



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114353121 B

(45) 授权公告日 2022. 12. 20

(21) 申请号 202210055660.4

(22) 申请日 2022.01.18

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114353121 A

(43) 申请公布日 2022.04.15

(73) 专利权人 上海交通大学
地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72) 发明人 刘训臣 王震 齐飞

(74) 专利代理机构 上海上谷知识产权代理有限公司 31342
专利代理师 胡五荣

(56) 对比文件

- CN 1130741 A, 1996.09.11
- CN 102032568 A, 2011.04.27
- CN 110878948 A, 2020.03.13
- CN 113124422 A, 2021.07.16
- CN 113137630 A, 2021.07.20
- US 2010011771 A1, 2010.01.21
- CN 101334175 A, 2008.12.31
- CN 101243287 A, 2008.08.13
- GB 2040031 A, 1980.08.20
- US 2017175635 A1, 2017.06.22

审查员 李鹏霄

(51) Int. Cl.

F23R 3/34 (2006.01)

F23R 3/26 (2006.01)

F02C 7/22 (2006.01)

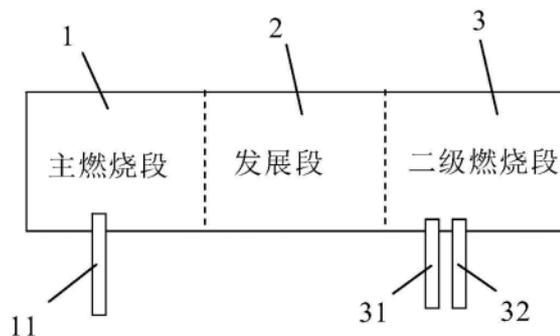
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于燃气轮机的多喷嘴燃料注入方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于燃气轮机的燃料混合注入方法,该方法包括以下步骤:在二级燃烧段上设置一个二级燃料注入喷嘴和一个二级空气注入喷嘴,其中,所述二级燃料注入喷嘴比所述二级空气注入喷嘴更靠近所述主燃段;以及分别将二级燃料和二级主空气先后通过所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴注入,使得二级燃料在主流高温烟气氛围中自燃,形成横向射流火焰并增加火焰抬升高度。本发明一方面可以避免预混燃烧反应产生的危险性与结焦问题,另一方面可以增加火焰抬升高度,使火焰远离壁面,避免预混燃烧高温区域产生热力型氮氧化物的问题,同时避免产生壁面高温。本发明最大的特点是对燃料注入方式控制更加灵活。



1. 一种用于燃气轮机的多喷嘴燃料注入方法,所述燃气轮机具有包括主燃烧段和二级燃烧段的轴向分级燃烧器,所述主燃烧段用于产生主流高温烟气,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

在所述二级燃烧段上提供一个二级燃料注入喷嘴和一个二级空气注入喷嘴,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴分别连接有二级燃料供应管道和二级空气供应管道,所述二级燃料供应管道和所述二级空气供应管道分别设有相应流量控制阀,其中,所述二级燃料注入喷嘴比所述二级空气注入喷嘴更靠近所述主燃烧段;将所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴的之间的距离设置成大于 $2d$,其中, d 为所述二级燃料注入喷嘴的直径和所述二级空气注入喷嘴的直径中较大的一个;以及

分别将二级燃料和二级空气先后通过所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴注入,使得二级燃料在主流高温烟气氛围中自燃,形成横向射流火焰并增加火焰抬升高度。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴的形状为圆形。

3. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴的直径为 $1\text{mm}-5\text{mm}$,以及所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴的之间的距离为 $10-20\text{mm}$ 。

4. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴由稀土耐热钢铸造而成。

5. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴垂直设置。

6. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括步骤:根据燃烧状态调节空气流量。

7. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括步骤:提供发展段,所述发展段位于所述主燃烧段和所述二级燃烧段之间,用于将主流高温烟气整流。

一种用于燃气轮机的多喷嘴燃料注入方法

技术领域

[0001] 本发明涉及燃气轮机领域,具体地涉及一种用于燃气轮机的多喷嘴燃料注入方法。

背景技术

[0002] 燃气轮机是一种由压气机、燃烧室和涡轮组成的旋转叶轮发动机,由于其能源转化效率高、污染物排放低等优势,被广泛应用于船舶动力、发电、油气运输等诸多工业领域。近年来,先进地面燃气轮机朝着更高效率、更低的污染物排放发展,燃烧技术的提升使得未燃碳氢化合物(UHC)和一氧化碳(CO)排放满足环保要求;然而,燃烧室的工作压力和温度的不断提高,导致氮氧化物(NO_x)成为最难控制的污染物。传统低污染燃烧室一般采用全预混贫燃模式控制NO_x生成,包括端盖、导流衬套、外壳、喷嘴等部分,如图1结构所示。但贫燃预混技术在接近熄火极限条件下会产生燃烧稳定性变差、热声振荡、回火与负荷调节范围变小等问题。

[0003] 为解决燃气轮机效率提高与控制污染物排放之间的矛盾,燃料轴向分级燃烧技术可实现更高温度燃烧温度下低排放的目标。如图2所示,轴向分级燃烧技术将部分燃料和空气分流至二级燃烧区,以燃烧室壁面的横向射流单喷嘴的形式加入预混燃料,在高温低氧环境中自燃,进一步提高燃烧室出口温度并马上进入透平冷却。

[0004] 但现有轴向分级燃烧器中存在以下缺点:燃料进入燃烧室不灵活,且燃料与空气预混后从单喷嘴中喷出,会产生结焦问题,并且预混气燃烧由一定的危险性。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种用于燃气轮机的多喷嘴燃料注入方法,以解决上述问题。为此,本发明采用的技术方案如下:

[0006] 一种用于燃气轮机的多喷嘴燃料注入方法,所述燃气轮机具有包括主燃烧段和二级燃烧段的轴向分级燃烧器,所述主燃烧段用于产生主流高温烟气,其中,所述方法包括以下步骤:

[0007] 在所述二级燃烧段上提供一个二级燃料注入喷嘴和一个二级空气注入喷嘴,其中,所述二级燃料注入喷嘴比所述二级空气注入喷嘴更靠近所述主燃烧段;以及

[0008] 分别将二级燃料和二级主空气先后通过所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴注入,使得二级燃料在主流高温烟气氛围中自燃,形成横向射流火焰并增加火焰抬升高度。

[0009] 在较佳实施例中,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴的形状可以是圆形或开槽。

[0010] 在较佳实施例中,将所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴的之间的距离设置成大于 $2d$,其中, d 为所述二级燃料注入喷嘴的直径和所述二级空气注入喷嘴的直径中较大的一个。

[0011] 在较佳实施例中,所述二级燃料注入喷嘴的直径和所述二级空气注入喷嘴的直径相同。

[0012] 在较佳实施例中,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴的直径为1mm-5mm,以及所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴的之间的距离为10-20mm。

[0013] 在较佳实施例中,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴由稀土耐热钢铸造而成。

[0014] 在较佳实施例中,所述二级燃料包括氢气、氨气、合成气、天然气和生物合成燃料。

[0015] 在较佳实施例中,所述二级燃料注入喷嘴和所述二级空气注入喷嘴分别连接有二级燃料供应管道和二级空气供应管道,所述二级燃料供应管道和所述二级空气供应管道分别设有相应流量控制阀。

[0016] 在较佳实施例中,该方法还可包括以下步骤:

[0017] 根据燃烧状态调节空气流量。

[0018] 在较佳实施例中,该方法还可包括步骤:提供发展段,所述发展段位于所述主燃烧段和所述二级燃烧段之间,用于将主流高温烟气整流。

[0019] 本发明通过在二级燃烧段上提供二级燃料注入喷嘴和二级空气注入喷嘴,燃料与空气以分离状态进入燃烧室,一方面可以避免预混燃烧反应产生的危险性与结焦问题,另一方面可以使火焰远离壁面,避免预混燃烧高温区域产生热力型氮氧化物的问题,同时避免产生壁面高温,并且对燃料注入方式控制更加灵活。

附图说明

[0020] 图1是现有燃气轮机的轴向分级燃烧器的结构示意图;

[0021] 图2是轴向分级燃烧技术的原理图;

[0022] 图3是本发明的的轴向分级燃烧器的结构示意图;

[0023] 图4是本发明的实验用的轴向分级燃烧器的示意图;

[0024] 图5是示出二级双喷嘴注入不同倍数空气下污染物排放特征的曲线图;

[0025] 图6是示出二级双喷嘴注入不同倍数空气下火焰特征的照片;

[0026] 图7是负荷比 $FS=0.15$ 时总当量比、不同喷嘴及二级射流掺混空气下的火焰形态图;

[0027] 图8是不同喷嘴抬升高度与总当量比关系的曲线图。

具体实施方式

[0028] 以下将结合附图对本发明的优选实施例进行详细说明,以便更清楚理解本发明的目的、特点和优点。应理解的是,附图所示的实施例并不是对本发明范围的限制,而只是为了说明本发明技术方案的实质精神。

[0029] 参照如图3,描述一种用于燃气轮机的多喷嘴燃料注入方法,其中,所述燃气轮机具有轴向分级燃烧器,该轴向分级燃烧器可包括主燃烧段1、发展段2和二级燃烧段3。主燃烧段1用于产生主流高温烟气。即,空气和燃料按照比例预混后通过喷嘴11注入主燃烧段1进行燃烧,产生主流高温烟气。发展段2位于所述主燃烧段和所述二级燃烧段之间,用于将主流高温烟气整流,使其均匀进入二级燃烧段3。应该理解,发展段2也可以省略。二级燃烧

段3设有一个二级燃料注入喷嘴31和一个二级空气注入喷嘴32,其中,二级燃料注入喷嘴31比二级空气注入喷嘴32更靠近主燃段1(或发展段2),以使二级燃料比二级空气先注入二级燃烧段。燃料和空气在主流高温烟气的作用下发生更好的混合,进而在主流高温烟气氛围中自燃,形成横向射流火焰并增加火焰抬升高度。采用两个喷嘴分别注入燃料和空气,使燃料和空气以分离状态进入燃烧室,一方面可以避免预混燃烧反应产生的危险性与结焦问题,另一方面可以抬高火焰,使火焰远离壁面,避免产生壁面高温从而产生高浓度污染物,同时可以由于燃料先注入和再注入空气,可以根据燃烧状态自由调整空气量。

[0030] 二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32的形状可以是圆形或开槽。二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32的之间的距离可以灵活调节。优选地,二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32的之间的距离设置成大于 $2d$,其中, d 为二级燃料注入喷嘴31的直径和二级空气注入喷嘴32的直径中较大的一个。二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32的直径通常情况下是相同的。应该理解,它们的直径也可以不同,以适应不同的工况。

[0031] 在较佳实施例中,二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32的直径为 $1\text{mm}-5\text{mm}$,以及二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32的之间的距离为 $10-20\text{mm}$ 。

[0032] 在本实施例中,二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32垂直设置,即入射角度垂直于主流高温烟气,应该理解,二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32也可以倾斜设置(例如,偏离垂直方向 10 度以下)。

[0033] 二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32可以由稀土耐热钢铸造而成,以提高使用寿命。二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32可以是单独制作,也可以做成一体。二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32分别连接有二级燃料供应管道和二级空气供应管道(未示出),所述二级燃料供应管道和所述二级空气供应管道分别设有相应流量控制阀(未示出),以方便控制各自流量,提高燃烧效率。

[0034] 由于二级燃料和二级空气是分开注入的,因此二级燃料可以是氢气、氨气、合成气、天然气和生物合成燃料等易燃易爆的高性能燃料。

[0035] 因此,一种用于燃气轮机的多喷嘴燃料注入方法可包括以下步骤:

[0036] 在二级燃烧段3上提供一个二级燃料注入喷嘴31和一个二级空气注入喷嘴32,其中,二级燃料注入喷嘴31比二级空气注入喷嘴32更靠近主燃烧段1;以及

[0037] 分别将二级燃料和二级主空气先后通过二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32注入,使得二级燃料在主流高温烟气氛围中自燃,形成横向射流火焰并增加火焰抬升高度。

[0038] 燃料和空气通过二级燃料注入喷嘴31和二级空气注入喷嘴32注入,使燃料和空气以分离状态进入燃烧室,一方面可以避免预混燃烧反应产生的危险性与结焦问题,另一方面可以抬高火焰,使火焰远离壁面,避免产生壁面高温从而产生高浓度污染物。

[0039] 此外,该方法还可以包括步骤:提供发展段2,发展段2位于主燃烧段1和二级燃烧段2之间,用于将主流高温烟气整流,使其均匀进入二级燃烧段3。

[0040] 优选地,该方法还可以包括步骤:在注入过程中,可以根据燃烧状态调节空气流量,以提高燃烧效率。

[0041] 为了研究本方法中不同喷嘴设计对横向射流火焰动态燃烧特性的影响,搭建了实验用的轴向分级燃烧器,如图4所示,测量了 2mm 和 3mm 两种喷嘴孔径、单喷嘴与双喷嘴(间距

17.5mm) 下游注入空气两种喷嘴结构的火焰的排放特性和动态燃烧特性。具体地,图4给出实验用的轴向分级燃烧器结构示意图。燃烧器分为三部分:主燃段,发展段和二级燃烧段。主燃段装有25mm厚的钝体板和15mm厚的多孔板,以均匀平面主流火焰,产生高温烟气;二级燃烧区横截面尺寸为40mm×115mm,长度为295mm,二级燃料在主流高温烟气氛围中自燃,形成横向射流火焰,四周均为石英玻璃以进行光学诊断;出口开放,使得整个系统处于常压燃烧状态。

[0042] 通过冷态丙酮平面激光诱导荧光 (PLIF) 和粒子图像测速 (PIV) 实验测量了单、双喷嘴冷态工况的流场和标量混合场。火焰中CH*发出的荧光由装有像增强器 (Lambert HiCATT)、短焦镜头 (Nikkon 50mm f/1.4G) 及窄带通滤光片 (Semrock 433/25nm) 的高速相机 (Photron SA-Z) 拍摄,以获得火焰中CH自由基空间分布连续变化过程。在40kHz帧率下,相机像素分辨率为512×1024,CH*自发光图像空间分辨率为0.1mm。对像增强器成像进行了白场矫正。PIV粒子在532nm激光照射下发生Mie散射,散射信号由高速相机记录,并采用Davis8.4软件中互相关算法处理PIV图像,获得对应时刻速度场分布。

[0043] 图5为不同二级空气注入量下出口氧含量及污染物排放曲线。由图5可知:(i) 随二级注入空气量增加,CO排放量呈双波峰特征,由于CO对NO₂存在协同氧化作用,NO₂生成量也呈相同趋势,而NO作为协同氧化反应物呈相反双波谷趋势。(ii) 受局部当量比与火焰抬升共同作用,随二级注入空气量增加,富氧氛围形成,同时冷空气有降温作用,两种因素共同作用下NO_x总量几乎不变。(iii) 综合考虑CO生成量与NO₂比例等因素。

[0044] 不同的二级喷嘴空气注入量对火焰形态有较大影响,定义二级注入空气与燃料比例为 λ 。图6为3mm喷嘴在 $\varphi = 0.65$ 、FS=0.11时,不同二级空气注入量下的火焰CH*自发光时均图像,图中白色标记喷嘴。由图6可知:(i) $\lambda=0$ 时,火焰根部呈尖锐状,分层特征明显;(ii) λ 由0增至3时,空气对射流的冲击截断增强掺混,局部氧含量上升,抬升高度降低且火焰根部预混特征明显,局部释热率增加;(iii) λ 由3增至6时,冷空气使焰前温度下降,抬升距离不再减小,故二级注入空气量需确定于合理范围。

[0045] 当量比和喷嘴对射流火焰形态有显著影响,轴向分级燃烧中当量比增加,来流温度升高,反应强度上升,但氧浓度减少、烟气中的水、CO₂等产物含量增加导致二级反应强度下降,该拮抗作用会导致二级射流火焰形态与总当量比之间呈非线性变化趋势,此外喷嘴也通过影响流场结构影响火焰形态。

[0046] 图7给出了不同当量比、不同喷嘴及空气等条件下CH*自发光平均图像所表征的火焰形态。纵向比较(a)、(b)、(c)可知:(i) 当量比减小,点火延迟增大,火焰抬升距离增加,火焰根部温度升高,释热率增强,体现纯燃料射流与预混射流的区别。(ii) 工况的火焰亮度相对于反而降低,反映低当量比造成的主流温度减小取代氧含量增加成为控制二级反应的主导因素。(iii) 总体来看,当量比增加,烟气对射流燃料预热作用增强,接近MILD燃烧,火焰亮度微弱且边缘趋于弥散,体现出分层燃烧特征。

[0047] 横向比较(a)、(b)列知:保持当量比及射流流量不变,喷嘴孔径增大,射流速度减小,火焰抬升高度增大、长度增加,火焰面亮度集中区域减小,扩散燃烧特征显著。

[0048] 横向比较(b)、(c)列知:(i) 保持总当量比与射流出口速度不变,喷嘴下游注入空气($\lambda=2$)后氧浓度上升,同时空气射流对燃料射流产生冲击作用增强掺混,点火延迟缩短,火焰长度减小,亮度增大,释热区集中于火焰根部且分层燃烧特征消失。(ii) 时二级喷嘴注

入空气反而使局部释热率降低,抬升距离进一步增大,这一反常现象同样证明当量比为0.58时氧浓度不再是影响火焰行为的主要因素。

[0049] 综上,采用二级双喷嘴设计可以增大预混程度,但在当量比较低、来流温度起主导作用时,下游注入空气反而会使点火推迟、火焰长度增加。

[0050] 图8示出了不同喷嘴下抬升高度与总当量比关系。从图8中可知当喷嘴下游空气注入时,火焰抬升高度增加,远离壁面,且随着当量比的逐渐增加,抬升高度呈现下降趋势。

[0051] 以上已详细描述了本发明的优选实施例,但应理解到,在阅读了本发明的上述讲授内容之后,本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改。这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的范围。

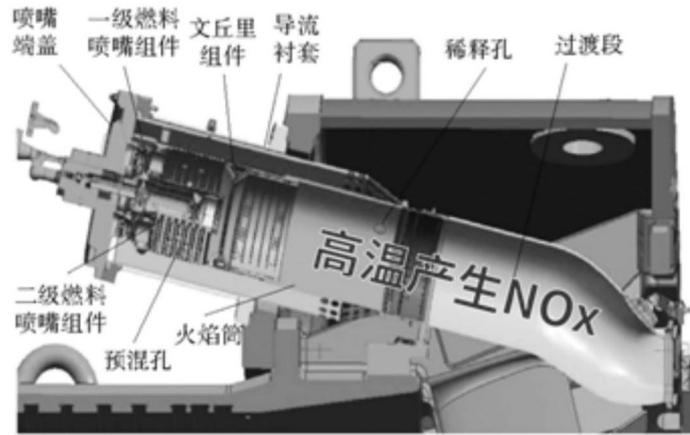


图1

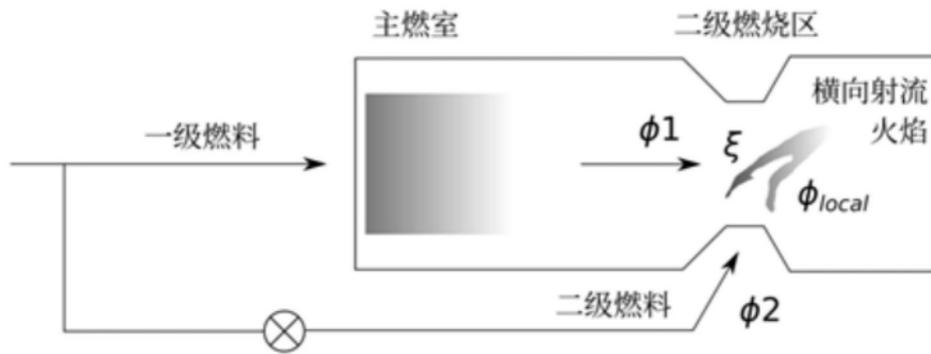


图2

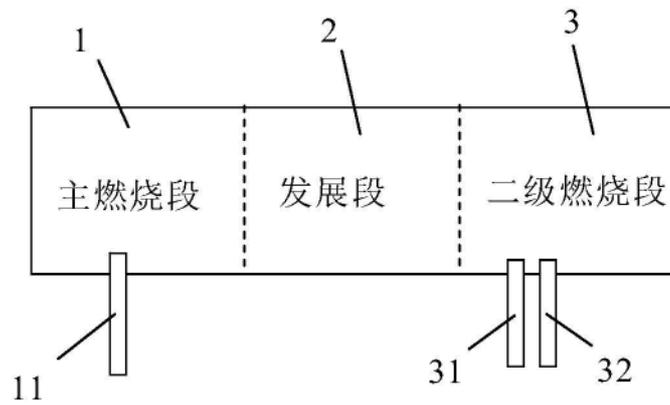


图3

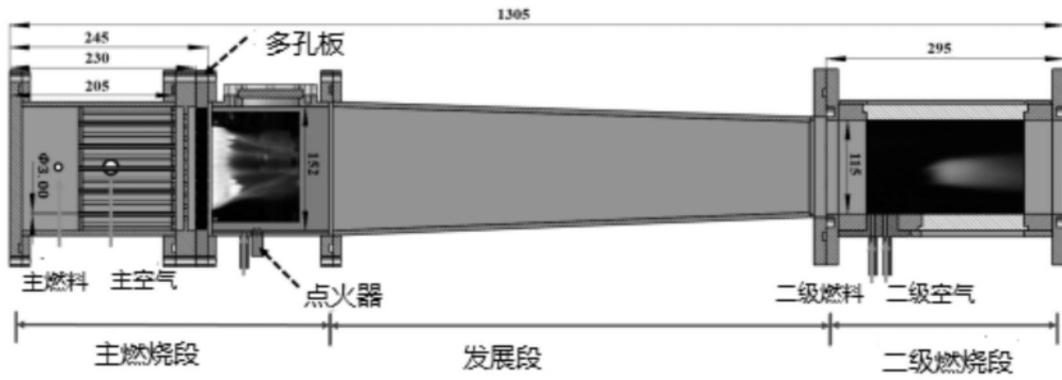


图4

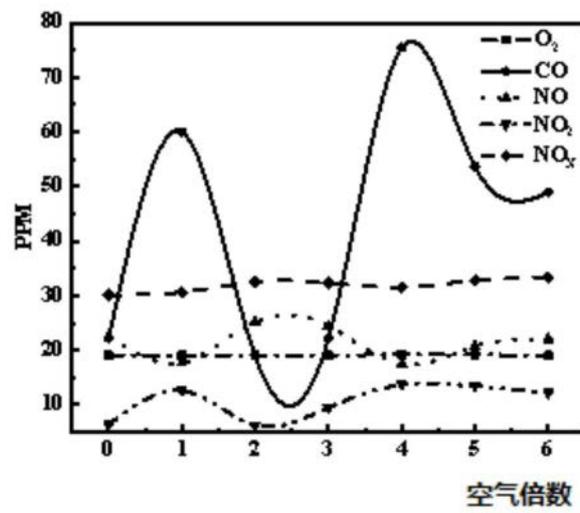


图5

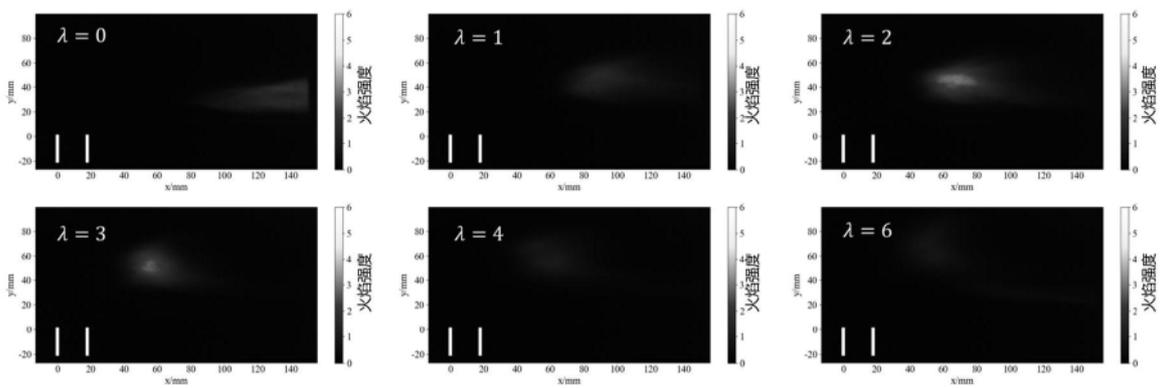


图6

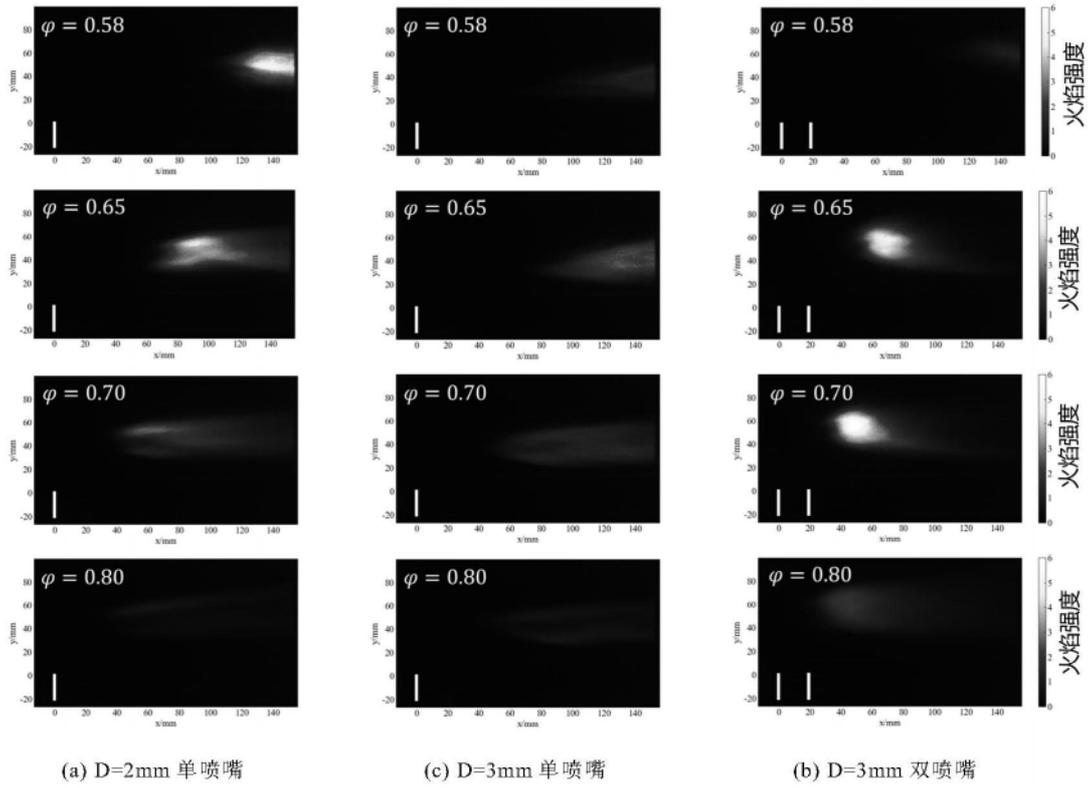


图7

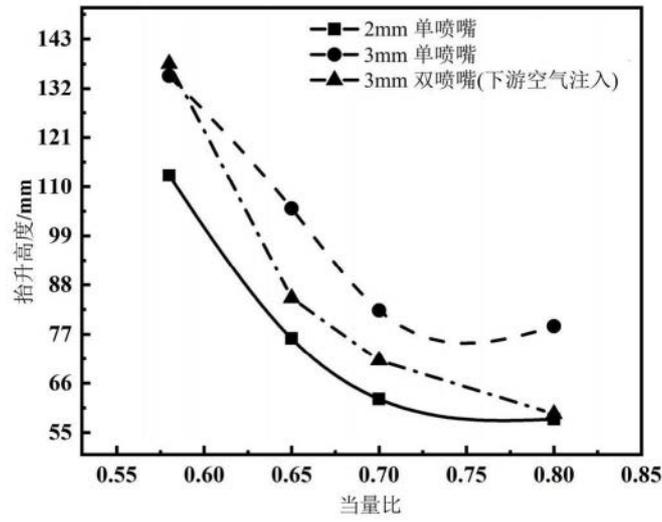


图8