

# 基于体系工程理论的作战实验方法

宋志明, 张国忠

国防科技工业海洋安全体系创新中心, 北京 100094

**摘要** 介绍了作战实验的产生、发展过程, 论证了作战实验的体系工程属性, 分析了当前开展作战实验研究的必要性和迫切性。阐述了体系工程 V++ 模型, 面向作战实验问题提出一种模型内涵, 基于此原理提出一套作战实验研发方法, 对作战实验研发过程进行了阶段划分, 给出各阶段具体方法和技术。剖析了其中的关键技术及其解决途径, 包括需求挖掘技术、基于模型的系统工程 (MBSE) 方法、作战仿真平台构建技术、共享重用技术和评估技术等。展望了作战实验研究的未来发展重点和方向。

**关键词** 体系工程; 作战实验; V++ 模型; 体系仿真

作战过程是涉及人员组织、武器装备、战法流程等诸多要素的综合体。作战实力、效果如何, 要通过真实的作战实践来检验。但是, 和平时期无法通过实战全面、深入检验作战设计, 而作战实验就成为重要、有效的作战研究技术途径。作战实验, 是在可控、可测、近似真实的模拟对抗环境中, 运用作战模拟手段研究作战问题的实验活动<sup>[1]</sup>。1999 年, 美国国防部组建了联合作战实验室, 并于当年进行了第一次联合作战实验。在美国主导下, 北大西洋公约组织于 2001 年进行了首次多国作战实验, 2003 年组建了联合作战实验机构, 标志着作战实验在西方军队开始全面推广<sup>[1]</sup>。

当前, 军事技术、战争体系、战争形式等都发生了巨大变化, 单一军种对抗的战争形式已过时。信息化条件下, 现代战争形态呈现出体系对抗的显著特征, 由“平台中心战”转向“信息化的网络中心战”; 由“各军种兵器之间的对抗”转向“网络化的体系与体系对抗”; 由“装备为主”的对抗发展形成“装备 + 生产体系”的对抗, 即涵盖从武器装备概念设计到研制、试验、使用、保

障等全周期的对抗<sup>[2-3]</sup>。因此, 现代作战实验的研究, 已发展上升到体系层级, 需要遵循体系工程的原理和方法。中国船舶工业系统工程研究院结合多年复杂系统综合集成、先进研发平台构建等工程研制和能力建设方面的实践, 逐步创新发展传统的系统工程原理, 构建形成新的体系工程研发模型, 并以新模型、新方法为指导, 开展了作战实验研究。

## 1 体系工程 V++ 模型

传统的系统工程 V 模型强调“从顶向下设计, 由底向上集成”, 对于系统产品的研发起到重要理论指导作用。但是, 随着体系级问题的巨型化、复杂化, V 模型已不再能胜任体系工程的研究。经过多年复杂系统工程的实践, 结合近年来对体系工程的研究探索, 中国船舶工业系统工程研究院总结提炼了体系研发新模型, 在 V 模型基础上, 针对体系工程业务特征, 进行体系与系统的划分, 构建虚拟影射空间, 增加以基于模型的系统工

收稿日期: 2018-07-12; 修回日期: 2018-12-11

作者简介: 宋志明 (通信作者), 研究员, 研究方向为系统集成、数字化设计与仿真、研发体系建设, 电子信箱: szm72@163.com

引用格式: 宋志明, 张国忠. 基于体系工程理论的作战实验方法[J]. 科技导报, 2018, 36(24): 37-43; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.24.005

程(model based systems engineering, MBSE)为代表的新技术的应用、以生命力等为代表的产品性能的提升、对体系工程作业流程的设计,以及对知识平台的应用等,称为V++模型<sup>[4]</sup>(图1)。

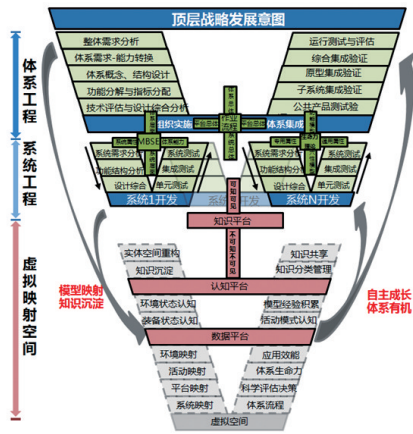


图1 体系工程V++模型

Fig. 1 SoSE V++ model

V++模型是一个基本、通用的原理模型,也在不断演进发展。体系工程问题跨域广泛,针对作战体系问题,相应的内涵分解细化如下。

### 1) 横向“++”,拓展融合。

第一个“+”,针对产品功能、性能的准确定位及提升,对研发主体进行横向拓展融合,即将用户、设计者、制造者、服务方等直接融合起来。传统的系统级产品,主要依靠产品研发部门挖掘需求,设计、制造产品。而体系级产品的需求、设计、应用都极其复杂,不能再像系统级产品那样,各阶段依托不同主体相对独立,而需要产品的利益相关者在产品的论证、研制、使用的全周期,广泛、深入地交流、融合、协作。对于作战实验的研究而言,显然应将问题的相关者,即军方论证、建设、应用人员和各工业部门直接联系起来,协同开展研究、研制、训练等工作。为实现此目标,一种重要的途径是基于赛博物理系统(cyber-physical systems, CPS)、基于仿真的采办(simulation based acquisition, SBA)等理念、技术,采取基于仿真原型的研发路线,让各研发者、使用者在同一个平台中,围绕仿真原型开展研讨、实验和评估。

第二个“+”,针对新技术、新方法的应用,对研发手段进行横向拓展融合,将传统的技术手段深化、完善,构建新型研发体系,与研发管理体系有效融合起来。

体系工程中,专业跨度更多、更大,技术更为精细,研发主体更庞大,研发过程更漫长,产品应用环境、应用模式更复杂。围绕产品设计规格书设计产品的传统系统工程方法,不能满足以上体系工程的需求,需要升级科研模式,构建完善、先进的技术研发体系,并实施有效的研发管理,不仅实现产品的静态功能指标,同步关注生命力等动态指标。一种重要的途径是构建企业精益研发体系<sup>[5]</sup>,实施MBSE核心技术路线,将六性设计、知识工程以及研发管理等,与研制过程融合起来。

### 2) 纵向“++”,前伸后延。

第一个“+”,针对产品能效的不断提升,将产品研发与前端的市场分析和后端的产品应用有机联接起来。传统的系统级产品,其需求论证、设计制造和交付使用都相对独立;而对于体系级产品,其组成、规模、用途、用户、保障等,一般都十分复杂,需要将产品的研制环节与前端的需求论证与后端的应用保障深度融合,才能确保产品有用、好用。尤其对于作战问题而言,作战需求、作战概念、作战设计、作战执行等,需深度融合。一种重要的途径是利用CPS、大数据等相关技术,将军事需求、系统研制和作战应用联接起来,实现智能设计、智能制造和智能应用。

第二个“+”,针对体系集成与流程设计,将体系顶层设计与分系统研发有机融合起来。体系由诸多子系统组成,一般涉及众多专业、领域,集成形式或紧密、或松散,更加复杂。需构建统一、规范的技术方法,使得体系全周期研发有效贯通、迭代。一种重要的途径是利用MBSE、高层体系结构(high level architecture, HLA)仿真技术,将体系顶层和各子系统研发无缝集成,围绕体系整体最优开展体系工程。

### 3) 整体“+”,虚实呼应。

将实体空间与虚拟空间映射起来,通过虚拟原型、虚拟工作环境,利用虚拟现实(virtual reality, VR)、增强现实(augmented reality, AR)、混合现实(mixed reality, MR)等先进技术开展高沉浸感的人在回路虚拟测试验证、评估和优化工作;通过模型映射、数据认知、知识沉淀、自主学习,使体系工程变得有机,提升体系生命力,解决体系动态演化问题。

## 2 基于V++模型的作战实验方法

根据V模型中“由顶向下设计,由底向上集成”的基

本思想,以及作战实验研究的业务特征<sup>[6]</sup>,作战实验研究的全周期可划分为作战概念构想、作战体系顶层设计、专业系统设计、体系仿真集成、作战实验评估等几大阶段。按照V++模型纵向延伸、横向拓展、虚实呼应的研发思路,作战实验研究的核心是打造一个作战设计仿真平台,以数据、模型为支撑,以工具、技术为手段,融合需求、设计、应用,军地研发人员依次开展协同设计、仿真验证,反复迭代优化设计,技术原理如图2所示。

图2中,作战概念设计采用专门定制工具,作战总体设计采用体系结构设计工具,专业设计主要采用专业工具。为实现总体与部分,以及各专业部分之间的协同仿真,构建HLA作战仿真系统,作战概念设计工具、体系结构设计工具和专业设计工具的输出结果,是HLA作战仿真系统构建的输入;HLA作战仿真的结果,又作为概念设计、总体设计和专业设计优化的根据。

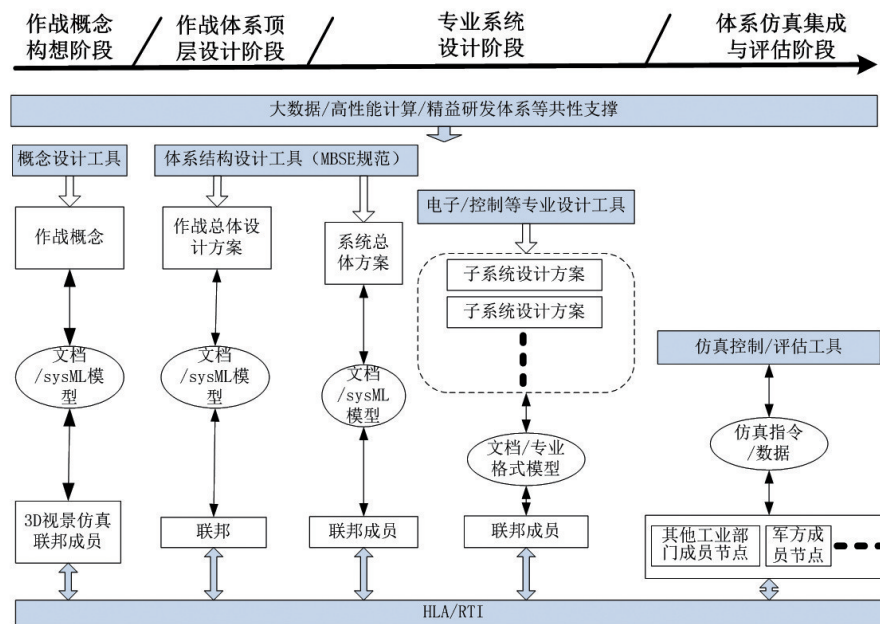


图2 作战实验技术原理

Fig. 2 Schematic diagram of operational experiment technology

### 1) 作战概念构想阶段。

作战概念设计是作战实验的源头,由军方、地方军事专家,利用特定设计工具,基于作战设计相关的情报资料库的支撑,协同开展设计,根据未来军事斗争形势、技术发展趋势以及顶层战略理论、思想,并综合考虑政治、经济、文化等因素,快速、宏观构想未来战争,包括可能爆发战争的形态、区域、模式,从战争视图、系统视图出发,具体设计军事意图、作战对手及威胁程度、作战任务空间及战场环境、敌方我方军事力量构成及部署、战争强度规模及发展进程等,形成典型战争场景、作战概念,并基于平台中作战推演模块,开展动态推演,直观显示作战过程变化。

### 2) 作战体系顶层设计阶段。

根据作战概念设计方案,采用体系结构设计工具软件,如SA、Rhapsody等,开展作战体系结构设计,遵循

MBSE规范建模描述系统使命任务、主要组成、功能、工作流程等,形成设计文档和符合SysML的模型,并可进行动态仿真,初步验证设计。为直观、精细展示系统运行机理、过程等,可根据以上设计结果,构建3D视景仿真演示或人在回路推演系统,如利用Creator等实时三维建模工具构建高逼真产品、环境的实体外形模型,基于VegaPrime等高层实时视景仿真运行环境开发仿真演示系统,以三维视景的形式展现未来系统的目标图像。该仿真系统中需设置仿真记录、回放和评估节点,用以全程记录仿真过程,便捷回放以及辅助开展专家群体评估。

### 3) 专业系统设计阶段。

作战体系包含指挥、装备、兵力、战场等诸多要素,对应于运筹、机械、电子、通信等众多专业系统。根据作战体系顶层设计方案,需进一步开展其中各专业系

统的设计。继续采用体系结构设计工具开展各专业系统的总体设计,包括系统的总体组成、结构、功能、性能、流程、站位协同等,形成设计文档和基于SysML的模型,基于体系设计工具的支撑,开展基于模型的动态仿真运行,优化总体方案设计。而专业系统的详细设计,需采用专业化的设计工具,形成文档和专业工具输出的特定格式模型,如基于STAGE软件生成兵力模型、作战指挥模型,基于Matlab生成.m格式的控制模型等,在专业工具范畴内开展仿真运行,优化设计。

为实现各专业间的协同仿真,可根据各专业设计工具产生的设计结果,基于HLA规范和工具支撑,同步快速开发出原型仿真系统,进行系统级的综合集成仿真,评估相关设计<sup>[7]</sup>,其结果可作为系统中各专业乃至全系统设计优化的依据。当专业设计结束,基于体系结构设计工具生成的系统设计、基于专业工具生成的专业子系统设计文档,就是技术设计阶段的输出文件,而此时对应的HLA作战仿真系统,从组成、功能、工作流程等角度看,已非常接近真实了。

#### 4) 体系集成仿真及评估阶段。

作战领域中各系统研发人员,在专业系统设计阶段并行开发了各自的仿真原型。在作战实验总体单位的组织下,依托作战实验仿真平台,集成为体系级联合仿真系统,开展体系级作战对抗仿真实验,输出仿真数据等,输入到作战实验仿真评估工具,用户高层与工业部门的作战专家进行会商、评估。由于体系组成、运行复杂,往往会出现专业系统设计较优,但体系级综合性却不优的情况,由此,需根据体系作战实验的结果,回溯到系统层面进行优化设计。如此反复迭代,直至体系整体较优。

以上作战实验方法的重点包括3个方面:一是要严格执行统一仿真联邦的构建、运行标准,包括建模规范、成员构建规范、时间策略、数据分发等,始终保证作战实验仿真平台的互操作、可重用;二是专业层设计选择适宜、开放的工具,依据其设计输出,可以快捷构建对应的仿真联邦成员;三是各类利益相关者,尤其是最终用户要全面深入地介入作战实验的全过程,作战实验前,利用适宜的技术、手段充分收集业务需求;作战实验中,多次、深入地开展虚拟实验,充分发现问题、研究问题;作战实验后,统筹利用主客观手段,科学开展会商论证和评估工作。

## 3 关键技术

### 3.1 通过作战实验深入挖掘军事需求

对于复杂工程的需求捕获和管理,主要存在3方面的问题,工程早期需求捕获挖掘能力不足、工程过程中需求挖掘能力不足和工程过程中的需求监管不足。对于工程早期需求捕获挖掘而言,问题的主要原因是系统研制人员的经验、知识不足,解决措施是加强人员专业化学习和加强工程实践。对于工程过程中的需求监管而言,问题的主要原因是以人工管理为主,难免大量发生需求遗漏、随意变动等低级错误,解决措施是在系统研制全周期,使用专业、有效的需求管理工具,建立严格管理机制,有效监管需求的完善、一致和落实到位。对于工程过程中需求挖掘而言,问题的主要原因是基于传统“写文档”式的系统设计,设计深度和考虑的周全性不好,很多作战需求要到实物样机联调,甚至交付部队后,才能显露出来。对于新型、复杂装备产品而言,第三方面的需求问题,是科研的主要瓶颈。

作战实验可以很好地解决上述第三方面的问题。采用基于仿真的虚拟样机研制模式,在研制全过程中,大量开展作战仿真实验和试验,邀请军方用户、相关协作工业部门等介入,对于装备本身及装备应用中相关的指挥、流程、协同等问题进行接近真实地虚拟体验,直观、快速发现问题,挖掘潜在需求,反馈到设计环节进行优化设计。如此反复迭代,逐步深化、细化。

### 3.2 面向作战实验的MBSE方法

国际系统工程学会(INCOSE)于2007年正式提出了MBSE的完整概念,其核心是利用统一语言、统一视图描述系统工程的设计<sup>[8-9]</sup>。IBM的Rhapsody软件是MBSE的典型设计工具,适于对系统组成、架构、功能、运行逻辑等进行顶层建模,通过仿真运行发现设计缺陷。当前,国际上的一个MBSE研究热点是,针对复杂大系统涉及多专业的特征,致力于将Rhapsody等顶层设计工具与下游专业物理设计工具打通。2015年,IBM公司与德国ITI公司合作,将IBM的Rhapsody工具与ITI的Simulation X平台实现集成;而Simulation X平台是集成机电领域多专业建模仿真工具的数字化研发平台(包括CATIA、Pro/E、Adams、Simulink等典型CAD、CAE工具),因此,在机电产品领域实现了由顶层总体设计到子系统、部件设计的MBSE方法贯通。

但是,由于专业工具的不同,该技术平台并不能适用于以筹划、指挥、控制、通信等为特征的作战实验研究,需要重新定制适宜的技术平台和方法。针对作战领域的分布交互、人在回路、以通信指挥为作业主线等业务特征,以及该领域所涉及的专业化研发工具,可采用HLA仿真机制,将基于Rhapsody的作战顶层设计和基于JTS、Stage、4A、Xsim等的作战专业设计都向HLA作战仿真系统影射,通过HLA仿真系统实行上下游的贯通(图2),形成面向作战实验的MBSE方法。在开展作战实验的研发过程中,首先基于Rhapsody完成作战实验的顶层设计,包括交战双方实体组成、指挥关系、流程交互等,依据此方案构建统一的仿真联邦,初步验证顶层方案的合理性;再将该顶层方案传递到下层专

业级,开展专业系统的设计和仿真,形成各专业系统的设计方案,进而在以上仿真联邦中实现各专业系统的仿真联邦成员,验证系统间集成协同效果,以及对于顶层设计的符合性,如何反复迭代,逐步细化。

### 3.3 作战实验平台构建技术

基于仿真技术研究作战对抗,核心是构建面向作战仿真的作战实验平台,包括交战双方的各类参战装备仿真系统、战场环境仿真系统、仿真导调和激励系统,以及仿真评估中心等,它们可按照统一的技术标准,无缝集成在一起,可进行动态交互仿真运行。为构建以上作战实验平台,以及后续不断开发各类仿真应用,还需建立相应的仿真开发环境,总体组成及结构如图3所示。

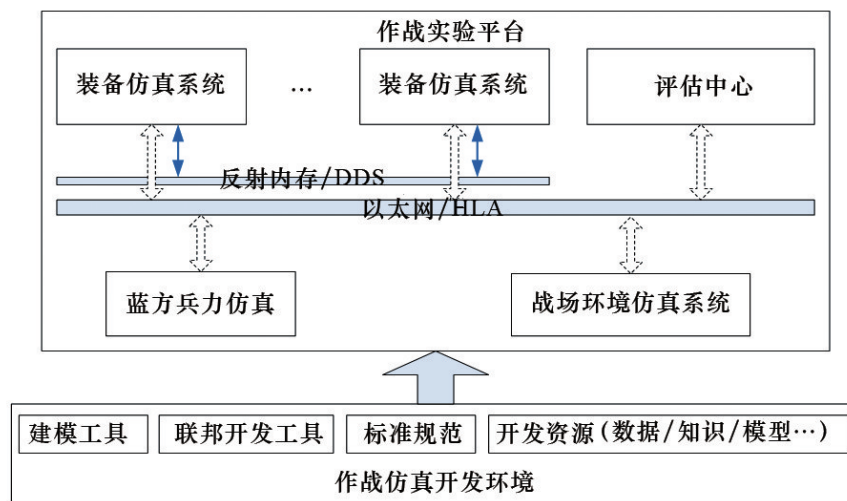


图3 作战实验平台组成及结构

Fig. 3 Composition and structure of operational experiment platform

装备仿真系统,是对红方装备体系中各相关装备系统、设备的模拟,可以是重要装备的原型系统的模拟,也可以是一些装备系统的整体功能和行为模拟;蓝方兵力仿真系统,是针对典型作战对象装备体系的模拟,包括主要武器装备、战法;战场环境仿真系统是对战场中与双方交战行为相关的外部环境因素的模拟,如综合自然环境、电磁环境等;评估中心主要是收集相关仿真数据,进行统计、分析、展示,支持评估人员以在线或离线方式,对体系特性、装备特性以及作战方式等进行评估。

体系仿真开发环境包括各类建模工具、联邦开发工具、联邦仿真运行支撑环境、建模与仿真标准和规范

以及数据、模型等研发资源,主要用于仿真平台和仿真应用的开发;仿真运行环境如HLA Rti软件等,是仿真应用下层的支撑软件,实现仿真运行时各类数据、流程的底层调度、管理等。

该作战实验平台包含各个领域的装备,规模巨大,涉及开发单位众多。如何将不同单位的仿真节点无缝集成在一起,以及后续可柔性化扩展,是平台构建的难题。为此,需采用先进、成熟、有效的开发和集成规范,如HLA 1516规范,各节点原则上遵守相关规范开展建模及联邦成员的开发,其核心是由技术总体单位设计、维护好联邦FOM表,各仿真节点根据自身业务特性明确本节点内外部数据接口,建立SOM表。

对于由于实时性强而无法使用HLA的仿真节点,一方面,通过采用高性能计算技术,提高本节点仿真速度,另一个方面,可使用反射内存、数据分发服务(data distribution service, DDS)通信等方式保证这些节点的正常交互运行,通过额外开发HLA适配插件或独立适配程序的方式,接入体系联邦中,如图3中某些装备仿真节点接入HLA联邦。此种模式下,应特别注意时空一致性,核心是使用强实时性系统所使用的时统设备作为整体联邦运行时统,HLA节点由于实时性差、精准度低、时间步调有时会超前或落后于时统,可利用插值的方法纠正单独节点的时间误差。

### 3.4 共享重用

作战实验平台的构建,是一个浩大的工程,也是一个长期不断完善的过程。HLA技术规范保证了整个联邦及联邦成员的柔性、可重用;但是各成员内,仍有大量可共用的软件、模型、数据,以及技术、方法需提炼、共享,可有效应用通用建造模块(common building blocks, CBB)管理技术和策略有效解决此问题。

CBB意为共用基础模块,指在不同产品之间共用的技术、器件、部件、模块及其他相关的设计成果<sup>[10]</sup>。根据业务和产品特征,作战实验研究中的CBB可划分为产品CBB和技术CBB。产品CBB是指在不同产品、系统间共用的零部件、组件、模块;技术CBB是指为形成不同产品、系统所需的共用技术、算法、模型及其他相关的设计成果。CBB一方面来自以往项目的总结提炼、向外部的采购,另一方面来自作战实验研发过程中的提炼和沉淀。CBB的开发过程需注重需求分析、设计、开发和测试检验各个环节。针对通用性,准确定位其通用功能、性能等需求;针对易用性,设计、开发好其应用接口;针对可靠性、稳定性,应进行完备的测试。另外,应统筹本单位5000A质量认证工作、知识工程建设等工作,做好CBB库的建设。例如,5000A中的产品构件(组件)库与CBB库,一般会有很多交集,可纳入企业的整体知识工程管理系统,进行规范、有序管理。

### 3.5 评估验证

评估验证是作战实验研究过程的重要一环。通过作战仿真的动态运行,对模拟交战双方的兵力、装备、指挥、战场环境以及对抗演变规律等进行观察、评判、会商,对作战体系及各要素的设计进行评判和辅助优化。作战实验的评估验证是从第三方的角度观测、评

价作战实验的全要素,其难度高、综合性强,需构建独立、完备的作战实验评估中心,配置数据录取与存储设备、数据处理与分析系统、专家评判及会商系统、视景演示系统等主要组成设备。作战评估人员即可在线观测评判,也可基于作战仿真数据,进行离线评测,并视情况基于记录数据进行回放重演。

作战评估的核心是构建适宜的判据模型,可针对作战实验研究的具体内容,确定评判对象,构建评估指标体系,选择评判数据,设计评判逻辑、策略和准则,参考领域内成熟、先进的研究成果,在实用中逐步修正、完善。相比于以往对系统工程的评估,作战实验体系工程应从兵力、装备、战法、保障甚至军工科研生产能力等众多要素全面考虑,综合评价,其指标体系、评估模型和评估方法的实现难度明显提高。初步实践证明,装备体系贡献率,是评判装备效能的直观有效的方法<sup>[11]</sup>,可为综合作战效能的评判提供重要基础。另外,依据体系工程理论,评估验证工作应贯穿于作战实验的多次迭代过程中,不断深化、优化作战实验方案。

## 4 结论

体系研究、作战试验研究都是新兴研究领域,技术新、规模大、难度高,需要长期、大量的科研投入。一方面,需要大力开展应用研究、开发工作,另一方面,需要超前开展能力建设,以作战实验室为主要载体,构建作战实验研究条件。两方面工作相辅相成,作战实验应用研发为能力建设提出需求,并检验能力建设的实际效果;而能力建设支撑作战实验应用研发的开展实施,并以新技术、新方法推动应用的深化发展。本研究成果就是通过以上两方面的多年实践得来。随着大数据、云计算、VR等技术的发展成熟,以应用需求为导向,将继续深化发展基于体系工程理论的作战实验研究。

因为作战实验规模宏大,涉及众多行业、专业,国内军方、工业部门各专业单位应加强联合和协同,这也是目前国内作战实验研究面临重要问题和重点发展方向。另外,由于战场环境、气象条件、电磁环境等对于现代战争的巨大影响,以及随着大量物理效应设备、实装、实兵的应用,作战体系实验最终需在实验外场开展,如何构建体系级实验外场、如何开展体系级外场实验,是当前作战实验研究的又一个重大问题和方向。

## 参考文献(References)

- [1] 李辉. 美军作战实验研究教程[M]. 北京: 军事科学出版社, 2013: 1-14.
- [2] 李牧知, 关永. 美军战略评估基本情况及对我启示[J]. 军事运筹与系统工程, 2018, 3(32): 11-14.
- [3] 季明. 全域作战能力评估相关问题研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2018, 3(32): 15-19.
- [4] 张宏军. 系统工程理论发展与体系工程探索[R]. 北京: 上海系统科学研究院, 2018.
- [5] An R, Song Z M. Research on the modeling of complex system integrated development Platform[C]//AsiaSim/SCS Autumn Sim 2016 International Simulation Multi-Conference. Beijing: Federation of Asian Simulation Societies, 2016: 347-350.
- [6] 张国忠, 张博孜, 常华耀. 基于体系作战的武器装备顶层设计技术研究[J]. 论证与研究, 2017, 5(196): 8-12.
- [7] Song Z M, Zhao X. The development of complex and large system based on simulation prototype[C]//AsiaSim/SCS Autumn Sim 2016 International Simulation Multi-Conference. Beijing: Federation of Asian Simulation Societies, 2016: 323-325.
- [8] Walden D D, Roedier G J, Forsberg K J, et al. Systems engineering handbook(INCOSE-TP-2003-002-04 2015)[M]. San Diego: INCOSE, 2015: 615-617.
- [9] MBSE Initiative. Survey of model-based systems engineering methodologies(INCOSE-TD-2007-003-01)[M]. Seattle: INCOSE, 2008: 41-51.
- [10] 周辉. 产品研发管理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 1-32.
- [11] 荆涛. 基于作战体系需求满足度的武器装备体系贡献率评估方法[J]. 论证与研究, 2018, 3(34): 1-4.

## Research on operational experiment method based on SoS engineering theory

SONG Zhiming, ZHANG Guozhong

Marine Safety System Innovation Center, Science and Technology for National Defense, Beijing 100094, China

**Abstract** The generation and development of operational experiment are briefly introduced, and the SoS engineering attribute of operational experiment is demonstrated. The necessity and urgency of research on operational experiment at present are analyzed. V++ model of SoS engineering is introduced, and a kind of model connotation is proposed from the operational experiment point of view. Then a set of research and development methods is defined according to the theory. The experimental stages are divided and the technology and method at each stage are proposed. The corresponding key technologies are analyzed and respective solutions are given, such as requirement mining technology, MBSE method, platform construction and so on. This paper also prospects the future work and the development trend.

**Keywords** SoS engineering; operational experiment; V++ model; SoS simulation ●



(责任编辑 傅雪)