

论工程知识演化的形式、动力和机制

王楠^{1,2}, 李伯聪^{1,2}

(1. 中国科学院大学 人文学院, 北京 100049;

2. 中国科学院大学 跨学科工程研究中心, 北京 100049)

摘要: 工程知识的演化是工程哲学中的一个重要问题。工程知识是以“物化”形态和“纯知识”形态两种形式存在的, 与科学知识相比, 工程知识的演化是与人工物密切联系在一起的。工程知识演化的内部动力是工程理论与工程实践中的问题, 外部动力是社会经济发展需求因素的影响和科学技术进步的推动。工程知识的演化研究还需要注意“要素性知识进步”和“知识系统集成”的互动、“工程知识标准化”和“工程知识创新”的互动、研发活动与相关制度的作用等机制性问题。

关键词: 工程知识; 演化; 科学知识; 人工物

中图分类号: N031

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2019)05-0429-09

引言

工程知识是人类在劳动、实践过程中所形成的关于人工物和人工系统的认识。随着人类的劳动、实践水平和认识能力的提高, 工程知识会不断演变、逐步进化。与其他类型知识一样, 工程知识也是始终处于演化过程中的。

工程知识的演化是工程知识从简单到复杂、从低级到高级的不断更替、变化的过程, 既有量的变化, 又有质的变化, 既有渐进发展方式和积累性特点, 也有飞跃发展方式和长时段演变特点。

工程知识的演化问题是工程哲学的最重要的内容之一, 其内容之丰富、意义之深刻、影响之广泛、轨迹之复杂, 如果与科学知识的演化相比, 完全可以说是“有过之而无不及”。在科学哲学领域, 科学哲学家已经在科学知识演化方面取得了丰硕的研究成果, 深化了人们对科学知识演化的

问题的认识。而在工程哲学领域, 对工程知识演化问题的研究目前还只能说是刚刚开始。本文将对工程知识演化的表现形式和特点、动力和机制等几个问题展开初步探讨。

1 工程知识演化的表现形式和特点

1.1 工程知识的两种表现形式及其相互关系

工程知识在演化的过程中, 会表现为“物化”形态和纯知识形态两种形式, 两种表现形式既有区别, 又有联系。

1.1.1 工程知识的两种表现形式

一是工程知识以“物化”为有关人工物的形态存在。工具、机器、设备、装置、产品等人工物不是自然界的产物, 而是工程知识运用于生产、生活实践所得到的结果, 马克思称之为“物化的知识力量”^[1]。人工物绝不是“没有知识内涵”

收稿日期: 2019-06-10; 修回日期: 2019-09-10

基金项目: 中国工程院咨询研究项目“工程知识论”(2018-XY-42); 中国科学院大学优秀青年教师科研能力提升项目(Y8540XX112)

作者简介: 王楠(1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为工程哲学、工程社会学。E-mail: wangnan@ucas.ac.cn

李伯聪(1941-), 男, 教授, 研究方向为工程哲学、工程社会学。E-mail: libocong@ucas.ac.cn

的“纯粹物质”,而是“蕴含”和“凝聚”了许多工程知识的“物化”形态。因此,人工物在形态、结构、性能和功效方面的发展和进化,必然也会体现和表征着工程知识的演化。20世纪80年代IBM最早推出个人计算机时采用了Intel公司的芯片作为CPU,CPU的性能在很大程度上决定了计算机的性能,因此,CPU的型号被人们用来对应计算机的型号,如286机、386机、486机、Pentium机。相应地,计算机作为工程知识的“物化形态”,其从286机到Pentium机的发展和进化也就表征了工程知识的演化。

二是工程知识以纯粹的、独立的知识形态存在。在这种表现形式下,工程知识又分为两种类型:“默会的(tacit)工程知识”和“显性的(explicit)工程知识”。前者指的是只可意会(体会、感受)不可言传的工程知识,常表现为无法清晰地表述和传播的技能、技巧、窍门、经验。后者指的是能通过语言、书籍、文字、数据库等方式明确表达、获取和传播的知识,常表现为论文、著作、技术手册、设计图纸、实施计划和方案、说明书、政策法规、规章制度、技术诀窍。因此,所谓“以知识形态存在的工程知识的演化”既可表现为“显性的工程知识”的演化(例如工程规范的更新和改进或制定了新的工程规范),又可表现为“非语言的”、默会的工程知识的演化(例如原有默会知识的深化以及掌握了新的默会知识)。

1.1.2 两种工程知识形式演化的区别和联系

工程知识是以“物化”形态和“纯知识”形态两种形式存在的,这两种表现形式既有区别又有联系。从区别方面看,“物化”形态的工程知识是以具体的人工物形式呈现出来的,这类形式的工程知识与人工物的形态、结构、性能和功效是分不开的,在这个意义上,“物化”形态的工程知识具有了某种程度的物质的属性;而纯知识形态的工程知识是人的经验、想法、主意、设想、构思、认识等,虽然这类形式的工程知识需要一定承载物质作为知识延续、提取、记录的方式,如

书籍、文章、录音、图纸、计算机等,但它仍然具有意识的属性,比如没有人会把工程图纸当作人工物。

虽然工程知识的两种表现形式有着根本性的区别,但二者也有着密切的联系。首先,二者是相互转化、相互作用的。人工物是以“纯知识”形态的工程知识为基础来设计、生产和加工制作出来的,因此“物化”形态的工程知识是由“纯知识”形态的工程知识转化而来的。同理,“物化”形态的工程知识可以被抽象、概括、提取、记录下来,形成“纯知识”形态的工程知识。

其次,二者是相互依存、相互渗透的。“纯知识”形态的工程知识的拥有者是人工物的设计者和制造者,比如设计和制造飞机的设计师、工程师、技工必须掌握“飞机自身蕴含的工程知识”。人工物制造出来后,需要通过人的使用、操作和控制发挥作用,否则乃是一堆“死物件”。飞行员不是飞机的设计者和制造者,而是在驾驶飞机的实践中“培养”、“造就”和“练成”的,在驾驶飞机的过程中拥有了相应的工程知识。“飞行员拥有的工程知识”是靠人工物“练就”和“养成”的,没有物的因素就不可能获得相应的工程知识。

1.2 工程知识演化的性质和特征

工程知识的演化与自然科学知识的演化具有根本区别,前者是关于“人工物世界”的知识,后者是关于“自然界”的知识,需要从工程知识和科学与“两类物质世界”的关系中认识工程知识演化的特点。

1.2.1 工程知识演化与自然科学知识演化在本性上的根本区别

自然科学知识的对象是自然界,自然界不是人类设计和制造出来的,而是在没有人类干预下“独立”存在的。因此,自然界不是自然科学知识的产物,相反地,是先有了天然的自然界,然后才能形成自然科学知识。虽然可以说自然科学知识是对自然界的认识和反映,但“自然科学知识

的演化进程”与“自然界的演化进程”却是两个并无直接联系的“演化进程”,甚至可以说是“基本上无直接联系”的“演化进程”。当“自然界的演化进程”进入新阶段时,可能并无“相对应的自然科学知识”的“演化”;在“自然界的演化进程”基本无变化的情况下,“自然科学知识”也有可能出现“飞跃性的演化”。

工程知识是与人工物密切联系在一起的知识,这就使“工程知识的演化进程”与“人工物的演化进程”成为了密切联系在一起的“演化进程”,甚至可以说这两个演化过程是“存在密不可分”的演化进程。当某种人工物在演化过程中被“淘汰”时,则与其密切联系在一起的“相应的工程知识”往往也会被“淘汰”。例如,随着蒸汽机被淘汰,许多与蒸汽机联系在一起的工程知识也被“淘汰”了。在认识工程知识演化的这个特征时,必须注意不能机械式、绝对化地理解这个特征,因为与蒸汽机联系在一起的全部工程知识中,也会有某些部分的工程知识以某种形式保存下来,存在于关于“新型发动机(例如内燃机)”的工程知识中。但这个认识与分析并不构成对本段中“前述观点”的否定,因为这些“保留下来的工程知识”往往是与“新型发动机——例如内燃机——中所继承的蒸汽机的‘某些部件’或‘生产机理’联系在一起的工程知识”。

1.2.2 工程知识演化方式的若干特点

1) 工程知识演化和人工物演化的相互渗透、相互依存和相互促进

人工物是人类劳动、生产实践的产物,无论是对其进行构思设计还是生产制作,都离不开工程知识。如果没有相应的工程知识“在先”存在,并经过生产实践的“转化”,就不可能有这些人工物的存在。人工物“内在地蕴含”着工程知识,是“有知识渗透内蕴的物质存在”,工程知识的演化必然会促进人工物的形态、结构、性能和功效方面的发展和进步。

人工物制造出来后,要“培养”和“造就”人工物的使用者和操作者,形成使用和操作的工程知识,以实现人工物的功能。正如有了飞机需要有飞行员,制定飞行员手册,没有飞机这个人工物,原来不掌握飞机驾驶技能乃至未见过飞机的人,根本不可能驾驶飞机,也无法让自己和别人成为飞行员,不可能形成相应的工程知识。可以说,正是先有了人工物,才有了使用人工物的能力和知识。

工程知识是人工物存在的前提和基础,人工物的“在世”离不开工程知识,工程知识的演化会促进人工物的发展和进步。人工物是工程知识的“物化”形态,是工程知识的演化的象征和标志,人工物的设计、生产和制造又会推动工程知识的演化。

2) 工程知识演化中渐进积累方式和突破革命性方式的对立统一和交替演进

根据工程知识演化的“性质”和“程度”,可以将其划分为渐进式(或积累式)和突破性(或革命性)两种方式。两种演化方式都具有重要价值和意义,往往是交替出现的。

对于科学知识演化进程的规律和表现形式,已经有科学哲学家提出了有关理论,进行了理论分析。例如,库恩在《科学革命的结构》^[2]中提出,科学知识的发展进程是“范式变革的革命时期”和“运用范式解决问题的常规发展时期”交替进行的过程。拉卡托斯以“科学研究纲领”为核心概念,也提出了自己的关于科学知识演化进程和规律的理论^[3]。相形之下,对于工程知识的演化进程和规律还鲜见系统的理论研究。但可以大体肯定的一点是:在工程知识的演化进程中,既有积累性的、渐进性的、量变方式的工程知识发展,又有“突破性”的、革命性的、质变方式的工程知识发展;工程知识的演化也是一个渐进积累发展和革命性突变交替进行的过程。一方面,绝不能忽视工程知识的积累和量变方式的作用和意义;另一方面,也必须高度重视工程知识的革

命和质变方式的作用和意义。

应该注意和强调, 工程知识发展的“常见形态”和“通常方式”是渐进性的和量变性的发展和变化。虽然对于“每一次”的工程知识变化和发展来说, 其具体的“前进里程”和“改进程度”往往并不显著, 但这绝不能成为轻视这些知识发展的作用和意义的理由。因为这些“点点滴滴”的改进会在一定时间的逐渐积累后积“小变”为“大变”, 长期的日积月累, 就会产生“水滴石穿”的“变化”和“效应”。在工程知识发展史上, 可以看到许多显示这种过程和效应的案例。

在研究工程知识演化进程时, 人们往往也会更加重视工程知识的革命性、质变性、飞跃性变化。工程知识的质变性或革命性变化, 虽然也可能是工程知识量变积累的结果, 但更可能是由于出现了“革命性的新技术发明”的结果。

3) 工程知识的“新陈代谢”与科学知识的“新陈代谢”有不同的标准

科学认识的最终目的是获得真理, 科学知识是“真理导向”的, 因此, 科学知识的进步和发展表现为“愈来愈接近真理”, 评价科学理论进步性的基本标准是真与假、正确与谬误, 即“真理性”标准。当旧的科学理论(例如地心说)不能够预测新的事实、不能够解决新出现的问题、甚至被证明是错误的, 旧的科学理论就会被淘汰, 新的科学理论(例如日心说)具有更多的“真理性”会“取代”旧的科学理论。

工程活动的最终目的是创造出人工物, 工程知识是“价值导向”的, 因此, 工程知识的进步和发展表现为“愈来愈在实践中有用”, 评价工程知识进步性的基本标准是实用或不实用、有效或无效, 即“价值性”标准。需要特别指出的是, 旧的工程知识被淘汰和取代, 往往是因为它们在工程实践中不实用、无效, 而不是因为它们是真的、谬误的, 或者说, 与科学知识相比, 旧的工程知识被淘汰和取代不是因为它们缺乏“真理

性”, 而是缺乏“价值性”。在许多情况下, 旧的工程知识(例如生产蒸汽机车的知识)和新的工程知识(例如生产电力机车的知识)往往在科学意义上都是正确的, 但是由于新的工程知识更有价值(如经济价值、社会价值、生态价值等), 旧的工程知识因而被取代了。

4) 工程知识演化中显性工程知识与默会工程知识的相互转化和相互作用

显性工程知识与默会工程知识是不同形式的知识, 但二者不是截然分离的, 它们可以相互转化、相互作用, 并在相互转化和作用的过程中创造出新的工程知识。按照野中郁次郎的观点, 显性工程知识与默会工程知识相互转化和相互作用包括以下四种模式^[4]。

其一, 从默会工程知识到默会工程知识的“共同化”模式。“共同化”指的是共享体验并由此创造诸如共有心智模式和技能之类的默会工程知识。个人可以从他人那里不经语言直接获得默会工程知识, 比如徒弟与师傅一同工作, 不用语言而是通过观察、模仿和练习学到技能和知识。

其二, 从默会工程知识到显性工程知识的“表出化”模式。“表出化”指的是采用比喻、类比、概念、假设或模型等形式, 将默会工程知识表述为显性工程知识, 是创造新的工程知识的关键环节。

其三, 从显性工程知识到显性工程知识的“联结化”模式。“联结化”指的是通过整理、增添、结合和分类等方式, 对已有的显性工程知识进行重新构造、综合以形成知识体系。

其四, 从显性工程知识到默会工程知识的“内在化”模式。“内在化”与“做中学”有着密切的关系, 指的是通过实践将显性工程知识内化为个人的默会工程知识。

2 工程知识演化的动力

在工程知识演化的研究中, 如何认识工程知

识演化的动力是一个关键问题,以下将分别从“内”、“外”两个方面来阐述这个问题。

2.1 工程知识演化的内部动力

2.1.1 推动工程知识演化的主体

工程活动是由不同人群组成的集体——工程共同体——共同完成的,包括工程师、工人、投资者、管理者和其他利益相关者等^[5]。他们拥有的各种知识构成了工程知识,因此推动工程知识演化的主体是工程共同体的所有成员。文森蒂考察了航空领域的工程知识的演化后指出:“工程知识的产生所涉及的个体范围令人惊叹。本书案例展现了来自以下(并不相互排斥)群体的人们:气动力学家、设计工程师、研发工程师、应用数学家、仪表工程师、生产和工业工程师、飞机制造的主管人员、发明家、(航空公司、军方的和研究型的)飞行员、学者、现役管理者和航空公司主管。来自工程其他分支的案例将使这一名单不断延长下去。工程技能与训练有着显著的多样性,而且远远要多于知识的其他主要分支。”^{[6]296-297}

工程共同体的成员是异质性的,各个成员和组成部分之间存在着各种形式的合作、协作关系,同时也会不可避免地存在不同形式的竞争、冲突关系。在工程知识的演化过程中,工程共同体的既对立又团结的关系起着重要的作用,成员之间的竞争、冲突关系有助于推动解决复杂的实践问题,同时,合作、协作关系则会在克服困难和障碍时予以一定的支持和帮助。

工程共同体的行动动力不仅源于共同体内部的认同、鼓励和奖励,而且源于共同体外部(即社会)的认同、鼓励和奖励,有时后者会具有更重要的意义。工程共同体的行动越是获得更好的“社会承认”,在市场经济和环境中越会容易得到更多的“市场回报”,从而在外部竞争中拥有更大优势和支持,也往往更加有助于激发共同体内部的进取心和战斗力。“这样工程知识就成为了共同体的产物,这些共同体致力于‘做’,并且通过一

定程度上基于一个共有问题的复杂合作拥有了不断增强的集体认同感。”^{[6]298}

2.1.2 工程知识演化的内在动力

认识来源于实践,工程实践会不断提出各种问题,使得对工程的认识不断地发展,从而推动工程知识的演化,这是工程知识演化的内在动力。具体来说,工程实践提出的问题常常表现为以下三个方面。

其一,面对工程实践的新条件和新要求,现有工程知识的功能出现缺陷甚至失效,已有的工程知识无法用于解决设计和生产时出现的问题,这就需要对其进行改进或创新。例如,当蒸汽机车知识无法解决铁路运输提速扩能的要求时,就需要发展内燃机车、动车组列车的知识。

其二,在某一时期相关工程知识之间的不平衡会提出发展新工程知识,建立更加平衡的工程知识群的要求。在每个时期,都会在某些领域存在某些相关工程知识之间的不平衡现象,在“工程知识群”中存在“短板性”工程知识。为解决这种不平衡现象和存在知识短板的现象,就必须发展出新的工程知识。这种事例在各个行业的工程知识的发展进程中,可以说比比皆是。

其三,工程系统之间的竞争,会引发新的工程问题,从而需要扩展和创新工程知识。例如,隐形战斗机和反隐形雷达可以看作是“矛与盾”的两个工程技术系统,隐性战斗机的升级换代会促进新的反隐形雷达的工程知识产生,反隐形雷达的更新换代也会扩展隐性战斗机的工程知识。

2.2 工程知识演化的外部动力

2.2.1 工程知识演化的外部动力之一:社会经济发展需求因素的作用和影响

工程活动的目标是满足社会经济发展的需求,为了解决和克服满足社会经济发展需求中所出现的问题和障碍,自然需要工程知识的演化。社会经济发展的需求既为工程知识的演化指明了方向,又牵引和促进着工程知识的演化。

所谓社会经济发展的需求,其内容和表现形式是多种多样的,例如经济需求、军事需求、文化需求、健康需求、安全需求等等。这些需求在不同的具体环境和条件下通过不同的方式和途径形成了工程知识演化的外部动力。

以铁路工程知识的产生和发展为例。18世纪中叶工业革命在英国拉开帷幕,机器大工业代替手工业作坊生产后,传统的马车和运河运输方式已经无法满足迅猛增长的原材料、燃料、工业产品的运输需求,此时迫切需要创造出一种新的工程知识来解决这个问题。马克思指出:“当马车和大车在交通工具方面已经不能满足日益发展的要求,当大工业所造成的生产集中(其他情况除外)要求新的交通工具来迅速而大量地运输它的全部产品的时候,人们就发明了火车头,从而才能利用铁路来进行远程运输。”^[7]

在历史进程中,经济社会发展需求也是在不断发展变化的,当现有的生存和发展需求得到满足后,往往又会产生新的、更高级的需求,例如审美的需求、舒适的需求、环保的需求等,由此牵引和促进工程知识向新的方向调整 and 变化。当代社会的住宅建筑,已经不再仅仅是满足人类的居住、安全的物质需求,而是要满足人类追求个性化、舒适、审美、节能等更高级的精神需求,相应地,当代建筑工程知识不仅要注重建筑的实用性、稳固性和持久性的问题,更要考虑个性化和人性化设计、新颖美观、资源消耗的问题。因此,正是在社会经济发展需求的推动下,工程知识不断演化。

2.2.2 工程知识演化的外部动力之二:科学技术进步的推动

在工程知识的演化过程中,科学技术创新与进步起着巨大的直接推动作用,促使工程知识不断发展。纵观工程知识的发展历程,古代工程知识主要是在工匠的技艺、技能、经验和方法的基础上形成的,内容单一、发展缓慢。然而,现代

科学技术诞生之后,对工程知识的演化进程发挥了越来越显著、越来越深刻广泛的推动作用。

第一次产业革命的产生源于工匠的经验和实用知识,但科技革命大大拓展了工程知识的范围,并且由于人们能更便捷地获取和使用工程知识,促进了工程知识的发展和深化。“发端于弗朗西斯·培根、被天才的波意尔和牛顿发扬光大的英国科学思想巨流,是工业革命的科学源泉。18世纪的人们对于通过观察和实验的方法求得工业进步的可能性的信念,在很大程度上是受了牛顿的影响。”^[8]

第二次产业革命于19世纪70年代开始,与第一次产业革命相比,科学技术对工程的作用和影响大大增强,一系列重大科技成果直接应用于工程,而且以科学技术成就为基础,形成了一批新兴产业,开启了人类“电气化”的新时代。在“电气化”时代,科学理论扩展了原有工程知识的基础,并促进了新的工程知识诞生,比如电磁学的发展,带动了发电机和电动机的发明,以及电话、电报、无线电的发明,从而导致了通讯工程知识的产生。

20世纪70年代,人类社会进入第三次产业革命,以计算机、微电子学、信息科学、分子遗传学等为代表的高科技的发展,不仅广泛向传统工程领域渗透,改进了传统工程及相关的工程知识,而且形成了一系列新兴工程和工程知识,诸如微电子工程、计算机工程、信息工程、生命遗传工程、航天工程、海洋开发工程、激光和光导纤维工程等。

3 工程知识演化的机制问题

在研究工程知识的演化进程时,不但要重视演化的动力问题,而且要重视研究演化的机制问题。

3.1 工程知识演化中“要素性知识进步”和“知识系统集成”的互动

工程知识不是单一的、同质性的知识集合,

而是多种相关知识的有机、系统集成的结果。

集成性是工程知识区别于其他任何知识类型的典型特征,因为工程知识为了实现特定的工程目标,必须在诸多相关知识中进行选择和集成。

一方面,必须发展诸多的要素性工程知识,使其成为“知识集成”的前提和基础,否则,如果没有这些要素性工程知识,工程知识的集成就会成为无源之水、“空头支票”,工程知识的集成就无从谈起。另一方面,如果诸多相关的要素性知识仅仅“零星”、孤立、分散性地存在,而未能有机、系统地集成为“工程知识整体”或“系统性工程知识群”,这些孤立的工程知识要素就不可能真正在工程活动中发挥作用,不能成为具有“现实性”、“功能性”的工程知识。在研究工程演化的机制问题时,“要素性知识进步”和“知识系统集成”的互动关系就成为了其最重要的内容之一。人们不但必须重视“要素性知识进步”的作用和意义,重视“知识系统集成”的作用和意义,更要重视“要素性知识进步”和“知识系统集成”的“互动关系”的作用和意义。以下仅简要分析与“要素性知识进步”有关的一些问题。

当工程知识中出现了关键性“要素进步”时,往往会“引领”一个“工程知识系统”开始某个方向的“系统性演化”。例如,蒸汽机的发明是现代工程知识演化的一个重要节点,它作为一种将蒸汽的热能转换为机械功的往复式动力机械,为工程活动提供了可控制、可利用的巨大动力,直接引发了在“蒸汽机时代的工程知识系统”的飞跃式发展。甚至直到200多年后的今天,在机械工程、采矿工程、纺织工程、土木建筑工程中,依然可以看到许多发轫于蒸汽机的工程知识演化“遗产”和轨迹。

工程知识的“系统演化”会受到“要素进步”的制约和限制,也就是管理学中常讲的“木桶效应”,一只水桶能装多少水取决于它最短的那块木板。在工程知识的演化过程中,虽然构成知识系统整体的各个要素都在演化,但演化“速度”不

可能完全一致,必然会有“快”有“慢”。当某个或某些要素的演化速度比较“慢”时,它们就成为了整个知识系统的“短板”,即使其他要素的演化速度比较“快”,整个知识系统的演化速度却不得不受制于“短板”要素。

3.2 工程知识演化中“工程知识标准化”和“工程知识创新”的互动

工程知识标准化可以将工程活动的原理设计、机器设备、生产流程、生产工艺、操作细则等经过不断的优化、筛选直至固定下来,成为某种产品生产活动的固定程式和标准。从工程知识的演化来看,工程知识标准化具有十分重要的意义,实现了标准化的工程知识具有通用性、系列化的特征,使得生产建设的可重复性成为可能,并大大提高生产效率、服务效率和经济效益。工程知识标准化不是凭空发生的,往往是通过工程知识创新的结果进行不断地选择和淘汰而形成的,可以说工程知识创新为工程知识标准化提供了前提和基础。

工程知识创新的本质是集成性创新。集成性创新不同于首创性创新,它不会全部都使用首创性的知识,甚至完全有可能在集成时连一项首创性知识也没有运用。当具有可重复性的、标准化的工程知识以集成的方式“重复出现”时,由于工程活动具有唯一性,即每个工程活动都具有独特的环境和条件,从而完全可能出现某项工程知识在“第 n 次”应用时,为新的集成系统带来“特殊”的效用,实现工程知识创新的目的。在这个意义上,工程知识创新离不开工程知识标准化,没有工程知识标准化就不会产生工程知识创新。

3.3 工程知识演化中的研发活动与相关制度的作用

早期的工程知识研发活动主要是古代工匠们的“个人”行为,他们主要采用试错法,将工程实践中的经验和技艺进行总结和传承。虽然这种

研发活动会受到家族、师徒等关系的影响,但主要是工匠个体在他们的工程实践场所——作坊中完成的,没有出现专门的工程知识研发场所和组织制度。例如蒸汽机是英国工匠纽可门在作坊中发明的,其决定性的发展也是瓦特在作坊中改进和发明了双作用往复式蒸汽机。

19 世纪下半叶,德国出现的染料人工合成工业研究实验室,尤其是 1876 年爱迪生建立了美国第一个工业研究实验室——门罗公园实验室,在研发和生产上见到了实效,从此工业研究实验室作为工程知识研发的机构和组织正式登上历史舞台。与古代工匠的个体性试错法研究不同,“工业实验研究基本上是以实验方法进行的,而实验的仪器和设备又主要是电磁和光子技术的或由它们控制的,所以结构复杂、精密度高和规模大,需要由各种学科的专家和技术人员进行严密的合作,这就决定了它的研究方式是在科学家和工程师个人智慧的基础上进行有序合作或配合的群体性。有组织的或组织化的研究方式成为工业试验研究的特征。”^{[9]90}

对于现代工程知识的演化来说,国家或企业设立的“工程研发机构”——特别是企业的“工业研究实验室”——成为了推进工程知识演化的最重要的制度方式。近代三次技术革命及其代表性的发明绝大部分工作都是在企业的工业研究实验室中完成的。“广泛应用的交流发电机和电动机是英国人怀尔德德和美国人特斯拉分别在公司的实验室研制成功的。继电器式数字计算机是斯蒂比兹在贝尔实验室发明的,晶体管和集成电路则分别是在 1947 年和 1958 年在贝尔实验室和得克萨斯仪器公司的工业研究实验室内发明的。尽管电子计算机发明于大学的实验室,但是包括微处理器在内的各种先进的电子计算机几乎都是在公司的工业研究实验室内发明和发展的,其中国际商用机器公司 (IBM) 和英特尔公司起了重要的作用。作为信息时代标志的信息论,也是申农于 1948

年在贝尔实验室提出的。”^{[9]24}

工业实验室一直是创造和推动现代工程知识发展的重要组织方式和制度方式,可是很多人往往对此缺乏应有的明确认识。直到 20 世纪末,野中郁次郎和竹内弘高出版了《创造知识的企业》^[4],OECD 发表了《以知识为基础的经济》^[10],这才促使人们更明确更深刻地认识到:现代企业和现代工业研发机构是现代工程知识的基本创造主体和集成主体。

4 结语

工程知识是以“物化”形态和“纯知识”形态两种形式存在的,与科学知识相比,工程知识的演化是与人工物密切联系在一起的。工程知识演化的内部动力来自于工程理论和工程实践中的问题,而社会经济发展需求因素和科学技术的进步则是其演化的外部动力。同时,工程知识的演化还表现出“要素性知识进步”和“知识系统集成”的互动、“工程知识标准化”和“工程知识创新”的互动的特点,尤其需要指出的是,工业实验室一直是创造和推动现代工程知识发展的重要组织方式和制度方式,虽然很多人往往对此缺乏应有的明确认识。

工程知识的演化问题是工程哲学中的最重要的内容之一,对这个问题的研究目前还只能说刚刚开始,本文也只是对其中的一些问题展开初步探讨。有关学者应该借鉴科学哲学的相关研究成果,面对工程知识演化的历史进程和当前的复杂现实,不断丰富和深化对工程知识演化问题的认识,不断取得新的学术成果。

参考文献

- [1] 马克思,恩格斯. 马克思恩格斯全集(第 46 卷下)[M]. 北京:人民出版社,1980: 220.
- [2] 库恩. 科学革命的结构[M]. 北京:北京大学出版社,2004.
- [3] 拉卡托斯. 科学研究纲领方法[M]. 上海:上海译文出版社,1986.

- [4] 野中郁次郎, 竹内弘高 著, 李 萌, 高 飞 译. 创造知识的企业[M]. 北京: 知识产权出版社, 2006: 71-82.
- [5] 李伯聪. 工程社会学导论[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2010: 27.
- [6] 沃尔特·文森蒂 著, 周 燕, 等 译. 工程师知道什么以及他们是如何知道的[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2010.
- [7] 马克思, 恩格斯. 马克思恩格斯全集(第3卷)[M]. 北京: 人民出版社, 1960: 344-345.
- [8] 弗里曼, 卢 桑 著, 沈宏亮 译. 光阴似箭: 从工业革命到信息革命[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007: 182.
- [9] 阎康年. 通向新经济之路: 工业实验研究是怎样托起美国经济的[M]. 北京: 东方出版社, 2000: 90.
- [10] OECD 著, 杨宏进, 薛 澜 译. 以知识为基础的经济[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.

The Form, Dynamic, and Mechanism of Evolution of Engineering Knowledge

Wang Nan^{1, 2}, Li Bocong²

(1. School of Humanities and Social Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Center of Engineering Studies, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The evolution of engineering knowledge is an important issue in the philosophy of engineering. Engineering knowledge exists in two forms: materialized and pure knowledge. Compared with scientific knowledge, the evolution of engineering knowledge is intimately connected with artifacts or technology. The internal dynamic factor of the evolution of engineering knowledge is one of the main issues in engineering theory and engineering practice. Furthermore, the external dynamic factor is of influence on social and economic needs and the promotion of scientific and technological progress. Studies on the evolution of engineering knowledge need to focus on institutional issues, such as the interaction between elementary and system-integrated knowledge progress, normalization and innovation of engineering knowledge, and research and development (R&D) activities and relevant institutions.

Key Words: engineering knowledge; evolution; scientific knowledge; artifacts