性实验技术。利用高速摄影和烟雾示踪技术，观察了有膜空气/SF_6 正弦扰动界面在 1.2Ma 激波诱导下的 RM 不稳定性演化过程，运用线性理论分析了正弦扰动发展规律。

(3) 气/液界面 RT 不稳定性实验

在竖式激波管上，实验研究了空气/水界面 RT 不稳定性，界面运动平均加速度介于 60 倍到 795 倍的重力加速度之间。在初始压力 0.175 MPa，水柱高度 230mm 的实验中，气泡和尖钉增长系数分别为 0.0685 和 0.1978。随着界面运动平均加速度的增加，气泡增长系数逐渐增加，但是增加的速度逐渐减缓。

(4) 果冻实验

利用高速摄影技术，记录了果冻柱形内爆前期的发展图像，以及平面果冻层界面不稳定性图像，分析得到这两种情况下的界面演化发展规律。利用低能 X 光技术，得到了果冻内爆反弹前后时刻中心区域的密度分布信息。国防军工技术基础科研项目、国家自然科学基金项目 (10772166)、国防科技重点实验室基金项目 (9140C6701010702) 资助

关键词: RM 不稳定性，RT 不稳定性，激波，柱形会聚，高速摄影

S03 **CCTAM2009-002954**

脉冲燃烧风洞排气总温和浓度测量技术研究

刘伟雄, 张小庆, 毛雄斌, 伍军
中国空气动力研究与发展中心，四川安县 622663
lejl@my-public.sc.cninfo.net

为了适应大口径脉冲燃烧风洞有效时间长排气系统的效率高的特点，根据脉冲燃烧风洞排气系统的原理和数值计算结果，本文提出了脉冲燃烧风洞扩压器的设计准则，并应用到 600mm 脉冲燃烧风洞扩压器中，结果表明该设计准则适用于脉冲燃烧风洞扩压器的结构尺寸设计，试验研究结果表明：在一定范围内扩压器安装位置对风洞均匀区大小影响很小；自由射流区的长度可达喷管出口直径的 1.53 倍；堵塞度越大，风洞运行时间越小；增加扩压器长径比可延长风洞的有效试验时间。

通过分析高焓高超声速环境中总温探针的测温原理、测量误差和温度响应过程，提出了适合脉冲风洞应用的总温探针的设计方法，并通过试验筛选和数值模拟，设计出了合理的总温探针。该总温探针的测量误差在 5% 以内、温度响应时间常数为 40ms，可以应用于脉冲燃烧风洞的总温测量。并给出了缩短探针响应时间的方法。

成功地研制了一套应用于脉冲燃烧风洞试验流场的组分测量系统。组分测量系统设计的关键是采样探针在采样过程保持组分冻结。根据化学反应动力学和探针内流动参数，得出采样探针内流动的 Damköhler 数远小于 1，满足化学冻结的要求。对组分测量系统进行氮、氧混合气体的马赫数 4 试验校准，测量结果与理论值相差不到 1%，说明了本系统的可行性。利用两套采样时间不同的采样系统 (为了消除采集罐内残余气体和风洞起动时紊乱气流的影响) 对马赫数 6 试验状态下燃烧加热后的气体组分进行测量，测量数据的处理结果与理论值基本一致，充分说明了组分测量系统的精确性。

关键词: 脉冲燃烧风洞，总温探针，气体组分测量

S03 **CCTAM2009-002955**

超声速混合层流动控制初步研究

何霖, 易仕和, 赵玉新, 田立丰, 程忠宇
国防科技大学航天与材料工程学院，长沙 410073

在对流马赫数为 Mc=0.5 的超声速混合层风洞中，通过在两股气流的分隔板上添加扰动片的方式，对超声速混合层进行了流动控制的实验研究。采用 NPLS 技术进行流动显示，得到了不同控制状态下混合层的精细流动结构。在二维扰动控制下，混合层流向大尺度结构明显增大，对应混合层的增长速度变大，混合层的二维特性更加明显，三维结构的发展受到抑制。这说明扰动片引入的三维扰动波明显抑制了二维扰动波的发展，使得流向结构的尺度明显减小；同时三维扰动波的发展增强了混合层的三维结构，导致混合层转捩提前。通过 NPLS 技术的三维流动测量，还得到了混合层内三维流动结构的图像，在三维扰动控制下，混合层内出现了清晰的 H- 型 Λ 涡结构。

关键词: 超声速混合层，NPLS，流动控制

S03 **CCTAM2009-002956**

含灰气流中添质引起的波系结构的数值研究

程万, 冉伟, 罗喜胜, 杨基明
中国科技大学近代力学系，合肥 230027
xluo@ustc.edu.cn

着眼于研究均匀流场中某处加入固体颗粒形成含灰气体而产生的波系结构。加入的固体颗粒可视为连续相，其所占体积可以忽略。针对此问题进行物理建模，气相和颗粒相均采用 Euler 方法跟踪，两相间相互作用体现为源相形式，采用分裂步算法来对流场方程和源相进行分别计算。流场方程采用基于非结构四边形网格的中心型有限体积方法进行离散，并采用 MUSCL-Hancock 格式进行求解。时间推进格式采用二阶 MacCormack 格式。依据以上算法，发展了二维程序进行数值模拟。

将从不同来流马赫数 (超声速, 亚声速, 跨声速)，粒子温度与气流温度间不同关系，添加颗粒质量不同等多种初始条件出发，研究不同条件下产生的波系结构，并与加热流产生的波系结构相比较，以求深入探讨不同作用下波系产生的相似性，为实际所需的添质加热流研究 (如超临界煤油喷射凝结) 提供参考。

关键词: 可压缩含灰流动，添质，波系结构

S03 **CCTAM2009-002957**

三面压缩进气道三维激波相干研究

岳连捷, 徐显坤, 龚鹏, 张新宇, 陈立红
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, yuelj@imech.ac.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

三面压缩进气道由于顶板与侧板两个方向压缩，在顶板与侧板相交线附近区域，激波并不是简单的二维平面激波结构。顶压激波和侧压激波相交后，在波型上产生了明显的变化。在角区的激波相干后的波系结构：顶板激波与侧壁激波相交后，都变得不再连续，即在相互"穿越"的过程中发生了"断裂"，出现了过渡的桥波。然而对该相干结构的认识目前也仅限于此，其流动的特征，对进气道性能的影响以及如何规划三面压缩进气道设计构型都还需要深入的探索。本文忽略激波边界层干扰，专注于激波相干现象本身，对于这种三维激波相干结构开展了无黏数值分析研究，探索了其关键影响因素，理论分析了其相干特征。

数值研究进一步发现相干结构产生的桥波区域为低总压区，对进气道总压恢复系数不利。国家自然基金资助项目 (90716014)

关键词: 高超声速进气道，三维激波，相干结构

S03 **CCTAM2009-002958**

高超声速圆锥边界层转捩试验研究

毕志献, 张占峰, 沈清, 武超华
中国航天空气动力技术研究院，北京 100074
bixianz@sohu.com

利用圆锥边界层的表面热流变化作为边界层转捩的依据开展了圆锥边界层攻角效应转捩特性实验研究，实验是在航天空气动力技术研究院的 FD-20 炮风洞中进行，马赫数 $M=6$，实验模型是半锥角 5° 圆锥，研究了头部半径和小攻角变化对转捩位置的影响，并且获得了攻角 2° 和 3° 状态下圆锥模型攻角效应转捩分布结果。得到初步结果：在攻角下，由于攻角的影响，随攻角增大，迎面的附面层转捩推迟，背风面提前。攻角越大，迎风面附面层转捩位置越后移，背风面越提前。在相同攻角下，背风面转捩位置的提前距离要比迎风面推迟的距离大得多。随雷诺数增大，转捩位置前移。雷诺数对转捩区的长度也产生很大影响，雷诺数增大，会缩短转捩区的长度。

关键词: 附面层转捩，攻角效应，雷诺数影响，表面热流

S03 **CCTAM2009-002959**

攻角动态变化的二元高超声速进气道气动特性研究

刘凯礼, 张堃元
南京航空航天大学，南京 210016, 124307633@qq.com

选取典型二元高超声速进气道为研究对象，采用数值模拟的方法研究了两种攻角动态变化方式：其一为进气道动态等速上仰，以模拟飞行器受到扰动力矩后，控制系统无法及时对扰动做出反应，飞行器暂时失去了对上仰的有效控制时进气道气动特性的变化；其二为进气道攻角非定常振荡，以模拟飞行器控制系统虽然对扰动做出反应，但是控制命令和飞行器做出反应之间存在时间滞后，飞行器产生无法抑制的俯仰振荡时进气道气动特性的变化。研究表明：随着攻角增加，进气道流场特征和性能参数发生明显变化，当攻角增加到一定程度时，进气道出现不起动现象；攻角动态变化时的进气道流场特征及性能参数和稳态时相比存在迟滞现象；进气道上仰的攻角变化速率越大，不起动时的攻角值越大；在进气道下壁面附近的低速区，非定常效应的影响更为显著，受进气道固壁面运动的影响，低速区的产生，发展及消失影响进气道气动特性。初步研究了攻角动态变化对高超声速进气道气动特性的影响及其形成机理，可以为今后进气道动态工况的气动设计和有效控制建立必要的理论基础和技术支持。863-705 资助项目

关键词: 高超声速进气道，攻角，非定常，不起动，数值模拟

S03 **CCTAM2009-002960**

含铝炸药粉快速反应特性的研究

胡栋 *, 黄中伟 +, 祝文军 *, 杨向荣 +, 叶松 **, 王延平 *, 薛米安 *,**, 吴旌贺 *,**, 李成兵 *, 杨向东 ***
* 中国工程物理研究院流体物理所冲击波物理与爆轰物理国家级重点实验室，绵阳 621900, hudongcaep@sina.com
** 四川大学原子与分子物理研究所，成都 610065
+ 深圳大学土木工程学院，深圳 518060

利用爆炸激波管实验装置研究了含铝炸药粉在冲击波作用下点火延迟特性。点火由氢氧混合物爆轰破膜产生冲击波激励，改变氢氧混合物的初始压力或者改变它们的配比，便能改变冲击波的激励压力和速度。为了确定含铝炸药粉产生快速反应的条件，实验前将 RDX 炸药粉和微米铝粉均匀混合。在冲击波作用下含 RDX 铝炸药粉被抛散开，但是实验结果表明：含铝炸药粉快速反应没有形成，在压力传感器的记录中没有出现明显的压力脉冲。实验样品回收结果表明：炸药粉和铝粉大部分没有反应。为此，采用了动态混合 RDX 炸药粉和微米铝粉的方法，获得了很好的效果，爆炸压力高达 6MPa。

实验中观察到了一个十分有价值的现象：RDX 炸药粉 (1g) 和过量微米铝粉 (1g) 动态混合物，在马赫数约为 6 的冲击波作用下在激波管实验段内壁出现大量的黑色粉末。经 X 衍射测量表明，它是无定形碳。为了验证上述结果不是偶然出现的情况，做了以下两组实验：第一组实验，在激波管实验段分别充 0.000 5MPa 氧, 0.0010MPa 氧, 0.0015MPa 氧,0.0020MPa 氧或为真空。实验结果表明：随激波管实验段氧含量的减少，激波管实验段内壁的无定形碳粉明显增加。第二组实验，铝粉的含量从 0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.5g 增加到 1g，激波管实验段内壁的无定形碳粉也明显增加。铝含量小于 0.8g 时，Al 粉促进了爆炸的产生。实验上还用多台单色谱仪监测了 C_2 谱的辐射特性。测量结果表明：激波管实验段内壁的无定形碳粉多的实验中 C_2 谱的辐射也明显增强。

通过实验，可以得出以下初步看法：

(1) 可开展含铝炸药粉二次的化学反应动力学研究探索 AL 和 NO_2，H_2O，CO_2，CO 等反应的可能机理。

(2) 碳的大量生成可能导致炸药原本的理想爆轰特性改变。国家自然科学基金 (10672150), 国家"973" 项目及

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net