

· 专题论述 ·

# 古代块炼铁技术

李祖德

李 甌

(北京市粉末冶金研究所)

(中山大学)

**〔摘要〕** 在人类进化史上,铁器的出现促使生产力飞跃发展。而人工最初制得铁,则是采用固体碳还原铁矿石的方法,即所谓“块炼铁技术”。并以块炼铁为原料,通过锻焊而制得各种农具、工具和兵器。古代块炼铁锻焊技术是现代粉末冶金的雏形,或者说,后者是前者在新水平上的复兴和发展。

本文介绍了古代块炼铁技术的产生及发展情况,论述了块炼铁技术与现代粉末冶金技术的关系。

**关键词:** 古代 块炼铁技术 固体炭还原

## 一、前言

生产工具及其进化对人类物质文明进步起到重要的推动作用,因此,历史学家和考古学家以工具的进化特点作为划分人类古代历史时期的标志,即:石器时代、铜器时代和铁器时代。

人类使用铁器首先从陨铁开始。早在公元前3000多年以前,人类已开始使用陨铁。古埃及人把铁称为“来自天上的铜”,而在古两河流域则称为“天上的金属”〔1〕。非陨铁的铁器于公元前2300年以前出现,铁器时代一般认为开始于公元前19世纪,但对不同地区和民族有很大差别。据文献〔2〕,我国商代开始使用陨铁,人工制铁最晚始于春秋,即公元前6世纪。金属工具特别是铁器的使用,促使生产力的发展进入到新的阶段。例如,率先进入铁器时代的赫梯王国(今土耳其境内),在公元前14世纪国势日盛,频频对外扩张,成为西亚强国。我国春秋时期井田制的崩溃,也与铁器的大量使用有关。先进的铁工具在农业上的应用,大大提高了劳动生产率,加速私田的开发,为封建生产关系的产生奠定了物质基础,成为春秋战国时期社会大变革的重要因素。

青铜冶铸业是从石器加工和制陶业中产生和发展起来的。烧制陶器的生产实践,为青铜的冶铸提供了必要的高温技术。公元前2000多年龙山文化的黑陶,烧成温度大约为950~1050℃,已接近纯铜的熔点如〔2〕。果说制陶业所达到的高温为青铜器的冶铸提供了重要的技术条件,那末,铁器的产生并不具备类似的先期条件。陶窑和炼铜炉达不到熔炼铁所需要的高温。国内外考古资料表明,人工制得铁,是从块炼铁技术开始的,对于所有产铁的国家,均是如此。用这种方法炼铁,只需要800~1000℃的温度,因而使人类绕过了当时所无法克服的熔炼铁的高温障碍。

## 二、块炼铁法的制铁原理

无论是在烧陶和冶铜的生产实践中,还是在生活实践里,古人类完全有可能偶然发现,铁矿石与木炭接触在不太高的温度下加热可得到铁。再经过长期的摸索,创造出块炼铁制铁技术。块炼铁就是用固体碳还原法制出的比较纯净的铁,呈疏松海绵状。为区别于炒钢所得到的熟铁和现代海绵铁,将其称为块炼铁。它以富铁矿砂为原料,以木炭为还原剂而制得。据文献〔3〕介绍,矿石经

过烘干、焙烧、磨碎、洗选和筛选等工序进行选矿；还原剂木炭以坑烧法制备。炼铁炉有图1和图2所示几种形式。其中图1为最原始的炉型，它以地上或岩石上的坑和粘土拱顶构成，经风嘴鼓入空气。罗马帝国时代(公元前30年至公元前476年)的炼炉，已由无出渣口的碗式炉进化到带出渣口的改进型碗式炉<sup>[4]</sup>。

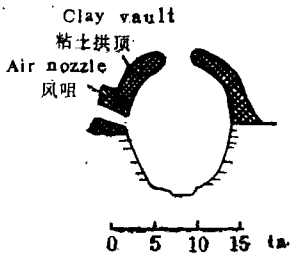


图1 早期铁器时期的碗式炉<sup>[4]</sup>  
Fig.1 Cup type furnaces in early Iron Age

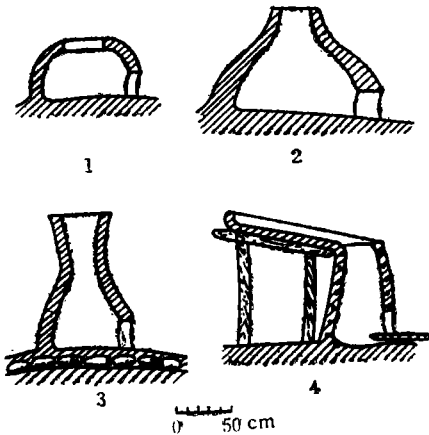


图2 经改进的竖式炉<sup>[3]</sup>  
1.保加利亚, 2.日尔曼, 3.苏丹, 4.孟加拉  
Fig.2 Modified vertical furnace  
1. Bulgaria, 2. Germany, 3. Sudan, 4. Mengal

原始的炼铁过程是：将炉中木炭点燃，施以通风。碎铁矿石与木炭末混合(或分层)后放在烧红的木炭上加热，发生还原反应而形成海绵铁块。过程结束后，打开拱顶，取出海绵铁块。文献<sup>[3]</sup>介绍，还原过程是在还原剂大量过剩的情况下进行的；炉内温度保持

在1100℃以上(为此要进行均匀的鼓风)。据文献<sup>[5]</sup>，早期的块炼铁的纯度比现代铸铁低，除了硫、碳含量高以外，硅含量和杂质比现代铸铁高好几倍。据文献<sup>[6]</sup>，中国早期块炼铁炉温度为800~1000℃。湖北大冶铜绿山出土的战国中晚期铁凿的化学成分为：C 0.06%，Mn 0.05%，Si 0.06%，P 0.12%，S 0.009%，Cr 0.01%，Ni 0.01%，Cu 0.17%<sup>[9]</sup>。质地比较纯净。

由块炼铁进一步加工成工具或兵器，是采用锻焊的方法。由于还原过程的温度较低，含碳的块炼铁可锻性较好。锻焊过程是，将块炼铁加热到焊接温度进行锻打或模锻，排出杂质，并使其致密，制成所要求的器物。

据文献<sup>[5]</sup>，公元前1200年，赫梯人将块炼铁锻打成薄板，包裹起来，在炭炉内进行焊接，这一操作重复多次而制得钢件。公元前1000年左右，阿拉伯人将充分锻透的钢坯锉碎，使其生锈，通过锻焊重新形成烧结体，如此重复多次而制得器具。据文献<sup>[3]</sup>介绍，古代利用锻焊法制造多层结构的工具和武器，其中心非工作部分由铁构成，以保证韧性和耐冲击性，而外部则全部或部分由热处理碳钢构成，具有高硬度和高耐磨性。在以不同金属结合时，锻焊的接缝采用了焊剂。这种焊剂实际上以金属粉末为主。例如，铁与铁或钢与钢的焊接，其焊剂混合物为：100份铁或钢屑，500份硼砂，50份松节油或其它树脂。锻焊时将粉末撒在焊接面上，加热使粉末熔化，经两到四次锤锻而制成各种制品。

我国考古工作发现，从春秋晚期到西汉，许多兵器是用块炼铁锻焊而制成的，有的甚至经过十几次折叠锻打，而且热处理技术达到了相当高的水平。

块炼铁制造的铁器，由于没有经过液态熔炼，而锻打又不能彻底排出其中夹杂物，因此，其组织中含有大量的不同尺寸的氧化

铁( $\text{FeO}$ )和铁橄榄石( $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ )夹杂。金相学家根据这种组织特征来鉴别块炼铁<sup>[6]</sup>。

### 三、块炼铁技术的发展

铁器时代的文明是公元前14世纪生活在小亚细亚的赫梯民族开创的,欧洲一些国家则在公元前1000年前后才开始生产块炼铁。公元前,东斯拉夫人的块炼铁生产已达到相当大的规模。在Свентокшиский山地区发现了1600座炼铁炉,炉子直径45cm,一次炼出块炼铁30kg,消耗矿石200kg。此地区铁和铁器的生产之所以发达,是由于蕴藏有容易还原的和廉价的铁矿石,而且木炭和造渣剂也容易得到<sup>[3]</sup>。

基辅罗斯是公元9世纪至11世纪强盛的东斯拉夫国家。基辅罗斯的工匠用块炼铁制造出各式各样的农具和渔具(如镰刀、铲、斧、刀、鱼钩、鱼叉等)、加工工具(如锉、凿、木工刨、钻、锯、皮革刨等)、小五金(如钉、铆钉、马蹄铁、马衔、锁、钥匙、钩环等)和兵器(如剑、矛、箭、盔、盾等)<sup>[3]</sup>。

块炼铁技术在欧洲延续了漫长的年代。15世纪出现了先进的高炉身块炼铁炉,每天能生产块炼铁400kg<sup>[4]</sup>。直到17世纪,块炼铁一直是东斯拉夫唯一的冶铁术;19世纪Кирелич仍保持着块炼铁制钢的生产方法<sup>[3]</sup>;在锻造炉中以煤复盖块炼铁,进行鼓风,使其达到焊接温度,然后将赤热的铁淬入雪中或喷洒水进行淬火。操作重复,直至块炼铁成为塑性钢坯。再将其重叠,在煤层下加热,强烈鼓风到焊接温度。钢中形成条纹组织,内部晶粒粗大,越到表面晶粒越细。在相同的温度下锻造到致密状态,毛坯受到扭转和锻造而成扁平带。在随后的精加工中进行腐蚀,金属表面便呈现出花纹图案。

古印度块炼铁技术水平相当高。公元4世纪,印度人用块炼铁锻焊出举世闻名的德

里铁柱和达尔铁柱。德里铁柱高7.2m,重6t,含C0.08%、P0.11%、S0.006%;达尔铁柱高12.5m,重7t,含C0.02%、P0.28%。13世纪用同样技术制造的科纳拉克两根铁桁条,分别长10.7m、直径20cm,和长7.8m、厚28cm。含C0.11%、P0.02%、S0.02%<sup>[4、5]</sup>。

波斯萨珊王朝(公元224~651年)炼制的“镶铁”制品,所用钢材是以块炼铁配合渗碳剂和催化剂,密封加热渗碳而成<sup>[7]</sup>。这是一种进步的固体渗碳炼钢方法。这种镶铁制品西传到欧洲。当时叙利亚的大马士革是欧亚交通枢纽,镶铁制品首先从这里输入,因而被称为“大马士革钢”。这在当时是一种珍贵物品。镶铁制品在南北朝时期已传入我国。在宋、元时代,我国西北边疆地区兄弟民族仍有镶铁生产。

我国块炼铁技术起于何时,许多史学家推测在春秋以前,但缺乏古代文献记载和出土早期铁器的考证。我国出土的块炼铁制成的铁器,最早只见于春秋晚期,即公元前6世纪。江苏六合程桥镇吴国墓葬出土的铁条、长沙龙洞坡52·826号墓葬出土的铁削、长沙杨家山65号墓葬出土的钢剑等,表明当时吴、楚等国已能够用块炼铁锻造兵器<sup>[6、8]</sup>,在技术上领先于北方。长沙杨家山65号墓钢剑通长38.4cm,剑身断面上用放大镜可看出反复锻打的层次,约7~9层。金相鉴定为含有球状碳化物的碳钢,含碳量为0.5%<sup>[8]</sup>。

战国中期,铁器已经比较普遍。虽然当时已使用铸铁,但块炼铁仍是用于锻件的主要原料。河南辉县固围村1号、2号墓葬出土的战国中期的铁器有削、带钩、斧和镢等,其中有很多是锻件<sup>[6]</sup>。湖北大冶铜绿山古矿井出土的战国中晚期的铁器中,铁耙和三件铁钻是用块炼铁锻成的<sup>[9]</sup>,碳含量和硅含量都很低;内部含有大量夹杂,组织不均匀,没有进行渗碳、淬火等热处理操

作。西安半坡战国中晚期墓出土的铁凿和铁锄，也是以块炼铁制成〔6〕。

战国晚期已掌握了块炼铁渗碳淬火技术，用块炼铁锻制的兵器增多。河北易县燕下都44号战国晚期墓葬出土的 M44:100 钢剑、M44:12 钢剑、M44:9 钢戟、M44:87 镞、M44:115 钢矛、M44:19 铁剑等，都是用块炼铁制成，其中碳钢件经过渗碳淬火〔6〕。这表明燕国晚期块炼铁技术也达到了相当高的水平。钢剑是经过多层叠打而成，但由于渗碳后未经高温(如900℃以上)加热进行均匀化处理，还存在有明显的高碳层和低碳层，碳的分布还不均匀。M44:12剑、

M44:100 剑及 M44:9 戟都经过淬火。两把钢剑的马氏体硬度为HV530。这是迄今为止我国出土铁器中最早的淬火件。M44:115钢矛的骹部和M44:87镞具有正火组织。从上述情况看来，当时已能根据不同器件的不同性能要求，对钢材进行不同的热处理。

公元2世纪末，我国锻制兵器仍以块炼铁渗碳多层叠打的钢为主要原料，而且具有卓越的制刀技艺。河北满城西汉刘胜墓葬(葬于公元前113年)出土的1:5105佩剑、1:4249钢剑、1:5197错金书刀、1:5023钢戟、1:3504铁炉等，其原料均为块炼铁〔10〕。兵器由渗碳钢多次反复锻打和加热，

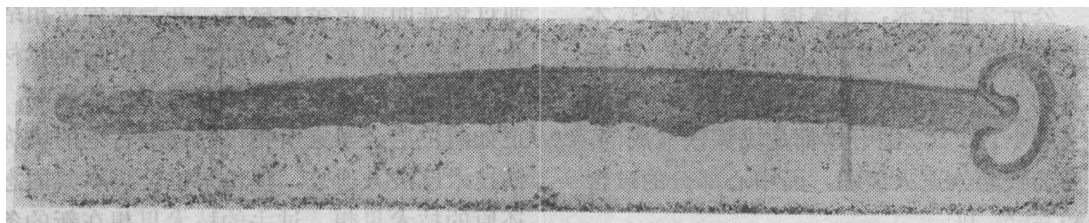
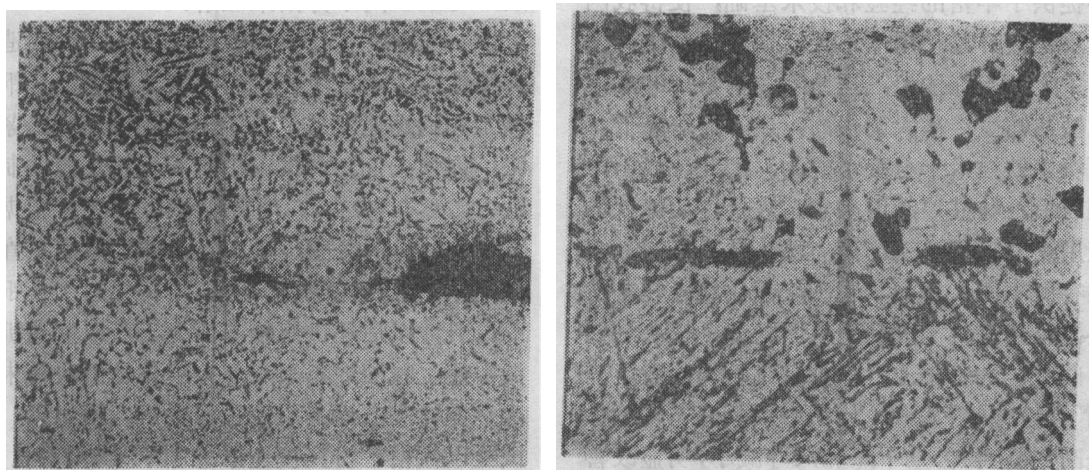


图3 错金书刀〔10〕

Fig.3 Gold-inlaid knife



a

图4 错金书刀的金相组织〔10〕

b

a. 断面上的高碳和低碳分层组织。夹杂物在高碳层 ×100

b. 刃部的淬火组织。片状是马氏体，深色块状是屈氏体，深色条状是非金属夹杂物 ×700

Fig.4 Metallographic structure of gold-inlaid knife

a. Layer structures with high carbon and low carbon contents on cross-section, with impurities on high carbon layer

b. Quenched structure on edge with plate shape martensite dark block shape troostite and dark stripe shape non-metal impurities

最后淬火而制成。与易县燕下都钢剑比较,各层之间碳含量差别较小,组织均匀,非金属夹杂物较细,质量显著提高。佩剑经表面渗碳,具有马氏体组织,局部有贝氏体组织,硬度较高,刃部为HV900;而内部组织较软,硬度为HV220~300。错金书刀经局部淬火,刃部具有马氏体组织,硬度高,为HV570;而刀背和刀身为珠光体组织,硬度低,为HV260,便于镂刻嵌入金丝。图3为错金书刀实物照片,图4为其金相组织。铁炉炉身、承灰盘、炉足分别锻制后,用铆钉结合成整体。这说明除兵器外,块炼铁还被用来锻制器具。

公元2世纪末,还掌握了脱碳退火技术(包括退火气氛的控制)提高钢的延性。满城汉墓的1:5117 铠甲片和呼和浩特二十家子出土的T126②:2 铠甲片都是块炼铁锻成的,表面为铁素体退火组织,而中心部分的碳含量较高〔6、10〕。

我国发明块炼铁晚于西亚和欧洲。但是,由于我国青铜冶铸非常发达,为生铁冶铸提供了丰富的经验和技術基础,使得我国在块炼铁开始使用后不久,便于春秋晚期发明了生铁冶炼技术,这比欧洲要早1800年。生铁冶铸生产率大为提高,成本显著降低,而块炼铁技术十分费时费力。因此,战国中期以后,铸铁广泛用来制造农具,块炼铁的应用受到限制。这与西方块炼铁生产长期繁荣有所不同。然而,我国块炼铁技术在制造兵器上仍取得了成功。战国晚期,在块炼铁渗碳工艺的基础上,增加锻打折叠次数,开创了“百炼钢”技术,使钢中碳的分布均匀性提高,夹杂物含量下降和尺寸减小,明显改善了钢的质量,从而制出性能优异的兵器。燕下都钢剑和刘胜墓兵器,都是百炼钢技术发展过程中的产物。直到东汉初期以炒钢为原料制造百炼钢的技术发明以后,块炼铁的应用才逐渐减少。

#### 四、块炼铁技术与现代粉末冶金技术

古代块炼铁技术,就其制造海绵铁来说,是制造原料的方法,而当其与随后的锻焊法结合起来制造铁器时,所组成的全过程便与现代粉末冶金工艺基本相同。只不过块炼铁锻焊法与现代粉末冶金冷压烧结法稍有区别,而与粉末锻造法更为接近。

随着冶金技术的发展和装备水平的提高(例如鼓风技术),出现了熔炼制铁法,使生产效率和经济效益显著提高,而逐渐取代了原始的块炼铁技术。然而,块炼铁技术不通过熔炼而制造金属材料,并与锻焊法相结合制造器具的基本技术思想,对以后金属材料和制品的制造技术,却有着深远的影响。正如两位冶金学家所指出的:最古老的块炼铁技术已被人遗忘,但粉末冶金仍取其固态还原的技术思想,过去的技术思想在新的条件下得到继承和发展〔11〕。笔者认为,现代粉末冶金技术对古代块炼铁技术的继承和发展,可以从两个方面来理解:

一方面,古代块炼铁技术作为一种制造海绵铁的技术在现代得到复兴。随着近代钢铁工业的迅速发展,高炉冶金焦供应日趋紧张,促使人们转而试验由矿石直接还原的制铁方法(Cheno法)。瑞典Högannäs工厂根据S. Esienrin的发明,于1930年开始用固态直接还原法生产海绵铁。起初用作制造工具钢的原料,以后还供应粉末冶金工厂以制造机械零件。我国近年来有几个单位从解决粉末冶金零件和电焊条用铁粉原料的角度出发,试验以铁精矿粉直接还原法制取铁粉,并且,以富铁海砂和河砂为原料生产铁粉的厂家已经投产。现在,世界上用矿石直接还原制铁的生产能力已在2000万吨以上〔12〕。现代直接还原法制造的海绵铁,与古代块炼铁用途不同,不是供锻焊法制造各种器具,而是

供应电炉炼钢，或作为粉末冶金的原料，以及其它工业用途。

更重要的是，块炼铁技术的不通过熔炼而在固态下制取致密金属材料和制品的技术思想，不断得到了继承和发扬。从19世纪俄国和西班牙制造铂币，到20世纪高熔点金属钨的制取，都是绕过了熔炼温度的障碍而获得成功的，并以此为起点，发展成为现代粉末冶金技术。固态下致密化是现代粉末冶金技术的根本特点，正是由于这个特点，使粉末冶金技术成为制造具有特殊组织结构和优异性能金属材料及金属复合材料的制造技术。

块炼铁技术最伟大的意义在于，继人类认识天外飞来的自然铁之后，用这种技术由人工制得了铁，从而开创了辉煌的铁器时代。虽然古老的块炼铁技术在社会技术进步中被淘汰了，但建立于现代科学技术基础上的粉末冶金技术，却继承和发扬了古代块炼铁的技术思想，在提高金属材料性能和制造高水平金属制品方面，显示出越来越旺盛的生命力。

〔致谢〕中山大学谈美琴、北京科技大学郭志猛、北京市粉末冶金研究所李孔兴等为本文供提了资料，特此致谢。

### 参 考 文 献

- 〔1〕孔令平，考古，1988，No. 6，542~545
- 〔2〕杜石然等，中国科学技术史稿(上册)，科学出版社，1984，98
- 〔3〕И.Н.Францевич и В.И.Трерцлов, Порошковая Металлургия В СССР, Издательство "Наука", 1986, 10~22
- 〔4〕华觉明编译，世界冶金发展史，科学技术文献出版社，106~107、150、219
- 〔5〕R.Kieffer und W.Нотор, Sintereisen und Sinterstahl, Springer-Verlag, 1948, 1~2
- 〔6〕李众，中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨，载北京钢铁学院编《中国冶金史论文集》，1986，53~67
- 〔7〕杨宽，中国古代冶铁技术发展史，上海人民出版社，1982，14、198~203、212~213
- 〔8〕长沙铁路东站建设工程文化发掘队，文物，1978，No.10，44~48、
- 〔9〕冶军，文物，1975，No. 2，19~25
- 〔10〕中国社会科学院考古研究所，满城汉墓发掘报告，文物出版社，1980，101~111、369~376、及图版
- 〔11〕丘亮辉，朱寿康，冶金技术史概论，载技术史研究，冶金工业出版社，1987，224~261
- 〔12〕秦民生，非高炉炼铁，冶金工业出版社，1988，P 8

### ANCIENT BLOOMERY IRON PROCESS

Li Zude

〔Beijing Research Institute of Powder Metallurgy〕

Li Yang

〔Zhongshan (Sun Yat-sen) University〕

**ABSTRACT** In the history of human evolution, the emergence of ironwares promoted the development of productive forces by leaps and bounds. Primitive iron was obtained by the method of reducing iron ore with solid carbon, i. e. so-called "bloomery process". Furthermore, various kinds of farming implements, tools and weapons could be manufactured by forge welding technique with bloom as raw materials. The ancient forge borge welding technique of bloom appeared in an embryonic forms of modern P/M technique, in other words, the latter was revived and developed from the former but has reached a new level.

The paper has sumed up the emergence and development of ancient bloomery process and discussed its relation with P/M.