

温度比对二维受限垂直射流穿透的影响

清华大学 王卫东** 过增元

【摘要】 用数值方法研究了温度比对受限垂直射流穿透深度的影响。发现进口温度比是独立于动量比以外的重要影响参数。在一定的动量比下, 冷射流垂直射入高温来流中, 受热膨胀加速, 动量较等温射流增加, 从而穿透深度增加; 热射流垂直穿入冷主流中, 受冷却而减速, 动量减少, 导致穿透深度减小。

主题词: 温度分布 射流 穿透 数值计算

分类号: V233.51

1 前言

传统的射流理论认为, 射流穿透深度取决于射流与主流的动量比, 温差的影响主要体现在密度差上, 从而改变动量比和射流的穿透深度。对于温度差是否是独立于动量比以外的, 影响射流穿透的特征参数, 似乎很少有人研究。在过去的 20 年里, 燃气涡轮燃烧室混合问题的研究^[1, 2], 促使人们对垂直射流在受限通道内强化混合问题进行研究。研究结果包括: (1) 除几何参数外, 主要影响射流混合的参数是动量比; (2) 在动量比一定的情况下, 密度比有一定影响。Srinivasion^[2]等的研究, 把试验扩展到射流的热混合问题, 其结果表明, 在影响混合的程度上, 由温度变化产生的密度比与动量比相比, 影响较小。而 Vrano A^[3]的试验表明在动量比一定的情况下, 密度比对射流混合有较大影响。Callaghan E E^[4]研究了加热射流垂直喷入来流的射流轨迹, 在一定的动量比下, 加热射流, 也就是密度比减小, 穿透深度也减小。在过去对垂直射流问题的研究中, 认识到密度比是影响穿透的参数之一, 大多数情况下, 密度比是由温度比产生的。温度比对射流穿透和混合的影响尚未进行过专门研究, 在物理机制上尚不清楚, 本文将采用数值计算的方法, 研究温度比在一定的动量比下, 对射流穿透深度的影响, 揭示其对垂直射流穿透深度影响的物理机制。为了清晰地说明问题, 将对二维垂直射流问题进行计算。

2 数学模型和物理模型

采用二维标准 SIMPLE 程序, 求解图 1 二维通道中的受限垂直射流问题。其通用控制方程为:

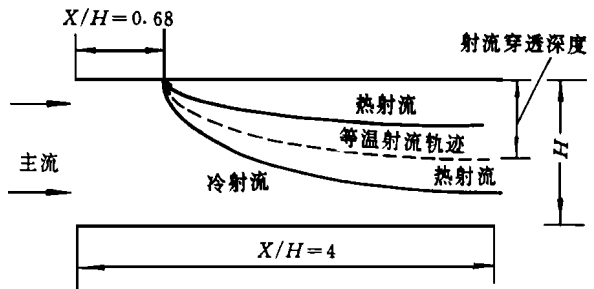


图 1 二维通道受限射流和 3 种计算工况下的射流轨迹线

$$\frac{5}{5x}(Q_uU) + \frac{5}{5y}(Q_vU) = \frac{5}{5x}\left[\#_u\frac{5U}{5x}\right] + \frac{5}{5y}\left[\#_v\frac{5U}{5y}\right] + S_U$$

方程中 $U=1$ (连续方程)、 u, v (速度分量)、 k, R (湍流特征量)、 $\#_u, S_U$ 的具体形式见文献[5]。

壁面条件: 无滑移条件, 即壁面处取 $U=0$ ($U=u, v, k, R$), 近壁处理见文献[5]。进口条件: 各工况取均匀来流条件。出口条件: 取出口充分发展的流动条件 $5U/5x=0$ 。

本文计算 3 种工况, 见表 1。B 工况为等温垂直射流, A 和 C 均为非等温垂直射流。旨在通过对 3 种工况的比较计算, 研究温度比在一定的动量比下, 对射流穿透深度的影响。

表 1 3 种计算工况

工况序号	主流温度(K)	主流速度(m/s)	射流温度(K)	射流速度(m/s)	动量比
A(热射流)	300	20	1500	89.4	4
B(等温射流)	300	20	300	40	4
C(冷射流)	1500	44.7	300	40	4

3 结果与分析

定义射流中心线轨迹为射流各截面最大速度点的连线, 这样, 射流的穿透深度由最大速度连线的最高点来定义。从图 1 中明显看出, 进口温度比对射流轨迹和射流穿透深度有较大影响。当低温射流垂直射入高温来流, 射流轨迹和射流穿透深度均比等温射流高, 而当高温射流垂直射入低温来流, 射流轨迹和射流穿透深度均比等温射流低。这说明, 在本文计算工况下, 进口温度比是独立于动量比以外的, 决定射流轨迹和射流穿透深度的参数。

传统理论认为射流轨迹是由动量比决定的。在垂直射流的近似分析计算中, 射流轨迹可由射流迎风面所受的冲击力和射流的离心力的平衡关系近似得到, 而主流的冲击力和射流的离心力就是取决于二者的动量, 因而, 从这一观点出发, 可以认为动量比是决定射流轨迹和穿透深度的主要乃至唯一的参数。而在非等温射流, 特别是在主流和射流温差较大的情况下, 流场中的动量就不再只取决于进口的动量, 主流和射流的热交换将影响流场中的动量分布。

图 2(a) 是 3 种工况下, 射流中心轨迹线上的动量衰减曲线。与等温射流相比较, 非等温射流轴心动量衰减特性发生了变化。A 工况与等温射流 B 工况相比较, 动量衰减加快。这是因为 A 工况下, 高温射流垂直喷入冷主流中, 受主流冷却, 密度增加, 速度减小, 从而动量衰减加快, 若按传统的射流离心力与主流撞击力相平衡的观点来看, 射流的动量减小, 将导致离心力减小, 从而, 射流轨迹受主流冲击而变低, 穿透深度也减小(图 1), 在新的位置上达到力的平衡; C 工况与等温射流相比较, 动量衰减变缓。这是因为 C 工况下, 低温射流垂直喷入热主流中, 受主流加热, 射流膨胀,

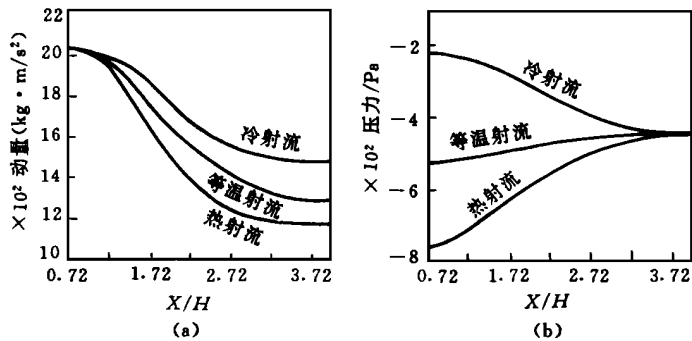


图 2 3 种工况下沿射流轨迹动量衰减曲线和压力变化曲线

密度减小,速度增大,动量有增大的趋势,从而衰减变缓。将导致射流离心力增加,从而,射流轨迹升高,穿透深度也增大,同样在新的位置上达到新的力的平衡。在等温射流中,动量的分布直接取决于主流和射流进口的动量比;而在非等温射流中,在进口动量比一定的情况下,射流内的

传热过程改变了原有的动量分布。图 3 是相对压力等值分布,由于各工况的压力分布变化较小,所以只画出 B 工况的压力等值线图,虚线表示 3 种工况下的射流轨迹。由于射流的阻挡,在射流进口迎风面形成一个高压区,在背风面处形成

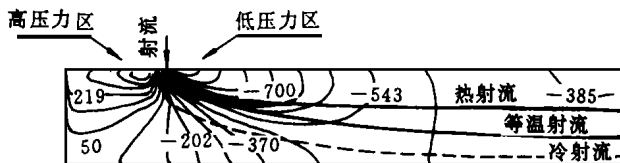


图 3 压力等值线和射流轨迹线图

一个低压旋涡区,横跨射流截面,压力分布是从高压到低压。射流轴线上的压力分布主要取决于其位于哪一个位置。图 2(b)是射流轴线上的压力变化线。高温热射流喷入冷主流的情况,随射流由涡心附近向涡尾方向流动,射流轴上的压力由低到高;而低温射流喷入高温热流的情况,射流轴上的压力由高到低。A 工况与 C 工况相比较,沿中心线方向的压力逐渐增加,动量减小,也就达不到远的射程和高的穿透深度;C 工况下,沿中心线方向的压力逐渐降低,动量增加,从而获得更深的穿透深度。其内在的物理机制是,当冷射流受到主流加热时,射流温度升高,密度降低,同时动量增加以及压力降低,在流体中加热引起的压力降低称为热阻力^[6,7],在这里,冷射流受主流加热后,压力降低而转化为动量的增加,从而导致更大的穿透深度,同理,当热射流受到主流冷却时,温度降低,密度增加,负的热阻力导致动量的降低,从而使热射流的穿透深度要小于等温射流的穿透深度。

结论 (1)用数值方法研究了主流、射流温度比对二维受限通道垂直射流轨迹和穿透深度的影响,表明了进口温度比是独立于动量比以外的重要影响参数。(2)冷射流垂直射入高温来流中,受热膨胀加速,动量较等温射流增加,从而穿透深度增加;热射流垂直穿入冷主流中,受冷却而减速,动量减少,导致穿透深度减小。(3)射流进口温度比对射流混合影响的物理机制可用热阻力的概念来分析,因此射流的温度和气体的导热系数对射流的混合有明显影响。

参 考 文 献

- 1 Adler D, Baron A. Prediction of a 3D Circular Turbulent Jet in Cross Flow. AIAA J. 1979, 12(2): 168- 74
- 2 Srinivasan R, Coleman E, Anfd Johnson K. Dilution Jet Mixing Program, Phase II Report. NASA CR- 174884, 1984
- 3 Vranos A, Liscinsky D S, et al. Experimental Study of Cross- Stream Mixing in a Cylindrical Duct. AIAA 91- 2459(Also NASA TM- 105180), 1991
- 4 Callaghan E E, Ruggeri R S. A General Correlation of Temperature Profiles Downstream of a Heated- Air Jet Directed Perpendicularly to Air Stream. NACA TN- 2466, 1975
- 5 Lilley D G, Rhode D L. A Computer Code for Swirling Turbulent Axisymmetric Recirculating Flows in Practical Isothermal Combustor Geometries. NASA CR- 3442, 1975
- 6 Guo Z Y. Thermal Drag in Forced Duct Flow. Int. J. Heat and Mass Transfer, 1991, 34, (1): 229- 235
- 7 过增元等. 流动系统中的热阻力和热绕流现象(I). 工程热物理学报, 1991, 6(2): 160- 165

(责任编辑 魏星禄)

Heat transfer coefficient for the suction side, however, was decreased due to film cooling.

Key Words Numerical computation Bladws Thermo- convection coefficient

TECHNICAL NOTES

DEVELOPMENT OF FAILURE DIAGNOSIS TECHNIQUES IN ENGINE DIGITAL CONTROL SYSTEMS

Huang Xianghua and Sun Jianguo

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

ABSTRACT This paper surveys the development of sensor failure diagnosis in engine digital control systems. First, the early research works on techniques of sensor failure detection and isolation are reviewed. The main disadvantage of model- based methods is high sensitivity to modeling errors which are inevitable because of the complexity of the aircraft engine. Then, the paper considers the necessity of robust failure diagnosis and its development. In view of the fact that the neural networks have been successively applied to control realm and possess themselves of tremendous potentials, the neural- network- based failure diagnosis is recommended as a promising approach in the engine digital control systems.

Key Words Aircraft engines Digital control system Fault diagnosis

INFLUENCE OF TEMPERATURE RATIO ON PENETRATION DEPTH OF 2D CONFINED CROSS FLOW

Wang Weidong and Guo Zengyuan

(Tsinghua University, Department of Engineering, Beijing 100084)

ABSTRACT The influence of temperature ratio on the penetration depth of two - dimensional confined cross flow is investigated numerically. It is found that the temperature ratio of jet to main flow was an important parameter independent of momentum ratio. This phenomena can be explained in terms of the concept of "thermal drag". A cold jet injected perpendicularly into a confined hot air flow is heated and accelerated as the momentum ratio is given. The thermally induced pressure drop is converted into the momentum increase and consequently increases the penetration depth. On the contrary, a hot jet injected perpendicularly into a confined cold air flow for the given mometum ratio decreases its own momentum due to cooling by the mainflow. As a consequence, its penetration depth also is cut down.

Key Words Temperature distribution Jet penetration Numerical computation

FINITE ELEMENT STRESS ANALYSIS OF POWDER METALLURGY TURBINE DISC

Song Yingdong, Chen Wei, Wen Weidong, Gao Deping

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)