

## 第14届国际稀薄气体动力学会议

**I. 概况** 第14届国际稀薄气体动力学会议于1984年7月16—20日在日本筑波科学城筑波大学举行。14个国家173人出席会议，其中日本110人（正副教授39人，博士19人），中国2人，美国15人，苏联与意大利各5人，西德14人，法国7人，加拿大与荷兰各4人，澳大利亚3人，英国、比利时、挪威、保加利亚各1人（这些国家正副教授36人，博士23人）。美国15人中有教授12人，博士2人，来自 Princeton 等12所大学，NASA Langley 研究中心，NASA Ames 研究中心，Rockwell 国际公司。苏联5人中有教授2人，博士3人，来自苏联科学院计算中心和 Lebedev 物理研究所，苏联科学院西伯利亚分院热物理研究所，莫斯科航空学院。除与稀薄气体动力学研究有关的知名学者 J. J. Beekker (荷)，J. J. Bernard 与 R. Campargue (法)，G. A. Bird (澳)，C. Cerignani (意)，H. Oguchi (日)，G. Koppewaller (西德)，J. B. Penn，S. S. Fisher，F. C. Hurlbut，E. F. Muntz (美)，A. K. Rebrow，Y. A. Ryzhov (苏) 等出席外，还有来自航空、航天、力学、物理化学、核能、真空技术等领域的专家。收进摘要书的会议论文149篇。其中，邀请报告9篇，加长形式与常规形式宣读的论文98篇，壁报形式的论文42篇。论文反映了当前稀薄气体动力学研究的新成果，新动向。从出席的人数与技术素质看，从论文的数量与质量看，都反映了发达国家研究与应用稀薄气体力学的浓厚兴趣。

**II. 稀薄气体动力学应用于航天技术的动向** 稀薄过渡流态下宇航器受力和受热的研究是一项基本课题。在稀薄度不甚大的流态下，比较集中于：1. 平板尾缘区 Knudsen 层与高超声速冷钝体 Knudsen 层内平均流动特性的探测、数值计算和统计模拟；2. 以物壁为凝结相，计算带有气体凝结与蒸发的高超声速稀薄流；3. 简单外形体力系数的实验与计算研究。

航天飞机稀薄气动问题的研究是当前有普遍兴趣的研究领域。如：

1. 对高空喷射液体的实验与分析 这是带有蒸发、散布和气穴等现象的液滴喷流问题，涉及宇航器的高效热泄系统，废水排出以及探索宇航器间、宇航器与小行星间液体、浆体的传输问题。

2. 宇航器的高空羽流研究 这涉及稀薄气体动力学的全部流态，近喷管区域为连续流，远场是高度稀薄流，中间部分为过渡流。

3. 反作用控制系统 (RCS) 的羽流干扰研究 RCS 射流对宇航器流场的影响，宇航器流场对 RCS 射流的反影响 (如上翼面分离流中的 RCS 性能将大受影响)，RCS 射流间的相互作用，高真空环境下羽流对宇航器表面的撞击 (导致对宇航器的附加力、附加热流、污染和电负荷)。多喷管火箭的高空飞行也存在羽流干扰问题。

4. 多原子气体自由分子流恢复温度的确定 考虑了分子与物面碰撞中，平动能、转动动能、振动能具有的不同能量适应系数，更准确地计算物面恢复因子和热流。

看来，发达国家在研究过渡流态下宇航器的气动力、气动热及外形筛选等问题的基础上，对高稀薄度状态，重视对宇航器羽流和排液问题的探讨，认为很有实用意义。在这次会

议上,美、法、西德等都有涉及羽流问题的论文。

**Ⅲ. 稀薄气体动力学基础研究的活跃课题** 自由射流流场特性及其稀薄气动现象的实验和计算研究,是当前基础研究的活跃课题。形成过渡流态的模型实验流场,形成分子束装置的气动源,排气羽流问题等,自然与研究自由膨胀射流紧密相关。此外,目前的深冷技术无法解决气体凝结于深冷壁的问题,不能形成温度低于 80 K 的气体状态,而利用稀薄自由射流的等熵膨胀,则能使气体或气体混合物达到 10 K 量级的静温,这就使后者成为许多应用研究造成深冷气体的实用手段。但是,自由射流膨胀过程是一个非平衡的弛豫流动过程,会发生内状态冻结、气体凝结与蒸发、速度-温度滑移、背景分子渗透等稀薄气体效应,其中大多为增熵升温过程。要利用自由射流作为手段,就必须详细研究它。如:

1. 气体同位素分离研究 除开同位素混合气体与携带气体的三重混合物,需要研究通过分离喷管离心力作用下的稀薄膨胀流外,这里主要指的是:用激光分离同位素的概念要求把上述三重混合物冷却到它们的分子基态,即 50 K 以下的深冷气态。当前的有效实用手段就是利用自由射流膨胀。

2. 簇的形成与特性研究 簇的核心形成与长大是物质气态到凝结状态的宏观相变基本过程,对物理、化学与其他实用领域很有意义。核心开始极小,远小于环境气体分子的平均自由程。生长过程中,簇的尺寸逐渐增大,即 Knudsen 数由大变小,实质上经历从自由分子态到连续流态的整个稀薄气体动力学的热、质量及动量交换过程。通过自由射流膨胀,形成低温状态与过饱和蒸气,因而是产生和研究各种簇的有效实用手段。汽-气混合的自由射流用于研究云、烟雾等大气层动力学问题,也用于蒸汽透平膨胀流、冻结激波等的模拟研究。油滴-粒子-空气的混合自由射流用于燃烧发动机油滴蒸发膨胀流的模拟。金属蒸气自由射流用于生成金属原子簇并研究其结合特性与气态到块状态间的过渡过程。离子-分子在 10—100 K 低温状态下相互作用的空间物理问题模拟,自由射流膨胀也是当前的有效实用手段。

**Ⅳ. 其他特点** 1. 激光、电子束等现代技术已被稀薄气体动力学实验研究广泛采用,成为有效的测试工具,如激光散布技术、激光红外吸收技术、激光干涉仪、激光诱导荧光技术、分子束技术、电子束荧光技术、热丝探针等。可以认为,这些技术的使用和发展是当前稀薄气动实验研究深入流场细节与机理的物质技术基础。2. 理论分析、数值方法同实验研究、应用课题紧密结合。除气体分子运动论、非平衡统计力学等纯理论论文外,理论计算同实验应用的结合极为明显。如针对许多实验与应用项目的条件,进行直接模拟 Monte-Carlo 计算,解具有离心力的稀薄气体膨胀流的变分法,解内圆筒固定而外圆筒旋转的柱状 Couette 流的 BGK-Boltzmann 方程的数值方法用于同位素分离,离散纵坐标法用于行星大气动力学,解具有类似于准确的气体分子碰撞项的动力学模型方程,用于 Knudsen 层流动特性计算。

中国气动力研究与发展中心 谢硯儒