

现代力学

——在一九七八年全国力学规划会议上的发言

钱 学 森



〔赵常吉摄影〕

现代力学的内容和前景是什么？在高速度实现四个现代化的过程中，我们力学工作者应该怎么办？这是大家都关心的问题。我想就此提点看法，供大家讨论，不对的请指正。

（一）

讲现代力学，就应该从一九一〇年到一九六〇年这五十年的所谓“应用力学”的工作说起。在这个时期中，力学工作者对当时新兴的航空技术和航天技术震撼世界的成果，作出了巨大的贡献，他们是时代的英雄。因此，我们不能不重视这一段历史。

讲这个时期，就要追述到本世纪初。德国格廷根大学有一位数学权威费力克斯·克莱茵，他在一八九三年去美国参观芝加哥的博览会，深深感到新起的美国确是地大物博，资源丰富，人口众多。德国和其它西欧国家要维持工业和科学技术的优势，必须采用更科学的方法。费力克斯·克莱茵觉得，古典的力学理论应该用到工程技术的发展中去。为此，他回国后，在格廷根大学成立了应用力学系。这个系就是近代力学的源起。从这个学校出来了一代又一代全世界知名的应用力学家，象路德维希·普朗托尔；比普朗托尔小几岁的就是冯·卡门，他在三十年代起，移居美国；再比他

们稍微年轻一点的就是雅科布·阿克莱特,后来一直在瑞士联邦理工大学任教。总之,就是这个格廷根大学,形成了近代应用力学的中心,影响所及,到了其它国家:英国、法国和美国;就连斯大林时代的苏联的应用力学,也是在这个思想影响下发展起来的。什么指导思想?什么方法呢?我们不能脱离了当时的时代来了解它。当时没有电子计算机,要靠手算,所以,要用力学的方法去解决工程技术中的问题,碰到的第一个问题就是“算”这个难题。可以说,搞应用力学的人的本领,就在于会算。什么叫会算呢?实际工程技术里的问题是非常复杂的,要得出数字的具体结果为工程师所用,就得先把问题简化。但简化不能脱离实际,脱离了实际,简化是简化了,算是算出来了,但一点用处也没有。又要简化,又要不脱离实际,用我们的语言来说,就是要深入实际去观察,找出事物的主要矛盾,认识主要矛盾的主要方面,然后舍去那些枝节的东西,抓住要害,形成一个简化模型。这样,对所要解决的问题进行计算才有可能。力学工作者的计算方法也是精心设计的。怎样把数学家那套理论用过来,使得它能够解决具体的问题,对此我讲一个故事。冯·卡门在加州理工学院有一年开了一门课,名字很怪,叫“有用的数学”,好像在讽刺数学系那些课都是无用的数学。我看他的意思是说你数学家的那些理论要产生实际结果才有用。所以,这个时期力学的窍门就是两招,第一招就是要形成一个代表事物的模型,再一招就是一套比较灵巧的计算方法,使得最后可以得出工程师们有用的结果。当然,这里面为了认识客观规律,还要做实验,实验工作也是受到重视的。

这一套方法确实很有效。例如航空技术有关的两个重要理论,升力和附面层,就是应用力学在早年的突出贡献。有了它们,航空技术才有了成立的根本条件,才有了计算飞机的基本原理,飞机的发展,才一步一步地从以前好几个翅膀的飞机发展到单翼机,从表面不平滑、刚度小的结构进展到平滑而又刚度大的全金属的流线型结构。后来飞机的速度逐渐增加了,出现的问题就是如何突破声速这一关。当时采用老式气动力设计的飞机,飞到接近声速时,产生激波,飞机的阻力很快的加大了,于是有一种不正确说法,说声速就是“声障”,是突不破的。三十年代开始大力发展的气动力学,或者叫可压缩流体力学,陆续产生了后掠翼概念、有效等截面概念,以及后来的超临界翼概念,这样一些应用力学的研究成果,使超声速飞行或跨声速飞行成为可能。到了五十年代,由于洲际导弹、航天技术的发展,产生了再入大气时的加热问题,这时候又动用了应用力学的力量来解决这个问题,产生了现在所习用的烧蚀防热的办法,用来渡过再入时受到的将近摄氏八千度高温这一关。我们回想起当时的情景,真是很轰轰烈烈。航空技术、航天技术中产生了解决不了的大难题,这些搞应用力学的人就被动员起来研究,经过一段时间,就提出了办法,为工程师、工程技术人员所采纳。这样,问题一个一个地解决了,超声速飞机实现了!声障突破了!烧蚀防热的办法经过飞行试验成功了!当这种消息传到研究单位的时候,那就顿时沸腾起来,应用力学工作者确实感到他们的工作解决了人类征服自然当中的问题。

一九六〇年以后的情况又怎么样了呢?情况大变。因而在美国就有人说“力学的黄金时代已经过去”,最近有一些外国朋友到我们这里来,就问问从前知道的那位教授在干什么?又问问某某先生怎么样啦?这些人在五十年代都是力学界的英雄豪杰,一问呢,说这些人作为不大了,这是怎么回事呢?我是一直在想这个问题。当然,也可以说这些人老了嘛。老了,这是事实,但为什么下一辈的人也没有出来呢?这个问题的症结就在于:过去,工程师、工程技术人员遇到工农业生产、工程技术中的问题解决不了,他就去找专业的力学人员去解决。现在,他运用着一台大电子计算机在那里算,不请教你了。那么,我们搞力学的人是不是就悲观起来了,我们是不是就失业了呢?我说,不要悲观。力学已经从力学研究单位走出来了,到了广大工农业生产、工程技术范围中去了。力学这个行业得到大普及,是大大发展了,应该高兴嘛!这种形势影响着力学专业的研究,

是一件划时代的大事。华主席和其他中央领导同志指出,现代科学技术,以电子计算机技术等为主要标志,正在经历着一场伟大的革命。这是千真万确的。

(二)

我在一九六一年写过一篇题为《近代力学》的文字,那时电子计算机还没有大量地引用到解决力学问题。我那时也没有讲电子计算机对力学的作用。现在是讲现代力学了,必须明确要把电子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,不然就不能说以七十年代世界先进水平作为我们的起点。

所以,我们力学工作者要懂得、要会用电子计算机,要研究如何运用力学本身的规律,使它和电子计算机的规律结合起来,最有效地得到最好的解。结合非常重要,因为你要更好地利用电子计算机,力学的概念是有用的。例如在五十年代末,电子计算机刚出来,每秒速度才万把次,有人用电子计算机计算圆球的脱体激波,用差分方程的死算办法得不出结果,是一位力学工作者利用问题流场的特点,设计了一个合乎问题特性的计算方法,才使运算能力不大的电子计算机解决了问题。这就要求力学工作者参加到计算工作中去,而不是象国外不少力学工作者那样,回避电子计算机。

自然,力学工作者还要作好上电子计算机前的准备工作——“后勤工作”。一项工作,就是计算中要用的物质的性质,没有这种数据,有方程式也算不了。怎样来解决这个物质性质的问题呢?有两方面的工作:一个方面是理论;一个方面是实验。

理论工作,在气体、液体、高温气体等方面,要用微观的方法。微观,就是到了分子以及分子在高温下分裂成原子、电子、离子这样一个水平,从这里头得出宏观的物理性质。关于金属材料,还有高分子材料,也要找出物性。它们的分析水平,对金属来说就是晶体颗粒,对高分子材料来说就是分子链、纤维结构。这些东西比单个分子大。国外有一种说法,叫“亚微观”;我们有的同志把它叫做“准微观”。苟清泉同志提议叫“细观”。他说“整个宇宙可叫‘宇观’;再小一点叫‘宏观’;然后再到细粒子,细纤维、晶体颗粒叫‘细观’;再小到分子和比分子更小,叫‘微观’”。我很赞成。我们的民族语言多丰富啊!我们中国人不要老跟人家走,把银河叫成“神奶路”,以至“牛奶路”。我们把微观范围的叫“物理力学”,那么在细观范围是不是可以叫“精细力学”?就是相对宏观研究得仔细一点,到晶体颗粒和高分子团这些结构的水平。我认为“精细力学”是大有前途的。新材料、复合材料,以至所谓分子设计,都与它有联系。现在粉末冶金,用超级球磨的方法产生的细粉,本身就是一种复杂的人为设计的一种结构。比方说,它的中心是一种金属,外围包上一层金属化合物,外头再包一层另外的金属,然后再加一种金属粉,合在一起烧结。它的物性可以人为地控制。

与此密切结合的是实验工作。当理论工作深入到细观、微观这个阶层时,对实验工作的要求就更高了。实验工作要大大提高,咱们实验室那一套恐怕不行了。现在,人家搞实验都是电子计算机控制的,自动记录、自动处理的。这些我们都没有。人家用电子计算机,我们用手算。人家本来就在前面了,我们在后面撵。人家跑得还比我们快,那怎么办呢?怎么实现四个现代化呢?所以,实验工作很重要,要下决心加一把力,搞上去。

以上讲的是一些关于物性方面的工作。钱元元同志提到高分子材料还有许多加工的问题,我想大概就是我们搞力学的称之为流变学的那些问题。流变体与简单的粘性流体不同,光靠粘滞性还不够,也需要从细观、微观的角度来解决问题。

上面讲的物质性质的工作,也就引出了一个“设计”材料的问题。当我们弄清了物质结构与物质力学性质的关系,我们就可以把问题倒过来,规定材料的力学性质,问材料的结构,细观结构或

微观结构该是怎么样的。这可以叫做“分子设计”。现在材料科学已经发展到一旦有了设计,就能把材料造出来。这就又给我们提出了一个新的可能:我们可以让工程设计人员、力学工作者和材料科学工作者一道工作,再加上电子计算机,把一项工程设计一直设计到细观或微观的水平,而不是靠过去那样,材料只能选用,不能设计,材料工作和工程设计分两段干的局面。这个新的发展,将大大提高将来各种工程设备的使用性能。

(三)

还有什么其他为电子计算机力学做准备的力学工作呢?作为流体力学的具体应用的水力学、气动力学,将来的发展主要靠电子计算机,那么水洞、风洞还要不要呢?还是要的。要,当然不是靠它去真正求出工程技术、工程设计中所需要的全型的大尺寸的实验数据,而是在它里面做小型试验,这个小型试验的模型也在电子计算机上算,看看计算的结果符不符合实验的结果,需不需要对计算方法进行修正。所以风洞、水洞这类实验技术还是要搞的。要了解水流和气流中的新现象,更需要用试验设备。

一个未解决的老问题就是关于湍流的问题,看起来要解决湍流的问题还得靠实验。湍流不能放到电子计算机上去算,因为我们不知道怎么算,还得用经验规律。历史上湍流的工作就是这么做的,实验工作有了一个突破,理论工作就跟着上了一层楼;理论工作做着做着不行了,一等又是若干年,又要等待实验工作有所突破。现在实验技术有所发展,理论工作又有了突破的希望。另外,近几年对于偶合非线性振荡的研究,发现了在这种体系中有时会出现类似湍流现象的杂乱运动。这又给我们一条线索,当我们更深入地认识到湍流是怎么回事,我们就有条件更好地做好湍流的理论工作。

要搞清金属、非金属材料的物性,恐怕要比气体、等离子体还要复杂一些,困难还要多一些。当然不是说这个问题不解决,工程师就没有办法。在物质强度、破坏、变形这些深刻的理论还没有得到的时候,也可以进行工作,那就是把电子计算机的计算同经验的破坏规律结合起来搞。不过,只是在我们对金属、非金属材料的这些性质有更深入认识的时候,工程设计工作结合电子计算机才可以提高到更高的水平。

研究具有复杂物性物质的运动,必然联系到建立比从前我们习用的弹性力学方程式、纳维埃-斯脱克方程式以及流变学的一些方程式更复杂得多的基本方程。我们建立起来了这些宏观的方程式后,还该仔细地看一看跟热力学、跟力学的基本定理有没有不符合的地方。如果跟热力学、跟力学的基本原理有不符合的,这个方程式当然是不对的,不能用。我们需要有这样一个把关的工作,这就是理性力学的任务。它是有十分重要的实际意义的。理性力学就是连续介质力学的基础理论。

我认为,从事理性力学这样一类能概括地提高我们认识的科学研究,不但重要,也是一种精神享受。我有一次给学生讲如何建立弹性力学的基本方程式时,是这样讲的:弹性力学基本方程式的基础,就是一、连续性,二、各向同性,三、应力应变的线性关系。我说只有这三个假设,然后根据牛顿三定律,就必然产生弹性力学基本方程式。我从这种讲法感受一种享受,我的学生也感到享受,我们的享受来源于感到自己站得更高了,能洞察事物的本质了,不单是知其所以然,而且是透彻地知其所以然了。这样的科学工作是很有用处的,它使我们提高认识,不是在那些枝枝节节的问题上钻进去拔不出来。已故的理论物理大师沃尔夫刚·泡利受到推崇,也是这个原故。钱令希同志说今后搞结构理论要结合电子计算机,用电子计算机解决结构问题还是要有定性的理论。我理解他所说的定性理论,就是把更深刻地概括的力学同电子计算机结合起来的基础理论。我建

议搞理性力学的同志向这个方面发展。

(四)

在一九一〇年到一九六〇年这五十多年工作的基础上,力学另一个方面的发展就是开拓新的领域。譬如,在天文学方面有许多力学工作者在帮助工作;在地学、生物学方面也发现了大量的力学问题,要求力学工作者同地学工作者、生物学工作者一起工作。这是一个在本世纪前五十年中不大看得见的现象。那时候,力学工作者本身要解决工程技术、生产里头提出的问题还忙不过来,根本无暇帮助基础科学领域的科学工作者解决问题。现在,有一些原来搞应用力学的人,由于电子计算机的出现,而“转业”了,他们转过来搞天文学、地学、生物学中的问题。这也是好事情,帮助了邻近的基础科学工作,同时开拓了力学的新领域。

另一方面,由于科学技术的发展和实际工作的需要,也开拓了化学流体力学、电磁流体力学、等离子体力学以及非平衡态力学这样一些新领域。我们容易举出的非平衡态力学例子是激波、爆轰波、爆炸力学中的强冲击波等等对金属或非金属表面的作用。这是非常快速的过程,不可能达到热力学的平衡,用力学的平衡态的老办法处理是不行的。还有,在人造卫星所经历的空间中,气体是很稀薄的,分子的自由路程跟物体的尺度差不多,用连续介质力学、用宏观平衡态力学的办法就解决不了问题,所以稀薄气体动力学也是非平衡态力学。

我们还可以考虑把本世纪前半叶力学工作的一套行之有效的办法,用到解决其它工程技术领域的问题上去。例如,电力科学技术中的电磁结构设计,象电机的定子和转子的电磁设计,各种电磁线圈的设计等。这里是把已经建立了的马克斯威尔电磁场方程组用于具体的工程设计问题。再如电真空器件,特别是大型电真空器件的设计,那是电子流在电磁场中的运动。这也是用马克斯威尔方程组求解的问题。这些方面的工作做好了,电力和电子设备的性能就可以进一步提高,是一件很有意义的工作。

当然,在我们把力学工作扩展到新的领域去时,问题可能不如旧的力学领域那么成熟,甚至会出现用什么方程式和边界条件也不完全明确的情况,那就用不上电子计算机,还得回到老的力学工作方法。例如土岩大爆破工程的设计就是如此,现在就要用什么微分方程去算还不太可能。我们只有从实验和现场观测数据出发,用无量纲分析,把鲍列斯柯夫公式提高几步,找出经验规律,再在经验规律的基础上,探索土岩爆破抛掷的理论。这个过程就和三十年代处理湍流附面层的过程是相似的,是个有效的办法。在这样的情况下,硬要一步登天,跳过这一步踏实的工作是不可能的。

(五)

从以上所说的,可以看到现代力学的工作领域是十分广阔的。它对工、农业生产、交通运输、国防建设有着密切的关系,可以说不可能设想不要现代力学就能实现四个现代化。现代力学工作者又和基础科学家一道,并肩战斗,推进开拓人对自然界的认识,发展自然科学基础理论。

华主席号召我们:“学习学习再学习,团结团结再团结”。我们力学工作者不仅要看到自身,而且要看到跟力学工作有关的很多方面。邓副主席讲,科学技术工作有四个方面军。工业部门中就有很多力学工作。我们力学工作者要想到在这些部门从事科技工作的同志,跟他们的工作联系起来!再一个我们要考虑的很重要的一支科技队伍就是中国科学院,这是一支很强的队伍,设备、人力都很强,学科齐全,找什么样的专家都有。对于开拓新的领域,发展新的科学技术方向,这是

任何单位都比不上一支队伍。再一个方面是高等院校。高等院校我接触不多,但觉得高等院校确实是一支很强的力量。我曾问过,高等院校从教基础力学的算起,教理论力学、材料力学、流体力学、结构力学的到底有多少人?我得不到确切的数字,有的说五千,有的说上万,反正不少,这支力量很重要。教书不能只教书,教书、科研是不能脱离的。我从前也教过书,也作过研究工作,有点体会:认为这两者不能分家,一分家以后书会越教越糟。反过来,是不是可以只做研究工作不教书呢?我也不赞成。我从学生那里得到很多启发,我每讲一课之后,学生总要问我这样那样的问题,有的问题把我难住了。这一逼,对我有很大好处。所以,我对解放军“官教兵、兵教兵、兵教官”这一条,很赞成。我们高等院校的教师能不能够又教基础课,又教专业课,又能搞研究?当然不是说在一个月这三项一起干,而是说在一个时期前前后后这三项轮流都能干。

我们也要动员高中的理科老师和我们一起搞点力学工作,如力学史的研究。

再一个方面就是邓副主席讲的我们国家还有广大群众。在资本主义国家是不重视群众的力量。对群众的发明创造,用学院式的思想去衡量,群众的说法不符合这个理论体系就反对,就一笔抹杀,这就太武断了。群众中的创造是从实践中产生的,但他没有学过系统的理论,道理可能讲不好。最近我就碰到一件这样的事情。一位部队的医务人员叫拉西·格拉僧同志,业余搞研究,搞出一种新自行车,足蹬齿轮不是圆的而是菱形的。据说,我们有的科学工作者去找他时,他就讲他的一套“理论”,但他讲的道理听不懂,我们的科学工作者就跟他辩论理论。我认为不要这样。拉西同志说他的车子省力,你就实事求是地先看看是不是省力。是省力,那么我们科学工作者就要去解释为什么省力,而不是去跟发明家争吵什么理论。现在为什么省力的问题还没有解决,这就给我们科学工作者出了研究题目,是件大好事。所以对群众的创造要取慎重态度,不要随便否定。而且,从哲学上讲,我们对客观世界的认识是有局限性的,现在认识到的只是相对真理,我们还有许多东西没有认识到,群众中的发明创造就可能蕴育着我们所不知道的新的规律。

(六)

第二点意见,我觉得学会的工作应该大大繁荣。学会好就好在它打破了部门的界限。多成立点学会,学会活动搞得多一点,大有好处。也可以有交叉,譬如,我们的力学学会就跟航空学会、有千丝万缕的关系,但你不能说有了航空学会就不要力学学会了,还是要的。有了力学学会,中国恐怕还要有水力学学会。最近与航空学会商量,经中国科协批准,又成立一个航天学会。有了航空学会、航天学会,空气动力学又是与这两边跨着的,我提议还可以成立气动力学会。各种形式都可以活动,活动越频繁,交流就越广泛。搞大力协同,我们的社会主义制度本来是很优越的,我们有比资本主义社会好得多的条件。但是正如华主席、邓副主席、李副主席在几次会上讲的,搞大力协同,说起来都赞成,作起来困难很多。我认为这是多年的封建小农经济影响还没有根除的结果,否则我们就没法解释资本主义国家还搞得比我们更活跃的道理。为什么科学院的同志不能到高等院校去当特聘教授?为什么高等院校的同志不能到科学院当研究员?工业部门的专家多得很,也应该交往。有同志建议成立北京力学交流和研究中心,我很赞成。不过这还是没有放手大干。为什么不搞大交流中心,什么学科都有,地点也不一定只限于北京,咱们国家好地方多得很,例如在昆明也搞一个。我们自己同志去讲学,国外的学者也去讲学,定期发一个日程表,登上什么时候那位科学家讲什么学,大家去听,搞得生动活泼。

(七)

我觉得搞四个现代化,首先是科学技术现代化。第一条就是要批判林彪,批判 [下转3页]

上得去。

第三,新老学科的关系。在力学领域中,有几个历史悠久的传统学科,如质点和刚体力学,流体力学,固体力学和土力学等。在这些学科中,近年来,国外在理论、方法、现象方面都不断有所突破,例如:孤立波理论、失稳分岔理论、有限元法、断裂力学、剪切湍流、变形体热力学、弹粘性介质中的记忆衰退理论等。这些方面需要向纵深发展,扩大战果。我们还要继续发现新的突破口。我们要决心去攻克难关。要避免目前的“浅水区拥挤不堪,深水区无人问津”的现象。

近年来,在国内和国外陆续出现一些新兴学科,如岩体力学,地球力学,物理力学,等离子体动力学,宇宙气体动力学,化学流体力学,爆炸力学,生物力学,理性力学等等。这些学科,多半是和其它学科相互渗透建立起来的。它们的崛起,好像雨后春笋,有旺盛的生命力。这些学科,又像未开垦的处女地一样,到处有吸引人的前景。我们认为,老学科有责任来扶植新学科。我们鼓励传统学科中有经验的科学家向新学科进军,开辟新领域。在新学科领域里工作的同志要加强学习,学习老学科的经验和我们所不熟悉的相邻学科的知识。新学科中的新发现,有可能反过来促进老学科的突破。有的老一辈科学家提倡“人梯”精神,愿意为新学科的成长铺平道路,这是非常值得赞扬的精神。

第四,理论和实验的关系。理论必须以实验为基础,实验必须有理论作指导。一个新理论,必须能够解释旧理论能解释的现象,还必须能够解释旧理论所不能解释的现象。这还不够,新理论还必须预见到尚未出现的现象,并通过科学实验的实践得到证实。因此,理论工作是离不开实验的。实验是理论的前提。科学实验的实践,又是检验理论是否正确的唯一标准。在许多复杂的应用问题中,实验常常又是解决问题的仅有的方法。然而,在我国目前的力学工作中,实验研究没有得到应有的重视,特别是实验研究工作中技术系统的建立没有受到重视,必须认真地加以解决。

〔上接9页〕

“四人帮”,肃清流毒,把上层建筑、生产关系同经济基础、生产力不相适应的问题解决,然后作为力学工作者(当然不光是力学工作,今天我们谈力学工作)首要的问题就是怎样最快、最广泛地掌握电子计算机、用电子计算机。我想现在已经可以肯定,我们要实现四个现代化,不重视电子计算机,不用电子计算机,那是不可能的。最近我们的同志到西欧和罗马尼亚考察,回来后讲了一件事,说是罗马尼亚同志告诉他们的,罗马尼亚现在使用计算机、搞计算机软件的人占人口比例的1%,美国占人口比例的2.5%。我查了一下,美国农业劳动力人数才占人口比例1.2%!搞软件的人,使用电子计算机的人竟是农业劳动力的两倍多!按这个比例,我们十亿人口就应该有二千五百万人。当然我不是说我们也要有二千五百万人搞软件,我是想说明在电子计算机这项技术革命方面,我们的差距有多大!

所以我倡议,让我们一部分力学工作者走出我们的研究室,和工程设计人员携起手来,下决心把我国的工程设计工作电子计算机化;而其他的力学工作者,一面作好他们的后盾,把“后勤”工作搞好,一面开拓新领域,支援基础科学。要使力学工作也现代化!这个目标能不能在一九八五年完成?我看能完成,而且一定要完成。