

高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

冶金炉料处理工艺

杨双平 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高等学校规划教材

冶金工业出版社

冶金炉料处理工艺

杨双平 主编

冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社

冶金工业出版社

冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

冶金工业出版社 冶金工业出版社 冶金工业出版社

北京

冶金工业出版社

2008

内 容 简 介

本书介绍了冶金炉料处理的基本技术和方法,内容包括炼铁原料及其加工处理、高炉燃料、烧结生产工艺、球团矿生产工艺、炼铁精料、转炉炼钢常用原料及其处理、电弧炉炼钢常用原料及其处理、冶金常用耐火材料等。

本书适用于高等院校钢铁冶金专业本科教学,也可供工程技术人员和冶金企业管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

冶金炉料处理工艺/杨双平主编. —北京:冶金工业出版社, 2008. 4

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-4546-1

I. 冶… II. 杨… III. 冶金炉—炉料—处理—高等学校—教材 IV. TF065. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 043776 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 马文欢 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 石 静 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4546-1

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 4 月第 1 版, 2008 年 4 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 9.25 印张; 291 千字; 283 页; 1-3000 册

23.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

中国已发展成为世界第一位的钢铁生产和消费大国。近年来，经过科技攻关、技术开发和引进消化吸收，钢铁生产已经从地质找矿、采矿、选矿到金属冶炼等技术方面有了长足的发展，其主要生产工艺技术已经达到或接近国际先进水平。

为适应目前中国冶金工业形势和技术发展的需要，我们经过广泛调研，组织编写了《冶金炉料处理工艺》一书。书中主要对冶金炉料（包括原料及其处理）的基本工艺理论、基本方法和基本知识进行了系统的阐述和说明，并结合实际应用介绍了国内外先进技术和生产经验。本书是在编者多年从事教学、科研及生产实践的基础上整理编写而成的。全书以冶金炉料为主线，详细介绍了炼铁原料和炼钢炉料的冶金性能、处理技术和工艺过程，既包括传统的冶金原料处理工艺，也涵盖现代冶金炉料处理的最新技术，同时侧重介绍了与冶炼有关的原料处理技术。本书适用于高等院校钢铁冶金专业本科教学，也可供冶金科技人员参考。

全书共分9章。第1章、第2章由宋永辉、周军编写；第3章由杨双平、王碧侠编写；第4章、第5章、第6章由杨双

平编写；第7章由巨建涛、王碧侠编写；第8章、第9章由巨建涛编写。全书由杨双平统稿。

由于编者水平所限，书中不妥和疏漏之处在所难免，敬请批评指正。

编 者

2007年10月于西安

目 录

| | |
|----------------------------|----|
| 1 炼铁原料 | 1 |
| 1.1 高炉冶炼对铁矿石的要求 | 1 |
| 1.2 矿石质量评价 | 2 |
| 1.2.1 天然铁矿石的分类及特征 | 3 |
| 1.2.2 对铁矿石质量的评价 | 4 |
| 1.3 我国铁矿资源 | 8 |
| 1.4 其他含铁物料 | 11 |
| 1.5 熔剂 | 12 |
| 1.5.1 高炉冶炼对碱性熔剂的质量要求 | 12 |
| 1.5.2 石灰石 | 13 |
| 1.5.3 白云石、菱镁石和蛇纹石 | 14 |
| 2 高炉燃料 | 15 |
| 2.1 焦炭及其质量评价 | 15 |
| 2.1.1 焦炭在高炉冶炼过程中的作用 | 15 |
| 2.1.2 高炉冶炼对焦炭质量的要求 | 16 |
| 2.1.3 焦炭的化学组成及理化性能 | 20 |
| 2.2 炼焦生产工艺 | 25 |
| 2.2.1 炼焦原理 | 25 |
| 2.2.2 炼焦配煤 | 27 |
| 2.2.3 炼焦方法及工艺 | 37 |
| 2.2.4 焦化产品的回收 | 43 |
| 2.3 高炉喷吹用煤粉 | 44 |
| 2.3.1 高炉喷吹用煤的性能 | 44 |
| 2.3.2 高炉对喷吹煤的性能要求 | 49 |

| | |
|------------------------|----|
| 3 炼铁原料的加工处理 | 51 |
| 3.1 破碎与筛分 | 51 |
| 3.1.1 破碎方法及设备 | 51 |
| 3.1.2 筛分方法及设备 | 55 |
| 3.1.3 破碎筛分流程 | 56 |
| 3.2 混匀 | 57 |
| 3.3 焙烧 | 58 |
| 3.4 选矿 | 60 |
| 3.4.1 选矿的目的及其指标 | 61 |
| 3.4.2 选矿的方法 | 61 |
| 3.4.3 选矿产品的处理 | 64 |
| 3.4.4 选矿流程 | 64 |
| 3.5 粉矿造块 | 66 |
| 3.6 铁矿石准备处理流程 | 67 |
| 4 烧结生产工艺 | 69 |
| 4.1 粉矿造块的意义和作用 | 69 |
| 4.2 烧结工艺概述及烧结矿质量评价 | 70 |
| 4.2.1 烧结工艺概述 | 70 |
| 4.2.2 烧结矿质量评价 | 72 |
| 4.3 烧结反应过程 | 75 |
| 4.3.1 烧结料中水分的蒸发、分解和凝结 | 76 |
| 4.3.2 碳酸盐分解及其矿化作用 | 78 |
| 4.3.3 燃料燃烧和传热 | 79 |
| 4.3.4 氧化、还原反应及有害杂质的去除 | 82 |
| 4.4 烧结矿固结成形机理 | 88 |
| 4.4.1 固相反应 | 88 |
| 4.4.2 液相黏结及常见液相体系 | 89 |
| 4.4.3 冷却固结 | 94 |
| 4.4.4 烧结矿的矿物结构及其对质量的影响 | 94 |
| 4.5 烧结配料及热平衡计算 | 98 |

| | | |
|-------|------------------|-----|
| 4.5.1 | 烧结配料计算 | 98 |
| 4.5.2 | 设计配料计算 | 110 |
| 4.5.3 | 烧结过程的热平衡计算 | 118 |
| 4.6 | 烧结生产 | 123 |
| 4.6.1 | 烧结机的生产能力 | 123 |
| 4.6.2 | 烧结料层透气性与料层中的气流分布 | 124 |
| 4.6.3 | 强化烧结过程的方向及措施 | 126 |
| 4.6.4 | 烧结生产操作方针 | 128 |
| 4.6.5 | 高碱度烧结矿的生产 | 130 |
| 4.6.6 | 富氧热风烧结 | 132 |
| 4.6.7 | 烧结矿产品处理 | 133 |
| 4.7 | 烧结厂主要设备 | 134 |
| 4.7.1 | 配料设备 | 134 |
| 4.7.2 | 混料设备 | 138 |
| 4.7.3 | 带式烧结机 | 138 |
| 4.7.4 | 除尘、污水处理与抽风机 | 144 |
| 4.7.5 | 烧结矿破碎、筛分和冷却设备 | 147 |
| 5 | 球团矿生产工艺 | 152 |
| 5.1 | 球团法的概述 | 152 |
| 5.1.1 | 球团矿在钢铁生产中的作用 | 154 |
| 5.1.2 | 我国球团矿生产状况 | 155 |
| 5.1.3 | 球团法一般工艺流程 | 156 |
| 5.2 | 矿粉成球机理 | 158 |
| 5.2.1 | 铁矿粉表面的物理化学特性 | 158 |
| 5.2.2 | 散料中水的特性及作用 | 158 |
| 5.2.3 | 细磨物料的成球性 | 163 |
| 5.2.4 | 成球过程 | 163 |
| 5.3 | 生球质量及其控制 | 165 |
| 5.3.1 | 对生球质量的要求 | 165 |
| 5.3.2 | 生球强度控制 | 166 |
| 5.4 | 球团焙烧及其质量控制 | 169 |

| | | |
|----------|---------------------|------------|
| 5.4.1 | 球团焙烧过程 | 170 |
| 5.4.2 | 焙烧固结机理 | 172 |
| 5.4.3 | 焙烧质量控制 | 173 |
| 5.5 | 球团焙烧设置 | 176 |
| 5.5.1 | 竖炉 | 176 |
| 5.5.2 | 带式焙烧机 | 179 |
| 5.5.3 | 链算机-回转窑 | 183 |
| 5.5.4 | 各种焙烧方法的比较 | 185 |
| 5.6 | 其他球团方法 | 187 |
| 5.6.1 | 金属化球团 | 187 |
| 5.6.2 | 低温固结球团 | 188 |
| 5.7 | 球团矿的特性 | 190 |
| 6 | 炼铁精料 | 192 |
| 6.1 | 高炉炼铁对精料的要求 | 192 |
| 6.2 | 高炉“精料”的内容 | 197 |
| 6.3 | 人造富矿的发展方向 | 202 |
| 6.4 | 改善人造富矿的高温冶金性能 | 203 |
| 6.4.1 | 提高人造富矿的还原强度 | 203 |
| 6.4.2 | 提高人造富矿的高温还原性能 | 206 |
| 6.4.3 | 提高人造富矿的软熔性 | 207 |
| 6.5 | 高炉的合理炉料结构 | 210 |
| 6.5.1 | 确定合理炉料结构的一般原则 | 210 |
| 6.5.2 | 合理炉料结构的一般类型 | 211 |
| 7 | 转炉炼钢常用原料及其处理 | 212 |
| 7.1 | 金属料 | 212 |
| 7.1.1 | 铁水 | 212 |
| 7.1.2 | 废钢和冷铁 | 216 |
| 7.1.3 | 生铁 | 217 |
| 7.1.4 | 炼钢生铁的供应条件 | 220 |
| 7.1.5 | 铁合金 | 222 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 7.2 铁水预处理 | 225 |
| 7.2.1 铁水预脱硫 | 226 |
| 7.2.2 铁水预脱硅 | 230 |
| 7.2.3 铁水预脱磷 | 232 |
| 7.2.4 铁水预处理的选择 | 233 |
| 7.3 非金属料 | 234 |
| 7.3.1 造渣材料 | 234 |
| 7.3.2 熔剂 | 237 |
| 7.3.3 冷却剂 | 239 |
| 7.3.4 增碳剂 | 239 |
| 7.4 常用气体 | 240 |
| 7.4.1 氧气 | 240 |
| 7.4.2 惰性气体 | 240 |
| 7.4.3 煤气、天然气 | 241 |
| 8 电弧炉炼钢常用原料及其处理 | 242 |
| 8.1 废钢铁分类及处理 | 242 |
| 8.1.1 回炉废铁分类及处理要求 | 242 |
| 8.1.2 回炉碳素废钢分类及处理要求 | 243 |
| 8.1.3 回炉合金废钢分类及处理要求 | 244 |
| 8.1.4 废钢加工处理及预热 | 245 |
| 8.2 废钢替代品 | 249 |
| 8.2.1 直接还原铁 (DRI) | 249 |
| 8.2.2 冷生铁 | 250 |
| 8.2.3 脱碳粒铁 | 250 |
| 8.2.4 碳化铁 | 251 |
| 8.3 热装铁水 | 252 |
| 8.4 喷吹气体及燃料 | 253 |
| 8.5 造渣材料 | 254 |
| 8.5.1 石灰 | 254 |
| 8.5.2 萤石 | 255 |
| 8.5.3 硅石和黏土砖块 | 255 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 8.6 氧化剂 | 255 |
| 8.6.1 铁矿石 | 256 |
| 8.6.2 氧气及氧化铁皮 | 256 |
| 8.7 脱氧剂和增碳剂 | 256 |
| 8.7.1 脱氧剂 | 256 |
| 8.7.2 增碳剂 | 258 |
| 8.8 铁合金 | 258 |
| 8.8.1 常用的合金 | 258 |
| 8.8.2 铁合金的管理 | 260 |
| 8.9 电极 | 260 |
| 8.9.1 对电极的要求 | 260 |
| 8.9.2 降低电极消耗的措施 | 262 |
| 9 冶金常用耐火材料 | 263 |
| 9.1 耐火材料的性能和要求 | 263 |
| 9.1.1 耐火材料的分类 | 263 |
| 9.1.2 耐火材料的主要性质 | 265 |
| 9.1.3 耐火材料的要求 | 271 |
| 9.2 常用块状耐火材料 | 272 |
| 9.2.1 氧化硅质耐火材料 | 272 |
| 9.2.2 氧化铝和硅酸铝耐火材料 | 273 |
| 9.2.3 碱性耐火材料 | 275 |
| 9.2.4 碳质耐火材料 | 275 |
| 9.3 不定形耐火材料 | 276 |
| 9.3.1 耐火混凝土 | 277 |
| 9.3.2 耐火泥 | 277 |
| 9.3.3 喷射料 | 278 |
| 9.4 绝热材料 | 279 |
| 9.4.1 高温绝热材料 | 280 |
| 9.4.2 中温绝热材料 | 280 |
| 9.4.3 低温隔热材料 | 281 |
| 9.5 特种耐火材料 | 281 |
| 参考文献 | 282 |

1 炼铁原料

铁矿石（包括天然富矿和人造富矿）、燃料和熔剂统称为高炉炼铁原料。原料是高炉冶炼的物质基础，现代炼铁生产对高炉原料有很高的要求。

1.1 高炉冶炼对铁矿石的要求

高炉冶炼用的含铁物料主要是铁矿石。生铁中的铁以及其他有用元素锰、硅等都是从含该元素的矿物中还原出来的。铁矿石中与含铁矿物共生的含锰矿物很少，高炉冶炼条件下所得生铁成分达不到足够的含锰量时，则需在高炉料批组成中另加适量的锰矿。生铁中的硅主要由矿石脉石和焦炭灰分中的二氧化硅还原而来，除特殊情况外，高炉料批组成中不需另加硅石。

高炉冶炼对铁矿石有一定的要求。

(1) 含铁品位。品位是指矿石中的含铁量^①，其基本上决定了矿石的价格及冶炼的经济性。因为含铁量愈高的矿石，脉石含量愈少，冶炼时所需熔剂和形成的渣量也少，消耗于分离渣铁的能量（即焦比）相应降低。含铁高并可直接入炉冶炼的铁矿石称为富矿；含铁低需经过富选造块才能入炉的为贫矿。划分富矿与贫矿没有统一的标准，它将随选矿及冶炼技术水平的提高而变化。含铁量大于50%的称为高炉富矿。我国富矿储量很少，绝大部分为含铁量在30%左右的贫矿，要经过富选才能使用。

(2) 脉石的成分及分布。铁矿石中的脉石包括 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 及 MgO 等，在高炉条件下，这些氧化物不能或很难被还原为金属，最终以炉渣的形式与铁分离。大多数铁矿石的脉石是酸性氧化物，故通常要消耗相当数量的石灰石（ CaCO_3 ）或白云石（ $\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$ ）等碱性氧化物。若矿石的脉石成分中碱性氧化物较多，这必然会节省为中和酸性

① 本书所涉及的含量，非特别标明，均为质量分数（%）。

氧化物所需外加的熔剂量，这是极为有利的。矿石中 Al_2O_3 含量高也是不利的，因为 Al_2O_3 含量高将显著地提高炉渣的熔点。

矿石中脉石的结构和分布，尤其对于贫矿，是很重要的特性。如果含铁矿物结晶颗粒比较粗大，则在选矿过程中容易实现铁氧化物矿物的单体分离和富集。相反，如果含铁矿物呈细粒结晶嵌布在脉石矿物的晶粒中，则要消耗更多的能量细磨矿石才能实现有用矿物的单体分离，从而提高了选矿的成本。我国河北省冀东矿属于前者，而四川省攀西地区的钒钛磁铁矿属于后者。

(3) 有害元素的含量。矿石中除了不能被还原而造渣的氧化物外，常常有可以被还原的化合物。S、P、As 和 Cu 易还原为单质溶入生铁，对钢的性能会产生不利的影 响。碱金属及 Zn、Pb、F 等不能进入生铁，但易破坏炉衬，或易挥发并在炉内循环累积造成结瘤事故，或污染环境有害于人体健康。若用选矿法除去这些有害杂质，或困难大，或代价高，从而极大地降低了这些矿石的使用价值。

(4) 有益元素。有些与 Fe 伴生的元素可被还原进入生铁，并能改善钢铁材料的性能。这些有益元素有 Cr、Ni、V 及 Nb 等。有的矿石中还含有可单独分离且有提取价值的元素，如 Ti、稀土元素等。这类矿石应作为宝贵资源加以综合利用。

(5) 矿石的还原性。矿石在炉内被煤气还原的难易程度称为还原性。冶炼易还原的矿石可降低碳的消耗量。矿石的还原性与其结构，特别是开口的微气孔率及气孔的分布状态有关。一般磁铁矿最致密难还原，赤铁矿易还原。褐铁矿及菱铁矿在炉内受热后，其所含碳酸盐及结晶水或分解或挥发，留下孔洞，形成疏松多孔的结构便于煤气的渗透，故还原性好。

(6) 矿石的高温性能。矿石是在炉内逐渐受热、升温过程中被还原。在此过程中及还原后，都不应因强度下降而破碎，以免矿粉堵塞煤气流通道给冶炼过程带来障碍。为使矿石在熔化造渣之前更多地被煤气还原，矿石的软化熔融温度也不可过低，软化与熔融的温度区间不可过宽。这样既可保证炉内良好的透气性，又可使矿石在软熔前达到较高的还原度，以减少高温直接还原，降低能量消耗。

1.2 矿石质量评价

矿石是矿物的集合体，在当前科学技术条件下，能从中经济合理地

提炼出金属的矿物集合体才称为矿石。“矿石”的概念是相对的、发展的，矿石的标准也是随着国民经济发展的需要和工业技术水平的提高而不断扩展的。

天然矿石中，除了用来提取金属的有用金属矿物之外，还含有一定量的工业上没有提炼价值的矿物或岩石，这些矿物或岩石统称为脉石（一般是非铁氧化物 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 等）。对冶炼不利的脉石矿物，应在选矿和其他处理工序中尽可能分离去除。此外，许多矿石含有百分之一到百分之几的有益成分和有害杂质。有益成分应尽可能保留在各个工艺环节中的半成品或成品中，有害杂质则应去除，直至达到钢铁产品中的界限含量为止，如果矿石中的有害杂质超过冶炼标准，则不能单独入炉冶炼。

1.2.1 天然铁矿石的分类及特征

天然铁矿石按其成矿的含铁矿物类型进行分类。常见铁矿物有磁铁矿 Fe_3O_4 、赤铁矿物 Fe_2O_3 、铁的氢氧化物 $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ 和铁的碳酸盐 FeCO_3 。以这些成矿矿物（或以这些成矿矿物为主）形成的铁矿石分别叫做磁铁矿石、赤铁矿石、褐铁矿石和菱铁矿石。

(1) 赤铁矿。赤铁矿主要含铁矿物是无水的 Fe_2O_3 ，因其条痕呈红色，亦称红矿。赤铁矿石一般是含有少量有害杂质的富铁矿（55% ~ 60% Fe），质软易碎，还原性较好。常温下 Fe_2O_3 无磁性，但有两种晶形 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 。在一定温度下，当 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 转变为 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 时，显弱磁性。

(2) 磁铁矿。磁铁矿主要含铁矿物是磁性的 Fe_3O_4 ，故而得名。 Fe_3O_4 可以看作是复杂的铁氧化物 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，在它当中除了三价铁以外，还有大量的二价铁。磁铁矿石一般具有较高的含铁品位（45% ~ 70%），通常含有有害杂质，特别是硫。结构致密，质地坚硬，难以破碎，还原性较差。分布在地壳表面附近的磁铁矿床上层，由于水分和大气中氧的氧化作用，磁铁矿部分地转变成所谓的半假象赤铁矿或假象赤铁矿，它在晶格构造上仍保留有磁铁矿的晶格特征，属于磁铁矿和赤铁矿之间的中间产物。磁铁矿氧化转变成赤铁矿的程度可由矿石中的总含铁量（ $\text{TFe}, \%$ ）与矿石中的 FeO 含量（ $\%$ ）的比值来描述，并以此区分矿石类别： $\text{TFe}/\text{FeO} = 0.724/0.31 = 2.335$ 为纯磁铁矿石，自然界中

很少见到这种矿石； $TFe/FeO < 3.5$ 为磁铁矿石； $TFe/FeO = 3.5 \sim 7.0$ 为半假象赤铁矿石； $TFe/FeO > 7.0$ 为假象赤铁矿石。磁铁矿中如伴生有 TiO_2 和 V_2O_5 ，则称之为钛磁铁矿、钒磁铁矿或者钒钛磁铁矿，有时还含有 Ni、Cr、Co 等有益元素，形成多种元素共生的复合磁铁矿。

(3) 褐铁矿。褐铁矿主要含铁矿物是含水的铁氧化物 $nFe_2O_3 \cdot mH_2O$ ($n=1 \sim 3, m=1 \sim 4$)，根据 n 、 m 值的不同形成不同的矿物，一般因条痕呈黄褐色而统称为褐铁矿。常见矿物主要是 $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ ，而 $3Fe_2O_3 \cdot 4H_2O$ 属于水针铁矿。褐铁矿一般为贫矿（37% ~ 55% Fe），含磷量较高，有时还含有 Mn、Cr、V、Ni、As 等成分。褐铁矿质地疏松，还原性好。

(4) 菱铁矿。菱铁矿主要含铁矿物是 $FeCO_3$ ，其晶形呈菱面体，故而得名。这种矿石的特点是含 CO_2 高，含铁量较低（30% ~ 40%），含 S、P 量较低，易碎，还原性尚可。伴生元素主要有 Mg、Mn 等。

常见铁矿石的组成及特征如表 1-1 所示。

表 1-1 常见铁矿石的组成及特征

| 矿石名称 | 主要成分的 化学式 | 理论含 铁量/% | 实际富矿 含铁量/% | 条痕 颜色 | 量低工业 品位/% | 冶炼性能 |
|------|--|-------------|---------------|----------|--------------|---------------------|
| 磁铁矿 | Fe_3O_4 | 72.4 | 45 ~ 70 | 黑色 | 20 ~ 25 | P、S 高，坚硬， 致密，难还原 |
| 赤铁矿 | Fe_2O_3 | 70.0 | 55 ~ 60 | 红色 | 30 | P、S 低，质软， 易碎，易还原 |
| 褐铁矿 | $nFe_2O_3 \cdot mH_2O$ ($n=1 \sim 3, m=1 \sim 4$) | 55.2 ~ 66.1 | 37 ~ 55 | 黄褐色 | 30 | P 高，质软疏松， 易还原 |
| 菱铁矿 | $FeCO_3$ | 48.2 | 30 ~ 40 | 灰浅黄 | 25 | P、S 少，焙烧 后最易还原 |

1.2.2 对铁矿石质量的评价

铁矿石质量直接影响高炉冶炼效果，必须严格要求。通常从以下几个方面加以评价。

1.2.2.1 矿石品位

品位即铁矿石的含铁量，它决定着矿石的开采价值和入炉前的处理

工艺。入炉品位愈高，愈有利于降低焦比和提高产量，从而提高经济效益。我国经验表明，若矿石含铁量提高1%，则焦比降低2%，产量增加3%。因为品位提高，意味着酸性脉石大幅度减少，冶炼时可少加石灰石造渣，因而渣量大大减少，既节省热量，又促进炉况顺行。例如鞍山地区的酸性贫铁矿，含铁30%，含 SiO_2 50%，富选后精矿品位达到60%， SiO_2 降低到14%，含铁量提高一倍， SiO_2 降低近3/4。而生产1t生铁的渣量和熔剂用量减少到原来的1/8。可见提高品位对冶炼的影响是很大的。

矿石的贫富一般以其理论含铁量的70%来评价。实际含铁量超过理论含铁量70%的称富矿。但这并不是绝对固定的标准，因为它还与矿石的脉石成分、杂质含量和矿石类型等因素有关。如对褐铁矿、菱铁矿和碱性脉石矿含铁量的要求可适当放宽。因褐、菱铁矿受热分解出 H_2O 和 CO_2 后品位会升高。碱性脉石矿含 CaO 高，冶炼时可少加或不加石灰石，其品位应按扣去 CaO 后的含铁量来评价。

$$\text{TFe}_{\text{扣}} = \frac{\text{TFe}}{100 - w(\text{CaO})} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 $\text{TFe}_{\text{扣}}$ ——扣去 CaO 后的铁矿含铁量，%；

TFe ——原矿含铁量，%；

$w(\text{CaO})$ ——原矿 CaO 的质量分数，%。

具有开采价值的铁矿石的最低工业品位取决于国家资源和技术经济条件（参见表1-1）。

1.2.2.2 脉石成分

脉石中有碱性脉石，如 CaO 、 MgO ，酸性脉石，如 SiO_2 、 Al_2O_3 。一般铁矿石含酸性脉石者居多，即其中的 SiO_2 高，需加入相当数量的石灰石造成碱度（ CaO/SiO_2 ）为1.0左右的炉渣，以满足冶炼工艺的要求。因此希望酸性脉石含量愈少愈好。而含 CaO 高的碱性脉石矿则具有较高的冶炼价值。如山东莱芜铁矿成分（质量分数）为 Fe ：45.30%， CaO ：10.05%， MgO ：3.34%， SiO_2 ：11.20%。自然碱度 $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0.9$ ， $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2 = 1.2$ ，接近炉渣碱度的正常范围，是属自熔性富矿。其扣除 CaO 后的总铁为50.4%（依式（1-1）计算），若考虑 MgO 则为52.3%。脉石中的 MgO 还有改善炉渣性能的作用。

用。但这类矿石并不多见。脉石中的 Al_2O_3 含量也应控制，若 Al_2O_3 过高，使炉渣中 Al_2O_3 含量超过 22% ~ 25% 时，渣难熔而不易流动，给冶炼造成困难。印度塔塔钢铁公司 (TISCO) 矿石中 Al_2O_3 高，使炉渣 Al_2O_3 高达 25% 左右，他们采取相应提高 MgO 含量的措施来解决炉渣流动性的问题。

有的矿石脉石中还含有 TiO_2 、 CaF_2 、碱金属 (K、Na) 氧化物、 BaSO_4 等；它们对冶炼都有一定影响。

1.2.2.3 有害杂质和有益元素的含量

有害杂质常指 S、P、Pb、Zn、As 等，它们的含量愈低愈好。Cu 有时为害，有时为利，视具体情况而定。

(1) 硫。硫是对钢铁危害大的元素，它使钢材产生“热脆”。所谓“热脆”就是 S 几乎不溶于固态 Fe 而与 Fe 形成 FeS，而 FeS 与 Fe 在 988℃ 形成共晶体，低于钢材热加工的开始温度 (1150 ~ 1200℃)。

在热加工时，由于分布于晶界的共晶体先行熔化而导致开裂，因此矿石含硫愈低愈好。国家标准规定生铁中含 S 量不大于 0.07%，优质生铁含 S 量不大于 0.03%，就是要严格控制钢中含硫量，提高钢材质量。对于含 S 量大于 0.3% 的高硫矿石可以通过选矿和烧结去除大部分。常说硫百害而无一利，但也不尽然。硫可改善钢材的切削加工性能，易切削钢中，含 S 量可达 0.15% ~ 0.3%。

(2) 磷。磷使钢材产生“冷脆”，亦是有害成分。磷能溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中 (可达 1.2% P)，固溶并富集在晶粒边界的磷原子使铁素体在晶粒间的强度大大增高，从而使钢材的室温强度提高而脆性增加，称为冷脆。磷在钢的结晶过程中容易偏析，而又很难用热处理的方法来消除，亦使钢材冷脆的危险性增加。但含磷铁水流动性好，充填性好，对制造畸形复杂铸件有利，磷亦可改善钢材的切削性能，在易切削钢中含磷可达 0.08% ~ 0.15%。然而矿石中的磷在选矿和烧结过程中不易除去，而在高炉冶炼过程中又不能去磷，磷几乎全部进入生铁。生铁含磷量决定于矿石含磷量，因此要求铁矿石含磷量愈低愈好。

(3) 铜。铜在钢中若不超过 0.3% 可增加钢材抗蚀性，超过 0.3% 时，则降低其焊接性，并有热脆现象。铜在烧结中一般不能去除，在高炉中又全部还原进入生铁。故钢铁含铜量决定于原料含铜量。一般铁矿