



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102032568 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 23

(21) 申请号 201010260576. 3

(22) 申请日 2010. 08. 20

(30) 优先权数据

2009-225896 2009. 09. 30 JP

(73) 专利权人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

(72) 发明人 小泉浩美 百百聪 高桥宏和

浅井智广 小金泽知己 吉田正平

(74) 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

公司 11243

代理人 张敬强

(51) Int. Cl.

F23D 14/00 (2006. 01)

F23D 14/46 (2006. 01)

F01D 15/10 (2006. 01)

F02C 3/22 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101334175 A, 2008. 12. 31,

CN 101334175 A, 2008. 12. 31,

CN 1884910 A, 2006. 12. 27,

CN 1164000 A, 1997. 11. 05,

CN 1878987 A, 2006. 12. 13,

JP 2002-206741 A, 2002. 07. 26,

JP 平 8-210641 A, 1996. 08. 20,

审查员 唐宇

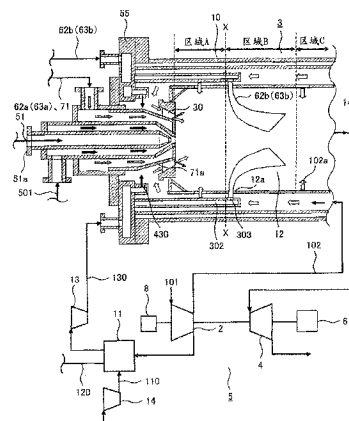
权利要求书2页 说明书37页 附图40页

(54) 发明名称

用于含氢燃料的燃烧器及其低氮氧化物
(NO_x) 运转方法

(57) 摘要

本发明的目的在于提供一种可与燃烧速度快的含氢燃料相对应,既无损燃烧嘴的可靠性又能进行低 NO_x 燃烧的燃气轮机燃烧器。本发明在燃烧室 (12) 的上游配置供给启动用燃料 (51) 及含氢燃料 (62a) 的第一燃料喷嘴 (301),在燃料过浓条件下对从第一燃料喷嘴供给的燃料进行燃烧而形成生成低氧浓度的燃烧气体的一次燃烧区域 (区域 A)。接着,使用第二燃料供给孔 (12a) 从第二燃料喷嘴 (302) 向燃烧室喷射含氢燃料 (62b),形成通过氢的氧化反应而还原在一次燃烧区域产生的 NO_x 的还原区域 (B 区域)。最后,向燃烧室供给贫燃烧用空气 (102a),形成在燃料稀薄条件下对未燃烧部分的燃料进行燃烧二次燃烧区域 (区域 C)。



1. 一种燃烧器,具备:

使空气与燃料燃烧的燃烧室;以及

从上述燃烧室的上游侧向上述燃烧室供给燃料的第一燃料喷嘴,其特征在于,

具备第二燃料供给孔,该第二燃料供给孔用于向在燃料过浓条件下燃烧后的气体中供给含氢燃料,

在比上述第二燃料供给孔靠燃烧气体流向的下游侧,设有向上述燃烧室供给空气的空气孔,

从上述燃烧室内的气体流向上游依次形成有一次燃烧区域、即区域 A,还原区域、即区域 B,以及二次燃烧区域、即区域 C 三个区域,

上述一次燃烧区域是使从上述第一燃料喷嘴供给的燃料在燃料过浓的条件下燃烧的区域;

上述还原区域是利用从上述第二燃料供给孔供给的含氢燃料所含的氢对在上述一次燃烧区域产生的低氧浓度的燃烧气体中含有的氮氧化物,即 NO_x 进行还原的区域,

上述二次燃烧区域是通过从上述空气孔喷入空气,使在上述一次燃烧区域和还原区域未燃烧而残留的未燃烧部分燃料在燃料稀薄条件下进行燃烧的区域。

2. 一种燃烧器,具备:

使空气与燃料燃烧的燃烧室;以及

从上述燃烧室的上游侧向上述燃烧室供给燃料的第一燃料喷嘴,其特征在于,

具备供给还原剂的第二燃料供给孔,该还原剂用于使从上述第一燃料喷嘴供给的燃料通过燃烧而产生的 NO_x 进行还原,

在比上述第二燃料供给孔靠燃烧气体流向的下游侧,设有向上述燃烧室供给空气的空气孔,

从上述燃烧室内的气体流向上游依次形成有一次燃烧区域、即区域 A,还原区域、即区域 B,以及二次燃烧区域、即区域 C 的三个区域,

上述一次燃烧区域是使从上述第一燃料喷嘴供给的燃料在燃料过浓的条件下燃烧的区域;

上述还原区域是利用从上述第二燃料供给孔供给的还原剂对在上述一次燃烧区域产生的低氧浓度的燃烧气体中含有 NO_x 进行还原的区域,

上述二次燃烧区域是通过从空气孔喷入空气,使在上述一次燃烧区域和还原区域未燃烧而残留的未燃烧部分燃料在燃料稀薄条件下进行燃烧的区域。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的燃烧器,其特征在于,

具有比上述第二燃料供给孔靠燃烧气体流向的上游侧的减少氧浓度的机构。

4. 根据权利要求 3 所述的燃烧器,其特征在于,

作为上述减少氧浓度的机构,具有惰性介质喷射机构。

5. 根据权利要求 4 所述的燃烧器,其特征在于,

上述惰性介质喷射机构构成为向上述燃烧室喷射惰性介质与空气的混合物。

6. 一种发电设备,具备:

权利要求 1 或 2 所述的燃烧器;

向上述燃烧器供给压缩空气的压缩机;

利用由上述燃烧器生成的燃烧气体驱动的涡轮机 ; 以及
利用上述涡轮机的驱动力发电的发电机, 其特征在于,
具备提高燃料的氢浓度的机构,

向上述燃烧器的上述第二燃料供给孔供给利用上述提高氢浓度的机构提高了氢浓度的燃料。

7. 根据权利要求 6 所述的发电设备, 其特征在于,
上述提高氢浓度的机构是利用了碳成分与水蒸汽的变换反应的机构。

8. 根据权利要求 7 所述的发电设备, 其特征在于,
上述燃料是在炼铁过程中产生的气体燃料。

9. 根据权利要求 7 所述的发电设备, 其特征在于,
上述燃料是通过利用氧对煤进行气化而精制得到的气体。

10. 根据权利要求 7 所述的发电设备, 其特征在于,
上述燃料是在石油的精制过程中产生的副产物燃料。

11. 一种燃料的燃烧方法, 使空气与燃料燃烧而生成燃烧气体, 其特征在于,
通过使上述燃料和空气在燃料过浓的条件下燃烧产生低氧浓度的燃烧气体,
通过向上述燃烧气体供给含氢燃料, 从而借助于还原反应使通过空气与燃料的燃烧产生的 NO_x 减少,

在通过供给含氢燃料使 NO_x 减少之后, 通过供给空气, 使未燃烧部分的燃料在燃料稀薄条件下燃烧。

12. 一种燃烧器的运转方法, 其特征在于,
在权利要求 1 或 2 所述的燃烧器的运转方法中,

基于燃料中所含的氢浓度和上述燃烧室内 NO_x 浓度的至少一方, 控制从上述第一燃料喷嘴供给的燃料流量和从上述第二燃料喷嘴供给的燃料流量的至少一方。

用于含氢燃料的燃烧器及其低氮氧化物（ NO_x ）运转方法

技术领域

[0001] 本发明涉及与运用含氢燃料相对应的燃烧器及其低氮氧化物（ NO_x ）运转方法。

背景技术

[0002] 在燃烧器中,作为在确保燃烧嘴的可靠性的同时抑制 NO_x 的排出量的方法,可以列举利用扩散燃烧方式的富 / 贫燃烧。富 / 贫燃烧只用一个系统供给燃料。该方式是如下方式:开始,以燃料过浓条件使供给到燃烧器头部的一次燃烧区域的燃料燃烧(富燃烧),抑制火焰的温度上升从而抑制 NO_x 的发生。随后,在燃烧器下游的二次燃烧区域向从一次燃烧区域流下来的未燃烧部分的燃料供给空气,从而在燃料稀薄的条件下使其迅速地燃烧(贫燃烧)。

[0003] 但是,由于在一次燃烧区域的火焰变长,因而需要进行燃烧室壁面的冷却。燃烧室壁面的冷却虽然能利用空气,但若这样将随着空气的供给而导致氧浓度上升。若氧浓度上升则火焰温度增高,有可能带来 NO_x 的排出量的增加。

[0004] 作为其对策,有通过将燃料系统设为两个系统,在燃烧器的轴向分别供给燃料,从而使一次燃烧区域的火焰长度变得适当的技术。另外,将燃料系统在轴向设为两个系统,分别供给燃料的技术公开在专利文献 1(日本特开平 8-210641 号公报)中。

[0005] 在先技术文献

[0006] 日本特开平 8-210641 号公报

[0007] 专利文献 1 记载的燃烧器在稀薄燃烧用燃烧嘴的下游设有补充燃烧用的燃烧嘴。并且记载有,通过将燃料的供给系统在轴向分为两个系统而将轴向的火焰温度控制在任意的设定温度以下的结构。

[0008] 但是,燃烧器头部的燃烧嘴是燃料稀薄条件下的预混合燃烧方式的燃烧嘴。在预混合燃烧方式的燃烧嘴使用燃烧速度快的含氢燃料时,由于火焰与燃烧嘴过于接近而有可能对燃烧嘴带来烧损。另一方面,为了确保燃烧嘴的可靠性,在将预混合燃烧方式的燃烧嘴替换设置成简单的扩散燃烧方式的燃烧嘴的情况下,则由于扩散燃烧时的局部火焰温度的上升而产生 NO_x ,低 NO_x 化有可能变得不充分。

发明内容

[0009] 于是,本发明的目的在于提供一种可与含氢燃料相对应在确保燃烧嘴的可靠性的同时进行低 NO_x 运转的燃烧器。

[0010] 本发明是在具有使空气与燃料燃烧的燃烧室和从上述燃烧室的上游侧向上述燃烧室供给燃料的第一燃料喷嘴的燃气轮机的燃烧器中,其特征是,在上述燃烧室的壁面上具有向燃烧室内供给含氢燃料的第二燃料供给孔。

[0011] 本发明的效果是,根据本发明,即使对含氢燃料也能提供确保可靠性的燃烧器及其低 NO_x 运转方法。

附图说明

- [0012] 图 1 是实施例 1 所示的燃烧器的结构图。
- [0013] 图 2 是实施例 1 所示的燃烧器的第二燃料供给孔的位置的燃烧器的概略剖视图。
- [0014] 图 3 是表示相对于与实施例 1 相关的燃气轮机负荷的燃料及氮气喷射量的图。
- [0015] 图 4 是燃烧室内的氧浓度、 NO_x 浓度及燃烧器内气体温度的断面平均值相对于实施例 1 所示的燃烧器的轴向距离的示意图。
- [0016] 图 5 是对于在实施例 1 所示的燃烧器内产生的现象,沿着燃烧气体的流向以流程图的形式表示的图。
- [0017] 图 6 是实施例 1 所示的发电设备的系统简图。
- [0018] 图 7 是实施例 2 所示的燃烧器的结构图。
- [0019] 图 8 是实施例 2 所示的燃烧器的第二燃料供给孔的位置的燃烧器的概略剖视图。
- [0020] 图 9 是表示相对于与实施例 1 相关的燃气轮机负荷的燃料及氮气喷射量的图。
- [0021] 图 10 是实施例 2 所示的发电设备的系统简图。
- [0022] 图 11 是实施例 3 所示的燃烧器的结构图。
- [0023] 图 12 是实施例 3 所示的燃烧器的第二燃料供给孔的位置的燃烧器的概略剖视图。
- [0024] 图 13 是实施例 3 所示的发电设备的系统简图。
- [0025] 图 14 是参考例 1 所示的燃气轮机燃烧器的整体图。
- [0026] 图 15 是以火焰传播管连接了参考例 1 所示的两个燃烧器的结构剖视图。
- [0027] 图 16 是表示参考例 1 所示的燃烧器的燃料喷嘴与火焰稳定器的剖视图。
- [0028] 图 17 是表示参考例 1 所示的燃烧器在扩散燃烧时的火焰形状的剖视图。
- [0029] 图 18 是表示参考例 1 所示的扩散及预混合燃烧时的火焰形状的剖视图。
- [0030] 图 19 是表示参考例 1 所示的燃烧器的火焰稳定器结构及流量关系图。
- [0031] 图 20 是在参考例 1 中,表示预混合流道在圆周方向不均匀的情况的图。
- [0032] 图 21 是表示以参考例 1 所示的燃烧器的轴心为中心在预混合流道中具有旋转成分的情况的图。
- [0033] 图 22 是参考例 2 的燃料喷嘴的前端部的详细剖视图。
- [0034] 图 23 是表示参考例 2 的燃料喷嘴及燃料供给系统的详细结构图。
- [0035] 图 24 是表示参考例 2 的燃气轮机燃烧器的总体结构的剖视图。
- [0036] 图 25 是比较例 1 相对于参考例 2 的燃料喷嘴的前端部的详细剖视图。
- [0037] 图 26 是比较例 2 相对于参考例 2 的燃料喷嘴的前端部的详细剖视图。
- [0038] 图 27 是表示参考例 3 的燃烧嘴的详细结构的侧剖视图。
- [0039] 图 28 表示的是燃气轮机的额定负荷时的燃烧嘴的详细结构。
- [0040] 图 29 是表示参考例 4 的燃气轮机燃烧器的整体剖视图。
- [0041] 图 30 是沿图 29 的 II - II 线的剖视图。
- [0042] 图 31 是参考例 4 的燃气轮机燃烧器的主要部分的剖视图。
- [0043] 图 32 是参考例 4 的燃气轮机发电设备的系统图。
- [0044] 图 33 是表示参考例 4 的燃气轮机燃烧器运转时的燃气轮机负荷与空气供给量的关系的曲线图。
- [0045] 图 34 是表示参考例 4 的燃气轮机燃烧器运转时的燃气轮机负荷与燃料供给量的

关系的曲线图。

[0046] 图 35 是参考例 4 的第一验证用燃烧器的剖视图。

[0047] 图 36 是参考例 4 的第二验证用燃烧器的剖视图。

[0048] 图 37 是参考例 4 的第三验证用燃烧器的剖视图。

[0049] 图 38 是表示参考例 4 的第一、第二及第三验证用燃烧器的 NO_x 排出特性的曲线图。

[0050] 图 39 是参考例 4 的第四验证用燃烧器的剖视图。

[0051] 图 40 是表示参考例 4 的第二及第四验证用燃烧器的 NO_x 排出特性的曲线图。

[0052] 图 41 是表示参考例 5 的燃烧装置的主要部分的纵向侧剖视图。

[0053] 图 42 是参考例 5 的燃烧装置的局部剖立体图。

[0054] 图 43 是表示参考例 5 的燃烧装置及其周围的纵向侧剖视图。

[0055] 图 44 是参考例 6 的燃气轮机的燃烧器的纵向侧剖视图。

[0056] 图 45 是表示参考例 6 的燃料流量与燃气轮机的转数的关系的特性曲线图。

[0057] 图 46(a) 是表示参考例 6 的燃料喷射用的喷嘴的一例的纵向侧剖视图。

[0058] 图 46(b) 是表示参考例 6 的燃料喷射用的喷嘴的一例的主视图。

[0059] 图 47 是参考例 7 的燃气轮机燃烧器的剖视图。

[0060] 图 48 是参考例 7 的燃气轮机燃烧器的局部剖视图。

[0061] 图 49 是参考例 7 的燃烧器头部的立体图。

[0062] 图 50 是表示参考例 7 的内焰形成状态的说明图。

[0063] 图 51 是参考例 7 的第二级燃料供给部的详细构造图。

[0064] 图 52 是参考例 7 的第二级燃料供给部的其它形态的详细构造图。

[0065] 图 53 是参考例 7 的第二级燃料供给部的其它形态的详细构造图。

[0066] 图 54 是参考例 8 的燃烧器头部的纵剖视图。

[0067] 图 55 是图 54 的主视图。

[0068] 图 56 是表示参考例 8 的燃料喷射管的排列的燃烧器头部的立体图。

[0069] 图 57 是表示参考例 8 的燃烧室头部的空气及燃料的流动图案的图。

[0070] 图 58 是表示参考例 8 的燃烧室头部的空气及燃料的流动图案的图。

[0071] 图 59 表示参考例 8 的由燃料喷射管的突起部的长度决定的稳定火焰特性的图。

[0072] 图 60 表示参考例 8 的由燃料喷射管的突起部的长度决定的 NO_x 、CO 特性的图。

[0073] 图 61 是表示参考例 8 的燃烧器的各部分特性的图。

[0074] 图 62 是表示参考例 8 的燃烧器的各部分特性的图。

[0075] 图 63 是表示参考例 8 的燃烧器各部分的特性的图。

[0076] 图 64 是表示参考例 8 的其它应用例子的图。

[0077] 图 65(a) 是表示参考例 8 的另一其它应用例子的图。

[0078] 图 65(b) 是表示参考例 8 的又一其它应用例子的图。

[0079] 图 66 是表示涉及参考例 3 的燃烧嘴的其它的详细构造的侧剖视图。

[0080] 图 67 是从燃烧器下游侧观察图 66 的喷嘴罩 3053 的局部放大图。

[0081] 图中：

[0082] 2- 压缩机, 3- 燃烧器, 4- 涡轮机, 5- 燃气轮机, 6- 发电机, 8- 起动用马达, 10- 外筒, 11- 空气分离装置, 12- 燃烧室, 12a- 第二燃料供给孔, 12b- 第二燃料喷嘴夹, 13- 氮气升

压压缩机,14- 备用空气压缩机,20- 煤,21- 煤气化炉,22- 煤气精制装置,23-CO₂ 分离回收装置,24- 炼焦炉,24a- 干馏用热源,25- 焦炉煤气精制装置,26- 气体热量调整装置,27- 高炉,28- 转炉,29- 锅炉,30- 空气回旋器,31- 精制蒸馏装置,32- 分解装置,33- 改性装置,34- 储气罐,35- 气体精制装置,50- 石油,51- 液体燃料,51a- 起动用液体燃料喷嘴,52- 石脑油,55- 端盖,60- 精制前煤气化的气体,62-CO₂ 回收前的煤气化的气体,63-CO₂ 回收后的煤气化的气体,71- 起动用高热值燃料,101- 空气,102- 燃烧用空气,102a- 贫燃烧用空气,103- 抽取空气,120- 氧气,130- 氮气,135- 蒸汽,140- 燃烧气体,160- 焦碳,161- 精制前焦炉煤气,162- 焦炉煤气 (COG),163- 高炉煤气 (BFG),164- 生铁,165- 转炉煤气 (LDG),261- 精制前原料废气,262、262a、262b- 炼油厂废气,263- 液化丙烷气 (LPG),301- 第一燃料喷嘴,302- 第二燃料喷嘴,430- 氮气喷射喷嘴,435- 蒸汽喷射喷嘴,501- 喷雾空气。

具体实施方式

[0083] 氢由于在燃烧时不产生二氧化碳 (CO₂) 而是能对防止地球暖化作出贡献的燃料。因此,近年来,对于燃气轮机来说,从资源有效利用的观点来看,除了燃气轮机的主要燃料的 LNG (液化天然气) 外,研究了对含氢副产物燃料的利用。在含氢副产物燃料中,有例如在炼铁厂中生成焦碳时由炼焦炉产生的煤气 (COG: 焦炉煤气),以及在石油炼油厂产生的废气。另外,用氧使煤及重质油气化而得到的气化的气体也是含氢燃料。

[0084] 利用以氧使煤气化了的燃料来发电的煤气化复合发电系统 (IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle) 是有效地利用了丰富的资源的发电系统,以欧美为中心已被实用化。再有,近年来,从防止地球暖化的观点来看,研究了将燃料中的碳成分分离并除去的 CO₂ 分离回收系统 (CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)。若利用 CO₂ 分离回收系统去除燃料中的碳成分,则燃料中的氢成分的比例增加。还研究了将这种 CO₂ 分离回收系统应用到 IGCC 及其它的发电系统中。

[0085] 煤气化的气体的典型的燃料成分是一氧化碳、氢、氮及少量的甲烷。各个成分的浓度虽然依赖于原料的煤的种类等而有些变动,但燃料中的氢浓度对 CCS 的运转条件具有很大的影响。在利用 CCS 进行 CO₂ 回收前的煤气化的气体的情况下,氢浓度约为 25vol. % 左右。另一方面,在高度进行了 CO₂ 回收的情况下 (CO₂ 回收率为 90%),则为氢浓度约为 85vol. % 的高氢浓度燃料。

[0086] 如上所述,用于 IGCC 设备的燃料,其组成根据煤种及气化炉负荷、CCS 的运转条件等而不同。因此,需要能与燃料组成的变化相对应的燃烧器。另外,利用 CCS 进行 CO₂ 分离回收后的燃料则为含氢量较多的燃料。因此,需要一种燃烧器能与可燃范围宽、燃烧速度快的这种含氢燃料的课题相对应。

[0087] 燃料的燃烧方式有预混合燃烧方式和扩散燃烧方式。预混合燃烧方式是通过预先将燃料与空气混合,以燃料稀薄状态进行燃烧而实现低 NO_x 化。但是,由于在燃烧时火焰容易接近燃烧嘴,发生逆火的危险性增加等原因而有可能损害燃烧嘴的可靠性。因此,在预混合燃烧方式中,确保燃烧嘴的可靠性成为重要课题。

[0088] 另一方面,扩散燃烧方式是分别通过不同的流道向燃烧室供给燃料和空气并使其进行燃烧。燃料在供给到燃烧室之后再与空气混合而进行燃烧。因此,能控制逆火的发生并实现确保燃烧嘴的可靠性。但是,由于燃料与空气的混合状况不均匀,则因在局部形成燃

料浓的区域而使局部火焰温度增高,增加了 NO_x 的排出量。作为其对策,有向燃烧器喷射由空气分离装置产生的氮气,降低局部火焰温度的技术。但是,若为了提高设备的效率而积极地进行热回收,则由设备产生的氮气及燃料的温度增高。用温度高的氮气难以得到足够的冷却效果。

[0089] 因此,仅采用扩散燃烧方式与氮气喷射的组合难以满足 NO_x 排出量的环境限制值的要求,需要另外增加蒸汽喷射等措施。假设进行蒸汽喷射时,则需要高压的蒸汽。例如,可以考虑利用同时设置的用于驱动蒸汽轮机的蒸汽。但是,这种情况下,就不能得到本来应当得到的由蒸汽轮机的效果。因此,由于设备总体的效率降低,因而希望以其它方式来实现低 NO_x 化。

[0090] 此外,由 IGCC 设备产生的燃料是发热量约为 $10\text{MJ}/\text{m}^3\text{N}$ 左右的中热值气体。这种气体与一般的作为高热值的 LNG 相比,其火焰温度高。因此,需要进一步采取降低 NO_x 的对策。

[0091] 下面,参照附图对可降低 NO_x 的本发明的实施例进行说明。

[0092] 实施例 1

[0093] 实施例 1 涉及图 6 表示的系统概略情况的煤气化发电设备 (IGCC)。

[0094] 首先,说明煤气化发电设备的构成及系统。

[0095] 本实施例的煤气化发电设备如图 6 所示,其包括:煤气化炉 21、煤气精制装置 22、 CO_2 分离回收装置 23、燃气轮机 5、空气分离装置 11 等。煤气化炉 21 通过煤 20 与氧 120 的反应而产生煤气化的气体 60。煤气精制装置 22 通过脱硫、除尘而去除燃料中的杂质。由此,可精制得到作为清洁燃料的煤气化的气体 62。

[0096] 煤气化的气体 62 的供给系统在煤气精制装置 22 的出口分叉为向 CO_2 分离回收装置 23 供给煤气化的气体 62 的系统,以及向燃气轮机 5 供给 CO_2 回收前的煤气化的气体 62 的系统。在 CO_2 分离回收装置 23 的入口处设有用于调整进行 CO_2 回收的煤气化的气体 62 的流量的流量调节阀 37。由此,可进行向 CO_2 分离回收装置 23 供给的煤气化的气体 62 的流量调整。

[0097] 另外,在 CO_2 分离回收装置 23 的出口处设有用于进行 CO_2 回收后的煤气化的气体 63 (高含氢量的燃料) 的供给压力调整及紧急时断开气体的供给的控制阀 36-1。同样,在向燃气轮机 5 供给 CO_2 回收前的煤气化的气体 62 的系统中也配置了控制阀 36-2。上述两个系统在各系统所设置的控制阀 36-1、36-2 的下游合流。在合流后的系统中,具有用于调节向燃气轮机 5 供给的煤气化的气体的流量的流量调节阀 39a 和 39b。通过用流量调节阀 39a、39b 来进行向燃气轮机 5 供给的煤气化的气体的流量,可实现燃气轮机的负荷变化。

[0098] 通过使用在分叉的上述系统中未借助于 CO_2 分离回收装置 23 的系统,可以向燃气轮机 5 直接供给 CO_2 回收前的煤气化的气体 62。在燃气轮机 5 中通过煤气化的气体 62 的燃烧而产生热能。通过利用涡轮机 4 将热能转换成旋转能,并将动力传递到发电机 6 就能进行发电。

[0099] 在分叉的另一系统中向 CO_2 分离回收装置 23 供给煤气化的气体 62。在 CO_2 分离回收装置 23 内,通过煤气化的气体与水蒸汽的变换反应而将煤气化的气体 62 中的 CO 转换成 CO_2 。另外,在同样的反应中产生氢。已产生的 CO_2 被分离回收, CO_2 回收后的煤气化的气体 63 就可以向燃烧器 3 供给。通过提高 CO_2 回收率则燃料中的氢浓度提高,向燃烧器 3 供

给的燃料组成在 CO_2 分离回收装置 23 开始运转前后大不相同是其特征。

[0100] 由于含氢率随着 CO_2 回收的增加而提高,因而便将燃烧速度快的燃料向燃烧器 3 供给。在本实施例中,在将通过了煤气精制装置 22 的气体 62 一边向燃气轮机供给一边开始 CO_2 分离回收装置 23 的运转的情况下,向燃烧器 3 供给煤气化的气体中的含氢率便逐渐提高。由于燃烧速度随着含氢率的增加而加快,因而在预混合燃烧方式的情况下,逆火的危险增高而有可能损害燃烧嘴的可靠性。

[0101] 另外,在发电设备中还假定存在由于某种原因 CO_2 分离回收装置 23 突然停止运转的情况。这时,燃料中的含氢率从 CO_2 分离回收装置 23 运转时的状态急剧地降低。因此,所供给的燃料的燃烧速度降低,产生火焰的不稳定等问题。为了能与这种燃烧速度的变化相对应,需要能与范围较宽的含氢率相对应的燃烧器。

[0102] 对于将空气分离为氮气和氧气的空气分离装置 11 可以从燃气轮机 5 的压缩机 2 供给抽取空气 103 或者从备用空气压缩机 14 供给排出空气 110。通过在燃气轮机起动前供给备用空气压缩机 14 的排出空气 110,从而可以向煤气化炉 21 供给必要的氧气 120。

[0103] 若用起动用的液体燃料 51 起动燃气轮机 5,并能从燃气轮机 5 向空气分离装置 11 供给抽取空气 103,则可以通过增加抽取空气 103 的流量来减少备用空气压缩机 14 的排出空气 110 的流量。由空气分离装置 11 制得的氧气 120 在经氧气用升压压缩机 15 升压后向煤气化炉 21 供给。另外,在空气分离时产生的氮气 130 在经氮气用升压压缩机 13 升压后可供给到燃气轮机燃烧器 3。

[0104] 另外,通过使用了变换反应的 CO_2 分离回收装置 23 的运转,可以预先回收由燃烧产生的 CO_2 ,可以减少 CO_2 排出量。进而,通过将 CO_2 分离回收后得到的氢浓度高的煤气化气体供给到第二燃料喷嘴,从而可以如后述那样增加还原 NO_x 的氢,可进一步实现低 NO_x 化。

[0105] 下面,说明燃气轮机的系统及燃烧器的结构。

[0106] 图 1 表示本实施例的燃气轮机的系统及燃烧器的放大剖视图。燃气轮机 5 包括:压缩机 2、燃烧器 3、涡轮机 4、发电机 6 以及起动用马达 8 等。燃气轮机 5 通过用压缩机 2 将从大气中吸入的空气 101 进行压缩后,将燃烧用空气 102 向燃烧器 3 供给。燃烧器 3 通过由压缩机 2 得到的燃烧用空气 102 与燃料的混合燃烧而产生燃烧气体 140。燃料使用起动用液体燃料 51 及作为含氢燃料的 CO_2 回收前的煤气化的气体 62a 等。所产生的燃烧气体 140 供给到涡轮机 4 而产生旋转动力。然后,将涡轮机 4 的旋转动力传递给压缩机 2 及发电机 6。传递给压缩机 2 的旋转动力用作压缩动力,传递给发电机 6 的旋转动力转换成电能。

[0107] 燃烧器 3 具有设置于作为压力容器的外筒 10 内侧的用于使空气与燃料燃烧的燃烧室 12。在燃烧室 12 内设有用于向燃烧气体流向的上游侧分别供给起动用液体燃料 51 及作为第一燃料的煤气化气体 62a 的第一燃料喷嘴 301。燃烧器 3 从该第一燃料喷嘴向燃烧气体流向的下游侧依次设有第二燃料供给孔 12a,用于供给贫燃烧用空气 102a 的空气孔,用于将由燃烧室 12 产生的燃烧气体引导到涡轮机的尾筒(未图示)等。第二燃料供给孔 12a 和贫燃烧用空气 102a 的供给用空气孔设置在燃烧室 12 的壁面。并且,利用第二燃料供给孔 12a 将作为含氢燃料的煤气化气体 62b 向燃烧室 12 内供给的第二燃料喷嘴 302 设置在燃烧室 12 的外周。

[0108] 第一燃料喷嘴 301 包括：能够利用液体燃料进行起动的起动用液体燃料喷嘴 51a，位于其外周并能够利用 LNG 等气体进行起动的气体喷嘴 71a，以及对火焰稳定性进行强化的空气回旋器 30。第一燃料喷嘴 301 可进行从 LNG 等起动用高热值燃料向含氢燃料的燃料切换，或者从液体燃料向含氢燃料的燃料切换。

[0109] 在第一燃料喷嘴 301 的外周具有用于将由发电设备产生的氮气 130 向燃烧器 3 内喷射的氮气喷射喷嘴 430。通过喷射作为惰性介质的氮气，可以降低比供给贫燃烧用空气 102a 的空气孔靠上游侧区域（后述的区域 A、B）的氧浓度。另外，还可以利用喷射的空氣的搅拌效果促进燃料与空气的混合而降低局部火焰温度。通过这些作用，可以抑制在燃烧器头部的 NO_x 的发生。

[0110] 另外，第一燃料喷嘴 301 分别具有向燃烧室 12 供给作为燃料的起动用液体燃料 51 和煤气化气体 62a 的流道，以及向燃烧室 12 供给作为空气的喷雾空气 501 和燃烧用空气 102 的流道。换言之，在供给到燃烧室之前不设混合燃料与空气的结构。总之，本实施例的燃烧嘴是以不同的流道向燃烧室供给燃料与空气的扩散燃烧方式的燃烧嘴。

[0111] 通过采用扩散燃烧方式的燃烧嘴，与燃烧速度无关可以抑制逆火的发生。于是，在运用燃烧速度快的 CO_2 分离回收后的煤气化气体 63 时，也向燃烧室喷射与燃烧速度慢的 CO_2 分离回收前的煤气化气体 62 的燃烧速度相一致的燃料。通过这样运用，可以防止火焰的吹散。通过防止逆火的发生和火焰的吹散，在供给的燃料的含氢率发生变化时也能维持较高的可靠性。

[0112] 燃烧器 3 在燃烧室 12 的外周配置有多个第二燃料喷嘴 302。通过端盖 55 向第二燃料喷嘴 302 供给第二燃料 62b。其后，利用设置在燃烧室 12 侧壁上的第二燃料供给孔 12a 从第二燃料喷嘴 302 向燃烧室 12 内供给第二燃料 62b。因此，第二燃料喷嘴 302 的燃料喷出孔 303 与第二燃料供给孔 12a 最好以燃烧器的中心轴为基准使轴向的位置与周向的相位相吻合地配置。

[0113] 图 2 表示燃料喷出孔 303 的位置的燃烧器 3 的 X-X 面的概略剖视图。本实施例的第二燃料喷嘴 302 是设置在端盖 55 上的 8 个笔型喷嘴，在面向开口于燃烧室侧壁的第二燃料供给孔 12a 的侧面上做成具有单一喷射孔的形状。此外，也可以在用一根配管将第二燃料引导到第二燃料供给孔 12a 附近位置之后再通过圆环状的歧管分配供给燃料。

[0114] 下面，说明低 NO_x 燃烧器的概念。

[0115] 本实施例的燃烧器的特征如图 1 的虚线和箭头所示，从燃烧室 12 内的气体流向上游侧依次形成有一次燃烧区域（区域 A）、还原区域（区域 B）、二次燃烧区域（区域 C）这三个区域。

[0116] 区域 A 的范围在燃烧器的轴向，即主气流的流向从配置在燃烧器的上游侧的第一燃料喷嘴 301 到燃料喷出孔 303 之前。区域 B 的范围在从第二燃料喷嘴 302 到贫燃烧用空气 102a 的供给用空气孔之前。区域 C 的范围在从贫燃烧用空气 102a 的供给用空气孔到燃烧室出口。

[0117] 区域 A 是通过从第一燃料喷嘴 301 供给的燃料的燃烧及通过喷射氮气而产生低氧浓度的燃烧气体的区域。具体地说，首先，通过喷射作为惰性介质的氮气而降低燃烧用空气 102 的氧浓度，从而喷射该氧浓度已降低的燃烧用空气 102。在喷射氧浓度已降低的燃烧用空气 102 的同时，在燃料过浓的条件下使煤气化的气体燃烧而进一步减少氧。

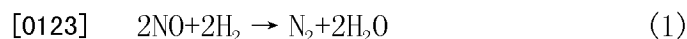
[0118] 另外,本实施例的区域 A 的空气供给孔的开口面积在能确保可保持火焰的空气流入量的范围内,设定为较窄。利用这种结构,由于能抑制燃烧用空气 102 中所含的氧的过量流入,因而,既能确保火焰的稳定性,又能随着达到区域 A 的下游使氧浓度充分地降低。

[0119] 另外,为了对燃烧速度快的含氢燃料也确保可靠性,本实施例的燃烧器 3 采用分别向燃烧室喷射燃料与空气的扩散燃烧方式的燃烧嘴。因此,在降低燃烧的氧浓度的同时,随着局部火焰温度的上升而产生 NO_x ,在区域 A 生成的低氧浓度的燃烧气体中含有 NO_x 。

[0120] 但是,与现有技术的富 / 贫燃烧的富燃烧相同,与通常的扩散燃烧相比,由于在燃料过浓的条件下进行燃烧而使氧浓度较低,火焰温度的上升幅度小。并且,由于通过上述的氮的喷射也能抑制火焰温度的上升,因而与单纯的扩散燃烧方式的燃烧嘴相比 NO_x 的排出量少。此外,燃料中所含的氢是与氧的亲合性最高的化学元素,与将氮转换为热 NO_x 的反应相比具有快的反应速度常数。即,由于氧与氮的反应相比与氢的反应很快,因而 NO_x 的生成量更少。

[0121] 接着,说明区域 B。区域 B 是利用从第二燃料喷嘴 302 供给的含氢燃料 62b 所含的氢对在区域 A 产生的低氧浓度的燃烧气体中含有 NO_x 进行还原而使 NO_x 减少的区域。具体地说,从第二燃料喷嘴向从区域 A 在燃烧室内流下来的低氧浓度的燃烧气体中喷入含氢燃料。这时,在本实施例的结构中,由于燃烧用空气从第二燃料供给孔流入,因而区域 B 的上游侧的氧浓度有所增加。

[0122] 分子量小的氢的扩散速度快,在燃烧气体中迅速地扩散。并且,由于即使在 700K 左右的温度条件下也成为反应的氢的燃烧气体的温度相当高,因而扩散的氢与在区域 A 产生的 NO_x 的 O(氧)进行反应。通过该氢的氧化反应在区域 B 内将 $\text{NO}_x(\text{NO})$ 还原。因此,在区域 A 产生的 NO_x 在区域 B 内减少。此外,NO 按照 (1) 式的反应而被还原。



[0124] 另外,一氧化碳也是具有还原作用的燃料,无论转换成氢或同时供给,都能得到上述的还原作用。

[0125] 区域 C 是将从上游侧区域 B 流入的气体中的未燃烧部分燃料与空气迅速地混合而使其燃烧的区域。具体地说,从空气孔喷入贫燃烧用空气 102a,使在区域 A 和区域 B 未燃烧而残留的未燃烧部分燃料在燃料稀薄条件下进行燃烧(贫燃烧)。例如,沿轴向分开供给贫燃烧用空气 102a 的场合,从一个空气孔流入的贫燃烧用空气 102a 的流量减少,流入的势头变弱。若流入的势头弱,则贫燃烧用空气 102a 到达不了燃烧室中心部分,与未燃烧部分燃料的混合就不能充分地进行。这样一来,在未燃烧部分燃料浓的区域的局部火焰的温度上升,有可能产生 NO_x 。

[0126] 因此,为了抑制在区域 C 的燃烧产生 NO_x ,迅速地混合贫燃烧用空气 102a 和未燃烧部分燃料是重要的。为了实现迅速地混合,最好是以在燃烧气体中极大地贯通的方式供给贫燃烧用空气,并且使燃烧气体成为进行了搅拌那样的流动形态。在本实施例中,对贫燃烧用空气限定了供给孔数,通过逐个增大供给孔的直径而加大对燃烧气体的贯通,并且通过使燃烧气体成为进行了搅拌那样的流动形态而进行迅速地混合。

[0127] 此外,为了实现抑制在区域 C 中的 NO_x 产生量的贫燃烧,特别好的方法是采取贫燃烧用空气从供给孔在燃烧气体流向的下游侧,并且对与燃烧室的轴垂直的方向贯通到燃烧器中心轴附近那样的贫燃烧用空气的供给方式。若采用这种供给方式,则通过使贫燃烧用

空气在燃烧器中心轴附近进行冲撞而在燃烧器中心轴附近形成沉淀区域。由此,成为燃烧反应的起点的沉淀区域则远离燃烧室的侧壁,即使对燃烧速度快的含氢燃料也能确保充分的可靠性。另外,由于在沉淀点附近有来自各个方向的贫燃烧用空气的喷流,因而较大的搅拌效果是可以期待的。因此,能够实现来自区域 B 的燃烧气体与贫燃烧用空气迅速地混合。

[0128] 未燃烧部分燃料中所含的氢由于在区域 B 中被燃烧气体加热以及分子量小而扩散速度快,能与空气迅速地混合。因此,在该区域的局部火焰温度的上升很少。进而在区域 C,在区域 A 产生的燃烧气体的温度因在区域 B 供给的含氢燃料而已经降低。在火焰温度上升少的燃料稀薄条件下燃烧未燃烧部分燃料,则迅速地从燃烧室向涡轮机流出。因此,区域 C 的火焰温度能保持较低,因滞留时间也短而能抑制 NO_x 的生成。

[0129] 另外,一般燃料空气比低的燃料稀薄条件下的燃烧难以确保燃烧效率,具有吹灭弱的性质。但是,在区域 C 中由于区域 B 的燃烧气体的焓而能使其与贫燃烧用空气混合后的混合平均温度保持较高,并且未燃烧的燃料也能保持在越能发挥还原作用的高温状态。总之,具有充分的活化能而实现稳定的燃烧。

[0130] 图 4 表示相对于燃烧器的轴向距离燃烧室内的氧浓度和 NO_x 浓度以及燃烧器内气体温度的断面平均值概念图。在此,假定为燃气轮机是在额定负荷 (FSFL) 条件下进行运转的情况。额定负荷运转时在第一燃料喷嘴 301 中完成了从起动用液体燃料 51 向煤气化气体 62a 的燃料切换。另外,在燃气轮机负荷上升结束的时刻控制第一燃料的流量使其为横定的流量。

[0131] 图 5 以沿燃烧气体的流向的流程图表示在燃烧器内引起的现象。使用图 4、图 5 说明各自的区域的氧浓度、 NO_x 浓度及燃烧器内断面平均气体温度的变化。

[0132] 首先,在区域 A 中,使从第一燃料喷嘴 301 供给的第一燃料以扩散方式燃烧。这时,由于在区域 A 以燃料过浓条件进行燃烧,因而氧浓度随着反应的进行而迅速地降低。烧器内气体温度的断面平均值也迅速地上升。 NO_x 浓度由于在达到氮氧化物被氧化的状态稳定之前需要某种程度的滞留时间而慢慢上升。此外,由于燃料过浓条件下的燃烧而火焰温度的上升受到抑制,虽然有 NO_x 的产生,但其量与单纯的扩散燃烧相比仍被抑制。

[0133] 其次,在区域 B 中,供给含氢的第二燃料。由于通过第二燃料的供给促进 NO_x 的还原,因而 NO_x 的浓度逐渐降低。此外,在本实施例中,由于利用空气孔向燃烧室供给第二燃料,因而空气与燃料同时流入。在供给第二燃料时发现氧浓度增加就是因为这个原因。在将第二燃料喷嘴的燃料喷出孔直接安装在燃烧室的侧壁的情况下,防止了空气的流入。因此,能够彻底实现低氧浓度化。这时,燃料喷嘴的燃料喷出孔兼作第二燃料供给孔。

[0134] 在本实施例的区域 B 中,虽然因上述的空氣的漏入而使氧浓度有一些上升,但并未进行积极的空气供给。因此,燃料要充分燃烧因氧气不足而使第二燃料几乎未燃烧。因此,在区域 B 中,也维持低氧状态,通过供给第二燃料气体的温度也降低。再有,作为氢用于进行还原反应的活化能由于利用在上游侧产生的燃烧气体焓,因而燃烧器内的气体温度逐渐降低。

[0135] 利用第二燃料的还原反应若具有充分的活化能则以几乎与氢浓度成比例的形式进行。因此,采用高比例的第二燃料与第一燃料之比对低 NO_x 化是有利的。但是,为了确保用于进行利用第二燃料的还原反应的活化能,需要使区域 A 出口的燃烧气体和从第二燃料

供给孔 12a 供给的流体完全混合了时的平均温度（混合平均温度）作为目标达到氢的反应开始温度，即 700℃ 以上。因此，最好控制第一燃料与第二燃料的供给流量比例，以便能确保区域 B 的气体温度在 700℃ 以上。

[0136] 在区域 C 中，通过供给贫燃烧用空气而增加氧浓度， NO_x 浓度被空气稀释而降低。另外，燃烧器内气体温度由于新流入的贫燃烧用空气而暂时降低。但是，由于在区域 B 中因氧气不足而处于未燃烧的状态的燃料一直燃烧而使燃烧器内气体温度上升。但是，在区域 C 中，在未燃烧的燃料进行燃烧时，由于喷入足够的贫燃烧用空气而在燃料空气比低的燃料稀薄条件下进行燃烧。再有，在区域 C 生成的燃烧气体流入涡轮入口而进行绝热膨胀使温度降低，至此的滞留时间与其它区域相比更短。因此， NO_x 达到稳定的比例较少，可抑制新的 NO_x 的生成直到几乎没有的状态。

[0137] 如上所述，本实施例的燃烧器的特征是，在燃料过浓条件下进行扩散燃烧的一次燃烧区域（区域 A）和对未燃烧部分燃料进行完全燃烧的二次燃烧区域（区域 C）之间设有吹入含氢燃料对 NO_x (NO) 进行还原的还原区域（区域 B）。通过设置区域 B 而还原并减少在进行扩散燃烧的区域 A 产生的 NO_x ，与现有的富 / 贫燃烧比较可以减少所排出的 NO_x 。因此，可以提供在利用扩散燃烧方式确保燃烧嘴的可靠性的同时，可利用氢的还原作用进行低 NO_x 燃烧的与含氢燃料相对应的燃气轮机燃烧器。

[0138] 另外，若采用本实施例，通过向与含氢燃料相对应的燃气轮机燃烧器供给作为含氢燃料的煤气化气体，从而可以提供可产生燃烧器的特长的低 NO_x 的 IGCC 发电设备。

[0139] 下面，说明运转程序表。

[0140] 以图 3 的运转程序表为基础对以煤气化发电设备为例子的运转图进行说明。起动时，燃气轮机通过起动用马达 8 等的外部动力进行驱动。通过使燃气轮机的转数以与相当于燃烧器的点火条件的转数保持一定，则向燃烧器供给点火所必要的燃烧空气 102 而使点火条件成立。这样一来，向起动用液体燃料喷嘴 51a 供给起动用液体燃料 51，则在燃烧器 3 中进行液体燃料 51 的点火。

[0141] 其后，向涡轮机 4 供给燃烧气体 140，增加液体燃料 51 的流量并使涡轮机 4 提速。通过脱离起动用马达 8 而使燃气轮机进入独立运转，达到无负荷额定转数 (FSNL : Full Speed No Load)。

[0142] 燃气轮机达到了无负荷额定转数之后通过发电机 6 的并入和由液体燃料 51 的流量增加导致的涡轮机 4 的入口气体温度的上升而使负荷上升。负荷并入后通过利用燃气轮机向空气分离装置 11 抽入必要的空气 103，便可以向燃气轮机燃烧器 3 供给对煤气化炉所必要的氧气和空气分离时产生的氮气 130。另外，由于还能从备用空气压缩机 14 向空气分离装置 11 供给必要的空气，因而可以通过由空气分离装置 11 向煤气化炉供给氧气 120 而从燃气轮机起动前进行煤气化炉的运转。

[0143] 然后，当随着煤气化炉负荷的上升而达到能供给煤气时，则对燃烧器切换燃料使其从液体燃料的燃烧变为煤气的燃烧。燃料的切换操作基本上在恒定的负荷条件下进行，与从第一燃料喷嘴 301 供给的液体燃料 51 的流量的减少相一致而使作为第一燃料的煤气化气体 62a 的流量增加，切换成专烧气体。在切换成专烧气体后，通过增加从第二燃料喷嘴供给的作为第二燃料的煤气化气体 62b 的流量而使负荷上升，达到额定负荷 (FSFL : Full Speed Full Load)。

[0144] 表示了这些运转程序表的图 3 表示了相对于燃气轮机转数和燃气轮机负荷的液体燃料 51 和气体燃料 62 的流量的变化以及发电设备产生的氮气流量的变化。图中表示了向燃烧器供给的总燃料流量中第一燃料和第二燃料流量的变化。图中的 a ~ e 的状态表示的是：

[0145] a) 利用起动用燃料点火时

[0146] b) 达到无负荷额定转数 (FSNL) 时

[0147] c) 燃料切换开始时

[0148] d) 燃料切换结束时

[0149] e) 达到额定负荷 (FSFL) 的时刻。

[0150] a ~ c 为专烧起动用燃料 (油) 的运转状态, c、d 为起动用燃料与气体燃料混烧的运转状态, d、e 为专烧气体的运转状态。

[0151] 首先, 让起动用液体燃料 51 点火, 随着燃料流量的增加而使燃气轮机的转数上升。当燃气轮机的转数达到无负荷额定转数时, 则能向燃气轮机供给氮气 130。在达到能向燃烧器供给氮气之后, 则伴随着燃气轮机负荷的上升而能向空气分离装置抽取空气。可抽取的流量的流量与负荷变化大致呈比例关系。

[0152] 其后, 当达到能供给煤气化气体时, 则能对燃气轮机进行从液体燃料的燃烧向煤气的燃烧的燃料切换 (状态 c)。在燃料切换过程中, 为了确保燃烧的稳定性, 基本上以恒定负荷条件为基础, 氮气的喷射流量也以一定条件运转。随着液体燃料 51 的流量的降低和气体燃料 62a 的流量增加, 将燃料切换为专烧气体 (d)。

[0153] 切换为专烧气体后, 可分别控制由第一和第二燃料供给系统供给的燃料流量。通过分别控制第一和第二燃料的流量从而能调整燃烧室内的燃烧气体的温度。进而, 根据所供给的燃料的含氢率和 NO_x 的发生量, 通过控制从第二燃料喷嘴喷入的含氢燃料的流量就可以进行控制而对区域 B 的 NO_x 进行充分的还原。

[0154] 在本实施例中, 虽然表示的是相对于燃气轮机负荷的增加, 将第一燃料流量控制为一定流量, 使第二燃料流量增加时的低 NO_x 燃烧的例子, 但也可以为控制 NO_x 的排出而同时使第一燃料流量和第二燃料流量变化来与负荷对应。另外, 在本实施例中, 虽然将 CO_2 回收前的煤气化的气体 62 分别做成 62a、62b 向第一、第二燃料喷嘴供给而作为燃料使用, 但也可以将 CO_2 回收后的煤气化气体 63 分别做成 63a、63b 向第一、第二燃料喷嘴供给而作为燃料使用, 这时, 由于燃料中的氢浓度增加, 因而能够提高对区域 B 的 NO_x 的还原效果。

[0155] 实施例 2

[0156] 在实施例 1 中叙述了 IGCC 发电设备的例子接着, 作为实施例 2, 说明将在炼铁厂制造焦炭时产生的 COG 作为燃料的发电设备的运转例子。

[0157] 图 10 表示本实施例的发电设备的系统简图。在本实施例的发电设备中, 从炼焦炉 24 产生的 COG161 用煤气精制装置 25 进行精制。然后, 与由高炉产生的高炉煤气 (BFG163) 混合调整燃料发热量, 作为炼焦炉的干馏用热源 24a 的燃料使用。另外, 由转炉产生的转炉煤气 (LDG) 贮藏在未图示的贮气器中后, 作为锅炉 29 的燃料使用。

[0158] 图 7 表示燃气轮机系统与燃烧器的放大剖视图。燃烧器虽与图 1 所示的结构基本相同, 但由于本发电设备中没有煤气化炉而不需要空气分离装置, 因而供给氮气是困难的。因此, 向燃烧器不是喷射氮气而是采用喷射蒸汽 (或水)。蒸汽喷射嘴 435 配置在第一燃料

喷嘴 301 的外周。并且,做成配置有利用第二燃料供给孔 12a 由燃烧室 12 的侧壁向燃烧器内供给第二燃料 162b 的第二燃料喷嘴 302,以及在其下游用于供给贫燃烧用空气 102a 的空气孔的可进行两阶段燃烧的构造。

[0159] 图 8 表示在第二燃料供给孔的位置的燃烧器的概略剖视图。在本实施例中,供给第二燃料 162b 的第二燃料喷嘴 302 以贯通燃烧器外筒 10 的形式配置在燃烧器的侧壁上,并且为了防止从第二燃料喷嘴的周围泄漏空气,设有第二燃料喷嘴夹板 12b。利用该结构可以使在还原区域 B 的低氧浓度状态更加彻底。

[0160] 图 9 表示燃气轮机的运转程序表。在本实施例中,表示的是作为起动用高热值(卡)燃料 71 使用 LNG,燃料不从在第一燃料喷嘴的 LNG71 向 COG162a 切换,而是通过 LNG71 与从第二燃料喷嘴 302 供给的 COG162b 混合燃烧而从燃气轮机的低负荷运转到额定负荷的例子。

[0161] 使用 LNG 在第一燃料喷嘴点火后,增加 LNG71 的流量,达到燃气轮机的无负荷额定转数(状态 b)。负荷并入后,向燃烧器供给蒸汽 135,抑制一次燃烧区域的局部火焰温度的上升,并抑制 NO_x 的产生,产生低氧浓度的燃烧气体(状态 c)。然后,在状态 c 的低负荷条件下,向区域 B 供给作为第二燃料的 COG162b。由于在区域 B 内 COG162b 中所含的氢通过氢的氧化反应而将 NO_x 还原, NO_x 浓度降低。在区域 c 可以通过空气的供给而使在区域 A、区域 B 未燃烧而残留的未燃烧部分燃料燃烧。

[0162] 然后,增加第二燃料 162b,提高负荷。另外,图 9 虽然表示的是在比燃料切换的部分负荷条件(状态 d)更高负荷条件下,随着负荷的增加而增加蒸汽喷射流量的例子,但也可以根据 NO_x 排出量来调整蒸汽喷射流量。

[0163] 在本实施例中,虽然表示的是起动时使用了 LNG 时的运转例子,但即使在起动时使用了 A 重质油等液体燃料 51 也能得到相同的效果。另外,在第一燃料喷嘴中,在部分负荷条件下将燃料从起动用燃料切换成第一含氢燃料(COG162a)也能得到相同的降低 NO_x 的效果。

[0164] 此外,BFG163 也是含氢燃料,也可以代替本实施例的 COG162 或者与 COG162 并用,或与其混合运用。

[0165] 如上所述,根据本实施例,通过将炼铁厂产生的含氢的副产物燃料向含氢燃料用燃气轮机燃烧器供给,从而可以提供利用扩散燃烧方式的燃烧嘴确保高的可靠性的同时,利用氢对 NO_x 的还原作用使 NO_x 排出少的发电设备。通过将由发电设备得到的电力在整个发电设备中利用而可以提高整个发电厂的效率。

[0166] 实施例 3

[0167] 下面作为实施例 3,说明将在石油精炼厂产生的所谓废气作为燃料的发电设备的运转例子。

[0168] 图 13 表示的是本实施例的发电设备的概略结构。在本实施例的发电设备中,利用精密蒸馏装置 31 将石油 50 蒸馏分离而分馏成石脑油等。进而,在分解装置 32 中从石脑油展开生成石油化学制品,并具有对所产生的气体进行改性的改性装置 33。称之为废气的含有氢的副产物燃料从蒸馏装置 31、分解装置 32、改性装置 3 任何一种产生。

[0169] 在本实施例所示的发电厂中,将上述燃料废气暂时贮藏在储气罐 34 中,在气体精制装置 35 中进行脱硫等。然后,将 C3 以上的化学物质作为液化丙烷气体(LPG)263 取出,

其余的含氢燃料 262 作为燃气轮机 5 和锅炉 29 的燃料使用。

[0170] 图 11 表示的是的燃气轮机的系统和燃烧器的放大剖视图。燃烧器与图 7 所示的结构基本相同,采用喷射蒸汽(或水)。蒸汽喷射嘴 435 配置在第一燃料喷嘴 301 的外周。并且,做成配置有利用第二燃料供给孔 12a 由燃烧室 12 的侧壁向燃烧器内供给第二燃料 262b(或 263b)的第二燃料喷嘴 302,以及在其下游用于供给贫燃烧用空气 102a 的空气孔的可进行两阶段燃烧的构造。

[0171] 图 12 表示的是第二燃料供给孔的位置的燃烧器 3 的 X-X 断面的概略剖视图。在本实施例中供给第二燃料 262b(或 263b)直接安装在燃烧室 12 上,以挠性配管(柔软管)与端盖 55 的第二燃料歧管连接。采用这种结构,可以使在还原区域 B 的低氧浓度状态更加彻底。另外,通过吸收燃烧室侧壁及第二燃料喷嘴 302 的热伸长而能够可靠地向燃烧室 12 内供给第二燃料,并且也没有因挠性配管自身的热伸长而导致第二燃料喷嘴的破坏的危险。

[0172] 另外,在贫燃烧用空气 102a 的导入孔设有筒状的引导部件(勺斗),进行调整而使贫燃烧用空气 102a 贯通从区域 B 流入的燃烧气体,容易达到燃烧器中心轴附近。采用这种结构,可以将燃烧气体中的未燃烧部分的燃料与贫燃烧用空气 102a 迅速地混合。贫燃烧用空气的导入孔除了如本实施例那样设有勺斗外,还有在轴向分成两段对下游侧的喷流的贯通进行辅助等以确保贯通到燃烧器中心的方法。

[0173] 如上所述,根据本实施例,通过将石油炼制过程中产生的含氢的副产物燃料向含氢燃料用燃气轮机燃烧器供给,可以提供利用扩散燃烧方式的燃烧嘴确保高的可靠性的同时,可以利用氢对 NO_x 的还原作用排出低 NO_x 的发电设备。通过将发电设备得到的电力在整个发电厂利用,可以提高整个发电厂的效率。

[0174] 如上所述,各实施例的燃烧器具有使空气与燃料燃烧的燃烧室 12、和从燃烧室 12 的上游侧向燃烧室 12 供给燃料的第一燃料喷嘴 301,在燃烧室 12 的壁面具有将含氢燃料向燃烧室 12 供给的第二燃料供给孔 12a。

[0175] 在这样的燃烧器中,由于能用从第二燃料供给孔 12a 供给的、包含作为还原剂的氢的燃料来对通过燃烧由第一燃料喷嘴 301 供给的燃料而产生的 NO_x 进行还原,因而能降低从燃烧器排出的 NO_x 量。该还原作用在上述区域 B 是显著的。

[0176] 再有,各实施例的燃烧器具有减少比第二燃料供给孔 12a 靠燃烧气体流向上游侧的氧浓度的机构。因此,在比第二燃料供给孔 12a 靠燃烧气体流向上游侧,即上述的区域 A,可以在燃料过浓条件下使燃料燃烧。通过在燃料过浓条件下进行燃烧,可以显著地减少氧的残留量。由于氧的残留量少,在区域 B 供给的第二燃料中所含的氢便与 NO_x 中所含的氧 O 反应。由此,可以取得将在区域 A 中产生的 NO_x 还原而使其减少的效果。

[0177] 在此,所谓氧的残留量少是指在区域 A 的下游,氧量为相当于理论燃料空气比的氧量的 10% 以下。最好是 1% 以下,若为大致 0% 可以得到最好的效果。

[0178] 在各实施例的燃烧器中,设计成通过减小空气孔的大小来减少在区域 A 供给的氧气的绝对量。这样一来也能减少区域 A 的下游的氧的残留量。

[0179] 另外,实施例 1 的燃烧器,作为减少氧浓度的机构具有惰性介质喷射机构,即氮气喷射喷嘴 430。通过从氮气喷射喷嘴 430 喷射作为惰性介质的氮气,从而降低氧浓度,并且还能降低局部火焰温度,能够抑制燃烧器头部的 NO_x 的发生。

[0180] 在实施例 1 的燃烧器中,从氮气喷射喷嘴 430 喷射的氮气作为与空气的混合物喷

射到燃烧室 12 中。由于这样可以抑制结构的复杂化。

[0181] 在燃料过浓条件下使燃料燃烧后的气体流向区域 B。在区域 B 向该气体中供给含氢燃料。于是,可以引起上述的还原作用而使 NO_x 降低。此外,所谓惰性介质是不具有促进燃料的燃烧的效果的媒体,不只是氮气,水蒸汽等也与其相当。

[0182] 各实施例的燃烧器,在比第二燃料供给孔 12a 靠燃烧气体流向下游侧,还具有向燃烧室 12 供给贫燃烧用空气 102a 的空气孔。由于具有该空气孔而可以形成区域 C。即,由于含氢燃料的供给而使 NO_x 减少之后通过供给空气,可以使未燃烧部分的燃料燃烧。这样一来,如上所述,可以在生成 NO_x 少的状态下稳定地使在区域 B 中未燃烧部分的燃料燃烧。

[0183] 如上所述,各实施例的燃烧器由于采用扩散燃烧方式,因而无论对什么样的含氢量的燃料都能进行确保了可靠性的运转。并且,如上所述,由于采用能抑制局部火焰温度的高温化,或者能减少所产生的 NO_x 的结构,因而,尽管采用扩散燃烧方式,仍可以提供能低 NO_x 运转的燃烧器。

[0184] 以上说明的是本发明的实施例。下面,说明与燃烧器相关技术的参考例。

[0185] 参考例 1

[0186] 作为参考例 1,图 14 至图 16 表示燃气轮机燃烧器的概略结构。如图 14 所示,燃烧器由如下部件构成:被外筒壁 1001 和端突缘 1002 包围、并由内筒壁 1003 包围的燃烧室 1004,进行扩散燃烧的扩散回旋燃烧嘴 1005,混合燃料与空气而生成预混合气体的预混合器 1006,点火时用于将火焰传播到其它燃烧器的火焰传播管 1007 以及燃料及空气供给系统。

[0187] 设置在燃烧器中心轴上的扩散回旋燃烧嘴 1005 用回旋叶片 1008 使利用燃烧用空气 1012a 分配的扩散燃烧用空气 1012b 回旋,进而在燃烧室 1004 中与煤气 1013a 或从液体燃料喷射孔 1014 喷出的燃料混合而形成扩散火焰。在扩散回旋燃烧嘴 1005 的周围设有用于向燃烧室 1004 供给扩散燃烧用空气 1012b 的多个回旋燃烧用空气孔 1026。扩散燃烧用液体燃料利用从设置于液体燃料喷射孔 1014 周围的雾化空气喷射孔 1027 供给的雾化空气的喷流被微粒化。在回旋叶片 1008 的空气流入部设有喷水喷嘴 1029,可以一边与扩散燃烧用空气 1012b 混合一边向燃烧室供给蒸汽 1030。

[0188] 设置于扩散回旋燃烧嘴 1005 周围的环状的预混合器 1006 将从多个预混合用燃料喷嘴 1009 喷出的燃料煤气 1013a 与利用燃烧用空气 1012a 分配的预混合用空气 1012c 预混合而生成预混合气体 1011。并且,通过设置于该预混合气体 1011 下游的燃烧室 1004 入口的火焰稳定器 1010a 来形成预混合火焰 1018 并使其保持稳定。火焰稳定器 1010a 相对于燃烧器中心轴呈放射状配置有多个,并且,各个火焰稳定器 1010a 还相对于燃烧器中心轴倾斜地配置。在预混合器 1006 上设有隔板 1022,从而从预混合器 1006 入口到火焰稳定器 1010a 上游侧将预混合器 1006 的流道沿周向进行分割。

[0189] 相对于燃烧器中心轴倾斜地配置的火焰稳定器 1010a 从燃烧器的侧面观察并不限定为基本上是平面的情况,也可以是稍微的凸状或凹状。

[0190] 图 15 是以火焰传播管 1007 结合了图 14 的燃烧器 1002 的情况的横剖视图。火焰稳定器 1010a 在各燃烧器分别设置了 8 个,各个火焰稳定器 1010a 设置在预混合器 1006 的隔板 1022 之间的上游,以及预混合用燃料喷嘴之间的上游。火焰传播管 1007 相对于设置于各个燃烧器上的火焰稳定器 1010a 设置在径向的内筒壁 1003 上,连接两个燃烧室 1004。

[0191] 图 16 是表示对图 14 所示的燃烧器以扩散回旋燃烧嘴为中心放大的剖视图,对于各部分的功能及通过的流体的流向说明如下。扩散回旋燃烧嘴的扩散燃烧用空气 1012b 由回旋叶片 1008 形成回旋流,以朝向燃烧器中心轴的某个内向角度流入燃烧室。从液体燃料喷嘴喷出并由雾化空气微粒化的液体燃料与具有该内向角度的回旋空气流迅速地混合。因此,可以防止因空气不足的燃烧而产生碳黑,能形成稳定的扩散火焰。设置于回旋叶片 1008 的上游部的喷水喷嘴 1029 朝向回旋叶片 1008 喷射水而使水与扩散燃烧用空气 1012b 混合。然后,由于水在燃烧室 1004 与液体燃料迅速地混合,因而能有效地降低燃料的发热密度,从而能降低 NO_x 。

[0192] 设置于回旋叶片 1008 的空气出口附近的气体燃料喷射孔以与燃烧器中心轴为某个外向角使煤气 1015a 喷出。在喷出的气体燃料的流量较少时(燃气轮机的负荷低时),由于气体燃料的流速慢而对扩散燃烧用空气 1012b 贯通力较小,因而煤气 1015a 主要与扩散燃烧用空气 1012b 混合而在燃烧器中心轴附近燃烧,能稳定地燃烧。当燃气轮机的负荷上升,煤气 1015a 增加了的场合,由于气体燃料的贯通力较大而与从回旋燃烧空气孔 1026 和预混合器 1006 流入的空气(预混合气体)都混合,由于进行稀薄燃烧而实现 NO_x 降低。回旋燃烧空气孔 1026 设置在扩散燃烧用燃烧嘴的周围,以便扩散燃烧用空气 1012b 能沿与回旋叶片 1008 相同的回旋方向向燃烧室流入。并且,通过加大燃烧器中心轴附近的循环气流来实现火焰的稳定化,并且由于回旋流导致的空气向预混合器 1006 侧的扩展而防止了扩散火焰向与燃烧室 1004 相接的火焰稳定器 1010a 的面的附着,以及火焰稳定器 1010a 的温度上升。

[0193] 通过在回旋燃烧空气孔 1026 的周围设有缝隙 1028,使扩散燃烧用空气 1012b 形成薄膜状,并使其向与燃烧室 1004 相接的火焰稳定器 1010a 的面流出而进一步防止了火焰稳定器 1010a 的温度上升。相对于燃烧器中心轴倾斜设置的火焰稳定器 1010a 沿周向缩小环状的预混合器 1006 的流道,并且沿倾斜的方向扩大流道。因此,在抑制预混合器 1006 大压力损失的增加的同时,将预混合用空气 1012c 或预混合气体 1011 从预混合器 1006 向燃烧室 1004 的燃烧器中心轴方向喷出。

[0194] 火焰稳定器 1010a 倾斜地配置成使其下游侧的边缘的外周侧与内周侧相比位于下游侧,优选相对于该燃烧器中心轴的倾斜角度为 30 度以上 60 度以下。由此,外周侧的预混合燃烧气体在通过了火焰稳定器的下游侧的边缘之后就偏向于向燃烧器的轴心汇聚的方向,对内周侧的扩散燃烧气体进行充分的稀释混合。由此,通过防止扩散火焰的长焰化而降低 NO_x 的发生,并通过防止燃烧器出口的燃烧温度的偏差的发生而防止涡轮叶片的损伤。

[0195] 下面说明使火焰稳定器 1010a 的倾斜角度为 30 度以上 60 度以下的理由。随着火焰稳定器 1010a 相对于燃烧器中心轴的倾斜角度减少,燃烧振动的振幅 α 呈指数函数地增加。这是因为,火焰稳定器 1010a 的倾斜角度越是减少,预混合燃烧气体越是向燃烧器的轴心汇聚,高温的扩散燃烧气体被稀释,火焰的稳定性降低,燃烧振动的振幅则增大。尤其是在倾斜角度小于 30 度时,燃烧振动的振幅增加更显著。其次,燃烧器出口的温度偏差 β 随着火焰稳定器 1010a 相对于燃烧器中心轴的倾斜角度的增加而呈指数函数地增加。由于火焰稳定器的倾斜角度大,因而预混合燃烧气体沿向燃烧器的轴心汇聚的方向偏心的量小,预混合燃烧气体在燃烧室 1004 内基本上笔直地前进。因此,内周侧的扩散燃烧气体与预混合燃烧气体不会充分地混合,出口的温度分布不均,对下游的涡轮叶片有造成损伤的危险。

尤其是当倾斜角度超过 60 度时,燃烧器出口的温度分布偏差则显著增加。因此,当考虑燃烧振动的振幅和燃烧器出口的温度分布偏差两者的影响时,最好使倾斜角度在 30 度以上 60 度以下。

[0196] 下面,说明在具有起动燃烧嘴,配置在起动燃烧嘴外周的预混合燃烧喷嘴,以及在内部形成燃烧室的大致圆筒形的燃烧器内筒壁的预混合式燃气轮机燃烧器中,在预混合燃烧喷嘴的出口安装配置成放射状的火焰稳定器 1010a 的燃烧器的原理。在环状的预混合燃烧喷嘴中,在预混合燃烧喷嘴的出口未设置火焰稳定器 1010a 的场合,预混合燃烧气体以环状的原状流入到燃烧室 1004 内。因此,预混合燃烧气体形成内部包容了从起动燃烧嘴喷出的扩散燃烧气体的气流。由于预混合燃烧气体的气流未成使扩散燃烧气体的气流积极地破坏,因而预混合燃烧气体与扩散燃烧气体难以均匀地搅拌。因此,存在燃料的偏析,随之发生 NO_x 。

[0197] 与此相对,如本参考例那样,通过在预混合燃烧喷嘴的出口安装配置成放射状的火焰稳定器,从而在从预混合燃烧喷嘴流出的气体中产生了在圆周方向 流动之处和未流动之处气体流速的强弱在圆周方向交替地并列分布。通过这样的分布在使用气体燃料时实现了预合火焰的稳定化,在使用液体燃料时促进了从预混合燃烧喷嘴喷出的空气与起动燃烧嘴的燃料的混合,以防止扩散火焰的长焰化。通过使燃烧器出口的温度分布均匀,从而也实现了对涡轮机的保护。

[0198] 再有,通过使与燃烧室 1004 相接的火焰稳定器 1010a 的面向燃烧器中心轴倾斜,从而使从预混合燃烧喷嘴喷出的预混合燃烧气体积极地偏向于向燃烧器的轴心汇聚的方向,并且,通过与从起动燃烧嘴喷出的扩散燃烧气体交叉而促进混合,通过防止扩散火焰的长焰化而降低了 NO_x 的发生。此外,通过防止燃烧器出口的燃烧温度偏差的发生,也防止了涡轮叶片的损伤。由于在预混合燃烧喷嘴的出口配置成放射状的火焰稳定器 1010a、以及使与燃烧室 1004 相接的火焰稳定器 1010a 的面向燃烧器中心轴倾斜这两者叠加的效果而能进一步提高火焰的稳定性。

[0199] 此外,从与燃烧室 1004 相接的火焰稳定器 1010a 的面流出的预混合流道不必沿周向为间隔一定,即使如图 20 所示预混合流道的间隔不均匀,也能稀释混合从起动燃烧嘴喷出的扩散燃烧气体。另外,如图 21 所示,还可以以燃烧器的轴心为中心使预混合气体 1011 流道具有回旋成分。通过具有这种回旋成分,从而可以期待扩散燃烧气体与预混合燃烧气体进一步的搅拌效果。

[0200] 另外,在预混合燃烧喷嘴的出口安装相对于燃烧器中心轴倾斜的呈放射状的火焰稳定器 1010a 的目的在于防止预混合燃烧气体以环状的原状流入到燃烧室 1004,以及使预混合燃烧气体向扩散燃烧喷嘴一侧偏心。只要是为了达到该目的措施都能采用,例如,不设置火焰稳定器 1010a,而是将配置在起动燃烧嘴的外周的环状的预混合燃烧喷嘴以间壁在圆周方向分割,使预混合燃烧喷嘴出口朝向起动燃烧嘴一侧,则从预混合燃烧喷嘴流出的预混合燃烧气体在圆周方向流速的强弱交替地并列分布。

[0201] 采用这样的结构,由于能形成向扩散燃烧喷嘴一侧偏心的流道,因而可以做成与安装了放射状的火焰稳定器 1010a 的场合相同的预混合流道。但是,通过做成本参考例那样的火焰稳定器形状,可以以简易的结构来实现如下目的,即:防止预混合燃烧气体以环状的原状流入到燃烧室 1004,形成向扩散燃烧喷嘴一侧偏心的流道。

[0202] 另外,火焰稳定器 1010a 以悬臂支撑状配置在内周侧。也就是说,在火焰稳定器 1010a 的内周侧支撑(固定)在预混合燃烧喷嘴上,火焰稳定器 1010a 的外周侧边缘与上述预混合燃烧喷嘴外周壁分离。由此,可以不受到由火焰稳定器 1010a 的热伸长等带来的应力,可以进一步防止由于由火焰稳定器 1010a 的下游侧边缘与预混合燃烧喷嘴外周壁之间向燃烧室喷出的预混合气体 1011 或空气因扩散火焰带来的燃烧室侧壁的温度上升。

[0203] 图 17、图 18 表示有关图 14、图 15 及图 16 的气体燃料及液体燃料燃烧时的运转条件及火焰形状的一个例子。

[0204] 图 17 表示的是燃烧器点火时的状态,将气体燃料及液体燃料燃烧时的火焰形状分别表示在从燃烧器中心轴之上和之下。首先,在某燃烧器中,向扩散回旋燃烧嘴 1005 供给煤气 1015a 或液体燃料 1016,使用任何点火装置形成扩散火焰 1019。在煤气 1015a 与扩散燃烧用空气 1012b 混合后,形成扩散火焰 1019,利用火焰稳定器 1010a 保持火焰稳定,进而由于火焰稳定器 1010a 的下游是低速循环气流区域,因而扩散火焰 1019 沿着各火焰稳定器 1010a 呈放射状扩展。由于火焰传播管 1007 配置在火焰稳定器 1010a 的外周部,因而高温的燃烧气体 1020 就能不被预混合用空气 1012c 稀释而通过火焰稳定器 1010a 流入火焰传播管 1007,从而可以使邻接的燃烧器点火。另外,在使用气体燃料的场合,通过火焰传播管 1007 使其它燃烧器点火时,除了煤气 1015a 外,通过供给预混合燃料 1015b 还形成预混合火焰 1018 而进一步提高火焰的传播特性。

[0205] 燃烧器点火后,增加燃料供给量,进行燃气轮机的升速运转及负荷运转。图 18 将此时的气体燃料及液体燃料燃烧时的火焰形状分别表示在从燃烧器中心轴之上和之下。在用气体燃料进行高负荷燃烧时,进行了为实现燃烧稳定化的扩散燃烧和为降低 NO_x 而使用预混合燃料的稀薄预混合燃烧。通过配置成放射状,还向燃烧器中心轴方向倾斜的火焰稳定器 1010a,扩散火焰 1019 沿点火火焰稳定器 1010a 向燃烧器径向呈放射状扩展,预混合火焰 1018 向燃烧器中心轴方向延伸。因此,高温的扩散火焰 1019 与由稀薄燃烧形成的低温的预混合火焰 1018 在燃烧器周向交叉,促进了因燃烧器头部的瞬时温度均匀化带来的 NO_x 降低及燃烧的稳定化。

[0206] 使用液体燃料时的扩散火焰 1019 如上所述,沿着火焰稳定器 1010a 呈放射状扩展,进而预混合用空气 1012c 通过倾斜的火焰稳定器 1010a 向燃烧器中心轴方向、即扩散回旋燃烧嘴 1005 的下游流出。因此,燃烧室 1004 下游部,促进了预混合用空气 1012 与扩散火焰 1019 的燃烧气体的混合,抑制了燃烧器出口的温度偏差,可防止涡轮叶片的烧损。另外,由于预混合用空气 1012c 的稀释效果而可以防止扩散火焰 1019 的长焰化,因而能减少高温燃烧区域并降低 NO_x 排出量。

[0207] 另外,在火焰稳定器 1010a 与预混合器 1006 的外周壁之间存在间隙,高速的空气或预混合气会沿燃烧室壁面喷出。因此,在全部的燃烧状态都能冷却燃烧室壁面,能防止温度上升。

[0208] 图 19 表示的是从燃烧器点火到额定负荷的燃料及水流量控制的一个例子。如图 19 的上图(图 19(a))所示,预混合燃料喷嘴分为 F1 至 F4 共四个,并能分别通过不同的系统进行预混合气体用燃料的控制。

[0209] 图 19(b) 表示气体燃料及液体燃料燃烧时的相对燃气轮机负荷的燃料流量。在燃烧气体燃料的场合,从燃烧器点火经燃气轮机的提速到某部分负荷都运用扩散燃料。然后,

随着负荷的上升从 F1 至 F4 依次投入预混合燃料。这样通过阶段性地投入预混合燃料,从而能够以将预混合气的燃料与空气的混合比控制在能防止不稳定的燃烧及逆火的最佳条件来控制预混合燃烧。

[0210] 另外,在燃烧液体燃料时,虽然只运用扩散燃料,但在燃烧稳定的某部分负荷时投入水以实现 NO_x 浓度的降低。

[0211] 参考例 2

[0212] 下面,作为参考例 2,参照图 22 至图 24 对燃料喷嘴说明如下。

[0213] 图 24 是概略地表示燃气轮机发电设备的总体结构的概略结构图。如图 24 所示,燃气轮机主要具有:压缩空气而生成高压的燃烧用空气的压缩机 2001,将从该压缩机 2001 导入的燃烧用空气 2013 与燃料混合而生成燃烧气体 2014 的燃烧器 2003,以及将由该燃烧器 2003 生成的燃烧气体 2014 导入的涡轮机 2002。此外,压缩机 2001 与涡轮机 2002 的轴连接。

[0214] 上述燃烧器 2003 是用外筒 2005 和端盖 2006 密闭了生成的燃烧气体的内筒 2007 和用于使燃料微粒化的燃料喷嘴 2009,对燃烧空气 2013 施加回旋力的回旋器 2010,以及对燃料进行点火的点火栓 2011 的压力容器。在内筒 2007 的上游侧的轴中心位置,配置有喷射燃料的燃料喷嘴 2009,在其周围设有用于保持扩散火焰 2016 的回旋器 2010,在其外周设有内筒罩 2012。在此,相对于在内筒 2007 的内部流动的燃烧气体 2014,设有燃料喷嘴 2009 的一侧是上游侧,向涡轮机 2002 供给的方向是下游方向(下游侧)。

[0215] 通过这样的结构,来自压缩机 2001 的燃烧空气 2013 通过由外筒 2005 和内筒 2007 构成的环状的空气流道,从设置在内筒 2007 的壁及内筒罩 2012 上的燃烧孔及冷却孔以及回旋器 2010 导入内筒 2007 的内部。供给内筒 2007 的空气与燃料混合,该混合气体在内筒 2007 的内部利用点火栓 2011 点火进行燃烧。通过燃烧而生成燃烧气体 2014 通过过渡件 2008 供给涡轮机 2002 并驱动涡轮机 2002。由此,驱动与涡轮机 2002 连接的发电机 2004 而发电。

[0216] 燃料供给系统具有:燃料箱 2018、移送泵 2019、移送压力调整阀 2020、高压泵 2021、压力调节阀 2022、燃料断开阀 2024、流量调节阀 2023、流量分配器 2026、燃料流量计 2025 以及燃料配管 2017。液体燃料通过移送泵 2019、高压泵 2021 升压,用设置于高压泵 2021 的旁通管线的压力调节阀 2022 设定为规定的压力。已升压的液体燃料通过被调整到规定的阀开度的流量调节阀 2023、燃料断开阀 2024、燃料流量计 2025 后由流量分配器 2026 分配到各燃烧器,供给燃料喷嘴 2009。

[0217] 图 23 是表示燃料喷嘴 2009 的燃料供给系统的详细结构图。本参考例的燃料喷嘴 2009 划分为能够在点火时等的低燃料流量条件下微粒化性能优良的起动系统、和高负荷条件等的大燃料流量条件下不使供给压力过于上升的喷出燃料的主系统。在主流道 2035 的下游侧设有加压阀 2029,用其上游侧的分配管 2036 与起动流道 2034 以合流方式连接。再有,在分配管 2036 的上游侧设有单向阀 2028,与上述的由泵、阀等构成的燃料供给系统连接。另外,在分配管 2036 的另一端连接有起动系统的净化空气流道 2030,在主流道 2035 的加压阀 2029 的下游连接有主净化空气流道 2031。在净化空气流道 2030、主净化空气流道 2031 的上游侧设有起动净化空气断开阀 2037、主净化空气断开阀 2038、压力调节阀 2039 以及净化空气压缩机 2027。

[0218] 下面,对这样构成的燃料供给系统、净化空气供给系统的动作概要进行说明。从高压泵 2021 供给的燃料通过流量调节阀 2023、燃料断开阀 2024 之后,由流量分配器 2026 分配到各燃烧器,通过单向阀 2028 导入分配管 2036。该单向阀 2028 用于防止燃烧空气、燃烧气体及净化空气等逆流到泵等的燃料系统辅助机构中。向分配管 2036 供给的燃料分配到起动流道 2034 和主流道 2035。在此,在点火条件之类燃料流量少的条件下,由于作用于设置在主流道 2035 的中途的加压阀 2029 的燃料压力低,因此不能推开的加压阀 2029,只向起动流道 2034 供给燃料。

[0219] 其后,当伴随着提速、负荷的上升而燃料流量增加时,作用于加压阀 2029 的燃料压力上升,推开加压阀 2029。然后,除了起动流道 2034 外,也向主流道 2035 供给燃料。

[0220] 接着,对燃气轮机停止时的动作概要进行说明。在燃气轮机因燃料的供给停止而停止时,在燃料滞留在燃料喷嘴内部的情况下,燃料因受到来自燃烧器各部的热而碳化,有可能产生固定在燃料喷嘴 2009 及其内部而焦化的情况。这时,最坏的情况是有可能封闭燃料喷出孔而不能喷出燃料。

[0221] 于是,在本参考例的液体燃料燃烧的燃烧器中,为了向燃烧室等排出滞留在燃烧喷嘴内部的燃料而设有供给空气等的机构。在本参考例的起动流道 2034 及主流道 2035 中也为了同样的目的而设有供给净化空气的机构。其构成为,在燃气轮机停止后,用压力调节阀 2039 将从净化空气压缩机 2027 供给的净化空气调整到规定的压力后,通过起动净化空气断开阀 2037、主净化空气断开阀 2038 向燃料喷嘴的各流道供给。

[0222] 另外,在本参考例的双孔型燃料喷嘴 2009 中,其构成为,在没有向点火条件那样的主流道 2035 供给燃料的低燃料流量条件下,通过只向主流道 2035 供给净化空气,就能以从主喷嘴喷出的净化空气促进从起动喷嘴喷出的燃料的微粒化,促进起动燃料的微粒化能提高点火的可靠性。

[0223] 图 22 是在具有上述的燃料供给系统的燃料喷嘴 2009 中,参考例 2 的双孔型燃料喷嘴的前端部的详细结构图。图 22(a) 表示的是燃料喷嘴的纵剖视图,图 22(b) 表示的是沿图 22(a) 的 A-A 箭头所示的剖视图。燃料喷嘴 2009 具有喷嘴罩 2100、喷嘴管 2101、起动管 2102 以及喷嘴体 2103。起动管 2102 容纳在喷嘴管 2101 的内部。再有,喷嘴管 2101 容纳在喷嘴罩 2100 内部,用形成于喷嘴体 2103 和喷嘴罩 2100 上的安装螺纹进行固定。另外,在喷嘴管 2101 的外周侧具有主回旋器 2106。这时,通过喷嘴体 2103 牢固地挤压与喷嘴管 2101 的接触面而固定喷嘴罩 2100 与喷嘴管 2101。

[0224] 在喷嘴体 2103 上设有起动流道 2105 和主流道 2104,各流道分别与起动管 2102 及喷嘴管 2101 的起动供给系统、主供给系统连接。在起动管 2102 上设有由起动管 2102 和喷嘴管 2101 构成的起动回旋室 2110,在其切线方向形成有起动回旋孔 2107。从起动流道 2105 供给的起动燃料 2032 从起动管 2102 的外周流入起动回旋孔 2107 而赋予回旋,便在起动回旋室 2110 内部进行回旋。并且,其构成为,沿着起动回旋室 2110 的壁面形成薄的液膜,作为微细的液滴从起动喷射孔 2108 喷出。

[0225] 从主流道 2104 供给的主燃料 2033 通过设置于喷嘴管 2101 的上主燃料供给孔 2112 经由由喷嘴罩 2100 和喷嘴管 2101 构成的环状流道 2113 流入主回旋器 2106。主燃料 2033 由主回旋器 2106 赋予回旋,在由喷嘴罩 2100 内周壁和喷嘴管 2101 外周壁形成的回旋室 2111 回旋,并从主喷射孔 2109 喷出。

[0226] 在此,所谓起动喷射孔 2108 设置在喷嘴罩 2100 内部,具有喷出起动燃料的功能。另外,起动喷射孔 2108 是形成于喷嘴管 2101 的起动回旋室 2110 与向燃烧室喷出起动燃料的喷嘴管 2101 的末端部之间的部分。其次,所谓主喷射孔 2109 设置在喷嘴罩的内部,并具有喷出主燃料的功能。另外,主喷射孔 2109 是使由主回旋器 2106 赋予回旋成分的主燃料回旋的回旋室 2111 与向燃烧室喷出起动燃料的喷嘴管 2101 的末端部之间的部分,是由喷嘴管 2101 的外周面与喷嘴罩 2100 的内周面形成的环状流道。此外,回旋室 2111 连通主回旋器 2106 及主喷射孔 2109,在使从主喷射孔 2109 喷出的主燃料回旋的同时,向主喷射孔 2109 供给。该回旋室 2111 构成由将喷嘴罩 2100 加工成圆锥状的内周面和喷嘴管 2101 的圆锥状外周面形成的环状流道。

[0227] 在此,对主系统、起动系统各自的作用进行说明。起动系统用于在像点火那样的低燃料流量条件下也能提高燃料的供给压力而促进微粒化。相对于此,主系统用于即使在需要燃料量较多的高负荷条件下,也不使燃料的供给压力过于上升而喷出。因此,在高负荷条件下,供给燃料流量的大部分者为主系统。

[0228] 并且,本参考例的喷嘴的构造为,使由喷嘴罩 2100 和喷嘴管 2101 形成的主喷射孔 2109 相对于燃料喷嘴的轴线部为平行的环状流道,并具有流道断面积没有变化的直线部。

[0229] 在由多个燃烧器构成的燃气轮机发电装置中,希望向各燃烧器供给的燃料流量是均匀的。一般的构造为,向各燃烧器分配燃料的流量分配器 2026 能均匀地分配流量。然而,在燃料喷嘴的喷出量偏差较大的场合,由于用流量分配器 2026 超出了能均匀地分配的允许量,因而有时就不能均匀地分配。在本参考例的双孔型燃料喷嘴中,如上所述,燃料流量的大部分是从主系统喷出的主燃料 2033。因此,相对于设计时的主系统的喷出量,实际上从主系统喷出的量的偏差表现为各燃烧器的流量偏差。支配该主系统的喷出量者是在主系统中流道断面积为最小的主喷射孔 2109。换言之,主喷射孔 2109 的断面积是喷嘴管 2101 形成的起动流道的最下游部(即,起动喷射孔 2108 的端部)的主流道的断面积。通过降低流两偏差来降低该主喷射孔 2109 的流道断面积的误差是重要的。

[0230] 例如,在如图 25 所示的燃料喷嘴的场合,相当于主喷射孔的二次喷射孔 2210 为由二次管 2204 内部的节流部 2213 与一次管 2203 的外周壁面的间隙构成的环状流道。可以认为,决定该流道断面积的一次管 2203 的外周壁为尖细的圆锥状,要高精度地控制圆锥状的外表面及内周面的尺寸非常困难。另外,在图 25 所示的燃料喷嘴中,将喷嘴组 2202、一次管 2203、二次管 2204 插入喷嘴罩 2201 的内部,用形成于喷嘴罩 2201 和喷嘴体 2214 上的安装螺纹进行固定。在将喷嘴罩 2201 拧入喷嘴体 2214 时要对拧入力矩进行控制。但是,当拧入力矩变化时,一次管 2203、二次管 2204 的轴向相对位置就变化,二次喷射孔 2210 的流道断面积则变化,有可能产生与其它燃料喷嘴的流量偏差。

[0231] 在本参考例中,通过将主喷射孔 2109 做成由喷嘴罩 2100 前端的内周壁 2114 和喷嘴管 2101 前端的外周壁 2115 构成的具有直线部的环状流道,从而使决定喷射孔的断面积的喷嘴罩 2100 和喷嘴管 2101 的加工变得容易。再有,由于能提高加工精度,因而可以期待降低因制造误差带来的喷射孔面积的偏差的效果。

[0232] 另外,若使用本参考例的燃料喷嘴,则将喷嘴罩 2100 拧入喷嘴体 2103 时,即使因拧入力矩变化而喷嘴罩 2100 与喷嘴管 2101 的轴向的相对位置变化,也不会对主喷射孔

2109 的流道断面积带来影响。因此,可以防止由燃料喷嘴的组装引起的喷射孔断面积的偏差。

[0233] 接着,本参考例的主回旋器 2106 如图 22(b) 所示,在回旋室 2111 的切线方向形成燃料流道。即,在与起动流道 2105 的轴中心垂直的平面内以使主燃料回旋的方式构成主回旋器 2106。由此,通过了主回旋器 2106 的燃料的流向可以为仅沿着回旋室 2111 的周向的回旋成分。

[0234] 在如本参考例那样燃料喷射孔具有直线部的燃料喷嘴中,作用了回旋的燃料与喷射孔流道的接触距离变长。因此,回旋强度因管路摩擦而衰减,从燃料喷射孔的喷雾角度狭窄,有可能损害微粒化性能。尤其是在如图 26 所示的回旋赋予机构中,因不能得到充分的燃料的旋强度而有可能进一步降低燃料的旋强度。这时,还有可能使燃料液滴变大,或者喷雾角变窄而有损燃料与空气的混合。因此,如本参考例那样,通过只用沿着回旋室 2111 的周向的回旋成分使燃料回旋,与图 26 所示的结构相比能强化回旋。另外,即使在主喷射孔 2109 的流道的直线部(即,喷嘴罩 2100 前端的内周壁 2114 和喷嘴管 2101 前端的外周壁 2115)产生主燃料与管路摩擦,主燃料仍可以维持足够的回旋强度,不会损害微粒化性能,仍能喷出燃料。因此,即使使用了含残留碳较多的燃料的场合等,也能够抑制燃烧过程中生成的煤粒子过大。并且,能减少煤尘的排出量,或者抑制了有色烟雾而满足了环境法规的要求。

[0235] 此外,本参考例所示的燃料喷嘴通过对已有的燃料喷嘴进行改造仍能得到本参考例的效果。例如,在如图 25 所示的已有的燃料喷嘴中,拆下喷嘴罩 2201,再拆下内部的二次管 2204、一次管 2203 及喷嘴组 2202。接着,对喷嘴体 2214 安装本参考例的起动管 2102、喷嘴管 2101,最后可嵌入喷嘴罩 2100。这样,即使不更换整个燃料喷嘴,而只更换一部分零件,也能得到本参考例的效果。

[0236] 参考例 3

[0237] 下面,作为参考例 3,使用 27、图 28 对液体燃料喷嘴进行说明。

[0238] 图 27 是表示液体燃料喷嘴 3004 和燃烧嘴 3005 的详细结构的侧剖视图。如图 27 所示,在燃烧嘴 3005 上设有对向燃烧室 3006 供给的燃烧用空气作用回旋成分的回旋器 3013,以及对液体燃料喷嘴 3004 的出口部吹送燃烧用空气的一部分的空气喷嘴 3015。在空气喷嘴 3015 出口的喷出孔配置回旋器 3016,以使回旋成分绕液体燃料喷嘴的中心轴作用于从空气喷嘴 3015 喷出的燃烧用空气。另外,其构造为,空气喷嘴 3015 的空气喷出方向朝向液体燃料喷嘴 3004 的轴心侧,在本参考例中,空气喷嘴的空气喷出方向形成为与液体燃料喷嘴 3004 的中心轴大致垂直。并且,在回旋器 3016 的下游侧设有环状的引导环 3017,引导环 3017 的中央部开口以便从液体燃料喷嘴 3004 喷出的燃料向燃烧室 3006 喷出。

[0239] 液体燃料喷嘴 3004 的喷嘴结构使用了所谓压力式涡旋喷雾喷嘴,其由形成了将回旋成分作用于液体燃料的涡旋室 3019 的喷嘴管 3020 和覆盖喷嘴管 3020 的喷嘴罩 3018 以及喷嘴支撑 3021 构成。并且,液体燃料喷嘴 3004 的出口部是形成于燃烧室 3006 的入口侧的喷嘴罩 3018 的一部分,形成为喷嘴管 3020 的与涡旋室 3019 的下游侧连通的液体燃料的出口部 3014 从喷嘴罩 3018 的下游端壁 3022 突出。具体地说,出口部 3014 是形成于液体燃料喷嘴轴向的下游侧并距形成于燃烧室 3006 的入口侧面的喷嘴罩 3018 的下游端壁 3022 所要求的距离的喷出口。并且,在液体燃料的出口部 3014 的外周侧在相对于液体燃料的喷

出方向为上游方向形成有空间。

[0240] 本参考例的出口部 3014 构成为,在燃气轮机起动时,其突出到配置于空气喷嘴 3015 的出口处的回旋器 3016 的轴中心位置。即,在与空气喷嘴 3015 的大致轴心的延长线交叉的位置设有液体燃料喷嘴 3004 的喷出孔、即出口部。

[0241] 下面,说明由本参考例得到的作用及效果。

[0242] 在本参考例中,由于以空气喷嘴的空气喷出方向朝向液体燃料喷嘴的轴心侧的方式设置空气喷嘴,在从液体燃料喷嘴向燃烧室喷出燃料的出口部的外周侧,在相对于液体燃料的喷出方向为逆向的上游方向形成有空间,因而无论燃烧器的运转状态如何,都可以抑制附着在液体燃料喷嘴的出口部外周的未燃烧部分的碳的发生。具体的是,液体燃料喷嘴 3004 喷出燃料的出口部和出口部外周侧在液体燃料喷嘴的轴向设有高低差。因此,形成包围出口部外周侧的环状空间,从空气喷嘴 3015 向该空间供给燃烧用空气。

[0243] 并且,如图 27 所示,在本参考例中,在燃气轮机起动时,为了不在液体燃料喷嘴 3004 的下游端面 3022 与设置于燃烧嘴 3005 的空气喷嘴喷出孔处的回旋器 3016 之间形成滞留区域而配置了液体燃料喷嘴 3004。即,在液体燃料 喷嘴的轴向,液体燃料喷嘴 3004 的出口部外周侧、即下游端面 3022 的位置与空气喷嘴 3015 喷出孔的上游侧端面 3102 的位置大致一致。此外,液体燃料喷嘴 3004 的下游端面 3022 的位置与空气喷嘴 3015 喷出孔的上游侧端面只要是在出口部的外周侧不因空气喷嘴 3015 喷出的空气而产生循环气流或剥离涡流的程度即可。并且,在液体燃料喷嘴的出口部外周侧,通过在相对于液体燃料的喷出方向为上游方向形成空间,从而从空气喷嘴 3015 喷出的燃烧用空气便在该空间部绕液体燃料喷嘴的轴中心回旋。由于燃烧用空气沿着空间部的壁面回旋,因而可抑制液体燃料的液滴附着在出口部的外周侧(空间部)。

[0244] 另外,由于液体燃料喷嘴的出口部外周在相对于液体燃料的喷出方向为上游方向形成空间,因而在出口部及出口部外周侧具有高低差而不是平面形状。具体的是,出口部外周侧的下游侧端面相对于出口部为凹陷的形状。这样,由于出口部离开下游侧端面任意的距离,因而抑制了从出口部喷出的液滴流到下游侧端面。因此,能够抑制液体燃料的液滴附着在出口部的外周侧而发生未燃烧部分的焦化。

[0245] 随后,在燃气轮机额定运转时,在因燃烧嘴 3005 与液体燃料喷嘴 3004 的热伸长差而形成滞留区域并产生循环气流。具体的是,如图 28 所示,在液体燃料喷嘴的轴向,燃烧嘴 3005 比液体燃料喷嘴 3004 向下游侧热伸长。因此,由从空气喷嘴 3015 喷出的燃烧用空气便在液体燃料喷嘴的出口部的周围(外周侧)形成滞留区域。在该滞留区域中,产生燃烧用空气碰撞出口部外周的下游端面 3022 的循环气流。于是,在本参考例中,其构成为,在液体燃料喷嘴的出口部外周侧,通过在相对于液体燃料的喷出方向为上游方向形成空间,从而使液体燃料喷嘴 3004 的出口部 3014 突出于比液体燃料喷嘴的下游端面 3022 离开要求距离的下游侧的位置。这样,通过在液体燃料喷嘴的出口部的外周侧在相对于液体燃料的喷出方向为上游方向设置空间,并在该凹陷的空间内形成燃烧用空气的循环气流。因此,在比循环气流的靠下游侧配置液体燃料喷嘴的出口部,就能降低燃料液滴伴随流向滞留区域内的循环气流。如上所述,通过预先在液体燃料喷嘴的出口部外周侧在相对于液体燃料的喷出方向为上游方向形成空间,即使在燃气轮机额定运转时,也能在出口部外周抑制未燃烧部分的焦化的发生,能够维持燃烧器的燃烧稳定性。

[0246] 再有,在本参考例中,为了在空气喷嘴 3015 的空气中的喷出方向的延长线上配置液体燃料喷嘴 3004 的出口部 3014,在与空气喷嘴 3015 的大致轴心的延长线交叉的位置设置液体燃料喷嘴 3004 的出口部。这样,由于从回旋器 3016 喷出的空气的主流部分在液体燃料喷嘴 3004 的出口部 3014 流动,因而从出口部 3014 喷出的燃料液滴被从回旋器 3016 喷出的空气流的剪切力微粒化。因此,液体燃料喷嘴 3004 的出口部 3014 的位置只要是能实现燃料液滴能被从回旋器 3016 喷出的空气流的剪切力微粒化的位置即可。这样,若能促进燃料液滴的微粒化,则可提高燃烧器点火时的点火特性,抑制点火时产生白烟。另外,还能期待促进液体燃料与燃烧用空气的混合,降低黑烟的产生的效果,能够提高燃烧器的燃烧特性。

[0247] 另外,在本参考例中,空气喷嘴 3015 喷出的燃烧用空气优选为向燃烧嘴 3005 的回旋器 3013 供给的燃烧用空气量的 1% 左右。这样,通过将向空气喷嘴 3015 供给的燃烧用空气量控制得较低而可以充分地获取向回旋器 3013 供给的燃烧用空气量。

[0248] 另外,在本参考例中,液体燃料喷嘴 3004 的喷嘴结构使用了所谓压力式涡旋喷雾喷嘴,其由形成了将回旋成分作用于液体燃料的涡旋室 3019 的喷嘴管 3020 和覆盖喷嘴管 3020 的喷嘴罩 3018 以及喷嘴支撑 3021 构成。由于液体燃料的喷出不使用空气而不需要空气供给系统。

[0249] 再有,在本参考例中,在燃料喷嘴的下游端 3022 的轴中心部的一个位置,向下游侧突出地配置了液体燃料喷嘴 3004 的出口部 3014。假如在燃料喷嘴的下游端 3022 形成多个出口部 3014 的情况下,要使燃烧室半径方向的燃料喷出量均匀是非常困难的。另外,若增加出口部 3014 的个数,则在液体燃料为低流量时(低供给压力时)从出口部 3014 喷出的燃料流量产生偏差,要使燃烧室 3006 半径方向的燃料喷出量均匀是困难的。再有,为了燃料喷出量均匀,若减小出口部 3014 的孔径,则产生燃料在孔内部焦化的不良情况。相对于此,如本参考例那样,通过从一个出口部 3014 沿液体燃料喷嘴的轴向喷出燃料,从而能使燃烧室 3006 的径向的燃料喷出量均匀。并且,可以使燃烧室 3006 内壁的金属温度在周向变得均匀(难以产生热点),提高可靠性。此外,若做成从液体燃料喷嘴的出口部呈圆锥状喷雾的结构,则可以使燃烧室的径向的燃料喷出量更加均匀。

[0250] 下面,使用图 66、图 67 对参考例 3 的其它方式进行说明。本参考例是液体燃料和气体燃料都能进行燃烧的燃烧嘴。如图 66 所示,在燃烧嘴 3045 中形成有:使回旋成分作用于向燃烧室 3006 供给的燃烧用空气 3046 的回旋器 3047,以及设有将燃烧用空气的一部分吹送到液体燃料喷嘴 3048 的出口部的空气喷嘴 3059,并向回旋器 3047 的轴向大致中央部的侧面喷射气体燃料 3051 的气体燃料孔 3052。液体燃料喷嘴 3048 使用由喷嘴罩 3053、喷嘴管 3054 及喷嘴支撑 3055 构成的所谓压力式涡旋喷雾喷嘴。并且,在本参考例的喷嘴罩 3053 形成了使回旋成分作用于向从燃烧嘴 3045 的空气喷嘴 3059 喷出的空气流的回旋器 3056。另外,在形成于燃烧室 3006 的入口侧的液体燃料喷嘴 3048 的出口部外周形成有壁面 3057,从回旋器 3056 至出口部 3049 的壁面 3057 形成为圆滑的曲线。在本参考例中,液体燃料喷嘴 3048 的出口部外周侧相当于壁面 3057 的回旋器 3056 附近。如上所述,在本参考例中,在液体燃料喷嘴的出口部外周侧形成有通过壁面 3057 划分而成的相对于液体燃料的喷出方向为上游方向的空间。

[0251] 下面对由上述结构的本参考例的燃气轮机燃烧器得到的作用进行说明。

[0252] 如上所述,在燃烧嘴 3045 与液体燃料喷嘴 3048 之间,由燃气轮机的运转状态产生热伸长差。并且,由于液体燃料喷嘴 3048 的出口部周围产生的滞留区域而有可能在液体燃料喷嘴的出口部外周侧增加未燃烧部分碳的堆积量。

[0253] 尤其是近年来为了降低环境负荷,存在通过进行预混合燃烧来降低氮氧化物(以下,记载为 NO_x) 的排出量的倾向。但是,由于扩散燃烧嘴的轴向长度变长,因而与预混合燃烧嘴共有的扩散燃烧嘴存在燃烧嘴与液体燃料喷嘴之间的热伸长差增大的倾向。其结果,由于液体燃料喷嘴的出口部外周侧的滞留区域而有可能增加在液体燃料喷嘴产生的未燃烧部分的碳。

[0254] 然而,若采用本参考例,则在液体燃料喷嘴 3048 的喷嘴罩 3053 上形成使回旋成分作用于向出口部 3049 供给的空气流回旋的回旋器 3056。即,回旋器 3056 也与液体燃料喷嘴 3048 的热伸长相吻合地移动。因此,即使在燃烧嘴 3045 与液体燃料喷嘴 3048 之间产生热伸长差,也能保持出口部 3049 与回旋器 3056 的位置关系恒定,在回旋器 3056 内周部难以形成因热伸长而产生的循环流(在燃烧器轴向回旋的气流)的滞留区域。因此,能够抑制液体燃料喷嘴的出口部外周侧的未燃烧部分的碳的发生。

[0255] 图 67 是从燃烧器下游侧观察图 66 的喷嘴罩 3053 局部放大图。若采用本参考例,则利用从出口部 3049 周围的 6 处回旋器 3056 流入的空气流 3046a 形成回旋流 3046b,防止燃料液滴附着在出口部外周侧即壁面 3057。但是,在未形成回旋器 3056 的区域,有可能发生由于从回旋器 3056 喷出的空气流 3046a 而在液体燃料喷嘴的周向回旋的循环流 3046c、3046d。因此,在本参考例中,通过在液体燃料喷嘴 3048 的出口部 3049 外周侧形成相对于液体燃料的喷出方向为上游方向的空间,从而将液体燃料喷嘴的出口部形成在距出口部外周所要求的距离下游侧的位置。因此,可以抑制燃料液滴碰撞并附着上形成于喷嘴罩 3053 的下游侧的内周壁 3058 及壁面 3057 上,能抑制未燃烧部分焦化的发生。具体的是,液体燃料喷嘴 3048 的出口部 3049 构成为突出于比发生循环流 3046c、3046d 的区域靠下游侧。

[0256] 再有,喷嘴罩 3053 的下游侧的壁面 3057 形成为从回旋器 3056 的出口至出口部 3049 为圆滑的曲线。因此,由于在出口部 3049 的外周侧难以发生循环流,因而能抑制未燃烧部分焦化的发生。

[0257] 另外,燃烧嘴 3045 的一部分、即空气喷嘴 3059 的喷出孔的燃烧器轴向的长度形成成为比形成于液体燃料喷嘴 3048 上的回旋器 3056 的轴向长度长。这是考虑到燃烧嘴 3045 与液体燃料喷嘴 3048 之间的热伸长差。这样,通过设定空气喷嘴 3059 的喷出孔的燃烧器轴向的长度,可以防止燃烧嘴 3045 与液体燃料喷嘴 3048 之间的热伸长差导致的回旋器 3056 的封闭。并且,在燃气轮机宽的运转范围中,从回旋器 3056 喷出的空气能够促进从出口部 3049 喷出的燃料液滴的微粒化,能够在长时间维持燃烧器的燃烧性能。

[0258] 再有,在本参考例中,向燃烧嘴 3045 的回旋器 3047 的轴向的大致中心部供给气体燃料。因此,在只用气体燃料使本参考例的燃烧嘴工作的场合,由于在燃烧器下游侧的燃烧室 3006 生成的燃烧气体而有可能对上游侧的液体燃料喷嘴 3048 的出口部 3049 进行加热并造成损伤。但是,如本参考例那样,通过做成空气喷嘴 3059 喷出的空气吹送到液体燃料喷嘴 3048 的出口部的结构,即使在不使用液体燃料的气体燃烧时,也能由从设置于喷嘴罩 3053 上的回旋器 3056 喷出的空气冷却出口部 3049。因此,能够降低液体燃料喷嘴 3048 的出口部 3049 烧损的可能性。

[0259] 参考例 4

[0260] 下面,基于图 29 ~ 图 34 对第四参考例进行说明。如图 32 所示,在燃气轮机 4110 上连接有对燃烧用空气 4001 进行加压并吹送到燃烧器 4100 的空气压缩机 4301,以及利用在燃烧器 4100 内产生的燃烧气体 4004 驱动的燃气轮机 4303。燃气轮机 4303 与发电机 4304 连接。

[0261] 如图 29 ~ 图 31 所示,燃气轮机燃烧器 4100 在其燃烧器壳体 4010 上形成有来自空气压缩机 4301 的燃烧用空气 4001 进入的空气入口 4011,以及排出通过燃烧产生的燃烧气体 4004 的燃烧气体排出口 4012。在燃烧器壳体 4010 内设有形成一次燃烧室 4030 的一次燃烧用内筒 4031,以及形成二次燃烧室 4020 的二次燃烧用内筒 4021。

[0262] 一次燃烧用内筒 4031 设置在与燃烧器壳体 4010 内的燃烧气体排出口 4012 相对的面上。如图 30 所示,在一次燃烧用内筒 4031 内以等间隔将喷出一次燃料 4002 的多个起动喷嘴 4034 配置在同一圆周上。接收一次燃料 4002 的一次燃料接收喷嘴 4032 与该起动喷嘴 4034 连接。在一次燃烧用内筒 4031 的周围侧壁上形成有用于使从空气入口 4011 流入的燃烧用空气 4001 流入内筒 4031 内的一次空气供给孔 4033,并在该处设有用于调节流入的燃烧用空气 4001 的量的二次空气调节阀 4035。

[0263] 二次燃烧用内筒 4021 设置在一次燃烧用内筒 4031 的下游侧,在其周围侧壁上形成有用于冷却内筒本身的冷却空气口 4022。在二次燃烧用内筒 4021 的上游端,如图 30 所示,将喷出燃烧用空气 4001 与二次燃料 4003 的预混合气体 4005 的多个预混合燃烧嘴 4023 配置在同一圆周上,并形成环状的预混合燃烧嘴组 4024。在预混合燃烧嘴 4023 的下游端设有使燃烧用空气 4001 流入燃烧嘴 4023 内的多个二次空气供给孔 4025 和喷出二次燃料 4003 的多个二次燃料喷嘴 4026。在该二次燃料喷嘴 4026 上连接有接收二次燃料 4003 的多个二次燃料接收喷嘴 4027。在多个二次空气供给孔 4025 上设有用于调节流入的燃烧用空气 4001 的量的多个二次空气调节阀 4028。

[0264] 环状的预混合燃烧嘴组 4024 的外周直径小于二次燃烧用内筒 4021 的内径,二次燃烧室 4020 形成为在预混合燃烧嘴 4023 的出口急剧地增大。

[0265] 在预混合燃烧嘴 4023 的出口附近设有用于使通过混合气体 4005 的燃烧而产生的燃烧气体 4004 循环的阻力件 4040。阻力件 4040 如图 30 和图 31 所示,沿预混合燃烧嘴组 4024 形成环状,其断面呈 V 字形。环状的阻力件 4040 的半径方向的宽度形成为小于预混合燃烧嘴组 4024 的半径方向的宽度。断面呈 V 字形的阻力件 4040 设计成其顶点部朝向上游方向。在顶点部设有支撑阻力件 4040 的支撑部件 4041。该支撑部件 4041 设置在将多个预混合燃烧嘴 4023 之间隔开的隔板 4029 上。

[0266] 在二次燃烧用内筒 4021 的下游端连接有用于将燃烧气体 4004 引导到燃烧器壳体 4010 的燃烧气体排出口 4012 的过渡件 4015。

[0267] 接着对本参考例的燃烧器的作用进行说明。

[0268] 被空气压缩机 4301 加压的燃烧用空气 4001 从空气入口 4011 流入燃烧器壳体 4010 内。燃烧用空气 4001 通过燃烧器壳体 4010 与过渡件 4015 及二次燃烧用内筒 4021 之间,从一次空气供给孔 4033 向一次燃烧用内筒 4031 内流入,从二次空气供给孔 4025 向二次燃烧用内筒 4021 内流入。燃烧用空气 4001 的一部分为了从二次燃烧用内筒 4021 的冷却空气口 4022 冷却壁面而向二次燃烧用内筒 4021 内流入。另一方面,燃料 4002、4003 从

一次燃料接收喷嘴 4032 和二次燃料接收喷嘴 4027 向燃烧器 4100 内流入,从起动喷嘴 4034 和二次燃料喷嘴 4026 喷出。

[0269] 本参考例中所使用的燃料是液化天然气。液化天然气几乎不含硫和氮化物,产生的 SO_x 及燃料 NO_x 量少,作为清洁能源是近年来其需要大量增长的燃料。

[0270] 从起动喷嘴 4034 喷出的一次燃料 4002 与燃烧用空气 4001 反应而在一次燃烧室 4030 内形成扩散火焰。另一方面,从二次燃料喷嘴 4026 喷出的二次燃料 4003 在多个预混合燃烧嘴 4023 与燃烧用空气 4001 混合而形成预混合气体 4005 之后,向二次燃烧室 4020 内喷出。

[0271] 向二次燃烧室 4020 内喷出的预混合气体 4005 如图 31 所示,利用阻力件 4040 分流。在阻力件 4040 的下游侧形成有气体循环的第一循环流区域 4051。另外,在阻力件 4040 的外周,也就是在二次燃烧室 4020 内的上游端的外周侧 也形成有气体循环的第二循环流区域 4052。该循环流因二次燃烧室 4020 从预混合燃烧嘴 4023 的出口急剧地增大而形成。

[0272] 在第一循环流区域 4051 如图 31 所示,由预混合气体 4005 的燃烧而生成的 2000°C 左右的高温的燃烧气体 4004 流入其中。因此,第一循环流区域 4051 的温度超过了预混合气体 4005 的点火温度即 $700 \sim 800^\circ\text{C}$ 而达到 1500°C 以上的高温区域,接近第一循环流区域 4051 的预混合气体 4005 可靠地燃烧而形成比较急剧的燃烧区域 4053。因此,在二次燃烧室 4020 内形成的预混合火焰通过得到高温的燃烧气体 4004 这样的点火源而达到稳定。

[0273] 另一方面,在形成于圆形的阻力件 4040 的外周侧的第二循环流区域 4052,燃烧气体 4004 与预混合气体 4005 流入其中,燃烧气体 4004 与预混合气体 4005 混合并形成燃烧混合气体 4006。另外,在环状的阻力件 4040 的内周侧也进行由一次燃烧室 4030 产生的燃烧气体 4004 与预混合气体 4005 混合并形成氧分压低的燃烧混合气体 4006。

[0274] 该燃烧混合气体 4006 传播来自比较急剧的燃烧区域 4053 的火焰,进行燃烧并在比较急剧的燃烧区域 4053 的外侧形成缓慢的燃烧区域 4054。在缓慢的燃烧区域 4054 由于氧分压低的燃烧混合气体 4006 燃烧,因而燃烧温度也低,在该区域生成的 NO_x 量极少。

[0275] 为了形成燃烧混合气体 4006,火焰需要从由预混合燃烧嘴 4023 喷出的预混合气体 4005 的内部向外侧进行传播。这是因为,假如从外侧点火而火焰向内侧传播,则预混合气体 4005 在与燃烧气体 4004 混合之前便已燃烧,不能形成燃烧混合气体 4006。

[0276] 在此,若在均匀地混合了二次燃料 4003、燃烧用空气 4001 及燃烧气体 4004 之后,从预混合燃烧嘴 4023 喷出而形成火焰,则由于只形成缓慢的燃烧区域而不能形成稳定的火焰。

[0277] 另外,预混合燃烧嘴 4023 如本参考例那样,最好在一次燃烧室 4030 的下游端配置成环状。若这样配置预混合燃烧嘴 4023,则由于从在一次燃烧室 4030 中形成的扩散火焰排出的燃烧气体 4004 的热而使从预混合燃烧嘴 4023 喷出的预混合气体 4005 更迅速地点火,使预混合火焰更稳定化。

[0278] 另外,如本参考例那样,对于阻力件 4040 的半径方向的宽度也最好小于 预混合燃烧嘴 4023 的出口的半径方向的宽度。若阻力件 4040 的宽度大于预混合燃烧嘴 4023 的出口的宽度,则第一循环流区域 4051 较大,预混合火焰不能保持在阻力件 4040 的附近,火焰的稳定性降低。

[0279] 由燃烧器 4100 产生的燃烧气体 4004 从燃烧气体排出口 4012 排出,向燃气轮机

4303 供给。在燃气轮机 4303 内,高温高压的燃烧气体 4004 在膨胀的过程中驱动涡轮机。燃气轮机 4303 的动力传递给发电机 4304 而进行发电。

[0280] 一般地说,在近年的燃气轮机发电设备中,从燃气轮机 4303 排出的燃烧气体 4004 往往引导到废热回收锅炉,用作产生水蒸汽的热源。在废热回收锅炉内有时设有脱硝装置。该脱硝装置使氨与燃烧气体 4004 在固体催化剂表面上反应,从而除去燃烧气体 4004 中的 NO_x 。在使用本参考例的燃烧器 4100 的场合,由于 NO_x 的产生量少而可以减少脱硝装置中的氨使用量。并且,根据运转方式,即使没有脱硝装置也能满足环境控制值。

[0281] 此外,在本参考例中,为了形成多个预混合燃烧嘴 4023 虽设有隔板 4029,但在能用其它方法支撑阻力件 4040 的情况下,就不需要特别设置隔板 4029 来形成多个预混合燃烧嘴 4023。但是,在燃烧器大型化而预混合燃烧嘴增大的场合,为了充分地进行燃料 4002 与燃烧用空气 4001 的混合,并且为了防止逆火,以设置隔板 4029 而形成多个预混合燃烧嘴 4023 为宜。

[0282] 下面,使用图 33 和图 34 对本参考例的燃气轮机燃烧器 4100 的运转方法进行说明。在燃气轮机 4303 起动时,如图 34 所示,向燃烧器 4100 只投入一次燃料 4002,在一次燃烧室 4030 中形成扩散火焰。当燃气轮机 4303 的负荷达到了某一定的负荷 $L_0\%$ 的时刻,减少一次燃料 4002 的量,与此相反增加二次燃料 4003 的量,在二次燃烧室 4020 中形成预混合火焰。从一定的负荷 $L_0\%$ 直到达到最大负荷 100% 时主要通过增加二次燃料 4003 的量来对应负荷的变化。

[0283] 另外,空气供给量如图 33 所示,为使 NO_x 发生量保持在某个范围内,与燃料 4002、4003 的增减相对应地减少一次空气量,增加二次空气量。

[0284] 在未设阻力件 4040 的燃烧器中,由于在二次燃烧室 4020 中形成的预混合火焰的稳定性受到在一次燃烧室 4030 中形成的扩散火焰的燃烧量及扩散火焰的空气比等的影响,所投入的一次燃料 4002 的量与二次燃料 4003 的量之比限制在一定的范围内。在本参考例的燃烧器中,由于具有单独的使预混合火焰稳定化的机构,因而可以任意地设定一次燃料 4002 的量与二次燃料 4003 的量之比,可以很容易地进行相对于负荷变化的燃料供给的调整。并且可以加大负荷变动的范围。

[0285] 此外,在本参考例的燃烧器 4100 中,虽然在燃料切换后可以停止一次燃料 4002 的供给,但通过总是向一次燃烧室 4030 投入一次燃料 4002 而预先形成扩散火焰,可以迅速地与负荷的增减相对应。

[0286] 下面,基于图 35~图 40 对通过进行了对各种燃烧器的验证,实现预混合火焰的原理及降低 NO_x 的效果进行说明。

[0287] 在该验证中使用了四种验证用燃烧器。第一种验证用燃烧器 4410 如图 35 所示,具有:预混合燃烧嘴 4411,从该燃烧嘴 4411 的出口急剧地增大的燃烧室 4412,以及配置在预混合燃烧嘴 4411 的出口周围的多个起动喷嘴 4413。此外,将来自起动喷嘴 441 的气体喷出流量设定为来自预混合燃烧嘴 4411 的气体喷出流量的 $1/1000$ 以下。

[0288] 用起动喷嘴 4413 形成起动火焰 4414,并将其作为点火源而使从预混合燃烧嘴 4411 喷出的预混合气体 4401 燃烧。预混合火焰 4402 从燃烧嘴 4411 的出口形成圆锥状。在预混合火焰 4402 的外周形成燃烧气体 4404 的外部循环流区域 4403。

[0289] 在该燃烧中,由于是起动火焰 4414 这类点火源,虽然预混合火焰 4402 达到稳定,

但由于从燃烧嘴 4411 的出口形成预混合火焰 4402, 前端未分离, 因而几乎不能实现形成于预混合火焰 4402 周围的燃烧气体 4404 的循环流与预混合气体 4401 的混合。因此, 预混合气体 4401 几乎不是在与燃烧气体 4404 混合了的状态下燃烧, 不太能降低 NO_x 。

[0290] 第二种验证用燃烧器 4420 如图 36 所示, 在本参考例的燃烧器中, 具有: 预混合燃烧嘴 4411, 从该燃烧嘴 4411 的出口急剧地增大的燃烧室 4412, 以及配置在预混合燃烧嘴 4411 的出口附近的平板状的阻力件 4421。

[0291] 从燃烧嘴 4411 喷出预混合气体 4401。在预混合气体喷流的内部由于阻力件 4421 的作用而形成内部循环流区域 4422。另外, 通过使燃烧室 4412 从燃烧嘴 4411 的出口急剧地增大而形成外部循环流区域 4423。对于内部循环流区域 4422 和外部循环流区域 4423 的形成, 通过测定燃烧室 4412 内的温度分布、气体组成分布、流速分布以及 OH 基等的发光光谱分布来进行确认。

[0292] 高温的燃烧气体 4404 流入内部循环流区域 4422, 在内部循环流区域 4422 的周围可靠地形成比较急剧的燃烧区域 4424。这样, 由于可靠地形成比较急剧的燃烧区域 4424 而可以实现预混合火焰的稳定。另外, 由于比较急剧的燃烧区域 4424, 即自由基浓度高的区域只形成在特定的狭窄的范围内, 因而燃烧用空气中的氮的分解和氧化被促进的区域较窄, 能够抑制热的 NO_x 的发生。

[0293] 在比较急剧的燃烧区域 4424 的周围形成外部循环流区域 4423 的燃烧气体 4404 与从燃烧嘴 4411 喷出的预混合气体 4401 混合了的燃烧混合气体。燃烧混合气体由从形成于喷流的内部的比较急剧的燃烧区域 4424 向外部传播来的火焰进行燃烧, 形成缓慢的燃烧区域 4425。在缓慢的燃烧区域 4425 内, 由于在氧分压较低, 即在自由基浓度较低的条件下进行燃烧, 因而可以将 NO_x 的发生量抑制为极低的值。

[0294] 此外, 在该验证用燃烧器 4420 中, 虽然为了降低 NO_x 使用了通过从预混合燃烧嘴 4411 喷出的预混合气体 4401 本身的燃烧产生的燃烧气体 4404, 但也可以使用通过从其它燃烧嘴喷出的燃料的燃烧而产生的燃烧气体。

[0295] 第三种验证用燃烧器 4430 如图 37 所示, 具有: 预混合燃烧嘴 4411, 与该燃烧嘴 4411 相同直径的燃烧室 4431, 以及平板状的阻力件 4421。在利用该验证用燃烧器 4430 的燃烧中, 与第二种验证用燃烧器 4420 同样, 虽然利用阻力件 4421 的作用可以使预混合火焰 4432 稳定, 但由于在预混合火焰 4432 的外侧不能形成燃烧气体 4404 引起的外部循环流区域, 因而不能太降低 NO_x 。

[0296] 第四种验证用燃烧器 4440 如图 39 所示, 具有: 第一预混合燃烧嘴 4441, 具有沿该燃烧嘴 4411 周围侧壁的环状的喷出口的第二预混合燃烧嘴 4442, 配置在第一预混合燃烧嘴 4441 附近的平板状的阻力件 4421, 以及从第二预混合燃烧嘴 4442 的出口急剧地增大的燃烧室 4443。

[0297] 从第一预混合燃烧嘴 4441 喷出的预混合气体 4401 由于阻力件 4421 的作用而形成稳定的第一预混合火焰 4444。从第二预混合燃烧嘴 4442 喷出的预混合气体 4405 以第一预混合火焰 4444 为点火源而形成第二预混合火焰 4445。第二预混合火焰 4445 形成为从在第二预混合燃烧嘴 4442 的出口与第一预混合燃烧嘴 4441 的边界到第一预混合火焰 4444 大致前端。在利用该验证用燃烧器 4440 的燃烧中, 由于从第一预混合燃烧嘴 4441 喷出的预混合气体 4401 在与燃烧气体 4404 混合之前已燃烧, 因而不能太降低 NO_x 。

[0298] 图 38 和图 40 表示以上的验证用燃烧器的 NO_x 排出特性。图 38 所示的 NO_x 排出特性曲线 4419、4429、4439 中, 曲线 4419 表示第一验证用燃烧器 4410 的 NO_x 排出特性, 曲线 4429 表示第二验证用燃烧器 4420 的 NO_x 排出特性, 曲线 4439 表示第三验证用燃烧器 4430 的 NO_x 排出特性。

[0299] 另外, 图 40 所示的 NO_x 排出特性曲线 4429、4448、4449 中, 曲线 4429 表示第二验证用燃烧器 4420 的 NO_x 排出特性, 曲线 4449 表示在第四验证用燃烧器 4440 中分别改变从两个燃烧嘴喷出的燃料和空气的量时在 NO_x 发生量最少的条件下的 NO_x 排出特性, 曲线 4448 表示在第四验证用燃烧器 444 中在 NO_x 发生量最多的条件下的 NO_x 排出特性。

[0300] 根据这些图可知, 若使用本参考例的第二验证用燃烧器 4420, 则通过使用其它的燃烧器, 可以将 NO_x 排出量降低为 1/3 以下。

[0301] 从 NO_x 发生的区域及其生成速度方面考虑, 热的 NO_x 分为如下两类: 根据捷里多维奇 (Zeldovich) 机理形成的 NO_x 及瞬态的 NO_x 。

[0302] 根据捷里多维奇 (Zeldovich) 机理形成的 NO_x 是在火焰尾流以比较慢的速度生成的, 是燃烧空气中的氮被氧化而生成的 NO_x 。根据捷里多维奇 (Zeldovich) 机理形成的 NO_x 的生成对温度的依存性高, 当火焰温度增高时其发生量增加。为了使投入空气量与燃料完全燃烧所需要的与空气量之比即空气比为 1 左右, 若在该量比附近燃烧则火焰温度最高, NO_x 浓度也最大。

[0303] 瞬态的 NO_x 是碳氢系燃料所特有的, 是在火焰的反应区域中或其附近以比较快的速度生成的 NO_x 。瞬态的 NO_x 是燃烧空气中的氮被火焰中存在的反应活性高的碳氢自由基等分解后, 又被氧化而生成的 NO_x 。瞬态的 NO_x 的生成对温度的依存性比较低, 由反应活性高的自由基的浓度及存在高浓度的自由基的区域的大小所支配。

[0304] 一般来说, 相对于燃烧用空气, 虽然燃料量越多瞬态的 NO_x 的发生量增加, 燃料量越少根据捷里多维奇 (Zeldovich) 机理形成的 NO_x 的发生量有增加的倾向, 但根据图 38 和图 40 可知, 若使用本参考例的第二验证用燃烧器, 任何一种 NO_x 都可以降低。因此, 在本参考例的燃烧器中, 无论空气比大的条件下的燃料的燃烧, 还是空气比小的条件下的燃料的燃烧, 都能降低 NO_x , 即使不进行稀薄预混合燃烧也能充分地降低 NO_x 。另外, 若采用稀薄预混合燃烧法, 则能进一步降低 NO_x 。

[0305] 此外, 在第二验证用燃烧器 4420 中, 以甲烷为燃料, 喷出的预混合气体温度约为 240°C , 燃烧室中的空气比为 1.0 ~ 1.1, 只供给燃烧用空气和燃料的预混合气体使其完全燃烧时的 NO_x 排出浓度约为 60ppm(0% O_2 换算值) 以下。

[0306] 参考例 5

[0307] 下面, 对图 43 表示整体的参考例 5 进行详细说明。图 43 以剖面表示燃气轮机所使用的燃烧装置及其周围情况。燃烧装置主要包括: 主燃烧室 5101、副燃烧室 5102、燃料喷嘴 (5003a、5003b、5003c) 及混合器 5104, 并且在主燃烧室 5101 的下游侧配置有燃气轮机叶片 5006, 还在其上游侧配置有压缩机 5001。

[0308] 在这样的主燃烧室 5101 的上游侧且在其外周部配置有预混合器 5004, 有关该预混合器 5004 及其周围的情况详细形成如下。

[0309] 即, 如图 41 及图 42 所示, 在预混合器 5004 的内部设有用于促进燃料与空气混合的旋流器 5005, 或在预混合器的下游侧设有火焰稳定器 (涡流发生装置) 5006。

[0310] 火焰稳定器 5006 支撑在预混合器 5004 的端部外周,在倾斜部 5006a 及其下游侧具有迅速扩大部 5006b 的面。

[0311] 混合气如箭头 AF 所示从上游侧向火焰稳定器 5006 一侧流动,从该火焰稳定器的迅速扩大部 5006b 成为涡流,向下游侧漂移。即,该迅速扩大部成为涡流的始点(发生涡流的部分),起着稳定火焰的作用。

[0312] 另外,在火焰稳定器 5006 的外周侧设有冷媒槽 5006d,冷却空气 CA 在该冷媒槽中流动。利用该冷却空气进行火焰稳定器的冷却,并进行向燃烧室供给空气。

[0313] 火焰稳定器 5006 以上述方式形成,设置在预混合器的下游侧。另外,在此,重要的是火焰稳定器 5006 的涡流的始点 5006c 以距旋流器 5005 的下游侧端面 5005a 离开规定的距离 1 的方式设置。换言之,在旋流器 5005 的下游侧端面 5005a 与火焰稳定器 5006 的涡流的始点之间设有间隙。下面对这样构成的燃烧装置的动作进行叙述。首先对总体的燃烧动作说明如下。

[0314] 即,在图 43 中,从压缩机 5001 向下游侧流入的高压空气呈 U 字形逆流并上升之后进入到形成了燃烧室的套筒 5002 内。该燃烧装置是分成三级供给燃料而使其燃烧的多级燃烧装置。即,燃料的供给分为第一级燃料 5003a、第二级燃料 5003b、起动辅助燃料 5003c 三个系统进行供给。燃料 5003a 主要在副燃烧室 5102 燃烧,燃料 5003b 由预混合器 5004 中的第二级用燃料喷嘴 5004b 喷出,与从外周流入的燃烧用空气混合而在主燃烧室 5101 中燃烧。燃料 5003c 是只在起动时使用的辅助燃料。在套筒 5002 内、即在燃烧室 5101 中燃烧的燃烧气体通过尾筒 5007 流入到燃气轮机的初级叶片 5006 中而使燃气轮机旋转。

[0315] 第一级燃料 5003a 以扩散燃烧方式燃烧,进行 NO_x 高的稳定的燃烧。第二级燃料 5003b 以预混合燃烧方式进行 NO_x 低的燃烧。从起动到某一定的负荷在第一级燃烧及其一部分中使用起动用燃料 5003c 进行。其后,直到额定负荷都进行第一级、第二级的燃烧。为了抑制燃烧装置的 NO_x 的发生,当然,在增大进行第二级的预混合燃烧的燃料 5003b 占燃料总量的比率的同时,需要减小燃料空气比(燃料流量/空气流量)。

[0316] 虽然在总体上进行这样的燃烧,但本燃烧装置尤其要进行如下的燃烧动作。

[0317] 即,如图 41 及图 42 所示,从预混合器 5004 流出燃料与空气的混合气 AF 并在燃烧室 5101 燃烧的场所,该混合气在火焰稳定器 5006(涡流发生装置)的下游侧成为涡流,利用该涡流以稳定火焰的方式产生火焰。

[0318] 这种场合,该火焰稳定器的产生涡流的部分,即火焰稳定器的突出端以距旋流器 5005 的下游侧端面某个距离的方式形成。因此,火焰不会移向上述的形成于旋流器端面的小的涡流,燃烧器 5101 内的火焰保持稳定。

[0319] 另外,该场合,虽然火焰稳定器 5006 相对于混合气的流向具有向内的倾斜角,但该方向、角度并非总是一定的,对于方向可以是内外的任意的方向,对于角度可以根据燃烧室的大小选择各种值。但是,如本参考例那样,在二级燃烧的场所若为朝向第一级燃烧气体一侧,则在从第一级燃烧向第二级燃烧切换时,因能顺利地实现火焰的转换而是有效的。此外,该倾斜并非是必须特别设置的,只要是在其下游侧能产生涡流 5008 的方式即可。

[0320] 下面,对这样形成的火焰稳定器 5006 的冷却进行说明。

[0321] 在设置于预混合器 5004 上的弹簧密封部件 5009 的安装部设有冷却空气通道 5010,使冷却空气从弹簧密封部件 5009 的上游侧流入来冷却火焰稳定器 5006 的背面。为

了不减小涡流 5008 的强度,进行冷却作用后的空气避开涡流 5008 而喷射到套筒 5002b 中。由此,能够尽可能不损害涡流 5008 的效果地使冷却空气流入燃烧器内。隔壁 5011 具有作为用于引导冷却空气,有效地进行冷却的引导板的作用。

[0322] 参考例 6

[0323] 下面,对参考例 6 进行详细说明。图 44 以剖面表示参考例的燃气轮机燃烧器。

[0324] 燃烧器主要由以下部件构成。

[0325] 即,燃烧器包括:燃烧筒 6007;包围该燃烧筒的外筒 6016a、6016b;端盖 6006;配置在上述燃烧筒 6007 内部而形成燃烧主室的主室壁 6002a;形成燃烧副室 6001 的副室壁 6001a;设置在副室内的上游侧(图中的左侧)燃料喷嘴 6003;以及设置在主室内的上游侧燃料喷嘴 6005。

[0326] 并且,设置在燃烧筒 6007 上游侧的内部的燃烧副室 6001 形成为由设置在其下游侧的主室直径缩小的形状,对向副室的上游侧供给的 F1 燃料 1 进行燃烧。另一方面,燃烧筒 6007 下游侧的主室的直径形成为比副室 6001 的直径大,对由副室的下游侧(主室的上游侧)供给的 F2 燃料 6032 及在副室 6001 内未燃烧的 CO 等可燃成分进行燃烧。另外,在该主室 6002 中,利用由配置在主室下游部的稀释空气孔 6014 流入的空气 g 将燃烧气体 h 的温度降低到规定的温度。在本参考例中,燃料供给系统采取三级供给方式。即,主要是如下三级供给:涉及在副室 6001 的燃烧的 F1 燃料喷嘴 6003,涉及在主室 6002 内的燃烧的 F2 燃料喷嘴 6005,以及燃气轮机起动时所使用的 F_s 燃料喷嘴 6012。通常, F1 燃料喷嘴 6003 为单独的喷嘴并由端盖 6006 的外部插入副室 6001 中, F2 燃料喷嘴 6005 固定在连接副室 6001 与主室 6002 的部分,并相同地设定多个。若对该部分进行详细叙述,则是在主室 6002 和副室 6001 中的空间中配置空气回旋器 6004,在该上游侧连接燃料储存管 6018,向燃料储存管 6018 输送燃料经由外部的燃料供给管 6040 进行。燃料储存管 6018 下游侧的燃料喷嘴 6005 配置成突出于空气回旋器 6004 内,并相同地固定安装多个。 F_s 燃料喷嘴 6012 设置在与副室 6001 同心地设置的柱状体(内筒圆锥体)6010 的轴心线上且靠其下游侧前端。 F_s 燃料喷嘴 6012 的喷出在比 F2 燃料喷嘴 6005 稍微靠上游侧进行,燃料本身的供给由与 F1、F2 燃料系统不同的另外的系统进行。

[0327] 在 F_s 燃料喷嘴 6012 的周边设有向下游侧突出的筒 6012a,并加工有用于减少外部气流的影响,使火焰稳定性良好的所谓凹槽。

[0328] 下面,对 F_s 燃料喷嘴 6012 的起动过程的运转方法进行说明。图 45 表示的是一种燃料投入图案。起动时,投入 F1 燃料 1(图 44),进行交叉火点火(A 点)。接着,若增大 F1 燃料使 F1 燃料 1 达到上限吹灭极限流量附近,则 F1 燃料 1 保持一定,投入 F_s 燃料 m(B 点)。若达到 F1 燃料喷嘴 6003 可以单独燃烧的转数(作为转数的参数是压缩机排出空气的温度),则增加 F1 燃料 1 的流量(C 点),减少 F_s 燃料 m。在达到额定转数而无负荷之前 F_s 燃料 m 的流量为 0。

[0329] 图 46 表示的是 F_s 燃料喷嘴 6012 的详细结构的例子,图 46(a)、图 46(b) 中,作为提高火焰稳定性的方法之一是在 8 个燃料喷出孔的外部设有空气回旋器 6044。空气回旋器 6044 的外周与内筒圆锥体 6010 吻合。燃烧气体从 m 的方向流入,以某个角度喷射。e 是空气流,在冷却内筒圆锥体 6010 的同时通过空气回旋器 6044,与 m 扩散混合。内筒圆锥体 6010 的周围虽然被 F1 燃料气体流 f 包围,但 F_s 燃料 m 在空气回旋器 6044 与喷嘴管 6042

的下游形成稳定的火焰。

[0330] 参考例 7

[0331] 下面,使用图 47 说明参考例 7。

[0332] 燃气轮机由压缩机 7001、涡轮机 7002 及燃烧器 7003 构成,燃烧器 7003 由将燃烧气体 7007 引导到内筒 7004、外筒 7005 及涡轮机定叶 7006 的尾筒 7008 构成,在尾筒 7005 的侧封闭端安装有装着第一级的燃料喷嘴体 7009 的盖 7010。此外,虽未图示,但还装有点火用的点火栓、探测火焰的火焰检测器等。内筒 7004 分为头部燃烧室 7011 和比其直径更大的后部燃烧室 7012,在头部燃烧室 7011 的中央部插入有内筒圆锥体 7013。用压缩机 7001 压缩了的空气流 7014 通过扩散器 7015 围绕在尾筒 7008 的周围,再从向内筒 7004 开口的冷却孔 7015、稀薄空气孔 7016 及用于燃烧第二级燃料 7017 的空气孔 7018 以及向头部燃烧室开口的燃烧用空气孔 7019 和冷却用空气孔 7020 分别引导到各自的燃烧室内。安装在盖 7010 上的第一级燃料喷嘴 7022 具备贯通头部燃烧室侧壁(套筒罩)7021 将燃料喷出到头部燃烧室内的多个燃料喷出口。

[0333] 在内筒圆锥体 7013 上开有导入空气的入口孔 7023,并开有从内筒圆锥体 7013 的表面沿着表面流动的多个、多列冷却用空气孔 7024。

[0334] 另外,图 48 表示燃烧器的详细结构。

[0335] 贯通套筒罩 7021 的多个燃料喷出部位于头部燃烧室 7011 的上游,所喷出的燃料 7027 与来自燃料喷出部贯通了的套筒罩的开孔的空气 7028 和来自开口于头部燃烧室壁的空气孔 7019a、7019b、7019c、7019d 的空气混合而进行燃烧。燃料喷出部 7022 与现有技术的来自单一喷嘴的燃料不同,其本身处于靠近头部燃烧室的侧壁的位置。因此,与来自空气孔 7019a、7019b、7019c、7019d 的空气和空气流 7028 的混合迅速地进行,可以在燃烧过程的初期利用空气得到冷却效果。因此,由于能抑制热点的发生而能实现 NO_x 的降低。这样,通过将多个燃料喷出部安装在靠近头部燃烧室的侧壁的位置,从而可以促进上述的混合效果,并且通过具有多个燃料喷出部 7022 的所谓分开燃烧来实现火焰的分散化。由于这些效果的叠加可以达到使 NO_x 大幅度地降低。再有,作为降低 NO_x 的措施,通过在燃烧器的中心部设置做成圆锥台形状的内筒圆锥体,从而可以抑制起因于来自开口于头部燃烧室的侧壁的空气孔 7019a、7019b、7019c、7019d 的空气到达不了中心部的冷却效果的降低。并且,由于产生利用内筒圆锥体本身的冷却及从内筒圆锥体 7013 表面喷出的冷却空气 7020b 从内面有效地冷却火焰的效果,可以进行大幅度的低 NO_x 化。再有,第一级燃料喷出部 7022 向燃烧器内的突出由于其长度能促进与从燃料喷出口的上游流入的空气混合的效果,这是支配低 NO_x 化的主要因素。燃料喷出口的位置只要是在包含空气孔 7019a、7019b 的位置附近,混合效果就好,降低 NO_x 的效果就大。

[0336] 下面,说明有关头部燃烧室和内筒圆锥体 7013 与第二级燃料供给位置的效果。

[0337] 头部燃烧室的长度与第二级燃料供给位置的关系也包含位于头部燃烧室内的内筒圆锥体 7013 发挥如下所述的作用。即,在头部燃烧室 7011 的环状空间部 7025 中,第一级燃料几乎完全燃烧,并且,第二级燃料与供给的空气即使燃烧也受到抑制而向第一级的头部燃烧室 7011 内的流动很少变动。在被头部燃烧室内壁和内筒圆锥体 7013 外壁围成的环状空间部 7025 内,第一级燃料 7017 与从空气孔 7019a ~ 7019d 流入的空气混合,需要决定头部燃烧室 7011 以大致进行完全的燃烧。

[0338] 图 50 表示从第二级供给的燃料和空气的位置与 NO_x 浓度的关系。当头部燃烧室 7011 的长度较短时,则来自第二级的燃料和空气被导入头部燃烧室 7011 内的燃烧未结束的气体中。因此,头部的燃烧被来自第二级的空气阻止且 A 部所示的部分急剧地冷却,CO 及 HC 等未燃烧成分的生成增多,燃烧效率有降低的危险。另外,若在这种状态下进行第二级的燃烧,则第一级的燃烧与第二级的燃烧同时进行,在第二级燃烧的开始部产生高温热点的场合,则具有 NO_x 的产生增多的缺点。另外,当头部燃烧室的长度增长时,则头部燃烧室壁的冷却面积增加。因此,冷却空气的量增多。这样通过增多冷却空气,在第二级投入时可将冷却用空气导入第一级火焰与第二级燃料气体之间。于是,由于火焰从第一级火焰向第二级燃料气体的移动性有可能变坏,因而不能使头部燃烧室的长度过长而超过需要。通过进行燃烧用压力到 10ata、空气温度到 350℃的试验,头部燃烧室的长度还受到内筒圆锥体 7013 的直径和长度的支配,作为代表性的长度优选为头部燃烧室 7011 外径的 1.2 ~ 2.0 倍左右,更优选为 1.5 倍左右。另一方面,虽然内筒圆锥体 7013 的长度与头部燃烧室 7011 的容积也相关,但基本上是当该长度比头部燃烧室 7011 更长时,则在开始了第二级的燃烧的场合,在后部燃烧室 70112 内的燃烧气体回产生膨胀。这样一来,由于在头部燃烧室 7011 的出口部因燃烧气体加速而引起压力损失(阻力)增大,因而从头部燃烧室 7011 导入的空气流量减少。因此,由于在头部燃烧室 7011 中因空气过剩导致的不能进行低温度燃烧而增加 NO_x 的发生。另外,由于气体温度增高,且空气流量减少,则头部燃烧室 7011 外周壁的温度增高,导致燃烧器的可靠性、寿命缩短。

[0339] 因此,需要抑制内筒圆锥体 7013 的长度对第二级燃烧的气体加速损失带来的影响。因此,头部燃烧室的容积需要做成,使内筒圆锥体 7013 的长度比头部燃烧室 7011 短,即使从内筒圆锥体的前端到头部燃烧室的出口产生燃烧气体的加速,也能经受所谓燃烧气体的急剧膨胀。通过实验,内筒圆锥体 7013 的长度 l 与头部燃烧室 7011 的长度 L 之比最好是 $l/L = 0.7$ 左右,最好采用具有这种尺寸关系的从内筒圆锥体前端到头部燃烧室后端的空间。在此,在 l/L 变小的状态,即若内筒圆锥体变短,则由于第一级燃烧火焰形成在内筒圆锥体前端部的轴心部,则因在轴心部形成高温部而使 NO_x 的发生增多。另外,如上所述在 $l/L = 1$ 附近,则具有 NO_x 发生量增多,且头部壁温度增高的缺点。因此,内筒圆锥体 7013 最好比头部燃烧室 7011 的长度短。

[0340] 在与上述同样的燃烧试验中,第一、第二级的向能降低 NO_x 、且 CO 及 HC 发生少的头部燃烧室的空气开口面积相对于总开口面积之比为 50 ~ 55%。另外,最好是向两级的空气孔面积为 20 ~ 30%,以及开口于后部燃烧室的空气流通面积为 20 ~ 30%,开口于内筒圆锥体的冷却孔面积为 7 ~ 10%。尤其是当在内筒圆锥体上除了冷却用空气外还开有燃烧用空气孔时,则形成了用于利用该空气流促进燃烧的热点部,发现了空气孔附近被加热的现象。因此,希望为在内筒圆锥体上仅开有冷却用空气孔的结构。再有,在向第二级的空气面积增加而达到 30%以上的场合,则有火焰移动性能降低的缺点,在 20%以下时则降低 NO_x 的效果减小。另一方面,若向头部燃烧室 7011 的空气量达到 60%以上,则混合气体变得稀薄,CO、HC 的生成量增多,而在 40%以下时则产生 NO_x 且金属温度上升。

[0341] 再有,使用图 51 至图 53 对第二级的燃烧进行说明。燃料 7017 通过通道部 7030 而引导到燃料积存部 7031。然后,通过将燃料供给第二级空气通道 7032 及开口于后部燃烧室 7012 的空气孔 7033 的附近的多个燃料喷嘴 7034,从燃料喷出孔 7035 沿空气孔 7033 的空

气流供给第二级的燃料。第二级的空气流 7036 在向燃烧室供给时最好是以回旋流供给,以便尽可能延长燃烧时间。例如,利用多个回旋叶片 7037 隔开空气通道,在各自的空气通道开有燃料喷出口 7035 并实现促进空气与燃料的混合。然后,作为空气过剩的混合气体 7038 供给主燃料室,向头部燃烧室的火焰引火进行低温稀释燃烧而实现 NO_x 的降低。第二级燃烧的 NO_x 的降低的关键之处在于空气与燃料如何较好地混合。为此,最佳的方法是延长混合时间,在本参考例中作为加长空气通道的措施是设置回旋叶片 7037,形成回旋流 7038 做成向其中供给燃料的结构。另一方面,对于第二级燃烧重要的是,不向第二级空气通道,尤其是不向叶片 7037 中引入火焰。即,被叶片 7037 包围的空气通道成为燃料也能供给并得到充分地燃烧的条件。然而,通过叶片 7037 的空气与燃料的混合气的喷出速度约为 100m/s ,另一方面紊流场的火焰的传播速度至多为 5m/s ,因而在理想的这种状态下不会产生火焰的逆火现象。

[0342] 由于叶片的形状和表面的加工精度的降低等,在叶片的壁面附近产生涡流等淤流处,以此为火点而产生将火焰引入叶片之中的所谓逆火现象。作为与此应对的方法如图 51 及图 52 所示,重要的是从第二级燃料喷嘴 7034 喷射燃料 7017 是将其喷射口 7035 朝向被回旋叶片 7037 包围的空气通道之中喷出而实现混合。为此,最好将喷出口的位置设置在回旋叶片附近。虽然取决于第二级燃料供给结构,但通过在回旋叶片 7037 的上游侧设置弯曲部 7041a、7041b、7041c……并使其与燃料喷嘴 7034 的安装方向一致,则能进一步促进空气与燃料的混合。而且,不会在回旋叶片 7037 的表面附近产生涡流、淤流,也未见逆火现象,为良好的结构。这样,通过使开口于燃料喷嘴 7034 的喷出口 7035 的位置位于被回旋叶片 7037 包围的空气通道的中央部,则可以提高均匀混合的效果。因此,重要的是,通过由于燃烧时的内筒 7004 和支撑第二级的燃料喷嘴 7035 外筒 7005 的热膨胀差导致的回旋叶片 7037 与燃料喷嘴 7035 偏移而不降低均匀混合的效果。

[0343] 图 53 表示这种结构的参考例。形成第二级燃烧用空气通道的回旋叶片 7037 等的部件,尤其是连接内周侧的推压部件 7038 及喷嘴突缘 7039,总是将回旋叶片 7037 与燃料喷嘴 7035 的位置保持在恒定位置。根据本结构,即使在燃气轮机长时间使用的过程中,由于总是能进行第二级燃料与空气均匀的混合的促进,因而能得到稳定的低 NO_x 的效果。因此,头部燃烧室 7011 和后部燃烧室 7012 分别夹住形成第二级空气通道的部件,通过用如图 53 所示的弹簧密封部件 7042a、7042b 连接,可以得到均匀的效果。此外,由于还可以抑制空气通道部内的燃料浓度的偏差,因而也可以抑制因局部燃料浓度大导致的热点的发生。此外,为了空气的流动能顺利地进行,只要将空气通道部做成与流道一致的弯曲部 7043a、7043b 的形状则能实现良好均匀的混合的同时,由于能抑制涡流、淤积等的形成而可以防止逆火现象。

[0344] 参考例 8

[0345] 下面,使用图 54、图 55 说明参考例 8。在燃烧器外筒 8001、端盖 8002、燃料喷嘴本体 8003、燃料喷射管 8004、内筒 8005、内筒圆锥体 8006 及点火栓 8007 构成的燃气轮机燃烧器中,在内筒 8005 的头部设有内筒罩 8008,在比头部上游端靠下游侧,在内筒 8005 的头部附近形成环状燃烧室 8009,使尖细状的内筒圆锥体 8006 与上述内筒 8005 相对应地留有间隙地呈同心圆状向内周侧突出。另外,在内筒 8005 的头部壁面侧设有第一级的燃烧用空气导入孔组 8010,在其下游侧设有第二级的燃烧用空气导入孔组 8011 和内筒冷却孔组

8012,在与上述内筒罩 8008 的环状燃烧室 8009 对应的壁面上呈环状地设有多个空气导入孔 8013。还在内筒圆锥体 8006 的壁面上设有冷却孔组 8014。燃料喷嘴本体 8003 固定在端盖 8002 上,从燃料喷嘴本体 8003 相连的燃料喷射管 8004 贯通设置于上述内筒罩 8008 上的空气导入孔 8013 而向环状燃烧室 8009 内突出。在该燃料喷射管 8004 的前端附近设有向内筒 8005 的方向和内筒圆锥体 8006 的方向喷射燃料的喷射孔 8015,设置于内筒罩 8008 上的空气导入孔 8013 与燃料喷射管 8004 的外壁留有较大的间隙地设置。另外,如图 56 所示,在燃料喷射管 8004 的构成为,将长的燃料喷射管 8004a 和短的燃料喷射管 8004b 交替地组合,使向燃烧室内喷射燃料的位置变化。例如,在将第一级的燃烧用空气导入孔组 8010 作为喷射燃料的位置的基准的场合,其构成为上述燃料喷射管 8004a 处于可向比空气导入孔组 8010 靠下游侧喷射燃料,而燃料喷射管 8004b 可向相同方向或上游侧喷射燃料的状态。

[0346] 接着,说明本燃烧器的工作状况。首先将空气 8016 导入外筒 8001 和内筒 8005 之间的间隙,将空气 8010a、8011a、8012a、8013a、8014a 从设置于内筒 8005 的壁面、内筒罩 8008 及内筒圆锥体 8006 上的各空气导入孔组导入燃烧室内。

[0347] 另一方面,将燃料 8017 从燃料喷嘴本体 8003 引导到燃料喷射管 8004a、8004b 等,由设置于各燃料喷射管上的喷射孔 8015 喷射到内筒头部环状燃烧室 8009 内,使点火栓 8007 工作而使点火燃烧继续。

[0348] 该燃烧器的特征是,在形成头部燃烧室的环状空间部中,通过有效地向利用从燃烧器头部及环状内筒侧流动的空气所形成的涡流及喷射流中注入燃料,在燃料比较稀薄的条件的基础上保持火焰稳定,以及在燃料已稀薄化的区域的注入燃料的组合来实现稳定且低 NO_x 化的燃烧。

[0349] 图 57、图 58 表示的是本参考例的点的燃烧室头部附近的空气及燃料的流动图案的一个例子。图中的实线表示空气的流动状态,点划线表示燃料的流动状态。

[0350] 通过由设置于头部燃烧的内筒罩 8008 上的空气导入孔 8013 与燃料喷射管 8004 形成的间隙流入的空气沿着燃料喷射管流动,由于喷射流与空间部的压力差而产生向内外方向卷入而形成逆流的效果,在燃料喷射管的上游侧周围形成比较弱的涡流。这种涡流因来自燃烧室内筒 8005 外壁的空气喷射流形成的逆流成分而进一步增强。在上述空气的流动状态中,在通过燃料喷射管 8004 向第一级的空气导入孔 8010 的上游部 ($LA > LF$) 注入的场合,卷入涡流区域 A 的燃料多,燃料浓度增高。另外,在将燃料喷射位置设置在通过设置于燃烧室内筒外壁上的空气导入孔 8010 而流动的空气喷射流之后 ($LA < LF$) 的场合,则流入形成于燃料喷射管的上游侧的涡流区域 A 的燃料极少。很明显,该涡流区域的燃料浓度差对保持火焰稳定性及燃烧特性具有显著的影响。

[0351] 图 59、图 60 表示从燃料喷射管 8004 的内筒罩 8008 突出的突出长度 LF 与保持火焰稳定性及燃烧特性的关系的实验结果。就保持火焰稳定性的方向而言,虽然燃料喷射管的 LF 越短越好,但存在 NO_x 发生量增大的倾向。另外,若加长燃料喷射管,则虽然成为低 NO_x 化方向,但 CO 等未燃烧部分的排出量增加,保持火焰稳定性也降低。

[0352] 另一方面,就本燃烧器的结构而言,构成燃烧室的内筒圆锥体的长度成为除空气导入孔的位置等对燃烧特性具有大的影响之外的其它主要因素。

[0353] 首先,设置于燃烧室头部内筒罩上的空气导入孔在燃料喷射管的周围设有多个,

即使从燃烧室的内外方向的位置导入,也不会妨碍形成于内部的涡流区域。相反,只要是增强的措施都能充分地达到目的。特别在本结构中,第一级的空气导入孔的位置成为左右涡流区域大小、强度的因素,对保持火焰稳定性具有大的影响。图 61 表示的是在相对于形成燃烧室头部的内筒罩部的宽度 LC 的直到下游侧的第一级的空气导入孔的距离 LA 中,燃料喷射位置一定时的火焰的吹灭特性。在应用范围为 $LA/LC = 0.6 \sim 1.7$, $LA/LC < 0.6$ 的场合,有利于保持火焰稳定性的涡流区域缩小,尤其是由于来自周围的空气的流动引起的混合气的稀薄化及燃烧温度的降低等导致燃烧不稳定,在 0.5 以下时还不能开始点火。另外,若为 $LA/LC < 1.7$,则外表上涡流区域扩大,但形成局部死区,因该区域成为局部高温区而对低 NO_x 化方向是不利的。

[0354] 特别是本燃烧中的保持火焰稳定性的机构,由于从周围流入的空气的流动而从下游向上游卷入的燃烧生成物(高温气体)使在燃料喷射管的燃料喷射孔附近产生的火焰继续燃烧,对火焰的稳定化起着重要的作用。

[0355] 下面,对设置于内筒中央部的内筒圆锥体与燃料喷射管的突起部的长度进行说明。与没有内筒圆锥体的场合比较,由于内筒圆锥体的存在而成为在燃烧室中央部难以产生燃烧高温部的构造。再有,由于形成环状燃烧室,燃料的分散注入必然变得容易,其结果,可以促进从内筒壁面流入的空气和燃料的混合,可以在燃料比较稀薄一侧进行燃烧。因此,可以实现对未伴随极端的局部高温的发生的低 NO_x 化有利的缓慢燃烧。图 62 表示的是相对于燃料喷射管的最大突出长度 LF 的内筒圆锥体的长度 LB 与 NO_x 发生浓度的关系。若内筒圆锥体的长度 LB 增大,则 NO_x 生成量虽有减少的倾向,但若非常长,则在头部燃烧室侧附近空气流入量减少。因此,由于金属的温度上升与头部附近的内筒及内筒圆锥体部的壁面冷却性能降低相关联而在可靠性方面是不利的。另一方面,当内筒圆锥体的长度 LB 较短时,燃料与空气不能很好的混合,在燃烧过程阶段,由于在内筒的内外伴随着从环状燃烧室向圆筒燃烧室扩大变化而产生的压力差的增大而成为空气导入量较多的区域,在内筒圆锥体前端附近由于燃烧急剧地进行而呈现为 NO_x 生成量的增加。内筒圆锥体部的应用范围需要使用在 $LB/LF = 2.0 \sim 5.0$ 范围内。

[0356] 图 63 表示的是参考例的具有各部功能的燃烧室头部附近的空气流动状态的一个例子。在燃气轮机工作时的低负荷及高负荷燃烧中,总是将各空气导入量设定为进入到可燃燃烧范围内。相对于燃烧室内的一次燃烧区域的总空气量,最佳的分配方案是,设置在头部内筒罩上的空气导入孔的量为 $8 \sim 20\%$,在第一级的燃烧用空气导入孔的量为 $10 \sim 23\%$,设置在其下游侧的第二级及第三级的一次燃烧区域内的燃烧用空气量的比例为 $57 \sim 82\%$ 。特别是就本燃烧室头部而言,来自设置于内筒罩上的空气导入孔的空气和来自第一级的燃烧用空气导入孔的空气量的相互关系支配着形成于头部燃烧室的涡流区域的强度等。因此,在上述的下限值之外的场合,火焰稳定性能有主要由于涡流强度的降低而降低的危险。再有,在低负荷燃烧时有可能从理论混合比($\lambda = 1.0$)向燃料过剩方向转移,而在高负荷燃烧时则有可能进入燃烧范围外而不能良好的燃烧。另一方面,在达到上限值以上的场合,在高负荷燃烧时虽然由于接近理论混合比($\lambda = 1.0$)而没有其它问题,但在低负荷燃烧时则由于处于燃料比较稀薄侧燃烧的状态而使火焰不能保持稳定。因此,燃烧时,需要通过上述空气量的分配来进行工作。

[0357] 以上,对本参考例的各要素的特性进行了叙述,下面对作为本燃烧器的结构中最

重要的燃料供给机构进行说明。首先,当对上述参考例进行说明时,则其构成如下:保持火焰稳定性用的短的燃料喷射管突起到第一级的燃烧用空气导入孔附近,以燃烧为主体的燃料喷射管具有由第一级的空气导入孔的位置起的长度的 1.5 倍的长度,以与保持火焰稳定性用的突起部的长度大体相同的间距向环状方向将与保持火焰稳定性用和燃烧用的燃料喷射管交替排列,各喷射管的燃料喷射方向导入为与燃烧室轴线基本上垂直的方向。就该燃烧方式的燃烧形式而言,由于火焰稳定部的火焰与燃烧用的火焰在燃烧室内离开轴向及环状方向形成,因而能够利用火焰分散效果在接近低 NO_x 化燃烧的均匀低温方向燃烧。作为有效地进行这种燃烧形式的方法,使燃料的轴向及环状方向间隔更密(燃料喷射管的多级化)虽然也能得到良好的性能,但受到燃烧器的大小等形状的制约。进而由于火焰的干涉而形成局部高温化等。

[0358] 此外,就减少燃料喷射管的数量方向而言,燃料的分散效果丧失,不能进行低 NO_x 化方向的燃烧。因此,如本参考例所示,在对于从燃烧室头部流入的空气与来自第一级的燃烧用空气导入孔的空气量的区域内在轴向具有分成 3 ~ 4 级的导入机构,而且在环状方向的排列尽可能以决不干涉火焰的间隔构成。

[0359] 图 64 表示的是在单一的燃料喷射管 4C 上具有稳定火焰用及燃烧用的燃料喷射管 8004d 及 8004e 的结构。图 65(a) 及图 65(b) 表示的是使燃料喷射管 8004f、8004g 及 8004h、8004i 从内筒侧或内筒圆锥体侧突起的情况的应用例子。

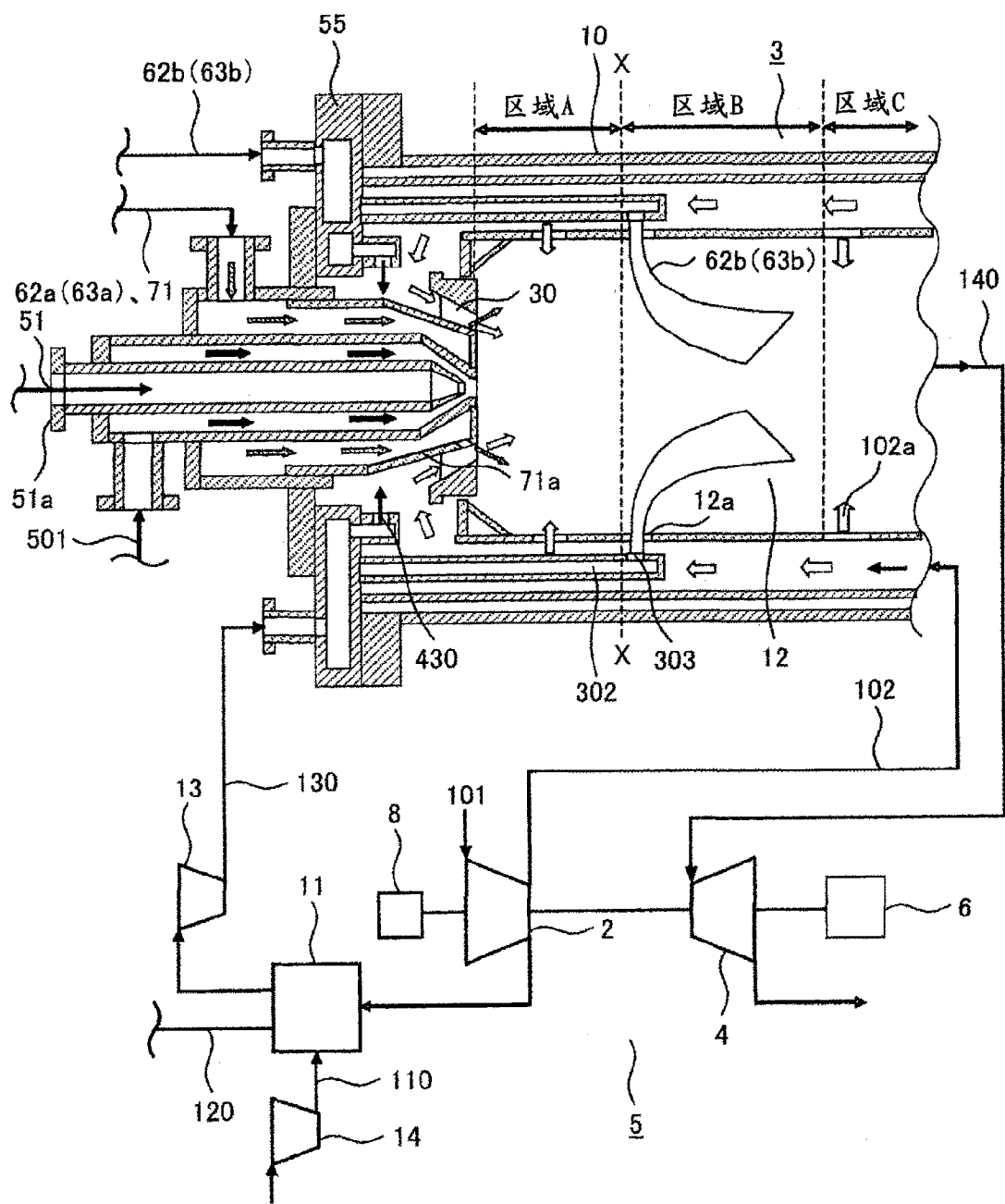


图 1

X-X剖面

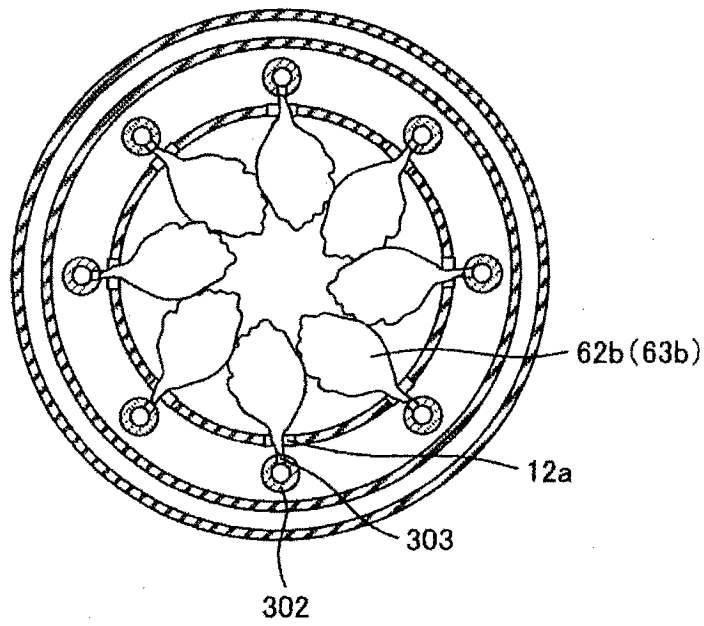


图 2

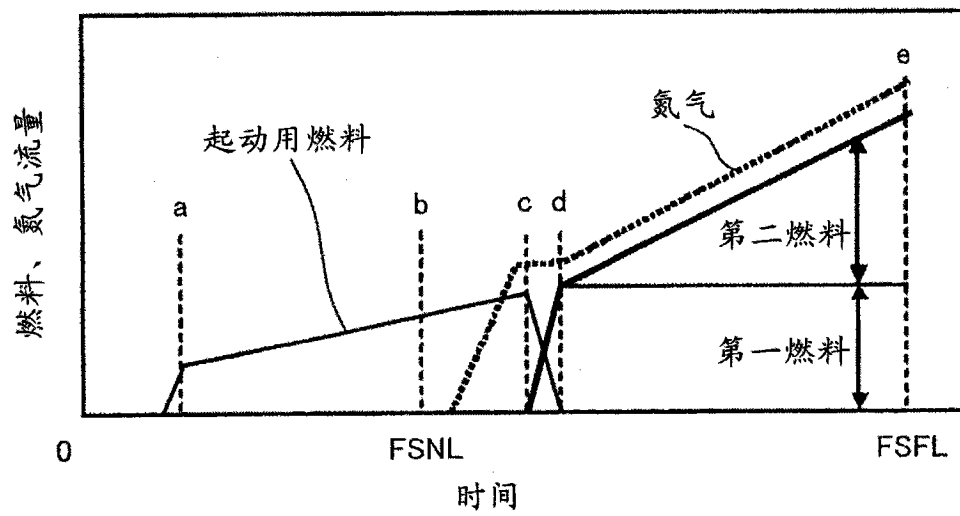


图 3

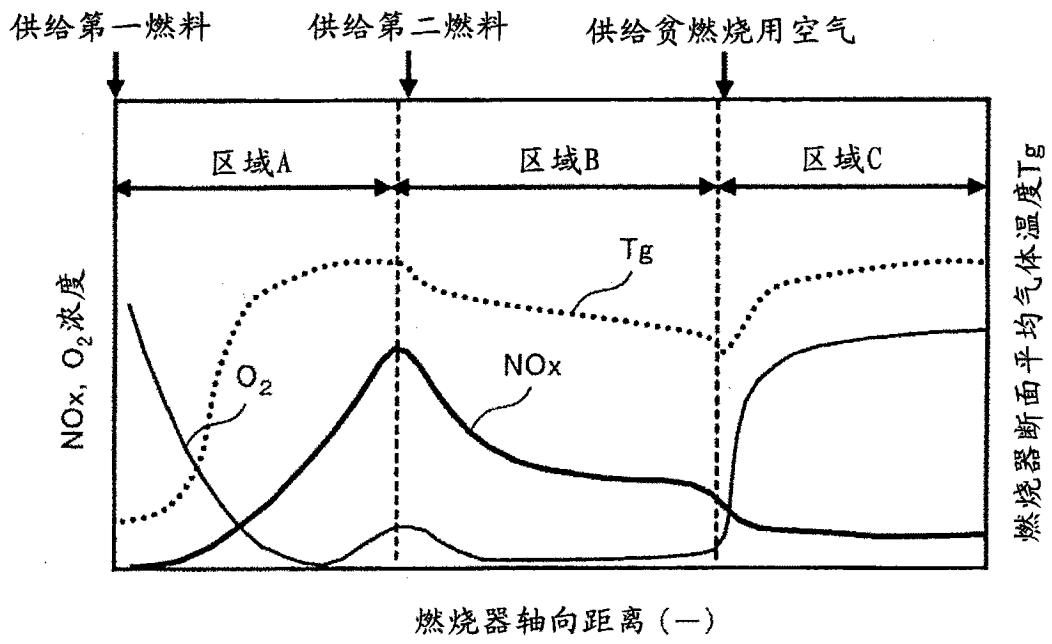


图 4

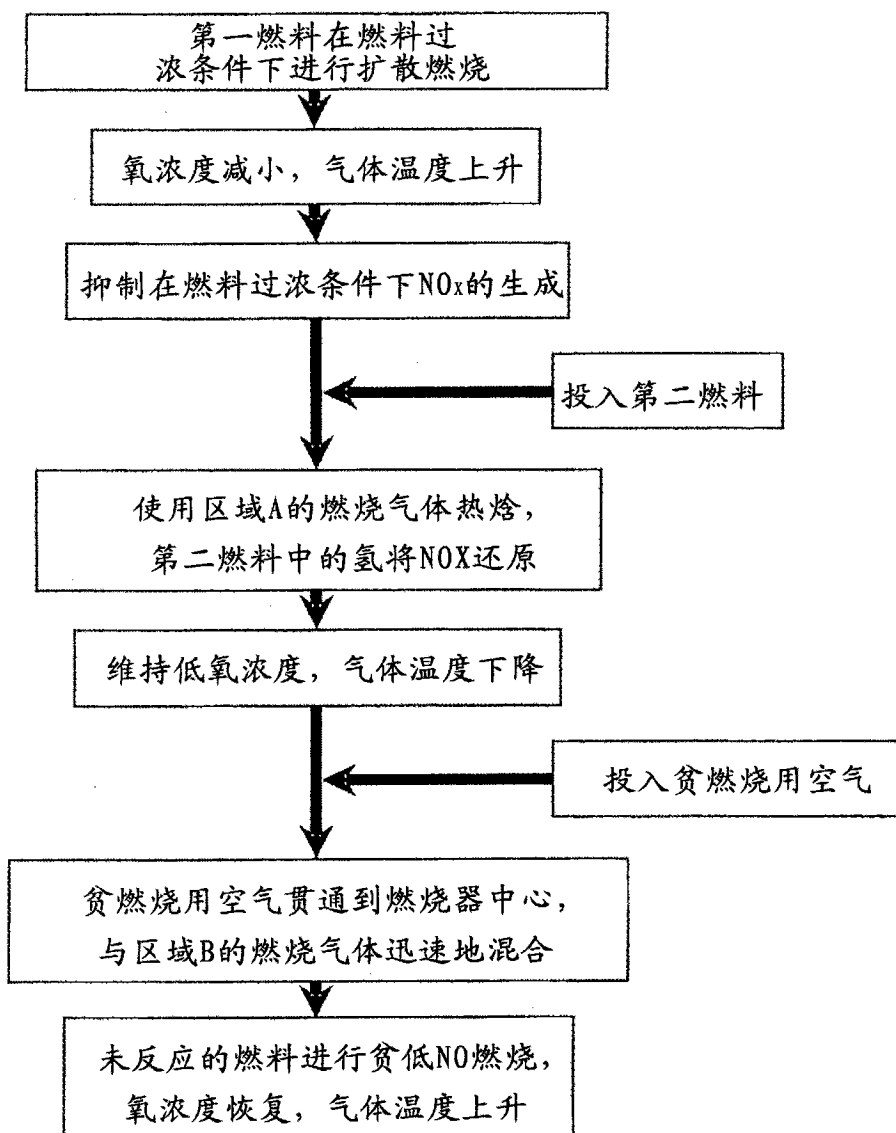


图 5

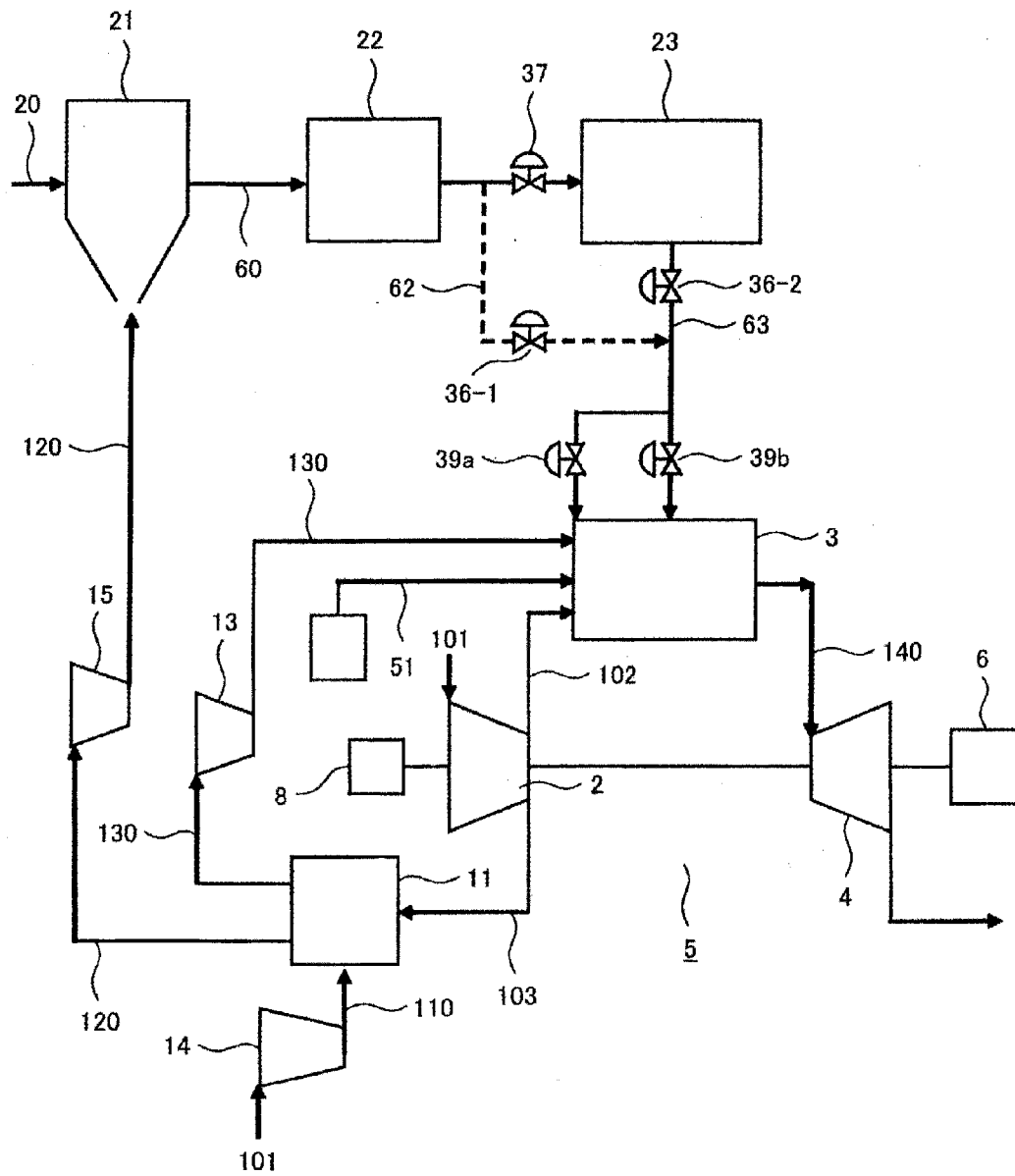


图 6

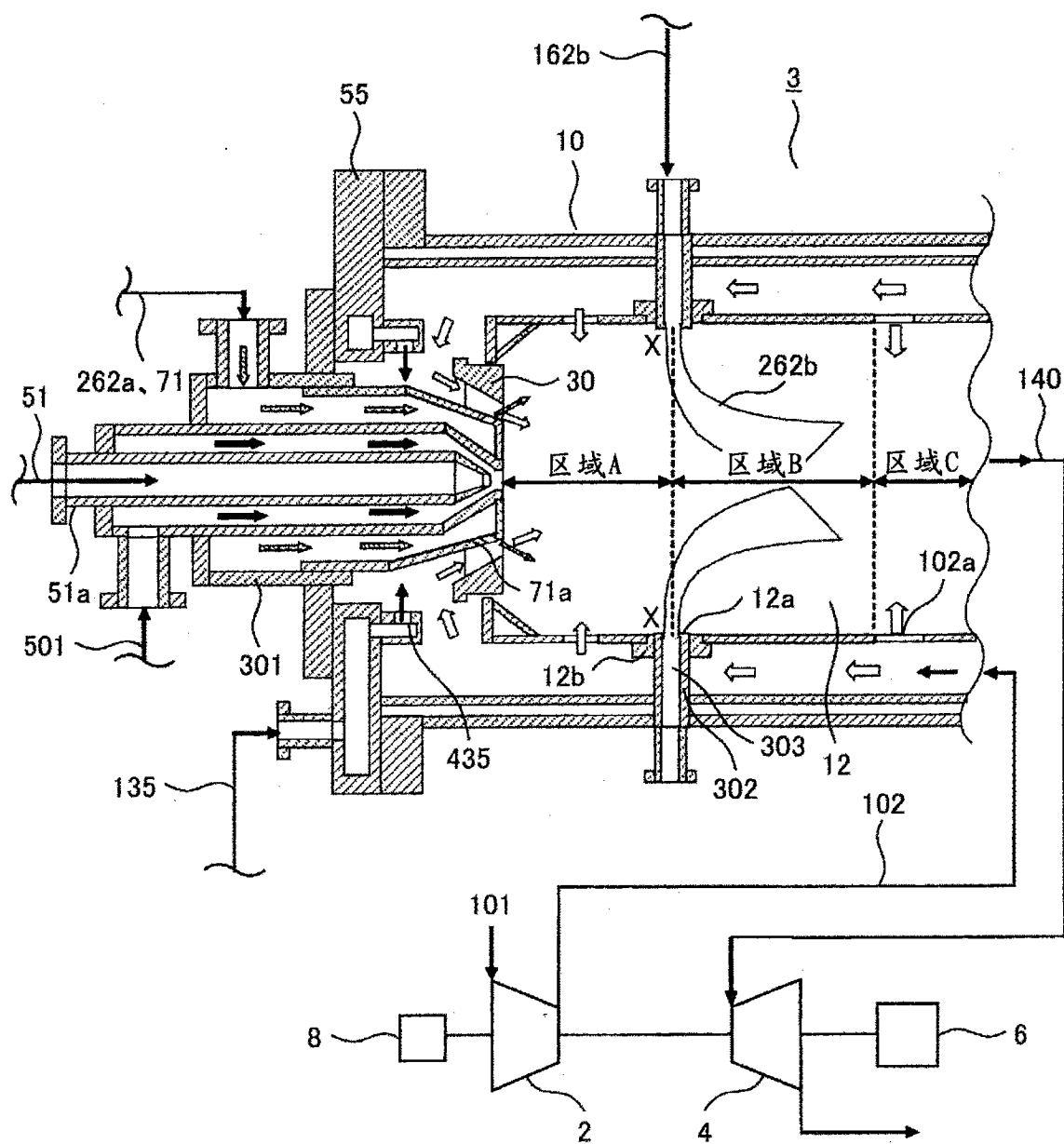


图 7

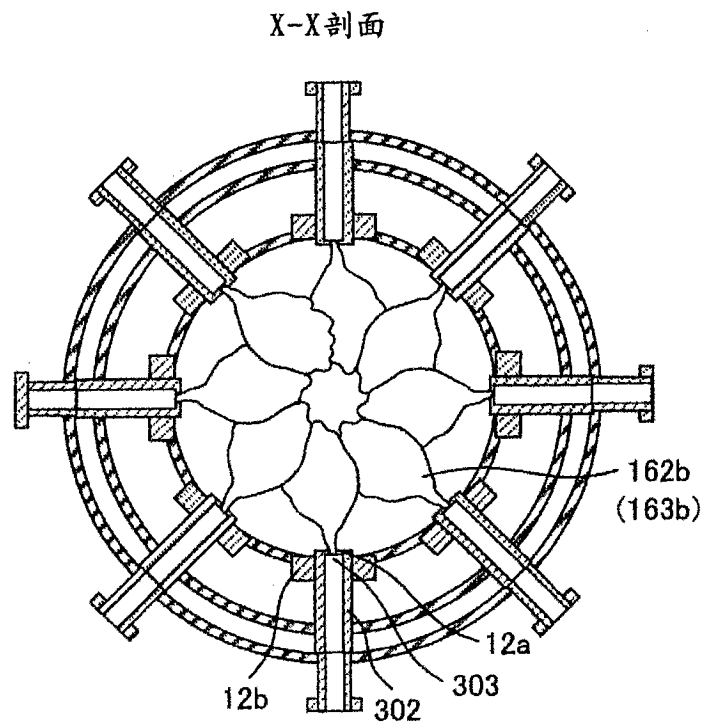


图 8

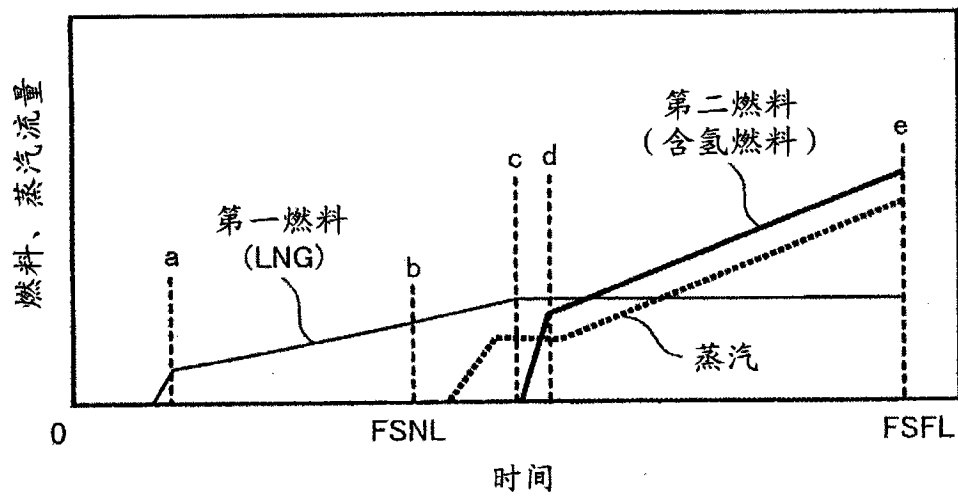


图 9

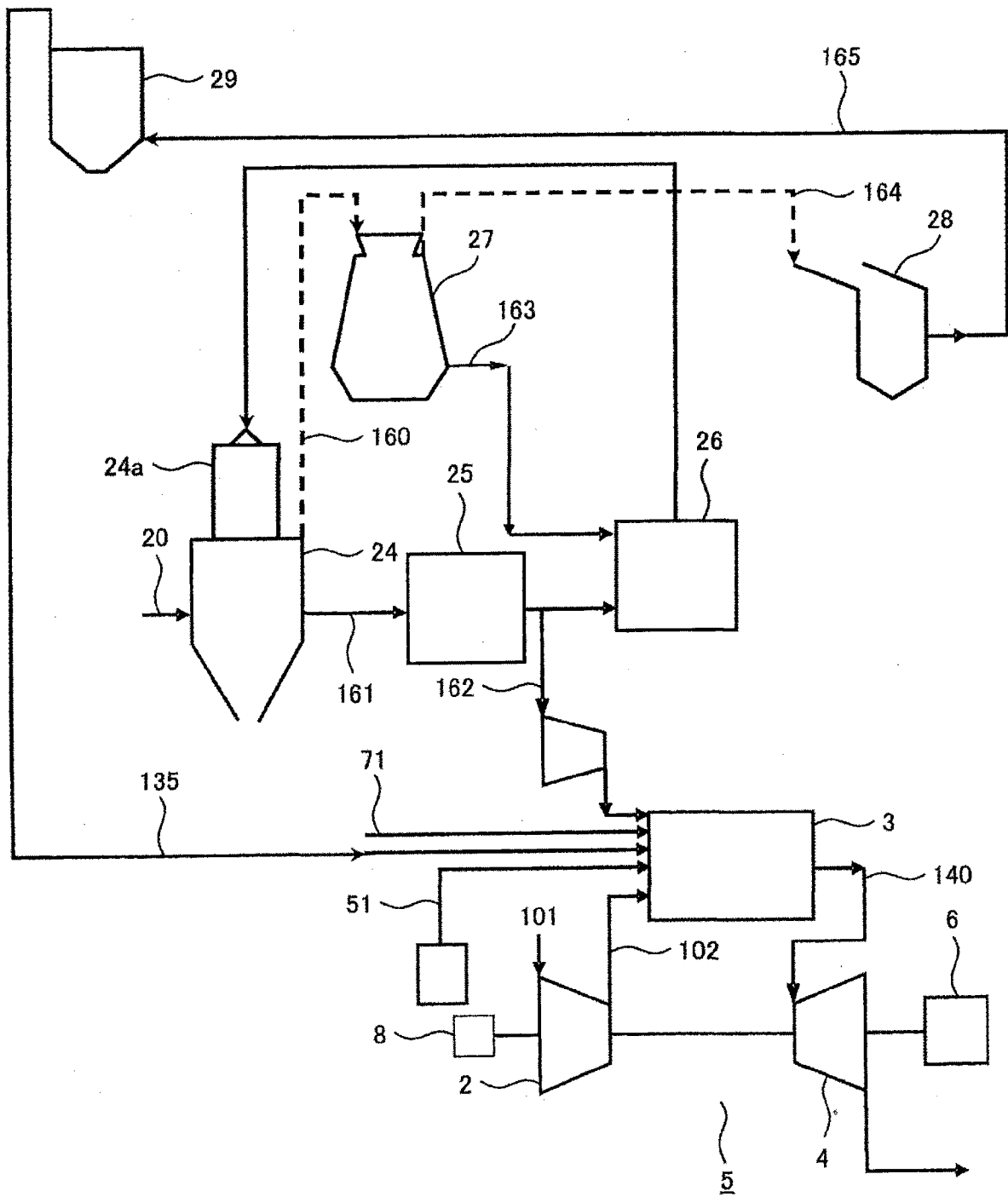


图 10

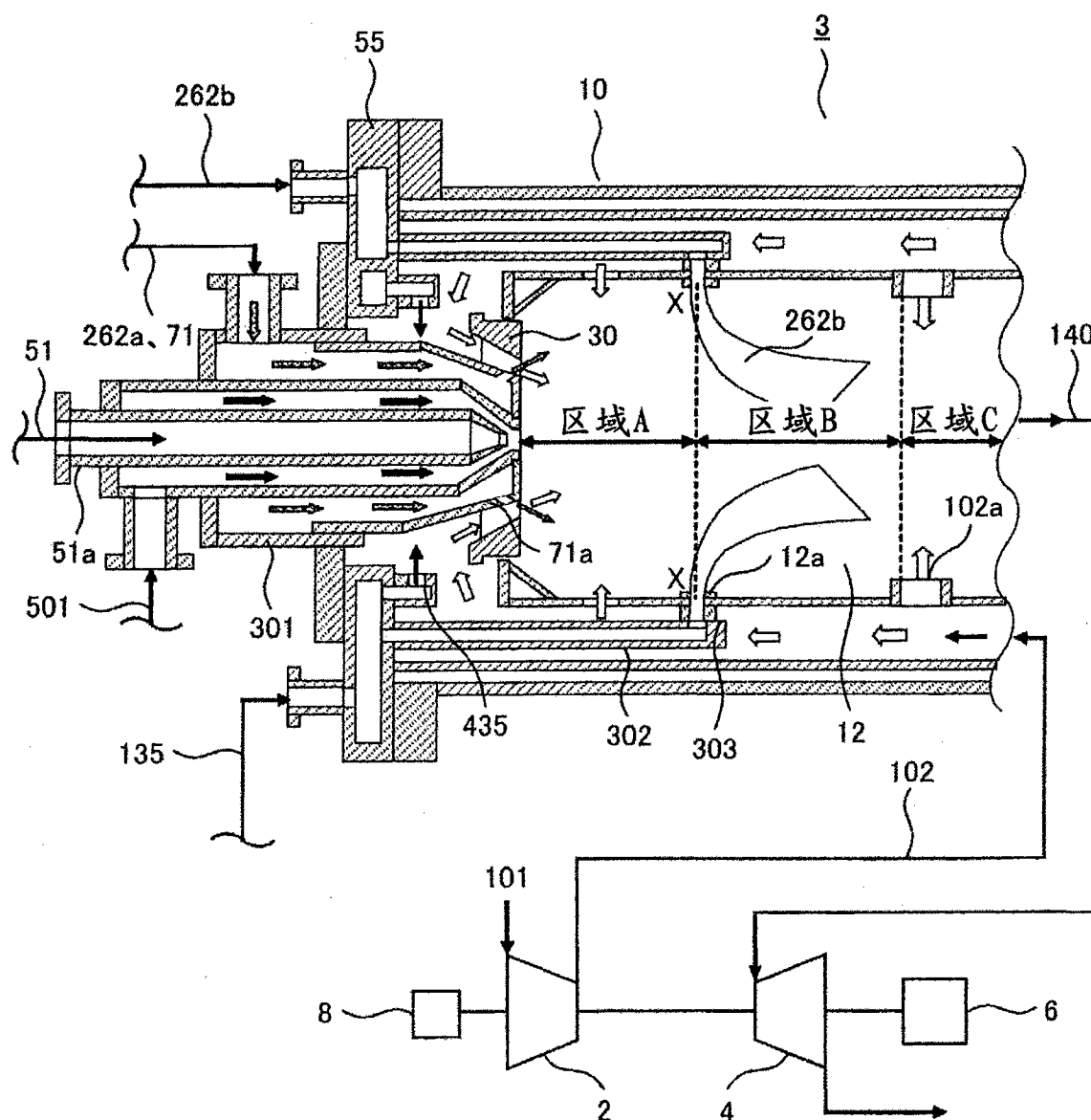


图 11

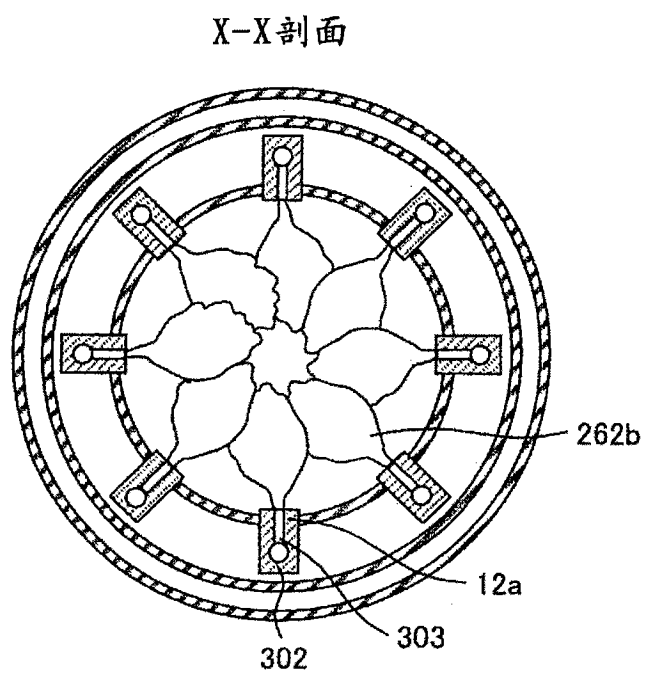


图 12

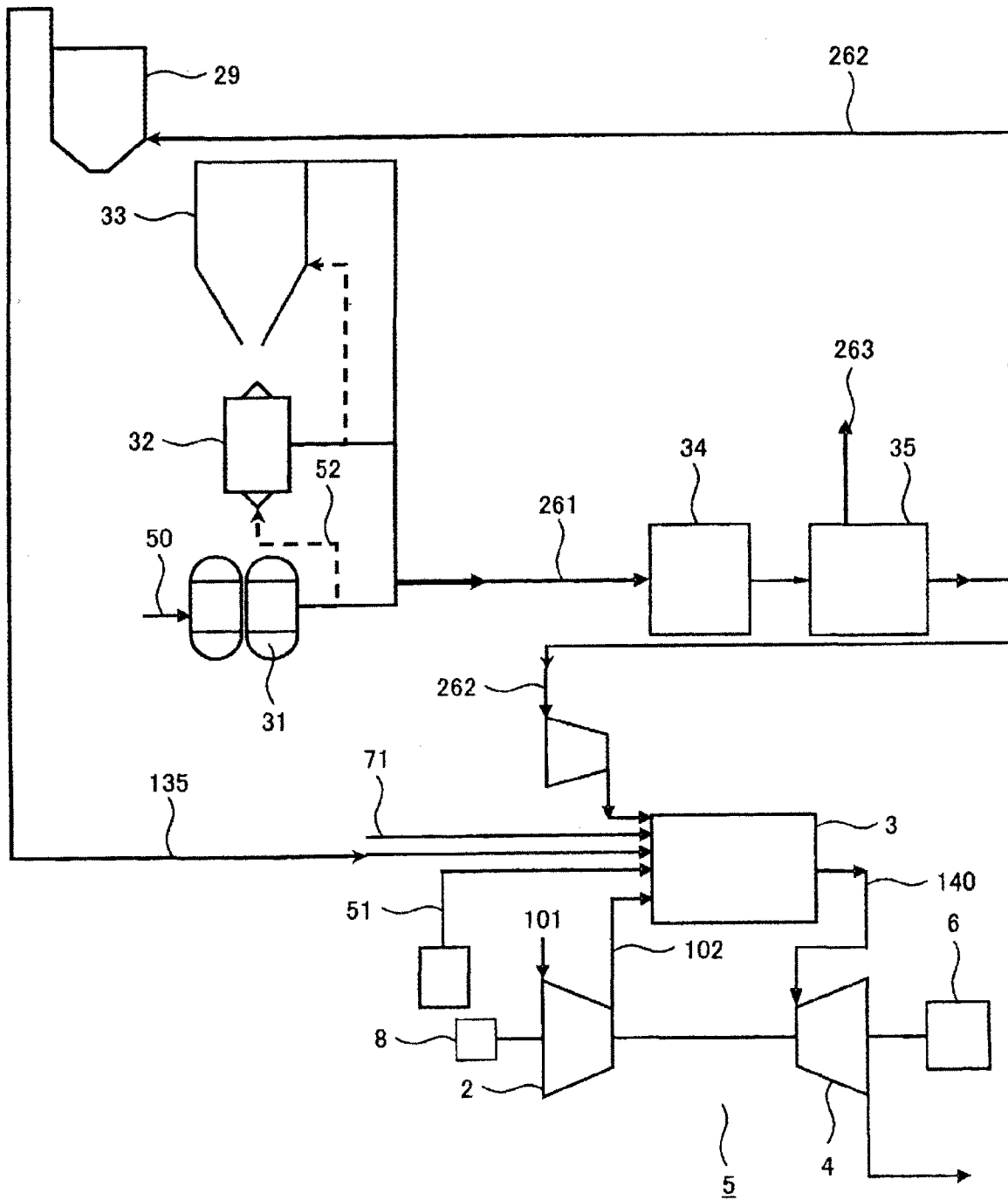


图 13

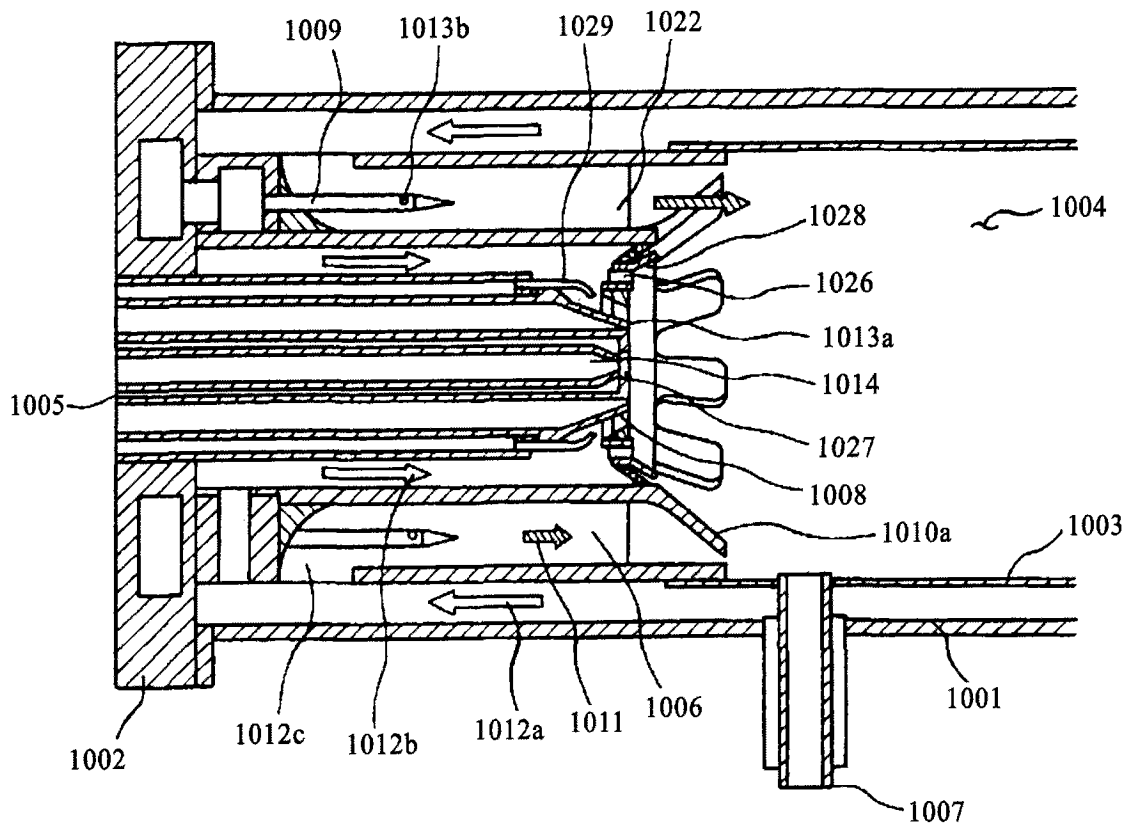


图 14

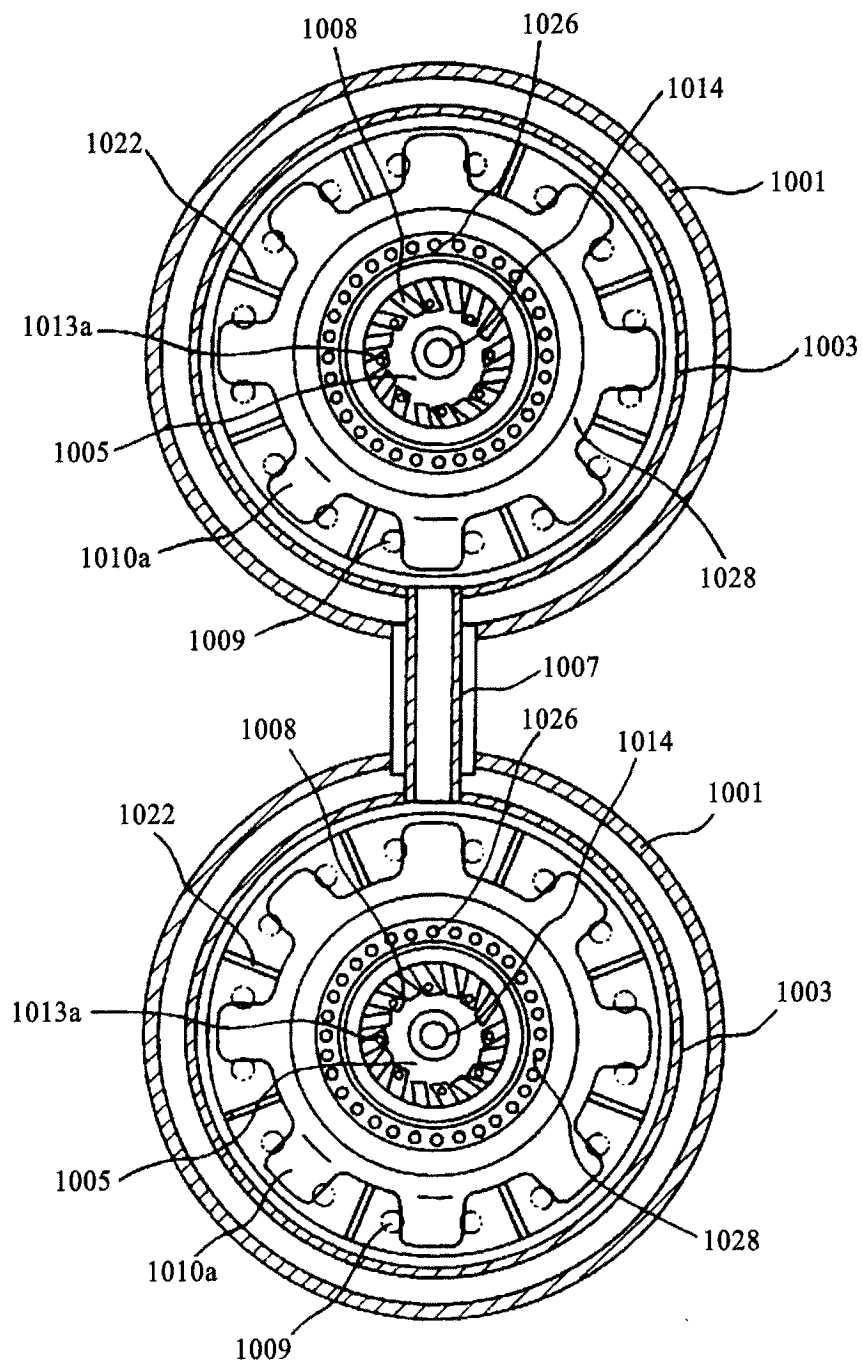


图 15

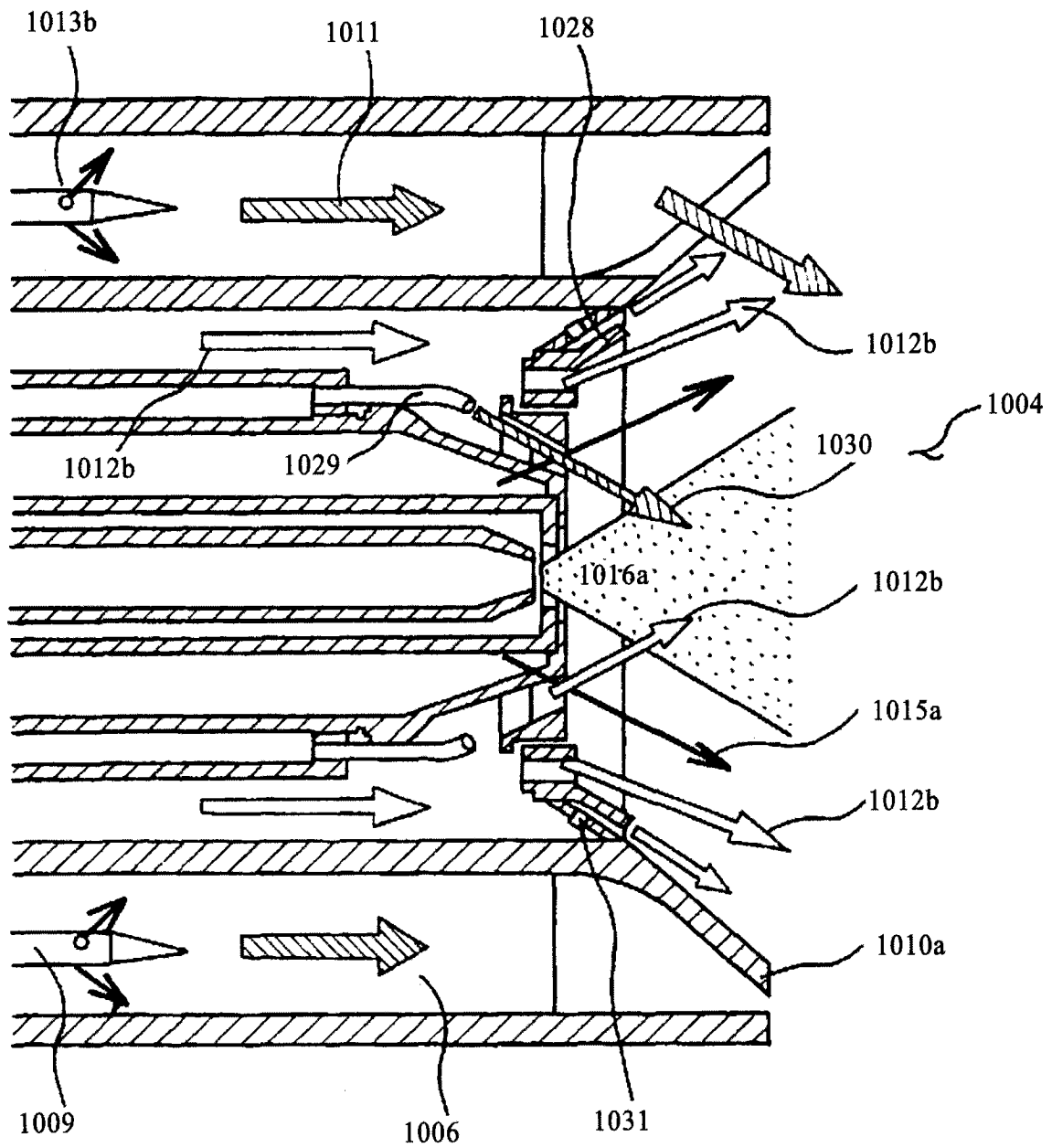


图 16

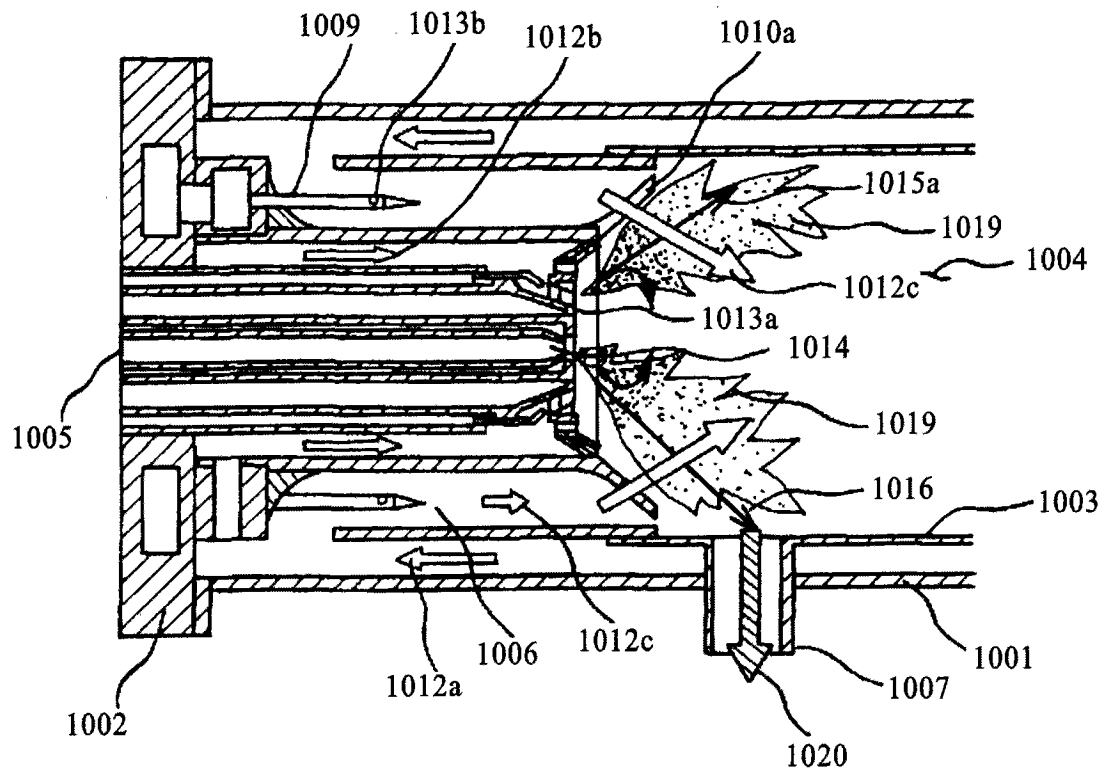


图 17

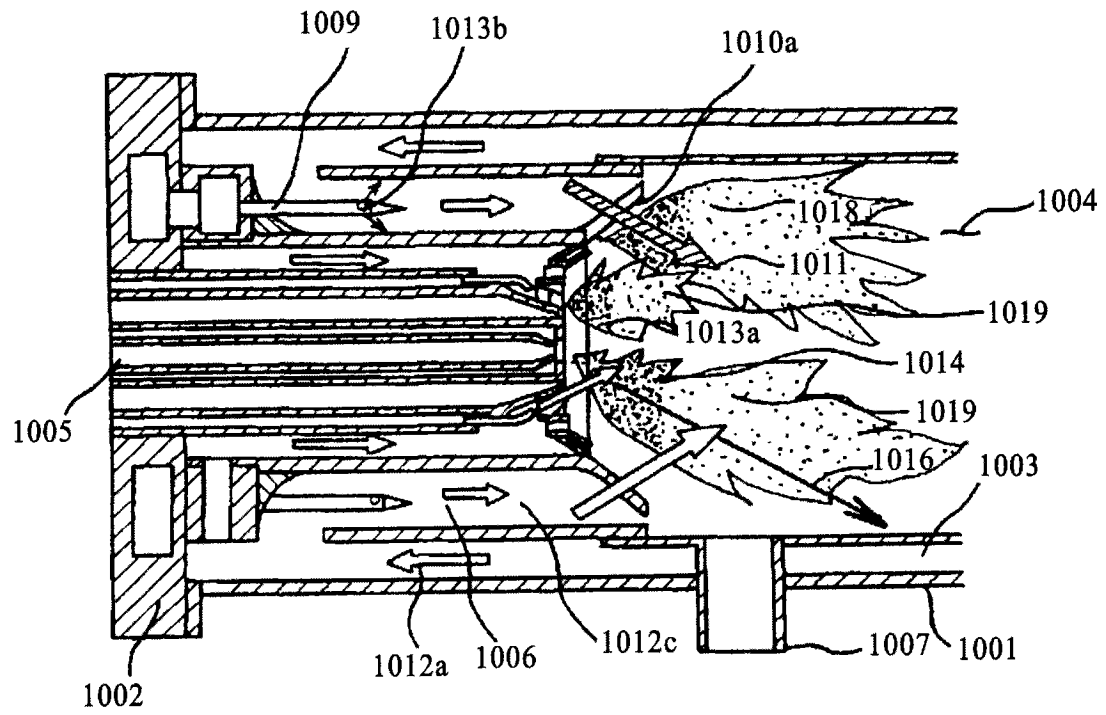


图 18

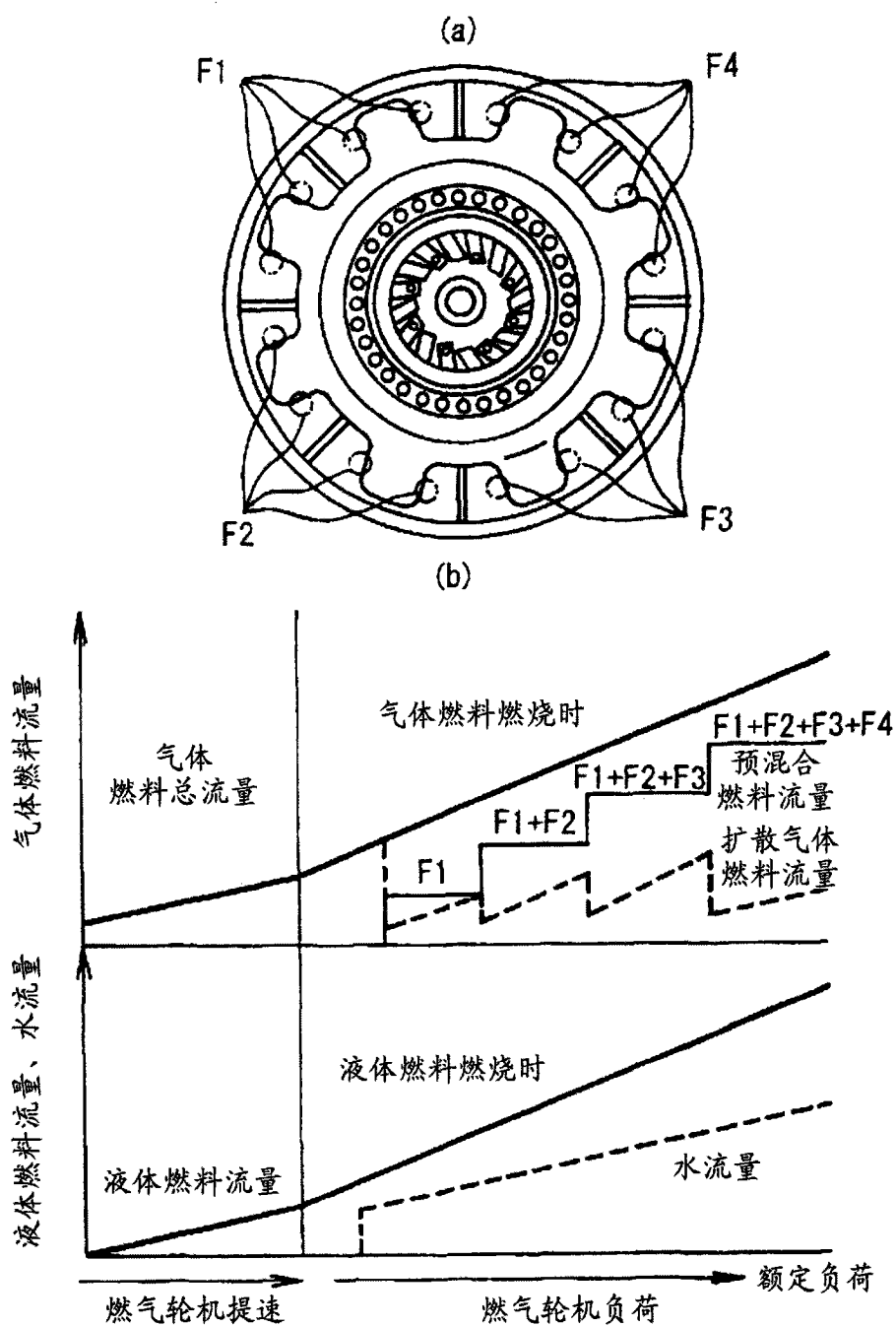


图 19

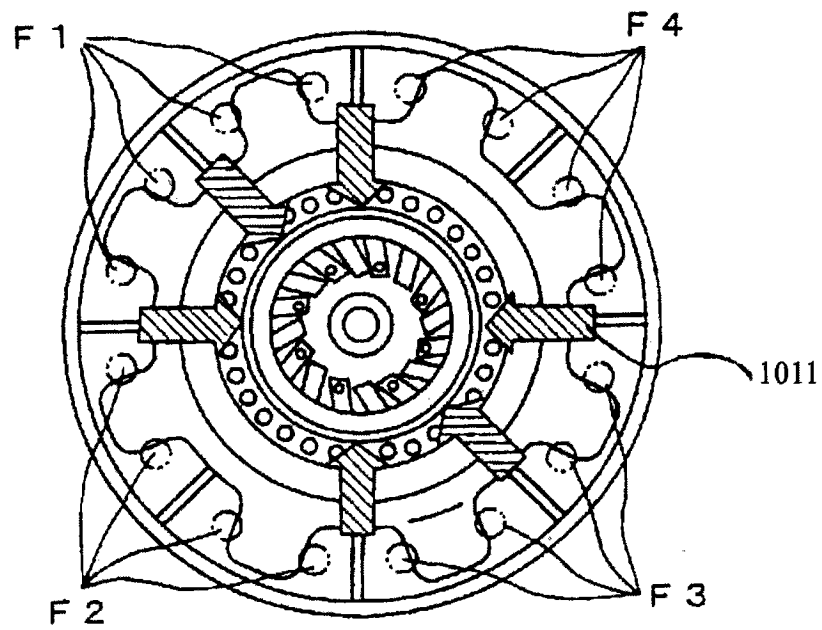


图 20

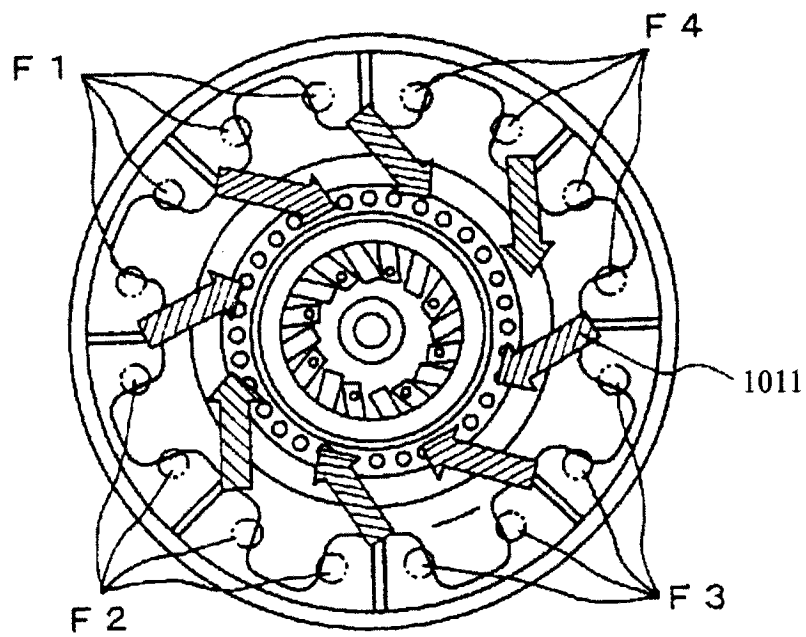


图 21

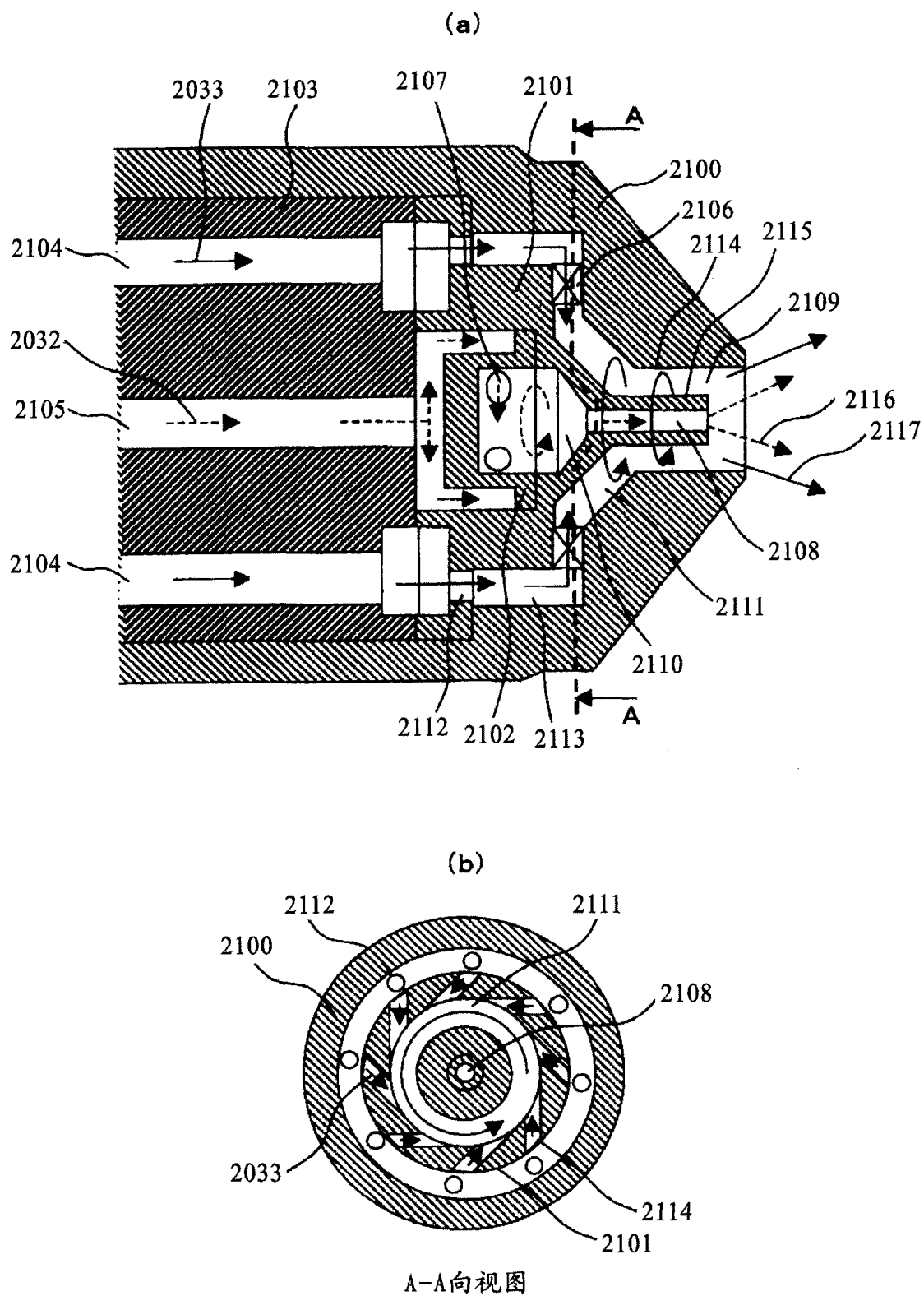


图 22

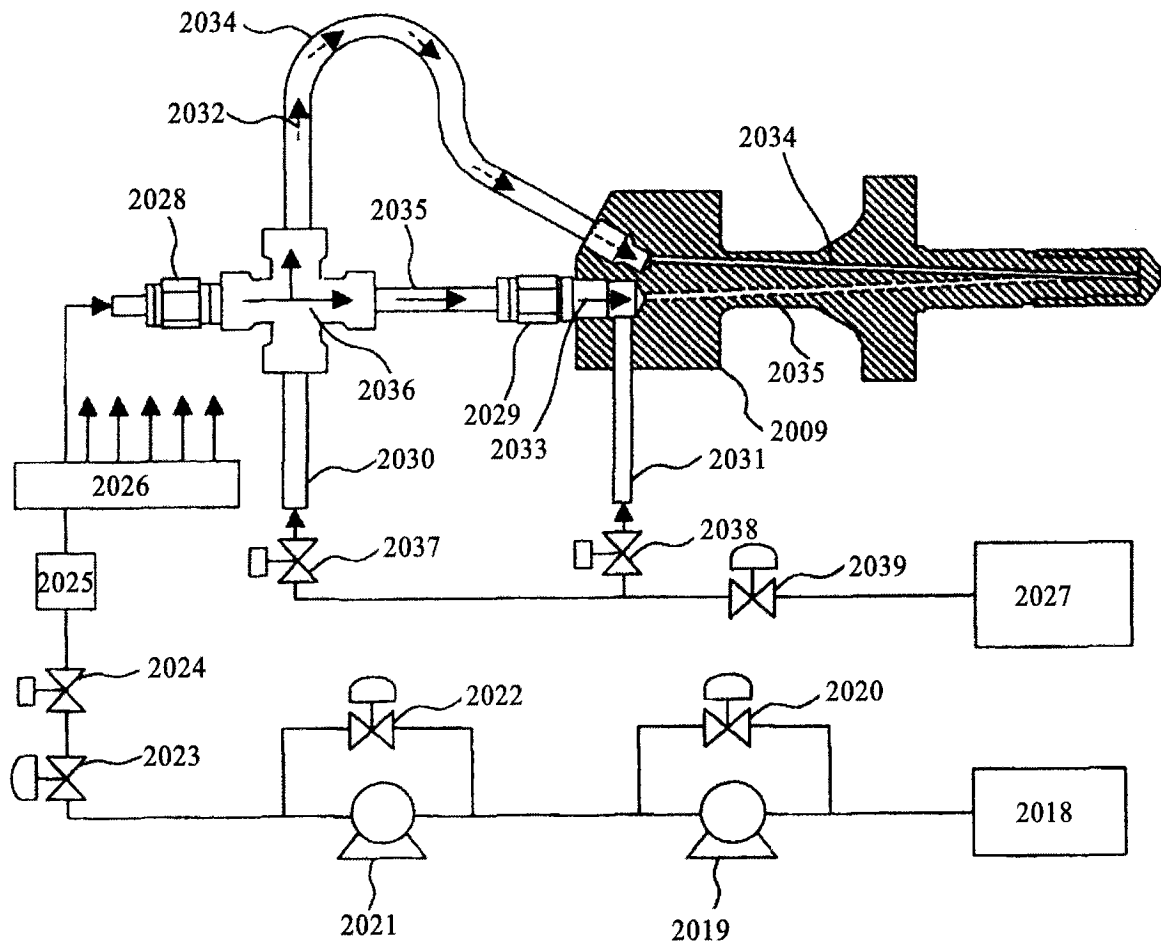


图 23

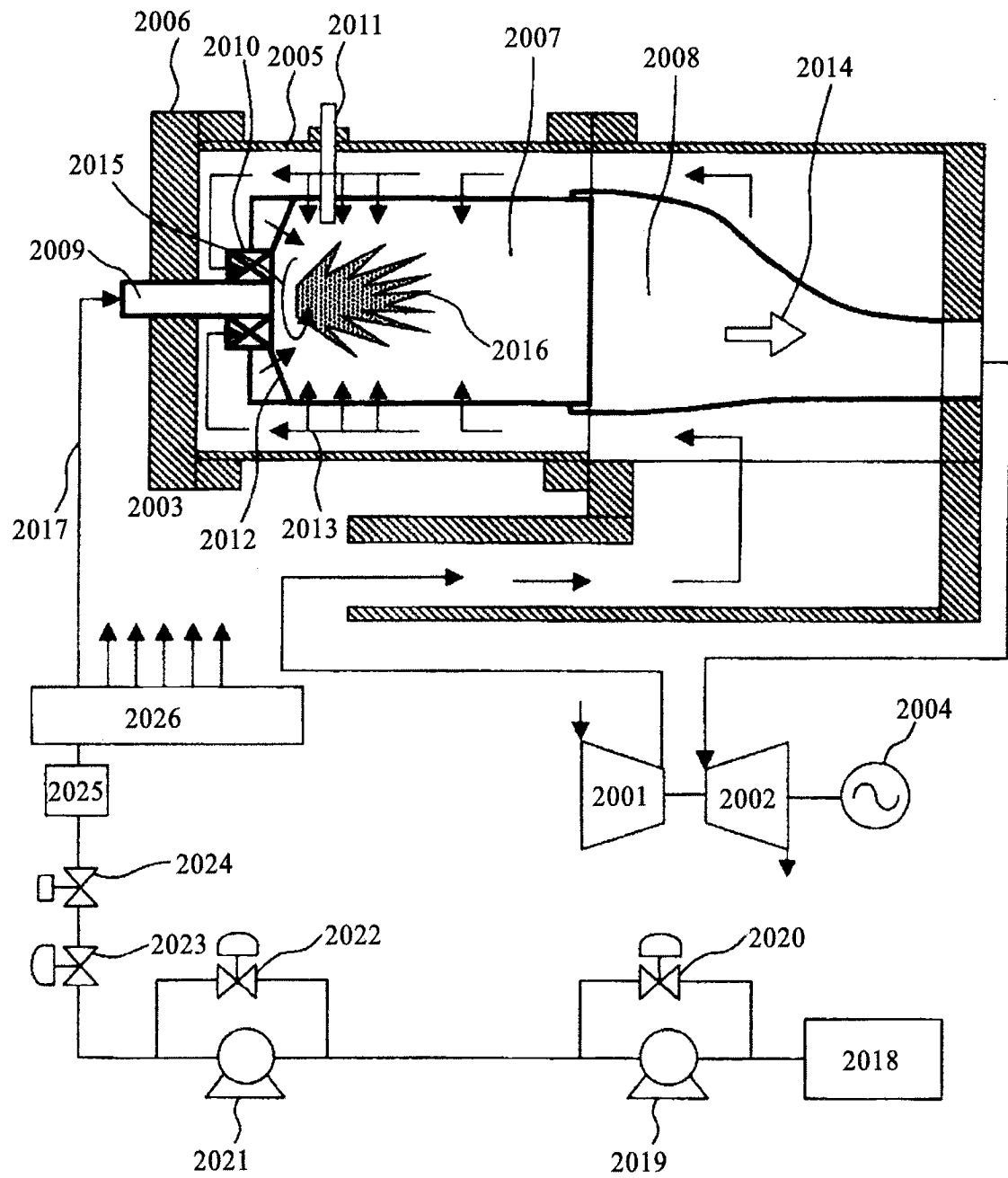


图 24

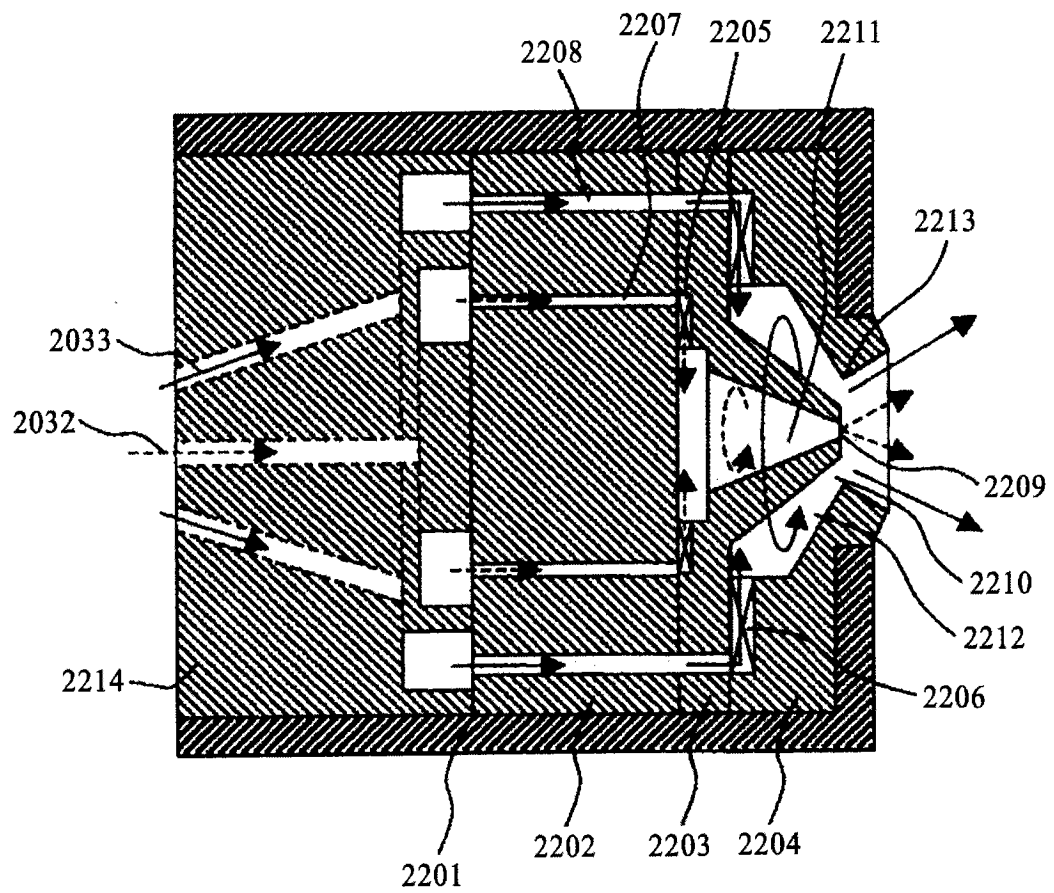


图 25

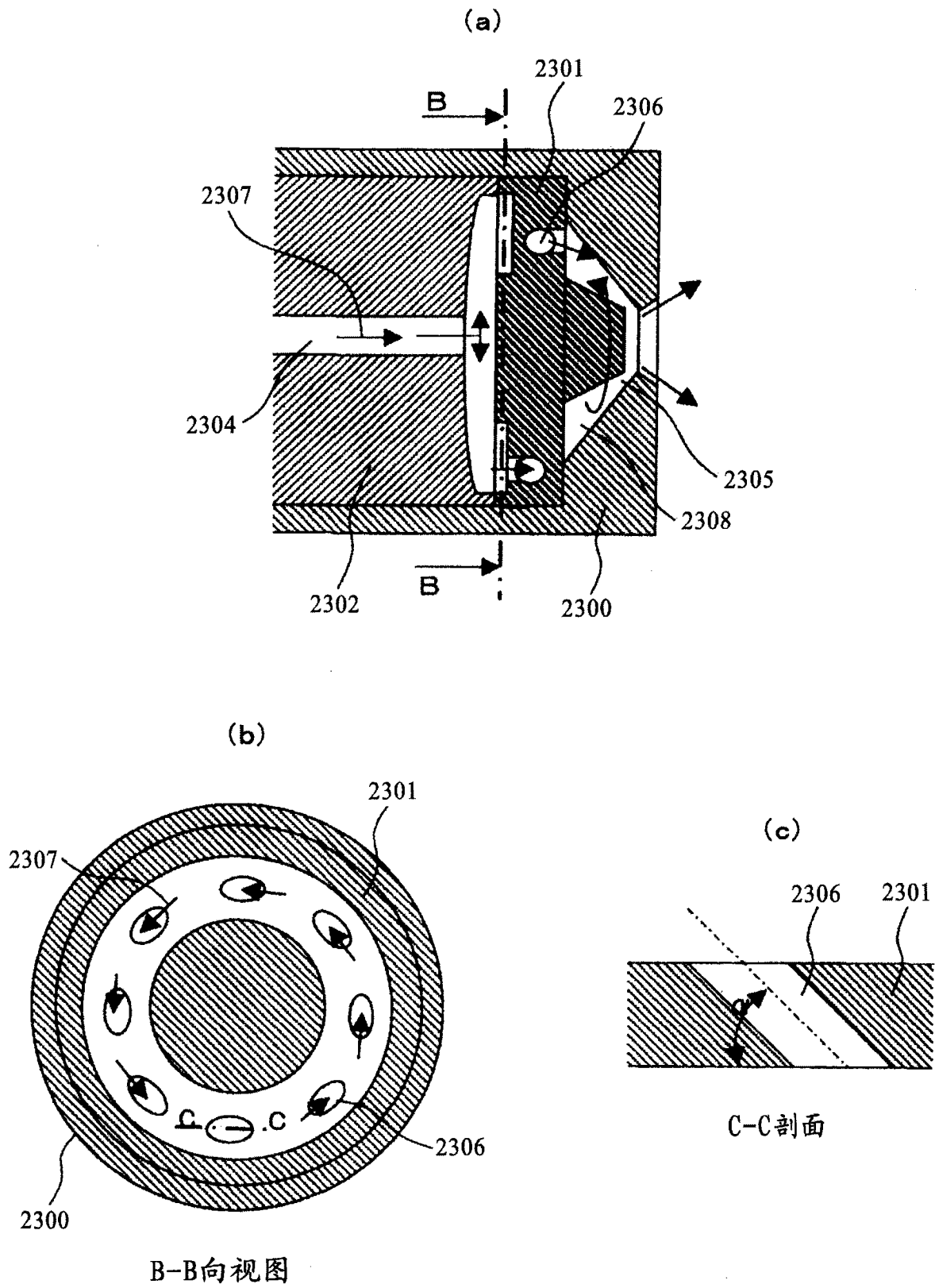


图 26

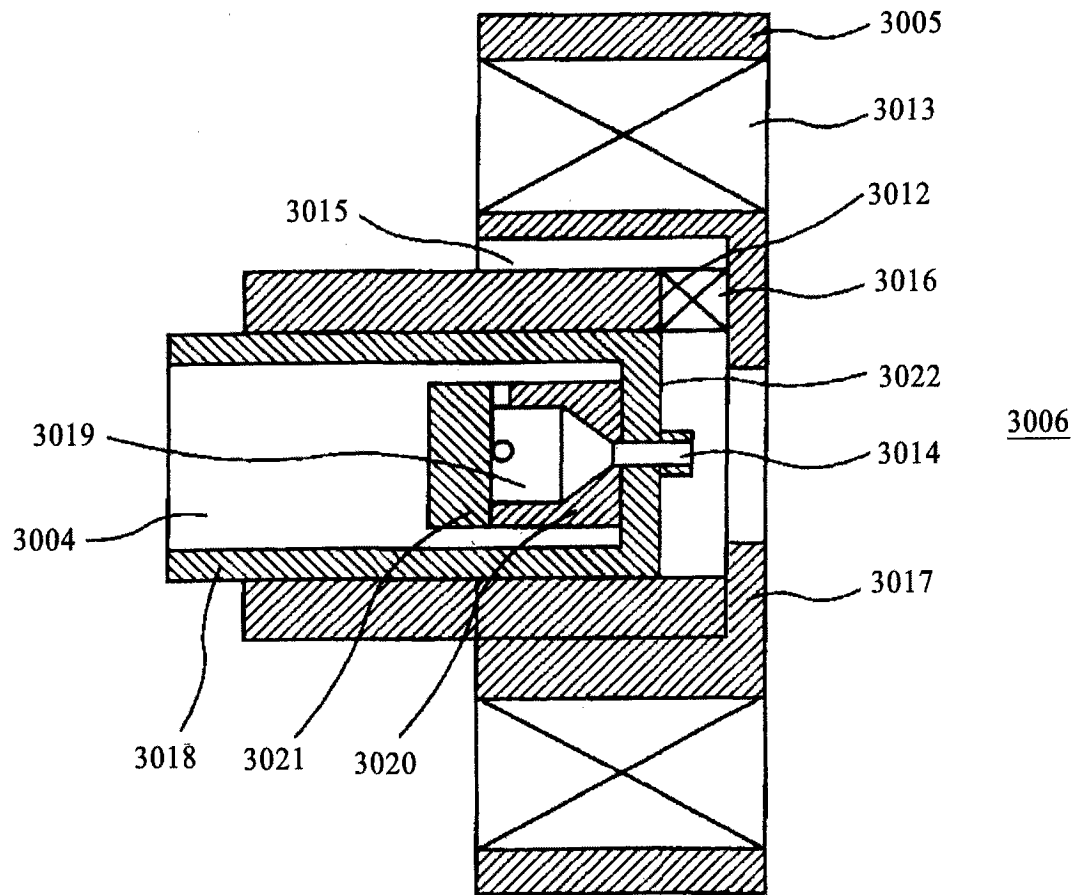


图 27

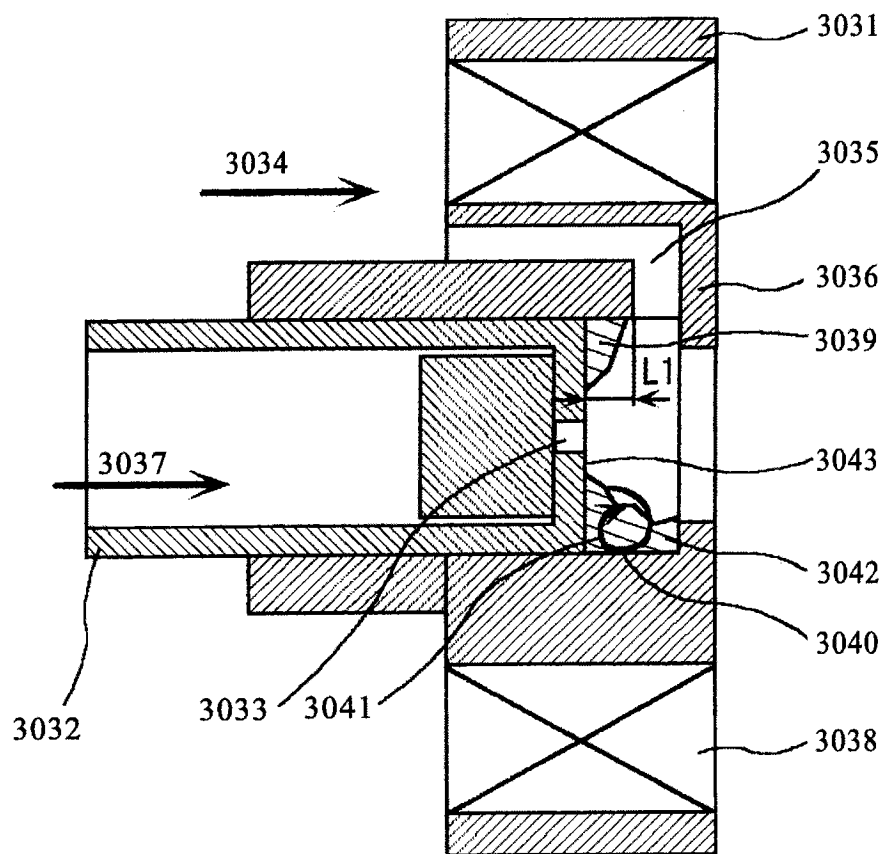


图 28

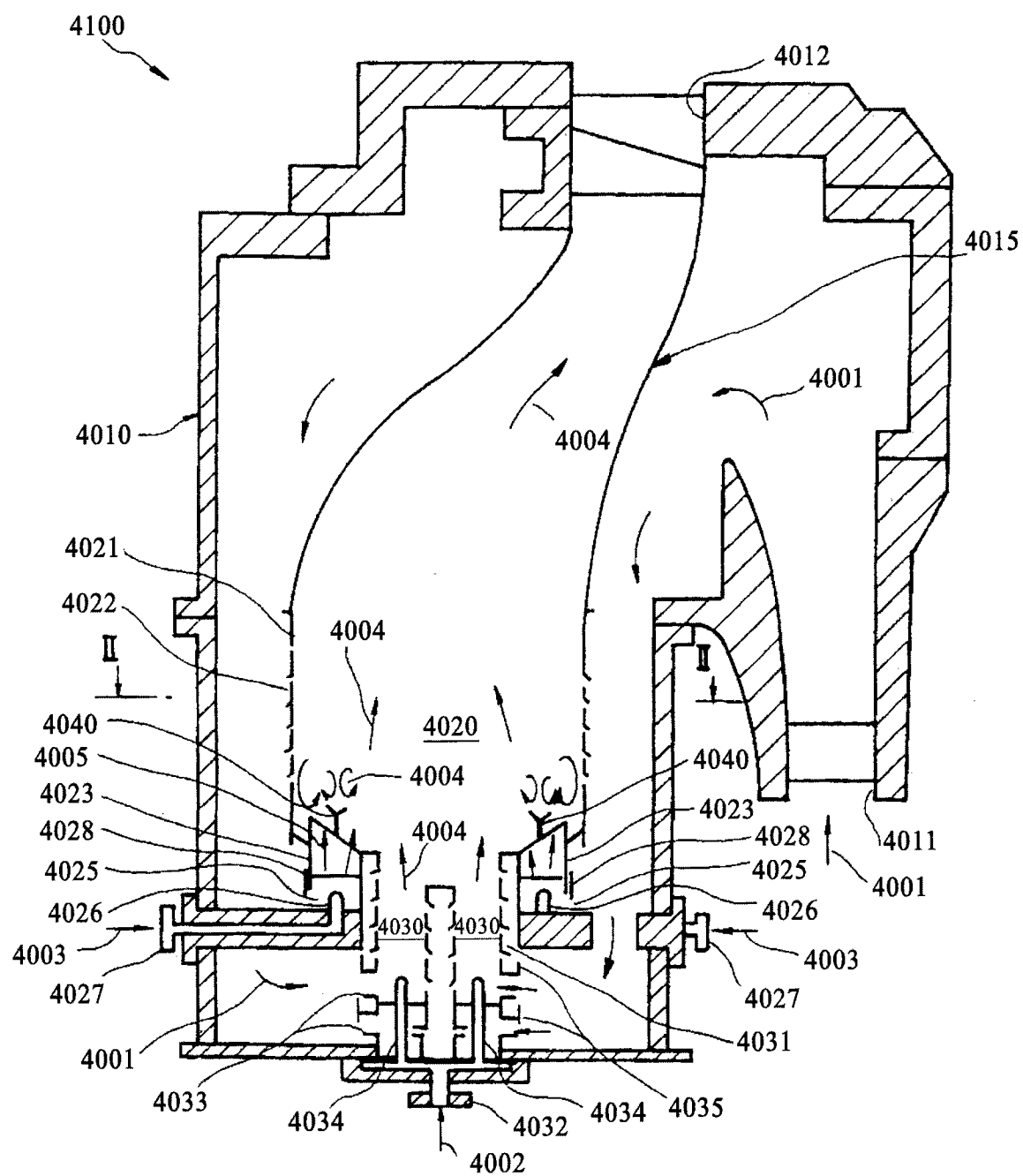


图 29

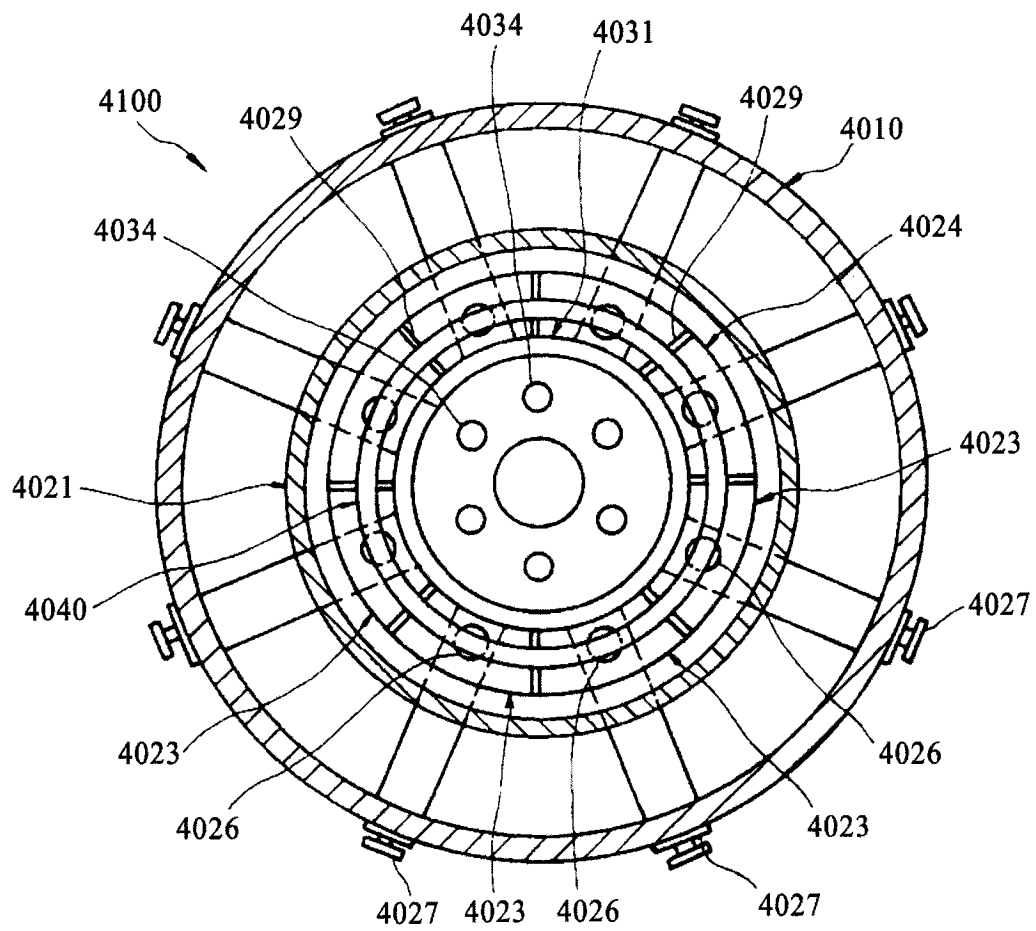


图 30

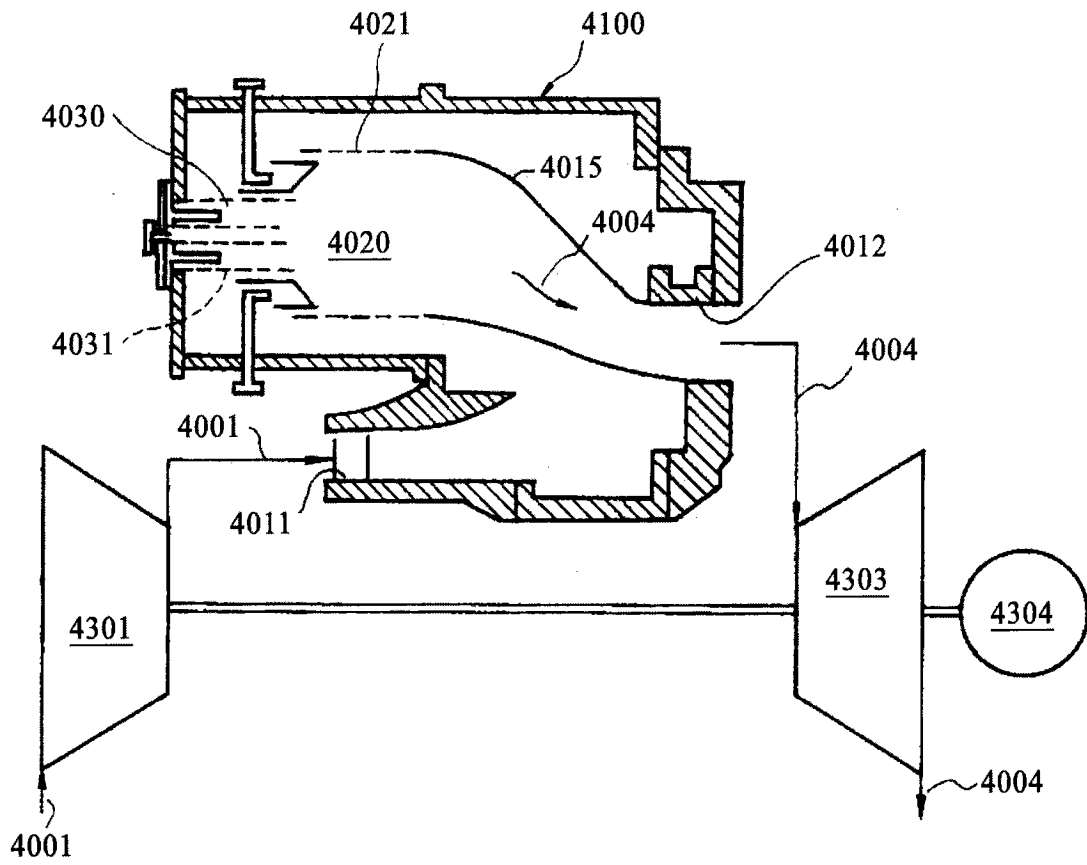


图 32

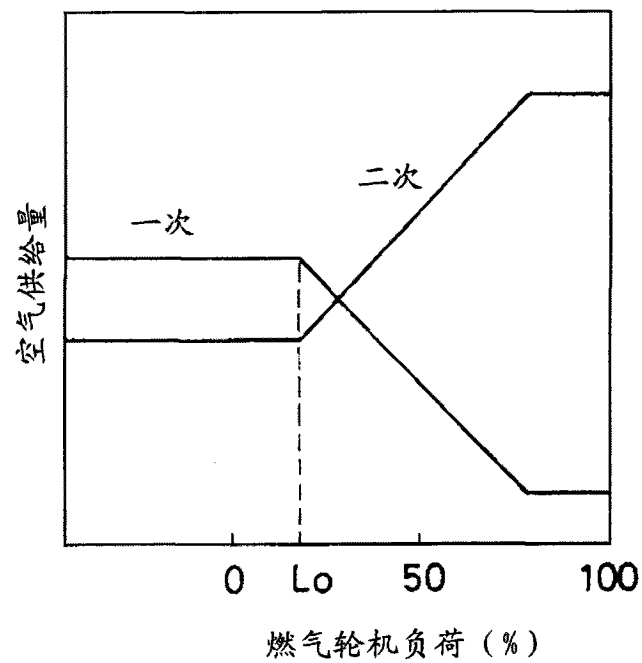


图 33

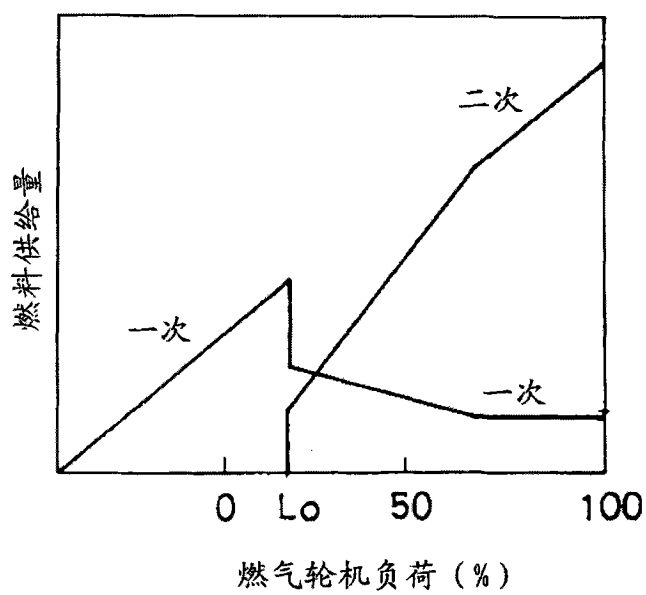


图 34

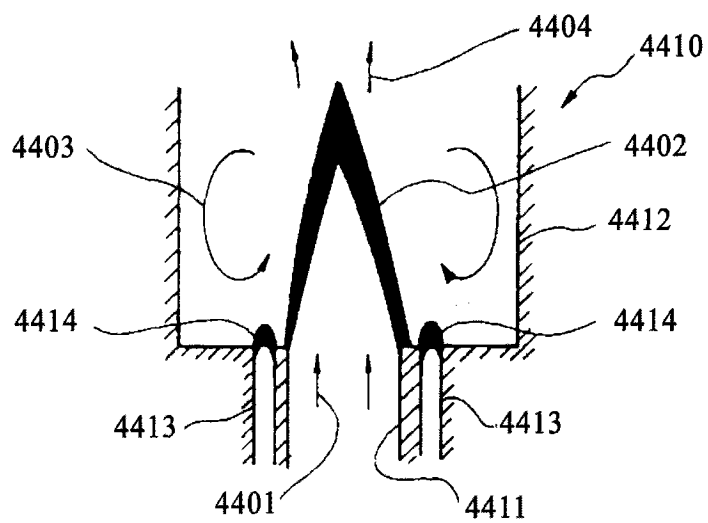


图 35

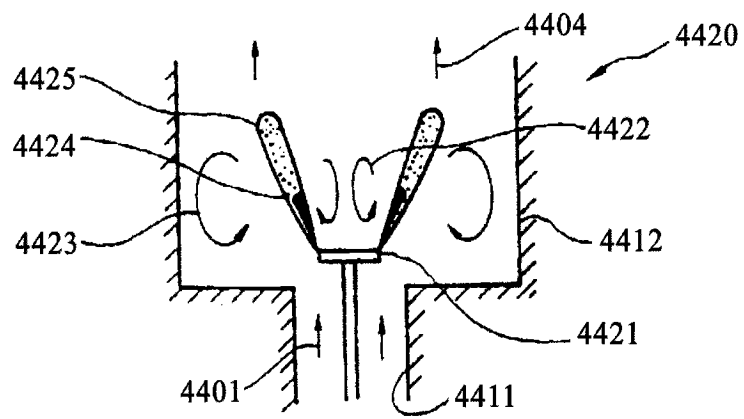


图 36

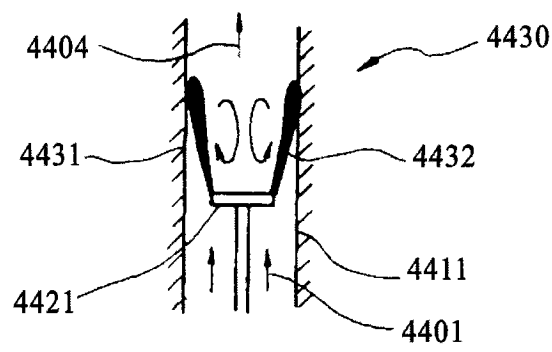


图 37

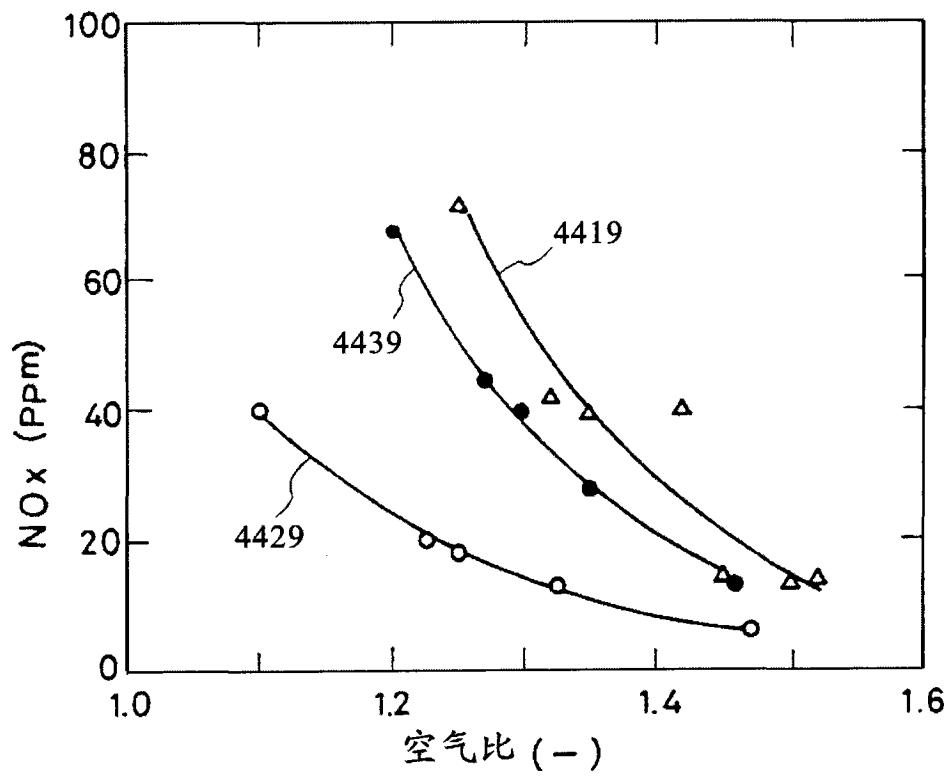


图 38

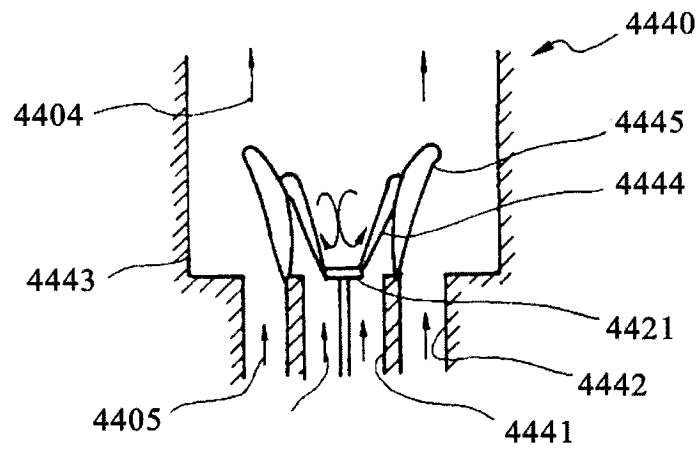


图 39

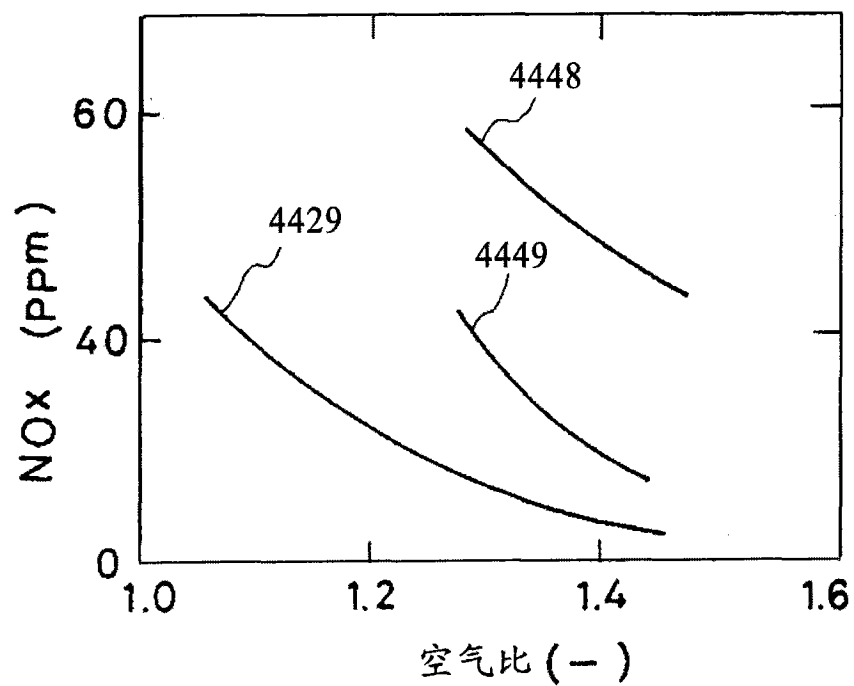


图 40

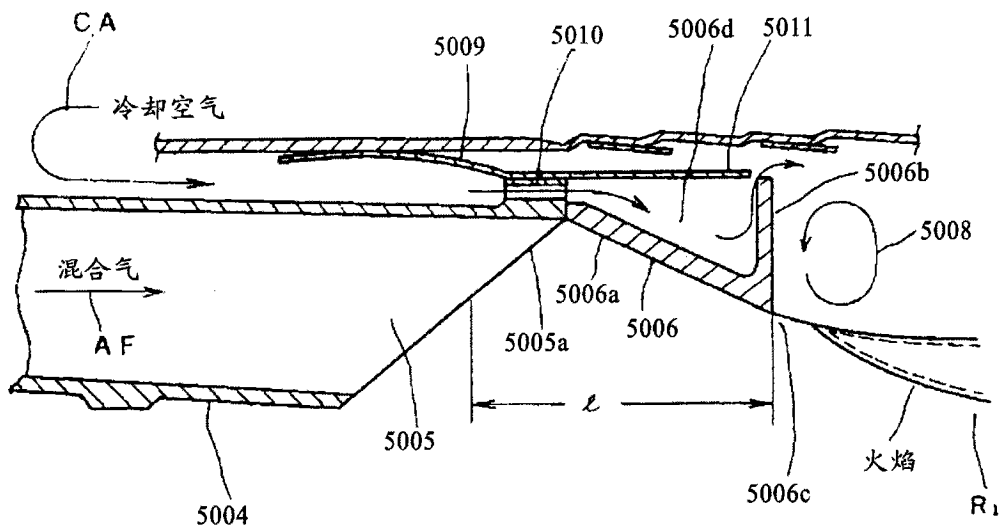


图 41

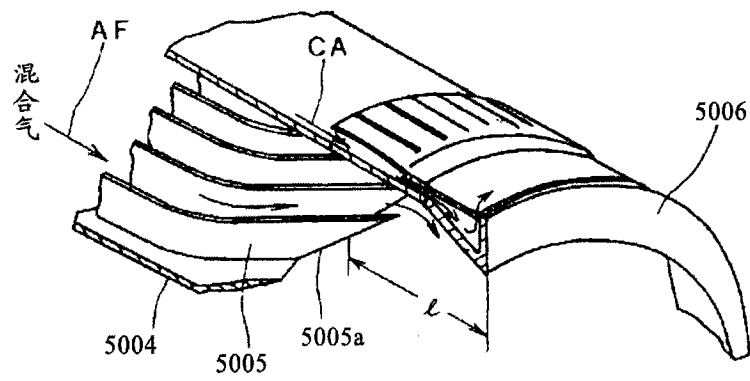


图 42

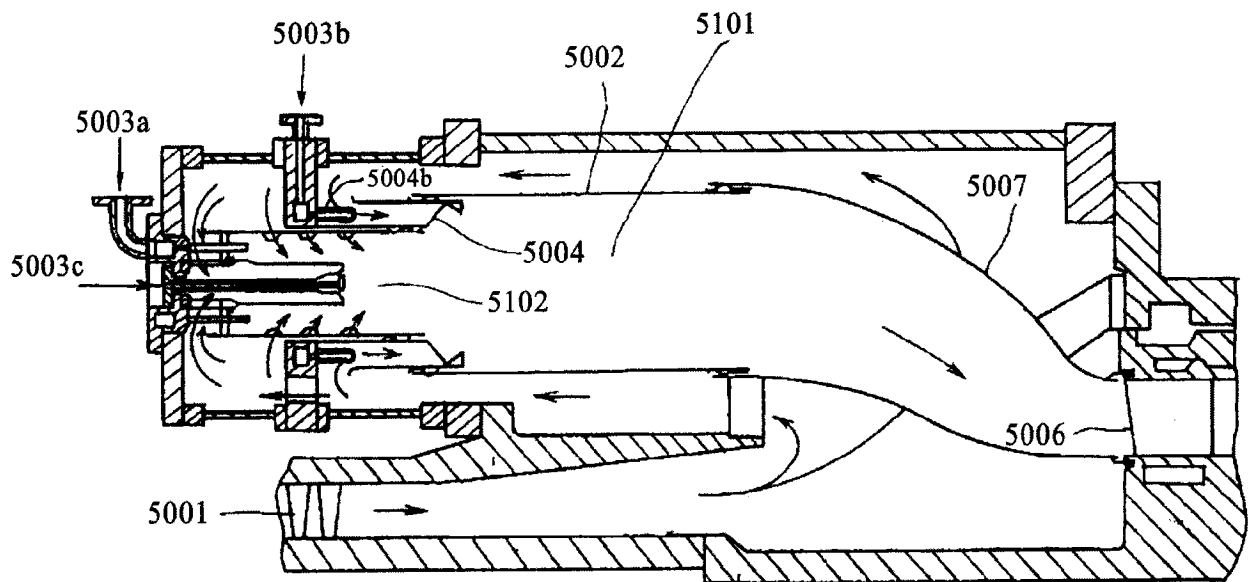


图 43

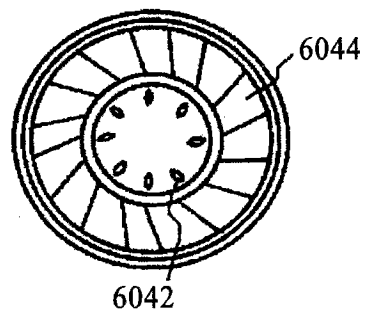


图 46(b)

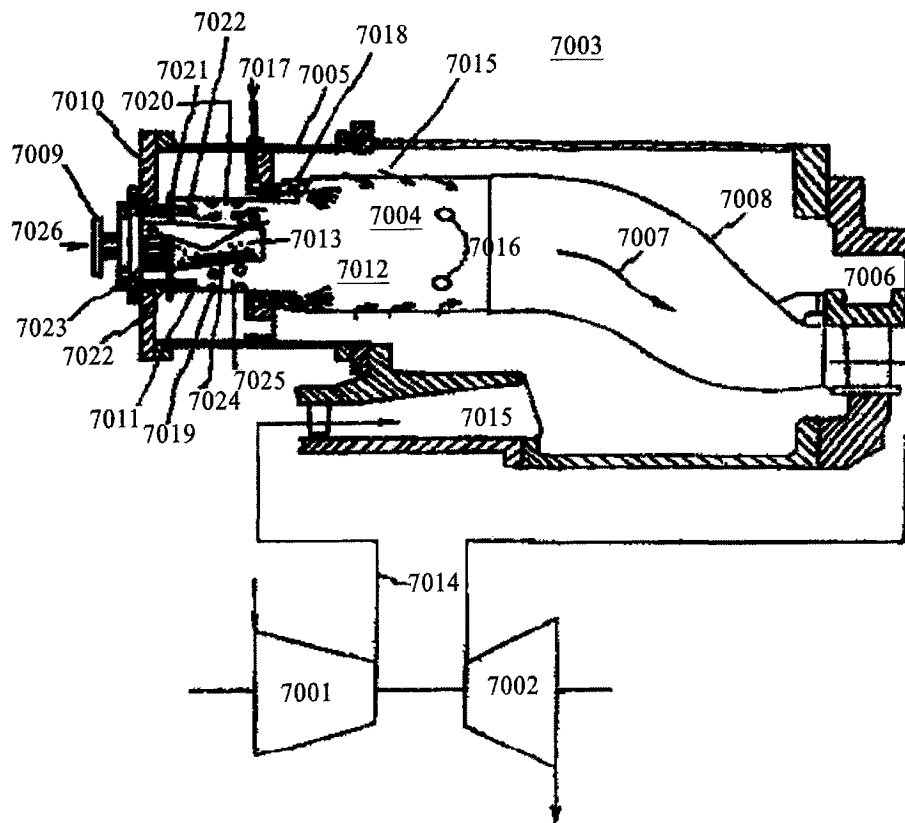


图 47

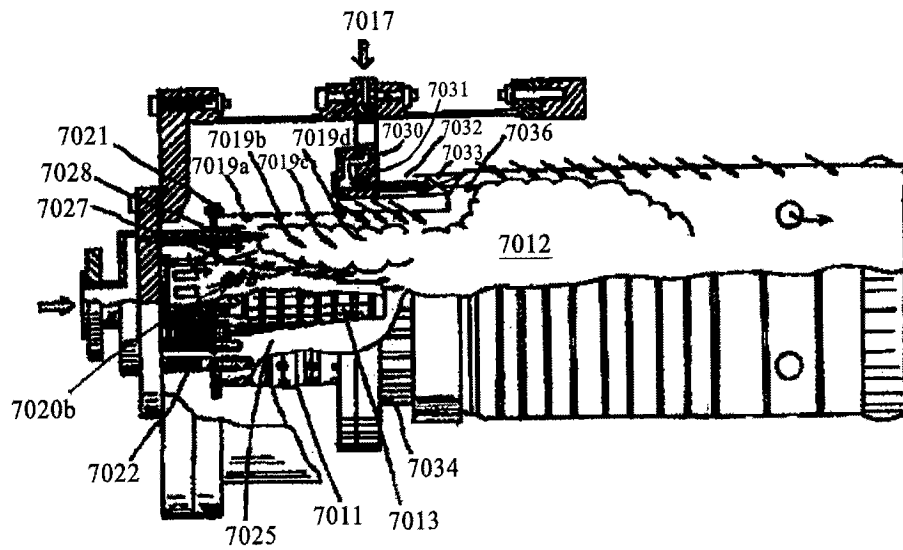


图 48

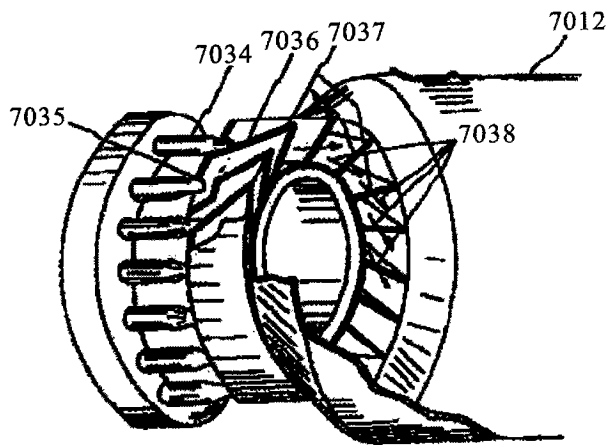


图 49

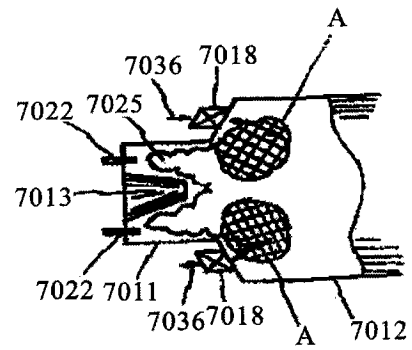


图 50

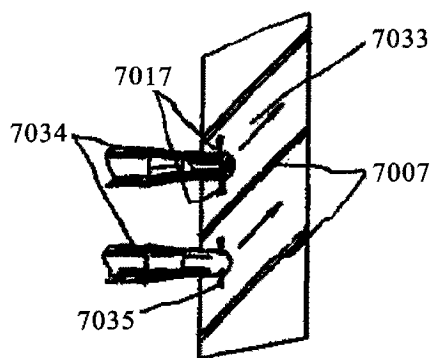


图 51

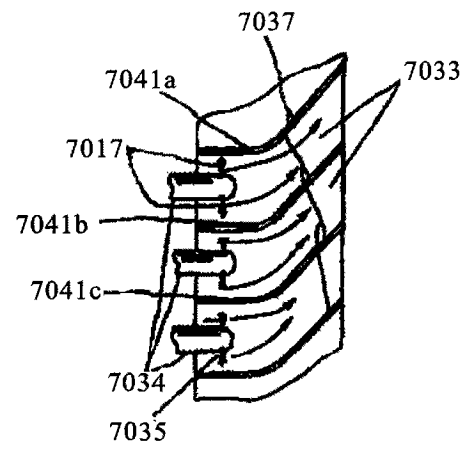


图 52

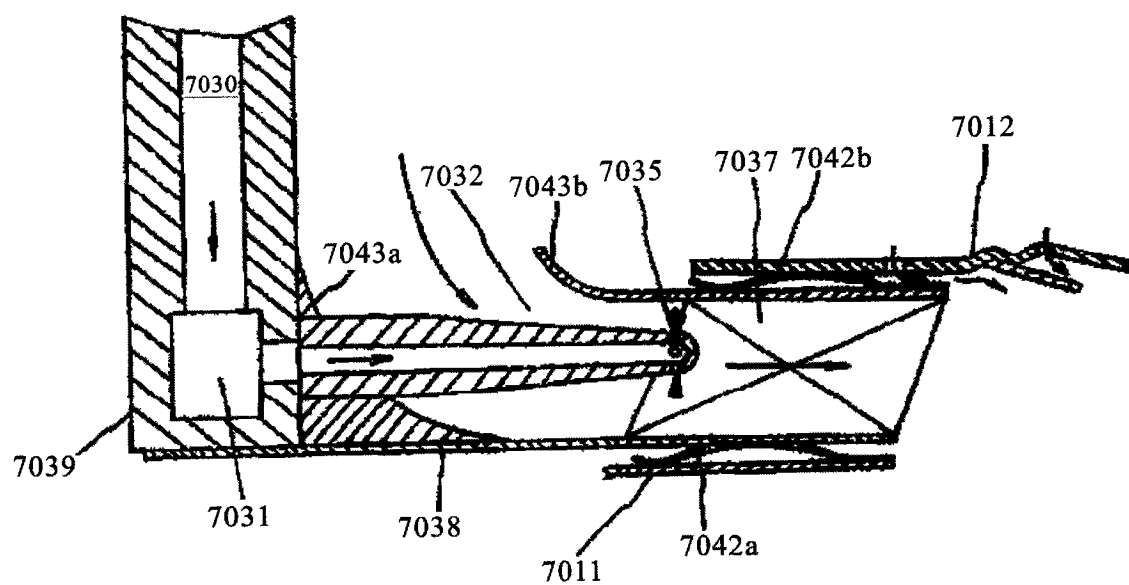


图 53

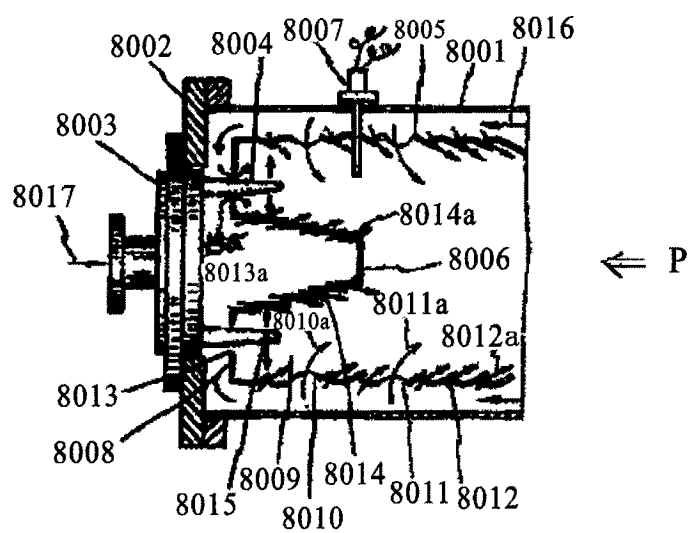


图 54

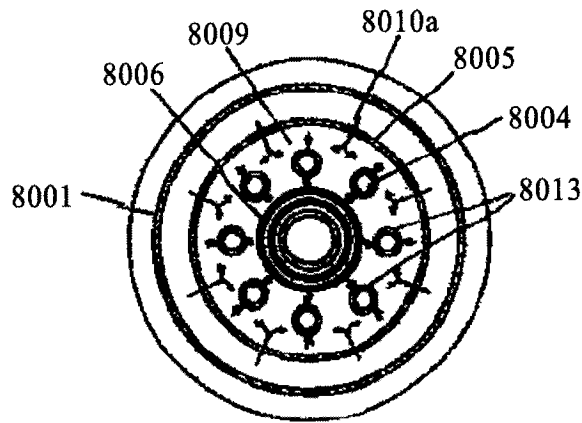


图 55

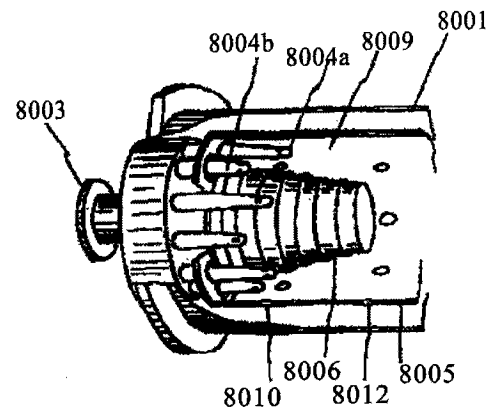


图 56

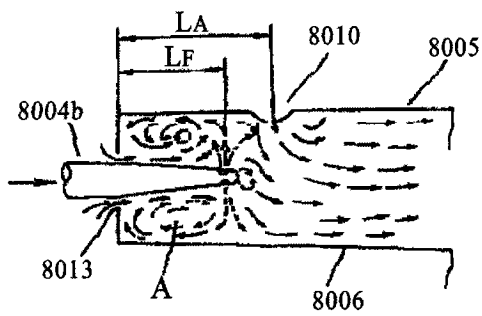


图 57

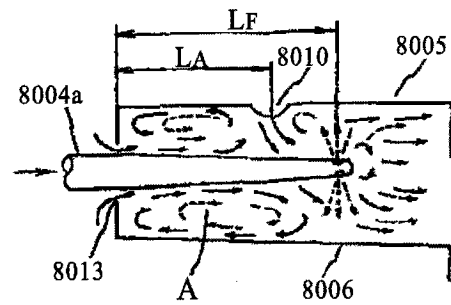


图 58

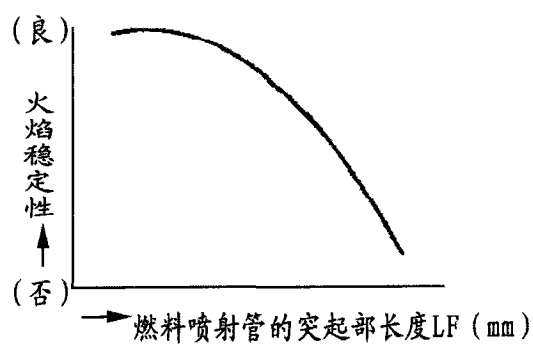


图 59

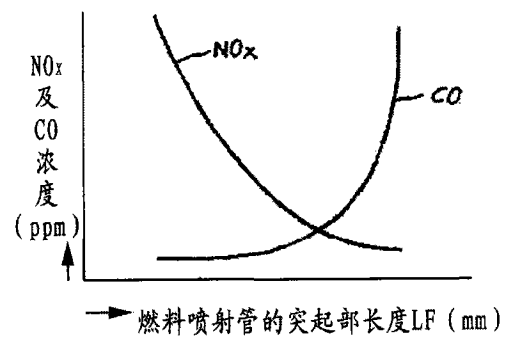


图 60

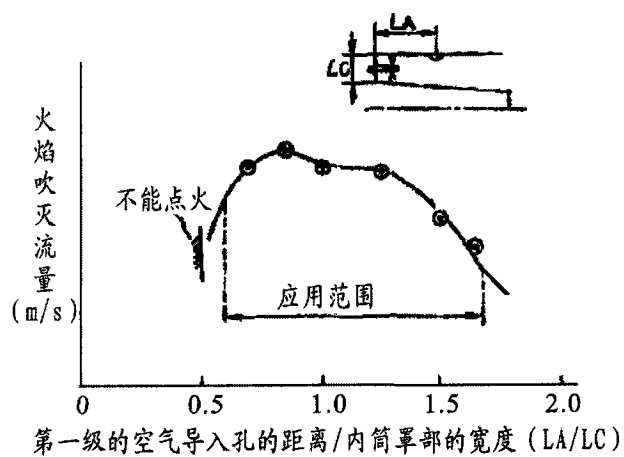


图 61

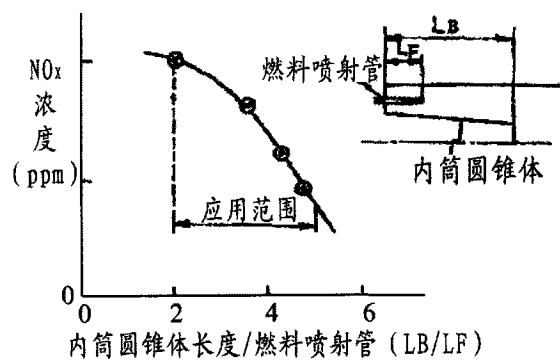


图 62

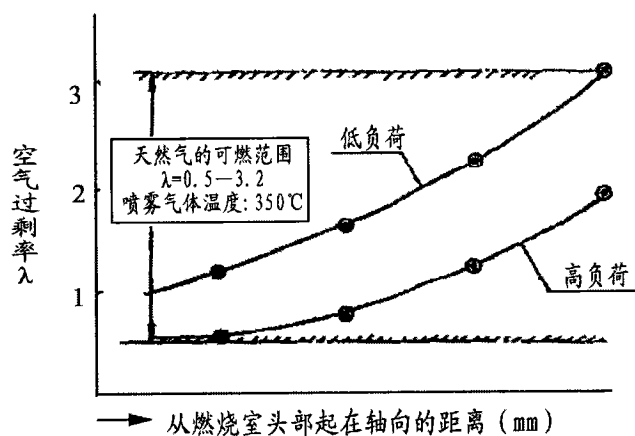


图 63

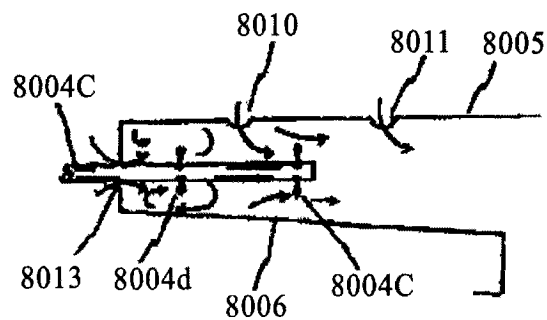


图 64

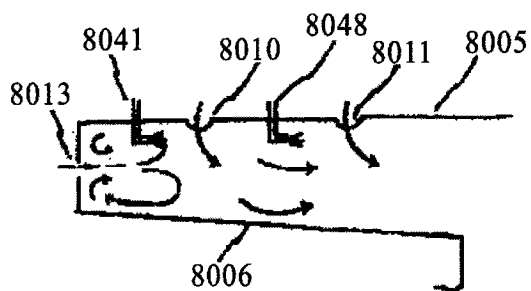


图 65(a)

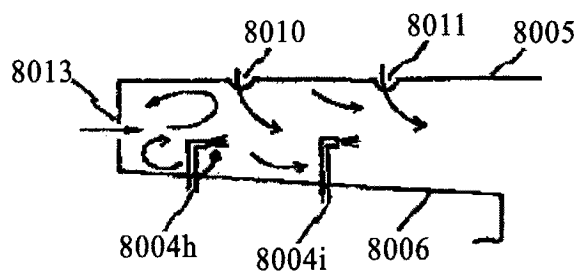


图 65(b)

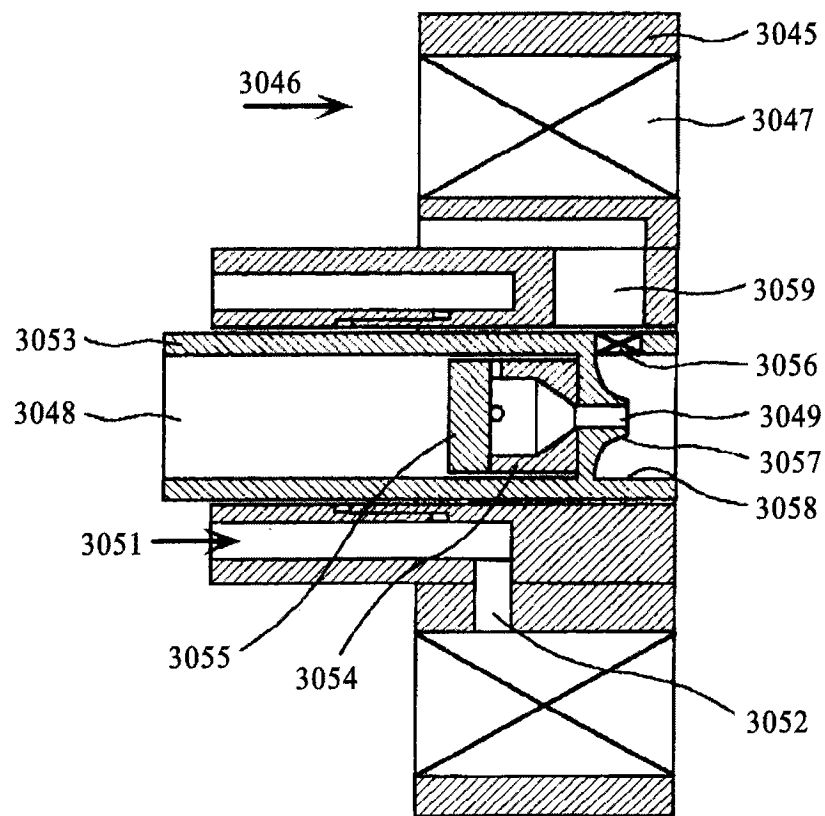


图 66

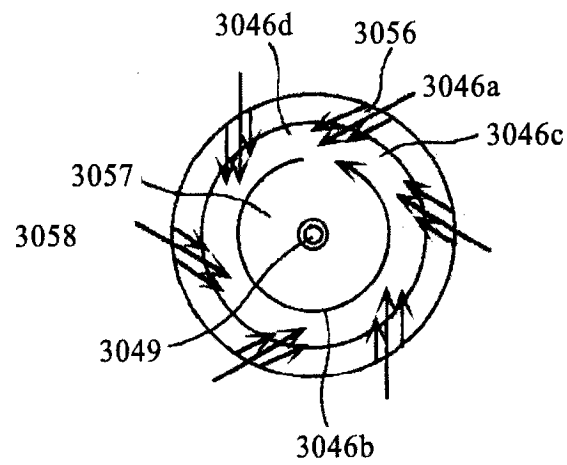


图 67