

开拓领域、突破障碍

——流体力学研究的展望

张兆顺

[摘要] 本文描述了近代流体力学的历史和它们进展。作者指出,湍流是近代流体力学发展的主要障碍,论述了研究湍流问题的重要性。

一、近代流体力学的进展

近代流体力学是在不断开拓新领域中迅速发展的。

本世纪初以前,解决工程技术中流动问题的基础是水力学,而近代流体力学的雏形——水动力学被认为是一门纯学院式研究的学科。本世纪 20 年代流体力学在航空工程中首先突破,并在航空技术的发展中起主导作用。从这时起,流体力学开始为工程界重视。而近代流体力学的蓬勃发展大约在 50 年代以后。例如,直至 40 年代,除了航空、造船的大学本科课程中设有空气动力学或水动力学外,一般机械、土木工程科只设水力学。

今天流体力学已经进入到工程技术和自然科学中许多领域、除了空气动力学和水动力学外,派生出一系列新的学科分支,如地球物体和天体流体力学、生物流体力学、物理化学流体力学等等,不胜枚举。特别应当一提的是十多年前工程界开辟了工业流体力学(最早称为工业空气动力学)及流体工程学的新分支。这一分支的诞生说明广大技术界对流体力学的迫切需要,它的本意是应用流体力学原理、方法来解决除了航空、造船以外的工程中流体力学问题,如风工程、环境工程、流体机械、声工程等,无疑这一支学科领域是广泛的,因此在它发展过程中会不断派生新的子学科。

近代流体力学如此广泛而深入发展的原因是:

1. 流体力学具有科学的理论体系

流体力学和水力学不同,它不是简单的知识积累和经验数据的手册,而是建立在牛顿力学基础上的理论体系,相关知识和经验是用来不断补充、修正这一体系,并使它不断发展。现在我们可以看到,在土木、水利工程中历来占统治地位的水力学吸收了愈来愈多的流体力学理论和方法,以至于近代水力学或高等水力学的内容几乎与流体力学没有什么差别了。

2. 现代工程技术的经济性和可靠性要求愈来愈高的科学化和精确化的设计

现代技术,如航天、海上采油、核能利用等都是投资、耗能巨大的工程,任何技术方案如无经济性和可靠性的科学保证是不可行的。大至海洋平台的波浪载荷,小至对流换热器中管簇的流致振动都牵系着几十亿投资和成千上万工作人员和居民的生命安全。又据统计工业用电中约有 1/3 用于各种类型的流体机械,如压缩机、风机、水泵等,因此提高流体机械的效率对节省能源是非常可观的。美国航空界曾做出统计,减少飞机阻力 1%,每年可节省 10 亿美元的

燃料费用,无疑经济、可靠的工程设备具有优越的商业竞争力。

总之,现代技术需要流体力学。

3. 解决流体力学问题的手段有很大改善

绝大多数工程技术和自然现象中的流动属于相当复杂的非线性动力学过程,在相当长时间里,由于缺少有效、实用的数学方法来解非线性偏微分方程(这一数学问题的完善解决预计还要很长时间),使得流体力学的应用受到很大限制。60年代来,大型电脑的启用使情况大为改观。随着大型电脑的发展而兴起的计算流体力学(CED)是流体力学近代发展中的一次革新。许多过去难以解决或难以想象能解决的计算问题,今天可以用数值方法得到计算结果。例如,叶轮机械中高速气体的三维流动,它的一般原理和理论表达式早在40年代已经建立(吴仲华,1945年),但是在使用机械式计算器的时代,这一理论是无法付诸应用的。然而在今天应用大型电脑按照吴氏理论设计叶轮机械已无计算上的困难。事实上采用三维流动设计的叶轮机械确实可以提高机器的效率,另一方面包括电脑在内的现代电子、光学技术在流体力学实验中的应用,大大提高了数据采集、处理和图象显示、再现的能力。为深入了解流动现象和进行工程试验提供了有力的手段。

总之,近代流体力学是在经典流体力学体系的基础上发展起来,又远远超出原有范围,已跨进了许多工程或自然科学的领域。应当看到,已经开拓的新领域有些还刚开始,例如生物流体力学较多地注意到人体的循环系统、呼吸系统的流体过程,而对植物中的流体现象(从土壤到枝干)还很少涉及。预计超低温、失重条件下的流体力学,将随着高技术的开发而兴起。

二、湍流——近代流体力学发展的主要障碍

随着近代流体力学应用范围的不断扩大,若干基本问题的研究愈来愈迫切。现代超级电脑提供了有力的计算和研究工具,但是应用电脑计算的前提是:(1)有正确描述流动现象的控制方程;(2)对控制方程可解性有正确的数学提法;(3)有合理和可行的算法。

第一方面的问题在流体力学跨入新领域时需要加以研究,实际上开拓新的领域时,总是在原有流体力学控制方程基础上补充、修正,构成新的控制方程(如MHD,非牛顿流体动力学等等),第三方面的问题总是和第一、第二方面的问题同时展开。

流体动力学控制方程可解性的正确提法,即使在最简单的牛顿流体的情况下至今尚无定论。一般情况下,Navier-Stokes方程解是否具有对初值的连续依赖性?确定性的光滑初迹值是否有确定性的唯一解或唯一渐近($t \rightarrow \infty$)解?这些问题在理论上还没有肯定的答案。但现有一些实验和近似的理论结果表明,上述问题的答案是否定的。如用截断的N-S方程解热对流问题时,出现奇异吸引子(Lorentz, 1964年);流动稳定性的实验与理论分析表明,N-S方程有分岔解;湍流现象表明,当N-S方程中参数 ν 或 $1/Re$ 很小时有非确定性解,或者说在此条件下,N-S方程的解对初值十分敏感,而大量工程技术或自然现象中有实际意义的流动过程都在此范围内。因此,无论从理论或实用上湍流研究应是近代流体力学的突破口。

由于上述原因,进入80年代后,国际流体力学界又掀起了湍流研究的高潮。80年代初,日本文部省拨专款500万美元作湍流基础研究;美国公布八大基础研究之一是湍流;1983年一批美国计算流体力学专家R. MacConmack, W.C. Reynolds等拟订了一个五年计划,计划中

指出 20 世纪的最后 10 多年里,计算流体力学的主要任务是湍流模式理论的计算,下一世纪初将以湍流大涡数值模拟为主要目标。最近美国政府拨款 1 亿美元,组织以布朗大学为中心的全面湍流研究计划,从基础理论(包括稳定性和混沌)、实验研究、实用模式到计算机算法(包括自动格子机)作全面研究。在我国的经济建设中,机械、宇航、化工、水利等各个领域都提出了湍流问题,因此解决湍流问题将为近代流体力学开拓广泛领域扫除主要障碍。

最后还需要指出,湍流研究的理论意义,并不仅仅限于流体力学,从现代协同论的观点来看,它是较容易入手的一种有序、无序相互转化的现象。

三、建 议

1. 国家自然科学基金委员会应当选择力学中关键问题,如流体力学中的湍流,作为支持重点。
2. 国家自然科学基金,对流体力学其它方面的支持,应当是开拓领域的课题。
3. 国家自然科学基金委员会,应组织各企业部门,共同规划流体力学的发展,制订一个全面发展计划。

OPENNING UP NEW FIELDS AND BREAKING DOWN BARRIERS —THE PROSPECT OF FLUID MECHANICS

Zhang Zhaoshun

Abstract

This paper describes the history and its development of modern hydromechanics. Writer points out that turbulence is an main obstacle to push forward development of modern hydromechanics, and deals with the importance of studying the problem on turbulent flow.

我委与英国皇家学会建立合作关系

中国国家自然科学基金委员会和英国皇家学会正式建立合作交流关系。3月17日,双方在北京签署了标志合作关系正式开始的谅解备忘录。

在此之前,英国皇家学会已先后同我国的4个有关科技机构建立了合作交流关系。这次与国家自然科学基金委员会合作关系的建立,将有利于加强两国在自然科学基础研究领域的交流。