

多台阶旋流燃烧器的湍流燃烧流场分析

曾卓雄¹, 田佳莹², 薛锋², 徐义华²

(1. 上海电力学院 能源与机械工程学院, 上海 200090; 2. 南昌航空大学 飞行器工程学院, 江西 南昌 330063)

摘要: 对采用 Realizable $k-\varepsilon$ 湍流模型三维多台阶旋流燃烧器甲烷的非预混燃烧流动进行了数值模拟, 分析了台阶数、轴向速度比、进口温度和旋流数等参数对三维多台阶旋流燃烧器的湍流热态流场的影响。结果表明: 增大台阶数, 总压损失下降; 增大轴向速度比, 燃烧效率下降, 整体温度降低, 出口径向温度分布均匀性变差; 增大进口温度, 可以显著提高燃烧效率和出口径向温度分布均匀性及整体温度; 增大旋流数, 燃烧效率和整体温度都增大, 径向出口温度分布均匀性变好。

关键词: 旋流燃烧器; 湍流燃烧; 台阶数; 轴向速度比; 进口温度; 旋流数

中图分类号: T233.23 文献标识码: A
DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.03.018

引言

由于流体较强的旋转运动而产生的回流区对稳定火焰、提高燃烧效率和降低污染物具有显著的作用^[1-3]。文献[4]对叶片旋流器矩形燃烧室流场进行了数值模拟, 分析了不同旋流叶片角度对流场影响。文献[5]利用 PIV、热电偶和气体分析仪试验研究了不同旋流叶片安装角、含氢量与当量比对轴向旋流器燃烧流场、回流区尺寸以及燃气温度与其成份分布的影响。文献[6]用 Smagorinsky-Lilly 亚网格尺度湍流模型对旋流突扩流动和无旋突扩流动进行了大涡模拟, 并将 RANS 模拟结果和 LES 的统计结果做了对比。文献[7]采用粒子图像速度仪 (PIV) 试验研究了不同旋流数对模型燃烧室内回流区的尺寸、平均速度、脉动速度以及雷诺剪切应力分布的影响。文献[8]用 Realizable $k-\varepsilon$ 模型和 RSM 模型对旋流燃烧器进行了冷态模拟计算, 并与 PIV 所测得的结果进行了比较。文献[9]研究了层流流

动下的多台阶 (multi-step) 突扩扩压器性能, 发现其可以有效降低总压损失。文献[10]的研究表明在燃烧器长度一定的情况下, 多台阶冷态燃烧器内的湍流流动能更充分的发展, 其性能比典型突扩燃烧器的好。

鉴于多台阶 (multi-step) 燃烧室具有降低总压损失等优点, 国内外研究者也开始加强对多台阶突扩室的研究, 但对多台阶旋流燃烧器的热态研究及参数变化带来的影响尚未见过报道。在前期研究的基础上, 本研究进一步分析台阶数、轴向速度比、进口温度和旋流数对三维多台阶旋流燃烧器的湍流热态流场的影响。

1 几何模型及边界条件

不同台阶数三维旋流燃烧器中心对称纵截面几何模型如图 1 所示。 r 是径向位置, X 是轴向位置。

旋流燃烧室进口内、外筒直径分别为 10 mm 和 20 mm, 甲烷从内筒 (中心通道) 射入燃烧器, 旋流空气由内、外筒组成的环形通道入口流入, 燃烧室长度为 250 mm, 出口直径为 80 mm, 如图 1 所示。简化起见, 只需给定旋流器入口速度边界。

采用 Realizable $k-\varepsilon$ 湍流模型, 压力-速度耦合采用 SIMPLE 算法, 对流项采用二阶迎风差分格式, 扩散项采用二阶中心差分格式, 燃烧模型为非预混反应 PDF 模型。旋流燃烧室的中心通道和环形通道的进口条件都为速度进口, 出口条件为压力出口, 燃烧器壁面温度为 1 000 K。文中的 R 为燃烧室外径, T 为温度, U (或 W) 为速度, δ^* 为总压损失, η 为燃烧效率。

收稿日期: 2014-04-22; 修订日期: 2014-06-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51066006; 51266013); 航空科学基金资助项目 (2013ZB56004; 2013ZB56002)。

作者简介: 曾卓雄 (1972-), 男, 江西新干人, 上海电力学院教授, 博士后。

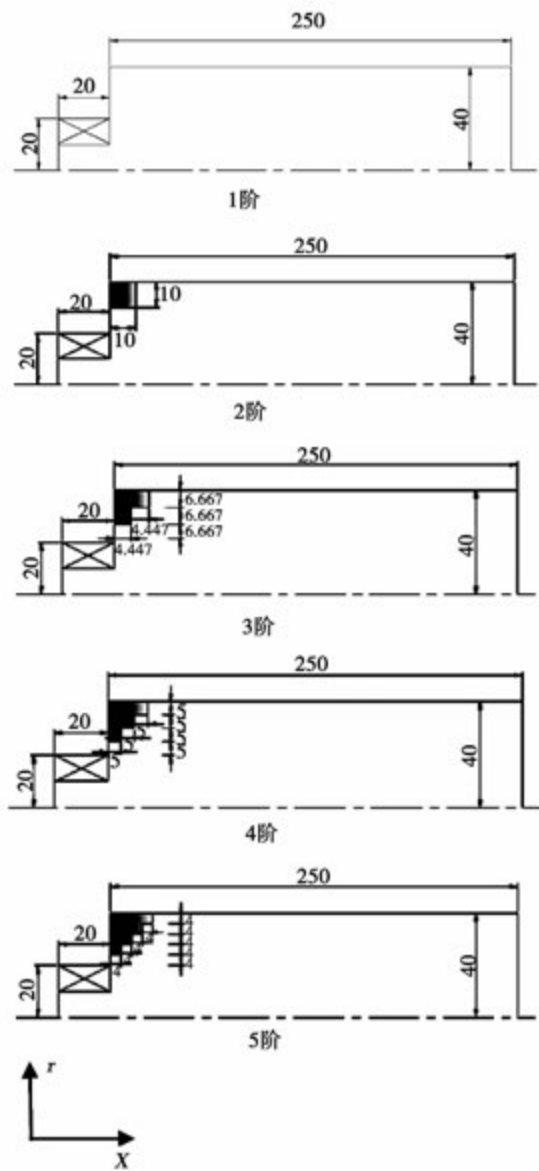


图 1 旋流燃烧器中心对称纵截面几何图 (mm)
 Fig. 1 Centrally symmetric longitudinal geometrical sectional view of a swirling burner (mm)

2 计算结果与分析

为验证计算的合理性,对旋流数 $S = 0.53$ 的旋流流动进行了模拟,并将模拟结果与文献 [11] 的实验结果进行了对比,由图 2 可知,在大部分区域,计算结果与实验结果吻合较好。

2.1 台阶数的影响

中心甲烷进口速度 U_1 为 5 m/s,中心通道空气轴向速度(等于 U_1) 和环形通道轴向速度 U_2 比值为

0.6,旋流数 S 为 0.6。本研究只显示了中心对称纵截面的结果。

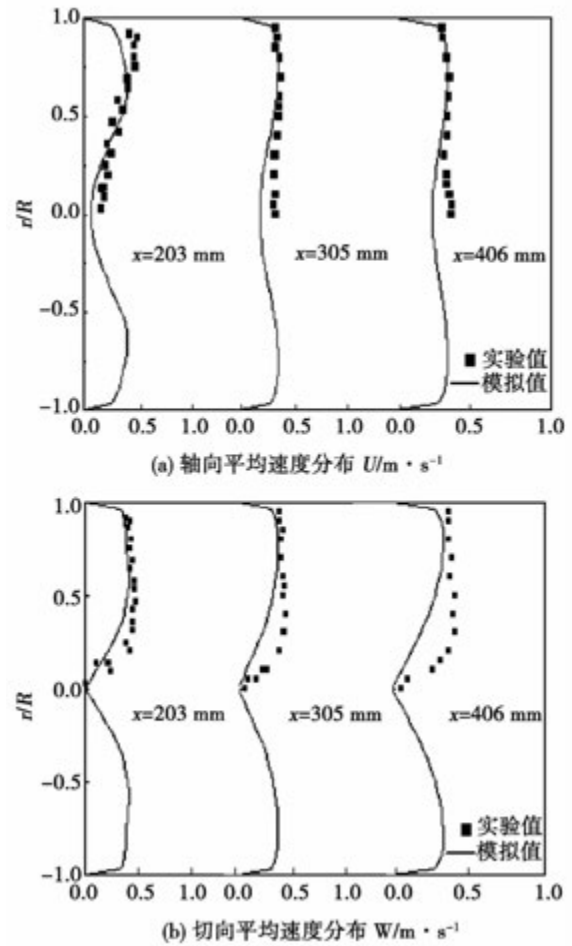


图 2 平均速度分布

Fig. 2 Average velocity distribution

由表 1 可以看出,台阶数对中心回流区产生了明显的影响,随着台阶数的增大,中心回流区长度和回流直径都减小,相应的回流强度减小,这表明台阶数的增加在一定程度上减减弱了中心回流区的回流强度。当台阶数为 1 时,中心回流区长度和回流直径均最大,分别为 88 和 40 mm;当台阶数为 5 时,中心回流区长度和回流直径均最小,分别为 48 和 28 mm。随着台阶数的增加,台阶数对回流强度的影响程度在下降,台阶数从 1 变为 2 时,中心回流区强度从 0.045 下降到 0.025,下降幅度最大。

从图 3 可以看出,台阶数增加造成了阶突后的外边界回流区中心的后移,中心回流区的回流中心前移。中心回流区回流强度减小,回流涡对能量损耗降低,虽然阶突后的外边界回流区有所变大,但是

增加的这部分能量损耗小于中心回流区所降低的损耗量,从旋流燃烧器的整体看,总压损失是下降的。总压损失是由中心回流区和外边界回流区共同引起的。

表1 回流参数

Tab. 1 Backflow parameter

台阶数	回流长度/mm	回流直径/mm	回流强度	回流区前滞点/mm	回流区后滞点/mm	回流区中心/mm
5阶	48	28	0.010	X = 70	X = 118	X = 100
4阶	54	31	0.014	X = 69	X = 123	X = 103
3阶	55	34	0.018	X = 68	X = 123	X = 105
2阶	66	36	0.025	X = 67	X = 133	X = 110
1阶	88	40	0.045	X = 58	X = 146	X = 114

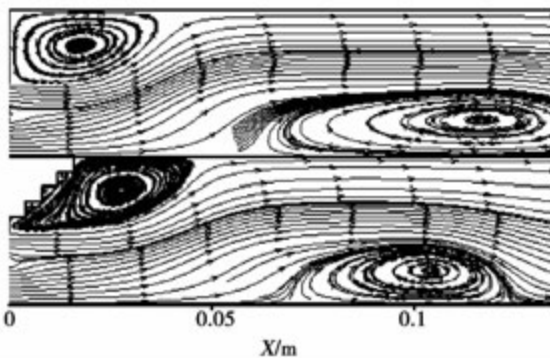


图3 中心对称纵截面流线分布

Fig. 3 Streamline distribution of center symmetry longitudinal section

从图4可以看出,随着台阶数的增加,总压损失减小。当台阶数为1时,总压损失为72.3%,为最大总压损失;当台阶数为5时,总压损失为67%。总压损失下降率在台阶数由1变为2时最大,总压损失下降率主要与台阶数对中心回流区回流强度的影响程度有关。综上,最终确定对台阶数为5的旋流燃烧器结果进行讨论。

图5为甲烷在5台阶旋流燃烧器内非预混燃烧时中心对称纵截面的温度分布。可以看出,高温区主要集中在燃烧器的中后段,高温区占了燃烧器的大部分面积(除了近壁区域)。沿燃烧器的长度方向,高温区变得越来越宽并向中心发展;低温区主要集中在燃烧器的进口和壁面处,这表明燃烧主要发生在中心回流区和两股射流的掺混交接面。这是由

于喉部的扩压作用及射流的衰减,速度下降很快,甲烷和空气在掺混面发生反应。中心回流区吸卷了掺混面的高温反应产物,在中心回流区形成一个高温区,在这个区域产生了稳定的值班火焰,起着稳定燃烧的作用。随着高温反应产物向前流动,高温区所占区域不断变大。

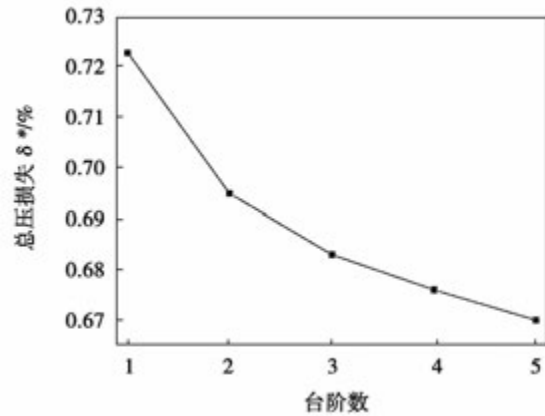


图4 不同台阶数的总压损失

Fig. 4 Total pressure loss in different step numbers

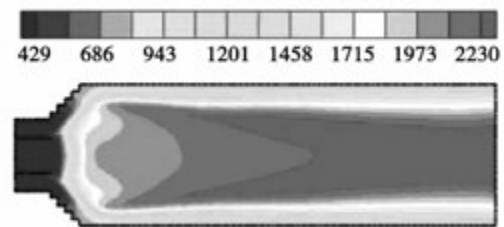


图5 甲烷在5阶旋流燃烧器内非预混燃烧时中心对称纵截面的温度分布(K)

Fig. 5 Temperature distribution in center symmetry longitudinal section in non-premixed combustion(K)

图6为中心对称纵截面各组分质量分数分布,由甲烷质量分数分布情况可以看出,甲烷主要分布在中心区和中心轴心线附近,靠近头部的中心位置质量分数高,沿轴线方向质量分数不断下降,甲烷径向分布范围变窄;从氧气质量分数分布情况看,氧气主要集中在近壁区,在阶突处近壁区的质量分数要高些,在燃烧器的中心轴线附近的大面积区域,氧气的质量分数很低;从水和二氧化碳的质量分数分布来看,水和二氧化碳占了燃烧器的大部分区域(除了近壁区域),少量分布在中心回流区。

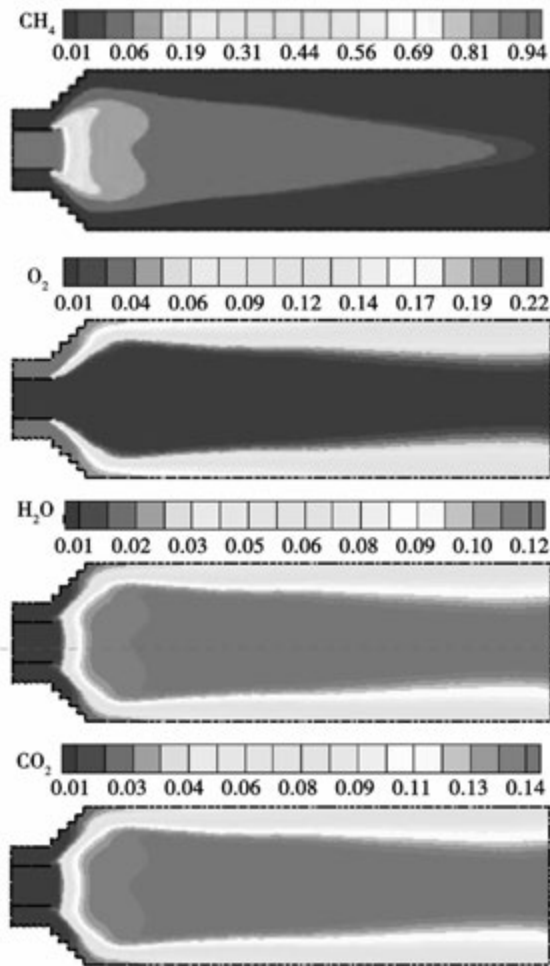


图 6 甲烷在 5 阶旋流燃烧器内非预混燃烧时中心对称纵截面的质量分数分布

Fig. 6 Mass fraction distribution in center symmetry longitudinal section in non-premixed combustion

2.2 轴向速度比的影响

在研究轴向速度比(轴向速度比为燃烧器中心甲烷进口速度与环缝空气进口轴向速度的比值)对燃烧的影响时,中心进口甲烷流入速度 $U_1 = 5 \text{ m/s}$,当轴向速度比为 0.29 时,余气系数 $\alpha = 1$;轴向速度比为 0.2 时, $\alpha > 1$ 为贫油燃烧;轴向速度比为 0.6 时, $\alpha < 1$ 为富油燃烧。其它进口参数如表 2 所示。

表 2 不同轴向速度比工况

Tab.2 The working conditons in different axial velocity ratios

工 况	1	2	3
旋流数		0.6	
甲烷进气温度/K		300	
轴向速度比	0.2	0.29	0.6

图 7 为不同轴向速度比时中心轴线上速度分布。轴向速度比为 0.2 时,中心轴线上出现回流,表明在燃烧器的前部存在一个中心回流区;轴向速度比为 0.29 时,中心轴线上也出现回流,但回流长度要短于轴向速度比为 0.2 时的回流长度;而轴向速度比为 0.6 时,没有出现回流。回流速度和回流长度在一定程度上反映了回流强度的大小,由此可以知道轴向速度比为 0.2 时的回流强度最大,轴向速度比为 0.29 时的回流强度次之,轴向速度比为 0.6 时最小。

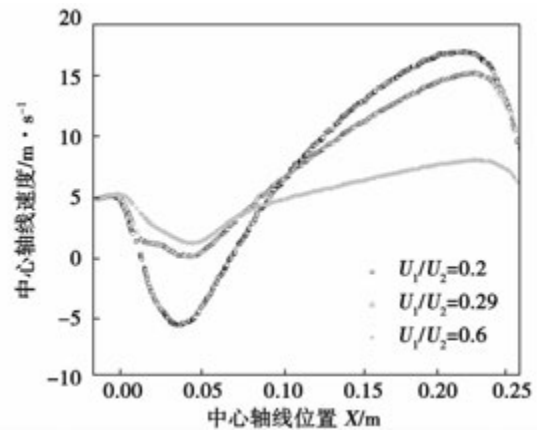


图 7 不同轴向速度比时中心轴线速度分布
Fig. 7 Velocity distribution on central axis in different axial velocity ratios

在图 8 中工况 1、工况 2、工况 3 分别表示轴向速度比为 0.2、0.29、0.6 时中心对称纵截面温度分布。工况 1 中的高温区占了燃烧器的大部分面积,表明轴向速度比为 0.2 时的燃烧比较剧烈;工况 2 中的高温区面积大小和工况 1 中的差不多,但是相同区域上工况 2 中的温度要比工况 1 中的低,表明轴向速度比为 0.29 时的燃烧没有轴向速度比为 0.2 时的剧烈。工况 3 中高温区面积明显要比工况 1 和工况 2 中高温区面积小得多,主要分布在近壁面处,其燃烧反应最弱。这是由于不同轴向速度比产生的中心回流区发了生变化,中心回流区在燃烧时提供一个中心高温区,稳定燃烧,同时该高温区起着活化燃料分子的作用,活化分子增多,会加强燃烧。

图 9 显示了各组分在中心对称纵截面上各组分质量分数分布。从甲烷质量分数分布看,工况 1 中甲烷主要集中在头部中心区域,分布相对集中;工况 2 中甲烷分布区域要比工况 1 大,主要分布在前半段的中心轴线附近区域,工况 3 中甲烷分布区域面

积最大,也分布在中心轴线附近区域。从氧气质量分数分布情况看,工况 1、工况 2、工况 3 中氧气分布大体一样,都集中分布在近壁面,只是工况 1 中氧气分布在后半段上,并向中心轴线有所扩展。从图中可以看出,在工况 1 中,水和二氧化碳的分布在燃烧器的中心的大面积区域;在工况 2 中水和二氧化碳的分布和工况 1 相似,主要分布在近壁面但在相同的区域内,工况 2 中二氧化碳和水的质量分数要低些。

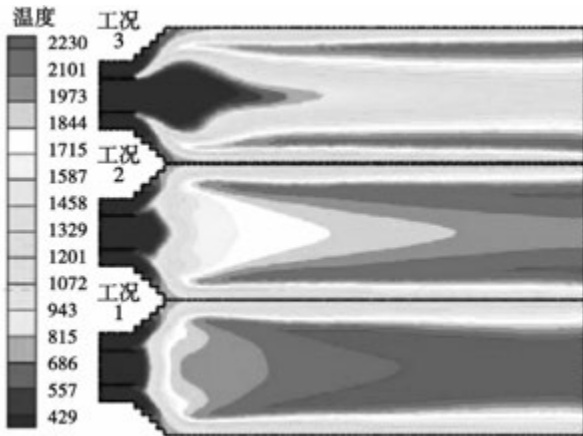


图 8 不同轴向速度比时中心对称纵截面的温度分布(K)

Fig. 8 Temperature distribution in center symmetry longitudinal section in different axial velocity ratios

从图 8 和图 9 可以看出,火焰产生在甲烷和空气的交界面位置,工况 1 的火焰宽而短,燃烧强度大,甲烷在头部中心区已经基本反应完全,这是由于回流区的存在,回流区吸卷了高温燃烧产物,在此处形成一个高温区,起着稳定和加强燃烧的作用。工况 2 中的火焰要比工况 1 中的窄、长,甲烷在头部中心反应不完全,这是由于回流强度小,未燃烧的甲烷向下游发展。工况 3 中的火焰变得很长而窄,甲烷在头部中心区的浓度很高,消耗的很少,甲烷以较高的浓度向下游发展,这是由于没有中心回流区,同时环缝空气的流量减小,而进入旋流燃烧器的甲烷流量没变,燃烧状态为富油燃烧,空气的供应量相对少了,使得工况 3 的燃烧程度降低。

图 10 为不同轴向速度比时燃烧效率,可以看出,在工况 1 时的燃烧效率最高,为 92.88%,工况 3 时的燃烧效率最低,为 39.74%,工况 2 时的燃烧效率居中,为 82.52%。可见,随着轴向速度比的增大,燃烧效率随之下降。

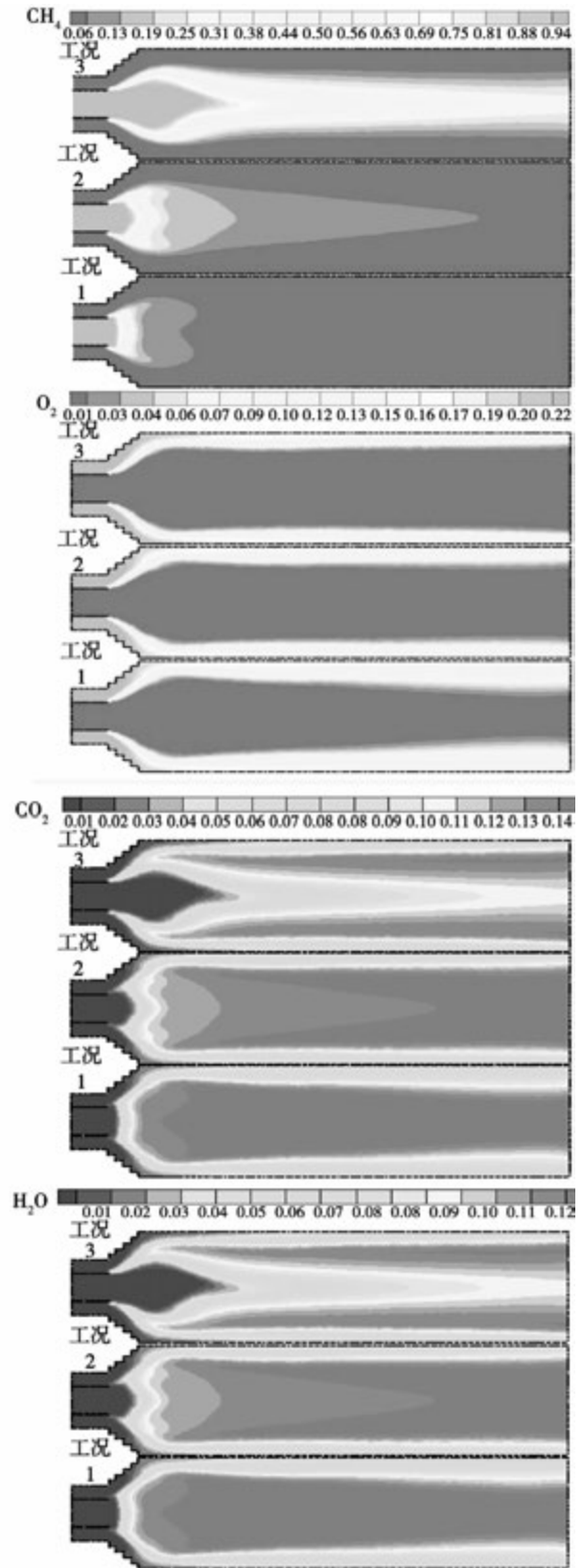


图 9 不同轴向速度比时中心对称纵截面的质量分数分布

Fig. 9 Mass fraction distribution in center symmetry longitudinal section in different axial velocity ratios

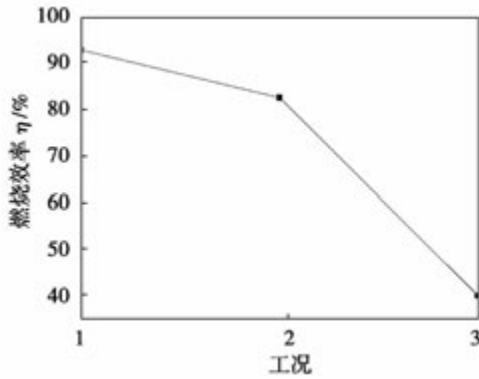


图 10 不同轴向速度比时燃烧效率
Fig. 10 Combustion efficiency in different axial velocity ratios

图 11 为不同工况下出口径向温度分布。可以看出,工况 1 的出口径向温度在中心区域相对比较均匀;而工况 2 的最大温度值在 $r = 25 \text{ mm}$ 附近,其值朝中心和壁面方向下降;工况 3 的最大温度在 $r = 30 \text{ mm}$ 附近,其整体沿径向变化情况与工况 2 时大体类似,只是在 r 从 30 到 0 之间,温度下降得更剧烈,同一位置处的温度要比工况 2 的低很多。

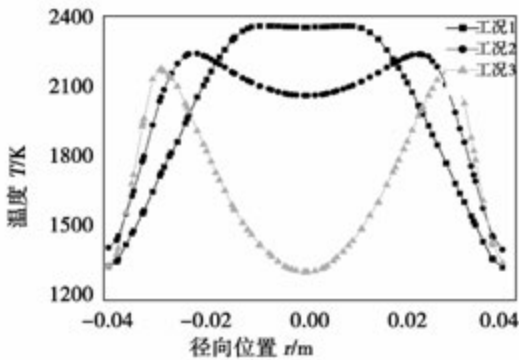


图 11 不同轴向速度比时出口径向温度分布
Fig. 11 Temperature distribution in radial direction of outlet direction in different axial velocity ratios

综上分析,轴向速度比对甲烷燃烧有着很大的影响。随着轴向速度比增大,燃烧器内的整体温度随之下降,燃烧效率下降,出口径向温度分布均匀性变差。

2.3 甲烷进口温度的影响

中心进口甲烷流入速度 $U_1 = 5 \text{ m/s}$,其它进口参数如表 3 所示。

从图 12 中可以看出,工况 3 中的高温区占了燃烧器的大部分区域,表明燃烧最为剧烈;图中工况 2

比工况 3 中的高温区面积要小,同一区域,工况 2 的温度要低,工况 1 的高温区明显要比工况 3 和工况 2 的小得多。这是由于进口温度提高后,活化分子数目的迅速增多,化学反应速度加强。

表 3 不同甲烷进口温度工况

Tab.3 Working conditions in different methane inlet temperatures

工 况	旋流数	轴向速度比	甲烷进口温度/K
1			300
2	0.6	0.6	500
3			800

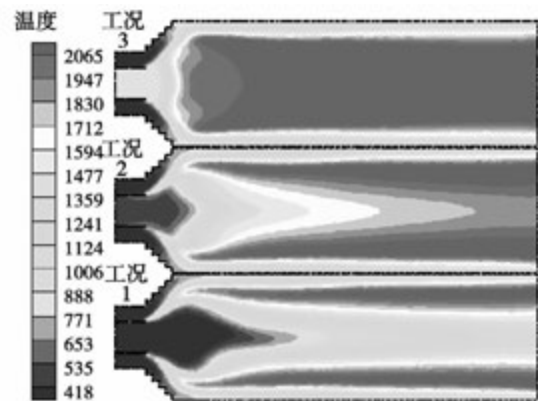


图 12 不同甲烷进口温度中心对称纵截面的温度分布(K)

Fig. 12 Temperature distribution in center symmetry longitudinal section with different methane inlet temperatures(K)

图 13 为不同甲烷进口温度时燃烧效率。可以看出工况 3 的燃烧效率最高,为 89.17%,工况 1 的燃烧效率最低,为 39.74%,工况 2 的居中,为 66.53%。这表明增大进口温度,燃烧效率也增大。

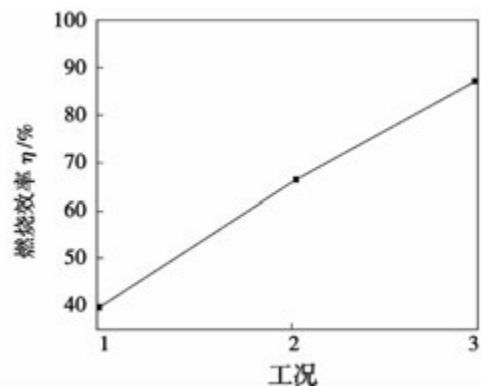


图 13 不同甲烷进口温度时燃烧效率
Fig. 13 Combustion efficiency with different methane inlet temperatures

图 14 为不同进口温度时出口径向温度分布。可以看出,工况 3 的出口径向温度在中心区域相对比较均匀,而工况 1 和工况 2 的径向温度最大值在 $r = 30 \text{ mm}$ 附近;工况 1 时温度整体沿径向变化趋势与工况 2 的大体类似,只是朝中心区域下降得剧烈,在靠近中心区域的相同径向位置上,工况 1 的温度要比工况 2 的低很多。这和轴向速度比对出口径向温度的影响正好相反。

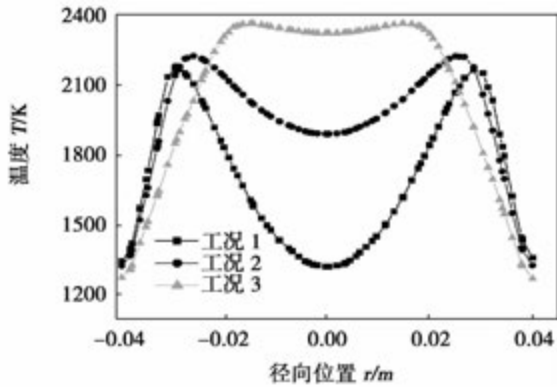


图 14 不同甲烷进口温度时出口径向温度分布
Fig. 14 Temperature distribution in radial direction of outlet direction with different methane inlet temperatures

2.4 旋流数的影响

中心进口甲烷流入速度 $U_1 = 5 \text{ m/s}$,其它进口参数如表 4 所示。

表 4 不同旋流数工况

Tab. 4 Working conditions in different swirling numbers

工 况	1	2	3
旋流数	0.2	0.6	1
轴向速度比		0.6	
甲烷进气温度/K		300	

从图 15 可以看出,工况 3 的高温区域最大,工况 1 和工况 2 的高温区面积相当。从工况 1 到工况 3,火焰渐渐向着壁面靠近,这是因为随着旋流数的增大,离心流动加强,甲烷和空气的交接面向壁面移动,火焰向壁面移动。另外,工况 1 的温度分布不对称,在一定程度上反映了其燃烧的不稳定性。

图 16 为不同旋流数时的燃烧效率。可以看出工况 3 的燃烧效率最高,为 75.08%,工况 1 的燃烧效率最低,为 34.22%,工况 2 居中,为 39.74%。可见,增大旋流数可以提高燃烧效率。

图 17 为不同旋流数时出口径向温度分布。可以看出,工况 3 的出口径向温度分布十分均匀;工况

1 的出口径向温度分布不对称,在出口中心区域对称,这也反映了其流场的不均匀性;工况 2 的出口径向温度分布在中心处和靠近壁面处为 1 300 K 左右,而在 $r = 30 \text{ mm}$ 附近温度为 2 200 K,其径向温度变化程度比工况 1 的要大。

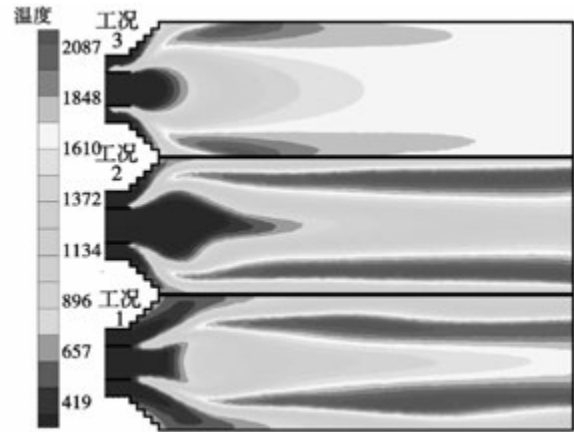


图 15 不同旋流数时中心对称纵截面的温度分布(K)

Fig. 15 Temperature distribution in center symmetry longitudinal section with different swirling numbers

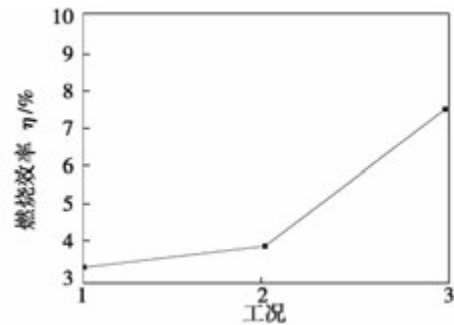


图 16 不同旋流数时燃烧效率
Fig. 16 Combustion efficiency with different swirling numbers

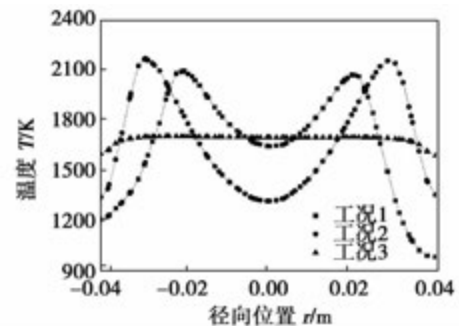


图 17 不同旋流数时出口径向温度分布
Fig. 17 Temperature distribution in radial direction of outlet with different swirling numbers

3 结 论

(1) 增大台阶数,总压损失下降。

(2) 增大轴向速度比,燃烧效率会下降,整体温度降低,出口径向温度分布均匀性变差。

(3) 增大进口温度,可以显著提高燃烧效率和出口径向温度分布均匀性及整体温度。

(4) 增大旋流数,燃烧效率和整体温度都随之增大,径向出口温度分布均匀性也随之变好。

参考文献:

[1] 米翠丽,樊孝华,魏 刚,等. DRB-4Z 型双调风旋流燃烧器出口流场的数值仿真研究 [J]. 热力发电,2012,2(11): 36-40.
MI Cui-li, FAN Xiao-hua, WEI Gang, et al. Numerical simulation research of outlet flow field of DRB-4Z type dual channel swirl burner [J]. Thermal Power Generation, 2012, 2(11): 36-40.

[2] 张 欣,刘 勇,党新宪,等. 单头部双级旋流器燃烧室流场 PIV 测量 [J]. 工程热物理学报,2009,30(7): 1253-1256.
ZHANG Xin, LIU Yong, DANG Xin-xian, et al. Experimental study on flow field of single-head combustor with dual-stage swirler by PIV [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2009, 30(7): 1253-1256.

[3] Li Z Q, Sun R, Chen L Z, et al. Effect of primary air flow types on particle distributions in the near swirl burner region [J]. Fuel, 2002, 81(6): 829-835.

[4] Thundil R R K, Ganesan V. Study on the effect of various parameters on flow development behind vane swirlers [J]. International Journal of Thermal Sciences, 2008, 47: 1204-1225.

[5] Kim H S, Arghode V K, Gupta A K. Flame characteristics of hydro-

gen-enriched methane-air premixed swirling flames [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2009, 34: 1063-1073.

[6] 胡砾元,周力行,张 健. 旋流和无旋突扩流动的 LES 和 RANS 模拟 [J]. 工程热物理报,2005,26(2): 339-342.
HU Li-yuan, ZHOU Li-xing, ZHANG Jian. LES and RANS simulation of sudden expansion flows with and without swirl [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2005, 26(2): 339-342.

[7] 党新宪,赵坚行,徐 榕,等. 试验研究旋流数对燃烧室气动性能的影响 [J]. 航空动力学报,2011,26(1): 21-27.
DANG Xin-xian, ZHAO Jian-xing, XU Ro, et al. Experimental investigation on effects of swirl on aerodynamic characteristics of combustor [J]. Journal of Aerospace Power, 2011, 26(1): 21-27.

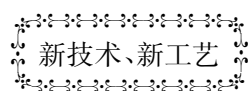
[8] 崔 凯,张 海,王卫良,等. 旋流燃烧器数值模拟中 Realizable $k-\epsilon$ 和 RSM 模型比较 [J]. 工程热物理学报,2012,33(11): 2006-2009.
GUI Kai, ZHANG Hai, WANG Wei-liang, et al. Comparison between realizable $k-\epsilon$ and RSM model in the simulation for a swirl burner [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2012, 33(11): 2006-2009.

[9] Mandal D K, Manna N K, Bandyopadhyay S, et al. A numerical study on the performance of a sudden expansion with multisteps as a diffuser [J]. International Journal of Applied Mechanics, 2011, 3(4): 779-802.

[10] 薛 锋. 旋流燃烧器的数值研究 [D]. 南昌: 南昌航空大学,2013.
XUE Feng. Numerical study of the swirl burner [D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2013.

[11] Roback R, Johnson B V. Mass and momentum turbulent transport experiments with confined swirling coaxial jets [R]. NASA-CR-168252, 1983.

(丛 敏 编辑)



发电机布置在高压缸侧的抽汽式热电汽轮机的纵向配置方案

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.03.019

《Теплоэнергетика》2013 年 3 月刊提出了把发电机布置在高压缸侧的抽汽式热电汽轮机的纵向配置方案。

和在中压缸和低压缸之间可分开的联轴节配合,把发电机布置在汽轮机高压缸一侧给出了断开低压缸轴的可能性,从而就消除了与在供暖期间实行汽轮机无蒸汽工况有关的问题。

在供暖工况时,使低压缸轴停止,允许使 T-175/210-12.8 型汽轮机的电功率增加不少于 6 MW,热功率约增加 125.7 GJ/h。

应用表明,把这种布置方式用于具有纵向配置的抽汽式热电汽轮机是最有前途的。

(吉桂明 摘译)

vaneless diffuser. **Key Words:** compressed air energy storage, centrifugal compressor, impeller, diffuser, aerodynamic design, optimization

某除湿级叶片强度振动有限元分析 = **Finite Element Analysis of the Strength and Vibration of a Blade in a Wetness Removal Stage** [刊, 汉] LUO Jing, YUAN Qi, LIU Xin (College of Energy Source and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Beijing, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(3) . - 372 - 377

With a blade of 139 mm high in a wetness removal stage serving as the object of study, established was a three-dimensional entity model and finite element one of a blade in a wetness removal stage and analyzed were the strength and vibration characteristics of the blade by making use of the finite element software Ansys. In this connection, the stress distribution, dynamic frequencies and corresponding vibration patterns of a single blade and group-forming blades under various operating conditions were obtained and in the meantime, a safety check was conducted of the strength and frequency of the blades according to the calculation results. The research results show that the methods adopted for calculating the strength and vibration can effectively simulate the real operating conditions of the blades, thus offering reference and underlying basis for checking strength and vibration of blades and contributing to the optimized design and safety check of the blades and their kind. **Key Words:** steam turbine, wetness removal stage blade, finite element analysis, strength and vibration

多台阶旋流燃烧器的湍流燃烧流场分析 = **Analysis of the Turbulent Flow Combustion Flow Field in a Multi-step Swirling Burner** [刊, 汉] ZENG Zhuo-xiong (College of Energy Source and Mechanical Engineering, Shanghai University Electric Power, Shanghai, China, Post Code: 200090) , TIAN Jia-ying, XUE Feng, XU Yi-hua (College of Aircraft Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang, China, Post Code: 330063) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(3) . - 378 - 385

A numerical simulation was performed of the non-premixed combustion flow in a three-dimensional multi-step methane swirling burner by using the Realizable $k - \varepsilon$ turbulent flow model and the influence of the number of steps, axial speed ratio, inlet temperature and swirling number etc. parameters on the hot-state turbulent flow field in the burner was analyzed. It has been found that increase the number of steps will make the total pressure loss to decline, to increase the axial speed ratio will force both combustion efficiency and overall temperature to drop and the

uniformity of the radial temperature distribution at the outlet to get worsened, and to raise the inlet temperature can remarkably enhance the combustion efficiency, improve the uniformity of the radial temperature distribution at the outlet and raise the overall temperature. In addition, to increase the swirling number will make both combustion efficiency and overall temperature increase and the uniformity of the radial temperature distribution at the outlet become better accordingly. **Key Words:** swirling burner, turbulent flow combustion, number of steps, axial speed ratio, inlet temperature, swirling number

汽轮机排汽通道内湿蒸汽流动的数值研究 = **Numerical Study of the Wet Steam Flow in the Steam Exhaust Passage of a Steam Turbine** [刊, 汉] CAO Li-hua, ZHANG Hao-long (College of Energy Source and Power Engineering, Northeast University of Electric Power, Jilin, China, Post Code: 132012) , LIN Wen-bin (Electric Power Adjustment Experiment Limited Liability Co. , Fujian Pilot-scale Test Research Institute, Fuzhou, China, Post Code: 350007) , LIU Jia (Shandong Electric Power Engineering Consultancy Research Institute Co. Ltd. , Jinan, China, Post Code: 250013) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(3) . -386 -392

To analyze the flow conditions of the wet steam in the steam exhaust passage of a steam turbine, the software Fluent was used to conduct a numerical simulation of the flow inside the exhaust passage under various incoming flow conditions in combination with a phase-change model and a wet steam flow equation. It has been found that changes in the inlet steam wetness, swirling intensity and steam inlet angle will force the composition, location and intensity of the vortices in the passage to produce changes. With an increase of the inlet steam wetness, the uniformity of the flow field at the outlet of the exhaust steam passage will enhance to a certain extent. With an increase of the inlet steam wetness, swirling flow intensity and steam inlet angle, the energy loss coefficient of the flow inside the exhaust steam passage will decline. **Key Words:** steam turbine, steam exhaust passage, wet steam, numerical analysis

直接空冷机组真空系统夏季喷淋性能研究 = **Study of the Summer Sprinkling Performance of a Vacuum System for Direct-air-cooled Units** [刊, 汉] ZHAO Hong-bin, XIE Pan, WU Hai-xia (College of Mechanical, Storage and Transportation Engineering, China University of Petroleum, Beijing, China, Post Code: 102249) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(3) . -393 -399

In recent years, the air-cooling technology for power plants has gained a rapid development, especially, the direct-air-cooling technology for power plants. The latter has become an important development tendency in the northwest