



(上册)

高炉炼铁

冶金工业出版社

高 炉 炼 铁

上 册

东北工学院炼铁教研室 编

冶金工业出版社

高 炉 炼 铁

上 册

东北工学院炼铁教研室 编

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 10¹/₂ 字数 246 千字

1977 年 11 月第一版 1977 年 11 月第一次印刷

印数 00,001~10,500 册

统一书号: 15062·3302 定价 (科四) 1.10 元

前 言

无产阶级文化大革命以来，遵照毛主席“教育要革命”、“教材要彻底改革”的教导，在院党委的领导下，我院广大师生认真学习马列和毛主席著作，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，深入生产第一线，实行开门办学，同工农兵相结合，批判资产阶级，批判修正主义，以三大革命运动为源泉，编写了这本教学参考书。

本书力求理论与实践相结合，反映我国高炉炼铁生产技术成就。力求做到少而精和便于学员自学。

全书共五篇：第一篇高炉冶炼的原料，以精料为中心，重点是烧结矿和球团矿；第二篇高炉冶炼基本原理，分析高炉冶炼的规律；第三篇高炉强化冶炼，试图运用炼铁基本原理分析高炉高产、优质、低耗的实际问题；第四篇高炉操作，以开炉、停炉以及变料调整为重点，兼顾一般调节处理；第五篇高炉构造及设计，以高炉本体和热风炉为主，并讨论中小型高炉的特点。全书分上、中、下三册。第一篇为上册，第二、三、四篇为中册，第五篇为下册。

在本书编写过程中，得到了工厂和兄弟院校的热情支持和帮助。鞍山钢铁大学参加第五篇部分编写工作。初稿完成后，鞍钢烧结厂、鞍钢设计院、本钢炼铁厂、北京钢铁学院、鞍山钢铁大学、武汉钢铁学院、北京钢铁学校等单位的同志参加了审阅，提出许多宝贵意见，谨此一并感谢。

彻底改革教材是一项长期、艰巨的战斗任务，充满着两种思想、两个阶级、两条路线的斗争。由于我们学习马列和毛主席著作很不够，缺乏生产实践，理论水平低，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

一九七六年八月

32539

目 录

第一篇 高炉冶炼的原料

第一章 矿石和熔剂	1
第一节 矿物、矿石和岩石.....	1
第二节 铁矿石质量的评价和我国的铁矿.....	2
第三节 对锰矿石质量的评价.....	8
第四节 对熔剂质量的要求.....	9
第五节 其它含铁物料的利用.....	10
第二章 矿石的准备	11
第一节 破碎和筛分.....	11
第二节 混匀.....	14
第三节 选矿的目的及其指标.....	15
第四节 选矿的方法.....	15
第五节 不同矿石的选矿流程.....	18
第六节 焙烧.....	21
第三章 高炉用燃料	23
第一节 高炉冶炼对燃料质量的要求.....	23
第二节 焦炭生产.....	26
第三节 发展焦炭代用燃料的生产.....	29
第四章 铁矿石烧结及基本理论	34
第一节 烧结生产的意义.....	34
第二节 对烧结矿质量的要求和鉴定方法.....	34
第三节 带式抽风烧结生产过程.....	38
第四节 烧结料中水分的蒸发、分解和凝结.....	40
第五节 碳酸盐的分解及其矿化作用.....	41
第六节 烧结过程中固体碳的燃烧.....	42
第七节 烧结料层中的热交换.....	45
第八节 烧结料层中的气流运动.....	49
第九节 烧结过程的氧化和还原反应.....	50
第十节 有害杂质的去除.....	53
第十一节 烧结矿的结构构造及其性质.....	56
第十二节 烧结矿配料及热平衡计算.....	69
第五章 烧结生产	81
第一节 烧结料的准备.....	82

第二节	烧结操作制度	89
第六章 提高烧结矿产量和质量的途径		95
第一节	消石灰和生石灰的使用	95
第二节	提高烧结料温度	96
第三节	改善烧结料造球	98
第四节	增加烧结过程的有效风量	100
第五节	热风烧结、煤气烧结与烧结矿热处理	102
第六节	高碱度烧结矿	106
第七节	烧结生产自动化	108
第七章 烧结厂主要设备		110
第一节	熔剂和燃料的破碎筛分设备	110
第二节	配料与混料设备	112
第三节	带式烧结机	115
第四节	除尘、污水处理与抽风机	120
第五节	烧结矿破碎、筛分和冷却设备	123
第六节	其它烧结方法和设备	127
第八章 球团矿生产		132
第一节	矿粉成球	133
第二节	球团矿的焙烧原理	139
第三节	球团矿焙烧设备	147
第四节	球团矿和烧结矿的比较	156
第五节	其它造块方法	159

第一篇 高炉冶炼的原料

铁矿石、燃料和熔剂是高炉生产的主要原料。一般冶炼一吨生铁，需要1.5~2吨铁矿石，0.4~0.6吨焦炭，0.2~0.4吨熔剂，总计约需2~3吨原料。高炉生产的连续性要求有数量足够的原料供应，这样，才能维持高炉正常的生产。

原料是炼铁生产的基础，还表现在原料质量对冶炼过程及冶炼效果有很大的影响。“精料”是我国高炉技术操作方针的基本内容之一。生产实践一再证明，没有“精料”作基础，高炉是不可能有效地接受大风、高温和喷吹燃料的，不可能有高产、优质、低耗的效果。我国中小高炉推行的“高、熟、净、小、匀”的精料方针和大高炉大量使用熔剂性烧结矿，大大提高了高炉生产能力。

第一章 矿石和熔剂

第一节 矿物、矿石和岩石

矿物是受地壳中天然的物理化学作用和生物作用而产生的自然元素或自然化合物，它通常具有一定的物理性质和化学性质。绝大多数矿物都是以自然化合物为主，它们的化学组成一般可用化学式来表示，但可能因含有杂质而略有不同。矿物的性质决定于矿物的结晶构造及其化学成分。

矿石和岩石就是许多矿物的集合体。但是，矿石是在现有的政治经济技术条件下能从中提取金属、金属化合物或有用矿物的，因此矿石的概念是相对的。例如，铁在地壳中约有5%的数量，并广泛地、程度不同地分布在岩石和土壤中，但并不是所有的含铁岩石都是矿石，因为从许多岩石中提取金属铁，目前在经济上是不合理的。随着科学技术的发展，也有许多过去被人认为不能冶炼的矿石（如钒钛磁铁矿），今天已成为炼铁的重要原料。

一般铁矿石和锰矿石中常见的铁矿物有：赤铁矿，磁铁矿，褐铁矿和菱铁矿。常见的锰矿物有：软锰矿、硬锰矿、水锰矿、褐锰矿、菱锰矿及黑锰矿等。铁矿石中的铁矿物主要是赤铁矿的称为赤铁矿矿石，主要是磁铁矿的称磁铁矿矿石等等。磁铁矿氧化成的赤铁矿常残留磁铁矿的晶格，形成中间产物。按其氧化程度的不同分为假象赤铁矿和半假象赤

铁矿。一般规定:

$T \text{ Fe}/\text{FeO} < 3.5$ 为磁铁矿;

$T \text{ Fe}/\text{FeO} > 7.0$ 为假象赤铁矿;

$T \text{ Fe}/\text{FeO} = 3.5 \sim 7.0$ 为半假象赤铁矿。

常见铁、锰矿物的组成及一些特征列于表(1—1)中。

铁矿物、锰矿物的组成及特征

表 1—1

矿物名称	化 学 式	理论含 Fe(Mn) 量 (%)	颜 色	备 注
磁铁矿	Fe_3O_4	72.4	黑 色	磁铁矿:
赤铁矿	Fe_2O_3	70.0	红 色	含 Fe 45~70%, S、P 高, 坚硬, 致密, 难还原。
褐铁矿	$n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ $n=1\sim3, m=1\sim4$	55.2~66.1	黄 褐 色	赤铁矿:
菱铁矿	FeCO_3	48.2	灰色或带黄色	含 Fe 55~60%, S、P 少, 软, 易破碎, 易还原。
软锰矿	MnO_2	63.2	黑色或钢灰色	褐铁矿:
硬锰矿	$k\text{RO} \cdot l\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (RO=MnO, CaO, MgO, BaO 等)	47~69	钢灰色到黑色	含 Fe 37~55%, P 高, 疏松, 大部松软易还原。
水锰矿	$\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62.5	钢灰色到黑色	菱铁矿:
褐锰矿	Mn_2O_3	69.6	褐色或浅褐黑色	含 Fe 30~40%, S、P 少, 易破碎, 焙烧后易还原。
黑锰矿	Mn_3O_4	72.0	浅 褐 黑 色	
菱锰矿	$\text{MnCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$	25.6	粉 红 色	

一般矿石中实际含铁(锰)量均低于矿物的理论含量, 因为矿石中还含有相当数量的脉石矿物。脉石矿物在工业上没有提炼价值, 通常在矿石加工处理过程中被废弃。这些脉石矿物主要是石英、各种硅酸盐和铝硅酸盐矿物, 其它还有少量硫酸盐和碳酸盐等矿物。绝大多数矿石的脉石是酸性的。

铁矿石和锰矿石的化学成分中, 除去各种铁锰氧化物外, 就是构成脉石的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 及 CaO (个别情况还有 TiO_2 、 CaF_2 、 BaO 、 K_2O 及 Na_2O 等) 以及数量不等的 S、P 杂质和 CO_2 、结晶水等在高温下分解的物质。

第二节 铁矿石质量的评价和我国的铁矿

一、铁矿石质量的评价

铁矿石是高炉生产最主要的原料。铁矿石的质量直接影响高炉冶炼的进程和技术经济指标。因此对铁矿石的质量必须十分重视, 通常从以下几方面加以评价。

1. 矿石品位

矿石品位指的是铁矿石含铁的量。铁矿石含铁量高, 有利于降低高炉焦比和提高产

量。这是由于矿石中的铁分降低，脉石的数量增加，石灰石的用量和渣量也随之升高。而且渣量增加的倍率要大于铁分降低的倍率。例如，鞍山地区原矿含铁 30%，含 SiO_2 50%，选矿后的精矿品位升高到 60%， SiO_2 降低到 14%，可见品位提高一倍， SiO_2 量降低近四倍，而单位重量生铁的渣中 SiO_2 量降低近八倍（按原矿中 SiO_2/Fe 比值为 1.67，精矿中 SiO_2/Fe 比值为 0.23）。因此单位重量生铁的熔剂量和渣量也相差近八倍。所以，过贫的矿石直接入炉冶炼在经济上是不合算的，同时在操作上也有较多困难。贫矿应当经过选矿提高品位，然后冶炼，才是比较合理的。

矿石的贫富或矿石直接入炉冶炼的最低合格品位，并没有绝对固定的标准。因为它还决定于矿石中的脉石成分、有害杂质和有益元素的含量以及矿石类型等因素。对于褐铁矿、菱铁矿和碱性脉石（ CaO ）较多的矿石，对含铁量的要求可以适当降低，因为褐铁矿和菱铁矿在其中的结晶水和 CO_2 分解放出后，铁分可以提高。对于含有益元素的矿石，从综合利用的角度，常常需要经过选矿处理。有人认为，矿石中去 CaO 后的含铁量大于 70% 理论含铁量的可为富矿。

对于碱性氧化物（ CaO ）较多的矿石，具有较高的冶炼价值。这种矿石可以视为酸性脉石的富矿和石灰石的混合矿，冶炼时可以少加或不加石灰石，有利于降低焦比。表（1—2）中比较了两种成分不同的原料的含铁量，烧结矿的全铁量虽然比海南岛矿为低，但其中含有一定数量 CaO ，去 CaO 后的含铁量比海南岛矿为高。因此冶炼烧结矿比冶炼海南岛矿更为有利。

矿石品位低到什么程度就没有开采价值呢？应当根据国家的资源条件和技术经济条件，确定矿石的最低工业品位。当前我国铁矿石最低工业品位可参考表（1—3）。应当指出，决定铁矿石的开采价值时，必须遵照毛主席关于“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针。

海南岛矿与烧结矿化学成分比较(%) 表 1—2

矿石名称	TFe	SiO_2	CaO	去 CaO 后的 Fe
海南岛矿	55.0	16.0	0.3	55.2
烧结矿	47.46	13.94	17.15	57.20

铁矿石的最低品位 表 1—3

矿石类型	最低工业品位%
磁铁矿	20~25
赤铁矿	30
褐铁矿	30
菱铁矿	25

2. 脉石的化学成分

脉石的化学成分对矿石的冶炼价值影响很大。

由于大多数矿石的脉石和焦炭灰分为酸性，故在矿石中的 CaO 多，具有较高的冶炼价值，矿石的含铁量允许降低些。而矿石中的 SiO_2 则愈低愈好。 SiO_2 多，消耗的石灰石量和生成的渣量愈大，引起焦比升高和产量下降。矿石中的 CaO 同 SiO_2 的比值称为碱度。矿石碱度愈高，冶炼加入的石灰石量愈少。

矿石中 MgO 高时，会增加炉渣中的 MgO 含量。适量的 MgO 能改善炉渣的流动性和增加其稳定性，所以一般炉渣中保持 6~8% 的 MgO 有利于高炉冶炼操作。但是，炉渣中

MgO过高又会降低其脱硫能力和流动性。我国高炉冶炼曾有过含 MgO 18~20% 的炉渣的实践经验。一般认为渣中 MgO 量大于 20% 时,可能会给冶炼带来一定困难。目前,我国有不少高镁铁矿的矿床投入生产和正在建设。从选矿角度看,MgO 含量从 3.0% 到 23.0% 的矿石都是易选的,铁的回收率均可达到预期的效果,但是选矿不能使 MgO 的含量大幅度降低。根据 MgO 的平衡,精矿和矿石中的最高允许含 MgO 量可用下式表示:

$$(\text{MgO})_{\text{矿}}^{\text{①}} = A \times (\text{MgO})_{\text{渣}} \times \frac{\text{Fe}_{\text{矿}}}{\text{Fe}_{\text{生铁}}}$$

式中 A ——渣铁比(此值可按已知的原料成分计算出);

$(\text{MgO})_{\text{渣}}$ ——渣中最高允许含 MgO 量,可取 20%;

$\text{Fe}_{\text{生铁}}$ ——生铁中的含铁量,一般为 93%;

$\text{Fe}_{\text{矿}}$ ——矿石或精矿中的含铁量。

由上式可见,随着渣量的增加和铁矿石品位的提高,矿石最高允许 MgO 量升高。

[例] 已知某高 MgO 铁矿石含 Fe 62.65%, 含 MgO 5.9%, 渣量 0.45 吨/吨,若使渣中 MgO ≤ 20%, 问能否单独用该矿石冶炼?

按上式可计算矿石中最高允许 MgO 量为

$$(\text{MgO})_{\text{矿}} = 0.45 \times 0.2 \times \frac{62.65}{93} = 6.1\%$$

较实际矿石中 MgO 量稍高,故可单独冶炼。

Al_2O_3 在高炉渣中为中性氧化物。渣中 Al_2O_3 浓度超过 22~25% 以上时,渣难熔而不易流动。因此矿石中 Al_2O_3 要加以控制,一般矿石中 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比不宜大于 2~3。我国武钢高炉所用矿石中 Al_2O_3 较高,但未超过正常冶炼所允许的范围。

我国一些矿区拥有丰富的钛磁铁矿,脉石成分中含有 TiO_2 ,但因主要含钛矿物的钛铁晶石($\text{Fe}[\text{TiFe}]_2\text{O}_4$)晶粒很细($<1\mu$)同磁铁矿形成连晶体很难用一般机械方法选分,故精矿中仍含相当数量的 TiO_2 。含 TiO_2 的炉渣在冶炼中有变稠的特点,容易导致渣铁不能畅流,炉缸堆积和生铁含硫升高等。因此过去长期认为,渣中 TiO_2 不能超过 8%,致使大量钛磁铁矿不能被利用。我国工人阶级在毛主席革命路线指引下,破除迷信,解放思想,大搞科学试验,在用高 TiO_2 的条件下,获得渣铁畅流和生铁合格的冶炼效果,使长期被洋人宣判为不能冶炼的钛磁铁矿问题得到解决,为社会主义革命和社会主义建设做出了贡献。

3. 有害杂质和有益元素的含量

有害杂质通常是 S、P,但在个别情况下还有 Pb、Zn、As。Cu 有时为害,有时为益。应当特别指出,所谓有害有益的概念是相对的。随着科学技术的进步和综合利用工作的开展,可以变害为益。

硫(S): 硫对钢材是最为有害的成分,它使钢材具有热脆性。国家标准规定,生铁中硫的含量不能大于 0.07%,因此要求矿石中含硫愈少愈好。根据鞍钢经验,矿石中含硫升高 0.1%,焦比升高 5%。这是由于脱硫要求提高炉渣碱度,需要增加石灰石的用量,同

① 焦炭灰分中 MgO 很少,忽略不计。

时渣量也随之增大。一般规定矿石中 $S \leq 0.06\%$ 为一级矿； $S \leq 0.2\%$ 为二级矿； $>0.3\%$ 为高硫矿。铁矿石中的硫常以黄铁矿(FeS_2)、磁黄铁矿(FeS)和黄铜矿($FeCuS_2$)等硫化物以及硫酸盐(如重晶石 $BaSO_4$)的形态赋存。对于高硫矿石可以通过选矿和烧结的方法处理，降低含硫量。

磷(P)：磷也是钢铁材料的有害成分，它使钢材具有冷脆性。除少数高磷铸造铁允许有较高的含磷量外，一般生铁含磷愈低愈好。由于磷在选矿和烧结过程中不易除去，而在炼铁过程中又全部还原进入生铁(而硫在高炉内可以除去90%以上)，因此要求矿石中磷愈低愈好。控制生铁含磷的唯一途径就是控制原料的含磷量。对于高磷矿石，可以冶炼供碱性底吹转炉用的高磷生铁。所得的高磷钢渣是很好的化肥。

矿石的允许含磷量(P_r)可用下式计算：

$$P_r = \frac{P_{\text{铁}} - P_{\text{熔、焦}}}{K}$$

式中 $P_{\text{铁}}$ ——生铁规定含磷量，%；

$P_{\text{熔、焦}}$ ——生产单位生铁所需的熔剂和焦炭带来的磷量，%；

K ——生产单位生铁的矿石消耗量， $K = \frac{Fe_{\text{铁}}}{Fe_r}$ 。

铜(Cu)：铜在钢中含量不超过0.3%时，可以增加金属的抗腐蚀性能。含铜钢板可用于造船工业。但当含铜量超过0.3%时，则金属的焊接性能降低，并产生“热脆”现象。我国××矿石含铜，以黄铜矿($FeCuS_2$)和孔雀石($CaCO_3 \cdot Cu(OH)_2$)状态存在，其中以硫化物形态存在的黄铜矿可以通过浮选而回收，做到铜铁分离。但以氧化物状态存在的铜却进入铁精矿。铜在一般烧结过程中不能去除，而炼铁过程中铜全部还原进入生铁。因此，钢铁中含铜量主要决定于原料含铜量。矿石中的最大允许含铜量(Cu_r)可用下式表示：

$$Cu_r = \frac{[Cu] \times Fe_r}{Fe_{\text{生铁}}}$$

式中 $[Cu]$ ——生铁中允许含铜量；

$Fe_r, Fe_{\text{生铁}}$ ——矿石及生铁中含铁量。

在 $[Cu] = 0.25\%$ ， $Fe_r = 50\%$ ， $Fe_{\text{生铁}} = 93\%$ 的条件下， $Cu_r = 0.13\%$ 。一般矿石允许含铜不超过0.2%。

对于一些难选的高铜氧化矿，除可用氯化焙烧回收铜外，还可以冶炼高铜($Cu > 1.0\%$)铸造生铁。这种合金铸铁具有很好的机械强度和耐腐蚀性。

铅(Pb)、锌(Zn)和砷(As)：我国一些铁矿石中含有少量的Pb、Zn和As。它们一般以硫化物状态存在(方铅矿 PbS 、闪锌矿 ZnS 、毒砂 $FeAsS$ 和辉砷钴矿 $CoAsS$)。在普通烧结过程中Pb、Zn不能去除，而在高炉内都是易还原元素。但是Pb在生铁中几乎不溶解，其比重较铁水大，沉积于炉底铁水层以下(国外有在高炉正常铁口下再开一出铅口，定期将沉积的金属铅放出)，渗入砖缝，破坏砌砖。Pb在1550℃时沸腾，铅蒸气在炉内挥发上升，在上部再度氧化成 PbO ，部分随气流逸出，部分又随炉料下降再被还原，如此循环，使炉内铅不断积聚。冶炼含铅矿石时，时常结瘤。锌在高炉内还原后，在高温区以锌

蒸气大量挥发上升，有类似铅蒸气的情况。部分 ZnO 沉积于炉身部分的砌砖缝隙中还会引起炉衬膨胀和炉壳破坏。因此要求矿石中 Pb、Zn 含量愈低愈好。国外冶炼含 Zn 矿的实践表明，含量小于 0.1% 时均可顺利冶炼。目前对于含 Pb、Zn 的矿石，可以通过氯化焙烧的方法使 Pb、Zn 同铁分离（在 Pb、Zn 以 PbS 及 ZnS 存在时，可用浮选方法分离）并加以回收。As 在烧结过程中只能去除一部分（也可用氯化焙烧方法去除），在高炉内 As 全部还原进入生铁。钢中含 As 将降低其焊接性能和增加其脆性。一般矿石含 Zn 不应超过 0.1~0.2%，含 Pb 不超过 0.1%，含 As 不超过 0.07%。

铁矿石中经常共生一些对金属质量有改善作用的或可提取的有益元素，如锰(Mn)、铬(Cr)、钴(Co)、镍(Ni)、钒(V)、钛(Ti)、铌(Nb)、钽(Ta)以及铈(Ce)、镧(La)等。当这些元素达到一定数量时，如 $Mn \geq 5\%$ 、 $Ni \geq 0.2\%$ 、 $Cr \geq 0.06\%$ 、 $V \geq 0.1 \sim 0.15\%$ 、 $Co \geq 0.03\%$ 、 $Cu \geq 0.3\%$ 、 $Pb \geq 0.5\%$ 、 $Zn \geq 0.7\%$ 、 $Sn \geq 0.2\%$ 、 $Mo \geq 0.3\%$ 可视为复合矿石，经济价值很大。我国的复合矿石储量大，种类多，是很宝贵的财富，应当考虑综合利用。有许多元素是我国国防尖端工业所急需。因此，对于这类铁矿石，应大力开展综合利用的工作。

目前，关于钒钛磁铁矿中的钒钛回收利用，主要是通过磁选而获得钒铁精矿（因为钒呈类质同象混入物存在于磁铁矿 $[Fe^{2+}(Fe^{3+}V)_2O_4]$ 中），通过浮选而获得含钴、镍的精矿以及通过重选而得钛精矿。钒铁精矿可以通过造块和高炉冶炼而得含钒生铁，生铁经转炉吹炼而得含 V_2O_5 15~18% 的钒渣。钒渣再经化学处理而得 V_2O_5 ，最后在电炉中制得钒铁合金。目前在这种流程中，钒的实收率很低，应当研究实收率更高的新工艺流程。

对于含氟和稀土元素的铁矿石，可以通过磁选-浮选的选矿流程而获得铁精矿、稀土精矿和萤石。

4. 矿石的强度和粒度组成

矿石的强度和粒度组成对高炉冶炼的影响很大。粉末多，料柱的透气性不好，炉况不顺，煤气能量的利用不好。但粒度过粗又使还原速度降低，焦比升高。因此，一般规定小于 5~8 毫米的矿石不能入炉，而粒度上限则与原料的还原性有关。对于难还原的磁铁矿不大于 40 毫米；较易还原的赤铁矿和褐铁矿可以不大于 50 毫米；对于中小高炉一般不大于 25~35 毫米。矿石从矿山开采出来后，粒度不符合上述要求，应当经过处理。大块要破碎，不能入炉的矿粉应当筛分造块。

5. 矿石的还原性

矿石的还原性好，有利降低焦比。一般磁铁矿因结构致密，最难还原；褐铁矿结构疏松，最易还原；赤铁矿的还原性居中。人造富矿一般较天然富矿具有较好的还原性。矿石还原的难易，影响冶炼的效率，但不能决定矿石能否利用。

6. 矿石化学成分的稳定性

矿石化学成分波动会引起炉温、炉渣碱度和生铁质量的波动，从而破坏炉况顺行，并使焦比升高，产量降低。为了稳定化学成分，应当在矿石经过破碎筛分后，进行混匀处理。

二、我国铁矿资源概况

我国地大物博，铁矿资源丰富。但解放前我国冶金工业十分落后，国家的资源命脉又掌握在帝国主义手中，铁矿资源不详，除去一个依据地质资料估算的 30 亿吨的远景储量

外，别无其它任何资料。解放后，在毛主席革命路线指引下，经过大规模的地质勘探，充分证明我国是个铁矿资源丰富的国家。从目前看，我国铁矿资源有两个特点：第一，贫矿多，全国贫矿储量占铁矿石总储量的80%，因此必须大力发展选矿和造块；第二，多元素共生的复合矿石较多，因此必须加强矿石综合利用的研究试验工作，最大程度的合理利用我国的资源。

我国一些矿区铁矿石的化学成分如表1—4。

我国一些矿区铁矿石的化学成分(%)

表 1—4

矿 石 名 称	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	烧损	Cu	Zn
櫻 桃 园 (磁)	48.30	21.40	25.80	0.79	1.07	0.43	0.23	0.075	0.014			
弓 长 岭 (赤)	44.00	6.90	34.38	1.31	0.28	1.16	0.15	0.007	0.02			
七 道 沟 (赤)	45.30	3.45	7.94	2.43	4.76	0.99	8.09	0.188	0.029			
七 道 沟 (磁)	49.05	27.60	12.41	2.58	2.35	1.77	5.54	0.543	0.011			
大 栗 子 (赤)	43.00	7.0	5.0	2.0	9.0	3.5	1.0	高 S 0.3	0.05			
大 栗 子 (赤)	44.00	8.0	5.0	2.0	10.0	2.5	0.8	低 S 0.07	0.03			
东 鞍 山 (贫)	32.73	0.70	49.78	0.19	0.34	0.80	—	0.031	0.035			
齐 大 山 (贫)	31.70	4.35	52.94	1.07	0.84	0.80	—	0.01	0.05			
南 芬 (贫)	33.63	11.90	46.36	1.425	0.576	1.593	Mn 0.087	0.073	0.056			
歪 头 山 (贫)	31.49	15.17	48.04				Mn 0.032	0.029	0.052			
弓 长 岭 (赤贫)	28.0	3.90	55.24	1.53	0.22	0.73	0.35	0.013	0.037			
武 安 (磁)	60.90	16.20	6.44	0.53	2.13	0.75	0.21	1.11	0.018			
庞 家 堡 (赤)	50.12	2.00	19.52	2.10	1.50	0.36	0.32	0.067	0.156			
武 安 (赤)	55.20	8.25	12.96	1.06	2.02	1.48	0.24	0.047	0.035			
邯 郸	42.59	16.30	19.03	0.47	9.58	5.55	0.11	0.208	0.048			
矿 山 村 (赤)	54.50	10.8	11.82	1.68	3.09	0.86	0.313	0.98	0.034			
山 东 莱 芜 (磁)	45.30	18.52	11.20	1.68	10.05	3.34	0.22	0.286			0.199	
山 东 郭 店 (赤)	53.0	12.0	8.5	1.5	5.5	2.2	0.09	0.2	0.04			
山 东 黑 旺 (褐)	40.08		11.17	3.953	10.53	1.069	0.985	0.033			0.108	
山 东 利 国 (赤)	53.10	4.50	11.98	2.47	3.44	0.95	0.11	0.0284	0.024			
山 东 利 国 (磁)	50.40	15.10	7.71	3.92	6.30	5.75	0.35	0.028	0.009			
武 钢 铁 山	54.38	13.90	10.30	2.43	3.66	1.51	0.178	0.325	0.096			
武 钢 金 山 店	44.96	11.30	15.43	3.16	5.28	4.68	Mn 1.67	0.634	0.068			
武 钢 灵 乡	49.50	8.30	12.90	3.40	4.02	1.56	Mn 0.156	0.420	0.068			
海 南 岛	55.90	1.32	16.20	0.96	0.26	0.08	Mn 0.14	0.098	0.020			
梅 山 (富)	59.35	19.88	2.50	0.71	1.99	0.93	0.323	4.452	0.399	6.31	CuO 0.038	0.041
金 岭 镇 (磁)	57.22	21.70	3.60	1.63	2.88	2.93	0.16	0.68	0.449			
迁 安 (大 石 河)	32.73	10.27	47.54	0.19	0.36	2.07	Mn 0.14	0.027	0.048			

第三节 对锰矿石质量的评价

锰矿在钢铁冶金工业中应用很广。锰是重要的合金元素，它能增加钢的机械强度，使钢质硬而耐磨。锰也是炼钢过程的脱氧剂。但锰矿在自然界的储量比铁矿少得多，因此锰矿比铁矿显得稀缺和贵重。

对于评价锰矿石的冶炼价值，通常也有以下几方面的质量标准。

一、含锰量

锰矿石的含锰量比铁矿石的含铁量显得更加重要。因为锰在高炉冶炼中只有一部分（最高只 80%）进入生铁，其余损失在炉渣和煤气中。而铁几乎 99% 以上进入生铁。所以锰矿愈贫，渣量愈大，锰的回收率愈小，冶炼价值降低。

二、脉石成分

脉石中 SiO_2 愈少，冶炼价值愈高。因为 SiO_2 少，加入熔剂和生成渣量也少，锰的回收率高。

三、有害杂质

硫在锰矿中较少，而且冶炼锰铁合金时易于去除。但磷的存在却大大降低了锰矿的使用价值。因为锰铁合金作为脱氧剂或合金元素是在精炼后期加入钢液，磷高将直接影响钢的质量。因此要求锰矿含磷愈低愈好。

四、含铁量

冶炼含铁量高的锰矿不易获得高锰铁合金，因为铁几乎全部进入生铁。因此，冶炼高锰铁合金时，要求锰矿含铁愈少愈好，或锰铁比愈高愈好。锰矿中的允许含铁量可用下式计算：

$$\text{Fe}_r = \frac{100 - (\text{Mn} + \text{C} + \text{Si} + \text{P})}{K}$$

式中 Fe_r ——锰矿中含铁量；

$\text{Mn}, \text{C}, \text{Si}, \text{P}$ ——铁合金各元素的成分；

K ——冶炼单位重量铁合金的锰矿消耗量，其计算式为：

$$K = \frac{\text{Mn}}{\eta \times \text{Mn}_r} \quad (\eta \text{——Mn 的回收率})$$

所以

$$\text{Fe}_r = \frac{100 - (\text{Mn} + \text{C} + \text{Si} + \text{P})}{\text{Mn}} \times \eta \times \text{Mn}_r$$

例如，在锰铁中 $\text{P} + \text{Si} + \text{C} = 8\%$ ， $\eta = 0.8$ 的条件下，要冶炼含 Mn 80% 的锰铁，锰矿中的锰铁比应为多少？根据上式，计算结果为：

$$\frac{\text{Mn}_r}{\text{Fe}_r} = \frac{80}{0.8 \times 12} \approx 8$$

锰矿中 Mn/Fe 比值低时，不易炼出高锰铁合金。我国一些小高炉曾使用“二步法”从低品位锰矿中冶炼出高锰铁合金。即先用酸性渣操作而获得高锰渣，然后再用富锰渣冶炼获得高锰铁。这为利用低品位锰矿生产高锰生铁创造了一条道路。

五、锰矿强度

锰矿强度差，炉尘吹损大，降低了锰的回收率。所以对锰矿粉应进行烧结，制得高碱

度烧结矿，再入炉冶炼，以改善锰的回收率和其它指标。

表 1—5 列出我国规定的锰矿石的技术条件。

我国锰矿石技术条件

表 1—5

矿石类别	含 Mn 量 (%)		Fe+Mn (%)	Mn/Fe	有害成分平均允许含量 (%)		
	边界品位	平均品位			SiO ₂	每 1% Mn 中含 P 量	
氧化锰矿 (富)	>25	>30	} ≥30	4~8	<25	≤0.005	
碳酸锰矿 (富)	>20	>25		4~8	<25	≤0.005	
铁锰矿 (富)		>15				≤35	
氧化锰矿 (贫)	>10~15	>20				≤35	
碳酸锰矿 (贫)	8~10	>15				≤35	

第四节 对熔剂质量的要求

高炉加入熔剂的目的主要是：(1)降低矿石中的脉石及焦炭灰分的熔点，形成易从炉缸流出的并同铁水分离的炉渣；(2)去除硫(指用碱性熔剂)，改善生铁质量。

因为大多数矿石的脉石是酸性的，所以高炉用的熔剂主要是碱性的，如石灰石(CaCO₃)，白云石[CaMg(CO₃)₂]等。其它如高 Al₂O₃ 的中性熔剂和石英质的酸性熔剂很少用。

对碱性熔剂的质量要求如下：

1. 碱性氧化物(CaO+MgO)要高。否则渣量大，石灰石用量多，焦比升高。一般要求熔剂中酸性氧化物 $K = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 不大于 3.5%。K 值升高不仅降低了熔剂中碱性氧化物的数量，而且它本身造渣就要消耗一部分碱性氧化物。因此，熔剂的有效碱性氧化物降低。熔剂的有效碱性氧化物(RO_{有效})可用下式表示：

$$\text{RO}_{\text{有效}} = \text{RO} - n \times K, \%$$

n 为渣中(CaO+MgO)/(SiO₂+Al₂O₃)比值，对于石灰石，则可用有效 CaO 来表示：

$$\text{CaO}_{\text{有效}} = \text{CaO} - n' \times \text{SiO}_2$$

n'——渣中CaO/SiO₂的比值；

CaO, SiO₂——石灰石中 CaO 及 SiO₂ 的数量。

2. 硫、磷含量要低。

3. 石灰石应有一定的强度和块度。除一种方解石在加热过程中很易破碎产生粉末外，其他石灰石的强度还是足够的。石灰石块度过大，分解慢，增加高炉内高温区的热量消耗，使炉缸温度降低和焦比升高。因此，目前石灰石粒度为 25~75 毫米，小高炉为 10~30 毫米。但最近有些工厂使石灰石粒度降低到同矿石粒度一样。

最近大高炉由于熔剂性烧结矿的大量使用，高炉加入石灰石量很少。但在一些中小高炉，特别是生矿配比较多的高炉，石灰石的加入量仍然不少。上钢某中型高炉在用 80% 生矿的条件下成功地使用了含 CaO 为 80~90% 的生石灰代替石灰石做熔剂，使焦比大幅度降低。其效果为每增加 100 公斤生石灰可降低焦比 41.6~48.5 公斤。但生石灰也有强度差，影响劳动条件的缺陷。重钢高炉曾配用 40% 碱度为 2.5 的高碱度烧结矿，使石灰石消耗量减少 213 公斤/吨，焦比降低 14.83%，收到了显著效果。高碱度烧结矿具有强度高，还原性好的优点，因此在生矿配比高，石灰石用量多的高炉上(特别是大、中型高

炉),使用高碱度烧结矿可能比用生石灰更有效。

第五节 其它含铁物料の利用

在钢铁工业和其它工业部门经常有不少含铁“废弃”物料,这类物料应当充分利用。利用这类物料,不仅有利于扩大资源,增加生铁产量,而且还可以减少公害和降低成本。目前用的这类物料有:高炉炉尘、转炉炉尘、轧钢皮、硫酸渣以及一些有色金属选矿的高铁尾矿和炉渣等。它们的成分列于表1—6中。

一些含铁物料的化学成分(%)

表 1—6

物料名称	T Fe	FeO	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	P	MnO	Cu	Pb	Zn	As	Au	Ag	C
高炉炉尘	40		10	2.0	15	1.8	0.2	0.09	0.2							10
转炉炉尘	68.6	67.5	7.17	0.72	2.08	—	0.07	0.04	0.187	Fe ₂ O ₃ 23.09						11
轧钢皮	61.6	66.4	0.34	0.32	15.4	3.29	0.15	0.014	0.82							0.37
硫酸渣	47~ 54	0.64~ 1.26	1.0~ 4.8	0.3~ 2.8	10~ 14	1.0~ 2.5	1.3~ 2.7			0.22~ 0.53	0.22~ 0.42	0.12~ 0.83	0.06~ 0.18	0.76 克/吨	2.8 克/吨	
鼓风机铜渣	26.51	29.01	7.43	4.49	32.52	2.17	0.29			0.22		3.49				

一、高炉炉尘

高炉炉尘基本由矿石和焦炭的粉末组成。其中含有40%左右的铁和大约10%的碳。它可用于烧结,取代部分矿粉和燃料,降低烧结矿成本。根据冶炼原料的条件,每吨生铁的炉尘量在30~100公斤,原料粉末多时,炉尘量可能更高。一般烧结配料中炉尘不超过10%。

二、氧气转炉炉尘

氧气转炉炉尘是从氧气转炉的炉气中经过除尘器回收的含铁粉料,含铁高(60% Fe)粉末细,可用于烧结和球团。

三、轧钢皮

轧钢皮是在轧钢过程中,钢锭和钢材表面剥裂脱落的氧化铁皮,含铁很高,是烧结的好原料。用它可以提高烧结矿的品位。

四、硫酸渣(烧渣)

硫酸渣是化工厂焙烧黄铁矿制取硫酸后残存的矿渣。一般除含铁45~55%外,还含有其它有色金属和贵金属(Cu、Pb、Zn、Co、Au、Ag等)。目前我国化工厂产生的硫酸渣,如能全部利用,则可增产大量生铁和一定数量的有色金属以及大量的矿渣水泥,并可消除因硫酸渣大量堆弃而造成的公害。

目前利用硫酸渣的方法有两种:一为经过烧结直接炼铁;一为经过预备处理回收有色金属后再炼铁。前一方法早已在钢铁厂应用,在烧结配料中,硫酸渣可占3~5%。预备处理的方法则可达到综合利用的目的,很有前途。如西德杜伊斯堡炼铜厂,1961年处理硫酸渣195.4万吨,产生生铁100万吨,回收铜2.15万吨、锌3.65万吨、钴1478吨、银42.4吨。

冶炼有色金属的一些炉渣中,有相当数量的铁。过去这类炉渣均废弃不用,造成公害。目前对这类炉渣的利用问题应引起重视和研究。

第二章 矿石的准备

矿石从矿山开采出来以后，必须经过一定的加工处理才能进行冶炼。处理矿石的主要目的就是把原料搞精(在某些情况下还为了综合利用资源)，使高炉用上精料。我国高炉生产的长期经验表明，精料是大幅度改善高炉生产技术经济指标的主要措施。精料的标准可概括如下：高(品位高)、熟(增加熟料比)、净(减少粉末)、小(适当缩小粒度)、匀(粒度均匀)和稳(成份稳定)等六个方面。本书第十四章将详细地分析这几方面对高炉冶炼的影响和效果。本章着重介绍有关精料的若干措施和方法。

第一节 破碎和筛分

破碎和筛分是矿石准备处理工作中的一个基本环节。它的目的在于控制矿石的粒度，满足高炉冶炼工艺上的要求。通过破碎和筛分使粒度达到“小、净、匀”的要求(对矿石粒度要求见第一章第一节)。对于贫矿，为了使铁矿物同脉石达到单体分离的目的，以利选分提高品位，铁矿物嵌布愈细密，则破碎的粒度要求愈细。

一、破碎方法和设备

根据破碎的粒度范围，破碎分以下几类：粗碎(由1000毫米破碎到100毫米)；中碎(由100毫米破碎到30毫米)；细碎(由30毫米破碎到5毫米)和粉碎(由5毫米破碎到1毫米以下)。破碎比是标志物料的破碎程度，它由物料在破碎前后的最大直径比例来表示。破碎机的生产能力用破碎机的台时产量(吨/台·小时)表示。

常用的破碎设备有以下六种型式，图2-1表示各类破碎机的工作原理。

