

气体动力学实验技术

吴 承 康

一、引 言

在气体动力学的发展中,实验工作一直是极其重要的一环。无论在观察基本现象、验证气体动力学理论、取得基本参数,或是在进行模型试验、取得综合性能数据等方面,都需要进行实验。新的实验设备、测试技术和模拟试验方法不断地出现。气动实验技术的发展不但与航空和空间技术发展有关,并且也和自然现象研究、工业应用和新技术研究有关。

国外在气动实验方面投入相当大的力量,目前在大型模拟试验设备、测试技术、基本研究和飞行试验等方面进行大量工作,其中不少达到较高水平。以新的物理学和电子技术进展为基础的测量技术已较多应用,试验和数据处理的自动化程度也比较高。实验的细致精确程度不断取得进展。

我国气动实验研究自1958年以来有很大发展,在原来几乎是空白的领域内开展了大量工作。目前已有一批气动实验设备和一支气动实验队伍,取得了不少研究成果。但是这方面工作还是一个薄弱环节,主要表现在很多设备还未完全“过关”,以致还不能经常保证提供精确可靠的试验条件;测试工作跟不上试验的要求,以致往往得不到全部所需的数据;试验方法的研究还不够多,以致常常有试验目的和技术途径不清楚的问题。我们需要在总结经验的基础上,有计划、有目的地努力提高气动实验技术的水平,使之适应我国科学技术发展的迫切需要。

气动实验大体上有三类:(1)飞行试验;(2)直接为生产型号服务的、在大型模拟试验设备中进行的气动实验;(3)为取得基本数据,发展试验和测试技术,进行基础研究和一般工业应用方面的实验工作,一般可以在较小的设备中进行。前面两种工作属于产业部门的专门范围,在此不加讨论。这里只对第三类、即基础研究和一般工业应用方面的气动实验技术进行讨论。

二、应开展的气动实验研究工作

在气体动力学各分支中,都需要进行相应的实验研究。在这里不可能提到每一项实验,各分支学科应根据本学科发展的需要,建立各种专门的实验设备。总的来说,气动

实验的内容不外以下三项,即(1)建立实验设备,也就是创造适当的试验环境;(2)掌握测量技术,即定量地观察试验中各种因素的变化;(3)掌握模拟试验方法,即合理地设计和安排试验,使得到的结果是有实际意义的。

1. 气动实验设备的研究

下面举几项近年内有较多发展的实验设备:

激波管和激波风洞 利用激波管和激波风洞进行各种气动和物理化学过程研究的工作,近二十年来有很大进展。到现在,这一类设备已成为多用途的和产生很多重要基本数据的研究工具。由于激波的瞬时压缩过程,使很多气体中物理化学过程速率的测定成为可能。很多基本数据如气体分子的各种松弛时间、化学反应速率常数等都是用激波管测出的。利用激波产生的高温高压气体,可作为气动试验、气动激光等项研究的气源。虽然运行时间较短,但与近代的快速测量技术配合,也能得到所需的结果。设备投资与其他类型气动实验设备相比是较低的。激波管技术本身也有很多新发展,如用爆震波驱动的激波管,用多个激波管联合产生连续高温气流的“激波过热器”等。新的测量工具的发展使激波管中的温度、压力、密度、化学成分、作用力、传热率等参数的精确测量成为可能。应该结合高速气体动力学和物理化学气体动力学的需要,开展用激波管、激波风洞测量各项基本参数的工作。同时对激波管、激波风洞等技术本身进行研究,使之适用于各种气动实验。

电弧加热技术(包括电磁加速) 电弧加热气流不仅用于高速飞行的气动模拟试验设备和高比冲空间推进器,并且在加工工艺、化工、冶炼、采掘、电光源、以及新技术研究如气动激光、磁流体发电等工作中都得到了应用。由于电弧加热能连续地产生几千度到几万度的气体,它在高速空气动力学、物理化学气体动力学和电磁流体力学的领域中具有独特的地位。它在工业应用中也有很大的实际意义。应该开展这方面的研究,研制出适合各种用途的电弧加热装置并细致了解其内部工作过程。同时结合各种应用进行高速气体动力学、物理化学气体动力学和电磁流体力学的实验研究。

高速炮 用高压氢气驱动的小型高速炮,是取得一系列物理化学气体动力学基本参数和研究某些物理化学气体动力学现象的有用工具。如用于研究高温气体辐射性质、非平衡气流中电子的产生和消失等。应利用已有的设备开展这些方面的研究,并发展这种试验技术。

新型气动实验设备 由于现有的气动实验设备还不能满足科学技术发展的需要,就应该不断总结各类设备的现状及其发展前途,同时不断探寻用新原理、新方法来实现性能好、投资少的新型气动实验设备的途径。例如利用气体中压力波的实验设备,除激波管外还有不少种类,也提出了一些用新的储能原理来实现高温高压大流量实验装置的方案。分析比较各种能源、加温、冷却、抽真空装置的优缺点,试验新的原理,也是很有意义的工作。

2. 气动测量技术的研究

气动实验中需要测量的参数很多,并且往往不很容易测量,例如气流的流量、温度、压力、密度、速度、成分、辐射特性、电特性,以及气流对物体的作用力、加热和物体的反应等。往往还需要测出这些参数的局部值(测分布)和瞬时值(有脉动或试验

时间很短)。在正常工作的实验设备中,测量技术完善与否,往往决定了实验结果的有用程度。因此测量技术在气动实验中起关键性的作用。必须十分重视测量技术的研究。

有一些参数的测量,是相对地比较成熟的,例如普通的气体流量、气流总压、不太高的气流总温、不太小的作用力等。但即使这些参数的测量也还要注意各种影响精确度的因素,并使这些测量的方法和设备标准化、精确化、自动化,使我们不致在这些测量上遇到很多问题和花费很大精力。应定型生产一些性能良好的传感器、控制器和记录器,以适应气动实验工作的需要。

很多气动实验参数的测量(如上述几种实验设备中的测量)属于快速测量或高温、低压等特殊条件下的测量,存在不少困难。近年来利用现代科学技术新工具测量气动参数的工作开展很多。如用光学和光谱方法并与电子束、激光等手段结合,测量气体温度、密度、流速、气体和固体辐射、气体成分和分子激发状态,用质谱仪测成分,用声学法测温度,用电子学、电磁学和微波方法测电子密度等电特性,用各种射线测气体密度,用压电和其他电子技术测压、测力,用热线风速仪测湍流参数等等。应根据研究题目的需要,开展这些新的测量技术研究。为了更好地进行这方面的工作,应组织有一定光学和电子学研究力量的测量仪器研究工作队伍。

3. 气动模拟试验理论和方法的研究

气动现象往往比较复杂,尤其是有物理化学现象和电磁现象在流动中出现时更是如此,所以完全的相似往往是不可能的。在很多情况下,由于只需就主要因素进行试验,完全相似的模拟试验也是不必要的。如何用所能达到的条件,在模拟试验中取得有用的结果,是模拟试验理论需要解决的问题。

一般来说,模拟试验的任务是使在实际中起重要作用的因素和基本现象在实验中出现,并对其规律进行实验研究。用无量纲参数表达的试验条件变化范围最好达到实际的数值。若由于设备条件所限,试验参数和实际有差距时,必须用适当的理论进行外推。要避免在外推过程中遇到基本现象的质变,以致得到错误的结果。在复杂的情况下,必须区别主要和次要因素,保证主要因素的相似。例如在化学非平衡流动中,停留时间与反应时间之比往往是主要的相似参数。其他流动中亦可找到保证主要相似参数不变的办法,如适用于某些高超音速粘性流动的“二元模拟”法则。当整个问题可以分解为几个局部时,可以进行局部的模拟试验。

应结合各种类型的气动问题,对模拟试验问题进行理论分析和实验验证。经过反复实践,得出最佳的模拟试验方法。这项工作不论在解决那一方面的气动问题时都是很重要的。

气体动力学实验技术的发展还远远不能满足科学技术的需要,必须予以足够的重视并作相应的安排。