

下一代旋翼机能力计划分析及启示

Analysis and Revelation of Next Generation Rotorcraft Capability Project

■ 高杨 / 中国航发湖南动力机械研究所

北大西洋公约组织（北约）的军事航空现代化项目下一代旋翼机能力（NGRC）计划意图通过技术创新和多国协作，研发新一代高性能旋翼机以替代现役老化机型，提升未来战场适应性和联合作战能力，其研究进展反映了下一代旋翼机及其各系统的发展趋势，以及相关技术的研发导向。

北 约于2024年7月在NGRC计划下授予空客直升机公司、洛克希德-马丁（洛马）公司和莱昂纳多公司一项为期13个月的合同，开展新型中型多用途旋翼机并行概念研究，从而为NGRC计划参与国提供未来备选的旋翼机类型，并希望从2035年开始部署下一代旋翼机。NGRC计划的推进也反映了北约盟国对其旋翼机更新换代的急切性，同时凸显了多用途旋翼机对军事力量的持久重要性。

NGRC 计划概述

北约盟国目前装备的AW101、UH-

60、NH-90和“超级美洲狮”等中型多用途直升机，将于2035—2040年陆续退役，预计北约主要欧洲成员国将更换多达900架中型运输直升机。传统情况下，各国都是通过在国内开发新机型或进口国外现役产品的方式来实施单独的武器系统采购项目。然而，从联合北约盟国最先进的设计和制造能力，实现未来机队最佳互操作性，以及最主要的以具有成本效益的方式及时满足各国旋翼机更新换代需求的角度而言，NGRC计划突破各国独立开发采购旋翼机的传统做法，为参与国提供了一个多国框架，以集中资源和力量

研发下一代旋翼机。

发展历程

NGRC计划于2020年11月启动，法国、德国、希腊、意大利、英国等5国签署了多国开发意向书；2022年6月，荷兰、加拿大加入，7国签署谅解备忘录，美国 and 西班牙作为观察员国。自此，NGRC计划开启了为期3年的概念研究阶段。该阶段包含5项研究内容（见图1），其中新型动力装置、开放系统架构以及集成平台3项向业界开放；2023年12月，GE公司获得新型动力装置合同，目前已完成；2024年1月，洛马公司获得开放系统架构合同，目前已

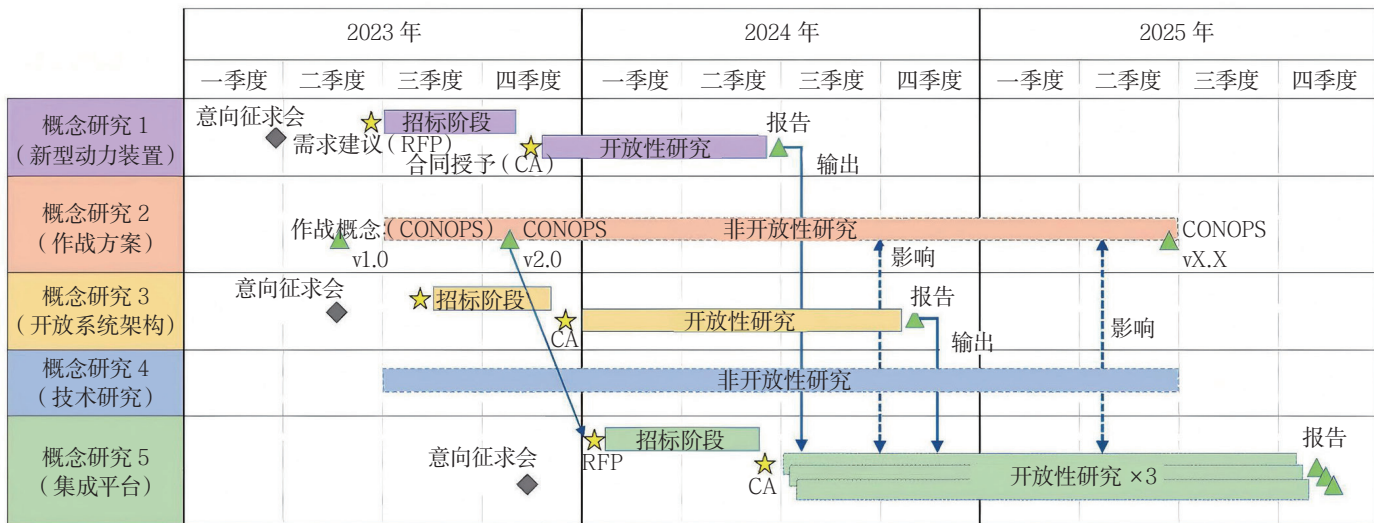


图1 NGRC计划概念研究阶段5项研究内容的时间规划

完成;2024年7月,空客直升机公司、洛马公司和莱昂纳多公司获得集成平台合同,目前正在进行中。

技术要求

在NGRC计划启动初期,由于下一代旋翼机的替换目标是海陆空三军现役中型起重直升机,因此对其执行突击运载、特种作战运输、战场补给、战斗搜索和救援、伤员后送/医疗后送、反潜战、海上侦察和目标支援等任务能力做出了要求。后经2轮参与国招标前联合会议讨论,对下一代旋翼机的任务性和技术要求给出了更确切的定义。

NGRC计划要求下一代旋翼机可在森林、沼泽和山脉等受限地形下进行起降作业,大幅增加作战灵活性,同时具备多用途能力。此外,还对其经济性和技术细节进行了规定:生产成本不超过3500万欧元(约3701万美元),飞行成本不超过1万欧元/h(约1.06万美元/h);最大起飞质量在10~17t,无空中加油情况下航程为1666km,最佳巡航速度不低于400km/h,可搭载12~16名全副武装的士兵;具备无人驾驶能力,可在有人/无人驾驶2种模式之间迅速切换,能够与无人机协同,发射和回收小型无人机,并指挥和操纵无人机群。

NGRC计划集成平台方案的技术特点

对于NGRC计划集成平台构型的选择,北约现阶段对传统构型优化和非传统旋翼构型两条路径持开放态度,选取了不同技术方案的3家设计方,力求为潜在的平台概念提供多种视角,识别和利用前沿技术来满足作战和可支持性能,同时探索



图2 空客直升机公司NGRC旋翼机概念

数字设计、开发流程、先进材料和制造方面的创新。

空客直升机公司:双推力复合式高速直升机

空客直升机公司表示,将联合雷神技术公司基于“竞速者”(Racer)高速直升机开发新的概念机。Racer直升机是在欧盟清洁天空(Clean Sky)计划下开发的民用旋翼机,侧重于高速性、环保性、经济性,于2024年4月完成首飞,初始构型达到了420km/h的速度。Racer直升机采用了双推力复合式构型,在常规直升机机身两侧安装辅助机翼提供额外升力,并在机翼外端加装2个螺旋桨作为推进装置,提高了飞行速度;大量应用复合材料结构,如蜂窝芯机身侧壳,极大地减轻了机身质量;后缘襟翼的使用优化了机翼在所有飞行阶段的性能,总升力提高40%,减轻了旋翼动态载荷及振动;Racer直升机配装了2台赛峰直升机发动机公司基于阿内托-1X(Aneto-1X)发动机开发的混合电推

进系统,在巡航阶段可关闭1台,使油耗、二氧化碳排放量减少20%,噪声也同样显著降低。

但是,在空客直升机公司提供的NGRC旋翼机概念(见图2)中2个螺旋桨并非安装在机身两侧,而是安装在尾部且保留了尾桨,机身两侧则设有武器挂载短翼。另外,还有4架武装无人机随机飞行,表明其具备与无人机协同作战的能力。

洛马公司:共轴刚性旋翼高速直升机

洛马公司基于其子公司西科斯基公司研制的X2高速攻击直升机提出了“刚性共轴反转双旋翼+尾部推进螺旋桨”布局的概念设计方案(见图3),并将吸收S-97直升机技术验证机的经验建立虚拟原型机。X2直升机的设计目标是提升飞行速度、隐身能力和火力配置,2008年8月完成了首飞,最高飞行速度达到了480km/h。截至目前,X2直升机的研发投入已超10亿美元,并历经了16年的测试和飞行。在X2直升机的



图3 洛马公司NGRC高速直升机概念

技术基础上，洛马公司发展出了多型针对不同任务需求和功率等级的高速直升机，包括S-97轻型侦察/攻击直升机、SB-1和“无畏”X多用途中型直升机等。X2直升机技术家族中的高速直升机均采用了“刚性共轴反转双旋翼+尾部推进螺旋桨”的复合动力布局，外加智能旋翼控制，显著提升了飞行速度和机动性。全复合材料结构与轻量化设计，在减轻机身整体质量的同时实现了高强度和耐腐蚀的性能。此外，实施空中打击能力显著提升，隐身机身配合光电一体化设计，在减少机身雷达截面积（RCS）的同时实施精准打击和高效侦察，机头装备隐身航炮，机身两侧可挂载“地狱火”导弹等多种武器。在数字化设计和开发方面，S-97直升机技术验证机已完成严格飞行测试程序，所得数据可作为建立虚拟原型的关键数据，既为下一代旋翼机概念设计提供数字化设计的基础，又为后续快速验证概念设计的任务达成能力提供了途径。目前，X2系列直升机均以常规燃气

涡轮发动机为动力。

莱昂纳多公司：倾转旋翼机

莱昂纳多公司将与贝尔直升机公司合作进行倾转旋翼机概念设计。2家公司均以倾转旋翼机设计见长，此次合作属于强强联手。贝尔公司的V-22倾转旋翼机已在美军服役多年，在其基础上研制的V-280倾

转旋翼机也已进入到工程制造与开发阶段，完成了数百小时的飞行测试，最高速度超过500km/h。莱昂纳多公司针对民用市场正在开发下一代民用倾转旋翼机（NGCTR）（见图4），设计巡航速度为519km/h，航程为1852km，最大起飞质量为11t，都符合NGRC计划的技术要求，但该机目前尚未首飞。2家公司的倾转旋翼机具备多个共同的特点及关键技术难点：发动机短舱采用固定位水平安装方案，避免大姿态倾转对发动机工作的不良影响；减速器随倾转旋翼一同倾转，在倾转姿态下保证对旋翼的动力传输；机翼外翼段可倾转，垂直起降时降低由旋翼下洗气流施加给机翼的载荷；复合材料翼盒设计，实现超一半翼弦长度大活动面及机翼防冰除冰功能；集成飞行控制系统，实现对倾转旋翼、倾转机翼以及全权限数字式电子控制（FADEC）系统的综合控制。2家公司的倾转旋翼机均以燃气涡轮发动机作为动力。



图4 莱昂纳多公司NGCTR概念

NGRC 计划的新型动力装置研究

NGRC 计划下研发的旋翼机需要满足一系列的能力要求，包括高速飞行、远程作战、与无人系统的集成、空中加油等，使得动力装置的选择尤为重要。按照最初的技术要求，动力装置功率应不少于 2240kW，但最终对动力装置的具体功率要求取决于集成平台的设计构架。

GE 公司联合 Avio Aero 公司深入评估分析了多种动力装置解决方案，包括先进燃气涡轮发动机、混合电推进系统、氢燃料电池以及氢内燃机，全面评估了单位成本、运营成本、全生命周期成本、飞行速度、有效载荷和航程，确保与 NGRC 计划目标相符。2024 年 7 月，GE 航空航天公司宣布已顺利完成概念研究工作。4 种动力装置解决方案各具优缺点，随着技术的不断进步和成本的降低，混合电推进系统和氢燃料电池等新型动力装置可能会逐渐成为 NGRC 计划旋翼机的首选动力方案。然而，现阶段先进燃气涡轮发动机仍然是一个相对成熟且可靠的选择。

先进燃气涡轮发动机

燃气涡轮发动机作为旋翼机传统动力装置，在技术成熟度上具有极大优势，具有较高的功率密度和可靠性，但需要在功率输出、燃油效率、维修性，以及飞发一体化等方面进行进一步的提升。相比新型动力装置，当前燃气涡轮发动机的燃油效率，以及排放性能是制约其后续发展最关键的因素。

混合电推进系统

混合电推进系统结合了传统燃油发动机与电力驱动的优势，能够在不同飞行阶段和工况下灵活调整

动力输出，从而优化燃油效率和排放性能。此外，混合电推进系统还可能通过回收能量（如制动能量回收）来进一步提高能效。然而，混合电推进系统的设计和控制相对复杂，需要更高的技术水平和成本投入。同时，其电池等储能元件的寿命和性能也是无法回避的影响因素。

氢燃料电池

氢燃料电池具有零排放的优点，可显著降低旋翼机运行过程中的环境污染。但目前技术成熟度较低，且氢气的储存和运输也存在一定的安全风险。此外，氢燃料电池的成本也相对较高，必将影响到在旋翼机中广泛应用的可能性。

氢内燃机

氢内燃机在燃烧效率和排放性能上优于传统燃油发动机，且其技术基础与现有内燃机相似，易于推广和应用。但同样面临氢气储存和运输的难题，其技术成熟度和可靠性也需要进一步验证。

NGRC 计划的开放系统构架研究

NGRC 计划作为多国联合推进的计划，在研发过程中避免重复研发和

技术锁定风险，提高系统可扩展性与适应性成为了关键考量因素，这也是北约将对开放系统构架（OSA）的研究列入概念研究阶段的最主要原因。长期以来，OSA 是商用飞机领域平台设计的主要考虑因素，可以改变机队和技术能力的管理方式。随着系统被分解成更小接口中的组件，旋翼机上几乎所有部件都可以拆卸、更换和升级以满足新要求。传感器和计算机收集的所有数据也可用于改善操作和维护。这样可以最大限度地利用旋翼机的性能，并进行有效的维护，将停机时间降至最低。如今，新的军事和装备项目中也把 OSA 的识别和应用纳入考虑，可以让平台始终与当前需求保持同步，并且成本低廉。洛马公司在与美国军方的多次合作中积累了丰富的 OSA 研究经验，例如，在 B-21 轰炸机项目、F-35 战斗机项目以及未来远程攻击机（FLRAA）项目中，洛马公司均广泛应用了模块化开放系统构架（MOSA），如图 5 所示，提供保证系统灵活性和快速升级能力，以及平台多任务集成能力的解决方案。

洛马公司主导的 NGRC 计划 OSA

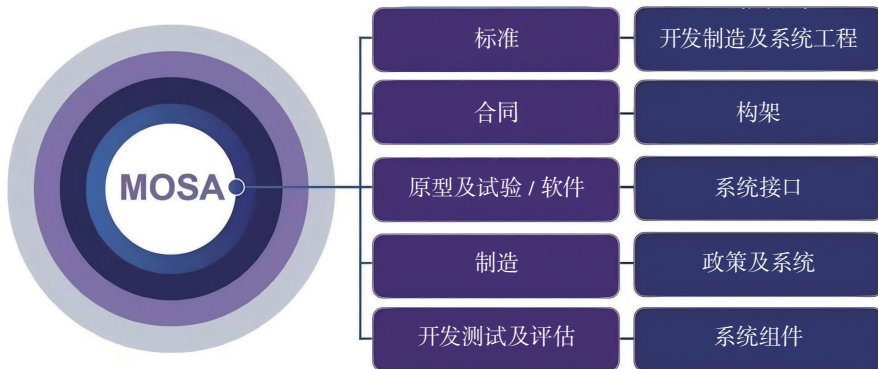


图5 FLRAA 项目中的 MOSA

研究旨在为下一代旋翼机提供模块化、可扩展的技术框架，以兼容多任务需求。该项研究需全面分析包括北约机构、作战司令部、国家政府和原始设备制造商（OEM）等在内的各个利益相关方的能力和贡献，识别 OSA 和数字工程的使能技术及潜在应用障碍。2024 年 12 月，洛马公司提交了该项研究结果，主要围绕开放标准、模块化集成、数字孪生验证展开，所得信息作为上述平台方案 3 个并行研究的输入，推动 NGCR 计划向实质性阶段转换。

下一代旋翼机技术发展趋势

下一代旋翼机技术正朝着更快、更智能、更协同的方向演进，其核心是通过跨领域技术融合，全面提升各个系统的技术水平，最终生成符合未来战场需求的强力装备。

革新旋翼机动力系统，新型动力崭露头角

NGRC 计划将对新型动力的探索作为最先开启的概念研究项目，足见北约对旋翼机动力系统革新的重视程度。动力系统不再局限于传统动力形式，混合电推进、氢动力所能带来的优势效益得到了充分的认识，并进入到下一代军备动力的考虑范围。但新型动力相关关键技术的成熟还需要经历大量的验证，真正作为军用飞机常规动力仍有很长的路要走。

重视多任务适应性，OSA 成为标配

NGRC 计划对下一代旋翼机应用场景的需求更为广泛，不仅要能够满足军事后勤需求，还需适应不同军种武器装备需求，甚至具备海陆空三军跨域适航性，使得其设

计要求更为苛刻。模块化设计和 OSA 成为了下一代旋翼机实现按需配置、快速升级的基础，提升了旋翼机的灵活适应性及预测性维护能力，可最大限度地简化维护和降低后续成本。

提升智能化水平，作战效能再上新台阶

NGRC 计划技术要求明确对下一代旋翼机有人/无人切换，指挥、控制、协同无人机的能力做出了说明，反映了提升军备智能水平的军事需求。下一代旋翼机将减少人工干预，提高作战效能，基于先进通信技术实现自主飞行，甚至发挥人工智能在任务规划、指挥作战、协同控制上的作用。

启示

集成平台概念研究合同的确定无疑是北约尝试实现下一代多用途中型直升机的重要一步，既是北约国家现有装备力量中旋翼机急需更新换代的结果，也是北约集合力量利用先进技术保持在下一代旋翼机研发和创新上的主动优势地位的结果。

探索颠覆性技术，推进下一代旋翼机综合性能跨越式发展

未来战场空间广阔、作战节奏加快、威胁环境多元的特点对下一代旋翼机在机动能力、突防能力、生存能力和打击能力等方面提出了更高的要求，需脱出传统思维的禁锢，整合资源，深化技术研究合作，加大对新构型、新动力、新形式的探索，布局未来技术发展之路。

利用多领域技术成果，实现下一代旋翼机功能性多面化提升

随着科学技术迅速发展，在数字技术、电推进技术、人工智能技

术，以及航空新材料、新工艺等领域出现了一大批新兴成果。下一代旋翼机注重速度提升的同时，在研发过程中，还应充分应用其他领域新兴技术的研究成果，将相关领域的未来发展趋势同步纳入考虑范围，协同多领域技术发展，打破技术应用壁垒，拓展自身功能性、应用面，寻求最优解。

开拓军民通用系列发展，促进下一代旋翼机技术加速成熟

欧美国家旋翼机研制强势集团已形成军民通用、一机多型、系列发展的体系，再加上纵横交错的合作网，进一步强化了国际化跨领域的优势互补。在全球各国军费收紧以及现代国防策略急速转变的情况下，下一代旋翼机技术的发展和成熟对民用产品研究投入的依赖性逐步凸显，军民通用构架有利于形成降本增效、互促互补的良性循环，加速新兴技术的应用和未来技术的成熟。

结束语

NGRC 计划不仅是北约应对现役直升机退役危机的解决方案，更是欧洲提升防务自主性、抢占航空技术制高点的重要布局。NGRC 计划的成功将重塑未来战场中的力量格局，并且为多国联合研发模式提供经验。然而，成本控制、技术整合和验证，以及各国政治集团之间的协调仍需大量的关注与投入，对新技术的追逐也会增加 NGRC 计划的不确定性和风险，这些是 NGRC 计划无法回避的现实问题。

航空动力

（高杨，中国航发湖南动力机械研究所，高级工程师，主要从事航空发动机科技情报研究）