

旋转对轴对称突扩流的影响

突扩燃烧室的流动是很复杂的,它包括燃料和空气的紊流混合、气流分离、气流回流、剪切流的再附着、化学反应等。这些现象受很多参数的影响,如空气的速度和温度、进口紊流度、进口马赫数、突扩面积比、燃烧和空气的密度比、壁的旋转速度、燃料的喷射速度等。本文研究的目的是试图进一步观察和了解突扩燃烧室的流体力学,尤其是壁旋转对再附着长度 X_L 的影响和燃烧室中速度与紊流度的分布图。

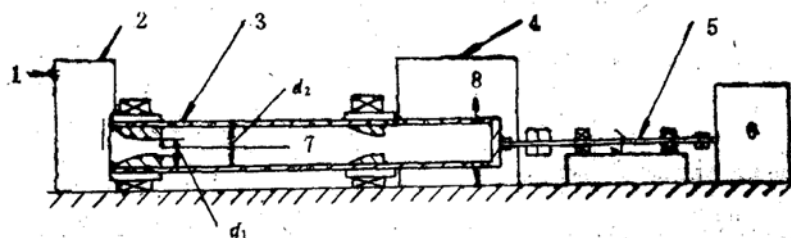


图1 突扩燃烧室试验装置图

- 1.进气孔 2.进气室 3.试验段 4.排气室 5.轴轴台和连轴节
6. 1.5马力可变速交流电动机 7.气流 8.空气

试验装置见图1,它包括一根两端支撑在轴承上的有机玻璃管(内径 $d_2 = 63.5\text{mm}$,长 76.2mm)。管子的一端安装一个型面良好的铝制喷管。喷管设计成能在有机玻璃管中可以容易地拉进拉出,以便它既可做进口喷管,又可做出口喷管。在另一端,距第一个喷管 $L = 8d_2$ 处,有机玻璃管内安装了另一个型面良好的铝制喷管。这个喷管后面安装一个中空铝圆柱体,这个铝圆柱体的后端是封闭的,沿圆柱体圆周开8个气孔(每 $\pi/4$ 开一个气孔,直径 4.35mm)。一根钢轴与这个圆柱体的封闭端连接,这个轴通过一个连轴节与电动机的主动轴连接。电动机的旋转速度,可由速度控制器控制,其最高速度可达 $\sim 2500\text{r/min}$ 。

进口喷管内径 $d_1 = 43.2\text{mm}$,于是 $d_2/d_1 = 1.47$;阶梯高度 $H = 10.15\text{mm}$ 。两个稳压室用于封闭组件的开端和轴端。一台抽气机与封闭轴端的稳压室相连接。抽气机可给出 16m/s 的平均进口速度。试验装置可产生 4.6×10^4 进口雷诺数的流动和 2500r/min 的转速。

突扩旋转流装置中的所有试验都是在一个进口流动状态下进行的。管子进口的中心线速度 U ,在突扩下游 $X = 3.5\text{mm}$ 处测量。共研究了 $N = 0, 420, 630, 840$ 和 1050r/min 五种情况,详细研究了 $N = 0$ 和 $N = 840\text{r/min}$ 两种情况。另三种情况仅对其 X_L/H 特性进行了验证。这些测量值足以确定 X_L 与 N 的关系。

对于进行详细研究的两种情况,轴向瞬时速度 u 的10个分布图是在 $0.69 \leq X/H \leq 17.13$ 范围内测定的。这些分布图用来绘制流函数 ψ 曲线,因此允许 ψ 曲线外延到壁以给出 X_L (主回区的再附着长度)。同时, X_L 值也可由零- U 轨迹外延到壁而获得(U 为平均轴向速度)。由两种方法确定的 X_L 值符合度在 $\pm 8\%$ 以内。对另三种情况(即 $N = 420, 630$ 和 1050r/min)的 X_L 值是用零- U 轨迹法确定的。圆周速度 ω 是在 $0.39 \leq X/H \leq 17.13$ 范围内测量的。情况1和情况2的流动对称性是由 $X/H = 1.03$ 和 4.8 处整个管横断面上测量 u 来检验的。结果

表明, 有旋转与没有旋转的突扩流是完全以轴线对称的。

旋转对燃烧室核心的流动没有影响。在重点研究的两种情况中, 均匀的核心流延伸到 $X/H = 6.0$ 。必须全力关注回流区内及近壁区再附着点下游的旋转影响。当 $N = 0$ 时, 在 $X/H = 3.43$ 处可观察到最大的回流; 当 $N = 840 \text{ r/min}$, 这个位置移到 $X/H = 1.28$ 。此外, 当 $N = 0$ 时, 在 $X/H = 4.8$ 回流很明显; 但当 $N = 840 \text{ r/min}$, 在同一位置就没有观察到回流 (图 2)。对情况 1, 在 $X/H = 0.69$ 和 1.03 近壁处观察到向前的流动; 而在情况 2, 仅在 $X/H = 0.69$ 处观察到。尽管考虑了 U 的测量误差 (误差 $< 2\%$), 现在的结果仍然说明在近角处有次回流存在。采用激光多普勒风速计技术, 一些学者发现, 次回流的大小从流向 $X/H = 0$ 延伸到 $X/H \approx 1$, 从径向 $r/R = 1$ 延至 $r/R \approx 0.7$ 。结果表明: 次回流的轴向长度对情况 1 是 $X_s/H > 1$ 对情况 2 是 $X_s/H < 1$ (X_s 为次回流区的再附着长度)。

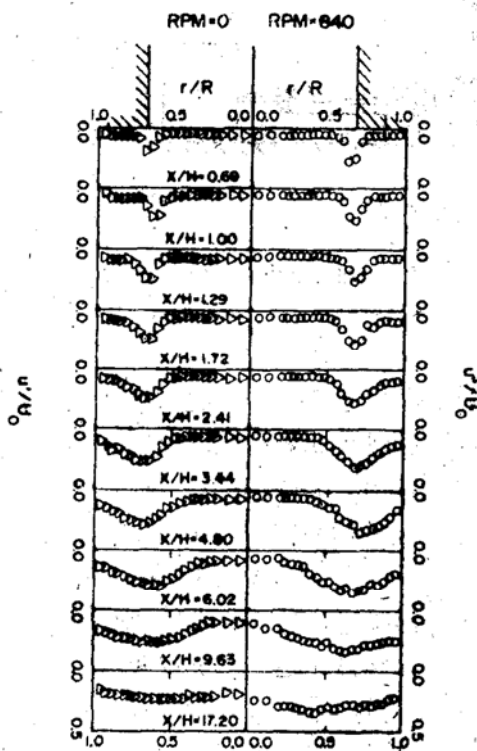


图 2 情况 1 和 2 回流区内 U 的详细分布图

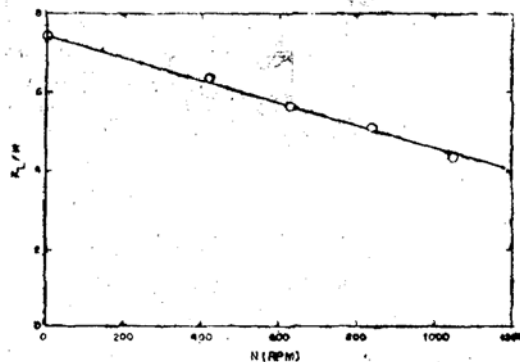


图 3 X_L/H 随旋转速度 N 的变化

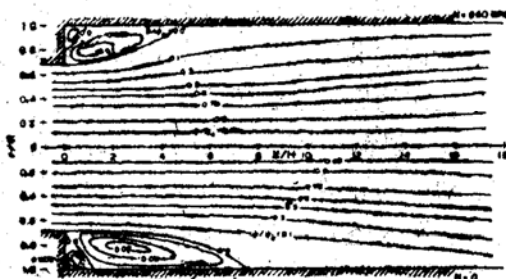


图 4 情况 1 和 2 流函数分布图的比较

基于这些测定, 情况 1 再附着点 $X_L/H = 7.4 \pm 0.5$; 对情况 2 $X_L/H = 5.1 \pm 0.4$ 。可以断定, 旋转使 X_L/H 减小, 当 $N = 840 \text{ r/min}$ 其减小大于 30%。

为测定有旋转速度时的 X_L/H 特性, 还测量了另外三个情况, 即 $N = 420, 630$ 和 1050 的 X_L/H 。这三种情况, X_L/H 的特性是 $U = 0$ 曲线外延到壁测定的, 因此不需要测量完整的 U 分布图。图 3 表明, 随着 N 的增加, 再附着点直线减少。减少的原因是分离的剪切层迅速延伸, 而这个快速延伸主要是旋转管壁产生大的剪切的不稳定影响引起的。

管子旋转对流动产生两个相反的作用。一个是由于管子旋转产生大的周向剪切引起的不稳定性; 另一个是稳定性, 它是流体转动离心力的结果。在旋转管的进口, 壁的附面层是薄的, 流体旋转主要限于附面层, 其旋转速度从 ωR 减少到 0。在这个区域, 由于大的周向剪

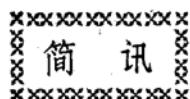
切, 旋转主要引起不稳定性。由于旋转进口喷管产生的不稳定影响, 进口附面层是不稳定的。当这个附面层离开进口喷管形成混合层时, 附加的不稳定影响引起混合层扩展得更快, 导致回流减小。

为了清楚地描述回流区及其大小, 采用测量 U 分布图构成情况 1 和 2 的流函数图沿突扩管轴线的流函数, 用 ψ_0 使 ψ 规范化, 其结果表示在图 4。图形也表明拐角处次回流区的存在。对情况 1, 这个次回流区从 $r/R = 1$ 扩展到 $r/R \approx 0.8$, 从 $X/H = 0$ 扩展到 ~ 1.2 , 在那里出现次再附着点。虽然目前的测量不能很好的给出情况 2 的回流区大小, 但发现回流区轴向延伸到 $X_s/H < 1$ (图 2)。一般可见, 旋转也倾向于缩短次再附着长度。

通过上面分析可得如下结论:

1. 管子旋转使近壁的流动产生一个很大的剪切, 这对分离剪切层增加了不稳定的作用。与不旋转的流动状态相比较, 可使其更快扩展与较早再附着。当 $N = 840 \text{ r/min}$ 时, 可观察到再附着长度减少 30% 以上。
2. 突扩燃烧室中的流动, 基本上受不稳定作用的支配。这是由于燃烧室长度短, 不具有使流动产生稳定作用的离心力。
3. 在研究的 $0 \leq N \leq 1200 \text{ r/min}$ 范围内, 主再附着长度随旋转速度 N 增加而直线减小。
4. 在拐角附近可观察到一个次回流区, 这点在燃烧室有没有旋转都存在。

谷岩摘自 Journal of Propulsion and Power, May-June 1988



中国航空学会召开第六届燃烧与传热学术交流会

中国航空学会第六届燃烧与传热学术交流会于 1988 年 9 月 21 日至 24 日在南京市举行。会议由南京航空学院主办, 参加单位有航空航天部 606 所、608 所、624 所、三院三十一所、北京航空航天大学、西北工业大学等 21 个单位。出席代表 83 人, 其中有教授、副教授和高级工程师 34 人。中国航空学会理事王宏基教授到会作了指导。

会议分成二个燃烧组、一个传热组交流了 66 篇学术论文。对每一篇报告与会者都进行了热烈讨论。会议期间召开了领导小组会, 评出 8 篇优秀论文, 并商定下届交流会于 1990 年由北京航空航天大学主办。

(本刊编辑部)