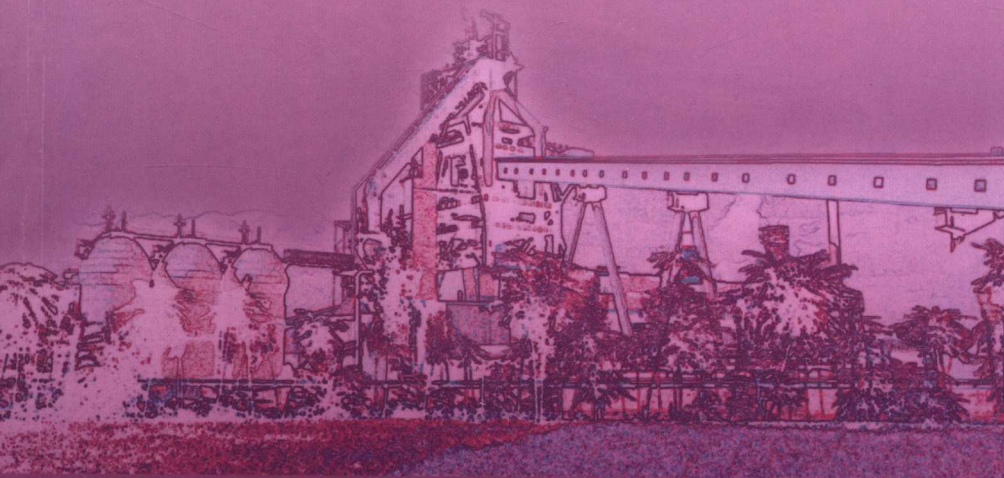


高炉冶炼操作

技术

张殿有 编著



冶金工业出版社

高炉冶炼操作技术

张殿有 编著

北 京
冶金工业出版社
2006

内 容 简 介

本书内容包括:高炉冶炼的基本原理和对原燃料的要求,高炉冶炼的基本制度和操作调节,高炉炼铁的技术进步,高炉休风、送风与开炉、停炉,高炉异常炉况的处理操作,炉前操作与事故处理,热风炉操作与事故处理,煤气除尘与煤气系统安全管理,高炉本体和辅助系统事故处理及预防,高炉的生产组织等。

本书可供高炉冶炼、耐火材料专业的工程技术人员和管理人员阅读,也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高炉冶炼操作技术 / 张殿有编著. —北京:冶金工业出版社, 2006.3

ISBN 7-5024-3908-0

I. 高… II. 张… III. 高炉炼铁 IV. TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 002582 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 章秀珍 美术编辑 李 心

责任校对 王贺兰 李文彦 责任印制 牛晓波

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

2006 年 3 月第 1 版, 2006 年 3 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;10.5 印张;280 千字;323 页; 1—3000 册

30.00 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)



张殿有，高工，1966年毕业于鞍山钢铁学院（现鞍山科技大学）。在鞍钢炼铁总厂工作期间，曾担任工长、炉长、技术改造副厂长和总工程师。

1978年，曾出版《高炉炉前工》一书，曾在《炼铁》、《钢铁》杂志上发表论文10多篇。

1992年，开发的“高炉炉缸炭砖—陶瓷砌体复合结构”于1996年获得辽宁省科技进步奖二等，拥有“高炉炉缸新结构和铁水罐复合砖”等五项专利技术。

序 言

进入 21 世纪以来,我国钢铁工业高速发展,新建或改造大修了一批大、中型高炉,至 2005 年钢铁生产能力已经超过 3 亿 t。我国已经是世界上的钢铁大国。在当前国内外市场竞争更加激烈的情况下,各企业都面临如何进一步降低生产成本的问题。在高炉炼铁生产中,如何改善操作,保持炉况稳定顺行,降低消耗,提高经济效益,是高炉工作者的一项重要任务。为此,我公司聘请在鞍钢炼铁总厂工作 30 多年,在高炉上当过工长、炉长和炼铁厂副厂长、总工程师,有丰富操作经验的张殿有高级工程师为技术顾问,请他编写《高炉冶炼操作技术》一书,借此进一步密切同全国各炼铁厂家的合作关系。

我公司建厂 30 多年,但 1991 年以前以生产自焙炭块为主,真正发展壮大是从 1992 年参加鞍钢 7 号高炉(2580 m³)完善性大修时开始的。鞍钢 7 号高炉 1991 年中修开炉后不久,由于炉缸炭块发生环状断裂和异常侵蚀等情况,被迫提前进行大修。如何解决高炉寿命短的难题,成为当时鞍钢和全国高炉炼铁的技术攻关课题。

鞍钢炼铁厂和鞍钢设计研究院有关人员在全面分析自焙炭块炉缸结构在全国中小高炉应用的情况后,对自焙炭块在大高炉应用的可行性与可靠性进行了深入的探讨。在借鉴了综合炉底成功经验的基础上,张殿有同志提出了紧贴自焙炭块再砌筑一层刚玉莫来石砖,确保大高炉应用自焙炭块的可靠性。在原冶金工业部科技司的

支持下,鞍钢的主要领导又与有关方面的专家进行了充分论证,最后确定7号高炉采用自焙炭块-陶瓷砌体炉缸复合结构。

7号高炉的自焙炭块-陶瓷砌体炉缸复合结构不但取得了达到10年以上寿命的预期效果,还由此获得了铁水温度提高 $18\sim 21^{\circ}\text{C}$,吨铁焦比降低 $6\sim 8\text{ kg}$,渣、铁流动性改善,长时间休风后再送风时出铁顺利的意外收获。7号高炉开炉半年以后,自焙炭块-陶瓷砌体复合炉缸结构便很快在全国 2500 m^3 以下的高炉上推广应用。

鞍钢7号高炉1992年4月25日开炉,2003年9月由于改造停炉,使用寿命11年5个月。在7号高炉的自焙炭块-陶瓷砌体炉缸复合结构的基础上,鞍钢10号高炉(2580 m^3)改造时又进行了改进,将导热性好的焙烧C-SiC砖紧贴冷却壁砌筑(俗称石墨墙),焙烧的模压C-SiC和自焙炭砖之间为捣料层,从而使自焙炭块-陶瓷砌体炉缸复合结构更加完善。10号高炉1995年2月开炉,至2005年12月,已生产铁水2050万t,现在炉缸工作依然正常。

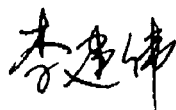
随着炉缸自焙炭块(或炭砖)-陶瓷砌体炉缸复合结构技术在全国的推广应用,我公司也以此为契机,快速发展壮大,现已发展成拥有8个独立经营公司的集团公司,成为生产高炉用炭块量最多的高炉炭块生产基地,并和全国一百多家钢铁企业建立起密切的战略合作关系,与此同时,产品还出口到印度、津巴布韦、西班牙、俄罗斯和乌克兰等十多个国家。

目前,我国高炉的使用寿命虽然可以达15年以上,但炉缸内衬用炭素材料,多数仍从国外引进。我国还是

发展中国家,不能完全依靠进口产品来实现高炉长寿。还应该开发适应我国国情并具有自主知识产权的高炉长寿技术和知名品牌的耐火材料制品。为此,我公司外聘专家和科技人员合作攻关,现在已开发出高导热超微孔炭块和高导热石墨砖等新产品和炉缸复合新结构等五项专利技术,为各企业选择符合本企业实际生产条件的高炉长寿技术和优质炭素制品提供更好的服务。

相信《高炉冶炼操作技术》一书的出版发行会受到高炉生产技术人员欢迎,会促进生产技术的不断提高。

河南省鲁山方圆集团董事长兼总经理



2005年12月

前 言

进入 21 世纪后,国家和地方重点钢铁企业改造和新建了一批 1500 m^3 以上的大型高炉,我国民营企业也新建了一批 $380\sim 1000\text{ m}^3$ 级的高炉,2005 年我国的钢铁产量已经超过 3 亿 t。

大批新建改建高炉投产,很多新人担负起高炉值班操作的重任。由于新工长缺少操作经验,在生产中调剂不准确或操作失误也就在所难免。虽然新工长可以在实践中不断提高,但需要一定积累经验的时间和亲自处理事故的体验。为此,编写了《高炉冶炼操作技术》一书,供广大高炉操作者在生产操作中参考,希望以此能在生产中尽快提高操作水平并减少操作失误,从而使高炉冶炼取得更好的经济技术指标。

编写的重点以介绍炉况判断、操作调剂、生产中易发生事故的处理和预防等为主,也介绍了热风炉、炉前和煤气滤袋除尘的操作和事故处理;同时,还阐述了与炉况判断、操作调剂有关的炼铁基础理论。在理论和实践相结合的基础上,使理论在生产操作中能够更好地充分发挥指导实践的作用。

高炉冶炼是系统工程,影响高炉炉况的因素很多,而且各种影响因素又是在不断变化的,因此,操作中必须在全面分析和综合判断的基础上,才能正确地把握炉况的变化趋势并准确地进行调剂。

由于每个人的经历不同,各企业的原燃料条件差异

又比较大,因此,对同一问题的看法和做法也会有所不同。对于不同的观点和意见,欢迎交流和讨论,以求进一步总结提高。

另外,每座高炉都有不同于其他高炉的操作特点,所以,必须结合本高炉的实际,在具体操作中,还必须具体情况具体分析,根据具体情况灵活运用,而不可以生搬硬套。书中的观点和方法,仅供参考。

编写此书时,以本人在鞍钢的生产实践经验为依据,在借鉴《炼铁工艺技术操作规程》基础上,也参考了《高炉炼铁工艺及计算》等书中的部分内容,在此向有关的编写者表示真诚的谢意。

由于本人的经历和水平有限,再加上时间仓促和某些原因的限制,没有全面的收集更多企业的相关资料并征求专家们的意见,差错在所难免,敬请各位朋友指正。

在此对支持本书编写和出版的领导和朋友,表示衷心的感谢!

编 者
2005 年 12 月

目 录

第一章 高炉冶炼的基本原理和对原燃料的要求	1
第一节 高炉冶炼的基本原理	2
第二节 炉况稳定顺行的标志和条件	13
第三节 合理的炉料结构和精料	17
第二章 高炉冶炼的基本制度和操作调节	36
第一节 送风制度	37
第二节 热制度	42
第三节 造渣制度	43
第四节 装料制度	46
第五节 冷却制度及相关知识	53
第六节 高炉炉况判断和调节	58
第七节 改变铁种	76
第三章 高炉炼铁的技术进步	81
第一节 高压操作	81
第二节 富氧鼓风	86
第三节 高炉喷煤	91
第四节 高炉长寿技术	97
第五节 高炉大型化和强化冶炼	107
第四章 高炉休风、送风与开炉、停炉	109
第一节 高炉休风、送风及煤气处理	109
第二节 高炉开炉	114
第三节 高炉停炉	134

第五章 高炉异常炉况的处理操作	138
第一节 高炉低料线的危害及处理.....	138
第二节 “管道行程”的特征及处理.....	140
第三节 高炉连续崩料的特征及处理.....	143
第四节 高炉悬料.....	146
第五节 边缘煤气流过分发展、中心过重的征兆及处理 ...	151
第六节 边缘负荷过重、中心煤气过分发展的征兆及 处理.....	153
第七节 炉缸堆积.....	155
第八节 高炉大凉及炉缸冻结.....	158
第九节 炉墙结厚和炉墙结瘤.....	165
第十节 上部炉衬脱落.....	169
第十一节 洗炉.....	170
第六章 炉前操作与事故处理	172
第一节 炉前操作任务和指标.....	172
第二节 出铁操作.....	176
第三节 撇渣器.....	197
第四节 水冲渣.....	201
第五节 更换风口装置.....	211
第七章 热风炉操作与事故处理	217
第一节 热风炉的结构和耐火材料.....	217
第二节 热风炉的各种阀门和检测参数.....	226
第三节 热风炉烧炉操作.....	234
第四节 热风炉的送风操作.....	237
第五节 休风过程中的事故与处理.....	244
第六节 特殊情况下休风的煤气处理.....	248

第八章 煤气除尘与煤气系统安全管理	253
第一节 高炉煤气与其他气体燃料.....	253
第二节 煤气袋式除尘.....	256
第三节 煤气的安全管理.....	266
第四节 煤气系统事故.....	272
第五节 严密性试验.....	276
第九章 高炉本体和辅助系统事故处理及预防	277
第一节 风口、风管严重灌渣的处理	277
第二节 风管、风口烧穿事故	280
第三节 高炉炉皮和炉缸、炉底烧穿	282
第四节 突然停风事故.....	287
第五节 高炉水压降低或停水.....	289
第十章 高炉的生产组织	292
第一节 高炉炉长的重点工作.....	292
第二节 高炉工长当班生产组织.....	296
第三节 副工长的作业要求.....	301
第四节 炉前班长的作业组织.....	317
参考文献	323

第一章 高炉冶炼的基本原理和 对原燃料的要求

世界上铁的生产有高炉冶炼、直接还原和熔融还原 3 种方式,但到目前为止,高炉炼铁仍然占主导地位,还没有任何一种方法能够取代高炉。高炉炼铁生产的特点是:效率高(产量高),机械化、自动化程度高,连续作业,可以实现大规模生产。

现代化高炉由高炉本体和辅助系统组成。辅助系统有:送风系统(鼓风机、热风炉与辅助装置),供料(包括烧结生产、球团生产及贮矿场及辅助设备)、上料(包括矿槽、筛分设备、称量设备、卷扬或皮带运输机、返焦和返矿等设备)和布料(无料钟系统或大小钟装置等)系统,渣铁处理系统(包括炉前设施、铁水罐和水冲渣与铸铁机等),冷却系统(包括供水设施和软水闭路循环设备等),喷吹系统(包括煤粉制备和喷吹装置),煤气净化系统(重力除尘与湿法除尘或滤袋除尘装置等)和环保除尘系统等。各辅助系统既独立运行,又相互关联,无论哪一个环节出现故障都将影响高炉的正常生产。

炼铁在钢铁联合企业中处于承上启下的中心地位,炼铁生产的波动必然影响企业的整体生产平衡。高炉休风,既影响上道工序烧结和球团的正常生产,又影响下道工序炼钢的正常生产,与此同时,煤气减少,又影响联合企业的动力平衡。对于单系统(一座高炉,一座转炉,一台烧结机,一台制氧机等)的联合企业,不管哪个环节出现故障停止运行后,上、下工序因衔接不上而导致联合企业的生产失调。

炼铁又是高能耗的产业,炼铁系统的能耗占整个钢铁生产能耗的 65%~70%,占生铁成本的 55%~60%。目前,我国平均入炉焦比与国外先进水平相比,高出约 50~100 kg/t。为了保持钢铁生产的可持续发展,今后还需要进一步降低消耗并加强二次能源的综合利用。

第一节 高炉冶炼的基本原理

高炉是气体、液体和固体三相共存的竖式反应器。高炉冶炼过程实际上就是含铁炉料和燃料在高炉内经过一系列物理化学反应后完成铁的还原和熔化过程。

风口前碳素燃烧时产生的上升高温煤气与下降的固体炉料在逆向运动过程中完成了传热、还原(包括非铁元素的还原)、造渣、熔化和生铁的渗碳与脱硫等物理化学反应。各种反应既相互关联又相互制约,是错综复杂的矛盾运动过程。其中上升气流和下降炉料的逆向运动在很大程度上影响着整个冶炼过程,因此,是炉内复杂矛盾运动的主要矛盾。

上升气流是加热和还原炉料所需能量的唯一来源,煤气流的分布状态是否合理并稳定,不仅影响着炉料的下降和传热,还影响还原、造渣、熔化等化学反应过程,因此,它是主要矛盾的主要方面。

煤气流上升和炉料下降的矛盾运动,可通过合理的送风制度和装料制度来统一。只有在煤气流分布合理,炉料下降均匀顺畅的条件下,炉况才能稳定顺行并确保冶炼过程反应完善,各项经济技术指标良好。

改善原、燃料条件和提高煤气的利用率(提高煤气热能和化学能的利用),可进一步强化冶炼、降低消耗,从而达到降低成本的目的。因此,几十年来炼铁生产的技术进步主要体现在高炉长寿、精料、提高送风温度和提高炉顶装料设备的技术水平上。

在实际生产中,高炉冶炼的外部条件不可能保持固定不变,因此,高炉操作者的任务就是在遵循高炉冶炼基本规律的基础上,根据冶炼条件的变化,及时准确地采取调节措施,使高炉冶炼过程中矛盾的对立始终保持平衡状态,也就是保持炉况的稳定和顺行。

一、高炉内的基本状况

(一) 炉料在高炉内的物理状态

从高炉解剖研究的结果中可以看出,高炉内的炉料基本上是

按装料顺序层状下降的(球团矿有超越现象)。根据入炉原料、燃料在高炉内物理状态的不同,大致可划分为5个区域:

(1) 块状带:入炉料仍然保持装料时初始块状状态的区域称为块状带。

(2) 软熔带:含铁炉料在下降过程中温度逐渐提高,当达到一定温度(900°C 以上)后并在料柱重力作用下,含铁炉料开始软化并逐步呈熔融状态。从开始软化到熔化所占的区域,称为软熔带。

两个软融层之间是焦炭层,多个软融层和焦炭层构成完整的软熔带。软熔带的纵剖面形状取决于装料制度,多呈倒“V”形或“W”形,以利于提高煤气利用率。

软熔带位置较高时,其占据空间高度也较大,焦炭夹层较多,有利于强化冶炼但能耗较高。软熔带位置较低时,其占据的空间高度相对也小,块状带则相应较大,即增大了间接还原区,可以改善煤气利用。

(3) 滴落带:当温度超过 1150°C 时,开始有液态的铁生成,温度进一步提高后,熔化的渣、铁逐渐增多。已熔化的渣、铁液滴穿过焦炭层下落到风口以下的炉缸区域积存,渣、铁液滴落的区域称为滴落带。

在滴落带,由于煤气大量通过,使渣铁液滴在滴落的过程中继续进行还原、渗碳等反应。因此,滴落带是高温物理化学反应的主要区域。

(4) 风口带:风口前燃料燃烧的区域称为风口带。

焦炭在风口带燃烧的同时,被鼓风的高速气流带动形成上、下回转的回旋区,回旋区的大小和鼓风动能有关。风口带是高炉热能和气体还原剂的发源地,也是初始煤气流分布的起点。

(5) 炉缸区:是液态渣、铁的贮存区域,在炉缸区域铁水继续进行脱硫和渗碳等反应。

(二) 高炉各区域的功能

高炉炉内各种物理化学反应过程按其功能大致可分为以下3种:

(1) 相向运动:由于重力关系,固体和液体下降,煤气上升。

(2) 热交换:风口前由焦炭燃烧生成的高温煤气与固体炉料和液态渣、铁在逆向运动过程中进行热交换。

(3) 物理化学反应:碳素的氧化(燃烧),氧化铁的还原,合金元素的还原反应以及固相-液相的相变等。

炉内各区域的功能见图 1-1 和表 1-1。

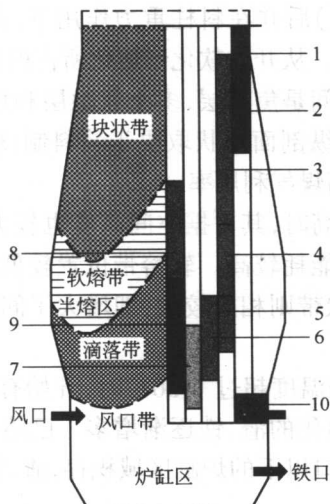


图 1-1 高炉内各区域功能

1—吸附水蒸发;2—结晶水分解;3—矿石间接还原;4—矿石间接还原+气化反应;

5—矿石直接还原;6—合金元素的还原、渗碳;7—脱硫;

8—石灰石分解;9—炉渣形成;10—碳的燃烧

表 1-1 高炉内各区域功能

功能区域	相向运动	热交换	反 应
块状带	固体(焦炭,矿石)在重力作用下下降,煤气在强制鼓风作用下上升	上升煤气对固体料进行预热和干燥	矿石间接还原; 焦炭的气化反应; 碳酸盐分解
软熔带	焦炭层中焦炭块缝隙的大小和多少(透气率)影响气流分布	上升煤气对软化熔融层传热,熔融层的温度提高后逐渐熔化	矿石直接还原和渗碳

续表 1-1

功能区域	相向运动	热交换	反 应
滴落带	固体(焦炭)和液体(铁水、熔渣)的下降;煤气上升,向回旋区供给焦炭	煤气和铁水液滴、熔渣液滴和焦炭进行热交换	合金元素并进入还原、脱硫,铁水液滴渗碳
风口带	鼓风使焦炭回旋运动	燃烧反应生成高温煤气并对风口上方的焦炭及渣、铁液滴传热	鼓风中的氧、焦炭和煤粉等发生燃烧反应
炉缸区	贮存铁水、熔渣,定时从渣口排放熔渣和从铁口出铁	高温煤气、铁水、熔渣及死料柱的焦炭进行热交换	铁水的最终渗碳和脱硫

(三) 炉料在高炉内的分布及粒度变化

(1) 炉料在高炉横截面上的分布。高炉的横截面,在任一水平面上都是圆形的。所以,在圆周方向上炉料的分布可认为基本是均匀的。但在半径方向上,炉料分布取决于装料制度,不可能是均匀的。所以在实际操作中,应使炉料在圆周方向上保持均匀分布,而在半径方向上应保持最适宜的合理分布。这是保证煤气分布合理与热能和化学能得到充分利用,下料均匀、顺畅,炉况稳定顺行的关键之一。

(2) 炉料在高炉内的粒度变化。在熔化滴落前,矿石、焦炭分层明显。由于高炉炉身呈圆台形,炉料下降时层厚逐渐变薄,倾斜度也逐渐趋于平坦。烧结矿在下降过程中,大粒级数量逐渐减少,在炉身中部减至最少,到炉身下部中心温度较高区又有所增加,这是由于小颗粒发生软化粘结所致;焦炭在下降过程中由于磨损作用,粒度逐渐变小。

(四) 煤气流分布与运动过程

煤气在上升运动中经过 3 次分布过程:

(1) 初始分布:首先自风口向上和向中心扩散,煤气流的流向线与回旋区大小有关。

(2) 第一次分布变化:煤气通过滴落带后在软熔带焦炭夹层中作横向运动,而后曲折向上通过块状带。煤气通过软熔带的运