

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101337153 B

(45) 授权公告日 2011. 08. 31

(21) 申请号 200810021614. 2

JP 2004216355 A, 2004. 08. 05,

(22) 申请日 2008. 08. 12

CN 1535249 A, 2004. 10. 06,

(73) 专利权人 东南大学

CN 1672775 A, 2005. 09. 28,

地址 210096 江苏省南京市四牌楼 2 号

JP 9-313868 A, 1997. 12. 09,

CN 85107201 A, 1987. 03. 11,

(72) 发明人 张军 刘杨先 盛昌栋 张永春
袁士杰

审查员 武立民

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 奚幼坚

(51) Int. Cl.

B01D 53/60 (2006. 01)

B01D 53/64 (2006. 01)

B01D 53/78 (2006. 01)

B01J 19/10 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 200668045 A, 2006. 03. 16,

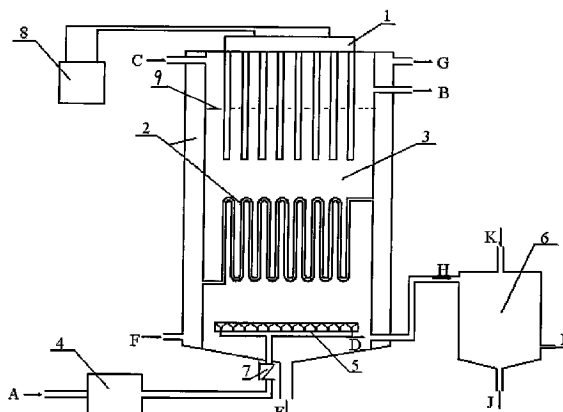
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称

超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法及其装置

(57) 摘要

一种超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法, 利用超声波在反应液中产生空化效应时释放出的具有强氧化性的羟基自由基 OH \cdot , 与烟气中的硫氧化物、氮氧化物和 Hg 0 发生氧化脱除反应, 洁净烟气排入大气, 经分离的混合酸液用氨水吸收后制造肥料, 重金属沉淀物进行提取回收。设有超声波发生器、超声波发射器、冷却水系统、鼓泡床反应器、静电除尘器、烟气扩散器、分离塔和止回阀, 超声波发射器置于鼓泡床反应器内, 烟气通入管顺序通过静电除尘器和止回阀并由鼓泡床反应器底部接入烟气扩散器, 烟气出口位于鼓泡床反应器上部, 鼓泡床反应器底部开有渣垢排泄口, 分离塔入口接于鼓泡床反应器的反应产物出口, 分离塔分别设有难溶物出口、药剂投放口和易溶物出口。



1. 一种超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于利用超声波在反应液中产生空化效应时释放出的具有强氧化性的羟基自由基 OH,与经过除尘的烟气中的硫氧化物、氮氧化物和 Hg^0 发生氧化脱除反应,反应后的洁净烟气由烟囱排入大气,经分离所得的混合酸液用氨水吸收后制造肥料,而重金属沉淀物则进行提取回收。

2. 根据权利要求 1 所述的超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于烟气至少经过二级除尘,末级采用静电除尘。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于所说反应液为水或包括 Fenton 试剂、类 Fenton 试剂、双氧水、臭氧、高锰酸钾、过硫酸钾在内的氧化剂水溶液。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于超声波的有效频率范围为 20KHz-500KHz,超声波强度在 $20W/cm^2-80W/cm^2$;化学反应在常压下进行,有效反应温度为 $0^\circ C-80^\circ C$,烟气出口流速在 $0.005m/s-0.08m/s$ 之间,鼓泡床反应器内的反应溶液循环流速为 $0.02m/s-0.2m/s$ 。

5. 根据权利要求 3 所述的超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于超声波的有效频率范围为 20KHz-500KHz,超声波强度在 $20W/cm^2-80W/cm^2$;化学反应在常压下进行,有效反应温度为 $0^\circ C-80^\circ C$,烟气出口流速在 $0.005m/s-0.08m/s$ 之间,鼓泡床反应器内的反应溶液循环流速为 $0.02m/s-0.2m/s$ 。

6. 一种超声波一体化脱硫脱硝脱汞装置,其特征在于设有超声波发生器及其发射器、冷却水系统、鼓泡床反应器、静电除尘器、烟气扩散器、分离塔和止回阀,超声波发射器置于鼓泡床反应器内的反应液中,鼓泡床反应器内外设有冷却水系统,冷却水出口和冷却水入口分别位于冷却水系统的上、下部,烟气通入管顺序通过静电除尘器和止回阀并由鼓泡床反应器底部接入烟气扩散器,烟气出口位于鼓泡床反应器上部,鼓泡床反应器底部开有渣垢排泄口,分离塔入口接于鼓泡床反应器下部的反应产物出口,分离塔的底面、顶部和侧面分别设有反应产物难溶物出口、药剂投放口和反应产物易溶物出口。

7. 根据权利要求 6 所述的超声波一体化脱硫脱硝脱汞装置,其特征在于烟气扩散器采用旋流型喷嘴,其布置形式采用等距和等角的交差排列形式,具体排列密度由旋流喷嘴的旋流角和出口流速以及现场实际情况确定。

8. 根据权利要求 6 或 7 所述的超声波一体化脱硫脱硝脱汞装置,其特征在于超声波发射器必须保持竖直和悬空状态,超声波发射器布阵方式采用叉排形式,超声波发射器的有效发射端面必须全部插入反应液液面以下;超声波发生器及发射器可以是变幅杆式或清洗式;冷却水系统采用外置和内置的双冷却系统,外部为冷却套,内部为冷却盘管,两者并联。

9. 根据权利要求 6 或 7 所述的超声波一体化脱硫脱硝脱汞装置,其特征在于在安装多部超声波发生器及发射器时,要保持超声波发射器发射频率相同且超声波发射器之间间距以及超声波发射器之间旋转角度相同。

10. 根据权利要求 8 所述的超声波一体化脱硫脱硝脱汞装置,其特征在于在安装多部超声波发生器及发射器时,要保持超声波发射器发射频率相同且超声波发射器之间间距以及超声波发射器之间旋转角度相同。

超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法及其装置

技术领域

[0001] 本发明属于大气污染物控制领域,具体涉及一种超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法及其装置。

背景技术

[0002] 烟气体中的硫氧化物和氮氧化物是形成酸雨和酸雾的主要原因,对生态环境和人体健康造成了极大的危害,有效治理二者的排放势在必行。燃煤过程排放的汞在局部汞循环中具有相当大的危害性,其危害不仅具有隐蔽性,而且具有潜在性,即汞的生物累积难于消除,因此对汞的减排问题同样是国家面临的一项重要问题。目前,烟气污染物的脱除方法很多,但能够获得实际应用的很少,即使目前获得工业应用的几种污染物控制方法也都具有各自的不足之处,现归纳如下:

[0003] 在众多的脱硫方法中,石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术以其技术成熟,使用煤种广,脱硫效率高而获得广泛应用,但该方法具有系统复杂,初始投资和运行费用相对较高,尤其是如何对反应产物进行有效的处理或利用已经成为该项技术面临的一个难题;

[0004] 在众多的脱硝方法中, NH_3 -SCR 催化技术因其具有转化率高、选择性好、实用性强等特点在发达国家得到了广泛的应用,但其过程中会因 NH_3 泄露而造成二次污染问题,而且,催化剂的损耗导致的运行费用的增加是其目前需要解决的重要问题;

[0005] 烟气脱 Hg 技术目前研究较多的活性炭吸附脱除法,但该技术具有成本过高,对 Hg^0 的吸附脱除效率低等问题而难以获得大规模的工业应用。

[0006] 此外,对污染物进行分别脱除具有投资和运行费用高、设备复杂和占地面积大等诸多不足,目前许多烟气污染物同时脱除方法大都是几种方法的简单结合,并非真正的实现同时脱除,因而,研究开发能够对多种烟气污染物进行一体化脱除的装置及方法是当前的重要任务之一。

发明内容

[0007] 为了克服当前的各种烟气污染物控制技术的不足,本发明提供一种超声波一体化脱硫脱硝脱汞的方法及其装置,主要利用超声波技术产生空化效应,实现烟气中的硫氧化物、氮氧化物和汞的一体化脱除,该系统具有结构简单,环保经济等优点,具有良好的工业应用前景。

[0008] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:一种超声波一体化脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于利用超声波在反应液中产生空化效应时释放出的具有强氧化性的羟基自由基 $\text{OH}\cdot$, 与经过除尘的烟气中的硫氧化物、氮氧化物和 Hg^0 发生氧化脱除反应,反应后的洁净烟气由烟囱排入大气,经分离所得的混合酸液用氨水吸收后制造肥料,而重金属沉淀物则进行提取回收。

[0009] 烟气至少经过二级除尘,末级采用静电除尘;所说反应液为水或包括 Fenton 试剂、类 Fenton 试剂、双氧水、臭氧、高锰酸钾、过硫酸钾在内的氧化剂水溶液。

[0010] 超声波的有效频率范围为 20KHz-500KHz, 超声波强度在 $20\text{W}/\text{cm}^2$ - $80\text{W}/\text{cm}^2$; 化学反应在常压下进行, 有效反应温度为 0°C - 80°C , 烟气出口流速在 $0.005\text{m}/\text{s}$ - $0.08\text{m}/\text{s}$ 之间, 鼓泡床反应器内的反应溶液循环流速为 $0.02\text{m}/\text{s}$ - $0.2\text{m}/\text{s}$ 。

[0011] 根据上述方法设计的一种超声波一体化脱硫脱硝脱汞装置, 其特征在于设有超声波发生器及其发射器、冷却水系统 (包括外置冷却水套和内置冷却盘管)、鼓泡床反应器、静电除尘器、烟气扩散器、分离塔和止回阀, 超声波发射器于鼓泡床反应器内的反应液中, 鼓泡床反应器内外设有冷却水系统, 冷却水出口和冷却水入口分别位于冷却系统的上、下部, 烟气通入管顺序通过静电除尘器和止回阀并由鼓泡床反应器底部接入烟气扩散器, 烟气出口位于鼓泡床反应器上部, 鼓泡床反应器底部开有渣垢排泄口, 分离塔入口接于鼓泡床反应器下部的反应产物出口, 分离塔的底面、顶部和侧面分别设有反应产物难溶物出口、药剂投放口和反应产物易溶物出口。其中, 进入分离塔内的易溶物主要为硫酸和硝酸混合溶液, 而难溶物主要为硫酸汞沉淀物, 主要通过从药剂投放口添加药剂 (考虑溶液具有强酸性, 可以选择聚丙烯酰胺絮凝剂系列) 促进难溶物沉淀。

[0012] 所说烟气扩散器采用旋流型喷嘴, 强化鼓泡床反应器内扩散和搅动, 其布置形式采用等距和等角的交差排列形式, 具体排列密度由旋流喷嘴的旋流角和出口流速以及现场实际情况确定;

[0013] 超声波发射器必须保持竖直和悬空状态, 超声波布阵方式采用交叉差排列形式, 超声波发射器的有效发射端面必须全部插入反应液液面以下; 超声波发生器及发射器可以是变幅杆式或清洗式; 冷却水系统采用外置和内置的双冷却系统, 外部为冷却套, 内部为冷却盘管, 两者并联;

[0014] 在安装多部超声波发生器及发射器时, 多部要保持发射频率相同、之间要保持等距、旋转角度相同。

[0015] 经过一级除尘的烟气经烟道送入静电除尘器, 待除去固体颗粒物后经烟气扩散器均匀扩散至鼓泡床反应器内, 超声波发生器将电能转化为声能并通过超声波发射器将声能传递到溶液中, 超声波在溶液中产生空化效应, 释放出大量的具有强氧化性的羟基自由基 $\text{OH}\cdot$, 与烟气中的硫氧化物、氮氧化物和 Hg^0 发生氧化脱除反应, 经过处理的洁净烟气由烟囱排入大气, 经分离塔分离所得的混合酸液用氨水吸收后制造肥料, 而重金属沉淀物则进行提取回收。

[0016] 由于进入鼓泡床反应器的颗粒物容易造成超声波的剧烈衰减, 降低超声波能量的利用效率, 因此, 进入鼓泡床反应器的烟气必须首先经过静电除尘器除尘, 使得进入鼓泡床反应器的颗粒数量尽可能达到最小化。本方法利用超声波的空化效应产生具有强氧化性的羟基自由基对烟气污染物进行氧化脱除, 利用产生的机械效应强化化学反应的传热传质过程, 加快化学反应速率, 提高生产率, 实验证明, 超声波的有效频率范围为 20KHz-500KHz 之间, 频率太低或太高均会导致空化效应变得不明显或者无空化效应, 超声波最佳强度在 $20\text{W}/\text{cm}^2$ - $80\text{W}/\text{cm}^2$ 之间, 超声强度太小, 空化效应不明显, 污染物脱除效率不高, 难以满足环保要求, 而强度过高则会因为声屏蔽现象导致超声波的声能利用率大幅度下降, 增加了经济成本。

[0017] 鼓泡床反应器内的化学反应在常压下进行, 这既降低了对鼓泡床反应器材料的要求, 也提高了反应的安全可靠性, 省去了许多高压反应加压所带来的耗能难题。有效反应

温度为 0°C - 80°C , 免去了氮氧化物在选择性催化脱除时加热升温所引发的能耗的问题, 反应在室温度下即可以进行, 温度可以通过冷却水系统进行调节和控制。烟气出口流速在 0.005m/s - 0.08m/s 之间, 溶液循环流速为 0.02m/s - 0.2m/s , 烟气出口流速和循环液流速太低则不利于气液反应的传质 - 反应过程, 但速度过高则气液接触时间缩短, 而空化泡的形成需要时间, 因此速度太高则不利于空化泡的形成。本系统对不同成分的混合气体和高低浓度的污染物气体的处理均具有良好的效果, 具有适用范围广泛等优点。

[0018] 本发明可以对烟气中的硫氧化物、氮氧化物和 Hg^0 进行一体化脱除, 对其中一种、两种甚至多种污染物单独或者同时脱除都适用, 这在当前的各种烟气污染物脱除方法中是不多见的, 这可以大幅度节省初试投资成本和运行维护费用, 具有良好的应用前景。

[0019] 烟气扩散盘是关键部件, 采用旋流型喷嘴强化鼓泡床反应器内扩散和搅动, 加强化学反应的传热传质速率, 采用等距和等角的交差排列形式, 具体数量由旋流喷嘴的旋流角度和出口流速以及现场实际情况确定。反应器采用烟气处理量较大的鼓泡床反应器, 超声波发生器及发射器可以是变幅杆式和清洗式, 在安装多部超声波发生器及发射器时, 多部要保持发射频率相同, 发射器之间要保持等距, 间距同为 a , 旋转角度同为 B , 距离和角度具体大小结合所处理烟气的相关性质和现场情况统筹确定, 超声波发射器必须保持竖直和悬空状态, 超声波布阵方式采用差排, 有效发射端面必须全部插入液面以下, 充分利用声能, 提高节能效果。

[0020] 另外, 由于溶液中颗粒物引起声波的反射和散射现象, 会造成声波急剧的衰减, 降低声能的利用效率, 因此, 烟气在进入烟气扩散器前必须要经过二级以上除尘, 第一级可由普通的除尘器除去大中径固体颗粒, 末级则必须采用静电除尘器除去微小颗粒。此外, 由于超声波的空化效应对温度的变化极为敏感, 实验研究表明, 温度过高不利于空化效应的产生, 同时气体的溶解度也会下降, 削弱了气液传质 - 反应的进行, 但若在内部设置过多的冷却盘管则势必占据过多的反应空间, 其次还会造成声波衰减, 降低声能的利用率, 采用内外置复合冷却系统并联合的方式可以有效减少内设盘管的压力, 还可以对内外系统进行流量调节来控制反应器内部温度的大小和均匀度。

[0021] 本发明的优点及有益效果:

[0022] 目前采用的各种脱硫、脱硝、脱汞方法均具有各自的不足, 例如石灰石 - 石膏湿法烟气脱硫技术具有系统复杂, 初始投资和运行费用相对较高, 以及反应产物难以获得有效的处理或利用等不足; 而 NH_3 -SCR 催化技术具有 NH_3 泄露而造成二次污染问题, 运行中催化剂的损耗导致的运行费用的增加是其目前需要解决的重要问题; 烟气脱汞技术目前研究较多的活性炭吸附脱除法具有成本过高, 对 Hg^0 的吸附脱除效率低等不足; 此外, 对污染物进行分别脱除具有投资和运行费用高、设备复杂和占地面积大等诸多不足, 本发明具备以下的诸多优点能够有效解决上面的问题。

[0023] 本发明中, 烟气由经静电除尘器和止回阀通入烟气扩散器, 随后均匀扩散至鼓泡床反应器内, 与超声波空化效应产生的大量的具有强氧化性的羟基自由基 ($\text{OH}\cdot$) 发生氧化脱除反应, 羟基自由基 ($\text{OH}\cdot$) 能有效地将烟气中的难溶物 SO_2 、 NO 和 Hg^0 分别氧化为易溶于水的 SO_3 、 NO_2 和 Hg^{2+} , SO_3 和 NO_2 溶于水后形成 H_2SO_4 和 HNO_3 混合溶液, 而 Hg^{2+} 和硫酸反应能生成难溶物 Hg_2SO_4 沉淀下来, 有利于化学反应平衡右移, 从而进一步提高化学反应的进行, 进而达到多种污染物同时脱除的目的, 反应后的混合酸液和重金属盐沉淀物进入分离塔后

进行适当的粗分离后即可用于制取制造化肥等,而重金属沉淀物则可以进行提取回收,整个过程无二次污染,是一种高效、环保、经济的新型烟气污染物一体化脱除方法。

[0024] 其基本原理如下:

[0025] 超声波空化效应:

[0026] $H_2O \rightarrow \cdot H + \cdot OH$

[0027] $\cdot H + \cdot H \rightarrow H_2$

[0028] $\cdot OH + \cdot OH \rightarrow H_2O_2$

[0029] 脱硫反应机理:

[0030] $SO_2 + \cdot OH \rightarrow HSO_3$

[0031] $HSO_3 + \cdot OH \rightarrow H_2SO_4$

[0032] 总反应式: $SO_2 + 2 \cdot OH \rightarrow H_2SO_4$

[0033] 脱硝反应机理:

[0034] $NO + \cdot OH \rightarrow HNO_2$

[0035] $HNO_2 + \cdot OH \rightarrow NO_2 + H_2O$

[0036] $NO + \cdot OH \rightarrow NO_2 + H \cdot$

[0037] $2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$

[0038] 总反应式: $NO + 3 \cdot OH \rightarrow HNO_3 + H_2O$

[0039] 脱汞反应机理:

[0040] $Hg^0 + 2 \cdot OH \rightarrow Hg^{2+} + 2OH^-$

[0041] $Hg^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow Hg SO_4 (\downarrow)$

[0042] $OH^- + H^+ \rightarrow H_2O$

[0043] 总反应式: $Hg^0 + 2 \cdot OH + H_2SO_4 \rightarrow Hg SO_4 (\downarrow) + 2H_2O$

[0044] 本发明可以对烟气中的硫氧化物、氮氧化物和 Hg^0 进行一体化脱除,对其中一种、两种或者多种污染物脱除都适用,这在当前的各种脱出方法中是不多见的,可以大幅度节省初试投资成本和运行维护费用。而且适用范围广泛,具有初始投资和运行费用少,结构简单,操作方便,占地面积小等诸多优点,是一种具有广泛应用前景的烟气污染物控制方法及装置。

附图说明

[0045] 图 1 是本发明的硬件总体结构图;

[0046] 图 2 是超声波发射器的布阵形式局部图;

[0047] 图 3 是扩散器的旋流喷嘴布阵形式局部图。

[0048] 具体实施方式

[0049] 下面结合附图及实施例对本发明的工作原理及工作过程作进一步说明。

[0050] 参看图 1,本发明的超声波一体化脱硫脱硝脱汞装置主要由超声波发生器 8、超声波发射器 1、冷却水系统(包括冷却水套和冷却盘管)2、鼓泡床反应器 3、静电除尘器 4、烟气扩散器 5、分离塔 6 和止回阀 7 等组成;超声波发射器 1 置于鼓泡床反应器 3 内的反应液中,鼓泡床反应器 3 内外设有冷却水系统 2,冷却水出口(G)和冷却水入口(F)分别位于鼓泡床反应器 3 的上、下部,由一级除尘器处理后的烟气 A 顺序通过静电除尘器 4 和止回阀 7

并由鼓泡床反应器 3 底部接入烟气扩散器 5, 烟气出口 (B) 位于鼓泡床反应器 3 上部, 鼓泡床反应器 3 底部开有渣垢排泄口 (E), 分离塔 6 入口 (H) 接于鼓泡床反应器 3 下部的反应产物出口 (D), 分离塔 6 于底部、顶部和侧面分别设有反应产物难溶物出口 (J)、药剂投放口 (K) 和反应产物易溶物出口 (I), C 为反应液添加口。

[0051] 参看图 2 和 3, 在安装多部超声波发生器及发射器时, 多部要保持发射频率相同, 之间要保持等距, 其具体布置形式如图 2 所示, 间距同为 a , 旋转角度同为 B , 距离和角度具体大小结合操作条件以及所处理烟气的相关性质和现场情况统筹确定。超声波发射器必须保持竖直和悬空状态, 超声波布阵方式采用交差排列, 有效发射端面必须全部插入反应液液面 9 以下, 充分利用声能, 提高节能效果。系统中的烟气扩散器是关键部件, 采用旋流型喷嘴强化反应器内扩散和搅动, 加强化学反应的传热传质速率, 其布置形式如附图 3 所示, 采用等距和等角的交差排列形式, 具体数量由购买的旋流喷嘴的旋流角度和出口流速以及现场实际情况确定。

[0052] 由于反应液中颗粒物会造成声波的反射和散射, 会造成声波急剧的衰减, 降低声能的利用效率, 因此, 烟气在进入烟气扩散器前必须要经过二级以上除尘, 第一级可由普通除尘器除去大中径固体颗粒, 第二级则必须采用静电除尘器除去微小颗粒。反应器采用烟气处理量较大的鼓泡床反应器, 超声波装置可以是变幅杆式和清洗式。此外, 由于超声波的空化效应对温度的变化极为敏感, 实验研究表明, 温度过高不利于空化效应的产生, 同时气体的溶解度也会下降, 若在内部设置过多的冷却盘管则势必占据过多的反应空间, 其次还会造成声波衰减, 降低声波的利用率, 采用内外置复合冷却系统结合的方式可以有效减少内设盘管的压力, 还可以对内外系统进行流量调节来控制反应器内部温度的大小和均匀度, 其中内置盘管的设置量可以根据烟气处理量好具体装置的结构形式来确定。

[0053] 经一级除尘的烟气经烟道由 A 处送入静电除尘器 4, 待除去固体颗粒物后经烟气扩散器 5 均匀扩散至鼓泡床反应器 3 内, 超声波发生器 8 将电能转化为声能并通过超声波发射器 1 将声能传递到反应液中, 超声波在反应液中产生空化效应, 时释放出大量的具有强氧化性的羟基自由基 $\text{OH}\cdot$, 与烟气中的硫氧化物、氮氧化物和 Hg^0 发生氧化脱除反应, 能有效地将烟气中的难溶物 SO_2 、 NO 和 Hg^0 分别氧化为易溶于水的 SO_3 、 NO_2 和 Hg^{2+} , SO_3 和 NO_2 溶于水后形成 H_2SO_4 和 HNO_3 混合溶液, 而 Hg_2^{2+} 和硫酸反应能生成难溶物 Hg_2SO_4 沉淀下来, 有利于化学反应平衡右移, 从而进一步提高化学反应的进行, 进而达到多种污染物同时脱除的目的。经过处理的烟气经 B 处排出, 产生的渣垢由 E 处排出, 反应产物则由 B 处进入分离塔 6, 在分离塔 6 内稍作分离后即可用氨水吸收后制造化肥等, 而重金属沉淀物则可以进行提取回收, 整个过程无二次污染, 是一种高效、环保和经济的烟气污染物一体化脱除装置及方法。

[0054] 其中, 进入分离塔内的易溶物主要为硫酸和硝酸混合溶液, 而难溶物主要为硫酸汞沉淀物, 主要通过从药剂投放口添加药剂 (考虑溶液具有强酸性, 可以选择聚丙烯酰胺絮凝剂系列) 促进难溶物沉淀。

[0055] 下面是几组具体实际应用时的操作参数和脱除效果:

[0056] 第一组:

[0057] 主要操作参数:

[0058]

超声频率	超声强度	反应温度	反应压力	烟气出口流速	循环液流速	烟气成分
20KHz	80W/cm ²	25℃	常压	0.02m/s	0.03m/s	SO ₂ 、NO、Hg ⁰ 和 N ₂ 混合气体

[0059] 脱除效率

[0060]

污染物类型	SO ₂	NO	Hg ⁰
出口浓度	3000ppm	600ppm	30 μg/m ³
脱除效率	100%	89%	94%

[0061] 第二组：

[0062] 主要操作参数：

[0063]

超声频率	超声强度	反应温度	反应压力	烟气出口流速	循环液流速	烟气成分
20KHz	40W/cm ²	25℃	常压	0.02m/s	0.03m/s	SO ₂ 、NO、Hg ⁰ 和 N ₂ 混合气体

[0064] 脱除效率

[0065]

污染物类型	SO ₂	NO	Hg ⁰
出口浓度	3000ppm	600ppm	30 μg/m ³
脱除效率	90%	74%	86%

[0066] 第三组：

[0067] 主要操作参数：

[0068]

超声频率	超声强度	反应温度	反应压力	烟气出口流速	循环液流速	烟气成分
200KHz	80W/cm ²	25℃	常压	0.02m/s	0.03m/s	SO ₂ 、NO、Hg ⁰ 和 N ₂ 混合气体

[0069] 脱除效率

[0070]

污染物类型	SO ₂	NO	Hg ⁰
出口浓度	3000ppm	600ppm	30 μ g/m ³
脱除效率	94%	85%	93%

[0071] 第四组：

[0072] 主要操作参数：

[0073]

超声频率	超声强度	反应温度	反应压力	烟气出口 流速	循环液流 速	烟气成分
20KHz	80W/cm ²	70℃	常压	0.02m/s	0.03m/s	SO ₂ 、NO、 Hg ⁰ 和 N ₂ 混 合气体

[0074] 脱除效率

[0075]

污染物类型	SO ₂	NO	Hg ⁰
出口浓度	3000ppm	600ppm	30 μ g/m ³
脱除效率	97%	86%	89%

[0076] 第五组：

[0077] 主要操作参数：

[0078]

超声频率	超声强度	反应温度	反应压力	烟气出口 流速	循环液流 速	烟气成分
20KHz	80W/cm ²	70℃	常压	0.04m/s	0.06m/s	SO ₂ 、NO、 Hg ⁰ 和 N ₂ 混 合气体

[0079] 脱除效率

[0080]

污染物类型	SO ₂	NO	Hg ⁰
出口浓度	3000ppm	600ppm	30 μ g/m ³
脱除效率	100%	92%	97%

[0081] 第六组：

[0082] 主要操作参数：

[0083]

超声频率	超声强度	反应温度	反应压力	烟气出口流速	循环液流速	烟气成分
20KHz	80W/cm ²	25℃	常压	0.02m/s	0.03m/s	SO ₂ 、NO、Hg ⁰ 和 N ₂ 混合气体

[0084] 脱除效率

[0085]

污染物类型	SO ₂	NO	Hg ⁰
出口浓度	1500ppm	300ppm	15 μ g/m ³
脱除效率	96%	82%	85%

[0086] 可见,超声波声强度,反应温度,声波频率,出口浓度和气流流速等因素对污染物的脱除效率均有重要的影响,具体应用时应根据实际情况选择最佳操作参数。

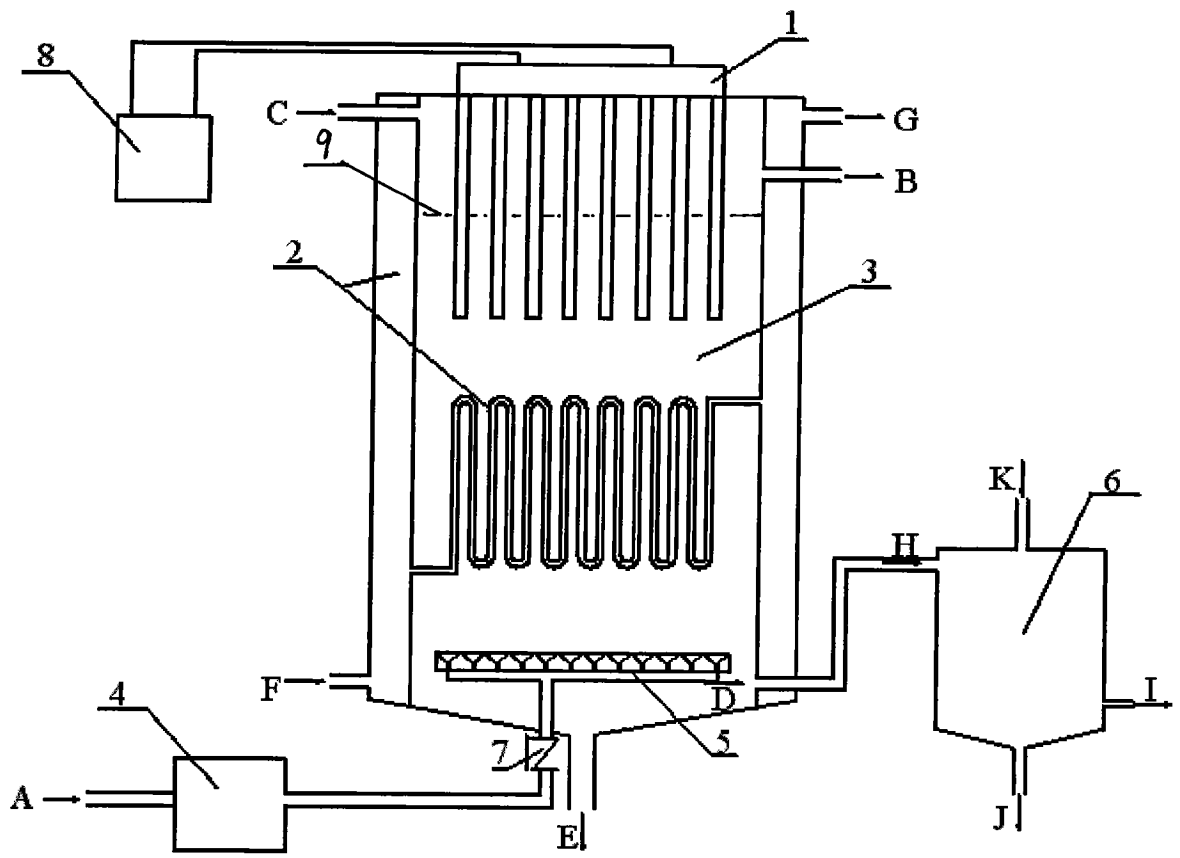


图 1

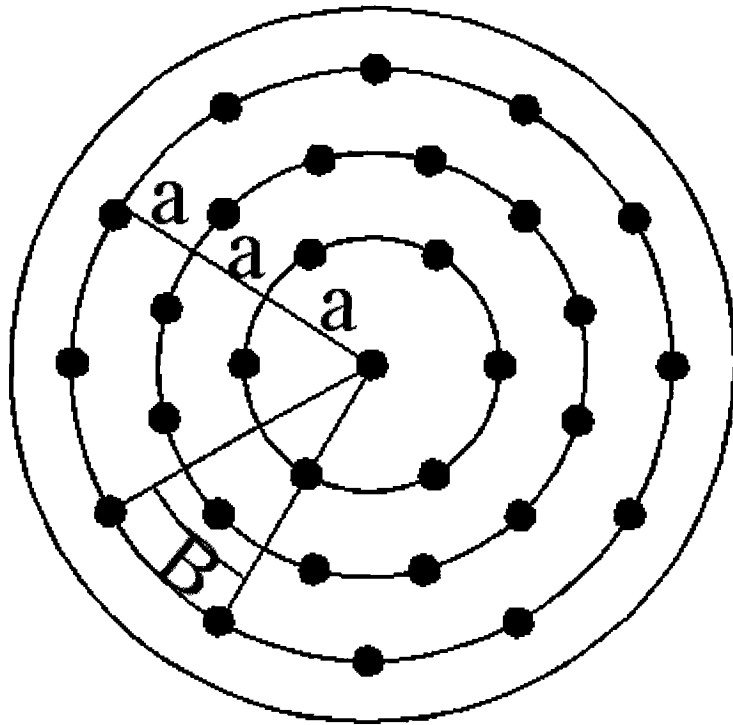


图 2

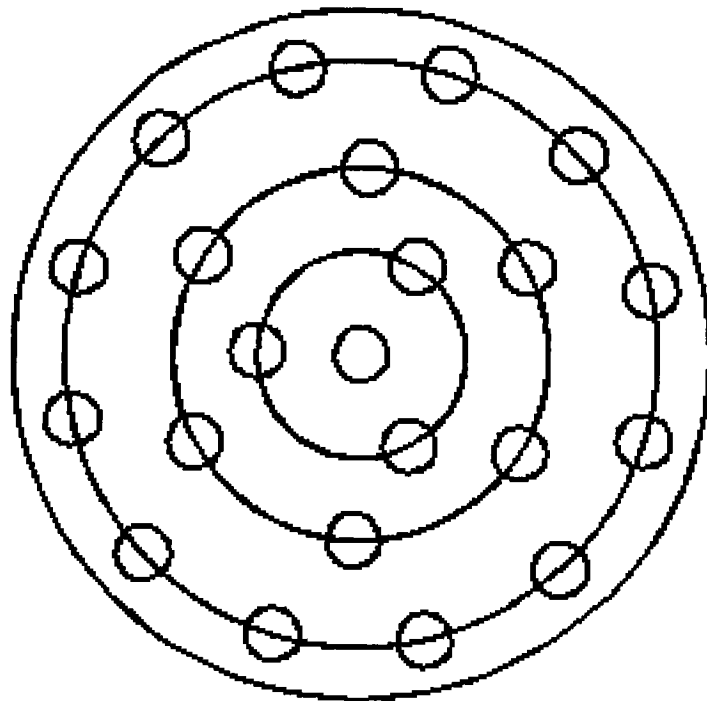


图 3