

普通钢铁冶金学



施月循
戴云阁
编著

东北工学院出版社

普通钢铁冶金学

施月循 戴云阁 编著

东北工学院出版社

内 容 简 介

本书按炼铁、炼钢生产过程，系统全面地介绍了钢铁冶金的原料、冶炼基本原理、操作技术、主要设备和钢铁车间设计，还介绍了钢铁冶金的近代新技术和发展趋势。书中对基本的主要内容作了较深入论述，对一般内容也作了适当介绍。

本书可作为管理、热能、加工、冶金物化等专业“钢铁冶金”课程的教材，亦可作为电大、夜大、函授、干部培训的教材。对管理人员、生产技术人员全面了解钢铁冶金过程亦有裨益。

普通钢铁冶金学

施月循 戴云阁 编著

东北工学院出版社出版 辽宁省新华书店发行
(沈阳 南湖) 东北工学院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张：16.25 字数：390千字
1988年9月第1版 1988年9月第1次印刷
印数 1~3000册

责任编辑：刘宗玉 责任校对：刘莹 张立珩

ISBN 7-81006-072-4/TF·2

定价：3.10元

前 言

本书是编者在多次为管理、热能、加工等专业讲授“普通钢铁冶金学”的基础上，为非钢铁冶金专业本科生编写的教材。

本书全面系统地介绍钢铁冶炼原理、工艺、设备，并对主要内容作了较为深入论述。原理部分适当应用了物理化学的基本概念及近年来冶金反应动力学的成果，着重说明钢铁生产实际。在工艺各章中，主要论述高炉炼铁、转炉电炉炼钢工艺过程，对近年迅速发展的非高炉炼铁、转炉复合吹炼、铁水预处理、钢液炉外精炼等也作了介绍。本书还注意到了新技术在钢铁冶金过程中的应用。使读者对钢铁冶金过程的全貌和发展趋势有系统的和一定深度的理解。

本书炼铁部分由东北工学院施月循编写，炼钢部分由戴云阁编写。由于编者水平所限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1988 年 3 月

目 录

绪 论	(1)
-----	-------

第一篇 炼 铁

第一章 高炉冶炼用原料及其准备处理

第一节 铁矿石及锰矿石	(6)
第二节 熔 剂	(8)
第三节 焦 炭	(9)
第四节 对铁矿石的质量要求	(12)
第五节 铁矿石的准备处理	(13)
第六节 铁矿石烧结	(16)
第七节 球团矿生产	(38)

第二章 高炉冶炼过程

第一节 高炉炉内状况	(44)
第二节 燃烧反应	(45)
第三节 铁矿石还原	(50)
第四节 高炉渣的物性及渣铁反应	(60)
第五节 炉料与煤气的机械运动	(71)
第六节 高炉冶炼的强化与节能	(79)

第三章 高炉本体结构及附属系统

第一节 高炉本体结构	(85)
第二节 高炉附属系统	(95)

第四章 高炉操作

第一节 开炉、休风、停炉	(110)
第二节 基本操作制度	(111)
第三节 炉况判断与调剂	(112)

第五章 非高炉炼铁

第一节 非高炉炼铁概述	(114)
第二节 非高炉炼铁生产工艺	(115)

第二篇 炼 钢

第六章 炼钢过程物理化学

第一节	炼钢熔体的结构和性质	(118)
第二节	钢液中元素氧化反应的一般规律	(125)
第三节	硅、锰的氧化反应	(130)
第四节	碳的氧化反应	(132)
第五节	脱磷反应	(135)
第六节	脱硫反应	(136)
第七节	脱 氧	(137)
第八节	钢中的气体和非金属夹杂	(140)

第七章 炼钢原材料、燃料和耐火材料

第一节	炼钢原材料	(143)
第二节	燃 料	(151)
第三节	耐火材料	(152)
第四节	炼钢物料准备程序	(153)

第八章 钢的冶炼

第一节	炼钢方法的分类及其特征	(154)
第二节	转炉炼钢法	(155)
第三节	平炉炼钢法	(176)
第四节	电炉炼钢法	(186)

第九章 钢液炉外精炼

第一节	合成渣洗	(204)
第二节	钢包吹气	(205)
第三节	钢液真空处理	(206)
第四节	钢包精炼法	(208)
第五节	不锈钢精炼法	(209)

第十章 铸 锭

第一节	钢液凝固的一般规律	(212)
第二节	模铸钢锭	(217)
第三节	连续铸钢	(226)

第三篇 钢铁厂设计

第十一章 高炉车间设计

第一节 炉容及高炉座数的确定.....(235)

第二节 高炉车间平面布置.....(236)

第十二章 炼钢车间设计

第一节 顶吹转炉车间.....(239)

第二节 电炉车间.....(245)

附 录 钢的品种分类和钢号表示方法.....(248)

结 论

1. 冶金的概念及钢铁的特点

迄今为止，人们可以获得的 100 多种元素中，金属占 86 种，而其中的 63 种在 19 世纪前就已发现。铜、铁、铝、汞等早已为古人所熟知，并曾制造出质量优良的兵器和工具。但这全凭工匠的经验和技巧，冶金从技艺发展成为科学则是近百余年的事。

冶金学是研究制备和使用金属及其合金的一门科学，其研究领域分为化学冶金和物理冶金。前者研究如何从天然矿（包括海水）中提取金属，又称之为提取冶金；后者研究金属及其合金的组成、结构和性能的关系，研究加工和处理过程，它包括金属学、金属铸造、粉末冶金和金属塑性加工（压、拔、轧、锻）。

提取冶金过程伴随有化学反应，由于矿物及要提取的金属特点不同，提取方法也不一样，按冶炼条件分为：

- (1) 火法冶金 利用高温从矿石中提取金属或其化合物。
- (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。

钢铁冶金属于火法冶金，包括高炉炼铁、转炉炼钢、电炉炼钢等，其中电炉炼钢也属于电冶金范围。

钢铁是现代工业中应用最广、使用量最大的金属材料，是含有少量合金元素和杂质的铁碳合金，按含碳量不同可以分为：

- 生铁 C 为 2.0~4.5%
- 钢 C 为 0.05~2.0%
- 熟铁 C < 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。钢有较高的机械强度和韧性，还具有耐热、耐腐蚀、耐磨和电磁性能等特殊性能，容易焊接和加工，可以满足多方面需要和特殊性能要求。

其次，钢铁价格便宜。作为钢铁基体的铁元素的地壳丰度为 5.6%，仅次于氧、硅、铝。它不仅储量丰富，而且多形成巨大铁矿，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。

2. 钢铁生产流程

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。钢铁冶炼处于中间环节，是影响钢材质量的关键工序。图 1 为现代钢铁冶炼工艺流程示意图，该流程是目前大规模生产钢铁的主要途径。图 2 为钢铁冶炼原理示意图。从生产步骤和节能观点看，经高炉炼铁然后炼钢的方法存在流程长、耗费大的缺点，若能采用直接还原或熔融还原直接炼钢，将使钢铁生产更趋有效与合理。

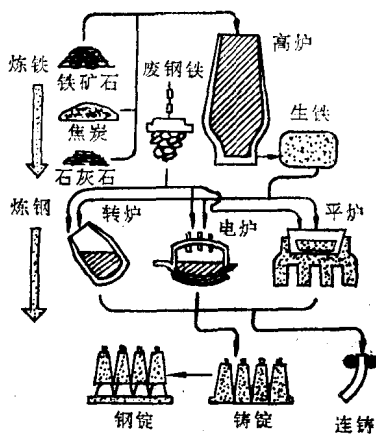


图 1 钢铁冶金工艺流程示意图

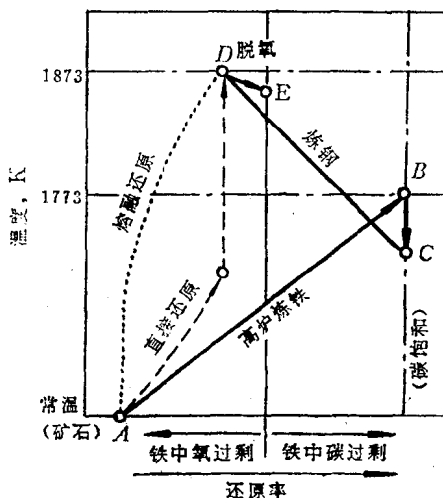


图 2 钢铁冶炼原理示意图

3. 钢铁工业的发展

人类使用铁器至少已有 5000 多年的历史了。我国是世界上最早使用铁器的国家之一。古代最早采用矿石炼铁的方法称为块铁法，它是在不太高的温度下从铁矿石还原得到可直接用于锻打的毛铁块（海绵铁）。

随着炼铁炉容积和高度的增大、鼓风条件改善、炉温提高，使从矿石还原出来的铁渗碳熔融，这种生铁不能像毛铁那样进行锻打加工，只有把其中含有的碳降低到一定程度后，才能得到可加工的熟铁。因此人们有意识地把还原和氧化熔炼分开，形成沿用至今的先炼铁后炼钢的二步冶炼法。

炼铁从早期竖炉发展到现在的巨型高炉，经历了几个重要时期：1709 年英国人达比使用焦炭炼铁获得成功，开辟了炼铁新的燃料来源。1755 年用蒸汽机作鼓风动力，1828 年苏格兰人尼尔森发明预热鼓风，这些都给增加炉容和产量创造了条件。

近代炼钢法是从 1856 年英国人贝塞麦发明空气底吹酸性转炉开始的，它首次实现了大规模生产钢水的愿望。1864 年法国人马丁发明使用燃料的平炉炼钢法；1879 年英国人托马斯发明空气底吹碱性转炉；1899 年建成世界上第一座单相电弧炉，以后发展为三相电弧炉。第二次世界大战以后，世界科学技术发展迅速，促进了钢铁工业的发展。1952 年，奥地利试验成功氧气顶吹转炉，从此炼铁步入了现代氧气炼钢时代。

图 3 为历年来世界生铁和粗钢产量及铁钢产量比情况，图 4 为各种炼钢方法在世界钢产量中所占比重。可以看出，本世纪 50 年代以来，世界钢铁产量大幅度增长。钢产量增长主要和氧气转炉发展有关，转炉钢产量目前已达钢总产量的一半以上。

我国近代钢铁工业最初从 1890 年张之洞在湖北建立汉阳钢铁厂开始，到 1949 年共产生铁 2253.17 万吨，产钢 760 万吨。中华人民共和国成立后，1952 年全国钢产量为 135 万吨，目前年产钢量已达 5000 万吨以上，钢的品种 1000 多个。

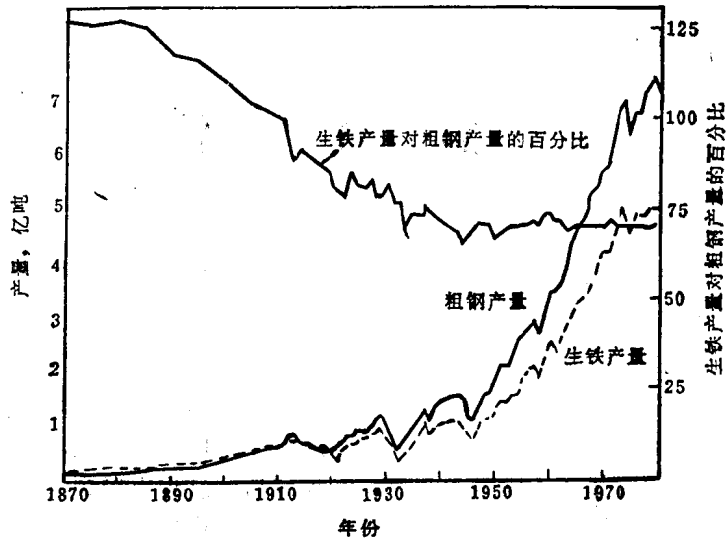


图 3 世界生铁和粗钢年产量的发展情况

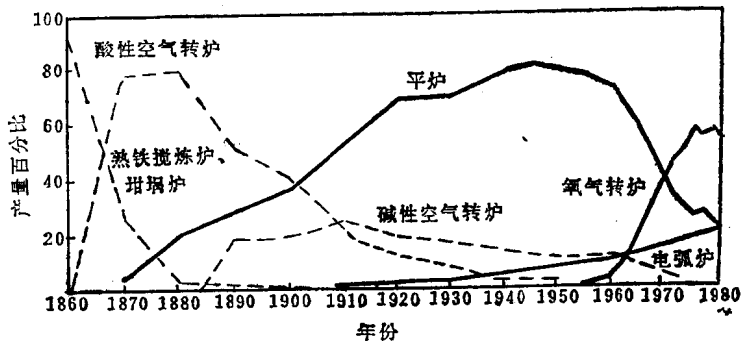


图 4 各种炼钢方法在世界钢产量中所占的比重

第一篇 炼 铁

所谓炼铁，就是通过冶炼铁矿石，从中得到金属铁的过程。高炉炼铁是现代炼铁的主要方法。由于高炉炼铁技术经济指标好，工艺简单，产量大，效率高，能耗低，这种方法生产的铁占世界铁总产量的 95% 以上。高炉大小以其有效容积表示，我国有十几 m^3 的小高炉，也有几千 m^3 的大高炉，最大的是宝钢 1 号高炉 ($4063m^3$)。世界最大高炉达 $5000m^3$ 以上。高炉炼铁生产流程比较定型，它由高炉本体及若干辅助系统组成。生产时从炉顶分批装入各种炉料，从高炉下部风口不断鼓入热风，在连续熔炼过程中得到的液态渣铁定期从炉缸渣铁口排出炉外，与炉料进行一系列作用后的煤气从炉顶逸出。

高炉冶炼的主要产品是生铁，它是由铁 (94% 左右)、碳 (4% 左右) 和少量杂质 (Si、Mn、P、S) 组成。按用途可分为炼钢生铁、铸造生铁和铁合金。它们分别占生铁总产量的 90~80%，15~10% 和 5% 左右。我国现行炼钢生铁和铸造生铁的规格列于表 1、2 中。

表 1 炼 钢 用 生 铁 的 规 格

铁 号	牌 号	炼 04	炼 08	炼 10	
	代 号	L 04	L 08	L10	
	硅	≤ 0.45	$> 0.45 \sim 0.85$	$> 0.85 \sim 1.25$	
化 学 成 分 (%)	锰	一组	≤ 0.30		
		二组	$> 0.30 \sim 0.50$		
		三组	> 0.50		
	磷	一级	≤ 0.15		
		二级	$> 0.15 \sim 0.25$		
		三级	$> 0.25 \sim 0.40$		
		特类	≤ 0.02		
	硫	一类	$> 0.02 \sim 0.03$		
		二类	$> 0.03 \sim 0.05$		
三类		$> 0.05 \sim 0.07$			

表 2

铸 造 用 生 铁 的 规 格

编 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 (%)	碳				>3.3			
	硅	>3.20~3.60	>2.80~3.20	>2.40~2.80	>2.00~2.40	>1.60~2.00	1.25~1.60	
	锰	1 组				≤0.50		
		2 组				>0.50~0.90		
		3 组				>0.90~1.30		
	磷	1 级				≤0.06		
		2 级				>0.06~0.10		
		3 级				>0.10~0.20		
		4 级				>0.20~0.40		
		5 级				>0.40~0.90		
硫	1 类				≤0.03	≤0.04		
	2 类				≤0.04	≤0.05		
	3 类				≤0.05	≤0.06		

铁矿石中的杂质成分，焦炭中灰分及熔剂在冶炼过程形成炉渣，其成分与水泥相近。熔渣在炉前用水急冷粒化（冲水渣）作为水泥原料，还可用压缩空气吹成纤维状渣绵做绝热材料，渣块还可用作建筑方面的碎石代用料。

燃料在高炉内燃烧产生大量煤气，每吨燃料可产生煤气 3500~4000m³，煤气中的 CO 占 20~25%，H₂ 占 1~3%，发热值达 2900~3800kJ/m³（相当于天然气发热值的 1/10）。高炉煤气的 1/3 用于热风炉的燃烧，其余的送到烧结、炼焦、炼钢、动力等部门，所以高炉煤气是钢铁企业的主要燃料之一。

评价高炉生产常用的技术经济指标：

① 高炉有效容积利用系数(η) 即高炉每昼夜的生铁产量(P)与有效容积(V)的比值，

$$\eta = \frac{P}{V} \quad (\text{t/m}^3 \cdot \text{d})$$

它是衡量高炉生产效率的重要指标。目前世界上高炉平均利用系数在 1.7~2.0 之间，我国高炉的平均水平略低于世界平均水平。

② 焦比(K) 即昼夜消耗的焦炭量(Q)与产量的比值，

$$K = \frac{Q}{P} \quad (\text{kg 焦炭/t 铁})$$

焦比也就是每炼一吨铁消耗的焦炭量(t 或 kg)，习惯常用 kg 表示。当从风口喷入煤粉、重油、天然气等燃料后，冶炼一吨生铁消耗的各种燃料总量(包括焦炭)称燃料比。如把喷吹的燃料折合成相应的焦炭(按燃料的置换比)与实际消耗的焦炭量之和称为综合焦比。日本的焦比在世界上是最低的，平均 410~430 kg，我国高炉焦比一般在 400~600 kg，居世界中等水平。

③ 冶炼强度(I) 每昼夜高炉燃烧的焦炭量与高炉容积的比值，

$$I = \frac{Q}{V} \text{ (t焦/m}^3 \cdot \text{d)}$$

在喷吹条件下，考虑了喷吹燃料后的冶炼强度称综合冶炼强度。冶炼强度是高炉强化程度的指标之一。目前国内外的冶炼强度一般均在 1.0 左右。

冶炼强度、焦比、利用系数之间的关系为 $\eta = I/K$ 。对一定容积的高炉，产量与冶炼强度成正比，与焦比成反比，所以提高冶炼强度，降低焦比是提高产量的两个基本方面。

④ 生铁合格率 化学成分（主要是 Si、S）符合国家标准生铁占总产量的百分比，它是评价高炉优质生产的重要指标。

⑤ 休风率 高炉休风时间占全年日历生产时间的百分比。降低休风率是高炉增产的重要途径，高炉休风率一般应低于 2%。

⑥ 高炉一代寿命（炉龄） 即高炉从点火开始到停炉大修为止的时间。炉龄长，则产铁多，经济效益高，一般大高炉的一代寿命为 10 年左右，我国武钢 1 号高炉长达 20 年。

第一章 高炉冶炼用原料及其准备处理

高炉冶炼用的主要原料是铁矿石（天然矿、人造富矿）、熔剂、燃料。冶炼一吨生铁需要 1.5~2.0t 矿石，0.4~0.6t 焦炭，0.2~0.4t 熔剂。高炉是连续性生产，要求原料供应充足稳定。为确保高炉冶炼顺利，且获得良好的技术经济指标，要求提供高质量的原料——精料，这是高炉技术操作方针的基本内容之一，是实现高产优质低耗的物质基础，所以对不宜直接入炉的矿石要进行一系列准备处理。

第一节 铁矿石及锰矿石

1. 铁矿石的种类及其储藏情况

矿石是多种矿物的集合体，在目前的技术经济条件下能以工业规模从中提炼出有用金属、金属化合物及有用矿物。矿石中除了含能提取金属的有用矿物外，还有相当数量的杂质，它们统称其为脉石。铁矿石中常见的脉石为石英、硅酸盐、铝硅酸盐、硫酸盐等。

铁矿石种类较多，主要有磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿等，它们的组成及特性见表 1-1。

表 1-1 矿石的组成及特性

矿石名称	主要成分的化学式	密度 t/m ³	理论含铁量 %	实际含铁量 %	工业品位 %	冶炼特性
磁铁矿	Fe ₃ O ₄	5.2	72.4	45~70	20~25	P、S 高、坚硬致密难还原
赤铁矿	Fe ₂ O ₃	5.0~5.3	70.0	55~60	30	P、S 低、质软、易碎易还原
褐铁矿	nFe ₂ O ₃ ·mH ₂ O	2.5~5.0	55~60	37~55	30	P 高疏松易还原
菱铁矿	FeCO ₃	3.8	48.2	30~40	25	P、S 少、焙烧后易还原

磁铁矿呈黑色金属光泽，磁性强，易磁选，还原性差，一般不宜直接入炉冶炼。这种矿石与 TiO_2 、 V_2O_5 共生时，称为钒钛磁铁矿。磁铁矿是我国的主要矿种，产于鞍山、本溪、冀东等地。此外还有西南地区的钒钛磁铁矿。

赤铁矿又称红矿，颜色樱红，无磁性，就世界范围而言，它的储量最多（占总储量的 48.3%）。我国鞍山、宣化等地有一定储量。

褐铁矿的主要成分是含有结晶水的铁氧化物，颜色为浅褐色、深褐色或黑色。因褐铁矿加热易分解粉化，所以多是先将其制成烧结矿、球团矿再入炉冶炼。我国山西平定、广东云浮等地有部分褐铁矿藏。

菱铁矿主要是含铁的碳酸盐，焙烧后分解出 CO_2 ，矿石含铁量就得到提高，所以菱铁矿是很容易富集的。我国四川威远、湖南新乡等地储有少量的这种矿石。

我国铁矿资源丰富，已探明的铁矿石储量有 443 亿吨。其中工业储量占 54%，远景储量 1000 亿吨，是世界上铁矿石储量丰富的国家之一。矿藏分布既广又集中，已探明的铁矿产地有 1800 余处。主要集中于 16 个地区，约占全国储量的 70%，其中鞍山、本溪、冀东、攀枝花是我国的三大矿区，此外还有包头、宁芜、大冶等地。

我国铁矿资源有两大特点：一是贫矿多，约占储量的 80%，平均含铁 34%（含铁量在 50% 以上可以直接入炉的富矿仅占 5.7%），所以必须发展选矿、造块工艺。二是复合矿多，含多种金属的复合矿约占 100 多亿吨，如包钢所用的白云鄂博铁矿中伴生的稀土元素比世界各国储量的总和还多，攀枝花铁矿中的钒也占世界首位，其它矿中还有铜、铀、银等。所以在充分利用铁矿资源的同时，应尽可能回收各种有益元素，这对提高企业的经济效益，综合利用资源十分重要。

2. 锰 矿 石

锰是脆性物质，不能单独作结构材料，但它是钢中重要的合金元素，能增加钢的强度和耐蚀性。锰还可作为炼钢的脱氧剂和脱硫剂。世界上锰矿开采总量的 90% 以上都用于钢铁工业。当要求高炉生产含锰 1~2.5% 的生铁时，往往要使用锰矿，当冶炼含锰 10~20% 的镜铁、硅铁和含锰 80% 的锰铁时，锰矿石便成为高炉的主要原料。锰矿的种类很多，常见的是软锰矿 (MnO_2) 和褐锰矿 (Mn_2O_3)。一般锰矿石含锰达 30% 就属富锰矿。我国有丰富的锰矿资源，现已探明的储量仅次于苏联，产地集中在广西、湖南。

锰的氧化物在高炉内约有 80% 被还原，其余进入炉渣和煤气，所以要求锰矿石含锰量要高，特别是冶炼高锰铁时要求锰矿中 Mn/Fe 比要高。此外 S、P 要低。只有锰铁中 S、P 低，作为合金剂或脱氧剂加入钢中时才不致影响钢的质量。锰矿石的强度差，致使炉尘吹出量多，影响锰的回收率，所以应对锰矿石进行烧结，得到高碱度烧结矿后再入炉冶炼较为有利。

3. 其它含铁物料

钢铁及其它工业部门常有很多含铁废料，对它们的利用不仅有利于扩大资源，又可降低生铁成本，改善环境，这些含铁物料是：

高炉炉尘。随原料条件不同，冶炼每吨生铁的炉尘量可达 30~80 kg。炉尘含铁 40%

左右, 含碳 10%, 可用于烧结, 代替部分矿粉和燃料。

转炉炉尘。含铁 60~70%, 粒度细, 可用作烧结和球团的原料。

轧钢皮。即轧钢过程中钢锭或钢材表面剥落的氧化铁皮, 含铁量高, 可用其作烧结料, 也可直接用作高炉的金属化炉料。

硫酸渣, 即化工厂焙烧黄铁矿(FeS_2)制酸后的残渣。一般含铁 45~55% 及少量有色金属。

我国常用矿石和含铁物料的化学成分见表 1-2。

表 1-2 一些矿石和含铁物料的化学成分

产地	化 学 成 分 (%)										
	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	其 它	
弓长岭 (赤)	44.00	6.90	34.33	1.31	0.28	1.15	0.15	0.007	0.020		
弓长岭 (赤贫)	28.00	3.96	55.24	1.53	0.22	0.73	0.35	0.013	0.037		
南芬 (贫)	33.63	11.90	46.36	1.425	0.576	1.539	Mn 0.881	0.073	0.056		
歪头山 (贫)	31.49	15.17	48.04				Mn 0.032	0.029	0.052		
邯 郸	42.59	16.30	19.03	0.47	9.58	5.55	0.11	0.208	0.048		
矿山树 (赤)	54.50	10.80	11.82	1.68	3.09	0.86	0.313	0.98	0.34		
迁 安 (大石河)	32.73	10.27	47.54	0.19	0.36	2.07	Mn 0.14	0.027	0.048		
武钢铁山	54.38	13.90	10.30	2.43	3.66	1.51	0.178	0.325	0.096		
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	59.35	19.88	2.50	0.71	1.99	0.93	0.0323	4.452	0.399	CuO, Zn 烧损 0.038 0.041 6.31	
攀枝花 (VTi 磁铁矿)	47.14	30.66	5.00	4.98	1.77	5.49	0.56	0.750	0.009	TiO ₂ , V ₂ O ₅ , Co 15.46 0.43 0.024	
包 头 (赤)	52.30	5.55	4.81	0.72	8.78	0.99	0.79	SO ₃ 0.213	P ₂ O ₅ 0.935	F, Te ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O 5.87 2.73, 0.0, 0.25	
澳大利亚	69.02	1.70			0.06	1.70					
高炉 炉 尘	鞍 钢	41.50	10.10	12.26	1.25	11.27	1.70	0.19	0.21	0.013	烧损 12.60
	本 钢	41.00	13.20	14.36	1.49	10.70	2.11				9.86
轧 钢 皮	鞍 钢	71.31	63.8	2.18		0.68	0.0311		0.031	0.04	12.30
	武 钢	63.00		7.25					0.25		
	本 钢	56.56	7.24	9.15	1.35	2.11	0.52		2.11		
硫酸 渣	大 连	50.7~	1.98~	11.76	0.56~	2.10~	1.18~		1.37~		
		51.94	4.24	~18.5	1.35	3.07	1.96		1.86		

第二节 熔 剂

1. 熔剂的作用

矿石中的脉石、焦炭中的灰分在高炉冶炼过程中都将进入熔渣, 而其氧化物的熔点都很高 (SiO_2 1625℃, Al_2O_3 2050℃), 为使它们形成低熔点物质, 必需加入一定量熔剂 (CaO , MgO), 如比例合适, 则它们混合后的熔化温度可降到 1300℃ 以下, 在高炉冶炼条件下不仅能完全熔化, 而且具有良好的流动性, 从而使渣铁容易分离。此外 CaO 还具有脱硫能力, 能改善生铁质量和控制生铁含硅量。

熔剂按其性质分为碱性和酸性两种。由于矿中的脉石绝大多数是酸性的 (SiO_2 , Al_2O_3), 所以普遍使用的是碱性熔剂, 主要有石灰石 (CaCO_3)、白云石 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) 或它们的加工产物 CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

2. 对熔剂的质量要求

要求碱性氧化物含量高, 酸性氧化物含量低。评价熔剂常以有效熔剂性表示, 即根据碱度 (CaO/SiO_2) 要求, 扣除中和本身酸性氧化物所消耗的碱性成分, $\text{CaO}_{\text{有效}} = \text{CaO}_{\text{熔剂}} - \text{SiO}_2 \cdot R_{\text{碱度}}$ 。通常要求熔剂中的酸性氧化物不大于 3.5%。

有害杂质, 特别是 S、P 要少。

对直接入炉的熔剂要求强度好、粒度均匀。目前高炉大多使用熔剂性、自熔性人造富矿 (在造块时已加入熔剂), 高炉直接加入熔剂只是作为临时调剂措施。

第三节 焦 炭

焦炭是高炉的基本燃料, 它是焦煤在焦炉内干馏得到的一种多孔碳质固体。虽然有的部门也使用焦炭, 但世界产焦量的 90% 都用于高炉炼铁。

1. 焦炭在高炉中的作用

作为发热剂提供热量。高炉冶炼过程消耗大量热能, 其中 70~80% 来自焦炭的燃烧。为铁、硅、锰等氧化物提供还原剂 (C , CO)。

作为高炉料柱骨架。高炉内焦炭占整个料柱体积的 $1/3 \sim 1/2$, 特别在高炉下部, 矿石软熔滴落, 唯独焦炭保持固体状态, 这对料柱的透气性、透液性影响很大。

随炉容的扩大, 生产能力的提高, 焦炭的作用引起了广大研究者的极大兴趣。

2. 对焦炭的质量要求

含碳量要高。这意味着发热值高、还原剂多。焦炭灰分多, 则含碳量少, 强度差, 而且灰分主要是酸性氧化物, 将增加熔剂的消耗。实践表明灰分每降低 1%, 则焦比降低 2%, 产量提高 3%。为了减少原煤中的灰分, 主要靠洗煤去除次生灰分 (煤炭在沉积炭化过程混入的砂土)。我国焦炭灰分含量为 11~15%, 国外大高炉要求焦炭灰分小于 10%。

含硫等有害杂质要少。高炉中的硫 70~80% 来自焦炭, 因此降低焦炭含硫量对降低生铁含硫量的意义很大。洗煤和炼焦过程只能去除部分硫 (70~80% 留在焦炭中), 所以合理配煤也是控制焦炭含硫的主要途径。我国焦炭含硫 0.5~1.0%, 国外大高炉要求焦炭含硫低于 0.5%。

焦炭水分要稳定。炉料中的水分对高炉冶炼虽无多大影响, 但入炉焦炭是以重量计量的, 焦炭水分波动会使入炉焦炭计量产生误差, 从而影响到炉温的波动。焦炭中的水分主要是熄焦过程中带来的。为保证入炉干焦量的稳定, 要及时测定焦炭的含水量, 采用干熄焦则是更为理想的措施。干熄焦不仅消除了焦炭中的水分, 而且还可充分利用熄焦过程的能量。

强度好、粒度均匀、粉末少。焦炭强度是指它的耐磨性和抗压抗冲击性能。强度差的焦

炭在炉内易粉化，恶化料柱透气性，引起炉况不顺、炉缸堆积、风口烧坏等事故。

近年来国际通用的焦炭强度测定装置是米库姆转鼓 (Micum)。它的直径和宽度都是 1 m，内壁每 90° 焊一块高 100 mm 角钢作为挡板。试验时取块度大于 60 mm 的焦炭 50 kg 装入鼓内，以 25r/min 的速度旋转。4min 后取出鼓内焦炭，过 40mm 和 10 mm 的筛子。大于 40mm 的焦炭与焦炭总量比，表示焦炭的强度指标，以 M_{40} 表示；小于 10mm 的焦炭与总量比，表示焦炭的抗磨性，以 M_{10} 表示。焦炭的 M_{40} 值越高、 M_{10} 值越低，则焦炭的强度越好。由于焦炭在高炉内强度有很大变化，因此焦炭的高温强度更有实际意义、更受人们的重视。

焦炭的粒度与焦煤的结焦特性、水分、焦炉结构、操作制度及装卸运转等因素有关。一般认为大、中型高炉分别使用粒度为 40~60、25~40mm 的焦炭为宜。所以对大块焦要破碎，小粒度焦炭及粉末应去除。

3. 炼焦生产

(1) 炼焦用煤 一般是指在隔绝空气条件下加热能软化形成胶质体并结为焦炭的烟煤。要求焦煤的灰分低，并且在干馏时具有强粘结性，能形成坚实的焦炭。

煤按变质年代分为泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤四种，其中烟煤根据地质年代的长短和变质程度的高低又分为长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤及贫煤，而炼焦用煤主要是焦煤肥煤配以气煤和瘦煤。焦煤中挥发分和胶质体适宜，则单独炼焦时块度大，强度高；配煤中的焦煤是提高焦炭强度的主要因素。但焦煤储量少，不宜多用。肥煤的胶质体多，因此结焦时粘结性强，它是配煤中的基础煤。配入气煤主要是增加结焦时的收缩度，有利于推焦，配入瘦煤则可提高焦炭块度。

(2) 炼焦工艺流程 炼焦工艺主要分为原料准备、结焦过程、产品处理三大部分（见图 1-1）。

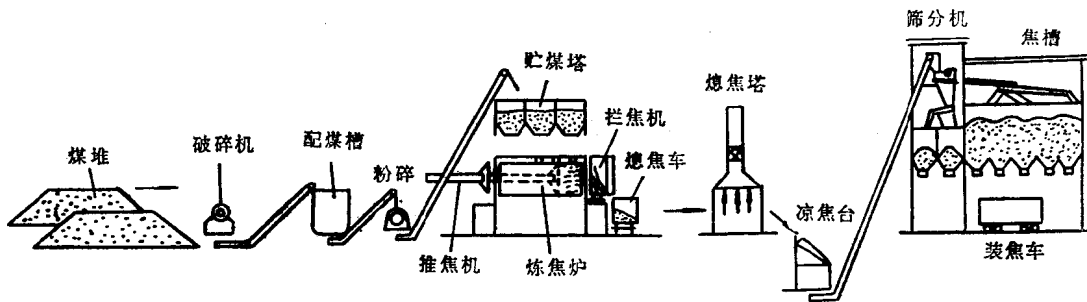


图 1-1 炼焦车间工艺流程示意图

炼焦煤料的制备，简称备煤，是将水洗后的精煤（或低灰分原煤）制备成配比正确、粒度适当、质量均一、符合炼焦要求的煤料。一般包括：卸煤、贮存和混匀、配煤、粉碎和混合，并将制备好的煤料送到焦炉贮煤塔。

焦炉形式较多，通常，其下部是蓄热室，上部是交替排列的炭化室和燃烧室。炭化室高 6~7.5m，宽 0.4~0.45m，长 15~17m，每个炭化室的有效容积为 50m³ 左右。焦炉寿