

YE JIN SHI YONG JI SHU CONG SHU



冶金实用技术丛书

# 高炉炼铁

张玉柱 编著

冶金工业出版社

## 内 容 提 要

本书详细介绍了高炉炼铁基本理论、工艺和主要设备,包括高炉用原燃料、烧结生产、球团矿生产、还原过程基本理论、造渣与脱硫、炉料与煤气运动、高炉炉况的判断与处理、特殊情况下的高炉操作、炉前操作、高炉强化冶炼、高炉车间主体设备、高炉工艺计算。

本书可作为钢铁企业高炉炼铁系统工人的技术培训教材,也可作为大专院校相关专业师生以及高炉炼铁系统的生产管理人员、工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

高炉炼铁/张玉柱编著. —北京:冶金工业出版社,

1995. 12

(冶金实用技术丛书)

ISBN 7-5024-1747-8

I. 高… II. 张… III. 高炉炼铁 IV. TF531

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 11708 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

三河市双峰印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1995 年 12 月第 1 版, 1995 年 12 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 9.625 印张; 252 千字;页:1-3000 册

12.40 元

# 目 录

1	高炉炼铁概述 .....	(1)
1.1	炼铁发展简史 .....	(1)
1.2	高炉生产工艺流程及产品 .....	(3)
1.3	炼铁技术的发展方向 .....	(9)
2	高炉用原燃料 .....	(11)
2.1	铁矿石 .....	(11)
2.2	锰矿石 .....	(20)
2.3	熔剂 .....	(24)
2.4	矿石代用品 .....	(26)
2.5	燃料 .....	(28)
3	烧结生产 .....	(33)
3.1	原料的准备与处理 .....	(33)
3.2	烧结配料 .....	(41)
3.3	带式抽风烧结机的生产过程 .....	(49)
3.4	物料在烧结过程中的物理化学反应 .....	(58)
3.5	间歇式烧结生产简介 .....	(75)
3.6	烧结生产技术经济指标及质量指标 .....	(78)
4	球团矿生产 .....	(82)
4.1	造球 .....	(82)
4.2	球团矿焙烧的固结过程 .....	(86)
4.3	球团矿的焙烧方式 .....	(91)
4.4	球团矿的种类 .....	(98)
4.5	球团矿和烧结矿的比较 .....	(100)
5	还原过程基本理论 .....	(103)
5.1	铁矿石还原的热力学基础 .....	(103)

5.2	直接还原、间接还原及其比较	(105)
5.3	氢的还原作用	(114)
5.4	加快铁矿石还原速度的条件	(118)
5.5	非铁元素的还原与生铁的形成	(122)
6	造渣与脱硫	(129)
6.1	造渣过程及其对高炉冶炼的影响	(129)
6.2	炉渣的物理化学性能	(133)
6.3	炉渣的脱硫作用	(147)
7	炉料与煤气运动	(155)
7.1	炉料下降的条件	(155)
7.2	炉料的透气性与煤气阻力	(160)
7.3	炉缸煤气的形成与分布	(163)
7.4	送风制度与下部调剂	(165)
7.5	煤气上升与热交换	(167)
7.6	装料制度与上部调剂	(171)
8	高炉炉况的判断与处理	(177)
8.1	判断炉况的目的	(177)
8.2	判断炉况的方法	(178)
8.3	炉况失常的征兆、原因及处理	(183)
8.4	设备事故的预防与处理	(192)
9	特殊情况下的 高炉操作	(198)
9.1	开炉	(198)
9.2	封炉	(213)
9.3	停炉	(217)
10	炉前操作	(223)
10.1	炉前正常操作	(223)
10.2	其他时期的炉前操作	(226)
10.3	炉前事故处理	(228)
11	高炉强化冶炼	(232)
11.1	燃料	(232)

11.2	大风量与高压操作	(233)
11.3	高风温	(235)
11.4	喷吹燃料	(238)
11.5	富氧鼓风	(241)
12	高炉车间主体设备	(244)
12.1	高炉本体	(244)
12.2	高炉上料系统	(251)
12.3	渣铁处理系统	(264)
12.4	送风系统	(268)
12.5	高炉喷吹系统	(276)
12.6	煤气清洗系统	(279)
12.7	车间平面布置	(285)
13	高炉工艺计算	(289)
13.1	高炉生产经济技术指标	(289)
13.2	日常炉料计算	(292)
13.3	生铁成分计算	(300)

# 1 高炉炼铁概述

## 1.1 炼铁发展简史

我国是世界上用铁最早的国家之一。

据历史资料记载,殷代就出现了铁器,至春秋时代(公元前 6、7 世纪),中国已有了较大规模的冶炼鼓风炉,发明了生铁的冶炼及铸造技术,铁器在军事上、农业上有了广泛的应用,使社会逐步由铜器社会过渡至铁器社会。公元前 513 年,赵国铸“刑鼎”。公元前 200 多年的战国时代,又发明了自然钢的冶炼法,炼制出非常坚韧而锋利的著名的“干将”、“莫邪”、“龙泉”、“阿泰”宝剑,由此演绎出许多神奇迷人的传说。东汉初期,我国南部地区发明了水力鼓风机和水力鼓风炼铁炉,这是冶铁史上的一大创举,其结果大大节省了人力,并实现了不间断鼓风,使炉温提高,产量增加。南北朝前后,开始采用石炭作燃料,宋朝开始采用木风箱鼓风,风量大幅度增加。至宋代,又发明了有活塞和活门的木风箱,使冶炼技术日臻完善。

我国炼铁技术的发明比欧洲早 17 个世纪。至公元 13~14 世纪时,炼铁技术才传入欧洲。

近代炼铁技术的发展,是由 18 世纪欧洲爆发工业革命开始的,18~20 世纪这 200 年中,炼铁技术经历了以下几个突破性的发展阶段:

(1)1709 年,英国首先开始用焦炭代替木炭,这样不仅缓解了当时日益严重的木材危机,而且为以后高炉向大型化发展打下了基础。

(2)19 世纪初,英俄采用蒸汽鼓风机,鼓风能力大大提高,为扩大炉缸直径创造了条件。

(3)1829 年,英国人发明了用高炉煤气加热鼓风、用热风代替

冷风的技术,使燃料消耗量大幅度下降。同时,炉内温度分布更趋合理。

(4)本世纪 50 年代开始使用人造富矿,一举解决了天然富矿奇缺、冶金性能差的问题。

(5)60 年代开始采用综合鼓风,从风口喷入燃料(煤气、天然气、或重油)直接代替一部分焦炭,大大缓解了结焦煤的供应问题,扩大了高炉燃料的来源。

(6)近年来电子计算机的应用,使高炉生产实现了操作人工智能化,多数部位实现自动化连锁控制,大大减轻了工人的劳动强度,提高了劳动生产率。

我国虽然是世界上炼铁发展最早的国家之一,欧洲的炼铁技术也是从中国输入的,但是,当欧洲正在进行工业革命,高炉生产向着大型化、机械化、电气化方向发展,冶炼技术不断完善的时候,中国却正处在落后的封建统治时代,发展非常缓慢,以至到 19 世纪末,不得不转而从欧洲输入近代炼铁技术。

1891 年,清末洋务派首领张之洞首次在汉阳建造了两座日产 100t 生铁的高炉,迈出了我国近代炼铁的第一步。之后,先后在鞍山、本溪、石景山、太原、马鞍山、唐山等地修建了高炉。1943 年是我国解放前钢铁产量最高的一年,生铁产量 180 万 t,钢产量 90 万 t,居世界第 16 位。后来由于战争的破坏,到了 1949 年,生铁年产量仅为 25 万 t,钢 16 万 t。

建国后,我国于 1953 年生铁产量就达到了 190 万吨,当时超过了历史最高水平。1957 年生铁产量达到了 597 万吨,高炉利用系数达到了 1.321,我国在这一指标上跨入世界先进行列(美国当时高炉利用系数为 1.0)。1958 年生铁产量为 1364 万 t,1978 年突破了 3000 万 t,1988 年达到了 6000 万 t,1993 年生铁产量为 8000 万 t,跃居世界第 2 位。

## 1.2 高炉生产工艺流程及产品

### 1.2.1 高炉生产工艺流程

生铁是从铁矿石中还原出来的。铁矿石中的铁多以磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿、褐铁矿等铁氧化物的形态存在。天然富矿的资源有限。较贫矿石为了提高品位,改善其冶金性能,一般开采以后需要经过破碎、选矿、烧结(焙烧)等工序制成人造富矿才能进入高炉冶炼。

要从矿石中获得生铁,必须使用还原剂将铁还原出来;同时必须提供热量为还原反应创造温度条件,使炉料化为液体,以便渣铁分离;由于高炉内煤气和炉料逆向流动,炉料在此期间经历了从固体到软融体再到液体的形态变化,煤气通过必须有通道,高炉料中的焦炭恰好起到了上述三种作用。它既是还原剂,又是发热剂,并起到了骨架作用,为炉内煤气上升提供了通路。矿石中,除了 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 等有用矿物以外,还有在高炉条件下不能被还原的 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 以及少量被还原的 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MnO}$ 等脉石,为了使这些脉石熔化成为能够自由流动的炉渣,从而与铁分离,还需加入一定数量的熔剂。由于脉石多为酸性的,所以一般熔剂多采用碱性的石灰石和白云石。熔剂可加在烧结矿中,也可直接加在高炉里。另外,为了降低焦比,还可从风口喷入一些重油、煤气或天然气等燃料以代替一部分焦炭。这样,高炉生产所用的原料主要有:铁矿石(天然富矿或人造富矿)、焦炭、熔剂和喷吹物。这些原料(除喷吹物外)按一定比例从炉顶装入炉内。从下部风口鼓入热风,焦炭在风口前燃烧生成煤气,煤气在上升过程中完成还原和加热炉料的任务,最终作为高炉煤气从炉顶逸出。高炉煤气中含有相当数量的 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 等可燃成分,可供热风炉和其他厂作为燃料使用,也可用于煤气发电。

高炉生产工艺流程如图 1-1 所示。

根据各部位所起的作用,高炉炼铁可分为以下几个系统:

(1)高炉本体系统,包括炉基、炉壳、炉衬,冷却设备等。高炉内



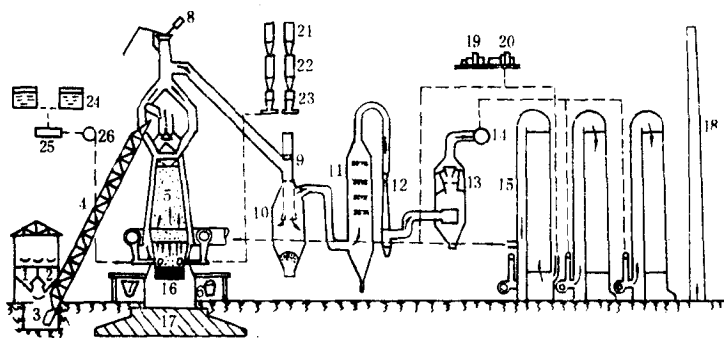


图 1-1 高炉炼铁生产工艺流程图

- 1—贮矿槽；2—焦仓；3—料车；4—斜桥；5—高炉本体；6—铁水罐；  
 7—渣罐；8—放散阀；9—切断阀；10—除尘器；11—洗涤塔；12—文氏管；  
 13—脱水器；14—净煤气总管；15—热风炉(3座)；16—炉基基墩；  
 17—炉基基座；18—烟囱；19—蒸汽透平；20—鼓风机；  
 21—收集罐(煤粉)；22—储煤罐；23—喷吹罐；  
 24—贮油罐；25—过滤罐；26—油加压泵

部的空间叫炉型，从上至下可分为五段，即炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸，如图 1-2 所示。炉缸部分设有风口、铁口、渣口。

(2) 上料系统，包括储矿槽，槽下漏斗，筛分、称量和运料设备，料车斜桥和炉顶装料设备。

(3) 送风系统，包括鼓风机、热风炉、冷热风管道、热风围管、进风弯管等。

(4) 煤气净化系统，包括煤气导出管、上升管、下降管、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器、高压阀组等。目前，中小高炉煤气净化除尘多采用干法除尘，即用换热器和布袋除尘器来代替上述湿法除尘系统中的洗涤塔、文氏管和脱水器等设备(图 1-1 所示为湿法除尘)。

(5) 渣铁处理系统，包括出铁场、炉前设备、渣铁运输设备、水力冲渣设备等。

(6) 喷吹系统，包括喷吹物的制备、运输和喷入设备等。

高炉是一个煤气与炉料作逆向运动的竖炉。由矿石、焦炭和熔

剂组成的炉料靠自身的重力作用不断下降,焦炭在风口前燃烧成煤气,矿石则还原和熔化为液态的生铁和炉渣,并不断地排至炉外,为上边炉料的下降腾出空间,风口前,热风 and 焦炭燃烧生成的煤气则受鼓风机压力的推动向上运动。炉料和煤气在逆向运动中相互接触,煤气作为热载体和还原剂,一方面把热量传给炉料,使其温度升高,为还原和熔化创造条件,一方面夺取铁氧化物中的氧,同时还原若干其他合金元素。

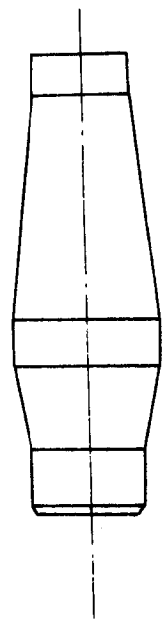


图 1-2 高炉内型

炉料装入高炉内,在上半部是固相区,也称块状带,下降过程中温度不断升高,达到矿石软化温度时,出现软融带。焦炭则仍保持固体状态作为透气窗。软融带的下部是液体滴下带,这时只有焦炭仍是固体,矿石则以液态渣铁形态沿焦炭表面向下滴落。风口前端为近似球形的焦炭循环区,称作燃烧带,入炉的焦炭一部分以固体状态直接参加对矿石的还原,大部分在这里燃烧生成  $\text{CO}$ 。高炉的底部为渣铁积聚层,称作渣铁带。五带分布如图 1-3 所示。

煤气在风口前燃烧带生成,初始煤气中只有  $\text{CO}$ 、 $\text{N}_2$  和少量的氢,并具有很高的温度和压力,上升过程中煤气的温度和成分不断发生变化,首先由于直接还原  $\text{CO}$  增加,继而由于间接还原  $\text{CO}$  转变成相同数量的  $\text{CO}_2$ 。煤气中的  $\text{CO}$  下降,  $\text{CO}_2$  升高,煤气温度则由于热交换和热损失不断降低,压力也由于阻力损失而不断下降。

生铁的最终成分是在炉缸内完成的。矿石中的铁几乎全部被还原(99.5%),生铁中含铁约为 92%~94%, $\text{SiO}_2$  和  $\text{MnO}$  部分被还原,生铁中硅和锰的含量视铁的标号而异。此外生铁中还含有一定数量的碳,一般为 4%左右,含有微量的磷、硫等有害元素。简而言之,生铁就是以铁为基础,含有一定碳量和少量硅(Si)、锰

(Mn)、磷(P)、硫(S)等元素的合金。

高炉冶炼过程中,炉渣和生铁是同时形成的,凡是冶炼过程中未被还原的氧化物都成为炉渣,如  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等全部进入炉渣, $\text{SiO}_2$  大部分进入炉渣, $\text{MnO}$  约有一半进入炉渣,一半被还原。此外,炉渣中还含有  $\text{CaS}$ 、 $\text{CaF}_2$ , 特殊情况下还含有  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、

$\text{TiO}_2$  等成分。总之,常规渣主要成分是  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{CaS}$ 、 $\text{MnO}$  等几种化合物,其中  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  被称为碱度,是决定炉渣性能的特征指标。高炉各区功能见表 1-1。

表 1-1 高炉各区域的功能表

区域	相对运动	热交换	反应
固相区(块状带)	固体炉料下降煤气上升	上升煤气对固体炉料进行加热和干燥	间接还原、气化反应 碳酸盐分解、部分直接还原
软融区(软融带)	煤气通过焦炭夹层	矿石软化、半熔、煤气对半熔层进行传热	直接还原、渗碳
滴落区(滴落带)	固体焦炭下降,向回旋区供给焦炭,熔铁下流	上升的煤气与滴下的熔渣、铁水及焦炭进行热交换	合金元素还原、脱硫、渗碳、直接还原
回旋区(燃烧带)	鼓风使焦炭回旋运动	焦炭燃烧放热,产生高温煤气	燃烧反应、部分再氧化
炉缸区(渣铁带)	铁水和熔渣的储存,定期放出	上部的热辐射、渣铁与焦炭的换热	最终的精炼、渣铁间的还原、脱硫、渗碳

为使高炉冶炼过程正常进行,必须及时、准确、迅速地纠正外部条件变化引起的炉况波动、渣碱度变化和炉内煤气流分布失常

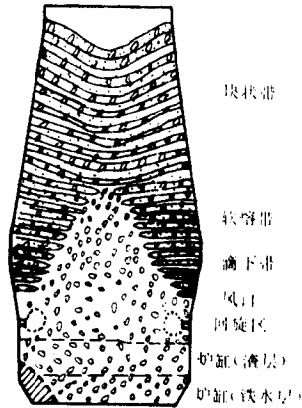


图 1-3 炉内五带分布图

等现象,从而就形成了一系列的高炉操作制度。

### 八、基本操作制度有:

(1)装料制度,指炉料装入炉内的方法,具体指通过改变装料方法来改变炉料在炉喉断面上的分布,以达到控制炉内煤气流分布的目的。

(2)送风制度,指在一定的冶炼条件下,保持适宜的鼓风数量,质量和风口进风状态,保证合理的煤气流初始分布,以达到炉况顺行的目的。

(3)造渣制度,指选择适合于特定冶炼条件下的炉渣成分和碱度,使其性能满足使高炉顺行、脱硫能力较强和稳定炉温的要求。

(4)热制度,指通过调节焦炭负荷、风温和喷吹量,控制炉温,以保证高炉热量充足、稳定,生产出合格生铁。

## 1.2.2 高炉产品

### 1.2.2.1 生铁

生铁是以 Fe 为基,含有 C、Si、Mn、P、S 五大元素的合金。

按用途生铁可分为铸造生铁、炼钢生铁和合金生铁。

炼钢生铁根据炼钢的方法不同,又可分为以下几种:

(1)碱性平炉生铁,它的特点是含硅量低,这样可以缩短熔炼周期,减少渣量,减轻炉渣对炉衬的侵蚀。

(2)酸性转炉生铁,亦称贝氏铁。它的特点是含有一定量的硅,但磷含量要低。因为硅在吹炼过程中氧化放热,从而成为热源。而磷在酸性炉内难以去除。

(3)碱性转炉生铁,这种铁可以有一定的含磷量,硅含量要低,因为碱性炉中磷可以去除,吹炼时磷氧化放热,成为热源,硅对碱性炉衬有侵蚀作用,所以要求硅含量要低。

铸造生铁是铸造用的,其特点是含硅量较高,因为硅含量较高的生铁可以产生大量的石墨碳,从而提高铸件的切削性能,而且冷却时不变形,减少了砂眼的形成机会,并且石墨碳在加工面上起润滑作用,使铸件具有良好的耐磨性。

合金生铁主要是硅铁和锰铁,其作用是作炼钢的脱氧剂。高炉

表 1-2 生铁标准

铁种	炼钢生铁				铸造生铁										球墨铸铁		
	牌号	炼04 L04	炼08 L08	炼10 L10	铸30 Z30	铸34 Z34	铸30 Z30	铸26 Z26	铸22 Z22	铸18 Z18	铸14 Z14	球10 Q10	球12 Q12	球16 Q16			
Si		≤0.45	>0.45 ~0.85	>0.85 ~1.25	>2.8 ~3.2	>3.2 ~3.6	>2.4 ~2.8	>2.0 ~2.4	>1.6 ~2.0	>1.25 ~1.6	≤1.0	>1.0 ~1.4	>1.4 ~1.8				
		≤0.30	≤0.30	≤0.50	≤0.50	≤0.50	≤0.50	≤0.50	≤0.50	≤0.50	≤0.50	≤0.20	≤0.20				
Mn	一组		>0.30~0.50	>0.50~0.90	>0.90~1.30	>1.30~1.70	>1.70~2.10	>2.10~2.50	>2.50~2.90	>2.90~3.30	>3.30~3.70	>3.70~4.10	>4.10~4.50				
	二组		>0.30~0.50	>0.50~0.90	>0.90~1.30	>1.30~1.70	>1.70~2.10	>2.10~2.50	>2.50~2.90	>2.90~3.30	>3.30~3.70	>3.70~4.10	>4.10~4.50				
	三组		>0.50	>0.50	>0.90~1.30	>1.30~1.70	>1.70~2.10	>2.10~2.50	>2.50~2.90	>2.90~3.30	>3.30~3.70	>3.70~4.10	>4.10~4.50				
P	一级		≤0.15	≤0.15	≤0.06	≤0.06	≤0.06	≤0.06	≤0.06	≤0.06	≤0.06	≤0.06	≤0.06				
	二级		>0.15~0.25	>0.15~0.25	>0.06~0.10	>0.06~0.10	>0.06~0.10	>0.06~0.10	>0.06~0.10	>0.06~0.10	>0.06~0.10	>0.06~0.10	>0.06~0.10				
	三级		>0.25~0.40	>0.25~0.40	>0.10~0.20	>0.10~0.20	>0.10~0.20	>0.10~0.20	>0.10~0.20	>0.10~0.20	>0.10~0.20	>0.10~0.20	>0.10~0.20				
	四级				>0.20~0.40	>0.20~0.40	>0.20~0.40	>0.20~0.40	>0.20~0.40	>0.20~0.40	>0.20~0.40	>0.20~0.40	>0.20~0.40				
	五级				>0.40	>0.40	>0.40	>0.40	>0.40	>0.40	>0.40	>0.40	>0.40				
S	特类		≤0.02	≤0.02	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03				
	一类		>0.02~0.03	>0.02~0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03				
	二类		>0.03~0.05	>0.03~0.05	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04	≤0.04				
三类		>0.05~0.07	>0.05~0.07	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05					

化学成分，%

硅铁的含硅量不超过 15%，而高炉锰铁的含锰量可达 50%~60%，甚至更高。含锰量 10%~25%的铁称为镜铁，50%以上的称为锰铁。生铁标准见表 1-2。

#### 1.2.2.2 炉渣

水渣是水泥的主要原料，渣棉可以作绝热材料，炉渣经过处理还可以作建筑材料。

#### 1.2.2.3 高炉煤气

1t 生铁可以产生 2000~3000m<sup>3</sup> 的高炉煤气，其发热值为 7000~10000kJ/m<sup>3</sup>，可作为燃料供给其他厂或用于煤气发电。

#### 1.2.2.4 炉尘

炉尘中一般含有 5%~15%的碳，30%~50%的铁，因而可返回烧结厂再次利用。随着原料条件的改善和实行高压操作，炉尘会逐渐减少。

### 1.3 炼铁技术的发展方向

在相当一段时期内，高炉炼铁仍将是炼铁的主要手段，总的发展方向主要是：节约能源、资源，提高设备效率，实现全方位自动化，加强环保，实行综合治理，具体包括以下几个方面：

(1)降低能源消耗，继续寻求降低焦比的方法，通过设备水平及原料条件的改善，单位生铁能耗仍将会有大幅度地下降。

(2)改善原料条件仍将是今后一个时期的重大课题。由于天然富矿日趋减少，细磨精矿增加，原料中球团矿的比例将会增加，而冷烧球团技术将会有大的发展和应用。

(3)高炉大型化仍将是我国今后的发展趋势。目前世界上许多国家的高炉容积都超过了 5000m<sup>3</sup>，如前苏联的切列波维斯克炼铁厂的高炉容积达 5380m<sup>3</sup>。我国宝山钢铁总厂的 3 座高炉容积均为 4063m<sup>3</sup>，武汉钢铁公司的 3200m<sup>3</sup> 高炉也已投产，首钢总公司的 4 座高炉近年内均已改为 2000m<sup>3</sup> 级高炉。

(4)综合鼓风技术将得到进一步的发展，高富氧、高风温、大喷吹仍将是强化冶炼的主要手段。

(5)高炉生产的计算机控制将走向智能化,即通过对炉内变化规律的研究,建立控制炉况的数学模型,完全用计算机控制高炉。如首钢总公司、宝山钢铁总厂、武汉钢铁公司等的一部分高炉基本实现了高炉操作自动化。目前众多炼铁技术工作者正在致力于这方面的研究。

(6)回收利用二次能源,如回收炉顶煤气的压力能、煤气显热、炉渣显热、非热装的铁水显热等。

鉴于结焦煤的日趋枯竭,非高炉炼铁法将异军突起,得到迅速发展。

## 2 高炉用原燃料

### 2.1 铁矿石

#### 2.1.1 几个有关的矿物学名词术语

为了进一步了解铁矿石,有必要对几个有关的矿物学名词作一解释:

(1)矿物,指地壳中自然生成的,具有一定的化学成分、内部结晶构造和理化性能的元素或化合物。

(2)矿石,是由一种矿物或多种矿物组成的,在现有技术经济条件下可从中提取有用物质的集合体。

(3)岩石,同样是由一种或多种矿物组成的集合体,只是在现有技术经济条件下不能开采的称作岩石,矿石和岩石是一个相对概念。

(4)脉石,系指矿石中 useful 成分以外的矿物。

(5)颜色,是指矿物表面看上去的颜色。各种颜色的形成为矿物组成中所含色素离子所致。如  $\text{Fe}^{2+}$  为绿色,  $\text{Fe}^{3+}$  为褐红色。颜色系矿物的一种光学性质。

(6)光泽,光线照射到矿物表面时,一部分光被矿物折射或吸收,另一部分光则从其表面反射,这种反射光就构成了矿物的光泽。根据光泽的强弱,可分为金属光泽、半金属光泽、非金属光泽。光泽是矿物的又一种光学性质。

(7)解理与断口,矿物被敲打后,沿着一定的方向有规则地裂开成光滑平面,这种断裂称作解理,如方解石、云母等的断裂即为解理。若矿物被敲打后,无规则地裂开,则称断口,如石英的破裂等。

(8)硬度,即矿物的软硬程度。普通测定硬度的方法为刻划法,即用两种矿物相互刻划,被划出沟痕的矿物硬度比较小。常见的



10种矿物按硬度由低至高的顺序排列如下：滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石。硬度是矿物的一种力学性能。

(9)磁性,是指矿物可被磁铁吸引和排斥的性质。按磁性,矿物一般可分成两类,一类称为顺磁性矿物,这类矿物能为磁铁所吸引,如磁铁矿、磁黄铁矿等;一类称为抗磁性矿物,这类矿物被磁铁排斥,如自然银、自然硫等。利用矿石的磁性,不仅可以鉴定矿物,还可进行磁力选矿和磁力探矿。

### 2.1.2 铁矿石的种类及特性

铁矿石是由一种或几种含铁矿物和脉石组成的集合体。自然界中含铁的矿物甚多,目前能够用于炼铁的只有几种,它们按含铁矿物的主要特性,通常分为赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿和菱铁矿四种类型。

#### 2.1.2.1 赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

赤铁矿是最常见的铁矿石,俗称“红矿”,化学式为 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。理论含铁量为70%,含氧量为30%。颜色是红色或暗红色。结晶的赤铁矿有金属光泽,硬度为5.3~6。赤铁矿中往往含有1%~8%的残余磁铁矿,并且部分赤铁矿还会风化为褐铁矿。赤铁矿含有的有害杂质硫、磷、砷较磁铁矿和褐铁矿的要少,脉石成分为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CuO}$ 、 $\text{MgO}$ 等。

#### 2.1.2.2 磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

磁铁矿也是最常见的铁矿石,化学式为 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,也可看作为 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 69%, $\text{FeO}$ 31%)。理论含铁量为72.4%,含氧量为27.6%。颜色为灰色至灰黑色,有金属光泽。磁性较强。硬度为5.5~6.5。

磁铁矿含有的有害杂质磷硫量较高。含钛和钒较多的叫钛磁铁矿和钒钛磁铁矿。脉石成分为石英、硅酸盐与碳酸盐。此外,矿石中还含有黄铁矿和磷灰石,有时还含有闪锌矿和黄铜矿。

自然界中的纯磁铁矿很少见,由于氧化作用,部分磁铁矿被氧化成赤铁矿,生成仍保留磁铁矿结晶形态的中间产物。按氧化程度