

# 关于力学研究的几点认识

王 仁

## 一、力学学科的性质

力学是研究物质机械运动规律的科学,就其学科性质而言,它既是一门基础科学,寻求对机械运动的规律性认识,又是一门技术科学(又称工程科学),紧密结合解决生产实践中提出的问题。拿湍流理论来说,它研究流体中发生不规则的随机脉动的机理及其结构和演化规律,这是一项基础研究。然而它有很广泛的应用,如:研究一些特殊的大气湍流现象的发生和发展,从而可以提高气象预报水平;它研究如何利用湍流的规律降低飞行器的阻力、提高燃烧效率,以及处理空气和水流中的污染问题等。作为技术科学,力学又有别于具体的工程技术。它灵活地运用其它基础学科的理论,研究存在于广泛工程技术中的共同性问题,偏重于探求规律性的认识,更多从探讨问题的本质、事物的机理入手。事实上,在许多领域中,人们在取得规律性认识以后,就可以反过来根据生产的要求利用它们进行优化的设计,从而很大地提高效益。也就是说,利用对规律性的认识进入改造世界的阶段。世界上一些产品领先的大公司都设有从事力学研究的实验室。

从力学学科的发展历史也可以看出力学学科的这个性质。一方面,它从一开始就和数学的发展紧密结合,它是在和数学与实验结合以后从经验总结的感性阶段进入到理性阶段的。牛顿运动定律和微积分,力学运动方程的求解和常微分方程,弹性力学、流体力学和偏微分方程等等都是相伴产生的。在 19 世纪以前,力学和数学是不可分家的,从 I. 牛顿、J. 拉格朗日、L. 欧拉、P. 拉普拉斯、A. 柯西到 G. 斯托克斯、H. 庞加莱等等都是同时在力学和数学方面做出杰出贡献的。20 世纪以来,随着计算机方面的发展,计算数学上的许多发展也是数学和力学紧密结合的。近代数学中的微分流形、辛几何、李群、微分拓扑、泛函分析、变分不等式、凸分析、突变理论、分叉、混沌等和力学相结合,将推动力学理论研究向新的高度前进。

另一方面,力学学科也是一直和军事需要、生产实践的发展相互推动的。特别是 20 世纪以来,飞行器的发展和航天事业的需要,对力学提出了许多新问题。力学解决了各种飞行器的空气动力学性能问题、推进器的叶栅动力学问题、飞行稳定性和操纵性问题以及结构和材料强度等问题,在航空和航天事业的发展过程中,使人们清楚地看到力学研究对工业的先导作用。反过来,它们推动了从亚音速到超音速的空气动力学、稀薄气体动力学、飞行力学、薄壁结构稳定性、断裂力学、复合材料力学以及计算力学、实验力学等分支学科的发展。近代力学的一些代表人物,如 L. 普朗特、T. Von 卡门、G. I. 泰勒、Л. И. 谢多夫、钱学森、W. 普拉格、冯元桢、郑哲敏等,都善于从错综复杂的自然现象、科学实验结果和工程技术实践中抓住事物的

注:本文多次引用《中国大百科全书》(力学卷)的有关条目。

本质,提炼成力学模型,采用合理的数学工具,从而掌握自然现象的规律,或者进而提出解决工程技术问题的方案,最后再和观察结果反复校核直到接近实际为止。这一套工作方法充分显示了近代力学和生产实践紧密结合的关系。近些年来,由于科学技术的迅速发展和国际市场竞争的日趋激烈,更广大的领域中又提出许多新的力学问题,运用上述工作方法又形成许多新的跨学科的分支。

以上说明力学学科既有基础科学特征又有应用性的技术科学特点,要创造新的产品、在国际市场上进行竞争,必须开展基础性的科学研究,才能处于竞争前列。

## 二、近代力学发展的特点

近代力学除在原有学科分支方面进一步深化以外,还在不断开拓新的领域,学科之间也出现相互渗透和综合的趋势,大致有以下一些特点。

1. 力学和其它基础学科结合产生许多新的交叉分支学科。物理力学是50年代末钱学森首先提出的,它从物质的微观结构及其运动规律出发,运用近代物理学、物理化学和量子化学等学科的成就,以向工程技术提供某些极端条件下所需的介质宏观特性为目标。生物力学是用力学原理研究生物体的力学问题,重点在研究人体的循环系统和呼吸系统,包括血液流动,肺部气体和血液的关系,血液、肌肉、骨骼等等力学性质。该研究有助于对人体生理、病理过程的了解,为人工脏器(如心脏瓣膜,假肢等)的设计和制造提供科学依据。更广一些还包括仿生学中的力学研究。物理-化学流体动力学把物理、化学与流体力学结合起来,研究有物理相变、有化学反应时的流动,这些规律对于化工、能源、环境保护等等都很有用。爆炸学研究各种爆炸源的能量突然释放过程及其引起的力学效应,包括空中爆炸产生的强冲击波、水下爆炸的高速空化、地下爆炸中固体应力波,牵涉到高温、高压、高应变率等极端条件下的介质特性和运动规律。爆炸载荷对结构物的破坏作用在军事上的应用是很明显的,在矿业、水工建筑、机件加工等方面也有重要的应用。力学和地学进行交叉的学科有岩土力学、地质力学、地球动力学等。前者偏重于地表岩土工程中的力学问题,例如隧洞、滑坡油井的压裂增产等,它们有时需要考虑到当地的地质条件;后者偏重于研究地球构造运动的力学规律,从现代地表所得信息推算构造运动发展的过程,以及研究地震发生的机制和它的前兆等,这对于矿产分布规律、地震预报的研究有应用价值,对于研究地球演化有理论意义。此外,还有新的交叉学科,如地球物理流体力学,磁流力学,等离子体动力学等。这些都说明力学向其它基础学科的渗透与结合。

2. 本学科内各分支之间也出现交叉和综合的趋势。由于工程技术上提出的问题愈来愈复杂,已不是单个分支学科所能解决,需要综合考虑。关于流体运动引起结构振动的问题,较早就提出过空气弹性力学。近年来由于海上钻井平台的兴起,薄壁冷却塔在风载下的破坏等,流体和固体相互作用的问题又引起很大的注意。人们需要研究流体绕过结构群体时的流场变化,以及在结构变形条件下各结构物所受的载荷分布。另外一些问题牵涉到固体和流体以及和气体一起运动的称为二相或多相流体力学。泥沙搬运、河口沉积、水气交换与沙漠化等问题,煤粉等颗粒体的管道运输问题,以及空化过程对固壁材料的剥蚀作用等都牵涉到固体和流体同时的运动,有时还有相变问题在内,人们要求对此得到规律性的认识。流变力学介于固体力学和流体力学之间,它固然已有很长的历史,但由于高分子有机材料的大量出现而又活跃起

来。特别是非牛顿流在化工产品制造和石油开采中有重要的应用；在岩土工程地球内部物质的流动等方面也常考虑这种同时具有固体和流体的特性。另外如复合材料力学，它利用固体的强度、刚度和有机材料的韧性、流变性能加以有意识的组合，形成一些具有特殊性能的材料，为研究它们的性能也形成一种综合的趋势。

从理论方面把力学的几个分支学科综合起来，探讨它们的共同基础，是50年代开始的理性力学所提出的任务，近年来也有很大的发展。它试图建立公理体系，统一处理介质的本构关系，综合讨论各种介质应共同遵守的通用原理和共有的现象和方法，如波动、稳定性、变分方法等。它对于如何正确建立复杂物性介质的基本方程和力学问题有重要的作用。

**3. 计算力学的迅速发展。**60年代发展起来的有限单元法已进入很完备的状态，出现了许多大型的综合程序，可以求解各种复杂加载方式下复杂形状的静态和动态的线性问题。近年来边界元方法也得到很大的推广，它可以减少计算量、提高精度。现在的重点是对结构的大变形问题和物理非线性问题开发更有效的计算方法，和更准确的数值解。人们在计算机屏幕上可以显示运动状态的变化，给它一个破裂准则，就可以在屏幕上显示破裂的发展。对于物理规律已较清楚的问题，人们可以采用不同的模型进行数值模拟实验。在用计算机对浅水波的kdv方程进行数值积分时，发现了孤立子现象，在对大气对流问题进行数值计算时发现混沌现象，它们都是近年来给力学发展以深刻影响的课题。鉴于计算方法的这些发展，人们说力学工作者应该更致力于做计算机所不能解决的问题，那就是更深入的探讨事物的物理本质，提出更符合实际的物理模型。

**4. 微观、细观与宏观相结合研究材料本身结构关系和破裂准则。**由于材料科学的发展和交叉学科所研究的对象种类繁多，出现材料品种多样化和性能多样化的情况。如岩土材料，高分子材料。性能方面，不但在橡胶和有机材料中，即使在金属中也出现超塑性材料，能够经受百分之几千的伸长度。而在极端条件（如温度高达几千度直至几百万度k，低到4度k；压力高达几万到几百万大气压；速率达到 $10^7$ /秒的高应变率或低到 $10^{-14}$ /秒的低应变率）和腐蚀介质、放射性辐照等条件下的材料性质，就不能单靠实验得知，而需要应用物理力学的方法，从微观、细观结构的观察和对其变形规律的分析入手，来推断材料的客观性质。对于固体材料来说，人们已不满足于知道物体内部开始发生断裂的准则，而要求知道它的发展规律直到物体的破坏为止。也就是要求探索材料内部结构的变化，如空穴形成、位错堆集、微破裂等内部损伤的积累和沟通，直到形成宏观断裂为止。另外，新型材料的设计配制，是在充分了解微观或细观的变形和破裂规律以后才能进行。因此，近年来人们对于微观力学给予了很高的重视。

**5. 实验力学的发展。**实验力学除测定材料的力学性能和测试运动规律以外，还常用于求解复杂情况下的问题。一般性实验由于有计算机进行实验控制，数据的采集和处理已很方便。另外，由于特殊材料有许多不同的要求，在极端条件下进行的实验有许多困难需要克服，导致了高速测量技术、激光技术、声学方法等的采用；微观观测的要求，破裂发展的追踪、颗粒运动的显示等都促进了实验力学的发展。另外，实验手段和实验方法也都处在不断发展之中。

近代力学的这些发展特点从近两届国际理论和应用力学大会所定主题可见一斑。1984年在丹麦哥本哈根召开的第16届大会所提主题为：（1）多组分介质的微观力学——重点在用

微观力学研究固体介质中的断裂、复合材料的变形机理、损伤的过程等；(2) 海洋结构与波的相互作用——从海浪的波谱分析、三维的波浪载荷问题到分析三维水弹性的动力响应问题等；(3) 动力系统中混沌行为的发展——列举许多混沌现象的例子，目前还缺乏一般规律性的认识。1988年在法国格兰诺布召开的第17届大会所定主题是：(1) 大变形和材料损伤的力学——是几何上的非线性，一是物理上的非线性，还包括从材料的变形到破坏；(2) 二相流的动力学；(3) 地壳的力学。如前所述，后两者都引起大家对交叉学科、开辟新领域的注意。

从这些选题也可以看出国际力学界既十分重视力学的基础理论(如混沌理论、大变形和损伤的课题)，也很重视当前生产中提出的迫切课题(如复合材料的力学，海洋平台的分析，二相流等)；在寻求规律性认识方面强调微观机理和宏观的结合。同时也表明力学向其它领域渗透的趋势。

### 三、理论与应用相结合，发展力学研究

从以上所述可以看出力学理论的进步是和生产的发展紧密相连的。对于技术科学来说就更为直接和明显。技术科学引用基础科学的成就为生产提供新的动力，研究如何改进生产工艺和提高生产力；反过来又对基础科学提出进一步研究的方向和课题。为解决生产中遇到的问题，它也进行有关的基础性研究。在这里理论和应用可以说是息息相关的。

近年来电子计算机能够这样迅速发展是基于过去基础理论的研究成果。40多年前在研究半导体和印刷线路时是很难想像有今天这样景境的。20多年前需要一幢大楼和完善的空调系统才能运行的电子管式计算机，今天一架台式计算机就能取而代之。它吸取各种科学技术的精华，每三四年就换一代。其中也包括解决许多力学问题，例如，在提高计算机速度时，要求快速的磁带(盘)记录。但在记录速度快的情况下，磨损成为一个很大的问题，需要它们保持一定的间隔。为保证信号的真实性和传递效率，间隔愈小愈好。经过近20年来的不断改进，已将间隔从20  $\mu\text{m}$  降低到0.3  $\mu\text{m}$ ，极大地提高了信号传递的功能。但磁带速度达到了2000  $\text{cm/s}$ ，如何保持这么小的间隔却成了十分重要的问题。这里有一个高速空气垫的问题，由于间隔小，已需要运用稀薄气体力学的分析。另外还有磁带(盘)由于气流而引起的颤动问题和温度场引起的变形问题。磁头和磁带交界面的设计乃成为一个复杂的优化问题，不但牵涉到气垫理论，还有摩擦学、材料学和磁学等等，是一个跨学科的问题。

再看一看材料强度理论的发展，航空航天事业的发展对材料提出很苛刻的要求，要求机体轻就要提高材料的强度，要求保持空气动力学的外型就要提高刚度。因此出现了蜂窝结构，耐高温的外壳材料等。前者又导致了复合材料的发展。高强度新材料的出现，一方面由于应用薄壁结构而导致弹塑性稳定性理论，推动塑性力学的进展；另一方面飞机一度连续地出事故，促进了断裂力学的兴起，并且现在正进一步要求微观宏观结合起来研究材料的损伤。

总之，力学理论的发展看来是和应用紧密联系的，理论和应用需结合起来，才能求得最好的发展。当然，两者的结合不等于说不搞基础理论研究。对自然界的奥秘进行探索，对力学理论体系加以完善，似乎与应用没有直接关系，但若是真正的科学研究，必将增进对真理的认识，最终会在改造自然中得到应用而推动生产的发展。但力学中的这部分工作实属少数。

从我国当前的情形看,力学理论有较好基础,某些方面还处在研究前沿;力学的应用也取得不少成绩,在国民经济的发展方面起了积极的作用。两者的脱节现象已有改善,当然两者的很好结合也并不是一下子就能做到的。现在的情况是,力学工作者还感到潜力没有充分发挥出来,理论到生产力之间还有距离,更说不上成为生产实际的前导。

造成理论与实际生产力脱节的原因不外乎两个方面的问题:

1. 我国的生产多数还处在引进和仿制的阶段,做得好一些的是部件国产化,大多数还没有达到修改和创新的阶段。一些名牌产品还处于供不应求的情况下,生产上就感觉不到很大的竞争压力。这样,生产实际部门还较少从长远观点提出一些具有根本性的研究课题。实际上,如何消化、修改、创新引进的产品和工艺也有许多理论问题需要研究。

2. 力学工作者缺少到实际中去深入了解应用问题的机会和锻炼。他们更习惯于脱离具体生产条件去探讨一般性规律,成为所谓学院式的研究。这也妨碍生产部门和研究工作者之间的结合。实际上,既然技术科学是基础理论和实际应用之间的桥梁,就要求我们在这两方面都作深入了解,然后通过两方面的共同努力来解决问题。

为促进理论和生产间的联系和结合,中国力学学会在1984年曾出版一本《力学与生产建设》,介绍我国力学工作者在这方面的努力。他们编辑的《力学与实践》期刊和中科院力学研究所编辑的《力学进展》,都经常有这方面的介绍,试图架设这样一座桥梁。

近年来国外也有类似力学向何处去的问题,美国机械工程师学会的应用力学组和美国国家基金会联合组织许多专家对此进行了讨论,并提出“固体力学的研究趋势和课题”,在应用力学评论期刊上发表。后来还在一期中组织了“工业中的力学问题”的专栏,较详细地介绍了磁带记录、汽车工程、石油和天然气工业和热塑料生产中一些待解决的力学问题。这些文献对我们有启发。

理论和应用相结合,将会给力学研究开辟广阔的天地。

### 参 考 文 献

- [1] 郭仲衡,略谈数学在力学理论研究中的作用,《力学与实践》,1987,9(1),16—19。
- [2] 朱照宣、朱兆祥,力学史,《中国大百科全书》(力学卷),305—311页,1985。
- [3] Rice, J. R. et al., Solid Mechanics Research trends and opportunitices. Applied Mechanics Reviews, vol 38, no. 10, 1247—1308, 1985.
- [4] Benson, R. C. et al., Applied Mechanics Problems in industries, Applied Mechanics Reviews. vol 39, no. 11, 1663—1703, 1986.

## SEVERAL POINTS FOR MECHANICS RESEARCH

(Wang Ren)