

中国高炉炼铁技术进展

王维兴

(中国金属学会, 北京 100711)

摘要: 在描述 2004 年中国高炉炼铁技术现状的基础上, 指出中国高炉炼铁在高效、低耗、长寿、优化操作技术等方面取得了进步。近年来, 大型高炉生产技术水平, 取得了明显进步, 但是, 精料技术、喷吹煤粉、热风温度等方面呈下降态势。宝钢、马钢、上钢一厂、鞍钢、首钢等企业部分大高炉利用系数和燃料比等指标已达到先进水平。今后要进一步改善原燃料质量和提高热风温度。

关键词: 高炉; 炼铁; 技术; 进展

中图分类号: TF5 文献标识码: A 文章编号: 0449-749X(2005)10-0008-05

Technical Progress of BF Ironmaking in China

WANG Wei-xing

(The Chinese Society for Metals, Beijing 100711, China)

Abstract: The technical progress of blast furnace ironmaking on high efficiency, low energy consumption, long campaign, optimized operation technique and so on is pointed out based-on BF ironmaking technique accepted in China in 2004. But the use of beneficiated concentrate, pulverized coal injection, high blast temperature etc. is declined. Recently, the obvious progress on production technique of large BF has been obtained. The productivity and fuel ratio on large BF has already reached advanced level in many companies such as Baosteel, Masteel, Shanghai No. 1 Steel Co., Ansteel, Shougang. In future, improving raw material and quality and increasing hot blast further are necessary.

Key words: BF; ironmaking; technique; progress

1 中国高炉炼铁技术现状

在国民经济快速发展的拉动下, 中国钢铁工业进入快速发展阶段, 这也带动了高炉炼铁的快速发展。伴随着中国生铁产量的高速增长, 中国高炉炼铁技术水平也取得了一定进展。由于生铁产量的高速增长造成了全国铁矿石、焦炭供应紧张, 价位攀升, 质量下降, 成分不稳定, 导致了部分高炉技术经济指标下滑。表现在入炉品位虽提高, 但入炉焦比升高, 喷煤比下降等现象^[1], 详见表 1。

以宝钢、武钢、鞍钢、首钢、邯钢、梅山、上钢一

厂、莱钢、三明和新兴铸管等企业的高炉部分指标达到了国际先进水平, 大大地缩短了中国高炉炼铁技术与工业发达国家之间的差距, 详见表 2。

中国炼铁产业集中度低, 高炉座数多(约有 900 多座), 大于 1000 m³ 以上高炉却只有约 110 座。各高炉生产技术水平在高效、低耗、优质、长寿、高效益等方面取得了不同程度的新进展。

2 高炉实现高效化

高炉高效化是指高利用系数, 低能耗。从表 1 和表 2 中可看出, 我国高炉炼铁技术水平是在不断

表 1 全国重点企业高炉炼铁技术指标

Table 1 Technical and economic indexes of BF ironmaking in main Chinese companies

项目	2004 年	2003 年	2002 年	2001 年	2000 年	近 3 年比较
全国生铁产量/万 t	25185	21366	17074	14893	13103	8111
利用系数/(t·m ⁻³ ·d ⁻¹)	2.516	2.474	2.448	2.337	2.233	0.068
燃料比/(kg·t ⁻¹)	526	526	526	530	533	0
入炉焦比/(kg·t ⁻¹)	427	433	415	423	429	12
喷煤比/(kg·t ⁻¹)	116	118	125	124	118	-9
热风温度/℃	1074	1082	1066	1081	1034	8
入炉矿品位/%	58.21	58.49	58.18	57.28	56.81	0.03
休风率/%	1.85	1.86	1.61	2.36	2.03	0.24

表 2 2004 年中国部分高炉技术指标

Table 2 Technical indexes of part BFIs in China at 2004

企业	炉号	容积/ m ³	利用系数/ (t · m ⁻³ · d ⁻¹)	焦比/ (kg · t ⁻¹)	煤比/ (kg · t ⁻¹)	风温/ ℃	矿品位/ %	渣量/ (kg · t ⁻¹)	炉顶压力/w([Si])/ kPa	φ(CO ₂)/ %	休风率/ %
宝钢	3	4350	2.425	286	193	1246	60.02	265	233	0.30	23.93
	1	4063	2.236	276	211	1246	60.16	262	222	0.36	22.72
武钢	5	3200	2.154	363	133	1099	60.15	268	205	0.52	18.85
鞍钢	12	3200	2.312	366	149	1172	59.54	309	215	0.38	20.23
	10	2580	2.180	374	136	1126	59.57	302	150	0.42	20.53
马钢	2	2500	2.459	298	167	1163	59.20	302	202		21.70
首钢	4	2100	2.288	425	63	1039	59.16	313	182	0.49	17.52
邯钢	7	2000	2.467	403	119	1099	59.59	333	149	0.47	20.31
梅山	1	1250	2.208	391	103	1139	58.11	315	137	0.51	20.21
上一	1	750	3.098	325	159	1154	60.08	262	118	0.33	22.11
莱钢	3	750	3.055	360	145	1152	54.69	311	142	0.39	1.83
三明	3	380	3.672	414	119	1133	58.85	320	97	0.56	19.72
新兴铸管	3	360	4.213	336	177	1183	59.07	310	92	0.31	20.21

提高,也表明缩小了我国与工业发达国家差距。

2.1 高利用系数

2004 年全国重点企业利用系数为 2.516 t/(m³ · d),比 2003 年提高 0.042 t/(m³ · d)。宝钢 4350 m³ 高炉创出月平均利用系数 2.5 t/(m³ · d)以上水平,鞍钢 3200 m³ 高炉利用系数达 2.3 t/(m³ · d),上钢一厂、武钢、马钢、本钢、鞍钢等企业 2500 m³ 的高炉创出月平均高炉利用系数达 2.5 t/(m³ · d),济钢 1750 m³ 高炉创出月平均利用系数 2.6 t/(m³ · d),上钢一厂、莱钢 750 m³ 高炉利用系数达 3.0 t/(m³ · d),新兴铸管高炉年平均利用系数达 4.289 t/(m³ · d)。总体上讲,我国大型高炉生产顺行问题得到解决,促使利用系数呈上升态势。

2.2 低能耗

2004 年虽然全国炼铁原燃料供应紧张,质量在下降,成分不稳定。但经过炼铁工作者的努力,使我国炼铁工序能耗和入炉焦比均呈下降态势(表 3)。

表 3 2004 年重点企业工序能耗

Table 3 Energy consumption of each process at main companies in 2004

	烧结	焦化	炼铁	kg/t
2004 年平均值	66.38	142.21	466.20	
2003 年平均值	65.90	140.81	483.80	
2002 年平均值	67.00	149.00	454.00	
2001 年平均值	68.00	153.00	448.00	
2000 年平均值	69.00	159.00	464.00	
宝钢	62.20	88.13	395.41	
新兴铸管	54.62	127.74	432.22	
太钢	56.50	142.13	434.69	

2004 年烧结工序能耗(kg/t)先进单位:新余(52.53)、杭州(52.06)、南京(53.38)、首钢(56.00)、酒泉(56.09)、石家庄(56.69)、宣化(58.85)。

焦化工序能耗(kg/t)先进单位:攀枝花(99.50)、临汾(102.94)、通化(117.29)、柳州(123.47)、邯钢(121.04)、莱芜(126.39)。

炼铁工序能耗(kg/t)先进单位:新余(420.26)、新疆八一(426.92)、上钢一厂(414.39)、莱芜(438.34)、邢台(439.65)、梅山(428.46)。

2004 年中国重点企业之中低燃料比(kg/t)的企业有:宝钢(450)、梅山(481)、太钢(481)、新兴铸管(487)、上钢一公司(490)、首钢(493)、马钢(495)。全国约有 60 座高炉的燃料比低于 500 kg/t。

2004 年中国重点企业之中高炉入炉焦比(kg/t)年平均低于 400 kg/t 的有 11 个单位,他们是宝钢(288)、上钢一公司(347)、太钢(358)、马钢(369)、湘钢(375)、长治(388)、新兴铸管(349)、邢台(373)、承钢(399)、石家庄(399)、武钢(399)。

3 精料水平下降

由于我国生铁产能的高速增长,使炼铁原燃料供应处于紧张状态,质量下降,成分不稳定。2004 年全国重点企业高炉入炉铁品位为 58.21%,比 2003 年度下降 0.27%,烧结矿品位为 56.25%,比 2003 年度下降 0.49%,焦炭 M40 为 81.40%,比 2003 年度升高 0.15%,灰分为 12.74%,比 2004 上半年升高 0.12%,硫分为 0.64%,比 2004 上半年升高 0.03%。表 4 为 2004 年重点企业原燃料质量情况。

表 4 2004 年重点企业原燃料质量
Table 4 Raw material and fuel quality at main companies in 2004

项目	烧结				焦炭				
	品位/ %	碱度	转鼓指数/ %	工序能耗/ (kg·t ⁻¹)	M40/%	M10/%	灰分/%	硫分/%	工序能耗/ (kg·t ⁻¹)
平均值	56.25	1.933	73.24	66.38	81.40	7.15	12.74	0.64	142.21
2003 年值	56.74	1.940	71.83	65.90	81.25	7.06	12.61	0.61	140.81
宝钢	58.68	1.825	75.38	62.20	89.05	5.51	11.71	0.56	88.13
新兴铸管	58.80	2.005	76.79	54.62		7.53	12.83	0.55	127.74
首钢	57.24	1.823	86.64	56.00	80.90	7.32	12.66	0.75	171.38
鞍钢	57.31	2.001	79.15	60.33	80.98	7.06	12.55	0.63	142.21
太钢	59.92	1.801	71.68	56.50	80.31	6.88	12.31	0.60	142.13

4 高炉喷煤比下降

从表 1 可看出, 2003 年、2004 年全国重点企业高炉喷煤比在连续下降, 近 3 年下降了 8 kg/t。全国喷煤比最高的宝钢高炉喷煤比也从 203 kg/t 降到 192 kg/t。2004 年全国重点企业喷煤比 (kg/t) 在 150 kg/t 以上的企业有: 宝钢 (192)、承钢 (177)、新兴铸管 (172)、邢钢 (153)、石钢 (149); 重点企业之中有 22 个企业的年平均喷煤比与 2003 年相比是下降了, 降幅最大的达 37 kg/t, 宝钢、鞍钢、本钢、包钢、攀钢等大型企业的高炉喷煤是呈下降态势。

喷煤比下降的原因是多方面的。笔者认为主要原因是在原燃料质量下降, 高炉料柱透气性变差的情况下, 还要求高炉高产 (因为有产量就有效益)。所以, 炼铁厂采取降喷煤比, 保风量, 要产量。其次是因风温下降、煤粉制粉能力不足、高质量煤种难买等因素影响。

据统计, 2004 年重点的企业炼焦工序能耗为 142.21 kg/t, 而煤粉工序能耗在 20~35 kg/t。高炉喷吹 1 t 煤粉可获得约 600 元的经济效益 (主要是煤粉与焦炭的价差), 同时减少了炼焦过程对环境的污染。因此, 应努力提高喷煤比。

5 热风温度水平不稳定

从表 1 可看出, 我国重点企业热风温度在徘徊之中, 2004 年重点企业高炉热风平均温度为 1074 °C, 比 2003 年度下降 6 °C, 比工业发达国家水平低近 180 °C。仅因热风温度一项, 就使我国高炉焦比要比工业发达国家高出约 30 kg/t。这是我国高炉炼铁技术水平与国外先进水平相比差距最大的地方。

我国已全面掌握了高风温技术, 并且也已从国外引进了多种类型的热风炉。从表 2 中可看出, 我

国不同容积的高炉均有热风温度超过 1100 °C 的记录。2004 年我国热风温度大于 1100 °C 的企业有: 宝钢 1239 °C、上钢一厂 1161 °C、梅山 1137 °C、攀钢 1136 °C、三明 1127 °C、新兴铸管 1121 °C、包钢 1103 °C、武钢 1102 °C、凌钢 1101 °C、承德 1101 °C、太钢 1100 °C。

我国热风温度偏低的原因是技术改造的力度不够。热风炉的寿命一般在十几年, 大修一次所需资金也比较多。所以造成技术更新慢, 投资不到位。也存在送风系统设备不过关 (如热风阀、热风围管、吹管不耐高温), 送风制度不合理 (如热风炉炉顶温度在烧炉和送风时的温度要求要小于 150 °C)、热风炉结构有缺陷等问题。

6 高炉操作技术取得新进展

高炉实现高效化是炼铁技术的综合体现。高炉操作技术体现在冶炼低硅铁、高煤气利用率、高顶压等方面。

6.1 低硅铁冶炼技术

2004 年我国有 61 座高炉生铁中 Si 的质量分数低于 0.4%。宝钢、鞍钢、上钢一厂、邯钢等企业的高炉生铁中 Si 的质量分数在 0.2% 左右, 青钢、通钢、本钢一铁、新兴铸管等企业中小高炉生铁中 Si 的质量分数在 0.4% 左右。生铁中 Si 的质量分数每降低 0.1% 可降低焦比 4~5 kg/t。

6.2 高压操作技术

高炉高压操作可以实现强化冶炼, 提高产量, 降低焦比。高炉炉顶压力提高 0.1 kPa, 可增加风量 2%~3%; 对于大型高炉顶压提高 0.1 kPa, 增产 1.1±0.2%, 焦比下降 0.5%~1.0%, 高炉高压操作有利于冶炼低硅铁。我国一大批中小高炉就是通过提高顶压, 实现大风量操作, 提高利用系数。

2004 年宝钢 3 号高炉 (4350 m³) 顶压为 233

kPa, 马钢 2 号高炉(2500 m^3)顶压 202 kPa, 酒钢 2 号高炉(1000 m^3)顶压为 153 kPa, 莱钢 3 号高炉(750 m^3)顶压为 142 kPa, 唐钢 3 号高炉(400 m^3)顶压为 117 kPa。刘云彩教授曾发表文章, 按炉内煤气速度推算, 若小高炉也采取高压操作, 叶渚沛预言的高炉利用系数达到或超过 $4\sim6 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 是可能的^[1]。

6.3 高煤气利用率

通过对高炉装料制度和送风制度进行调剂, 可以实现高的煤气利用率, 进而实现高炉低燃料比。高炉煤气中 $\varphi(\text{CO}_2)$ 提高 0.5%, 燃料比可下降 10 kg/t, 炼铁工序能耗可下降 8.5 kg/t。

2004 年高炉煤气 CO_2 的体积分数高的高炉有: 宝钢 22.72%~23.93%, 首钢、马钢、鞍钢、上钢一厂、梅山、太钢、本钢、邯钢、攀钢等企业的大高炉 CO_2 的体积分数均在 20% 以上。炉顶温度波动 $<60^\circ\text{C}$ 。

随着高炉炼铁技术进步的发展, 炉顶煤气曲线已由过去的喇叭花型发展到双峰式的煤气曲线。

6.4 少渣冶炼技术

随着精料技术的发展, 一批高炉的入炉矿品位在 59% 以上, 甚至在 60% 以上, 渣铁比在 300 kg/t 以下。高炉少渣冶炼的技术的发展对炼铁学理论均有许多促进, 如软溶带变化、喷煤机理、强化冶炼、出渣铁制度等。2004 年我国已有 25 座高炉的渣铁比低于 300 kg/t。

6.5 合理炉料结构

目前我国高炉的炉料结构趋向于烧结矿 75%~85%, 球团矿 10%~15%, 天然块矿 10% 左右。现许多企业努力增加球团矿配比, 也有些企业在增加块矿配比。

增加球团矿配比可以提高入炉矿品位, 同时可以提高烧结矿的碱度(高碱度烧结矿转鼓强度高、还原度高)。但是, 球团矿由于有膨胀的缺点(最高可达 27%), 故世界上用全配球团矿高炉炼铁的很少。因球团矿要求精矿粉品位高, 粒度细(小于 0.074 mm > 85%)造成国际上球团矿售价太高(约 1 600 元/t), 致使日本、韩国的高炉在减少球团矿配比。

目前我国有增加块矿配比的趋势, 水钢、海鑫、青钢、冷水江炼铁厂的高炉已使用近 20% 块矿炼铁。使用块矿的原则是: 高品位、还原性好、不爆裂的矿石, 其粒度一般在 10~20 mm。增加块矿配比的优点是可以有效地提高入矿矿品位, 减少了造块成本(包括设备投资和运行费), 同时也减少了因造

块对环境的污染。但是多使用块矿应有一定比例, 笔者认为在 10% 左右为宜。因为块矿在高炉内一般是直接还原反应, 直接还原是个吸热反应, 还原度减少 0.1, 焦比升高 $8\sim9 \text{ kg/t}$, 所以多使用块矿会对炼铁工序能耗有影响。块矿气孔率低, 难还原, 在高温区易粉化致使高炉透气性变差, 生矿还有调节碱度的功能。

7 高炉寿命有所提高

由于在高炉设计, 设备选型和制造(包括耐火材料), 施工质量、高炉操作(控制煤气流)、设备检测和维护等一系列技术上均有进步, 我国高炉寿命在不断提高。宝钢、攀钢已有高炉寿命实现 14 年左右的记录, 鞍钢、本钢、梅山、首钢等企业的一批大于 1000 m^3 容积的高炉寿命超过了 10 年。但是, 我国中小高炉寿命仍偏低, 一般 5~8 年, 个别高炉 3 年就要修一次, 或喷补造衬一次。

通过探索, 宝钢、鞍钢、首钢、武钢等一批炼铁厂已掌握了调节煤气流分布(宝钢开发出炉缸活性指数, 调整煤气流分布), 使炉身中上部分长寿; 实现强化冷却, 使炉身下部长寿; 采用高导热性炭砖, 延长炉缸寿命; 开发快速更换冷却壁和降料线喷补造衬等技术, 使我国高炉寿命得到提高。

总体上讲, 我国高炉炉缸部分的长寿技术已基本过关, 而炉身下部、炉腹、炉腰部分寿命短已成为薄弱环节。近年来, 我国大型高炉在关键部位积极采用铜冷却壁(已有近 20 个企业采用近 3000 块铜冷却壁), 这些高炉的寿命将会大于 15 年。

现在, 中小高炉是进行高强度冶炼, 为实现大风量、高产量、使用煤气边缘发展的操作方针, 对高炉长寿产生负面影响, 而且能耗也高。全国约有 70 座中小高炉年均利用系数在 $3.0 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以上。但要注重节能和环保工作, 实现科学炼铁、理智炼铁, 走可持续发展道路。

8 炼铁装备实现了国产化

我国炼铁系统(包括烧结、焦化、球团、高炉)的装备基本上实现了国产化。近年来, 我国新建、大修改造的高炉、烧结机、炼焦炉、球团竖炉和链篦机—回转窑等设备的设计、设备制造、施工、设备调试、达产等方面工作均可由国内完成。除个别关键技术或知识产权所影响, 这些设备的工艺技术水平已基本上达到了国际先进水平。如宝钢、太钢新建的 4000 m^3 级高炉, 炭化室高 6 m 的现代大型焦炉、 450 m^2

大型烧结机、年产 240 万 t 大型链篦机一回转窑等装备均已达到自动化水平高、技术含量高、技术工艺先进,且投资要比国外同类设备低 40%。

8.1 球团技术装备

首钢链篦机一回转窑一环冷机生产球团新工艺技术取得重大成果之后,我国建成和在建的 28 条生产线,其生产能力为 7000 万 t/a,这将大大促进我国高炉炉料结构中使用球团的比例,同时也将提高球团矿的质量(皂土少,铁品位高,抗压强度高,质量均匀稳定)。

8.2 烧结技术装备

我国已能设计制造 435 m²、450 m² 大型现代化烧结机。我国也已成功开发原料混均、偏析布料、小球烧结、厚料层、低硅高铁烧结和高配比褐铁矿烧结新工艺技术。宝钢成功地将 450 m² 烧结机改造为 490 m² 烧结机。

8.3 炼铁技术装备

我国已能自主设计设备制造(国产化率在 90% 以上)4350 m³ 级的现代化大型高炉。其生产指标(利用系数为 2.5t/(m³ · d),燃料比小于 450 kg/t)可达到国际先进水平。

我国自主开发的 SS 型无料钟炉顶设备,铜冷却壁、炉顶料面摄像装备、高炉操作专家系统等技术装备已在国内得到推广应用。

浦项有意和福建三明钢铁公司合资建厂

汉城消息:世界第五大钢铁厂——韩国浦项钢铁厂有关官员 2005 年 9 月 28 日表示,公司正考虑和福建三明钢铁公司合建钢铁厂。

浦项公司一直在考虑通过收购或新建钢厂的方式扩大在中国的投资,但以前从没有透露过其潜在的合作伙伴。该官员表示,2005 年 3 月已经向中国当地政府递交了建新厂的意向书。目前还在等待政府审批。她拒绝透露关于合作的其他细节。三明钢铁公司是一家小型钢厂,2003 年钢铁产量为 210 万 t。

浦项公司 2004 年的钢铁产量超过 2900 万 t,由于韩国国内市场供给过剩,因此正在积极寻找海外投资机会,尤其是在对钢铁需求增长迅猛的中国和印度。如果该项目能够建成,将是浦项在中国的第一家粗钢厂。浦项公司在中国的企业达到 10 家,生产或者加工各种钢铁产品,如不锈钢。

9 今后炼铁生产技术的发展

炼铁系统的能耗占钢铁工业总能耗的 70% 左右。因此,炼铁系统应当承担节能降耗、降成本的重任。为此,应重点解决以下问题:

- (1) 深入贯彻精料方针,提高原燃料质量,成分稳定;
- (2) 努力提高风温,解决好影响风温提高的各技术环节;
- (3) 解决好影响提高喷煤比的关键技术问题;
- (4) 缩小炼铁企业之间技术水平的差距,推广一批实用,先进炼铁技术;
- (5) 搞好炼铁系统的环保工作,减少对环境的污染,实现清洁生产。

10 结论

(1) 高炉炼铁生产技术不断进步,显示出高炉炼铁工艺技术仍占有主导地位。

(2) 炼铁系统应深入开展节能降耗、降成本工作,进而提高钢铁工业的市场竞争力。

(3) 高炉喷吹煤粉是炼铁系统结构优化的中心环节,要大力提高喷煤比。

参考文献:

- [1] 刘云彩. 高炉强化研究[A]. 2003 中国钢铁年会论文集[C]. 北京:冶金工业出版社,2003. 392-394.

湘钢年产 240 万 t 宽厚板工程 9 月底正式生产

湘潭钢铁公司宽厚板工程厂房整体长达 2 km,是湖南目前最长的生产厂房。2005 年 9 月初,该工程的主要设备精轧机开始试车,2005 年 9 月底,第一块优质钢板从这里正式轧出。

据湘钢负责人介绍,湘钢宽厚板工程是湖南省十大标志性工程项目之一,总投资达 40 亿元,具有年产宽厚板 240 万 t 的能力。目前,主体工程已基本完工,正在进行紧张调试宽厚板工程的关键设备精轧机。轧机工程投资 12 亿元,通过两台 7000 W 的电机,这套轧机可轧制宽 3.8 m、厚度 6 mm 至 120 mm 的宽厚板。这套国内目前最先进的宽厚板轧机投产后,每年可增加工业产值 60 亿元。根据规划,2006 年至 2007 年,湘钢将形成产钢 600 万 t 的综合能力。到 2010 年,湘钢还将在目前生产区周边开辟热连轧生产线,达到年产 850 万 t 钢的规模。

(驿 路)