

首钢顶燃式热风炉燃烧口破损调查及对策

赵民革 胡雄光 荣俊生 郭家林

(首钢总公司)

摘 要 顶燃式热风炉 1979 年在首钢投产,90 年代以后,随着高炉大型化,大型顶燃式热风炉燃烧口的寿命只有 4~5 年,严重制约了高炉生产和指标的改善。为了提高燃烧口寿命,在对砌体塌落进行调查的基础上,对燃烧口破损原因进行了研究,并提出了改进措施。

关键词 热风炉 燃烧口 破损^①

INVESTIGATION ON BURNER FAILURE OF TOP CHAMBER HOT STOVES AND ITS COUNTERMEASURE AT SHOUGANG

ZHAO Minge HU Xiongguang RONG Junsheng GUO Jialin

(Shougang Corp.)

ABSTRACT The hot stoves with top combustion chamber was put into operation on Shougang's No. 2 blast furnace in 1979. With the blast furnace volume enlargement finished in 1990s, the burner life was kept as short as 4-5 years and furnace production was limited. On the basis of investigation the mechanism of burner failure has been clarified. The result suggests a way to prolong campaign of burner.

KEY WORDS hot stove, burner, breakdown

1 前言

1979 年,在首钢新 2 号高炉(内容积 1327 m^3),首钢自行设计制造的顶燃式热风炉投产,并取得了较好的效果。由于它以拱顶作为燃烧室,取消了传统内燃式或外燃式热风炉的燃烧室,占地少,投资省,很适宜老厂的技术改造^[1]。1991~1994 年,在高炉大型化改造中,这种热风炉得到了广泛应用。现在,首钢炼铁厂四座大型高炉配置了 16 座顶燃式热风炉,每座热风炉分别装有 2~4 个燃烧器,燃烧口的直径为 500~800 mm。尽管在燃烧口砌筑、耐火材料选择等方面做了一些工作,但是燃烧口的寿命仍然只有 4~5 年左右,不能满足高炉一代炉役的要求,严重制约了高炉生产和指标的改善。为了提高燃烧口寿命,对其破损原因进行了调查研究。

2 顶燃式热风炉燃烧口砌体塌落调查

2.1 砌体的特点

热风炉组合砖是由几十种或几百种不同几何形

状的单体相贯组成的复杂几何体。砖与砖之间互相咬合,采用整体砌筑方式。该组合砖是用组合造型离心法加工而成的,其加工过程是制作石膏母板——配制泥浆——真空搅拌——离心成型。采用离心成型法与国内外其他类型的组合砖生产方法(一砖一模人工捣制法、母砖机械加工法等)相比,具有密度高、组织均匀、强度高、耐高温性能好、重烧收缩小、生产效率高等优点,而缺点是组装外形尺寸不如母砖机械加工法精确,其公差范围为 $\pm 5\text{ mm}$ 。

2.2 砌体的塌落

从 1999 年 7 月二高炉 2 号热风炉检修及 10 月三高炉 3 号热风炉检修期间,对热风炉燃烧口的破损情况调查来看,燃烧口组合砖上部损坏比较严重(图 1、2)。表现形式为:裂缝、组合砖松动、在裂缝处局部破损,出现组合砖的塌落、掉砖情况等。

3 燃烧口破损原因分析

3.1 燃烧口工作环境

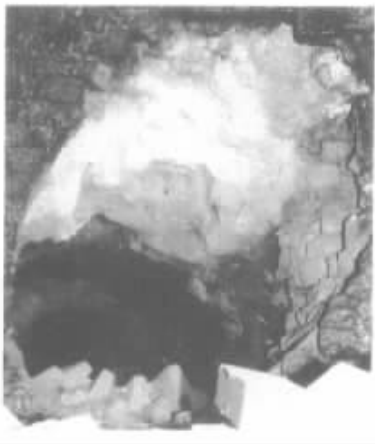


图 1 首钢二高炉 2 号热风炉燃烧口破损图
Fig.1 The damage burner of No. 2 hot stove of No. 2 BF at Shougang



图 2 首钢三高炉 3 号热风炉燃烧口破损图
Fig.2 The damage burner of No. 3 hot stove of No. 3 BF at Shougang

与传统内燃式或外燃式热风炉相比,顶燃式热风炉的特点是将燃烧室移到热风炉拱顶,从而节约了空间及投资。但是,顶燃方式也给燃烧口组合砖造成了恶劣的工作环境:① 燃烧口砌体必须承受换炉操作时的急冷急热工况,根据在燃烧口处预埋热电偶实际测得的温度,燃烧期时该点温度维持在 40~50℃,送风期时该点温度上升到 800~900℃,频繁的换炉操作降低了耐火材料的高温体积稳定性,是砌体塌落的主要原因;② 燃气所携带的机械水及瓦斯灰的混合物进入因急冷急热工况而产生的砌体缝隙内,对耐火材料造成侵蚀。

3.2 热风炉燃气质量

首钢热风炉燃烧所用的燃料主要是高炉煤气,

设计上煤气除尘设备主要是干法除尘系统。由于干法除尘系统未投入使用,生产中主要靠文氏管进行湿法除尘,煤气洗气能力不足,造成煤气温度较高,高炉煤气所含饱和水和机械水较高,含尘量也高。测试结果表明,夏季煤气机械水含量为 10~15 g/m³,含尘量为 30~40 mg/m³。高炉煤气成分见表 1。

表 1 高炉煤气成分表
Table 1 BF gas composition

CO ₂ / %	CO/ %	H ₂ / %	N ₂ / %	含尘量/ mg·m ⁻³	机械水/ g·m ⁻³
17.6	24.0	1.3	5.71	33	14

注:煤气中气体成分为体积含量

3.3 耐火材料及砌筑质量

3.3.1 耐火材料情况

目前,首钢热风炉燃烧口所用组合砖选用材质为莫来石-刚玉质、莫来石-堇青石。该组合砖在热风炉燃烧口使用后的化学、物理性能及厂家提供的指标见表 2、3。

表 2 组合砖化学成分
Table 2 Chemical composition of complex brick %

数据来源	材质	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
实际取样	莫来石-刚玉	23.09	74.55	1.18	0.22
	莫来石-堇青石	26.88	70.51	1.37	0.19
厂家提供	莫来石-刚玉		72.94	1.25	
	莫来石-堇青石		75.57	1.23	1.85

由表 3 可见,组合砖在热风炉使用后的实际性能检测数据与厂家提供的性能指标相比,相差较大的是重烧线变化这项指标。厂家提供数据为 1500℃保温 2 h 时重烧线变化是 +0.1%,而实际所测试样中该项指标绝大多数为负值,且相差很多。重烧体积的变化,表征耐火制品的高温体积稳定性。重烧收缩过大,则有发生砌砖脱落以致引起整体结构破坏的危险,也会大大降低其抵抗物料的侵蚀能力。

从生产厂家取回的新砖样进行切样分析中发现,样品外观颗粒周围存在较多气孔,且分布不均匀。经 1400℃×2 h 烧后,发现在颗粒周围存在缝隙,说明基质或颗粒部分已经产生收缩。这样在使用中,砖受高速气流的冲刷,容易在缺陷处引起侵蚀,长时间则形成局部侵蚀。在砌体某一局部因故受损时,导致附近相邻砖衬也随之塌落,影响耐火燃烧口寿命。

砖型结构直接影响着热风燃烧口砌体的整体性、稳定性,从而影响着燃烧口的使用寿命。

表 3 高炉热风炉燃烧口组合砖物理性能
Table 3 Physical properties of burner complex brick in hot stoves

数据来源	部位	材质	性能					
			体积密度/ g·cm ⁻³	气孔率/ %	常温耐压/ MPa	重烧/ %	热震/ 次	荷软/ C
实际取样 1550	燃烧口	莫来石-刚玉	2.65	15.44	45.2	-0.27	23	1617
		莫来石-堇青石		2.62	13.82	63.0	-0.37	49
	中部	莫来石-堇青石	2.68	15.64	63.0	-0.42		1515
	尾部	莫来石-堇青石	2.67	16.57	43.0	-0.16		1553
厂家提供		莫来石-刚玉	2.72	16.00	75.0	+0.10		1690
		莫来石-堇青石	2.70	15.00	88.0	+0.10	75	1580

注:常温耐压 110 C×16 h;重烧线变化1500 C×3 h;热震稳定性1100 C水冷。

3.3.2 组合砖结构

目前,首钢在燃烧口使用的组合砖结构见图 3。图中组合砖直线段起至斜度处上部是一薄弱环节,同时,由于该部位的组合砖在热风炉运行过程是发生急冷急热现象最为严重的部位,使组合砖在使用中极易先在这个部位损坏,再加上燃烧口尺寸随着高炉生产需求而增大,而组合砖之间的契度不够,砖与砖之间相互挤压力不够,致使该部位组合砖在使用中先出现局部破损,而后导致整块砖掉下来,出现燃烧口烧塌现象。

实践证明,目前首钢使用的这种组合砖的平均寿命是 4~5 年,与首钢以前曾经采用的粘土砖燃烧口、浇注料现场施工成型的燃烧口寿命相比,效果不甚明显。采用目前的组合砖砖型,仍无法达到使热风炉燃烧口寿命与热风炉寿命相适应的目的。

3.3.3 组合砖的砌筑

首钢现行的组合砖安装方法是把轻质砖直接堆砌在组合砖上面,从而使组合砖承受了除自重外的附加压力,在使用中,砖受急冷急热后发生松动,局部损坏后,组合砖掉砖、塌落,上面的轻质砖也一起塌落。

在安装时,虽然对砖及砖缝泥浆的调配与使用都做了严格的要求,但在施工中往往会出现偏差,当砖缝较宽时,由于灰浆的抗渣性较差,砖缝蚀损较快,熔渣又通过砖缝加速对砖的侵蚀。同时,由于砖缝收缩,砖层变动,导致部分砖局部应力集中,加速了耐火砖的破损,而影响组合砖的使用寿命。

4 提高热风炉燃烧口寿命的措施

为了提高热风炉燃烧口寿命,可采取的主要措施是改善燃气质量,此外在耐火材料方面尽可能地提高燃烧口砌体材料的整体性、稳定性以及高温特性。

4.1 不定形耐火材料的发展

不定形耐火材料是当今耐火材料使用的主流趋

势,在不断研究和改进的基础上,其施工性能和某些使用性能都已达到甚至超过了砖。90 年代出现的可依靠自身重量流动,无需振动的第四代浇注料——自流型浇注料,在保留了传统的浇注料整体性好、施工方便等特点的同时,施工操作进一步简化,并降低了施工现场的噪音。在性能方面,自流浇注料总体水平不低于传统的低水泥或越低水泥结合的浇注料性能,在某些性能方面甚至有所提高。

根据炼铁厂热风炉燃烧口的特点,以及使用莫来石-刚玉、莫来石-堇青石组合砖的经验,采用莫来石-刚玉质自流型浇注料整体浇注热风炉燃烧口,适当优化其基质的组成,则既可保证该类材质优异的热震稳定性和高温使用性能,又可提高施工体的整体性,消除砖缝给渣侵蚀带来的不利影响,并且施工方便。表 4 给出了首钢 2 号高炉热风炉燃烧口用莫来石-刚玉质自流型浇注料的性能。

表 4 莫来石-刚玉质自流型浇注料的性能

Table 4 Properties of self-floating castable
composed by mullite-corundum

测试项目	测试条件	实 测 值
Al ₂ O ₃ /%		≥60
耐火度/C		≥1750
体积密度/g·cm ⁻³	1300 C×3 h	2.5
耐压强度/MPa	1100 C×3 h	80
抗折强度/MPa	1300 C×3 h	10
线变化率/%	1100 C×3 h	±0.2

4.2 组合砖

目前,首钢应用组合砖的结构见图 3,图中 A 处上部砖太薄,针对这一薄弱环节,建议对 A 处加厚,因为在调查中发现此处到大墙还有一定的空间,具备加厚的条件。同时,在组合砖设计中,还应该加强组合砖各键之间的相互挤压力,使这些复杂外形的耐火砖在砌筑时相互锁紧并合理传递应力。可以在组合砖上加设锁扣,使砖安装后,一扣套一扣,这样可以增加组合砖的稳定性,加强互相咬合的能力,砌

成后砖环近似一个带链的圆形整体,提高组合砖寿命。

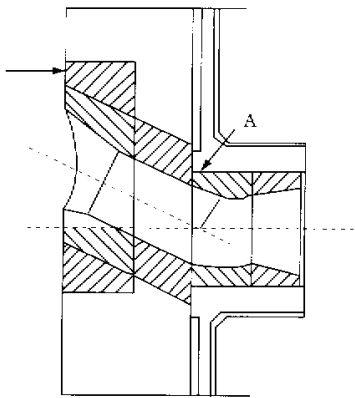


图 3 组合砖结构示意图

Fig. 3 Structure sketch of the complex brick

提高孔口整体性主要是通过采用大块异型砖,减少砖缝,采用高强度泥浆砌筑或采用不定型耐火材料现场整体施工成型;提高孔口稳定性主要是通过合理设计孔口砌体结构及砖型,使孔口砖相互锁紧,并合理传递应力,在燃烧口形成牢固且稳定的砌体。

在组合砖现场安装施工中,为避免出现偏差影响组合砖寿命,可以在组合砖外加一圈石棉毡,再在石棉毡外加固一圈混凝土,以防止上面轻层砖直接压在组合砖上,在加固水泥后,同时还应考虑膨胀的问题。

4.3 改善煤气质量

为减少煤气中含水较高给热风炉燃烧口寿命带来的不利影响,应采取措施提高高炉煤气的质量。采

用的办法是:① 采用干法除尘技术,采用可靠的干式除尘设施,不仅可以减少煤气含水量,提高煤气热值,而且还可以减轻燃烧口、热风口砖及热风炉顶部蓄热砖的渣化反应;② 利用 2 号高炉大修机会,新建一套独立的水处理系统,原有湿式系统只需承担 4 座高炉除尘的水处理量,可使水处理效果得到改善,煤气质量随之提高。

当前,可在热风炉的煤气管道前增加一套煤气脱水装置,按脱去机械水 30 % 测算,1 m³ 煤气可脱水 4~5 g。同时,由于脱水过程中同时脱除了一部分灰尘,对延长热风炉寿命,减轻燃烧口、热风口砖及热风炉顶部蓄热砖的渣化起到积极的作用。

5 建议

(1) 要提高顶燃式热风炉燃烧口使用寿命,需要对目前所使用的组合砖的砖型结构及其整体稳定性进行改进和完善。

(2) 在燃烧口应用组合砖技术尚未成熟的情况下,试验采用耐火浇注料,在现场进行整体施工砌筑或浇注成预制块,或采用粘土砖进行砌筑试验,以便选出最佳方案,既提高燃烧口使用寿命,又降低投资。

(3) 可考虑使每座热风炉都使用 4 个燃烧器,以提高每个燃烧口的强度;在下一步发展中,应研究先进的环缝式燃烧器来替代目前的这种燃烧器。

(4) 在热风炉燃烧口用其他形式的耐火材料砌筑。根据首钢热风炉燃烧口使用组合砖的寿命情况,除考虑对组合砖进行改进完善外,考虑使用耐火浇注料预制块或现场成型,这样不仅使燃烧口砌体的整体稳定性提高,同时还可降低成本。

参 考 文 献