(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 112675690 A
(43)申请公布日 2021.04.20

(21)申请号 202011462034.4

(22)申请日 2020.12.11

(71)申请人 杭州蕴泽环境科技有限公司
地址 310052 浙江省杭州市滨江区长河街道滨盛路1688号明豪大厦302室

(72)发明人 程常杰 张荣 冯永锋 钱乐飞 黄水 童俊

(74)专利代理机构 杭州合信专利代理事务所(普通合伙) 33337
代理人 黄平英

(51)Int.Cl.
B01D 53/80(2006.01)
B01D 53/50(2006.01)
B01D 53/34(2006.01)
B01D 53/73(2006.01)
B01D 36/04(2006.01)

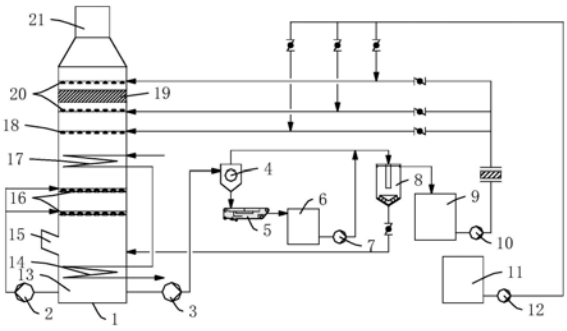
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种低水耗湿法脱硫系统及方法

(57)摘要

本发明公开一种低水耗湿法脱硫系统及方法，包括脱硫塔、脱硫泵、石膏泵、旋流器、脱水机、滤液池、滤液泵、沉淀池、清液池、清液泵、工艺水箱及工艺水泵；脱硫塔内由下至上依次为浆液池、脱硫喷淋层、烟气取热器、冷凝喷淋层和除雾器层，浆液池内设置浆液取热器；石膏泵、旋流器、脱水机、滤液池、滤液泵、沉淀池和清液池依次连通，清液泵连通清液池和冷凝喷淋层。石膏脱水的滤液经处理后回用于脱硫塔补水并与脱硫塔内的逐级降温相配合，从减少系统蒸发量和提高废水循环利用率两个方面同时减少脱硫系统的水耗，显著降低了湿法脱硫系统的水耗。



CN 112675690 A

1.一种低水耗湿法脱硫系统，其特征在于，包括脱硫塔、脱硫泵、石膏泵、旋流器、脱水机、滤液池、滤液泵、沉淀池、清液池、清液泵、工艺水箱及工艺水泵；

所述脱硫塔的塔壁上开设烟气入口、塔顶开设烟气出口，所述脱硫塔内由下至上依次为浆液池、脱硫喷淋层、烟气取热器、冷凝喷淋层和除雾器层，浆液池内设置浆液取热器，除雾器层配置除雾器清洗层，所述烟气入口位于浆液池与脱硫喷淋层之间，所述脱硫泵连通浆液池和脱硫喷淋层，所述烟气取热器的进液口连通取热液输送管、出液口通过管路与浆液取热器的入液口连通，所述浆液取热器的出液口连通取热液回用管；

所述石膏泵的入液口通过管路与浆液池连通、出液口通过管路与旋流器的入液口连通；

所述旋流器带有顶流出液口和底流出液口，顶流出液口通过管路与沉淀池的入液口连通，底流出液口通过管路与脱水机的入液口连通，脱水机的滤液出液口通过管路与滤液池连通；

所述滤液泵的入液口通过管路与滤液池连通、出液口通过管路与沉淀池的入液口连通；

所述沉淀池设置顶部清液出口和底部浓液出口，顶部清液出口通过管路与清液池连通，底部浓液出口通过管路与浆液池连通；

所述清液泵的入液口通过管路与清液池连通、出液口通过管路分别与冷凝喷淋层的入液口及除雾器冲洗层的入液口连通；

所述工艺水泵的入液口通过管路与工艺水箱连通、出液口通过管路分别与冷凝喷淋层的入液口及除雾器冲洗层的入液口连通。

2.根据权利要求1所述的低水耗湿法脱硫系统，其特征在于，所述浆液取热器水平安装于浆液池的液面下方；所述浆液取热器的顶端距离浆液池液面距离为20cm-50cm。

3.根据权利要求1所述的低水耗湿法脱硫系统，其特征在于，所述浆液取热器和烟气取热器均为多层管栅结构，管栅层数均为偶数层，每层管栅包括若干等间距且平行分布的金属管。

4.根据权利要求3所述的低水耗湿法脱硫系统，其特征在于，每根金属管与位于其上层和/或下层相邻的金属管通过弯管贯通；浆液取热器顶层每根金属管的入液口与浆液取热器总入液口贯通，浆液取热器底层每根金属管出液口与浆液取热器总出液口贯通；烟气取热器顶层每根金属管的入液口与烟气取热器总入液口贯通，烟气取热器底层每根金属管出液口与烟气取热器总出液口贯通；烟气取热器总入液口与所述取热液输送管连通，烟气取热器总出液口与浆液取热器总入液口连通，浆液取热器总出液口与所述取热液回用管连通。

5.根据权利要求3所述的低水耗湿法脱硫系统，其特征在于，所述浆液取热器和烟气取热器的安装高度均设置为30cm-60cm，金属管的管径均为10mm-35mm，水平向相邻两根金属管间距均为管外径的1.2倍-3倍，竖直向相邻两根金属管间距均为管外径2倍-5倍。

6.根据权利要求1所述的低水耗湿法脱硫系统，其特征在于，所述冷凝喷淋层包括若干冷凝液分布管和等间距安装于冷凝液分布管上且朝下喷淋的布液喷嘴。

7.根据权利要求1所述的低水耗湿法脱硫系统，其特征在于，所述沉淀池的底部浓液排出口与浆液池之间、工艺水泵的出液口与冷凝喷淋层的入液口之间、工艺水泵的出液口与

除雾器冲洗层的入液口之间、清液泵的出液口与冷凝喷淋层的入液口之间、清液泵的出液口与除雾器冲洗层的入液口之间的连通管路上均设有流量控制阀门。

8.一种低水耗湿法脱硫方法，其特征在于，包括：

(1)浆液池中脱硫浆液经脱硫泵送至脱硫喷淋层雾化后，在重力作用下向下移动，高温烟气由脱硫塔烟气入口进入脱硫塔向上流动，高温烟气与雾化后的喷淋浆液在入口烟道上方、喷淋层下方区域内逆向接触换热，烟气中的大部分气态污染物和粉尘颗粒物被喷淋雾滴捕集吸收，脱硫浆液与高温烟气换热升温，部分脱硫浆液中的水分在换热过程蒸发成水蒸气进入烟气，烟气达到饱和状态；

(2)完成喷淋洗涤的高温脱硫浆液在重力作用下进入浆液池，在脱硫泵的循环喷淋作用下向下流动，与浆液取热器接触换热，完成降温后的低温脱硫浆液经氧化溶出后继续由脱硫泵送至脱硫喷淋层；

(3)完成脱硫氧化的石膏浆液由石膏泵送至旋流器进行固液分离，顶流低浓度浆液由顶流出口送至沉淀池中沉淀，底流高浓度石膏浆液由旋流器底流出口送至脱水机脱水干燥，脱水机滤液经管路送至滤液池，经滤液泵送至沉淀池；沉淀池中清液经溢流口送至清液池，底流浓液经管路送至浆液池；

(4)清液池中的低温清液分别经清液泵送至冷凝喷淋层和除雾器冲洗层，进入冷凝喷淋层的低温清液经高压雾化后落入烟气取热器表面，并在烟气取热器表面形成冷凝液膜缓慢向下流动，完成湿法脱硫净化的烟气在向上流动过程中依次与烟气取热器和冷凝喷淋层接触换热，饱和烟气冷凝过程中部分饱和蒸汽冷凝形成液态冷凝水；进入除雾器冲洗层的低温清液用于代替工艺水清洗除雾器；

(5)低温工艺水由烟气取热器入液口进入，在烟气取热器内与脱硫尾气间接换热，回收饱和脱硫尾气中的部分热量和蒸发水分，完成初步换热升温的工艺水由烟气取热器出口排出，并经管路送至浆液取热器入液口，对脱硫浆液进行间接换热，完成两次换热升温的高温工艺水经浆液取热器出口排出回用；

(6)在冷凝喷淋层、除雾器层开启前或停止后，开启工艺水泵，将工艺水箱中的工艺水送入冷凝喷淋层和除雾器冲洗层，对冷凝喷淋层及除雾器冲洗层管路冲洗5s-10s。

9.根据权利要求8所述的低水耗湿法脱硫方法，其特征在于，所述浆液取热器的金属管内取热介质流速为0.5m/s-3.0m/s；所述烟气取热器的金属管内取热介质流速为0.5m/s-3.0m/s；沉淀池滤液停留时间为0.5h-2h。

10.根据权利要求8所述的低水耗湿法脱硫方法，其特征在于，所述冷凝喷淋层的液气比为0.5L/Nm^3-2.0L/Nm^3；冷凝喷淋层的覆盖率为200％-400％；冷凝喷淋层的滤液进口压力为0.1MPa-0.3MPa。

一种低水耗湿法脱硫系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及节能与环境保护领域，具体涉及一种低水耗湿法脱硫系统及方法。

背景技术

[0002] 湿法脱硫工艺因具有运行可靠，净化效率高、对烟气波动适应性强等优点，在燃煤电站、工业锅炉、炉窑等烟气净化领域得到广泛应用。目前，燃煤电站、工业锅炉湿法脱硫装置的投用率超过90％，对工业燃煤烟气污染物排放控制取到了重要作用。同时，大量的湿法脱硫装置在运行过程中也存在能源利用率不高、二次污染严重方面的问题，具体如下：

[0003] (1)湿法脱硫装置向环境排放大量低品位余热：目前燃煤烟气排放温度较高，以大型燃煤电站为例，其设计排烟温度约130℃，但受煤质波动及运行水平影响，实际排烟温度往往高于设计值，而其他中小工业锅炉排烟温度则更高，普遍在140℃-180℃，为低品位热源。高温烟气进入湿法脱硫装置中与脱硫浆液进行洗涤喷淋接触换热，完成洗涤净化后的脱硫浆液和脱硫尾气温度在55℃-60℃，余热品质进一步降低；

[0004] (2)湿法脱硫系统水资源消耗量大：在湿法洗涤喷淋脱硫过程中，高温烟气与洗涤脱硫浆液换热过程中还造成大量水份蒸发形成水蒸气，随脱硫尾气排放进入大气环境，水分挥发是湿法脱硫装置主要的耗水单元，以1台300MW燃煤发电机组配套湿法脱硫系统为例，为例保证湿法脱硫装置正常运行，需通过除雾器冲洗装置向脱硫塔补水约50m^3/h，以年运行时间为8000小时计，则1台300MW机组湿法脱硫装置年耗水量为40万m^3；

[0005] (3)高盐废水排放量大：为了保证脱硫效率和脱硫设备的使用寿命，需要定期向系统外排放高盐废水，1台300MW机组湿法脱硫装置废水排放量约15m^3/h，年排放量高达12万m^3，而目前脱硫废水零排放处理成本约100元/m^3。脱硫废水治理成本居高不下。

发明内容

[0006] 本发明提供一种低水耗湿法脱硫系统及方法，对湿法脱硫后的高温浆液进行取热，降低湿法脱硫过程气液反应温度，减小湿法脱硫装置蒸发水量；采用间接换热方式对湿法脱硫后的饱和烟气进行换热降温，回收部分蒸发水量；并通过对湿法脱硫系统滤液进行处理回用，进一步降低湿法脱硫系统的耗水流量并减小系统废水排放量。

[0007] 一种低水耗湿法脱硫系统，包括脱硫塔、脱硫泵、石膏泵、旋流器、脱水机、滤液池、滤液泵、沉淀池、清液池、清液泵、工艺水箱及工艺水泵；

[0008] 所述脱硫塔的塔壁上开设烟气入口、塔顶开设烟气出口，所述脱硫塔内由下至上依次为浆液池、脱硫喷淋层、烟气取热器、冷凝喷淋层和除雾器层，浆液池内设置浆液取热器，除雾器层配置除雾器清洗层，所述烟气入口位于浆液池与脱硫喷淋层之间，所述脱硫泵连通浆液池和脱硫喷淋层，所述烟气取热器的进液口连通取热液输送管、出液口通过管路与浆液取热器的入液口连通，所述浆液取热器的出液口连通取热液回用管；

[0009] 所述石膏泵的入液口通过管路与浆液池连通、出液口通过管路与旋流器的入液口连通；

[0010] 所述旋流器带有顶流出液口和底流出液口，顶流出液口通过管路与沉淀池的入液口连通，底流出液口通过管路与脱水机的入液口连通，脱水机的滤液出液口通过管路与滤液池连通；

[0011] 所述滤液泵的入液口通过管路与滤液池连通、出液口通过管路与沉淀池的入液口连通；

[0012] 所述沉淀池设置顶部清液出口和底部浓液出口，顶部清液出口通过管路与清液池连通，底部浓液出口通过管路与浆液池连通；

[0013] 所述清液泵的入液口通过管路与清液池连通、出液口通过管路分别与冷凝喷淋层的入液口及除雾器冲洗层的入液口连通；

[0014] 所述工艺水泵的入液口通过管路与工艺水箱连通、出液口通过管路分别与冷凝喷淋层的入液口及除雾器冲洗层的入液口连通。

[0015] 以下还提供了若干可选方式，但并不作为对上述总体方案的额外限定，仅仅是进一步的增补或优选，在没有技术或逻辑矛盾的前提下，各可选方式可单独针对上述总体方案进行组合，还可以是多个可选方式之间进行组合。

[0016] 可选的，所述浆液取热器水平安装于浆液池的液面下方。

[0017] 可选的，所述浆液取热器的顶端距离浆液池液面距离为20cm-50cm。

[0018] 可选的，所述浆液取热器和烟气取热器均为多层管栅结构，管栅层数均为偶数层，每层管栅包括若干等间距且平行分布的金属管。

[0019] 可选的，每根金属管与位于其上层和/或下层相邻的金属管通过弯管贯通；浆液取热器顶层每根金属管的入液口与浆液取热器总入液口贯通，浆液取热器底层每根金属管出液口与浆液取热器总出液口贯通；烟气取热器顶层每根金属管的入液口与烟气取热器总入液口贯通，烟气取热器底层每根金属管出液口与烟气取热器总出液口贯通；烟气取热器总入液口与所述取热液输送管连通，烟气取热器总出液口与浆液取热器总入液口连通，浆液取热器总出液口与所述取热液回用管连通。

[0020] 可选的，所述浆液取热器和烟气取热器的安装高度均设置为30cm-60cm，金属管的管径均为10mm-35mm，水平向相邻两根金属管间距均为管外径的1.2倍-3倍，竖直向相邻两根金属管间距均为管外径2倍-5倍。

[0021] 可选的，所述冷凝喷淋层包括若干冷凝液分布管和等间距安装于冷凝液分布管上且朝下喷淋的布液喷嘴。

[0022] 所述沉淀池包括进液口、壳体、进液导流管、污泥斗、底部浓液排出口和顶部清液排出口，作为优选：液导流管出液口位于污泥斗上方0.2m-0.8m。

[0023] 可选的，所述沉淀池的底部浓液排出口与浆液池之间、工艺水泵的出液口与冷凝喷淋层的入液口之间、工艺水泵的出液口与除雾器冲洗层的入液口之间、清液泵的出液口与冷凝喷淋层的入液口之间、清液泵的出液口与除雾器冲洗层的入液口之间的连通管路上均设有流量控制阀门。

[0024] 本发明还提供一种低水耗湿法脱硫方法，优选采用本发明系统完成，包括：

[0025] (1)浆液池中脱硫浆液经脱硫泵送至脱硫喷淋层雾化后，在重力作用下向下移动，高温烟气由脱硫塔烟气入口进入脱硫塔向上流动，高温烟气与雾化后的喷淋浆液在入口烟道上方、喷淋层下方区域内逆向接触换热，烟气中的大部分气态污染物和粉尘颗粒物被喷

淋雾滴捕集吸收，脱硫浆液与高温烟气换热升温，部分脱硫浆液中的水分在换热过程蒸发成水蒸气进入烟气，烟气达到饱和状态；

[0026] (2)完成喷淋洗涤的高温脱硫浆液在重力作用下进入浆液池，在脱硫泵的循环喷淋作用下向下流动，与浆液取热器接触换热，完成降温后的低温脱硫浆液经氧化溶出后继续由脱硫泵送至脱硫喷淋层，从而实现降低脱硫喷淋层浆液出口温度以减少脱硫过程的水分蒸发量；

[0027] (3)完成脱硫氧化的石膏浆液由石膏泵送至旋流器进行固液分离，顶流低浓度浆液由顶流出口送至沉淀池中沉淀，底流高浓度石膏浆液由旋流器底流出口送至脱水机脱水干燥，脱水机滤液经管路送至滤液池，经滤液泵送至沉淀池；沉淀池中清液经溢流口送至清液池，底流浓液经管路送至浆液池，完成旋流分离、脱水、沉淀后进入清液池的清液温度大幅降低；

[0028] (4)清液池中的低温清液分别经清液泵送至冷凝喷淋层和除雾器冲洗层，进入冷凝喷淋层的低温清液经高压雾化后落入烟气取热器表面，并在烟气取热器表面形成冷凝液膜缓慢向下流动，完成湿法脱硫净化的烟气在向上流动过程中依次与烟气取热器和冷凝喷淋层接触换热，饱和烟气冷凝过程中部分饱和蒸汽冷凝形成液态冷凝水，实现湿法脱硫过程蒸发水分的回收，减小湿法脱硫装置运行过程耗水量；进入除雾器冲洗层的低温清液用于代替工艺水清洗除雾器，防止除雾器结垢、堵塞，降低除雾器耗水量；

[0029] (5)低温工艺水由烟气取热器入液口进入，在烟气取热器内与脱硫尾气间接换热，回收饱和脱硫尾气中的部分热量和蒸发水分，完成初步换热升温的工艺水由烟气取热器出口排出，并经管路送至浆液取热器入液口，对脱硫浆液进行间接换热，回收脱硫浆液中的热量并降低脱硫喷淋层浆液温度减少脱硫过程蒸发水量，完成两次换热升温的高温工艺水经浆液取热器出口排出回用；

[0030] (6)在冷凝喷淋层、除雾器层开启前或停止后，开启工艺水泵，将工艺水箱中的工艺水送入冷凝喷淋层和除雾器冲洗层，对冷凝喷淋层及除雾器冲洗层管路冲洗5s-10s，防止滤液中饱和盐分在管路沉积结垢，提高系统运行寿命。完成脱硫、冷凝、取热、除雾后的脱硫尾气经脱硫塔烟气出口排出。

[0031] 可选的，所述浆液取热器的金属管内取热介质流速为0.5m/s-3.0m/s；所述烟气取热器的金属管内取热介质流速为0.5m/s-3.0m/s；沉淀池滤液停留时间为0.5h-2h。

[0032] 可选的，所述冷凝喷淋层的液气比为0.5L/Nm^3-2.0L/Nm^3；冷凝喷淋层的覆盖率为200%-400%；冷凝喷淋层的滤液进口压力为0.1MPa-0.3MPa。

[0033] 与现有技术相比，本至少具有如下有益效果之一：

[0034] (1)本发明提供了一种减小湿法脱硫系统耗水量的解决方案，通过对脱硫塔浆液池中的高温循环浆液进行换热降温，降低进入脱硫喷淋层脱硫降温的温度，减小湿法脱硫过程的水分蒸发量；通过对湿法脱硫后饱和烟气进行换热降温，将脱硫后饱和烟气中的部分水蒸气冷凝成液态水并进行回收，进一步降低湿法脱硫系统的耗水量；

[0035] (2)本发明提供了一种提高湿法脱硫系统水资源利用效率的解决方案，将旋流器顶流浆液和石膏脱水机滤液进行沉淀、过滤和降温，并将沉淀、过滤、降温后的清液代替除雾器冲洗水，用于湿法脱硫系统补水用水及除雾器冲洗，实现脱硫废水的循环利用，降低脱硫废水循环利用效率和排放量；

[0036] (3)本发明提供了一种湿法脱硫系统余热回收利用的解决方案，采用低温工艺水分别对湿法脱硫尾气和脱硫浆液进行换热，并将梯级升温后的高温工艺水进行循环利用，降低工艺水加热成本，实现湿法脱硫系统低品位余热的回收利用。

附图说明

[0037] 图1为本发明低水耗脱硫系统的结构示意图；

[0038] 图2为图1中浆液取热器的截面示意图。

[0039] 图中所示附图标记如下：

[0040] 1-脱硫塔 2-脱硫泵 3-石膏泵

[0041] 4-旋流器 5-脱水机 6-滤液池

[0042] 7-浆液泵 8-沉淀池 9-清液池

[0043] 10-清液泵 11-工艺水箱 12-工艺水泵

[0044] 13-浆液池 14-浆液取热器 15-烟气入口

[0045] 16-脱硫喷淋层 17-烟气取热器 18-冷凝喷淋层

[0046] 19-除雾器层 20-除雾器清洗层 21-烟气出口

[0047] 141-金属管

具体实施方式

[0048] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0049] 为了更好地描述和说明本发明的实施例，可参考一幅或多幅附图，但用于描述附图的附加细节或示例不应当被认为是对本发明的发明创造、目前所描述的实施例或优选方式中任何一者的范围的限制。

[0050] 除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本发明。

[0051] 燃煤烟气排放的高温余热蒸发水分是造成湿法脱硫系统耗水量大的主要因素，而脱硫废水回用率低、废水排放量大是造成脱硫废水处理成本高的根本所在。为了避免水分蒸发造成湿法脱硫装置内浆液运行密度过高，湿法脱硫系统的补水主要通过除雾器冲洗进行，通过开发燃煤烟气湿法脱硫装置低品位余热回收降低塔内蒸发水量并将脱硫废水回用于除雾器冲洗，不仅可提高能源利用效率、降低湿法脱硫装置的运行耗水量，还可大幅降低高盐脱硫废水的排放量及治理成本，具有明显的经济效益和环境效益。目前，针对湿法脱硫系统开展低品位余热回收利用及脱硫废水循环利用与减量排放技术的研究与应用工作，已经迫在眉睫。

[0052] 如图1所示，一种低水耗湿法脱硫系统，包括脱硫塔1、脱硫泵2、石膏泵3、旋流器4、脱水机5、滤液池6、滤液泵7、沉淀池8、清液池9、清液泵10、工艺水箱11及工艺水泵12。

[0053] 脱硫塔1的塔壁上开设烟气入口15、塔顶开设烟气出口21，脱硫塔1内由下至上依

次为浆液池13、脱硫喷淋层16、烟气取热器17、冷凝喷淋层18和除雾器层19，浆液池13内设置浆液取热器13，除雾器层19配置除雾器清洗层，除雾器层的上下方均可配置除雾器清洗层，烟气入口15位于浆液池13与脱硫喷淋层16之间，脱硫泵2连通浆液池13和脱硫喷淋层16，形成浆液循环，烟气取热器17的进液口连通取热液输送管、出液口通过管路与浆液取热器14的入液口连通，浆液取热器14的出液口连通取热液回用管。

[0054] 石膏泵3的入液口通过管路与浆液池13连通，石膏泵3的出液口通过管路与旋流器4的入液口连通；旋流器4带有顶流出液口和底流出液口，顶流出液口通过管路与沉淀池8的入液口连通，底流出液口通过管路与脱水机5的入液口连通，脱水机5的滤液出液口通过管路与滤液池6连通；滤液泵7的入液口通过管路与滤液池6连通，滤液泵7的出液口通过管路与沉淀池8的入液口连通；沉淀池8设置顶部清液出口和底部浓液出口，顶部清液出口通过管路与清液池9连通，底部浓液出口通过管路与浆液池13连通；清液泵10的入液口通过管路与清液池9连通，清液泵10的出液口通过管路分别与冷凝喷淋层18的入液口及除雾器冲洗层20的入液口连通；工艺水泵12的入液口通过管路与工艺水箱11连通，工艺水泵12的出液口通过管路分别与冷凝喷淋层18的入液口及除雾器冲洗层20的入液口连通。

[0055] 石膏脱水的滤液经处理后回用于脱硫塔补水并与脱硫塔内的逐级降温相配合，从减少系统蒸发量和提高废水循环利用率两个方面同时减少脱硫系统的水耗，显著降低了湿法脱硫系统的水耗。

[0056] 浆液取热器14用于对浆液池13中脱硫浆液进行降温，经脱硫喷淋层16喷洒的脱硫浆液与烟气逆向接触进行换热，降温后的烟气继续上行，完成喷淋洗涤的高温脱硫浆液在重力作用下进入浆液池13，在脱硫泵2的循环喷淋作用下向下流动，与浆液取热器14接触换热，完成降温后的低温脱硫浆液经氧化溶出后继续由脱硫泵2送至脱硫喷淋层16，从而实现降低脱硫喷淋层浆液出口温度以减少脱硫过程的水分蒸发量。因此，浆液取热器14水平安装于浆液池13的液面下方。一种较优选的实施方式中，浆液取热器14的顶端距离浆液池液面距离为20cm-50cm。

[0057] 脱硫喷淋层16设于烟气入口15上方，采用脱硫塔常规脱硫喷淋器。烟气取热器17位于脱硫喷淋层16上方，冷凝喷淋层18位于烟气取热器17上方，烟气取热器17与冷凝喷淋层18相互配合，进一步回收烟气中的冷凝水，减少耗水量。进入冷凝喷淋层18的低温清液经高压雾化后落入烟气取热器17表面，并在烟气取热器表面形成冷凝液膜缓慢向下流动，完成湿法脱硫净化的烟气在向上流动过程中依次与烟气取热器17和冷凝喷淋层18接触换热，饱和烟气冷凝过程中部分饱和蒸汽冷凝形成液态冷凝水，实现湿法脱硫过程蒸发水分的回收，减小湿法脱硫装置运行过程耗水量，一种实施方式中，冷凝喷淋层设置一层，覆盖率设计为200～400％。

[0058] 浆液取热器14和烟气取热器17可采用相同类型的取热器也可采用不同类型的取热器，一种实施方式中，浆液取热器和烟气取热器采用相同类型的取热器，均采用多层管栅结构，管栅层数设置为偶数层，每层管栅包括若干等间距且平行分布的金属管。每根金属管与位于其上层和/或下层相邻的金属管通过弯管贯通(“和/或”可以理解为位于顶层的金属管只需与其下层金属管贯通、位于底层的金属管只需与其上层金属管贯通、位于中间层的金属管需分别与其上层和下层金属管贯通)；浆液取热器14中顶层每根金属管的入液口与浆液取热器总入液口贯通，底层每根金属管出液口与浆液取热器总出液口贯通；烟气取热

器17中顶层每根金属管的入液口与烟气取热器总入液口贯通，底层每根金属管出液口与烟气取热器总出液口贯通；烟气取热器14总入液口与取热液输送管连通，取热液可采用工艺水箱11中的低温工艺水，即取热液输送管的进液口可与工艺水泵12的出液口连接，烟气取热器17总出液口与浆液取热器14总入液口连通，浆液取热器14总出液口与取热液回用管连通。

[0059] 图2是以浆液取热器14的结构进行举例说明，该取热器为多层管栅结构，管栅层数为偶数层，每层管栅由若干等间距且平行分布的金属管141组成，且每根金属管与其上层和/或下层相邻的金属管通过弯管贯通。浆液取热器14以其金属管水平布置安装于浆液池13中。

[0060] 对于取热器的进一步参数选择，一种实施方式中，浆液取热器14和烟气取热器17的安装高度均设置为30cm-60cm，金属管的管径均为10mm-35mm，水平向相邻两根金属管间距均为管外径的1.2倍-3倍，竖直向相邻两根金属管间距均为管外径2倍-5倍。

[0061] 对于具体参数的设置，浆液取热器14和烟气取热器17可以相同也可以不同；安装高度可以理解为取热器中顶层金属管的顶面与底层金属管的底面之间的垂直间距；水平向相邻两根金属管间距可以理解为同层金属管中相邻金属管之间的间距；竖直向相邻两根金属管间距可以理解为相邻层之间间距。

[0062] 冷凝喷淋层18安装于烟气取热器17和除雾器层19中间，其喷淋的清液在下落的前半段独立地发挥回收烟气冷凝水的作用，当下落至烟气取热器表面时，与烟气取热器17相互协同配合(如前所述)。冷凝喷淋层18用于向脱硫塔内喷洒来自清液池9的清液，一种实施方式中，冷凝喷淋层18包括若干根冷凝液分布管和等间距安装于冷凝液分布管上且朝下喷淋的布液喷嘴。

[0063] 脱硫塔内的除雾器层及配套的除雾器清洗层均采用脱硫塔内常规设备即可。沉淀池8可采用常规沉淀池，包括进液口、壳体、进液导流管、污泥斗、底部浓液排出口和顶部清液排出口，作为优选：液导流管出液口位于污泥斗上方0.2m-0.8m，

[0064] 为便于各管路的流量控制，沉淀池的底部浓液排出口与浆液池之间、工艺水泵的出液口与冷凝喷淋层的入液口之间、工艺水泵的出液口与除雾器冲洗层的入液口之间、清液泵的出液口与冷凝喷淋层的入液口之间、清液泵的出液口与除雾器冲洗层的入液口之间的连通管路上均设有流量控制阀门。

[0065] 采用上述系统进行低水耗湿法脱硫的的工艺流程如下：

[0066] 浆液池13中脱硫浆液经脱硫泵2送至脱硫喷淋层16雾化后，在重力作用下向下移动，高温烟气由脱硫塔烟气入口进入脱硫塔向上流动，高温烟气与雾化后的喷淋浆液在入口烟道上方、喷淋层下方区域内逆向接触换热，烟气中的大部分气态污染物和粉尘颗粒物被喷淋雾滴捕集吸收，脱硫浆液与高温烟气换热升温，部分脱硫浆液中的水分在换热过程蒸发成水蒸气进入烟气，烟气达到饱和状态。

[0067] 完成喷淋洗涤的高温脱硫浆液在重力作用下进入浆液池13，在脱硫泵2的循环喷淋作用下向下流动，与浆液取热器14接触换热，完成降温后的低温脱硫浆液经氧化溶出后继续由脱硫泵2送至脱硫喷淋层16，从而实现降低脱硫喷淋层浆液出口温度以减少脱硫过程的水分蒸发量；

[0068] 完成脱硫氧化的石膏浆液由石膏泵3送至旋流器4进行固液分离，顶流低浓度浆液

由顶流出口送至沉淀池8中沉淀，沉淀池8滤液停留时间为0.5h-2h；底流高浓度石膏浆液由旋流器4底流出口送至脱水机5脱水干燥，脱水机5滤液经管路送至滤液池6，经滤液泵7送至沉淀池8；沉淀池8中清液经溢流口送至清液池9，底流浓液经管路送至浆液池13，完成旋流分离、脱水、沉淀后进入清液池9的清液温度大幅降低。

[0069] 清液池9中的低温清液分别经清液泵10送至冷凝喷淋层18和除雾器冲洗层20，进入冷凝喷淋层18的低温清液经高压雾化后落入烟气取热器17表面，并在烟气取热器17表面形成冷凝液膜缓慢向下流动，完成湿法脱硫净化的烟气在向上流动过程中依次与烟气取热器17和冷凝喷淋层18接触换热，饱和烟气冷凝过程中部分饱和蒸汽冷凝形成液态冷凝水，实现湿法脱硫过程蒸发水分的回收，减小湿法脱硫装置运行过程耗水量；冷凝喷淋层的液气比为0.5L/Nm^3-2.0L/Nm^3；冷凝喷淋层的覆盖率为200％-400％；冷凝喷淋层的滤液进口压力为0.1MPa-0.3MPa；进入除雾器冲洗层20的低温清液用于代替工艺水清洗除雾器，防止除雾器结垢、堵塞，降低除雾器耗水量。

[0070] 低温工艺水由烟气取热器17入液口进入，在烟气取热器17内与脱硫尾气间接换热，回收饱和脱硫尾气中的部分热量和蒸发水分，完成初步换热升温的工艺水由烟气取热器17出口排出，并经管路送至浆液取热器14入液口，对脱硫浆液进行间接换热，回收脱硫浆液中的热量并降低脱硫喷淋层16浆液温度，减少脱硫过程蒸发水量，完成两次换热升温的高温工艺水经浆液取热器14出口排出回用；浆液取热器14的金属管内取热介质流速为0.5m/s-3.0m/s；烟气取热器17的金属管内取热介质流速为0.5m/s-3.0m/s。

[0071] 在冷凝喷淋层18、除雾器层19开启前或停止后，开启工艺水泵12，将工艺水箱11中的工艺水送入冷凝喷淋层18和除雾器冲洗层20，对冷凝喷淋层18及除雾器冲洗层20管路冲洗5s-10s，防止滤液中饱和盐分在管路沉积结垢，提高系统运行寿命。完成脱硫、冷凝、取热、除雾后的脱硫尾气经脱硫塔烟气出口排出。

[0072] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

[0073] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

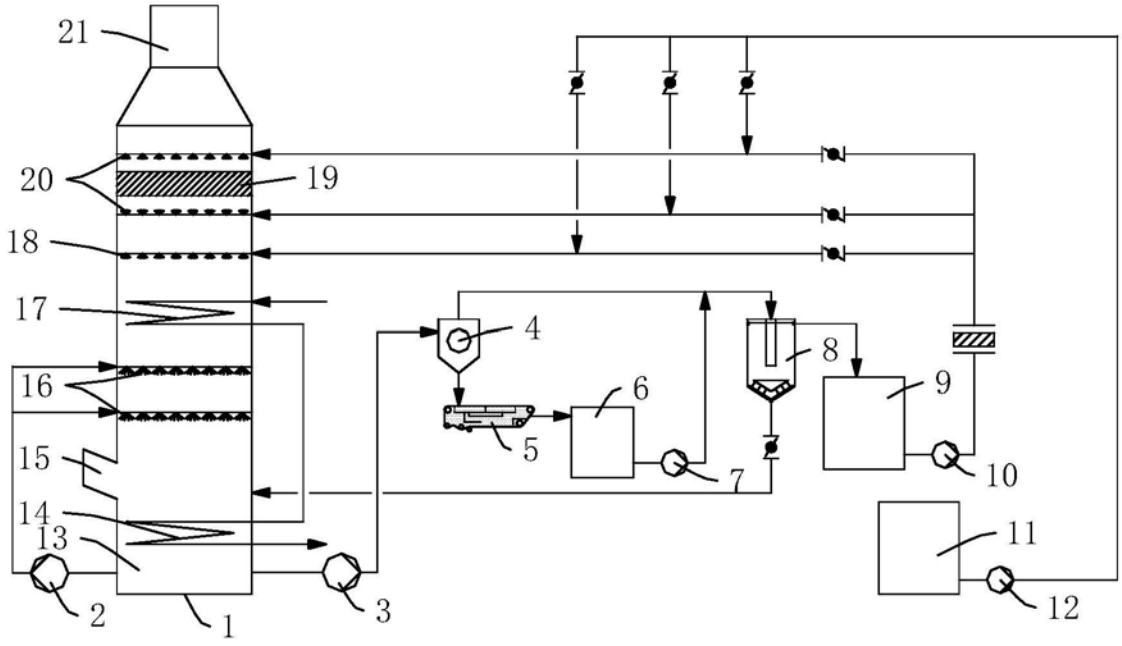


图1

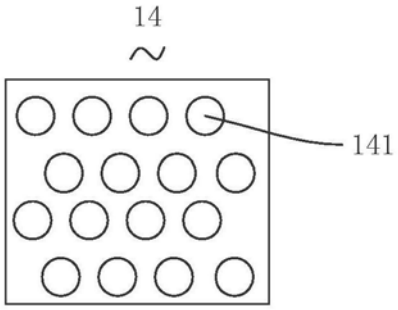


图2