



廖南杰

7月14日，正值2022年英国范堡罗航展开幕前夕，英国皇家航空学会会员（FRAeS）蒂姆·罗宾逊在该学会网站发表了题为《风雷激荡》（Gathering Storm）的文章，阐述了英国牵头、意大利和瑞典参研的“暴风”（Tempest）下一代战斗机所采用的关键技术及未来展望。

2018年，时任英国国防大臣加文·威廉姆森在范堡罗航展上首次公开了“暴风”战斗机计划。作为英国、意大利和瑞典三国联合开展的“未来作战航空系统技术”（FCAS TI）计划，“暴风”的参研企业包括BAE、罗罗、莱昂纳多、MBDA等巨头，主要工作团队近2000人。该计划已于2021年7月进入“概念和评估”（C&A）阶段，正朝着2035年形成初始作战能力、2040年开始替代EF2000“台风”战斗机的目标迈进。

作为多国联合的第六代战斗机研发计划，“暴风”展现出了更高的国际化程度，工作团队也正加速向更加年轻的“数字一代”转变。在核心技术领域，“暴风”将追求实现新的突破。

### 数字化转型

“暴风”最具变革性的进步是向数字设计、建模和工程转变，并向敏捷开发的文化转型，目标是将研发时间缩短至传统战斗机计划的一半，而不仅仅是利用大数据和算力更强的计

BAE系统公司正在进行飞行试验的可穿戴设备。

算机。为达成这一目标，“暴风”计划团队充分利用了基于模型的系统工程（MBSE）和基于模型的设计（MBD），将设计图纸、整机原型、机载系统甚至制造工厂等实体全部进行3D建模，对不同布局和配置进行反复试验，从而显著加快了研发进度、降低了研发成本，组件首次对接即完美成功且无须返工。BAE系统公司负责FCAS业务开发的主管约翰·斯托克表示，“数字技术无疑是‘暴风’被视为下一代战斗机计划的关键和核心”。

斯托克强调，虽然以缩比模型展示的“暴风”战斗机是FCAS TI中的“核心平台”和辨识度最高的要素，但研发团队目前实际开展了更为广泛的工作，特别是以下四个关键领域：

- 附件——含“忠诚僚机”无人机等，与“暴风”构成完整“系统”；
- 指挥控制——信息层面的“数字能力、数据利用和数字线索”，是“聚合网络能力的重要赋能器”；
- 效应器——含MBDA公司研制的动力学和非动力学机载武器；
- 全寿命周期服务——含训练、支持和升级，并以数字线索贯穿始终。

### 国际化设计

英国此前开展/参与的战斗机研发计划主要以满足自身和欧洲的防务

## 风雷激荡——承载厚望的“暴风”战斗机



2022年5月14日，日本防卫省官员表示，其F-X战斗机开发计划将作出重大调整，仍以三菱重工为主，但主要参研外国企业改为英国BAE系统公司，而非美国洛马公司。图为防卫省此前发布的F-X战斗机概念图。

需求为主，其次才考虑出口。“暴风”从一开始就吸取了美国F-35战斗机的相关经验，采用了更为国际化的设计。如果说F-35的用户只能从“固定菜单”中选择有限的配置，那么“暴风”堪称“六代机自助餐”，用户可以自由挑选最适合自己的配置。例如，虽然意大利已加入“暴风”计划，但瑞典作为更广泛的合作伙伴，可以选择该计划中任意感兴趣的技术，对其自研的“鹰狮”E战斗机进行反馈应用。这一开放式的非线性开发途径，能够吸引更多意在“混合预算、匹配技术”的国际用户参与“暴风”计划。

作为与英国地理环境相仿的岛国，日本不但存在相似的防空控制需求，也拥有高度发达的高科技产业基地。



“暴风”计划部分团队成员合影，其年轻化程度可见一斑。

英日两国有望在2022年年底达成深化开发F-X战斗机计划的合作协议，此前日方已经分别与罗罗和莱昂纳多达成了合作开发配套发动机和传感器的技术协议。如果日本最终成为“暴风”计划伙伴国，将标志着其摆脱过去70余年来对美制战斗机的依赖，这不仅是一种地缘战略的转变，也将证明英国的全球影响力。

### 年轻化团队

“暴风”计划团队的另一项重要工作是保留关键知识，并将其传递给年轻一代，激励未来的航空航天科研人员。在“暴风”计划启动前，外界曾



数字技术和未来工厂将加速“暴风”的孵化。

一度担心，随着大型军用飞机项目的日益减少，英国的航空科研队伍可能出现断层甚至消亡，并不断拉大与先进国家的差距，最终流失过去积累的经验、技巧和知识。

现在，“暴风”计划已经吸引了越

来越多的英国科研人员投身其中。仅2018~2020年间，参与研发的年轻科研人员就超过1000人，团队的年龄结构也相应发生了显著改变：2018年时，30岁以下的科研人员占比为14%，目前已提升至近20%，而40岁以下的科研人员则接近40%。英国政府设立的“暴风早期职业生涯网络”（TECN）鼓励更多年轻科研人员和毕业生进入该项目见习，用斯托克的话来说，“很多仍在深造甚至尚未出生的人，未来都将为‘暴风’计划作出贡献。”

### 专业化平台

为提前演示验证“暴风”计划可能采用的航电系统和传感器，莱昂纳多公司正联合2Excel航空公司对一架波音B757飞机进行深度改装。这架被命名为“神剑”的飞行试验台将配备先进传感器、试验设备和虚拟座舱，成为全球技术最先进的空



莱昂纳多公司和2Excel航空公司计划改装的“神剑”飞行试验台概念图。

中实验室之一。目前2Excel公司已开始招募工程师和技术人员。

### 海量数据

虽然“暴风”计划的大部分研发工作均处于高度保密状态，但仍有部分细节可以管窥其能力。例如，由莱昂纳多公司研制的综合雷达/传感器系统，每秒将具备“与一座大型城市相当”的计算机处理能力；罗罗公司研制的“嵌入式启动/发电机”（E2SG）能够节省机体空间，并提供战斗机所需的大量电力；如果1KB（1千字节）数据相当于1粒米，那么EF2000“台风”战斗机能够收集和生成的数据量约为怀特岛大小（381平方千米），而“暴风”则“与太平洋

相当”。

### 深度化融合

2022年6月起，BAE系统公司开始使用轻型飞机，在2g过载环境中对可穿戴设备进行45~60分钟的飞行试验，并通过平板电脑记录试验数据。这种可穿戴设备为一种基于游戏设备改进的体感背心，可通过“拍打”飞行员的肩部提示其来袭导弹的方位，或通过振动进行油量过低告警，而非传统的语音告警，未来可能配备“暴风”计划中有人战斗机的飞行员。BAE公司认为，在高强度、高压、无线电通信繁忙的作战环境下，语音告警常常被飞行员“优先过滤掉”，体感告警能够使其专注于

任务，且提示效果更好。

该战斗机的座舱还计划采用增强现实（AR）技术，实现深度的人机交互和融合。AR技术实时监测飞行员的健康、意识和专注度，可在任何时候介入并履行部分“非核心功能”。

### 未来展望

斯托克指出，“暴风”计划的下一个重要里程碑是在2024年年底前提交商业案例概要，并在2025年完成开发，随后向2035年形成初始作战能力（IOC）进行为期10年的全力冲刺。虽然波音/瑞典萨伯团队此前通过应用MBSE和MBD，仅用时7年就完成了美军T-7A“红鹰”高教机从概念开发到首飞的完整流程，但六代机的复杂程度显然不可同日而语。目前，“暴风”计划团队仍未明确有人机和无人机的合适编组及具体分工，但有了数字技术的助力，其设计方案和关键技术可以持续试验、修改和完善，直至“开工前最后一分钟”。

## 俄罗斯新型“寻衅者”激光防空系统

张帅

目前，新一轮空天防御革命正如火如荼，俄空军、美空军运用先进的激光传能技术创新发展激光武器，已经成为新一轮空天防御革命的显著标志，其目的都是为了尽快弥补以导弹、电子对抗为主的空天防御手段所存在的先天不足，以有效应对日益严重的各类新型空天威胁。

俄乌冲突中，为有效对付空中飞行速度较慢但对地面目标威胁极大的美国“弹簧刀”“凤凰幽灵”，土耳其TB-2等无人机，俄罗斯首次实战部署“佩列斯特”激光武器防空系统。该武器不仅弥补了俄军弹药不足的劣势，降低“铠甲-S1”“道尔-M2”等野战防空系统发射价格昂贵的防空导弹的消耗量，并大幅提升对乌作战成效。

### 发展前景

2014年11月，时任美国国防部常务副部长罗伯特·沃克提出新的第三次“抵消战略”。这一计划旨在通过发展新的军事技术和作战概念“改变未来战局”，在与主要对手的新一轮军事竞争中，占据绝对优势地位。该战略的核心是发展颠覆性先进技术武器，作为前沿技术之一的激光武器，其发展受到更多重视。高能激光武器是利用激光的高能量密度特性来烧蚀被照射目标，从而实现对被照射目标的毁伤或去功能化。目前，一般认为平均输出功率大于20千瓦称为高能激光武器。

目前俄罗斯已部署“寻衅者”激光武器防空系统投放俄乌战场，作为“佩列斯特”武器系统的升级版，虽然二者有着相同的车载机动方式，发射模块、能源系统也大致相同，但是全新一代“寻衅者”激光武器防空系统的有效打击距离得到了全方位升级，而且“寻衅者”激光照射到无人机，



可以在5秒之内完成对其关键元件的溶解、打击。除了这些，寻衅者激光系统还可以破坏无人机的光电搜寻、视频传输模块，让其彻底失去战斗力。

### 发展历程

俄罗斯继承了苏联在激光武器方面的绝大部分研究力量，并于2002年底投入约316亿卢布用于专项研究，逐步重启了激光武器研制力量。1982年，苏联首次成功研制出“三棱匕首”自行激光武器，其可使用高功率激光脉冲冲击光电导引系统，可使敌方坦克、自行

火炮和直升机瘫痪。在“军队-2017”军事技术论坛期间，俄国防部和俄罗斯联邦核中心（俄罗斯原子能机构的一部分）签署了一份国家合同，开展“寻衅者-16”的研制工作。俄罗斯激光武器是从当年苏联研究项目上的延伸，拥有着深厚的功底。目前具有代表性的有俄军的“佩雷斯韦特”激光复合武器。根据已知的数据，“佩列斯特”已经担负战斗值班。

### 技术问题

和传统火炮等动能武器相比，“寻衅者”激光武器近程防空系统具有打击速度快、拦截率高、效率高、比重的特点。寻衅者得益于全新的设计，可以完成360度全方位无死角开火，一是射击精度高，超快的速度使激光束从发射到命中目标需要的时间非常短，基本不需要计算拦截目标的提前量，非常适合拦截高速或高机动目标；二



是成本低，主要利用电能转换为光能，新型的固体激光器使用电力做能源，在这种情况下，作战应用的成本低于火炮和导弹系统。“寻衅者”由于发射功率有所提高，能够对抗任何来自空中的攻击，可探测和打击各种空中目标，未来甚至能够反卫星作战。但同时激光系统的移动设计对激光器的尺寸、质量和功耗提出了特殊的要求，因此限制了功率、光束制导方式、运行参数等可用技术的范围。

### 发展前景

鉴于俄乌冲突反无人机作战暴露的问题，俄罗斯单独针对无人机来部署一个24小时持续探测低空慢速或高速飞行物的雷达监控网络短期内无法实现。而且根据目前的资料来看，俄罗斯前线部队的信息化普及程度有待提高，俄军的野战防空雷达对于这种150米高度内飞行物的监控也相对乏力。

“寻衅者”目前正在俄乌冲突中测试和作战，实际战果将决定俄罗斯新概念激光武器的未来命运。可能会加强现有的防空系统作战能力。值得注意的是，“寻衅者”确实有效提升野战防空的作战能力，同时完成解决多个任务，在功率降低和/或更远的距离上，激光可以抑制或破坏目标的光学设备。“寻衅者”的目标首先是不同级别的无人机、低飞战术航空兵及其部分弹药也是打击目标。激光完全可以压制飞机或发射导弹的GPS光学器件，也不排除对其结构元件的损坏。因此，“寻衅者”系统是有效的多用途防空武器。它能够应对已知的和全新的各种威胁。与其他类别的防空系统一起，战斗激光武器将为部队或重要目标构建先进的梯次防空系统。

“寻衅者”设计不仅是为了摧毁无人机，而且5000米的射程不是极限。激光系统与航空和舰载的集成是合乎逻辑的。据俄罗斯国防部称，正在研究为战略、战术和陆军航空兵的飞机配备激光系统的选项，以防止地对空导弹和带有光学自导头的空对空导弹的攻击。俄罗斯总统普京早些时候强调：激光武器的存在使俄罗斯的安全能力增加了一倍。

### 观点

俄罗斯在激光武器领域的研究有相当丰富的经验和强大的技术实力，同时随着世界防空领域技术的发展，还在不断重启激光武器的项目开发和研究，将激光武器列入国防装备发展的重点之一。激光武器的小型化与高功率化将是未来防空的发展方向。



## 美海军成功进行F/A-18E/F战斗机与无人机编组演示

7月15日，美海军航空系统司令部宣布，F/A-18和EA-18G项目办公室（PMA-265）已经成功地进行了系列有人/无人编组（MUM-T）飞行，试验中F/A-18E/F第3批次Block III“超级大黄蜂”战斗机演示了指挥控制3架无人机的

分布式瞄准处理机（DTP-N），DTP-N将指令传输给无人机。PMA-265项目办表示“MUM-T概念探索了执行任务时有人飞机和无人自主系统之间的互操作，对确保作战人员配备一流能力的资源和需求规划是必要的。”MUM-T可以让美海军扩大其机组的影响范围，同时使他们远离敌方火力。该能力也可以使飞行员分配任务或将无人机纳入任务，如巡逻空域、为飞机加油或充当通信中继节点。PMA-265项目办表示“MUM-T有可能使未来舰队更具杀伤力、联系更紧密，从而保持技术优势和对敌方的竞争优势。”（王睿）

### Common Tactical Picture (CTP)

