



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1719103 B

(45) 授权公告日 2010.04.14

(21) 申请号 200510082508.1

CN 1324999 A, 2001.12.05, 全文.

(22) 申请日 2005.07.06

审查员 郭亮

(30) 优先权数据

10/885267 2004.07.06 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 V·M·扎曼斯基 V·V·利西安斯基

B·N·埃滕尼尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 韦欣华 庞立志

(51) Int. Cl.

F23B 80/00 (2006.01)

F23B 10/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 2479360 Y, 2002.02.27, 全文.

CN 1387006 A, 2002.12.25, 权利要求 1-13、
说明书第 1-6 页、附图 1-3.

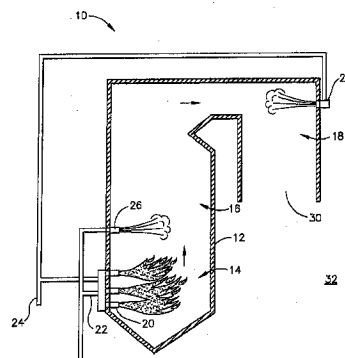
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 8 页

(54) 发明名称

运行燃烧系统的方法和系统

(57) 摘要

提供了用于减少燃烧烟道气中的氮氧化物的方法和系统。该方法包括在主燃烧区 (14) 燃烧燃料 (22), 以生成燃烧烟道气流, 其中所述燃烧烟道气包括至少一种氮氧化物, 建立富燃料区, 在富燃料区形成大量还原的含 N 物种, 将燃尽风注入到位于富燃料区下游的燃烧烟道气, 控制工艺参数以提供用于所述还原性含 N 物种与氮氧化物在 OFA 区反应的条件, 从而产生元素氮, 使氮氧化物的浓度降低。



1. 一种用于减少燃烧烟道气中的氮氧化物的方法,所述方法包括:
在主燃烧区 (14) 燃烧燃料 (22),以生成燃烧烟道气流,所述燃烧烟道气包括氮氧化物;
将再燃烧燃料加入到主燃烧区下游的燃烧烟道气流,以建立富燃料区 (16);
在富燃料区形成大量包含 NH_3 和 HCN 的还原的含氮物质;
将燃尽风 (24) 流注入到燃烧烟道气流,以在富燃料区下游形成燃尽风区;以及
控制主燃烧区和富燃料区的工艺参数以提供用于还原的含氮物质与氮氧化物在燃尽风区反应的条件,使得氮氧化物浓度被减少并使得当所述燃烧烟道气到达所述燃尽风区时,所述还原的含氮物质的摩尔浓度与氮氧化物的摩尔浓度的比为 0.8-1.2。
2. 根据权利要求 1 的方法,其中建立富燃料区包括在主燃烧区下游建立所述富燃料区。
3. 根据权利要求 1 的方法,其中建立富燃料区包括在主燃烧区内建立富燃料区。
4. 根据权利要求 1 的方法,其中将燃尽风注入所述燃烧烟道气包括将燃尽风注入到处于废气温度的燃烧烟道气,所述废气温度为 900°F - 2800°F 。
5. 根据权利要求 1 的方法,其中将燃尽风注入所述燃烧烟道气包括将燃尽风注入到处于废气温度的燃烧烟道气,所述废气温度为 1050°F - 1750°F 。
6. 一种燃烧系统 (10),包括:
用于燃烧燃料 (22) 的主燃烧区 (14);
位于相对所述主燃烧区下游的富燃料区 (16);
至少一个燃尽风入口 (28),其用于将燃尽风 (24) 注入到位于富燃料区下游的各自的燃尽风区 (18) 的燃烧烟道气流;
用于减少所述燃烧烟道气流中一氧化碳浓度的催化器区;和
布置在主燃烧区和富燃料区用于控制工艺参数的控制器,以使在燃烧烟道气流到达所述燃尽风区时,包含 NH_3 和 HCN 的还原含氮物质的摩尔浓度与氮氧化物的摩尔浓度的比为 0.8-1.2。
7. 根据权利要求 6 的燃烧系统,其中所述控制器布置在主燃烧区和富燃料区以控制工艺参数,以使在燃烧烟道气到达燃尽风区时,还原的含氮物质的摩尔浓度与氮氧化物的摩尔浓度比为 1.0。
8. 根据权利要求 6 的燃烧系统,其中布置所述主燃烧区用于富燃料燃烧,以通过在所述主燃烧区的富燃料燃烧生成所述富燃料区。
9. 根据权利要求 6 的燃烧系统,进一步包括再燃烧区,其中将再燃烧燃料注入到所述燃烧烟道气流以在所述主燃烧区下游产生富燃料区。
10. 根据权利要求 6 的燃烧系统,其中所述控制器有利于控制至少一个燃尽风入口。

运行燃烧系统的方法和系统

[0001] 发明背景

[0002] 本发明主要涉及运行燃烧系统,更具体地涉及运行燃烧系统的方法和系统,以有利于减少 NO_x 排放。

[0003] 典型的锅炉、炉、发动机、焚化炉和其它燃烧源排放包括氮氧化物的废气。氮氧化物包括一氧化氮 (NO)、二氧化氮 (NO_2) 和氧化亚氮 (N_2O)。 NO_x 通常指 $\text{NO}+\text{NO}_2$ 的总浓度。通过燃烧产生的氮氧化物主要是 NO 。同时也会形成一些 NO_2 和 N_2O ,但是它们的浓度一般小于 NO 浓度的约 5%,对于燃煤应用, NO_2 和 N_2O 浓度一般为 200-1000ppm。由于氮氧化物被认为是有毒化合物以及酸雨和光化学烟雾的前体物,并且对温室效应有贡献,因此其排放越来越受到关注。

[0004] 已经有一些商业技术可以用于减少燃烧源的 NO_x 排放。目前,选择性催化还原 (SCR) 是一种经常用于控制 NO_x 的商业技术。通过 SCR, NO_x 通过与氮还原剂 (N- 试剂,例如氨、尿素等) 在催化剂表面发生反应而减少。已知 SCR 系统在约 700°F 的温度下工作,其常规能达到约 80% 的 NO_x 去除率。然而,一些 SCR 固有的缺点,还有最重要的是它的高成本使其不能成为全面解决 NO_x 去除问题的方法。此外,SCR 要求在排气流中安装大量的催化剂,而 SCR 催化剂的寿命是有限的。具体地说,对于燃煤应用,一些机制导致的催化剂失活通常限制催化剂寿命为约 4 年。与系统改造、安装和运行相关的成本联合催化剂材料的成本使得 SCR 成为非常昂贵的污染控制技术。而且,因为失效的催化剂是有毒的,所以催化剂在其使用寿命后期也提出了处理问题。

[0005] 为了有利地降低相对 SCR 技术的成本, N- 试剂与 NO_x 的反应可以在较高的温度下不用催化剂进行。该工艺被称为选择性非催化还原 (SNCR)。SNCR 在窄的温度或者在以 1800°F 为中心的“温度窗口”范围内有效,其中 N- 试剂形成可以与 NO 反应的 NH_2 自由基。在理想实验室条件下,大幅度控制 NO_x 是可能的;然而,在实际的满量程装置中,温度分布不均匀、在整个燃烧器的横切面混合 N- 试剂的难度、有限的反应停留时间、以及氨 (未反应的 N- 试剂) 的减少会限制 SNCR 的效力。通常,通过 SNCR 控制 NO_x 的效率限制在约 40% -50%。然而,由于 SNCR 不需要催化剂,因此与 SCR 相比其具有相对较低的建设成本。对于 NO_x 控制来说,与 SCR 相比,SNCR 虽然具有较低 NO_x 控制效率但也还是颇有价值的选择。

[0006] 其它公知燃烧系统包括的燃烧改造例如低 NO_x 燃烧器 (LNB)、再燃烧以及通过分段燃烧控制 NO_x 排放的燃尽风 (over-fire air) (OFA) 注入。这些技术提供了相对适度的 NO_x 控制,其效率在约 30% -60%。然而,它们的建设成本很低,并且由于不需要注入 N- 试剂,与 SCR 或 SNCR 相比它们的运行成本通常降低了。再燃烧中的 NO_x 控制通过燃料分段实现,其中大部分燃料例如约 80% -90% 通过传统燃烧炉和常量例如约过量 10% 的空气燃烧。在燃烧过程中形成一定量的 NO_x ,在第二阶段,剩余的燃料 (再燃烧燃料) 被加入被称为再燃烧区的第二燃烧区,以维持富燃料环境。所述再燃烧燃料可以是煤、燃气或其它燃料。在富燃料区的还原性气氛中, NO_x 形成和 NO_x 去除都发生。实验结果表明,在具体的条件范围内 (在再燃烧区中的当量比、温度和停留时间), NO_x 浓度通常减少约 50% -60%。部分再燃烧燃料被氧气很快氧化形成 CO 和氢气,余下的再燃烧燃料提供了富燃料混合物,该混合物

具有一定浓度的含碳自由基： CH_3 ， CH_2 ， CH ， C ， HCCO 等。这些活性物种可以在与氮分子反应中形成 NO 前体物，或者通过与 NO 直接反应而消耗 NO 。 NO 还原包括一些基元反应步骤。在再燃烧区形成的含碳自由基 (CH_i) 能通过将 NO 转化为不同的具有 C-N 键的过渡物种而降低 NO 浓度。这些物种接着被转化为 NH_i 物种 (NH_2 ， NH 和 N)，这些物种后来与 NO 反应，形成氮分子。因此， NO 可以通过与两类自由基也就是物种 CH_i 和 NH_i 的反应而去除。然而，过渡含 N 物种与 NO 的反应在无 O_2 条件下通常很慢，不能显著地减少再燃烧区的 NO 。在第三阶段注入 OFA 使燃料完全燃烧。通常 OFA 从烟道气温度为约 1800°F – 2800°F 的位置注入，从而有利于实现完全燃烧。位于燃尽风注入点的烟道气温度在下文以 T_{OFA} 表示。在工艺的最后一阶段加入的 OFA 氧化剩余的 CO 、 H_2 、 HCN 、 NH_i 物种以及未反应的燃料和燃料碎片，形成的最终产物包括 H_2O 、 N_2 和 CO_2 。在这一阶段，还原的含 N 物种主要与氧气反应，被氧化为元素氮或 NO_x 。正是这期望的含 N 物种转化为 NO_x 的氧化反应限制了再燃烧过程的效率。

[0007] 通常，再燃烧燃料以约 2300°F – 3000°F 的烟道气温度被注入。在再燃烧法中 NO_x 还原效率可以随着注入温度的增加而增加，这是因为温度越高，再燃烧燃料氧化越快，这导致了更高浓度的含碳自由基参与 NO_x 还原。因为再燃烧燃料热输入为约 20%， NO_x 还原效率随着再燃烧燃料量的增加而增加。而随着再燃烧燃料量的进一步增加， NO_x 还原效率趋于平缓甚至稍微降低。依据对再燃烧化学反应地进行提供更多的时间，增加在再燃烧区的停留时间也可以提高氮氧化物排放中的还原反应。

[0008] 最后，一种高级再燃烧 (AR) 方法也是目前可用的，其是再燃烧和 SNCR 的协同综合。利用 AR， N- 试剂随着 OFA 被注入，调整再燃烧系统以有利于优化 NO_x 与 N- 试剂的还原反应。通过调整再燃烧燃料注入速率实现近似按化学计量所需的条件替代通常用于再燃烧的富燃料条件， CO 水平可以容易的被控制，并且有效 SNCR 化学的温度窗口可以被拓宽。通过 AR，由 N- 试剂注入实现的 NO_x 还原与 SNCR 相比几乎翻倍。此外，通过 AR，拓宽温度窗口可以在布置注入系统方面的机动性，并且在较宽的锅炉运行范围内应该可以实现 NO_x 控制。

[0009] 然而，尽管上述的技术已经可用，而且可以降低燃烧源的 NO_x 浓度，但是它们是复杂的系统，安装、运行和维护也比较昂贵。

[0010] 发明简述

[0011] 在一个实施方案中，提供了用于减少燃烧烟道气中的氮氧化物的方法。该方法包括在主燃烧区燃烧燃料，这样产生了燃烧烟道气流，其中所述燃烧烟道气包括至少一种氮氧化物，建立富燃料区，在该富燃料区形成许多还原的含 N 物种，将燃尽风注入富燃料区的燃烧烟道气下游，控制工艺参数以提供用于所述还原的含 N 物种与 OFA 区中的氮氧化物反应的条件，从而生成元素氮，这样降低了氮氧化物的浓度。

[0012] 在另一个实施方案中，提供了具有还原的 NO_x 排放的炉。该炉包括用于燃烧燃料的主燃烧区，位于主燃烧区下游的富燃料区，至少一个用于将燃尽风注入位于分别的 OFA 区的燃烧烟道气流的燃尽风入口，布置于主燃烧区和富燃料区的用于控制工艺条件的控制器，从而使当燃烧烟道气到达所述燃尽风区时还原的含 N 物种的摩尔浓度近似等于 NO_x 的摩尔浓度。

[0013] 附图简述

[0014] 图 1 是示例性发电锅炉系统的示意图；

[0015] 图 2 是第二个示例性发电锅炉系统的示意图；

[0016] 图 3 是又一个示例性发电锅炉系统的示意图；

[0017] 图 4 是说明按照图 1 示出实施方案的炉在运行中其含 N 物种相对浓度的示例性曲线图；

[0018] 图 5 是说明 NO 浓度的示例性曲线图，所述 NO 浓度是利用按照图 1 示出的系统在燃尽风注入点的烟道气温度 T_{OFA} 的函数；

[0019] 图 6 是阐述 T_{OFA} 对 CO 排放影响的示例性曲线图；

[0020] 图 7 是说明位于氧化催化剂入口侧和出口侧的再燃烧热输入和 CO 浓度之间关系的曲线图；以及

[0021] 图 8 是燃尽区末端 T_{OFA} 对 NO、总固定氮 (TFN) 和 CO 的影响预测曲线图。

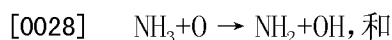
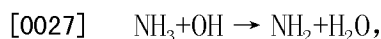
[0022] 发明详述

[0023] 在这里术语“氮氧化物”和“NO_x”可以互换使用，是指化学物种一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO₂)。其它氮的氧化物是公知的，例如 N₂O、N₂O₃、N₂O₄ 和 N₂O₅，但是固定燃烧源并不大量的排放这些物种，而一些系统排放 N₂O 的情况除外。因此，虽然术语“氮氧化物”可以较广泛地包括所有的二元 N-O 化合物，但是在本发明中其特指 NO 和 NO₂ (即 NO_x) 物种。

[0024] 图 1 是包括炉 12 的示例性发电锅炉系统 10，所述炉 12 包括主燃烧区 14、再燃烧区 16 和燃尽区 18。主燃烧区 14 包括一个或多个燃料注射器和 / 或燃烧器 20，所述燃烧器由燃料源 (未示出) 以预定的和经选择量的燃料 22 供给。在示例性的实施方案中，所述燃料源可以是例如煤研磨机和排气装置。在另一个实施方案中，所述燃料源可以是任何石化燃料，包括石油和天然气，或任何可再生燃料包括生物和垃圾。燃烧器 20 也可以由预定的和选择量的空气 24 供给。燃烧器 20 可以无关地布置在炉 12 的每个角落，或为壁燃烧式的，或具有其它布置。

[0025] 再燃烧区 16 可以由预定的和选择量的燃料 26 供给。尽管图 1 说明了燃料 22 和燃料 26 来源于普通源，应该理解燃料 22 和 / 或燃料 26 可以由不同源供给的不同类型燃料。例如，供给至燃烧器 20 的燃料可以由研磨机和排气装置供给的粉煤，燃料 26 可以是天然气。燃尽风 (OFA) 可以通过 OFA 入口 28 由空气源 24 或不同的源 (未示出) 供给。

[0026] 在运行中，包括氮的不同的氧化物 (NO_x) 的燃烧副产物可以在主燃烧区 14 形成，并通过炉 12 载带至炉排出烟气 30 并完全进入环境 32。NO_x 排放的去除可以利用两步的工艺来进行，下文被称为现场高级再燃烧 (AR) 工艺。在工艺的第一步，再燃烧燃料 26 被注入再燃烧区 16 以提供富燃料环境，在富燃料环境中 NO_x 部分被还原成 N₂。作为该工艺的结果，其它还原的含 N 物种包括 NH₃ 和 HCN 在再燃烧区 16 形成。形成的大量还原的含 N 物种取决于燃烧区 14 和再燃烧区 16 的工艺条件，还取决于主要燃料 22 和再燃烧燃料 26 的化学组成。为了有利于优化 NO_x 还原，利用所述现场 AR 工艺，可以选择主燃烧区 14 和再燃烧区 16 的条件以使还原的含 N 物种的摩尔浓度大约等于在 OFA 注入点的 NO_x 浓度。还原的含 N 物种如 NH₃、HCN 和 NO 之间的反应在再燃烧区 16 的富燃料环境下通常相对缓慢。在第二步，OFA 可以注入再燃烧区 16 的下游。如果 OFA 被注入具有一定温度范围的含 NO 燃烧烟道气中，NO 和还原的含 N 物种之间发生化学反应，NO 被转化为氮分子。所述反应由在燃烧自由基 (OH、O 和 H) 和 NH₃ 的反应中形成 NH₂ 自由基开始：



[0029] $\text{NH}_3 + \text{H} \rightarrow \text{NH}_2 + \text{H}_2$ 。

[0030] NO 到 N₂ 转化的主要基元反应是：

[0031] $\text{NH}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。

[0032] 同时,HCN 被氧化成 NH₃ 和含 N 自由基,含 N 自由基接着与上述的燃烧自由基反应。在传统的 SNCR 工艺中,NH 形成还原性试剂(N- 试剂)和 NO 之间的反应在很窄的温度范围内(温度窗口)进行,通常为约 1750° F-1950° F。在现场 AR 工艺中,在再燃烧区 16 中的再燃烧燃料 26 的氧化反应不会完全进行,这是因为缺乏可用的氧气。因此,从再燃烧区 16 出来的燃烧烟道气可以包含相对大浓度的未燃烧的碳氢,例如 H₂ 和 CO。这些物种存在于燃烧烟道气中使传统 SNCR 的 NO_x 还原反应的温度窗口向低温移动。在现场 AR 工艺中,OFA 以相对明显低于 1750° F 的温度被注入燃烧烟道气中,这导致了相对大量额外的 NO_x 还原。在 OFA 注入区下游,还原的含 N 物种主要与 NO_x 反应,产生元素氮。与传统的再燃烧相比,如此较大幅度的 NO_x 控制被实现了,其中还原的含 N 物种主要与 OFA 注入区下游的氧气反应。

[0033] 图 2 是第二个示例性发电锅炉系统 200 的示意图。在该示例性实施方案中,NO 浓度通过三步工艺被降低。在第一步,再燃烧燃料 26 被注入以提供富燃料环境,其中 NO 部分还原为 N₂。在第二步, OFA 被注入在预定温度范围内的再燃烧区 16 下游,这导致在再燃烧区 16 中形成的含 N 物种还原 NO。在第三步,包含 CO、剩余 NO 和未反应的含 N 物种的燃烧烟道气被导入通过氧化催化剂 202。CO 被催化剂 202 氧化,而含 N 物种部分被氧化并部分被还原为 N₂。

[0034] 图 3 是另一个示例性发电锅炉系统 300 的示意图。该示例性实施方案提出空气分段法,其中不注入再燃烧燃料,并且富燃料区通过主燃烧区 14 的富燃料燃烧形成。一个或多个附加的 OFA 口 28 可以在任何时候用来分步骤将 OFA 引入炉 12 中的匹配条件。每个附加 OFA 口 28 可以独立控制,从而使 OFA 气流可以在很宽的流量范围内调节,以及调节至基本关闭。如在其它现场 AR 工艺的实施方案中,可以选择条件以使在 OFA 注入点处大约满足 $[\text{NH}_3] + [\text{HCN}] = [\text{NO}_x]$,以有利于优化 NO_x 去除。在示例性实施方案中,利用氧化催化剂 202。在另一个实施方案中,没有利用氧化催化剂。

[0035] 图 4 说明按照图 1 示出实施方案的炉在运行中其含 N 物种相对浓度的示例性曲线图 400。曲线图 400 包括 x 轴 402,其刻度单位为再燃烧燃料输入占炉总热输入的百分比。y 轴 404 刻度单位为 $X_N/[\text{NO}]_i$ 的百分比,其中 X_N 表示在再燃烧燃料注入前的含 N 物种的总浓度, $[\text{NO}]_i$ 表示没有注入再燃烧燃料时测得的初始 NO 浓度。曲线 406 表示 NO 的浓度。曲线 408 表示 NH₃ 的浓度。曲线 410 表示 HCN 的浓度,曲线 412 表示总固定氮 (TFN) 的浓度。在运行中,当燃烧天然气时测量 NO、NH₃、HCN、TFN 在炉 12 中的浓度。TFN,此处定义为 NO、NH₃ 和 HCN 的总量。在示例性的实施方案中,再燃烧燃料例如天然气和 OFA 从烟道气温度为 2500° F 和 2200° F 的位置分别注入。在再燃烧区 16 的尾端测量 NO、NH₃ 和 HCN 的浓度(在 OFA 注入前)。曲线 406、408、410 和 412 说明了在再燃烧燃料注入前 NO、NH₃、HCN 和 TFN 占含 N 物种总浓度的分数。作为 CH₄ 自由基和 NO 之间反应的结果,NH₃ 和 HCN 在再燃烧区 16 形成。

[0036] 曲线 406 说明再燃烧区 16 尾端的 NO 浓度与再燃烧燃料的相对热输入有关,其随着再燃烧燃料的相对热输入增加而降低。对于所说明的相对热输入范围,考虑了再燃烧区 16 尾端的 NH₃ 浓度,即曲线 408,和 HCN 浓度,即曲线 410。再燃烧区 16 尾端的 TFN 浓度,即

曲线 412 被最小化到了再燃烧燃料输入的约 18%。对于示例性燃料和工艺条件以及 18% 的再燃烧燃料热输入,再燃烧区 16 尾端的 NO 浓度,即曲线 406 大约等于 NH_3 和 HCN 浓度之和。

[0037] 图 5 说明 NO 浓度的示例性曲线图 500,所述 NO 浓度是利用按照图 1 示出的系统 10 在燃尽风注入点的烟道气温度 T_{OFA} 的函数。曲线图 500 包括 x 轴 502,其刻度单位为 $^{\circ}\text{F}$,y 轴 504 刻度单位为 NO 还原百分数。曲线 506 说明在数量约为 10% 热输入的再燃烧燃料时 NO 的浓度。曲线 508 说明在数量约为 15% 热输入的再燃烧燃料时 NO 的浓度。曲线 510 说明在数量约为 20% 热输入的再燃烧燃料时 NO 的浓度。在示例性实施方案中,在 0% 的 O_2 时 NO_i 为 310ppm。利用天然气为主要燃烧燃料和再燃烧燃料。正如所说明的,在每个示例性热输入中 NO 还原随着 T_{OFA} 的降低而增加。当 T_{OFA} 在 2200°F – 1600°F 范围下降时,NO 还原的增加几乎与 T_{OFA} 呈线性。NO 还原的这一改善可能是由于在再燃烧区 16 的停留时间的增加。进一步温度下降到低于 1600°F 导致 NO 还原效率相对更大的增加。对于在约 1050°F – 1150°F 的 T_{OFA} 下 15% 的再燃烧,NO 还原达到约 90%,对于在约 1050°F – 1150°F 的 T_{OFA} 下 20% 的再燃烧,NO 还原达到约 95%。

[0038] 图 6 说明了证实 T_{OFA} 下对 CO 排放的影响的示例性曲线图 600。曲线图 600 包括 x 轴 602,其刻度单位为 $^{\circ}\text{F}$,y 轴 604 刻度单位为百万分之一 (PPM),其表示的是 0% 的 O_2 时 CO 的浓度单位。曲线 606 说明了在 10% 再燃烧热输入时 CO 的浓度。曲线 608 说明了在 15% 再燃烧热输入时 CO 的浓度。曲线 610 说明了在 20% 再燃烧热输入时 CO 的浓度。由曲线 606、608 和 610 说明的 CO 排放在 T_{OFA} 高于 1350°F 时小于 15ppm,并且在较低温度时急剧上升。所述 CO 浓度在相对低温时的急剧上升可能是由于 CO 氧化的低温化学反应相对较慢,以使在 OFA 区 CO 没有在一定可用时间内完全氧化。因此,运行证实在约 1050°F – 1150°F 的 OFA 注入导致 NO 还原高达 95%。然而,在该温度范围下的 CO 氧化可能不完全。

[0039] 图 7 是说明位于氧化催化剂 202 入口侧和出口侧的再燃烧热输入和 CO 浓度之间关系的曲线图 700。曲线图 700 包括 x 轴 702,其被分为 15% 再燃烧部分 704 和 20% 再燃烧部分 706,以及 y 轴 708,其刻度为 ppm,表示 0% 的 O_2 时 CO 的浓度。位于催化剂位置的燃烧烟道气温度为约 500°F 。在约 15% 的再燃烧运行中,柱 710 说明催化剂 202 上游的 CO 浓度约为 14000ppm,柱 712 说明了当燃烧烟道气通过催化剂 202 后 CO 的浓度约为 4500ppm。在约 20% 的再燃烧运行中,柱 714 说明催化剂 202 上游的 CO 浓度约为 25000ppm,柱 716 说明了当燃烧烟道气通过催化剂 202 后 CO 的浓度约为 8500ppm。正如说明的,CO 在催化剂 202 上的氧化导致 CO 排放显著减少了。通过降低通过催化剂的空速,可以实现更有效的 CO 氧化。

[0040] 上述的结果说明,大浓度的 NH_3 和 HCN 可以存在于再燃烧区 16。这些物种可以与 NO 反应,并有利于基本减少 NO 排放。当 OFA 以约 1050°F – 1750°F 的燃烧烟道气温度被注入时,可以更好地降低 NO 浓度。因为在该温度范围的较低温度下 CO 氧化不完全,安装下游催化剂 202 可以有利于完全氧化 CO。

[0041] 图 8 是 T_{OFA} 对燃尽区 18 尾端 NO、总固定氮 (TFN) 和 CO 的浓度影响预测曲线图 800。曲线图 800 包括 x 轴 802,其刻度表示 OFA 的注入温度,以及 y 轴 804,其刻度表示单位为 ppm 的试剂浓度。可以利用工艺模型来预测 NO_x 控制效率。该工艺模型的开发包括详尽的天然气再燃烧动力学机理以及以试剂混合为特征的气体动态参数。工艺模型有利于理

解系统元件和条件对 NO_x 控制实施的影响。在模型模拟中,集合一组代表活性物种的交互作用的均相反应。为每个反应分配一定的反应速率和释放热或热损失参数。大量的用于试剂的浓度对时间的微分方程数值解有利于预测用于所有反应物种在选定工艺条件下的浓度-时间曲线。在模拟运行中,可以获得有利于显著改善 NO_x 去除的工艺条件。

[0042] 化学动力学代码 ODF,指“一维火焰 (One Dimensional Flame)” (Kau, C. J., Heap, M. P., Seeker, W. R., and Tyson, T. J., Fundamental Combustion Research Applied to Pollution Formation. U.S. Environmental Protection Agency Report No. EPA-6000/7-87-027, Volume IV: Engineering Analysis, 1987), 被用于模拟试验数据。设计 ODF 以通过一系列完全搅拌的或活塞流式反应器, 解决详细的化学机制。动力学机制 (Glarborg, P., Alzueta, M. U., Dam-Johansen, K., and Miller, J. A., Combust. Flame 115: 1-27 (1998)) 包括了 65 种 C-H-O-N 化学物种的 447 种反应

[0043] 利用模型预测天然气再燃烧中的 NO_x 还原, 其为 OFA 注入处的烟道气温度 (T_{OFA}) 的函数。初始 NO_x (NO_i) 和再燃烧燃料数量分别被假设为 300ppm 和 18%。选择这样的再燃烧燃料的量用于模型模拟是因为, 如图 4 所说明的, 在 18% 的再燃烧热输入下, 再燃烧区 16 尾端的燃烧烟道气中的 NO 浓度大约等于 NH₃ 和 HCN 的和。这导致了氮的化学计量比 (NSR) 为 1.0。此处所用的 NSR 被定义为 NH₃+HCN 对 NO 的摩尔比。在 3% 的 OFA 注入后实施最终额外 O₂ 的模拟, 这是内燃锅炉的典型。燃烧烟道气温度以约 550° F/s 的线性速率下降, 这对于内燃锅炉也是典型。

[0044] 工艺模型输出曲线图 800 包括曲线 806, 其表示预测燃烧烟道气中 NO 浓度随着 T_{OFA} 下降而下降。该 NO 还原可能是由于 NO 与 NH₃ 和 HCN 的反应。这些反应与在 SNCR 工艺中发生的反应类似。用于 SNCR 工艺的优化温度约为 1750° F-1950° F (烟道气中没有大量易燃物), 并且随着烟道气中的 CO 浓度升高而降低。在高于优化温度的温度下, 一些 NH₃ 和 HCN 可以被氧化, 并且形成 NO。在低于优化温度的温度下, 不是所有的 NH₃ 和 HCN 都在与 NO 和 O₂ 的反应中被消耗, 这导致“氨早产 (ammonia slip)”。

[0045] 曲线 808 说明了在 18% 再燃烧燃料热输入时模型预测再燃烧区 16 尾端的烟道气中的 CO 浓度约为 2%。用于 SNCR 工艺对该 CO 浓度的优化温度为约 1300° F-1400° F。曲线 810 的模型预测说明了 TFN 在 T_{OFA} 为约 1350° F 时达到最低。尽管 NO 进一步在温度低于约 1350° F 时连续减少, 并不是所有的 NH₃ 和 HCN 都在该工艺中被消耗, 这导致 TFN 的增加。

[0046] 曲线 808 说明模型预测在 T_{OFA} 为约 1350° F-1900° F 时 CO 基本完全被氧化为 CO₂。燃烧烟道气中的 CO 浓度随着 T_{OFA} 降低到约 1350° F 以下而增加。这可能是由于低温 CO 氧化变得太慢, 并且不能再燃尽区 18 可用时间内基本完全氧化。

[0047] 曲线 810 说明模型预测大约 1350° F 的 OFA 注入导致 TFN 从 300ppm 减少到 60ppm。在 T_{OFA} 为约 1350° F 以及更高时 CO 基本完全被氧化。当与经验结果相比较时, 曲线图 800 种的模型结果呈现了紧密的相关性。

[0048] 可以预期, 在本发明的各种实施方案有利于生成所有的燃烧系统, 比如, 例如但是不局限于, 加煤炉、流化床炉和气旋炉。

[0049] 上述氮氧化物还原方法和系统提供了低成本而且可靠的用于降低燃烧烟道气排放中氮氧化物浓度的方法, 该方法不需要向燃烧烟道气流中注入 N 还原试剂。更具体地, 经

验结果表明高浓度的 NH_3 和 HCN 可以存在于再燃烧区域。如果 OFA 以约 1050°F – 1750°F 的燃烧烟道气温度注入, NH_3 和 HCN 可以与 NO 反应, 并且显著降低 NO 排放。因为 CO 在该温度范围的较低温度下的氧化不完全, 安装下游氧化催化剂可以完全氧化 CO 。因此, 促进含 N 试剂形成的控制工艺条件和以有利于 NH_3 和 NO 合成形成 N_2 的温度注入 OFA, 这为减少氮氧化物排放提供了低成本的方法和系统。

[0050] 尽管已经用各种具体的实施方案对本发明进行了描述, 那些本领域技术人员会认识到, 可以在权力要求的精神和范围内对本发明进行修改和实践。

[0051] 附图标记

[0052] 锅炉系统 10

[0053] 炉 12

[0054] 主燃烧区 14

[0055] 再燃烧区 16

[0056] 燃尽区 18

[0057] 燃料注入器和 / 或燃烧器 20

[0058] 燃料 22

[0059] 空气 24

[0060] 燃料 26

[0061] 燃尽风 (OFA) 口 28

[0062] 炉烟道废气 30

[0063] 环境 32

[0064] 炉系统 200

[0065] 催化剂 202

[0066] 炉系统 300

[0067] 曲线图 400

[0068] x- 轴 402

[0069] y- 轴 404

[0070] 曲线 406

[0071] 曲线 408

[0072] 曲线 410

[0073] 曲线 412

[0074] 曲线图 500

[0075] x- 轴 502

[0076] y- 轴 504

[0077] 曲线 506

[0078] 曲线 508

[0079] 曲线 510

[0080] 曲线图 600

[0081] x- 轴 602

[0082] y- 轴 604

- [0083] 曲线 606
- [0084] 曲线 608
- [0085] 曲线 610
- [0086] 曲线图 700
- [0087] x-轴 702
- [0088] 再燃烧部分 706
- [0089] y-轴 708
- [0090] 柱 710
- [0091] 柱 712
- [0092] 柱 714
- [0093] 柱 716
- [0094] 曲线图 800
- [0095] x-轴 802
- [0096] y-轴 804
- [0097] 曲线 806
- [0098] 曲线 808
- [0099] 曲线 810

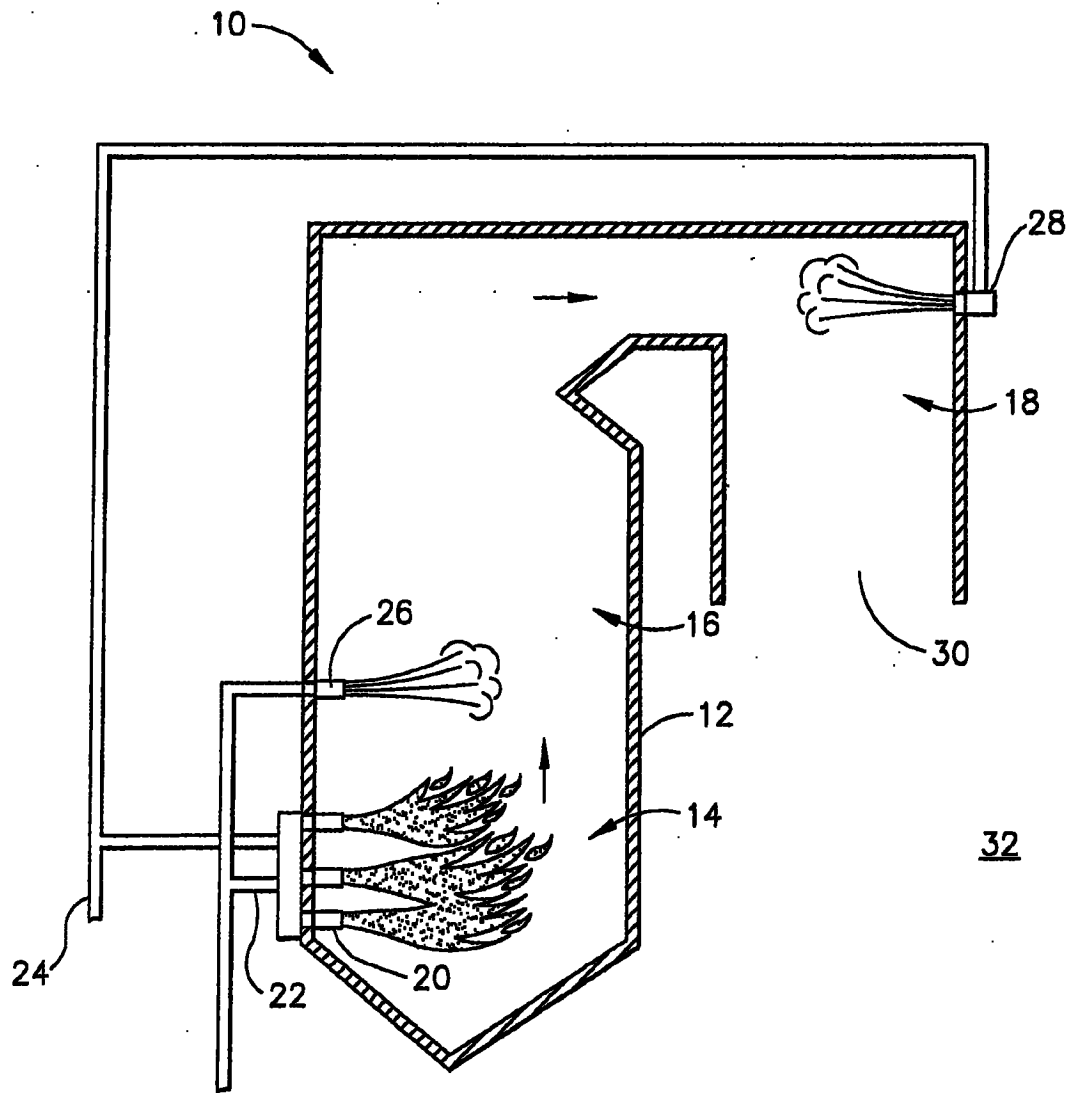


图 1

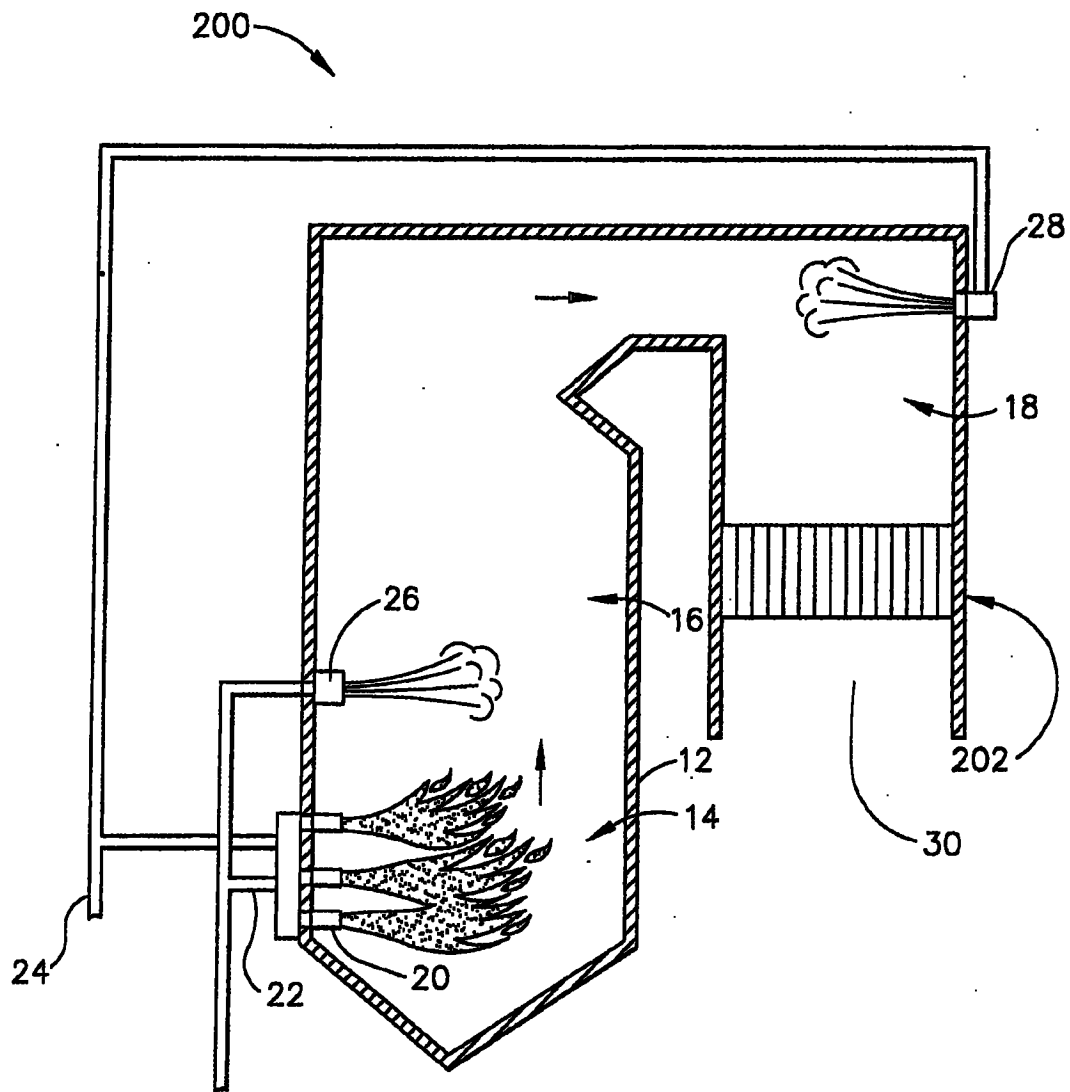


图 2

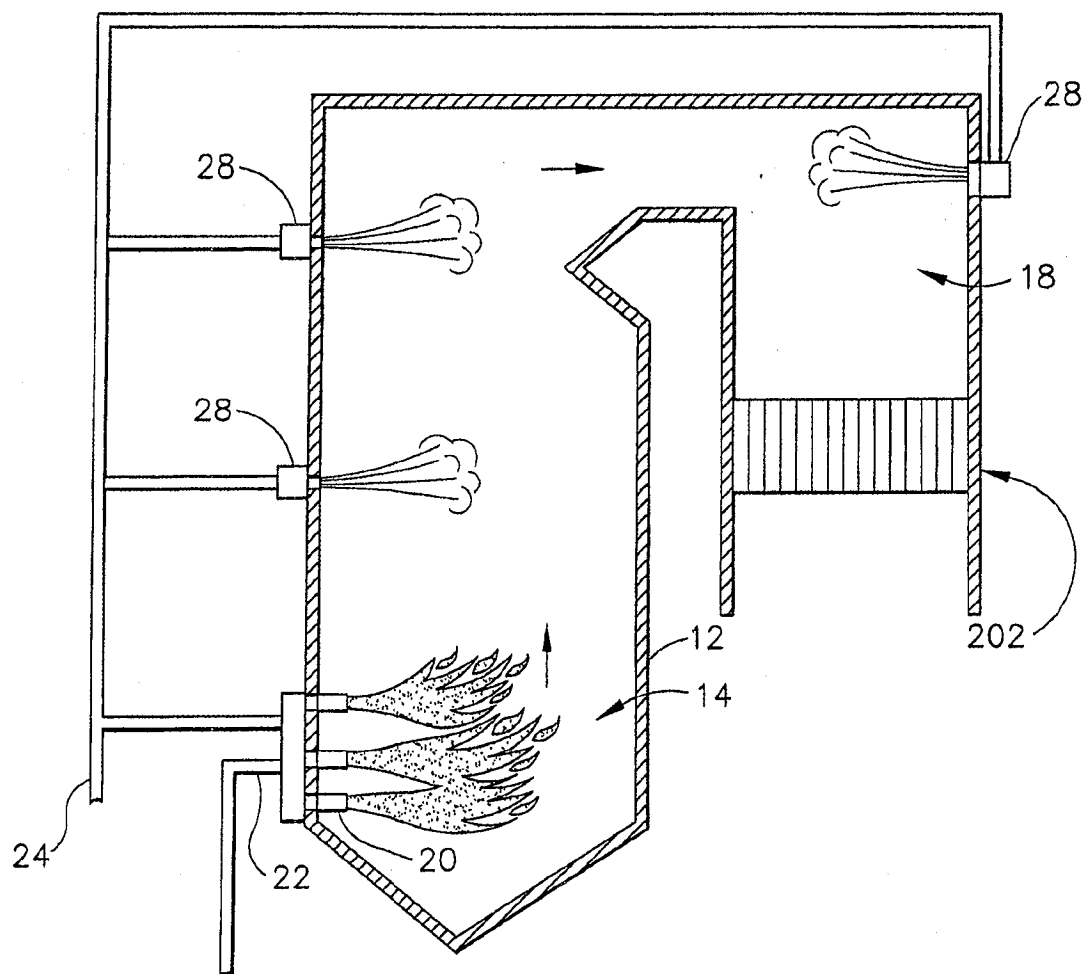


图 3

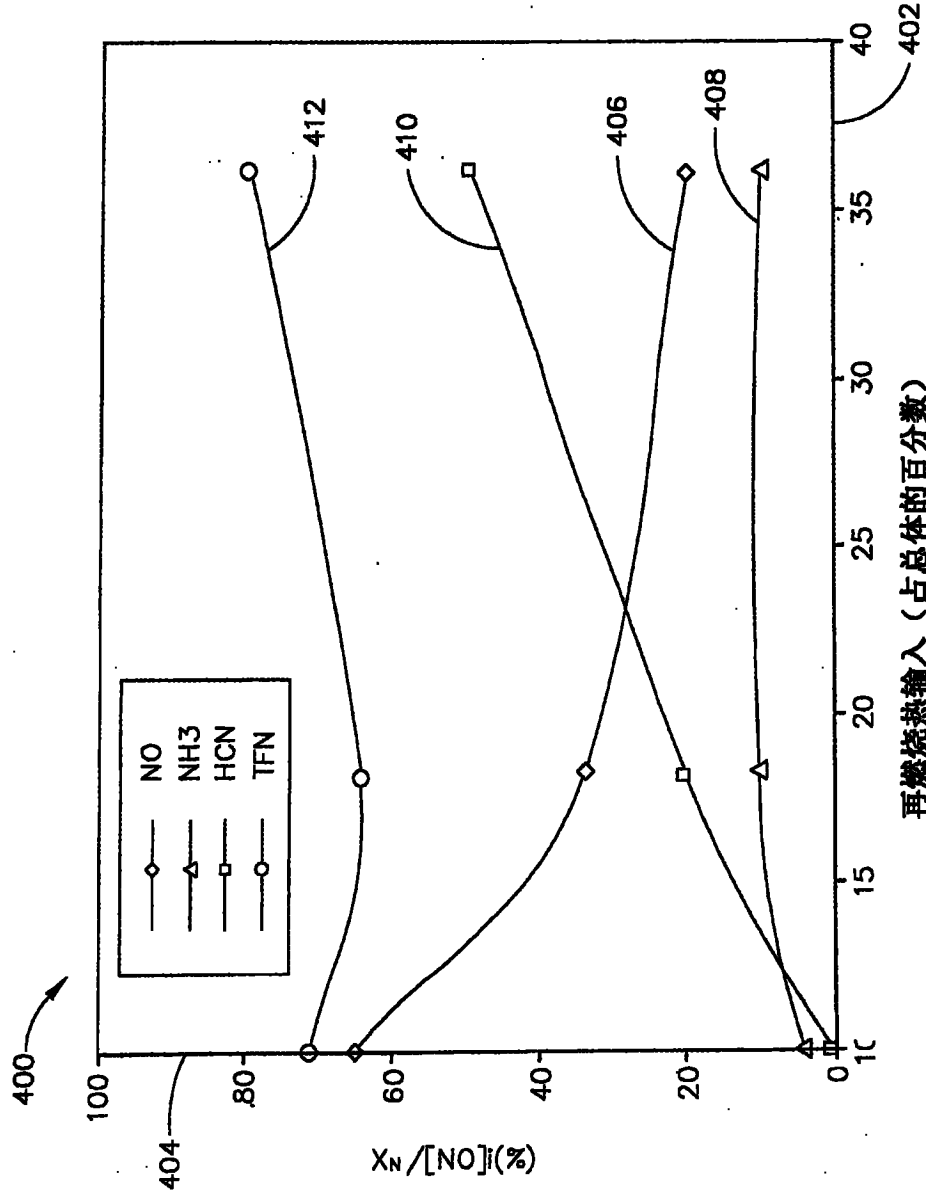


图 4

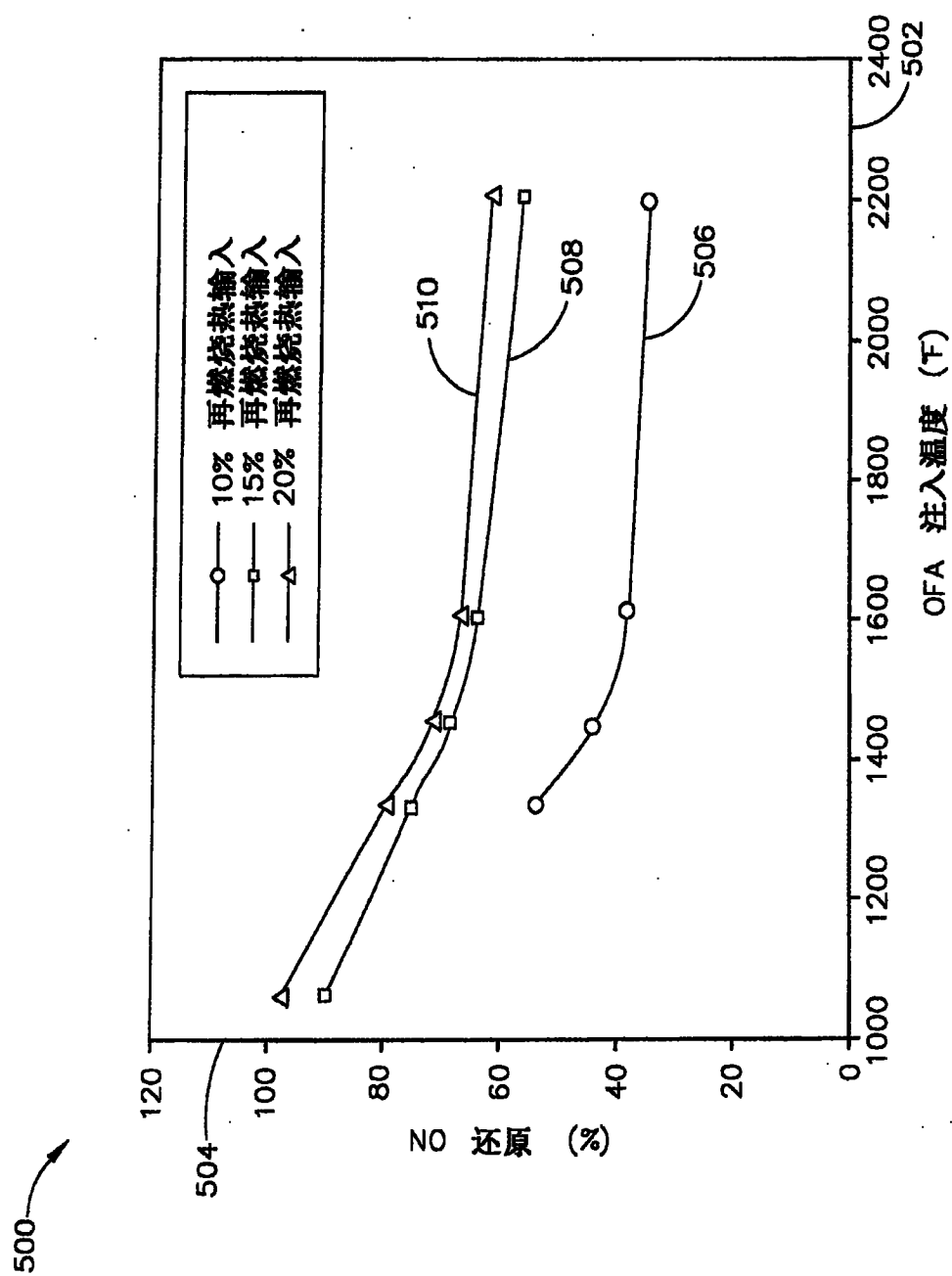


图 5

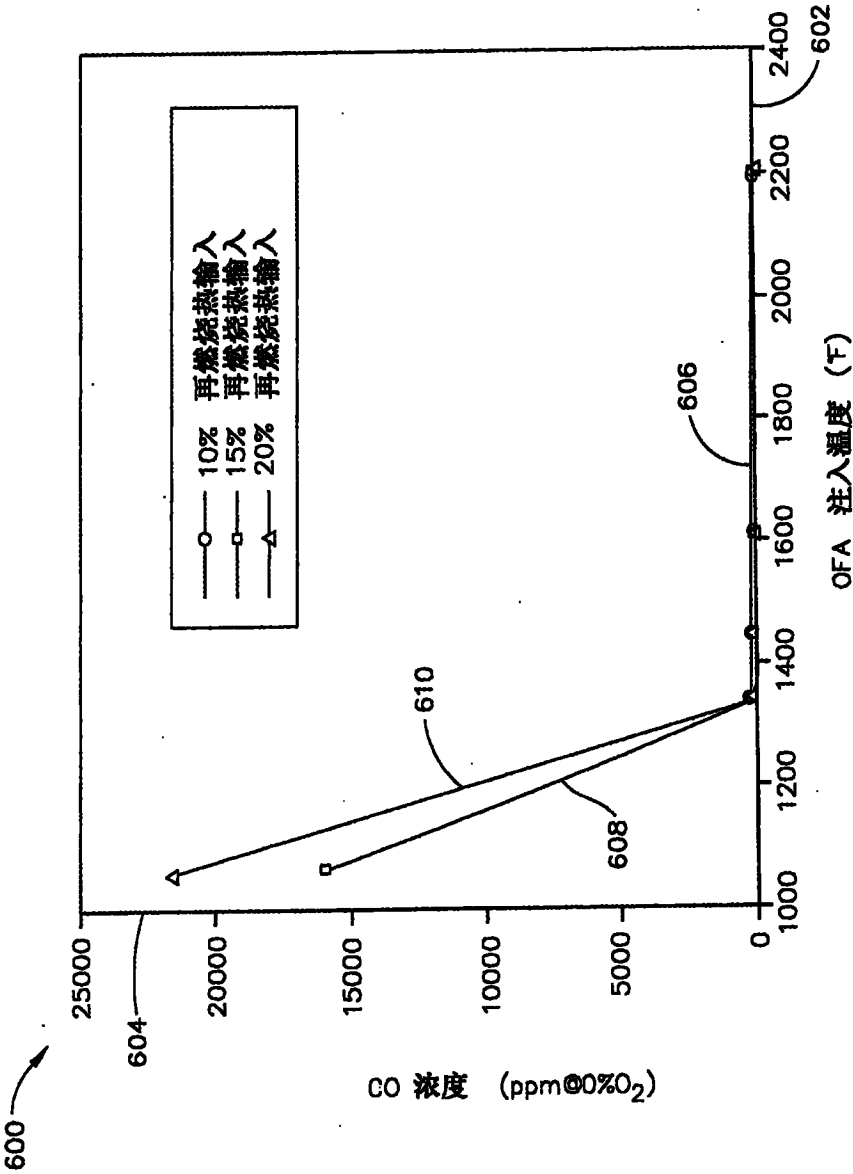


图 6

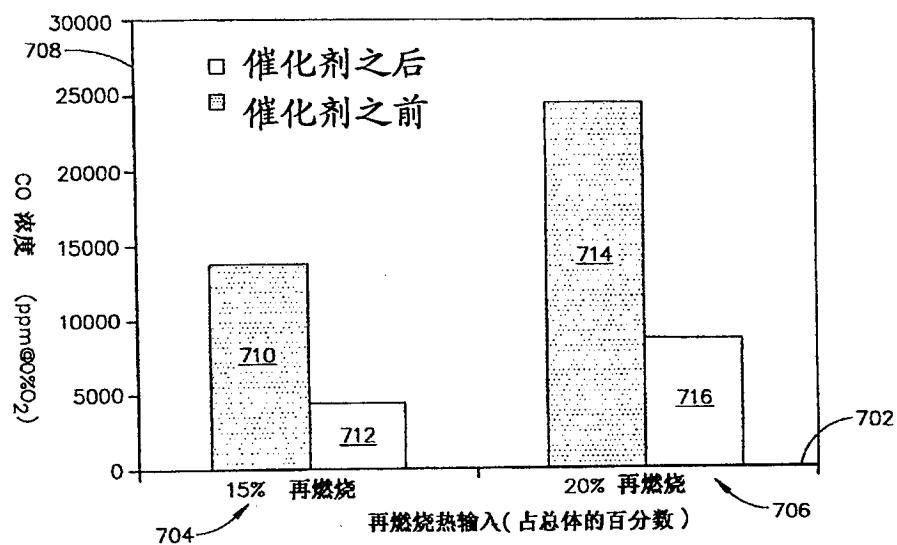


图 7

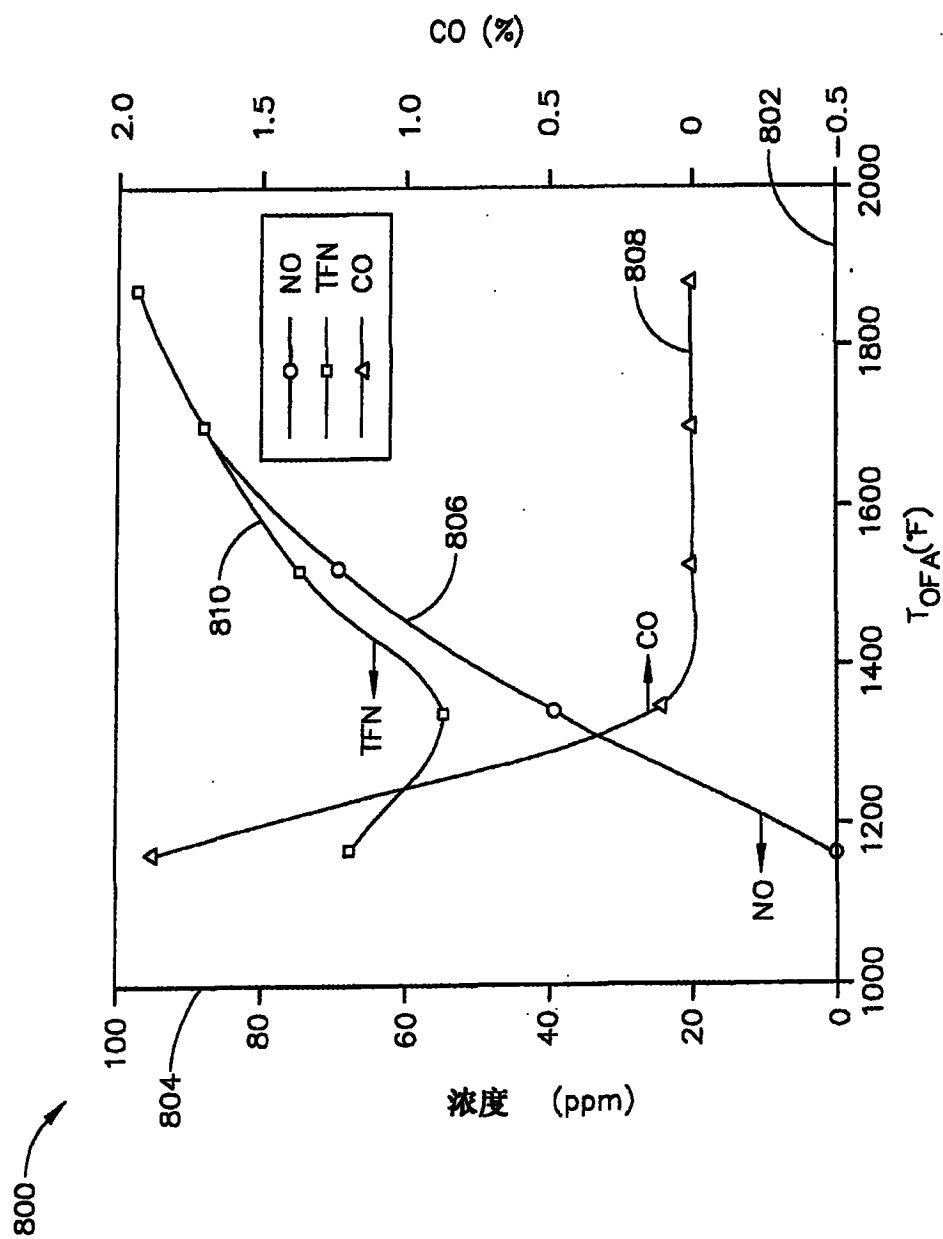


图 8