

GAOLU CAOZUO

高炉操作

傅燕乐 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>



ISBN 7-5024-3924-2



9 787502 439248 >

销售分类建议：冶金工程

ISBN 7-5024-3924-2

TF·723 定价 35.00 元

高 炉 操 作

傅燕乐 主编

北 京

冶金工业出版社

2006

内 容 简 介

本书共分 10 章,系统地介绍了高炉冶炼与操作,高炉炉况判断,高炉冶炼过程计算机控制,高炉炉况失常及处理,高炉开炉、停炉、封炉操作,高炉炉前操作,高炉热风炉操作,高炉上料系统,高炉冷却设备操作,高炉喷煤操作等内容,较全面地反映了目前国内外高炉冶炼新技术、新工艺及发展趋势等。

本书可作为冶金企业培训技师、高级技师用教材,也可供冶金工程技术人员和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高炉操作/傅燕乐主编.—北京:冶金工业出版社,2006.2

ISBN 7-5024-3924-2

I. 高… II. 傅… III. 高炉炼铁—技术培训—教材

IV. TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 009830 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 张登科 刘小峰 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 2 月第 1 版,2006 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.25 印张; 341 千字; 215 页; 1-3000 册

35.00 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

本书是根据冶金行业高等职业技术教育的需要编写的,也可作为冶金企业技师、高级技师培训通用教材。书中系统地介绍了与高炉操作相关的内容,包括高炉炉内操作,高炉计算机控制,高炉异常炉况的处理,高炉开停炉操作,以及高炉炉前操作、热风炉操作、上料操作、冷却设备操作和喷煤操作等,较全面地反映了目前国内外炼铁技术的发展动向。

本书由安徽马钢高级技工学校傅燕乐主编;其中,第1、2、4、9章由安徽马钢高级技工学校牛树刚编写;第3章由安徽工业大学王平编写;第6章由安徽马钢高级技工学校李仕玲编写;其余章节由傅燕乐编写。全书由马钢第三炼铁总厂钱敏主审。在本书的编写过程中得到了马钢高级技工学校有关同志的大力支持,在此一并表示感谢。

由于时间短,加之编者水平所限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2005年12月

目 录

1 高炉冶炼与操作	1
1.1 基本操作制度	1
1.1.1 炉缸热制度	1
1.1.2 送风制度	3
1.1.3 装料制度	6
1.1.4 造渣制度	12
1.1.5 基本制度间的关系	15
1.1.6 冶炼制度的调整	16
1.2 高压操作	16
1.2.1 高压操作冶炼特征	16
1.2.2 高压效果	17
1.2.3 高压操作注意事项	18
1.3 富氧鼓风	18
1.3.1 高炉富氧鼓风冶炼特点	19
1.3.2 富氧鼓风对产量、焦比的影响	19
1.3.3 富氧鼓风冶炼操作	20
1.4 高炉喷煤冶炼特征	20
1.4.1 煤气量和鼓风动能增加	20
1.4.2 间接还原反应改善、直接还原反应降低	21
1.4.3 理论燃烧温度降低、中心温度升高	21
1.4.4 料柱阻损增加、压差升高	22
1.4.5 热补偿	22
1.4.6 热滞后时间	23
1.4.7 冶炼周期延长	24
1.4.8 未燃煤粉在高炉中的行为	24
1.4.9 喷煤高炉的炉况调节	26
1.5 煤粉富氧综合喷吹	28
1.5.1 富氧喷煤特点	28
1.5.2 富氧喷煤冶炼操作	29
1.6 冶炼低硅生铁	30
1.6.1 保持炉况稳定顺行	31
1.6.2 提高矿石入炉品位、改善炉料结构、增加熟料比	31
1.6.3 减少原料化学成分波动	31

1.6.4 提高焦炭强度	32
1.6.5 适当提高炉渣碱度	32
1.6.6 控制生铁含锰量	32
1.6.7 提高炉顶压力	32
1.6.8 控制合理的气流分布	33
1.6.9 采用合理的上下部调剂及提高煤气利用率	33
2 高炉炉况判断	34
2.1 直接观测法	34
2.1.1 看出铁	34
2.1.2 看渣	36
2.1.3 看风口	37
2.1.4 看料速和探尺运动状态	38
2.2 仪器仪表监测	38
2.2.1 利用 CO ₂ 曲线判断高炉炉况	39
2.2.2 利用热风压力、煤气压力、压差判断炉况	40
2.2.3 利用冷风流量计判断炉况	41
2.2.4 利用炉顶、炉喉、炉身温度判断炉况	41
2.2.5 利用透气性指数指导高炉操作	41
2.2.6 利用光谱分析、铁水红外测温技术测定铁水温度	42
2.3 炉况综合判断	42
2.3.1 连续观察	42
2.3.2 掌握各种反映的先后次序	42
2.3.3 造成炉况失常的原因	43
2.3.4 炉温调剂	43
3 高炉冶炼过程计算机控制	45
3.1 高炉基础自动化	45
3.1.1 矿槽和上料系统的控制	45
3.1.2 高炉冷却系统控制和冷却器监控	45
3.1.3 热风炉操作控制	45
3.1.4 煤气系统控制	45
3.1.5 喷煤系统操作控制	46
3.1.6 高炉操作控制	46
3.1.7 出渣出铁控制	46
3.2 高炉过程控制	46
3.2.1 计算机系统功能与配置	46
3.2.2 专家系统基本知识及高炉专家系统构成	47
3.2.3 炉况诊断与评价 ES 系统	49
4 高炉冶炼过程失常及处理	55
4.1 正常炉况标志	55
4.2 异常炉况标志与调节	55

4.2.1 炉温向热·····	56
4.2.2 炉温向凉·····	56
4.2.3 管道行程·····	57
4.2.4 边缘气流发展及中心堆积·····	57
4.2.5 边缘气流不足及中心过分发展·····	58
4.3 失常炉况的标志及处理·····	59
4.3.1 低料线·····	59
4.3.2 悬料·····	63
4.3.3 连续塌料·····	65
4.3.4 炉缸堆积·····	65
4.3.5 炉冷·····	68
4.3.6 炉缸冻结·····	69
4.3.7 炉墙结厚·····	71
4.3.8 高炉结瘤·····	73
4.4 高炉事故处理·····	75
4.4.1 炉体跑火、跑渣·····	75
4.4.2 炉缸烧穿·····	75
4.4.3 风口灌渣·····	76
5 高炉开炉、停炉、封炉操作·····	79
5.1 高炉休风与复风·····	79
5.1.1 高炉的短期休风与复风·····	79
5.1.2 高炉的长期休风与复风·····	80
5.1.3 高炉的特殊休风·····	87
5.2 高炉大修停炉·····	90
5.2.1 停炉方法·····	90
5.2.2 降料线操作·····	92
5.2.3 放残铁操作·····	93
5.2.4 操作实例·····	94
5.3 开炉·····	97
5.3.1 高炉烘炉·····	97
5.3.2 开炉准备·····	98
5.3.3 开炉料计算·····	99
5.3.4 开炉操作·····	102
5.4 封炉·····	102
5.4.1 封炉焦比的确定·····	102
5.4.2 密封和查漏工作·····	102
5.4.3 复风操作·····	103
6 高炉炉前操作·····	104
6.1 炉前操作平台·····	104
6.1.1 风口平台·····	104

6.1.2 出铁场	104
6.2 高炉炉前操作指标	106
6.2.1 出铁次数的确定	106
6.2.2 炉前操作指标	107
6.3 出铁操作	108
6.3.1 出铁口的构造和工作条件	108
6.3.2 铁口的维护	109
6.3.3 打开出铁口的方法	113
6.3.4 出铁操作	114
6.3.5 出铁事故及处理	115
6.4 撇渣器的操作	116
6.4.1 撇渣器的构造	116
6.4.2 撇渣器的工作原理	117
6.4.3 撇渣器的操作及注意事项	117
6.4.4 撇渣器的维护和开炉时的撇渣器操作	118
6.4.5 撇渣器的事故与处理	118
6.5 放渣操作	119
6.5.1 渣口装置	119
6.5.2 放渣时间的确定	119
6.5.3 放渣操作	120
6.5.4 渣口事故及处理	121
6.5.5 更换风口、渣口的操作	123
6.6 特殊炉况的炉前操作	124
6.6.1 高炉开炉的炉前操作	124
6.6.2 放残铁操作	125
6.6.3 长期休风(封炉)及复风的炉前操作	126
6.6.4 其他特殊炉况时的炉前操作	127
6.7 炉前用耐火材料	129
6.7.1 对炉前常用耐火泥料的要求	129
6.7.2 炮泥中各种原料的作用和性能	129
6.7.3 炮泥的质量要求	131
6.7.4 铁沟料	132
7 高炉热风炉操作	134
7.1 热风炉燃料及燃烧计算	134
7.1.1 热风炉燃料	134
7.1.2 燃烧计算	135
7.2 影响热风温度的因素	138
7.2.1 拱顶温度	138
7.2.2 废气温度	138
7.2.3 热风炉工作周期	139

7.2.4 蓄热面积与格子砖重量	139
7.2.5 其他因素	139
7.3 提高热风炉理论燃烧温度的措施	140
7.3.1 配用高热值煤气	140
7.3.2 预热助燃空气或煤气	141
7.3.3 空气过剩系数对理论燃烧温度的影响	141
7.3.4 煤气含水量对理论燃烧温度 $t_{理}$ 的影响	142
7.4 热风炉的操作	142
7.4.1 蓄热式热风炉的传热特点	142
7.4.2 热风炉的操作特点	142
7.4.3 热风炉的燃烧制度	143
7.4.4 送风制度	144
7.4.5 热风炉换炉操作	145
7.4.6 高炉休风、送风时的热风炉操作	146
7.4.7 热风炉全自动闭环控制操作	146
7.4.8 热风炉的特殊操作	148
7.5 热风炉的烘炉、保温、凉炉	149
7.5.1 热风炉的烘炉	149
7.5.2 热风炉的保温	155
7.5.3 热风炉的凉炉	155
7.5.4 热风炉的寿命	157
8 高炉上料系统	162
8.1 炉顶均压、放散工艺	162
8.1.1 钟式炉顶高炉均压、放散工艺	162
8.1.2 无料钟高炉炉顶均压、放散工艺	162
8.1.3 炉顶均压制度	163
8.1.4 高压、常压转换程序	163
8.1.5 故障处理	164
8.2 皮带上料、装料系统故障及处理	164
8.2.1 上料系统故障及处理	164
8.2.2 装料系统故障及处理	165
9 高炉冷却设备操作	167
9.1 高炉冷却设备的操作	167
9.1.1 工业水冷却设备操作	167
9.1.2 高炉软水密闭循环冷却操作	168
9.2 冷却设备的检查与维护	171
9.2.1 风口的检查与维护	171
9.2.2 炉缸冷却设备的检查与维护	171
9.2.3 炉腹、炉腰冷却设备的检查与维护	172
9.2.4 炉身冷却设备的检查与维护	173

9.2.5 末期高炉操作	173
9.3 高炉冷却设备损坏原因及处理	175
9.3.1 风口损坏原因及处理	175
9.3.2 高炉冷却壁损坏原因及处理	176
10 高炉喷煤操作	178
10.1 煤的化学组成与分类	179
10.1.1 煤的化学组成	179
10.1.2 煤的化学成分表示方法	180
10.1.3 煤的分类	180
10.1.4 煤的主要理化性质	182
10.1.5 高炉喷吹用煤的性能要求	185
10.2 喷煤工艺的基本流程	185
10.2.1 喷煤系统的组成	185
10.2.2 喷煤工艺流程的分类及特点	187
10.3 高炉喷煤的监测与控制	188
10.3.1 喷煤系统的安全检测及控制	188
10.3.2 喷吹罐煤粉的计量	190
10.4 进料系统与煤粉系统的操作	192
10.4.1 煤场的运行与操作	192
10.4.2 制粉系统的操作、设备运行与事故处理	193
10.4.3 故障处理	197
10.5 喷吹系统的操作	201
10.5.1 喷吹系统运行操作	201
10.5.2 喷吹系统的故障及处理	204
10.6 喷吹烟煤的操作	205
10.6.1 系统气氛的控制	205
10.6.2 煤粉温度的控制	205
10.6.3 喷煤生产安全措施	206
10.7 富氧鼓风设备的操作	208
10.7.1 氧气加入方式	208
10.7.2 高炉送氧、停氧操作程序	209
10.7.3 氧气管道维护及安全规定	210
10.7.4 富氧鼓风的安全措施	210
10.7.5 送氧操作	211
10.7.6 停氧及充氮操作	213
10.7.7 富氧管网的维护管理及安全注意事项	213
参考文献	215

1 高炉冶炼与操作

高炉冶炼是一个连续而复杂的物理、化学过程,它不但包含有炉料的下降与煤气流的上升之间产生的热量和动量的传递,还包括煤气流与矿石之间的传质现象。只有动量、热量和质量的传递稳定进行,高炉炉况才能稳定顺行。高炉要取得较好的生产技术经济指标,必须实现高炉炉况的稳定顺行。高炉炉况稳定顺行一般是指炉内的炉料下降与煤气流上升均匀,炉温稳定充沛,生铁合格,高产低耗。要使炉况稳定顺行,高炉操作必须稳定,这主要包括风量、风压、料批稳定、炉温稳定和炉渣碱度稳定以及调节手段稳定,而其主要标志是炉内煤气流分布合理和炉温正常。

高炉冶炼的影响因素十分复杂,主要包括原燃料物理性能和化学成分的变化;气候条件的波动;高炉设备状况的影响;操作者的水平差异以及各班操作的统一程度等。这些都将给炉况带来经常性的波动。高炉操作者的任务就是随时掌握影响炉况波动的因素,准确地把握外界条件的变动,对炉况做出及时、正确的判断,及早采取恰当的调剂措施,保证高炉生产稳定顺行,取得较好的技术经济指标。

1.1 基本操作制度

选择合理的操作制度是高炉操作的基本任务。操作制度是根据高炉具体条件(如高炉炉型、设备水平、原料条件、生产计划及品种指标要求)制定的高炉操作准则。合理的操作制度能保证煤气流的合理分布和良好的炉缸工作状态,促使高炉稳定顺行,从而获得优质、高产、低耗和长寿的冶炼效果。

高炉基本操作制度包括:装料制度、送风制度、炉缸热制度和造渣制度。高炉操作应根据高炉强化程度、冶炼的生铁品种、原燃料质量、高炉炉型及设备状况来选择合理的操作制度,并灵活运用上下部调节与负荷调节手段,促使高炉稳定顺行。

1.1.1 炉缸热制度

炉缸热制度是指高炉炉缸所应具有的温度和热量水平。炉缸热制度直接反映炉缸的工作状态,稳定均匀而充沛的热制度是高炉稳定顺行的基础。炉温一般指高炉炉渣和铁水的温度,炉渣和铁水的温度随冶炼品种、炉渣碱度、高炉容积大小的不同而不同,铁水温度一般为 $1350\sim 1550^{\circ}\text{C}$,炉渣温度一般比铁水温度高 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。炉温是否正常不但要看渣铁温度的高低,还要看出铁过程中铁水、炉渣化学成分的变化情况,即观察出铁过程中渣铁温度的稳定情况。生产中常用生铁含硅量的高低来表示高炉炉温水平。铁水中含硅量越高,铁水温度越高,反之则铁水温度越低。依据铁水温度控制高炉操作参数,可以准确地掌握高炉热态走势,保持高炉长期稳定顺行。一般而言,用渣铁温度代表炉温的,称为“物理热”;用生铁含硅量代表炉温的,称为“化学热”。

1.1.1.1 热制度的选择

热制度的选择主要根据高炉的具体特点、冶炼品种和高炉使用原燃料条件来决定。选择合理的热制度应结合以下几方面来考虑:

(1) 根据生产铁种的需要,选择生铁含硅量在经济合理的水平。冶炼炼钢生铁时,[Si]含量一般控制在0.3%~0.6%之间。冶炼铸造生铁时,按用户要求选择[Si]含量。为稳定炉温,上、下两炉[Si]含量波动应小于0.1%,并努力降低[Si]含量的标准偏差。

(2) 根据原料条件选择生铁含硅量。冶炼含钒钛铁矿石时,允许较低的生铁含硅量。对高炉炉温的要求不但要选择铁水中的[Si],还应与铁水中的[Ti]综合考虑,可以用铁水的[Si]+[Ti]来表示炉温。

(3) 结合高炉设备情况选择热制度,如炉缸严重侵蚀时,以冶炼铸造铁为好,因为提高生铁含硅量,可促进石墨碳的析出,对炉缸有一定的维护作用。

(4) 结合技术操作水平与管理水平选择热制度,原燃料强度差、粉末多、含硫高、稳定性较差时,应维持较高的炉温;反之在原燃料管理稳定、强度好、粉末少、含硫低的条件下,可维持较低的生铁含硅量。

1.1.1.2 影响热制度的主要因素

高炉生产中影响热制度波动的因素很多。任何影响炉内热量收支平衡的因素都会引起热制度波动,影响因素主要有以下几个方面:

(1) 原燃料性质变化:主要包括焦炭灰分、含硫量、焦炭强度、矿石品位、还原性、粒度、含粉率、熟料率、熔剂量等的变化。

矿石品位、粒度、还原性等的波动对炉况影响较大,一般矿石品位提高1%,焦比约降低2%,产量提高3%。烧结矿中FeO含量增加1%,焦比升高1.5%。矿石粒度均匀有利于透气性改善和煤气利用率提高。上述因素都会带来热制度的变化。

一般情况下,焦炭带入炉内的硫量约为硫负荷的70%~80%。生产统计表明,焦炭含硫增加0.1%,焦比升高1.2%~2.0%;灰分增加1%,焦比上升2%左右。因此,焦炭含硫量及灰分的波动,对高炉热制度都有很大的影响。随着高炉煤比的提高,在考虑焦炭含硫量和灰分对热制度影响的同时,还应充分考虑煤粉发热量、含硫量和灰分含量的波动对热制度的影响。

(2) 冶炼参数的变动:主要包括冶炼强度、风温、湿度、富氧量、炉顶压力、炉顶煤气CO₂含量等的变化。

鼓风带入的物理热是高炉生产主要热量来源之一,调节风温可以很快改变炉缸热制度。喷吹燃料也是高炉热量和还原剂的来源,喷吹燃料会改变炉缸煤气流分布。风量的增减使料速发生变化,风量增加,煤气停留时间缩短,直接还原增加,会造成炉温向凉;装料制度如批重和料线等对煤气分布、热交换和还原反应产生直接影响。

(3) 设备故障及其他方面的变化:下雨等天气变化导致入炉原燃料含水量增加、入炉料称量误差等都能使炉缸热制度发生变化。高炉炉顶设备故障,悬料、崩料和低料线时,炉料与煤气流分布受到破坏,大量未经预热的炉料直接进入炉缸,炉缸热量消耗的增加使炉缸温度降低,炉温向凉甚至大凉。同样冷却设备漏水,导致炉缸热量消耗的增加使炉缸温度降低,造成炉冷直至炉缸冻结。因此,为了保证炉缸温度充足,当遇到异常炉况时,必须及时而准确地调节焦炭负荷。

1.1.2 送风制度

送风制度是指在一定的冶炼条件下,确定合适的鼓风参数和风口进风状态,达到初始煤气流的合理分布,使炉缸工作均匀活跃,炉况稳定顺行。通过选择合适的风口面积、风量、风温、湿分、喷吹量、富氧量等参数,并根据炉况变化对这些参数进行调节,达到炉况稳定顺行和煤气利用改善的目的。这些调节通常称为下部调节。

1.1.2.1 选择适宜的鼓风动能

高炉鼓风通过风口时所具有的速度称为风速,它有标准风速和实际风速两种表示方法;而高炉鼓风所具有的机械能叫鼓风动能。鼓风动能与冶炼条件相关,它决定初始气流的分布。因此,根据冶炼条件变化,选择适宜鼓风动能,是维持气流合理分布的关键。

(1) 鼓风动能与原料条件的关系。原燃料条件好,能改善炉料透气性,利于高炉强化冶炼,允许使用较高的鼓风动能。原燃料条件差,透气性不好,不利于高炉强化冶炼,只能维持较低的鼓风动能。

(2) 鼓风动能与燃料喷吹量的关系。高炉喷吹煤粉,炉缸煤气体积增加,中心气流趋于发展,需适当扩大风口面积,降低鼓风动能,以维持合理的煤气分布。

但随着冶炼条件的变化,喷吹煤粉量增加,边缘气流增加。这时不但不能扩大风口面积,反而应缩小风口面积。

因此,煤比变动量大时,鼓风动能的变化方向应根据具体实际情况而定。

(3) 选择适宜的风口面积和长度。在一定风量条件下,风口面积和长度对风口的进风状态起决定性作用。冶炼强度必须与合适的鼓风动能相配合。风口面积一定,增加风量,冶强提高,鼓风动能加大,促使中心气流发展。为保持合理的气流分布,维持适宜的回旋区长度,必须相应扩大风口面积,降低鼓风动能。

在一定冶炼强度下,高炉有效容积与鼓风动能的关系见表 1-1。高炉适宜的鼓风动能随炉容的扩大而增加。大型高炉炉缸直径较大,要使煤气分布合理,应提高鼓风动能,适当增加回旋区长度。炉容相近,矮胖多风口高炉鼓风动能相应增加。

鼓风动能是否合适的直观表象见表 1-2。在高强度冶炼时,由于风量、风温保持最高水平,通常根据合适的鼓风动能来选择风口进风面积,有时也用改变风口长度的办法调节边缘与中心气流,调节风口直径和长度便成为下部调节的重要手段。

高炉失常时,由于长期减风操作而造成炉缸中心堆积,炉缸工作状态出现异常。为尽快消除炉况失常,可以采取发展中心气流,活跃炉缸工作的措施,即缩小风口面积或堵死部分风口。但堵风口时间不宜过长,以免产生炉缸局部堆积和炉墙局部积厚。

为保持合理的初始煤气分布,应尽量采用等径的风口,大小风口混用时,力求均匀分布。但为了纠正炉型或煤气流分布失常除外。

使用长风口送风易使循环区向炉缸中心移动,有利于吹透中心和保护炉墙。如高炉炉墙侵蚀严重或长期低冶炼强度生产时,可采用长风口操作。为提高炉缸温度,风口角度可控制在 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

表 1-1 高炉有效容积与鼓风动能的关系

有效容积/ m^3	300	600	1000	1500	2000	2500	3000	4000
鼓风动能/ kJ	25~40	35~50	40~60	50~70	60~80	70~100	90~110	110~140

表 1-2 鼓风动能变化对有关参数的影响

因 素	鼓风动能合适	鼓风动能过大	鼓风动能过小
风 压	稳定,有正常波动	波动较大而有规律	曲线死板,风压升高时容易悬料、崩料
探 尺	下料均匀,整齐	不均匀,出铁前料慢,出铁后料快	不均匀,容易出现滑料现象
炉顶温度	区间正常,波动小	区间窄,波动大	区间较宽,4个方向有交叉
风口工作	各风口均匀、活跃,破损少	风口活跃但显凉,严重时破损较多,发生于内侧下沿	风口明亮但不均匀,有生降,破损多
炉 渣	渣温充足,流动性好,上渣带铁少,渣口破损少	渣温不均匀,上渣带铁多、难放,渣口破损多	渣温不均匀,上渣热、带铁多,渣口破损多
生 铁	炉温充足,炼钢生铁冷态是灰口,有石墨碳析出	炉温常不足,炼钢生铁冷态白口多,石墨碳析出少、硫低	炉温不足,炼钢生铁冷态是白口,石墨碳析出少,硫高

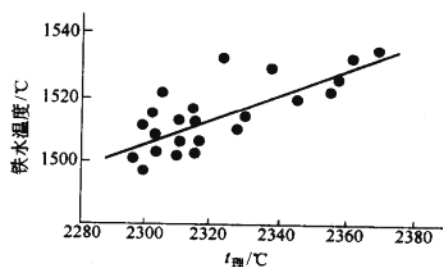
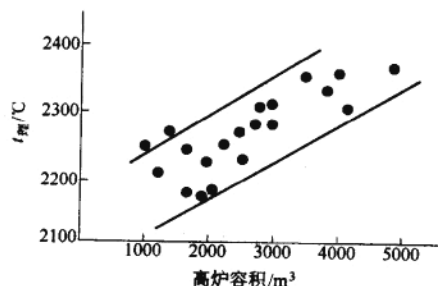
1.1.2.2 选择合理的理论燃烧温度

A 合理的理论燃烧温度

高炉的热量几乎全部来自风口前燃料燃烧和鼓风带入的物理热。风口前焦炭和喷吹燃料燃烧所能达到的最高绝热温度,即假定风口前燃料燃烧放出的热量全部用来加热燃烧产物时所能达到的最高温度,叫风口前理论燃烧温度。

理论燃烧温度的高低不仅决定了炉缸的热状态,而且决定炉缸煤气温度,对炉料加热和还原以及渣铁温度和成分、脱硫等产生重大影响。

适宜的理论燃烧温度,应能满足高炉正常冶炼所需的炉缸温度和热量,保证渣铁的充分加热和还原反应的顺利进行。理论燃烧温度提高,渣铁温度相应提高,见图 1-1。大高炉炉缸直径大,炉缸中心温度低,为维持其透气性和透液性,应采用较高的理论燃烧温度,见图 1-2。理论燃烧温度过高,高炉压差升高,炉况不顺。理论燃烧温度过低,渣铁温度不足,炉况不顺,严重时会导致风口灌渣,甚至炉冷事故。

图 1-1 理论燃烧温度 $t_{理}$ 与铁水温度的关系图 1-2 炉容与理论燃烧温度 $t_{理}$ 的关系

B 影响理论燃烧温度的因素

(1) 鼓风温度。鼓风温度升高,则带入炉缸的物理热增加,从而使 $t_{理}$ 升高。一般每 $\pm 100^{\circ}\text{C}$ 风温可影响理论燃烧温度 $\pm 80^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 鼓风湿分。由于水分分解吸热,鼓风湿分增加, $t_{理}$ 降低。鼓风中 $\pm 1 \text{ g/m}^3$ 湿分,风温 $\mp 9^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 鼓风富氧率。鼓风富氧率提高, N_2 含量降低, 从而使 $t_{理}$ 升高。鼓风含氧量 $\pm 1\%$, 风温 $\pm 35 \sim 45^\circ C$

(4) 喷吹燃料。高炉喷吹燃料后, 喷吹物的加热、分解和裂化使 $t_{理}$ 降低。各种燃料的分解热不同, 对 $t_{理}$ 的影响也不同。对 $t_{理}$ 影响的顺序为天然气、重油、烟煤、无烟煤, 喷吹天然气时 $t_{理}$ 降低幅度最大。每喷吹 10 kg 煤粉 $t_{理}$ 降低 $20 \sim 30^\circ C$, 无烟煤为下限, 烟煤为上限。

1.1.2.3 送风制度的调节

(1) 风量。风量对炉料下降、煤气流分布和热制度都将产生影响。一般情况下, 增加风量, 综合冶炼强度提高。在燃料比降低或燃料比维持不变的情况下, 风量增加, 下料速度加快, 生铁产量增加。

在炉况稳定的条件下, 风量波动不宜太大, 并保持料批稳定, 料速超过正常规定应及时减少风量。当高炉出现悬料、崩料或低料线时, 要及时减风, 并一次减到所需水平。渣铁未出净时, 减风应密切注意风口状况, 防止风口灌渣。

当炉况转顺, 需要加风时, 不能一次到位, 防止高炉顺行破坏。两次加风应有一定的时间间隔。

(2) 风温。提高风温可大幅度地降低焦比, 是强化高炉冶炼的主要措施。提高风温能增加鼓风动能, 提高炉缸温度活跃炉缸工作, 促进煤气流初始分布合理, 改善喷吹燃料的效果。因此, 高炉生产应采用高风温操作, 充分发挥热风炉的能力。

在喷吹燃料情况下, 一般不使用风温调节炉况, 而是将风温固定在较高水平上, 通过喷吹量的增减来调节炉温。这样可最大限度发挥高风温的作用, 维持合理的风口前理论燃烧温度。

当炉热难行需要撤风温时, 幅度要大些, 一次撤到高炉需要的水平; 炉况恢复时提高风温幅度要小, 可根据炉温和炉况接受程度, 逐渐将风温提高到需要的水平, 防止煤气体积迅速膨胀而破坏顺行。提高风温速度不超过 $50^\circ C/h$ 。

在操作过程中, 应保持风温稳定, 换炉前后风温波动应小于 $30^\circ C$ 。目前热风炉采用交叉并联送风制度风温波动降低。

(3) 风压。风压直接反映炉内煤气与料柱透气性的适应情况, 它的波动是冶炼过程的综合反映。目前高炉普遍装备有透气性指数仪表, 对炉况变化反应灵敏, 有利于操作者判断炉况。

(4) 鼓风湿分。鼓风中湿分增加 $1 g/m^3$, 相当于风温降低 $9^\circ C$, 但水分分解出的氢在炉内参加还原反应, 又放出相当于 $3^\circ C$ 风温的热量。加湿鼓风需要热补偿, 对降低焦比不利。因此, 喷吹燃料的高炉, 基本上不采用加湿鼓风。有些大气温度变化较大地区的高炉, 采用脱湿鼓风技术, 取得炉况稳定、焦比降低的良好效果。

(5) 喷吹燃料。喷吹燃料在热能和化学能方面可以取代焦炭的作用。但是, 不同燃料在不同情况下, 代替焦炭的数量是不一样的。通常把单位燃料能替换焦炭的数量称为置换比。

随着喷吹量的增加, 置换比逐渐降低。这是由于喷吹的燃料在风口回旋区加热、分解和气化时要消耗一定的热量, 导致炉缸温度降低。喷吹燃料越多, 炉缸温度降低也越多。而炉缸温度的降低, 燃料的燃烧率也降低。因此, 在喷吹量不断增加的同时, 应充分考虑由于置换比降低对高炉冶炼带来的不利影响, 并采取措施提高置换比。这些措施包括提高风温给予热补偿、提高燃烧率, 改善原料条件以及选用合适的操作制度。

喷吹燃料进入风口后,其组分分解需要吸收热量,其燃烧反应、分解反应的产物参加对矿石的加热和还原后才放出热量,因此炉温的变化要经过一段时间才能反映出来,这种炉温变化滞后于喷吹量变化的特性称为“热滞后性”。热滞后时间大约为冶炼周期的 70%,热滞后性随炉容、冶炼强度、喷吹量等不同而不同。

用喷吹量调节炉温时,要注意炉温的趋势,根据热滞后时间,做到早调,调剂量准确。喷吹设备临时发生故障时,必须根据热滞后时间,准确地进行变料,以防炉温波动。

(6) 富氧鼓风。富氧后能够提高冶炼强度,增加产量。由于煤气含氮量减少,单位生铁煤气生成量减少,可以提高风口前理论燃烧温度,有利于提高炉缸温度,补偿喷煤引起的理论燃烧温度的下降;增加鼓风含氧量,有利于改善喷吹燃料的燃烧;煤气中 N_2 含量减少,炉腹 CO 浓度相对增加,有利于间接反应进行;同时炉顶煤气热值提高,有利于热风炉的燃烧,为提高风温创造条件。

富氧鼓风只有在炉况顺行的情况下才能进行,在炉况逆行不好(如发生悬料、塌料等情况及炉内压差高,不接受风量时)不宜使用富氧。在大喷吹情况下,高炉停止喷煤或大幅度减少煤量时,应及时减氧或停氧。

1.1.3 装料制度

装料制度指炉料装入炉内的方式方法的有关规定,包括装入顺序、装入方法、旋转溜槽倾角、料线和批重等。高炉上部气流分布调节是通过变更装料制度,调节炉料在炉喉的分布状态,从而使气流分布更合理,充分利用煤气的热能和化学能,以达到高炉稳定顺行的目的。炉料装入炉内的设备有钟式炉顶装料设备和无钟炉顶装料设备。

1.1.3.1 影响炉料分布的因素

影响炉料分布的因素包括固定条件和可变条件两个方面。

A 固定条件

(1) 装料设备类型(主要分钟式炉顶和布料器,无钟炉顶)和结构尺寸(如大钟倾角、下降速度、边缘伸出料斗外长度,旋转溜槽长度等);

(2) 炉喉间隙;

(3) 炉料自身特性(粒度、堆角、堆密度、形状等)。

B 可变条件

(1) 旋转溜槽倾角、转速、旋转角;

(2) 活动炉喉位置;

(3) 料线高度;

(4) 炉料装入顺序;

(5) 批重;

(6) 煤气流速等。

1.1.3.2 固定因素对布料的影响

(1) 炉喉间隙。在高炉正常料线范围内,料流中心离炉墙很近。炉喉间隙愈大,炉料堆尖距炉墙越远;反之则愈近。批重较大,炉喉间隙小的高炉,总是形成“V”形料面。只有炉喉间隙较大,或采用可调炉喉板,方能形成“倒 W”形料面。

(2) 大钟倾角。现在高炉大钟倾角多为 $50^\circ \sim 53^\circ$ 。大钟倾角愈大,炉料愈布向中心。