砌，以筒千石为门，牛头石为心，黑沙为本，石子为佐，时时曦下。

“妙在石子产于水门口，色间红白，略似桃花，大者如斛，小者如拳，捣而碎之，以投入火，则化而为水。

“石心若燥，沙不能下，以此救之，则其沙始销成铁，不然则心病而不销也，如人心火大盛，用良剂救之，则脾胃和而饮食进，造化之妙如此。”

〔69〕这些文字，写的十分生动、深刻，有述有论，恰到好处。首先讲炼铁炉构造，用石



图13 宋应星《天工开物》中的洗矿图

砌成，经常用的矿石是小块的磁铁矿（“黑沙为本”）萤石是辅助料，不常用（“石子为佐”）。第二段描写萤石的形状、特征和冶炼性能，指出萤石熔点很低，放到炉子里易化成水。第三段说明萤石的作用，只有炉子不平时（“沙不能下”），才加萤石，指出在甚么情况下使用萤石，接着论述了萤石的作用原理并作了恰当的比喻。没有丰富的高炉冶炼经验，对冶炼过程没有深刻的理解，写不出这么高的科学水平。这段文字可能出自明朝冶金学家傅浚之手。

“傅浚，南安人。字汝原。弘治进士，官至工部郎中。正德中督遵化铁厂，有《铁冶志》。”〔73〕

遵化铁厂是明政府的主要冶铁基地，明王朝军器需要的铁，完全取自该厂：“正统初，谕工部，军器之铁止取于遵化收买。后复命虞衡司官主之。”〔74〕《明史》提到工部虞衡司的职责：“虞衡典山泽采捕、陶冶之事。”〔75〕可见明朝的工部郎中，相当于现在冶金部主管矿冶方面的司长。傅浚是工部侍郎，在正德年间（公元1506—1521年）亲自主持“遵化铁厂”，取得了丰富的实际经验，他深入地总结遵化铁厂的经验，写成世界上第一部炼铁专著《铁冶志》。《铁冶志》共两卷〔75〕，明末清初尚十分流行，明、清关于冶铁的详细论述，可能多抄录于《铁冶志》，《涌幢小品》和《春明梦余录》



图14 傅浚画像

关于遵化铁厂的论述完全相同〔69〕〔76〕，可能是抄自《铁冶志》的原因。朱国祯和孙承泽都是官僚，对冶铁生产一窍不通，他们不可能对炼铁生产写得那么准确、深刻，他们必是抄自专著，否则两个人的记录不可能一字不差，而当时流行的《铁冶志》，又是以遵化铁厂经验为主写成的专著，外行著书论铁，《铁冶志》成为他们摘录的对象，是十分自然的。

十七世纪，佛山地区高炉生产有较详细的记载：“铁矿即溶，液流至于方池，凝铁一版，取之以木棍搅炉，铁水注倾，复成一版，凡十二版，一时须出一版，重可十钧。一时而出二版，是曰双钧，则炉太旺，炉将伤。”〔51〕按上面记录依〔22〕数据计算，日产12版，折合2150公斤，双倍是4300公斤。可以看出，高炉容积虽较汉代古荣小2.4倍，产量较汉代高3—

8倍，由此可知，从汉到清初，高炉产量提高9—18倍。

结 语

中国古代在炼铁技术上创造甚多，对人类作出了重要贡献，这些贡献主要是：

约公元前八世纪或更早	出现世界上第一批高炉。
公元前三至一世纪	发明石灰石作高炉熔剂。 炉料破碎筛分，整粒入炉。 出现第一批椭圆高炉，炉腹角约62°。 大的高炉，有四个风口送风。
公元31年	水力鼓风成功。
至迟公元四世纪	高炉广泛用煤炼铁。
至迟公元十一世纪	高炉炉身内倾，炉身角约76°。
1270年前后	发明焦炭，并使用焦炭炼铁。
1510年前后	发明第二种熔剂——萤石。
1520年前后	炼铁学专著《铁冶志》出版。
1570年以前	发明焙烧铁矿石。
1637年以前	发明活塞式风箱，风压到300mm水柱。

参 考 文 献

- 〔1〕 裴文中 中国石器时代 中国青年出版社 1963年 15—16页
〔2〕 贾兰波 旧石器时代文化 科学出版社 1957年 44—45页
〔3〕 考古研究所西安半坡工作队 考古通讯 1956年第二期 29页
〔4〕 周仁等 考古学报 1964年第一期 1—25页
〔5〕 刘屿霞 安阳发掘报告 1933年第四期 681—691页
〔6〕 铜录山考古发掘队 文物 1975年第二期 19—25页
〔7〕 高时显 吴汝霖辑校 山海经笺疏 四部备要本
〔8〕 H·H·穆拉契编(重工业部译) 有色冶金手册 第二卷第一分册74页
重工业出版社 1956年
〔9〕 郭沫若 人民日报 1956年6月9日
〔10〕 江苏省文物管理委员会等 考古 1965年第三期 105—115页
〔11〕 黄展岳 文物 1976年第八期 68页
〔12〕 山西省文管会侯马工作站 文物 1959年第六期 42—44页
〔13〕 庄子 内篇大宗师 杂篇庚桑楚

[14]	韩非	韩非子	显学篇	
[15]	荀况	荀子	强国篇	性恶篇
[16]		越绝书	卷11	记宝剑
[17]	赵晔	吴越春秋	卷4	阖闾内传
[18]		管子	海王篇	
[19]	司马迁	史记	太史公自序	
[20]	班固	汉书	地理志	五行志
[21]	桓宽	盐铁论	本议	水旱
[22]	吴承洛	中国度量衡史	商务印书馆	1937年
[23]	郑绍宗	考古通讯	1956年第一期	29—35页
[24]	华觉明等	考古学报	1960年第一期	73—87页
[25]	李众	考古学报	1975年第二期	1—17页
[26]	中国冶金史编写组等	考古学报	1978年第一期	1—24页
[27]	刘云彩	科学通报	1974年第十二期	530页
[28]	肖子显	南齐书	卷37	刘悛传
[29]	倪自励	文物	1960年第一期	60页
[30]	罗平	考古通讯	1957年第一期	22—27页
[31]		墨子	备穴篇	
[32]	李昉辑	太平御览	卷905	
[33]	山东省博物馆	文物	1959年第一期	2页
[34]	王振铎	文物	1959年第五期	43—44页
[35]	河南省文物工作队	考古	1963年第十期	550—552页
[36]	南京博物院	文物	1960年第四期	46—47页
[37]	М.А. ПАВЛОВ	МетАллургияЧугуна	III Смп. 30—33	МОСКВА1951
[38]	河南省文物工作队	巩县铁生沟	科学出版社	1962年
[39]	中国冶金史编写组等	河南冶铁遗址考察报告		待发表
[40]	日本铁钢联盟编	铁と钢	1965年第8号	316—320页
[41]	赵全焄	新史学通讯		1952年第十一期
[42]	范晔	后汉书		杜诗传
[43]	陈寿	三国志		韩暨传
[44]	酈道行	水经注	卷16	卷1
[45]	李昉 辑	太平御览	卷833	
[46]	苏轼	东坡志林	卷4	筒井用水輔法
[47]	王禎	农书	卷19	农具图谱
[48]	曾公亮	武经总要	前集	卷12 守城

- [49] 杨宽 中国土法冶铁炼钢技术发展简史 上海人民出版社
69—71页, 87页 1960年
- [50] 高林生等 中国古代钢铁史话 中华书局 1962年 22页
- [51] 屈大均 广东新语 卷15 铁(条)
- [52] Leslie Aitchison A History of Metals II P.400
1960 LONDON
- [53] 岑仲勉 墨子守城各篇简注 备突篇
- [54] 岑仲勉 中外史地考证 中华书局 1962年 213页
- [55] 苏轼 苏东坡集 前集第10卷
- [56] 宋应星 天工开物 卷下铁(条)
- [57] 南方日报 1961年10月20日
- [58] 李昉辑 太平御览 卷871
- [59] 方以智 物理小识 卷7 金石类
- [60] 孙廷铨 颜山杂记 卷4 物产
- [61] 刘耀椿等 咸丰青州府志 卷32
- [62] Н.И.КРАСАВЧЕВ等 ОЧЕРКЧ ПО МЕТАЛЛУРГИИ ЧуГуНА Смп.
182—183 1947.МОСКВА
- [63] 陈应祺 光明日报 1959年12月13日
- [64] 唐云明 考古 1959年第七期369页
- [65] 任志远 文物参考资料 1957年第六期84页
- [66] 胡悦谦 文物 1959年第七期74页
- [67] 黑龙江省博物馆 考古 1965年第三期124—130页
- [68] 孙占文 黑龙江日报 1963年第三期26页
- [69] 朱国祯 涌幢小品 卷4 铁炉(条)
- [70] 黄展岳 王代之 考古 1962年第七期368—374页
- [71] 刘志超 唐有余 钢铁 1959年第六期183页
- [72] 汪尚 徽州府志 卷7 食货
- [73] 臧励和等 中国人名大辞典 商务印书馆
1929年第八版1132页
- [74] 龙文彬 明会要 卷57 坑冶
- [75] 张廷玉等 明史 艺文志 职官志
- [76] 孙承泽 春明梦余录 卷46 铁(条)

说明: 本文提纲曾在《中国冶金史》编写组讨论会上介绍(1976年12月)承华觉明、黄务淦、李京华等同志提出宝贵意见; 又承河南博物馆王今栋同志为本文创作傅凌像, 作者一并致谢。原文曾在《文物》1978年第二期上发表过, 这次作了一些补充。