

力学

迎接21世纪新的挑战

中国力学学会

主编

北京理工大学



前 言

1997年，中国力学学会庆祝它诞生40周年。从1957年中国力学学会成立以来，这40年是中国力学学科从只有廖若晨星的力学家各自研究发展到学科门类繁多、力学新人辈出，并在国家科技与经济建设中做出辉煌业绩的学科。

我们又处在世纪之交。在世界范围内，纵观20世纪力学的发展，力学不仅推动与促进许多新的产业如航空、航天的诞生与发展，而且自身也经过了由简单到复杂，由线性到非线性的拓广，开辟了诸如计算力学、断裂力学等新的学科方向。可以预料，21世纪将是力学更为繁荣的世纪。

为了回顾中国力学走过的路，回顾20世纪世界力学的发展，为了在新的条件下对力学学科重新认识，并且为了迎接学科未来世纪的新发展。中国力学学会于1994年组织力学家交流座谈，并总结写成“力学——迎接21世纪新的挑战”一文。该文于1995年在《力学与实践》第2期上发表后，引起了读者的热烈讨论。讨论的一些稿件，包括力学学会的第一与第二任理事长钱学森先生与钱令希先生的文章，在《力学与实践》上连续刊载了两年。这本小册子就是该文与讨论文章的汇编。同时，我们还从中国力学学会与国家科委、国家自然科学基金委、中国科学院、国家教委等单位在1994年编写的文集《21世纪中国力学》中选择了郑哲敏、王仁、

靳征谟、李和娣 4 位先生的文章汇集在这本小册子中，一齐推荐给读者。

我们相信，这本小册子对于希望了解力学学科的行政管理干部，科技管理部门的人员，对于非力学专业的工程技术人员以及研究人员，对于从事力学研究的研究员、教师，以及广大的大专院校学生，都会有一定的参考价值，帮助他们了解力学。

感谢北京大学的武际可教授、北京理工大学的赵学仁教授及北京理工大学出版社对本书的编辑、出版工作所给予的大力支持。

中国力学学会
1997 年 1 月

目 录

力学——迎接 21 世纪新的挑战	中国力学学会 (1)
关于“力学——迎接 21 世纪新的挑战”一文的讨论 ...	(39)
我对今日力学的认识	钱学森 (40)
谈计算力学	钱令希 (41)
也谈力学——基础和前沿	谈庆明 (47)
20—21 世纪的力学	郑哲敏 (50)
力学发展中值得重视的一些问题	王 仁 (61)
力学学科的几点情况	靳征谟 (66)
中国科学院力学学科基础性研究的现状和未来	
.....	李和娣 (74)
谈谈应用力学	郑哲敏 (82)
采矿工程中存在的力学难题	缪协兴 钱鸣高 (87)
关于工程专业的力学教育	陈立群 (93)
21 世纪初的力学发展趋势	
.....	郑哲敏 周 恒 张涵信 黄克智 白以龙 (95)
21 世纪的实验力学	贾有权 (112)
我国当前力学发展现状的分析	梁在潮 (115)
力学的两种定义及其与物理学的关系	朱如曾 (118)

力学——迎接 21 世纪新的挑战

中国力学学会

编者按 这篇报告是在中国力学学会召开的一系列有关专家参加的座谈会的基础上，由副理事长武际可教授执笔整理而成。报告中引用了有关专家为国家自然科学基金委员会及中国科学院基础局写的材料。报告的初稿曾广泛征求了意见进行了一次全面修改。本报告得到国家自然科学基金委员会的资助。

我们欢迎读者来函、来稿讨论。欢迎对报告的内容与论点提出意见，进行修改、补充和发展。来稿请不要超过 2000 字，以集中说明一个问题为宜。

本文欢迎其他报刊转载。

1 前 言

科学技术是第一生产力。我国正在进行的经济改革和技术改造，为科学技术提供了广阔的发展天地。我国力学界也将在经济主战场上大显身手、以新的姿态去迎接 21 世纪的新的挑战、为国民经济和国防建设的新起飞做贡献、并推进力学学科的繁荣和发展。

力学是一门基础学科，它同数、理、化、天、地、生并列为七大基础学科之一。力学的应用范围十分广泛，它又属于技术科学，它植根于国民经济的各个产业门类。哪里有技术难题，几乎那里就有力学难题。

在 20 世纪即将结束，21 世纪即将来临的转折时代，回顾我国力学界在国家经济建设与国防建设中取得的成就，分析了我们面临的新的挑战，形成本报告。

2 对力学的再认识

2.1 历史悠久的学科

人类文明有多久，力学就有多久。人是使用工具的动物，从石头和木棍开始的迄今人类所创造的各种工具，都丰富发展了力学，大部分都是在力学指导下逐渐改进的。

远的说，中国 2400 多年前《墨经》上便有杠杆等力学知识的记载，西方大约在同时期稍后，古希腊阿基米德对静力学就有了系统的论述。

近的说，牛顿在 1687 年发表的《自然哲学的数学原理》一书标志着力学精确化的开始，也标志着近代整个自然科学精密化的开始。在此之后迄今 300 年里，力学有了大发展。

2.2 马克思如是说：力学是“大工业的真正科学的基础”^[1]

20 世纪前，人类的近代工业：蒸汽机、内燃机与机械工业、大水利工程，大跨度的桥梁、铁路与机车、轮船、枪炮，无一不是在力学知识积累基础上产生与发展起来的。

马克思的话，在现在也还没有过时。就拿高技术领域的航空和航天技术来说，它们全面地依靠力学在发展。如一架能坐 400 人的波音 747 飞机，它是长宽超过半个足球场大的庞然大物，重量超过 300t(有些军用飞机还更大)。想一想它竟然可以在比鸿毛还轻的空气中翱翔，恐怕不能不叹服近代空气动力学的成就；再看一看它那舒展的机翼，在飞机遇到不稳定气流时，它在上下颤动，而航行竟是如此安全可靠，

则又不能不承认固体力学和结构力学的成就；当你身经一次跨越太平洋，遥遥数万里飞行时，无论是白天还是黑夜，它都能准确无误地到达，既不延误时间也不会走错路，更不会失控。对比二次大战时，德国空军奉命去轰炸苏联的 A 城市，结果由于领航员判断失误而炸了 B 城市“得胜”而还的那种迷失方向，我们又不能不感谢导航与自动控制的成就，而它最核心的技术却是一般力学研究的对象。

20 世纪，产生的许多高技术，除航天、航空外，还有高层建筑、巨型轮船、大跨度与新型桥梁（如吊桥、斜拉桥）、海洋平台、精密机械、机器人、高速列车、海底隧道等都是在力学指导下实现的。20 世纪，也产生了在许多其他基础学科指导下形成的高技术，如半导体，电子计算机，核工程等。表面上，与力学搭不上钩的高技术，也总是碰到力学难题在卡脖子。电子计算机，小型微型化是它的一个重要趋向，但是当计算机芯片愈来愈小时， 1cm^3 体积内的存储器数以百万计，这就产生了由于电流生热而导致的热应力的力学问题往往使器件损坏。在通讯中有架设通讯网络以及高性能天线的力学问题，设计与生产光盘与硬盘等存储设备中，需要高精定位等等。人们现在常常说未来的 21 世纪的带头产业与学科是生命科学或生物学，似乎与力学毫无关系，这恐怕是一种误解。单就生物医疗器械而言，人工心肺、人工器官，就是力学家参与下方才实现的。此外还有许多血液流动、肌骨损伤等基本理论问题，现已成长为一门分支学科——生物力学。

钱学森先生 70 年代说过：“不可能设想，不要现代力学就能实现现代化”^[3]。马克思说过力学是“大工业的真正

科学的基础”。当人们享受着现代工业进步的成果时，看到现代工业矗立入云的高楼大厦时，请不要忘记支撑这大厦的“基础”，因为“基础”总埋在地下不外露，而为一般人所忽略的。

2.3 恩格斯如是说：“认识机械运动，是科学的第一个任务”^[2]

力学是研究物质的宏观机械运动的学问，机械运动即简单的位置移动，宏观指的是同人的尺度相去不大的范围。由于各类复杂运动中都包含着这种基本的运动形态，不论是在自然界，在技术过程中力学问题都广泛存在。所以它的研究成果也深刻影响着别的基础科学的发展，当然其他学科的研究成果也丰富与推动力学的发展。力学与其他学科的相互影响主要是通过以下 5 种途径：

(1) 力学是自然科学中精确化最早的学科。力学发展中最早与数学建立起密不可分的联系。历史上最伟大的力学家，也同时是伟大的数学家。将实际问题经过模式化转化为数学问题求解再回到实际，所形成的方法论，深深地影响着整个自然科学。如动力系统从力学中提出，它的要点是给定系统发展所必须遵从的规律及初始状态，去追踪系统的发展。这种方法应用到天文、物理，后来应用在化学中讨论反应过程形成化学动力学，精确化后的经济学的经济动力学也可以看作是这一方法论的延伸。

(2) 力学中研究的宏观现象，是自然界最易于直接观察到的现象。许多重要发现和结论都是在力学中首先研究清楚后，才在其他学科中发现和应用。例如，孤立子波是 1834 年在浅水渠中发现的一种力学现象。到 60 年代后发现它同量子力学间的联系，后来在光学中也发现了这种现象，并在光

导纤维技术中得到应用等。

(3) 由于宏观运动规律广泛存在性, 其他基础学科的研究有赖于基本宏观运动规律的认识。如天气预报要遇到大气湍流, 而湍流是流体力学中的基础课题, 生物学中血液循环。化学中的物质扩散过程等, 无不本身就是力学的课题。

(4) 力学研究为其他学科提出了挑战性的难题。如对数学提出运动稳定性问题以及各种复杂问题的描述和求解方法。多自由度保守系统, 在数学上既是动力系统的研究对象, 也是黎曼几何、辛几何的研究对象。

(5) 力学吸收其他学科的成果完善发展自己。牛顿运动三大定律就是在丰富的天文观测资料基础上总结出来的。力学的先进的实验与测量技术, 就是吸收了光学、电学、电子学与计算机的成果武装起来的。

所以周培源先生说: “只要自然界存在着机械运动, 以及机械运动和其他高级运动形式的相互联系, 力学就永远有无止境的研究课题, 就永远有无限光辉的前景。”^[4]正是由于力学研究对象的“普遍的”属性, 力学学科发展在诸基础学科发展中往往是举足轻重影响全局的。

1978年, 在制定我国科学中长期规划时, 邓小平同志根据谈镐生教授的建议批示, 将力学归入基础学科规划。这是英明的举措, 它正确地反映了自然科学发展的内在规律, 正确地反映了力学的学科属性和历史发展的潮流, 影响将是深远的。

2.4 力学既是认识世界、也是改造世界的有力武器

力学既是基础科学, 也是技术科学。因此在力学的知识系统中, 有理论与应用之分, 即通常说的理论力学与应用力

学。

理论力学是从观察研究大自然现象中用归纳和演绎的方法发展自己。如牛顿力学或称经典力学，近年来活跃的理性力学或理论连续介质力学，和流体力学中的湍流理论等。它们的着重点是从运动规律本身讨论问题，力求将规律弄清楚了再考虑应用于解释自然界和应用于指导技术。

应用力学则是从工业技术面对的难题，利用和扩充已有的力学原理提炼新的力学模型并加以解决从而推进力学的发展。一部航空工程的历史生动地说明了这种研究的成功。二次世界大战以前，飞机的速度超不过音速 (330m/s)，当时曾被一些人认为是不可逾越的，这就是所谓音障。由于高速空气动力学将高速流动的规律研究清楚了，才实现了高速飞行。航空对飞机轻、快、安全的要求，推动了力学全面的发展。

理论与应用力学的区分只是相对而言，并没有明显的界限。两种方法侧重不同都取得了成功。他们互相补充互相推进，共同促进了力学学科的繁荣。

2.5 我国力学研究队伍是 1949 年后建立的一支科技新军

世界范围内，力学历史悠久，可我国的力学研究队伍却很年轻。

旧中国没有力学，这里“没有”不是指在漫长岁月中没有个别优秀学者从事力学研究，而是指在旧中国没有一支专门从事力学研究的队伍，在高等学校中没有一处力学专业。

人们不会忘记上世纪中叶到解放前夕，中国的“大刀长矛”屈辱于帝国主义列强的“洋枪洋炮”的历史。前者的生产背景是落后的手工业，而后者是现代机械工业，相应的科学技术基础就是力学。这种落后，反映在科学上勿宁说就是

力学的落后。

事实正是如此，西方牛顿的《自然哲学的数学原理》一书出版于1687年，清代李善兰等曾着手翻译但没有完成，直到1931年才由商务印书馆出版了郑太朴的译本。到1903年才出版了第一本以力学为题的《力学课编》翻译教科书。截止于解放前夕，中国出版的力学书籍包括教科书在内寥若晨星。

我国力学队伍是50年代后建立的，1956年科学院成立了以钱学森先生为所长的力学所，1952年在北京大学周培源先生主持下开办了第一个力学专业。1957年中国力学学会成立。经过几十年的努力，已有力学专门研究单位约110个，高等学校力学专业39个，力学期刊26个，力学硕士点217个，博士点57个，博士生导师270余位。力学学会会员达2万多人。不少力学研究成果为国际所瞩目。

力学队伍的迅速壮大，是和我国现代化建设紧密相联的。正是由于有了这支力学大军，作为一支重要的方面军，我国原子弹、导弹才很快研制成功，许多现代大工程、新产品才取得胜利。可以这样说，我国现代化不能没有力学，发展力学也不可能脱离我国现代化。

在21世纪，我们要赶上或超过发达国家。必须有相应的先进的力学科学，必须有一支数量上和质量上能胜任的力学科技队伍。

2.6 力学与经济和国防

发展经济、巩固国防，靠科学技术。美国科学院院士J.G. Glimm说过：“40年前，中国有句话说‘枪杆子里面出政权’，从70年代起应当是‘科学技术里面出政权’。”

60年代,英国经济衰退之后,由于北海油田的开发,年产量为1亿t,除自给外还向西欧出口,从而摆脱了困境。而在近海开采石油的关键技术是海洋石油开采平台的设计与建造,它是崭新的高难度的结构工程,是涉及海浪、岩土、结构等多个力学学科的课题。

70年代后,日本汽车出口全世界,其竞争力主要是靠两条,一条是省油的发动机,另一条是外壳一次压力成形。后一条极大节约了成本,它是塑性力学在压力加工中应用的成功。前一条有一半是靠力学燃烧过程的研究。

现代战争的一个侧面是高技术的较量,无论是军队快速调动、给养补给,还是攻防装备,都是力学的课题,如果说攻防设备是机械产品,是“猛兽”,它的运动是由力学规律所支配的。电子产品控制系统、雷达、干扰与抗干扰系统就是“猛兽”的眼睛。前几年海湾战争生动地说明了这一点。

2.7 近代力学是独立于物理学的基础学科

力学在历史上是物理学的一个分支,19世纪以前它构成物理学的主体部分,从19世纪末开始,力学与物理有了明确的分工,力学研究宏观现象,物理研究微观或宇观(比宏观更大的尺度)现象。力学和物理的近代发展各自形成独立的理论体系和众多的分支学科,不得不分家各自形成独立的基础学科。而在分家之前形成的那部分力学理论,仍旧是力学和物理的共同基础,有时也称为经典力学或古典力学。

中学物理课和大学普通物理课将力学作为物理的第一编,这一方面是教学上的方便,另一方面,这部分内容只是经典力学部分,而没有涉及力学的近代发展,所以不能以它作为科学分类的准则。

有人看见力学两个字便将量子力学、电动力学、统计力学等学科划归力学学科，这是不对的。它们是属于物理学科的。这些学科名字上冠以力学，只能说明力学在历史上对整个物理学起过巨大影响。

在一些科技管理部门，看到了力学广泛的技术应用一方面，将它列入技术科学，这是对的。但忽略了它也是一门独立的基础学科，仅将它看作物理的子学科，认定力学是基础学科的“黑户口”，对于近代力学发展的认识保持在中学教科书的水平，则同样是不对的。它将不利于自然科学基础学科的发展，其影响将是全局的。同时也不符合世界各国学科分类的事实。在国际科学家联合会中，国际理论与应用力学联合会 (IUTAM) 是一个举足轻重的成员。国际力学独立的学术刊物有数百种之多。

2.8 问渠那得清如许，为有源头活水来

力学历史是悠久的，但悠久和陈旧不同。

一个学科是否陈旧取决于是否不断有新课题新挑战提出。如果有朝一日没有新的课题提出，它的确就是陈旧了。然而力学从它诞生起，在历史的长河中新的挑战总是接踵而至。所以我们说它是历史悠久而又充满活力不断发展着的学科。

所以是这样，是由于宏观运动规律的复杂性，对它的认识在有限的时间内不可穷尽的。即使一个时期认识清楚了，随着人类活动领域拓广，在新的条件下又不清楚了。这里举两个例子。

上世纪力学发展使造船业得到发展，开始建造排水量以千吨计的大轮船。1912年4月14日，当时最大、最豪华的

46000t 的英制邮轮“泰坦尼克”号，在处女航中失事了，使 1513 人丧生。二次世界大战中，仅美制“自由号”货轮 2500 艘中，非战斗损失达 800 多艘，其中 145 艘折为两段。直到“泰坦尼克”号失事 30 多年之后，这些轮船失事的原因才找到。这就是材料冷脆性的发现，即在 $-40-0^{\circ}\text{C}$ 的范围内钢材表现为脆性导致破坏。

另一个问题是 60 年代混沌的发现。它被称为 20 世纪最伟大的发现之一。它之所以重要，需要回顾一下历史。

由于经典力学的发展，理论上日益完整，法国大科学家拉普拉斯 (1749 年—1827 年) 曾经总结过如下的命题，大致是：如果给我以原子运动的方程和所有原子的初始位置和速度，再有足够的计算能力，我就可以知道过去和未来的一切。这就是哲学上确定论的经典表述，这种观点一直是深深地影响着自然科学。直到上世纪与本世纪之交，量子力学测不准原理诞生才第一次打破一条缺口。然而人们仍在想：这种决定论，在宏观力学范围内也许还是对的。

混沌的发现表明，即使在经典力学中也会出现所谓内在随机性，从而宣告决定论的彻底动摇。

混沌现象最早的几个例子是从大气对流和单质点非线性振子等一些传统力学命题的计算中发现的。随后有数学家、物理学家、化学家和遍及自然科学、经济学各领域的专家参加研究，形成非线性科学热。

著名的华裔力学家冯元桢先生引用宋朝朱熹的诗句：“问渠那得清如许，为有源头活水来。”说明力学发展是有活力的，这就是不断有新的问题提出来。这些新的问题来源之一就是与其他基础学科的杂交。近几十年来新生和活跃的众

多新学科——生物力学、岩石力学、地球动力学、物理力学、等离子体动力学、宇宙气体力学、化学流体力学、爆炸力学、理性力学、计算力学等等就是很好的说明。其实，力学发展的活水源头一共有3个，这就是生产与工业的需求，同别的基础学科的渗透，以及力学内在发展的矛盾提出的新课题。

所谓力学陈旧的说法，是以在一段时期内没有重大突破性进展而作出的片面认识。在相对静止中酝酿着变革，“于无声处听惊雷”。

2.9 力学是一种文化

力学作为基础科学和技术科学，是科学家和工程师参与的事业。然而力学也是全民参与的事业，力学是一种文化。

力学与天文学、数学，是基础科学中历史最悠久的三个伙伴。都日益成为现代化社会每一个普通公民所必须了解的知识。

它作为一种文化，不仅是当我们欣赏文学著作，听音乐时，看马戏和气功师表演时，经常涉及力学知识，更重要的是我们的社会成员对力学了解愈多，则社会的正常生活与秩序愈易于运行。力学史上，像伽利略、布鲁诺与神权作斗争的英雄应当世代歌颂。

如果我们的加工工人多知道一些力学，次品就会大量减少。如果我们的装卸工搬运工也是这样，鸡蛋、玻璃、水果就会减少成批的损耗。驾驶员了解力学，交通事故就会减少，老百姓了解力学，灾害可以避免和减少损失。产业部门工作人员更多地了解力学，生产运行就会更加正常。如果我们人民多一些力学知识，愚昧、迷信、反科学、伪科学就会少一

份市场。

力学又是迈入近代工程技术和科学的门槛，不论是什么行业的工程师，也不论从事哪一行的科学家，在他专业培训之前，他对力学的了解深度几乎决定了他进入专业之后的作为。更不要说在日常生活中，车辆时速、加速度、马力、刹车、摩擦、弹性、流量，比重、黏性、热效率等等几乎随时碰到。一个现代化社会的成员，缺少了力学文化，寸步难行。每个成员的这种文化素质提高了，将为社会增加无形的财富，减少有形的损失，社会的生产效率提高将是难以估计的。

因此，当我们在大力提倡科学普及，尖端技术知识普及的同时，不要忘了最基础的力学知识的普及。

2.10 未来的力学

时代不同了，力学的研究内容、手段也在起变化。从近20年的趋势来看，两个特点必须认识到，一是计算机科学和力学的结合，一是非线性力学提到突出的地位。

首先，60年代，计算机解题能力大大提高，形成了计算机科学。它和力学交叉的产物是计算力学分支学科的产生，以及力学各分支学科广泛地使用计算机。传统力学研究两种手段，即理论与实验，现在增加了第三种手段，即理论、实验与计算。不仅如此，理论与实验的某些部分也逐渐求助于计算机，在理论研究中，计算机帮助推导复杂得人力难以胜任的公式，求解复杂的分析表达式解。在实验中计算机帮助整理数据，图形显示过程，协助修正和选用最优参数。这说明计算机已成为力学新发展的重要方面。十多年前钱学森先生曾经在力学学会讲过：“必须把计算机和力学工作结合起来，不然就不是现代力学，就不是现代化”^[3]。这个意见对于

未来世纪的力学研究也是中肯的，因为那时计算机将更为发展，更为普及。

其次，自然现象与技术中的实际力学问题大都是非线性的。最简单的问题如牛顿二体问题也不是线性的。由于非线性问题复杂性，在数百年中，人们想尽办法，略去非线性因素以求近似解，得到的所谓线性问题。即在方程中只保留未知量及它们的微商的一次项。并花了大力气去发展线性问题的求解方法，在数学中形成了完整的线性数学宝库。这种思路在力学与工程中解决了大量问题。但对于许多高阶项起重要作用的问题，这些方法就不灵了。留下许多问题至今难以突破。因之它们将是未来力学攻击的难点。

力学有悠久的历史，有丰硕的成果，有辉煌的业绩，但是，从未来需求的角度来看，从我们对客观世界认识的深度来看，力学所达到的水平似乎又是非常可怜。例如 2 个物体以万有引力相互吸引的运动问题早在牛顿时代就已解决，可是经过了几个世纪，至今 3 体问题尚没有弄清楚，何况我们还有量子力学、天文学等方面提出的多体问题。进而，所谓连续介质力学，研究对象无限多质点连续分布的系统，它的一般运动规律更是十分困难的难题。我们已知的比起未知的来说，正象牛顿说的，我们是在海岸边拣拾贝壳的小孩。在整个大自然中我们只不过拾到了几片心爱的贝壳而已。

科学技术的发展不断提出新的理论与应用课题等待我们去解决。英国学者丹皮尔说过：“知识之球愈大，则其与未知之界面也愈大”。等待我们去探求的未知世界变得更宽广了。

力学工作者必须面对这些现实，在科学征途上迎接困难，