

碱法提取高铝粉煤灰中氧化铝的研究进展

王腾飞, 张金山, 李侠, 李彦鑫, 薛泽民

(内蒙古科技大学矿业研究院, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 利用高铝粉煤灰提取氧化铝既可以缓解我国铝资源短缺问题, 又可以有效减少粉煤灰对环境的污染。文章综述了我国最为典型的几种高铝粉煤灰碱法提取氧化铝技术及研究进展, 分别对这几种工艺的制备流程和优缺点进行详细剖析, 发现碱熔法提取氧化铝工艺极具发展前景, 但由于技术难题的制约仍难以实现产业化发展, 最后对未来粉煤灰提取氧化铝新工艺的发展方向做出展望。

关键词: 高铝粉煤灰; 氧化铝; 碱溶法

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.01.004

中图分类号: TD989; TQ133.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 01-0016-06

随着我国电力工业发展对火电能源的长期依赖, 粉煤灰已成为了我国排放量最大的工业固废之一。粉煤灰是经电厂锅炉对煤粉燃烧后所产生的固体颗粒, 是一种有着潜在价值的人工火山灰^[1], 它的长期堆放不仅占用土地资源, 而且还会破坏土壤酸碱平衡, 污染水源, 对环境造成严重的污染。由于其本身具有火山灰特性且能够促进水泥制品的水硬胶凝活性和改善制品性能^[2], 因此被广泛的应用于水泥、砂浆、填充材料、混凝土以及绿色建材等领域^[3-5]。粉煤灰中富集着铝、铁、镁、钙等重要的金属资源, 而高铝粉煤灰中氧化铝的含量可高达 50%, 在品质上相当于中低品位的铝土矿^[6-9], 所以可以把高铝粉煤灰当做我国的一种非传统后备氧化铝资源。

中国是世界第一铝生产与消费大国, 目前氧化铝和电解铝的产量均超过世界的 50%, 但是我国铝土资源匮乏, 铝土矿总体品质较差^[10], 每年都需向国外大量进口铝土矿, 铝资源枯竭问题日益严峻。近几年随着国外对我国铝土资源出口的限制、国家对产铝企业规范化整顿以及铝业在生

活领域的不断扩大, 致使铝价一路飙升, 氧化铝市场出现供不应求的局面。与此同时, 位于我国内蒙古中西部以及山西北部地区富含着高铝煤炭共生矿产资源, 预计高铝粉煤灰中铝的蕴藏量高达 90 多亿 t, 可使我国铝资源保障年限延长 50 年至 60 年, 因此开发并改进高铝粉煤灰提取氧化铝技术既能降低我国对铝土矿进口的依赖度, 又能解决粉煤灰带来的环境污染问题, 从而丰富了我国粉煤灰高附加值利用的途径, 是保障我国氧化铝工业持续发展的重大课题。

1 高铝粉煤灰碱法提取氧化铝进展

高铝粉煤灰是一种氧化铝含量高于 38% 的粉煤灰, 其主要由莫来石、石英以及少数的磁铁矿等的结晶态矿物和无定型玻璃体、未燃尽的碳粒等非晶相矿物组成。而玻璃体的含量以及解聚能力对高粉煤灰的活性具有很大的影响, 因此如何破坏玻璃体结构使活性硅尽可能多的释放来增加铝的溶出率是粉煤灰提铝技术的关键点。由于粉煤灰在酸、碱介质中均能发生反应, 因此高铝粉

收稿日期: 2017-09-11; 改回日期: 2017-10-30

基金项目: 内蒙古自然科学基金(2017MS(LH)0521); 内蒙古高等学校科学研究项目(NJZY17174); 内蒙古科技大学创新基金(2016XYPYL01)

作者简介: 王腾飞(1992-), 男, 硕士研究生, 从事矿产资源综合利用研究方向。

通讯作者: 张金山(1959-), 男, 教授, 从事固体废弃物综合利用研究方向

煤灰的提铝工艺大致分为碱法、酸法和酸碱联合法。酸法提铝工艺主要包括硫酸浸取法、氟铵助溶法和硫酸铝铵法。此种工艺最大的好处在于粉煤灰中的 SiO_2 不进入酸液里, 高硅渣可做新型填充材料, 但是这种工艺耗酸量大、设备投入高、铝的溶出率差且在加热浓盐酸或浓硫酸过程会有腐蚀性气体逸出, 给环境和试验人员的健康造成威胁。神华集团郭昭华等^[11]在酸碱联合法的基础上研发了“一步酸溶法”提取氧化铝技术, 且在2017年1月神华集团氧化铝中试装置第七次试验运行取得圆满成功^[12], 因此, 这种酸法提铝工艺有望实现工业化应用。酸碱混合法制得的氧化铝纯度较高, 且粉煤灰中铝和硅的提取率很高; 但酸碱混合法的强酸、纯碱(或者苛性碱)消耗量过大, 且氯化铝(或硫酸铝)溶液中Fe、Ti等杂质的净化比较困难。文章着重对我国高铝粉煤灰的碱法提铝工艺进行综述。

1.1 拜耳法提取氧化铝工艺

拜耳法是碱法工艺中最为经典的一种, 通过苛性钠母液高压溶出循环处理→结晶种分→氢氧化铝煅烧等工序制来备氧化铝, 但此法成渣量大, 产生的赤泥会造成大量的铝、钠资源流失; 且工艺要求原料中氧化铝含量大于50%, 铝硅质量比(A/S)大于9^[13], 而我国高铝粉煤灰的A/S仅在1左右, 因此在我国此法主要适用于高品位铝土矿的提铝工艺中, 对于我国品位较差的铝土矿则采用拜耳烧碱联合法来提取氧化铝。

1.2 烧碱法提取氧化铝工艺

(1) 石灰石烧碱法

利用石灰石和氧化铝含量大于30%的高铝粉煤灰或高铝煤矸石在高温条件下烧碱提取氧化铝的方法最早是由波兰科学院士 Crzymk 提出, 该工艺产生的硅钙残渣还可用来生产水泥, 石灰石烧碱法是一种相对最为成熟的提铝技术。该工艺利用石灰或石灰石与高铝粉煤灰在1300~1400℃的高温范围内烧碱将粉煤灰中稳定相(如莫来石)内的铝和硅分别转变成可溶于碳酸钠溶液的铝酸

钙($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$)和不溶的硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), 而焙烧熟料中 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的晶型在650℃时由介态向稳态转化, 致使烧碱熟料的体积膨胀而自粉化^[14]。将粉状熟料在碳酸钠溶液中浸出从而实现粉煤灰中铝、硅的分离, 脱硅浸出液再经碳分、高温煅烧等工序便可制得氧化铝工业产品。

石灰石烧碱法的工艺流程简单, 对设备要求不高, 但是对能源和一次性资源的消耗巨大, 且氧化铝浸出率仅约75%左右^[15], 而产生的大量提铝残渣受水泥销售半径影响, 再次堆放会对环境造成二次污染。内蒙古蒙西集团在石灰石烧碱法的基础上进行改进, 运用石灰石烧碱新法(又称石灰石烧碱-低温拜耳法)于2006年建设年产40万t粉煤灰提铝并联产水泥的项目并于2014年建成投入试生产。

(2) 碱石灰烧碱法

碱石灰烧碱法是利用高铝粉煤灰、石灰石(石灰)与碳酸钠按比例混合在1200℃左右进行煅烧, 生成不溶性的钙硅酸盐和可溶性的铝酸盐, 烧碱熟料再经稀碱浸出、两段脱硅、碳分、高温煅烧等工艺后制得氧化铝产品。唐云等^[16]通过研究烧碱剂种类和用量、烧碱剂协同作用以及烧碱温度等因素对粉煤灰焙烧熟料浸出氧化铝的影响, 发现在较低煅烧温度时以氢氧化钠为烧碱剂效果最佳, 在750℃时 Al_2O_3 的溶出率达81.84%; 以氢氧化钠和氧化钙协同作用与粉煤灰在700℃低温煅烧下, 氧化铝的溶出率为76.2%, 这种提铝方法大大的降低了石灰的用量和烧碱过程中的能耗。为了提高烧碱熟料中氧化铝的溶出率, 赵建宇等^[17]提出微波助溶的新工艺, 该工艺利用微波辐射, 将电磁能转变为分子热能来提高反应体系活性, 从而促使硅铝键的断裂增加氧化铝的溶出率, 试验结果表明焙烧熟料经过两次不同频率的微波辐射后高纯氧化铝的提取率高达95%以上, 而且氧化铝溶出速率得到大幅提升并缩短了溶出反应进程, 但是微波辐射技术造价高且难以普及, 因此限制了其工业化生产。

碱石灰烧碱法与石灰石烧碱法相比, 降低

了烧结时的活化温度,有效地减少了烧结过程中的能耗和石灰的配入量,但是该法制得的氧化铝品质不稳定且仍会产生大量的提铝残渣。提铝残渣主要是源自粉煤灰中的氧化硅,为了进一步减少成渣量,大唐国际与清华同方共合作研发了预脱硅-碱石灰烧结法的提取氧化铝工艺,并于2012年建成并投产世界首条粉煤灰年产20万t氧化铝多联产示范生产线。由于粉煤灰非晶态玻璃体中的二氧化硅的含量占硅总量的一半以上且在碱环境下氧化硅从玻璃相中的溶出速率大于氧化铝,因此用一定浓度的苛性钠来解聚玻璃相,使其内的非晶态二氧化硅尽可能多的以硅酸钠的形式溶出从而达到预脱硅的目的。预脱硅后的粉煤灰A/S最高可提升至约2.0,将脱硅后的粉煤灰与石灰和纯碱按比例配制成生料再经碱石灰烧结法便可制得氧化铝产品。工艺流程见图1^[16]。

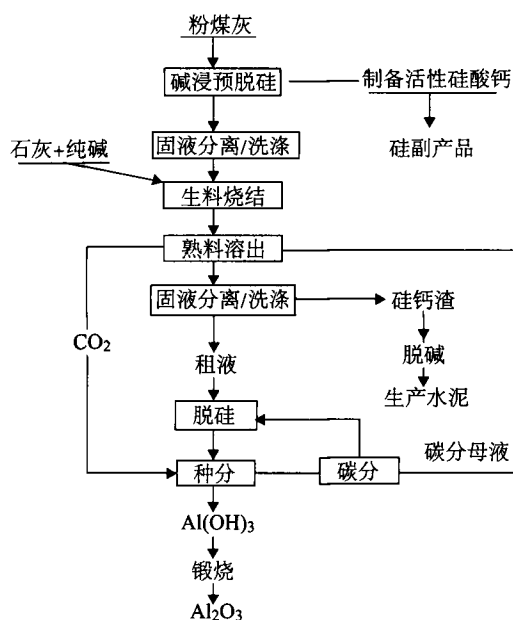
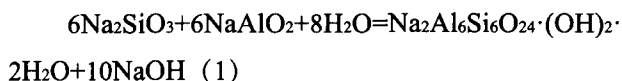


图1 预脱硅-烧结法提取氧化铝工艺流程

Fig. 1 Pre-desilicization and alkali lime sintering process for alumina extraction

值得注意的是,在粉煤灰预脱硅过程中由玻璃相解聚释放出的硅铝物质以硅酸钠和铝酸钠的形式溶于溶液,随着反应时间的延长和温度的升高,溶液体系中发生如下反应:



当反应达到平衡后 $\text{Na}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24} \cdot (\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (羟基方钠石) 反会抑制玻璃相中硅的继续溶出,因此在预脱硅反应中硅的溶出率仅在35%-40%之间^[18-21]。在烧结熟料浸出过程中,熟料中的部分 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 会与溶液中的 NaAlO_2 、 Na_2CO_3 、 NaOH 再次反应生成钠硅渣和水化石榴石等物质,致使溶液中的氧化铝和氧化钠一并析出,造成铝、钠资源的流失且提铝残渣碱性偏高难以被利用^[22]。预脱硅-碱石灰烧结法通过预脱硅处理提高了粉煤灰的铝硅比从而在烧结过程降低了能耗和物耗以及最终的成渣量。1t的粉煤灰约产生4t硅钙渣,与碱石灰烧结法相比渣量减少约40%,但硅钙渣的产量仍然巨大且呈高碱性,如果废渣处理不当就会给企业 and 环境带来严重负担。

杨静等^[23]研发了预脱硅-低钙烧结法,该工艺通过碱溶预脱硅处理粉煤灰→脱硅滤饼采用低钙烧结→水溶粗液→两段脱硅→碳分煅烧等工序制得了冶金级别氧化铝,氧化铝的提出率高达90%,预脱硅浸出液中的硅酸钠可用来联产针状石灰石、白炭黑和多孔氧化硅等多种工业副产品^[24-25],而1t粉煤灰仅产约0.72t硅钙渣,因此低钙烧结法提取氧化铝工艺具有广阔的应用前景。

1.3 碱溶法提取氧化铝工艺

由于拜耳法提取氧化铝工艺对提铝原料的A/S要求过于严苛,为了提取我国低品位的铝土矿和低A/S铝硅酸盐渣体内潜在的氧化铝资源,国内外的大量研究者对拜耳法进行改进并开发了碱溶法提取氧化铝工艺,碱溶法提取氧化铝工艺在我国的研究取得了较大进展,其中水热法和亚熔盐法最为常见。

具有低铝硅比的铝硅酸盐矿物在碱溶浸出硅的过程中(如粉煤灰预脱硅过程),溶液中存在着 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 平衡相区体系,该体系内的稳定矿相为羟基方钠石(或钙霞石),当向体系中引入氧化钙时溶液中的平衡体系就会发生移动,最终稳定矿相转化成水化钙石榴石 $(\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$ 。

$x(\text{O}_4\text{H}_4)_x$ 。这种以溶液中大量存在的 Fe 来替换水化钙石榴石中的 Al 为主要的提铝手段，为了增加 Al_2O_3 的溶出率而提高体系的碱浓度、苛性比 (Na_2O 与 Al_2O_3 的摩尔比) 和溶出温度等因素的方法称作水热法^[26]。Zhong 等^[27]认为采用水热法提取氧化铝时，需要提铝原料中 Fe 的含量达到 20% 以上才能满足最佳提铝效果，否则需要外加铁源，因此高铝粉煤灰和贫铁铝土矿均不适合此法提铝。在水热法的基础上进一步提高碱液的浓度，当液相苛性比大于 12 时引入氢氧化钙，溶液 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{H}_2\text{O}$ 体系会成为新的平衡相区，矿物材料中的硅经过反应生成不溶的硅酸钠钙 (NaCaHSiO_4) 并成为该体系最终的稳定矿相^[28]，而矿物材料中的铝则会以铝酸钠的形式溶于溶液，以这种实现铝、硅的分离的提铝方法称为亚熔盐法或高压水化学法。提铝残渣 NaCaHSiO_4 在高碱环境中能够稳定存在，但在稀碱环境下会分解为水化硅酸钙 (CSH) 和 NaOH ^[29]，这一分解过程称为脱碱 (钠的回收)，脱碱残渣又可用于在水泥和硅酸钙制品的生产中，因此亚熔盐法具有提取铝、回收钠的双重功效，可被广泛的应用于我国低品位铝土矿以及低铝硅比的铝硅酸盐渣体的氧化铝提取中。

亚钟莉^[30]以钠系亚熔盐为介质，在溶出温度为 210°C 、反应时间 4 h 的条件下提取拜耳法赤泥中的氧化铝，最终提取率高达 88% 且残渣中 A/S 仅为 0.16。苏双青^[31]利用两步碱溶法提取高铝粉煤灰中的氧化铝，氧化铝的溶出率为 88.5% 且产品品质符合国家一级标准，但是两步碱溶工艺的溶出液苛性比过高而无法直接使用碳分法制备氢氧化铝，必须要经降苛处理后才能进行后的续流程，因此该工艺由于流程过于复杂且降苛过程增加了成渣量而限制了其工业化应用。针对氧化铝提取液苛性比过高的问题，中国科学院过程工程研究所对氧化铝碱溶法提取工艺进行大量研究并提出两步碱水热法提铝工艺^[28, 32-34]，流程见图 2。

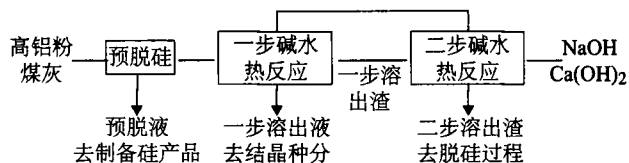


图 2 两步碱溶法提取氧化铝工艺^[32]

Fig. 2 Two-step alkaline dissolution process for alumina extraction

先通过稀碱对粉煤灰进行预脱硅处理使其 A/S 升到 1.82，再用第二步的碱水热反应液在 220°C ，反应时间 1 h 的条件下与预脱硅残渣发生第一步碱水热反应，最后利用第一步溶出渣配以一定比例的 NaOH 和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在溶出温度为 260°C 、液固比 1、反应时间 0.75 h 的条件下发生第二步碱水热法，将两步碱溶水热法耦合，得到 Al_2O_3 的最终总溶出率高达 95%，溶出液的苛性比至由原来的 11.5 降低至 7.2，实现了氧化铝的高效率提取。但该工艺仍需要进一步对耐腐蚀性设备的研发和全流程稳定运行时的物流平衡和水平衡等问题进行研究，因此两步碱水热法提铝工艺经完善和推广后将在氧化铝工业中具有极好的发展前景。

高铝粉煤灰的碱法提取氧化铝技术在我国的发展已经较为成熟，其中的碱溶法具有反应条件温和，能耗和一次性资源耗损低、氧化铝提取率高等优势，但同时存在着碱液在高温高压下对设备腐蚀性强、工艺流程不稳定和提铝碱液苛性比高等缺点，正是由于这些难题难以解决而限制了其大规模的产业化发展。

1.4 其他碱法提取工艺

(1) C-JSTK 技术

该技术的流程为：将粉煤灰与碳酸钠按比例配制成生料在 1300°C 的温度下烧结发生碱熔转化反应，后用冷水萃取烧结熟料制成粒径为 1~5 mm 的颗粒状粉体，再将萃取粉体经湿磨、制浆、过滤制成滤饼，在 50% 的烧碱溶液中往返进行三次的溶解、过滤、烘干操作，最后将所有的滤液混合稀释水解并通入碱融过程产生的 CO_2 ，经对提取液碳分处理后氧化铝和氧化硅的提取率分别高达 95% 和 90% 以上^[35]。该提铝技术在提取 Al_2O_3

过程中实现了清洁生产且联产 SO_2 、 CaCO_3 和 Na_2CO_3 等多种工业副产品,但是由于生产流程过于冗长繁杂而不适合产业化发展。

(2) 石灰石低温蒸压烧结法

赵鹏等^[36]先将粉煤灰与石灰按配比在反应釜中发生水热反应生成水合硅铝酸钙,再将反应渣体高温煅烧分解为硅酸二钙和七铝酸十二钙,最后将煅烧熟料在碳酸钠溶液中经过浸出、碳分、过滤等程序制得氧化铝产品。由于该工艺在整个生产过程中对能源的损耗和物料的消耗较大且氧化铝提取率不高而未能实现工业化生产。

2 结 论

(1) 利用高铝粉煤灰提取氧化铝技术是解决我国铝土资源紧缺、缓解铝业市场压力的有效途径,针对不同品质的高铝粉煤灰,可以采用多种碱法工艺相结合的方式提高氧化铝的回收率。

(2) 以攻克碱溶法提铝工艺中存在的难题为基础,加大科研力度研发一套设备投入小、氧化铝回收率高、粉煤灰适用范围广、工艺稳定性高、流程可控性强且废渣、废液环保易处理的新工艺是今后氧化铝提取技术发展的总方向。

(3) 国家应鼓励并扶持各大企业积极与广大科研院所合作共同研发低损耗低排放和高回收多联产的清洁生产工艺,并统筹兼顾煤炭企业、电力行业与产铝、建筑工业的联动生产,从而形成一个资源和能源高效清洁、可循环利用的产业链。

参考文献:

- [1] Lindon K. A. Sear. Properties and Use of Fly Ash - A Valuable Industrial By - Product, United Kingdom Quality Ash Association, 2001: 64- 65
- [2] 孙超. 矿渣-粉煤灰混合胶凝体系研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2006.
- [3] 要秉文, 梅世刚, 高振国, 等. 利用粉煤灰研制高贝利特硫铝酸盐水泥[J]. 水泥工程, 2006(1): 13-14.
- [4] 马鸿文, 杨静, 任玉峰, 等. 矿物聚合材料: 研究现状与发展前景[J]. 地学前缘, 2002, 9(3): 394-407.
- [5] Canpolat F, Yilmaz K, Kose M M, et al. Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production[J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34(5): 731-735.
- [6] 洪景南, 张战军, 豆卫博, 等. 冷却速度对粉煤灰生产氧化铝熟料溶出性能的影响[J]. 轻金属, 2013(1): 31- 35
- [7] 张战军. 从高铝粉煤灰中提取氧化铝等有用资源的研究[D]. 西安: 西北大学, 2007.
- [8] Dai S, Zhao L, Peng S, Chou C, Wang X, Zhang Y, Li D, Sun Y. Abundances and distribution of minerals and elements in high - alumina coal fly ash from the Jungar Power Plant, Inner Mongolia, China[J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 81(4): 320 -332.
- [9] Xu D, Li H, Bao W, Wang C. A new process of extracting alumina from high - alumina coal fly ash in $\text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ mixed solution[J]. Hydrometallurgy, 2016, 165: 336 - 344.
- [10] 李春风, 柳振江, 王建平, 等. 我国铝矿资源现状分析及可持续发展建议[J]. 中国矿业, 2014, 23(8): 5-10.
- [11] 郭昭华. 粉煤灰“一步酸溶法”提取氧化铝工艺技术及工业化发展研究[J]. 煤炭工程, 2015, 47(7): 5-8.
- [12] 李世春, 王永旺, 陈东, 等. 高铝粉煤灰提取氧化铝技术及其工业化进展[J]. 化工管理, 2017(16): 18-20.
- [13] 毕诗文, 于海燕, 杨毅宏, 等. 拜耳法生产氧化铝[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007, 12-15.
- [14] 蒋训雄. 高铝粉煤灰提取氧化铝技术现状与发展趋势[J]. 有色金属工程, 2017, 7(1): 30-35.
- [15] 赵喆, 孙培梅, 薛冰, 等. 石灰石烧结法从粉煤灰提取氧化铝的研究[J]. 金属材料与冶金工程, 2008, 36(2): 16-18.
- [16] 唐云, 陈福林, 刘安荣, 等. 燃煤电厂粉煤灰提取氧化铝研究[J]. 煤炭学报, 2009, 34(1): 105-110.
- [17] 赵剑宇, 田凯. 微波助溶法从粉煤灰中提取氧化铝新工艺研究[J]. 无机盐工业, 2005, 37(2): 47-49.
- [18] 薄春丽, 郑诗礼, 马淑花, 等. 高铝粉煤灰铝硅化合物在稀碱溶液中的浸出行为[J]. 过程工程学报, 2012, 12(4): 613-617.
- [19] 贺实月, 李会泉, 李少鹏, 等. 煤粉炉高铝粉煤灰碱溶脱硅反应动力学[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(7): 1888-1894.
- [20] 董菲, 许文强. 采用粉煤灰为原料生产氧化铝脱硅工艺及装备[J]. 有色矿冶, 2013, 29(3): 29-31
- [21] 公彦兵, 孙俊民, 张生, 等. 高铝粉煤灰预脱硅同步降低碱含量[J]. 有色金属: 冶炼部分, 2014(5): 21-25
- [22] 李小斌, 徐华军, 刘桂华, 等. 氧化铝熟料溶出过程中 SiO_2 的行为[J]. 过程工程学报, 2006, 6(3): 431-434.
- [23] 杨静, 蒋周青, 马鸿文, 等. 中国铝资源与高铝粉煤灰提取氧化铝研究进展[J]. 地学前缘, 2014, 21(5): 313-323.

- [24] 昊青薪材(北京)技术有限公司. 利用脱硅碱液合成针状硅灰石粉体工艺 [P]. 中国, 201010254879.4, 2010-12-15.
- [25] 李贺香, 马鸿文, 王芳, 等. 利用粉煤灰制备多孔氧化硅的试验 [J]. 现代地质, 2006, 20(3): 399-404.
- [26] 张然, 马淑花, 崔龙鹏, 等. 碱法回收铝硅酸盐废渣中氧化铝的研究进展 [J]. 过程工程学报, 2014, 14(3): 516-523.
- [27] Zhang R, Zheng S, Ma S, et al. Recovery of alumina and Alkali in Bayer Red Mud by the Formation of Andradite-grossular Hydrogarnet in Hydrothermal Process [J]. J. Hazard. Mater, 2011, 189(3): 827-835.
- [28] 回俊博. 高铝粉煤灰水热法提取氧化铝工艺的基础研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2016.
- [29] Zhang R, Ma S, Yang Q, et al. Research on NaCaHSiO_4 Decomposition in Sodium Hydroxide Solution [J]. Hydrometallurgy, 2011, 108(3): 205-213.
- [30] 钟莉, 张亦飞. 亚熔盐法回收赤泥 [J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(1): S70-S73.
- [31] 苏双青, 马鸿文, 邹丹, 等. 高铝粉煤灰碱溶法制备氢氧化铝的研究 [J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(6): 981-986.
- [32] Li H, Hui J, Wang C, Bao W, Sun Z. Removal of sodium (Na_2O) from alumina extracted coal fly ash by a mild hydrothermal process [J]. Hydrometallurgy, 2015, 153: 1-5.
- [33] 李会泉, 孙振华, 包炜军, 等. 一种利用高铝粉煤灰制备氢氧化铝的方法 [P]. 中国 CN103663516A, 2014-03-26.
- [34] 李会泉, 徐德华, 王晨烨, 等. 高铝粉煤灰两步碱水热法浸出氧化铝工艺研究 [J]. 轻金属, 2016(12): 5-10.
- [35] 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.
- [36] 赵鹏, 姚彩珍. 蒸压反应-低温煅烧提取粉煤灰中氧化铝的反应机理 [J]. 煤炭工程, 2009(5): 82-84.

Research progress of Extracting Alumina in Alkali Method from High- alumina Coal Fly Ash

Wang Tengfei, Zhang Jinshan, Li Xia, Li Yanxin, Xue Zemin

(Mining Engineering Institute of Inner Mongolia Science and Technology University, Baotou, Inner Mongolia, China)

Abstract: Extracting alumina from high- alumina coal fly ash not only relieves the resources shortage of alumina in China, but also effectively solves the environment pollution of fly ash. The paper summarizes several typical ways and research progress of alumina extraction from high-alumina coal fly ash in alkali method, and evaluates the merits and defects of these process flows in detail, which finds that process of alkali fusion method is very promising, however, it is still difficult to achieve Industrialization due to the technical bottlenecks. In the end, the future development trend of new process of extracting alumina from fly ash was put forward.

Keywords: High- alumina coal fly ash; Alumina; Alkali fusion method

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告