

与

钱学森 技术科学

4 carbons

Engineering and Engineering Sciences

How-shen Tsien

Introduction

When we review the development of human society in the last half of century, one is, perhaps, struck by the phenomenal growth of the importance of technical and scientific research as a determining factor in national and international affairs. It quite clear that while technical and scientific research was pursued in an individualistic and unplanned ^{manner} during the earlier days, and ~~was~~ 上海人民出版社 fully planned and controlled in any empire nation. Thus technical and scientific

钱学森与技术科学

姜玉平◎著

上海人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

钱学森与技术科学/姜玉平著. —上海:上海人民出版社, 2015

ISBN 978 - 7 - 208 - 11937 - 6

I. ①钱… II. ①姜… III. ①技术史-思想史-研究-中国 IV. ①N092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 278494 号

责任编辑 鲍 静

美术编辑 陈 酌

钱学森与技术科学

姜玉平 著

世纪出版集团

上海人民出版社出版

(200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co)

世纪出版集团发行中心发行 上海商务联西印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22.75 插页 2 字数 413,000

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 208 - 11937-6/N · 11

定价 68.00 元

序

技术科学的兴起、发展和繁荣是 20 世纪世界科学技术史上的大事,它让科学技术进入了一个新的阶段,并深刻地影响和塑造着人类活动的方方面面。

技术科学的孕育和诞生,经历了一个漫长的过程。一般认为,它的直接源头应追溯到 19 世纪末 20 世纪初的德国哥廷根大学。当时,数学家克莱因致力于推动理论科学应用于工程技术的改进,使科学与工程结合发生了质的变化。在克莱因、普朗特的领导下,源于经典力学但一改其传统风格、直接服务于工程技术的应用力学迅速兴起,成为技术科学领域早期的代表性学科,还形成了具有世界影响的哥廷根应用力学学派。与此同时,电气、化工等其他工程技术领域的科学与工程结合也逐渐发展起来。随着科学与工程结合趋势不断深入和扩展,世界工程技术发生了革命性变化。尤其是,二战期间导弹、高速飞机、雷达、核武器等重要武器或装备的发明和使用,从根本上改变了人类生产与战争的面貌。这些重大发明与以前的发明创造明显不一样,它们不是依靠工程实践积累和经验判断设计出来的,而是需要数学、力学、物理学等理论科学作为设计依据,是科学家与工程师密切合作的产物。钱学森敏锐地觉察到并抓住这个发展趋势,在 1947 年提出“技术科学”(engineering sciences)的概念,指出它是自然科学与工程技术结合的产物,是二者之间的桥梁,属于一个新的科学研究领域,由此形成了关于技术科学的完整观点。1955 年 10 月钱学森回国后,大力介绍和传播技术科学思想。他与同属应用力学学派传人的郭永怀、钱伟长等力学家一起,参与制定国家科学发展规划,筹建技术科学人才培养与研究机构。并且,他们根据国民经济和国防建设的需求安排技术科学研究任务,还在与“两弹一星”工程有关的关键技术攻关过程中采用技术科学研究与组织管理的方法,既成功地突破了许多重大关键技术,又有力地推动了技术科学新兴学科的发展,为后来的持续发展奠定了坚实的基础。

对于这段十分重要的历史,学术界已从多个角度做过一些研究,然而迄今尚无一部探讨技术科学产生、成长及其在中国建立和发展的专门著作,这种状况与技术科学对中国科学技术发展的突出贡献相比是极不相称的。由于种种原因,近年来人们对技术科学的热情有所减退,认知程度也有所下降,研究者日渐稀少。这些现象表明,急需推进中国技术科学发展史的研究。上海交通大学青年学者姜玉平撰写的《钱学森与技术科学》这部力作,恰好适应了这种需要。作者以总揽技术科学发展史的眼光,以坚实的史实和实证研究为基础,呈现出技术科学产生、成长及其在中国建立与发展的历史图景。全书从宏观上勾勒出技术科学兴起和繁荣的历史进程,发掘出技术科学思想的丰富内涵;仔细发掘梳理了钱学森的学术成长经历,展现出钱学森继承发展应用力学学派学术思想、总结提炼技术科学思想的过程与成就;深入分析讨论了技术科学与新中国国家需要、计划体制结合等方面的问题,特别是钱学森等人如何根据国家科研总体布局筹建教研机构,建立起比较健全的技术科学体系,以及在变幻无常的政治环境下及时调整工作方向、巧妙地安排研究任务等方面的活动。在这些实证研究的基础上,作者还探讨了技术科学在中国建立和发展的机制,指出作用于技术科学成长的因素是多方面的,充满着曲折和乱象。这些研究还原了历史的本来面目,总结了成败得失和经验教训,对于弘扬中国科技的优良传统、避免重蹈覆辙,也不失其现实意义。全书体大思精,自成一格,是关于技术科学史不可多得的佳作,它的推出无疑是对中国技术科学史研究的一项重要贡献。当然,本书也有不足之处,如对技术科学价值与功能的分析还不够深入,对力学所在1960年代开展的一些研究工作也写得不够到位。钱学森的技术科学思想是1930—1940年代在美国形成的,如对这一时期美国技术科学兴盛的情况做一些必要的研究,本书则会更加精彩。

作为一名老技术科学工作者,我翻阅书稿,回顾前程往事,不禁感慨万千,借此机会再谈几点感想。

其一,技术科学是一门科学,也是一种观点、一种文化。我国国民经济和国防建设的长足进步与技术科学的发展有着极其密切的关系。然而,科学界、政府和民众对技术科学的性质、作用并没有充分的认识。对于什么是技术科学,究竟有没有技术科学、技术科学教育,有关发展技术科学的政策,技术科学的组织与管理有什么特殊性,等等,认识都很模糊。所以,在组织和执行有国家目标的研究项目时,往往达不到预期的目的。国际上的经验,我国科技界和有关部门对“两弹一星”研制期间取得的技术科学方面的经验,并未被很好地继承下来。从政府制定政策角度来看,对于技术或应用科学研究,哪些应该支持,如何支持,如何组织,如何评价,认识也相当模糊,而且缺少政策方面的一贯性。在科技界内部,一个极端是按基础科

学的标准来规划和指导技术科学,以组织基础研究的传统方式组织技术科学研究,贡献相形见绌。另一个极端则是把技术科学研究当作工程和生产问题,干脆把研究工作撂在一旁,导致产品长年不能过关,引进、落后、再引进,在某些领域几乎成为打不破的恶性循环。在理工科教育方面,我们还没有完全从1950年代理工分家的影响中解脱出来,培养出来的学生搞研究的多数不重视应用,一个课题可以一搞十年、几十年不见应用。这些现象很值得我们深思。如果多一点技术科学思想作指导,多一种应用的观点,效果会不会好些?

因为,准确认识技术科学的基本观点,有利于深入认识技术科学的性质、功能及其与基础科学、工程技术和其他应用之间的关系。了解这些观点,在政策制定和科研管理方面,既有利于全面规划,也有利于营造发展技术科学的环境,包括评价体系的制定和完善,研究机构的学科定向和运行方式。在理工科教育方面,让学生及早了解技术科学及其特点也是很有益处的,有利于他们开阔视野,更准确地选择自己的发展方向。

其二,技术科学提供了一种研究问题的重要思想方法。技术科学研究把自然科学所得到的规律用于解决工程技术问题,是一种创造性劳动。这个创造性过程包括现场考察与基本现象和数据的收集,实验室和现场实验或试验;应用自然科学原理,进行去伪存真,去粗取精,由表及里地深入分析,抽象出数学模型;应用和发展必需的数学工具,发展数值计算方法;把所得计算结果与工程实际相对照,以决定对理论和模型的取舍,最后用于解决工程应用中所需要解决的问题。对于一个复杂的工程技术问题,这个过程往往需要多次反复,所得结果往往带有某种近似,但有应用价值。这时才能说对这个工程应用问题有了科学的认识,提供给工程师的结果是真正有用的。可见,技术科学提供了一种提出问题、分析问题、解决问题的思想方法,它与基础科学没有本质上的差别,而且非常强调坚实的科学知识、追求创新的意识以及强烈的应用观点。当前,浮躁功利的社会环境已影响到科技界,导致编造数据、玩数字游戏,甚至抄袭等违反科学精神的现象屡见不鲜。因此,大力提倡理论与实践结合、注重创造性劳动的技术科学工作方法,无疑对重建求实创新的学风具有重要的现实意义。

其三,必须认真研究、大力发展技术科学。1947年,钱学森指出:“研究工作现在是现代工业整体中的一个组成部分,不提到研究工作就谈不上现代工业。既然工业是国家富强的基础,技术和科学研究就是国家富强的关键”。自那以来将近70年的历史充分证明,技术科学对一个国家经济与国防建设以及科学本身的发展具有十分重要的作用。技术科学把开辟新兴的技术领域以创造和带动新技术的发展作为中心目标,在基础研究方面它同纯粹基础研究的差别,有时仅仅是在观点方

面,在应用研究方面它同工程、生产、市场有着密不可分的联系。特别是,技术科学因其桥梁作用在实现国家目标方面扮演着不可或缺的角色。因此,需要进一步加深对技术科学的认识,认真研究并大力发展技术科学,以期能在较短的时期内在关键科技领域赶超世界先进水平。

本书即将付梓面世,我由衷地感到高兴,谨此推荐,特地写几点感想,以作新书之序。

郑哲敏

2013年12月27日于力学研究所

目 录

序.....	郑哲敏	1
绪 论.....		1
第一节 一个令人瞩目的科学领域——技术科学.....		1
第二节 钱学森——技术科学思想的集大成者.....		4
第三节 本书的研究旨趣与目标.....		9
第一章 哥廷根数学学派与应用力学的兴起		12
第一节 应用力学兴起之时的国际学术背景		12
第二节 克莱因倡导和推动科学与技术结合理念		17
第三节 普朗特建立应用力学的学术范式		20
第四节 冯·卡门发扬光大应用力学学派思想		25
第二章 钱学森的技术科学之路		34
第一节 交通大学的高材生		34
第二节 师从天才——一个应用力学翘楚的升起		40
第三节 总结、推广和发展技术科学思想.....		51
第四节 本章结语		60
第三章 钱学森对技术科学思想的提炼和发展		62
第一节 技术科学产生的学理与历史基础		63
第二节 技术科学的学科性质:基础科学与工程技术的综合.....		66

第三节	技术科学的价值与功能	70
第四节	技术科学研究的方法论	74
第五节	对新兴研究领域的预测	79
第六节	本章结语	83
第四章	技术科学思想与十二年科学规划	84
第一节	科学规划制定的背景和过程	84
第二节	技术科学思想与科学规划的制定	89
第三节	力学——技术科学思想的集中体现	101
第四节	六项“紧急措施”的实施及其效果	114
第五章	创建技术科学研究机构——以力学研究所为中心	118
第一节	考察东北	118
第二节	力学研究所的建所方针、工作方向与任务	127
第三节	物色聚集优秀人才队伍	137
第四节	研究工作的开展	143
第五节	本章结语	160
第六章	建设技术科学人才培养体系	161
第一节	钱学森技术科学人才培养理念	161
第二节	1950 年代初期我国力学教育状况	164
第三节	清华大学工程力学研究班	166
第四节	中国科学技术大学近代力学系	180
第五节	本章结语	196
第七章	组建技术科学学术共同体——以中国力学学会为中心	198
第一节	中国力学学会的成立	199
第二节	中国力学学会的学术活动	203
第三节	本章结语	208
第八章	“大跃进”运动中的技术科学——以力学研究所为中心	210
第一节	“大跃进”运动在科学界的发动和展开	212
第二节	力学界对“大跃进”运动精神的贯彻	221

第三节	力学所工作方向的转变·····	226
第四节	“上天、入地、下海,服务工农业”·····	229
第五节	迷失在“献礼”运动中的力学所·····	246
第六节	“大跃进”运动的反复与钱学森保护技术科学的努力·····	252
第七节	将工作内容集中于“三大任务”·····	264
第八节	本章结语·····	269
第九章	技术科学研究工作的进展与突破——以力学研究所为中心·····	271
第一节	科学界对“大跃进”运动后果的纠正·····	271
第二节	力学所对工作方向和任务的调整·····	274
第三节	“五大协作任务”——为导弹、火箭等航天技术探路·····	281
第四节	钱学森对力学所研究工作的指导·····	298
第五节	积极培育和发展新兴学科·····	302
第六节	深度参与国防尖端技术任务·····	311
第七节	高超声速讨论班与星际航行座谈会·····	319
第八节	本章结语·····	323
第十章	余论·····	327
第一节	技术科学符合辩证唯物主义原则·····	328
第二节	技术科学适合中国社会的迫切需要·····	332
第三节	技术科学适应计划科学体制·····	334
第四节	技术科学的当代价值·····	338
主要参考文献	·····	342
后记	·····	352

绪 论

第一节 一个令人瞩目的科学领域——技术科学

科学是人类认识自然现象及其变化规律的系统知识的总和,技术是人类关于制造和操作的系统知识和技艺的总和。因此,科学家以发现或揭示自然界的新现象和新规律为奋斗目标,以为人类增添关于自然界的知识而得到社会的认同。工程师以设计创造新的物件为奋斗目标,以增加人类的福利而受到社会的尊敬。无论科学活动还是技术活动,都属于创造性劳动。创新是科学家最重要的气质,讲究发现或创造的优先权是科学与技术界的基本规范。所以,人们习惯于将重大科学发现、科学定理或公式与它的发现者相提并论,而重要的技术或发明也常常与它的发明者一起为人们代代传颂。换言之,取得重要发现的科学家与做出重大发明的发明家,比较容易获得社会的承认,并与他们的发现或发明一道名垂青史。如科学史著作大多为描述或记载重要的科学发现,而技术史著作也多为重要技术或发明的谱录。然而,在基础科学与工程技术的中间地带作出贡献的科学家,不大容易引起人们的注意和兴趣。毫不夸张地说,与科学家、发明家(工程师)相比,在这个领域工作的科学家做出的成就及其对人类社会的贡献一点都不逊色,甚至有过之而无不及。尽管我们在日常生活中不断享受他们创造的伟大成果,但是现有的科学史文献对他们的研究显得远远不够,他们没有得到应有的荣誉,几乎成了科学史家笔下的“弱势群体”。这个“弱势群体”就是技术科学家(工程科学家)群体,他们的研究对象是基础科学与工程技术的中间地带——技术科学(或曰工程科学)。按照工程科学的首创者之一、1963年工程科学学会的筹建人爱瑞金(A.C.Eringen)的定义,工程科学是“将物理学、数学、化学与生物学,应用于求解工程学问题”。它本

质上是数学性质的,是把数学的准确性和工程学问题的现象熔合在一起。^①技术科学诞生于19世纪末20世纪初,距今仅有100多年的历史,比自然科学、工程技术的发展历史要短得多。

在人类生产发展史上的大部分时间里,生产活动主要依靠人们的经验。即使近代科学革命爆发以后,科学与技术的发展仍旧是分道扬镳的,在相当长的时间内工程技术进步较少依赖科学理论的指导。到了18世纪末,这种分离的局面始有改观,此时产生了以蒸汽动力技术为代表的第一次技术革命。牛顿力学体系建立之后,近代科学在许多领域取得了蓬勃发展,主要表现在理论力学、热力学和各种力学应用方面。另一方面,表现在机械、蒸汽机和机床等工具的发明和应用上,因为这些机械和动力装置的发明和设计,都需要运用牛顿力学进行思考和计算。到了1830年代,机床、火车、轮船等都已发明,进入机器大生产时期,完成了著名的英国工业革命。大概在18世纪中期以后,法国的工程师培训学校开始引入基础科学的训练,这使土木、机械、采矿、冶金等工程技术从基础科学中受益匪浅,得到了迅速发展。虽然工程技术界已发现应用科学理论的重要价值,不过这个时期基础科学与工程技术的合作还是比较初级的,处于应用科学理论一般原理进行指导的层次。当时的科学界将主要精力放在追求理论的严谨性上面,不大重视理论的工程应用。

随着基础科学迅猛发展,理论积累越来越丰富,与此同时,工程技术也取得了长足进步。如果仅仅依靠生产经验和初级的科学理论,工程技术无法取得更高层次的发展。于是,基础科学与工程技术在19世纪末开始密切结合。当时,以电力技术的突破和发展为中心的第二次工业革命风起云涌,电动机和发电机等电机工程技术发展非常迅速。这些工程技术与以往的工程技术大为不同,必须以科学理论为基础,这样作为基础物理学的电磁学与作为工程技术的电机工程开始密切合作。随着基础科学与工程技术的深度结合,产生了应用力学、电工学、化学工程等新兴学科,由此促进了航空、电力、化工等新兴产业的成长。这类新知识有别于经典力学、电磁学等基础科学,也不同于机械设计、电力工程、化工等工程技术,而属于一类新生的科学技术知识,即技术科学。

20世纪初期,以相对论、量子力学为代表的近代物理学建立为标志,爆发了第二次科学革命。相对论、量子力学等理论科学的诞生,颠覆了力学、电学、磁学、光学、热力学以及其他经典物理学对物质世界的传统看法,极大地丰富了人类对物质世界的认识 and 了解,在此基础上建立了许多新的科学知识。1930年代后期,由于战争的刺激,美、英、德等国组织大量科学家研究原子武器、雷达和导弹,使基础科

^① [英]O.A.拜格:《当代世界领先的工程科学大师们》,康振黄译,四川科学技术出版社2008年版。

学的重要发现迅速应用到工程技术领域,形成了核技术、电子学、喷气推进等新的技术科学。这些技术科学的诞生,使拥有强大技术科学实力的国家成为世界上最强大的国家,改变了国际力量的对比和平衡,也使技术科学的地位大大提升,成为科学技术领域的热点。二战后,控制论、信息论、固体物理学等技术科学纷纷诞生,催生了以微电子和信息技术为代表的第三次技术革命。以1946年电子计算机的发明为标志,1947年晶体管的发明以及后来集成电路的出现,推动这次技术革命蓬勃发展,至今方兴未艾。由于“冷战”核军备竞赛以及外太空探索的刺激,空间科学等新的技术科学迅速成长,使人类步入核能时代、太空时代。以1957年苏联“卫星1号”人造地球卫星成功上天、1961年宇航员加加林乘坐“东方号”(Vostok)载人飞船进入太空和1969年美国宇航员阿姆斯特朗成功登陆月球为标志,人类开辟了太空时代的新纪元,使此前科幻小说中的遨游太空想象一一变成现实,将人类科学技术事业推向巅峰。

迄今为止,人类历史上已经发生两次科学革命、三次技术革命和产业革命。新的科学概念与理论的确立,往往导致新的科技知识体系的产生。技术革命是科学革命的成果即基础科学与工程技术结合而引发的,也可以说是“技术科学革命”。以往的技术史著作将技术革命视为工程技术的革命,实际上其中的核心是技术科学的巨大突破,由此建立起一套新的工程技术知识体系,以至于引发生产过程、产业结构的更新换代,最终导致生产行业的根本性变革。第一次科学革命以后,人类在很长时间之后才产生两次产业革命,而第二次科学革命爆发之后不久就迅速引发产业革命,就是基础科学与工程技术结合即技术科学的产生和突破而带来的结果。19世纪后半叶,由于技术科学的产生,使基础科学成果迅速转化成工程技术,而1950年代以后又比19世纪后半叶通过技术科学在更广范围、以更快速度将基础科学转化为工程技术。科学与工程结合不仅孕育了技术科学,开辟了现代科学技术的新领域,还改变了整个社会结构,甚至对人类文明也产生了深远影响。技术科学的诞生和发展,是20世纪世界科学技术界最令人瞩目的事情之一,吸引了许多科学家、工程师进入这一领域,使人类科学技术事业比以往更加精彩纷呈。

科学与工程结合而产生的技术科学,使基础科学转化为工程技术的时间大为缩短,这使人们更加清楚地认识到基础研究的重要性。1946年,V.布什(Vannevar Bush)在直接导致美国国家自然科学基金会建立的著名报告《科学——没有止境的前沿》(Science: The Endless Frontier)中写道:“基础研究导致新知识。它提供科学资本。它创造储备,知识的实际应用必须从中提取。新产品和新工艺过程显得很成熟,它们是建立在新的原理和新观念之上的,而新原理和新观念本身又通

过最纯粹的科学领域里的研究而艰苦地发展着。”^①这段强调基础研究重要地位的至理名言,至今仍令人钦佩不已。然而,它常常遭到人们的曲解,甚至断章取义地将应用需求强加给基础科学,要求基础科学研究结果迅速转变成生产力。笔者认为,曲解之所以形成,原因在于人们忽略了基础科学与工程技术结合而产生的技术科学的功能,以至于被 20 世纪中叶以来科学技术大突破、大发展的纷繁复杂现象所蒙蔽,常常将许多新技术、新产品问世的功劳加冕到基础科学头上,在制定科学政策时不恰当地赋予基础科学许多应用性要求,使基础研究活动偏离了“发现”的轨道。实际上,应用性需求与任务是基础科学无法承担的责任,揭示自然界深层次的奥秘是基础研究至高无上的目标,基础科学并不考虑应用的目的,也不能直接为工程技术发展提供具体的答案。实际上,是技术科学在科学与工程之间架起一座座通达的桥梁,将基础科学的研究结果转化为可以应用的工程理论,为工程设计和技术开发服务,成为工程技术创造的源泉。

早在 1940 年代中期,一位技术科学家就敏锐地觉察到技术科学方兴未艾之势,率先对技术科学进行系统总结和理论提炼,将其定位为与基础科学、工程技术并列的一类新知识。他说道:“纯科学家与从事实用工作的工程师之间密切合作的需要,产生了一个新的行业——工程研究家和工程科学家。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。”“工程科学家在一些工程发展中成了核心力量,他们是工业新前沿的先锋。”“工程科学的真正本质是将基础科学原理转化为服务于人类福利事业的技术。”并且,还积极呼吁发展技术科学:“现在是号召工程科学家们朝着科学追求的目的的时候了。”他借用美国原子学专家尤瑞(Urey)的话说:“我们必须取消人类生活中的苦工,病痛,短缺,带给他们快乐、闲暇和美好。”^②这位技术科学家就是菲利克斯·克莱因(Felix Christian Klein)、普朗特(L.Prandtl)开创的哥廷根应用力学学派嫡系传人、中国科学家——钱学森。

第二节 钱学森——技术科学思想的集大成者

技术科学的直接源头应追溯到 19 世纪末的德国哥廷根大学,这里是技术科学领域兴起最早并发展最为成熟的学科——应用力学的发源地。说起应用力学的发端,首先应说说当时世界的科学背景。近代科学革命爆发以后,尤其是牛顿经典力

① [美]V.布什等:《科学——没有止境的前沿》,范岱年、解道华等译,商务印书馆 2004 年版,第 64 页。

② Hsue-Shen Tsien.Engineering and Engineering Sciences;王寿云编:《钱学森文集(Collected Works of H.S.Tsien, 1938—1956)》,科学出版社 1991 年版,第 550—563 页。

学体系莫立之后,科学界对牛顿治学道路顶礼膜拜,纷纷投身理论力学和数学的研究,使英国成为数学和理论物理研究之邦,甚至出现畸形发展的状况。另一方面,英国科学家脱离产业革命的实际,对工程技术不屑一顾,好像工程技术不是科学,研究工程技术或科学理论应用于工程技术会降低科学的地位,造成蓬勃发展起来并席卷整个英国的产业革命只是工匠和手工业者活动的领地。这样一来,孤芳自赏的理论科学家不断受到来自工程技术领域大量急需解决的技术问题的冲击。不过,欧洲大陆却出现了另外一种局面,法国在大革命之后建立了资产阶级教育体系,迅速培养出一代应用科学家,使世界科学中心逐渐从英国转移到法国。随着欧洲产业革命的兴起,法国、德国兴起了应用科学研究。^①英国科学家看不起应用科学,就没有去理论联系实际,倒是法国人首先倡导基础科学应用于工程技术,首开理工结合之先河。在此基础上,德国人将基础科学与工程技术更为密切地结合起来。19世纪末20世纪初是现代科学革命的爆发时期,科学史界将1895年伦琴发现X射线视为现代科学革命的起点。十分巧合的是,科学与工程结合发生质变也出现在这个时间节点。哥廷根数学学派开创的应用力学是最先兴起和发展起来的技术科学学科,应用力学的形成及其学术思想与方法代表了近代技术科学发展的基本特点,具有典型性。

19世纪末,以物理学为基础的近代科学大厦已经构筑封顶,许多科学家陶醉于已取得的辉煌成就并怀疑物理学还有什么值得研究的,甚至有人断言物理学已经终结。当时的德国,科学与工业蒸蒸日上,一日千里,而且许多优秀科学家正在思考更为长远的问题,哥廷根大学的数学家克莱因就是其中的一位。他积极倡导科学与工业结合,以让德国工业技术更为精良,产品更具竞争力,在国际竞争中占据更为有利的位置。他率先在哥廷根大学设立应用数学、应用力学、技术物理、电工学等研究所或教授席位,开展应用科学研究。这些研究所成为技术科学的摇篮,哥廷根大学也因之成为技术科学的发源地。其中,由普朗特主持的应用力学研究所成绩最为突出,影响最为深远。当时,力学已是一门成熟的物理学分支学科,在大量观察实验的基础上形成了一套完善的原理、定理、方程及其数学方法。但是,这些属于经典物理学知识体系的力学理论,仍然不能满意地解决许多工程技术问题。在这种情况下,普朗特把数学、经典力学与工程实践结合起来,重视从工程实践中提炼出具有普遍性的问题,加以科学的分析和研究,使得出的结论更具普遍性和预见性,从而为工程技术提供一般性的应用力学理论。此后,应用力学逐渐从物理学中分离出来,成为一门新兴的技术科学。这个时候,美国人莱特兄弟(Wright

^① 阎康年:《科学革命与卡文迪什实验室》,山西教育出版社2008年版,第20页。

brothers)发明了飞机。由于实际经验和经典力学理论都不能直接提供设计飞机的知识与技术,必须开辟研究飞机外形的空气动力学等流体力学以及研究飞机结构的固体力学等新兴科学领域。这样,在普朗特的周围逐渐聚集一大批来自欧洲各地的青年才俊,形成了以普朗特为中心的应用力学学派。冯·卡门(Theodore von Karman)是其中的一位佼佼者,他不仅将克莱因的学术思想发扬光大,“以填平理论科学和应用技术之间的鸿沟为己任”,将擅长理论研究的优势发挥得淋漓尽致,取得了许多突出成就,还将哥廷根学派的学风移植到北美,在加州理工学院平地起高楼,建立起一个新兴的应用力学研究中心。当时,航空工业在南加州刚刚起步,对应用力学产生了强烈的需求。在冯·卡门的领导下,加州理工学院聚集了一批来自世界各地的青年才俊。他们围绕航空、喷气推进等领域的力学问题进行全方面的探索,开展了大量艰苦的研究工作,奠定了喷气技术的基础,为人类突破声障、热障等壁垒,实现超声速飞行、迈向太空作出了十分重要的贡献。

在钱学森 1936 年迈入应用力学之际,这个领域正处于突破与革命的前夜。当时,飞机正由亚声速进入超声速时代,由于飞机速度越来越快,产生了声障等瓶颈问题。这个领域迫切需要一次理论上的革命,从理论上分析其中的原因,并找到在工程上进行突破的方法,让飞机实现超声速飞行。在冯·卡门的指导下,钱学森深刻领悟应用力学学派的思想精髓,以卓越的创造力成为这个团队中十分活跃的一员。他与同事们合作,在固体力学、流体力学、气动力学等方向上势如破竹,取得了许多重要成就,还参与喷气推进等新兴领域的开疆拓土。另外,他还关注二战中兴起的核能、雷达技术,发现这些方兴未艾的新技术与应用力学有着非常相似的形成过程,也是基础科学与工程技术密切结合的产物。于是,钱学森对 19 世纪末以后的科学技术发展史进行了系统考察和理论概括,对前人成功的或不成功的案例进行了分析总结,从中概括提炼出带有普遍意义的思想,提出在基础科学和工程技术之间存在着——技术科学,第一次赋予技术科学与基础科学、工程技术同等的地位,从本体论上改变了人们的自然观和科学观,成为标识 20 世纪科技思想的重要坐标。特别是,他系统论述了技术科学的研究内容、任务及研究方法,归纳出技术科学的研究范式。古语云,鸳鸯绣出从君看,莫把金针度与人。与此相反,深受现代科学精神洗礼的钱学森信奉科学公有主义,积极传播技术科学思想与方法。法国数学家欧拉曾说过:“一个科学家如果单是做出了给科学宝库增加财富的发现,而不能阐明那些引导他做出发现的思想,那么他就没有给科学做出足够的工作。”^①在技术科学领域,钱学森不仅“做出了给科学宝库增加财富的发现”,而且

① 李心灿:《微积分的创立者及其先驱》(第三版),高等教育出版社 2007 年版,第 171 页。

“阐明那些引导他做出发现的思想”，也就是不仅绣出了“鸳鸯”，而且毫无保留地亮出了“金针”。

“技术科学”是钱学森从学科高度提出的新概念，它把应用力学等技术科学学科作为学科群对待，不断推进对技术科学的综合研究，加快科学与工程相结合，为新型工业的发展开辟方向。此后，钱学森以技术科学思想指导自己的学术研究，积极倡导以技术科学观点观察工程技术问题，并将其思想方法推广到其他工程领域，建立了“工程控制论”和“物理力学”这两门新的技术科学。就自己涉足过的学科领域，钱学森在一张亲手绘制的表格上这样写道：1932年铁路机械工程，1934年航空工程，1936年流体力学、气动力学，1939年弹性薄壳理论，1942年火箭技术，1946年核动力理论，1949年航天工程，1950年工程控制论，1954年物理力学，1956年运筹学、系统工程，1978年系统科学。从表面上看，这些学科专业之间没有什么必然的联系。如果仔细加以观察，就会发现有一条“暗线”贯穿其中，这就是技术科学思想。这些学科领域的具体内容虽然不同，但研究它们的观点、方法是相通的。晚年在信件中与他人回顾自己的学术心路历程时，钱学森说道：“30年代中期到美国MIT及CIT学习，MIT重在工，而CIT则强调理工结合。我在CIT选修了不少理科课程，如微分几何、复变函数论、量子力学、广义相对论、统计力学等。博士论文也是用数理理论解决工程技术问题。后来十几年在MIT及CIT教学做研究，从薄壳理论、气动力学、火箭技术到工程控制论、物理力学等，也都是理工结合，用‘理’去解决‘工’中出现的新问题。”“50年代中叶回归祖国，也是搞理工结合的国防尖端技术共20多年。”^①与他的导师冯·卡门从工程技术进入技术科学的学术路径相似，钱学森也是从工程技术进入技术科学领域的，这使他不仅储备了丰富的工程实际经验，而且在研究生阶段奠定了宽厚的自然科学基础。这些知识储备与经历使他深刻领会到技术科学思想与方法的真谛，让他能自由涉足多个工程领域，且都有所建树，甚至可以根据工程发展的需要开辟出新的技术科学领域。

1949年10月，新中国成立。漫卷诗书喜欲狂，钱学森欣然束装归国。1955年10月，冲破阻挠、历经艰辛的钱学森跨过深圳罗湖桥，回到祖国。当时的国内，科学和教育界对技术科学还是非常陌生的。出于对振兴祖国科学技术事业的强烈责任感，钱学森积极利用各种机会、场合与形式介绍技术科学思想，发表演讲，撰写文章，希望以发展技术科学来改造和提升中国的工业。1957年4月，钱学森在《科学通报》发表宏文“论技术科学”^②，算得上他对技术科学思想的系统总结，涵括1947

^① 钱学森：《致钱学敏的信（1994年2月7日）》，载《钱学森书信集》（8），国防工业出版社2007年版，第58—61页。

^② 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957年第4期。