

# 高炉炼铁学

(上册)

东北工学院炼铁教研室编

一九七四年

# 毛主席语录

学制要缩短，教育要革命，资产阶级知识分子统治我们学校的现象，再也不能继续下去了。

教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

不破不立。破，就是批判，就是革命。破，就是讲道理，讲道理就是立，破字当头，立也就在其中了。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。

要提倡唯物辩证法，反对形而上学和烦琐哲学。

外国一切好的经验，好的科学技术，我们都要吸收过来，为我所用。拒绝向外国学习是不对的。当然，迷信外国，认为外国的东西都是好的，也是不对的。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

## 前 言

无产阶级文化大革命以后，遵照毛主席：“教育要革命”，“教材要彻底改革”的教导，我们带着彻底改革旧教材的任务，投入生产斗争实践。三年来，我们一面参加现场科研、生产调查总结、值班操作和工业设计等实践活动，一面编写新教材。我国工人阶级和工程技术人员在生产中新的创造，为编写新教材提供了极为丰富和生动的资料，成为新教材的实践基础。

新教材立足于我国高炉生产实践，同时本着“洋为中用”的原则，引进一些国外先进技术。

新教材力求理论密切联系生产实际，从生产实际出发，着重阐明理论规律，并努力用于分析生产实际问题。

新教材努力做到少而精，同时注意理论体系的完整性，以便学生自学。

全书共分五篇。第一篇高炉原料及其准备处理，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，突出高炉喷吹燃料，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。第四篇高炉构造及设计，以高炉本体和热风炉为中心，同时兼顾中小型高炉设备的特点。第五篇高炉操作以开炉、停炉以及变料调整为重点，兼顾一般调节处理。

在新教材编写过程中，现场同志和兄弟院校给予我们很多帮助和鼓励。鞍山钢大同志参加第四篇部分编写工作。初稿完成后，鞍钢炼铁厂、烧结厂、鞍钢设计院，鞍山钢铁大学、本钢二铁厂的同志参加审阅，提出许多宝贵意见，谨此一并感谢。

本书从初稿完成到交出付印，时间仓促，难免有一些缺点和错误，希望读者批评指正。

# 目 录

## 上 册

结 论	1
<b>第一篇 高炉冶炼的原料</b>	
<b>第一章 矿石和熔剂</b>	
§ 1 矿物、矿石和岩石	7
§ 2 铁矿石的质量评价和我国的铁矿石资源	9
§ 3 对锰矿石的质量评价	19
§ 4 对熔剂的质量要求	20
§ 5 其它含铁物料的利用	21
<b>第二章 天然矿石的准备处理</b>	
§ 1 破碎和筛分	24
§ 2 混 匀	26
§ 3 选矿的目的及其指标	26
§ 4 选矿的方法	27
§ 5 不同矿石的选矿流程	31
<b>第三章 高炉用燃料</b>	
§ 1 高炉冶炼对燃料的质量要求	35
§ 2 焦炭生产	39
§ 3 发展焦炭的代用燃料	42
<b>第四章 铁矿石烧结及基本理论</b>	
§ 1 烧结生产的意义	48
§ 2 带式抽风烧结生产过程	48
§ 3 烧结矿的质量要求和鉴定方法	50
§ 4 烧结料中水分的蒸发和凝结	55
§ 5 碳酸盐的分解及其矿化作用	57
§ 6 烧结过程中固体碳的燃烧	58
§ 7 烧结料层中的热交换	62
§ 8 烧结料层中的气流运动	66
§ 9 烧结过程的氧化和还原反应	68
§ 10 有害杂质的去除	70
§ 11 烧结矿的结构构造及其性质	74
§ 12 烧结矿配料及热平衡计算	84
<b>第五章 烧结生产</b>	
§ 1 烧结料的准备	99
§ 2 烧结操作制度	108
<b>第六章 提高烧结矿产量和质量的途径</b>	
§ 1 使用消石灰和生石灰	113

§ 2	提高烧结料温度	115
§ 3	改善烧结料造球	116
§ 4	增加烧结过程的有效风量	120
§ 5	热风烧结, 煤气烧结与烧结矿热处理	122
§ 6	高碱度烧结矿	127
§ 7	烧结生产自动化	129
<b>第七章 烧结厂主要设备</b>		
§ 1	熔剂和燃料的破碎筛分设备	131
§ 2	配料与混料设备	134
§ 3	带式烧结机	135
§ 4	除尘、污水处理与抽风机	142
§ 5	烧结矿破碎、筛分和冷却设备	146
§ 6	其它烧结方法和设备	150
<b>第八章 球团矿的生产</b>		
§ 1	矿粉成球	155
§ 2	团矿的焙烧原理	161
§ 3	球团矿焙烧设备	168
§ 4	球团矿和烧结矿的比较	177
§ 5	其它造块方法	180
参考文献		182

## 中 册

### 第二篇 高炉冶炼基本原理

#### 第九章 还原过程和燃料消耗

§ 1	炉料的挥发和分解	186
§ 2	高炉内氧化物还原的原理	188
§ 3	铁氧化物还原的热力学分析	190
§ 4	铁的直接还原和间接还原及其对碳素消耗的影响	198
§ 5	氢参加还原对碳素消耗的影响	209
§ 6	铁氧化物的还原机理和还原速度	206
§ 7	加快铁矿石还原的条件	219
§ 8	高炉内铁矿石还原过程	227
§ 9	高炉内非铁元素的还原	229
§ 10	生铁的形成	236

#### 第十章 造渣与脱硫

§ 1	高炉造渣过程	238
§ 2	高炉渣的成分和性质	246
§ 3	炉渣脱硫	261
§ 4	炉渣的离子结构和矿物组成	267

#### 第十一章 燃料燃烧及炉缸工作

§ 1	燃烧的气相成分及其分布	280
-----	-------------	-----

§ 2	燃烧温度及炉缸温度分布	284
§ 3	燃烧带对炉缸工作的影响	287

### 第十二章 高炉能量利用及计算

§ 1	高炉热交换	294
§ 2	配料计算及物料平衡	302
§ 3	热平衡	316
§ 4	热能利用分析和进一步节焦的途径	332

### 第十三章 炉料顺行和煤气流分布

§ 1	炉料的下降及其力学分析	334
§ 2	炉料运动规律和冶炼周期	342
§ 3	煤气流的合理分布	346
§ 4	上下部调剂的综合运用	356
参考文献		358

## 第三篇 高炉强化冶炼

### 第十四章 精 料

§ 1	增加熟料配比	361
§ 2	提高矿石品位	363
§ 3	提高烧结矿强度, 减少粉末, 均匀粒度	366
§ 4	加强原料成分的稳定性	369
§ 5	改进焦炭质量	369

### 第十五章 大风量和高压操作

§ 1	高强度冶炼的意义	374
§ 2	高强度冶炼的操作特点和技术措施	375
§ 3	冶炼强度和焦比的关系	378
§ 4	高压操作	380

### 第十六章 高风温

§ 1	高风温和降低焦比的关系	385
§ 2	高风温和喷吹燃料的关系	387
§ 3	高风温对高炉顺行的影响	388
§ 4	关于界限风温问题	389
§ 5	高炉接受高风温的条件	390

### 第十七章 喷吹燃料

§ 1	高炉喷吹燃料后的冶炼特点	393
§ 2	喷吹燃料后的高炉调剂	400
§ 3	喷吹燃料的效果	404
§ 4	改善喷吹燃料利用	411

### 第十八章 富氧鼓风和新技术的发展

§ 1	富氧鼓风	419
§ 2	裂化喷吹	426
§ 3	高炉自动化	431
参考文献		437

## 绪 论

钢铁工业在国民经济中占有重要的地位。有了钢铁，机械制造业和其它工业部门才能得到发展，才能为农业机械化提供大量设备，为国防建设和交通运输业的发展奠定雄厚的物质基础。因此，伟大领袖毛主席教导说“一个粮食，一个钢铁，有了这两个东西就什么都好办了。”

### 一、我国炼铁事业的成就

我国是世界上使用铁器最早的国家之一。远在春秋战国时代（公元前722—246年）我国劳动人民已广泛使用铁来制造各种生产工具，同时在这个时期，我国的炼铁生产中已经使用了鼓风设备。但是，几千年的封建社会，特别是近百年来，由于帝国主义的侵略和国民党反动派的反动统治，使我国的钢铁工业和其它工业一样根本得不到发展。建国时，我国的生铁年产量仅有 25 万吨，钢 15 万吨。

中华人民共和国成立以后，在毛主席革命的路线指引下，由于工人阶级的忘我劳动，在短短的三年经济恢复时期，我国钢铁生产就超过了历史最高水平。一九五八年，在**鼓足干劲、力争上游，多、快、好、省地建设社会主义**的总路线精神鼓舞下，全国范围内掀起了大炼钢铁的群众运动，迅速改变了我国钢铁工业的面貌，大大小小钢铁企业在全国遍地开花。与此同时，高炉冶炼技术水平也得到了空前提高。在反复的生产实践中，我国炼铁工作者创造出了“精料、大风、高温”的冶炼方针，使我国生铁产量和主要技术经济指标在世界名列前茅。

我国的钢铁工业也和其它战线一样，是在两条道路、两条路线的剧烈斗争中成长起来的。无产阶级文化大革命以前，由于刘少奇叛徒集团疯狂抵制毛主席的革命路线，推行苏修“**马钢宪法**”，不注意矿山建设，搞“**无米之炊**”，使我国钢铁工业发展受到很大干扰。

无产阶级文化大革命以后，我国的钢铁工业建设发生了根本的变化。在党的“九大”、“十大”团结、胜利路线指引下，广大工人、干部、工程技术人员高举**鞍钢宪法**伟大红旗，**抓革命、促生产**，冶金战线呈现一派大好形势。

伟大领袖毛主席指出，要**开发矿业**，这一教导指明了矿山建设在钢铁工业中的重要地位，揭示了冶炼对原料的依存关系。这是一个客观规律，有矿才能炼铁、炼钢。因此，发展钢铁工业必须**矿山先行**。遵照毛主席伟大教导，广大职工批判了“抓中间带两头”的荒谬论调，**大打矿山之仗**，加快了矿山建设。与此同时，在炼铁生产中狠抓“精料”。据初步统计，文化大革命以来，全国烧结机总面积的增加率已超过 1966 年的 50%，各重点企业几乎都增设了新的烧结设备；同时自行设计和制造了 130 平方米大型烧结机、200 平方米烧结矿环型冷却机等先进设备；有些企业还采用了带式烧结机焙烧

球团矿、竖炉焙烧球团矿等新工艺，取得良好效果。与此同时，本钢、首钢、鞍钢等企业为提高精矿粉配比，经过反复试验，不断改进操作，克服了由于精矿粉配比增大带来的透气性恶化等不利因素，确保了高炉生产的需要。

**路线是个纲，纲举目张。**几年来，随着思想路线教育的深入开展，我国钢铁工业战线加强党的一元化领导，落实党的各项无产阶级政策，开展**工业学大庆**的群众运动，整顿和加强企业管理，提高了广大群众阶级斗争、路线斗争觉悟，调动了各方面的积极性，使炼铁生产取得了新的成就，主要表现在：

1. 新建了一批高炉（其中有效容积 2000 立方米以上的三座），扩建和改建了许多高炉，大大提高了生铁产量。

2. 操作技术水平提高。在继续贯彻“精料、大风、高温”冶炼方针的基础上，各厂广泛采用了燃料喷吹技术。和国外比较，我国喷吹的特点是最大（如首钢，喷吹率已达 30% 左右），且多采用煤、油联合喷吹，使焦炭消耗大幅度下降。鞍钢等先进企业，还采用了“用油量调节炉温”等操作手段，把风温用到最高水平，降低了焦炭消耗。

3. 设备上应用了许多新技术。如高炉上料系统采用了快速旋转布料器，无触点自动控制，称量车的自动称量等新技术。炉体汽化冷却，炉顶设备液压传动，外燃式热风炉等也得到了比较广泛的应用。

4. 三线建设取得重大成就。如×××钢铁公司，在多年科学试验的基础上，经过反复地生产实践，认真分析总结钒钛磁铁矿的冶炼规律，运用毛主席的哲学思想突破了外国人的“技术禁区”，生产指标节节上升。目前，这个全部由我国自行设计、施工的钢铁联合企业，已为我国钢铁工业发展和大西南建设做出了很大贡献。

本着“在集中领导全面规划分工协作的条件下，中央工业和地方工业同时并举，大型企业和中小型企业同时并举”的社会主义工业建设原则，无产阶级文化大革命以来，我国地方钢铁工业蓬勃发展。这些小企业充分利用地方资源，自力更生，因陋就简，发挥了“投资少，建设快”的长处，为其它工业部门提供了钢铁，也有力支援了农业机械化。在小高炉生产中，广大炼铁工作者认真摸索总结冶炼规律，同时狠抓精料。许多单位土洋结合，大搞选矿和烧结、球团生产，使入炉品位和熟料率逐年提高，进而获得了较好的技术经济指标。实践证明，只有执行大中小企业同时并举，土洋并举的方针，只有充分发挥两个积极性，才有钢铁工业战线波澜壮阔的群众运动，才有钢铁工业的蓬勃发展。

**中国人民有志气、有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。**在毛主席无产阶级革命路线的指引下，我国钢铁工业战线广大职工意气风发，团结战斗，一幅钢铁工业飞速发展的美好图景，正展现在我们的面前。

## 二、高炉冶炼产品

生铁是高炉冶炼主要产品。如按成分和用途来区分，它又分为铸造生铁、炼钢生铁及高炉铁合金三种（附表）。



铸造生铁含硅较高。因为硅能促进石墨化使铁水具有良好的填充性并使铸件易于车削。此外，尚含有一定量的磷（~0.3%），以增加铁水流动性，改善铸件质量。

炼钢生铁按炼钢方法又有如下几种：

1. 酸性转炉生铁（贝氏铁）。应含较高的硅以供应炼钢过程的化学热能；酸性转炉难以脱硫、脱磷，故要求生铁低硫低磷；

2. 碱性转炉生铁（托马斯铁）。应含较高的磷和一定量的锰以供应炼钢过程的化学热能；

3. 平炉生铁。按酸性法或碱性法以及废铁和生铁比例不同，对生铁成分的要求也不一样（表1）。

高炉铁合金有锰铁、硅铁、镜铁和硅镜铁几种（目前除锰铁外已多用电炉冶炼）。主要用作炼钢生产的脱氧剂及合金剂。

硫会使钢产生热脆，而磷会使钢产生冷脆，从而降低钢的质量。所以，对各种生铁和高炉铁合金来说，硫磷含量均愈低愈好，并根据炼钢对铁水成分的要求规定了等级。

我国炼钢生铁规格

表 1

铁 种		碱性平炉 炼钢生铁	碱性平炉 炼钢生铁	酸性转炉 炼钢生铁	酸性转炉 炼钢生铁	碱性转炉 炼钢生铁	碱性转炉 炼钢生铁	
铁号	牌 号	碱平 08	碱平 10	酸转 10	酸转 15	碱转 08	碱转 13	
	代 号	P08	P10	S10	S15	J08	J13	
化 学 成 分 %	硅	≤0.85	>0.85 ~1.25	0.75~ 1.25	>1.25 ~1.75	0.60~ 1.10	>1.10 ~1.60	
	锰	1组	不 规 定			0.50~1.00		>0.50~1.50
		2组						≤0.50
	磷	1级	≤0.15				—	≤0.40
		2级	≤0.20		≤0.07		>0.40 ~0.80	>0.40 ~0.80
		3级	≤0.40				>0.80 ~1.60	—
硫	1类不 大于	0.03		0.04		0.04		
	2类	0.05		0.05		0.06		
	3类	0.07		0.06		0.07		

表 2

我国铸造生铁规格

铁 种	铁 号		化 学 成 分 %															
	牌 号	代 号	锰			磷					硫							
			1 组	2 组	3 组	1 级 低磷	2 级 普	3 级 通	4 级 高	5 级	1 类 不	2 类 大	3 类 于					
普 通 铸 造 生 铁	铸35	Z 35	>3.25 ~3.75															
	铸30	Z 30	>2.75 ~3.25															
	铸25	Z 25	>2.25 ~2.75	≤0.50	>0.90 ~1.30	≤0.10	>0.10 ~0.20	>0.20 ~0.40	>0.40 ~0.70	>0.70 ~1.00	0.03	0.04	0.05					
	铸20	Z 20	>1.75 ~2.25															
	铸15	Z 15	1.25 ~1.75												0.04	0.05	0.06	
冷铸 车轮 生铁	冷08	L 08	0.50 ~1.00															

我国高炉锰铁规格

表 3

牌 号		化 学 成 分 %				
汉字	代 号	锰	硅	硫	磷	碳
锰 7	Mn 7	≥ 75.0	≤ 2.0	≤ 0.03	≤ 0.6	≤ 7.0
锰 8	Mn 8	70.0~75.0	≤ 2.0	≤ 0.03	≤ 0.6	≤ 7.0
锰 9	Mn 9	65.0~69.9	≤ 2.0	≤ 0.03	≤ 0.6	≤ 7.0
锰 10	Mn 10	60.0~64.9	≤ 2.0	≤ 0.03	≤ 0.6	≤ 7.0
锰 11	Mn 11	55.0~59.9	≤ 2.5	≤ 0.03	≤ 0.7	≤ 7.0
锰 12	Mn 12	50.0~54.9	≤ 2.5	≤ 0.03	≤ 0.7	≤ 7.0

高炉冶炼的副产品是炉渣和煤气。近年来，炉渣已被广泛利用，如冲水渣、渣棉，制造水泥和其它建筑材料；含磷高的炉渣则可用于造磷肥支援农业生产。炉渣综合利用，不但做到物尽其用，降低了生铁成本，同时也大大减少了无益的运输量，且使弃渣场面积缩小。

我国的铁矿多为复合矿石（如包头矿含有稀土元素，×××矿含大量钒、钛），渣中富集了许多宝贵的合金元素，所以，从长远来看，这些元素的提取更有特殊意义。

从高炉炉顶逸出的煤气具有大量的化学能，其发热值为 800~1000 千卡/米<sup>3</sup>。冶炼一吨生铁能产生大约 1700~2500 米<sup>3</sup>煤气。高炉煤气主要用于燃烧热风炉，也作为动力设备和其它冶金炉的燃料。

### 三、高炉冶炼的主要技术经济指标

在炼铁生产中，为评价高炉作业情况，常常用到以下几个技术经济指标：

1. 高炉有效容积利用系数 ( $\eta_v$ )：即高炉每昼夜产铁量 ( $P$ ) 与有效容积 ( $V_v$ ) 的比值。

$$\eta_v = \frac{P}{V_v}, \text{ 吨/米}^3 \cdot \text{日}$$

2. 焦比 ( $c$ ) 和燃料比 ( $f$ )：即生产单位重量生铁所消耗的焦炭量和燃料量。

$$c = \frac{Q_c}{P}, \quad f = \frac{Q_f}{P}, \text{ 吨/吨铁 或 公斤/吨铁}$$

式中  $Q_c$  —— 昼夜焦炭消耗量；

$Q_f$  —— 昼夜燃料消耗量，指焦炭和喷吹物（固、液体燃料）重量之和。

3. 冶炼强度 ( $i_v$ ) 和综合冶炼强度 ( $i_v'$ )：是标志高炉强化程度的指标之一。分别为每昼夜装入的焦炭量  $Q_c$  及燃料量  $Q_f$  与有效容积的比值。即

$$i_a = \frac{Q_c}{V_a}; \quad i_a' = \frac{Q_f}{V_a}, \text{ 吨/米}^3 \cdot \text{日}$$

不难看出，对于容积一定的高炉，其产量与冶炼强度成正比，与焦比（或燃料比）成反比。

4. 休风率：即休风时间占全部日历生产时间的百分数。降低休风率也是高炉增产的重要途径。经验表明，休风率每降低 1%，可增产 2% 左右。

5. 生铁合格率：即符合国家规格要求的生铁产量占生铁总产量的百分比。显然，它是评价生铁质量的指标。

6. 生铁成本：是从经济方面来评价高炉作业的好坏。生铁的车间成本包括：消耗原料成本费（约占 80%），冶炼成本费（包括动力消耗，职工工资，折旧费、运输费等，约占 18% 左右）以及车间经费（约 2%）。副产品回收成本，目前在一般大型高炉上约占 8~9%，应从其中扣除。由此可见，降低原料消耗，首先是燃料消耗（占总成本 40~50%）对降低生铁成本有决定意义。

7. 高炉一代寿命：就是高炉从点火开始到停炉大修为止的时间。一般大型高炉可达 8 年以上，中型高炉 4~5 年，而小高炉一般 2~3 年。高炉冶炼强化后，虽然其一代寿命可能有些缩短，但由于利用系数提高，故出铁总量往往还是增加的。

# 第一篇 高炉冶炼的原料

铁矿石（包括各种天然富矿和人造富矿），燃料和熔剂是高炉冶炼的主要原料，是炼铁生产的物质基础。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。这是一个相当巨大的数字，加上高炉生产的连续性，因此，必需保证数量足够的原料，才能维持高炉正常而有效的生产。

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“精料、大风、高温、喷吹燃料”的基本内容之一。生产实践一再证明，没有“精料”做基础，高炉是不可能有效地接受“大风、高温和喷吹燃料”的。我国中小高炉推行的“高、熟、净、小、匀”的精料方针和大高炉长期大量使用熔剂性烧结矿，给高炉冶炼带来很大的效益。

建国以来，在毛主席无产阶级革命路线指引下，随着钢铁生产的发展，原料工业也取得了迅速的进步。但是，毛主席提出的“开发矿业”的伟大号召受到“抓中间，带两头”的反革命修正主义路线的干扰，大搞“无米之炊”，鼓吹什么“开矿不如买矿”的谬论，在矿山开采上极力推行“采富弃贫”的方针，严重破坏了矿山建设，影响我国钢铁工业的迅速发展。经过无产阶级文化大革命，广大革命群众批判了修正主义的办企业路线。在毛主席的无产阶级革命路线指引下，大打矿山之仗，不少企业迅速结束了原料长期不能自给的状况，使采、选、烧和冶炼系统的生产能力配套，从而使整个企业的生产水平获得稳步而迅速的提高。这是毛主席革命路线的伟大胜利。

## 第一章 矿石和熔剂

### §1 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。矿物的性质决定于此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，因为许多岩石中铁的提取，目前在经济上不合理。随着科学技术的发展

展，也有许多过去被人认为不能冶炼的矿石（如钽钛磁铁矿），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：

$$Fe_{全}/FeO < 3.5 \text{ 为磁铁矿}$$

$$Fe_{全}/FeO > 7.0 \text{ 为假象赤铁矿}$$

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

常见铁、锰矿物的组成及一些特征列于表（1-1）中。

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	磷铁矿；
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	$nFe_2O_3 \cdot mH_2O$ $n = 1 \sim 3, m = 1 \sim 4$	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	$KRO \cdot lMnO_2 \cdot nH_2O$ ( $RO = MnO, CaO, MgO, BaO$ 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	$Mn_2O_3 \cdot H_2O$	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， 烧结后易还原。
黑锰矿	$Mn_3O_4$	72.0	浅 褐 黑 色	
菱锰矿	$MnCO_3 \cdot CaCO_3$	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脉石矿物。它们是在工业上没有提炼价值的矿物，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  $CO_2$ 、结晶水等高温下分解的物质。

## §2 铁矿石的质量评价和我国的铁矿石资源

为使高炉冶炼正常和有效地进行以及正确评价矿石的冶炼价值，矿石必需满足一定的质量要求。

### 一、对铁矿石的质量要求

#### 1. 含铁量应高

铁矿石含铁量愈高，有利于降低高炉焦比和提高产量。因为矿石中的铁分降低，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  $\text{SiO}_2$  50%，选矿后的精矿品位升高到 60%， $\text{SiO}_2$  降低到 14%，可见品位提高一倍， $\text{SiO}_2$  量降低近四倍，而单位重量生铁的渣中  $\text{SiO}_2$  量降低近八倍（按原矿中  $\text{SiO}_2/\text{Fe}$  比值为 1.67，精矿中  $\text{SiO}_2/\text{Fe}$  比值为 0.23）。因此单位重量生铁的熔剂量和渣量相差近乎八倍。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。

一般认为，对于酸性脉石的铁矿石，含铁量在 50% 以上的可称富矿，含铁量在 40% 以下的为贫矿，而含铁量在 40—50% 之间的为较贫矿石。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 ( $\text{CaO}$ ) 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  $\text{CO}_2$  分解放出后，铁分可以提高。对于含有有益元素的矿石，从综合利用的角度，常常需要经过选矿处理。

对于碱性氧化物  $\text{CaO}$  较多的矿石，具有较高的冶炼价值。因为，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[1]比较了三种成分不同的原料的含铁量，大栗子矿和烧结矿的全铁量虽较矿山村为低，但其中含有一定数量  $\text{CaO}$ ，故去  $\text{CaO}$  后的含铁量均较矿山村为高，特别是烧结矿去  $\text{CaO}$  含铁量更高。因此冶炼大栗子和烧结矿比冶炼矿山村更有利，对它们含铁量要求可以适当降低些。

表 1—2

矿 石 名 称	TFe	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	去CaO后的Fe, %
矿 山 村	48.16	11.98		48.16
大 栗 子	45.25	5.54	6.47	48.50
烧 结 矿	47.46	13.94	17.15	57.20

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。应当指出，在我国决定一些地区铁矿石的开采价值时，还必须遵循毛主席关于“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针。

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。

前已述及，矿石中的  $CaO$  多时，具有较高的冶炼价值，矿石的含铁量允许降低些。此外，矿石中的  $SiO_2$  愈低愈好。因为愈多，则消耗的石灰石量和渣量愈大，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。碱度愈高，则要加的石灰石量愈少。我国华东莱芜宁矿区的梅山铁矿，自然碱度达到 0.9，是接近自熔性（碱度等于炉渣碱度）的富矿。鄂西地区的长阳铁矿也是碱度较高的矿石。

矿石中  $MgO$  高时，会增加炉渣中的  $MgO$  含量，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  $MgO$  是有利于高炉冶炼的。但是，炉渣中  $MgO$  过高会降低其脱硫能力和流动性。我国高炉曾有过顺利冶炼含  $MgO$  18~20% 的炉渣的实践经验。矿石中  $MgO$  高到使渣中  $MgO$  量大于 20% 时，可能会给冶炼带来一定困难。目前，我国也有不少高镁铁矿的矿床投入生产和正在建设。例如浙江的漓渚矿，山东莱芜的张家洼矿等。它们大多数是贫磁铁矿，个别是菱铁矿。 $MgO$  含量从 3.0% 到 23.0%。矿石都是易选的。品位和铁的回收率均可达到预期的效果，但是  $MgO$  的含量不能大幅度降低，精矿中  $MgO$  仍占原矿中  $MgO$  的三分之一。根据  $MgO$  的平衡，精矿或矿石中的最高允许含  $MgO$  量可用下式表示：

$$(MgO)_{矿} = A \cdot (MgO)_{渣} \times \frac{Fe_{矿}}{Fe_{生铁}}$$

式中  $A$ ——渣铁比

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

$Fe_{生铁}$ ——生铁中的含铁量，一般为 93%；

$Fe_{矿}$ ——矿石中或精矿中的含铁量。

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  $MgO$  铁矿石中，含  $Fe$  62.65%，渣量 0.45 吨/吨， $MgO$  5.9%，问可否在渣中  $MgO \leq 20\%$  的条件下冶炼？

按上式可计算矿石中最高允许  $MgO$  量为

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

\* 焦炭灰分中  $MgO$  很少，忽略不计



较实际  $MgO$  量稍高，故可单独冶炼。对于少数不能单独冶炼的矿石可以用配矿的方法进行冶炼。

$Al_2O_3$  在高炉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  $SiO_2/Al_2O_3$  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( $Fe(TiFe)O_4$ )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，容易引起渣铁不能畅流，炉缸堆积和生铁含硫升高等困难。因此过去长期认为，渣中  $TiO_2$  不能超过 8%，大量钛磁铁矿不能被利用。63年以来，我国炼铁工作者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，在渣中  $TiO_2$  高达 30~35% 的条件下，获得渣铁畅流和生铁合格的巨大成就。使长期被洋人宣判为不能冶炼的钛磁铁矿得到解决，为社会主义革命和社会主义建设做出重大贡献。

### 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有  $Pb$ 、 $Zn$ 、 $As$ 。 $Cu$  有时为有害，有时为有益。应当特别指出，所谓有害和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)**。硫对钢材是最重要的有害成分，因为它使钢材具有热脆性。国家标准规定，生铁中硫的合格量不能大于0.07%，因此要求矿石中愈少愈好。根据鞍钢经验，矿石中含硫升高 0.1%，焦比升高 5%，因为脱硫要求提高炉渣碱度，增加了石灰石的用量和渣量。一般规定〔2〕：矿石中  $S \leq 0.06\%$  的为一级矿； $S \leq 0.2\%$  的为二级矿；大于 0.3% 的为高硫矿。每冶炼 1 吨生铁的原燃料总硫量应在 8~10 公斤以下。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  $BaSO_4$ ) 的型态赋存。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。我国梅山铁矿就是含硫高达 2~3% 的高硫富矿。为了降低含硫量，特将矿石破碎到 8~10 毫米以下送往烧结处理。但烧结废气中含  $SO_2$  较高，污染环境，目前正研究回收废气中的  $SO_2$  以制成某些含硫化工产品。武钢矿石也是含硫较高的，但经过浮选提铜(该矿硫以黄铜矿型态存在)和烧结过程，烧结矿含硫降到 0.15% 以下。

**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% 以下)，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含磷。由于现代炼钢技术的发展，除冶炼少数用于酸性炉衬炼钢的生铁外要求生铁含磷不大于 0.03%，其它炼钢生铁及铸造生铁冶炼时的矿石允许含磷量如下所示〔2〕。对于高磷矿石，可以冶炼供碱性底

铁 种	碱性平炉铁	碱性侧吹转炉	托马氏生铁	普通铸造铁	高P铸造铁
矿石允许含P量 %	0.03~0.18	0.2~0.8	0.8~1.2	0.05~0.15	0.15~0.6