

|| 专 题 史 系 列 丛 书 ||



中国古代冶铁技术发展史

杨 宽 著

上海人民出版社

|| 专 题 史 系 列 丛 书 ||

中国古代冶铁技术发展史

杨 宽 著

上海人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国古代冶铁技术发展史/杨宽著.

—上海:上海人民出版社,2004

(专题史系列丛书)

ISBN 7-208-05309-X

I. 中... II. 杨... III. 炼铁-冶金史-中国-古代

IV. TF5-092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 085953 号

责任编辑 汤中仁

特约编辑 张美娣

封面装帧 王晓阳

· 专题史系列丛书 ·

中国古代冶铁技术发展史

杨 宽 著

世纪出版集团

上海人民出版社出版

(200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.cc)

世纪出版集团发行中心发行

商务印书馆上海印刷股份有限公司印刷

开本 890×1240 1/32 印张 10.75 插页 10 字数 262,000

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

印数 1—3,100

ISBN7-208-05309-X/K · 1064

定价 28.00 元

目 录

序 言	1
绪 论	1
一 关于炼铁技术的发明	1
二 关于铁的种类和炼铁技术的发展	5
三 关于炼钢技术的发明和发展	14

上 编 中国古代炼铁技术的发明和发展

第一章 关于中国炼铁技术发明时代的探讨	21
一 从古代文献记载来推断	21
二 从出土的早期铁器来考察	28
第二章 封建社会前期冶铁业的发展和炼铁技术的进步	43
一 封建社会前期冶铁业的发展	43
二 冶铸生铁技术的快速发展	59
三 炼铁工艺多方面的创造	65
一、铸铁柔化处理技术的创造和发展	65
二、铸造低硅灰口铸铁以及类似球墨铸铁工艺的发明	75
三、低温还原“块炼法”的继续采用	77
第三章 早期炼铁炉的发展及冶炼技术	80

一	坩埚炼铁法的创造和长期流传	80
二	炼铁高炉的发展变化及冶炼技术	85
三	鼓风技术的改进	97
第四章	水力鼓风机(水排)的发明和发展	102
一	东汉三国间水力鼓风机(水排)的发明和发展	102
二	水力鼓风机(水排)的结构	106
三	水力鼓风机(水排)装置工程的发展	114
第五章	早期化铁炉的发展及铸造铁器技术	117
一	战国时代化铁炉及铸造铁器技术	117
二	汉代化铁炉的进步	123
三	汉代铸造铁器技术的发展和叠铸技术	126
四	铁器的逐渐广泛使用和铁农具的改进	138
第六章	封建社会后期冶铁业的发达和炼铁技术的发展	147
一	封建社会后期冶铁业的发达以及铁产量的提高	147
二	活门木风箱和活塞木风箱的创造和发展	158
三	煤的广泛使用和焦炭的炼制	163
四	铁器铸造工艺的进步	167
第七章	后期炼铁炉的改进及冶炼技术	174
一	宋元时代高炉的改进及冶炼技术	174
二	明清时代高炉的改进及冶炼技术	184
三	近代各地民间流传的土高炉及冶炼技术	193

下 编 中国古代炼钢技术的创造和发展

第八章	固体渗碳制钢技术的发明和流传	211
一	关于干将、莫邪等宝剑的炼制方法	211
二	中国古代的两种固体渗碳制钢技术	216

三	中国边疆兄弟民族的炼制“镔铁”	225
第九章	脱碳制钢技术的发明和发展	228
一	固体脱碳制钢技术的发明	228
二	“炒钢”技术的发明和发展	233
三	“百炼钢”技术的发展	248
第十章	“灌钢”冶炼法的发明和发展	261
一	“灌钢”的起源及其冶炼技术的进步	261
二	明清以后“苏钢”冶炼技术及其传播	268
三	“生铁淋口”技术的发明和流传	275
第十一章	锻造技术和淬火工艺的进步	280
一	锻造技术的进步	280
二	锻造技术的进步和锻造铁农具的改进	290
三	淬火技术的发明和发展	297
总 论		302
一	总论中国历史上炼铁技术和铸造技术的发展	302
二	总论中国历史上炼钢技术和锻造技术的发展	308
三	总论中国历史上铁农具的改革及其作用	312

绪 论

一 关于炼铁技术的发明

铁矿石是地壳主要组成部分之一,铁在自然界中是分布得极为广泛的。但是人类发现铁和利用铁,却比黄金和铜要迟。这是什么原因呢?首先是由于天然的纯铁在地球上几乎找不到,不像自然金和自然铜那样容易被人发现。而且铁容易氧化生锈,只有和镍混合的铁才能持久不锈,但是含镍的自然铁又极稀少。

因为地球上很难找到自然铁,人类最早所发现的铁,是天空中落下来的陨星。陨星中有些是铁和镍合金,称为陨铁,其中所含铁的百分比是很高的,而且铁很纯净,细的夹杂物很少^①,无论埃及或美索不达米亚地区的最古文明国家,所发现的最早的铁器都是由陨铁加工制成的。考古学家曾在美索不达米亚苏美尔人所建的古乌尔城的古墓中,发现过一把陨铁所制成的小斧,而在古苏美尔语中,铁叫做“安巴尔”,意思是“天降之火”。很明显,苏美尔人最初用的铁是从“天降之火”中来的,所谓“天降之火”就是陨铁。当然,从天空中落下来的陨铁,为数是不多的,因此在用陨铁制作铁器时,铁一定是非常

① 由于陨星在太空中形成时,从高温冷却凝固极其缓慢,从液体中析出的硫化物、磷化物、硅酸盐的晶体都很大,因而陨铁很纯净,细的夹杂物很少。

珍贵的。在埃及的前王朝时期(公元前 3500 年),曾用含镍 7.5% 的陨铁制成铁珠(在今开罗南 80 公里格尔则出土);在埃及十一王朝(公元前 2000 年)的一个墓里,出土了含镍 10.5% 的陨铁制成的镶银辟邪护符。埃及第五至第六王朝(公元前 2400 年前)的金字塔所藏的宗教经文,曾记述当时太阳神等重要神像的宝座是用铁制成的。这种制作重要神像宝座用的铁,显然也是从陨铁得来的,在当时是被认为带有神秘性的珍贵的金属。

对于处在原始状态的民族来说,铁同样是非常珍贵的。在美洲,几个古代文化中心的印第安人,包括墨西哥的阿兹特克部落、尤卡坦的玛亚人和秘鲁的印加人,以及密西西比河流域的印第安人,都曾用陨铁制成箭头、小刀和其他工具。东南亚的马来族把自己炼制的宝刀,叫做“拍莫刀”,“拍莫”在马来语里是陨铁的意思,这种刀该是用陨铁制成的。

人类开始用陨铁制成铁器是很早的,但由于陨铁来源的稀少,铁在当时成为稀有的贵金属,当然它不可能对生产起什么作用。然而这时对陨铁的利用,毕竟使人们初次认识了铁,这对于后来铁矿石的冶炼技术的发明是有帮助的。

铁矿石冶炼技术的发明,是冶金史上新阶段的到来。因为铁矿在世界上分布既广,铁的性质又远比青铜坚牢锐利,等到铁开始为人类服务,生产工具便可得到很大的改进,生产力便可得到进一步的提高。恩格斯在《家庭、私有制和国家的起源》中指出:“铁已在为人类服务,它是在历史上起过革命作用的各种原料中最后的和最重要的一种原料。所谓最后的,是指直到马铃薯的出现为止。铁使更大面积的农田耕作,开垦广阔的森林地区,成为可能;它给手工业工人提供了一种其坚固和锐利、非石头或当时所知道的其他金属所能抵挡的工具。”^①

① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷,人民出版社 1972 年版,第 159 页。按:马铃薯是 16 世纪传入欧洲的。

铁矿石中的铁,一般呈氧化物状态,如赤铁矿(Fe_2O_3)、磁铁矿(Fe_3O_4)、褐铁矿(含结晶水的 Fe_2O_3)、菱铁矿(FeCO_3),热分解后成为 FeO 等。在一定温度下,铁矿石中的氧化铁与还原剂(木炭及其他燃烧物所产生的一氧化碳)接触,便可逐渐还原成铁。大约 500—600 摄氏度以上就开始还原,要到 1 000 度左右,才能得到含碳量很低的固体铁块。

在冶铁技术发明初期,炼铁炉很小,构造也很简单。炉身一般用石头和耐火粘土砌成,有的用石头砌成后涂上耐火粘土,有的全用耐火粘土砌成。炉体大多呈圆形。炉子下身的侧部有一个小孔,插有陶制通风管。多数依傍山坡,利用自然通风。后来进一步用皮囊作鼓风机,用来送进空气。炼铁时,把碎矿石和木炭一层夹一层地从炉子上面加进去,生了火,用一两个皮制风囊鼓动着,把空气从炉侧陶管中不断地压送到炉子中去。这种初期的炼铁炉,因为炉子小,风囊不大,用人力所鼓动出来的风又不够有力,因此吹旺的炭火,温度就不够高,约为 1 000 摄氏度左右,被还原(即去了氧的)的铁块沉到炉底时,就不能熔化为液体流出炉外。每次炼成铁以后,要等炉子冷却,才能把铁块取出来。这样从炉中炼成的铁,是软的、海绵似的熟铁块。这种海绵似的熟铁块,结构疏松,表面很多孔隙,孔隙中夹有矿石本身存在的许多氧化物,主要是未还原氧化铁(FeO)以及氧化铁和硅酸盐(SiO_2)的共同结晶组成的杂质,需要在锻铁炉中烧红后,经过不断锻打,才能挤出一部或大部分杂质,取得较纯的熟铁块,锻造成各种铁器。

这种早期的炼铁技术,曾被称为“块炼法”或“低温固体还原法”。其产品被称为“块炼铁”或“海绵铁”。这样的炼铁法,产量低,费工多,劳动强度大,浪费原料多,而且产品不够坚牢耐用。恩格斯曾经指出:“最初的铁往往比青铜软。”^①只有在炼铁技术进步后,才能提

① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷,人民出版社 1972 年版,第 159 页。

高铁的质量,使铁的坚牢锐利远远超过青铜。

这种冶铁技术究竟最初发明于何时何地,曾经是人们注意和争论的问题。许多学者往往依据考古学上的新发现,变更发明的时间和地点。从目前已有的资料来看,各地铁器的应用是有先后的,那种以为冶金技术来自一个“母国”的说法,完全是不科学的臆说。很显然,凡是一个地方具备了发明某种冶金技术的地理条件和历史条件时,就完全可能创造出某种冶金技术。事实也正是如此,铁在远古时代,是在距离遥远的各个地区,在不同时间出现的。中国冶铁技术的发明,同亚洲西南部和欧洲、非洲所有文明国家的冶铁技术是毫无关联的。许多原始的部落在各别的地区,而且在不同的时间,也都已有冶铁技术的发明。

一般说来,冶铁技术发明于原始社会的末期,就是恩格斯所说的野蛮期的高级阶段。恩格斯曾说野蛮期的高级阶段是“从铁矿的冶炼时开始”。又说,“一切文化民族都在这个时期经历了自己的英雄时代:铁剑时代,但同时也是铁犁和铁斧的时代。”^①这个铁犁与铁斧时代的到来,对于社会生产力的发展是起着巨大作用的。有许多民族由于掌握了铁器手工业,随着社会生产力的发展,随着财富的增加,随着社会分工的扩大以及交换的发展,逐渐由原始公社制过渡到奴隶制社会。但是我们要知道,并不是所有的民族都是如此的。有许多民族由于自然条件的关系,由于采用人工灌溉的关系,特别是由于掌握了较高的农业生产技术,使生产力有了较大发展,因而在拥有青铜器工具的时候,已经过渡到阶级社会。在这些青铜器时代已进入阶级社会的民族中,是在进入阶级社会后再发明冶铁技术的。例如古代的埃及和巴比伦就是如此,古代的中国也是如此。

世界上铁矿石冶炼技术的最早发明的时期,目前学术界还在讨

^① 《马克思恩格斯选集》第4卷,人民出版社1972年版,第21、159页。

论,暂时还不能确定。比较可靠的时期是公元前 14 世纪,因为埃及、两河流域、爱琴等地区在这个世纪都已有铁器应用,在埃及阿马尔纳出土的埃及法老同赫梯国王来往的信札中关于铁的文字记载,也是属于这个世纪的。但是在这个世纪内,铁在各地还是以装饰品的形式出现的,都是些珍贵的精美的工艺品。在冶铁技术刚发明时,铁还是作为贵金属出现的,在意大利大约出现在公元前 12 世纪,在俄国、德国、斯堪的纳维亚半岛大约出现在公元前 10 世纪。大概在公元前 9 世纪,在欧洲,铁的应用才开始推广,到公元前 8—前 7 世纪,整个欧洲才比较普遍用铁,在武器和重要工具的制造上,铁排挤了青铜。至于中国开始发明冶铁技术的时期,学术界正在讨论中,暂时也还没有一致的结论,我们将在本书上编的第一章中加以探讨。

二 关于铁的分类和炼铁技术的发展

我们所谈的炼铁技术,并不是冶炼纯铁的技术。纯铁是很难提炼的,就是用电解方法得出来的铁,也还含有少量的碳。而且纯铁很软,用处不大。自古以来冶铁工业所冶炼的铁,主要是块炼铁(或熟铁)、生铁和钢三种。这些铁,实质上是“铁碳合金”,它们之间的区别主要在于含碳量的多少。含碳量在 0.5% 以下而含有其他杂质和渣滓的是块炼铁或熟铁,也称“软铁”,或称“锻铁”。如果含碳量很低而杂质少的,就是低碳钢。含碳量在 0.5%—2% 而杂质少的,是中碳钢和高碳钢。但实际上一般钢的含碳量多低于 1.4%,很少达到 2%。古人所说的钢,就是指中碳钢和高碳钢。含碳量在 2%—5% 的是生铁,也称“铸铁”。因为它只能用熔化、浇注的方法铸造成型,又称“铸铁”。

熟铁比生铁和钢软得多,有延展性,烧红后可以锻打成各种器

物。熟铁因为含碳量少,熔点较高,大约近于 1 500 摄氏度(纯铁熔点为 1 537 度),而早期的炼铁炉由于炉子小,鼓风设备差,或者采用自然通风,炉温不高,很难把它熔化。这种由矿石直接炼成的熟铁块,我们称为“块炼铁”。等到发明生铁铸造技术之后,生铁成为铁的主要产品,往往用生铁为原料,通过加热炒炼,使其中的碳大部氧化烧掉,从而取得熟铁,其中所含杂质比“块炼铁”要少。

生铁硬度比熟铁高,又比较脆,不适于展接和锻接,而适于用铸范铸成各种器物。凡是熔化的铁很容易熔解碳,温度愈高愈容易熔解。熔解了多量碳的铁,就成为生铁。生铁熔点低,最低达 1 146 摄氏度,比熟铁约低 300 度。在早期冶炼块炼铁的时候,如果炉子高大些,通进空气多些,炉内温度较高,偶或也能使一些铁矿石熔化,得到含碳量较多的生铁。起初,人们把它当做废品抛弃掉,后来才利用它做成铸锭或铸成铁器。这样就逐渐发明了生铁铸造技术。因为铁矿主要成分是氧化铁,它和二氧化硅及其他杂质混在一起,所以当生铁铸成时,硅、锰、磷、硫等元素就渗进不少。

生铁又可分为白口生铁、麻口生铁和灰口生铁三种。一般生铁如果没有硅或含硅很低,或者含碳量较低,极大部分由碳化铁(Fe_3C ,即渗碳体)构成,切面就呈白色,称为白口生铁或白口铁。这种铁又硬又脆,但较耐磨,适宜于制造犁铧之类农具,不适宜于制造需要强度和韧性的工具。硅能使碳化铁分解成游离的碳和铁,生铁如果含硅在 1.5%—3%之间,大部分碳分就处于游离状态,成为片状石墨,切面就呈灰色,称为灰口生铁或灰口铁。灰口铁比白口铁硬度低,脆性较小,具有良好的耐磨性和润滑性能,并具有能消减机件本身振动的消振能力,其耐磨性能高于一般的钢。因而这种铁适宜作轴承材料和铸造各种铁器,用途广泛。介于白口铁和灰口铁之间的,即白口铁中含有片状石墨的,称为“麻口铁”。一般说来,要炼出灰口铁需要更高的温度,在技术上有更高的要求。因而在生铁冶铸

技术发明的初期,炼出的生铁都是白口铁;等到技术进一步发展,才能炼出灰口铁。

钢是含碳量 0.025%—2% 的铁基合金,常含有微量的硅、锰、磷、硫等杂质,熔点约为 1400—1500 摄氏度,性质坚韧而锋利,有良好的塑性,适宜于锻造工具、武器以及各种机械。古代炼制的钢,含有碳分而不含其他合金元素,现在称为“碳素钢”。现代含有一种或一种以上合金元素的钢,称为“合金钢”。

生铁和钢的性质,不仅与其含碳量有关,而且与其内部组织有密切关系。为了说明各种类别的铁和钢的冶炼技术的发明和发展,不能不把铁碳合金的内部组织作简要的介绍。

在铁碳合金中,由于它们含碳量的比例不同和冶炼时的温度不同,分别组成了化合物、固熔体或混合体。化合物是指铁和碳的化合物,固熔体是指铁碳合金在固态下彼此熔解而形成的结晶体。具体说来,生铁和钢的内部组织,有渗碳体、铁素体、奥氏体、珠光体和石墨。

(1) 渗碳体是铁和碳组成的化合物。即碳化铁(Fe_3C),具有独特的结晶形式。含碳量为 6.66%。它是一种不十分稳定的化合物,在特定条件下会分解为铁和石墨。它的硬度很高,脆性极大,几乎没有塑性。

(2) 铁素体是含碳很低的固熔体。铁素体和奥氏体是不同温度下的两种原子排列方式。在 910 摄氏度以下,或者在 1535—1390 度之间,铁素体的原子呈“体心立方体排列”,这种排列的特点是原子分布在立方体的八个角和立方体的中心(参看图 0-1)。铁素体溶解碳的能力较低,在 723 度时含碳为 0.02%。它的硬度

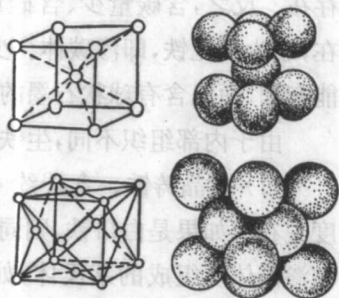


图 0-1 铁碳合金的两种原子排列方式

上图:体心立方体排列

下图:面心立方体排列

强度较低,具有很好的塑性和韧性。

(3) 奥氏体是含碳较高的固溶体。当温度升到一定高度时(纯铁在 910—1 390 度时,含碳 0.8%时在 723 度以上),原子呈“面心立方体排列”,这种排列的特点是原子分布在立方体的八个角和每个面的中心(参看图 0-1)。它熔解碳的能力较高,在 1 130 度时最大熔解度可达 2%。温度降低,它的熔解度也就减少。奥氏体无磁性,具有良好的塑性和较低的变形抗力。

(4) 珠光体是铁素体和渗碳体的混合物。当奥氏体慢慢冷却到 723 度左右,就分析出一定比例的铁素体和渗碳体,形成层状混合物组织,称为珠光体。珠光体含碳量为 0.8%,硬度强度较高。

(5) 莱氏体是奥氏体和渗碳体的共晶体,是含碳量 4.3%的生铁液体冷却到 1 130 度时由于凝固而形成的。莱氏体是生铁特有的组织形态。奥氏体在 723 度时变成珠光体,因此在低于 723 度时,莱氏体就会转变为珠光体和渗碳体的混合物。

(6) 石墨是碳的一种结晶体。它只存在于生铁之中。生铁中含碳量多、含硅量多,冷却速度慢或经相当的热处理,则碳成石墨状态存在。反之,含碳量少、含硅量少,冷却速度快,则碳成化合状态存在,成为碳化铁,即渗碳体。少量的细小而均匀分布的石墨对生铁性能有利,而以含有球状石墨的生铁的机械性能最好。

由于内部组织不同,生铁可分为下列三种:

(1) 共晶铸铁。含碳约 4.3%的铁碳合金从液态冷却到 1 130 度左右。如果是白口铁,则同时析出奥氏体和渗碳体,形成由奥氏体和渗碳体所组成的莱氏体;如果是灰口铁,则同时析出奥氏体和石墨。这种过程称为“共晶反应”^①。这种生铁称为“共晶铸铁”。

① “共晶”是指一定成分的合金在某一温度同时结晶出两种不同成分的晶体。由于共晶反应形成的两种晶体混合物,称为“共晶体”。

(2) 亚共晶铸铁。含碳低于 4.3% 而高于 2% 的铁碳合金,凝固时先析出一部分奥氏体,其余凝固成共晶体。这种生铁称为“亚共晶铸铁”。

(3) 过共晶铸铁。含碳高于 4.3% 的铁碳合金凝固时,如果是白口铁先析出渗碳体,如果是灰口铁先析出一部分石墨,其余凝固成共晶体。这种生铁称为“过共晶铸铁”。

由于内部组织的不同,钢又可分为下列三种:

(1) 共析钢。含碳约 0.8% 的钢凝固后成为奥氏体,缓慢冷却到 723 度左右,同时析出铁素体和渗碳体。这个过程称为共析反应。由于共析反应而产生的铁素体和渗碳体的混合物组织,就是珠光体。共析表示从一种原子排列的固态同时析出两种原子排列的固体。这种钢称为“共析钢”。

(2) 亚共析钢。含碳低于 0.8% 的钢,冷却时从奥氏体先析出一部分铁素体,其余分解为珠光体。这种钢称为“亚共析钢”。

(3) 过共析钢。含碳超过 0.8% 而低于 2% 的钢,冷却时从奥氏体先析出一部分渗碳体,其余分解为珠光体。这种钢称为“过共析钢”。

兹将纯铁、钢、生铁的含碳范围和基本组织的情况,列表于下:

类 别	纯 铁	钢			生铁(白口)		
		亚共析	共 析	过共析	亚共晶	共 晶	过共晶
含碳范围	0.02% 以下	0.02%— 0.8%	0.8%	0.8%— 2.0%	2.0%— 4.3%	4.3%	4.3% 以上
室温的基本组织	铁素体	铁素体 珠光体	珠光体	珠光体 渗碳体	珠光体 莱氏体	莱氏体	渗碳体 莱氏体

以上为了便于说明冶铁炼钢技术发展的历史,把铁和钢的成分和组织作了简要的分析。

从欧洲冶铁技术发展的历史来看,初期进步不是很快的,早期的

炼铁炉不能冶炼生铁。由于铁的熔点较高,不容易从冶金炉中将铁熔化成液体。如何提高炼铁炉的温度,从而使炼出的铁成为液体,以提高冶炼的生产率,在欧洲曾经是长期不能解决的问题。直到中世纪中期,由于水力鼓风机创造和发展,才基本上解决了这个问题。在欧洲,从块炼法到发明冶炼生铁技术,先后经历了两千五六百年之久。

欧洲中世纪中期所创造的冶铁鼓风机,构造大体上和过去的炼铁炉差不多,也是从上面加料和从下面通风的,不过比以前所用的要高得多。在 14 世纪中叶出现于比利时的所谓“狼炉”,就高到 4.5 米左右。由于炉身高大,容得下更多的炭和铁,使一氧化碳和矿石原料接触而起作用的时间增长;同时由于炉内温度较高,使渗碳作用增长,铁就容易熔化,铁在熔化中又能多吸收碳分,吸收碳分多就可以降低铁的熔点,含碳量到 2% 时,熔点为 1 146 摄氏度,因此炼铁炉温度到 1 200 度左右,就可以使铁熔化成为液体,下沉炉底时便变成生铁。生铁的熔点比熟铁低,而鼓风炉的温度比过去炼铁炉要高,因而炉里最后得到的是流动状态的熔化的生铁,不再是熟铁块了。这种炉子所以叫做狼炉,因为早期的狼炉仍是要等到炉冷以后把铁块取出的,那时人们把这种铁块叫做“狼”。

鼓风方法的革新,是提高冶铁技术的主要关键。这时鼓风炉由于采用了水力鼓风的方法,用水轮来鼓动风囊,风囊便可造得更大,鼓风炉也就可以造得更高,可以把较多的空气很有力地压送到炉中,以提高炉中的温度,熔化较多的矿石,以加速冶炼的进程和提高铁的生产率。在欧洲,这种水力鼓风设备,12 世纪开始在部分地区出现。到 14 世纪,这种水力的鼓风设备在欧洲逐渐普遍起来,一直流行到 17 和 18 世纪。

这种水力鼓风炉就比过去的炼铁炉进步得多。因为炉里炼出来的铁是熔化成液体的生铁,冶铁工人便可让液体的生铁从炉里流出

来,铸成铸锭。这样,炉子每炼成一炉铁就不必冷却,炉子就可不间断地工作下去,只要按照需要的分量加进矿石和炭,每隔一定时间把生铁和熔渣放出来。

由于鼓风方法的革新,鼓风炉就造得越来越高大。到1680年时,英国已有了高达9米的鼓风炉,一连可炼铁好几个月。这样炼出来的生铁块就比较大,于是人们就不再把它叫做“狼”,而把它改称为“猪”了。到18世纪,欧洲各国已普遍采用高大的鼓风炉,例如俄罗斯的西伯利亚乌拉尔地方的鼓风炉,炉身高到10.5—13米,直径大到3.6—3.9米,装置有水力推动的强大的圆筒形鼓风器六具,每星期可以生产生铁2000—3000担。

这种较大的水力鼓风炉的创造和冶炼生铁技术的发明,在中世纪的冶铁技术史上是一次重大革新。它利用水力鼓风,把工具从人手里移到机械上来,机械代替了单纯的手工工具,不仅技术有了进一步的提高,更重要的是替扩大鼓风炉的构造创造了条件,使鼓风炉可以不间断地进行工作,大大提高了铁的生产率。自从鼓风炉出现后,生铁成了从矿石中炼出来的主要产品,这就促进了铸铁手工业的发展,使铁器便于铸造。在生铁成为矿石中炼出来的主要产品后,在需要可锻的熟铁和钢铁时,固然发生了一些麻烦,要把生铁重新放到炉子中热烧很久,把生铁中的一部分碳烧掉,使生铁炒炼成熟铁。但是,这些麻烦比起鼓风炉的主要好处——生产率提高这点来,就显得不足道了。

有人把早期由铁矿石或矿砂直接炼得熟铁块的方法,叫做“块炼法”或“一步操作法”;又把这种先从铁矿石或矿砂炼得生铁,再由生铁炒炼成熟铁和钢铁的方法,叫做“两步操作法”。两步操作法远比一步操作法优越,不仅是由于炼铁炉比较高大,可以不间断地连续操作,大大提高了铁的生产率,而且由于操作方法的进步和生产率的提高,炼铁所消耗的燃料大为减少,同时矿石的回收率大大提高。过去