

利用激光的方向性、单色性,可提供各种基准。如长度、频率、时间都可能用激光统一标准,又如大型装置的安装、准直,水坝应力测量,机场夜间导航,远距离引爆,大型隧道的自动导航钻进,都要利用激光准直定位装置。

激光分子束外延技术已应用到新材料、人工材料的合成中发挥作用,其他如激光光谱术,非线性光学将取得很大发展;激光化学动力学,全息术,海洋探测,航天技术等高科技领域都将获得广泛应用。

高效率的半导体二极管激光器有可能应用于下世纪的普通市场的照明光源。此外光显示技术、光印刷技术,激光都能发挥作用。

激光由其固有特性决定将有高度渗透性,将决定各行各业广泛使用激光,将更好地为国民经济、四化建设服务。

21 世纪初的力学发展趋势

郑哲敏

(中国科学院力学研究所)

周 恒

(天津大学)

张涵信

(中国空气动力研究与发展中心)

黄克智

(清华大学)

白以龙

(中国科学院力学研究所)

力学是力与运动的科学,它研究的对象主要是物质的宏观机械运动,它既是基础科学,又是众多应用科学,特别是工程技术的基础。它过去建立在牛顿定律和经典热力学的基础上,现在则扩大到量子力学描述的微观层次。

力学和天文学、微积分学几乎同时诞生,曾在经典物理的发展中起关键作用。20 世纪力学在推动地球科学,如大气物理、海洋科学等的定量化方面,作出了重大贡献。近年来还在材料科学、生物学、医学等科学分支中起着越来越重要的作用。

由研究弦、杆、板振动而形成的数学物理方法中的谱理论,很自然地被移用到量子力学。由力学现象中首先发现的分叉(可追溯到 200 多年前 Euler 对压杆稳定性的研究)、孤立波(约 100 年前)、混沌(30 年前)等现象以及相应的理论方法,是被称为 20 世纪自然科学最重要发展之一的非线性科学的核心部分。由于力学本质上是研究物体宏观运动的,而宏观运动是人类唯一可以直接感知,因而更易理解的运动,所以由力学中首先发现的带有规律性的现象,后来被发现具有超出宏观运动意义的这种人类认识自然的无穷尽的过程,今后仍将继续不断。

力学又是为数极多的工程技术的基础学科。在 20 世纪,出于工程技术发展的需要(顺便提一句,工程可以说无一例外地是宏观的),应用力学有空前的发展。在力学理论的指导或支持下取得的工程技术成就不胜枚举。最突出的有:以人类登月、建立空间站、航天飞机等为代表的航天技术;以速度超过 5 倍声速的军用飞机,起飞重量超过 300 吨、尺寸达大半个足球场的民航机为代表的航空技术;以单机功率达吉瓦的汽轮机组为代表的机械工业,可以在大风浪下安全作业的单台价值超过 10 亿美元的海上采油平台;以排水量达 5×10^5 吨的超大型运输船和航速可达 30 多节、深潜达几百米的潜艇为代表的船舶工业;可以安全运行的原子能反应堆;在地震多发区建造高层建筑;正在陆上运输中起着越来越重要作用的高速列车,等等,甚至如两弹引爆的核心技术,也都是典型的力学问题。

力学在解决众多的新的工程技术问题及向其他学科渗透中,大大丰富了力学学科本身。在传统的理论力学、材料力学、流体力学等学科外形成了空气动力学、水动力学、渗流力学、物理化学流体力学、弹塑性力学、断裂与损伤力学、岩土力学、振动学、生物力学、结构力学、爆炸力学、等离子体动力学、物理力学、细观固体力学等分支。在有些方面,解决了过去不能解决的问题,如高速空气动力学之对于航空、航天技术。有些方面,则大大改变了传统的概念,如断裂、损伤力学的成果深刻地改变了强度设计的观点。又如,由于结构动力学的发展及对地震波的研究,打破了过去在地震多发区不能盖高层建筑的禁区。

由于解决科学和工程技术问题需要计算,力学工作者在电子计算机出现之前就已经提出了不少有效的数学工具和计算方法。由边界层研究发展起来的奇异摄动法已经形成普遍使用的数学手段。有些方法,如 Galerkin 法,松弛法等,至今仍是计算数学的基本方法之一。在高速电子计算机出现后,力学的计算更是如虎添翼,新的计算方法迅速出现,如从结构力学中发展起来的有限元法,现在已是各种科学问题(远不限于力学)的基本算法之一。由于流体力学计算的需要,极大地推动了有限差分法的发展。现在,计算力学已是整个计算科学中最重要的支柱之一。

从以上对力学发展过程的回顾可以清楚地看到,力学是随着人类认识自然现象和解决工程技术问题的需要而发展起来的。力学又的确对认识自然和解决工程技术问题起着极为重要、在很多时候是关键的作用。环绕我们的自然界,如今还有众多的关系到人类生存和生活质量的宏观现象,远没有被认识清。如全球的气候问题、环境问题、海洋问题、自然灾害(如台风等)问题等,将会继续不断提出新的力学问题。更不用说,21 世纪将出现的更新、更大、更复杂的工程技术问题有赖于力学的新发展去解决。只要承认人类永远生活在宏观环境中,就不难理解力学的发展对人类生存和社会进步是永远不可少的。

目前在科学的研究上,正在采用对同一问题在不同尺度上进行研究的方法,力学也不例外,例如为了更好地理解材料的力学性能,既需要在宏观层次上,又需要在细观、甚至微观层次上进行研究,但是如何将不同层次的现象联系起来,无论对哪一学科都还是难题。证诸科学发展的历史,有理由相信首先突破这一难点的有极大可能是力学,其方法论的意义因而也将是巨大的。

以下就力学几大方面的现状和发展趋势做一简述。

一、固体力学

固体力学是研究固态物质和结构(构件)受力而发生的变形、流动和破坏的一门学科。固态物质和结构的多样性,使其受力后的响应丰富多彩。如弹性、塑性、蠕变、断裂、疲劳等。而众多自然现象(如地震)和关键工程问题(如飞机强度),则是固体力学研究对象的实例。

固体力学在过去的年代,创立了一系列重要概念和方法,如连续介质、应力、应变、分叉、断裂韧性、有限元法等,这些辉煌成就不但造就了近代土木建筑工业,机械制造工业和航空航天工业,而且为广泛的自然科学如偏微分方程、非线性科学、固体地球物理学等提供了范例或基本理论基础。

尽管固体力学中的弹性力学是一门量化程度很高的精确学科,但是现代固体力学由于其涉及对象的复杂性,提出了一系列处于科学前沿的挑战性问题。例如:

工程材料实际强度和目前的理论强度相差一至二个数量级。这个矛盾曾推动位错、裂纹等的重要物理、力学理论的建立。然而,至今这个根本矛盾依然存在。固体力学如今不仅限于计算微小应变和应力,而且要求判断变形局部化、损伤、寿命乃至断裂。更进一步的问题是如何将不同性能和功能的材料合理地配置在一起,形成某种特定的复合材料,以实现实用所要求的某种考虑如比重、刚度、强度、韧性、功能乃至价格等多种因素的优化组合,并促成材料设计科学。再进一步是将各种特定的制备和加工技术,如塑性成形、粒子束加工等工艺,也达到机理性的认识和优化控制。到那时,整个材料和制造业,将从所谓的“厨房中的化学”变为节省资源、节省能源、优化合理的产业。

现在的各类复杂结构,包括桥梁、飞机,到人工器官的设计,还是不够科学的、优化的。带来的问题是火箭、飞机屡有失事;多数结构依靠过大的安全系数(如飞机为 1.5)来换取安全,不必要地耗费了许多材料。即使如此,桥梁等建筑物的坍塌仍时有发生。如何优化设计各类复杂结构(如高速运输工具),使其在各类载荷环境(冲击、循环载荷、潮湿、低温等)下可靠、舒适地运行,既是十分实际的工程问题,也属复杂系统响应这类前沿科学的问题。地震是怎样发生的,泥石流和滑坡能否预测预报,作为大型土木工程(水坝、建筑物)基础的岩石和土在长时受载下的流变等一系列地质力学和岩土力学问题,仅靠目前的连续介质力学也是难以解决的,必须针对地学特点构筑新的力学模型,以作为地球动力学和工程地质学的基础。

所以,展望下世纪初固体力学的发展,可以呈现如下趋势:

经典的连续介质力学将可能会被突破。新的力学模型和体系,将会概括某些对宏观力学行为起敏感作用的细观和微观因素,以及这些因素的演化,从而使复合材料(包括陶瓷、聚合物和金属)的强化、韧化和功

能化立足于科学的认识之上。

固体力学将融汇力—热—电—磁等效应。机械力与热、电、磁等效应的相互转化和控制,目前大都还限于测量和控制元件上,但这些效应的结合孕育着极有前途的新机会。近来出现的数百层叠合膜“摩天大厦”式的微电子元器件,已迫切要求对这类力—热—电耦合效应做深入的研究。以“Mechronics”为代表的微机械、微工艺、微控制等方面的发展,将会极大地推动对力—热—电—磁耦合效应的研究。

固体力学中压杆变形的分叉,曾是促进非线性动力学近代大发展的一个核心概念。随着固体力学把固体和结构视为含多个物质层次的复杂系统,并研究它在外载荷下的演化过程,可以预期非线性动力学、非平衡统计和热力学的概念和方法将会大大丰富起来。

分子动力学等微观模拟方法和复杂结构的仿真将会随着计算机的飞速发展,更大规模地、更迅速地在固体力学和工程设计中得到应用与发展。目前工程界广泛应用的有限元法,就是计算机技术与固体力学相结合的产物,它曾极大地推动了本世纪工程科学的发展。过去,限于计算机的速度和容量,许多非线性问题不能很好地解决。分子动力学模拟目前离实用还有很大距离。但下世纪初,这种局面势必会有很大变化。

固体力学的上述发展,无疑会推动科学和工程技术的巨大进步。

二、流体力学

现代意义下的流体力学形成于本世纪初,它是通过 Prandtl 的边界层理论完成的。但在此以前的不少理想流体研究的成果,至今仍有意义,如水波的基本理论。Prandtl 的边界层理论还导致了应用数学中有名的渐近匹配法的形成,并迅速在其他学科中找到了广阔的应用领域。上个世纪在运河河道中发现的孤立波在 60 年代得到了彻底的解决,既推动了力学和数学的发展,也迅速导致在其他学科如光学、声学中发现类似的现象。现在孤立波(光学中称孤立子)已成了光通信的基石。本世纪 60 年代,为探索为何基于流体力学方程的数值天气预报只能准确到很少几天,通过简化这组方程之后,得到了现在已十分著名的 Lorenz 方程。数值计算表明,它的解对初值十分敏感,以致一定时间之后,其值变得几乎完全不可预测的了。这一发现开辟了混沌研究新领域,奠定了非线性科学的基础。这一事实还说明,流体力学方程(NS 方程)的内涵十分深邃,对它的了解还远不充分。水波中各种波的非线性作用的研究,也丰富了非线性科学的内容。凡此种种,显示出了本世纪流体力学在科学发展中的作用。

流体力学在工程技术中的作用,更是有目共睹的。飞机的飞行速度得以超过声速,是空气动力学发展的结果。人类登月的成功,大型火箭和航天飞机的实现,需要解决成千上万个前所未有的难题,而力学问题往往首当其冲。为此形成了高超声速气动力学、物理化学流体力学、稀薄气体力学等一系列新的分支学科,并极大地推动了计算科学的发展。为解决喷气机的噪声问题,提出了流体噪声理论,它完全不同于经典的声学理论。各种高速、高机动性和高敏捷性的军用飞机和安全、舒适的大型民航机的研制成功,同样需要流体力学提供的新思想和新成果。70 年代兴起的海上采油工业,若没有流体力学的研究成果为依据,设计、建造单台价值超过 10 亿美元的海上采油平台是不可能的。巨型船舶、高性能潜艇及各种新型船舶的研制中,流体力学问题仍是首先要加以解决的。其他如地下油气开采也得益于流体力学的指导。大型水利枢纽的设计和建造,离开了水力学是不可能的。各种大型建筑物,如火电站的冷却塔和大跨度桥梁等遭风载破坏的教训,引起了力学和工程界的密切关注,形成了风工程这门新的学科。大型汽轮机、燃气轮机及涡喷发动机等现代动力机械的研制,提出了许多新的流体力学问题,形成了独特的翼栅及内流理论,其中还伴有高温、化学反应、多相等复杂因素,总而言之,没有流体力学的发展,本世纪的许多工程技术,特别是高新技术的发展是不可能的。

流体力学在取得巨大进展的同时,也留下了一些仍待解决的问题。不尽快地将它们解决,必然给科学及工程技术的进一步发展带来困难。同时,技术的发展是无止境的。仅就交通运输为例,无论是空中、水上水下,还是陆地上的交通工具都在朝着更大、更快、更安全、更舒适的方向发展,新问题将层出不穷。

第一个大问题是湍流。经过几代人的努力,对这一问题的认识已大为深化,这才有上述各项成就。绝大多数情况下,流体运动都处于湍流状态。目前计算这类问题的办法都带有经验的成分,因此计算结果不十分有把握,各种办法的普适性和预测能力均差,特别是对于超声速、高超声速流中的湍流,情况尤其如

此。随着高新技术的发展,发现过去的经验局限性太大,因而亟待在湍流的研究上有所突破。

各种物体如飞机、船舶等航行器在流体中运动特别是在作非定常运动时,会产生十分复杂的流场。其核心问题是各种涡系的生成、消长和流动分离的产生。有关机理的许多问题尚未弄清,因为其中包含复杂的非线性因素。这方面的研究成果将对未来空中及水中航行器的研制产生重大影响。

下世纪初,空天飞机和新一代的超声速民航机的成功研制将首先取决于流体力学的进展。在有关的高温空气动力学中必须放弃原先的热力学平衡的假定。吸气式发动机中氢、氧在超声速流动状态下的混合、点火等,都是过去的理论和实践未能解决的难题。超声速流边界层的控制、减阻以及降噪控制等也带来一系列新问题。

船舶除了向更大、更快的方向发展外,还提出了许多新型船舶,包括贴近水面航行、必要时可升空飞行或降在水面上的大型冲翼艇。这时计算各种航态和海况下的波载荷,将遇到极大的困难。由于波载计算不准而导致在恶劣海况下失事,即使对现代的常规船舶也仍是屡见不鲜的。80年代末至今已有10余艘船在北海失事。从流体力学的角度看,冲翼艇的困难主要在于有事先未定的自由表面,表面边界条件的非线性,波浪的随机性,水表层为湍流,以及流体与船舶运动相耦合等。

风浪相互作用机制,至今尚未弄清,而它是天气预报这类全球性重要环节,也是近年来正在探索的通过遥测水面波参数以测量近水面风速这一新技术的基础,这个问题的突破将大大改进收集全球气象数据的广度和精度。

海面波浪参数的遥测数据还有可能用以探测潜航的潜艇及海流,但这要开辟传统波浪理论未涉及的有旋流对波浪的影响这一新的领域。

为了尽可能多地开采地下油气,需要深入研究渗流机理并将其定量化。渗流的研究还有助于了解植物体内液体的运动规律,进而了解各种新陈代谢的宏观机制。

化工流程的设计,在相当大的程度上可归结为流体运动的计算问题,包括多相流及非牛顿流。由于流动的复杂性,不少重要化工装置的设计带有很多经验因素,以致不能发挥最大效益。因而针对若干典型化工装置进行深入研究,将为化工设计提供新方法,实现可观的经济效益。在未来生物技术产业化的过程中,会遇到类似或更复杂的情况,因而这方面的研究是真正形成生物技术工业不可缺少的基础。

由于复杂流场计算的需要,各种计算方法和理论还需大大发展,以期能精确捕捉激波和分辨旋涡运动、能够处理非线性自由表面及湍流问题等。由于计算量特别巨大,必须发展新的计算机硬件和软件,特别是并行机及其软件,并行计算软件的发展,也必须结合具体计算对象来研制。因而计算流体力学的发展,既是解决具体问题所需,也将对计算科学作出重要贡献。

三、一般力学

一般力学的对象主要是有限自由度系统的运动及其控制,有时它包含一个或多个无限自由度子系统。它包括运动稳定性理论、振动理论、动力系统理论、多体系统力学、机械动力学等,其中运动稳定性理论源于对天体的形状及轨道稳定性问题的研究。Lyapunov的工作是经典之作,本世纪中叶出现的自动控制理论深得其益,其思想及方法至今仍在许多学科中被引用。振动理论及机械动力学为机械工业(广义的)的发展解决了众多的问题。动力系统理论则已成为目前方兴未艾的非线性科学的重要组成部分。为分析运动稳定性及动力系统行为而形成的摄动法、分叉理论、非线性振动分析方法等不仅影响到力学其他分支,也影响到很多其他学科。在机械动力学中,系统地研究了转子系统的动力学,使得目前极为广泛使用的各种旋转机械的设计制造成为可能。振动理论为消除各种机械的有害振动和噪声提供了理论指导,否则诸如消除潜艇的噪声和设计制造出噪声很低乘坐舒适的现代轿车是不可能的。另一方面,各种利用有利振动的工程机械也被广泛使用。

但是,随着技术的发展,新问题仍层出不穷。随着各种机器人的日益广泛采用,不仅需要研究组成机器人的多体系统的运动和控制,而且还要考虑某些部件的弹性,否则不能保证其定位精度。人造卫星往往带有尺寸很大的柔性部件和液体。为保证其稳定性,传统的运动稳定性理论已不能解决问题,需要有能分析这类既有刚体,又有可大变形的柔体及液体的系统的理论和方法。高速列车的速度越来越快,车辆(包括单车和

列车)运行时的平稳性是必须保证的。现有的理论在这里再一次显得不够,因为有必要把车辆和轨道作为一个系统来考虑。要考虑轮轨接触的弹性变形及轮轨之间单边接触这类强非线性问题。近年来我国多次发生大型汽轮发电机组的事故,说明在越来越大和越来越复杂的机械系统中,仍有不少重要力学问题没有被认识。大并不是小的简单放大,复杂也不是若干部分的简单相加。在有些复杂系统中,采取先分析单个零部件而后综合分析的办法往往并不很有效。这时有可能要对复杂系统进行直接建模,但遇到非线性系统,由于其行为的复杂性,例如分叉、混沌等的出现,给系统建模和求解带来了许多新的困难问题,其中包括理论的、实验的及计算方面的。各种参数对系统行为的影响尤其复杂。不解决这类问题,未来的大型空间站的设计、建造及运行将不可能实现,因为大型空间站正是由很多部件,包括刚性的、弹性的、柔性的(大变形体)、液体的,以及在其中工作、生活的人所组成的大型复杂系统。在现代及未来大气中飞行器运动的分析及控制问题中,建模时已着手同时考虑飞行体及气动力的耦合。例如,在现代大型民航机上已经采用了电子自动控制,使原本不稳定的机翼不仅能保持稳定,而且减轻了重量,增加了飞行舒适性。

一般力学近来已开始进入生物体运动问题的研究,研究了人和动物行走、奔跑及跳跃中的力学问题。这种在宏观范围内对生物体进行的研究,已经带来了一些新的结果。亿万年生物进化的结果,的确把优化的运动机能赋与了生存下来的物种。对其进一步研究,可以提供生物进化方向的理性认识,也可为人类进一步提高某些机构或机械的性能提供方向性的指导。

非线性科学是目前正在日益显示其重要性的学科。宏观的机械运动中不仅同样包含着各种非线性现象,而且再一次提供了最直观、最易于感知的实例。由于力学为非线性现象提出了很多典型例子,因此,众多的力学工作者参与研究,必将推动非线性科学的发展。

四、力学与其他学科的交叉

力学中的交叉学科由三部分组成,第一部分由力学学科内部不同分支学科所组成,第二部分由力学与其他学科交叉组成。前者如流体弹性力学,后者如物理力学,物理、化学流体力学等。第三部分则兼有前两者的特点,如爆炸力学、物理化学渗流、材料力学性质、生物力学等。交叉(分支)学科,并非两个学科或分支学科的简单加合,它基于其源学科但又有区别,因为其研究对象自身包含两学科的复杂组合。交叉学科有利于发展新学科并促使源学科的发展。

20世纪力学与其他学科交叉对推动科学和工业的发展起了巨大的作用。突出的例子有力学与各项工程学科交叉产生的工程力学,与地学相结合的地球流体力学,与天文相结合的星系的螺旋结构理论。20世纪中叶以来与生命科学和医学相结合的生物力学建立了起来。同一时期被提出的物理力学也被广泛接受。力学家突破传统声学,建立了流体动力声学理论,没有它就无法理解和克服诸如喷气噪声等问题。这种交叉不仅不会结束,而且其广度和深度还一定会不断增加。

展望21世纪,力学与其他学科的交叉必将进一步扩大与加强。这里只强调提出其他几个我们认为将在21世纪有重要发展或重大影响的交叉领域,它们是,力学与生命科学的交叉,力学与地学的交叉,以及物理力学。

力学与地学的结合。正如与天文学一样,从力学角度讨论地球形状与稳定性的问题有很长的历史。后来,弹性波的理论又与地震波的研究有密切的关系。本世纪随着力学与地学各自的发展,两者的结合发展到了新的水平,并出现了进一步结合的迫切需要,为21世纪这两个学科的交叉提供了新的机会。

本世纪,气象预报从经验的发展到数字的,其精确性有很大的提高。这些成就是建立在将流体力学应用于大气运动的深入研究的基础上的,是两个学科中的科学工作者分别与其共同努力的结果。将流体力学应用于海洋,也产生了类似的效果。因而本世纪中叶以来出现了至今仍十分活跃的地球流体力学(GFD)这个新的分支学科。

本世纪,出于工程建设的需要,力学界形成了土力学、岩体力学、渗流力学(水、石油),抗震工程力学等新的学科分支,使人们对工程尺度内的地质现象(如地基的稳定性、边坡的稳定性、泥石流、雪崩等)有了一些基本的研究手段。地学方面,在工程地质、地震学、大地测量、地层构造方面也都有突出的进展。特别引人注意的是板块运动的学说以及它的一系列推论。双方面的这些进展,孕育着使地学走向精确化、量化的巨

大机遇,而力学与地学相结合将使人们迅速抓住这个机遇。为此我们认为下世纪在以下几个领域可能取得重要进展:

(1) 地球动力学 中心问题有:板块运动的驱动力来源;地幔对流的流体力学理论;地震机制。

(2) 大气与下垫面(有植被、无植被、地面、海洋、冰雪等)的相互作用及传热、传质过程 可以统称为大气的边界层理论。

(3) 环境与灾害力学 包括污染物在水体、土体、岩体中的扩散与富集,各种气象灾害(如台风、风暴潮),地质灾害(如滑坡、塌方、地面沉降、泥石流、沙漠入侵、瓦斯突出),地震发生的机制、监测、预报的研究,地震对各类建筑物的破坏与抗震研究,以及其他自然和工业灾害(如各种火灾)等。

(4) 渗流力学问题 特别是裂隙介质中的多相渗流规律的研究。有必要深入到细观和微观层次,考虑表面化学因素。这样做有可能提出新的二次和三次采油新技术。

力学与生命科学的交叉。人们关心生命,特别是人体生命活动的规律是很自然的事。从力学角度研究生命现象因而也有很早的历史,一直可以追溯到伽里略、牛顿和哈维。本世纪 30 年代 A. Hill 更曾因骨骼肌收缩原理的研究获诺贝尔奖。但作为一个独立的分支学科的生物力学,却兴起于本世纪 60 年代中期。与之相适应,近来生物医学工程得到迅速的建立与发展。生物力学的原理还被用于设计生物反应器,以规模生产有生物活性的物质。

60 年代中期至 70 年代是生物力学开创和奠基阶段,其特点是将力学方法和生理学、解剖学等方法相结合,研究组织和器官层次上的生命现象。80 年代至 90 年代初,生物力学进入细胞范围也从医学、生物医学工程,扩展到生化工程,生物技术,细胞生物学等新的领域。近 5 年来,生物力学界提出组织工程(Tissue Engineering),受到多方面的重视,被认为有很好的发展前景。

生物力学本世纪主要涉及以下几个方面:①生物流变学(包括软组织的力学性质、血液流变学、肌肉力学等);②生理流动的力学规律(包括脏器血循环规律、动脉粥样硬化与流动状态的关系、呼吸系统动力学、微循环力学等);③器官力学(心脏、肺、关节与关节液和软骨等);④细胞力学;⑤人体和其他生物的运动学。主要的成果有:为软组织的本构关系建立了基本的模型,并提出了活组织零应力状态的重要概念;建立以肺为典型的器官动力学和肺循环力学模型;发现了血液流动状态与血管壁细胞形态间的密切关系;发现了应力与生长间的密切关系。

下个世纪,总的看来生物力学将沿着已经开始的道路前进,一方面它和生物学各分支结合,另一方面又与医学与生物生化制品相结合。21 世纪生物医学工程可望有重大的发展,其中组织工程将是它的一个前沿,生物力学正是这个前沿的基础。计及应力—生长关系的活组织的本构关系、应力—细胞生长规律、动脉粥样硬化的流体力学机理、以微循环为核心的器官血液循环规律等有望成为研究的热点。生物力学还将为生物反应器和分离器的设计提供科学依据,并相应地为其提供新方法和新技术。植物的生物力学研究也将作为改善生态环境和提高农作物产量努力的一部分列入 21 世纪日程。

力学与物理学的进一步交叉。力学家的任务是认识宏观世界的物质运动规律。随着研究对象所处的条件日益走向极端,如高温、高压、高应变率、高应力状态,力学家日益认识到需要从原是物理学家研究的微观世界运动规律中吸取知识。于是在本世纪 50 年代力学家提出了物理力学,目的是想通过物质微观分析,把有关物质宏观力学性质的实验数据加以整理和总结,找出其中的规律,且进而利用这些规律去预见新的材料性质。这个分支学科一经提出便得到多方面的响应。应当说,在本世纪中这样的目的是部分地达到了。例如,高温气体的研究确实促进了航天工程方面气体动力学问题的解决。在气体激光器和核爆炸研究中,物理力学也起了相当核心的作用。另一方面,在应用物理力学方法解释固体的塑性、强度、损伤和断裂方面,却遇到了极大的困难。将物质的微观理论渗入到固体材料的变形与强度理论,并使两者相结合而得到发展的进程一直很缓慢。从位错理论出现到现在已有 60 年的历史了,但它仍未能真正定量化地进入到力学中来。这显然是由于问题特有的复杂性和综合性造成的,使宏观与微观间的鸿沟难以逾越。

但是,情况在发生重要的变化,现在人们已经认识到,对于多晶材料而言,至少存在着宏观、细观和微观三个主要层次。它们之间并不存在着从微观可以推导出宏观性质的顺序关系,或者说宏观并不是微观的简单演绎。从分子运动论发展到以 Navier—Stokes 方程为基础的流体力学的发展史已经说明了这个问题。近代非线性科学的理论对此做了深刻的揭示。另外,本世纪以来,在固体力学领域内,本构理论的几何框架

已臻成熟, 细观力学也得到了广泛的重视。同时, 随着非平衡/不可逆热力学的兴起, 力学家注意到了在变形与强度问题上热力学的重要性, 并对此做出了贡献。变形与损伤的统计理论也已提到了日程上。这些进展汇集起来表明, 在下个世纪某个时候, 比较满意地建立宏、细、微观层次之间的关系, 深刻揭示多晶材料的塑性与强度行为, 为应用提供足够精确的定量理论与结果, 这应当是物理力学研究的重要领域。为此, 以下几个方面的问题应当给予充分重视: ①固体的非平衡/不可逆热力学理论; ②塑性与强度的统计理论; ③原子乃至电子层次上子系统(原子键, 位错, 空位等缺陷)的动力学理论。为深入进行这些研究, 应当充分利用与开发计算机模拟(如分子动力学)和现代宏、细、微观实验与观测技术。

郑哲敏 中国科学院院士, 中国工程院院士, 美国工程科学院外籍院士, 中国科学院力学研究所研究员。曾任中国科学院力学研究所所长, 非线性连续介质力学开放研究实验室主任, 中国力学学会理事长, 中国力学学报主编等职。现任中国科学院学部主席团成员, 主席团执行委员会委员; 中国科学院技术科学部主任; 中国发明协会副会长; 中国工程爆破协会名誉理事长; 国际理论与应用力学联合会理事; 非线性连续介质力学开放研究实验室学术委员会主任等职。郑哲敏院士在创建和发展爆炸力学、在倡导材料力学性质研究、发展热塑剪切带理论等方面作出了创造性的工作。作为中国力学学科建设和发展的组织者和领导者之一, 为推动中国力学和技术科学的发展作出了突出贡献。

跨世纪的中国计算力学

钟万勰 程耿东

(大连理工大学工程力学研究所)

一、我国计算力学的形成和发展

随着计算机的发展, 计算机技术、计算数学和力学交叉而产生了一个新的学科分支, 这就是计算力学。计算力学致力于研究采用计算机技术求解工程和科学中的力学及与力学有关的耦合问题的理论、算法和软件。计算机技术提供的可能性和来自工业和其他科学部门的需求推动着计算力学的飞速发展, 而计算力学已经取得的成就, 使得在这世纪之交, 计算已经和实验及理论分析成为力学工作者解决工程和科学中的力学问题的三大支柱, 在推动力学学科自身发展中也起着越来越重要的作用。钱学森最近指出, “总起来一句话: 今日的力学要充分利用计算机和现代计算技术去回答一切宏观的实际科学技术问题, 计算方法非常重要; 另一个辅助手段是巧妙设计的实验”。对于力学工作者来说, 今天的计算力学已经成为他们通向工程的桥梁, 为国民经济建设和国防建设服务的不可缺少的手段, 也是力学学科和高新技术的结合点。

计算力学从 60 年代初开始登上国际力学界的舞台, 并马上得到了飞速的发展。50 年代中期 Martin, Tuner, Clough, Todd 等人提出了有限元方法的基本思想和方法, 这个方法特别适合于计算机上使用, 对求解各类力学问题表现出广泛的适用性。由于商品化计算机的出现, 特别是编程语言的出现, 这种方法立即受到广泛的注意。经过 Zienkiewicz 等的发展, 在工业应用需求的强大推动下, 有限元方法的发展十分迅速, 在不到 10 年的时间里构造了一大批单元, 吸引了一大批数学工作者参加进来, 和力学工作者一起逐步建立起有限元方法的数学理论, 建立了通用的求解方法和程序段。在传统的力学中, 结构力学和固体力学的各类问题, 如杆系、板、壳、块体, 其基本方程和求解方法都有明显的差别, 归属于不同的研究领域, 现在, 在计算力学这一新工具方法面前统一了起来, 力学界在历史上第一次向工业界提供了统一求解很多类型问题的方法和工具——有限元分析程序。这个方法的通用性使得它在土木、航空、机械工业中迅速得到了广泛的应用, 现在人们可以相当准确地预测出摩天大楼、跨海大桥、汽车、飞机和火箭的力学特性, 模拟很多高速碰撞、爆炸和复杂的流动现象。这个方法的通用性使得它可以把固体力学、流体力学和一般力学这几个不同的力学分支中的问题的求解统一在一个框架中, 组织在一个程序中, 从而使得复杂的流固耦合、刚柔体耦合等问题的求解