



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108103526 B

(45)授权公告日 2019.09.27

(21)申请号 201711111367.0

C01F 7/50(2006.01)

(22)申请日 2017.11.13

审查员 李茂营

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108103526 A

(43)申请公布日 2018.06.01

(73)专利权人 昆明理工大学

地址 650093 云南省昆明市五华区学府路  
253号

(72)发明人 张秋林 苏伟康 宁平 刘昕

胡嘉

(51)Int.Cl.

G25C 1/24(2006.01)

B01D 53/80(2006.01)

B01D 53/50(2006.01)

C01F 7/74(2006.01)

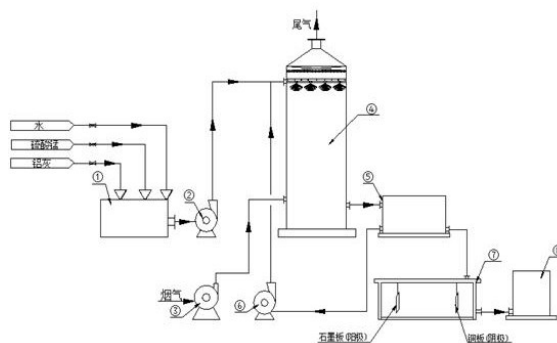
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法

(57)摘要

本发明公开了一种利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,该方法以电解铝生产过程产生的工业固废铝灰与硫酸锰和工艺水混合配制脱硫浆,并将其应用于电解铝烟气脱硫、脱氟耦合并回收铝资源,不但可资源化利用铝灰,而且可实现烟气脱硫、脱氟和铝资源的回收,达到了以废治废的目的,该方法的工艺流程为脱硫浆配制→净化烟气→脱硫浆酸浸氧化→脱硫浆循环→脱硫浆电解分离→资源化回收,该方法具有设备简单、投资少、工艺流程短、操作运行费用低等优点,不但显著降低工业电解铝烟气脱硫成本,缓解铝电解工业的环保压力,而且能有效地回收铝资源,获得硫酸铝、氟化铝和合金精矿,降低电解铝工业的经济压力,具有广阔的应用前景。



CN 108103526 B

1. 一种利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,其特征在于,具体包括以下步骤:

(1) 将电解铝铝灰与硫酸锰、水混匀得到脱硫浆,且脱硫浆中各组成物的质量百分比为  $\text{MnSO}_4$  0.05%~0.1%, 铝灰18 %~22%, 水78 %~82%;

(2) 通过浆料泵将步骤(1)的脱硫浆送入喷淋塔上方,同时电解铝烟气从喷淋塔下方通入,脱硫浆在喷淋塔的喷洒下对电解铝烟气脱硫、脱氟,净化后的烟气从喷淋塔顶部的烟囱排出,与电解铝烟气反应后的脱硫浆直接进入氧化池,同时向氧化池中通入氧气进行曝气,然后静置8~12h后测定脱硫浆pH值,若pH值为3~4,则将脱硫浆通入电解池中于室温下进行电解,若pH值不在3~4范围内,则将脱硫浆通过循环泵返回喷淋塔中进行再次脱硫,再通入氧化池中再次氧化,直至pH值为3~4;

(3) 待电解结束,将电解后的混合浆通入回收池中进行过滤,得到 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体,再将 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体置于水中并加热,待固体完全溶解后降温,得到 $\text{AlF}_3$ 固体和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 固体,混合浆中的其他金属离子在电解的作用下还原为合金精矿附在电极上进行回收;

所述的利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法的装置,包括配浆槽(1)、浆料泵(2)、鼓风机(3)、喷淋塔(4)、氧化池(5)、循环泵(6)、电解池(7)、回收池(8);所述配浆槽(1)的出浆口与浆料泵(2)连通,浆料泵(2)的出口与喷淋塔(4)上部入口连通,喷淋塔(4)下部两侧分别与鼓风机(3)、氧化池(5)连接,氧化池(5)底部设有曝气管,氧化池(5)内壁设有pH检测器,氧化池(5)的两个出水口分别与循环泵(6)、电解池(7)连接,循环泵(6)的出口通过管道与喷淋塔(4)上部入口连通,电解池(7)的出水口与回收池(8)连通,回收池(8)内设有过滤装置。

2. 根据权利要求1所述的利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,其特征在于:步骤(2)中电解铝烟气的流速为3.5~4.8m/s。

3. 根据权利要求1所述的利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,其特征在于:步骤(2)中喷淋塔内温度为60~90°C。

4. 根据权利要求1所述的利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,其特征在于:步骤(2)中脱硫浆与电解铝烟气的液气比为6~15L/m<sup>3</sup>。

5. 根据权利要求1所述的利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,其特征在于:步骤(2)中电解时间为6~8h,电解池的电流密度为80~100 A/m<sup>2</sup>。

6. 根据权利要求1所述的利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,其特征在于:喷淋塔(4)的直径为2.5~3.5m,高6~8米。

## 一种利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电解铝生产过程中的固废处理技术领域,具体涉及一种利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法。

### 背景技术

[0002] 电解铝工业是我国国民经济发展的重要基础原料产业,我国的电解铝工业企业产能集中,2016年底我国电解铝产量达3560万吨,约占全球总产量的56%。电解铝工业所产生的电解铝烟气具有烟气量大,含硫浓度相对较低的特点。我国每生产一吨铝所产生的烟气量约为9~14万 $m^3$ ,其中 $SO_2$ 的浓度约为120~300  $mg/Nm^3$ 。电解铝工业除了产生大量的废气,还产生大量的铝灰。电解一吨铝约产生铝灰30~50kg,我国每年的电解铝铝灰排放总量约100~150万吨。目前国内电解铝烟气脱硫方法中比较常见的是源头控硫法和湿法脱硫法。源头控硫法是通过使用低硫焦代替石油焦,从源头上控制 $SO_2$ 的排放。虽然该方法可以有效的减少电解铝烟气中的 $SO_2$ 含量,但是低硫焦的使用导致电解铝企业承受很大的经济压力。湿法脱硫操作简单、成本低,在脱硫工艺中最为常见。钙法脱硫在湿法脱硫中技术最为成熟,脱硫效率高(脱硫率90%以上)、脱硫原料廉价易得,但该工艺系统复杂、投资及能耗大,产生的废渣易造成二次污染。随着环保法规的完善,寻找新的脱硫工艺和设备,迫在眉睫。

[0003] 电解铝工业所产生的铝灰利用困难,铝灰中含有大量金属氧化物,其中大部分是氧化铝。目前铝灰中的金属资源只有小部分能回收,剩余的废铝灰铝渣堆积在厂区或填埋,不仅造成资源的浪费,同时也带来环境的污染。因此,实现一种节约成本、环保方便、简单有效的铝资源回收方法显得非常重要。

[0004] 目前,电解铝烟气中 $SO_2$ 的脱除提供了很多新方法。其中CN201110117491.4公开了一种电解铝烟气脱硫脱氟一体化的方法,技术实质是在氨法脱硫过程中, $SO_2$ 与 $F^-$ 同时被吸收溶解在系统内的硫酸铵溶液中,形成氟化铵。所得硫酸铵晶粒和氟化铵分离后滤液进行脱氟处理,将脱氟产物冰晶石以及氧化铝粉尘过滤回收,并循环利用。该系统所用脱硫剂量大,而电解铝烟气中 $SO_2$ 的浓度较低,系统运行时造成系统空耗严重,脱硫成本加大。电解铝铝灰资源化的方法也不断更新,其中CN200610117078.7公开了一种用废铝灰制备铝酸钠的方法,其过程将铝灰酸浸、水洗、脱水后加入NaOH碱化,碱化后加水浸出铝酸钠,所得铝酸钠溶液加入NaOH并加热析晶得到铝酸钠晶体。但是这种方法对氧化铝的回收量不大。专利CN201510370094.6公开了一种高效分离回收铝灰中金属铝的方法,通过加酸预处理铝灰后加入熔剂在回转窑中溶出回收金属铝,电解铝铝灰回收利用率不高的现状以及电解铝烟气中 $SO_2$ 浓度低、烟气量大。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,主要采用电解铝工业产生的铝灰与硫酸锰和工艺水混合制成脱硫浆,在反应塔中去除铝电解烟气中的 $SO_2$ 、HF等有害气体,最后在电解条件下实现铝灰中铝资源和过渡金属的回

收。

[0006] 本发明的技术方案如下:首先将电解铝铝灰与硫酸锰和工艺水混合制成脱硫浆,然后送入反应塔,同时向反应塔中通入电解铝烟气,电解铝烟气与脱硫浆逆流接触,脱硫浆对电解铝烟气进行脱硫、脱氟,然后将反应后的脱硫浆通入氧化池中进行酸浸氧化,测定氧化后的脱硫浆的pH值,将符合pH要求的脱硫浆送入电解池中进行电解,不符合要求的脱硫浆返回喷淋塔中再次进行脱硫和酸浸氧化直至pH符合要求,电解池中电解反应结束后,过滤混合溶液,得到 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体,再将 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体置于水中并加热,待固体完全溶解后降温, $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 因溶解度不同而分离,得到 $\text{AlF}_3$ 固体和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 固体,混合浆中的其他金属离子在电解的作用下还原为合金精矿得到回收,从而实现了电解铝铝灰对电解铝烟气的净化和铝资源的回收。

[0007] 本发明利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,具体操作步骤如下:

[0008] (1)将电解铝铝灰与硫酸锰、水混匀得到脱硫浆,且脱硫浆中各组成物的质量百分比为 $\text{MnSO}_4$  0.05%~0.1%,铝灰18 %~22%,水78 %~82%;

[0009] (2)通过浆料泵将步骤(1)的脱硫浆送入喷淋塔上方,同时电解铝烟气从喷淋塔下方通入,脱硫浆在喷淋塔的喷洒下对电解铝烟气脱硫、脱氟,时间为2~4s,净化后的烟气从喷淋塔顶部的烟囱排出,与电解铝烟气反应后的脱硫浆直接进入氧化池,同时向氧化池中通入氧气进行曝气,曝气8~12 h后测定脱硫浆pH值,若pH值为3~4,则将脱硫浆通入电解池中于室温下进行电解,若pH值不在3~4范围内,则将脱硫浆通过循环泵返回喷淋塔中进行再次脱硫,再通入氧化池中再次氧化,直至pH值为3~4;

[0010] (3)待电解结束,将电解后的混合浆过滤,得到 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体,再将 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体置于水中并加热,待固体完全溶解后降温, $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 因溶解度不同而分离,得到 $\text{AlF}_3$ 固体和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 固体,混合浆中的其他金属离子在电解的作用下还原为合金精矿得到回收。

[0011] 所述步骤(2)中电解铝烟气的流速为3.5~4.8m/s。

[0012] 所述步骤(2)中喷淋塔内温度为60~90°C。

[0013] 所述步骤(2)中脱硫浆与电解铝烟气的液气比为6~15 L/m<sup>3</sup>。

[0014] 所述步骤(2)中电解时间为6~8h,电解池的电流密度为80~100 A/m<sup>2</sup>。

[0015] 在铝灰中加入少量的 $\text{MnSO}_2$ 作为引发剂提高脱硫浆的脱硫效率。脱硫浆吸收的 $\text{SO}_2$ 被催化氧化成硫酸,酸浸氧化部分是把喷淋后的脱硫浆中未被氧化的亚硫酸在该部分中彻底氧化成硫酸并使铝灰中锰、铁等金属氧化物充分溶于脱硫浆中,利用这些过渡金属离子的催化氧化作用实现电解铝烟气中HF、 $\text{SO}_2$ 的脱除。脱硫过程中铝灰中的金属氧化物和脱硫浆中的硫酸反应产生过渡金属盐,在电解回收池中对主要这些过渡金属进行电解回收。此方法不仅除去了烟气中的 $\text{SO}_2$ 、HF等有害气体,还回收了硫酸铝、氟化铝以及合金精矿,减少金属资源的浪费。

[0016] 本发明的另一目的是提供了一种利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法的装置,该装置包括配浆槽、浆料泵、鼓风机、喷淋塔、氧化池、循环泵、电解池、回收池;所述配浆槽的出浆口与浆料泵连通,浆料泵的出口与喷淋塔上部入口连通,喷淋塔下部两侧分别与鼓风机、氧化池连接,氧化池底部设有曝气管,氧化池内壁设有pH检测器,氧化

池的两个出水口分别与循环泵、电解池连接,循环泵的出口通过管道与喷淋塔上部入口连通,电解池的出水口与回收池连通,回收池内设有过滤装置。

[0017] 所述喷淋塔的直径为2.5~3.5m,高6~8米。

[0018] 本发明方法按照脱硫浆配备→脱硫→酸浸氧化→循环→电解分离→资源化回收的工艺流程实现了电解铝铝灰净化电解铝烟气及对铝资源的回收,对环境友好,应用前景广阔。

[0019] 本发明的优点和技术效果:

[0020] (1)本发明以铝灰作为去除铝电解烟气中的SO<sub>2</sub>、HF的原料,脱硫、脱氟的原料廉价易得,降低了企业的成本费用,达到以废治废的目的。

[0021] (2)本发明方法和装置对电解铝烟气的脱硫、脱氟效果显著,并能实现铝灰中过渡金属的资源化,免去不必要的资源浪费,降低企业环保压力。

[0022] (3)本发明的设备投资和运行成本费用低,系统操作简单,运转清洁,节能环保。

[0023] 本发明以电解铝铝灰作为脱硫浆原料用于电解铝烟气的脱硫、脱氟,反应后所得的脱硫浆经过电解分离,从脱硫浆中资源化回收硫酸铝、氟化铝和合金精矿,本系统在预期内实现较理想的脱硫、脱氟效果以及铝灰的资源化回收利用,且该工艺具有工艺流程简单、流程短、能耗与成本低的特点,在电解铝工业中烟气的脱硫、脱氟和铝灰资源化回收方面有很好的应用前景。

## 附图说明

[0024] 图1是本发明利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法的装置示意图;

[0025] 其中:①-配浆槽,②-浆料泵,③-鼓风机,④-喷淋塔,⑤-氧化池,⑥-循环泵,⑦-电解池,⑧-回收池。

## 具体实施方式

[0026] 下面通过附图和实施例对本发明作进一步详细说明,但本发明保护范围不局限于所述内容。

[0027] 实施例1:本实施例所用装置如图1所示,包括配浆槽1、浆料泵2、鼓风机3、喷淋塔4、氧化池5、循环泵6、电解池7、回收池8;所述配浆槽1的出浆口与浆料泵2连通,浆料泵2的出口与喷淋塔4上部入口连通,喷淋塔4下部两侧分别与鼓风机3、氧化池5连接,氧化池5底部设有曝气管,氧化池5内壁设有pH检测器,氧化池5的两个出水口分别与循环泵6、电解池7连接,循环泵6的出口通过管道与喷淋塔4上部入口连通,电解池7的出水口与回收池8连通,回收池8内设有过滤装置,其中喷淋塔4的直径为3.5m,高8米。利用该装置进行电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源,具体操作如下:

[0028] (1)在所述配浆槽中加入电解铝铝灰、硫酸锰、水混合搅拌均匀得到脱硫浆,所得脱硫浆中铝灰、硫酸锰、水的质量百分比分别为20%、0.06%、79.94%;

[0029] (2)开启浆料泵,把混匀的脱硫浆送入喷淋塔上方进行喷淋,同时鼓风机以4m/s流速将待处理的电解铝烟气从喷淋塔下方通入,喷淋塔中脱硫浆与电解铝烟气的液气比为10L/m<sup>3</sup>,电解铝烟气中SO<sub>2</sub>浓度为220 mg/Nm<sup>3</sup>,塔内温度为60℃,脱硫浆在喷淋塔的喷洒下对

电解铝烟气脱硫、脱氟,时间为2s,净化后的烟气从喷淋塔顶部的烟囱排出,与电解铝烟气反应后的脱硫浆直接进入氧化池,同时向氧化池中以 $3\text{m}^3/\text{h}$ 的流量通入氧气进行曝气,通氧气5h后,静置10h,然后测氧化池内脱硫浆pH为3.6,把脱硫浆通入电解池进行电解;

[0030] (3)电解池的阴极为石墨,阳极为铜板,电流密度 $80\text{ A}/\text{m}^2$ ,在室温下电解8h,电解结束后,将电解后的混合浆通入回收池中进行过滤得到 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体,再将 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体置于水中并加热,待固体完全溶解后降温, $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 因溶解度不同而分离,得到 $\text{AlF}_3$ 固体和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 固体,混合浆中的其他金属离子在电解的作用下还原为合金精矿附在电极上进行回收,最后实现铝灰资源化利用,其脱硫、脱氟效率以及合金精矿的回收效率如表1所示。

[0031] 实施例2:本实施例所用装置和操作方法同实施例1,不同之处在于,所得脱硫浆中铝灰、硫酸锰、水的质量百分比分别为18%、0.1%、81.90%,其脱硫、脱氟效率以及合金精矿的回收效率如表1所示。

[0032] 实施例3:本实施例所用装置和操作方法同实施例1,不同之处在于,烟气流速为 $4.8\text{ m}/\text{s}$ ,二氧化硫浓度为 $200\text{ mg}/\text{m}^3$ ,其脱硫、脱氟效率以及合金精矿的回收效率如表1所示。

[0033] 实施例4:本实施例所用装置和操作方法同实施例1,不同之处在于,喷淋塔内温度为 $70^\circ\text{C}$ ,其脱硫、脱氟效率以及合金精矿的回收效率如表1所示。

[0034] 实施例5:本实施例所用装置和操作方法同实施例1,不同之处在于,电流密度为 $100\text{ A}/\text{m}^2$ ,其脱硫、脱氟效率以及合金精矿的回收效率如表1所示。

[0035] 表1 脱硫、脱氟以及合金精矿的回收效率

实施例	$\text{SO}_2$ 去除率 (%)	HF 去除率 (%)	合金精矿(kg/吨)	硫酸铝的回收率 (%)
1	89.5	78.2	4.76	83.6
2	90.2	81.5	5.04	85.8
3	82.8	72.8	5.33	83.8
4	92.2	82.5	5.62	82.0
5	86.2	77.3	5.13	80.8

[0037] 实施例6:本实施例所用装置同实施例1,不同之处在于,喷淋塔的直径为2.5m,高6米,利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,具体操作步骤如下:

[0038] (1)在所述配浆槽中加入电解铝铝灰、硫酸锰、水混合搅拌均匀得到脱硫浆,所得脱硫浆中铝灰、硫酸锰、水的质量百分比分别为21%、0.07%、78.93%;

[0039] (2)开启浆料泵,把混匀的脱硫浆送入喷淋塔上方进行喷淋,同时鼓风机以 $3.5\text{m}/\text{s}$ 流速将待处理的电解铝烟气从喷淋塔下方通入,喷淋塔中脱硫浆与电解铝烟气的液气比为 $15\text{L}/\text{m}^3$ ,电解铝烟气中 $\text{SO}_2$ 浓度为 $220\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ,塔内温度为 $80^\circ\text{C}$ ,脱硫浆在喷淋塔的喷洒下对电解铝烟气脱硫、脱氟,时间为3s,净化后的烟气从喷淋塔顶部的烟囱排出,与电解铝烟气反应后的脱硫浆直接进入氧化池,同时向氧化池中以 $3\text{m}^3/\text{h}$ 的流量通入氧气进行曝气,通氧

气5h后,静置12h,然后测氧化池内脱硫浆pH, pH为4.6,将脱硫浆返回喷淋塔内再次与脱硫烟气反应,将反应后的脱硫浆再通入氧化池进行酸浸氧化反应,测此时pH为3,则把脱硫浆通入电解池进行电解;

[0040] (3)电解池的阴极为石墨,阳极为铜板,电流密度 $90\text{ A/m}^2$ ,在室温下电解7h,电解结束后,将电解后的混合浆通入回收池中进行过滤得到 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体,再将 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体置于水中并加热,待固体完全溶解后降温, $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 因溶解度不同而分离,得到 $\text{AlF}_3$ 固体和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 固体,混合浆中的其他金属离子在电解的作用下还原为合金精矿附在电极上进行回收,最后实现铝灰资源化利用,其 $\text{SO}_2$ 去除率为84.12%、HF去除率为76.23%、合金精矿为4.55kg/吨、硫酸铝的回收率为81.4%。

[0041] 实施例7:本实施例所用装置同实施例1,不同之处在于,喷淋塔的直径为3m,高7米,利用电解铝铝灰净化电解铝烟气及回收铝资源的方法,具体操作步骤如下:

[0042] (1)在所述配浆槽中加入电解铝铝灰、硫酸锰、水混合搅拌均匀得到脱硫浆,所得脱硫浆中铝灰、硫酸锰、水的质量百分比分别为21.95%、0.05%、78%;

[0043] (2)开启浆料泵,把混匀的脱硫浆送入喷淋塔上方进行喷淋,同时鼓风机以 $4.8\text{ m/s}$ 流速将待处理的电解铝烟气从喷淋塔下方通入,喷淋塔中脱硫浆与电解铝烟气的液气比为 $6\text{ L/m}^3$ ,电解铝烟气中 $\text{SO}_2$ 浓度为 $210\text{ mg/Nm}^3$ ,塔内温度为 $90^\circ\text{C}$ ,脱硫浆在喷淋塔的喷洒下对电解铝烟气脱硫、脱氟,时间为4s,净化后的烟气从喷淋塔顶部的烟囱排出,与电解铝烟气反应后的脱硫浆直接进入氧化池,同时向氧化池中以 $3\text{ m}^3/\text{h}$ 的流量通入氧气进行曝气,通氧气5h后,静置8h,然后测氧化池内脱硫浆pH为4,把脱硫浆通入电解池进行电解;

[0044] (3)电解池的阴极为石墨,阳极为铜板,电流密度 $100\text{ A/m}^2$ ,在室温下电解6h,电解结束后,将电解后的混合浆通入回收池中进行过滤得到 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体,再将 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 混合固体置于水中并加热,待固体完全溶解后降温, $\text{AlF}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 因溶解度不同而分离,得到 $\text{AlF}_3$ 固体和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 固体,混合浆中的其他金属离子在电解的作用下还原为合金精矿附在电极上进行回收,最后实现铝灰资源化利用,其 $\text{SO}_2$ 去除率为80.62%、HF去除率为69.83%、合金精矿为5.45kg/吨、硫酸铝的回收率为80.1%。

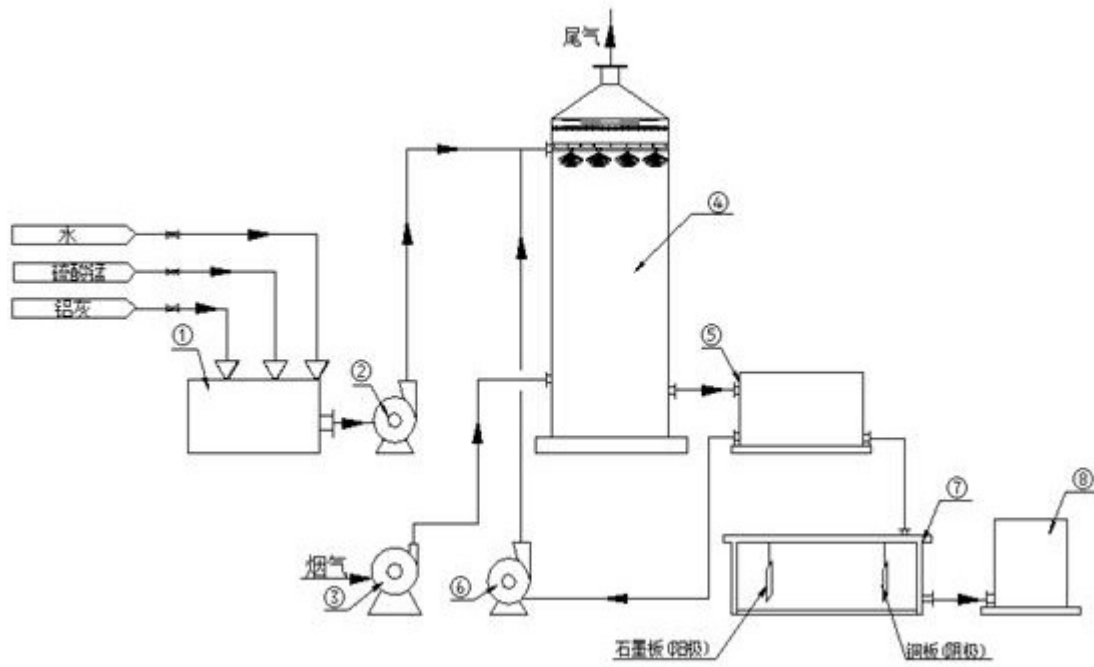


图 1