(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 104941379 A
(43)申请公布日 2015.09.30

(21)申请号 201510307393.5

(22)申请日 2015.06.08

(71)申请人 南京师范大学
地址 210046 江苏省南京市亚东新城区文苑路1号

(72)发明人 鲍静静 马凌 于贤群 杨宏旻 罗倩妮 韩风霞 沈星驰 杨乾

(74)专利代理机构 南京知识律师事务所 32207
代理人 李媛媛

(51)Int.Cl.
B01D 51/02(2006.01)
B01D 53/00(2006.01)
B01D 53/74(2006.01)
B01D 53/48(2006.01)

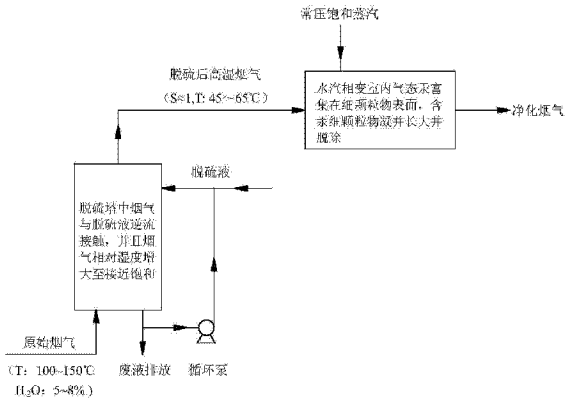
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法及装置

(57)摘要

本发明针对湿法脱硫后烟气温度低、湿度高、不能有效脱除$PM_{2.5}$和汞的缺点，提供一种应用水汽相变原理实现脱除SO_2的同时促进汞和细颗粒物协同脱除的方法及装置。燃煤烟气经湿法脱硫后进入水汽相变室，通过注入常压饱和蒸汽使烟气达到过饱和，过饱和水汽一方面通过热泳和扩散泳作用拖曳气态汞富集在颗粒物表面；另一方面以富集颗粒态汞的细颗粒物为凝结核在其表面发生核化凝结，使细颗粒物粒径增大、质量增加，凝结长大的含尘液滴汞最后由高效除雾器脱除。本发明仅对现有燃煤湿法脱硫装置改进，在脱硫塔后增设水汽相变室，添加蒸汽即可使湿法脱硫装置具有协同脱除细颗粒物和汞的功效，可广泛应用于燃煤电厂湿法烟气脱硫，具有巨大的经济效益和社会效益。



CN 104941379 A

1. 湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法，其特征在于，具体过程如下：燃煤烟气经湿法脱硫后进入水汽相变室，在水汽相变室内通过注入常压饱和蒸汽使烟气达到过饱和状态，过饱和水汽以细颗粒物为凝结核在其表面发生核化凝结，凝结并长大后的含尘液滴被除雾器捕集；同时，过饱和水汽富集汞在细颗粒物表面，过饱和水汽在含汞细颗粒物表面发生核化凝结，凝结并长大后的含尘液滴最后由除雾器脱除，从而实现燃煤烟气中细颗粒物和汞的协同脱除。

2. 根据权利要求 1 所述的湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法，其特征在于，所述湿法脱硫后的烟气温度为 45 ～ 65℃、相对湿度≥ 90%。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法，其特征在于，所述水汽相变室的过饱和度为 1.10 ～ 1.25。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法，其特征在于，所述细颗粒物为空气动力学直径小于或等于 2.5μm 的 $PM_{2.5}$，包括原始燃煤烟气中的飞灰、硫酸雾滴和湿法脱硫过程形成的无机盐气溶胶微粒。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法，其特征在于，所述湿法脱硫的工艺为石灰石 - 石膏法、氨法、双碱法、钠碱法、海水法中的一种。

6. 一种实现如权利要求 1 所述的湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法的装置，其特征在于，所述装置包括湿法脱硫塔、水汽相变室、蒸汽系统、除雾器、冲洗水系统和冲洗废液出口；所述湿法脱硫塔的烟气出口与水汽相变室的烟气进口连接，水汽相变室独立地设置在湿法脱硫塔的外部或者位于湿法脱硫塔的内部；所述蒸汽系统、除雾器和冲洗水系统位于水汽相变室内，蒸汽系统向水汽相变室内注入常压饱和蒸汽，除雾器设在水汽相变室的烟气出口处，冲洗水系统用于对除雾器进行冲洗；所述冲洗废液出口位于水汽相变室的底部。

7. 根据权利要求 6 所述的装置，其特征在于，所述水汽相变室为圆柱或方形结构，其内衬为耐腐蚀低表面能材料。

8. 根据权利要求 6 或 7 所述的装置，其特征在于，所述除雾器为丝网除雾器或板波纹除雾器。

9. 根据权利要求 6 或 7 所述的装置，其特征在于，所述蒸汽系统为蒸汽喷嘴；所述冲洗水系统为冲洗水喷嘴。

10. 根据权利要求 6 或 7 所述的装置，其特征在于，所述水汽相变室的尺寸以烟气在水汽相变室内停留时间不少于过饱和水汽在细颗粒物表面核化凝结长大所需时间确定；所述凝结长大所需时间为 50 ～ 200ms。

湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种促进燃煤烟气中汞和细颗粒物协同脱除的技术，特别涉及一种湿法烟气脱硫中应用水汽相变原理促进汞和细颗粒物协同脱除的方法及装置。

背景技术

[0002] 空气动力学直径小于等于 2.5 微米的细颗粒物 $PM_{2.5}$污染已成为我国突出的大气环境问题，是导致大气能见度降低、酸雨、雾霾天气和全球气候变化等重大环境问题的重要因素，并日益引起世界各国的高度重视；其主要原因在于，$PM_{2.5}$比表面积较大，易富集各种重金属污染物（如 As、Se、Hg、Cr、Pb、Cd 等），成为重金属污染物的运载体和反应床，据报道，约 75％～ 90％的重金属分布在细颗粒物中，且颗粒越小，重金属含量越高。其中，由于汞元素及其化合物在浓度很低的情况下也具有极大毒性，并具有易挥发、不可降解等特性，以气溶胶、粉尘或蒸汽的形式通过呼吸作用进入人体后可长期积蓄，导致身体发育迟缓，引发各种癌症和心脏病，对生态环境和人体健康构成极大危害。燃煤电厂是引起我国大气环境中 $PM_{2.5}$和汞含量增加的主要污染源，控制燃煤电厂 $PM_{2.5}$以及汞污染排放是迫切需要解决的关键问题。

[0003] 鉴于传统污染物控制设施（如除尘、湿法脱硫）本身具有脱除颗粒物的功效，只因 $PM_{2.5}$粒径过小或污染物控制设施本身存在一定缺陷，捕集效果不佳。因此，目前有效控制 $PM_{2.5}$的技术发展方向包括以下几个方面：(1) 结合传统污染物控制设施进行过程优化以提高其对 $PM_{2.5}$的脱除效果，如电袋复合除尘、新型电除尘等；(2) 通过不同技术途径使 $PM_{2.5}$粒径增大后采用传统污染物控制设施脱除，如利用电、声、化学、水汽相变等外场作用促使 $PM_{2.5}$粒径增大。其中，水汽相变技术是利用过饱和水蒸汽在 $PM_{2.5}$表面异相凝结，使其质量增加、粒度增大，从而被常规除尘设备有效捕集，尤其适合与湿法脱硫等烟气中水汽含量较高的过程相结合。

[0004] 目前，燃煤湿法烟气脱硫 (WFGD) 技术已越来越成熟与普及，大中型燃煤电厂普遍在除尘器后安装 WFGD 系统。烟气脱硫过程中，高温烟气与中温洗涤液相接触，发生强烈的传热传质过程，高温烟气使部分洗涤液汽化，脱硫塔出口烟气相对湿度大大增加并接近或达到饱和状态，添加少量水蒸气即可实现水汽相 变所需要的过饱和条件，实现 $PM_{2.5}$凝结并长大并脱除。但是，现有湿法烟气脱硫工艺中应用水汽相变技术仅考虑 SO_2和细颗粒物的脱除，未涉及烟气中汞的协同脱除。

发明内容

[0005] 本发明针对现有湿法烟气脱硫 (WFGD) 方法不能有效脱除 $PM_{2.5}$、汞及脱硫净烟气中水汽含量较高等缺点，本发明的目的是提供一种湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法，采用水汽相变技术促进细颗粒物凝结长大以及气态汞和颗粒态汞在细颗粒物表面凝结，实现细颗粒物和汞的协同高效脱除的效果。本发明的另一个目的是提供一种湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的装置。

[0006] 本发明采用的具体技术方案如下：

[0007] 湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的方法，具体过程如下：燃煤烟气经湿法脱硫后进入水汽相变室，在水汽相变室内通过注入常压饱和蒸汽使烟气达到过饱和状态，过饱和水汽以细颗粒物为凝结核在其表面发生核化凝结，凝结并长大后的含尘液滴被除雾器捕集；同时，过饱和水汽富集汞在细颗粒物表面，过饱和水汽在含汞细颗粒物表面发生核化凝结，凝结并长大后的含尘液滴最后由除雾器脱除，从而实现燃煤烟气中细颗粒物和汞的协同脱除。

[0008] 所述湿法脱硫后的烟气温度为 45 ～ 65℃、相对湿度≥ 90％。

[0009] 所述水汽相变室的过饱和度为 1.10 ～ 1.25。

[0010] 所述细颗粒物为空气动力学直径小于或等于 2.5μm 的 $PM_{2.5}$，包括原始燃煤烟气中的飞灰、硫酸雾滴和湿法脱硫过程形成的无机盐气溶胶微粒。

[0011] 所述湿法脱硫的工艺为石灰石－石膏法、氨法、双碱法、钠碱法、海水法中的一种。

[0012] 一种湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除的装置，包括湿法脱硫塔、水汽相变室、蒸汽系统、除雾器、冲洗水系统和冲洗废液出口；所述湿法脱硫塔的烟气出口与水汽相变室的烟气进口连接，水汽相变室独立地设置在湿法脱硫塔的外部或者位于湿法脱硫塔的内部；所述蒸汽系统、除雾器和冲洗水系统位于水汽相变室内，蒸汽系统向水汽相变室内注入常压饱和蒸汽，除雾器设在水汽相变室的烟气出口处，冲洗水系统用于对除雾器进行冲洗；所述冲洗废液出口位于水 汽相变室的底部。

[0013] 所述水汽相变室为圆柱或方形结构，其内衬为耐腐蚀低表面能材料。

[0014] 所述除雾器为丝网除雾器或板波纹除雾器。

[0015] 所述蒸汽系统为蒸汽喷嘴；所述冲洗水系统为冲洗水喷嘴。

[0016] 所述水汽相变室的尺寸以烟气在水汽相变室内停留时间不少于过饱和水汽在细颗粒物表面核化凝结长大所需时间确定；所述凝结长大所需时间为 50 ～ 200ms。

[0017] 本发明应用水汽相变原理促进细颗粒物和汞脱除，首先应建立过饱和水汽环境，但单纯依靠添加蒸汽使原始水汽含量低（5 ～ 8％）、烟温高（100 ～ 150℃）的燃煤烟气达到过饱和能耗过高，该技术只有与水汽含量较高、烟温较低的过程结合才有实用价值。在湿法烟气脱硫过程中，高温烟气与中低温洗涤液相接触，发生强烈的传热传质过程，高温烟气使部分洗涤液汽化，脱硫塔出口烟气相对湿度大大增加并接近或达到饱和状态，且烟温降至 45 ～ 65℃，只需添加少量水蒸气即可实现水汽相变所需要的过饱和条件，实现 $PM_{2.5}$ 凝结并长大并高效脱除。

[0018] 本发明充分利用上述工艺特点，在湿法烟气脱硫后设置水汽相变室，通过注入常压饱和蒸汽使高湿烟气达到过饱和状态，过饱和水汽一方面通过热泳和扩散泳作用拖曳气态汞富集在细颗粒物表面；另一方面以富集颗粒态汞的细颗粒物为凝结核在其表面发生核化凝结，使细颗粒物粒径增大、质量增加，凝结并长大后的含尘液滴汞含量大大增加，由置于水汽相变室出口处的高效除雾器脱除，进而实现协同高效脱除细颗粒物和汞。

[0019] 此外，本发明工艺简单，仅需对现有燃煤湿法烟气脱硫装置进行改进，在脱硫塔后增设水汽相变室，添加少量蒸汽即可使现有燃煤烟气湿法脱硫装置具有协同脱除细颗粒物和汞的功效，可广泛应用于燃煤电厂湿法烟气脱硫装置，可望产生巨大的经济效益和社会效益，具有广泛的应用前景。

附图说明

[0020] 图 1 为本发明的装置结构示意图；

[0021] 图 2 为本发明的工艺方法流程框图；

[0022] 图 3 为本发明实施例 2 的装置结构示意图；

[0023] 其中，1- 湿法脱硫塔；2- 脱硫液喷嘴；3- 脱硫塔除雾器；4- 水汽相变室；5- 蒸汽喷嘴；6- 水汽相变室除雾器；7- 冲洗水喷嘴；A- 原始燃煤烟气；B- 脱硫废液；C- 脱硫液；D- 蒸汽；E- 冲洗废液；F- 冲洗水；G- 净化烟气。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的描述。

[0025] 一种湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除装置（如图 1 所示），包括湿法脱硫塔 1、水汽相变室主体、蒸汽喷嘴 5、水汽相变室除雾器 6 和冲洗水喷嘴 7，蒸汽喷嘴 5、水汽相变室除雾器 6 和冲洗水喷嘴 7 设置在水汽相变室主体内。

[0026] 其中，湿法脱硫塔 1 设置有原始燃煤烟气入口、高湿烟气出口、脱硫液入口、脱硫废液出口、脱硫液喷嘴 2 和脱硫塔除雾器 3，脱硫塔除雾器 3 位于湿法脱硫塔 1 顶部的高湿烟气出口处，湿法脱硫塔 1 的高湿烟气出口与水汽相变室 4 的烟气进口连接。

[0027] 此外，水汽相变室 4 设有烟气进口、烟气出口、蒸汽喷嘴 5、水汽相变室除雾器 6、冲洗水喷嘴 7 和冲洗废液出口；通过蒸汽喷嘴 5 对水汽相变室 4 注入常压饱和蒸汽；水汽相变室除雾器 6 为丝网除雾器或板波纹除雾器，设置在水汽相变室的烟气出口处；在水汽相变室 4 出口处的冲洗水喷嘴 7，定期对水汽相变室除雾器 6 冲洗，防止水汽相变室除雾器 6 堵塞导致阻力显著增加；冲洗废液出口位于水汽相变室 4 的底部；水汽相变室 4 为圆柱或方形结构，其内衬采用具有增进相变效果和防腐双重功效的耐蚀低表面能材料，如聚四氟乙烯、四氟乙烯乙烯基醚共聚物、氟乙烯乙烯基醚共聚物等；水汽相变室 4 的尺寸以烟气在水汽相变室 4 内停留时间不少于水蒸气在细颗粒物表面核化凝结长大所需时间（50 ～ 200ms）而确定；冲洗废液出口位于水汽相变室 4 的底部，用于冲洗废液的流出。

[0028] 如图 2 所示，本发明的湿法烟气脱硫中促进汞和细颗粒物协同脱除方法的具体过程如下：首先，含湿量较低、温度较高的原始燃煤烟气 A（温度 T：100 ～ 150℃，含水量 H_2O：5 ～ 8%）进入湿法烟气脱硫系统，在湿法脱硫塔 1 内与脱硫液 C 发生强烈的热质交换使湿法脱硫塔 1 出口的净烟气相对湿度大大增加并接近饱和状态（烟温降至 45 ～ 65℃，相对湿度≥ 90%，过饱和度 S 约为 1），且易挥发性汞主要以气态和颗粒态两种形式存在。湿法烟气脱硫工艺为石灰石 - 石膏法、氨法、双碱法、钠碱法、海水法中的任意一种。

[0029] 脱硫后的高湿烟气进入水汽相变室 4 后，通过在水汽相变室 4 内注入常压饱和蒸汽 D 使高湿烟气在水汽相变室 4 内的过饱和度 S 达到 1.10 ～ 1.25。其中，过饱和水蒸汽以细颗粒物为凝结核在其表面发生核化凝结，使其粒径增大、质量增加，凝结并长大后的含尘液滴被水汽相变室除雾器 6 捕集。同时，水汽相变过程中可通过热泳和扩散泳作用拖曳的气态汞富集在细颗粒物表面，另一方面以富集颗粒态汞的细颗粒物为凝结核在其表面发生核化凝结，使细颗粒物粒径增大、质量增加，凝结并长大后的含尘液滴汞含量大大增加，由水汽相变室除雾器 6 脱除，从而实现燃煤烟气中细颗粒物和汞协同脱除。然后由在水汽

相变室 4 出口处的冲洗水喷嘴 7 定期对水汽相变室除雾器 6 冲洗，以防止水汽相变室除雾器 6 堵塞导致阻力显著增加，这样被捕集的含汞细颗粒物可以随冲洗水废液 E 排出。脱除的细颗粒物是指空气动力学直径小于或等于 2.5μm 的 $PM_{2.5}$，包括原始燃煤烟气中的飞灰、硫酸雾滴和湿法烟气脱硫过程中形成的无机盐气溶胶微粒。

[0030] 实施例 1：

[0031] 由全自动燃煤锅炉产生的原始烟气流量为 150Nm^3/h，细颗粒物数浓度为 5.02×10^7个 $/cm^3$，总汞浓度为 1.50μg/m^3；经石灰石－石膏湿法脱硫后，湿法脱硫塔 1 的出口烟气温度由 120℃降至 55℃，相对湿度为 97％；进入水汽相变室 4，相变室出口处安装丝网除雾器，在相变室内通过蒸汽喷嘴 5 注入 0.06kg/m^3（烟气）常压饱和蒸汽。经测量，湿法脱硫工艺中应用水汽相变后，通过丝网除雾器出口的烟气中细颗粒物数浓度可由 4.02×10^7个 $/cm^3$降至 1.65×10^7个 $/cm^3$，添加蒸汽可使细颗粒物数浓度脱除效率由 20％提高至 67％；添加蒸汽后，通过丝网除雾器出口的烟气中总汞浓度可由 1.23μg/m^3降至 0.82μg/m^3，脱汞效率可由 18％提高至 45％。

[0032] 实施例 2：

[0033] 如图 3 所示，与实施例 1 不同的是，不在湿法脱硫塔 1 后单独设置水汽相变室 4，而是适当增加湿法脱硫塔 1 的高度，以湿法脱硫塔除雾器 3 的上方空间作为水汽相变室 4，并注入适量常压饱和水蒸气，塔顶部的水汽相变室 4 的出口处设置高效丝网除雾器，其余同实施例 1。

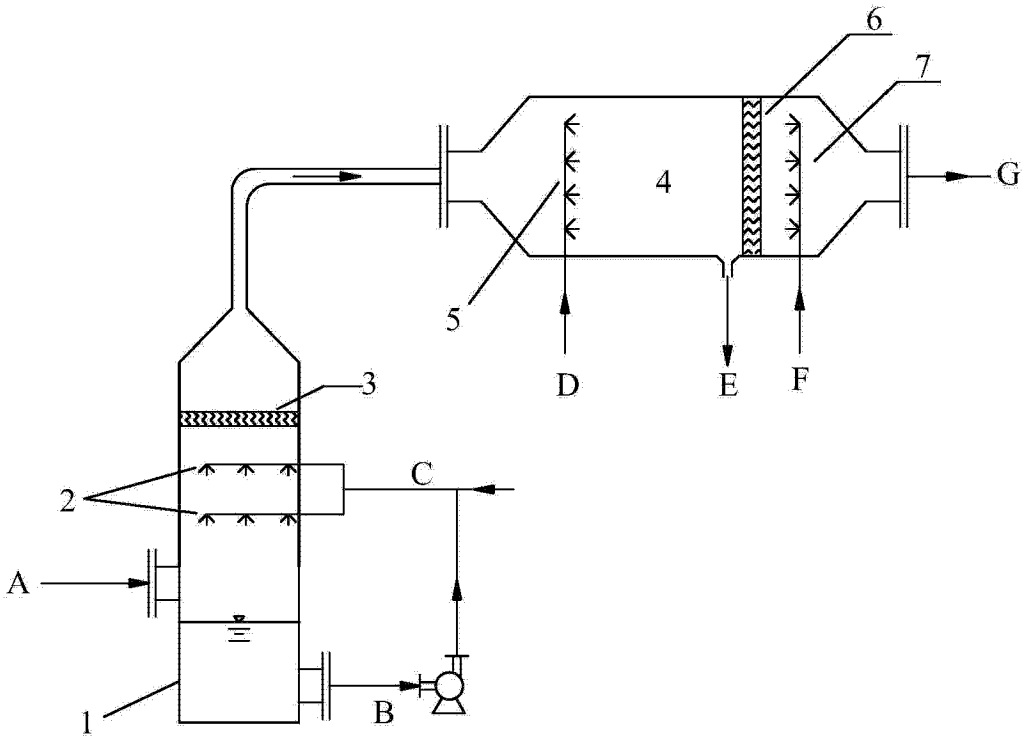

6
7
4
G
5
D
E
F
3
C
2
A
1
B

图 1

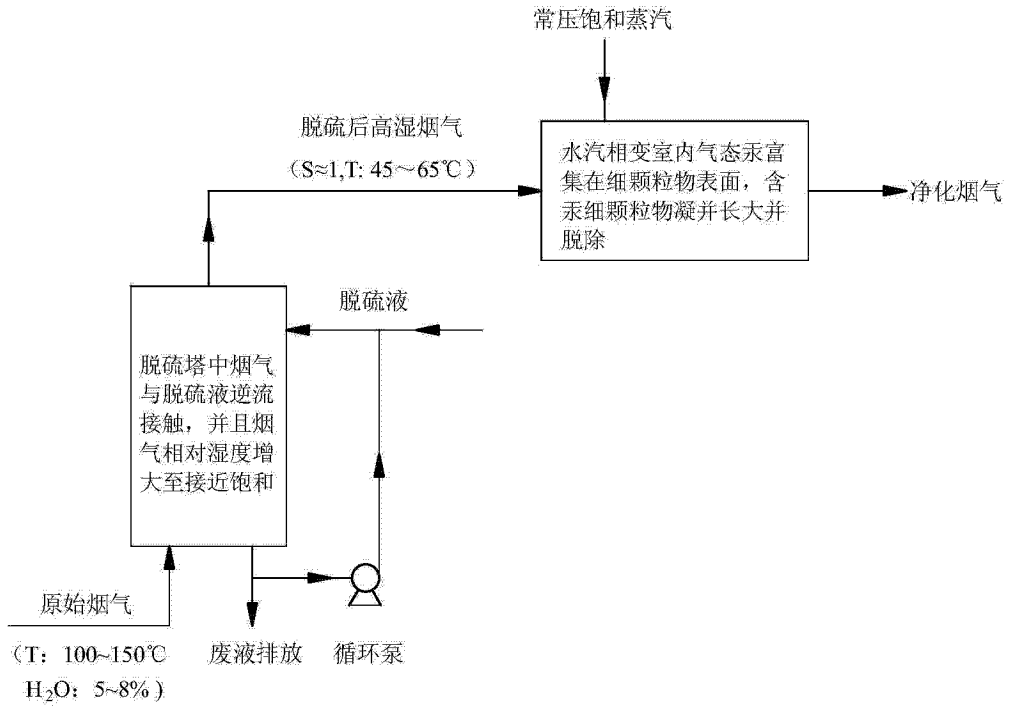

常压饱和蒸汽
脱硫后高湿烟气
（S≈1,T: 45～65℃）
水汽相变室内气态汞富集在细颗粒物表面，含汞细颗粒物凝并长大并脱除
净化烟气
脱硫液
脱硫塔中烟气与脱硫液逆流接触，并且烟气相对湿度增大至接近饱和
原始烟气
（T：100~150℃
H2O：5~8%）
废液排放
循环泵

图 2

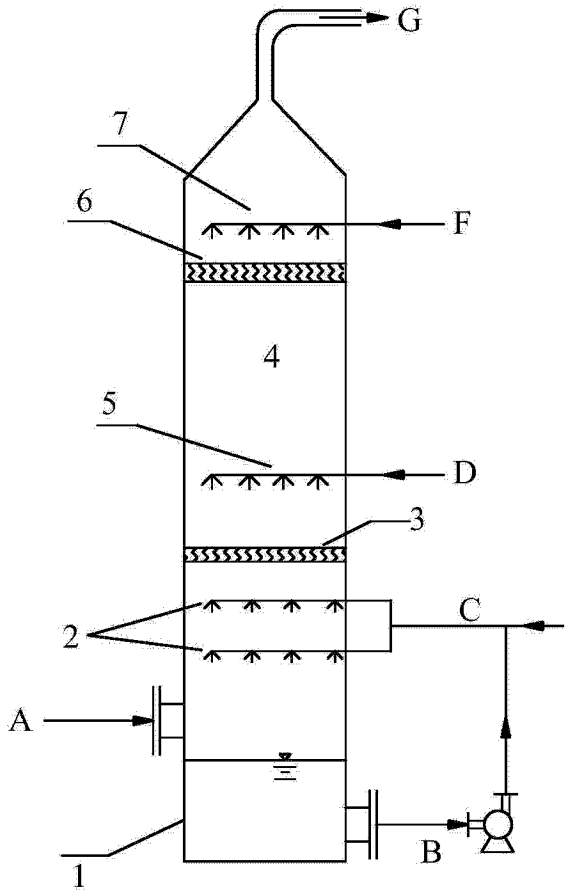


图 3