

张殿有 编著

高炉冶炼 操作技术

(第2版)



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

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、操作调节与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,高炉异常事故处理及预防,高炉的生产组织等。本书在第1版的基础上进行了修改和补充,增加了高炉炉内的反应模型、生铁中各种元素进入量的控制和大高炉对原燃料的质量要求,以及软水闭路循环的相关知识,高压操作时高炉煤气的利用途径、高炉喷煤的意义等内容,修订后的高炉冶炼操作技术内容更加全面,更加实用。

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的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高炉冶炼操作技术/张殿有编著. —2版. —北京:冶金工业出版社,2010.10

ISBN 978-7-5024-5366-4

I. ①高… II. ①张… III. ①高炉炼铁 IV. ①TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 181039 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 yjpbs@cnmip.com.cn

责任编辑 王 楠 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 侯 珺 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5366-4

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

2006 年 3 月第 1 版;2010 年 10 月第 2 版,2010 年 10 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;13.25 印张;352 千字;398 页

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第 2 版 前 言

《高炉冶炼操作技术》自 2006 年 3 月出版后,受到广大读者的欢迎,虽然已经重印,仍然供不应求。应冶金工业出版社的要求和读者的希望,作者对《高炉冶炼操作技术》第 1 版中多数章节的内容进行了修改和补充。

根据我国多数钢铁企业中高炉操作人员新生力量多、从事高炉冶炼的实际操作经验相对较少,管理人员要求一专多能的特点,在原来的基础上增加了以下内容:

第 1 章中补充了高炉的反应模型、高炉内热交换,还原反应,生铁中各种元素进入量的控制和大高炉对原燃料的质量要求。

第 2 章中补充了鼓风动能简易计算,冷却水和软水闭路循环的相关知识,球墨铸铁冷却壁的技术标准和能量利用指标等相关知识。

第 3 章中补充了高压操作时高炉煤气余压利用的相关内容,在高炉长寿技术中补充了炉衬和冷却设备破损的原因分析及延长炉体寿命的措施等;把高风温单独作为一节,补充了我国目前的风温水平,高风温对高炉冶炼的影响,获取高风温的措施及应用高炉智能监测分析控制系统等内容。

第 4 章中在高炉开炉中补充了投产前高炉辅助系统设备试车和停炉出残铁操作的相关内容。

第 6 章中补充了出铁场的相关知识,铁口泥套的维护操作,停炉时的炉前操作技术,中修和封炉后开炉的炉前操作,铁水罐长寿技术和炉前操作安全等部分内容。

第 8 章中对煤气干法除尘重新进行了编写,增加了高炉短期休风和长期休风时切断煤气的操作程序。

第10章中补充了高炉值班工长正确运用上下部调剂和工长、副工长与炉前班长的标准化作业程序。

本书重点以炉况判断、操作调剂、异常炉况的处理和预防,以及热风炉、炉前和煤气滤袋除尘的操作和事故处理等为主,同时还适当编写了与炉况判断、操作调剂有关的炼铁基础理论。在修改过程中补充了部分理论知识,突出了理论对实践的指导作用。修改以后内容比第1版更加全面,实用性增强,对读者也会更加有益。

在此我再次说明:高炉冶炼是个系统工程,影响高炉炉况的因素很多,而且各种影响因素又在不断地变化,所以,只有在对炉况进行全面分析和综合判断之后,才能正确地把握炉况的变化趋势,并及时准确地进行操作调节。由于操作人员的经验不同,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。在处理异常炉况时,对于不同的观点和意见,可以求大同、存小异,在实践中进一步总结提高。

每座高炉都有不同于其他高炉的特点,所以,必须结合本高炉的实际,在操作中对具体问题具体分析后,再把成熟的生产经验运用到实际操作中,也就是正确理解理论必须结合本高炉的实际条件而灵活运用,这样才能使理论在生产操作中更好地发挥指导作用。

由于本人能力有限,书中的内容仍然不够全面,其中错误也在所难免,欢迎广大读者予以指正。

在此向支持本书再版并为本书提供资料和帮助的同仁,表示衷心的感谢!

张殿有
2010年5月

第 1 版序言

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 亿吨。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 m^3)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2050万吨,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。

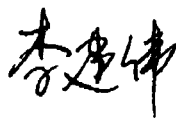
目前,我国高炉的使用寿命虽然可以达15年以上,但炉缸内衬用炭素材料,多数仍从国外引进。我国还是发展中国家,不能完全依靠进口产品来实现高炉长寿。还应该开发适应我国国情并具有自主知识产权的高炉长寿技术和知名品牌的耐火材料制品。为此,我公司外聘专家和科技人员合作攻关,现在已开发出高导热超微孔炭块和高导热石墨砖等新产品和炉缸复合新结构等五项专利技术,为各企业选择符合本企业实际生产条件的高炉长寿技术和优质炭素制品提供更好的服务。

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(鲁山)方圆炭素集团

董事长

2005年12月



第 1 版 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 亿吨。

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

1 高炉冶炼的基本原理和对原燃料的要求	1
1.1 高炉冶炼的基本原理	2
1.1.1 高炉内的基本状况	3
1.1.2 高炉内的还原反应	7
1.1.3 炉料在高炉中的性状变化及造渣	10
1.1.4 生铁的渗碳	14
1.1.5 生铁中各种元素进入量的控制	15
1.2 炉况稳定顺行的标志和条件	18
1.2.1 炉况稳定顺行的主要标志	19
1.2.2 炉况稳定顺行的基本条件	19
1.3 精料与合理的炉料结构	22
1.3.1 炉料结构	22
1.3.2 精料	23
1.3.3 烧结矿及质量要求	28
1.3.4 球团矿及质量要求	31
1.3.5 焦炭及质量要求	33
1.3.6 辅助原料	38
1.3.7 大高炉对原燃料质量的要求	40
2 高炉冶炼的基本制度和操作调节	43
2.1 送风制度	44
2.1.1 鼓风动能	44
2.1.2 理论燃烧温度	46
2.1.3 风口布局	48
2.1.4 保持适宜的压差	48

2.1.5 调节送风制度应遵循的原则	49
2.2 热制度	50
2.2.1 热制度的选择	50
2.2.2 合理热制度的确定	51
2.2.3 非正常炉况下的热制度	51
2.3 造渣制度	52
2.3.1 造渣过程对高炉冶炼的影响	52
2.3.2 高炉冶炼对炉渣性能的要求	53
2.3.3 确定炉渣碱度的原则	54
2.3.4 炉渣碱度调节	54
2.3.5 配料要求	54
2.4 装料制度	55
2.4.1 装入顺序和装入方法	56
2.4.2 无料钟布料特征	57
2.4.3 无料钟布料方式	57
2.4.4 料线	59
2.4.5 矿石批重	60
2.4.6 合理的气流分布	61
2.4.7 装料制度的调节	62
2.5 冷却制度及相关知识	64
2.5.1 高炉冷却结构	64
2.5.2 冷却方式和冷却水	64
2.5.3 水对冷却元件的蚀损机理	65
2.5.4 循环方式	66
2.5.5 水温差的控制	70
2.5.6 高炉对冷却设备的要求	71
2.5.7 炉体各部位热负荷计算	72
2.5.8 单位炉容用水量指标	72
2.5.9 冷却制度管理	73
2.6 高炉炉况判断和调节	73
2.6.1 正常炉况的特征	73

2.6.2	判断炉况的方法	75
2.6.3	炉温变化的征象和原因	78
2.6.4	上、下部调节	79
2.6.5	炉温调节	82
2.6.6	炉渣碱度调节	85
2.6.7	风压的调节	88
2.6.8	装料制度的调节	89
2.6.9	炉况调节的原则	90
2.7	改变铁种	91
2.7.1	铸造铁冶炼特征	91
2.7.2	由制钢铁改为铸造铁	91
2.7.3	负荷调节	93
2.8	能量利用指标	94
2.8.1	理论最低燃料比	94
2.8.2	理论焦比	94
2.8.3	一氧化碳利用率	95
2.8.4	碳的利用率	95
2.8.5	有效热利用率	95
2.8.6	氢利用率	96
3	高炉炼铁的技术进步	97
3.1	高压操作	97
3.1.1	高压操作的冶炼特征	98
3.1.2	高压操作的生产效果	99
3.1.3	均压制度	99
3.1.4	高压操作时的注意事项	101
3.1.5	调压阀组和均压系统故障的处理	101
3.1.6	高压操作时高炉煤气余压的利用	102
3.2	富氧鼓风	105
3.2.1	富氧方式	105
3.2.2	富氧鼓风的冶炼特征	105

3.2.3	富氧鼓风操作	107
3.2.4	高炉送、停氧操作程序	107
3.2.5	富氧鼓风的故障处理	108
3.3	高炉喷煤	109
3.3.1	高炉喷煤的重大意义	109
3.3.2	高炉喷煤后冶炼规律的变化	110
3.3.3	富氧喷煤操作	112
3.3.4	高炉喷吹用煤的工艺性能	114
3.3.5	高炉对喷吹用煤的要求	115
3.3.6	提高喷煤比和置换比的技术措施	116
3.4	高炉长寿技术	117
3.4.1	高炉炉缸结构	118
3.4.2	炭块-陶瓷杯内衬结构的冶炼规律变化	126
3.4.3	炉衬长寿的技术措施	126
3.5	高风温	135
3.5.1	我国的风温水平	135
3.5.2	高风温对高炉冶炼的影响	136
3.5.3	高炉接受高风温的条件	136
3.5.4	获取高风温的条件	136
3.6	高炉大型化和强化冶炼	137
3.6.1	目前炼铁生产技术存在的问题	137
3.6.2	高炉大型化和内型优化	138
3.7	应用高炉智能监测分析控制系统	138
3.7.1	应用无料钟布料、软熔带数学模型	138
3.7.2	炼铁专家系统	138
3.7.3	炉顶红外摄像技术	139
3.7.4	铁水成分快速测试	139
3.8	冶炼低硅铁	139
4	高炉休风、送风与开炉、停炉	141
4.1	高炉休风、送风及煤气处理	141

4.1.1	高炉短期休风	141
4.1.2	高炉长期休风	142
4.1.3	处理煤气作业程序	144
4.1.4	长期休风后的送风	145
4.2	高炉开炉	146
4.2.1	设备调试	147
4.2.2	高炉系统试漏	156
4.2.3	热风炉试漏和烘炉	158
4.2.4	高炉烘炉	161
4.2.5	开炉工艺	163
4.2.6	高炉开炉送风操作	171
4.2.7	开炉异常处理	174
4.3	高炉停炉	175
4.3.1	停炉要求	175
4.3.2	停炉准备工作	176
4.3.3	确定残铁口位置和计算残铁量	176
4.3.4	出残铁设备及准备工作	177
4.3.5	停炉操作	178
4.3.6	出残铁操作	180
5	高炉异常炉况的处理操作	182
5.1	高炉低料线的危害及处理	182
5.1.1	低料线的危害	182
5.1.2	低料线的处理操作	183
5.2	“管道”行程的特征及处理	184
5.2.1	“管道”行程的征兆	184
5.2.2	“管道”形成的原因	185
5.2.3	“管道”行程的处理操作	185
5.2.4	预防措施	187
5.3	高炉连续崩料的特征及处理	188
5.3.1	连续崩料的原因	188

5.3.2	连续崩料的特征	188
5.3.3	连续崩料的处理操作	189
5.3.4	预防措施	190
5.4	高炉悬料	190
5.4.1	高炉悬料的原因	190
5.4.2	高炉悬料的特征	191
5.4.3	悬料的处理操作	191
5.4.4	连续悬料	194
5.4.5	高炉悬料的预防	195
5.5	边缘煤气流过分发展、中心过重的征兆及处理	196
5.5.1	边缘过分发展、中心过重的征兆	196
5.5.2	形成原因	197
5.5.3	处理操作	197
5.6	边缘负荷过重、中心煤气过分发展的征兆及处理	198
5.6.1	边缘过重、中心过分发展的征兆	198
5.6.2	形成原因	198
5.6.3	处理操作	199
5.7	炉缸堆积	200
5.7.1	炉缸堆积的原因	201
5.7.2	炉缸堆积的征兆	201
5.7.3	炉缸堆积的处理	202
5.8	高炉大凉及炉缸冻结	203
5.8.1	大凉及炉缸冻结原因	203
5.8.2	大凉的处理操作	204
5.8.3	炉缸冻结的处理操作	204
5.8.4	炉缸冻结的处理实例	207
5.9	炉墙结厚和炉墙结瘤	210
5.9.1	炉墙结厚的原因	210
5.9.2	炉墙结厚的征兆	211
5.9.3	炉墙结厚的处理	211
5.9.4	炉墙结瘤的原因	213

5.9.5 炉墙结瘤的征兆	213
5.9.6 炉瘤的处理	214
5.10 上部炉衬脱落	214
5.10.1 上部炉衬脱落的原因	214
5.10.2 上部炉衬脱落的征兆	215
5.10.3 处理措施	215
5.11 洗炉	216
5.11.1 物理洗炉方法	216
5.11.2 化学洗炉方法	216
5.11.3 洗炉注意事项	217
6 炉前操作与事故处理	218
6.1 炉前操作任务和指标	218
6.1.1 炉前操作对高炉冶炼的影响	218
6.1.2 炉前操作指标	219
6.1.3 出铁次数的确定	221
6.1.4 出铁场	222
6.2 出铁操作	225
6.2.1 铁口的工作条件	225
6.2.2 铁口维护	227
6.2.3 出铁操作	231
6.2.4 泥炮的维护	236
6.2.5 人工堵铁口	237
6.2.6 泥炮的事故	237
6.2.7 出铁事故及处理	238
6.2.8 操作事故	245
6.2.9 开炉时铁口事故及处理	246
6.3 撇渣器	247
6.3.1 撇渣器的结构	247
6.3.2 渣铁分离原理	248
6.3.3 撇渣器的各类事故	249

6.4 铁水罐	251
6.4.1 铁水罐内衬耐火材料	252
6.4.2 铁水罐内衬的损坏原因	252
6.4.3 铁水罐内衬对耐火材料的要求	253
6.4.4 铁水罐内衬的改进	253
6.5 水冲渣	255
6.5.1 工艺要求	256
6.5.2 沉淀池法	256
6.5.3 底滤法	256
6.5.4 茵巴(INBA)法	257
6.5.5 嘉恒法(轮法)	259
6.5.6 放渣	260
6.5.7 渣口装置的维护	262
6.5.8 渣口事故	264
6.6 更换风口装置	266
6.6.1 风口装置	266
6.6.2 风口装置破损的原因及处理	268
6.6.3 更换风口装置	269
6.7 中修和封炉后开炉的炉前操作	272
6.7.1 休风时的炉前操作	272
6.7.2 送风前的准备工作	272
6.7.3 送风后的出铁操作	273
6.8 炉前操作安全	275
7 热风炉操作与事故处理	277
7.1 热风炉的结构和耐火材料	277
7.1.1 热风炉的结构形式	277
7.1.2 热风炉用耐火材料	281
7.2 热风炉的各种阀门和检测参数	287
7.2.1 热风炉的各种阀门	287
7.2.2 热风炉的检测参数和热工参数	289

7.2.3	热风炉的主要热工参数	291
7.2.4	操作中的控制参数	293
7.2.5	热风炉的相关知识	294
7.2.6	集中鼓风	295
7.3	热风炉烧炉操作	295
7.3.1	热风炉的合理燃烧	295
7.3.2	热风炉的燃烧制度	296
7.3.3	燃烧配比	297
7.3.4	特殊情况时的烧炉	298
7.3.5	拱顶温度控制	298
7.3.6	废气温度过高或过低的危害	298
7.4	热风炉的送风操作	299
7.4.1	热风炉的工作周期	299
7.4.2	送风制度	300
7.4.3	热风炉的换炉操作	301
7.4.4	高炉休风时热风炉的操作	302
7.4.5	集中鼓风操作	302
7.4.6	热风炉的操作安全	303
7.4.7	操作事故	304
7.4.8	热风炉的设备故障	305
7.5	休风过程中的事故与处理	306
7.5.1	倒流管着火	306
7.5.2	休风时冷风大闸未关或未关严	307
7.5.3	倒流休风后复风时未关倒流阀	307
7.5.4	煤气倒流窜入冷风管道中	308
7.6	特殊炉况的安全操作	310
7.6.1	停电时休风的煤气处理	310
7.6.2	高炉休风时放散阀失灵不能放散	311
7.6.3	鼓风机突然停风时煤气处理	312
7.6.4	停蒸汽休风时的煤气处理	312
7.6.5	高炉休风时放风阀失灵不能放风	312