

高炉长寿技术会议 论文集

中国金属学会
冶金工业部科技司
上海梅山冶金公司

一九九四年十月

GAOLU CHANGSHOU JISHU HUIYI LUNWENJI

高炉长寿技术会议 论文集

中国金属学会
冶金工业部科技司
上海梅山冶金公司

一九九四年十月



UCAR NMA 热压炭砖和 NMD 热压半石墨砖彻底消除了 高炉炉缸壁的“渗切”问题



生产了29,030,000公吨铁之后的UCAR NMA炉缸壁

解决强化冶炼高炉中炉缸壁 腐蚀的唯一已被验证的体系

NMA和NMD热压砖的可渗透性比其他炭块小50至100倍，而导热性高2至3倍

- **长寿**—NMA和NMD提供了特长的寿命，无须灌浆，无须加TiO₂，无须保养。
- **防护物**—NMA和NMD促使产生渣和焦炭的绝缘层，并形成凝固铁渣壳。
- **延长寿命**—NMA和NMD的耐热震和耐化学侵蚀性质，大幅度地减慢了炉腹、炉腰和炉身耐火材料的腐蚀。
- **减少再砌和检修**—NMA和NMD延长了耐火材料及冷却壁的寿命，因而免除了临时性检修之需。

请即和我们联系，以提供UCAR®NMA和NMD热压砖的完整资料。



CARBON COMPANY INC.

P.O. Box 218
Columbia, Tennessee
38402-0218 U.S.A.
Tel: 615-380-4360
Fax: 615-380-4308
Telex: 420542 AUA

香港代表处：
美国UCAR炭素有限公司
香港九龙尖沙咀东部科学馆道十四号
新文华商业中心十一楼A座1101-1115室
电话：852-731 9671 传真机：852-368 6159
电传：45162 UCASI HX

广西柳州钢铁科技开发公司

为您高炉安全、长寿、增加效益提供技术服务
向您提供新一代高炉灌浆造衬护炉材料

高炉灌浆造衬护炉技术是“八五”《国家科技成果重点推广计划》项目之一。

广西柳州钢铁厂是国家指定的高炉灌浆造衬护炉技术依托单位,拥有专业技术服务队伍和设备。

几年来,我们真诚地为安阳钢铁公司炼铁厂、杭州钢铁厂、广西贵港钢铁厂、湖南邵东、内蒙古千里山、黑龙江西林、河南云阳等 16 个中小钢铁企业的 20 多座高炉提供护炉技术服务,均取得明显护炉效果。经不断研究,现已推出第三代灌浆护炉料和卓有成效的配套冷却柱。



我公司愿为全国各大、中、小型高炉提供良好有效的服务



第三代高炉灌浆造衬材料
主要技术指标

项目	指标
抗折强度, Mpa 1000℃×3h	16.0~18.0
耐火度, ℃	>1790
体积密度, g/cm ³	2.4
显气孔率%	26.0
Al ₂ O ₃ , %	>70

经理: 韩奕和

地址: 广西柳州市北雀路 117 号

电话: (0772)292667 292163

电报: 柳州 5860

邮码: 545002

联系人: 胡曙光 黎国传

想延长高炉的使用寿命吗？请选用我厂生产的

高性能高炉冷却壁

我厂是定点生产各种耐热铸件的专业厂，是市明星企业、科技进步先进企业，具有 20 余年从事专业铸造生产的经验，拥有多名从事材质研究的高级工程师。我厂在国内率先开发了高延伸率球墨铸铁高炉冷却壁(QT400-18, QT400-20)，其铸态组织中没有碳化物，铁素体 $\geq 85\%$ ， $\delta \geq 18\%$ 。



在产品的结构上，我厂可生产各种捣打、冷镶砖和新型的热镶碳化硅砖冷却壁。冷却水管采取独特的防渗碳和内壁防氧化技术。配套提供立柱、炉篦子、钢砖、水渣槽和烟道闸门等。

我厂配备 Spectrovac 2000 型真空光谱直读仪，对冷却壁严格检测，确保冷却壁内在质量、形位公差、通球、水压满足技术要求，安装可一次到位。

热忱欢迎设计单位和新老用户选用！

无锡市太湖耐热铸造厂

厂长：丁荣兴

总师：樊旭初

厂址：无锡市化肥桥西(火车站乘 5 路中巴直达)

邮码：214023

电话：(0510)553180 554358 产品介绍：(0510) 16828358 电挂：8078 传真：(0510)557609

受用户欢迎的可信产品

高炉铝炭砖

可延长高炉一代寿命

全国冶金产品博览会组织委员会
推 荐
受用户欢迎的可信产品

巩义市节能耐火材料厂

高炉铝炭砖

一九九三年十月 日

中华人民共和国专业标准 ZBQ52001—90 及本企业标准的主要技术指标见下表:

项 目	ZBQ52001—90		本企业标准	
	TKL—1	TKL—2	AC—1	AC—3 致密型
显气孔率, % 不大于	13	15	12	9
0.2MPa 下荷重软化 开始温度, °C 不小于	1530	1600	1630	1650
常温耐压强度, MPa 不小于	30	25	35	38
常温抗折强度, MPa 不小于	12	9	12	14
体积密度, g/cm ³ 不小于	2.5	2.5	2.65	2.75

河南省巩义市节能耐火厂是生产高炉铝炭砖和镁炭砖的专业厂家, 产品在国内享有较高声誉, 是重合同守信用企业。

本厂与冶金工业部武汉钢铁设计研究院和湖南冷水江铁焦总厂合作研制的高炉铝炭砖新产品, 具有导热性高[6~10W/(m·K)]; 透气度低(0.36mDa); 抗渣、抗碱性能好; 抗热震稳定性高等特点, 是适用于高炉内衬的新型耐火材料, 系国内首创, 于1990年通过河南省省级技术鉴定, 荣获1991、1992年全国冶金产品博览会一等奖。全国冶金产品博览会组织委员会推荐为, 受用户欢迎的可信产品。目前, 高炉铝炭砖已形成系列产品, 能满足高炉炉衬长寿的需要。

高炉铝炭砖首次用于冷水江铁焦总厂180m³、100m³高炉的炉身、炉腰、炉腹、铁口、排铅槽等部位。现已推广应用到包钢1513m³、2500m³, 太钢1200m³, 邯钢620m³, 昆钢300m³, 安钢300m³、100m³, 临钢300m³等50余座高炉。1992年6月在太钢1200m³高炉大修砌筑铝炭砖期间, 冶金部科技司在太钢召开了现场交流会, 促进了高炉铝炭砖的推广应用。

本厂还生产与高炉铝炭砖配套的捣打料、填充料; 镁炭砖MT—1, MT—2, MT—3; 铝镁碳砖; 电炉顶用铝炭砖等产品。

河南省巩义市节能耐火厂

厂长: 董书通 副总工程师: 熊选仁 陈淑秋

厂址: 巩义市西村 电挂: 4634 邮码: 451281 电话: (03889)—31140

驻郑州办事处电话: (0371)—3941892

序 言

近些年来,高炉炼铁以精料为基础,致力于高炉的大型化、长寿化并应用大量喷吹煤粉的技术,使炼铁生产技术得到了较大发展,大大地提高了高炉——转炉传统工艺流程的竞争力,增强了钢铁联合企业生存和发展的能力。

对于钢铁联合企业而言,高炉长寿不仅可以节约大量的大修费用,改善冶炼指标,增加生铁产量,而且可以充分发挥高炉前后工序的设备能力,提高整个企业的经济效益。因此,高炉长寿化已越来越引起国内外钢铁界的重视。

目前,日本和西欧在高炉长寿方面处领先地位,其中日本川崎钢铁公司千叶厂6号高炉(4500m^3)到1993年底炉龄已超过16年,并希望达到20年。日本和西欧的其他高炉寿命也在10~15年之间。最近新建和改造的高炉其设计寿命都在15年以上。我国从八十年代以来就开始致力于高炉的长寿化。现在正在生产的一些高炉已有或将要达到8~10年的寿命,如宝钢的1号高炉,梅山的1号、2号高炉寿命都已达到或超过8年而没有进行过中修。在此基础上,我国正在准备设计和建设15年寿命的高炉。

高炉长寿与冷却介质(水)的质量、冷却器、耐火材料、合理的设计、施工以及操作维护密切相关。近十年来,我国高炉结合新建和改造,在这些方面都作了很大的努力,取得了很大的进步。到目前为止,已有18座高炉应用了软水密闭循环冷却系统,与之配套的三种检漏方法也得到了开发和应用,在水系统的维护管理上也积累了许多经验,为高炉长寿提供了保证。高炉冷却壁设计结构得到了改进,材质得到了提高,铁素体基球墨铸铁冷却壁得到了较普遍的使用,大大地提高了冷却壁的使用效果。高炉炉衬结构中的板壁结合型结构得到了应有的重视。

在高炉耐火材料方面,国内也有了新的发展。我国于八十年代开发了氮化硅结合碳化硅砖,并得到了推广应用。现在我国又研制出了Sialon结合的碳化硅砖,并已在鞍钢投入试用,预计将会取得良好的效果。结合我国资源等实际情况开发的高炉用铝炭砖和自焙炭块也在使

用中取得了很好的效果。高炉用微孔炭砖预计不久可批量生产。

通过改善高炉操作,可延长炉体寿命,这已成为共识。在这方面,以梅山、宝钢为代表的一些高炉也取得了许多成功经验。近年来,在利用高炉喷补技术维护高炉方面,我国做了许多工作,为进一步发展该项技术打下了良好的基础。

除高炉本体外,高炉热风炉的长寿也得到了重视,热风炉结构以及耐火材料等方面都有了新的进展。高炉热风炉用的低蠕变砖以及各种组合砖的应用不仅提高了风温,也延长了热风炉的寿命。

今后,我国高炉要继续致力于长寿化,少数高炉寿命要达到 15 年的目标,并且要高效。为此,高炉长寿技术要进一步改进和提高。

为了总结近年来我国高炉在长寿方面取得的成就,并更加有力地推动高炉长寿技术的发展,冶金部科技司和中国金属学会共同筹备和召开“高炉长寿技术研讨会”,并在梅山冶金公司的大力支持和协助下,共同出版此文集。

希望这次会议能够对高炉长寿起到很好的推动作用。祝这次研讨会取得圆满成功。

编者

1994 年 9 月

目 录

绪言	(1)
----------	-----

长寿高炉设计

长寿高炉设计的探讨	全强 马魁铎(1)
长寿高炉设计	汪学锋 苏炳蔚(9)
长寿高效高炉设计	顾飞 刘述临 范大强(12)
关于高炉长寿的浅见	肖亦芹(17)
大型长寿高炉的设计探讨	张福明(22)
宝钢三高炉炉腰及炉身下部的长寿设计	何汝生 董光辉(29)
再论高炉长寿技术与合理的高炉内型设计	汤传盛(33)
高炉长寿技术及其对策	王喜庆(36)
有关合理炉型的几个问题	李永镇(41)
高炉炉型与结构对寿命的影响	黄恩湘 郭利人(45)
鞍钢 10 ^号 高炉长寿内衬结构的设计	张殿有 董延君(51)

高炉长寿实践

影响攀钢高炉寿命的某些因素探讨	石世雄(55)
重钢 1200m ³ 高炉炉体结构设计及使用情况	王谏元(60)
浅谈唐钢 1260m ³ 高炉长寿技术措施	郭秀英 李宗奎(64)
中型高炉长寿经验	刘坤庭 邹咏梅(70)
梅山高炉长寿——一代无中修寿命八年,单产 5000t/m ³ 以上——是怎么达到的?	徐寿华(执笔)(75)
马钢一铁厂 9 ^号 高炉长寿的实践	夏世桐(执笔)(87)
马钢高炉寿命现状及长寿技术措施的应用	王 杰(92)
鞍钢 7 ^号 高炉炉缸炉底侵蚀与维护	王再义(95)
由历代炉缸破损看 2 ^号 高炉寿命及其对策	李茂章 周汝菁等(99)
高炉操作维护与长寿	宋崇森(104)
日本延长生产高炉寿命的措施	朱秉辰(112)
关于首钢高炉寿命分析和提高寿命的措施——首钢高炉炉缸炉底寿命的探讨	刘兰菊 张福明(117)
本钢 4 号高炉的长寿对策与实践	迟振绪 冯开盛(122)
关于高炉长寿问题的探讨	王振山(125)

莱钢 620 m ³ 高炉二代炉役护炉	郭怀功 于国华(133)
苏钢 4 号高炉长寿分析	黄夕生 计金昌 李立聪(140)
宝钢高炉长寿技术措施	蔡祥麟 陶荣尧(143)
浅谈唐钢 1260m ³ 高炉长寿技术措施	郭秀英 李宗奎(148)

高炉冷却

关于高炉软水密闭循环冷却系统的几个问题的探讨	张学超(155)
高炉长寿的有效措施——软水密闭循环冷却系统	姜弘仪(158)
高炉闭路净循环冷却水系统	陈常洲(161)
高炉软水冷却支管破损机理研究	张景智 汪教等(167)
武钢 5 号高炉冷却壁软水密闭循环冷却系统热负荷的控制	连城 刘海欣等(172)
高炉冷却器的发展	蔡爱平 周渝生等(179)
钢冷却壁开发前景广阔	张士敏 王永录等(184)
高炉冷却器结垢及高压水射流清洗技术	杨天钧 刘庭成等(187)
炉缸冷却壁严重破损的高炉后期护炉生产实践	游锦洲 韩志英等(189)
四号高炉中修炉身冷却壁破损调查	刘海欣 宋木森等(193)
高炉冷却壁温度场分析及其在设计中应用	吴懋林 王立民等(201)
天津铁厂钢冷却壁温度场计算	张士敏 魏军(205)
3 号高炉新型冷却壁制造	沈先厚 范钦宾(207)
高炉炉体冷却技术的进步	项钟庸(211)

高炉炉衬

高炉用耐火材料的现状与发展	宋木森(217)
高炉中部内衬耐火材料的选样	沐继尧 薛正良(222)
高炉炉缸和炉身下部耐火材料	李仙遂 林红天(226)
高炉用 GWLT——1 型微孔铝炭砖的性能及应用	詹晓明 宋木森(233)
高炉用碳化硅砖的抗氧化性能特征	秦凤久 于青等(237)
高炉用 SiC 砖显微结构及其抗侵蚀特性研究	秦凤久 于青(241)
日本高炉用耐火材料的进展	朱秉辰(246)
对鞍钢高炉炉缸、炉底破损机理的分析及长寿途径的探讨	白恒丰(251)
无衬新型炉身结构	王文忠(259)

高炉炉衬修补技术

开发炉衬修补技术延长高炉寿命	张士敏(261)
----------------------	----------

高炉遥控喷涂修复炉身内衬·····	唐兴智(266)
大型高炉热态喷补料的研制与应用·····	张若勇等(270)
高炉硬质压入料的研制·····	孙险丰等(275)
α - Al_2O_3 纤维增强耐火可塑料 ·····	肖玲珠 陈德龄(281)
浅谈高炉维护·····	何学工 胡艳华(285)
高炉风口喷钛护炉·····	沙永志 叶才彦(290)
影响高炉喷补面接着强度因素的热模研究·····	龙世刚 孟庆民(294)
炉底侧壁修补技术·····	龙世刚(299)

高炉其它技术

高炉长寿与自动化·····	马竹梧(301)
高炉炉缸的等温线及热应力计算·····	韩二中 卫华成等(308)
高炉炉缸炉底侵蚀预测数学模型·····	蔡麦平 周渝生等(313)
高炉炉墙三维温度场应力场计算机软件包·····	程素森 吴志华等(315)
结合本钢实际浅谈风口长寿技术·····	王亚枫 李男(320)
镶嵌陶瓷渣口的研制及应用·····	杨明家 马利科(324)
高炉炉壳预开孔(工厂化开孔)·····	戴经世(327)
大型高炉炉壳的工厂制造·····	许宝钢(334)
高炉长寿结构的施工实践·····	李传英(340)
煤粉高浓度气力输送稳定性与高炉长寿·····	沈颐身 李玉伯(345)
鞍钢大型高炉炉壳材质的改进与应用·····	安云沛 叶富礼(348)

长寿高炉设计

长寿高炉设计的探讨

全强 马魁铎

(北京钢铁设计研究总院)

[摘要] 概述国内外高炉寿命的现状及差距,介绍一些长寿高炉的实例。炉底炉缸蒜头状侵蚀机理,实现长寿的不同砌体结构及炉身下部砌体结构、耐火材料选择及冷却设备改进情况。参考国外高炉长寿经验,结合国情以 2500m³ 高炉为例,提出长寿高炉设计的基本设想。

1 前言

高炉长寿已成为当代炼铁技术的发展标志和重要组成,是目前高炉工作者普遍关心的问题。现时发达国家的高炉寿命大都在 10 年以上,如创大型高炉世界纪录的日本川崎千叶 6 号高炉(内容积 4500m³)于 1976 年 6 月投产,到 1993 年 11 月已生产 16 年 5 个月。单位炉容产铁已达 10500 吨以上。该高炉寿命预计可达 17 年。欧洲高炉寿命达 10 年以上,如法国 DUNKERQUE 2 号高炉 1982 年 1 月至 1992 年 7 月,寿命已达 10 年;FOS 的 2 号高炉寿命已过 11 年。我国强化冶炼生产指标先进,不经中修实现长寿的高炉,如梅山 1 号高炉(1080m³),宝钢 1 号高炉(4063m³)至今已生产 8 年多,单位炉容产铁分别超过 5700 吨和 6159 吨。但大多数高炉寿命经中修才能达到 8 年,与国外长寿高炉相比有很大差距。

高炉长寿给钢铁企业带来的经济效益已被人们所共识。近年来,不论是大修高炉还是新建高炉都在高炉长寿上作了大量工作。如我们在近年来新建改建的高炉上大多数采用软水密闭循环冷却系统来提高冷却效果。改进冷却设备,采用了双层水管的第三代冷却

壁。高炉内衬易损部位采用优质耐火材料等,尽管如此,实际炉役寿命一般尚难达 8 年,与发达国家 15 年的设计寿命相差甚远。

影响高炉寿命的因素主要有以下几点:高炉的生产操作;稳定优质的原燃料条件及耐久的炉体结构。稳定优质的原燃料条件可保证高炉生产稳定,避免炉况波动而造成炉衬和冷却设备过早损坏,减少故障,提高作业率,提高经济效益。耐久的炉体结构是高炉稳定生产保证长寿的物质基础。高炉是长期连续生产的设备,建成投产后就难以轻易改变。因此,在设计时必须充分考虑炉体本身及直接影响高炉稳定生产的设备和系统设施的可靠性和耐久性。本文拟就现代长寿大型高炉的设计结合国内外高炉的发展和我们这些年的设计经验提出一些看法。

2 高炉长寿技术的概念及设计内容

判断高炉一代炉役寿命结束的准则主要是高炉生产的经济性和安全性。如果高炉的破损程度已使生产陷入效率低,质量差,成本高,故障多,安全差的境地,就应考虑停炉大修或改建。衡量高炉炉龄的指标有两条,一是高炉的炉龄,二是一代炉龄内单位容积的产

铁量。

2.1 合理的高炉内型

合理的高炉内型有利于高炉操作顺行,高产低耗。高炉长期稳定顺行可避免炉体过早损坏。因此,合理的内型是高炉长寿的条件之一,在设计炉型时,除需参考国内外高炉内型的发展趋势外,主要还应根据本厂条件下的高炉生产历史经验,参照本厂最佳生产期间的实际炉型。

在高炉内型尺寸的决定中,值得十分重视的是铁口以下炉缸墙的蒜头状侵蚀,它是影响高炉下部寿命的关键部位。国外的理论研究和生产试验证明,炉缸的蒜头状侵蚀与炉缸内料芯所处的状态有关。若料芯下沉坐落在炉底上,出铁时铁水只能沿料芯与炉缸墙之间的环形道流动,对炉缸墙产生强烈的冲刷损坏作用,且铁水流动不畅,不易放尽。若料芯悬浮于炉缸内,出铁时铁水将在整个炉底表面流动,可大大缓解炉缸墙的损坏。要使料芯悬浮在炉缸铁水中,铁水对料芯的浮力就应大于料芯的压力。铁水的浮力与炉缸内积存的铁水深度有关,图1是国外研究结果所证明的积存铁水的临界深度,料芯上浮,否则料芯沉在炉底上。因此,加深死铁层深度,使料芯上浮,对缓解炉缸侵蚀是有利的。

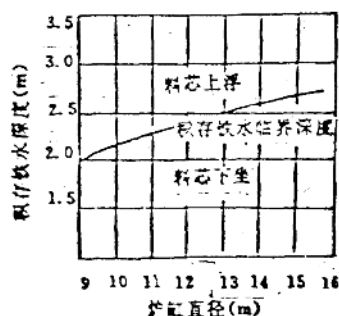


图1 临界积铁深度与炉缸直径的关系

2.2 高炉内衬

高炉不同部位具有不同的工况条件,各部位的侵蚀机理也是不同的,对于各部位应选用适当的耐火材料和不同的砌体结构。

2.2.1 炉底,炉缸

炉底炉缸是高炉的关键部位,其寿命的长短决定着高炉的寿命长短。此部位耐火材料直接同铁水接触,承受着铁水和碱金属的侵蚀和渗透。此部位耐火材料冷热端温差很大,存在热应力,同时出铁时铁水的流动对此部分耐火材料产生冲刷。炉缸炉底的侵蚀机理,一种观点认为,主要是由于热应力和铁水及碱的渗透,在热面形成脆化层。脆化层消失在铁水中后,碳块表面又形成新的脆化层。另一种观点认为,碳块的损坏首先是由于产生裂缝,铁水和碱金属的侵蚀则是裂缝的后果,仅仅是一种症状,而非毛病本身。如果能够首先阻止裂缝,通常就不会发生进一步损坏。基于不同的观点,产生了不同的炉底炉缸结构。一种是法国的陶瓷杯结构;一种是美国的热压小块碳砖;还有一种是大块的微孔碳砖,如法国的AM-102,日本的BC-7S,其平均孔径为 $0.2\mu\text{m}$,并且有良好的抗碱性。从使用实践来看,上述几种方案都可达到长寿的目标,只是特点不同。法国的陶瓷杯有以下特点:1)由于使用低导热率的材料,所以可提高铁水温度($18-25^{\circ}\text{C}$),2)由于所用材料的微小的膨胀,所以砌体之间的缝被挤实,使渣铁向缝的渗透大为减少,3)由于陶瓷杯把 800°C 等温线拉到陶瓷杯体中,使碳砖产生脆化层的条件延缓,4)增加死铁层深度,减缓蒜头状侵蚀。美国小块热压碳砖的特点是:1)炉缸壁薄,紧靠炉壳或冷却壁砌筑,2)由于采用小块砖,且用特殊的粘结材料,使碳砖避免了环形裂缝,进而防止铁水及碱金属的渗入,3)由于碳块的高导热率,在碳块表面形成渣焦混合痂皮及凝固的铁痂皮,有效地保护了碳块,使 800°C 等温线推到碳块表面外。

图2是陶瓷杯与UCAR炉缸的结构图。陶瓷杯结构阻止了铁水与碳直接接触,同时降低了热流向外传递的速度,减少了后面碳砖因温差应力和铁水,碱金属渗入而产生的损坏。其冷却强度当陶瓷杯存在时可比U-

CAR 体系小。要想保证陶瓷杯的寿命必须使用优质的材料,同时配合优质碳块和一定的冷却强度。UCAR 体系的炉缸必须有足够的冷却强度,保证热量向外传递,从而保证 800℃ 等温线在碳砖表面外。碳砖表面形成的

渣焦铁的混合痂皮是一定冷却条件下形成的自然保护层。一旦保护层形成,它同样起到了陶瓷杯作用,阻止了铁水与碳砖的接触,在一定成度上降低了热量的向外传递。

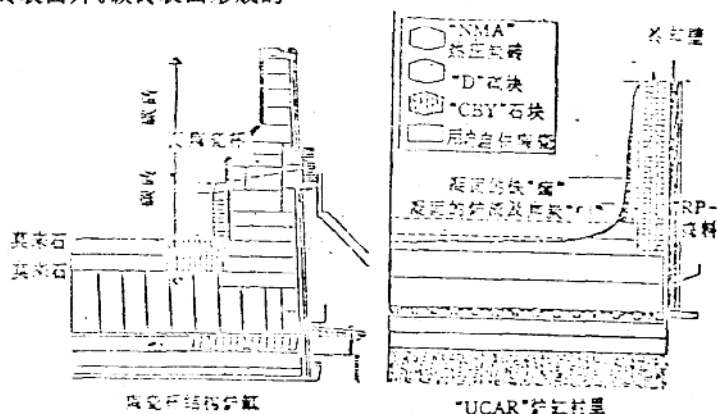


图 2 陶瓷杯与 UCAR 炉缸结构

表 1 几种炭素制品的性能比较

	BC-7	BS-7S	AM-101	AM-102	NMA	D
体积密度, Mg/m ³	1.60	1.63	1.54	1.56	1.62	1.6
真密度, Mg/m ³	1.93	1.99	1.8	1.89	—	—
全气孔率, %	17	18	14.4	17.5	—	—
显气孔率, %	14	15	—	—	—	—
1μm 以上孔率, %	—	—	8.5	3	—	—
常温耐压强度, MPa	41.2	44.1	31.38	37.27	30.5	17.9
抗折强度, MPa	11.8	12.8	6.86	8.33	8.1	4.1
灰份, %	10	17	5	12	10	8
抗碱 (ASTM)	LC	U or LC	LC	LC	—	—
热膨胀率, 10 ⁻⁶ /K	3.3	3.3	2.7	2.2	—	—
透气率, m ³ /darcy's	120	4	2000	20	9	800
平均气孔直径, μm	4.5	0.2	5	0.4	—	—
导热率, W/m·K						
200℃	12.8	12.8	7.6(80℃)	11.6(80℃)		
400℃	13.9	13.9				
600℃	15.1	15.1	10.5(500℃)	14.05(500℃)	18.4	10.4
800℃	16.2	16.3			18.3	10.4
1000℃	17.4	17.4	12.3	16.3	19.3	10.5
1200℃	18.6	18.6			19.7	10.9
余留热膨胀, % (1500℃ 2 小时)	+0.06	+0.10	+0.09	+0.09		

表1是几种碳素制品的性能表。法国和日本的大块碳砖,全气孔率虽不低,但气孔平均直径却很小。如AM-102和BC-7S只有0.4和0.2 μm 。因此有很好的抗铁水和碱金属渗入能力,可防止碳砖表面形成脆化层。

炉底最下层通常应采用高导热率的半石墨或石墨碳块,炉底最上层应加优质粘土砖保护,如采用大块碳块和美国UCAR体系,则炉底碳砖上应为低导热率,耐渣铁侵蚀,耐剥落的耐火材料。

铁口区耐火材料的选择。在铁口框内设置冷却板的情况下,铁口区的炉墙可作成一個砖窝,并与铁口通道一样,采用 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{C}/\text{SiC}$ 砖砌筑,在冷却壁冷却的情况下,铁口框内无法设置专门的冷却壁,如仍设置砖窝,铁口区的冷却强度不够,难于防止砖窝内耐火材料的损坏。因此铁口区应与炉墙一样采用

异形碳砖,在紧贴冷却壁处和铁口框内的通道应采用 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{C}/\text{SiC}$ 砖。

2.2.2 风口区

风口区的耐火材料应具有良好的耐氧化性,耐剥落性和耐碱性。一种是采用硅线石砖,另一种是采用氮化物结合的碳化灰砖,风口区砌砖采用大块组合砖,既能增强砌体稳固性又能加快砌筑速度,保证砌筑质量。

2.2.3 炉腹、炉腰和炉身下部

炉腹、炉腰和炉身下部的炉墙处于软熔带根部上下的位置,热负荷很大,在炉况波动时温度变化剧烈,除碱侵蚀之外,软熔带之下还承受初生炉渣和铁水的侵蚀,软熔带之上承受强烈的炉料磨损和气流冲刷。因此要求这些部位的炉衬材料耐剥落、耐碱、耐渣铁和耐磨损。

表 2

	我国氮化硅 结合碳化硅	SIALON 结合碳化硅	SIALON 结合刚玉砖	日本冷却壁铸 入 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$	UCAR NMD 炭 砖	UCAR NMS 炭 砖
容重, g/m^3	2.65	2.71	3.2	2.57	1.8	1.87
显气孔率, %	15	14.4	14	20	—	—
室温抗压强度, MPa	147	220	150	58.8	31.1	48
热膨胀系数, $10^{-6}/\text{K}$	4.5	4.6	5.2	—	—	—
导热率, $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$	22.56	15(1000 $^\circ\text{C}$)	3.5	—	32.2(1000 $^\circ\text{C}$)	32(1000 $^\circ\text{C}$)
永久线变化率, (1500 $^\circ\text{C}$, 5h), %	—	0	0	—	—	—
灰份, %	—	—	—	—	9.5	20
渗透性, 毫达西	—	—	—	—	8	0.6
化学成分, %						
SiC	72.6	71	—	25	—	—
Si_3N_4	22.6	—	—	—	—	—
SiO_2	<1	—	—	—	—	—
游离 Si	<0.5	—	—	—	—	—
N, %	—	6.2	5.25	—	—	—
Al_2O_3	—	13.3	34.5	50	—	—
Fe_2O_3	—	—	—	1.5	—	—

近年来,国内设计的高炉在此区域都用了氮化硅结合的碳化硅砖,日本在第四代冷

却壁内铸的为 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ 砖,而法国在此区域采用SIALON结合的碳化硅砖,且质量较

好。氮化硅结合的碳化硅砖和刚玉砖在这些部位已基本不用。美国 UCAR 公司认为,此区域采用石墨和炭质耐火材料,是对高炉内的高热冲击,高热负荷及化学侵蚀的解决办法。

炉腹,炉腰和炉身下部也是影响高炉长寿的关键区域,对此区域的耐火材料的选择也有不同的观点,一种观点是追求高导热率,使内衬热面温度小于 800°C (即破坏作用出现时的最低温度),一种是尽量降低导热系数。表 2 是几种耐火材料的性能,从表 2 可看出,法国 SAVOIE 公司生产的 SIALON 结合的碳化砖和刚玉砖导热系数较低,其中 SIALON 结合的刚玉砖比美国 UCAR 公司的 NMD, NMS 导热系数低近 10 倍。这种砖有很好的抗碱性,抗氧化和导热系数低的优点。而 NMD, NMS 则有限好的耐热冲击性能,对于原燃料条件不稳,大量使用球团矿,炉况常有波动的高炉是比较合适的。

2.2.4 炉身中部和上部

炉身中上部炉衬主要承受下降炉料和上升含尘煤气的磨损作用,在一定程度上还承受碱的侵蚀和锌、碳的沉积损坏。此处仍有较高的工作温度,及大的温度波动,此部位的耐火材料应具有很好的耐剥性和耐磨损性。

铜制双室冷却板(6 通道)

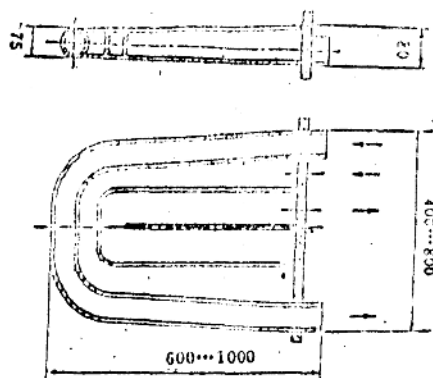


图 3 铜制双室冷却板

近年来发现炉身衬出现不均匀损耗后,

会形成下降炉料的停滞层和矿焦混合层,对高炉炉况产生不良影响,日本近年来在大陆高炉炉役后期修理和改建时,普遍在上部炉身直至炉喉下缘采用冷却壁,朝向炉内的工作表面仅需涂一层由下而上逐渐减薄的 $150-50\text{mm}$ 的耐火材料。

2.3 炉体冷却

高炉炉体冷却主要由冷却设备和冷却环路两大部分组成。除炉壳外部喷淋冷却和双层炉壳水套冷却之外,高炉冷却设备目前基本上可分为两大类,即冷却板和冷却壁。

2.3.1 冷却板

图 3 是目前在德国发达国家采用的双室六通道结构冷却板。这种冷却板前端冷却强度大,前腔与后腔是分开的,在炉皮外用水管连接。此种铜制冷却板多用在热负荷较大的炉腹、炉腰及炉身下部,可承受较大的热流强度。冷却板与炉衬则是相互支持和相互依存的关系。

冷却板在炉子高度上的层距,露出残存炉衬之外的悬空长度和炉衬材料的导热率均对炉壳温度、冷却板本体的铜材温度和热流密度有影响。有关理论计算的结果表明,在冷却板层距为 300mm 时即使炉衬侵蚀到只剩 200mm ,即冷却板的裸露长度达到 300mm 时,虽然热流密度很大,但炉壳仍可保持较低的温度水平。这种计算结果,从理论上说明了为什么炉腹,炉腰和下部炉身高热负荷部位采用约 300mm 冷却板层距的原因。铜冷却板有焊接和铸造两种结构。在热负荷较大的区域冷却板的材料常为纯度很高的电解铜。

电解铜在 120°C 以上就进入塑性增大区,故冷却板本体铜材的工作温度应保证 $< 120^{\circ}\text{C}$,在冷却板温度均 $< 105^{\circ}\text{C}$,有关理论计算已证明这一点。即使在温度超过 120°C ,但由于铜的塑性好,即使有较大的变形,仍能保持严密。

铜冷却板在炉壳上的安装必须有可靠的气密性。宝钢 1 高炉现在的冷却板安装结构

在气密性、膨胀补偿、更换方便和维护到炉役末的能力方面都较好,是值得借鉴的。

对于炉身中上部,可采用单室双通道铜冷却板或采用铜制焊接冷却板,以降低成本。西德某些高炉就是这样的,梅山高炉在这些部位使用的钢制小形冷却箱也是成功的。

2.3.2 冷却壁

就世界范围而言,冷却壁冷却的高炉座数目前已超过半数,而且近年来,一些新建时用冷却板的高炉,在大修改造中也采用了冷却壁。用冷却壁冷却的高炉散热量比冷却板的小,有资料表明,一座 13.6m 炉缸直径的高炉,日产 9500 吨铁水,冷却壁冷却时散热比冷却板低 180MJ/吨铁水,折合焦炭消耗约低 6.3kg/t 铁水。

冷却壁按使用部位不同可分为:炉底炉

缸风口区用的光面冷却壁和炉腹及其以上及的镶砖冷却壁。目前日本已用第四代冷却壁。分析日本对冷却壁的改进过程:第二代角管直角弯曲;改善冷却水质。第三代冷却壁虽加了角部管和背部蛇形管,但没有解决砖衬的支撑,一旦失去了砖衬,冷却壁很难承受强大的热流强度和温度波动。而第四代冷却壁则采用薄壁结构将砖衬与冷却壁一体化,使砖衬和冷却壁相互依存,砖保护冷却壁,冷却壁保护砖,以期实现长寿。

法国对第二代冷却壁的改进是增大了水管直径,一般内径为 76mm,而对凸台采用双水管冷却,增加了凸台托砖的可靠性。分析国外高炉冷却壁的发展,高炉能否长寿,砖衬的支撑是至关重要的。

表 3 我国和国外冷却壁用球墨铸铁性能

标准号或研制使用单位		GB1348/88	国内研制	新日铁	川崎制铁		德国 MAN GHH
牌 号		QT400-18	TRQT45-20	FCD	珠光体基	铁素体基	GGG
化学成分 %	C	/	2.8-3.6	3.4-4.0	/	/	3.4-4.0
	Si	/	2.0-3.2	1.5-2.5	/	/	1.5-2.50
	Mn	/	≤0.55	≤0.8	/	/	≤0.8
	P	/	≤0.02	0.1	/	/	≤0.2
	S	/	≤0.03	≤0.03	/	/	≤0.03
	Re 残	/	0.024-0.04	/	/	/	/
	Mg 残	/	0.04-0.08	≥0.04	/	/	/
机械性能	室温	≥400 ①	456-518 ②	≥441	/	/	392
	抗拉强度 N/mm ²						
	300℃	/	394-468	/	539	392	/
	600℃	/	142-156	/	215	147	/
	室温延伸率, %	≥18 ①	20-25 ②	≥20 ③	5	20.4	20
	抗热冲性, 次						
	300→900℃		≥250	600	189, 200	250, 203	600
	100→600℃		≥1000		/	4105, 1005	
热导率, W/m·K				29-35	/	/	30-35

注: 1) 为单铸试块的抗拉强度, 铸件壁厚 > 60 而 < 200mm 时, 附铸试块的抗拉强度 ≥ 370N/mm², 延伸率 ≥ 12%。

2) 为单铸试块的性能值, 实际冷却壁制造中, 附铸试块的延伸率 ≥ 12%。

3) 冷却壁成品的延伸率 ≥ 10%。

我国目前的冷却壁制造水平基本处于第三代冷却壁上, 宝钢引进的第四代冷却壁制造技术及其产品很贵。因此, 研制结构简化、

经济适用、易于推广的冷却设备是迫切需要的。

目前日本、德国开始使用铜冷却壁, 而且