

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利说明书

*B01D 53/75 (2006.01)*

*B01D 53/60 (2006.01)*

*B01D 53/64 (2006.01)*

专利号 ZL 200710021748.X

[45] 授权公告日 2009年6月24日

[11] 授权公告号 CN 100503013C

[22] 申请日 2007.4.27

[21] 申请号 200710021748.X

[73] 专利权人 南京师范大学

地址 210097 江苏省南京市宁海路122号

[72] 发明人 卢平

[56] 参考文献

WO2005/118113A1 2005.12.15

CN2501564Y 2002.7.24

审查员 刘辉

[74] 专利代理机构 南京知识律师事务所

代理人 程化铭

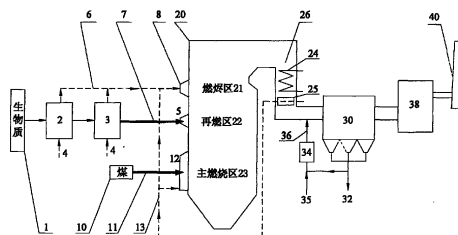
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

## [54] 发明名称

利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 的方法及系统

## [57] 摘要

本发明公开了一种利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 的方法，主燃区燃烧过程中生成的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和释放的汞进入燃烧产生的烟气中后，在再燃区内燃烧生物质燃料，还原主燃区内生成的  $\text{NO}_x$ ；在燃烬区内喷入空气和生物质制备过程中的乏气；随着温度的降低，利用燃烧过程中释放的氯和产生的飞灰与生物质焦的共同作用，在燃烧设备的尾部烟道中氧化和吸附烟气中的汞，在烟气处理装置中收集吸附汞的飞灰，再结合烟气脱硫装置脱除烟气中的  $\text{SO}_2$ 。本发明还公开了实施本方法的系统。本发明方法和系统可以提高锅炉燃烧效率，对主燃烧器基本不作改动，投资省，运行费用低；实现了燃煤烟气中多种污染物的联合脱除，可以显著降低  $\text{NO}_x$ 、Hg、 $\text{SO}_2$  等污染物排放。



1、一种利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 的装置，包括炉膛（20），炉膛由下到上依次分为主燃烧区（21）、再燃区（22）和燃烬区（23），其特征是：煤粉（10）通过一次风管（11）送入主燃区（21）；生物质（1）经过干燥装置（2）干燥、粉磨装置（3）粉磨预处理后，送入再燃区（22）；生物质乏气管（6）和热风输送管（13）与燃烬区（23）连接，提供燃料完全燃烧所需的燃烬风；炉膛内燃烧生成的烟气和飞灰依次经过尾部烟道（26）中的省煤器（24）、空气预热器（25）、烟气除尘系统（30）和烟气脱硫装置（38）后排放。

2、根据权利要求 1 所述的利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 的装置，其特征是：由烟气除尘系统（30）收集的飞灰通过再循环装置（34）喷入空气预热器（25）下游的烟道中。

利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和 Hg 的方法及系统

## 技术领域

本发明涉及一种利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和 Hg 的方法及系统，属于燃烧技术领域。

## 背景技术

煤炭是当今世界的主要能源之一，占世界总能源消耗的 27%。煤炭（特别是电站燃煤）的大量利用，导致 SO<sub>2</sub>和 NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>和重金属汞等排放量不断增加，造成严重环境污染。我国是以煤为主的能源消耗大国，据估算，2000 年燃煤汞排放量约为 300 t，其中大气排放量约为 161~220 t，已成为第一大汞污染源，目前，由燃煤所产生的 SO<sub>2</sub>约占总排放量的 90%，CO<sub>2</sub>占 85%，NO<sub>x</sub>占 70%；这使得我国面临着更严峻的燃煤污染。

对于燃煤烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>的脱除技术较为成熟，控制 SO<sub>2</sub>技术主要包括：燃烧前脱硫（如：洗选、生物脱硫、微波脱硫等）、燃烧中脱硫（流化床燃烧技术、炉内喷钙尾部增湿活化技术）和烟气脱硫（如：湿法烟气脱硫、喷雾干燥法烟气脱硫、循环流化床烟气脱硫）。控制 NO<sub>x</sub>的方法有燃烧改进和尾部烟气脱硝两大类，主要包括：低 NO<sub>x</sub>燃烧器技术、燃料再燃技术、选择性非催化还原 SNCR、选择性催化还原 SCR。目前，燃煤电厂烟气联合脱硫脱硝技术主要采用湿式烟气脱硫(Wet-FGD) 和 NH<sub>3</sub>选择性催化还原 (SCR)相结合的技术路线。

汞是煤矿产物的组成部分，在煤燃烧过程中，无论以何种形态存在的汞绝大部分都将转化为气态元素汞 (Hg<sup>0</sup>) 进入烟气中，在燃烧室下游烟道中，随

着烟气温度的快速降低，部分元素态汞在各种氧化剂（飞灰）催化氧化下与烟气中其他成分（HCl、Cl<sub>2</sub>等）相互作用，形成元素态汞、氧化态（Hg<sup>2+</sup>）和颗粒态汞（Hg<sup>0</sup>）三种形式。研究表明，在碳基吸附材料（活性炭、飞灰）上，烟气中酸性组分（特别是 HCl、Cl<sub>2</sub>）对元素汞的氧化反应具有很强地促进作用。氧化态汞是水溶性的，很容易被吸收在高碳或高活性飞灰上，吸附在飞灰的汞能和飞灰一起被颗粒收集系统捕集而除去；氧化态汞也很容易被控制 SO<sub>2</sub> 排放的湿式洗涤装置除去。因此，当烟气中汞的氧化度越高，其控制越有效。烟煤中一般含有一定量的促进汞氧化的氯含量，然而低级煤的氯含量很低，因此低级煤燃烧产生的元素汞比烟煤或高氯煤燃烧产生的汞氧化度更小。

再燃烧技术作为一种有效的低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术，可以显著降低 NO<sub>x</sub> 排放，其技术主要特点是将炉内燃烧过程沿炉膛高度分成三个燃烧区，即主燃烧区、再燃区和燃烬区。它是利用燃料分级燃烧技术，将 75-85% 左右的燃料送入主燃烧区，在氧气充裕（即  $\alpha > 1$ ）的环境中燃烧生成 NO<sub>x</sub>，其余 15-25% 左右的燃料送入再燃区，形成缺氧的还原性气氛（ $\alpha < 1$ ）。主燃烧区内生成 NO<sub>x</sub> 在再燃区内还原性气氛中发生还原反应，迫使 NO<sub>x</sub> 还原为 N<sub>2</sub>，最后在再燃区的上部的燃烬区内补入部分空气，保证燃烧产物完全燃烧。再燃燃料有气体、液体和固体燃料，如天然气、油、煤和生物质等。天然气是最佳的再燃燃料，但是由于天然气价格较高，且储量有限，不适合大规模推广。近几年研究认为褐煤或褐煤焦也是一种很好的再燃燃料，但单纯采用煤粉再燃技术，对煤粉细度要求较高（通常  $< 10 \mu\text{m}$ ），且飞灰含炭量较大，影响燃烧效率，同时其 NO<sub>x</sub> 还原效率难以突破 60% 的瓶颈。通常条件下，燃煤烟气中的元素汞（Hg<sup>0</sup>）比例较高，难以在常规的烟气处理装置（如除尘系统和烟气脱硫装置）通过飞灰吸附和烟气洗涤的方式脱

除，因此，选择合适再燃燃料，增加烟气中氯含量，并产生高活性的飞灰，提高燃料再燃技术中  $\text{NO}_x$  还原效率和烟气中汞的氧化度，实现燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 等多种污染物的联合脱除是亟待解决的问题。

## 发明内容

本发明所要解决的技术问题在于，克服现有技术存在的缺陷，提供一种利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 的方法及系统。

本发明利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 的方法，主要涉及炉膛、锅炉尾部受热面和烟气处理系统，炉膛由下到上依次分为主燃烧区、再燃区和燃烬区，包括以下步骤：在主燃区内提供锅炉正常运行所需的燃料煤和空气，燃烧过程中生成的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和释放的汞进入燃烧产生的烟气中；在再燃区内燃烧生物质燃料，还原主燃区内生成的  $\text{NO}_x$ ；在燃烬区内喷入空气和生物质制备过程中的乏气；随着温度的降低，利用燃烧过程中释放的氯和产生的飞灰与生物质焦的共同作用，在燃烧设备的尾部烟道中氧化和吸附烟气中的汞，在烟气处理装置中收集吸附汞的飞灰，再结合烟气脱硫装置脱除烟气中的  $\text{SO}_2$ 。

本发明利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 的系统，包括炉膛，炉膛由下到上依次分为主燃烧区、再燃区和燃烬区，其特征是：煤粉通过一次风管送入主燃区；生物质经过干燥装置干燥、粉磨装置粉磨预处理后，送入再燃区；生物质乏气管和热风输送管与燃烬区连接，提供燃料完全燃烧所需的燃烬风；炉膛内燃烧生成的烟气和飞灰依次经过尾部烟道中的省煤器、空气预热器、烟气除尘系统和烟气脱流装置后排放；

由除尘系统收集的飞灰经处理后可以通过再循环装置喷入空气预热器下游

的烟道中，在飞灰循环时可以添加少量金属氧化物（如  $\text{CuO}$  或  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等），以增强元素汞的氧化度。

本发明实现生物质再燃联合控制燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和汞排放的理论基础是：

根据再燃过程中生物质挥发份析出和焦炭燃烧的特点，生物质灰份中碱金属（如钠、钾）通过生成自由基强化  $\text{NH}_3\text{-NO}$  的作用，解决了单纯煤粉再燃时燃烬差， $\text{NO}_x$  还原率低的问题，可以减少大幅度提高  $\text{NO}_x$  的还原效率，突破了常规再燃技术  $\text{NO}_x$  还原 60% 的瓶颈；其次通过控制再燃区过量空气系数和燃烬风量，可以控制飞灰中含碳量；另外，生物质再燃过程中释放的氯（ $\text{HCl}$  等）对烟气中的汞氧化具有很强的促进作用，提高了烟气中元素汞的氧化度，为汞在飞灰表面上的吸附提供了条件，达到了生物质再燃联合脱除烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和汞的目的。

本发明的优点：

- 1) 利用生物质燃料可以避免挥发份燃烧与焦炭燃烧之间的矛盾，显著改善燃烧状况，提高锅炉燃烧效率；
- 2) 在生物质分级燃烧工况下生成的高含氯烟气和高活性飞灰对汞的反应性和吸附性能更强；
- 3) 喷入点布置在燃烧器上部，对主燃烧器基本不作改动，对炉内燃烧影响不大，投资省，运行费用低；
- 4) 生物质再燃结合尾部烟气处理装置可以显著降低  $\text{NO}_x$ 、 $\text{Hg}$ 、 $\text{SO}_2$  等污染物排放 85% 以上。

## 附图说明

图 1 是利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 系统结构示意图 (采用湿式烟气洗涤装置脱硫)。

图 2 是利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 系统结构示意图 (采用干法烟气脱硫装置)。

## 具体实施方式

下面结合附图和实施例，对本发明作进一步详细说明。

### 实施例 1:

附图 1 是实施例 1 的结构示意图。利用生物质再燃联合脱除燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 Hg 的系统，电站锅炉炉膛 20 由下到上依次分为主燃烧区 21、再燃区 22 和燃烬区 23，煤粉 10 通过一次风管 11 与主燃区喷口 12 连接，喷入炉膛主燃区 23；生物质再燃燃料 1 送入生物质干燥装置 2，干燥后的生物质送入生物质粉磨装置 3，粉磨好的细生物质（粒度小于 1mm）经生物质输送管 7，由热风 4 携带输送到再燃燃料喷口 5，喷入炉膛再燃区 22；生物质干燥和粉磨后的乏气经乏气输送管 6 与燃烬风喷口 8 连接，喷入炉膛的燃烬区 21，不足的燃烬风由热风管 13 送入的热风补充。本方案采用生物质直吹式制备和输送系统，另外，生物质燃料预处理和输送系统还可以采用中间储仓式系统等其它备选方案。

在炉膛 20 内燃烧生成的烟气和飞灰经锅炉尾部烟道 26，依次流经省煤器 24 和空气预热器 25，高温烟气得到快速冷却，在合适的温度下（ $200^\circ\text{C}$  以下），烟气中元素汞在烟气组分和飞灰的相互作用下，发生催化氧化反应，进而吸附飞灰颗粒上，吸附在飞灰颗粒上的汞经过除尘系统（电除尘器、袋除尘）被捕

集下来，捕集下来的飞灰可以直接通过飞灰处理系统 32 排放处理，也可以将部分飞灰送入飞灰再循环装置 34 和飞灰循环管道 36 喷入尾部烟道 26 的下部，进行飞灰循环，以提高汞脱除效率，在飞灰循环装置中备选促进汞氧化的金属氧化物催化剂（如  $\text{CuO}$  或  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等）的添加口 35；不含灰的烟气继续进入湿式烟气洗涤装置 38（湿法烟气脱硫、喷雾干燥烟气脱硫等）进行烟气脱硫和氧化态汞处理，洁净的烟气由烟囱 40 排放，最终实现燃煤烟气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、Hg 等多种污染物的联合脱除。

本发明的特征在于：通过生物质再燃燃料（约占总燃料供给 15-25%）的供给，在炉膛内部形成了不同气氛的燃烧反应条件，生物质燃料在高温下迅速完成热解，释放出大量的挥发份、碱金属和氯等，形成还原性气氛，在挥发份、焦炭及碱金属催化还原作用下，强化了  $\text{NO}$  的还原反应，迫使更多的  $\text{NO}_x$  被还原成  $\text{N}_2$ 。干燥生物质的乏气和部分热风通过燃烬风口进入炉膛的燃烬区，保证燃料在炉内的充分燃烧。初步计算表明，仅靠生物质干燥乏气作为燃烬风在份额上是不够的，因此必须掺入部分二次风，同时，这种布置方式也有利于在停投生物质再燃燃料时，实施空气分级控制  $\text{NO}_x$  的操作。燃烧中形成的高含氯量的烟气和高活性飞灰，在锅炉尾部烟道中催化氧化和吸附烟气中的汞，进而通过尾部烟气处理装置达到联合脱除燃煤烟气中污染物的目的。

## 实施例 2:

附图 2 是实施例 2 的结构示意图。实施例 2 在炉内  $\text{NO}_x$  还原的特征与实施例 1 相同，其主要区别在于尾部烟气处理系统。实施例 2 中取消了湿法烟气洗涤装置，采用循环流化床等型式的干法烟气脱硫装置 37，并将该装置置于尾部烟道



26 中空气预热器 25 之后，除尘系统 30 之前。将除尘装置收集的部分飞灰和新鲜的脱硫剂 35，通过飞灰再循环装置 34 和飞灰循环管道 36 喷入烟气脱硫装置 37 的喉部，进行飞灰循环，完成烟气脱硫和汞氧化吸附。为提高吸收剂的汞脱除效率，在在吸收剂中备选添加促进汞氧化的金属氧化物催化剂(如 CuO 或  $Fe_2O_3$  等)；经过处理后的洁净烟气由烟囱 40 排放。该布置充分利用了燃煤电站现有除尘系统，系统更简单，投资省，费用低。同样，采用该布置可以在生物质停运时实现空气分级燃烧操作。

本发明利用生物质作为再燃燃料，价格便宜，方便易得，其热解生成的高含氯量的烟气和高活性生物质灰焦，强化了  $NO_x$  催化还原作用，提高了烟气中汞等重金属的氧化程度，且充分利用原有锅炉系统的设备。该方法将有利于多种污染物的联合控制，具有明显的经济效益和社会效益。

尽管在本文中通过实施例结合目前被认为是最优的实施方案描述了本发明，但本发明不受所述实施方案的限制，旨在覆盖权利要求书所限定的本发明范围内的特点和其它应用所进行的各种结合或修改。

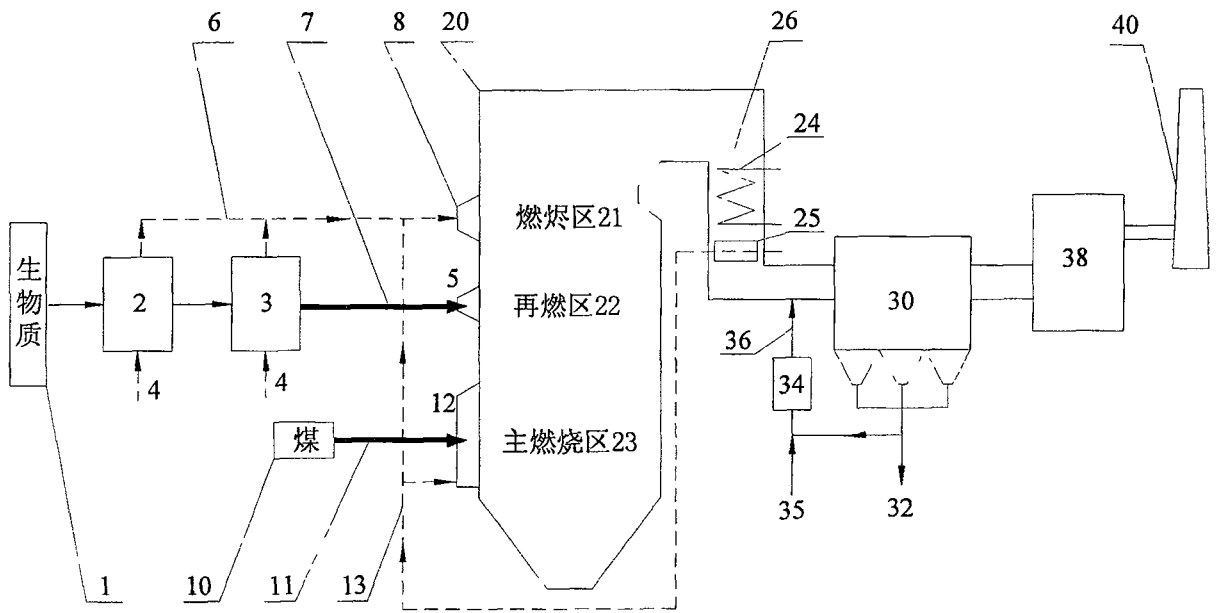


图 1

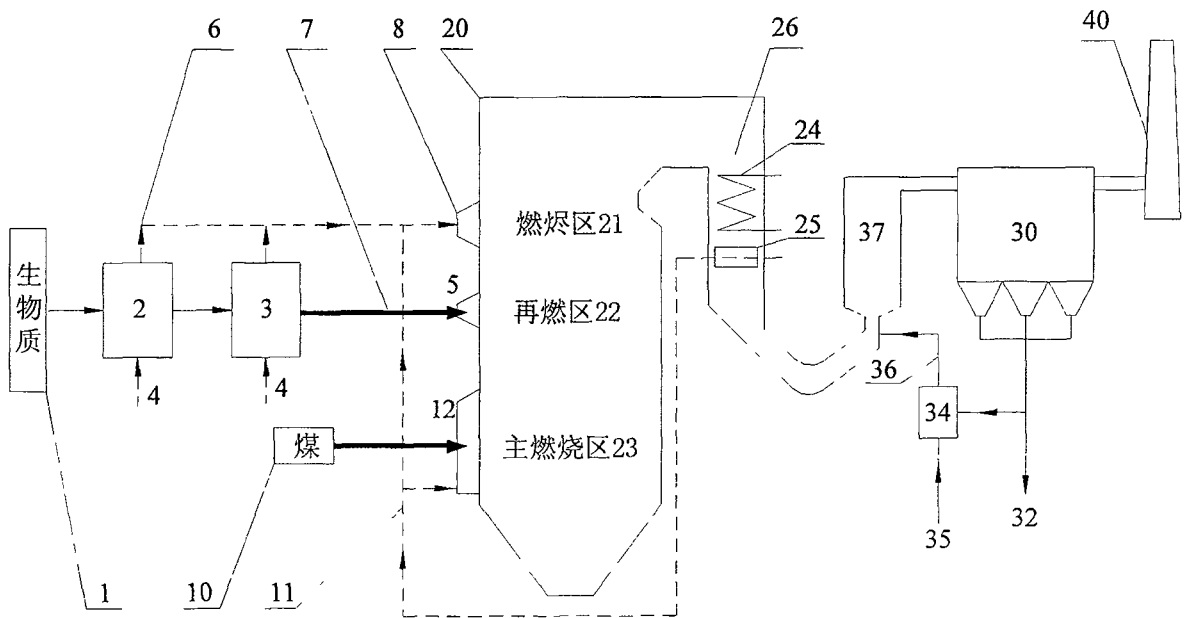


图 2