

双旋空气流场紊流特性的实验研究

北京航空航天大学 黄学民 王洪铭* 邹正平

【摘要】 运用热线风速仪对反向双旋流空气雾化喷嘴出口空气流场的脉动流速、紊流度及紊流涡团的脉动频率进行了实验测量。结果表明: 内外环反向旋流掺混时相交边界层内的脉动流速大、紊流度强; 掺混结束后的旋转射流紊流度减小, 且紊流度径向分布均匀; 整个反向双旋流场内有大大小小的紊流涡团, 其脉动频带宽, 且没有代表大多数紊流涡团脉动的主频。

主题词: 流场 脉动速度 紊流流动

分类号: O354.5 V235.113

1 实验装置及测量方法

双旋流空气雾化喷嘴出口空气流场是一双旋紊流场, 研究它对了解喷嘴后主燃区的空气流态、燃油雾化、雾化后液滴的运动、扩散及燃油浓度的分布和点火燃烧性能都是必不可少的。目前国内外对反向双旋空气流场的紊流特性尚缺乏较深入的研究^[1,2]。为进一步揭示空气雾化、喷嘴雾化及雾化-液滴扩散掺混的实质提供必要的实验依据, 开展了本实验研究。

实验的喷嘴为常规反向双旋流空气雾化喷嘴, 其组装图如图 1 所示(1. 螺帽盖, 2. 内环旋流器, 3. 压块, 4. 预油膜套筒, 5. 供油环, 6. 内环套筒, 7. 外环旋流器)。外环旋流器为径向旋流器, 内环旋流器采用轴向旋流器。

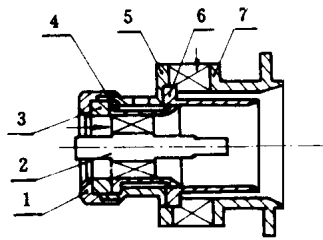


图 1 喷嘴组装图

用热膜探针作感受器, TSI 公司的 1076 型均方根表记录热膜两端电压的变化, 即记录 1050 型热线风速仪的输出桥压。示波器用来调节风速仪系统的最佳频响及观察流速脉动波形。TEAC 磁带机用来记录流速脉动波形, 以便由频谱仪分析其频谱, 并求出其平均紊流尺度。

以双旋流器出口截面为起点, 沿轴向共测量 $x = 8, 18, 28 \text{ mm}$ 3 个截面, 每个截面沿半径隔 3 mm 记录一个点, 由此可测出每个截面各参数沿径向的分布。按喷嘴流量的设计要求, 以保证 $AFR = 3$, 取测空气流量的流孔板的 $\Delta p = 2.45 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。用已校准好的热线风速仪来测量, 保持风速仪系统所有旋钮与校准时调节好的旋钮一致, 以便根据测量得到的电压值 U 对应校核曲线查出相应的风速 $V^{[3]}$ 。在每一个记录点记录下 DC 与 RMS 两个电压值, DC 对应平均流速, RMS 对应脉动流速, 根据校核曲线可得出对应的平均流速 $\bar{V}$ 值及脉动流速 V 值, $V/\bar{V}$ 就是紊流度。同时在轴向 3 个截面的每一截面用磁带机记录几个主要点的流速脉动波形, 以便通过频谱仪分析其脉动速度的频谱^[4]。

2 实验结果及分析

双旋流器出口空气流场沿轴向可分为内外旋流掺混的掺混区和掺混结束只呈单旋流的扩散区两个区域^[2]。本实验前对均时流场的测量已确定沿轴向 $x = 8, 18 \text{ mm}$ 两截面属于掺混区, $x = 28 \text{ mm}$ 截面属于扩散区。

脉动流速 V' 和紊流度 V'/V 的实验结果。根据热膜丝竖直放置和水平放置, 可得到轴向径向合成速度的脉动以及切向径向合成速度的脉动两种情况, 由这两种情况分别得到 3 个截面沿半径分布的 V' 值和 V'/V 值, 如图 2 所示。由图 2 可看出热膜丝水平放置和竖直放置感受脉动的情况基本相同。在内外反向旋流掺混区的 1, 2 截面, 径向轴心附近的脉动速度及紊流度小, 沿半径向外脉动速度及紊流度都逐渐增大, 在内外环旋流相交的边界层区域(即以唇口直径为直径的圆环区域), 由于内外反向旋流的强烈剪切作用, 引起强烈的紊流掺混, 因此该区域内的脉动速度及紊流度达到最大, 再向外脉动速度及紊流度都开始下降, 当到空气旋转射流与外界环境空气相交的边界层区域, 由于平均流速的大幅度下降, 紊流度又有所增大。

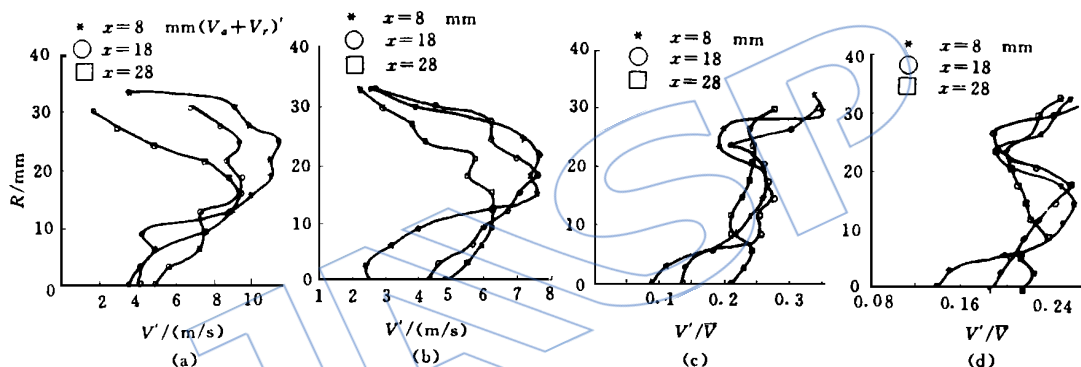


图 2 不同截面脉动流速及紊流度沿半径的分布

在内外环旋流掺混结束后的扩散区内的 3 截面, 由于掺混区强烈的紊流扩散, 使得掺混结束后的扩散区内紊流度沿径向变化不大, 而且不象 1, 2 截面有规律。脉动速度在旋转射流主流部分较大, 在轴心区域及外界环境空气相交的边界层区域较小。但 3 截面的脉动速度及紊流度的数值要比 1, 2 截面对应的的小, 这说明: 反向双旋流掺混区的脉动速度及紊流度要比扩散区的脉动速度及紊流度大。

磁带机在每个截面几个重要点记录其脉动波形, 实验记录完后再送去频谱仪分析。在频谱仪上, 这 3 个截面的频谱图很相似, 我们只打印了第 1 截面旋流轴心位置和旋流主流位置以及第 3 截面旋流主流位置的几张频谱图来分析, 频谱图如图 3 所示。

由频谱分析知道这 3 个截面频谱几乎很相似, 每个截面都是旋流轴心及旋流与外界环境的边界位置频带窄些, 高频部分的强度弱, 而旋流主流位置的频带宽, 且高频部分的强度不弱。总之, 双旋流场的脉动流速脉动频带宽, 说明此双旋流场内紊流涡团翻滚脉动的频带宽, $0 \sim 20 \text{ kHz}$ 都有, 但高频部分的强度比低频部分的强度弱, 这还说明流场内大大小小的紊流涡团, 大紊流涡团的脉动频率低, 小紊流涡团的脉动频率高, 根据频谱图找不出一主频即脉动强度突出的频率, 因此, 双旋流场中不存在代表大多数紊流涡团脉动的主频 f 。

为了定量分析此紊流场的紊流特性, 可由频谱图估算出平均紊流尺度及紊流扩散系数。

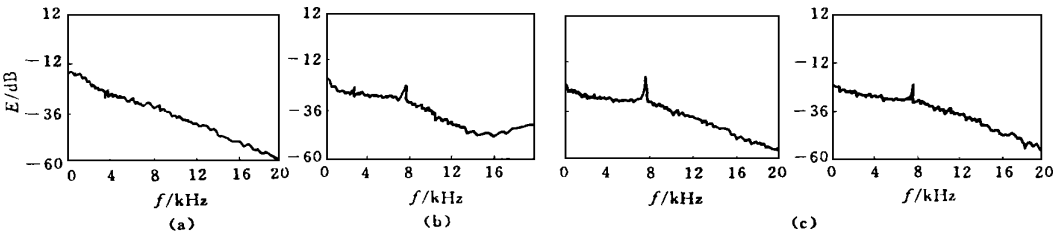


图 3 频谱图

由频谱图可算出平均频率^[5]: $\bar{f} = (\int E \cdot f df) / (\int E \cdot df)$, 根据测出的流场对应位置的脉动流速 V 可算出平均紊流尺度 $l = V / \bar{f}$, 再根据紊流扩散系数 $D_T = V l$ 求出其紊流扩散系数 D_T 。计算结果如表 1 所示。

表 1 计算结果

位 置	平均频率 $\bar{f} (1/s)$	平均尺度 $l (mm)$	紊流扩散系数 $D_T (m^2/s)$
旋 流 中 心	6.8K	0.735	3.68×10^{-3}
第 1 截面旋流主流 1	8.2K	1.18	11.4×10^{-3}
第 3 截面旋流主流 1	7.7K	0.97	7.3×10^{-3}
第 3 截面旋流主流 3	7.5K	0.91	6.2×10^{-3}

由表 1 看出: 第 1 截面旋流主流位置的紊流扩散系数大, 而旋流轴心位置的紊流扩散系数小。沿轴向向下游的第 3 截面的旋流主流位置的紊流扩散系数减小。这与前面所述的紊流度测量结果是一致的。紊流度大的位置, 也就是紊流扩散系数大的位置, 反之亦然。因此紊流度决定紊流扩散系数。由两种不同的方法来测量双旋流场的紊流特性, 其结果是一致的, 这表明实验的测量是准确的。

3 结 论

(1) 在内外环旋流掺混区中, 内外旋流相交边界层内的紊流度及脉动速度大; 在内外环旋流掺混结束后的扩散区中, 旋流场的紊流度径向分布较均匀, 紊流度及脉动速度比掺混区数值有所减小。(2) 整个双旋流场内有大大小小的紊流涡团, 其脉动频率各不相同, 脉动频带很宽, 且没有代表大多数紊流涡团脉动的主频。(3) 由频谱图估算出的流场中紊流扩散系数的分布与紊流度测量结果一致, 表明紊流度决定紊流扩散系数。

参 考 文 献

1 Wang H Y, McDonell V G, Sowa W A and Samuelson G. S. Characterization of a Two-Phase Flow Field Downstream of a Gas Turbine Co-axial Counter-Swirling, Combustor Swirl Cup. AIAA 92-0229

2 Mehta J, Shin H and Wister D. Mean Velocity and Turbulent Flow-Field Characteristics Inside an Advanced Combustor Swirl Cup. AIAA 89-0215

3 肖惟慧编. 热线风速仪技术. 北京航空学院第二研究所. 1985, 2

4 戴昌晖等编. 流体流动测量. 航空工业出版社, 1991

5 Г. М. Горбунцов. Стабилизация пламени и развитие процесса сгорания в трубу с вихревым потоком. ОБОРОНГИЗ МОСКВА, 1961

(责任编辑 魏星禄)

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON TURBULENT CHARACTERISTICS IN COUNTERROTATING AIRFLOW FIELD

Huang Xuemin, Wang Hongming, Zou Zhengping

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

ABSTRACT

Fluctuating velocity, turbulence intensity and the fluctuating frequency of turbulent airflow within a counterrotating airflow field were investigated experimentally with hot-wire anemometers. It is showed that turbulence intensity and fluctuating velocity are very large in the boundary layer region, where counterrotating airflow mixes violently; after mixing, the turbulence intensity of swirling airflow decreases and distributes uniformly in radial direction; various eddy scales exist in airflow field, the fluctuating frequency band is very wide without main frequency.

Key words Fluctuating velocity Flow fields Turbulent flow

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON EFFECTS OF BACKGROUND ON TARGET INFRARED RADIATION MEASUREMENTS

Wei Fuqing

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

ABSTRACT

The effects of background on target infrared radiation measurements were investigated experimentally by means of background treatment and under different meteorological conditions. Some suggestions are offered for eliminating the effects of the background and improving the infrared radiation measurement of the target, as well as for recording meteorological conditions to correct the infrared radiation measurements.

Key words Infrared radiation Measurements Restraints

THERMAL CAVITY- PLUME COMBINATION RADIATION

Xu Nanrong and Zhu Gujun

(5th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

ABSTRACT

The problem of thermal cavity (afterburning cylinder of a jet engine) and plume combination radiation is considered. The radiative transfer differential equation was derived. The solution of the differential equation was then obtained under the radiative boundary conditions. The detailed solution of radiative transfer equation was elaborated for a thermal cavity, filled with high temperature gas and surrounded with multiple walls of different temperatures. The detailed spectral radiant intensity expression was also given for the back hemisphere. Then a spectral radiation intensity expression was also derived for the thermal cavity-plume combination radiation. Finally a numerical example was given. Its results show that the spatial distribution of the thermal cavity-plume combination radiation has a pear shape just like that of measurements. The spectral distribution is also consistent with measurements.

Key words Radiation Jet engines Transport equation