

首钢 2 号高炉混煤喷吹研究

刘水洋¹, 钱 凯², 竺维春², 王颖生², 单泊华²

(1. 首钢集团, 北京 100041; 2. 首钢集团技术研究院, 北京 100041)

摘要: 分析了实验室条件下风温、不同烟煤混合比例、煤粉粒度对混煤燃烧特性的影响, 得出喷吹 AB 混煤的煤粉粒度可控制在粒度小于 0.074 mm 的比例不小于 30%, 粒度大于 0.175 mm 的比例不大于 25%; 风温每提高 38 ℃, 煤粉燃烧率提高 1 个百分点; 高炉喷吹 AB 混煤中烟煤(B 煤)的比例宜在 30%~50%。在 2 号高炉进行了混煤喷吹的工业试验, 试验期间, 风温、煤比提高, 焦比降低; 试验表明: 首钢四制粉能够喷吹挥发分小于 18% 的混煤; 最终提出了进一步进行工业试验的方向。

关键词: 煤比; 混煤; 高炉; 燃烧率

中图分类号: TP538.6⁺³ 文献标识码: A 文章编号: 0449-749X(2005)05-0005-04

Research of Mixed Coal Injection on Shougang No. 2 BF

LIU Shui-yang¹, QIAN Kai², ZHU Wei-chun², WANG Ying-sheng², SHAN Ji-hua²

(1. Shougang Group, Beijing 100041, China; 2. Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100041, China)

Abstract: The effect of blast temperature, the coal size on the mixed coal combustion rate in experiment condition was analyzed. And then the conclusion was drawn that the proportion of minus 0.074 mm mixed coal powder should be over than 30% and the proportion of 0.175 mm mixed coal should be less than 25%; and the coal combustion rate can be increased by 1% with blast temperature increment of 38 ℃. The proportion of bituminous coal in mixed coal for injection is in a range of 30%-50%. The industrial exam of mixed coal injection has been performed with the increase of the blast temperature and PCI rate and decrease of coke rate; it was proved that Shougang forth milling system is able to inject mixed coal with a volatile less than 18%. The future industrial exam is proposed.

Key words: PCI rate; mixed coal; BF; combustion rate

2000 年以前首钢炼铁厂一直喷吹无烟煤, 首钢四制粉及热风炉烟气余热回收工程的投入具备了喷吹混煤的条件, 在进行了混煤(A(无烟煤)、B(烟煤))爆炸性、燃烧性实验室试验和烟煤配比计算等诸多工作之后提出了当时条件下 2 号高炉(1780 m³)混煤喷吹的工业试验方案, 实施后取得了成功, 2002 年 10 月 2 号高炉取得煤比 170 kg/t, 燃料比 482 kg/t 的优良指标。本文对相关研究进行了阐述, 并提出进一步改进的方向。

1 实验室试验

1.1 爆炸性

该项测定采用长管式煤粉爆炸性测定仪进行。

表 1 AB 混煤的爆炸性

Table 1 Explosion characteristics of AB mixed coal

项目	数据										
	A 煤比例/%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
V _{daf} /%	32.50	30.41	28.32	26.23	24.14	22.05	19.96	17.87	15.78	13.68	11.60
L/mm	650	480	260	140	180	100	50	0	0	0	0

表 2 试样粒度组成

Table 2 Size distribution of samples

粒级	I / %	II / %	III / %	IV / %	V / %	$\Sigma / \%$	平均粒径 / mm
试样 1	80	10	7	2	1	100	0.063
试样 2	70	14	9	5	2	100	0.083
试样 3	60	18	11	8	3	100	0.102
试样 4	50	22	13	11	4	100	0.122
试样 5	40	25	16	14	5	100	0.142
试样 6	30	28	19	17	6	100	0.162
试样 7	20	30	24	19	7	100	0.181
试样 8	10	32	28	22	8	100	0.202
试样 9	5	32	30	24	9	100	0.216

1.2 燃烧性

燃烧性的研究为探索烟煤与无烟煤不同粒度对煤粉燃烧性的影响规律,为高炉确定喷吹煤粉合理粒度提供依据。同时探索了风温对目前高炉喷吹混煤燃烧率的影响规律。

1.2.1 混合比例

不同粒度混煤试验采用生产所用的 B 烟煤和 A 无烟煤为试验煤种。分两个系列进行。第一系列为现有爆炸性较小的比例,即 B 煤 30%+A 煤 70%,第二系列采用 B 煤 50%+A 煤 50%。风温系列试验用煤粉取自 3 号高炉现场。

1.2.2 煤粉粒级

第一、二系列试样共分 5 个粒级:粒级 I 为 $<0.074 \text{ mm}$,粒级 II 为 $0.074 \sim 0.125 \text{ mm}$,粒级 III 为 $0.125 \sim 0.180 \text{ mm}$,粒级 IV 为 $0.180 \sim 0.450 \text{ mm}$,粒级 V 为 $0.450 \sim 0.900 \text{ mm}$ 。

1.2.3 粒度组成

试样粒度组成见表 2。

现场煤粉粒度如下: $<0.589 \text{ mm}$ 为 0.71%, $0.589 \sim 0.295 \text{ mm}$ 为 1.45%, $0.295 \sim 0.175 \text{ mm}$ 为 4.11%, $0.175 \sim 0.124 \text{ mm}$ 为 12.83%, $0.124 \sim 0.074 \text{ mm}$ 为 11.44%, $<0.074 \text{ mm}$ 为 69.77%。

1.2.4 工业分析

煤粉工业分析见表 3、4。

表 3 第一、二系列试验用煤工业分析

Table 3 Composition of coal for 1,2 series experiments

煤种	$V_{\text{daf}} / \%$	$A_d / \%$	$S_{\text{id}} / \%$
B	31.23	9.44	0.34
A	8.76	8.33	0.38

注:取样日期 2003 年 1 月 15 日。

表 4 风温系列混煤工业分析

Table 4 Composition of coal for experiment with different blast temperature

FC_d	V_{daf}	A_d	S_{id}
74.94	13.52	11.35	0.41

注:取样日期 2003 年 2 月 12 日,取自 3 号高炉,B 煤约为 25%

1.2.5 试验参数

试样 300 g/个。鼓风量 $42.5 \sim 43.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 喷吹风量 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

1.2.6 试验装置

试验装置采用技术研究院的煤粉燃烧装置。该装置模拟风口回旋区煤粉的燃烧,由送风系统、加热控制柜、二级热风炉、燃烧炉、喷吹系统、残碳收集系统,计算机数据采集系统等组成。煤粉由喷吹系统进入燃烧炉与热风燃烧,煤燃烧后的残碳经收集、烘干、烧灰以计算煤粉燃烧率。

1.2.7 试验情况

试验情况见表 5。根据煤粉量与空气量的比例关系并与 1、3 号高炉一定煤比时的单枪煤量相比,推算出本次实验室试验的相当煤比。第一、二系列后 3 个试样由于粒度较大,喷吹时间较短,煤比相对偏高。

1.2.8 试验分析

(1) 风温对煤粉燃烧率的影响

在风温系列试验中,燃烧炉温度是由加热元件单独加热的,热风温度对其影响较小,这一点与高炉风口区不同。表现在试验中,煤粉燃烧率随风温的提高而提高,但是提高的幅度比高炉实际要小。即风温由 $730 \text{ }^\circ\text{C}$ 提高到 $955 \text{ }^\circ\text{C}$,燃烧率由 30.3% 提高到 36.2%,仅提高约 6 个百分点,相当于风温每提高 $38 \text{ }^\circ\text{C}$,煤粉燃烧率提高 1 个百分点。尽管如此,仍然能说明风温对提高煤粉燃烧率的重要作用。为了继续提高喷煤比并保持较高的置换比,应坚持为提高风温使用水平而努力。

(2) 粒度对煤粉燃烧率的影响

在粒度试验的两个系列中,均反映出随粒度增加煤粉燃烧率降低的规律,这与 1999 年进行的单种烟煤不同粒度的燃烧性试验的结果是一致的。在第一、二两个系列的试验中,均存在到第 7~9 个试样(即小于 $0.074 \text{ mm} < 30\%$,大于 $0.175 \text{ mm} > 25\%$)

表5 燃烧试验数据

Table 5 Data of combustion rate

项目	热风温度/℃	燃烧炉温度/℃	总风量/(m ³ ·h ⁻¹)	喷吹时间/s	相当煤比/(kg·t ⁻¹)	燃烧率/%
风温系列	1	730	1095	44.5	200	100
	2	780	1098	44.5	200	100
	3	820	1097	44.5	200	100
	4	855	1106	44.5	200	100
	5	900	1098	44.5	200	100
	6	935	1109	44.5	200	100
	7	955	1102	44.5	200	100
粒度Ⅰ系列	1	949	1150	44.5	180	105
	2	950	1151	44.5	180	105
	3	957	1160	44.5	180	105
	4	957	1149	44.0	180	105
	5	955	1155	44.0	180	105
	6	954	1153	44.0	170	117
	7	955	1168	44.0	120	>150
	8	955	1158	44.5	100	>150
	9	954	1152	44.5	90	>150
粒度Ⅱ系列	1	955	1151	44.0	180	105
	2	948	1153	44.0	180	105
	3	957	1149	44.0	190	105
	4	956	1159	44.0	170	105
	5	957	1156	44.0	180	105
	6	953	1151	44.0	150	130
	7	956	1159	44.0	100	>150
	8	957	1155	44.5	110	>150
	9	948	1155	44.5	90	>150

注:总风量为鼓风量与喷吹风量之和

燃烧率明显降低的趋势。在1999年对B烟煤和大同烟煤分别进行粒煤燃烧实验室试验时也存在小于0.074 mm<25%,大于0.175 mm>25%以后燃烧率明显下降的现象^[1]。因此高炉喷吹B与A混煤时,从燃烧率的角度考虑小于0.074 mm比例应≥30%,大于0.175 mm比例≤25%。

1.2.9 混煤比例对燃烧率的影响

表6显示,在燃烧条件基本相同的情况下,第一系列与第二系列在粒度组成相同时燃烧率相差不大。说明从无烟煤与烟煤混喷的角度,在本试验条件下A煤中混入30%的B烟煤能够起到很好的助燃作用,与混入50%的B烟煤的燃烧效果相差不大。2000年在进行煤种优化选择的实验室试验时,曾进行了B煤和A煤的混煤燃烧试验,当时是采用<0.074 mm占70%的煤粉,其结果也显示,在A煤中混入34.6%和混入51.1%的B煤燃烧效果相差不大^[2],这和本次试验结果一致。

1.2.10 试验小结

①从煤粉燃烧率的角度考虑,首钢高炉喷吹AB混煤,煤粉粒度的上下限是:<0.074 mm应≥

30%,>0.175 mm的比例应≤25%。

②实验室试验表明,在A煤中混入30%的B煤与混入50%的B煤燃烧效果相差不大。高炉喷吹可选择B煤比例为30%~50%,具体比例应根据两种煤的价格与成分综合比较来确定。

③实验室实验表明,提高鼓风温度对提高煤粉燃烧率有明显作用。在730~955 ℃的范围内,风温每提高38 ℃,B与A混煤燃烧率提高1个百分点。

2 工业生产指标及分析

分别以喷吹A潞安混煤做为基准期(A煤比例50%),喷吹AB混煤做为试验一期(A煤比例≥60%),以喷吹AB混煤做为试验二期(A煤比例≥66%),以喷吹AB混煤为试验三期(A煤比例≥60%)。扣除停风、深料线、塌料、原燃料异常等。

技术经济指标及原燃料条件见表6。试验期与基准期相比,除煤粉外,原燃料条件相近。试验二、三期风温水平较高、产量稳定在较高水平,焦比降低,燃料比明显降低,因试验二、三期风温超过1200 ℃,从而理论燃烧温度从2020~2035 ℃上升至

表 6 高炉生产指标及原燃料条件
Table 6 Operational data on No. 2 BF

项目	平均日产/ (t · d ⁻¹)	总焦比/ (kg · t ⁻¹)	煤比/ (kg · t ⁻¹)	燃料比/ (kg · t ⁻¹)	校正燃料比/ $w(\text{矿石})/w(\text{TFe})$ /%	焦炭灰分/%	煤粉挥发分/%	煤粉灰分/%	富氧率/%	
基准期	3893.2	396.0	105.7	501.7	501.7	59.7	12.46	8.95	10.67	0
试验一期	3901.8	340.0	167.7	507.7	502.9	60.0	12.41	15.97	9.70	0.96
试验二期	4316.1	316.8	156.8	473.6	481.9	59.5	12.33	14.75	10.66	0.75
试验三期	4397.1	314.5	166.5	481.0	489.1	59.8	12.23	16.08	11.75	1.05
项目	风量/ (m ³ · min ⁻¹)	风温/°C	鼓风湿分/ (g · m ⁻³)	风压/MPa	顶压/MPa	压差/MPa	透气性/ (m ³ · min ⁻¹ · MPa ⁻¹)	顶温/°C	炉腹煤气量/ (m ³ · h ⁻¹)	$w([\text{Si}])/t_i/^\circ\text{C}$
基准期	3424	1004	9.67	0.306	0.158	0.148	23135	191	293812	0.56 2035
试验一期	3268	1098	18.26	0.310	0.168	0.142	23014	218	286577	0.38 2020
试验二期	3334	1212	9.80	0.312	0.169	0.142	23780	219	296658	0.36 2140
试验三期	3346	1227	3.10	0.316	0.170	0.146	22995	206	306296	0.36 2199

注: 煤种变化对校正燃料比的影响是通过其发热值的变化得出的, 按单位焦炭中生成 CO 放热计算 9797 kJ 计算

表 7 不同煤种的实验室燃烧特性

Table 7 Combustion characteristics of the different coals in lab test

项目	18.1% B 煤 + 81.9% A 煤	34.6% B 煤 + 65.4% A 煤	A 煤	50% A 煤 + 50% 潞安煤
相当煤比/ (kg · t ⁻¹)	80	80	80	80
燃烧率/%	48.0	50.0	36.3	35.1

2140~2199 °C。说明在喷吹 AB 混煤时高风温的使用对于低富氧的高炉在较高煤比下煤粉的燃烧有明显的改善。

从瓦斯灰、瓦斯泥中的未燃煤粉比表面积百分含量分析, 同种喷吹煤粉未燃煤粉比表面积百分含量在其他条件接近时, 因煤粉大粒径比例升高而升高。从表 7 可见 AB 混煤燃烧性好于 A 潞安混煤的燃烧性, 从而有利于试验期间指标的改善。

因为制粉系统中氮气压力不足未能进行高比例烟煤配比的工业试验, 且混煤喷吹煤粉适宜粒度的研究也需工业试验来探索, 相关工作需进一步开展。

3 结论

(1) 首钢在四制粉投产后喷吹挥发分小于 18% (平均值 16% 左右) 的 AB 混煤是安全的。

(2) 喷吹 AB 混煤和高风温的使用, 使煤粉燃烧率提高, 取得了较好的技术经济指标。

(3) 在喷吹挥发分 18% 的 AB 混煤煤粉粒度可控制在小于 0.074 mm ≥ 30%, 大于 0.175 mm ≤ 25%。

参考文献:

- [1] 单泊华. 首钢高炉喷吹粒煤的可行性研究 [J]. 首钢科技, 2000, (3): 16-20. (SHAN Ji-hua. The Feasibility Study of Injecting Granule Coal at the Shougang BF [J]. Shougang Science and Technology, 2000, (3): 16-20.)
- [2] 单泊华. 中速磨投产后首钢高炉喷吹煤种的选择 [J]. 首钢科技, 2002, (5): 14-16. (SHAN Ji-hua. The Shougang BF Injection Coal Seed Select after the Mid Speed Mill Put into Production [J]. Shougang Science and Technology, 2002, (5): 14-16.)

韩国浦项在印度奥里萨邦投资建厂计划被迫暂停

韩国浦项钢铁公司(Posco)计划投资 100 亿美元在奥里萨邦建年产 1200 万 t 钢铁厂的计划已经被迫暂停。

据报道, 原定于 4 月 14 日签订的谅解备忘录已经推迟, 但浦项表示仍在与奥里萨邦政府举行谈判, 有意开发该项目。

根据浦项公司的开发计划, 该项目除该钢铁厂外, 还包括 1 座年产能为 3000 万 t 的铁矿, 1 座用于生产盘条的热轧

钢条厂以及 1 座港口。

奥里萨邦政府官员表示, 浦项希望将其从铁矿分得的相当一部分矿石出口, 但由于政策限制, 印度政府不同意这样做, 这是双方主要分歧所在。据悉, 该项目在印度国内遭到很多反对声音, 反对者不仅有当地厂商还有印度原钢铁部部长。