

# Analysis on the Characteristics of Fly Ash and Decarbonization after Flotation

Yibo Lv<sup>1</sup>, Yuanxin Zhu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Heilongjiang Institute of science and Technology, Harbin, 150027, China

<sup>2</sup>Heilongjiang Institute of science and Technology, Harbin, 150027, China

Email: <sup>1</sup> Mynamelyb@usth.edu.cn, <sup>2</sup>86692573@163.com

**Abstract:** The characteristic parameters of fly ash were studied by using Setaram calorimeter, DCAT21 contract angle gauge, surface tension apparatus as well as scanning electron microscopy. Batch flotation tests were carried out. The results show that the carbon content in fly ash can be lowered to 9.43% or so.

**Key words:** Fly ash; Unburned carbon; Flotation

## 粉煤灰特征与浮选除炭实验分析

吕一波<sup>1</sup>, 朱元鑫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>黑龙江科技学院, 黑龙江, 哈尔滨, 中国, 150027

<sup>2</sup>黑龙江科技学院, 黑龙江, 哈尔滨, 中国, 150027

Email: <sup>1</sup> Mynamelyb@usth.edu.cn, <sup>2</sup>86692573@163.com

**摘要:** 采用 Setaram 微量热仪、DCAT21 接触角测定仪、表面张力仪和 MX2600FE 扫描电镜等仪器分析研究了粉煤灰的特征指标, 进行了浮选实验, 研究结果表明, 粉煤灰可燃物降到 9.43% 左右。

**关键词:** 粉煤灰; 未燃炭; 浮选

### 1 引言

粉煤灰是火力发电厂锅炉排放的固体废弃物, 是煤炭燃烧过程中经过一系列变化所形成的固体物<sup>[1]</sup>。我国电力工业每年粉煤灰排放近亿吨<sup>[2,3]</sup>, 粉煤灰的排放量很大, 导致占用大量土地, 破坏生态环境问题日益突出, 世界上欧美国家都面临着这个问题, 所以, 粉煤灰综合利用受到各国的重视。粉煤灰用途不同对其中含炭量要求也不同<sup>[4]</sup>, 针对粉煤灰特性进行除炭处理, 使其含炭量降低至某一限度一下, 以便为粉煤灰综合利用创造条件。

粉煤灰除炭有三种方法, 有浮选法、电选法和流态化分选法。尚衍波<sup>[1]</sup>、张覃<sup>[2]</sup>、罗道成<sup>[3]</sup>、彭苏萍<sup>[5]</sup>等学者分别采用浮选法对粉煤灰脱炭。浮选法是一种常见的湿法除炭方法, 具有处理量大的优点。学者们依据粉煤灰颗粒的物理化学特征, 设计了浮选实验条件, 获得了可燃物含量小于 4% 的尾灰, 除炭效果非常好。

电选法是一种干法除炭的方法, 尾矿可燃物含量

为 2~7.5%, 可以获得很好的脱炭效果<sup>[6]</sup>, 该方法处理量较小, 要求粉煤灰的水分很低才能实现分选。

杨玉芬<sup>[4]</sup>、黎强<sup>[7, 8]</sup>依据气-固两相流化床分层分选原理, 提出采用流态化脱炭技术分选粉煤灰。在浮力的作用下, 粉煤灰矿物按密度分选, 达到脱除炭粒的目的, 最终粉煤灰产品中残余  $w(c)$  为 3.6%。

本论文针对贵阳市电厂进行脱炭研究, 该粉煤灰长期露天堆放, 水分含量为 11% 以上, 所以, 不适宜使用干选法分选, 只能采用常规浮选法进行脱炭。

### 2 实验原料与设备

#### 2.1 实验原料

实验用主要原料有: 粉煤灰样来源于贵阳市电厂粉煤灰贮灰场, 浮选药剂使用仲辛醇和柴油。

对粉煤灰的样品进行了实验分析, 结果见表 1, 可以看出主要成分是  $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$  和  $Fe_2O_3$ , 三者含量之和在粉煤灰样品中占 73.96%, 烧失量是 16.52%, 由于烧失量超过应用的要求, 故不能直接使用, 造成粉煤灰大量堆积, 对环境带来了严重的污染。脱出粉

煤灰中的炭粒，降低可燃物含量，将粉煤灰变成可利用的建筑材料。

Table1. Elementary analysis of fly ash

表 1. 粉煤灰元素分析

| 成分  | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $CaO$ | $MgO$ | 其它  | 烧失量   |
|-----|---------|-----------|-----------|-------|-------|-----|-------|
| 含量% | 40.36   | 15.89     | 17.71     | 4.25  | 1.57  | 3.7 | 16.52 |

## 2.2 实验设备

XFD-1.5 升单槽浮选机、JS94G+ 型电泳仪、SetaramC80-D 微热量仪、DCAT21 接触角测量仪、MX2600FE 扫描电镜。

## 3 实验结果与讨论

### 3.1 原料的粒度分析

Table2 .Distribution in size of fly ash

表 2 .粉煤灰粒度组成

| 粒级<br>mm    | 产率<br>% | 烧失率<br>% | 烧失量分布<br>% |
|-------------|---------|----------|------------|
| +0.177      | 9.90    | 25.22    | 14.81      |
| 0.177~0.149 | 4.78    | 18.11    | 5.13       |
| 0.149~0.125 | 3.77    | 17.67    | 3.96       |
| 0.125~0.104 | 15.26   | 16.79    | 15.20      |
| 0.105~0.083 | 9.22    | 16.46    | 9.00       |
| 0.083~0.074 | 20.11   | 16.76    | 20.00      |
| -0.074      | 36.97   | 14.55    | 31.91      |
| 总计          | 100.00  | 16.86    | 100.00     |

对粉煤灰样进行粒度分析，实验结果列于表 2。从表中分析可知，粗粒级的含量比较少，大于 0.177mm 含量仅占 9.9%，小于 0.074mm 粒度级的产率为 36.97%，是含量最高的主导粒级，说明粉煤灰是一种分散度较高的微细物料；由烧失量分布来看，各个粒度级的烧失量均超过 10%，对粉煤灰进行分级是不能满足建材用户的质量要求，必须采用浮选的方式进行脱炭。小于 0.074mm 粒度级的烧失量含量占了 31.91%，说明在浮选的过程中控制好细颗粒的分选是减少粉煤灰烧失量的关键。

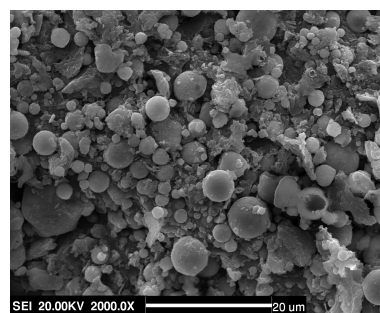
### 3.2 粉煤灰的形态特征

通过筛分实验可以观察到粉煤灰呈浅银灰色，分级后各粒级产品的颜色没有明显的变化，在粗粒级的

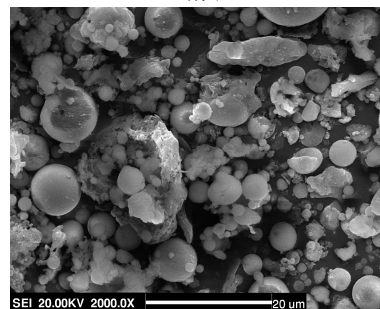
粉煤灰中可以清晰看见黑色的炭粒，

使用 MX2600FE 扫描电镜观察粉煤灰分选后的精矿与尾矿的微观结构，由图 1 可知，颗粒间松散分布的状态，没有吸附、粘结的现象，表明分选的过程中每个颗粒独立运动，不会发生因为吸附或粘结带来的污染。粉煤灰的显微形态主要呈球形，部分不规则形，少量的半球形和片状结构，精矿中(图 1(a))的球形是炭颗粒，尾矿中(图 1(b))的球形是空心微珠与混杂在里面的炭颗粒。图 1 中不规则形状物体是炭屑、石英、黄铁矿、莫来石、玻璃体等氧化物。

在浮选的过程中，单体解离的炭颗粒在捕收剂的作用下，有利于粉煤灰浮选脱炭，但是，由于粉煤灰是微细物料，在浮选的过程中发生夹带等，必然导致浮选效果变坏，达不到预期脱炭的目的，无法使粉煤灰的烧失量降的更低。



a 精矿



b 尾矿

Figure1 Microstructure of fly ash

图 1 粉煤灰的微观特征

### 3.3 原料的理化性质

Table3. Experimental results

表 3. 测量结果

| 产品名称 | 接触角<br>/°C | 电动电位<br>/mv | 与煤油的润湿热<br>/Jg <sup>-1</sup> |
|------|------------|-------------|------------------------------|
| 精矿   | 88.92      | -11.29      | -0.9901                      |
| 尾矿   | 0          | -33.86      | -0.7192                      |

接触角是描述矿物在浮选的过程中矿物表面润湿现象，接触角的大小可以标志矿物表面的润湿性，为了判断润湿性的大小，常常使用接触角来度量，是三相界面性质的一个综合效应，理论上可以用表面张力的平衡方法计算出接触角的大小，在 1805 年，T. Young 建立了颗粒润湿计算方程，其表达式为：

$$w = r_{gl}(1 + \cos \theta) \quad (1)$$

式中  $r_{gl}$  (J/m<sup>2</sup>) 表示气液界面的张力，粘附功  $w$  (J/m<sup>2</sup>) 表示固体表面与液体表面的作用强度。

将粘附功与内聚功之差定义为展开系数  $S_{t/s}$ ，其展开系数表达式为：

$$S_{t/s} = r_{gl}(\cos \theta - 1) \quad (2)$$

式中说明润湿角  $\theta$  与展开系数  $S_{t/s}$  之间的关系， $\theta$  值愈大， $S_{t/s}$  负值愈大，表示固体被水润湿程度愈低，说明固体的表面疏水性更强，否则，反之。矿物表面的疏水性愈强，则矿物颗粒的可浮性愈好，反之，矿物表面的亲水性愈强，该矿物颗粒的可浮性愈差，因此，对矿物颗粒的可浮性与润湿角的关系定义为：

$$\text{润湿性} = \cos \theta \quad (3)$$

$$\text{可浮性} = 1 - \cos \theta \quad (4)$$

由表 3 可知，炭粒的接触角  $\theta = 88.920$ ，尾矿的接触角  $\theta = 00$ ，由公式 2 和 3 可知，二者之间的粘附功与可浮性存在很大差异，表明采用浮选方法很容易实现炭粒与尾矿分离的目标。

矿物颗粒表面在水中解离、溶解、矿物自身晶格缺陷等因素的影响，导致颗粒表面带电的特性，学者们研究表明，颗粒表面的电性与浮选的活性有关，可以用颗粒的电动电位来评价矿物与药剂作用后浮选活性的变化，电动电位的绝对值降低时，矿物活性越高，可以使浮选效果变好。由表 3 可知，炭颗粒的电动电位与尾矿电动电位差值较大，有利于二者浮选分离。

润湿热是度量矿物表面润湿时的一个重要指标，是反映液体与固体的用程度，润湿热值越大，两者的

作用程度越大，结合的也越牢固。应用量热计对粉煤灰浮选后的精矿与尾矿做与煤油的润湿热实验，每次取煤油 1.0ml，实验的初始温度为 320C，恒温时间为 2h，润湿热数据收集时间为 3h。由表 3 可知，粉煤灰与煤油作用是一个放出热量的过程，精矿炭粒的润湿热略大于尾矿的润湿热，表明炭粒愿意与煤油发生作用，容易吸附在炭粒的表面。尾矿与煤油吸附同样是放热的过程，由于，尾矿中同样吸附了很多的药剂，导致粉煤灰的分选过程中煤油药剂消耗量大，分选效果变坏。

### 3.4 浮选实验

粉煤灰浮选除炭是粉煤灰利用的一种重要方法，针对粉煤灰理化特性，为了提高浮选选炭的回收率，设计了粉煤灰浮选实验条件，实验后得知最佳实验条件为：杂醇 1.2kg/t，煤油 1.2kg/t，矿浆浓度 60g/l。浮选实验结果见表 4，由该表可以看出尾矿烧失量为 9.43%，低于 10%，可以做为建筑空心砖的原材料。浮选后可以脱除 59.79%的可燃物。

Table 4.Experimental results of fly ash flotation

表 4.粉煤灰浮选实验结果

| 名称 | 产率<br>% | 烧失量<br>% | 烧失量分布<br>% |
|----|---------|----------|------------|
| 精矿 | 27.9    | 36.24    | 59.79      |
| 尾矿 | 72.1    | 9.43     | 40.21      |
| 合计 | 100.0   | 16.91    | 100.0      |

### 4 结论

1) 粉煤灰粒度组成显示，小于 0.074mm 粒度级的产率为 36.97%，是含量最高的主导粒级，说明粉煤灰是一种分散度较高的微细物料，小于 0.074mm 粒度级的烧失量含量占了 31.91%，细粒级脱炭效果不好，浮选脱炭效果受到影响。

2) 分析了粉煤灰中的炭粒、尾矿与煤油作用润湿热煤油差异不明显是影响浮选脱炭效果变坏的一个因素。

3) 粉煤灰浮选实验条件为：杂醇 1.2kg/t，煤油 1.2kg/t，矿浆浓度 60g/l。粉煤灰烧失量为 9.43%，低于 10%，可以做为建筑空心砖的原材料。浮选后可以脱除 59.79%的可燃物。

### References (参考文献)

[1] Shang Yanbo, Zhang Qin. Continuous flotation experiment for

- recovery of carbon from fly ash[J], Mining and Metallurgy, 2004, 13(2), P24-27 (Ch).  
尚衍波, 张覃. 从粉煤灰中回收炭的扩大连续浮选试验[J], 矿业 2004, 13(2), P24-27.
- [2] Zhang Qin, Dai Wenzhi, Mao Song etc. Influence of flotation test conditions on decarbonization of fly ashes[J], Acta Mineralogica Sinica, 2007, 27(3/4), P563-566 (Ch).  
张覃, 代文治, 卯松等. 浮选试验条件对粉煤灰脱炭的影响[J], 矿物学报, 2007, 27(3/4), P563-566.
- [3] Fan Chuigang, Han Minfang, Zeng Ming. Experimental study on the flotation separation of fly ash[J], China Non-metallic Mining Industry Herald, 2003(4), P58-60 (Ch).  
范垂钢, 韩敏芳, 曾鸣. 粉煤灰浮选分离实验研究[J], 中国非金属矿工业导刊, 2003(4), P58-60.
- [4] Yang Yufen, Chen Qingru, Luo Zhenfu. Theoretical analysis and experimental research on dry removing carbon with fluidization method[J], Journal of CUMT Mining Science and Technology, 2003, 32(6), P632-635 (Ch).  
杨玉芬, 陈清如, 骆振福. 流态化技术干法脱炭的理论分析与试验研究[J], 中国矿业大学学报, 2003, 32(6), P632-635.
- [5] Peng Suping, Wang Ligang, Han Mingfang. RBF neural network model for fly-ash decarbonization floatation[J], journal of coal science & engineering, 2002, 27(2), P193-196 (Ch).  
彭苏萍, 王立刚, 韩敏芳. 燃煤飞灰浮选除炭的径向神经网络模型[J], 煤炭学报, 2002, 27(2), P193-196.
- [6] Wei Baozhen. Properties select and appliance of fly ash[J], metallic ore dressing abroad, 1988(1), P7-14 (Ch).  
魏宝珍. 粉煤灰的性能、选别及其应用[J], 国外金属矿选矿, 1988(1), P7-14.
- [7] Li Qiang, Chen Changhe, Yang Yufen etc. Experimental research on removing carbon from fly in fluidization bed[J], Coal Conversion, 2002, 25(4), P70-73 (Ch).  
黎强, 陈昌和, 杨玉芬等. 粉煤灰脱炭的流态化实验研究[J], 煤炭转化, 2002, 25(4), P70-73.
- [8] Li Qiang, Chen Changhe, Yang Yufen etc. Microstructure of fine coal ash slag and experiment comparison of carbon removal methods[J], coal preparation technology, 2003(1), P 11-13 (Ch).  
黎强, 陈昌和, 杨玉芬等. 粉煤灰的微观结构与脱炭方法的实验比较[J], 选煤技术, 2003(1), P11-13.