

# 首钢迁钢高炉长寿技术浅析

李喜安 张惠 王元力 李健

(首钢迁钢公司,河北,064400)

**摘要** 长寿是现代高炉追求的目标,通过分析影响高炉长寿的因素,阐述了迁钢现代长寿高炉的先进设计以及高炉长寿装备的现状和高炉长寿维护实践。

**关键词** 高炉 冷却壁 长寿 炉缸 水温差

## 1 引言

高炉长寿是现代高炉追求的目标,高炉长寿就意味着经济效益的提高。近几年,随着我国钢铁工业的发展,我国高炉的数量迅速增加,高炉容积向大型化发展,高炉的设计水平、高炉寿命都有了较大提高。国外先进高炉长寿水平较高,一代炉役(无中修)寿命可达15年以上,部分高炉达20年以上。日本川崎公司千叶6号高炉(4500m<sup>3</sup>)和水岛2号、4号高炉都取得了20年以上的长寿实绩。最近,经过大修的部分高炉已将长寿目标定为30年。相比而言,我国高炉装备的长寿水平则较低,一般一代炉役无中修寿命低于10年,仅少数高炉可实现10~15年的长寿目标,其长寿总体水平与国外先进水平相差甚大。

迁钢1号高炉2004年10月8日开炉投产至今已将近8年,2号高炉2007年1月4日开炉投产至今已将近6年,期间无大中修,且目前高炉状况良好。高炉长寿是个系统工程,包括高炉设计、材料和设备的选择、施工质量的保证、高炉操作的科学和稳定、炉体的维护和管理。上述因素之间有着内在关联,相互影响,也有互补作用。本文主要以此为切入点,系统阐述了迁钢1、2号高炉设计、维护和操作经验。

## 2 高炉设计

高炉炉型设计的合理性,是实现高产、优质、低耗、长寿和环保的重要条件。合理炉型的选择原则是要求炉型能够很好的适应于炉料的顺利下降和煤气流均匀稳定地上升运动。在高炉生产过程中炉型在不断变化。开炉时的炉型就是设计时的炉型。在高炉投产后,经过一段时间,炉墙的不同部位会受到不同程度的炉料冲刷,化学腐蚀,特别是软熔带区域的炉墙会受到高温、热应力、渣铁的化学浸蚀。在一定生产条件下,变化后的炉型就会形成一个相对稳定,适应当时生产能力的工作炉型(或称为操作炉型)。炼铁工作者要通过各种措施,努力使工作炉型能够维持长久,也就可以延长高炉长寿,实现高炉生产的高效化。

目前,迁钢高炉设计为“矮胖型”高炉,采用薄壁炉衬、铜冷却壁、无料钟炉顶、软水密闭循环冷却设备等。

### 2.1 高炉冷却系统设计

迁钢1、2号高炉冷却系统设计采用分段式冷却,炉缸1—5段及16段冷却壁采用工业水开路循环冷却系统,其中第1、4、5段及16段水冷缸砖采用常压工业水冷却,炉缸第2、3段冷却采用中压水冷却。炉底、炉体6—15段冷却壁采用软水密闭循环冷却系统,实践证明,软水密闭循环冷却系统拥有可靠的冷却性能、耗水量小、水质稳定且冷却水管无腐蚀、结垢、氧化现象等,比较适宜在缺水和水质偏硬的北方地区应用。

## 2.2 采用全炉体冷却技术装备设计

迁钢 1、2 号高炉都采用全炉体冷却技术装备，从炉底至炉喉全部采用冷却器，无冷却盲区，可实现高炉各部位的同步长寿。炉缸、炉底区域采用灰铸铁 (HT00) 光面冷却壁 (第 1—5 段)，冷却壁光面结构，有利于高炉炉缸小块热压炭砖 (NMA、NMD) 砌筑砖衬紧密接触，确保整个砖衬体的高导热性能，减少气隙现象的发生。炉体 6—8 段冷却壁采用铜质材料，在此区域应用铜冷却壁能满足快速形成稳定渣皮的要求，并且铜冷却壁具有导热性好、冷却强度大等优点；9—15 段冷却壁材质全部采用耐热疲劳性能好、伸长率高、抗拉伸性能高的球墨铸铁，减少了冷却壁由于自身老化等原因过早损坏而导致高炉提前大中修的现象。16 段由于需要的冷却效果比较低，采用经济的铸钢材料。

### 2.2.1 新型炉缸耐材内衬设计

炉底、炉缸区域在炉衬耐材方面，采用以下两种方法来获得炉缸长寿保护层：一是强化冷却理论或热解决论，即采用全碳质材料炉底炉缸结构；二是迁钢 1、2 号高炉采用的碳质—陶瓷材料复合炉底炉缸结构，如图 1 所示。

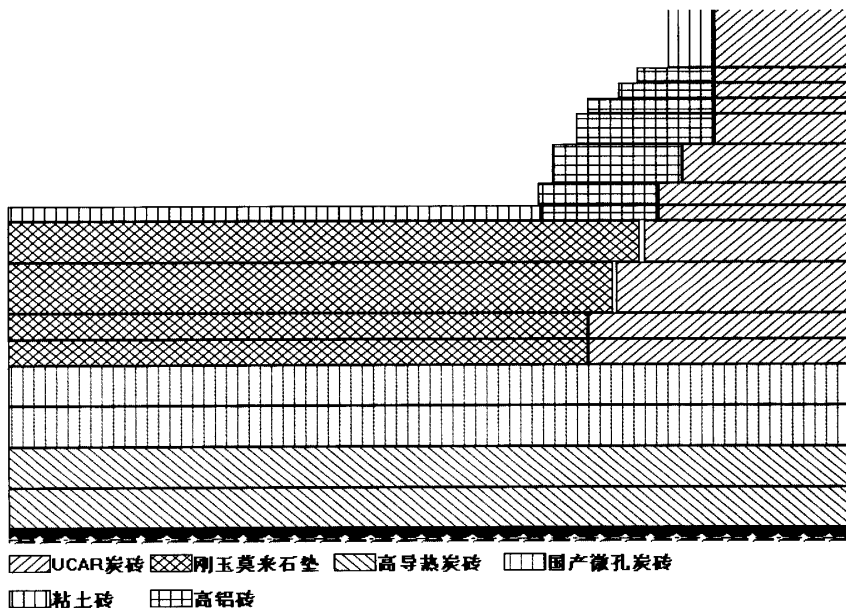


图 1 迁钢 1、2 号高炉炉底、炉缸结构

碳质—陶瓷材料复合炉底炉缸结构是采用绝热原理设计的厚壁结构，强调在采用高导热系数的热压小块碳砖或超微孔碳砖将炉缸热量传递给冷却系统的同时，通过在碳质炉衬内侧砌筑一层具有耐高温、抗渣铁侵蚀、耐冲刷和具有良好热震稳定性的陶瓷材料制成的陶瓷杯，将炉缸内的碳质材料与铁水及其它混合物分隔，从而在相当一段时间内杜绝了铁水对碳质炉缸的侵蚀，实现炉缸部位的安全高效长寿。高质量的微孔和超微孔碳砖是继热压小块碳砖得到推广应用后，又研制成的高质量碳砖，其主要特点是体积密度、耐压强度、导热率更高，适合大型、高强度生产高炉的炉缸使用。美国 UCAR 公司生产的热压小块碳砖 NMA、NMD (70% 石墨质) 的理化性能指标见表 1 所示。

表 1 美国 UCAR 公司 NMA、NMD 理化性能指标

项目	平均值		典型值		保证值	
	NMA	NMD	NMA	NMD	NMA	NMD
体积密度/g. cm <sup>-3</sup>	1.61	1.82	1.59	1.80	1.53	1.74
显气孔率/%	18	16				
常温抗压强度/N. mm <sup>-2</sup>	33	30	30	28	22	22.7
导热系数/W. (K. m) <sup>-1</sup>	17	60	13	55	9	45
灰分(含添加剂)/%	12	9	13	10	16	14
透气度(mda)	11	5	16	7	30	15
重烧线变化/%	±0.1	±0.1				

### 2.2.2 炉身下部铜冷却壁设计

炉腹、炉腰至炉身下部区域是整个高炉工况条件最恶劣的区域之一，炉料磨损冲刷、炉渣化学侵蚀、软融带根部反复上下移动产生的热震等破坏机制同时存在，特别是热震作用使任何耐材在此区域都难以长期维持存在，最终只能靠形成渣皮来保护冷却设备实现长寿最有效。因此，能否快速形成稳定渣皮是此区域选择冷却设备的关键条件。在此部位(6-8段)迁钢1、2号高炉采用的是铜冷却壁。

铜冷却壁在此区域应用铜冷却壁能满足快速形成稳定渣皮的要求。铜冷却壁导热性好、冷却强度大，在冷却水量足够并稳定的条件下，工作时冷却壁体温度均匀，表面工作温度一般在40℃以下，并且能在其热面形成非常稳定的渣皮。即使高炉操作过程中发生渣皮脱落，也能在短时间(15min)内形成新渣皮。铜冷却壁一般不必外砌耐火砖，仅需在开炉前喷涂一层抗磨损的耐火喷涂料。自20世纪90年代初以来，世界上已有50多座高炉采用了铜冷却壁，尚未发现有一根水管烧坏。铜冷却壁是迄今为止最彻底地贯彻自我造衬、自我保护设计理念的无过热冷却设备。

### 2.2.3 炉身中上部的冷却系统设计

软熔带以上的炉身中上部(9-15段)，炉料温度达700~1000℃。随着喷煤量的提高，该区域的热负荷急剧升高，但此区域属干区，没有形成渣皮的条件，是炉衬磨损最严重的区域，是现代高炉长寿的难点之一。目前，这一区域主要采用第四代镶砖冷却壁结构，使砖壁合一，冷却壁主要选用球墨铸铁材质，迁钢1、2号高炉使用的是带有凸台结构的镶砖冷却壁。

### 2.2.4 炉喉部位设计

炉喉钢砖严重烧损的主要原因是炉喉区温度的升高，造成钢砖出现龟裂、断裂等现象。为解决这一问题，迁钢1、2号高炉炉喉部位(16段)都采用水冷钢砖，有效地解决了炉喉部位破损的难题。

## 3 高炉炉体维护技术

在生产过程中，对炉体各部分进行修补，采取各种措施，延长其寿命，至关重要。针对炉体不同部位，不同的损坏状况，采取不同的措施，进行维护。

### 3.1 炉缸冷却水温差上升时的维护措施

炉缸水温差直接反映了炉缸冷却壁承受的热负荷状况，是衡量高炉炉缸状况是否良好的指标之一，随着高炉冶炼的变化和高炉服役时间的延长炉缸砖衬不断受到渣铁，碱金属，热应力等等作用的不断侵蚀，高炉冷却壁水温差逐渐上升。煤水岗位采用人工测量的方法测量水温差，特殊情况增加测量水温次数。日常测量中二段温差出现 1.0℃时，要改通风口高压水，加大冷却水量，改善局部区域冷却能力。水温差降到 0.7℃-0.8℃，热流强度 20000Kcal/m<sup>2</sup>.h 时，炉内开始做炉温，加钛。必要时停风堵风眼，使用加长风口或者缩小风口直径，控制水温差并降低冶炼强度，维持炉缸冷却平衡，保持炉缸工作安全。

#### 3.1.1 加钛护炉

高炉的强化冶炼，导致高炉炉底炉缸部分的耐火材料侵蚀严重，给高炉生产带来威胁，为此高炉要加钛矿进行护炉。钛矿护炉原理是在一定温度下，加入高炉的 TiO 部分同碳和氮进行还原反应，生成 TiC 和 TiN 溶于铁水中，使铁水粘度增加，流动性降低。在炉缸侵蚀处，铁水中的 TiC 和 TiN 以固溶体的形式结晶析出，形成沉淀层。迁钢 1、2 号高炉使用此方法在保护炉缸、降低水温差方面起到了很好的效果。

#### 3.1.2 改进风口布置

风口调整是下部调剂的一个重要因素，为改善炉缸工作状况，通常是靠改变风口斜度、长度、直径大小来实现的。根据对风口回旋区的形态、影响回旋区的因素、回旋区的分布对煤气流的影响进行分析，得出在实际操作中，减小风口的直径和斜度，使用加长风口的操作能抑制边缘气流、提高死焦堆透液性、减弱铁水环流的发生，从而减少对炉缸侧壁的侵蚀，达到降低冷却壁温度的目的，实现了高炉稳定顺行。下图为迁钢 2 号高炉改进以后的风口布局图，（2 炉开炉时全部使用的是 Φ130 斜 5° 的风口）。

#### 3.1.3 炉缸炉皮打孔压浆造衬

高炉炉缸冷却壁在长期使用过程中，在渣铁冲刷情况下局部某区域导热性能不好产生热富集，炉衬产生裂缝，冷却壁一定程度出现热疲劳而变形，造成由风口带水箱缝向炉皮串风串气现象。炉皮与冷却壁间隙填充不密实时，会出现跑风漏煤气现象，高温的煤气流通过水箱缝时，是引起水箱温度升高的原因之一。为消除炉缸周围和炉底出现温度升高现象，采用压浆的办法也很有效。在停风检修的条件下，从炉外采用泵将耐火材料进行压入造衬维护的方法，压浆材料，一般选用导热性能好、冷却效果好、与碳砖同质的炭糊，灌入碳砖与炉壳之间，这样，既填补碳砖背面空间，弥补了碳砖砖缝，降低了炉壳温度，又提高了炉缸碳砖导热性能，有利于延长其寿命。该方法对冷却壁与炉皮之间出现间隙和局部出现冷却壁水温差升高比较有效。

### 3.2 高炉炉身长寿维护

高炉本体尤其是炉腹炉腰区域由于热负荷比较集中，炉身耐火砖主要受到炉料磨损和煤气冲刷作用而不断减薄，要延长其使用寿命，在生产的高炉上，采取了如下措施。

#### 3.2.1 高炉降料线喷涂

高炉在生产过程中，由于炉内热冲击、渣铁及 CO 侵蚀，炉料在下行过程中和高温煤气在上行过程中的热冲刷等原因，造成炉内砖衬减薄、剥落等现象，高炉操作炉形发生变化，影响高炉

内煤气、炉料的合理分布，影响高炉生产顺行，炉内喷涂造衬改变了过去高炉休风时间长、工作量大的检修现状。通过将料线降到风口带进入炉内对裸露的炉墙进行喷补造衬，该技术对整个炉墙进行喷补，具有高效快速、休风时间短等优势。为高炉长寿、顺稳运行奠定了基础。



图2 喷涂前炉型

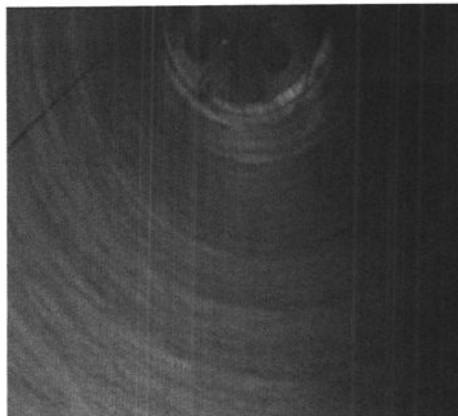


图3 喷涂后炉型

### 3.2.2 高炉冷却壁烧损检漏与处理

在日常高炉冶炼生产过程中，无法观察到冷却设备是否烧损等状况冷却设备的损坏会导致大量冷却水进入炉内，影响高炉稳定顺产，严重时会造成炉冷、甚至炉缸冻结等事故。冷却设备的检漏与处理，在高炉长寿维护实践过程中，显得尤为重要。投产几年来，9段凸台由于处于炉腰上部向炉内收缩处，该处内衬磨损比较严重，造成凸台裸露，致使9段个别凸台损坏。下图为2008年8月一高炉降料面喷补期间9段图片。

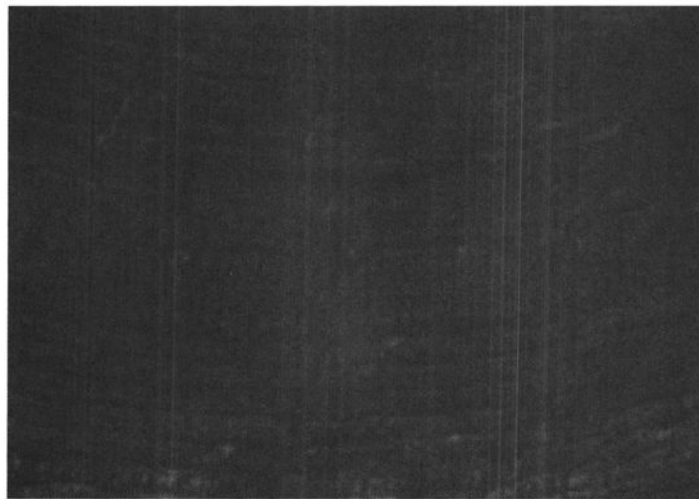


图4 2008年8月一高炉降料面喷补期间9段情况

## 4 高炉炉内操作与高炉长寿

### 4.1 确保高炉炉内顺行与长寿

高炉长寿是建立在生产高效运行的基础上,否则就失去了意义。而高炉长期稳定顺行,有利于高炉长寿。在高炉操作过程中,保持炉内合理煤气流分布,适当抑制边缘煤气流发展,是高炉顺行和长寿的基础。片面追求高冶炼强度和高利用系数,过分发展边缘煤气流,取得的短期经济效益是以牺牲高炉长寿为条件换来的。

目前,随着高炉大型化、冶炼技术和各种技术经济指标的不断进步,需要有新的高炉长寿操作思维模式。降低焦比、提高喷煤比等手段,降低了生产成本,但边缘煤气量急剧增加,靠近炉墙边缘的煤气温度上升导致炉体热负荷急剧攀升,冷却设备易提前烧坏。冶炼过程中,贯彻好打开中心,适当抑制边缘煤气的发展,保持倒V形软熔带的气流分布的操作方针,对提高炉体冷却壁寿命,实现高炉长寿十分重要。

### 4.2 高炉入炉原燃料与高炉长寿

好的高炉入炉原燃料条件,是高炉生产顺稳的条件之一,有利于抑制边缘煤气流发展,维持炉体热负荷适当且稳定,确保高炉长寿。在入炉原燃料管理期,做好原燃料槽下筛分,减少入炉粉末,确保原燃料品位、碱度等成分和高温冶金性能稳定。在生产操作中,有利于收窄软熔区间,形成倒V形软熔带,减少边缘煤气波动所带来的炉体边缘热负荷波动,维持高炉冷却壁寿命。随着喷煤量的升高,焦炭负荷的升高,提高焦炭的冶金强度是必须的。良好的焦炭冷热机械强度能进一步改善高炉死料柱透气、透液性,减少炉缸部位渣铁环流,同时突出其炉料骨架作用。

## 5 结语

首钢高炉长寿得益于高炉炉内精心操作和整套合理的管理维护措施,适应不断变化的外围条件。良好的高炉状况,不仅能保持高炉长寿,也为高炉生产顺稳,保持较好的技术经济指标奠定了基础。在今后的高炉长寿工作中,继续树立牢固的高炉长寿理念。