

文章编号:1007-3124(2001)01-0032-04

验证灰尘气体中驻点热流率增大机理的方法

林建民,李仲发

(中国科学院力学研究所高温气体动力学研究开放实验室,北京 100080)

摘要:笔者介绍了一种验证灰尘气体中驻点热流率增大机理的方法。在灰尘负荷率相同,微粒速度相近条件下完成激波管 2ϵ 区实验气流分别为亚声速与超声速的实验。实验结果表明,含灰气流中驻点热流率增大只与灰粒速度有关。

关键词:激波;激波管;两相流;驻点热流;传热率

中图分类号:V211.751 文献标识码:A

A method for verifying mechanisms of increased stagnation point heat transfer rate in dusty flow

LI Jian-min, LI Zhong-fa

(Laboratory of High Temperature Gas Dynamics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: A method for verifying mechanisms of increased heat transfer rate at stagnation point in dusty flow was introduced. The experiments with same dusty loading rate and with close particle velocities were performed at both subsonic and supersonic flowfield, respectively. The experimental results indicate that heating augmentations at stagnation point in dusty flow only depends on impact velocity of particles.

Key words: shock wave; shock tube; two phase flow; stagnation point thermal flow; heat transfer rate

0 引 言

在悬浮有微小颗粒的气体中,驻点区热流的实验无一例外地发现,与纯净气体中具有相同来流条件相比,热流率数值显著增大,一般增大5倍左右^[1,2]。超声速来流条件下热流率增大高于亚声速情况。这一现象曾引起国内外研究者的高度重视。经大量的实验研究,对含灰气流中驻点热流增大现象的有关特征已积累起较丰富的知识,并提出一些解释这种现象的机理。

收稿日期:2000-01-05

基金项目:国防科技预研基金资助项目

作者简介:林建民(1953-),男,湖南醴陵市人,中国科学院力学研究所高级工程师。

Flener & Watson 采用高速摄影方法观察到微粒在模型头部反弹,引起头激波变形,认为这是引起热流率增大的主要原因。Dunbar et 也指出驻点热流率增大主要由微粒反弹与激波层相互干扰引起,但必须考虑微粒动能的作用。

灰尘激波管的实验中发现,驻点热流率增大量低于微粒动能。平衡区气流速度分别为亚声速和超声速时,热流率增大与微粒动能、热能成正比,比值随微粒速度增大,即驻点热流增大受粒子撞击物面速度控制。由此,俞鸿儒提出微粒与模型表面撞击过程中,微粒与物面间动能、热能转换是造成热流率增大主要原因的机理^[3]。

在亚声速与超声速两种流动条件下,加热量与微粒动能、热能成正比虽无突变,但由于微粒速度差异较大,两流动区域的比值差别仍很大。在亚声速条件下,模型头部不出现脱体激波,驻点区热流率增大取决于微粒与物面碰撞时动能、热能转换容易理解。超声速流动情况则比较复杂。这给出一种启示,若能组织这样一组对比实验,首先开展超声速条件下 ($M_{2e} > 1$) 的驻点热流实验,然后在微粒速度等灰粒参数不变的条件下进行相应的亚声速流动实验,不难通过分别获得的结果判定驻点加热量是否仅与微粒撞击速度有关。笔者希望用这种方法验证上述机理中哪种更符合实际流动情况。

1 实验方法

在灰尘气体激波管中主要利用平衡区 $2e$ 气流进行实验。根据激波管实验中,高声速气体驱动低声速气体可获得较高入射激波马赫数及 $2e$ 区气流马赫数,反之以低声速气体驱动高声速气体获得较低入射激波速度与 $2e$ 区实验气流马赫数的事实。首先在给定微粒负荷率、平衡速率 u_{2e} 及平衡区气流马赫数 $M_{2e} > 1$ 条件下的超声速来流实验。而后,在相同微粒速度 $V_{2e} = V_{2e}$ 及其他相关灰粒状态参数下,按式:

$$u_{2e} = u_{2e} = 2 \left[Me - \frac{1}{Me} \right] / (+ 1) \quad (1)$$

通过调整 区灰尘气体声速:

$$c = a_1 l / (1 +)^{1/2} \quad (2)$$

并适当控制驱动压比,可以获得微粒速度相同,但 $2e$ 区为亚声速流动 ($M_{2e} < 1$) 的实验状态。

对比实验应满足以下条件:

(1) 微粒材料及粒度相同。

(2) 微粒负荷率相等: $\dot{m} = \dot{m}$ (3)

(3) 微粒平衡速度相等: $V_{2e} = V_{2e}$ (4)

(4) 来流平衡马赫数分别为: $M_{2e} > 1, M_{2e} < 1$ (5)

以上条件公式中 M_{2e} 、 V_{2e} 等为超声速来流时参数,上标“ $\dot{}$ ”表示具有相同微粒速度时来流为亚声速的状态参数。

2 实验装置及实验结果

实验在竖直灰尘气体激波管中进行,具体几何尺寸见图(1)。撒灰装置位于膜片下

游低压段顶部。实验中激波速度及波后压力由置于试验段附近管壁上两个压电传感器监测。试验段前端的对称观察窗用于监测激波前后灰尘浓度,观察方法为削光法。

为开展对比实验,在激波管低压段安装了配气机构。实验中低压段内按不同气相初始声速要求充入氢-氮混合气体。混合气体声速及充气质量比由下式确定:

$$a_1 = \sqrt{RT_1} \tag{6}$$

$$R = \frac{m_{H_2}}{m} R_{H_2} + \frac{m_{N_2}}{m} R_{N_2} \tag{7}$$

实验均采用聚苯乙烯微球。微球粒度 $D = 75\mu\text{m}$, 灰尘负荷率定义为:

$$= \frac{1}{1} \tag{8}$$

下标 1 表示激波管 区参数。

实验模型是半径为 10mm 的钝头体模型。驻点温度由直径 3mm 的铜箔量热计测量,经微分后得到驻点热流率^[4],并以与流向垂直的单位面积上微粒动能流率规一化处理。

$$w = \frac{1}{2} m_p u_{2e}^2 \tag{9}$$

全部测量参数由 DM-7100 瞬态记录仪记录,经 SM-2100 信号分析仪处理后输出。

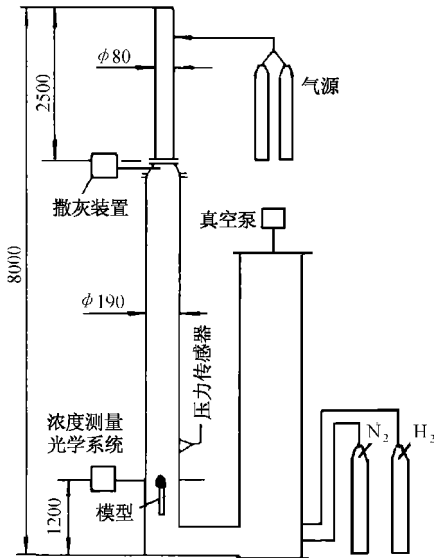


图1 竖直灰气激波管简图
Fig.1 Vertical dust-gas shock tube

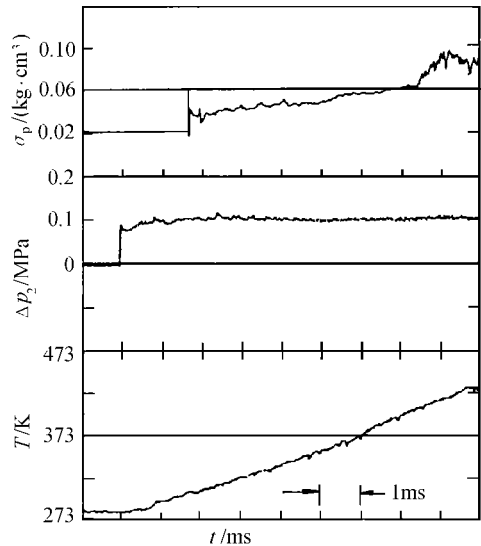


图2 典型灰尘浓度、压力及驻点温度曲线
Fig.2 Typical curves of concentration, pressure and stagnation temperature

为比较不同灰尘负荷率对热流率的影响,进行了两种灰尘负荷率的对比实验。实验中获得的典型灰尘浓度曲线、压力曲线及驻点温度曲线绘于图(2)中,两组实验状态参数及热流率数据列于表 1、2 中。由表中数据可以看出,在两种灰尘负荷率条件下,按前述方法调试出的对比实验状态 $2e$ 平衡区微粒速度相近,一为超声速流动 $M_{2e} > 1$,一为亚声速流动 $M_{2e} < 1$ 。驻点热流率与灰粒动能比值也很接近。

表 1 不同灰尘负荷率()对热流率的影响

	M_{2c}	M_s	$a_1/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$u_{2c}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$		q/w
0.147	1.424	2.768	340.00	639.70	1.315	43.5%
0.147	0.920	1.877	597.45	629.10	1.359	44.1%

表 2 不同灰尘负荷率()对热流率的影响

	M_{2c}	M_s	$a_1/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$u_{2c}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$		q/w
0.133	1.485	2.966	340.00	702.71	1.320	19.6%
0.133	0.928	1.901	670.40	722.51	1.369	20.8%

3 结 论

(1)含灰气流中驻点热流率增大只与微粒速度有关,与气流为超声速或亚声速流动无关。

(2)在亚声速流动条件下不出现头激波,粒子反弹与头激波干扰引起热流增大机理看来根据不足。

(3)灰尘负荷率对热流增大影响十分明显。

以上实验是在俞鸿儒院士指导下完成的,于伟、谷笏华同志参加了实验。

参考文献:

- [1] DUNBAR L E, Courtney et. AIAA J. 13. 7(1975) ,pp908-912.
- [2] FLEENER W A ,WATSON R H. AIAA paper No. 73-761(1973) .
- [3] YU H R ,LI Z F ,LIN J M. Proceeding of 16th ISSWST(1987) .
- [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, 4.