(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109395568 A
(43)申请公布日 2019.03.01

(21)申请号 201811545551.0

(22)申请日 2018.12.17

(71)申请人 新疆天富集团有限责任公司
地址 832000 新疆维吾尔自治区石河子市北一东路2号
申请人 新疆天富环保科技有限公司
新疆天富能源股份有限公司

(72)发明人 刘伟 蒋红 黄超 杨志国 戚江平 孙陟 沈德军 王力飞 秦乐 陈晓雨

(74)专利代理机构 乌鲁木齐恒智专利商标代理事务所(普通合伙) 65102
代理人 李靖

(51)Int.Cl.
B01D 53/78(2006.01)
B01D 53/68(2006.01)
B01D 53/50(2006.01)
B01D 47/06(2006.01)

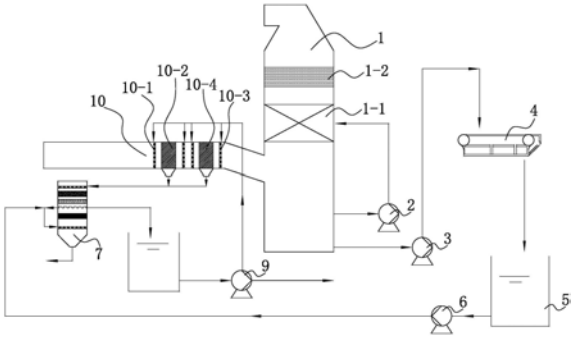
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

一种低水耗湿法脱硫方法

(57)摘要

本发明涉及资源与环境保护领域，具体涉及一种低水耗湿法脱硫方法，包括脱硫塔、脱硫循环泵、脱硫浆液排出泵、石膏带虑机、滤液池、滤液泵、废水处理塔、清水池、废水循环泵和增湿降温装置。通过对湿法脱硫废水进行预处理，将预处理后的废水雾化后对湿法脱硫塔入口烟气进行增湿降温；脱硫废水与高温原烟气蒸发换热实现减量浓缩，降低湿法脱硫废水处理量及处理成本，并降低脱硫塔内水分挥发量，实现湿法脱硫系统低水耗运行。烟气增湿过程中同时脱除烟气中的HCl、HF、颗粒物等污染物，降低脱硫塔浆液中氯离子浓度并提高脱硫浆液中石膏纯度，增加脱硫副产物附加值。



CN 109395568 A

1.一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：高温原烟气由入口烟道进入脱硫塔(1)，在入口烟道内设置增湿降温装置(10)，高温原烟气在增湿降温装置(10)内与经过处理澄清的脱硫废水喷淋雾滴接触，进行换热、降温并达到饱和状态，同时脱除高温原烟气中的HCl、HF和颗粒物的污染物，经过增湿降温的烟气进入脱硫塔(1)内进行脱硫处理，完成对烟气进行增湿降温的高温减量废水收集至废水处理塔(7)进行降温澄清处理，饱和含硫烟气在脱硫塔(1)内与钙基吸收液逆向接触反应，脱除烟气中的SO_2，脱硫后的脱硫废水经带滤机(4)脱水后，滤液送至废水处理塔(7)进行降温澄清处理，完成澄清处理的废水由废水循环泵(9)送至入口烟道的增湿降温装置(1)内。

2.根据权利要求1所述的一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：所述增湿降温装置(1)的结构如下：包含废水喷淋层(10-1、10-3)和除雾器层(10-2、10-4)；将澄清处理后的脱硫废水送至废水喷淋层(10-1、10-3)，脱硫废水被雾化形成细小雾滴，高温原烟气与脱硫废水雾滴接触，脱硫废水受热蒸发并捕集烟气中的污染物，脱硫废水雾滴携带污染物进入除雾器层(10-2、10-4)，高温原烟气在除雾器层(10-2、10-4)进一步换热降温至饱和状态，并经除雾脱水后进入脱硫塔(1)；未被蒸发的水滴携带污染物由除雾器(10-2、10-4)表面下落进入增湿降温装置(10)下方的积液槽，汇集后送入废水处理塔(7)。

3.根据权利要求2所述的一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：所述废水喷淋层(10-1、10-3)设置为2～6层，液气比为1～5L/Nm^3；入口烟道除雾器层(10-2、10-4)设置1～3层，除雾器为金属除雾器，宽度为0.10～0.50m；废水喷淋层(10-1、10-3)与除雾器层(10-2、10-4)间距为0.5～3.0m。

4.根据权利要求1所述的一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：所述废水处理塔(7)的结构如下：废水处理塔(7)内设有上下两个独立的腔体，即上部的降温腔和下部的沉淀腔，

上部的降温腔设有能够进液的喷淋层(7-6)，喷淋层(7-6)下方依次设有填料层(7-5)和气孔层(7-4)，腔体底部设有排水孔，

下部的沉淀腔设有能够进水的进水管(7-1)，进水管(7-1)下方设有斗状的沉淀区，沉淀区下部设有排泥口，进水管(7-1)上方依次设有斜管沉淀层(7-2)和溢流口(7-3)，从上部降温腔上排水孔排出的水能够通过进水管(7-1)返回下部的沉淀腔。

5.根据权利要求4所述的一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：对增湿换热后的浓缩废水进行降温处理，提高废水的浓缩倍率，喷淋层(7-6)距离填料层(7-5)高度为0.5～2.0m，填料层(7-5)高度为0.1～0.5m，填料层(7-5)距离溢流口(7-3)高度为0.5～2.0m，气孔层(7-4)孔径为20～50mm。

6.根据权利要求4所述的一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：采用混凝、斜管沉淀工艺，对脱硫废水进行固液分离，提高废水雾化装置的使用寿命，斜管沉淀层(7-2)高度0.6～1.0m，沉淀腔内废水竖直向流速为0.1～5.0mm/s，进水管(7-1)距离斜管沉淀层(7-2)底部0.6～1.0m，溢流口(7-3)距离斜管沉淀层(7-2)顶部0.5～1.0m。

7.根据权利要求4所述的一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：斜管沉淀层(7-2)由斜管阵列组成，斜管角度30～60°。

8.根据权利要求1～7任一项所述的一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：所述脱硫塔(7)内脱硫喷淋层(1-1)循环液的液气比为10～20L/Nm^3，脱硫喷淋层(1-1)覆盖率为

200％～400％，脱硫浆液pH为5.0～6.0。

一种低水耗湿法脱硫方法

技术领域

[0001] 本发明涉及资源与环境保护领域，具体涉及一种低水耗湿法脱硫方法。

背景技术

[0002] 我国的大气污染主要由煤炭、石化燃料燃烧过程产生的大量SO_2、NO_X、HCl、HF、颗粒物等污染物排放至大气中造成，为了控制煤炭、石化燃料燃烧对环境造成的污染，燃煤机组均配套建设了脱硫及脱硝装置，对排放污染物进行控制。目前，超过90％的燃煤烟气均采用了石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术。高温燃煤烟气与湿法钙基循环浆液逆向接触，实现烟气中SO_2、NO_X、HCl、HF、颗粒物等污染物的脱除，同时高温原烟气与循环浆液接触过程中存在水汽换热反应，脱硫浆液中大量水分受热蒸发成水蒸气随烟气排入大气，造成湿法脱硫装置运行过程中耗水量较大，以300MW燃煤机组为例，脱硫系统补水量约40m^3/h，按年运行时间8000小时计算，一台300MW燃煤机组年耗水量约32万吨。湿法脱硫装置在实现污染物控制过程中，消耗了大量的水资源。

[0003] 随着湿法脱硫装置的运行，烟气中的HCl、HF、颗粒物等组分进入湿法脱硫浆液中浓度不断累积，浆液中的Cl^-、F^-及重金属离子浓度逐渐升高，浆液中的溶解性盐含量也不断升高，浆液中这些高浓度阴离子及重金属离子不仅会腐蚀湿法脱硫系统中的设备构件，还会降低脱硫剂的溶出速率和传质速率，影响脱硫剂的脱硫效率，因此，为了维持脱硫浆液中阴离子及可溶性盐浓度，必须定期向系统外排放一定量的脱硫废水。脱硫废水作为燃煤电厂的末端废水，是电厂最难处理的废水，具有高盐分、高硬度、高重金属和强腐蚀性等特点，若直接排放，不仅浪费水资源，还会造成土壤和水体理化性质的改变，引起二次污染，破坏生态环境；目前我国仅火电机组湿法脱硫废水排放产量超过2亿吨/年，寻求脱硫废水的减量化排放，降低脱硫废水处理成本已经迫在眉睫。因此，如何降低湿法脱硫系统耗水量，并减少脱硫废水外排量，成为燃煤电厂污染物排放研究的重要课题之一。

[0004] 目前针对湿法脱硫系统降低耗水量及脱硫废水减量化控制技术及装备还处于起步阶段，还没有成熟及技术及装备。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种运行稳定、经济、高效的低水耗湿法脱硫方法，将湿法脱硫系统外排脱硫废水经过多级处理后用于湿法脱硫塔入口烟气增湿降温，脱硫废水与高温原烟气接触换热，实现脱硫废水蒸发减量，在大幅减少脱硫废水体积的同时，降低烟气进塔温度及塔内烟气流速，并减少脱硫系统补水量，实现脱硫系统低水耗、低Cl^-、低盐分运行，降低湿法脱硫系统运行能耗。

[0006] 提供一种低水耗湿法脱硫方法包括如下步骤：A、浓缩减量处理：入口烟道处设有增湿降温装置10，增湿降温装置10由废水喷淋层10-1、10-3及除雾器层10-2、10-4组成；将脱硫废水送至所述废水喷淋层10-1、10-3被雾化形成脱硫废水雾滴接触，高温原烟气与脱硫废水雾滴接触，经与高温烟气换热蒸发后的脱硫废水雾滴携带被捕集污染物进入除雾器

层10-2、10-4，经除雾器层10-2、10-4除雾脱水后进入脱硫塔1；未被蒸发的水滴携带污染物进入增湿降温装置10下方的积液槽，汇集后送入废水处理塔7；B、脱硫处理：脱硫塔1内设有脱硫喷淋层1-1和脱硫塔除雾器1-2，脱硫浆液经脱硫循环泵2送至脱硫喷淋层1-1与降温增湿后的饱和烟气逆向接触，脱硫后的烟气经脱硫塔除雾器1-2脱水干燥排出；生成的沉淀物由脱硫浆液排出泵3送至带滤机4；C、脱水处理：沉淀物经带滤机4脱水，产生的固体向外排出，废水进入滤液池5，滤液池5中的脱硫废水汇集后由滤液泵6送至废水处理塔7；D、废水处理：废水处理塔7内从上至下依次设置喷淋层7-6、填料层7-5、气孔层7-4、溢流口7-3、斜管沉淀层7-2和进水管7-1；由C步骤产生的废水，经进水管7-1进入废水处理塔7，向上流至斜管沉淀层7-2，颗粒物及悬浮物被斜管沉淀层7-2阻隔，沉积后进入废水处理塔7底部的污泥斗，清液通过斜管沉淀层7-2，由溢流口溢流至清水池8；由A步骤产生的废水，经喷淋层7-6进入废水处理塔7，经过填料层7-5去除大颗粒物，气孔层7-4再次降温，经溢流口7-3流出，通过管道入进水管7-1，向上流至斜管沉淀层7-2，颗粒物及悬浮物被斜管沉淀层7-2阻隔，沉积后进入废水处理塔7底部的污泥斗，清液通过斜管沉淀层7-2，由溢流口溢流至清水池8。

[0007] 所述增湿降温装置1的结构如下：包含废水喷淋层10-1、10-3和除雾器层10-2、10-4；将脱硫废水送至废水喷淋层10-1、10-3被雾化形成脱硫废水雾滴，高温原烟气与脱硫废水雾滴接触，经与高温烟气换热蒸发后的脱硫废水雾滴携带被捕集污染物进入除雾器层10-2、10-4，经除雾器层10-2、10-4除雾脱水后的低温饱和烟气进入脱硫塔1；携带污染物未被蒸发的水滴进入增湿降温装置10下方的积液槽，汇集后送入废水处理塔7。

[0008] 所述废水喷淋层10-1、10-3和除雾器层10-2、10-4在入口烟道内与高温原烟气流向垂直布置，每层除雾器层10-2、10-4前后端至少设置一层废水喷淋层10-1、10-3；完成初步除尘后的高温原烟气进入入口烟道增湿降温装置10，与废水喷淋层10-1、10-3喷出的废水雾化水滴接触，完成降温、增湿，同时脱除烟气中的HCl、HF等酸性气体及粉尘颗粒物。脱硫废水雾化水滴在气流的作用下，移动至入口烟道除雾器层10-2、10-4，并在除雾器表面富集形成一层湿润水膜，进一步增大高温原烟气与雾化水滴的接触面积，促进水汽换热，同时提高除雾器层10-2、10-4对烟气中颗粒物的捕集效率，完成换热蒸发的除雾器表层水膜携带捕集下来的HCl、HF及粉尘颗粒物，在重力作用下流入增湿降温装置10下方的积液槽，并经管道流入废水处理塔7，同时实现除雾器的自清洗，避免除雾器堵塞。

[0009] 经过若干层废水喷淋层10-1、10-3和除雾器层10-2、10-4后，烟气经降温至饱和。

[0010] 脱硫处理所包含的装置有：脱硫循环泵2、脱硫喷淋层1-1和脱硫塔除雾器1-2，脱硫浆液经脱硫循环泵2送至脱硫喷淋层1-1，完成增湿降温后的饱和烟气与由脱硫喷淋层1-1喷出的循环脱硫浆液逆向接触，脱除烟气中的SO_2，副产物亚硫酸钙经氧化后生成二水硫酸钙。完成增湿降温后的饱和烟气体积变小，温度较低，脱硫塔1内烟气流速低，进一步提高了烟气在脱硫塔1内的停留时间，有利于SO_2的高效脱除。同时，烟气中HCl、HF等酸性气体及粉尘颗粒物在进入脱硫塔1之前完成脱除，脱硫循环液中Cl^-、F^-及重金属离子浓度较低，有效提高脱硫浆液的传质速率，脱硫副产物二水硫酸钙二水石膏的纯度大幅提高。

[0011] 通过浓缩减量处理和脱硫处理两个步骤，实现对高温原烟气中污染物的分区控制。在入口烟道处通过增湿降温装置10除去烟气中的HCl、HF及粉尘颗粒物，而在脱硫塔1内对SO_2进行脱除，实现脱除SO_2与其他污染物分开控制。

[0012] 增湿降温装置10对高温原烟气中污染物进行初步处理，脱硫塔1内对烟气脱硫处理。

[0013] 所述废水处理塔的结构如下：废水处理塔7内设有上下两个独立的腔体，即上部的降温腔和下部的沉淀腔，上部的降温腔设有能够进液的喷淋层7-6，喷淋层7-6下方依次设有填料层7-5和气孔层7-4，腔体底部设有排水孔，下部的沉淀腔设有能够进水的进水管7-1，进水管7-1下方设有斗状的沉淀区，沉淀区下部设有排泥口，进水管7-1上方依次设有斜管沉淀层7-2和溢流口7-3，从上部的降温腔上排水孔排出的水能够通过进水管7-1返回下部的沉淀腔。

[0014] 废水处理塔7内的处理工艺如下：由C步骤产生的废水，经进水管7-1进入废水处理塔7下部的沉淀腔，向上流至斜管沉淀层7-2，颗粒物及悬浮物被斜管沉淀层7-2阻隔，沉积后进入进水管7-1下方的斗状沉淀区，后经沉淀区下部的排泥口排出，清液通过斜管沉淀层7-2，由溢流口7-3溢流至清水池8。由A步骤产生的高温废水，完成浓缩减量处理的高温废水经喷淋层7-6进入废水处理塔7上部的降温腔，经喷淋层7-6均匀分布在填料层7-5去除大颗粒物，同时穿过填料层7-5与低温环境空气进行换热，进一步提高废水降温速率，低温环境空气在浮力的作用下由气孔层7-4进入废水处理塔7，与高温废水进行换热。降温后经降温腔体底部的排水孔排出，通过进水管7-1返回下部的沉淀腔，之后又向上流至斜管沉淀层7-2，颗粒物及悬浮物被斜管沉淀层7-2阻隔，沉积汇集后进入进水管7-1下方的斗状沉淀区，沉淀物经沉淀区下部的排泥口排出，清液通过斜管沉淀层7-2继续向上流动，由溢流口7-3溢流至清水池8，作为入口烟道处增湿降温装置循环冷却水继续循环蒸发减量。

[0015] 一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于：高温原烟气由入口烟道进入脱硫塔1，在入口烟道内设置增湿降温装置10，高温原烟气在增湿降温装置10内与经过处理澄清的脱硫废水喷淋雾滴接触，进行换热、降温并达到饱和状态，同时脱除高温原烟气中的HCl、HF和颗粒物的污染物，经过降温增湿的烟气进入脱硫塔1内进行脱硫处理，将增湿降温后多余的液体收集至废水处理塔7进行降温澄清处理，饱和含硫烟气在脱硫塔1内与钙基吸收液逆向接触反应，脱除烟气中的SO_2，脱硫后的脱硫废水经带滤机4脱水后，滤液送至废水处理塔7进行降温澄清处理，完成澄清处理的废水由废水循环泵9送至入口烟道的增湿降温装置1内。

[0016] 所述增湿降温装置1的结构如下：包含废水喷淋层10-1、10-3和除雾器层10-2、10-4；将脱硫废水送至废水喷淋层10-1、10-3被雾化形成脱硫废水雾滴，高温原烟气与脱硫废水雾滴接触，脱硫废水雾滴携带污染物受热蒸发进入除雾器层10-2、10-4，高温原烟气除雾降温进入除雾器层10-2、10-4，完成烟气和水蒸气除雾后进入脱硫塔1；携带污染物未被蒸发的水滴进入增湿降温装置10下方的积液槽，汇集后送入废水处理塔7。

[0017] 所述的废水喷淋层10-1、10-3是由多根喷淋管构成，喷淋管管体上设有喷嘴，通过喷嘴能将脱硫废水雾化形成脱硫废水雾滴。所述的除雾器层10-2、10-4是由多个除雾器阵列组成，为了增加高温原烟气与脱硫废水雾滴的接触时间，喷淋管和除雾器在入口烟道内与高温原烟气流向相互垂直，且喷淋管和除雾器交叉设置，即沿高温原烟气流方向一层废水喷淋层、一层除雾器层布置，最终烟气经过除雾器层10-4进入脱硫塔1。

[0018] 所述废水喷淋层10-1、10-3设置为2～6层，液气比为1～5L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置1～3层，除雾器为金属除雾器，宽度为0.10～0.50m；废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.5～3.0m。

[0019] 所述废水处理塔7的结构如下:废水处理塔7内设有上下两个独立的腔体,即上部的降温腔和下部的沉淀腔,上部的降温腔设有能够进液的喷淋层7-6,喷淋层7-6下方依次设有填料层7-5和气孔层7-4,腔体底部设有排水孔,下部的沉淀腔设有能够进水的进水管7-1,进水管7-1下方设有斗状的沉淀区,沉淀区下部设有排泥口,进水管7-1上方依次设有斜管沉淀层7-2和溢流口7-3,从上部的降温腔上排水孔排出的水能够通过进水管7-1返回下部的沉淀腔。

[0020] 所述的喷淋层7-6由多根喷淋管组成,喷淋管上设有喷嘴,通过喷嘴能将携带污染物的高温废水均布在填料层7-5,进行大颗粒物的去除。所述气孔层7-4可以是多根贯通脱硫塔1的管体,管体的管壁上设有多个气孔,至少管体一端与脱硫塔1外部连通,外界的低温空气通过气孔与高温废水接触,进行气液热量交换。

[0021] 所述脱硫塔7内脱硫喷淋层1-1循环液的液气比为10～20L/Nm^3,脱硫喷淋层1-1覆盖率为200%～400%,脱硫浆液pH为5.0～6.0。

[0022] 对增湿换热后浓缩的高温废水进行降温处理,进一步提高废水的浓缩倍率,作为优选:喷淋层7-6距离填料层7-5高度为0.5～2.0m,填料层7-5高度为0.1～0.5m,填料层7-5距离溢流口7-3高度为0.5～2.0m,气孔层7-4孔径为20～50mm。

[0023] 废水处理过程中采用混凝、斜管沉淀工艺,对脱硫废水进行固液分离,提高废水雾化装置的使用寿命,优选地,斜管沉淀层7-2高度0.6～1.0m,沉淀腔内废水竖直向流速为0.1～5.0mm/s,进水管7-1距离斜管沉淀层7-2底部0.6～1.0m,溢流口7-3距离斜管沉淀层7-2顶部0.5～1.0m。

[0024] 进一步地,所述斜管沉淀层7-2由斜管阵列组成,斜管角度30～60°。

[0025] 本发明的有益效果如下:

[0026] 1、本发明提供的低水耗湿法脱硫方法,提供了一种脱硫废水减量处理的解决方案,利用脱硫废水对高温原烟气进行换热蒸发,实现脱硫废水减量处理,大幅降低脱硫废水的处理量,降低湿法脱硫系统脱硫废水的处理成本;

[0027] 2、本发明提供的低水耗湿法脱硫方法,提供了一种低水耗的湿法脱硫方案,采用脱硫废水对高温原烟气进行增湿降温处理,烟气在进入脱硫塔之前即实现饱和,湿法脱硫系统内蒸发水量小,大幅降低湿法脱硫系统的工艺补水量,实现脱硫系统低水耗运行;

[0028] 3、本发明提供的低水耗湿法脱硫方法,提供了一种高效的湿法脱硫解决方案,在入口烟道处通过增湿降温装置除去烟气中的HCl、HF及粉尘颗粒物,实现SO_2与其他污染物分开控制,脱硫设备始终处于低Cl^-、低盐分工况运行,提高了湿法脱硫浆液的传质系数及脱硫效果,脱硫副产物纯度高,降低脱硫设备运行能耗及石膏资源化利用成本。

附图说明

[0029] 图1是本发明的工艺流程示意图。

[0030] 图2是本发明废水处理塔工艺流程示意图。

[0031] 图中所示:1.脱硫塔 2.脱硫循环泵 3.脱硫浆液排出泵 4.带滤机 5.滤液池 6.滤液泵 7.废水处理塔 8.清水池 9.废水循环泵 10.增湿降温装置 1-1.脱硫喷淋层 1-2.脱硫塔除雾器 7-1.进水管 7-2.斜管沉淀层 7-3.溢流口 7-4.气孔层 7-5.填料层 7-6.喷淋层 10-1.废水喷淋层 10-2.除雾器层 10-3.废水喷淋层10-4.除雾器层

具体实施方式

[0032] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图和实施例，对本发明进一步详细说明。

[0033] 一种低水耗湿法脱硫方法，具体工艺流程如下：完成初步除尘后的高温原烟气由入口烟道经增湿降温装置10进入脱硫塔1，在增湿降温装置10中，高温原烟气与废水喷淋层10-1、10-3雾化水滴接触换热，蒸发雾化水滴中的水分，同时雾化水滴吸收烟气中的HCl、HF等强酸性气体并捕集高温原烟气中的颗粒物，完成蒸发换热的烟气和雾化水滴随气流进入增湿降温装置10的除雾器层10-2、10-4，除雾器层10-2、10-4由除雾器阵列组成，蒸发变小的雾化水滴在除雾器表面形成水膜，除雾器在捕集雾化水滴的同时增加了气液换热面积，进一步促进气液换热，脱硫废水继续蒸发减量并捕集HCl、HF和颗粒物，烟气中的HCl、HF和颗粒物得到充分脱除并降温至50～60℃达到饱和，完成蒸发换热的除雾器表层水膜携带捕集下来的HCl、HF及粉尘颗粒物，在重力作用下流入增湿降温装置10下方的积液槽，并经管道流入废水处理塔7，同时实现增湿降温装置10除雾器层10-2、10-4的自清洗，避免除雾器堵塞。

[0034] 携带SO_2的低温饱和湿烟气进入脱硫塔1中，脱硫浆液由脱硫循环泵2送至脱硫喷淋层1-1经雾化后与饱和湿烟气逆向接触，脱除烟气中的SO_2，完成脱硫的烟气经脱硫塔除雾器1-2脱水干燥后由出口烟道排入大气；脱硫反应形成的中间产物亚硫酸钙经氧化生成脱硫产物二水硫酸钙二水石膏。

[0035] 完成脱硫携带二水硫酸钙的浆液由浆液排出泵3送至带滤机4进行脱水干燥，固体外运，滤液排送至滤液池5，滤液池5内的脱硫废水由滤液泵6送至废水处理塔7作进一步处理。

[0036] 在增湿降温装置10完成蒸发减量的废水由管道进入废水处理塔7顶部的喷淋层7-6，带有一定温度的废水由喷淋层7-6均匀分布至下方的填料层7-5，低温环境空气在重力作用下由气孔层7-4进入废水处理塔7上部降温腔与高温废水进行换热，完成冷凝换热的废水在重力作用下经降温腔体底部的排水孔排出，通过进水管7-1返回下部的沉淀腔，经进水管7-1均匀分布的废水向上缓慢移动经过斜管沉淀层7-2，废水中的颗粒物及悬浮物被斜管沉淀层7-2阻隔，沉积后进入进水管7-1下方的斗状沉淀区，后经沉淀区下部的排泥口排出，清液通过斜管沉淀层7-2，由溢流口溢流至清池8，作为入口烟道处增湿降温装置10循环冷却水继续循环蒸发减量。

[0037] 完成脱硫处理和脱水处理的脱硫废水，经进水管7-1进入废水处理塔7下部的沉淀腔，经进水管7-1均匀分布的废水向上缓慢移动经过斜管沉淀层7-2，废水中的颗粒物及悬浮物被斜管沉淀层7-2阻隔，沉积后进入进水管7-1下方的斗状沉淀区，后经沉淀区下部的排泥口排出，清液通过斜管沉淀层7-2，由溢流口溢流至清水池8，作为入口烟道处增湿降温装置10循环冷却水继续循环蒸发减量。

[0038] 整个工艺不仅能实现脱硫废水的减量处理，大幅降低脱硫废水的处理成本，还能实现烟气中污染物的分区控制，实现脱硫系统低盐分、低氯离子运行，提高脱硫装置的运行成本及运行寿命，并可制取高纯石膏，增加脱硫副产物的附加值。

[0039] 实施例1

[0040] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为

2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置4层，液气比为3.6L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置2层，宽度为0.40m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.8m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为14L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.30；填料层7-5高度为0.20m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量72％。

[0041] 实施例2

[0042] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置2层，液气比为3.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置2层，宽度为0.20m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.5m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为10L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.30；填料层7-5高度为0.20m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量65％。

[0043] 实施例3

[0044] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置2层，液气比为2.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置2层，宽度为0.20m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.5m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为10L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为200％，脱硫浆液pH为5.30；填料层7-5高度为0.20m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量61％。

[0045] 实施例4

[0046] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置3层，液气比为4.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.45m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.6m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为16L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为250％，脱硫浆液pH为5.00；填料层7-5高度为0.20m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量65％。

[0047] 实施例5

[0048] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置5层，液气比为4.6L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.35m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.9m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为

15L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.10；填料层7-5高度为0.20m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量67％。

[0049] 实施例6

[0050] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置5层，液气比为4.6L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.35m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.9m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为15L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.10；填料层7-5高度为0.10m，气孔层7-4孔径为20mm，斜管角度30°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量51％。

[0051] 实施例7

[0052] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置5层，液气比为4.6L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.35m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.9m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为15L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.10；填料层7-5高度为0.80m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度40°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.10mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量56％。

[0053] 实施例8

[0054] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置3层，液气比为4.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.45m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.6m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为16L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为250％，脱硫浆液pH为5.00；填料层7-5高度为0.10m，气孔层7-4孔径为20mm，斜管角度30°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量61％。

[0055] 实施例9

[0056] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置3层，液气比为4.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.45m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.6m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为16L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为250％，脱硫浆液pH为5.00；填料层7-5高度为0.80m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度40°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.10mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫

废水浓缩减量70％。

[0057] 实施例10

[0058] 燃煤机组1台300WM机组烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为2239mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为43mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置3层，液气比为4.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.45m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.6m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为16L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为250％，脱硫浆液pH为5.00；填料层7-5高度为0.10m，气孔层7-4孔径为20mm，斜管角度30°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量63％。

[0059] 实施例11

[0060] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置4层，液气比为3.2L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置2层，宽度为0.50m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.6m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为12L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.40；填料层7-5高度为0.25m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.20mm/s；出口烟气中SO_2浓度为11.5mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为1.8mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量75％。

[0061] 实施例12

[0062] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置3层，液气比为4.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.45m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.6m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为16L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为250％，脱硫浆液pH为5.00；填料层7-5高度为0.80m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度40°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.10mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量70％。

[0063] 实施例13

[0064] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置3层，液气比为4.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.45m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.6m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为16L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为250％，脱硫浆液pH为5.00；填料层7-5高度为0.10m，气孔层7-4孔径为20mm，斜管角度30°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量63％。

[0065] 实施例14

[0066] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为

1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置3层，液气比为4.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.45m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.6m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为16L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为250％，脱硫浆液pH为5.00；填料层7-5高度为0.10m，气孔层7-4孔径为20mm，斜管角度30°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量61％。

[0067] 实施例15

[0068] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置5层，液气比为4.6L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.35m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.9m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为15L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.10；填料层7-5高度为0.80m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度45°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.10mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量60％。

[0069] 实施例16

[0070] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置5层，液气比为4.6L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.35m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.9m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为15L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.10；填料层7-5高度为0.10m，气孔层7-4孔径为20mm，斜管角度30°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量51％。

[0071] 实施例17

[0072] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置2层，液气比为3.0L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置2层，宽度为0.20m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.5m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为10L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.30；填料层7-5高度为0.20m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量65％。

[0073] 实施例18

[0074] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置5层，液气比为4.6L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.35m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.9m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为

15L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.10；填料层7-5高度为0.20m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量67％。

[0075] 实施例19

[0076] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置4层，液气比为3.6L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置2层，宽度为0.40m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.8m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为14L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为300％，脱硫浆液pH为5.30；填料层7-5高度为0.20m，气孔层7-4孔径为30mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量72％。

[0077] 实施例20

[0078] 热电厂2台260T/h锅炉烟气脱硫改造工程采用本工艺，入口烟气中SO_2浓度为1632mg/m^3，入口烟气中粉尘浓度为35mg/m^3；增湿降温装置10废水喷淋层10-1、10-3设置5层，液气比为4.5L/Nm^3；入口烟道除雾器层10-2、10-4设置3层，宽度为0.55m，废水喷淋层10-1、10-3与除雾器层10-2、10-4间距为0.9m；废水喷淋层10-1、10-3循环液的液气比为17L/Nm^3，废水喷淋层10-1、10-3覆盖率为350％，脱硫浆液pH为5.20；填料层7-5高度为0.30m，气孔层7-4孔径为35mm，斜管角度60°，沉淀腔内废水竖直向流速为0.30mm/s；出口烟气中SO_2浓度为12.4mg/m^3，出口烟气中粉尘浓度为2.6mg/m^3，脱硫石膏纯度为99.9％，脱硫废水浓缩减量73％。

[0079] 以上所述的仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明创造构思的前提下，还可以做出若干变化和改进，这些都属于本发明的保护范围。

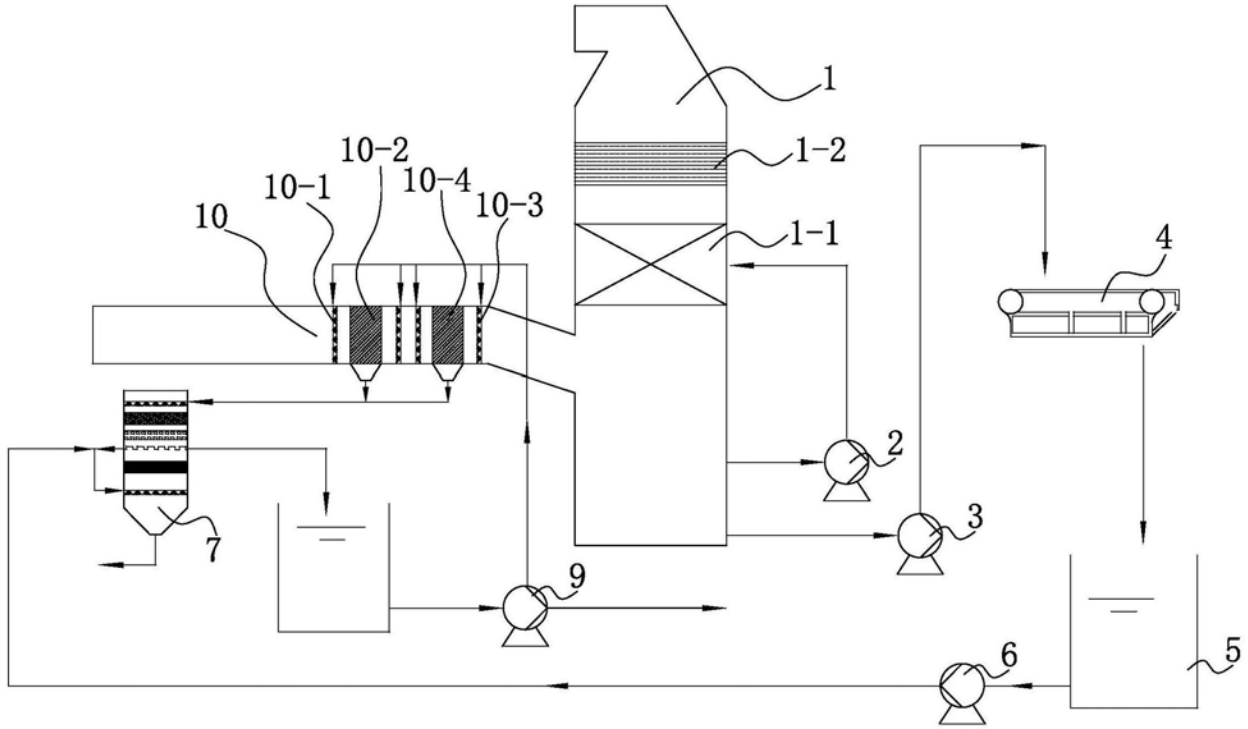


图1

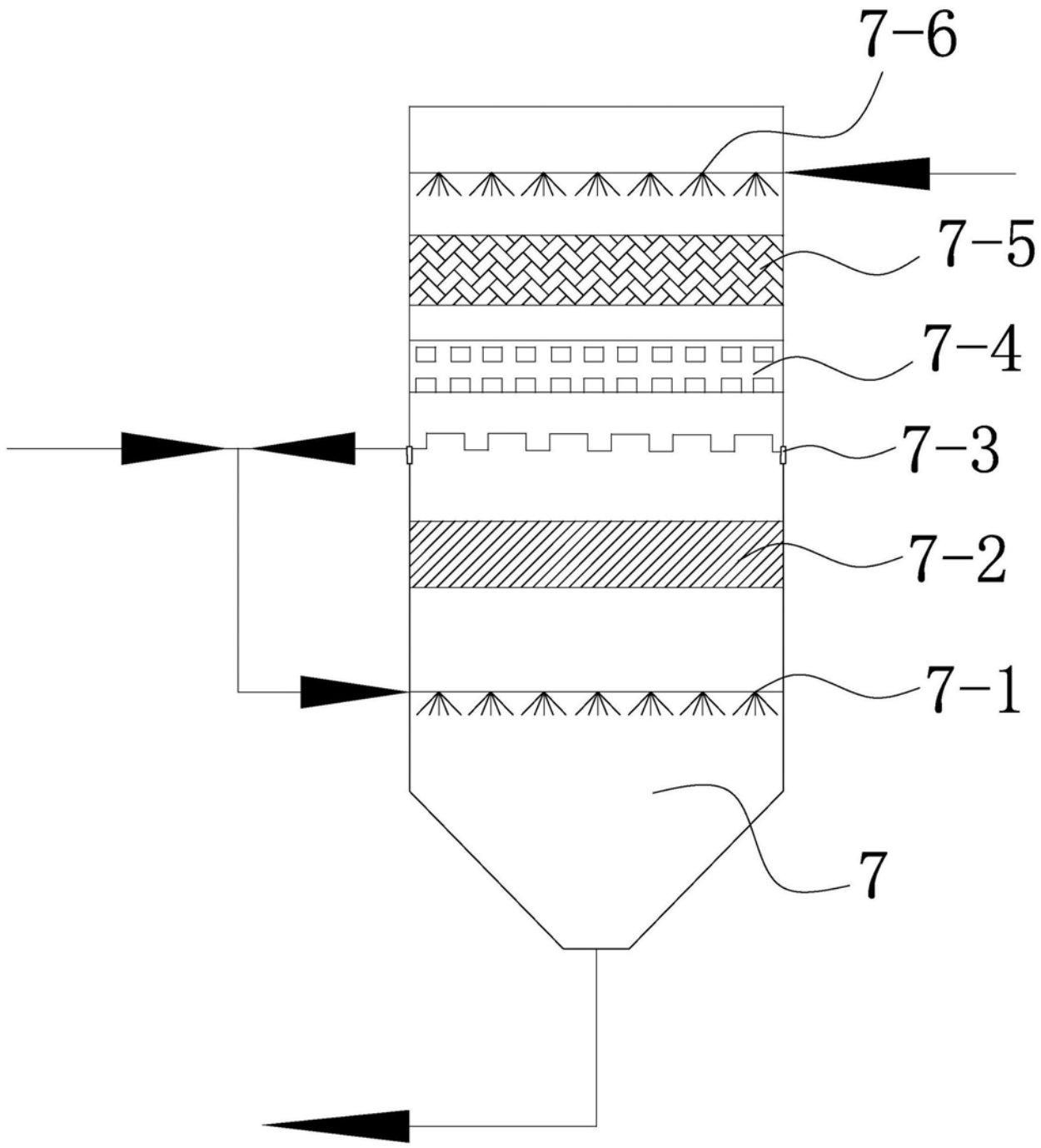


图2