

用激波管研究高温气体的现状与发展

崔季平

从50年代起,激波管的研究已与原子分子物理学、光谱学、天体物理、化学动力学、等离子体动力学、喷气推进技术燃烧、爆炸、化工技术以及力学的各分支学科,都有一定的相互影响。到60年代,激波管及其研究的对象,差不多快要形成一门专门技术领域。世界上各研究单位的激波管工作虽然各有不同,但激波管工作的内在特色,如实验工具及理论处理方法等,却有共同性。这种发展导致从1965年起两年一次定期召开激波管国际会议,有几十个国家的几百名代表参加,进行相当广泛的国际交流。

用激波管进行高温气体方面的研究,经过近二十年的发展,已得到了广泛的重视,在一些领域内做出了一定贡献。但总的说来,激波管技术还是在成长过程当中。它的进一步发展肯定会在相当广阔的领域内产生新的影响。

在高温气体辐射性质研究方面,值得重视的是定量光谱与激波管技术的结合。最近关于原子的电子跃迁 f 数或受激态的寿命的计算和实验都有了发展。激波管是一个能相当精确地控制光谱激发条件的工具。因此定量光谱必然要与激波管高温气体的研究相结合而发展。其前景是有可能用激波管做标准光源。由于其温度可达相当高,激发条件准确,波谱范围广,所以一旦这一设想实现,激波管作为标准光源,就将在工程技术和科学研究中广泛应用。目前这一方面的发展还有待克服一系列困难(激波管流动不理想的影响和杂质的影响等),例如,在比较低的激波速度下,对激发高激发态的光谱来说,激波速度变化1%,就会影响光谱变化达10%左右。这就对激波管技术提出了很高的要求。关于高温气体的辐射吸收系数的实验,近十年来有一定的工作成果,例如在回地飞船气动加热和核爆炸方面,对一些简单物质在激波管中进行了测量。这方面的进一步研究对今后工程技术与天体物理研究有基本意义。

在高温下原子分子内部自由度的激发动力学方面,近十年来用激波管对一系列简单分子的转动、振动的激发和去激过程进行了初步的系统实验,累积了一定数据。近年来由于得到激光技术发展的应用和刺激又有更细致的工作,例如关于平—振交换的“化学”效应,转—振交换,电子—振动交换等复杂过程的研究。

高温反应动力学发展快有二十年的历史了。早期集中在卤族双原子分子的解离,继之则有氮氧系的化学反应及惰性气体的电离动力学。近十年来多结合燃烧、高温化工等问题,研究有关物质在高温下的裂解、氧化及复杂的链反应。与等离子体动力学相结合而研究气体在高温下电离与复合过程,也继续受到重视。

在以上两种非平衡态的研究中,目前已经广泛采用快速光谱、质谱、激光干涉仪等新技术。在激波管技术上,最近又采用可控制的稀疏波或普朗沱—迈耶波冷却激波加热气体,来研究逆向反应,对正向加热过程测得的数据以另一侧面的来补足,并发现了一些新的问题。这在工程技术应用上也是重要的。

关于等离子体动力学研究,主要有两方面工作。一方面是用随时间变化的电磁场来驱动等离子体,例如电磁激波管的研究。另一方面是研究激波加热的运动等离子体与电磁场的相互作用。目前普通激波管中得到的运动等离子体,其磁Re数大约是几的量级,但流速和电导率仍有可能由提高激波速度来达到,所以在激波管中进行磁流体力学的研究可能是有前途的。

多相激波管是一种新技术。它把高温气体的研究领域扩大到固体颗粒在高温下熔化与蒸发的过程以及蒸发成的气体的性质的研究。这给研究各种工业粉尘爆炸机理提供了手段。反过来进行高温下过饱和蒸汽的凝结的研究工作也有了开展,这可能对研究各种大气污染问题是重要的。

高温气体输运性质的实测数据目前很缺。最近用高分辨率干涉仪或电子注在激波管中测定高温气体的热传导。但由于困难很多,这方面的工作仍然没有得到发展。

在基础研究方面,近十年来关于过渡区激波结构的研究进行了工作。目前的趋势是研究平动自由度与内部自由度之间有耦合、有化学反应而且平动及内部自由度之间有耦合的激波结构,考虑到辐射能流影响的激波结构,以及电离超前现象。

基础研究方面还值得一提的,就是用激波管技术制造自由分子束。其能量范围正好在我们高温气体考虑的工程技术问题范围之内,即由 10^{-1} 到 10^1 电子伏。这种发展的影响可能是深远的,将可能为高温气体的物理力学研究提供更为细致的微观物理基础。要发挥这种成效当然还要进行很大努力。

最后应当谈及的是关于激波管技术的本身。近十年来人们对激波管的优点有了不少了解,同时也日益清楚目前的激波管尚有许多不理想的地方。例如破膜时间的有限性、分界面的不稳定性、边界层对内部自由流的影响、由于高压室内部气体的不均匀引起的激波运动不均匀及管壁杂质影响等。近十年来在大量工作中提出了这类问题,认识到它们的影响阻碍着我们前进。例如,化学动力学研究中很注意的就是激波管中各点的流体微团在激波管工作时的运动轨迹与其参量的变化。但这个微团历史却被边界层影响及分界面的变化而偏离了理想图像。再如边界层的存在就直接干扰着一些仪器的使用,如质谱计的采样等。这种种不良影响往往随着激波速度的提高而更加变坏,这对于提高激波管性能是一种威胁。目前这方面的问题离我们能解决它还差很多,应引起足够重视。

在60年代初,我国即开展用激波研究高温气体的工作。做过激波管内离子化气体的光谱研究,以及高温空气的辐射观察等方面的工作。当前应当更进一步结合我国社会主义建设和科学研究发展的需要,进行积极的规划,搞好高温气体的基础研究,为促进我国生产建设和国防建设作出贡献。