



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110559826 A

(43)申请公布日 2019.12.13

(21)申请号 201910712339.7

B01D 53/50(2006.01)

(22)申请日 2019.08.02

B01D 53/64(2006.01)

(71)申请人 华中科技大学

B01D 53/72(2006.01)

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路  
1037号

B01D 53/44(2006.01)

B01D 53/56(2006.01)

(72)发明人 张雄 向家涛 张世红 张涵  
廖新杰 黎俊廷 王盛华 王信诚  
柯辉 邵敬爱 王贤华 杨海平  
陈汉平

(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心  
42201

代理人 孔娜 曹葆青

(51)Int.Cl.

B01D 53/75(2006.01)

B01D 53/80(2006.01)

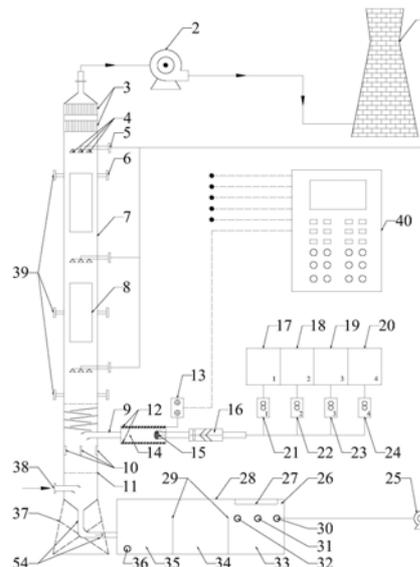
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

一种用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的  
氧化吸收设备

(57)摘要

本发明属于燃煤烟气污染物处理相关技术领域,其公开了一种用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,所述设备包括氧化吸收塔主体、液体氧化剂气化装置、脱硫剂输送装置、三级水池、脱硫浆液喷射组件、烟囱及引风机,所述氧化吸收塔主体的顶端通过所述引风机连接于所述烟囱,其底端连接于所述三级水池;所述脱硫浆液喷射组件连接所述氧化吸收塔主体及所述三级水池;所述脱硫剂输送装置连接于所述三级水池;所述液体氧化剂气化装置连接于所述氧化吸收塔主体的一侧;所述氧化吸收塔主体用于使燃煤燃气依次与气体氧化剂及脱硫浆液反应。本发明提高了自动化及集成度,效率高,体积小。



CN 110559826 A

1. 一种用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:

所述氧化吸收设备包括氧化吸收塔主体(7)、液体氧化剂气化装置、脱硫剂输送装置、三级水池(26)、脱硫浆液喷射组件、烟囱(1)及引风机(2),所述氧化吸收塔主体(7)的顶端通过所述引风机(2)连接于所述烟囱(1),其底端连接于所述三级水池(26);所述脱硫浆液喷射组件连接所述氧化吸收塔主体(7)及所述三级水池(26);所述脱硫剂输送装置连接于所述三级水池(26);所述液体氧化剂气化装置连接于所述氧化吸收塔主体(7)的一侧,且其位于所述三级水池(26)的上方;

所述液体氧化剂气化装置用于将液体氧化剂转变成气体氧化剂,并将所述气体氧化剂传输给所述氧化吸收塔主体(7),以便后续与燃煤烟气中的多种污染物发生氧化反应;所述脱硫剂输送装置用于将脱硫剂输送至所述三级水池(26);所述三级水池(26)用于对脱硫剂进行搅拌及加热以得到脱硫浆液;所述脱硫浆液喷射组件用于自所述三级水池(26)抽取所述脱硫浆液,并将所述脱硫浆液喷洒到所述氧化吸收塔主体(7)内;所述氧化吸收塔主体(7)用于使燃煤燃气依次与气体氧化剂及脱硫浆液反应,以氧化脱除燃煤烟气中的部分 $\text{NO}_x$ 、重金属和有机污染物,并对 $\text{SO}_2$ 、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的部分 $\text{NO}_x$ 、重金属以及有机污染物进行吸收脱除;所述引风机(2)用于将所述氧化吸收塔主体(7)内氧化吸收所产生的净化烟气传送至所述烟囱(1),以将所述净化烟气排放到大气中。

2. 如权利要求1所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:所述氧化吸收塔主体(7)中发生两个反应,一个是在所述氧化吸收塔主体(7)所形成的回旋氧化区中,燃煤烟气与气体氧化剂混合后形成混合烟气,所述混合烟气经过超声波震荡以进一步混合均匀,所述混合烟气在所述引风机(2)的压力作用下在所述氧化吸收塔主体(7)中上升,并在所述回旋氧化区(52)中进行回旋上升以发生充分的氧化反应,将 $\text{NO}_x$ 氧化为更高化学价态的氮氧化物,将固态或气态重金属氧化为金属盐化合物,将有机污染物氧化生成二氧化碳和水,以脱除掉燃煤烟气中的部分 $\text{NO}_x$ 、重金属和有机污染物;另一个是所述混合烟气经过所述回旋氧化区(52)后,继续在所述氧化吸收塔主体(7)中上升,且燃煤烟气与脱硫浆液进行充分接触并发生吸收反应,以喷淋吸收燃煤烟气中的 $\text{SO}_2$ 、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的部分 $\text{NO}_x$ 、重金属以及有机污染物,各类固态或气态污染物被固定在脱硫浆液中,进而脱硫浆液自所述氧化吸收塔主体(7)被排放到所述三级水池(26)中。

3. 如权利要求1所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:所述脱硫剂中预混有增效添加剂,所述增效添加剂为无机添加剂或者有机添加剂或者复合添加剂;所述脱硫剂为石灰石或者工业碱。

4. 如权利要求1所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:所述氧化吸收塔主体(7)为中空的圆柱体结构,其底部及顶部均为锥形,中部为圆柱体;所述氧化吸收塔主体(7)的顶部及底部分别连接于所述引风机(2)及所述三级水池(26)。

5. 如权利要求1所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:所述氧化吸收塔主体(7)内自上而下依次设置有旋流板(3)、第二烟气布风板(51)、椭圆翅片对(53)、超声波震荡器(10)及第一烟气布风板(11);所述氧化吸收塔主体(7)的底部还设置有烟气进口,所述第一烟气布风板(11)位于所述烟气进口的上方,所述烟气进口用于供燃煤烟气进入到所述氧化吸收塔主体(7)内。

6. 如权利要求5所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在

于:所述第一烟气布风板(11)上均匀设置有多个第一布风孔(42);所述超声波震荡器(10)设置在所述氧化吸收塔主体(7)的内壁上,且其位于所述第一烟气布风板(11)与所述椭圆翅片对(53)之间;所述超声波震荡器(10)用于将燃煤烟气与气体氧化剂混合后进行超声分散;所述超声波震荡器(10)的数量为偶数,偶数个所述超声波震荡器(10)相对于所述氧化吸收塔主体(7)的中心轴对称设置。

7.如权利要求5所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:每个所述椭圆翅片对(53)包括两个椭圆翅片,每个所述椭圆翅片焊接在所述氧化吸收塔主体(7)的内壁上,其与所述氧化吸收塔主体(7)的内壁之间形成倾斜角 $\alpha$ ,所述倾斜角 $\alpha$ 的角度为 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。

8.如权利要求7所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:所述椭圆翅片对(53)组成回旋氧化区(52),燃煤烟气在经过所述第一烟气布风板(11)后均匀上升,并在所述超声波震荡器(10)的作用下与气体氧化剂充分混合而形成混合烟气,所述混合烟气在所述回旋氧化区(52)内发生氧化反应以脱除掉燃煤烟气中的 $\text{NO}_x$ 、重金属和有机污染物;所述第二烟气布风板(51)位于所述回旋氧化区(52)的上方,其上均匀设置有多个第二布风孔。

9.如权利要求1-8任一项所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:所述液体氧化剂气化装置包括气体氧化剂管路(9)、液体氧化剂气化腔室(14)、电控加热带(12)、智能温度控制组件(13)、液体氧化剂循环注射泵(16)、液体氧化剂雾化喷嘴(15)、液体氧化剂流量泵及液体氧化剂存储箱,所述液体氧化剂气化腔室(14)的一侧通过所述气体氧化剂管路(9)连接于所述氧化吸收塔主体(7),另一侧连接于所述液体氧化剂雾化喷嘴(15);所述液体氧化剂雾化喷嘴(15)位于所述液体氧化剂气化腔室(14)内,其与所述液体氧化剂循环注射泵(16)相连接;所述液体氧化剂循环泵通过所述液体氧化剂流量泵连接于所述液体氧化剂存储箱;所述电控加热带(12)包裹在所述液体氧化剂气化腔室(14)上,所述智能温度控制组件(13)设置在所述液体氧化剂气化腔室(14)上。

10.如权利要求1-8任一项所述的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其特征在于:所述三级水池(26)内设置有两个水池隔板(29),两个所述水池隔板(29)将所述三级水池(26)均匀地分割为灰渣沉淀区(35)、浆液中和区(34)及浆液循环区(33);所述浆液中和区(34)及所述浆液循环区(33)均在底部设置有加热组件(48);所述浆液循环区(33)还设置有温度测量组件(47);所述浆液中和区(34)及所述浆液循环区(33)内还分别设置有搅拌组件(46),所述搅拌组件(46)用于对所述浆液中和区(34)及所述浆液循环区(33)内的脱硫浆液进行搅拌。

## 一种用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备

### 技术领域

[0001] 本发明属于燃煤烟气污染物处理相关技术领域,更具体地,涉及一种用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备。

### 背景技术

[0002] 近年来,中国对煤炭、石油、天然气以及一次电力和其他能源的消费总量突破40亿吨标准煤,其中,煤炭占能源消费总量的60%以上。由于煤炭的化学组成及其复杂,不仅包括C、H、O、N和S等主要元素,还包含很多其它的次量和痕量元素。因此,煤炭在燃烧过程中会产生大量的污染物,例如二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、重金属(如Hg、Cd、Pb、As、Se等)、有机污染物(如VOCs、PAHs等)和可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)等,不仅严重危害人类身体健康,而且会对生态环境造成巨大的破坏。在未来相当长的一段时间内,煤炭在电力生产、化工工业等能源消耗领域会占据着极其重要的主导地位,严格控制燃煤电站、工业锅炉、窑炉等设施的污染物排放意义重大,并且减排需求十分迫切。

[0003] 目前,上述设备对这些污染物的排放和控制一般都是将SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>在不同的污染处理设备中分别进行脱除,例如,SO<sub>2</sub>主要采用石灰石湿法(WFGD)和干法(FGD)技术脱除,而NO<sub>x</sub>主要采用选择性催化还原(SCR)技术进行脱除;虽然Hg等重金属可以在脱硝、除尘、脱硫设备的联合作用下大比例地从燃煤烟气中移除,但对其进行深度控制还需要联合活性炭吸附(ACI)等技术手段。此外,由于煤的成分复杂,燃烧工况多变,导致燃煤产生的有机污染物种类复杂,分子量范围大、官能团种类多,且具有不同的物理化学特性。根据挥发性的不同,有机污染物分为易挥发性有机物(VVOCs)、挥发性有机物(VOCs)、半挥发性有机物(SVOCs)、颗粒有机物(POMs)等,有机污染物进入大气后,部分(如烃类等)通过参与光化学反应,引发了如光化学烟雾等严重的大气污染问题。其中,大部分的有机污染物(例如醛、酮、PAHs等)因其具有致癌、致畸形和致突变的“三致性”,严重威胁着人类的健康,越来越受到人们的关注。然而,将不同污染物进行单独处理,存在设备占地面积大、系统复杂度高、设备投资和运行成本高等问题,并且不同污染物脱除环节间还存在着相互影响。

[0004] 随着各类大气污染物排放标准的不断提升,这将迫使燃煤电站、工业锅炉、窑炉等设施不断对相关的设备进行增容改建,污染物控制的设备投资与运行成本在不断增加。因此,研发占地面积小、系统复杂度低、运行成本经济的多种污染物一体化脱除技术势在必行。相应地,在燃煤烟气污染物处理技术领域存在着需要同时脱除燃煤烟气中SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物、重金属和有机污染物的系统或方法的迫切需求。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,其基于现有燃煤烟气污染物的脱除特点,研究及设计了一种成本较低的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备。所述设备的液体氧化剂气化装置用于将液体氧化剂变成具有强化性的均匀气体氧化剂,以便后续与燃煤烟气中的多

种污染物发生氧化反应；氧化吸收塔主体用于实现对大部分NO<sub>x</sub>、重金属和有机污染物的氧化脱除，对SO<sub>2</sub>、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的少部分NO<sub>x</sub>、重金属以及有机污染物吸收脱除，由此将氧化技术与吸收技术进行了有机耦合，能够对燃煤烟气中的SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物、重金属和有机污染物进行一体化协同脱除，效率高，占地少，安装、改造及运行成本低，适合工业应用。

[0006] 为实现上述目的，本发明提供了一种用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备，所述氧化吸收设备包括氧化吸收塔主体、液体氧化剂气化装置、脱硫剂输送装置、三级水池、脱硫浆液喷射组件、烟囱及引风机，所述氧化吸收塔主体的顶端通过所述引风机连接于所述烟囱，其底端连接于所述三级水池；所述脱硫浆液喷射组件连接所述氧化吸收塔主体及所述三级水池；所述脱硫剂输送装置连接于所述三级水池；所述液体氧化剂气化装置连接于所述氧化吸收塔主体的一侧，且其位于所述三级水池的上方；

[0007] 所述液体氧化剂气化装置用于将液体氧化剂转变成气体氧化剂，并将所述气体氧化剂传输给所述氧化吸收塔主体，以便后续与燃煤烟气中的多种污染物发生氧化反应；所述脱硫剂输送装置用于将脱硫剂输送至所述三级水池；所述三级水池用于对脱硫剂进行搅拌及加热以得到脱硫浆液；所述脱硫浆液喷射组件用于自所述三级水池抽取所述脱硫浆液，并将所述脱硫浆液喷洒到所述氧化吸收塔主体内；所述氧化吸收塔主体用于使燃煤燃气依次与气体氧化剂及脱硫浆液反应，以氧化脱除燃煤烟气中的部分NO<sub>x</sub>、重金属和有机污染物，并对SO<sub>2</sub>、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的部分NO<sub>x</sub>、重金属以及有机污染物进行吸收脱除；所述引风机用于将所述氧化吸收塔主体内氧化吸收所产生的净化烟气传送至所述烟囱，以将所述净化烟气排放到大气中。

[0008] 进一步地，所述氧化吸收塔主体中发生两个反应，一个是在所述氧化吸收塔主体所形成的回旋氧化区中，燃煤烟气与气体氧化剂混合后形成混合烟气，所述混合烟气经过超声波震荡以进一步混合均匀，所述混合烟气在所述引风机的压力作用下在所述氧化吸收塔主体中上升，并在所述回旋氧化区中进行回旋上升以发生充分的氧化反应，将NO<sub>x</sub>氧化为更高化学价态的氮氧化物，将固态或气态重金属氧化为金属盐化合物，将有机污染物氧化生成二氧化碳和水，以脱除掉燃煤烟气中的部分NO<sub>x</sub>、重金属和有机污染物；另一个是所述混合烟气经过所述回旋氧化区后，继续在所述氧化吸收塔主体中上升，且燃煤烟气与脱硫浆液进行充分接触并发生吸收反应，以喷淋吸收燃煤烟气中的SO<sub>2</sub>、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的部分NO<sub>x</sub>、重金属以及有机污染物，各类固态或气态污染物被固定在脱硫浆液中，进而脱硫浆液自所述氧化吸收塔主体被排放到所述三级水池中。

[0009] 进一步地，所述脱硫剂中预混有增效添加剂，所述增效添加剂为无机添加剂或者有机添加剂或者复合添加剂；所述脱硫剂为石灰石或者工业碱。

[0010] 进一步地，所述氧化吸收塔主体为中空的圆柱体结构，其底部及顶部均为锥形，中部为圆柱体；所述氧化吸收塔主体的顶部及底部分别连接于所述引风机及所述三级水池。

[0011] 进一步地，所述氧化吸收塔主体内自上而下依次设置有旋流板、第二烟气布风板、椭圆翅片对、超声波震荡器及第一烟气布风板；所述氧化吸收塔主体的底部还设置有烟气进口，所述第一烟气布风板位于所述烟气进口的上方，所述烟气进口用于供燃煤烟气进入到所述氧化吸收塔主体内。

[0012] 进一步地，所述第一烟气布风板上均匀设置有多个第一布风孔；所述超声波震荡

器设置在所述氧化吸收塔主体的内壁上,且其位于所述第一烟气布风板与所述椭圆翅片对之间;所述超声波震荡器用于将燃煤烟气与气体氧化剂混合后进行超声分散;所述超声波震荡器的数量为偶数,偶数个所述超声波震荡器相对于所述氧化吸收塔主体的中心轴对称设置。

[0013] 进一步地,每个所述椭圆翅片对包括两个椭圆翅片,每个所述椭圆翅片焊接在所述氧化吸收塔主体的内壁上,其与所述氧化吸收塔主体的内壁之间形成倾斜角 $\alpha$ ,所述倾斜角 $\alpha$ 的角度为 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。

[0014] 进一步地,所述椭圆翅片对组成回旋氧化区,燃煤烟气在经过所述第一烟气布风板后均匀上升,并在所述超声波震荡器的作用下与气体氧化剂充分混合而形成混合烟气,所述混合烟气在所述回旋氧化区内发生氧化反应以脱除掉燃煤烟气中的 $\text{NO}_x$ 、重金属和有机污染物;所述第二烟气布风板位于所述回旋氧化区的上方,其上均匀设置有多个第二布风孔。

[0015] 进一步地,所述液体氧化剂气化装置包括气体氧化剂管路、液体氧化剂气化腔室、电控加热带、智能温度控制组件、液体氧化剂循环注射泵、液体氧化剂雾化喷嘴、液体氧化剂流量泵及液体氧化剂存储箱,所述液体氧化剂气化室的一侧通过所述气体氧化剂管路连接于所述氧化吸收塔主体,另一侧连接于所述液体氧化剂雾化喷嘴;所述液体氧化剂雾化喷嘴位于所述液体氧化剂气化腔室内,其与所述液体氧化剂循环注射泵相连接;所述液体氧化剂循环泵通过所述液体氧化剂流量泵连接于所述液体氧化剂存储箱;所述电控加热带包裹在所述液体氧化剂气化腔室上,所述智能温度控制组件设置在所述液体氧化剂气化腔室上。

[0016] 进一步地,所述三级水池内设置有两个水池隔板,两个所述水池隔板将所述三级水池均匀地分割为灰渣沉淀区、浆液中和区及浆液循环区;所述浆液中和区及所述浆液循环区均在底部设置有加热组件;所述浆液循环区还设置有温度测量组件;所述浆液中和区及所述浆液循环区内还分别设置有搅拌组件,所述搅拌组件用于对所述浆液中和区及所述浆液循环区内的脱硫浆液进行搅拌。

[0017] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,本发明提供的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备主要具有以下有益效果:

[0018] 1.所述氧化吸收塔主体用于使燃煤燃气依次与气体氧化剂及脱硫浆液反应,以氧化脱除燃煤烟气中的部分 $\text{NO}_x$ 、重金属和有机污染物,并对 $\text{SO}_2$ 、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的部分 $\text{NO}_x$ 、重金属以及有机污染物进行吸收脱除,有效地将氧化及吸收进行了有机耦合,解决了单一污染物控制技术脱除效果差、占地面积大、运行费用高以及彼此之间存在着相互影响等缺点,可以经济高效地协同脱除燃煤烟气中的 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、颗粒物、重金属和有机污染物等多种污染物;同时,安装、维修、操作、管理方便,运行费用低,脱除效率高,并且可以采用石灰石或工业碱等作为吸收剂,资源丰富,廉价易得,利用率高,设备运行可靠性高,运行稳定,对煤种的适应性好。

[0019] 2.本发明结构设计紧凑,占地面积少,将氧化脱除技术和吸收脱除技术耦合集成在氧化吸收塔中,采用先进的工艺和脱水技术严防风机带水,降低系统的故障发生率,对燃煤电站、工业锅炉、窑炉等设施负荷变化的适应性强,可对不同类型燃煤设施中的多种污染物进行一体化脱除。

[0020] 3. 本发明中将氧化吸收塔主体的上部和下部均设计为锥形,便于燃煤烟气在引风机的压力作用下缓慢上升,先后发生氧化反应和吸收反应后排放至大气,同时使脱硫浆液与燃煤烟气接触充分发生反应后的脱硫浆液及反应残余物通过回水管道回流至三级水池的灰渣沉淀区,然后在排污口进行清理脏污。

[0021] 4. 本发明采用第一烟气布风板使燃煤烟气进入氧化吸收塔主体后分布均匀地上升,然后与气体氧化剂接触,并通过超声均匀混合以便于混合烟气在回旋氧化区内充分发生氧化反应,再经过设置的第二烟气布风板,发生氧化反应后的混合烟气再次分布均匀地上升,进行喷淋吸收反应,通过设置第一烟气布风板、超声波震荡器和第二烟气布风板保证了燃煤烟气在氧化吸收塔主体中能够一直分布均匀、充分反应,提高污染物的脱除效率。

[0022] 5. 本发明设计的液体氧化剂气化装置中设置了液体氧化剂循环注射泵、若干个液体氧化剂存储箱以及与液体氧化剂存储箱相连接的液体氧化剂流量泵,并且液体氧化剂优选为次氯酸溶液、亚氯酸钙溶液、硫酸亚铁溶液和氯化亚铁溶液,可以精确地控制液体氧化剂的种类、注射量、注射速率等参数,从而调控气体氧化剂的氧化能力,在实际的工况中可采用合理的液体氧化剂气化参数,以提高运行经济性。

[0023] 6. 本发明设计的回旋氧化区结构简单实用,通过在氧化吸收塔内部安装合适数量的椭圆翅片对,实现混合烟气在回旋氧化区内缓慢回旋上升以充分发生氧化反应,减小喷淋吸收对氧化反应的不利影响,烟气停留时间可通过改变椭圆翅片对的数量、安装距离、倾斜角 $\alpha$ 以及椭圆翅片的水平长度 $L$ 等参数进行调节。

[0024] 7. 本发明设计的液体氧化剂气化装置可将一种或多种液体氧化剂进行气化,生成具有强氧化性的均匀气体氧化剂,气体氧化剂与燃煤烟气超声均匀混合并发生强烈的氧化反应,氧化脱除燃煤烟气中大部分的 $\text{NO}_x$ 、重金属和有机污染物,在实际工况中可以合理选择并调控液体氧化剂的种类、数量、混合比例、注射速率等以提高脱除效率。

[0025] 8. 本发明设计了多层可单独控制的脱硫浆液喷淋层,雾化的脱硫浆液与发生氧化反应后的燃煤烟气充分接触,喷淋吸收燃煤烟气中的 $\text{SO}_2$ 、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的 $\text{NO}_x$ 、重金属以及有机污染物,还可以通过在脱硫吸收剂中添加一定量、合适的增效添加剂以提高其对多种污染物的协同脱除效果。

[0026] 9. 本发明设置了加热组件、搅拌组件和空气压缩机,保证脱硫剂进入到三级水池后形成的脱硫浆液具有良好的混合均匀性及反应活性,提高了脱硫浆液对多种污染物的脱除效率。

## 附图说明

[0027] 图1是本发明提供的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备的示意图;

[0028] 图2是图1中的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备的局部结构的俯视图;

[0029] 图3是图1中的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备的超声波震荡器的布置示意图;

[0030] 图4中的(a)、(b)分别是图1中的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备的第一烟气布风板及第二烟气布风板的示意图;

[0031] 图5中的(a)、(b)分别是图1中的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备的第一烟气布风板的第一布风孔及第二烟气布风板的第二布风孔的示意图；

[0032] 图6是图1中的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备的三级水池及脱硫剂输送装置的连接示意图；

[0033] 图7是图1中的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备的氧化吸收塔主体中回旋氧化区的放大示意图；

[0034] 图8是图1中的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备的椭圆翅片对的单个椭圆翅片的示意图；

[0035] 图9是图1中的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备涉及的脱硫浆液和混合烟气在回旋氧化区内的流动方向示意图。

[0036] 在所有附图中，相同的附图标记用来表示相同的元件或结构，其中：1-烟囱，2-引风机，3-旋流板，4-脱硫浆液喷嘴，5-脱硫浆液管路进口，6-烟气取样口，7-氧化吸收塔主体，8-检修口，9-气体氧化剂管路，10-超声波震荡器，11-第一烟气布风板，12-电控加热带，13-智能温度控制组件，14-液体氧化剂气化腔室，15-液体氧化剂雾化喷嘴，16-液体氧化剂循环注射泵，17-第一液体氧化剂存储箱，18-第二液体氧化剂存储箱，19-第三液体氧化剂存储箱，20-第四液体氧化剂存储箱，21-第一液体氧化剂流量泵，22-第二液体氧化剂流量泵，23-第三液体氧化剂流量泵，24-第四液体氧化剂流量泵，25-脱硫浆液循环泵，26-三级水池，27-超声波液位测量组件，28-水池盖，29-水池隔板，30-循环泵连接口，31-pH检测口，32-进水口，33-浆液循环区，34-浆液中和区，35-灰渣沉淀区，36-排污口，37-支撑钢架，38-烟气进口，39-烟气测温口，40-中央控制柜，41-烟气测压口，42-第一布风孔，43-脱硫剂存储箱，44-螺旋输送机，45-电机，46-搅拌组件，47-温度测量组件，48-加热组件，49-压缩空气接口，50-空气压缩机，51-第二烟气布风板，52-回旋氧化区，53-椭圆翅片对，54-回水管道，55-第二布风孔。

### 具体实施方式

[0037] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0038] 请参阅图1及图2，本发明提供的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备，所述氧化吸收设备包括氧化吸收塔主体7、液体氧化剂气化装置、脱硫剂输送装置、三级水池26、脱硫浆液喷射组件、烟囱1、引风机2及中央控制柜40。所述氧化吸收塔主体7的顶端通过所述引风机2连接于所述烟囱1，其底端连接于所述三级水池26，所述脱硫浆液喷射组件及所述脱硫剂输送装置分别连接于所述三级水池26。所述液体氧化剂气化装置连接于所述氧化吸收塔主体7的一侧，且其位于所述三级水池26的上方。所述氧化吸收塔主体7、所述液体氧化剂气化装置、所述脱硫剂输送装置、所述三级水池26、所述脱硫浆液喷射组件及所述引风机2分别连接于所述中央控制柜40，所述中央控制柜40用于对所述氧化吸收塔主体7、所述液体氧化剂气化装置、所述脱硫剂输送装置、所述三级水池26、所述脱硫浆液喷射组件及所述引风机2进行控制及状态数据的集成显示。

[0039] 所述液体氧化剂气化装置用于将液体氧化剂转变成具有强氧化性的均匀气体氧化剂,并将所述均匀气体氧化剂传输给所述氧化吸收塔主体7,以便后续与燃煤烟气中的多种污染物发生氧化反应。所述脱硫剂输送装置用于将脱硫剂输送至所述三级水池26。所述三级水池26用于对脱硫剂进行搅拌及加热以得到脱硫浆液。所述脱硫浆液喷射组件用于自所述三级水池26抽取所述脱硫浆液,并将所述脱硫浆液雾化后喷入所述氧化吸收塔主体7内。所述氧化吸收塔主体7用于使燃煤燃气分别与气体氧化剂及脱硫浆液反应,以氧化脱除燃煤烟气中的部分 $\text{NO}_x$ 、重金属和有机污染物,并对 $\text{SO}_2$ 、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的部分 $\text{NO}_x$ 、重金属以及有机污染物进行吸收脱除。所述引风机2用于将所述氧化吸收塔主体7内氧化吸收所产生的净化烟气传送至所述烟囱1,以将所述净化烟气排放到大气中。

[0040] 本实施方式中,所述液体氧化剂可以是单一的一种液体氧化剂物质,也可以是两种、三种或者三种以上的多种具有氧化性的化学物质的混合物,当然也可以根据经济性、有效性等要求,在实际工况中选择合适的一种或者多种液体氧化剂,并按照合适的比例混合均匀后经过所述液体氧化剂气化装置进行气化后再送入到所述氧化吸收塔主体7的内部。所述氧化吸收塔主体7中主要发生两个反应,一个是在所述氧化吸收塔主体7所形成的回旋氧化区52中,燃煤烟气与气体氧化剂混合后形成混合烟气,所述混合烟气经过超声波震荡以进一步混合均匀,所述混合烟气在所述引风机2的压力作用下在所述氧化吸收塔主体7中上升,并在所述回旋氧化区52中进行回旋缓慢上升以发生充分的氧化反应,将 $\text{NO}_x$ 氧化为更高化学价态的氮氧化物,将固态或气态重金属氧化为金属盐化合物,将有机污染物氧化生成二氧化碳和水,以脱除掉燃煤烟气中大部分的 $\text{NO}_x$ 、重金属(如Hg、Cd、Pb、As、Se等)和有机污染物(如VOCs、PAHs等);另一个是所述混合烟气经过所述回旋氧化区后,继续在所述氧化吸收塔主体7中上升,且燃煤烟气与脱硫浆液进行充分接触并发生吸收反应,以喷淋吸收燃煤烟气中的 $\text{SO}_2$ 、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的少部分 $\text{NO}_x$ 、重金属以及有机污染物,各类固态或气态污染物被固定在脱硫浆液中,进而脱硫浆液自所述氧化吸收塔主体7被排放到所述三级水池26中。此外,所述脱硫剂中可以预混合合适的增效添加剂,以最大限度地在所述氧化吸收塔主体7中同时对燃煤烟气中的 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、颗粒物、重金属和有机污染物进行一体化的高效协同脱除;所述中央控制柜40上设置有相关组件的显示面板、工作指示灯、报警提示及控制按钮,以用于对所述氧化吸收设备中涉及到电气控制的相关组件进行控制及集成显示,进而提高自动化程度。

[0041] 请参阅图3、图4、图5、图7、图8及图9,所述氧化吸收塔主体7为中空圆柱体结构,其设置在支撑钢架37上。所述支撑钢架37连接于所述氧化吸收塔主体7,其用于支撑所述氧化吸收塔主体7。

[0042] 所述氧化吸收塔主体7的底部通过回水管道54连接于所述三级水池26,且其底部及顶部均为锥形,中部为圆柱体。所述氧化吸收塔主体7的顶部连接于所述引风机2,所述引风机2与所述烟囱1相连接,在所述引风机2的作用下,经过氧化吸收的净化烟气由所述烟囱1排放到大气中。所述引风机2的启停开关连接于所述中央控制柜40上,所述中央控制柜40用于控制所述引风机2的启停。

[0043] 其中,所述氧化吸收塔主体7的底部设置为锥形,是为了便于反应产物及使用后的浆液回流到所述三级水池26的灰渣沉淀区35中;所述氧化吸收塔主体7的上部设置为锥形,是为了便于烟气在所述引风机2的压力作用下更好地缓慢上升,且在所述引风机2的压力作

用下,净化烟气最后进入所述烟囱1中,并经由所述烟囱1排放到大气中。此外,所述中央控制柜40上设置有所述引风机2的工作指示灯等,以便于对所述引风机2的工作状态进行显示。

[0044] 所述氧化吸收塔主体7内自上而下依次设置有旋流板3、第二烟气布风板51、椭圆翅片对53、超声波震荡器10及第一烟气布风板11。所述氧化吸收塔主体7的底部还设置有烟气进口38,所述第一烟气布风板11位于所述烟气进口38的上方。所述烟气进口38用于供燃煤烟气进入到所述氧化吸收塔主体7内,所述燃煤烟气温度 $T_1$ 范围优选为 $50^{\circ}\text{C}\leq T_1\leq 150^{\circ}\text{C}$ 。所述第一烟气布风板11上均匀设置有多个第一布风孔42,所述第一布风孔42呈正六边形,其边长范围为 $3\leq l_1\leq 9\text{mm}$ ,优选为 $l_1=6\text{mm}$ 。

[0045] 所述超声波震荡器10设置在所述氧化吸收塔主体7的内壁上,且其位于所述第一烟气布风板11与所述椭圆翅片对53之间。所述超声波震荡器10用于将燃煤烟气与气体氧化剂混合后进行超声分散,以使燃煤烟气与气体氧化剂充分接触、混合均匀。本实施方式中,所述超声波震荡器10的数量为偶数,偶数个所述超声波震荡器10分别对称设置;优选地,所述超声波震荡器10的数量为4个或者6个,且对称设置。

[0046] 每个所述椭圆翅片对53包括两个椭圆翅片,每个所述椭圆翅片焊接在所述氧化吸收塔主体7的内壁上,其与所述氧化吸收塔主体7的内壁之间形成倾斜角 $\alpha$ ,所述倾斜角 $\alpha$ 的角度为 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ,所述椭圆翅片的水平长度L的长度范围优选为所述氧化吸收塔主体7的直径D的 $2/3\sim 5/6$ ;所述椭圆翅片对53的数量优选为3对~5对。所述椭圆翅片对53组成回旋氧化区52,燃煤烟气在经过所述第一烟气布风板11后均匀上升,并在所述超声波震荡器10的作用下与具有强氧化性的均匀气体氧化剂充分混合而形成混合烟气,所述混合烟气主要在所述回旋氧化区52内发生氧化反应以脱除掉燃煤烟气中大部分的 $\text{NO}_x$ 、重金属(如Hg、Cd、Pb、As、Se等)和有机污染物(如VOCs、PAHs等);所述混合烟气在所述回旋氧化区52的停留时间可以通过调节所述倾斜角 $\alpha$ 的角度、所述椭圆翅片对53的数量及所述椭圆翅片的水平长度L来进行调节;所述第二烟气布风板51位于所述回旋氧化区52的上方,其上均匀设置有多个第二布风孔55,所述第二布风孔55呈正六边形,且其边长范围为 $3\leq l_2\leq 8\text{mm}$ ,优选为 $l_2=5\text{mm}$ 。

[0047] 所述旋流板3临近所述氧化吸收塔主体7的顶端设置,其数量为1层~3层,优选为2层。所述旋流板3用于将所述氧化吸收塔主体7内的气雾滴甩到所述氧化吸收塔主体7的内壁上流下,以实现气、水分离,然后经过氧化吸收的净化烟气在所述引风机2的压力作用下被送至所述烟囱1。

[0048] 所述氧化吸收塔主体7上还分别设置有脱硫浆液管路进口5、烟气取样口6、检修口8、烟气测温口39及烟气测压口41。所述脱硫浆液管路进口5的数量为多个,多个所述脱硫浆液管路进口5间隔设置,其用于供脱硫浆液进入所述氧化吸收塔主体7的内部。本实施方式中,所述氧化吸收塔主体7通过所述脱硫浆液管路进口5连接于所述脱硫浆液喷射组件。所述烟气取样口6处设置有烟气采样组件,所述烟气采样组件用于对烟气进行采样,以便于后续进行分析及优化。通过所述检修口8在所述氧化吸收设备停止工作时,对所述氧化吸收塔主体7的内部进行检查及修缮。所述烟气进口38设置在所述氧化吸收塔主体7的底部侧壁上,其用于使燃煤烟气从所述氧化吸收塔主体7的底部进入到所述氧化吸收塔主体7的内部中。所述烟气测温口39处设置有烟气测温组件,所述烟气测温组件连接于所述中央控制柜

40,其用于对所述氧化吸收塔主体7内对应高度处的烟气温度进行测量,并将测到的温度数据传输给所述中央控制柜40,所述中央控制柜40将接收到的温度数据进行显示。所述烟气测压口41处设置有测压组件,所述测压组件连接于所述中央控制柜40上,其用于对所述氧化吸收塔主体7内对应高度处的烟气压力进行测量,并将测量到的压力数据传输给所述中央控制柜40,进而所述中央控制柜40将接收到的所述压力数据进行显示。

[0049] 本实施方式中,从俯视角度观看,所述烟气进口38与所述烟气取样口6之间呈 $90^\circ$ ,所述烟气取样口6与所述烟气测温口39之间呈 $45^\circ$ ,所述烟气测温口39与所述脱硫浆液管路进口5之间呈 $45^\circ$ ,所述脱硫浆液管路进口5与所述烟气测压口41之间呈 $45^\circ$ ,所述烟气测压口41与所述检修口8之间呈 $45^\circ$ ,所述检修口8与所述烟气进口38之间呈 $90^\circ$ 。

[0050] 所述液体氧化剂气化装置包括气体氧化剂管路9、液体氧化剂气化腔室14、电控加热带12、智能温度控制组件13、液体氧化剂循环注射泵16、液体氧化剂雾化喷嘴15、第一液体氧化剂流量泵21、第二液体氧化剂流量泵22、第三液体氧化剂流量泵23、第四液体氧化剂流量泵24、第一液体氧化剂存储箱17、第二液体氧化剂存储箱18、第三液体氧化剂存储箱19及第四液体氧化剂存储箱20。

[0051] 所述液体氧化剂气化腔室14的一侧通过所述气体氧化剂管路9连接于所述氧化吸收塔主体7,其中所述气体氧化剂管路9的一端伸入所述氧化吸收塔主体7内,且位于所述第一烟气布风板11与所述椭圆翅片对53之间。所述气体氧化剂管路9用于将具有强氧化性的均匀气体氧化剂传输至所述氧化吸收塔主体7内。所述液体氧化剂气化腔室14的另一侧连接于所述液体氧化剂雾化喷嘴15,所述液体氧化剂雾化喷嘴15位于所述液体氧化剂气化腔室14内,其用于将呈液体形态的液体氧化剂雾化,使得雾化后的液体氧化剂随后在所述液体氧化剂气化腔室14中充分气化形成具有强氧化性的均匀气体氧化剂。

[0052] 所述液体氧化剂雾化喷嘴15与所述液体氧化剂循环注射泵16相连接,所述液体氧化剂循环注射泵16用于将各种液体氧化剂充分混合后并以一定的注射速度将混合好的液体氧化剂输送给所述液体氧化剂雾化喷嘴15。所述液体氧化剂循环注射泵16分别连接于所述第一液体氧化剂流量泵21、所述第二液体氧化剂流量泵22、所述第三液体氧化剂流量泵23及所述第四液体氧化剂流量泵24。所述第一液体氧化剂流量泵21与所述第一液体氧化剂存储箱17相连接。所述第二液体氧化剂流量泵22与所述第二液体氧化剂存储箱18相连接。所述第三液体氧化剂流量泵23与所述第三液体氧化剂存储箱19相连接。所述第四液体氧化剂流量泵24与所述第四液体氧化剂存储箱20相连接。

[0053] 所述电控加热带12包裹在所述液体氧化剂气化腔室14上,其用于对所述液体氧化剂气化腔室14进行加热和保温,以使所述液体氧化剂气化腔室14内部的气体氧化剂温度 $T_2$ 保持在 $90^\circ\text{C} \leq T_2 \leq 150^\circ\text{C}$ 。所述智能温度控制组件13与所述液体氧化剂气化腔室14相连接,且其连接于所述中央控制柜40,可以通过所述中央控制柜40来设置并自动调节所述电控加热带12的加热功率,使得所述液体氧化剂气化腔室14内的气体氧化剂温度保持在设定值的允许误差范围。本实施方式中,所述液体氧化剂循环注射泵16、所述第一液体氧化剂流量泵21、所述第二液体氧化剂流量泵22、所述第三液体氧化剂流量泵23及所述第四液体氧化剂流量泵24的开关分别连接于所述中央控制柜40,通过所述中央控制柜40来控制所述液体氧化剂循环注射泵16、所述第一液体氧化剂流量泵21、所述第二液体氧化剂流量泵22、所述第三液体氧化剂流量泵23及所述第四液体氧化剂流量泵24的启停及流量。

[0054] 所述第一液体氧化剂存储箱17、所述第二液体氧化剂存储箱18、所述第三液体氧化剂存储箱19及所述第四液体氧化剂存储箱20中分别存储着一定浓度的次氯酸溶液、亚氯酸钙溶液、硫酸亚铁溶液和氯化亚铁溶液；优选地，所述次氯酸溶液的浓度范围为0.5mol/L~5mol/L，所述亚氯酸钙溶液的浓度范围为0.1mol/L~2mol/L，所述硫酸亚铁溶液的浓度范围为0.1mol/L~1mol/L，所述氯化亚铁溶液的浓度范围为0.1mol/L~1mol/L。

[0055] 所述三级水池26内设置有两个水池隔板29，两个所述水池隔板29将所述三级水池26均匀地分割为灰渣沉淀区35、浆液中和区34及浆液循环区33，其中所述水池隔板29的高度为所述三级水池26的高度的2/3。所述三级水池26设置有排污口36，所述排污口36位于所述灰渣沉淀区35，且所述灰渣沉淀区35通过所述回水管道54与所述氧化吸收塔主体7的底部相连通，其用于临时存储所述氧化吸收设备产生的少量灰渣脏污，可以通过所述排污口36进行定期清理。

[0056] 所述三级水池26上设置有水池盖28，所述水池盖28覆盖所述三级水池26的开口，以防止脏污杂质进入所述三级水池26。所述水池盖28上设置有超声波液位测量组件27，所述超声波液位测量组件27与所述中央控制柜40相连接，以用于实时监测所述三级水池26中的液位高度，当监测到的液位高度低于设定高度值时，所述超声波液位测量组件27向所述中央控制柜40发出反馈信号。本实施方式中，所述三级水池26与所述水池隔板29等高处还分别设置有进水口32、pH检测口31及循环泵接口30，且所述进水口32、所述pH检测口31及所述循环泵接口30分别位于所述浆液循环区33。所述进水口32与水泵相连接，通过所述水泵向所述三级水池26内补充水，水可以是自来水或者去离子水或者超纯水，所述水泵的启停开关连接于所述中央控制柜40，通过所述中央控制柜40来控制所述水泵的启停。所述pH检测口31处设置有pH检测组件，所述pH检测组件用于实时测量所述浆液循环区33内的脱硫浆液pH值，并将pH值测量结果输出到所述中央控制柜40的终端上显示，系统运行过程中pH优选保持在9.2~10.8之间；所述循环泵接口30与所述脱硫浆液喷洒组件的脱硫浆液循环泵25相连接。

[0057] 请参阅图6，本实施方式中，所述浆液中和区34及所述浆液循环区33均在底部设置有加热组件48，所述加热组件48连接于所述中央控制柜40，其用于对所述三级水池26内的脱硫浆液进行加热。所述浆液循环区33还设置有温度测量组件47，所述温度测量组件47连接于所述中央控制柜40，其用于测量所述三级水池26内的脱硫浆液温度，并将测量结果传输到所述中央控制柜40上以进行显示；所述浆液中和区34及所述浆液循环区33内还分别设置有搅拌组件46，所述搅拌组件46用于对所述浆液中和区34及所述浆液循环区33内的脱硫浆液进行搅拌均匀；所述浆液中和区34还设置有一个压缩空气接口49，所述压缩空气接口49与空气压缩机50相连接；所述空气压缩机50用于连续不断地向所述三级水池26内注入空气，以提高脱硫浆液的混合均匀性及反应活性；所述空气压缩机50的启停开关连接于所述中央控制柜40，通过所述中央控制柜40来控制所述空气压缩机50的启停。

[0058] 所述脱硫浆液喷洒组件包括脱硫浆液循环泵25及多个脱硫浆液喷嘴4，多个所述脱硫浆液喷嘴4设置在所述氧化吸收塔主体7内，且分别连接于所述脱硫浆液循环泵25。本实施方式中，所述脱硫浆液喷嘴4连接于所述脱硫浆液管路进口5，三个所述脱硫浆液喷嘴4间隔设置以形成一个喷淋层，所述喷淋层位于所述旋流板3与所述椭圆翅片对53之间，其数量为2~5。每层喷淋层的所述脱硫浆液喷嘴4用于使脱硫浆液充分雾化后与混合烟气充分

接触,喷淋吸收烟气中的SO<sub>2</sub>、颗粒物、氧化残余物和未反应完全的少部分NO<sub>x</sub>、重金属以及有机污染物;其中,所述脱硫浆液温度T<sub>3</sub>范围优选为45℃≤T<sub>3</sub>≤75℃。每层喷淋层均设置有开关,且开关分别连接于所述中央控制柜40,通过所述中央控制柜40可以控制所述喷淋层的开关的启闭,以用于单独控制每一层所述喷淋层的工作状态。此外,所述脱硫浆液循环泵25的开关也连接于所述中央控制柜40,通过所述中央控制柜40可以控制所述脱硫浆液循环泵25的启停。

[0059] 所述脱硫剂输送装置包括螺旋输送机44、电机45及脱硫剂存储箱43,所述三级水池26的水池盖28设置有通道,所述螺旋输送机44的一端连接于所述通道,另一端连接于所述电机45。所述螺旋输送机44用于将所述脱硫剂存储箱43内的脱硫剂输送到所述三级水池26内,所述脱硫剂通过所述管道掉落至所述浆液中和区34。所述电机45用于驱动所述螺旋输送机44。所述螺旋输送机44的上部与所述脱硫剂存储箱43相连接,所述脱硫剂存储箱43用于存储脱硫剂。

[0060] 此外,所述脱硫剂可用石灰石作为吸收剂,资源丰富且廉价易得,利用率高,也可以采用工业碱(如氢氧化钠等)作为吸收剂,水可以是自来水或去离子水或超纯水;此外,还可以在其中添加合适的增效添加剂以提高其对SO<sub>2</sub>、颗粒物、氧化残余物,以及NO<sub>x</sub>、重金属(如Hg、Cd、Pb、As、Se等)和有机污染物(如VOCs、PAHs等)等多种污染物的协同脱除效果,增效添加剂可以是无机添加剂或有机添加剂或复合添加剂。同时,液体氧化剂包括但不限于上述提到的次氯酸溶液、亚氯酸钙溶液、硫酸亚铁溶液和氯化亚铁溶液。

[0061] 本发明提供的用于燃煤烟气多污染物一体化脱除的氧化吸收设备,所述氧化吸收设备有效地将氧化及吸收进行了有机耦合,解决了单一污染物控制技术脱除效果差、占地面积大、运行费用高以及彼此之间存在着相互影响等缺点,可以经济高效地协同脱除燃煤烟气中的SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物、重金属和有机污染物等多种污染物,效率较高,且成本较低,灵活性较好。

[0062] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

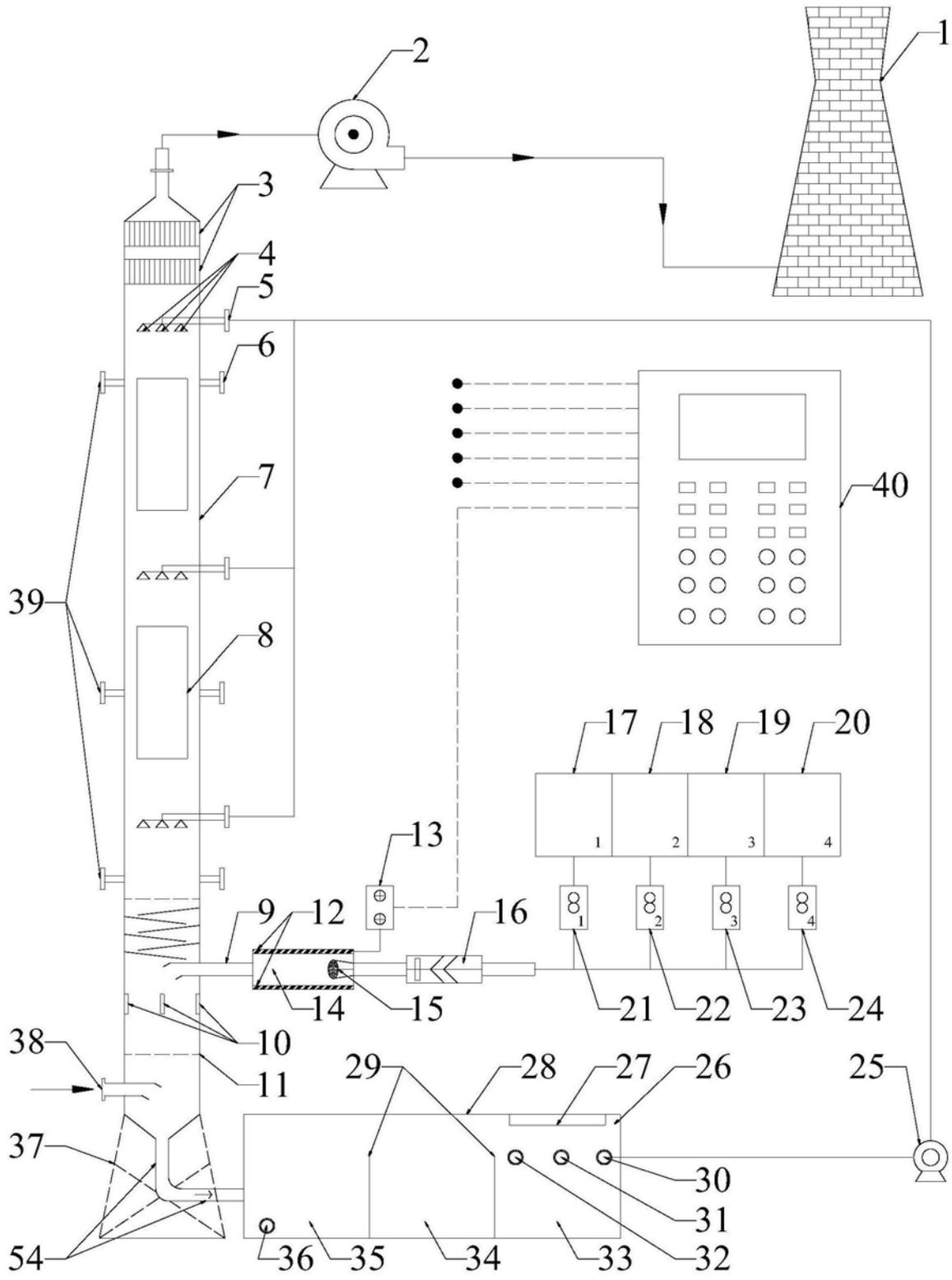


图1

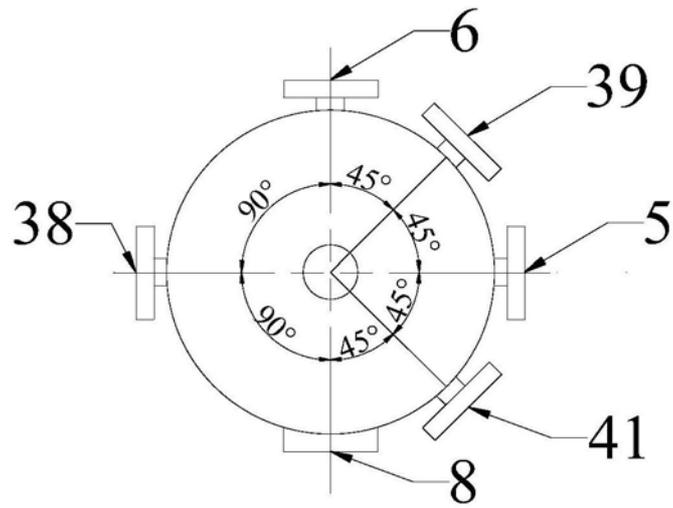


图2

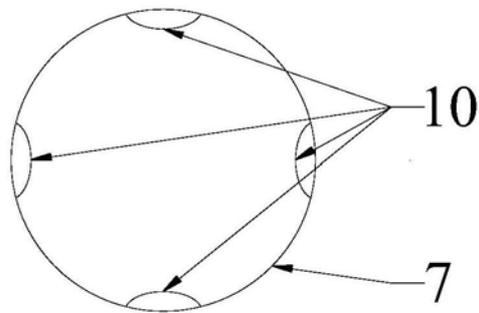


图3

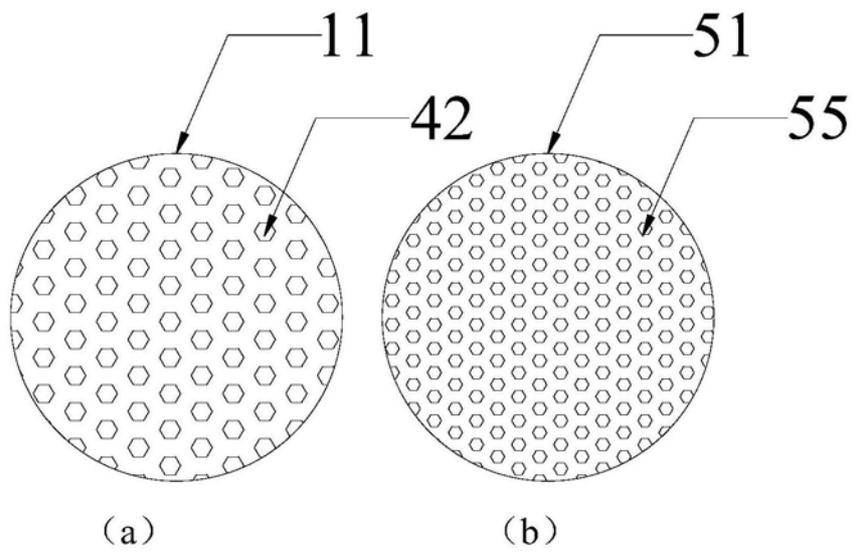


图4

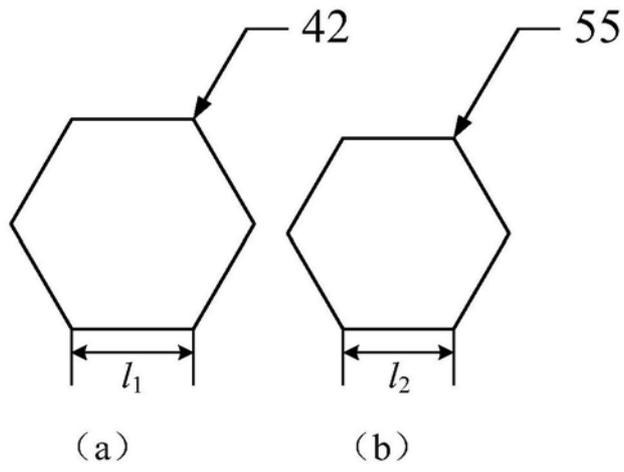


图5

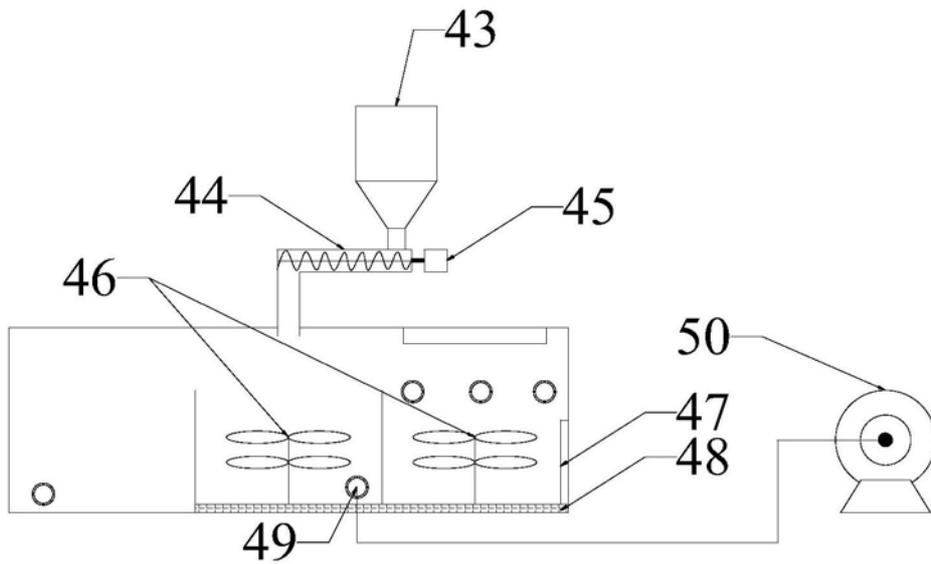


图6

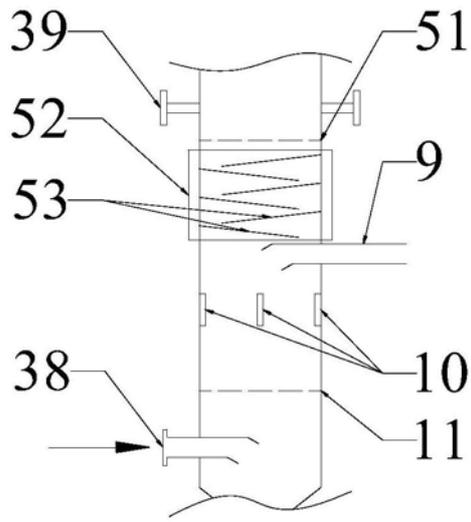


图7

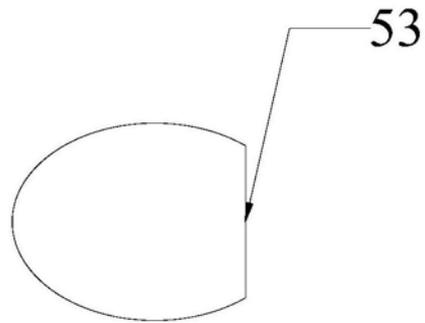


图8

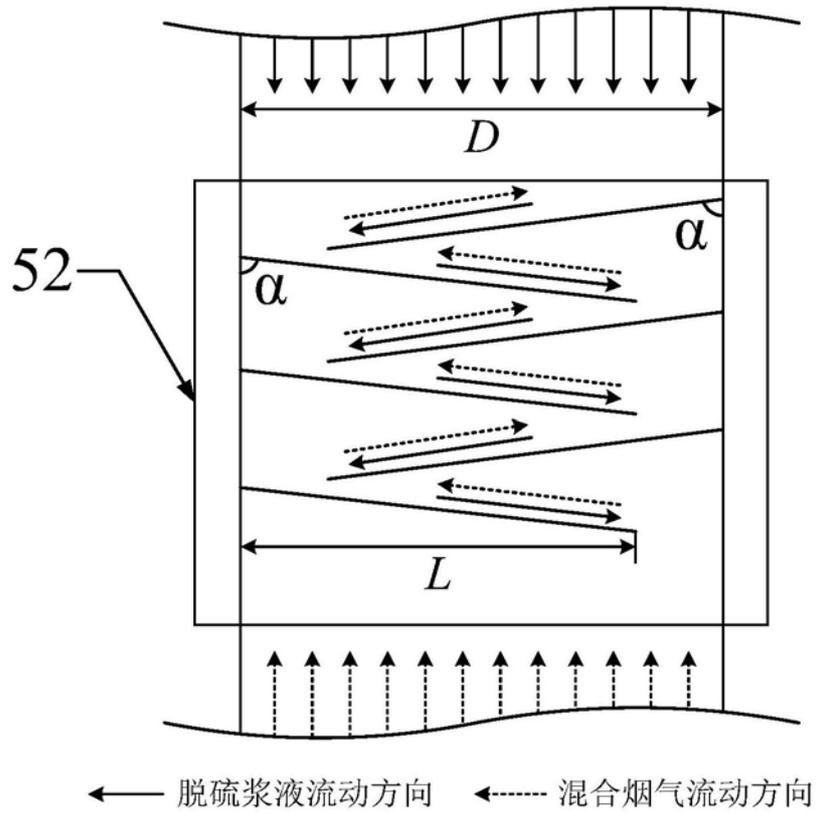


图9