

现代流体力学研究进展及展望

常凯

(土木工程学院, 0214132)

摘要: 文章介绍流体力学的研究进展。着重介绍粘性流体力学研究的若干进展。

关键字: 流体力学, 粘性流体力学, 边界层理论

0. 引言

流体是气体和液体的总称。流体力学也是一个广义的概念, 其下面有很多的分支, 如: 地球流体力学、水动力学、气动力学、渗流力学、物理-化学流体动力学、多相流体力学、等离子体动力学和电磁流体力学、环境流体力学、生物流变学等等。因此, 流体力学既包含自然科学的基础理论, 又涉及工程技术科学方面的应用。以上主要是从研究对象的角度来说明流体力学的内容和分支。此外, 如从流体作用力的角度, 则可分为流体静力学、流体运动学和流体动力学; 从对不同“力学模型”的研究来分, 则有理想流体动力学、粘性流体动力学、不可压缩流体动力学、可压缩流体动力学和非牛顿流体力学等。

1. 经典流体力学的发展

流体力学是力学的重要分支之一它像其它学科一样来自生产实践, 所以古代的流体力学同人类的生产活动有紧密的关系。如希腊的阿基米德关于浮力的定量理论, 帕斯卡的流体静力学关系, 达·芬奇和伽里略对运动物体阻力的研究。我国从李冰, 管仲治水, 沈括的浮漏仪, 葛洪的飞车到揭暄的漩涡试验等等。这些成就大多是对客观世界直观的定性认识, 尚未上升为理论。

经典流体力学是从 17 世纪开始形成的。首先要归功于牛顿发明了微积分。在他的著作《自然哲学的数学原理》一书中, 他还研究了粘性流体的剪应力公式, 声速和潮汐理论。在 18 世纪, 1738 年, 提出了著名的伯努里定理。1752 年, 达伦贝尔获得了

连续性方程。尤其是欧拉于 1775 年提出了流体运动的描述方法和无粘性流体运动的方程组, 推动了无粘性流动, 包括有自由面的水波运动的研究。所以, 欧拉是理论流体力学的奠基人。19 世纪的主要进展是对无粘有旋和粘性流动的初步研究。1823 年, 1845 年, 纳维、斯托克斯分别导出了粘性流体运动的基本方程组, 这就是著名的 N-S 方程, 并为当时哈根、泊肃叶通过实验得到的圆管中粘性流体的流量公式所验证, 这是粘性流体运动理论的发端。1858 年, 亥姆霍兹给出的定理是研究旋涡运动的基本出发点, 所以他们是无粘旋涡运动研究的创始人。19 世纪对非线性波开始有了认识, 如 1834 年罗素对于孤立波的实际观察, 1847 年斯托克斯获得的有限振幅波的三阶解都是典型的例子。通过对双曲型方程的研究, 人们发现了间断解 1869 年, 兰金给出了激波前后的关系式。这是对流动可压缩性的初步研究结果。由此可见, 经典流体力学的出现, 使我们的认识建立在严密的理论基础上。但是, 它同具有实际应用, 经验半经验的水力学却分道扬镳了。由于认识水平的限制, 还无法从理论上解释运动物体所受的阻力(达伦贝尔佯谬), 即对于两种最重要的流体: 水和空气, 其粘性很小, 人们很难理解被经典理论所忽略的摩擦力怎么会在如此程度上影响流体的运动。所以, 当时的情况是, 水力学工程师观察着不能解释的现象, 而数学家却解释着观察不到的事物。

2. 近代流体力学的发展

从 19 世纪末开始, 人们主要深入细致

研究流体粘性运动和高速运动的特性，从而使理论流体力学可以真正用来指导实践，本世纪上半叶航空事业的巨大成功就是有说服力的证明。在这一时期，流体力学的主要成就有：

1883年，雷诺的实验发现了流体运动的两种运动状态：层流和湍流，它是由后来被索末菲尔德命名的雷诺数的大小来决定的，并假设湍流是由于层流流动产生不稳定的结果。雷诺还引进了表观湍流应力或虚拟湍流应力这个具有基本重要意义的概念，并于1895年导出了雷诺平均方程，这是计算机出现以前解决工程问题的主要途径。雷诺发现的重要性在于它推动了整整一个世纪的湍流研究。尽管湍流问题还没有解决，但人们对它的认识深化了，并解决了大量实际问题，所以具有划时代的意义。正如雷诺本人所说：这项研究的结果既有实用价值，也有哲学意义。

1904年，普朗特凭他丰富的经验和物理直觉，提出了著名的边界层理论。他在海德贝尔格的数学年会上宣读了“具有很小摩擦的流体运动”，证明了绕固体的流动可以分为两个区域，一是物体附近很薄的一层（边界层），其中摩擦起着主要的作用；二是该层以外的其余区域，这里摩擦可以忽略不计。他指出有可能精确地分析在一些很重要实际问题中所出现的粘性流动。边界层理论的重大意义在于，在人们还不可能求解完整的N-S方程以前，解决了阻力问题，使人类的飞行至少提前了半个世纪。同时，它还是奇异摄动理论中匹配渐近展开法的雏形。1913年，普朗特继库塔-儒库夫斯基以后研究升力，提出了升力线理论和最小诱导阻力理论，解决了有限翼展机翼的升力问题，为航空工程作出了贡献。1925年，普朗特提出了混合长度理论，配合系统的实验，首先通过雷诺平均方程从理论上分析了湍流流动。所以，普朗特不愧是近代流体力学的奠基人。

1910年，泰勒研究了激波内部的结构。1923年，他又得到了两个同心圆筒间流动失稳的条件，形成所谓的泰勒涡。他还研究了强爆炸、穿甲、液滴问题。泰勒的主要贡献还是在湍流领域。他从1915年起就对大气

湍流和湍流扩散发生了兴趣，还提出了湍流的涡扩散理论。到1935年，泰勒建立了均匀各同性湍流的理论，通过相关或谱分析的统计方法来研究这种理想化的湍流模型。尽管这条途径似乎也不能克服湍流研究的根本困难，但在这一时期湍流研究的理论成果使人们加深了对湍流结构和机理的认识，其意义仍是不可估量的。泰勒科学工作的特点是善于把深刻的物理洞察力和高深的数学方法结合起来，并擅长设计简单而又完善的专门实验来证实他的理论。所以，泰勒在力学界的影响是深远的。

1911年，卡门证明了圆柱尾流内涡街的稳定性，可以解释桥梁风振，机翼颤振等现象。对湍流模型，他提出了相似性原理。1929年起定居美国以后，在加州理工学院建立古根海姆空气动力学实验室(GALCIT)，几乎汇集了世界上最优秀的人才，成为当时世界上空气动力学的研究中心。那里超前的理论研究，为人类的航空航天事业奠定了基础，所以他被誉为航空航天大师。卡门在这一时期的成果集中在气动方面，包括机翼的举力面理论，亚声速流近似理论，跨声速相似理论，超声速流细长体理论。1940年，他在美国的数学年会上，号召工程师为非线性问题拼搏，预见到非线性力学在今后科学发展中的重要地位。他也象普朗特一样，善于透过现象抓住本质，提炼出合理的数学模型，树立了数学理论和工程实际相结合的典范。

我们还要提到当时的苏联科学家的杰出贡献。比如，谢多夫完善了量纲分析和相似理论，并应用于强爆炸和湍流问题。柯尔莫果洛夫虽是一个伟大的统计数学家，但他总是力图把他的纯粹数学的研究成果同实际应用结合起来，如物理系统的布朗运动，统计弹道学。30年代，他研究了多变量随机函数和随机游动理论，这使他对湍流发生了兴趣。1941年，他提出了局部各向同性湍流的理论，在局部相似性的假定下，可以得到惯性子范围存在的条件和结构函数，能谱的幂次律。此外，他还补充了用湍流能量和典型频率的微分方程来求解雷诺平均方程。显然，这是最早的二方程模式。他的结果往往被用来检验新理论的标准，也被他的学生用于研

究大气边界层湍流。流体力学界于 1991 年隆重纪念柯尔莫果洛夫的重要文章发表 50 周年,充分说明他的著作是不朽的。1944 年,理论物理学家朗道提出了经过无限次分叉从层流过渡到湍流的一条途径。

在这一时期,以周培源为代表的中国流体力学家已跻身于国际的学术舞台,为近代流体力学的发展作出了突出的贡献。1945 年,周培源在美国“应用数学季刊”上发表了“关于湍流关联速度和湍流脉动方程的解”,首先得到了相关函数的微分方程,为现代湍流高阶矩模式理论奠定了基础。以后又提出了湍流的旋涡结构理论。钱学森早在 30 年代就来到了加州从事空气动力学的研究,并同卡门一起提出了近似计算高亚声速流气动力的卡门-钱公式。40 年代提出了跨声速流的相似律。他还开创了高超声速流和稀薄气体动力学新领域。郭永怀同钱学森在研究跨声速流时提出了上下临界马赫数的概念,并发现当飞行速度超过下临界马赫数时,理论上连续解依然可以存在。只有来流速度超过上临界马赫数时,才会出现激波。所以,真正有意义的是上临界马赫数。他还研究了跨声速流的稳定性,这是超临界翼的早期研究。在以后的 10 年中,郭永怀从事激波边界层相互作用及高超声速流的研究,特别是,1953 年在研究有限长平板边界层二阶理论时,提出了克服奇异性的途径,后被钱学森命名为 PLK 方法。1944 年,林家翘解决了流动稳定性理论中的一个数学疑难,指出稳定性问题中,流体粘性趋于零并不等价于无粘性的情况,并用渐近方法求解了奥尔-索末菲尔德方程,理论上得到的 TS 波后来为低湍流度风洞实验证实。中国科学家的上述成果已载入史册,这是每一个炎黄子孙的光荣。

从以上这段历史可以看到,以普朗特为代表的应力学学派的风格在近代力学发展中的决定性意义,从哥廷根,剑桥,加州到莫斯科以及中国科学家的研究集体都为它的形成作出了贡献,其主要特点是工程科学同数学的紧密结合。由于这一风格的影响,流体力学又回到了生产实践,解决了人类为实现飞行的理想所面临的关键技术问题。同时也推动了流体力学自身的发展,使粘性流

动和可压缩流动的理论得到了完善,为 20 世纪下半叶现代流体力学的发展奠定了基础。

3. 现代流体力学的发展

所谓现代流体力学指的是,用现代的理论方法、计算和实验技术,研究同现代人类社会生产活动和生存条件紧密相关的流动问题的学科领域。所以,现代流体力学正处在一个用理论分析,数值计算,实验模拟相结合的方法,以非线性问题为重点,各分支学科同时并进的大发展时期。这一时期,渐近分析方法日臻成熟,已经成为一门独立的学科分支,Sturrock 和 Whitham 分别提出了多重尺度法和平均变分法, Van Dyke 的摄动级数理论扩大了适用的参数范围。纯粹数学中泛函,群论,拓扑学,尤其是微分动力系统的发展为研究非线性问题提供了有效的手段。由于建成了适合于研究不同马赫数、雷诺数范围典型流动现象的风洞、激波管、弹道靶以及水槽、水洞、转盘等实验设备,发展了热线技术,激光技术,超声技术和速度、温度、浓度及涡度的测量技术,流动显示和数字化技术延长了人的感官,可以观察新的物理现象,并获得更多的信息。最重要的是,计算机的迅猛发展,从根本上改变了流体力学面临非线性方程就束手无策的状况,大量数据采集和处理也就成为可能。因为实际问题大多是学科交叉的,新兴学科领域的出现也是十分自然的。在这一时期的主要成就如下:

计算流体力学已发展成熟,出现了有限差分,有限元,有限分析,谱方法和辛算法,建立了计算流体力学的完整的理论体系,即稳定性理论,数值误差耗散,色散原理,网格生成和自适应技术,迭代和加速收敛方法。提出了许多有效格式,如 TVD 和 ENO 格式, Godunov 方法和拉格朗日算法,为求解自由边界问题的 MAC 方法,为提高分辨率的紧致格式等等。计算流体力学在高速气体动力学和湍流的直接数值模拟中发挥了重大作用。前者主要用于航天飞机的设计,由于物体几何形状和流场极其复杂,涉及宽阔的流动范围,要考虑内自由度激发和化学反应,计算流体力学家为此进行了不懈的努力。此外,还研究了非定常流的控制,超临界翼的设计

等问题。后者要求分辨到 Kolmogorov 耗散尺度, 计算工作量极大, 如果没有先进的计算机是不可能完成的。目前, 超级计算机, 工作站的性能有了飞跃, 最高速度可达每秒数百亿次, 存储达数十吉, 并行度也在提高, 因此, 人们已经可以用欧拉方程, 雷诺平均方程求解整个飞机的流场, 以及雷诺数达到 10⁵ 的典型流动的湍流问题。计算流体力学几乎渗透到流体力学的每个分支领域。

非线性流动问题取得重大进展。自 60 年代起, 对色散波理论进行了系统的研究, 发现了孤立子现象, 发展了求解非线性发展方程完整的理论和数值方法, 并被广泛应用于其它学科领域。物理上, 提出了波作用量守恒原理, 揭示了共振相互作用是子系统间交换能量的方式, 并应用于深水波演化的研究。三维非线性波和与波有关的流动相互作用是这一领域的研究前沿。非线性稳定性的研究主要针对转捩问题, 探讨不稳定波的发展情况, 用三波共振, 二次不稳定来解释 K 型流向涡结构和 N 型拉姆达涡结构的转捩方式, 用波包来研究湍流斑的形成。由于理论分析的局限性, 要结合数值方法才能描述转捩的全过程, 湍流的基础研究从统计方法转向拟序结构的研究, 因为拟序结构对于动量、能量、质量的传输起着决定性的作用, 也便于控制。拟序结构可用流动显示, 条件采样识别, 基于 Lumley 的物理思想, 近年来, Sirovich 提出的 POD 方法从数学上定义了拟序结构, 并在理论上证明了可用最少量的模态来近似描述无限维动力系统, 这是理论分析和数据处理的重要手段, RNG (重正化群) 理论正在完善, 并应用于剪切湍流。发展了 Boltzmann 格子气模型以克服方法原有的不足, 并有效地研究了渗流问题。上述两种方法是有发展前景的。目前, 为了要研究间歇现象, 解释非高斯分布, 人们又对统计方法与确定 PDF 发生了兴趣。

出现了以下一些新兴的学科分支:

生物流体力学。主要研究人体的生理流动, 包括心血管、呼吸、泌尿、淋巴系统的流动。流体的非牛顿流行为 (如血液属卡森流体), 管道的分叉和变形, 肺与肾脏的多孔性, 微循环通过细胞膜的传质, 流动的尺度

现象 (如法罗伊斯-林奎斯特效应) 是人体生理流动的特征, 这方面的研究为发展生物医学工程 (如治疗动脉粥样硬化, 人造心瓣等) 作出了贡献。此外, 还研究了植物体内的生理流动, 鱼类的泳动和鸟类的飞行, 体育运动力学等。

地球和星系流体力学。它是主要研究大气、海洋、地幔运动一般规律的学科分支, 包括全球尺度、天气尺度、中尺度的运动。其特点是要考虑旋转和层结效应, 包括泰勒柱、埃克曼层、地转近似、罗斯贝波、惯性波、内波、双扩散、异重流等现象, 深化了人类对自然现象的认识。还发展了星系的密度波理论, 解释了观察到的旋臂, 揭示了长期维持的机理, 解答了缠卷的疑难。

磁流体力学和等离子体物理。主要研究在磁场中的流体运动规律, 包括磁流体力学波与稳定性。虽然低温等离子体早已在工业中得到应用, 但直到 40 年代, 才由阿尔芬建立磁流体力学这门学科, 并在天体与空间物理中得到应用。50 年代以来主要动力是受控热核反应的研究, 一直在寻求适当的磁场位形与解决磁约束或惯性约束问题的途径。目前提出的办法有, 托卡玛克, 磁镜装置, 激光, 电子束, 离子束聚变。研究中遇到不少困难, 道路是曲折的, 但是, 一旦实现点火, 前景诱人, 人类不必再为能源枯竭担忧了。地球磁场的起源和逆转也是一个磁流体力学问题。

物理化学流体力学。它是 50 年代由列维奇倡导的, 研究同扩散、渗析、返棍、电泳、聚并、燃烧、流态化和毛细流等物理化学现象有关的流体力学分支。多相流专门研究两相以上同种或异种化学成分物质组成的混合物的流动。如用单流体模型, 有泡沫流和栓塞流; 如用双流体模型, 有液固、气固和气液流动; 如果在流动中颗粒碰撞占主导地位, 隙间流体的作用可以忽略, 则可用颗粒流模型。多相流在自然界与在化工, 冶炼和石油工业中有广泛的应用。实际上, 渗流的出现应以上一世纪的达西定律为标志, 50 年代以后, 进一步发展了非等温、非均匀介质, 非牛顿和多相渗流, 物理化学渗流, 生物渗流。本世纪 20 年代建立了流变学, 以

后逐步形成非牛顿流体力学,包括变粘度、有屈服应力、有时效和粘弹性的流体运动。有些现象,如爬杆、挤胀和减阻等是非牛顿流所特有的。测定了各种非牛顿流体的本构关系,揭示其与介质内部结构,如高分子链、蜡晶结构、悬浮固体颗粒、纤维、血球的联系。描述非牛顿流体的运动与稳定性,并应用于塑料、化纤、彩胶、橡胶和造纸工业。

4. 粘性流体力学研究的若干进展

(1) 边界层和多层边界层理论研究进展

粘性流体力学是一门包含着丰富物理现象且应用领域众多的基础学科。薄边界层概念和边界层方程组理论是继无粘流动方程组理论和粘性流动方程组理论之后,流体力学研究的一项划时代进展,它揭开了粘性流体力学的新时代,也标志着近代力学的形成。在人们完全不可能求解具有工程价值的粘性流动基本 NS 方程组之前,边界层理论正确地预测了摩阻和热传导率,使人类的飞行事业至少提前了半个世纪。边界层理论关于边界层和无粘外流渐近匹配求解全域流场的方法也导致了应用数学中有名的渐近匹配方法的形成和发展,并迅速在其它学科找到了广阔的应用领域。边界层理论经过半个多世纪的研究和发展,取得了极其丰硕和完美的系统成果,成为粘性流体力学及其应用领域的一个核心内容。

粘性流体力学研究在本世纪又取得两项意义重大的突破性进展。一项是多层边界层理论和干扰边界层理论,多层边界层理论(例如 Triple-deck 理论)揭示了边界层自诱导分离沿流向和法向具有渐进性质的小尺度结构,阐明了边界层分离的流动机理,提出和发展了同时沿流向和法向渐近匹配的数值方法等,得到的关于边界层分离点和尾缘点等流动关键点附近流场的数值结果,至今仍具有基准解的意义。在近 40 年(从本世纪 50 年代到 80 年代)的时期内,多层边界层理论(包括层流和湍流)取得了丰硕的系统成果,成为粘性流动局部区域理论的又一个典范。

(2) 粘性流数值方法研究的若干进展

①求解 DP 方程组的数值方法。求解 DP 方程组特别是求解可压缩流 DP 方程组的数

值方法研究,近 30 年来取得了许多重要进展,提出了众多有效的数值方法,主要的如:隐式近似因子分解法即 AF 方法,矢量量分裂方法,显式、显隐式和有限体积格式等,这些数值方法可用于求解 DP 和 TDP 方程组,也可用于求解 NS 方程组及其湍流形式。求解 DP 方程组的时间相关计算与求解 NS 方程组的时间相关计算相比,主要是前者避免了对本来就算不清楚和算不出来的许多粘性小量阶项进行计算,同时也减少了未知的湍流粘性项。

DP 方程组在马赫数 $M > 1$ 时为双曲抛物型,因此对于超声速和高超声速定常流动计算,可用定常 DP 方程组空间推进方法求解。定常 DP 方程组空间推进求解与定常 NS 方程组时间推进求解相比,具有计算维数减少一维的突出优点,大大节省了运算量和存储量。因此在本世纪 60-70 年代,定常 DP 方程组的空间推进求解倍受重视,发展了许多很有特色的空间推进数值解法。例如,求解定常守恒型 DP 方程组的隐式空间推进格式和显隐式 TVD 空间推进格式;把黎曼间断解的近似解方法用于 DP 方程组的空间推进求解,改进了空间推进方法捕捉激波的能力,避免了解通过激波时产生非物理振荡的问题等。但是由于 DP 方程组在亚声速区的椭圆型数学性质,流场中亚声速流动区的存在使定常 DP 方程组的空间推进计算出现数值发散。

为了解决定常 DP 方程组空间推进算法中遇到的实质性困难,人们提出把流场分为超声速区、亚声速区和局部复杂流动区的分区域算法,提出把边界层反解方法的思想用于定常 DP 方程组的空间推进求解;更主要的也是更为成功的是提出了非定常 DP 方程组的时间相关空间推进算法,如时间相关单次空间推进算法,时间相关多次扫描空间推进算法,把单次空间推进算法(用于超声速区)和对称 Gauss-Seidel 松弛算法(用于亚声速区和局部复杂流动区)组合在一起的空间推进叠代组合算法等。应当指出,所有利用差分方法以及利用有限元和边界元等方法计算高和中等雷诺数流动的研究,不是求解 NS 方程组就是求解 DP 方程组;计算无粘流动则是求解 Euler 方程组,因此可称为求解某种

流体运动方程组的流动计算策略(简称为流体方程计算)。另一种耦合离散流体理论的流动物理计算策略也取得了开拓性的初步进展。

②离散单元流动的流体理论和耦合离散流体理论(CDFT)的算法。由于粘性流动的非线性和非均匀特性,对任一空间离散划分,不同离散单元流动的特征并不相同,因此提出了离散单元流动的流体理论(高智,1997):若相邻节点之间的距离 Δx 足够大于节点处扩散输运在节点连线方向上的迎风特征距离 d_x ,则节点物理量近似不受该方向上的下游节点物理量的影响。因此可称为流动离散的对 d ,流化理论,它显然是流体运动微分方程DP理论在流动离散条件下的配对理论。若 Δx 足够小于 d_x ,则上、下游相邻节点物理量对计算节点物理量具有同等的贡献。

CDFT格式的建立应根据具体离散单元流动(特别是对湍流)的具体分析来建立;一个简便的方法是把CDFT开关函数作用于NS方程组的任一合理的差分格式上获得CDFT格式。流体物理计算的一个数值实验,即利用一阶和二阶两种迎风格式、两种二阶TVD格式、三阶ENO格式和五阶加权ENO格式以及它们相应的六种CDFT格式计算Burgers模型方程的数值实验表明:六种CDFT格式的数值结果均比相应原始格式的结果更精确,且运算量亦有所减轻,利用二阶TVD格式及相应CDFT格式计算激波边界层干扰流动的数值实验同样获得与实验测量相符合的满意结果等。可见对计算精度和计算效率的提高,对具体单元流动作具体分析的流体物理计算策略要比常用计算策略,即在流体方程计算中施展数学技巧(改进差分格式形式和提高格式精度)更有效。应当指出,CDFT格式计算不存在区域分裂算法中出现的区域覆盖、边界匹配等问题,但提出了相容性、稳定性和收敛性等基本课题。

5. 展望

扩散抛物化理论是流体力学的一个基本理论,它包容了边界层、多层边界层和无粘近似等理论且导致NS方程组的系统简化,导出了扩散抛物化(DP)方程组;该理论在其它有关领域亦有重要的应用。DP方程组是介

于NS方程组和Euler方程组之间,且数学特征与NS方程组数学特征不同的一类粘性方程组。不论从流体运动微分方程近似的角度还是从流体有限离散数值近似之等价微分方程的角度,DP方程组均是与Euler方程组和NS方程组同等重要的流体力学基本方程组。

层流和湍流DP方程组与NS方程组及其湍流形式相比,粘性项少了许多,但保留了必要的分子粘性项和湍流粘性项,因此对高雷诺数流动计算形成了求解NS方程组、求解DP方程组和求解Euler方程组的流体方程计算的并列领域。离散单元流动的流体理论,特别是湍流理论,对粘性流有限离散数值模型的完善具有基础意义;耦合离散流体理论的算法在离散尺度层次上实现了对具体离散流动具体处理的流体物理计算,可更好地逼近流动真实情况,因此在发展流体方程计算的同时发展流体物理计算很有必要和好处,有助于计算流体力学和粘性流体力学及其应用计算的发展。

另外从以下几个和我们生活息息相关的方面来说:

能源 世界对能源的需求日益增长。我国正处在经济腾飞时期,必需加速与能源有关的工业的发展。我国能源以煤为主,地理分布不匀。石油,天然气产量虽已有一定规模,但大庆油田已进入后期开采,维持原有产量有一定难度。已探明,西部塔克拉玛干沙漠石油储量不少,但输送是个大问题。我国海上石油有一定储量,近海采油已有一定基础,还要进一步向300 m以上的深海进军。我国水力资源丰富,水电,核电很有潜力,在近期要大力开发。在能源开采,输送和利用中有大量流体力学问题,如在发展张力腿式平台(TLP)时,要解决的关键技术问题是:由非线性波与结构的相互作用引起的慢漂运动与高频共振;在三次采油中,为有效地采用强化采油技术驱替仍残留在多孔岩体中的多半原油,要避免粘性指进现象;石油,天然气,水煤浆的输送涉及管道中不同流态的多相流驱动问题,水电站的关键技术之一是防止水轮机叶片受空泡和泥沙侵蚀,要采用射流技术来提高燃烧效率等等。

环境 人口增长与工业发展使人类面临严峻的环境问题，已引起世界各国的关注。现代社会人类的生存环境涉及气候、生态、污染、灾害等不同尺度，多学科交缘的问题，如全球变化、臭氧空洞、酸雨、土地沙漠化、厄尔尼诺、台风、风暴潮、滑坡、泥石流波流与岸线、泥底的相互作用，才能预测在复杂波流场中的泥沙输运与地貌变化。泥石流要解决分类、起动、运动、沉积、预报和防治问题。研究电磁波在湍流大气中的传播及其与界面的相互作用是为了等。可用建立观测站网，采用诸如遥感等各种现代测试手段，并用数值模拟来进行动力学的预测。多数环境问题是因发生在地球表层的流体运动和界面过程引起的，也存在大量流体力学问题。可重点研究陆气海气界面过程，污染物扩散输运，风沙、泥沙、泥石流运动等问题。因此要研究层结流体中的湍流边界层，在陆地要考虑植被的影响，在海上要计及不规则波浪、气泡、水滴的作用，远距离污染物的输运涉及干沉积、湿沉积、大气化学、放射性衰变等物理化学过程。为解决泥沙问题，首先要确定不同成分泥沙的本构关系，正确反演遥感信息，取得重要环境数据。为控制环境污染，要研究清洁燃烧技术，流态化与等离子体技术，实现废弃物的无害化处理，并回收能量和物质。

交通 发展东方快车，高速火车，地铁与其它公共交通工具已正在进行。东方快车马赫数为 8，可在两小时内达到地球上任何一个地方。鉴于不再用火箭作为推进器，而是采用吸气式冲压发动机，并有较高的静温静压，化学反应快，如何达到充分混合，实现点火，稳定火焰，减小损失，提高超声速燃烧的效率是关键技术。另一方面，新材料可以允许再度使用细长体和尖前缘的气动外形，以达到高的升阻比，复杂物体的高超声速绕流仍要加强研究。空天飞机也会遇到类

似的技术问题。我国已建成广深准高速铁路，并决定投资千亿元建设北京上海间的高速铁路。日本的新干线，法国的 TGV 的高速火车时速可达 250 km，采用磁悬浮技术后，速度还可以提高。在高速列车车头前会形成压力波，两车相遇和通过隧道时要考虑这个问题。要设计好的气动外形与采用其它措施，减小阻力，并要求有较好的侧向稳定性。节能型小轿车在良好的城市规划条件下，会有一定程度发展。由于节能与环境的需要，未来的趋向是轻型化，要设计具有低阻负升力美观大方的小轿车，以满足市场的需求 (Hucho 1993)。为发展航运事业，要设计高速、安全、“绿色”船舶，研制新型水上、水陆两栖运输工具(如地效翼船)，开辟、疏浚航道，建设深水泊位的集装箱码头，也有许多与船舶工程，海岸与港湾工程有关的流动问题。

生物 生物学对人类的健康，农、林、牧业的革命有密切关系，在 21 世纪，无疑是头等重要的。细胞力学旨在了解细胞分裂、粘附、吞噬、运动的机理以及应力与生长的关系，这对理解生理病理现象，攻克癌症，心血管疾病等都有重要意义。为了研制生物代用品，如人造胰脏、皮肤、血管、血液等来恢复、维持、改善人体组织的功能，形成了组织工程。生物学家的研究成果要转化为产品或进行生物加工，要依靠生物反应器，要利用力学原理实现分离、纯化与高效生民，以保证正常新陈代谢，保障细胞不受损伤。所以，流体力学可在生物技术和生物工程中的作用，在细胞层次上进行研究与同工程紧密结合是未来生物流体力学的发展趋向。

综上所述流体力学作为一门基础性质的学科，它的发展不仅会从各个方面影响我们的日常生活往大的方面说更会影响尖端科技领域的进步和发展。

参考文献

- 1 李家春，环境流体力学—它的意义内容和方法. 力学与实践，(1991)
- 2 钱令希等. 中国大百科全书力学卷. 大百科全书出版社，北京((1985)
- 3 钱令希等. 中国科学技术专家传略. 中国科学技术出版社，北京(1993)
- 4 吴望一. 细胞力学和细胞工程. 021 世纪的中国力学”，北京(1994)

- 5 周光炯等. 流体力学. 北京大学出版社. 北京(1992)
- 6 朱克勤等. 电流变液和电流变效应. 力学进展, (1994)
- 7 D. Anderson et al. Computational Mechanics and Heat Transfer. New York, Hemisphere. (1984)
- 8 S. G. Rubin, J. C. Tannehill. Parabolized/Reduced Navier-Stokes Computational Techniques. Ann.Rev. Fluid Mech, (2012)
- 9 Mikusinski J. Operational Calculus. New York:Press, (2009)
- 10 R.en L, Zhu K}. On the electrorheological effects at highshear rate. Tainghua Science and Technology, (2006)
- 11 朱克勤, 彭杰. Stokes 第一问题的分数阶导数解. 力学与实践, (2002) (Zhu Keqin, Peng Jie. Fractional differentiation solution of Stokes' first problem. (2002))the

The progress and prospects of modern fluid mechanics

Chang kai
(0214132)

Abstract: The article introduces the research progress of fluid mechanics. Emphatically introduces the progress of viscous fluid mechanics.

Keywords: Fluid mechanics, Mechanics of viscous fluids, Boundary-layer theory