

# 首钢高炉新喷吹煤种的研究应用

马 丽 竺维春 马泽军

(首钢技术研究院,北京 100043)

**摘 要** 对首钢新煤种的化学成分、灰分、热重特性等性能进行了分析研究,通过对单种煤的综合指标的评估得出了新煤种的优选方案。并对其中的 2# 煤种进行了工业试验,证明了此煤种可以作为首钢高炉喷吹煤配煤资源。

**关键词** 高炉 煤种 性能 喷吹

## Study and Application of Coal Resource on Shougang BF

MA Li ZHU Wei-chun MA Ze-jun

(Shougang research institute of technology, Beijing 100043)

**Abstract** Qualities of new kinds of coal including chemical composition, ash and thermogravimetric etc. are analyzed. High quality coal is selected through the integrated index. 2# coal is suit to be injected on BF through commercial test.

**Key words** blast furnace, kind of coal, character, injection

## 1 前言

高炉喷煤是实现炼铁系统工艺和技术结构优化的关键技术之一,具有显著的经济效益和社会效益。节约焦炭,增加高炉喷煤量可以降低生铁成本,提高竞争力。研究开发我国及国外赋存丰富的煤炭资源对扩大首钢喷吹煤种的选择范围,提高首钢喷吹煤资源的市场抗风险能力,同时进一步降低成本都具有重要作用。

本文在对国内外主要产煤矿区调研的基础上,完成了 7 个新煤种的实验室研究,进行了性能综合指标的分析比较。

## 2 新煤种的质量评估

### 2.1 化学分析

表 1 和表 2 列出了 7 种新煤种的化学分析结果,试样 1#~4# 为国产煤,5#~7# 为进口煤。

表 1 的工业分析结果显示,7 种新煤种中,有 4 种烟煤<sup>[1]</sup>(挥发分大于 10%),分别为 2#、3#、4# 和 6#,3 种无烟煤,分别为 1#、5# 和 7#。

表 2 的元素分析结果显示,4# 煤、5# 煤的硫含量相对较低,2# 煤硫含量较高,若采用高炉喷吹煤后将使高炉硫负荷升高。其他煤种的硫含量相差不大,与首钢现喷吹煤种的硫含量(0.28~0.47%)相当。

### 2.2 灰成分及灰熔点

由图 1 可见,除 4# 煤外,其它煤灰成分中  $Al_2O_3$  的含量都较高,CaO 含量偏低,即煤灰较“酸”。在配煤喷吹时可配入煤灰中碱性氧化物含量高的煤,以平衡喷吹用煤灰成分的酸碱比。由表 3 可以看出,6# 煤变形温度较高,质量较好。4# 煤的变形温度非常低,仅为 1150℃,若单独作为喷吹煤使用,在喷枪前容易发生堵塞。5# 煤的变形温度略高于 1200℃,在喷吹时应该按其灰成分的全分析来考虑与国内其它的煤混合,可

以适当提高灰熔点的温度。

表1 工业分析

煤样 / #	Ad / %	Vd / %	水分 / %	FCd / %	Q <sub>gr,d</sub> / MJ/kg
1	11.53	7.59	8.10	80.88	31.42
2	10.25	12.84	/	76.91	32.46
3	10.31	13.73	3.40	75.96	31.67
4	2.57	35.20	9.54	62.23	30.24
5	13.34	5.14	5.72	81.52	27.05
6	6.02	41.66	4.52	52.32	29.91
7	10.22	7.77	1.28	82.01	32.23

表2 元素分析

煤样 / #	Cd / %	Hd / %	Od / %	Nd / %	Std / %
1	81.32	3.32	2.32	1.12	0.39
2	81.22	4.07	2.26	1.15	0.77
3	81.31	3.99	2.72	1.36	0.31
4	76.97	4.91	14.41	0.93	0.21
5	81.57	0.85	3.70	0.31	0.23
6	72.15	5.30	14.70	1.30	0.53
7	82.50	3.40	1.87	1.57	0.44

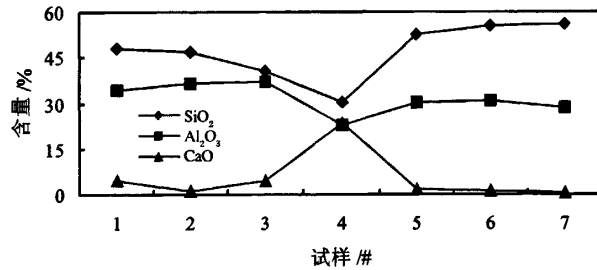


图1 灰成分分析

### 2.3 燃烧性

煤粉的燃烧性是通过燃烧率来体现的,煤粉的燃烧率即指煤粉在高炉风口前完成燃烧的程度。从表3的各煤种燃烧性的检测数据可以看出,除了5#煤的燃烧性较差外,所有煤种的燃烧率都大于40%,按照通常的经验,属于燃烧性较好的煤种,其中3#、4#以及6#煤的燃烧性最好。

### 2.4 可磨性

由表3可见,在所有新煤种中,3#煤的可磨性超过100,是属于易磨的煤,其他煤种的可磨性都在50~70之间,而晋城煤仅为40多一点,按通常的经验,这种煤的可磨性较差,达到喷煤所需的粒度所需的时间长,电耗高,出煤率低。

### 2.5 CO<sub>2</sub> 的反应性

煤与CO<sub>2</sub>的反应性是指在一定温度条件下煤中的碳与CO<sub>2</sub>进行还原反应的反应能力。它以还原为CO的CO<sub>2</sub>的量占参加反应的CO<sub>2</sub>的总量的百分数 $\alpha(\%)$ 来表示。

表3列出了1100℃各煤种的反应性。从表中可以看出,4#煤和6#煤的反应性最好,尤其4#煤的(值接近100%,该煤的未燃煤粉在炉内上升过程中与CO<sub>2</sub>易反应,对焦炭起到很好的保护作用。而3#煤与CO<sub>2</sub>反应性较差,表明这些煤种如果在风口前没有完全被燃烧,未燃的煤粉在炉内上升过程中不利于与CO<sub>2</sub>反应,即这几种煤粉用于高炉喷吹不能在高炉内很好地保护焦炭,喷吹该煤种存在不能有效利用的可能。

表3 喷吹煤种的灰熔点、燃烧率、可磨性及与CO<sub>2</sub>的反应性

煤样 / #	1	2	3	4	5	6	7
灰熔点(DT) / °C	1484.5	>1500	1326.5	1148.5	1202.5	1494.5	>1500
燃烧率 / %	55.04	49.6	65.38	85.6	24.22	65.1	43.92
哈氏可磨性	69.55	88.00	109.55	57.80	66.70	61.00	62.30
与CO <sub>2</sub> 的反应性 $\alpha$ / %	58.4	27.3	24.95	100	59.3	87.75	33.25

## 2.6 热重特性

煤的热分解简称煤热解。由于煤的热解过程非常复杂,因此,到目前为止有关煤的热解数据还很少。煤的热解过程是煤在燃烧、气化、液化、焦化过程中的初级阶段,对后继过程有着重大的影响。

煤粉在高温下失重的试验是在高纯氩气保护的条件下进行的,以此来确定煤粉中的挥发分在高温析出需要的热量和失去的重量。在惰性气体中可以认为固定碳基本没有被燃烧。在高温(小于1000°C)、并采用30°C/min的升温速率,试验结果见表4。

表4 喷吹煤种在高温时差热分析结果

煤样 / #	1	2	3	4	5	6	7
吸热量 / J · g <sup>-1</sup>	578.5	1193.0	1727.0	1945.0	328.9	2397.0	1342
失重率 / %	17.65	26.71	44.65	49.10	10.78	52.58	29.79
温度区间 / °C	564.0~996.0	415.0~966.0	395.0~997.0	414.0~995.0	698.0~997.0	376.0~997.0	561.0~997.0

由各喷吹煤在高温不同升温速度的过程中挥发分开始析出温度的平均值可知,3#、4#以及6#煤的挥发分开始析出在400°C以下,而其它的都在500°C以上。采用混合喷吹时一般都是烟煤和无烟煤混合,根据经验烟煤在高温升温过程中的析出温度在340°C左右,如挥发分含量高,该温度可能还低一些。为了使混合喷吹达到较好的燃烧效果,烟煤和无烟煤挥发分开始析出的温度差大一些较好,使烟煤析出的挥发分燃烧后,无烟煤的挥发分再析出,烟煤挥发分燃烧放出的热量可以促进无烟煤的燃烧,使混合煤粉的燃烧率提高。如果烟煤和无烟煤挥发分开始析出的温度差较小,烟煤的挥发分析出后还没有燃烧,无烟煤的挥发分也开始析出,燃烧的效果就会变差。

此外,从差热分析的结果来看,3#、4#以及6#煤析出温度较低,失重率及吸热量高,适合较高煤比下的混喷;而5#煤与之相反,在较高煤比下的混喷比例应予以研究。

## 2.7 着火点

在空气和煤粉共存条件下,把煤粉逐渐升温,直到煤粉开始燃烧的温度,叫做煤粉的着火点或燃点。一般着火点愈低的煤愈易自燃,通常用同一种煤的原样与氧化样的着火点之差 $\Delta T$ 作为判断标准: $\Delta T > 40^\circ\text{C}$ 的煤为易自燃煤, $\Delta T < 20^\circ\text{C}$ 的煤(褐煤和长焰煤除外)是不易自燃煤。根据测试结果,4#煤及6#煤的着火点均不到300°C,且4#煤的(T达到了34.5°C,在堆放、制粉、喷吹过程中易发生自燃,在使用过程中应特别注意安全。其它煤着火点均较高,都在380°C以上,且(T均小于20°C,属于不易自燃煤,因而比较安全。

## 2.8 综合指标比较

对新煤种各项性能指标综合比较,如表5所示。根据煤质条件和性能综合考虑之后,优先选择的煤种是1#、3#、4#和6#;其次为2#和7#;再次为5#。

表5 首钢喷吹原煤的理化特性重要等级的排序

理化特性	排序
原煤灰分	5# > 1# > 3# > 2# > 7# > 6# > 4#
原煤挥发分	6# > 4# > 3# > 2# > 7# > 1# > 5#
可磨性	3# > 2# > 1# > 5# > 7# > 6# > 4#
燃烧特性	4# > 3# > 6# > 1# > 7# > 2# > 5#
与CO <sub>2</sub> 的反应性	4# > 6# > 1# > 5# > 3# > 7# > 2#
原煤发热值	2# > 7# > 3# > 1# > 4# > 6# > 5#

### 3 工业试验

根据上述对新煤种的实验室研究结果,并综合考虑成本的因素,选择2#煤种进行了工业试验。2#煤置换比高,可磨性较好,但硫含量偏高。因2#煤硫含量较高,项目组提出将2#煤硫含量控制在0.9%以下,并进行了相关的配煤计算、高炉参数影响计算及性能价格比计算,进而对该煤用于首钢高炉喷吹的技术可行性和经济合理性进行了客观评价,提出了试验方案<sup>[2]</sup>。其中,2#煤的平均配比约5%。

配喷2#煤后高炉的指标及原燃料条件如表6所示。

表6 高炉生产指标及原燃料条件

	平均日产 /t·d <sup>-1</sup>	焦比 /kg·t <sup>-1</sup>	煤比 /kg·t <sup>-1</sup>	矿石 /TFe%	焦炭灰份 /%	煤粉灰分 /%	煤粉硫份 /%	风温/℃	富氧率/%
基准期	5782	360	148	59.2	12.25	10.25	0.45	1144	0.51
试验期	5964	339	139	59.2	12.41	10.55	0.46	1111	0.36

在配加5%的2#煤后,制粉、喷吹正常,高炉顺行。本次试验拓展了喷吹煤资源,即2#煤可以作为首钢高炉喷吹煤配喷煤资源。

### 4 结论

通过对新煤种各项性能指标综合比较,优先选择的煤种是1#、3#、4#和6#;其次为2#和7#;再次为5#。综合考虑性能指标与成本因素,选择2#煤进行了工业试验,制粉、喷吹正常,高炉顺行,证明2#煤可以作为首钢高炉喷吹煤配喷煤资源。

#### 参考文献

- [1] 汤清华,马树涵,等. 高炉喷吹煤粉知识问答[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.
- [2] 竺维春,单泊华,王自亭,等. 首钢高炉喷吹煤种优化研究[J]. 中国冶金,2005,(5):23-26.