

流体动力学的二十年

1948年飞行器无需从炮膛发射出去，其速度早已超过音速。“音障”被突破了。火箭推进的飞行器变成了洲际飞行器，甚至可能进入轨道。迫切要了解的问题是核爆炸产生的爆炸波的严重损害和应用于建设的可能性。产生气候的大气过程早已能用高速计算技术来模拟。

除了核爆炸和电子数字计算机以外，研究流体动力学的其它重要装置战前年代就已出现，包括超音速暂冲式风洞和激波管。现在可以研究暂冲式风洞中几分钟，激波管中几毫秒和几微秒时间内产生的流体动力过程。

高 温 湍 流

当火箭越来越有效时，流动速度不断增加，很快出现了非常高的温度。利用以化学炸药驱动激波的激波管和随后出现的电力驱动激波的激波管，产生了几万度的高温气体，并且进行了研究。在通常的温度下空气主要是由分子氮和分子氧所组成。高超音速飞行器再入地球大气层时，其头部形成激波。当空气受到那样强烈的激波压缩时，就变成原子、离子、电子和氮的氧化物等的混合物。曾经设计了各种有效防护措施，使再入飞行器降低速度时避免过热。气体是如此之热，以致相当大一部分内能靠光辐射和红外辐射传递给周围环境。现在正在研究原子受激、化学反应、辐射发射和吸收结合在一起的有趣过程。流体动力学家在实验室中研究以前想象仅仅在星球大气中才会存在的过程。

在过去几十年内，从理论和实验两方面研究了湍流统计理论的基本定律。发展了均匀的各向同性湍流的某些理想模型。在流体动力学基本方程和一些假设的基础上，形成了从大尺寸旋涡向小尺度脉动输运动能的理论。这样一些假想是否正确还是疑问，而且尽管有许多重要进展，湍流的研究仍然是流体动力学的最难课题之一，大气湍流、海洋湍流和等离子湍流的研究中遇到的困难，以及空气污染研究中湍流扩散的重要性，愈益刺激人们通过流体动力学的研究圆满地了解湍流现象。

航空工程和造船技术过去从基本流体动力学的进展获益不少，但是这些方面的需要还远远未得到满足。不可压缩和可压缩流体动力学两方面还存在着一些问题。研究边界附近，例如平板附近的流动，获得了许多重要成就，包括对流体动力不稳定性和湍流转捩问题有了更好的了解。现在对边界层现象、边界层微观结构、边界层辐射的声学噪音开始进行广泛的研究。

激波和爆震波

虽然“音障”没有妨碍飞行器加速到超音速，“声速爆音”问题却跳了出来向流体动力学家进行挑战。把激波当作数学不连续来研究和研究激波的相互作用，随后还必须采用更真实的近似来处理激波的物理结构和分子尺度之内的激波过渡。

在燃烧和火焰方面，已经取得了惊人的进展。显然爆震波与化学反应阵面上一系列局部不稳定性和其后的燃气的湍流结构经常发生密切的

关系。

电离气体的流动，伴随着激波出现的发光波前的观测和研究，已经成为流体力学中另一令人感兴趣的领域。在似乎是星球内部星云的碰撞现象中，已经观察到鲜明的发光线，其起源想来是包含激波的剧烈的湍流运动。这些磁流体动力激波仅仅是磁力与流动的导电介质相结合的广泛现象的一个例子。磁场对波的传播，边界层流动，激波管流动和其他流体流动的影响已经成为广泛研究的课题。

统计学

用统计力学表示流体力学方程和其他输运方程已经迈出了几步。其中之一是发展相关函数方法，此方法所作的假设较之以前用玻尔兹曼方程的方法更清楚。对稀薄气体流动的兴趣在不断增长。从连续流动条件这一极端到自由分子（无碰撞）流动条件另一极端的整个范围，以及在此范围之内的大量问题，现在占用着为数不少的流体力学家的精力。

地球物理流体力学

经典流体力学和高速计算技术的相互渗透对大气学和海洋学来说特别重要。大多数大气学问题包含着流体力学定律；然而大气学的应用需要繁重的计算。因此大气学是一门部分基于物理定律，部分基于长期实验获得的经验的，多少有点特殊的学科。许多复杂的流动问题现在可以用高速计算机来处理。此外流体力学家和大气学家之间也在日益相互影响。流体不稳定性、对流现象和有关旋转流体的问题，是地球物

理流体动力学领域中广泛研究的课题。

超流体

20年以前勒维·兰道(Lev Landau)对液氦的理论描述是令人怀疑的。可是他的理论描述 $4 \cdot 2^{\circ}\text{K}$ 以下的奇异流体的特性竟是如此成功,以致至今仍不失为一种非常满意的方法。后来又发现量子化旋涡。这是对那时早已知道的超流体的无粘性无热阻特性的补充。一桶超流体不可能有一个角动量值的连续范围。通过对电场中运动电子周围少量气泡的运动发生的影响,发现了离散旋涡。从玻色(Bose)统计学出发的另一理论描述了超流体的凝缩特性。近来将上述两种方法结合起来,获得了令人兴奋的进展。

展 望

流体,包括等离子体,基本上构成宇宙的全部内容,固体不过是少量的杂质而已,因此,除了少数例外,整个自然现象均受流体物理学的支配。当然只有少量物理学的活动是以流体物理学的名义进行组织的,这也许能够表明我们掌握大量错综复杂的运动有多大的能力。据信,迄今提供了反映次原子核(Subnuclear)、原子核和原子等“粒子”规律的一些定律,从而说明了“粒子”集合的性态。然而,组成流体的粒子总体却往往产生许多用这些定律预期不到的现象。

依靠从宏观流体动力学出发的正面进攻,是否能更好了解老是在我们周围周而复始的各种显而易见的自然过程呢?我们不知道下一个20

年内用高速计算机研究非线性问题是否能使我们了解周围环境中未获得解答的重大问题。对琐细现象的研究可能会放松，而对有机物系统的高度注意将构成我们向前进展的崭新时代。在这方面任何情况下提出问题都是令人感到兴趣的。

译自 "Physics Today", 1968, Vol. 21, no. 5, 45
-46, Raymond J. Emrich and Francois N. Fren-
kiel, Twenty years of physics, Fluid Dynamics.