

● 高等学校教学用书 ●

冶金生产 工艺及设备

李应强 主编

GAODENG
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

冶金工业出版社

高等学校教学用书

冶金生产工艺及设备

北京科技大学 李应强 主编

冶金工业出版社

1998

图书在版编目(CIP)数据

冶金生产工艺及设备/李应强主编. - 北京:冶金工业出版社, 1999. 1
高等学校教学用书
ISBN 7-5024-2188-2

Ⅰ.冶... Ⅱ.李... Ⅲ.①黑色金属冶金—生产工艺—高等学校—教材 ②冶金设备—高等学校—教材 IV. TF4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 22630 号

出版人 卿启云 (北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)
北京市顺义兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
1999 年 1 月第 1 版, 1999 年 1 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16, 16.75 印张, 395 千字, 260 页, 1-2500 册
23.00 元

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

目 录

第一章 概 述	1
第一节 钢铁生产在国民经济中的地位	1
一、钢铁材料应用的广泛性	1
二、钢铁工业在国民经济中的位置	2
第二节 钢铁生产主要工序及其工艺	4
一、炼铁工序	4
二、炼钢工序	4
三、轧钢工序	4
第二章 炼铁生产	6
第一节 高炉炼铁生产	6
一、高炉炼铁生产主要工艺流程	6
二、高炉炼铁生产化学原理	10
三、高炉炉型、高炉炉衬以及高炉冷却	12
四、高炉炼铁生产主要技术经济指标	14
五、高炉炼铁优质、高产、低耗的措施	16
第二节 高炉炼铁生产主要机械设备	24
一、原料储存和供应设备	24
二、高炉上料设备	31
三、炉顶装料设备	39
四、出铁场机械设备	56
五、渣铁处理设备	69
六、送风系统设备	75
七、煤气除尘设备	79
第三节 炼铁生产新工艺简介	81
一、直接还原炼铁法	82
二、熔融还原炼铁法	83
第三章 炼钢生产	89
第一节 氧气转炉炼钢生产及工艺流程	89
一、炼钢的基本任务	89
二、炼钢方法简介	89
三、氧气顶吹转炉炼钢工艺流程及车间设备布置	96
第二节 氧气顶吹转炉设备	101
一、转炉炉体	102
二、转炉炉体支承系统	105
三、转炉倾动机构	110
第三节 连续铸钢设备	116
一、连续铸钢简介及生产工艺流程	116
二、浇铸设备	118
三、结晶器及振动机构	125
四、铸坯诱导装置和拉矫机	132

五、引锭杆系统	139
第四章 轧钢生产及轧钢机	148
第一节 轧钢生产概述	148
一、轧钢生产与轧钢机械	148
二、轧钢工艺简介	155
三、轧钢机发展概况	161
第二节 轧辊与轧辊轴承	164
一、轧辊	164
二、轧辊轴承	169
第三节 轧辊调整机构及上辊平衡装置	185
一、轧辊调整装置的作用及分类	185
二、电动压下装置	189
三、带钢轧机的液压压下装置简介	198
四、上轧辊平衡装置	199
第四节 轧钢机机架	206
一、机架的类型	206
二、机架主要结构参数	207
三、闭式机架结构	208
四、开式机架结构	213
五、机架材料和许用应力	213
第五节 轧钢机主传动装置	213
一、轧钢机主传动装置组成与类型	213
二、联接轴与联轴节	219
第五章 轧钢车间辅助设备	231
第一节 辅助设备的概念和分类	231
第二节 剪切机	231
一、平刃剪切机	231
二、斜刃剪切机	237
三、圆盘剪切机	241
四、飞剪机	242
第三节 矫直机	249
一、矫直机的分类	249
二、弹塑性弯曲矫直原理	251
三、辊式矫直机的类型和结构	252
四、拉伸弯曲矫直机	254
参考文献	260

第一章 概 述

第一节 钢铁生产在国民经济中的地位

钢铁工业是国家的基础工业之一，在国民经济中占有极其重要的位置，它和能源、交通、机械等部门一样，应属于重点发展部门。工业发达国家历来都十分重视钢铁工业发展，把钢铁工业放在国民经济极其重要的位置上，现已达到了成熟发展的阶段。

许多发展中国家，在发展民族经济的过程中，十分突出本国的钢铁工业，把钢铁品种规格、质量水平作为一个国家经济实力和科技水平的重要标志。

建国以来，我国对钢铁工业发展十分重视，一直把钢铁工业放在优先发展的地位，取得了很大成绩，相继恢复和建成了鞍钢、武钢、首钢等一大批大中型企业和地方骨干企业，初步形成了可以进行矿山采掘、炼铁、炼钢、轧钢、各种铁合金冶炼及金属生产的一系列较为完整的工业体系。特别是十一届三中全会以后，我国钢铁工业有较快的发展，钢产量由1979年的3490万t增加到1992年的8000万t以上，在这期间宝钢顺利投产和达产标志着我国钢铁工业的技术水平和管理水平跨入世界先进行列。1996年我国冶金工业生产、经营取得了较好成绩，钢产量在生产均衡、产销率超过99%的基础上取得历史性突破，首次超过1亿t，比1995年增长7.59%，居世界首位。这是我国改革开放的伟大成就，体现了我国经济实力的不断增强。

一、钢铁材料应用的广泛性

我们知道在目前人类社会所使用的金属材料中，钢铁材料是用得最多、最广泛的，与其它金属相比占绝对优势，这是十分明显的。

(1) 蕴藏的丰富性 在自然界存在的金属，除个别特殊的，绝大多数在地壳中以化合物的形式存在，铁元素在地壳16km厚的外壳中，蕴藏量仅次于铝，约占5%。

(2) 存在的相对集中性 铁元素在地壳中的分布相对集中，这就为采掘和提炼带来了方便。这种铁元素集中的物质，我们称为矿石。通常铁矿石中铁的含量为25.7%，富矿中最高可达60%~70%。

(3) 冶炼的容易性 在各种矿石中，铁矿石的冶炼相对来讲是比较容易的。

(4) 具有较好的物理性能 钢铁材料具有良好的物理性能，如较好的坚硬性和延展性，是热和电的良好导体。

(5) 性能的可调性 钢铁材料可以通过各种热处理来调整机械性能；在冶炼过程中，可加入各种合金元素，来改变钢铁材料的性能。

由于钢铁材料具有以上优点，使得它在人类社会中被广泛地使用，机械、车辆、电动机、建筑、交通运输以及人们的日常生活无不与它有直接或间接的关系，这使得钢铁工业在整个国民经济的发展过程中，起到了举足轻重的作用。目前新材料的崛起对钢铁工业构成了一定的冲击。如铝合金材料和各种塑料，质轻、不易生锈，受到人们的欢迎，但是这些新兴材料的发展也受许多客观条件的限制。如铝，虽然是地壳中蕴藏量最丰富的金属元素，但矿源分散，冶炼困难；在性能上虽然延展性很好，但其强度则比钢铁差。塑料很大一部分是用石油作为原料的，从而使它的发展也受到了很大制约。因此在目前，还没有哪一种材料能够完全

取代钢铁。随着现代科学技术的发展，钢铁技术也在不断提高和改善，满足各种要求的不锈钢、高强度钢、耐腐蚀钢、耐高温、耐低温、耐辐射等各种高级钢铁材料不断问世，使得钢铁材料扩展到了信息技术、原子能、宇航、海洋和能源开发等尖端技术领域。因此，从长远来看，钢铁工业还有很大的发展前途。特别在发展中国家，其市场潜力还很大，在国民经济发展中将继续起着重要的作用。在一些发达国家钢铁工业被称为“夕阳工业”，这里除了受新兴材料的冲击之外，还有经济发展规律等原因。但有一点可以肯定，虽然在这些国家，钢铁工业被称为“夕阳工业”，但依然占据着重要地位，至今，美、日的钢铁产量仍在世界前列。

二、钢铁工业在国民经济中的位置

钢铁工业在国民经济中应放在什么位置。这是每一个国家在建立完整的工业体系和实现独立的现代化国民经济体系过程中，普遍遇到而且必须回答的问题。

(1) 发达国家在工业化过程中和国民经济不同发展阶段中钢铁工业的地位

在工业化初期，欧美等发达国家把棉纺工业摆在国民经济中的首位。美国1860年净产值第一位的是棉纺工业，第二位是木材加工业，第三位是制鞋业。在就业和投资方面，也是纺织工业处于首位。而钢铁工业此时还处于初级阶段，1860年钢产量只有12万t，生铁产量84万t，发展水平较低。英、美等国工业化之所以从轻工业开始，而不是从钢铁工业开始，主要原因就是当时的生产力水平不够高，大机器时代尚未到来，各种劳动制品大都是木制品；同时，当时科技水平较低，有的国家只能生产铁而不能生产钢，钢铁工业的市场比较窄，资金、劳动力、原料、燃料、交通运输和技术方面的准备还不够充分。

随着工业化的发展，在加速工业化阶段，社会生产力发展水平不断提高。农业、轻工业为重工业积累了雄厚的资金，提供了劳动力，开辟了市场，铁路等交通运输业迅速发展，技术革命已席卷了各个国家的各个部门，于是工业化开始逐步由轻工业为主转向以重工业为主。首先是农业、轻工业和交通运输业服务的重工业迅速发展起来，农机具、机车、车辆、纺织机械在重工业中占了很大比重，这就带动了钢铁工业和煤炭工业的发展。再加上钢铁工业本身技术的发展，如转炉和平炉的发明、焦炭炼铁技术的应用等，把钢铁工业的发展推向新阶段，使它在工业结构中的地位由工业化初期的第五至七位上升到第一、二、三位。

(2) 工业化基本完成之后，各国工业规模继续扩大

在第二次世界大战后，又经历了一次世界范围的技术革命高潮，各主要资本主义国家的工业进入了现代化阶段，新工艺的迅速发展对钢铁工业产生了强大的刺激作用。在这个时期，钢铁生产有了突飞猛进的发展。战后，1946年世界钢产量只有1.1亿t，1979年则达到5.5亿t，增加4.4亿t。而战前1912年到1945年的三十三年里，钢产量从7300万t增至11830万t，只增加4530万t。战后三十三年里钢的绝对增加量是战前同期的14倍，西方发达国家的钢铁生产能力出现了严重过剩。1981年钢铁生产能力比实际钢产量多15亿t。

从以上发达国家钢铁工业的发展过程以及它在工业化过程中的作用，可以看出国民经济各部门间的相互促进和相互制约作用。其它工业部门的迅速发展促进了钢铁工业的发展，而钢铁工业的突飞猛进又为各个工业部门提供了必要的原料。

在西方发达国家，钢铁生产已达到饱和状态，在国民经济中的比重逐步下降，而电子、激光、遗传工程、宇航、新兴材料等工业部门逐步成为主导部门，这是历史发展的必然结果，是由经济发展的客观规律所决定的。

有的文献资料把经济发展过程分为四个阶段，即：经济起飞阶段，加速工业化阶段，稳定发展阶段，成熟发展阶段。在国民经济和工业化发展的不同阶段，随着人均国民生产总值的增加，人均钢消费量的增长速度是不同的。

在经济起飞阶段和加速工业化阶段（相当于人均国民生产总值在4000美元以下），随着人均国民生产总值的增加，人均钢消费量近似于直线增长。

稳定发展阶段（相当于人均国民生产总值为4000~6000美元），人均钢消费量的增长速度开始逐渐减慢。

成熟发展阶段（相当于人均国民生产总值大于6000美元），人均钢消费量的增长速度继续减慢，甚至出现负增长。这主要是因为：1）人均消费量已达饱和状态；2）钢铁积蓄量相当大；3）新工业、新技术发展，节约了大批钢铁；4）受“第四次产业革命”或“第三次浪潮”的影响。

因此，对西方发达国家来说，钢铁工业已完成了从产生、发展和成熟、衰落的全过程，已临近夕阳西下之势。它们的工业结构已发生了很大的变化，钢铁工业在西方国家国民经济中的地位大大下降。

（3）我国钢铁工业在国民经济中的地位

我国的钢铁工业一直处于优先发展的地位，但是由于各种主客观因素的影响，在三十年前，钢铁工业发展缓慢，无论是在数量上、品种、规格、质量上，都还远远满足不了经济各部门的需求。十一届三中全会以后的十年里，钢铁工业还是处于比较落后的状态，因此在90年代经济起飞阶段，钢铁工业仍然要摆在一个非常重要的位置上来。

我们可以从投资比重来看我国对钢铁工业的重视程度，钢铁工业的投资比重一直占全国投资的5%~8%，仅次于能源工业，是与机械工业不相上下的重点发展部门。我国钢铁工业的发展并不是稳步上升的，前三十年发展较为缓慢，平均每十年才跳一个数量级，1959年突破1000万t，达到1380万t，1971年突破2000万t，达到2132万t，1978年突破3000万t，达到3178万t。改革后十年，发展较快，十年跳了三个数量级。平均每三年跳一个数量级，1983年突破4000万t，1986年突破5000万t，1989年突破6000万t。

钢铁工业是国民经济的主要工业部门之一，它的发展必然要与国民经济的发展相适应。马克思主义的再生产原理告诉我们，要使社会生产不断扩大，生产资料生产的增长必须占优先地位，否则社会再生产就难以扩大。如果钢铁工业长期落后于其它工业部门的发展速度，就必然拖整个国民经济的后腿。

目前，我国人均国民收入300美元左右，因此，我国国民经济至多刚刚处于即将起飞或刚起飞的阶段。

90年代，我国进入经济振兴时期，经济发展进入起飞阶段，交通、运输、能源的建设规模必然要比80年代有迅猛的增长，农业和国防现代化水平也有很大提高，国民经济各部门对钢铁的需求将大幅度的提高；与此同时，加速固定资产的技术改造和设备更新，也需要大量的钢材；社会基础结构（运输、通讯、教育等）以及民用建筑钢材需求量也将迅速增长。根据国内外对我国本世纪末钢材的需求量预测，大体上为9000万t到1亿t。而到本世纪末，即使实现了钢产量突破1亿t，并且大力发展连铸，使成材率达到90%，每年仍将短缺钢材1400~2000万t，若靠进口解决，每年需要外汇60~100亿美元。同时，钢材的品种、规格、质量与需求相差也很大。目前我国钢铁工业的发展同整个国民经济的发展要求还不很适应，还必须

继续把它放在和交通运输、能源一样的重要位置上来，使钢铁工业能保持满足国民经济发展需要的合适发展速度和规模。

总之，钢铁工业的发展不是孤立的，它在国民经济中的位置不是人为硬性规定的，更不是一成不变的，必须把它放在国民经济全局中来考虑。要根据各个国家各个时期生产力发展水平的要求，按一定的比例来发展。同时随着社会经济结构的发展变化，钢铁工业在社会总劳动中所占比例也将发生变化。历史证明，一个国家没有钢铁工业的发展而使经济和工业获得持久增长的先例是不存在的。在不同国家不同经济发展历史阶段，都离不开钢铁工业的发展，只是它在国民经济中的地位有所不同，突出程度和份量有所差异而已。

第二节 钢铁生产主要工序及其工艺

钢铁生产过程包括从矿石原料的冶炼至生产出钢材的各个工序，大体可分为炼铁工序、炼钢工序和轧钢工序。我们把这种生产过程叫做钢铁联合生产过程。用这种过程生产钢材的企业叫做钢铁联合企业。图1-1展示了钢铁生产工艺流程。

钢铁联合生产过程，除了上述三个主要过程外，还有原料处理，炼焦、煤气、蒸汽、电力、水、运输等辅助设备。在我国某些联合企业中，还把矿山开采、选矿等工序也包括在内。

下面就对三个主要工序作一简要介绍。

一、炼铁工序

现代钢铁联合企业的炼铁工序，是由高炉、烧结机和炼焦炉为主体设备构成的。其核心是高炉，其中包括热风炉和鼓风等辅助设备。这些设备在生产生铁的同时，还产生大量的煤气和其它副产品，可以在能源、化工原料、建筑材料等部门得到广泛的综合利用。

二、炼钢工序

炼钢工序的主要目的是把来自高炉的铁水配以适量的废钢，在炼钢炉内通过氧化、脱碳及造渣过程，降低有害元素，冶炼出符合要求的钢水。

目前炼钢的方法主要有三种，即平炉炼钢法、转炉炼钢法、电炉炼钢法。其中氧气顶吹转炉和电炉炼钢发展得较快。特别是纯氧顶吹转炉炼钢法，由于在生产率、产品质量、成本等方面的优越性，被人们广泛采用。采用这种炼钢工序主要包括三个过程，即：原料预处理过程、吹炼过程、铸锭或连铸过程。

近十几年来，随着科学技术的发展，使钢铁生产过程朝着连续、高速和大型化方向发展。在钢液处理方面逐步采用连续铸钢法（简称连铸）代替传统的铸锭开坯法。所谓连铸就是将钢液直接冷却，凝固成符合轧材规格需要的方坯或板坯。这种方法的最大的特点是省去了初轧工序，因此在提高金属收得率、生产效益，降低能耗等方面，优点是明显的。

三、轧钢工序

轧钢工序是把符合要求的钢锭或连铸坯按照规定尺寸和形状加工成钢材的工序。轧制是利用塑性变形的原理将钢锭或连铸坯放到两个相向旋转的轧辊之间进行加工。

轧钢工序比较复杂，每个联合企业由于生产的最终产品不同而设置不同的轧钢工序。大体上可分为初轧、厚板、条钢、热轧、冷轧和钢管轧制等。其中条钢又包括钢轨、各种型钢、棒钢、线材等多种产品。

初轧生产是位于炼钢到成品轧制生产流程的中间环节，其任务是把从炼钢厂送来的钢锭

锭加热并均热到轧制温度，再轧制成形状符合要求的钢坯，提供给后续轧制厂。钢坯主要有：板坯——板形钢坯（厚度大于45mm）；薄板坯——板形钢坯（厚度小于45mm）；大方坯——方形大断面（断面尺寸大于130mm）；小方坯——方形小断面（断面尺寸小于130mm）；异形坯——轧大型材之用；圆棒坯——圆钢。

带钢热轧工序主要是生产热轧板卷，供冷轧或经精整后直接出厂销售。由加热炉出来的板坯，首先由立式破鳞机进行立轧，以破碎板坯在炉内生成的氧化铁皮，同时对板坯的宽度进行调整，然后由几架粗轧机将其轧制到30mm左右。粗轧得到的板坯由中间辊道送至精轧机组，先用切头飞剪把头尾低温异形部分切掉，再用除鳞高压水喷嘴除去表面氧化铁皮，然后进入精轧机组（6~7架）连续轧制成所需厚度的带钢。

带钢冷轧工序是继热轧以后的薄板轧制加工。它的工艺过程是相当复杂的，包括酸洗、轧制、热处理、表面处理、精整等。其主要目的是将热轧带钢在常温下进一步高精度地加工成厚度均匀、板形良好、具有一定机械性能的薄板，并要保证其表面具有一定光洁度。

工业发达国家都拥有大量现代化钢管生产设备，其中主要是自动轧管机和周期式轧管机。利用带钢冷弯成型、焊接得到直缝焊管或螺旋缝焊管，在气液输送中得到广泛的应用。70年代，U-O成型焊管外径达1626mm，壁厚可达40mm，年产达110万t。螺旋焊管采用一台成型机将带钢成型后进行电焊定位，切成定尺后送往焊接机进行双面焊。

中小直径钢管生产仍以热轧为主，借助张力减径机扩大其品种和规格范围。

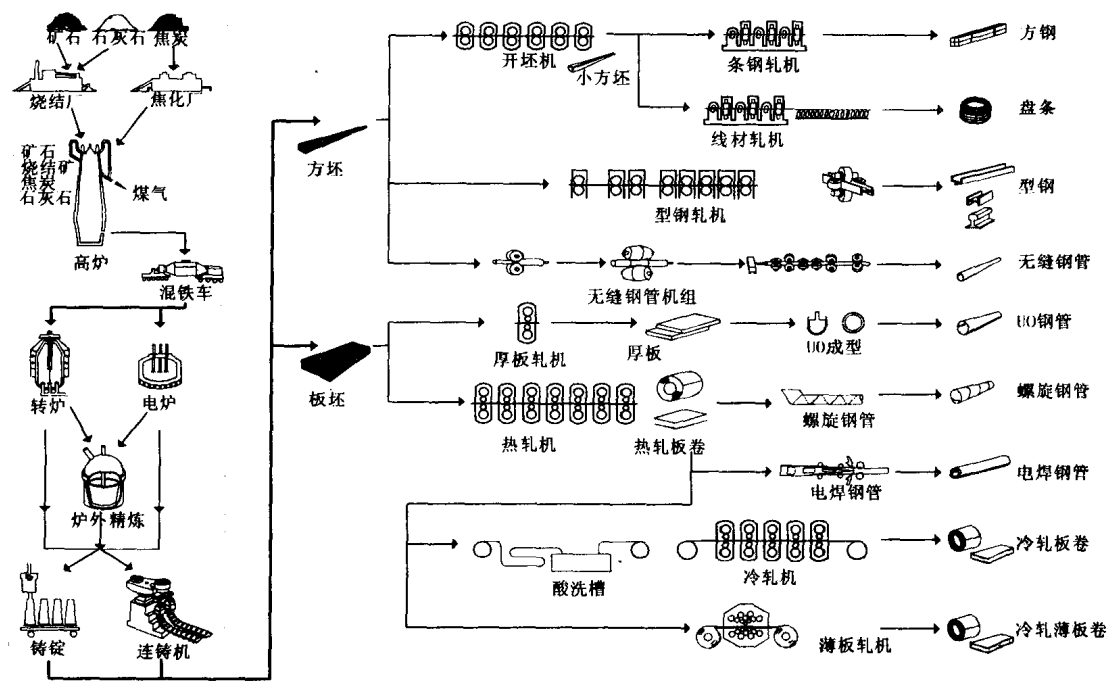


图 1-1 钢铁生产工艺流程

第二章 炼铁生产

钢铁生产是整个国民经济和国防的基础，而炼铁生产又是钢铁生产之基础。

第一节 高炉炼铁生产

一、高炉炼铁生产主要工艺流程

1. 铁矿石

地壳中铁元素含量很多，大约占各种元素总重的5.1%。但以单质状态存在的天然铁几乎没有，而是以氧化物形式和碳酸盐、硫化物、硅酸盐等矿物一起混杂在各种岩石中。自然界中含铁的矿物已知有300多种，但从经济观点出发，远非所有的都能用作工业上炼铁的原料。目前能用作炼铁原料的只有20多种。铁矿石是指在现代技术条件下，能从中经济而有效地炼出铁的岩石。任何铁矿石都是由一种或若干种含铁矿物和称为脉石的不含铁的酸性、碱性氧化物(主要成分有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 和 MnO 等)以及其他伴生的杂质元素(对金属有害的元素主要有S、P，其次有Pb、Zn、As，有的矿石还含有Cu、K、Na、F、Ti等；对金属有益的元素有Mn、Ni、Cr、V)等组成。铁矿石中铁含量的百分比称为铁的品位，含铁品位高(一般认为当铁矿石的含铁量为其理论含铁量的70%以上)的铁矿石称为富矿，含铁品位低的称为贫矿。一般含铁20%以上皆可视为工业铁矿。适宜于高炉冶炼的铁矿石必须含铁量高(工业上使用的铁矿石品位大约在23%~70%之间)、脉石少、有害杂质少、化学成分稳定、粒度均匀，并有良好的还原性和一定的机械强度。

目前作为铁矿开采的矿物及其特征见表2-1。

表 2-1 铁矿石的分类及其特性

矿 石 名 称	含铁矿物名称及化学成分	理论 含铁 量, %	矿石密度 t / m^3	冶 炼 性 能			
				矿石颜色	实际含 铁量, %	有害杂质	强度及还原性
赤铁矿	赤铁矿 Fe_2O_3	70.0	4.9~5.3	红色	35~65	S、P低	较易破碎、易还原
磁铁矿	磁性氧化铁 Fe_3O_4	72.4	4.9~5.2	黑灰色	40~70	S、P高	坚硬致密、难还原
褐铁矿	水赤铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	66.1	4.0~5.0	黄褐色暗 褐色至绒 黑色	37~55	S低P高 低不等	疏松、易还原
	针赤铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62.9	4.0~4.5				
	水针铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	60.9	3.0~4.4				
	褐铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	60.0	3.0~4.2				
	黄针铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	57.2	3.0~4.0				
	黄赭铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	55.2	2.5~4.0				
菱铁矿	碳酸铁 FeCO_3	48.2	3.7~3.9	灰色带黄 褐色	30~40	S低P较 高	易破碎、焙烧后易还 原

注：铁矿石的理论含铁量是指其最大可能的含铁量。

2. 高炉炼铁生产主要工艺过程

冶金是从矿石或其他原料中提取金属的过程。目前钢铁冶金的方法主要是火法冶金，即以(焦炭为主的)燃料为能源，在高温下通过(主要以CO为还原剂)还原，把矿石或其他原料中的金属提取出来。从铁矿石中提取铁的生产过程称为炼铁生产。炼铁生产的主要产品是铁和碳以及尚含有少量硅、锰、硫、磷等杂质的合金——生铁，含碳量一般在1.7%~4.5%之间。熔化的生铁流动性好，适宜铸造，但硬而脆，不便于轧制和焊接。经过进一步冶炼，成为含碳量低于1.7%的铁碳合金，是具有韧性且易于压力加工的钢。而未经冶炼、含碳量更低、含杂质较多的是熟铁。

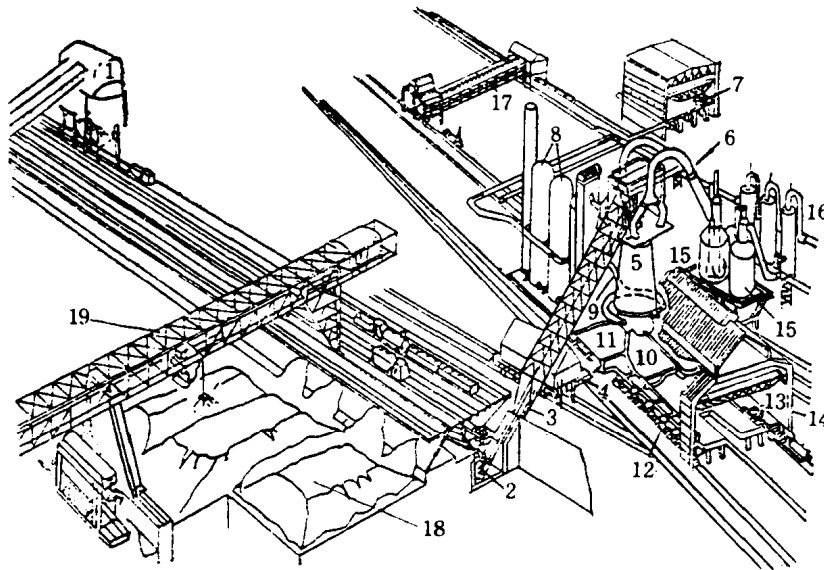


图 2-1 为使用料车式高炉上料机的高炉车间主要设备示意图

1—贮焦楼；2—高炉上料机料车；3—高炉上料机斜桥；4—卷扬机室；5—高炉；6—煤气导出管；7—鼓风机；
8—热风炉；9—热风管；10—出铁场及铁沟；11—出渣口及渣沟；12—渣罐；13—铁水罐；14—出铁场房；
15—除尘器；16—静电除尘器；17—铸铁机；18—料场；19—桥式装卸料机

当今世界上的生铁，绝大部分是用一种使铁矿石还原成液态生铁的鼓风冶炼竖炉——高炉获得的。图2-1为使用料车式高炉上料机的高炉车间主要设备示意图，图2-2为使用皮带式高炉上料机的高炉物料流程及设备示意图。

高炉本体构造如图2-3所示。它是一个竖直的圆筒形炉子，外面用钢板制成炉壳，里面砌耐火砖作为炉衬，并安装有冷却壁或冷却板。高炉的大小按有效容积(或内容积)来表示。

高炉生产是在高温、密闭、具有一定压力的状态下连续进行的。把块状炉料(主要有铁矿石、焦炭和石灰石)按生产工艺要求(即装料制度)经炉喉上部的炉顶装料设备，分批、间断地装入炉内。炉料在炉内构成料柱。另一方面，动力厂的鼓风机把冶炼所需的空气(冶炼化学反应需要氧气)连续不断地送到炼铁厂，经热风(注：现场把未被加热的空气称为“冷风”，把被加热的空气称为“热风”)系统加热到900~1300℃左右后，通过热风围管和布置在炉缸

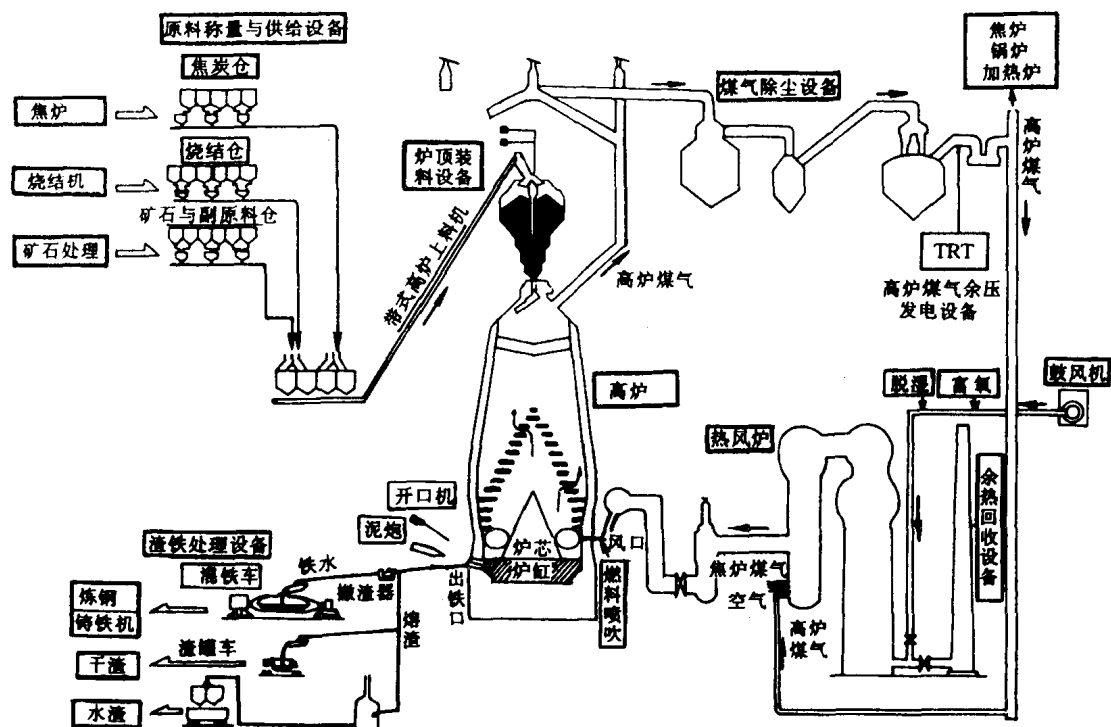


图 2-2 为使用皮带式高炉上料机的高炉物料流程及设备示意图

周围的风口吹入炉内。焦炭在风口处燃烧，产生大量含CO的高温煤气。炽热的煤气在上升过程中把热量传给炉料。炉料在炉内逐步下降，温度逐步升高，冶炼逐步进行。冶炼好的液态生铁(称铁水)和液态熔渣积储在炉缸内。熔渣温度比铁水低，密度比铁水小，与铁水互不溶解，浮在铁水上面。

对于设有出渣口的高炉，铁水和渣液分别从位于炉缸下部的出铁口和出渣口排出。因熔渣浮在铁水上面，所以渣口比铁口稍高。出铁之前先要出渣。出渣口通常用具有(通水冷却的)塞头的堵渣机堵着。出渣时，堵渣机动作，将塞头拔出，熔渣便从渣口排出，沿着渣沟流入盛熔渣的专用容器——渣罐内，然后被运送到渣处理设备，或直接流入渣处理设备进行处理。这部分渣称为上渣。上渣仅是炉缸内渣液的一部分。因液面不能过高，否则会有铁水从出渣口排出，造成对渣口的烧损事故。出渣完毕即可出铁。出铁口通常用专用耐火泥(称炮泥)封着。出铁时，一般是先用开铁口机在铁口的耐火泥中冲钻出一个孔道，当钻至一定深度时，再由人工或机械用铁钎捅通，铁水便从孔道流出，沿铁沟流入盛铁水的专用容器——铁水罐车内。开始时铁水流量很小，随着出铁口孔道被浸蚀、冲刷和磨损而逐步扩大，铁水流量逐步增大。随着出铁的进行，炉缸内液面逐步下降。当铁水流完后，铁水面上的剩余熔渣将从铁口排出。这部分渣称为下渣，约占总渣量的一半。该部分渣液将由铁沟上设置的撇渣器利用熔渣密度比铁水小而浮在铁水上面的特性撇入渣沟，经渣沟被导入渣罐或直接导入渣处理设备。当铁水和熔渣排完、从铁口喷出火焰时，说明铁水和熔渣已排空，此时，立即启动向出铁口挤泥的专用设备——泥炮，泥炮将以适当的吐泥速度向出铁口内打进一定

量的炮泥，堵住出铁口。炮泥由耐火粘土粉、熟料粉、焦粉、焦油等原料配比制成，应具有在高温下体积变化小、机械强度高、抗浸蚀和抗渣冲蚀性能好、并要有较高的密度和可塑性以及能与旧泥料很好结合等性能。对于不设出渣口的大型高炉，铁水和熔渣将一起从出铁口排出，流入铁沟。在铁沟内，熔渣浮在铁水上面，后经铁沟上设置的撇渣器将铁水和渣液分离，铁水经铁沟流入铁水罐，熔渣被撇入渣沟而流入渣罐或直接流入渣处理设备。

高炉生产是连续进行的。热风不断从风口鼓入，下部焦炭不断燃烧，矿石和熔剂不断熔化而下降，炉料从炉顶一批一批装入，使高炉内料柱始终保持一定高度范围内。冶炼好的铁水和渣液定期或连续排出。

焦炭在冶炼过程中既是还原剂又是发热剂。此外，由于焦炭在冶炼过程中既不熔融也不软化，因此，它高炉内还起骨架作用，支持料柱，维持炉内透气性。

高炉冶炼所用的焦炭是由焦化厂的焦炉用干馏方式把经过配比、混合后的炼焦煤粉间接加热到 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 左右闷烧 $16\sim 20\text{h}$ 后生产出来的冶金焦，要求其强度高、灰分少(20%以下)、含碳量高(固体碳在 $80\%\sim 90\%$ 左右)、杂质少(主要是硫，要求其含量在1%以下)。由于冶金焦价格昂贵，目前高炉普遍采用从风口喷吹大量重油、煤粉、天然气等燃料的方法来节约焦炭。喷吹量越大，焦炭用量越少，标致高炉冶炼生产技术水平越高。

3.高炉冶炼的产品和主要副产品

高炉冶炼生产的产品有炼钢生铁、铸造生铁、合金生铁和高炉铁合金，主要副产品有高炉炉渣、高炉煤气以及高炉炉尘。

炼钢生铁是炼钢生产的主要原料，是高炉炼铁的最主要产品，占高炉生铁产量的 $80\%\sim 90\%$ 。炼钢生铁含硅量较低($0.6\%\sim 1.75\%$)，含硫量高，硬而脆，因其中铁和碳处于化合状态，故断口呈银白色，所以也称白口铁。炼钢生铁根据不同炼钢方法的要求，对其成分的要求不同。

铸造生铁主要用于翻砂作铸件，也称铸铁，其产量约占高炉生铁产量的10%。铸造生铁含硅量较高(一般大于 1.75%)，含硫量较低，熔点低，流动性好，适宜于铸造。铸造生铁中的碳以石墨形式存在，断口呈灰色，所以也称灰口铁。

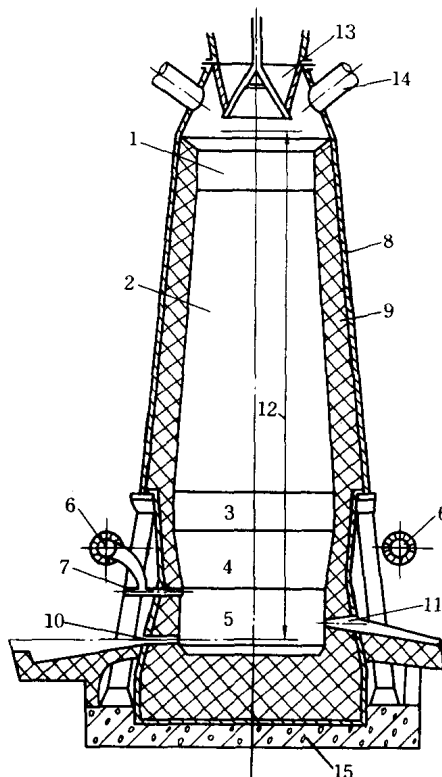


图 2-3 高炉本体构造简图

- 1—炉喉；2—炉身；3—炉腰；4—炉腹；5—炉缸；6—围管；
7—风管；8—炉壳；9—炉衬；10—出铁口；11—出渣口；
12—高炉有效高度；13—装料设备；14—煤气上式管；15—炉底

合金生铁是利用铁矿石中的共生金属冶炼成含有少量Cu、V、Cr、Ni等有益元素的生铁。合金生铁可用来炼钢，也可用于铸造。

高炉炼铁时加入其他成分，冶炼成含有多种合金元素的生铁，称为高炉铁合金，主要有用作炼钢的合金料及脱氧剂的硅铁和锰铁。

高炉每生产1t生铁约产炉渣0.4~0.6t。高炉炉渣作为高炉生产的副产品，在工业上有着广泛的用途。高炉熔渣经渣处理设备将其水淬粒化(熔渣遇水急冷后便成为白色疏松的颗粒)成水渣，是制砖、水泥等建筑材料的上等原料；用蒸汽或压缩空气将液态熔渣吹成渣棉，可制作矿渣棉等隔热、隔音、绝缘等材料；将熔渣倾倒入干渣池，待其冷凝后经破碎、筛分处理，或把熔渣导入铸模中干冷，得到的大块炉渣可用作建筑材料和铺路材料，小块炉渣可制作水泥和化肥。

高炉每生产1t生铁约产荒煤气2000~3500m³。入炉的焦炭等燃料的热量几乎有1/3通过高炉荒煤气排出。从炉顶排出的大量荒煤气，一般已冷却到150~300℃左右，CO含量约20%~30%，其发热值约为3300~4200kJ/m³，粉尘(其主要成分是矿粉和焦末)含量约10~40g/m³。若将这些荒煤气排入大气中，既造成严重的环境污染，也造成严重浪费。高炉生产是将这些荒煤气通过炉顶煤气导出管输送到煤气除尘系统进行除尘。经除尘后得到的净煤气，含尘量降到5~10mg/m³以下，可作为炼铁厂的热风炉、轧钢厂的加热炉、动力厂的锅炉以及焦化厂的炼焦炉等处的工业燃气或其他民用燃气使用。除尘时回收的炉尘和泥浆可返回烧结厂作为烧结原料重新烧结使用，或直接制成高炉炉料入炉使用。

二、高炉炼铁生产化学原理

高炉炼铁的任务是从铁矿石中冶炼出生铁。其冶炼实质是在高温下把铁矿石中的铁还原出来，并吸收其他元素而形成生铁。高炉冶炼中的还原剂主要是CO(其次还有C、H₂等)。铁矿石在高炉中冶炼要完成三个基本作用：1)排除氧化铁中的氧——还原作用；2)把铁与脉石等非铁元素分开——造渣作用；3)铁吸收碳元素——渗碳作用。

1. 还原作用

简单地讲，氧化铁的还原过程主要是：

当温度低于570℃时， $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 + Q(\text{放热})$

$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{CO} = 3\text{FeO} + 4\text{CO}_2 + Q(\text{放热})$

当温度高于570℃时， $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 + Q(\text{放热})$

$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2 - Q(\text{吸热})$

$\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2 + Q(\text{放热})$

上述反应即是排除氧化铁中的氧，称其为还原作用。

要使还原反应能迅速进行，不仅需要有一定温度和足够浓度的还原剂，还需要氧化铁等氧化物与还原剂之间有良好的接触条件。反应是在高温下逐步完成的，一直进行到高炉下部。在反应过程中，CO不可能全部转变为CO₂。

反应所需的CO主要是通过炉缸内的过剩碳素在风口前与氧发生不完全燃烧而生成，并放出热量。即

$2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO} + Q(\text{放热})$

从炉顶装入的焦炭中的碳素除一部分在下降过程中直接还原生成CO和渗入生铁外，绝大部分(约70%)在到达风口时与从风口鼓入的热风进行燃烧。从风口喷入的重油、煤粉、天

燃气等燃料中的碳素，也均在风口前燃烧，其燃烧温度一般不低于1500℃，燃烧焦点的最高温度可达1900℃。因炉缸内有过剩的碳素存在，风口前碳素的燃烧反应最终只能是不完全燃烧，即生成CO并放出热量。因此炉缸内燃烧反应的结果，产生了由CO、N₂和H₂等组成的煤气。当鼓风中含有水分时，水分将在高温下与碳发生反应，即 $H_2O + C = H_2 + CO - Q$ (吸热)。另外，从风口喷吹的燃料中，H₂含量也较高。这些煤气同时也产生热量。这些高温煤气，穿过炉料在炉内上升，加热炉料并使炉料中的氧化物还原。同时由于燃烧的进行，也为炉料的下降提供了空间。

在冶炼过程中，除铁元素被还原出来以外，矿石中的其他氧化物有一部分也将被固体碳(即C)直接还原。其中MnO、SiO₂部分被还原，P₂O₅几乎全部被还原，Al₂O₃、CaO、MgO是极稳定的化合物，基本不被还原。

2. 造渣作用

矿石中的脉石以及焦炭和其它燃料中的灰分等，其主要成分是SiO₂和Al₂O₃，它们的熔点分别为1713℃和2050℃，在高炉内很难熔化。因此，需要在高炉内加入主要成分为CaO(石灰)的熔剂，使其与SiO₂和Al₂O₃生成低熔点(约1300℃)的化合物或共熔体，在高炉所能达到的温度下，顺利地熔化而形成炉渣流出炉外。同时还加入一些MgO做熔剂，MgO有降低炉渣粘度的作用。所以，炉渣的主要成分是SiO₂、Al₂O₃、CaO和MgO，另外还有少量脱硫物CaS以及未被还原的FeO、MnO等。其中CaO、MgO、FeO和MnO等为碱性氧化物，SiO₂和Al₂O₃为酸性氧化物。

所需的熔剂CaO和MgO是通过将CaCO₃(石灰石)和MgCO₃(白云石)作为炉料加入炉内使其受热分解而得到的。即



把冶炼过程中炉渣的形成称为造渣作用。

炉渣按其形成过程分为初渣、中间渣和终渣。初渣是指在炉身下部或炉腰处刚开始出现的液相熔渣，中间渣是指处于下降过程中成分和温度都在不断变化的熔渣，终渣是指到达炉缸并定期排出炉外的熔渣。

随着炉料的下降，温度逐渐升高，被熔化的液相数量不断增加，即形成流动状态的熔渣，称为初渣。初渣继续下降，温度继续升高，渣中的部分FeO、MnO和SiO₂则被直接还原进入铁中，炉料中的CaO和MgO也不断进入渣中，使炉渣碱度和熔化温度升高。当炉渣到达风口时，焦炭中的灰分进入渣中，最后进入炉缸。进入炉缸中的炉渣在完成了还原和脱硫作用之后，即成为终渣，从炉缸中排出。

炉渣的性质主要取决于CaO和SiO₂。一般把炉渣中CaO和SiO₂的质量百分含量之比(即CaO% / SiO₂%)称为炉渣的碱度，一般波动在0.9~1.2之间。

高炉炉料在高炉内下降过程中，只有焦炭一直保持固体状态，到风口前才燃烧，而矿石和熔剂则被逐步加热、分解和还原。矿石中生成的FeO和MnO与脉石中的SiO₂很容易形成低熔点的化合物，在继续加热中由软化而逐步熔化，使脉石与熔剂间接触条件得以改善。

3. 渗碳作用

铁矿石在高炉上部就有部分逐步被CO还原成金属铁。但由于高炉上部温度低于金属铁的熔点，所以金属铁以固体形态存在，称为海绵铁。海绵铁与CO接触，促使其分解出固体

碳(即 $2\text{CO}=\text{CO}_2+\text{C}$)。固体碳附在海绵铁上,形成铁的碳化物(即 $3\text{Fe}+\text{C}=\text{Fe}_3\text{C}$)。随着炉料的逐步下降,温度逐步升高,海绵铁溶解碳的能力提高,熔点逐渐降低。当金属铁熔化后,与炽热的焦炭接触,又大量地吸收固体碳。在高炉冶炼中,铁的渗碳虽开始于固态的海绵铁,但主要还在于液态铁在炉腰和炉腹处所进行的大量渗碳。当液态铁到达风口时,其含碳量已接近成品生铁的含碳量(3.0%~4.5%)。还原后的液态铁在向炉缸滴落过程中,除了渗碳外还溶解少量在高炉下部被还原出的Si、Mn、S、P等杂质,形成熔点低而含碳量高并含有少量Si、Mn、S、P等杂质的生铁。我们把这一过程称为渗碳作用。

三、高炉炉型、高炉炉衬以及高炉冷却

1. 高炉炉型

高炉工作空间的内部轮廓称为高炉炉型,如图2-4所示。高炉炉型应能适应炉料在炉内因温度不同而造成的体积变化,有利于固体、液体和气体的运动,使炉料下降通畅,保证化学反应顺利进行。实践证明,高炉炉型合理与否,对高炉寿命和高炉生产经济效益都有很大影响。

高炉炉型一般由炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸五部分组成。高炉炉喉位于高炉最上端,呈圆筒形。高炉炉身自上而下逐渐扩大,呈截锥台形,铁矿石在其中逐渐还原,其形状应能适应炉料下降时因受热而体积膨胀,保证料柱疏松且能顺利下降,且能适应高炉上部煤气体积的逐步缩小,使煤气与炉料能较均匀地接触。高炉炉腰为炉身下部的圆筒形部分,它使炉身向炉腹合理过渡,是连接炉身与炉腹的缓冲带。在该部位,炉料已软化甚至熔化,有炉渣形成,使这里的炉料透气性恶化,所以直径较大,以减小煤气流的阻力。高炉炉腹呈倒锥台形,截面向下逐步收缩,以适应炉料熔化后体积的收缩,以便支承料柱,防止崩落,并使风口前的高温区所产生的煤气流能够远离炉墙,不致烧坏风口上面的炉衬。高炉炉缸位于高炉的最下端,呈圆筒形,其作用是保证燃烧足够数量的焦炭和由风口喷入的其他燃料,并保证能储存一定量的铁水和渣液。炉缸上部周围均匀分布着适量的风口,风口数目视高炉容积大小而定。炉缸下部设有出铁口和出渣口。一般中小型高炉设1~2个出铁口和两个出渣口,间断出铁,大型高炉多采用多铁口(设3~4个出铁口)连续出铁,不设渣口。从铁口中心线至炉底砌砖表面的距离称为死铁层。设置死铁层的目的是为了使死铁层内始终保持一层铁水,使其隔离熔渣和煤气对炉底的浸蚀和冲刷,并有利于炉底温度分布均匀,以延长炉底寿命,同时也起沉淀重金属的作用。

2. 高炉炉衬

炉体内衬直接承受着冶炼过程中的高温作用、化学浸蚀、炉料和煤气运动的冲刷磨损,其浸蚀磨损程度与高炉炉型、耐火砖材质以及砖型设计和砌筑技术、冷却强度、原料成分、冶炼操作等都有关系。炉体内衬的寿命直接影响高炉的寿命。高炉的大、中修主要取决于各部分砖衬的浸蚀磨损程度。当炉身下部和炉缸、炉底被浸蚀和冲刷磨损到一定程度,难以维持正常生产时,就需要对高炉进行大修。高炉从点火开始生产(即开炉)到第一次大修或两次大修之间的时间称为高炉的一代炉龄(或称一代寿命)。

用于高炉内衬的耐火材料,必须对炉内反应保持物理和化学上的稳定性,即能耐高温、耐高压、耐腐蚀、耐磨损、耐热冲击,在高温高压下不熔化、不软化、不挥发。在高炉冶炼过程中,由于炉内各部位的工作条件不同,所以高炉各部位对耐火材料性能的要求也不尽相同。高炉炉喉和炉身上部温度较低,主要受炉料的冲击和磨损以及含有炉尘的高速煤气流的