[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
F23D 14/56
F23C 5/14 F23D 14/22

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99110028.X

[45] 授权公告日 2004 年 3 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 1143078C

[22] 申请日 1999.6.29 [21] 申请号 99110028.X

[30] 优先权

[32] 1998.6.30 [33] US [31] 09/106771

[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 W·J·斯奈德

小 A·W·弗兰西斯

审查员 张旭东

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

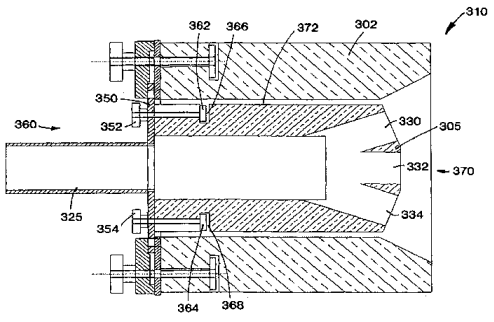
代理人 周备麟 黄力行

权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 5 页

[54] 发明名称 宽火焰燃烧器

[57] 摘要

提出一种利用宽燃烧火焰进行燃烧的方法、喷嘴组件和系统。



ISSN1008-4274

1.一种喷嘴组件，用于将一个宽氧化剂层和一个宽燃料层单独喷入燃烧区，包括:

（a）一个第一耐热喷嘴，其最小壁厚为最小喷嘴尺寸的约 0.25 至约 0.33，该喷嘴包括多个第一小孔，这些第一小孔限定一个第一平面;

（b）一个第二耐热喷嘴，其最小壁厚为最小喷嘴尺寸的约 0.25 至约 0.33，该喷嘴包括多个第二小孔，这些第二小孔限定一个平行于第一平面的第二平面;

（c）一个与每个第一小孔流体连通的第一管道机构，用于使氧化剂从一个氧化剂源通到各第一小孔；以及

（d）一个与每个第二小孔流体连通的第二管道机构，用于使燃料从一个燃料源通到各第二小孔，其中，每个第一小孔与一个对应的第二小孔垂直对准。

2.按权利要求 1 所述的喷嘴组件，其特征在于，每个第一和第二耐热喷嘴的壁厚小于 1.5 英寸。

3.按权利要求 1 所述的喷嘴组件，其特征在于，第一耐热喷嘴安置在第二耐热喷嘴的下方。

4.按权利要求 1 所述的喷嘴组件，该喷嘴组件形成一个燃烧器，其特征在于，每个第二小孔与一个对应的第一小孔垂直对准并处于同一分岔角度。

5.按权利要求 1 所述的喷嘴组件，其特征在于，还包括一种安置在每个所述第一和第二耐热喷嘴之间的耐热材料。

6.按权利要求 5 所述的喷嘴组件，其特征在于，第一组小孔和第二组小孔互相平行。

宽火焰燃烧器

技术领域

本发明涉及一种燃烧物料用的方法和系统，更具体地涉及利用宽火焰进行燃烧。

背景技术

在玻璃炉的氧－燃料燃烧中需要用火焰更大地覆盖玻璃表面。完成该要求的一种方法是使用一种宽火焰燃烧器。此种类型的燃烧器产生的火焰其通过水平轴线的尺寸比在沿火焰的轴线的任何截面处通过垂直轴线的尺寸要大得多。

最近，其它制造商已将在玻璃炉中使用宽火焰燃烧器的优点成功地推向市场。但是，这些燃烧器的商业化一直存在问题。燃烧器过热、装置腐蚀、喷嘴堵塞和火焰形状不良均涉及到。为了利用较简单的燃烧器几何尺寸克服这些问题，努力寻找更好的方式来从氧－燃料燃烧器产生一种平面火焰。

市场上可以利用若干种宽火焰燃烧器，每种燃烧器使用各种不同技术来产生火焰。EP 754，912 A2 公开以低速喷射会聚的燃料和氧气流，以便从燃烧器产生一种长的宽火焰。

美国专利 NO.5,299,929 公开一种燃烧器，其中利用扇形图形的多个燃料小孔将燃料分配在扇形宽火焰中。该燃料夹在两个用挡板紧密间隔的上下氧通道之间，这迫使氧在流出燃烧器时沿扇形路径行进。

美国专利 No.5,302,112 公开一种燃烧器，其中低速燃料和氧气流沿垂直轴线有目的地在一起撞击。当正确调整时，这产生一种水平平面火焰，在炉中撞击点处开始。

美国专利 No.5,611,682 公开一种长形开孔的使用，以便产生一种用于所述燃烧器的宽的或扇形的火焰。

在该技术中有各种涉及操作和维修的问题讨论得不充分，例如长时间高温操作的容量与避免喷嘴堵塞、装置腐蚀和不良火焰形状的问题。因此，需要在工业中解决这些问题。

发明内容

本发明涉及一种利用宽火焰进行燃烧的方法，包括下列步骤：（a）

提供一个包含温度超过约 1000 ℃的一个大气压的炉内气体的燃烧区；（b）通过一个第一耐热喷嘴以小于约 180 英尺/秒的速度喷射一个宽氧化剂层，以便在燃烧区内产生一氧化剂层，该耐热喷嘴有多个第一小孔；（c）通过一个有多个第二小孔的第二耐热喷嘴喷射一个宽燃料层，该燃料以小于约 210 英尺/秒的速度喷射，以便在燃烧区内平行于氧化剂层的平面内产生一燃料层；（d）使一部分从氧化剂层来的氧化剂与至少一部分从燃料层来的燃料成紊流混合，以便在燃烧区内的混合层中产生氧化剂－燃料混合物；以及（e）在燃烧区内的混合物层中燃烧燃料和氧化剂，以便产生一宽火焰。

在另一个实施例中，本发明也涉及一种喷嘴组件，用于将一个宽氧化剂层和一个宽燃料层隔开地喷入燃烧区，包括：（a）一个第一耐热喷嘴，其最小壁厚为最小喷嘴尺寸的约 0.25 至约 0.33，该喷嘴包括多个第一小孔，这些第一小孔限定一个第一平面；（b）一个第二耐热喷嘴，其最小壁厚为最小喷嘴尺寸的约 0.25 至约 0.33，该喷嘴包括多个第二小孔，这些第二小孔限定一个平行于第一平面的第二平面；（c）一个与每个第一小孔成流体连通的第一管道机构，用于使氧化剂从一个氧化剂源通到各第一小孔；以及（d）一个与每个第二小孔流体成连通的第二管道机构，用于使燃料从一个燃料源通到各第二小孔；其中，每个第一小孔与一个对应的第二小孔垂直对准。

在又一个实施例中，本发明涉及一种用于产生宽燃烧火焰的燃烧器，包括：（a）一个第一耐热喷嘴，其最小壁厚为最小喷嘴尺寸的约 0.25 至约 0.33，该喷嘴包括多个第一小孔；（b）一个第二耐热喷嘴，其最小壁厚为最小喷嘴尺寸的约 0.25 至约 0.33，该喷嘴包括多个第二小孔，第一小孔的数目等于第二小孔的数目；（c）一种安置在每个第一和第二耐热喷嘴之间的耐热材料；（d）第一和第二喷嘴可移动地安装在耐热燃烧器装置内，使得每个第一小孔与一个对应的第二小孔垂直对准；（e）一个与每个第一小孔流体才连通的第一管道机构，用于使氧化剂从一个氧化剂源通到各第一小孔；以及（f）一个与每个第二小孔成流体连通的第二管道机构，用于使燃料从一个燃料源通到各第二小孔，其中，每个第二小孔与一个对应的第一小孔垂直对准，并处于同一角度。

第一耐热喷嘴可以安置在第二耐热喷嘴的上方或下方。第一喷嘴中的小孔数目最好等于第二喷嘴中的小孔数目。氧化剂是一种氧浓度按体

积至少为 30％的流体。最好是，使用纯氧化氧化剂。燃料最好包括一种气体燃料（包括天然气）和在该技术中已知的其它可燃性气体，如氢、丙烷和液态石油气。

在喷入燃烧区之前，氧化剂和燃料两者之一或两者可从外部预先加热。

组件的第一和第二耐热喷嘴的最小壁厚小于 1.5 英寸，每个小孔与该喷嘴中的相邻小孔以 0 至 45 度之间的某个角度分开。每个喷嘴是一个可以替换的单元组件，并可以互相平行。每个耐热喷嘴可以相对于燃烧器装置凹进相同距离。最好是，在第一和第二耐热喷嘴之间安置一种耐热材料，以防止氧化剂和燃料在燃烧器体内意外地混合。

如本文所用，术语“可燃区”指一个其中燃料和氧化剂混合和反应而释放热量的容积。

如本文所用，术语“纯氧”指一种含氧的浓度至少为 99.5%的气体。

如本文所用，术语“气体燃料”指一种由一个或多个气体组分组成的燃料，其中的一些是分散在气体介质中的可燃性液体燃料小液滴、分散在气体介质中的固体燃料微粒。

如本文所用，在宽火焰上下文中的术语“宽”指火焰在沿其轴线的任何截面处呈现的纵横比大于 2（即火焰长轴的宽度是火焰短轴的高度的二倍或更多倍）。

如本文所用，在“耐热体”的上下文中的术语“耐热”指能承受大于 2200 欁（1204℃）的温度的一系列材料中的任何一种，它们通常由其它金属元素的氧化物、氮化物或碳化物组成。例子为二氧化硅、熔融二氧化硅、结合的氧化铝－氧化锆－二氧化硅、氧化铝、莫来石、碳化硅、氮化硅和氮化硼。对于本发明的目的、优先的耐热材料为含约 66％氧化铝、21％氧化锆和 12％二氧化硅的氧化铝－氧化锆－二氧化硅耐热材料。

附图说明

图 1a 是本发明喷嘴的一个实施例的顶视平面图。

图 1b 是图 1a 中例示的喷嘴的侧视图。

图 1c 是图 1a 中例示的喷嘴的正视图。

图 2a 是本发明的具有用于氧化剂和燃料的两个喷嘴的燃烧器的顶视平面图。

图 2b 是图 2a 中例示的燃烧器从气体入口端部看的正视图。

图 2c 是图 2a 中例示的燃烧器的侧视图。

图 2d 是图 2a 中例示的燃烧器的从气体出口看的正视图。

图 3 是通过包含图 1 喷嘴的另一实施例的喷嘴的燃烧器的切开的视图。

图 4 是本发明燃烧器的作为距射流原点距离（英尺）的函数的距射流中心线的高度（英寸）的计算的射流轨迹的曲线图。

图 5 是本发明燃烧器和一种标准燃烧器设计的作为炉 N_2 值（%湿）的函数的 NOx 排放（lb/MMBtu）的关系的图线。

具体实施方式

为了在本发明中产生宽火焰，从两个分开的喷嘴射出扇形图形的多个锥形燃料和氧化剂射流。这使得能够相当精确地控制整个火焰及其全部形状（即宽度）上燃料的分布。喷嘴的位置靠近炉壁的内（热）表面，使得燃料和氧化剂射流的角度可以操纵到任何所需角度而不受狭窄燃烧器装置边界的限制。

由于在炉中该位置处的高温，燃烧器喷嘴最好用耐热材料制成。这不需要水冷，并允许金属部件安置在炉壁的热表面附近。喷嘴应相当坚固，以便处理热冲击和机械冲击的可能性，并因此具有相当厚的截面。当氧化剂和燃料混合和燃烧时，为了避免产生过高温度，两股反应剂流通过两个相似喷嘴分开地射入，一旦它们离喷嘴一定距离，就在炉内混合。

如上所述，通过分开地注入气体，该燃烧器所产生的 NOx 大约为所有氧化剂和燃料在燃烧器装置内或紧靠燃烧器体前面直接接触时的任何燃烧器所产生的 NOx 的一半。喷嘴之间的垂直间隔将影响火焰长度和 NOx 程度，并可在设计前选择。

为了避免操作和维修问题，提出燃烧器的一种简单机械设计。这种简单性也使燃烧器在必须替换时成为一种低成本的物品。燃烧器的速度保持较低（50 至 210 英寸/秒），以尽可能减小不利于喷嘴的腐蚀性和可冷凝的炉内气体的夹带。喷嘴内的小孔也保持相当大，以使喷嘴能在高温操作，并避免大气中的易挥发物冷凝而可能使喷嘴堵塞。使用耐热材料作为关键的燃烧器部件，燃烧器也适合于与预热原料如预热氧和预热天然气一起使用。

下面参照附图详细描述本发明。

机械设计

图 1a、1b 和 1c 是耐热喷嘴的示意图。从简单性和功能性来说，这是本发明的关键。喷嘴 110 用耐热块材 120 做成，在前表面 170 中钻出或铸造三个小孔 130、132 和 134，以允许气体通入炉内。这三个小孔通入一个中心的较大通道 190，该通道 190 将气体从燃烧器的入口端（后面）160 引入出口端（前面）170。该通道的截面积大于喷嘴面中所有出口小孔面积的 85%，以保证气体对所有小孔均匀分布。在块件的每侧切割出或铸有两个槽 180 和 182，以允许用机械紧固件将块件 120 固定在一金属安装板上。渐渐缩小的空间 190 是将燃料或氧化剂分配到小孔 130、132 和 134 的管道。在耐热块料 120 中设有应力缝隙 140 和 142，以帮助释放由于喷嘴中不同温度而产生的拉伸应力。

在图 1c 中，燃烧器面沿三个小孔的水平长度可以表示为“L”，而燃烧器面的穿过一个小孔的垂直长度可以表示为“H”，如果 H 小于 L，那么喷嘴的最小尺寸是 H 的长度。

图 2a、2b、2c 和 2d 表示总的燃烧器构型，该构型由两个独立的燃烧器装置组成，以便两个喷嘴组成一个燃烧器。为简单起见，将只描述一个，因为两个装置在设计上是相似的。独立的装置有利于调整喷嘴的垂直空间间隔。在另一个实施例中，应当注意到，也考虑一个统一的装置包括两个喷嘴，每个喷嘴有多个小孔。

燃烧器装置 202 有一个安装在其背面的板 250，以固定喷嘴并在喷嘴板 270 和燃烧器装置板 250 之间提供一密封表面。这防止冷空气漏入喷嘴周围的炉内和防止热的炉内气体漏出。为了将燃烧器装置板 250 固定在燃烧器装置 202 上，使用螺杆机构 280、282、284 和 286。喷嘴板 270 在顶部边缘中有两个小的准直孔 266 和 268，孔中穿过两个在燃烧器装置板 250 上的销，使喷嘴板 270 可以与燃烧器装置板 250 精确地对准。这将燃烧器 210 中的喷嘴 205 安置在燃烧器装置中开孔的中心内。入口管 225 两侧上的两个小手柄 240 和 242 将喷嘴板 270 紧固在耐热喷嘴 205 上。以此种方式，可以更换一个有缺陷的、磨损的或破裂的喷嘴并用一个新的喷嘴替换，而仍使用同样的金属部件。喷嘴板 270 通过两个较大的手柄 260 和 262 与两个旋夹 290 和 292 紧固在燃烧器装置板 250 上。这使喷嘴 205 能够被插入和移出而并不必须从燃烧器装置板 250 上

拆去任何紧固件。这种燃烧器的维护和检修变得相当容易和简单明了。

图 3 中示出燃烧器 310 的部分省略顶视图。喷嘴 305 在燃烧器装置 302 的开孔中心，在图示中从燃烧器装置的前端 370 凹进。示出的喷嘴是图 1 中所示喷嘴的另一实施例，其中喷嘴的前表面有两个斜切口而非一圆形端部，这两个斜切口垂直于钻孔 334 和 330。燃烧器 302 前面处的开口是锥形的，以免喷嘴的成角度的射流冲击装置的边缘。

喷嘴 305 中的小孔 330、332 和 334 可以钻成任何直径和与喷嘴轴线成任何角度，以便改变从燃烧器发出的宽火焰的特性。

喷嘴 305 通过两个 T 形螺栓 362、364 固定在喷嘴安装板 350 上、T 形螺栓插入喷嘴 305 的后端 360 上的槽 366、368 中。两个手柄 352、354 用于将这两个部件紧固在一起。一个垫圈（未示出）置于喷嘴 305 和喷嘴安装板 350 之间，以防止在该接头处漏气。在喷嘴和燃烧器装置之间设置一个间隙 372，以便漏气时气体会无害地引向燃烧器装置 370 的前面。入口管道可以从燃料或氧化剂供给源连接到入口连接件 325 上，像任何标准的管道方式中一样。

通过使用耐热材料作为主要的燃烧器部件产生若干优点。第一，燃烧器在任何下行时间中均可留在炉中而不需额外的冷却要求。通常，当流向金属燃烧器的气体和氧化剂流关闭时，金属燃烧器必须移去或空气冷却，以免金属燃烧器部件损坏或过热。第二，燃烧器部件的较高表面温度将防止易挥发物从燃烧气氛中冷凝，冷凝在玻璃制造炉中是一个造成小孔堵塞和频繁维修的主要问题。第三、耐热的燃烧器部件可以与预热的燃料和/或氧化剂供给兼容，因为已经受热应力的金属部件不会出现过热。最后，不必考虑喷嘴温度，燃烧器的顶端可以更靠近炉的内部，由此允许利用各种不同的喷嘴钻孔图形来增加燃烧器的灵活性。每种不同的图形可对燃烧器形成不同的火焰形状和热传递分布。这对于使用金属燃烧器是不实用的，因为它们通常需要一种深的狭窄的燃烧器装置来保护燃烧器免受炉的辐射热，因此气流方向缺少灵活性。耐热材料燃烧器部件也有缺点，就是易受热冲击、拉伸强度低和难于机加工。

为了克服热冲击问题，使用抗热冲击材料制成的重壁喷嘴。通常，壁厚为最小喷嘴尺寸的 0.25 倍（即对于一种 3 英寸 × 6 英寸的喷嘴来说，最小壁厚为 0.25 × 3 英寸 = 0.75 英寸）或 1.5 英寸，取两者中的较小值。为了尽可能增大主腔周围喷嘴中心以下的壁厚，在喷嘴矩形截面中

设置一椭圆形孔。这些较重的区段将比薄壁区段更能抵抗裂纹，而如果裂纹发展的话更能抵抗喷嘴的破裂。

耐热材料的低的拉伸强度通过这样设计喷嘴来讨论，就是喷嘴的经受拉伸应力的所有部件都处在燃烧器的较冷区域中并限制气体的内部压力（利用低速），从而不加重喷嘴中的应力状态。如图 1 中所示，应力缝隙 140 和 142 设置在耐热块件的朝向前面的两侧上。这些缝隙帮助释放由于喷嘴中变化的温度而产生的应力。

机加工问题通过利用相当简单的形状来克服，即可以直接铸造为最终形状，或部分铸造为中间形状，然后，利用简单的钻孔技术，来满足其特定功能。

因为耐热材料的导热率低，所以当燃料和氧化剂在其表面相遇和燃烧时，由于耐热材料不能从表面上足够快地转移去反应热量，因此形成极高温度区。为了避免该潜在的过热问题，燃料和氧化剂通过两个喷嘴分开注入，因而在喷嘴表面上不起反应或很少反应，从而不产生过热。所有燃烧都在炉中产生，由此使耐热材料喷嘴保持在合理的温度。在喷嘴失效（即裂纹、破裂等）的情况下，燃料或氧化剂将流出喷嘴，并被燃烧器装置所容纳而产生限定不良的火焰，不会损伤燃烧器装置或喷嘴或者使它们过热。

为了避免喷嘴因凝固的玻璃而“粘”入燃烧器装置，包括了某些设计特点。第一，喷嘴在燃烧器装置中凹进约 1 英寸，而燃烧器装置在炉壁中凹进约 1 英寸。这防止由于充满喷嘴和燃烧器装置之间的间隙而在炉的内壁上流下并使两个部件粘在一起。为了防止从收集在燃烧器较冷区中来的可冷凝物，在装置和喷嘴之间设置一个 0.25 英寸的间隙。这已大到足以防止两个表面之间的任何可冷凝物的桥接。该燃烧器使用的低速尽可能减小了由于喷嘴附近再循环而产生的炉内气体和对腐蚀和冷凝的作用。

工艺设计

玻璃炉用的火焰需要用户可接受的下列特性：高发光本领，低动量，高纵横比（火焰宽度对火焰高度），不向高处窜动（火焰由于浮力而向上弯曲），稳定性，不产生烟，低的 NOx 和一氧化碳排放。为了获得这些性能中的许多个，利用了较低速度的燃烧器系统。较低速度的射流其性能不同于较高速度的射流，因为浮力成为自由射流系统上力平衡的较

大分力，而较低速度的系统中占优势的较大直径的孔延迟了射流的混合。使用多股射流也允许从单独一个燃烧器得到火焰形状的更大灵活性。

各股射流的水平布置提供一个参数，该参数可以被操纵而产生不同的射流，因此在炉中产生不同的火焰效果。喷入介质的气体射流的紊流性质将周围流体夹带入射流，并产生射流的膨胀及其速度的消耗。当射流膨胀时它将从所有侧面夹带气体，而如果没有足够的气体，它将从更下游的点使它自己的气体往回再循环到射流的根部，以供给夹带的需要。当一股射流接近同一气体的另一股射流时，两股射流之间满足夹带要求的气体量是有限的，因为两股射流都企图从同一气体积蓄处抽吸，由此每股射流开始沿该侧再循环其自己的气体。这在两股射流之间产生一个气体浓度相似于原始气体射流浓度的区域，但由于周围气体的稀释，处于稍低的水平。因此，通过将多股射流安置在同一平面中一起靠近，在各射流间可以产生一层射流气体，在成组中沿每个单股射流的轴线产生最大浓度的射流流体。

间隔很近的各股燃料射流将形成一个富燃料层，其大小将由射流初始角度限定。同样，各股氧化剂射流将产生一个富氧化剂层。当燃料层和氧化剂层射入同一范围时，由于紊流和射流夹带，燃料层和氧化剂层将彼此混合并开始反应，形成一个由两股反应剂的初始射流角度限定的宽火焰区。只要各股燃料射流彼此的距离和各股氧化剂射流彼此的距离大于各氧化剂射流与燃烧射流之间的距离，那么与多股每一对燃料/氧射流的小火焰相反，可以产生一种宽火焰。

氧和燃料的垂直位置也可以影响混合速度并因此影响火焰外观。这必然与浮动影响有关。图 4 表示气流的射流浮力影响。例如，天然气燃料具有上升浮力的影响，而氧化剂具有下沉的影响。该重要特性用于优化燃烧区内燃烧的计算的射流轨迹。

在低速系统中，浮力能够冲击紊流混合产生的速率。氧化剂射流通常是冷的，比燃料射流更稠密，因此，当射入炉中时，它们通常向炉底下沉。另一方面，大多数气体燃料不如氧化剂（如纯氧）稠密，它们一旦开始燃烧，就变得比周围更热，因此往往在炉的环境中上升。如果氧化剂层位于燃料层下方，各气流就发散，各气流之间的混合速率减小。另一方面，如果氧化剂位于燃料上方，由于浮力，两种气流会聚，混合

就加强。将氧化剂流置于燃料流上方能控制其向高处发射，因为当较热的燃料沿火焰长度前进时，较低的氧化剂阻止燃料上升。氧化剂和燃料的这种垂直位置可以用于改变火焰长度和 NOx 从燃烧器的排放。

图 5 表示本发明的宽火焰燃烧器产生的 NOx 值。由于燃料和氧化剂分开喷射、延迟混合和较大的火焰表面积，宽火焰燃烧器的 NOx 排放比传统的同心管氧－燃料燃烧器约低 50％。该图也表示切换燃料和氧化剂的垂直位置的冲击。当氧化剂在顶部时，由于浮力影响，混合受到加强，火力较短，温度较高，因此产生稍高的 NOx 值。当氧化剂在底部时，混合得到延迟，较长的火焰稍冷，因此产生稍少的 NOx。

为了产生发光火焰和避免喷嘴堵塞/腐蚀问题，使用预选的速度产生不同的燃烧过程。一项可调节试验表明，燃烧器可在 70 至 210 英尺/秒的天然气流和 50 至 180 英尺/秒的氧气流范围内操作而仍然维持一种能生产的火焰。在速度范围的低端，火焰是发光的并呈现一定的向上窜动行为。在速度范围的较高端，发光本领较低，火焰的稳定性小于较低速度时的稳定性。

实验已经表明，通过不同的喷嘴钻孔，火焰的形状可以改变。

只是为方便起见，本发明的特点在一个或多个图中示出，因为按照本发明每个特点可以与其它特点组合。该技术的专业人员将会考虑到其它实施例，因此它们都预定被包含在权利要求书的范围内。

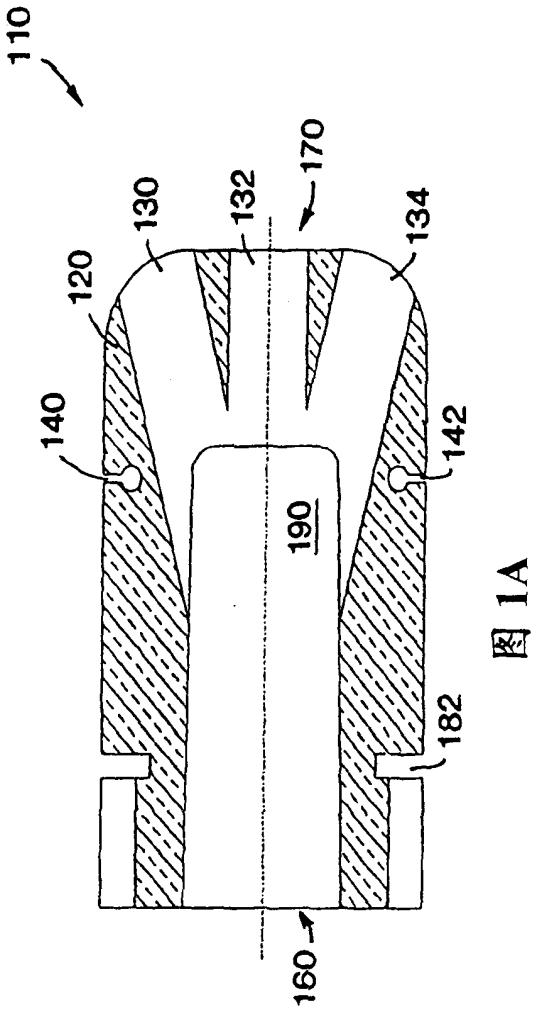

110
170
130
132
134
120
140
142
190
182
160

图 1A

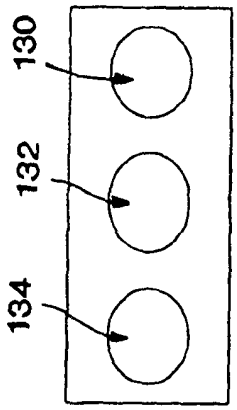

130
132
134

图 1C

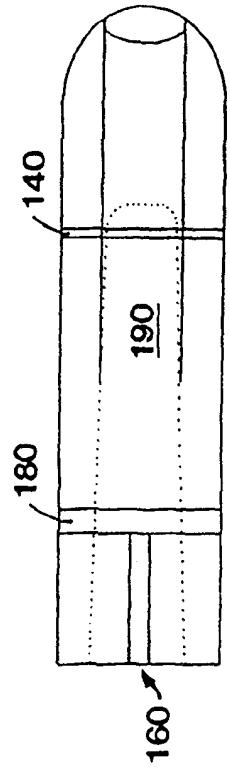

140
190
180
160

图 1B

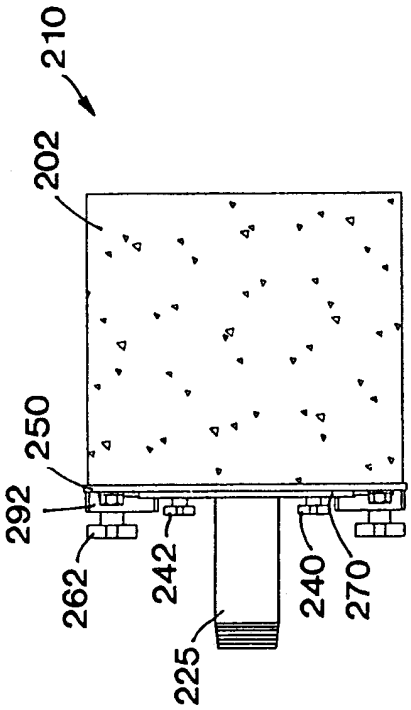


图 2A

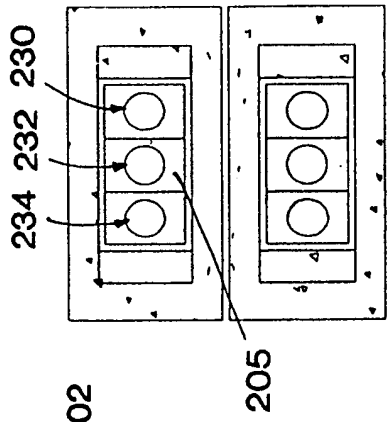


图 2D

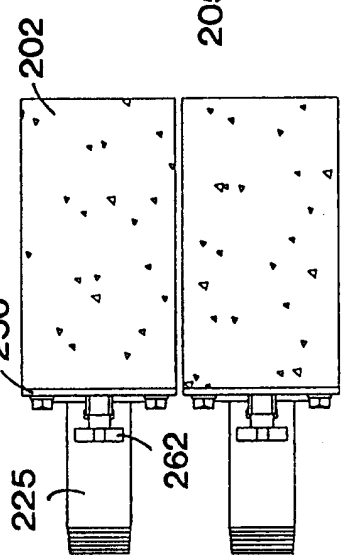


图 2C

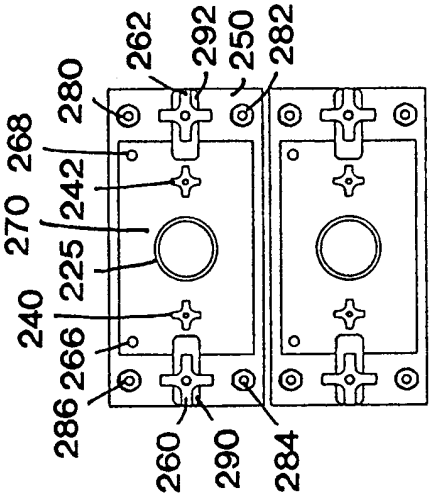


图 2B

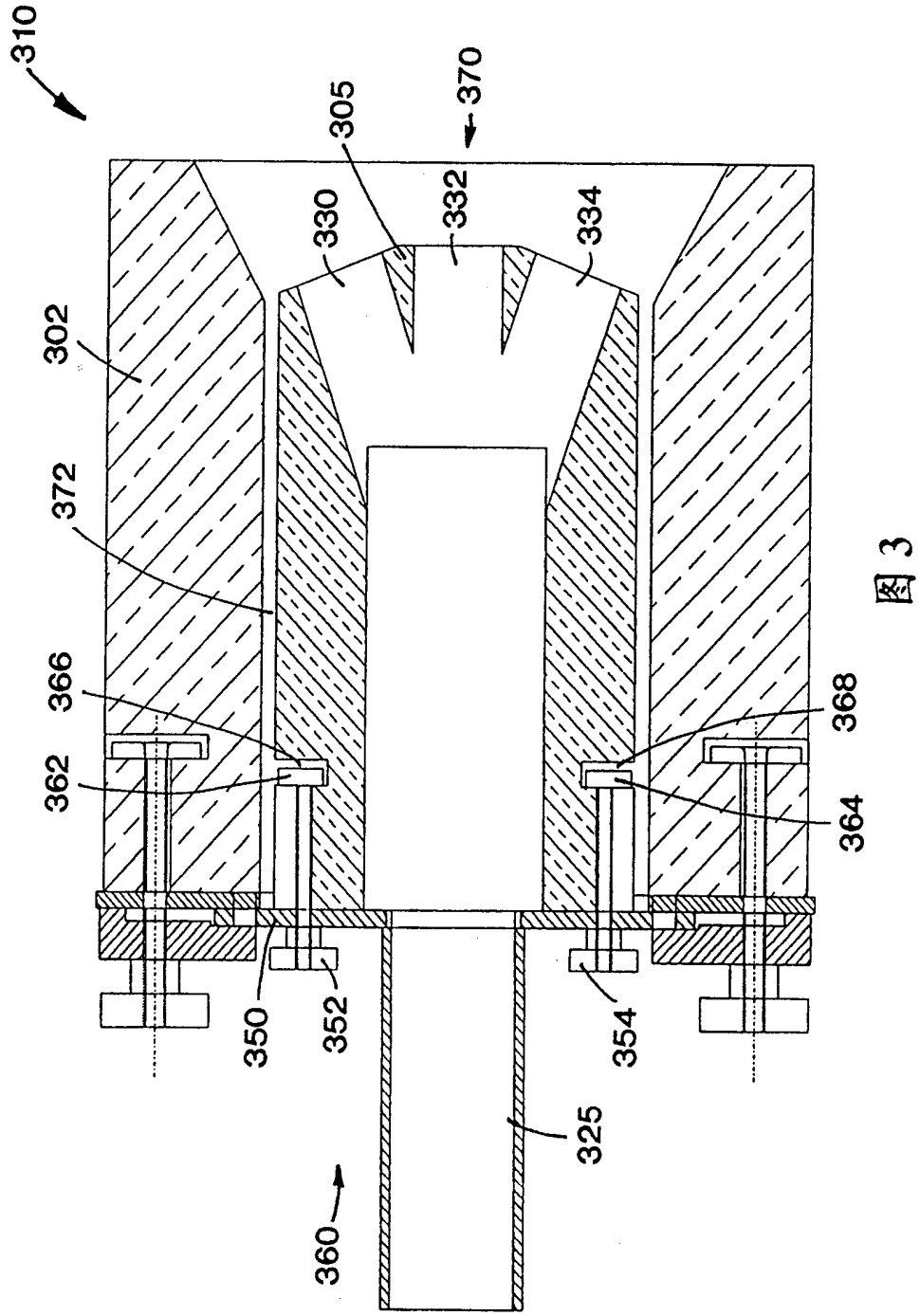

310
305
370
330
332
334
302
372
366
368
362
364
350
352
354
325
360

图 3

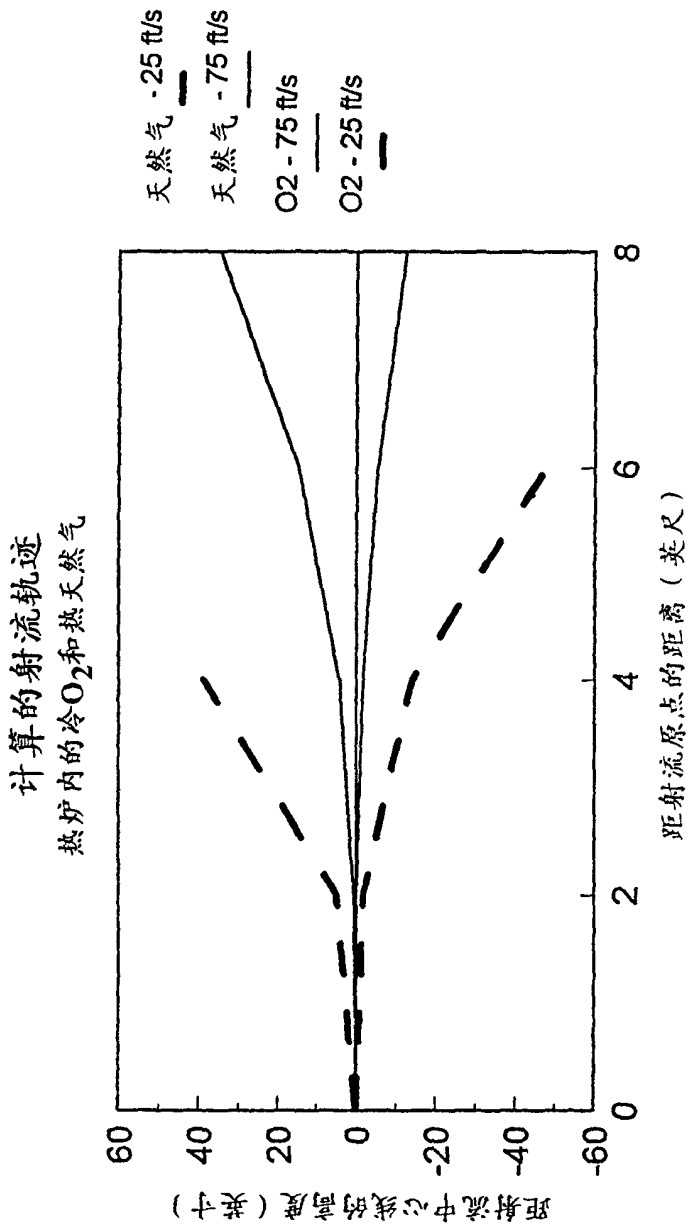

计算的射流轨迹
热炉内的冷O2和热天然气
天然气 - 25 ft/s
天然气 - 75 ft/s
O2 - 75 ft/s
O2 - 25 ft/s
距射流中心线的高度（英寸）
60
40
20
0
-20
-40
-60
0
2
4
6
8
距射流原点的距离（英尺）

图 4

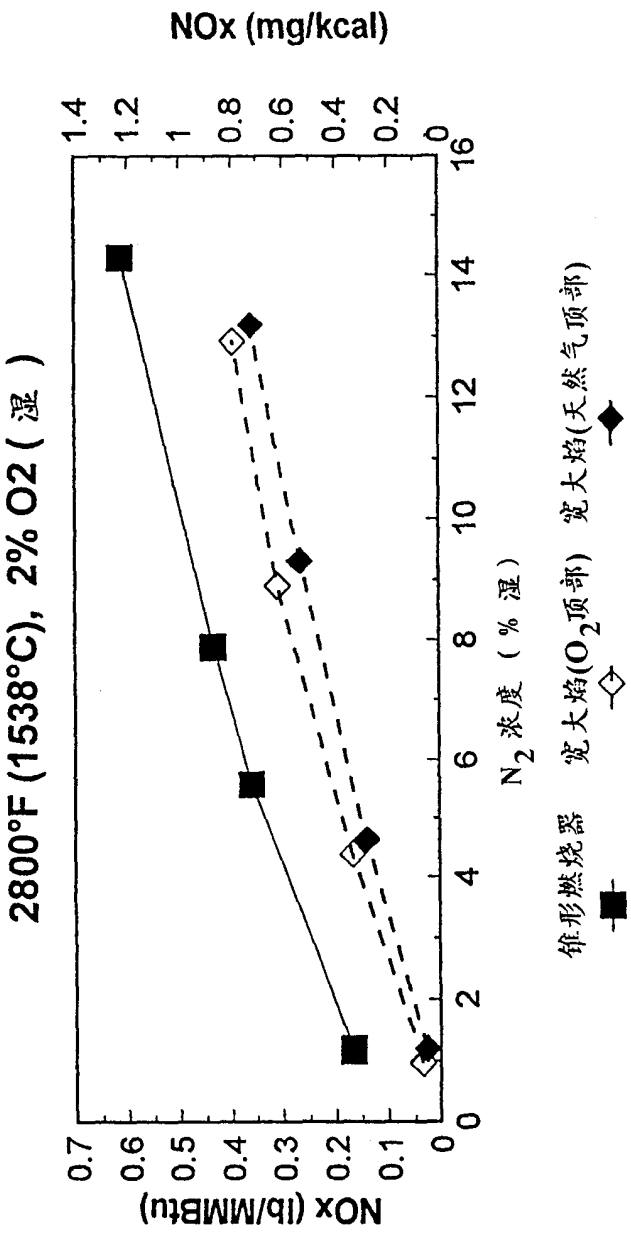

NOx (mg/kcal)
2800°F (1538°C), 2% O2 (湿)
NOx (lb/MMBtu)
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
N2 浓度 (% 湿)
锥形燃烧器
宽大焰(O2顶部)
宽大焰(天然气顶部)

图 5