

铁尾矿煅烧酸浸法制备白炭黑及动力学研究

张 鹏, 陈星月, 任志峰, 李怡宏, 赵爱春, 何奕波

(太原科技大学材料科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘 要: 铁尾矿是钢铁工业生产过程的废弃物, 目前堆存量已超过亿吨, 考虑其千亿元以上的潜在价值, 将其作为二次资源回收利用将成为必然趋势。铁尾矿成分主要以 SiO_2 为主, 因此从铁尾矿中提取 SiO_2 再利用是实现其资源化利用的重要发展方向。通过对河北某钢厂铁尾矿成分解析发现, 其 SiO_2 的含量达到 68.64%, 其中硅的氧化物主要以石英、钠长石、滑石等晶体形式稳定存在于尾矿中。因此提出采用煅烧酸浸法制备白炭黑。具体工艺为: 首先对铁尾矿进行高温碱熔活化预处理, 再通过酸浸法制备白炭黑。最终确定了最佳碱熔煅烧-酸浸工艺参数: 活化温度为 850 $^{\circ}\text{C}$ 、活化时间为 2 h、 $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{SiO}_2=1:1.5$; 酸浸过程溶液 pH 值为 7, 搅拌温度 60 $^{\circ}\text{C}$ 。在此条件下, 铁尾矿硅元素的提取率可达到 86.43%, 酸浸得到的白炭黑 SiO_2 含量达到 92.26%。此外, 对铁尾矿不同升温速率条件下的碱熔煅烧过程进行了动力学研究, 推导出碱熔煅烧过程的数学模型, 为铁尾矿活化焙烧工艺提供理论依据。

关键词: 铁尾矿; 资源化利用; 白炭黑; 煅烧酸浸法; 动力学

中图分类号: X757, TQ127.2

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2022)02-0087-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2022.02.014

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



与作者互动
听语音
聊科研

Investigating kinetics in preparation of precipitated silica from iron ore tailings

Zhang Peng, Chen Xingyue, Ren Zhifeng, Li Yihong, Zhao Aichun, He Yibo

(College of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China)

Abstract: Iron ore tailings (IOT), which are by-product of the ore-smelting process. It will be an inevitable trend to recycle them as a secondary resource due to the potential value of more than 100 billion yuan. Through the composition analysis of IOT from a steel plant in Hebei Province, the SiO_2 in IOT reaches 68.64%, existing mainly in the form of quartz, albite, talc and other crystals. Therefore, the calcination-acid leaching method was proposed to produce silica. The optimum calcination parameters were determined as follows: calcination temperature = 850 $^{\circ}\text{C}$, calcination time = 2 h, $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{SiO}_2 = 1:1.5$. For the acid leaching process, the pH value of the solution is 7 and the stirring temperature is 60 $^{\circ}\text{C}$. The results show that the extraction rate of Si from IOT reached 86.43 %, and the content of SiO_2 was 92.26%. In addition, the kinetics of the calcination process was studied, and the activation reaction mechanism and kinetic parameters of IOT were deduced, which provided a theoretical basis for the activation calcination process of IOT.

Key words: iron ore tailings, resource utilization, precipitated silica, calcining and acid leaching, kinetics

收稿日期: 2021-09-26

基金项目: 山西省基础研究计划资助项目(202103021223277); 国家自然科学基金项目(51904278); 山西自然科学基金项目(20210302123218)。

作者简介: 张鹏 (1990—), 男, 吉林白山人, 博士, 讲师, 长期从事冶金固废资源化利用方向研究, E-mail: 15242389785@163.com。

0 引言

据统计,我国尾矿年产生量约为 12.11 亿 t,其中铁尾矿 (Iron ore tailings, 简称 IOT) 产生量最大,约为 4.75 亿 t^[1]。我国尾矿综合利用产业发展周期较短,基础数据匮乏,方法不统一,难以作为宏观调控的基础材料,不能针对实际情况,提出有效的利用和处理方法^[2]。而铁尾矿大量堆积不仅存在严重的二次资源浪费现象,同时还伴有重大的安全隐患。如何有效处理尾矿已成为当前国民经济和社会发展中较为突出的问题。据统计,目前国内尾矿堆积量已超过百亿吨^[3]。同时,我国又是一个资源相对短缺,又不得不依靠消耗大量原材料进行经济建设的国家,因此如何将铁尾矿作为二次资源再利用,对我国的可持续发展将产生深远影响。

白炭黑是无定形态硅酸和硅酸盐产品的总称,分子式 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, 是一种超微细粉体^[4], 吸潮后形成聚合细颗粒,有很高的绝缘性,不溶于水和酸。白炭黑对其它化学药品稳定,受高温不分解、不燃烧,具有很好的补强和增粘作用,以及良好的分散性,广泛用于橡胶、油脂、涂料及医药行业^[5]。由于铁尾矿富含 SiO_2 , 且来源广泛。因此,近年来以铁尾矿为原料制备白炭黑的工艺研究颇为活跃,在白炭黑的生产中占有重要的地位^[6]。

目前,铁尾矿制备白炭黑多采用煅烧酸浸的方法,该方法工艺简单,成本低,产量大,工业化生产易于实现,适合于白炭黑的大规模生产^[7]。但碱熔煅

烧过程使用的活化剂通常为 NaOH , 会造成环境污染。为解决这一问题,笔者提出以 Na_2CO_3 为活化剂制备白炭黑,反应过程新产生的 Na_2CO_3 可以作为碱源循环利用,进而解决碱污染问题,提高经济效益。

碱熔煅烧动力学可为铁尾矿活化过程提供理论指导,亦是可控制备白炭黑得以实现的重要依据。而目前以 Na_2CO_3 为活化剂,采用碱熔煅烧方法制备白炭黑的反应过程动力学鲜有报道。因此,笔者针对铁尾矿不同升温速率条件下的碱熔煅烧过程进行了动力学研究,以推断铁尾矿活化反应机理和动力学参数,从而得到反应过程速率的定量描述,为铁尾矿碱熔煅烧工艺提供理论依据。

1 试验

1.1 试验原料

本试验所用原料为河北某钢铁厂选铁后的尾矿。制样过程:在尾矿库不同部位截取十余次,共采集试样 10 kg,试样经干燥后混匀备用。采取四分法取样,测定化学成分,结果见表 1。其他辅料如碳酸钠、硝酸等来源于国药集团化学试剂有限公司,均采用工业分析纯级别,并未进行进一步提纯预处理。

由表 1 可知,铁尾矿主要成分是 SiO_2 (68.64%)、 Al_2O_3 (13.14%) 和 Fe_2O_3 (9.47%)。图 1 为铁尾矿 XRD 图谱及 SEM 形貌。从 SEM 结果可以看出,铁尾矿呈现出大块状晶体结构。XRD 结果进一步表明,硅物质主要以石英、钠长石滑石等晶体形式稳定存在于铁尾矿中。

表 1 铁尾矿主要化学成分
Table 1 Main chemical compositions of IOT

SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	SO_3	P_2O_5	Cr_2O_3	%
68.64	9.47	3.41	2.26	13.14	3.64	0.74	0.36	0.16	0.14	

注:含量低于0.1%的组分未列出。

1.2 白炭黑制备过程

白炭黑制备工艺流程如图 2 所示。铁尾矿经球磨机充分研磨后,使其粒度满足-200 目(小于 $74 \mu\text{m}$) 要求,将研磨后的铁尾矿与 Na_2CO_3 按一定量的摩尔比充分混匀后,移至马弗炉中高温焙烧进行活化反应,当反应达到预定反应时间后,取出焙烧产物冷却至室温。焙烧产物进行充分研磨后,加入一定浓度、体积的稀硝酸溶液, $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下搅拌一段时间,然后对反应物进行离心分离,得到溶出的硅胶与粗氯化铝溶液。硅胶在 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下干燥 24 h, 研磨

后得到白炭黑。对于剩下的粗氯化铝溶液,通过调节混合液 pH 值以去除溶液中的 Fe^{3+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} 等杂质。过滤除杂后得到偏铝酸钠溶液,继续向偏铝酸钠溶液中通入 CO_2 得到碳酸钠溶液,再与氢氧化铝沉淀,从而实现铁尾矿高附加值利用,产生的碳酸钠可以作为碱源循环利用(该内容此处不展开分析)。溶液搅拌反应过程中,搅拌温度对硅物质在溶液中的形态影响很大,因此进一步研究了搅拌温度对产品形态的影响。

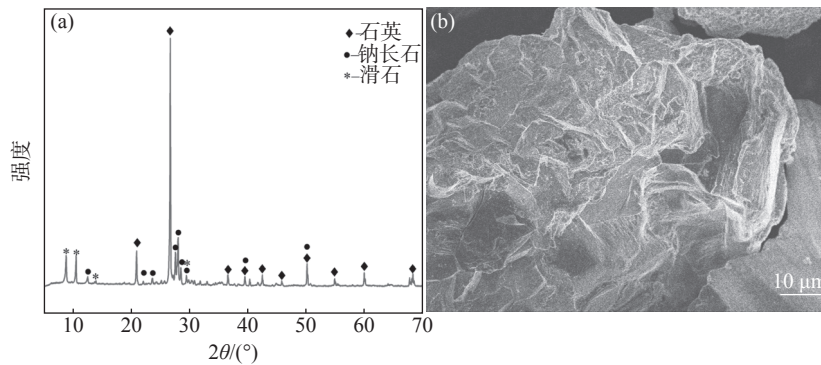


图 1 铁尾矿 XRD 精修图谱(a)和 SEM 形貌(b)
Fig. 1 XRD analysis (a) and SEM image (b) of the IOT

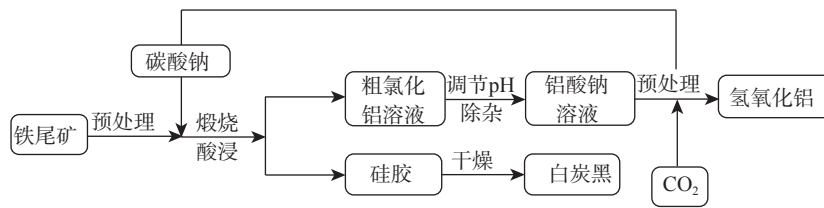


图 2 白炭黑制备工艺流程
Fig. 2 Flow chart of precipitated silica preparation process

1.3 正交试验设计

碱熔煅烧是指将不溶性物质(如矿石等)与碱性物质共热熔融,进而改变矿物的晶体结构,其中影响铁尾矿碱熔煅烧制备白炭黑过程的主要影响因素包括:煅烧时间、煅烧温度、 Na_2CO_3 与铁尾矿中 SiO_2 的摩尔比。因此本研究设计了一个三因素三水平的正交试验方案,分别探究煅烧时间、煅烧温度、 Na_2CO_3 与铁尾矿中 SiO_2 摩尔比等因素对铁尾矿活化的影响。利用正交分析法对其进行分析,正交试验分析因素选取情况列于表 2。

表 2 正交分析因素与水平
Table 2 Factors and levels of orthogonal test

水平	因素		
	煅烧时间/h	煅烧温度/°C	$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)/n(\text{SiO}_2)$
1	1	750	1 : 1.0
2	2	800	1 : 1.25
3	3	850	1 : 1.5

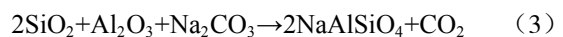
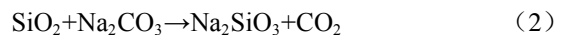
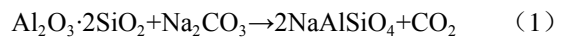
2 试验结果及讨论

2.1 煅烧结果及讨论

铁尾矿中硅的氧化物主要以晶体形式稳定存在,由于铁尾矿的化学成分呈弱酸性,所以采用碱熔活

化对铁尾矿进行活化处理,所用活化剂为 Na_2CO_3 。

碱熔煅烧正交试验结果如表 3 所示,由各影响因素极差 R 的大小可知,煅烧参数对结果影响程度大小为: Na_2CO_3 与铁尾矿摩尔比>活化温度>活化时间。铁尾矿煅烧过程发生的反应见式(1)~(4)。随着 Na_2CO_3 用量的增加,硅元素提取率逐渐升高。这是由于相同反应时间内, Na_2CO_3 用量越大,铁尾矿与 Na_2CO_3 的接触面积越大,碱熔反应越充分。经碱熔煅烧后,铁尾矿中的大部分硅组分转变为可溶性的硅酸盐。



通过正交试验结果可知, Na_2CO_3 与铁尾矿摩尔比对提高硅元素的提取率最为关键,为主要影响因素,活化温度影响次之,活化时间影响较小。为进一步提高硅元素的提取率,在正交试验基础上,即碳酸钠与 IOT 中 SiO_2 摩尔比 1 : 1.5、活化温度 850 °C,继续增加活化时间,探究对硅元素提取率的影响。当活化时间 2 h 条件下,硅元素的提取率为 86.43%,活化时间 3 h 时,硅元素的提取率为 86.57%。可以看出,当活化时间由 2 h 增至 3 h 时,硅的提取率变

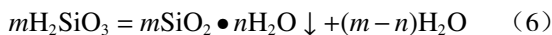
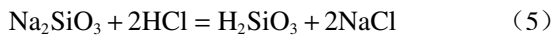
化不大,综合考虑生产效率等因素,本研究最佳试验条件确定为:活化温度 850 ℃、活化时间 2 h、碳酸钠与 IOT 中 SiO₂ 摩尔比 1:1.5,此条件下,铁尾矿硅元素的提取率可达到 86.43%。

表 3 正交试验结果
Table 3 Results of orthogonal test

试验号	活化温度/℃	活化时间/h	$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)/n(\text{SiO}_2)$	硅元素提取率/%
1	750	1	1:1.0	24.79
2	750	2	1:1.25	37.26
3	750	3	1:1.5	63.14
4	800	1	1:1.25	43.16
5	800	2	1:1.5	70.72
6	800	3	1:1.0	49.58
7	850	1	1:1.5	84.19
8	850	2	1:1.0	49.48
9	850	3	1:1.25	69.88
K1	41.73	50.71	41.28	
K2	54.49	52.49	50.10	
K3	67.85	60.87	72.68	
极差R	26.12	10.16	31.40	

2.2 酸浸结果及讨论

铁尾矿经碱熔煅烧以后,大量硅元素转变为可溶性的硅酸盐。为了最大程度的回收硅元素,本研究采用沉淀法制备白炭黑,通过调整溶液 pH 值,将 Na₂SiO₃ 转变为 SiO₂ 白色沉淀,经过滤烘干后即得到白炭黑。其反应如式(5)和(6)所示。不同溶液 pH 值对产品中二氧化硅含量影响如图 3 所示。



由图 3 可知,产物中 SiO₂ 含量随 pH 值增大呈先上升后下降趋势,当 pH 为 7 时,样品中 SiO₂ 含量最大,达到 92.26%。溶液 pH 大于 7 时,随着 pH 增大, SiO₂ 含量逐渐下降,这是由于溶液中 Al³⁺、Fe³⁺、Ga³⁺ 等金属离子会生成相应氢氧化物沉淀,与硅酸混合在一起分离不开,进而影响固相产物中 SiO₂ 的纯度,造成产物中 SiO₂ 含量降低。同理, pH 小于 7 时,随着 pH 减小, SiO₂ 含量下降是 Al³⁺ 和 Fe³⁺ 会水解成为 Al(OH)₃ 和 Fe(OH)₂ 沉淀造成的。根据以上结果,确定本研究提取硅时,溶液的 pH 最佳值应为 7。

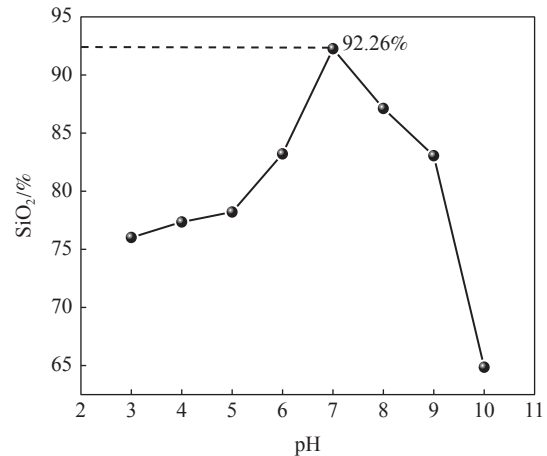


图 3 溶液 pH 对样品中 SiO₂ 含量的影响
Fig. 3 The effect of pH on the content of SiO₂ in the product

溶液搅拌反应过程中,搅拌温度对硅物质在溶液中的形态影响很大,为得到最佳搅拌温度,本研究选用溶液 pH 为 7 时,分别设定电磁搅拌器温度为 20、40、60、80、90 ℃,探究温度对产品形态的影响。结果表明,当搅拌温度在 20~40 ℃ 范围,产物中 SiO₂ 以凝胶状态存在,当搅拌温度 ≥60 ℃ 时, SiO₂ 为沉淀状态。若产物中 SiO₂ 以凝胶状态存在,会造成溶液粘度大,以致氢离子不能立即渗入到硅酸钠内部,这就引起了内聚胶凝,无法生成沉淀 SiO₂。因此,为确保产物 SiO₂ 的过滤速度,综合考虑能耗,建议搅拌温度为 60 ℃。在此条件下,白炭黑 SiO₂ 含量达到 92.26%。

综上,本研究制备白炭黑的最佳方案为:搅拌温度为 60 ℃,溶液 pH 值设定为 7。产物的 XRD 谱和 SEM 形貌如图 4 所示,从产物 XRD 图谱(图 4 a)可知,产物的特征峰是典型的馒头峰,表明产物中 SiO₂ 以无定型形态存在。从图 4 b 可知,白炭黑(SiO₂)在微观水平上呈现出疏松多孔状态。表明以铁尾矿为原料,采用碱熔煅烧-酸浸法成功制备了疏松多孔状的无定形态白炭黑。

2.3 煅烧动力学研究

图 5 为 Na₂CO₃ 与铁尾矿中 SiO₂ 摩尔比为 1:1.5,不同升温速度的热重(TG)曲线。整个焙烧过程主要为固体原料中的 Na₂CO₃、Al₂O₃ 和 SiO₂ 之间发生的交互反应。从开始到 120 ℃ 左右有 2% 的质量损失,这是由于小分子物质或水分损失,即样品表面游离水损失所致。因式(1)和(4)在温度较低时可自发进行,所以随着温度的升高,样品质量损失增加,但从起始到 780 ℃,样品仅有约 5% 的质量损失。

由 TG 曲线可知, 样品质量损失在 750 ~ 850 °C 骤增, 这是由于式 (2) 和 (3) 发生的温度条件在

784 ~ 853 °C 时产生的二氧化碳所造成。

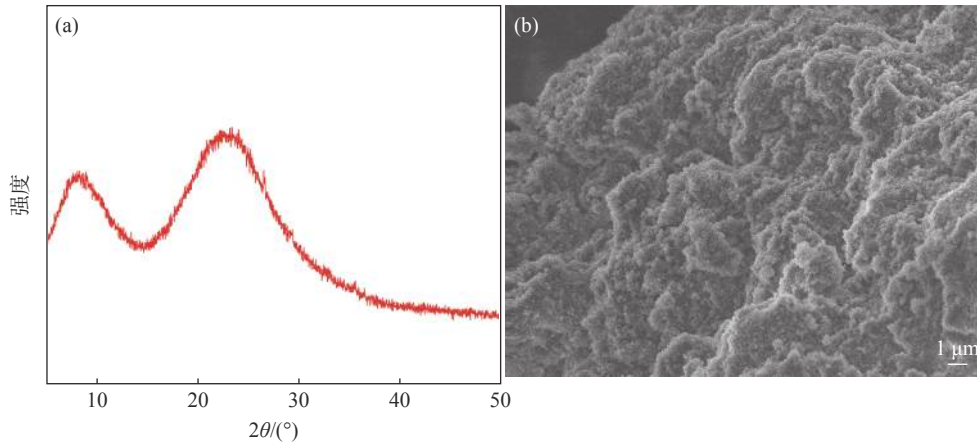


图 4 产物 XRD 图谱(a)和 SEM 形貌(b)
Fig. 4 The XRD analysis (a) and SEM image of product (b)

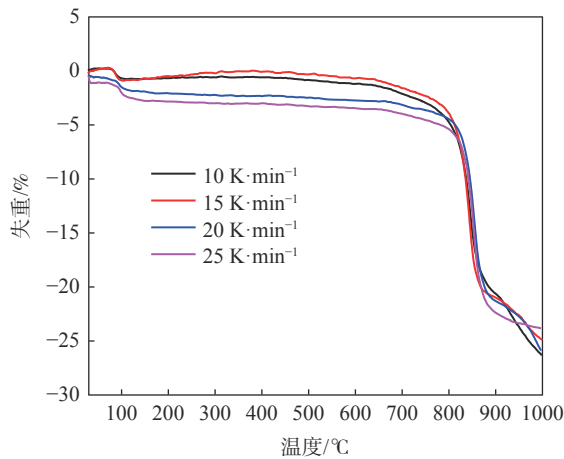


图 5 不同升温速度下反应的 TG 曲线
Fig. 5 TG curves of reactions at different heating rates

通过 TG-DTG 表征分析, 在线性升温条件下, 测定产物质量随温度(时间)的变化, 运用 Kissinger 法处理试验结果^[8]。通过模拟计算得到各反应阶段表观活化能 E , 以及反应级数 n 、频率因子 A 、反应速率常数 k 等动力学参数, 再根据所得动力学参数求出反应阶段的速率方程。铁尾矿与 Na_2CO_3 混合物在 10、15、20、25 K/min 升温速度下的 DTG 曲线如图 6 所示。由图可看出, 铁尾矿煅烧过程存在两个吸热峰, 利用 Kissinger 法计算这两个阶段的表观活化能、反应速率常数等动力学参数, 得到煅烧过程反应速率方程。

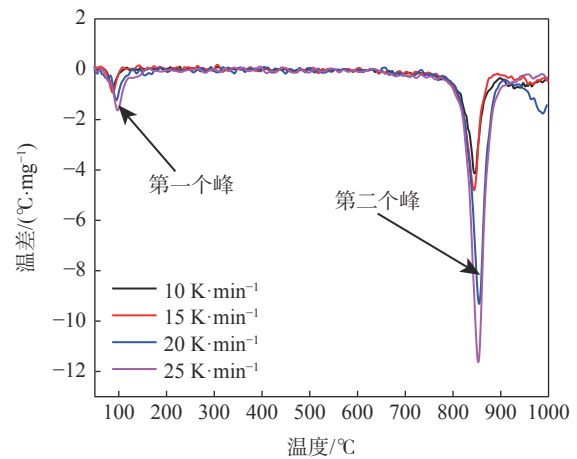


图 6 不同升温速率下反应的 DTG 曲线
Fig. 6 DTG curves of reactions at different heating rates

根据 Kissinger 法, 绘制第一和第二个吸热峰 $\ln \frac{\beta}{T_m^{1.8}}$ 与 $\frac{1}{T_m}$ 的相互关系曲线, 如图 7 和图 8 所示, 再通过斜率 $(-\frac{E}{R})$ 计算反应的表观活化能。根据第一个吸热峰的起止温度和峰值温度, 计算求得反应级数 (n) 和频率因子 (A)。根据拟合曲线计算所得的两个吸热峰动力学参数列于表 4。

根据表 4 计算所得动力学参数, 便可求得两个吸热峰的速率方程, 分别表示为:

$$\begin{aligned} \text{第一个吸收峰: } \frac{d\alpha}{dt} &= 2.94 \times 10^{-3} e^{-\frac{0.6}{T}} (1-\alpha)^{1.39}; \\ \text{第二个吸收峰: } \frac{d\alpha}{dt} &= 3.21 \times 10^{-3} e^{-\frac{33.79}{T}} (1-\alpha)^{1.26} \end{aligned}$$

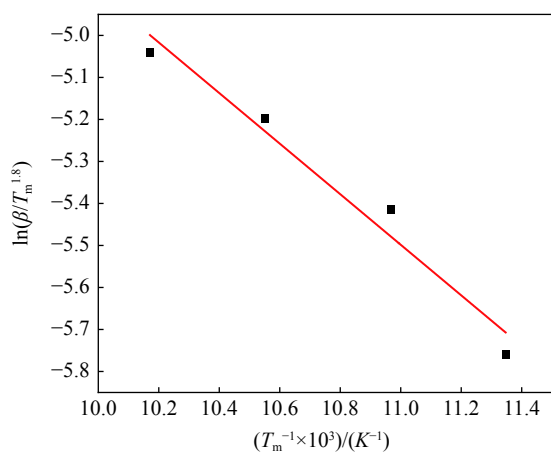


图7 第一个吸热峰不同升温速率下 $\ln \frac{\beta}{T_m^{1.8}}$ 与 $\frac{1}{T_m}$ 拟合关系

Fig. 7 Plot for $\ln \frac{\beta}{T_m^{1.8}} \sim \frac{1}{T_m}$ of first endothermic peak at different heating rates

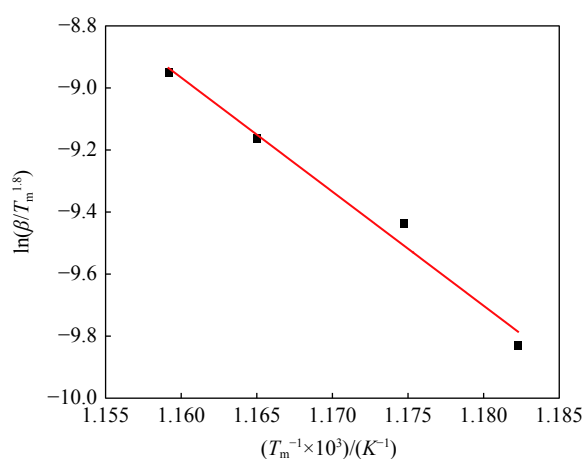


图8 第二个吸热峰不同升温速率下 $\ln \frac{\beta}{T_m^{1.8}}$ 与 $\frac{1}{T_m}$ 拟合关系

Fig. 8 Plot for $\ln \frac{\beta}{T_m^{1.8}} \sim \frac{1}{T_m}$ of second endothermic peak at different heating rates

表4 两个吸热峰不同升温速率动力学参数

Table 4 Kinetics coefficients of the two endothermic peaks at different heating

$\beta/(K \cdot \text{min}^{-1})$	第一吸收峰						第二吸收峰					
	T_m/K	I	n	$A \times 10^{-3}$	$E/(kJ \cdot \text{mol}^{-1})$	γ	T_m/K	I	n	$A \times 10^{-3}$	$E/(kJ \cdot \text{mol}^{-1})$	γ
10	88.13	1.17	1.36	2.91			845.83	0.87	1.17	3.07		
15	91.19	1.09	1.31	2.96			851.28	1.02	1.27	3.16		
20	94.79	1.35	1.46	2.93	4.99	0.984 1	858.38	1.07	1.34	3.21	280.93	0.982 9
25	98.32	1.30	1.44	2.97			862.69	0.98	1.25	3.39		
平均			1.39	2.94					1.26	3.21		

3 结论

以铁尾矿为原料,采用碱熔煅烧-酸浸法制备白炭黑。以铁尾矿资源化再利用为切入点,实现铁尾矿资源化二次利用,研究结论如下:

1)对铁尾矿进行碱熔活化处理,确定了最佳碱熔煅烧参数:煅烧温度为 850 ℃、煅烧时间为 2 h、 Na_2CO_3 与铁尾矿摩尔比为 1:1.5,铁尾矿硅元素的收得率达 86.43%。

2)碱熔煅烧后的铁尾矿进行酸浸,沉淀法制备白炭黑。最佳方案为:搅拌温度 60 ℃,溶液 pH 值 7。在此条件下,产物中 SiO_2 含量达到 92.26%,XRD 和 SEM 结果表明产物为疏松多孔状的无定形态白炭黑。

3)本研究条件下,采用 Kissinger 法描述铁尾矿碱熔煅烧动力学过程。铁尾矿碱熔煅烧反应过程主

要分为两个阶段,分别在 80 ~ 120 ℃ 和 800 ~ 900 ℃。这两个阶段的表观活化能分别为 4.99 kJ/mol 和 280.93 kJ/mol,相应两个吸收峰的反应速率方程分别为:

$$\text{第一个吸收峰: } \frac{d\alpha}{dt} = 2.94 \times 10^{-3} e^{-\frac{0.6}{T}} (1-\alpha)^{1.39};$$

$$\text{第二个吸收峰: } \frac{d\alpha}{dt} = 3.21 \times 10^{-3} e^{-\frac{33.79}{T}} (1-\alpha)^{1.26}$$

4)本研究采用 Na_2CO_3 替代 NaOH 作为碱熔煅烧活化剂,不仅可以解决碱污染问题,而且还能大大减少碱熔煅烧过程中碱的使用量,进而提高经济效益。

5)对于酸浸过程产生的粗氯化铝溶液,因溶液含有大量 Fe^{3+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} 等杂质。可以根据产生相应沉淀的 pH 值不同,去除溶液中相应金属离子,从而得到氢氧化铝副产品,具体情况还需进一步探索研究。

参考文献

- [1] Industrial Solid Waste Network. China industrial solid waste network 2018-2019 China bulk industrial solid waste comprehensive utilization industry development report[R]. 2019.
(中国工业固废网. 2018~2019年度中国大宗工业固体废物综合利用产业发展报告[R]. 2019.)
- [2] Sun Qirong, Liu Lei. Experimental study on carbonization resistance of concrete containing iron tailings[J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2020, 41(2): 82-87.
(孙秋荣, 刘磊. 含铁尾矿砂混凝土抗碳化性能试验研究[J]. *钢铁钒钛*, 2020, 41(2): 82-87.)
- [3] Yan Qiping. Study on the development and utilization of iron ore tailings in China[J]. *Scrap Iron and Steel in China*, 2014, (3): 33-38.
(闫启平. 我国铁矿尾矿渣粉开发利用之研究[J]. *中国废钢铁*, 2014, (3): 33-38.)
- [4] Tan Xin, Wang Fuliang, Wang Rongsheng. Study on preparation of white carbon black from deoiled residue of oil shale[J]. *Mining & Metallurgy*, 2004, 13(1): 59-63.
(谭欣, 王福良, 王荣生. 油页岩脱油残渣制备白炭黑的试验研究[J]. *矿冶*, 2004, 13(1): 59-63.)
- [5] Jin Hui. Production process and application of silica[J]. *Fine Chemical Raw Materials and Intermediates*, 2004, (6): 25-27.
(金辉. 白炭黑生产工艺及应用[J]. *精细化工原料及中间体*, 2004, (6): 25-27.)
- [6] Lian Shuixia, Gao Xinmei, Wen Zhenyu. Research progresses in preparation of white carbon black from SiO₂-rich industrial solid wastes[J]. *Environmental Protection of Chemical Industry*, 2021, (1): 1-9.
(连水瑕, 高新梅, 温振宇. 富含SiO₂工业固体废弃物制备白炭黑研究进展[J]. *化工环保*, 2021, (1): 1-9.)
- [7] Xiang Pengcheng, Xie Yingliang. Economical potentiality analysis of tailings utilization[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2002, (1): 50-54.
(向鹏成, 谢英亮. 尾矿利用的经济性潜力分析[J]. *矿产保护与利用*, 2002, (1): 50-54.)
- [8] Hu Rongzu, Shi Qizhen. Thermal analysis kinetics[M]. Beijing: Science Press, 2001: 47-52.
(胡荣祖, 史启祯. 热分析动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 47-52.)

编辑 杨冬梅

澳大利亚钒业开发的钒电池成功通过测试

(4月11日消息)据《Safe to Work》的报道,一种钒氧化还原液流电池已被成功地用于为一个电动汽车蓄电池充电。这种电池是由澳大利亚钒业的子公司 VSUN 能源公司开发的。

这次成功测试意味着有可能建立独立的电动汽车充电站。软件供应商 Gemtek 公司也参与了这次测试。

据 VSUN 能源公司称,钒氧化还原液流电池使用不同氧化态的钒离子储存势能。用于钒氧化还原液流电池时,五氧化二钒被加工成电解质溶液,然后被储存在两个储罐内,经泵送通过电化学电池。

澳大利亚钒业将开发其位于西澳大利亚州的钒矿开采和加工项目。该项目将于 2022 年进入开发阶段,同时还将西澳大利亚州建设一座钒电解质生产厂。该厂将于 2022 年中期达产,据估计钒电解质的年产量为 33 MWh。

摘自 https://www.cnfeol.com/fan/n_104814357250.aspx