

力学与实践

LIXUE YU SHIJIAN

1

1979

科学出版社

力学与金钱

THE SCIENCE OF THE WEALTHY

1

1979

· · · · ·

征 稿 启 事

《力学与实践》杂志是力学学科的综合性刊物。它将传播理论和应用力学的基本知识,报道国内外力学各分支学科及其边缘学科的科研新成果、新动态以及它们在工程技术中的应用,交流新的力学实验技术和计算方法,介绍古今中外从事力学工作的著名人物及其成就,以促使我国力学工作的进展,帮助科学技术工作者不断开阔自己的知识视野和不断提高自己的业务水平,为我们伟大的祖国在本世纪内实现四个现代化服务。它的主要读者对象为科研人员、工程技术人员、科技部门业务管理干部和有关学校的师生。

根据以上办刊宗旨,《力学与实践》的内容和主要栏目设置如下:

1. 调研报告,展望,综述,学科介绍等,每篇文章要求在 7000 字左右。
2. “研究报道”栏: 研究论文的简要报道,每篇文章要求在 2500 字以内。
3. “实验技术”栏: 包括新的实验、测试技术和方法的介绍;应用计算技术进行力学实验数据的采集、处理和实验的控制、设计等有关实验过程自动化的报道。
4. “数学方法和计算方法”栏: 数学在力学中的应用;计算力学的基本理论及其研究。
5. “经验交流”栏: 有关力学基础理论的应用以及新成果推广的经验交流。
6. “消息与动态”栏: 以三、五百字的短小篇幅,扼要介绍当前国内外力学科学发展的动态,其中包括新的思想、现象、成果、技术、方法、仪器等。
7. “讲座”栏: 新理论、新技术、新方法的系统介绍。
8. “译文”栏。
9. “力学家和力学史”栏。

《力学与实践》将努力以新颖精炼的内容、深入浅出的语言和生动活泼的形式出现在广大读者面前。我们热情地盼望各地读者大力支持和关心它,多多投寄稿件,推荐组稿线索,提出批评改进意见,共同把它办好。

力 学 与 实 践

(季 刊)

1979 年 第 1 卷 第 1 期

编 辑	《力学与实践》编辑委员会 (北京中关村中国科学院力学研究所)
出 版	科 学 出 版 社 北京朝阳门内大街 137 号
印 刷	中 国 科 学 院 印 刷 厂
发 行	全 国 各 地 新 华 书 店

一九七九年 三月出版

统一书号: 13031 · 1016 本社书号: 1431 · 13-2

定价: 0.43 元

目 录

谈谈对力学的认识和几个关系问题	周培源 (1)
现代力学	钱学森 (4)
发展中的计算结构力学	钱令希 (10)
力学的强大生命力在于它的创造性	陈宗基 (14)
弹性理论中广义变分原理的研究及其在有限元计算中的应用	钱伟长 (16)
生物力学的几个问题	杨桂通 (25)
地球构造动力学简介	王 仁 (32)
水锤的认识与实践	吴云鹏 (34)
强激光与等离子体的相互作用	胡昌信 (38)
研究报道	(44)

升板建筑群柱稳定性验算中的折算荷载(何广乾 张维嶽 施炳华) 材料力学中某些超静定结构的一种解法(成祥生) U形膨胀节计算(蔡 楷) 发生汇流旋涡的实验研究(杨文熊) 非定常温度边界层(陈允明) 天体运行的能量方程(查有梁) 一个数学红细胞(彭荣蕤)

· 实 验 技 术 ·

刚性试验机	林天健 (58)
-------------	----------

· 力学家与力学史 ·

怀念郭永怀副所长	胡文瑞 (63)
科学记者李·爱德生笔下的冯·卡门	朱保如 赵国英摘译 (65)
德国格廷根力学学派的形成及其特点	晏名文 (67)

· 经 验 交 流 ·

现代海港建设与水下爆破	冯叔瑜 马乃耀 (69)
一个爆炸合成金刚石的新装置	中国科学院力学研究所二室一组 (73)
消息与动态	(76)

利用工程爆破同时合成金刚石(邵丙璜 汪金通) 横向流动电激励 CO₂ 激光器获得阶段实验结果(柯力光) 全射流喷头有了新发展(金哲学) 在天上捅个洞(陈允明) 高温应变计(如 愚) 用电子计算机代替部分风洞实验(李昌俊) 非线性色散波与凝子(范良藻) 地震与潮汐(陈允明) 美国用激光摧毁导弹首次试验成功(傅裕寿) 激光推动宇宙飞船(李元恒) 高压水射流技术(柳兆荣)

国内外近期学术会议消息	(80)
新书架	(75)
征稿启事	封 四



谈谈对力学的认识 和几个关系问题

周培源

力学的发生和发展一开始就是由生产决定的。恩格斯曾经举出了古代力学发展的背景是农业发展的某一阶段，城市和大建筑的产生，手工业的发展，航海和战争等等例子。一六八六年牛顿对力学的总结，最初是从天体运动的研究开始的。当时，天文学、数学和力学是自然科学中仅有的三个成熟的伙伴。它们互相渗透，互相促进。牛顿力学的发展为大工业准备了基础，也对物理学其他分支的发展起过巨大的推动作用。海王星的发现是牛顿力学科学预见的光辉范例。牛顿力学的惊人成就，甚至影响了人们的世界观。这也可以说是物极必反的结果。但是，当人们克服了机械唯物论思想，继续前进的时候，力学并没有消失，只是采取了新的思想，取得了新的形式。甚至，经典力学本身的力量也依然在到处发挥着作用。统计力学和探索微观运动的量子力学，都是从经典力学出发的。

这里，我们首先要提到的是物质的宏观运动和微观运动的关系。力学是关于物质宏观运动规律的科学。力学的运动规律是牛顿的运动规律。依据牛顿运动规律的运动是机械运动。一直到现在，力学在工程方面的应用越发深入，在绝大部分的工程（包括建筑、水利、交通、机械、采矿、冶金、化工、石油、军事、空间工程）中，处处都需要力学。工程向力学提出了层出不穷的问题，力学也不断以新的成果，深刻地改变着工程设计的思想。近年来，力学又在认识自然方面，恢复和扩大了过去的老传统。力学工作者投身到宇宙论、天体演化、星系结构、天体爆炸、太阳风、行星磁场等研究，也投身到大气、洋流、海浪、地壳运动、地幔对流等的研究。生物力学出现了，它将为力学和农业及医学建立越来越紧密的联系。可以这样说，近代力学的发展，已深入到自然科学的许多部门。力学在物质宏观运动范围内所处理的问题，所以有这样的广泛性，起因于力学是研究自然界中最

基本、最简单的运动形式,即位置移动。

从这个意义上来说,大尺度宇宙空间的天体运动,也包含位置的移动。狭义或广义相对论力学所处理的物质宏观运动问题,也是力学所处理的问题。

分子、原子的运动与结构,属于物质的微观运动。它们的规律为量子力学和量子电动力学。这些规律是从力学和电动力学的规律上分别发展出来的,但不同于力学的规律。物质的微观运动已不是单纯的位移,而具有新的形式,如从一个稳定态跃迁到另一个稳定态。基本粒子的规律还不清楚。我们有责任去揭示宏观现象和微观现象之间的联系。物理力学就是这样一个例子。

第二,基础研究和应用研究的关系。从生产实践和科学实验(观察)提出具体问题,对之研究、概括、提高、总结,成为力学的基础理论,再将这种基础理论应用到尚未研究过的具体问题,找出它的特殊本质,借以补充、丰富和发展共同性的力学原理。这种从特殊到一般,从一般到特殊的往复循环的认识过程,是力学研究和其他一切科学研究所共有的。

自古以来,力学研究就有基础研究和应用研究两条途径。牛顿就认识到了这一点。他在《自然哲学的数学原理》序言中谈到:古人用两种方法演述力学,其一是纯理的,用论证精确地推进,其一是实用的。一切技术方面的事情都属于后者,实际上力学这个名称,就是由此得来的。

我们的革命导师马克思把力学叫做“大工业的真正科学的基础”,而另一位革命导师恩格斯则把力学叫做“最基本的自然科学”。他们从不同的侧面来说明力学的地位和作用。学习他们的教导,对我们力学界是非常有益的。我们不必重复十八世纪力学成为黄金时代的历史,以为力学可以包打天下;我们也不必妄自菲薄,以为力学已经古老,力学的原理、原则已经完成,剩下的只有应用了。毛主席教导我们:“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。”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,力学就永远有无止无境的研究课题,就永远有无限光辉的前景。

从力学长期发展的历史来看,我们可以得出这样一个初步的结论,就是力学具有很强的基础性,又有极为广泛的应用性。两者相反相成,互相促进。所以,力学既是基础科学,又是应用科学。这和数学、物理学、化学、生物学等门科学,并没有什么两样的地方。

如果上面的结论可以成立,我们能否这样说:就它的性质来说,力学属于基础科学,和数、理、化、天、地、生一起共称七大基础科学;同时,我们也能否这样说:就它的应用范围的广泛性来说,力学也属于技术科学。因此,我们既要充分重视力学的基础研究,又要十分注意力学的广泛应用。为什么说要充分重视,因为我们这几年来受到“四人帮”破坏最甚的是基础理论研究。“四人帮”之所以这样做,其目的是为了反对毛主席和周总理,为了篡党夺权。但为害所及是自然科学基础研究,包括力学在内。这几年来,计算靠引进程序,实验靠模仿,理论工作奄奄一息。我们很少提出新概念、新思想、新理论。对近年来国际上很活跃连续介质力学基本理论,非线性波和非线性失稳理论,材料力学性质及其微观探索,湍流理论等等,或则无何进展,或则至今仍是空白。如果我们不重视基础研究,我们只能亦步亦趋,永远谈不上赶超。要彻底改变这种情况,非要狠狠砸烂“四人帮”造成的种种精神枷锁,破除心头余悸不可。为什么要十分注意应用研究呢?因为大量应用工作都直接和工业、农业、国防的现代化有关。所以,我们一方面要注意抓住四个现代化所需要解决的重大的关键性的力学问题,重点安排力量,充分利用现代化的计算工具和实验手段,多快好省地加以解决。另一方面要妥善作出全面安排,广泛调动应用力学工作同志的积极性。现在,很多产业部门已经开始从单纯按产品组织科研,进而重视同时按学科组织应用基础的研究,因而工程力学得到很大的重视,这是十分可喜的现象。只有力学的应用研究壮大了,力学的基础研究才能

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。

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了”。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”。荀清泉同志提议叫“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，那怎么行呢？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。钱人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方法，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内这三项一起干，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)

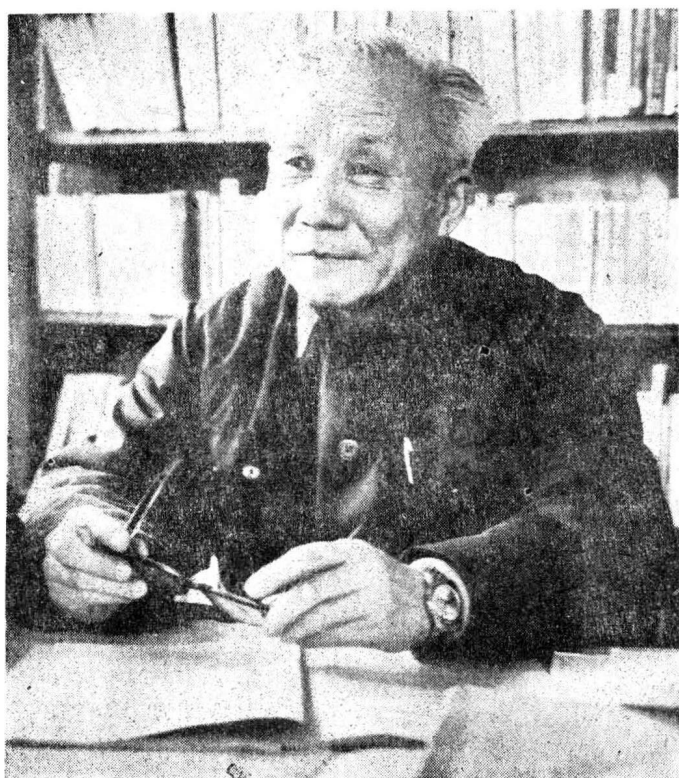
第二点意见，我觉得学会的工作应该大大繁荣。学会好就好在它打破了部门的界限。多成立点学会，学会活动搞得多一点，大有好处。也可以有交叉，譬如，我们的力学学会就跟航空学会千丝万缕的关系，但你不能说有了航空学会就不要力学学会了，还是要的。有了力学学会，中国恐怕还要有水力学会，最近与航空学会商量，经中国科协批准，又成立一个航天学会。有了航空学会、航天学会，空气动力学又是与这两边跨着的，我提议还可以成立气动力学会。各种形式都可以活动，活动越频繁，交流就越广泛。搞大力协同，我们的社会主义制度本来是很优越的，我们有比资本主义社会好得多的条件。但是正如华主席、邓副主席、李副主席在几次会上讲的，搞大力协同，说起来都赞成，做起来困难很多。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]

计算结构力学 发展中的

钱令希



在工程力学中,结构力学是个极重要的组成部份。任何工程都要设计和建造工程结构物,都有结构力学的问题需要解决。现代化的工程中,结构越来越复杂,要考虑的因素也越来越多,对力学的要求也就越来越高。近一、二十年来,结构力学发生了非常深刻的变化。在各种因素中,电子计算技术的作用是最为突出的。现在被称做“计算结构力学”的,实际就是计算机化的结构力学。可以预料,今后随着力学与电子计算技术更加紧密的结合,在结构分析、设计的理论和方法的各个方面还将不断发生深刻的变革。现在的问题是,作为一个科学技术工作者,要自觉地来适应和推动这个前进的潮流,并以此来更新自己的工作内容,使自己的工作路子走的更宽些,步子迈得更大一点。

新的东西的出现引起新的变化。当电子计算机要改变人们的工作内容、方法和习惯时,不免会有阻力。我对计算结构力学的理解有一个过程。六十年代初,我初接触电子计算机时,完全没有看到它会使传统的结构力学如此改观。当时只感到它可以解除一下长久以来求解联立方程组的困难而已,所以没有重视计算机的重大作用,认为不一定人人都学。到七十年代初,感到情况有了变化,很多国际上结构力学的文献书刊越来越难读了,别人处理问题的内容、思考问题的方法、使用的数学手段,我都很生疏,有的甚至看不懂了,感到如果再故步自封,简直无书可读,也没有什么工作可做了。当时,国内许多从事结构力学和工程设计的人也都感到这个落后的局面必须改变。1973年左右开始,在各个学校、研究、设计单位逐渐重视起电子计算技术的应用,而结构力学是最活跃的领域之一。到现在经过五、六年的工夫,在实践方面有了相当大的展开,电子计算技术已比较普遍地应用到各种工程结构的研究和设计中去了。现在除了众多的专门电算程序,也编制了若干一定规模的通用程序。今后如果机器和设备的情况得到改善,实践和普及方面的进展还会更快。实践推动了理论工作方面的研究,在学校教学中也得到了反映。正如最近一位外国学者写

的那样,计算机化结构力学这个提法,在过去甚至不被承认是固体力学的合法的分支,但到了今天,它已形成了横贯许多学科的局面,并且为了它的发展正在投入大量的人力和经费。

电子计算技术大大影响了结构力学这一点得到了广泛的承认。它使得结构力学的对象、任务、理论、计算模型、数学工具都发生了变化。

从结构力学的对象来看,过去大学里这门课程研究的对象是杆件系统的结构,至于板和壳的问题以及其它连续体力学,则必须另立各种不同的课程。各门课程有它自己的对象。这是因为在没有电子计算机的时代,这些对象的处理必须各行其是、自成体系。即使是杆系结构,研究者为了处理各种类型的杆系结构,也必须寻找各种不同的特殊方法。问题都出在计算工作上,集中在怎样才能克服困难算出具体的数字来。现在计算机化了的结构力学,它可以通用同一个途径来处理杆系、板、壳和连续体。它的对象可以是一个各种构件的组合物。结构本来是组合的,一个建筑物,一条船,一架飞机,都是杆、板、壳和连续体的组合。过去是一样一样的来处理,现在则可以比较地按结构本来的面貌来研究。所以计算机化了的结构力学才是名符其实的结构力学。

结构力学的任务也有了很大变化。过去结构力学工作者把自己的任务限于结构的分析,也就是把一个结构在外因作用下的反应分析出来,至于结构的设计,那是工程师们的事,研究结构力学的人,没有精力去研究优化设计的理论。现在计算结构力学已经迈出了果断有力的一步,把结构优化设计作为自己的任务。它不仅分析和说明结构,还进一步设计和改造结构。

结构力学的基础理论是早已建立起来了。平衡、连续、物性三者的统一产生了力法和变位法,还有各种能量原理和变分原理。过去由于来自计算工作方面的障碍,各种特殊的计算方法层出不穷,而基础理论的作用却没有得到很好地发挥。计算结构力学使计算方法趋于统一。像以变位法为基础的直接刚度法,目前几乎成了统一的方法,而各种公理化了的变分原理增添了新的活力,更加发挥了它们的作用。

结构力学的计算模型关系到力学工作能否真实反映实际。以往总是把空间问题简化为平面问题来处理;把多维简化为少维;把非线性的问题简化为线性问题;把不均匀简化为均匀;把不连续的改为连续的;把动态的改为静态的。改来改去,无非是如何使问题好算一点。计算机化以后,结构力学可以处理复杂得多的计算模型,因此便于反映更真实的情况。

结构力学使用的数学工具也有了变化。以往杆系用线性代数;板、壳和连续体用偏微分方程。现在计算机的工作是离散化的数值计算。矩阵数学成为最有效的数学工具。计算结构力学离不开矩阵数学,这是因为矩阵数学本身的表达能力强,运算推演简洁方便,更重要的是它非常适应电子计算机的工作。凡是电子计算机的专长,诸如矩阵数学、循环迭代、逻辑判别等都是计算结构力学的重要工具。

总而言之,电子计算技术引起的一番变化产生了计算结构力学,使结构力学在理论上更统一和更有活力,应用上更方便和更广泛,不仅能够更真实地和可靠地反映实际,而且使解决问题的速度和周期大大的加快了。因此,结构力学在工程建设中的作用将更加富有成效。它的研究领域将向纵深发展。

在计算结构力学中,有两项最具代表性的工作:一是关于结构分析的有限元法;二是关于结构设计的优化设计的理论与方法。

有限元法是当前大家熟知的分析连续体的强有力手段,不仅在结构分析中如此,而且已相当普遍地应用于分析其他连续介质的物理现象。二十多年来,有限元法在国内外的的发展大致可分三个阶段。开始阶段,在五十年代中期,飞机结构的分析中将一个连续部件看成是很多离散的元素组合,然后用杆系结构力学中变位法的概念分析这些元素连接点的变位和内力。杆系是一种天然

的有限元组合模型。把连续体离散化成人工有限元的组合,这个思想并不新鲜。但是,当杆系力学的理论与电子计算技术相结合后,立刻显示了有限元法的巨大威力。参加这个阶段工作的大多是力学工作者。这时的有限元法只是从直观概念出发,解决实际问题时怎么方便就怎么做。因此,有限元法有时很成功,也有不成功的时候。到六十年代初期的第二阶段开始,在大量力学工作者和少数数学工作者的参予下,搞清了有限元法与能量变分原理的联系。早先的连续体力学中,用瑞雷-李兹法近似处理能量泛函的极值问题,一直被认为是一个重大的突破。但是由于必须在连续体整个领域内假设近似的位移分布函数,这只有在比较简单的问题中才能做到,因此即使有了变分原理和瑞雷-李兹法这样强有力的工具,对于略为复杂一点的组合结构还是无能为力。有限元法最突出的优点是它只要求在各个元素范围内作出位移分布函数的合理假设,这样问题就简单得多了。这是一种对能量泛函作分块近似的瑞雷-李兹法,也就是各个元素交界上可以放松某种连续要求的变分原理。这种连续要求也可以进一步作为约束条件用拉格朗日乘子引入变分的泛函中。当有限元法有了这样的理论根据,于是研究者们自觉地以各种形式的变分原理为基础,建立了多种形式的有限元,其中包括直杆元、曲杆元、平面应力元、三维应力元、弯曲板元、壳元、夹层板元、复合材料板元,还有所谓奇异元、半无限元等。有限元还引发了子结构的概念,使复杂的结构可以分成若干层次来处理。在理论上,从变分原理建立起来的元都是可行的。当然,从实用的角度看,收敛有快慢之分,应用也有广窄之别。这个时期可以说是建立各种有限元的风行时期,到六十年代末达到了高潮。现在进入第三阶段,研究的重点逐渐在转移。有限元法吸引了很多数学工作者,进一步来探讨这个方法的数学基础和收敛问题,有所谓离散数学的提法。还有一种研究是建立各类没有变分原理的力学及非力学问题的方法,像加权残值法。另一方面,有限元法还应该发挥潜力和扩大应用;对各种非线性问题、各种有时间因素的动态问题,都还有深入研究的必要。此外,还有一些特殊问题,例如局部效应、边界效应、刚度突变等,简单地使用普通有限元法和依靠计算机的运算能力是收效不大的,需要力学工作者从力学观点研究合理的计算模型,有时结合解析的方法,有时依靠定性的力学判断才能更有效地解决。

计算结构力学的另一重点是研究结构优化设计的理论和方法。设计要优化,这是长期以来人们的愿望。结构力学应该介入设计,这是理所当然的。要设计必须先会分析。过去结构力学着力于分析,建立了相当完善的结构分析理论,但是可以说,直到现在还没有科学的结构设计理论。结构方案的设计主要还是依靠工程师们的经验判断,力学起到的主要是校核分析的作用。现在有了像有限元这样强有力的分析方法和电子计算机,优化设计的研究已有了必要的基础。什么叫优,我们的标准是多快好省。结构设计的优化,必须综合考虑很多因素,包括经济、工艺、材料、使用等各个方面的因素,而结构强度、刚度的力学问题只是其中必须考虑的一个方面。所以说结构设计是一种综合工作,而综合要比分析复杂。如果说结构分析困难,那么结构优化设计的难度就要更高出一个量级。结构分析是就一个给定的结构方案,计算出结构各种反应,包括各部分的应力、变形、振动频率和总体的承载能力以及结构的重量和造价等等。结构优化设计则是个逆问题。这里给定的是结构的一个理想目标,例如要求结构最轻或最经济,要在应加限制的各种约束条件下,尽可能找出最优的结构方案。优化的要求有等级之别,如果把结构的外形布局、材料选择、工艺措施都作为可变的参数来优化,那就比较高级,但由于问题过于复杂,看来这还不是当前研究的重点。目前大部分力量在比较低的要求上探寻结构优化的途径,那就在给定的结构布局和材料的前提下,以构件截面作为可变参数来作优化,也就是力求将材料分布得恰当,使结构的重量最轻,或者它的造价最低。很久以来,人们曾经凭直观判断,提出等强度和满应力这样的感性准则来达到这个目的。这就是所谓准则设计。但是这类感性准则只考虑了强度方面的问题,而无法考虑刚度和

其它方面的要求。此外,这类准则有时是无法满足的,有时满足了也不一定是最优解,但是由于运算简便,它们对于改进设计还是很起作用的。到五十年代末,非线性数学规划进入了结构优化设计的领域,把优化设计作为非线性规划的一个命题,看来是最恰当不过的了,只有非线性规划才能把优化设计追求的目标和应受的种种约束作完备的数学描述。虽然对结构力学工作者来说,数学规划论是很生疏的数学工具,但是既然这是研究优化设计最科学的手段,所以六十年代中化了很大的力气,把非线性规划现有的各种方法拿来作了尝试。有相当的收获和进展,对一些简单问题,可以求得很好的解答,但要求重分析的次数往往很庞大,从几十次到几百次。对于大型的复杂结构,每作一次重分析的代价是很大的,所以规划论方法虽然在理论上是最能适应各种复杂的情况,但是遇到复杂问题,实用起来却又显得过于困难,不易接受。到六十年代末,人们又回到准则设计的途径上来了。这时提出了能量在最轻结构中如何分布的问题,找到了相应于不同约束的能量准则,变化结构各部分的截面,用迭代的方法去满足某个准则,便可以得到最轻的结构。这些能量准则是用力学的理论推导出来的,在它适用的范围内理论上是正确的。它们是理性的准则,不同于以前的感性准则,于是准则设计向前迈了一个大步。能量准则设计的最大优点是计算工作简单,收敛快,而且不受结构规模大小的影响,一般要求重分析的次数在十次左右。但是它的应用有局限性,每个准则带一定的专用性质,不同的约束就有不同的准则。要是同时考虑多种约束,或是带来一定困难,或是带来一定的近似性。目前能量准则设计在美国航空结构的优化设计方面应用得很广泛,也很成功。在这同时,数学规划的方法仍在继续研究,因为这个途径具有适应性很强的优点。优化设计水平的提高,以及将来优化设计要向高级发展都还必须依赖数学规划。最近的研究使数学规划方法的效率有了显著的提高,在一些通用的考题上和几个简化的机翼模型上,要求的重分析次数也降到了十次左右。这个进展归功于把力学的概念、判断和有效的近似手段很灵活地应用到数学规划的步骤中去。看来,这种结合是富有成效的,有必要作进一步的发展。此外,数学规划论中的动态规划和几何规划在结构优化中也得到了很有效的应用。随机规划的应用也有人在研究。总的来说,结构优化设计的理论与方法的研究,目前在国内外还处于萌芽时期,正沿着不同的途径在作试探,在实用中,也已收到效果。

计算结构力学还很年青,是发展中的一个力学分支。随着电子计算机的日新月异,它的内容,包括理论和应用两个方面也将不断的发展。但是应该注意的是,力学是它的主体,是研究的前提,而计算是手段,是为力学服务的。以前的力学研究,常常受到人工手算的限制。今后的力学研究,这个限制解除了,可以充分利用计算机的力量,路子当然要宽得多了。但是机器帮助了人,人也要帮助机器。调通一个复杂的程序,要靠力学。一个行列式,有病没有病,病在那里,机器无法判别,也要靠力学的判断和改造。计算模型的好坏,主要是力学的事情。不能盲目使用计算机,要有一个估计,心中有数。要研究力学方面的定性理论,为数值解法提供依据。在研究中重视了计算,如果忽视了力学,碰到困难时,有力学基础的人还不要紧,否则就很难克服。目前要很好的使用计算机,编制一个高质量的程序不是一件容易的事,要付出很多艰苦的劳动。从事计算结构力学的研究,既要发展力学理论,又要掌握电子计算技术。一个人样样精通是不太可能的,必须组织起来,各有侧重,通力合作,才能上得快。过去几年,很多人为了掌握计算技术,辛勤劳动,编了不少专用的和通用的程序,解决了很多力学问题,必须总结和整理出来,建立起程序库,广为交流使用,避免重复劳动。这个普及电子计算技术的阶段是十分必要的,还需要继续努力,这是发展计算结构力学的起点。在这个起点上,要逐渐重视有关的力学的基础理论研究,并联系实际为四个现代化服务。同时,还要密切注意计算机的新发展。往前看,有可能将来电子计算机的使用,越来越简便,越来越手算化,那时计算结构力学的道路将更为宽广了。