

中国古代高炉的起源和演变

首都钢铁公司 刘云彩

中国高炉的出现和发展,是对人类物质生活的重要贡献。

大约四万年前,山顶洞人已经用赤铁矿作颜料和装饰品^①。赤铁矿是最易还原的铁矿石,赤铁矿进入人类生活,预示着日后冶铁术的发明。

西安半坡遗址出土的六千年前的陶窑,说明当时我们的祖先已经熟练地掌握了火的使用^②。商代硬陶的烧成温度已达1180°C^③,这种高温为金属冶炼准备了良好的条件。而商代炼铜技术的进步,对高炉的出现更具有决定意义。

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^④。已经发掘的殷商和春秋时期的冶铜遗址中,铜矿与赤铁矿放在一起,铜渣中的氧化铁含量很高,有的达到40%左右^{⑤⑥}。这些遗物证实,在炼铜过程中,易还原的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。

纯铜熔点是1083°C。铜中含铁成分愈高,熔点也愈高。炼铜炉在始初阶段温度较低,原料中的铁不可能大量还原出来。随着炼铜炉加高、扩大,炉料在炉内经过充分预热,炉温逐渐提高,如超过1300°C,就有可能

炼出生铁。我国古代对火的使用水平很高,殷商时期陶窑火力已能达到1200°C,炼炉温度当然可以更高。到西周或东周初年,炼炉温度可能达到1300°C以上,这就使炼铜原料中易还原的赤铁矿炼出生铁成为可能。在湖北铜绿山遗址附近,曾出土含铁5.44%的铜锭^⑧,虽然年代可能较晚,但对于上述推论还可作为参考。

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“造戴徒四千”一段文字。郭沫若同志指出“戴”是铁字的古写^⑨,是有道理的:“戴”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,“戴”字只能指铁,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,有同志提出怀疑,认为“一鼓铁”语意不通。我们认为“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,寿命又较短,从点火开炉到炉破停止鼓风,炼出的铁大体是一定量。把这个量叫“一鼓”,是比较简练的说法。江苏六合程桥一号墓出土的春秋末年的铁球^⑧,是铸件^⑨,时间和《左传》记载相符,说明公元前六世纪已有高炉,虽然还不能作为铸刑鼎的证明。山西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^⑩。只有高炉产品数量和质量都达到相当水平,才会有铁农具出现。综合分析,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,今后或有可能出土。

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、莫邪的故事,在战国时代的《庄子》^⑪、《韩非子》^⑫和《荀子》^⑬等书中均已提及,说明这些故事由来已久。这些传说有两点值得注意:

一、欧冶子、干将同师学冶,既炼铜,又炼铁,炼铜以铸铜剑,炼铁以铸铁剑。

二、“昔吾师作冶金铁之类不销。”^⑭“使女童童男三百人鼓橐装炭,金、铁乃濡,遂以成剑。”^⑮说明炉子既可炼铜,又可炼铁。大约在二书成书的汉代,炼铜炉和炼铁炉还有相似之处,所以当时的文人作出了这样的描写。这些传说也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,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,冶炼生产受到重视。《管子》有“官山海”、“今铁官之数”等记载^⑯。秦统一后亦设铁官,著名历史学家司马迁的祖先就是铁官^⑰。公元前119年汉王朝颁布盐铁官营的法令,全国设铁官四十九处^⑱。封建政府认为“盐铁、均输,万民所戴仰而取给者”^⑲。因此,在封建社会上升时期,官营冶铁业“财用饶、器用备”^⑳,高炉得到较快的发展。

春秋时期高炉较小,产量低,消耗大。这可以从“一鼓铁”的量中作出大致的推测:按吴承洛研究,“一鼓”重16钧,一钧为30斤,周朝一斤相当0.4577市斤^㉑,依此折合一鼓铁约220市斤即110公斤。这是当时冶铁水平的一个反映。

战国时期,高炉有了发展。河北兴隆出土的战国中期的铁范,冶铸已很精良^㉒。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”^㉓。能铸薄件,需要铁水有足够的温度,说明战国时期的高炉远远超出了初级阶段的发展水平。

世界上最早关于高炉事故的记载见于《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,工十三人惊走。音止,还视地,地陷数尺,炉分为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。”^㉔“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,炉缸聚积了很多铁水,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”^㉕。

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”^㉖。已经发掘的高炉遗址表明,到西汉时期,重要冶铁基地的高炉已经很大。巩县铁生沟的高炉,直径1.6米^㉗;河南夏店遗址的汉代高炉,直径约2米^㉘;承德发现的汉代高炉,直径约3米^㉙。可见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。

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^㉚。牛皮做成的橐,能经受较大的压力。汉代的著作《淮南子》说到:“故罢马之死也,剥之若橐。”^㉛说明鼓风用的橐像剥下来的马皮。较完整的形象见于汉画像石^㉜(图一);王振铎同志依汉画像石复原,使我们



图一 汉画像石中的橐

了解了橐的全貌^②。依据汉画像石推算,汉代的橐容积约0.23立方米,每分钟鼓风量约2—3立方米^③。《吴越春秋》所述“使童女童男三百人鼓橐装炭”,反映了汉代高炉鼓风的规模。

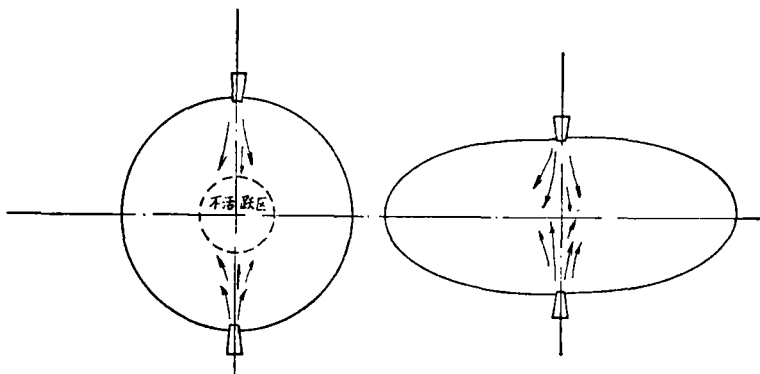
随着炉子的扩大、加高,用橐鼓风,风力显得不足。直径3米以上的高炉,风量已经吹不到中心。中心的炉料不能熔化,高炉不可能正常生产。大约在西汉中期,经过多年实践,证明3米以上的大高炉并不能多出铁,原因就在风力不足。由于椭圆短径比同样面积的圆的半径为短,工匠们在长期观察之后创造了椭圆高炉,从距离中心较近的两侧鼓风,克服了风力吹不到中心的困难(图二)。

河南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米,长2.4—3米,最大的一座炉缸(高炉下部叫炉缸)面积5.72平方米;其中一座残高2.99米^④,当初完整时一定更高。江苏利国驿发掘的东汉时期高炉也是椭圆的。

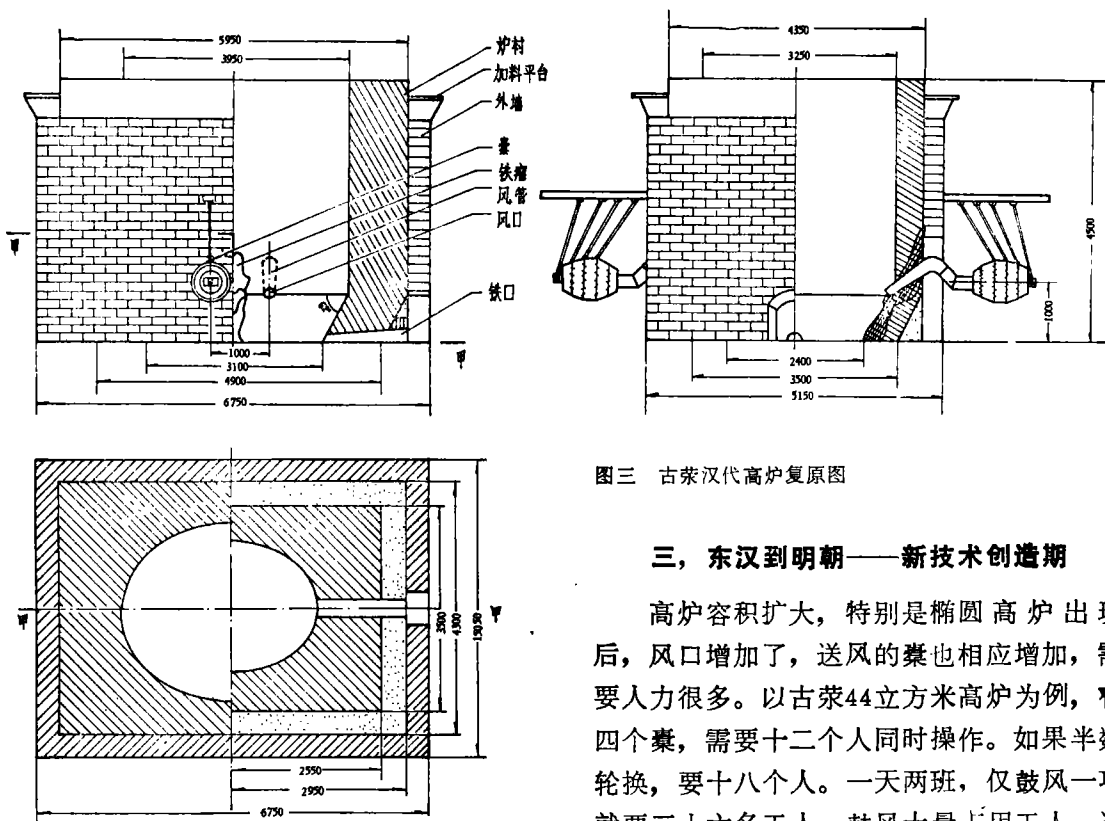
河南古荥镇遗址的汉代高炉,经复原,尺寸如图三^⑤。古荥高炉体现了汉代冶铁技术的新水平:一、它是椭圆形的,说明人们已经认识炉缸工作与送风机械的关系;二、炉子下部炉墙向外倾斜,与水平所成角(在冶金上叫炉腹角)为62°。如果炉墙是直壁,在风力不大的

情况下,风量大部分就会沿炉墙上升,煤气(鼓进炉内的风与碳燃烧生成的气体)顺炉墙经过最多,不能在中心部分很好地起作用,也就浪费了煤气,多消耗了燃料。古荥高炉的炉墙外倾,边缘炉料和煤气接触就较充分,可以弥补这个缺陷(图四)。这种高炉下部炉墙外倾是高炉发展史上一大跃进,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4米以上,用橐鼓风已相当困难。这个矛盾阻碍高炉发展。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,于是炉料整粒工作随着发展起来。在河南巩县铁生沟遗址中,还保留着经过破碎筛分后粒度整齐的块矿和筛除的粉末^⑥。这种整粒技术在我国冶金发展中作为成功的经验保留下来。以后,在宋、元的冶铁遗址中,还能见到大量筛除的粉末存在^⑦。而二十世纪五十年代,整粒技术在国外得到发展时,曾引起世界重视。



图二 圆形与椭圆高炉鼓风效果比较



图三 古荣汉代高炉复原图

三、东汉到明朝——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，需要人力很多。以古荣44立方米高炉为例，有四个囊，需要十二个人同时操作。如果半数轮换，要十八个人。一天两班，仅鼓风一项就要三十六名工人。鼓风大量占用工人，迫切要求新的动力出现。公元31年南阳太守杜诗推广劳动人民的创造，倡导使用水排，“铸为农器，用力少，见功多，百姓便之”^⑧。经过二百年，三国时韩暨“乃因长流水为水排，计其利益，三倍于前”^⑨。水力鼓风的发展，大量节省人力，对冶金工业发展作用巨大。

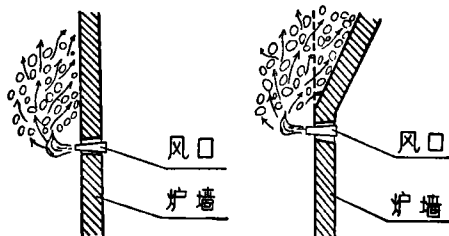
水力鼓风在魏晋南北朝继续使用^{⑩⑪}，到宋朝还见记载^⑫。元朝，水力鼓风已经少见，所以王祯说水力鼓风“去古已远，久失其制度，今特多方搜访，列为图谱，庶冶炼者

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起助熔作用，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。使用石灰石作熔剂，还能降低生铁的含硫量，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，硫量都很低^⑬。炼铁使用熔剂，是冶金史上的又一重大发明，为高炉进一步发展奠定了技术基础。

汉代高炉生产水平，从古荣一座容积约44立方米的高炉看，日产生铁约570公斤，一年大约可生产60吨。据物料平衡推算，具体生产指标如下^⑭：

炉料名称	木炭	矿石	石灰石
每炼一吨铁			
需要量(公斤)	7850	1995	130

上述指标，在二千年前的高炉上取得，技术成就是极其伟大的。

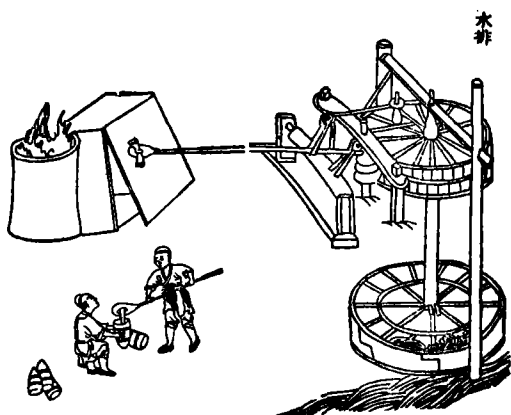


图四 炉墙对煤气分布影响示意图
左：直立炉墙 右：外倾炉墙

“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。”^⑩到明代，煤继续用于炼铁^⑪。

但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中硫磺含量升高，降低生铁质量。因此，后来有焦炭取煤而代之。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^⑫，是世界上已发现的最早使用焦炭炼铁的实例。

焦炭在我国首先出现，决不是偶然的。

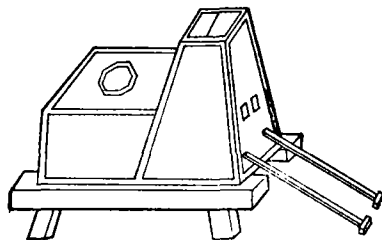
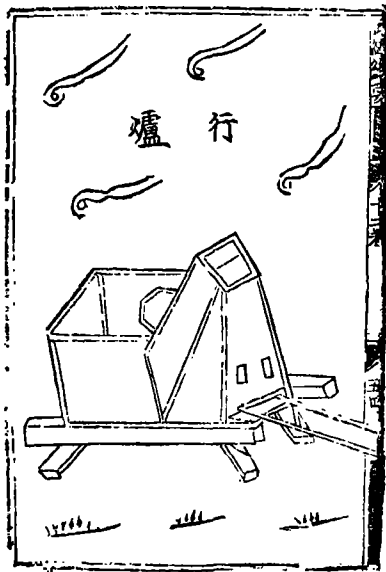


图五 王祯《农书》中的水排

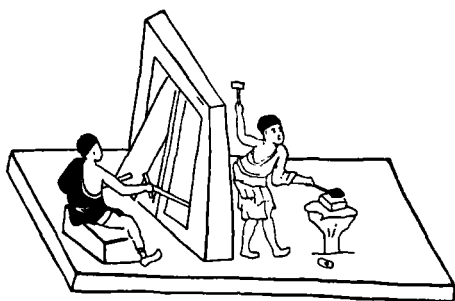
得之，不惟国用充足，又使民铸多便，诚济世之秘术，幸能者述焉”^⑭。王祯本人并未见到水力鼓风设施实物，所以画的图有点毛病（图五）。

宋代发明了结构较坚固的木风扇^⑮。风扇由木箱和木扇组成（图六），刚性较皮囊好得多，操作既方便，风量也较大，而且漏风少。轻便的风扇，一人可操作两个（图七）^⑯；较大的风扇，二至三人操作一个。风扇在宋、元流行较广，到清初尚有应用^⑰。

从战国到西汉，生铁产量渐增，木炭耗量太大，寻找木炭的代用品成为迫切的需要。煤在冶铁上应用，就是这种背景下促成的。我国用煤历史悠久，据考证，战国时期已经用煤^⑱。文献上明确记载炼铁用煤首见于《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。”^⑲岑仲勉考证，《释氏西域记》出于晋朝道安之手^⑳，是公元四世纪的作品。我国西北炼铁是从中原地区传去的。《汉书·西域传》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，在《石炭》一诗中述说用煤炼铁的好处：



图六 宋代木风扇
上：曾公亮《武经总要》中的风扇
下：杨宽复原图



图七 西夏壁画打铁图中的风扇（临摹）

早在晋朝，我国就有将煤块破碎成粉末然后人工成型的记载。晋人裴启写的《语林》曾有一段记述：“洛下少林木，炭止如粟状。羊琇骄豪，乃捣小炭为屑，以物和之，作兽形。后何召之徒共集，乃以温酒，火蒸既猛，兽皆开口向人，赫然。诸豪相矜，皆服而效之。”^④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密闭加热，就有可能炼出焦炭。

明代，焦炭炼铁较为普遍。成书于1650年前后的《物理小识》曾叙述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。”^⑤出版于1665年的《颜山杂记》也有焦炭和用焦冶炼的论述^⑥，

是书作者孙廷铨曾于康熙二年（1663年）请山西冶铁工匠到青州用焦炭炼铁^⑦。

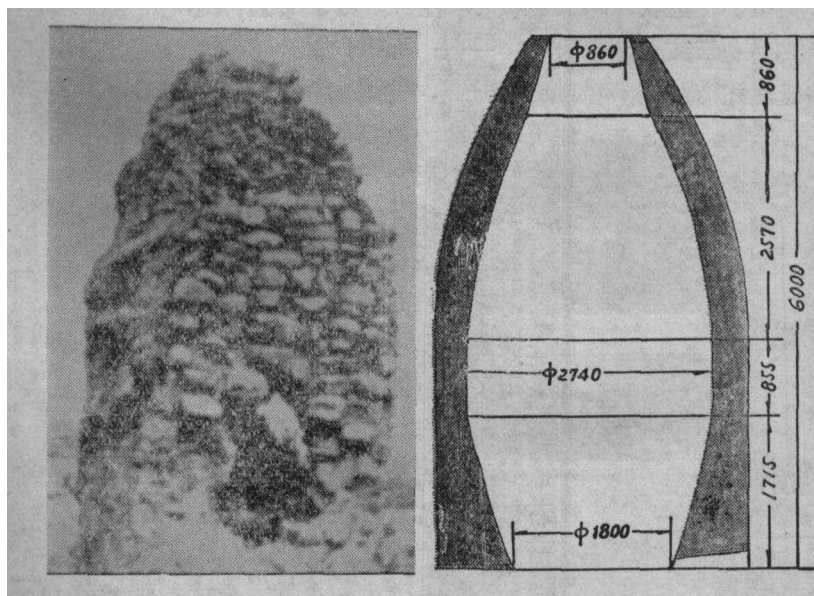
我国从煤炭加工成型到发明焦炭，中间有大约八百年的孕育过程，可以看出这一伟大发明经历了漫长的实践和探索。而焦炭一经发明，就对冶铁业作出了重大的贡献。

春秋以后，高炉上部形状的变化，还缺少完整的资料。保留下来的古代高炉，上部多半毁坏，上部炉墙何时开始内倾，现在尚不清楚。但至迟至宋代，高炉内型（炉墙里边的形状）已发展到具有现代高炉的基本特征，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，仅存半壁，高约6米，外形呈圆锥形，很像现在的土高炉；炉底圆周小于炉腹，从炉腹至炉顶逐渐缩小^⑧。从照片估量各部比例和尺寸，参考北方土高炉，绘出复原图如图八。

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°之间。高炉炉身内倾的意义和炉腹外倾的意义相近，能使煤气分布趋向均匀，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；同时减少下降的炉料对炉墙的摩擦，有利于炉料顺利下降，并延长炉墙寿命。所以炉身内倾是技术上的重要创造，是高炉发展史上又一次飞跃。这一创造，以目前掌握的材料分析，在我国至迟完成于十一世纪^{⑨⑩⑪}。

中国炼铁生产，到明朝加快了发展，从政府收入的铁量（不是全国产量）可以明显地看出来（图九）^⑫。

从汉到宋，由于鼓风设施的限制，高炉内径很难超过3米，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

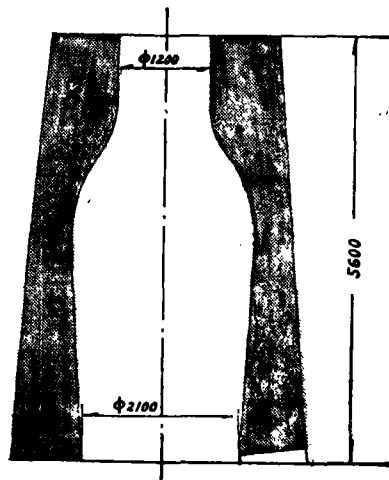


图八 矿山村宋代高炉 左，实物遗存 右，复原简式图

小型高炉建立起来。河南鲁山汉朝的小高炉，内径只有0.87米^⑤。安徽繁昌唐宋时期的高炉，内径约1.15米^⑥。黑龙江阿城十三世纪冶铁遗址的高炉，炉缸内径约0.9米^⑦。到明朝，由于新式的木风箱出现，小高炉得到迅猛发展。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—河北遵化的高炉构造：“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”。^⑧这里的“深”，是指从高炉炉底到炉喉（高炉上口叫炉喉）的高度。明尺一尺相当现在0.933尺^⑨，此炉内型高度合3.73米。炉前出铁场有好几丈长，可见高炉产量很大。“广”指面积而言，《南齐书·刘俊传》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：“广前二尺五寸”是说明出铁口面积2.5平方尺，由此推算出铁口的砌砖内径为：

$$\text{铁口直径} = \sqrt{\frac{2.5}{0.785}} \times 0.933 \div 3 = 0.55 \text{ 米}$$

后”是指渣口，“左右”指风口，按铁口的算法，得出渣口的砌砖内径0.57米，风口的砌砖径0.44米。成书于1690年前后的《广东新语》，对佛山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。”^⑩按上述方法推



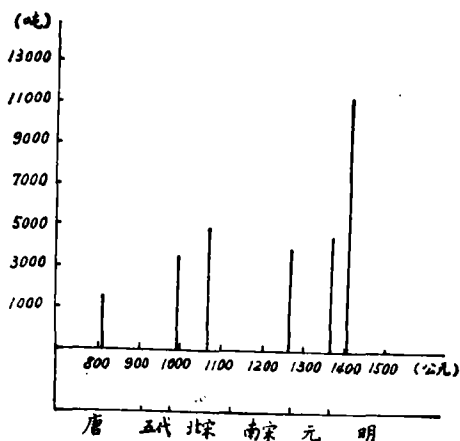
图一〇 佛山清代高炉复原简式图

算，炉缸内径2.1米，炉喉内径1.2米，高5.6米(图一〇)。其形状和解放前云南流行的大炉相似^⑪。

由风扇演变产生风箱(图一一)。风扇推压时送风到炉内，拉开时无风，所以风扇多半成对，“一开一阖”，保证风量不断流入。风箱双向进风，往返都有风产生，风量的稳定性提高了。风箱是木结构，刚性强；由于只有活塞在木箱中往复运动，风箱较风扇和囊的运动部件少，能够做得更严密牢固，漏风较少，效率较高。风箱产生的风压可大到300毫米水柱^⑫。由于风压较高，炉料粒度可以小一些，而风向炉内穿透更深，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。风箱使高炉产量成倍增长，而且炉缸缩小后一扫大炉缸中心呆滞的弱点，高炉中心活跃，容易顺行，操作更有把握。

我国历来重视高炉的原料准备。汉代高炉要求整粒，而矿石破碎筛分相当费力。人们在实践中发现矿石经过火烧易于破碎，因而采用了焙烧的方法。明代1570年前后写成的《徽州府志》有焙烧矿石的明确记载：“既得矿石，必先烹炼，然后入炉。”^⑬这里焙烧矿石显然为了改善矿石的冶炼性能，成为冶炼前的一道工序。

明代在提高冶炼水平上作了许多有意义



图九 唐至明代铁产量(政府收入产量)

的工作。水洗矿石选矿（图一二）的广泛使用，是原料加工上的重要成就^⑥。

高炉第二种熔剂萤石的被发现，是冶铁发展史上的又一大进步。明代已经使用萤石炼铁。《涌幢小品》有这样详细的描述：

“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，时时旋下。

“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。”^⑦

这段生动的文字，叙述了炼铁炉用石砌成，经常用的矿石是小块的磁铁矿（“黑沙为本”），以萤石为辅助料（“石子为佐”），描写了萤石的形状、特征和冶炼性能，指出萤石熔点很低，放到炉子里很易化成水，说明了萤

石的作用在于消除炉子不顺（“沙不能下”）的弊病。没有丰富的高炉冶炼经验，对冶炼过程没有深刻的理解，写不出这样的文字。这段文字可能出自明代冶金学家傅浚之手。

“傅浚，福建南安人，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》”^⑧（图一三）。遵化铁厂是明朝的主要冶铁基地，明政府制造军器需要的铁，完全取自该厂。“正统初，谕工部，军器之铁止取足于遵化收买。后复命虞衡司官主之。”^⑨按《明史》，工部“虞衡典山泽采捕、陶冶之事”^⑩。傅浚以工部郎中在正德年间（1506—1521年）亲自主持遵化铁厂，总结了丰富的实际经验，写成世界上第一部炼铁著作《铁冶志》，书共两卷^⑪，在明末清初十分流行。

《涌幢小品》和《春明梦余录》关于遵化铁厂的记述完全相同^{⑫⑬}，朱国祯和孙承泽都是不事生产的官僚，他们对炼铁生产写得那么准确、生动，而且两个人的记述一字不



图一一 宋应星《天工开物》炼铁图中的风箱



图一二 宋应星《天工开物》中的洗矿图

差,很可能同是抄袭了当时流行的《铁冶志》。

十七世纪,佛山地区高炉生产有较详细的记载:“铁矿既熔,液流至于方池;凝铁一版,取之。以木揖搅炉,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。”^⑥按上面记录计算,日产十二版,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二点四倍,产量较汉代高三点八倍以上。由此可知,从汉到清初,高炉产量提高了九至十八倍。

结 语

中国古代在炼铁技术上创造甚多,对人类做出了重要贡献。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,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》问世。 |
| 1570年以前 | 发明铁矿石焙烧。 |
| 1637年以前 | 发明活塞式风箱,风压达300毫米水柱。 |

(本文提纲曾在《中国冶金史》编写组讨



图一三 傅浚像(王今栋作画)

论会上介绍,承华觉明、黄务涤、李京华等同志提出宝贵意见;又承河南省博物馆王今栋同志为本文创作傅浚画像,作者一并致谢。)

- ① 贾兰坡:《旧石器时代文化》,科学出版社,1957年,44—45页。
- ② 考古研究所、西安半坡工作队:《考古通讯》,1956年第2期,29页。
- ③ 周仁等:《考古学报》,1964年第1期,1—25页。
- ④ 刘焕震:《安阳发掘报告》,1933年第4期,681—696页。
- ⑤ 铜绿山考古发掘队:《文物》,1975年第2期,19—25页。
- ⑥ 高时显、吴汝霖辑校:《山海经笺疏》(四部备要本)。
- ⑦ 郭沫若:《人民日报》1956年6月9日。
- ⑧ 江苏省文物管理委员会等:《考古》1965年第3期,105—115页。
- ⑨ 黄展岳:《文物》1976年第8期,68页。
- ⑩ 山西省文管会侯马工作站:《文物》1959年第6期,42—44页。
- ⑪ 《庄子·内篇·大宗师》、《庄子·杂篇·庚桑楚》。
- ⑫ 《韩非子·显学篇》。
- ⑬ 《荀子·强国篇》、《荀子·性恶篇》。
- ⑭ 袁康:《越绝书·记宝剑》。
- ⑮ 赵晔:《吴越春秋·阖闾内传》。
- ⑯ 《管子·海王篇》。

- ⑰ 《史记·太史公自序》。
- ⑱ 《汉书·地理志》、《汉书·五行志》。
- ⑲⑳ 桓宽：《盐铁论·本义》、《盐铁论·水旱》。
- ㉑ 吴承洛：《中国度量衡史》，商务印书馆，1937年。
- ㉒ 郑绍宗：《考古通讯》1956年第1期，29—35页。
- ㉓ 华觉明等：《考古学报》1960年第1期，73—87页。
- ㉔ 刘云彩：《科学通报》1974年第12期，530页。
- ㉕ 《南齐书·刘峻传》。
- ㉖ 河南省文物工作队：《巩县铁生沟》，科学出版社，1962年。
- ㉗ 倪自励：《文物》1960年第1期，60页。
- ㉘ 罗平：《考古通讯》，1957年第1期，22—27页。
- ㉙ 《墨子·备穴篇》。
- ㉚ 《太平御览》卷905。
- ㉛ 山东省博物馆：《文物》1959年第1期，2页。
- ㉜ 王振铎：《文物》1959年第5期，43—44页。
- ㉝ 《中国冶金史》编写组等：《汉代冶铸技术初探》（待发表）。
- ㉞ 河南省文物工作队：《考古》1963年第10期，550—552页。
- ㉟ 《中国冶金史》编写组等：《河南·冶铁遗址考察报告》（待发表）。
- ㊱ 《后汉书·杜诗传》。
- ㊲ 《三国志·韩暨传》。
- ㊳ 《水经注》卷16、卷1。
- ㊴ 《太平御览》卷833。
- ㊵ 苏轼：《东坡志林》卷4。
- ㊶ 王祯：《农书》卷19。
- ㊷ 曾公亮：《武经总要》前集卷12。
- ㊸ 杨宽：《中国土法冶铁炼钢技术发展简史》，上海人民出版社，1960年，71、87页。
- ㊹ 高林生等：《中国古代钢铁史话》，中华书局，1961年，22页。
- ㊺ 屈大均：《广东新语》卷15。
- ㊻ 岑仲勉：墨子守城各篇简注 各突篇。
- ㊼ 岑仲勉：《中外史地考证》，中华书局，1962年，213页。
- ㊽ 苏轼：《苏东坡集》前集卷10。
- ㊾ 宋应星：《天工开物》卷下。
- ㊿ 《南方日报》1961年10月20日。
- ① 《太平御览》卷871。
- ② 方以智：《物理小识》卷7。
- ③ 孙廷铨：《颜山杂记》卷4。
- ④ 刘耀椿等：《咸丰青州府志》卷32。
- ⑤ 陈应祺：《光明日报》1959年12月13日。
- ⑥ 唐云明：《考古》1959年第7期，369页。
- ⑦ 任志远：《文物参考资料》1957年第6期，84页。
- ⑧ 赵全赓：《新史学通讯》1952年第11期。
- ⑨ 胡悦谦：《文物》1959年第7期，74页。
- ⑩ 孙占文：《黑龙江日报》1963年3月26日。
- ⑪ 黑龙江省博物馆：《考古》1965年第3期，124—130页。
- ⑫ 朱国祯：《涌幢小品》卷4。
- ⑬ 黄展岳、王代之：《考古》1962年第7期，368—374页。
- ⑭ 刘志超、唐有余：《钢铁》1959年第6期，183页。
- ⑮ 汪尚：《徽州府志》卷7。
- ⑯ 臧励馥等：《中国人名大辞典》，商务印书馆，1929年第八版。
- ⑰ 《明会要》卷57。
- ⑱ 《明史·艺文志》、《明史·职官志》。
- ⑲ 孙承泽：《春明梦余录》卷46。

（上接第47页）

应用范围已经扩大，使那些分散的锻造作坊和小铁匠铺都能用上铸铁脱碳钢。这种在固体状态下炼制的钢质量良好，夹杂物极少，组织均匀。在当时不可能生产铸钢的条件下，可以把生铁铸件处理成钢件，也可以把生铁变成可锻造的钢料。生产这种钢的难处在于固体脱碳速度很慢，如器件太厚则生产效率更低。梯形铁板的厚度只有0.4厘米，正是适应提高生产率的需要，表明对这一工艺的掌握已达到成熟的境地。

古荣汉代冶铁遗址为我们研究古代冶金史提供了如此生动而丰富的材料，它表明在一千八百年以前，我国生铁冶炼和加工工艺大致达到了西方十七世纪的水平，而且具有独创的民族风格，走着自己发展的道路，创造了一整套我国古代钢铁生产技术体系，在世界冶金史上作出了重大贡献。今天，在以英明领袖华主席为首的党中央领导下，我国社会主义的冶金工业理应并且必将发扬悠久的历史传统，迅速赶超世界先进水平。