

高瞻远瞩加强力学基础研究*

郑哲敏

(中国科学院力学研究所)

提要 本文简要回顾了力学学科的性质与作用;近代力学的发展与现状;我国力学研究的概况;对发展力学学科提出了若干建议。

关键词 力学;中国力学;力学的发展

1. 力学的性质与作用

力学是一门基础科学。如同其他基础科学一样,它有自己的理论体系,并且在其他基础科学和工程技术方面有广泛的应用。

力学既是定量的精确科学,又是一门实验科学。计算机的迅速发展极大地扩展了力学的基础与应用。分析、实验、计算已成为近代力学缺一不可的环节。

力学是认识自然的一个极其重要的手段;甚至可以说,任何一个重要宏观自然现象的解释与定量预报,都离不开力学。

因此,星座中观察到的螺旋结构,太阳内部的对流,行星大气运动的规律;海洋中中尺度涡的结构与运动;板块运动的力学解释;大气与海水、陆地水分交换的模式;生物组织与体液的力学性质、变形和流动,器官、骨骼的功能与受力条件的关系,等等,都成为当前力学研究的重要对象,有些研究成果已经得到很有价值的應用。

由于力学是一门定量的精确的科学,所以它才成为大生产的基础之一,因为只有通过准确的预测,才能使经验性的工艺上升为工程科学。远的不必说,本世纪蓬勃发展起来的航空航天技术,核武器,核电站,如果没有空气动力学、结构力学、辐射流体力学、爆炸力学等方面的先导,那是不可能设想的。美国科学院关于90年代物理学的报告指出,过去10年由于高速空气动力学的研究,商用飞机、高性能飞机及载人再入飞行器的效能有明显提高,而且在未来10年中还会有更大的改善。单就飞机噪声一项而言,由于对射流、空气阻尼、湍流的深入了解,噪声水平被有效地降低了3个量级。同一报告还指出,在化学流体力学研究的推动下,许多化学工厂的生产效率过去10年获得了成倍的提高。

以上只是举了当前几个有代表性的例子。展望未来,力学为发展科学技术和经济建设、

* 参加撰写和讨论的有董济民、薛明伦、李家春、段祝平、白以龙同志。林同骥先生、李敏华先生提出过宝贵意见。

增进人民健康、提高生活质量,能做的实质贡献是十分众多的;有的会在短期内获得社会效益和/或经济效益,有的则需更长的时间。

譬如,要发展航天飞机或空天飞机,对高速空气动力学的需求是十分急迫的,特别是大型计算如流体力学、气动热、真实气体效应、边界层转捩、分离流、尾流与等离子鞘套、超声速燃烧等。又如,由于机械部件的坏损,仅在美国,每年损失达千亿美元。如果我们能够发展利用以弹性波为基础的无损探伤技术,进一步发展断裂与疲劳的理论,深入研究材料在多种条件下的宏观性质及其与细观和原子层次上材料内部结构的关系,并发展计算固体力学或结构力学,做到总体设计上(含材料)优选,则必然带来巨大的经济效益。

随着力学在认识自然、利用自然和改造自然方面的日益扩大与深入的研究,力学的理论体系也在不断发展之中。非线性问题研究上的新进展导致孤立子与浑沌这样一些新概念的产生,大大丰富了力学研究的内容,使力学工作者在一个新的高度上看待过去难以理解的现象。对湍流这个十分重要而又普遍但却只是粗浅了解,因而难以主动控制的现象,从这个新的观点来看,下10年可能会有较大意义的进展。今天固体力学的发展已迫使力学工作者从各个层次上研究工程材料的力学性质,使力学与材料科学进一步结合起来,吸收材料科学中的概念和方法来丰富力学。类似的例子还很多,这里不一一列举。

总之,力学也是一门在蓬勃发展中的学科,它的性质是基础与基础性的,而且在工程技术中有广泛的应用。研究与应用两者是相辅相成的。力学又是一门正在扩展中的学科,在与其他学科相交处,有许多有前途的边缘学科的生长点。

2. 国外力学现状

全面回顾国外力学的进展是件困难的事,而且需要很长的篇幅。这里只介绍笔者认为是重要的方面。

2.1 概况

由于力学是基础科学,又有广泛的应用,所以在学科结构中,对力学的安排各国不尽一样。共同点是大家一致认为它是基础与基础性的,因而不等同于工程或单纯应用。

在美国国家科学基金会(NSF),力学部分地归入物理,另一部分归入工程科学。大学里多数不设本科力学或应用力学专业,但工学院中都把我们力学专业的一些课程作为基础课。力学方面的研究生绝大多数在工学院深造。但最近美国科学院的一份报告中呼吁在物理系中增设力学课。美国物理学会定期召开湍流方面的学术会议。近期,许多物理学家从事孤立子、浑沌和格子自动机方面的研究,文章多见于Physical Rev.和Phys. Rev. Letters两个刊物。

在苏联综合性大学中,设有传统的数学力学系,强调力学的基础性。工科大学则设工程力学专业。苏联科学院在莫斯科设有力学问题研究所,各分院多设有力学研究机构。

在国际上,20年代成立的国际应用力学大会,现已改为国际理论与应用力学联合会(IUTAM),隶属于国际科联。名称的改变,反映了力学在本世纪里的演化。如果说20世纪的前50年中,力学工作者集中在航空、航天方面的理论与实验研究的话,那么后来他们就向更广阔的应用与基础科学领域发展,更为重视力学研究的基础部分。这也可以说是反映了世界力学工作者经过50年主要从事应用研究后的新认识。

从出版的杂志看,除了过去的以应用力学、应用数学与力学等命名的外,出现了流体物

理, 固体力学与固体物理, 地球物理流体力学, 生物流体力学, 生物流变学等。这也都反映了类似的倾向。

2.2 力学的重要进展

2.2.1 计算机的不断完善, 对力学研究带来革命性的变化。这不仅是因为它为力学提供了计算工具, 从而能够把大量过去在理论上已成熟, 但实际无法计算的问题加以解决, 从而产生了巨大的经济效益; 而且是因为它为理论模型的创建提供了一个效率较高的数值模拟或数值实验的手段。也为实验研究提供了一个多点、在线、实时数据采集与处理系统, 使人们更深入地了解与认识力学变化的真实过程。

现在三维欧拉方程的可压缩流体动力学计算, 复杂的空间线性结构的静、动力学计算已经完全解决。二维雷诺方程的可压缩流体动力学计算也已解决。在具有超级计算机条件下, 人们正在研究解 Navier-Stokes 方程的问题。

2.2.2 实验技术有长足的进展。

计算机对实验的作用已如前述。

另一个对力学实验产生重大影响的是激光技术。无论激光全息或各种形式的激光干涉都为力学实验提供了前所不及的测量手段。

超声探伤、声发射及声成像技术为监测固体材料内部或表面缺陷在外力作用下的演化提出了新的可能性。声学显微镜已用于测量表面裂纹。

对流体力学而言, 重要的是克服测量三维流场, 特别是湍流结构时遇到的困难。对固体力学和材料力学性质的研究而言, 也需要解决三维弹性波的反演问题。另外还需要提高分辨率, 这对于了解裂纹尖端的应力、应变状态是至关重要的。平面应变状态下 I 型裂缝扩展的监测(宏观)已经初步得到解决。

2.2.3 当前固体力学问题的焦点——材料力学性质的研究。1985 年美国机械工程师协会(ASME)曾组织美国固体力学界权威人士, 撰写了题为“固体力学研究的趋向和良机”的报告, 共由15篇文章组成。这15篇文章分别讲述了15个次级学科的现状和未来。例如, 断裂力学方面的作者指出, 线弹性断裂力学虽然在机械设计的方法和概念方面起过重大作用, 但只限于脆性材料。COD 或 J 积分方法也只适用于塑性区远比过程区要小的情况, 对大多数韧性较好的材料来说, 仍然不能适用。因此需要研究大变形、非线性条件下的本构关系, 研究细观乃至原子层次上各种因素对塑性流动、强度和断裂的影响。其他14篇也都把这一点作为十分重要的问题提出来。因此, 可以认为, 材料力学性质的研究包括本构关系是当前固体力学问题的焦点。材料可以是金属、复合材料、地质材料、高分子材料、多孔脆性材料(如陶瓷)、薄脆材料、生物材料等, 其所处的环境也是多种多样的, 如高温、高压、高应变率、腐蚀环境等。需要研究的破坏形态也是各式各样的, 包括疲劳断裂, 蠕变破坏, 空穴的成核, 生长与会合, 微裂纹的行为, 热塑不稳定性, 复合材料中的界面破坏等。

这些方面在国外已经做了许多工作, 很值得注意的是以布朗大学为代表的工作, 他们继承 G. I. Taylor 的思路, 发展了细观力学。另外, 由计算机控制的试验机已经能对材料进行复杂受力条件下的试验。系统地进行这类试验必然会使人们得出材料变形与破坏更深一层的理解, 并用以解决人类面临的许多问题。这对大至研究地震先兆, 石油开采中的油层压裂, 小至机械零件的设计, 都将是十分有用的。

2.2.4 广义流体力学的范围如此之大,以至很难加以介绍。大至宇宙,小至红细胞和体液的输运,都存在着需要用流体力学加以描述和说明的现象。经济建设、国防建设以及环境与生态控制中也都有许多急待解决的流体力学问题。

但是如果只限于流体力学中基础而又比较单一的问题,则水动力学(即不可压缩流体力学)的研究占有核心的位置。流动的稳定性,层流到湍流的转换,边界层控制与减阻,分离流,旋涡运动,分层流,多相流,表面波与内波,传热和传质,湍流结构与湍流运动,都可以在不可压缩流体的运动中得到体现。因此这方面的研究被认为是十分基础和重要的。

边界层理论被认为是把经典流体力学变成近代流体力学的转折点。

近期理论上的重大进展或发现有孤立子(波)的研究以及由此引起的一系列非线性演化方程的精确解法;湍流拟序结构的发现;Lorenz方程(从流体力学方程简化而得)的解呈现奇怪吸引子和混沌,以及这种现象在非线性问题中的普遍意义;实验表明无限域中的过渡区里确实存在混沌现象。

把流体的可压缩性和热效应加进来,便出现了高亚声速、跨声速、超声速和高超声速气动力学。在最后一个情况下,研究真实气体的高温高压热力学平衡性质和输运性质是十分必要的。如果流体的粘性不服从牛顿的剪应力与变形率的线性关系,就出现了非牛顿流体力学,这在生物力学、食品加工、泥石流研究、石油开采中有许多重要的应用。

考虑到化学反应(如燃烧)、电磁效应和辐射作用,又产生了化学流体力学,磁流体力学,辐射流体力学等。国外有人统称之为物理化学流体力学。

2.2.5 从上面的叙述可见,当代力学研究远远超出了传统的领域,陆续出现了许多边缘学科。但是它的性质和任务没有变。那就是从认识世界的过程中,发展定量的规律和力学模型,用以解释和改造自然。

因此边缘学科往往出现在最需要能用以进行定量预测的力学模型的地方。从这个角度看,力学与天文、数学、物理、化学、地学、生物学及与之相应的工程技术、医学、农学等相结合,是科学发展的必然趋势。力学与天文和数学本来就是三胞胎,它与物理、化学相结合是这个世纪的事,与地学、生物相结合就更晚一些,然而已经有了开始。它与工程则一直保持着密切的关系。

3. 国内力学简史与现状

3.1 简史

我国30多年来的力学发展史,大致可以分为3个阶段。

3.1.1 1949—1955年。解放初期,研究力量单薄,条件简陋,只有少数力学工作者从事经典力学的基础研究。这一时期有一些突出的成果,如周培源的湍流旋涡结构理论,钱伟长的板壳理论与摄动法,胡海昌、钱伟长的广义变分原理等。

3.1.2 1956—1977年。国家提出向科学进军,并决定自力更生发展导弹和核弹。同时,钱学森、郭永怀相继回国,他们与周培源、钱伟长等同志共同创立我国的近代力学事业。在此期间,我国成立了相应的研究机构,建造了大型实验基地与设备(如中国空气动力学与发展中心、中国船舶科学研究中心等),各高等院校成立了力学专业,培养了大批力学人材,在许多学科领域取得了进展:

· 高速空气动力学:解决了推进、气动、防热、通讯、识别、控制等许多技术难关,成

功地发射了导弹,实现了卫星返地,进行了高超声速流的理论分析、数值模拟与模型试验。

- 有限元方法:与国际上几乎同时提出了有限元的思想并发展了方法。
- 结合我国多地震的特点,发展了结构物抗震的理论、实验和观测技术,并积累了许多有关工程地震的资料。
- 爆炸力学:在爆炸成形、定向爆破、爆炸加工等方面广泛应用于工业技术问题,提出了流体弹塑性模型,在国防方面还发展了辐射流体力学。
- 结构力学与优化:结合各种变分原理,发展了基于有限元的计算结构力学,丰富了结构优化理论。
- 板壳理论:发展了壳体的稳定性理论与后屈曲理论。
- 断裂力学:70年代初在我国开始发展,主要工作集中于开裂准则和裂纹尖端的弹性和弹塑性应力分析,并应用于大型构件的失效分析。
- 岩土力学:建立了基本的室内与现场实验设备,为解决大型工程地基边坡稳定性与城市地面沉降做出了成绩。

• 渗流力学:研究各种驱油条件下的渗流规律,应用于采油。等等。

这一时期,由于“左”的思想影响与缺乏经验,所以在学科布局上不太合理,有些环节很薄弱,有些方面丧失了优势,某些力学前沿学科几乎是空白。

3.1.3 1978年至今。这是近代力学多方面开拓的时期。全国科学大会调动了知识分子积极性,对外开放政策促进了国际学术交流,从而为力学研究带来了新的生气。我国的力学工作者除了在上述几个方面继续取得成就外,开辟了一些新兴边缘学科。

- 天体力学与空间物理:包括宇宙气体动力学与星系密度波的研究。
- 地球物理流体力学:主要研究旋转分层效应,如大气环流、地转涡、洋流,以及异重流、海洋上层结构、内波、地幔对流等。
- 生物力学:开展了心血管流、肺部流、生物渗流、血液流变学、骨骼力学等方面的研究。
- 材料力学性能:研究材料动态性能、低周疲劳、材料的本构关系、细观塑性力学、含二相粒子材料应力强度因子的有限元计算等。
- 水动力学:结合海洋工程研究孤立波、海浪及其与结构物的作用。
- 力学中数学方法:理性力学与奇异摄动理论,并应用于力学各分支。广义连续介质力学中若干重要问题。

• 计算力学:各单位装备了计算机。普遍使用差分、有限元解决量大面广的力学问题。逐步形成大型软件包,有些方面做出了很有价值的贡献。

• 实验力学:研制了激光测速仪,发展了流场显示等技术,研究了多种用于固体力学研究的激光全息和干涉技术。

1983年以后,改变了拨款制度,多数研究人员转向国民经济主战场和高技术研究,为我国的能源、海洋、空间环境等工程技术问题作出积极贡献。同时,我们也要看到,由于处在转折时期,加上经费不足,制度不完善,某些政策不落实,基础与基础性研究方面受到了一定程度的冲击,这是应当引起充分关注的,

3.2 现状及队伍

根据我国的具体情况,可对力学研究的状况和队伍作如下估价。

3.2.1 在国家重视,投资集中,有比较近期应用目标的若干领域,取得了较大进展,如空间技术在世界上居于比较先进地位。我国是少数具有回收技术,开展定点卫星发射业务的国家之一,最近长城公司与美国签订合同就是证明。应当说我国的力学工作者在这些方面做出了很多贡献。30年来,力学对国民经济的发展也作出了重要贡献。

3.2.2 我国老一辈科学家在世界上享有盛誉,他们的理论工作得到世界公认。一批中年科研人员在国际上的知名度提高了,另一批成为活跃于主战场的主力,高等学校力学教学内容有所更新。

3.2.3 我国已建立起自己的力学队伍与研究体系,初步具备了开展力学研究的基本条件。中国的力学工作者已登上学术舞台,在国际会议上有中国学者的足迹,在国外杂志上有中国学者的论文,中青年研究人员在分支学科的某些点上崭露头角。但是由于种种原因,还没有形成系统的工作与自己的学派。力学研究的面已经铺开,但前沿学科往往滞后于国际潮流,开创性工作很少,理论性、探索性强的研究工作比较薄弱。多数人的研究课题给人以陈旧的印象。

3.2.4 力学研究队伍人员老化、知识老化、结构不合理现象日趋严重。平均年龄45岁以上,向新课题或新领域转移的能力日益衰退,30—40岁人奇缺。由于知识分子政策落实不力,20多岁优秀人材外流,决心献身力学的年青人不多,所以对于力学队伍“青黄不接、后继无人”的现象应有危机感。

3.2.5 计算机应用水平不高。以深刻理论思维为指导的实验研究还不多。

4. 展望与建议

力学研究的大部分力量(包括相当大一部分有近期目标的应用基础研究力量),应该投入与国民经济密切相关的主战场,这是确定无疑的。但是,我国力学研究的现状与生产实践活动向力学提出的新要求是不相适应的。如果我们不能在总结过去经验的基础上,高瞻远瞩,及时采取措施,加强力学基础与基础性研究,那么就会耽误时机,给我国的力学事业,从而给国民经济建设和国防建设事业,带来不可弥补的损失。基础研究及一部分应用基础研究中应当安排精干的力量,其奋斗目标应该是:

- (1) 在国际学术舞台上拚搏,以富于开创性、系统性的理论与实验成果,为国争光。
- (2) 为国民经济的中期及长远目标准备后劲。
- (3) 培养一支有扎实基础、能攻坚的年青新生力量。

对此,我们提出如下建议:

①鉴于国际上力学向解决非线性问题和多学科、综合性问题发展的总趋势,我们应当联系学科上的新突破、我国的特点和可预见的重大应用目标,郑重确定在2000年前力学基础研究的优先项目。我们初步认为,具有长远意义与应用背景的优先项目有:

- 湍流的机理与控制。
- 旋涡与分离。
- 非线性波。
- 传热、传质等流体力学问题(含微重力)。
- 环境力学及灾害力学。

- 非线性连续介质力学。
- 材料力学性能和现代塑性理论。
- 结构的总体设计与优化理论。
- 机器人动力学。
- 生物力学中血液循环系统、骨骼力学以及生物组织力学性质的研究。

要特别注意发展普遍意义的解析方法和近代数学工具，要注意非线性动力系统所特有的混沌现象及其规律。要适时地研制和引进新一代的计算机硬件和软件（如 Symbolic Computation），要发展实验和现场观测中的新技术，尤其是光学技术（如多普勒测速仪、断层 X 射线技术、全息照相），遥感技术等。大型装备要优先配备给若干有代表性的中心。

②项目一旦确定以后，要坚持在一定时期内稳定不变。国家科委、自然科学基金委、中国科学院、国家教委以此为指南，进行重点支持。国家应尽力保证基础研究经费逐年有所增加。国家拨给各部委的研究经费中的应用基础部分（如10%），应拨给自然科学基金委作为定向应用基础研究的经费，在全国范围内择优支持。这样，可使基金委基础研究的经费占的比例有所增加。

③在指导思想上，应该充分尊重基础研究的规律性，包括不能过分强调经济收入。要允许出阶段性成果，要允许失败。在计划上有较大的灵活性，选题上有较大的自由度，支持有利于跨学科交流的各种学术活动，要着眼于将来等。

④在全国少数研究力量集中，基础雄厚的单位，要支持他们成立有自己特色的研究中心或开放实验室。我们可向国家科委、基金委申请一次性开办费，上级单位要负责维持费。开放实验室的队伍要精干，切实加强国内外学术交流，以利于快出成果，出人材。

⑤各力学研究机构与高等院校应该稳定基础研究的队伍（如10%）。要表彰献身于基础研究的成绩突出的同志，要规定若干政策，从速解决从事基础研究人员和有关工程技术人员和实验人员收入偏低，与其他人员相差过于悬殊的问题。要采取措施切实改善他们的生活条件。

⑥有计划、有步骤地革新教材，使力学教学内容现代化。要提高研究生的质量，把其中一部分优秀人才培养成从事基础或基础性研究的骨干。博士生、博士后也要成为高级研究人员的重要后备来源。对于突出的尖子，各单位要重点培养。

我们认为，当前正处在一个世纪的转折关头，也是我国力学界老一辈科学家与年青一代交替的关键时刻。只要我们抓紧有利时机，坚决而又稳步地采取措施，切实加强基础研究，迎来的将是我国力学事业的兴旺发达。

参 考 文 献

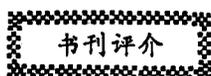
- 1 Physics Through the 1990s: Plasmas and Fluids, National Academy Press, Washington D. C. (1986)
- 2 J. A. M., 50, 4 (1983)
- 3 A. M. R., 38, 10 (1985)

MECHANICS AS A SCIENCE FROM A VANTAGE POINT

Zheng Zhe-min (Che-Min Cheng)
(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

Abstract Paper discusses the role of mechanics as a science and its relevance to technical advances; reviews the development and state of art of modern mechanics; gives an overview of research on mechanics in China; and suggests measures to accelerate development of mechanics in China.

Keywords *mechanics; mechanics in China; development of mechanics*



《力学未来15年国际学术讨论会论文集》

中国科学院力学研究所为了回顾和总结建所30年来的工作, 展望未来的发展前景, 于1986年6月8—10日举办了“力学未来15年国际学术讨论会”, 国内外专家多人作了学术报告, 大多内容丰富, 学术水平高, 实际意义大, 特别是论述力学未来发展的许多见解十分精辟。为了广泛进行交流, 出版论文集两卷。第1卷含20篇论文, 除3篇是总结力学所的工作外, 17篇都是展望力学未来15年发展前景的, 涉及十几个力学分支学科。13篇作者为外籍专家, 7篇作者是国内力学专家。本卷由科学出版社出版, 新华书店发行, 1988年底出书。第2卷共30篇论文, 绝大部分是力学所近期研究成果, 信息量大, 有较大实际意义和参考价值。本卷已出版, 16开本184页, 每册定价3.60元, 外加邮费0.40元, 由力学所资料室发行。

第 1 卷 目 录

代序: 力学所30年——在庆祝中国科学院力学研究所成立30周年大会上的报告.....	郑哲敏
对今后10年工程力学中一些应着重研究项目的个人看法.....	W. Johnson (白以龙译 董务民校)
力学的远景——为庆祝中国科学院力学研究所成立30周年而作.....	冯元桢
Hamilton 形式体系和辛几何的差分格式——纪念华罗庚教授.....	冯 康 (徐硕昌译)
地球构造运动的力学分析.....	王 仁
环境岩土工程学介绍.....	方晓阳 (李 涛译 顾小芸校)
土与污染物的相互作用对土性及基础结构稳定性的影响.....	方晓阳 (李 涛译 顾小芸校)
流体动力学的大尺度结构.....	朱家颀 (吴汉明译 陈允明校)
关于平行流的流动不稳定性.....	周 恒
近代流变学的发展.....	陈文芳 (范 楷译)
激波管在气体混合过程的气动力学研究中的应用.....	小口伯郎 船曳胜之 佐藤俊逸 正广畑山 (马家驷译 邱传保 俞 刚校)
热等离子体工艺: 一种新出现的技术.....	E. Pfender (朱清文译 董务民校)
分子动力学和物理力学.....	蔡锡年 (丁家强译 董务民校)
湍流火焰和爆轰在管中的传播.....	李克山 (刘育魁译)
力学研究所爆炸力学的发展.....	郑哲敏
计算结构力学的现状和今后的工作.....	钱令希
合成纤维绳索的组合及其模型.....	C. M. Leech (张双寅译)
复杂载荷作用次序引起的结构响应的差异.....	Tsuyoshi Hayashi (吴犀甲译)
力学研究所固体力学的发展.....	柳春图 王自强 王震鸣
固体动力学当前的一些问题.....	W. Herrmann (高举贤译 段祝平校)

(下转第 342 页)