

英国航空零排放战略分析

Analysis to Jet Zero Strategy of UK

■ 王翔宇 / 中国航发研究院

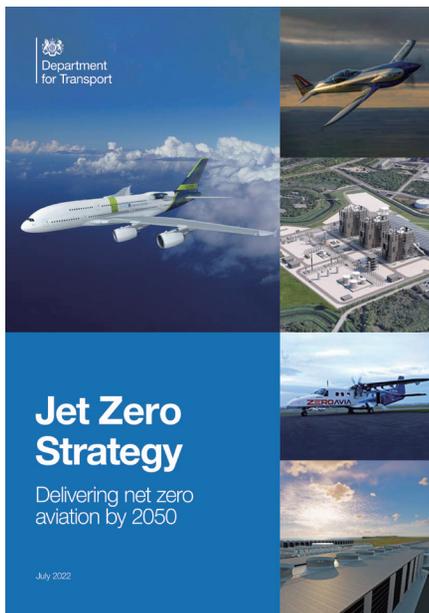
从行业层面的零碳飞行（FlyZero）绿色航空发展愿景，到政府出台的航空零排放（Jet Zero）发展战略，英国在航空业可持续发展的征程上又迈出了一大步。相关工作将围绕3项指导原则和6项关键举措展开，争取在达成2050年航空净零碳排放目标的同时产生连锁的经济和社会效益。

英国政府于2022年7月19日发布了航空零排放（Jet Zero）战略，为应对航空业脱碳发展挑战、实现2050年净零碳排放愿景制定了明确的框架与规划。在国际引领、统筹协作和机会最大化3个指导原则的支撑下，英国政府将以加快航空技术进步为根本立足点，借助于6项关键举措的实施，希望能够在保持航空业繁荣稳定的前提下，尽可能把握绿色航空转型所带来的全新经济发展契机。

指导原则

国际引领

航空碳减排不可能只是“自扫门前雪”。在国际民航组织（ICAO）议事框架下，英国政府坚持认为国际航空碳抵消和减少计划（CORSIA）是实现碳中和目标的有效途径，现在考虑对其内容实质性修改还为时过早。英国将与志同道合的国家协调，在ICAO第41届大会进行第一次定期审查时承认CORSIA在碳检测、报告和核查等部分的执行上达到了预期成功，确保CORSIA得到维护、改进和强化，并利用英国民航局和环境署的专业优势向需要帮助实施CORSIA的国家提供直接支持。此外，



英国政府还将继续呼吁各国加入国际航空气候雄心联盟（IACAC），合力追求将航空碳排放削减至与《巴黎协定》匹配的水平，敦促ICAO各成员国做出2050年实现航空净零碳排放的具体承诺，并加快可持续航空燃料（SAF）的全球部署以及绿色航空产业配套能力建设。

统筹协作

不只是国家与国家之间的协调，内部市场参与者之间真正的合作也尤为重要。早在2020年7月，英国政府就成立了由交通部部长和商务部

部长领衔的航空零排放委员会，旨在协调政府机构和航空业的伙伴关系，找到行业面临障碍的解决方案。英国政府承诺会进一步强化该委员会的地位，构建专用的信息网络来传播航空减排进展，组织网络研讨会吸引公众广泛参与。同时，委员会要求各成员签署章程，对成员资格每两年进行一次审查，预计于2022年年底公布委员会未来两年的工作计划，具体阐述在支撑航空可持续发展上采取的行动。在已有的SAF和零排放飞机两个工作组的基础上，委员会还计划设立全面贸易和投资工作组，最大限度地招揽外来投资并进一步挖掘航空减排附加产生的经济价值。除了航空零排放委员会以外，航空航天发展伙伴关系（AGP）、空域变更协调组织（ACOG）以及英国航空航天技术研究院（ATI）还将继续在英国政府和业界的沟通合作中发挥不可替代的作用。

机会最大化

航空产业绿色低碳转型能够为国家经济发展注入新的活力。随着航空产业向SAF过渡，英国政府承诺在2025年前建设5座商业规模的SAF工厂，到2035年能够创造5200多个就业岗位，仅这一项带动的产

业总增加值（GVA）达到27亿英镑。届时航空产业对英国经济的贡献能够翻一番，GVA从目前的每年80亿英镑左右上升到至少170亿英镑。考虑到英国处于研发和部署下一代零排放飞机的前沿，按照空客公司设定的2035年之后商用氢动力飞机开始服役时间表，英国航空装备制造制造业在全球市场的份额有望从2019年的12%进一步上升到2050年的19%，对应的GVA从110亿英镑增加到360亿英镑，就业岗位需求达到60000人。英国政府还特别提出了要打造最具吸引力的绿色航空商业环境，深化完善在航空绿色金融上的一系列实践，出台环境可持续投资标准扩大航空活动的适用范围，鼓励私人资本进入相关领域。

关键举措

在Jet Zero战略的实施过程中，英国政府将重点采取6项关键举措，包括提升航空系统效率、扩大SAF应用、研发下一代零排放飞机、完善碳市场和碳清除机制、引导公众绿色出行和解决非二氧化碳排放问题。其

中，前3项举措侧重通过先进技术和运营方法实现最大限度的减排，能够提供有充分价值回报的投资机会，是后续航空去碳发展的核心着眼点。当然在碳补偿方面，二氧化碳捕获与清除技术也有很大的投资空间，不过其应用范围比航空碳减排广泛得多，因此在Jet Zero战略中并未过多提及。

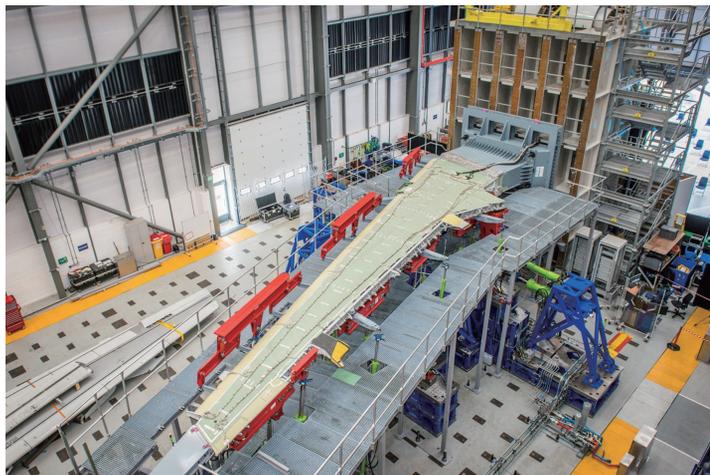
提升已有航空系统效率

作为Jet Zero战略中的关键基础，航空系统涉及机队、机场和空域等诸多内容，其效率的提升不仅产生了巨大的碳减排收益（2019年每位旅客对应的二氧化碳排放量较1990年下降了22%），还能够提供一个更适宜的外部环境使得SAF和零排放飞机技术得以实现并得到最有效的利用。英国政府希望依托一流的飞机/发动机产品、先进的机场和空域管理手段，到2050年再减少12%~15%的碳排放，具体而言，在机队研发领域，以ATI相关计划为纽带将政府和工业界更紧密地联系起来，开发超高效飞机/发动机技术，重点关注空客英国公司的

“明日之翼”复合材料机翼（Wing of Tomorrow）项目和罗罗公司的“超扇”（UltraFan）验证机项目，争取到2050年能够支撑72000个就业岗位并产生年化9.5%的减排效果；在机场运营领域，英国机场运营商协会（AOA）已经发布了专门的去碳路径报告，努力扩大电气化地勤设备的应用，预期到2040年英格兰地区全部60余个机场均实现零排放；在空域管理领域，2023年前累计投资920万英镑推进空域现代化战略（AMS）的实施，多维度优化飞行路线，避免携带无谓的过多燃料，增加对飞机载客率的监测、减少空载情况，发挥航班的最大潜力。

扩大SAF应用

与传统航空燃料相比，SAF可在不对飞机/发动机和机场基础设施改造的前提下降低70%的全生命周期碳排放，很有可能是2050年前大型宽体飞机实现净零碳排放的唯一动力选项，不过当前过高的成本和过低的产能制约了SAF的普及应用。英国政府希望能够打造全球领先的SAF产业集群，加大原材料供应以



测试中的“明日之翼”复合材料机翼原型



2022年7月，“超扇”发动机技术验证机进入组装阶段

及SAF的部署和使用，并发起100万英镑的悬赏以在2023年年底实现首架采用100%SAF的商用飞机跨大西洋飞行，未来3年将通过先进燃料基金注资1.65亿英镑以支持SAF商业示范工厂建设，并计划于2023年中期启动相关立法工作，从2025年开始，商用航班必须履行使用一定比例SAF的义务，到2030年英国航空业SAF的市场份额不低于10%，到2050年SAF能够满足75%以上的液体燃料使用量。此外，在2022年年底前英国政府拟投资1200万英镑成立欧洲第一个SAF清算所，建设世界一流的SAF测试和认证设施，为所有希望进入正式认证程序的新SAF提供早期测试帮助、资金支持和专家建议，这对于降低SAF开发的不确定性、经济成本和时间障碍，在不违背安全要求的前提下扩大合格燃料的范围具有积极的意义。

研发下一代零排放飞机

据零碳飞行（FlyZero）项目估计，到2050年全球下一代零排放飞机交付量为29200架，机队占比达到50%，市场价值在1.9万亿~2.1万亿美元。目前，由常规电池驱动的小型飞机已在英国通航市场得到应用，而对于更长距离、更大运力的航空运输需求，在技术和商业上都有可行的理由将氢燃料作为动力方案。英国政府正在为ATI相关碳减排项目追加6.85亿英镑，聚焦下一代零排放飞机以及贯穿各领域的赋能技术，考虑到航空业自身的投入，未来3年的经费总量将超过13.7亿英镑。当然不仅是单纯的产品研发，确保零排放飞行市场运营的地面基础设施和氢燃料供应也在并行发展，英国政府资助了15个零排放飞行基

础设施（ZEFI）项目，2022年4月发布的《英国能源安全战略》更是将2030年低碳氢产能规划到了10GW，较2021年的构想增加了一倍，其中的50%通过绿色电解的方式得到。而在建立零排放飞机适航审定以及开展相关商业服务的政策法规体系的同时，英国政府计划通过一年两次的“运输技术跟踪”社会调查掌握公众对零排放飞行的态度，希望2027年前能够提升人们的认识、打消人们的顾虑，彻底扫清所有制约航空氢动力市场发展的隐形阻碍。

完善碳市场和碳清除机制

碳市场能够提供有用的价格信号，促使航空产业利益攸关方在最具成本效益的地方进行脱碳，并可能通过整合碳捕获工具带来的所谓“负排放”放大减排收益，反过来促进对碳清除相关技术的投资。截至2019年，英国排放交易计划（UK ETS）已覆盖44%的往来商业航班，为进一步提升其有效性，英国政府将持续收集多方面的意见建议，对碳排放上限与碳价格假设进行动态调整，找出更有可操作性的执行方法，发挥其在激励SAF产业上的作用，同时加强与欧盟ETS和CORSIA的协调合作，扩大碳市场的覆盖面和经济影响。在之前投资1亿英镑用于直接空气碳捕获技术创新的基础

上，英国政府宣称到2030年拨款10亿英镑使得每年捕获、使用和储存二氧化碳（CCUS）的能力达到2000万~3000万t，到2024年最终确定碳清除的商业模式，建立强有力的碳检测、报告和核查框架，确保将其完全纳入UK ETS后不会对航空业脱碳发展起到不利影响。

引导公众绿色出行

随着可持续发展理念逐渐深入人心，调查数据显示有39%的受访者愿意为减少飞行碳排放承担更高的机票价格。通过引导公众选择最绿色的飞行方式，为那些积极执行零排放战略的航空装备制造和航空公司提供更多的收益，确保孕育中的零排放航空市场供需平衡并逐渐扩张壮大。一方面，英国政府欢迎航空业为准确和透明地报告每位旅客碳排放量所做的工作，在国际航空运输协会（IATA）推荐计算方法的基础上，开展政策设计和实施建议征集，争取在2023年年底之前让旅客在预定航班时就能了解到可能的环境影响；另一方面，旅客旅程的碳排放不能只考虑飞行活动自身，英国政府正在制定总体规划与地面接入策略，鼓励机场、航空公司、地方当局和本地运输提供商提供一体化综合服务，使得旅客可以采用清洁可持续的方式往返机场，同时将对机场的扩建改建

Jet Zero 战略中设定的不同场景假设

类别	场景一	场景二	场景三	场景四
燃油效率年化增长率（2017—2050年）	1.5%	2.0%	2.0%	2.0%
2050年SAF市场份额	10%	50%	100%	50%
零排放飞机进入市场 时间/年	150座以下	—	2035	2035
	150 ~ 250座	—	2040	2040
零排放飞机市场运力占比	0%	27%	27%	38%



英国航空零排放战略发展路线图（黄色为里程碑节点）

决策进行更为全面慎重的环境评估。

解决非二氧化碳排放问题

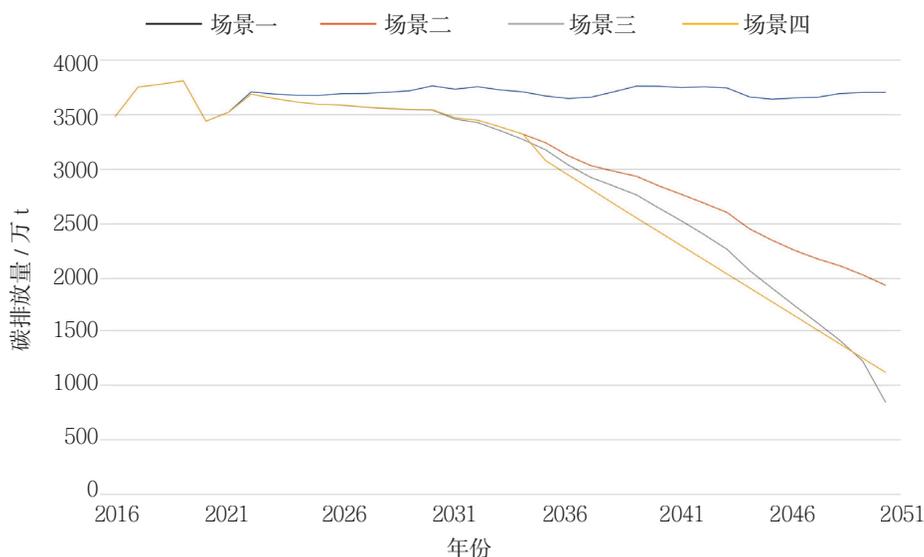
有科学研究表明，航空活动大约 2/3 的气候影响是由以尾迹云和氮氧化物为代表的非二氧化碳排放造成的，同时其影响的不确定性也比二氧化碳高出 8 倍。直观来看，那些能够碳减排的措施大多也有助于降低非二氧化碳排放，例如已有试验数据证实，采用 100%SAF 可减少 50% ~ 70% 的烟尘颗粒排放，不过这能在多大程度上抑制尾迹云的出现还有待进一步的研究。英国政府将与工业界和学术界密切合作，加强对航空非二氧化碳排放的了解，探索跟踪计量非二氧化碳排放的方

法，并采取一系列行动在减少二氧化碳排放的同时处理非二氧化碳对环境的影响。此外，英国政府还在收集材料以论证将非二氧化碳排放纳入 UK ETS 系统的必要性和可行性，一旦后续时机成熟，航空非二氧化碳排放将以类似二氧化碳的方式进行监测和定价。

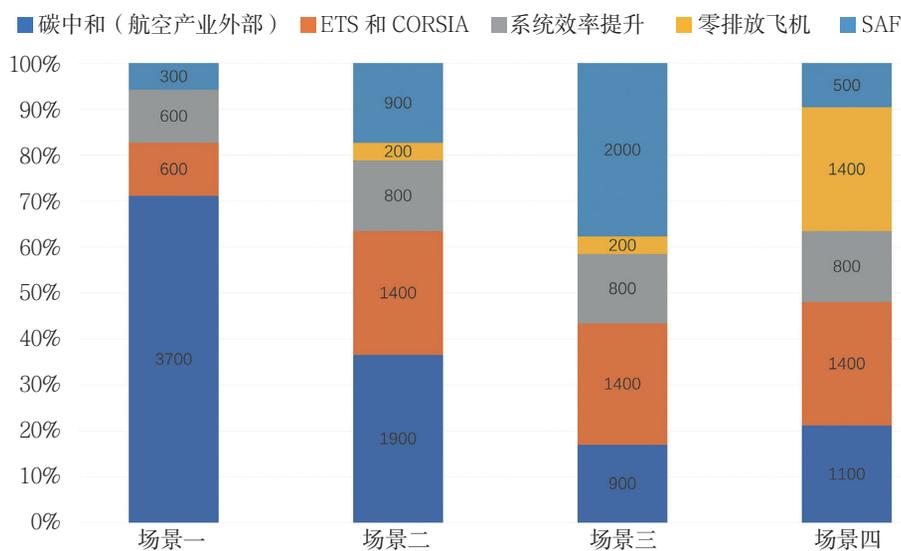
发展路线与展望

按照 Jet Zero 战略制定的减排目标，英国航空碳排放当量（含非二氧化碳影响）将从 2019 年的 3820 万 t 逐步下降到 2030 年的 3540 万 t 和 2040 年的 2840 万 t，到 2050 年剩余的 1930 万 t 碳排放可通过航空产业外部抵消

的方式中和，达成净零碳排放目标。特别要说明的是，英国政府在确定碳减排阶段目标的时候假设了 4 个参考场景，除了既能反映航空去碳发展雄心又在技术路线上较为审慎的场景二被当前版本的 Jet Zero 战略采纳外，剩余的 3 个分别对应当发展态势基本不变（即不出现零排放飞机）、SAF 取得重大突破和零排放飞机取得重大突破的情况。显而易见，不同场景下不同减排举措的贡献存在很大差异，英国政府已表示会定期检视航空产业脱碳进展，从 2027 年开始每 5 年对 Jet Zero 战略执行情况进行一次审查评估，依据实际发生的减排轨迹对后续工作目标进行动态调整。



Jet Zero 战略不同场景假设下的碳排放轨迹



2050年不同举措对应的英国航空碳减排当量 (单位: 万t)

虽然在 Jet Zero 战略论述中并未刻意区分不同举措带来的减排效果, 不同场景的减排轨迹比较只通过附件的形式呈现, 但英国政府似乎非常看重 ETS 和 CORSIA 这样的政策机制, 依托市场架构充分利用经济杠杆对航空碳排放问题进行调节, 在 Jet Zero 战略中有望贡献 40% 以上的减排量, 同时对现有航空系统效率

改进也可能会带来相对稳定的回报, 可以说二者是未来绿色航空发展中较为清晰可控的部分。而 FlyZero 愿景中浓墨重彩描绘的零排放飞机的减排份额预期仅为 5% 左右, 即便在最激进的场景假设下减排份额也不超过与 ETS 和 CORSIA 持平, 距离其真正成为航空市场的主导力量仍旧有很长的路要走, 这其中既涉及航空

业自身研发满足适航要求的产品, 也要考虑氢能制造、储存、运输、加注全产业链的各个环节。SAF 的发展也面临着类似的变数, 不同场景下对应的碳减排量差异达到了千万 t 量级。

结束语

总体而言, 英国 Jet Zero 战略是对 FlyZero 绿色航空发展愿景的延续和深化, 从立足技术角度如何实现净零碳排放的“干什么”转移到了政府机构和航空业界具体应当采取哪些行动的“怎么干”。中短期内通过提升已有航空系统效率、扩大 SAF 应用降低碳排放水平; 长期则发力以电推进和氢动力为代表的下一代零排放飞机研发, 并利用碳清除手段达成净零碳排放预期。此外, 该战略规划还有三大特点值得关注: 一是为实现绿色航空愿景, 英国政府始终在强调航空零排放委员会的重要地位, 在其组织协调下不同政府机构之间、各个行业之间以及航空业内部能够更快统一认识、更快找到问题的解决途径; 二是避免绿色航空产业对政府扶持的依赖, 鼓励并带动各种碳金融活动, 尽可能放大航空业可持续发展带来的经济效益, 使其具备良性循环、自我发展能力; 三是弱化了对不同措施减排效果的比较, 回避了一些现阶段难以达成共识的路线侧重问题, 更多采用“边走边看”的策略对阶段发展目标和重点任务进行灵活调整。

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)