



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104801178 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 29

(21) 申请号 201510192027. X

(22) 申请日 2015. 04. 21

(71) 申请人 南京朗洁环保科技有限公司

地址 210000 江苏省南京市栖霞区燕子矶街道和燕路 371 号

(72) 发明人 刘杨先 张军 阮小娇 刘勇

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207

代理人 朱少华

(51) Int. Cl.

B01D 53/86(2006. 01)

B01D 53/60(2006. 01)

B01D 53/64(2006. 01)

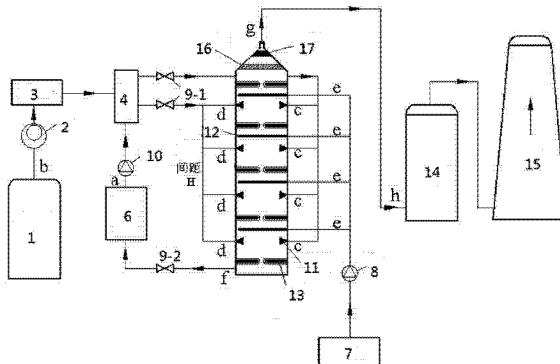
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝  
脱汞方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞系统，所述的系统是采用紫外光联合催化剂分解过氧化物产生强氧化性的羟基或硫酸根自由基在撞击床中氧化脱除 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 Hg<sup>0</sup>。来自排放源的部分烟气与部分催化剂颗粒混合后由高速喷嘴喷入撞击床，另一部分烟气与另一部分催化剂颗粒混合后由同轴对向布置的高速喷嘴喷入撞击床。与此同时，过氧化物溶液通过喷雾器喷入撞击床内，三股气流在撞击床内发生撞击混合。紫外光联合催化剂分解过氧化物产生强氧化性的羟基或硫酸根自由基氧化 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 Hg<sup>0</sup>生成气态二价汞、二氧化氮、三氧化硫、硫酸和硝酸，然后在尾部的湿法脱硫系统中被吸收脱除。该系统能够用于改造现有的燃煤锅炉实现硫、氮、汞一体化脱除，具有广阔的应用前景。



1. 一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:来自排放源的烟气经由风机引入降温器,经过降温的烟气进入混合器,催化剂也由催化剂储存塔引入混合器,烟气与催化剂在混合器中气固混合,混合器设有两个出口分别通过管道与撞击床连接,烟气通过上述两个管道进入撞击床中同轴对向布置的高速喷嘴,在撞击床中发生撞击;过氧化物溶液通过喷雾器喷入撞击床内,三股气流在撞击床内发生撞击混合;位于撞击床内的紫外灯发射出紫外光,紫外光有效辐射强度为 $30 \mu W/cm^2$ - $400 \mu W/cm^2$ ,紫外线有效波长为 $180nm$ - $365nm$ ;紫外光联合催化剂分解过氧化物产生强氧化性的羟基或硫酸根自由基在撞击床中氧化脱除 $SO_2$ 、 $NO_x$ 和 $Hg^0$ ,生成气态二价汞、二氧化氮、三氧化硫、硫酸和硝酸,在尾部的湿法脱硫系统中被吸收脱除,经过净化烟气经过烟囱排入大气。

2. 根据权利要求1所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:所述的烟气经过降温器降温,撞击床的烟气入口温度控制在 $60-160^\circ C$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:烟气与过氧化物溶液的有效液气比为 $0.2-3.0L/m^3$ ,过氧化物的浓度为 $0.2mol/L$ - $2.0mol/L$ 之间,溶液的pH位于 $1.0-6.5$ 之间,溶液温度为 $70-95^\circ C$ 。

4. 根据权利要求1或3所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:烟气中的 $SO_2$ 、 $NO_x$ 与 $Hg^0$ 浓度分别为 $2000ppm$ , $400ppm$ 以及 $50 \mu g/m^3$ ,撞击床的烟气入口温度为 $100^\circ C$ ,液气比为 $1.5L/m^3$ ,氧化铁投加量为 $0.2kg/m^3$ ,双氧水浓度为 $1.0mol/L$ ,溶液pH为 $3.4$ ,溶液温度为 $70^\circ C$ ,紫外光有效辐射强度为 $65 \mu W/cm^2$ ,紫外线有效波长为 $254nm$ 。

5. 根据权利要求1或3所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:烟气中的 $SO_2$ 、 $NO_x$ 与 $Hg^0$ 浓度分别为 $2000ppm$ , $400ppm$ 以及 $50 \mu g/m^3$ ,撞击床的烟气入口温度为 $100^\circ C$ ,液气比为 $0.5L/m^3$ ,氧化铁投加量为 $0.1kg/m^3$ ,过硫酸铵浓度为 $1.0mol/L$ ,溶液pH为 $3.4$ ,溶液温度为 $70^\circ C$ ,紫外光有效辐射强度为 $25 \mu W/cm^2$ ,紫外线有效波长为 $254nm$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:喷雾器喷出的过氧化物溶液的雾化液滴粒径不大于 $10$ 微米;高速喷嘴喷出口的流速为 $5-25m/s$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:催化剂的投加量按撞击床反应器体积的每立方米投加 $0.1-4kg$ ;烟气中 $SO_2$ 、 $NO_x$ 、 $Hg^0$ 的含量分别不高于 $8000ppm$ 、 $2000ppm$ 、 $300 \mu g/m^3$ 。

8. 根据权利要求1所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:所述的催化剂是二氧化钛、氧化铁、二氧化锰、氧化铜中的一种或两种以上混合物,或者是所述催化剂的负载型,所用载体是活性炭、三氧化二铝、分子筛、硅胶和生物质焦中的一种或多种的复合体。

9. 根据权利要求1至6任一项所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:所述的排放源是燃煤锅炉、垃圾焚烧炉、石油化工设备和医疗废弃物焚烧炉中的任一种。

10. 根据权利要求1至6任一项所述的一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,其特征在于:所述的过氧化物是双氧水、过硫酸铵、过硫酸钠和过硫酸

钾中的一种或两种以上的混合。

## 自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及燃烧烟气污染物控制领域,具体涉及一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法。

### 背景技术

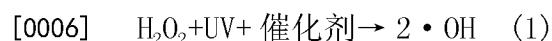
[0002] 燃烧过程中产生的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  以及  $\text{Hg}$  能够引起酸雨、光化学烟雾和致癌等严重的大气污染问题,危害人类健康和生态平衡。在过去的几十年,尽管人们开发了大量的烟气脱硫脱硝脱汞技术,但现有的各种脱硫脱硝脱汞技术在研发当初仅针对单一污染物为脱除目标,无法实现多污染物的同时脱除。例如,目前应用较多的烟气脱硫脱硝技术主要为石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术和氨选择性催化还原法。这两种方法虽可以单独脱硫脱硝,但无法在一个反应器内实现同时脱除。两种工艺叠加使用虽然可以实现同时脱硫脱硝,但造成整个系统复杂,占地面积大,投资和运行成本高等不足。另外,随着人类对环保要求的不断提高,针对烟气中汞排放控制的法律法规也逐渐出台,但目前还没有一种经济有效的烟气脱汞技术获得大规模商业应用。如果在现有的脱硫和脱硝系统尾部再次增加单独的烟气脱汞系统,则势必将造成整个系统的初投资和运行费用进一步增加,最终很难以在发展中国家获得大规模商业应用。综上所述,如果能够在一个反应器内将  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{Hg}$  同时脱除,则有望大大降低系统的复杂性和占地面积,进而减少系统的投资与运行费用。因此,开发经济有效的硫 / 氮 / 汞同时脱除技术是该领域当前的热点问题。

### 发明内容

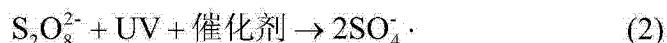
[0003] 本发明涉及一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,所述的方法是采用紫外光联合催化剂分解过氧化物产生强氧化性的羟基或硫酸根自由基在撞击床中氧化脱除  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和  $\text{Hg}^0$ 。

[0004] 本发明的方法基于的原理及反应过程如下:

[0005] 1、由图 1 所示,采用电子自旋共振 (ESR) 光谱仪可测定到反应系统中产生了羟基和硫酸根自由基。因此,该系统首先是释放了具有强氧化性的羟基和硫酸根自由基,具体过程可用如下的化学反应 (1)-(3) 表示:



[0007]



[0008]



[0009] 2、产生的强氧化性的硫酸根和羟基自由基可将烟气中的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和  $\text{Hg}^0$  预氧化生成气态二价汞、二氧化氮、三氧化硫、硫酸和硝酸。具体过程可用如下反应 (4)-(13) 表示:

- [0010]  $a \cdot \text{OH} + b\text{SO}_2 \rightarrow c\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{other products}$  (4)
- [0011]  $a \cdot \text{OH} + b\text{SO}_2 \rightarrow c\text{SO}_3^{\cdot} + \text{other products}$  (5)
- [0012]  $a \cdot \text{OH} + b\text{NO} \rightarrow c\text{NO}_2 + \text{other products}$  (6)
- [0013]  $a \cdot \text{OH} + b\text{NO} \rightarrow c\text{HNO}_3 + \text{other products}$  (7)
- [0014]  $a \cdot \text{OH} + b\text{Hg}^{\cdot 0} \rightarrow c\text{HgO} + \text{other products}$  (8)
- [0015]



[0016]



[0017]



[0018]



[0019]



[0020] 3、预氧化产生的气态二价汞、二氧化氮、三氧化硫、硫酸和硝酸在尾部的石灰石湿法脱硫系统中被吸收脱除。该系统能够用于改造现有的燃煤锅炉实现硫、氮、汞一体化脱除。

[0021] 为实现同时脱硫脱硝脱汞的目的，基于上述原理，本发明采用的技术方案如下：

[0022] 一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法，来自排放源的烟气经由风机引入降温器，经过降温的烟气进入混合器，催化剂也由催化剂储存塔引入混合器，烟气与催化剂在混合器中气固混合，混合器设有两个出口分别通过管道与撞击床连接，烟气通过上述两个管道进入撞击床中同轴对向布置的高速喷嘴，在撞击床中发生撞击。过氧化物溶液通过喷雾器喷入撞击床内，三股气流在撞击床内发生撞击混合。紫外光联合催化剂分解过氧化物产生强氧化性的羟基或硫酸根自由基在撞击床中氧化脱除  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和  $\text{Hg}^{\cdot 0}$ ，生成气态二价汞、二氧化氮、三氧化硫、硫酸和硝酸，在尾部的湿法脱硫系统中被吸收脱除，经过净化烟气经过烟囱排入大气。

[0023] 发明人采用电子自旋共振技术检测后发现，紫外光有效辐射强度设置的太低将无法生成足够浓度的自由基氧化脱除污染物，但紫外光辐射强度太高将会导致系统的能耗大幅度提高，降低系统的经济性。因此，位于撞击床内的紫外光有效辐射强度为  $30 \mu \text{W}/\text{cm}^2$ – $400 \mu \text{W}/\text{cm}^2$ 。紫外线有效波长如果选择太短，则紫外光在反应器内的传播距离太短，单位功率下的污染物处理量大大降低，无法满足基本的处理要求，但紫外光波长如果选择的太长，紫外光子的能量将明显降低，低能量的紫外光子无法破坏过氧化物的分子键，从而无法产生足够浓度的自由基氧化脱除污染物。经过综合检测分析后发现，紫外线有效波长为  $180\text{nm}$ – $365\text{nm}$ 。

[0024] 由于撞击床的烟气入口温度过高会导致过氧化物发生提前自分解，但如果温度太低又将引起催化剂粘结并结块，导致催化剂和污染物之间的接触面积大幅度减少，进而影响脱除效率。因此，所述的烟气经过降温器降温，撞击床的烟气入口温度控制在  $60$ – $160^\circ\text{C}$ 。

液气比过低,污染物的脱除效率太低,无法满足环保要求,但液气比设置太高,循环泵功率过大导致系统能耗增加。发明人经过系统的实验和理论后研究发现,烟气与过氧化物溶液的有效液气比为 0.2–3.0L/m<sup>3</sup>。

[0025] 过氧化物浓度太低无法释放充足的自由基氧化脱除污染物,但一次投放太高浓度的过氧化会导致额外的自分解和副反应,自分解会导致过氧化物氧化剂消耗严重,增加运行成本,副反应会导致反应产物中产生各种有害成分,影响最终产物的循环利用。经过发明人的实验和检测分析后发现,过氧化物的最佳浓度位于 0.2mol/L–2.0mol/L 之间。过氧化物溶液的 pH 太高会导致过氧化物加速自分解而消耗,增加应用成本,但 pH 过低时会抑制化学吸收平衡,导致污染物脱除效率保持在低水平,无法满足环保指标。发明人经过系统的实验研究、理论研究和检测分析后发现,溶液的最佳 pH 位于 1.0–6.5 之间。

[0026] 溶液温度过高会导致过氧化物发生提前自分解浪费昂贵的氧化剂,但如果温度过低则会降低化学反应速率,且催化剂在加湿后的结块率会增高,从而降低污染物与催化剂之间的接触面积。70–95℃是发明人根据正交实验和综合分析后获得的最佳溶液温度,超过该溶液温度后过氧化物分解速率大幅度增加,污染物的脱除效率大幅度下降。因此,最佳的溶液温度为 70–95℃。

[0027] 优选的反应条件参数,烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>与 Hg<sup>0</sup>浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>, 撞击床的烟气入口温度为 100℃, 液气比为 1.5L/m<sup>3</sup>, 氧化铁投加量为 0.2kg/m<sup>3</sup>, 双氧水浓度为 1.0mol/L, 溶液 pH 为 3.4, 溶液温度为 70℃, 紫外光有效辐射强度为 65 μW/cm<sup>2</sup>, 紫外线有效波长为 254nm。

[0028] 优选的反应条件参数,烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>与 Hg<sup>0</sup>浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>, 撞击床的烟气入口温度为 100℃, 液气比为 0.5L/m<sup>3</sup>, 氧化铁投加量为 0.1kg/m<sup>3</sup>, 过硫酸铵浓度为 1.0mol/L, 溶液 pH 为 3.4, 溶液温度为 70℃, 紫外光有效辐射强度为 25 μW/cm<sup>2</sup>, 紫外线有效波长为 254nm。

[0029] 喷雾器喷出的过氧化物溶液的雾化液滴粒径不大于 10 微米;高速喷嘴喷出口的流速为 5–25m/s。

[0030] 催化剂的投加量按撞击床反应器体积的每立方米投加 0.1–4kg;烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、Hg<sup>0</sup>的含量分别不高于 8000ppm、2000ppm、300 μg/m<sup>3</sup>。

[0031] 所述的催化剂是二氧化钛、氧化铁、二氧化锰、氧化铜中的一种或两种以上混合物,或者是所述催化剂的负载型,所用载体是活性炭、三氧化二铝、分子筛、硅胶和生物质焦中的一种或多种的复合体。

[0032] 所述的过氧化物是双氧水、过硫酸铵、过硫酸钠和过硫酸钾中的一种或两种以上的混合。

[0033] 所述方法基于的系统设有排放源,排放源可以是燃煤锅炉、垃圾焚烧炉、石油化工设备和医疗废弃物焚烧炉中的任一种,风机、降温器、混合器、阀门、催化剂储存塔、撞击床、高速喷嘴、喷雾器、紫外灯及石英套管、除雾器、除灰器、喷雾泵、储液箱、循环泵、石灰石湿法脱硫系统和烟囱等。

[0034] 撞击床内的高速喷嘴、喷雾器和紫外灯管均采用多级交叉布置。高速喷嘴、喷雾器和紫外灯管相间布置,且相邻的高速喷嘴、喷雾器与紫外灯管采用同向布置。高速喷嘴相邻两层之间的垂直间距 H 位于 20cm–120cm 之间,且相邻两级高速喷嘴采用 90 度错开的

交叉布置,以达到最佳的撞击效果。紫外灯管布置在相邻两级高速喷嘴之间的中心点处,且相邻两级的紫外灯管同样采用 90 度错开的交叉布置,以达到最佳的光辐射效果。喷雾器布置在相邻两级高速喷嘴和紫外灯管之间的中心点处,且相邻两级的喷雾器也采用 90 度错开的交叉布置,以达到最佳的雾化覆盖效果。

[0035] 需要特别注意的是:以上选择的各种优化参数,均是发明人通过大量的综合实验、理论计算和检测分析后才获得的。由于每个操作参数通常还会受到其它一个或多个参数的综合影响或干扰,因此无法通过简单的现场单因素实验或文献对比获得。另外本发明提供的优化参数是在小型设备和放大后的设备上综合对比后确定的,综合考虑了设备放大过程可能产生的“放大效应”,故现场技术人员不能通过对现有设备简单分析后推测获得安全可靠的优化参数。

[0036] 本发明的优点及显著效果(与现有技术或专利对比):

[0037] 1. 根据国际著名化工专家 Danckwerts<sup>[1]</sup>和张成芳教授的研究发现<sup>[2]</sup>,对于快速化学反应体系,整个污染物脱除的控制步骤主要集中在传质环节,即如果想大幅度提高污染物的脱除效率必须优先强化系统的传质速率。由于传统的鼓泡塔和喷淋塔的传质速率较低,无法满足自由基引发的高速化学反应体系。另外,我国著名学者伍沅教授的研究表明<sup>[2]</sup>,相同条件下,撞击床的传质速率要比鼓泡床和喷淋床高一个数量级以上,具有极高的传质速率,非常适合于自由基引发的快速化学反应体系。本系统实现了 100% 的污染物脱除效率即可证明撞击床是一种优越的气液反应器,适合于自由基诱导的快速反应体系。因此,发明人首次提出将撞击床与自由基快速反应体系相结合用于脱除 烟气中的硫化氢,有明显的创新性和实用价值,也具有良好的发展潜力和市场前景。(参考文献:[1]Danckwerts, P. V. Gas-Liquid Reactions. New York:McGraw-Hill, 1970. [2] 张成芳. 气液反应和反应器[M]. 北京:化学工业出版社, 1985. [3] 伍沅. 撞击流 - 原理·性质·应用 [M]. 北京:化学工业出版社, 2005。)

[0038] (1) 中国专利 201310683135.8 提出了一种基于喷淋塔的光活化过硫酸盐同时脱硫脱硝脱汞系统,但由于喷淋塔的传质速率低,无法满足自由基引发的快速反应,导致污染物脱除效率不高,而本发明提出的光化学撞击床具有极强的传质速率,能够明显提高传质速率,从而大幅度提高污染物的脱除率。本发明所述系统能实现 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、Hg 三种污染物的 100% 脱除率即证明了该系统出色的脱除性能。

[0039] (2) 中国专利 201010296492.5 提出了一种利用光辐射过氧化氢产生自由基的同时脱硫脱硝系统,但该系统只能同时脱硫脱硝,无法实现脱汞,而本发明可以在一个反应器内实现 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、Hg 三种污染物的同时脱除,因而能够降低系统的初投资和运行费用。随着人类对环保要求的不断提高,本发明的这一优势将得到逐渐凸显。另外,该专利所述的脱除工艺采用的是传质速率很低和市场应用潜力小的鼓泡塔反应器,而本发明提出的光化学撞击床具有极强的传质速率,能够明显提高传质速率,从而大幅度提高污染物的脱除效率。

[0040] (3) 在过去的二十年,中国有大量的燃煤锅炉仅仅装有湿法脱硫系统,但随着环保要求的不断提高,国家最近出台了多项措施要求对氮氧化物和汞进行脱除,本发明可以利用现有的石灰石湿脱硫系统结合预氧化同时脱硫脱硝脱汞。该技术有可能被用于改造现有的老旧锅炉,具备巨大的市场潜力和经济价值。

## 附图说明

- [0041] 图 1 基于自由基预氧化结合湿法吸收同时脱硫脱硝脱汞中捕获的 ESR 光谱图。
- [0042] 图 2 是本发明系统的工艺流程和结构图。
- [0043] 图 3 是本发明撞击床内高速喷嘴、喷雾器和紫外灯管相邻两组布置的结构示意图。
- [0044] 图 4 是混合器的结构示意图。
- [0045] 图 5 是喷雾器的结构示意图。

## 具体实施方式

- [0046] 下面结合附图,对本发明的具体实施方式作进一步的说明。
- [0047] 如图 2 所示,一种基于自由基预氧化结合湿法吸收的同时脱硫脱硝脱汞方法,所述方法基于的系统设有排放源 1、风机 2、降温器 3、混合器 4、阀门一 9-1、阀门二 9-2、催化剂储存塔 6、撞击床 5、高速喷嘴 11、喷雾器 12、紫外灯 13 及石英套管、除雾器 17、除灰器 16、喷雾泵 8、储液箱 7、循环泵 10、石灰石湿法脱硫系统 14 和烟囱 15。
- [0048] 排放源 1 通过烟道连接降温器 3 入口,降温器 3 出口连接混合器 4 的烟气入口 m,催化剂储存塔 6 的出口连接混合器 4 的催化剂入口 n,混合器的出口 p 设有两个,分别与撞击床 5 上的同轴对向布置的高速喷嘴 11 连接;所述撞击床 5 由上向下依次设有烟气出口 g、除雾器 17、除灰器 16、高速喷嘴 11、喷雾器 12、紫外灯 13 及石英套管、催化剂出口 f;所述高速喷嘴 11、喷雾器 12、紫外灯 13 及石英套管在撞击床 5 内多级交错相间设置;所述储液箱 7 通过管道与撞击床 5 的喷雾器 12 连接;所述撞击床 5 的烟气出口 g 与石灰石湿法脱硫塔的入口连接,石灰石湿法脱硫塔的出口连接烟囱。
- [0049] 如图 3 所示,撞击床 5 内的高速喷嘴 11、喷雾器 12 和紫外灯管 13 均采用多级交叉布置。
- [0050] 高速喷嘴 11、喷雾器 12 和紫外灯管 13 相间布置,且相邻的高速喷嘴 11、喷雾器 12 与紫外灯管 13 采用同向布置。高速喷嘴 11 相邻两层之间的垂直间距 H 位于 20cm-120cm 之间,且相邻两级高速喷嘴 11 采用 90 度错开的交叉布置。紫外灯管 13 布置在相邻两级高速喷嘴 11 之间的中心点处,且相邻两级的紫外灯管 13 同样采用 90 度错开的交叉布置。喷雾器 12 布置在相邻两级高速喷嘴 11 和紫外灯管 13 之间的中心点处,且相邻两级的喷雾器 11 也采用 90 度错开的交叉布置。
- [0051] 如图 4 所示,混合器 4 设有烟气入口 m,催化剂入口 n 以及烟气与催化剂混合后的出口 p,混合器 4 内设有电动搅拌桨 4-1,烟气经过降温器 3 降温后由混合器的烟气入口 m 进入混合器,催化剂颗粒有催化剂储存塔 6 由混合器的催化剂入口 n 进入混合器,电动搅拌桨 4-1 用于搅动催化剂与烟气混合,气固混合物由出口 p 通过管道进入撞击床内。
- [0052] 如图 5 所示,喷雾器 12 上设有雾化溶液的微米级小孔 12-1,过氧化物溶液由喷雾器的入口 12-3 进入喷雾器,喷雾器上的微米级小孔 12-1 将过氧化物溶液雾化。
- [0053] 反应过程如下:催化剂颗粒从催化剂储存塔 6 的出口 a 进入混合器 4,烟气从排放源 1 的出口 b 由引风机 2 引入降温器 3,经降温器 3 降温后也进入混合器 4,烟气和催化剂颗粒在混合器 4 内混合后分为两股均等气流。一半气流由设置在一边的高速喷嘴 11 经入

口 c 喷入撞击床，另一半气流则由设置在另一边的同轴对向布置的高速喷嘴 11 经入口 d 喷入撞击床。与此同时，来自储液箱 7 的过氧化物溶液由喷雾泵 8 提供动力，由喷雾器 12 从入口 e 喷入撞击床 5 内。三股气流在撞击床 5 内发生撞击混合。

[0054] 紫外光联合催化剂分解过氧化物产生强氧化性的羟基或硫酸根自由基氧化 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 Hg<sup>0</sup> 生成气态二价汞、二氧化氮、三氧化硫、硫酸和硝酸，生成的这些气态产物从撞击床出口 g 经石灰石湿法脱硫系统 14 的入口 h 进入塔内吸收脱除，经过洗涤的洁净烟气从烟囱 15 排入大气。

[0055] 实施例 1. 烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>，撞击床的烟气入口温度为 100℃，液气比为 0.5L/m<sup>3</sup>，氧化铁投加量为 0.1kg/m<sup>3</sup>，双氧水浓度为 0.5mol/L，溶液 pH 为 3.4，溶液温度为 70℃，紫外光有效辐射强度为 25 μW/cm<sup>2</sup>，紫外线有效波长为 254nm。小试结果为：烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 的同时脱除效率可分别达到 88.2%，62.5% 和 71.2%。

[0056] 实施例 2. 烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>，撞击床的烟气入口温度为 100℃，液气比为 0.5L/m<sup>3</sup>，氧化铁投加量为 0.1kg/m<sup>3</sup>，过硫酸铵浓度为 0.5mol/L，溶液 pH 为 3.4，溶液温度为 70℃，紫外光有效辐射强度为 25 μW/cm<sup>2</sup>，紫外线有效波长为 254nm。小试结果为：烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 的同时脱除效率可分别达到 86.2%，60.1% 和 68.5%。

[0057] 实施例 3. 烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>，撞击床的烟气入口温度为 100℃，液气比为 0.5L/m<sup>3</sup>，氧化铁投加量为 0.1kg/m<sup>3</sup>，双氧水浓度为 1.0mol/L，溶液 pH 为 3.4，溶液温度为 70℃，紫外光有效辐射强度为 25 μW/cm<sup>2</sup>，紫外线有效波长为 254nm。小试结果为：烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 的同时脱除效率可分别达到 95.8%，73.6% 和 83.7%。

[0058] 实施例 4. 烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>，撞击床的烟气入口温度为 100℃，液气比为 0.5L/m<sup>3</sup>，氧化铁投加量为 0.1kg/m<sup>3</sup>，过硫酸铵浓度为 1.0mol/L，溶液 pH 为 3.4，溶液温度为 70℃，紫外光有效辐射强度为 25 μW/cm<sup>2</sup>，紫外线有效波长为 254nm。小试结果为：烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 的同时脱除效率可分别达到 94.1%，70.1% 和 79.9%。

[0059] 实施例 5. 烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>，撞击床的烟气入口温度为 100℃，液气比为 1.5L/m<sup>3</sup>，氧化铁投加量为 0.1kg/m<sup>3</sup>，双氧水浓度为 1.0mol/L，溶液 pH 为 3.4，溶液温度为 70℃，紫外光有效辐射强度为 25 μW/cm<sup>2</sup>，紫外线有效波长为 254nm。小试结果为：烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 的同时脱除效率可分别达到 100%，91.6% 和 93.5%。

[0060] 实施例 6. 烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>，撞击床的烟气入口温度为 100℃，液气比为 1.5L/m<sup>3</sup>，氧化铁投加量为 0.1kg/m<sup>3</sup>，过硫酸铵浓度为 1.0mol/L，溶液 pH 为 3.4，溶液温度为 70℃，紫外光有效辐射强度为 25 μW/cm<sup>2</sup>，紫外线有效波长为 254nm。小试结果为：烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 的同时脱除效率可分别达到 100%，88.5% 和 89.6%。

[0061] 实施例 7. 烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 与 Hg<sup>0</sup> 浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>，撞击床的烟气入口温度为 100℃，液气比为 1.5L/m<sup>3</sup>，氧化铁投加量为 0.2kg/m<sup>3</sup>，双氧水浓度

为 1.0mol/L, 溶液 pH 为 3.4, 溶液温度为 70℃, 紫外光有效辐射强度为 65 μW/cm<sup>2</sup>, 紫外线有效波长为 254nm。小试结果为: 烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>与 Hg<sup>0</sup>的同时脱除效率可分别达到 100%, 100% 和 100%。

[0062] 实施例 8. 烟气中的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>与 Hg<sup>0</sup>浓度分别为 2000ppm, 400ppm 以及 50 μg/m<sup>3</sup>, 撞击床的烟气入口温度为 100℃, 液气比为 1.5L/m<sup>3</sup>, 氧化铁投加量为 0.2kg/m<sup>3</sup>, 双氧水浓度为 1.0mol/L, 溶液 pH 为 3.4, 溶液温度为 70℃, 紫外光有效辐射强度为 65 μW/cm<sup>2</sup>, 紫外线有效波长为 254nm。小试结果为: 烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>与 Hg<sup>0</sup>的同时脱除效率可分别达到 100%, 100% 和 100%。

[0063] 经过以上实施例的综合对比可知, 实施例 7 和 8 具有最佳脱除效果, SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>与 Hg<sup>0</sup>脱除效率均达到 100%, 可作为最佳实施例参照使用。

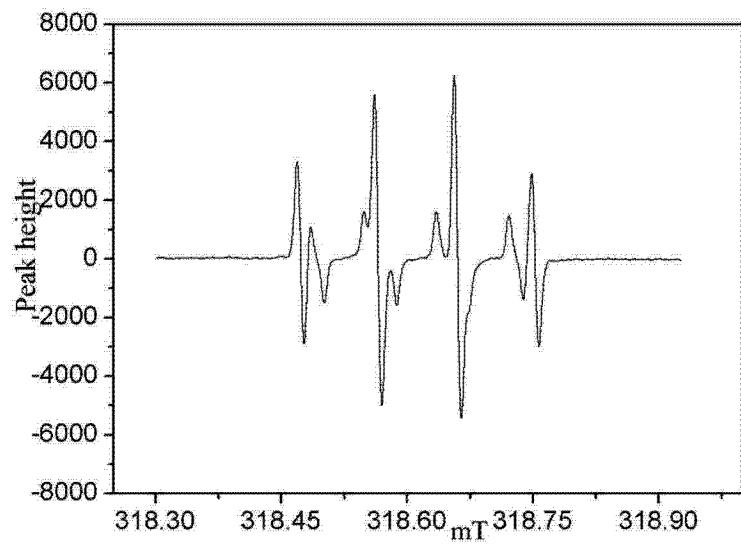


图 1

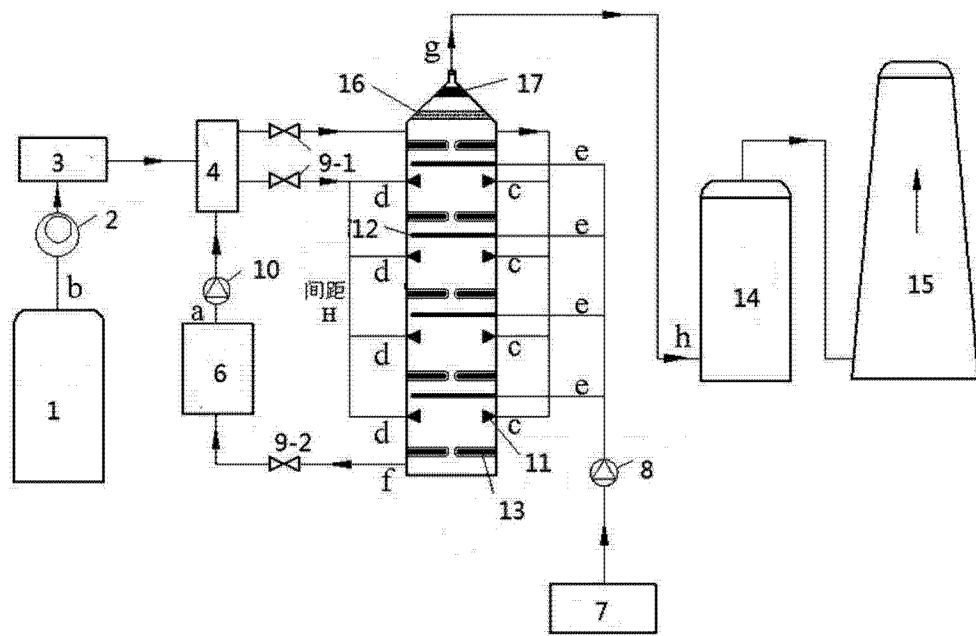


图 2

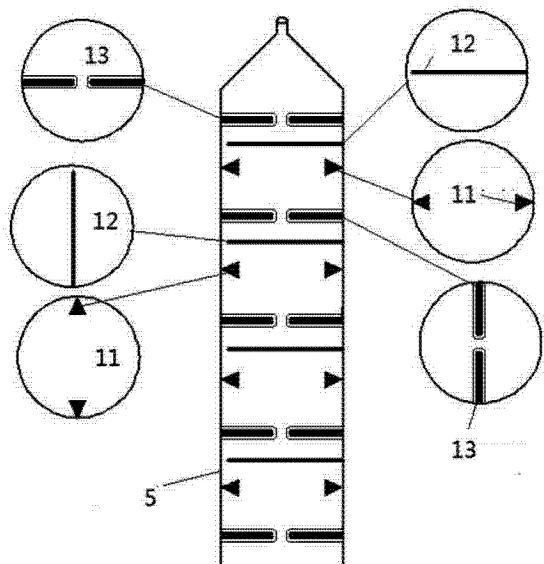


图 3

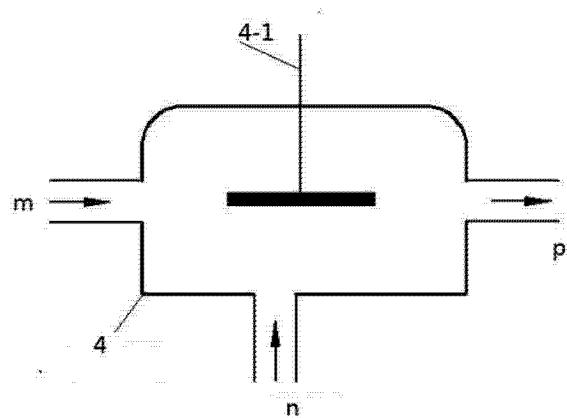


图 4

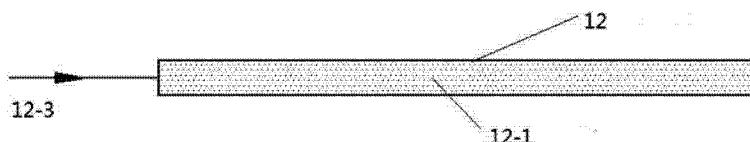


图 5