

浅谈高炉中部调剂

张贺顺 马洪斌

(首钢总公司)

摘 要 本文从高炉中部调剂的理论分析出发,探讨了中部调剂的方式、效果,提出了首钢3号高炉中部调剂的建议。

关键词 高炉;冷却制度;中部调剂

前言

首钢3号高炉容积2536m³,1993年6月开炉,炉体冷却分为两种冷却模式:6段~12段冷却壁采用工业水开路循环冷却;13段~15段冷却壁采用软水密闭循环冷却。伴随着高炉冶炼强度、喷煤量不断提高,高炉炉体承受的热负荷随之增加,炉内顺行与炉况稳定性都变差,冷却壁破损加剧。由于炉体中部的炉腹、炉腰、炉身下部均采用工业水开路循环冷却,3号高炉逐步采用中部调剂,调整炉腹、炉腰和炉身下部冷却水的流量,以期维持适宜的高炉内型,改善炉内顺行与炉况稳定性。但3号高炉对于中部调剂影响高炉内型及炉内边缘煤气分布的程度缺乏深入认识,本文从中部调剂的理论分析出发,探讨了中部调剂的方式、效果,提出了3号高炉中部调剂的建议,以明确中部调剂在高炉冶炼制度调整中的地位与作用,避免因缺乏对中部调剂的认识而损坏冷却设备。

1 中部调剂的理论分析

1.1 炉体传热的理论分析

高炉内部热量传递到炉衬或渣皮主要依靠炉内边缘煤气与炉体之间的对流传热,在炉壳表面不喷水的情况下,热量主要依靠冷却水与冷却壁通道之间的对流传热,最终由冷却水带走,因此高炉炉体传热过程简化为:煤气—渣皮—炉衬—冷却壁—冷却水。炉况正常时,炉内温度和炉体内部温度分布可近似视为稳态温度场;对于被某块冷却壁覆盖的一部分炉体而言,虽然它在竖向和周向与其它炉体相连,但可近似视为绝热边界;炉体中各层厚度与该部位炉体直径之比较小,因此炉体径向传热可视为一维传热。

炉体的一维传热方程:

$$q = \frac{t_g - t_1}{R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{t_g - t_1}{1/a_0 + L_1/\lambda_1 + L_2/\lambda_2 + R_3 + 1/4a_4} \quad \text{公式 1}$$

q : 热流强度; t_g 、 t_1 : 炉内边缘煤气温度、冷却水温度; a_0 、 a_4 : 炉内边缘煤气与炉体的对流传热系数、冷却水与冷却壁通道的对流传热系数; L_1 、 L_2 : 渣皮厚度、炉衬厚度; λ_1 、 λ_2 : 渣皮传热系数、炉衬传热系数; R_0 : 炉内边缘煤气与炉体的对流传热热阻; R_1 : 渣皮传热热阻; R_2 : 炉衬传热热阻; R_3 : 冷却壁传热热阻; R_4 : 冷却水与冷却壁通道的对流传热热阻。

1.2 中部调剂与渣皮厚度的理论分析

中部调剂是通过改变冷却水的流量、水温来调整高炉炉体中部的冷却条件,以期影响高炉内部炉型。炉况正常时,高炉软熔带以下区域尤其是炉腹、炉腰、炉身下部区域在机械冲刷、化学侵蚀和热震等影响下,耐火炉衬逐步消失,炉体依靠渣皮自我保护。炉体的一维传热方程简化为:

$$q = \frac{t_g - t_1}{1/a_0 + L_1/\lambda_1 + R_3 + 1/4a_4} \quad \text{公式 2}$$

在高炉冶炼条件确定的情况下, t_g 、 a_0 、 λ_1 、 R_3 等值确定,渣皮厚度 L_1 与热流密度 q 、冷却水温度 t_1 、冷却水与冷却壁通道的对流传热系数 a_4 相关。而在正常冷却条件下,冷却水与冷却壁通道的对流传热系数远大于

冷却壁本体的总传热系数^[1],调节冷却壁通道内的冷却水流量可以在一定程度上影响冷却壁的冷却能力,但它是有限的,特别是铸铁冷却壁,由于气隙和防渗碳涂层的热阻很大,提高冷却水流量的作用更小,因此渣皮厚度 L_1 主要与热流强度 q 、冷却水温度相关。

1.3 中部调剂与边缘煤气分布的理论分析

同样,利用公式(2)对中部调剂与边缘煤气分布的关系进行分析,两者依靠炉内边缘煤气温度 t_g 相互联系, a_0 、 a_4 、 λ_1 、 R_3 等值基本确定或影响有效,炉内边缘煤气温度 t_g 与热流密度 q 、冷却水温度 t_1 、渣皮厚度 L_1 相关。但冷却水温度并不能直接影响炉内边缘煤气温度 t_g ,因为渣皮厚度 L_1 会根据炉内边缘煤气温度变化而相应变化,因此边缘煤气分布与中部调剂不存在必然的关系。

2 中部调剂的操作分析

2.1 中部调剂的方式与效果

高炉中部调剂通常是减少或增加冷却水流量,以期改变炉内渣皮厚度,从而影响高炉内部边缘煤气分布。由中部调剂的理论分析可知,减少或增加冷却水流量虽然引起水温差的变化,但高炉炉体热流强度并未发生变化,也就是冷却水流量的变化并未改变炉体的传热,也就不会改变渣皮厚度。高炉边缘煤气温度是影响渣皮厚度的主要因素,冷却水流量对促进渣皮生长没有显著作用,边缘煤气温度增加使冷却壁热面的渣皮厚度减少,冷却壁承受的热流强度升高。

调整冷却水温度可以实现对渣皮厚度的控制,冷却水温度降低后,由于热流强度的增大使冷却壁热面温度下降,渣皮厚度增加;冷却水温度升高后,由于热流强度的降低使冷却壁热面温度上升,渣皮厚度减小。

2.2 中部调剂的作用

高炉进行中部调剂,往往伴随着高炉炉内顺行差、炉况稳定性差,对送风制度、装料制度等进行调整,因此炉内边缘煤气分布的变化往往分不清是何种调整起到的作用。高炉内部边缘煤气分布的变化是渣皮厚度变化的主要原因,由于边缘煤气分布变化,造成高炉炉体热流强度的变化,在冷却条件正常的情况下,冷却壁热面温度发生相应变化,最终导致渣皮厚度的变化,但并不能说渣皮厚度的变化导致炉内边缘煤气分布的变化。

3 中部调剂的应用

3.1 冷却水流量的调整

在正常冷却条件下,冷却水流量的变化对渣皮厚度的影响非常有限,无法达到想象的效果,因此冷却水流量调整的核心是合理的冷却水水速,冷却壁通道内的水速应不低于悬浮物沉淀或产生膜状沸腾的临界流速,确保冷却水与冷却壁道壁的对流传热系数保持在高水平,并且满足在极限热流强度下水温差 $\leq 5^\circ\text{C}$ 。冷却水流量无限制的 $\geq 1.8\text{m/s}$ 对于渣皮厚度的影响有限,只会引起动力消耗的升高。3号高炉工业水开路循环冷却系统的冷却水水速 $\geq 1.8\text{m/s}$,有条件进一步控制冷却壁凸台的冷却水水速 $\geq 2.0\text{m/s}$ 。

3.2 冷却水温度的调整

在正常冷却条件下,冷却水温度的变化对渣皮厚度存在影响,降低水温可以有效降低冷却壁热面的温度,渣皮厚度增加,而提高水温可以提高冷却壁热面的温度,渣皮厚度减少,但提高水温必须注意工业水的结垢温度,防止工业水在冷却壁通道内大量结垢,破坏冷却壁与冷却水之间的对流传热,引起冷却壁热面温度的升高。3号高炉工业水开路循环冷却系统的冷却水温度 $\leq 35^\circ\text{C}$,有条件进一步控制冷却水温度 $\leq 30^\circ\text{C}$,继续降低冷却水温度对炉内渣皮的厚度增加有促进作用,但同时必然引起动力消耗的上升。出于避开工业水结垢温度的目的,工业水开路循环冷却系统水温差的上限 $\leq 5^\circ\text{C}$,平均水温差 $\leq 3.5^\circ\text{C}$ 。

4 中部调剂的监测

4.1 热流强度监测

热流强度监测较水温差监测更能反应炉体传热的变化,在正常冷却条件下,热流强度的变化反应了两方面问题:一是炉内边缘煤气分布的变化,由于边缘煤气温度的变化使热流强度发生相应变化,二是炉内渣皮的异常生成与脱落,也导致热流强度的变化,通过对热流强度的连续监测有助于及时了解炉内冶炼的状

况,并进行对应性的基本制度调整。

4.2 温度监测

温度监测是指冷却壁内热电偶温度的监测,温度监测能够实时反应炉体传热的变化,相对热流强度监测,温度监测还能克服冷却壁通道结垢对热流强度监测的影响,温度监测更加准确、及时。

5 结语

(1)冷却水流量调整对高炉内型的影响非常有限,冷却水温度调整对高炉内型存在一定影响。但在现有高炉冶炼条件下,高炉中部调剂的主要手段是调整冷却水流量,其对高炉内型的影响可以忽略,因此,炉内边缘煤气分布的变化能够通过热流强度、冷却壁热电偶温度等得到反应,但调整冷却水流量并不能影响渣皮厚度及炉内边缘煤气分布。

(2)高炉中部调剂的运用,需要摒弃传统认识,针对实际炉况进行分析,通过送风制度、装料制度等基本制度的调整来改变炉内煤气分布,从而影响炉内渣皮厚度,炉体热流强度及热电偶温度的变化只是炉内边缘煤气分布变化的外在反应。

参考文献

- [1] 项钟庸,炼铁工艺设计理论与实践,北京,冶金工业出版社,2007.11.