

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

F23C 7/02

F23C 9/00



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98116747.0

[45] 授权公告日 2003 年 8 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 1119558C

[22] 申请日 1998.7.31 [21] 申请号 98116747.0

[30] 优先权

[32] 1997. 8. 4 [33] US [31] 905344

[71] 专利权人 普莱克斯技术有限公司

地址 美国康涅狄格州

[72] 发明人 H·M·赖安三世

小 A·W·弗兰西斯 小林尚

M·F·里莱

审查员 李玉红

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

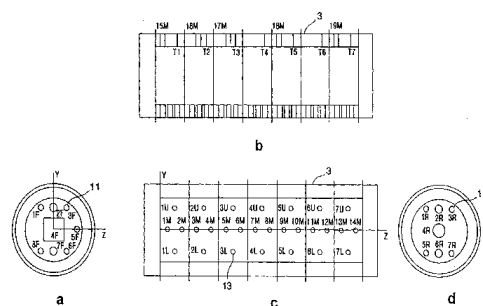
代理人 卢新华 罗才希

权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 5 页

[54] 发明名称 减少氮氧化物产生的燃烧方法

[57] 摘要

本文涉及一种减少 NO_x 产生的燃烧方法，该方法是通过低浓易燃物和低浓氧反应进行的。这些低浓度是通过经空间隔开的喷口以高速喷入燃料和氧化剂物流而获得的。



ISSN 1008-4274

1. 一种减少 NO_x 产生的燃烧方法，该方法包括：
 - (A) 提供含有炉气的燃烧炉，该炉气包含温度超过 1000F 的非反应性物质；
 - 5 (B) 燃料物流在燃料喷入点供入燃烧炉，该物流含有易燃物，并至少具有下列条件之一：(i) 呈涡流流动，(ii) 速度至少为 100m/s；
 - (C) 氧化剂物流在与燃料喷入点隔开的氧化剂喷入点供入燃烧炉，该物流的氧浓度大于 21 % (体积)，并至少具有下列条件之一：(i) 呈涡流流动，(ii) 速度至少为 75m/s；
 - 10 (D) 在燃烧炉内混合燃料物流和炉气，以产生燃料反应物，其所含易燃物浓度不超过 10 % (体积)；
 - (E) 在燃烧炉内混合氧化剂物流和炉气，以产生氧化剂反应物，其所含氧浓度不大于 10 % (体积)；以及
 - (F) 使燃料反应物与氧化剂反应物发生反应。
- 15 2. 权利要求 1 的方法，其中氧化剂喷入点与燃料喷入点处于同一炉壁上。
3. 权利要求 2 的方法，其中氧化剂喷入点与燃料喷入点至少相隔 6 英寸。
4. 权利要求 1 的方法，其中氧化剂喷入点与燃料喷入点处于不同炉
20 壁上。
5. 权利要求 1 的方法，其中多股燃料物流喷入燃烧炉。
6. 权利要求 1 的方法，其中多股氧化剂物流喷入燃烧炉。
7. 权利要求 1 的方法，其中供入燃烧炉的燃料物流预热至高于环境温度。
- 25 8. 权利要求 1 的方法，其中供入燃烧炉的氧化剂物流预热至高于环境温度。
9. 权利要求 1 的方法，其中燃料物流和氧化剂物流两者皆呈涡流流动。
10. 权利要求 1 的方法，其中燃料物流和氧化剂物流中仅一种物流
30 呈涡流流动。

减少氮氧化物产生的燃烧方法

本发明总的涉及燃烧，具体地涉及发生在燃烧炉中的混合后燃烧。

- 5 已研究过多种减少燃烧过程产生的氮氧化物（NO_x）量的技术。这些技术包括：（a）燃烧后的清洁对策，例如选择性非催化还原（SNCR）和选择性催化还原（SCR）；（b）改变操作条件，例如调节空气/燃料比；（c）改变燃烧器内部构件，空气分级器和燃料分级器可说明此类方法；和（d）改变燃烧系统，具体而言，通过采用燃
- 10 烧废气循环系统。

大部分技术是与基于空气的燃烧方法相关。许多工业部门的采用氧或富氧空气的燃烧系统，降低NO_x的技术应针对产生NO_x的问题，NO_x的产生是基于氧的燃烧过程所特有的。

- 15 已知，燃烧产生的氮氧化物（NO_x）的量随温度和随氧及氮的浓度而增加。在空气被纯的，接近纯的氧或富氧空气所取代时，可观察到两种相互竞争的效应。一方面，可用来形成NO_x的氮的量降低；另一方面，火焰温度增高。但是，应该指出，甚至在用工业纯氧（氧浓度为99.5%或更高）进行燃烧时，炉中的氮含量会因为空气泄漏进炉中或因为采用燃氧和燃空气两者的燃烧器而处于显著水平。

- 20 在降低基于氧的燃烧过程产生的NO_x量方面的进展包括使存在于炉中之物质在与燃料物流接触前与氧化剂物流进行混合。虽然这种技术所取得的降低NO_x的效果极佳，但联邦和州所规定的NO_x排放目标值日益严格。因此，仍需要各种燃烧过程，其产生越来越低的NO_x，但仍能有效加热工业用炉，如在制造玻璃和炼钢中所用的工业炉。

- 25 本发明的目的在于提供控制燃烧系统的方法，以减小NO_x的产生。通过本发明可以达到上述和其它目的，这些目的在本领域技术人员阅读本发明后即可明白，该发明为：

减少NO_x产生的燃烧方法包括：

- 30 （A）提供含有炉气的燃烧炉，该炉气包含温度超过1000F的非反应性物质；

（B）燃料物流在燃料喷入点供入燃烧炉，该物流含有易燃物，并至少具有下列条件之一：（i）呈涡流流动，（ii）速度至少为100m/s；

(C) 氧化剂物流, 在与燃料喷入点隔开的氧化剂喷入点供入燃烧炉, 该物流的氧浓度大于 21 % (体积), 并至少具有下列条件之一: (i) 呈涡流流动, (ii) 速度至少为 75m/s;

(D) 在燃烧炉内混合燃料物流和炉气, 以产生燃料反应物, 其所含易燃物浓度不大于 10 % (体积)

(E) 在燃烧炉内混合氧化剂物流和炉气, 以产生氧化剂反应物, 其所含氧浓度不大于 10 % (体积); 以及

(F) 使燃料反应物与氧化剂反应物发生反应。

本文所用之术语“氮氧化物”或“NO_x”具体系指一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO₂) 的组合物。

本文所用之术语“燃烧产物”主要包括二氧化碳 (CO₂) 和水 (H₂O), 但亦可包括氮 (N₂)、一氧化碳 (CO)、氧 (O₂)、氢 (H₂) 和碳氢化合物如醛类。

本文所用之术语“易燃物”系指在燃烧炉的条件下能参与与氧的燃烧反应的物质。喷入燃烧炉进行燃烧过程的燃料物质, 例如甲烷, 丁烷, 丙烷等是易燃物的主要成分; 此外, 其它能同氧反应的物质, 例如一氧化碳 (CO) 和氢 (H₂), 亦可在燃烧炉中存在。

本文所用之术语“非反应性物质”系指存在于燃烧炉中的对于易燃物与氧之间发生的燃烧反应呈惰性的化合物。非反应性物质的例子包括如 H₂O, CO₂ 和 N₂。

本文所用之术语“炉气”系指存在于燃烧炉内的气体气氛。

图 1 表示能用于实施本发明的燃烧炉。

图 2 表示本发明的几种试验结果的图形。

图 3 - 5 表示本发明各次试验中燃烧炉中各物质的浓度测量结果。

本发明涉及混合后燃烧方法, 其中燃料和氧化剂分别喷入燃烧室如燃烧炉。根据本发明的一种优选实施方案, 燃料和氧化剂的供入方式不同于普通的混合后燃烧器。

为了引发本文所公开的燃烧过程, 燃烧室或燃烧炉的温度应大于所含反应物的自燃温度。一般说来, 燃烧炉中炉气之温度高于 1000F。对于天然气和氧的燃烧, 例如, 燃烧区的温度实际上应高于 1400°F。因此, 本发明可实施于高温工业燃烧炉, 如玻璃熔炼, 钢的再加热以及其它部门。

虽然本发明可用于基于空气的燃烧系统, 但对于利用氧含量高于空

气的氧化剂的燃烧过程特别有利。例如，本发明可以燃烧来源于低温或非低温空气分离制得的氧来实施。本发明亦可以燃烧氧含量高于 21%（体积）的富氧空气来实施。

5 根据本发明的一种实施方案，优选的燃料为气态，例如天然气，甲烷，丙烷，丁烷，焦炉气，其它碳氢化合物气体以及其它合适的气态燃料。

10 在一种优选实施方案中，燃料和氧化剂的温度接近或等于环境温度。但是，实施本发明亦可采用温度较高或相当高的燃料和/或氧化剂物流。这点特别有利，因为通过普通燃烧器利用预热的氧化剂和/或预热的燃料来进行基于氧的燃烧预计会增加火焰温度，从而也增加 NO_x 的排放。一般说来，在所用设备、工艺和材料的限制范围内，燃料和氧可预热到高于环境的任一温度。因此，本发明可用于热回收或热一体化方案，使 NO_x 的产生量最小化，其中，燃料和/或氧化剂物流在其喷入燃烧炉内和燃烧之前进行预热；例如可用与燃烧废气进行热交换实现预热。在这类情况下，燃料和氧化剂的预热可以是中等的，例如燃料温度
15 约为 400F，氧化剂温度约为 200F；或者其温度可达较高，例如燃料温度约为 1000F，氧化剂温度约为 1500F。如果需要，用本文叙述的燃烧方法可对付温度更高的，例如约为 2000F 的氧化剂和燃料。

20 本明公开一种目的在于减小 NO_x 生成的燃烧方法。根据本发明，氧化剂和燃料两者皆喷入燃烧炉，其方式是在氧的浓度和易燃物的浓度降低之前使燃烧反应达最小化。在实施本发明时，采用氧浓度低于 10%（体积）的氧化剂反应物和易燃物浓度低于 10%（体积）的燃料反应物来进行燃烧反应。优选氧化剂反应物的氧浓度低于 5%（体积），燃料反应物的易燃物浓度低于 5%（体积）。更优选氧化剂反应物的氧浓度低于 2%（体积），燃料反应物的易燃物浓度低于 2%（体积）。其
25 它物质主要由热的非反应性物质组成，在燃氧的燃烧过程中这些物质主要是 CO₂ 和 H₂O。

30 曾经发现，对于获得这里所期望的氧浓度不大于氧反应物的 10%（体积）和易燃物浓度不超过燃料反应物的 10%（体积）的影响因素是与燃料和氧化剂的喷入点的位置有关。氧化剂物流的喷入点与燃料物流的喷入点是隔开的。一般说来其距离大于普通混合后燃烧器所采用的距离。可以设想多种布置方案，两个喷入点可在同一燃烧炉壁上，或在不同的壁上，两壁可相邻或者相对。如在同一燃烧炉壁或炉面上，两喷入点可在任意

方向上相互隔开，例如按垂直，水平或者按对角线隔开。在燃烧炉中可采用数种布置方案。此外，只要能达到预期的浓度，可对一个燃料喷入点可设置两个或更多的氧化剂喷入点；或者对一个氧化剂喷入点设置两个或更多的燃料喷入点。

- 5 对于氧化剂和燃料两者皆从同一壁喷入的布置方案，本发明的优选实施方案是将喷入点隔开至少6英寸（152mm），距离是从喷入点的中心算起。曾经发现，较低的NO_x排出量可用增加喷入点的距离来达到；例如，曾经试验过，分开距离为24英寸对于减少NO_x生成效果很好。

保持燃料和氧化剂喷入点之间必需的距离有助于保证使燃烧反应放慢，直至炉气混合入燃料物流，并且独立地，混合入氧化剂物流能使氧和易燃物的浓度降到预期的水平。

曾经发现另一因素对于实施本发明以达到很有利的降低浓度是很重要的，此因素与燃料和氧化剂物流或喷射流的夹带性质有关。采用提高炉气夹带入两分开的喷射流中的燃料和氧化剂喷入方式，在进行燃烧反应之前，即可降低氧的浓度和易燃物的浓度。炉气含有燃烧产物（主要是CO₂和H₂O）、易燃物、分子氮（N₂）、氧（O₂）和其它物质。以高速喷入燃料和氧化剂，两种物流或喷射流的湍流和炉气的夹带都增高。可以预期，因燃料和氧化剂的马赫数（Mach numbers）在0.25 - 1.0之间，则可获得低的NO_x排出量。例如，燃料物流的喷入速度可超过100米/秒（m/s），氧化剂物流的速度可超过75m/s。曾经发现，对实施本发明特别有利的燃料喷入速度的范围约为133m/s - 290m/s，氧化剂喷入速度约为200m/s - 250m/s。

25 将带倾斜角的或正向的部件置于喷射流中，例如采用涡流亦可获得氧化剂、燃料或两者对炉气的良好夹带。产生涡流流体流的技术是本领域已知的技术。例如，在燃料、氧化剂或两者的喷入点附近放置多个叶片可赋予涡流流动；对于这种布置方案，涡流度可通过调节叶片的角度进行变化。

根据本发明的一种实施方案，燃料和氧化剂两者皆可呈涡流流动。根据另一实施方案，只有一个入射流可呈涡流流动，而另一入射流可高速喷入，基本上如上所讨论的。

据认为，采用如本文所述的燃料和氧化剂喷入方式，可在燃烧炉内部建立再循环模式，并且大量的非反应性物质，如CO₂，H₂O和N₂混

入燃料物流和氧化剂物流。除了为燃料和氧的自然提供热之外，据认为这些非反应性物质会影响 NO_x 的生成机理，可以认为，例如非反应性物质提供热阱从而降低火焰温度，因此， NO_x 的产生是通过所谓的热（Zeldovich）机理。此外，还认为，由于氧化剂与炉气的混合而使氧浓度降低亦有利于通过这种机理产生低 NO_x 。

但是， NO_x 的产生至少可通过另外两条途径。瞬发（Fenimore）机理在具有较大数量的含 CH 物质的富燃料条件下应予考虑；在低温和贫燃料的条件下， N_2O 中间机理的重要性亦同样得到认可。

瞬发机制可导致 NO_x 物质的生成或者破坏。由于这种机制的复杂性，难以确定那种化学途径是主要的。不希望坚持对本发明作任一机理的解释，但可以认为这里所叙述的燃烧条件也导致形成富燃料环境，从而有利于 NO_x 的净破坏。

因此，利用氧浓度不大于氧反应物的 10%（体积）和易燃物浓度不超过燃料反应物的 10%（体积）并结合以富燃料燃烧区的建立来进行燃烧反应，显示出有利于减少 NO_x 的生成。

在实施本发明时，燃烧不集中在混合后燃烧器的表面上或其附近的强焰中，而是无焰的并发生在燃烧炉内部一个相当大的体积内；这有助于使热量在整个燃烧炉内得到相当均匀分布。

先前的努力集中在燃料物流与低氧浓度的氧化剂的燃烧上，而本发明却包括一种燃烧方法，其中燃料物质的浓度，因而能与氧浓度不大于氧反应物的 10%（体积）的氧反应的易燃物浓度也降低。此外，富燃料反应区的建立有利于减少 NO_x 的生成。提高氧化剂和燃料物流两者对含有非反应性物质的炉气的夹带，以及将该两股物流独立地在空间上相互隔开的点喷入将有利于获得进行该燃烧反应所需的条件。

下列例子是作为说明的目的，而不是限制本发明。

实验曾在圆柱形、内衬耐火铸材的燃烧炉中进行，燃烧炉内径为 36 英寸，内长 126 英寸。燃烧炉示于图 1，未按比例绘制：1(a) 和 1(d) 分别表示燃烧炉的前面和后面或后壁，而 1(b) 和 1(c) 则分别表示燃烧炉的顶视图和侧视图。燃烧炉的前面和后面喷口 11。喷口 11 的位置在燃烧炉的正面以 1F-8F 表示，在燃烧炉的后面以 1R-7R 表示。燃烧炉的侧壁图 1(c) 设有另外的侧壁喷口 13。

置于喷口 11 中的水冷喷管用于喷入燃料或氧化剂。典型的喷管口径为 0.150 - 0.700 英寸，每个喷管用于供给或者燃料或者氧化剂但不是两

者。曾对数种喷入布置方案进行试验，在这些方案中燃料和氧化剂从同一炉壁或炉面（同流点火）或者从相对的炉壁或炉面引入（逆流点火）燃烧炉中。

5 试验条件如下：燃烧炉壁温保持恒定，约为 1370K（2007F）；在废气中测出的氧浓度通常为 2 - 3 %（体积，湿）以及燃烧率为 185 kW（~ 0.6 MMBtu/h）。

10 如果氧化剂采用纯氧，氮可通过一个或多个侧喷口 13 供入，以模拟空气向利用富氧空气的工业燃烧炉或燃烧系统中的泄漏。当氮浓度从 0 变到 77 % 时，调节氧化剂的质量流量，以保证废气中氧浓度保持在 2 - 3 %（体积，湿）。伴随氧质量流量的改变，氧的流速亦随之改变；当炉中氮含量从 0 变到 77 % 时，氧流速的典型变化约保持在 15 % 以下。

曾经试验了多种同流点火和多种逆流点火的布置方案。两种典型情况示于图 2，该图表示 NO_x 的能量排放指数和氮浓度的函数关系。能量排放指数定义为污染物 NO_x 的质量与供给的燃料能量的比值。小方点符号表示同流点火方案所得的结果（标为 F6F - O1F），其中燃料（此时为天然气）从喷口 6F 喷入，此时的氧化剂为工业纯氧，从喷口 1F 喷入。小圆点符号表示逆流点火布置方案所得结果（标为 F8F - O3R），其中燃料（天然气）从喷口 8F 喷入，氧化剂（工业纯氧）从喷口 3R 喷入。

20 从图 2 可以看出，在氮浓度约为 55 % 之前，NO_x 排放量与炉中氮呈线性关系。对于同流点火方案，在氮浓度小于 55 % 时，NO_x 排放量低于 0.005g/MJ（~ 10ppm 空气当量 @ 3 % O₂，干）。对于逆流点火方案，在氮浓度小于 55 % 时，NO_x 排放量较高但仍低于 0.012g/MJ（~ 24ppm 空气当量，@ 3 % O₂，干）。

25 一般说来，对于同流点火和逆流点火方案两者，其 CO 排放量的观测值皆低于 35ppm d。

为了进一步评价实施本发明的燃烧过程，曾经完成了测定氧，甲烷和一氧化碳的存在及其在燃烧炉中的分布的试验。

30 对于这些试验，侧喷口 13 提供了可向燃烧炉内部插入各种探头，取样仪和诊断仪的入孔。未向燃烧炉供氮，温度保持在约 2000F（1366K）；废气气中氧浓度皆保持在 2 - 3 %（体积，湿）。

气体样品从燃烧器废气经水冷不锈钢探头和真空泵取样系统取出。经除水后分析该样品的 CO₂，CO，NO，和 O₂。NO₂ 的分子量用于

计算所有的相应的排放指数。样品中的水含量是从氢原子配平计算的。

气体样品亦从燃烧炉内部取出。水冷直角探头用于从燃料或氧化剂射流边界区取气体样品；水冷直进式取样探头用于从燃烧炉内其它位置取气体样品。

- 5 从图 2 可以看出，同流点火在所叙述的燃烧炉中产生的 NO_x 水平稍低于逆流点火方案。对燃烧炉内物质的监测显示，两种布置方案亦导致整个炉内不同的 O_2 ， CO ，和 CH_4 的分布图形。

10 在逆流点火的布置方案中，对 F6F - O1R（燃料和氧化剂通过对角线上相对设置的各自位于喷口 6F 和 1R 的喷管喷入）进行了试验，炉内探测发现，大部分炉体内存在富氧环境。事实上，在某几个炉区内氧浓度高于废气中测得的浓度（2.15 体积、湿）。在燃料射流附近发现 O_2 浓度约为 5%。

CO 和 CH_4 在燃烧炉的大部区域不存在，这些物质只在包含燃料喷入点的燃烧炉平面达可测量水平。

- 15 图 3 - 5 表示同流点火布置方案 F6F - O1F 所得的结果，其中燃料和氧化剂分别从喷口 6F 和 1F 喷入。燃烧相关物质的存在是通过水平剖出的炉的下，中和上平面上的等高浓度来说明的。对于燃烧炉的每个平面，测得的浓度用实心圆点标出，其测定值紧靠圆点。图 3 - 5 同时表明了燃料和氧化剂喷入点的位置以及废气的位置。

20 图 3 表明，在炉中很大容积内不存在氧，可测水平的氧集中在炉上平面，废气中氧浓度为 2.82%（体积，湿）。

图 4 说明，在炉中很大容积内存在 CO ，在燃烧炉的下平面和中平面尤为突出。

可测水平的甲烷同样发现于炉中很大容积内，如图 5 所示。

- 25 这些试验表明，在进行燃烧反应之前将炉气最大地混入氧化剂物流和混入燃料物流中，从而相应降低氧化剂反应物和燃料反应物中的氧浓度和易燃物浓度，这样就可达到大大减少 NO_x 的结果。

此外，可以认为，在炉体内出现含 CH 物质的富燃料区可有助于减少 NO_x 的生成。

- 30 虽然本发明的详细叙述是以某些实施方案为例，本领域技术人员会理解，在权利要求的原则和范围内还有其它实施方案。

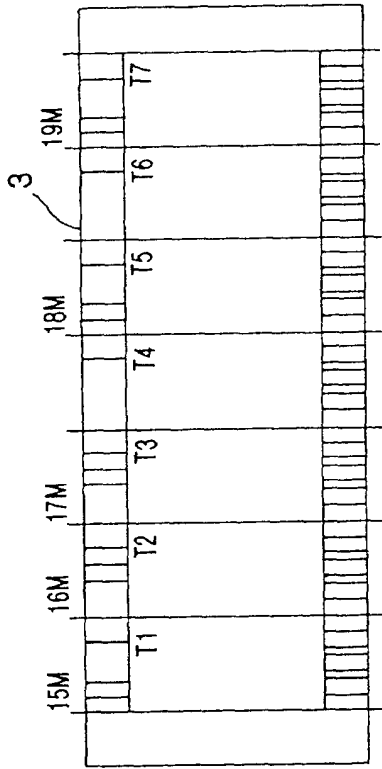


图 1b

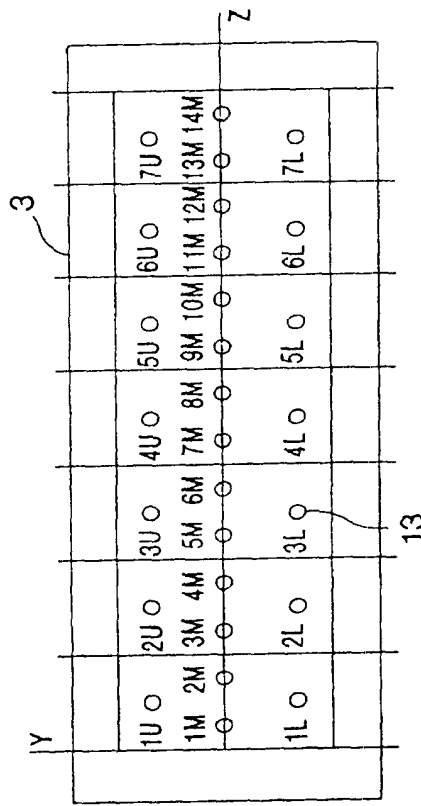


图 1c

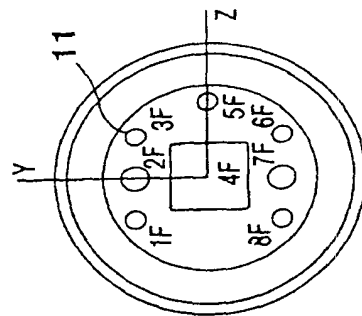


图 1a

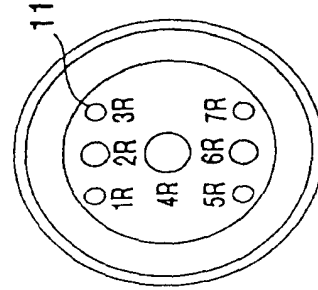


图 1d

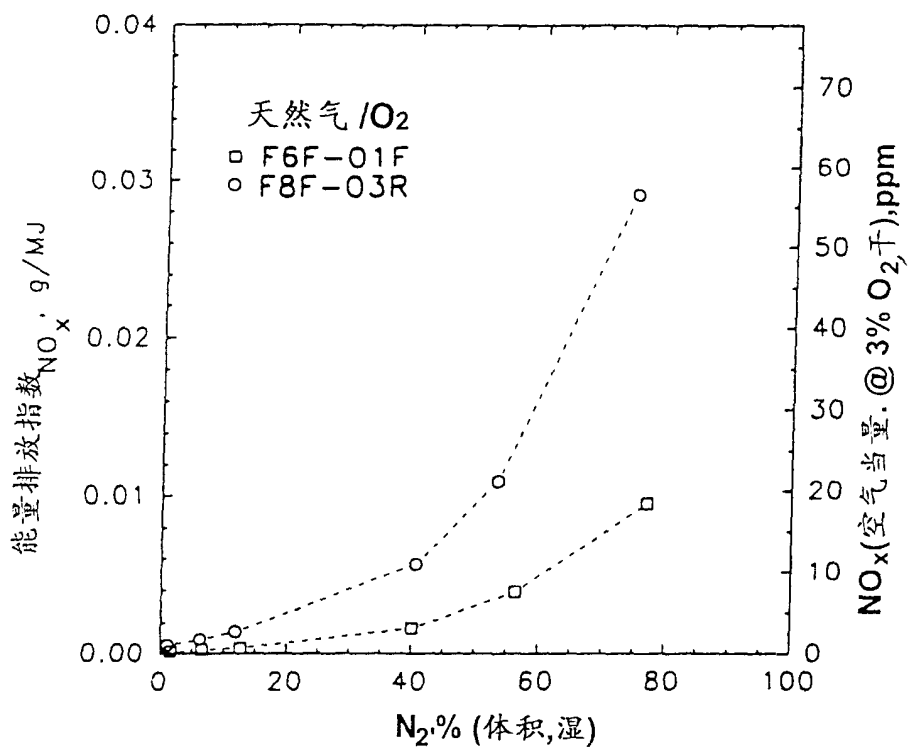


图 2

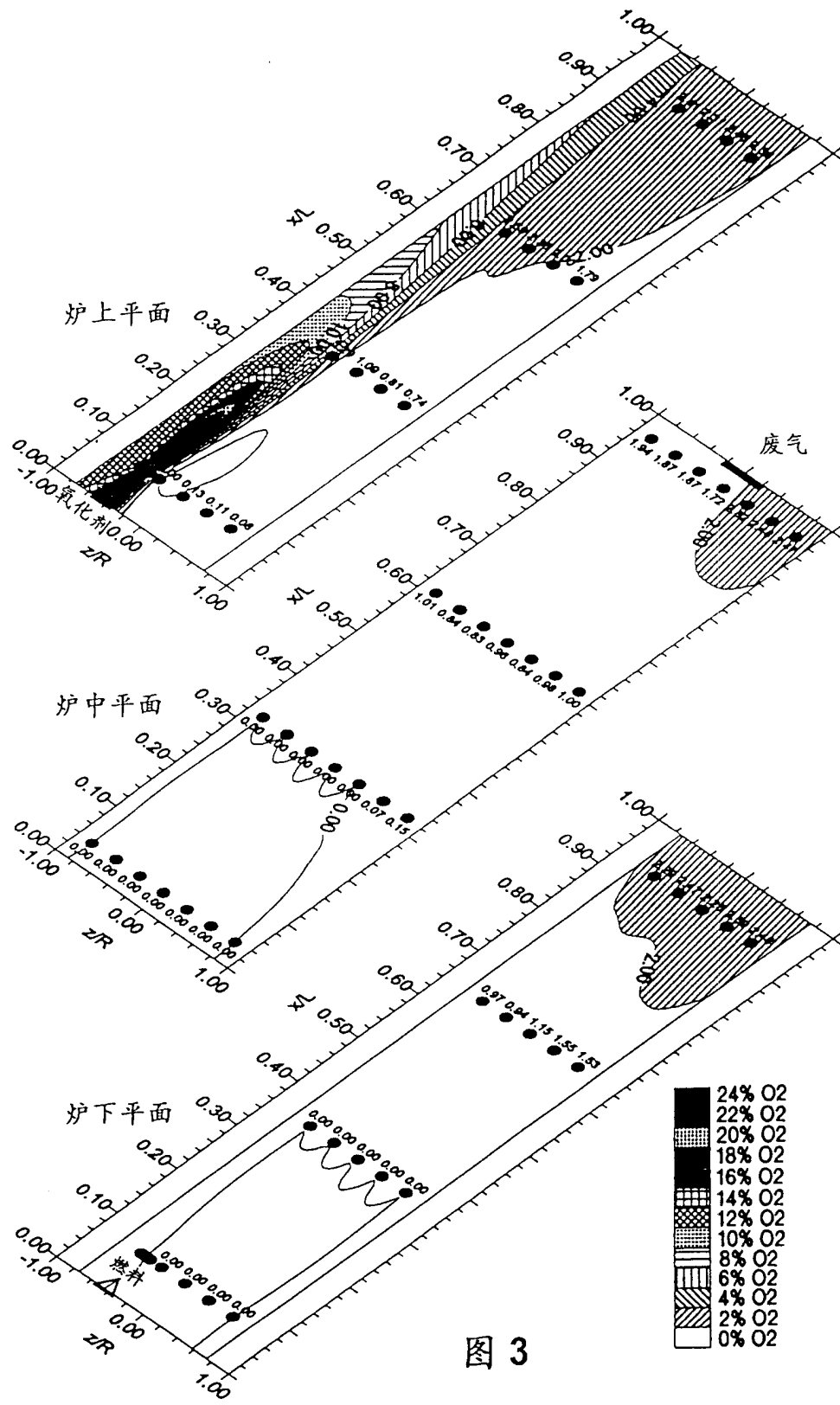




图 4

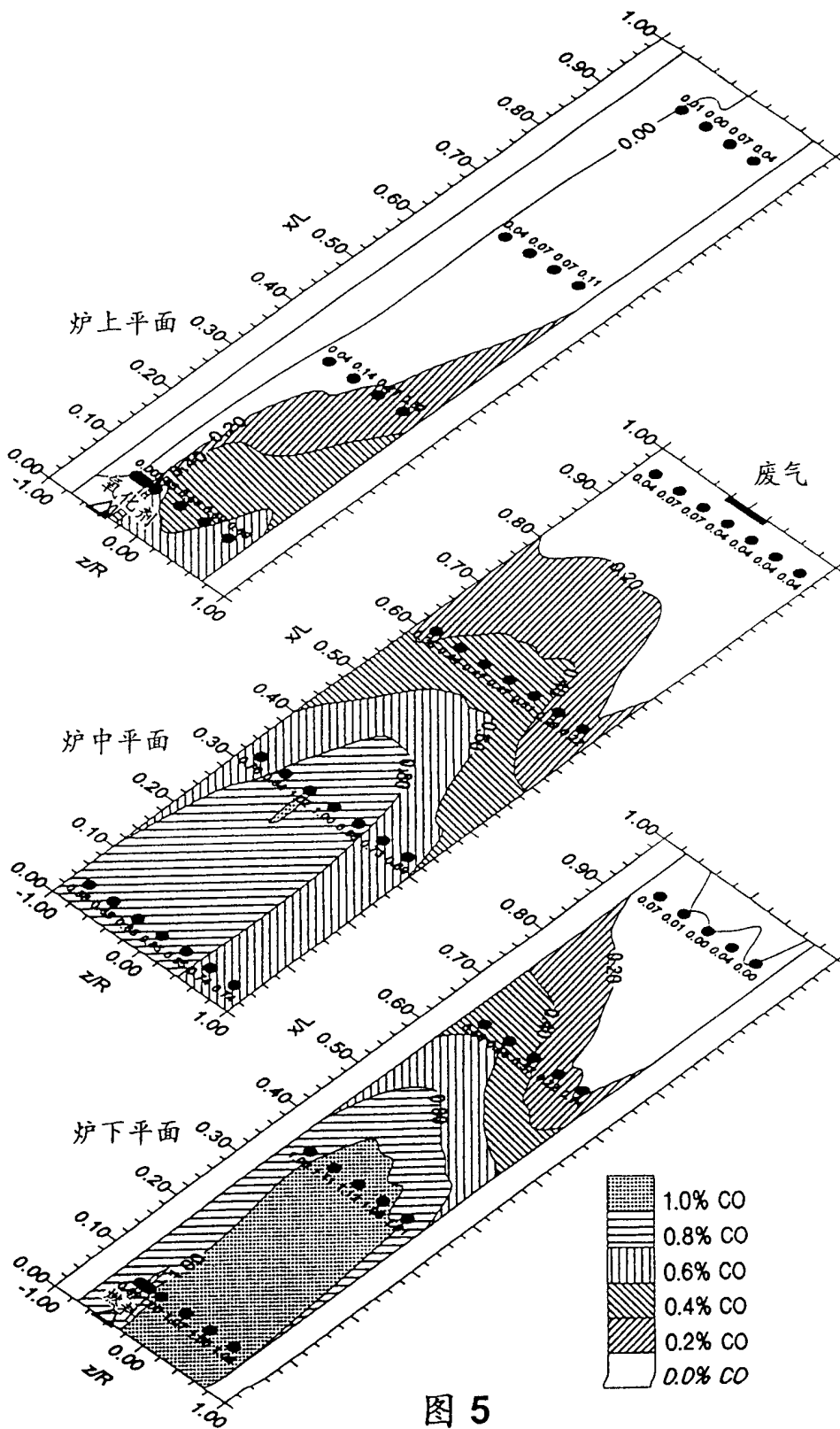


图 5