

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B01D 53/78 (2006.01)

B01D 53/60 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710052877.5

[45] 授权公告日 2009年10月21日

[11] 授权公告号 CN 100551496C

[22] 申请日 2007.8.2

[21] 申请号 200710052877.5

[73] 专利权人 武汉凯迪电力环保有限公司

地址 430223 湖北省武汉市东湖新技术开发区江夏大道特1号凯迪大厦

[72] 发明人 高翔鹏 余福胜 韩旭 徐尹生
李雄浩 徐志安 李瑞鑫 朱敬

[56] 参考文献

CN1562444A 2005.1.12

CN1589954A 2005.3.9

氨法烟气脱硫技术综述. 徐长香, 傅国光. 电力环境保护, 第21卷第2期. 2005

燃煤可吸入颗粒物在磁场中聚并脱除机理. 李永旺, 赵长遂, 吴新, 鲁端峰, 韩松. 化工学报, 第58卷第4期. 2007

谈谈磁力除尘. 孙耀斌. 铁道劳动安全卫生与环保, 第1期. 1981

审查员 武立民

[74] 专利代理机构 武汉开元知识产权代理有限公司

代理人 胡镇西

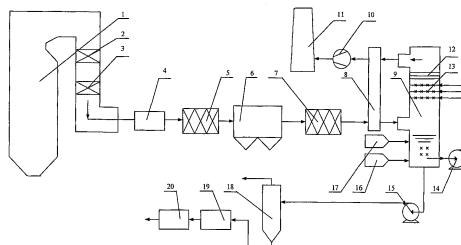
权利要求书2页 说明书9页 附图1页

[54] 发明名称

联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化工艺及其系统

[57] 摘要

一种联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化工艺及其系统。该工艺首先通过高梯度磁场和颗粒团聚促进剂的双重作用,使烟气中的小颗粒团聚成大颗粒,再通过静电除尘装置将所团聚的大颗粒脱除,然后采用双氧水对烟气中的一氧化氮进行氧化,使之转化成二氧化氮,最后通过湿式氨法工艺吸收烟气中的二氧化硫和二氧化氮。其系统由依次串联布置的高梯度磁场发生器、颗粒团聚促进剂喷射装置、静电除尘器、氧化剂喷射装置和反应吸收塔组成。反应吸收塔的排浆口可直接与旋流分离器、脱水器和干燥器构成的副产物处理系统相连。其能有效提高吸收剂的利用率,同时脱除烟气中的可吸入颗粒物、硫氧化物和氮氧化物,且工艺简单、系统简化、投资及运行成本低廉。



1. 一种联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化工艺, 依次包括如下步骤:

1) 将燃煤锅炉所产生的烟气导入一个磁场梯度大小在 $5.8 \times 10^2 \sim 5.8 \times 10^3 \text{mT/cm}$ 之间、磁场方向垂直于烟气流动方向的高梯度磁场中, 使烟气中的大部分小颗粒在高梯度磁场的作用下团聚成大颗粒, 实现小颗粒的初级团聚;

2) 采用黄原胶和磷酸的混合水溶液作为颗粒物的深度团聚促进剂, 将其均匀喷射到经过初级团聚处理的烟气中, 使烟气中残存的小颗粒也团聚成大颗粒, 基本上实现小颗粒的完全团聚;

3) 将经过完全团聚处理的烟气导入静电除尘器中, 脱除其中团聚的大颗粒污染物;

4) 采用双氧水 H_2O_2 作为氧化剂, 以空气作为雾化介质, 将其均匀喷射到经过除尘处理的烟气中, 使烟气中的一氧化氮 NO 与双氧水发生化学反应, 生成二氧化氮 NO_2 ;

5) 将经过氧化处理的烟气导入湿式氨法脱硫系统中, 以硫酸铵/亚硫酸铵的混合浆液作为脱硫脱硝吸收剂, 使烟气中的二氧化硫 SO_2 和二氧化氮 NO_2 分别与硫酸铵/亚硫酸铵浆液发生化学反应, 并通过补充氨水的中和作用, 生成硫酸铵、亚硫酸铵、硝酸铵和亚硝酸铵混合物;

6) 采用空气作为氧化剂, 对经过脱硫脱硝反应的吸收剂浆液进行强制氧化, 使其中的亚硫酸铵和亚硝酸铵转化成硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和硝酸铵 NH_4NO_3 ;

7) 对经过脱硫脱硝反应的烟气进行除雾处理, 脱除烟气中所携带的液滴, 同时分离出洁净的烟气。

2. 根据权利要求 1 所述的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气洁净工艺, 其特征在于: 所说的步骤 2) 中, 选用质量百分比浓度为 0.1~1% 的黄原胶溶液与质量百分比浓度 0.5~5% 的磷酸溶液, 按照质量比为 1:1 的比例混合成深度团聚促进剂, 其喷射量与烟气流量的体积百分比控制在 0.05~1% 的范围内。

3. 根据权利要求 1 所述的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气洁净工艺, 其特征在于: 所说的步骤 4) 中, 一氧化氮与双氧水的反应温度控制在 110~130℃ 的范围内。

4. 根据权利要求1所述的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气洁净工艺,其特征在于:所说的步骤4)中,选用质量百分比浓度为5~10%的双氧水,其喷射量按以下比例确定:双氧水与烟气中的一氧化氮的摩尔比为1.1~1.2。

5. 根据权利要求1所述的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气洁净工艺,其特征在于:所说的步骤5)中,脱硫脱硝剂氨水的补给量按以下比例确定:脱硫所需的氨水与烟气中二氧化硫的摩尔比为2.1~2.3,脱硝所需的氨水与烟气中二氧化氮的摩尔比为1.1~1.3。

6. 一种采用权利要求1所述工艺而专门设计的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气洁净系统,包括对燃煤锅炉(1)所排放烟气进行预除尘处理的静电除尘器(6)和对烟气进行脱硫脱硝处理的反应吸收塔(9),其特征在于:所述燃煤锅炉(1)排烟口与静电除尘器(6)进口之间的烟道上依次串联设置有高梯度磁场发生器(4)和颗粒团聚促进剂喷射装置(5),所述静电除尘器(6)出口与氧化剂喷射装置(7)的进口连接,氧化剂喷射装置(7)的出口通过烟气换热器(8)与反应吸收塔(9)的进口相连;所述反应吸收塔(9)自下而上依次设有底部浆液池区、下部烟气输入区、中部吸收剂喷淋区以及上部烟气除雾区,其中:反应吸收塔(9)的底部浆液池区连接有氨水补给装置(16)和空气给进装置(17),反应吸收塔(9)的下部烟气输入区设置有烟气进口,反应吸收塔(9)的中部吸收剂喷淋区布置有吸收剂浆液喷淋层(13),反应吸收塔(9)的上部烟气除雾区布置有除雾器(12),反应吸收塔(9)的底部浆液池区与吸收剂浆液喷淋层(13)之间通过外置的浆液循环泵(14)相连。

7. 根据权利要求6所述的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气洁净系统,其特征在于:所说的反应吸收塔(9)的底部排浆口通过排浆泵(15)与旋流分离器(18)的进口相连,旋流分离器(18)的底流口与脱水器(19)的进口相连,脱水器(19)的固体出口与干燥器(20)相连。

联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化工艺及其系统

技术领域

本发明涉及燃煤电站的烟气净化处理技术，具体地指一种联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化工艺及其系统。

背景技术

煤是中国目前及今后相当长一段时期内电站燃料的主体。煤粉燃烧在提供必需的热源和电力资源的同时，会带来严重的可吸入颗粒物（空气动力学直径小于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物，简称 PM_{10} ）、二氧化硫 SO_2 和氮氧化物 NO_x 污染。据统计：2005 年我国燃煤电站排放可吸入颗粒物 PM_{10} 的总量占发电用煤量的 1.2~1.5%，约为 6.34~7.92 万吨；同年，燃煤电站排放二氧化硫 SO_2 的总量高达 2549 万吨。2002 年我国燃煤电站排放的氮氧化物 NO_x 总量约为 520 万吨。这些污染物对环境和人体健康造成了严重的危害：可吸入颗粒物 PM_{10} 由于其具有较大的比表面积，富集了大量的有毒重金属和有机物，并且能在空气中长时间停留，可引发大气能见度降低、城市空气质量下降、气温降低、植物生长缓慢等一系列环境问题，同时可对人体的呼吸系统、心血管系统、生殖系统和神经系统造成广泛的损害。二氧化硫 SO_2 排放所造成的酸雨给我国生态环境和工农业生产带来了巨大的损失，当前我国的酸雨区域已经接近国土面积的 40%。氮氧化物 NO_x 主要由约占总量 95% 的一氧化氮 NO 和约占总量 5% 的二氧化氮 NO_2 组成，它们对人体的毒性很大，也损害植物，形成光化学烟雾等。鉴于上述污染物的巨大排放量及其严重危害，从根本上控制其排放迫在眉睫。

目前，用于燃煤电站的烟气净化技术，如烟气除尘、烟气脱硫和烟气脱硝等大都是单独进行技术开发，形成各自的技术体系和工艺流程。国内外燃煤电厂为了达到环保排放的要求，除去烟气中的 SO_2 、 NO_x 和粉尘，绝大多数采用至少两套以上独立的除尘系统、脱硫系统或脱硝系统。

对于烟气中可吸入颗粒物的脱除技术，传统的除尘设备如静电除尘器对大颗粒有很高的收集效率，可以达到 99% 以上，但对数目众多的小

颗粒的收集效率却很低，特别是对亚微米颗粒（空气动力学直径小于 $1.0\mu\text{m}$ 的颗粒物）的收集效率会显著降低，导致大量飞灰颗粒直接排入大气中。对于可吸入颗粒物 PM_{10} 的脱除技术，其主导思想是通过颗粒物施加外力场如温度场、电场和磁场等，使小颗粒团聚或凝结成大颗粒，便于后续的除尘设备脱除。此外，还有利用相变凝结或添加团聚剂来促进可吸入颗粒物 PM_{10} 团聚的技术。例如，公开号为CN1663668A和CN1872423A的中国发明专利申请公开说明书分别介绍了一种非能动翅片管可吸入颗粒物脱除塔和一种微细颗粒物热泳式旋风分离器，两者均是利用热泳技术来促进小颗粒团聚，其主要特点是利用烟气与烟道管壁的温度差形成热泳段，促使颗粒向低温管壁移动，达到小颗粒团聚的目的。但它们均需要在烟道管壁设置水冷装置，其工艺装置复杂，而且依靠单一的热泳技术，对烟气的流速以及管道的尺寸等都有严格的要求，其对小颗粒的团聚效率并不高。公开号为CN1562444A的中国发明专利申请公开说明书提出了一种燃煤超细颗粒物团聚促进方法及其装置，采用在除尘器前的烟道内喷入团聚剂的方法来促进小颗粒团聚为大颗粒，其优点是结构相对简单、成本较低、占地面积较小，但其对小颗粒的团聚效率也不高，仅有35%左右。

对于烟气脱硝技术而言，传统的方法主要有选择性催化还原法（SCR）和选择性非催化还原法（SNCR），SCR法虽然可以实现很高的脱硝效率，满足严格的烟气排放标准，但其工艺和设备系统复杂，且需要特殊的催化剂，整个系统投资与运行成本偏高。SNCR法虽然工艺和设备系统简单，投资和运行成本较低，但其脱硝效率不高，有时很难达到国家排放标准的要求。

对于烟气脱硫技术而言，传统的方法主要有石灰石—石膏法、海水脱硫法、循环流化床干式烟气脱硫法和湿式氨法烟气脱硫法等等。石灰石—石膏法和海水脱硫法存在占地面积大、系统复杂、能耗和运行成本高的缺陷。循环流化床干式烟气脱硫法虽然系统简单、占地面积小、运行成本低，但其对脱硫剂的质量要求较高，且脱硫副产品亚硫酸钙很难综合利用。湿式氨法脱硫技术具有占地面积小、投资和运行费用低、脱硫副产品为有价值的化学原料和农作物化肥等优点，但其脱硝效率很低。

为了解决上述问题，公告号为CN2712446Y和CN2746971Y的中

国实用新型专利说明书分别提出了一种《烟气脱硫脱硝装置》和《脱硫脱硝一体化烟气净化塔》，但其脱硫脱硝设备均为体积笨大的填料装置，且直接采用氨水溶液来吸收烟气中的氮氧化物 NO_x ，不仅使整个脱硫脱硝设备的阻力大幅增加，而且也不能有效地除去烟气中的 NO_x 。这是因为 NO_x 组份中 90%以上为一氧化氮 NO ，而 NO 很难溶于水，采用简单的洗涤法很难将 NO 吸收。

由此可见，采用两套以上独立的脱硫和脱硝系统不仅烟气净化设备复杂、占地面积大、建设与运行费用高，而且将这些独立的脱硫、脱硝和除尘系统合理组合起来实现综合高效运行还存在许多困难。

发明内容

本发明的目的就是要提供一种联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化工艺及其系统。采用该工艺及系统能够有效提高吸收剂的利用率，同时脱除烟气中的可吸入颗粒物、硫氧化物和氮氧化物，同时其工艺流程简单、系统结构简化、投资及运行成本低廉。

为实现上述目的，本发明将多个工艺步骤有机结合为一体，相互协同作用，分层次实现烟气中小颗粒的团聚与脱除、一氧化氮的氧化和脱硫脱硝处理。所设计的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化工艺，通过高梯度磁场和颗粒团聚促进剂的双重作用，使烟气中的小颗粒团聚成大颗粒后通过静电除尘装置将所团聚的大颗粒脱除，同时采用氧化剂双氧水 H_2O_2 对烟气中的一氧化氮 NO 进行氧化，使之转化成二氧化氮 NO_2 ，最后通过湿式氨法工艺吸收烟气中的二氧化硫 SO_2 和二氧化氮 NO_2 。其具体工艺过程包括如下步骤：

1) 将燃煤锅炉所产生的烟气导入一个高梯度磁场中，使烟气中的大部分小颗粒在高梯度磁场的作用下团聚成大颗粒，实现小颗粒的初级团聚；

2) 采用黄原胶和磷酸的混合水溶液作为颗粒物的深度团聚促进剂，将其均匀喷射到经过初级团聚处理的烟气中，使烟气中残存的小颗粒也团聚成大颗粒，基本上实现小颗粒的完全团聚；

3) 将经过完全团聚处理的烟气导入静电除尘器中，脱除其中团聚的大颗粒污染物；

4) 采用双氧水 H_2O_2 作为氧化剂，以空气作为雾化介质，将其均匀喷射到经过除尘处理的烟气中，使烟气中的一氧化氮 NO 与双氧水发生

化学反应，生成二氧化氮 NO_2 ；

5) 将经过氧化处理的烟气导入湿式氨法脱硫系统中，以硫酸铵/亚硫酸铵的混合浆液作为脱硫脱硝吸收剂，使烟气中的二氧化硫 SO_2 和二氧化氮 NO_2 分别与硫酸铵/亚硫酸铵浆液发生化学反应，并通过补充氨水的中和作用，生成硫酸铵 $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ 、亚硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 、硝酸铵 NH_4NO_3 和亚硝酸铵 NH_4NO_2 混合物；

6) 采用空气作为氧化剂，对经过脱硫脱硝反应的吸收剂浆液进行强制氧化，使其中的亚硫酸铵和亚硝酸铵转化成硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和硝酸铵 NH_4NO_3 ；

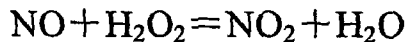
7) 对经过脱硫脱硝反应的烟气进行除雾处理，脱除烟气中所携带的液滴，同时分离出洁净的烟气。

在上述步骤 1) 中，由于燃煤可吸入颗粒物中含有一定量的磁性物质，如铁氧化物 Fe_3O_4 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 等，而 Fe_3O_4 和 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 易于磁化，且具有较高的饱和磁化强度，因此，在高梯度磁场作用下，具有磁性的颗粒物饱和磁化，使其能够吸附其它细小的颗粒物，从而实现小颗粒的初级团聚，以有效提高静电除尘器对它的脱除效率。优选高梯度磁场的磁场梯度在 $5.8 \times 10^2 \sim 5.8 \times 10^3$ mT/cm 之间，在此范围内既可以满足烟气中细小颗粒物的初级团聚，又降低了磁场发生装置的能耗；所述高梯度磁场的方向垂直于烟气流动方向，施加磁场的区域大小由需要进行初级团聚的细小颗粒物在烟气中的含量决定，一般在沿着烟气流动方向 1~3m 的范围内施加高梯度磁场即可满足小颗粒初级团聚的要求。

在上述步骤 2) 中，优选质量百分比浓度为 0.1~1% 的黄原胶溶液与质量百分比浓度 0.5~5% 的磷酸溶液，按照质量比为 1:1 的比例混合成深度团聚促进剂，其喷射量与烟气流量的体积百分比控制在 0.05~1% 的范围内。这样，可以在保证较高的团聚效率的前提下，喷入的团聚促进剂浆液对烟气温度的影响不超过 15°C 。上述团聚促进剂经过喷射雾化后会形成有一定扩散角度、且表面具有较高粘附活性的雾云，该雾云吸附在飞灰颗粒表面，首先在颗粒之间形成液桥，进而转化为固桥，可促进飞灰颗粒的深度团聚，使绝大部分的细小颗粒团聚成大颗粒，从而大幅提高后续静电除尘器对细小颗粒特别是可吸入颗粒污染物的脱除效率。

在上述步骤 4) 中，优选质量百分比浓度为 5~10% 的双氧水，其喷

射量按以下比例确定：双氧水与烟气中的一氧化氮的摩尔比为 1.0~1.2。并且，一氧化氮与双氧水的反应温度优选控制在 110~130℃ 的范围内，最好为 115~125℃。其化学反应的方程式如下：



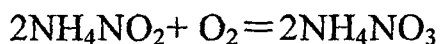
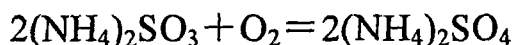
这样，双氧水可以在匹配的剂量和合适的温度下与烟气中的一氧化氮发生快速、充分的反应，将绝大部分的一氧化氮转化为二氧化氮，从而提高整个工艺的脱硝效率。

在上述步骤 5) 中，脱硫脱硝剂氨水的最佳补给量按以下比例确定：脱硫所需的氨水与烟气中二氧化硫 SO_2 的摩尔比为 2.1~2.3，脱硝所需的氨水与烟气中二氧化氮 NO_2 的摩尔比为 1.1~1.3。烟气中的二氧化硫 SO_2 和二氧化氮 NO_2 首先溶解于水 H_2O ，生成亚硫酸 H_2SO_3 、硝酸 HNO_3 和亚硝酸 HNO_2 ，生成物再与吸收剂浆液中的硫酸铵/亚硫酸铵发生反应，生成硫酸氢铵 NH_4HSO_4 、亚硫酸氢铵 NH_4HSO_3 、硝酸铵 NH_4NO_3 和亚硝酸铵 NH_4NO_2 ，来脱除烟气中的二氧化硫 SO_2 和二氧化氮 NO_2 。其化学反应的方程式如下：

- (1) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_3$
- (2) $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$
- (3) $\text{H}_2\text{SO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{NH}_4\text{HSO}_3$
- (4) $\text{H}_2\text{SO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 = 2\text{NH}_4\text{HSO}_3$
- (5) $\text{HNO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{HSO}_4$
- (6) $\text{HNO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{HSO}_3$
- (7) $\text{HNO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \text{NH}_4\text{NO}_2 + \text{NH}_4\text{HSO}_4$
- (8) $\text{HNO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_2 + \text{NH}_4\text{HSO}_3$

优选浓度为 28% 的氨水从反应吸收塔的底部注入，中和酸性物质，控制反应吸收塔内吸收剂浆液的 pH 值为 5.0~5.9。这样，一方面从需要量的角度保证了吸收剂与氮氧化物和二氧化硫完全、充分反应，另一方面也避免了投入过多吸收剂而产生的新污染和资源浪费。

在上述步骤 6) 中，氧化空气也从吸收塔的底部注入，将亚硫酸铵和亚硝酸铵氧化成为硫酸铵和硝酸铵，其化学反应方程式如下：



氧化所生成的硫酸铵和硝酸铵浆液从湿式氨法脱硫系统排出后，可

直接进行旋流分离、脱水、干燥等工艺处理，获得硫酸铵和硝酸铵复合化肥，实现脱硫脱硝产物的无害化和资源化利用。

为实现上述工艺而专门设计的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气洁净系统，包括对燃煤锅炉所排放烟气进行除尘处理的静电除尘器、对烟气进行脱硫脱硝处理的反应吸收塔，所述燃煤锅炉排烟口与静电除尘器进口之间的烟道上依次串联设置有高梯度磁场发生器和颗粒团聚促进剂喷射装置，所述静电除尘器的出口设置氧化剂喷射装置，所述氧化剂喷射装置的出口与反应吸收塔的进口连接。所述反应吸收塔自下而上依次设有底部浆液池区、下部烟气输入区、中部吸收剂喷淋区以及上部烟气除雾区，其中：反应吸收塔的底部浆液池区连接有氨水补给装置和空气给进装置，反应吸收塔的下部烟气输入区设置有烟气进口，反应吸收塔的中部吸收剂喷淋区布置有吸收剂浆液喷淋层，反应吸收塔的上部烟气除雾区布置有除雾器，反应吸收塔的底部浆液池区与吸收剂浆液喷淋层之间通过外置的浆液循环泵相连。

进一步地，所述反应吸收塔的底部排浆口直接通过排浆泵与旋流分离器的进口相连，旋流分离器的底流口与脱水器的进口相连，脱水器的固体出口与干燥器相连。

与现有技术相比，本发明具有如下优点：

其一，本发明将脱除燃煤烟气中的可吸入颗粒物、硫氧化物、氮氧化物等多种污染物的工艺和装置有机地组合成一个完整的工艺体系，既简化了工艺流程和系统结构、减小了设备占地面积，又大幅降低了设备的投资和运行费用。

其二，本发明通过施加高梯度磁场和采用喷射团聚促进剂联合作用方式，极大地提高了烟气中小颗粒的团聚率，通过二者的叠加作用，小颗粒的团聚率可达85%以上，团聚后形成的大颗粒可以通过静电除尘器高效脱除，极大地降低了颗粒污染烟尘的排放。同时，其后续的湿式氨法吸收工艺还可以进一步脱除烟气中残存的可吸入颗粒物，最终使所排放烟气中可吸入颗粒物的浓度降低到 $0.1\sim 0.4\text{mg}/\text{m}^3$ 的水平。

其三，本发明通过氧化剂双氧水将烟气中含量在95%以上的一氧化氮氧化成为二氧化氮，再采用硫酸铵/亚硫酸铵作为吸收剂同时脱除烟气中的二氧化硫和二氧化氮。由于二氧化氮更容易被硫酸铵/亚硫酸铵吸收，有效克服了传统湿式氨法烟气脱硫脱硝技术中脱硝效率低下的不

足。

其四，本发明的脱硫脱硝副产物为固态的硫酸铵和硝酸铵复合化肥，其纯度可大于 99%，具有良好的市场前景，特别符合我国作为农业大国的国情。

综上所述，本发明具有投资小、能耗低、工艺系统简单、运行成本低、吸收剂利用率高、运行可靠性、以及脱除颗粒物、硫氧化物和氮氧化物的效率高、脱硫脱硝副产物资源化利用等优点。其可吸入颗粒物的脱除效率可达 98%以上，脱硫效率可达 95%以上，脱硝效率可达 90%以上，经过处理的烟气完全符合燃煤烟气污染物排放的国家标准。

附图说明

附图作为一种联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化系统的结构示意图。

具体实施方式

以下针对一台燃煤锅炉机组，结合附图和具体实施例对本发明作进一步的详细描述：

图中所示的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气洁净系统，由高梯度磁场发生器 4、颗粒团聚促进剂喷射装置 5 和静电除尘器 6 及其连接烟道等构成两级颗粒物团聚和脱除系统；由氧化剂喷射装置 7 及其连接烟道构成一氧化氮氧化系统；由烟气换热器 8、反应吸收塔 9、引风机 10 和烟囱 11 等设备及其连接烟道构成脱硫脱硝系统；由旋流分离器 18、脱水器 19 和干燥器 20 等设备及其连接管道构成脱硫脱硝副产物处理系统。

高梯度磁场发生器 4 和颗粒团聚促进剂喷射装置 5 依次串联设置在燃煤锅炉 1 排烟口与静电除尘器 6 进口之间的烟道上，静电除尘器 6 出口与氧化剂喷射装置 7 的进口连接，氧化剂喷射装置 7 的出口通过烟气换热器 8 与反应吸收塔 9 的进口相连。反应吸收塔 9 为筒形结构，自下而上依次设有底部浆液池区、下部烟气输入区、中部吸收剂喷淋区以及上部烟气除雾区，其中：反应吸收塔 9 的底部浆液池区连接有氨水补给装置 16 和空气给进装置 17，反应吸收塔 9 的下部烟气输入区设置有烟气进口，反应吸收塔 9 的中部吸收剂喷淋区布置有吸收剂浆液喷淋层 13，反应吸收塔 9 的上部烟气除雾区布置有除雾器 12，反应吸收塔 9 的顶部烟气出口通过烟气换热器 8、引风机 10 与烟囱 11 相连，反应吸

收塔 9 的底部浆液池区与吸收剂浆液喷淋层 13 之间通过外置的浆液循环泵 14 相连，以确保吸收剂浆液不间断循环。

反应吸收塔 9 的底部排浆口通过排浆泵 15 与旋流分离器 18 的进口相连，旋流分离器 18 的底流口与脱水器 19 的进口相连，脱水器 19 的固体出口与干燥器 20 相连。

本发明的联合脱除多种污染物的湿式氨法烟气净化工艺过程是这样的：

首先，从燃煤锅炉 1 产生的烟气通过省煤器 2、空气预热器 3 后，在高梯度磁场发生器 4 产生的高梯度磁场的作用下，烟气中具有磁性的含铁颗粒饱和磁化，吸附其它细小的颗粒物，完成烟气中小颗粒的初级团聚。优选高梯度磁场的磁场梯度在 $5.8 \times 10^2 \sim 5.8 \times 10^3$ mT/cm 之间，磁场方向垂直于烟气流动方向。

其次，经过颗粒初级团聚处理的烟气进入到颗粒团聚促进剂喷射装置 5 中，通过雾化的深度颗粒团聚促进剂对其中的颗粒进行深度团聚，最终使小颗粒团聚成大颗粒。深度团聚促进剂选用质量百分比浓度为 0.5% 的黄原胶溶液与质量百分比浓度 1.5~3.5% 的磷酸溶液，按照质量比为 1:1 的比例混合成，其喷射量与烟气流量的体积百分比控制在 0.1~0.5% 的范围内。

再次，经过深度团聚处理的烟气进入静电除尘器 6 中，脱除其中所团聚的大颗粒污染物后，进入到氧化剂喷射装置 7 中，氧化剂喷射装置 7 向烟气中喷入质量百分比浓度为 5~10% 的双氧水 H_2O_2 ，经过空气雾化后，与烟气中的一氧化氮 NO 发生反应，所喷入的双氧水量与烟气中的一氧化氮 NO 的摩尔比为 1.1~1.2，以保证烟气中的一氧化氮 NO 被充分氧化成二氧化氮 NO_2 。

然后，经过除尘和氧化处理的烟气通过烟气换热器 8 进入反应吸收塔 9 中，与从吸收剂浆液喷淋层 13 喷出的硫酸铵/亚硫酸铵浆液逆向接触，发生激烈的气液两相反应，使烟气中的二氧化硫和二氧化氮转化成亚硫酸铵、亚硝酸铵和硝酸铵。其中，脱硫所需的吸收剂量与烟气中二氧化硫的摩尔比为 2.1~2.3，脱硝所需的吸收剂量与烟气中二氧化氮的摩尔比为 1.1~1.3，以保证烟气中的二氧化硫和二氧化氮被充分吸收。

再后，所生成的亚硫酸铵、硝酸铵和亚硝酸铵混合物浆液落入反应吸收塔 9 的底部浆液池区，被空气给进装置 17 喷入的空气强制氧化，其

中的亚硫酸铵转化为硫酸铵，亚硝酸铵转化为硝酸铵。含硫酸铵和硝酸铵的浆液从反应吸收塔 9 底部的排浆口输出，由排浆泵 15 送至旋流分离器 18，旋流分离器 18 的底流进入脱水器 19 中进行脱水，脱水后的物料进入干燥器 20 进行干燥处理，得到副产品硫酸铵/硝酸铵复合化肥。

最后，经过除尘、脱硫、脱硝处理的烟气通过反应吸收塔 9 上部的除雾器 12，脱除烟气中所携带的液滴，所分离出的洁净烟气由顶部烟气出口排出，经过烟气换热器 8 将温度升到 80℃左右，再由引风机 10 抽送至烟囱 11。

