

新型气动雾化喷嘴喷雾特性的实验研究

北京航空航天大学 徐 行* 郭志辉 顾善建

【摘要】 对一种新型气动雾化喷嘴的喷雾特性进行了实验研究。该喷嘴的喷雾是由环缝射流和中心旋转射流剪切破碎中心燃油射流而形成。实验用二维激光测速测粒仪对喷嘴下游几个截面上气流和液滴的平均速度和脉动速度,以及液滴的粒度和浓度沿径向的分布进行了测量。研究了中心旋流强度对喷雾的影响。测量结果显示喷雾中心存在低速区和固体涡核,而喷雾边缘具有较高的速度。浓度呈空心分布。喷雾具有很大的湍流脉动。

主题词: 雾化 测量 粒度 喷嘴 实验

分类号: V233

McDonnell V G 等人对旋转和不旋转的喷雾结构进行了实验研究^[1-2],但关于旋流对喷雾特性的影响研究的很少。本文对一种新型的气动雾化喷嘴的喷雾结构和旋流对喷雾特性的影响进行了实验研究。喷嘴由中心混合室和外边环形通道组成。燃油通过中心小孔流入混合室。一部分雾化空气通过斜孔射入混合室,对燃油进行破碎并形成中心旋转射流,其余的雾化空气从环缝喷出对燃油进行二次雾化。喷雾由中心旋流和外环射流组成。

1 实验方案

实验在喷雾实验台上进行。喷嘴可沿喷雾的轴线方向移动,雾化空气由气源提供,燃油由加压的油罐提供。燃油和雾化空气分别由流量计和压力表控制。实验采用了二维激光测速测粒仪,可同时测量二维空气和油珠的速度、油珠尺寸、油珠数密度和油珠体积通量。测量值是由每个测点的 3000 个有效的采样值统计平均得到的,雾化空气的速度是由测量气流中加入的 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下的粒子的速度得到的。油流量为 20 kg/h ,压力为 2.2 MPa ,雾化空气的流量为 40 kg/h ,压力为 3 MPa 。采用滑油来模拟重油,其运动粘度为 $136\text{ mm}^2/\text{s}$ 。测量在喷嘴后距喷嘴出口截面 $z = 5, 10, 20, 30, 50, 100$ 和 150 mm 7 个截面上进行,在每个截面上沿水平和垂直方向进行扫描。这 2 个方向的测量确定了轴向、径向和切向速度。沿每个径向扫描时,从中心到喷雾的边缘,每隔 $1\text{--}2\text{ mm}$ 布置一个测点。

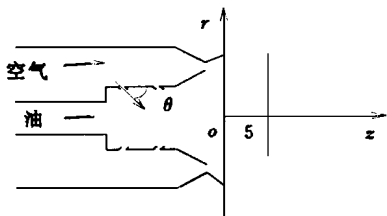


图 1 喷嘴结构示意图

图 1 显示了所研究喷嘴的结构示意图。环缝的直径为 12 mm ,混合室上的切向孔和喷嘴

的轴线成一定的夹角。实验选用了两种喷嘴, 喷嘴 1 混合室切向斜孔和轴线的夹角为 80° ; 喷嘴 2 为 45° ; 用于研究不同的旋流强度对喷雾特性的影响。

2 实验结果

2.1 平均速度

图 2a(喷嘴 1) 和 b(喷嘴 2) 显示了在 4 个测量截面上, 两种喷嘴的雾化空气和油珠的轴向平均速度沿半径的分布。图中 L 、 G 、 80 及 45 分别代表油珠、空气、喷嘴 1 和喷嘴 2。在 $z = 5 \text{ mm}$ 的截面上, 由于旋流的作用, 喷雾中心存在低速区, 而速度的最大值出现在 $r = 5 \text{ mm}$ 的径向位置上, 正对应环缝的中心。在后面的截面上速度最大的位置向中心移动, 喷雾中心的轴向速度逐渐增大。在 $z = 100 \text{ mm}$ 处, 轴向速度呈高斯分布, 达到完全发展的自模化区域。从图中可看

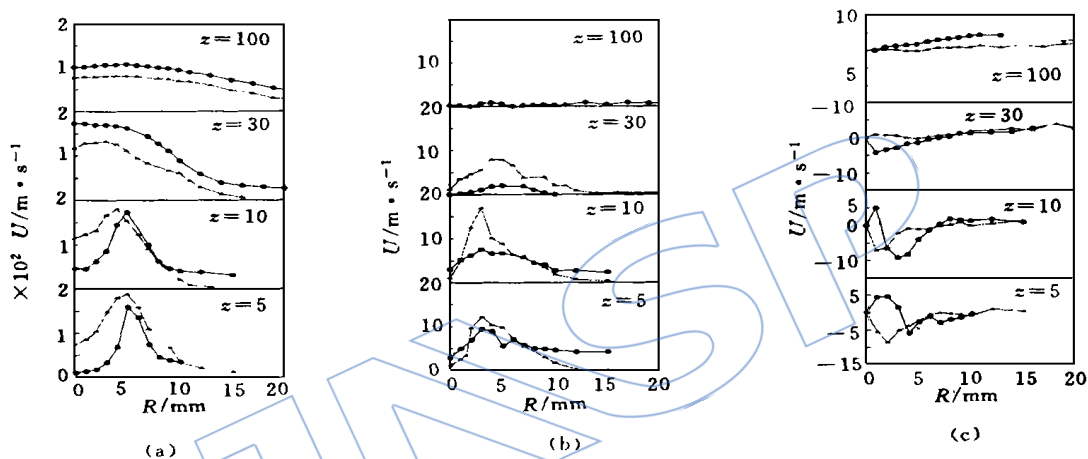


图 2 喷嘴的轴向平均速度和两个喷嘴的径向平均速度

到: (1) 在 $z = 5 \text{ mm}$ 截面上, 虽然喷嘴 1 的旋流强度大于喷嘴 2 的旋流强度, 但喷嘴 1 中心雾化空气的轴向速度却大于喷嘴 2 中心雾化空气的轴向速度, 这是因为喷嘴 1 的中心回流区的长度比较短的原因; (2) 与雾化空气的速度相反, 喷嘴 1 中心油珠的轴向速度却小于喷嘴 2 中心油珠的轴向速度, 这是因为油珠在到达 $z = 5 \text{ mm}$ 的测量截面时要穿越混合室中雾化空气形成的回流区, 由于喷嘴 1 中的回流强, 所以油珠的速度低; (3) 在下游截面, 喷嘴 1 中雾化空气的轴向速度要低于喷嘴 2 中雾化空气的轴向速度, 而油珠的速度则相反。由于喷嘴 1 的旋流比较强, 轴向速度衰减的较快。从图中还可看出油珠的速度在喷嘴出口截面小于空气的速度, 而在下游截面大于空气的速度。这是由于油珠

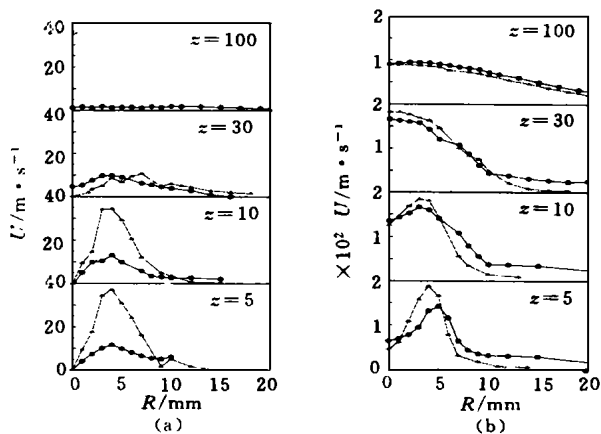


图 3 喷嘴的切向平均速度(a. 喷嘴 1, b. 喷嘴 2)

的初始速度低有一加速过程, 惯性大, 速度衰减慢的原因。图 2(c) 是两个喷嘴油珠的径向速度分布图, 可以看出, 对于喷嘴 1, 中心油珠的速度为正, 表示油珠在中心受离心力作用向外运动, 而环缝处油珠的速度为负, 表示油珠受环缝射流的作用向内运动。对于喷嘴 2, 在中心没有正的径向速度, 而油珠的负速度比较大。

图 3(a) 和(b) 分别为雾化空气和油珠的切向速度分布图。喷雾中心是固体涡核, 边缘是自由旋涡。从图中可看到, 在 $z = 10 \text{ mm}$ 的测量截面上, 切向速度最大, 这可能是由于环缝射流收缩的原因。比较图 3(a) 和(b), 喷嘴 1 形成的喷雾, 与喷嘴 2 相比, 具有更大的切向速度、固体涡核和较快的切向速度衰减。

由喷雾的平均速度分布可看出, 中心旋流使油珠随空气旋转, 在离心力的作用下向外运动, 在环缝处进一步加速。随着雾化空气的旋流强度增加, 油珠的轴向速度在中心减小, 在环缝处增加, 切向速度和径向速度都增加, 喷雾的锥角增加。

2.2 脉动速度

图 4 为喷嘴 1 的轴向脉动速度分布, 图中显示雾化空气的脉动速度的分布有两个峰值, 一个在中心线上, 另一个在环缝处, 表示在这两个区域有较高的湍流剪切混合。油珠的脉动速度分布只有一个峰值在环缝处, 其值在中心较低, 而在环缝处高于空气的脉动速度, 这是由于所测量的脉动值是由不同粒度和不同速度的油珠统计得到的。在下游, 空气和油珠的脉动速度基本相等。图 5 为喷嘴的油珠径向脉动速度分布图。在 $z = 5 \text{ mm}$ 截面上, 油珠脉动速度在中心旋流和环射流的交界处达到最大, 沿轴向, 脉动速度最大值向中心移动。由于平均径向速度比较小, 所以径向湍流度非常大, 意味着两股射流对油珠的作用非常强烈。

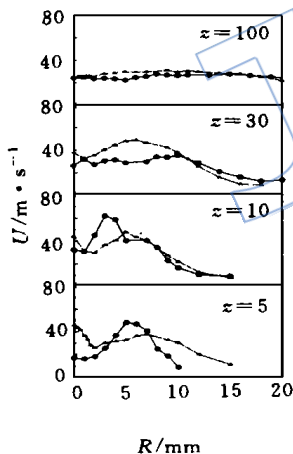


图 4 喷嘴 1 轴向脉动速度

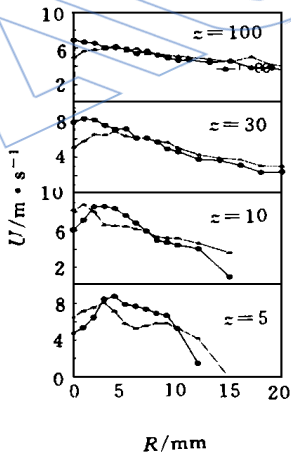


图 5 油珠的径向脉动速度

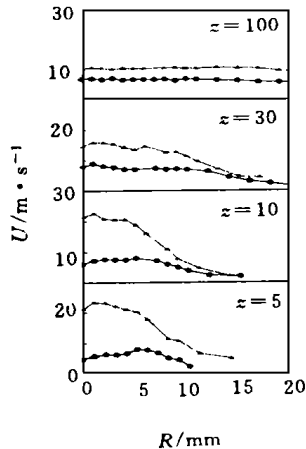


图 6 喷嘴 1 切向脉动速度

图 6 为喷嘴 1 切向脉动速度的分布图。雾化空气的切向脉动速度在喷雾中心达到最大, 沿径向单调下降。油珠的切向脉动速度分布比空气的脉动速度低的多。从这些脉动速度分布图可看出, 轴向脉动速度比切向和径向的脉动速度大的多, 表明喷雾是各向异性的湍流流动。喷嘴 2 与喷嘴 1 的脉动速度分布基本相同。

2.3 油珠平均粒度

图 7 为两种喷雾的索太尔平均直径 D_{32} 的分布图。在 $z = 5 \text{ mm}$ 和 $z = 10 \text{ mm}$ 的截面, 喷雾中心的 D_{32} 较大, 而环缝处的 D_{32} 较小, 这是由于环缝射流强烈的剪切破碎作用。沿着轴线方向, 油珠的直径增大, 这是由于环缝射流产生的油珠的聚合作用。在下游, 由于离心力和湍流扩散作用, 油珠的直径沿径向增大。从两种喷雾的对比可看出, 在靠近喷嘴的截面, 喷嘴 2 形成的喷雾的粒度较小, 这是因为在混合室内油气之间的轴向相对速度较大。在下游, 两个喷嘴形成的喷雾的粒度几乎相等, 这是因为喷嘴 1 中的旋流强度较大, 大油珠向外运动, 被环缝射流进一步破碎。

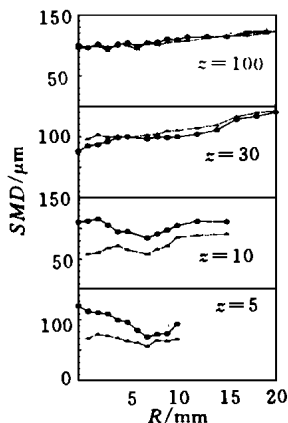


图 7 油珠的平均粒度

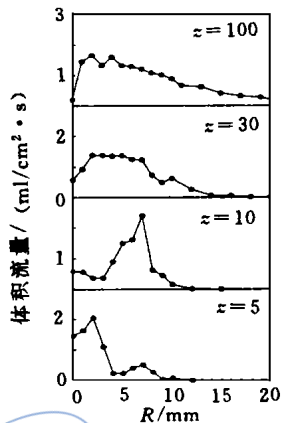


图 8 喷嘴的油珠体积通量分布

2.4 油珠体积分量的分布

图 8 为喷嘴形成的喷雾的油珠体积分量的分布图。在 $z = 5 \text{ mm}$ 的截面, 径向分布图上有两个峰值, 一个在喷雾的中心, 另一个在环缝处, 这是由于环缝的内侧有少量的油形成的油膜被环缝射流破碎所形成的, 其值比中心处低的多。在 $z = 10 \text{ mm}$ 的截面, 只有一个峰值, 位于环缝外侧, 形成空心喷雾。在下游, 这个峰值向中心移动, 最后移到喷雾中心。喷嘴 2 与喷嘴 1 的油珠体积分量的分布基本相同。

3 结 论

(1) 混合室内雾化空气形成的中心旋流, 对燃油射流进行第一次破碎, 并使油珠旋转向外运动, 在环缝处得到进一步雾化。同时在喷口处产生中心低速区, 稳定火焰, 而且旋流形成燃油的空心喷雾, 有利于燃油与周围空气的掺混, 提高燃烧效率。(2) 外环通道形成的环缝射流, 一方面对油珠进行二次破碎, 提高雾化性能, 另一方面增加油珠的速度, 增加火焰的刚性。(3) 喷雾是各向异性的湍流流动。旋流和环缝射流之间以及环缝射流外缘强烈的湍流脉动, 一方面有利于油珠的破碎, 另一方面有利于喷雾和周围助燃空气的掺混, 提高了燃烧效率。(4) 两种喷嘴相比, 雾化后的粒度几乎相同, 但喷嘴 1 具有更理想的速度分布、浓度分布和更高的湍流强度, 因而其燃烧性能较好。此结论得到了喷嘴在炉中实际燃烧性能的验证。

参 考 文 献

- 1 Brena de la Rosa A, Sankar S V, Wang G et al. Particle Diagnostics and Turbulence Measurements in a Confined Isothermal Liquid Spray. Transactions of the ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 1993, 115: 499
- 2 McDonnell V G, Adachi M, Samuelsen G S. Structure of Reacting and Non-Reacting Swirling Air-Assisted Sprays. Combust. Sci. and Tech, 1992, 82: 225

ples of optimizational design. It is shown that the aerodynamic performance of the transonic turbine cascades has been improved greatly with little variation of the work and the strength.

Key Words Transonic turbines Cascades Optimization

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON MASS- HEAT TRANSFER OF SHROUDED ROTOR- STATOR SYSTEM

Chen Jian

(*Beijing Institute of Control Engineering, Beijing 100080*)

Xu Guoqiang, Cao Yuzhang

(*4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083*)

ABSTRACT

According to the theory of analogy between heat transfer and mass transfer, the mass transfer technique is applied to a shrouded rotor- stator system for experimental, investigation on its heat transfer. An experimental model is set up: The cooling air is blown axially from the front edge of the stator, and the naphthalene ($C_{10}H_8$) sublimation technique is employed to obtain both local and average mass- transfer coefficients for the rotor surface coated by naphthalene. The heat transfer characteristics of the shrouded rotor- stator system are investigated using the mass transfer analog technique. The emphasis is put on analyzing the effects of the following parameters on the transfer characteristics: The ratio of axial gaps G_s , the ratio of axial clearance G_c , the rotational Reynolds number Re_θ and flow coefficient C_w . Correlations are obtained experimentally, conclusions are drawn for the test conditions as follows: 1. The average mass transfer coefficient increases with increase of the flow coefficient C_w and the rotational Reynolds number Re_θ ; 2. The average mass transfer coefficient decreases with increase of the ratio of axial gap G_s and the ratio of axial clearance G_c ; 3. The peak of local mass transfer coefficient radically moves out with reference to impingement point.

Key Words Rotor Discs Naphthalene Heat transfer

SPRAY CHARACTERISTICS OF A NEW AIR- ASSISTED ATOMIZER

Xu Hang, Guo Zhihui, Gu Shanjian

(*4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083*)

ABSTRACT

The spray characteristics of a new air- assisted atomizer was investigated experimentally. Annular and central swirling air jets smash the fuel jet and make it spray. The radial distributions of the mean and fluctuating velocities of the air flow and drops, the drop size and the concentration were measured at several axial stations with 2D PDA. Two atomizers with different mixing chamber were tested to investigate the effect of the central swirling air jet on the spray structure. The radial distributions of the mean velocity show that a lower axial velocity region and a solid rotation body exist at the center of the spray. The radial profile of drop volume flux peaks drifts off the centerline, indicating a hollow cone spray. The results show that high turbulence occurs at the central region and the region where the central swirling jet intersects the annular jet. The radial position of maximum mean axial velocity moves outwards with increasing strength of swirling. The atomization

performance of the atomizer with lower swirling strength is better than that of the atomizer with higher swirling strength near the atomizer exit, but downstream the both atomizers possess same atomization performance.

Key Words Atomizing Measurements Drop size Fuel- nozzles

NUMERICAL SIMULATION FOR MATCHING DIFFUSER WITH LINER IN A SMALL DIRECT- FLOW COMBUSTOR

Li Gaiqi and Yan Chuanjun

(*Zhuzhou Aviation Power Institute, Zhuzhou 412002*)

ABSTRACT

Numerical simulation was carried out for inside and outside flow- fields of the liner in a small direct- flow combustor with special structural arrangement, numerical tests of combustor performance were performed for matching of different diffusers with the liner. The program employs two- equations (K- ϵ model) to describe turbulent characteristics. The combustion following vaporization was simulated by a two- step chemical reaction combustion model. Arrhenius- EBU model was used to determine the reaction rate, and the air flow mass distribution was taken as a bridge to link the inside and outside flow- fields of the liner. The calculated results indicated that two strong recirculation zones emerged when air flowed into combustor annular cavity from prediffuser, the inside and outside flowfields were very unsymmetrical. The inclination of the prediffuser was an important geometrical parameter for the combustor performance.

Key Words Small turbine engines Combustion chambers Numerical simulation Flow fields

A STUDY ON EFFECTS OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON ALUMINUM OXIDE PARTICLE SIZES

Zhang Wei, Cao Taiyue, Wang Ningfei, Zhang Weihu, Zhu Hui

(*5th Dept. National University of Defense Technology, Changsha 410073*)

ABSTRACT

On the basis of diffusional combustion model of metal combustion and heterogeneous nucleation mechanism, the average particle sizes of the product Al_2O_3 in aluminum combustion were calculated. The results show that the temperatures on the combustion surface and on the metal surface increase with enhancing pressure, and the average particle size of the condensed product decreases as pressure increases. The effect of the pressure on the parameters is larger than that of the temperatures.

Key Words Aluminium powder Environmental factors Combustion products

CALCULATION OF 3D CASCADE FLOW WITH N- S EQUATION

Ji Lucheng and Zhou Sheng

(*4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083*)

ABSTRACT

A cell- centered finite volume method was developed to solve Reynolds- averaged Navier- Stokes equation with Jameson's Runge- Kutta scheme. In its