

doi: 10.7690/bgzdh.2023.01.002

# LVC 训练体系建设发展现状及关键技术

杨 芸<sup>1</sup>, 胡建军<sup>2</sup>, 李京伟<sup>1</sup>

(1. 海军航空大学海军模拟飞行训练中心, 北京 102488; 2. 中国人民解放军 92543 部队, 山西 长治 046011)

**摘要:** 为加快我军“真实-虚拟-构造”(live-virtual-constructive, LVC)训练体系建设, 通过分析文献资料用以总结美军 LVC 训练体系建设发展经验, 并深入分析 LVC 训练综合环境构建、关键技术及我军 LVC 训练体系建设面临的挑战。结果表明: LVC 训练是引领当前军事训练转型的重要途径, 也是提升实战化能力的关键举措, 我军应借鉴美军先进经验, 加快推进 LVC 训练体系建设。

**关键词:** LVC 训练; 训练体系建设; 军事训练转型

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## Development Status and Key Techniques of LVC Training System

Yang Yun<sup>1</sup>, Hu Jianjun<sup>2</sup>, Li Jingwei<sup>1</sup>

(1. Naval Simulation Flight Training Center, Naval Aviation University, Beijing 102488, China;

2. No. 92543 Unit of PLA, Changzhi 046011, China)

**Abstract:** In order to speed up the construction of live-virtual-constructive (LVC) training system in our army, summarizes the development experience of LVC training system construction in the US army through the analysis of literature, and deeply analyzes the construction of LVC comprehensive training environment, key technologies and the challenges faced by the construction of our LVC training system. The results show that LVC training is an important way to lead the transformation of current military training, and it is also a key measure to enhance the actual combat capability. Our army should learn from the advanced experience of the US army and accelerate the construction of LVC training system.

**Keywords:** LVC training; training system construction; military training transformation

## 0 引言

训练是军事能力建设的重要组成部分, 科学合理的训练方式是促进战斗力提升的重要举措。“真实-虚拟-构造”(LVC)训练是当前十分先进的训练理念和训练方式, 其通过构建虚实结合的综合集成训练环境来开展训练, 将真实训练、虚拟训练和构造训练三者中部分或全部元素融合为一体, 发展潜力巨大, 受到了以美国为首的西方国家的高度重视<sup>[1-2]</sup>。20 世纪 90 年代, 美军就开始着手发展这一概念并开展相关技术研究, 用以提高部队战备水平, 锤炼部队应对复杂情况能力<sup>[1]</sup>。

近年来, 在“军事训练实战化”总要求下, 我军大力加强实战化训练水平、训练强度和真实性要求, 演训模式逐步向红蓝实兵对抗转变, 但在训练开展时, 不可避免会受到诸多因素限制和挑战, 尤其在空战演训方面, 会受到环境、战场真实程度、安全风险等诸多因素影响, 对我军实战化能力提升造成极大阻碍。LVC 训练为这些问题提供了解决方

案, 能有效克服和弥补传统实兵对抗演训诸多不足, 突破环境条件限制, 提升战场真实性和对抗真实性, 并降低安全风险<sup>[3]</sup>。LVC 训练, 对优化我军训练体系建设, 促进训练模式改革和实战化水平提升等有重大现实意义。

当前, 科学技术发展已为 LVC 训练实现提供坚实基础<sup>[4]</sup>。近年来, 我军也在积极推进 LVC 训练体系建设。美军作为 LVC 训练领域的领头羊, 经过 20 多年发展, 在 LVC 技术研发上已取得较大突破, 训练体系建设相对较为完善<sup>[5]</sup>。其建设发展经验对我军 LVC 训练体系建设具有重要参考意义。笔者拟对美军 LVC 训练体系发展情况进行深入分析, 总结其建设发展经验和对我军 LVC 训练体系建设的启示, 为加快推进我军 LVC 训练体系建设助力。

## 1 概念简介

LVC 训练通过为不同级别的军事人员提供适当的交互、一致性和互操作性体验, 来组织实施军事对抗演练、指定作战计划、开展训练评估和技术测

收稿日期: 2022-09-01; 修回日期: 2022-10-10

作者简介: 杨 芸(1991—), 男, 湖南人, 硕士, 从事飞行仿真、装备管理研究。E-mail: 535926502@qq.com。

试验证等。通过建模与仿真(model and simulation, M&S)技术、网络技术、计算机技术等,在统一集成的架构基础上,构建安全、保密的训练环境,来增强训练真实性,从而提升军事训练和战备水平。

LVC 训练主要由 3 种训练类型构成:

### 1) 真实训练(live, L)。

在真实飞机或车辆上进行训练,使用真实装备,视觉效果、敌对军事力量和交流都是真实的,如实装飞行编队训练,飞行员均驾驶真实战机开展训练。

### 2) 虚拟训练(virtual, V)。

受训者在虚拟环境中进行训练,环境、车辆、飞机和武器等都是模拟的,视景由计算机生成,如飞行员在模拟器上进行训练。虚拟训练的严格要求是人在环上。

### 3) 构造训练(constructive, C)。

通常与 V 相结合,通过计算机生成兵力(computer generated forces, CGF)系统生成并控制实体、敌对部队、盟友等主体,这些主体可以理解为人工智能的化身,如模拟飞行编队训练中,由计算机生成僚机。

LVC 训练就是这 3 种训练模式的融合,如图 1 所示。LVC 训练在构造虚拟环境和真实环境叠加情况下,开展真实训练装备、虚拟训练装备及构造兵力三者间的对抗训练。

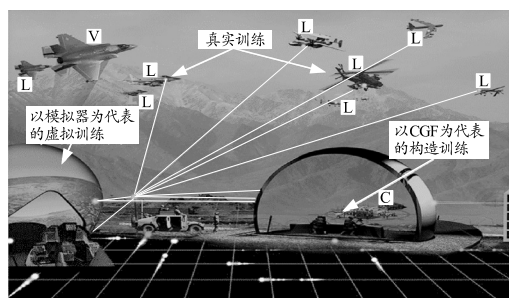


图 1 LVC 训练

## 2 LVC 训练的优势

作战与训练相辅相成,作战牵引训练,先进的训练理念和训练方式,能使作战方式发生根本性变革,甚至引发军事革命。二战前,德军受制于合约,不能发展飞机、坦克等机械化装备,但他们用帆布蒙上卡车训练装甲集群作战,用兵棋推演验证装甲兵与空军配合的闪电突击战法。反观法国,虽装备齐全、训练条件完备,但训练中却将装甲兵用于如密林等不便机动的地形上,从而得出错误结论,即装甲兵不能独立作战,只能配合运用,其战法已落后于时代而不自知。从二战一系列战斗情况来看,

德军“闪电战”无疑是成功的作战样式,推动军事革命向机械化方向演变。LVC 训练采用虚实结合,相比传统训练方式有诸多优势。

### 2.1 训练更加逼真,实战化程度更强

LVC 训练将虚拟系统与实际装备紧密结合,通过仿真技术创建一个逼真的战场环境,而不是人为构造且限制条件较多的战场环境,能打破地理范围小、实兵对抗逼真度低等训练条件限制,使人身临其境。还能逼真地展现真实战场联合作战背景,并较好地反映各军兵种效能,摆脱单军兵种训练局限。另外,CGF 系统可有效生成虚拟友军和敌军,营造了一个在时间和空间上均有所扩展的训练环境,这使得多层次训练和班机分队训练成为可能。即使实际参战人员较少,也可模拟联合条件下的作战,且将实兵置于实战大背景下,增强训练场景真实性。

### 2.2 虚拟场景对抗,安全程度更高

LVC 训练将实兵对抗置于虚拟场景下,武器发射、毁伤效果等均基于仿真技术,可有效降低安全风险,有助大胆创新作战方式、试验新战法。以飞行训练为例,一方面,虚拟场景下,可有效模拟空中特情,提升飞行员对特情的反应和处置能力;另一方面,进行对抗演练时,武器发射、命中等均在虚拟环境下,既有实际过程,又不用担心安全问题。

### 2.3 场景可定制化,有助于提升作战生存几率

通过 CGF 和其他辅助系统,LVC 训练可以实现战场环境定制化,生成基于真实环境基础上的更加复杂、多样的战场环境。在越战初期,许多美国飞行员由于对现实世界中某些作战要素没有做好充分准备,如不同飞机战术和强大的地空危险,导致飞行员战损率很高。后来,美军统计发现,飞行员参加约 10 次此类以威胁为特征的训练后,在实际战斗中生存几率大大增加<sup>[4]</sup>。LVC 训练可对同一作战场景进行重复练习,有助于增加参训人员在作战中的生存几率。

### 2.4 经济性程度较高

相比传统训练模式,LVC 训练通过仿真技术,可以实现战场环境重复利用以及时间和空间上的连续性,满足各阶段训练需求,减少战场环境重复布置、降低设计困难、减轻人力物力资源浪费等,还能降低对于武器装备的磨损程度,从而极大节约训练经费支出。

### 3 美军 LVC 训练体系建设概况

美军是世界上最早提出 LVC 训练理念并发展相关技术的军队。在 2002 年发布的《国防部训练转型战略计划》中，美军建立“真实、虚拟和构造仿真”体系列为 4 项倡议之一，不断在演习中使用并验证 LVC 训练技术。从近几年发展情况来看，其 LVC 训练技术已取得较大突破，有效推动了军事训练变革和转型。

#### 3.1 美军 M&S 组织机构

美军建模与仿真(M&S)工作自二战以来，经过几十年建设，从美国国防部、美军参谋长联席会议到陆、海、空、天诸军兵种都建立有 M&S 组织机构，如国防部建模与仿真办公室(DMSO)、陆军建模与仿真办公室(AMSO)、空军建模与仿真局(AFAWS)，以及诸军兵种“作战实验室”，如陆军太空与导弹实验室(SMDBL)、空军太空作战实验室(AFSBL)和海军陆战队实验室(USMCWL)等。美军 M&S 组织机构庞大而繁杂，国防院校、研究机构、作战部队等几乎都建有 M&S 机构。此外，美军还以合同方式与民间研究机构建立广泛合作关系，比较著名的有兰德公司(RAND)、分布式仿真技术公司、国防分析研究所(IDA)等。

#### 3.2 美军 LVC 领域蓝图规划

美军在提出 LVC 训练概念后，就开始加快构建建设发展蓝图，推动相应技术开发，以促进 LVC 训练理论在军事领域应用。LVC 体系结构路线图(LVC architecture roadmap, LVCAR)计划和 LVC 项目规划(proposed LVC program)是其中具有代表性的 2 项。

##### 3.2.1 LVCAR 计划简介

在 M&S 领域，体系架构较多<sup>[6-7]</sup>。在 LVCAR 计划开展前，美军并未对仿真系统开发制定一个统一标准，当需要集成依赖不同体系架构的多个模拟系统时，由于不同仿真架构间互操作性低，导致系统集成遇到很大困难，系统间几乎无法交互。为此，美国防部长办公室建模与仿真指导委员会开展了一项委托研究，检测当时 M&S 各方面发展情况，并为改进体系架构间互操作性提供建议，LVCAR 计划就源于此。

2007 年 4 月，美军开始推进 LVCAR 计划。由于 LVC 训练体系建设十分复杂，LVCAR 最初仅提供理论规划和建议，目的在于提升 LVC 仿真环境互操作性，系统、客观地构建未来发展路线图，并提

供支持策略。最初报告专注于 3 个受广泛关注的维度：期望的未来体系结构标准的概念定义、期望的业务模型、标准演进和管理过程。要求探索更好的组织和架构模式，具体为：管理 LVC 架构互操作性；创建数据和服务重用参考模型；减少 LVC 架构散度、扩散工具；探索新兴技术，以解决未来域 LVC 架构性能有关的问题和需求。研究建议中，强调了 2 方面哲学：1) 短期的行动对于缓解架构集成问题是必要的；2) 集成应该是透明的，这样用户就可以实现在整体架构中的无缝交互。另外，长期目标强调了 CITA、HLA 和 TENA 等架构的融合进化过程。在 2008 年，LVCAR 计划提交了理论报告终版，此后，该计划转入具体实现阶段。

在 LVCAR 计划开展 2 年后，从 2009 年开始，该计划逐步集中于 5 方面任务实现，分别为：LVC 通用能力、LVC 架构聚合、通用网关和桥、联合可组合对象模型开发和 LVC 环境管理，以回应最初报告中确定的具体建议。同时，由约翰霍普金斯应用物理实验室(JHU/APL)领导的一个团队，开始推进 LVC 架构路线图实施计划，如图 2 所示。“LVC 通用能力”和“通用网关和桥”2 项，专注于在近中期用于开发 LVC 环境过程、工具和支持资源方面的改进。“LVC 架构融合”侧重于中长期行动，以防止在美国和国际 LVC 社区广泛使用的仿真架构之间进一步分化，尽可能促进其融合。“LVC 环境管理”旨在明晰主要仿真体系架构现有的业务模型和管理结构，评估每个模型相对优势和劣势，给出重新调整建议，以提高效率和减少未来维护成本。

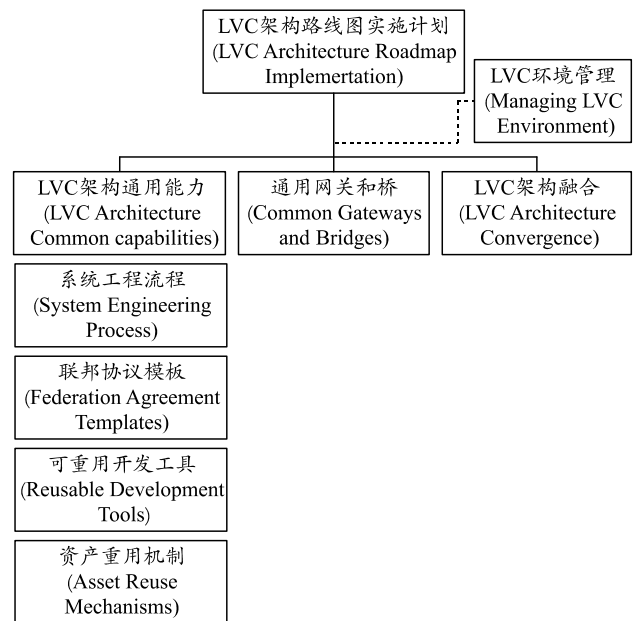


图 2 LVCAR 实施计划

近年来,美军多个 LVC 集成环境顺利开发并在演习中成功应用,表明 LVCAR 计划取得了极大成功,在 LVC 架构通用能力、系统集成技术等方面均有较大突破。

### 3.2.2 LVC 项目规划

2018 年发布的一份资料中,美军对近年来 LVC

训练体系建设项目进行了细致描述,相关规划从 2016 到 2029 财年,如图 3 所示。该份 LVC 项目规划目的为加快构建训练网络,具体为:开发必要的独立系统来实现 LVC 训练能力;在通用领域交互中建立和保持 LVC 互操作性标准;将模拟器、区间范围和模型集成到作战系统中来支持训练目标完成。

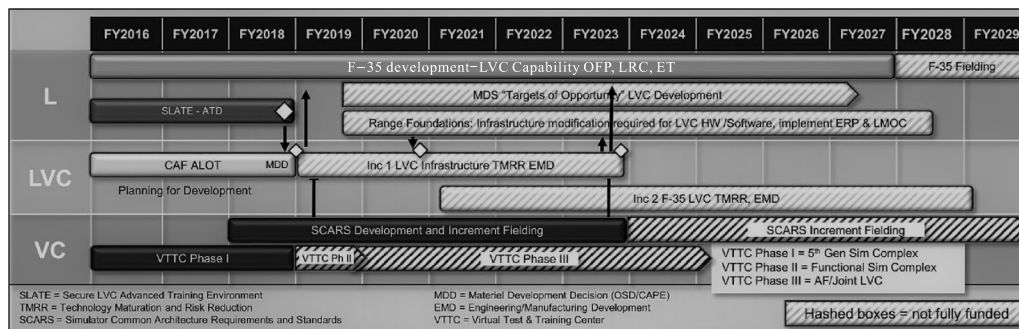


图 3 美军 LVC 项目规划

从上图可以看出,2016 到 2029 财年,美军主要从 L、VC、LVC 3 方面开展 LVC 训练项目建设,均衡发展 L、VC、LVC 3 种训练能力。

L 方面,主要建设发展 F-35 飞机 LVC 训练能力,利用 12 年时间,重点解决 F-35 飞机开展 LVC 训练所需软硬件开发问题,包括作战飞行程序、嵌入式训练设备等。美军为了加快高新技术预研成果转化应用,从 2016 到 2018 财年,重点推动了安全保密的 LVC 先进训练环境先进技术演示 (secure lvc advanced training environment advanced technology demonstration, SLATE-ATD) 项目建设。该项目已在 2018 年完成演示验证,并在当年开展的“红旗”军演中得到应用。从 2019 到 2027 财年,美军计划推进用于 LVC 训练环境的任务数据系统 (mission data system, MDS) 建设。从 2020 到 2028 财年,建设和升级试验场所需 LVC 软硬件并实现企业资源计划管理 (ERP),同时继续优化和升级 LVC 任务作战中心 (LVC mission operations center, LMOC)。

LVC 方面,2016 到 2018 财年,主要建设以 SLATE-ATD 为基础的空军作战部队高级实战训练系统 (CAF ALOT)。2019 到 2029 财年,分 2 个阶段推动技术成熟度并降低风险,同时推进工程技术和生产制造能力发展。第 1 个阶段:从 2019 到 2023 财年,主要专注 LVC 基础建设,包括 9 方面:波形设计、分类规则集、F-16 集成、P5 空战训练系统频率重新定位、多个安全级别网络协议、任务作战中心建设、V 和 C 标准 (即模拟器通用架构要求和标准, simulator common architecture requirement and

standards, SCARS)、下一代威胁模拟系统 (联合仿真系统的一部分)、防频谱冲突。第 2 阶段:从 2021 到 2029 财年,重点推进 F-35 飞机 LVC 技术成熟度建设,以及工程技术和生产制造能力发展,并降低风险水平。

VC 方面,从 2018 到 2029 财年,分 2 阶段推进 SCARS 项目建设。2018 到 2023 财年为第 1 阶段,主要推动 SCARS 发展和增量部署;第 2 阶段为 2024 到 2029 财年,主要推进 SCARS 增量部署。另一个大项目是,从 2016 到 2025 财年,分 3 阶段推进虚拟测试和训练中心建设。

### 3.3 美军联网仿真体系

良好的仿真网络环境是 LVC 训练开展的基础。从 20 世纪 80 年代起,美军就开始设计和研发联网仿真协议。目前,形成了以“DIS-ALSP-HLA-TENA-CTIA”为代表的联网仿真协议体系<sup>[8]</sup>。联网系统开发方面,诺斯罗普·格鲁曼公司专门为 LVC 训练打造了分布式任务作战网络 (distributed mission operations network, DMON) 系统。

#### 3.3.1 联网仿真协议

DIS 是美军在 20 世纪 90 年代开发的异构型网络互连的分布式仿真协议,它通过计算机网络将位于不同地理位置上符合 IEEE 1278 标准的仿真系统联结起来,构成一个异构综合作战网络。聚合级仿真协议 (aggregate level simulation protocol, ALSP) 由美国国防部高级研究计划局支持开发,目的是将分布式构造型战场仿真应用系统,组织在一起支持

联合军事演习。由于 DIS 和 ALSP 在体系结构、标准、协议和应用上存在局限与不足,美国国防部开发了高层体系结构(high level architecture, HLA)。HLA 优势明显,成为了美军通用联网仿真框架,且自 2001 年起美军全面终止非 HLA 的仿真工程项目与应用;但 HLA 在装备试验与训练领域受限制较多,1998 年,美国国防部开始实施基础倡议 2010,开发了“试验与训练使能体系结构”(test and training enabling architecture, TENA)。另外,为了给真实训练转型(live training transformation, LT2)计划产品线研制提供试验支持,2005 年,美陆军开发了公共训练仪器体系结构(common training instrumentation architecture, CTIA),它是所有仿真体系架构中唯一支持面向服务的体系架构。

### 3.3.2 联网系统

DMON 系统是诺斯罗普·格鲁曼公司专门为美军 LVC 训练打造的分布式联网系统,用来支持美空军开展分布式任务作战训练与计划整合。DMON 允许世界各地不同飞机模拟器平台,通过一个安全的网络,在一个真实虚拟环境中无缝操作、共同进行训练,还可以每天为作战和机动空军提供按需的团队间训练。DMON 系统已在“红旗”“北方利刃”等军演中多次应用,得到了美军高度认可。

## 3.4 美军 LVC 训练装备发展现状

经过多年发展,美军在 LVC 训练装备研发上已取得较大突破。首先是 LC 训练系统, P5 空战训练系统被广泛使用, P6 空战训练系统正加快研发;其次是 VC 训练系统, F-35 全任务训练模拟器(F-35 full mission simulator, F-35 FMS)和 F-35 分布式任务系统相继研发成功并投入使用,极大提升了美军模拟飞行训练能力;然后是 LVC 训练系统, SLATE-ATD 项目成功完成演示验证,并在演习中成功应用,表明 SLATE 训练系统成功研发,美军真正形成高保真 LVC 训练能力。

### 3.4.1 P5 空战训练系统

美军从上世纪 70 年代就开始空战训练系统研发,其发展历程如图 4 所示。P5 空战训练系统(美空军为 P5 combat training system, 美海军为 P5 tactical combat training system, P5 CTS/TCTS)为美军现役最新空战训练系统,它的重点部件是机载子系统、地面控制子系统及地面评估子系统。机载子系统可以收集和飞行数据,进行实时武器模拟,并记录相关任务数据用于支持任务后飞行讲评,包

括外部吊舱、内部转换接口和安装架,可以支持各种不同飞机平台。地面子系统集成了独立作战显示系统,该系统支持飞行员在家中或在战区环境中进行全面评估。目前, P5 系统的吊舱至少可以支持 72 架高机动作战飞机组训,能够保持 148 km 空对空和 231 km 空对地数据链通信能力(通过中继还可扩展至 322 km),这使得使用范围可以联队级本地训练延伸到类似于“红旗”军演的大规模部队演习。2021 年 2 月,美海军已在 F/A-18F 飞机上完成下一代空战训练系统——“战术作战训练系统增量 II”的首轮飞行试验,它是美军现役 P5 系统的海军增量改进版,也是首个经过认证机密的多层次安全吊舱,能够支持开展高度安全的飞机间空战训练。美空军也在积极采购下一代空战训练系统 P6CTS,并希望在 2030 年前替换目前广泛使用的 P5CTS。

### 3.4.2 F-35 全任务模拟器和 F-35 分布式任务系统

F-35 FMS 由洛克希德·马丁公司(以下简称洛马公司)研发,它的交付与实装保持同步,第 1 台于 2011 交付埃格林空军基地。洛马公司给 F-35 FMS 使用了与实装相同的作战飞行程序,确保飞行员在模拟器中训练过程与实装操作一致。对于部分影响任务系统训练效果的硬件也使用了真机件,如部分处理器。F-35 训练将在模拟器和实装之间分成大约 1:1 的比例。据洛马公司 F-35 战机训练部门副总裁称:“F-35 战机飞机模拟器可以让客户身临其境体会这种战机,能够提供全球独一无二的战机训练解决方案,也可以量身定制所需训练课程”。F-35 FMS 目前保真度,允许 45%~55%初始飞行训练在模拟器上完成。该模拟器已被 12 个以上国家采购,截至 2018 年 6 月,已布置 76 台。

F-35 分布式任务系统也由洛马公司主导研发。2020 年 7 月,在内华达州内利斯空军基地,该系统通过了美国空军和 F-35 联合计划办公室的验收。在该基地的 F-35 FMS 首次与世界各地同类设备实现互联互通。F-35 分布式任务系统可让分布在世界各地飞行员共享虚拟训练环境、战法战术和作战要素,堪称革命性飞行员网络化训练平台。该平台还支持大型部队开展演习,迄今为止,平台兼容飞机模拟器有 F-35、F-22、F-16、F-15 和 E-3C“望楼”预警机。世界各地飞行员,都可在这个虚拟环境中进行高级战术训练。该系统研制成功,不仅为飞行对抗演练提供了各种真实战场环境,而且有助于提高训练效率和减少资源浪费。

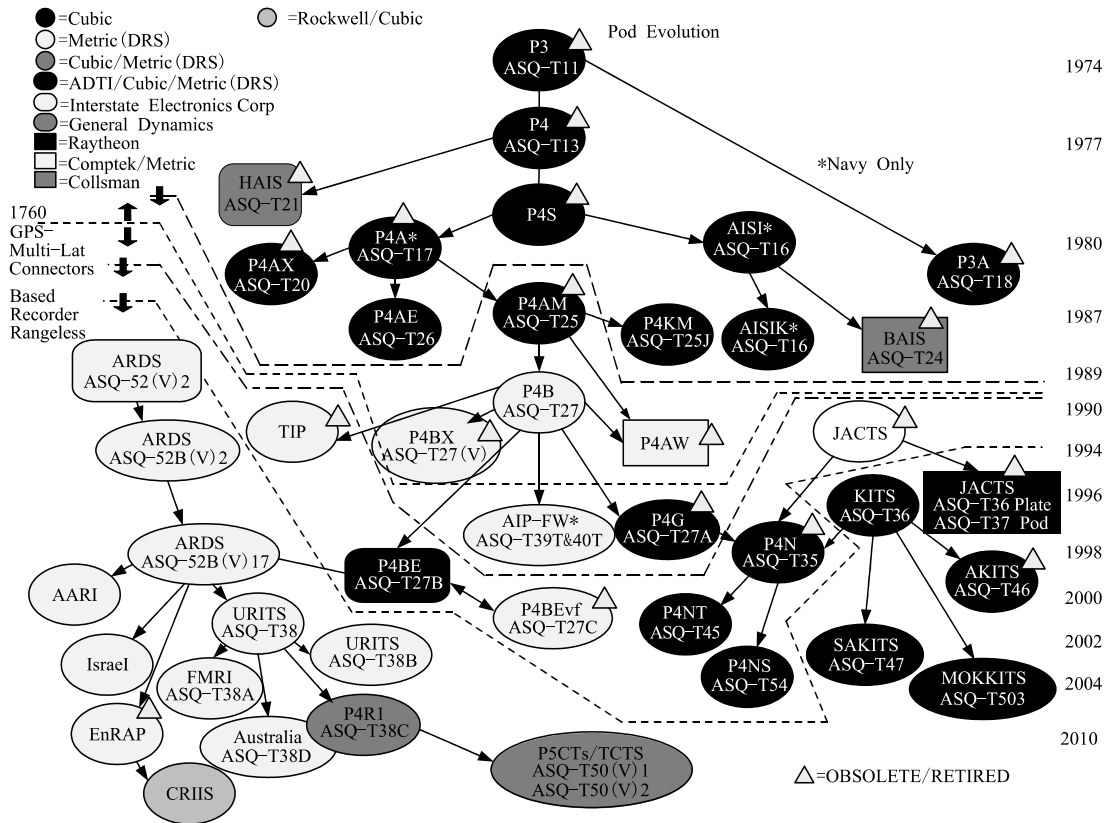


图 4 美军空战训练系统发展历程

### 3.4.3 SLATE 训练系统

SLATE 项目是美国防部和军兵种，为了加快国防高新技术预研成果转化应用而推出的先期技术演示项目，它基于 2012 年美军空战司令部和美空军实验室共同开展的 LVC 飞行员项目。SLATE 训练系统使用的机载训练吊舱，是在 P5 系统训练吊舱基础上的改进型，加载了可以处理新波形的组件，增加了 LVC 处理机，可将合成实体注入 SLATE 靶场环境中，去“欺骗”飞机传感器和飞行员。2018 年，该项目成功完成演示验证，充分展示了 SLATE 训练系统强大的 LVC 训练能力，获得了各方高度认可。

此外，为了提升 LVC 训练能力，美军还委托相关企业开发了诸多配套系统。比如 Cubic 公司“敌机”膝板系统、柯林斯宇航公司安全真实空空任务系统和联合空战训练系统、莱昂纳多 DRS 公司 ACMI 训练吊舱和 F-35 飞机机载嵌入式训练系统、诺斯罗普·格鲁曼公司 LVC 实验、集成和操作套件 (lvc experimentation integration and operations suite, LEXIOS) 和 DMON 系统等。

### 3.5 美军 LVC 训练体系建设发展特点

近年来，美军 LVC 训练技术逐步走向成熟，LVC

训练体系建设成效显著。纵观美军 LVC 训练体系建设发展过程，可以总结出如下 5 方面特点。

#### 3.5.1 组织机构较为完善，重视仿真社区建设

美军陆、海、空、天各军兵种均建有 M&S 机构，来协调管理各军兵种仿真系统建设，推进仿真系统在军事训练中应用。尤其美军在国防部层面成立了建模与仿真办公室，统一协调仿真政策，促进仿真社区发展，有效解决了仿真社区混乱无序、架构之间互操作性低等问题，推动了仿真技术快速发展，为统一的 LVC 训练综合集成环境开发打下了坚实基础。

#### 3.5.2 基础研发扎实，重视通用能力建设

以空战 LVC 训练为例，硬件基础主要包含 3 方面：1) 机载端成功研发；2) 地面数据中心和地面站成功建设；3) 标准规范且有效的联网仿真体系架构。第 1 点和第 2 点相对较为困难，美军花费了较长时间进行基础建设，投入了巨大精力和资源。从 20 世纪 70 年代开始，美军就着手研发空战训练系统，历经 30 多年才研制出功能较为完备的 P5 CTS/TCTS。美军最初的联网仿真计划“SIMNET”始于 1983 年，直到 1989 年才完成。此后，针对联网仿真架构中存在的问题，以及实际训练需求，又

相继开发了“DIS”“ALSP”“HLA”“TENA”“CITA”等联网仿真架构。另外,由于 LVC 训练体系建设复杂程度较高,各社区所用仿真架构存在差异,美军在 LVC 训练体系建设过程中十分重视通用能力建设,在 LVCAR 计划中,LVC 架构通用能力是重点建设任务之一。

### 3.5.3 仿真与实装结合紧密,仿真真实度较高

从 1980 年开始,美军飞机模拟器研制就严格按照“三同步”要求进行,即“同步立项、同步研制、同步交付”。同时,模拟器基本由实装生产厂家和经验丰富的模拟器生产厂家研制生产,确保模拟器真实度和研制生产速度。在 F-35 FMS 研发过程中,尤其能体现美军仿真与实装紧密结合这一特点。F-35 FMS 严格按照“三同步”原则进行,由 F-35 飞机研制厂家洛马公司担任研制厂家,并在模拟器上使用了诸多与实装相同的部件,装载与实装一致的飞行作战程序,使得可在 F-35 FMS 上完成许多实装训练任务。

### 3.5.4 注重企业生态培养,产品研发进展迅速

多年来,在美军主导下,美国诸多著名企业相继大力投入 LVC 技术发展,形成了目前较为完备的企业生态。在空战训练系统研制方面,有 Cubic 公司的 P5 CTS/TCTS;在嵌入式训练系统开发方面,有莱昂纳多 DRS 公司,它作为 Cubic 公司主要分包商,设计、生产并保障了 F-35 嵌入式空战训练系统部分组件;在联网系统开发方面,有诺斯罗普·格鲁曼公司的 DMON 和 LEXIOS,多次成功保障美军“红旗”“北方利刃”等军演;在空战环境系统开发方面,有美作战空间仿真公司,它开发的现代空战环境(modern air combat environment, MACE)系统已被 Cubic 公司采纳,用于联合开发 LVC 训练解决方案。近年来,美军成功开展了诸多 LVC 训练项目技术演示,SLATE 系统由 Cubic 公司担任集成商,在合同签订 40 个月后,就成功进行了演示验证,并获得高度认可。在 2019 年 4 月,柯林斯宇航公司与美国爱荷华大学作战效能实验室合作,进行了安全实时空对空任务训练系统演示,充分展示了其混合 LVC 空战训练能力。良好的企业生态使得美军 LVC 训练技术快速发展,体系建设不断完善,产品研发进展迅速。

### 3.5.5 注重演习验证,技术推进扎实

“千年挑战 2002”演习后,美军几乎每年都会

在演习中去验证完善 LVC 训练技术。近年来,集成的 LVC 训练环境开始在实际演习中得到应用,真实训练、虚拟训练和构造训练三者逐步融合到一起,有效提升了战场真实性,扩展了战场范围,在军事对抗演训中逐步突显出其巨大作用。

2009 年,基于异地模拟器组网,“红旗”军演实现了美国、加拿大、澳大利亚、英国等多国多种联合空战训练。在 2013 到 2018 年于阿拉斯加州开展的“红旗”军演,2015 年和 2017 年开展的“北方利刃”演习中,均使用了 LVC 训练技术。2015 年,美军首次尝试在内华达州开展将实装对抗“红旗”军演与“虚拟旗”军演相结合的演习,其中,大多数模拟器都安置在科特兰空军基地的分布式任务作战中心(distributed mission operations center, DMOC),包括一个完整的 E-8 联合指挥机指控席位。演习中,虚拟的 E-8 给实装飞机发送了虚拟地面目标信息,实装飞机也做出了响应。传统“红旗”军演区域大约为 38 000 km<sup>2</sup>,与“虚拟旗”结合后,虚拟的可用面积达到了 3 400 000 km<sup>2</sup>,范围增加了约 100 倍。在 2018 年开展的“红旗”军演中,美军成功实现了飞行员通过模拟器异地参与实装对抗演训,这表明美军 LVC 训练技术已取得极大突破,正式走向实用,且各项技术推进十分扎实。

## 3.6 美军 LVC 训练体系建设未来发展趋势

随着现代战争涵盖领域越来越广,向陆、海、空、天、电磁、网络、心理等全域发展,以及实战化训练要求越来越高,军事训练越来越复杂,LVC 训练需集成的元素逐步增多,现今技术需进一步发展。同时,军事智能化快速发展,LVC 训练可拓展性增强。近几年,美军 LVC 训练技术呈现如下 4 方面发展趋势。

### 3.6.1 大力推进标准化建设

标准化是推进通用能力建设的基础。美空军《空军模拟器规划 2035》中要求,在 2028 年前,完成 SCARS 研制。美空军希望为其模拟器创建一个通用开放式体系架构,该架构将施加更严格的网络安全标准,并使业务部门更容易使用新功能或威胁信息来更新模拟器,最终目标是拥有一批可远程接收软件更新的模拟器,就像智能手机一样。SCARS 是使整个产品更具模块化、系统更开放的一种措施,能为模拟器通用化打下基础,使美空军在各方面互操作性大大提升。2020 年 6 月,L3 公司已获得 9 亿美元最高限额不确定交付/不确定数量合同,内容涉

及 SCARS。该合同规定了整个空军训练课程中模拟器通用架构的定义、设计、交互、部署和维护,以及创建安全运营中心和数据库执行 SCARS 管理服务。SCARS 计划还将逐步实施模块化的开放系统方法和一整套针对空军模拟器的通用标准。SCARS 研制周期至 2030 年 6 月,为期 10 年。

### 3.6.2 机载端由吊舱式向嵌入式发展

随着隐身战机进入部队服役,吊舱式机载训练系统已无法满足新的训练需求,美军在新机型训练上积极寻求嵌入式训练(embedded training, ET)能力。嵌入式训练最早由荷兰宇航院提出并实现,可以理解为对现有外挂式训练吊舱的嵌入式处理,相应设备装载于机体内部。嵌入式训练,将 LVC 训练能力内置于操作系统,允许飞行员沉浸在一个任务场景中,通过与虚拟目标交互来增强训练强度和真实性。2018 年 11 月,莱昂纳多 DRS 公司获得了立方体公司的合同,为 F-35 飞机提供 500 多个嵌入式训练系统。2019 年,柯林斯宇航公司发布了联合安全空战训练系统(joint secure air combat training system, JSAS)实施计划,它提供的机载端系统硬件是嵌入式的。

### 3.6.3 由多域向全域联合训练发展,更贴近实战

时代不同,决定战争胜负因素也不一样。科学技术快速发展,推动军事领域快速变革。未来战争中,战场空间呈现向陆、海、空、天、电磁、网络、心理等全域发展趋势,能否在复杂多变全域空间中保持指挥信息畅通,以称为影响战争制胜的关键。针对未来高技术作战战争形态、战斗样式、作战对象和战场环境等,高逼真度地按实战要求开展训练已成为当前军事训练改革的重点。美军近年来大力推动“联合全域作战”能力发展,企图在陆、海、空、天、电磁、网络、心理等全域战场中形成压倒性作战优势,其 LVC 训练也在向全域训练能力推进,以提高部队在复杂多变战场环境下联合指挥作战和情报能力。

### 3.6.4 扩展现实、人工智能等新技术大量应用,有效拓展 LVC 训练能力

近年来,美军大力推进扩展现实技术在军事领域应用,进一步拓展和完善部队 LVC 训练能力。美国陆军和海军陆战队正在投资研发“综合视觉增强系统(integrated visual augmentation system, IVAS)”,这是一种信心战场头戴显示器,能把合成

训练环境与真实世界现实环境数据结合起来,大幅提高步兵战备水平和作战效能。美国空军通过采用虚拟现实、人工智能和生物特征跟踪等技术,将新飞行员训练时间从 12 个月缩短到 4 个月。增强现实头盔显示器也在军事训练中发挥巨大作用,极大增强了对抗演练真实性。原先开展对抗演练时,系统界面显示敌机为美军现役飞机,现在通过增强现实头盔可以模拟其他国家飞机,大大增强了近距对抗训练真实性。近来,美国 Red 6 公司研发的增强现实眼镜有效解决了实装近距空战目标成像问题,可以在飞行员目镜上显示虚拟目标来开展近距格斗科目训练。2020 年 11 月,据美国 The Drive 网站“战区”专栏报道,两家美国公司完成了号称世界上首次战斗机飞行员和人工智能虚拟战斗机间的空战测试,飞行员佩戴增强现实头盔显示器,驾驶真实战机大战人工智能模拟的“歼-20”。

美军也在大力推进人工智能技术在军事领域应用,智能空战对抗程序、智能空战系统等相继研发成功。美军在 2015 年开发的“ALPHA”智能空战程序,成功击败美空军专家退役上校 GeneLee。ALPHA 可在高逼真模拟环境(即模拟、集成和建模高级框架)中控制无人作战飞机执行空战任务,可有效充当人类对手,提升模拟对抗水平,有助于飞行员在安全环境下提升作战能力。人工智能技术也有助于提升 CGF 系统的智能,使战场环境更加真实,对抗性更强。从 2019 年开始,美空军就在大力推进“空中博格人(skyborg)”项目建设,该项目旨在开发集成在无人机上的实验平台,支撑基于人工智能的辅助决策、自动驾驶等功能的核心程序开发,形成一个人工智能驱动的“计算机大脑”,能够驾驶“忠诚僚机”型无人机和完全自主的无人作战飞机。目前,该项目已取得较大进展。今后,LVC 将不再只是一种训练方式,而是未来战场上的一种作战方式。

## 4 我军 LVC 训练体系建设发展概况

### 4.1 发展现状

我军 LVC 训练体系建设起步较晚。在模拟器建设方面,从 20 世纪 70 年代开始飞机模拟器研制,经过近半个世纪发展,已建成较为完善的模拟训练体系,机构较为健全,各型装备研制齐全;在空战演训系统建设方面,从 2009 年开始,我军已开展相关装备研制工作,目前已逐步应用于实际演习中。



## 4.2 面临的挑战

相比美军,我军 LVC 训练体系建设发展经验相对欠缺,相关装备和技术大多还停留于理论论证阶段。当前,我军 LVC 训练体系建设主要面临 4 方面挑战。

### 4.2.1 实时仿真训练网络建设缓慢

美空军 DMON 是其联合训练的核心网络,以地面有线网络为主,各分系统(如模拟器、CGF)向着 DMON 集成。除有线网络外,实现 LVC 还需集成无线网络,如将 P5 空战训练吊舱集成到 DMON,还需考虑专用训练链、靶场测控链和战术数据链的集成和协同。实时仿真网络建设是 LVC 训练条件的重要环节,也是同/异地组网训练的核心技术支撑。目前,我军仿真网络仅能支撑模拟器本地组网训练,在模拟器与实装同/异地组网、模拟器异地组网等方面进展缓慢,且未对异地联网仿真架构进行统一规范。

### 4.2.2 法规标准协议规范有待统一

随着飞行仿真技术快速发展,西方强国模拟器已经从各类飞机定制化训练器向体系架构标准化转变。美空军模拟器体系架构标准化工作比较领先,其 SCARS 项目已在 2019 年逐步铺开,并将每年发布通用标准。近年来,我军虽已认识到模拟器标准化建设重要性,但在标准化建设上推进缓慢。

### 4.2.3 嵌入式训练装备建设不够重视

尽管嵌入式训练装备有研制采购和维护成本,占用了飞机内部空间,增加了飞机重量,但从长远看是一种省钱、高效的训练手段。应用此类设备,可在任何时间、地点开展空空和防空压制等科目训练;减少对专业假想敌部队的需求,提高飞行训练质量效益;可加入虚拟 C4ISR,减少对这类稀缺设备的占用;减少训练空域受限制的影响。此外,嵌入式训练已包含 LVC 训练中的 L 和 C,可在本机上实现“实”“虚”对抗模式,是实现 LVC 训练的重要环节。本机内的“实”“虚”对抗不涉及在 LVC 训练网络中实时传输大量数据的问题,相对来说没有带宽、时延、数据丢失等问题。目前,我军对于嵌入式训练装备研发、设计仍较少且重视程度不够。

### 4.2.4 构造软件智能化程度有待提高

构造环境是 LVC 训练能力形成的关键,这一块能力不足,LVC 训练优势就无法体现。目前,国内在 CGF、兵棋推演、计算机对抗演练等软件平台方

面已有较多积累,但缺乏有效的集成架构,无法将这些系统集成到一起。此外,在构造环境研发时,生成兵力多基于一些固定规则,没有将人工智能、机器学习等技术应用于兵力构造,使得构造软件智能化程度较低,训练中对抗真实性不高。

## 5 LVC 训练综合环境构建关键技术

LVC 训练包含许多不同要素<sup>[9]</sup>,涉及个体、分队战术、合同战术、全域联合等多个层次,既有实体的,又有虚拟的,既要能满足个体训练,又要能满足集群对抗演练,还要能提供集成的陆、海、空、天、电磁、网络、心理等全域演练环境,以满足全域联合对抗演练需求。因此,LVC 架构设计需具备通用性,在构建综合 LVC 训练环境时,要确保各子系统间无缝融合、交互顺畅,且各子系统具备较高的智能。通过分析,笔者总结出如下 4 项与 LVC 训练综合环境开发相关的关键技术。

### 5.1 LVC 通用体系架构构建

在 LVCAR 计划开展期间,美军就已认识到,相关支持产品缺乏给多体系架构 LVC 仿真环境开发人员,带来了许多不必要的沉重负担,既增加 LVC 开发过程中固有技术和成本风险,也极大影响 LVC 互操作性。为此,美军组织多架构环境用户和开发人员举办了研讨会,以帮助识别必要产品,并评估这些产品相关投资瑰宝。根据反馈,LVC 通用体系架构设计<sup>[8]</sup>,包含 4 个高价值方面:系统工程流程、联邦协议模板、可重用开发工具和资产重利用机制。

#### 5.1.1 系统工程流程设计

当使用不同仿真架构的用户,必须开发统一的多体系架构分布式仿真环境时,由于每个用户特有的开发流程,会使得不同用户间有效协作产生障碍,这些用户可能是不同企业、研究所、院校等。为了成功开发多体系架构 LVC 环境,使用不同仿真架构的用户需为了共同目标一起工作;为此,必须解决他们之间固有的实践和开发过程差异,避免出现团队成员间误解、混乱和普遍的混淆。解决的关键是,制定统一用于开发和执行多体系架构环境的通用系统工程流程。如图 5 所示,给出了一个可供参考的通用系统工程流程——分布式仿真工程实施高级操作流,共分为 7 个步骤。这一操作流以一种与体系架构无关的方式,定义了开发和执行分布式仿真环境的具体操作,可为多体系架构环境开发问题提供解决方案。

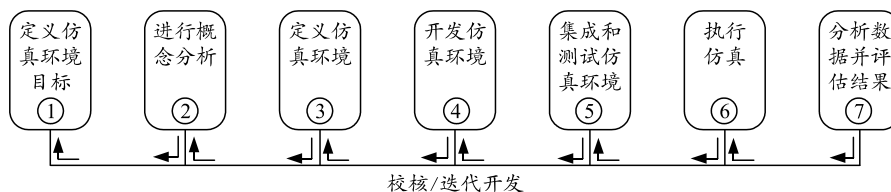


图 5 分布式仿真工程实施高级操作流

### 5.1.2 联邦协议模板开发

为了确保 LVC 环境正常工作,需要开发许多协议,包括参考框架、共享数据库、实体枚举以及支持工具,比如日志记录器、查看器。在多仿真架构 LVC 环境中,需要开发的协议更多,包括执行管理机制、网关和支持中间件等。但是,我军当前并未建立标准化跨体系架构联邦协议,现今使用的一些协议通常是各单位自行规定且多为临时构建。这意味着,推进多仿真架构 LVC 计划时,一旦跨架构,需不断重新创建协议信息或产品类型,不仅增加开发时间,且使得引入错误协议可能性增大。缺少联邦协议标准模板也会对程序间协议的可重用性产生负面影响。因此,在推进 LVC 通用体系架构建设时,需开发一个与体系架构无关的模板,来建立联邦协议。新模板内容和格式可以基于已有联邦协议,从各种不同程序中提取文档,以对不同架构用户利益进行调和。该模板需用可扩展标记语言 XML 表示,并支持机器可读的联邦协议数据交换。下一步,还可以开发一个工具来实现这一模板,为该产品用户提供一定程度自动化帮助。

### 5.1.3 可重用开发工具设计

分布式仿真开发过程每一步都包含许多实现自动化的机会,尤其是一些实用工具开发,如需求开发工具、场景开发工具、概念和对象建模工具、测试和事后检查工具等。尽管这些工具能满足大多数功能需求,但这些工具本身在开发时往往使用不同业务模型,导致工具共享困难,尤其对于多体系架构系统开发而言。另外,这些工具通常使用不同格式的存储和交换数据方式,也会各跨体系架构重用这些工具造成阻碍。因此,在实用工具开发时,需要考虑其重用性,研究并建立各种与 LVC 仿真应用程序工具资源有效共享相关的业务模型选项,确定最有益的方法,并在最需要的领域分阶段,以可控方式实现该方法。可重用开发工具的主要产品是一组经过识别的 LVC 开发工具,他们可以跨不同体系架构重用,并支持用于工具分化和维护的业务模型。同时,提供一组独立于体系架构的格式,用于跨体

系架构数据存储和交换。

### 5.1.4 资产重用机制开发

目前,我军虽在 LVC 训练相关产品研发中已取得了一定成果,但根据使用情况来看,这些产品利用率不高且可扩展性较低。尤其在 M&S 协议、模拟器软件架构等方面,往往在不同产品上使用不同协议和架构,这就导致重复开发和资源浪费。因此,在 LVC 训练体系建设过程中,有必要建立资产重用机制,以更好地支持 LVC 资产重用。

## 5.2 多系统网络互联

不同协议间互操作性低这一问题一直是多体系架构系统集成的难点。据美军 LVC 训练技术发展经验,为有效集成 LVC 训练环境,需构建良好地互操作性机制,尤其是需解决不同联网仿真架构间的互操作性问题。美军 20 世纪 80 年代到 90 年代设计开发了多种联网仿真架构,比如 DIS、ALSP 等,并将这些架构用于诸多仿真系统开发,由于架构间互操作性低,导致对这些系统进行互联时,出现了很大问题,数据无法交互。为此,美国防部在 2001 年后,废止了其他联网仿真架构,仅使用 HLA。但也无法尽善尽美,由于 HLA 在某些专用领域有较大限制,美军不得不开发其他联网仿真架构,并开发通用网关和桥,以解决不同架构间互联互通问题。对于我军而言,由于长期以来未对联网仿真协议进行统一管理,且未构建标准化网络协议,不同协议间互联互通问题将更加严重。为了解决这一问题,一方面,可以通过借鉴美军众多协议并细致整理我军现有协议,加快构建符合我军现状的标准化联网仿真协议;另一方面,可以开发标准化通用网关和桥,用以联接不同 LVC 资产;另外,还可以运用云计算技术,探索建立云中心,用以解决各仿真协议间交互、计算时间同步等问题。

## 5.3 多系统架构聚合

在 LVC 环境集成时,由于需聚合不同系统架构,不同系统间兼容性和实时性会造成较大困难,不仅面临技术挑战,而且会面临商业模式和管理挑

战。通常后者带来的问题更加艰巨。因此，需要细致研究与多系统架构聚合相关问题和风险，并开发一种策略来有效实现多系统架构聚合。有 3 种方案可以用来实现：1) 建立标准线路，定义所有仿真架构如何进行数据通信；2) 建立统一静态应用程序结构，专门用来提供聚合服务；3) 构建共享实现机制，也成为通用仿真基础设施 (common simulation infrastructure, CSI)。CSI 工作原理如图 6 所示。其

中，专属于某一体系架构的内部通信都通过仿真当前使用的相同中间件服务进行，中间件通过 CSI 与其他仿真对象进行所有聚合功能通信。CSI 将聚合服务间的对齐自动化，以便使得来自不同体系架构接口的仿真能有效且直接交互。多分辨率建模技术 (multi-resolutions modeling, MRM) 也是军事领域十分重要的一种多系统聚合技术，也可用来集成 LVC 训练环境<sup>[10]</sup>。

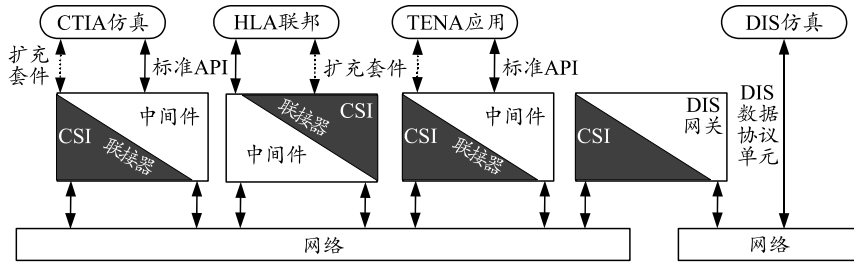


图 6 CSI 工作原理

### 5.4 从单机到集群智能化

当前，世界各国都在大力推进军事智能化建设。加快军事智能化发展，提高基于网络体系的联合作战能力、全域作战能力。LVC 涉及范围较广，覆盖单机训练、分队训练和大型联合对抗演练，涉及主体包括多军兵种训练装备、战场环境、各类军事指挥作战人员；因此，有必要设计和开发从单机到集群的智能化技术<sup>[11]</sup>。

在单机层面，一是提升装备本身智能化程度，比如飞机模拟器，主要实现自主训练、自主评估和充当智能对手等；二是提升装备联网对抗评估智能化水平，为受训人员提供客观公正的评价。在群体层面，主要是提升构造环境智能化水平。LVC 训练环境中，不仅有实兵，还有较多虚拟兵力。当前，这些虚拟兵力基本是基于固定规则开展行动，从而导致对抗真实性较低，也不利于战斗力提升<sup>[12]</sup>。因此，需加强对构造软件集成开发，提高生成兵力群体智能化水平。

## 6 我军 LVC 训练体系建设发展建议

### 6.1 LVC 训练体系建设是一个系统工程

LVC 训练体系建设，涉及众多领域和部门，建设周期长，经费需求大，是一个系统工程；因此，需要加强组织领导，以及各部门、机构紧密配合，建立技术、管理、经费等各方面畅通的路径，需要加快构建军民融合体系，加强企业生态培养。在建设前期，要加强基础技术研发，建立标准化、通用化的技术体系和标准。建设过程中，需要作战、训

练、装备、工业等多部门紧密沟通协作，定制功能完备、成本可控、使用方便的训练系统。同时，要研究 LVC 训练理论，确定 LVC 训练在训练中占比，调整传统训练科目，设计适合 LVC 训练的训练科目。另外，不能盲目追求场景复杂、成员庞大的训练内容。

### 6.2 LVC 训练体系建设是一个长期工程

LVC 训练体系建设是一个长期体系化建设工程，需围绕使命任务、建设目标等加强顶层规划，分阶段、分目标设计子任务，并构建科学的具体实施路径。在建设过程中，不可盲目推进，必须遵循技术发展路径，确保技术基础扎实，同时要加强对研究论证，比如对于实装飞机嵌入式改造或嵌入式设计，由于一旦定型后修改较为困难，在设计时需根据目标详细论证，确保实装能融入 LVC 训练体系。统一的技术架构、网络协议和标准是确保 LVC 训练环境成功集成的关键，可以通过建立联盟社区或专门协调管理中心，负责统筹、管理和协调，确保我军体系标准、基础环境和技术的统一。

### 6.3 LVC 训练体系建设需着眼于对抗训练能力

与以往所说训练不同，LVC 通过虚实结合，能为受训人员提供更接近实战环境的作战体验。LVC 训练目的就是在实战中检验各类人员技战术掌控水平，以飞行训练为例，就是要放开对飞行人员的各种限制，以训练和检验其在战场上灵活反应、指挥协同、战术对抗、远程突袭和对敌方实施领空压制等能力。因此，在建设 LVC 训练体系时，需重点加

强 LVC 训练对抗能力建设,培养人员作战动作、技术基础、操作技能等训练内容不应作为 LVC 训练重点建设内容。

#### 6.4 注重对 LVC 训练常态化应用

美军近年来的发展和建设情况表明, LVC 训练是提升战斗力水平的关键举措,也是培养和增强复杂对抗背景下专业能力的重要方式,更是未来战争制胜的关键,要注重在常态化应用中逐步发展和完善这一训练模式。

### 7 结束语

从美军近年军事领域演训发展、新项目建设等情况来看,采用虚实结合的 LVC 训练已成为美军训练体系建设的重中之重,有效推动了美军军事训练转型发展。LVC 训练将实装训练、虚拟训练、构造训练三者有效融合,极大扩展了战场范围,丰富了战场环境,使得训练更加逼真,实战化水平大幅提高,为培训和检验各类人员能力水平提供了更加科学合理的方法。我军 LVC 训练体系建设,应着眼于实战化能力提升,为各类人员训练提供安全、保密且高效的 LVC 综合集成训练环境。LVC 训练体系建设无法一蹴而就,是一项需要长期建设的系统工程,一方面,可以借鉴美军先进发展经验;另一方面,需加强顶层设计和研究论证,构建建设发展蓝图,制定科学合理技术实施路径,强化基础技术研究。在建设过程中,也要警惕 LVC 训练万能论,确定 LVC 训练在训练中的占比,优化 LVC 训练与传统训练比例,更好地促进我军日常训练开展,加快提升实战化水平。

#### 参考文献:

[1] 张昱,张明智,胡晓峰. 面向 LVC 训练的多系统互联

技术综述[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(11): 2515-2521.

- [2] PAL J, KEUNING M, LEMMERS A. A Comprehensive Perspective on Training: Live Virtual and Constructive[C]//NATO Modeling and Simulation Group(NMSG) Symposium, 2011: 1-10.
- [3] HANNAY J E, MEVASSVIK O M, SKJELTORP A, et al. Live. Virtual. Constructive (LVC) simulation for land operations training: Concept Development & Experimentation (CD&E)[C]//On Integrating Modelling & Simulation in the Defence Acquisition Lifecycle and Military Training Curriculum(STO-MPMSG-126). NATO Modelling and Simulation Group Symp, 2014.
- [4] BEST D C, RICE B. Science and Technology Enablers of Live Virtual Constructive Training in the Air Domain[J]. Air & Space Power Journal, 2018, 32(4).
- [5] 白爽,洪俊. 美军面向 LVC 联合训练的技术发展[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(5): 135-140.
- [6] ALLEN G W, LUTZ R, Robert R. Live. Virtual. Constructive. Architecture Roadmap Implementation and Net-Centric Environment Implications[J]. ITEA Journal of Test & Evaluation, 2010, 31(3): 355-364.
- [7] 陈西选,徐璐,曲凯,等. 仿真体系结构发展现状与趋势研究[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(9): 32-36, 40.
- [8] COOLAHAN J E. LVC architecture roadmap implementation—results of first two years[J]. M&S Journal, 2012, 7(1).
- [9] KIM K, PARK T W, PASTRANA J, et al. Modeling of complex scenarios using LVC simulation[C]//In Proceedings of the IEEE Winter Simulation Conference. IEEE, 2014: 2931-2941.
- [10] LEE K, LEE G, RABELO L. A systematic review of the multi-resolution modeling (MRM) for integration of live. virtual. and constructive systems[J]. Information, 2020, 11(10): 480.
- [11] 杨芸,李京伟,李雪青,等. 基于人工智能的飞行模拟器大脑模型构建[J]. 兵工自动化, 2021, 40(3): 19-25.
- [12] 高昂,董志明,张国辉,等. LVC 训练系统中计算机生成兵力生成技术研究[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(3): 745-752.