

关于现代工程知识的辩证思考

栾恩杰

(国家国防科工局, 北京 100048)

摘要: “工程知识的系统集成”是工程知识研究的重要内容。其基本内核是理论和实践的集成、经验知识与抽象知识的集成、自然科学知识与社会科学知识的集成。“分析—综合”方法的还原论与“全局观—系统”方法的整体论相结合是现代工程知识的辩证唯物论的基础思维。从现代工程知识的唯物辩证特征、现代工程知识的跨学科集成切入分析,提出了工程知识的实用性、工程知识的积累与追求、工程知识归纳的局限性、工程知识的两分观、现代大型工程的能力目标系统等概念,并认为人类社会必定在知识积累的过程中不断进步、在集成知识的创新中飞跃发展。

关键词: 辩证唯物论, 工程知识, 系统集成

中图分类号: N031

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2019)03-0272-09

在中国工程院资助的《工程知识论》研究课题里,“工程知识的系统集成”分析是其重要内容。在近一年的思辨过程中,笔者感知到,现代工程知识的集成本质上是理论和实践的集成、经验知识与抽象知识的集成、自然科学知识与社会科学知识的集成。从“系统集成”的这三个剖面分析现代工程知识时,既包含有牛顿的“分析—综合”的所谓“还原论”的方法(实际上是后人加在牛顿头上的“还原”二字),也包含着现代的“联系性—系统性”的所谓“整体论”的思考^[1,2]。

1 “还原论”与“整体论”的结合

说到“还原论”,还得从数学的“分析学”开始,在数学“分析学”产生的过程中,牛顿开始称其为“无穷的代数”。这使人联想到,历史上曾有人将代数戏称为“懒人的算术”。牛顿将微积分称为“无穷的代数”,也即初等代数的扩张^[3]。牛顿用形象语言描述的这个定义,表述的却是其分

析学知识的核心本质。后由韦达(Vieta)建议将“algebra”用“analysis”代替。现在,“分析学”已发展成为数学的一个重要分支。如果我们认为“分析—综合”是现代科学的一个方法论,并将近400年来人类科学活动所遵循的这个方法论归称为“还原论(reductionism)”^{[4]32},那么可以说,这一科学方法论始于一个基本的理性信条,或者将其称为一个基本的理念,那就是“部分可以重构整体”、“部分清楚了那么整体就可以明白”。而这个“追溯明白”的过程则是先将被分析的系统从大环境下分离出来,然后将这个分离出来的系统在保持“不受污染的清洁”条件下孤立起来进行研究,这个不受污染的清洁条件被称之为“理想状态”。余下的则是在理想状态下像剥洋葱皮式的一层层解析,由解析得到的成果反推向整体再一层层地“综合”,或者称其为“重构”,这样就构成了现代科学的一系列学科,这种“还原论”的方法为人类认识世界和改造世界发挥了决定性

的作用，并已经取得了辉煌的成功。

随着人类社会的进步和科学认识的发展，也即我们所能触摸的世界在不断扩大和深入，有些问题、矛盾和现象已经不是表达在事物的细分层，也不是产生在系统的低层次，而是产生在高层次、整体层次上。在这些层次上的大系统并不一定表现为一因一果或一果一因的线性推演，它更多地表现其复杂性、不具叠加性质的非线性、发展进程的突变和各类组织行为（时变、分岔、混沌、熵变、耦合、环境相关等），这个整体性的行为并不能简单地由子系统解析中得到。所以系统学将只在整体性描述中出现的性质称其为“突现（*emergence*）”。突现出来的新的性质不能由子系统解析中产生。

这就必然会引发一种新的思考，即如何突破“分析—综合”“还原论”的思维模式，从整体性去思考和研究那些只有整体条件下存在的现象和问题。美国科学杂志在1999年4月2日发表了一期“复杂系统”的专辑，在前言中以“超越还原论”的提法点出了“整体论”（*holism*）的观念。当以整体性去观察一个复杂系统的时候，可以看到一些系统中的单元（部分）所没有的东西，一些无法从个体（部分）单独推演出来的东西。小到分子，大到社会，都有大量的事实在彰显“整体不是部分的总和”。亚里士多德“整体大于部分之和”的表述更接近于整体的突现性。

现在“系统论”、“整体论”这样的理念已经被普遍接受，因为大量的现实都在说明，从整体的行为、整体存在的状态、整体演变的过程、整体遇到的矛盾和问题、整体带来的挑战和机遇都不同于单元个体的情况。“整体大于部分之和”这个命题是普遍存在的。

现代科学的描述框架，应当是以牛顿力学为代表的确定性描述和以统计力学、量子力学为代表的概率性描述的结合。在现实的科技工程领域里，比如在控制理论和运筹学等学科中则是两者

兼容的。

考察现代“整体论”的研究，在整体层面大系统的不确定性和复杂性表达是我们应当着重考察的主要问题。究其内因，则是由于系统中每个个体行为特征及其各个个体之间的相互作用、影响，相互激励、制约，并不是简单的线性表达，而是系统状态与关系的复合式表述，如果用一个表达式来说明的话，系统 S 是系统状态与相互之间关系的函数^[4]。

$$S = \langle A, R \rangle$$

系统 S 是由元素集合 A 及关系集合 B 共同决定的，在 A 、 B 之间存在着诸多状态的随机性、表述的模糊性、信息的失稳、不能通过以前经历过的行为来预测将来行为的混沌（*chaos*），以及系统控制参数变化到分岔点上出现的从一种定态向另一种定态的突变（*sudden change*）。特别是工程系统的突变往往是灾难性的，比如：桥梁突然断裂、房屋突然坍塌、炉罐突然爆裂、飞机突然失速。从系统学来看，渐变导致突变，对应着 $S = \langle A, R \rangle$ 中 R 的改变，即对应着系统结构稳定性的转化。在结构稳定的区域内系统存在渐变，一旦走出结构稳定区域，就会出现从此一稳定态向彼一稳定态的突变^[4]。上述因素的存在是系统整体性表现的内因。

如果不了解系统各元素的状态，不清楚组成系统的各元素的关系集合，就无法理性认识系统的内部细节与整体的相关；如果不从系统整体性把握系统的宏观表达，就看不到系统宏观与微观的巨大差异，这也是我们认识事物的重要视界。所以在研究工程知识论的时候，应当采取宏观上的系统整体论与微观上的分析—综合（还原论）相结合的辩证方法论。综上，可用《中庸》大哉篇的一句话“致广大而尽精微，极高明而道中庸”作为小结。这是以“分析—综合”还原论尽其精微而以整体性、整体论研其广大的有机结合。

2 现代工程知识的唯物辩证特征

研究思考现代工程知识的特点是非常丰富的一个课题, 现代工程的多样性使其特点、特征的归纳升华也必然具有多样性, 工程的跨领域、跨行业也使特点具有诸多的集成性、协同性。作为一种抛砖引玉式的讨论, 由于笔者所从事的航天行业并不能覆盖更多的产业, 所以只能是一孔之见, 权作“工程知识论”方面的一次探讨。

2.1 工程知识的实用性

2018 年新闻报道: “2018 年 11 月 5 日, 从美国旅行者 2 号传回地球的太阳风数据中, 发现粒子数量突然下降, 此时旅行者 2 号正处于 100AU 之外 (180 亿 km) 的地方, 科学家如是确认它已穿过日球层顶, 进入星际空间。”

这段描述中, 哪些是知识点呢? 在知识普及中, 要注重“情况”和“知识”的区别、“消息”和“信息”的些许差异。“人造飞行器到达 100AU 外; 太阳风粒子数突然下降; 确认已穿过日球层顶。”这几点只能说是一个测量结果的表述, 还构不成所谓的“知识”。而科学家对“已穿过日球层顶进入星际空间”的确认, 则具有“知识”的内容。可以从这里产生下述问题: 什么是日球层顶? 怎么判断它的存在? 它在太阳系空间内的特性与其他部分空间有什么差异? 为什么会有这些差异? 什么是星际空间? 这个空间的起点在何处? 它的特征由什么性质来表达? 进入星际空间后的人造飞行器轨道将有什么变化? 等等。对这些问题的思考和解答或者是对尚未确定问题的启发性思考才构成了所谓的“知识性”。知识是一个思考和追问的成果, 是终止于“实践”的认可 (此处的“实践”包括被证实、被承认, 并可以被实践)。

“信息对我们来说是指我们目前尚不知道的这些东西, 是一个不定性的变量, 也就是分析和处理这些信息所包含的知识量。”^{[3]1001}

本文所述的知识是指在人们的生活、工作、活动中所需要了解和知道的东西; 对某些特定人群而言, 他们对某些特定知识不仅要知道和了解, 还有更深刻掌握的需求。知识的力量是在人类实践中被认知的。

先哲亚里士多德认为“追求知识的理想才是绝对的光荣”^{[5]23}。但是古代圣贤亚里士多德定义的知识是最高层的哲学, 他在《形而上学》中有一段话, “探索哲理只是想脱出愚蠢, 显然, 人们为求知而从事学术, 并无任何实用的目的”。他在“求知、实用”之间, 给我们设置了一面隔板——“学术”, 使求知成为无实用目的的“形而上之物”^[6]。亚里士多德是继承其老师柏拉图的哲学理念, 他的最终目的还是在特殊中求得一般的结论, 坚持拒绝把实际应用作为理论探索的目的, 并且坚信理念才是人类实现的最高层次。

柏拉图对实用的否认是从两方面入手的, 一是他的理想国就是把那些从事哲学探索的人和那些从事手工技艺的人 (工程技术人员和实践者、工匠们) 彻底分开, 并给前者以更高地位。再是哲学家所寻找的唯一实在就是一般形式或理念, 而不是我们所熟悉的世界里的物体。这种“知识的探索”排除实用的偏见, 影响是极深的, 就连阿基米德这位物理学巨匠和发明家在他大量的著述中也都没有提到机械学和工程学的字眼^{[5]23}。

反之, 在公元前 5 世纪, 距今 2500 年前的希波克拉底时代, 为了找到治疗外伤、骨折和疾病的方法, 希腊医学就已经深入到解剖学、生理学的知识领域, 医生们从人类生存的实际需求出发

去寻找认知,从解剖动物和死刑犯尸体获取知识,使希腊医学成为欧洲科学的基础。正是“知识的实用性”推动了希腊医学的进步和发展。

“归纳法”的第一人英国哲学家弗朗西斯·培根提出“知识就是力量”^[7],他的这种实用思想与伽利略、笛卡尔、惠更斯以其才能贡献给人类技术进步的实践一样被言之为“功利主义”。培根的思脉是“从自然出发,得到知识,从而达到超出自然的力量”。所以培根认为科学的目的是超出自然而控制自然。他说“人的知识和人的力量合二为一,因为不知原因,就不知道结果,要命令自然就必须服从自然”。培根相信:力量的实用的、物化的结果将进一步证实知识的分量。知识为人类服务的实用性是其力量之所在,非此,“知识就是力量”则是一句空话。

2.2 工程科技知识之积累产生于人类工程活动的不断追求

如果没有好奇心,没有探寻根源的想象力和灵感的激发,人类就会失去对知识的渴望和不懈的追求。从这点看,知识是人们追求而得来的。同样对工程知识而言,它是人类在开展工程实践中所需用的认知,也是在开展工程实践中产生的认识,所以需求是工程知识的发源处。

美国科学发展协会(AAAS)主席阿兰·T·沃特曼将基础研究分为“自由”研究和“任务定向”研究(mission-oriented)^[8]。所谓“任务定向”研究是直接从“需求”中产生的工程知识的创新性开发,也即国内常提到的“应用基础研究”,它包括工程技术、工程知识这类工程学的内容,必定有其实用价值。

我国人工合成胰岛素晶体的发明是1965年世界医学界的重大事件,它的出现由人类控制血

糖治疗糖尿病的需求所推动;我国在1972年成功提取青蒿素,是国家征服疟疾工程项目的重大成果,其领衔科学家屠呦呦获2015年诺贝尔生理学奖,为祖国争得荣誉。在现代医学应对目前所谓“绝症”以及提高人类健康的挑战这两大任务需求面前,中国的医药工作者正在向新的知识领域进军。

思维的敏感和探索的坚韧是知识的特质需求。我们以“太空微波背景幅射”知识的获得为例。其故事的第一位主人公是贝尔实验室的一位工程师杨斯基(K.G.Jansky),他在建造岸—船通信装置时,发现信号中存在各种干扰现象。分析发现,耳机监测里除雷电因素导致的噪声外,还有一个稳定的嘶嘶声,有人认为那是太阳的辐射影响。如果事情真的是这样,那么追求活动也就到此为止,在“知识”的层面上我们没有任何“新”的认识产生,也仅是得到了一个具体的观测结果。但杨斯基没有这样简单地承认这个结论。他继续追求下去,按照理论的说法就是继续“在时域上观测其状态”的变化,当太阳离开他的观测区时,其嘶嘶声依然存在,这时的指向是银河系中心。他反复确认这个结果后,在1932年发表了一篇论文——在银河系中心方向探测到新的射电波,《纽约时报》为此做了专题报道。

这里提到的“银河系中心射电波”是知识吗?它仍然只是对一个观测结果的描述,只给了我们一个新的认识。从这个认知需求出发,杨斯基没有顾及科学界的冷淡,贝尔实验室的工程师们继续着他们对知识的渴求。1965年,他们制定了一个弄清这个“疑问噪声”的计划,由彭奇亚斯(A.A.Penzias)和威尔逊(R.W.Wilson)负责。他们将杨斯基观测方向从银河系中心扩展到太空的各个方向,按理论的说法就是“对太空背景进行

出自 F.培根, *Novum Organum*(1620)第一册.格言 3, 见参考文献[5]第 26 页。

全域”的考察,最终得到了“背景噪音的平滑分布”。这个“知识”的发布引起了广泛关注,我们现在将其称之为“平滑分布的微波背景辐射”(空间域的分布)。

这个知识的获得,引起了一个新的追求——“这个背景辐射向我们传递着什么更深刻的知识呢?”在这个追求和追问中出场的是荷兰莱顿天文台台长奥尔特(*J.H.Oert*),他在杨斯基的“时间域”、彭奇亚斯、威尔逊的“空间域”基础上思考。这个微波背景辐射除这两域之外,其平滑分布在频域上探索有无价值呢?如果这个“嘶嘶”声在频域上有某种特殊性,则这个观测对深空探

测领域恒星、气体云的研究都具有更大的价值。为此他和他的学生赫尔斯特在当时的“知识”可达的基础上提出了“背景辐射在特殊谱段存在的可能性研究”的课题,这是一个知识的探索,一个有创新思维的灵感激发,表明一位睿智的奥尔特存在。1944年他们从观测中进一步提出“氢原子跃迁”存在的极大可能性,他们的预想得到众多科学家证实,21cm的原子氢谱线使人们得到了银河系的原子氢分布。射电探测为人类探索太空打开了一扇窗口,时至今日,毫米波天文学已成为天文学、宇宙学研究的一个重要手段,也是一个重要的领域。相关知识探求的脉络如图1所示。

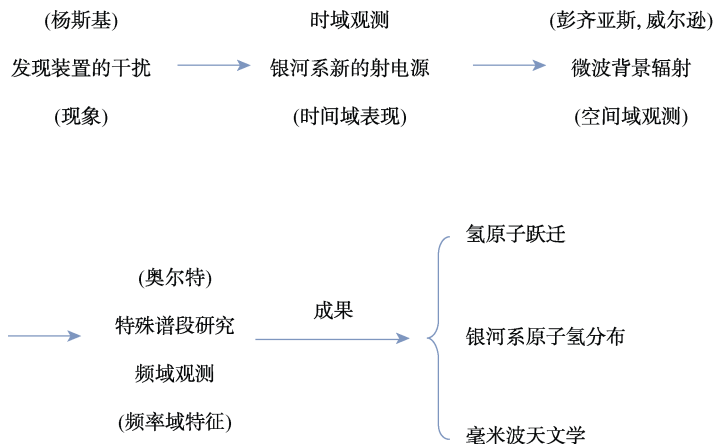


图1 太空微波背景辐射及其相关知识的获取脉络

上述每一步的深入探索都是在好奇心和想象力支持下促使人们不断追求新知识的产物。

工程知识在科学探索中的这种追求表达得十分充分,是需求推动着工程师的不断思索。怎么清除观测中的干扰、怎么判定干扰不是内部设备产生、怎么断定干扰不是太阳造成;怎么完成设备的时域跟踪;怎么完成全空域的稳定测量;怎么进行特殊频率段的测量;怎么处理所获取的数据……。没有相应工程技术的突破和保障,就实现不了这项科学的探索,反之也推动不了无线探测技术的进步和提高。

可以说,工程技术的进步、工程知识的积累是从人类活动的需求里产生的,并在不断深入的发展中得到提高。

2.3 工程知识归纳的局限性

工程知识是工程实践和工程理论研究中产生和提炼出来的,由于工程的目标设定和实施条件、环境的差异,工程知识的提炼必有与具体工程相适的归纳,而这个归纳对别类工程或同类工程的别类环境也必有其不适应之处。我们可以视为是“工程知识归纳的局限性”。工程知识并不都是放之各处而皆准的。

在研究工程知识的局限性这一命题时,务必要关注其局限性的特征,不可不加分析地复制与仿造推广。工程实施者必须经过对别人、别处的经验和数据、“边界、条件、要求”的约束等问题进行消化,要做到知其然且知其不可以然,然后

经过自己的再设计，方可以采纳应用。工程知识不可以盲目复制利用；“知识”的可用边界，不可随意逾越，这是工程知识的局限性特征。

在工程理论研究中，提炼的定义、范畴、指标、特征量……，大多是经由实物到模型的抽象，或是非线性到线性化的描述，或是将难以分析的复杂性变换成可以切入到主要影响因素分析的简单性上来；还需有将多因素分析变换为单因素分析后进行综合的方法。这些方法往往都没有摆脱牛顿的“分析—综合”法，也即所谓的还原法。经此得到的工程知识一定要在具体工程实践中去智慧地应用。现代工程往往是复杂的、非线性的且是多因素制约的，对工程系统的运行要求则是可靠的、精准的和安全的，且需具有较强的适应性和可维修性。这是现代工程师在“工程知识归纳局限性”特征下，创造性工作的激励，是继承创新、消化吸收经验的再创新，是产生工程知识原始创新的动力之所在。

由工程知识的局限性可以方便地得出：“在新工程任务不断产生的今天，其成功的工程知识的不充分性问题会更加显著表现出来。在不断变化的条件下，新的知识需求和新知识的产生则是与工程共生共进的”。这个推论将是现代工程师理性思维的重要内容，是新工程学产生的时代要求。

2.4 工程知识的两分观

本文从工程知识产生的过程和表现状态这两个方向去观察和研究工程知识的另一个特征：两分观。

(1) 工程知识是由应用基础研究与工程经验积累的两个部分所组成的。

狭义而言，工程知识是工程师已经从各种渠道获取的与工程有关的应用基础知识，和工程师自己（或同行工程师）在工程实践中积累的经验所提炼的知识。是向前人学、向外人学与自己感悟、自己学的组合。这是每个工程师必须具备的第一个两分观。

(2) 工程知识是经过成功的工程实践中验证过的成熟经验，和从失败、失利的工程实践的教训这两部分丰富起来的。

工程知识的精彩与智慧在于它有坚实的成果表示。如果说当今宇宙学之暗物质、暗能量、黑洞等等还有猜想的因素，激励人们去探索、去证实（证伪）的话，那么工程知识则是必须时时经受真实的考验。它的可实现性和实用性是工程师工程知识的承载体。

成功的工程经验和失败（失利）工程的教训，是工程实现性和实用性知识的两个来源。正是这两个充满活力的滥觞使工程知识得到不断丰富、越发精彩！

依亲身经历，笔者更看重那些失败（失利）教训所给予的启示和警告、思考与省察，这在我们工程知识的成熟上起到的作用是胜利的经验所不可比拟的。

3 跨学科集成的现代工程知识

现代大型工程是由一系列“能力”组成的“目标系统”。这个定义初看起来只是将“能力”作为一个概念单元来表述工程系统，实际上这个定义更应当重视的是“一系列”这三个字。从工程系统组成的纵向剖面看，它是由数层子系统组成，也即由数层“能力”组成。工程目标无疑是要实现一种功能，而工程则要提供实现这种功能的能力，所以从工程目标实现这个剖面分析，必然是以一系列能力来定义的。

为了将其具体化，不妨以我国月球探测一期工程为例。这个工程的目标是“将中国研制的探测器送到月球，对月球进行遥感探测，有效探测时间大于六个月，以得到月球全月面的光学影像、微波影像为主（以物质分布探测为辅）的成果，并实现探测数据的完整、准确的传输和地面接收”。以“能力”来描述工程的总目标，我们必须具备以下四种能力。

(1) 进入能力。包括将带有有效载荷的飞行器

送入地球轨道的能力 ;将地球轨道上的飞行器送到地月转移轨道的能力(或者具备直接把有效载荷飞行器送入奔月轨道的能力); 将进入月球引力影响球的飞行器引导到环绕月球轨道的能力 ;将飞行器的轨道控制到对月球进行正式观测轨道 (工作轨道) 的能力。上述能力统归于完成一期探月工程(绕月) 的“ 进入能力 ”。

(2) 探测能力。即为完成工程的科学目标所确定的任务能力。包括研制、生产、交付满足探月工程全过程、全寿命周期、全指标实现的探测仪器能力 ;探测仪器在轨工作期间所需工作条件与工作环境的保障能力 ;探测器准确观测、数据搜集、存贮、工作状态、按指令下传及月—地指控指令实现的能力。上述能力统归于探测器工作的实现能力。

(3) 地月测控和信息传输能力。这次任务是当时我国飞得最远的飞行器 , 它的测控、信息传输能力是我们的重点着力之处。它包括 : 地面指控系统对飞行器的各段工作状态的感知、跟踪能力 ; 根据调相轨道实现的状况进行综合判断 , 并对轨道调整进行决策 , 使奔月全过程受控的能力 ; 保障地月上下行链路信息畅通、故障处置、应急预案实施的能力。上述能力统归于地—月测控能力。

(4) 工程保障基础能力。包括满足探月工程所需的发射场条件 , 以及执行任务所需的发射条件 (如发射日、窗口时、气象、风场、测量船、测控点配置等); 重要时段和空间的测通及安全保障、不利状况的预报和应急 ; 发射场工作阶段 , 特别是转移、加注、点火过程中各类风险的应急处置能力。基础能力里还包括 : 科学数据获取后的科学家利用、研究、形成认识和成果能力 ; 实现工程总目标的系统工程能力。

从这个具体工程的分解而言 , 它是由四个能力来支撑工程目标的实现的 , 而这四个目标里 , 又有若干子能力来支持。同样分解下去 , 则每个子功能又是由若干个下层功能的集成来实现的。

所以一个工程从其组成架构而言是“ 系统—分系统—子系统—单元—器体 ” 组成 ; 从其功能

架构而言 , 则是“ 工程目标—分系统功能—子系统功能—部件功能 ” 支撑的 ; 从其知识架构而言 , 则是由各层次的一系列“ 知识 ” 集成而实现的。

在上述探月工程的例子中 , 其知识层面的架构里 , 每个能力的实现所需的知识、所属行业和领域、学科和专业 , 都有所差异 , 大多数是跨领域、跨学科和跨专业知识集成。从一级学科而言 , 它要涉及运载、动力能源、信息、控制、生命保障系统、材料、化工、天体物理、轨道、数学 (模型与仿真)、纺织、火炸药、核物理、光学、统计、技术基础 (质量、计量、标准)、系统工程等等。这张表如果再延伸下去 , 它所涉及的知识将呈现链式反应式的扩展。

现代大工程知识的跨学科集成性愈来愈突显。

4 现代工程知识的创新需求

“ 创新 ” 于当代是一个普及至广的“ 常态 ” 词 , 而且创新已与社会发展、企业生存、国家进步相关联起来 , 可见创新的重要地位。

笔者在高校给师生们做讲座时曾将创造、创业和创新并列提出来 , 并以 MIT 培养人才的状况为例 , 大致将人才类别分为三种 : 创造型人才、创业型人才、创新型人才。这里的创新也是以“ 改写过去 ”、“ 颠覆原态 ” 为主调来理解的。本文只是就现代大工程必然会有“ 产业集成创新 ” 这样一个特点出发来加以讨论。

从工程知识所具有的知识集成的复杂性 , 以及对一个具体工程所涉及的“ 知识域 ” 中的知识所具有的技术成熟性这个视角而言 , 所谓的“ 技术 ” 大致可以分为三类 : 通用技术、成熟技术和工程所需的待开发技术 (亦称需突破技术)。

有学者可能会说 , 还有很多可能引发工程的革命性变革的技术或颠覆性技术呢。从“ 工程 ” 或“ 已确定的工程 ” 而言 , 它的目标是已经被确定 , 它的规模是被限定的 , 它的经费数是被约束的 , 它的可靠性、安全性、运行保证都有严格界定的条件 , 所以它不应有无期限探索的可能 , 而

是应建立在通用、成熟和可预期突破、无颠覆性失误的技术支撑下进行的。这三类知识可以涵盖工程知识的类型。

对于通用类技术，它不是某一具体工程所独有，对工程知识而言，属于常识性一类，它有一整套规范约定，是执行性的知识群。

所谓成熟技术，它有类似工程的案例经验、有比较完整的可借鉴的方法和手段，这些成熟的知识在具体工程任务的实施中进行适应性的完善外，其应用是可信的。

所谓“需突破技术”则是在“工程可行性论证”中，确认可以在工程任务实施周期上实现突破的新技术，大部分表现在技术状态和技术指标的要求与现有“成熟技术”有较大的提高，或缺少成熟的国内案例支持，但有突破该技术的知识基础、设施，以及突破该技术的技术路线也是基本明确的。以笔者从事过的航天型号工程而言。每个新技术战术指标下的型号系统大约需要十几个关键技术需要突破，大约占型号系统重大技术项目数的30%，成熟通用技术则占70%左右。如果新技术数量少于10个，则其继承性较好，但整体指标的先进性和博弈的优势可能难以实现。如果新技术大于30%，则其突破关键性技术的目标难度会增加，可能给工程带来较大风险，出现“进度后推、指标下降、经费超支”的问题，我们曾遇到过这种尴尬的局面。

在关键技术突破的需求牵引下，推动着新技术的研究和工程实现，在工程实现的过程中也同时实现了新技术的基础理论、基础工艺、基础条件的成熟。这个逻辑中间的新技术基础，就是我们所说的“创新”，即工程对创新的需求也是对创新的推动。

二战时期空战作用的强化，对制空权的需求推进了整个航空业的发展。各类战机的威慑又促进了侦测技术——雷达的出现；雷达系统的成熟和布署，构成了防空系统的完善和对空中战机生

存能力的挑战，从而激起对雷达的隐身技术的研究。在这种需求推动、技术创新的博弈下，空中武器系统、地面防御系统的军事工程在“需求—创新—新需求—再创新”的反复中实现着航空器（飞机）和探测器（雷达）的不断进步，时至今日，仍处在“现代工程知识的创新需求”一个波次接着一个波次的浪潮中。

现在这个浪潮的波峰是“轻质、高强、多批、有人/无人机动、高超音速”的空中系统，以及“广域、广谱、快速反应、多目标预警和有效打击”的地面系统的工程知识创新。

向“传统挑战”、向“不满意”发威，这就是创新的源泉和动力，获得的成果一定会具有某种颠覆性。这应当成为我们的共识！

在矛盾中产生动力，在困难中逼出方向；在技术进步中探索出路，在工程实践中获得成果；在积累知识的过程中人类在不断进步，在集成知识的创新中社会在飞跃发展。

这就是辩证唯物基础的现代知识为我们提供的认知，是创造奇迹的伟大知识的力量！

参考文献

- [1] 栾恩杰. 国家重大工程是科学进步的牵引力[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2015(4): 317-322.
- [2] 栾恩杰, 孙家栋. 首次月球探测工程中的系统工程理念[N]. 人民日报, 2008-1-10.
- [3] 王元主 编. 数学大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [4] 许国志. 系统科学[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
- [5] 司托克斯 著, 周春彦, 谷春立 译. 基础科学与技术创新: 巴斯德象限[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [6] 亚里士多德 著, 吴寿彭 译. 形而上学[M]. 北京: 商务印书馆, 1984: 10.
- [7] 培根 著, 许宝联 译. 新工具[M]. 北京: 商务印书馆, 1984: 10.
- [8] Alan T. Waterman. The Changing Environment of Science[J]. Science, 1965, 147: 13-18.

Dialectical Reflection on the Modern Engineering Knowledge

Luan Enjie

(State Administration of Science, Technology and Industry for National Defence, Beijing 100048, China)

Abstract: The “system integration of engineering knowledge” is the important content of engineering knowledge studies. The basic kernel of the system integration of engineering knowledge is the integration of theory and practice, empirical and abstract knowledge, and natural and social sciences knowledge. The fundamental thinking of dialectical materialism of modern engineering knowledge is the combination of reductionism with “analysis-synthesis” method and holism with “global-system” method. In terms of the characteristic of dialectical materialist and interdisciplinary integration of modern engineering knowledge, this article will focus on the issues of the practicality of engineering knowledge, the accumulation and pursuit of engineering knowledge, the limitation of induction of engineering knowledge, the dichotomy of engineering knowledge, and ability aim system of modern large engineering. The article believes that human society will make continuous progress in the course of knowledge accumulation, and make rapid development in the course of innovation of integrated knowledge.

Key Words: dialectical materialism, engineering knowledge, system integration