

美国 2024年航空气候行动计划分析

Analysis of 2024 Aviation Climate Action Plan of United States

■ 王翔宇 刘英杰 / 中国航空发动机研究院

基于《2021年航空气候行动计划》设定的发展目标和路径，《2024年航空气候行动计划》回顾了过去3年美国政府和航空业界在加速绿色转型上采取的关键行动和主要成效，结合实际与预期发展情况之间的差异，对未来的工作重点进行了更新与补充，助力美国航空业2050年净零排放愿景的实现。

美国政府于2021年11月提出的《2021年航空气候行动计划》首次明确了美国航空业净零排放的发展目标以及对应的“全政府”举措，该文件计划每3年更新1次，同步提交到国际民航组织（ICAO）备案。结合先前美国政府给出的到2030年全行业碳排放水平较2005年降低50%~52%的承诺，2024年12月《2024年航空气候行动计划》正式发布^[1]，通过审查和分析2020—2022年美国航空业脱碳发展情况，加强对航空业气候影响因素和各举措减排贡献的认知，进一步根据航空市场发展的最新预期对原有政策布局进行了一定程度的调整，从而为下一阶段美国航空业更好地推动碳减排工作指明方向。

整体进展

2020年，蔓延全球的新冠疫情导致全球航空市场出现了前所未有的衰退，美国航空运输量一度下探至1984年以来的历史最低点，同比下降了60%以上。这种情况下《2021年航空气候行动计划》以疫情前2019年历史数据为基准，在考虑疫情影响的前提下进行了2050年前航空碳排放前瞻性预测，即后续不同



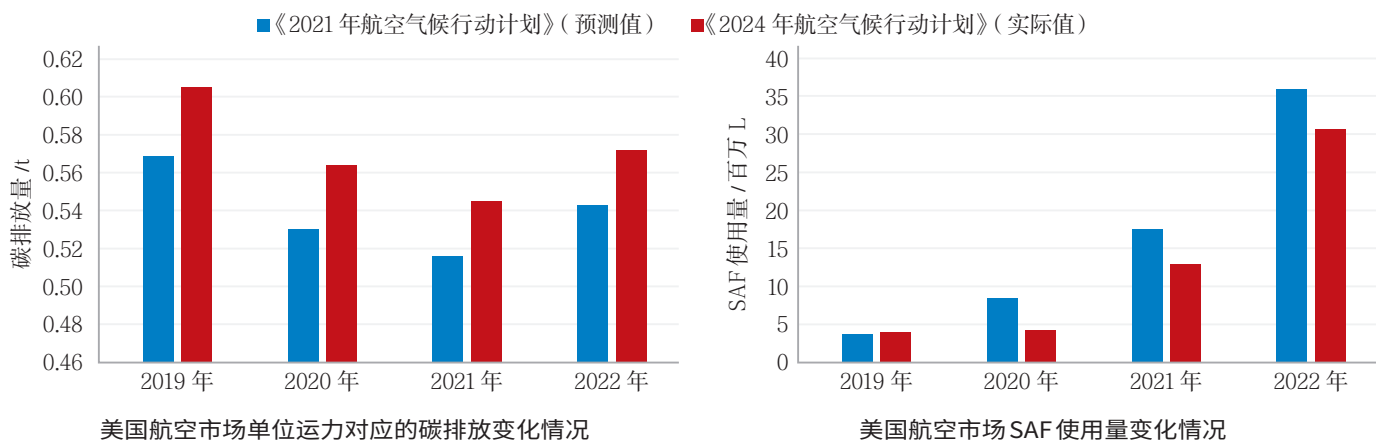
美国《2024年航空气候行动计划》

举措对应的碳减排总量。然而，事实上航空业复苏的进程要快得多，2021年和2022年美国以收入吨千米（RTK）表征的航空运输量较《2021年航空气候行动计划》测算值分别高出11%和16%，以可用吨千米（ATK）表征的航空运力也比预期上涨了8.2%和6.9%，这也是造成2022年航空碳排放量出现8%的计划外增长的最大因素。

在市场需求反弹式增长加剧碳排放的同时，现有机队更新（用已经投入应用或在未来几年进入市场的新飞机和发动机替换老旧产品）、提升技术效率（改进下一代飞机和

发动机设计和制造技术）和提升运营效率（优化空中交通管理）也在降低航空碳排放上发挥了明显的作用。2020—2022年单位运力对应的碳排放同比变化率分别为-6.8%、-3.3%和4.2%，累加后2022年碳排放强度较2019年下降了6%，与《2021年航空气候行动计划》的预期相差0.9%。出现如此情况很大程度上还要归因于疫情3年间航空货运市场的强劲增长，货运运力占比从29%上升到了37%，而单位运力下货机对应的燃油效率要比客机高。

应用可持续航空燃料（SAF）是美国政府为推动航空业可持续发展所采取的最为核心的举措，对应着七成左右的航空碳减排贡献。2019—2022年，美国SAF的生产量从908万L上涨到6057万L，对应的使用量也从416万L上涨到3104万L，增长了近8倍，特别是2021年和2022年的同比增幅分别达到了190%和135%。尽管这已经是一个令人鼓舞的成果，但2022年SAF使用量仅为《2021年航空气候行动计划》预期的86%，按照如此增速，想要达到美国可持续航空燃料大挑战路线图中设定的发展目标（到2030年SAF使用量突破110亿L），仍有不小的差距。



减排举措

《2021年航空气候行动计划》列出了8个方面的减排举措以推动实现2050年航空业净零排放，具体可概括为应用SAF、提升技术效率、提升运营效率以及加强政策法规引导这四大维度，其中前三者也是对碳减排效果进行定量评估的关键。《2024年航空气候行动计划》基本沿用了相关论述，不过考虑到后疫情时代航空业复苏态势远好于预期、航空市场运力需求旺盛，《2024年航空气候行动计划》认为在保持2022年燃油效率的假设下，到2050年美国航空业的碳排放量将在480万t以上，比《2021年航空气候行动计划》设想的场景高出约11%，这意味着不同举措所对应的碳减排份额也发生了一定的变化。

其中，应用SAF产生的碳减排收益从约304万t上调到了约336万t，相当于承担了超额碳减排任务的三分之二。提升技术效率所带来的减排收益达到60万t左右，较《2021年航空气候行动计划》足足增长了30%，展现了巨大的发展潜力。由于缺乏可信数据的支持，《2024年航空气候行动计划》中暂未直接显示电推进和氢动力等新能源动力技术带来的减排

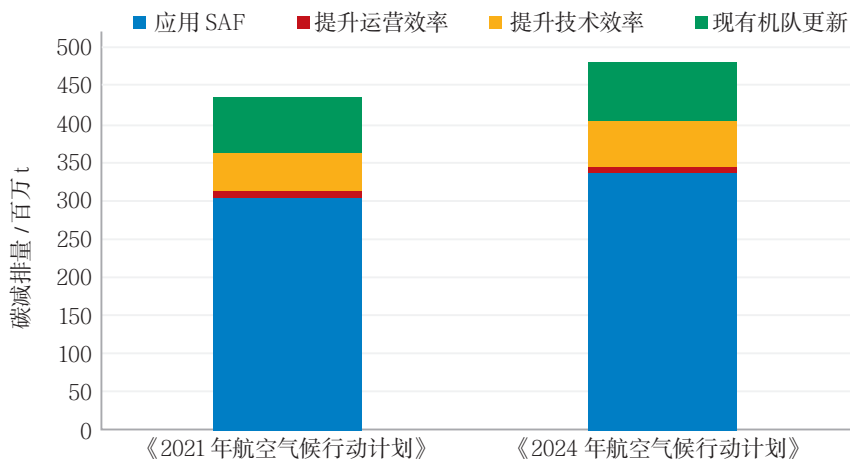
贡献，但承认其作为2050年前先进技术组合发展的一部分，可能会纳入未来航空行动计划的更新迭代中。此外，尽管《2024年航空气候行动计划》聚焦航空业界自身关于实现净零排放的努力，但也并没有否认跨行业碳捕获碳中和活动的必要性。

应用SAF

《2024年航空气候行动计划》重申了“到2037年，即使是喷气式公务机这样的小型飞行平台，全电推进系统也不太可能满足其动力需求”“氢动力预计不会为实现2050年净零排放作出重大贡献”等观点，指出“未来几十年里没有现实方案可以完全取代现有机队上使用的液

态燃料”。美国政府将继续推动实施可持续航空燃料大挑战路线图，通过商业航空替代燃料倡议(CAAFI)支持行业伙伴开展SAF的开发、测试、认证和部署等工作，进一步降低SAF的制备成本、扩大生物质原料供给和生产规模，并以税收抵免的方式鼓励航空业界加大应用SAF。2022年美国国会通过《通货膨胀消减法案》(IRA)，其中包括两项具体的举措将对2023—2027年SAF的生产活动予以财税激励。

需要注意的是，《2024年航空气候行动计划》将2050年美国航空燃料需求总量从《2021年航空气候行动计划》的1514亿L上调到了1628



2050年实现净零排放时不同举措对应的碳减排贡献

亿L，但“在2050年前将SAF的生产和使用水平扩大到每年1325亿L”这一目标设定与《2021年航空气候行动计划》保持一致。一方面，“到2050年，美国90%的SAF的产能即可满足美国国内和国际航线的燃料需求”变为了“SAF产能可满足2050年美国国内和国际航空燃料需求”，净零排放愿景下SAF供给紧张的问题可见一斑；另一方面，同样是每年1325亿L的产能和用量，《2024年航空气候行动计划》将应用SAF的碳减排贡献上调了30万t，这意味着需要进一步降低SAF全生命周期的碳强度，最大限度地提高供应链全环节的环境保护效益。

提升技术效率

《2024年航空气候行动计划》再次强调了美国联邦航空局（FAA）、美国国家航空航天局（NASA）与航空业界之间的密切合作将是推动下一代飞机和发动机技术发展的基础。目前，FAA正在通过持续降低能耗、排放和噪声（CLEEN）计划和航空可持续转型（FAST）计划加速先进低排放飞机和发动机技术研发以及SAF的兼容性验证和生产应用，并基于航空可持续性中心（ASCENT）协调众多大学和研究机构建立广泛的行业知识库，着重提升建模和测试能力从而对CLEEN计划起到补充作用。NASA则从2021年开始启动可持续飞行国家伙伴关系（SFNP）计划，重点展示并验证那些有前途但超出行业风险阈值的未来飞机和发动机技术，以便使在21世纪30年代投入使用的产品燃料消耗量减少30%，相关领域涉及跨声速桁架支撑机翼（TTBW）、混合热效率核心机（HyTEC）、复合材料机体快速制

造（Hi-CAM）以及相关飞机和发动机集成演示验证等多方面。

不过与《2021年航空气候行动计划》有所不同的是，《2024年航空气候行动计划》在提升技术效率的行动项中新增了“协调FAA、NASA、美国能源部（DOE）和美国国防部（DOD）在2026年前完成飞机和发动机使用氢或其他替代燃料的国家级研究计划”，同时明确了在小型飞机上进行电推进或氢动力技术孵化应用，从而为21世纪30年代在大型飞机上完成验证、40年代后期实现市场运营提供可能。而《2021年航空气候行动计划》中相同的章节只有“全电飞行有可能用于‘最后一千米’的短途运输，但还需进一步调查以了解其全生命周期排放情况”这样的表述。从某种程度看，美国政府对于发展新能源的态度似乎出现了一定的转变，这也可能导致《2024年航空气候行动计划》中提升技术效率对应的减排贡献被大比例调增，而考虑到飞机和发动机技术的发展需要比其他举措更长的时间来实现其减排效益，提前布局相关研发就显得更为关键。

提升运营效率

《2024年航空气候行动计划》中的提升运营效率同样围绕改善空中交通管理（ATM）和降低机场排放两方面展开。

对前者而言，将提升下一代航空运输系统（NextGen）的运营水平，建立完全共享、具备高度数据分发和自动处理能力的航空信息环境，在美国全国空域系统（NAS）框架下使实时最优航路选择成为可能（特别是在巡航阶段），从而降低燃料消耗。《2024年航空气候行动计划》预

计到2035年改善ATM能够降低0.5%左右的航空碳排放，到2050年这一数字将上升到2%，然而《2021年航空气候行动计划》中2%对应的时间节点则为2030年。事实上，在《2024年航空气候行动计划》碳排放总量上调的背景下，无论是绝对值还是相对值，提升运营效率带来的碳减排贡献都不增反降。

对后者而言，主要工作包括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，以及减少夜间照明等，已采取的行动有机场自愿低排放（VALE）计划、零排放车辆（ZEV）计划和机场能效计划等。考虑到机场自身碳排放仅占航空碳排放总量的1.7%~1.8%，因此在《2021年航空气候行动计划》和《2024年航空气候行动计划》中都未对其碳排放贡献进行定量评估。类似的还有非二氧化碳排放，《2024年航空气候行动计划》认为尾迹云在温室效应上的作用堪比二氧化碳，未来将开发新的量化决策工具提升对非二氧化碳排放的科学理解，同时借助先进ATM系统的应用抑制尾迹云的形成、以具有成本效益的方式降低航空业对气候的整体影响。

加强政策法规引导

根据《2024年航空气候行动计划》的论述，尽管国际航空碳抵消和减少方案（CORSIA）主要面向国际飞行活动，但相关碳排放测算与减排策略为美国政府制定符合国情的国内政策法规提供了有力的参照。2024年8月美国政府发布的《关于自愿碳市场联合政策的声明与准则》即包含了对CORSIA的多条引用，进一步明确了航空可持续性标准，推

动建立完整的航空碳交易市场，形成公开透明的信贷机制。由于更高效的飞机和发动机、SAF和其他潜在替代燃料动力存在较大的技术风险以及较长的交付应用周期，《2024年航空气候行动计划》用更多的篇幅阐述了航空业内外碳减排联动的重要性，将继续大力推动各个国家机构形成统一的政策框架以支持开展普适性的、集成度高的碳捕获碳清除活动，从而确保在2050年之前彻底解决航空业剩余碳排放的问题。

分析思考

《2024年航空气候行动计划》较为全面地回顾了美国航空业2020—2022年的碳减排进展，同时根据当前发展形势对未来所采取的举措进行了更新与调整。除了定期跟踪航空碳排放总量的变化外，航空市场需求、SAF应用以及效率提升（含技术效率、运营效率和机队更新）是《2024年航空气候行动计划》重点定量评估的三大指标。其中，前者表征航空业不断发展壮大的外部牵引程度，也决定了2050年之前航空业碳减排的总任务量；后二者代表航空业自身采取的最为关键的减排举措，其发展情况直接关乎2050年净零排放愿景能否实现。结合这三大指标，《2024年航空气候行动计划》主要反映出了以下几方面特征。

第一，航空市场表现出的发展韧性超乎预期，未来航空业将面临更大的碳减排压力。尽管新冠疫情一度对航空业产生了极为严重的冲击，但随后航空需求的快速反弹已将之前消极悲观的市场情绪一扫而光，航空业长期向好、机队规模不断扩大的态势并未被打断，随之而

来更高的碳排放预期不可避免。因此，不但要进一步挖掘航空业自身现有举措的减排潜力、深化其应用水平，还要积极借助行业外部力量以碳捕获碳清除的方式走完净零排放的“最后一千米”。

第二，SAF将在航空业脱碳发展中发挥不可替代的作用，但目前其生产和应用较预期水平仍有差距。按照近几年的平均增速计算，到2030年美国SAF产能至少存在30%的缺口，这还是在具备其他很多国家都望尘莫及的优秀农业基础和生物质资源禀赋的前提下。甚至可以说，如果只从用能终端着手去强制推广SAF，那么在不远的未来必将出现全球性的SAF危机，在降低运营成本的基础上尽快扩大SAF供给能力尤为紧迫。

第三，改进技术效率在航空业绿色转型中的重要性进一步放大，特别是新能源航空动力研发的优先级显著上升。《2024年航空气候行动计划》详细回顾了当前美国在下一代飞机和发动机技术研发上的布局，大幅删减之前关于电推进和氢动力发展前景较为消极的表述，从探究其全生命周期碳减排收益向加速推动集成演示验证转变。未来改进技术效率对应的碳减排贡献可能存在进一步大幅调增的可能性。

此外，长效连续的政策支持对于航空业可持续发展不可或缺，《2024年航空气候行动计划》中额外增加了1个章节用来承诺美国政府将持续采取行动应对航空业气候影响挑战。美国曾于2012年发布过航空行动计划的初稿并于2015年完成了修订，但相关工作未能延续。而随着特朗普宣布，美国将退出应对全

球气候变化的《巴黎协定》，其国家能源战略面临着剧烈调整和再布局。作为美国上一届政府政绩遗产的《2024年航空气候行动计划》中规划和设想的美国航空业，未来存在巨大的未知数，这也会对全球航空业绿色转型产生非常不利的带动效应。

结束语

实现航空业净零排放愿景没有快速简单的解决方案，制定发展路线图之后，在长期复杂的转型过程中既需要不断审视过去一个时期的工作进展，还要对未来的发展方向和重点任务进行调整以适应最新的发展态势，在这方面美国航空气候行动计划就是一个很有参考价值的实践范例。对我国而言，应进一步形成涵盖绿色能源供给、航空装备研发和运营服务保障的一揽子政策机制，明确从近到远各个时期的碳减排任务和对应的重点举措，强化对阶段性目标完成情况的定量评估能力，并在保持政策整体延续性的前提下密切结合内外部环境变化、定期更新完善航空业绿色转型路径，切实抢抓航空科技革命历史机遇、更好培育航空产业新业态。

航空动力

（王翔宇，中国航空发动机研究院，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] US Department of Transportation. US aviation action plan 2024 [R/OL].(2024-12-6)[2025-1-21]. <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2024-12/US%20Aviation%20State%20Action%20Plan%202024%20-%20Final.pdf>.