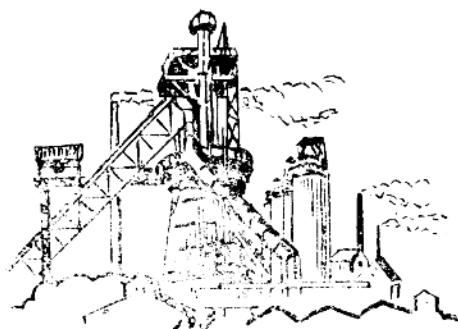


中小高炉炼铁生产



辽宁省中小钢铁情报站
鞍山钢铁大学

一九七六年五月

前 言

为加强科技情报交流，适应我国中小高炉炼铁生产迅速发展的需要，使科技情报工作作为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为阶级斗争、生产斗争和科学实验服务，我们在举办两期“中小高炉炼铁情报交流学习班”的基础上，和中小钢铁厂（辽宁省的东岭和北票；黑龙江省的勃利和帽儿山）高炉车间工人一起，对原《中小高炉炼铁》教材进行了改编，定名为《中小高炉炼铁生产》。

《中小高炉炼铁生产》教材，内容通俗易懂，力求将炼铁基本原理，及生产实践结合在一起。从生产实践角度较为系统地叙述了中小高炉炼铁过程，结合中小高炉特点，侧重于生产操作和中小高炉的生产。对炼铁基本原理和设备也做了简单叙述。书中除针对辽宁中小高炉的生产实际做了讲述外，还扼要地介绍了在三大革命斗争实践中出现的我国中小高炉炼铁的一些新技术和先进经验。

本书是中小炼铁厂工人读物，可做为“七·二一”工人大学、技工学校炼铁专业的教学参考书，也可供中小高炉现场人员和企业领导参考。

编写中受到辽宁省冶金局、辽宁省冶金科技情报总站、黑龙江省冶金局和我省“第一届、第二届中小高炉炼铁情报交流学习班”广大工人的协助，我们在此表示感谢。

由于我们水平所限，编写时间也比较仓促，错误在所难免，诚恳地欢迎批评指正。

编 者

毛 主 席 語 录

为什么人的问题，是一个根本的问题，原则的问题。

无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

目 录

第一章：高炉生产概述及冶炼基本原理.....	1
第一节 高炉生产的工艺流程.....	1
第二节 高炉冶炼基本原理.....	2
第三节 高炉冶炼产品及付产品.....	11
第二章：高炉冶炼用原料.....	14
第一节 铁矿石.....	14
第二节 燃料.....	20
第三节 熔剂和洗炉剂.....	24
第四节 锰矿.....	25
第五节 原料入炉前的准备处理.....	25
第三章：高炉结构与装料设备.....	29
第一节 高炉炉型.....	29
第二节 高炉炉衬及炉底.....	32
第三节 高炉冷却设备.....	40
第四节 高炉基础和金属结构.....	43
第五节 高炉供料设备.....	45
第六节 炉顶装料设备.....	47
第四章：判断高炉炉况.....	51
第一节 直观判断炉况的方法.....	51
第二节 利用热工仪表判断炉况的方法.....	56
第三节 综合判断炉况的方法.....	63
第四节 正常炉况的标志.....	67
第五章：失常炉况的处理.....	69
第一节 初步失常阶段的炉况.....	69
第二节 严重失常阶段的炉况.....	79
第六章：高炉操作制度的选择和调剂.....	88
第一节 送风制度.....	88
第二节 装料制度.....	101
第三节 造渣制度.....	108
第四节 热制度.....	124

第七章：炉前操作	132
第一节 炉前工作进程.....	132
第二节 炉前机械设备.....	134
第三节 维护出铁口.....	136
第四节 维护砂口（撇渣器）.....	140
第五节 放渣.....	140
第六节 炉前事故的预防及处理.....	141
第七节 特殊情况时的炉前操作.....	143
第八节 冷却设备的维护及更换.....	144
第八章：热风炉操作	146
第一节 高炉煤气除尘.....	146
第二节 蓄热式热风炉.....	155
第三节 鼓风机.....	172
第九章：强化高炉冶炼过程	178
第一节 强化冶炼过程中焦比和冶炼强度的关系.....	178
第二节 提高冶炼强度.....	179
第三节 降低焦比.....	186
第四节 强化冶炼的几个问题.....	200
第十章：高炉冶炼指标及其分析	202
第一节 高炉技术经济指标.....	202
第二节 高炉作业指标.....	205
第十一章：高炉开炉、停炉及封炉	209
第一节 高炉开炉.....	209
第二节 高炉停炉.....	214
第三节 高炉封炉.....	216
第四节 开炉配料计算.....	217

第一章 高炉生产概述及冶炼基本原理

第一节 高炉生产的工艺流程

高炉是一个中间粗两端细的圆筒型的竖式炉子。按高炉的部位可以分为炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸五个部份。由于高炉炼铁过程是在高温中进行，因此用粘土砖或高铝砖砌筑炉衬，炉衬外部有钢板制的炉壳来加固炉体，还起密封作用。为了保护炉衬，从炉身到炉缸以至炉底设有冷却设备，高炉由炉顶装料设备装入铁矿石、焦炭和熔剂。通过位于炉缸部份的风口送入热风以燃烧焦炭，产生高炉煤气来还原铁矿石。

铁矿石主要是由铁的氧化物和脉石组成的混合物。在风口区由于焦炭等燃料燃烧而产生的高温（ $1800-2100^{\circ}\text{C}$ ）还原性气体（ CO 、 H_2 和 N_2 的混合气体）从风口向上运动。而由于焦炭不断燃烧，渣铁熔化而空出的空间促使炉料（铁矿石、焦炭和熔剂）由炉喉向下运动。高炉炼铁过程就在这一相向运动中完成。高温煤气和部分焦炭夺取铁矿石中的氧，将铁矿石变成海绵状铁，这一过程叫做还原过程。海绵状铁由于受到高温煤气的加热和渗碳而熔化，变成液态的铁水，向下流动并集聚于炉缸。铁矿石中的脉石，焦炭中的灰份和熔剂互相作用形成炉渣。在高温煤气加热下变成渣水而流到炉缸，浮在铁水面上。高炉每经过一定时间由出渣口放出炉渣，从出铁口放出铁水。

为了完成高炉炼铁过程，除高炉本体外还需要一系列辅助设备。

（一）上料设备

包括贮矿场，贮矿槽，焦炭振动筛，称量漏斗，称量车或手推车及磅秤、料车坑、料车、斜桥，料车卷扬机。

（二）装料设备

包括受料漏斗，布料器、大、小料斗，大、小料钟，平衡杆，大、小料钟卷扬机，某些高炉还有均压阀和均压放散阀。

（三）送风设备

主要包括鼓风机、热风炉、热风及冷风管道，热风围管及送风支管、直吹管风口装置等。

（四）煤气除尘设备

主要包括煤气上升管，煤气下降管，重力除尘器、洗涤塔、文氏管、灰泥捕集器、脱水器等。某些中型高炉还设有静电除尘器。

（五）渣铁处理设备

包括出铁场、电炮、堵渣机、铸铁机、水渣池、扒渣机或抓斗吊车。某些中型高炉还设有铁水罐和渣罐。

（六）喷吹设备

喷吹设备中有煤粉粉碎机（球磨机）煤粉收集罐、贮煤罐、喷吹罐、混合器和喷枪

等。

喷油设备包括卸油泵、贮油罐、过滤器、送油泵、稳压罐、调压装置、喷枪等。

第二节 高炉冶炼基本原理

高炉冶炼过程是在炉料不断下降和煤气不断上升的相向运动中进行的，炉料从炉顶装入高炉，而热风由风口鼓入炉缸。焦炭在风口前燃烧产生高温煤气，在上升过程中与下降的燃料相遇，发生一系列物理的、化学的作用。如炉料和煤气之间的热交换，水份蒸发、铁氧化物的还原，生铁的渗碳和熔化，造渣和脱硫等。

(一) 炉料和煤气的机械运动

炉料从炉喉向炉缸运动的速度，比煤气从风口上升到炉顶的时间要慢得多。炉料从炉喉下降到风口水平面的时间叫做冶炼周期。冶炼周期与高炉冶炼强度成反比，冶炼强度越高则冶炼周期越短，相反，冶炼强度越低，冶炼周期越长。一般当冶炼强度达到1.0时冶炼周期大致为8小时。而煤气从风口到炉顶运动的时间只需要几秒钟。

炉料下降的原因是：

1. 焦炭燃烧，形成一个自由空间。
2. 炉料熔化和由下部放出渣铁所引起的体积减少。
3. 小块炉料充填于大块炉料之间，使炉料所占体积缩小。

由上述所形成的自由空间，使上部炉料失去了下部炉料的支托，当炉料下降力超过煤气浮力时，才能实现炉料的下降。

炉料下降力并不等于炉料总重量（指从炉顶到风口水平面间炉料总重量），因为炉料总重量受到炉料与炉墙间外摩擦力和炉料间内摩擦力而减轻。剩余的重量称为炉料有效重量，这就是形成炉料下降力的因素。

只有当炉料下降力大于煤气浮力时，炉料才能下降。相反，如果煤气浮力大于炉料下降力时，高炉就难行或悬料。

炉料在下降过程中，由于矿石比焦炭的比重大，因此矿石下降的速度比焦炭较快，而且当矿石还原并熔化为铁水时，可以从焦炭缝隙间自由流向炉缸，因此同一批料的矿石和焦炭在到达炉缸的时间上就产生了差距，也就是矿石比焦炭更早的到达炉缸，这种现象叫做超越现象。由这一现象所造成的后果，是高炉炉缸温度的变化要比冶炼周期缓慢一些，这就是所谓的热惯性。

另一现象是炉料在下降过程中，焦炭受下降矿石的排挤而向炉墙水平方向移动，以致在炉身边缘靠近炉墙环圈处的焦炭比例，远比炉喉料面处的焦炭比例为高，因此边缘环圈料柱透气性越来越好，边缘气流越来越发展，这一现象称为边缘效应。而当炉喉间隙过大，炉身角过小，炉衬过份浸蚀，尤其厚炉墙炉身过份浸蚀时，这一现象尤其突出。

在料面沿半径各点上炉料下降速度也不是一样的。当煤气呈两道气流合理分布时，高炉边缘和中心气流发展强度相接近，此时炉料沿高炉半径上各点下降的速度也比较接

近。但是边缘气流发展造成中心堆积时，边缘环圈炉料下降速度很快，而中心环圈的炉料下降很慢，形成沿炉子半径各点下料速度的不均匀，在这种情况下，炉料不但呈垂直下降，而且也产生了向水平方向运动，使下降方向偏向边缘。相反边缘气流不发展，中心气流过份发展时也会产生向中心方向的运动。这些不规则的运动，不可避免地加大了炉料之间的内磨擦力，从而减低炉料的有效重量，影响炉料的正常下降。

焦炭在风口前燃烧所产生的高温煤气，在通过高炉料柱时的压头损失，就是煤气对下降炉料的支撑力（或浮力），相当于热风压力与炉顶煤气压力之差，压头损失的大小，反映了高炉内料柱透气性的好坏。

沿高炉料柱高度上各部分的压头损失是不一样的，在高炉下部成渣区域，由于粘稠的渣液充填于料块之间，严重地降低了这部分料柱的透气性，因此煤气的压头损失最大，它决定于炉渣的数量和粘度，也与焦炭的机械强度有关。在高炉炉身下部，炉料基本上都呈固体状态，料柱透气性较好，煤气的压头损失较低。其压头损失的大小取决于炉料的性质（粒度、筛分组成）、焦炭负荷和炉顶布料的情况。

在高炉断面上，一般边缘和中心煤气流都得到比较适当的发展，这是符合高炉冶炼的要求的。但往往由于在高炉断面上矿石和焦炭分布的不均匀，造成高炉断面上各部分料柱透气性的不同，导致煤气流分布的混乱，从而破坏了高炉顺行。

（二）炉料和煤气间的热交换

风口区煤气温度高达 $1800\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ，在上升过程中不断将热量传给炉料，当到达炉顶时，温度下降到 $150\sim 500^{\circ}\text{C}$ （用热烧结矿或球团矿）左右。

根据测定，煤气温度在高炉下部和上部落下降比较快，而在高炉中部变化不大，并且炉料和煤气的温度基本接近，因此煤气和炉料的热交换形成为图1—1所示的三个区域。

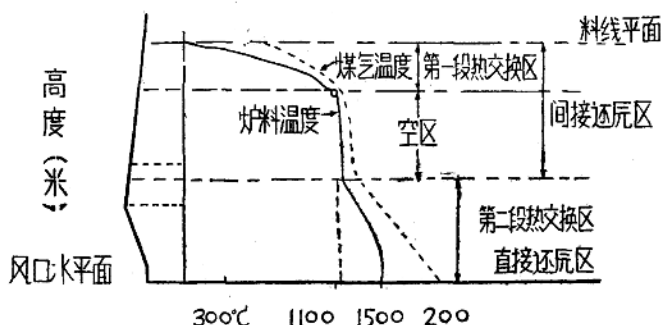


图1—1 温度沿高炉高度分布示意图

在高炉下部由于铁氧化物的直接还原，渣和铁水的熔化和过热，部分碳酸盐（石灰石）的分解，以及硅、锰、硫等元素的直接还原，都要消耗大量的热量，所以在这个区域煤气和炉料间的热交换进行得十分剧烈，而且煤气温度越高，煤气和炉料间温度

差越大，其热交换速度就越快，因此一切提高焦炭在风口区燃烧温度的因素，都会使下部热交换速度加快，从而使这一区域的高度缩短，相对地加高了第二区域（空区）的高度。而空区又基本上是铁氧化物的间接还原区。空区增高有利于提高间接还原度，降低直接还原度，在当前直接还原度高于理论直接还原度的情况下，就能降低焦比。提高热风温度，富氧鼓风，降低鼓风湿份都会提高燃烧温度。相反，降低热风温度，喷吹重油及天然气将会降低燃烧温度。

在高炉上部，由于炉料的加热、水份的蒸发、碳酸盐的分解都需要消耗热量，因此煤气温度下降也较快。

在中间一段“空区”，由于铁氧化物的间接还原是放热反应，所以不需要从外部增加热量，煤气和炉料温度差很小，因此两者热交换进行得很慢。

以前曾认为提高高炉的高度会有助于降低炉顶温度，更多地发展，铁的间接还原以降低焦比。这尝试之所以失败，是由于没有认识到高炉热交换的实质。同样，如果过份降低高炉高度，也会使上下两个热交换区被压缩，不利于发展必要的间接还原，这就会像“矮高炉”那样引起不必要的焦比升高。从高炉热交换观点来分析，高炉必须有一个合理高度。

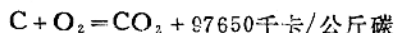
（三） 风口前碳素的燃烧

焦炭、无烟煤和从风口喷入的重油，煤粉，天然气中的碳素在炉缸风口前的燃烧是供应高炉以气体还原剂和热量的主要来源。

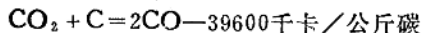
焦炭燃烧会形成一个自由空间，这就为炉料下降创造了条件。而装入高炉中的焦炭无烟煤等，除一部份在下降过程中参与直接还原和生铁的渗炭外，其余约65—75%都在风口前燃烧并生成含CO的还原性气体。因此焦炭燃烧是高炉内一切反应的策源地。一旦高炉内焦炭燃烧反应停止，如休风和顽固悬料时，就会使全部冶炼过程停顿下来。

一. 风口前碳素的燃烧反应

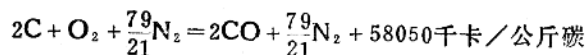
风口前碳素的燃烧过程，可以认为是分做两步完成的。首先是燃料中的碳素与鼓风中的O₂燃烧生成CO₂气体，并放出大量的热。



其次是生成的CO₂气体随即与周围焦炭中的碳起反应，生成CO，并吸收热量。



由于鼓风的成份是21%氧和79%的氮所组成，因此燃烧所产生的气体又必然是CO和N₂的混合气体，综合上述焦炭燃烧时的化学反应式为：



实际上，鼓风中总要含有水份的，而重油、煤粉和天然气等喷吹燃料中也部含有CH₄，这些水份和CH₄在风口区的高温下都会分解而放出H₂。因此炉缸煤气成份实际上是CO，H₂和N₂的混合气体。

不含水份的干空气与焦炭燃烧后生成的高炉炉缸煤气成份为CO34.7%，N₂65.3%。

含有水份的湿风，由于水份分解而生成氢（ H_2 ），使氮（ N_2 ）%相对地降低，表1—1是鼓风湿度不同时，高炉炉缸的煤气成分（体积比）。表1—1

空气中水份含量		高炉炉缸煤气体积（%）		
体 积	克/米 ³	CO	H ₂	N ₂
0	0	34.70	0.00	65.30
0.5	4.017	34.80	0.40	64.80
1.0	8.035	35.00	0.80	64.20
1.5	12.052	35.10	1.20	63.70
2.0	16.070	35.20	1.60	63.20

从碳素的燃烧反应式可以得知，每燃烧24公斤碳素需要22.4米³氧，也就是需要
 $\frac{22.4}{0.21} = 106.67$ 米³干空气，因此可以说每燃烧1.0公斤碳素需要干空气量为
 $106.67 \div 24 = 4.44$ 米³。

二、循环区和燃烧带

在小型高炉上，由于鼓风动能或风速较低，风口前燃烧的焦炭，只是缓慢地向下移动，但当达到一定冶炼强度时，鼓风的动能或风速，足以将风口前的焦炭吹出一个比较疏松的区域。这一区域近似球状，沿着球形的内部空间，煤气夹带着红热焦炭和炉料进行循环运动。而包围球形空间的是一层厚度约为100—200毫米的中间层。由于此层一方面受到高速度煤气流的冲击，而另一方面又受到外围料柱的阻力，故比较疏松。焦炭在循环运动过程中进行燃烧，而中间层的焦炭不断被回转煤气带入循环区而燃烧，而外层的焦炭又不断向中间层进行补充。这样风口前煤气流和焦炭进行循环运动的区域称为焦炭循环区。

焦炭和鼓风中的氧进行反应的区域称为燃烧带，一般燃烧带比循环区是稍大一点。这里生成的 CO_2 气体到循环区以外与过剩碳素进行反应而生成CO气体。

燃烧带对高炉炉料运动和沿炉缸断面煤气流的分布起重大作用。一般只有当燃烧带达到一定深度时，炉料运动才会正常、炉况才顺行。

提高鼓风风速或鼓风动能（缩小风口直径）会使燃烧带扩大。相反，扩大风口直径以降低风速或鼓风动能，会缩小燃烧带。

增加风量而风口直径不变时，由于鼓风风速或鼓风动能提高，燃烧带也将沿着风口中心线方向扩大，而在其他方向不变。

提高热风温度能使风速或鼓风动能提高，会使燃烧带扩大。在风量不变时，风压升高使燃烧带缩短。

多风口的高炉由于风口燃烧带连成一片或相距很近，这就使呆区减少，有利于炉料下降。因此加多风口数目到燃烧带互相接近，可以保证顺行，并可以使高炉接受大风量，一般风口距离接近一米时即可达到目的。

(四) 水份蒸发和碳酸盐分解

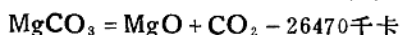
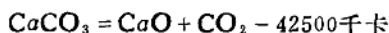
一 水份蒸发

炉料表面总是附着一些水份，尤其是焦炭为多孔物质，在雨季含有多量的吸附水。这种水叫做物理水，一般在100℃以上即可蒸发，对高炉冶炼没有什么影响。

某些铁矿石（如褐铁矿）含有一定量的结晶水，这些结晶水进入高炉高温区时，因水份分解要消耗热量，对炉温有一定的影响，因此使用该种原料时，最好在炉外予先经过焙烧，以驱除结晶水，同时可相应提高含铁量。

二、碳酸盐的分解

石灰石（ CaCO_3 ）和白云石（ MgCO_3 ）在高炉内受热而分解，其反应式如下：



理论上高炉内石灰石剧烈分解的温度为920℃，但因石灰石具有一定的块度，同时导热性也较差，因此石灰石的分解要到更高温度才能结束。在高温下分解出来的 CO_2 随即与固体炭素发生下述反应，（称炭素的气化反应。）



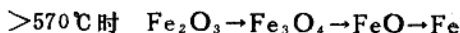
石灰石分解放出的 CO_2 ，降低了煤气中CO的浓度，而炭的气化反应，既消耗热量，也减少了达到风口前炭素量，不可避免地要使焦比升高。因此用生石灰代替石灰石入炉，或者提高人造富矿的碱度，是降低焦比的一个重要措施。

(五) 铁氧化物的还原反应

铁矿石的主要成分是铁的氧化物，用气体还原剂（如CO和 H_2 ）或用固体还原剂（炭素）夺取铁氧化物氧的过程，称为还原反应过程。这是高炉冶炼中最基本最大量的反应。

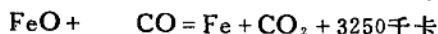
还原反应不仅要求有一定的温度，而且要求供应浓度足够的还原剂，也要求还原剂和铁氧化物之间有良好的接触条件，才会促进还原反应迅速地进行。

铁氧化物的还原，总是由高价铁氧化物还原为低价铁氧化物，再还原至金属铁。又因为在<570℃时，氧化亚铁（FeO）是不稳定的。因此铁氧化物的还原顺序为



一、铁氧化物的间接还原

风口前炭素燃烧生成的CO气体是铁氧化物的主要还原剂，其反应式为

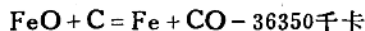


这种用CO气体还原铁氧化物的过程称为间接还原。它的特点是还原气体产物为 CO_2 ，反应过程中总的放出了热量，因此不需要外部供给热量，但上述反应均为可逆反应，即在一定温度下，有一定的平衡气相成分CO和 CO_2 ，故为了保证反应的进行，必

须使用过量的CO。

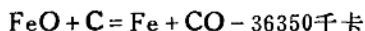
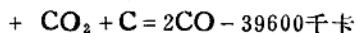
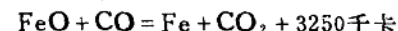
二、铁氧化物的直接还原

氧化亚铁不但可以通过CO间接还原成金属铁，也可以按下述反应式被固体C素还原。



这种用固体炭还原铁氧化物的过程称为直接还原。它的特点是还原气体产物为CO，反应过程中需要吸收很大的热量，但一个原子的炭可以还原一个原子的铁，还原时不需要消耗过量的炭素。

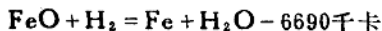
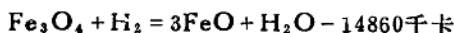
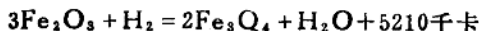
其实，这种直接还原方式，可以认为通过下述两步来进行。



由此可知：所谓直接还原是通过CO气体来进行的，只是生成的CO₂与C素相作用（炭的气化反应），最终消耗了固体炭素而已。因此，在高炉内铁氧化物是间接还原还是直接还原，主要决定于是否发生炭素的气化反应。一般来说，这一反应在800℃时开始进行，至1100℃时进行得非常剧烈。因此在温度低于800℃以下的高炉上部为间接还原区域，也称间接还原带；在高于1100℃的高炉下部为直接还原区域，也称直接还原带；在800~1100℃之间，既有直接还原也有间接还原，称为过渡带。

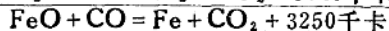
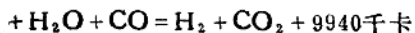
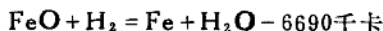
三、用H₂还原铁的氧化物

由喷吹燃料带入高炉内的水分，或由喷吹燃料带入的炭氢化合物和水份，在风口前都要分解成为H₂，同样参与铁氧化物的还原反应。

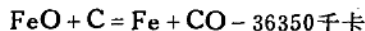
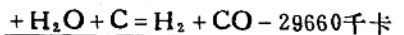
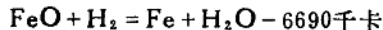


因为高炉内充满了CO气体和固体炭素，还原生成的H₂O又可以与CO或C起作用再生成H₂。

与CO作用时



与固体炭作用时



从反应式可以看出：高炉内的H₂在还原过程中，虽然只是起一个中间作用，消耗掉的仍然是CO和C，但最后有部分H₂参与还原生成H₂O后不再生成H₂，以水蒸汽形态由炉顶逸出。即这部分H₂实际参与了高炉内铁氧化物的还原，大约为入炉总H₂量的40%左右。

由于 H_2 的还原能力比 CO 强，并且在高炉内可以往复地被利用，有可能改善高炉内煤气的利用；同时 H_2 还原了部分 FeO ，可以减少直接还原所消耗的炭素，而还原 FeO 时所消耗的热量，也远比用固体炭素还原时所消耗的热量为低。这就是为什么蒸汽鼓风和喷吹燃料时可以降低直接还原而提高间接还原的主要原因。

（六）硅、锰、磷的还原

一、高炉中锰（Mn）的还原。

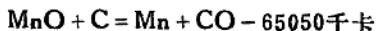
生铁中的锰（Mn）是由锰矿石带入的，有时也由铁矿石带入微量的锰（Mn）。

锰在锰矿石中以 MnO_2 ， Mn_2O_3 、 Mn_3O_4 、有时也以 $MnCO_3$ 或 $MnSiO_3$ 形态存在。

锰氧化物的还原程序与铁氧化物类似，也是由高价氧化物还原为低价氧化物，最终还原为金属锰溶入生铁中。即：



在高炉冶炼条件下：从 MnO_2 还原到 MnO 均为间接还原，而从 MnO 还原为锰（Mn）则全部为直接还原，自由状态 MnO 的直接还原从 $1100^\circ C$ 就可以开始，但大部分 MnO 多以 $MnSiO_3$ （硅酸锰）形态存在于炉渣中，而从 $MnSiO_3$ 中开始还原锰的温度为 $1300^\circ C$ ，而且直到 $1400^\circ C$ 以上还原过程才激烈进行，因此锰的直接还原条件比铁的直接还原需要更高的温度。 MnO 的直接还原反应如下：



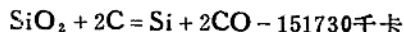
MnO 的直接还原消耗的热量几乎比 FeO 直接还原需要热量大一倍。在高炉冶炼条件下99%以上的 FeO 可以还原成金属铁，只有小于1.0%进入炉渣，而 MnO 只有40—70%进入生铁。还有30—60%残存在炉渣之中。

炉渣中碱性氧化物（如 CaO 和 MnO ）的存在可以和 $MnSiO_3$ 中之 SiO_2 结合成 $CaSiO_3$ ，从而可以将 MnO 置换出来，因此采用碱性炉渣冶炼时，锰的回收率就高。所以在高炉冶炼条件下提高锰的回收率的必要条件是高温、高焦比和高炉渣碱度。

二、硅（Si）的还原：

铸造生铁要求生铁中含硅高（硅含量达到1.25~4.25%），而冶炼制钢生铁时要求硅尽可能低一些（Si 0.5~1.3%）。生铁中的硅是由炉料中 SiO_2 还原出来的。

SiO_2 是很难还原的化合物，是在高温区经过直接还原而得到的。用固体碳还原 SiO_2 的反应如下：



从 SiO_2 中还原每一公斤硅所需要的热量，相当于 FeO 中还原一公斤铁所需要热量的8倍。

用固体碳还原 SiO_2 的开始还原温度在 $1300^\circ C$ 左右。当有铁存在时，由于还原出来的硅能与铁结成硅化铁（ $FeSi$ ），而熔于铁液中，因此从 SiO_2 开始还原温度，可以从 $1300^\circ C$ 下降到 $1050^\circ C$

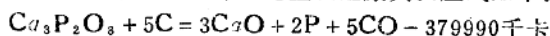
从 SiO_2 中还原Si和炉渣碱度有密切关系、因为炉渣中的 CaO 与 SiO_2 结合成硅酸钙

($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) 而妨碍 SiO_2 的还原。因此在原料含硫较低条件下, 采用酸性炉渣冶炼铸造生铁 (尤其是含硅 2.5% 以上的铸造生铁) 相对地比用碱性渣更有利于硅的还原, 而且能降低焦比。如果单纯从还原温度观点而采用高熔点的碱性炉渣操作, 忽视了炉渣碱度对硅还原的影响, 反而会使焦比升高。总之硅的还原条件是提高炉缸温度和采用较酸性的炉渣。

由于硅的还原需要较高炉缸温度, 因此冶炼铸造铁时, 比冶炼制钢生铁的焦比要高出 5~20%

三、生铁中磷 (P) 的还原

高炉炉料中含有少量的磷, 而磷又多以磷灰石 ($\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$) 形态存在, $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ 是很稳定的化合物, 在高炉中的磷全部经过直接还原其反应式如下:



由于 CaO 与 SiO_2 容易生成硅酸钙, 将 P_2O_5 置换出来, 而铁又能与磷组成化合物, 并溶于生铁中, 因此能降低磷开始还原的温度与加快 $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ 还原的速度。所以, 磷虽然是难还原的元素, 但在高炉冶炼条件下, 仍然全部被还原出来。磷是一种有害元素, 应严格控制矿石中磷的含量。

(七) 造渣过程和脱硫

铁矿石的脉石和焦炭灰份的主要成份是 SiO_2 及 Al_2O_3 , SiO_2 的熔点是 1713°C Al_2O_3 的熔点是 2025°C , 这些化合物在高炉冶炼条件下都不能熔化。

为了保证在高炉冶炼过程中, 将这些难熔物质变成易熔物质, 以利于渣铁分离和去除生铁中的硫, 必须加入其他助熔的物质 (熔剂), 如 CaO 和 MgO 等。因此高炉炉渣的主要成份为 SiO_2 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 , 此外还有少量 FeO 、 MnO 、 CaS 等。其中 CaO 、 MgO 、 MnO 及 FeO 都是碱性氧化物, 而 SiO_2 和 Al_2O_3 是酸性氧化物, 炉渣中碱性氧化物和酸性氧化物之比, 一般称为炉渣碱度。

一、高炉中的造渣过程

高炉中的炉料在下降过程中逐渐被加热, 当天然矿石温度达到 1000°C 左右时或自熔性人造富矿达到 1100°C 左右时就开始熔化。炉渣的造渣过程就由这时开始的, 开始形成的炉渣称为初渣, 而从渣口放出的炉渣称为终渣。

当温度进一步提高时, 熔点较低的初渣, 就形成流动性比较低的塑性物。主要成分为 SiO_2 和 FeO , 其中 FeO 则因使用原料和操作条件不同, 波动范围很大。而难熔物质 CaO 等含量很少。

初渣继续下降, 温度继续上升, 炉渣中的 FeO , 不断被还原成海绵铁, 使初渣中 FeO , 不断降低。同时炉料 (尤其是熔剂) 中的 CaO 及 MgO 开始大量熔入初渣, 使初渣碱度逐步升高, 同时其熔化温度也继续升高, 直到初渣达到 1300°C 以上时, 才开始具有较好的流动性。因此从初渣开始形成起, 到初渣具有流动性为止, 初渣粘度较大, 在高炉中形成了料柱透气性不良的塑性区。

当初渣到达风口时, 焦炭灰份 (主要是 SiO_2 及 Al_2O_3) 进入炉渣, 使渣碱度降

低，这时造渣过程才最后完成。

自熔性人造富矿在烧结或焙烧过程中，大部分 CaO 与 SiO_2 、 Al_2O_3 已结成炉渣，并一度熔化，所以初渣形成温度就比天然矿石或非自熔性人造富矿为高，初渣中 CaO 含量开始时就较高，因此在下降过程中初渣成份变化不大，而且塑性区较短，这就改善了料柱下部的透气性。

高炉内成渣过程与沿高炉高度上温度的分布，是和焦比与风温的高低，及炉料和煤气流的分布有密切关系。炉温升高时成渣区上移，炉温降低时成渣区下移，提高风温时成渣区下移。边缘气流过份发展时或发展不足时，则成渣区随着边缘环圈温度的上升或降低而移动。毫无疑问，成渣区的移动，将严重影响炉况的顺行（如崩料、悬料、结瘤等），所以在高炉冶炼过程中，应尽可能维持操作制度的稳定。

二、脱硫过程，

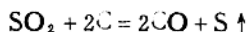
高炉炉渣除有分离渣铁任务外，还要承担除去生铁中的硫，以保证生铁质量合乎标准。

铁矿石、焦炭，熔剂都含有一定数量的硫。在一般情况下铁矿石允许硫最高不超过0.1%，但焦炭含硫量高达0.6~1.0%以上，硫酸渣和某些高硫天然矿石可高达1.5—3.0%。

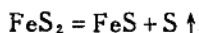
焦炭中的硫主要是有机硫，还有一部份以 FeS 和硫酸盐形态存在。矿石和熔剂中的硫以黄铁矿（ FeS_2 ）形态存在，也有少量以硫酸钙（ CaSO_4 ），硫酸钡（ BaSO_4 ）和硫化铜（ CuS ）硫化锌（ ZnS ）硫化铅（ PbS ）形态存在。

炉料中的硫除一部份进入煤气中外，大部份进入生铁和炉渣。

焦炭中的硫在下降过程中，有一部份挥发而进入煤气。其余部份则随焦炭到达风口前燃烧生成 SO_2 而进入煤气中，并在高炉下部与红热碳素相遇生成 CO 及硫蒸汽。

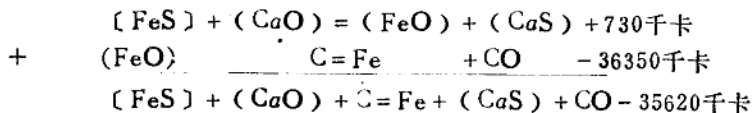


矿石中的 FeS_2 在下降过程中，也按下列反应式分解而生成硫蒸气进入煤气中，



无论是来自焦炭还是来自矿石中的硫蒸气，在随煤气上升过程中，与 CaO 、 Fe 和铁氧化物相遇又被吸收，以 FeS 形态溶于铁中。

高炉内的脱硫反应，主要是在铁水滴穿过渣层以及在渣、铁水的接触面上进行的。



从脱硫反应式可以看出，

- 1、反应是一个吸热反应，因此炉缸温度越高反应进行得越完全，生铁中硫越低。
- 2、有 CaO 存在时，脱硫反应才能进行，因此提高炉渣碱度，就有利于生铁的脱硫。
- 3、脱硫反应必须消耗焦炭中的碳素，是一个直接还原过程，因此铁的直接还原越

发展，即炉渣中 FeO 越高，越不利于脱硫反应的进行。

由此可以得出保证生铁的脱硫条件是：

- 1) 保持必要的炉缸温度。
- 2) 保持必要的炉渣碱度。
- 3) 尽可能使用还原良好的炉料以改善还原过程。

(八) 生铁的形成

从铁矿石还原出来的铁，最初以海绵铁状态存在，这时杂质极少，熔点高达 1535°C 。在继续下降过程中，随温度的升高，焦炭中的碳素逐渐熔入铁中，当生铁含碳达到3—4%时，其熔点就下降到 $1150—1300^{\circ}\text{C}$ 。在炉腹区铁已具有足够的流动性，而从焦炭间隙中流入炉缸。

第三节 高炉冶炼产品及副产品

高炉冶炼产品是生铁，副产品是炉渣，煤气和炉尘。

生铁和钢都是铁和碳的合金，只是含碳量不同。一般含碳0.2—1.7%叫做钢，而含碳高于1.7%叫做生铁

(一) 生 铁

高炉冶炼生铁可分为三种即：炼钢生铁，铸造生铁和高炉铁合金。（包括硅铁和锰铁）

炼钢生铁又可以分为碱性平炉生铁，酸性转炉生铁和碱性转炉生铁，氧气顶吹转炉生铁属于碱性转炉生铁。

平炉生铁要求含硅要低，因为低硅生铁可以缩短平炉冶炼时间，又可以提高钢产量和延长平炉寿命。

铸造生铁按含硅量分为六级。我国生铁的牌号和化学成份按1960年颁发的我国国家标准划分，具体内容如下表1—2和表1—3

表1—2铸造生铁国家标准

铁 种	铁 号		化 学 成 份 (%)											
	牌 号	代 号	Si	Mn			P					S		
				一 组	二 组	三 组	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	1 类	2 类	3 类
							低磷	普 通	高 磷		不 大 于			
普 通 铸 造 生 铁	铸35	Z35	3.25~3.75	<0.50	0.50~0.90	0.90~1.30	△ 0.100	0.100~0.200	0.200~0.400	0.400~0.700	0.700~1.000	0.030	0.040	0.050
	铸30	Z30	2.75~3.25											
	铸25	Z25	2.25~2.75											
	铸20	Z20	1.75~2.25											
	铸15	Z15	1.25~1.75											
冷铸 车轮 生铁	冷 08	L08	0.50~1.00	0.50~1.00			0.15~0.35					0.070		

表1—3 炼钢生铁国家标准

铁 种			碱性平炉炼钢生铁		酸性转炉炼钢生铁		碱性转炉炼钢生铁		
铁号	牌代号	碱平08 P08	碱平10 P10	酸转10 S10	酸转15 S15	碱转08 J08	碱转13 J13		
化 学 成 份 (%)	Si		≤0.85	>0.85 ~1.25	0.75~1.25	>1.25~ 1.75	0.60~1.10	>1.10 ~1.60	
	Mn	1 组	不 规 定		0.50~1.00		>0.50~1.50		
		2 组							
	P	1 级	≤0.150	≤0.070		—	≤0.400		
		2 级	≤0.200			>0.400 ~0.800	>0.400 ~0.800		
		3 级	≤0.400			>0.800 ~1.600	—		
	S	1 类	≤0.030	≤0.040		≤0.040			
		2 类	≤0.050					≤0.060	
		3 类	≤0.070						