



我国流体力学青年学者的一些研究与思考

孟庆国

国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100083

符松

孙茂

清华大学工程力学系, 北京 100084 北京航空航天大学流体力学研究所, 北京 100083

林建忠

王健平

浙江大学力学系, 杭州 310027 北京大学力学与工程科学系, 北京 100871

1 引言

自 1986 年以来, 国家自然科学基金委员会对力学学科的发展给予了长期、稳定的支持, 在出成果、出人才方面取得了可喜的进展. 不少青年学者已成为力学研究的骨干或某一分支的学术带头人. 在力学学科的内部, 由于各分支学科的特点不一, 发展还不平衡. 由于流体力学研究的重要性, 人们对它的发展倍加关注. 为了提高国家自然科学基金对流体力学研究资助的绩效, 国家自然科学基金委员会数理科学部力学学科于 1998 年 10 月 19 日~22 日主持召开了“流体力学新思路青年研讨会”, 所邀请的代表为流体力学方面的国家自然科学基金青年基金获得者及部分成绩显着的流体力学青年学者, 基本反映了我国流体力学青年学者的研究水平. 同时特邀符松、孙茂、林建忠、王健平 4 位教授协助会议的筹备和主持工作. 本次会议的目的是为流体力学青年学者提供一个讲坛, 让他们从自己的研究实践出发, 畅谈流体力学研究的不同观点和思路, 分析我国流体力学发展形势和应重点发展的方向, 从而进一步激发他们的首创精神、奉献精神, 鼓励他们捕捉机遇、团结合作、共攀科学高峰.

为了使本次研讨会开得生动活泼, 增加了与会者发言的机会, 特将个人报告和座谈结合进行, 一半多的时间安排为集体讨论. 在湍流、流体实验、流体计算、旋涡与分离流 4 个主题上展开了讨论, 展望流体力学的发展前景, 探讨流体力学研究的新思路, 讨论彼此间的合作问题, 自始至终充满着热烈的气氛. 更可喜的是, 周恒院士特别关心青年人的成长, 亲临会场指导. 他分析了我国流体力学所面临的形势, 鼓励青年人尽快成长起来, 挑起未来流体力学发展的重担. 张涵信院士虽未到会, 也对本次研讨会非常关注, 希望青年学者多讨论、多交流、多合作. 这将给流体力学青年学者以极大的鼓舞和鞭策.

作为会议的组织者, 笔者们基于与会者的报告、讨论的问题以及《流体力学新思路青年研讨会论文集》^[1], 对本次研讨会做了总结, 对研究所存在的问题提出一些看法.

2 研究现状

应该指出, 虽然会议分湍流、流体实验、流体计算、旋涡与分离流 4 个主题, 但研究内容

却超出了主题的范围,大致情况如下:

2.1 湍流与流动稳定性

湍流与流动稳定性问题长期以来占据着流体力学研究的核心位置,这一点在研讨会上也得到了充分反映.有近三分之一的论文直接或间接与本主题有关,内容涵盖拟序结构、边界层转捩、扰动波的传播、湍流模式等方面,表明国内湍流研究基本上后继有人.可喜的是,研讨会上的发言没有墨守成规,提出了不少新颖的学术观点.例如,天津大学罗纪生针对流动稳定性问题中涉及的非保守系统的研究,发现了波的传播速度与能流速度的区别,对进一步认识流动的失稳有很大意义.空军气象学院吴锤结的研究以动力系统理论为基础,旨在建立无自由参数的大涡模拟方法,也是一项十分有意义的工作.在拟序结构研究领域,浙江大学林建忠与上海大学刘宇陆分别探讨了拟序结构中的固粒运动特性及其与传热的关系.北京大学王健平最近的研究成果——点谱方法,目前虽以数值方法为主,但为湍流的直接数值模拟提出了一种新的高精度方法,突破了传统谱方法在复杂几何流场中应用的局限性.清华大学李存标则以实验研究为基础,分析了湍流与转捩研究的相似性,以 CS-Soliton (像孤立波一样的拟序结构)为概念,描绘了边界层猝发过程的三维图形,不失为一条认识转捩和湍流的新思路.清华大学符松探讨了可压缩湍流模式在跨音速湍流问题应用中的性能.他的研究表明,在激波前无分离区域现有湍流模式有一定的可靠性,但对湍流与激波的相互作用机理的认识仍有待进一步的加深.

2.2 流体实验

实验研究由于经费消耗大,难度高,因而是我国流体力学研究中的一个较薄弱的环节,这一点在本次研讨会上亦有一定的反映,即参加会议的人数相对较少.然而,研讨会反映的从事流体力学实验研究的则是研究面最宽的一个青年群体.中科院力学研究所邵传平研究了大小圆柱的相互干扰.在一定雷诺数范围内出现的旋涡脱落受抑制及低频失稳现象,对现有低频波动是由 Hopf 分叉极限环的二次失稳产生的理论提出异议.中科院力学研究所徐丰在风生波的实验研究中发现了高频谱段与摩擦风速间的幂指数关系.中科院力学研究所刘清泉则研究了水沙两相的脉动特性及其相互作用.研讨会上引起大家广泛兴趣的大概是武汉体育学院郑伟涛的赛艇桨叶性能的研究.他的工作表明,运动流体力学研究有很大的潜力,对推动科学的体育事业有极大的促进作用.另外,前面提到的李存标的工作亦属实验研究范畴.

总体来说,我国青年流体力学实验研究虽有一批骨干,形成了一定基础,但规模偏小,应引起足够的重视.

2.3 流体计算

流体计算是涉及人数最多的研究领域.由于计算机条件的改善,加之经济和方便等原因,已有越来越多的人加入这一行列.本次研讨会也充分体现出来,有三分之二的工作属于这一范畴.

其中,北京航空航天大学吴子牛揭示了分区计算的稳定性、收敛性、解的唯一性之间的关系,为分区计算的内边界处理提供了理论基础.北京大学王健平提出了非周期傅里叶插值的思想,使谱方法具有以点为单位的局域性,为湍流直接数值模拟提供了新的方法.本次研讨会中3篇论文是关于格子 Boltzmann 方法的,其中广西师范大学刘慕仁提出了一维交通流模型格子 Boltzmann 方法,尽管只是初步的,但为城市交通流的研究提供了一个新的途径.另外,除了在“流体实验”栏目中介绍的内容外,其它绝大部分的研究工作均属于“流体计算”范围.

2.4 旋涡与分离流

这一领域的工作包括旋涡运动与演变规律、旋涡与自由面干扰、可压缩流中的旋涡、旋涡与物体的相互作用和非定常气动力、分离流控制等方面。

北京航空航天大学阎超采用高分辨率格式,研究了三角翼、双三角翼不同前缘剖面形状对前缘涡的影响,指出圆前缘可使旋涡更强、更稳定,可以推迟涡的破裂。中国空气动力研究与发展中心冉政用数值模拟与理论分析结合的方法研究细长锥体的分离流动,提出了有关对称流态向非对称流态、定常非对称流态向非定常周期流态转化的结构稳定性观点,并给出了相应的数学判据;提供了周期解的几种分岔的细节,为该种流动的控制及研究混沌与湍流的联系打下了基础。空军气象学院吴锤结用 VOF (Volume of Fluid) 方法处理自由面条件,数值模拟了二、三维条件下的旋涡与自由面之间的相互作用,进一步认清了相互作用的过程。上海大学翁培奋对钝圆机头周围的三维分离流场进行了数值计算,发现复杂钝体后存在明显的由背风侧逆压梯度造成的旋涡分离区,并发展成为两个“飘带”式旋涡流向下游。清华大学张扬军研究了流体机械内的三维分离流动,通过探讨主流流动条件的变化对壁面流动特性的影响,提出了一种可实用于识别流体机械三维流动分离的方法。北京航空航天大学孙茂用实验的方法,揭示了上仰翼型后缘溢出的涡层的结构及运动特性,从而解释了翼型产生高升力及动态失速发生的原因;他还研究了昆虫作“打开运动”时的非定常气动力,对产生高升机制提出了新的见解;他提出的多喷口小速度吹气控制流动分离的想法,可在很小的能耗下消除流动的分流,获得大升力并有很高的有效升阻比。

2.5 水动力学

本次研讨会涉及水动力学研究的有:上海交通大学张怀新探讨了船体的横摇阻尼问题。中科院力学研究所林铎用理论方法研究了波浪与淤泥质海床的相互作用,指出在一定条件下会发生共振。大连理工大学徐新生试图用哈密顿体系的理论讨论小雷诺数 Stokes 流动,可用于非线性浅水波问题的研究。

2.6 多相流、生物流及非牛顿流

非牛顿流体力学(包括多相流、生物流等)是流体力学中的一个十分重要的分支,它是流体力学与化学、生物、医学、石油等其它学科交叉的重要领域。从整体看,我国流体力学界在这些领域有一定基础,但本次研讨会反映出的后继力量则有令人担忧之虞。研究拟序结构中的固粒运动特性的浙江大学的林建忠及研究气泡运动的非线性特性的中国船舶科学研究中心的彭晓星,是仅有的两位从事多相流研究的与会者。生物流体力学领域只有复旦大学覃开荣关于平板流动腔的脉动流研究。尽管他们的工作都有特色,但人数显然十分有限,或者说,在国家自然科学基金委力学学科获支持的青年人不多。由于本领域的交叉性,应当有一定数量的青年人在基金委其它学部获得资助,但是流体力学界的青年人应当主动涉足这些领域,否则流体力学研究的面将越来越窄。

3 一些思考

流体力学是门古老的学科,二千年前阿基米德就提出了流体静力学中著名的浮力定理。流体力学又是门年轻的学科,近一、二十年迅速发展起来的非线性动力系统研究,就大大得益于大气流体力学家在研究对流问题中提出来的混沌概念。流体运动的复杂性在湍流运动中体现得

十分充分：即物理上的多尺度与数学上的非线性。然而，流体力学决非是一门纯理论学科，他的发展直接推动社会、工业的进步，是一门十分重要的工程技术学科。例如，流体力学可以说是航空航天工业的基础；在机械、石油、化工、能源、生物、医学等领域中，许多重要问题都与流体力学密切相关。这也是为什么在世界一流大学中的机械工程系、航空航天工程系、化学工程系、土木工程系、水利工程系中，流体力学占据着十分重要位置的原因。但是，在我国人们往往只注重流体力学的理论性，而不大注意流体力学的理论对工程应用的直接意义。一些产业部门的技术落后与流体力学研究是密切相关的。可喜的是，这一点目前正在得到改变。清华大学、北京大学、天津大学、上海交通大学、浙江大学等国内大部分力学系都已并入机械工程学院或其他工程学院，或是进行加强工程知识方面的调整。实际上，我国力学界正在发生一次悄悄的革命。

流体力学界应当怎样面对这样一个变化，或是我国的流体力学应当怎样向前发展？这一问题流体力学界的青年人应当认真思考。这次研讨会表明我国流体力学青年学者在湍流与流动稳定性、计算流体力学、旋涡动力学等领域中有较强的研究基础，有些成果甚至在国际上有一定影响，研究队伍也相对较稳定。但同时也存在下列问题：

(1) 研究面偏窄。尽管来参加研讨会的青年学者的代表性并不一定全面，但应当认为，国家自然科学基金获得者基本上代表了这一群体的主体。在许多方面研究力量还比较薄弱。例如，在多相流、生物流、非牛顿流、微重力流体力学、微尺度流体力学等领域，亟待形成高水平的青年队伍。

(2) 流体实验工作应加强。实验在科学研究中一直占据很重要的地位，但由于存在实验设备和经费不足等问题，从事实验工作的人员越来越少，一些本来对实验擅长的青年人也来到流体计算行业，这不能不引起我们的充分警惕。

(3) 理论、计算和实验相结合的工作不多。本次研讨会大部分论文都是从事单方面研究的。实验需要计算来支撑，计算更需要实验来验证，只有将它们充分结合，才能得到被人们充分认可的结论。

(4) 创新性不够突出。尽管一些研究提出了新颖的学术思想，但从总体上看创新性工作不多。只有站在国际前沿上，才能做出国际先进水平的工作来。

科教兴国，流体力学界的青年学者责无旁贷。面向即将来临的 21 世纪，应勇挑重担，团结合作，使我国的流体力学研究事业更加兴旺。

最后，感谢国家自然科学基金委员会数理科学部领导对本次研讨会的支持，感谢力学学科主任靳征谟研究员在各方面的关心与指导。

参 考 文 献

- 1 孟庆国，林建忠，符松，孙茂，王健平. 流体力学新思路青年研讨会论文集. 北京：国家自然科学基金委员会数理科学部，1998