

喷嘴雾化特性函数模型的建立及燃烧模拟中的应用

陈小岭, 葛冰, 臧述升

(上海交通大学机械与动力工程学院 叶轮机械研究所, 上海 200240)

摘要: 利用 PDA(相位多普勒测速仪)对典型工况下压力雾化喷嘴的雾化特性进行了实验研究,利用 Gauss 分布函数表征雾化参数的径向分布,利用衰减指数函数表征雾化参数极值的轴向分布。总结出该喷嘴的雾化特性函数模型。模型的计算结果与实验结果相对误差不超过 10%。将该雾化函数模型应用于同向双旋流燃烧室中,对模拟的燃油燃烧模拟的离散相设置,分析了燃烧室内的火焰分布特性,验证了燃烧模拟中应用自定义雾化特性模型的可行性。相比初始雾化特性为均匀分布设置,该函数模型设置下燃烧室的温度场与流场的变化趋势大体一致,1800 K 高温区域径向缩小 20% 且向燃烧室下游偏移 0.01 m,回流区则向下游偏移约 0.025 m。

关键词: PDA; 雾化模型; Gauss 分布; 衰减指数函数; 双旋流燃油燃烧; 数值计算

中图分类号: TK05 文献标识码: A
DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.06.009

引言

在现代燃气轮机的燃烧室中,液体燃料的雾化、蒸发决定了燃烧室的燃烧效率、出口温度分布及污染物排放量。燃油喷嘴的雾化特性主要由喷雾锥角、粒径及速度分布特性确定。目前,利用多普勒相位分析仪(PDA)对喷雾特性进行测量是最有效的研究方法之一^[1],通过该方法能得到不同空间位置处的燃料粒径及速度分布,可用于喷嘴的设计选型及雾化特性数值模拟的实验验证。但 PDA 属于单点测量,实验成本较高,所以要获得喷嘴出口的粒径及速度分布需花费大量时间。为节省实验成本,国内外很多学者进行了一系列实验和理论研究,试图对雾化特性的空间分布规律进行总结并推广到同类型的喷嘴设计与数值分析研究中。

为研究喷雾参数沿轴向短距离的分布特性,文献[2]等利用 PDA 技术对压力旋流雾化喷嘴进行实验研究,将喷雾流动结构、燃料液滴平均直径及冲击能量沿较短范围内轴向距离的变化特性规律化。通

过实验发现:随着轴向距离增加,喷雾从空心锥发展成实心锥,索特直径先减小然后在达到一定距离时显著增加,韦伯数单调降低。文献[3]等利用 PDPA 相位多普勒粒子分析仪针对燃料闪蒸喷雾下液滴粒径和速度沿轴向与径向的分布特性进行了测量,拟合出液滴无量纲速度沿径向无量纲距离变化的关联式。此外,研究人员在处理喷嘴雾化特性的 PDA 实验数据时,常根据实验所得的粒径分布特征寻找最优的数学函数进行拟合。文献[4]等通过对几种压力雾化喷头进行数据实测,采用 t^2 假设检验方法验证了雾滴直径数量分布和体积分布所服从的一般性分布规律。文献[5]等利用修正过的 γ 分布函数和实验已知参数来预测直径频谱。

综合上述研究发现,借助 PIV(粒子成像测速法)和 PDA 等手段获得的喷嘴雾化特性数据^[6],可演绎出喷嘴雾化特性的空间分布规律,建立雾化特性函数模型,从而确定同类型喷嘴全工况范围下的雾化特性。此外对于压力雾化喷嘴在燃烧模拟中的应用主要是通过设计喷嘴内部结构,或根据燃料性质定义喷嘴出口雾化、破碎、蒸发理论模型^[7-12],而将雾化实验数据通过离散相设置应用到燃烧模拟之中的研究不多见,较常见的多为利用 Fluent 等商业计算软件的原始设置类型,如均匀分布、锥形分布、特定型号的压力雾化喷嘴等。本研究利用 PDA 技术对典型压力雾化喷嘴的雾化特性进行了实验研究,建立了该型喷嘴的雾化特性函数模型,拟合出了该喷嘴全工况下的雾化特性参数分布曲线。将拟合的喷嘴雾化特性函数模型应用于燃烧室喷嘴雾化燃烧特性的数值模拟,验证该方法的可行性并对比不同设置的影响。

1 实验装置及方案

实验研究对象为一系列同类型压力雾化喷嘴,

收稿日期: 2014-11-26; 修订日期: 2015-01-22

作者简介: 陈小岭(1990-),男,江苏海安人,上海交通大学硕士研究生。

实验采用回水泵、水箱、管路、喷嘴与雾滴回收箱构成测量回路,压力泵用来测量与调节喷嘴入口水压。实验采用的测量仪器是 DANTEC 公司的 Dual - PDA,包括可发出波长为 541.5 nm 绿光及 88 nm 蓝光的氩离子激光器、58 × 87 Dual - PDA 光学探头、58N81 探测单元及 58N80 多 PDA 信号处理器、处理及存储数据的计算机,其激光发射与接收器装在步进电机控制的三维坐标架上,实验系统如图 1 所示^[13]。

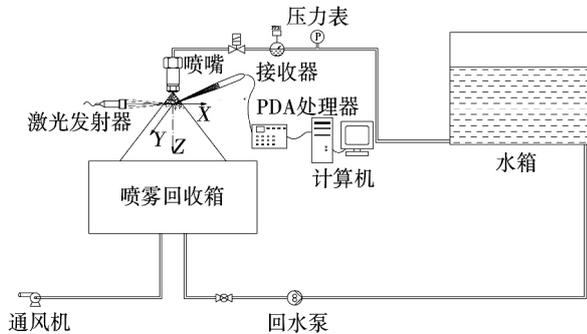


图 1 喷嘴雾化试验系统示意图

Fig. 1 The schematic diagram of nozzle spray experimental system

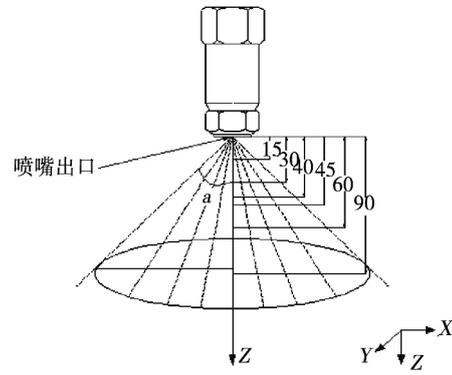
实验以室温下 20 °C 的水为工质,测量喷嘴入口处压力为 0.8、1.4、1.95 MPa 的喷雾参数,包括液滴直径与轴向速度。

测量区域如图 2(a) 中距喷嘴出口下游 15、30、40、45、60 和 90 mm 的截面,沿径向分布的离散点参照图 2(b) d 为相邻测点间距 R 为测量区域半径,确保可测喷雾锥面边缘处的液滴特性。PDA 单点所测数据为统计平均值,每个测点雾滴样本的采集数约为 3 000。除个别测点外,大多数测点均能在 2 min 内采到规定数量的雾滴样本,样本符合 Rosin - Rammner 分布。测量过程中,本文选用索特直径 (Sauter 直径 $D_{32} = \sum nd^3 / \sum nd^2 \mu\text{m}$) 表征所测雾滴粒径大小。

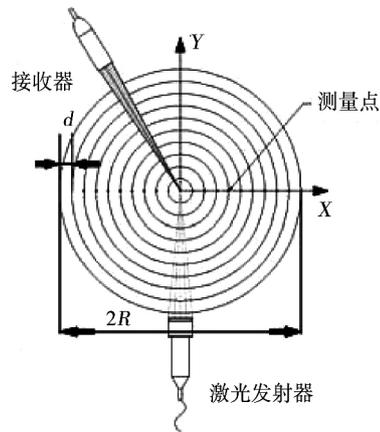
2 实验结果与分析

图 3 为通过 PDA 测量的喷嘴出口下游不同距离雾化液滴轴向速度和直径的径向分布图。喷雾锥中心区域的液滴轴向速度受压力变化的影响较喷雾锥边缘处明显,这是由于喷雾锥面周围静止空气的阻力削弱了入口水压的作用;索特直径相对轴向速

度的变化规律则相反,喷雾锥中心处的直径受水压变化的影响与相比其它区域偏小。此外入口水压的不断增大对雾化参数的影响程度逐渐减弱,尤其是索特直径。说明水压增加到一定程度后对雾化效果的改善有限,为满足所需的雾化效果只需将水压设定到临界值可有效节能。



(a) 距喷嘴出口下游为 15、30、40.....90 mm 处的测量截面



(b) 喷雾锥径向距离/mm

图 2 喷雾锥测量区域

Fig. 2 Spray cone measuring region

2.1 雾化参数的径向分布

通过图 3 发现不同水压下不同轴向距离处液滴的轴向速度和索特直径径向分布相似^[3],因此考察无量纲喷雾参数的径向分布特征,无量纲参数定义为^[4]:

$$Q = \frac{Q}{Q_{\max}} \tag{1}$$

$$\bar{R} = \frac{|X|}{Z} = \tan\alpha \tag{2}$$

式中: Q —轴向速度 V_z , $\mu\text{m/s}$ 和索特直径 D_{32} , μm ; X 、 Z —图 2 坐标系相应坐标值。无量纲半径 \bar{R} 表示液滴所在的径向位置相对雾锥轴线的角度。

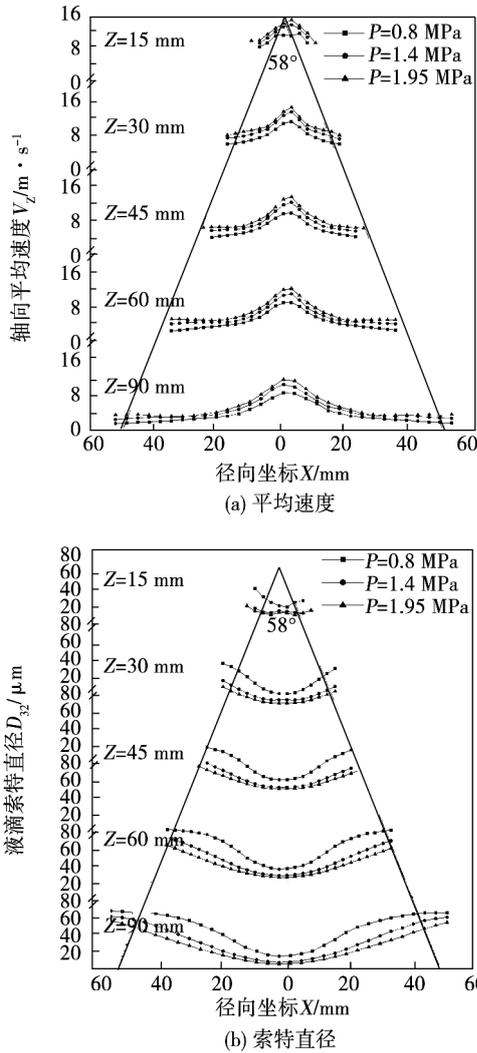


图 3 不同水压下雾化液滴沿轴向平均速度和索特直径的分布

Fig. 3 Distribution of atomized droplets in the axial velocity and SMD along axial direction under different water pressures

通过无量纲化得到 0.8 和 1.95 MPa 水压下雾化参数沿无量纲半径的分布如图 4 与图 5 所示。

根据图 4 与图 5 实际测得的雾化参数与参考文献 [3] 液滴无量纲雾化参数沿无量纲半径的变化符合 Gauss 分布特征, 拟合式为:

$$\bar{V}_z = a_1 + b_1 e^{-\frac{1}{2}(\frac{\bar{R}+c_1}{d_1})^2} \quad (3)$$

$$\bar{D}_{32} = a_2 + b_2 e^{-\frac{1}{2}(\frac{\bar{R}+c_2}{d_2})^2} \quad (4)$$

式中: \bar{V}_z —无量纲轴向速度等系数, \bar{R} —无量纲半径, \bar{D}_{32} —无量纲索特直径, $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2$ 等系数与水压相关。如表 1 所示, 其中 P_{atm} 为大气压, MPa; P 为水压, MPa。如 a_1 的值可由工况水压

确定:

$$a_1 = 0.158 \times (P/P_{atm})^0 + 0.011 \times (P/P_{atm}) + 0 \times (P/P_{atm})^2 \quad (5)$$

通过该无量纲雾化参数的拟合所得的 Gauss 方程可表示喷嘴下游若干截面上雾化参数在相应水压下的径向分布特征, 最小相关系数为 0.982, 拟合值与实验值相对误差不超过 10%。应用该拟合函数得到不同水压下的无量纲直径和轴向速度分布如图 6 所示。水压在 1.1 和 1.7 MPa 下无量纲参数的分布介于 0.8、1.4 和 1.95 MPa 水压之间, 分布规律相似, 可将该拟合函数应用于全工况下的雾化。

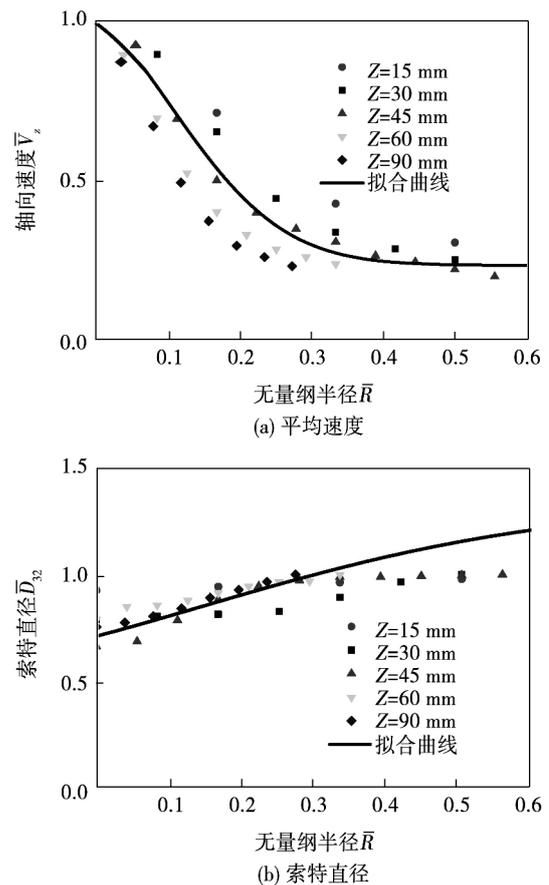


图 4 水压为 0.8 MPa 时不同截面无量纲雾化参数沿无量纲半径的变化

Fig. 4 The changes of dimensionless axial velocity and diameter along dimensionless radius in various sections when $P = 0.8$ MPa

2.2 雾化参数的轴向分布

计算无量纲化的雾化参数需已知相应轴向距离截面上的最大轴向速度和直径, 从图 3 雾化参数的径向分布特征可知雾化液滴最大轴向速度和索特直

径分别出现在喷雾锥的中心线及边缘处,如图 7 所示。

表 1 径向 Gaussian 分布待定系数与压力二次函数拟合系数

Tab. 1 The fitting coefficient of the quadratic function between the Gaussian distribution coefficients and pressures

待定系数	$(P/P_{atm})^0$	$(P/P_{atm})^1$	$(P/P_{atm})^2$
a_1	0.158	0.011	0
b_1	0.678	0.025	0
c_1	-0.120	0.026	0
d_1	0.018	0.030	0
a_2	1.822 2	-0.078 2	0.002 0
b_2	-1.312 2	0.083 4	-0.002 1
c_2	0.949 5	-0.096 5	0.002 5
d_2	1.195 9	-0.081 7	0.002 1

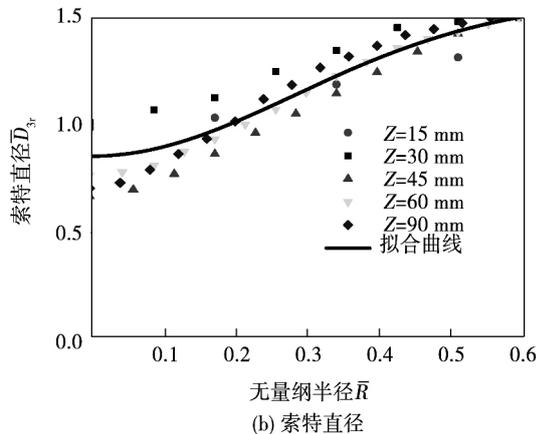
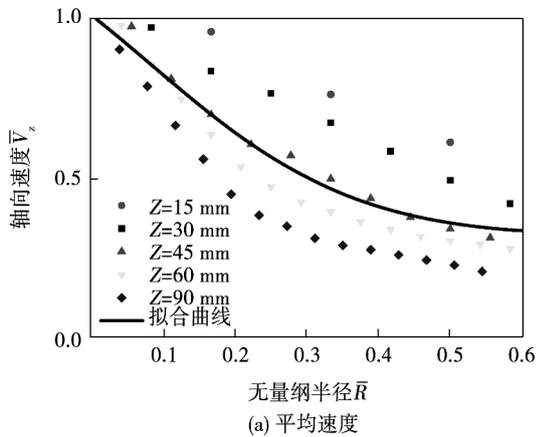


图 5 水压为 1.95 MPa 时不同截面无量纲雾化参数沿无量纲半径的变化

Fig. 5 The changes of dimensionless axial velocity and diameter along dimensionless radius in various sections with $P = 1.95 \text{ MPa}$

在忽略液滴重力、浮力及自身惯性力并认为周围空气静止的基础上,喷雾液滴只受空气施加的曳力。颗粒输运理论中曳力与液滴空气之间相对速度(忽略空气速度情况下即液滴绝对速度)的平方成正比,如式(6):

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_F A_F |V_Z| V_Z \quad (6)$$

$$\frac{dV_Z}{dt} = g - \frac{F_D}{m} \approx -C'_D V_Z^2 \quad (7)$$

式(7)中 C'_D 表示忽略重力加速度后的曳力系数即液滴所受合力系数。

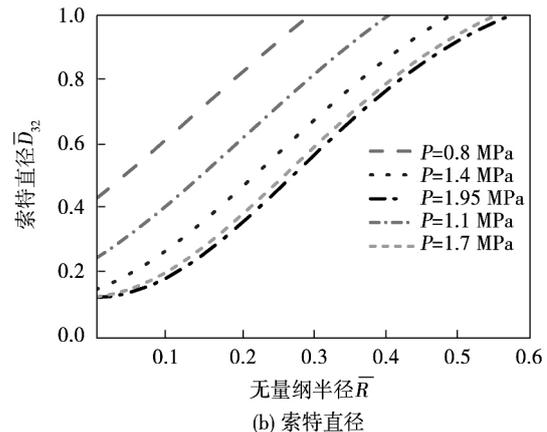
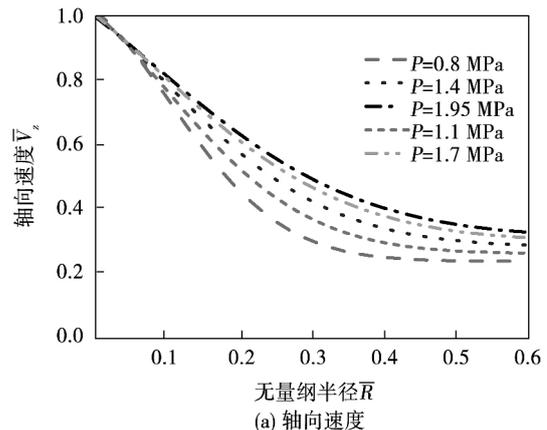


图 6 不同水压下的无量纲雾化参数分布

Fig. 6 Application of the dimensionless distribution under different water pressures

根据式(7)可推出液滴轴向速度沿轴向呈衰减指数规律变化。而根据稠密分布的液滴在短距离内未蒸发前与下游由于空气阻力导致速度下降的液滴之间的融合而使得粒径逐渐增大的特点,可知粒径的增加主要取决于液滴速度的下降,亦可认为液滴粒径是呈衰减指数规律递增的,如图 8 所示。

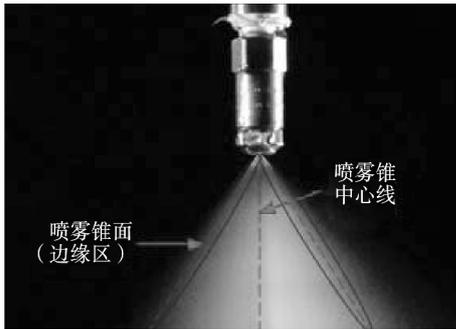


图 7 喷雾锥面的特征区域

Fig. 7 Specific region of the spray cone

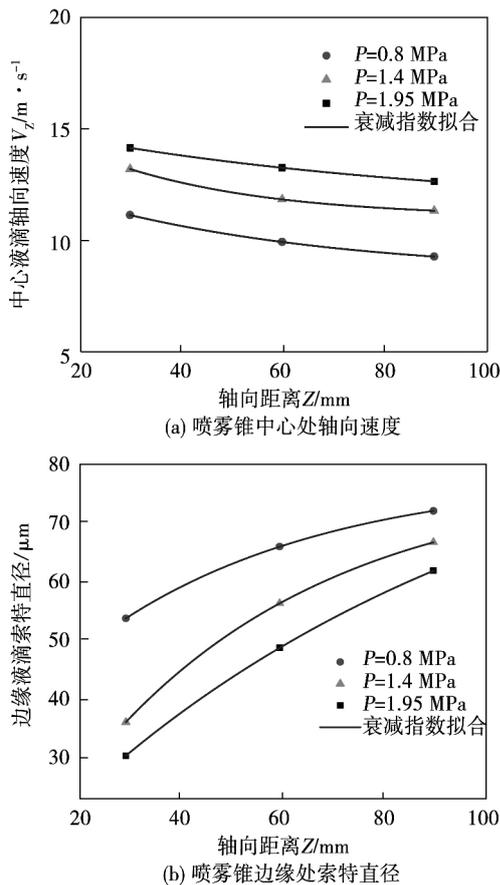


图 8 雾化参数的轴向变化特性

Fig. 8 Variation characteristics of spray parameters along the axial direction

雾化液滴中心处轴向速度和边缘处索特直径随轴向距离变化拟合关联式为如式(8)和式(9), 系数亦与水压相关, 如表 2 所示。

$$V_{z \max} = a_3 + b_3 \cdot e^{\left(-\frac{Z}{c_3}\right)} \quad (8)$$

$$D_{32 \max} = a_4 + b_4 \cdot e^{\left(-\frac{Z}{c_4}\right)} \quad (9)$$

表 2 轴向衰减指数函数待定系数与压力二次函数拟合系数

Tab. 2 The quadratic function fitting coefficient of relations between the exponential decay coefficients and pressures

待定系数	$(P/P_{atm})^0$	$(P/P_{atm})^1$	$(P/P_{atm})^2$
a_3	1.50	1.13	-0.03
b_3	-0.82	1.03	-0.04
c_3	191.52	-26.15	1.05
a_4	115.06	-6.61	0.30
b_4	33.05	-13.59	0.35
c_4	115.82	-14.41	0.67

在测得典型工况下喷嘴雾化场的特性基础上, 可计算全工况的雾化参数分布, 节省实验成本, 并可该雾化特性应用于燃油燃烧数值模拟。

2.3 雾化模型的燃烧模拟应用

在雾化喷嘴类型未知的情况下, 根据雾化形成的锥面特点, 燃油燃烧数值模拟的喷雾类型一般选择锥型 (cone)。即使已知雾化喷嘴类型及雾化参数的空间分布特征, 在设置锥型喷雾时油滴轴向速度和雾化粒径一般设置为油滴入射面积平均值, 忽略空间分布尤其是径向分布特征。为弥补上述不足, 使数值模拟接近实验结果, 本研究 UDF (自定义函数方法) 将基于实验所建立的喷嘴雾化特性函数模型应用于燃油燃烧模拟的离散相设定中。模拟在双旋流燃烧室进行, 内外旋流器同轴且旋向一致, 旋流数为 0.88 和 0.77, 两种喷嘴出口设置在内旋流器对称轴线的出口上游 14 mm 处, 喷嘴附近燃烧室的区域和网格分别如图 9 和图 10 所示。

计算过程中湍流模型选用 Realizable $k-\varepsilon$ 模型, 燃烧模型选用非预混燃烧的平衡化学计算模型 (PDF)。在某工况下进行数值模拟, 考察了距出口截面 $0.027D$ 处的径向速度 V_r , 如图 11 所示。图中 Z 为距外旋流器出口截面距离, X 表示燃烧器的径向位置, θ 点为外旋流器出口平面的中心位置, D 表示燃烧室直径。考虑费效比, 最终选用网格数为 279 万个网格进行计算。

选择 0.8 MPa 工况, 燃油流量 0.00138 kg/s , 空气流量 0.052 kg/s , 当量比 0.4。离散相释放面为喷嘴出口下游 15 mm 处半径 9.013 mm 的圆面, 雾化参数选择: 工况 1, 依据冷态喷雾实验建立的雾化函数模型计算出的液滴粒径与轴向速度速度分布,

两种参数的平均值分别为 $41.2 \mu\text{m}$ 和 3.73 m/s ; 工况 2 选择 Fluent 内部自带的喷雾类型“cone”, 该类型的离散相设置中液滴粒径和速度在空间均匀分布, 数值分别为 $41.2 \mu\text{m}$ 和 3.73 m/s 。在这两种分布特征的离散相设置下, 比较液滴参数的空间分布特性对燃烧数值模拟的影响。

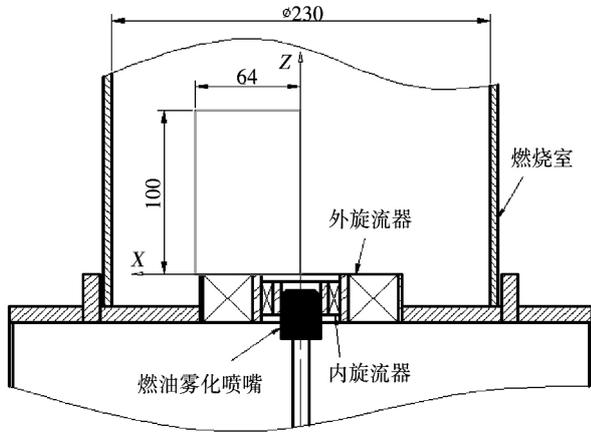


图 9 双旋流燃烧室近喷嘴区域

Fig. 9 Nozzle area in dual-swirl combustor

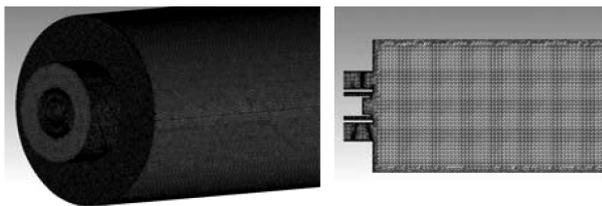


图 10 双旋流燃烧室网格细节图

Fig. 10 Grid detail drawing of dual-swirl combustor

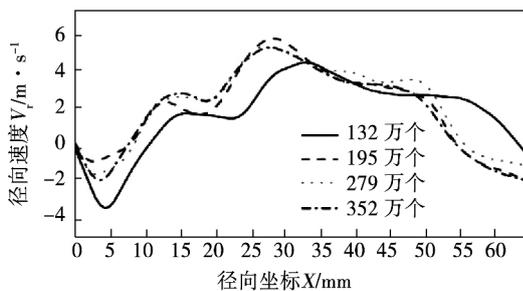


图 11 网格无关性验证

Fig. 11 The test and verification of grid independence

2.3.1 雾化参数分布对温度场的影响

根据图 12 相对于以面积平均粒径 $41.2 \mu\text{m}$ 及速度 3.73 m/s 均匀分布的锥型液滴离散相初始设置, 雾化特性函数模型中雾锥边缘液滴粒径较大, 蒸发需更多热量, 因而火焰即高温区域的径向扩展范围偏小; 由于雾锥中心液滴轴向速度相对均匀分布较大, 高温区域向下游迁移约 0.01 m , 这点从图 13 温度的轴向分布可看出。此外, 靠近旋流器出口的低温区域也向喷嘴出口下游迁移约 0.01 m , 最低温度约低 $200 \text{ }^\circ\text{C}$, 在下游 0.16 m 处两种喷雾设置下燃烧室纵截面中心线上温度分布几乎相同, 表明距喷嘴出口达到一定距离之后, 温度场受雾化特性的影响可忽略不计。

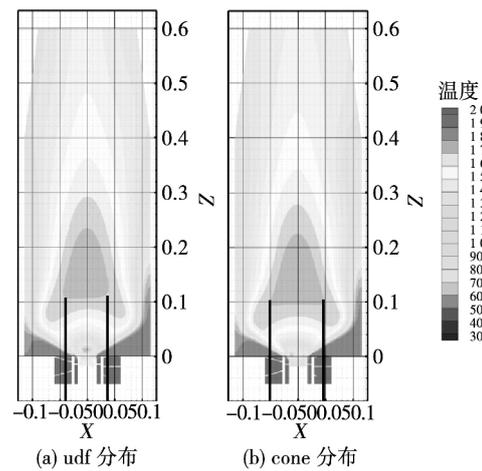


图 12 雾化参数不同时燃烧室温度分布

Fig. 12 Temperature distributions on the meridional plane of combustor with different spray characteristics

2.3.2 雾化参数分布对速度场的影响

根据图 15 气流轴向速度的轴向变化可知, 基于雾化函数模型的离散相设置使得距离旋流器出口 0.05 m 区域内的气流轴向速度相比均匀分布偏大, 基本沿空气主流流向且最大值 2 m/s 。而均匀分布设置下的气流轴向速度则基本沿空气主流流向负方向, 即回流影响到了近旋流器出口区域, 结合图 14 中近旋流器出口的流场(圆圈内)可看出, 这是由于雾化函数模型中心线上的液滴轴向速度 12.57 m/s 相比均匀分布的 3.73 m/s 大很多引起的。对于旋流器出口下游 0.05 m 之后的范围两种不同的喷雾设置对流场尤其是气流轴向速度的影响不大, 从图

14 回流区的涡强度和位置亦可看出燃烧室子午面的轴向速度受雾化参数分布的影响很小。

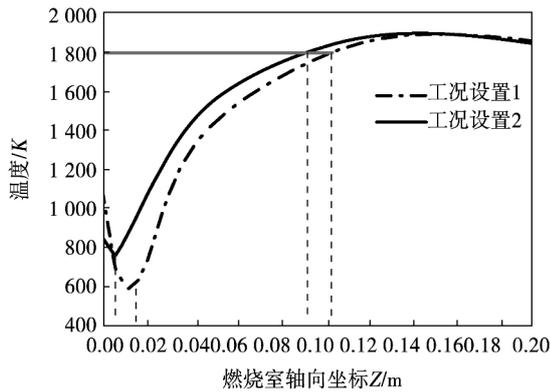


图 13 燃烧室纵截面中心线温度的轴向变化

Fig. 13 The axial changes of temperatures along the center line from meridian plane of combustor

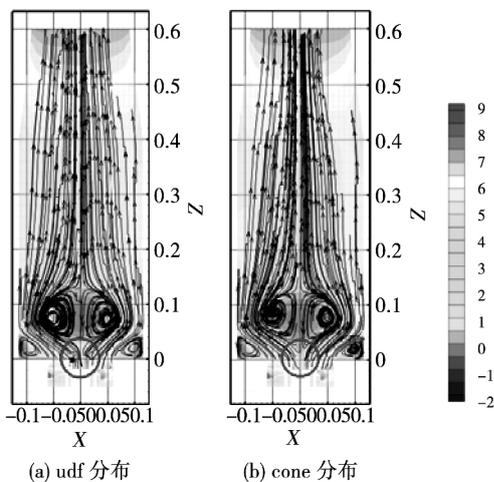


图 14 雾化参数不同分布下燃烧室子午面轴向速度

Fig. 14 Axial velocity on the meridian plane of combustor with different spray characteristics

3 结 论

研究了典型工况下喷嘴雾化参数轴向及径向的分布规律,提出了该喷嘴的雾化函数模型,将该模型应用到燃烧模拟中作为离散相设置,验证了喷雾特性与燃烧室数值计算结合的可行性,具体结论包括:

(1) 根据典型工况下喷雾 PDA 实验数据, Gauss 函数拟合无量纲的雾化参数沿雾锥径向无量

纲距离的分布,相关系数接近 1。

(2) 采用衰减指数函数拟合雾化参数的极大值沿雾锥轴向的分布,建立的雾化函数模型可计算全工况下喷嘴雾化参数的空间分布特性,减少了雾化特性测量实验中的工况数。

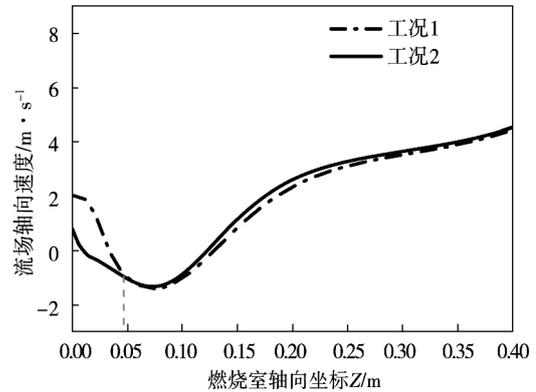


图 15 燃烧室纵截面中心线轴向速度的轴向变化

Fig. 15 The axial changes of axial velocity along the center line from meridian plane of combustor

(3) 对比采用 cone 模型与雾化函数模型的双旋流燃烧室数值计算结果可知,在喷嘴回流区下游,两种模型计算所得的温度分布趋势基本相同。但在喷嘴出口到回流区范围内,相比 cone 模型,雾化函数模型计算所得的 1 800 K 高温区在径向范围缩小了约 20%,沿燃烧室下游偏移 0.01 m;旋流器出口的低温区向下游偏移了 0.01 m,最低温度降低了 200 K。

(4) 对比两种喷雾模型计算所得的速度分布发现,在距离旋流器出口超过 0.05 m 的下游位置,两种模型的计算结果基本相同;在旋流器出口位置,基于雾化函数模型计算所得的速度稍大于 cone 模型所得速度,且回流区即负向速度出现的位置向下游偏移约 0.025 m。

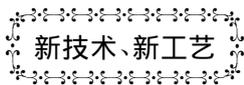
参考文献:

[1] Tie Li, Keiya Nishida, Hiroyuki Hiroyasu. Droplet size distribution and evaporation characteristics of fuel spray by a swirl type atomizer[J]. Fuel, 2011, 90: 2367-2376.

[2] J. L. Xie, Z. W. Gan, F. Duan, T. N. Wong, S. C. M. Yu, R. Zhao. Characterization of spray atomization and heat transfer of pressure swirl nozzles[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2013, 68: 94-102.

- [3] 周致富, 吴威涛, 王国祥, 等. R134a 闪蒸喷雾液滴动力学特征实验研究[J]. 工程热物理学报, 2013 年, 第 34 卷第 1 期: 87-90.
ZHOU Zhi-fu, WU Hai-tao, WANG Guo-xiang, et al. An experimental study on the droplets dynamics of flashing spray with R134a [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2013, 34(1): 87-90.
- [4] 马承伟, 严荷荣, 袁冬顺, 等. 液力式雾化喷头雾滴直径的分布规律[J]. 农业机械学报, 1999 年, 第 30 卷第 1 期: 33-39.
MA Cheng-wei, YAN He-rong, YUAN Dong-shun, et al. Droplet size distribution of hydraulic nozzle [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 1999, 30(1): 33-39.
- [5] Andreas Tratnig, Gunter Brenn. Drop size spectra in sprays from pressure-swirl atomizers [J]. International Journal of Multiphase Flow 2010, 36: 349-363.
- [6] 张武高, 陈晓玲, 刘涛涛, 等. 引射空气对压力旋流喷嘴喷雾特性的影响[J]. 上海交通大学学报, 2013 年, 第 47 卷第 11 期: 1723-1727.
ZHANG Wu-gao, CHEN Xiao-ling, LIU Tao-tao, et al. Experimental study of influence of air ejecting on spray characteristics of pressure swirl nozzle in a stirling engine [J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University 2013, 47(11): 1723-1727.
- [7] Durdina L, Jedelsky J, Jicha M. Investigation and comparison of spray characteristics of pressure-swirl atomizers for a small-sized aircraft turbine engine [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer 2014, 78: 892-900.
- [8] Chen P, Wang W, Roberts W L, et al. Spray and atomization of diesel fuel and its alternatives from a single-hole injector using a common rail fuel injection system [J]. Fuel 2013, 103: 850-861.
- [9] de Jager B, Kok J B W. Application of the first combustion model to spray combustion [J]. Applied Thermal Engineering 2004, 24(11-12): 1561-1569.
- [10] Sharma N Y, Som S K. Influence of fuel volatility and spray parameters on combustion characteristics and NOx emission in a gas turbine combustor [J]. Applied Thermal Engineering 2004, 24(5-6): 885-903.
- [11] Sharma N Y, K A D, Som S K. Influences of spray and operating parameters on penetration of vaporizing fuel droplets in a gas turbine combustor [J]. Applied Thermal Engineering 2001, 21: 1755-1768.
- [12] A. Belhadef, A. Vallet, M. Amielh, F. Anselmet. Pressure-swirl atomization: Modeling and experimental approaches [J]. International Journal of Multiphase Flow 2012, 39: 13-20.
- [13] 王玉璋, 翁史烈, 王永泓. 模型饱和器冷态喷雾场的实验研究 [J]. 动力工程 2003 年, 第 23 卷第 1 期: 2210-2214.
WANG Yu-zhang, WENG Shi-lie, WANG Yong-hong. Experimental research on spray field in saturator by Phase Doppler Analyzer [J]. Power Engineering 2003, 23(1): 2210-2214.

(丛敏 编辑)



新技术、新工艺

DOI:10.16146/j.cnki.rndlge.2015.06.010

土耳其新建电站使用高效率大功率的 Siemens H 级燃气轮机

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2015 年 6 月刊报道, Siemens 在土耳其 Cengiz Enerji Samsun 联合循环电站装有 Siemens 的 H 级 SGT5-8000H 燃气轮机, 装机容量为 600 MW, 装置净效率约为装机容量顶级纪录的 61%。

Siemens 用于该电站的供货: 包括 1 台 SGT5-8000H 燃气轮机、1 台 Siemens SST5-5000 汽轮机、1 台 SGen5-3000W 发电机、1 台 Benson 余热锅炉、辅机和辅助系统。

具有单轴输出 600 MW 功率和装置净效率约为顶级纪录 61%, 使 Cengiz Enerji Samsun 成为不仅在土耳其, 而且也在世界上 50 Hz 电站市场最有效的化石燃料电站。

具有超过 1 500 °C 的高燃烧温度的空气冷却的 SGT5-8000H 燃气轮机升级改进的设计和具有水冷发电机的单轴设计支撑了这个高效率水准的成就。

借助于创新的叶片设计和材料、十分有效的动叶和静叶空气冷却的设计以及高质量流量的 13 级压气机设计, Siemens 的联合循环电站在 50 Hz 时输出功率大于 600 MW, 在 60 Hz 时大于 410 MW 并达到大于 61% 的高效率水准, 并且在未来将达到大于 63% 的效率水准。

(吉桂明 摘译)

矢量拟合方法在燃气轮机涡轮叶片故障监测中的应用 = **Applications of the Vector Fitting Method in Monitoring Blade Faults of Gas Turbines** [刊, 汉] GAO Shan, WANG Li-xin (College of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), FENG Chi, XIAO Yi-han (College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(6). - 853 - 858

To reduce the occurrence of any faults in gas turbine systems is regarded as the precondition for realizing safe operation of gas turbines. Turbine blades are important parts and components in gas turbines and also one of parts operating in a stern environment. Any faults of the turbine blades usually reflect in changes of temperature. The distribution of temperature signals on the blades of a gas turbine was studied with an emphasis being placed on the characteristics of the temperature signals and the data being properly processed. By adopting the vector fitting method, a temperature data equation for blades in various operating environments was obtained, thus achieving an objective to detect any faults and offering a basis for an on-line detection of any faults in blades of gas turbines. **Key words:** turbine blade, temperature distribution, vector fitting, application in monitoring of faults

喷嘴雾化特性函数模型的建立及燃烧模拟中的应用 = **Establishment of a Function Model for Atomization Characteristics of a Nozzle and Its Applications in Combustion Simulation** [刊, 汉] CHEN Xiao-ling, GE Bing, ZANG Shu-sheng (College of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(6). - 859 - 864

By using a phase Doppler anemometer (PDA), experimentally studied were the atomization characteristics of a pressurized atomization nozzle under the typical operating conditions. The Gauss distribution function was employed to represent the radial distribution of the atomization parameters and the exponential attenuation function was used to represent the axial distribution of the extremum values of atomization parameters. On this basis, an atomization characteristic model for the nozzle was established and the relative error between the results obtained by using the model in question and the test data was not in excess of 10%. The atomization function model in question was applied in a dual swirling combustor in a same direction to perform a discrete phase setting of the data of the fuel oil atomization characteristics simulated and on this basis, the flame distribution characteristics inside the combustor were analyzed. Therefore, the feasibility of an application of the self-defined atomization characteristic model in combustion simula-

tion was verified. It has been found that compared with the setting of the initial atomization characteristics being uniformly distributed, the variation tendency of the temperature and flow field inside the combustor calculated by using the function model under discussion is roughly identical. The high temperature zone at a temperature of 1800 K becomes small by 20% along the radial direction and shifts by 0.01 m to the downstream of the combustor. In the meantime, the return flow zone moves by 0.025 m to the downstream of the combustor. **Key words:** phase Doppler anemometer (PDA), atomization model, Gauss distribution, exponential attenuation function, dual swirling fuel oil combustion, numerical calculation

新型燃气轮机再热联合循环系统分析与优化 = Analysis and Optimization of a Reheat Combined Cycle System for New Type Gas Turbines [刊, 汉] FU Zhong-guang, LU Ke (National Engineering Technology Research Center for Thermal Power Generation, North China University of Electric Power, Beijing, China, Post Code: 102206), GUO Hua, YANG Tian-liang (New Energy Source Technology Research Institute, China National Power Group, Beijing, China, Post Code: 102209) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(6). - 865 - 872

A new type high pressure reheat gas-steam combined cycle system was proposed and a model for high pressure reheat gas-steam combined cycle systems was established by using the software Aspen Plus. A thermodynamic calculation and analysis and off-design condition simulation of the system in question were performed. On this basis, the influence of the highest pressure of the system on the efficiency of the cycle was studied and analyzed in depth. It has been found that the thermal efficiency of the system in question reaches 61.22%, about 3.6 percentage points higher than that of a combined cycle system with a currently prevailing F class gas turbine unit serving as the main equipment item and also 1.2 percentage points higher than that of a combined cycle system with a GT26 reheat type gas turbine serving as the main equipment item. The output power of the system in question can hit 816.8MW, 73% higher than the capacity of a current F class gas turbine combined cycle system. **Key words:** gas turbine, combined cycle, thermal system, parameter optimization

微型冲动式部分进气涡轮机的流场特性及气动损失 = Flow Field Characteristics and Aerodynamic Losses of a Miniature Impulse Type Partial Admission Turbine [刊, 汉] JIANG Bin, LUO Kai (College of Marine Nav-