



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104445313 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 25

(21) 申请号 201410602100. 1

(22) 申请日 2014. 10. 30

(71) 申请人 北京矿冶研究总院

地址 100160 北京市丰台区南四环西路 188 号总部基地十八区 23 号楼

(72) 发明人 蒋开喜 蒋训雄 汪胜东 范艳青 李达

(74) 专利代理机构 北京蓝智辉煌知识产权代理 事务所(普通合伙) 11345

代理人 陈红 杜秀科

(51) Int. Cl.

C01F 7/02(2006. 01)

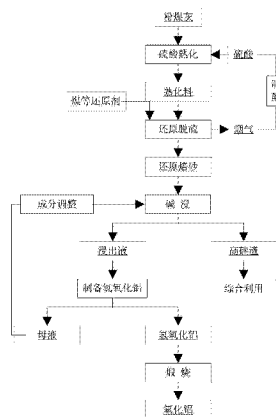
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法。将粉煤灰与适量浓硫酸混合均匀、熟化后,利用粉煤灰中的残炭和适量补充还原剂,进行高温快速还原焙烧脱硫,含硫烟气通过制酸实现硫酸再生循环利用,还原焙砂采用碱浸法生产氧化铝。本发明的方法综合了粉煤灰酸法与碱法提取氧化铝的优点,并有效规避了二者的缺点。无常规酸法工艺中高耗能的蒸发结晶铝盐和铝盐结晶水分解过程,节约了大量能耗;相比常规碱法工艺,无需高耗能的烧结过程,且渣量低并可作为硅原料再利用,废弃物产出很少,实现真正的减量化绿色清洁生产;氧化铝产品质量好,回收率高,能耗低,设备腐蚀小,易于实现大规模工业化。



1. 一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于,包括以下步骤:
 - (1) 硫酸熟化:将粉煤灰与硫酸按一定比例混合均匀后进行熟化,得到硫酸熟化料;
 - (2) 还原焙烧:将上述步骤(1)得到的硫酸熟化料与适量补充还原剂一起在一定温度下进行还原焙烧,得到焙砂和含硫烟气,含硫烟气收集后制酸返回步骤(1)循环使用;
 - (3) 焙砂碱浸:将上述步骤(2)得到的焙砂用含氢氧化钠的溶液进行碱浸,浸出完成后液固分离得到铝酸钠溶液和富硅渣;
 - (4) 制备氧化铝:将上述步骤(3)所得到的铝酸钠溶液经种分或碳分制备氢氧化铝,然后固液分离得到氢氧化铝和母液,母液返回步骤(3)循环使用,氢氧化铝经煅烧生产氧化铝。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其步骤(1)中硫酸加入量为所述粉煤灰质量的1-2.5倍,优选1.1-1.5倍,硫酸的浓度 $\geq 85\%$ 。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其步骤(1)中熟化温度100-500 $^{\circ}\text{C}$,优选150-350 $^{\circ}\text{C}$,熟化时间1-48h,优选2-8h。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其步骤(2)中的补充还原剂为煤粉、煤矸石粉、煤气、天然气、硫磺或石油焦等低值含碳燃料中的一种或一种以上的混合物,补充还原剂的配入量根据粉煤灰中的氧化铝含量及粉煤灰中的残炭量调节。
5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,其步骤(2)中的补充还原剂为煤粉,煤粉的配入比为所述硫酸熟化料质量的0-30%,配入比根据粉煤灰中的氧化铝含量及粉煤灰中的残炭量调节。
6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其步骤(2)中还原焙烧温度500-900 $^{\circ}\text{C}$,优选650-800 $^{\circ}\text{C}$,还原焙烧时间0.1-60min,优选0.1-15min。
7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其步骤(2)中所述的还原焙烧为快速流态化焙烧,焙烧炉为循环流态化焙烧炉、气态悬浮焙烧炉或流态闪速焙烧炉中的一种。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其步骤(3)所述的碱浸为常压碱浸、加压碱浸或拜耳法溶出中的一种。
9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,其步骤(3)所述的碱浸,其碱浸条件为:溶出温度80-250 $^{\circ}\text{C}$,碱浓度30-220g/L,浸出时间20-80min,配料分子比 $\alpha_k 0.8-2.0$,石灰添加量0-15%。
10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,当其步骤(4)中所述的母液中含有镓时,定期抽出部分母液采用碳化沉淀、离子交换或溶剂萃取法回收镓。

一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法

技术领域

[0001] 本发明属于粉煤灰的综合利用,具体是涉及一种从粉煤灰中提取氧化铝的方法,尤其是采用酸碱联合工艺提取氧化铝。

背景技术

[0002] 随着现代化工业的快速发展,资源匮乏日趋成为摆在人们面前的主要社会问题之一。生产氧化铝的原料主要是铝土矿,传统的冶炼方法是碱法生产氧化铝,矿石中的氧化硅是碱法生产中的主要有害元素,要求铝土矿中铝硅比 A/S(矿石中 Al_2O_3 与 SiO_2 的质量比值)大于 3。碱法分为拜耳法、烧结法和联合法,其中拜耳法适于处理含 Al_2O_3 高、 SiO_2 低的富矿,一般要求 $\text{Al}_2\text{O}_3 > 65\%$, $\text{A/S} > 7$,世界上 90% 以上的氧化铝由拜耳法生产;烧结法适合处理 A/S 为 3~5 的原料;联合法适合处理 A/S 为 5~7 的原料。但随着铝消费量的增加,矿石开采量增加,铝土矿资源逐年减少,矿石铝品位不断下降,开采成本不断提高,从某些高硅低铝的非传统氧化铝原料中提取氧化铝受到重视,特别是从粉煤灰中提取氧化铝不仅可以拓展氧化铝来源,同时可以解决粉煤灰堆存产生的环境问题。

[0003] 中国是煤炭生产和消费大国,煤炭产量及消费均已达到 37 亿吨左右,其中一半以上用于火力发电,燃烧过程产生大量粉煤灰,产出的粉煤灰除少部分用于水泥建材生产原料而得到部分利用外,大部分堆存,不仅占用大量土地资源,而且对环境污染严重。我国粉煤灰富含铝,氧化铝平均含量 27%,华东、华北地区粉煤灰的氧化铝含量普遍超过 30%,部分地区的粉煤灰中铝含量更是高达 40-60%,是一种十分重要的潜在铝土矿接替资源。根据粉煤灰的组成不同,可以用来制取白炭黑、氧化铝、铁矿粉、镓、锗等产品,形成新的循环经济产业链,其中最重要的产品是氧化铝。

[0004] 由于粉煤灰中的铝硅比很低,且无法选矿富集,传统处理铝土矿的氧化铝生产工艺难以移植来处理粉煤灰,需要研究开发适合粉煤灰铝资源特点的工艺技术,目前国内外研究开发的粉煤灰提取氧化铝方法大致分为碱法和酸法两大类。

[0005] 碱法包括直接烧结法和预脱硅-烧结法等。直接烧结法类似于铝土矿烧结法生产氧化铝工艺,包括烧结、熟料自粉化、浸出、碳分、煅烧等主要工序,如 CN 1644506A 公开的利用粉煤灰和石灰石联合生产氧化铝和水泥的方法,将粉煤灰与石灰石粉按一定比例混合磨矿后干法烧结,然后用碱溶出熟料提取氧化铝,浸出渣用于生产水泥。由于粉煤灰含硅高,直接烧结需要配入大量石灰石粉,粉煤灰与石灰石粉质量配比达 30:70。由于直接烧结法大量添加石灰或石灰石粉,浸出时会产生大量硅钙渣,每生产 1 吨氧化铝要产生 8-10 吨左右的硅钙渣,如果周边没有足够的建材市场消纳能力,势必会造成新的、堆放量更大且为强碱性的废弃物排放,形成更加难处理的固废环境问题,同时由于高温烧结的物料量大,导致烧结能耗高。

[0006] 对粉煤灰进行碱浸预脱硅处理可以减少烧结物料量,从而降低烧结能耗和减少浸出渣量,同时预脱硅得到的含硅溶液可以生产白炭黑、硅灰石等高值硅产品。如 CN101284668A 公开的一种从高铝粉煤灰中提取二氧化硅、氧化铝及氧化镓的方法,将高铝

粉煤灰与氢氧化钠溶液在高压反应釜内进行加压浸出,使部分硅溶出,含硅浸出液用于生产白炭黑,预脱硅后的粉煤灰与石灰石粉、碳酸钠溶液混合后烧结,然后浸出铝。为了进一步提高预脱硅的硅脱除率,CN100491247C 公开的一种利用粉煤灰生产二氧化硅和氧化铝的方法,在用氢氧化钠溶液浸出预脱硅前对粉煤灰进行预焙烧,或用硫酸或氢氧化钠溶液进行浸泡,以便提高粉煤灰中硅的溶出活性,从而提高硅的预脱除率。采用预脱硅技术可以提高粉煤灰的铝硅比,降低烧结量,从而降低氧化铝生产能耗,并副产白炭黑、硅灰石等硅产品,但对于大规模的粉煤灰综合利用,巨大的白炭黑、硅灰石产品面临的市场销售与竞争压力非常大。

[0007] 酸法主要包括硫酸法和盐酸法,通常是将一定浓度的硫酸或盐酸与粉煤灰在加热条件搅拌浸出,所得溶液加碱反应生成氢氧化铝沉淀,过滤得氢氧化铝。由于粉煤灰中氧化铝的活性差,一般酸浸的氧化铝提取率较低,需要采用焙烧活化、浓酸浸出等强化措施。CN1792802A 公开的一种从粉煤灰中提取氧化铝的方法,其工艺过程是将研磨至 200 ~ 400 目的粉煤灰,先在 300 ~ 760℃ 下焙烧活化 1 ~ 1.5h,然后于 160 ~ 300℃ 下用 60 ~ 98% 浓度的硫酸浸出,浸出好的矿浆过滤以分离余酸,余酸返回浸出循环,再用水从滤渣中浸出铝,然后经浓缩结晶、干燥脱水、焙解,得到 γ -Al₂O₃,采用该方法,铝的浸出回收率可达 85%,但该方法工艺复杂,不仅需要预焙烧活化,而且浸出在高温浓酸条件下进行,能耗高,大量酸在系统内进行无效循环,浸出、过滤、物料输送设备的材质难解决,操作困难。CN1923695A 公开的一种由粉煤灰制取氧化铝的方法,先将粉煤灰细磨并于 200-760℃ 焙烧活化,再与适量浓硫酸拌合均匀后在 200-400℃ 下烧成,然后水浸提取氧化铝,同样可以获得较高的铝浸出率。CN100413981C 公开了一种从高硅含铝矿物原料中酸法提取铝的方法,将粉煤灰与浓硫酸混合后进行焙烧,然后经水浸、浓缩结晶、煅烧生产氧化铝。CN101811711A 公开了一种采用盐酸浸出由粉煤灰中提取氧化铝的方法,其过程是将粉煤灰与盐酸混合后于 140-160℃ 下浸出铝,然后固液分离、浓缩结晶、氯化铝煅烧得到活性初氧化铝,由初氧化铝经拜耳法处理生产氧化铝。为了直接得到合格的氧化铝,CN103803617A 公开的一种粉煤灰酸法生产氧化铝的方法中,对粉煤灰进行了磁选预脱铁,并对盐酸浸出获得的浸出液采用树脂吸附除杂,从而在结晶时析出较纯的氯化铝结晶,氯化铝结晶煅烧直接获得合格的氧化铝产品,从而缩短了氧化铝生产流程。酸法处理氧化铝由于不需要添加造渣剂,提取氧化铝后的残渣量少,符合减量化综合利用工业固废的要求,且可以获得较高的氧化铝回收率。但由于酸法处理产出的浸出液需要浓缩结晶,且得到铝中间产物含结晶水较高,后续脱水能耗高,导致酸法氧化铝的总能耗高。同时由于酸法处理的浸出选择性差,铁、钙、镁、钛等杂质大量溶出,浓缩结晶产出的铝盐纯度不高,后续需进一步拜耳法处理,虽然采用粉煤灰原灰磁选预脱铁和酸浸液化学净化可以提高产品纯度,但成本高。

[0008] 除上述碱法、酸法外,还有硫酸铵焙烧法、氟化助剂浸出法等。如 CN102344155A 公开的利用粉煤灰制备氧化铝的方法,用硫酸铵与粉煤灰混合后焙烧,烧成料经水浸、氨中和沉淀氢氧化铝,沉铝后液浓缩结晶硫酸铵返回焙烧循环使用,实现了氨的循环。虽然与酸法相比,浸出选择性有提高,但要获得合格的氧化铝产品仍需要增加深度净化工序,且生产过程氨的环保问题有待解决。

发明内容

[0009] 本发明的目的是为了克服现有粉煤灰提取氧化铝技术中的不足,提供一种采用酸碱联合法从粉煤灰中提取氧化铝的方法,目的是通过酸碱联合工艺,解决粉煤灰酸法处理工艺中铝盐浓缩结晶与热解能耗高、氧化铝产品纯度低的问题,同时避开粉煤灰碱法处理烧结物料量大、能耗高、浸出渣量大等缺陷。

[0010] 为实现上述发明目的,本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法包括下述步骤:

[0011] (1) 硫酸熟化:将粉煤灰与浓硫酸按一定比例混合均匀后进行熟化,得到硫酸熟化料;

[0012] (2) 还原焙烧:将上述步骤(1)得到的硫酸熟化料与适量补充还原剂一起在一定温度下进行还原焙烧,得到焙砂和含硫烟气,含硫烟气收集后制酸返回步骤(1)循环使用;

[0013] (3) 焙砂碱浸:将上述步骤(2)得到的焙砂用含氢氧化钠的溶液进行碱浸,浸出完成后液固分离得到铝酸钠溶液和富硅渣。

[0014] (4) 制备氧化铝:将上述步骤(3)所得到的铝酸钠溶液经种分或碳分制备氢氧化铝,然后固液分离得到氢氧化铝和母液,母液返回步骤(3)循环使用,氢氧化铝经煅烧生产氧化铝。

[0015] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(1)中硫酸熟化中,硫酸加入量为所述粉煤灰质量的1-2.5倍,优选1.1-1.5倍,硫酸的浓度 $\geq 85\%$ 。

[0016] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(1)中硫酸熟化,其熟化温度100-500 $^{\circ}\text{C}$,优选150-350 $^{\circ}\text{C}$,熟化时间1-48h,优选2-8h。

[0017] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(2)中的补充还原剂为煤粉、煤矸石粉、煤气、天然气、硫磺或石油焦等低值含碳燃料中的一种或一种以上的混合物,补充还原剂的配入量根据粉煤灰中的氧化铝含量及粉煤灰中的残炭量调节。

[0018] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(2)中的补充还原剂为煤粉,煤粉的配入比为所述硫酸熟化料质量的0-30%,配入比根据粉煤灰中的氧化铝含量及粉煤灰中的残炭量调节。

[0019] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(2)中还原焙烧温度500-900 $^{\circ}\text{C}$,优选650-800 $^{\circ}\text{C}$,还原焙烧时间0.1-60min,优选0.1-15min。

[0020] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(2)中所述的还原焙烧为快速流态化焙烧,焙烧炉为循环流态化焙烧炉、气态悬浮焙烧炉或流态闪速焙烧炉中的一种。

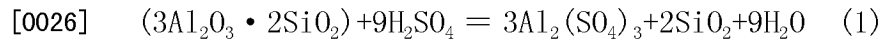
[0021] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(3)所述的碱浸为常压碱浸、加压碱浸或拜耳法溶出中的一种。

[0022] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(3)所述的碱浸,其碱浸条件为:溶出温度80-250 $^{\circ}\text{C}$,碱浓度30-220g/L,浸出时间20-80min,配料分子比 α_k 0.8-2.0,石灰添加量0-15%。

[0023] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(4)所述的制备氧化铝当采用碳分制备氧化铝时,母液经过苛化处理循环。

[0024] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,其特征在于其步骤(4)所述的母液,当母液中含有镓时,定期抽出部分母液采用碳化沉淀、离子交换或溶剂萃取法回收镓。

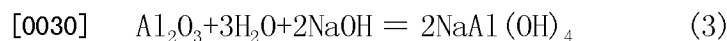
[0025] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,所述的硫酸化熟化,是利用浓硫酸的高温反应活性,和粉煤灰的主要物相莫来石发生反应,生成硫酸铝物相,发生反应如下式(1),从而破坏粉煤灰中矿物结构,使铝矿物与硅矿物解离。



[0027] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,所述的还原焙烧,是将粉煤灰硫酸熟化料直接用还原剂进行还原焙烧,避免了酸法处理粉煤灰中高耗能的浓缩结晶硫酸铝和结晶硫酸铝脱水与焙烧分解作业,同时,因采用快速中温焙烧,焙砂中氧化铝的浸出活性高,煤粉还原焙烧的反应如式(2)。在还原焙烧过程中,可充分利用粉煤灰中的残炭做还原剂,当残炭不足时,可以适量补充还原剂。



[0029] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,所述的焙砂碱浸,因所述还原焙烧得到的焙砂中氧化铝浸出活性好,可以在较低温度和碱度条件下浸出,在保证较高的铝浸出率前提下,可以抑制硅的溶出。焙砂碱浸反应如下式(3)。



[0031] 本发明的一种从粉煤灰中酸碱联合提取氧化铝的方法,利用浓硫酸高温反应强化了粉煤灰中主要物相莫来石的分解,与传统酸法不同,不直接进行硫酸铝的浸出,而是利用还原剂实现硫酸熟化料的脱硫分解,并保证氧化铝的活性,脱硫产生的烟气通过制酸实现主要试剂硫酸的再生。同时脱硫焙砂中氧化铝具有活性,可以实现低温低碱拜耳法溶出,进行常规氧化铝产品制备。

[0032] 解决了传统酸法处理粉煤灰中浸出选择性差,溶液净化困难的难题,无需传统硫酸法中的浓缩结晶硫酸铝、硫酸铝脱水等高耗能过程。与传统碱法处理粉煤灰工艺相比,避免了高耗能的烧结工序,无需添加石灰石粉、石灰等造渣剂,浸出渣量大幅减少。

附图说明

[0033] 附图为本发明的方法的原则流程图。

具体实施方式

[0034] 以下结合附图对本发明做出进一步说明。

[0035] 将粉煤灰与硫酸按一定比例混合,硫酸加入量为所述粉煤灰质量的1-2.5倍,优选1.1-1.5倍,硫酸的浓度 $\geq 85\%$,熟化温度100-500 $^{\circ}C$,熟化时间1-48h。

[0036] 将硫酸熟化料与还原剂一起进行还原焙烧,还原剂煤粉的配入比为所述硫酸熟化料质量的0-30%,还原焙烧焙烧温度500-900 $^{\circ}C$,焙烧时间0.1-60min。还原焙烧产出的含硫烟气收集制取硫酸,实现硫酸的再生循环利用。

[0037] 将还原焙砂用含氢氧化钠的溶液进行浸出,碱浸温度80-250 $^{\circ}C$,碱浓度30-220g/L,浸出时间20-80min,配料分子比 α_k 0.8-2.0,石灰添加量0-15%。碱浸矿浆固液分离后得到的铝酸钠溶液经种分或碳分制备氢氧化铝,种分母液或碳分母液苛化处理循环使用。

低温低碱拜耳法的溶出渣可以直接作为建筑制品的硅质原料。

[0038] 以下用非限定性实施例对本发明的方法作进一步的说明,以有助于理解本发明的内容及其优点,而不作为对本发明保护范围的限定,本发明的保护范围由权利要求书决定。

[0039] 本发明适用不同化学成分的粉煤灰。下表是本发明试验所采用的粉煤灰主要成分。

[0040]

主要成分	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SiO ₂
含量(%)	48.15	3.9	1.79	0.36	0.24	0.11	32.64

[0041] 实施例 1

[0042] 将粉煤灰与硫酸混合,硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 1.5 倍,使用的硫酸浓度为 90%,混合均匀后,在熟化温度 200℃,熟化时间 8h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料按煤比 8% 混合均匀,在温度 750℃ 进行快速还原焙烧,焙烧时间 5min。

[0043] 对还原焙砂进行碱浸,溶出条件为:溶出温度 100℃,碱浓度 50g/L,配料分子比 α_k 0.9,时间 60min,石灰添加量 0%。此时,铝的实际溶出率 83%,对溶出液进行种分,得到氢氧化铝产品,煅烧后制备冶金级氧化铝产品,种分母液返回焙砂溶出。

[0044] 实施例 2

[0045] 将粉煤灰与硫酸混合,硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 2.2 倍,使用的硫酸浓度为 93%,混合均匀后,在熟化温度 320℃,熟化时间 8h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料按煤比 15% 与煤粉混合均匀,在温度 800℃ 进行快速还原焙烧,焙烧时间 10min。

[0046] 对还原焙砂进行碱浸,溶出条件为:溶出温度 90℃,碱浓度 70g/L,配料分子比 α_k 1.2,时间 40min,石灰添加量 2%。此时,铝的实际溶出率在 92%,对溶出液进行种分,得到氢氧化铝产品,煅烧后制备冶金级氧化铝产品,种分母液返回配料溶出新矿。

[0047] 实施例 3

[0048] 将粉煤灰与硫酸混合,硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 1.8 倍,使用的硫酸浓度为 93%,混合均匀后,在熟化温度 380℃,熟化时间 4h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料在流态化焙烧炉中通入煤气,在温度 750℃ 进行快速还原焙烧,焙烧时间 1min。

[0049] 对还原焙砂进行碱浸,溶出条件为:溶出温度 150℃,碱浓度 50g/L,配料分子比 α_k 0.9,时间 60min,石灰添加量 0%。此时,铝的实际溶出率在 85%,对溶出液进行种分,得到氢氧化铝产品,煅烧后制备冶金级氧化铝产品,种分母液返回配料溶出新矿。

[0050] 实施例 4

[0051] 将粉煤灰与硫酸混合,硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 2.0 倍,使用的硫酸浓度为 93%,混合均匀后,在熟化温度 250℃,熟化时间 24h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料在流态化焙烧炉中通入天然气,在温度 850℃ 进行快速还原焙烧,焙烧时间 2min。

[0052] 对还原焙砂进行碱浸,溶出条件为:溶出温度 120℃,碱浓度 160g/L,配料分子比 α_k 1.8,时间 30min,石灰添加量 8%。此时,铝的实际溶出率在 90%,对溶出液进行种分,得到氢氧化铝产品,煅烧后制备冶金级氧化铝产品,种分母液返回配料溶出新矿。

[0053] 实施例 5

[0054] 将粉煤灰与硫酸混合,硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 1.2 倍,使用的硫酸浓度

为 90%，混合均匀后，在熟化温度 400℃，熟化时间 2h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料按煤比 12% 混合均匀，在温度 600℃ 进行快速还原焙烧，焙烧时间 15min。

[0055] 对还原焙砂进行碱浸，溶出条件为：溶出温度 100℃，碱浓度 200g/L，配料分子比 $\alpha_k 1.9$ ，时间 60min，石灰添加量 3%。此时，铝的实际溶出率在 77%，对溶出液进行种分，得到氢氧化铝产品，煅烧后制备冶金级氧化铝产品，种分母液返回配料溶出新矿。

[0056] 实施例 6

[0057] 将粉煤灰与硫酸混合，硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 1.5 倍，使用的硫酸浓度为 90%，混合均匀后，在熟化温度 200℃，熟化时间 8h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料按煤比 8% 混合均匀，在温度 900℃ 进行还原焙烧，焙烧时间 0.1min。

[0058] 对还原焙砂进行碱浸，溶出条件为：溶出温度 100℃，碱浓度 50g/L，配料分子比 $\alpha_k 0.9$ ，时间 60min，石灰添加量 0%。此时，铝的实际溶出率 84%，对溶出液进行种分，得到氢氧化铝产品，煅烧后制备冶金级氧化铝产品，种分母液返回焙砂溶出。

[0059] 实施例 7

[0060] 将粉煤灰与硫酸混合，硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 1.8 倍，使用的硫酸浓度为 90%，混合均匀后，在熟化温度 200℃，熟化时间 8h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料按煤比 8% 混合均匀，在温度 550℃ 进行快速还原焙烧，焙烧时间 60min。

[0061] 对还原焙砂进行碱浸，溶出条件为：溶出温度 100℃，碱浓度 50g/L，配料分子比 $\alpha_k 0.9$ ，时间 60min，石灰添加量 0%。此时，铝的实际溶出率 90%，对溶出液进行种分，得到氢氧化铝产品，煅烧后制备冶金级氧化铝产品，种分母液返回焙砂溶出。

[0062] 实施例 8

[0063] 将粉煤灰与硫酸混合，硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 1.8 倍，使用的硫酸浓度为 93%，混合均匀后，在熟化温度 230℃，熟化时间 12h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料按煤比 12% 混合均匀，在温度 650℃ 进行快速还原焙烧，焙烧时间 7min。

[0064] 对还原焙砂进行碱浸，溶出条件为：溶出温度 90℃，碱浓度 50g/L，配料分子比 $\alpha_k 1.4$ ，时间 120min，石灰添加量 0%。此时，铝的实际溶出率在 92%，对溶出液进行碳分，得到氢氧化铝产品，煅烧后制备冶金级氧化铝产品，碳分母液二次碳化沉淀富集镓，镓沉淀率 85%。

[0065] 实施例 9

[0066] 将粉煤灰与硫酸混合，硫酸加入量为所述粉煤灰质量的 1.8 倍，使用的硫酸浓度为 93%，混合均匀后，在熟化温度 320℃，熟化时间 4h 条件下得到硫酸熟化料。硫酸熟化料按煤比 15% 混合均匀，在温度 700℃ 进行快速还原焙烧，焙烧时间 10min。

[0067] 对还原焙砂进行碱浸，溶出条件为：溶出温度 95℃，碱浓度 100g/L，配料分子比 $\alpha_k 1.0$ ，时间 80min，石灰添加量 1%。此时，铝的实际溶出率在 93%，对溶出液进行种分，得到氢氧化铝产品，煅烧后制备冶金级氧化铝产品。种分母液采用酰胺树脂吸附镓，镓吸附率 85%。

