

高焓风洞中模型外流场电子密度测试研究

汪 球 姜宗林 赵 伟 余西龙

(中国科学院力学研究所高温气体动力学国家重点实验室, 100190)

摘要: 在 JF-10 高焓激波风洞中利用氢氧爆轰驱动方法获得了总压 12.4MPa、总温 7440K 的高超声速试验气流, 采用自行研制的能够获得足够空间分辨率且不影响流场结构的针状电子探针, 对 10° 尖劈模型进行流场电子密度测量; 试验结果表明: 研制的探针具有较高的测量灵敏度及空间分辨率, 能够较好的反应模型流场空间电子密度分布。

关键词: 电子密度, 激波风洞, 电子探针, 高焓

一、引言

高超声速飞行器进入大气层时, 周围气体经过头部激波压缩并与飞行器表面剧烈摩擦, 从而导致气体离解甚至电离, 飞行器周围覆盖着发生复杂物理化学过程的等离子体, 而飞行器的雷达特性及电波输运特性强烈的依赖于流场中的电子密度, 因此飞行器外流场电子密度的研究显得尤为重要。相比于微波干涉等手段, 电子探针结构简单、具有良好的空间分辨率, 是等离子体诊断的重要手段之一。本次试验结果还反映它同时具有良好的稳定性和重复性。将电子探针和高焓激波风洞相配合来测量高超声速飞行器流场电子密度有很大的应用价值。

二、实验设备及方法

试验在 JF-10 氢氧爆轰驱动高焓激波风洞上完成, 试验采用 $7^\circ 7'$ 锥形喷管, 出口直径 $\Phi 500\text{mm}$, 吼道直径 $\Phi 11\text{mm}$ 。风洞运行状态参数如表 1 所示, 激波马赫数由被驱动段不同位置上的 5 个电离探针来测量^[1]。

测量电子密度的电子探针为针状式, 法向分布在 10° 尖劈表面上, 如图 1 所示, 探针长 8mm , 根部直径 0.3mm , 相邻探针间距为 4mm 。探针和模型之间电绝缘, 模型接

表 1 氢氧爆轰驱动激波风洞实验运行状态参数

参数	氢氧混合比	高压段初始压力 P_{4i}	被驱动段初始压力 P_1	入射激波马赫数 (Ms)	驻室总压 P_0	驻室总温 T_0	驻室总焓 H_0
单位		MPa	kPa		MPa	K	MJ/kg
数值	4:1	2.5	7.5	10.9	12.4	7440	14.7

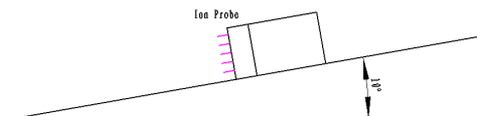


图 1 探针安装示意图

地, 在探针上施加一定的负偏压, 当加在探针上的负电压大到一定程度时, 探针周围形

成的屏蔽电场足以使电子无法到达探针表面。此刻探针收集的电流为饱和离子流，由此推算电子浓度^{[2][3]}。

三、 实验结果

图 2 给出的是一组探针的试验曲线及归一化的电子密度分布，B1~B5 探针离壁面距离分别为 4mm、8mm、12mm、16mm、20mm。由图可知，靠近壁面电子密度最大，向外迅速减小。试验中，探针距离尖劈前端 100mm，数值计算表明此处激波离壁面高度不到 16mm，B4、B5 探针位于激波外面，探针实际测量的是风洞喷管出口流场电子密度，图 2 中 B4、B5 电子密度相近也能反应这一点。

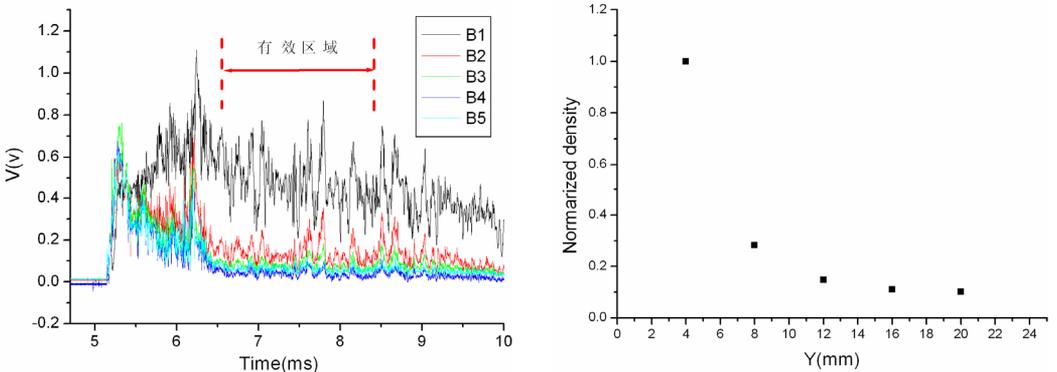


图 2 电子密度分布曲线

制作的电子探针在试验中灵敏度和稳定性都很好，即使在高焓风洞严酷的气流环境下也能保持较好的重复性，获得可靠结果的同时试验也不需要频繁更换电子探针，将电子探针与高焓风洞相结合对于气动物理研究有很大的研究前景。

参 考 文 献

- 1 高冰. 氢氧爆轰驱动激波风洞的调试、测量与应用.
- 2 Boyer D W, Touryan K J. Experimental and Numerical Studies of Flush Electrostatic Probes in Hypersonic Ionized Flows. AIAA, 1972; No.72-0104
- 3 廖光等. 高焓风洞中带翼钝锥体尾流电子密度的测量与分析. 试验流体力学, 2010