

迈向中国工程学：关于工程知识论的若干思考

栾恩杰

(国防科技工业科学技术委员会, 北京 100048)

摘要: 工程知识集成是现代工程学的一个重要理念, 而工程知识扩展及集成的创新功能是在工程运行中产生的。这在当今“巨型规模、多学科融合、多领域集成”的长周期工程建设中体现得尤为突出。现代工程技术就是在大型计算技术支撑下的知识系统集成, 这在AI技术深化和普及的状态下已经成为世界各国工程界的共识, 而基于模型的系统工程(MBSE)则是与工程知识系统相对应的系统知识工程。中国学者应当立足人工智能最新发展, 借鉴基于模型的系统工程思想, 总结探月工程这类重大工程的实践经验, 致力于发展中国特色的工程学, 以便更好地服务于未来我国的重大工程实践活动。

关键词: 系统工程; 基于模型的系统工程; 人工智能; 中国工程学

中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-4969(2021)05-0463-08

引言

工程知识论是工程哲学的最新发展。从工程知识论的观点看, 知识是工程的基本元素, 而工程实践就是工程知识的集成过程。可以说, 工程知识集成是现代工程学的一个重要理念, 也是一个重大特点。《工程知识论》一书第二章“工程知识集成”对此已经有了较为充分的讨论^[1], 具体阐明了工程知识扩展及集成的创新功能是在工程运行中产生的。这在当今“巨型规模、多学科融合、多领域集成”的长周期工程建设中体现得尤为突出。《工程知识论》一书的出版和工程知识的集成性研究必将引起工程师们在工程思维、工程实践和工程运营等方面的知识论思考和提炼, 也必将提升人们关于工程知识集成性的理论认知。我相信, 这将是我国工程界关于工程知识深入思考的一次重大推动, 它必将在我国工程实践中形成具有中国特色的以实践理论为基石的系统工程

运行学, 并使其逐步成熟和不断创新。

鉴于系统工程已经从2.0版走向3.0版即“基于模型的系统工程”, 中国学者应当立足人工智能最新发展, 借鉴基于模型的系统工程思想, 总结探月工程这类重大工程的实践经验, 致力于发展中国特色的工程学, 以便更好地服务于未来我国的重大工程实践活动。

1 “道行之而成”的工程知识观

庄子在其《齐物论》中有这样一句话:“可乎可, 不可乎不可。道行之而成, 物谓之而然。”意思是说“可有可的道理, 不可有不可的理由。道路是人走出来的, 事物的名称是人叫出来的”。这段话于我们在研究系统工程问题时提出的“运行论理念”^[2]相一致, 这个观点已收集在《工程知识论》的系统工程学“运行学派”的定义中。它是“道行之而成的唯物史观”在工程学中的概念扩展, 而书中的“工程知识扩展及集成的创新功

能是在工程运行中产生的”^{[1]103}这个论点在当今“巨型规模、多学科融合、多领域集成”的长周期工程建设中表现得尤为突出,“道行之而成”的理念表现得更为明确、清晰和深刻。

纵观人类科技发展和工程实践的历史,“需求”是科学发现、技术进步和知识增长的根本推动力。“只有运行才产生工程系统的知识和系统工程的理念和方法”^{[1]103},这正是系统工程运行学派的方法论。系统工程是工程运行的需求,它的知识和学科建立都依其运行而成,体现了庄子“道行之而成”的理念。这个理念既符合实践论的观点,也符合工程学的规律,而系统工程知识正是工程运行的产物。

我们可以看到这样一个逻辑链:工程系统的实施需要知识→系统工程伴随工程系统而共生→系统工程的知识在工程系统的运行实践中丰富和完善。在这个逻辑链中,知识成为实践的“第一桶水”,而实践则推动了新知识的产生和原有知识的丰富或升华。知识在工程设计、工程建设和工程运行中得到不断完善。在这个发展进程中,工程物是物化的知识或知识的物化,而知识则是人类认识世界、不断适应自然界的积淀物。这个积淀物表达了人类的文明程度和人类的生存能力。这就是“道行之而成”的工程知识观。

2 知识作为工程的元素

牛顿力学的方法论基础是将研究对象视为质点,而牛顿力学所表达的是理想质点之间的相互作用。小到分子大到星体,它们之间的相互作用可以表达为与质量成正比、与距离的平方成反比的万有引力定律。实际上在牛顿之前开普勒已经根据第谷的观测数据将行星观测数据拟合为椭圆方程。按现在的AI思维,将大量数据(观测量)输入到深度神经网络,也可以学习得到二体运动的二阶微分方程表达式,当然这个过程是在我们已知万有引力定律的背景下进行的,但相信总有一天,人工智能(AI)技术能够从海量数据中“发

现”基本规律。

如果我们将理想质点与化学元素以及计算机数据都统视为研究科学技术问题的原材料,那么人们一定会提出一个与之相似的问题,即工程学的原材料是什么呢?

工程是一个知识集成物,从工程知识论层面去看待工程,它的基本元素应当是“知识”。工程知识是工程的原材料,而工程知识的集成则是这些元素的集成物。

当前,AI之所以如此引人注目并得到快速普及,其原因无非有四条:计算机能力的提升、机器算法的发展、开放的源代码库、海量数据集的增加。这四条可以简称为:算力、算法、代码库和数据。其中,前三条是AI工程化必备的条件,犹如建筑房屋的土地。但是单有土地还不能建成人类可利用的房屋,所以它们并非AI工程的基本元素。只有数据才具有基本元素的特征,在现阶段(弱人工智能),有什么样的数据就会有什么样的AI。

那么数据是什么呢?我们这里所说的“数据”,是指与工程指标相关的那些参量的数据,也即AI技术中所谓的达到AI系统性能所需的那些数据。这些数据将是进行AI运行的“第一桶水”,而数据的选择和使用则构成了AI工程的基本问题。

人工智能是由一系列功能定义的,而不是由实现这些功能的特定技术方法定义的。通过剖析这些功能,可以发现其基本功能块是基于“如果给定输入 x ,则得到输出 y ”这个规则设计的^{[3]9}。1997年击败国际象棋冠军的“深蓝”(Deep Blue)的计算机代码算法就是由程序员手写的。这个“如果 x ,则 y ”的功能模块体现的就是知识。没有人类的知识,就形成不了逻辑链的基本功能块,也就不会有人工智能的产生。由于这些功能模块是手工完成的知识系统,因此可以称为“手动知识系统”(handcrafted knowledge system)。只要有了上述基本的知识块“如果 x ,则 y ”,当成百上千

甚至上万、上百万这种基本元素组合成为“程序”时，就能得到一个似乎很聪明且很实用的机器系统、识别系统、博弈系统，也就能使旧的工程系统在启用 AI 技术的系统工程下变得很有“智慧”。

现在很时髦的所谓“机器学习”(ML)与手工知识系统(HK)的区别不是别的什么，而只是“知识的来源”。手工知识系统是人手工编写知识块来提供知识，而机器学习系统则是依靠自行生成规则来提供知识。人类向系统提供训练数据，在这些数据集上运用算法，就可以实现“数据输入 x ，提供正确的输出 y ”这个知识块。

既然数据是 AI 系统的原材料，那么数据的质

量、数量、代表性和状态覆盖性就直接关系着学习系统的运行性能。在多个数据生成知识的机器学习系统中，人类的作用表现在选择算法和数据集、格式化数据、设置学习参数和解决方法等方面。

我们在讨论手工识别系统、机器学习系统时，都是将知识作为原材料来加以分析的。如果画成一个逻辑链，可分别表述为图 1、图 2^{[3]13}。

在图 1 和图 2 中，手工知识 AI 和机器学习 AI 都是以运行输入数据作为系统软件的输入（不论是传统软件还是 AI 软件），而输出都是运行输出数据。这个过程在模式识别、图像分析、语言翻译、内容生成和语言转录等领域都有很成功的示例。

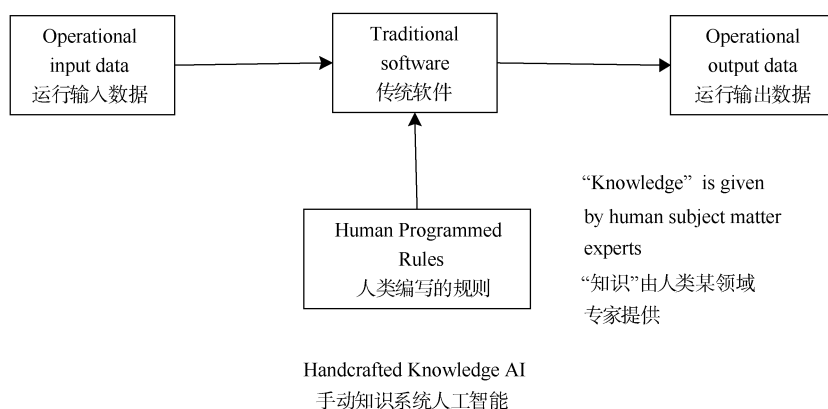


图 1 手工知识系统人工智能逻辑链

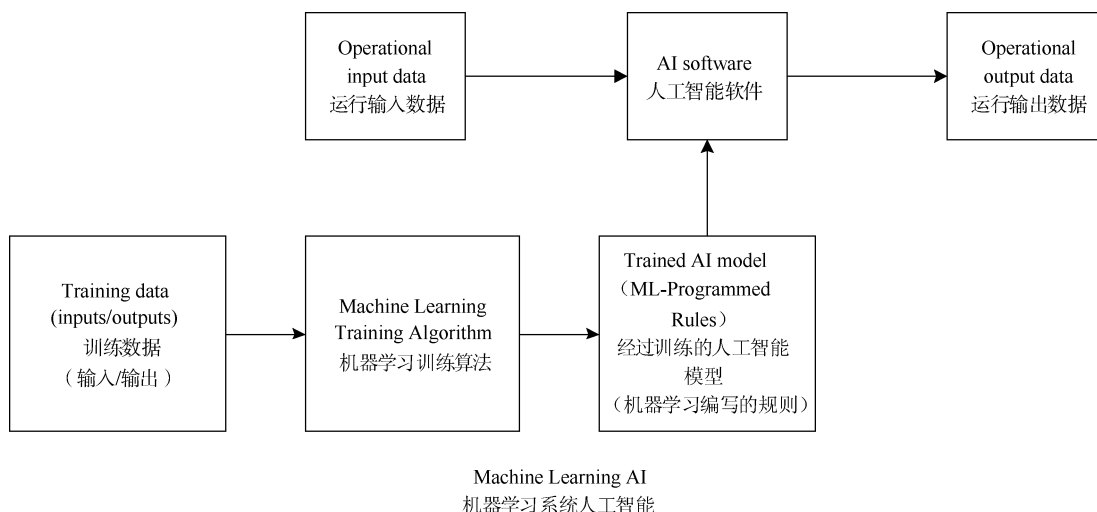


图 2 机器学习系统人工智能逻辑链

以上说明反映了数据作为 AI 的原材料所占据的工程定位, 它既是系统的输入也是系统的输出, 而数据是以基本知识元素“如果-那么”构成的一串串程序。“知识”在 AI 中的“基本、基础、原料、元素”的作用, 已经充分表明在现代工程知识论中。用抽象的语言表达, 工程知识已经成为工程的输入, 也是工程的输出。这也表明, 所谓的“软件定义系统”“软件定义产品”等表达确有其合理性。

3 工程知识系统与系统知识工程

工程知识集成是现代工程学的一个重要理念, 也是一个重大特点。但是, 关于“当前工程技术是由大型计算技术支撑下的知识系统组成”这个认识, 则是逐渐被理解的, 且在 AI 技术深化和普及的状态下才在各国工程界得到共识。不仅如此, 在“知识系统”这个概念下, 已经派生出诸多新型的知识系统学科, 而 AI 则具有形成和定义知识系统的意义。基于模型的系统工程(MBSE)则是与工程知识系统相对应的系统知识工程。

MBSE 的产生不是工程师们利用计算技术发展而进行的工程游戏, 而是有深厚的背景: 现代工程系统的规模增大、子系统(分系统)工程层次的增多、工程运行环境要求的扩展、工程性能及可靠性与安全性要求的不断提高, 使得工程系统的复杂度也在不断增加。首先认识到这个问题并给予高度重视的当属美国 NASA。

在工程规模和复杂度不断增加的情况下, 工程师将如何面对这个局面? 工程师要以什么方法解决现代工程的多学科、多领域技术集成下的工程系统设计和系统工程实施? 如何保持各层分系统对全系统全状态透明? 复杂系统的系统间、系统级及系统环境之间交互耦合的有害性如何分析? 潜在风险的存在以及如何在设计阶段就使其消除? 在缺乏知识的条件下如何建造一个能可靠实现复杂系统功能的系统工程体系, 使系统工程从现在的基于成熟度较高的工程系统向应对成熟

度有待提高的复杂系统转变的新的系统工程模式。将这些问题总结成一句话就是: 找出一个新的系统工程方法或工具, 以应对信息化知识工程的复杂性需求。

20 世纪以来, 美国 NASA 研究者在复杂的深空探测任务推动下提出的 MBSE 很快得到 NASA 各有关中心的支持^[4]。我当时不大清楚 NASA 为什么不固守原来成熟的以标准和规范为基础的系统工程理念, 而改变为基于模型的系统工程。而“模型”在我的印象中无非是技术系统建模而利用的方法, 也即在控制系统中的设计模型、仿真模型和各种验证模型, 并不理解“基于规范”的系统工程怎么变化为“基于模型”的系统工程。鉴于条件与性能之间存在的诸多逻辑因素而构成的关系将是一个立体的相关性结构, 在复杂的深空探测工程中怎么组织和表达这些复杂系统的相互交叉关系? 基于模型的系统工程怎样解决这些问题? 我国深空探测任务(特别是我国的火星探测)中对此有什么迫切需求? 这些问题使我对 MBSE 产生了极大兴趣, 随即向中国航天战略研究院索要原始资料。这就是我关心 MBSE 的初衷。

航天战略研究院于 2012 年组织了专题队伍。2018 年国防科技工业科技委设立专题开展研究。课题组在科技委组织下召开了 7 次汇报会, 并逐步进入专题分析和调查阶段。这个阶段可以称其为“学习、提纲、概念、分析阶段”, 2020 年进入“案例调研、方法研究、试行运行”的“深化论证”阶段。因为 MBSE 是一种方法、一个理念、一个体系, 所以它与实际工程是紧密结合的。它是一个知识工程, 也是一个系统工程的知识体系。它的基本理念符合我们提出的“工程知识集成”这个现代工程学思想。

笔者认为, 目前开展 MBSE 研究应当统一到以下五点认识, 即有关“MBSE 的认识提纲”:

第一, 我国的系统工程至今已经过原始阶段(如我国的都江堰工程、长城工程、紫禁城工程、大运河工程、“两弹一星”工程等)和规范标准阶

段（在我国“两弹一星”完成后总结其任务和经验后）。由钱学森主倡的“系统工程”开始在航天工业（国防工业）内执行，主要表现在对工程的总体性、整体性、顶层性、系统性、综合性、验证性、试验性、接口协调性、指标匹配性，总体部、总指挥和总设计师系统、分系统及配套组合，技术基础建设（计量、标准规范、质量），各种能力的基础条件建设的认识和把握，这个阶段的系统工程可以称为基于规范的系统工程（或基于标准的系统工程）。如果将原始阶段的管理（为完成一个具体目标而进行的独立工程管理）作为系统工程的 1.0 版本，而基于规范的系统工程则是 2.0 版本，在应对复杂系统的信息时代，我们的系统工程作为工程知识体系的整体性和集成性而言，“基于模型的系统工程（MBSE）”就是其工程知识体系的 3.0 版本。

第二，MBSE 是由基础模型块组成的知识架构，这个架构不仅仅是一种管理规范，而是使系统工程成为一门科学学科的开拓性起点。

第三，MBSE 是一个知识体系，所以它必须由专业工程师和系统工程师的合作才能完成。没有专业工程师的参与则缺少基于模型的“模型基础”，如果缺少系统工程师参与则形成不了全系统技术模型的集成，也就构架不出完整的系统工程运行。

第四，技术建模产生于技术实践、抽象于知识基础，所以技术模型是工程的知识模型的核心部分，它产生于对专业知识的分析利用和建模的理论支撑，其工程知识中计算技术、经验数据以及 1.0、2.0 版本下的系统工程实践，构成了 MBSE 的基本知识要素（这个基本知识要素由“建模知识、计算知识、技术与经验知识”这三类基础知识组成）。

第五，MBSE 是复杂工程系统中相关知识进行综合和集成的方法，而模型是表达系统知识的相关性，所以它是一个工程系统整体的综合、协

同和集成。在时域上它是表述全系统“功能实现”和“状态转换”的运行关系与运行结果。所以 MBSE 是工程系统设计、仿真、验证的方法、工具和相应的技术。

MBSE 将是系统工程作为一门学科新分支的开拓性起点。任何一门学问能成为一个科学学科的现代标志（新分支）不是它的知识结构，而是其知识结构是不是已经抽象为数学描述。我所讲的系统工程将成为一门学科也在于它的描述不只是语言叙述，而是建筑在一个个严格的数学表达式的建构中。任何一个工程系统，它的工程知识体系中器件的、部件的、分系统的、系统的、整体工程的各个层级，在性能、状态的模型中都是由“输入 x —输出 y ”的一系列功能块的逻辑下表达的。它所以能进行模型描述，就在于它的表达方法。中国航天系统科学与工程研究院邓晨晟、毛寅轩等四位学者在《基于模型的系统工程的应用及发展》一文^[5]中转述了美国学者 Wymore 所说的话，“通过严格的数学表达式对系统工程过程中各种状态和元素进行抽象表达的方法，并以数学形式的模型体系建立系统工程中各种状态元素之间的联系，这是面向系统工程的模型化描述方法的雏形。”^[6]

针对工程系统的软件知识体系也以建模方式用于 MBSE。1997 年“目标管理组织（OMG）”发布了一种统一建模语言（unified modeling language, UML）用于软件工程过程的建模。国内也在开展用于 MBSE 的软件建模标准化研究^[7]。我国航天系统工程处于规范化的、标准化的系统工程（也即 2.0 版本）的成熟期，它支持了我国国防发展和航天工程的现代化，使我国从航天大国走向航天强国的发展之路。在航天强国建设的系统工程也将以建设具有中国工程特色的“基于中国航天知识体系建造的模型化的系统工程”来适应新时代的要求，它既有国际发展趋势的推动，也有我国航天发展的需求。我们进行基于模型的

系统工程的核心动力, 是我们有充分的案例和数据、有丰富的各分系统的模型基础, 因而完全有条件进入模型化的系统工程阶段。这是中国航天工程知识体系成熟的体现。

MBSE 的工程知识是研究和建立基于模型的系统工程, 以及复杂工程系统是工程知识集成的核心理念, 是我要重点论述的观点。INCOSE (系统工程国际委员会) 在《系统工程 2020 愿景》中将 MBSE 定义为: 对系统需求、设计、分析、验证与确认等活动的建模行为的形式化与标准化的应用, 这种建模应用从系统概念设计阶段开始并贯穿系统开发及之后的生命周期^[8]。这个系统工程过程不再是过去各个阶段的一种过程性说明, 而是其建模行为的一种形式化与标准化, 是从系统概念设计开始一直到生命周期结束的全过程、全系统的系统性开发。而工程系统 MBSE 的开发是在基于模型的设计 (MBD) 和计算机辅助设计 (CAD) 的基础上进行的, 与其不同的是它是面向系统工程过程的建模, 重点在 MBD 和 CAD 没有关注的系统需求、系统分析、系统设计、系统验证 (不是仅单机、单环节、单系统的) 等过程中涉及的分析, 并将其模型化。在这些模型的支持下保证工程系统的正确组成, 实现与系统论证的一致性与可追溯性, 也即 MBD、CAD 面向技术设计而 MBSE 面向系统工程。如果说 MBD、CAD 是工程师技术知识的模型化, 而 MBSE 则是工程师工程知识的模型化。这两部分知识是现在工程知识体系的两大支柱^{[2][12]}。

据 OMG (目标管理组织) 2010 年的调查表明, 美国国防军工企业的 MBSE 应用情况是: 47.2% 已经将系统建模集成进入流程, 24.1% 企业正在制定建模计划, 19.1% 正在考虑制定计划, 仅有 9.3% 尚无安排。强国“工业 4.0 实施规划”将“利用模型掌握系统复杂性”列入未来的 8 项重大活动之一。

就软件复杂度而言, 工程知识体系建设也

到了必须研究和重视的阶段。在“八八论坛”的组织下, 我国的软件复杂度研究已经取得诸多共识。

复杂系统的庞大信息量和数据量使得呈现在我们面前的是其数据的极度分散性、有用数据的缺乏性、公用数据的分离性、数据在时域和状态域的残缺性和矛盾性; 数据定义的模糊性、理解的歧义性、导致系统集成时的误解和漏洞; 复杂系统中某些数据 (参数) 的更改难以在细节处及时准确改进, 且系统性功能的增加往往倾向于利用软件更改, 从而导致软件复杂度增加; 软件系统及全系统状态的全域覆盖性测试、测试环境与实际使用环境的差异导致性能适应性不足。我们希望类似这类问题在建模基础上能够得到有效解决, 或至少能够得到缓解。

NASA 已经明确要求, 各系统论证的交付物必须是模型, 而不能是一种描述性语句。洛马公司潜艇团队则将原来的文档转换成系统模型, 花费了近一年的时间, 建模对象有 35 个分系统、5000 个接口实体模型、1.5 万条模型间的关系。通过模型化解决过去复杂系统工程中一些不易处理的工程问题。

在 MBSE 的工程知识体系的归纳、提炼中, 总结出需求分析 (任务) → 行为设计 (功能) → 结构总成 (系统总体架构) → 参数实现 (指标完成) 的工程任务分析模型。我相信通过对工程知识的认识和对知识工程的建造, 一定能推动中国工程学的产生与发展。特别是在当今信息化的竞争时代, 知识是今后科技发展的资源和底气, 是科技进步的底层压舱石。随着现代复杂性大工程的实践与知识的积淀, 工程技术发展也进入到了“工程知识”牵引发展的新阶段。我们有能力、有条件、有义务研究我国重大工程实践的经验和教训, 积累相关“知识”, 提高我国工程学发展的水平, 使其能够适应未来工程实践的需要, 这是中国工程师的时代使命。

4 结论：迈向中国工程学

在建设中国特色社会主义的新时代，中国经济发展、中国科技发展、中国工程科技的发展正以前所未有的势头前进。中国探月工程三步走“绕、落、回”的圆满收官，以及其他一些重大工程的实施和成功，振奋了我们的精神。习近平总书记会见探月工程嫦娥五号任务参研参试人员代表时提出的“探月精神”，更是对我们科技工作者的巨大鼓励和鞭策。我们的工程师们应当有能力形成我们中国的工程学，我们也有责任完成这一任务。

从嫦娥一号到嫦娥五号，历时 16 年的重大工程，它的工程知识集成性表达得十分充分，它已从一般知识的集成到多阶段串接的功能集成。嫦娥一号“奔月+绕月”，嫦娥三号“奔月+绕月+落月”，嫦娥五号是“奔月+绕月+轨道器与着陆器分离+落月+着陆器采样+月面起飞+月球轨道交会对接+返回器与轨道器对接+采集物品的交接+轨道器与返回器分离+返回器奔地+返回器与轨道器分离+返回器落地”。所有这些过程都是功能性工程知识的集成，在这个功能集成中只要出现一项功能失败，则整体工程即告失败。这种“与门”式的功能块一旦失败，此前的工作就可能前功尽弃。在复杂巨系统的功能链里，其工程可靠性随着串接环节的成功完成，呈现出不断提升的形态。我们以嫦娥五号这 13 个串接功能步骤为例，若每个功能的工程可靠性是 0.95，则整个工程的可靠性为 0.49；若在一个环节中有 1 万个器件，则器件的可靠性应高于 0.99999；若有 1000 个器件，则为高于 0.99995。在发射时刻，只有火箭系统工作的条件下其发射成功的可靠性为 0.95，而此时对全工程的可靠性评估为 0.49；若火箭已经成功地将飞行器送入轨道，则下阶段任务的可靠性将变成 $0.95^{13}=0.51$ 。而此时被月球捕获实现绕月飞行的可靠性，则是该工作系统可靠性 0.95。当实现了“返回器奔地”任务进入返回地球的轨道时，

它前面只有 2 个功能的串接，这时任务的可靠性已经升为 $0.95^2=0.9$ 。所以在我们分析复杂系统时，它的工程状态是不断变化的，而功能性串接的工程一旦某一功能失效，则是前功尽弃，也是无功可建。它的知识块则表现为每个串接功能块内的“如果，那么”的完整、完善和自识别、自适应、自挽救的功能上，也即形成 AI 的知识链结构。这将是智能火箭、智能飞行器、智能工程应当实现的工程知识结构，也是应当完成的历史使命。

只有进行了这些复杂的工程实践后，我们才有能力来建造这种串行功能块、串联“与门”式的工程知识集成理论中“工程可靠性随工程进展的增值”的认识。建立可靠性的概念对复杂工程系统的分析和设计至关重要。在我国重大工程实施的条件下，呼吁我国工程师们创造出有中国特色的中国工程学。

在人工智能快速发展的当下，AI 技术的应用和推广极其迅速，而在 AI 系统进入工程技术的应用中，不能忘记“AI 系统是一种知识系统”“AI 系统的建立是由软件人员和对象的技术专家共同合作产生的”。没有技术专家的知识贡献，只靠程序设计者是产生不出相关的系统软件，也构成不了学习系统。因此，在当今 AI 时代，工程师的知识仍然是 AI 技术的核心，工程师在工程实践中产生的有用的、关键的数据仍然是 AI 工程的基本元素和原材料。

美国能源部的 AI 技术部专家讲过一句话，“世界上没有什么科技是天生安全可靠的”^[3]。我们常说“艺高人胆大”，我看在技术上是“技高人敢言”，且“言之有力”。我们有诸多重大工程之实践，工程学研究就是要在没有技术是天然安全可靠的条件下来实现并保证工程运行的高安全和高可靠。这是我们面对现代复杂工程和 AI 时代智能化工程的重大挑战和历史使命！

参考文献

- [1] 殷瑞钰, 李伯聪, 栾恩杰, 等. 工程知识论[M]. 北京:

- 高等教育出版社, 2020: 68, 103.
- [2] 栾恩杰. 航天系统工程运行[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2010:12.
- [3] Allen G C. Understanding AI Technology[M]. NTIS, 2020.
- [4] Wymore A W. Model-based Systems Engineering : An Introduction to the Mathematical Theory of Discrete Systems and to Tricotyledon Theory of System Design[M]. Boca Raton, Florida : CRC Press Inc., 1993.
- [5] 邓昱晨, 毛寅轩, 卢志昂, 等. 基于模型的系统工程的应用及发展[J]. 科技导报, 2019, 37(7): 49-54.
- [6] Wayne A W. SYNERGY: The design of a systems engineering system, I[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1996, 1105(1): 34-45.
- [7] 何熊文, 徐明伟. 航天器接口业务标准化和软件架构现状与发展展望[J]. 中国航天, 2020(9): 29-35.
- [8] 王崑声, 袁建华, 陈红涛, 等. 国外基于模型的系统工程方法研究与实践[J]. 中国航天, 2012(11): 52-57.

Toward Chinese Engineering Science: Thoughts on the Theory of Engineering Knowledge

Luan Enjie

(Commission of Science, Technology and Industry for National Defense, Beijing 100048, China)

Abstract: The integration of engineering knowledge is an important concept in modern engineering, and the innovative function of expanding and integrating engineering knowledge is performed in the engineering industry. This is particularly evident in today's mega-scale, long-term engineering construction projects with multi-disciplinary and multi-field integration. Modern engineering technology is an integrated knowledge system supported by large-scale computing technology, and it has become the global consensus in engineering circles under the expansion and popularization of artificial intelligence (AI) technology. Model-based systems engineering (MBSE) is the systematic engineering of knowledge as opposed to an engineering knowledge system. Based on the latest developments in artificial intelligence, Chinese scholars could benefit from model-based systems engineering lessons, summarize practical experiences from major projects such as the lunar exploration project, and develop an engineering science with Chinese characteristics to better serve major future engineering practices in China.

Key Words: theory of engineering knowledge; systems engineering; model-based systems engineering; artificial intelligence; Chinese engineering science