



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105080311 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201510450244. 4

B03C 3/41(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 07. 28

B03C 3/47(2006. 01)

B03C 3/78(2006. 01)

(71) 申请人 浙江天蓝环保技术股份有限公司

地址 311202 浙江省杭州市萧山区北干街道  
兴议村

(72) 发明人 王岳军 寿冬金 莫建松 吴忠标  
孙华 梁平

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限  
公司 33224

代理人 黄平英

(51) Int. Cl.

B01D 53/75(2006. 01)

B01D 53/60(2006. 01)

B01D 50/00(2006. 01)

B03C 3/16(2006. 01)

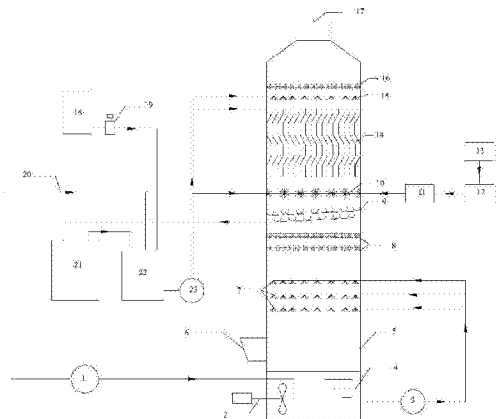
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

一种燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔及处理  
工艺

(57) 摘要

本发明公开了一种燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔及处理工艺,工艺流程包括:烟气由吸收塔的烟气进口送入吸收塔中,烟气向上依次进行脱硫喷淋和一级除雾、臭氧氧化同时碱液雾化混合脱硝、湿式电除尘,最后经二级除雾后由吸收塔顶部的烟气出口排出;臭氧和脱硝吸收液分别由气路和液路送入氧化脱硝段内,经双流体脱硝喷枪混合后雾化喷入烟气中;脱硫喷淋产生的浆液下落至浆液池中,向浆液池中通入空气,进行氧化;雾化的碱液通过湿式电除尘进行捕捉,湿式电除尘过程中及湿式电除尘后的清洗水由集液槽收集,在吸收塔外缓存过滤处理后回用作清洗水。本发明提高吸收塔的脱硫效率,同时能脱硝除尘和除雾,使燃煤烟气能达到更严格的排放标准。



1. 一种燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔,包括吸收塔,其特征在于,所述吸收塔内由下至上依次分为湿法脱硫段、氧化脱硝段和湿式电除尘段,烟气出口位于吸收塔顶部,烟气进口位于湿法脱硫段;所述氧化脱硝段内设置若干双流体脱硝喷枪。

2. 根据权利要求1所述燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔,其特征在于,若干双流体脱硝喷枪位于同一水平面内,且布满湿法脱硫段的整个横截面。

3. 根据权利要求1所述燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔,其特征在于,单个双流体脱硝喷枪上喷嘴的间距为25~50cm,喷嘴的口径为1.0~3.0mm;所有双流体脱硝喷枪平行设置,相邻两双流体脱硝喷枪之间的间距为25~50cm。

4. 根据权利要求1所述燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔,其特征在于,所述双流体脱硝喷枪包括:

带有若干喷嘴的喷射主管,该喷射主管延伸出吸收塔外的部分带有液路进口和气路进口;

喷枪支架,位于喷射主管下方用于支撑喷射主管。

5. 根据权利要求1所述燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔,其特征在于,湿式电除尘段内安装湿式电除尘器,所述湿式电除尘器包括:

阳极板,该阳极板为若干沿竖直向延伸且相互并行设置的折弯板;

阴极线,设置为若干根,且悬挂于相邻两折弯板之间,与所述折弯板以相同趋势弯折,每根阴极线上间隔固定若干个芒刺;

两个阴极线悬挂框架,分别位于所述阳极板的上方和下方,用于固定阴极线的顶端和底端;

绝缘子室,用于固定所述两个阴极线悬挂框架的端头;

清洗水管,安装于所述阳极板的上方。

6. 一种燃煤锅炉烟气超洁净排放工艺,其特征在于,包括如下步骤:

烟气由吸收塔的烟气进口送入吸收塔中,烟气向上依次在湿法脱硫段进行脱硫喷淋和一级除雾、氧化脱硝段内进行臭氧氧化同时碱液雾化混合脱硝、湿式电除尘段内进行湿式电除尘,最后经二级除雾后由吸收塔顶部的烟气出口排出;

臭氧和脱硝吸收液分别由气路和液路送入氧化脱硝段内,经双流体脱硝喷枪混合后雾化喷入烟气中;

脱硫喷淋产生的浆液下落至浆液池中,向浆液池中通入空气,进行氧化;雾化的碱液通过湿式电除尘进行捕捉,湿式电除尘过程中及湿式电除尘后的清洗水由集液槽收集,在吸收塔外缓存过滤处理后回用作清洗水。

7. 根据权利要求6所述燃煤锅炉烟气超洁净排放工艺,其特征在于,气路的压力为0.2~0.5MPa,喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为: $n_{O_3}:n_{NO} = 0.5 \sim 2.5$ 。

8. 根据权利要求6所述燃煤锅炉烟气超洁净排放工艺,其特征在于,液路的压力为0.2~0.5MPa,脱硝吸收液为NaOH溶液、 $Na_2CO_3$ 溶液、 $NaHCO_3$ 溶液、KOH溶液或 $K_2CO_3$ 溶液,喷入的脱硝吸收液与烟气中的氮氧化物摩尔比为: $n_{Na^+或K^+}:n_{NO} = 1.0 \sim 5.0$ ,脱硝吸收液的温度为5~25℃。

9. 根据权利要求6所述燃煤锅炉烟气超洁净排放工艺,其特征在于,脱硝吸收液的流量与烟气量的液气比0.001~0.5。

10. 根据权利要求 6 所述燃煤锅炉烟气超洁净排放工艺,其特征在于,氧化脱硝段内喷入烟气中的雾化液滴直径 D50 控制在 25 ~ 250  $\mu\text{m}$ 。

## 一种燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔及处理工艺

### 技术领域

[0001] 本发明涉及大气污染控制技术领域,具体涉及一种燃煤锅炉烟气超洁净排放一体装置,能有效去除烟气中的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、粉尘和水汽的新型的装置,适用于电站锅炉、工业锅炉、焚烧炉等的烟气除尘领域。

### 背景技术

[0002] 雾霾是雾和霾的混合物,雾是近地面层空气中的水汽凝结(或凝华)的产物,是由大量悬浮在近地面空气中的微小水滴或冰晶组成的气溶胶系统。霾是指空气中的灰尘、硫酸、硝酸、有机碳氢化物等粒子使大气混浊,视野模糊并导致能见度恶化。雾霾天气产生的各基本条件中除细小霾粒子与人类生产、生活有关外,其余各条件均是人类难以控制的天气或气象条件,因此对其防控主要是通过减少大气中的霾粒子,由于大气中的霾粒子主要来自于大气污染物的排放,重点是车辆尾气、工业废气、燃煤烟气、扬尘等污染源。因而首先必须从源头上控制,减少污染源的产生及污染物的排放,加强对这些重点污染源的治理,减少各类大气污染物的排放。随着以“雾霾”为主要形式的环境污染事件不断发生,燃煤电厂成为众矢之的。燃煤锅炉烟气中的粉尘、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  等污染物是雾霾形成的主要污染物。

[0003] 常规的湿法脱硫 FGD 具有很高的脱硫效率,但是脱硝、除尘、除酸雾的效果十分有限,因为实际工业烟气中的  $\text{NO}_x$ 90% 以上都是  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}$  除了生成络合物以外,几乎不被水或者碱液吸收。而在实际应用中要达到较好的湿法脱硝效率,需要将  $\text{NO}$  氧化。公开号 CN1768902A 锅炉烟气臭氧氧化脱硝方法中在温度范围为  $110 \sim 150^\circ\text{C}$  的锅炉烟道低温段喷入臭氧  $\text{O}_3$ , 将锅炉中的一氧化氮  $\text{NO}$  氧化成易溶于水的高价态氮氧化物。湿法脱硝都是在引风机后面喷入强氧化剂臭氧,使烟气中的  $\text{NO}$  氧化成高价态的氮氧化物。臭氧在  $130^\circ\text{C}$  的烟气温度中容易分解成氧气造成臭氧的利用率的降低,同时容易引燃烟道中的玻璃鳞片防腐层,因此需喷水降温或者更换烟道的材质。高价态的氮氧化物进入脱硫系统中被吸收成相应的硝酸根和亚硝酸盐,将对石膏的品质造成一定的影响。同时吸收塔中的除雾器不能对酸雾、粉尘、水汽进行有效的进行捕集。

[0004] 因此需一种装置能提高吸收塔的脱硫效率,同时能脱硝除尘和除雾,使燃煤烟气能达到更严格的排放标准。

### 发明内容

[0005] 本发明提供一种燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔及处理工艺,提高吸收塔的脱硫效率,同时能脱硝除尘和除雾,使燃煤烟气能达到更严格的排放标准。

[0006] 一种燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔,包括吸收塔,所述吸收塔内由下至上依次分为湿法脱硫段、氧化脱硝段和湿式电除尘段,烟气出口位于吸收塔顶部,烟气进口位于湿法脱硫段;所述氧化脱硝段内设置若干双流体脱硝喷枪。

[0007] 优选地,若干双流体脱硝喷枪位于同一水平面内,且布满湿法脱硫段的整个横截面。

[0008] 优选地,单个双流体脱硝喷枪上喷嘴的间距为 25 ~ 50cm,喷嘴的口径为 1.0mm ~ 3.0mm;所有双流体脱硝喷枪平行设置,相邻两双流体脱硝喷枪之间的间距为 25cm ~ 50cm。

[0009] 进一步优选地,单个双流体脱硝喷枪上喷嘴的间距为 30 ~ 40cm,喷嘴的口径为 1.5 ~ 2.5mm;所有双流体脱硝喷枪平行设置,相邻两双流体脱硝喷枪之间的间距为 30 ~ 40cm。

[0010] 更进一步优选地,单个双流体脱硝喷枪上喷嘴的间距为 40cm,喷嘴的口径为 2.0mm;所有双流体脱硝喷枪平行设置,相邻两双流体脱硝喷枪之间的间距为 40cm。

[0011] 进一步优选地,相邻两双流体脱硝喷枪之间的间距相同,每个双流体脱硝喷枪上喷嘴的间距相同,确保臭氧与脱硝吸收液的混合液均匀喷入烟气中,提高烟气的脱硝效果。

[0012] 更进一步优选地,所有喷嘴的喷口朝上开设。混合液与烟气相同方向喷入烟气中,减少对烟气进过脱硝喷枪的阻力,雾化的液体同时能有一点的冲击力冲刷湿电的阴极线,防止阴极线结垢;喷嘴方向与烟气方向相同,使烟气跟过喷枪后流速气流方向不会产生影响减少烟气紊流程度,使烟气能均匀的进入湿电。

[0013] 优选地,所述双流体脱硝喷枪包括:

[0014] 带有若干喷嘴的喷射主管,该喷射主管延伸出吸收塔外的部分带有液路进口和气路进口;

[0015] 喷枪支架,位于喷射主管下方用于支撑喷射主管。

[0016] 进一步优选地,喷射主管与喷枪支架之间设有垫片。能够更好的支撑喷枪。

[0017] 液路与气路分别从双流体喷枪的两个进口进入喷枪,在喷枪的内部进行混合,由喷枪枪体上均匀分布的喷嘴喷射到烟气中。

[0018] 进一步优选地,所述喷射主管由多段不同尺寸的圆管通过变径连接而成,且圆管直径随着枪体的增长而减小。

[0019] 双流体喷枪的喷嘴均匀分布在脱硝区上,使臭氧能在脱硝段均匀的混合,避免造成局部臭氧浓度过高,提高臭氧的利用率。

[0020] 双流体喷枪将雾化的碱液和臭氧能均匀喷射后分布到烟气中,喷嘴方向与烟气方向相同减少烟气通过双流体喷枪的阻力,雾化的碱液能均匀的进入湿式电除尘的下端,增加的碱液能增加极板下端的冲刷流量,减少阳极板结垢。雾化的小液滴能分散在烟气中与烟气中的粉尘结合,进入湿电后更容易被湿电捕捉。

[0021] 喷枪枪体主管为多段不同尺寸的圆管通过变径连接,圆管直径随着枪体的增长而减小,因此能根据脱硫塔中脱硝区中不同位置选取该位置所需安装喷枪的长度。优选地,湿法脱硝段内还设有位于双流体脱硝喷枪下方的集液槽。

[0022] 集液槽收集湿式电除尘器的冲洗水及脱硝吸收液进行循环使用,保证湿式电除尘器冲洗水及脱硝吸收液不直接进入吸收塔的脱硫浆液中,保证了整个系统的水量平衡。

[0023] 湿式电除尘段内安装湿式电除尘器,优选地,所述湿式电除尘器的结构包括:

[0024] 阳极板,该阳极板为若干沿竖直向延伸且相互并行设置的折弯板;

[0025] 阴极线,设置为若干根,且悬挂于相邻两折弯板之间,与所述折弯板以相同趋势弯折,每根阴极线上间隔固定若干个芒刺;

[0026] 两个阴极线悬挂框架,分别位于所述阳极板的上方和下方,用于固定阴极线的顶端和底端;

- [0027] 绝缘子室,用于固定所述两个阴极线悬挂框架的端头;
- [0028] 清洗水管,安装于所述阳极板的上方。
- [0029] 湿式电除尘器外接供电电源,供电电源的工作电压为 30KV ~ 72KV,电源形式为工频电源或高频电源。
- [0030] 所述折弯板的折弯形式可采用规则折弯、不规则折弯等多种折弯形式。作为优选,所述折弯板的长度为 2 ~ 8m,两折痕之间的距离为 300mm ~ 800mm,折弯处的角度为 140° ~ 170°。
- [0031] 进一步优选,相邻两折弯板之间的间距为 280mm ~ 400mm。
- [0032] 烟气在折板间流动增加了板间的气流的紊乱程度,在电场的作用下,粉尘小液滴 SO<sub>3</sub>气溶胶重金属等更容易被吸附到阳极板上,被阳极板上的水膜冲走,可实现汞、重金属和 PM2.5 超细颗粒等多种污染物的联合脱除。
- [0033] 同时折板电除尘器,加大了阳极板的强度,使阳极板安装的更加稳定,减少了电火花产生的几率;在相同体积的湿式电除尘器的情况下,折板湿式电除尘器有更大的比值面积,在较低的放电电压下就能达到较高的除尘效果,节省了能源,降低吸收塔的高度。
- [0034] 通过大量的实验结果表明,折弯板在上述优选参数的组合下,折弯板的作用发挥到最大。
- [0035] 更进一步优选,所述折弯板的长度为 8m,两折痕之间的距离为 300mm,折弯处的角度为 140°;相邻两折弯板之间的间距为 280mm。
- [0036] 阴极线上芒刺使阴极线放电时电流密度均匀,更容易在芒刺上释放出大量电子,粉尘通过高压电场时,使尘粒荷电,并在电场力的作用下使尘粒沉积在集尘板上。作为优选,所述芒刺的长度为 5 ~ 25mm,每根阴极线上相邻芒刺的间距为 50 ~ 150mm。在该设置条件下,芒刺的作用发挥到更好。
- [0037] 为使芒刺的作用进一步发挥到最大,通过大量实验得知更进一步优选地,所述芒刺的长度为 25cm,每根阴极线上相邻芒刺的间距为 50mm。
- [0038] 作为优选,所述清洗水管布置于每块折弯板顶部的两侧,紧贴对应折弯板的两个面;进一步优选,所述清洗水管上的喷孔间距为 50 ~ 70mm,喷孔的喷射角度与对应折弯板成 30° ~ 60° 夹角。
- [0039] 按照上述优选方式安装清洗水管,湿式电除尘器运行时,整个阳极板上一直均匀的分布着向下流动的水膜,电除尘器运行时,粉尘吸附到阳极板上,会随着水膜被冲走,不会造成粉尘吸附在阳极板上造成阳极板结垢的现象。
- [0040] 所述绝缘子室可采用常规市售产品,作为优选,所述绝缘子室布置电加热和测温元件。防止低温启动结露爬电。
- [0041] 湿法脱硫段包括位于吸收塔底部的浆液池、浆液池上方的脱硫吸收区、脱硫吸收区上方的脱硫喷淋层以及位于脱硫喷淋层上方的一级除雾层。
- [0042] 为进一步提高烟气的净化效果,所述湿式电除尘段的上方设有二级除雾段,经脱硫、深度脱硝及电除尘处理后的烟气经二级除雾器除湿干燥后由吸收塔顶部的烟气出口排出。
- [0043] 为更好的完成对烟气的脱硫处理,还设有与所述脱硫装置配套的配套设备,包括:

[0044] 碱液罐；

[0045] 过滤沉淀罐，所述集液槽连接至该过滤沉淀罐；

[0046] 清洗水罐，该清洗水罐的入水口连接过滤沉淀池、碱液罐和工艺水管，出口通过清洗泵连接至所述清洗喷淋层和湿式电除尘器的清洗水管；

[0047] 氧化风机，连接至吸收塔的浆液池。

[0048] 连接所述碱液罐和清洗水罐的管路上设有计量泵。

[0049] 清洗水落入集液槽并自流进入过滤沉淀罐缓存，上层清液再进入清洗水罐由清洗水泵及清洗回用泵打回湿电除尘系统重复利用。在清洗水箱内加入碱液调节 pH 值至弱碱性，以中和烟气中的酸性成分，同时实现系统防腐。

[0050] 本发明还提供一种燃煤锅炉烟气超洁净排放工艺，优选采用本发明的一体塔进行，包括如下步骤：

[0051] 烟气由吸收塔的烟气进口送入吸收塔中，烟气向上依次在湿法脱硫段进行脱硫喷淋和一级除雾、氧化脱硝段内进行臭氧氧化同时碱液雾化混合脱硝、湿式电除尘段内进行湿式电除尘，最后经二级除雾后由吸收塔顶部的烟气出口排出；

[0052] 臭氧和脱硝吸收液分别由气路和液路送入氧化脱硝段内，经双流体脱硝喷枪混合后雾化喷入烟气中；

[0053] 脱硫喷淋产生的浆液下落至浆液池中，向浆液池中通入空气，进行氧化；雾化的碱液通过湿式电除尘进行捕捉，湿式电除尘过程中及湿式电除尘后的清洗水由集液槽收集，在吸收塔外缓存过滤处理后回用作清洗水。

[0054] 烟气经过吸收塔中的脱硫喷淋层后脱除绝大部分  $\text{SO}_2$ 。烟气进入均匀分布湿法脱硝喷枪的湿法脱硝段，由臭氧发生器产生的臭氧经过压缩机压缩后的与含有一定浓度的稀碱溶液的清洗液进入湿法脱硝喷枪后雾化均匀喷入烟气中。喷入点位置处烟气温度较低，湿度饱和，因此臭氧分解缓慢，提高了臭氧的利用率。臭氧将烟气中的  $\text{NO}$  氧化成可溶于水的  $\text{NO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}_5$ ，同时较低温度的碱液和臭氧的喷入使湿度饱和的烟气继续降低  $0.3 \sim 1.0^\circ\text{C}$ ，烟气中大量的水汽将凝结成小液滴，提高了烟气与小液滴的传质效率，更容易将  $\text{NO}_2$  和  $\text{N}_2\text{O}_5$  吸收，形成水溶性硝酸盐和亚硝酸盐，雾化的碱液小液滴同时能吸收烟气中残留的  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$  并氧化生成硫酸盐达到深度脱硫的目的。

[0055] 在氧化脱硝段内的工艺参数优选如下：

[0056] 气路的压力为  $0.2 \sim 0.5\text{MPa}$ ，喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{O}_3}:n_{\text{NO}} = 0.5 \sim 2.5$ ；液路的压力为  $0.2 \sim 0.5\text{MPa}$ ，脱硝吸收液为  $\text{NaOH}$  溶液或  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液，喷入的脱硝吸收液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{Na}^+ \text{ 或 } \text{K}^+}:n_{\text{NO}} = 1.0 \sim 5.0$ ，脱硝吸收液的温度为  $5 \sim 25^\circ\text{C}$ ；脱硝吸收液的流量与烟气量的液气比  $0.001 \sim 0.05$ ；氧化脱硝段内喷入烟气中的雾化液滴  $D_{50}$  控制在  $30 \sim 250 \mu\text{m}$ 。

[0057] 优选喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{O}_3}:n_{\text{NO}} = 0.5 \sim 2.5$ ，烟气中的  $\text{NO}_x$  被臭氧氧化成的高价态的氮氧化物，同时过量的臭氧能是烟气中的亚硫酸盐氧化成稳定的硫酸盐。

[0058] 优选喷入的脱硝吸收液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{Na}^+ \text{ 或 } \text{K}^+}:n_{\text{NO}} = 1.0 \sim 5.0$ ，脱硝吸收液的碱液能吸收烟气中的  $\text{NO}_x$  被臭氧氧化成的高价态的氮氧化物形成稳定的硝酸盐，同时一部分的碱液能吸收经过脱硫系统后剩余的  $\text{SO}_2$ ，生成的亚硫酸烟又能进一步的

与臭氧生成稳定的硫酸盐,能深度脱硫。

[0059] 优选脱硝吸收液的温度为 5 ~ 25℃,低于烟气温度的吸收液雾化进入烟气中,能降低饱和烟气的温度,烟气能液化出更多的小水滴,液化出的过程中更容易与烟气中的粉尘结和附着,使粉尘颗粒质量增加,体积增大,进入湿电后更容易被捕捉,

[0060] 优选脱硝吸收液流量与烟气量的液气比为 0.001 ~ 0.5,在脱硝区域烟气中呈碱性氛围,能深度的吸收烟气中剩余的 SO<sub>2</sub>,同时碱性的脱硝液进入湿电后,能保护湿电的阳极板不受酸性的气体腐蚀。

[0061] 优选雾化液滴 D50 控制在 30 ~ 250 μm。能充分的使脱硝液与 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 进行传质混合。细小的液滴更容易与烟气中的粉尘发生碰撞结合,有利于湿电的捕捉。

[0062] 优选气路的压力为 0.2 ~ 0.5MPa,液路的压力为 0.2 ~ 0.5MPa,在该压力下使脱硝液更好的雾化,臭氧能更好的混合与烟气中。

[0063] 湿法脱硫段采用的脱硫浆液为石灰石、生石灰、电石渣、白泥、氧化镁、氢氧化钠或碳酸钠。

[0064] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0065] 脱硝段的作用,脱硝的雾化碱液和臭氧喷入后,将烟气中的 NO<sub>x</sub> 氧化吸收成盐类物质,同时喷入的碱液吸收 SO<sub>2</sub>并通过臭氧氧化形成稳定的硫酸盐,因此脱硝段的增加能进一步降低烟气中的 SO<sub>2</sub>含量,脱硝的雾化液滴能降低烟气温度的降低又能提高 SO<sub>2</sub>吸收的速率,SO<sub>2</sub>在较短的停留时间就能被吸收,进一步的提高 SO<sub>2</sub>的吸收效果。脱硝形成的盐和硫酸盐通过用湿电来捕捉,脱硝的雾化液滴能降低脱硫出来的饱和湿度的烟气,产生更多的小液滴,进一步的与烟气中的粉尘发生碰撞使粉尘与小液滴结合,形成更低比电阻的粉尘小液滴,更容易被湿式电除尘捕捉,提高了湿式电除尘除粉尘的效率。

[0066] 本发明在脱硝段以双流体喷枪喷入碱液和臭氧,臭氧气流将碱液充分雾化,可将烟气中的 NO<sub>x</sub> 氧化吸收,形成硝酸盐,并对脱硫段未被完全吸收的 SO<sub>2</sub>进行进一步脱除。同时,大量雾化液滴能够降低该区域内的烟气温度,从而提高 SO<sub>2</sub>吸收的速率,使得 SO<sub>2</sub>在较短的停留时间内被吸收。因此,本发明脱硝段的增加可对烟气中 SO<sub>2</sub>进行进一步深度脱除,显著提高塔的脱硫效率。烟气经过脱硫段上升至脱硝段时,含有大量硝酸盐和硫酸盐等粉尘与杂质,而脱硝段形成的大量雾化液滴,能降低上升至脱硝段烟气的饱和湿度,使得烟气中的水蒸气因冷凝产生更多的小液滴,从而显著提高其与烟气中的粉尘的碰撞概率,使得其与烟气中的粉尘杂质结合,形成更低比电阻的粉尘小液滴,进而更易被塔顶端湿式电除尘捕捉,最终提高烟气中粉尘的脱除效率。

## 附图说明

[0067] 图 1 是本发明燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔的结构示意图。

[0068] 图 2 是本发明湿式电除尘器结构的正视图。

[0069] 图 3 是本发明湿式电除尘器的清洗管结构示意图。

[0070] 图 4 是湿法脱硝喷枪分布示意图。

[0071] 图 5 是湿法脱硝喷枪结构示意图。

[0072] 图中所示附图标记如下:

[0073] 1- 氧化风机                      2- 搅拌装置                      3- 循环泵



[0074]	4- 浆液池	5- 吸收塔	6- 烟气进口
[0075]	7- 脱硫喷淋层	8- 一级除雾层	9- 集液槽
[0076]	10- 双流体脱硝喷枪	11- 压缩机	12- 臭氧发生器
[0077]	13- 气源	14- 湿式电除尘器	15- 清洗喷淋层
[0078]	16- 二级除雾器	17- 烟气出口	18- 碱液罐
[0079]	19- 计量泵	20- 工业水管	21- 过滤沉淀罐
[0080]	22- 清洗水罐	23- 清洗水泵	24- 绝缘子室
[0081]	25- 上阴极线悬挂框	26- 阴极线	27- 清洗水管
[0082]	28- 阳极板	29- 芒刺	30- 下阴极线悬挂框
[0083]	31- 喷孔	32- 气路总管	33- 液路总管
[0084]	101- 气路进口	102- 液路进口	103- 喷射主管
[0085]	104 喷嘴	105- 气液混合区	106- 喷枪支架
[0086]	107- 垫片	108- 法兰	109- 变径连接管。

### 具体实施方式

[0087] 如图 1 ~ 图 5 所示, 一种燃煤锅炉烟气超洁净排放一体塔, 包括吸收塔 5, 吸收塔 5 内由下至上依次分为湿法脱硫段、氧化脱硝段、湿式电除尘段, 湿式电除尘段的上方设有二级除雾器 16, 烟气出口 17 位于吸收塔的顶部, 烟气进口 6 位于湿法脱硫段。

[0088] 湿法脱硫段内包括位于吸收塔内底部的浆液池 4, 浆液池 4 上方的烟气吸收区、烟气吸收区上方的脱硫喷淋层 7 和脱硫喷淋层上方的一级除雾器 8, 烟气进口开设在烟气吸收区的塔壁上, 浆液池内安装有搅拌装置 2, 氧化风机 1 通过氧化风管接入浆液池内, 循环泵 3 连接浆液池和脱硫喷淋层。

[0089] 氧化脱硝段内设置若干双流体脱硝喷枪 10, 双流体脱硝喷枪的下方设置集液槽 9, 单支双流体脱硝喷枪的结构如图 5 所示, 包括喷射主管 103, 喷射主管 103 贯穿吸收塔的塔壁延伸进氧化脱硝段内, 喷射主管 103 位于吸收塔塔壁外的部分带有液路进口 101 和气路进口 102, 喷射主管 103 由多段不同内径的圆管组成, 圆管直径依次减小, 每段圆管上均匀分布喷嘴 104, 每段圆管由变径连接管 109 连接, 圆管直径随着枪体的增长而减小, 喷射主管内带有气液混合区 105, 气液混合区位于靠近吸收塔的塔壁处, 喷射主管上开设若干开口朝上的喷嘴 104, 喷射主管的下方固定一个喷枪支架 106, 喷枪支架用于支撑喷枪主管, 喷枪支架与喷射主管之间设有垫片 107, 喷枪支架及喷射主管在吸收塔外通过法兰 108 及对应的安装部件与吸收塔固定。

[0090] 气路进口通过气路总管 32 连接压缩机 11, 压缩机 11 连接臭氧发生器 12, 臭氧发生器连接气源 13。

[0091] 双流体脱硝喷枪的分布方式如图 4 所示, 若干双流体脱硝喷枪位于同一水平面内, 且布满湿法脱硫段的整个横截面, 单个双流体脱硝喷枪上喷嘴的间距为 25 ~ 50cm, 喷嘴的口径为 1.0 ~ 3.0mm; 所有双流体脱硝喷枪平行设置, 相邻两双流体脱硝喷枪之间的间距为 25 ~ 50cm。相邻两双流体脱硝喷枪之间的间距相同, 每个双流体脱硝喷枪上喷嘴的间距相同。

[0092] 湿式电除尘段内安装湿式电除尘器 14, 湿式电除尘器 14 外接供电电源, 湿式电除

尘器的结构如图 2 所示：包括阳极板 28、设置于阳极板之间的阴极线 26、用于固定阴极线的阴极线悬挂框架（包括上阴极线悬挂框 25 和下阴极线悬挂框 30）、设置于阴极线上的芒刺 29 和用于固定阴极线悬挂框架的绝缘子室 24。

[0093] 阳极板 28 为若干块相互并行设置的折弯板，每块折弯板沿竖直向延伸，每块折弯板的长度为 2 ~ 8m，两折痕之间的距离为 300mm ~ 800mm，折弯处的角度为 140° ~ 170°，相邻两折弯板之间的间距为 280mm ~ 400mm，折弯板的折弯形式可采用规则折弯、不规则折弯等多种折弯形式。

[0094] 在每块折弯板的顶部两侧各安装一根清洗水管 27，清洗水管 27 布置于每块折弯板顶部的两侧，紧贴折弯板的两个面，清洗水管上设置若干喷孔 31，喷孔间距为 50 ~ 70mm，喷孔的喷射角度与对应折弯板成 30° ~ 60° 夹角，清洗水管的结构示意图如图 3 所示。

[0095] 阴极线 26 设置于相邻两块折弯板之间，每相邻两块折弯板之间的阴极线为一组，每组阴极线为若干根并行设置，每根阴极线均具有与折弯板相同的折弯趋势（弯折的角度与长度成与阳极板弯折的角度和长度相同），每根阴极线上间隔固定若干个芒刺，每个芒刺的长度为 5 ~ 25mm，每根阴极线上相邻芒刺的间距为 50 ~ 150mm，每组阴极线中相邻阴极线之间的间距为 250mm ~ 500mm。

[0096] 在阳极板的上方和下方分别设置上阴极线悬挂框 25 和下阴极线悬挂框 30，所有阴极线的上端和下端分别固定在对应的阴极线悬挂框架上，上、下两个阴极线悬挂框架的端头各固定一个绝缘子室 24，用于安装整个湿式电除尘器。

[0097] 为防止阴极线晃动，在相邻两折弯板之间还设置了若干与阴极线交汇的固定管，阴极线与固定管交汇处与固定管相固定，固定管的外径与阴极线的外径相同。

[0098] 湿式电除尘器通过阳极板 28 和绝缘子室 24 均固定安装于吸收塔塔的内壁上。

[0099] 在湿式电除尘器 14 的上方且位于二级除雾层 16 的下方设置清洗喷淋层 15，用于喷淋清洗湿式电除尘器，主要清洗阴极线，湿式电除尘器的清洗液由氧化脱硝段内的集液槽 9 收集。

[0100] 吸收塔外设置与脱硫塔相配套的配套设备，包括：碱液罐 18；过滤沉淀罐 21，集液槽 9 连接至该过滤沉淀罐；清洗水罐 22，该清洗水罐的入水口连接过滤沉淀池 21、碱液罐 18 和工艺水管 20，出口通过清洗泵 23 连接至清洗喷淋层 15、湿式电除尘器的清洗水管及通过液路总管 33 连接至双流体脱硝喷枪的液路进口 101；氧化风机连接至脱硫塔的浆液池；连接碱液罐和清洗水罐的管路上设有计量泵 19；供电电源设置在脱硫塔外，为湿式电除尘器 10 供电，供电电源的工作电压为 30KV ~ 72KV，电源形式为工频电源或高频电源。

[0101] 上述装置进行烟气一体化净化的工艺流程如下：

[0102] 烟气由吸收塔的烟气进口送入吸收塔中，烟气向上依次在湿法脱硫段进行脱硫喷淋和一级除雾、氧化脱硝段内进行臭氧氧化同时碱液雾化混合脱硝、湿式电除尘段内进行湿式电除尘，最后经二级除雾后由吸收塔顶部的烟气出口排出；

[0103] 臭氧和脱硝吸收液分别由气路和液路送入氧化脱硝段内，经双流体脱硝喷枪混合后雾化喷入烟气中；

[0104] 脱硫喷淋产生的浆液下落至浆液池中，向浆液池中通入空气，进行氧化；雾化的碱液通过湿式电除尘进行捕捉，湿式电除尘过程中及湿式电除尘后的清洗水由集液槽收集，在吸收塔外缓存过滤处理后回用作清洗水。

[0105] 在氧化脱硝段内的工艺参数优选如下：

[0106] 气路的压力为 0.2 ~ 0.5MPa, 喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{O}_3}:n_{\text{NO}} = 0.5 \sim 2.5$ ; 液路的压力为 0.2 ~ 0.5MPa, 脱硝吸收液为 NaOH 溶液、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液、 $\text{NaHCO}_3$  溶液、KOH 溶液、 $\text{K}_2\text{CO}_3$  溶液等其他种类的可溶碱性盐或碱溶液, 喷入的脱硝吸收液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{Na}^+}:n_{\text{NO}} = 1.0 \sim 5.0$ , 脱硝吸收液的温度为 5 ~ 25℃; 脱硝吸收液的流量与烟气量的液气比 0.001 ~ 0.5; 氧化脱硝段内喷入烟气中的雾化液滴 D50 控制在 30 ~ 250  $\mu\text{m}$ 。

[0107] 湿法脱硫段采用的脱硫浆液为石灰石、生石灰、电石渣、白泥、氧化镁、氢氧化钠或碳酸钠。

[0108] 实施例 1

[0109] 某燃煤锅炉烟气量 59723m<sup>3</sup>/h、NO<sub>x</sub>349mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>1501mg/Nm<sup>3</sup>的初始烟气进入超洁净一体塔后, 烟气在塔内进行超洁净处理, 气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{O}_3}:n_{\text{NO}} = 2.5$ ; 脱硝喷枪液气比喷入的 NaOH 溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{NaOH}}:n_{\text{NO}} = 1.5$ , 碱性溶液的温度为 5℃, 喷入碱液流量与烟气量的液气比 0.05, 雾化粒径 D50 为 30  $\mu\text{m}$ , 湿电处放电电压为 72KV, 阳极板长度 8m, 间距 280mm, 芒刺长为 25mm, 芒刺间距为 50mm。塔出口 NO<sub>x</sub>9mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>4mg/Nm<sup>3</sup>、粉尘 3mg/Nm<sup>3</sup>、水汽含量 2mg/Nm<sup>3</sup>。

[0110] 实施例 2

[0111] 某燃煤锅炉烟气量 60023m<sup>3</sup>/h、NO<sub>x</sub>351mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>1487mg/Nm<sup>3</sup>的初始烟气进入超洁净一体塔后, 烟气在塔内进行超洁净处理, 气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{O}_3}:n_{\text{NO}} = 2.1$ ; 脱硝喷枪液气比喷入的  $\text{K}_2\text{CO}_3$  溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{K}_2\text{CO}_3}:n_{\text{NO}} = 1.4$ , 碱性溶液的温度为 10℃, 喷入碱液流量与烟气量的液气比 0.04, 雾化粒径 D50 为 50  $\mu\text{m}$ , 湿电处放电电压为 70KV, 阳极板长度 7m, 间距 300mm, 芒刺长为 20mm, 芒刺间距为 75mm。塔出口 NO<sub>x</sub> 14mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>8mg/Nm<sup>3</sup>、粉尘 4mg/Nm<sup>3</sup>、水汽含量 6mg/Nm<sup>3</sup>。

[0112] 实施例 3

[0113] 某燃煤锅炉烟气量 59887m<sup>3</sup>/h、NO<sub>x</sub>352mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>1470mg/Nm<sup>3</sup>的初始烟气进入超洁净一体塔后, 烟气在塔内进行超洁净处理, 气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{O}_3}:n_{\text{NO}} = 2.0$ ; 脱硝喷枪液气比喷入的 KOH 溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{KOH}}:n_{\text{NO}} = 1.4$ , 碱性溶液的温度为 10℃, 喷入碱液流量与烟气量的液气比 0.02, 雾化粒径 D50 为 80  $\mu\text{m}$ , 湿电处放电电压为 65KV, 阳极板长度 6m, 间距 320mm, 芒刺长为 20mm, 芒刺间距为 75mm。塔出口 NO<sub>x</sub> 19mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>12mg/Nm<sup>3</sup>、粉尘 4.5mg/Nm<sup>3</sup>、水汽含量 10mg/Nm<sup>3</sup>。

[0114] 实施例 4

[0115] 某燃煤锅炉烟气量 60124m<sup>3</sup>/h、NO<sub>x</sub>345mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>1467mg/Nm<sup>3</sup>的初始烟气进入超洁净一体塔后, 烟气在塔内进行超洁净处理, 气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{O}_3}:n_{\text{NO}} = 1.7$ ; 脱硝喷枪液气比喷入的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}:n_{\text{NO}} = 0.65$ , 碱性溶液的温度为 15℃, 喷入碱液流量与烟气量的液气比 0.01, 雾化粒径 D50 为 120  $\mu\text{m}$ , 湿电处放电电压为 60KV, 阳极板长度 5m, 间距 340mm, 芒刺长为 15mm, 芒刺间距为 100mm。塔出口 NO<sub>x</sub> 24mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>13mg/Nm<sup>3</sup>、粉尘 5mg/Nm<sup>3</sup>、水汽含量 14mg/Nm<sup>3</sup>。

[0116] 实施例 5

[0117] 某燃煤锅炉烟气量 60121m<sup>3</sup>/h、NO<sub>x</sub>350mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>1533mg/Nm<sup>3</sup>的初始烟气进入超

洁净一体塔后,烟气在塔内进行超洁净处理,气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{O_3}:n_{NO} = 1.2$ ;脱硝喷枪液气比喷入的  $NaHCO_3$  溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{NaHCO_3}:n_{NO} = 0.005$ ,碱性溶液的温度为  $15^\circ C$ ,喷入碱液流量与烟气量的液气比  $0.7$ ,雾化粒径  $D_{50}$  为  $180 \mu m$ ,湿电处放电电压为  $55KV$ ,阳极板长度  $5m$ ,间距  $360mm$ ,芒刺长为  $15mm$ ,芒刺间距为  $100mm$ 。塔出口  $NO_x$   $29mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $16mg/Nm^3$ 、粉尘  $6mg/Nm^3$ 、水汽含量  $18mg/Nm^3$ 。

#### [0118] 实施例 6

[0119] 某燃煤锅炉烟气量  $60252m^3/h$ 、 $NO_x$   $355mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $1541mg/Nm^3$  的初始烟气进入超洁净一体塔后,烟气在塔内进行超洁净处理,气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{O_3}:n_{NO} = 1.0$ ;脱硝喷枪液气比喷入的  $K_2CO_3$  溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{K_2CO_3}:n_{NO} = 0.55$ ,稀碱性溶液的温度为  $20^\circ C$ ,喷入碱液流量与烟气量的液气比  $0.004$ ,雾化粒径  $D_{50}$  为  $200 \mu m$ ,湿电处放电电压为  $50KV$ ,阳极板长度  $4m$ ,间距  $380mm$ ,芒刺长为  $10mm$ ,芒刺间距为  $125mm$ 。塔出口  $NO_x$   $34mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $19mg/Nm^3$ 、粉尘  $7mg/Nm^3$ 、水汽含量  $22mg/Nm^3$ 。

#### [0120] 实施例 7

[0121] 某燃煤锅炉烟气量  $59900m^3/h$ 、 $NO_x$   $350mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $1497mg/Nm^3$  的初始烟气进入超洁净一体塔后,烟气在塔内进行超洁净处理,气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{O_3}:n_{NO} = 0.7$ ;脱硝喷枪液气比喷入的  $NaOH$  溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{NaOH}:n_{NO} = 1.1$ ,稀碱性溶液的温度为  $20^\circ C$ ,喷入碱液流量与烟气量的液气比  $0.002$ ,雾化粒径  $D_{50}$  为  $210 \mu m$ ,湿电处放电电压为  $45KV$ ,阳极板长度  $3m$ ,间距  $390mm$ ,芒刺长为  $10mm$ ,芒刺间距为  $125mm$ 。塔出口  $NO_x$   $39mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $20mg/Nm^3$ 、粉尘  $7mg/Nm^3$ 、水汽含量  $26mg/Nm^3$ 。

#### [0122] 实施例 8

[0123] 某燃煤锅炉烟气量  $60011m^3/h$ 、 $NO_x$   $351mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $1523mg/Nm^3$  的初始烟气进入超洁净一体塔后,烟气在塔内进行超洁净处理,气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{O_3}:n_{NO} = 0.5$ ;脱硝喷枪液气比喷入的  $NaOH$  溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{NaOH}:n_{NO} = 1.0$ ,稀碱的温度为  $25^\circ C$ ,喷入碱液流量与烟气量的液气比  $0.001$ ,雾化粒径  $D_{50}$  为  $250 \mu m$ ,湿电处放电电压为  $30KV$ ,阳极板长度  $2m$ ,间距  $400mm$ ,芒刺长为  $5mm$ ,芒刺间距为  $150mm$ 。塔出口  $NO_x$   $45mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $21mg/Nm^3$ 、粉尘  $8mg/Nm^3$ 、水汽含量  $30mg/Nm^3$ 。

#### [0124] 对比实施例 1

[0125] 某燃煤锅炉烟气量  $59886m^3/h$ 、 $NO_x$   $353mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $1489mg/Nm^3$  的烟气进入常规喷淋吸收塔后,经过常规脱硫后,塔出口  $NO_x$   $350mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $50mg/Nm^3$ 、粉尘  $20mg/Nm^3$ 、水汽含量  $72mg/Nm^3$ 。

#### [0126] 对比实施例 2

[0127] 某燃煤锅炉烟气量  $60120m^3/h$ 、 $NO_x$   $343mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $1500mg/Nm^3$  的初始烟气进入超洁净一体塔后,停止向塔内喷入臭氧和碱液,关闭湿式电除尘,经过常规脱硫后,塔出口  $NO_x$   $340mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $48mg/Nm^3$ 、粉尘  $23mg/Nm^3$ 、水汽含量  $72mg/Nm^3$ 。

#### [0128] 对比实施例 3

[0129] 某燃煤锅炉烟气量  $60019m^3/h$ 、 $NO_x$   $351mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $1500mg/Nm^3$  的初始烟气进入超洁净一体塔后,停止向塔内喷入臭氧和碱液,湿电处放电电压为  $72KV$ ,阳极板长度  $8m$ ,间距  $280mm$ ,芒刺长度为  $25mm$ ,芒刺间距为  $50mm$ ,经过常规脱硫和湿式电除尘后,塔出口  $NO_x$   $348mg/Nm^3$ 、 $SO_2$   $43mg/Nm^3$ 、粉尘  $4mg/Nm^3$ 、水汽含量  $4mg/Nm^3$ 。

[0130] 对比实施例 4

[0131] 某燃煤锅炉烟气量  $59870\text{m}^3/\text{h}$ 、 $\text{NO}_x 352\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{SO}_2 1522\text{mg}/\text{Nm}^3$  的初始烟气进入超洁净一体塔后,向塔内喷入臭氧和碱液,气路喷入的臭氧与烟气中氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{O}_3}:n_{\text{NO}} = 1.5$ ;脱硝喷枪液气比喷入的  $\text{NaOH}$  溶液与烟气中的氮氧化物摩尔比为  $n_{\text{NaOH}}:n_{\text{NO}} = 1.5$ ,稀碱的温度为  $5^\circ\text{C}$ ,喷入碱液流量与烟气量的液气比  $0.05$ ,雾化粒径  $D_{50}$  为  $120\ \mu\text{m}$ ,关闭湿电除尘,经过常规脱硫和湿法氧化脱硝和深度脱硫后,塔出口  $\text{NO}_x 11\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{SO}_2 6\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、粉尘  $25\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、水汽含量  $70\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

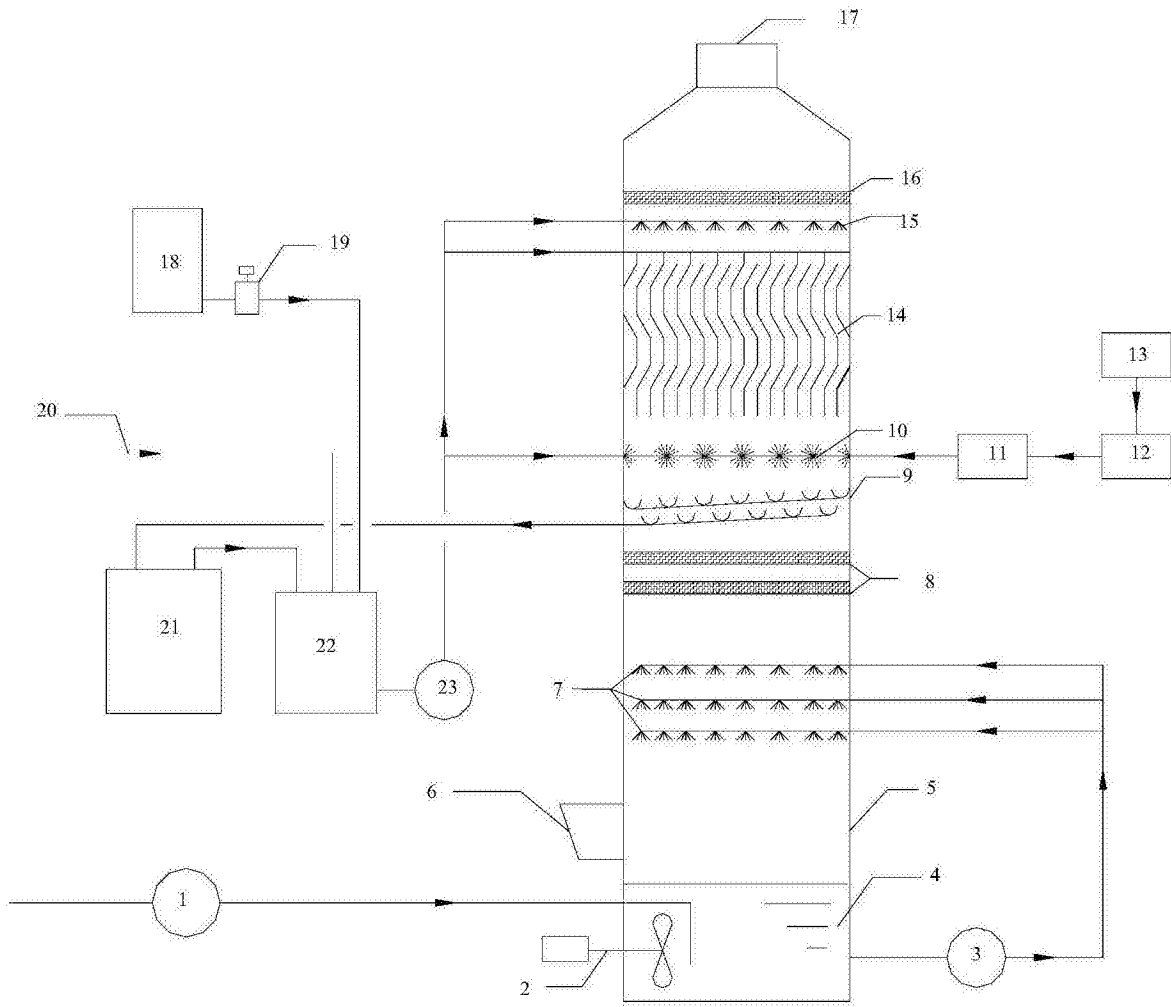


图 1

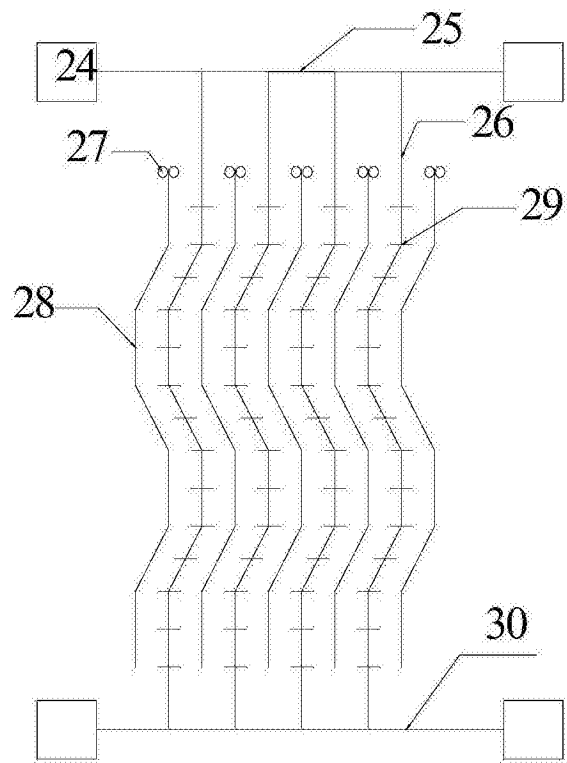


图 2

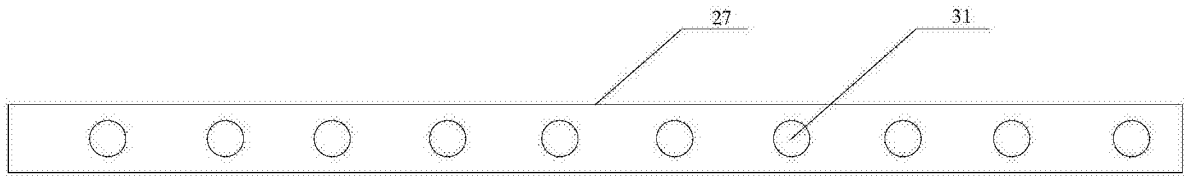


图 3

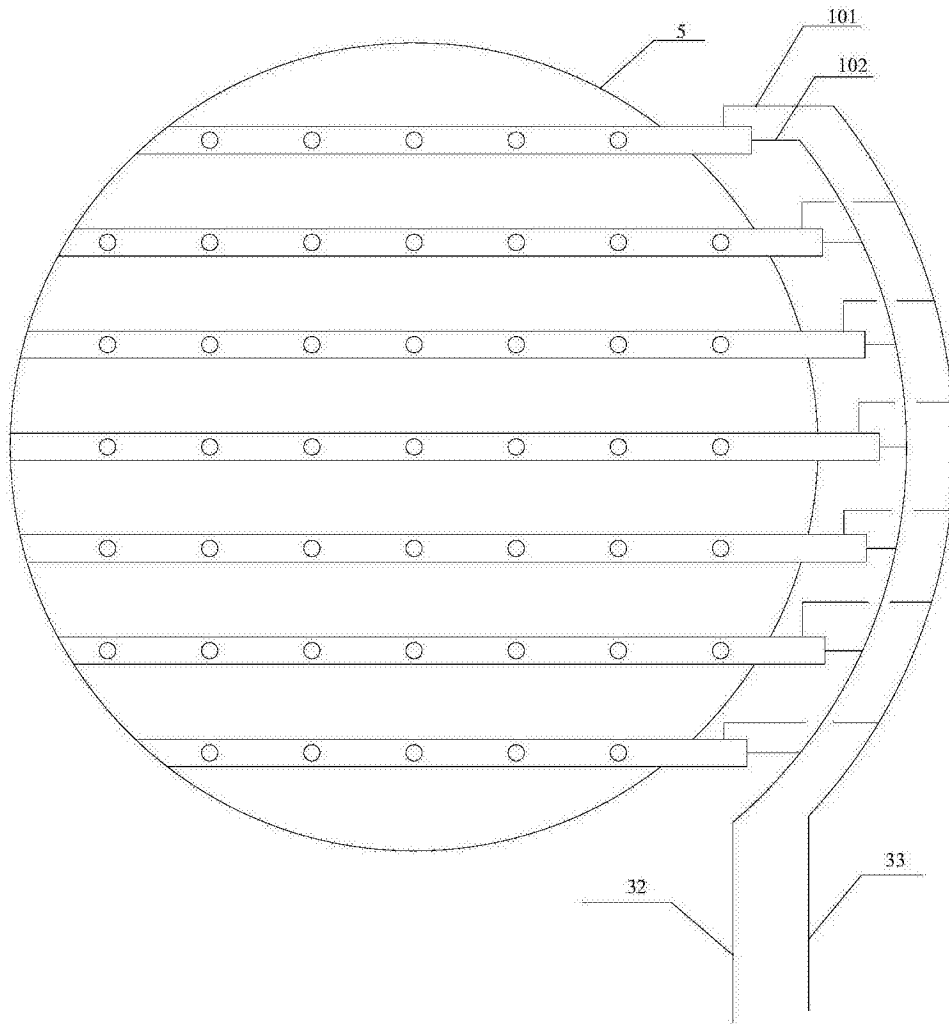


图 4



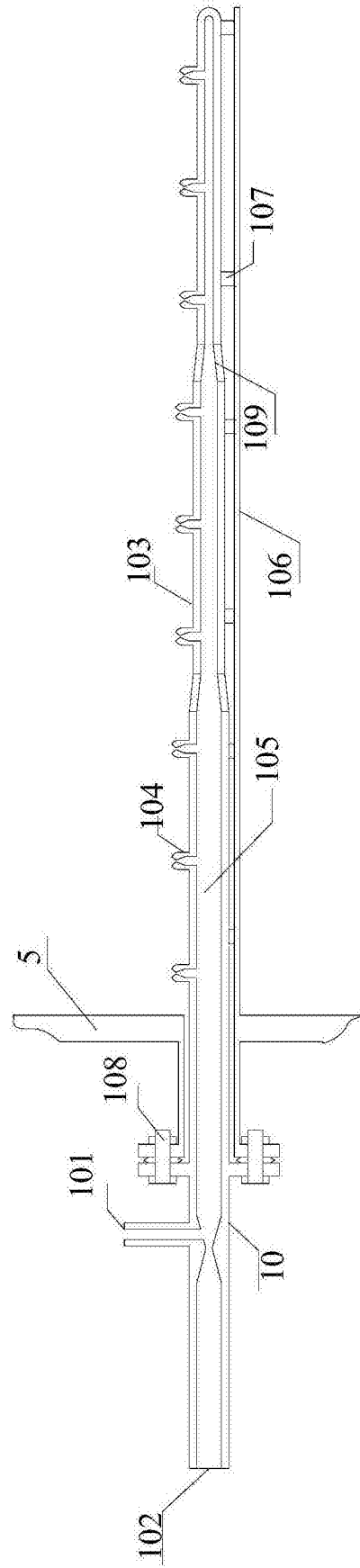


图 5