

中国金属学会

冶金科普丛书

● 主编 由文泉 副主编 赵民革

实用高炉炼铁技术

SHIYONG GAOLU LIANTIE JISHU



冶金工业出版社

中国金属学会 冶金科普丛书

实用高炉炼铁技术

主 编 由文泉

副主编 赵民革

北 京

冶金工业出版社

2002

内 容 简 介

本书为中国金属学会组织编写的冶金科普丛书之一。全书共分 11 章, 主要内容包括: 炼铁原、燃料, 高炉工艺主要系统的设备、操作、事故处理, 炼铁烟气治理, 小高炉及特殊矿冶炼等。书后附录给出了常用计算公式、炉渣碱度校核、高炉炼铁有关技术标准、高炉用主要燃料参考发热值、影响燃耗和产量的因素与数值等。

本书突出操作实践和实例, 尽可能将近年来的实践经验和技术进步写入书中, 因此本书是一本炼铁生产实用参考书, 可供炼铁工人和技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用高炉炼铁技术/由文泉主编. —北京: 冶金工业出版社, 2002. 6

(冶金科普丛书)

ISBN 7-5024-3041-5

I. 实… II. 由… III. 高炉炼铁—普及读物 IV. TF579

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 034436 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 李培禄 王雪涛 刘小峰 美术编辑 李 心

责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

北京鑫正大印刷有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2002 年 6 月第 1 版, 2002 年 6 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 14.875 印张; 397 千字; 460 页; 1-6000 册

29.00 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)

《实用高炉炼铁技术》

编辑委员会

主 编 由文泉

副主编 赵民革

编 委 张福明 王颖生 钱人毅 李真才
邬虎林 苏允隆 单洵华

编写人员 (按姓氏笔画排序)

刁日升	王义东	王佐泉	王 杰
王效东	王敬怡	韦振强	孙 国
刘艳波	李小静	李玉铎	李伟广
李国伟	李树春	李 嘉	何 群
杨民春	杨宝山	金 俊	张 建
张继成	张景忠	周宝界	饶家庭
唐振炎	耿 涤	梁晓乾	温士堪
彭月芬	韩向东	蒋定中	魏松民

序

我国是世界上最早掌握炼铁技术的国家之一,其历史可以追溯到公元前5世纪。但是19世纪中叶以来,由于众所周知的原因,在很长一个历史时期内,我国炼铁技术处在被动落后的状态。1949年新中国成立后,中国炼铁工业经过50多年的发展,面貌焕然一新,取得了重大进步。自1994年以来我国生铁产量一直位居世界第一,2001年,全国铁产量达到1.5亿t,部分高炉的技术经济指标达到、接近世界领先或世界先进水平,这是新中国几代炼铁工作者脚踏实地、努力奋斗的结果。

为了总结近几年来高炉炼铁科技成果,特别是高炉生产技术进步的经验,中国金属学会组织力量,编写了本教材,希望能为提高炼铁工作者技术水平、为开展技术培训及继续教育提供帮助。同时希望广大炼铁工作者继续坚持创新,不断吸取新知识,学习新技术,总结新经验,为我国钢铁工业的发展做出更大的贡献。

中国金属学会理事长
2002年5月



前 言

为了进一步推动我国炼铁技术的发展,在中国金属学会的组织下,由首钢及攀钢、包钢、马钢的有关人员编写了这本书,供高炉炼铁培训班及从事高炉炼铁生产的工程技术人员、管理人员及工人参考。

本书依据炼铁技术的基本原理,在总结我国不同炼铁厂生产实践经验的基础上,对高炉炼铁工艺的操作进行了阐述,对主要设备和工艺做了介绍,并尽可能地将一些近年来的科技进步成果写入书中。为了突出实用性还列举了一些实例供读者参考。

本书共分 11 章,主要包括:炼铁原、燃料,高炉工艺主要系统的设备、操作、事故处理,小高炉及特殊矿冶炼,烟尘治理等。考虑到实际操作中的需要,在附录中列举了一些常用公式和数据。由于编者水平和知识面有限,实践经验不足,书中如有错误、疏漏之处,恳请读者批评指正。

本书在编写过程中选用了有关专著和论文的资料及数据,在此表示感谢。另外本书得到了中国金属学会、首钢(集团)总公司、马鞍山钢铁股份有限公司、包头钢铁(集团)公司及攀枝花钢铁(集团)公司多位领导和专家的指导和支持,在此一并表示感谢。

编 者
2002 年 4 月

目 录

1 炼铁原、燃料	1
1.1 高炉原料.....	1
1.1.1 铁矿石质量评价.....	1
1.1.2 铁矿石质量检验.....	5
1.1.3 烧结矿.....	10
1.1.4 球团矿.....	14
1.1.5 天然块矿.....	17
1.1.6 熔剂.....	18
1.1.7 辅助原料.....	19
1.2 高炉炉料结构和精料.....	20
1.2.1 炉料结构与精料的关系.....	20
1.2.2 精料目标.....	20
1.2.3 高炉炉料结构现状.....	21
1.2.4 我国高炉炉料结构.....	22
1.2.5 生产高炉炉料结构.....	24
1.3 高炉燃料.....	29
1.3.1 焦炭质量评价.....	29
1.3.2 焦炭质量检验.....	31
1.3.3 焦炭质量现状.....	33
1.3.4 高炉高喷煤比操作对焦炭质量的要求.....	35
参考文献	36
2 高炉炉体结构及长寿.....	37
2.1、高炉炉型及各部位砖衬结构.....	37
2.1.1 高炉内型.....	37
2.1.2 高炉炉体砖衬结构及长寿.....	43

2.2	炉体冷却壁	53
2.2.1	炉底冷却器	53
2.2.2	炉缸冷却器	53
2.2.3	炉腹以上区域的冷却器	54
2.2.4	高炉铜冷却壁	59
2.3	炉体冷却介质及操作管理	62
2.3.1	工业水冷却	63
2.3.2	软水(纯水)密闭循环系统	65
2.3.3	汽化冷却	74
2.4	炉体喷涂技术及灌浆造衬技术	76
2.5	炉缸的维护	78
2.5.1	强化冷却	78
2.5.2	用热流强度监视炉缸状况	79
2.5.3	炉底维护	80
2.6	搞好高炉顺稳,保持合理的炉体热负荷	81
2.7	长寿高炉实例	83
2.7.1	日本川崎公司千叶厂6号高炉	83
2.7.2	上海宝钢1号高炉	83
2.7.3	首钢4号高炉	87
	参考文献	90
3	渣铁系统及操作	92
3.1	出铁操作及设施	92
3.1.1	炉前工作要求及指标	92
3.1.2	铁口结构与设备	94
3.1.3	出铁操作	105
3.1.4	铁口维护及炮泥	106
3.1.5	铁口失常及事故处理	110
3.1.6	铁沟、摆动沟嘴、撇渣器设施及操作、 事故处理	112
3.2	高炉放渣操作及设施	123

3.2.1	炼铁生产对放上渣的要求	123
3.2.2	渣口设施	124
3.2.3	上渣操作及渣口维护	127
3.2.4	上渣事故及处理	128
3.2.5	渣处理系统	130
3.3	特殊炉况情况下炉前操作	138
3.3.1	大修开炉的炉前操作	138
3.3.2	大修停炉的炉前操作	140
3.3.3	长期停、复风的炉前操作	143
	参考文献	146
4	热风炉系统及操作	147
4.1	热风炉结构、耐火材料及设备	147
4.1.1	热风炉的几种主要类型	147
4.1.2	主要耐火材料性能及其选择	153
4.1.3	热风炉主要阀门结构形式	164
4.1.4	燃烧系统设备	170
4.2	热风炉的燃料及其计算	175
4.2.1	热风炉燃烧煤气的种类及成分	175
4.2.2	煤气发热值与燃烧的有关计算	178
4.3	热风炉的操作	184
4.3.1	操作方式	184
4.3.2	送风方式和燃烧制度	185
4.3.3	热风炉操作	187
4.3.4	设备动火检修时注意必要的安全条件	196
4.4	预热助燃空气和煤气技术	198
4.4.1	预热助燃空气和煤气	198
4.4.2	预热器的形式	199
4.5	热风炉的事故及处理	207
	参考文献	211

5	上料系统及装料设备	212
5.1	上料系统	212
5.1.1	上料系统	213
5.1.2	皮带供料方式	214
5.1.3	料车供料方式	217
5.1.4	无中继站高炉上料系统新工艺	221
5.2	炉顶装料设备	223
5.2.1	钟式炉顶	223
5.2.2	无料钟炉顶	225
5.3	上料、装料系统故障及处理	230
5.3.1	上料系统故障及处理	230
5.3.2	装料系统故障处理	233
	参考文献	237
6	高炉冶炼与操作	238
6.1	基本操作制度	238
6.1.1	炉缸热制度	238
6.1.2	送风制度	240
6.1.3	装料制度	245
6.1.4	造渣制度	248
6.1.5	基本制度间的关系	249
6.2	炉况监控	250
6.2.1	正常炉况的标志	251
6.2.2	炉况判断及操作	252
6.3	冶炼过程失常及处理	260
6.3.1	低料线	260
6.3.2	管道行程	261
6.3.3	悬料	263
6.3.4	连续塌料	265
6.3.5	炉墙结厚	267
6.3.6	炉缸堆积	269

6.3.7 炉冷	271
6.4 高炉事故的预防和处理	274
6.4.1 炉缸冻结	274
6.4.2 炉体跑火、跑渣	277
6.4.3 炉缸烧穿	279
6.4.4 大灌渣	282
6.4.5 高炉结瘤	284
6.4.6 风口吹管烧出	289
6.4.7 紧急停水	290
6.4.8 紧急停电	294
6.4.9 鼓风机突然停风	295
参考文献	295
7 高炉喷煤	296
7.1 高炉喷吹对煤种的要求	296
7.1.1 煤的化学成分	296
7.1.2 煤的分类	296
7.1.3 煤的发热量	297
7.1.4 煤的物理性能	297
7.1.5 煤的工艺性能	299
7.2 制粉及煤粉输送喷吹系统	302
7.2.1 制粉工艺及设备	302
7.2.2 煤粉的输送与喷吹	314
7.2.3 喷吹烟煤的安全措施	322
7.3 高炉喷吹煤粉冶炼	325
7.3.1 喷煤对高炉冶炼的影响	325
7.3.2 实现大量喷煤的技术措施	328
7.3.3 大量喷煤后的高炉操作	333
参考文献	337
8 开炉、停炉、封炉操作	338
8.1 高炉停炉操作	338

8.1.1	短期休风和复风	338
8.1.2	长期休风和复风	341
8.1.3	大修停炉	350
8.2	大修开炉	351
8.2.1	高炉烘炉	351
8.2.2	开炉准备及开炉料计算	354
8.2.3	开炉操作	361
8.3	封炉	362
8.3.1	封炉焦比的确定	362
8.3.2	做好密封和查漏工作	363
8.3.3	复风操作	364
	参考文献	365
9	小高炉冶炼	366
9.1	冶炼特点	366
9.2	冶炼技术的进步	367
9.2.1	精料水平进一步提高	368
9.2.2	冶炼技术进一步提高	370
9.3	小高炉寿命	371
9.3.1	合理的高炉内型及内衬	371
9.3.2	新型炉体冷却设备	372
	参考文献	374
10	特殊矿冶炼	375
10.1	包头特殊矿高炉冶炼技术	375
10.1.1	概述	375
10.1.2	包钢高炉原燃料技术进步	376
10.1.3	包钢高炉的冶炼规律	382
10.1.4	炉前系统的特点	389
10.1.5	富氧大喷煤的技术进步	391
10.2	钒钛矿的冶炼	395
10.2.1	原料	395

10.2.2	钒钛矿冶炼·····	406
10.2.3	攀钢钒钛矿冶炼的技术进步·····	416
10.2.4	炉体长寿工作·····	420
10.2.5	提高和发展钒钛磁铁矿高炉冶炼技术·····	422
	参考文献·····	423
11	炼铁烟尘治理·····	424
11.1	炼铁生产搞好环保工作的重要性·····	424
11.2	炼铁生产控制大气污染的技术和措施·····	424
11.2.1	开展高炉清洁生产工艺审计工作·····	424
11.2.2	炼铁生产的尘源控制与治理·····	425
11.3	除尘设备的操作与维护·····	430
11.3.1	布袋除尘器设备操作与维护·····	430
11.3.2	电除尘器的操作与维护·····	432
11.3.3	除尘风机操作与维护·····	436
	参考文献·····	439
	附录·····	440

1 炼铁原、燃料

1.1 高炉原料

高炉原料是铁矿石,此外,还包括生产冶炼过程需要的辅助原料和熔剂。

1.1.1 铁矿石质量评价

决定铁矿石质量的主要因素是化学成分、物理性质及其冶金性能。优质铁矿石应具备如下条件:含铁量高,脉石少,有害杂质少,化学成分稳定,粒度合适、均匀,一定的机械强度和良好的高温冶金性能。

1.1.1.1 矿石品位

矿石品位即含铁量,是衡量铁矿石质量的主要指标。矿石有无开采价值,开采后能否直接入炉及其冶炼价值高低,主要取决于含铁量。含铁量(质量分数)的工业开采范围在 23%~70% 之间。

一般地说,品位较高,适合直接入炉冶炼的叫做富矿;由于含铁量较低,不应直接入炉冶炼的叫贫矿。贫矿直接入炉冶炼在经济上、技术上都是不合理的,需经选矿处理,提高品位后,再经烧结或球团工艺制成人造富矿后入炉冶炼。这样不但能合理利用资源,又能改善高炉技术经济指标并取得较好经济效益。

铁矿石直接入炉冶炼的最低品位,没有固定标准,它主要取决于矿石类型和脉石成分。如褐铁矿和菱铁矿的含铁量要求可以降低,因为它们在炉内烧损较大,其结晶水和 CO_2 分解放出后,铁分相应提高。

铁矿石最低开采品位不仅决定于含铁量,还应考虑矿石的自然经济条件,如交通运输、水电供应等;露天或井下开采方式;矿石

储量,可选性和综合利用;市场情况和经济效益等因素。

我国矿石平均品位 33% 左右,低于世界铁矿石平均品位 11%。入选原矿品位一般为 30% ~ 31%,已探明铁矿石储量的 97.5%是需要选矿加工的贫铁矿。我国铁精矿粉品位为 51.6% ~ 68%,平均 62.35%,精矿粉 SiO_2 含量(质量分数)为 8% ~ 10%。

首钢总公司(以下简称首钢)迁安铁矿石品位为 26% 左右,铁精粉品位视矿石可选性变化,保持在 67.1% ~ 68.3% 水平,精矿粉 SiO_2 含量(质量分数)4% ~ 5.5%。

1.1.1.2 脉石成分

铁矿石的脉石成分绝大多数以酸性为主,含量最高、最应重视的是 SiO_2 ,因为铁矿石中 SiO_2 含量的增加,必然需要加入等量以上的 CaO ,引起高炉渣量成双倍以上的增加,所以,要求铁矿石中含 SiO_2 少些。反之,脉石含 CaO 较多的矿石,由于相应减少了外加 CaO 量,具有较高的冶炼价值。至于 MgO 和 Al_2O_3 ,考虑各自对高炉冶炼过程的影响,一般来说,希望 MgO 多些, Al_2O_3 少些。只要不是烧结主要配料,由于含量范围和配比有限,适当注意高低搭配,通常不会给高炉生产造成困难。

我国铁矿石中 SiO_2 含量普遍较高,与主要进口铁矿石差距较大。由于脉石成分的影响,相同品位铁矿石的冶金价值产生差异,有时甚至很大。因此,多年来对成品块矿(包括天然和人造矿)有“扣 CaO 品位”和“不扣 CaO 品位”之分,实质是成品块矿冶金价值的简单体现。

同理,对于铁矿粉,则应引入“理论单烧品位”概念,以简单、直观地体现铁矿粉对烧结矿品位的影响。理论单烧品位用下式计算:

$$\text{铁矿粉理论单烧品位} = \text{铁矿粉含铁品位} \div [100 + (\text{铁矿粉 } \text{SiO}_2 \text{ 含量} \times \text{规定烧结生产碱度} - \text{铁矿粉 } \text{CaO} \text{ 含量})]$$

我国精矿粉平均状况和首钢精矿粉与主要进口矿粉比较结果如表 1-1 所示。

表 1-1 铁矿粉的理论单烧品位(烧结矿碱度 1.6), %

产地	澳大利亚富粉	印度富粉	南非富粉	巴西富粉	我国精粉平均	首钢迁安精粉
矿粉铁含量(质量分数)	63.50	66.00	65.00	67.50	62.50	68.00
矿粉 SiO_2 含量(质量分数)	3.50	1.70	4.20	0.65	9.00	4.00
理论单烧品位	60.13	64.25	60.91	66.81	54.63	63.91

由表可见,烧结矿碱度相同时,由于矿粉 SiO_2 含量影响,低品位矿粉(印度粉)的单烧品位反而超过高品位矿粉(首钢迁安精粉)的单烧品位。等量替代时,烧结矿品位提高, SiO_2 含量降低。

理论单烧品位同矿粉的水分、烧损无关,因为扣除水分和烧损,品位变化的同时,其他成分(包括 CaO 、 SiO_2)也同向、同比变化,不会改变理论单烧品位的判断结论。评价褐铁矿粉时需注意此点。

1.1.1.3 有害杂质和有益元素含量

对高炉冶炼过程而言,矿石中的有害杂质通常是硫、磷、碱金属,个别情况下也有铅、锌、砷。铜有时为害,有时有益。

考虑有害杂质时应注意以下两点:

(1) 根据冶炼规定的允许值,在配料中做到高、低搭配。

(2) 经高炉冶炼过程之后,有害元素各自的残存率大不一样。如矿石中的磷,在选矿和烧结过程中不易除去,入炉以后又 100% 进入铁水。而硫在烧结过程中可去除 80% 以上,高炉冶炼过程可去除原料和燃料中带入硫量的 90% 以上。以首钢为例,1997~1999 年秘鲁粗精粉(硫的质量分数 0.3%)在烧结原料中配比保持在 20% 的水平,但成品烧结矿硫的质量分数依旧是 0.02%~0.03%,铁水硫的质量分数更未因此而升高。

1.1.1.4 粒度和气孔度

铁矿石粒度对高炉冶炼过程影响很大。粒度不均匀或过小

时,高炉内料柱透气性差,煤气上升阻力增大。粒度过大会减小煤气和铁矿石的接触面积,使矿石中心部分不易还原。因此,规定粒度小于5mm矿粉应在入炉前尽可能筛除,其粒度上限则与矿石本身的还原性有关,难还原的磁铁矿粒度不大于40mm,较易还原的赤铁矿及褐铁矿粒度不大于50mm。目前中小高炉铁矿石粒度常常小于25~35mm,对于炼铁指标的改善很有成效。缩小铁矿石粒度的同时还应使粒度均匀,粒度分布范围较大的矿石应分级入炉。

铁矿石气孔度愈大,透气性愈好,愈容易还原。气孔度又分为体积气孔度和面积气孔度,体积气孔度是指矿石孔隙所占体积相当于矿石总体积的百分比。面积气孔度是指单位矿石体积气孔表面积的绝对值。气孔有开口和闭口两种,显然,有利于还原的是开口气孔度,这也是烧结矿还原性能普遍较好的原因。

1.1.1.5 机械强度

铁矿石的强度是指耐冲击、耐摩擦、耐挤压的强弱程度。随着高炉容积不断扩大,入炉铁矿石的强度也要相应提高,铁矿石强度低,转运过程产生大量粉末,使入炉成本上升;入炉后产生大量粉末,既增加炉尘损失,又阻塞煤气通路,降低料柱透气性,使高炉操作困难。天然块矿的强度一般都比较较好,球团矿次之,烧结矿较差。

应该指出,上述强度是常温下的强度,高温下机械强度的检验方法有待于进一步研究。

1.1.1.6 化学成分稳定性

铁矿石化学成分的波动会引起炉内温度场、炉渣碱度和生铁质量的波动,从而影响高炉炉况稳定,使焦炭负荷难以在可能达到的最高水平上保持稳定,不得不以较低焦炭负荷运行,造成焦比升高,产量降低。

为了稳定化学成分,应严格控制炉料成分的波动范围。对于富矿应在矿石破碎筛分后混匀处理;人造富矿要对铁矿粉实施混匀,并准确配料。