

SPRINT项目推动高速垂直起降飞机发展

SPRINT Promotes the Development of HSVTOL Aircraft

■ 谭米 刘英杰 / 中国航空发动机研究院

空军基地及跑道在卫星图像下一览无余，是战时的重点被攻击对象。为应对这个问题，美国国防预先研究计划局（DARPA）与美国空军特种作战司令部（AFSOC）合作开展了高速和不依赖跑道（SPRINT）项目。

高速垂直起降设计可提供更快速的部署和更强的生存能力，对于平时的危机处理和战时的军事支援等场景具有独特的优势，相对于传统的旋翼机更能适应分布式作战的需求。美国海军研究办公室（ONR）曾经开展了战术侦察节点（TERN）项目；陆军提出了未来垂直升力（FVL）计划；美国空军创新孵化机构AFwerx在AFSOC的授意下发起了高速垂直起降挑战赛；DARPA先后启动了空中可重构嵌入式系统（ARES）、垂直起降试验飞机（VTOL X-Plane）和SPRINT等项目来验证相关技术。

SPRINT项目发展历程

美国SPRINT项目以AFSOC为期两年的高速垂直起降系列研究为基础，旨在发展一种不依赖跑道的高速垂直起降（HSVTOL）飞机，能够以741km/h或更高的速度巡航，飞行高度在4572~9144m之间，能携带2267kg的有效载荷，可在恶劣的环境中悬停。

2023年3月9日，DARPA发布了SPRINT项目广泛机构公告（BAA），征集研制X飞机（X-Plane）的提案，要求描述一个操作系统和一个缩比的X飞机验证机。BAA寻求第一阶



贝尔公司高速垂直起降飞机概念

段（1A基地阶段和1B选项阶段）的完整方案。1A阶段侧重于概念设计和需求定义，包括概念设计评审；1B阶段通过更复杂的分析、模拟、降低风险试验、制造和飞行试验计划，继续使选定的X飞机设计成熟。X飞机的最终目的不是打造一个具有特定作战能力的预生产飞机，而是验证可以拓展到不同尺寸平台的使能技术和集成方案。

2023年11月，DARPA宣布贝尔公司、皮亚塞基（Piasecki）飞机公司、诺斯罗普-格鲁门（诺格）公司和极光飞行科学公司进入SPRINT项目1A阶段。其中，极光飞行科学公司、诺格公司和皮亚塞基公司分别获得了价值2900万~3450万美元的

合同，贝尔公司的合同金额尚未公布。DARPA计划选取一家或多家公司的设计方案制造原型机，2027年实现首飞。

贝尔公司方案

贝尔公司的HSVTOL概念方案是一个旋翼桨叶可折叠的倾转旋翼机，翼尖旋翼用于提供垂直升力，在高速飞行时旋翼桨叶向后折叠收起，通过发动机提供推力，以固定翼喷气式飞机的模式飞行，巡航速度达741km/h。

该方案目前计划采用涡扇发动机提供高速前飞时的推力，未来或将采用一种可以在涡轴和涡扇模式之间切换的“可转换发动机”。由于

翼尖短舱上没有可见的进气口，这也可能表明飞行采用了某种形式的混合电推进系统，由主动力装置提供电力从而驱动旋翼。

贝尔公司希望发展起飞质量从1.8t到45.0t的高速垂直起降飞机系统簇。贝尔公司披露的概念图显示，系统簇包括有人机和无人机，所采用的推进系统概念基本相同，但在发动机进气装置和尾翼等细节上有所差异。

2023年9月13日，贝尔公司宣布，已向位于新墨西哥州的美国空军霍洛曼基地交付其“高速垂直起降”概念原型，将用于演示验证和技术鉴定。该公司还将利用美国空军阿诺德工程发展中心（AEDC）的“高速试验轨道”，对折叠旋翼、综合推进和飞行控制等技术在典型速度下进行试验。此外，在交付美国空军前，贝尔公司已在其飞行研究中心完成了该概念原型的功能演示验证。

皮亚塞基公司方案

皮亚塞基公司采用的是倾转涵道风

扇方案。该方案是其之前参与过的ARES项目方案的延续：涡轴发动机通过减速器和传动轴驱动涵道风扇枢轴上的直角齿轮箱，进而带动风扇旋转产生推力或升力。涵道由两个作动器驱动，绕枢轴旋转，使飞机实现垂直起降和平飞状态的顺利转换。

ARES是DARPA于2012年启动的项目，目的是发展具备模块化运输和垂直起降能力的无人运输原型机。洛克希德-马丁（洛马）公司是主承包商（负责开发飞行控制软件），皮亚塞基公司是飞行器开发的主要分包商。ARES项目成功完成了30h的地面测试，并于2019年获准进行悬停飞行。后来，由于资金提前耗尽，DARPA终止了合同，没有进行悬停飞行。

ARES项目的飞机安装有功率为660kW级的涡轴发动机，原型机质量为1.8t，可吊挂1.4t的任务模块，飞行高度为4572 ~ 6096m，最大飞行速度为370km/h，相较于SPRINT项目计划的速度指标仍存在一定的差距。皮亚塞基公司下一步的工作

重点将放在飞控系统的开发和合适动力的选择上。

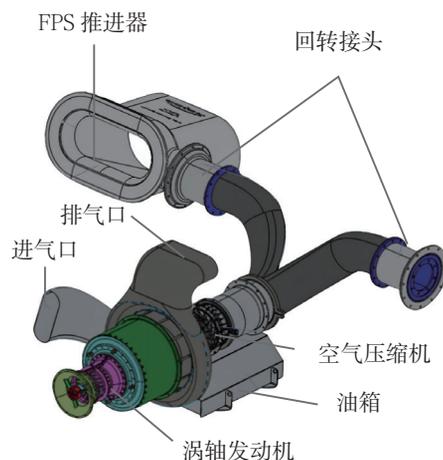
诺格公司方案

诺格公司与Jetoptera公司合作提出了一种射流推进系统（FPS）方案。FPS的工作原理类似无叶风扇，将空气经过涡轴发动机和空气压缩机输送到环形喷嘴，在那里增压排气，引射并加速大量环境空气以增加推力。

概念机有12个沿机翼顶部排列的FPS推进器，提供上表面吹气以提高低速时的升力系数。除此之外，在前机身和后机身各有4个垂直安装的FPS推进器，提供垂直起降的升力。所有FPS推进器的进口空气由单台压缩机提供，该压缩机包含由现有1860kW级普惠涡轴发动机（推测为PT6系列改型）驱动的2级风扇。起飞时，空气被输送到所有推进器；过渡阶段，安装在机身上的推进器被收起，靠机翼推进器提供推力；高速巡航时，机翼上的推进器也被收起，所有的空气都流向高速喷管。概念飞机中的推进器可以使用3D打印技术制造。该方案的优势在于更



皮亚塞基公司倾转涵道风扇验证机



诺格公司射流推进系统原理示意图



Hedwig 缩比模型风洞试验

低的噪声和排气温度，同时其涡轮—空气压缩机易于从现有的成熟燃气涡轮发动机改装，维护成本较低。

2023年5月，美国空军创新机构 Afwerx 授予 Jetoptera 公司一份价值 75 万美元的第二阶段小企业技术转移计划 (STTR) 合同，对一架名为“Hedwig”的 HSVTOL 概念机的 30% 缩尺模型进行风洞试验，以验证其 FPS 的能力。根据风洞试验结果，FPS 产生的升力系数高达 8，比美国国家航空航天局 (NASA) 的 LEAPTech 项目高 30% ~ 50%，悬停效率介于直升机和倾转旋翼机之间，最大飞行速度达到马赫数 (Ma) 0.8 (980km/h)。有待克服的最大挑

战是将 FPS 推进器植于机翼内，以减少巡航飞行中的阻力。

极光飞行科学公司方案

2023年11月，波音子公司极光飞行科学公司公布了其 SPRINT 项目设计方案。方案采用了被称为“扇翼” (FIW) 的内嵌升力风扇和翼身融合体的设计，据称可以实现超过 833km/h 的巡航速度。

飞机中部有两对垂直升力风扇，隐藏在机身表面的六边形盖子下面。极光飞行科学公司目前还未透露升力风扇的驱动方式，但过往的设计中主要有 3 种方式：以发动机的传动轴驱动升力风扇转动（类似

F-35B）；以发动机排气的分流推动风扇叶片转动；分布式混合电推进。

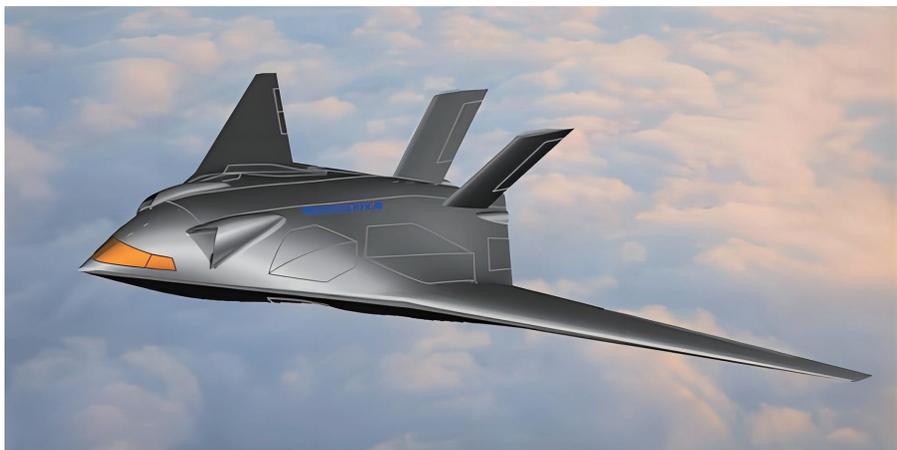
极光飞行科学公司表示，其设计方案建立在之前波音 X-48 验证机的翼身融合设计，以及极光飞行科学公司“神剑” (Excalibur) 无人机设计的基础上。X-48 是波音公司与 NASA 合作研发的新一代翼身融合飞机，由机身提供大部分的升力。第一代 X-48B 验证机按照实际尺寸 8.5% 的比例缩小，巡航速度为 Ma 0.7 (857km/h)，采用 3 台推力 0.2kN 的燃气涡轮发动机提供动力；第二代 X-48C 验证机为低噪声设计，耗油率降低 50%，噪声降低 40dB，巡航速度不变，由 2 台推力 0.4kN 的燃气涡轮发动机提供动力。“神剑”无人机是极光飞行科学公司为美国陆军航空应用技术局和海军研究办公室开发的，速度达 741km/h，采用 3 个在可在机翼内伸缩的电动升力风扇提供垂直升力。

结束语

DARPA 希望在 2027 年实现验证机的首飞，开发新的发动机或推进系统势必将延误进度，因此目前的技术提案都基于现有的燃气涡轮发动机/推进系统。通过将成熟的涡轴/涡扇发动机与螺旋桨、涵道风扇、射流推进器等装置相结合，融入可倾转、可折叠、分布式等构型，实现不同飞行模式的切换。此外，高速垂直起降飞机已经成为美国各军种的重点关注领域之一，经过多年的技术积累，预计高速垂直起降飞机将迎来突破性的进展。

航空动力

(谭米，中国航空发动机研究院，工程师，主要从事航空发动机科技情报研究)



极光飞行科学公司发布的 SPRINT 项目设计方案概念