

技术科学的发展与技术科学的社会价值

黄志澄

(北京系统工程研究所, 北京 100101)

[摘要] 文章首先介绍钱学森先生关于技术科学的论述, 重点从信息科学的发展, 讨论了近代技术科学发展的特点, 在这个基础上, 从应用价值、文化价值和精神价值等方面, 进一步探讨了技术科学的社会价值。

[关键词] 钱学森; 技术科学; 信息科学; 系统科学; 科学、技术与社会; 社会价值

[中图分类号] NO **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)01-0010-05

1 引言

关于科学研究与工程技术之间的关系, 是过去20年中国科学界和工程技术界一直讨论的重大问题之一。正确制定对待这两个领域的方针政策, 对中国的建设和发展, 都具有重要的现实意义和长远意义。为了正确地阐述这种关系, 我国著名科学家钱学森先生, 提出了现代科学技术体系在纵向结构上应分成基础科学、技术科学、工程技术三个层次, 并将技术科学放在基础科学与工程技术之间的桥梁的地位。研究技术科学的发展及其社会价值, 不仅有利于技术科学本身的发展, 也十分有利于深刻理解“科学技术是第一生产力”的思想, 从而为正确制定科学技术领域的方针政策提供依据。本文首先介绍钱学森先生关于技术科学的论述和技术科学的近代发展, 在这个基础上进一步探讨技术科学的社会价值。

2 钱学森关于技术科学的论述

钱学森先生在几十年的科学研究和工程实践中, 一直以具有广深的科学造诣、丰富的科学想象力、敏锐的科学直觉和勇于创新、勇于实践的精神而著称。他的科学著作、科学思想涉及的领域很

广, 在很多科学技术领域中, 都做出了开创性的贡献。

钱学森先生一生从事技术科学的研究和应用, 对技术科学的作用、地位以及它与社会的关系, 有着全面而深刻的认识^[1-5]。早在1948年, 他在“技术和技术科学”(Engineering and engineering science)一文中, 就辩证地阐明了这两者的关系^[1]。他指出:“人们也许会说, 在工业时代的开创时期, 技术和科学研究就与工业发展有关, 那么为什么今天把研究工作说得如此重要? 这个问题的答案是, 出于国内和国际竞争的需要, 现代工业必须以越来越高的速度发展。做到如此高的发展速度, 就必须大大强化研究工作, 把基础科学的发现几乎马上用上。也许, 没有什么比把战时雷达和核能的发展作为例子更为突出的了。雷达技术和核能的成功开发为盟方取得第二次世界大战的胜利做出了重要贡献是公认的事实。短短数年, 紧张的研究工作把基础物理学的发现, 通过实用的工程, 变成了战争武器的成功应用。这样, 纯科学上的事实与工业应用间的距离就很短了。换句话说, 长头发纯科学家和短头发工程师的差别其实很小, 为了使工业得到发展, 他们间的密切合作是不可少的。”他认为从科学原理到工程技术之间有一个桥梁, 那

就是工程科学，后来国内一般称为技术科学。他指出：“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——技术研究家或技术科学家。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。”

1954年，钱学森先生在《工程控制论》的前言中写道^[3]：“技术科学的目的是把工程实际中所用的许多设计原则加以整理和总结，使之成为理论，因而也就把工程实际的各个不同领域的共同性显示出来，而且也有力地说明一些基本概念的重大作用。”1987年，钱学森先生在中共中央党校出版社出版的《社会主义现代化建设的科学和系统工程》一书中，对技术科学做了进一步的阐述^[4]。他说：“现代科学技术的体系的组成，除了自然科学、社会科学、工程技术，还有什么？现在报刊上、书刊上常常出现一个词叫技术科学。对于技术科学的理解并不完全一致。我认为，技术科学，一方面，它把自然科学的基础理论应用于工程实践；另一方面，它又不同于工程技术。它常常是选择好几门工程技术里面带共性的一些问题作深入的处理。比如说力学，无论是流体力学还是固体力学，都不是局限于应用到哪一门工程技术。研究水的流动、气体的流动，这是流体力学，在水利工程上要用，在航空工程上要用，在气象预报中研究大气的运动时也要用。所以，流体力学就是一门技术科学。此外，固体力学也如此，很多工程项目都要用固体力学，所以它也是技术科学。再说电子学，应用的范围就更广了，绝不只是一门工程技术用它，许多门工程技术都要用它。还有电子计算机科学、运筹学，等等，都是技术科学。”钱学森先生在这里把科学研究细分为基础科学研究和技术科学研究两个方面，并阐明了它们与工程技术之间的关系。

在现代科学技术体系的纵向结构上，钱学森先生把每一个科学技术门类都区分为：基础科学、技术科学、工程技术三个层次，这三个层次之间是相互关联的。基础科学，如天文学、数学、粒子物理等，是综合提炼具体学科领域内各种现象的性质和较为普遍的原理、原则、规律等而形成的基本理论。其研究侧重在认识世界过程中，进行新探索，获得新知识，形成更为深刻的理论。它是技术科学、工程技术的先导，也是衡量一个国家科技水平与实力的重要标志。技术科学是20世纪初至第二

次世界大战前，才在科学与技术之间涌现出的一个中间层次。它侧重揭示现象的机理、层次、关系等，并提炼工程技术中普遍适用的原则、规律和方法。技术科学作为科学发现和产业发展之间的桥梁，推动工程技术的迅速进步。工程技术侧重将基础科学和技术科学知识应用于工程实践，并在具体的实践过程中总结经验，创造新技术、新方法，使科学技术迅速转化为社会生产力。工程技术的发展，也必将丰富、完善技术科学、基础科学，它是技术科学、基础科学发展的根本动力。工程师们面临的是多因素、复杂的实际问题，而技术科学家必须善于从这些实际问题中找到主要矛盾，创立有充分基础科学依据的、能被工程师用于设计的、有预测能力的定量理论。当发现基础科学的已有成果不够用时，也需要吸收和运用工程中经验性的规律和判断。所以技术科学在这一点上不同于基础科学。另一方面，技术科学又不同于工程技术，它的中心目的是研究和解决某类工程技术中带有普遍性的问题，而主要不是研究一个个具体的工程技术问题。

科学技术的这三个层次之间的关系与影响是双向的。钱学森先生认为：人首先要认识客观世界，才能进而改造客观世界。从这一基本观点出发认识客观世界的学问就是科学，包括自然科学、社会科学，等等。改造客观世界的学问是技术，而人们在认识世界和改造世界的过程中，主体与客体、认识与实践又是辩证统一的。所以，现代科学技术体系各学科、各层次之间也存在着相互补充、相互促进的内在关系。将科学技术划分为三个层次，有利于我们自觉地理论联系实际，促进生产力发展；有利于确定某门学问在整个现代科学技术体系中的地位和作用，分析科学技术发展的薄弱层次，寻找新的科技突破口；有利于培养融合科学技术三个层次的知识学科带头人。

3 技术科学的近代发展

传统的技术科学主要包括力学、传热学和电子学等，它们为上个世纪的产业革命做出了十分重要的贡献。自20世纪80年代以来，信息科学技术的兴起，使技术科学正在发生深刻的变革，其影响更加深远。纵观技术科学的近代发展，发现具有四方面的特点。

3.1 从研究物质和能量领域的规律扩大到包括研究信息领域的规律

信息科学是以信息为主要研究对象,以信息的运动规律和应用方法为主要研究内容,以计算机和通信等技术为主要研究工具,以扩展人类的信息功能为主要目标的一门新兴的综合性学科。信息科学是由信息论、控制论、计算机科学、电子学、系统与人工智能等学科互相渗透、互相结合而形成的。由于信息过程普遍存在于生物、社会、工业、农业、国防、科学实验、日常生活和人类思维等各种领域,因此信息科学将对工程技术、社会经济和人类生活等方面产生巨大的影响。

20世纪40年代末,美国数学家香农发表了“通信的数学理论”和“在噪声中的通信”两篇著名论文,提出信息熵的数学公式,从量的方面描述了信息的传输和提取问题,创立了信息论。信息论首先在通信工程中得到广泛应用,为信息科学的研究奠定了初步的基础。随着自动化系统和自动控制理论的出现,对信息的研究开始突破原来仅限于传输方面的概念。美国数学家维纳在这个时期发表了著名的《控制论》,从控制的观点揭示了动物与机器的共同的信息与控制规律,研究了用滤波和预测等方法,从被噪声湮没了的信号中提取有用信息的信号处理问题,建立了维纳滤波理论。20世纪60年代,由于复杂的工程大系统的出现,需要用计算机来控制生产过程,系统辨识成为重要的研究课题。系统辨识就是通过输入输出信息来研究控制系统的行为和内部结构,并用简明的数学模型加以表示;控制就是根据系统结构和要求对信息进行处理、变换和利用。

信息和控制是信息科学的基础和核心。20世纪70年代以来,电视、数据通信、遥感和生物工程的发展,向信息科学提出大量的研究课题,如信息的压缩、增强、恢复等图像处理和传输技术;信息特征的抽取、分类和识别的模式、识别理论和方法,出现了实用的图像处理和模式识别系统。香农最初的信息论只对信息做了定量的描述,而没有考虑信息的其他方面,如信息的语义和效用等问题。如今信息论已从原来的通信领域广泛地渗入到自动控制、信息处理、系统工程、人工智能等领域,这就要求对信息的本质、语义和效用等问题进行更深入的研究,建立更一般的理论,从而产生了信息科学。为了解决控制和决策中的非数值问题,适应20世纪80年代以后智能机研究的需要,以及解决知识信息处理的问题,从而产生了知识工

程,并已研制成专家系统、自然语言理解系统和智能机器人等。

3.2 信息科学向基础科学的渗透形成技术科学的新热点

信息科学在其他科学领域的渗透,出现了面向特定对象的信息科学,其中近年来十分活跃的有生物信息科学和地球空间信息科学等。

生物信息学(bioinformatics)的产生和发展与基因组研究紧密相连。广义地说,生物信息学从事与基因组研究相关的生物信息的获取、加工、储存、分配、分析和解释。它包括两层含义,一是对海量数据的收集、整理与服务,也就是管好这些数据;另一个是从中发现新的规律,也就是用好这些数据。具体地说,生物信息学是把基因组的脱氧核糖核酸(DNA)序列信息分析作为源头,找到基因组序列中代表蛋白质和核糖核酸(RNA)基因的编码区;同时,阐明基因组中大量存在的非编码区的信息实质,破译隐藏在DNA序列中的遗传语言规律,在此基础上,归纳、整理与基因组遗传信息释放及其调控相关的转录谱和蛋白质谱的数据,从而认识代谢、发育、分化、进化的规律。生物信息学还利用基因组中编码区的信息进行蛋白质空间结构的模拟和蛋白质功能的预测,并将此类信息与生物体和生命过程的生理生化信息相结合,阐明其分子机理,最终进行蛋白质、核酸的分子设计、药物设计和个体化的医疗保健设计。

地球及其环境是一个复杂的巨系统,为了回答人类社会所面临的人口、资源、环境和灾害等问题,需要人们不断地加深对地球的认识。随着人类社会进入信息时代,有关地球科学问题的研究,需要以信息科学为基础,并以现代信息技术为手段,建立地球信息的科学体系。地球空间信息科学(geomatics)作为地球信息科学的一个重要分支学科,将为地球科学问题的研究提供空间信息框架、数学基础和信息处理的技术方法。现代信息技术和全球定位系统(GPS)、航空和航天遥感(RS)、地理信息系统(GIS)的发展及其相互渗透,促成了地球空间信息科学的产生。它主要用于采集、量测、分析、存贮、管理、显示、传播和应用与地球和空间分布有关的数据。它从单纯提供测量数据和资料到实时、准实时地提供随时空变化的地球空间信息,将空间数据和其他专业数据进行综合分析。其应用已扩展到与空间分布有关的诸多领域,如:

环境、资源、灾害、农业、城市发展等，成为数字地球的基础。

3.3 信息科学的发展改善了技术科学的研究环境

信息科学对传统技术科学的影响可以计算机科学对力学的影响为例。力学是研究力与运动关系的一门应用极为广泛的技术科学。力学在20世纪的突出成就是促进了众多的工程技术的发展。近代航空和航天事业的成功，就是一个典型例证。进入21世纪，力学仍将继续沿着这一方向发展。近年来，跨物质层次的力学现象（从原子通过细结构如晶粒、小涡等一直到宏观）和非线性非平衡行为（有内在确定性的随机性和高度有组织的结构），是近代力学研究的重要前沿。这种认识将突破连续体力学的理论框架，突破简单还原和叠加的经典方法，突破确定性和随机性的简单对立。这将使人们在21世纪更真实、更确切地把握各类力学作用与宏观复杂运动模式间的关系。同时，传统的力学体系与各种工程技术中的新问题的结合，仍将导致工程技术和力学学科得到重大的新进展。例如计算机的飞速发展给大型非线性设计计算和对系统的参数进行优化计算带来了可能。为此，应该把力学理论、算法软件和虚拟技术结合起来，将现有的代替了结构设计大部分工作量的计算机辅助设计（CAD）技术，进一步发展成效能更大的计算机辅助工程（CAE）技术。那时，人们不但可以优化设计、优化加工，还可以在整個工程建造之前，优化工程的使用和效能。这将不但会极大地促进计算力学的飞跃发展，更会使一批产业发生质的变化。这将是21世纪工程界提高其竞争力的一个主要技术源泉。

3.4 信息论、控制论和运筹学共同构成系统科学的技术科学

上个世纪，由于生产力的巨大发展，出现了许多大型和复杂的工程技术和社会经济问题，它们都要求从系统上和整体上加以优化来解决，从而诞生了横跨自然科学、社会科学和工程技术，从系统的结构和功能（包括协调、控制和演化）角度研究客观世界的系统科学。从系统的观点，系统的设计研制、组织管理和操作使用的共性问题主要是通信、控制和运筹决策。因此，系统科学的技术科学就是信息论、控制论和运筹学。运筹学和自然科学中的技术科学不同，它并不研究自然界的物质运动和转换规律，而是以人在一定物质条件下的办事过程作为研究对象。它也没有给工程技术问题提供解答，

而是给出活动的策略。运筹学的出现就说明技术科学出现了深刻的形态转变。系统科学的基础科学层次，主要研究系统运行演化的客观规律，而技术科学层次，则研究系统的功能、效益和用途等问题，它的重点是研究在一定限制条件下发挥能动性的优化问题。

4 技术科学的社会价值

人类的任何一种有目的的活动都有其价值。所以，人们必然有一定的价值判断标准，以此去进行他所追求的科学技术活动。科学技术是社会的，它是一种社会现象。科学技术作为一种社会建制，对生产力的提高、经济的发展、文明的进步、人们观念的变化和生活方式的改变，都产生了不可估量的影响。同时，社会对科学技术的影响也是显而易见的。现代关于科学、技术与社会（STS）的研究表明：科学、技术与社会这三者之间，存在十分复杂的相互作用。全面地讨论这三者的相互关系，已超出本文的范围。现仅从技术科学的社会价值这个角度，按技术科学的应用价值、文化价值和精神价值等三个方面进行探讨。

4.1 技术科学的应用价值

强调科学技术的应用价值，无论对于社会还是对于科学技术本身的发展，都有着极其重要的意义。一方面，科学技术不仅应当，而且能够为人类服务；由于科学技术的不断进步，使人类的技术创新能力显著增强，科学技术，特别是技术的发展对社会的影响也越来越大，使知识成为经济增长和发展的主要源泉和资本。另一方面，科学技术必须植根于社会，才能从社会需求中获得巨大的发展动力和支持。当然，研究科学技术的应用价值，也不能回避科学技术对人类社会所产生的负面影响。科学技术的成果同样可以用来制造杀人武器，影响人类生存的环境等。但是应当看到，无论如何，科学技术对于人类社会的积极作用要比其消极作用大得多，也深远得多。由于技术科学是基础科学和工程技术之间的桥梁，并以解决某类工程技术中带有普遍性的问题为目的，所以它在更有效地利用科学技术的成果和减少其负面影响方面，将会发挥突出的作用。一般来说，基础科学不通过技术科学，很难直接解决工程实际问题，而工程实际不通过技术科学，也不可能找到它们的一般规律。也就是说，没有技术科学的突破，很难实现技术创新，很难发展

自主的核心技术。因此,当前要反对两种倾向,即只为应用,而忽视在理论上下功夫;或只强调基础研究,而忘记它的应用目标。

4.2 技术科学的文化价值

无疑,科学文化是人类文化的重要组成部分。科学作为一种文化,可在认识、思想、智力和审美等方面提供文化价值。诺贝尔奖金获得者费曼教授是这样叙述科学的文化价值的^[6]:“科学的另一种价值是为人类提供智慧与思辨的享受。这种享受对公众来说是通过阅读、学习和思考获得的,对科学家则要从真正的研究工作中得到满足。科学上已经发现的理论和定律,是科学研究的收获,也是科学家得到的最高奖赏。科学家发现了这些定律与定理后激动不已;而公众也会从学习和理解的过程中得到满足,而这种喜悦的心情就是对他们所付出的辛勤劳动的最好报偿。从这个意义上来说,科学是一种伟大的冒险活动,是一种充满刺激和令人振奋的事业。它使人类的求知欲和好奇心得到满足,并且使人们进一步展开想象力的翅膀,去理解和欣赏大自然的美妙与神奇,改变着我们的世界图景。”科学技术知识能够丰富人们的想象力,使人们能够为欣赏到大自然的美和奇妙而惊叹,为进一步揭开自然的奥秘而执着地探索,本身就是一种价值。实际上技术科学不仅帮助基础科学去认识世界,其本身就有认识世界的功能。对认识世界有所贡献的工程控制论和运筹学,在基础科学中就找不到它们的祖先,但是它们加深了对物理和事理的认识。近代人类关于系统、非线性和复杂性的认识,有许多就源自技术科学。近代的人工智能理论的发展,将十分有助于将人类的认识推进到认识主体的新阶段。

4.3 技术科学的精神价值

不难发现,科学精神本身就是一种人文精神,是人文精神的一个不可分割的重要组成部分。科学作为一项认识活动,它体现着对真理和知识的追求并为之奋斗的崇高理想和精神;科学技术作为一项智力活动,它体现着在智力上不断攀登高峰的理想和精神;科学技术作为一项与人类的前途、命运息息相关的社会活动,它体现着为人类的幸福、自由和解放而奋斗的崇高理想和精神。因此,科学精神同艺术精神、道德精神等其他文化精神,不仅在追求真善美的最高境界上是相通的,而且不可分割地融合在一起。科学的精神价值也来自它的研究方

法,即来自一种永远保持开放的头脑和对任何事物采取一种批判的态度和怀疑的精神。探索大自然的规律是对人类理性能力的最严峻的考验。为了避免预言会犯错误,科学家必须排除种种假象,将自己的理论建立在严密逻辑的基础上,而观察实验是判断一项科学发现是否被证实的根本标准。技术科学作为科学与技术之间的桥梁,不仅具有上述研究方法的特点,由于它的工程背景,它的研究方法更强调善于抓住主要矛盾,充分发扬科学民主和十分重视实践的检验等,从而大大丰富了科学技术的精神价值。

5 结束语

为了实现我国在21世纪上半叶经济发展的战略目标,必须正确制定我国科学技术的发展战略和方针政策。为此,研究科学技术的纵向划分,进一步研究技术科学的作用、近代发展及其社会价值,不仅具有重要的理论意义,而且具有重要的实践意义。从理论上讲,这十分有助于进一步加深对科学、技术与社会相互作用的理解;从实践上看,也十分有助于进一步鼓励创新精神,实施科教兴国战略,从而促进我国的现代化建设、社会的全面进步和人的全面发展。

致谢:在完成本文的过程中,庄逢甘院士提出了许多指导性的意见,在此表示诚挚的感谢。

参考文献

- [1] 王寿云. 钱学森文集 1938—1956[M]. 北京: 科学出版社, 1991
- [2] 钱学森. 论技术科学[J]. 科学通报, 1957, (4): 97~104
- [3] Tsien H S. Engineering cybernetics[M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1954
- [4] 钱学森. 社会主义现代化建设的科学和系统工程[M]. 北京: 中共中央党校出版社, 1987
- [5] 庄逢甘, 黄志澄. 从简单系统的定分析到复杂巨系统的综合集成[A]. 钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 97~108.
- [6] 李亚宁. 费曼谈科学的价值[N]. 大众科技报, 2001-09-16

手，按国际减灾预防文化的要求，逐步推出能代表北京城市高度文明水准的安全社区示范区。

其四，2006 年进一步按“纲要”要求出台“北京市民安全手册”。该手册所界定的不是如何安全，而是向全世界承诺任何在北京的中外公民都会获得安全保障。此举是实践联合国国际减灾战略 21 世纪安全少灾倡议的关键步骤及举措。

其五，2007 年在全市范围内开展“纲要”落实检查，重点考查城市设施应急水平、城市公众的

应急能力、城市减灾组织及团体的协调能力等，在此基础上要为新落成的奥运场馆及奥运志愿者队伍加强有关的安全自护文化培训。

其六，2008 年配合国家的奥林匹克计划，在奥运的各重要环节融入安全文化及应急管理思想及方法。奥运会后修订“纲要”，并以法规形式予以落实，目的在于通过奥运会留给北京一个安全少灾的现代时空，也为 2009 年建国 60 周年及其北京的可持续发展创造必要的条件。

Research on the Safety and Calamity Reducing Planning Design of the Facilities for Beijing 2008 Olympic Games ——Suggestion for Public Education of Olympic Safety Culture

Jin Lei

(Beijing Institute of Architectural Design & Research, Beijing 100045, China)

[Abstract] Beijing 2008 Olympic Games is promised to be the one most safe. This paper demonstrates that the safety and calamity prevention are the key factor to ensure the “first class Olympic Games”, based on the analysis of the sustainable development of the planning design of the facilities for Beijing Olympic Games. This paper also makes a research on the concept of the planning design for “safe Olympics”.

[Key words] 2008 Beijing Olympic Games; safe Olympics; safety and calamity prevention planning; management and legislation for emergency; safety culture

(cont. from p. 14)

Development and Social Value of Technological Science

Huang Zhicheng

(Beijing Institute of System Engineering, Beijing 100101, China)

[Abstract] At first, Qian Xuesen's treatises about technological science are presented in this paper. Technological science emphasizes particularly opening out the mechanism of the phenomenon, levels and relations and abstracting the principles, laws and methods applied at large in the field of engineering technology. Technological science drives the rapid progress of the engineering technology, as a bridge between the scientific discovery and the industry development. The characteristics of the development of recent technological science from the development of the information science are emphasized. (1) The development of technological science has extended to researching the law in the field of information from researching the law in the fields of matter and energy. (2) The infiltrating to basic science from information science has formed the new hotspot in technological science. (3) Information science has greatly improved the research environment for the traditional technological science. (4) Information theory, control theory and operation research form together the lever of the technological science of system science. The social values of the technological science are farther discussed from the aspects of the applied value, cultural value and spirit value.

[Key words] Qian Xuesen; technological science; information science; system science; STS; social values