



高炉炼铁技术讲座

冶金工业出版社

高炉炼铁技术讲座

[加] 麦克马斯特大学 编
北京钢铁学院炼铁教研室等 译

冶金工业出版社

高炉炼铁技术讲座

[加] 麦克马斯特大学 编

北京钢铁学院炼铁教研室等 译

高炉炼铁技术讲座

[加] 麦克马斯特大学 编

北京钢铁学院炼铁教研室等 译

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 19-1/2 字数 517 千字

1980年2月第一版 1980年2月第一次印刷

印数 00,001~4,400 册

统一书号: 15062·3466 定价 2.00 元

译 者 的 话

加拿大麦克马斯特大学于1977年举办了高炉技术学习班，学员来自加拿大和美国近四十家钢铁公司和高等学校，从工人到工程师、经理乃至大学教授都有。该大学邀请西欧、北美炼铁界的知名专家讲学，并将讲稿编印成《高炉炼铁技术讲座》。

本书内容基本反映了欧美七十年代高炉生产和设计水平，取材比较系统和实际，涉及高炉炼铁有关的各个方面，有材料、有分析，反映了他们的技术观点和动向。有些内容比较新颖，如关于炼焦按煤相学原理来配煤；型焦的制造和高炉试验；碱金属对高炉影响的深入研究；新的高炉工艺——计算机控制、预还原炉料的使用、炉身喷吹还原气的探讨、新的炉外脱硫方法以及稳质铁的概念等，对我们都颇有启发。本书对于高炉技术的历史发展和经济因素也作了一定阐述，某些历史经验教训和具体管理经验可供我们参考，现译成中文出版。

由于各章作者的行业和国籍不同，行文各具风格，使用计量单位也不一致，例如短吨与公吨都简称为“吨”，在阅读时应视采用英制还是公制而定。为了减少阅读的困难，在译文中尽可能在英制数据后附上换算的公制数据。从内容看，基本理论的篇幅甚少，而有些具体的非技术细节又嫌过多，这些都是不足的地方，但总起来看仍然是一部好的炼铁参考书。

本书由北京钢铁学院炼铁教研室组织院内外有关同志译出，由刘述临、黄务淦同志负责校编，杨乃伏等同志负责图表绘编。原文缺第18讲，还有部分图片不清难以制版，只好略去。译文中不当之处望读者批评指正。

1978年4月

开 学 讲 话

对于任何一个钢铁联合企业来说，高炉的有效操作都是十分重要的。任何操作上的改进都会对全公司产生重大影响。

今日的炼铁技术是经过多年发展形成的，其内容包括了原料准备、高炉设计、耐火材料和高炉操作等方面的改进。这些工作中有的还有待完成，并将获得巨大收益；有的则已完成。

这次的高炉炼铁讲座是为了适应强烈要求而组织的。这个简明集中但又不很深的讲座涉及高炉炼铁的各个方面，适合于多方面的读者——经理、操作人员、工程师、研究人员和设备、耐火材料、原料方面的供应人员。

这次讲座由下述几位参加的协调委员会来组织。

D.W.R.乔治 主席（加拿大钢铁公司）

卢维高 秘书（麦克马斯特大学）

T.R.梅多克罗夫特 （加拿大钢铁公司）

F.J.皮尔斯 （加拿大钢铁公司）

J.A.皮尔特 （安德科·皮尔特公司）

G.H.沃尔克 （多米尼翁钢铁与铸造公司）

在组织这个讲座时，我们坚持两个原则：第一是讲课人必须是本专业内公认的专家；第二是内容必须实用，至于理论方面只讲到能理解过程就行了。

我们这个委员会希望这个《讲座》能满足你们目前的需要，以及在未来的年代继续成为你们有用的参考书。

协调委员会主席D.W.R.乔治

1977年6月

目 录

第一讲 高炉发展史	1
一、引 言	1
二、早期的炼铁	2
三、高炉的发展	7
四、高炉原理的发展	14
五、现代高炉	22
六、结 论	33
第二讲 高炉炼铁原理	35
一、过程	35
二、高炉	35
三、化学反应	37
四、熔剂	42
五、炉渣	43
六、硫的控制	44
七、能量的考虑	45
八、结束语	49
第三讲 高炉生产的经验法则	51
一、引 言	51
二、高炉炉料	55
三、鼓风条件	61
四、铁水成分	70
五、炉 渣	75
六、经验法则的应用	78
七、结 论	81
第四讲 用操作图解决简单的高炉问题	82
一、操作图主要特点评述	82
二、论述和解决简单的高炉问题	93
三、结 论	107

第五讲 高炉设计— I	108
一、引 言	108
二、高炉设计	108
三、炉 型	110
四、高炉冷却	121
五、各区域的冷却	124
六、高炉耐火材料	130
七、炉壳和支承结构	137
八、荒煤气系统	142
九、炉顶装料设备	146
十、原料贮运系统	155
十一、出铁场	160
十二、高炉过程控制	173
十三、炼铁的展望	182
第六讲 高炉设计— II	186
一、引 言	186
二、冷风系统	188
三、热风系统	192
四、高 炉	199
五、煤气净化系统	200
六、煤气分配系统	203
七、能量回收系统	203
八、热风炉预热部分	204
九、结 论	204
第七讲 高炉用水	206
一、引 言	206
二、水的用途	209
三、间接用水	229
四、配 管	257
五、安 全	260
六、水 源	261
七、供水系统	262

八、水处理	268
九、控制和监测设备	276
十、废水处理	276
十一、结 论	278
第八讲 耐火材料	279
一、高 炉	280
二、出铁口泥料	299
三、铁水流沟材料	302
四、鱼雷式铁水罐	303
五、热风炉	308
六、热风总管、环管和鹅颈管	323
七、结 论	324
第九讲 煤的性质	325
一、引 言	325
二、煤的基本情况	325
三、煤的种类	331
四、烟 煤	339
五、煤特性的变化	356
六、结 论	357
第十讲 炼 焦	359
一、引 言	359
二、历史回顾	361
三、常规炼焦	369
四、近来的发展	380
五、污 染	387
六、未来的趋势	392
第十一讲 焦炭性质及其对高炉操作的影响	394
一、引 言	394
二、焦炭质量的检验	403
三、焦炭粒度	410
四、焦炭的化学性质	412
五、结 论	413

第十二讲 高炉用型焦	414
一、引 言	414
二、高炉试验	418
三、型焦性质	424
第十三讲 球团工艺的发展	446
一、引 言	446
二、历 史	447
三、球团工业的成长	450
四、工艺过程叙述	452
五、工艺过程发展——炉子	475
六、工艺过程发展——附属设备	479
七、工厂操作控制	480
八、球团矿质量检查	488
九、某些大型球团厂介绍	490
十、能 源	492
十一、直接还原用球团	495
十二、环境保护	496
十三、总 结	496
第十四讲 铁矿石的烧结	499
一、引 言	499
二、烧结的历史和发展	500
三、烧结用的原料及其准备	503
四、烧结厂矿石中和混匀系统	506
五、在玻璃容器中进行实验烧结	509
六、现代烧结生产	511
七、烧结过程的控制	514
八、烧结矿的种类	518
九、烧结生产的环境保护	522
十、烧结矿在高炉中的使用	525
十一、烧结工业的发展趋势	528
十二、烧结矿经济	532
十三、结 论	534

第十五讲 熔剂和质量控制	535
一、引 言	535
二、熔 剂	535
三、硫的控制	537
四、碱金属的控制	538
五、硅的控制	539
六、炉料计算	540
七、生铁和炉渣取样	540
八、总 结	542
第十六讲 高炉实践— I	547
一、引 言	547
二、精 料	548
三、高风温和鼓风的改进	551
四、炉顶压力	555
五、预还原炉料	557
六、炉身喷吹煤气	560
七、结 论	563
第十七讲 高炉实践— II	564
一、引 言	564
二、高 炉	564
三、Dofasco的高炉操作	566
四、配 料	572
五、高炉控制	591
六、炉外脱硫	607

第一讲 高炉发展史

R. W. 包曼 (美国伯利恒钢铁公司研究部分部经理)

译者 黄务涂

(摘要) 对公元17世纪以前的炼铁历史作了简短的回顾。重点阐述公元20世纪初期以前促使高炉炼铁发展的原料和机械方面的进步及其对现代高炉的意义。讨论了高炉理论的演进、现代高炉设备的发展以及大型高产作业的基本因素。

一、引言

炼铁高炉曾在我们工业历史上起过重要作用，它是生产金属铁的工具。这种金属铁曾经而且继续是重工业的主要基石。大约在公元前两千年，人们就开始用氧化矿石来炼铁。在回顾高炉历史的时候，有必要选择这种古代历史文物并与全部历史进行简单对比。本书历史部分在很简单的回顾工业革命以前的发展过程之后，着重论述了现代高炉工艺的发展。这里只对最重要的高炉结构和机械设备进行讨论，也包括高炉冶炼最基本的要素，以及这些要素如何促使高炉能在今天日产生铁10000吨以上。

约瑟夫·E. 约翰逊, Jr. 在 1917 年的著作中给高炉下了如下定义：

“高炉是一种使氧化矿石还原成液态铁的鼓风竖炉，它用的燃料必须是固体而且要求适当的块度，还要求不含焦油等成分，以保证炉缸燃烧产生的煤气通过。”

这一定义中一半以上的话是说明固体燃料的性能要求，这个事实表明了原料质量在高炉炼铁操作和历史发展中的重要意义。

二、早期的炼铁

第一批炼铁工作者

铁矿石最早被还原可能是由于青铜匠的失误。图 1-1 所示的洞穴就是用于生产青铜的炉子。有理由设想青铜时代在冶炼青铜时误将铁矿石同木炭一起加入到这种炉子中去，结果得到了海绵状的物质。这是当时干了这件错事的青铜匠无法解释的，本想从熔炉中获得液体青铜，结果却是一块看来毫无用处的东西。直到多次偶然发生类似的炼铁事件以后，在受挫折的青铜匠中可能有人试图把这种新物质锻造成型。经过相当多的试验和失败，这些最早的炼铁者发现这些最初认为无用的物质可以制成有用的工具和兵器。这个发明在古罗马时代得以传播，于是在世界大多数地方都实行了炼铁。

早期铁矿石的冶炼是一个间歇的过程，木炭被充分加热以后燃烧产生一氧化碳，上升去还原和熔炼矿石。风箱显然更早就应用了，供给冶炼炉中燃烧需要的空气。在这种早期的作业中，矿石和还原剂的利用效率是很低的，矿石中许多氧化物未能被还原。由于温度达不到熔点，所以未还原的氧化铁以及二氧化硅和三氧化二铝之类的杂质在冶炼末尾被金属铁包围起来。当木炭烧完后，把这种海绵物或铁块从熔穴中取出，并进一步制造工具和兵器。成型锻造操作对于去掉铁块中的氧化铁和其他夹杂物也起着重要作用。

这些早期铁器的成分各异，随所用矿石的不同而不同。当时炼铁工作者已经能识别什么样的矿石最好。实物证明至少有一部分早期的铁是很纯的。某些早期的铁块和器物的化验表明它们在表面渗碳以前有如下成分：

碳	0.03~0.10%
硅	0~0.05%
锰	0~0.15%
硫	0.005~0.05%
磷	0.05~0.5%

这些数据的范围意味着这些材料含铁超过99%。铁工们还发现这些新的物质可以淬火并磨成具有锋刃的工具和兵器。他们也曾发现炼出发脆的铁是容易的,但结果毫无用处(中国古代情况不同,由于在炼出发脆的生铁以后很快就发明了一套铸铁柔化处理技术,包括生产韧性铸铁和脱碳退火成钢等工艺。早在春秋晚期即公元前六世纪就已应用生铁,比国外早约两千年——译者注)。最早炼铁都是生产柔铁(Wrought iron,过去有人也译为“熟铁”,与后来用生铁炒炼出来的熟铁相混淆,故现译为柔铁,柔铁的概念也可包括熟铁——译者注),但其中某些材料今天看来应属于钢。

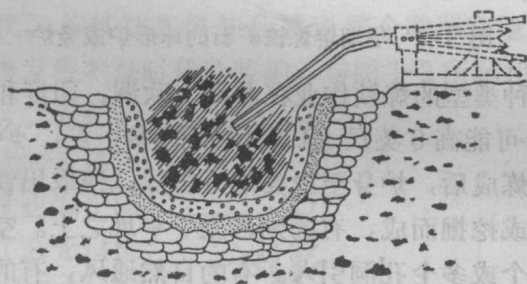


图 1-1 早期炼铁熔穴

铁的生产始于青铜时代,但终于在生产和应用上远远超过了青铜。早期的金属生产者发现铁矿石比铜和锡的矿石更丰富,而且铁的冶炼比青铜简单,铁工具和兵器也比青铜器锋利。铁的这些优点使得对它的需求增长,从而炼铁工作者就寻求更大规模的和更好的生产铁坯的方法。炼铁设备比简单的熔穴变得更大而且复杂。球形炉或矮竖炉投入了使用,图 1-2 所示就是其中之一。这种冶炼装置的优点在于它能容许装入较多的矿石和木炭,而且后来在炉底开了一个口,以排出冶炼过程生成的熔渣。这些炉渣包含了矿石的杂质,如二氧化硅、三氧化二铝、氧化钙以及未还原的氧化铁。

早期的竖炉仍然是间歇作业的,铁的产品仍然是块状或海绵

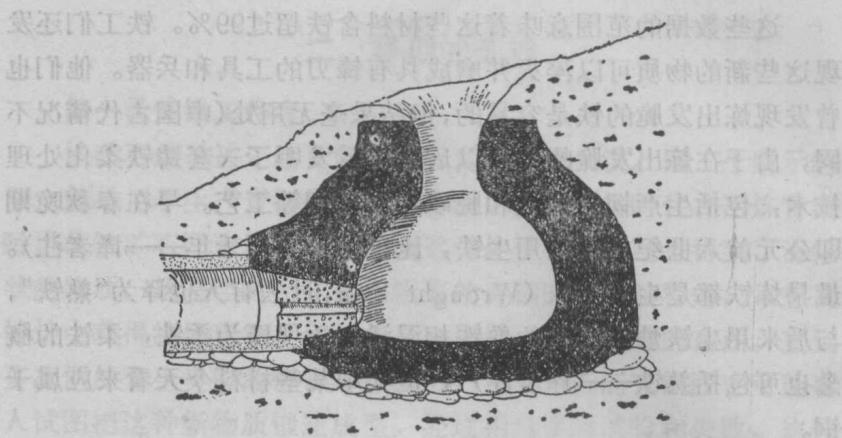


图 1-2 早期熔炼铁矿石的球形炉或竖炉

状物质。这种类型的炼铁作业在非洲、欧洲、印度和中东都获得证实，炉身可能高6英尺（1.83米）稍多一点，炉衬用粘土砌筑。每一炉炼成后，炉身至少要部分拆除以便取出铁块。有的炉子靠山建筑或挖掘而成，有的则自立于平地之上。空气由位于渣口以上的一个或多个孔洞引入。有的自然通风，有的则用机械鼓风。

图1-3介绍了另一种类型的炼铁炉。这种炉子与蜂窝形炼焦炉相似，内部由一层层的木炭和铁矿石交替装填，在木炭和矿石堆上敷上一层薄薄的泥巴，将底层的木炭点燃，冶炼过程就开始了。到了冶炼过程末尾，泥室自然沿着铁块周围坍塌。

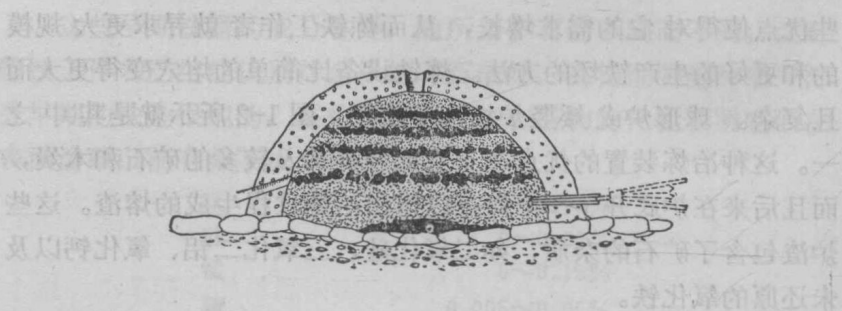


图 1-3 熔炼铁矿石的蜂窝炉

日本早期用铁砂和木炭在一个精心构筑的炉膛中炼铁。这个被称为塔塔拉的操作方法在日本迟至19世纪才实现。从早期炼铁标准来看属于大型的塔塔拉炉，每炼一炉可得海绵铁四吨^①之多。相形之下，图1-2和图1-3所示的早期炼铁炉生产的铁块只有500磅（226.8公斤）多一些，这是值得怀疑的。

最早的铸铁或液体铁产于中国，显然中国在公元一世纪已经生产铸铁，比欧洲同样的实践要早很多（实际上目前的考古发掘证实我国早在春秋晚期即公元前600年已有生铁铸成的实用器物——译者注）。

中世纪的炼铁

罗马时代，炼铁技艺很快传播到整个欧洲和地中海沿岸地区。在英国曾发现罗马时代的竖炉，与图1-2所示相似，其时代可追溯到公元二世纪。

随着罗马帝国的衰落，炼铁的重要性也似乎随之减退。到了公元14世纪初，曾经有两千年历史的炼铁业才真正付诸实践，公元14世纪标志着炼铁发展的起点，并一直延续到今天。

除了竖炉之外，欧洲中世纪的炼铁设备还用缸形炉，这种炉子终于扩大了尺寸和安装了机械吹风设备；如图

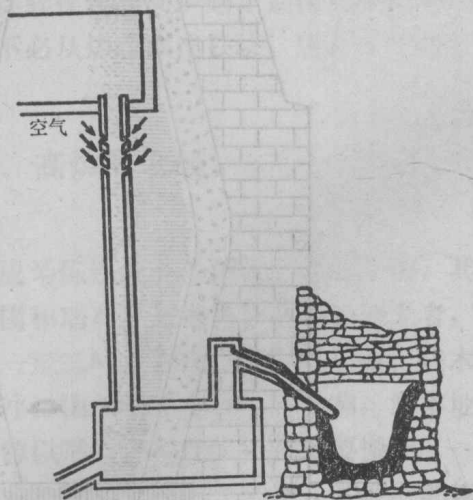


图 1-4 装有吸气器的加泰隆锻炉

1-4所示。这种类型的炉子在西班牙和法国都用过，叫做加泰隆锻炉。它用的鼓风设备是一个大型吸气器，压力能达到1.5~2

^① 本书各章英制与公制混用，当其用英制时“吨”实指短吨，公制时“吨”指公吨。——译者注

磅/英寸²(0.105~0.141公斤/厘米²)。这显然比以前若干世纪用手和脚推动的风箱所能达到的要大不少。加泰隆炉同它以前的炼铁方法比,并无本质上的改变,只是炉子尺寸和生产的铁块都显著加大了。

中世纪炼铁最明显的进展是竖炉的扩大。公元14世纪初期,有一种炉子名叫斯梯克炉(Stückofen),在德国投入了生产,这就是一般认为最早的鼓风炉。起先,斯梯克炉是间歇式生产的,像早期竖炉一样生产铁块,可是后来由于提高了风压,特别是水力风箱的应用,炉子因而加高了。它的构造是由两个截头锥叠成,一个锥接在另一个倒锥的顶上,如图1-5所示。建造的高度达15英尺(4.572米)。

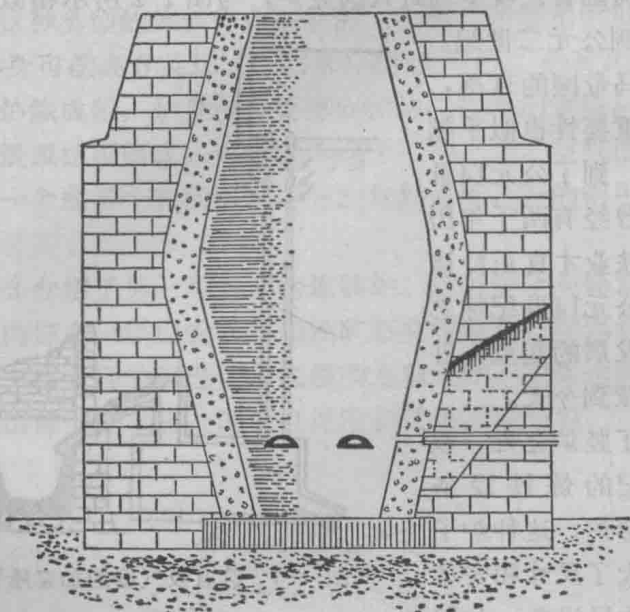


图 1-5 斯梯克炉或块炼炉

采用水力推动风箱的直接结果是提高风压,因而德国在中世纪末就开始炼出了液体铁。较大的炉子减少了热损失,可达到较高的温度,而且水力风箱为克服炉身增长了阻力提供了一个

手段。生铁的形成无疑给炼铁工作者带来问题。首先面临的是盛放问题，其次是液体产品与以前的铁块成分不同。解决盛放问题的办法是使铁液从炉缸流入前炉，再从这里使铁水凝固形成现在所说的生铁块。

生铁的第二个问题是含碳量高。这一问题是通过二步法生产熟铁来解决的。第一步是在斯梯克炉中生产出生铁，第二步是在缸形炉中将生铁熔化并脱碳。二步法又生产出了类似早先竖炉的产品铁坯。这种二步法在工业革命以前获得了充分的发展，已近似于现代高炉和氧气转炉的流程。实行二步法的结果使高炉炼铁从整个炼铁过程中独立出来，这对进一步扩大竖炉起了重要作用。

发生在中世纪的另一值得注意的炼铁事件是从间歇操作变为连续操作。这个事件显然没有引起历史学家的注意，但它却在高炉发展中具有重要意义。连续操作的高炉始于斯梯克炉炼出铁水后不久。从此炼铁工作者不必从炉底取出铁块，这是连续装料和铸铁的必要步骤。

三、高炉的发展

工业革命之前

英国在17世纪时开始成为炼铁领先的国家。在此之前，其他欧洲国家特别是德国、法国和瑞典在炼铁方面曾经是领先者，当时最好的炼铁指标是日产一至二吨，取决于原料铁矿石、烧木炭的木材和水力等必要的条件。由于受这些条件的影响，当本地木材和矿耗尽和发现新的资源以后，炼铁作坊往往就要搬迁。

在英国，木材的供应成为17世纪的一大问题，其他欧洲炼铁的国家也不同程度存在这个问题。英国和其他欧洲炼铁的国家在17世纪认识到了这个木材供应的大问题，于是在17世纪末期就进行了用煤代替木炭的尝试。可是这些尝试大都没有成功，因为煤含硫高，而且在高炉中不能很好地支撑住矿石而不使压差升高，即不能保证料柱的良好透气性。在经历过多次用煤试验失败之后，18世纪初期有一位名叫达贝（Abraham Darby）的英国炼铁