

数字转型！ 数字工程推动下的美空军模拟器通用体系架构

何晓亮

训练严格、装备精良是各军事强国名片。军事实力除了建立在先进作战装备的基础上，也依赖于训练技术和训练装备的有力支撑。航空装备的“灵活敏捷”以及“相对昂贵”这两个特点，给实战化训练所需的场地建设、威胁复杂、导调控制提出了一定挑战。美空军在实战化训练方面的起步早、发展快，除了每年度开展系列演习训练活动甚至有时用实战补充训练以外，还投入资金用于提升综合测试和训练基础设施。对于涉及复杂场景和联合战术的“高级”训练，将逐步迁移到虚拟环境以满足多方面的约束要求。

美空军虚拟环境建设总体要求

2017年9月，美空军发布了《空军2035年作战训练基础飞行计划》，该计划描述了美空军对实战训练和虚拟训练环境的愿景，确定了相关资源和使用需求的优先次序，并为获取能力需求制定一条时间线。一方面强调了“高级”训练能力必须跨越多代飞机和相关训练系统，能够连接到虚拟环境中进行高保真测试和训练，提高分布式训练网络能力和互操作性。另一方面强调了系统工程思想和开放式系统架构要求。

1. 明确开放式系统的顶层要求
《空军2035年作战训练基础飞行计划》将开放系统架构定义为一种标准，描述了分布式数据处理系统的分层结构或模型：(1)使系统的设计、开发、安装、操作、改进和维护等操作能在多层级结构中的一层或多层中执行；(2)允许每个层级提供一组可访问的功能，这些功能可以由其上一层级控制和使用；(3)使每个层级都能在不影响其他层级的情况下实现；(4)在不改变其余层级现有设备、程序和协议的前提下，允许通过修改一层或多层来改变系统性能。

2. 作战测试和训练基础设施计划
美空军空中作战司令部(ACC)在《空军2035年作战训练基础飞行计划》指导下提出了作战测试和训练基础设施(OTTI)计划，将其作为未来训练概念的一部分。OTTI目标提高利用训练相关基础设施和系统改进的能力，在建模仿真领域包含了联合仿真环境、模拟器分布式训练、通用模拟器架构、相关软件这四大任务。

美空军认为在虚拟环境中进行训练，在数据方面有以下两方面优势：一方面是在没有安装训练带来的安全约束后，虚拟环境训练产生的数据准确性更贴近实战。另一方面是在虚拟环境训练可以产生并记录关于飞机和飞行员能力更详细、更全面的重要数据。

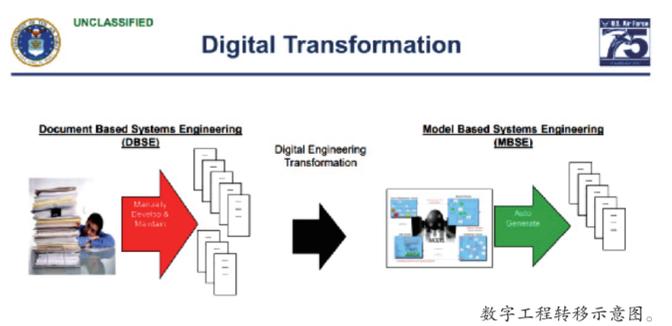
2021年空军作战集成能力目标提倡在OTTI基础上单独提出了虚拟OTTI，并让两者采取统一的方法，使空军能够将更多训练从真实世界转移到虚拟世界，缩小测试和训练差距。事实上，虚拟OTTI也是《2023年计划目标备忘录》中提到的十大关键能力之一。

模拟器通用体系架构要求和标准

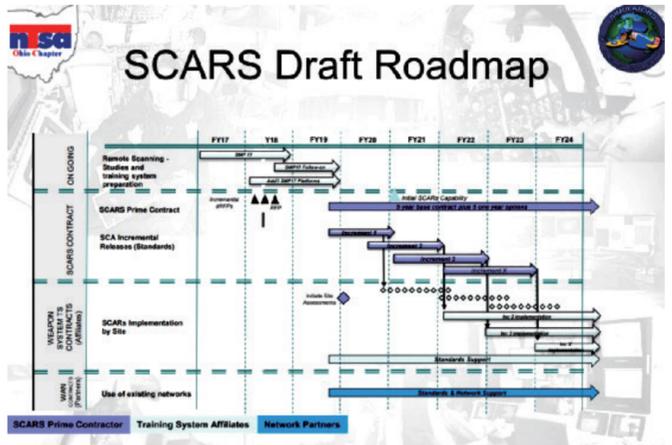
1. 背景和目标
为落实虚拟OTTI工作，美空

军装备司令部全周期管理中心敏捷作战支持局模拟器项目办公室(简称AFLCMC/WNS)在牵头组织空战模拟器通用体系架构要求和标准(SCARS)计划。AFLCMC/WNS负责采购、运营和维护美空军分布在世界

升级。CAE美国公司在收购了L3公司仿真和训练业务后，成为美空军模拟器通用体系架构要求和标准(SCARS)计划的主承包商。
2. SCARS的三个主要阶段及其标志物



数字工程转移示意图。



2018年版本的SCARS计划。

各地数千台不同类型模拟器。尽管美空军每年都会采购新的模拟器，但历史上模拟器的采购上往往与飞机研制没有强相关。通常，当前模拟器的合同会对硬件和软件、体系结构、设计文档以及网络安全提供“过时”约束条件。虽然模拟器利用不断改进的技术，但一些设备已经有40年的历史，并非所有系统都是数字化的。许多遗留模拟器的架构和设计，早于基于模型的系统工程(MBSE)的理论出现。

SCARS是为历史上独立发展的模拟器建立标准化技术基线，并从OTTI的角度扩大其可访问性。SCARS计划将开发一个通用架构，整合和标准化美空军的飞行模拟器，并目标在分布式、网络化和网络安全方面取得进一步突破。在标准规范和通用应用程序、软硬件的支持下，使美空军能够将模拟器连接在一起，简化远程软件更新和信息的快速分发，最终构建丰富训练环境和实现多域联合训练。

SCARS计划获批9亿美元的最高限额，截至2030年6月，是一项长期持续性工作，用10年时间逐步建立美空军模拟器开放架构。美空军将使用新的大约2400台模拟器进行更新。当前的阶段任务要求以A-10和KC-135模拟器为试点，用新标准完成9个站点的

- (1) 初始部署
 - 网络安全混合云基础设施，提供集中运营和服务，包括SCARS基线要求和产品库
 - 本地/远程网络安全
 - 本地/远程支持
 - 本地/远程基线管理
 - 按照MBSE要求设计
 - 支持多安全域

- (2) 将应用程序迁移到本地设备(OPE)
 - 具有开发、安全和运营(DevSecOps)和MBSE能力的SCARS数字工程环境(DEE)作为现场设备(OPE)提供给训练系统支持中心(TSSC)
 - 训练系统参考架构
 - 应用程序开发和上线
 - 使用经批准的开源应用程序和通用模拟器应用程序扩展SCARS库，以供多个平台/模拟器复用

- (3) 扩大使用
 - 具有高可用性和高性能的基于网络安全混合云的模拟器
 - 符合MOSA模块化开放系统方法

- 数字工程环境支持的模拟器通用体系架构
- 持续发展、集成和获得运行授权(ATO)

- 包含通用合成环境服务和应用程序
- 最小化平台专用硬件和软件
- 3. 相关进展

截至2022年底，SCARS在以下7个方面取得了进展：

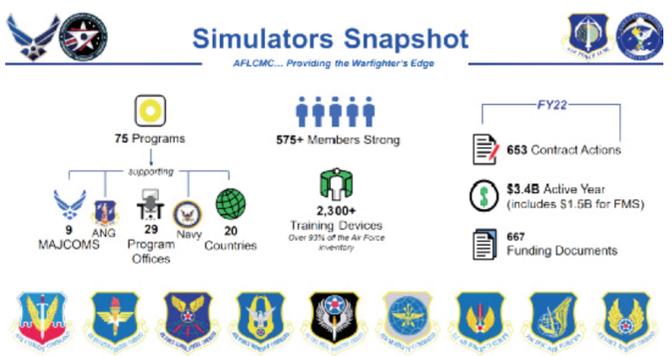
- (1) 有18家合作单位签署了参与SCARS开发的合同。
- (2) 部署了8个现场设备(OPE)系统
- (3) 按照IOC标准完成对现有A-10C模拟器漏洞的首次扫描。
- (4) 完成SCARS增量1和增量2标准
- (5) 启动地理空间数据存储合同，为所有模拟器开发权威数据库
- (6) 将仿真应用程序迁移到虚拟机和容器中为常见类型的模拟器定义政府参考架构以支持增量3标准
- (7) 与空军实验室合作，评估新架构的实时模拟器性能(如哪些应用程序在虚拟机和容器中工作得最好)

数字工程对SCARS的影响

按照美国防部数字工程战略所述，这种数字工程转型对于应对新威胁、保持优势和利用技术进步是必要的。数字工程战略阐明了五个目标：(1)规范模型的开发、集成和使用，为项目和复杂组织体决策提供信息；(2)提供持久、权威的单一真相源；(3)整合技术创新，改进工程实践；(4)在利益相关者之间建立协作环境，以便在利益相关者之间开展活动、协作和沟通；(5)转变文化和基础设施，以在整个生命周期中采用和支持数字工程。数字工程的实施为空军仿真技术开展训练以及在真实、虚拟和建设性仿真(LVC)



模拟器通用体系架构的三个阶段。



美军模拟器建设发展情况总结(截至2022财年)。



2022年12月2日，B-21轰炸机首架原型机在亮相仪式上。格雷迪上将称，将采办流程中一些工作并行化，特别是边试验边建造的方式在B-21采办计划中有应用，并且“效果真的很好”。该信息体现了B-21计划由美空军快速能力办管理，虽然列为传统装备采办计划、按传统重大能力采办流程推进，但仍有一定的灵活性允许加速采办。

张洋

4月5日，美国参联会副主席、美海军上将克里斯托弗·格雷迪(Christopher W. Grady)在美国华盛顿特区参加美国战略与国际研究中心(CSIS)举办的一场对话活动时表示，在采办流程中采用并行而不是串行流程，可能会加速美国防部向作战部队交付新系统的速度。格雷迪认为美军采办太慢，要想改变这种情况，首先美

美军参联会副主席强调国防工业应具备快速交付的并行采办和迅速增产能力



美空军F-15E战斗机投放多枚“杰达姆”GBU-38制导炸弹，图中可见5枚。格雷迪上将强调美军需要的工业基础除了具备当前一些特征外，还必须是稳健、多样和可信的，“必须是可以激增的”。他在讲话中不仅提及了对工业基础的希望，也提到了对甲方应该采取什么样举措的思考，特别是提及了激励措施。

国防部必须成为一个好的客户，例如，在制定需求方面做得更好，对需求建立很好的理解，并将其传递给业界。他认为美军各军种正在努力做到这一点。除此之外，加速采办是另一种方法，也即研究采办流程中的一些步骤如何同时并行完成，而不是采用一个接一个的串行方式。他举例说，试验可以与采办的其他流程并行，“我们可以在采办流程中嵌入测试仪器，这样当我们最后准备好时，要做的就是最后的试验，而不是启动整个测试过程”。他表示这种流程变化已用于B-21“空袭者”轰炸机计划，并且“效果真的很好”。

格雷迪还认为，美国国防工业基础目前面临三个问题。第一，规模变小了。他认为工业基础的收缩可能发生在和平红利时期，例如，美国曾有25家造船厂为美海军建造船只，而现在低于6家。第二，美军需要的系统类型很复杂。在二战期间，美国的造船厂能在几天内制造出相对简单的舰船，这种速度对于今天现代化的舰船、飞机和地面作战系统来说是不可能的，“因此，维持一个拥有适当数量制造工艺人员来创建这些复杂系统的工业基础将是一个挑战”。第三，他认为私营部门广泛使用“准时制”(just-in-time)库存管理的概念，原材料并不作为企业常规库存的一部分而保留和持有，而是在需要满足制造要求时再采购和运入，这样可以降低成本和提高效率。他认为这种模式在20世纪90年代、21世纪初的工业部门很有意义，可能会有很高的利润率。但这是第0阶段(Phase 0)和平时时期模式，不会在第3阶段也即美国正在进行的斗争中获得好

的效果。作为美军联合战斗条令的一部分，“第0阶段”被称为“塑造”阶段(shaping phase)，发生在平时时期；“第3阶段”包括积极的战斗，就像如今在乌克兰发生的那样。对此格雷迪认为，“问题将是美国防部如何激励一个能得到正确解决方案的工业基础。”他表示，美国防部需要确定应当储备多少系统、要从很高节奏的或高节奏的生产线(hot production or a warm production line)得到什么；支持美军的理想工业基础应具有充分的竞争，允许私人资本自由流动，并具有稳健、多样和可信的供应链，可能不仅仅包括美国，也包括美国盟友和伙伴，并且，“最终，它必须是可激增的”。格雷迪认为，“接下来的问题是，美军如何去激励这件事？”他表示，美国防部常务副部长希克斯和采办与持续维持副部长拉普兰特正在做这项工作，例如，《国防生产法》第三章已经到位，这里也有美军需要的一些豁免。这是朝着正确方向迈出的良好一步”。