

燃烧室头部结构对燃料预混特性影响的研究

徐婉容, 刘 凯

(沈阳航空航天大学 航空发动机学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘要:采用 Fluent 软件对某贫燃预混燃烧室燃料与空气的掺混特性进行数值模拟, 分析燃料喷嘴方向、喷嘴尺寸、旋流数对预混特性的影响。在不改变边界条件的情况下, 针对燃烧室不同结构进行模拟计算。模拟结果表明: 燃料射入方向对燃烧室流场有重要影响, 逆向射流更有利于产生稳定的中心回流区, 并且当喷嘴的喷嘴角度到达 150° 掺混均匀性最佳, 均匀度值为 0.987 2。随着喷嘴尺寸的增大, 回流区面积先增大后减小, 掺混均匀性逐渐降低, 小尺寸喷嘴与中尺寸喷嘴的均匀性差距不大, 但中尺寸喷嘴有更大的回流区, 燃烧更加稳定。当旋流器旋流数在 0.55~0.97 区间, 火焰筒头部均能产生较为稳定的回流区, 随着旋流数的增大掺混均匀性逐渐提高, 均匀度值由 0.979 5 增加至 0.994 4; 同时回流区面积逐渐减小并且有向前移动的趋势。当不同转角的喷嘴与旋流器组合时, 180° 喷嘴与 0.97 旋流数的旋流器组合掺混效果较好, 掺混均匀性为 0.991。

关键词:贫预混燃烧; 喷嘴方向; 喷嘴尺寸; 旋流数; 掺混均匀度

中图分类号: TK221 文献标识码: A DOI: 10.16146/j.cnki.mdlgc.2024.10.010

[引用本文格式] 徐婉容, 刘 凯. 燃烧室头部结构对燃料预混特性影响的研究[J]. 热能动力工程, 2024, 39(10): 86-93. XU Wanrong, LIU Kai. Research on the effect of combustor dome structure on fuel premix characteristics[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2024, 39(10): 86-93.

Research on the Effect of Combustor Dome Structure on Fuel Premix Characteristics

XU Wanrong, LIU Kai

(School of Aero-engine, Shenyang Aerospace University, Shenyang, China, Post Code: 110136)

Abstract: The fuel-air premixing characteristics in lean premix combustion chamber were numerically simulated using Fluent software. The effects of the fuel nozzle direction, nozzle size, and swirl number on premix characteristics were analysed. Under the condition that the boundary conditions were not changed, the simulation calculation for different combustion chamber structures was carried out. The simulation results show that the direction of fuel injection has an important influence on the combustor flow field, reverse jets are more conducive to producing a stable center recirculation zone, and when the nozzle angle reaches 150° , the mixing uniformity achieves its highest value of 0.987 2. As the nozzle size increases, the area of recirculation zone increases firstly and then decreases, the mixing uniformity decreases gradually, and the uniformity difference between the small-size nozzle and the medium-size nozzle is not significant, but the medium-size nozzle has a bigger recirculation zone and more stable combustion. When the swirl number is in the range of 0.55 to 0.97, the head of the flame tube can produce stable recirculation zone, with the increase of the swirl number, the mixing uniformity is gradually improved from 0.979 5 to 0.994 4, while the area of recirculation zone is gradually reduced, and there is a tendency to move for-

收稿日期: 2023-11-20; 修订日期: 2023-12-20

基金项目: 国家自然科学基金(51376133)

Fund-supported Project: National Natural Science Foundation of China (51376133)

作者简介: 徐婉容(1997-), 女, 沈阳航空航天大学硕士研究生。

通信作者: 刘 凯(1971-), 男, 沈阳航空航天大学副教授。

ward. When the nozzles with different rotational angles are combined with the swirler, the combination of 180° nozzle and 0.97 swirl number of swirler has a better mixing effect, and the mixing uniformity is 0.991.

Key words: lean premixed combustion, nozzle direction, nozzle size, swirl number, mixing uniformity

引 言

贫预混燃烧技术因能有效控制 NO_x 排放而被广泛使用,燃烧方式的转变给燃烧室设计带来一系列新挑战,如燃烧震荡、回火、局部燃烧不均匀及冷却空气量下降等问题^[1]。

预混性能对实现低污染稳定燃烧具有关键作用^[2-3]。为了评估混合物的混合特性, Danckwerts^[4] 提出了掺混均匀程度 (Goodness of Mixing) 的概念。Temme 和 Ju 等人^[5-6] 使用高端激光测试技术将 NO_2 和丙酮分别加入空气与燃料中,得到了用于区分预混火焰和非预混火焰的方法。Maughan 和 Zhu 等人^[7-8] 实验研究了燃料空气混合对贫预混燃烧火焰污染物排放的影响。邵卫卫和 Leong 等人^[9-10] 采用零维模拟、三维模拟和实验相结合的方法,研究预混段长度、射流角度和位置及燃/空动量比对燃料/空气预混效果的影响。Biagioli、Choi 和姜磊等人^[11-13] 将 CHEMKIN 模拟软件仿真结果与实验结合,研究了压力、湍流旋流结构和燃/空预混不均匀度对 NO_x 排放的影响。Liu 等人^[14] 利用大涡模拟研究了甲烷/空气掺混结构中涡流的影响及燃烧特性。谢刚等人^[15-16] 总结典型 DLN 燃烧室燃料/空气的预混方式,归纳总结出在燃烧室中实现均匀预混的基本原则和方法。

目前,国内外对燃烧室性能的研究更多聚焦于贫熄、污染物排放等方面,对燃烧室内的燃料/空气掺混均匀度及流场结构研究较少。燃料与空气这两种气体之间相互碰撞、相互掺混,导致燃烧室内的流场十分复杂,冷态流场的变化直接影响着热态点火边界、火焰稳定性、燃烧效率和污染物排放等性能。

本文以某型贫预混燃烧室为研究对象,模拟分析燃料喷嘴尺寸、喷射角度和旋流数对预混特性的影响。

1 研究对象及方法

1.1 几何模型及工况

贫预混燃烧室的总体结构如图 1 所示,包括喷

嘴、轴向旋流器、火焰筒及导流套壳。

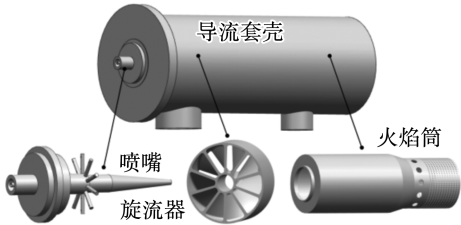


图 1 燃烧室结构图
Fig. 1 Combustor structure diagram

选用天然气作为燃料,为平衡贫预混燃烧室的低排放特性,喷嘴采用分级燃烧的结构。数值模拟工况如表 1 所示。

表 1 数值模拟工况
Tab. 1 Numerical simulation condition

参 数	头部空气	冷却空气	燃料
流量/ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	0.155	0.068	0.003 491 7
温度/K	600	600	300

燃烧室主燃级燃料由旋流器前端的 10 根喷杆喷出,燃料与头部空气经旋流器作用在预混通道内充分混合形成稀相可燃混合物后进入主燃区预混燃烧。值班级燃料占总燃料量的 4%,以保证燃烧室内稳定燃烧。70% 的空气从头部进气口进入,与主燃级燃料进行掺混,参与燃烧;30% 的空气通过火焰筒壁面小孔进入,参与壁面冷却及掺混孔进气。数值计算域如图 2 所示。监测面分别为截面 I (旋流器后方 $Y = 230\text{ mm}$)、截面 II (值班级 $Y = 290\text{ mm}$) 及截面 III (回流区中心 $Y = 375\text{ mm}$)。

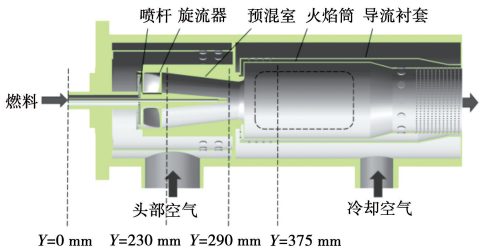


图 2 燃烧室计算域
Fig. 2 Computational domain of combustor

燃料喷杆开孔位置如图 3 所示。其中, a 为喷口转角, d_1 、 d_2 分别为两个喷口的直径, L_1 为由喷口至喷杆底部的距离, L_2 为两个喷口之间的距离。

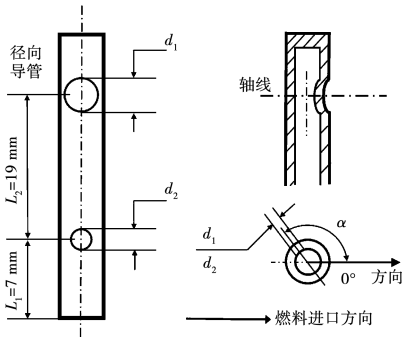


图 3 燃料喷杆开孔位置

Fig. 3 Fuel injection rod opening position

1.2 计算模型与边界条件

采用多面体网格模型,并在燃料喷口和旋流器等尺寸较小的关键区域的网格做加密处理,同时对网格进行细化,计算域共划分 320 万、460 万、530 万和 720 万 4 组不同数量的混合网格。网格无关性验证结果如图 4 所示。

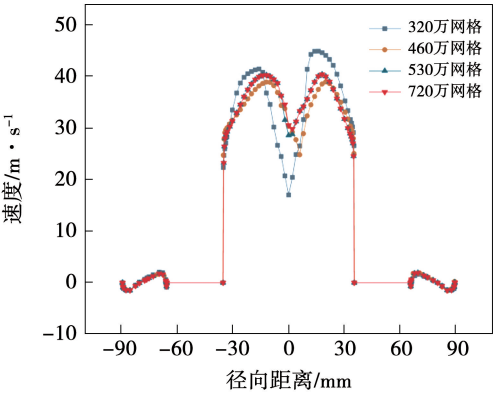


图 4 不同网格数径向速度

Fig. 4 Radial velocity with different grid numbers

由图 4 可知,530 万与 720 万网格的计算结果相差不大,最终选用约 530 万网格数量作为后续计算基准。应用 CFD 软件 FLUENT 进行数值求解。由于主要研究主燃区预混通道内冷态混合气体的流动及混合过程,不涉及燃烧和化学反应,因此采用 Realizable $k-\varepsilon$ 湍流模型及组分输运模型进行数值计算。近壁面采用标准壁面函数处理,假定冷态流场稳定,压力速度-耦合采用 Simple 算法,其他物理量采用二阶迎风插值格式离散。空气和燃料进口

为质量入口,燃烧室出口为压力出口,壁面为绝热壁面。

1.3 掺混均匀性评估参数

为衡量预混通道内各截面燃料/空气掺混性能,采用燃料/空气掺混均匀度来衡量掺混效果。燃料/空气掺混不均匀度又包括时间不均匀度 (Temporal Mixing Deficiency, TMD) 和空间不均匀度 (Spatial Mixing Deficiency, SMD)。一般时间不均匀度难以被察觉并定量计算,本文只考虑空间不均匀度 SMD,通常干式低氮燃烧室要求 $SMD \leq 5\%$ 。将掺混均匀度 ξ 作为衡量标准,计算式为:

$$\xi = 1 - SMD = 1 - \frac{\iint |f - \bar{f}| dA}{A\bar{f}} \tag{1}$$

式中: f —燃料质量分数; A —截面面积, m^2 ; $\bar{f}$ —平面内燃料的平均质量分数。

2 结果及分析

2.1 喷口转角对预混特性的影响

喷口方向是影响燃料预混特性的关键参数,喷口转角即燃料喷射方向,直接影响燃料与空气射流掺混角度、有效掺混空间及掺混时间。本文分别研究了燃料从顺流喷射 (0°) 到逆流喷射 (180°) 对预混特性的影响,燃烧室不同喷口转角结构参数如表 2 所示。

表 2 燃烧室不同喷口转角结构参数

Tab. 2 Structural parameter of combustor at different nozzle angles

喷口尺寸/mm	旋流数	喷口转角 $\alpha/(^\circ)$
$d_1 = 1.5$	0.55	0 ~ 180
$d_2 = 2.4$	0.55	0 ~ 180

图 5 为喷嘴各喷口转角下的流场。该燃烧室采用 90° 扩张角突扩型火焰筒,外围气体局部回流产生了角回流区,聚集在火焰筒扩张段,与中心回流区共同起到稳定火焰的作用。

由图 5 可见,喷口转角在 180° 至 90° 范围内变化时,火焰筒头部均产生了比较明显的角回流区和中心回流区。两个中心回流区并未呈现完全对称的形态,主要是由于头部空气由下方进气管流入燃烧室,受到预混室壁面阻挡,在导流套筒内壁由下至上

进行扩散,通过导流孔逆流至头部燃料喷杆位置,速度呈下高上低分布。随着转角不断变小,中心回流区逐渐缩小,当喷口转角低于 60°时燃烧室内中心回流区消失,只剩下两个角回流区。

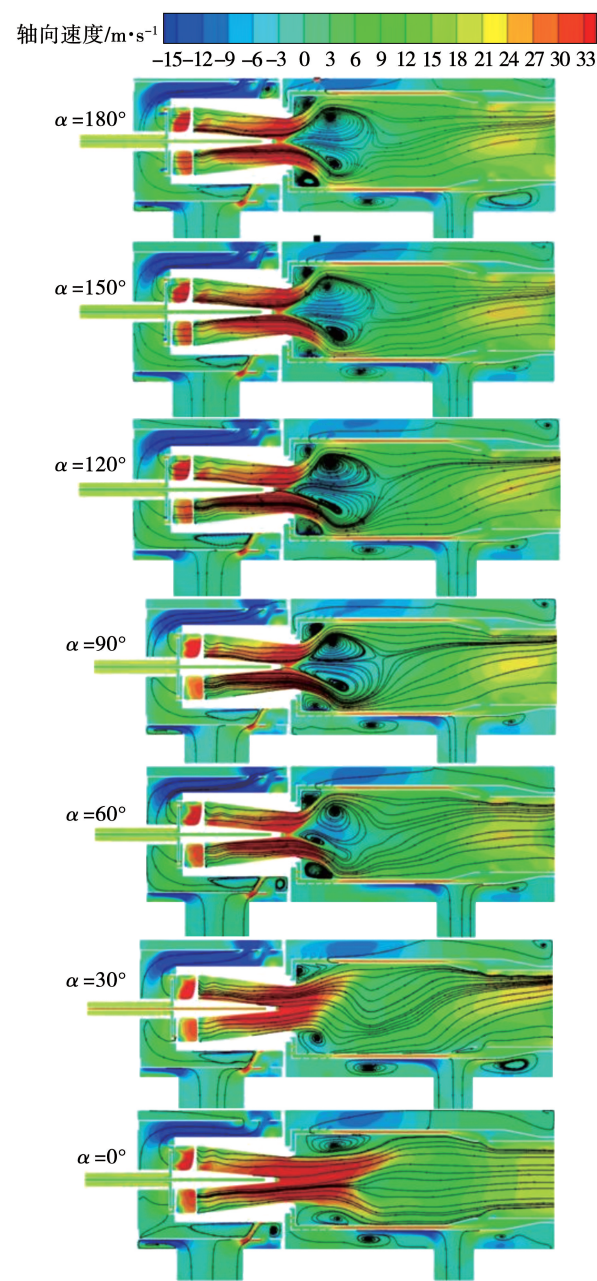


图 5 燃烧室流场
Fig. 5 Flow field of combustor

不同喷口角度下燃料质量分数分布如图 6 所示。由图可以看到,燃料进入预混室后与空气实现掺混,但燃料呈现外环多、中心少的分布趋势,随轴向距离的延伸,混合均匀性不断提高。

图 7 为不同喷口转角下 3 个监测面掺混均匀度

变化情况。当燃料以 150°角度射出时,截面 I 和截面 II 在较短预混距离内掺混较均匀,更适用于预混通道较短的小尺寸燃烧室。对于截面 III,当混合气体到达火焰筒内时,燃料与空气已充分混合,掺混均匀性先减小后增大。当喷口转角为 90°时掺混效果最差,燃料/空气掺混均匀度为 0.973;当转角达到 150°后掺混效果较好,掺混均匀度达到 0.987,并且随喷口转角继续增大掺混均匀性变化不大。

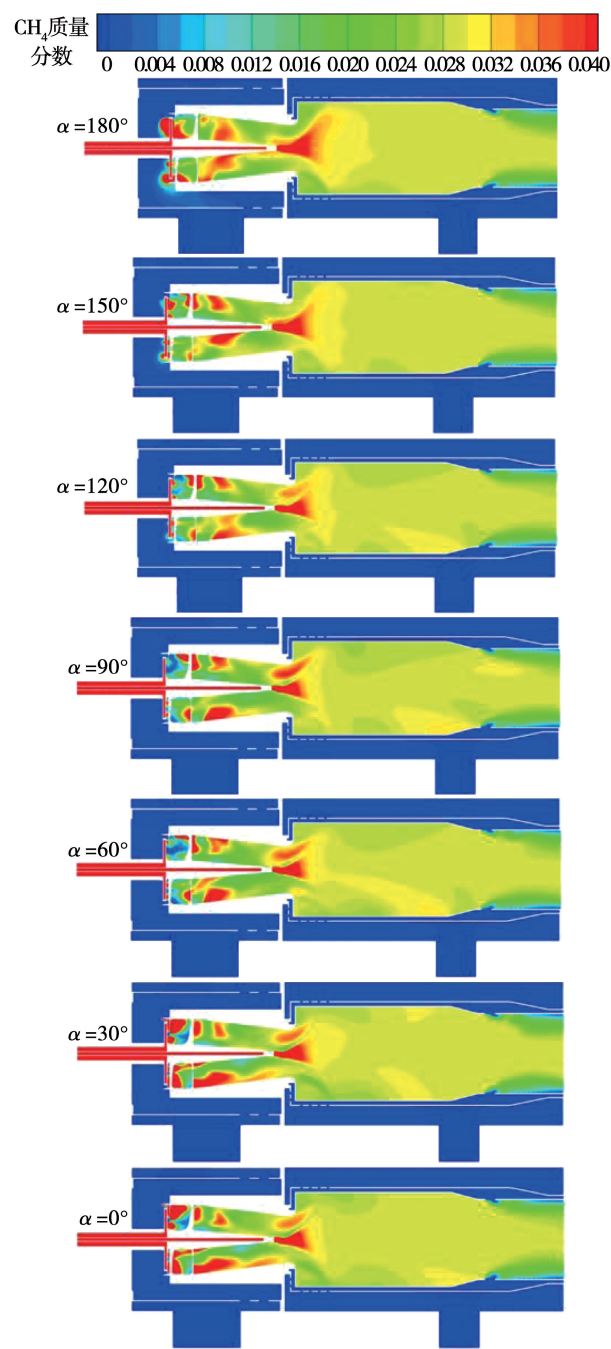


图 6 燃烧室中心截面燃料质量分数分布 (%)
Fig. 6 Mass fraction distribution of fuel on center section of combustor (%)

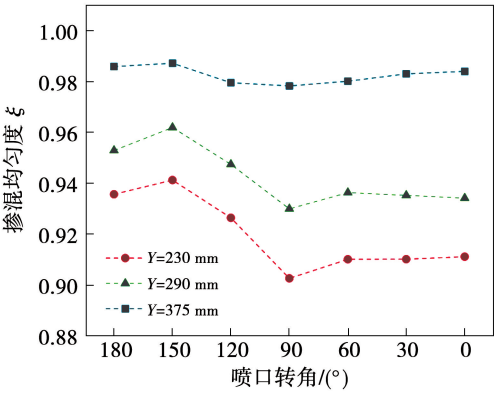


图 7 各喷嘴转角下的掺混均匀度

Fig.7 Mixing uniformity at each nozzle angle

综上,燃料的射流方向对预混通道内的混合气体流动及混合效果起到关键作用,应调整喷嘴转角逆向射流以达到平衡燃料/空气均匀混合及稳定火焰筒头部回流区的效果。当喷嘴转角在 150°左右时,既可有效增加掺混空间,充分利用掺混通道增加掺混时间,又能保持一定射流角度,增大与空气接触面积,最终获得较好的掺混均匀性,并保证了稳定的中心回流区。

2.2 喷嘴尺寸对预混特性的影响

同一喷杆上喷孔的喷射量与孔的位置无关,与孔径呈负相关的变化趋势^[17],过大喷嘴尺寸时燃料射流速度较慢,可能导致燃料无法到达两根喷杆的中分面处,特别是外侧的喷嘴处;较小喷嘴孔径可以获得较大的燃料射流动量,但同时也会带来较高的压损^[18]。本文分别研究了喷嘴转角 150°时不同喷嘴尺寸对掺混特性的影响。燃烧室不同喷嘴尺寸下的结构参数如表 3 所示。

表 3 燃烧室不同喷嘴尺寸下的结构参数

Tab.3 Structural parameter of combustor at different nozzle sizes

方案	喷嘴转角/(°)	旋流数	喷嘴尺寸/mm	
			d_1	d_2
1	150	0.55	2.2	1.3
2	150	0.55	2.4	1.5
3	150	0.55	2.6	1.7

燃烧室流场如图 8 所示,由图 8 可见,3 个尺寸的喷嘴均形成了明显的中心回流区及角回流区,说明 3 个尺寸均可保证稳定燃烧。对比流场流线发

现,中心回流区面积先增加后减小,方案 2 中心回流区最大,较大的回流区有利于燃烧室的稳定燃烧。

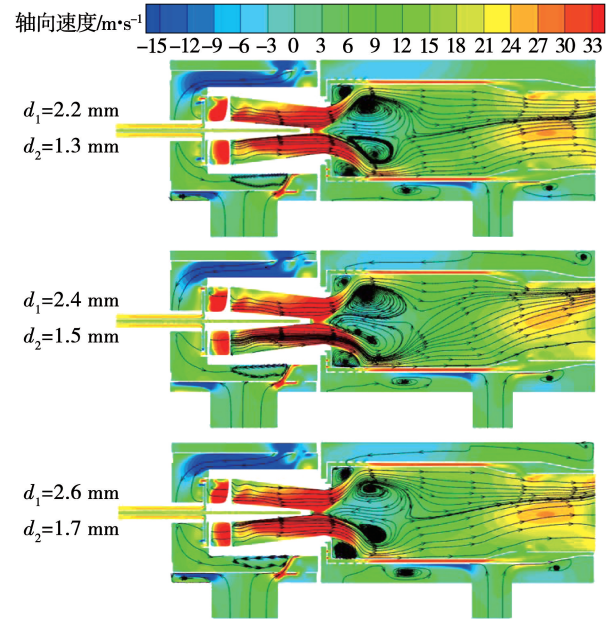


图 8 燃烧室流场

Fig.8 Flow field of combustor

图 9 为燃烧室横截面燃料质量分数分布。在喷杆中心截面 $Y = 135 \text{ mm}$ 处,随着喷嘴尺寸的增大,喷嘴周围内侧浓度场基本无变化,喷嘴周围外侧高浓度燃料范围逐渐变大,燃料分布更加不均匀,该现象延续到火焰筒内,在火焰筒中心截面处的掺混均匀度随着孔径的增大逐渐降低。较小孔径的喷嘴喷射出的燃料速度较快,射流更深,与空气接触面积较大,燃料分布更均匀。

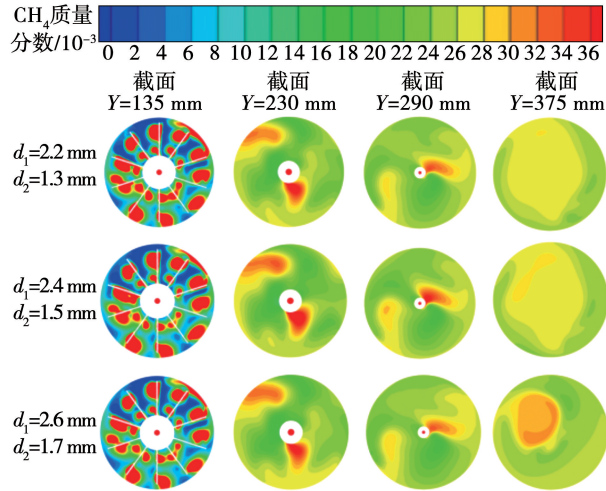


图 9 燃烧室横截面燃料质量分数分布

Fig.9 Mass fraction distribution of fuel on cross section of combustor

表 4 给出了各孔径方案的燃料/空气掺混均匀性。随着喷口尺寸增大,掺混均匀性逐渐减小、方案 A 在回流区中心处掺混均匀度最高,为 0.988 7;方案 C 掺混均匀度最差,为 0.972 8;方案 B 的均匀度与方案 A 相差不大,但回流区面积最大,更有利于稳定燃烧。

表 4 燃料均匀度统计结果

Tab.4 Statistical results of fuel uniformity

方案	掺混均匀度		
	Y = 230 mm	Y = 290 mm	Y = 375 mm
A	0.951 2	0.967 5	0.988 7
B	0.941 2	0.961 9	0.987 2
C	0.947 9	0.964 8	0.972 8

2.3 旋流数对预混特性的影响

改变旋流器叶片角度会影响燃烧室流场,进而也会影响燃料/空气的掺混特性。选取旋流数分别为 0.55、0.71 及 0.97 的旋流器。燃烧室结构参数见表 5。其中,喷口尺寸 $d_1 = 2.4\text{ mm}$, $d_2 = 1.5\text{ mm}$ 。

表 5 燃烧室结构参数

Tab.5 Structural parameter of combustor

方案	喷口转角/(°)	旋流数 S_n
I	120	0.55
II	120	0.71
III	120	0.97

图 10 为不同旋流数 S_n 时的燃烧室流场。从图中可以看出,旋流强度逐渐增强,对称涡体逐渐向两侧分离,并且整体回流区位置逐渐向前移动。随着旋流器叶片角度逐渐增大,旋流数增加,旋流器出口处的气流切向速度增大,导致回流区轴向长度缩短。同时,由于气流速度的变化,与外侧空气的掺混作用及动量交换增强,回流区的径向宽度也略有减小。但当旋流数达到 0.97 时,回流区位置前移,回流区前端逐步靠近燃烧室头部,在燃烧时可能有回火的风险。

不同旋流数下燃烧室横截面上燃料质量分数分布如图 11 所示。在旋流器作用下,燃料质量分数呈现外环高中心低的分布趋势,随轴向距离的延伸混合均匀度不断提高。混合气体进入火焰筒后,随着旋流数不断增大,内环高浓度燃料区域逐渐减小,有

向外消散的趋势。

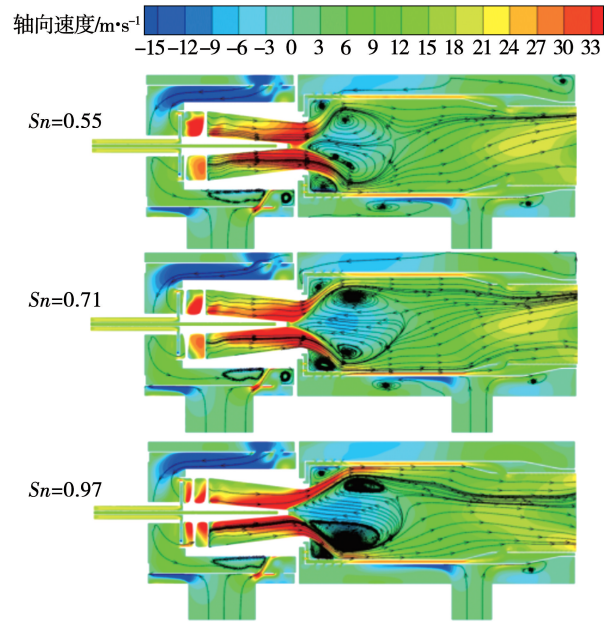


图 10 燃烧室流场

Fig. 10 Flow field of combustor

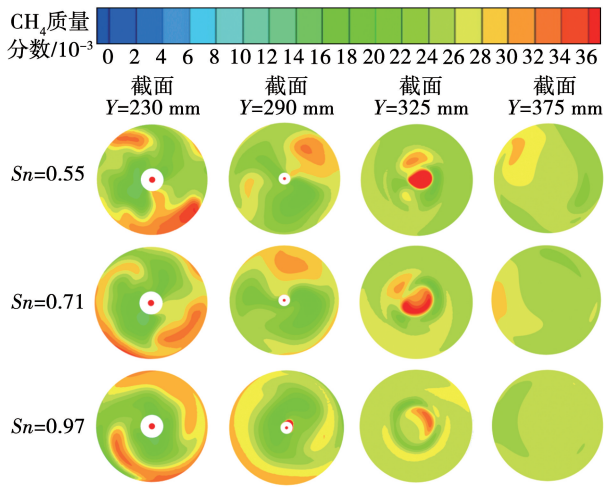


图 11 燃烧室横截面燃料质量分数分布

Fig. 11 Mass fraction distribution of fuel on cross section of combustor

由图 11 可知,燃料旋流数的增加使得燃料的湍流度升高,各组分之间的物质交换愈加强烈,燃料与空气的混合作用强烈,更多的燃料通过物质交换扩散到截面中心,燃料分布更加均匀。

燃料均匀度统计结果如表 6 所示。由表 6 可知,旋流数为 0.97 时旋流器 3 个截面的均匀度最理想,在回流区中心截面处的掺混均匀度为 0.994 42。

表 6 燃料掺混均匀度统计结果

Tab. 6 Statistical results of fuel mixing uniformity

旋流数	掺混均匀度		
	Y = 230 mm	Y = 290 mm	Y = 375 mm
0.55	0.926 3	0.945 4	0.979 5
0.71	0.926 5	0.945 7	0.985 8
0.97	0.926 8	0.952 1	0.994 4

为进一步研究旋流数对流场及掺混均匀度的影响规律,选取具有代表性的喷嘴,包括逆向射流的喷嘴(喷嘴转角为 180°)、在前文研究中性能较好的喷嘴转角为 150°的喷嘴及掺混均匀度稍差但是有稳定流场的 120°转角喷嘴分别进行组合。各方案下截面掺混均匀度计算结果如表 7 所示。

表 7 燃料掺混均匀度统计结果

Tab. 7 Statistical results of fuel mixing uniformity

喷嘴转角/(°)	旋流数	截面 Y = 325 mm	截面 Y = 375 mm
180	0.55	0.952 8	0.982 9
	0.71	0.963 1	0.991 0
	0.97	0.967 0	0.994 8
150	0.55	0.961 9	0.987 2
	0.71	0.965 1	0.987 4
	0.97	0.970 1	0.991 0
120	0.55	0.945 4	0.979 5
	0.71	0.945 7	0.985 8
	0.97	0.952 0	0.994 4

由表 7 可知,随着旋流数的增大,不同方案同一截面的掺混均匀度均有所提高。旋流数为 0.55、喷嘴角度为 150°时掺混均匀度 ξ 最高, ξ 为 0.987 2;喷嘴角度为 180°、旋流数为 0.71 及 0.97 时掺混性能更好, ξ 分别为 0.991 0 及 0.994 8。

3 结 论

通过对贫预混燃烧室主燃区预混均匀性的数值研究,揭示了燃料喷射方向、开孔规律和旋流数对预混均匀度和流场的影响规律,主要结论如下:

(1) 燃料射入角度对燃烧室流场结构有重要影响,逆向射流均可产生对称的中心回流区;当喷嘴方向为 150°时,可以在较短掺混距离内获得较好的掺混均匀性,并且此方向下火焰筒中心回流区掺混均

匀度最佳,为 0.987 2。

(2) 随着喷嘴尺寸的增大,燃料掺混均匀度逐渐降低,回流区面积先增大后减小。喷嘴尺寸较小的方案 1 和方案 2 的掺混均匀性差距不大,但方案 2 有更大的回流区,燃烧会更加稳定。

(3) 随旋流数增大,则掺混更加均匀,但回流区减小,并且有向前移动的趋势,可能会导致喷嘴头部温度过高甚至产生回火风险。

(4) 旋流数为 0.71 和 0.97、喷嘴转角为 180°的逆向射流喷嘴具有更高的掺混均匀度。旋流数为 0.55、喷嘴转角为 150°的喷嘴掺混性能更好,转角为 120°的喷嘴适用性相对较差。

参考文献:

[1] 谢 刚,艾 松,陶 健,等. 重型燃机干低 NO_x 燃烧室设计中的关键问题[J]. 东方电气评论,2014,28(2):65-72.
XIE Gang, AI Song, TAO Jian, et al. Key issues on the design of the DLN combustor for the heavy-duty gas turbine[J]. Dongfang Electric Review, 2014, 28(2): 65-72.

[2] STERB H, PRADE B, HAHNER T, et al. Advanced burner development for the Vx4. 3A gas turbines [C]//Proceedings of the ASME Turbo Expo 2001: Power for Land, Sea, and Air. New Orleans, Louisiana, USA: ASME, 2001.

[3] REICHEL T G, TERHAAR S, PASCHEREIT O. Increasing flashback resistance in lean premixed swirl-stabilized hydrogen combustion by axial air injection[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2014, 137(7): 071503.

[4] DANCKWERTS P V. The definition and measurement of some characteristics of mixtures[J]. Insights Into Chemical Engineering, 1981, 3(4): 268-287.

[5] TEMME J E, ALLISON P M, DRISCOLL J F. Combustion instability of a lean premixed prevaporized gas turbine combustor studied using phase-averaged PIV [J]. Combustion and Flame, 2014, 161(4): 958-970.

[6] JU Y, KAORU M. Microscale combustion: Technology development and fundamental research[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2011, 37(6): 669-715.

[7] MAUGHAN J R, WARREN R E, TOLPADI A K, et al. Effect of initial fuel distribution and subsequent mixing on emissions from lean, premixed flames [C]//ASME International Gas Turbine & Aeroengine Congress & Exposition. Cologne, Germany: ASME, 1992.

[8] ZHU Junzong, QI Haiying, FENG Chong. Performance test of a DLN combustor on emission and temperature traverse quality[C]//Asian Conference on Gas Turbines 2012. Shanghai, China, ACGT, 2012.

[9] 邵卫卫,赵 岩,刘 艳,等. 燃气轮机燃烧室预混燃烧器天然气燃料/空气掺混均匀性研究[J]. 中国电机工程学报,2017,37(3):795-803.

SHAO Weiwei,ZHAO Yan,LIU Yan,et al. Investigation of fuel/air mixing uniformity in a natural gas premixed burner for gas turbine combustor applications[J]. Proceedings of the CSEE,2017,37(3):795-803.

[10] LEONG M Y,SAMUELSEN G S,HOLDEMAN J D. Mixing of jet air with a fuel-rich, reacting crossflow[J]. Journal of Propulsion and Power,1999,15(5):617-622.

[11] BIAGIOLI F,GUTHE F. Effect of pressure and fuel-air unmixedness on NO_x emissions from industrial gas turbine burners[J]. Combustion and Flame,2007,151(1/2):274-288.

[12] CHOI M,SUNG Y,WON M,et al. Effect of fuel distribution on turbulence and combustion characteristics of a micro gas turbine combustor[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry,2017,48:24-35.

[13] 姜 磊,熊 健,肖 波,等. 旋流杯结构及进气参数对燃烧性能的影响[J]. 推进技术,2020,41(3):605-614.

JIANG Lei,XIONG Jian,XIAO Bo,et al. Effects of swirl cup structure and inlet parameters on combustion characteristics[J]. Journal of Propulsion Technology,2020,41(3):605-614.

[14] LIU X,ELBAZ A M,GONG C,et al. Effect of burner geometry on swirl stabilized methane/air flames: A joint LES/OH-PLIF/PIV study[J]. Fuel,2017,207:533-546.

[15] 谢 刚,祁海鹰,李宇红,等. R0110 重型燃气轮机燃烧室污染排放性能研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30(20):51-57.

XIE Gang,QI Haiying,LI Yuhong,et al. Emission performance of the dry low NO_x combustors for R0110 heavy-duty gas turbine[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(20):51-57.

[16] 冯 冲,祁海鹰,谢 刚,等. 干式低 NO_x 燃气轮机燃烧室的燃料/空气预混均匀性问题分析[J]. 中国电机工程学报,2011,31(17):9-19.

FENG Chong,QI Haiying,XIE Gang,et al. Analysis on the issue of fuel/air premixing uniformity of the dry low NO_x gas turbine combustor[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(17):9-19.

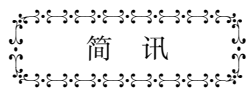
[17] 黄行良,朱志劼,叶 文. 燃气轮机燃烧室预混结构性能的数值研究[J]. 动力工程学报,2016,36(9):697-703.

HUANG Xingliang,ZHU Zhijie,YE Wen. Numerical study on the performance of premixing structure in a gas turbine combustor[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering,2016,36(9):697-703.

[18] 康振亚,郑洪涛,贾翔羽,等. 微型燃气轮机燃烧室预混结构性能研究及改进[J]. 燃气轮机技术,2013,26(1):21-26.

KANG Zhenya,ZHENG Hongtao,JIA Xiangyu,et al. Research and improvement of performance of micro-turbine combustor premixing structure[J]. Gas Turbine Technology,2013,26(1):21-26.

(丛 敏 编辑)



美国能源部投资 4 100 万美元扩大海洋能源测试基础设施

2024 年 8 月,美国能源部(DOE)水力发电技术办公室(WPTO)向四所大学领导的国家海洋能源中心(NMEC)投资了 4 100 多万美元,用于支持研发、基础设施改善、战略、管理、外联和通信等方面的工作。美国可用海洋能源总量相当于美国总发电量的近 60%。NMEC 分布于美国各地,其职能是利用海洋能源资源和区域专业知识,为开发人员提供测试和推进海洋能源技术所需的设施和专家。

在另一个项目中,大西洋海洋能源中心(AMEC)的研究人员通过分析计算机模型,来确定涡轮叶片在湍流波作用下的结构完整性。该项目将有助于确保应用于海洋能源设备的叶片能够在变工况条件下运行。

(孙嘉忆摘译自 <https://www.powerengineeringint.com>)