

## 现代液体和气体力学问题及其他\*

现代液体和气体力学问题 (Д. И. 谢道夫, В. В. 斯特鲁明斯基, Г. Г. 切尔内依)

现在对液体和气体力学还在大力进行研究。许多研究机构和科学家在解决这方面的问题；以一篇短短报告的篇幅，只能指出报告作者们认为是最有意义的一些方向。

基本问题是物体在水中和空气中的高速运动。不出所料，最近几年这方面的情报有爆炸性的增长。这些问题的特点首先是与数学、物理和化学直接发生紧密的联系；计算和实验占据同等重要的地位。对于作高速飞行的现代飞行器，特别是未来的飞行器来说，升力和推力是在同一物体上产生的，换句话说，没有必要将升力、阻力和推力分开。

与教材中的说法相反，物体的理论绕流模型五花八门。对于物体在水中的运动来说，最出名的定常流模型——连续绕流——是二阶的。物体在水中作高速运动时，摩擦阻力大大增加，而且难以控制，通常的螺旋推进器不再有效。功率消耗的大量增长，并不能使速度显著增加。基本流动模型是气穴数不等于零（即分离区压力不等于未扰动液体压力）的气穴流动。查普雷金（С. А. Чаплыгин）提出的，驻点附近有分离区的流动图形还有巨大的意义。向形成分离区的物体表面吹气可以使运动阻力大大降低。由于与周围流体掺混，物体后面分离区的各种具

\* 题目系译者所加

有空心旋涡的定常模型, 李雅布申斯基 (Рябушинский)、爱弗罗斯 (Эфрос) 模型, 实际上都遭到破坏; 应该考虑非定常现象来对这些模型加以补充。

在连续绕流条件下, 降低湍流边界层摩擦阻力的各种可能性正在得到仔细的研究。方向之一是添加少量具有大线形分子的聚合物<sup>1)</sup>。现在已经弄清了这种效用的机理, 它与添加物对边界层底层的作用、边界层底层的厚度、脉动的平息等有关。确定了此现象的计算模型, 获得了半经验公式, 此公式很好地表达了观察到的摩擦系数与  $R$  数、聚合物浓度、边壁粗糙度的关系, 肯定了添加聚合物的影响同  $R$  数 (在非常大的  $R$  数时好处减少)、边壁粗糙度有紧密的联系, 因此应该进行实物的实验研究。

在高超声速飞行器中发动机和升力面连成整体, 所以在带有激波的三维超声速流中的点火、燃烧和爆震的理论就成为主要的了。在高超声速冲压空气喷气发动机 (ГПВРД) 方案中, 燃料和空气的混合物紧接在激波之后燃烧, 当燃烧产物膨胀时同时形成推力和升力。在外部气流和物体尾迹中燃烧的高超声速空气喷气发动机 (ГВРД) 方案也是可能的和有希望的。在研制上述飞行器时, 必须研究爆震波的结构, 研究混合气形成和燃烧的机理; 可能发生自振, 这个基本事实已经肯定, 必须继续研究这种振动, 并且加以控制。假如以前发动

1) 林家翘最近也提到, 如果在水里加进一点点长链分子化合物, 固体在水里和水作相对运动时, 摩擦阻力可以减低到一半——译者注

机和飞行器可以分开研究，其相互作用可用线性近似进行计算，那么，现在它们已成为一个系统，应该当作整体来研究。

当各种物体和飞行器以第一宇宙速度特别第二宇宙速度进入行星大气时，多组分反应气体大气中（包括热化学破坏的边壁上的电离反应）高超声速掣动的复杂问题提了出来。离解的空气在激波之后同烧蚀物体流出的产物相遇，此时产生扩散和热扩散过程。必须对这些过程进行深入的研究。已经建立某些计算模型，用以估算滞止区的热力参数分布。

由于超声速和未来的高超声速飞行器，特别是超声速民航机的广泛应用，提出了由这些飞行器产生的激波的传播和作用问题。研究表明：现有的飞行器在10公里高空飞行时，可以在地面产生强度量级为10公斤/米<sup>2</sup>的激波，而且此强度随着飞行速度和飞行器重量的增加显著增长，随着飞行高度的增加，却降低得较少。已经确定：激波强度可能同大气的不均匀性和飞行器形状有很大关系。有这样的推测，采用特殊形状（半楔型或半锥型）的飞行器，几乎可以使音爆强度降低一半。

有一系列重要问题同粘性的，特别是湍流的射流和尾迹的形成和掺混有关。文献中已经介绍和总结了许多实验工作，并且作出了许多新的结论。特别是，近几年研究了含有固体质点的射流的湍流运动、用声学 and 磁的作用抑制湍流和环流线形物体后部近处尾迹的发展等问题。解决了垂直起落飞机和气垫飞行器有关的固体和液体边界附近的某些射流问题。

上面所指出的和其他一些迫切的科学问题，均包括在液体和气体力学科学委员会的协调计划中；其中的某些问题将在下面简讯中谈到。

### 低湍流度流动空气动力学 (H·A·热勒图欣)

大家知道，当来流湍流度很低时，边界层的特性对飞行器的性能有很大影响。当边界层由层流状态转换成湍流状态时，边界层的全部特性：速度分布、脉动、关联关系、摩擦力和热交换等均发生质的变化。存在着相转换相似性，而且临界 $R$ 数起转换常数的作用。（与相转换时的过热类似的）层的稳定问题具有巨大的实际意义；应用最广的稳定方法是从物体表面抽吸气体以及冷却表面（当具有通常特性的气体发生绕流时）。稳定性损失的理论分析甚至在平面流动和线性近似〔奥尔——索姆费尔德 (Orr-Sommerfeld) 问题〕中也是很复杂的。对此分析的一般过程作某种改进，可以通过数值方法重复得到和改进已有的结果，而且得到第二条新的中性稳定曲线。在此范围内进一步的问题是发展三维理论和非线性理论。看来只有这样的理论才能正确描述层流向层流准稳定流和随后向湍流转捩。要进行实验研究，首先要具备低湍流度风洞。理论和应用力学研究所（新西伯利亚）已建成这样的—个风洞并在进行工作。在此风洞中最低湍流度达到 $0.02\%$ ，由此可以研究层流翼型的绕流和层流边界层的分离。

### 磁流体动力效应 (Г. А. 留比莫夫, B·B·戈戈索夫)

当导电介质在磁场中运动时产生磁流体动力 (MFD) 效应。大家知道, 有各式各样的形成磁流体动力流的方法, 也有各式各样的计算模型。当提出相应的问题时, 特别重要的是给出各种电量的边界条件。电位的近电极跳跃 (经常为人们忽略不计) 对计算结果有相当大的影响。在磁流体动力发生器的简单例子中可以看到, 考虑近电极层将显著降低有负载时发生器的计算效率。磁流体动力流中的介质应视为由不同温度的离子和电子组成的多组分介质。与此同时, 在边壁附近以及某些情况下在磁流体流动中会形成一些薄边界层, 沿此边界层横向, 各组分的温度有剧烈的变化。考虑磁流体动力流动的这些实际特性, 可以修正其计算方法。

#### 多次使用的高超声速飞行器的空气动力学 (B. B. 绥切夫)

在制造宇宙飞行器时, 已经顺利解决选择飞行器外形和防热的问题, 从而保证飞行器进入大气层时有必需的制动。初期的飞行器具有粗钝的外形, 其升阻比小。下一步是建造可以准确着陆和多次使用的机动的飞行器。这一步骤要求在  $M$  数和  $Re$  数的广泛变化范围内进行气动力研究, 测量飞行器全部表面的热流, 研制新的防热系统 (例如用轻的气体吹风), 研究放电气体的高超声速流动, 研究粘性层与主流的相互作用的理论。众所周知, 在所谓与高超声速流的强相互作用下, 粘性层中的扰动可以向前传到约为物体长度的距离处; 与此类似, 在后掠 (箭形) 翼的绕流情况下, 来自中心面的扰动可以影响到全翼。就所讨论的问题整个来看,

由于高超声速流的各种效应以及由于计及气体的稀薄度，必须重新审查那些习惯的概念，并使问题的提法更确切。

### 稀薄气体空气动力学 (M·H·科甘)

在稀薄气体流动的研究领域里有一系列问题，有许多机构正在研究它们。报告人提出的方向主要谈两个问题：研究 $K$ 数(自由行程与物体尺寸之比)范围较大的气体流动，论证气体动力学问题的提法。

以玻尔兹曼分子运动方程为理论研究的基础。在把这些方程按 $K$ 的幂次展成级数的已知展开式中，第一项给出欧拉方程，计及第二项便得到纳维—斯鐸克斯方程，计及第三项则得到伯内特方程。已经指明级数只在渐近的意义上海收敛，并且不能得到更进一步的准确解。拟定了玻尔兹曼方程的直接数值解法，其中最有帮助的是基于蒙特—卡洛(统计试验)方法的解法，实际上是根据各个分子碰撞的“抽签分配”的解法。用此种方法得到了接近于自由分子流问题的解，以及 $K \sim 1$ 时某些个别的一维问题和模型的二维问题的解。由于在自然条件下通常 $M \gg K$ ，而在风洞中 $M \gg \frac{1}{K}$ ，所以实验研究很困难。

对相似性条件作了修正并指明，基本判据是 $R_0$ 数，其中粘性系数由滞止流的参数决定。在个别实验中计及这一情况，将模型沿着喷入真空的超声速射流的轴线移动，有可能得到从自由分子流直到连续介质( $R_0 \gg 1$ )这整个范围内物体绕流的空气动力特性。已经看出，在过渡区域，甚至简单物体(锥、板)的力特性线都不是单调的，

一般是不能在它们的渐近表达式之间用插值法求得的。

其中一个有意思的特殊结果是，稀薄气体在风洞中流动时，其运动不仅决定于压力梯度，而且还决定于壁温梯度。这样，当风洞中心轴的和风洞壁附近的气体平均速度符号相反时，在有压力降的情况下，可以得到风洞内流动的动力平衡状态。最后指出，伯内特方程可以给出普通气体例如在大温度梯度下的流动问题的修正。

### 采油力学 (C·C·格利果良)

开发石油产地、采油和运输石油产品的理论和实践一直是，今后仍然是许多有意义的力学课题的来源。近来采油所需要的发展速度和规模，与传统的钻孔工艺和出油工艺都发生了矛盾。由于解决新的实际问题的需要，力学工作者同石油工业专门机构的联系加强了。报告简述了几个此类新课题并指出了可能的解决途径。

为了在深度为20—40米多的海底钻孔，建议建造沉箱式水下固定支座，沉箱紧系在打入海底的大桩上。沉箱装置的刚度靠沉箱的剩余浮力来保证；用火箭来打桩。在沉箱上架设可让海浪通过的栈桥；在栈桥上安装钻塔。

另一问题是同事故作斗争。钻井内管柱钻杆的卡钻事故可以用激发钻杆上纵弹性波的方法排除。气喷的封闭可以采用向钻井投入特殊弹丸的方法。最后，流体动力清除法，甚至利用长液柱的小振动（它引起钻井井底特殊空气泡之间的少量液体作共振振动）作用的钻井法，都具有

巨大的潜力。

译自：Г. Ю. Степанов, Юбилейная научная сессия общего собрания Отделения механики и процессов управления Академии наук СССР, посвященная 100-летию со дня рождения В. И. Ленина, Изв. АН СССР, Механ. жидк. и газа, 1970, №. 4, 197—200.

www.cnki.net