

高焓激波风洞热流测试方法研究

汪球 王爱峰 武博 赵伟

(中国科学院力学研究所高温气体动力学重点实验室, 北京, 100190)

摘要 研制了用于高焓风洞热流测量的铜箔量热计。在 JF-10 激波风洞中利用氢氧爆轰驱动方法获得了总压 18MPa, 总温 7900K 的高超声速高焓平衡试验气流, 使用铜箔量热计对球头驻点热流进行测量, 结果表明铜箔量热计具有良好的稳定性及重复性, 适合用于高焓气体热流的测量。

关键词: 铜箔量热计; 激波风洞; 热流; 高焓

一、引言

飞行器表面热流率与速度的三次方成正比, 对于高超声速飞行器, 由于高速飞行使得飞行器飞行环境变得恶劣, 尤其是气动热。热流率的测量是气动试验中比较重要的内容。在高焓激波风洞中, 常规的薄膜电阻温度计抗冲刷能力差, 易于损坏, 因此使得测量的操作性变得复杂、重复性大大降低^[1]。为解决这一难题, 研制了铜箔量热计, 由于其敏感元-热电结点焊在铜片背面, 可以避免固体颗粒直接冲刷, 因此不宜损坏, 另外传感器还具有阻抗低、抗干扰能力强, 可测量高热流的优点, 在高焓风洞中很适合使用。

二、实验设备及方法

实验在 JF-10 氢氧爆轰驱动高焓激波风洞上完成, 实验采用 7°7'锥形喷管, 出口直径 $\Phi 500\text{mm}$, 吼道直径 $\Phi 11\text{mm}$, 如图 1 所示。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^[2]。实验模型为 R17.5mm 的球头。

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	MPa		MPa	K	MJ/kg
数值	4:1	2.5	0.01	11.36	18	7900	16.1

三、 实验结果

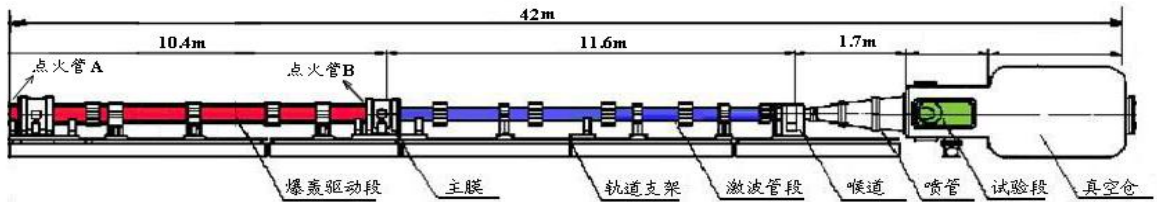


图 1 JF-10 激波风洞示意图

铜箔量热计输出的是电压和时间曲线，与之对应的是平均温度变化率。知道实验曲线斜率 dE/dt 后通过关系式^{[3][4]}即可计算出热流，典型热流实验曲线如图 2 所示。

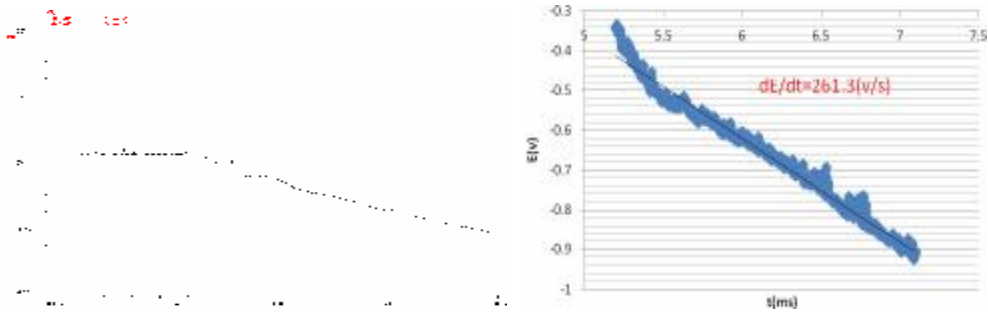


图 2 典型热流实验曲线

实验后发现传感器重复性良好，对于驻点约平均两次实验需要更换一次传感器，并且每次之间热流数值都很接近，如表 2 所示。实验结果显示，铜箔量热计制作简单，用于高焓风洞热流测量重复性良好，适合用于高焓风洞高热流值的测量。

表 2 驻点热流

实验编号	110401	110601	111001
激波马赫数	11.36	11.36	11.36
风洞驻室总温(K)	7909	7896	7890
热流(w/cm^2)	642.07	623.83	648.64

参 考 文 献

- 1 唐贵明等.激波风洞高焓流动及其驻点对流和辐射热流测量.流体力学实验与测量, 1998
- 2 高冰.氢氧爆轰驱动激波风洞的调试、测量与应用
- 3 陈强.激波管流动的理论和实验技术.合肥:中国科学技术大学出版社, 1979
- 4 俞鸿儒.激波风洞传热测量用的塞形铜箔量热计.力学情报, 1976