

当代科学技术及其实践基础演进剖析

王伯鲁

〔摘要〕 科学技术是一种古老而常新的文化形态，近代以来经历了从手工业技术到工业技术、工艺学到工程科学的演进，开始扮演驱动经济社会发展引擎的角色。当代科学技术及其实践基础的演化呈现出一系列新特点、新趋势，科技发展规划得以强化，组织方式从 R&D 中心到国家创新系统演变，出现了技性科学形态、知识生产新模式以及科学实验与技术试验的渗透融合趋势，迫切要求人们与时俱进，改变过时的传统科学技术观念，积极迎接新一轮科技革命及其挑战。

〔关键词〕 科学技术观；当代；技性科学；技术试验；实践基础

20 世纪以来，以相对论和量子力学为先导、以信息技术为轴心的现代科学技术革命向纵深推进，改变了近代科学技术面貌、发展模式和实践基础。进入 21 世纪，以生命科学技术、人工智能为标志的新一轮科技革命曙光初显，当代科学技术的新形态、新特征、新趋势逐步显现，迫切要求人们与时俱进，改变过时的传统科学技术观念。本文以科学、技术与生产的一体化为背景，从科学技术史视角切入，梳理以高新技术研发为轴心的当代科学技术演变，讨论技术试验与科学实验的分化与融合，以及在技性科学和知识生产新模式扩张过程中所发挥的双重功能，希望有助于当代科技观的革新与重建。

一、从工艺学到工程科学

服务实践活动，解决现实问题，是人类认识活动的基本目的或价值指向。第二次技术革命之前，所谓“科学”主要是指对自然现象进行分门别类研究的近代自然科学，即基础科学。这类研究多是在科学实验的基础上以及理想化的条件下展开的，即忽略了研究对象的个体差异、环境因素及其变动的不确定性等。自然科学理论常常难以直接应用于社会实践领域，因为后者的影响因素或边界条件往往复杂多变，并不满足理想化的科学理论应用条件。因此，随着工业化进程的加快和产业技术的持续进步，人们开始将生产实践活动及其技术问题纳入科学研究范围，并借助多门科学理论与方法以及多种试验手段加以分析和探究，从而催生了工艺学。

从技术史视角看，发源于英国的工业革命实现了从手工业技术到工业技术的蝶变。工艺源于手工业，是在长期的手工业生产实践经验摸索、技巧累积的基础上形成和发展起来的，也是工业生产流程及其产品科学化、标准化、高效化的产物。“大工业的原则是，首先不管人的手怎样，把每一个

作者：王伯鲁，中国人民大学哲学院教授，博士生导师，blue-wang@163.com。

* 本文为国家社会科学基金（高校思政课研究专项）项目“马克思主义科技观的当代内涵及其教学应用研究”（20VSZ126）阶段性成果。

生产过程本身分解成各个构成要素，从而创立了工艺学这门完全现代的科学。社会生产过程的五光十色的、似无联系的和已经固定化的形态，分解成为自然科学的自觉按计划的和为取得预期有效效果而系统分类的应用。”^① 在手工业阶段，手工艺主要表现为劳动者在长期生产实践中摸索和积累起来的操作经验、技能或技巧等，带有不定型的个性特征。近代以来，随着工业生产过程及其产品型号的系列化、多样化，标准化、规范化的生产工艺流程开始转变为技术认识或科学研究的对象，而以经验摸索为主导的传统手工艺技术发展模式逐渐失去了优势和用武之地。所谓工艺学，就是根据技术上先进、经济上合理的原则，利用先进的科学技术手段探究各种原材料、半成品或成品的先进加工方法或流程，以提高生产功效的一门学问。

工艺学是以追求高效率的生产流程以及标准化产品为目标的一种技术认识形态，可视为产业技术科学化的产物。工艺学成果主要表现为对生产流程技术体系及其系列产品相互关系的揭示，进而推动创建最优化的工艺流程及其操作规程，以规范、引导和支持生产实践活动的高效有序展开。不同门类的工艺学具体揭示了各自生产实践领域的工艺流程体系结构及其运行规律，是人们对不同生产过程的认识或塑造成果。从认识论视角看，工艺学回答了“做什么”“如何做”“怎样做才有效”的实践问题，体现了知行合一的技术认识特征。科学所追求的是真知，力求达到对事物属性与规律的准确把握，但其终极目的却在于改造世界。这就是以“求知”为指向的科学研究中所蕴含的“求利”“求力”的价值诉求。技术所追求的是功效，但其依据却是技术知识与科学知识，从而达到了知与行的融合和统一；行中包含着知，因而比知更具体、更高级。

进入 20 世纪以来，在科学与技术既高度分化又高度综合的历史背景下，在工艺学基础上相继分化衍生出技术科学（Applied Sciences）与工程科学（Engineering Science）形态。“将基础学科中有应用价值的知识体系分离出来，就构成技术科学。所以技术科学就是应用基础科学。”^② 其实，所谓技术科学就是以基础科学的一般理论或原理为指导，深入探究某一类通用技术或专业技术领域中的特殊规律，或者从产业技术实践活动中抽取共性问题进行技术认识或科学研究的学问，属于应用基础研究范畴。同时，技术科学也致力于将生产实践经验和基础科学原理创造性地转化为工艺流程、操作方法或技术规范等形态，为产业技术实践提供比基础科学更为具体的指导性理论、原则或方法，如工程力学、电工学、应用化学、计算数学、机械制图学等。不难看出，技术科学处于基础科学与产业技术实践的中间层次，是联系基础科学与工程科学的中介和桥梁；同时也是基础科学的具体应用，对产业技术实践及工程科学发展具有普遍的支撑和指导作用。

在社会生产实践活动中，人们经常面临着许多复杂的工程问题，需要借助多学科的理论与方法加以分析和解决，进而催生了工程科学形态。与以应用基础研究为核心的技术科学不同，工程科学以工程实践中遇到的一般性或个别性工程问题为研究对象，并为这些问题的解决提供理论指导或实施方案，如桥梁抗风、建筑物抗震、拦河筑坝、隧道掘进、石油勘探、矿山开采、高压输变电等。所谓工程科学就是综合运用基础科学、技术科学、管理科学、经济科学等自然科学和社会科学的理论与方法以及多种适用技术手段和管理手段，研究和解决工程问题的学科。其中，工程问题的性质与特点、工程技术方案与评估等是工程科学展开的轴心，其内容属于应用研究范畴，是工程实践活动科学化与科学实用价值的集中体现。由此可见，工程科学是与生产实践或工程实际最为接近的科学门类，能直接为企业、政府和政治家解决现实问题提供具体方案或路径选择，如环境工程学、铁道工程学、水利工程学、桥梁工程学、矿业工程学、管理工程学等。由于技术科学和工程科学将基础科学的理论成果与生产实践经验加以融合，业已成长为应用科学理论体系，直接服务于社会生产

① 《马克思恩格斯文集》，第 5 卷，559 页，北京，人民出版社，2009。

② 沈珠江：《论技术科学与工程科学》，载《中国工程科学》，2006（3）。

实践活动,所以在现实的经济社会发展中占据十分重要的地位,逐步演变为现代科学技术体系中最活跃、最富有生命力的部门或领域。

二、试验的分化及流变

作为人类活动的两种基本形式,认识和实践融为一体,互动共生并进。“技术试验”与“科学实验”是技术研发和科学研究的实践基础及重要环节,也是技术哲学和科学哲学中的两个基本范畴。在现代科学技术一体化进程中,由于两者地位与功能上的相似性以及彼此间的渗透和互动融合,导致人们容易将两者混为一谈,进而造成了一些认识上的混乱。

在人类文明史上,试验是一种分化发育较早的社会实践类型,也是科学实验与技术试验的前身。从词源上说,所谓试验是指“为了察看某事的结果或某物的性能而从事某种活动”^①。可见,试验就是诉诸实践活动的具体检验,其目的在于以较小的规模或代价,在非正式的应用场景中考察人们的推断、猜测、认知、设想、设计、方案、样品等是否正确或可行,以便验证、改进或完善关于事物的认知、设计或改造方案等。不难理解,试验过程及其结果一方面会给出先前的构想、设计、方案、样品等行不行的检验信息,另一方面也会提供先前的推断、猜测、认知对不对的验证信息,进而修正和改进人们先前关于事物的认识与改造。这就是试验的双重功能或作用。由此可见,作为一种特殊的社会实践类型和知识来源,“试验”是知与行沟通融合、互动并进的中介或枢纽,在漫长的人类认识和实践过程中发挥着不可或缺的基础支撑功能。

在日常语境中,由于地位、功能和汉语发音上的相似性等原因,有时候人们不加区别地将“试(shì)验”(test)与“实(shí)验”(experiment)混同使用。例如,在《辞海》(第六版·彩图本)中,对“实验”词条的解释是:“实验亦称‘试验’。根据一定目的,运用必要的手段,在人为控制的条件下,观察研究事物的实践活动。”^②从科学技术史视角看,近代以来,伴随着科学研究与技术发明创造的演进,发源于古代的“试验”形态、职能及语义等也处于演变之中。“科学实验”形态就是从其中分化提升出来的,即为了科学发现而探索,其对象多是自然现象、客体或过程,侧重于获取科学事实以及检验科学假说或猜测是否正确,主要展现为从实践上升为理论的科学认识环节。

在文艺复兴运动的推动下,科学开始挣脱宗教的枷锁,从自然哲学的“窠臼”中独立出来。近代科学革命的主要标志就是“科学实验”形态的形成,为此近代自然科学又被称为“近代实验科学”。在探究自然事物或现象的过程中,以科学实验方法取代了以往自然哲学的直观、思辨、猜测、想象等方法,标志着思辨理性逐步为科学理性和实践理性所取代。所谓“科学实验”,就是根据一定的科学研究目的,运用一定的技术手段,在人为控制或变革客观事物的条件下直接获取科学事实的实践过程。这也是古老的“试验”形态在科学研究领域的分化和专业化。今天,科学实验已演变为一个庞大的家族,根据研究目的可分为定性实验、定量实验、测量实验、对照实验、验证性实验、判定性实验和中间实验等多种类型。

在科学研究过程中,科学实验既是获取科学事实或感性材料的基本方法,同时也是检验科学假说、评判认识真理性的主要手段,强化和凸显了传统“试验”形态的认识功能。在这里,与在自然发生条件下被动的“科学观察”形态不同,由于多种技术手段或仪器设备的使用,积极主动的科学实验具有简化或纯化、强化或激化、加速或延缓、模拟或再现研究对象及其变化过程等人工干预或控制的特点。由于科学实验分离或排除了众多偶然或次要因素对研究对象及其过程的干扰,因而能

① 中国社会科学院语言研究所词典编辑室:《现代汉语词典》(第7版),1155页,北京,商务印书馆,2016。

② 夏征龙、陈至立主编:《辞海》(第六版·彩图本),2061页,上海,上海辞书出版社,2009。

够比科学观察获得更全面、丰富和精确的科学事实，演变成为一种经济可靠的认识和变革客观事物的科学方法，成为一个相对独立的社会实践领域。

科学实验的结构及其流程本身就构成了一种新型实验技术形态，其构思、设计、流程或样机等是否可行，科学实验过程本身就是对该技术形态功效的一次检验。正是从这个意义上说，科学实验过程本身同时也就转化为对其实验技术形态可行性或可靠性的一种技术试验，兼具技术试验的功能或特征，进而演化为孕育和催生新技术成果的温床。科学实验支持着人们对自然事物属性、特点及其演变规律的深入探究，主要分化和展现为独特的认识功能；而以科学实验过程为契机或轴心检验相关实验技术设计或创造可行性、可靠性的功用则蜕变或表现为从属性的次要功能。

与科学的历史相比，技术史可谓源远流长，其源头可以追溯至人类诞生之初的原始工具制作活动。但是直到工业革命之前，技术的创造及其应用大都与具体的生产或生活实践融为一体、同步展开，即技术发明创造活动尚未从社会生产或生活实践中分化和独立出来。从技术创意、构思、设计、创建、应用到后续改进的各个环节，都是在具体的生产或生活实践场景中进行的。工匠们围绕各自生产与生活实践中遇到的实际问题或困难，凭借聪明才智、经验、技能、灵感与机遇等条件，创造和改进了众多实用技术形态。同时，依附于具体生产或生活实践的种种“试验”形式，也在其中发挥着验证、检验或改进相关技术形态的重要职能，支撑着这一历史时期的科学认识与技术发明，创造出璀璨夺目的古代技术文明。当然，这里的技术构思、设计、方案、研制、样品等总是在相关的技术认识或猜测基础上建构的，技术试验结果也会间接地验证这些认识或猜测的正确性，只是这一认识功能退到了次要地位。

自工业革命以来，随着以机械化、电气化为轴心的工业化进程的加快以及近代实验科学研究领域的扩大，在生产实践经验的基础上，以产业技术为研究对象的工艺学与技术科学、工程科学逐步兴起。一方面，以设计为核心的技术发明创造活动开始从生产实践过程中分化出来，逐步形成了一个相对独立的技术研发部门，如各行各业的技术设计室、研究院、R&D（研究与开发）中心等。另一方面，作为探索、检验、优化或改进技术研发的专业性实践活动，技术试验环节也开始从生产实践和技术创造过程中分离出来，演变为支持和服务于技术创新的专门机构。与科学实验不同，技术试验是为了研发或应用而探索，对象多是人工物及其创建或运行过程，侧重于检验技术构思、设计、方案或样品等的可行性与可靠性，主要表现为由创意或理论转化为实践的过程。现代技术的专业化、体系化、精密化发展，以及随着人们对技术可靠性、精确性、可控性期望的提高，反过来又对技术试验提出了越来越高的要求，进而分化派生出一系列组织严密的专业性技术试验机构，如中国飞机试验飞行研究院、国家铁道试验中心、国家惯性技术产品质量监督检验中心以及各级各类产品质量监督检验站等。

三、技术试验的双重功能

科学实验在获取科学事实、验证科学假说等方面发挥着重要作用，这可视为科学实验的认识功能，对此科学哲学界最为熟悉，此处不再展开讨论。科学实验总是在一定技术基础上设计和建构的，具有特定的目的、结构与流程，本身就构成了一个独立的实验技术形态，以至于其中的许多技术成果后来都演化为通用技术产品或工艺技术流程。例如，显微镜、望远镜、发电机、真空泵、X光机、光谱仪、侯氏制碱法、电解工艺流程等技术都源于当初的相关科学实验技术形态。这就是科学实验的实践功能，今天已演变为技术创新的一条重要进路。只是在科学研究过程中，与科学实验所发挥的认识功能相比，技术实践功能多是间接的、派生的或从属的，常常不为人们所关注。

技术是操作性、经验性、实践性特征最为突出的人类基本活动形式。从技术发展史视角看，古代的技术发明创造多是按照“构思（设计）→创建→应用（试验）→改进→应用（试验）→改

进→……”滚动模式展开的,即在社会实践活动中边构思(设计)、边创建、边应用(试验)、边改进。自工业革命以来,随着人工物技术形态与流程技术形态的复杂化以及技术发明创造活动的专业化,技术试验才从生产实践和技术发明创造过程中分离出来,并在后者的不同阶段或环节中发挥着不同的职能;专门检验技术构思、设计、方案、流程、样品等行不行或好不好,以便为下一步的技术创造或改进指明方向和积累经验。技术试验的这一基本功能就是“实践功能”,技术哲学界也最为清楚,不再赘述。

与此同时,常常被人们忽视的还有技术试验的“认识功能”。技术认识“是人类在改造自然、创造人工自然的过程中形成的认识,是人类对改造自然、创造人工自然的实践活动及其结果的本质和规律的认识。技术认识要回答的是‘做什么’、‘用什么做’和‘怎样做’的问题,其本质是实践”^①。可见,技术认识就是以技术研发中派生的未知或未行问题为对象的研究活动,也是工艺学、技术科学和工程科学研究展开的轴心,其成果大多表现为工艺学、技术科学和工程科学知识,直接支持和服务于技术研发及其推广应用活动。

技术认识多是具体的、操作性的和功利性的,常常作为技术成果的组成部分被纳入知识产权保护范围。作为技术创造与技术认识展开基础的“技术试验”,就是“在应用研究或技术开发中对技术思想、技术设计、技术成果进行探索、考察、检验的实践活动,是实现技术构思和设计向实物对象转化的技术研究方法”^②。在技术研发过程中,技术试验既是实现技术构思或设计向技术人工物或工艺流程转化的中介或桥梁,又肩负着发现问题、搜集证据、验证猜测、揭示规律的认识使命,是一个知行合一、互动共进的复杂过程;技术试验既发挥着检验技术设计合理性、可行性、可靠性的职能,促进相关技术形态的不断改进和完善,又支持和推动着相关技术认识与科学研究的发展。这就是技术试验的双重功能。

技术试验贯穿于技术研发过程的始终,业已衍生出一个庞大的专业族系。在技术谋划构思阶段,小规模的对照试验、模拟试验、析因试验有助于提出和验证技术概念、技术原理和技术系统结构。在技术设计阶段,功能试验、结构试验、性能试验和工艺试验等能够验证技术设计的可行性,为创造性设计提供技术参数、结构参数等方面的依据。在技术研制或实施阶段,中间试验、生产性试验则能加快技术成果的产业化进程。如同科学实验对于科学认识的重要性一样,技术试验对于技术认识同样不可或缺,是技术认识的源泉和展开基础,其作用主要表现为:一是检验技术构思、原理、设计、方案、样品等是否可行?也就是说,在技术试验之前,人们并不能确切地知道它们行不行?性能指标是多少?可靠性或稳定性如何?存在哪些缺陷或优点?等等。只有通过技术试验过程的实际检验,才能消除这些技术认识上的未知状态,从而获得相关技术形态新知识、新结论,推进技术科学或工程科学的发展。二是技术试验过程中往往会出现许多新故障、新漏洞、新问题,这些新情况都是技术试验之前难以准确预见的,因而有助于深化、拓展甚至颠覆已有的技术认识或科学认识,也有利于优化和改进新技术形态。这就需要具体探寻其中存在的问题或症结,甄别出哪一因素、部件或环节制约着该技术目标的实现或功效的提升,弄清楚其中的因果作用机理及其相关试验数据等,进而推进对技术研发过程及其技术成果的认识。例如,在动车高速运行试验中,随着运行速度的提高,动车零部件的磨损、疲劳、故障率快速上升,安全性下降,维护成本显著升高。技术试验中得到的运行速度与各类零部件磨损或故障之间的一系列数据,使试验者能够做到心中有数,进而明确技术改进的目标或方向,也为高铁最佳商业运行速度的选择提供了可靠依据。

① 陈凡、程海东:《“技术认识”解析》,载《哲学研究》,2011(4)。

② 夏征龙、陈至立主编:《辞海》(第六版·彩图本),1033页。

四、当代科技发展的新态势

第二次世界大战以来，在科学技术化与技术科学化进程中，传统的科学研究与技术研发样式都发生了诸多重大变化，出现了一系列新特征、新态势，已成为探究当代科技发展问题的立足点。

（一）科技发展规划的强化

在现代之前的“小科学”时代，科学研究与技术发明多以自由的个体劳动方式展开，主要依赖科学家或发明家的个人兴趣、求知欲或好奇心驱动，科学研究与技术创造的目的性、功利性特征并不明显。进入现代以来的“大科学”时代，以分工协作展开的集体劳动方式得以确立，政府、社会组织、企业或资本对科技活动的干预或引导力度越来越大，充分彰显其意志指向或价值选择，从而促使科学研究与技术研发的方向性、目的性、功利性特征更加突出。通过制定科技发展规划或计划、提供研发资金或奖励甚至科技政策或法律调节等途径，调动和配置研发资源，引导科技活动围绕经济社会发展中的现实问题或重要任务展开，也同步限制或压缩了科技人员自由探索的空间。

（二）从 R&D 中心到国家创新系统的建构

在高新技术发展进程中，积极主动的科技创新业已演变为科技发展的主导模式。与以往基础研究、应用研究和发展（开发）研究之间外在的分立格局不同，在科学、技术与生产一体化以及政（官）产学研结合的推动下，形成了 R&D 中心或工业实验室等新型科研组织形态，即主动将基础研究、应用研究与发展（开发）研究力量或资源整合在一起，围绕同一科技项目协同高效地推进各层次研究工作。R&D 中心是当代科技发展集团化的具体表现，减少了不同层次或类型相关研究活动之间的隔离或摩擦，强化了科学、技术与生产之间的互动融合与协同并进，促使科学研究直接聚焦和服务于技术开发与生产实践难题；反过来，技术开发与生产实践又支持和拓展了科学研究领域，也提高了科学研究的目的性及其成效。

进入 21 世纪以来，科学技术的基础地位促使日趋激烈的科技竞争逐步转变为社会竞争的核心。科学技术不仅是反映综合国力的主要指标，而且也是关乎其他社会指标提升的关键因素，日益受到世界各国政府的高度重视。随着科学技术活动规模的不断扩大，R&D 中心组织形态已难以满足当代科学技术扩张的内在要求，国家创新系统正是在这一背景下出现的。简言之，国家创新系统就是在国家的总体规划和战略目标引导下，由经济和科技体系各部门、单位之间彼此协同而结成的创新网络，展现为科技知识生产、交流、传播与应用过程的体制化，以及科研机构、高等院校和企业资源匹配的调控机制。以中央政府为组织和领导核心的国家创新系统，聚焦于如何提高科技创新能力以及高效促进科技快速发展问题，顺应了当代科技发展的未来趋势和内在要求，兼具创新活动的执行和评估、创新资源的供给和配置、创新制度与创新政策制定、创新基础设施建设等多重功能，已演变为发达国家科技发展的主要组织形式。

（三）技性科学形态的形成

随着当代技术研发不断向高精尖方向推进，高新技术前沿领域派生的许多新进路、新属性、新规律有待于进一步探究，进而衍生出技性科学（Technoscience）形态^①，可视为技术科学化的新产物或者当代科学发展的最新表现形态。与传统的基础科学不同，技性科学并不是要说明和解释现存的自然事物、过程或现象，而是致力于在人工自然的新领域或新层次探寻创建新型人工物及其工艺流程的可能形态，并同步揭示其结构、机制、属性、条件和流程，展现为一个知行合一的开拓创新过程。技性科学知识是在技术研发过程中伴随着技术人工物及其工艺流程一起被“制造”出来的，即“所是”依赖、从属和服务于高新技术上的“所创”。由此可见，当代高新技术研发开辟出了一

^① Gilbert Hottois. “Éthique et Techno-science”. *La Pensée et les hommes*, 1978 (22): 111-116.

个个全新的未知人工自然领域或层次,即世间原本并不存在的新型人工物技术形态及其建构或运转流程,逐步转变为当代科学研究的新领域、新任务,进而开始主导或引领当代科技发展,其功利导向特征明显,如量子计算、纳米材料、基因编辑、机器学习、6G 通讯、物联网等研究领域就是如此。这一技术上的“未知”与“未行”领域或层次是人工干预或创建活动开辟出来的,与技术目标、路线或技术试验手段相关联,往往能孕育出新的技术原理、可能路径或应用前景。作为技术科学化的产物,技性科学一方面直面高新技术研发进程中涌现的众多“未知”或“未行”问题,为技术创新探寻可能路径或清除多重障碍;另一方面又受制和服务于高新技术创新活动,后者的目标、方向、经费、进程等因素都影响或决定着前者的发展轨迹或样态,使技性科学的定向性、阶段性或探索性特征更加明显,从而打上了该技术领域的烙印。

(四) 知识生产新模式的确立

迈克尔·吉本斯等人于1994年提出两种知识生产的不同模式:模式1是指知识生产主要在单一学科的认知语境中展开,即分门别类的知识生产模式,受学术兴趣和逻辑完备性主导,同质性、等级制和默顿规范是该模式的主要特征,知识生产主要接受学术标准的评判。模式2打破了学科之间的界限,聚焦科技发展重大目标或经济社会发展中的现实问题,汇聚多方力量和智慧合力攻关,属于综合性应用研究范畴,可视为当代科学技术综合化的具体表现形态,是当今知识生产的新模式。历经数百年的分化发展,今天的知识生产正在进入以问题研究为中心的新综合阶段。知识综合将不仅是自然科学内部的融合,而且也是自然科学与人文学科、社会科学之间的融合。模式2的研究目标明确,具有在应用的情境中运作、跨学科、异质性与组织多样性、社会问责与自反性、更加综合和多维度的质量控制等五大特征。^①传统的学科分化、专业技术精进虽然有利于深化对事物的认识与改造,但是当下的重大科技目标或现实问题却更为紧迫,所处环境往往又是复杂的、动态的或独特的,需要综合运用多学科的理论与方法以及多领域的先进技术手段才能认识 and 解决。因此,打破传统的学科分割和分析性思维模式,促进学科之间的交叉融合、优势互补,或者以重大现实问题或高新技术研发目标为核心,汇聚集成相关领域的科研力量协同攻关,已成为当代科技发展的内在要求与必然趋势。正是为了顺应当代科技发展的这一新态势,国务院学位委员会和教育部日前及时增设了“交叉学科”门类。^②

五、当代科技发展的实践基础

实践是认识的源泉和动力,认识上的突破反过来又会助推实践上的跃进。以技性科学和模式2为代表的当代科技发展新形态,反过来也要求重构传统科学研究与技术研究的实践基础,促使科学实验与技术试验进一步融合,协同并进。

(一) 技性科学的实践基础

作为当今技术科学化的产物,技性科学研究主要围绕高新技术研发进程中派生出来的“未知”与“未行”问题展开,业已演化为当今科学研究与技术开发互动融合的新样式。在高新技术研发的前沿领域,技性科学主要表现为技术认识形态,直接服从和服务于高新技术研发进程。一方面,该领域中的“是什么”“为什么”“怎么样”等“未知”问题需要探究;另一方面,人们所面对的“做什么”“怎么做”“如何做才有效”等“未行”问题,也是“未知”的,即不知道如何加以解决,也需要研究或探索。可见,“未知”问题的澄清将为“未行”问题的解决清除“障碍”、指明方向或开

① 迈克尔·吉本斯等:《知识生产的新模式:当代社会科学与研究的动力学》,3-8页,北京,北京大学出版社,2011。

② 《国务院学位委员会 教育部关于设置“交叉学科”门类、“集成电路科学与工程”和“国家安全学”一级学科的通知》,中华人民共和国教育部网站, http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/yjss_xwgl/xwgl_xwxy/202101/t20210113_509633.html。

辟道路，进而加快高新技术研发进程。

从实践基础视角看，除了高新技术研发过程中派生的个别基础科学问题的探究，需要进行专门的科学实验外，技术性科学研究或技术认识主要依赖于技术试验和技术研发实践经验等，从而促使技术试验的认识功能得以彰显。例如，从技术试验结果甚或失败原因的分析中，可以找出技术路线、设计、结构、材料、元器件或流程上的缺陷及其发生机理，从而为下一步的技术创新或改进指明方向。甚至从同类技术试验结果或实际运行故障的大量数据分析中，还能够提炼出该技术形态中各类故障发生的统计规律或模型等，进而深化对该技术形态的认识。

（二）大科学装置的支持

在向未知领域快速推进的过程中，当今的科学研究或知识生产对科学实验技术的依赖性越来越强，以高精尖为标志的大科学装置已成为制约当代科学研究与技术研发的关键因素。造价高昂的大科学装置是科学技术化的产物，具有高灵敏度、高分辨率等接近技术极限的优越性能，为当代科学研究提供了重要的观察或实验平台，促进了前沿科学研究的快速发展。例如，500米口径球面射电望远镜（FAST）对于天文学研究、欧洲大型强子对撞机（FCC）对于高能物理学研究、“蛟龙号”载人潜水器对于深海科学探索等都发挥着不可替代的重要作用。

大科学装置本身就是一种复杂的新型人工物技术形态，它的研发、建构与运行多是富有挑战性的高新技术研发项目，离不开多种类的多次技术试验、测试与调试；同时，作为一种新型的科学研究与技术研发手段，这一装置往往又扮演着通用性科学实验或技术试验平台的角色，直接服务于前沿科学探索与高新技术研发。例如，造价超过50亿元的中国散裂中子源（CSNS）被誉为“超级显微镜”，为材料科学、凝聚态物理、生命科学、资源环境和新能源等学科领域的微观结构分析及其技术研发，提供了一种先进的精密研究手段。^① 前沿科学探索离不开科学实验技术、观察技术、计量计算技术等手段的支持，高性能的大科学装置可以作为构建先进科学研究体系的关键部件，助推前沿科学探索的突破，甚至动摇以“假设—验证”为轴心的经典科学研究模式。例如，Deepmind公司研发的预测蛋白质结构的人工智能系统AlphaFold2，只需输入蛋白质的氨基酸序列或其对应的DNA序列，就可以对蛋白结构进行精准预测。AlphaFold2“是一个起点，会促使更多交叉学科的人通过数据的输入输出，去发现真相、推导结果，发现世界运行的规律”^②。同样，高新技术研发也离不开精密的技术试验环节，大科学装置也可以作为先进的技术试验平台，测试、检验和评判技术创新方案或成果的优劣得失，加快高新技术研发进程。事实上，正是凭依这些技术性能优越的大科学装置“平台”的支持，当代科学技术才得以快速发展。

（三）实践基础的融合

源于古代“试验”形态的科学实验与技术试验都具有认识和实践双重功能，只是在后来的科学与技术分立演进阶段，这两种功能发生了主次轻重上的分化，因而使人们常常忘却了其中的次要功能，而误认为它们的功能只是单一的。在当代科学、技术与生产一体化进程中，一方面，三者之间的界限日趋模糊，前者服从和服务于后者的态势越来越明显；另一方面，科学与技术不仅以生产实践需要为基础，而且科学实验与技术试验之间也相互渗透、彼此融合，又发挥着引领生产实践的功能。以技术试验为基础的众多高新技术研发过程中遇到的“未知”问题，往往需要通过科学实验手段进行探究；同样，科学实验及其大科学装置多是通过高新技术研发途径创建的，其间也离不开多

^① 《CSNS束流扩展应用——白光中子源、缪子源、质子束》，中国散裂中子源工程网，<http://csns.ihep.cas.cn/slkzyy/index.html>。

^② 骁铭：《科研范式正在变革，中国能否抓住这波创新浪潮，“不再做第二”？》，知识分子网，<http://zhishifenzi.com/depth/depth/11354.html>。

次技术试验的支持,进而出现了两者相互包含、互动转化态势。有时,同一科学实验或技术试验结果,既可以用于技术研发,也可以用于科学研究;甚至同一技术“平台”或过程既可用于科学实验,又可用于技术试验。例如,正在北京怀柔科学城建设的JF22超高速风洞,可以模拟30倍声速的气流,既可以用于研究众多流体力学问题的科学实验,也可以用于优化航天器、飞机、火箭、动车、桥梁、建筑物等外形设计的技术试验;同一风洞试验(实验)结果既可以用于科学研究,又可以用于技术设计或研发等方面。

(四) 技术试验的新使命

在资本、权力与功利价值观念的共同调制下,拥有潜在技术价值或应用前景的科学研究项目更容易得到支持和发展,高新技术研发和技性科学研究已演变为当代科学技术特别是新一轮科技革命的“领头羊”。因此,服务于高新技术研发与技性科学研究过程的技术试验开始扮演当代科学技术体系“基石”或“引擎”的角色。技术试验的“双重功能”得以同步强化,不仅肩负着探索技术可能路径、检验新技术原理或设计方案的实践任务,而且也承担着发现科学事实、验证科学猜测的认识使命,分担了以往科学实验的重要职能。技术试验一方面有助于创建新技术形态、开辟新技术领域;另一方面也会积累大量科学事实和经验材料,促进相关技性科学乃至基础科学的发展,即科技人员在技术试验基础上边探索、边研发、边设计、边认识。例如,2016年8月16日发射的世界首颗量子科学实验卫星“墨子号”,顺利完成了地星量子隐形传态、星地高速量子密钥分发、星地量子纠缠分发三大科学实验目标。2017年9月29日,世界首条量子保密通信干线“京沪干线”与“墨子号”科学实验卫星进行天地链路,成功实现了洲际量子保密通信。2018年1月,在中国和奥地利之间首次实现距离达7600千米的洲际量子密钥分发,并利用共享密钥实现了加密数据传输和视频通信。^①其中前三项成果属于科学实验范畴,后两项成果则兼具技术试验特征,为实现安全、长距离、可实用化的量子通信奠定了技术基础。由此可见,当今的技术试验仿佛又回到了近代之前的传统“试验”阶段,进而完成了科学技术实践基础上的一次“否定之否定”过程,可视为当代科学技术实践基础嬗变的辩证法。

六、结语

科学技术是推动现代社会加速发展的主导性力量。然而,科学技术及其实践基础本身也处于演变之中,揭示后者演变的逻辑与机理是理解当代社会及其发展的理论基础。归纳方法是揭示科学技术发展规律的基本方法,应当持续搜集和消化反映当代科学技术及其实践基础演变的大量第一手资料,进而展开提炼和归纳工作。笔者从科学技术及其实践基础历史演进的两条线索展开了梳理和分析,力图展现出科学技术及其实践基础“合一分一合”的演进逻辑,进而将技性科学、知识生产的新模式等当代科学技术发展的新形态、新特征、新态势,置于更为坚实的经验基础上和更加宽广的历史背景中进行分析 and 讨论。

科学技术及其实践基础“合一分一合”的演进逻辑,是从科学技术史(内史)与经济社会发展史(外史)中提炼和概括出来的,是科学技术史在理论思维中的再现,也是历史与逻辑相统一的辩证思维逻辑的具体体现。一方面,这种粗线条的梳理和描绘有管中窥豹之嫌,还有待于进一步的挖掘、提炼和论证;另一方面,当代科学技术也处于快速演变之中,新一轮科技革命蓄势待发,其潜在的新属性与新态势有待于持续关注、深入探究和提炼概括。

本文主要是基于科学技术史的“内史论”(internalism)传统展开的,力图从科学技术本身探究其演进的内在逻辑。正如“外史论”(externalism)传统对“内史论”狭隘性的批评一样,

^① 齐芳:《抢占量子科技创新制高点:“墨子号”实现三大既定科学目标》,载《光明日报》,2017-08-10,6版。

“尽管科学有其内在的认知概念和认知内容，但是科学发展的速度和方向，往往是社会因素作用的结果”^①。因此，应借鉴“外史论”传统的优势和合理之处，将科学技术的发展置于更为复杂的社会历史背景中加以考察，关注和探究社会文化等外部因素对科学技术发展的影响。这一研究进路应当成为下一步深化该主题研究的优先选择。

在科学、技术与生产一体化的时代背景下，在百年未有之大变局中，当代科学技术形态、研究方式、实践基础、角色功能等都正在发生着一系列重大变化，而且这些变化还将在新一轮科技革命中延续和嬗变。因此，我们应当紧跟时代步伐，转变传统科技观念，增强掌控科技与经济社会发展的主动性；在科学技术史基础上，汲取历史经验和智慧，立足现实，面向未来，分析和讨论当代科技发展问题，积极引导和有序应对当代科学技术的加速发展及其所引发的诸多严峻挑战。

An Analysis of the Development of Modern Science and Technology and the Foundation of Their Practice

WANG Bolu

(The School of Philosophy, Renmin University of China)

Abstract: Science and technology constitute a culture with both ancient and modern forms. They have witnessed a process from technology to engineering science, and from handicraft technology to modern industrial technology, now playing a leading role in economic and social development. The development of modern science and technology and their foundation is characteristic for a number of new ways and new trends. For example, the developing plan of science and technology has been strengthened, the form of organization has changed from R&D center to national innovation system, and a new model of combining technical science, knowledge production, and scientific experiments has forged. This requires people to advance with the times and to actively meet the challenges in the coming technological revolution.

Key words: View on Science and Technology; Technoscience; Technology Experiment; Foundation of Practice

(责任编辑 林 间)

^① 刘兵、章梅芳：《科学史中“内史”与“外史”划分的消解——从科学知识社会学的立场看》，载《清华大学学报》（哲学社会科学版），2006（1）。