

新一代战斗机及其动力发展解析

Development Analysis of Next Generation Fighters and Powerplants

■ 王鹏 / 中国航发涡轮院

随着科技进步和未来战争形态的演变，以美国为首的航空强国已经开始新一代战斗机的研制竞赛，提出了多种有人/无人作战系统概念方案，相应的动力系统研发也已如火如荼地展开。

进入21世纪之后，先进战斗机技术的发展方向出现了转变，隐身性能成为现代战斗机的重要技术指标。但这种技术到目前为止仍未完全普及，目前进入服役状态的隐身战斗机只有美国的F-22、F-35以及中国的歼20，而俄罗斯的苏-57发展进度较为缓慢。虽然现代隐身战斗机距离普及化发展尚需时日，但是下一代战斗机的发展计划早已开启，在未来空中战场博弈中赢得先机。根据当前信息分析可以发现，因为各国航空技术水平及对未来空中作战形态的理解不同，下一代战斗机方案均是以当前技术发展为基础，基本的技术特征也存在许多共同点。

下一代战斗机方案解析

目前，关于下一代战斗机到底是有人还是无人、具体性能指标包括哪些等问题，不同国家、不同军种和

不同承包商都有着不同的理解，而且随着战争形态、国家战略环境等形势的变化，不同时期也有着不同的需求和认识。

美国

美国空军于2016年5月31日正式对外发布了公开版《空中优势2030飞行规划》。这份文件旨在针对2030年强对抗作战环境，全面评估美国空军当前及未来作战需求，研判能力缺口，从多领域综合考虑，提出装备层面和非装备层面的解决方案。这份文件描述了一种高生存力、高致命性平台，它可由网络空间和太空能力做支持，很多人相信这个描述指的就是下一代战斗机。

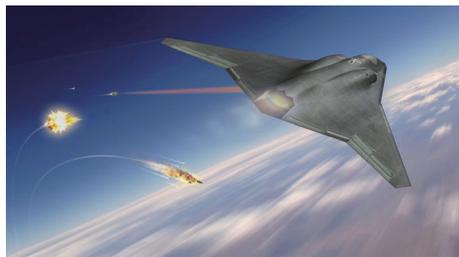
为发展未来战斗机，2010年11月美国空军发布了下一代战斗机能力征询书，期望在2030年左右形成初始作战能力。根据公开资料，美国洛克希德-马丁（洛马）、波音、

诺斯罗普-格鲁门（诺格）等公司提出了多种下一代战斗机方案（见图1）。纵观这些方案，均有一个共同的显著特征——高隐身气动布局（飞翼式布局、无垂尾、背负式进气道），这充分说明了美国空军对隐身性能的更高追求。但这些方案都未能使美国空军完全满意，一是研发成本可能创历史新高，二是研发进度无法满足军方2030年形成初始作战能力的目标，三是部分新概念技术效果不如预期且成熟度过低。

最终，美国决定摒弃有关下一代战斗机特征的讨论，将重点放在如何定义穿透性制空的能力上来。目前，美国正在抓紧研制的穿透性制空作战飞机，虽没有冠以“下一代战斗机”的名号，但仍具有超越以往战斗机的远航久航、高杀伤力、全向极低隐身等能力，足以构成美国“下一代战斗机”。



洛马方案



诺格方案



波音方案

图1 美国公布的下一代战斗机概念方案



图2 俄罗斯“鳐鱼”无人战斗机



图3 俄罗斯公布的米格-41概念图

俄罗斯

俄罗斯基于降低飞行员培训费用的出发点，认为下一代战斗机必将是无人驾驶的。无人战斗机可以突破有人飞机对飞机速度、体积和质量等的限制，进一步提升极限作战性能。早在2005年，俄罗斯米格飞机设计局就展示了下一代战斗机——“鳐鱼”喷气式隐身无人战斗机（见图2）。据称，这种战斗机具备高速、隐身和无人驾驶等特性。“鳐鱼”使用了先进的隐身技术，能悄然突破敌方的防空系统，对重要目标实施攻击；其发动机采用扁平

喷嘴，减少了热辐射量，也可规避敌方的红外线探测设备；发动机进气道被飞机的前翼遮挡，避免被雷达搜索到辐射波；控制板接合部、起落架舱门和机舱门处在几条平行的线上，大大降低了雷达截面积；没有水平和垂直尾翼，所有武器都藏于机体内的两个弹舱中。虽然2012年“鳐鱼”无人机项目由于各种原因暂停研发，但苏霍伊设计局目前正在研制的“猎人”无人机借鉴了“鳐鱼”的部分技术，并移植了苏-57战斗机的部分技术。2019年，“猎人”无人机与苏-57战斗机

完成了首次联合飞行。

此外，俄罗斯还透露了另一种下一代战斗机方案——米格-41（见图3），可以看出俄罗斯在下一代战斗机的需求上突出了对速度的追求，结合之前的米格-25、米格-31等型号的特点，可以发现俄罗斯在战斗机发展上，有依托速度提升突防能力的传统。从战斗机生存力角度看，隐身和速度是可以相互权衡的两个因素。速度提高了，对隐身的需求则可以适当降低。同时，根据相关研究，突防效能与飞行速度基本成线性正比关系，因此飞行速度越高，对突防越有利。

欧洲

2018年4月，法国和德国正式启动未来作战航空系统（FCAS）计划，定义了一个以下一代战斗机（NF）（见图4）为核心、多种元素相互连接协同的“系统族”，计划在2040年前投入使用，用于替换两国空军的“台风”（Typhoon）和“阵风”（Rafale）战斗机。其中，法国达索公司为总承包商，空客防务及航天公司为无人僚机和空战云总承包商。2019年6月，德国与法国联合研制的新一代战斗机全尺寸模型在第53届巴黎航展首次亮相。

受到英国脱欧影响，英国在参与德国和法国的FCAS项目时遇到阻挠。2018年7月，英国发布《作战航空战略》，要求使英国能获得并保持制空能力，确保作战优势等，同时公布将启动下一代战斗机“暴风”（Tempest）项目。在2018年7月第51届英国范堡罗航展上，英国发布了“暴风”全尺寸模型，采用双发设计，具有倾斜双垂尾。相关资料表明，相对于低成本和简单性



图4 德国和法国联合研制的下一代战斗机 (NF) 概念图 (来源: 达索公司)

等方面,“暴风”更优先考虑续航能力和无空中加油航程,并采用有人驾驶,同时还可能作为无人机使用,即可选无人驾驶方案。作为“暴风”战斗机发动机承包商,罗罗公司从2015年就开始针对下一代战斗机发动机展开技术开发与验证,其目标是提供更加智能、能提供更多功率提取的多电发动机,以满足先进机载电子设备和定向能武器的需求。

然而,欧洲的“鹰狮”“台风”和“阵风”3型战斗机并行发展、市场份额均不理想、技术也未能领先的历史经验让部分欧洲国家意识到,欧洲无法承担同时开展两个先进战斗机研发项目所需的巨额成本,潜在市场也极为有限。为避免重蹈覆辙,空客公司于2020年6月16日表示,希望与英国在2020年12月31日完成脱欧贸易协定谈判后,深入讨论将法国、德国、西班牙3国联合研发的FCAS项目与英国、瑞典、意大利联合研发的“暴风”战斗机项目

进行合并的可能性。

日本

日本在下一代战斗机的研发上也不甘落后。日本首架国产隐身战斗机的样机——先进技术验证机TD-X“心神”于2015年试飞,日本计划在其技术基础上发展下一代战斗机F-X(见图5),并计划于2035年服役。日本对下一代战斗机的定义为首先

发现、首先攻击、首先摧毁,这点与欧美不同,并提出了以信息化、智能化、敏捷性为代表的下一代战斗机的日本概念。据防务新闻网站10月31日报道,日本已选定三菱重工业作为该国新一代战斗机的主要承包商,并计划选择海外合作伙伴进行技术合作,尤其是开展隐形技术研发合作。

总体趋势

综上所述,虽然各国对下一代战斗机的定位有所不同,但是从当前的技术发展来看,下一代战斗机的基本技术特征已表现出一些共性趋势。即通过全新的一体化机体设计,采用新型先进动力和智能化飞行控制系统,实现飞机在各种任务环境下的高隐身性、高机动性和长续航,并能够适应未来联合作战概念和多域战对时时在网、高度互联的需求,并且能够提供满足定向能武器需求的能量。

鉴于不同军种、不同作战场景下的不同需求,下一代战斗机还可能具有有人和无人两个版本或者可选无人驾驶。此外,人工智能也将



图5 日本F-X战斗机概念图

是下一代战斗机应用的核心技术之一。借助人工智能技术，战斗机可以自主感知作战环境并进行作战姿态调整，还可以对目标进行自主分析，在无人工介入的情况下，完成对威胁较大的目标的攻击选择，最终实现在各种不同作战任务之间的敏捷切换。

下一代战斗机动力技术

下一代战斗机的关键技术包括飞机气动设计技术、动力技术、材料技术、控制技术。其中，动力技术是制约未来战斗机向更快、更高和更远发展的关键要素。通过对下一代战斗机的需求分析，可以总结出下一代战斗机动力技术发展的主要趋势。

机动性优先级低于续航和挂载能力

为满足战争需要，美国军方要求下一代战斗机不仅要具有高空高速性能，而且要具有机动、敏捷和隐身等方面的性能。波音和洛马公司发布的下一代战斗机概念都采用了无尾或V形尾翼结构，可以满足作战常规机动性、过失速机动性、敏捷性、短距起降、超声速巡航、隐身等性能需求的推力矢量无疑成为提高战斗机机动能力的重要支撑。

然而，随着远程武器的发展，未来空军基地和航空母舰等基地设施可能更易受导弹等的攻击，因此，未来战斗机需要具备更强的远航和武器挂载能力，确保在基地被毁或航空母舰停留在更远安全距离时仍能执行作战任务，同时能应对导弹威胁。而这势必以牺牲自身的机动性为代价。根据美国空军的预计，未来在可视距离范围内的空战将越来越少，因此将以机

动性的权衡来换取可持续的高速度和更大的有效载荷。

变循环发动机

变循环发动机（VCE）技术是新一代战斗机中应用潜力巨大的动力技术之一，其特点是通过改变发动机一些部件的几何形状、尺寸或位置来改变热力循环。美国在通用经济可承受先进涡轮发动机（VAATE）计划下，实施了一项名为自适应通用发动机技术（ADVENT）的子计划，用于验证变循环发动机来满足不同飞行器平台，包括超声速、亚声速的攻击/运输及情报、监视和侦察（ISR）平台，以满足未来对动力装置多用途、低成本的要求。ADVENT及后续的自适应发动机技术发展（AETD）和自适应发动机转化项目（AETP）都集中在通过采用自适应风扇调节发动机低压转子来达到多用途能力，而2016年启动的空中优势自适应推进技术（ADAPT）计划则更关注发展高压转子的自适应结构，以及将核心机与发动机的整体变循环工作特性相结合的方法。

近30年来，除美国以外的其他航空发动机公司，如英国的罗罗公司、法国的赛峰集团、日本的工业科学与技术研究所等，也在不断地进行变循环发动机概念设计和方案设计研究并进行试验验证，取得了一定的研究成果。进入20世纪90年代后，美国、欧洲和日本又掀起研究超声速和高超声速推进系统的热潮，其中都涉及到变循环发动机的相关技术研究。

关键技术——动力与热管理系统

动力与热管理系统对提升战斗机性能和降低成本起着关键作用。动力与热管理系统是一种综合机电

系统，将传统上分立的辅助动力系统、应急动力系统和环境控制系统的管理功能综合为一个系统，其雏形是“热/能量管理组件”（T/EMM）。与传统机电系统相比，这种系统中同一涡轮机械既用于辅助动力系统和应急动力系统发电，又用于环境控制系统冷却和热管理，不仅可减少系统质量和体积，还可提高可靠性和效率，同时又降低了成本。

2015年8月，美国空军研究实验室（AFRL）动力与控制部机械与热系统分部发布了题为“混合循环动力与热管理系统”的跨部门公告，向美国工业界征询关于下一代战斗机动力与热管理系统的系统级解决方案。美国空军在公告中指出，下一代战斗机可能要求具备前所未有的先进能力，以保持对抗环境中的空中优势。这些能力包括先进电子攻击、高功率激光器和低可探测性，所要求的电功率比目前战斗机的机上发电能力高10倍以上。同时，对于未来的大功耗军机而言，热管理可能是比发电更需关注的问题。现代飞机广泛采用复合材料蒙皮、高效率发动机、深度嵌入式的机载系统，对飞机热管理提出了严峻挑战。此外，机上不同负载的工作周期差异相当大，有的在任务过程中连续工作，而有的运行时间只占任务执行时间的5%，对热管理系统的自适应性提出了较高的要求。

推进系统电气化

为尽快实现先进机载电子系统和定向能武器在下一代战斗机上的应用，各国都在尝试通过不同的技术方案实现推进系统的电气化，以满足更大的功率提取需求。

2002—2008年，欧洲43家航空工业组织共同开展了动力优化飞机(POA)技术项目，其中罗罗公司为POA项目建立了发动机系统验证平台(ESVR)，通过试验验证了多电发动机技术的可行性。ESVR用新型电气系统代替了所有传统的用齿轮箱驱动的系统，并采用了嵌入式发电机方案。2014年，该公司开始了嵌入式电起动机发电机(E2SG)的演示验证项目，即在传统燃气涡轮发动机核心机中完全嵌入起动机发电机，这也是“暴风”项目配套动力的核心技术。该方案在节省空间的同时，还可以为未来战斗机提供所需的大量电能，同时规避了传统发动机通过其下方齿轮箱产生功率驱动发电机所带来的活动件数量变多、复杂度增加、机体变大等不利于飞机隐身的缺点。2017年，E2SG验证机项目启动第二阶段，将另一个电动机与发动机其他转子连接，还在电网中加入了一个储电系统，可以智能管理所有系统间的电力供应。

同时，美国空军对于2035年左右的战斗机期望是配备激光武器，这种武器所需的功率远超当前燃气涡轮发动机能够达到的水平。从此需求出发，IHPTET和VAATE计划的研究成果也不能满足功率水平要求。因此，哪怕VAATE计划尚未结束，美国空军也迫不及待地在2016年对外披露了为期20年的顶层规划支持经济可承受任务的先进涡轮发动机技术(ATTAM)计划，并随后迅速展开招标工作。ATTAM计划的重点是实现航空推进系统与机载电力系统的集成。

大量应用复合材料

相关研究表明，下一代战斗机



图6 安装CMC叶片的F414验证发动机

发动机的推重比大约会在现代战斗机发动机推重比的基础上翻一番，达到15~20:1。为了实现这一目标，涡轮前温度将大幅提高。同时，压气机压比也要在现有基础上有所提升，但从轻量化考虑，下一代发动机要求压气机级数进一步减少，这意味着压气机材料需要具有质量轻、强度高的特性。这些新的性能要求必须通过新材料应用才可实现。复合材料具有质量轻、强度高的特点，其中陶瓷基复合材料(CMC)还具有显著的耐高温特性，被认为是实现下一代战斗机发动机的关键材料。

GE公司认为其在下一代发动机竞争中的王牌，就是对轻质耐热CMC的大量应用。F136只在第三级涡轮导向器采用了CMC，而现在CMC将被用在从燃烧室到低压涡轮的整个热端部件上，包括旋转件。2014年在F414发动机上成功验证了CMC在旋转件上的应用(见图6)。

结束语

随着科技的进步，未来战争形态必然发生巨大的变化，电子战、集群

作战等新作战形式层出不穷。为了解决未来作战需求，保持制空优势，以美国为代表的航空强国在现代战斗机尚未普及装备的情况下，积极开展下一代战斗机的研制竞争。

美国已提出了多种下一代战斗机概念方案，但究竟选择哪一种方案，目前尚无定论。值得注意的是，虽然飞机方案尚未确定，据《航空周刊》消息，美国下一代发动机验证机XA100/101将于2021年开始地面试验。动力先行是美国一贯保持的研发思路，不管未来战斗机何时成形，拟采用的动力装置技术研究工作早已展开。超前开展的一系列发动机技术预先研究计划的成果，为美国下一代战斗机发动机的研发奠定了坚实的基础。

随着近20年来我国对航空领域投资力度的加大和许多重大关键技术的突破，为了进一步缩小与发达国家的差距，我们也应当同步开始探索发展下一代战斗机，尤其是加快开展下一代战斗机发动机的研发。

航空动力

(王鹏，中国航发涡轮院，工程师，主要从事航空发动机情报研究)