

## 生物质燃料混合喷吹时对燃烧率的影响

蒋友源<sup>1</sup>，郑林<sup>1</sup>，刘竹林<sup>2</sup>，但家云<sup>1</sup>，郝春晖<sup>2</sup>，张波<sup>2</sup>

(1.湖南华菱湘潭钢铁有限公司，湖南湘潭411101；2.湖南工业大学冶金与材料工程学院，湖南株洲412007)

摘要：基于煤粉及煤粉与生物质炭的混合试样进行工业分析、热重分析。研究煤粉中占不同比例的生物质炭对煤粉燃烧率的影响。结果表明，随着生物质炭所占比例的增加，试样的着火点硫含量均降低，燃烧速度加快，燃烧率增加，有利于高炉的冶炼。

高炉采用煤粉代替部分焦炭进行喷吹熔炼，可有效降低生铁生产成本，强化冶炼[1-2]。但由于煤炭资源的不可再生，寻求一种清洁、可再生资源进行替代就成为必然趋势。生物质燃料作为一种可再生资源，我国的储量非常丰富，总量相当于50亿吨标准煤。生物质燃料如麦秸秆的可燃成分碳、氢总量可达到40%以上，而且其中的灰分以及硫、磷含量很低，可以在高炉炼铁中替代部分碳质燃料[3]。日本JFE公司[4]研究了生物质燃料在300℃下干燥粉碎，与煤混合后在焦炉内经过干储工序制成焦炭，用作高炉炼铁。

在高炉喷吹过程中，煤粉的燃烧率对高炉冶炼至关重要，燃烧率太低则喷入的煤粉不能及时燃烧而产生过多的未燃煤粉，随着煤气流上升，附着在焦炭表面，堵塞了焦炭的孔隙，从而影响高炉的透气性，造成高炉炉况异常和喷煤资源的浪费。据实际生产经验[5-8]，打煤粉燃烧率大于85%时，高炉各项指标正常，可以获得较大的煤焦置换比，有效地降低生铁生产成本。生物质燃料应用于高炉喷吹，需探明生物质燃料的混入比例对煤粉的燃烧率的影响，并确定最佳的混入比例，为实现生物质燃煤粉喷吹的工业化提供理论参考。

### 1 试验

#### 1.1 原料

试验用煤粉为湘钢4号高炉炼铁现场采集的标准样品，荔枝木炭为外购。原料进行预处理，其步骤如下：

(1) 破碎：先将荔枝木炭粉放入额式破碎机中，破碎为15mm的颗粒，然后用密封式化验制样粉碎机粉碎10min，得到小于120 μm的生物质炭试样。

(2) 配料：将荔枝木炭粉按质量分数为10%、20%和30%的配比方案进行炭、煤混合，混匀后从这3种混合试样及生物质炭粉和煤粉中各自称取50g得到5组试样，装袋备用。将荔枝木炭与煤粉的3种混合试样分别用“B10”、“B20”、“B30”表示，其下标表示混合样中配加生物质炭的质量百分数。

#### 1.2 工业分析

工业分析[9]也叫技术分析或者实用分析，是一种常用的煤炭化验手段，包括对燃料中的灰分、挥发分、水分的测定以及固定碳的计算。本试验主要采用工业分析仪（SDTGA5000，德国）对试样的水分、挥发分及灰分进行测定。

#### 1.3 燃烧率的计算

燃烧率的测定：每次试验从准备好的试样中称取5mg样品均匀地铺在微机差热天平（HCT-4，北京恒久）的氧化铝堆坩底部。设置空气流量为60ml/min，升温速率为10℃/min，将试样由室温加热至900℃，保证试样燃烧完全（试样重量不再发生明显变化）。

计算燃烧率时，仅考虑试样中可燃物的燃烧失重。燃烧率的计算公式如下：

$$R_i = \frac{m_i}{m_\infty} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $R_i$  为燃烧至  $T_i$  时的燃烧率， $m_i$  为当燃烧至温度为  $T_i$  时的试样的失重量， $m_\infty$  为试样燃烧完全时的失重量。

## 2结果分析与讨论

### 2.1试样的工业分析结果

5种碳质燃料试样的工业分析结果见表1。

表 1 试验试样的工业分析(wt%)

试样	$A_{ad}$	$V_{daf}$	$S_{td}$	$M_{ad}$	$FC_{ad}$
煤粉	11.85	13.99	0.33	3.37	72.92
B10	10.83	15.83	0.31	5.18	70.76
B20	9.87	17.34	0.27	5.34	70.38
B30	8.79	18.83	0.23	5.61	70.12
荔枝木炭	1.64	31.1	0.02	7.18	62.82

注： $A_{ad}$ —空气干燥基灰分； $V_{daf}$ —干燥无灰基挥发分； $S_{td}$ —干燥基全硫； $M_{ad}$ —空气干燥基水分； $FC_{ad}$ —空气干燥基固定碳。

由表1可知，煤粉中混加生物质炭能够明显提高煤粉中的挥发分含量，且灰分含量明显降低。燃料中灰分的减少有利于高炉冶炼。同时根据文献[10]，煤粉中的挥发分含量每增加10%，燃烧率提高18%~19%。对于高炉喷吹用煤粉来说，挥发分含量适当提高，促进高炉内的间接还原，有利于高炉炼铁生产。其次，试验煤粉中混加荔枝木炭，可显著降低煤粉中的硫含量，且生物质炭的混合比例越大，煤粉中的硫含量越小。降低煤粉中的硫含量有利于高炉冶炼低硫生铁，提高生铁质量、减少渣量、降低生产成本。此外，煤粉中配加生物质炭后，固定碳含量降低，故煤粉中生物质炭的配加比例不应过高。

### 2.2煤粉与混合试样的燃烧过程

采用微机差热天平对试样进行了热重—差热分析，图1分别为煤粉和20%的荔枝木炭与80%的煤粉混合试样的TG-DTG-DTA曲线。

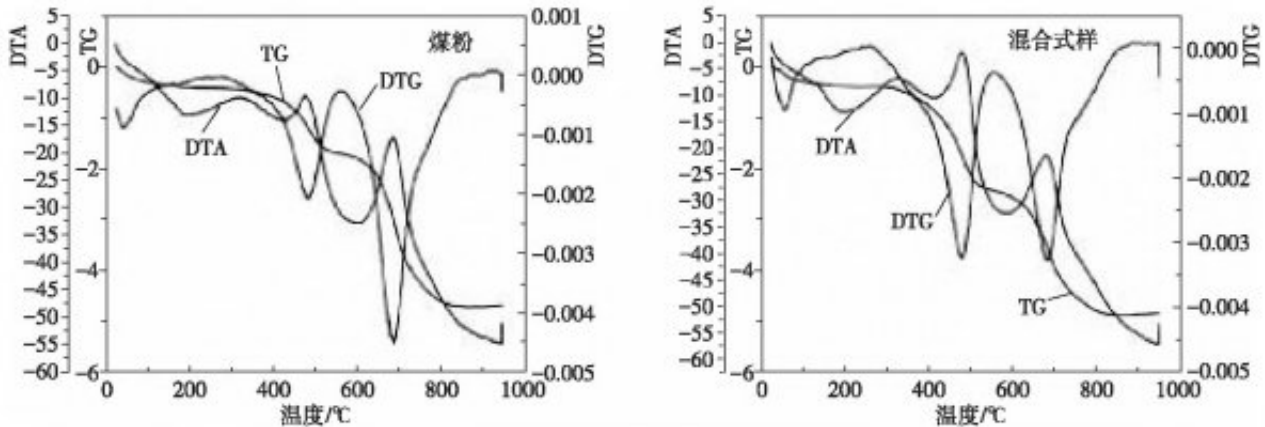


图1 煤粉和混合试样燃烧的 TG—DTG—DTA 曲线

由图1可知，试样的燃烧过程可分为三个阶段：开始预热阶段、燃烧阶段和燃尽阶段。在预热阶段，试样由室温开始加热，温度升高，试样中的水开始蒸发并有少量的挥发分析出，TG曲线略微下降，DTG曲线有一个很小的失重峰，DTA曲线有一个轻微的吸热峰。当温度升高到试样的着火温度后，试样中的挥发分大量析出并燃烧，引燃试样中的固定碳，进入燃烧阶段，TG曲线呈阶梯状迅速下降，DTG曲线出现两个峰值，失重速率变化明显，DTA曲线有两个明显的放热峰。对于煤粉来说，第一个放热峰是煤粉中的挥发分大量析出并燃烧产生的，第二个是由于固定碳燃烧放出了大量的热量；对于混合试样而言，第一个放热峰产生于试样中的挥发分和生物质炭中的固定碳燃烧，第二个峰产生于煤粉中的固定碳燃烧产生。固定碳燃烧完毕后，试样进入燃尽阶段，在该阶段试样几乎已经不再燃烧，失重量非常小，TG曲线和DTG曲线基本为直线，燃烧结束。

采用TG-DTG切线[11-12]对TG-DTG-DTA结果进行分析，可以确定试样燃烧的着火温度，如表2所示。

表2 试样的着火温度

试样	煤粉	B <sub>10</sub>	B <sub>20</sub>	B <sub>30</sub>
温度/°C	416	408	400	394

煤粉中配加荔枝木炭能使试样的着火点降低，且混合试样中生物质炭所占的比例越大，着火点越低。这主要是因生物质炭中含有较高的挥发分，挥发分含量高则着火点低。故将生物质炭和煤粉混合后，试样中的挥发分含量增加，着火温度随之降低。

为了更直观地观察煤粉及煤粉与生物质炭的混合试样燃烧过程的差异，对其TG曲线进行对比，如图2所示。

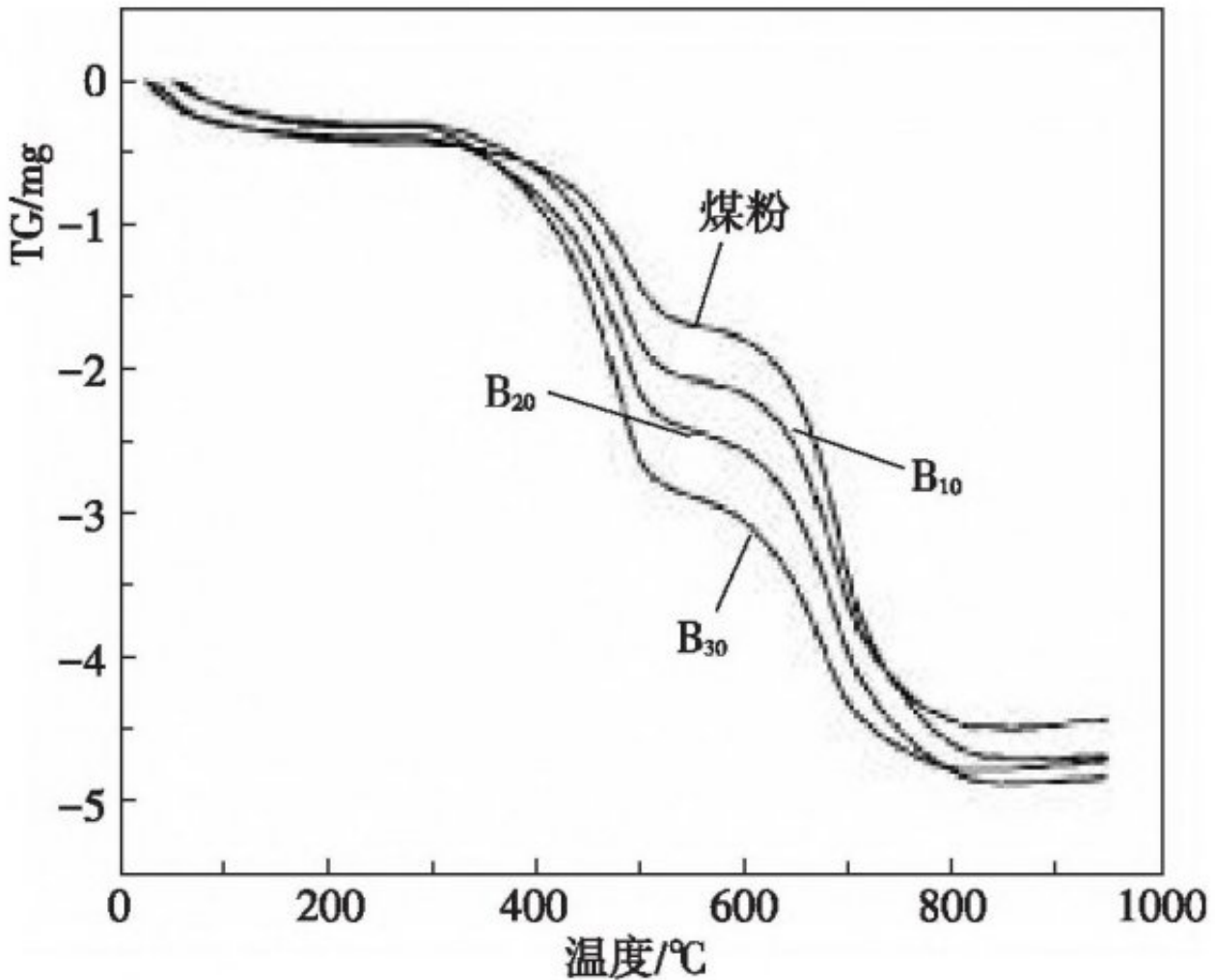


图 2 煤粉及煤粉与荔枝木炭混合样的 TG 曲线

由图2可知，向煤粉中添加生物质炭后，试样燃烧的TG曲线下降加速，即试样的燃烧速度加快，燃烧时间变短，试样燃烧更充分。这主要是因为煤粉中添加了生物质炭后，挥发分的含量增加，使着火点降低，挥发分的燃烧释放出大量的热量预热了固定碳[13]，且生物质炭中的固定碳为多孔结构[14]，能够与助燃气体充分接触，促进了燃烧过程的进行。

### 2.3 试样燃烧率的计算结果与分析

对试样进行热重分析试验后，可根据燃烧率的计算公式计算试样的燃烧率。高炉内的温度很高，煤粉进入高炉后马上就会上升到着火温度进行燃烧，因此，本次试验仅计算试样燃烧至500，600 和700 时的燃烧率，如图3所示。

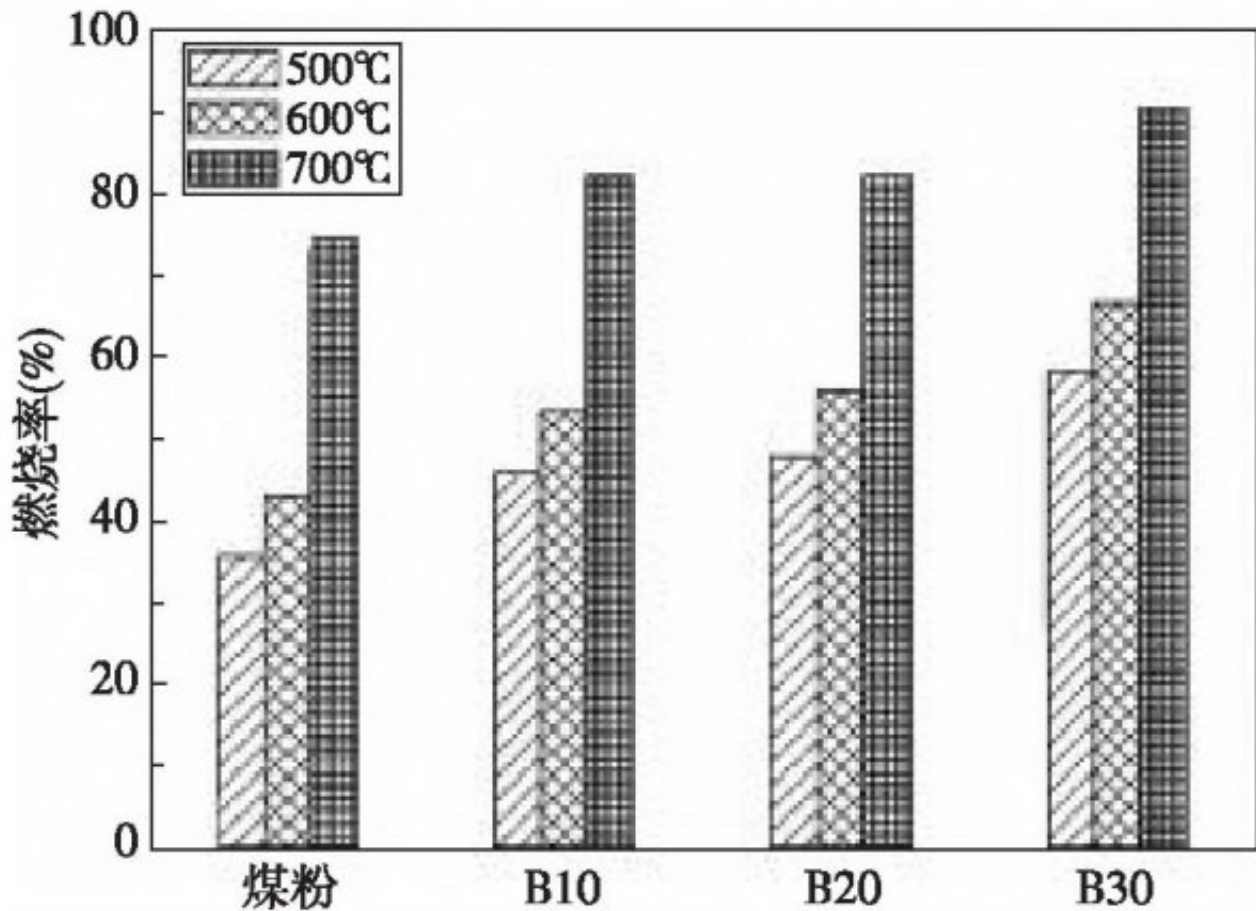


图3 不同温度下试样的燃烧率

由图3可知，混合试样的燃烧率均高于单一煤粉，且随着温度的增高和木质炭配加比例增大而增高。在500℃时，混合试样的燃烧率要高于湘钢喷吹用煤粉的燃烧率，其主要原因是荔枝木炭中的挥发分含量高于煤粉中的挥发分，向煤粉中加入生物质炭后，混合试样中的挥发分含量增加，且木炭的着火温度为350~400℃，所以500℃时混合试样燃烧率提高。当温度升高到600℃时，煤粉的燃烧率比500℃时提高了7.43%；混合试样的燃烧率高于煤粉，且随着生物质炭配加比例而增加。当温度升高到700℃时，煤粉的燃烧率分别为74.66%，混合试样的燃烧率均大于82.16%，且添加比例为30%时，混合试样的燃烧率达到90.73%。

### 3结论

(1) 生物质炭具有灰分含量低、挥发分含量高、硫含量低的优点，煤粉中配加生物质炭可以提高煤粉的质量和燃烧率，有利于高炉的冶炼。

(2) 随着生物质炭比例的增加，试样的着火点降低，燃烧速度加快，试样的燃烧率增加，且混合试样的燃烧率均大于82.16%。

### 参考文献：

- [1]孔丝纺，姚兴成，张江勇，等.生物质炭的特性及其应用的研究进展[J].生态环境学报，2015，24(04)：716-723.
- [2]张小凯，何丽芝，陆扣萍，等.生物质炭修复重金属及有机物污染土壤的研究进展[J].土壤，2013，45(06)：970-977.
- [3]刘杰云，沈健林，邱虎森，等.生物质炭添加对农田温室气体净排放的影响综述[J].农业环境科学学报，2015，34

(02) : 205-212.

- [4]徐仁扣, 赵安珍, 肖双成, 等.农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用[J]环境科学, 2012, 33(01) : 142-146.
- [5]伍孟雄, 杨敏, 孙雪, 等.生物质炭生物与非生物氧化特性研究进展[J].生态学报, 2015, 35(09) : 2810-2818.
- [6]ALBERTO BENTO CHARRUA, 王航, 吕春欣, 等.不同温度下松木生物质炭对阿特拉津的吸附性能研究[J].生态环境学报, 2015, 24(03) : 505-510.
- [7]刘莹莹, 秦海芝, 李恋卿, 等.不同作物原料热裂解生物质炭对溶液中Cd<sup>2+</sup>和Pb<sup>2+</sup>的吸附特性[J].生态环境学报, 2012, 21(01) : 146-152.
- [8]卢再亮, 李九玉, 姜军, 等.生活污水污泥制备的生物质炭对红壤酸度的改良效果及其环境风险[J].环境科学, 2012, 33(10) : 3585-3591.
- [9]花莉, 张成, 马宏瑞, 等.秸秆生物质炭土地利用的环境效益研究[J].生态环境学报, 2010, 19(10) : 2489-2492.
- [10]蒋恩臣, 张伟, 秦丽元, 等.粒状生物质炭基尿素肥料制备及其性能研究[J]东北农业大学学报, 2014, 45(11) : 89-94.
- [11]王自通.生物质炭制备及在重金属污染环境修复中的应用[D].山东师范大学, 2016.
- [12]刘晶晶, 杨兴, 陆扣萍, 等.生物质炭对土壤重金属形态转化及其有效性的影响[J]环境科学学报, 2015, 35(11) : 3679-3687.
- [13]王茹, 田宜水, 赵立欣, 等.基于热重法的生物质工业分析及其发热量测定[J].农业工程学报, 2014, 30(05) : 169-177.
- [14]孟召平, 朱绍军, 贾立龙, 等.煤工业分析指标与测井参数的相关性及其模型[J].煤田地质与勘探, 2011, 39(02) : 1-6.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/173357.html>