

## 钱学森的技术科学思想

郑哲敏

技术科学思想是钱学森科学思想的重要组成部分。1947年在访问当时的浙江大学、上海交通大学和清华大学时,他向师生们做了题为《工程与工程科学》的报告,回到美国后于1948年将该报告以论文形式发表。1957年他在《科学通报》上发表题为《论技术科学》的论文。这两篇论文对技术科学的内涵和特点,技术科学与自然科学(即基础科学)和工程技术的关系,技术科学的意义和作用,技术科学形成的历史背景,技术科学观点和方法论,技术科学教育等做了全面的论述。这是对技术科学最完整、最系统的概括,起到了全面界定技术科学的历史性作用。

技术科学思想在钱学森全部科学与技术的实践活动中占有重要的位置,在创建和发展我国火箭导弹和航天事业中发挥了十分重要的作用。因此,回顾他的技术科学思想,在今天仍然是极有意义的。在他九十华诞之际,本文谨以钱学森的技术科学思想作文,敬祝他健康长寿。

### 一、技术科学的历史使命是富国强民

通过自己的科研实践和教学活动和目睹了第二次世界大战中原子武器和雷达技术发展及其对国家和社会的影响,钱学森敏锐地察觉到,战后科学与技术的关系、国家政策与科学和技术发展的关系,发生了深刻的变化并且由此产生了一个新的科学领域——技术科学。他系统地总结了这一历史发展,并于1947年回国访问时,以《工程与工程科学》为题,把它作为礼物献给自己的祖国,意在引起国内科技界的重视。1957年,在向中央提出《建立我国国防航空工业的意见书》和参加制订我国《1956~1967年科学技术发展远景规划纲要》后,又一次在《科学通报》上发表题为《论技术科学》的文章。可见他对在我国发展技术科学的必要性和紧迫性的重视。

在1948年发表的《工程与工程科学》一文中,钱学森一开始便写道:“既然工业是国家富强的基础,技术和科学的研究就是国家富强的关键”。到了20世纪40年代中期,人们已经普遍地认识到“如同长期以来的农业、金融政策或者外交关系一样,技术与科学的研究现已成为国家的事情”,“虽然在早期,技术与科学的研究是以未加计划的、个体的方式进行的,可是到了今天,在任何主要国家这种研究都是受到认真调控的”。

接着,他以原子弹和雷达为例,指出:“纯科学上的事实与工业应用间的距离现在很短了。……为了使工业得到有成效的发展,他们(纯科学家和工程师)间的密切合作是不可

少的”，于是，“纯科学家与从事实用工作的工程师间密切合作的需要，产生了一个新的行业——工程研究家或工程科学家。他们成为纯粹科学和工程之间的桥梁。他们是将基础科学知识应用于工程问题的那些人……”。

由此可见，钱学森视科学和技术，尤其是技术科学为富国强民之本。他以祖国的繁荣富强为目的，一再把技术科学介绍给我国科技界。他希望通过技术科学的研究，缩短由科学研究成果到工程技术成果的周期。回国以后，他本人在科学技术方面的实践也清楚地表明了这一点。

## 二、什么是技术科学

钱学森指出，技术科学要为工程技术提供有科学依据的工程理论，它是以为工程技术（广义上指一切应用领域）服务为目的的科学。这使技术科学区别于自然科学（现称基础科学）。简单地说，自然科学以认识世界为目的，而技术科学则以改造世界为目的。技术科学也不等同于工程技术，因为技术科学研究工程技术中带有共性的东西，意在使工程设计摆脱传统上以依靠经验为主的局限性，从而加速产业的创新与发展。在《工程控制论》一书的前言中，钱学森写道：“技术科学致力于将工程实践中的设计原理组织成学科，以揭示不同工程实践领域的相似性和强调基本概念的强大威力。”

技术科学以自然科学的理论为依据，创建工程技术所需的工程理论。这首先是因为自然科学的理论有普适性。另一方面，由于自然科学为了弄清楚事物的基本规律，不得不把研究对象置于最简单的条件下，而且因为是追求最基本的规律，自然科学不必，也不能提供为解决工程技术问题而必需的所有规律。然而技术科学的研究的对象大多受多种条件的影响或约束，不允许像自然科学那样把条件简化，因而往往没有现成的规律可循。因此，钱学森首先把技术科学界定为自然科学与工程技术间的桥梁，同时指出技术科学的研究也是一种富有创造性的劳动。

但是，技术科学又不仅仅限于作为桥梁。钱学森指出：“……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”。就是说，技术科学和工程技术实践也会导致科学上原创性的发现。他进而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。他还很有预见地提到，技术科学的贡献甚至不限于自然科学领域。这事实上驳斥了一种流行的论点，认为惟有自然科学才是认识的源泉。今天，信息科学和系统学的蓬勃发展进一步表明钱学森当时的认识是何等具有远见。

## 三、技术科学如何为工程技术服务

技术科学工作者应能回答工程师们提出的一般问题，然而只做到这一点是远远不够的。钱学森指出，技术科学要领导产业的发展。这可以说是科学工作者的最高目标，而且

也是能够做到的。历史上不乏这样的事例。例如,技术科学的先驱、应用力学的创始人 L. Prandtl 创立了有限翼展机翼理论和边界层理论,一举解决了困惑科学界多年的飞行阻力来源问题,为航空工业的发展开辟了道路。从近处说,由于“两弹一星”在物理和化学等基础科学层次上的问题是清楚的,所以实现“两弹一星”的任务,在科学和技术方面属于技术科学和工程技术的范畴。它的实现是在党的领导下,我国科学家和工程师密切合作的结果,也是显示技术科学重要作用的一个极有说服力的范例。

自然科学的科学家是从科学问题和学科出发选择课题的,个体劳动是主要形式,除大科学工程外,不需要也不可能严密计划。技术科学的科学家则是从工程技术当前和未来的需要确定课题的,在鼓励个人自由创造的同时,常常需要集体的劳动组织形式和必要的计划性。工程技术的需要往往是综合的,所以又需要多学科的合作和相互渗透。对于以实现国家目标为目的的综合性科学技术研究与发展的项目,则需要首先进行顶层设计,在队伍的组织上要体现多学科、多层次、有梯队的全面配置。1956 年在钱学森给中共中央的报告《建立我国国防航空工业的意见书》中写道:“健全的航空工业,除了制造工厂之外,应该有一个强大的为设计服务的研究及试验单位,应该有一个做长远及基本研究的单位。自然,这几个部门应该有一个统一的领导机构,做全面规划及安排的工作”,这段话集中反映了他的技术科学观点。同时,既然需要多方面的合作,那么做技术科学研究工作就应该具有团队精神,而这也正是钱学森建立中国科学院力学研究所时所经常强调的。

技术科学工作者应当始终立足于创新,要立志于超过前人。他曾说,选题目时就要有超过别人的决心,否则不如不干。这就是说要创新,要争第一。他本人从研究空气动力学到提出稀薄气体力学,从研究火箭发动机到提出物理力学,从研究火箭的控制到提出工程控制论,就是不断地把具体问题的研究提高到科学理论和学科层次上的努力,以便在更广泛的领域内,以新的观点、新的概念、新的方法、新的工具为工程技术服务。这样,也就同时实现了科学上的创新。

#### 四、技术科学的方法论

钱学森认为,为了做好为工程技术服务的工作,技术科学工作者需要掌握三方面的基本功,即扎实的自然科学知识、工程技术知识、高等数学和计算数学知识。书本知识当然是必要的,但是随着时代的前进,知识在不断更新,服务的对象也会有变化,所以钱学森很强调边干边学,很强调学术讨论和自由交流,很强调要同有关科学家和工程师交朋友。他主张,在确定研究课题之后,第一件事是掌握所有有关这个课题的资料和现况,把它作为研究工作的起点。因为,基础知识也好,资料和情况也好,仅仅是工作的准备阶段,还不等于研究工作本身。他说:“……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,也可能在艰苦的工作后,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上去,或现场观察上去,收集必要的数据资料。所以一个困难的研究课题,往往要理论和实验交错进行好几次,才能找出解决的途径。”他进一步指出,接着就是要根据对问题的认识,建立数学模型和进行计算。在建立模型方面,他十分强调要抓主要矛盾,即“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”。这样做之所以必要其原因有二:一是加深了对问题实质的认识;二是把问题简化到可以进行计算。钱学森强调计算也有两个原因:一是理论的正确性需要有数值的验证;二是数值结果才是工程师们所能直接使用的。这里表现出技术科学的一个基本思想,那就是一定要把工程技术问题提高到科学理论的高度来研究,同时研究工作的成果不能只停留在理论的议论中或实验室里,一定要使其成为工程师们能理解、用得上的东西。换句话说,技术科学的研究不应当停留在从理论到理论的层次上。

钱学森一向重视计算工作,并且十分关心电子计算机和计算技术的发展。他一贯认为,只要有可能,就要在最大限度内,尽量以计算代替实验工作,因为这样做是最经济的。对于有些极端情况,例如,很高的压力、温度、速度或很小的时间和空间尺度,实验是很困难的。这时从基础科学理论和计算方法上探讨新的途径,就应当特别受到重视。这也正是他提出物理力学这一技术科学分支的初衷。

这里再对前述的技术科学方法论做些补充说明。抓主要矛盾,忽略次要矛盾,并在此基础上,形成清晰的概念,是应用力学学派从 L. Prandtl, Th. von Karman 到钱学森经过长期探索,找到的一种行之有效的方法。通过有领导的、定时的集体讨论,形成哪些该肯定、哪些该否定、哪些该继续探讨的意见,并付之实施,下次开会时首先检查执行情况,是 von Karman 在加州理工学院航空系所倡导和实践的领导和组织科研工作的方法。这体现了在科学研究上的民主集中制。另外,记得在加州理工学院喷气推进中心的一次学术研讨会上,钱学森十分生动地就必须用实验反复检验和修正理论的问题,做了深入系统的发言。这些都是钱学森长期从事科学的研究心得。所以在回国初期,钱学森常不无感慨地说,我们在国外经过长期苦苦探索得来的办法,原来毛主席在《矛盾论》和《实践论》里早已说清楚了。

## 五、技术科学教育

1947 年,钱学森便主张培养一位技术科学工作者,需要在本科的基础上,再加上研究生阶段,一般共需 7~8 年。因为,一位合格的技术科学工作者需要接受自然科学、工程技

术和高等数学等三个方面的训练,而且这三方面的训练必须是紧密结合的,要克服老式工科教育三者脱节的缺陷。

在他担任古根海姆喷气推进中心主任和讲座教授期间,他曾把他对技术科学教育的思想做了以下简要的描述,“加州理工学院古根海姆航空实验室(GALCIT)首任系主任 von Karman 确立了理论与实践结合,作为科学工程的原则。工程问题应该在全面、不做过分简化的前提下加以研究,所采用的应当是从高等的近代科学获取的最有效的解决方法”。

回国后,无论在创建中国科学院力学研究所与清华大学合作的力学研究班或者中国科技大学近代力学系时,他都坚持了这一原则。

## 六、钱学森技术科学思想对我们的启示

我认为,钱学森所主张的技术科学仍然是我们今天所需要的。同技术科学相近的另一个名词应是应用基础(科学),但后者只涉及技术科学中基础的部分。然而,值得注意的是应用基础缺少钱学森对技术科学那样全面的界定,这使得应用基础的概念比较模糊,难以准确掌握。例如,在实行中,有人只强调应用而忽视要在科学理论上下工夫,有人只强调基础研究而忘记了研究的目的,以致许多研究长期解决不了问题,学科上也并无实质性建树。基于同样的原因,在研究目标和路线的制订、研究队伍的组织、研究项目的管理、研究成果的评价、研究队伍的培养等方面,也存在不少问题。反过来,如果我们在全面理解技术科学的性质、作用、任务和特点的基础上,按应用目标组织科学研究,那么情况很可能要好得多。

对于科学和技术发展工作政策的制定者和科学的研究的管理者而言,钱学森的技术科学思想尤为重要。例如,如何制定基础科学和技术科学规划、在基础科学和技术科学的投入应保持何种比例、对待基础科学和技术科学在政策方面应有什么区别、在评价体系上应有什么区别,等等,都同对技术科学的认识密切相关。按照技术科学的观点,应当首先根据国家发展的需要确定国家目标。对于有国家目标的技术科学的研究项目,首先应当从世界当前的科学和技术现状作为出发点,紧密围绕所要求达到的工程技术或其他应用目标、来制定技术科学的研究规划和计划。在根据工程技术或其他应用目标、制定规划和计划这一点上,这同为基础科学作规划和计划,有显著的不同。为达到这个目标,往往需要多学科的相互配合,需要有不同专业的人参与,这就带来一系列包括选择适当的项目总负责人在内的组织、计划和管理问题。这又涉及在科学技术问题上,如何体现学术上的自由探索、民主讨论和集中决策的问题。由此可见,钱学森技术科学思想向科学和技术政策制定者和科技工作管理者提出了一系列需要着重思考的问题。

技术科学的研究与预先研究有密切的关系和相同之处。然而,目前在我国的一些重要领域里,没有把预先研究放到应有的位置上,这不能不说与人们对技术科学缺乏正确的认识有关。在这些产业部门里有所谓“型号带动”的说法,就是说,研究项目必须与具体的产

品型号挂钩,在没有确定产品的型号之前或者在不与具体产品挂钩的条件下,就没有研究经费来源。这种做法必然严重地阻碍基于自己的科学研究成果的新产品的开发,因为如果没有自己的预先研究,也就是说没有超前的研究,怎么会有新概念?怎么会有真正属于自己的新型号?怎么谈得上发展自己的新型号?怎么会有产品的创新?更谈不上开创新的产业了,其结果充其量不过是原有产品的改进。而有些所谓新概念,无非是贩卖国外已有的东西,甚至不过是别人业已丢弃的东西,这种做法如果不予注意,后果将会是十分严重的。难怪许多有识之士惊呼“我们的储备没有了”。

鉴于以上情况,我认为在社会上宣传钱学森的技术科学思想,普及技术科学知识,是很有必要的。我还认为,在科技界,特别是在青年学子和青年学生中,宣传钱学森的技术科学思想,也同样是很需要的。对于后者,我认为应当着重在以下几个方面作宣传。

改革开放以来,通过引进,我国的产业面貌有了很大的变化,取得了显著的进展,这是有目共睹的。然而,改革开放的经验同时也告诉我们,真正的高技术靠引进是拿不来的。这方面的例子很多。怎么办?只有依靠自己的努力。所以,首先应当宣传“科教兴国”的思想,爱国主义的思想,为建设强大的工业化祖国作贡献的思想。要号召有志青年投身到技术科学的队伍中来,用最先进的科学理论和技术来加速我国工业化、现代化的进程。

其次,应当宣传钱学森技术科学论述中提倡的那种严肃的科学态度,踏踏实实、一丝不苟、不怕艰苦的工作作风。作为一个技术科学工作者,还要培养为工程技术服务的热情。对于他人或自己的工作,要把它放在更大的背景里来审视,这样才不至于失去比例,才能正确地做出评价。

第三,应当宣传钱学森在科学上不断攀登和超越自我的思想。科学探索是无止境的,永远不可停滞,同时探索也是有风险的,要经受得起失败的考验,最宝贵的经验往往来自失败,失败是成功之母。

第四,要努力掌握先进的方法论,用先进的哲学思想武装自己的头脑。

在 1948 年和 1957 年的文章里,钱学森分别列举了当时处于时代前沿的一些分支学科,其共同特点是,应用前景重要和科学内涵丰富,半个世纪以来世界的科学和经济的发展实践已经充分证明他的远见卓识。现在世界已经进入信息时代和生命科学时代,有更多新的技术科学的领域有待人们去开辟,所以说技术科学是大有发展前途的。

总之,钱学森的技术科学思想具有丰富的内涵和强大的生命力,学习和发扬他的思想将会对我国的腾飞和富强起到重要的作用。认真加以研究,并在实践中加以发展,是我们当代人义不容辞的责任。技术科学是一个十分重要的领域,热切希望经过讨论,技术科学的健康发展能够得到进一步的推动。

以上仅就个人理解,对钱学森的技术科学思想做了些介绍,不当之处,望予指正。

## 参 考 文 献

1 钱学森文集. 王寿云编. 北京:科学出版社, 1991

- 2 钱学森. 论技术科学. 科学通报, 1957(4):97 ~ 104
- 3 Tsien H S. Engineering Cybernetics. McGraw Hill Book Company, 1954
- 4 "The First Twenty Five Years - The Guggenheim Aeronautical Laboratory of California Institute of Technology. The California Institute of Technology", Pasadena, California, June, 1954

作者简介: 郑哲敏 1924 年 10 月生, 祖籍浙江鄞县。1947 年毕业于清华大学机械系, 1952 年获美国加州理工学院博士学位, 专业为应用力学。中国科学院院士, 中国工程院院士。现任中国科学院力学研究所研究员。早期从事热应力、振动与水弹性力学、地震工程力学方面的研究, 其 1952 年对输水管振动的分析为一重要工程问题的解决做出贡献。1960 年致力于爆炸力学及其应用的研究, 涉及爆炸成形、爆破、地下强爆炸、穿甲破甲、爆炸复合、瓦斯突出、水下沙土爆破等问题。曾获国家自然科学二等奖, 国家科技进步二等奖及部委级奖等。1993 年当选为美国国家工程科学院外籍院士, 并获陈嘉庚技术科学奖。