



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103708479 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201310747243. 7

(22) 申请日 2013. 12. 30

(71) 申请人 大唐国际发电股份有限公司高铝煤
炭资源开发利用研发中心

地址 010050 内蒙古自治区呼和浩特市新城
区迎宾北路 7 号大唐金座

(72) 发明人 公彦兵 张战军 杨会宾

(74) 专利代理机构 北京华沛德权律师事务所
11302

代理人 刘杰

(51) Int. Cl.

C01B 33/24 (2006. 01)

C01F 7/06 (2006. 01)

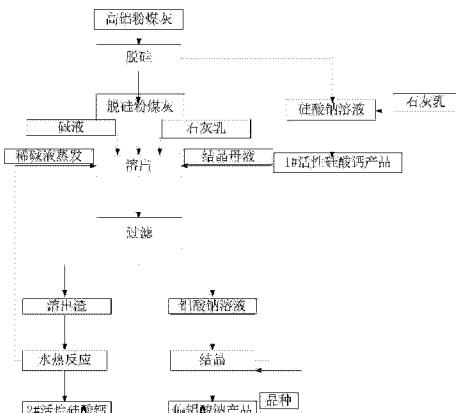
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的
方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用粉煤灰同时制备偏铝酸
钠和活性硅酸钙的方法,为全湿法碱性体系粉煤
灰提取氧化铝及硅资源的工艺,包含了预脱硅、氧
化铝出、制备偏铝酸钠和活性硅酸钙等步骤,既避
免了烧结法工艺的高能耗,又避免了酸法工艺的
强腐蚀性。本发明供的用粉煤灰同时制备偏铝酸
钠和活性硅酸钙的方法,预脱硅反应活性硅溶出
率达到 95% 以上,氧化铝溶出率达到 91% 以上。



1. 用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法,其特征在于,包含:

预脱硅:将所述粉煤灰与氢氧化钠溶液混合反应,其中所述粉煤灰与氢氧化钠溶液质量比为1:2-1:4,反应完毕后过滤分离,得到脱硅灰和硅酸钠溶液;

制备活性硅酸钙一:将所述硅酸钠溶液添加石灰乳反应,反应完毕后过滤得到所述活性硅酸钙一和氢氧化钠溶液;

溶出氧化铝:将所述脱硅灰添加石灰乳、氢氧化钠溶液混合并反应,反应料浆蒸发过滤分离后得到偏铝酸钠溶液和提铝残渣;

制备偏铝酸钠:向所述偏铝酸钠溶液添加水和偏铝酸钠晶种进行析晶反应,得到所述偏铝酸钠的晶体和析晶母液,析晶母液蒸发补碱后用于所述溶出氧化铝。

2. 如权利要求1所述用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法,其特征在于,所述预脱硅还包含:

氢氧化钠溶液的质量百分浓度为5%-13.5%,所述预脱硅的反应温度为60℃-100℃。

3. 如权利要求1所述用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法,其特征在于,所述制备活性硅酸钙一还包含:

石灰乳有效氧化钙浓度为175-185g/L,所述有效氧化钙与所述硅酸钠溶液中硅酸钠的摩尔比为0.9-1.2,反应温度为80℃-100℃。

4. 如权利要求1所述用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法,其特征在于,所述溶出氧化铝还包含:

石灰乳中氧化钙与所述脱硅灰中二氧化硅摩尔数比例为0.8-1.2,氢氧化钠溶液质量浓度为25%-45%,反应温度为200℃-280℃,反应压力为0.5Mpa-3Mpa。

5. 如权利要求1所述用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法,其特征在于,所述制备偏铝酸钠还包含:

所述偏铝酸钠晶种的添加量与所述偏铝酸钠溶液中偏铝酸钠含量的质量比值0.5-2,所述析晶反应的初始温度为70℃-65℃,终极温度为50℃-40℃,降温速率为0.3℃-1℃/h,析晶时间为20h-60h。

6. 如权利要求1所述用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法,其特征在于,还包含:

向所述提铝残渣添加稀碱液进行水热反应,过滤分离后得到回收碱液和硅酸钙滤饼,所述硅酸钙滤饼经过洗涤后得到活性硅酸钙二;

所述稀碱液中氢氧化钠质量浓度为3%-8%,反应质量液固比为3:1-6:1,所述水热反应的反应时长为1h-6h。

用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及高铝粉煤灰高值化利用其中氧化铝和氧化硅的技术领域，特别涉及一种高铝粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法。

背景技术

[0002] 氧化铝是生产铝锭的主要原材料。世界上 95% 以上的氧化铝是通过铝土矿生产的。我国是世界最大的氧化铝生产国，目前每年氧化铝产量超过 3000 万吨。但同时我国铝土矿资源相对匮乏，铝土矿储量仅占世界总储量的 7% 左右，且多为难处理的一水硬铝石矿，加上近年国外优质品位铝土矿的限购政策，资源问题已经成为我国氧化铝工业可持续发展的瓶颈。

[0003] 我国内蒙古中西部和山西北部等地区的煤炭发电后产生的高铝粉煤灰储量丰富，仅内蒙古准格尔煤田潜在的高铝粉煤灰资源蕴藏量就达 150 亿吨，相当于我国目前铝土矿保有储量的 8 倍以上，并且部分高铝粉煤灰中氧化铝含量可达到 40%-50%。近几年来，我国各大院校和科研单位积极开展了高铝粉煤灰提取氧化铝新工艺研究，主要工艺方法为：预脱硅-碱石灰烧结法、一步酸溶法、硫酸铵烧结-拜耳法、石灰石烧结-低温拜耳法等，其中酸法因存在对设备材质腐蚀严重、产品杂质含量较高难以生产冶金级氧化铝等问题难以实现大规模工业化生产，硫酸铵烧结法存在渣相流量大、氨气回收利用难等缺点也没有产业化实例，石灰石烧结法与碱石灰石烧结法类似，但其渣量更大、能耗更高，并且回收率较碱石灰石烧结法稍低，而预脱硅-碱石灰烧结法是目前唯一实现工业化生产并取得成功的工艺方法，但仍存在流程较长、烧结能耗较高的问题。

[0004] 因此如何提供一种新的粉煤灰综合利用工艺，综合利用其中的氧化铝和氧化硅，制备高附加值铝产品和硅产品，并且采用全湿法流程，避免因烧结产生的高能耗，降低成本是目前亟待解决的。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是提供一种用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法，解决了现有的高铝粉煤灰开发工艺存在的高能耗、高成本的问题。

[0006] 为解决上述技术问题，本发明提供了一种用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法，包含：

[0007] 预脱硅反应：将高铝粉煤灰与氢氧化钠溶液混合加入常压溶出罐中加热进行反应，其中高铝粉煤灰与氢氧化钠溶液质量比为 1:2-1:4，反应完毕后过滤分离，得到脱硅灰和硅酸钠溶液；

[0008] 其中，预脱硅反应中氢氧化钠溶液的质量百分浓度为 5%-13.5%，反应的温度为 60℃ -100℃。

[0009] 活性硅酸钙一制备：向预脱硅反应得到的硅酸钠溶液添加石灰乳反应，反应完毕后过滤得到活性硅酸钙一产品和氢氧化钠溶液，活性硅酸钙一产品可用于造纸填料和制备

硅酸钙板等建材,氢氧化钠溶液蒸发补碱后重新用于预脱硅反应;

[0010] 其中,制备活性硅酸钙一过程中,石灰乳有效氧化钙浓度为175-185g/L,有效氧化钙与溶液中硅酸钠的摩尔比为0.9-1.2,反应温度为80℃-100℃。

[0011] 氧化铝溶出:向预脱硅反应得到的脱硅灰中添加石灰乳、氢氧化钠溶液混合,加热溶出,反应料浆蒸发过滤分离后得到偏铝酸钠溶液和提铝残渣;

[0012] 其中,氧化铝溶出过程中,石灰乳添加比例为,石灰乳中氧化钙与脱硅灰中二氧化硅摩尔数比例为0.8-1.2,氢氧化钠溶液浓度为25%-45%,反应温度为200℃-290℃,反应压力为0.5Mpa-3MPa。

[0013] 偏铝酸钠制备:向氧化铝溶出反应得到的偏铝酸钠溶液中添加水和偏铝酸钠晶种,在搅拌的过程中进行析晶反应,得到析出的水和偏铝酸钠晶体和析晶母液,析出晶体经过三级洗涤去除杂质后得到水和偏铝酸钠产品,析晶母液蒸发补碱后返回氧化铝溶出。

[0014] 其中,在偏铝酸钠制备过程中,晶种添加量与溶出偏铝酸钠溶液中偏铝酸钠含量的比值0.5-2,析晶反应温度制度为初始温度向终极温度不断降温的过程,析晶初始温度为70℃-65℃,析晶终极温度为50℃-40℃,析晶时间为20h-60h。

[0015] 水热反应回收碱:将氧化铝溶出反应得到的提铝残渣(提铝残渣主要成分为水合硅酸钠钙 CaNaHSiO_3)中添加稀碱液进行水热反应,过滤分离后得到回收碱液和硅酸钙滤饼,硅酸钙滤饼经过四级逆流洗涤后得到活性硅酸钙二产品。水热过程为水合硅酸钠钙在水或低碱溶液中,在一定温度和压力下发生水解反应的过程,水解为硅酸钙、水和氧化钠,从而脱除回收其中的碱,反应方程式为 $2\text{CaNaHSiO}_3 \rightarrow 2\text{CaSiO}_3 + \text{NaOH}$ 。

[0016] 其中,在水热反应回收碱过程中,稀碱液的氢氧化钠浓度为3%-8%,所得回收碱液浓度为4%-10%,反应液固比为3:1-6:1,水热反应时间为1h-6h。

[0017] 本发明提供的用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法,为全湿法碱性体系粉煤灰提取氧化铝及硅资源的工艺,既避免了烧结法工艺的高能耗,又避免了酸法工艺的强腐蚀性,而且通过预脱硅工艺降低了氧化铝回收系统的物料流量,从而克服了高碱湿法工艺提取氧化铝过程的高物料流量,进一步减少了能耗。

[0018] 本发明供的用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法,预脱硅反应活性硅溶出率达到95%以上,氧化铝溶出率达到91%以上。

附图说明

[0019] 图1为本发明实施例提供的粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法的工艺流程示意图。

具体实施方式

[0020] 参见图1,下面结合具体实施例来进一步描述本发明,本发明的优点和特点将会随着描述而更为清楚。但这些实施例仅是范例性的,并不对本发明的范围构成任何限制。本领域技术人员应该理解的是,在不偏离本发明的精神和范围下可以对本发明技术方案的细节和形式进行修改或替换,但这些修改和替换均落入本发明的保护范围内。

[0021] 实施例1:

[0022] 1、预脱硅反应

[0023] 原料为内蒙某火电厂的高铝粉煤灰,组成如表 1 所示。

[0024] 表 1 高铝粉煤灰样品化学组成

[0025]

成分	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	烧失重	总和
含量 (%)	47.64	39.29	1.92	1.54	3.64	1.31	97.41

[0026] 将 100g 高铝粉煤灰,与质量浓度为 13% 氢氧化钠溶液 300ml 混合加入 1L 烧杯中,搅拌加热到 95℃后,保温 2.5h,然后进行真空抽滤得到液相的脱硅液(也可称为硅酸钠溶液)和固相的脱硅粉煤灰滤饼(也可简称为脱硅灰)。将所得脱硅粉煤灰滤饼加入 300ml 蒸馏水在 80℃水浴中浆洗 20min,然后过滤分离,重复浆洗步骤 2 次,洗涤用水用作下次脱硅调整液,最后过滤后将滤饼于 105℃温度烘干,测得滤饼中的铝硅质量比为 2.14, Na_2O 百分含量为 2.86。

[0027] 2.1# 活性硅酸钙制备(也可称为活性硅酸钙一,以便与后面制取的活性硅酸钙产品区别)

[0028] 取步骤 1 中产生的脱硅液 200ml,添加石灰乳(CaO 含量 180g/l)60ml,搅拌加热到 95℃后,保温 0.5h,然后进行真空抽滤得到氢氧化钠溶液和 1# 活性硅酸钙滤饼,氢氧化钠溶液经过蒸发后可返回预脱硅反应溶出,滤饼经过三次洗涤后得到合格 1# 活性硅酸钙产品。

[0029] 3、氧化铝溶出

[0030] 取步骤 1 产生的脱硅粉煤灰 100g,与质量分数为 42% 的氢氧化钠溶液 800ml 混合,然后加入 140ml 石灰乳(CaO 含量 180g/l),充分混合后倒入高压反应釜中,升温至 275℃,反应压力为 2.4MPa,保温 1h,冷却降温至 90℃后过滤分离,得到偏铝酸钠溶出液和提铝残渣滤饼,溶出液进一步蒸发至氧化钠浓度 580g/l,滤饼三次洗涤。

[0031] 4、偏铝酸钠制备

[0032] 取偏铝酸钠溶出液 300ml,按照晶种添加量 20% 添加,在水浴加热条件下进行结晶析出,温度从 60℃逐渐降低至 46℃,每两个小时降低 1℃,结晶完毕过滤分离,分离滤饼洗涤 3 遍,得到偏铝酸钠晶体。

[0033] 5、水热回收碱

[0034] 将步骤 3 所得洗涤后提铝残渣滤饼烘干,取 50g,添加稀碱液(Na_2O 含量 40g/l)300ml,在高压反应釜中升温至 160℃,压力为 0.8MPa,保温 1.5h,冷却后过滤分离,滤饼洗涤三遍后为 2# 活性硅酸钙产品, Na_2O 含量为 0.86%,可用于制作硅酸钙板等,含碱过滤液(55.8g/l)蒸发返回做溶出洗涤液。

[0035] 实施例 2 :

[0036] 以实例 1 中粉煤灰为原料,进行以下处理:

[0037] 1、预脱硅反应

[0038] 将 100g 高铝粉煤灰,与质量浓度为 13.5% 氢氧化钠溶液 250ml 混合加入 1L 烧杯中,搅拌加热到 95℃后,保温 2.5h,然后进行真空抽滤得到液相的脱硅液和固相的脱硅粉

煤灰滤饼；将所得脱硅粉煤灰滤饼加入300ml蒸馏水在80℃水浴中浆洗20min，然后过滤分离，重复浆洗步骤2次，洗涤用水用作下次脱硅调整液，最后过滤后将滤饼于105℃温度烘干，测得滤饼中的铝硅比为2.23，Na₂O百分含量为2.89。

[0039] 2.1#活性硅酸钙制备

[0040] 取步骤1中产生的脱硅液200ml，添加石灰乳(CaO含量180g/l)65ml，搅拌加热到90℃后，保温0.5h，然后进行真空抽滤得到氢氧化钠溶液和1#活性硅酸钙滤饼，氢氧化钠溶液经过蒸发后可返回预脱硅反应溶出，滤饼经过三次洗涤后得到合格1#活性硅酸钙产品。

[0041] 3.氧化铝溶出

[0042] 取步骤1产生的脱硅粉煤灰100g，与质量分数为45%的氢氧化钠溶液750ml混合，然后加入160ml石灰乳(CaO含量180g/l)，充分混合后倒入高压反应釜中，升温至290℃，压力为3.2MPa，保温1h，冷却降温至90℃后过滤分离，得到溶出液和滤饼，溶出液进一步蒸发至氧化钠浓度580g/l，滤饼三次洗涤，氧化铝溶出率为91%。

[0043] 4.偏铝酸钠制备

[0044] 取溶出蒸发液300ml，按照晶种添加量20%添加，在水浴加热条件下进行结晶析出，温度从60℃逐渐降低至42℃，每两个小时降低1℃，结晶完毕过滤分离，分离滤饼洗涤3遍，得到偏铝酸钠晶体。

[0045] 5.水热回收碱

[0046] 将步骤3所得洗涤后滤饼烘干，取50g，添加稀碱液00ml，其中氧化钠含量为35g/l，在高压反应釜中升温至160℃，压力为0.8MPa，保温1.5h，冷却后过滤分离得到活性硅酸钙滤饼和滤液，将活性硅酸钙滤饼洗涤三遍后为2#活性硅酸钙产品，其中，活性硅酸钙滤饼含碱量为0.90%，滤液氧化钠含量为56.4g/l，含碱过滤液蒸发返回做溶出洗涤液。

[0047] 实施例3：

[0048] 以实例2中脱硅粉煤灰和实例2中结晶母液为原料，进行以下处理：

[0049] 1.氧化铝溶出

[0050] 取步骤1产生的脱硅粉煤灰和结晶母液按照质量比1:13混合，然后加入一定量石灰乳，其中CaO与脱硅粉煤灰质量比例为1:3.5，充分混合后倒入高压反应釜中，升温至285℃，压力为3.0MPa，保温1h，冷却降温至90℃后过滤分离，得到溶出液和滤饼，溶出液进一步蒸发至氧化钠浓度580g/l，滤饼三次洗涤，氧化铝溶出率为91.6%。

[0051] 2.偏铝酸钠制备

[0052] 取溶出蒸发液按照晶种添加量20%添加，在水浴加热条件下进行结晶析出，温度从60℃逐渐降低至42℃，每两个小时降低1℃，结晶完毕过滤分离，分离滤饼洗涤3遍，得到偏铝酸钠晶体。

[0053] 3.水热回收碱

[0054] 将本实施例步骤1所得洗涤后滤饼烘干，取50g，添加石灰乳(CaO含量18g/l)300ml，其中氧化钠含量为35g/l，在高压反应釜中升温至160℃，压力为0.8MPa，保温1.5h，冷却后过滤分离得到活性硅酸钙滤饼和滤液，将活性硅酸钙滤饼洗涤三遍后为2#活性硅酸钙产品，其中，活性硅酸钙滤饼含碱量为0.85%，滤液氧化钠含量为57.9g/l，含碱过滤液蒸发返回做溶出洗涤液。

[0055] 实施例 4 :

[0056] 以山西某地流化床粉煤灰为原料,进行以下处理 :

[0057] 1、预脱硅反应

[0058] 将 100g 山西某地高铝粉煤灰(其氧化铝含量为 34.7%, 氧化硅含量为 36.8%), 与质量浓度为 12.5% 氢氧化钠溶液 350ml 混合加入 1L 烧杯中, 搅拌加热到 95℃ 后, 保温 2.5h, 然后进行真空抽滤得到液相的脱硅液和固相的脱硅粉煤灰滤饼; 将所得脱硅粉煤灰滤饼加入 300ml 蒸馏水在 80℃ 水浴中浆洗 20min, 然后过滤分离, 重复浆洗步骤 2 次, 洗涤用水用作下次脱硅调整液, 最后过滤后将滤饼于 105℃ 温度烘干, 测得滤饼中的铝硅比为 2.23, Na₂O 百分含量为 2.79。

[0059] 2.1# 活性硅酸钙制备

[0060] 取步骤 1 中产生的脱硅液 200ml, 添加石灰乳(CaO 含量 180g/l)60ml, 搅拌加热到 92℃ 后, 保温 0.5h, 然后进行真空抽滤得到氢氧化钠溶液和 1# 活性硅酸钙滤饼, 氢氧化钠溶液经过蒸发后可返回预脱硅反应溶出, 滤饼经过三次洗涤后得到合格 1# 活性硅酸钙产品。

[0061] 3. 氧化铝溶出

[0062] 取步骤 1 产生的脱硅粉煤灰 100g, 与质量分数为 43.5% 的氢氧化钠溶液 800ml 混合, 然后加入石灰乳, (CaO 含量 180g/l) 160ml, 充分混合后倒入高压反应釜中, 升温至 270℃, 压力为 2.45MPa, 保温 1h, 冷却降温至 90℃ 后过滤分离, 得到溶出液和滤饼, 溶出液进一步蒸发至氧化钠浓度 580g/l, 滤饼三次洗涤。

[0063] 4. 偏铝酸钠制备

[0064] 取溶出蒸发液 300ml, 按照晶种添加量 20% 添加, 在水浴加热条件下进行结晶析出, 温度从 62℃ 逐渐降低至 47℃, 每两个小时降低 1℃, 结晶完毕过滤分离, 分离滤饼洗涤 3 遍, 得到偏铝酸钠晶体。

[0065] 5. 水热回收碱

[0066] 将步骤 3 所得洗涤后滤饼烘干, 取 50g, 添加稀碱液(Na₂O 含量 41.4g/l)300ml, 在高压反应釜中升温至 165℃, 压力为 0.9MPa, 保温 2h, 冷却后过滤分离活性硅酸钙滤饼和滤液, 将活性硅酸钙滤饼洗涤三遍后为 2# 活性硅酸钙产品, 其中, 活性硅酸钙滤饼含碱量为 0.93%, 滤液氧化钠含量为 52.3g/l 含碱过滤液蒸发返回做溶出洗涤液。

[0067] 实施例 5 :

[0068] 以实施例 4 中粉煤灰和结晶母液为原料, 进行以下处理 :

[0069] 1、预脱硅反应

[0070] 将 100g 高铝粉煤灰, 其氧化铝含量为与质量浓度为 11.5% 氢氧化钠溶液 320ml 混合加入 1L 烧杯中, 搅拌加热到 97℃ 后, 保温 2.5h, 然后进行真空抽滤得到液相的脱硅液和固相的脱硅粉煤灰滤饼; 将所得脱硅粉煤灰滤饼加入 300ml 蒸馏水在 80℃ 水浴中浆洗 20min, 然后过滤分离, 重复浆洗步骤 2 次, 洗涤用水用作下次脱硅调整液, 最后过滤后将滤饼于 105℃ 温度烘干, 测得滤饼中的铝硅比为 2.12, Na₂O 百分含量为 2.63。

[0071] 2.1# 活性硅酸钙制备

[0072] 取步骤 1 中产生的脱硅液 200ml, 添加石灰乳(CaO 含量 180g/l)65ml, 搅拌加热到 95℃ 后, 保温 0.5h, 然后进行真空抽滤得到氢氧化钠溶液和 1# 活性硅酸钙滤饼, 氢氧化钠

溶液经过蒸发后可返回预脱硅反应溶出，滤饼经过三次洗涤后得到合格 1# 活性硅酸钙产品。

[0073] 3、氧化铝溶出

[0074] 取步骤 1 产生的脱硅粉煤灰 100g，与结晶母液按照质量比 1:12.6 混合，然后加入 CaO 含量为 180g/1 的 160ml 石灰乳，充分混合后倒入高压反应釜中，升温至 260℃，压力为 2.30MPa，保温 1h，冷却降温至 90℃ 后过滤分离，得到溶出液和滤饼，溶出液进一步蒸发至氧化钠浓度 580g/1，滤饼三次洗涤，氧化铝溶出率为 93.4%。

[0075] 4、偏铝酸钠制备

[0076] 取溶出液按照晶种添加量 25% 添加，在水浴加热条件下进行结晶析出，温度从 60℃ 逐渐降低至 45℃，每两个小时降低 1℃，结晶完毕过滤分离，分离滤饼洗涤 3 遍，得到偏铝酸钠晶体。

[0077] 5、水热回收碱

[0078] 将步骤 3 所得洗涤后滤饼烘干，取 50g，添加稀碱液 300ml，其中氧化钠含量为 37.8g/1，在高压反应釜中升温至 160℃，压力为 0.8MPa，保温 2.5h，冷却后过滤分离活性硅酸钙滤饼和滤液，活性硅酸钙滤饼洗涤三遍后为 2# 活性硅酸钙产品，其中，活性硅酸钙滤饼含碱量为 0.89%，滤液氧化钠含量为 50.7g/1，含碱过滤液蒸发返回做溶出洗涤液。

[0079] 本发明提供的用粉煤灰同时制备偏铝酸钠和活性硅酸钙的方法，相比现有技术的有益效果包含：

[0080] 1、将高铝粉煤灰的传统烧结法改为湿法，反应温度由 1200℃ 降至 300℃ 以下，温度大大降低，从而使燃料、蒸汽能耗大大降低，节约了成本，提高了利润；

[0081] 2、直接利用溶出反应产物为偏铝酸钠的特性，制备偏铝酸钠晶体作为产品，避免了氧化铝作为单一产物的发展方向，使铝资源多元化发展利用；

[0082] 3、流程变短，避免了生料浆配置、烧结、一二段溶出、碳种分联合等工段，同时减少了二次反应的发生；

[0083] 4、硅产物为两种硅酸钙产品，相对烧结法硅产物硅酸二钙来说，降低了石灰石消耗量，增加了硅资源高值化利用途径。

[0084] 最后所应说明的是，以上具体实施方式仅用以说明本发明的技术方案而非限制，尽管参照实例对本发明进行了详细说明，本领域的普通技术人员应当理解，可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换，而不脱离本发明技术方案的精神和范围，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

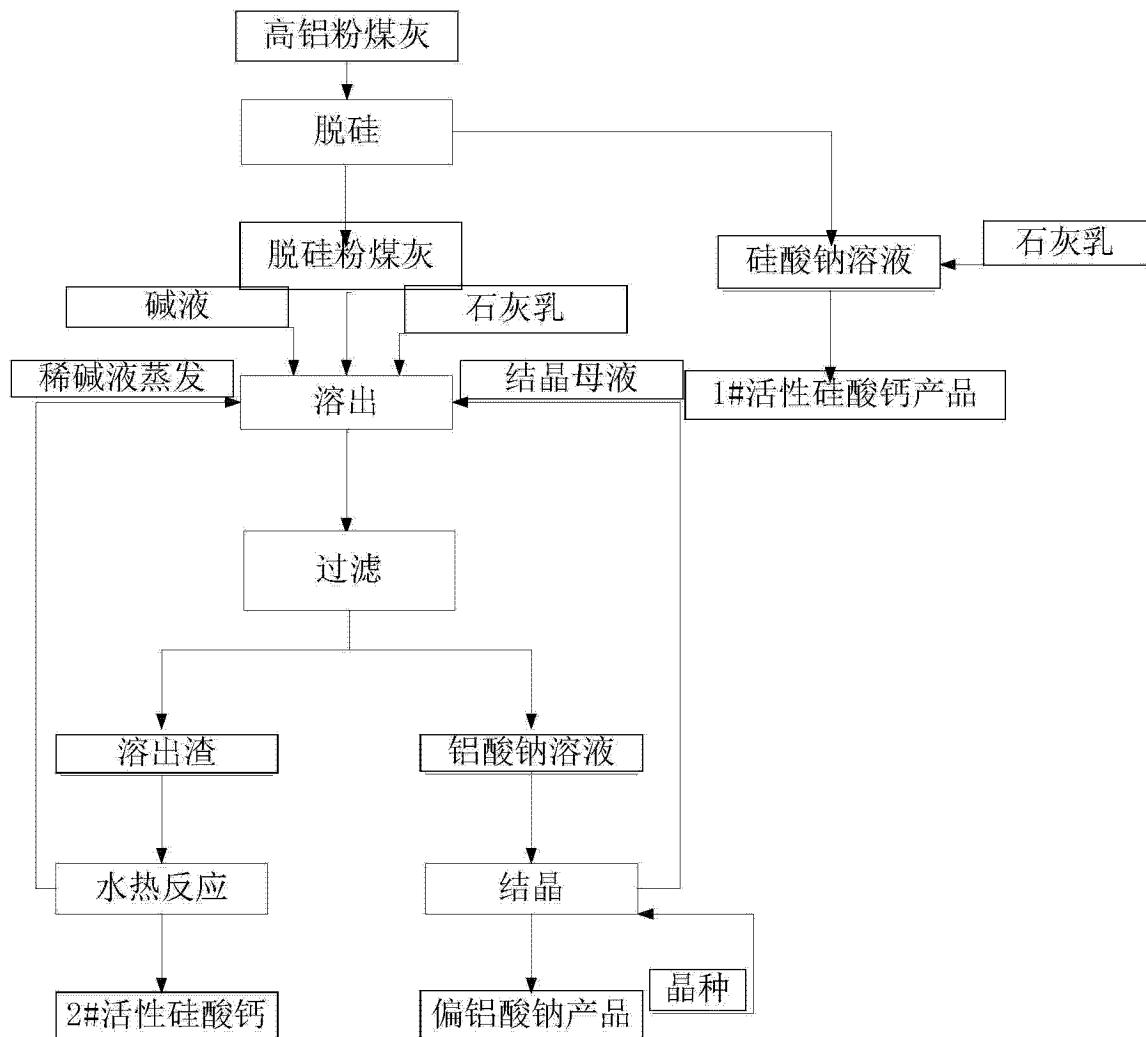


图 1