

工程哲学新进展——工程方法论研究

殷瑞钰¹, 傅志寰², 李伯聪³

- (1. 钢铁研究总院, 北京 100081;
- 2. 中国铁路总公司, 北京 100038;
- 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 迄今为止, 工程方法论研究一直是工程哲学和方法论研究领域的薄弱环节。本文考察了科学技术工程三元论、工程演化论、工程本体论和工程方法论的关系, 分析和阐述了工程方法论的性质、特征、研究对象和研究内容。指出, 工程方法论不同于具体的工程方法, 工程方法论是以具体工程方法为研究对象的“二阶性”和“多视野”的理论研究, 工程方法论有不同的层次, 应该特别注意研究行业性、类型性的工程方法论问题。本文还简要分析了经验、科学、技术和工程方法的关系。

关键词: 工程哲学, 工程方法论, 工程方法, 共性, 工程行业, 经验, 科学

中图分类号: N031 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-4969(2016)05-0455-17

引言

工程哲学自 21 世纪之初兴起后^[1] 发展迅速。十余年来, 中国工程哲学的研究和发展经历了“工程-技术-科学”三元论、工程演化论和工程本体论三个阶段。工程哲学的研究内容和领域, 不断有所拓展; 对工程哲学的认识, 不断深化。同时, 我们也必须清醒地认识到, 工程哲学目前还处在作为一门新学科的开创期, 需要进一步深入研究的问题和领域很多, 其中, 工程方法论就是一个亟待大力开拓的研究领域。

目前, 国内外已经出版了许多关于具体“工程方法”的著作。这些著作展现了形形色色的具体的工程方法, 其中的有些著作还显现出了“工程方法论思想”的光辉。可是, 由于多种原因, 却鲜见将工程方法上升到“工程方法论”层次进行系统研究的著作。本文是作者对工程方法论一

些重要问题的初步思考, 希望能够起到抛砖引玉的作用。

1 工程哲学与工程方法论

从概念关系和理论体系的结构看, 工程方法论既是“工程哲学”的组成部分, 同时又是“方法论”的组成部分。在前一个“理论框架”——工程哲学领域——中, 工程方法论与工程本体论、工程认识论、工程演化论等并列。在后一个“理论框架”——方法论领域——中, 工程方法论与科学方法论、技术方法论、法律方法论、艺术方法论等并列。本书的主要研究进路和研究视野是把工程方法论看作工程哲学的组成部分, 但也适当关注另外一个视野和研究进路。

在工程哲学理论体系中, 工程方法论研究与工程哲学的其他组成部分, 即与“科学技术工程

收稿日期: 2016-09-01; 修回日期: 2016-09-05

基金项目: 中国工程院管理学部项目“工程方法论研究”

作者简介: 殷瑞钰(1935-), 男, 教授级高级工程师, 中国工程院院士, 研究方向为钢铁冶金、工程管理与工程哲学等。

傅志寰(1938-), 男, 中国工程院院士, 研究方向为运输管理与工程哲学。E-mail: fuzhihuan138@sina.com

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

三元论”、工程演化论、工程本体论研究有密切的联系。

1.1 “工程-技术-科学”三元论和工程方法论

工程-技术-科学三元论认为,科学、技术、工程是三种不同的活动,它们有不同的性质和特征。一方面,三者有密切联系,不能忽视或轻视它们的联系;另一方面,它们的活动本质又有区别,不能把三者混为一谈。^[2]

可以认为,在工程-技术-科学三元论的观点中已经内在地蕴含着一个观点:三者各有自身不同的方法论——科学方法论、技术方法论和工程方法论。这三种不同的方法论之间存在着既有密切联系同时又有明显区别的关系。

从具体方法和方法论角度看,现代工程活动中无疑地也使用了许多科学方法、特别是技术方法,同时,工程活动中更运用了数不胜数、千变万化、因地制宜的、需要称之为“工程方法”的内容,这些是科学方法、技术方法所不能涵盖的,这就使工程方法论成为一个与科学方法论、技术方法论并列的研究领域。对于各种各样的工程方法,需要通过分析、总结、概括而形成工程方法论的理论系统,使其成为与科学方法论、技术方法论并列的领域。

1.2 工程演化论和工程方法论

工程演化论和工程方法论的密切联系也是显而易见的,以下只谈两个问题。

1.2.1 “工程方法”、“工程方法论思想”和演化

从方法论和演化论的观点看问题,人类社会中所使用的工程方法是不断变化,不断演化,不断发展的。一部工程史可以说也是工程方法演化的历史。例如,不但铁器时代所使用的工程方法与石器时代相比有了天翻地覆的变化,就是新石器时代所使用的工程方法与旧石器时代相比也发生鲜明的演变。到了第一次工业革命,人类掌握和使用的工程方法空前丰富。在第一次工业革命

后,又发生了多次产业革命,而每次产业革命都与工程方法的革命性演进有关。

在人类历史上,工程方法早已存在,甚至应该说早在原始社会中人类就掌握了一些原始的工程方法。可是,我们却不能说古代社会已经有了明确的、理论系统形态的“工程方法论”。尽管如此,我们又应该承认,古人已经形成了概括广度和理论深度不等的“工程方法论思想”,特别是关于特定类型的工程——例如建筑工程——的方法论思想。例如,古希腊的《建筑十书》^[3]、中国古代的《考工记》^[4]、中国园林建筑的名著《园冶》^[5]等著作中,都有了忽隐忽现的、一定程度的“工程方法论思想”。

回顾历史,不但“工程方法”在不断演化,而且“工程方法论思想”也在不断演化。

当代工程方法论应该在继承、扬弃和发展以往方法论思想成就的基础上,总结当代工程方法的实践,深化和升华为开放的、动态的、系统的整体方法论。现代工程方法论应该从整体结构、整体功能、效率优化和环境适应性、社会和谐性等的要求出发,特别注意研究工程整体运行的原理和过程、工程的整体结构、局部技术/装置的合理运行窗口值和工序、装置之间协同运行的逻辑关系,研究过程系统的组织机制和重构优化的模式等复杂多元、多尺度、多层次过程的动态集成和建构贯通。

1.2.2 重大方法的发明、发展与工程方法论

工程方法是不断发展、演化的,工程方法的演化有不同的方式,既有量变形式的演化,也有革命性的进化方式。在历史上,那种在新的重大方法或通用方法得以发明并且迅速发展后,形成新行业的现象屡见不鲜。

由于重要程度不同、通用程度不同、共性的关联领域不同、影响深度不同,工程方法演化的特征可能是量变性的,也可能是质变性的。有可能出现“小行业”的“小变化”,也可能出现“小行业”的“大变化”,但也可能出现“大行业的大

变化”,甚至是“划时代的大变化”。对于人们常说铁器时代、机械时代、电气时代、原子能时代、航天时代、计算机时代等等,都有一定的重大工程方法或通用工程方法的发明、演进相伴随。

1.3 工程本体论和工程方法论

在工程哲学理论体系中,工程本体论居于理论体系基础的地位。工程本体论要求从“工程本体”的观点出发,来分析、研究工程哲学领域中的各种问题——包括工程方法论问题。

1.3.1 基于工程本体论观点的工程方法论意涵

工程本体论是工程哲学的最根本的立场和观点,在研究工程方法论时,必须高度重视工程本体论的工程方法论意蕴。

工程本体论认为工程是现实的、直接的生产力,工程有自身存在的根据,有自身的结构、运动和发展规律,有自身的目标指向和价值追求,绝不能简单地将工程看成是科学或技术的衍生物、派生物。^[2]所谓工程本体论的工程方法论意蕴,首先就是指依据工程本体论观点,可以“推论出”一个结论:工程方法论不是科学方法论或技术方法论的衍生物、派生物,而是一个与科学方法论、技术方法论相并列的方法论领域。

从理论上讲,工程本体论和那些“衍生论”或“派生论”观点是针锋相对的。在研究、深化和发展工程本体论的理论时,必须注意把工程本体论观点运用和发挥到工程方法论领域,要在工程方法论研究中体现和发展工程本体论观点,在方法论研究领域中不把工程方法看作是科学方法的衍生物、派生物。应该深入揭示工程方法论的特征及其丰富内容,应该在学习、参考和借鉴科学方法论、技术方法论、艺术方法论等领域已有成果的基础上努力把工程方法论建设成为一个方法论研究的新领域。

如果立足于工程本体论来观察和研究有关工程方法和工程方法论许多问题,则人们对许多问题的认识、评价和展望就有可能豁然开朗,焕然

一新,工程方法论的研究就会进入新水平,新阶段,新境界。

1.3.2 工程本体论是研究工程方法论的重要理论基础

对于工程方法论研究来说,以工程本体论作为基本立足点的意义,不但在于启示工程方法论必然是与科学方法论、技术方法论等并列的方法论领域,更为重要的是,在于它是研究工程方法论的重要理论基础和指导思想。

工程活动及其工程方法应是工程方法论最基本的研究对象。由于工程本体论揭示了工程活动的本根性特性,也就势所必然地要成为工程方法论的重要理论基础,离开了这个理论基础,就不可能把工程方法论建设成为一个有理论、有方法、有特色、自成系统的学科分支。

人们知道,演绎方法是科学方法论的重要内容和重要的科学思维方法之一。那么,在构建工程方法论时,演绎方法是否仍然要成为工程方法论的重要思维方法之一呢?对于这个问题的答案,一方面,必须承认工程方法和工程方法论中也需要应用演绎方法;另一方面,必须注意从根本上看工程方法和工程方法论不属于演绎系统。在工程本体论思想的指导下,在构建工程方法论时,人们必须更加重视和强调综合、集成、协调、权衡这些“非演绎性”方法在工程方法论中具有更重要的作用和位置。

从理论上讲,综合、集成、协调和权衡原则不是解决科学问题的原则,协调和权衡的方法也不是解决科学问题的方法。对于科学问题,必须依据科学方法给出“唯一正确”的答案,在追求真理时科学家不能讲相互“妥协”,从而协调和权衡的方法也就无所施其技。可是,在研究、分析和处理工程问题时,其解决问题的路径和解决方案往往不可能是唯一的,特别是不同的方案往往又是各有优缺点的,需要依据综合、集成、协调和权衡的原则和方法,得出在特定环境条件下相对优化的方案。在工程问题的诸多解决方案中,

究竟那个方案会“最后胜出”,往往都是通过综合、集成、协调和权衡得到相对优化的结果,而不是单纯“逻辑演绎”的结果。在工程实践领域,工程从业者都对综合、集成、协调和权衡的重要性有切身体会,而综合、集成、协调和权衡原则和方法的重要性只有在工程方法论的视野中才会凸显出来,只有在工程方法论的整体结构所具有的共性中才会凸显出来。

从理论分析角度看,工程中的协调和权衡原则和方法不是凭空而来的,从根本上说,一方面,它源自工程本体论立场和观点;另一方面,它又要受工程本体论观点的指导。如果离开了工程本体论的基本理论,所谓协调和权衡方法就会异化,就有可能走上歪路。

立足于工程本体论,在认识工程活动和研究工程方法论理论时,应该特别注意以下几点。

其一,工程具有整体性而且是一个复杂性的整体。工程是通过对其所蕴涵的要素进行集成,建构形成的一个复杂的、特定的整体,而其功能只有形成整体系统后才能体现出来;要研究有关功能性、整体性、整体论方面理论和方法的问题。

其二,工程是动态运行的且具有组织性的(即包括工程系统自身内部的自组织性和外界输入指令的它组织性)。工程是其活动主体在特定的外界条件下,按主体的需求来发挥工程的功能,进行工程过程动态有序的运行,而其动态运行的效率取决于其构成要素以及要素运行的程序化、协同化以及和谐化的自组织过程;要研究目的性、组织性、过程性、效率论方面的理论和方法问题。

其三,工程必须通过结构化的集成,体现因果规律。因果规律(功能因果与效率因果等)不仅影响要素的构成而且影响要素之间合理配置和运动的结构。因此,需要将相关的、异质、异构的工艺技术和装备进行集成,实现结构化,以其作为“因”,才能得到有效的、卓越的功能与效率,这是“因”之“果”,在工程活动中“因”“果”关系常常表现得非常复杂,不但同样的“原因”

可能会有不同的结果,同样的结果可能来自不同原因,而且还会出现预料之外的结果,绝不能把因果关系线性化、简单化;要研究结构化、集成性、因果论方面的理论和方法问题。

应该特别注意和强调指出的是,工程本体论不但是分析和认识工程活动、工程现象的理论武器,而且是分析和研究工程方法和工程方法论的理论武器。如果离开了工程本体论的基本观点,工程方法论研究就会找不准研究的切入点而无所适从,无从着手。在研究工程方法论时,必须高度注意工程本体论所具有的工程方法论意蕴,把工程本体论当做研究工程方法论的理论基础和指导思想。

2 工程方法论的结构含义

在学术研究中澄清概念十分重要。澄清概念的难点有时并不表现在对陌生新概念的解釋上,而是表现在如何才能对常用词汇蕴涵的复杂概念内容进行深入辨析和解释上。

所谓澄清概念,不但是一个逻辑学性质的要求,更是一个哲学分析的要求。20世纪曾经在西方哲学界产生很大影响的维也纳学派更特别强调哲学的作用就是要使命题的意义得到澄清。^[6]

在研究工程方法论时,必须下工夫明确和澄清工程概念的真正内涵,否则就会陷于混沌、模糊的思维状态而难以自拔。工程概念的内容非常丰富,其结构非常复杂,以下着重于其与工程方法论的关系谈几点看法。

2.1 工程方法论的内涵

从工程本体论出发来认识和分析工程活动的特征,工程活动就是通过选择-集成-建构而实现在一定边界条件下要素-结构-功能-效率优化的人工存在物——工程集成体。工程活动的这些过程及其结果,就反映工程的一般方法论内涵。

在工程的集成性中体现了本根之“一”和要素之“多”的对立统一。所谓集成绝不等于若干

要素的拼接或随机组合。工程作为人类的一项物质性社会活动,不但涉及思想、价值、知识方面的因素,而且必然涉及资源、资本、土地、设备、劳动力、市场、环境等要素,而且要经过对这些知识、工具、方法和要素进行选择、整合、互动,才能集成-构建出有结构、可运行,有功能、有价值的工程实体,体现为直接生产力。

工程是人类有目的、有计划、有组织地运用知识(技术知识、科学知识、工程知识、产业知识、社会-经济知识等)和各种工具与设备(各种手工工具、各种动力设备、工艺装备、管控设备等),有效地配置各类资源(自然资源、经济资源、社会资源、知识资源等),通过优化选择和动态的、有效的集成,构建并运行一个“人工实在”的物质性实践过程。工程活动是一个实现现实生产力的过程,其内在特征是集成和构建。集成、构建是指对构成工程的要素进行识别和选择,然后将被选择的要素进行整合、协同、集成,构建出一个有结构的动态体系,并在一定条件下发挥这一工程体系的功能、效率、效力。工程活动集成、构建的目标是为了实现要素-结构-功能-效率的协同-持续的优化,但工程活动的实际过程和效果往往是非常复杂的,因而是需要组织管理的。在认识和评价工程问题时,不但必须重视目的问题,而且必须高度重视对工程活动的过程及其效果、后果问题的研究。

由此可见,从工程方法论的角度上看,结构化、功能化、程序化、协同化以及和谐化等对各类工程的方法都是必须共同遵循的规律。

在工程实践中所使用的各种各样、形形色色的具体工程方法,都可以归类到上述几种类型中。需要强调的是,以上分类主要是指“单一方法”,而在工程实践中,不可能仅仅使用某一个类型的工程方法而不使用另外一个类型的工程方法,例如不可能仅仅使用有关结构化的方法而不使用关于功能化的方法等等。在工程实践中,任何工程项目的设计和和实施都必须在不同类型工程方法中

选择出有关方法后将其集成为“包含不同类型工程方法”的“方法集”。当人们在“方法集”的层次上分析和研究工程方法和工程方法论问题时,其遇到的复杂程度就要比“单一方法”层次的复杂性就大为扩展了。

工程方法论的内容、作用和意义不但表现在研究具有共性的“具体工程方法”的层次,更表现在研究“工程方法集”层次上应遵循的原则和规律。在形成“工程方法集”时,“选择”就是为了合理、恰当地配置、使用各类要素,“集成”发挥着关键性的作用;“建构”则是为了实现有结构、可运行,有功能、有价值的工程实体,使之体现为直接的、现实的生产力。

2.2 工程和工程方法的外延结构

在澄清工程概念的结构含义时,不仅必须注意从工程的本性、运行特征方面研究工程概念的结构内涵,而且必须注意研究工程的行业分类所形成的诸多问题。

如果从行业视角观察工程,可以看出工程具有专业性、行业性。工程总体(Engineering)中包括各行各业、各种门类的工程(engineerings),例如农业工程、矿业工程、水利工程、冶金工程、化学工程、土木工程、机械工程、动力工程、纺织工程、医药工程、通信工程、航空-航天工程等。在同一行业工程之下,又可以分为具体的工程项目(engineering projects),例如在铁道工程下面,又可具体分为京沪高铁工程、青藏铁路工程等。这些工程项目,除了行业性、专业性之外,还具有当时当地性。

从上图看,科学、工程,学科门类、工程行业,学科分支、工程项目之间存在着类似的概念分类结构。从概括的、抽象的、共相的意义上看,科学是一种理论化的知识体系,是人类探索、发现真理的一种活动,是人类认识世界的方式和方法,其着重解决关于“是什么?为什么?”的问题。在科学的发展过程中形成了许多大的门类,例如物理学、化学、生物学、天文学、地学等,

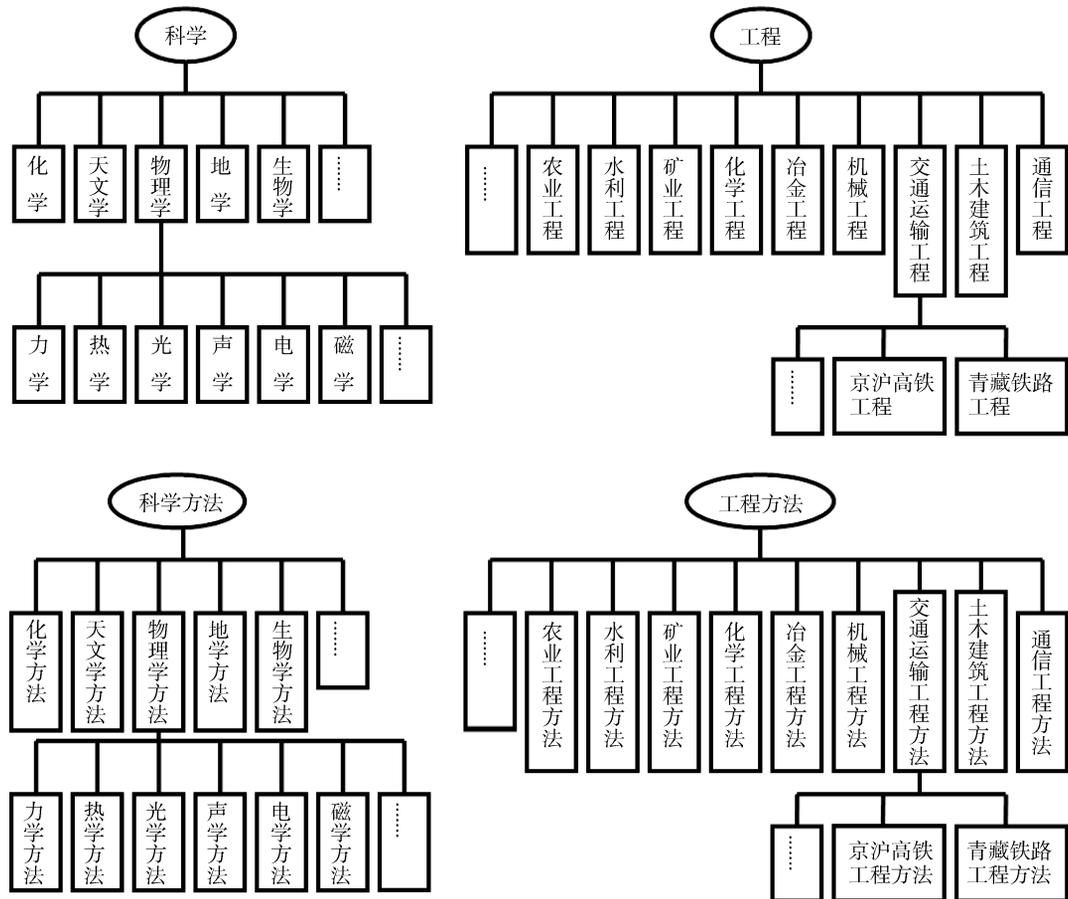


图1 科学、工程的层次结构和科学方法、工程方法的层次结构

在这些门类下又发展出了不同的专门学科分支，例如物理学下面又可分为力学、光学、声学、热学、电学、磁学等学科分支等。不同的学科和学科分支都各有自己的科学方法，例如力学方法、光学方法、电学方法等。

对于以上结构图，应该特别加以说明和必须特别注意的是：所谓“不同行业的工程方法”与“不同学科的科学方法”之间存在着错综复杂的关系和联系，绝不能认为它们是界限绝对分明、没有相互渗透、没有相互交叉的，相反，它们之间的存在着极其复杂的相互渗透、相互交叉关系。

从对工程概念的结构性含义所进行的分析中可以看出，在认识和把握工程的概念时，除了从工程与科学、技术相比得出的三元论概念之外，还必须从工程本体论来深化对工程概念和工程方法的认识。工程本身是有结构性的，有层次性的；

是可分类，具有专业性、行业性的；工程活动——特别是具体工程项目是具有当时当地性的。理清工程概念的结构性含义对理清工程方法论、工程方法的研究思路具有重要意义，否则，将引起思维混乱。

总而言之，认清工程概念的结构性含义，将有助于理解工程-技术-科学的特征和它们之间的关系，也有助于认识工程与自然、产业、经济、社会之间的复杂关系，也有助于理清研究工程方法论和具体工程方法的研究基点和研究进路。

2.3 关于行业性、专业性、类型性工程方法论问题

工程活动的突出特点是划分出了不同的行业和专业。不同的行业和专业都各有自身的行业性、专业性方法论问题和方法论特征。至于“类型”

一词, 其含义和所指可有多种变化。一方面, 人们可以把每个行业或专业都视为一个“类型”; 另一方面, 人们也可以在某个行业或专业内部划分出若干更小范围的“类型”, 例如, 在桥梁专业中可划分出公路桥梁和铁路桥梁。由于“行业”、“专业”、“类型”这几个词汇的使用都带有一定的灵活性和变动性, 以下论述中不再刻意进行区分。

2.3.1 关于工程方法论研究的层次划分和研究进路问题

在工程方法论研究中, 既可以采用“两层次划分”及相应的研究进路, 也可以采用“三层次划分”及相应的研究进路。二者的主要区别在于对具体工程方法进行“共性分析和研究”时, 前者“一次性”地抽象和上升到“一般工程方法论”的层次, 而后者则在对具体工程方法进行分析 and 研究时, 主要着眼于抽象和上升到“中间层次”的“行业性工程方法论”(见图2)。

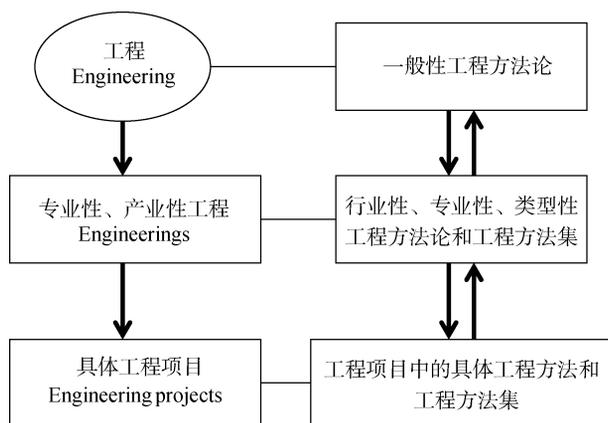


图2 工程方法论的层次性框架

工程方法论是对多种多样的具体工程方法进行抽象概括、理论升华的结果。如果说在多种多样的具体工程方法中表现出的是“工程方法的个性”特征, 那么在工程方法论中所表现的就是经过抽象和概括而得到的关于“工程方法的共性”特征。

需要注意, 在进行工程方法论的理论抽象和理论概括时, 由于研究对象的范围不同和研究者的目标不同, 有些人可能主要在行业性工程活动

和方法的范围内进行理论抽象和共性概括, 即以概括某个行业中众多具体工程方法的共性为目标, 这就形成了“行业性工程方法论”; 也有人并不仅仅限于某个行业, 而是把视野扩大到包括众多行业中具体工程方法的更普遍的范围进行理论抽象和共性概括, 即以概括所有工程行业中众多具体工程方法的共性为目标, 这就形成了“一般性工程方法论”。

在进行“一般性工程方法论”研究时, 可以有两种进路。第一种进路是运用对“各个不同的行业性工程方法论的内容”进行“二次抽象和概括”的进路, 即从比较分析“各个不同行业性工程方法论内容”的“异同”关系着手, 努力概括出“各个不同行业性工程方法论”内容中更普遍的共性, 使之成为反映和概括所有工程方法的最普遍共性的“一般性工程方法论”。第二种进路是直接面对工程实践中的各种具体工程方法, 在对具体工程方法进行抽象和概括时, 不局限于“行业共性”的水平和层次, 而是“一次性地上升到”“一般性工程方法论”的水平和层次。

这就是说, 在面对一种具体的工程方法时, 如果把它看做是某个行业中的工程方法的一个实例, 探寻其中体现的该行业工程方法的共性内容和共性特征, 那就是以“行业性工程方法研究进路”进行“行业性工程方法论研究”; 如果把它看做是一般性工程方法的一个实例, 探寻其中体现的一般性工程方法的共性内容和共性特征, 那就是以“一般工程方法研究进路”进行“一般性工程方法论研究”。这两种研究进路和研究成果既有区别又有联系, 相互渗透, 相互促进, 二者都是“工程方法论”的基本进路和基本内容。

需要注意, 以上对“行业性工程方法论”和“一般性工程方法论”相互关系的分析和叙述只是对它们相互关系的理论阐述和哲学分析, 其中的“层次”一语主要也只具有理论含义和哲学含义。

在科学方法论的研究中, 既有一般性科学方法论研究, 又有学科性科学方法论研究(例如,

物理学方法论、数学方法论等)。工程方法论领域与其相似,既有“一般性工程方法论”又有“行业性工程方法论”

“行业性工程方法论”具有更强的产业针对性和工程实践性,能更切合本行业的工程现实,具有指导本行业工程实践的重要作用与意义。“一般性工程方法论”具有更高层次的抽象性和更广范围的普适性,具有工程哲学研究的价值和跨行业视野的特征。所以,“行业性工程方法论”和“一般性工程方法论”各有优点,二者都是不可缺少的。

“行业性工程方法论”可以发挥联络两端、承上启下的作用。由于这个问题非常重要,下面就先对行业性、专业性、类型性工程方法论问题进行一些讨论。

工程是划分为不同行业的,例如流程制造业、装备加工制造业、交通运输业、土木建筑业、电子信息业等等。对于工程整体而言,不同行业表现出的是特殊性方面的问题,可是,每个行业之所以能够形成一个独立的行业(产业),又必然因为该行业中存在着行业共性——包括行业方法论共性——的问题。所谓行业性、专业性的工程方法论就是要对行业性、专业性的工程方法进行总结和归纳,研究在该行业、专业中具有共性的各种工程方法论问题。

行业性、专业性工程方法论要在分类总结归纳的基础上,研究某一或某些产业工程的共性特征及其集成-建构方式,重在凸显行业-产业特征;同时,要分析归纳某一特定产业工程的产品标准化和资源要素组合优化规律。作为产业-行业工程,一般都是由相似类型的企业(工程系统)和不同相关专业的企业(工程系统)组合构成的,因此,作为行业-专业性的工程必然会涉及企业(或工程项目)的区域布局的工程方法论问题,也将涉及不同产业工程系统之间产业生态集聚方法论等。因此,行业性、专业性工程方法论的研究中除了遵循“一般性工程方法论”所具有的共性之外,还将进一步涉及:

- 1) 产业专业的分类和归纳;
- 2) 资源-要素的综合组织原则和方法问题;
- 3) 工艺规范化原则和方法问题;
- 4) 产业的区域布局优化原则和方法问题;
- 5) 行业之间的生态集聚问题;
- 6) 产业工程的集成理论和结构优化原则和方法问题;
- 7) 产品标准化原则和方法问题。

应该强调指出,“一般性的工程方法论”表达一般性的、共性的特征、原则和规律,不能“取代”或“替代”对行业性、专业性工程方法论问题的研究。必须认真地研究各种行业性、专业性的工程方法论问题,才能进一步抽象、概括并验证“一般性的工程方法论”,这是工程方法论研究的重要内容、重要特质之一。可是,由于多种原因,本书虽然高度重视并且以多种不同方式——包括在理论阐述方面和案例研究方式——触及了这方面的问题,但本书不可能系统地分析和研究行业性、专业性的工程方法论问题。实际上,解决这方面问题的更好的方式是需要针对不同行业进行各自独立的行业性、专业性工程方法论专题研究。

2.3.2 工程的行业分类和工程方法分类的错综复杂的关系

在研究行业性工程方法论时,必须注意研究行业分类和工程方法分类之间的错综复杂的关系。

如果立足于“行业”看工程方法问题,可以看到有关“行业性工程方法”的两个互补的方面。一方面,从工程方法论角度看,一个行业的形成往往都会有某个特殊类型的工程方法作为基础性、核心性方法;另一方面,该行业又必然需要在综合、集成中运用许多其他类型的方法,而不能仅仅运用“该行业的特有方法”,如果没有“辅助方法”的配合,核心性方法也会无所施其技。例如,机械行业之所以能够成为一个单独的行业,其关键原因之一是由于存在着独立类型的“机械

方法”, 这种“机械方法”不同于“冶金方法”、“建筑方法”、“纺织方法”、“电力方法”等等。可是, 在现代机械行业中, 绝不可能仅仅使用“机械方法”而是必须同时利用其他类型的方法——例如使用电动机、计算机乃至某些化工方法等等。换言之, 任何行业所使用的方法都必然是在立足于该行业特有方法的基础上同时又对许多其他类型的工程方法进行集合和集成。

2.3.3 工程的行业演变和工程方法发展的关系

不同行业的工程方法都经历着自身的发展和演化过程。从工程方法论发展的角度看, 每种类型的工程方法在历史上都必然有其最初的和主要的使用目的和使用范围并逐步形成行业。可是, 随着该方法的内容丰富和演化发展(包括该方法具体内容的丰富、增加和细分, 其行业产品使用目的和使用范围的扩大, 行业功能的扩展等), 有时会出现从量变发展为“部分质变”或“整体性质变”的现象, 例如, 该类型方法和产品的主要使用目的和主要使用范围发生改变、漂移等现象, 以及常常出现的某个行业内部的子行业愈来愈多、愈分愈细的情况。

在工程方法发展史上, 已经屡屡出现起初的从属性的工程技术方法或某种产品, 由于环境、条件的变化, “喧宾夺主”、“另立门户”而形成新行业类型的现象, 或者成为分类系统中一个“平行的类型”或者成为“低一级的亚类”。对于这种情况, 我们可以称之为“某种工程方法”的“同途殊归”, 或“自立门户”现象。耐人寻味的现象是, 能否“自立门户”的关键因素或决定性因素有时又不是“方法自身的价值”而是难以预料的“社会因素”, 于是就可能出现“小方法”发挥“大作用”, “大方法”可能只有“小用途”的现象。例如, 核聚变方法是一个“大方法”, 但迄今为止, 除氢弹爆炸外, 这个方法仍未显现出与“方法之大”相称的“大用途”。又如: 最早的蒸汽机用于矿井里泵水, 无线电的最早的商业用途是用来在海上的船只之间和船只与陆地之间发射加密的无

线电信号, 这些工程方法在刚问世时, 看起来是“小方法”, 但由于不断改进和使用范围的扩展, 演变成为“大方法”、“大产业”。

在工程方法论领域, 中间层次的行业性、专业性工程方法论问题内容丰富, 意义重大, 相信今后有愈来愈多的人关注这方面的研究工作。

3 工程方法论的性质和研究对象

3.1 工程方法论研究的“二阶性”和“多视野性”

对于工程方法论的性质和特征, 可以简短地说: 工程方法论是以具体工程方法为研究对象的“二阶性研究”和“多视野性研究”, 前者是说某种“理论水平-对象水平”的相互关系问题, 后者是说“研究角度”问题。

3.1.1 工程方法论是以具体工程方法为研究对象的“二阶性研究”

上文已经谈到, “方法”不等于“方法论”, “工程方法”不等于“工程方法论”。

简而言之, “方法”是“方法论”的研究对象, 而“工程方法论”以“工程方法”特别是共性方法和工程方法遵循的原则和规律为研究对象。更具体地说, 方法论不是方法本身, 而是有关方法的共性特征和方法应遵循的原则和规律, 是以方法为研究对象、面向方法的理论, 是关于方法的概括性、共同性、总体性的理论研究。工程方法论与工程方法之间也有同样的关系。“工程方法论”不等于“具体的工程方法”, 它不是“工程方法本身”, 而是关于“工程方法的理论”, 更具体地说, 工程方法论是以“具体的工程方法”为“研究对象”而形成的“关于工程方法的理论性抽象和关于工程方法的共性特征研究”。如果把具体的工程方法看作是“一阶的方法”(例如修建一座桥梁的方法、建设一座钢厂的方法、修建一条铁路的方法等等), 那么, 在“工程方法论”这个概念中, 除了包括“关于工程方法的一般理论(例如关于工程方法的分类、基本特征、演化规律、运用原则的理论)”这个方面的内容外, 它还包括可

以泛称为“关于具体工程方法的共性特征及其应遵循的原则和规律”方面的内容,为了将其与“具体的工程方法”相区别,可以将其称为“二阶性方法”——即关于“运用各种具体的工程方法”的“更高层次方法”,例如集成各种要素的“结构化方法”、制定工程设计规范的程序方法、制定工程运行规则的协同化方法、对各种工程活动过程所涉及的有关问题进行协调的和谐化方法等等。

总而言之,工程方法论是以各种各类工程方法为研究对象和研究素材的“理论体系”,其核心内容是发现和阐明各种各类工程方法的共性特征。在这个理论体系中,既包括关于不同产业、专业工程方法的性质、特征、结构、分类、发展规律等问题的研究,也包括对各类产业、专业的工程方法论具有普适性的共性特征的研究。

应该注意的是,在进行工程方法论研究时,由于目的和对象范围的不同,不同的人可以在不同的层次上进行“共性抽象”和“共性概括”研究。当在某个层次的共性研究得出结论后,人们还可以进行更高层次的共性概括和共性研究,在这时,原先那些“下位层次”的结论就成为相对“个性水平的东西”了。以设计工作为例,当人们以许多座具体桥梁设计方法为研究对象,总结和概括出“关于桥梁设计的一般方法(即桥梁设计的共性特征)”的理论时,应该承认这是属于桥梁工程方法论领域的研究工作和成果。在更高层次上,人们还可以总结、概括出“土木工程设计方法论”、“化工设计方法论”、“机械设计方法论”等行业性设计方法论,这些都是属于工程方法论领域的研究内容。当然,人们还可以不局限于研究单个行业的设计方法问题,而放眼更广领域,探求其共性特征,试图概括出具有更大普适性的关于工程方法理论的一般工程方法论。

工程方法论以工程方法为研究对象。在研究工程方法论时,一方面,要面向和总结工程实践——更具体地说是形形色色的工程方法的实践

——经验,努力从具体工程方法的实践经验中进行理论总结、逻辑抽象、观点提炼、思想升华;另一方面,必须借助于哲学思维和工程哲学的基本理论——尤其是工程本体论——研究和分析各种各样的工程方法。前者是“自下而上”的研究进路,即从具体工程方法概括、总结出关于工程方法的一般性理论的进路;后者是“自上而下”的研究进路,即在工程哲学一般理论以及一般性方法论的理论指导下分析具体工程方法的研究进路。这两个研究进路应该紧密结合起来。

大体而言,工程方法论是研究工程方法的共同本质(例如结构化、功能化等)、共性规律(例如程序化、协同化等)和一般价值的理论(例如和谐化、效率化、效益化、优质化等),旨在阐明正确认识、评价和指导工程活动的一般方法、途径及其规律,其核心和本质是研究各种工程方法所具有的共性和工程方法所应遵循原则和规律。

“工程方法的共性”与“不同工程活动的共性”之间存在密切联系。在研究工程方法的共性问题时,也应该注意从工程共性的认识出发来进行研究。一般而言,工程活动是建立在基本要素、原理、工艺技术、设备(装置)、程序、管理、评价基础上集成、建构的过程,从方法论上看,要研究从对工程要素的选择、集成出发,建构出结构合理、功能优化、效率卓越的可运行、有竞争力的工程实体的方法问题,因而,工程方法论研究工作需要围绕着工程整体的结构化、功能化、效率化和环境适应性等环节和维度展开。

更具体地说,一般工程方法论将涉及如下二阶性方法论问题:

1) 体系结构化及其方法问题——主要是整体性思维进路与“要素-过程-集成”的结构性思维进路相结合,这是使工程要素进入到工程体系结构化所必需的。体系结构化的内涵应包括形成静态性的结构和动态协同运行过程两个部分。静态性的结构将涉及工程设计、构建方法,而动态运行

过程将直接体现出工程体系运行的方法和运行实践的功能、效率、调控和环境友好等。

还原论方法曾经长期主导着科学方法论。在工程实践中也曾有过还原论方法为主导的时期。这种方法的特征是将工程系统,单向地“向下”分解、切割,形成不同的“散片化”的单体、单元,然后将这些“散片化”的单元机械地堆砌、拼接出一个体系结构来,再体现出功能来。这样的还原论方法在已有的产业工程设计、建造和运行过程中经常出现,虽然应该承认还原论方法的作用和意义,并能达到一定的目的;但也必须看到其局限性、不协同、低效率,并在很大程度上限制了工程系统整体的结构优化、功能优化、效率优化,障碍了工程体系的市场竞争力和可持续发展能力。

整体性思维进路与“要素-过程-集成”的结构性思维进路相结合的工程思维方法是以工程体系整体优化为主导,通过“解析-集成”、“集成-解析”的方法,以工程的结构优化、功能优化、效率优化、环境友好为目标,反复整合、集成,形成一个结构“最佳化”的工程体系,从而使工程具有应有的、可靠的、卓越的功能。

2) 协同化及其方法问题。工程的构成要素从性质上看是多元、多层次的异质、异构的事物群,而从量的角度上看,有的具有确定性,有的具有不确定性,因而工程体系均属复杂系统。要把这种复杂的工程系统综合集成起来并形成结构而运行起来,体现出稳定的、有效的功能,必须重视协同论的方法和相关的数学方法,从而达到工程整体的结构优化、功能涌现和效率卓越。

非线性相互作用和动态耦合也是十分重要的。工程系统中的技术性要素是由许多相关的、异质异构的技术单元(例如不同工艺装置、设备、机器等)集成、建构而成的。由于工艺技术、装备的异质、异构性,不能简单地用线性相关的方法来处理,因此,不同技术(工艺、装备)单元

之间的关联,经常要通过非线性相互作用的方法来处理,并实现在不同时-空条件下的动态耦合,从而形成一个动态-有序、协同-高效运行的工程整体。非线性相互作用和动态耦合,是形成工程动态结构并体现协同化的重要方法和一般方法。

3) 程序化及其方法问题。基于工程复杂系统的集成、建构过程,应该有符合工程事物本质的程序,其一般程序往往是理念-决策-规划-设计-建造-运行-管理-评价。这一程序化过程和方法,实际上对于所有工程都将经历,只不过是自觉程度不同,认真程度不同,科学化手段不同,或价值维度的权重不同而已。反之,如果在程序化过程中的某一或某些环节有所忽略或是出现失误,将对工程的成效甚至成败产生影响。对工程的决策、规划直到设计、建造、生产运行和管理等过程而言,程序化是一种具有共性意义的方法。实际上,在工程实体形成后,为了高效、有序、协同地运行/生产,仍然存在着动态运行的程序化问题,特别是各类信息的程序化问题。

上述程序化问题往往涉及因与果,效率与功能,效益与环境/生态之间的逻辑关系。

4) 功能化及其方法问题。工程是具有实用、实效性的,其实用、实效性首先是由工程系统的功能体现出来的。因此,正确定位工程的功能、目标将渗透在工程理念、工程决策、工程规划、工程设计、工程运行、工程管理、工程评价的全过程中,功能化也是工程通过集成-建构等方法的目标性、目的性体现。对程序而言,功能化是共性规律。

5) 和谐化及其方法问题。工程涉及资源、能源、时间、空间、土地、劳动力、资本、市场、环境、生态和相关的各方面因素,进而必然涉及自然、社会和人文,这些因素反过来影响或制约着工程的可行性、合理性、市场竞争力和可持续性。因此,从方法论角度上看,工程与自然、社会和人文维度上的适应性、和谐化是十分重要的,

具有一般性意义。和谐化应是工程方法所应遵循的共性原则和规律。

3.1.2 关于工程方法和工程方法论的多种研究视野问题

工程方法是工程方法论的研究对象。但工程方法也可以是其他学科的研究对象,例如,工程方法也可以是各类工程学的研究对象、伦理学的研究对象、心理学的研究对象,历史学的研究对象,社会学的研究对象等等。也就是说,必须认识到工程方法是一个跨学科的研究对象,从而,在研究工程方法时,也会存在着多种研究进路和多种研究视野,出现了研究工程方法的多种视野问题。

同一个对象,在不同的观察、分析和研究视野中会显现出其不同的侧面和不完全相同的“图像”。由于在学科本性上,哲学学科具有与其他学科不同的“本性”(例如哲学具有最强的“概括性”);在学科分类体系中,哲学具有特殊的位置,这就使“哲学研究”可以在一定程度上——也仅仅是在一定程度上——“概括”其他学科的研究内容,于是,哲学研究应有概括其他学科的研究成果的特点。实际上,哲学研究如果脱离了其他学科研究成果的坚实基础,哲学研究就会难免陷于空洞与教条,成为“一潭死水”。

工程方法论是工程哲学的一个组成部分,在研究工程方法论时,研究者必须注意汲取其他学科中出现的工程方法的新成果,必须重视工程方法论研究视野和其他研究工程方法的视野的“兼容”问题。

3.2 工程方法的共性

工程方法论的基本内容是研究工程方法的共性特征。从哲学角度看,工程方法的以下四个共性特征是需要给予特别注意的。

1) 工程方法的整体结构包括硬件、软件和软件三种成分。

2) 工程方法以提高功效(效力、效率、效益)

为基本目的和基本标准。

3) 工程实践中不可能仅仅使用单一的工程方法,必须把所需要的诸多方法“集成”为一个“工程方法集”才能真正在工程项目中发挥作用。

4) 由于所谓工程方法集实际上也就是解决工程问题的答案,而工程问题的答案必然具有多解性,这就使具体项目的工程方法集都具有“当时当地性”和作为“工程问题多解之一的个性特征”,必须按照因时因地制宜的原则核查和评价它们运用的适当性和适用性。

一般地说,科学问题的答案具有唯一性,在不同时间、不同地方的科学家对于同一个科学问题,他们所得到的答案必然是相同的,这才使作为科学问题答案的科学理论具有了放之四海而皆准的普适性。可是,工程问题的答案不具有唯一性,对于同一个工程问题,不同的工程活动主体往往会提出“作为不同工程方案”的“不同的工程方法集”解决同一个工程问题,更由于“作为不同工程方案”的“不同的工程方法集”都各有自身的个性(相应地也就是各有优缺点),这就使每个“作为个别工程方案”的“个别工程方法集”都打上了自己的个性烙印,于是作为具体工程问题答案的工程方法集往往就会换了时间和地方就不灵,而绝不是像科学理论那样可以放之四海而皆准。在选择和评价工程方法集时,必须特别注意工程方法集的这个特性。例如,在时间 A,作为一个工程方案的工程方法集甲可能比工程方法集乙更好一些,但也有可能在时间 B,作为一个工程方案的工程方法集乙反而比工程方法集甲更好一些,如果有人在时间 B 不考虑时空条件而说工程方法集乙在任何时候都比工程方法集甲更好,那就不恰当了。

4 经验、科学、技术与工程方法

在工程方法论研究中,经验、科学、技术与工程方法的关系是牵涉面很广的重要而复杂的问题。以下着重从工程方法来源和改进的角度进行

一些分析和讨论。

在人类历史上,远古时代就有了工程活动,例如新石器时代、青铜器时代等;而科学的形成和出现则是晚近的事情。在科学出现之前,工程方法都来自经验。在科学出现之后,随之出现了科学与工程方法的关系问题。对于科学与工程方法的关系,对于现代科学对工程活动和工程方法的发展所产生的深刻影响,国内外已有许多分析、总结和研究,这里无需重复和多谈。这里要强调的是,在所谓科学与工程方法的关系中,虽然基础科学的发展也会对工程方法的发展产生影响,但影响最直接的是“工程科学”。

另外还有一个问题:在科学出现后,在工程活动中是否经验就不重要了,是否工程方法的发展就和经验无关了?这就涉及究竟应该如何认识经验、究竟应该如何认识工程中的经验问题了。

工程活动是具有时代性的活动,特别是不同工程项目往往体现在具有当时、当地性的专业活动。由于工程活动往往是确定性因素和不确定性因素混杂在一起的实践过程,是复杂系统的活动,在这类活动的过程中,经验仍是很重要的、不能摒弃的知识和方法。

从哲学角度上看,经验是人们在同客观事物直接接触的过程中,通过感觉器官获得的关于客观事物的现象和外部联系的认识。辩证唯物主义认为,经验是在各种社会实践中产生的、是客观事物在人们头脑中的反映。有时,亦指对感性认识所进行的概括,或指直接感受客观事物的过程。

科学研究的对象往往是典型的、有规则的,甚至是经过抽象、简化了的现象。这种抽象、简化的方法有时是在假定的、孤立的、无背景的、“纯粹”的条件下进行的。然而,工程实践、工程活动都是在不同的现实背景下进行的,甚至是“被

污染”的背景下进行的。在复杂的、特定条件下展开工程活动,仅靠理性的、确定性的方法往往是不够的;同时应该说,工程活动是不能完全脱离各种不同专业的经验,应该认识到经验也是一种方法。

各种不同专业的经验,实际上是未经理论化,或是难于理论化的知识和方法。经验应当看成是现实的知识和方法。中国古代所说的“意会”知识,许多现代外国学者所说的 tacit knowledge(有人译为默会知识,亦译为意会知识等),其中就包括了许多微妙的、难以言传的经验性内容。对于工程而言,经验是有用的、有益的,但同时要防止经验主义,墨守成规,阻碍进步与革新。

1990年,美国职业工程师文森蒂出版了《工程师知道什么以及他们是怎样知道的——航空历史的分析研究》^[7]一书。该书在1997年荣获ASME国际历史与传统中心的工程师历史学家奖,目前该书已经成为了一本影响很大的著作。文森蒂此书结合航空史中的几个具体案例——戴维斯翼型、螺旋桨试验、埋头铆接革新等——的分析阐明了工程知识和工程方法的特征。其中有关生产一线工程师和工人长期改进飞机制造中铆接方法的分析就是一个典型事例。这个事例典型地显示了经验的重要性,具有一定的典型性。不但在飞机制造行业而且在许多其他行业中,类似的事例也是不胜枚举的。

工程师在工程活动中常常总结和运用各种各样的经验公式,在工程活动中根据工程实践经验合理地确定安全系数的数值,这些都是反映经验方法重要性的常见事例。经验方法是工程从业者在长期积累的、有实践依据的有效方法,强调经验方法在工程方法体系中占有重要地位和作用是非常必要的。

钱学森曾经在《科学通报》(1957年第4期)发表《论技术科学》一文。1985年,钱令希院士为准备参加加拿大力学学会年会的报告而写信给钱学森请教“技术科学”的英文译法,钱学森回信说最好译为“engineering science”(“工程科学”)。钱学森一直坚持“技术科学是工程的理论”的观点。(钱令希:《祝贺与期望》,载于刘则渊、王续琨主编:《工程·技术·哲学》(2001年技术哲学年鉴),大连理工大学出版社,2002年,第8页。)

在认识“经验”的重要性时, 还需要强调指出, 随着时代的进步, 所谓“经验”的内容、形式和水平也是在不断提高的。在现代社会中, 由于不但科学的水平在不断提高, 而且经验的水平也在不断提高, 这就使得经验的作用和意义并没有消失。我们应该说, 经验在社会活动和工程实践中的作用和意义永远不会消失。

技术与工程的相互关系密切而复杂, 由于本书理论篇第二章中还会有进一步的讨论, 这里只谈一些总体性的看法。

首先需要注意, “技术”是一个多义词, 其内容、方式和含义既可有狭义解释也可有广义解释。狭义的技术只包括自然技术或广义物质技术(包括能源技术、信息技术), 而广义的技术则还包括社会技术(例如法律视为社会技术, 而企业制度涉及组织技术问题)。本书主要从物质性工程的狭义上理解技术。

在现代社会中, 技术的类型和形态多种多样, 以下依据其性质、功能和时空特点的不同——特别是其与工程活动的不同关系——将其划分为四种类型。

一是实验室技术。科技史告诉我们, 实验室的形成和发展现代科技发展的一件大事。实验室又有“科学实验室”和从事技术研发(R & D)的实验室之分, 虽然前者有时也与技术有一定的联系, 但后者——工业实验室和企业实验室——与技术的联系更密切。现代技术与古代技术的最重要的区别之一就是许多“现代技术发明”往往出自现代实验室(特别是工业实验室和企业实验室), 换言之, 实验室成为了把科学知识或社会需求转化为技术发明的“孵化器”, 成为了技术专利的“生产者”。在实验室进行的技术工作形形色色, 千变万化, 它可能是表现为技术发明、技术改进的技术, 也可能是新技术原理试验、关键参数测

试的技术等等。

二是中间试验技术。由于多种原因, 在实验室发明、“孵化”出来的技术——包括一些申请到专利权的技术, 往往并不能直接应用到规模化生产中, 要想把实验室技术转化为规模化生产的技术, 还需要经过中间试验这个环节。由于这个环节很重要, 绝不能将其视为走过场、可有可无的环节, 需要将其单独划分为一个类型。中试的作用和意义不但在于验证实验室技术的成果, 更需要补充相关数据, 实现工序/装置放大以及优化技术参数的测试, 深化对原型结构设计和模型运行的认识; 要确定、完善技术规范(即产品标准和产品工艺规程)或解决工程化规模生产关键技术。中试环节的工作包括: 经初步技术鉴定或中试阶段研试成功的样机(或样品), 为了稳定、完善、提高性能而进行的试验或试生产阶段的产品; 经初步技术鉴定或实验室阶段研试成功的新工艺、新材料、新设备等。

三是工程化技术即生产技术, 这是嵌入工程运行过程的技术, 是构成直接生产力的技术。它包括: 设计集成技术、建构技术、制造技术、加工技术、使用技术、维修技术等。

四是商业化技术即应对市场的技术, 主要是指以那些以经济价值、社会价值、市场价值为指向的技术, 包括品牌确定技术、推广使用技术、产品外观设计技术、促使经济效益扩大的营销技术、售后服务技术、市场信任度、美誉度的显示技术等。市场化技术与工程化技术之间有时会相互渗透, 虽然二者之间没有绝对分明的界限, 但也应该承认二者在基本功能和基本价值指向上确实也存在着明显的不同之处。

以上四种技术不但在自身性质上有重大区别, 而且在“资金资源需求量和效用效益获取”方面也显著不同(图3)。

技术哲学中对技术概念的解释, 可参考《技术哲学引论》(陈昌曙, 科学出版社, 2012年第二版, 第74~78页)、《技术哲学》(徐良, 复旦大学出版社, 2004年版, 第47~51页)、《技术哲学概论》(姜振寰, 人民出版社, 2009年版, 第45~54页)。

此处的“实验室”是各种“科技实验机构”的统称。

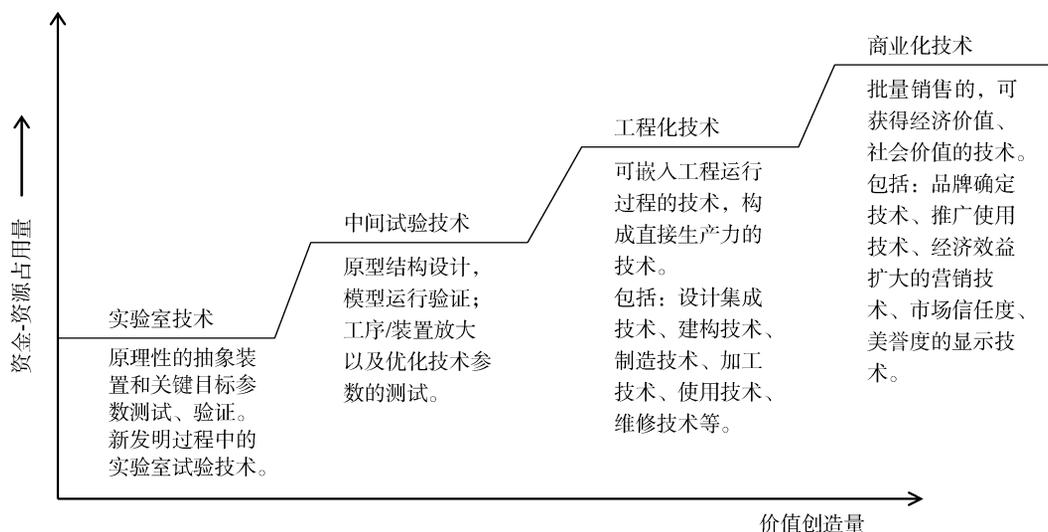


图3 技术分类及其内容、功能和转化示意图

虽然以上的分类和分析中已经触及了技术和工程的关系，但我们还是需要更具体、更深入地分析和阐述技术和工程相互区别、相互关联、相互作用的动态关系。

1) 技术和工程之间存在既有区别又有密切联系、相互渗透的关系。

技术和工程之间的区别突出表现为实验室技术不等于工程实践中使用的工程化技术（包括生产技术、建造技术、工程设计技术等）。如果忽视这种区别，强行把实验室技术——特别是不成熟或不适当的实验室技术——“生硬搬用到”工程实践中，往往不能实现产业化、工程化的效果，甚至有可能造成重大工程事故。

对于技术和工程之间既有区别又有密切联系的关系，我们可以概括为一组对立统一的命题：一方面，没有无技术的工程；另一方面，也没有纯技术的工程。前一命题肯定了任何工程都必须要有了一定的技术方法、技术条件为其前提和基础，否则就无工程可言，这就强调了技术对于工程的重要性。后一命题又肯定工程活动中不但包括着技术要素而且必然包括许多非技术要素（经济、社会、政治、生态、伦理要素等），并且有时其“非技术要素”甚至还要发挥比“技术要素”更关键的作用。如果进行工程活动时，其必需的“非技

术要素和条件（例如经济要素和条件、社会要素和条件、政治要素和条件等）不具备，工程活动往往也无从谈起，无法进行。在工程活动中，不但需要注意技术方法论方面的问题，而且需要注意有关的经济、管理、社会、文化等方面的问题。

2) 必须高度重视技术和工程之间的相互关系，这就是，一方面，一些技术引导和限定工程的发展；另一方面，工程又选择、集成和促进技术的发展。

在技术史、工程史和现实社会中，新技术引导工程发展方向的事例不胜枚举。在“朝阳技术”引导“朝阳产业”发展的时期，技术对工程的引导作用表现得最典型和最突出。在这些情况中，人们看到了技术对于工程的重要性、主动性甚至是决定性的方面。同时人们也要看到，由于无论在任何时候活动主体的技术能力都是有限的，这就使技术能力成为了对于工程范围、规模、类型和功能的限定条件，可以认为，这种情况也是从“负面”表现技术对于工程的重要性和限制性。

那么，在技术与工程的相互关系中，工程仅仅是被动性的方面吗？不是的。在进行工程活动时，往往会有多种技术路线和技术方案可供选择，这时必须立足工程、依据工程目的和要求对“候选技术”进行选择 and 集成，这就又显现了工程对

于技术的主体性和主动性的方面。工程的这个对于技术的主体性和主动性不但表现在那些“被选中的技术”和那些“被弃选的技术”上(在某些情况下,被弃选的技术可能是先进技术),而且表现在工程对于技术的集成活动和集成方式上。

在工程设计中,常常遇到如何处理先进技术与成熟技术的相互关系的问题。由于必须立足工程解决这个问题,于是,在不同的工程类型中、在不同的工程项目中,工程主体和设计师可能按照不同的方式处理先进技术与成熟技术的“比例关系”和相应的选择性、集成性等问题。

在认识和处理技术和工程的相互关系时,一个关键问题是技术的嵌入性问题。作为工程的要素,技术可能合理、有效地嵌入到工程之中,也可能无法嵌入工程之中,而只得游离在工程之外。很显然,游离在工程之外的技术不能发挥作用,技术必须嵌入工程才能发挥作用。所谓的“技术的嵌入性”,主要包括“适合选择性”和“可协调集成性”两重含义。前者是指对某一工程活动而言应该选择那种工程化技术和那种更适合工程需要的技术,后者是指在诸多适合工程化需要的技术之间如何才能相互协调、相互配合而“集成”为一个“技术整体”。

在认识技术和工程之间的动态关系时,技术类型和形态的转化常常是一个关键问题。

上文谈到了四种不同的技术类型,人们不但必须注意它们在自身性质、形态和功能方面的不同,更要注意它们的相互转化关系。可以说,对于从实验室技术向生产技术的转化环节和转化问题的重要性,虽然人们已有深切体验,但对这个转化过程和转化问题的理论分析和理论认识似乎仍然不足。在工程活动和市场经济中,实验室技术不能成功转化为工程化技术、中间试验失败、工程化失败、市场化失败的情况屡见不鲜。在现实社会中,能否成功地把实验室技术转化为工程

化技术、能否在中间试验中取得成功、如何在工程化和市场化条件下取得成功往往成为关键性问题。在这些转化过程中,不但需要解决许多新的技术问题,需要在技术方面有新的发展和新的进展,而且更要解决许多“非技术方面”的问题。

3)从哲学上看,技术和工程的关系常常表现为可能性和现实性的关系。一方面,技术为工程提供了可能性条件和可能性空间;另一方面,工程又表现为从可能性向现实性的转化场域,成为了“实现过程”和“现实存在”。从哲学上看,技术可能转化为“工程现实性”,但也可能在某些情况下出现“不能转化”或“并未转化”为现实性的情况。在经济发展和现实生活中,在技术和工程的相互关系中,形形色色的技术(特别是新技术)“能否转化”、“应否转化”和“是否转化”为工程活动,转化的条件、进程和后果如何,这些都不但是重要的理论问题,更是重要的现实问题。

5 结语

工程方法论的内容很丰富,很复杂。工程实践和理论研究都一而再、再而三地呼唤人们强化工程方法论意识,深化对工程方法论的研究,希望今后能够有更多的人关注工程方法论的研究和发展。

参考文献

- [1] 李伯聪. 21 世纪之初工程哲学在东西方的同时兴起[J]. 中国工程科学, 2008(3): 13-16.
- [2] 殷瑞钰, 汪应洛, 李伯聪, 等. 工程哲学(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 6, 15-16.
- [3] 维特鲁威. 建筑十书[M]. 知识产权出版社, 2001.
- [4] 闻人军. 考工记导读[M]. 巴蜀书社, 1996.
- [5] [明]计成著, 陈植注释. 园冶注释[M]. 中国建筑工业出版社, 1988.
- [6] 石里克. 哲学的转变[M]. //洪谦. 逻辑经验主义(上册). 商务印书馆, 1982: 9.
- [7] 文森蒂. 工程师知道什么以及他们是怎样知道的——航空历史的分析研究[M]. 浙江大学出版社, 2015.

Advances in Engineering Philosophy: Research on Engineering Methodology

Yin Ruiyu¹, Fu Zhihuan², Li Bocong³

(1. *Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China;*

2. *China Railway Corporation, Beijing 100038, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Till now, engineering methodology is a blind side in the fields of philosophy of engineering and general methodology. This essay analyzes and elaborates not only the relations among truism of science, technology and engineering, evolution of engineering, and ontology of engineering, but also the nature, characteristics and contents of engineering methodology. Engineering methodology is different from engineering methods. The former is a higher interdisciplinary theory of engineering methods but not engineering methods themselves. Researches on engineering methodology have different levels, including general level, industrial level and particular case study level. The relations among experiences, sciences, technologies and engineerings are also analyzed briefly.

Keywords: philosophy of engineering, engineering methodology; engineering methods; universality; industries; sciences