

## 粉煤灰提取白炭黑研究进展

王瑞<sup>1</sup>, 赵辉<sup>2</sup>, 王永旺<sup>1</sup>, 王强<sup>1</sup>, 钞晓光<sup>1</sup>

- (1. 神华准能资源综合开发有限公司, 内蒙古自治区 鄂尔多斯 010030;  
2. 鄂尔多斯市西北能源化工有限责任公司, 内蒙古自治区 鄂尔多斯 017100; )

**摘要:** 粉煤灰提取白炭黑, 不仅可以有效的解决粉煤灰带来的环境问题, 同时可以生产高附加值的白炭黑产品, 自 20 世纪 90 年代开始至今, 研究人员开展了大量的相关研究工作。本文回顾和总结了近年来国内粉煤灰制备白炭黑的研究进展, 重点介绍了沉淀法、碳分法和气相法制备白炭黑, 并对这些方法进行比较和评价, 最后指出了提高产品品质、降低生产成本、简化工艺流程是粉煤灰提取白炭黑亟待解决的问题。

**关键词:** 粉煤灰; 白炭黑; 二氧化硅; 水玻璃

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.06.006

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 06-0032-05

白炭黑是一种无毒、无定形的白色粉状硅酸产品, 又名水合二氧化硅, 表面含有较多羟基, 易与有机物键合, 主要用于橡胶制品 (包括高温硫化硅橡胶)、塑料、纺织、造纸、医药、食品添加剂及日用化工等领域<sup>[1]</sup>。

粉煤灰作为燃煤电厂的固体废弃物, 如何实现粉煤灰资源化利用, 具有十分重要的现实意义, 是人们近年来关注的研究方向。粉煤灰主要化学成分为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Ca}$  等, 其中  $\text{SiO}_2$  含量大都在 40% 以上, 是制备白炭黑的优质原料。但用粉煤灰制备白炭黑工业化生产的案例较少, 中煤平朔集团有限公司 200 kt/a 粉煤灰综合利用项目为国内仅有的一家用粉煤灰提取白炭黑工程, 该项目将粉煤灰碱溶后用碳分法制备白炭黑, 生产出化工标准的白炭黑, 工艺流程的成功打通, 填补了国内粉煤灰提取白炭黑工业化生产空白, 同时实现了煤炭资源的高效综合利用。以粉煤灰作硅源制备白炭黑, 主要是如何将二氧化硅与其他组分分离、纯化。本文就粉煤灰提取白炭黑的方法进行了综述, 总结了沉淀法、碳分法和气相法等几种常用的制备方法。

## 1 沉淀法

沉淀法是将粉煤灰进行预处理, 得到活化产物或硅酸盐溶液, 再经陈化、过滤、烘干后得到白炭黑。沉淀法是较为传统且研究较多的方法, 此方法操作简单, 但是生产过程中使用大量的强酸强碱对设备防腐要求较高, 多年来研究重点不仅致力于提高  $\text{SiO}_2$  的产率, 同时也对操作条件及药剂的使用不断进行优化。沉淀法根据预处理方式的不同, 又分为碱煅烧活化法和烧碱浸出法。

## 1.1 碱煅烧法

碱煅烧活化法就是将粉煤灰与碱性活化剂混合, 进行煅烧后, 热溶于浓酸, 陈化后得到硅酸沉淀<sup>[4]</sup>。此方法研究较早, 在 1992 年, 余海荣<sup>[5]</sup>将粉煤灰与电石泥 (主要成分为石灰石) 混合后高温烧结, 大幅度提高了粉煤灰中各组分的溶出活性, 再加入盐酸溶液进行溶出, 料浆经过滤洗涤, 得到铝铁混凝剂和白炭黑产品。该法铝、铁的浸出率为 99% 以上, 所以得到的白炭黑质量也较高。自此开启了研究碱煅烧法的大门。

班卫静等<sup>[6]</sup>在传统烧碱活化法的基础上考察

收稿日期: 2017-06-28

作者简介: 王瑞 (1985-), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为煤化工。

了不同活化条件下二氧化硅的溶出率, 并且确定了粉煤灰、碳酸钠和碳酸钙的较佳混合比例, 氢氧化钠的较佳用量, 得到了纯度 $\geq 95\%$ 的白炭黑。

郭昭华等<sup>[7]</sup>发明了一种以粉煤灰提铝残渣为原料制备二氧化硅微粉的方法。是将提铝残渣与NaOH混合煅烧, 然后将煅烧物球磨至 $2.5\ \mu\text{m}$ , 再加入盐酸, 通过增大活化产物与盐酸的接触面积大幅度提高了二氧化硅的提出率, 而且该法操作简单, 周期较短, 适用于大规模回收二氧化硅的生产。

王蕾等<sup>[8]</sup>采用 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 与粉煤灰进行煅烧活化后, 用盐酸浸出反应产物后, 放置水浴器中进行由溶胶相向凝胶相转变, 使Si以水合 $\text{SiO}_2$ 的形式沉淀下来, Al以离子形式溶于混合溶液中, 沉淀的硅胶经洗涤后在 $105\ ^\circ\text{C}$ 下进行干燥, 得白炭黑产品。该法溶解得到的产品比表面积达 $775.12\ \text{m}^2/\text{g}$ 。

徐子芳等<sup>[9]</sup>同样采用粉煤灰和 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 为主要原料, 按照一定的配比混合焙烧后, 加入适量盐酸, 使之形成大量的硅胶, 洗涤后 $650\ ^\circ\text{C}$ 煅烧得到的胶体, 达到控制粒度的目的, 此方法得到的白炭黑粉体比表面积可达 $374\ \text{m}^2/\text{g}$ , 同时滤液还可制备得到纳米级 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。此方法流程简单, 操作方便, 与王蕾方法的不同之处在于处理硅沉淀的方法, 徐子芳的方法虽然降低了白炭黑的比较面积, 但是大幅度缩短了制备时间, 且工艺条件要求较低, 易于实现工业生产。

胡锐等<sup>[10]</sup>以粉煤灰经盐酸提铝后的残渣为原料, 与 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 按一定比例混合, 高温反应2 h后过滤去除杂质, 向所得硅酸钠溶液中缓慢加 $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 并控制pH值 $4\sim 6$ , 陈化后过滤洗涤干燥得超细白炭黑, 通过多种方法表征得知利用粉煤灰残渣提取的白炭黑纯度较高, 比表面积达 $242\ \text{m}^2/\text{g}$ , 并经过力学性能测试发现, 制备得到的白炭黑具有良好的力学补强性能, 可以应用于橡胶和聚丙烯产品中。

## 1.2 烧碱浸出法

烧碱浸出法就是对粉煤灰进行碱溶预处理, 得到硅酸盐溶液, 通过控制pH值制备硅胶液, 再经过陈化, 过滤烘干得到白炭黑产品。

胡将军等<sup>[11]</sup>先用盐酸溶解粉煤灰, 除去其中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 成分, 剩余残渣用NaOH热解, 得到水玻璃溶液加酸、盐沉析得白炭黑, 烘干后测得产品 $\text{SiO}_2$ 含量为 $95.1\%$ 。此方法操作流程合理, 工艺条件易控制, 具有较高的推广价值。

吴艳等<sup>[12]</sup>提出了常压下用高浓度碱液浸出粉煤灰提铝渣中 $\text{SiO}_2$ 的工艺, 以粉煤灰制备硫酸铝后酸渣为原料, 加入浓NaOH溶液反应, 用水稀释后固液分离得到硅酸钠溶液, 通过研究反应温度、NaOH浓度、反应时间等条件对 $\text{SiO}_2$ 浸出率的影响, 确定了较佳反应温度为 $110\ ^\circ\text{C}$ , 碱浓度为 $50\%$ , 反应时间为 $60\ \text{min}$ 。本法利用高温高浓度介质增强推动力, 很好地实现了含硅物质的分离, 大幅度提高了其浸出率, 具有一定的工业价值。

兰伟兴<sup>[13]</sup>以粉煤灰提铝渣为硅源制备沉淀白炭黑, 首先将提铝渣在NaOH溶液中溶出, 生成的硅酸钠溶液加盐酸制得白炭黑。在 $\text{SiO}_2$ 溶出过程中通过添加新型含硅助剂, 可使溶出率显著提高。在硅酸钠溶液制备白炭黑过程中, 溶液pH值、硅酸钠溶液浓度、硅酸凝胶干燥方式对白炭黑产品性能影响较大。

方俊<sup>[14]</sup>在兰伟兴的实验基础上优化了试验条件, 以硫酸为酸源制备白炭黑, 通过深入分析各因素对产品性能的影响, 确定在 $20\%$ 的水玻璃中加入分散剂NaCl和表面活性剂正丁醇后, 进行硫酸沉淀制备白炭黑, 能有效提高白炭黑的比表面积、吸油值, 最高比表面积达到 $1000\ \text{m}^2/\text{g}$ 。

邬国栋<sup>[15]</sup>用NaOH在常压、加压、微波条件溶出粉煤灰中硅、铝, 研究粉煤灰中硅铝分步溶出条件。发现粉煤灰经过热处理以后用碱液溶出, 硅的溶出率有大幅度的增加。在加压条件下, 能很好实现硅铝分步溶出。微波法对于不对称结构的氧化铝的溶出效果较好。

李长舟<sup>[16]</sup>用煤气化粉煤灰作原料, 经硫酸浸

出, 酸浸滤饼用氨水调节 pH 值后除去钙, 在除钙滤饼中加入氢氧化钠溶液反应得硅酸钠溶液, 再加稀硫酸调节 pH 值后陈化、过滤可得微观平均粒径为 25 nm 超细白炭黑, 粉煤灰中  $\text{SiO}_2$  的平均浸出率达 98.55%。该项研究能使粉煤灰中大多  $\text{SiO}_2$  回收利用。

两种制备沉淀白炭黑的工艺都相对简单, 容易操作<sup>[17]</sup>, 早期沉淀法得到的产品粒度和纯度都相对较低, 不能达到高品级, 这也成为沉淀法研究的焦点, 在科研人员的不懈努力下, 近年来沉淀法得到的白炭黑产品品级在逐渐提高, 沉淀法也越来越受到人们的关注。

## 2 碳分法

碳分法<sup>[18]</sup>就是将粉煤灰与 NaOH 反应, 硅以硅酸钠形式溶出后, 通入  $\text{CO}_2$  气体进行碳分, 碳分后胶体经干燥得到白炭黑产品。

秦晋国等<sup>[19]</sup>在 2007 年发明的一种从粉煤灰中先提硅后提铝的方法就用到了制备白炭黑的碳分法, 就是先以浓 NaOH 溶液浸取粉煤灰, 将其中的 Si 以  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  的形式溶出, 分离后得到硅酸钠溶液和碱浸渣, 硅酸钠溶液经碳分制得白炭黑, 碱浸渣以碱石灰烧结法生产氧化铝。这种方法简化了氧化铝提取工艺, 提高了  $\text{SiO}_2$  提取率。

王佳东等<sup>[21]</sup>更加全面的探讨了常压下高浓度 NaOH 溶浸粉煤灰提取  $\text{SiO}_2$  过程中粉煤灰粒度、溶浸时间、NaOH 初始浓度、固液比、反应温度等因素对  $\text{SiO}_2$  浸出率的影响。结果表明, 粉煤灰在碱浓度为 17.5 mol/L、液固比 1.5、温度 130℃, 反应时间 5 ~ 10 min 时, 可使  $\text{SiO}_2$  的溶出率达到 72%。该项研究为碳分法工艺提供了实验基础及数据参考。

李歌等<sup>[22]</sup>以粉煤灰为原料, NaOH 为脱硅剂进行预脱硅, 得到的滤液主要成分为偏硅酸钠, 通入  $\text{CO}_2$  以硅酸胶体的形式沉淀下来, 经水洗除去含有的碳酸盐和碳酸氢盐, 干燥后制备白炭黑。通过对白炭黑粒径和产率的研究, 发现影响产率

的主要因素是偏硅酸钠滤液的浓度和  $\text{CO}_2$  通气速率, 研究人员通过对反应机理研究, 发现影响粒径的因素是反应温度, 高温下反应得到的白炭黑原生粒径小, 结构疏松, 孔隙率高; 低温下反应得到的白炭黑结构坚实而紧密, 原生粒径较大。

刘成长等<sup>[23]</sup>利用“C-JSTK”技术成功地解决了从粉煤灰中提取  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  的最大技术难题, 即纯碱碱融过程中  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  的生成与处理。试验将粉煤灰和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  混合, 煅烧后得熔融体, 用浓 NaOH 溶解, 得到  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀和滤液; 滤液稀释水解后通入  $\text{CO}_2$  气体进行碳酸化分解反应, 得到沉淀白炭黑。该法实现了粉煤灰中 Al 资源与 Si 资源的回收和合理利用, 大幅度提高了粉煤灰利用的经济效益, 而且避免了资源浪费, 减轻了环境污染, 达到了清洁生产的目的。

朱干宇<sup>[24]</sup>以高铝粉煤灰脱硅液为研究对象, 提出了两段碳化法制备白炭黑的路线, 并开展了工艺优化, 确定了较佳反应条件硅浓度 1 mol/L, 搅拌速率 100 r/min, 一段反应温度 62℃, 二段反应温度 79℃时。此工艺硅转化率大于 90%, 制得的白炭黑比表面积达 420.82  $\text{m}^2/\text{g}$ 。

王若超等<sup>[25]</sup>提出的一种从粉煤灰中回收氧化铝和二氧化硅的新方法—硫酸氢铵焙烧法也用了二次碳分法, 这种方法首先用  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  焙烧法从粉煤灰中提取  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 提铝残渣与 NaOH 反应得到硅酸钠溶液为原料, 再通过两次碳分的方法得到  $\text{SiO}_2$  粉体, 在第一步碳分过程中, 溶液中的杂质离子如铝、铁等会形成沉淀, 过滤分离除去, 使第二次碳分得到纯度较高的沉淀  $\text{SiO}_2$ , 其质量分数达 99.79%。

马钊<sup>[26]</sup>也用两次碳分法制备得到了高纯度的白炭黑, 并研究确定了第一次碳分反应至 pH 值 10.8 时结束, 此时 Al 和 Fe 的去除率基本达到 100%; 二次碳分反应至 pH 值 9.3 时, 此时 90% 以上的硅酸钠转化为二氧化硅沉淀。二次碳分产物经水洗干燥后, 得到比表面积为 280.2  $\text{m}^2/\text{g}$ , DBP 吸值为 3.56  $\text{cm}^3/\text{g}$  的高纯度白炭黑产品。

碳分法是在沉淀法的基础上,对工艺条件进行优化,用CO<sub>2</sub>调节酸度,生成水合二氧化硅沉淀,反应条件温和。而在工业生产过程中CO<sub>2</sub>绝大部分以废气形式排放,以CO<sub>2</sub>替代无机强酸制备沉淀白炭黑,不仅可以降低生产白炭黑的成本,而且可以减少CO<sub>2</sub>排放造成的环境污染和资源浪费。分步碳分法是碳分法制备白炭黑的一种发展趋势,传统的一次碳分工艺会导致杂质被产品吸附,降低产品纯度,分步碳分法可以先除去杂质,再沉淀白炭黑,大幅度提高了白炭黑产品的纯度。

### 3 气相法

常规气相白炭黑一般由四氯化硅在氧气和氢气混合气流中经高温水解反应,脱酸生成。而粉煤灰气相法制备白炭黑是通过一定反应将粉煤灰中的硅以气体形式挥发出来,然后进行水解制备白炭黑<sup>[27]</sup>。

谢吉民等<sup>[28]</sup>发明了一种利用粉煤灰中四氯化硅制备纳米二氧化硅的方法,将粉煤灰经稀硫酸浸泡后,与浓硫酸按一定质量比混合,缓慢加入无水氢氟酸,将产生的四氯化硅气体水解,最后将生成的白色固体过滤、干燥即得无定型纳米二氧化硅。水解过程中加入表面分散剂,可制得比表面为400 m<sup>2</sup>/g的纳米白炭黑。此方法工艺简单,成本低廉,所得产品具有高的化学纯度和高分散性能。

徐洁明等<sup>[29]</sup>研究了将焙烧处理后的粉煤灰与氟化钙和一定量的浓硫酸加热条件下直接反应,释放出SiF<sub>4</sub>气体,再通入自制的水解槽中,在一定浓度的乙醇水溶液中水解,通过控制水解速度和搅拌速度,得到纯白疏松的白炭黑粉末。实验中使用乙醇作为分散剂可以有效防止纳米颗粒的团聚,制备出的白炭黑粒径可控制在10~20 nm,纯度高达99.95%。

倪良等<sup>[30]</sup>以粉煤灰为原料,采用气相—水解法制备得到了纳米白炭黑。此方法是将沉淀法制得的白炭黑与氟化钙、浓硫酸混合加热,生成的

四氯化硅气体通入由氨水和分散剂组成的溶液中,再加入浓氨水使白炭黑析出,再经过分离、洗涤、烘干、灼烧制得纳米白炭黑。该法通过两步纯化制得高纯纳米白炭黑,本产品不仅纯度高,而且白炭黑粒径小,形状规则,无团聚现象。

气相法制得的白炭黑产品纯度和分散性均较好,但是使用的原材料较贵,工艺能耗较大,增加了生产成本,阻碍了此方法的发展,研究人员需在传统气相法的基础上继续进行改进,不仅需提高产品的纯度,更要降低生产成本,实现气相法的工业化。

### 4 结语

沉淀法虽然工艺简单,操作条件易控制,但是生产过程中使用大量无机强酸,对设备耐腐蚀性要求较高,而且所得产品品级不够高;碳分法虽然用CO<sub>2</sub>代替了无机强酸的使用,但是产品纯度及提取率的影响因素增多,使反应条件不易控制,加大了工业化的难度;气相法虽然得到的白炭黑产品粒度小,纯度高,但是所用试剂昂贵,生产成本高。因此,粉煤灰制备白炭黑工艺需要进一步研究,尽早开发出工艺简单、反应条件易控制、生产成本较低、产品品级高的粉煤灰提取白炭黑的方法。

### 参考文献:

- [1] 吴元峰,仪桂云,刘全润,等.粉煤灰综合利用现状[J].洁净煤技术,2013,19(6):100-104.
- [2] 吉涛,方莹,李镇,等.粉煤灰精细化利用现状及前景[J].混凝土,2012(1):76-78.
- [3] 蒋佳超,赵由才.粉煤灰提铝技术的研究现状[J].有色冶金设计与研究,2008,29(2):40-43.
- [4] 王安顺,王培根,李广学,等.用粉煤灰提取白炭黑的研究现状[J].安徽化工,2016,42(5):5-7.
- [5] 余海荣.由粉煤灰制取铝铁混凝剂和白炭黑[J].电力环境保护,1992,8(2):55-57.
- [6] 班卫静,周霞萍,柯一龙.粉煤灰短流程制取白炭黑的研究[J].煤矿环保,2011(6):99-102.
- [7] 郭昭华,李飞,王永旺,等.以粉煤灰提铝残渣为原料制备二氧化硅微粉的方法及二氧化硅微粉[P].中

国:CN103803564B, 2016-03-23.

[8] 王蕾, 马鸿文, 聂轶苗, 等. 利用粉煤灰制备高比表面积二氧化硅的实验研究 [J]. 硅酸盐通报, 2006 (2): 3-6.

[9] 徐子芳, 张明旭, 李新运. 用低温煅烧法从粉煤灰中提取纳米  $Al_2O_3$  和  $SiO_2$  [J]. 非金属矿, 2009, 32(1): 27-30.

[10] 胡锐, 贺洋. 高铅粉煤灰酸法提铝尾渣制备超细白炭黑及应用研究 [J]. 矿产综合利用, 2016 (6): 65-67.

[11] 胡将军. 酸溶法从粉煤灰中制取白炭黑的研究 [J]. 环境科学与技术, 1996 (2): 45-48.

[12] 吴艳, 翟玉春, 牟文宁, 等. 粉煤灰提铝渣中二氧化硅在高浓度碱液中的溶解行为 [J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(1): 408-411.

[13] 兰伟兴. 淮南粉煤灰提铝渣制备白炭黑的工艺研究 [D]. 合肥: 安徽理工大学, 2012. 43-47.

[14] 方俊. 粉煤灰渣湿法制备水玻璃和白炭黑工艺研 [D]. 合肥: 安徽理工大学, 2013. 43-50.

[15] 郭国栋. 粉煤灰资源化利用中碱溶法溶出硅铝研究 [D]. 新疆: 新疆大学, 2005:

[16] 李长舟. 粉煤灰综合利用制备氧化铝和超细白炭黑的工艺条件研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2011. 15-19.

[17] 徐传达, 方莹, 李镇, 等. 从粉煤灰中提取  $SiO_2$  研究进展 [J]. 化工新型材料, 2013, 41(3): 158-160.

[18] 涂华, 周永华, 余嘉耕, 等. 碳化法生产白炭黑工艺研究及反应动力学分析 [J]. 无机盐工业, 2001, 33(6): 8-11.

[19] 秦晋国, 顾松青. 一种从粉煤灰中先提硅后提铝的方法 [P]. 中国: CN101125656A, 2008-02-20.

[20] 王佳东, 翟玉春, 申晓毅. 碱溶法提取粉煤灰中的氧化硅 [J]. 轻金属, 2008 (12): 23-25.

[21] 李歌, 马鸿文, 刘浩, 等. 粉煤灰碱溶脱硅液碳化法制备白炭黑的实验与硅酸聚合机理研究 [J]. 化工学报, 2011, 62(12): 3581-3586.

[22] 刘成长. 粉煤灰提取氧化铝和二氧化硅的新工艺 [J]. 粉煤灰综合利用, 2008 (4): 32-35.

[23] 朱干宇. 高铅粉煤灰非晶态氧化硅高值化利用基础研究 [D]. 北京: 中国科学院过程工程研究所, 2016. 65-79.

[24] 王若超. 粉煤灰高附加值绿色化综合利用的研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2013. 129-133.

[25] 马钊. 灰场粉煤灰提取氧化铝和白炭黑 [D]. 合肥: 安徽理工大学, 2015. 35-44.

[26] 徐本军, 符秀峰, 陈坤. 用粉煤灰之前白炭黑的工艺现状 [J]. 湿法冶金, 2013, 32(3): 135-137.

[27] 谢吉民, 徐洁明, 陈国云, 等. 粉煤灰气相法制备纳米二氧化硅的方法 [P]. 中国: CN100494055C, 2006-07-26.

[28] 徐洁明, 谢吉民, 朱建军. 粉煤灰气相法制备纳米白炭黑研究 [J]. 无机盐工业, 2006, 38(7): 54-56.

[29] 倪良, 胡莹海, 李晓燕, 等. 粉煤灰气相-水解法制备纳米白炭黑 [J]. 橡胶工业, 2007, 54(6): 345-347.

## Research Progress of Extracting White Carbon from Fly Ash

Wang Rui<sup>1</sup>, Zhao Hui<sup>2</sup>, Wang Yong wang<sup>1</sup>, Wang Qiang<sup>1</sup>, Chao Xiao guang<sup>1</sup>

(1. Shenhua Zhungeer Energy Resource Comprehensive Development Co., Ltd, Erdos, Inner Mongolia, China;  
2. Erdos Northwest Energy Chemical Co., Ltd., Erdos, Inner Mongolia, China. )

**Abstract:** The extraction of white carbon from fly ash can not only effectively solve the environmental problems, but also produce white carbon products with high added value. A large related research works were carried out by researchers since 1990s. This paper reviews and summarizes the domestic research progress of white carbon preparation from fly ash in recent years, precipitation, carbonation and gas phase preparation methods of white carbon, and various methods were introduce mainly. The advantages and disadvantages were compared and evaluated. Finally, the paper points out that to improve product quality, reduce cost, simplify the process is the urgent problems which shall be solved for extraction of white carbon from fly ash.

**Keywords:** Fly ash; White carbon; Silica; Water glass