



未来战斗机发展随想

李清

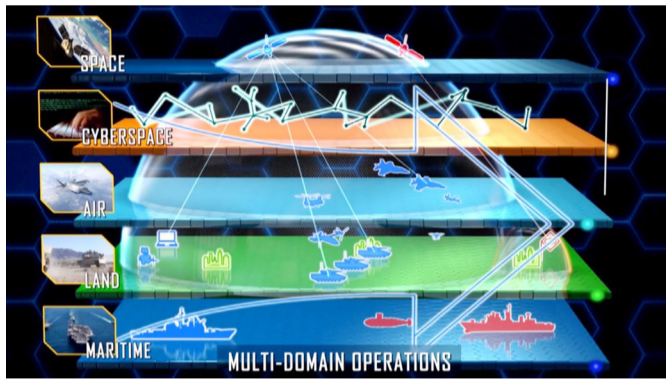
伴随着F-22、歼20、苏-57等第五代战斗机的服役，加之未来发展需求与发展可能的巨大变化，人们又一次站在了十字路口，未来发展面临多种选择。

天上掉下一块馅饼

这块馅饼就是未来战斗机发展面临的新机遇。

一是大国竞争强力拉动。二战后，人类经历了近半个世纪的冷战时期。这一时期，两极对抗拉动并加速了战斗机的发展，战斗机不仅进入了喷气式时代，而且实现了超声速战斗机的三次更新换代，目前服役的第五代战斗机也孕育于冷战时期。近年来，伴随着中国的迅速崛起和俄罗斯的强力复苏，美国挑起了新一轮的大国竞争，这在军事上必然对未来战斗机发展产生强力拉动。

二是技术进步迅猛推进。近年来，推动未来战斗机发展的创新性技术概念不断涌现，系统簇、分布式、集群化等都可能引发战斗机发展方向与发展模式的重大变化。首先，以系统簇为标志，体系化向任务级下沉，战斗机单一平台的发展模式面临终结。2016年，美国空军首次提出穿透型制空概念，目的是针对中俄“反介入/区域拒止”环境，以往“穿透”为特征，确保未来空中优势。以此为牵引，“系统簇”发展的装备概念逐步清晰，包



括穿透型制空战斗机、穿透型电子战飞机、穿透型轰炸机、武库机以及配套弹药等。2017年，德法两国步其后尘，提出了“未来作战航空系统”概念，

延了该机预定的成军进度。

日本航空自卫队首架KC-46A下线待交付 美日航空装备逐渐趋于齐平

日前，美国波音公司已完成出售给日本航空自卫队的首架KC-46A空中加油飞机的组装工作。从波音公布的图片可以看到，该机已从组装线拖出，准备进行交付前的各项测试工作。

KC-46A是波音公司从2011年开始为美国空军开发的全新一代多功能空中加油机，是已成功运营数十年的波音767-200型客机的衍生产品，作为客运和货运民航平台拥有广泛的用户。767-200型客机在全球范围内已经交付了超过1100架。KC-46A拥有全新的电子全景式空中加油视觉系统，可同时兼容硬、软管空中加油模式，并能随时将内舱改装为运送人员及货物。相比使用时间已超半个世纪的KC-135系列加油机，KC-46A技术水平更高、运行维护成本更低。

日本航空自卫队是KC-46A的首个国际用户。2017年12月日本防卫省与波音防务公司签订了1架该型飞机的采购和后勤服务合同，时隔一年后在2018年底确认追加采购第2架。首架归属空自使用的KC-46A于2019年9月开始进行总装，计划于2021年交付。

KC-46A在最初数批装机下线后被发现在大量生产线品控问题，最核心的电子空中加油视觉系统也存在严重缺陷。加油操作员在通过3D成像观察加油机相对位置时容易产生疲劳和



视觉偏差，为空中加油埋下重大安全隐患。为此波音被美国空军多次勒令整改，直到2019年1月才正式向美国空军交付首架KC-46A，严重拖

减至原来的50%，“从计算机屏幕到首飞”仅仅用了36个月。

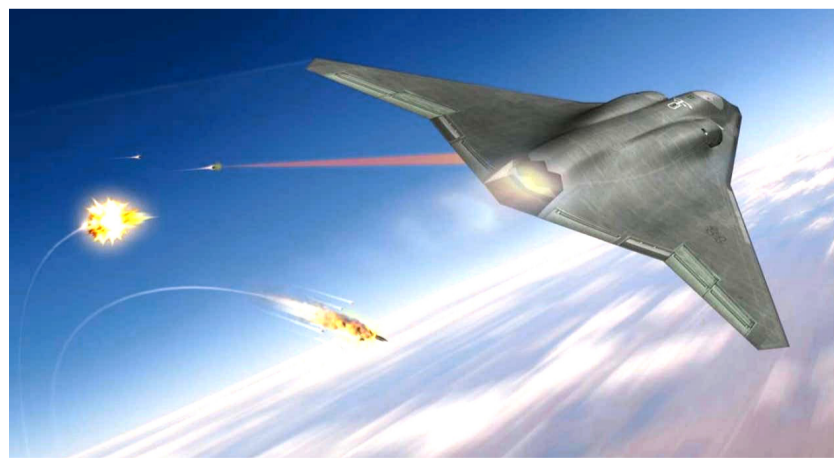
美国下一代无人战机神秘首飞 电脑设计提供极大助力

9月15日美国空军协会举办的航空航天与电磁网络会议上，美国空军采购技术与后勤部的助理部长罗珀首次对外公开透露，有一款此前从未公开外形的下一代空中优势计划(NGAD)验证机已经完成首飞，并展开全面的飞行试验。

罗珀宣称美军建造的这架实体飞行验证机已经“在多个领域打破纪录”。不过这架初始形态的验证机是否能够直接发展为第六代战斗机的原型样机尚未可知。根据美军制定的下一代空中优势计划，验证机将会用于

六代机主要概念的验证测试，降低整体研发计划的技术风险。有美国媒体认为，近期在美国西部尤其是加州和亚利桑那州附近空域，美军的非公开飞行测试活动频频明显上升并与这种全新的工程验证机有关。

外界普遍认为，此次美军官方透露新的验证机“在多个领域打破纪录”不仅指飞机在气动性能上将比所有前代飞机有着明显突破，更重要的是在飞机的多方面概念设计和开发模式上有了新的模式。美军此前已经公开在航空设计制造中引入了全新的“e系



列(eSeries)”分类。这个分类特指所有经过数字工程设计，然后再采用物理形式进行制造的飞机、卫星和相关武器系统。这些装备将获得美军的字母“e-”前缀。

美国空军第一架使用“e系列”设计方式设计制造的飞机是刚刚赢得新一代高级教练机合同的T-7A“红鹰”喷气式高教机，在美国空军内部被称为eT-7A。波音在“红鹰”高教机的研发过程中使用了电脑3D模型设计工具，大大压缩了外形设计和组装时间，飞机的软件研发进度也缩

减至原来的50%，

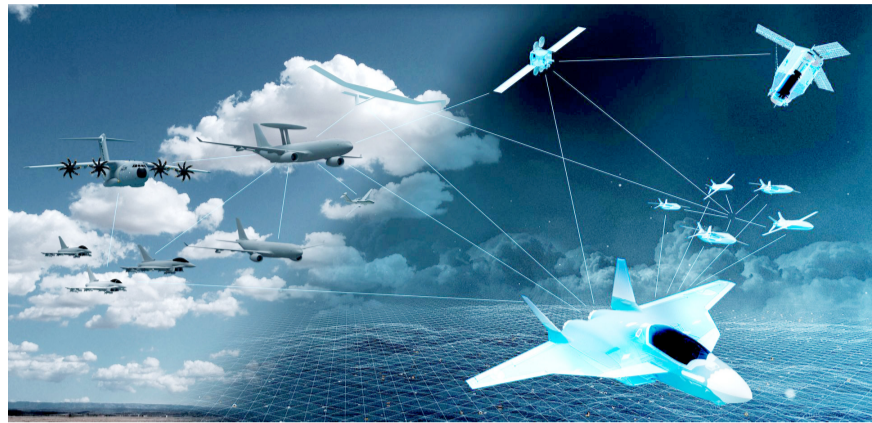
“从计算机屏幕到首飞”仅仅用了36个月。美军目前还没有提供任何新型验证机的信息，甚至连来自哪一家制造商也没有披露。最近的30-40年间美国空军新型战斗机的来源是洛克希德·马丁和波音两家公司参与官方竞标。而诺斯罗普·格鲁曼公司曾展示过美军下一代空中优势战机计划的想象图，虽然诺·格的强项并不在空优战机领域。一旦美军在该计划中取得一定进展，更多的细节就会随之披露。(赵越)

态势感知，二是实时或近实时的信息传输，三是实时或近实时的自主决策。空中战场瞬息万变，作战单元依赖于实时态势信息和指挥信息协同行动，信息链路的不稳定或者瞬间中断或延迟，决策环节的片刻迟疑或犹豫，都可能引发空中作战系统陷入混乱、甚至瘫痪，最终导致作战行动失败。

目前，国内外在上述三个方面都开展了大量研究，也取得了一系列的积极进展。如弹性网络、5G通信、智能空战等。着眼长远，技术问题总是

与风险之间反复权衡，力求做出既适应时代发展趋势、又符合国情和军情的适当选择。

发展新型战斗机有望获得的最大收益就是空中军事斗争能力和体系作战能力的提升，成本主要包括时间成本与经济成本，风险主要来源于技术风险。一般而言，随着时间的推移，新兴技术总是会逐步走向成熟与完善，从而有利于保证收益、降低成本与风险，但是推迟决策时间可能丧失先优势。



可以解决的。但是问题是，眼下和近期我们能够解决多少，解决到什么程度。客观地说，现有技术进展还不足以完全支撑分布式结构和集群化运用走向实用。即使在系统簇与体系化方面，因网络而引发的系统脆弱性问题也还不能让人们完全放心。不难想象，系统的脆弱性与其单元数量和复杂程度相关，单元数量越多，复杂程度越高，系统的脆弱性就越强。相比于传统的战斗机平台，无论是采用分布式结构，还是集群化运用，或者是系统簇发展，单元的复杂程度可能大大地简化了，但是系统的单元数量和复杂程度都是急剧增加的，因此，系统的脆弱性问题反而更突出了，而且在短期内也难以彻底解决。

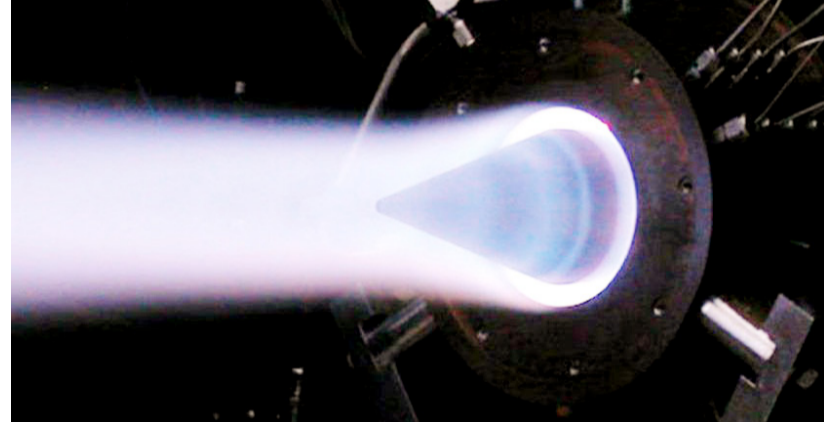
选择必须慎之又慎

现实已然如此，人们必须做出选择。

其实，战斗机发展论证的核心问题，就是权衡与选择。在收益、成本

立足国情、军情，全面关注、系统研究、立足博弈、稳步推进，可能是当前和今后一个时期的现实选择。全面关注，就是要全面关注、及时捕捉世界各国、特别是欧美航空强国在战斗机领域的新发展、新动向。系统研究，就是依据国情、军情，有选择、有重点地开展系统性的深入研究。立足博弈，就是要立足应对大国竞争、谋求打赢大国战争做好充分准备。这不是我们愿不愿意的问题，而是对手已经将大国竞争强加于我们。稳步推进，就是要统筹需要与可能，划小步骤，稳步推进战斗机发展。当前和近期，应当坚定地走机械化、信息化和智能化三化融合的发展道路，借鉴欧美经验，构建以有人战斗机为核心的空中优势系统簇。中期，可以视通信、网络、人工智能等相关领域的技术进展，稳步推进和实现分布式结构和集群化运用的工程化。远期，以智能空战为核心，推进空中战场和多域战场的智能化、无人化。

旋转爆震发动机成为美空军优先的动力技术研发方向



美国《航空周刊》网站9月9日报道称，目前，美空军“经济可承受任务先进涡轮技术”(ATTAM)倡议的所属项目代表了美国国防部推进系统优先事项的风向标。

在美空军研究实验室(AFRL)公布ATTAM倡议4年后，为响应最新出现的威胁和紧急能力需求，在该倡议最重要全新发动机构型的名单中，首次出现了旋转爆震发动机(RDE)。RDE虽然已经研究了数十年，但目前的技术成熟度仍较低。

ATTAM倡议主管托马斯表示，RDE“绝对拥有最高优先级”，这种发动机可为高速巡航导弹的动力或成为更大型高超声速飞行器组合循环推进系统的一部分。另外，AFRL还设想RDE充当加力燃烧室，或者替代传统涡轮发动机中的主燃烧室，这样可去除压气机，降低重量，还可使发动机的总长更短。

AFRL对RDE的兴趣越来越浓，表明美国对增压燃烧室感兴趣。2000年，美国国家航空航天局对RDE进行了研究，希望其成为上面级、月球或行星探测器轻质发动机的可选方案。AFRL同时也在研究RDE火箭发动机，并在2017年进行了地面试验，希望利用增压燃烧室系统代替传统的涡轮泵火箭燃烧室。AFRL表示RDE理论上可提高15%的效率或者让初始燃烧压力低5倍。

AFRL和美空军科学研究所办公室2014-2015年聚焦火箭式RDE的喷射器设计和建模研究，并授予多所大学研究合同。其中佛罗里达大学在2020年5月宣布，在RDE火箭发动机中首次证明了氢氧爆震的安全性和可行性。(袁成)

美国国防部国防预先研究计划局(DARPA)在研究吸气式RDE技术，2020年3月，该局授予雷神公司一份价值100万美元的合同，研究RDE动力的远距打击导弹概念。DARPA更早期的研究表明，增压燃烧有利于提高冲压发动机的效率，最高可达马赫数3。

AFRL同时在ATTAM倡议的第一阶段授予了三项RDE的关键研发合同，总价值5.2亿美元，其中授予通用电气公司和普惠公司各2.5亿美元，发展、验证和转化关键技术；授予航空喷气洛克达因公司2000万美元合同。尽管透露的合同细节不多，但这三家公司预计都将在2026年9月前完成开发和试验。

托马斯表示：“如果一切进展顺利且工作重点保持不变，我们将进行RDE台架试验，而且试验过程可能和传统航空发动机完全不同。”目前美国RDE的研究重点：一是低总压损失进气道和高效扩散器的集成设计，以降低从RDE喷出的不稳定燃气对涡轮级的影响；二是发展和试验非机械的流体进气阀，其可进行高频响应以阻止由爆震波引发的压力脉冲反传至压气机；三是避免缓慢燃的先进高速燃油喷射系统；四是可用于实际燃烧室的液态燃料RDE；五是热管理系统设计，从而合理确定冷却空气量以不损失发动机性能；六是测量和验证RDE性能的新方法。目前设计人员使用质量流率和推力评估RDE的性能，但是目前缺少测量发动机内部状态、混合率和喷射器性能的方法，导致目前评估RDE性能的理由大多来源于推测。