

首钢2号高炉铜冷却壁使用的体会

马洪斌 张贺顺
(首钢总公司)

摘 要 结合首钢2号高炉铜冷却壁使用的经验,重点阐述了铜冷却壁作为一种长寿、高效的冷却设备,铜冷却壁需要其热面的渣皮来实现对自身的保护。而铜冷却壁热面的渣皮对炉内煤气流分布的变化十分敏感,因此,稳定煤气流分布,实现渣皮的稳定,是铜冷却壁高炉稳定、顺行的关键。

关键词 高炉 铜冷却壁 渣皮

Conclusion from copper cooling stave application for Shougang No. 2 BF

Ma Hongbin Zhang Heshun
(Shougang corporation)

Abstract With the experience from copper cooling stave application in Shougang No. 2 BF, the author focuses on that the copper cooling stave as cooling equipment with long life and high efficiency requires self protection on its heated face by slag skull, and is sensitive to the variation of coal gas distribution inside blast furnace. So stable coal gas distribution and stable slag skull become the key points for realizing stable and smooth production of blast furnace

Keywords blast furnace copper cooling stave slag skull

1 引言

高炉炉腹、炉腰、炉身下部的工作条件恶劣。风口前循环区内煤气的温度高达2000℃以上,从循环区逸出的超高温煤气和炉内生成的渣铁流对炉腹部位剧烈的冲刷,将炉腹、炉腰的耐火材料烧蚀。并且炉腹、炉腰和炉身下部正是软熔带根部和焦窗所在部位,软熔带气流分布的随机变化引起炉腰和炉身下部相应的温度变化。温度的波动将引起耐火材料的严重剥落,炉料中碱金属氧化物与耐火砖衬发生反应,形成低熔点化合物,并与耐火砖衬中 Al_2O_3 形成钾霞石、白榴石体积膨胀,使耐火砖衬剥落。一代炉役中,炉腹、炉腰、炉身下部耐火材料是很容易被侵蚀的,这些部位绝大部分时间依靠冷却设备维持工作。因此,高炉炉腹、炉腰、炉身下部的寿命不取决于耐火材料,而是取决于冷却设备是否能长期可靠的工作。铜冷却壁利用铜的高导热性能,且铜冷却壁不铸入水管,消除了气隙热阻,这样不仅降低了冷却壁本体的温度,而且有利于形成能保护冷却壁自身的渣皮。由于渣皮的导热性能极低,渣皮形成

后,就建立了一道炉内向铜冷却壁传热的隔热屏障,从而减少了炉内热损失、保护了铜冷却壁^[1]。

2002年5月,首钢2号高炉开炉投产,有效容积1780m³,24个风口,2个铁口。为实现高炉的长寿与高效,采用铜冷却壁薄炉衬结构,在炉腹、炉腰、炉身下部安装3段铜冷却壁。2号高炉作为国内较早使用铜冷却壁的高炉,开发了铜冷却壁热电偶温度连续监测系统、铜冷却壁炉墙内型管理模型等。首钢高炉操作者以理论指导实践,借助铜冷却壁炉墙内型管理模型,在实践中深化对铜冷却壁的认识,既取得了2006年6月至2007年3月焦比280kg/t、煤比170kg/t、利用系数2.5的成绩,也经历了2007年10月至2008年3月焦比420kg/t、煤比80kg/t、利用系数2.4、风口频繁损坏的低谷。本文结合首钢2号高炉炉腹、炉腰、炉身下部3段铜冷却壁的使用实践,从高炉操作者的角度,就如何发挥铜冷却壁高效、长寿冷却器的作用,避免渣皮频繁脱落而危害高炉稳定顺行,即如何维持铜冷却壁热面渣皮的稳定,谈谈体会。

2 2号高炉铜冷却壁使用情况

2.1 基本情况

2号高炉在炉腹、炉腰、炉身下部安装3段共120块铜冷却壁。第七段铜冷却壁安装在炉腹上部,第八段铜冷却壁安装在炉腰,第九段铜冷却壁安装在炉身下部。铜冷却壁厚度140 mm,铜冷却壁热面在高度方向平均分布多个镶砖燕尾槽,槽内镶嵌SiC质耐火材料,以利于挂渣。每块铜冷却壁设置4通道水管,水管热面距铜冷却壁热面67 mm,肋深度37 mm。采用软水密闭循环冷却,软水流量 $3800\text{ m}^3/\text{h}$,软水供水温度冬季 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$,夏季 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

各块铜冷却壁壁体均插入热电偶测量壁体温度。其中24块冷却壁(均匀布置)在不同深度位置插入第二支热电偶,但2支热电偶不在同一直线上。由于铜冷却壁内部在2支热电偶之间的温差非常小,2支热电偶温度未见明显差别。下文所用热电偶温度系指在铜冷却壁内插入深度相同的120支热电偶温度。铜冷却壁热电偶温度在冬季 $40\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,夏季 $50\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。正常生产中,七段铜冷却壁热电偶温度稳定性最好,八段铜冷却壁热电偶温度稳定性次之,九段铜冷却壁热电偶温度稳定性差。七段、八段、九段铜冷却壁热电偶温度呈逐步升高的趋势,但上下相差在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

2号高炉自开炉投产后,铜冷却壁使用效果不错。但是,自2007年年中开始,出现铜冷却壁热面渣皮频繁脱落现象,伴随出现风口频繁损坏,部分铜冷却壁也出现损坏。

2.2 热电偶温度分析

铜冷却壁热电偶温度变化直接反映了铜冷却壁的工作状况。铜冷却壁内部传热形式是导热,利用反映导热的傅立叶定律,热电偶温度与铜冷却壁热面温度可建立相互关系。本文也利用傅立叶定律对渣皮厚度定性分析。影响热电偶温度的因素,一是铜冷却壁设计参数及热电偶插入深度,参数已经确定,分析过程可不考虑;二是软水供水温度、流量,软水供水温度越低、流量越大,热电偶温度越低;三是铜冷却壁对应部位炉内煤气温度,煤气温度越低,热电偶温度越低;四是渣皮厚度,渣皮厚度越大,热电偶温度越低。铜冷却壁长期正常工作的热面温度应低于 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$,否则其物理、力学性能会发生改变。在铜冷却壁设计参数、软水供水温度及流量、煤气温度一定的情况下,必然对应存在热电偶的长期工作上限值。当然,这一上限值是随高炉不同时期炉内冶

炼条件、冷却条件的改变而改变的。

在软水供水温度、流量一定的情况下,热电偶温度上升速率较大、温度上升曲线存在明显拐点,在10 min内上升 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,认为该部位发生渣皮脱落。因为渣皮脱落后,该铜冷却壁热流强度急剧升高,造成铜冷却壁热面温度升高,热电偶温度随之升高;热电偶温度上升速率较小、温度上升曲线平滑,则认为主要是该部位炉内煤气温度升高,但渣皮未脱落。若软水供水温度、软水供水流量发生变化,热电偶温度随之发生变化,软水供水温度降低,软水供水流量增大,热电偶温度降低;反之,热电偶温度升高。热电偶温度变化的速率,取决于软水供水温度、流量的变化幅度。

3 渣皮稳定性分析

3.1 高度方向渣皮稳定性分析

高炉炉腹、炉腰、炉身下部由于处于炉内软熔带根部位置。炉内煤气流分布变化、原燃料质量变化、炉缸热度变化等原因,造成炉内软熔带根部位置的上下移动。由于铜冷却壁热电偶温度的敏感性,可以通过观察热电偶温度,来判定炉内软熔带根部的大致位置。七段、八段、九段铜冷却壁热电偶温度都稳定,说明软熔带根部位置处于九段铜冷却壁以上;七段、八段铜冷却壁热电偶温度稳定,九段铜冷却壁热电偶温度稳定性差,说明软熔带根部位置处于九段铜冷却壁位置;七段铜冷却壁热电偶温度稳定,八段、九段铜冷却壁热电偶温度稳定性差,说明软熔带根部位置处于八段铜冷却壁位置;七段、八段、九段铜冷却壁热电偶温度稳定性差,说明软熔带根部位置处于七段铜冷却壁或七段铜冷却壁以下位置。

高度方向铜冷却壁热电偶温度稳定性差,认为是由高度方向上渣皮厚度变化引起的。炉内高度方向上自软熔带根部开始产生渣铁混合物,软熔带根部以下位置在炉内冶炼条件一定的情况下最容易形成稳定厚度的渣皮;软熔带根部及以上位置渣皮稳定性差,一方面受软熔带根部位置煤气流改向冲刷渣皮影响,另一方面该部位没有产生充足的渣铁混合物。所以,软熔带根部及以上位置会出现热电偶温度连续高,不能及时完成渣皮重建的现象。

3.2 圆周方向渣皮稳定性分析

七段、八段、九段铜冷却壁热电偶温度都不稳定,且不稳定的现象存在于同一方向,说明该方向炉内边缘煤气流局部过盛,使该方向铜冷却壁热面渣皮频繁脱落。软熔带根部以下位置的铜冷却壁热电

偶温度圆周方向稳定,说明炉内边缘煤气流均匀、稳定。边缘煤气温度的变化导致铜冷却壁热电偶温度的变化,进而反映出炉内边缘煤气流的强弱。

3.3 渣皮稳定性的控制

对于炉内高度方向的渣皮稳定性分析,可大致判断炉内软熔带根部位置,监测软熔带根部的异常变化,为炉内下部送风制度和上部装料制度的调整提供依据。若软熔带根部位置过低,达到炉腹下部,尽量采取措施提高软熔带根部位置。否则由于现在国内大多数高炉的原燃料、操作条件都无法达到非常稳定,极有可能造成软熔带根部的进一步下移,从而使未充分分离的生料下降到风口带砸坏风口。且软熔带根部位置过低,易造成软熔带根部以上位置不能及时形成渣皮来保护铜冷却壁;若软熔带根部位置过高,则炉内间接还原减少,不利于高炉降低燃料比。从2号高炉冶炼实践看,软熔带根部位置绝大部分时间在9段铜冷却壁位置。

对于炉内圆周方向的渣皮稳定性分析,特别注意圆周局部方向的渣皮频繁脱落,尤其是七段、八段、九段铜冷却壁渣皮都发生明显的脱落。这说明在圆周方向上存在局部由风口循环区逸出的超高温煤气。煤气到达铜冷却壁所在位置,使该处铜冷却壁热面的渣皮脱落,这对高炉冶炼影响很大。一方面脱落的渣皮滑落到风口带造成风口损坏,另一方面渣皮脱落后,超高温煤气直接冲击铜冷却壁,铜冷却壁热面温度过高。若长时间存在超高温煤气对铜冷却壁的冲击,铜冷却壁热面的渣皮反复脱落,或者渣皮不可能得到重建的。若炉内存在铜冷却壁热面渣皮在圆周局部方向频繁脱落的现象,说明炉内中心煤气和边缘煤气都存在不稳定的可能,必须及时调整,稳定煤气流分布。

4 渣皮厚度分析

4.1 渣皮厚度的判定

没有直接手段测量铜冷却壁热面渣皮厚度,现行的手段是通过传热学模型间接推算渣皮厚度。铜冷却壁长期工作的热面温度应低于150℃,这要求铜冷却壁在工作期间必须要有厚度约10mm以上的渣皮保护^[2]。在铜冷却壁热面存在渣皮的情况下,铜冷却壁热电偶温度可以反映渣皮厚度的变化趋势。热电偶温度越高,则渣皮越薄。

4.2 渣皮厚度影响因素

影响渣皮厚度的因素,一是铜冷却壁的设计参数,包括冷却通道形状及直径、冷却通道间距、冷却

水管布置、镶砖导热系数等;二是软水供水温度、流量,温度越低、流量越大,渣皮厚度越厚;三是铜冷却壁对应部位煤气温度,煤气温度越低,渣皮厚度越厚。

4.3 渣皮厚度的控制

渣皮厚度的控制,一方面受必须有约10mm厚度以上的渣皮保护铜冷却壁的制约,另一方面渣皮过厚会减小炉内容积,甚至存在炉墙结厚的隐患。若七段、八段铜冷却壁渣皮稳定,渣皮厚度的控制范围可以在10~100mm,甚至可以有倾向性的使渣皮厚度稍厚,在对高炉容积影响不大的情况下,可以减少高炉热损失。若七段、八段铜冷却壁渣皮稳定性差,渣皮厚度适宜控制在较薄的范围,这样脱落后的渣皮厚度较小,减少了其对炉缸热量的消耗,降低了其砸坏风口的危险。

5 铜冷却壁高炉操作

5.1 渣皮脱落

铜冷却壁热面渣皮脱落后,一方面破坏操作炉型,另一方面造成炉缸热度波动,炉温波动程度与渣皮脱落体积密切相关。对非连续性渣皮脱落可不对炉内热制度做出调整,待渣皮熔化结束后,炉缸热度逐步回到原先水平。对连续性渣皮脱落,一方面要补充焦炭,另一方面必须及时寻找连续性渣皮脱落的根源,稳定煤气流分布,否则容易造成铜冷却壁及对应下部风口的损坏。

5.2 空料线降料面

首钢2号高炉空料线降料面过程中,七段铜冷却壁热电偶温度缓慢上升。当料面下达到七段铜冷却壁时,由于盖面焦的燃烧,铜冷却壁热面的渣皮开始脱落,热电偶温度大幅升高,料面刚刚经过之后,热电偶温度达到最高,之后热电偶温度回落(见图1)。

5.3 稳定煤气流分布

铜冷却壁是一种高效、长寿的冷却设备,对煤气流分布不稳定非常敏感。对于使用铜冷却壁的高炉,如何稳定边缘煤气流,以避免渣皮频繁脱落是一个重要课题。否则必然带来冷却壁、风口等的频繁损坏。

煤气流分布不稳定主要表现在:

(1)中心煤气流不稳定。十字测温中心温度波动大。从炉喉摄像观察,中心煤气火时强时弱、时宽时窄,伴随着压量关系的波动,料尺工作时快时慢,这是由于中心煤气流的过开引起的。过开的中心煤

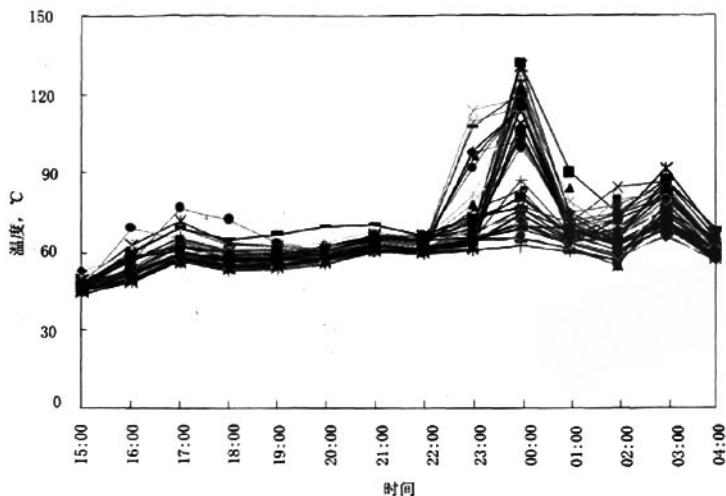


图1 首钢2号高炉空料线降料面过程中七段铜冷却壁热电偶温度变化

气流引起了炉内上部块状带中心部位的频繁塌料,造成了表面上炉内中心煤气时开、时不开的假象。炉内上部块状带塌料的瞬间,煤气的部分通路丧失,炉缸初始煤气流被迫从边缘薄弱部位寻找通路。边缘的局部过盛气流使其所经过处的渣皮脱落。在这种情况下,必须及时调整装料制度,一则在料尺工作正常的情况下,适当控制中心煤气流;二则可对边缘煤气流适当疏导,使中心煤气流与边缘煤气流的比例协调。

(2) 边缘煤气流不稳定。一方面体现在炉缸初始煤气流分布的边缘煤气流不稳定。由于炉缸初始煤气流向中心渗透困难,导致初始煤气流分布的边缘煤气流不稳定,出现边缘局部过盛气流,使渣皮脱落。在这种情况下,提高焦炭高温性能、调整上部装料制度疏导中心,解决初始煤气流向中心渗透困难的问题。另一方面,体现在由于上部边缘矿焦比不均匀,易对炉缸初始煤气流及软熔带的煤气流二次分布产生影响,在薄弱部位出现边缘局部过盛气流,使渣皮脱落。在这种情况下,调整装料制度,将炉料直接布到炉喉径向相应位置,减少依靠溜料实现的炉料在料面的再分配,使炉内对边缘矿焦比的控制能力增强,解决边缘煤气流圆周方向不均匀问题。

6 结语

(1) 高炉炉腹、炉腰、炉身下部是高炉长寿的制约环节。在该部位使用铜冷却壁,依靠渣皮的保护,实现了高炉炉腹、炉腰、炉身下部的长寿,同时薄壁

炉衬提高了高炉容积,实现了高炉高效生产。

(2) 铜冷却壁需要其热面的渣皮来实现对自身的保护。铜冷却壁热面的渣皮对炉内煤气流分布的变化十分敏感,圆周方向局部渣皮频繁脱落危害极大,是炉内煤气流分布不稳定的表现。必须及时调整、稳定煤气流分布,实现渣皮的稳定成为铜冷却壁高炉稳定、顺行的关键,也是铜冷却壁高炉与其它高炉最重要的区别。

(3) 铜冷却壁热电偶能够定性反映软熔带根部大致位置,反映渣皮厚度变化、渣皮脱落情况,监测高炉内型变化。

(4) 完善炉腹、炉腰、炉身下部安装铜冷却壁高炉的操作规律,切实发挥铜冷却壁长寿、高效的优点,解决部分铜冷却壁高炉风口频繁损坏的问题,为在高炉炉缸、铁口区使用铜冷却壁奠定基础,这是铜冷却壁研究工作的一个重要方向。

7 参考文献

- 1 项钟庸,王筱留等. 高炉设计——炼铁工艺设计理论与实践. 北京:冶金工业出版社,2007:385-393
- 2 钱亮,程树森等. 铜冷却壁炉墙内型管理传热学反问题模型. 炼铁,2006(4):18-22

联系人:马洪斌 工程师 电话:010-88295603

E-mail:mahbin@126.com

(100041)北京市石景山区首钢总公司炼铁厂

收稿日期:2008-06-16