

力学在现代自然科学和工程中的作用

白以龙

(中国科学院力学研究所)

[摘要] 力学作为“自然哲学的数学原理”，乃是支撑物理科学和工程技术的一个重要支柱。它以产生宏观运动的相互作用为对象，以特有的手法衡量不同因素的相对重要性，从复杂的现象中，定量提炼出主要控制机理，为认识自然提供模型和工具，为工程提供设计基础和先导。

力学是研究物质的宏观运动的一门科学。就语义上而言，mechanics 是多义的，指研究力的作用的学问，研究机械制作的学问以及工作的技能。从自然科学的发展过程看，力学是由于人们探索周围的物体，如天体、抛体的运动规律而发展起来的。后来，以牛顿的几大定律为核心内容，而开始形成一个学科。

其实，牛顿力学只是揭示了我们周围五彩缤纷世界的一个侧面，但被认为是近代自然科学开始形成的标志。因为，第一，它是人类自然认识史上第一次科学的理论概括，从而打破了神学的统治；第二，它为工业革命打下了基础，开始了人类大规模利用自然的时代。这两件事都是人类文明史上划时代的大事情。

在牛顿的《自然哲学的数学原理》一书出版(1687年)之后的300年中，自然科学的各个领域都得到了飞速的发展。特别是20世纪上半期物理学的革命，带动了自然科学的全面发展。相形之下，力学似乎退出了原来的主导地位。事实上，力学家们已更向前走了一大步，把对自然的认识和重大的新兴工程的发展结合起来，使应用力学各分支成为现代许多大工业的基础。如使航天和航空工程克服了推进、声障、热障等重大技术难关，而成为大规模的产业。从哥廷根的克莱因、普朗特到加州理工学院的卡门、钱学森，是这一潮流的杰出代表。

然而，在航天事业产生了振奋人心的辉煌成就之后，力学研究却似乎被人们冷淡了。一种倾向性的看法是，从传统的土木工程到新兴的航天工程，都可以靠已有的工程积累而在工程行业范围内推动自身的发展。另一种有影响看法是，力学作为科学上的一次突破已成为历史。目前，它的作用就是工程应用。对此，笔者认为实际情况远非如此。请看下面两个例子。

1. 断裂力学是从二次大战之后才逐渐发展起来的一个力学分支。它基于在材料中存在的裂纹的尖锐前沿受力状态具有奇性，这一力学概念抽象，揭示了各类材料在各类工程条件下断裂的原理。现在这一成就已被广泛应用于从土木工程到核工程的众多领域，产生了巨大的效益。而这类普遍性的新概念，只有从工程中经过力学抽象才能产生的。

2. 热对流是力学中的一个古老问题。1900年贝纳尔观察到流体从静平衡到胞格状规则环流的过渡。1916年瑞利发现该过渡系由一个无量纲数——瑞利数 $Ra = g\beta d^3 \Delta T / \kappa \nu$ (温度引起

本文于1993年1月19日收到。

的热胀浮力/粘性)来表征。对无自由界面的热对流,临界 Ra 值为1708。如果 Ra 非常大,稳定的贝纳尔胞格就让位于湍流。60年代,洛仑兹以截断热对流偏微分方程为背景,发现了混沌。从这种流动问题出发,提出的多重流动模式选择、长程关联的耗散结构、及确定性系统中的内在随机性等,都是近年来导致人们自然观产生重大变化的新观念。

以上两个例子从不同的侧面表明,力学不仅广泛推动着工程学的进展,又是新自然观的重要起源。那么,为什么又会出现上述那些看法呢?看来,力学学科有其特殊之处。

首先,自牛顿以后,自然科学又经历了几次伟大的理论综合和概括。但是,自然科学发展的主要倾向之一却是综合的反面。以具体物质对象为客体的“块块”型的学科,越分越细,形成科学的主要结构形式。而力学研究的一些重要内容,由于其应用性广,被有关“块块”和工程领域广泛吸收。如天体运动之于天文学,空气动力学之于航空航天工程等。同时,力学从性质上不同于“块块”型的学科如声学、光学等,力学更接近一种“横”的学科。譬如,大家都具体地知道光、声是什么,但力是什么,它既可以指肌肉的力,也可以指场力。概言之,“力”并不限于某一种具体的客体,而是对产生运动的所有相互作用的一种抽象。因此,在“块块”各占一方的结构下,力学却没限于某一“块块”。

其次,力学大量涉及的是我们周围的宏观世界。受过中等教育的人,便已熟知既直观又可亲身体验的力学定律。因此,有人便认为,对这些身边早已熟悉的事物,还有什么更深刻的规律值得研究呢?其实正是我们周围的世界,从土地、大气、海洋、生物到人类及其生产活动,构成了复杂的宏观世界,我们身处其中,往往见怪不怪,结果常常受到惩罚。最近揭示的确定性系统中的内在随机性,只是这类复杂性的一种表现。

力学正是从我们熟知的这些宏观事物的普遍相互作用,来探索其复杂性,为人类的生产和生活服务的。谈镐生先生曾经比喻讲,数学和力学如同“ π ”字的两条腿,支撑起庞大的科技知识宝库。

那么,力学又怎样在现代自然科学和工程中发挥其作用呢?

现代科学的另一个重要趋势是综合,特别是要增进对复杂系统的认识。对此,力学提供的方法是极有用的工具。首先,力学研究方法既不是笼统的统计相关,也不是深究细微的描述分类,或一丝不苟的逻辑。力学研究强调的是突出主要矛盾,阐明控制机理。特别是针对包含多个时间尺度、多个空间尺度、多种物理因素、多个运动模式的复杂系统,发展了许多行之有效的办法,达到既可抓住主要控制因素又可定量预测的目的。量纲分析方法能使人们在现象的具体规律不甚清楚的情况下,便得以用简明的手段找到控制法则。数量级估计则能使诸多因素的相对重要性一目了然,从而使主要矛盾突出出来。二者配合起来,人们便能从表象进入对现象本质的总体认识。例如,粘性是流体的一个基本属性,但力学家经过量纲和量级分析指出,在流动中粘性大小本身并不是本质性的,要看流体速度和特征尺寸的乘积与粘性的比值,才能恰当衡量粘性的重要性,这就是雷诺数。由此推出,在附于物体表面的一薄层流体,即边界层中,粘性是不可忽略的。这不仅从本质上深化了对流动中粘性的认识,也从根本上推动了飞行器和流体机械的进步,力学研究还陆续发现了各类无量纲数,清楚地表明了各类不同性质的物理量间的比较关系。例如,众所周知的马赫数,是物质质点的运动速度和该物质中声音信号传播速度之比。这些无量纲数,无论是马赫数、雷诺数还是瑞利数的一些确定值,又都表示这类比较关系达到某个临界态。此时,控制现象的主次要因素发生变化,从而往往标志着运动

模式的转换,这一点已在前面以瑞利数为例叙述过了。力学中发展起来的标度律和相似律,使得对复杂现象的描写大大简化,从实验室到工程实际的距离大大缩短,因此,已被许多近代科学分支和工程设计采用,这里限于篇幅,不再举例解释。配合这些,力学家们还发展了一系列应用数学方法,例如渐近分析、摄动法等,以给出简明的定量预测。

为什么力学能提供这一类适用性普遍的方法呢?最简单的回答是,力学乃是贯穿多层次复杂系统的“横”的学科。其目标就是寻找各类因素的相对重要性和转换关系,而不拘泥于单一规律的细枝末节。在这个意义上讲,对我们周围的宏观系统而言,力学方法是研究它们的一类普遍法则。这类法则,既不同于精密研究数和形的数学,也不同于研究某具体物质对象的物理学。看来,针对这类复杂系统的特殊需要而发展起来的力学方法,具有其无法替代的特点。也许正因为如此,近代力学在一些从传统观点看似与“力”无关的领域,诸如生存环境系统、地球物理系统、生物体等方面,在建立机理模型上都有别开生面的进展。

力学在现代自然科学和工程科学中的另一个作用,在于力学能提供许多重要的、物理内蕴丰富但又简明直观的原型问题,或称范例。人们对周围世界的认识,总是从典型到一般,从直接感受到抽象。由于力学对象大多是人们感官所及,因此非常适宜作为深入认识的起点。而且,现在人们越来越认识到力学现象常常隐含了许多层次的重要规律。例如湍流,时时处处可见,但它却包含了从分子到容器尺度的各种层次的运动,从而形成引人入胜的复杂性,至今吸引着各类探索者。至于热对流中的贝纳尔胞格,水波中的孤立子等,现在则都已成为近代自然哲学中的典型例子。

对于工程而言,力学最重要的作用,是能把工程经验经过模型化提炼和总结,使其成为广泛适用的定量理论法则,进而为未来的技术奠定基础,打开道路。在过去的岁月里,力学的这种作用在土木、机械、航空航天工程等广泛领域中得到承认。这也就是普朗特、卡门等人受到工程界普遍尊敬的原因。今天,力学正从这类“机械性”的物质对象跨入到更广泛的宏观世界,如材料科学、环境工程、生物医学工程等。力学之所以能起这种作用,是由于其借助了分析,实验和数值模拟三大手段,综合利用前面提到的几种分清层次、突出控制因素的有效方法。这个途径比之于不少应用中流行的方法,如统计、关联、类比、1:1实验等,具有省时省力又可直接揭示现象本质的优点,从而,可以达到认识现象控制机理的目的。对于复杂系统的工程,当然问题的难度就更大了。但是,越是如此,越要做好各类影响因素的综合效果的总概算,人们才能从“验方”、“炒菜”以及“头痛医头,脚痛医脚”的工作方式走上科学的道路。

“不识庐山真面目,只缘身在此山中”。现在已日益清楚,似乎,我们才刚刚认识周围这个熟悉的世界的复杂性。特别是,我们又恰恰生存和依赖于这个世界。因此,以认识这个宏观世界的一般运动规律为目标的力学的作用,看来也需要我们给予再认识。或许,我们应当恢复牛顿把力学作为“自然哲学的数学原理”的精神。

THE FUNCTION OF MECHANICS IN MODERN NATURAL SCIENCE AND ENGINEERING

Bai Yilong

(*Institute of Mechanics, Academia Sinica*)

Abstract

Mechanics, as “philosophiae Naturalis Principia mathematica”, serves as a pillar supporting science and engineering. Its objective is to study the interaction leading to mechanical movement. The unique feature of the discipline is its powerful skill in balancing the relative importance of various factors involved in complicated phenomena and extracting the underlying mechanisms. Therefore, it provides guidelines in engineering and models and tools in understanding the nature.

·资料·

以色列高校科研成果的商品化

以色列的大学和研究机构很重视将科研成果转化为商品。为调动教授和研究人员进行成果转化的积极性,一些机构实行单位与科研人员共办成果转化公司的办法。中国国家自然科学基金委员会代表团访问以色列特拉维夫大学时,该校副校长向代表团介绍了该校试办成果转化公司的情况:

在教授取得具有应用价值的科研成果后,可向校方申请设立科研成果转化公司,然后校方和教授一起组织可行性论证。如果论证结果认为此成果的转化会产生重大经济效益,则校方即与教授共同组织和经营教授成果转化公司。一般校方投资五万美元,公司属于学校。公司寿命平均两年,在这期间,教授除继续对成果加以完善外,并同校方一起向国内外征询投资者,以便及时将成果转让给投资者。成果转化出去以后,校方和教授合办的成果转化公司即告解体。校方将收回投资和应得的利润,而教授本人则从成果转化中获得经济利益。同时,教授还可选择回到学校或离开学校参与公司经营。如果愿意回到学校,而公司又需其咨询,则可在找到投资者后的两年内花有限的工作时间和业余时间担当公司顾问,两年后就须全部投入学校的科研教学工作。如果成果转化公司在两年内找不到投资者,则说明这项成果尚不能被社会生产集团所承认,公司自动解体。

这样一种运行机制有以下几个作用:

1. 由于研究人员在转化中获得经济利益,又有工作单位提供经费保证,承担经济风险,因而极大地调动了研究人员从事研究及成果转化的积极性;
2. 学校或科研单位只出少量经费,担有限的风险,即促进了本单位研究成果的转化,在很多情况下,这些单位也可获得经济收益,因而也大大提高了成果转化的积极性;
3. 由于科研成果一般均与高新科学技术相关联,因而这一机制有力地推动了高新技术产业的进步和发展。

这一运行机制对我国目前科技体制改革具有重要参考意义。我们可结合我国实情,借鉴他们的作法,发挥国家、单位和个人三者的积极性,加速我国科技成果商品化的进程。

(国际合作局 张连仲 供稿)