

JIN SHU CAI LIAO

金属材料

陈集育 熊中实 主编

中国物资出版社

T5-1
17

金属材料

陈集育 熊中实 主编

3

中国物资出版社

金 属 材 料

陈集育 熊中实 主编

中国物资出版社出版

北京市新华书店发行

北京华新印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 印张:25 $\frac{3}{4}$ 字数: 602千字

1986年11月第1版 1986年11月第1次印刷

印数1—10,000册

书号: 4254·179 定价: 5.00元

前 言

本书是根据1984年8月在烟台召开的全国物资教育工作会议的精神和同年10月在武汉举行的教材内容讨论会上由十三所院校代表所制定的《金属材料》编写大纲组织编写的。本书适合作为高等学校物资管理专业的基本教材，也可供从事物资管理工作的人员自学参考。

本书系统地介绍了物资管理工作中所必需掌握的有关金属材料的基础理论和实际知识。在编写过程中力求保持金属材料作为一门学科本身的系统性与完整性，并尽量结合管理专业的特点与需要，同时还注意反映近年来材料科学上的最新成就。

全书共分四篇二十章：第一篇金属材料的生产，重点介绍生铁和钢的冶炼、型材轧制、有色金属的湿法与火法冶金梗概；第二篇金属材料的基础理论，重点介绍合金的相结构与相图以及钢铁热处理的理论与实践；第三篇金属材料，重点介绍钢、铁、有色金属的分类、牌号、规格及应用；第四篇金属材料的检验与防锈，从订货与仓储的要求出发，介绍了国内外有关材料检验的方法及金属材料仓储防护的各种有效措施。各章的编写执笔人是：一、二章：北京物资学院陈若旺；前言、绪论及四、五章：华中工学院陈集育；六、七、八章：华中工学院郁孝妙；九、十、十一章：北京经济学院熊中实、安玉若、仇铤；十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八章：陕西财经学院南汉杰；三、十九、二十章：辽宁财经学院蒋洛翹。全书由陈集育任主编，熊中实任副主编。

选用本书作教材时，基本内容可用100学时授完（不包括实验课）。学生应先学完普通化学和工程力学，并进行过金工实习，具有一定的理论和生产实际知识。各章的复习思考题，学生课后应及时选作，以加深理解本书内容，提高分析问题和解决问题的能力。

本书在组织编写过程中得到了国家物资局科教司和中国物资出版社的大力支持；制定大纲时，承各兄弟院校代表对课程体系，各章、节内容提出了宝贵意见，在此表示衷心的感谢。由于编写时间仓促和编者水平所限，书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

绪 论

材料的种类繁多,按化学成分可分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三大类。它们鼎足而立,构成了材料世界的三大家族。**金属材料**是材料世界最重要的家族,目前,无论从产量和使用范围来衡量,仍居于首位。

金属材料又分为黑色金属与有色金属两大类。**黑色金属**是指铁、铬、锰及它们的合金,其中最重要的是生铁和钢。生铁和钢都是以铁为基础,以碳为主加元素的合金,统称铁碳合金。生铁主要用来炼钢和制造铸件。钢也用来制造铸件,但大量的先铸成钢锭,然后通过轧、压、拉等压力加工方法制成型、板、管等具有一定尺寸和形状的成材。

钢铁在现代工业中占有非常重要的地位,钢铁产量往往是衡量一个国家工业水平和生产力的重要标志。由于科学技术的发展,不但钢铁的消耗量在逐年猛增,而且对其质量也提出越来越高的要求。例如,海洋工程用的钢材,要求很高的强度、韧性和耐海水腐蚀的能力;大跨度桥梁需要采用强度和刚性很好的钢材制造;发展航天及空间技术则要求材料重量轻、强度高。对于这些特殊要求,一般碳钢是无能为力的,只有合金钢才能担负起这样的重任。所谓合金钢就是在碳钢中加入铬、镍、钨、硅、锰、钛、钒等合金元素,它们可以使钢增加某些方面的特殊性能。

从材料科学发展的趋势来看,由于高分子合成材料的崛起,钢铁的应用范围很大一部分将被它们所代替。但是预计到本世纪末,工程材料将仍以钢铁为主,不过其性能将会有很大的提高,生产工艺也将有很大的突破。除了钢材合金化以外,将通过精炼技术、控制结晶技术、控制轧制技术、表面处理技术、热处理技术的综合应用来提高钢材的性能。强度一般可望比现在提高一至二倍。各种复合钢材、预硬化钢材、异型断面钢材、彩色不锈钢将被大量采用。钢材品种将更规范化,系列化,各国通用钢材的牌号也将逐渐靠近。

黑色金属以外的金属和合金即有色金属,如铝、铜、钛、镁、镍、铅、锡、锌、钴、钨、钼、金、银、铂等。它们也是重要的金属材料,是现代工业的生力军。虽然它们的耗用量与钢铁相比,相对较少,但是它们具有许多特殊的优良性能,是别的材料所不能代替的。例如它们的导电、导热、耐蚀性好,比重小,化学性质稳定等,是电器、机械、化工、电子、轻工、仪表、航天、原子能等工业不可缺少的材料。有色纯金属分为锭块(冶炼产品)和成材(加工产品)两种,有色金属合金则大多制成成材。

金属材料是四化建设的重要物资,是物资部门经营管理的主要对象之一。物资工作要求做到物尽其用,货畅其流,为四化建设提供优质服务,这就需要物资工作者不但熟悉有关的方针政策,掌握订货、供销、储运、统计等管理方法,而且还必须具有一定的工业技术知识。物资部门虽不是研制、生产和使用单位,但却是三者之间的连接纽带。一个优秀的物资工作人员不但应能根据经济建设的长远和近期需要向科研和生产单位提

供材料需求信息，而且还应能当好用户参谋。其本职工作也要求具备有关材料的分类、品种、规格、入库检验、维护保养、加工订货、节约代用等方面的全面的知识和熟练的技能。所以，物资管理工作既是经济管理工作，又是专业性很强的技术工作。

有鉴于此，在编写本书时，内容上与通用的《金属材料及热处理》教科书有较大的区别。本书特点在于主要着眼于物资管理工作对材料知识要求的特殊性，因此，除介绍金属材料生产的基础理论外，着重介绍了金属材料产品的具体情况，如对钢铁及有色金属的成材（型、板、棒、管）的牌号、规格作了较详细的介绍。其中有色金属占了七章，对常用的有色金属——铜、铝、钛、镁、铅、锡、锑、锌、轴承合金、硬质合金，均分别列了章节。这些金属材料既有共性，也有个性，对于做具体物资管理工作的人员而言，掌握其个性则更重要一些。本书最后一篇系统地介绍了国内外材料检测的方法及材料保护的措施，这也是从物资工作的需要出发而与其它教材不同之点。

《金属材料》在专业设置中属于技术基础课，其内容特点既有一定的理论深度，又紧密联系生产实际；既具有明显的实用性，又是后续专业课的基础。纵观全书，定性论述和术语、概念较多，定量计算较少，这是课程性质所决定的。因此，如不辅以实验与现场参观，学起来可能会感到抽象难记。但这门课程的关键是以“性能”为中心，只要抓住化学成分、组织结构以及各种加工方法对金属材料性能的影响，就能全盘掌握，融会贯通。

目 录

前 言

绪 论	(1)
-----------	-------

第一篇 金属材料的生产

第 一 章 钢铁的生产	(1)
第一节 炼 铁	(1)
第二节 铁合金的生产	(11)
第三节 炼 钢	(17)
第四节 钢材生产	(33)
第 二 章 有色金属材料的生产	(40)
第一节 有色金属的火法冶炼	(40)
第二节 有色金属的湿法冶炼	(43)
第三节 有色金属的精炼	(44)

第二篇 金属材料的基础理论

第 三 章 金属材料的力学性能	(48)
第一节 弹性、刚度、强度及塑性	(48)
第二节 硬 度	(53)
第三节 冲击韧性	(57)
第四节 疲劳强度	(59)
第五节 断裂韧性	(60)
第六节 高温强度	(63)
第 四 章 金属的结构与结晶	(65)
第一节 金属的原子结构	(65)
第二节 金属的晶体结构	(69)
第三节 金属中的扩散	(80)
第四节 金属的结晶	(83)
第 五 章 金属的塑性变形和再结晶	(92)
第一节 金属的塑性变形	(92)
第二节 回复与再结晶	(100)
第三节 金属的热加工	(104)

第 六 章 合金的相结构与相图	(106)
第一节 固态合金的相结构及其性能特点	(106)
第二节 二元合金相图的建立	(113)
第三节 二元合金相图简介	(117)
第四节 相图与合金性能的关系	(124)
第 七 章 铁碳合金相图	(127)
第一节 组元及相的类型	(127)
第二节 相图分析	(128)
第三节 典型合金平衡结晶过程	(131)
第四节 含碳量对铁碳合金平衡组织及性能的影响	(137)
第五节 铁碳合金相图的应用	(140)
第 八 章 钢的热处理	(143)
第一节 概述	(143)
第二节 钢在加热时的转变	(144)
第三节 钢在冷却时的转变	(147)
第四节 钢的退火与正火	(156)
第五节 钢的淬火与回火	(158)
第六节 钢的表面热处理	(164)
第七节 钢的形变热处理	(166)

第三篇 金属材料

第 九 章 铸铁及铸铁管	(168)
第一节 铸铁及其石墨化	(168)
第二节 常用铸铁	(171)
第三节 铸铁管	(177)
第 十 章 钢	(179)
第一节 钢的分类及牌号表示法	(179)
第二节 钢的成分及其与性能的关系	(185)
第三节 结构钢	(195)
第四节 工具钢	(221)
第五节 特殊性能钢	(230)
第十一章 钢材	(247)
第一节 型钢	(248)
第二节 钢轨及其配件	(259)
第三节 钢板和钢带	(263)
第四节 钢管	(274)
第五节 金属制品	(279)
第十二章 有色金属概论	(288)

第一节	有色金属及其合金的分类	(288)
第二节	有色金属及其合金的牌号表示方法	(290)
第十三章	铜及铜合金	(294)
第一节	纯铜	(294)
第二节	黄铜	(297)
第三节	青铜	(303)
第四节	白铜	(310)
第五节	铜材	(312)
第十四章	铝及铝合金	(314)
第一节	纯铝	(314)
第二节	铝合金的分类及热处理特点	(316)
第三节	形变铝合金	(319)
第四节	铸造铝合金	(323)
第五节	铝材	(326)
第十五章	钛及钛合金	(330)
第一节	纯钛	(330)
第二节	钛合金	(333)
第十六章	铅、锑、锡和轴承合金	(337)
第一节	铅	(337)
第二节	锑	(340)
第三节	锡	(340)
第四节	轴承合金	(342)
第十七章	其它常用有色金属	(346)
第一节	镍及镍合金	(346)
第二节	镁及镁合金	(348)
第三节	锌及锌合金	(351)
第四节	硬质合金	(354)
第十八章	稀有金属	(358)
第一节	稀有高熔点金属	(358)
第二节	稀有轻金属	(360)
第三节	稀散金属	(361)
第四节	稀土金属	(362)

第四篇 金属材料的检验与防锈

第十九章	金属材料的检验	(364)
第一节	金属材料的包装、标志及数量检验	(364)
第二节	金属材料的外观质量检验	(366)
第三节	金属材料的内部质量检验	(369)

第二十章 金属材料的防锈	(382)
第一节 金属材料的锈蚀	(382)
第二节 金属材料的防锈	(385)
附录 国外钢号表示方法简介	(394)

第一篇 金属材料的生产

第一章 钢铁的生产

钢铁生产对发展国民经济有着很重要的作用，当今世界各国的经济发展与国力强弱和他们的钢铁生产能力有着非常密切的关系。这是因为钢铁具有优良的力学性能和加工性能，可用以制造各种机械设备和常规武器。是工业、农业、交通运输、基本建设和日常生活不可缺少的重要物资。另外，铁在组成地壳的成份中，占有很大的比例（约占4.2%），仅次于氧、硅、铝而居第四位。地壳中含铁矿比较集中，开采和加工铁矿石也比较容易，所以，目前和其他金属比较，钢铁不仅产量大，而且生产成本也低得多。

第一节 炼 铁

一、炼铁所用的原料

生铁是在高炉内冶炼出来的，炼铁所用原料有铁矿石、燃料和熔剂。

（一）铁矿石

1. 铁矿石的类型

炼铁常用的铁矿石有赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿和菱铁矿四种。

（1）赤铁矿：赤铁矿中的铁是以 Fe_2O_3 的形式存在的。理论含铁量为70%，实际含铁量一般在30~65%之间。颜色为暗红色，质地疏松，含硫、磷较少。

（2）磁铁矿：磁铁矿中的铁是以 Fe_3O_4 的形式存在的，理论含铁量为72%，实际含铁量多在40~70%之间，质地坚实较难还原。颜色为灰色到黑色，含硫、磷较高。其另一个特征是具有磁性。

（3）褐铁矿：褐铁矿中的铁是以 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的形式存在的。它的理论含铁量为59.8%，而实际含铁量一般在37~55%之间。颜色是黄褐色，其还原性比磁铁矿和赤铁矿均好，但一般含磷较高，有时还含有硫、砷等杂质。

以上三种矿石为炼铁的主要原料，应用较多。

（4）菱铁矿：菱铁矿中的铁是以碳酸盐 FeCO_3 形式存在，理论含铁量为48.3%。颜色带有黄褐色，杂质含量较高。需经焙烧处理才适于作为炼铁的原料。焙烧后，孔隙度增大，所以具有较好的还原性。

2. 对铁矿石的要求

铁矿石质地好坏对高炉生产影响极大。要使高炉高产、优质和低消耗，对铁矿石的质量有以下要求：

(1) 含铁量要高。铁矿石按含铁量的多少分为能直接冶炼的富矿(含铁量在58%以上)和不能直接冶炼的贫矿(含铁量低于45%)。我国贫矿储量占铁矿石储量的80%，因此，为了充分利用铁矿资源，冶金企业在冶炼前要对贫矿进行破碎、筛分和选矿，以得到含铁量达60%左右的精矿粉。

(2) 有害杂质要少。铁矿石中的有害杂质主要有硫、磷以及铅、锌、砷等。这些杂质对高炉生铁及以后进一步炼成钢的质量都产生很坏的影响，且对高炉结构产生破坏作用。所以，冶炼前必须通过一系列的准备作业，尽可能除去或减少。

(3) 还原性要好。还原性是铁矿石一项很重要的指标，铁矿石的还原性好可以降低燃料消耗及加快炉内的化学反应。还原性通常与矿石的粒度、孔隙度及脉石的成分有关，也可通过冶炼前的准备作业进行改进。

(4) 具有必要的强度。为了能承受住高炉内料柱的压力，炉料(包括矿石)都应具有一定的强度。否则，炉料压碎后不但影响熔炼过程，而且易被鼓入的热风和炉气带走。

(5) 粒度要适中。矿石的粒度太大，还原反应较慢；粒度太小，使炉料透气性变坏。高炉操作工艺规程规定：大中型高炉，矿石粒度应在8~50毫米之间，小高炉应在5—25毫米范围内。

3. 矿石入炉前的预处理

为了满足高炉冶炼过程中对矿石的要求，一般矿石在入炉之前必须经预处理，这对保证高炉冶炼顺利进行和获得较高的技术经济指标具有重大意义。

预处理分机械处理和热处理两种。机械处理有破碎、筛分和选矿。热处理有矿石的焙烧及精矿粉的造块(烧结和球团)。

通过破碎和筛分的矿石可按粒度大小进行分类，以满足冶炼的要求。余下粒度较小的矿石，则磨成粉料，烧结成块后再用。

通过选矿可以把含铁量很低的贫矿筛选出来，选矿方法有水选和磁选两种。水选是利用矿石中含铁矿物和脉石比重不同的特点，用水将它们分离开来。磁选是利用磁铁矿的磁性将铁矿用电磁铁吸住而与脉石分离开来。

矿石的焙烧是在破碎和精选之前，将矿石加热到低于熔点200℃左右温度下进行的。通过焙烧的矿石疏松多孔，以改善其还原性和透气性，并可去除矿石中部分硫、磷等杂质。

精矿粉的造块是由于经过选矿处理的精矿粒度很小，必须造块后才能装入高炉。造块的方法有两种：烧结和团矿。通过烧结和团矿的矿粉呈一定的块度(或呈球状)，并有一定的强度，和具有良好的还原性能，能更好地满足高炉生产的需要，这是一种很有前途的处理方法。

(二) 燃料

高炉用燃料主要是焦炭，它不但供给高炉冶炼过程中所需的热量，而且在燃烧过程中，还起着还原剂的作用。在有些高炉中还采用重油和煤粉作为高炉冶炼的热源。除此之外，在小高炉上也可用无烟煤和半焦(人造石油副产品)来部分代替焦炭。

高炉冶炼过程对燃料的要求是：具有较高的含碳量，比较低的有害杂质(如磷、硫等)，足够的机械强度，必要的气孔率和均匀的粒度。

对冶金焦炭的一般要求见表 1—1：

表 1—1 对焦炭的一般要求

成 分 %					物 理 性 质			
挥 发 物	硫	磷	水 份	灰 份	发热量 J/g	抗压强度 N/mm ²	气孔率 %	粒度(直径) mm
<1.5	0.5~1.0	<0.05	2~6	7~13	25120~ 29310	7,100	49~53%	25~80

(三) 熔剂

由于矿石中含有一些熔点很高的化合物（如 SiO_2 、 Al_2O_3 等）在冶炼温度下不能熔化成液体，如果加入熔剂（如氧化钙）则可与这些高熔点的化合物组成低熔点的炉渣，在冶炼温度下，具有良好的流动性，以达到炉渣与金属分离的目的，从而保证了生铁的质量。

通常使用的碱性熔剂有石灰石、白云石和萤石。对熔剂的要求是：（1）碱性氧化物如 MgO 、 CaO 的含量高（主要是 CaO ），而酸性氧化物 SiO_2 、 Al_2O_3 含量要低。（2）具有比较高的机械强度和适当的粒度以及含有较少的磷、硫杂质。

二、高炉炼铁的基本原理及过程

(一) 高炉的结构及附属设备

1. 结构

高炉炉体是一个上、中、下尺寸不等的圆柱体，外面包有钢板，内壁砌以耐火砖的圆断面竖炉。整个炉子建筑在很深的混凝土基础上。它是由炉喉、炉身、炉腰、炉腹、炉缸五个部分组成。如图 1—1。

2. 附属设备

有装料设备、热风炉、混铁炉、铸铁机、铁水罐车、除尘设备以及仪器仪表系统等。

（1）装料设备：为了保证高炉的生产正常进行及减轻装料工作的体力劳动，现代高炉装料采用机械化、自动化装料机构。其中最常用的是双料钟设备。工作时通过大小料钟的相继开启，把炉料均匀地送入炉内，见图 1—2。

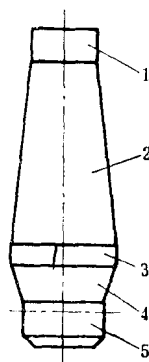


图 1—1 高炉炉型

为了强化高炉生产，提高炉顶压力，克服双料钟设备过于笨重的缺点，目前一些工业先进国家已采用无料钟炉顶装置，首钢高炉现已采用了这一新技术。

（2）热风炉：为了提高鼓入高炉的风温，充分利用高炉煤气的热量。可将高炉煤气鼓入热风炉，以加热热风炉的蓄热室，然后将冷空气由热风炉的下部鼓入，冷空气吸收了蓄热室的热量，使温度升高，再鼓入高炉，见图 1—3。

一般高炉有三个热风炉同时工作，两个加热，一个用来供应热风，从而保证了热风的不断供应。

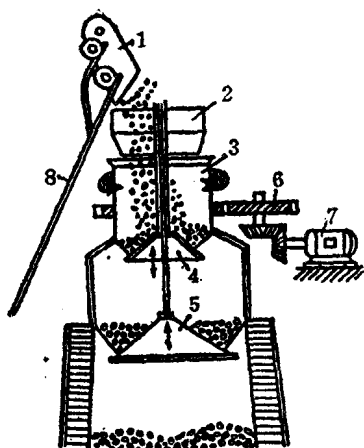


图 1—2 高炉装料机构

- | | |
|--------|---------|
| 1. 料 车 | 2. 料 斗 |
| 3. 漏 斗 | 4. 小料钟 |
| 5. 大料钟 | 6. 传动机构 |
| 7. 电动机 | 8. 斜 桥 |

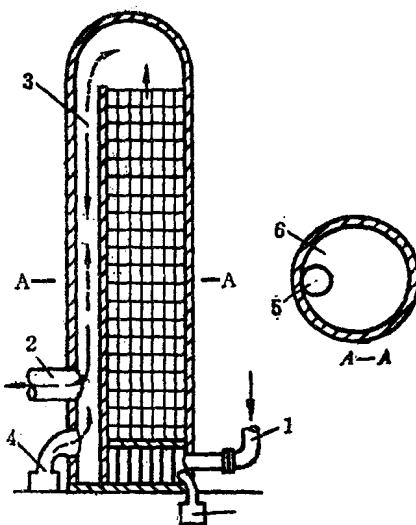


图 1—3 热风炉工作简图

- | | |
|------------|-----------|
| 1. 冷风入口 | 2. 热风出口 |
| 3. 燃 烧 室 | 4. 燃 烧 口 |
| 5. 燃 烧 室 | 6. 格子砖蓄热室 |
| 7. 废气出口入烟道 | |

(3) 铸铁机: 铸铁机是一条循环移动的金属传送链, 链上有很多金属模型, 从铸铁机的一端把铁水注入金属模型中, 传送链带便向前移动。与此同时喷射冷水, 加速模中铁水冷却, 当金属模移动到铸铁机另一端时, 已凝固的生铁, 便自动倾出, 落入运铁车中, 见图 1—4。

(4) 铁水罐及混铁炉: 由高炉出来的铁水一部分可直接通过铸铁机浇成铁块, 另一部分则通过铁水罐车拉到炼钢车间, 倒入混铁炉内暂时储存起来, 供炼钢炉使用, 见图 1—5。混铁炉不但起储存作用, 而且对不同成分、温度的铁水也起均匀作用。由于高温铁水长时间存放, 铁水中的硫与熔剂中的 CaO 形成 CaS 而进入炉渣中, 所以混铁炉尚有去硫作用。

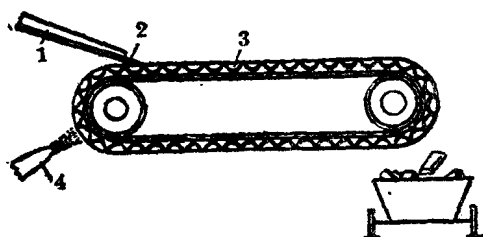


图 1—4 铸铁机

- | | |
|--------|--------|
| 1. 流槽 | 2. 铁水 |
| 3. 金属模 | 4. 喷洒机 |

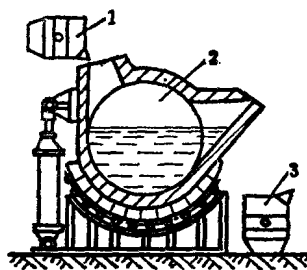


图 1—5 混铁炉

- | |
|-------------------|
| 1. 往混铁炉注入液体生铁的盛铁桶 |
| 2. 混铁炉 |
| 3. 将液体生铁送去炼钢的盛铁桶 |

(5) 除尘系统: 由于高炉煤气中, 含有大量的炉尘, 必须加以清除 (一般含量 10~40克/立方米)。高炉煤气除尘可分粗除尘、半精除尘和精细除尘三种。

粗除尘所用设备有: 重力式除尘器与离心式除尘器两种。半精细除尘采用的设备为洗涤塔。精细除尘使用的设备有: 洗涤机、文氏管、静电除尘器、袋式过滤器及脉冲袋式除尘器等数种。

(6) 仪器仪表系统: 为了准确控制高炉的生产过程, 了解生产过程中的情况, 现代高炉使用大量仪器仪表, 包括工业电视、电子计算机等大型先进计量、测试仪器仪表。

(二) 高炉炼铁的基本原理

高炉炼铁就是从铁矿石中把铁还原出来, 同时除去矿石中的杂质。所以在整个冶炼过程中要进行一系列复杂的物理化学反应。其中最主要的有燃料燃烧、铁及有用元素的还原以及造渣等。

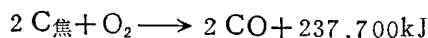
1. 燃料的燃烧

高炉冶炼中的化学反应是需要一定温度下才能进行的。炼铁过程中所消耗的热能的70~80%来自燃料的燃烧。当焦炭通过炉喉、炉身、炉腰、炉腹时已受到了充分的预热, 一旦降到炉缸的风口区与鼓入的热风相遇, 便发生激烈的燃烧。

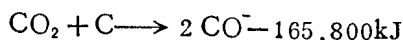
在氧气充足的地方, 发生完全燃烧而生成 CO_2



在氧气不足或有过剩的固体碳的地方则发生不完全燃烧而生成 CO



由于高炉内总是存在过剩的固体碳, 即使是完全燃烧生成的 CO_2 在高温下仍将与固体碳作用又转变为 CO



燃料燃烧产生了大量的高炉煤气。煤气从炉缸自下而上地通过炉料间隙, 在运动过程中将热能传给炉料, 从而促进一系列化学反应的进行。而煤气自身的温度则在向上的运动过程中逐渐降低, 炉料的温度则在向下的运动过程中逐渐升高。在风口燃烧带附近, 煤气的理论温度可达 $2,000^\circ\text{C}$ 以上, 由于热交换与参加化学反应的结果, 到达炉顶时一般可降到 $200\sim 400^\circ\text{C}$ 之间, 而炉料自炉喉降到炉缸时, 则由常温被加热到 $1,300\sim 1,500^\circ\text{C}$ 左右。这种热交换的过程进行得愈完全, 煤气能量利用则愈充分。燃料的消耗量也愈低。煤气在上升过程中温度变化曲线如图1—6所示。

燃料的燃烧不但可以提供高炉炼铁所需的热量, 而且也是还原反应所需的还原剂。另外, 它还提供炉料下降的空间。所以, 燃料的燃烧是高炉冶炼过程中具有决定性的因素之一。

2. 高炉内的还原反应

(1) 铁的还原: 铁矿石中, 铁的氧化

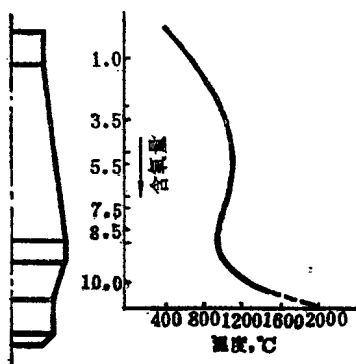
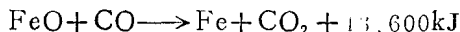
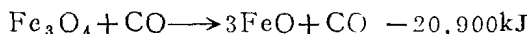
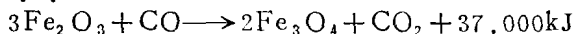


图1—6 煤气上升温度变化图

物主要是 Fe_2O_3 与 Fe_3O_4 ，铁并不是从这些高价氧化物中直接还原出来的，而是要经过一个从高价氧化物还原成低价氧化物，再由低价氧化物还原出铁的过程。另外，在高炉中，铁的还原主要是依靠CO与固体碳的作用而进行的。前者称为间接还原，后者称为直接还原。

间接还原反应：

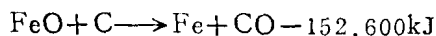
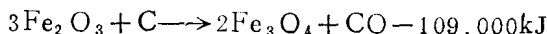


为了维持反应的不断进行，必须保证炉内有过剩的CO还原剂存在，否则，FeO与还原出来的Fe仍有可能重新被氧化。

高炉中铁的间接还原反应是从炉料装入炉内后就开始的。随着炉内温度的不断升高，反应也进行得愈迅速。铁的间接还原反应一般进行到炉内温度 950°C 左右的区域就大体上停止。因此，间接还原反应并不能将铁全部从氧化物中还原出来。

直接还原反应：

铁的直接还原反应主要发生在高温区的炉缸部分。铁的氧化物与固体碳将发生下列反应：



因矿石与焦炭都是固体，所以上列反应实际上是很难进行的。实验表明，铁的氧化物还原仍是通过CO为媒介而进行的。因为在 $1,000^\circ\text{C}$ 或更高的温度区域内，将进行激烈的 $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$ 的反应，这就为铁的还原提供了有利条件。

直接还原反应从碳的气化时就逐渐开始到 $1,000^\circ\text{C}$ 左右时激烈发展，最后在炉缸部分结束。

根据铁的氧化物还原温度的不同，高炉大体可分为三个还原区域，如图1—7所示。

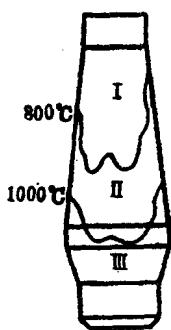


图1—7 高炉内还原区间示意图

I、间接还原区 II、混合还原区 III、直接还原区

低于 $700^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 为间接还原区， $800^\circ\text{C} \sim 1,000^\circ\text{C}$ 为混合还原区，它既有间接还原反应也存在直接还原反应， $1,000^\circ\text{C}$ 以上为直接还原区。

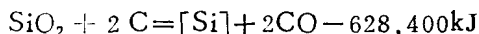
直接还原反应一方面是吸热反应，另一方面它要消耗部分固体碳，从而减少了风口前燃烧的碳量，从而影响焦炭消耗量和高炉的产量，而间接还原不消耗固体碳，且为放热反应。

另外在直接还原反应中，一克原子的碳可以夺取氧化物中一克原子氧，而间接还原反应需要过量的还原剂，以保证反应的正向进行。到底谁优谁劣，在高炉炼铁过程中应该发展间接还原还是发展直接还原？这是几十年来一直在探索的问题。

现代高炉炼铁，通常采用40~50%直接还原，50~60%间接还原的焦比配制方案。这样，燃料的消耗量较低，经济效益较好。

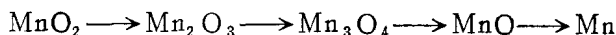
(2) 硅的还原：硅是以 SiO_2 的形式存在于脉石中。 SiO_2 是比较稳定的化合物，它的生成热比铁的氧化物大得多，分解压力又小，用气体作还原剂在高炉内进行间接还原是

困难的，故都是直接还原，并且要吸收大量的热量。还原一千克硅所需的热量相当于从FeO中还原1千克铁的8倍。

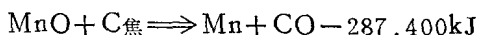


因此，铁水中含Si量是炉缸温度的主要标志之一。SiO₂的还原过程也是逐级进行的即：SiO₂→SiO→Si。我国炼钢生铁含Si量约在0.4~0.8%的水平，冶炼低Si生铁对降低焦比，缩短炼铁的时间都是有好处的。

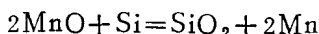
(3) 锰的还原：锰以MnO₂的形式随铁矿石进入高炉。锰的还原和铁的还原过程非常类似，也是高价氧化物逐步变为低价氧化物，最后还原为金属锰。



它们的氧化势都很高，在固相区比较容易被还原为MnO，但MnO是很稳定的化合物，在低温时很难再被CO还原，因而进入渣中，进入渣中的MnO只能以液态形式与固体碳作用，才能还原得到金属锰。反应温度一般在1,100℃以上。

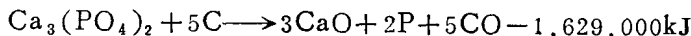


提高炉温与熔渣碱度对Mn的还原有利。提高炉料中的MnO₂含量或生铁中含有相当数量的硅时对MnO的还原也是有利的。



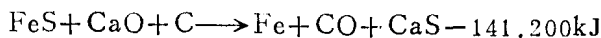
冶炼普通生铁时，锰的还原率约为40~60%左右。

(4) 磷的还原：磷在高炉中以Ca₃(PO₄)₂的形态存在，磷酸钙是一种很稳定的化合物，需要在1,200~1,500℃高温下才能被固体碳还原。



还原出来的[P]又可与铁形成Fe₂P而溶于铁中，所以，高炉去磷是很困难的。对生铁中含磷量的控制，只能通过控制炉料的含P量和提高炉渣碱度，以便在渣中固定少量的P₂O₅。

(5) 硫的去除：高炉中的硫主要是由炉料如焦炭、矿石等带入的。由炉料带入的硫叫硫负荷，一般每吨生铁由炉料带入的硫量是4~8千克，其中大部分又是由焦炭带入的。焦炭含硫一般在0.6~0.8%，占硫负荷的70%以上。矿石中硫以FeS₂形式存在，在燃料中则以FeS形式存在。FeS₂在600~700℃能分解成较稳定的FeS。FeS能溶解于生铁，而降低生铁的质量。为了降低生铁中硫的含量，除了采用高质量的原料外，在冶炼过程中加入大量的CaO提高炉渣的碱度，使FeS与CaO作用生成不溶于生铁的CaS而进入渣中。其反应式如下：



另外，提高炉温也有利于硫向溶渣的转移。

3. 高炉炉渣

在高炉冶炼过程中炉渣的产生与数量多少对高炉冶炼是否能顺利进行和控制铁水成分等有十分重要的意义：具体来讲高炉炉渣有以下几方面的作用：

(1) 高炉造渣的主要目的：是用熔剂的碱性成分中（主要是CaO）与矿石中酸性脉石及焦炭中的酸性灰份之间发生化学反应，从而生成低熔点的炉渣，使之能在高炉冶炼温度下溶化并与铁水良好地分离，而且易于由炉内排出，冶炼出合格的生铁。

(2) 铁水脱硫：在日常的生产过程中，为保证生铁的质量，其中主要是含硫量。