

激 波 管

北京大学 魏中磊

在流体力学的实验研究工具中，没有任何一种设备，在应用范围的广度上，能与激波管（及其改型）相匹敌。第二次世界大战以来约三十年中，激波管获得了极大的发展，在激波动力学与气体的非定常运动，高超声速气体动力学与热交换，高温气体物理学，化学反应动力学，以及等离子体和电磁流体动力学等学科领域内，都用它来进行广泛的基本理论的实验研究。

激波管最大的优点是能把被研究的气体准确加热到预期的速度、压力和焓值。速度可达几万米/秒；压力上万个大气压；温度高达几万度。它的缺点是试验时间短暂，一般约为毫秒量级。因此对测量技术的要求较高。经过这二、三十年的努力，激波管的测量技术，比它的初期有了很大的发展。有关激波速度的测量，技术上比较简单，早在激波管发展的初期就已过关。有关气流压力的测量，已发展了各种应变、压电和电容等微型探头。有关气流密度、温度等参数的测量则比较复杂，但也于十几年前就发展得比较完善了。通常是用不同型式的干涉仪（譬如马赫—策恩德尔式或米切尔逊式）与高速分幅式或连续转筒式摄影技术配合起来，测量密度的变化；也发展了利用气体对 X 射线或电子束的吸收来测量气流密度的方法。利用光谱技术来测量气流温度（如谱线自蚀法）是很成功的，也可以用热线法来测量较低的气流温度。正是由于电测、光测技术的发展，推动了激波管在各个学科领域，尤其是高温气体中的一些实验研究的蓬勃发展，同时也在相当大的程度上弥补了激波管试验时间短暂这一缺点。

实验研究中最关心的是提高试验气流的参数（譬如总焓值等）。关于这方面，在激波管中所采取的办法是很简单的，只要增加膜片两边的气体内能比和压力比，以增加入射激波的强度就行了。因此要得到极强的激波，就必须采用低原子量的驱动气体，并用化学燃烧或电加热等方法来获得膜片两边的高内能比和高压力比。这在实验技术上是很容易做到的。

在激波管的应用上，以高温气体热物理方面的实验研究最广泛，也是大家公认的在这方面最有效的实验工具之一。

譬如，高温下气体状态方程的实验研究成果，主要是在激波管中获得的。激波管在研究高温气体的非平衡过程方面也卓有成效。由激波所激发的高温气体要达到热平衡，都有一个弛豫过程，它的顺序是移动、转动、振动、离解、电离等分子自由度的激发过程。在激波管中已研究了氧、氮、氢、氦以及其他许多气体各个过程的弛豫现象。利用光谱技术和高速摄影技术等研究各种高温气体的分子辐射、吸收以及电子、离子密度与电导率等方面，也取得了一系列的研究结果（详见《用激波管研究高温气体的现状与发展》）。

利用激波管研究化学混合反应气体的点燃、爆震机理和各种化学反应常数，也是很有成效的。

实践证明,激波管是研究气体非定常运动的唯一有效的实验工具。对一维非定常运动如激波、稀疏波、接触面之间的各种干涉现象,早期利用转筒纹影照像已把波系观察清楚了,这方面的问题早已基本解决。至于激波对不同形状模型的绕射(如模拟各种地貌或建筑物对爆炸波荷载的影响),以及激波在不同形状的管道(直管变截面、弯管、多叉管以及孔壁管等)中的运动规律一直在进行研究工作,并取得了不少成果,这是核爆炸荷载传播规律的研究的一个很重要的方面。

在抗爆研究方面,利用大型激波管产生中等超压的动载,以作用在地上或埋在散体中的地下建筑结构上的实验研究,国内外已开展了不少工作。困难在于实验模型的相似律还待进一步探索,目前积累的实验数据还不够多。激波管在抗爆方面用得最多的是超压探头的标定。目前正在发展高超压的激波管标定技术(譬如100公斤/厘米²—1000公斤/厘米²的超压)。除抗爆外,对各种用途和各种压力范围的压力标定也用得很广,但目前只是简单地标定一下压力值。至于与计算相结合研究探头的频谱特性则较少,而用激波管全面标定压电探头比用其他方法有其独到之处。

也发展了炸药驱动的水激波管来研究水下爆炸波的传播规律。

利用激波风洞进行高超声速流动的实验研究已进行了多年,所取得的最好的实验结果是在很高滞止温度下模型头部、侧表面和底部的热传导率。方法是利用薄膜电阻技术。对气动力和力矩的测量技术的发展作了很大努力。有人利用压电式加速计来测量瞬时力和力矩,此项工作虽已进行多年了,但还存在不少问题。为了提高滞止焓与流动马赫数,在研制激波管设备本身上,有人发展了自由活塞激波风洞。

近年来,利用激波管产生的激波来加热气体,做气体动力激光器研究用,以及进一步提高试验气体的温度,做天体物理的高温光谱分析研究用,已引起大家的重视。

由于工农业生产和国防建设的需要,我国从1956年以来在激波管研究方面开展了不少工作,取得了一定成绩。但与国际上的先进水平还有一定差距,尤其在高温气体物理方面的研究力量还较少。我们有信心,在不远的将来赶上世界先进水平。