

美国政府问责署认为 F-35 战斗机计划仍面临一些严峻挑战

顾鹏程

3月29日，美国政府问责署(GAO)发布了《战术飞机：技术、交付和经济可承受性加剧美国国防部老化机队的复杂程度》的报告(TACTICAL AIRCRAFT: Technical, Delivery, and Affordability Challenges Complicate DOD's Ability to Upgrade Its Aging Fleet)，报告认为F-35作为美军未来战术飞机的主力仍在初始作战试验、评估及飞机现代化升级过程中面临着一些严峻挑战。

升级情况

2015年7月美国海军陆战队宣布，首个具备基本空对空和打击能力的第2B批次(Block 2B)的F-35已准备就绪。2018年12月开始第3F批次(Block 3F)升级作战测试和评估(OT&E)，待其完成后F-35项目将结束系统研制与验证(SDD)阶段。F-35项目也在进行持续性保障和升级开发工作，早期的低速初始生产飞机在2021年前逐步升级到第3F批次型基准。

F-35预计将在其使用寿命内不断升级。第一个升级计划是始于2019年的持续能力开发和交付(C2D2)阶段，目前计划运行至2024年。C2D2的近期开发重点是第4批次(Block 4)能力升级，它将集成额外的武器，包括国际客户独有的武器，更新航空电子设备，提高电子保障(ESM)能力，并增加远程操作视频增强接收器(ROVER)支持。C2D2还将更加重视敏捷软件开发，以实现更快的部署。2018年美空军生命周期管理中心(AFLCMC)向通用电气和普惠公司授予合同，开发更强大、更高效的自适应循环发动机，作为F-35发动机现代化的潜在选择；2022年，启动F-35自适应发动机更换计划，旨在到2028年将自适应循环发动机集成到飞机中。

现阶段面临的主要问题

(1) 尚未完成初始作战试验与评估

尽管早在2001年就已开展研制工作，各型别在2010年代后分别具备初始作战能力(IOC)，但由于尚未完成初始作战试验与评估所需的64次联合仿真环境试验，美国国防部迄今为止尚未授权F-35项目进入全速生产阶段，仍处于有限采购状态。美国国防部作战测试和评估局(DOT&E)2022财年年度报告表明，现阶段已完成通过初始作战试验与评估所需的露天测试、适用性试验、生存性试验。由于联合仿真环境的开发面临挑战，F-35联合项目办公室(JPO)将初始作战测试和评估日期无限推迟。

在2021年6月项目交付了30R06.042版本软件，修复早期版本飞机软件存在缺陷以及完成试验所需的修复后完成了露天测试；联合攻击战斗机作战测试小组(JOTT)在2021年1季度末完成了所有要求的适用性和生存性相关测试。

美国国防部原计划在马里兰州帕图森特河海军航空站的联合仿真环境中进行64次试验，占总试验任务的

42%。包括11次防御性防空(DCA)、22次巡航导弹防御和31次进攻性防空(OCA)、空中拦截/压制/摧毁敌方防空系统(S/DEAD)等具有代表性的密集纵深防御作战场景的联合试验。据美国国防部作战测试和评估局2022财年年度报告，截至2021年12月，共有54个已知联合仿真环境缺陷，其中32个需要在进入联合仿真环境测试

向众议院军事委员会陈述的文件表示，截至2023年2月美国F-35机队的月平均战备率表现为53.1%的任务能力和29.3%的完整任务能力。②飞机和发动机交付延迟问题持续突出。美国政府问责局研究表明，由于新冠疫情以及由此产生的供应链问题，2020年和2021年的生产出现重大延误，为缓解新冠疫情给F-35项目承包商和生产

第4批次能力升级成本持续增加。美国政府问责局2022年发布的报告显示，F-35“技术更新-3”(TR-3)的成本增加导致2021年第4批次能力升级的开发成本达到了151亿美元，比2020年增加了7亿美元。其中，3.3亿美元用于“技术更新-3”工作的开发估计成本，3.12亿美元用于测试和实验室升级成本。

至2021年，由于软件质量问题、资金挑战和新增能力等原因，项目办公室比原计划延期3年完成第4批次能力升级交付。原始第4批次能力升级的开发和交付最早将于2024年完成，今年项目办公室向美国政府问责局提供了一份2018年10月的文件，确定第4批次能力最迟将于2026年交付。F-35计划还将不得成熟、有缺陷和测试不足的第4批次任务系统软件部署在F-35机队。作战试验(OT)团队继续识别需要软件纠正的缺陷，并且需要花费额外的时间和资源。

其他安全事件频发。2014年6月在位于埃格林空军基地的一架F-35A的发动机起火，预计造成了5000万美元的损失。2021年3月12日，在亚利桑那州尤马基地附近的一次近距离空中支援武器训练飞行中，发生一起C级事故，一架F-35B发射了一发子弹，子弹在离开枪管后不久就爆炸了。



前完成修复和验证。经过联合仿真环境团队的努力，截至2022年10月26日，将必须修复的缺陷数量减少到2个。校核、验证与确认(VV&A)工作正在进行中，截至2022年10月19日，预计74%的校核、验证组件包将通过认证机构的认证，其余组件包的校核、验证仍在进行中。该团队目前正在专注于系统级的校核、验证，以确保多个模型之间的交互。目前预计初始作战测试和评估将于2023年8月进行。然而，正在进行的VV&A过程以及测试准备工作可能会导致发现新的缺陷，这些缺陷需要在分数测试任务之前进行纠正。修复这些缺陷并更新最终系统级VV&A文件中的分析所需的时间将是额外进度压力的关键指标。

线供应链带来的持续挑战，项目办公室和承包商修改了2020年至2023年合同中飞机的交付时间计划。尽管如此，2022年飞机延迟交付的比例仍达到了50%，是过去6年中的最高水平。相比之下，2021年延迟交付飞机的数量只有16%。飞机发动机同样也存在延迟交付问题。由于质量问题，普惠公司2021年只按时交付了合同约定152台发动机中的6台，延迟交付率接近96%。同年9月，为解决延迟交

“技术更新-3”进展延误。F-35联合项目办公室没有充分对“技术更新-3”升级进行作战测试。“技术更新-3”按计划将对从2013年4月生产的第15批次及后续飞机进行硬件升级。此外，剩余的“技术更新-2”和升级的“技术更新-3”作战测试飞机所需的飞行测试仪器并非包含在合同中，因此作战测试团队可能没有足够的测试飞机，也没有足够的时间在飞机部署使用之前测试新的能力。3月30日，美国国防部F-35战斗机项目执行官在众议院军事委员会小组的听证会上表示，F-35将比原计划晚一年进行“技术更新-3”的硬件和软件升级工作，预计将于2024年4月完成。

发动机现代化和热管理升级面临方案抉择。随着为飞机增加新的功能，冷却需求将继续增长。正在进行的第4批次能力升级和计划中的2035年未来能力，分别需要比动力及热管理系统(PTMS)和发动机所能支持的更多的冷却能力和进气压力，当前设计到时将无法满足未来能力所需的冷却能力。早在2013年洛克希德·马丁公司就要求变更F135的设计，为动力及热管理系统提供更多进气压力，但项目官员认为，鉴于整体计划阶段此类变更的成本和进度影响，重新设计发动机为时已晚，因此决定继续F135发动机的原始设计。美国政府问责局表示目前正在评估项目对发动机和动力及热管理系统现代化方案的比较分析，并将在今年春季晚些时候给出评估结果。3月13日美空军部长弗兰克·肯德尔在空军2024财年预算需求发布之前表示，无法为“自适应发动机转化计划”(AETP)提供资金，更倾向于选择普惠公司的增强型发动机套件方案，使其成为“长期可负担的产品”。

其他安全事件频发。2014年6月在位于埃格林空军基地的一架F-35A的发动机起火，预计造成了5000万美元的损失。2021年3月12日，在亚利桑那州尤马基地附近的一次近距离空中支援武器训练飞行中，发生一起C级事故，一架F-35B发射了一发子弹，子弹在离开枪管后不久就爆炸了。

观点

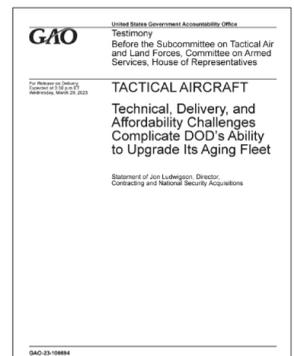
虽然研制历程充满着波折，且现阶段同时面临着基线研发和“增量”升级方面的双重挑战，但F-35仍然是美军未来战术飞机的关键，将为美军及其盟友提供了至关重要的第五代能力。从其基线研发和“增量”升级面临的挑战中，可以为未来军机研发带来些许启发：

(1) 高度重视联合仿真环境对战斗机带来的高端作战能力提升

由于联合仿真环境工作进展受阻，F-35迟迟没有通过初始作战测试，由此可见联合仿真环境对于五代机形成高端作战能力至关重要。联合仿真环境是五代机采购计划的组成部分，从一开始就设计用于增强实战训练，能够模拟F-35任务系统软件以及其他软件模型(如其他武器和现代威胁系统)，为压制敌方防空(SEAD)、动态瞄准(DT)、电子战演练等复杂任务能力提供在现实世界条件下无法复现的复杂测试场景。当前美国及其盟友正计划将虚拟培训作为其下一代培训计划的基石，并正在大力发展高逼真模拟器，如捷克的多国航空训练中心(MATC)为北约盟国提供了先进的资源，以训练应对各种威胁和环境的复杂战术、技巧和操作规程(TTP)。未来，联合仿真环境将是美军在不损害友方利益的前提下，定期和负担得起的针对最大数量威胁的训练的唯二方式。

(2) 高度重视先进航空发动机对未建军机的作战效能提升的重大影响

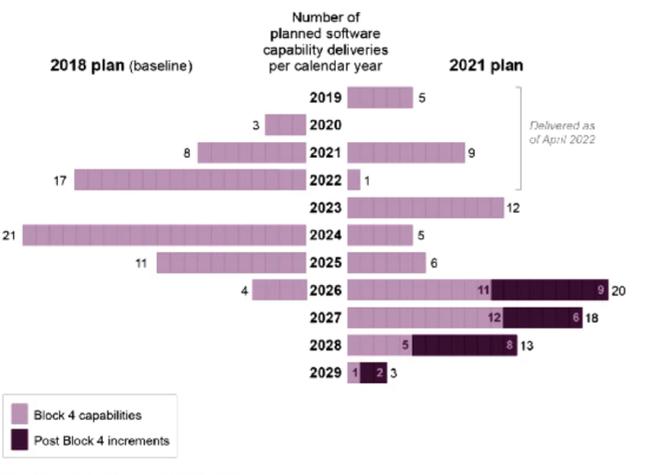
从美军对F-35进行的TR-3和Block 4现代化升级来看，未来军机要实现深度信息化和智能化，要求发动机提供更多的功率提取和冷却用气；为实现大航程和高机动，要求发动机提供更高效率和更大推力。没有先进发动机支撑，未来军机将无法发挥关键作战能力。美军长期坚持独立于军机型号开展先进发动机及部件技术研发，做到了“动力先行”，其先进军机通常可在试飞起始就“新机配新发”，F-35发动机现代化计划中的两种方案选择是最新例子。



付和质量控制问题，普惠公司提交了一份纠正行动计划。但收效甚微，与2021年类似，2022年几乎延迟交付了所有发动机。

(3) 技术升级计划面临延误

第4批次升级能力项增加。报告指出2018年发布的原始第4批次能力升级包括66项功能，此后对计划的能力升级进行了优化调整(包括删除、新增一些能力、将能力拆分为多个增量以及新的或不断变化的优先事项)，使能力升级的总数和项目办公室提供这些能力的时间框架都发生了变化。



Source: GAO analysis of Department of Defense data. | GAO-23-106684
该图分别表示2018年和2021年F-35项目办公室的Block 4和后批次Block 4软件能力交付计划。

Mitre Corp集团认为未来美国陆军侦察直升机仍然需要飞行员



据defensenews网站4月19日报道，Mitre Corp集团为美国陆军开展的一项研究表明，尽管人工智能取得了进步，在未来十年内美国陆军侦察直升机仍需要训练有素的飞行员进行操控。该集团认为，2030年采用的“完全自主”技术将无法“忠实地”完成四分之三以上的与陆军正在开发的“未来攻击侦察机”(FARA)相关的任务。即使到2040年，可能



性也不会得到显著提高，至少有10个“高风险”和18个“中等风险”的挑战阻碍了无飞行员的应用。这表明在复杂的、高风险的军事行动中，无论是先进旋翼飞行器还是远程操控都将依赖人工。美国陆军“未来垂直起降”(FVL)项目跨职能团队主任沃尔特·鲁根将表示，“未来攻击侦察机”(FARA)相关的任务。即使到2040年，可能

印度开始制造无加力型“卡弗里河”涡扇发动机



4月18日，印度国防部国防研究与发展组织(DRDO)航空系统总监泰西·托马斯博士(Dr Tessy Thomas)在印度戈德瑞吉与伯伊

斯公司(Godrej & Boyce)的工厂启动了无加力型“卡弗里河”(Dry Kaveri)涡扇发动机模块的制造，戈德瑞吉与伯伊斯公司的执行董事尼里

卡·霍尔卡(Nyrika Holkar)也参加了制造启动仪式。DRDO旗下的燃气涡轮研究院(GTRE)于2022年9月授予戈德瑞吉航空子(Godrej Aerospace，戈德瑞吉与伯伊斯公司的子公司)一份合同，制造8个无加力型“卡弗里河”发动机模块。无加力型“卡弗里河”的推力为48千牛，将配装DRDO正在为印度空军开发的无人打击飞机。戈德瑞吉航空公司已确认，这些发动机将于2023年年底或2024年初交付给DRDO。此前，无加力型“卡弗里河”发动机在俄罗斯茹可夫斯基进行了高空试验，DRDO正在对试验数据进行分析，初步结果令人满意。接下来，DRDO计划进行更多的试验。(张洋)