

首钢 4 号高炉长寿技术与实践

韩 庆 丁汝才 赵民革 王景志

(首钢总公司)

TF51 A

摘要 首钢 4 号高炉第三代炉役 1992 年 5 月投产，在没有中修的情况下至今已稳定运行了 8 年半，通过 8 年多来的生产实践，已摸索出一套炉体维护技术，在冷却强度控制管理、煤气流分布调节、炉衬残余厚度监控、遥控喷涂造衬和钛矿护炉等方面，取得了一些高炉长寿经验。根据 4 号高炉目前的炉体状况，预计炉役寿命可达 11~12 年。

关键词 高炉 长寿 措施

Experience of prolonging the campaign life of Shougang No. 4 BF

Han Qin Ding Rueai Zhao Min'ge Wang Jingzhi
(Shoudu Iron & Steel Co.)

Abstract From May 1992 to date, Shougang No. 4 BF has been running for 8 and a half years without intermediate repair. Shougang has accumulated some useful experience in prolonging BF campaign. The campaign life of No. 4 BF is expected to be 11~12 years.

Key words blast furnace long campaign life measure

90 年代初期，国内钢材市场旺销，首钢高炉过度追求高冶炼强度而不重视高炉寿命，每座高炉的寿命仅为 4~5 年，在全国处于落后水平，在经济效益上也蒙受了很大损失。90 年代中期以来，首钢转变高炉技术操作思想，执行“优质、高产、低耗、安全、长寿”的操作方针，把高炉长寿作为一个系统工程来抓，并取得了一定成效。首钢 4 号高炉大修扩容改造工程（有效容积由 1 200 m³ 扩大到 2 100 m³）于 1992 年 3 月 14 日开工，5 月 15 日竣工，历时 60 天。为了缩短大修工期，工程采用了炉体整体推移技术，推移重量 2 400 t，推移距离 39.5 m。4 号高炉第三代炉役自投产以来，在没有中修的情况下至今已稳定运行了 8 年半，单位容积产铁量已达

到 6 459 t/m³，平均利用系数 2.100，已步入全国长寿高炉的行列。4 号高炉开炉以来主要技术经济指标如图 1 所示。

1 设计上采用的长寿技术

1.1 炉型结构特点

根据首钢原燃料条件和首钢多年生产经验，矮胖型高炉稳定性好，易于强化冶炼，因此 4 号高炉扩容大修改造设计时，在有效容积扩大的同时， H_w/D 由原来的 2.769 降低到 2.242，相应炉腹角缩小到 80°24'04"，较小的炉腹角将有利于在炉腹和炉腰部位形成稳定的渣皮，提高炉腹和炉腰冷却壁的寿命。死铁层加深到 1 600 mm，以减轻铁水环流。设有 28 个风口，2 个铁口，1 个渣口。

1.2 选用优质耐火材料

在炉缸炉底侵蚀最严重的“象脚”侵蚀位置，采用了美国 UCAR 公司生产的 NMA 小块热压成型炭砖。NMA 具有优异的导热性、

• 3 •

收稿日期：2000-11-08 联系人：丁汝才 高级工程师
(100041) 北京市石景山区 首钢炼铁厂技术科

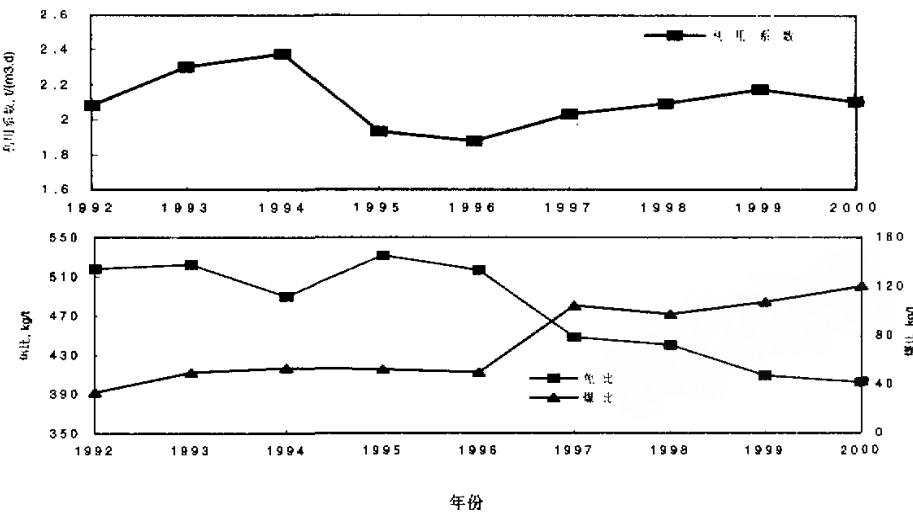


图 1 4号高炉的主要技术经济指标

抗渗透性和抗碱性,与国产普通大块炭砖相比,导热性是后者的2倍多,渗透性只有后者的5%,砖块尺寸小,能防止应力断裂,高导热性促使在热面形成保护性渣皮。4号高炉用NMA与国产普通炭砖性能对比见表1。

表1 NMA炭砖与国产炭砖性能对比

项 目	NMA 小块炭砖	国产普通炭砖
体积密度, g/cm ³	1.62	1.55
抗压强度, MPa	30.5	27.26
灰分, %	10	6.97
渗透性, mDa	9	168
导热系数, W/(m·K)		
600℃	18.4	6.15
800℃	18.8	
900℃		7.05
1000℃	19.3	
1200℃	19.7	7.43

1992年4号高炉大修停炉时进行了破损调查,结果表明炉腹至炉腰、炉身下部位置是热流强度最大、侵蚀最严重的部位。所以此处紧贴冷却壁的耐火材料使用了 Si_3N_4 -SiC砖,靠近炉内的部分选用高密度粘土砖, Si_3N_4 -SiC导热性好[导热系数约23 W/(m·K)],抗热震性、抗碱性和抗氧化性良好,这种砖与合理的冷却形式结合,可形

成较为稳定的保护性渣皮。

1.3 第三代冷却壁应用

4号高炉六~十五层冷却壁为第三代结构形式,双排管冷却。六层、七层没有勾头,八层以上设有勾头,前排管单进单出,避免了因单根水管烧坏而引起整块冷却壁损坏的问题。前排管、后排管和勾头分别为独立的冷却系统,冷却壁材质为高韧性球墨铸铁QT400-18。冷却壁由首钢制造,吸取2号高炉冷却壁制造的教训,公司对4号高炉冷却壁制造比较重视,质检把关严,冷却壁抗拉强度实际达到380~415 MPa,延伸率21%~30%,芯部取样(深度500~550 mm)延伸率也大于15%,全部达到设计要求。

1.4 软水冷却系统

首钢用工业水水质较硬,总硬度320.3 mgN/L(按 CaCO_3 计),暂时硬度275.2 mgN/L。工业水水温超过40℃时就失去稳定性,产生钙镁离子沉淀,形成水垢,使热阻增加,传热效率下降,冷却壁因壁体温度升高而烧坏。所以4号高炉大修设计,五层以上的冷却壁采用软水闭路循环系统,以解决冷却介质问题。

2 操作上的技术措施

2.1 保持合理的煤气流分布

由图1可明显看出,4号高炉的生产大致可分成两个阶段。第一阶段为开炉至1995年,由于市场对钢铁的旺盛需求和首钢钢铁不平衡,使首钢在炼铁生产指导思想上过分追求产量,相应在高炉操作方针上追求高强度冶炼。这一时期首钢原燃料质量,特别是占半数以上外购焦炭的质量极差,而且极不稳定,迫使生产者牺牲焦比,靠发展边缘、吹大风来提高产量,高炉顺行状况极差,虽然利用系数长期在2.4水平,但消耗高,这一时期为4号高炉生产不稳定期。这种发展边缘的操作,使炉墙热负荷大,而且易造成炉墙结厚,对高炉寿命造成不良影响,4号高炉已损坏的勾头水管中的50%是这个时期发生的。第二阶段为1995年以后,国内钢铁产量提高,进口增加,而市场需求下降,钢铁企业遇到前所未有的困难,企业经营上逐步转向生铁成本最低化,以提高市场竞争力,相应首钢高炉操作方针为“优质、高产、低耗、长寿”,这一时期为4号高炉的稳定生产期,长寿已作为一个重要课题提出,并贯穿在高炉的冶炼方针中。控制煤气流在炉内的分布被认为是保护炉衬的最重要方法,根据4号高炉矮胖

型的特点,我们发现在当前首钢原燃料条件下,单通路的中心开放的煤气流,高炉稳定性差,边缘易出现过旺的煤气流,容易导致局部煤气温度过高,烧坏冷却壁;边缘发展的煤气流分布,燃料消耗高,边缘热负荷高,也不利于高炉的长寿。为此,选择两条通路的煤气流分布,经长期生产实践证明,这种煤气流分布能够取得好的经济指标,而且有利于长寿。

2.2 长期稳定的钛护炉

对于因炉缸局部侵蚀引起的冷却壁冷却水温差和热流强度升高的问题,所能采取的措施是增加 TiO_2 入炉量护炉以及通过提高水压来增大冷却强度。从1993年10月起,4号高炉开始使用钛渣护炉,并将炉缸二、三层冷却壁由常压水改通高压水,以增大冷却强度。1996年6月之前,4号高炉加钛渣一直是根据炉缸热流强度变化时用时停,这种护炉方法不太好。1996年6月以后,改用钛矿(钛球)护炉,在热制度方面强调铁水保持足够的物理热和化学热水平,树立了长期护炉思想, TiO_2 负荷稳定在5~7 kg/t,[Ti]0.08%~0.12%,以确保炉缸钛化物沉积保护层稳定,使炉缸水温差不断降低,保证了炉缸的安全生产。近期,又把[Ti]的控制范围提高到不低于0.12%。图2为4号高炉钛护炉的情况。

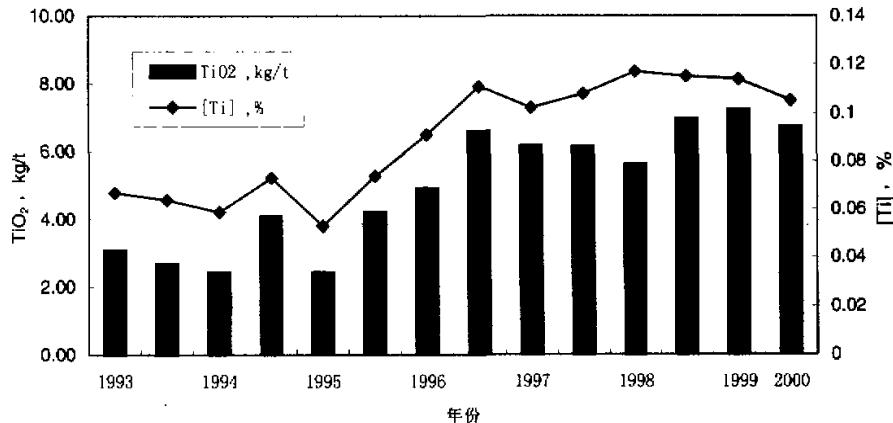


图2 4号高炉护炉钛化物加入情况

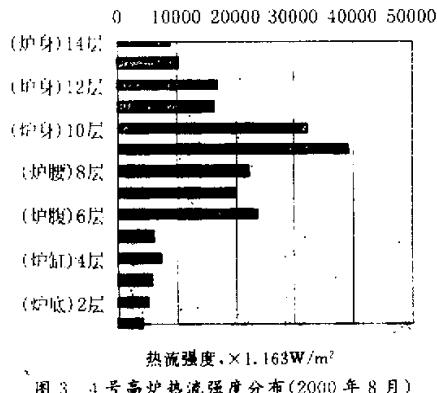
3 加强炉体冷却系统的管理

3.1 工业水冷却部分控制要点

4号高炉炉缸一～五层冷却壁冷却介质为工业水，水质差，硬度高，水中悬浮物 $>20 \text{ mg/L}$ （不含机械杂质）。为了保证冷却效果，采取措施的重点是防止并处理结垢和堵塞，如：①设置5台电动过滤器，定期清理杂物。②进水温度夏季 $<32^\circ\text{C}$ ，出水 $\geq 45^\circ\text{C}$ 。③保持正常水压供水，维持合理流速。④炉缸冷却壁每半年酸洗1次。

3.2 软水系统控制要点

4号高炉软水为二级钠离子水，pH值 <10 ，总硬度 $<0.02 \text{ mgN/L}$ 。为了保证软水系统的正常工作，控制要点如下：①正常生产情况下，软水出泵口温度 $\geq 45^\circ\text{C}$ ，夏季 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 。②水温差严格控制在 $3 \sim 5^\circ\text{C}$ 。③正常生产情况下，软水后排管流速 $\leq 1.5 \text{ m/s}$ ，前排管流速 $\leq 2.0 \text{ m/s}$ ，凸台水管流速 $\leq 2.3 \text{ m/s}$ 。④对于已损坏的水管，酌情改倒通工业水方式。由于在冷却壁冷却水流速、来水温度、温差和水质等方面进行了严格控制，保证了炉体各部的冷却强度，使冷却壁壁体不会因温度过高而损坏。图3为4号高炉测定的炉体各部位热流强度。与设计参数相比，实际热流强度都在要求范围之内。



4 喷补技术应用

4号高炉炉喉高度只有2m，相对较短。

• 6 •

在高炉深尺作业时，炉喉钢砖下沿无冷却区，炉墙直接受炉料冲击和煤气流冲刷，损坏严重，导致高炉工作炉型不规则，煤气流分布不稳定且难以控制。针对这种情况，采用了高炉热喷补技术。每次喷补之后，高炉的技术指标都有明显改善。从1996年开始，4号高炉共进行了6次喷补，详细情况见表2。除第一次喷补试验外，后几次都比较成功，一般每隔9～12个月进行1次，以保证高炉有一个合理的工作炉型，同时保护剩余的炉衬和冷却壁。喷补厚度一般炉腰200mm，炉身中下部200～300mm，炉身上部至炉喉300～400mm。从首钢喷补的实践可以看出，高炉炉内热喷补，一方面延长了高炉寿命，另一方面使高炉在炉役后期也能取得好的技术经济指标。

表2 4号高炉喷补情况统计

序号	时间	喷补部位	用料量
1	1996年1月12日	十五层水箱以上	35t
2	1996年5月16日	八层水箱以上	120t
3	1997年11月21日	十二层水箱以上	200t
4	1998年7月16日	八层水箱以上	280t
5	1999年5月27日	八层水箱以上	152t
6	2000年7月29日	九层勾头以上	220t

5 监测技术

为了满足高炉长寿和生产的需要，炉体各部位都装有热电偶，以定性分析炉体侵蚀程度，同时为高炉炉内调整提供参考。1996年5月，借1号高炉休风检修之机，在第九层、第十一层和第十二层冷却壁高度安装了12个点的QHCZ-I型高炉炉墙厚度在线监测系统，可对喷补炉衬的侵蚀情况进行定量实时监测。

6 问题讨论

6.1 铁口区炉缸的维护问题

铁口区的炉缸维护目前在首钢是一个较难解决的问题，图4是4号高炉炉缸二、三层冷却壁2000年7月份测定的热流强度分布情况，1号、56号为南铁口区，28～30号为北铁口区。由图可以看出，铁口区是热流强度最

高部位,4号高炉南北铁口都曾出现过2次铁口冷却壁烧坏的问题(1995年4月三层56号、1号坏,1997年4月三层28号坏,2000年8月三层28号坏),威胁着高炉的安全生产。4号高炉的铁口通道的设计为异型高铝组合砖($\text{Al}_2\text{O}_3 > 80\%$),膨胀系数与其周围的炭砖不一样,在高炉出铁周期性冷热变化情况下产生缝隙,出铁过程中铁水从铁口通道

顺砖缝钻铁烧坏铁口处冷却壁。在正常生产条件下,我们经常看到铁口周围有燃烧的煤气火,这也说明了这个问题。这种形式的铁口设计,虽然我们每次检修都进行铁口区灌浆,加强铁口维护,保证一定的铁口深度,但解决不了根本问题。因此,除了炉前重视铁口的日常维护外,有必要在铁口的设计上进行改进,建议改成整体炭质材料铁口。

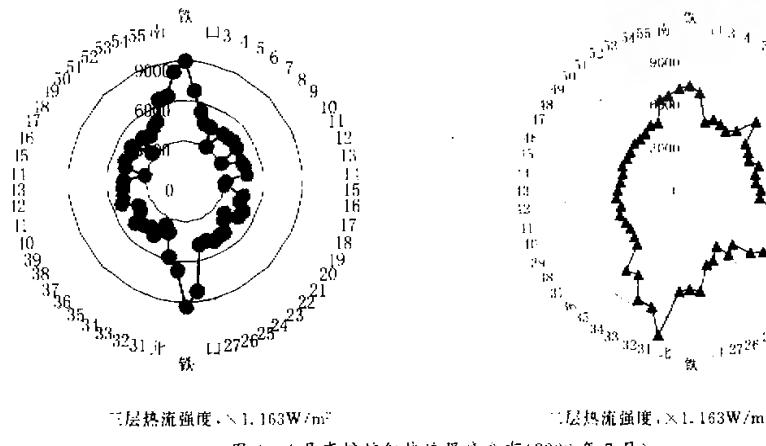


图4 4号高炉炉红热流强度分布(2000年7月)

6.2 软水检漏问题

4号高炉投产至今,除钩头损坏24根水管(占8.6%)外,前排管和后排管没有1根水管损坏。如果高炉后期一旦出现大量损坏,只能采用传统的方法检查,这将给高炉的长寿带来问题。国内开发的各种检漏技术,在首钢基本都进行过试验,最后都没完全过关。首钢目前投入的流体检漏指示器尚在试用之中。

6.3 热流强度临界值问题

首钢1991年以来大修的高炉,炉缸都采用了NMA热压小块炭砖,导热系数提高很多,但热流强度控制临界值仍沿用旧的标准,设计单位和美联炭公司都没能提供参考值。

7 结论

(1) 采用优质的耐火材料和高韧性球墨

铸铁双排管冷却壁是4号高炉长生的基础。

(2) 软水冷却系统和严格的冷却系统管理保证了炉体足够的冷却强度。

(3) 长期稳定顺行的炉况是延长高炉寿命的必要条件和关键,两条通路的煤气流分布与首钢当前原燃料条件是相适应的,有利于高炉的长生。

(4) 定期及时地进行热喷补,既能延长高炉冷却壁寿命,又可使高炉长期高产低耗。

(5) 铁口部分的长生设计和软水系统的检漏需要有新的技术突破。

(6) 首钢4号高炉初步实现了高效长生操作,根据目前炉体状况,预计一代寿命(不中修)可达11~12年,单位容积产铁量可达8 350~9 000 t/m³。

(责任编辑 黄琳基)