

迁钢1号高炉采用的新技术

毛庆武 张福明 张 建 黄 晋 姚 轶

(北京首钢设计院)

摘 要 迁钢1号高炉设计以“长寿、高效、低耗、清洁”作为设计原则,在精料、长寿、高风温、喷煤、清洁生产等方面,积极采用当今国内外高炉炼铁先进技术,如焦丁回收技术、炉料分布与控制技术、高效长寿综合技术、高风温技术、首钢并罐无料钟炉顶及炉前现代化设备等,使高炉整体技术装备达到国内外同级别高炉的先进水平。

关键词 高炉 设计 新技术 应用

New technology for Qiansteel No. 1 blast furnace

Mao Qingwu Zhang Fuming Zhang Jian Huang Jin Yao Shi

(Beijing Shougang Design Institute)

Abstract Following the principle of "long campaign, high efficiency, low consumption and cleanness", some advanced technologies of ironmaking home and abroad are adopted such as coke nut recovery, distribution and control technology of burden, long campaign and high efficiency technology, high temperature blasting air, bell-less top with parallel hopper, modern equipment at cast house.

Key words BF design new technology application

1 概况

2003年5月,首钢总公司按照产品结构调整总体实施规划,部署实施首钢搬迁转移400万t钢生产能力的方案——建设首钢迁钢工程,包括炼铁、炼钢、热轧及配套公辅设施。

首钢迁钢炼铁工程分成两期建成,一期工程建设1座2650m³高炉(1号高炉),二期工程再建1座2650m³高炉(2号高炉),最终形成年产铁445万t生产规模。

迁钢1号高炉设计以“长寿、高效、低耗、清洁”作为设计思想和指导方针,采用了多项国内外先进技术和工艺,如:焦丁回收系统;水冷并罐式无料钟炉顶设备;软水密闭循环冷却系统;3段国产铜冷却壁;UCAR热压炭砖和SAVOIE大型风口组合砖;首钢设计研制的矮式液压泥炮及液压开口机;3座改进型内燃式热风炉,并采用分离式热管换热器预热助燃空气和高炉煤气,在掺烧极少量焦炉煤气的条件下,使风温达到1250℃;中速磨制粉、总管+分配器长距离直接喷吹工艺;采用螺旋法水渣处理工艺及长寿渣沟;煤气清洗采用串联文氏管湿法煤气清

洗工艺,并采用压差发电技术;电动大型静叶可调轴流鼓风机。为提高高炉自动化控制水平,实现高效化生产,设计完善的高炉温度、压力、流量的检测,并预留人工智能专家冶炼系统接口。为实现清洁化生产,降低环境污染,对高炉上料、炉前等系统优化了除尘系统设计。

2 设计基本原则及指导思想

迁钢1号高炉设计中采用国内外先进、可靠、实用的新工艺、新技术、新设备及新材料,以我国和首钢高炉的设计与生产实践为基础,使新技术应用后的高炉整体技术装备具有国内领先水平。在满足工艺流程短捷、顺畅、合理的情况下,使总图布置紧凑合理,占地面积尽可能减小。在尽量节约投资的条件下,引进部分国外先进、国内目前尚不能生产的关键部位的耐火材料和自动化控制系统和设备,使高炉寿命在不中修的条件下,达到一代炉龄15年以上。迁钢1号高炉设计以“长寿、高效、低耗、清洁”作为指导思想和方针,积极采用长寿、精料、高风温、大喷煤、适量富氧等先进技术和工艺,实现高炉长寿化、高效化、现代化、自动化、清洁化。

3 主要设计指标

高炉有效容积 2650 m³,年平均利用系数2.365,燃料比 495 kg/t,焦比 335 kg/t,煤比 160 kg/t,综合焦比 463 kg/t,综合入炉矿品位≥59%,熟料率≥85%,热风温度 1250℃,炉顶压力 0.20~0.25 MPa,高炉寿命一代炉龄无中修达到 15 年。

4 采用的新技术

4.1 精料技术

本系统采用传统原料场和高炉料仓合并建设的联合料仓、无中继站胶带上料工艺,料仓为双列布置,烧结矿直接入称量罐的工艺布置形式。烧结矿、球团矿、块矿、焦炭在仓下分散筛分,分散称量;杂矿仓下只设称量斗,分散称量。称量后的所有物料均通过 N1-2 及 N1-1 主胶带机送往炉顶装料设备。烧结矿、焦炭采用 24 台高效振动筛,强化仓下炉料的筛分,提高处理能力和筛分效率,使小于 5 mm 的入炉烧结矿控制在 5% 以内。增加了焦丁回收装置,回收 10~25 mm 的焦丁,与矿石混装入炉,提高高炉透气性,降低焦比。

4.2 炉料分布控制技术

采用首钢自行开发研制的水冷气封并罐式无料钟炉顶设备,布料溜槽的悬挂装置采用了新型的锁紧装置,彻底杜绝了溜槽脱落的发生,避免了因溜槽

脱落而发生的高炉休风的现象,提高了高炉作业率。并设料流调节阀,在自动控制下实现环形(多环)和螺旋布料的功能,在控制室人工控制下完成环形、点状和扇形布料。可以根据炉况变化,及时调整布料制度,抑制边缘煤气流的过分发展,保护炉衬和冷却器。采用多环布料技术可以提高高炉煤气利用率,降低焦比,延长高炉寿命。传动齿轮箱采用新型水冷结构,冷却水量提高到 10 t/h 以上,使氮气消耗量降低到约 500 Nm³/h,提高了冷却效率,延长设备使用寿命,改善煤气质量,提高煤气发热值。

4.3 高炉长寿技术

(1)在总结国内外同类容积高炉内型尺寸的基础上,根据迁安矿山地区的原燃料条件和操作条件,以适应高炉强化生产的要求,设计合理的矮胖炉型,设计中高炉炉型进行了优化。加深了死铁层深度,以减轻铁水环流对炉缸内衬的冲刷侵蚀;适当加大了炉缸高度和炉缸直径,以满足高炉大喷煤操作和高效化生产的要求;降低了炉腹角、炉身角和高径比,使炉腹煤气顺畅上升,改善料柱透气性,稳定炉料和煤气流的合理分布,抑制高温煤气流对炉腹至炉身下部的热冲击,减轻炉料对内衬和冷却器的机械磨损。国内几座 2500 m³级高炉内型尺寸比较见表 1。

表 1 国内几座 2500 m³级高炉内型尺寸比较

项 目	迁钢 1 号高炉	首钢 1、3 号高炉	鞍钢 7 号高炉	宝钢不锈钢 2 号高炉	唐钢 3 号高炉	武钢 4 号高炉	本钢 5 号高炉
有效容积 V_u , m ³	2650	2536	2580	2500	2560	2516	2600
炉缸直径 d , mm	11500	11560	11500	11100	11000	11200	11000
炉腰直径 D , mm	12700	13000	13000	12200	12200	12200	12000
炉喉直径 d_1 , mm	8100	8200	8200	8200	8300	8200	8300
死铁层高度 h_0 , mm	2100	2200	2004	2300	2200	2004	1603
炉缸高度 h_1 , mm	4200	4200	4100	4100	4600	4500	4300
炉腹高度 h_2 , mm	3400	3400	3600	3600	3400	3400	3600
炉腰高度 h_3 , mm	2400	2900	2000	2000	1800	1900	2000
炉身高度 h_4 , mm	16600	13500	17500	17400	17500	17400	17000
炉喉高度 h_5 , mm	2200	1800	2300	2000	2000	2300	2000
有效高度 H_u , mm	28800	25800	29500	29100	29300	29500	28900
炉腹角	79°59'31"	78°02'36"	78°13'54"	81°18'49"	79°59'31"	81°38'02"	75°57'49"
炉身角	82°06'42"	79°55'09"	82°11'27"	83°26'34"	83°38'30"	83°26'34"	82°17'42"
风口数, 个	30	30	30	30	30	28	28
铁口数, 个	3	3	3	3	3	2	3
渣口数, 个	无	无	无	无	无	无	无
风口间距, mm	1204	1211	1204	1162	1152	1257	1234
H_u/D	2.268	1.985	2.269	2.385	2.402	2.418	2.258
V_u/A	25.78	24.16	27.04	26.46	27.12	26.32	28.08
d_1^2/d^2	0.496	0.503	0.508	0.546	0.570	0.536	0.555
D^2/d^2	1.22	1.265	1.278	1.208	1.230	1.187	1.354

(2) 根据首钢多年的设计经验和生产实践,在炉缸、炉底交界处至铁口中心线以上,引进 UCAR 热压小块炭砖,适当减薄炉缸内衬厚度,提高冷却系统的能力;在炉底采用国产优质莫来石质陶瓷垫,炉底满铺国产大型微孔炭砖和高导热大块半石墨质炭砖,并采用软水冷却;风口采用 SAVOIE 大型组合砖。

(3) 高炉炉腹以上冷却壁采用软水密闭循环冷却系统,以延长冷却器的使用寿命。

(4) 在炉腹、炉腰、炉身下部采用 3 段铜冷却壁,材质为 TU₂ 轧制铜板,冷却通道钻孔成型,铜冷却壁厚度 125 mm,沟槽内镶填 SiC 捣料,以提高冷却效率,这是一种新型无过热长寿冷却壁^[1]。

(5) 在炉身中上部采用高效单排管冷却壁,冷却壁本体厚度 250 mm,材质为球墨铸铁 QT400 - 20。冷却壁沟槽内镶填 SiC 捣料,以提高冷却壁的挂渣性能。

(6) 在炉身上部至炉喉钢砖下沿,增加 1 段“C”型球墨铸铁水冷壁,水冷壁直接与炉料接触,取消了耐火材料内衬。

(7) 炉腹、炉腰、炉身下部区域采用 Si₃N₄ - SiC 砖和高密度粘土砖组合砌筑,砖衬总厚度 400 mm;炉身中上部采用高密度粘土砖。

(8) 采用最新开发设计的送风装置,以适应 1 250 ℃ 高风温的要求。加强了送风组件的密封,对送风支管结构进行了改进和优化。

(9) 采用新型十字测温装置及炉顶高温摄影仪,在线监测炉内煤气流的分布和温度变化,监控炉料分布状况和料面形状,配合多环布料技术,使高炉操作稳定顺行,提高煤气利用率,延长高炉寿命。炉体系统设计完善的高炉温度、压力、流量的检测,设置煤气取样自动分析装置,以加强高炉各系统的监视,为操作人员提供准确可靠的参数和信息,并预留人工智能专家冶炼系统接口及界面。

4.4 提高炉前机械化水平

(1) 采用圆形出铁场,其最大外径为 77.9 m,铁口标高为 10.2 m,渣铁沟内衬采用浇注料,主沟采用贮铁式结构。出铁场设有公路引桥,出铁场阶梯平坦化布置,便于炉前机械操作及运输。出铁场内设 2 台 30 t/5 t 环形起重机, L_K = 20.6 m,轨面标高为 21.95 m,用于出铁场内的日常生产操作及检修时使用。

(2) 采用首钢设计院开发研制的矮式液压泥

炮,采用新型炮嘴组合机构,进一步提高炮嘴寿命。

(3) 采用首钢设计院开发研制的新一代多功能全液压开口机。

4.5 热风炉高风温技术

采用 3 座达涅利 - 康立斯 (DCE) 公司的改进型内燃式热风炉,一列式布置。利用热风炉烟气余热预热助燃空气和高炉煤气,同时参加极少量焦炉煤气,使风温达到 1 250 ℃ 以上^[2],为提高喷煤量降低焦比创造条件。热风炉主要阀门采用软水密闭循环冷却,以提高冷却强度,延长阀门寿命,节约能源。

首钢采用的高风温内燃式热风炉主要技术性能参数见表 2。

表 2 首钢高风温热风炉主要技术性能

项 目	首钢 2 号高炉	迁钢 1 号高炉
高炉容积, m ³	1780	2650
热风炉数量, 座	3	3
热风炉操作方式	两烧—送	两烧—送
送风时间, min	45	45
燃烧时间, min	80	75
换炉时间, min	10	15
设计风温, ℃	1250	1250
拱顶温度, ℃	1420	1400
加热风量, Nm ³ /min	4200	5500
炉壳内径, m	9.2	10.2
热风炉总高度, m	41.59	41.66
蓄热室断面积, m ²	35.8	44.0
燃烧室断面积, m ²	9.7	10.9
每座热风炉总蓄热面积, m ²	48879	64839
单位高炉容积的加热面积, m ² /m ³	82.38	73.4
格子砖高度, m	32.4	31.3
燃烧器长度, m	3.4	4.4

4.6 紧凑型长距离制粉喷煤技术

迁钢 1 号高炉的喷煤工艺采用了紧凑型长距离制粉喷煤技术,采用直接喷吹工艺,将制粉和喷吹合建在一个厂房内。新的喷煤工艺综合了国内外高炉喷煤的先进技术,具有如下优点:

(1) 采用直接喷煤工艺,简化了喷煤流程,喷吹烟煤时更安全。

(2) 采用封闭式干燥炉,减少了系统的漏风率,降低了系统的氧含量,在喷吹烟煤时更为安全。

(3) 采用中速磨煤机制粉,降低了制粉的运行费用,从而减少了煤粉的生产成本。

(4) 采用高效低压脉冲煤粉收集器一级收粉工艺,既简化了流程,提高了煤粉收集效率,又使排尘浓度大大降低,废气出口浓度 ≤ 30 mg/m³,减少了环境污染。

(5)贮煤罐与喷煤罐之间设置了压力平衡式波纹补偿器,提高了连续喷煤过程中的计量精度,实现了喷煤全过程的连续计量。

(6)采用自动可调煤粉给料机和高精度煤粉分配器,以流化喷吹为前提,实现时间过程的均匀喷吹,消除了脉动煤流。

(7)自动化控制水平较高,实现了喷煤倒罐自动控制 and 调节。

4.7 螺旋法水渣处理工艺及长寿渣沟

(1)螺旋法水渣工艺为机械脱水工艺的一种方法。由于螺旋法水渣工艺关键设备只有 1 台螺旋机,所以其维护检修工作量小,需要检修较多的是 2 个轴承,设计时考虑了方便的检修措施。采用了在水渣贮水池上加设小平流池的工艺,设置抓渣吊车,将沉淀下来的细渣进行清除,降低了冲渣水中的细渣含量,减轻其对管道的磨损和冲渣喷嘴的堵塞现象,同时降低了贮水池中沉淀物的堆积速度,为系统正常运转创造了必要的条件。螺旋法水渣工艺较传统的渣池节省占地面积,能耗低,运行费用低;工艺流程简单,布置较灵活。

(2)为了提高水渣沟衬板的使用寿命,减少检修维护量,在设计中采用新型的复合衬板代替普通的耐磨铸铁衬板。新型复合衬板是在普通 Q235 - A 钢板的表面采用等离子喷焊工艺喷焊 Ni60 + WC 工作层,钢板厚度为 25 mm,耐磨层厚度为 8 mm。新型复合衬板硬度极高(硬度可以达到 HRC70 - 80),使用寿命可以达到 3 年,是普通耐磨铸铁衬板使用寿命的 3 倍以上。

4.8 湿式煤气除尘及压差发电(TRT)技术

煤气净化采用湿式双文煤气清洗系统;考虑干法除尘工艺先进性,是国内外高炉煤气净化的发展方向,在总图布置上预留干法布袋除尘设施占地。高炉煤气清洗设施采用湿式双文除尘并加精脱水工艺,系统由一级文氏管、一文脱水器、二级文氏管、二文脱水器、减压阀组、灰泥捕集器及给排水管道等组成。

炉顶压差发电(TRT)设施是冶金行业重要的节能和环保设施,它可以提供高炉鼓风机站所需电能的 1/3,同时减少了由于减压阀组所引起的噪音,减少了对大气的污染,并提高了能源的综合利用率。

4.9 节水技术

新建联合泵站,设常压水供水系统、高压水供水系统、软水密闭循环系统、高炉鼓风机净循环系统、

水冲渣浊循环系统、煤气洗涤水浊循环系统及高炉安全供水系统等。高炉采用软水密闭循环冷却,热风炉高温阀门采用软水密闭循环冷却;煤气清洗和水力冲渣的水,循环使用。通过以上节水措施,可以实现炼铁生产过程用水“零”排放,水重复利用率为 97.38%,新水消耗 $\leq 0.71 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

4.10 大型电动轴流鼓风机及交变频启动控制技术

高炉鼓风机站内设置 1 台 AV100 - 19 全静叶可调电动轴流式压缩机及其配套辅机,并预留 2 台鼓风机的位置。鼓风机设计流量 $7000 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 、风压 0.43 MPa,完全能够满足定风量、定风压操作的要求。鼓风机采用交变频启动控制技术,具有效率高、操作迅速、运行简便、结构紧凑、调节性能好的特点。

4.11 大型高炉自动化控制技术

高炉自动化实现电气、仪表和控制三电一体化,设计完善的高炉温度、压力、流量的检测,设置基础自动化和过程自动化两级自动化控制。基础自动化主要采用 QUANTUM 可编程逻辑控制器及工业微机来完成高炉冶炼过程的数据采集以及各种控制和操作等。过程自动化主要完成高炉冶炼过程的监控、数据处理、生产管理及生产报表的打印等功能。取消了常规仪表、操作台和模拟屏,并预留人工智能专家系统的接口和界面。

4.12 清洁生产技术

设计了供料、料仓、炉前等系统的除尘装置;为减小二次扬尘,重力除尘器卸灰采用加湿卸灰机;在所有风机的进风口和放散阀处,均设置了消音器,降低噪音污染;在铁口区域侧吸的基础上增设顶吸装置,有效地解决开、堵铁口时的烟尘外溢问题。上料及炉前系统除尘技术的应用,实现了高炉清洁化生产,改善了劳动条件,有利于环保。

5 生产实践

迁钢 1 号高炉工程于 2003 年 12 月完成施工图设计,2004 年 10 月 8 日竣工投产。1 号高炉开炉顺利,运行良好、生产稳定顺行,经过 1 年多的生产运行,迁钢 1 号高炉取得了良好的实绩。首钢 3 座 2500 m^3 级高炉主要技术经济指标对比见表 3。

6 结语

高炉精料及焦丁回收技术、炉料分布与控制技术、高炉高效长寿综合技术、高效铜冷却壁技术、软水密闭循环冷却技术、热风炉余热回收及高风温长寿技术、紧凑型长距离制粉喷煤技术、大型高炉风机交变频启动控制技术、炉顶压差发电(TRT)技术、

表3 首钢3座2500m³级高炉主要技术经济指标对比

项 目	迁钢1号	迁钢1号	首钢1号	首钢3号	迁钢1号			
	设计指标	2005年	2005年	2005年	2006年1月	2006年2月	2006年3月	2006年4月
利用系数,t/(m³·d)	2.16~2.50	2.30	2.29	2.312	2.45	2.47	2.53	2.46
入炉矿品位,%	59.00	59.02	59.35	9.27				
熟料率,%	90.00	90.3	87.79	87.72	89.60	93.79	92.50	91.55
入炉焦比,kg/t	335	375	359	363	340	336	333	314
煤比,kg/t	160	111	114	119	135	138	133	144
焦丁,kg/t		34.8	22.6	22.4	27.0	23.0	22.0	22.0
综合焦比,kg/t	463	500	484	493	472	467	459	449
燃料比,kg/t	490	521	496	505	502	497	488	480
综合冶强,t/(m³·d)	0.984~1.156	1.160	1.140	1.158	1.156	1.153	1.161	1.105
富氧率,%	0	0.20	0.23	0.31	1.53	1.20	1.56	1.60
风温,℃	1200~1250	1141	1119	1111	1173	1198	1200	1211
风压,MPa	0.370	0.359	0.331	0.327	0.360	0.360	0.364	0.364
顶压,MPa	0.200	0.193	0.197	0.197	0.195	0.195	0.198	0.197
顶温,℃	150~200	226	198	207				
渣量,kg/t	290	306	310	324				
煤气利用率,%	50.00	48.12	42.1	43.09				
[Si],%	0.35	0.35	0.49	0.50			0.65	0.49
[S],%	0.025	0.025	0.024	0.024			0.020	0.032
休风率,%		1.1	2.851	1.716	2.0	0.99	0.07	2.42

首钢先进的并罐无料钟炉顶装料设备及炉前现代化设备等综合技术在迁钢1号高炉上应用,提高了1号高炉整体技术装备水平。生产实践表明,迁钢1号高炉的设计是合理的,技术水平已达到国内先进水平。

7 参考文献

1 张福明,姚斌等. 铜冷却壁的设计研究与应用. 铜冷却壁技术研讨

会论文集,2003.39~42

2 吴启常,张建梁,苍大强. 我国热风炉的现状及提高风温的对策. 炼铁,2002(5):1~4

联系人:毛庆武 高级工程师 电话:010-88292003
(100043)北京市石景山区首钢设计院炼铁室
收稿日期:2006-07-05

· 会议报道 ·

第七届全国大高炉炼铁学术年会在本钢召开

2006年8月11~14日,第七届全国大高炉炼铁学术年会在本钢召开,近百名代表参加了会议,就大高炉建设、生产操作和管理等方面的问题进行了讨论。

近年来,我国高炉大型化取得明显进展。据统计(详见本期第57页),目前我国正在生产的1000m³以上高炉(不包括台湾省)有99座,分布在40余家企业,其中,1000~1999m³高炉54座,2000~2999m³高炉34座,3000m³以上高炉11座,最大是宝钢4号高炉(炉容4747m³)。与会代表认为,

高炉大型化后,要特别重视对原燃料质量的要求,尤其是焦炭质量,建议:对于大于2000m³高炉,焦炭反应性(CRI) < 25%,焦炭反应后强度(CSR) > 65%;对于小于2000m³高炉,焦炭反应性(CRI) < 28%,焦炭反应后强度(CSR) > 60%。

会上,杨天均、刘琦、王维兴等专家教授就近年来我国炼铁工业发展作了专题学术报告,受到与会代表的欢迎。与会代表还参观考察了本钢7号高炉(2850m³)。

(本刊讯)