



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105771600 A

(43)申请公布日 2016.07.20

(21)申请号 201610225317.4

(22)申请日 2016.04.12

(71)申请人 刘杨先

地址 212000 江苏省镇江市学府路

(72)发明人 刘杨先

(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 53/78(2006.01)

B01D 53/60(2006.01)

B01D 53/64(2006.01)

B01D 53/52(2006.01)

B01D 53/68(2006.01)

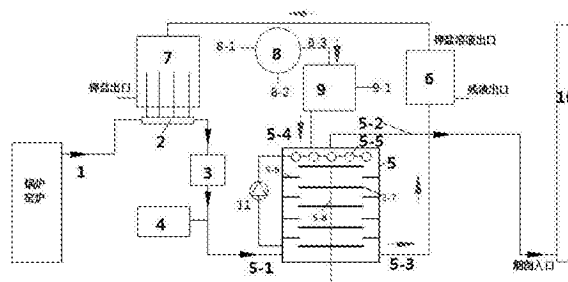
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除的方法及装置

(57)摘要

本发明涉及一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除的方法及装置,所述的方法是采用草木灰浆液单独或联合氧化脱除燃烧或化工装置尾气中的 SO_2 、 NO_x 、 Hg 、 H_2S 、 HCl 、 HF 。来自锅炉、窑炉或化工装置含有 SO_2 、 NO_x 、 Hg 、 H_2S 、 HCl 、 HF 的尾气在经冷却后进入旋转吸收反应器。可溶性或酸性气体 SO_2 、 NO_2 、 Hg^{2+} 、 H_2S 、 HCl 、 HF 可由溶液直接洗涤吸收,难溶性气体 NO 和 Hg^0 可经预氧化或添加剂氧化为 NO_2 、 HNO_2 、 HNO_3 、 Hg^{2+} 后被溶液吸收。该方法可将生物质燃烧产生的固体废弃物实现可资源化利用,能够实现多种尾气污染物一体化脱除,并达到以废治废的目的,且整个脱除过程无二次污染,具有广阔的市场开发和应用前景。



1. 一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除的方法,其特征在于:

(1)来自锅炉、窑炉或化工装置含有 SO_2 、 NO_x 、 Hg 、 H_2S 、 HCl 、 HF 的尾气由烟气出口经换热器、烟气冷却器经冷却后,经过预氧化装置进入旋转吸收反应器,烟气通过导向板在烟气冷却器腔体内分布;

(2)草木灰进入碳酸钾提取塔配置成一定浓度的浆液,然后利用锅炉烟气余热加热溶解过滤后产生含有碳酸钾的溶液,含有碳酸钾的溶液送入吸收剂制备塔,同时向吸收剂制备塔中添加添加剂后,形成吸收剂,吸收剂经过旋转吸收反应器的吸收剂入口,进入旋转吸收反应器,旋转叶桨在旋转吸收反应器内旋转,使烟气与吸收剂在旋转吸收反应器的腔体内混合;

(4)循环泵将反应器腔体底部的吸收剂导入反应器顶部的喷嘴,使吸收剂雾化喷入反应器腔体内,以促进雾化的吸收剂与烟气更好的混合。

(5)可溶性或酸性气体 SO_2 、 NO_2 、 Hg^{2+} 、 H_2S 、 HCl 、 HF 可由溶液直接洗涤吸收,难溶性气体 NO 和 Hg^0 经预氧化或添加剂氧化为 NO_2 、 HNO_2 、 HNO_3 、 Hg^{2+} 后被溶液吸收;

(6)反应产生的盐溶液和固体残渣进入沉淀分离塔沉淀分离,固体残渣排出后经过离心分离和烟气干燥后用作制备水泥砖或吸附剂的原材料;

(7)分离后的钾盐溶液进入余热利用及蒸发结晶塔,经过换热器利用烟气余热蒸发结晶;蒸发结晶产生的固态钾盐可用作化工业原料或农业肥料。

2. 根据权利要求1所述的一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除的方法,其特征在于:进入旋转吸收反应器的烟气温度不高于 80°C ,旋转吸收反应器内的溶液温度不高于 80°C ;旋转吸收反应器的最佳液气比在 $1\text{L}/\text{m}^3$ – $60\text{L}/\text{m}^3$ 之间,草木灰浆液的最佳质量浓度在 $10\text{g}/\text{L}$ – $2000\text{g}/\text{L}$ 之间;来自锅炉烟气中 SO_2 、 NO_x 、 Hg 、 H_2S 、 HCl 和 HF 的入口浓度分别不大于 20000ppm 、 4000ppm 、 $1000\text{ug}/\text{m}^3$ 、 20000ppm 、 100000ppm 、和 100000ppm 。

3. 根据权利要求1所述的一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除的方法,其特征在于:添加剂是双氧水、过硫酸盐、过一硫酸氢钾复合盐、高锰酸钾、亚氯酸盐、次氯酸钠、高氯酸钠、芬顿/类芬顿试剂、光化学诱导产生的自由基、过氧乙酸中的一种或多种;草木灰包含锅炉燃烧的秸秆灰、海藻燃烧的灰、树木/家具废材料燃烧的灰、生物质热解和汽化过程中产生的灰/渣。

4. 根据权利要求1所述的一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除的方法,其特征在于:该方法可以单独脱除 SO_2 、 NO_x 、 Hg 、 H_2S 、 HCl 和 HF 中的一种或两种及以上的混合污染物。

5. 一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除装置,其特征在于:所述装置设有烟气出口、换热器、烟气冷却器、预氧化装置、旋转吸收反应器、沉淀分离塔、余热利用及蒸发结晶塔、碳酸钾提取塔、吸收剂制备塔和烟囱;锅炉/窑炉/工业装置的烟气出口连接换热器,所述换热器连接烟气冷却器,烟气冷却器与预氧化装置连接,预氧化装置连接旋转吸收反应器的烟气入口,所述旋转吸收反应器的洗涤烟气出口连接烟囱;所述旋转吸收反应器的混合产物浆液出口连接沉淀分离塔,所述沉淀分离塔与余热利用及蒸发结晶塔连接,余热利用及蒸发结晶塔通过换热器的热管,与换热器连接耦合;所述装置在旋转吸收反应器的吸收剂入口上游依次设有吸收剂制备塔和碳酸钾提取塔。

6. 根据权利要求5所述的一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除装置,其特征

在于：预氧化装置是臭氧氧化装置、催化氧化装置、等离子体辐射装置、光催化装置、催化氧化装置和烟道氧化剂喷雾氧化装置中的一种或多种的组合。

7. 一种旋转吸收反应器，其特征在于，所述旋转吸收反应器设有烟气入口、洗涤烟气出口、吸收剂入口、混合产物浆液出口、喷嘴、导向板、旋转搅拌桨轴、紫外灯管；所述旋转吸收反应器顶部设有雾化溶液的喷嘴，中间设有可旋转的旋转叶桨，所述旋转叶桨由可旋转的旋转搅拌桨轴以及由紫外灯管组成的叶片组成；所述反应器腔体内壁上安装有用于导流烟气方向的导向板；所述烟气入口、混合产物浆液出口位于旋转吸收反应器的底部，所述吸收剂入口、洗涤烟气出口位于旋转吸收反应器的顶部。

8. 根据权利要求7所述的一种旋转吸收反应器，其特征在于，所述紫外灯管和导向板呈现从上到下的交叉间隔顺序布置；紫外灯管之间的纵向间距A位于2cm-60cm之间，紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm-10cm之间，紫外灯管与导向板的交叉重复长度在1cm-5cm之间。

9. 根据权利要求7所述的一种旋转吸收反应器，其特征在于，所述导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处；所述旋转吸收反应器的腔体为圆柱形，在反应腔体的内壁上设有360度圆周分布的导向板；所述反应器腔体设有循环泵；所述循环泵通过管道连接反应器腔体底部与反应器腔体顶部的喷嘴。

10. 根据权利要求1所述的一种旋转吸收反应器，其特征在于，所述喷嘴的溶液雾化直径不大于800微米；所述旋转叶桨旋转速度位于1转/分钟-600转/分钟之间。

草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及燃烧过程中烟气排放污染物的控制,尤其涉及一种草木灰浆液对锅炉、窑炉或者工业装置产生尾气中的多污染物 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的一体化脱除方法及装置。

背景技术

[0002] 来自燃烧过程和化工尾气中的 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF能够引起酸雨、光化学烟雾、设备腐蚀以及致癌、致畸等严重危害人类健康和生态环境的问题。因此,开发经济有效的尾气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的脱除技术是世界各国环保科技人员的重要任务之一。近些年来,尽管人们开发了大量的尾气 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的脱除技术,但由于人类认识过程的局限性和科学技术发展的渐进性,现有的各种 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF脱除技术在研发当初仅针对单一污染物为脱除目标,一般无法实现多污染物的同时脱除(也叫一体化脱除)。例如,目前应用较多的烟气脱硫脱硝技术主要为湿法石灰石-石膏法烟气脱硫技术和氨选择性催化还原技术。这两种方法虽然可以分别单独脱硫脱硝,但均无法在一个反应器内实现同时脱除。两种工艺的联合叠加使用虽然可以实现同时脱硫脱硝,但同时也造成整个系统复杂,占地面积大,投资和运行成本高等不足,不合适我国广泛使用的中小型燃煤锅炉和工业窑炉(我国目前中小型锅炉和窑炉保有量超过85万台)。另外,随着人类对环保要求的不断提高,针对尾气中 H_2S 、HCl、HF排放控制也越来越严格。如果在现有的脱硫和脱硝系统尾部再次增加单独的尾气脱 H_2S 、HCl和HF装置,则势必将造成整个系统的初始投资和运行费用进一步急剧增加,最终很难在发展中国家获得大规模商业应用。综上所述,如果能够在在一个反应器内将 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF实现同时脱除,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,是当前燃煤烟气污染控制领域和国内环保企业竞相研发的重要技术之一。

[0003] 另外,生物质资源化利用是人类未来利用可再生能源的重要发展方向之一。然而,生物质资源化利用过程中(例如最典型的秸秆燃烧发电和生物质汽化裂解)会产生大量的草木灰。由于目前草木灰的二次利用途径十分有限,这导致生物质利用过程中产生了大量的固体废弃物,严重危及生态环境健康。因此,草木灰的二次资源化利用是解决该问题的重要途径。基于以上的基本现状,本发明提出了一种草木灰浆液尾气多污染物一体化脱除方法及装置,可以有效地解决以上问题,具有良好的发展前景。

发明内容

[0004] 本发明涉及一种利用草木灰浆液对尾气多污染物一体化脱除方法及装置,所述的方法是采用草木灰浆液单独或联合氧化脱除燃烧或化工装置尾气中的 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF。该方法可将生物质燃烧产生的固体废弃物实现可资源化利用,能够实现多种尾气污染物一体化脱除,并达到以废治废的目的,且整个脱除过程无二次污染,具有广阔的市场开发和应用前景。

[0005] 本发明采用草木灰浆液脱除废气中的污染物的基本原理如下所述：

[0006] 1. 草木灰首先配置成一定浓度的草木灰浆液，然后利用锅炉烟气余热加热溶解过滤后产生含有碳酸钾的溶液，基本反应如方程(1)-(4)：

[0007] 草木灰+H₂O+加热→K₂CO₃溶液+固体残渣 (1)

[0008] $K_2CO_3 \rightarrow 2K^+ + CO_3^{2-}$ (2)

[0009] $CO_3^{2-} + H_2O \rightarrow HCO_3^- + OH^-$ (3)

[0010] $HCO_3^- + H_2O \rightarrow H_2CO_3 + OH^-$ (4)

[0011] 2. 尾气中的可溶性气体SO₂、NO₂、Hg²⁺、H₂S、HCl、HF能够被溶液中和反应脱除或直接洗涤脱除，相关的化学反应方程如下(5)-(9)：

[0012] $NO_2 + OH^- \rightarrow HNO_3$ (5)

[0013] $SO_2 + 2OH^- \rightarrow H_2SO_4$ (6)

[0014] $HCl + OH^- \rightarrow Cl^- + H_2O$ (7)

[0015] $HF + OH^- \rightarrow F^- + H_2O$ (8)

[0016] $Hg^{2+}(\text{气态}) \xrightarrow{\text{溶解洗涤}} Hg^{2+}(\text{液态})$ (9)

[0017] 3. 预氧化装置和添加剂会产生的O₃、SO₄⁻·和·OH等氧化剂和自由基。O₃、SO₄⁻·和·OH三种氧化剂均具有极强的强氧化性，可将烟气中难溶性气体NO和Hg⁰氧化为NO₂、HNO₂、HNO₃、Hg²⁺后被溶液洗涤吸收。具体氧化过程可用如下方程(10)-(16)表示：

[0018] $\cdot OH + NO \rightarrow H^+ + NO_2^-$ (10)

[0019] $SO_4^{\cdot-} + NO + H_2O \rightarrow NO_2^- + HSO_4^- + H^+$ (11)

[0020] $\cdot OH + NO_2^- \rightarrow NO_3^- + \cdot H$ (12)

[0021] $2 \cdot OH + SO_2 \rightarrow H_2SO_4$ (13)

[0022] $\cdot OH + Hg^0 \rightarrow HgO + H \cdot$ (14)

[0023] $2SO_4^{\cdot-} + Hg^0 \rightarrow Hg^{2+} + 2SO_4^{2-}$ (15)

[0024] $SO_4^{\cdot-} + NO_2^- \rightarrow NO_2 + SO_4^{2-}$ (16)

[0025] 4. 反应产生的盐溶液和固体残渣进入沉淀分离塔沉淀分离，固体残渣排出后经过离心分离和烟气干燥后用作制备水泥砖或吸附剂的原材料。分离后的钾盐溶液进入余热利用及蒸发结晶塔，利用烟气余热蒸发结晶。蒸发结晶产生的固态钾盐可用作化工业原料或农业肥料。

[0026] 依据上述原理，为实现一体化脱除多种污染物的目的，本发明采用的实施方案及要求如下：

[0027] 1、所述的方法是采用草木灰浆液单独或联合氧化脱除燃烧或化工装置尾气中的SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF。

[0028] (1) 来自锅炉、窑炉或化工装置含有SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF的尾气由烟气出口经换热器、烟气冷却器经冷却后，经过预氧化装置进入旋转吸收反应器，烟气通过导向板在烟气冷却器腔体内分布；

[0029] (2) 草木灰进入碳酸钾提取塔配置成一定浓度的浆液，然后利用锅炉烟气余热加热溶解过滤后产生含有碳酸钾的溶液，含有碳酸钾的溶液进入吸收剂制备塔，同时向吸收

剂制备塔中添加添加剂后形成吸收剂,吸收剂经过旋转吸收反应器的吸收剂入口,进入旋转吸收反应器,旋转叶桨在旋转吸收反应器内旋转,使烟气与吸收剂在旋转吸收反应器的腔体内混合;

[0030] (4)循环泵将反应器腔体底部的吸收剂导入反应器顶部的喷嘴,使吸收剂雾化喷入放映器腔体内,雾化的吸收剂与烟气更好的混合。

[0031] (5)可溶性或酸性气体 SO_2 、 NO_2 、 Hg^{2+} 、 H_2S 、 HCl 、 HF 可由溶液直接洗涤吸收,难溶性气体 NO 和 Hg^0 经预氧化或添加剂氧化为 NO_2 、 HNO_2 、 HNO_3 、 Hg^{2+} 后被溶液吸收;

[0032] (6)反应产生的盐溶液和固体残渣进入沉淀分离塔沉淀分离,固体残渣排出后经过离心分离和烟气干燥后用作制备水泥砖或吸附剂的原材料;

[0033] (7)分离后的钾盐溶液进入余热利用及蒸发结晶塔,经过换热器利用烟气余热蒸发结晶;蒸发结晶产生的固态钾盐可用作化工业原料或农业肥料。

[0034] 进入旋转吸收反应器的烟气温度不高于 80°C ,旋转吸收反应器内的溶液温度不高于 80°C ,因为温度太高会导致溶液蒸发失水严重,尾部的腐蚀也会加剧。

[0035] 旋转吸收反应器的液气比太小无法满足污染物脱除效率,太大则会导致系统能耗增加,因此旋转吸收反应器的最佳液气比在 $1\text{L}/\text{m}^3$ – $60\text{L}/\text{m}^3$ 之间。

[0036] 草木灰浆液的质量浓度太小无法达到要求的脱除指标,质量浓度太大则加剧了系统腐蚀和堵塞的几率,因此草木灰浆液的最佳质量浓度在 $10\text{g}/\text{L}$ – $2000\text{g}/\text{L}$ 之间。

[0037] 来自锅炉烟气中 SO_2 、 NO_x 、 Hg 、 H_2S 、 HCl 和 HF 的入口浓度分别不大于 20000ppm 、 4000ppm 、 $1000\text{ug}/\text{m}^3$ 、 20000ppm 、 100000ppm 、和 100000ppm ,因为污染物的入口浓度太大会导致脱除效率下降,最终无法满足环保要求。

[0038] 预氧化装置是臭氧氧化装置、催化氧化装置、等离子体辐射装置、光催化装置、催化氧化装置和烟道氧化剂喷雾氧化装置中的一种或多种的组合。

[0039] 添加剂是双氧水、过硫酸盐、过一硫酸氢钾复合盐、高锰酸钾、亚氯酸盐、次氯酸钠、高氯酸钠、芬顿/类芬顿试剂、过氧乙酸中的一种和多种。

[0040] 草木灰包含锅炉燃烧的秸秆灰、树木/家具废材料燃烧的灰、生物质热解和汽化过程中产生的灰/渣。

[0041] 该方法可以单独脱除 SO_2 、 NO_x 、 Hg 、 H_2S 、 HCl 和 HF 中的一种或两种及以上的混合污染物。

[0042] 一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除装置,所述装置设有烟气出口、换热器、烟气冷却器、预氧化装置、旋转吸收反应器、沉淀分离塔、余热利用及蒸发结晶塔、碳酸钾提取塔、吸收剂制备塔和烟囱。

[0043] 锅炉/窑炉/工业装置的烟气出口连接换热器,所述换热器连接烟气冷却器,烟气冷却器与与预氧化装置连接,预氧化装置连接旋转吸收反应器的烟气入口,所述旋转吸收反应器的洗涤烟气出口连接烟囱。

[0044] 所述旋转吸收反应器的混合产物浆液出口连接沉淀分离塔,所述沉淀分离塔与余热利用及蒸发结晶塔连接,余热利用及蒸发结晶塔通过换热器的热管,与换热器连接耦合。

[0045] 所述装置在旋转吸收反应器的吸收剂入口上游依次设有吸收剂制备塔和碳酸钾提取塔。

[0046] 本发明专利的脱除装置中最关键的一个装置是旋转吸收反应器:设有烟气入口、

洗涤烟气出口、吸收剂入口、混合产物浆液出口、循环泵、喷嘴、导向板、旋转搅拌桨轴、紫外灯管和反应器。反应器为圆柱形,顶部设有雾化溶液的喷嘴,中间设有可旋转的旋转叶桨,旋转叶桨的叶片全部由紫外灯管构成。反应器壁的圆周上安装有360度的导向板用于导流烟气方向。

[0047] 紫外灯管(也就是旋转叶桨的叶片)和导向板呈现从上到下的交叉间隔顺序布置。紫外灯管之间的纵向间距A如果太大则无法保证足够的光辐射强度,太小则能耗过高,且旋转叶桨的阻力大大增加,因此紫外灯管之间的纵向间距A位于2cm-60cm之间。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B太大则无法充分利用反应器空间,太小将会造成紫外灯管和反应器壁接触损坏,因此紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm-10cm之间。

[0048] 紫外灯管如果与导向板的交叉重复长度太小则无法发挥导向板的作用,会导致形成“烟气走廊”,进而导致系统无法运行,而交叉重复长度太大则会导致紫外灯管无法充分利用,故紫外灯管与导向板的交叉重复长度在1cm-5cm之间。

[0049] 导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处,也就是距离相邻上下两个紫外灯管的距离均为 $1/2A$ 。喷嘴的溶液雾化直径不大于800微米,因为液体直径太大无法保证足够的气液接触面积,从而影响污染物的脱除效率。

[0050] 旋转叶桨(也就是紫外灯管)的旋转速度太小无法实现良好的气液扰动混合,也无法保证套在紫外灯管上的石英套管的清洁透光,旋转叶桨(也就是紫外灯管)的旋转速度太大则会导致紫外灯管应力增加和旋转阻力增加,因此旋转叶桨(也就是紫外灯管)的最佳旋转速度位于1转/分钟-600转/分钟。

[0051] 本发明的优点及显著效果:

[0052] 发明人前期提出了“一种基于草木灰的双撞击床脱硫脱硝脱汞装置”的专利申请(申请号为201420689464.3),该发明文件提出在双撞击床中采用固体草木灰作为吸附剂/吸收剂同时脱除燃煤烟气中的硫、氮、汞,属于一种典型的干法脱除工艺(完全不同的是,本发明提出的方法和工艺是典型的湿法脱除技术,两者具有完全不同的基

[0053] 本原理、反应器和工艺装置)。发明人在后期的研究中发现,发明201420689464.3提出的方法和装置存在如下若干不足之处,难以获得大规模工业应用(与本发明对比):

[0054] (1)草木灰目前属于国家立法规定的固体废弃物,因此目前秸秆发电产生的大量草木灰需要花费高昂的费用去安置和处理,申请文件201420689464.3中的草木灰用于脱硫脱硝脱汞后会变成含有的硫酸钾和硝酸钾的二次固体废弃物,最后仍然会面临固体二次污染的危害,而本发明所提出的方法可以最终实现草木灰中钾盐资源的回收利用,而草木灰的固体分离产物可用于制备水处理的吸附剂或用于制备水泥砖,从而彻底解决了固体废弃物的二次污染问题,实现了完全的已废治废的目的;

[0055] (2)申请文件201420689464.3中采用干法脱除污染物,而干法脱除的化学反应吸收效率很低,要实现大气量燃煤烟气的净化目的,脱除装置体积需要建设的很庞大,因而初始投资和运行费用极高。另外,从文献201420689464.3中可以看出,该脱除方法和装置的脱硝效率不高,难以满足国家规定的超净排放要求,缺乏长远的开发和应用潜力,而本发明提出的方法可以实现100%的脱硝效率,具有极高的发展潜力;

[0056] (3)申请文件201420689464.3提出的仅仅是针对硫、氮、汞三种污染物的同时脱除方法和装置,随着环保压力的持续提高,针对尾气中 H_2S 、 HCl 和 HF 等污染物的脱除也逐渐受

到重视,本发明所述方法及装置可以实现SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl和HF六种污染物的一体化脱除,且六种污染物的脱除效率均可实现100%。脱除过程产生的盐溶液和固体残渣进入沉淀分离塔沉淀分离,固体残渣排出后经过离心分离和烟气干燥后用作制备水泥砖或吸附剂的原材料。分离后的钾盐溶液进入余热利用及蒸发结晶塔,利用烟气余热蒸发结晶。蒸发结晶产生的固态钾盐可用作化工业原料或农业肥料。该方法可将生物质燃烧产生的固体废弃物实现可资源化利用,能够实现多种尾气污染物高效的一体化脱除,并达到以废制废的目的,且整个脱除过程无二次污染,具有广阔的市场开发和应用前景。

附图说明

[0057] 图1是本发明系统的工艺流程及装置图;

[0058] 图2是本发明中旋转吸收反应器的结构及关键尺寸图;

[0059] 图3是本发明中旋转反应器导流板和紫外灯的俯视图。

具体实施方式

[0060] 参看图1,一种草木灰浆液对尾气中多污染物一体化脱除装置,所述装置设有烟气出口1、换热器2、烟气冷却器3、预氧化装置4、旋转吸收反应器5、沉淀分离塔6、余热利用及蒸发结晶塔7、碳酸钾提取塔8、吸收剂制备塔9和烟囱10。

[0061] 锅炉/窑炉/工业装置的烟气出口1连接换热器2,所述换热器2连接烟气冷却器3,烟气冷却器3与预氧化装置4连接,预氧化装置4连接旋转吸收反应器5的烟气入口5-1,所述旋转吸收反应器5的洗涤烟气出口5-2连接烟囱10;所述旋转吸收反应器5的混合产物浆液出口5-3连接沉淀分离塔6,所述沉淀分离塔6与余热利用及蒸发结晶塔7连接,余热利用及蒸发结晶塔7通过换热器2的热管,与换热器2连接耦合;所述装置在旋转吸收反应器5的吸收剂入口5-4上游依次设有吸收剂制备塔9和碳酸钾提取塔8。

[0062] 碳酸钾提取塔8上设有草木灰入口8-1,固体出口8-2以及与吸收剂制备塔连接接口8-3。

[0063] 吸收剂制备塔9设有添加剂入口9-1。

[0064] 如图1和图2所示,旋转吸收反应器5设有烟气入口5-1、洗涤烟气出口5-2、吸收剂入口5-4、混合产物浆液出口5-3、喷嘴5-5、导向板5-6、旋转搅拌桨轴5-8、紫外灯管5-7;所述旋转吸收反应器5顶部设有雾化溶液的喷嘴5-5,中间设有可旋转的旋转叶桨,所述旋转叶桨由可旋转的旋转搅拌桨轴5-8以及由紫外灯管5-7组成的叶片组成;所述反应器腔体内壁上安装有用于导流烟气方向的导向板5-6;所述烟气入口5-1、混合产物浆液出口5-3位于旋转吸收反应器5的底部,所述吸收剂入口5-4、洗涤烟气出口5-2位于旋转吸收反应器5的顶部。

[0065] 所述反应器腔体设有循环泵11;所述循环泵11通过管道连接反应器腔体底部与反应器腔体顶部的喷嘴5-5。

[0066] 来自锅炉、窑炉或化工装置含有SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF的尾气在经冷却后进入旋转吸收反应器。可溶性或酸性气体SO₂、NO₂、Hg²⁺、H₂S、HCl、HF可由溶液直接洗涤吸收,难溶性气体NO和Hg⁰可经预氧化或添加剂氧化为NO₂、HNO₂、HNO₃、Hg²⁺后被溶液吸收。反应产生的盐溶液和固体残渣进入沉淀分离塔沉淀分离,固体残渣排出后经过离心分离和烟气干燥后用

作制备水泥砖或吸附剂的原材料。分离后的钾盐溶液进入余热利用及蒸发结晶塔,利用烟气的余热蒸发结晶。蒸发结晶产生的固态钾盐可用作化工业原料或农业肥料。

[0067] 以下是本发明技术方案中的最佳实施例:

[0068] 实施例1.烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的浓度分别为5000ppm,500ppm,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,3000ppm,1000ppm以及1000ppm,烟气温度为45℃,液气比为5L/ m^3 ,草木灰浆液的质量浓度为100g/L,紫外灯管之间的纵向间距A位于10cm。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm,紫外灯管与导向板的交叉重复长度在2cm之间。导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处。喷嘴的溶液雾化直径为150微米。旋转叶桨的旋转速度为20转/分钟。烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的同时脱除效率分别为59.3%,15.9%,28.9%,48.8%,58.8%和48.2%。

[0069] 实施例2.烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的浓度分别为5000ppm,500ppm,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,3000ppm,1000ppm以及1000ppm,烟气温度为45℃,液气比为8L/ m^3 ,草木灰浆液的质量浓度为100g/L,紫外灯管之间的纵向间距A位于10cm。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm,紫外灯管与导向板的交叉重复长度在2cm之间。导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处。喷嘴的溶液雾化直径为150微米。旋转叶桨的旋转速度为20转/分钟。烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的同时脱除效率分别为78.3%,24.9%,30.9%,69.3%,78.8%和68.7%。

[0070] 实施例3.烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的浓度分别为5000ppm,500ppm,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,3000ppm,1000ppm以及1000ppm,烟气温度为45℃,双氧水的摩尔浓度为0.08mol/L,臭氧注入浓度为30ppm,液气比为5L/ m^3 ,草木灰浆液的质量浓度为100g/L,紫外灯管之间的纵向间距A位于10cm。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm,紫外灯管与导向板的交叉重复长度在2cm之间。导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处。喷嘴的溶液雾化直径为150微米。旋转叶桨的旋转速度为20转/分钟。烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的同时脱除效率分别为88.3%,49.2%,65.0%,83.3%,90.8%和89.7%。

[0071] 实施例4.烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的浓度分别为5000ppm,500ppm,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,3000ppm,1000ppm以及1000ppm,烟气温度为45℃,双氧水的摩尔浓度为0.08mol/L,臭氧注入浓度为60ppm,液气比为8L/ m^3 ,草木灰浆液的质量浓度为100g/L,紫外灯管之间的纵向间距A位于10cm。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm,紫外灯管与导向板的交叉重复长度在2cm之间。导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处。喷嘴的溶液雾化直径为150微米。旋转叶桨的旋转速度为20转/分钟。烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的同时脱除效率分别为100%,71.2%,89.9%,100%,100%和100%。

[0072] 实施例5.烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的浓度分别为5000ppm,500ppm,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,3000ppm,1000ppm以及1000ppm,烟气温度为45℃,双氧水的摩尔浓度为0.1mol/L,臭氧注入浓度为60ppm,液气比为12L/ m^3 ,草木灰浆液的质量浓度为100g/L,紫外灯管之间的纵向间距A位于10cm。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm,紫外灯管与导向板的交叉重复长度在2cm之间。导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处。喷嘴的溶液雾化直径为150微米。旋转叶桨的旋转速度为20转/分钟。烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的同时脱除效率分别为100%,80.2%,98.1%,100%,100%和100%。

[0073] 实施例6.烟气中 SO_2 、 NO_x 、Hg、 H_2S 、HCl、HF的浓度分别为5000ppm,500ppm,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

3000ppm,1000ppm以及1000ppm,烟气温度为45℃,双氧水的摩尔浓度为0.2mol/L,臭氧注入浓度为100ppm,液气比为12L/m³,草木灰浆液的质量浓度为100g/L,紫外灯管之间的纵向间距A位于10cm。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm,紫外灯管与导向板的交叉重复长度在2cm之间。导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处。喷嘴的溶液雾化直径为150微米。旋转叶桨的旋转速度为20转/分钟。烟气中SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF的同时脱除效率分别为100%,91.2%,100%,100%,100%和100%。

[0074] 实施例7.烟气中SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF的浓度分别为5000ppm,500ppm,80ug/m³,3000ppm,1000ppm以及1000ppm,烟气温度为45℃,双氧水的摩尔浓度为0.6mol/L,臭氧注入浓度为100ppm,液气比为12L/m³,草木灰浆液的质量浓度为100g/L,紫外灯管之间的纵向间距A位于10cm。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm,紫外灯管与导向板的交叉重复长度在2cm之间。导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处。喷嘴的溶液雾化直径为150微米。旋转叶桨的旋转速度为20转/分钟。烟气中SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF的同时脱除效率分别为100%,100%,100%,100%,100%和100%。

[0075] 实施例8.烟气中SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF的浓度分别为5000ppm,500ppm,80ug/m³,3000ppm,1000ppm以及1000ppm,烟气温度为45℃,过硫酸钾的摩尔浓度为0.4mol/L,臭氧注入浓度为100ppm,液气比为12L/m³,草木灰浆液的质量浓度为100g/L,紫外灯管之间的纵向间距A位于10cm。紫外灯管顶端距离反应器壁的距离B位于1cm,紫外灯管与导向板的交叉重复长度在2cm之间。导向板布置在相邻两个紫外灯管纵向间距的中心处。喷嘴的溶液雾化直径为150微米。旋转叶桨的旋转速度为20转/分钟。烟气中SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF的同时脱除效率分别为100%,100%,100%,100%,100%和100%。

[0076] 综上所述,实施例7和8具有最佳的同时脱除SO₂、NO_x、Hg、H₂S、HCl、HF效果,可作为最佳实施例参照使用。

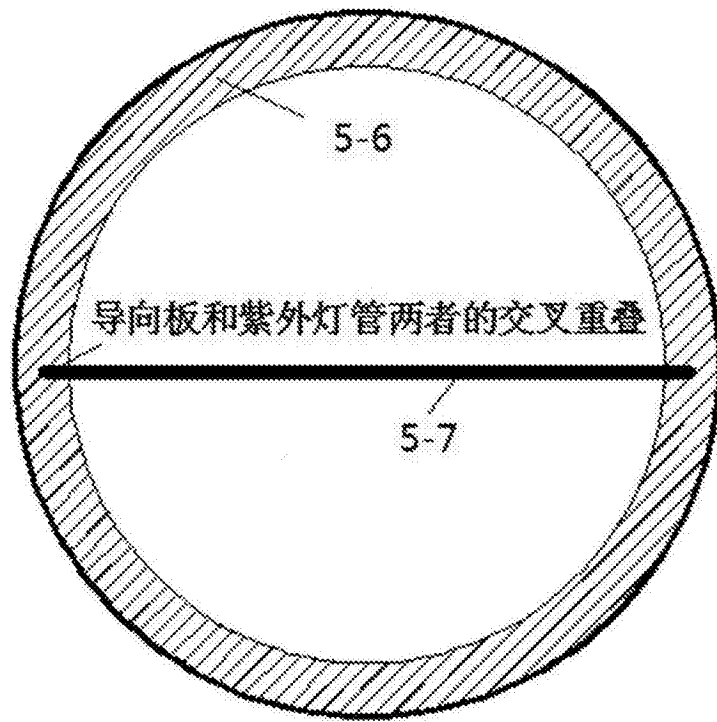


图3