

美国空军气候行动计划分析

Analysis to the Climate Action Plan of U.S. Air Force

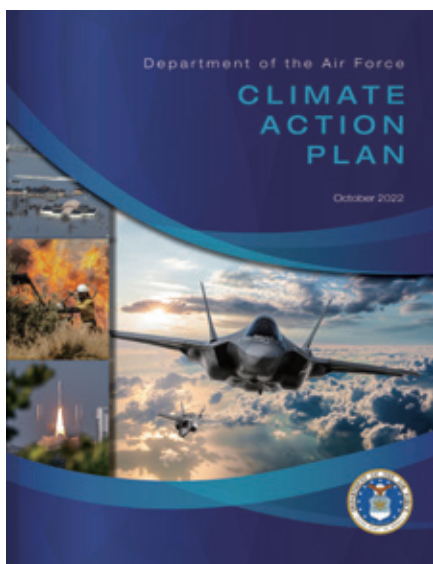
■ 王翔宇 侯薇 / 中国航发研究院

根据美国空军的构想，通过面对气候风险保持空天优势、基于气候影响作出知情决策，以及提升能源利用效率并寻求替代能源等举措，可以更好地适应气候变化所带来的军事挑战，维持强大可靠的作战力量。

气候变化正在重塑日益复杂的地缘战略、战术和作战环境，成为这个时代最不稳定的外部力量之一。面对更加频繁、强烈和不可预测的极端天气条件下的国家利益风险，美国国防部(DoD)已将气候变化确定为关键国家安全议题、威胁倍增器和首要管理挑战。2022年10月，美国空军正式发布了《气候行动计划》(Climate Action Plan)，明确了应对气候变化的优先行动事项，即在一个由气候变化塑造的安全环境中优先考虑空中和空间优势，基于知情决策提升整体战备水平和任务执行能力。同时，承认并努力降低自身对气候变化的影响，减少对传统能源的需求，提高作战系统和相关设施的效能。

美国空军气候行动优先事项

气候变化会影响空军执行任务的能力，而且这些影响预计将随着时间的推移越发严重。美国空军将《气候行动计划》概括为三个方面：一是削弱军事系统的作战能力，升温、降水模式变化以及更频繁的恶劣天气会对空军的设施和战备构成越来越大的威胁，空军基地的力量投送面临重大考验；二是出现了全新的任务场景，气候变化下的粮食危机、



美国空军发布《气候行动计划》

水源短缺、经济混乱和自然灾害问题可能成为地缘政治冲突的催化剂，空军需要对由各种不稳定因素引发且急剧增加的区域动荡做出快速响应；三是为满足各种紧迫的全球机动和运输需求，空军消耗了大量的燃料并成为温室气体排放占比最高的军种，提高能源效率和部署先进能源技术不仅能够减排还有助于降低作战风险和后勤压力。在这种情况下，美国空军拟通过三大优先事项来提升空军作战的韧性和敏捷性，从而更有效地应对气候变化、维持战斗能力。

面对气候风险保持空天优势

作为实现全天候无死角训练和部署的核心依托，美国空军基地及相关基础设施正在承受着气候变化带来的全新挑战。例如，永久冻土逐渐融化致使北极地区道路、地基等发生不同程度的变形；海岸侵蚀对沿海基地土方建设造成了破坏；强降雨超出了排水系统的处理能力，跑道被淹没、机场暂时关闭；极地涡旋减弱导致冬季寒潮风暴，机场供电网络受冲击；长期的干旱妨碍水源供应，野火更容易随风蔓延，不但降低能见度、削弱了空军测试和训练能力，也危及到基地基础设施的运转以及工作人员的健康和安全。

在这种情况下，为了保持空天作战优势、确保全球力量投送，美国空军一方面将集中力量进行基地及相关基础设施的改造，使得机场建筑物、配电和照明、燃料分配系统，以及供水管线能更好地抵御极端气象条件，并全面评估基地运行鲁棒性，通过兵棋推演找出供应链薄弱环节，尽快推动那些有助于在作战中降低电力依赖的前沿技术投入使用；另一方面有必要确定一系列有针对性的方法和工具，将气候因素纳入计划部署流程，指导部队科学有效判别气象条件、确定能源需求

面对气候风险保持空天优势的主要工作部署

目标	关键成果
高适应性、 强复原力基地 与设施升级改造	通过有针对性的投资增强空军基地面对恶劣气候影响的恢复能力，预计2023财年初步投资3600万美元，到2027财年增加至每年1亿美元
	在2024财年前，建立完整的气候变化影响评估框架，为资源配置和基地改造提供参照
	到2026财年末，充分落实《恶劣天气和气候灾害筛选和风险评估手册》的有关规定，在制定规划和项目开发时筛查并识别可能的气候灾害和风险
	到2027财年末，在35个基地与设施开展能源应急准备演习，并将演习结果用作后续设施投资的依据
	在2023财年前，根据《设施能源计划》相关指南，确定要申报的项目以获取2024财年的经费支持
	在2033财年前，碳排放量较2008年降低50%；在2046财年前，空军基地和设施实现零排放

从而形成更加合理的作战策略，此外还应与当地社区以及行业伙伴通力协作，形成能够增强设施适应力和复原力的整体解决方案。

基于气候影响做出知情决策

要在适应气候变化的同时占据对敌上风，美国空军必须从根本上改变思维、战备和行动方式。准确的气候数据和预测分析对于基础设施工程标准的制定、武器系统的采办和全生命周期的保障，以及作战计划的实施都至关重要。一支熟悉气候知识的专业队伍能够确保空军成员具备相关知识和技能，了解应在何时、基于何种理由以及如何采取手段将气候因素转化为战场优势。美国空军将加强极端天气感知能力建设，助力气象学科技术的发展，更好地归纳整理、分析研判气候规律，以便对作战环境有更全面的了解，做到资源配置最优决策。

2020年，美国空军气象体系战略报告中明确了发展和增强天基环境监测能力，利用及时、准确的天气

数据为联合军事行动（特别是在拒止区域和环境恶劣区域）的决策提供支持。美国空军努力将气候风险变量纳入战略规划和实战情景中统筹考虑，既有高气候适应性战法、培养未来作战能力需求和武器装备系统能源优化标准这样的指导性文本，也包括用来测试全新作战平台、优化燃料后勤运输系统以及评估作战过程中环境风险的各种军事演习活动。此外，在美国空军需求流程、

物资采办监管指南，以及供应链架构中也会涉及越来越多的气候因素，根据实时气候影响对物资储备动态调度，确保突发情况下的高可靠性快速保障。

提升能源利用效率并寻求替代能源

燃料既是空军作战能力的关键赋能因素也是其限制因素，往往决定着最远任务距离和部署位置。美国空军的总体目标是用更少的燃料提供更强的战斗力，在减轻燃料储存和后勤保障压力的同时起到了降低碳排放、减少气候影响的正向反馈效果。以“每加仑杀伤力”为作战能量密度的概念已经被引入用来对作战能源强度指标进行评估。通过与工业界合作，将那些已在民用航空中得到验证的飞机和发动机技术应用到军事领域，并借助更精确的燃料规划与分配软件工具、虚拟和增强现实系统等多种手段，培养空军从业人员的节能意识，进一步优化对航空燃料的使用效率。

通过上述措施，美国空军预计

基于气候影响作出知情决策的主要工作部署

目标	关键成果
气候专业人才队伍	在2024财年前，将气候课程纳入空军职业军事教育
	在2024财年前，将气候课程纳入技术和继续教育
制定战略规划 and 开展行动时考虑气候变化的影响	从2024财年开始，在进行概念设计和制订作战计划和战役计划时，考虑气候变化因素的影响
	从2023财年开始，依据《美国法典》中“武装力量”的规定进行军事演习时，考虑气候变化因素
	从2023财年开始，在与盟国和伙伴国家交流时，考虑气候变化的影响
将气候因素纳入需求流程、物资采办和供应链架构等	根据《联合能力集成与开发系统手册》，在武器系统能力要求中加入与气候变化相关的能源性能参数指标
	到2023财年末，确定气候变化对特定供应链的影响；到2024财年末，提出降低风险的策略

未来5年可降低3.7%的二氧化碳排放，节省航空燃料超过2.5亿L，到2032年碳减排量计划将再翻一番。而立足更长远的考虑，在航空动力系统和替代燃料的使用和开发上的跨时代变革势在必行。例如，美国空军正利用敏捷至上（Agility Prime）项目促进电动垂直起降（eVTOL）飞行器商业市场的成熟，建立和完善相关产业供应链、最终促进军用电动飞行器的发展，此外还和国防部国防创新小组（DIU）以及美国国家航空航天局（NASA），合作启动了翼身融合布局飞行器的开发工作，气动效率有望提升30%以上。

在敏捷至上项目框架下，2022年3月美国空军完成了人类历史上首次eVTOL飞行器军用适航能力测试，这架名为“埃利亚”（Alia）的试飞样机可搭载6名旅客外加1名飞行员，设计最大航程和最大飞行速度分别为460km和280km/h。根据美国空军设想到2023年实现eVTOL飞行器部署服役，为此在拟议的2023财年预算中已要求国会拨付360万美元专项资金用来采购5架eVTOL飞行器。此外，美国空军还计划于2027年前完成全尺寸翼身融合布局原型机的测试，虽然在公开的声明中只涉及运输机方案，不过业界普遍认为美国空军会在综合权衡运输能力的前提下，折中货舱尺寸与隐身化外形等因素打造不同于B-2或B-21的全新平台以兼顾新型加油机的开发。

2022年9月12日，美国空军和GE公司在阿诺德工程发展中心（AEDC）完成了第二台XA100自适应循环发动机的测试，这也标志着GE公司通过了美国空军自适应发动机转化计划（AETP）的最后一个里

提升能源利用效率并寻求替代能源的主要工作部署

目标	关键成果
提升能源利用率	在2027财年和2032财年前，将美国空军作战能源效率分别提升5%和7.5%
	在2027财年前，完成全尺寸翼身融合飞行器样机的开发和测试
使用替代能源	在2026财年前，开展投放式、可兼容可持续航空燃料试点，成本与传统航空燃料相同，或更低的可持续航空燃料至少占燃料采购总量的10%
	在2028财年前，完成微型反应器试点应用，验证其作为替代能源的可行性
	到2030财年，确保空军全部使用无碳电力（CFE），其中7×24h全天候无碳电力占比不低于50%
	到2027财年，实现轻型车辆100%零排放；到2032财年，实现飞机服务保障设备100%零排放；到2035财年，实现非战术车辆100%零排放

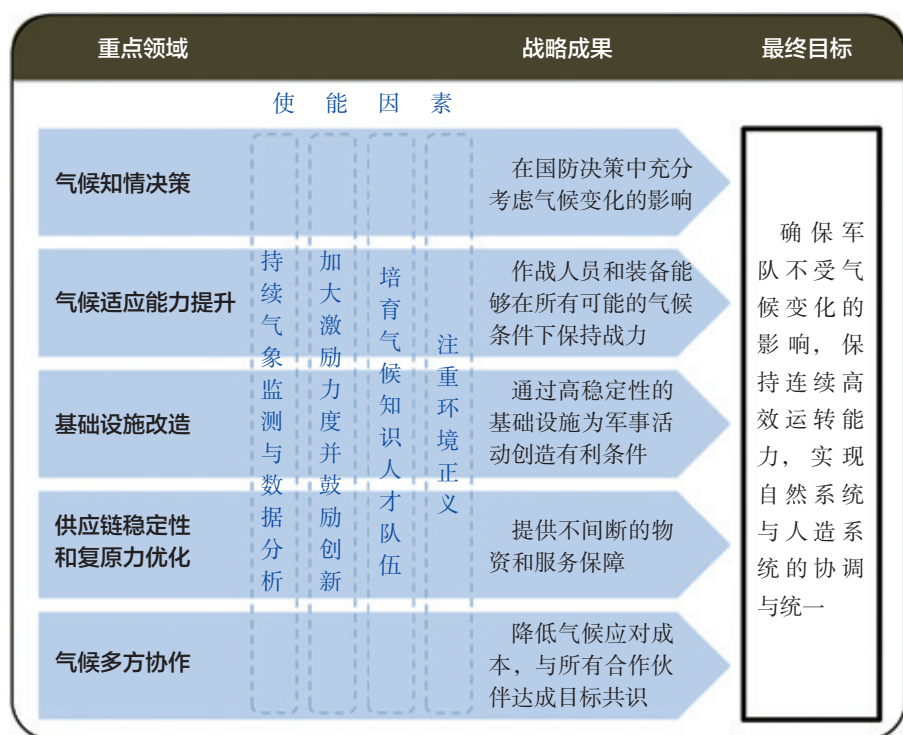
程碑考核。美国空军表示未来F-35全系将配装这款三涵道自适应变循环发动机，在推力增大10%、燃油效率提升25%的同时支持任何美国空军批准的可持续航空燃料。事实上不只是XA100，美国空军投资6000万美元支持的“序曲”超声速客机也能够使用100%可持续航空燃料，这也是其“以民促军”加快先进技术研发的又一次尝试，未来军用品“序曲”飞行器有望成为美国空军执行快速反应监视和侦察、指挥和控制，以及极端条件下移动和后勤任务的利器。

目前，美国空军开展了300多个可再生能源试点项目，评估了与现有能源运行体系整合的可行性，并进行了美国国防部首个微型反应堆试验，尝试利用安全且稳定的清洁能源来确保能源安全和自给。美国空军还将持续探索基础设施和武器系统使用替代能源的可能性，加快非战术支援车辆和设备的电气化替换，向符合空军要求的企业发出更为清晰的能源需求信号。当然，为了实现燃料效率目标、确定更多有待改进的领域，收集、获取和分析

作战能源数据也是必不可少的，这样可得出能源消耗与任务完成度和温室气体排放的关系，为优化作战效率提供支持，也有助于了解基础设施和武器系统的改造进展。

应对气候变化战略布局

2021年1月27日，刚上台的拜登政府发布14008号行政命令，将气候问题提升到气候危机的高度，视之为未来美国外交和安全政策的优先切入点，并号召所有联邦机构采取行动应对气候变化。美国军队对此响应十分积极，国防部长奥斯汀多次作出类似“国防部必须迅速而大胆地采取行动面对气候挑战”“美国军队为保护美国人民免受气候变化影响所做的工作还不够”这样的表态。同年9月和10月，美国国防部相继发布了《国防气候适应计划》（DoD Climate Adaptation Plan）和《国防气候风险分析》（DoD Climate Risk Analysis），明确了军队关于气候问题的立场和责任、阐述了不同场景的气候危害与安全影响，借助多个使能因素，重点开展气候知情决策、人员和装备气候适应能力提升、基



美国《国防气候适应计划》整体架构

基础设施改造、供应链稳定性和复原力优化以及气候多方协作等五方面的工作。这是美国军队在将气候因素正式纳入作战思维、形成完备的军事气候战略上迈出的关键一步，也为后续各军种明确各自的气候应对策略提供了依据。

在美国国防战略和《国防气候适应计划》的牵引下，美国陆军在2022年2月率先发布了《气候战略》(Climate Strategy)，依托三大路径应对气候变化：增强军事设施可持续性，加大无碳能源在装备上的应用；优化供应网络，降低能源需求、提升保障能力；普及气象知识，在训练和演习中充分考虑气象风险。美国海军在几个月后发布了《气候行动2030》(Climate Action 2030)，具体五项举措与《国防气候行动计划》保持一致，预计2030年海军碳排放较2008年下降65%、实现100%无碳电力供应，

2035年海军全部车辆实现零碳排放。而接下来美国空军《气候行动计划》的出台则标志着美国军队自上到下的气候战略布局基本建成，并通过随后的《2022年气候适应计划进展报告》对取得的阶段性成果进行了总结。

可以说，美国已经深刻地认识到气候变化对未来军事作战的重要影响，应对气候影响涉及到整个美国军事体系变革，绝非一项由某个项目管理办公室能够全权处置的工作。在将气候政策和行动纳入国防部和各军种整体规划的同时，随着技术水平的进步、对气候问题认识的加深以及作战任务需求的变化，美国军队也将对气候部署进行不断的评估与调整。例如，美国空军将通过高级领导人气候论坛为气候工作提供监督监测和实施指导，该论坛将由部长办公室、空军副参谋长办公室和空间作战副部长办公室联

合承办，并由负责能源、设施和环境的部长助理主持。

无论是美国国防部还是各军种的气候战略，其核心着眼点总结起来不外乎两大方面：一是提升气候适应能力，面对日益恶化的气候条件确保部队人员和设施系统能够继续高效运行并完成各类军事任务；二是降低气候威胁，立足自身作战环境提升能源效率，尽量减少温室气体排放、做到生态系统友好。对于前者而言，尽可能全面地遍历并预判未来所有可能受到气候影响的场景尤为关键，预则立，不预则废，只有找准气候变化与军事需求的结合点才能够有的放矢地进行应对和准备。而后者则是一个全局性的低碳乃至零碳发展问题，电气化转型受到各方高度重视，当然这里的方法工具篮子本质上也是军民相通的，美国空军敏捷至上和“序曲”超光速飞行器项目就是很好的例子。

结束语

正如所宣称的那样，“这既是美国空军应对气候问题的路线图，也吹响了后续行动的号角”，气候变化不但对军队的人员训练、战术战法和后勤保障产生了深远的影响，也促使其在碳减排和能源变革上发挥更大的作用。显而易见，应对气候变化也是未来我国国防和军队现代化建设过程中一个关键的环节，识别气候变化风险、提升气候适应水平以及推进替代能源利用，将成为完善国家军事战略体系和练兵备战能力建设必须做好的重要方面。 **航空动力**

(王翔宇，中国航发研究院，高级工程师，主要从事航空发动机发展战略研究)