

# 美国航空气候行动计划分析

## Analysis to the Aviation Climate Action Plan of United States

■ 王翔宇 侯薇 / 中国航发研究院

《航空气候行动计划》从推广可持续航空燃料、开发新的飞机和发动机技术、提升机队机场运营管理效率和加强政策法规引导等方面出发，首次系统性地描述了美国政府为实现2050年航空业净零碳排放目标所设定的行为框架。

**在**2021年11月召开的联合国气候大会上，美国联邦航空局（FAA）发布了《航空气候行动计划》。作为美国航空业应对气候变化、实现绿色发展的首份综合纲领性文件，该计划基于美国政府视角，以推广可持续航空燃料（SAF）、开发新的飞机和发动机技术、提升机队机场运营管理效率和加强政策法规引导为主要着眼点，在整个航空生态系统确定了多个促进创新和推动变革的具体行动举措，助力美国航空业达成2050年温室气体净零碳排放的宏伟目标。

### 推广可持续航空燃料

虽然航空业一直在考虑各种取代航空煤油的脱碳方案，不过《航空气候行动计划》认为在未来几十年里大概率无法通过电气化或者氢能源为商用飞行提供动力。这种情况使得由可再生和废物原料生产的SAF对于航空业的长期可持续发展的重要意义更加凸显，成为了全生命周期100%降低温室气体排放的现实选择。FAA与工业界2006年联合发起了商业航空替代燃料倡议（CAAFI），支持了一系列促进SAF开发测试、标准制定与商业应用的项目，尽快



将100%SAF应用到现有机队是其当下的工作重点，这也是航空业实现脱碳发展必须克服的障碍。

除FAA以外，美国多个政府机构均在降低SAF生产成本、提高可持续性效益和扩展供应链等方面发挥着关键的作用。美国农业部重点关注原料供应链系统项目，通过贷款担保为SAF生产设施改造提供财政援助；美国能源部启动了多种SAF的制备工艺研究，并量化了与原料有关的温室气体排放和土壤碳动态，填补了生物燃料供应链中缺失的统计数据；美国环境保护局着手优化SAF的监管审批流程，根据可再生燃料标准（RFS）对其进行统一管理；

美国国家航空航天局（NASA）对正在研发的各种概念飞行器进行SAF应用测试，并尝试使用在翼发动机的排气量来精准测定各种SAF的排放水平。

发展和应用SAF已经成为美国政府应对航空气候问题的优先手段。根据最新公布的可持续航空燃料大挑战（SAF Grand Challenge）战略构想，美国交通部、能源部和农业部等多机构将与航空业通力协作，明确各个参与者的作用、制定相关政策框架，进一步降低SAF的经济成本、提升SAF可持续性并扩大SAF的生产应用。预计美国SAF的年产量将从目前的0.17亿L急速跃升到2030年的114亿L，到2050年的供应能力将达到1325亿L，完全满足美国航空业的燃料需求。

### 开发新的飞机和发动机技术

过去的50年，飞机和发动机技术的进步使得飞行的燃料效率提高了70%，也是航空业减排的最大推动力量。然而，随着传统航空技术潜力越接近天花板，进一步的探索改进给航空制造商带来了沉重的财务压力，同时越来越长的使用寿命影响了航空运营商更新机队的速度，抑制了

### 美国政府推广 SAF 的主要举措

机构名称	主要举措
能源部、交通部和农业部	牵头启动可持续航空燃料大挑战战略
农业部	开展气候智能型农业实践，助力转基因生物质原料的开发、大规模可持续作物和森林的管理及其收获后的物流供应链的整合
环境保护局	与能源部合作收集数据信息、评估技术指标，优化监管审批流程促进新燃料和新原料的开发，并将其纳入联邦可再生燃料标准进行管理
FAA	2021 财年，向航空可持续发展中心（ASCENT）提供总额不低于 360 万美元的资助，在美国材料与试验协会（ASTM）框架下加快对 SAF 的测试认证并促进国际标准的出台
能源部生物能源技术办公室	为 11 个生物燃料类项目提供 3500 万美元的支持，后续可能将投入 6100 万美元以加快低成本 SAF 的研发进程
能源部贷款计划办公室	为满足相关条件的 SAF 商业化发展项目提供高达 30 亿美元的贷款担保
国防部	可对已获得 ASTM 认证的 SAF 在军事领域的应用提供相关资金（视拨款而定）

### 可持续航空燃料大挑战战略重点工作

降低 SAF 的经济成本	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 扩大原材料的选择范围</li> <li>· 开发/改进生产工艺技术</li> <li>· 利用现有生产基础设施</li> <li>· 在税收等方面加大生产激励</li> </ul>
提升 SAF 的可持续性	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 推广可持续作物生产系统</li> <li>· 倡导种植对土地特性影响小的作物</li> <li>· 降低供应链的碳排放强度</li> <li>· 严格全生命周期排放分析与检测</li> <li>· 提高与航空煤油的混合比例</li> </ul>
扩大 SAF 的生产应用	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 通过国家级项目新建生产基础设施</li> <li>· 多层次大范围的推广与引导</li> <li>· SAF 商业化的资金支持</li> <li>· 加快对新工艺新技术批准认证流程</li> <li>· 与军方协调加大采购力度</li> </ul>

航空制造商快速收回成本并开发新技术的能力。因此，来自政府层面的投资支持对于降低企业为开发新的飞机和发动机技术所附加的风险显得非常重要。早在 2010 年 FAA 就

启动了持续降低能耗、排放和噪声计划（CLEEN），在其支持下工业界能够快速将消耗更少燃料、产生更少排放和具有更低噪声的下一代航空技术集成到当前的飞机和发动机

产品上。此外，NASA 也在借助先进飞行器计划（AAVP）、综合航空系统计划（IASP）、变革性航空概念计划（TACP）和空域操作与安全计划（AOSP）开展了一系列可持续航空技术的基础研究和演示验证工作。

考虑到飞机和发动机技术的发展比其他措施需要更长的时间来实现其环境效益，美国政府为加速这一进程于 2021 年上半年正式提出了可持续飞行国家伙伴关系计划（SFNP），FAA 和 NASA 将与工业界协力开展超高效机翼（跨声速桁架式机翼）、紧凑型核心机和混合动力推进系统的飞行和地面技术演示，并利用全新的高速复合材料制造技术缩短新飞机和发动机的生产周期。通过这些技术开发的努力，下一代窄体机和宽体机分别有望在 2035 年和 2040 年进入市场。与当前同类最佳飞机相比，其燃料消耗可降低 25% ~ 30%，噪声可降低 10 ~ 15dB。NASA 针对纯电动和氢动力飞行相关技术的探索也在进行中，不过为实现其在大型商用飞行上的成熟应用还有太多的工作有待开展，例如即便是小型通航飞行器，目前仍需进一步评估纯电动或氢动力改进后的全生命周期排放水平、是否真正起到了降低排放的效果。

### 提升机队运营效率、降低机场排放

改进空中交通管理水平并升级相关基础设施是构建高效率航空运输系统的重要环节。虽然全球民航飞行效率已经达到 94% ~ 98% 的高位，不过由于必要的操作限制和安全、机场容量、天气和噪声等因素的存在，机队运营总是存在一些难以改

美国政府在推广可持续航空燃料方面的主要举措

机构名称	主要举措
FAA、NASA	启动可持续飞行国家伙伴关系计划，加速下一代飞机和发动机技术的成熟
FAA	启动CLEEN计划第三阶段，为飞机和发动机制造商提供超过1亿美元的资金用于开发和验证减少燃料使用、降低排放和噪声的技术
国防部	在提高传统飞行器效率的同时研发更节能的新飞机和发动机系统。已支出9亿美元用于空军B-52换装商用发动机项目、陆军燃气涡轮升级项目、下一代自适应推进项目以及空军常规飞机减阻项目等
能源部	与NASA合作，投资1.15亿美元开发电池技术，使之达到近期电动垂直起降飞行器所需的能量密度，并为远程电动飞行进行技术储备
	为可再生燃料检测与分析系统计划（SMARTFARM）中的6个项目提供1650万美元的资助，获取温室气体排放与土壤碳动态信息

变的低效率区间，同时随着市场需求的扩张，可供使用的空域资源也变得越来越紧张，保持并进一步提升现有效率水平并不是一件容易的事情。FAA的下一代航空运输管理系统（NextGen）项目已在美国国家空域系统（NAS）中部署了数量可观的导航、监视、通信、自动化和信息基础设施，基于性能的导航程序（PBN）得以推广，在卫星支持下能够创建精确、可重复、可预测和高效的三维飞行路径，广播式自

动相关监视系统（ADS-B）则为飞机位置的态势感知提供了更高精度和更快的更新速度。据FAA的估算，2010—2019年通过提升机队运营效率为美国航空业节省的燃料超过了18亿L、市场价值在12亿美元以上。

为营造完全共享的空中交通服务环境，更广泛的数据联通、更多的决策支持信息以及更持续的飞行态势感知将是后续工作的重点，此时运营商可以选择更加省油的轨迹飞行（特别是在巡航阶段），同时也

可充分利用风向等天气条件更好地提升燃料效率，预计到2030年能够为美国航空业带来2%的二氧化碳减排收益。联系更加紧密、数据更加丰富的航空运营系统对于环境保护的意义还体现在了其他很多方面，如通过减少尾迹的生成弱化其热反射和热辐射所带来的温室效应。虽然与燃料燃烧相比机场自身的二氧化碳排放量相对较小，但也不应忽视其在应对气候变化方面所起的作用，提升机场电力系统的效率和可靠性、基础设施的电气化改造、加快机场电动运营车辆替代和减少夜间照明能耗等工作均得到了FAA的资金支持。

### 加强政策法规引导

自从1983年国际民航组织（ICAO）航空环境保护委员会（CAEP）成立以来，美国政府在协助制定与民航噪声和排放有关的政策法规以及相关国际标准和建议措施（SARPs）上表现活跃，也是2016年国际航空碳抵消和减少方案（CORSIA）得以出台的主要推手和积极倡导者，确保其在具备技术可行性和经济合理性的同时产生最大的环境保护收益。在CORSIA框架下并基于自愿性原则，FAA率先实施了航空碳排放检测、报告和核算（MRV）规则，涵盖了美国航空公司98%以上的国际飞行活动。FAA已表示将继续全力为ICAO及其各个委员会提供技术支持以尽快形成第一个航空碳排放国际标准，在现有职权范围内尽可能制定规则保障CORSIA的充分实施，并努力与其他国家建立协作机制推动CORSIA在全球范围的应用，包括签订双边伙伴协议以强化成本分担和气候研究合作、共享用来开发完

美国政府在提升机队运营效率方面的主要举措

机构名称	主要举措
FAA	拨款2400万美元鼓励机场采用零排放的运营车辆，以及为停机坪飞机充电的相关基础设施建设
	引入预算为5000万美元的航空气候研究计划（ACR），投资具有变革性影响潜力的温室气体减排研究
	启动旨在减少飞行尾迹的项目，对可行措施的效益、成本和实用性进行评估，进一步降低对气候的影响
NASA	开发各种新技术以确定适宜的高空飞行轨迹，强化自适应选择航路、数字化交互操纵能力
环境保护局	与FAA合作探寻降低航空汽油中的铅含量，降低通航活塞式发动机的铅排放水平



善航空环境建模的数据库以及扩大相关从业人员的培训交流。特别说明的是，虽然针对的是国际航班碳排放问题，但CORSIA对于促进国内航空业的低碳发展同样具有重要的参照意义，尤其是其提供的诸如碳捕获和碳隔离等跨行业减排选项将是FAA审查并统合未来航空业碳排放政策的重要切入点。

## 《航空气候行动计划》vs《目标2050》

随着欧洲航空业净零碳排放发展战略《目标2050》于2021年2月发布并引发了强烈反响，大西洋彼岸同为全球航空业引领者的美国自然也不甘落后，推出了又一版本的绿色航空愿景，即《航空气候行动计划》。虽然在具体论述和细分条目上有所差异，但二者均将推广可持续航空燃料、开发新的飞机和发动机技术、提升运营管理效率和加强政策法规引导作为未来航空业发展的关键举措，并认为单独依靠某一种路径无法实现2050年二氧化碳净零排放这一共识目标。不过与《目标2050》侧重于量化表达欧洲航空制造商、航空公司、机场运营商和空中导航服务商等市场参与者的发展思路不同，《航空气候行动计划》的相关内容更加宏观、更加笼统，更多地体现了美国政府的意志以及如何协调各个政府机构去推进整个计划的实施。

针对各项关键举措自身，《航空气候行动计划》旗帜鲜明地认为SAF将在未来30年航空业低碳化发展的历史潮流中发挥着不可替代的作用，这也与拜登政府上台以来在多个渠道的表态相契合，尽管其也承认至少在10年内SAF的低成本应用和规

模化生产都存在很大的障碍。而对《目标2050》中备受推崇的革命性飞机和发动机技术，《航空气候行动计划》的态度则较为消极，认为所谓“非液体能源”技术的成熟远没有想象的快，甚至给出了“纯电动系统很难在2050年前应用到产生大部分航空碳排放的中长途航班”“氢动力飞行不会为2050年绿色航空目标的达成做出重大贡献”的结论。当然从目前的情况来看，美欧之间保守与激进的路线之争还没有一个最终的答案，也许随着时间的推移二者会在某种程度上互相妥协与融合。

尽管《航空气候行动计划》和《目标2050》都认可经济刺激政策对于航空业绿色发展的引导作用，但前者再次为以抵消为核心、排放总量上不封顶的CORSIA方案背书，后者则依旧以欧盟碳排放交易体系(ETS)为出发点。特别是随着ETS第四阶段(2021—2030年)的启动，碳排放配额进一步压减、配额交易价格进一步升高已成定局，航空公司开始承受前所未有的排放经济压力，贸然向欧洲外区域推广可能带来《航空气候行动计划》所担忧的“破坏性市场扭曲”，拔苗助长的行为无益于航空业长期可持续发展。可以想见，未来CORSIA这种宽松政策和ETS这种严格政策的协调共存必然不会水到渠成，全球性激烈的碳排放、碳交易市场博弈也在考验各国政府的智慧。

## 结束语

随着美欧航空业可持续发展战略的相继出台，围绕中国“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”整体战略部署，目前至少有3个问题亟待我国

航空业分析解答。第一，中长期来看我国航空脱碳发展的主要依托是什么？是可持续航空燃料，还是纯电动/氢动力技术，抑或是其他，如何能将各种减排举措更好的结合起来。第二，如何使航空制造商、运营商和服务商这些市场参与者以及诸多相关政府机构更紧密有效地衔接，从而实现绿色航空从规划到执行的统一。第三，面对CORSIA和ETS的先发制人、跑马圈地，如何更好地参与国际航空排放标准与政策的制定，代表中国乃至所有发展中国家争夺话语权，避免行业碳壁垒的出现。当然也要认识到，全球航空产业“第三时代”的到来对于像中国这样的后发者来说机遇远远大于挑战，顺应时代、迎接变革、积极谋划、稳步前行，才能真正实现我国航空产业的跨越式突破性发展。

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)

## 参考文献

- [1] FAA. United States 2021 aviation climate action plan [R/OL]. (2021-11-9) [2022-2-11]. [https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-11/Aviation\\_Climate\\_Action\\_Plan.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-11/Aviation_Climate_Action_Plan.pdf).
- [2] A4E, CANSO, ERA, ACI, ASD. Destination 2050: a route to net zero european aviation [R/OL]. (2021-2-11) [2022-2-11]. [https://www.destination2050.eu/wp-content/uploads/2021/03/Destination2050\\_Report.pdf](https://www.destination2050.eu/wp-content/uploads/2021/03/Destination2050_Report.pdf).
- [3] 王翔宇. 欧洲航空业净零排放发展战略分析[J]. 航空动力, 2021(4): 14-18.