



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108458339 B

(45)授权公告日 2019.10.18

(21)申请号 201810153889.5

(51)Int.CI.

(22)申请日 2018.02.22

F23D 14/02(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

F23D 14/62(2006.01)

申请公布号 CN 108458339 A

C03B 5/235(2006.01)

(43)申请公布日 2018.08.28

(56)对比文件

(30)优先权数据

CN 1439842 A, 2003.09.03, 说明书第2页最后1段, 图1.

62/461946 2017.02.22 US

CN 1507549 A, 2004.06.23, 说明书第6页第2段, 第9页第1-2段, 图3a-图3b.

15/865911 2018.01.09 US

US 5471840 A, 1995.12.05, 全文.

(73)专利权人 气体产品与化学公司

CN 105114951 A, 2015.12.02, 全文.

地址 美国宾夕法尼亚州

CN 1198207 A, 1998.11.04, 全文.

(72)发明人 M.D.达戈斯蒂尼 A.G.斯拉夫科夫

审查员 芦秋敏

M.D.巴津斯基 W.J.霍兰

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

权利要求书2页 说明书13页 附图17页

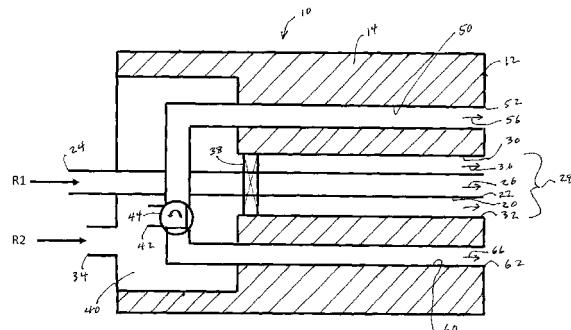
代理人 杨忠 李强

(54)发明名称

双级氧气燃料燃烧器

(57)摘要

氧气燃料燃烧器包括：中心燃烧器元件，具有终止于中心喷嘴的中心导管和终止于围绕中心导管的环形喷嘴的环形导管，中心导管使第一反应物流动，并且环形导管使第二反应物流动；第一级导管与所述中心燃烧器元件的侧面间隔开并终止于第一级喷嘴；第二级导管与所述中心燃烧器元件的相反侧面间隔开并终止于第二级喷嘴；第一机构将第二反应物的流分配成指向环形导管的第二反应物的非零主流和第二反应物的非零次流；和第二机构选择地分配第二反应物的次流在级导管之间；其中一种反应物是燃料并且另一种反应物是氧气。



1. 氧气燃料燃烧器,包括:

中心燃烧器元件,包括:

具有中心轴线并终止于中心喷嘴的中心导管;和

终止于围绕并与所述中心导管同轴的环形喷嘴的环形导管,所述环形导管和所述中心导管被环形壁间隔开;

所述中心导管被布置成使第一反应物流动,并且所述环形导管被布置成使第二反应物流动;

第一级导管与所述中心燃烧器元件的侧面间隔开并终止于第一级喷嘴;

第二级导管与所述中心燃烧器元件的相反侧面间隔开并终止于第二级喷嘴;

第一机构被布置成将所述第二反应物的流分配成指向所述环形导管的第二反应物的非零主流和所述第二反应物的非零次流;和

第二机构被布置成选择地分配所述第二反应物的次流在所述第一级导管和所述第二级导管之间;

其中所述第一和第二反应物中一者是燃料,并且所述第一和第二反应物中另一者是氧气。

2. 权利要求1所述的氧气燃料燃烧器,其中所述中心喷嘴和所述环形喷嘴各自具有长宽比大于或等于2的非圆形形状,其中所述长宽比是最大开口尺寸与最小开口尺寸的比值。

3. 权利要求2所述的氧气燃料燃烧器,其中所述级导管各自具有长宽比大于或等于2的非圆形形状,其中所述长宽比是最大开口尺寸与最小开口尺寸的比值,并且其中限定所述中心喷嘴的最大开口尺寸的轴和限定每个级导管的相应最大开口尺寸的轴彼此基本平行。

4. 权利要求1至3中任一项所述的氧气燃料燃烧器,其中所述第一机构包括可变流量限制器以将所述第二反应物的主流调节到所述环形导管,从而间接地将所述第二反应物的次流以顺利的方式调节到所述第二机构。

5. 权利要求1至3中任一项所述的氧气燃料燃烧器,其中所述第二机构包括选择性地引导所述第一级导管和所述第二级导管之间的所述第二反应物的流动的阀。

6. 权利要求5所述的氧气燃料燃烧器,其中所述阀是三通阀,其被配置为将所述第二反应物的次流引导到所述第一级导管、或所述第二级导管、或同时引导到所述第一级导管和所述第二级导管的组合。

7. 权利要求1至3中任一项所述的氧气燃料燃烧器,还包括用于感测燃烧器在其内燃烧的炉内条件的设备,取决于感测的条件,所述设备被配置为致动所述第二机构以将所述第二反应物的次流引导到所述第一级导管、或同时引导到所述第一级导管和所述第二级导管的组合。

8. 权利要求1至3中任一项所述的氧气燃料燃烧器,还包括燃烧器块,其具有中间通道以及第一和第二级通道,所述中心燃烧器元件排出到所述中间通道中,所述第一和第二级喷嘴分别排出到所述第一和第二级通道中。

9. 权利要求1至3中任一项所述的氧气燃料燃烧器,还包括:

位于所述环形喷嘴内的第一非流线形体,并且靠近所述环形壁的所述第一非流线形体的一侧上形成内喷嘴,和在远离所述环形壁的所述第一非流线形体的相反侧上形成外喷嘴,所述内喷嘴具有小于所述外喷嘴的横截面面积。

10. 权利要求9所述的氧气燃料燃烧器,其中所述内喷嘴具有不超过所述外喷嘴的10%的非零横截面面积。

11. 权利要求9所述的氧气燃料燃烧器,还包括:

第二非流线形体,其具有高度,所述第二非流线形体位于所述中心导管的中心轴线上,并位于所述中心喷嘴的上游,其轴向距离为所述第二非流线形体高度的2至20倍。

12. 权利要求11所述的氧气燃料燃烧器,还包括:

沿着所述中心导管的中心轴线位于所述第二非流线形体下游的分流板,所述分流板的长度为所述第二非流线形体高度的1至10倍。

13. 一种操作含有玻璃浴的氧气燃料玻璃熔炉的方法,所述玻璃熔炉包括熔融区和精炼区,其中权利要求1所述的第一多个氧气燃料燃烧器定位至所述熔融区中的火焰,并且权利要求1所述的第二多个氧气燃料燃烧器定位至所述精炼区中的火焰,其中对于每个燃烧器,所述第一级导管位于所述中心燃烧器元件和所述玻璃浴之间,并且所述第二级导管位于所述中心燃烧器元件和所述熔炉顶部之间,该方法包括:

使作为第一反应物的燃料和作为第二反应物的氧气流动;

操作所述第一多个氧气燃料燃烧器以在所述玻璃浴附近形成富氧(氧化)气氛;和

操作所述第二多个氧气燃料燃烧器以在所述玻璃浴附近形成富燃料(还原)气氛。

14. 权利要求13所述的方法,

其中所述氧化气氛是通过将所述第一多个氧气燃料燃烧器中至少50%的次氧气流分配到所述第一级导管来形成;和

其中所述还原气氛是通过将至少70%的次氧气流分配到所述第二级导管来形成。

15. 权利要求13所述的方法,

其中所述氧化气氛是通过操作化学计量比大于1的第一多个氧气燃料燃烧器贫燃料来形成;和

其中所述还原气氛是通过操作化学计量比大于1的第二多个氧气燃料燃烧器富燃料来形成;

其中燃烧器的化学计量比定义为通过燃烧器的氧气与燃料流量的比率除以具有零过量氧气的理论上完全的化学计量燃烧所需的氧气与燃料流量的比率。

16. 权利要求13至15中任一项所述的方法,还包括:

测量选自下列的至少一种熔炉参数:指示玻璃表面状态的参数、炉温曲线、熔炉出口气体温度和熔炉气体出口组成;和

对于至少一个氧气燃料燃烧器,基于至少一种测量的熔炉参数控制控制燃烧速率、氧气/燃料比和次氧气流的分配中的一种或多种。

17. 权利要求16所述的方法,还包括:

当测量的参数表示玻璃表面泡沫时,切换第一多个氧气燃烧器中的燃烧器中的至少一个从与所述玻璃浴相邻产生氧化气氛到与所述玻璃浴相邻产生还原气氛。

双级氧气燃料燃烧器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年2月22日提交的美国临时专利申请No.62/461,946的优先权，并且通过引用将其全部并入。

背景技术

[0003] 本申请涉及一种氧气燃料燃烧器及其操作方法，尤其涉及一种能够以两种交替配置生产分段火焰的氧气燃料燃烧器，其中分阶段氧气被引入高于或低于富燃料主火焰，或同时在高于和低于富燃料主火焰，取决于炉操作条件和参数。

[0004] 燃烧器和本申请的方法已经解决了氧气燃料燃烧中持续存在的某些问题，特别是玻璃熔炉中的氧气燃料燃烧。

[0005] 首先，在氧气-天然气火焰中难以产生高亮度。在电磁波谱的可见光和近红外波段，大量的热辐射需要碳氢化合物气体火焰中的烟尘形成。众所周知，主要包含甲烷和相对少量的其它碳氢化合物气体和其它稀释气体的最常用的烃气体燃料天然气具有所有主要碳氢化合物气体的最低烟尘形成倾向。因此，实际上从天然气中产生高亮度火焰相对困难。这种固有的困难在氧气燃料火焰中复杂化，因为任何能够产生的烟尘一旦形成就是短暂的。这是由于天然气燃料与氧气的反应性非常高，特别是在氧气燃料燃烧中产生的超高火焰温度下。解决这个问题的一种现有技术是通过使用燃烧器腔室来预热并“点燃”富燃料氧气混合物以形成烟灰，然后引入烟灰，将其与含氧产品混合在燃烧器喷嘴中，在那里它们与氧气混合以产生穿透玻璃熔炉的火焰。这种方法存在的一个固有的困难是预混合发生在燃烧器的内部腔室中，这使得燃烧器金属暴露于非常高的温度，同时还可能由于烟灰沉积而导致燃烧器通道的内部结垢。此外，由于裂解所需的非常特定的反应物组成，由该装置和/或方法形成的火焰难以调整。

[0006] 烟灰形成的另一种方法依赖于通过使用具有高长宽比的喷嘴（即，宽火焰或平火焰）并且形成一个富燃料主火焰，其余的氧逐渐引入或“分级”在靠近玻璃表面的火焰下面。参见，例如，美国专利号为5,575,637; 5,611,682和7,390,189的燃烧器。在'189专利中公开的数据显示，随着主火焰当量比的增加，峰下侧（即向下）火焰辐射增加；因此在更高的氧分级水平下。虽然这种方法没有预燃燃料和氧气的风险，但由于实际的原因，氧分级的范围是有限的。这是因为氧气在火焰边界和预燃烧器的内壁之间流动，从而用于从火焰辐射和冲击对流冷却预燃烧器壁。主火焰的氧分级的程度因此受到冷却要求的限制，并且主火焰燃料-氧当量比通常被限制为最多3（即，流过次级或分级喷嘴的氧的约2/3，在主要喷嘴中剩余1/3的氧气与100%的燃料燃烧，因此在商业系统中具有3:1的主要当量比）。但是需要更高的当量比以使向下的火焰辐射最大化到玻璃表面。

[0007] 其次，泡沫塑料的生产和控制在玻璃熔炉中可能是一个非常重要的问题。在氧气/燃料燃烧中产生的高水分和氧气浓度已经与在玻璃熔炉中比在空气燃料炉中通常存在的次级泡沫量相关联。已知二次发泡基本上限制了燃烧空间与玻璃熔体之间的热传递，这降低了平均玻璃温度，导致较差的玻璃质量并降低了整体热效率，同时增加了耐火材料的温

度和腐蚀速率,从而缩短了耐火材料的使用寿命。过去,其他企业试图通过各种特殊方法减少或减轻泡沫,并取得了不同程度的成功。其中一些方法包括:a) 在批次中添加或去除精炼剂,b) 将燃料喷射到玻璃表面上,c) 将燃烧器的氧气/燃料或空燃比改变为更富燃料操作,d) 降低玻璃提拉速率,e) 增加炉内压力,f) 调整燃烧器燃烧速率。然而,通常,由于例如批次化学、炉子温度和流动模式的差异,相同的方法不能在不同的炉中工作。因此需要一种可靠、方便、不显眼和廉价的装置和相关的减少泡沫的系统方法。

[0008] 已知用于玻璃熔融的氧气燃料燃烧与空气燃料燃烧相比具有几个优点,例如较低的投资成本、较高的燃料效率、降低的NO_x排放以及较高的玻璃质量。氧分期可以进一步增加这些好处。特别是氧分级可以用来减少NO_x排放、提高熔化效率和产品质量。“氧气分级”是通过将一部分氧气从火焰中分流而延迟燃烧的手段。优选地,使用近火阶段,其中分阶段的氧气流(或多个流)保持靠近火焰以确保燃料与氧的最终共混和完全燃烧。

[0009] ‘189专利描述了一种具有典型的“低级”氧气的氧气燃料燃烧器,并产生了一个说明几个关键原理的火焰。火焰最初被剥夺了化学计量的氧气,产生烟尘和一氧化碳(CO),其量值随着分阶段氧气的百分比而增加。特别是烟尘区域含有微小的含碳颗粒云,并且可能是非常不透明的,因此阻碍了辐射传热。相反,主要由于烟灰和分级氧气的反应,火焰的下面是非常明亮的,并且在电磁光谱的可见光和近红外区域中传递高速率的热辐射。由于辐射在邻近的烟灰云中发现强烈的阻力,所以大部分辐射向下指向玻璃表面。相对于未分级火焰,熔化效率因此增加。另外,由于燃料与氧气的完全混合延迟,分级火焰比相同燃料流量的未分级火焰长。这一事实与增强的可见光和近红外辐射相结合,确保分级火焰中火焰峰值温度较低。

[0010] 高阶段和未分级氧气燃料火焰的计算流体动力学(CFD)建模结果表明,高阶段火焰的峰值温度约低600℃。与分级火焰的缺氧状态相结合的实质上较低的温度导致较低的NO_x产生速率。¹⁸⁹专利的燃烧器的照片在未分级和分级模式下操作都有效地说明了用氧气进行火焰下分级所产生的火焰结构和辐射特性的差异(见图26A的火焰,与图26B的火焰相比,没有氧气分级和氧气欠火分级)。

[0011] 用分级燃烧器替代未分级燃烧器已经表明,使用氧气使火焰下降,玻璃底部温度升高,这有助于玻璃熔体中更强的对流,促进更完全地消除杂质,因此减少了玻璃缺陷。在一个典型的漏斗玻璃熔炉从非阶段式转换到低阶段氧气燃料燃烧器的情况下,底部玻璃温度上升了10℃,而缺陷则减少了近50%。炉烟气温度也降低了60℃,有助于降低相当于标称9%的燃料使用量(单位产量的玻璃能量输入)。

[0012] 然而,氧气燃料到玻璃熔炉-玻璃表面泡沫的氧气分级/玻璃质量关系还有一个方面没有涉及到。由于来自玻璃的气体的演变,在分批熔化(初级泡沫)和澄清(二次泡沫)过程中形成泡沫。主要由二氧化硫、水蒸汽和氧气组成的二次泡沫特别容易聚集成稳定的气泡层,有时可以生长到几英寸厚。表面泡沫的主要有害作用是其传递给玻璃的阻抗,随后将热能反射到顶部,以及其对炉耐火材料的腐蚀性。就玻璃传热速率较低而言,这降低了玻璃的温度,削弱了熔体内的对流驱动次流,中断了澄清过程,并使更多的缺陷持续存在于成品中。

[0013] 发明概述

[0014] 本文描述了双级氧气燃料燃烧器,其提供了相对于用于玻璃熔炉的现有氧气燃料

燃烧器的操作优点。具体而言，本发明要求保护的燃烧器表现出较低的比能量消耗，降低的 NO_x生成量和改善的玻璃质量。

[0015] 方面1. 氧气燃料燃烧器包括：中心燃烧器元件，包括：具有中心轴线并终止于中心喷嘴的中心导管；和终止于围绕并与所述中心导管同轴的环形喷嘴的环形导管，所述环形导管和所述中心导管被环形壁间隔开；所述中心导管被布置成使第一反应物流动，并且所述环形导管被布置成使第二反应物流动；第一级导管与所述中心燃烧器元件的侧面间隔开并终止于第一级喷嘴；第二级导管与所述中心燃烧器元件的相反侧面间隔开并终止于第二级喷嘴；第一机构被布置成将所述第二反应物的流分配成指向所述环形导管的第二反应物的非零主流和所述第二反应物的非零次流；和第二机构被布置成选择地分配所述第二反应物的次流在所述第一级导管和所述第二级导管之间；其中所述第一和第二反应物中一者是燃料，并且所述第一和第二反应物中另一者是氧气。

[0016] 方面2. 方面1所述的氧气燃料燃烧器，其中所述中心喷嘴和所述环形喷嘴各自具有长宽比大于或等于2的非圆形形状，其中所述长宽比是最大开口尺寸与最小开口尺寸的比值。

[0017] 方面3. 方面2所述的氧气燃料燃烧器，其中所述级导管各自具有长宽比大于或等于2的非圆形形状，其中所述长宽比是最大开口尺寸与最小开口尺寸的比值，并且其中限定所述中心喷嘴的最大开口尺寸的轴和限定每个级导管的相应最大开口尺寸的轴彼此基本平行。

[0018] 方面4. 方面1至3中任一项所述的氧气燃料燃烧器，其中所述第一机构包括可变流量限制器以将所述第二反应物的主流调节到所述环形导管，从而间接地将所述第二反应物的次流以顺利的方式调节到所述第二机构。

[0019] 方面5. 方面1至4中任一项所述的氧气燃料燃烧器，其中所述第二机构包括选择性地引导所述第一级导管和所述第二级导管之间的所述第二反应物的流动的阀。

[0020] 方面6. 方面5所述的氧气燃料燃烧器，其中所述阀是三通阀，其被配置为将所述第二反应物的次流引导到所述第一级导管、或所述第二级导管、或同时引导到所述第一级导管和所述第二级导管的组合。

[0021] 方面7. 方面1至6中任一项所述的氧气燃料燃烧器，其中第一反应物是燃料并且第二反应物是氧气。

[0022] 方面8. 方面1至6中任一项所述的氧气燃料燃烧器，其中第一反应物是氧气并且第二反应物是燃料。

[0023] 方面9. 方面1至8中任一项所述的氧气燃料燃烧器，还包括用于感测燃烧器在其内燃烧的炉内条件的设备，取决于感测的条件，所述设备被配置为致动所述第二机构以将所述第二反应物的次流引导到所述第一级导管、或同时引导到所述第一级导管和所述第二级导管的组合。

[0024] 方面10. 方面1至9中任一项所述的氧气燃料燃烧器，还包括具有所述中心燃烧器元件排出到其中的中间通道的燃烧器块、以及所述第一和第二级喷嘴分别排出到其中的第一和第二级通道。

[0025] 方面11. 方面1至10中任一项所述的氧气燃料燃烧器，还包括：位于所述环形喷嘴内的非流线形体，并且靠近所述环形壁的所述非流线形体的一侧上形成内喷嘴，和在远离

所述环形壁的所述非流线形体的相反侧上形成外喷嘴,所述内喷嘴具有小于所述外喷嘴的横截面面积。

[0026] 方面12.方面11所述的氧气燃料燃烧器,其中所述内喷嘴具有不超过所述外喷嘴的10%的非零横截面面积。

[0027] 方面13.方面11所述的氧气燃料燃烧器,还包括:非流线形体具有高度,所述非流线形体位于所述中心导管的中心轴线上,并位于所述中心喷嘴的上游,其轴向距离为所述非流线形体高度的2至20倍。

[0028] 方面14.方面13所述的氧气燃料燃烧器,还包括:沿着所述中心导管的中心轴线位于所述非流线形体下游的分流板,所述分流板的长度为所述非流线形体高度的1至10倍。

[0029] 方面15.一种操作含有玻璃浴的氧气燃料玻璃熔炉的方法,所述玻璃熔炉包括熔融区和精炼区,其中方面1至14中任一项所述的第一多个氧气燃料燃烧器定位至所述熔融区中的火焰,并且方面1至14中任一项所述的第二多个氧气燃料燃烧器定位至所述精炼区中的火焰,其中对于每个燃烧器,所述第一级导管位于所述中心燃烧器元件和所述玻璃浴之间,并且所述第二级导管位于所述中心燃烧器元件和所述熔炉顶部之间,该方法包括:使作为第一反应物的燃料和作为第二反应物的氧气流动;操作所述第一多个氧气燃料燃烧器以在所述玻璃浴附近形成富氧(氧化)气氛;和操作所述第二多个氧气燃料燃烧器以在所述玻璃浴附近形成富燃料(还原)气氛。

[0030] 方面16.方面15所述的方法,其中所述氧化气氛是通过将所述第一多个氧气燃料燃烧器中至少50%的次氧气流分配到所述第一级导管来形成;和其中所述还原气氛是通过将至少70%的次氧气流分配到所述第二级导管来形成。

[0031] 方面17.方面15所述的方法,其中所述氧化气氛是通过操作化学计量比大于1的第一多个氧气燃料燃烧器贫燃料来形成;和其中所述还原气氛是通过操作化学计量比大于1的第二多个氧气燃料燃烧器富燃料来形成;其中燃烧器的化学计量比定义为通过燃烧器的氧气与燃料流量的比率除以具有零过量氧气的理论上完全的化学计量燃烧所需的氧气与燃料流量的比率。

[0032] 方面18.方面15至17中任一项所述的方法,还包括:测量选自下列的至少一种熔炉参数:指示玻璃表面状态的参数、炉温曲线、熔炉出口气体温度和熔炉气体出口组成;和对于至少一个氧气燃料燃烧器,基于至少一种测量的熔炉参数控制控制燃烧速率、氧气/燃料比和次氧气流的分配中的一种或多种。

[0033] 方面19.方面18所述的方法,还包括:当测量的参数表示玻璃表面泡沫时,切换第一多个氧气燃料燃烧器中的燃烧器中的至少一个从与所述玻璃浴相邻产生氧化气氛到与所述玻璃浴相邻产生还原气氛。

[0034] 附图简述

[0035] 图1是双级氧气燃料燃烧器的侧截面示意图。

[0036] 图2是如图1所示的用于燃烧器的燃烧器块的前端透视图。

[0037] 图3是如图1所示的双级氧气燃料燃烧器在火焰下阶段(under-staged)或熔化模式下操作的侧面横截面示意图。

[0038] 图4是如图1所示的双级氧气燃料燃烧器的侧面横截面示意图,其以超火焰分级(过度分级)或泡沫控制模式操作。

[0039] 图5是如图1所示的双级氧气燃料燃烧器的侧面横截面示意图,在火焰下和火焰上阶段(分阶段和分阶段)或混合或分开操作。

[0040] 图6是如图1和3所示的燃烧器在玻璃熔炉中以熔体模式操作的侧面横截面示意图,其中燃料是第一反应物,氧气是第二反应物,其中第二或分级氧气被引入燃料和主氧气口的下方。

[0041] 图7是如图1和4所示的燃烧器在玻璃熔炉中以泡沫控制模式操作的横截面示意图,其中燃料是第一反应物,氧气是第二反应物,第二反应物或在燃料和主氧气口上方引入氧气。

[0042] 图8A是侧剖视示意图,图8B是如图1所示的燃烧器的中央端口的前端示意图,并且示出了围绕燃料喷嘴的主氧气喷嘴的细节,并且特别地示出了通过放氧狭缝从氧气喷嘴和燃料喷嘴之间的壁分离的主氧气流中的钝体。

[0043] 图9是如图8A和8B所示的中心端口的侧面横截面示意图,示出了横向圆柱形分流器和轴向隔板的组合,所述横向圆柱形分流器和轴向隔板在圆柱形分流器的下游并稍微间隔开。

[0044] 图10是如图6所示的运行模式的侧剖视图,示出了图9的分流器和分离器以及图8A和8B的钝体的流动效果。

[0045] 图11是如图7所示的运行模式的侧面剖视图,示出了图9的分流器和分离器以及图8A和8B的钝体的流动效果。

[0046] 图12A-12C是比较在图3(熔化模式-图12A)、图4(泡沫控制模式-图12B) 和图5(混合模式-图12C)的操作模式中获得的火焰的照片端视图。

[0047] 图13A和13B是以超级模式运行的双级氧气燃料燃烧器的火焰与传统的直喷嘴(图13A)以及如图8和9(图13B)所示的具有钝体和氧气泄放缝隙的喷嘴。

[0048] 图14是显示由火焰扩展角度 α 限定的火焰扩展率的双级燃烧器的示意性侧视横截面图。

[0049] 图15是比较没有氧气喷嘴的喷嘴的火焰传播速率的数据的图形非流线形体(在图13A的照片中描述的形式)和非流线形体的氧气喷嘴(在图13B的照片中描述的形式)。

[0050] 图16是采用如图1所示的多个燃烧器的玻璃熔炉的俯视示意图,取决于炉的区域以不同的模式运行。

[0051] 图17是如图1所示的使用多个燃烧器的玻璃熔炉的俯视示意图,示出了控制器,该控制器基于传感器数据或诸如起泡的感测条件来调节每个燃烧器的操作模式,特别是基于通过数字照相机或其他类型的传感器获得的实时光学温度测量或温度映射数据。

[0052] 图18是使用如图1所示的多个燃烧器的玻璃熔炉的俯视示意图,根据炉的区域以不同的模式运行。

[0053] 图19是比较现有技术燃烧器的特定燃料使用量与热量值的图,如在本文中描述的'189专利(圆点,虚线)和双级燃烧器(交叉点,实线)使用本燃烧器,在较宽的加热值范围内,燃油消耗率降低了3.2%。

[0054] 图20是比较现有技术燃烧器的种子计数(玻璃缺陷的指标)的图,如在本文中所述的'189专利(左边的圆形点)和双级燃烧器(交叉点右图),与现在的燃烧器相比,种子减少了43%。

[0055] 图21是如在'189专利的比较现有技术燃烧器(圆形指向左边)和双级燃烧器的泡罩计数(交叉点指向右),与本发明燃烧器相比,水泡减少了38%。

[0056] 图22是比较现有技术燃烧器的相对NO_x(对于现有技术燃烧器标准化为1)的曲线图,如本文所述的'189专利(圆点,上部虚线)和双级燃烧器(交叉点,较低的实线),显示本发明燃烧器在一系列热值范围内相对NO_x的减少40%。

[0057] 图23A和23B是照片比较,显示了玻璃熔炉的精炼区(图23A)和同一精炼区中的镜面表面的二次泡沫,这是本文所述的燃烧器的实施例的泡沫减少模式的结果(图23B)。

[0058] 图24A和图24B是现有技术氧气燃料燃烧器的未燃烧(图24A)和下段(图24B)的火焰的摄影侧视比较。

[0059] 图25是如图2所示的燃烧器块的前端透视图,但是示出了在燃烧器块中可能发生的裂纹。

[0060] 图26A和26B是显示现有技术的下级燃烧器(图26A)相对于本文所述的燃烧器(图26B)的实施例的辐照度的照片比较。

[0061] 发明详述

[0062] 如本文使用的,术语“氧”是指分子氧(O₂)的浓度大于空气中的氧(O₂)浓度(即大于20.9摩尔%)的氧化剂,并且在一些实施方式中,氧具有至少23mol%O₂、至少30mol%O₂、至少70mol%O₂或至少90mol%O₂。

[0063] 如本文使用的,术语“氧气燃料燃烧器”意指如本文所定义的燃烧器燃烧燃料和氧气。

[0064] 如本文使用的,术语“燃料”包括能够燃烧的任何烃混合物,具体包括气态、液态和粉末状固体燃料。本文介绍的所有数据均采用天然气作为燃料,但结果被认为通常适用于其他燃料,特别是其他气体燃料。

[0065] 如本文所使用的,术语“分级”是指通过与燃烧器元件间隔开的喷嘴供应分阶段反应物的一部分,通过该喷嘴供应另一种反应物。例如,在讨论燃烧器元件时,如果氧气被分级,则意味着燃料通过燃烧器元件以及少于提供给整个燃烧器的总氧量的氧气量,剩余的氧气流过另一个或辅助喷嘴。如果氧气分级为75%,这意味着25%的氧气与燃料(尽管在不同的喷嘴中)一起被提供给燃烧器元件,并且75%的氧气由与燃烧器元件间隔开的独立喷嘴提供。燃料和氧气都可以上演。通过了解燃烧器的总体化学计量和分级比,分级可以与燃烧器元件中的当量比相关联。

[0066] 本文描述双级氧气燃料燃烧器。燃烧器实现了两个目标:(a)低的NO_x排放和(b)在燃烧器火焰下面的玻璃表面附近的气体气氛控制。通过以高度分级的方式输送燃料和氧气而获得较低的NO_x排放,其分级比高于之前的燃烧器所能达到的。典型地,氧气是分级反应物,燃料是未分级反应物,但是可以理解的是,如果氧气是未分级反应物以及燃料是分级反应物,那么这里的设计同样可以工作。在下面的描述中,有时将氧气作为分级反应物进行讨论,有时候描述更为通用,但是在这两种情况下,可以理解燃料或氧气可以是分级反应物。

[0067] 影响气体释放速率和形成泡沫的关键因素包括批料组成,包括用于澄清的硫酸盐的添加量、玻璃表面温度和炉气氛围。主要与玻璃质量有关的二次发泡一般发生在1400°C和1500°C之间,随着释放的澄清气体的体积以及因此发泡问题的严重程度随温度增加。

[0068] 关于气体环境,紧靠玻璃表面的还原环境可以通过改变泡沫特性来减轻泡沫问

题。发生这种情况的机理是与泡沫接触的还原气体，例如一氧化碳，其起到降低泡沫气泡的液体界面处的表面张力梯度的作用，由此促进泡沫加速排出回到熔体。这表明在火焰上方使用氧气分级，即在玻璃表面附近形成富燃料火焰，作为燃烧过程可以帮助缓解起泡问题的手段。

[0069] 图1示出了具有第一反应物入口24和第二反应物入口34的燃烧器10的横截面示意图以及限定燃烧器10的出口平面的燃烧器表面12。第一反应物入口24将第一反应物R1(主要是典型的燃料)送入中心导管20，该中心导管终止于燃烧器热面12处的中心喷嘴22中。中心喷嘴22可以是圆形的或者可以是非圆形的-长宽比(最大尺寸到最小尺寸)至少为2的圆形或宽或扁火焰结构。

[0070] 第二反应物入口34将第二反应物R2(最典型地为氧)供给到气室40中，气室40将第二反应物R2分布在围绕并与中心导管20同轴的环形导管30之间，第二反应物从分级入口42被输送到一对级导管50和60中的一个或两个。环形导管30终止于燃烧器热面12处的环形喷嘴34中。中心导管20和中心喷嘴22与环形导管30和环形喷嘴32构成中心燃烧器元件28。

[0071] 在环形导管30和分段入口42之间分配的流量由位于集气室40和环形导管30的接合处的可变流量限制器38控制。

[0072] 第一级导管50与中心燃烧器元件28的一侧平行并间隔开，并终止于燃烧器热面12处的第一级喷嘴52上。第二级导管60与中心燃烧器元件28的相对侧平行并间隔开，并在燃烧器热面12处终止于第二级喷嘴62。分级入口42下游的三通阀44在第一级导管50和第二级导管60之间分配第二反应物的分级流。阀44可被定位成使得第二反应物流的全部流向第一级导管50，或者使第二反应物分级流程全部导向第二级导管60，或者使得第二反应物分级流程的非零部分指向第一级导管50，非零平衡指向第二级导管60。

[0073] 在一个优选的实施方案中，第一反应物是燃料，第二反应物(分阶段)是氧。在图3、4和5中进一步示出了该实施例，示出了燃烧器10的各种操作模式。

[0074] 图3显示了一种熔体操作模式，其中二次氧气在燃料和主要氧气(低于火焰阶段)之下分级。二次氧气由阀门44引导至第二级导管60，使得次氧气流66流出第二级喷嘴62。在熔化模式期间，如图6和图10所示，燃烧器10产生具有高温、高辐射发光底面86的火焰，并且在辐射底面86上方具有含烟灰的、光学厚的富燃料主火焰88。发光底面有效地将辐射热84传送到炉内的玻璃99，并具有通向玻璃表面的无障碍辐射路径。光学厚度的主要上部火焰88保护炉顶免于过热并且主要向下朝向玻璃引导燃烧热。在图12A中示出了熔融模式期间产生的这种火焰的照片端视图。

[0075] 图4显示了一种泡沫控制操作模式，其中二次氧气分布在燃料和主要氧气(过火分级)之上。二次氧气被阀门44引导到第一级导管60，使次氧气流56流出第一级喷嘴52。在泡沫控制模式期间，如图7和11所示，燃烧器产生的火焰具有含烟灰的光学厚燃料富燃料主要下部火焰92以及发光上部侧面90。富燃料主要下部火焰92在火焰下方形成还原气氛94，正好在玻璃99上方，这有助于使玻璃表面上的泡沫不稳定和破裂。泡沫是不希望的，因为它降低了火焰将热量传递给玻璃的能力，所以泡沫控制模式可以间歇地与熔融模式结合使用，以定期破碎泡沫，从而使熔融模式在熔化和加热玻璃。图12B示出了在泡沫控制模式期间产生的这种火焰的照片端视图。

[0076] 图5显示了混合或分流操作模式，其中二次氧气在燃料和一次氧气的上方和下方

分级。当期望高火焰动量和高火焰亮度的组合时,混合或分开操作模式是有利的。当燃烧器放置在炉子的熔融区中的排气烟道附近时,通常情况如此,例如如图17和18所示。在该区域内的燃烧器火焰通常受到通过烟道排出炉膛的燃烧气体的接近流动的不利影响。高动量火焰有助于在这样的环境下保持火焰的稳定性。然而,本领域的技术人员将认识到,实现高动量火焰是非常困难的,同时产生高效玻璃熔化所需的高火焰发光度。这是因为高的火焰通常不能提供足够的停留时间来进行烟尘起始、生长和结块,这是获得高度发光的火焰的先决条件。本发明燃烧器克服了这些困难,在混合或分流模式下运行时,能够实现高动力和高亮度的组合,在火焰排入炉内时用氧气围绕火焰,这使得燃料射流比仅在一侧出现氧分级的情况下更快地燃烧和加热。此外,火焰两侧的分阶段氧限制了炉内的火焰垂直膨胀。在这种情况下,更快速的燃料射流燃烧和加热主要导致前向轴向加速度增加;因此,高火焰(轴向)动量。这种模式下的火焰亮度来自于根据现场特定的操作限制而允许的低氧一氧化碳。出乎意料地发现,同时进行的过氧分压和欠氧分级以及低比例的主要氧气对燃料的流动速率有利地提供了足够的停留时间以用于烟灰的起始、生长和附聚,同时也获得了高的火焰动量。在混合模式操作期间获得的火焰显示在图12C的端视图照片中。

[0077] 在使用中,燃烧器10安装在玻璃熔炉中,其中第一和第二级导管50和60中的一个位于中心燃烧器元件28和玻璃浴之间,而位于中心燃烧器元件28和熔炉顶部之间的第一和第二级导管50和60中的另一个。

[0078] 由于在此描述的燃烧器10的设计,燃烧器以中心喷嘴22(例如,燃料)中的第一反应物的中心燃烧器元件28与环形喷嘴32中的第二反应物(例如氧气)尽可能地远离化学计量而不会损坏燃烧器喷嘴。例如,当燃料是第一反应物并且氧气是第二反应物时,供应到燃烧器10的全部燃料量流过中心喷嘴22,同时供应到燃烧器的氧气的很小比例流过环形喷嘴32,优选地少于20%或少于10%或少于5%或少于2%或少于1%,其余的氧气进入第一和第二级喷嘴50和60中的一个或两个。这将分别等同于至少80%,至少90%,至少95%,至少98%或至少99%的优选分期口粮。由于中心和环形喷嘴的结构,这些是以前不能获得的分级水平

[0079] 当燃烧器10以火焰下阶段(即,在玻璃熔体上方产生氧化气氛的熔化模式)运行时,至少50%的二次氧气流过第一级喷嘴50,而平衡流过环形喷嘴32。在一些实施例中,至少75%或至少90%的氧气流过第一级喷嘴。

[0080] 当燃烧器10以过火阶段(即,在玻璃熔体上方还原气氛产生的泡沫还原模式)运行时,至少70%的二次氧气流过第二级喷嘴60,并且平衡流经环形喷嘴32。在一些实施例中,至少80%或至少90%的氧气流过第二级喷嘴60。

[0081] 应该理解的是,在环形导管30中操作零第二反应物是不理想的,因为这将在环形导管30中产生空隙或真空,从而吸入热腐蚀性的炉气,这将很快破坏燃烧器10的完整性。此外,简单地消除环形第二反应物流36将是不希望的,因为环形空间30中的流动在中心导管20中的第一反应物与第一和第二级导管50和60中的第二反应物之间形成缓冲,因此,如图25所示,如果相邻砌块通道之间的燃烧器块裂缝599,将不存在燃料和氧气不受控制的交叉混合的可能性。

[0082] 实际上,已经发现,向中心燃烧器元件28添加特定的结构元件以使环形物所需的次要反应物的量最小化(如下参照图8和图9所讨论的),因此它可以低至总二次反应物流量

的大约1%。这意味着剩余的高达99%的第二反应物通过第一级导管50或第二级导管60(或者可能在两级导管之间分配)分级。将其与前一代分级燃烧器(参见美国专利号7,390,189,通过引用整体并入本文)进行比较,其能够以最大70%的次级反应物(氧气)进行分级,本发明燃烧器中的环氧比是前一代燃烧器所能达到的标准值的30倍(即现有燃烧器中100%燃料:1%氧气,而上一代燃烧中100%燃料:30%氧气器)。关于图8和图9,通过使用喷嘴设计的内部喷嘴分级还实现了额外的NO_x减少。

[0083] 除了减少NO_x之外,燃烧器产生远离化学计量的主火焰的能力,具有非常大量的分级,显着提高了控制与玻璃表面相邻的气体气氛的能力。但是,为了能够控制邻近玻璃表面的气氛,根据工艺情况选择性地氧化或还原,要求能够方便地切换燃烧器的运行,以在需要时在玻璃附近产生还原气氛或氧化气氛,而无需切换燃烧器并且没有显着的时间延迟。这通过上面讨论的三路分级分配阀44来完成,其位于本发明的燃烧器的第二反应物充气室40中,其功能是将第二反应物流的分阶段部分从充气室40转移到第一级导管50或第二级导管60(或在一些分配给两者)。并且,如上所述,燃烧器10将被安装在例如位于中心燃烧器元件28下方(即朝向玻璃浴)的第一级导管50的炉内,并且第二级导管60定位在中央燃烧器28的上方(即,朝向炉顶)。

[0084] 优选地,燃烧器10安装在燃烧器块100中,燃烧器块100将燃烧器10从炉中分离,并且还将燃烧器的中央主流体导管和次级环形导管整合成单个中央燃烧器块通道128,如图2的端视图所示,其使得主流体和次级环形流体作为火焰从块体排出到炉子。

[0085] 如图16所示,多个燃烧器10可以安装在玻璃熔炉500中,各个燃烧器10根据它们在炉500中的位置而不同地操作。典型的玻璃熔炉具有进料端510和工作端550,通过批量进料器512将原料玻璃批料成分(固体)供给到进料端510中,并将精制的熔融玻璃从工作端550移除。炉500可以被描述为具有两个部分或区域靠近批料端510的熔融区520,其特征在于熔融玻璃和未熔化的批料材料的固体块的混合物,以及靠近工作端的精炼区530,其主要特征在于熔融玻璃。侧面540将进料端510连接到工作端550。燃烧器10沿540两侧定位,用于熔化熔融区520中的批料,并精炼精炼区530中的熔融玻璃。至少一个烟道542定位在侧部540中的一个上和/或端部510、550中的一个上,以从炉500移除燃烧产物。

[0086] 在图16的操作情况下,玻璃熔炉500的熔融区520中的燃烧器10可以运行以产生如图6和10所示的火焰522,以使传送到玻璃批次的辐射能量最大化材料在熔化区520中。这是通过在主火焰下面分级氧来完成的。该技术优先将火焰辐射向下偏向熔体。或者,或者与上述结合,精炼区530中的燃烧器10可以被操作以产生如图7和11所示的火焰532,以在玻璃表面附近形成还原气氛。这是通过在主火焰上面放置氧气来完成的。这种技术可以通过赋予表面张力的突然变化而破坏表面泡沫的稳定性,从而使其迅速回流到熔体中。而且,还原气氛产生烟灰,阻止对熔体的热辐射,从而降低表面温度,从而降低产生泡沫的澄清气体如二氧化硫的逸出速率。

[0087] 注意泡沫对于玻璃熔炉的操作是有害的,原因如下,因此在操作过程中的不同时间或者在炉子的某些部分能够有选择地减少泡沫,可以有显着的操作和玻璃质量的好处。首先,泡沫严重限制炉燃烧空间和玻璃熔体之间的传热。这导致玻璃表面和顶部温度更高,同时玻璃浴熔化阶段玻璃的自然对流驱动次流减少。这些次流对于提供玻璃在炉中所需的停留时间来实现玻璃杂质的高度消除至关重要。其次,泡沫对炉耐火材料具有很强的腐蚀

性，并且会导致难熔材料加速耐火材料的腐烂和玻璃相的剥落，从而导致玻璃缺陷。

[0088] 图17描绘了与上面关于图16所讨论的方法相比较的炉操作的替代方法。而不是预先确定过火焰燃烧器的分布(即在精炼区附近创造一个还原气氛在玻璃浴附近)和在火焰下的分级燃烧器(即创造一个氧化气氛和辐射火焰邻近玻璃浴，例如在熔融区中)，这就制造了一个或多个炉子传感器560来检测炉子中感测到的状况，例如泡沫的存在，和/或检测高温或低温的区域，以及那么控制器562相应地调整每个燃烧器10的运行状态。可以通过几种类型的传感器中的任何一种来检测泡沫存在，包括但不限于热电偶、红外线温度计、红外成像相机和摄像机。这对于本发明燃烧器10是特别有利的，因为三通转换阀44可以容易地通过例如电气或气动装置远程致动，以便快速地将分级的第二反应物流转向到分级喷嘴中的任一个。

[0089] 在另一个实施例中，图18描绘了用于使NO_x排放最小化的最佳炉构造。通过在亚化学计量(富含燃料)的区域内操作燃烧器10以使炉510的下游或精炼区530中的NO_x形成最小化以产生富燃料火焰534，而在典型氧气燃料玻璃熔炉500的烟道542附近的上游或熔融区520中的燃烧器10以超化学计量(贫燃料)运行以产生贫燃料火焰524。在该配置中，来自上游贫燃料燃烧器火焰524的过量氧气与富燃料产品从下游富燃料火焰534完成富燃料产品在通过烟道543离开炉膛燃烧空间之前的燃烧。炉500中的燃烧器10的总体化学计量-在此定义因为进入炉子的总氧分子与总的燃料分子的比率除以完全燃烧所需的理论值与零过量氧的比例-不一定是1，而是整个炉子化学计量比贫燃料上游燃烧器或富燃料下游燃烧器更接近于1。

[0090] 通过在非化学计量条件下操作各个燃烧器，通过限制热NO_x形成(其是NO_x形成机制中最慢的形成)来减少一些富燃料和一些贫燃料NO_x排放。需要游离氧来驱动热NO_x形成反应。因此，通过确保具有最大停留时间的气体(即在炉下游端，离烟道最远的那些)具有最小的游离氧，减少热NO_x形成。而且，一旦下游燃料和氧气的余量在靠近烟道的炉子区域内发生反应，则反应基本上被炉内废气稀释，因此发生在比通过燃烧器反应产生的温度更低的温度。这个较低的温度进一步降低了热NO_x形成的速率。由于富燃料区域与精炼区域或区域重合，所以从泡沫减少的观点来看，炉子构造也是有利的，这进一步增强了本发明燃烧器10的泡沫减少作用。

[0091] 如图8和9所示，可以通过将特定元件结合到燃烧器元件28的喷嘴中来增强燃烧器10的操作。这些元件有利于上述主火焰的非化学计量操作。

[0092] 首先，如图8A和8B所示，非流线形体70位于环形第二反应物喷嘴32中，以产生两股第二反应物(例如氧)流、通过内喷嘴或间隙74的内流、通过外喷嘴或间隙72的外部流。内部间隙74与外部间隙72相比相对较小。在一个实施例中，内侧间隙74的横截面面积不大于外侧间隙72的横截面面积的10%。优选地，非流线形体70附接到中心导管20的外侧，使得内部间隙74形成为非流线形体70的基部中的狭缝。第二反应物流过内部间隙74并在燃烧器10的排放面12处与第一反应物(例如燃料)混合。在排放面12处，第二反应物的小滑流与从中心喷嘴22排出的第一反应物混合并点燃，在(第一反应物的)中心喷嘴排出流的边界处产生火焰片或火焰喷射。

[0093] 本领域技术人员已知，与非反应射流相比，在反应性射流火焰的情况下周围气体向射流中的夹带速率显着降低。我们进一步发现，在具有上述的内部间隙74和外部间隙72

的非流线形体70的情况下,由该系统产生的火焰的混入率小于不存在所述非流线型体时产生的火焰的混入率。虽然在实验上非常难以测量夹带速度,但已知对于固定喷嘴排放流量的中央射流、夹带速率直接与射流扩散速率有关。

[0094] 图14示出了通过展开角度 α 测量的从双级燃烧器10的中央燃烧器块通道128出现的火焰片180(表示主火焰的边界)的火焰传播速率的量化,使得火焰传播速率可以由角度 α 的正切来表征。

[0095] 图15比较了由两个喷嘴产生的火焰的火焰蔓延速率数据。曲线上的下部实线(交叉数据点)描绘了具有图8A和8B所示特征的喷嘴的燃烧器,即具有非流线型体70、内部间隙74和在此描述的外部间隙72。上面的虚线(方形数据点)描绘具有相同基本喷嘴但没有非流线形体和间隙的燃烧器的火焰传播速率。图15中的纵轴是相对火焰蔓延速率(无量纲 $\tan(\alpha)$),而横轴是主火焰化学计量比,即化学计量比是基于中心第一反应物(燃料或天然气)和流经初级燃烧器喷嘴的环形第二反应物(氧气)。注意具有非流线形体和间隙的喷嘴产生的火焰传播速度如何显着低于没有非流线形体和间隙的相同喷嘴产生的火焰传播速率。而且,随着主火焰化学计量比降低(即,随着分级氧的比例增加),两种火焰蔓延速率之间的差异增大。如前所述,这是特别重要的,因为本发明的燃烧器的益处随着分级氧的比例增加而增加。

[0096] 图13A和13B示出了具有和不具有图8A和8B中所示的喷嘴特征的本文所述的燃烧器的对比,并且特别示出了火焰相对于分别具有较高和较低夹带速度的相对蔓延速率。在图13A的照片中,采用了一个直的喷嘴,所得到的火焰在竖直方向上相对较快地扩展,夹带大量的炉气。相比之下,在图13B的照片中,采用了包含图8A和8B的特征的喷嘴,并且所得到的火焰在垂直方向上相对较慢地展开,带走较少量的炉气。

[0097] 虽然不希望受到任何理论的束缚,但相信具有非流线形体和间隙的燃烧器喷嘴获得的减小的火焰蔓延速率源于两个因素。一个是少量的二次环形流体,在这种情况下是氧气,其通过内部间隙74进入以与主要流体(天然气)混合。这种混合物产生了一个相对较冷、弱的火焰,锚定在喷嘴尖端。火焰在喷嘴尖端的锚定确保阻碍涡旋生长的火焰反应的存在,并由此降低燃料和氧气流之间的剪切层内的径向混合速率。而且,火焰相对较弱,冷却性质意味着反应速率的初始速率降低;因此火焰片的初始燃烧诱导的体积膨胀最小化。第二个因素是非流线形体70在流过内部间隙74的燃料和氧气的初始接触与通过外部间隙72在非流线形体周围环形氧气的平衡之间产生物理分离。氧气-燃料混合的进一步延迟延长了火焰片材的低初始体积膨胀率。

[0098] 优选地,非流线型体70的高度(h)为初级反应物中心喷嘴22的高度(H)的50%至150%,如图9所示。另外,如图9所示,非流线形体80也可以位于喷嘴22上游的中心第一反应物导管20中。非流线形体80优选具有横向尺寸(d),使得它占据了中心导管横截面面积的25%至75%,并且燃烧器排放面12的凹槽长度L为横向尺寸(d)的2至20倍。非流线型体80的流体力学效应是将中心导管20中的主要反应物分离成两个外部高速流和一个轴向低速芯或尾流。这种分离的主要优点是,随着火焰喷射出现在炉内,主级反应物与分级次级反应物流的分离增加超过没有这种分离的程度。例如,如果氧气(作为第二反应物)在火焰上方分级,则在中心喷嘴的下部流动的燃料(作为第一反应物)的高速部分基本上被缓冲以免与上部氧气混合。相反,如果氧气在火焰下面分级,则在中心喷嘴的上部流动的燃料的高速部分

被更缓冲地与低级氧气混合。这些场景如图10和图11所示。

[0099] 然而,位于主反应物导管20中的非流线形体80可能易于在其尾流中产生涡流的脱落。这些涡流可以显着增加燃烧器排放面12附近的第一和第二反应物之间的混合速率,导致更快的燃烧和更高的NO_x排放。为了减轻这种潜在的影响,可以沿着非流线型体80下游的中心导管20的中心轴线添加后缘分流板82。优选地,分流板82与非流线型体80稍微间隔开以允许非流线形体80的下游侧的压力平衡,分流板优选具有等于或大于非流线型体80的尺寸(d)的长度(x),并且更优选具有长度(x)在横向尺寸(d)的1和10倍之间。然而,分流板的后缘必须不超出燃烧器排放面12。

[0100] 沿着中心导管20的中心线放置非流线型体80加分流板82的实际效果在图13A和13B中给出,图13A和13B分别是分别是具有和不具有非流线型体80加分流板82组合的火焰的摄影图像。非流线形体占据了中心导管流动横截面面积的50%,凹陷尺寸d/L等于14,分流板的长度尺寸为x/d,等于5。照片是沿着火焰轴线从火焰的下游取得的,标称90%的燃烧器氧气通过上部分段充气室56(通过环形导管36平衡)引入。在火焰下方的不透明区域代表烟灰云,并且是在消散次级泡沫中起作用的火焰不足区域尺寸的量度。从这些照片的比较中可以明显看出,在非流线型体和分流板82存在的情况下,充满炭黑的还原区域的尺寸大得多。

[0101] 如本文所述,使得能够选择分级(主火焰以下的次级氧气)或分级(主火焰之上的第二氧气)的选择的双级氧气燃料燃烧器提供了更高熔化效率和更低NO_x排放的氧分级的好处,以及减少起泡的能力。目前声称的燃烧器使用户能够控制氧气分级的大小和位置。如上所述,燃烧器装备有三个通道:主燃烧室、内装燃烧器燃料和氧气喷嘴,用于引入分阶段氧气的上下氧气口,并且两个阀门控制三通道间氧气的流向和方向。

[0102] 与现有的189专利现有技术燃烧器相比,氧分压限制在输入氧气的70%,目前要求的燃烧器能够在氧分级超过95%的情况下安全运行。在一个容器玻璃熔炉测试结果中,当前要求的燃烧器代替了现有技术的专用燃烧器的能耗、玻璃缺陷和NO_x排放都减少了。具体来说,如图19所示,单位能耗下降了3%。以种子和水疱形式存在的缺陷分别下降了40%(种子减少43%,水泡减少38%,分别如图20和图21所示)。此外,NO_x排放量减少了40%(见图22)。不受理论束缚,这些有益效果被认为是由于提高了现有技术燃烧器之前所能达到的分级比的能力以及在熔炼操作中分解泡沫的能力。也就是说,本发明燃烧器设计可以使较高比例的氧气得到较低的NO_x排放量,而缺陷的减少是由于在澄清区域使用过度氧气而导致二次泡沫的清除(见图23A和23B;注意目前声称的燃烧器的镜面外观)。至于降低的燃料消耗,这是由上述两个因素所致。

[0103] 精炼区的泡沫的减少不仅能够减少缺陷,而且能够降低向玻璃的传热阻力,能够提高燃料效率。而且,当在批量熔融区应用于燃烧器时,与现有技术的189燃烧器相比,增加的下级导致现在要求的燃烧器火焰的发光度增加。例如,见图24A和图24B,注意火焰的亮度和胸壁之间的对比度在两个燃烧器之间的变化-图24B中的本发明燃烧器火焰与不足的火焰氧分级比图24A中更明亮,(请注意,拍摄图像的相机会自动校正整体亮度,所以与图24A中的火焰相比,图24B中的火焰的对比度真正突出,几乎融入热炉壁的背景)。这增加了辐射热传递到该区域的玻璃的速率。

[0104] 本发明在范围上不受在实施例中公开的具体方面或实施方式的限制,这些具体方

面或实施方式旨在作为本发明的一些方面的说明，并且在功能上等同的任何实施方式在本发明的范围内。除了本文所示和所述的那些以外，本发明的各种修改对于本领域技术人员而言将是显而易见的，并且意在落入所附权利要求的范围内。

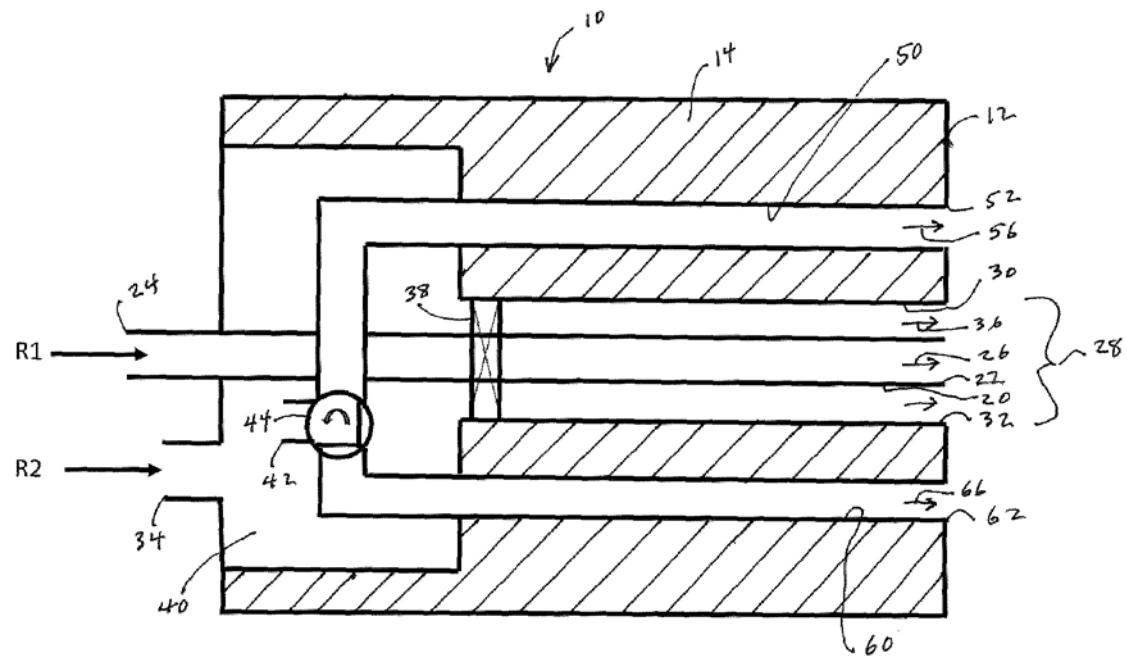


图 1

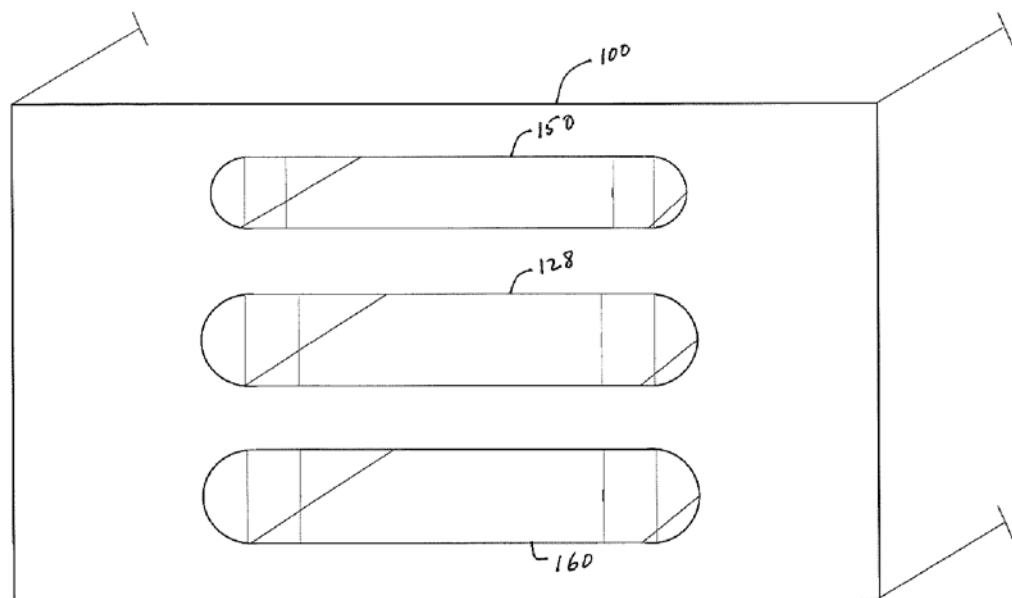


图 2

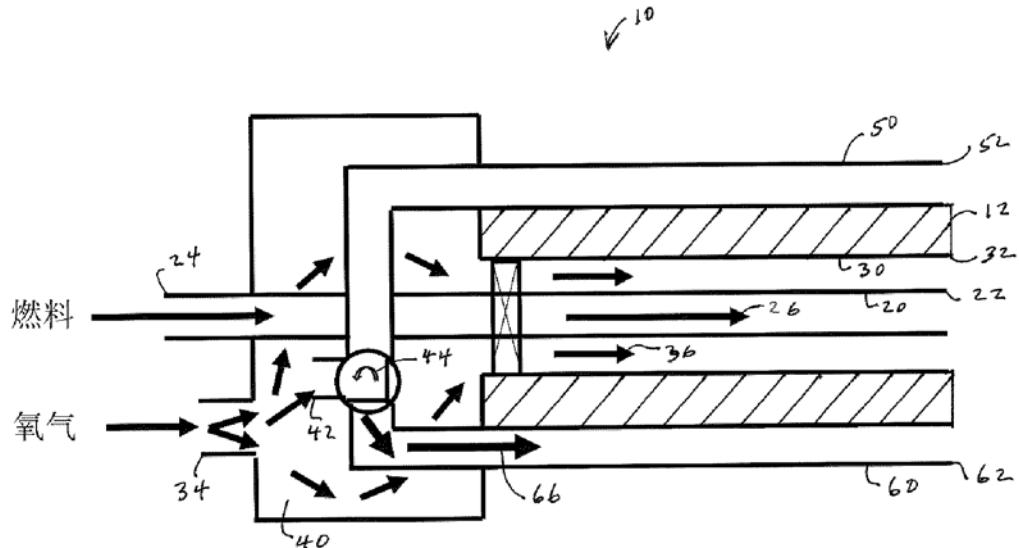


图 3

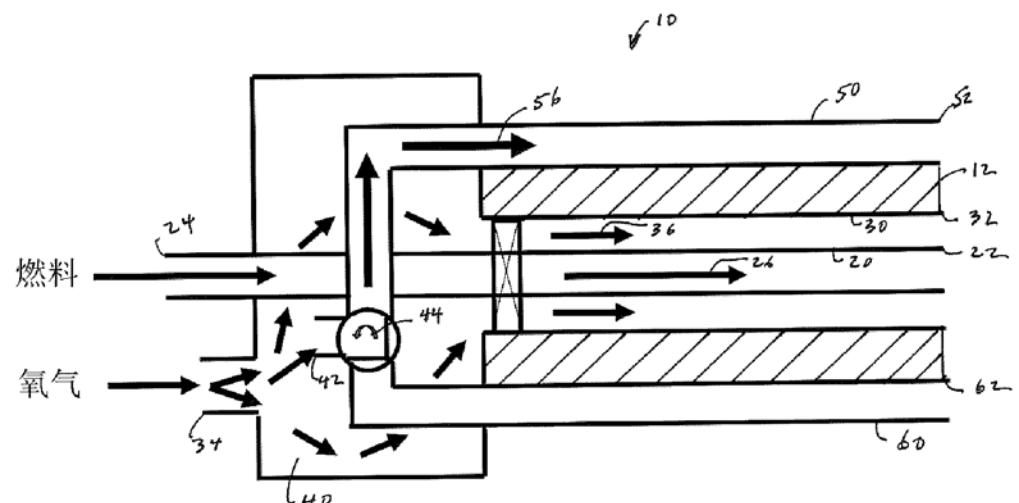


图 4

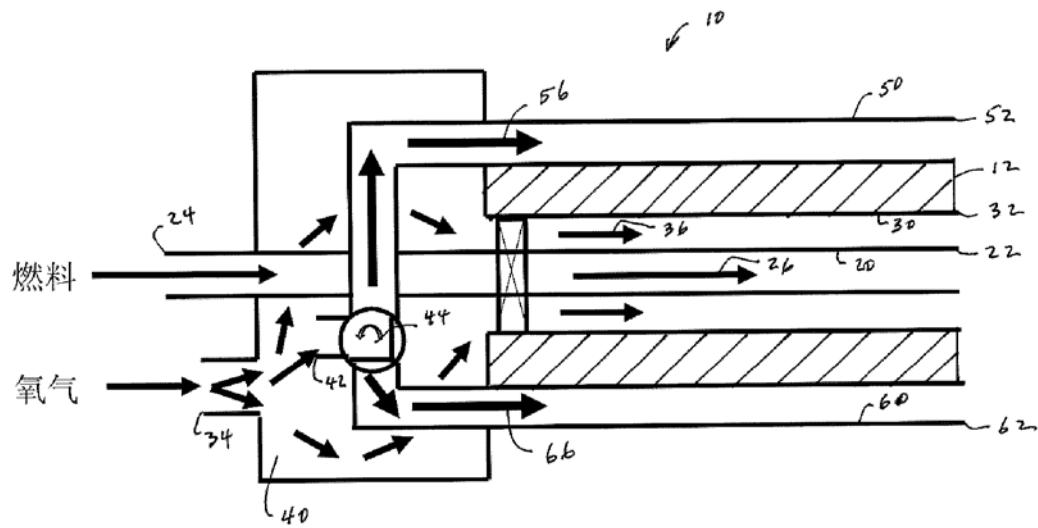


图 5

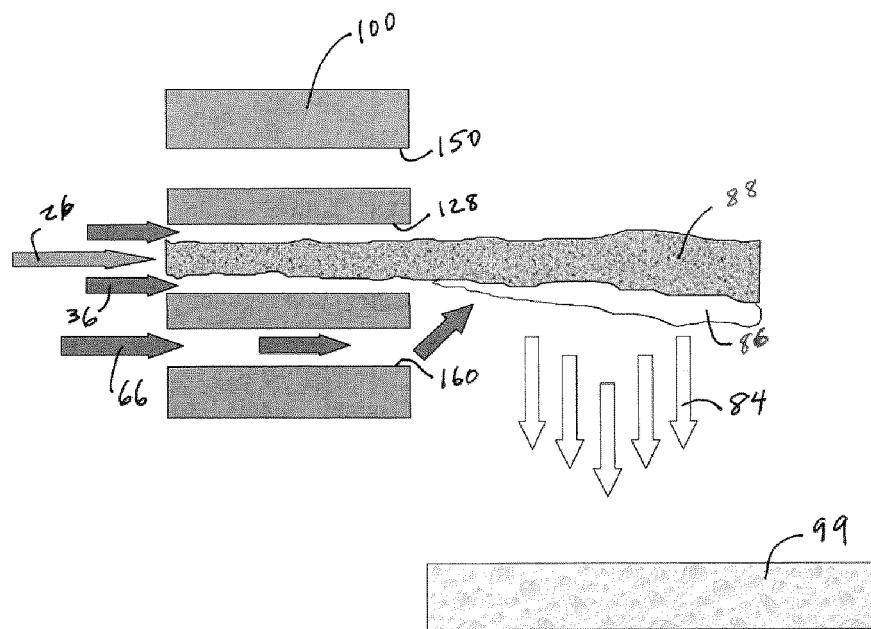


图 6

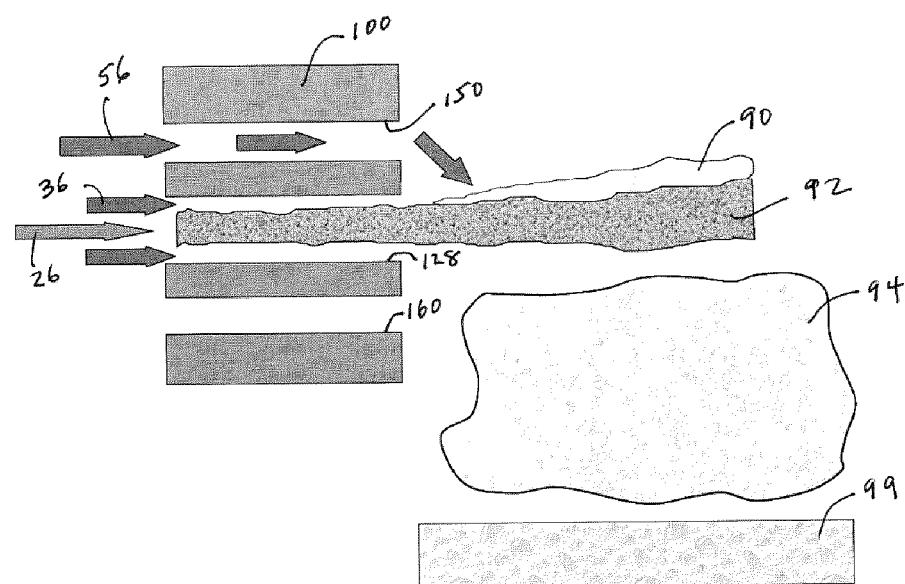


图 7

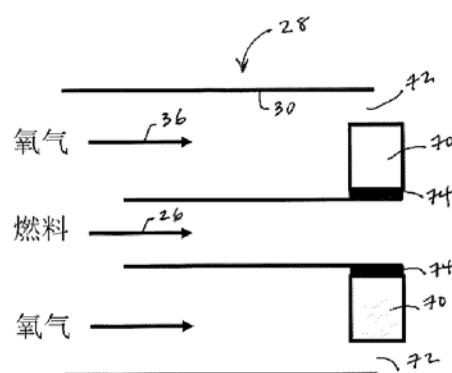


图 8A

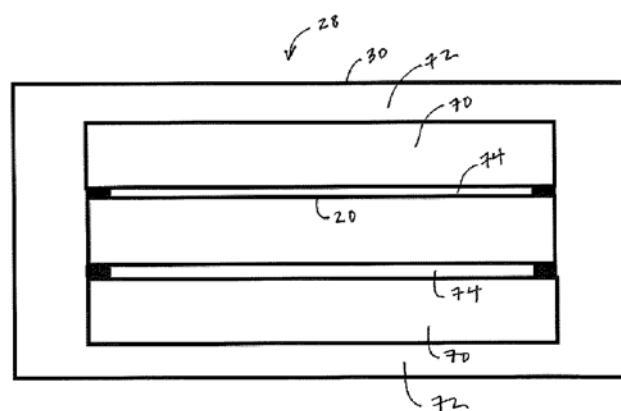


图 8B

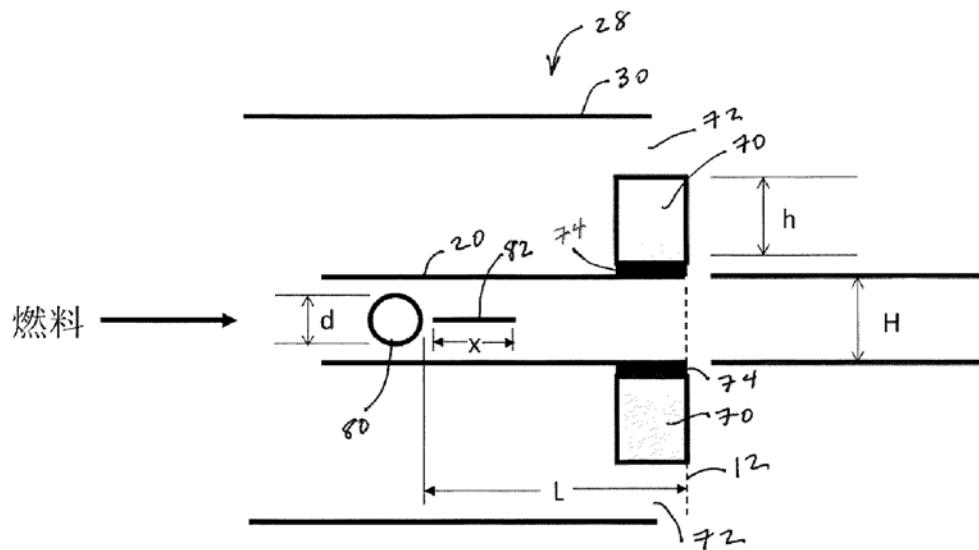


图 9

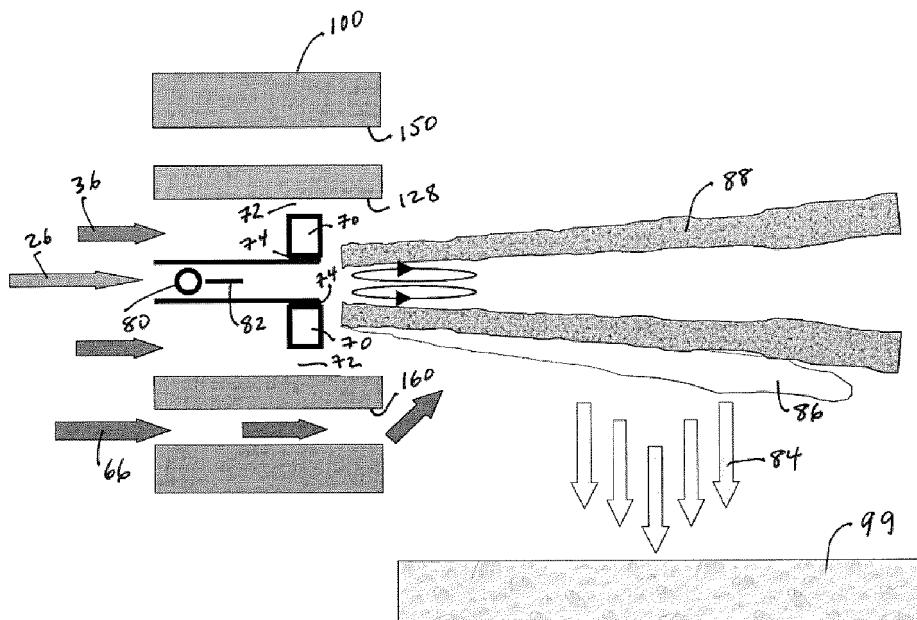


图 10

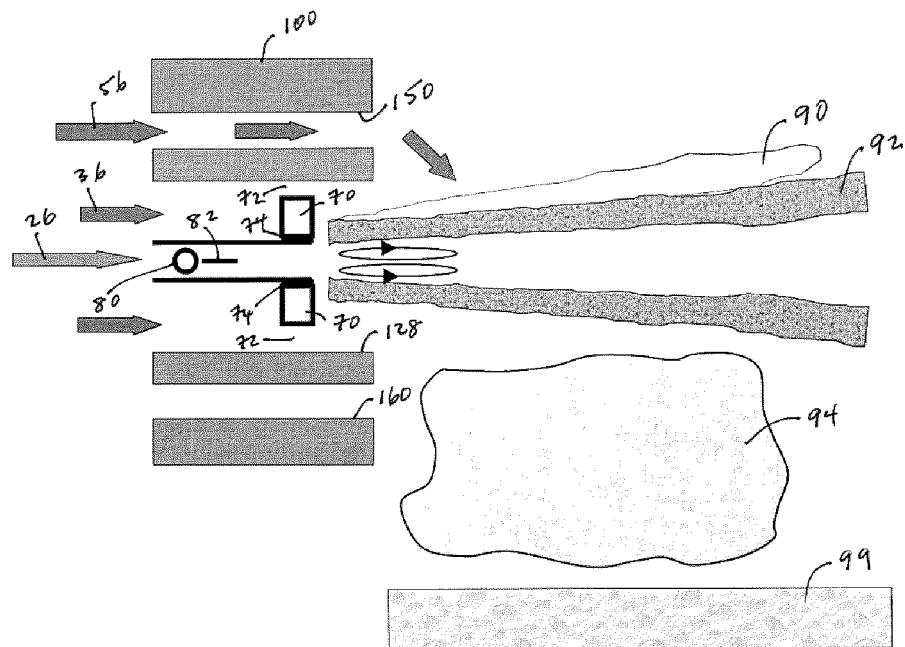


图 11

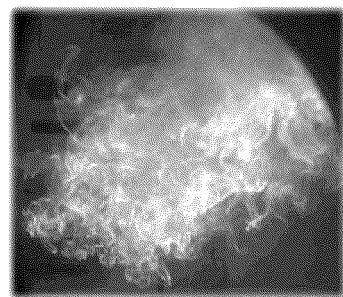


图 12A

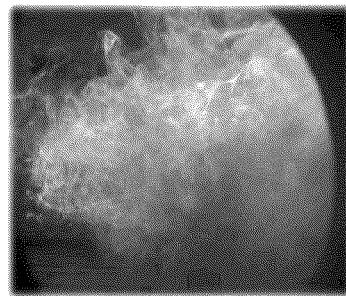


图 12B

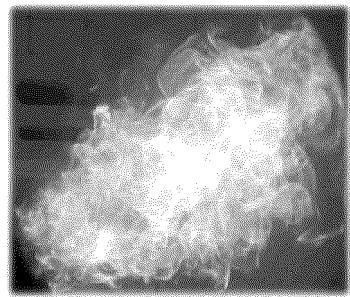


图 12C



图 13A



图 13B

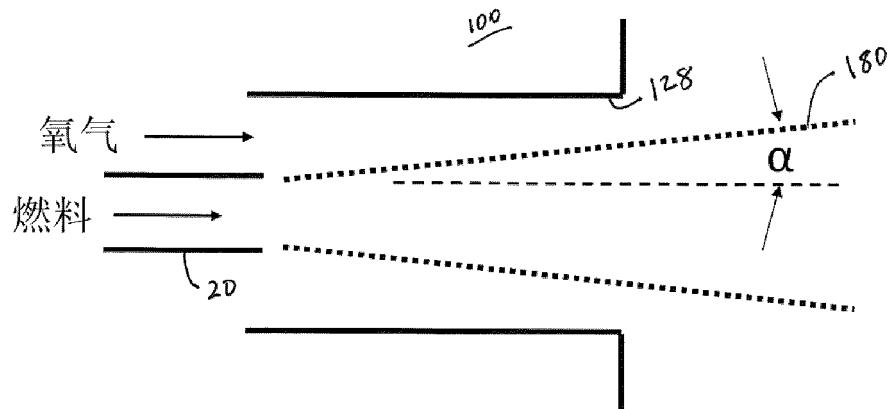


图 14

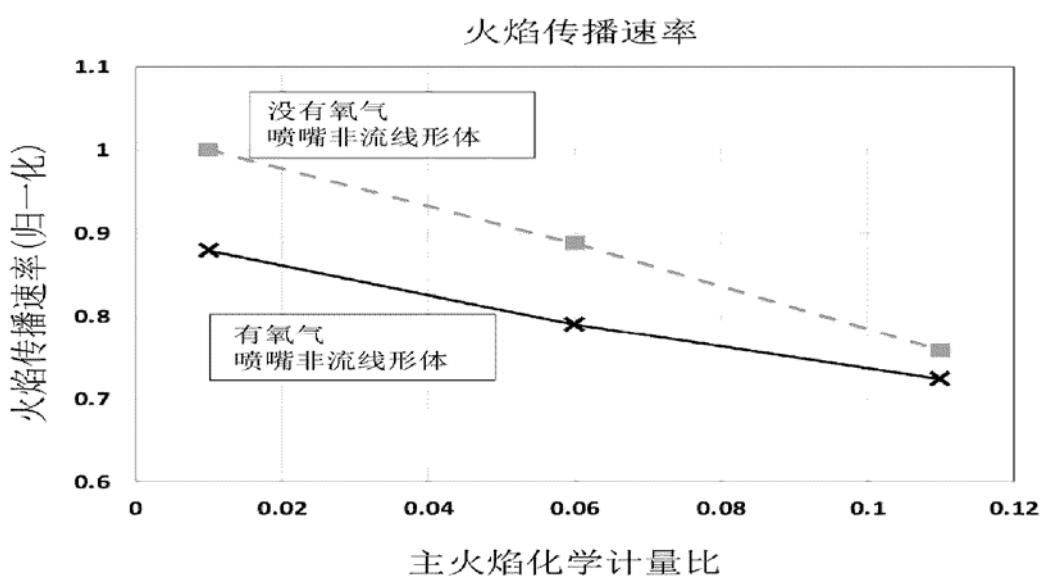


图 15

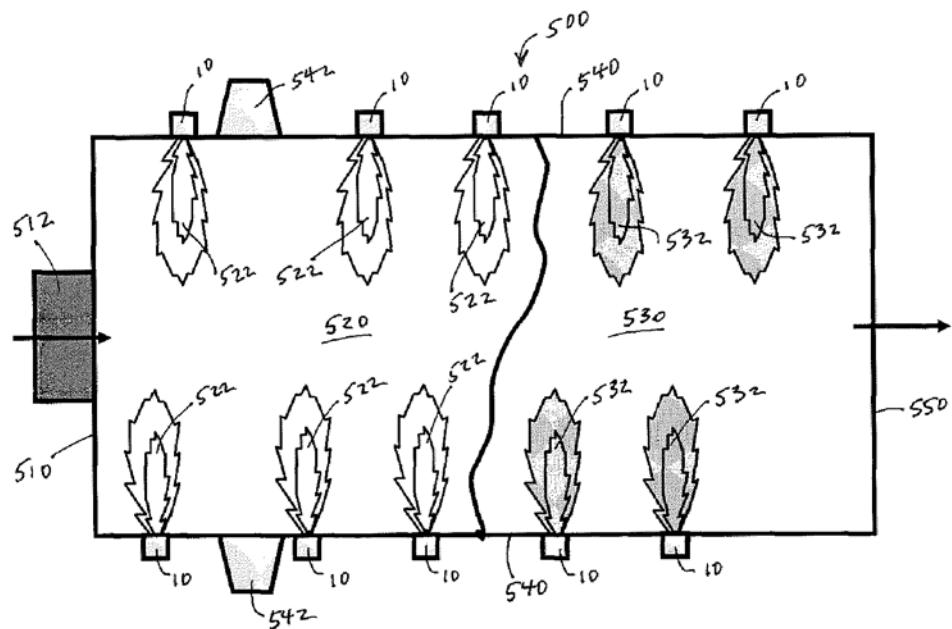


图 16

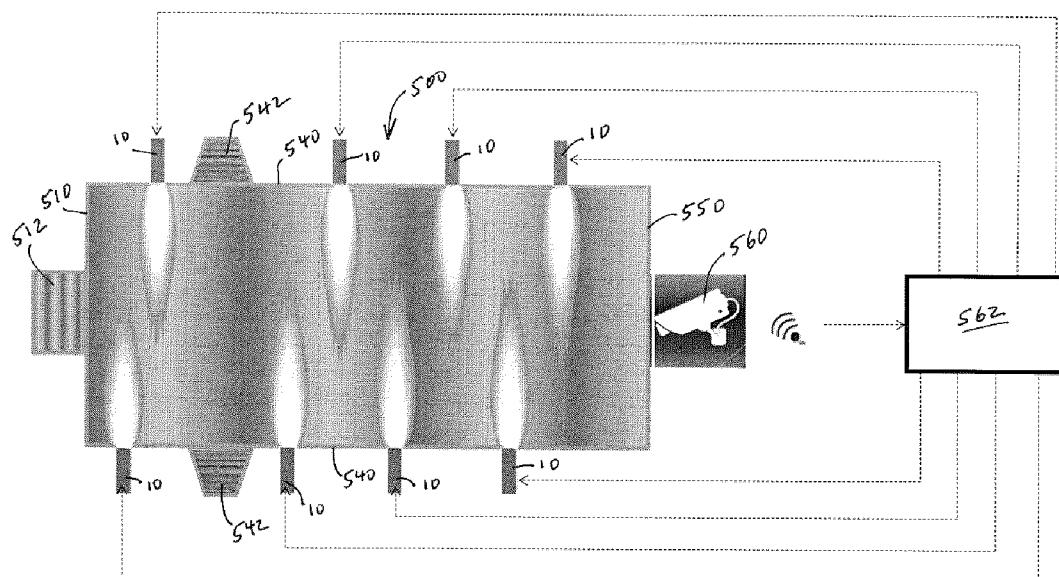


图 17

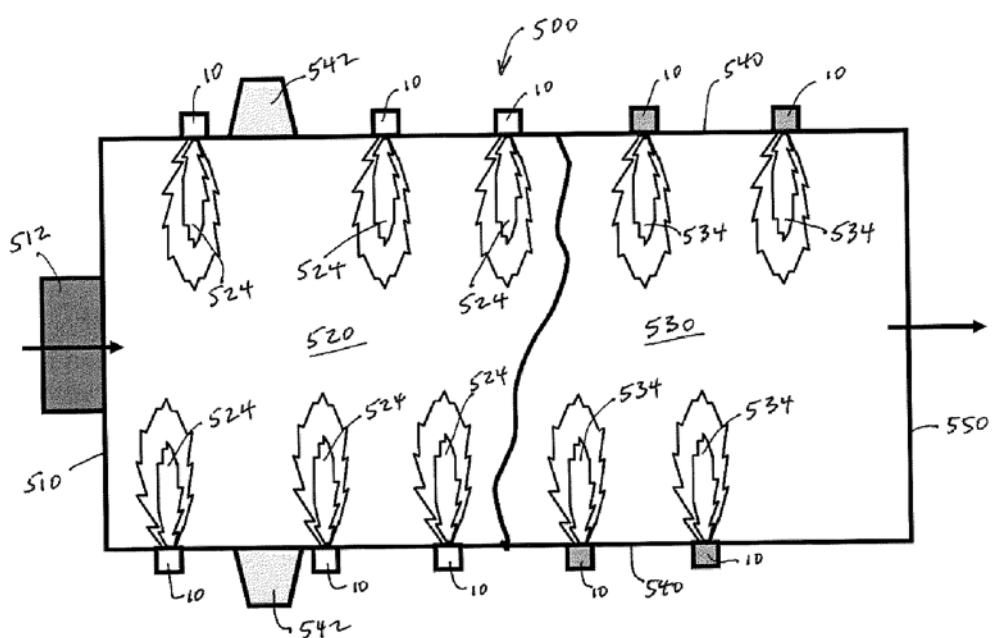


图 18

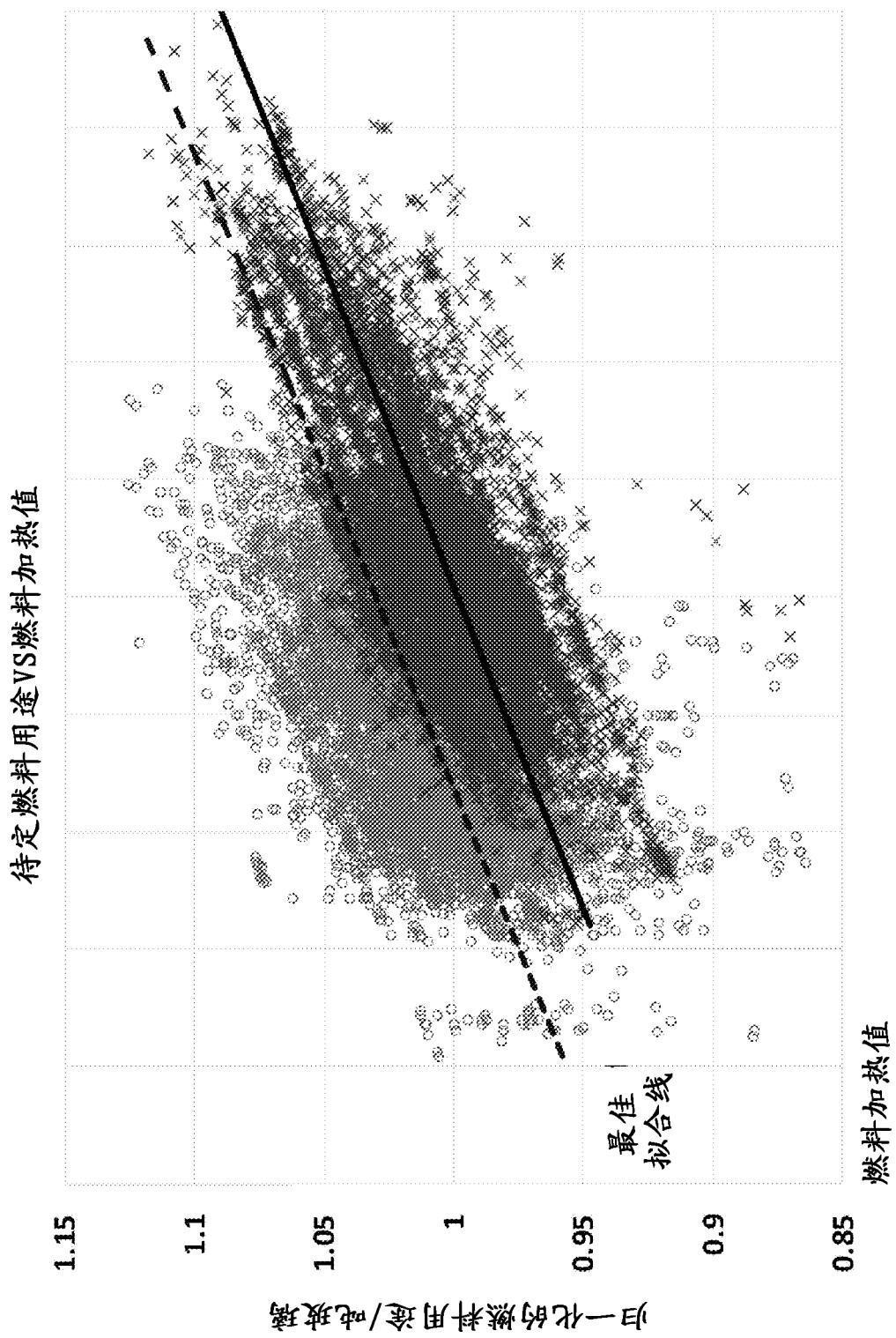


图 19

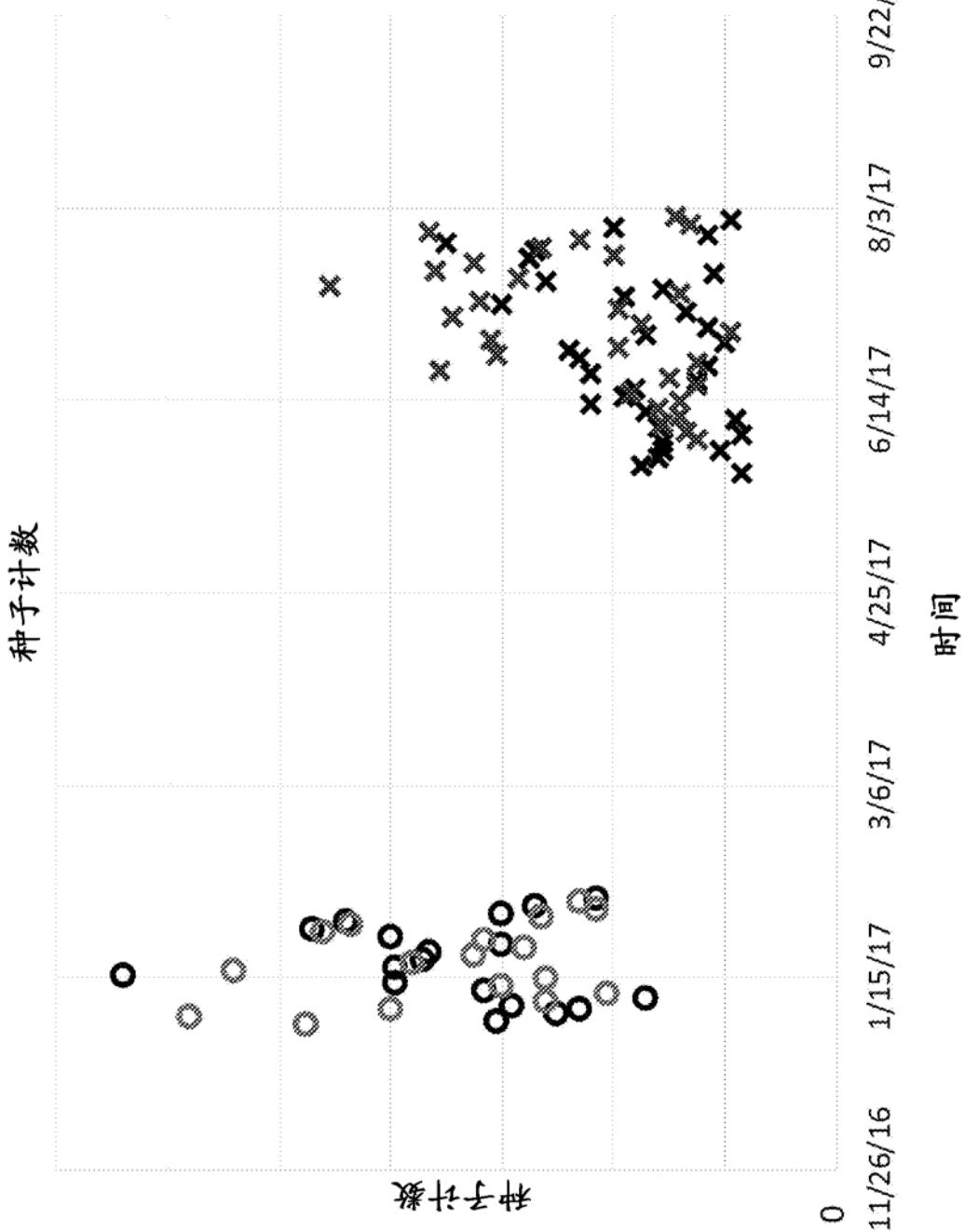


图 20

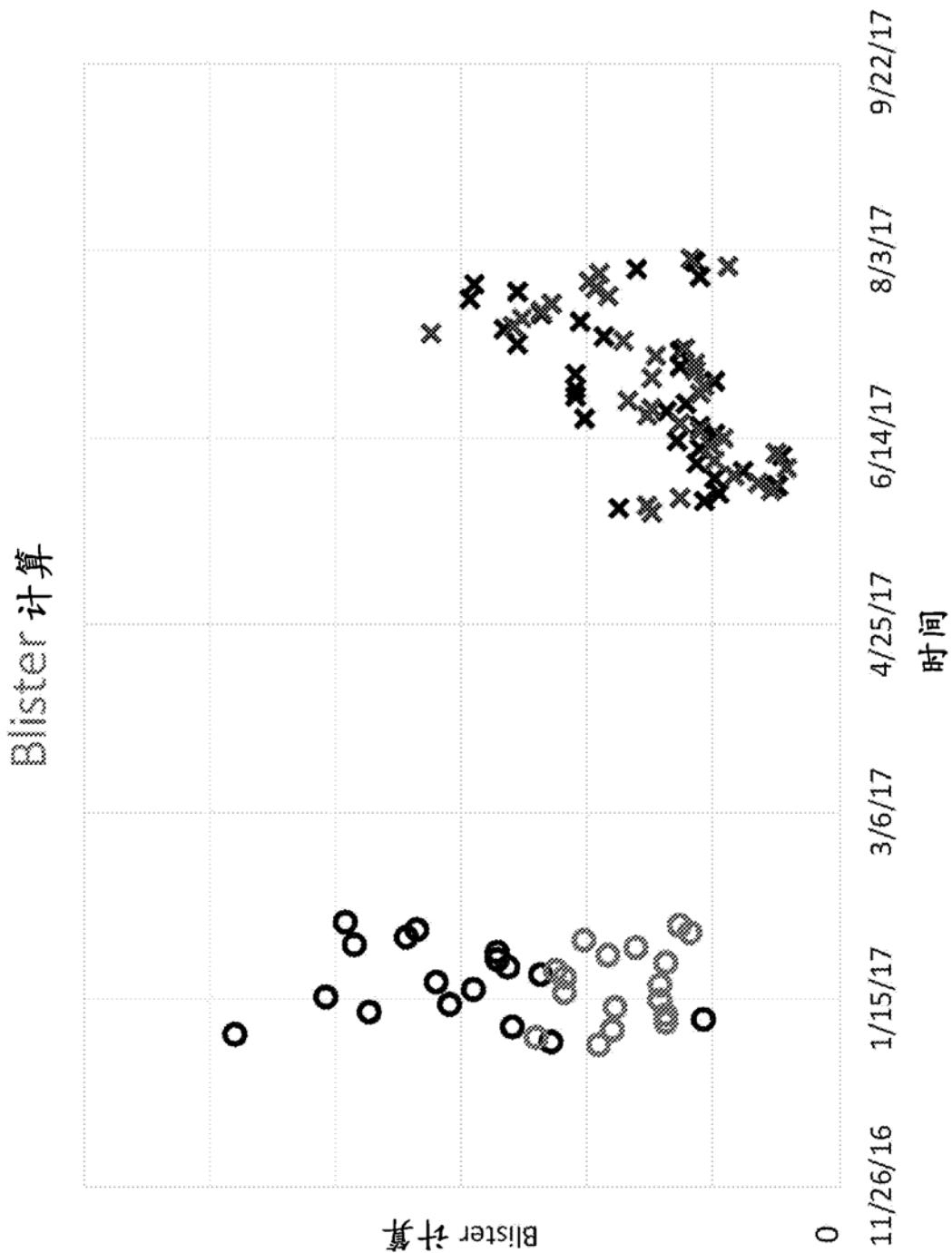


图 21

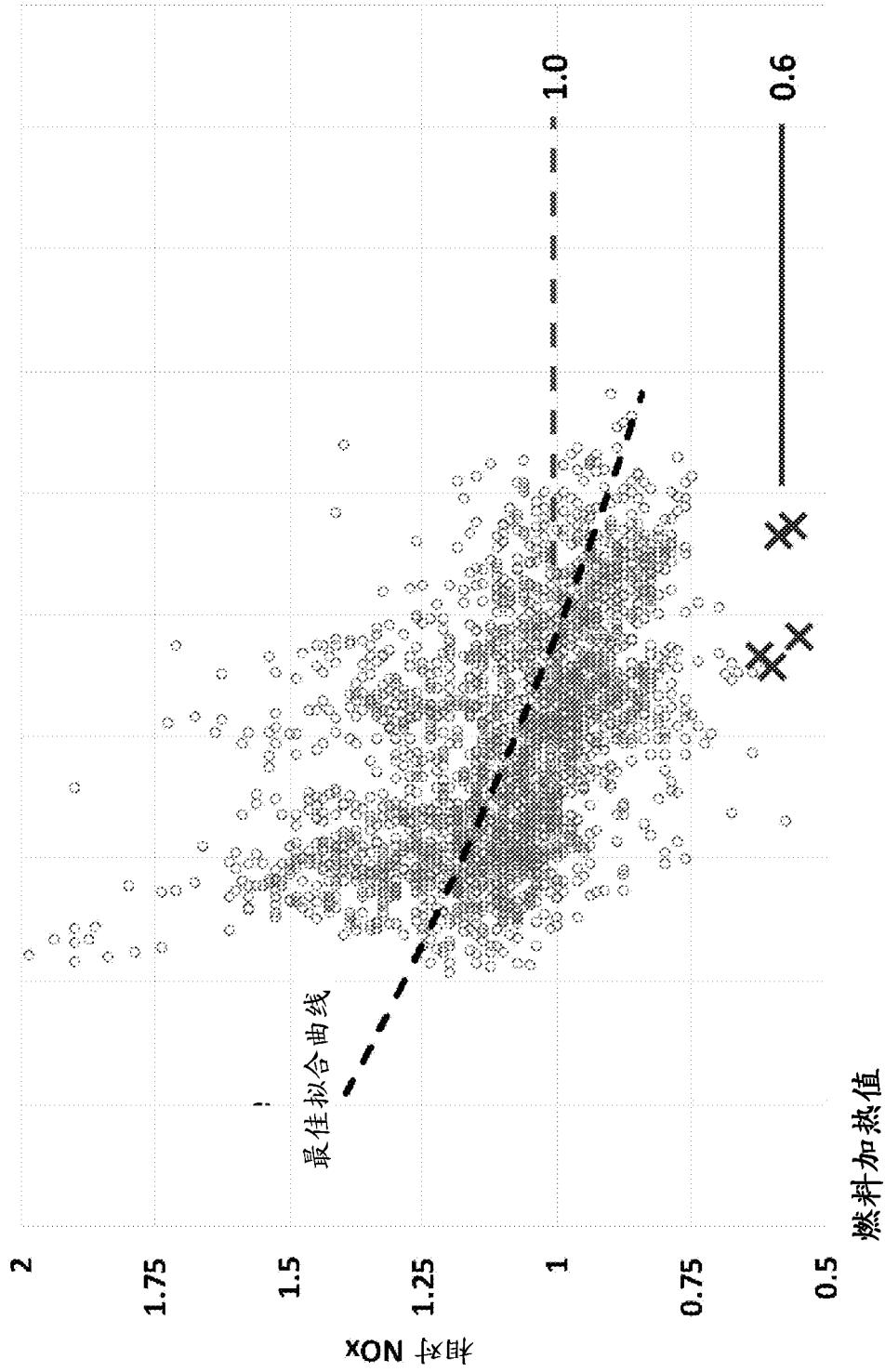
NO_x vs 燃料加热值

图 22

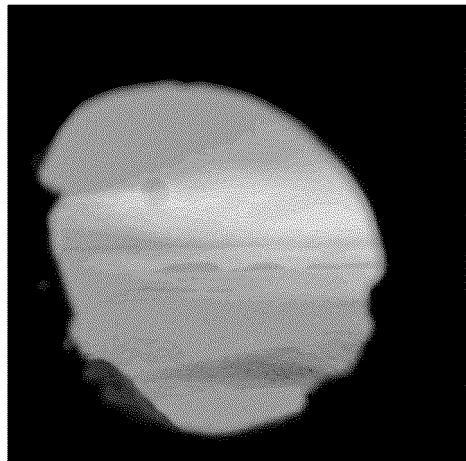


图 23A



图 23B



图 24A

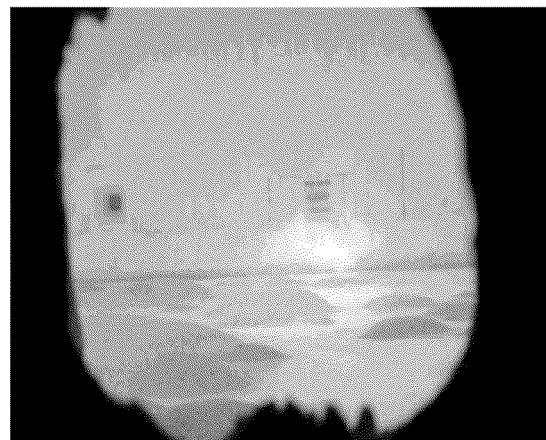


图 24B

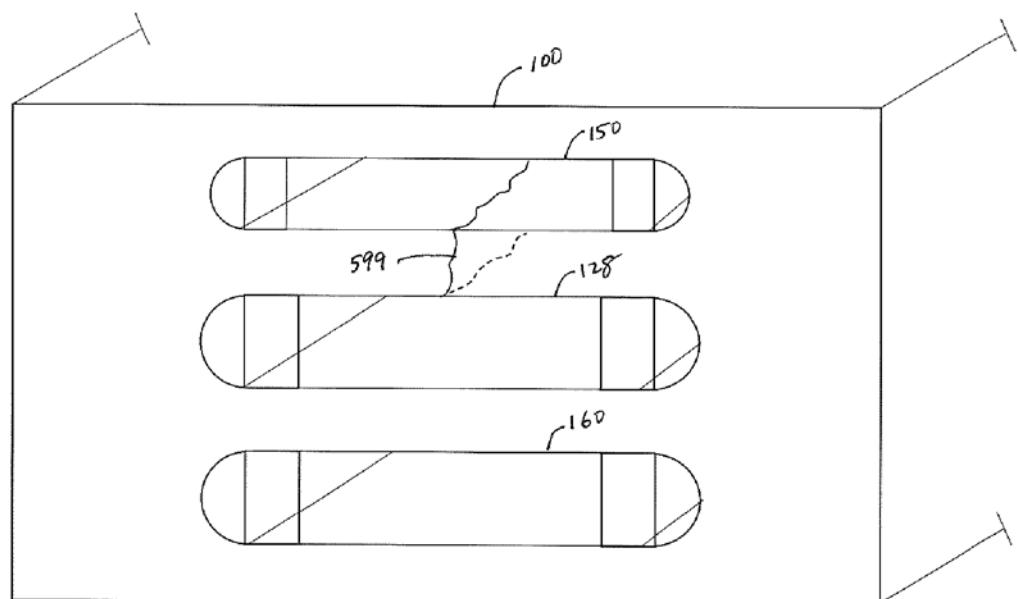


图 25

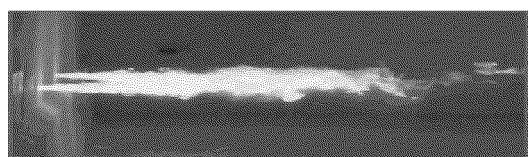


图 26A

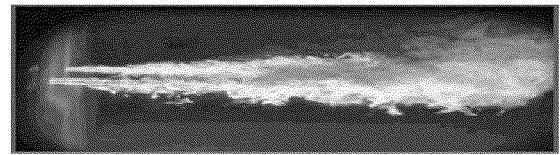


图 26B