

LIANTIEXUE

任贵义 主编

炼铁学

上册

冶金工业出版社

炼 铁 学

上 册

任贵义 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2004

图书在版编目(CIP)数据

炼铁学 上册/任贵义主编. —北京:冶金工业出版社,
1996(2004 重印)

ISBN 7-5024-1852-0

I. 炼… II. 任… III. 炼铁学-专业学校-教材 IV. TF5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 10500 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1996 年 10 月第 1 版,2004 年 1 月第 4 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 24 印张; 578 千字; 373 页; 9001~12000 册

38.00 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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

为适应当前科学技术的发展,满足冶金职业技术学校教学需求,在 1980 年冶金工业出版社出版的《炼铁学》(上册贺友多主编,下册张光祖编)的基础上,结合多年来的教学经验,重新组织编写本书。全书分上下册。上册有高炉使用的原燃料及其造块和高炉冶炼基本原理两篇;下册为高炉操作和高炉车间设备及构造两篇。本书作为职业技术学校炼铁专业教材,亦可供职工大学、工厂培训使用及有关工程技术人员参考。本书为上册。

本次编写力求反映近年来国内外的最新理论和科技成果,扩充了熟料的内容,将操作部分专设一篇,并适当加入有关小高炉的内容,增设非高炉炼铁一章。在每章后均附设有复习思考题。全书按 320 学时编写,各校在使用中可按具体情况安排教学内容。

全书由山西工程职业技术学院任贵义主编,各章分工如下:上册第一至六章河北工业职业技术学院于秉芳,第八至十五章及绪论任贵义,下册第十六至二十一章四川机电职业技术学院姚永贵,第二十三、二十四及二十六至二十九章上海冶金工业学校沈达广,第七、二十二、二十五章山西工程职业技术学院王明海。

参加本书审稿工作的有重庆钢铁高等专科学校罗吉敖,邢台军需工业学院郭志坤,太原钢铁公司刘志欣,山西工程职业技术学院邹孝慈。他们对本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于时间紧迫,加之编者水平所限,对本书存在的缺点和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录 (上册)

绪论	(1)
第一篇 高炉冶炼的原料及其造块	
第一章 铁矿石和熔剂	(9)
第一节 铁矿石分类及其特性	(9)
第二节 我国铁矿资源概况及其特点	(13)
第三节 高炉冶炼对铁矿石的要求	(15)
第四节 锰矿石	(23)
第五节 熔剂	(26)
第六节 铁矿石代用品	(27)
第二章 铁矿石冶炼前的准备和处理	(30)
第一节 铁矿石冶炼前准备和处理的意义	(30)
第二节 破碎和筛分	(31)
第三节 混匀	(37)
第四节 焙烧	(37)
第五节 选矿概述	(39)
第三章 高炉用燃料	(46)
第一节 高炉冶炼对焦炭质量的要求	(46)
第二节 焦炭生产	(50)
第三节 型焦生产及其它代用燃料	(55)
第四章 铁矿粉烧结基本理论	(60)
第一节 烧结生产概述	(60)
第二节 烧结过程中固体碳的燃烧	(62)
第三节 烧结料层中的热交换	(65)
第四节 烧结过程中水分蒸发、分解与冷凝	(68)
第五节 碳酸盐的分解及矿化作用	(70)
第六节 烧结过程中铁、锰氧化物的分解、氧化与还原	(72)
第七节 烧结过程中硫及其它有害杂质的去除	(74)
第八节 烧结过程中气流的运动	(79)
第九节 烧结过程中的固相反应	(83)
第十节 烧结过程液相的生成及冷凝	(87)
第十一节 烧结矿矿物组成、结构及对质量的影响	(93)
第十二节 烧结配料与热平衡计算	(96)
第五章 烧结生产工艺	(104)
第一节 烧结生产流程	(104)

第二节	烧结原料的准备	(105)
第三节	烧结现场配料计算和混合料准备	(109)
第四节	烧结操作制度	(116)
第五节	提高烧结矿产量和质量的途径	(123)
第六节	烧结矿质量指标、鉴定方法和主要技术经济指标	(133)
第七节	烧结生产自动化	(136)
第六章	烧结厂的主要设备	(141)
第一节	熔剂和燃料的破碎筛分设备	(141)
第二节	配料与混料设备	(144)
第三节	带式烧结机	(148)
第四节	烧结矿的破碎筛分和冷却设备	(164)
第五节	其它烧结方法和设备	(169)
第七章	球团矿生产	(171)
第一节	原料及其准备	(171)
第二节	造球	(175)
第三节	生球的干燥和焙烧	(184)
第四节	球团焙烧方法及设备	(195)
第五节	其它球团法	(206)

第二篇 高炉冶炼基本原理

第八章	高炉解剖研究	(208)
第一节	高炉解剖研究的意义与现状	(208)
第二节	软熔带及其对高炉行程的影响	(210)
第九章	炉料的蒸发、挥发与分解	(212)
第一节	水分的蒸发与水化物的分解	(212)
第二节	挥发物的挥发	(212)
第三节	高炉内碱金属的挥发与危害	(213)
第四节	碳酸盐的分解	(214)
第十章	还原过程与生铁的生成	(217)
第一节	还原反应的基本理论	(217)
第二节	铁氧化物的还原	(219)
第三节	直接还原与间接还原的比较	(225)
第四节	加强氢的还原, 改善氢的利用	(228)
第五节	铁的复杂化合物与非铁元素的还原	(229)
第六节	还原反应动力学	(234)
第七节	生铁的形成与渗碳过程	(239)
第十一章	炉渣与脱硫	(243)
第一节	高炉渣的成分与作用	(243)
第二节	高炉内的成渣过程	(244)

第三节	高炉渣的性质及其影响因素	(247)
第四节	熔融炉渣的结构	(255)
第五节	高炉内的脱硫	(262)
第六节	生铁的炉外脱硫	(268)
第七节	选择炉渣成分	(270)
第十二章	炉缸燃烧与煤气上升过程中的变化	(275)
第一节	炉缸内煤气的成分及其分布	(275)
第二节	理论燃烧温度与炉缸内的温度分布	(280)
第三节	燃烧带的大小及影响因素	(282)
第四节	鼓风动能与下部调剂	(285)
第五节	煤气上升过程中的变化	(287)
第六节	高炉内的热交换	(291)
第十三章	炉料与煤气运动及其分布	(296)
第一节	燃料的下降与力学分析	(296)
第二节	影响 $Q_{\text{有效}}$ 和 ΔP 的因素	(297)
第三节	有液态渣、铁区域的煤气流动	(301)
第四节	炉料运动与冶炼周期	(303)
第五节	高炉内煤气流分布	(307)
第六节	炉顶布料——上部调剂	(311)
第十四章	高炉强化冶炼与节能	(320)
第一节	高炉强化冶炼的途径和方向	(320)
第二节	精料	(322)
第三节	高压操作	(325)
第四节	高风温	(327)
第五节	喷吹燃料	(330)
第六节	富氧与综合鼓风	(335)
第七节	加湿与脱湿鼓风	(337)
第八节	低硅生铁的冶炼	(338)
第九节	高寿命炉衬	(339)
第十节	高炉节能	(340)
第十五章	炼铁工艺计算	(344)
第一节	铁的直接还原度 r_d 的计算	(344)
第二节	配料计算	(346)
第三节	物料平衡	(351)
第四节	高炉热平衡	(354)
第五节	第二热平衡	(358)
第六节	高温区域热平衡	(361)
第七节	高炉理论焦比计算	(364)
第八节	高炉操作线	(366)

绪 论

一、冶金的概念及钢铁的特点

冶金学是一门研究如何经济地从矿石或其他原料中提取金属或金属化合物，并用各种加工方法制成具有一定性能的金属材料的科学。按其研究领域分为化学冶金和物理冶金。前者是研究如何从天然矿中（包括海水）提取金属，又称为提取冶金。后者是研究金属及其合金的组成、结构和性能的关系，以及金属的加工和处理过程。它包括金属学、金属铸造、粉末冶金及金属压力加工（压、拔、轧、锻）。

提取冶金伴随着化学反应。由于矿物及要提取的金属特点不同，提取方法也不一样，按冶炼条件可分为：

- (1) 火法冶金。利用高温从矿石中提取金属或其他化合物。
- (2) 湿法冶金。在常温或稍高于常温下利用溶剂从矿石中提取和分离金属。
- (3) 电冶金。利用电能提取和精炼金属。

迄今为止已发现的一百多种化学元素中，有 80 多种为金属元素。在这些金属中，习惯上将铁、锰、铬三种金属称为黑色金属。

冶金工业通常分为黑色冶金工业和有色冶金工业。前者包括铁、生铁、钢和铁合金（如锰铁、硅铁等）的工业生产；后者包括其余各种金属的工业生产。

钢铁是现代工业中应用最广、使用量最大的金属材料。在一定意义上，一个国家钢铁工业的发展状况，反映出国民经济发达的程度。

钢铁均是含有少量合金元素和杂质的铁碳合金，按含碳量不同可分为：

- 生铁——含 C 为 2.0~4.5%；
- 钢 ——含 C 为 0.05~2.0%；
- 熟铁——含 C 小于 0.05%。

钢铁具有良好的物理和化学性能。生铁坚硬、耐磨、铸造性能好，但生铁脆，不能锻压。钢系由生铁再炼而得，有较高的机械强度和韧性，还具有耐热、耐腐蚀、耐磨等特殊性能；另外，钢容易焊接和加工，可满足人类多方面需要和特殊性能的要求。

其次，钢铁价格便宜，在地壳中 Fe 蕴藏量极为丰富，仅次于氧、硅、铝居第四位。同时含铁矿物在地壳中不仅蕴藏量大，而且分布比较集中（世界上有许多储量在 10 亿吨以上的大型铁矿床），加之冶炼和加工方法简便，效率高，规模大，所以在金属生产中钢铁产量最高而成本最低。

二、我国炼铁发展简述

我国是世界上掌握冶炼技术最早的国家，比欧洲早一千九百多年。我国古代的钢铁冶炼技术有过辉煌的成就，并有自己独特的发展道路。早在春秋时代（公元前 6、7 世纪）就采用了规模较大的鼓风炉冶炼，并掌握了冶铸技术，逐步由青铜器时代过渡到铁器时代。公元前 513 年赵国铸的“刑鼎”，就是我国掌握冶炼液态铁和铸造技术的见证。而欧洲各国迟至 14 世纪才炼出液态生铁。

冶铁技术在我国的发展，表现了我国古代劳动人民的伟大创造力，有力地促进了我国

封建社会的经济繁荣。可是到了 18 世纪，特别是腐朽的清王朝，冶铁业和其它各业一样，发展非常迟缓。与此同时，英国爆发了工业革命。19 世纪英国和俄国首先把高炉鼓风动力改为蒸汽机，使冶铁炉的规模不断扩大。不久英国又用高炉煤气把鼓风预热，逐渐产生了现代高炉的雏型。

我国修建现代化高炉始于 1891 年。首先在汉阳建了两座日产百吨铁的小高炉，以后又陆续在大冶、石景山、阳泉等地建起一些高炉。日本帝国主义入侵我国东北后，为了掠夺我国矿产资源，又在鞍山、本溪等地建了一些高炉。1943 年是我国在解放前钢铁产量最高的一年，生铁产量达 180 万吨，钢产量 90 万吨，占世界第 16 位。到 1949 年解放前夕，我国钢铁工业技术水平及装备极其落后，铁的年产量只有 25 万吨，钢为 15.8 万吨。

解放后，在党中央的英明领导下，我国钢铁生产得到迅速恢复和发展。1953 年，生铁产量已超过了历史最好水平，达到 190 万吨。60 年代我国高炉逐步采用自熔性烧结矿和球团矿生产，创造出“精料，大风，高温”和“以下部调剂为基础，上下部调剂相结合”等操作方针与宝贵经验。进行了喷油、喷煤和富氧鼓风等新工艺的试验研究，取得成功并普遍推广。60 年代中期，炼铁生产的技术经济指标达到国际先进水平。十年动乱期间，我国炼铁生产遭受了巨大损失。十一届三中全会以后，我国钢铁工业走向持续发展阶段。1979 年，全国钢产量达到 3448 万吨，占世界钢产量的 4.64%，仅次于前苏联、日本、美国和联邦德国，居世界第五位。1983 年，钢产量达 4002 万吨，跃居世界第四位。

在党的改革开放政策指引下，炼铁生产技术在“七五”期间又得到了迅速发展，进入了一个新的时期。生铁产量从 1985 年的 4384 万吨提高到 1990 年的 6186.6 万吨，平均每年增加 360 万吨，生铁产量已从世界第四位上升为世界第三位，成为继前苏联、日本后的第三产铁大国。1993 年，我国年产钢 8868 万 t，1994 年 9261 万 t，均居世界第二位。“七五”期间共产生铁 28240.6 万吨，比“六五”期间增加 9149.6 万 t，即增加了 47.93%。

下面列出我国历年来的钢铁产量和 1989 年世界主要国家的钢铁产量（表 1、表 2）。

表 1 我国主要历史时期的钢铁产量（万吨）

年度	1943	1949	1952	1957	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1989	1990	1993	1994
钢	90	15.8	135	535	1866	1223	1779	2395	3712	4679	6159	—	8868	9261
铁	180	25.2	193	594	2716	1077	1706	2449	3802	4384	5820	6186	—	—

表 2 世界主要国家 1989 年钢产量

国家	苏联	日本	美国	中国	联邦德国	意大利	巴西	韩国	法国	英国
产量（百万吨）	160.7	107.9	88.9	61.5	41.0	25.1	25.0	21.9	19.3	18.8

三、高炉炼铁工艺流程

自然界的铁绝大多数是以铁的氧化物状态存在于矿石中，如赤铁矿（ Fe_2O_3 ）、磁铁矿（ Fe_3O_4 ）等。高炉炼铁就是从铁矿石中将铁还原出来，并熔炼成液态生铁。还原铁矿石需要还原剂，为了使铁矿石中的脉石生成低熔点的熔融炉渣而排出，必须有足够的热量并加入熔剂（主要是石灰石）。在高炉炼铁中，还原剂和热量都是由燃料与鼓风供给的。目前所用的燃料主要是焦炭（个别少数地区用无烟煤等），有的高炉还从风口喷入重油、天然气、煤

粉等其它燃料，以代替部分焦炭。为了提高矿石品位及利用贫矿资源，矿石要经过选矿、烧结，制成烧结矿或球团矿供高炉冶炼。

高炉是一个竖式的圆筒形炉子，其本体包括炉基、炉壳、炉衬及其冷却设备和高炉框架（或支柱）。通常，高炉炉型即高炉内部工作空间的形状分为炉喉、炉身、炉腰、炉腹、炉缸五段。炉缸部分设有风口、铁口和渣口。炉壳用钢板焊接而成，它起着承受负荷、强固炉体、密封炉墙等作用。高炉基础由上、下两部分组成，上面部分用耐热混凝土制成，称为基墩；下面用钢筋混凝土制成，称基座。炉衬是用耐火砖等砌成，它在高温条件下工作。为了延长炉衬寿命，通常对其进行冷却。冷却介质多采用水。近年来汽化冷却有所发展。冷却设备种类很多，如光面冷却壁、镶砖冷却壁、水平冷却板、支梁式冷却箱等，它们都是内有通水管子的金属铸件。高炉框架或支柱主要是支撑高炉的装置。

从炉顶装入铁矿石、燃料（焦炭）、熔剂（石灰石），从高炉下部的风口处鼓入热风（1000~1300℃），燃料中的碳素（还有少量碳氢化合物）在热风中发生燃烧反应，产生具有很高温度的还原性气体（CO，H₂）。炽热的气流在上升过程中将下降的炉料加热，并与矿石发生还原反应。高温气流中的CO、H₂和部分炽热的固定碳夺取矿石中的氧，将铁还原出来。还原出来的海绵铁进一步熔化和渗碳，最后形成生铁。铁水定期从铁口放出。矿石中的脉石变成炉渣浮在液态的铁面上，从渣口排出。反应的气态产物称为煤气，从炉顶排出。煤气含有可燃性气体，经净化处理后（含尘量达10mg/m³以下）成为气体燃料。

炼铁设备除高炉本体外，还有以下系统：

1. 上料系统 包括贮矿场、贮矿槽、焦炭仓、焦炭滚筛、称量漏斗、称量车（或用皮带称量系统）、料车坑、料车或料罐、斜桥和卷扬机等。也有的高炉采用皮带上料系统。其作用是将原燃料运到炉顶装入受料漏斗。

2. 装料（或布料）系统 包括受料漏斗、旋转布料器、大小料钟、料斗、平衡杆、探尺等（目前有的高炉采用无料钟炉顶），高压高炉还有均压阀和均压放散阀。其作用是均匀地将原燃料装入炉内。

3. 送风系统 包括鼓风机、热风炉、热风总管、热风弯管、直吹管等。其用途是将鼓风机来的冷风加热并送入高炉。

4. 煤气净化系统 一般指煤气上升管、下降管、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器等，高压操作高炉还有高压阀组（也有采用干式除尘系统）。其作用是将含尘很高的荒煤气净化成合乎要求的气体燃料。

5. 渣铁处理系统 包括出铁场、泥砲、开口机、炉前吊车、铁水罐、铸铁机、渣罐、堵渣机、水渣池及炉前水力冲渣设施。

6. 喷吹系统 喷煤系统有煤粉收集罐、贮煤罐、喷吹罐、混合器和喷枪等。喷油系统有卸油泵、贮油罐、过滤器、送油泵、稳压罐、调整装置及喷枪等。

四、高炉生产的特点

1. 生产规模大 自从60年代以来，世界各国的高炉容积不断扩大，产量增长。据不完全统计，当前世界上大于2000m³级高炉已超过100座，4000m³级高炉22座，我国宝钢高炉是4063m³，日产生铁超过10000吨，炉渣4000多吨，日耗焦4000多吨。每天要把数万吨的原料装入炉内，连续处理成万吨的产品，因此，没有生产率很高的自动化的机械设备和运输工具，就不能保证生产的顺利进行。

2. 高炉生产是钢铁联合企业中的重要环节 现代钢铁工业是一个庞大而复杂的生产部门，它包括采矿、选矿、烧结（球团）、炼铁、炼钢和轧钢等环节。高炉炼铁是重要的中间环节。高炉停工或减产会给整个联合企业的生产带来严重的影响。因此高炉工作者务必努力做好本职工作，防止各类事故发生，采取积极措施，使高炉生产稳定、均衡，以保证钢铁联合企业连续协调生产。

3. 长期连续性生产 高炉从开炉到停炉，一代炉龄大约在 10 年左右（中间可能进行一次中修）。在此时间内是不间断地生产（仅在设备检修或发生事故时才暂时停止生产），原料不断地装入高炉，煤气连续从高炉逸出，生铁和炉渣聚积在炉缸内，有规律地排出。如果有一个环节出现问题，都将造成停产和减产，给企业造成巨大损失。

4. 机械化和自动化程度高 由于以上特点，要求有很高程度的机械化和自动化。目前高炉上料系统正向皮带化方向迈进。电子计算机已进入高炉生产的一些控制系统，实现高炉生产全面自动化已为期不远。

五、高炉炼铁生产的产品与副产品

高炉生产的主要产品是生铁（包括少量铁合金），副产品是炉渣、煤气和炉尘等。

1. 生铁 生铁分为制钢生铁和铸造生铁两大类，我国约 90% 以上为制钢铁，其余（小于 10%）的部分为铸造铁。它们的主要区别是含 Si 量不同。其牌号与化学成分的国家标准见表 3 及表 4。

2. 铁合金 铁合金多在电炉中生产，少量的锰铁和硅铁合金可在高炉中冶炼。铁合金主要供炼钢的脱氧剂或作为合金添加剂。我国高炉生产锰铁较多。高炉锰铁部颁标准见表 5。

表 3 制钢生铁产品标准 (GB717—82)

铁 种			炼 钢 用 生 铁		
铁号	牌 号		炼 04	炼 08	炼 10
	代 号		L04	L08	L10
化 学 成 分 %	Si		≤0.45	>0.45~0.85	>0.85~1.25
	Mn	一组	≤0.30		
		二组	>0.30~0.50		
		三组	>0.50		
	P	一级	≤0.15		
		二级	>0.15~0.25		
		三级	>0.25~0.40		
	S	特类	≤0.02		
		一类	>0.02~0.03		
		二类	>0.03~0.05		
		三类	>0.05~0.07		
	C		≥3.5		

表 4 铸造生铁产品标准 (GB718-82)

铁 种		铸 造 用 生 铁					
铁 号	牌 号	铸 34	铸 30	铸 26	铸 22	铸 18	铸 14
	代号	Z34	Z30	Z26	Z22	Z18	Z14
化 学 成 分 %	C	>3.3					
	Si	>3.20~3.60	>2.8~3.20	>2.4~2.8	>2.00~2.40	>1.6~2.00	>1.25~1.60
	Mn	一组	≤ 0.50				
		二组	>0.50~0.90				
		三组	>0.90~1.30				
	P	一级	≤ 0.06				
		二级	>0.06~0.10				
		三级	>0.10~0.20				
		四级	>0.20~0.40				
		五级	>0.40~0.90				
	S	一类	≤ 0.03				≤ 0.04
		二类	≤ 0.04				≤ 0.05
		三类	≤ 0.05				≤ 0.06

表 5 高碳锰铁标准

类 别	牌 号	化 学 成 分, %						
		Mn	C	Si		P		S
				1 组	2 组	1 级	2 级	
		不小于	不大于					
高 碳 锰 铁	Fe Mn75 C7.5	75.0	7.5	1.5	2.5		0.33	0.03
	Fe Mn70 C7.0	70.0	7.0	2.0	3.0	0.20	0.38	
	Fe Mn65 C7.0	65.0	7.0	2.5	4.5		0.40	

3. 炉渣 每吨生铁的渣量随入炉料的含 Fe 品位高低和焦比以及焦炭含灰分多少而差异很大。我国大中型高炉的渣量一般在每吨铁 300~600kg 之间, 地方小高炉的渣量大大超过此数值。

炉渣在工业上有广泛的用途:

- (1) 液态炉渣用水急冷可粒化成水渣, 作为制砖和水泥的原料。
- (2) 用蒸汽或压缩空气将液态炉渣吹成渣棉, 可作绝热材料。
- (3) 冷凝后的干渣也是制砖和生产水泥的原料, 同时还可作其他建筑或铺路材料。

4. 高炉煤气 高炉冶炼每吨生铁大约产生煤气 1700~3000m³, 煤气中含有 CO₂ (15%~20%)、CO (22%~30%)、H₂ (1%~3%)、N₂ (56%~58%) 和微量的 CH₄。煤气经除尘处理后, 成为很好的气体燃料, 其发热值为 3350~3770kJ/m³, 除作为热风炉的燃料外, 还可供炼钢、炼焦、轧钢厂均热炉以及烧锅炉等用户。

高炉煤气是无色无味的透明气体，由于含有 CO，泄漏后会使人中毒致死。当煤气与空气混合，煤气含量达到 46%~62%，温度达到着火点（650℃）时，发生爆炸。因此，在煤气区域工作，要特别注意防火和预防煤气中毒。

5. 炉尘 炉尘是煤气上升时带出的细颗粒固体炉料（除尘器的灰），高炉炉尘中含 Fe30%~50%，碳 3%~5%。每炼一吨生铁要有 10~150kg 炉尘，回收后可作为烧结的原料。近年来日本用炉尘生产海绵铁成功，开辟利用炉尘的新途径。

六、高炉冶炼的主要技术经济指标

高炉生产的技术水平和经济效益可用技术经济指标来衡量。要求高炉优质、高产、低耗、长寿。其主要技术经济指标有：

1. 高炉有效容积利用系数（ $\eta_{有}$ ） 它是指每立方米高炉有效容积在一昼夜内生产铁的吨数。高炉一昼夜生产合格生铁为 P ，高炉有效容积为 $V_{有}$ ，则

$$\eta_{有} = \frac{P}{V_{有}} \quad \text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

高炉有效容积是指大料钟落下时其底平面至出铁口中心线之间的炉内容积。式中的产量 P 是以炼钢生铁为标准（折算系数为 1.0），将其它牌号铸造铁按冶炼的难易程度（含 Si 高低）折合为炼钢铁的吨数，其折算系数如下：

铸铁牌号	Z14	Z18	Z22	Z26	Z30	Z34
折算系数	1.14	1.18	1.22	1.26	1.30	1.34

$\eta_{有}$ 愈高，高炉生产率愈高，目前我国高炉的利用系数为 1.5~2.3，有些高炉在 2.3 以上。

2. 焦比（也称入炉焦比或净焦比） 指冶炼每吨生铁时实际消耗的焦炭数量（不包括喷吹的各种辅助燃料）：

$$K = \frac{Q_s}{P}$$

式中 Q_s ——高炉一昼夜消耗的干焦数量，kg。

此外焦比还有以下几种表示法：

(1) 折算入炉焦比 = $\frac{\text{干焦消耗量 (kg)}}{\text{生铁的折算产量 (t)}}$

(2) 燃料比。当从风口喷吹煤粉（或重油）、天然气等辅助燃料时，炼一吨生铁消耗的各种燃料量总和（包括焦炭），即

$$\text{燃料比} = \frac{\text{干焦量} + \Sigma \text{喷吹燃料}}{\text{合格生铁产量}}$$

(3) 综合焦比。是指冶炼每吨生铁消耗干焦数量与其它辅助燃料折算成的相应干焦数量的总和：

$$\begin{aligned} \text{综合焦比} &= (\text{干焦量} + \Sigma \text{喷吹燃料} \times \text{折算系数}) / \text{合格生铁产量} \\ &= \text{综合干焦耗量} / \text{合格生铁产量} \quad \text{kg/t} \end{aligned}$$

各种喷吹的辅助燃料的折算系数如下：

燃料种类	无烟煤	焦粉	沥青	天然气	重油	焦炉煤气
折算系数	0.8kg/kg	0.9kg/kg	1.0kg/kg	0.65kg/m ³	1.2kg/kg	0.5kg/m ³

(4) 折算综合焦比。

折算综合焦比 = 综合干焦耗用量 / 合格生铁折算产量 kg/t

焦比在很大程度上标志着每吨生铁的成本和能耗。日本的焦比最低，每吨生铁平均为 410~430kg，有的只有 300 多千克。我国高炉焦比一般在每吨生铁 500~700kg，居世界中下等水平。

3. 油比 (Y)，煤比 (M)，置换比 高炉喷吹重油、煤粉或天然气等辅助燃料后，每吨生铁消耗的油量称油比，消耗的煤粉量称煤比。喷吹单位数量（或体积）的燃料所能替代的焦炭量称置换比。置换比愈高，在一定冶炼条件下焦比愈低，它是表示喷吹燃料利用率高低的系数。

油比 $Y = Q_Y / P$ kg/t 煤比 $M = Q_M / P$ kg/t

式中 Q_Y 、 Q_M 分别为一昼夜内重油、煤粉的耗量，kg。

现场采用的置换比计算方法是：

混合置换比 = $\Delta K / (Y + M)$ $\Delta K = K_0 - K_1$

式中 ΔK —— 实际焦比降低量；

K_0 —— 基准期焦比；

K_1 —— 调查期的校正焦比。

4. 冶炼强度 I 与综合冶炼强度 $I_{综}$ 它表示每昼夜每立方米高炉有效容积所消耗的干焦数量。

$I = Q_K / V_{有}$ t/(m³·d)

冶炼强度表示高炉作业强化的程度，它取决于高炉所能接受的风量。风量愈大，燃烧的焦炭愈多，则冶炼强度愈高。如焦比不变或增加不多的情况下，高炉的利用系数则愈高。即三者有如下的关系：

$\eta_{有} = I / K$

综合冶炼强度除考虑干焦之外，还考虑喷吹的辅助燃料折算成相当的焦炭量。

综合冶炼强度 $I_{综} = \text{综合干焦耗用量} / \text{有效容积}$ t/(m³·d)

冶炼强度的计算还应考虑到休风率，如有休风，要以实际工作时间计算。

5. 休风率 休风时间占规定作业时间（即日历时间减去检修的时间）的百分数。

休风率 = $\frac{\text{休风时间}}{\text{日历时间} - \text{计划检修时间}} \times 100\%$

休风率反映设备维护和高炉操作的水平。降低休风率是高炉增产节焦的重要途径，我国先进高炉休风率已降到 1% 以下。

6. 生铁合格率 生铁的化学成分符合国家标准要求的叫合格生铁，合格生铁量占高炉总产量的百分数叫生铁合格率。它是评价高炉产品质量的指标。

生铁合格率 = $(\text{合格生铁量} / \text{生铁总产量}) \times 100\%$

7. 焦炭负荷 用以估价配料情况和燃料利用的水平，也是用配料调节高炉热状态时的重要参数。

焦炭负荷 = 每批炉料中铁矿与锰矿的质量 / 每批料中焦炭质量

8. 生铁成本 它是从经济方面衡量高炉作业的指标。即冶炼一吨生铁所需要的费用，包括原料、燃料、动力、工资等费用和车间经费等。

9. 炉龄 系指两代高炉大修之间，高炉实际运行的时间。衡量炉龄的另一个指标是每立方米炉容在一代炉龄期内的累计产铁量。先进高炉平均可达 $5000\text{t}/\text{m}^3$ 以上。日本君津 3 号高炉达 $8000\text{t}/\text{m}^3$ 的最高纪录。

第一篇 高炉冶炼的原料及其造块

高炉炼铁的主要原料是铁矿石、熔剂和燃料。通常，冶炼 1t 生铁需要 1.5~2.0t 铁矿石，0.4~0.6t 焦炭，0.2~0.4t 熔剂，总计需要 2~3t 原料。为了保证高炉生产的连续性，要求有足够数量的原料供应。

原料是炼铁生产的物质基础，原料的质量对冶炼过程及冶炼效果有极大的影响。目前炼铁发展趋势之一就是采用精料。精料是使高炉达到优质、高产、低消耗的重要途径。

第一章 铁矿石和熔剂

第一节 铁矿石分类及其特性

一、矿物、矿石和岩石

地壳中经过长期的物理化学作用和生物作用自然形成的自然元素或自然化合物称为矿物，各种矿物都具有一定的物理性质和化学性质。除少数为自然元素外（如自然金 Au、自然 Cu 等）绝大多数都是自然化合物（如磁铁矿 Fe_3O_4 、黄铁矿 FeS_2 等）。它们的化学组成一般可用化学式来表示。

矿石和岩石都是单一或多种矿物的集合体。但是，矿石是在目前的技术条件下能经济合理地提取其中有用矿物的岩石。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，但并不是所有含铁岩石都是铁矿石，因为从一些含铁量很低的岩石中提取金属铁，目前在经济上是不合算的。随着科学技术的发展，也有许多过去被人们认为不能冶炼的，今天已成为炼铁的重要原料（如钒钛磁铁矿）。

矿石一般由几种矿物组成，通常分为有用矿物和脉石两类。有用矿物就是能够被人们利用的矿物，而脉石矿物是在目前技术经济条件下还不能利用的矿物，并且它总是与有用矿物伴生的。脉石矿物也称之为无用矿物。如磁铁矿石中 Fe_3O_4 为有用矿物，而 Al_2O_3 、 SiO_2 、 CaO 、 MgO 等为脉石矿物。

必须指出，有用矿物和矿石的种类是随着工业和科学技术的发展和综合利用而不断扩大的。矿石按所含有用成分可分为二种，简单矿石和复合矿石。简单矿石是从中提取一种有用成分的矿石，如磁铁矿石中只提取铁。复合矿石是从中同时提取数种有用成分的矿石，如从钒钛磁铁矿石中提取钒、钛和铁。

二、矿物的形态和物理性质

矿石是工业的原料，而矿石又是由矿物组成的，因此，要了解矿石的种类和特性，就必须从认识矿物着手。

自然界矿物的形态是多种多样的，不同的矿物具有自己独特的形态，因此矿物不同的外表形态可作为鉴定矿物的重要特征之一。矿物的形态一般可分为单体形态和集合体形态。常见的石英及磁铁矿一般为多面体状态的固体，这种多面体形态的固体就叫做矿物的晶体，如立方体（黄铁矿）、八面体（磁铁矿、金刚石）、菱形十二面体（石榴子石）等单体形态。

常见的集合体形态有：

葡萄状集合体 由许多圆球状矿物聚集而成，形似葡萄，如硬锰矿；

鲕状集合体 由许多像鱼子一样的颗粒聚集而成，如鲕状赤铁矿；

肾状集合体 由放射状晶体群密集而成的外表光滑如肾脏的块体，如肾状赤铁矿；

豆状集合体 由大小像豆样的球形颗粒聚集而成，如铬铁矿粒状集合体是由许多大小一致的矿物晶粒结合在一起而成的块体；

致密块状集合体 由极细小的矿物颗粒组成的致密块体；

土状、粉末状集合体 由均匀而细小的物质组成的疏松块体，外形和土壤相似；

针状及柱状集合体 由细长状的矿物组成；

叶片状集合体 由许多片状晶体所组成的集合体；

结核状集合体 是球形或瘤形的矿物聚集体；

树枝状集合体 是形如树枝的矿物聚集体。

由于不同的矿物具有不同的化学成分和内部构造，因此不同的矿物必然反映出不同的物理性质，所以可根据这些不同的物理性质来鉴定矿物。

1. 矿物的光学性质 矿物的光学性质是矿物对光线吸收、折射和反射所表现的各种性质。

(1) 颜色。很多矿物都具有特殊的颜色，矿物的颜色产生的原因是由于矿物的成分中含有某种色素离子（即具有颜色的化学元素）所引起的。在化学元素中最主要的色素是在元素周期表中第四周期的 Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co 和 Ni 等。如色素离子 Fe^{2+} 为绿色、 Fe^{3+} 为褐色、红色。由此可见磁铁矿的铁黑色，赤铁矿的砖红色，以及褐铁矿的褐色都是由于不同形态的铁元素系组成它们的基本成分所造成的。当矿物中含杂质时，由于杂质的影响，矿物的颜色也会改变。

(2) 条痕。矿物的条痕就是矿物粉末的颜色。一般试验矿物的条痕时可将矿物在瓷板上或粗瓷碗底上刻划一下，就可看到矿物粉末的颜色。矿物的颜色常有变化，但矿物的条痕则较为固定。因此矿物的条痕颜色也是可靠的鉴定矿物特征的方法之一。条痕色有的与矿物的颜色相同，有的与矿物的颜色不同。如磁铁矿的颜色与其条痕色是一致的，均为铁黑色。结晶的赤铁矿为钢灰色，不结晶的则为红色，但其条痕色均为砖红色。又如闪锌矿中常含有铁，其颜色和条痕色均随含铁量增加而变深。由此可见，条痕色（结合颜色一起观察）除了用来鉴定矿物外，对某些矿物来说也可用来粗略地推断化学成分。应该指出，条痕色对于浅色的透明矿物则没有意义，因为它们的条痕都是白色或近于无色的，难以作为鉴定矿物的依据。

(3) 光泽。光线照射到矿物表面时，一部分被矿物折射和吸收，而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。一般根据光泽的强弱可分为：

金属光泽：光泽极强，好像新的金属制品那样的光亮，如自然金、方铅矿等。

半金属光泽：比金属光泽稍弱一些，如磁铁矿、赤铁矿等。

非金属光泽：反光能力最弱，具有此种光泽的矿物多为透明和半透明矿物。

(4) 透明度。矿物透光的能力叫透明度。一般根据矿物透光的能力不同可分为：

透明矿物，如水晶等；

半透明矿物，如金红石等；