

本钢五号高炉铜冷却壁破损分析及改进

Damaged Analysis and Improvement of No.5 Blast Furnace's Copper Cooling Stave of BX STEEL

供稿|高福生/GAO Fu-sheng

内容摘要

本钢五号高炉由于设计上存在的缺陷，炉腹、炉腰部分长期在高强度冶炼下侵蚀严重，严重影响了高炉的长期稳定顺行和进一步优化。五号高炉工艺设备技术人员在针对铜冷却壁不同部位破损情况，具体问题具体分析并逐步在实践中改造，成功解决铜冷却壁破损问题，减缓了冷却壁的破损速度，有效地制止了冷却壁大量漏水对炉况顺行造成的危害，为五号高炉末期稳定安全生产及炉况的稳定顺行达产创造了有利条件，同时在铜冷却壁的应用取材、制造工艺及广泛应用上积累了丰富的经验。

炼铁厂五号高炉于2001年11月投产，高炉B1段冷却壁为五进五出式铸铁冷却壁，B2段和S1段的铜冷却壁是由芬兰奥德昆普生产的连铸扁圆孔型铜冷却壁。在高炉投产3年后发现高炉B1段铸铁冷却壁有漏水现象，并且漏水情况逐步恶化。根据实际生产情况炼铁厂针对五炉冷却壁共进行7次大规模检修。

五号高炉冷却壁破损改造

B1段冷却壁材质的改进

由于高炉B1段铸铁冷却壁在高炉风口区域，此部位温度较高，检修之前已有54根铸铁冷却壁水管烧损，铸铁冷却壁壁体本身也破损严重，在2008年初于中冶赛迪设计院多次交流后，将B1段铸铁冷却壁改为铸铜冷却壁，制造厂家是浙江绍兴曙光冶金设备制造厂，于2008年10月份安装完毕，使用至今运行状况良好；同时又将184根B2段和S1段冷却壁连接水管由金属硬连接管改为金属软连接管，原有波纹管无法起到补偿作用，也进行了全部更换，同时炉壳与冷却壁水管之间的间距从8mm扩大到15mm，并处理S1段铜冷却壁44根水管。

S1段冷却壁连接水管的改造

到2005年10月27日前，高炉B2段、S1段铜冷却壁运行良好。从2005年10月27日，S1段冷却壁45#水管开始出现漏水。2007年3月11日，请烟台鲁宝冷却壁制造厂对从2005年10月27日至2007年3月11日破损的S1段25根冷却壁水管进行焊处处理。通过对S1段破损冷却壁分析，原因有两点：

第一，铜冷却壁连接水管采用金属硬管连接，在冷却壁变形的情况下，它对冷却壁水管产生了约束力，使水管不能自由位移，同时在热疲劳的作用下，导致水管与壁体焊缝边缘处产生疲劳破损开裂。

第二，发现B2段及S1段铜冷却壁水管、炉壳之间及外部冷却壁波纹管被高炉投产前的二次炉体灌浆所灌死，也致使铜冷却壁水管与炉壳之间没有横向和纵向位移，造成S1段铜冷却壁水管被剪切破损漏水。当高炉休风后对铜冷却壁破损检查时，还发现在发生断裂和裂纹的冷却壁水管上有不同程度出现炉壳直接压扁铜冷却壁水管的痕迹。这说明有的铜冷却壁水管与高炉炉壳存在着直接接触，也说明在部分铜冷却壁安装时铜冷却壁水管与高炉炉壳之间的间隙存在

作者单位：本钢板材股份有限公司炼铁厂，辽宁本溪117000

安装误差,从而导致铜冷却壁水管限制位移被高炉炉壳剪断和裂纹破损。铜冷却壁在炉内热变形是不可避免的,铜冷却壁越长,其受热变形的位移越大^[1]。

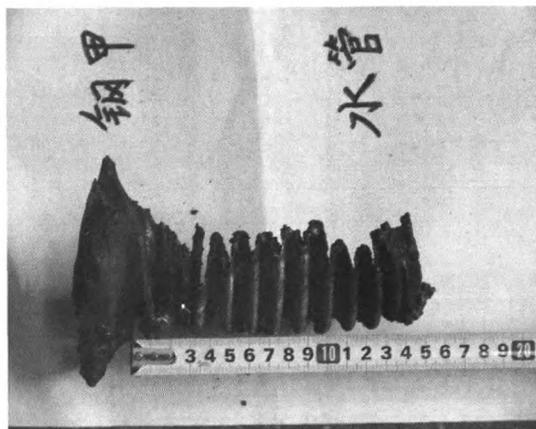


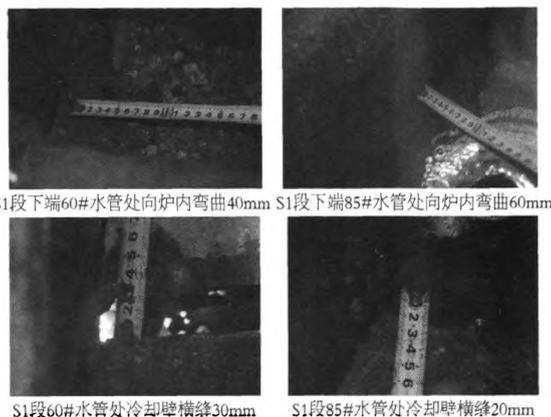
图1 破损的冷却壁水管

从以上铜冷却壁水管出现根部断裂和裂纹的情况分析看,正是由于铜冷却壁水管被波纹管内压力灌浆的耐火材料和炉壳与冷却壁水管限制自由位移所致,铜冷却壁经炉内高温导致受热膨胀,在冷却壁水管根部的结晶界面处产生极大的交变应力,加上铜冷却壁壁体过长在炉内弯曲形成的拉力过大的共同作用,使得铜冷却壁水管根部焊缝内在的微小缺陷诱发泄漏;铜冷却壁壁体热膨胀形成交变应力,导致结晶面出现应力疲劳,产生裂纹后,扩张为裂口,随着时间的推移发展到铜冷却壁水管断裂^[1]。

2007年8月9日,将184根S1段、B2段铜冷却壁外部连接水管、736根波纹管金属硬连接改为金属软连接水管,同时又对55根破损的S1段铜冷却壁水管进行检修。

2008年4月11日,利用五炉年修时处理8根S1段铜冷却壁水管。2009年10月19日,利用五炉年修计算机升级改造,处理7根S1段冷却壁铜冷却壁水管,13根S2段铸铁冷却壁水管;2010年10月8日,利用五炉年修时处理S1段46根铜冷却壁水管;2010年12月28日,年修后两个半月内,再次发现37根冷却壁水管漏水,其中有19根通氮气冷却,18根通生产水冷却,休风后共处理S1段铜冷却壁水管42个下口和6个上口,此次检修对冷却壁水管根部加焊铜锥体护套加固。检修过程中发现42根冷却壁水管中,

11块冷却壁上共44根水管有31根水管损坏而且非常集中,对冷却壁的冷却强度有很大影响,并对11块冷却壁壁体与炉壳的间隙进行逐一测量并拍照留下数据,见图2。



S1段下端60#水管处向炉内弯曲40mm S1段下端85#水管处向炉内弯曲60mm

S1段60#水管处冷却壁横缘30mm

S1段85#水管处冷却壁横缘20mm

图2 S1段铜冷却壁水管断裂、冷却壁壁体紧固螺栓以及铜冷却壁壁体位移照片

通过分析2010年10月8日和2010年12月28日两次检修时拍下的照片S1段第15号铜冷却壁壁体与钢甲实测距离为100mm,原设计为40mm,向炉内径向位移约60mm;S1段第15号铜冷却壁与相邻冷却壁实测距离最大为30mm,最小为0mm,冷却壁间距原设计为15mm,横向和纵向位移约15mm。根据数据显示S1段多块铜冷却壁壁体发生了明显变形,我们初步判断S1段冷却壁下部部分M36紧固螺栓失效。冷却壁水管承受巨大拉力和剪切力,是造成这次冷却壁水管短时间内大量破损的根本原因^[2]。2010年12月28日修复后又先后出现18根冷却壁水管破损。2011年1月6日、10日,在设备部的组织下,炼铁厂及相关单位分别与中冶赛迪和PW公司对此问题进行技术交流。中冶赛迪和PW公司相关专家对10月8日和12月28日的检修照片进行认真观看和分析,认为五炉冷却壁破损极为严重,国内外高炉没有如此严重的现象发生,更无处理此类问题的经验可以借鉴,也同意本钢对S1段冷却壁M36螺栓失效的判断,并与本钢相关单位共同制定铜冷却壁整体改造更换方案^[2]。

在高炉2011年4月19日投产后,高炉的软化水补充水量平均在每班1t左右。此冷却壁运行到7月份左右就发现冷却壁的外部软连接管有变形现象,并逐渐扩大了软连接管的变形量。在2011年7月21日

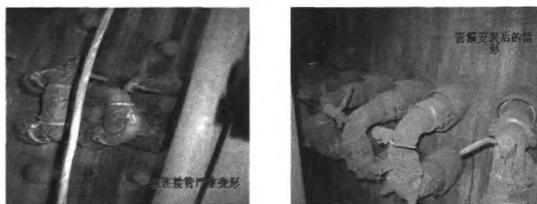


图3 冷却壁水管管箍改造前后对比图

丙班发现冷却壁的81#管S1段-1与S1段-2的铜冷却壁铜水管与钢管箍断裂漏水。因软化水的跑水量过大,于2011年7月22日白班将此根冷却壁改为通工业水冷却。随后78#冷却壁水管S1段-1与S1段-2的铜冷却壁铜水管与钢管箍断裂漏水并且断裂处已经严重的脱离,马上又组织检修人员继续改通工业水冷却。截止到2011年11月1日五号高炉预休风前,铜冷却壁水管与钢管箍的连接处共有16处断裂漏水现象。在此冷却壁外部连接水管变形及铜冷却壁水管于钢管箍损坏期间,我厂多次与中冶赛迪设计院及设备制造厂沟通、协调解决方案,并于2011年9月设备制造厂提出解决方案和备件提供,对此部位增加管箍进行加固并委托本钢维检中心炼铁分公司进行施工,共增加管箍护套1472个。

B2段、S1段结构形式的改造

卢森堡PW公司设计的铜冷却壁通常采用两段合为一段的做法,其设计的优点和目的是为了减少在炉壳开孔数量,降低密封件及联络管安装时施工的工期和焊接量,并能提高高炉的气密性能。但这种做法的结果是增大了铜冷却壁水管的位移空间,当铜冷却壁水管出现被限制时,将大大增加了高炉冷却壁水管被剪断和剪裂的可能性^[1]。

五号高炉的B1段为铸铁冷却壁,B2段和S1段的铜冷却壁是由芬兰奥德昆普生产的连铸扁圆孔型铜冷却壁,其中炉腹中上部和炉腰合为一段,高度为3693mm;炉身下部设置一段高度为4000mm,该冷却壁体厚为120mm。由于上述两段冷却壁因存在壁体过长等缺陷,造成冷却壁水管频繁损坏,经中冶赛迪设计院及公司各部门共同论证将此两段超长冷却壁改为四段铸铜冷却壁,制造厂家也是由中冶赛迪设计院继续推荐浙江绍兴曙光冶金设备制造厂生产的铸铜冷却壁。2011年3月26日控制线停炉对冷却壁整体改造更换,其中在原有施工计划中只对B2段、S1

段铜冷却壁进行更换,由原有的两段92块改为每段分为两带,每带46块共计184块铜冷却壁更换;在检修过程中发现B1段有4块铜冷却壁破损严重,进行更换,S2段有6块铸铁冷却壁破损严重需要更换,S3段有2块铸铁冷却壁需要更换,总计拆除104块冷却壁,安装196块冷却壁,并于2011年4月9日投入到生产中。



图4 S1段破损的长冷却壁

铜冷却壁铸造工艺的改进

2011年11月1日高炉控制线后进入炉内后发现,在2011年4月19日更换的四段铸铜冷却壁有严重的损坏,大部分冷却壁体的冷却水管已漏出,并有微小漏水现象发生,并维持到2011年11月1日五号高炉检修为止,冷却壁本体铜管与钢管焊口损坏仅为16处。

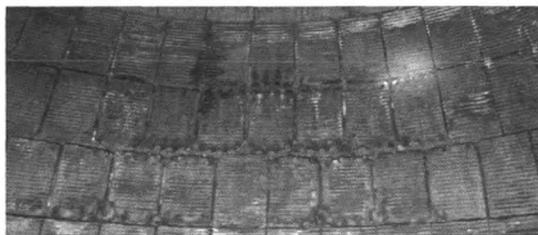


图5 B2~S2段破损铜冷却壁

B2-1冷却壁完好,有个别冷却壁出现了向炉内移动现象;B2-2冷却壁有7块冷却壁上下两端均漏出水管,有18块冷却壁下端露出水管;S1-1冷却壁有6块冷却壁上下两端均漏出水管,有21块冷却壁上端露出水管;S1-2冷却壁有1块冷却壁下端露出水管,有10块冷却壁下端壁体不完整。

铜冷却壁破损原因分析:

- (1) 冷却壁壁体厚度从130mm改为120mm;
- (2) 冷却壁水管从 $\phi 64\text{mm} \times 8\text{mm}$ 改为 $\phi 76\text{mm} \times 8\text{mm}$;
- (3) 厂家冷却壁浇注温度过低 1090°C (铜的熔点 1083°C);

(下转第41页)

在现场生产中，应加强对设备的点检与维护，以确保风机的正常运行。

(1)、简易测振仪在现场已普及应用，虽然能判断设备的运转状态，但是缺乏有效的监控和分析手段，所以对一些重要旋转设备需加装传感器，接入微机画面，实现实时监控，并增加辅助分析软件，快速判断排除故障。

(2)、收集整理点检数据并绘制成曲线，同时结合电机负载、介质温度、压力、流量及生产工况等条件，来进一步掌控风机的工作状态。

(上接第35页)

(4) 厂家制作模具时将铜管两侧弯管全部固定，当温度 1090℃ 时，铜管延长 25mm，不能正常延伸，铜管在铸件内部变形；

(5) 原有冷却壁燕尾槽为铸造生产；

改进措施：

(1) 冷却壁图纸重新确认，炉身角从 82.1627° 改为 83°，最大限度的增加凸台高度，两相邻凸台连在一起；

(2) 冷却壁墙体厚度从 120 mm 恢复到 130 mm，冷面保证 22.5 mm 以上；

(3) 冷却壁水管 $\phi 76 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 改为 $\phi 76 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ ，最大限度提高浇铸温度（1130℃ 以上）；

(4) 厂家模具及铜管预热，铜管单面固定，升温时变形延伸方向可控，铜管弯管处焊加固定楔；

(5) 冷却壁墙体冷面加四道立筋，保证正常工作热胀冷缩时的墙体强度，立筋高度不能影响压浆工作；

(6) 冷却壁燕尾槽铸造生产改为切削加工，深度从 35 mm 改为 30 mm，冷却壁弯处深度改为 20 mm；

(7) 原有外部连接水管，先螺纹连接后焊接，最后打卡子固定；

(8) 冷却壁 S1-1 与 S1-2 之间，B2-1 与 B2-2 之间新制软连接改造加长；

(9) 新制冷却壁保留原有测温点的同时，在 B2-2 上部、S1-1 的上、下部增加 24 个测温点，加强冷却壁墙体温度的监测。

(3)、定期对转子进行检查，主要包括锁紧装置检查、叶轮与转子固定螺栓检查，转子磨损或粘料情况。

参考文献

- [1] 陈长征,胡立新,周勃,等.设备振动分析与故障诊断技术.北京:科学出版社,2007.5

作者简介

罗亮(1983.11—),男,安徽六安人,河南省安阳市安阳钢铁集团有限责任公司炼铁厂设备材料科,助理工程师,本科,从事高炉喷煤设备管理。

结束语

通过上面的这些措施和手段,减缓了冷却壁的破损速度,有效地制止了冷却壁大量漏水对炉况顺行造成的危害,保证五号高炉末期正常生产,为炉况的稳定顺行达高产创造了有利条件,同时也为铜冷却壁广泛应用总结出了很好的经验。

改善冷却壁材质。铜冷却壁比铸铁冷却壁具有更大的优越性,特别在炉腹,冷却壁的强冷却能力是最必要的特性。它将保持冷却壁本体足够低的温度,以防止冷却壁本体的变形,同时通过形成稳定的渣皮将磨损控制得很小,延长冷却壁的寿命。

铜冷却壁结构形式设计方面要合理,制造工艺应满足实际生产要求。其冷却强度应能适应高冶炼强度的需要,尤其是在高炉炉体热负荷大的部位,墙体形式设计不合理会出现冷却壁的大面积损坏。

参考文献(续)

- [1] 马继文.本钢五号高炉铜冷却壁破损原因分析及处理技术的研究.金属世界.2009(6):27-30

- [2] 周传典.高炉炼铁生产技术手册.北京:冶金工业出版社,2005:262-275

作者简介

高福生(1971.5—),男,中级技师,现工作于本钢炼铁厂五号炉车间管工班长