(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102527207 B

(45)授权公告日 2014.11.26

(21)申请号 201210016038.9

(22)申请日 2012.01.18

(73)专利权人 浙江富春江环保热电股份有限公司

地址 311418 浙江省杭州市富阳市灵桥镇春永路188号

专利权人 浙江工商大学

(72)发明人 吴祖良 盛洪产 孙培德 楼军 金孝祥

(74)专利代理机构 杭州中成专利事务所有限公司 33212

代理人 金祺

(51)Int.Cl.

B01D 53/75(2006.01)

B01D 50/00(2006.01)

B01D 53/86(2006.01)

B01D 53/56(2006.01)

B01D 53/60(2006.01)

F23J 15/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 101716463 A,2010.06.02,

CN 101716463 A,2010.06.02,

CN 101664638 A,2010.03.10,

CN 202490565 U,2012.10.17,

审查员 唐焕威

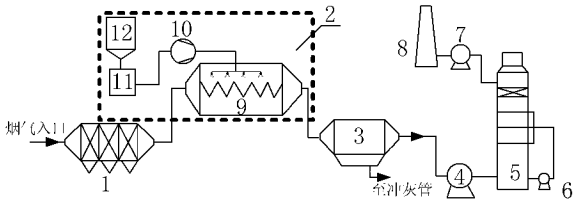
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除方法及所用装置

(57)摘要

本发明公开了一种静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置，包括依次相连的静电除尘器(1)、静电增强型催化反应系统(2)、布袋除尘器(3)、增压风机(4)、带有循环浆液泵(6)的吸收塔(5)、引风机(7)和烟囱(8)；烟气经静电除尘器(1)除尘后进入静电增强型催化反应系统(2)，在静电增强型催化反应系统(2)中脱除烟气中的NOx，然后进入布袋除尘器(3)进一步除尘，最后通过增压风机(4)进入吸收塔(5)中脱除SO_2以及进一步脱除NOx，净化后的烟气经引风机(7)排至烟囱(8)。本发明还同时公开了利用上述装置进行的多种污染物同时脱除法。本发明在保证脱硝效果的同时，能减少催化剂安装成本。



CN 102527207 B

1. 静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置，其特征是：包括依次相连的静电除尘器（1）、静电增强型催化反应系统（2）、布袋除尘器（3）、增压风机（4）、带有循环浆液泵（6）的吸收塔（5）、引风机（7）以及烟囱（8）；

烟气经静电除尘器（1）除尘后进入静电增强型催化反应系统（2），在静电增强型催化反应系统（2）中脱除烟气中的 NOx，然后进入布袋除尘器（3）进一步除尘，最后通过增压风机（4）进入吸收塔（5）中脱除 SO_2 以及进一步脱除 NOx，净化后的烟气经引风机（7）排至烟囱（8）；

所述静电增强型催化反应系统（2）包括依次相连的静电增强型催化反应器（9）、液氨泵（10）、液氨蒸发器（11）和液氨储罐（12），所述静电增强型催化反应器（9）的两端分别与静电除尘器（1）和布袋除尘器（3）相连；

所述液氨储罐（12）中的液氨经液氨蒸发器（11）的蒸发后，通过液氨泵（10）喷入静电增强型催化反应器（9）中与经静电除尘器（1）流入至静电增强型催化反应器（9）中的烟气进行增强型催化反应；

所述静电增强型催化反应器（9）包括由绝缘材料制成的绝缘壳体（91），在绝缘壳体（91）内设置电极板（92）和催化剂（93）；

静电增强型催化反应器（9）中的催化剂（93）的布置采用以下任意一种方式：

静电增强型催化反应器（9）中的催化剂（93）的布置采用充满型：

所述绝缘壳体（91）的横截面为方形，在所述绝缘壳体（91）的上内壁和下内壁处分别设置一层电极板（92），在上下 2 层电极板（92）之间所形成的放电间隙内布置催化剂（93），所述催化剂（93）填充满整个放电间隙；

或者，绝缘壳体（91）的横截面为圆形，在所述绝缘壳体（91）的内壁设置一层电极板（92），在所述绝缘壳体（91）的中心处设置一根电极棒（94），在电极板（92）和电极棒（94）之间所形成的放电间隙内布置催化剂（93），所述催化剂（93）填充满整个放电间隙；

静电增强型催化反应器（9）中的催化剂（93）的布置采用单层型：

所述绝缘壳体（91）的横截面为方形，在所述绝缘壳体（91）的上内壁和下内壁处分别设置一层电极板（92），在上下 2 层电极板（92）之间所形成的放电间隙内布置厚度占放电间隙间距的 0.1~80% 的催化剂（93）；

或者，所述绝缘壳体（91）的横截面为圆形，在所述绝缘壳体（91）的内壁设置一层电极板（92），在所述绝缘壳体（91）的中心处设置一根电极棒（94），在电极板（92）和电极棒（94）之间所形成的放电间隙内布置厚度占放电间隙间距的 0.1~80% 的催化剂（93）；

静电增强型催化反应器（9）中的催化剂（93）的布置采用双层型：

所述绝缘壳体（91）的横截面为方形，在所述绝缘壳体（91）的上内壁和下内壁处分别设置一层电极板（92），在上下 2 层电极板（92）之间所形成的放电间隙内设置 2 层催化剂（93），其中一层催化剂（93）紧贴上层的电极板（92）、另一层催化剂（93）紧贴下层的电极板（92），每层催化剂（93）的厚度占所述放电间隙间距的 0.1~45%；

或者，所述绝缘壳体（91）的横截面为圆形，在所述绝缘壳体（91）的内壁设置一层电极板（92），在所述绝缘壳体（91）的中心处设置一根电极棒（94），在电极板（92）和电极棒（94）之间所形成的放电间隙内设置 2 层催化剂（93），其中一层催化剂（93）紧贴电极板（92）、另一层催化剂（93）紧贴电极棒（94），每层催化剂（93）的厚度占所述放电间隙间距的

0.1~45%。

2. 根据权利要求 1 所述的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置，其特征是：所述静电增强型催化反应器（9）中的电极板（92）与催化剂（93）的布置方式为交叉式或贯穿式；

所述交叉式为电极板（92）与催化剂（93）在绝缘壳体（91）中交替布置，交替方式为等距交替或非等距交替；

所述贯穿式为电极板（92）贯穿整个绝缘壳体（91）。

3. 根据权利要求 2 所述的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置，其特征是：所述催化剂（93）由活性成分和载体组成；所述活性成分为 MoO_3、MnO_2、V_2O_5 和 CuO_2 中的至少一种，所述载体为 TiO_2、碳分子筛和活性炭中的至少一种，催化剂形式为蜂窝式。

4. 利用如权利要求 1~3 任一装置进行的多种污染物同时脱除法，其特征是：

烟气经静电除尘器（1）除尘后，进入静电增强型催化反应系统（2）的静电增强型催化反应器（9）内，静电增强型催化反应器（9）的反应烟温为 150 ～ 200℃，在静电增强型催化反应器（9）的放电间隙内 NO 与放电产生的等离子体作用，部分氧化成 NO_2，一定 NO_2/NO 比例的 NO_x 在催化剂的作用下与液氨进行催化反应，还原成 N_2，从而实现脱除烟气中的 NO_x。

静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除方法及所用装置

技术领域

[0001] 本发明属于环保技术领域，尤其涉及一种静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置及方法。

背景技术

[0002] 煤在燃烧过程中会排放大量的粉尘、二氧化硫、二氧化碳、氮氧化物等大气污染物，这些污染物对人类健康、生态环境及社会发展都造成了严重的危害。其中燃煤排放的 SO_2 量占各类污染源总 SO_2 排放量的 87％，燃煤排放的 NO_x 占各类污染源总 NO_x 排放量的 67％。燃煤带来的 SO_2 和 NO_x 污染不仅是中国大气环境污染的主要问题，目前还是制约经济协调稳定发展的重要环境因素。而且随着经济的不断发展，SO_2 和 NO_x 对环境酸化的危害将会不断增长。

[0003] 目前，我国《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011) 已经出台，新标准对烟尘、二氧化硫、氮氧化物等主要大气污染物提出了更严的排放要求。为了满足新排放标准的要求，我国大部分燃煤机组需要进行脱硫增容改造，脱硝和除尘器技术改造。

[0004] 国内外脱除烟气中二氧化硫的技术中应用最广泛的是湿法烟气脱硫技术，采用吸收塔对二氧化硫进行吸收脱除。而烟尘控制方面一般采用电除尘器来进行控制，而随着烟尘排放标准更加严格，需要通过布袋除尘器或电袋复合除尘器才能达到达标排放要求。

[0005] 目前，国内外脱除烟气中氮氧化物的技术主要是选择性催化还原法 (SCR) 和选择性非催化还原法 (SNCR)。SCR 法因其技术成熟、脱硝率高，成为电站烟气脱硝的主流技术，但是在 SCR 设备的安装空间要求较大，且催化剂的费用占总投资额的 35％，另外催化剂反应温度一般在 300 ～ 400℃，温度高导致催化剂容易出现烧蚀现象，且反应器布置在除尘器之前，催化剂磨损严重，且受烟尘中重金属和碱金属的化学毒害，这些均严重影响了催化剂的运行寿命。而在温度为 150 ～ 200℃时，催化剂活性低，又达不到高效脱除氮氧化物。另外对于 2004 年之前投产的燃煤机组，全部无预留脱硝空间，这部机组如要进行脱硝改造，则必须对现有除尘器进行大的改造，这样进一步增加了脱硝改造的成本，造成不必要的浪费。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是针对目前未预留脱硝空间或脱硝空间不足而在电除尘器之前无法进行脱硝改造或脱硝改造成本严重增加的燃煤机组，从而提供一种静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置及方法。

[0007] 为了解决上述技术问题，本发明提供一种静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置，包括依次相连的静电除尘器、静电增强型催化反应系统、布袋除尘器、增压风机、带有循环浆液泵的吸收塔、引风机和烟囱；

[0008] 烟气经静电除尘器除尘后进入静电增强型催化反应系统，在静电增强型催化反应系统中脱除烟气中的 NOx，然后进入布袋除尘器进一步除尘，最后通过增压风机进入吸收塔

中脱除 SO_2 以及进一步脱除 NOx，净化后的烟气经引风机排至烟囱。

[0009] 作为本发明的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置的改进：静电增强型催化反应系统包括依次相连的静电增强型催化反应器、液氨泵、液氨蒸发器和液氨储罐，静电增强型催化反应器的两端分别与静电除尘器和布袋除尘器相连；

[0010] 液氨储罐中的液氨经液氨蒸发器的蒸发后，通过液氨泵喷入静电增强型催化反应器中与经静电除尘器流入至静电增强型催化反应器中的烟气进行增强型催化反应。

[0011] 作为本发明的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置的进一步改进：静电增强型催化反应器包括由绝缘材料制成的绝缘壳体，在绝缘壳体内设置电极板和催化剂。

[0012] 作为本发明的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置的进一步改进：静电增强型催化反应器中的催化剂的布置采用充满型：

[0013] 绝缘壳体的横截面为方形，在绝缘壳体的上内壁和下内壁处分别设置一层电极板，在上下 2 层电极板之间所形成的放电间隙内布置催化剂，催化剂填充满整个放电间隙；如图 3 中的 A1 所示；

[0014] 或者，绝缘壳体的横截面为圆形，在绝缘壳体的内壁设置一层电极板，在绝缘壳体的中心处设置一根电极棒，在电极板和电极棒之间所形成的放电间隙内布置催化剂，催化剂填充满整个放电间隙；如图 3 中的 A2 所示；

[0015] 作为本发明的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置的进一步改进：静电增强型催化反应器中的催化剂的布置采用单层型：

[0016] 绝缘壳体的横截面为方形，在绝缘壳体的上内壁和下内壁处分别设置一层电极板，在上下 2 层电极板之间所形成的放电间隙内布置厚度占放电间隙间距的 0.1 ～ 80％的催化剂；如图 3 中的 B1 所示；

[0017] 或者，绝缘壳体的横截面为圆形，在绝缘壳体的内壁设置一层电极板，在绝缘壳体的中心处设置一根电极棒，在电极板和电极棒之间所形成的放电间隙内布置厚度占放电间隙间距的 0.1 ～ 80％的催化剂；如图 3 中的 B2 所示。

[0018] 作为本发明的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置的进一步改进：静电增强型催化反应器中的催化剂的布置采用双层型：

[0019] 绝缘壳体的横截面为方形，在绝缘壳体的上内壁和下内壁处分别设置一层电极板，在上下 2 层电极板之间所形成的放电间隙内设置 2 层催化剂，其中一层催化剂紧贴上层的电极板、另一层催化剂紧贴下层的电极板，每层催化剂的厚度占放电间隙间距的 0.1 ～ 45％；如图 3 中的 C1 所示；

[0020] 或者，绝缘壳体的横截面为圆形，在绝缘壳体的内壁设置一层电极板，在绝缘壳体的中心处设置一根电极棒，在电极板和电极棒之间所形成的放电间隙内设置 2 层催化剂，其中一层催化剂紧贴电极板、另一层催化剂紧贴电极棒，每层催化剂的厚度占放电间隙间距的 0.1 ～ 45％；如图 3 中的 C2 所示；

[0021] 作为本发明的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置的进一步改进：静电增强型催化反应器中的电极板与催化剂的布置方式为交叉式或贯穿式；

[0022] 交叉式为电极板与催化剂在绝缘壳体中交替布置，交替方式为等距交替或非等距交替；如图 4 中的 A1 或 A2 所示；

[0023] 贯穿式为电极板贯穿整个绝缘壳体；如图 4 中的 B1 或 B2 所示。

[0024] 作为本发明的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置的进一步改进：催化剂由活性成分和载体组成；活性成分为 MoO_3、MnO_2、V_2O_5 和 CuO_2 中的至少一种，载体为 TiO_2、碳分子筛和活性炭中的至少一种，催化剂形式为蜂窝式。

[0025] 本发明还同时公开了利用上述装置进行的多种污染物同时脱除法：烟气经静电除尘器除尘后，进入静电增强型催化反应系统的静电增强型催化反应器内，静电增强型催化反应器的反应烟温为 150 ～ 200℃，在静电增强型催化反应器的放电间隙内 NO 与放电产生的等离子体作用，部分氧化成 NO_2，一定 NO_2/NO 比例的 NO_x 在催化剂（高活性）的作用下与液氨进行催化反应，还原成 N_2，从而实现脱除烟气中的 NO_x。

[0026] 在本发明中，静电增强型催化反应器中电极板的布置采用交叉式、贯穿式。其中，交叉式为电极与催化剂在反应器中交替布置，交替方式包括等距交替和非等距交替，贯穿式为电极贯穿整个反应器，催化剂可以以充满型、单层型、双层型三种形式交替安装或充满安装。

[0027] 催化剂为成本低廉的催化剂，催化剂主要成分为以 TiO_2、碳分子筛或活性炭中的一种或几种为载体，负载 MoO_3、MnO_2、V_2O_5 或 CuO_2 中的一种或几种，但不仅限于这几种。静电增强型催化反应器中催化剂经等离子体放电作用，提高其中低温条件下的催化活性，从而有利于 NOx 的脱除反应。

[0028] 本发明与现有技术相比具有如下有益效果：

[0029] 1)、催化剂反应温度为 150 ～ 200℃，能够有效的防止催化剂的烧蚀，同时催化剂设置在电除尘器之后能够有效的防止催化剂的磨损和化学中毒，大大增加催化剂使用寿命，降低催化剂维护成本；

[0030] 2)、静电与催化剂结合能够使催化剂在中低温条件下达到氮氧化物的高脱除效率，同时减少催化剂安装层数（即，实施例 1 中所称的催化剂的段数），有效的降低催化剂安装成本；

[0031] 3)、可以实现多种污染物，如氮氧化物、硫氧化物和烟尘等的同时脱除；

[0032] 4)、污染物的脱除效率高，其中硫氧化物的脱除效率可以达到 96％以上，氮氧化物的脱除效率可以达到 85％以上，烟尘效率可以达到 99.9％以上；

[0033] 5)、该装置可以有效的控制细微颗粒 ($PM_{2.5}$)，并减少气溶胶的污染。

[0034] 综上所述，本发明通过采用静电增强型催化反应技术，通过在除尘器后添加脱硝装置，通过静电来增强催化剂在较低温度条件下的反应活性，从而在保证脱硝效果的同时，降低催化剂安装层数，减少催化剂安装成本；同时由于反应器在静电除尘器之后，烟气温度较低且烟气中颗粒物含量低，因而能够有效的减少催化剂的磨损和烧蚀以及化学中毒，进而增大催化剂的使用寿命；另外，NO_2 的存在促进了 NO 与 NH_3 的反应，从而提高脱硝效率。其原理是利用静电作用改变催化剂本身活性，同时改变烟气中 NO_2 与 NO 之比，进而有利于 NO_x 与催化剂的反应效果，后通过布袋除尘器和吸收塔来进一步脱除多种污染物，从而达到多种污染物高效脱除。

附图说明

[0035] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步详细说明。

[0036] 图 1 是本发明的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置的结构示意图；

[0037] 图 2 是图 1 中的静电增强型催化反应器 9 的一种立体结构示意图；

[0038] 图 3 是静电增强型催化反应器 9 中的催化剂 93 采用不同布置时的示意图；

[0039] 图 3 中：

[0040] A1 和 A2 为静电增强型催化反应器 9 中的催化剂 93 的布置采用充满型时的 2 种状态的示意图；

[0041] B1 和 B2 为静电增强型催化反应器 9 中的催化剂 93 的布置采用单层型时的 2 种状态的示意图；

[0042] C1 和 C2 为静电增强型催化反应器 9 中的催化剂 93 的布置采用双层型时的 2 种状态的示意图；

[0043] 说明：A1 的左图对应的是图 2 中的 X-X 剖的剖面局部图；A1 的右图是 A1 的左图中箭头标注方向的剖面示意图；其余 A2、B1、B2、C1 和 C2 的投影关系类同；

[0044] 图 4 是静电增强型催化反应器 9 中的电极板 92 相对于催化剂 93 的布置方式示意图；

[0045] 图 4 中：

[0046] A1 和 A2 是电极板 92 与催化剂 93 的布置方式为交叉式时的 2 种状态的示意图；

[0047] B1 和 B2 是电极板 92 与催化剂 93 的布置方式为贯穿式时的 2 种状态的示意图。

[0048] 上述图 1 ～图 4 中：

[0049] 静电除尘器 1、静电增强型催化反应系统 2、布袋除尘器 3、增压风机 4、吸收塔 5、循环浆液泵 6、引风机 7、烟囱 8、静电增强型催化器 9、液氨泵 10、液氨蒸发器 11、液氨储罐 12、绝缘壳体 91、电极板 92、催化剂 93、电极棒 94。

具体实施方式

[0050] 下面结合实例对本发明作进一步具体的说明，但本发明的实施方式不限于此。

[0051] 实施例 1、一种静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置，包括依次相连的静电除尘器 1、静电增强型催化反应系统 2、布袋除尘器 3、增压风机 4、带有循环浆液泵 6 的吸收塔 5、引风机 7 和烟囱 8；静电增强型催化反应系统 2 包括依次相连的静电增强型催化反应器 9、液氨泵 10、液氨蒸发器 11 和液氨储罐 12，静电增强型催化反应器 9 的两端分别与静电除尘器 1 和布袋除尘器 3 相连。

[0052] 静电增强型催化反应器 9 包括由绝缘材料制成的绝缘壳体 91，在绝缘壳体 91 内设置电极板 92 和催化剂 93；静电增强型催化反应器 9 的立体图如图 2 所示。

[0053] 静电增强型催化反应器 9 中的电极板 92 与催化剂 93 的布置方式为贯穿式，即，电极板 92 贯穿整个绝缘壳体 91。绝缘壳体 91 的横截面为方形，在绝缘壳体 91 的上内壁和下内壁处分别设置一层电极板 92，该两层电极板 92 均贯穿整个绝缘壳体 91，即电极板 92 的长度等于绝缘壳体 91 的长度。在上下 2 层电极板 92 之间共设置 3 段催化剂 93。每段催化剂 93 的布置采用充满型：在上下 2 层电极板 92 之间所形成的放电间隙内布置催化剂 93，催化剂 93 填充满放电间隙（即每段催化剂 93 的上下表面分别对应的与上下 2 层电极板 92 相接触）；如图 3 中的 A1 所示。

[0054] 催化剂 93 的活性成分为 MoO_3，载体为 TiO_2；制备方法见如下步骤：

[0055] 1)、将 TiO_2 在温度为 500 ～ 600℃条件下煅烧 6-12 小时，得到具有多孔状的稳定

的微孔结构的载体；

[0056] 2)、将钼酸铵在 50 ～ 70℃条件下搅拌使之完全溶解于分析纯级草酸溶液中，钼酸铵与草酸的物质的量之比为 1 ：(2 ～ 4)；

[0057] 3)、步骤 2) 所得的溶液与步骤 1) 所得的载体、去离子水按照重量比为 100 ：(3 ～ 15) ：50，在 5-35℃条件下搅拌 0.25 ～ 0.5 小时使之混合均匀，在 5 ～ 35℃陈腐 12 ～ 24 小时，得到催化剂泥料；

[0058] 4)、将步骤 3) 所得到的催化剂泥料通过磨具挤压成型，在 50 ～ 200℃条件下自然干燥 5 ～ 10 小时后，在 500 ～ 550℃条件下煅烧 3 ～ 6 小时，得到最终所需的催化剂。

[0059] 利用上述装置进行的多种污染物同时脱除法，原始的烟气主要包含 SO_2、NO_x、烟尘等杂物；依次进行以下步骤：

[0060] 1)、烟气经静电除尘器 1 除尘后，进入静电增强型催化反应系统 2 的静电增强型催化反应器 9 中。

[0061] 2)、液氨经液氨储罐 12 流出后进入液氨蒸发器 11 中经液氨蒸发器 11 的蒸发后变成氨气，从液氨蒸发器 11 流出的氨气在液氨泵 10 的作用下进入静电增强型催化反应器 9 中，调节液氨泵 10 的流量，从而控制静电增强型催化反应器 9 中氨气的喷入量；静电增强型催化反应器 9 中的烟气温度为 150 ～ 200℃（此为烟气本身的温度），烟气中的 NO 在放电间隙内所产生的等离子体作用下部分氧化成 NO_2，通过调节静电增强型催化反应器 9 两端的电压来调节 NO_2 的生成量，从而改变 NO_2/NO 之比，一定 NO_2/NO 比例的 NO_x 在高活性的催化剂 93 的作用下与氨气进行催化反应，还原成 N_2，从而脱除烟气中的 NO_x。其中不同 NO_2/NO 之比对 NO_x 的脱除效率有很大的影响，当 NO_2/NO 之比接近 1 时 NO_x 的脱除效率达到最大，从而能够高效脱除烟气中的 NO_x 等污染物。

[0062] 3)、从静电增强型催化反应系统 2（即静电增强型催化反应器 9）中排出的烟气进入布袋除尘器 3 进一步除尘，最后通过增压风机 4 进入吸收塔 5 中脱除 SO_2 以及进一步脱除 NO_x，循环浆液泵 6 起到将吸收塔 5 产生的浆液循环泵入吸收塔 5 的作用，经吸收塔 5 净化后的烟气中烟尘、二氧化硫、氮氧化物均可达标排放，净化后的烟气经引风机 7 排至烟囱 8。

[0063] 实验 1、利用实施例 1 所述的静电增强型催化氧化多种污染物同时脱除装置进行的多种污染物同时脱除法：

[0064] 烟气中 SO_2 含量 5000mg/m^3，NO_x 含量 600mg/m^3，烟尘含量为 27000mg/m^3，静电增强型催化反应器 9 的横截面为方形（容积为 1*0.2*0.2m，即，X 方向长 1m，Y 方向宽 0.2m，Z 方向高 0.2m），静电增强型催化反应器 9 中烟气流速控制在 1 ～ 2m/s，静电增强型催化反应器 9 的上下 2 层电极板 92 的长为 1m（即，X 方向长 1m），上下 2 层电极板 92 间的电压为 30 ～ 50kV。

[0065] 催化剂 93 按三段布置，每段催化剂 93 厚度为 0.2 米，相邻的两段催化剂 93 之间的间距为 0.2 米，如图 2 所示。每段催化剂 93 的布置方式为充满型：在上下 2 层电极板 92 之间所形成的放电间隙内布置催化剂 93，催化剂 93 填充满放电间隙（即每段催化剂 93 的上下表面分别对应的与上下 2 层电极板 92 相接触）。

[0066] 从烟囱 8 排出的烟气中，SO_2 出口含量为 150-200mg/m^3，NO_x 出口含量为 80-90mg/m^3，烟尘含量为 20-27mg/m^3，脱除效率分别为脱硫效率 96-97％，脱硝效率为 85-86.7％，除

尘效率为 99.9-99.99％。

[0067] 实验 2、将实验 1 中的催化剂 93 改成由以下方法制备而得，其余内容同实验 1。

[0068] 催化剂 93 的活性成分为 V_2O_5，载体为活性炭；制备方法见如下步骤：

[0069] 1) 用磨煤机将活性炭磨碎并筛分至 30 ～ 60 目，作为催化剂载体；

[0070] 2) 将 NH_4VO_3 在 50 ～ 70℃条件下搅拌使之溶解于分析纯级草酸溶液中，NH_4VO_3 与草酸的物质的量之比为 1 ：(2 ～ 4)；

[0071] 3) 步骤 2) 所得的溶液与步骤 1) 所得的载体、去离子水按照重量比为 100 ：(3 ～ 15) ：50，在 5 ～ 35℃条件下搅拌 0.25 ～ 0.5 小时，使之混合均匀，在 5 ～ 35℃陈腐 12 ～ 24 小时，得到催化剂泥料；

[0072] 4)、将步骤 3) 所得到的催化剂泥料通过磨具挤压成型，在 50℃条件下真空干燥 12h 后，再在 110℃条件下干燥 6h 后，得到最终所需催化剂。

[0073] 从烟囱 8 排出的烟气中，SO_2 出口含量 150-200mg/m^3，NO_x 出口含量 75-90mg/m^3，烟尘含量为 20-27mg/m^3，脱除效率分别为脱硫效率 96-97％，脱硝效率为 85-87.5％，除尘效率为 99.9-99.99％。

[0074] 实验 3、将实验 1 中的催化剂 93 改成由以下方法制备而得，其余内容同实验 1。

[0075] 催化剂 93 的活性成分为 CuO_2，载体为活性炭；制备方法见如下步骤：

[0076] 1)、用磨煤机将活性炭磨碎并筛分至 30 ～ 60 目后制成碳分子筛结构，并作为催化剂载体；

[0077] 2)、将硝酸铜在 50 ～ 70℃条件下搅拌使之溶解于分析纯级草酸溶液中，硝酸铜与草酸的物质的量之比为 1 ：(2 ～ 4)；

[0078] 3)、将步骤 1) 所得的载体浸泡在步骤 2) 所得的溶液中 12h ～ 24h，通过调节步骤 1) 中的载体与步骤 2) 中溶液量来保证活性成分与载体的重量比；

[0079] 4)、将步骤 3) 中得到的浸泡后的碳分子筛，在 50℃条件下真空干燥 12h 后，再在 110℃条件下干燥 6h 后；得到最终所需催化剂。

[0080] 从烟囱 8 排出的烟气中，SO_2 出口含量 150-200mg/m^3，NO_x 出口含量 75-90mg/m^3，烟尘含量为 20-27mg/m^3，脱除效率分别为脱硫效率 96-97％，脱硝效率为 85-87.5％，除尘效率为 99.9-99.99％。

[0081] 对比例 1、将静电除尘器 1 设置在静电增强型催化反应系统 2 之后，即，静电增强型催化反应器 9 的进口端直接与烟气相连，静电增强型催化反应器 9 的出口端依次连接静电除尘器 1 和布袋除尘器 3。其余完全等同于实施例 1。

[0082] 对比实验 1、利用对比例 1 所述的装置按照实验 1 进行实验：

[0083] 从烟囱 8 排出的烟气中，SO_2 出口含量为 200-250mg/m^3，NO_x 出口含量 120-160mg/m^3，烟尘含量为 120-150mg/m^3，脱除效率分别为脱硫效率 95-96％，脱硝效率为 73.3-80％，除尘效率为 99.4-99.6％。

[0084] 对比实验 2、将对比实验 1 中所用的催化剂 93 改成实施例 2 所制备的催化剂，其余同对比实验 1。

[0085] 从烟囱 8 排出的烟气中，SO_2 出口含量 200-250mg/m^3，NO_x 出口含量 160-200mg/m^3，烟尘含量为 120-150mg/m^3，脱除效率分别为脱硫效率 95-96％，脱硝效率为 70-75％，除尘效率为 99.4-99.6％。

[0086] 对比实验3、将对比实验1中所用的催化剂93改成实施例3所制备的催化剂，其余同对比实验1。

[0087] 从烟囱8排出的烟气中，SO_2出口含量200-250mg/m^3，NO_x出口含量150-180mg/m^3，烟尘含量为120-150mg/m^3，脱除效率分别为脱硫效率95-96％，脱硝效率为66.7-73.3％，除尘效率为99.4-99.6％。

[0088] 对比实验4、将对比实验1中所用的催化剂93改成商用钒钛催化剂，其余同对比实验1。

[0089] 从烟囱8排出的烟气中，SO_2出口含量200-250mg/m^3，NO_x出口含量100-150mg/m^3，烟尘含量为120-150mg/m^3，脱除效率分别为脱硫效率95-96％，脱硝效率为75-83.3％，除尘效率为99.4-99.6％。

[0090] 根据上述实验和对比实验的数据，我们可以得知：本发明的脱硫效率均大于96％，脱硝效率均大于85％，除尘效率均大于99.9％，三种污染物的脱除效率均高于相对应的对比实验1～对比实验3。同时本发明还能使催化剂寿命提高20％以上，运行费用降低了15％以上。

[0091] 最后，还需要注意的是，以上列举的仅是本发明的若干个具体实施例。显然，本发明不限于以上实施例，还可以有许多变形。本领域的普通技术人员能从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形，均应认为是本发明的保护范围。

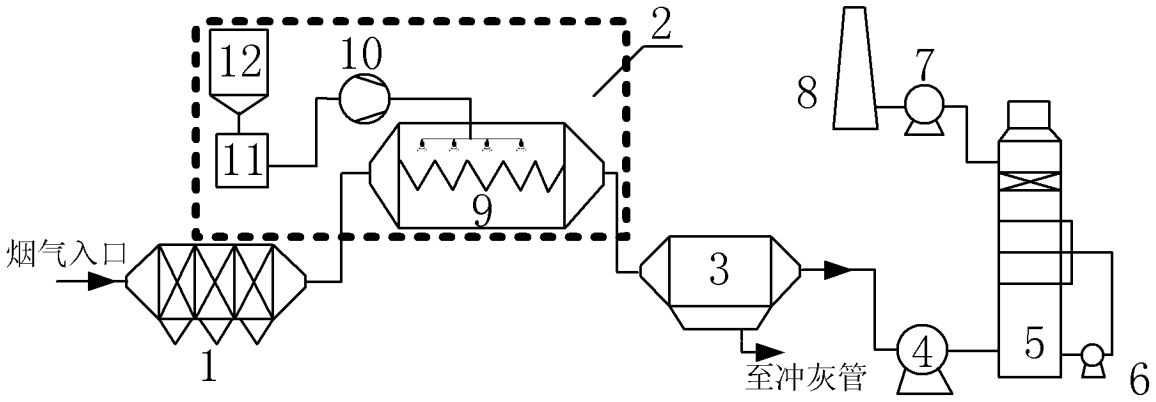


图 1

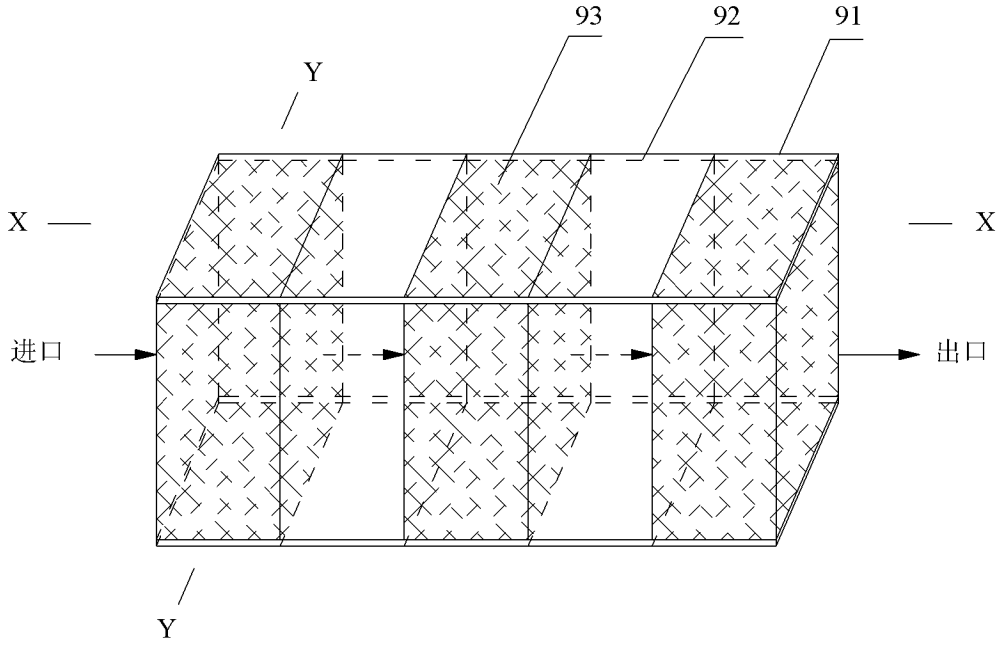
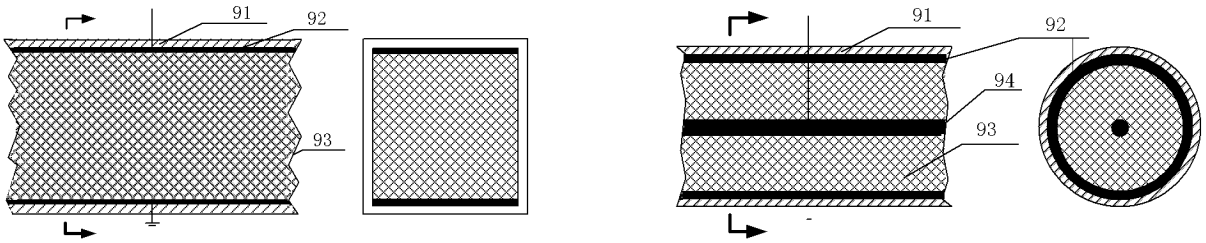
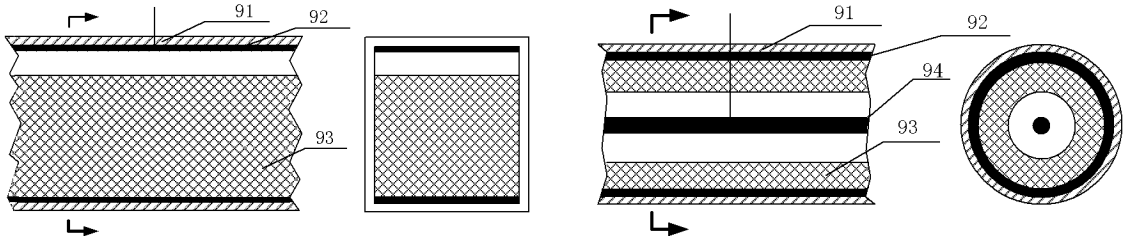


图 2



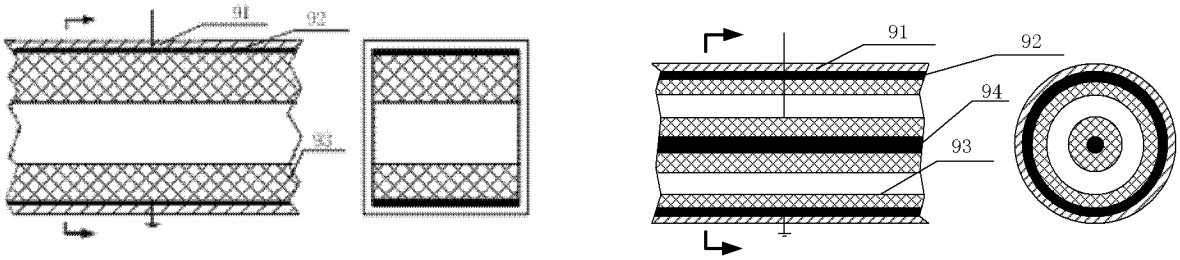
A1 A2

充满型



B1 B2

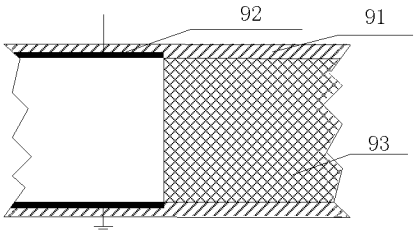
单层型



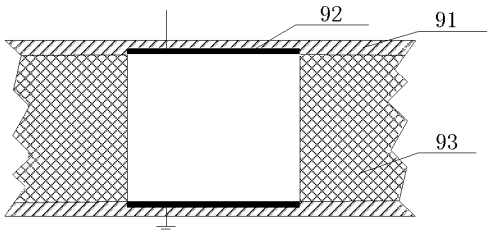
C1 C2

双层型

图 3

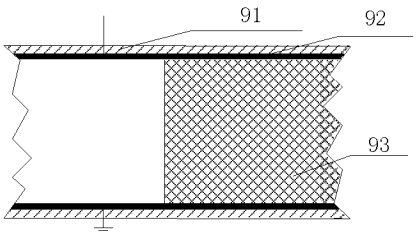


A1

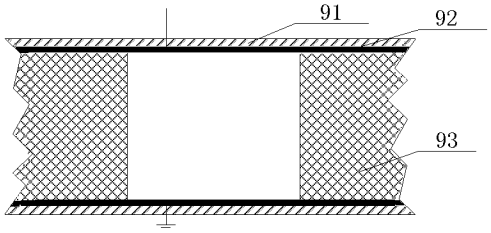


A2

交叉型



B1



B2

贯穿型

图 4