(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 106731538 A
(43)申请公布日 2017.05.31

(21)申请号 201611259717.3

(22)申请日 2016.12.30

(71)申请人 福建龙净脱硫脱硝工程有限公司
地址 361009 福建省厦门市湖里区厦门火炬高新区信息光电园林后路399号7层A座
申请人 新疆龙净环保科技有限公司

(72)发明人 郭志航 詹威全 张原 林春源 陈树发 黄彬杰 赖鼎东 王建春 郑进朗 余华龙

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 路伟廷 罗满

(51)Int.Cl.
B01D 53/26(2006.01)
F23J 15/02(2006.01)
F23J 15/04(2006.01)
F23J 15/06(2006.01)

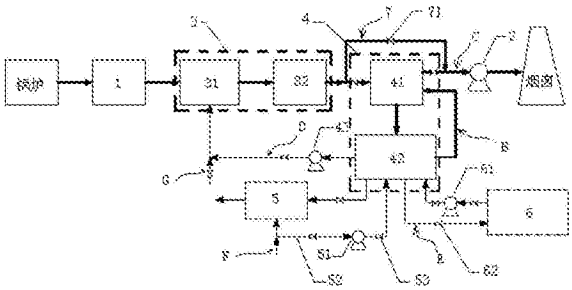
权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置

(57)摘要

本发明提供了一种干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置，能够有效回收干法脱硫除尘后净烟气中所含的水分，进而供给脱硫工序使用，实现干法脱硫除尘系统的零水耗。本发明的烟气节水装置，包括高温换热器和低温换热器，所述低温换热器设有低温烟道、回收水接口以及冷媒流道，所述高温换热器设有高温烟道和冷烟道，所述高温烟道的入口用于引入干法脱硫除尘后的净烟气，出口与所述低温烟道的入口连通，所述冷烟道的入口与所述低温烟道的出口连通；所述低温烟道内的净烟气通过所述冷媒流道内的冷媒冷却形成过饱和湿烟气，所述回收水接口用于回收所述过饱和湿烟气中凝结析出并携带的水分。



CN 106731538 A

1.一种干法脱硫除尘系统的烟气节水装置，其特征在于，包括高温换热器(41)和低温换热器(42)，所述低温换热器(42)设有低温烟道、回收水接口以及冷媒流道，所述高温换热器(41)设有高温烟道和冷烟道，所述高温烟道的入口用于引入干法脱硫除尘后的净烟气，出口与所述低温烟道的入口连通，所述冷烟道的入口与所述低温烟道的出口连通；所述低温烟道内的净烟气通过所述冷媒流道内的冷媒冷却形成过饱和湿烟气，所述回收水接口用于回收所述过饱和湿烟气中凝结析出并携带的水分。

2.如权利要求1所述的烟气节水装置，其特征在于，所述冷媒流道采用循环冷却水(E)和/或凝结水(F)作为冷媒。

3.如权利要求2所述的烟气节水装置，其特征在于，所述冷媒流道包括在所述低温烟道内净烟气的流动方向依次设置的热端冷媒管和冷端冷媒管，所述热端冷媒管采用凝结水(F)作为冷媒，所述冷端冷媒管采用循环冷却水(E)作为冷媒。

4.如权利要求3所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括具有冷却水进口和冷却水出口的空冷装置(6)，所述冷端冷媒管的入口与所述冷却水出口连通，出口与所述冷却水进口连通。

5.如权利要求4所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括循环水泵(61)，连通在所述冷却水出口与所述冷端冷媒管的入口之间。

6.如权利要求3所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括凝结水旁路管(52)，火电机组的凝结水(F)经若干级低压加热器和高压加热器加热后输送至锅炉，所述凝结水旁路管(52)用于将部分未经最末级低压加热器(5)加热的凝结水(F)输送至所述热端冷媒管，以便与所述低温烟道内的净烟气进行换热。

7.如权利要求6所述的烟气节水装置，其特征在于，所述热端冷媒管的出口与凝结水(F)的最末级低压加热器连通。

8.如权利要求7所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括凝结水旁路泵(51)，连通在所述凝结水旁路管(52)与所述热端冷媒管之间。

9.如权利要求3所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括冷却水控制阀(62)，用于根据所述低温换热器(42)的换热负荷调整作为冷媒的所述循环冷却水(E)的量；

和/或，还包括凝结水控制阀(53)，用于根据火电机组的负荷调整作为冷媒的所述凝结水(F)的量。

10.如权利要求3所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括除雾器，安装在所述低温烟道的出口。

11.如权利要求1-10任一项所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括设有调节挡板(71)的烟道旁路(7)，用于将干法脱硫除尘后的净烟气直接与所述冷烟道的出口连通。

12.如权利要求11所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括与所述回收水接口连通的回收水槽。

13.如权利要求12所述的烟气节水装置，其特征在于，还包括回收水泵(43)，将所述回收水槽内的回收水(D)作为工艺水输送至干法脱硫除尘烟气净化装置(3)的循环流化床干法脱硫吸收塔(31)。

14.一种干法脱硫除尘系统，包括干法脱硫除尘烟气净化装置(3)和对其处理后的净烟气进行水回收处理的烟气节水装置(4)，其特征在于，所述烟气节水装置(4)为上述权利要

求1-13任一项所述的烟气节水装置(4)。

15.如权利要求14所述的干法脱硫除尘系统，其特征在于，所述干法脱硫除尘烟气净化装置(3)包括在烟气流动方向依次连通的循环流化床干法脱硫吸收塔(31)和袋式除尘器(32)。

16.如权利要求14所述的干法脱硫除尘系统，其特征在于，还包括前置电除尘器(1)，连通在锅炉的烟气出口与所述干法脱硫除尘烟气净化装置(3)的烟气入口之间。

一种干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置

技术领域

[0001] 本发明涉及烟气处理技术领域，特别是涉及一种干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置。

背景技术

[0002] 燃煤烟气超低排放工艺按脱硫工艺的不同，分为湿法超低排放工艺路线和干法超低排放工艺路线。

[0003] 以石灰石-石膏法湿法脱硫工艺为核心的SCR(选择性催化还原脱硝)、高效静电除尘器、湿法脱硫、湿式电除尘相串联的工艺路线是目前超低排放的主流工艺。但湿法脱硫水耗大，占整个燃煤电站水耗比例高达50％-60％，更加剧了缺水地区燃煤电站对水资源的消耗。随着技术的发展，除了传统湿法脱硫工艺外，循环流化床干法烟气净化工艺在大型燃煤电站上得到了越来越广泛的应用，并实现了NOx、SO_2和烟尘的超低排放。与传统湿法脱硫工艺相比，循环流化床干法烟气净化工艺只消耗不到30％-40％的水量，在缺水地区更具应用前景。

[0004] 请参考图1和图2，图1为现有技术中一种典型的湿法超低排放工艺流程图；图2为现有技术中一种典型的干法超低排放工艺流程图。

[0005] 如图1所示，现有的湿法超低排放工艺路线中，锅炉出口烟气先后经SCR(选择性催化还原脱硝)1′脱硝、高效静电除尘器2′除尘后，在增压风机3′作用下，先后流经湿法脱硫塔4′、湿式电除尘器5′，随后排出烟囱。

[0006] 如图2所示，现有的干法超低排放工艺路线以循环流化床干法烟气净化工艺路线为代表，烟气自锅炉出来后，先后经过前置电除尘器6′、循环流化床干法烟气净化工艺7′(包括先后连接的循环流化床干法脱硫吸收塔71′、袋式除尘器72′)，随后在引风机8′作用下排出烟囱。前置电除尘器6′脱除80％的大颗粒烟尘；循环流化床干法脱硫吸收塔71′内存有高密度、剧烈湍动的吸收剂和固体物料床层，朝吸收塔喷入的雾化水在固体颗粒上形成液膜，烟气进入吸收塔71′后，迅速与固体颗粒接触，烟气中的SO_2、SO_3、HF、HCl及部分NO_x等酸性气体被液膜吸收溶解，并与吸收剂反应而脱除，烟气中的气态汞、NH_3等物质被吸收剂的多孔结构吸附捕集，烟气中的$PM_{2.5}$亚微米级细颗粒相互碰撞、凝并形成大颗粒，随烟气进入袋式除尘器72′后被滤袋捕集脱除。

[0007] 虽然湿法超低排放工艺路线相比干法烟气净化工艺应用更为广泛，但前者最大的问题是，湿法脱硫运行温度为50℃-60℃，水耗大，占整个燃煤电站总水耗达50％-60％。为解决湿法脱硫的水耗问题，电力和环保领域的研发人员围绕湿法脱硫烟气节水做了大量的研究工作。

[0008] 现有技术中，湿法脱硫尾部布置的烟气节水装置主要采用换热法、吸收法、膜分离法，其中，吸收法设备数量多、投资大；膜分离法不成熟，短期内难以工业化；换热法相对而言，原理简单，最具工业化前景，但受限于湿法脱硫自身对SO_3等污染物脱除效率低的缺点，湿法脱硫尾部布置烟气换热节水装置必须采用特殊的防腐材料和回收水处理措施，初期投

资和运行费用高，经济性差，难以大规模应用。

[0009] 而循环流化床法干法烟气净化工艺运行温度较高，水耗仅为湿法脱硫的30%-40%，因而，也更适用于缺水地区；并且，由于循环流化床干法烟气净化工艺已高效脱除烟气中的多种污染物，尤其是能够脱除绝大部分的酸性物质，故采用干法脱硫除尘系统净化后的烟气更具有节水前景。

[0010] 因此，亟需设计一种干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置，以便对干法脱硫除尘后的烟气中所含的水分进行有效回收。

发明内容

[0011] 本发明的目的是提供一种干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置，能够有效回收干法脱硫除尘后的烟气中所含的水分，进而供给脱硫工序使用，实现干法脱硫除尘的零水耗。

[0012] 为实现上述目的，本发明提供了一种干法脱硫除尘系统的烟气节水装置，包括高温换热器和低温换热器，所述低温换热器设有低温烟道、回收水接口以及冷媒流道，所述高温换热器设有高温烟道和冷烟道，所述高温烟道的入口用于引入干法脱硫除尘后的净烟气，出口与所述低温烟道的入口连通，所述冷烟道的入口与所述低温烟道的出口连通；所述低温烟道内的净烟气通过所述冷媒流道内的冷媒冷却形成过饱和湿烟气，所述回收水接口用于回收所述过饱和湿烟气中凝结析出的水分。

[0013] 本发明的烟气节水装置包括高温换热器和低温换热器，经过干法脱硫除尘后所形成的净烟气依次经过高温换热器和低温换热器进行换热，最终在低温换热器中降温形成过饱和湿烟气，在降温过程中，净烟气中的水蒸汽凝结而析出水分，通过回收水接口进行回收，大大降低了干法脱硫除尘的水耗，甚至达到零水耗，能够更好地满足缺水地区的使用需求。

[0014] 同时，该过饱和湿烟气中携带的水分被捕集回收后形成的饱和湿烟气流回至高温换热器的冷烟道，与高温换热器中的高温烟气进行热交换，以提高该饱和湿烟气的温度，然后再将升温后的烟气经引风机送至烟囱向外排出；采用该结构形式，一方面可以避免烟囱因烟气温度过低而出现白雾现象，同时防止湿烟气腐蚀下游设备和烟囱，另一方面还可以提升排烟高度，避免因自拔力不足而影响排烟，有利于烟气中残留的污染物扩散。

[0015] 本发明采用这种两级换热器的逐级换热，过饱和湿烟气在经过水分捕集回收处理后形成低温的饱和湿烟气，作为高温换热器的冷媒，对高温换热器中引入的高温烟气进行换热降温处理，无需为高温换热器单独配置换热介质以及相应的循环冷却系统，简化了结构，降低了能耗，还充分回收利用了净烟气的热量，提高了能源利用率。

[0016] 可选地，所述低温换热器包括除雾器，安装在所述低温烟道的出口。

[0017] 可选地，所述的烟气节水装置，还包括与所述回收水接口连通的回收水槽。

[0018] 可选地，所述的烟气节水装置，还包括回收水泵，将所述回收水槽内的回收水作为工艺水输送至干法脱硫除尘的循环流化床干法脱硫吸收塔。可选地，所述冷媒流道采用循环冷却水和/或凝结水作为冷媒。

[0019] 可选地，所述冷媒流道包括在所述低温烟道内净烟气的流动方向依次设置的热端冷媒管和冷端冷媒管，所述热端冷媒管采用凝结水作为冷媒，所述冷端冷媒管采用循环冷却水作为冷媒。

[0020] 可选地，还包括具有冷却水进口和冷却水出口的空冷装置，所述冷端冷媒管的入口与所述冷却水出口连通，出口与所述冷却水进口连通。

[0021] 可选地，还包括循环水泵，连通在所述冷却水出口与所述冷端冷媒管的入口之间。

[0022] 可选地，还包括凝结水旁路管，火电机组的凝结水经若干级低压加热器和高压加热器加热后输送至锅炉，所述凝结水旁路管用于将部分未经最末级低压加热器加热的凝结水输送至所述热端冷媒管，以便与所述低温烟道内的净烟气进行换热。

[0023] 可选地，所述热端冷媒管的出口与凝结水的最末级低压加热器连通。

[0024] 可选地，还包括凝结水旁路泵，连通在所述凝结水旁路管与所述热端冷媒管之间。

[0025] 可选地，还包括冷却水控制阀，用于根据所述低温换热器的换热负荷调整作为冷媒的所述循环冷却水的量；

[0026] 和/或，还包括凝结水控制阀，用于根据火电机组的负荷调整作为冷媒的所述凝结水的量。

[0027] 可选地，还包括设有调节挡板的烟道旁路，用于将干法脱硫除尘后的净烟气直接与所述冷烟道的出口连通。

[0028] 本发明还提供一种干法脱硫除尘系统，包括干法脱硫除尘烟气净化装置和对其处理后的净烟气进行水回收处理的烟气节水装置，所述烟气节水装置为上述的烟气节水装置。

[0029] 本发明的干法脱硫除尘系统，通过上述烟气节水装置，将烟气中的大部分水分回收利用，有效降低了干法脱硫的水耗，如果将回收水作为工艺水输送至干法脱硫除尘系统的脱硫工艺进行再利用，能够满足脱硫工艺的使用需求，从该意义上看，本发明通过烟气节水装置的设置实现了零水耗；并且，由于干法脱硫能够脱除烟气中大部分的酸性物质，使得回收水呈中性，无需进行处理即可送入工艺水系统使用，省去了回收水的处理费用；再者，由于净烟气中的水分为中性，进行水分回收时所使用的设备无需采用防腐材料制成，不仅降低了成本，还提高了烟气节水装置的使用寿命。

[0030] 优选地，所述干法脱硫除尘烟气净化装置包括在烟气流动方向依次连通的循环流化床干法脱硫吸收塔和袋式除尘器。

[0031] 可选地，还包括前置电除尘器，连通在锅炉的烟气出口与所述干法脱硫除尘烟气净化装置的烟气入口之间。

附图说明

[0032] 图1为现有技术中一种典型的湿法超低排放工艺流程图；

[0033] 图2为现有技术中一种典型的干法超低排放工艺流程图；

[0034] 图3为本发明所提供干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置在一种具体实施方式中的工艺流程示意图。

[0035] 图1-2中：

[0036] SCR1′、高效静电除尘器2′、增压风机3′、湿法脱硫塔4′、湿式电除尘器5′、前置电除尘器6′、循环流化床干法烟气净化工艺7′、循环流化床干法脱硫吸收塔71′、袋式除尘器72′、引风机8′；

[0037] 图3中：

[0038] 前置电除尘器1、引风机2、干法脱硫除尘烟气净化装置3、循环流化床干法脱硫吸收塔31、袋式除尘器32、烟气节水装置4、高温换热器41、低温换热器42、回收水泵43、最末级低压加热器5、凝结水旁路泵51、凝结水旁路管52、凝结水控制阀53、空冷装置6、循环水泵61、冷却水控制阀62、烟道旁路7、调节挡板71、饱和湿烟气B、待排放烟气C、回收水D、循环冷却水E、凝结水F、工业水G。

具体实施方式

[0039] 本发明提供了一种干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置，能够有效回收干法脱硫除尘的烟气中所含的水分，进而供给脱硫工序使用，大大降低干法脱硫除尘的水耗，甚至达到零水耗。

[0040] 以下结合附图，对本发明进行具体介绍，以便本领域技术人员准确理解本发明的技术方案。

[0041] 本文所述的上游和下游均以烟气的流动方向为参照；本文所述的高温和低温是相对而言的，并没有严格的温度值范围进行界定。

[0042] 现有的干法脱硫除尘系统中，经脱硫工艺喷水降温后，燃煤烟气中湿度大幅增大，特别是以褐煤为燃料的火电机组，褐煤的水分含量高(约为30％-50％)，燃烧后烟气湿度远大于其他机组，经脱硫除尘后，直接排入大气造成大量的热量和水分白白散失，如能回收烟气中的水分，则可以大大降低干法脱硫的水耗，甚至实现零水耗。

[0043] 因此，本发明提供了一种干法脱硫除尘系统的烟气节水装置，将干法脱硫除尘处理后所形成的净烟气中的水分予以回收，并用于干法脱硫，大大降低干法脱硫的水耗，更好地满足缺水地区的使用需求。

[0044] 如图3所示，本发明的烟气节水装置4包括高温换热器41和低温换热器42，高温换热器41设有高温烟道和冷烟道，低温换热器42设有低温烟道、冷媒流道以及回收水接口，其中，高温烟道的出口与低温烟道的入口连通，高温烟道的入口用于引入干法脱硫除尘后的净烟气，该净烟气依次流经高温烟道和低温烟道，首先在高温换热器41内实现高温段的换热，然后在低温换热器42内实现低温段的换热；低温换热器42的冷媒流道内流通有冷媒，用于对低温烟道内流动的低温烟气进行降温处理。在冷媒的冷却下，该低温烟气中的水蒸汽凝结析出生成水滴，该低温烟气形成过饱和湿烟气。烟气中携带的水滴通过回收水接口捕集回收，避免随烟气直接排出而浪费。

[0045] 过饱和湿烟气中携带的水分被捕集回收后，由过饱和状态变为饱和状态，此时由低温烟道的出口排出的烟气即为饱和湿烟气B，该饱和湿烟气B如果直接从烟囱向外排出，会引发冒白烟、腐蚀等一系列问题，还有可能因自拔力不够而影响排烟高度；因此，本发明将低温烟道的出口与高温换热器41的冷烟道的入口连通，将饱和湿烟气B作为高温换热器41的换热介质，与高温烟道内流经的高温烟气进行换热，以使得该饱和湿烟气B升温，形成待排放烟气C，经由引风机2排放至烟囱。

[0046] 可见，高温换热器41中，高温烟道作为高温侧，冷烟道作为低温侧，高温烟道内流动的高温烟气与冷烟道内流动的饱和湿烟气B进行换热；低温换热器42中，低温烟道作为高温侧，冷媒流道作为低温侧，低温烟道内流动的低温烟气与冷媒流道内流动的冷媒进行换热；同时，经低温换热器42进行换热处理后，由低温烟道的出口流出的饱和湿烟气B作为高

温换热器41换热用的冷媒，通过高温换热器41的冷烟道与高温烟气进行换热，无需为高温换热器41单独配置所需的冷媒，由于随着换热的持续进行，该饱和湿烟气B会持续地由低温烟道向外输出，从而形成可被高温换热器41持续使用的冷媒，也就无需专门配置冷却装置对该冷媒进行循环冷却；而且，正是由于饱和湿烟气B作为高温换热器41的冷媒，才使得该饱和湿烟气B能够通过高温烟气进行升温，然后再经由冷烟道的出口向外排出，形成符合要求的待排放烟气C，避免产生白雾，也可以防止因待排放烟气C的温度过低而使得烟气节水装置4下游的烟道和设备被腐蚀，同时还便于提升待排放烟气C的自拔力，以便待排放烟气C具有一定的排烟高度，在高层大气中更易于剩余污染物的扩散。

[0047] 所述的过饱和湿烟气是指，通过冷媒将烟气冷却至水露点以下所形成的烟气。过饱和湿烟气经节水处理后形成的饱和湿烟气B的温度可以为40～50℃，该饱和湿烟气B在高温换热器41中换热后，由冷烟道的出口向外排出时已经变为干烟气(即待排放烟气C)，且该干烟气的温度可以为水露点以上10～15℃，此时可以兼顾排烟高度、防腐蚀以及白雾。

[0048] 高温换热器41和低温换热器42的结构形式不限，现有技术中能够实现烟气换热的结构均可以作为本发明的高温换热器41和低温换热器42。尤其是，由于经过干法脱硫除尘处理后，烟气中SO_2、NO_x、烟尘浓度达到了超低排放限值，其他多种污染物如SO_3、HCl、HF、汞等也同时被高效脱除，净化后烟气冷却得到的回收水D中酸性物质含量少，水质呈中性，因此，不管是高温换热器41还是低温换热器42，换热管均可以采用普通材质，无需采用防腐材料制成，在较大程度上节约了成本，还具有较长的使用寿命。

[0049] 例如，高温换热器41可以为热管换热器、三维肋管换热器或者回转式换热器中的一种，还可以为这些换热器中任意两者或者三者的组合，具体可以根据换热需求进行设置。低温换热器42可以采用翅片或者鳍片换热器的一种，以提高换热效率，降低成本。低温换热器42还可以采用模块化设计，以便于实现在线分区检修。

[0050] 详细地，本发明中，冷媒流道可以采用循环冷却水E和/或凝结水F作为冷媒，本发明具体实施例中，以同时采用循环冷却水E和凝结水F这两种介质作为冷媒为例进行说明。

[0051] 相应地，冷媒流道可以包括热端冷媒管和冷端冷媒管，其中热端冷媒管处于烟气流动方向的上游，冷端冷媒管处于烟气流动方向的下游，即热端冷媒管和冷端冷媒管在低温烟道内净烟气的流动方向上依次设置；其中，热端冷媒管内流通有凝结水F，采用凝结水F作为冷媒，冷端冷媒管内流通有循环冷却水E，采用循环冷却水E作为冷媒。

[0052] 所述的凝结水F来源于火电机组，通常，在燃煤火电机组中，需要向锅炉内送入温度达到一定值的给水，以满足蒸汽轮机做功的蒸汽需求；因此，燃煤火电机组设有若干级低压加热器和高压加热器，对蒸汽轮机的凝汽器所产生的凝结水F进行逐级抽汽加热，使得这部分凝结水达到一定的温度，再送入锅炉内进行加热获得相应参数的蒸汽；将火电机组的凝结水F作为冷媒，用于低温换热器42中低温烟气的换热，不但节约了低温换热器单独配置冷媒的成本，还排挤了火电机组用于加热凝结水F的抽汽量，增加了蒸汽轮机的发电功率，提高了火电机组的效率。

[0053] 但是，由于凝结水F与低温烟气的温差有限，可能无法在有限的时间和空间范围内满足将低温烟气冷却为过饱和湿烟气的需求。因此，本发明的低温烟气还设有冷端冷媒管，采用温度远低于凝结水F的循环冷却水E作为另一种冷媒，以便将已通过凝结水F降温后的低温烟气进行再次降温处理，最终形成过饱和湿烟气，从而凝结析出水分，实现水分的回

收。

[0054] 本实施例中，低温换热器42布置有干换热段和湿换热段，干换热段低温烟气的温度高于水露点，通过热端冷媒管与低温烟道进行换热，湿换热段低温烟气的温度降至水露点以下，烟气中水蒸气凝结产生回收水D，通过冷端冷媒管与低温烟道进行换热。

[0055] 对于湿换热段而言，烟气凝结形成的水滴量较大，容易被烟气携带出换热器，降低回收水D的流量。

[0056] 针对该问题，本发明还包括除雾器，该除雾器布置在湿换热段的下游，具体可以安装在低温烟道的出口，以便对饱和湿烟气B中携带的水滴进行除雾处理，提高对水滴的捕集效率。如上文所述，由于此时烟气中的水分基本上呈中性，该除雾器可以采用普通材料制成。

[0057] 为便于将火电机组的凝结水F引入低温换热器42的热端冷媒管，本发明还可以包括凝结水旁路管52，该凝结水旁路管52将连通在凝结水F输送至最末级低压加热器5的输入管，用于将部分未经最末级低压加热器5加热的凝结水F输送至热端冷媒管，用于作为低温烟道内低温烟气在高温段的冷媒。

[0058] 该凝结水F旁路还可以设有凝结水控制阀53，以便对送入热端冷媒管的凝结水F量进行控制。该凝结水控制阀53具体可以根据火电机组的负荷调整作为冷媒的凝结水F的量。例如，当火电机组负荷较低，凝结水F较少时，可以减少作为冷媒的凝结水F的量，反之，则可以增加作为冷媒的凝结水F的量。

[0059] 还可以设置凝结水旁路泵51，连通在凝结水旁路管52与热端冷媒管之间，用于将凝结水F由凝结水旁路管52泵送至热端冷媒管中，便于提高该凝结水F的换热效率。此时，具体可以在凝结水旁路管52至凝结水旁路泵51的连通管路上、以及凝结水旁路泵51至热端冷媒管的连通管路上均设置上述凝结水控制阀53。

[0060] 同时，在低温换热器42中完成换热的凝结水F还可以输出至最末级低压加热器5，通过最末级低压加热器5进行进一步的加热；也就是说，可以将热端冷媒管的出口与凝结水F的最末级低压加热器5连通，从而将加热后的凝结水F输送至最末级低压加热器5进一步加热。

[0061] 此时，原本要输送至最末级低压加热器5的凝结水F分为两路，一路经由凝结水旁路管52进入热端冷媒管进行加热，然后再送回最末级低压加热器5，弥补加热温度的不足，另一路直接送入最末级低压加热器5进行加热。低温换热器42的设置排挤了最末级低压加热器5所需的抽汽，增加了蒸汽轮机的发电功率，提高了火电机组的效率。

[0062] 另一方面，在低温换热器42的湿换热段，采用冷端冷媒管内的循环冷却水E作为冷媒与低温烟道内的低温烟气进行换热，为实现冷却水的循环换热，本发明还设有空冷装置6，该空冷装置6具有冷却水进口和冷却水出口，冷端冷媒管的入口与其冷却水出口连通，冷端冷媒管的出口与其冷却水进口连通，还设置有循环水泵61，连通在空冷装置6的冷却水出口与冷端冷媒管的入口之间，以使得经换热升温后的冷却水进入空冷装置6进行冷却降温后，再输送至冷端冷媒管进行循环使用。

[0063] 还可以设置冷却水控制阀62，以控制进出冷端冷媒管的循环冷却水E的量，具体可以根据低温换热器42的换热负荷调整作为冷媒的循环冷却水E的量。当低温换热器42的换热负荷较大时，可以增加进入冷端冷媒管的循环冷却水E的量，以提高换热效率，形成过饱

和湿烟气，充分回收水D，反之，则可以减少进入冷端冷媒管的循环冷却水E的量。

[0064] 当设有循环水泵61时，可以在空冷装置6的冷却水出口至循环水泵61的连通管路、以及循环水泵61至冷端冷媒管的连通管路均设置冷却水控制阀62；同时，在冷端冷媒管的出口至冷却水进口的连通管路也可以设置冷却水控制阀62。

[0065] 采用上述结构形式，凝结水旁路泵51输送的凝结水F从低温换热器42的热端冷媒管的入口进入，与低温烟道内的干烟气逆流，实现间接换热，然后从热端冷媒管的出口流出，送至最末级低压加热器5；冷却水泵输送的冷却水从低温换热器42的冷端冷媒管的入口进入，与低温烟道内的湿烟气逆流，实现间接换热，从冷端冷媒管的出口流出，送至空冷装置6进行降温。

[0066] 在上述基础上，本发明还可以设有烟道旁路7，该烟道旁路7设有调节挡板71，该调节挡板71能够调整开度，并具有开启和关闭两个工作位，烟道旁路7可以将干法脱硫除尘后形成的净烟气与冷烟道的出口直接连通。在实际运行中，可以通过控制调节挡板71以启闭烟道旁路7，进而实现烟气节水装置4的快速投入和退出，以便于烟气节水装置4的检修维护；并且，还可以通过改变烟道旁路7中调节挡板71的开度，实现烟气节水装置4处理烟气量的快速调节，根据脱硫工序的需求回收所需量的水分。

[0067] 再者，为实现回收水D的再利用，本发明还设置与回收水接口连通的回收水槽，该回收水槽可以布置在低温换热器42的底部，以便将回收水D储存再利用。

[0068] 具体地，本发明还设置回收水泵43，以便将回收水槽内的回收水D作为工艺水，输送至干法脱硫除尘的循环流化床干法脱硫吸收塔31，用作工艺水，以节约水耗。

[0069] 此外，本发明还提供了一种干法脱硫除尘系统，包括干法脱硫除尘烟气净化装置3，以及对该干法脱硫除尘烟气净化装置3处理形成的净烟气进行水回收处理的烟气节水装置4，烟气节水装置4的具体结构请参照上文，干法脱硫除尘烟气净化装置3可以参照现有技术，凡是能够采用干法脱硫除尘实现烟气超低排放的装置均可以作为本发明的干法脱硫除尘烟气净化装置3。

[0070] 在一种优选的实施例中，本发明的干法脱硫除尘烟气净化装置3可以包括在烟气流动方向依次连通的循环流化床干法脱硫吸收塔31以及袋式除尘器32，烟气节水装置4所回收的水分即为输送至该循环流化床干法脱硫吸收塔31，用作工艺水。

[0071] 当烟气节水装置4停运或检修，又或者所回收的水量无法满足喷淋需求时，还可以通过工业水G补充，作为循环流化床干法脱硫吸收塔31的补给用水。

[0072] 本发明的干法脱硫除尘系统还可以包括前置电除尘器1，连通在锅炉的烟气出口与干法脱硫除尘烟气净化装置3之间，在图3所示的实施例中，具体与循环流化床干法脱硫吸收塔31连通。

[0073] 综上，本发明的烟气节水装置4，利用高温烟气-饱和湿烟气B换热、低温干烟气-凝结水F换热、低温湿烟气-循环冷却水E换热充分回收了烟气的余热，提高了系统的热集成度，大幅减少了换热所需的冷媒量，同时解决了冷却后饱和湿烟气B的抬升高度不足以及下游烟道和设备的腐蚀问题。

[0074] 经过干法脱硫除尘烟气净化装置3后，烟气中SO_2、NO_x、烟尘浓度达到了超低排放限值，其他多种污染物如SO_3、HCl、HF、汞等也同时被高效脱除，因此，净化后烟气冷却得到的回收水D中酸性物质含量少，水质呈中性，氯离子浓度低，悬浮物含量少，省去了再处理措施

和设备，可直接送入循环流化床干法脱硫吸收塔31内循环使用。

[0075] 与现有的湿法脱硫中所采用的节水装置相比，本发明充分利用了干法脱硫除尘烟气净化装置3的优点，可采用普通金属材料制作的换热器，避免了特殊防腐材料的使用，也避免了回收水D的再处理，极大地降低了烟气节水装置4的投资和运行成本，提升了烟气节水技术的经济效益，进一步促进了干法脱硫除尘烟气净化装置3在缺水地区的应用。

[0076] 试验证明，本发明应用在褐煤机组时，循环流化床干法脱硫吸收塔31和袋式除尘器32的出口烟温为90-95℃，流经烟气节水装置4后，可使烟气温度降低至40-45℃，烟气中水蒸汽凝结的回收水D比例可达40％以上。如此计算，对于55MW机组，每小时可回收近20吨水，循环流化床干法脱硫吸收塔31的工艺水耗为16吨/小时；对于660MW机组，每小时可回收130吨水，循环流化床干法脱硫吸收塔31的工艺水耗为100吨/小时，那么，本发明烟气节水装置4可以轻松实现循环流化床干法烟气净化工艺的零水耗。

[0077] 对烟气节水装置4的回收水D进行检测，pH值为6.5～8，悬浮物浓度为18mg/L，浊度为2NTU，COD为44.7mg/L，氯离子为0.48mg/L，总硬度为22.5mg/L。检测结果表明，本发明的烟气回收水D的水质满足脱硫工艺水的要求，无需处理可直接送入循环流化床干法脱硫吸收塔31的工艺水系统；回收水D质呈中性，氯离子溶度低，采用普通金属翅片的换热管未出现明显腐蚀，采用普通金属材料制作的换热器可行性好、可靠性强。

[0078] 以上对本发明所提供干法脱硫除尘系统及其烟气节水装置进行了详细介绍。本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的核心思想。应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以对本发明进行若干改进和修饰，这些改进和修饰也落入本发明权利要求的保护范围内。

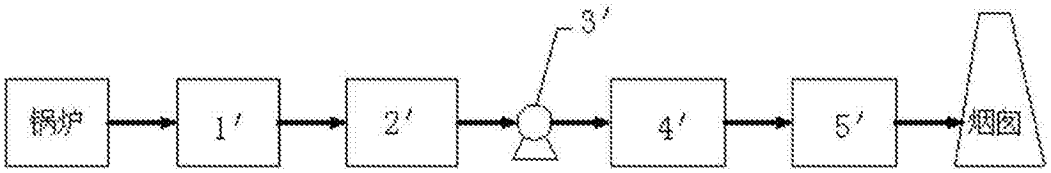

锅炉
1′
2′
3′
4′
5′
烟囱

图1

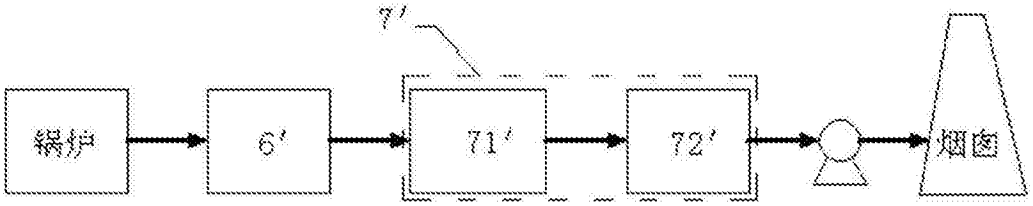

7′
锅炉
6′
71′
72′
烟囱

图2

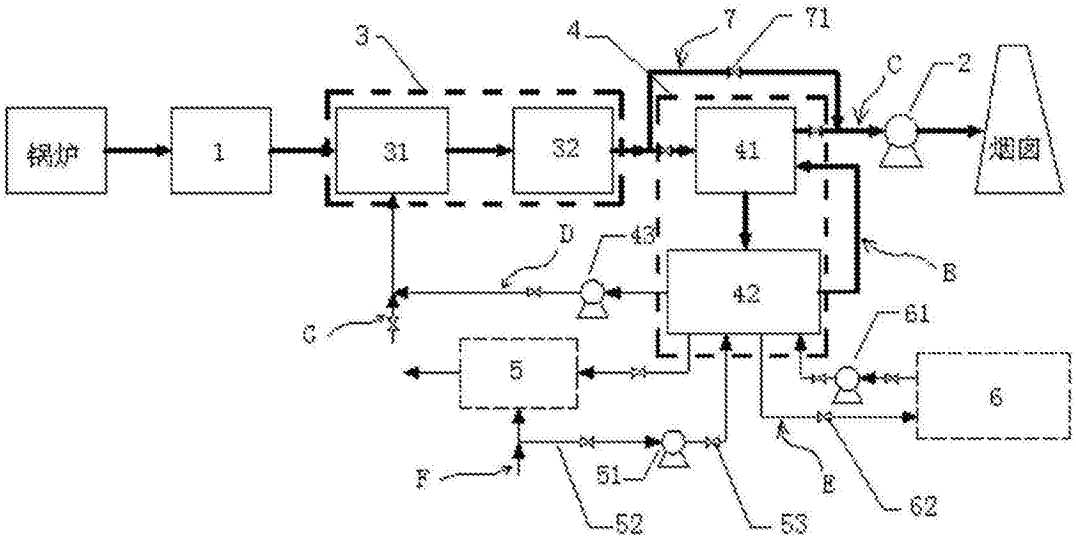

3
4
7
71
C
2
锅炉
1
31
32
41
烟囱
D
43
B
42
C
61
5
6
F
51
E
62
52
53

图3