

仿真环境	完全作战能力 (FOC)	可互操作	可集成平台	电磁环境 (EMOE)	是否专有	分布式	能够整合未来技术	FOC 成本	服务平台	描述	问题
DMON	当前	是	是	否	是	是	否	5000 万美元 + 4000 万美元		地理上分布的任务训练中心 (MTC) 网络和完全不同的训练体系	模拟器之间不同状态、盟友协同问题、多层安全加密、延迟、缺乏空间 / 网络
VTTC	当前	否	否	否	否	否	否	5 亿美元	四代、五代机	用于综合作战人员训练、战术发展和能力测试, 多域、对等对手场景	隔离闭环系统
JSE	2024 年	是	是	是	否	否	有限		F-35, F-22	政府拥有的高保真建模仿真环境将测试五代机及以后的飞机和系统	高保真度有限平台
CSTE	2027 年	是	是	是	否	是	是	4.4 亿美元	全部空军装备	对等 / 近对等威胁、高端高级测、战术和训练	仅是概念当前不存在
JITC	2030 年	是	是	是	否	是	待定	2.7 亿美元	F-35, F-22 EA-18G, F-15E F-16, EC-130H	专用空中平台战术训练活动	只有签署的备忘录

表 2

# 美空军调查研究如何做好仿真训练与实装训练相平衡

何晓晓

美国空军在大国竞争下的战备需求正在迅速变化, 空勤人员使用传统训练技术和理论已经无法跟上变化。在 2020 年至 2030 年之间, 对“高端”训练的需求预计将增长 4 倍。美空军仿真技术和装备器材未能满足体系融合训练的需求, 导致空勤人员训练经验有限, 战备状态降低。具体问题包括仿真训练与实际装备状态不一致、模拟威胁和效果不准确以及无法集成到高保真模拟环境。为此, 美空军抽取了 12

的应用。靶场地理限制、对手的电子侦察能力、有限的威胁复制能力, 基本否定了当前实装训练的发展。差距具体包括: (1) 实装靶场不满足五代机、电子战 (EW)、体系对抗训练要求; (2) 仿真训练环境保真度不高, 脚本化程度过高, 缺乏跨平台的集成能力导致负面训练; (3) 高保真仿真训练环境不满足规模要求并且成本过高; (4) 分布式训练网络由于延迟导致不支持五代机或电子战训练; (5) 尚未开发出可支持面向大国竞争下高端战斗训练的多平台模拟环境。

要求、规范和标准, 特别是关于仿真与实装飞行相关建议。

## 调查研究的过程

1. 文件审查与采访  
团队审查了 150 多份文件, 涵盖美空军训练的各方面, 例如调查美空军过去 10 年在训练中面临的挑战、模拟器及其全寿命周期使用问题、实装训练和场地使用相关的成本, 以及模拟威胁的水平, 每一项文件都反映出训练执行存在了一些障碍。所审查的文件类型包括科学研究、军事评论、

2. 训练大纲审查  
团队审查了每型飞机的训练大纲, 包括任务资格培训 (MOT)、教员资质升级 (IPUG) 和武器教员课程 (WIC)。也审查了准备就绪空勤人员计划 (RAP) 任务备忘录的要求。首先确定实装训练与仿真训练的基本比例, 然后进一步划分了“低端威胁”训练 (主要包括飞行、仪表科目和任务应急程序等事件) 和“高端”威胁训练 (主要包括在复杂电磁环境中训练, 在联合 / 多域科目中对抗对等 / 近对等威胁)。还对审查涉及实装训练与

题和一般需求。主要涵盖以下几个要点: (1) 需要根据飞行员能力来定义准备状态, 而不是飞行小时数或架次数; (2) 预计大部分甚至全部“高端”训练将转移到仿真环境; (3) 需要连接多平台仿真环境执行无脚本、高端、有对抗的战斗场景。  
4. 对当前安排的训练环境进行评估

美空军的多种训练环境处于不同的发展阶段, 每个阶段都具有不同的保真度、能力和建设重点。表 2 重点介绍了各环境及其特点。[ (注: 虚拟测试与训练中心 (VTTC)、联合仿真环境 (JSE)、通用仿真训练环境 (CSTE)、联合综合训练中心 (JITC)、分布式任务作战网络 (DMON) ]。

## 调查研究的结果

通过调查研究得出结论: 仅仅按照当前的能力基线和项目计划将无法满足训练要求。根据目前的路线图, 未来一定规模的联合作战可能无法开展训练。目前的网络和仿真不支持五代机的电子战任务, 需要提高仿真的整体保真度来推动训练方式的转移。这包括推动 JITC 以提高保真度, 并支持五代机电子战的高端训练; 将 JSE 中的 Fighter-in-a-box (FIAB) 体系结构框架, 作为 4 机编队或更小规模训练的解决方案; 以及以数据为中心的分布式培训、数据分析和共享服务的解决方案 JDC-SE。

预计到 2027 年, 将产生大量用于训练的模拟技术, 这些技术将越来越多支持实装飞行。除了“高端”、综合训练环境外, 简易模拟器领域也出现了重大进展, 这将大幅降低模拟器成本。在军种 / 行业间培训、模拟和教育会议 (I/ITSEC) 上, 至少 150 家企业参与了仿真训练平台的开发, 共同支持美空军训练。这项技术已经成熟, 大多数都可以立即部署。随着一个开放架构、可互操作的高端虚拟环境建成后, 轻量级模拟技术将能更便利地接入到综合训练环境。另外, 美空军还以认知训练为重点, 专注于压力下的决策训练为目标。具体来说, 通过部分任务训练和评估, 飞行员可以专注于战斗的要素, 并大幅提高整体表现。关键技术包括桌面式、便携式仿真训练设备、增强现实 (AR)、虚拟现实 (VR) 和混合现实 (MR)。这些产品或技术可以基于数据分析进行个性化, 提高基于各种场景变量做出决策的速度。

## 调研后提出的建议

飞行员战备训练要持续与世界范围内的技术变革相匹配, 所以短期、临时的干预措施不太可能支撑战备需求。也就是说, 未来的联合作战训练要使用可互操作体系结构, 将在不显

平台	类型	特定需求	一般需求
F-22		由于作战安全、规模和电子战限制, 靶场不满足高端综合训练	由于保真度、互操作性和所有权问题, 仿真还不足以进行高端综合训练, 为了在有限的训练时间内完成更多要求, 基础飞行技能正在受到侵占
F-35	战斗机	该飞机需要在威胁环境中作战——即仿真部分需要高端技术支持, 另外空域足够大才能完整呈现战术; 嵌入式训练 (ET) 缺乏准确性和真实性, 可能会造成负面的训练情况	需要在综合环境中练习现实中有争议的场景; 必须能够访问联合训练环境; 需要解决“临战前”期间的认知问题
F-16		维护问题	缺乏整体画面效果 (视景、毁伤效果) 需要综合化训练——不止空对空训练
AWACS	指挥控制飞机	需要完整的任务规划经验——只针对的一个平台规划就像自言自语; 需要与其他飞机一起考虑维护计划	在战位上与实装战斗人员交谈的能力; 复杂作战管理经验; 要求其他人做好自己的工作, 达到战备状态的定义和所需的明确指标
B-2	轰炸机	仿真过于完美, 需要不确定性元素 (战争迷雾和摩擦冲突); 空域限制使实装飞行成为一项挑战——需要练习分布式作战	需要一起训练; 需要一个联合仿真环境来训练协同
B-52		模拟器与实装状态不一致; 电子战在仿真 / 实装中不同	无法与其他平台集成, 可以练习近距离飞行, 但空中加油的效果没有代表性
MC-130J	特种作战加油机	需要重新定义“达到战备情况明确未来的实际任务需要什么	需要练习跨平台和军种协同 需要对“临战前”准备情况进行准确评估
KC-135	加油机	使用模拟器机会有限; 仿真程序只注重基础知识 仿真基本上是确定性结果	需要综合训练; 需要反复置身于不可预测的作战场景
C-17	运输机	飞机缺乏态势感知能力, 需要配试技术来提高战场认知; 缺乏复杂环境下的训练计划	需要在复杂环境训练; 需要在集成仿真环境中进行训练; 需要配试技术; 需要训练对抗水平
MQ-9		最大的问题是监管 (例如 FAA 规则)	进入战场前需要专门的培训时间;
RQ-170/RQ-150	远程引导	仿真对 RPA 支撑表现不佳	需要联合作战训练经验

表 1 现役装备摸底

种不同机型的飞行员进行了一项研究, 以了解可用训练资源和“高端”训练之间的差距, 重点关注“临战前” (Night One) 准备情况。根据调查研究结果, 围绕空勤训练投资战略研究提出了如何平衡实装飞行需求与“高端”仿真训练需求的有关建议。相比于装备建设领域, 训练技术更具有通用性。美空军作为训练领域的领先机构, 其经验做法值得其他大国空军参考借鉴。

## 国防战略与训练需求

2022 年的《国防战略》要求美空军人员面对快速变化的不稳定、不确定、混乱和模糊 (VUCA) 环境做好任务准备, 强调“临战前”场景是不可预见的, 不能按照计划或预演的场景进行。美空军空中优势 2030 飞行计划强调需要关注空勤战备状态, 重点关注训练时间、训练有效性、技能衰退、认知模型培养以及在作战环境中

潜在冲突事件的结果将取决于战备状态, 而不是飞行和练习的小时数, 是通过优化飞行员的整体素质——身体、生理和认知来决定, 训练将根据每个飞行员的需求进行个性化设置。为了在对抗环境中充分利用有限资源, 需要进一步定义战备状态的战术级别

政策要求和战略指导等方面。团队与相关现役军官进行了访谈, 询问了需要在未来训练系统设计和规划中应予以重点关注的突出问题, 主要包括确定实装训练与仿真训练的相对重要性、“高端”与“低端”模拟器训练能力以及达到战备状态的具体评判标准。

仿真训练的基本比例趋势进行了分析总结。

## 3. 对现役装备训练需求摸底

团队采访了 14 名飞行员和训练领域指挥官, 包括战斗机、指挥控制飞机、轰炸机、加油机、运输机和无人机。表 1 列出了整个访谈中描述的关键问

	LF : R : S 比值	环境说明	认知增强	教员干预程度	备注
当前	40 : 30 : 30	逼真度, 集成问题	无	因教师而异	用模拟器补充实装 / 靶场; 缺乏互操作性、电子战、威胁准确性和思维模型开发支持
2027	50 : 10 : 40	模拟器扩展了集成用途	生理数据	个性化培训	联合仿真演习将成为常态; 需要多平台环境
2035	30 : 10 : 60	模拟器主要训练环境	个人生理预评估; 广泛的实时传感器和内部数据	混合 (人 + 技术) 培训; AI 讲师	战备将更加弹性、敏捷

表 3

著影响当前系统状态的前提下, 支持快速更新模型、引入威胁和便于技术引入、迭代。

1. 根据能力定义达到战备状态的标准: 开发学习架构

实施中的训练大纲和计划是基于当前目标、技术限制和个人经验制定的。通过开发一套学习架构, 确定在什么环境中可以更好地进行训练、演习和评估, 确定各种要求的优先级顺序。额外的学习要求包括在对等威胁下认知负荷管理、认知敏捷性、生理控制和情绪反应。这种将 RAP 目标与训练需求联系起来的学习架构将推动更高效、更有效的战备工作实现。

2. 综合任务训练和基础飞行训练同等重要

综合任务飞行的成功取决于基础飞行技能的掌握情况。如果这些基础技能不能熟练掌握, 注意力将转移到飞行安全上, 飞行员将专注于执行基础操作以避免潜在的安全问题, 或者冒着发生事故风险做出复杂任务决策。迄今为止, 由于飞行事故 / 安全隐患是训练不足的影响因素, 因此很难衡量如何减少实装飞行小时数如何改变。也就是说, 基础飞行训练必须继续成为高度优先事项。同样, 综合任务训练对于促进临战前的战备工作也是必要的。任何一个平台将不再单独作战, 甚至美空军也不再单独作战。必须强调在与其他平台互联互通操作时的细微差别。飞行员必须学习相关的面向任务决策的知识以及检索、处理和应用信息的过程, 最大限度提高协同效率。

3. 向仿真过渡: 投资分布式训练技术以扩大训练机会

在国防预算有限的前提下, 平衡成本和投资收益一直以来是决策的关键。为了确保飞行员在联合、高端竞争环境中发挥作用, 综合任务训练是强制性的要求。在过去 20 年中, 不仅在人工智能、认知能力和生理实时评估、互操作规范和标准、教学大纲设计和人员评价指标优化等领域进行了大量研究, 而且在完善飞行员战备要素方面取得了显著进步。教员和演习科目设计指导人员不可能单独意识到这些进步。当前, 很多实施中的项目联合味道不浓, 基本在参考各自分领域或部门的标准。所以, 未来的分布式训练需要强调多类人员、多专业的协同, 通过集体力量共同设计仿真训练平台。

4. 整体性策划人因优化相关技术

在过去 20 年里, 科研人员对人体生理进行了大量研究, 从而更深入了解了人体、大脑和情绪, 以及如何通过传感器测量这些要素, 再通过人工智能算法进行分析, 然后用于驱动训练决策。未来飞行员训练项目 (PTN) 将这些产品和技术与美空军的训练管道联系起来, 虽然该项目处于初始阶段, 需要进行额外的调整, 但使用传感器实时监测人体内部过程是持续的。

一旦大国对抗中出现了装备技术接近或实力对等情况, 就更加依靠作战人员的能力和潜能来发挥作用。美国也必须使用这种设备和和技术来最大限度地提高人员的能力。