

序

《院士谈力学》即将与大家见面了,我欣然应邀为之作序。

力学是关于物质世界宏观机械运动的科学,包括诸如物体的受力、运动、流体的流动、固体的变形、断裂、损伤等研究。它既是一门基础学科,又是一门技术学科。回顾新中国成立以来的重大成就,如两弹一星、具有自主知识产权的飞机、潜艇,还有高层建筑、巨型轮船、高水平的桥梁(如跨江跨海的各种吊桥斜拉桥)、海洋平台、海港与栈桥、精密机械、机器人、高速列车等,都有力学工作者的指导与参与,包含着我国数万力学工作者的心血和贡献。

力学对于国家的建设和现代化是重要的。这本《院士谈力学》文集可以帮助广大读者,特别是进入力学领域的或打算进入力学领域的年轻朋友了解力学,使其对于力学学科的性质、研究内容和今后发展,有一个更好的认识。书中收集了力学界的若干位院士对有关问题的文章和谈话。其中,有老一代的力学家如钱学森、周培源、郭永怀、钱伟长的文章,也有力学界许多后起之秀的文章。可以说,这本书凝聚了三代力学家对于力学的看法和议论。

事物总是在不断发展的,力学学科也是在不断发展的,这些文章并不是想给出有关问题的现成答案,如果这些文章所提出的问题和发表的看法,能够引起读者关注,引起读者的兴趣,并且能够使读者进一步思考这些问题,我想这本书就起到了它应起的作用。

该书分四部分。第一部分是关于力学学科的论述;第二部分是关于力学学科若干分支和研究方向的论述;第三部分是对力学教育的论述;第四部分是对力学科普的论述与科普文章。正如钱令希等院士所说:“普及是科学的力量所在,在某种意义上说,它是一切科学活动的目的和归宿。”

我们所处的时代是一个飞速发展的时代,是一个从物质到观念都迅速转变的时代,在科学和力学上,是一个呼唤杰出人物的时代。年轻朋友们,力学界展开双臂热烈欢迎你们投身力学事业,并为之作出贡献和发挥你们才能。

郑哲敏

2015年4月29日

前 言

在各方面的大力支持下,《院士谈力学》一书终于出版了。

力学作为应用性较强的基础科学,在我国科学发展、经济建设和国防建设中发挥了不可替代的重要作用。在力学学科的发展过程中,逐渐形成了一支具有前瞻性、思想性、创造性和引领性的科学家群体,暨力学及其相关学科的院士群体。他们始终站在力学学科的发展前沿,高屋建瓴地论述力学发展中遇到的科学和应用问题,为力学学科的发展做出了历史性的贡献。

编者出于对院士群体的崇敬,并为弘扬他们的科学精神和学术思想;也出于对力学学科的热爱,对力学史方法论研究的兴趣以及对力学学科传承和发展的责任感;同时为方便读者阅读、省去检索查找之苦,便萌生了将院士谈力学的文章集结成册的想法。编者利用工作之余收集和整理相关资料,从院士们发表的大量论文和著作中,遴选出部分论及力学学科发展以及通俗易懂的文章集结为《院士谈力学》一书,以供力学及相关学科的青年科技工作者阅读参考,也欢迎社会各界力学爱好者阅读此书。

《院士谈力学》收集了包含周培源、钱学森、郭永怀、钱伟长等力学界 35 位院士的 55 篇文章。编者在收集资料、整理形成书稿的过程中,根据文章内容并结合力学学科的特点,将其归纳为“关于力学学科”“力学学科的若干分支与研究方向”“力学教育”“力学科普”四部分。第一部分“关于力学学科”共有 11 篇文章,从中可以看到不同历史时期的力学发展状况,以及院士们描绘的力学和力学相关学科的发展蓝图。第二部分是“力学学科若干分支与研究方向”共有 26 篇文章。文章论述了建国以来我国主要力学分支学科的历史沿革、发展现状和未来前景,其中包括流体力学、固体力学、物理力学、爆炸力学、实验力学、计算力学、渗流力学、工程力学、热力学、环境力学、微尺度力学和生物力学等。第三部分“力学教育”是院士们对现代科学技术教育理念的相关论述文章,共 4 篇。第四部分“力学科普”共收录 14 篇佳作,文章深入浅出,集科学性、逻辑性和趣味性于一体,具有鲜明特色。

编者特别邀请到我国两院院士、国家最高科学技术奖获得者郑哲敏先生为本书作序,在此特别致谢!

《院士谈力学》一书的出版,得到了作者或家属的授权,感谢他们的鼎力支持!部分院士还亲自提供文章供编者采编,感谢他们!编者在编辑此书过程中,还得到北京大学武际可教授和天津大学王振东教授的热忱帮助,在此一并表示感谢!

为便于读者了解作者,书后附有院士的简介和照片。由于版面所限,删去了原文中的摘要和关键词。

对于编辑中的缺点和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 6 月 13 日于北京中关村

目 录

关于力学学科

谈谈对力学的认识和几个关系问题	周培源(3)
论技术科学	钱学森(6)
我对今日力学的认识	钱学森(19)
当前力学发展的趋势	钱伟长(20)
力学和它的发展	谈镐生(25)
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(35)
谈谈应用力学	郑哲敏(45)
现代力学的发展	林同骥,浦群(48)
力学在现代自然科学和工程中的作用	白以龙(59)
关于力学学科	李家春,方岱宁(63)
从应用力学到工程科学	李家春(66)

力学学科的若干分支与研究方向

流体动力学简介	周培源(71)
物理力学介绍	钱学森(79)
激波的介绍	郭永怀(89)
现代空气动力学的问题	郭永怀(97)
关于非线性力学	钱伟长(108)
力学的展望——介绍“基础力学”	谈镐生(111)
发展中的计算结构力学	钱令希(115)
跨世纪的中国计算力学	钟万勰,程耿东(120)
流体动力学的发展——需求和前沿	李家春(127)
渗流力学的新发展	郭尚平,刘慈群,黄廷章,阎庆来,于大森(139)
渗流力学发展值得重视的几个方面	郭尚平(154)
力学的永恒魅力与贡献——与时俱进的船舶力学	吴有生(156)
船舶流体力学的某些进展	何友声(177)
高速飞行中的等离子体问题	吴承康(187)
航天与力学的发展	庄逢甘(196)
生物运动仿生力学与智能微型飞行器	崔尔杰(202)
固体力学发展的几点看法	黄克智,靳征谟(213)

界面断裂力学简介与展望	王自强(218)
先进复合材料的宏微观力学与强韧化设计:挑战与发展	方岱宁(228)
功能铁磁材料的变形与断裂的研究进展	
..... 方岱宁,万永平,冯雪,裴永茂,梁伟,仲政,苏爱嘉,黄克智(238)	
地质材料的力学问题	王仁(270)
风沙运动研究中的若干关键力学问题	郑晓静,周又和(276)
高速铁路工程中若干典型力学问题	翟婉明,金学松,赵永翔(285)
空间的物理学	胡文瑞(309)
谈谈对振动工程的看法	胡海昌(317)
国际传热研究前沿——微细尺度传热	过增元(320)

力学教育

研究工作与工程技术工作如何衔接	郭永怀(329)
浅谈工程力学的任务与教育	张维(331)
我国力学专业教育现状与思考	刘人怀(334)
对力学教育的若干思考	胡海岩(339)

力学科普

关于撰写科普文章,宣传力学贡献的倡议信	钱令希,郑哲敏,王仁,庄逢甘,白以龙(347)
力学到底是干什么的	谈镐生(349)
力学向何处去	谈镐生(352)
力学的反演、反演的力学	王仁(354)
“小洞不补,大洞吃苦”——论机械设备的“健康检测”	王仁(361)
力学模型及其局限性	王仁(366)
力学几落几起,源于生活之树长青	白以龙(371)
水面下的波浪——海洋内波	李家春(376)
鱼类波状游动的推进机制	童秉纲(384)
核武器研制中的力学问题	朱建士,陈裕泽(393)
体育运动中的空气动力学	贾区耀,崔尔杰(401)
使用拐杖的力学	俞鸿儒(406)
力学与沙尘暴	郑晓静,王萍(408)
关于鸣沙	郑晓静,杨堃(415)

关于力学学科

谈谈对力学的认识和几个关系问题^{*}

周培源

(北京大学)

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

^{*} 原文刊登在《力学与实践》1979年第1卷第1期。

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,两者相辅相成,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,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、弹黏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。这些学科,多半是和其他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。

院士简介

周培源(1902. 8. 28—1993. 11. 24)



科学家、教育家和社会活动家。1924年毕业于清华学校。1926年获美国芝加哥大学学士、硕士学位。1928年获美国加州理工学院理学博士学位。1955年被选聘为中国科学院学部委员(院士)。曾任清华大学教授,北京大学教授、副校长、校长,中国科学技术协会主席、名誉主席,中国科学院副院长,中国物理学会理事长、名誉理事长,中国力学学会名誉理事长,九三学社中央委员会主席,全国政协副主席等职。我国近代力学事业的奠基人之一。主要从事流体力学中的湍流理论和广义相对论中的引力论的研究,并取得突出成果。是湍流模式理论奠基人。20世纪30年代在美国参加爱因斯坦领导的广义相对论讨论班。研究并初步证实了广义相对论引力论中“坐标有关”的重要论点。为发展中国现代科学教育事业、开展国际学术交流与促进世界和平等作出了杰出贡献。1982年获国家自然科学奖二等奖。

论技术科学^{*}

钱学森

(中国科学院力学研究所)

1 科学的历史发展与技术科学概念的形成

在人们从事生产的过程中,他们必然地累积了许多对自然界事物的经验。这些经验可以直接应用到生产上去,也可以先通过分析、整理和总结,然后再应用到生产上去。直接应用这个方式是工艺的改进,是所谓工程技术,把经验来分析、整理和总结就是自然科学的起源^①。所以工程技术和科学研究只不过是人们处理生产经验和对自然界观察结果的两方面,基本上是同一来源,而且两方面工作的最终目的也是一样的,都是为了改进现有的和创造更新的生产方法,来丰富人们的生活。

因此在科学发展的早期,我们不能把科学家和工程师分开来。一位物理学家也同时是一位工程师,牛顿就是一个著名的例子。牛顿不但发现了力学上的三大定律,因而奠定了理论力学的基础,而且他也是一位结构工程师,他设计了一条在英国剑桥大学校址中的木结构桥,这桥据说至今还存在。再像欧拉,他是一个大数学家,同时他在工程结构的稳定问题上也作出了伟大贡献。但是在十九世纪中,当科学在资本主义社会中得到了迅速的发展,科学家的确和工程师分手了。科学家们忙于建立起一个自然科学的完整体系,而工程师们则忙于用在实际工作中所累积了的经验来改进生产方法。在欧洲的一些学者和科学家,对工程师是看不起的,认为他们是一些有技术,但没有学问的人,而工程师们又认为科学家是一些不结合实际的幻想者。一般讲来,两方面的人缺乏相互之间的了解和合作。

当然,科学家和工程师分手的这种现象,也是事实上的需要。每一方面的工作因发展而变得更复杂了,工作量也大了,要一一兼顾,自然是不可能的。分工就成为必需的。但是这也不能完全解释为什么分工之后不能保持紧密的联系,其中必定有更深入的原因。我觉得这原因是:当时科学的发展还没有达到一个完整体系的阶段,自然科学的各部门中虽然有些部分是建立起来了,但另一些部分又确是模糊的,不明确的。这也就是说:当时的自然科学因为它自身还有不少漏洞,还不是一个结实的结构,所以当时的自然科学还不能作为工程技术的可靠基础,把工程技术完全建筑在它的上面。例如,虽然热力学早已搞得很明白了,可是热力学的基本,也就是用分子的运动来解释热能现象的统

^{*} 原文刊登在《科学通报》1957年第4期。

^① 在这里,自然科学这一名词是用来包括数学、物理学、化学,以及生物学、地质学等科学。但是自然科学不包括工程技术。

计物理,就存在着许多困难。这些统计物理中的困难要等到量子力学的出现才能得到解决。就因为这些在自然科学中的缺陷,有一些纯由理论所推论出来的结果显然与事实不相符合,这也动摇了工程师们对当时自然科学的信心。所以我们可以完全了解在十九世纪中和二十世纪初年工程师们与科学家中间的隔膜。

但是在本世纪中自然科学的发展是非常快的,个别自然科学的部门在较早的年代也已经达到完整的阶段,电磁学和力学便是两个例子。而正好在这个时候电机工程和航空工程两个崭新的工程技术先后出现了。因为它们是当时的新技术,没有什么旧例和旧经验可作准则。工程师们为了迅速地建立起这两门技术就求助于电磁学和力学,用电磁学和力学作为电机工程和航空工程的理论基础。这样才又一次证明了自然科学与工程技术问题的密切关系,才指明了以前工程师们不重视自然科学的错误。而也就是在这个时代,物理学、化学等自然科学学科很快地发展成现代的科学,补足了它们以前的缺陷。所以在今天来看,我们对物质世界的认识,只要是在原子核以外,只要除开个别几点,是基本上没有问题了。在原子和分子世界中,有量子力学;在日常生活的世界里,有牛顿力学;在大宇宙的世界里,有一般相对论的力学。只有原子核内部的世界现在还没有一定的看法。因此我们也可以说,对工程师说来,自然科学现在已经很完整了,它已经是一切物质世界(包括工程技术在内)的可靠基础。

由这个事实出发,有许多科学家认为:一切工程技术可以看作是自然科学的应用,而一个工程师的培养只要在他的专门业务课程之外,再加上自然科学就行了,就可以保证他在以后工作中有解决新问题和克服困难的能力。在四十几年前的美国,他们的确是这样看法。有名的麻州理工学院就是建立在这个原则上的。把工程师的培养和技术员的培养分开来,把工程师作为一个科学的应用者,这在当时是一个带有革命性的改革。这个改革在一定程度上是成功的,而这种培养工程师的方法也就被其他学校和其他国家中的工程技术学校所采用,逐渐成为一种典型的工程技术教育。由这种课程所培养出来的工程师比起老一辈的工程师来,的确有科学分析的能力,在许多困难的问题上不再完全靠经验了,能用自然科学理论来帮助解决问题。但这不过在一定程度上如此,至于课程改革原来的目的:把工程技术完全建立在自然科学的基础上的这个目的,是没有完全实现的。我们先看一看课程的组成。这种课程是四年制,前两年着重在自然科学,后两年着重专门业务。但是这两部分之间没有能结合起来。有人说以这个办法受教育的学生,前两年他是一个学者,追求着自然界的真理,运用理论的分析而且做严密的实验,确是在高度学术空气中生活着的。但是一过了两年,进入了后一阶段的教育,他又忽然从学术空气中被赶出来,进入了工程师们所习惯的园地,放弃了分析方法,去研究经验公式了。我们知道这样培养出来的工程师一进入到实际工作中,不久就把他们学过的自然科学各个学科的大部分都忘了,数学也不大会用了,只不过还会运用自然科学的一般原则来帮助他的思考罢了。要真正以科学的理论来推演出他们在工作中所需要的准则,他们还是不能做到的。

其实这一种困难是可以理解的,因为美国麻州理工学院对工程技术的看法是有错误的地方的。错误在什么地方呢?我们可以这样看:自然科学的研究对象并不是大自然的整体,而是大自然中各个现象的抽象化了的、从它的环境中分离出来的东西。所以自然科学的实质是形式化了的、简单化了的自然界。因此,虽然关于原子核以外的世界,现在

已经发现了许许多多的自然规律,但究竟自然科学还是要不断的发展的。在任何一个时代,今天也好,明天也好,一千年以后也好,科学理论决不能把自然界完全包括进去。总有一些东西漏下了,是不属于当时的科学理论体系里的;总有些东西是不能从科学理论推演出来的。所以虽然自然科学是工程技术的基础,但它又不能够完全包括工程技术。如果我们要把自然科学的理论应用到工程技术上去,这不是一个简单的推演工作,而是一个非常困难、需要有高度创造性的工作。我们说科学理论应用到工程技术上去是不合适的,应该更确当地说科学理论和工程技术的综合。因此有科学基础的工程理论就不是自然科学的本身,也不是工程技术本身,它是介乎自然科学与工程技术之间的,它也是两个不同部门的人们生活经验的总和,有组织的总和,是化合物,不是混合物。

显然,我们不可能要求一个高等学校的学生仅仅用四年的功夫把这个非常困难的工作做好。他们最多只不过能把科学和工程混在一起,决不能让两者之间起化合作用,所以美国麻州理工学院式的教育决不能完全达到它预期的目的,要作综合自然科学和工程技术,要产生有科学依据的工程理论需要另一种专业的人。而这个工作内容本身也成为人们知识的一个新部门:技术科学。它是从自然科学和工程技术的互相结合所产生出来的,是为工程技术服务的一门学问。

由此看来,为了不断地改进生产方法,我们需要自然科学、技术科学和工程技术三个部门同时并进,相互影响,相互提携,决不能有一面偏废。我们也必须承认这三个领域的分野不是很明晰的,它们之间有交错的地方。如果从工作的人来说,一人兼在两个部门,或者甚至三个部门是可以的,所以一个技术科学家也可以同时是一个工程师;一个物理学家也可以同时是一个技术科学家。不但如此,这三个领域的界限不是固定不移的,现在我们认为技术科学的东西,在一百年前是自然科学的研究问题,只不过工作的方法和着重是有所不同罢了。我们要明确的是:在任何一个时代,这三个部门的分工是必需的,我们肯定地要有自然科学家,要有技术科学家,也要有工程师。

2 技术科学的研究方法

既然技术科学是自然科学和工程技术的综合,它自然有不同于自然科学,也有不同于工程技术的地方。因此,研究技术科学的方法也有些地方不同于研究其他学科的方法。

因为技术科学是工程技术的理论,有它的严密组织,研究它就离不了作为人们论理工具的数学。这个工具在技术科学的研究中是非常重要的,每一个技术科学的工作者首先必须掌握数学分析和计算的方法。也正因为如此,某一些技术科学的发展,必定要等待有了所需的数学方法以后才能进行,例如,近几十年来统计数学的成就就使得好几门技术科学(如控制论和运用学)能够建立起来,所以作为一个技术科学工作者,除掌握现有的数学方法以外,还必须经常注意数学方面的发展,要能灵敏地认出对技术科学有用的新数学,快速地加以利用。他也要不时对数学家们提出在技术科学中发现的数学问题,求得他们的协助,来解决它。自然我们也可以说,关于这一点,技术科学与自然科学各部门的研究没有什么大的差别。但是实际上技术科学中的数学演算一般要比自然科学多,数学对技术科学的重要性也就更明显些。也因为技术科学中数学计算多,有时多

得成了工作量中的主要部分,这使得许多技术科学的青年工作者误认为数学是技术科学的关键。他们忘了数学只不过是一个工具,到底不过是一个“宾”,不是“主”。因此我们可以说:一件好的技术科学的理论研究,它所用的数学方法必定是最有效的;但我们决不能反过来说,所有用高深数学方法的技术科学研究就都是好的工作。

也是因为技术科学研究工作中,用数学分析和计算的地方很多,所以许多具体分析与计算的方法,像摄动法、能量法等,都是技术科学研究中所创造出来的。这方面贡献特别多的是技术科学中的一个部门——力学。唯其如此,最近电子计算机的发展,就对技术科学的研究有深切的影响。因为电子计算机能以从前不可想象的速度进行非常准确的计算,有许多在以前因为计算太复杂而用实验方法来解决的问题,现在都可以用计算方法来解决,而且在时间方面以及所需的人力物力方面都可以比用实验方法更经济。这一点说明了电子计算机在技术科学研究中的重要性。在将来,我们不能想象一个不懂得用电子计算机的技术科学工作者。但更要紧的是:由于电子计算机的创造,数字计算方法将更加多用,技术科学的研究方法将起大的变化。我们才在这改革的萌芽时期,而且电子计算机本身也在迅速地发展,将来到底能做到什么地步,现在还不能肯定,能肯定的是:下一代的技术科学工作者的工作方法必定和我们这一代有所不同。

我们在前面已经说过:数学方法只是技术科学研究中的工具,不是真正关键的部分。那么,关键的是什么呢?技术科学工作中最主要的一点是对所研究问题的认识。只有对一个问题认识了以后才能开始分析,才能开始计算。但是什么是对问题的认识呢?这里包含确定问题的要点在哪里,什么是问题中现象的主要因素,什么是次要因素,哪些因素虽然也存在,可是它们对问题本身不起多大作用,因而这些因素就可以略而不计。要能做到这一步,我们必须首先做一些预备工作,收集有关研究题目的资料,特别是实验数据和现场观察的数据,把这些资料印入脑中,记住它,为做下一阶段工作的准备,下一个阶段就是真正创造的工作了。创造的过程是:运用自然科学的规律为摸索道路的指南针,在资料的森林里,找出一条道路来。这条道路代表了我们对所研究的问题的认识,对现象机理的了解。也正如在密林中找道路一样,道路决难顺利地一找就找到,中间很可能要被不对头的踪迹所误,引入迷途,常常要走回头路。因为这个工作是最紧张的,需要集中全部思考力,所以最好不要为了查资料而打断了思考过程,最好能把全部有关资料记在脑中。当然,也可能在艰苦工作之后,发现资料不够完全,缺少某一方面的数据。那么为了解决问题,我们就得暂时把理论工作停下来,把力量转移到实验工作去,或现场观察上去,收集必需的数据资料。所以一个困难的研究题目,往往要理论和实验交错进行好几次,才能找出解决的途径。

把问题认识清楚以后,下一步就是建立模型。模型是什么呢?模型就是通过我们对问题现象的了解,利用我们考究得来的机理,吸收一切主要因素、略去一切不主要因素所制造出来的“一幅图画”,一个思想上的结构物。这是一个模型,不是现象本身。因为这是根据我们的认识,把现象简单化了的東西;它只是形象化了的自然现象。模型的选择也因此与现象的内容有密切关系。同是一个对象,在一个问题中,我们着重了它本质的一方面,制造出一个模型。在另一个问题中,因为我们着重了它本质的另一面,也可以制造出另一个完全不同的模型。这两个不同的模型,看来是矛盾的,但这个矛盾通过对象

本身的全面性质而统一起来。例如,在流体力学中,在一些低速流动现象中,空气是被认为不可压缩的,无黏性的。在另一些低速流动现象中,因为牵连到附面层现象,空气又变为有黏性的了。在高速流动现象中,空气又变成可压缩的了。所以同是空气,在不同的情况下,可以有不同的模型。这些互相矛盾的模型都被空气的本质所统一起来。

我们已经说过,在摸索问题关键点的时候,我们依靠自然科学的规律。这也说明技术科学的工作者必须要能彻底掌握这些客观规律,必须知道什么是原则上可行的,什么是原则上不可行的,譬如永动机就是不可行的。我们也可以说唯有彻底掌握了自然科学的规律,我们的探索才能不盲目,有方向。正如上面所说的,自然科学的规律是技术科学研究的指南针。

有了模型了,再下一步就是分析和计算了。在这里我们必须运用科学规律和数学方法。但这一步是“死”的,是推演。这一步的工作是出现在科学论文中的主要部分,但它不是技术科学工作中的主要创造部分。它的功用在于通过它才能使我们的理解和事实相比较,唯有由模型和演算得出具体数据结果,我们才能把理论结果和事实相对比,才可以把我们的理论加以考验。

由前面所说的技术科学工作方法看来,也许有人要问:技术科学的研究方法又有什么和自然科学研究方法不同的地方呢?我们可以说这里没有绝对的差别,但是有很重要的相对差别。我们可以说以自然科学和工程技术来对比,工程技术里是有比较多的原始经验成分,也就是没有严密整理和分析过的经验成分。这些东西在自然科学里一般是很少的,就是因为某一问题分析还不够成熟,不可避免地含有经验成分,那也是自然科学家们要努力消除的。但在技术科学里就不同了。它包含不少的经验成分,而且因为研究对象的研究要求的不同,这些经验成分总是不能免的。因此这也影响了技术科学的研究方法,它在一定程度上是和自然科学的研究方法有所不同的。我们也可以从另一个方面来说,技术科学是从实践的经验出发,通过科学的分析和精炼,创造出工程技术的理论。所以技术科学是从实际中来,也是向实际中去的。它的主要的作用是从工程技术的实践,提取具有一般性的研究对象,它研究的成果就对那些工程技术问题有普遍的应用。也正因为如此,技术科学工作者必须经常和工程师们联系,知道生产过程中存在的实际问题。有时一个技术科学工作者也直接参加解决生产中发生的问题,以取得实践的经验。照这样说,一个技术科学工作者的知识面必然是很广阔的,从自然科学一直到生产实践,都要懂得。不仅知识广,而且他还必须要能够灵活地把理论和实际结合起来,创造出有科学根据的工程理论。

有了工程理论,我们就不必完全依赖工作经验,我们就可以预见,这正如有了天体力学的理论,天文学家们就可以预见行星的运动,预告日蚀、月蚀等天文现象。由这一点看来,工程理论又是新技术的预言工具。因而技术科学也能领导工程技术前进,是推进工程技术的一股力量,是技术更新、创造新技术所不可缺的一门学问。

3 力学与航空技术

我们现在举一个技术科学对工程技术所起作用的实例:航空技术。在这里起重要作用