

# 学习钱学森先生技术科学思想的体会

## ——纪念钱学森先生百年诞辰

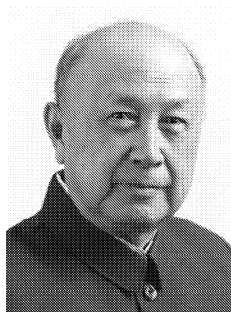
郑哲敏<sup>1)</sup>

(中国科学院力学研究所, 北京 100190)

**摘要** 以个人体会从几个方面介绍钱学森先生的技术科学思想: 什么是技术科学; 技术科学的重要性; 技术科学如何为应用服务; 技术科学工作者应具有的基础知识; 钱学森先生技术科学思想在建立力学研究所中的实践; 最后谈谈关于力学要继续走技术科学道路的一些想法。

**关键词** 技术科学, 应用力学, 钱学森

**中图分类号:** N05 **文献标识码:** A **文章编号:** 0459-1879(2011)06-0973-05



2011 年 12 月 11 日是国际著名力学家, 我国近代力学的奠基人, 我国航天技术的开创者和系统学科学家, 中国力学学会和中国空气动力学学会的创始人, 《力学学报》首任主编钱学森先生诞辰 100 周年纪念日。

钱学森先生对世界和我国科学技术做出了杰出贡献, 为中华民族赢得了巨大荣誉。他在空气动力学、壳体稳定性、火箭和喷气推进、航天技术、物理力学、工程控制论以及系统科学和工程方面的科学论著有广泛的影响, 为世人所公认。钱学森先生对发展我国力学、导弹和航天事业有杰出贡献和全面而深刻的影响。他是我国重要力学与航天技术研究机构 and 基地的创始人或首任领导, 其中包括中国科学院力学研究所, 国防部第五研究院和中国空气动力学研究与发展中心。他又是中国科学院与清华大学力学研究班, 中国科学技术大学近代力学系的创始人。他创建了中国力学学会和中国空气动力学学会, 分别担任首届理事长和名誉理事长。

钱学森先生亲自领导了《力学学报》的创刊, 并担任第一任主编。在他主持工作期间, 确立了“内审外审相结合”的审稿制度, 使得《力学学报》在

创刊之时就有很高的学术起点和公正严谨的学术声誉。钱学森先生对于《力学学报》的定位, 在创刊号“我们的目标”一文中, 开篇第一句便指出: “我们认为力学是一门技术科学, 力学学报也就是一门技术科学的学报。”可见在他的办刊思想中, 关于技术科学的思想占有主导地位。

技术科学思想是钱学森先生科学思想的重要组成部分。他的技术科学思想是 F. Klein 和 L. Prandtl 开创的德国哥廷根应用力学学派思想的继承和发展, 也来源于钱先生本人长期的科学研究与教学实践和对 20 世纪中叶前的应用科学, 特别是二次大战发展核武器、雷达等经验的概括和总结, 其内涵十分丰富, 至今仍对科技工作者及负责科技政策制定和管理的各级领导人有重要的现实意义。钱学森先生的技术科学思想在他分别于 1948 年和 1957 年发表的“Engineering and Engineering Sciences”和“论技术科学”两文中有全面而系统的论述。这些思想还体现在他创办中国科学院力学研究所、中国科学院力学研究所与清华大学力学系合办的力学研究班和中国科技大学近代力学系的指导思想和其他一些论述中。现就我的粗浅认识, 谈几点体会。

### 1 什么是技术科学?

钱学森先生认为, 技术科学和自然科学一样也

本文于 2011-11-07 收到。

1) 郑哲敏, 著名力学家、爆炸力学专家, 中国科学院院士、中国工程院院士、美国国家工程科学院外籍院士。1978~1986 年任《力学学报》主编。

是科学。自然科学属于基础科学层次，技术科学属于应用科学层次，两者的区别在于其目标。技术科学的目标首先是为工程技术（广义上泛指一切应用领域，下同）服务，为工程技术提供有科学基础的工程理论，进而带动和领导产业的发展，而自然科学的核心是为了理解和认识客观世界的规律。两者也有广泛的共同点，那就是发展科学。

为了揭示事物的本质，自然科学可以而且需要把研究对象置于最单纯条件下。这在技术科学中往往是难以做到的，因为在多数情况下，它的研究对象处于复杂、受多种因素影响的环境中，过分的简化就失去了真实。技术科学解决复杂问题的方法是，强调抓主要矛盾，忽略次要矛盾，追求复杂条件下工程精度所允许的近似答案。这是技术科学不同于自然科学的另一个方面。

只有当自然科学成熟到一定程度，其成果才有可能得到应用。因此，技术科学建立于 20 世纪上半叶是历史发展的必然结果。它在自然科学和各类应用之间首先起着桥梁的作用。由于经典力学相对而言成熟得比较早，所以应用力学成为技术科学最早的成员和发展技术科学的典范。今天，技术科学的领域已经有了极大的扩展，将世界带入信息科学技术、纳米科学技术、生物科学技术的时代。

然而，技术科学又不限于是自然科学与工程技术间的桥梁，它同时也是人类认识的源泉。自 20 世纪 40 年代 V. Bush 有广泛影响的报告“Science—the Endless Frontier”发表以来，人们往往认为自然科学是人类认识的唯一源泉。20 世纪 90 年代，在重新研究之后，美国的一份权威性报告认为这一认识并不全面，因为在自然科学、技术和应用之间实际上存在着复杂的反馈关系，因而技术和应用也同样是科学认识的源泉。其实这一观点，钱学森先生早在 1957 年“论技术科学”的论文中已经明确提出。他写道“我们前面已经提到自然科学、技术科学和工程技术之间的相互影响和相互提携，这也就是说，我们不能只看到自然科学作为工程技术基础这一方面，而忽略了反过来的一面，也就是技术科学对自然科学的贡献”。他以工程控制论和运筹学（当时称为运用学）为例，指出在自然科学领域里没有它们的祖先，而由它们所发现的规律可以为生物科学和社会科学做出非常重要的贡献。起源于应用的信息论也是一个非常突出的例子，它把人类的知识领域从传统的物质和能量一下子扩大到物质、能量和信息。

## 2 技术科学的重要性

在“Engineering and Engineering Sciences”一文中，钱学森先生开宗明义就鲜明地指出，在国际竞争日益激烈的当今社会，自然科学的成果与应用间的距离日益缩小，技术科学应运而生，包括技术科学在内的科学成为富国强民之本，国家已经如同对待经济和外交那样把关心和发展科学当作自己的职责。二次世界大战，原子武器的研制成功和雷达等技术的发展大大加强了公众对科学的支持，加速了技术科学和技术科学教育发展的进程。

这一认识对百余年饱受苦难的中国人民，特别是对当时的科技人员，具有特殊的意义，因此在 1947 年回国访问时，钱先生就专门以“工程和工程科学（即后来的技术科学）”为题，向当时的浙江大学，上海交通大学和清华大学师生做报告，阐述他的技术科学观点，意在引起国内科技教育界对技术科学这个正在兴起的新领域的重视。

## 3 技术科学如何为应用服务

技术科学为工程技术或其他应用服务，但是决不会也不能代替后者。它从工程技术或其他应用所需解决的问题中提炼科学问题，通过研究并解决这些科学问题来促成实际问题的解决。概括地说就是从应用中来又回到应用中去。只有从科学的高度上完成了这个循环，才能说技术科学工作者为应用做出了贡献，才有望推动甚至带动工程技术和产业的进步。技术科学工作者在不断完成一个个这样的循环中，在不断以更高的科学水平解决实际问题的过程中，同时也促进了技术科学本身和科学总体的发展。

技术科学工作者应深入到应用中去，运用自己的科学知识，去发现和提炼解决实际问题所需研究的关键科学问题。技术科学工作者必须致力于创新，努力有所发现，用新概念、新途径、新方法、新工具去推动产业的发展。技术科学工作者的最高目标是用理论和技术上的创新和科学的预见，去领导产业的发展与创新。

## 4 技术科学工作者应具有的基础知识

在 1948 年的论文里，钱学森先生提出，技术科学工作者应掌握 3 个方面的工具。现分述如下：

### (1) 工程分析的数学方法

技术科学工作者应具有坚实的数学基础，能将其

熟练地运用于工程技术中科学问题的分析和计算。钱学森先生认为，与自然科学工作者相比，技术科学工作者需要更多地从事计算，因为提供给工程师的结果必须有定量的表达。因此他始终十分重视计算，一向关心和支持电子计算机和计算技术的发展以及电子计算机的应用。另一方面，他又指出数学对技术科学工作者来说毕竟只是工具，数学能使我们的分析和论证更加严密，研究结果得以量化，但不能替代对问题的真正认识。同时，不能把数学当作一成不变的工具，应该在应用中发展数学工具，创造好的算法。例如，运算微积分、摄动法、能量法、有限元法、差分法等都是在技术科学的研究中创造出来的。

### (2) 工程问题的科学基础

钱学森先生还强调要打好自然科学的基础，以适应科学技术和工业不断发展的需要。在担任加州理工学院教授期间，他仍坚持旁听数学、物理和化学方面的课程，参加各种专业举办的研讨会。这使他能从更深的层次上解决航空和火箭技术面临的难题，比别人更早地预见到有必要在微观与宏观结合的层次上开展研究，因而提出了物理力学这个新的学科方向。他认为在一些极端条件下，直接通过实验获得数据越来越困难，有时甚至是不可能的，因此强调用量子力学和统计力学的理论，辅以少量必需的实验，通过模拟计算来求得问题的解答。在这个过程中，也不排除采用某些经验规律。他认为这是一条经济有效的道路。实际上，钱学森先生当年提出物理力学还有更深层的意思，那就是力学工作者既要有深厚的自然科学基础又要十分注意计算机和计算技术的发展。因而他一贯主张力学要在扎实的科学技术基础上充分利用计算机发展的有利条件，走以计算为主辅以少量精细实验的道路。

### (3) 工程设计的原理和实践

钱学森先生十分强调技术科学工作者要对工程技术有足够的认识与理解，要学习有关的工程技术知识，要与工程师交朋友，要与他们有共同的语言，要有工程观点，对工程问题要有数量的概念和一定的判断能力。这些能力都要从学习领会工程设计原理和实践的过程中逐步获得。当然最最重要的是首先要有为工程技术服务的强烈愿望。

## 5 钱学森技术科学思想在建立中国科学院力学研究所中的实践

### (1) 力学研究所要以应用力学研究为主，要立足

国际力学学科的前沿，努力为推动我国经济 and 国防建设服务，力争在科学上起到带头和领导的作用。这就是力学所的建所思想。这种考虑必然是长远的、战略性的、全局性的、前瞻性的。钱先生要求我们，不论做什么，都要有特色，敢于走新路，争第一。这些基本考虑突出地表现在新建力学所的学科布局上。

全所的主要方向是火箭和航天技术。他从学科布局上在这方面做了全面的、超前的安排，例如，成立了高速空气动力学、激波管、高温气体动力学、轻结构与高温结构等研究室（组），拟订风洞系列的建设计划以及建立氢氧火箭发动机研究基地，支持爆炸成型的研究等。这里我只着重介绍以下几个方面。

1954 年我离开美国时，他要我传话给钱伟长先生，他说运筹学对于一个有计划、按比例发展的社会主义国家特别重要，希望引起国内的重视。1955 年在回国的轮船上他就结识了许国志、刘源张等先生，随后在新建的中国科学院力学研究所成立了我国第一个运筹学研究室。

1955 年回国后第一次找我谈话，要求弹性力学组调整方向，以动力学观点研究建筑物抗地震问题，因为中国是一个地震多发区国家。

1956 年初建所，随即在原弹性力学、塑性力学、流体力学以外，成立了物理力学、化学流体力学，控制论、激波管等研究组。它们的目标并不仅限于为航天科技服务，化学流体力学目标之一就是为发展我国的化工和化工冶金工业服务。为此，钱学森先生不仅安排研究人员同科学院化工冶金研究所合作，而且与叶渚沛所长、郭慕荪先生保持着密切的个人联系，亲自研究转炉顶吹氧和流态化床的问题。

考虑到我国是一个多山和水资源短缺的国家，他十分重视爆破开山和定向爆破筑坝的科学技术问题，亲自参阅有关资料，邀请国内专家来所做报告，并进而在力学所建立了研究组；为了利用风能，亲自计算并设计了一台可用于多风山口的风车，继而又建立了风车研究组；为研究低水头水能利用建立了低水头发电组；积极安排三峡水利枢纽科研项目，倡导并开展百万千瓦水轮机的研究。

(2) 在明确研究方向的前提下，他要求全面掌握有关资料，开展学术活动，提倡自由讨论和争辩；树立计划的观点；提倡协作和边干边学的精神；积极筹建实验室。在研究工作上，他主张抓对问题实质的深入理解，抓主要矛盾；热情鼓励有创新的见解和发现，哪怕它们尚处于萌芽或初级的阶段；要勇

于超过前人,不怕困难,肯做“要出汗”的工作;鲜明地反对研究工作上的华而不实;强调理论研究工作要有验证.他也十分重视研究工作的表达,主张问题与概念的表述必须准确简练,前提假设的交代必须完整、清晰,数学推导必须严谨,结论必须明确且便于读者理解和使用,一般情况下应该伴有算例或实验例证.他对论文中汉字的规范化和有效数字也有严格的要求.

(3) 在强调全面掌握资料和打好基础的同时,他主张有了一定基础后,应当边干边学.他认为干与学是统一的,学好才能干好,干中才能学得深.1957年的文章里,有一段话我认为特别深刻,现录在这里.

“我们在前面已经说过:数学方法只是技术研究中的工具,不是真正关键的部分.那末,关键的是什么呢?技术科学中最主要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.要能做到这一点,我们必须首先做一些预备工作,收集有关研究工作的资料,特别是实验数据和现场观测的数据,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,我们就暂时把理论工作停下来,把力量转移到实验工作上去,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课题,往往要理论和实验交错好几次,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‘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,把现象简单化了的东西;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方面,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,但这个矛盾通过现象的全面性质而统一起来.……”.

## 6 力学要继续走技术科学的道路

力学既是作为基础科学的自然科学,又属于技术科学,在这个问题上国内力学界已有共识.然而力学的发展必须有所侧重.我认为我国的力学当前应当主要沿着技术科学的道路发展,就是说,重点应当是发展应用力学.这样说是因为,力学作为自然科学中最早趋于成熟的学科,其作为基础学科发展的空间,相对地说已经比较小了,而它在解决工程技术乃至其他学科中的问题的作用却不断在扩大.另外,沿着应用力学的方向,也一定会因有原创性的发现而进一步丰富自然科学.所以我认为,钱学森先生提倡的技术科学思想在今天仍然能指导我们的力学前进.

21世纪,我国面临的困难不可低估.世界已进入了知识经济时代.60年来,我国在国民经济和国防建设方面取得了空前巨大的成就,然而由于历史的原因,我们仍然是个发展中的国家,在科学技术方面总体上落后于国际先进水平,近代工业革命的进程也尚待完成.在高技术方面我们虽也有骄人成就,但在核心科学技术的环节上,基础依然薄弱,所以在激烈的国际竞争中,仍然处于脆弱的地位.要达到国际上中等发达国家水平,实现科教兴国和可持续发展的战略目标确实是任重而道远.这种情况下,挑战与机遇并存,所以我国的力学应当如何发展是我们面临的重大课题.我认为:

(1) 在坚持以应用力学为主的前提下,对力学的发展要有全面的安排.应用力学本身也有不同的层次,同样也要有全面安排.要鼓励不同风格,不同学派的发展,提倡它们之间的交流.在一些重要的领域里,传统的连续介质力学不够用了,急需在概念与方法上有新的突破.

(2) 要加强与扩大力学与其他自然科学领域的交叉与合作,如应用数学、天文、物理(特别是凝聚态物理、等离子物理)、地学、生物学等学习.钱先生所倡导的物理力学思想要进一步加以发扬.



(3) 要加强和扩大与高技术、其他技术科学和广大工程技术领域的交叉与合作, 充分发挥力学的开拓创新与服务功能. 例如, 航空航天科学技术、材料科学与冶金及化学工程、能源科学与工程、生物医学工程、环境科学与工程、农业工程、微机电系统、纳米技术等. 力学要打开大门, 走进并长入更多的行业, 努力争取在发展高技术, 实现传统工业现代化和可持续发展方面发挥重要作用.

(4) 力学界的优势是长于建立数学模型和分析计算, 这些优势无疑需要继续发扬. 电子计算机的发展, 更使力学研究如虎添翼. 我们应当十分重视计算机的应用, 大力发展计算方法. 现在, 计算机也使力学计算成为工程师手中的日常工具, 一些问题的解决不再需要请教力学家了. 这就要求力学家着力解决新的或更为困难的问题. 实现可持续发展需要节能和发展新能源, 需要更好地利用材料, 发展新的工艺和流程等, 所以力学研究要开拓新领域, 要在更深的层次上解决工程技术问题. 力学研究的对象也应当从单一部件, 单一因素扩大到整个系统, 从以分析为主扩大到分析与综合并重, 从解决正问题扩大到解决包括优化问题在内的反问题. 我们的服务对象也要从设计部门扩大到制造, 运行乃至产品报废的部门.

(5) 力学界要着力培养一批新生力量, 他们有自然科学和工程技术方面的基础, 对技术科学思想有深刻理解, 富有开拓精神, 有志于推动工程技术的发展, 勇于承担困难的工程技术任务, 愿意深入到

工程领域中去学习和提炼科学问题, 具有合作精神和团队精神, 有能力研究解决这些问题, 不怕把解决方案返回到工程技术中去接受检验, 直到实际问题得到满意的解决.

《力学学报》不仅是力学工作者之间相互交流的平台, 它同时也是力学走技术科学道路的旗帜. 正如钱学森先生在“我们的目标”一文中指出的《力学学报》办刊思想: “我们希望力学学报的出版能更积极地推动我们的力学事业. 自然, 力学学报是中国力学工作者的期刊, 我们希望它对提高中国的力学学术水平能尽一点力量. 要想做到这一点, 我们以为除了登载创造性的论文外, 还需要介绍一些总结性的论文, 整理力学中某一部门的成就, 指示今后研究的方向, 这对青年力学工作者一定会有帮助的. 我们希望能经常刊载这种论文. 此外, 对于暂时尚无专门期刊发表的兄弟学科, 如运用学等, 我们也衷心地欢迎这方面的论文在本学报发表. 我们相信: 如果我们的力学学报能作到上面所说的几点, 那么我们会促进中国力学工作队伍很快地成长起来, 使他们能负起社会主义建设事业的责任, 这就是我们的目标.”

总之, 我认为钱学森先生的技术科学思想具有丰富而且深刻的内容, 学习它并把它体现在我们的工作中, 一定会对推动新世纪我国力学科研和教学的健康发展起巨大的作用.

由于对钱先生的思想理解欠深, 文中不妥之处, 希批评指正.

## THOUGHTS OF HSUE-SHEN TSIEN ON ENGINEERING SCIENCES

### ——In Memory of Hsue-Shen Tsien's 100th Anniversary

Che-Min Cheng<sup>1)</sup>

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract** This article is a brief review of Professor Hsue-Shen Tsien's thoughts on Engineering Sciences from the author's perspective. Topics covered are what are engineering sciences, the importance and role of engineering sciences, the strong emphasis on application, basic trainings of engineering scientists and Tsien's application of these ideas in running the Institute of Mechanics. It is the author's view that the mainstream for the development of mechanics in China should follow the route charted by Tsien.

**Key words** technological sciences, applied mechanics, Hsue-Shen Tsien

Received 7 November 2011.

1) Che-Min Cheng, Scientist of Applied Mechanics and Explosion Mechanics, Member (Academician) of Chinese Academy of Sciences, Chinese Academy of Engineering and Foreign Associate of National Academy of Engineering, the Editor-in-Chief of Acta Mechanica Sinica from 1978 to 1986.