

# COMAC 飞行员套装



飞行员头盔包



四款魔术贴



## 绿色航空

- 生命周期评价：“碳”寻商用飞机绿色发展
- 欧盟发布最新航空研究与创新战略
- 民航应抓住雅鲁藏布江下游水电工程带来的发展机遇



# 大飞机

JETLINER

07 July

2025.07 | 总第133期

ISSN 2095-3399



9 772095 339259



中国商飞民用飞机试飞中心东营基地  
COMAC COMAC Flight Test Center Dongying Base

P10



P18



P25



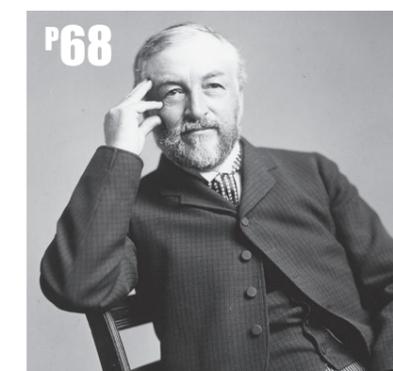
P44



P59



P68



## 05 卷首语

05 一厘米切口，一万里深度 | 新微评

## 06 资讯

## 10 封面文章

- 10 生命周期评价：“碳”寻商用飞机绿色发展 | 王政
- 15 公平性困局与突围之路 | 薛锦巧
- 18 从 50% 到 100%：SAF 的革命 | 茅佳兵
- 22 CCER 重启带来新机遇 | 宋杨
- 25 ISO14064——必须握紧的“低碳通行证” | 周方元

## 30 航空制造

- 30 欧盟发布最新航空研究与创新战略 | 李慧熹
- 34 航空复合材料终端市场综述与展望 | 陈济桁
- 39 从产品看中美 eVTOL 型号审定政策 | 王雪铖 占芬 刘岩 慕琦

## 44 航空运输

- 44 国内支线航空发展困境与突破路径研究 | 王鹏
- 50 民航应抓住雅鲁藏布江下游水电工程带来的发展机遇 | 柴雨丰
- 54 六大航司上半年数据解析 | 丁一璠
- 59 “蓝天计划”动了谁的奶酪 | 王双武

## 64 回眸

- 64 运 12 飞机的启示 | 汪亚卫
- 68 咫尺云霄，他离成功仅一步之遥——塞缪尔·兰利 | 王思磊

## 71 云端书屋

- 71 低空经济产业链分析——《未来已来——我国低空经济的机遇与挑战》摘编（二） | 任和



#### ▼ 本期导读

航空业的温室气体排放如同一把悬在气候治理领域的双刃剑，尽管其总量仅占全球排放量的 1.8%，但年均 4% 的增速远超其他行业，加之飞机将温室气体直接排入温室效应更强的平流层，使其成为气候谈判的焦点。《京都议定书》曾寄希望于国际民航组织（ICAO）协调全球减排责任，但现实却陷入僵局——发达国家主导的“基于市场的全球减排计划”因强加不公平责任给新兴航空国家，遭到一些国家的抵制。而欧盟近期通过立法，将其单边碳市场措施（EU ETS）与 ICAO 机制捆绑，更将这场博弈推向高潮。

2016 年，国际民航组织（ICAO）通过了“国际航空碳抵消与减排机制（CORSIA）”，对商用飞机的设计和运营提出了更高的标准和要求。欧盟“碳边境调节机制（CBAM）”等政策的出台，则通过严格的产品碳足迹要求，重塑国际贸易规则。与此同时，中国“双碳”战略的深入实施，以及中国商飞自身高质量发展要求，也推动着中国民航制造业向绿色低碳转型。



- 关注我们 -  
FOLLOW US

#### 本刊声明：

1. 稿件从发表之日起，其专有出版权和网络传播权即授予本刊，同时许可本刊转授第三方使用。
2. 本刊作者保证，来稿中没有侵犯他人著作权或其他权利的内容，并将对此承担责任。
3. 本刊支付的稿费已包括上述使用方式的稿费。

# 大飞机

2025 年第 07 期 | 总第 133 期 | 07 月 28 日出版

中国标准连续出版物号

ISSN 2095-3399 CN 31-2060/U

主管主办 中国商用飞机有限责任公司

出版发行 上海《大飞机》杂志社有限公司

#### 编委会

主任 贺东风

常务副主任 沈波

副主任 罗晓

委员 戚学锋 于世海 罗兴平

李玲 张小光 吴文生

学术顾问 吴光辉

#### 上海《大飞机》杂志社有限公司

总经理 程福江

副总经理 徐显辉 郭宗磊

主编 陈伟宁

执行主编 欧阳亮

副主编 庄敏 林喆

文字编辑 哲良 张凯敏

美术编辑 邵奕辰 刘晓雨

采访主任 柏蓓

记者 王脊梁 李琰 管超

商务总监 刘影 021-20887168

发行主管 颜康植 021-20887121

国内发行 上海市报刊发行局

国内订阅 全国各地邮局

邮发代号 4-883

地址 上海市浦东新区世博大道 1919 号

邮编 200126

电话 021-20887197

网址 www.comac.cc

电子邮箱 dfj@comac.cc

定价 人民币 20 元

印刷 上海申江印刷有限公司

法律顾问 上海大邦律师事务所



为了打造真正的世界级产品，哪怕我们离世界顶尖水平只有“一厘米距离”，却必须用“一万里精神”去追赶。

#### 卷首语

## 一厘米切口，一万里深度

文 | 新微评

综观人类科技史，一些具有里程碑意义的重大突破常常发轫于微不足道的“切口”——一个小问题、一厘米裂纹、一瞬间异常……然而，正是从一条条狭窄的缝隙出发，科学家们用十年、几十年甚至更长时间，向纵深处开凿出长达一万米的认知隧道，由此引发了一个领域的科技革命。

一厘米切口，一万里深度。切口之小与深度之巨，构建了科学精神最动人的张力：既谦逊又自信，既克制又无畏。19 世纪，英国著名物理学家开尔文在皇家学会演讲时断言：“物理学的大厦已基本落成，只飘荡着两朵很小的乌云。”开尔文口中的其中一朵“乌云”，是黑体辐射谱在高频端极其微小的偏差。德国物理学家普朗克注意到了这个隐秘的切口，他由此出发，对微观粒子的运动规律进行深入研究，最终构建起量子力学的宏伟大厦。

一厘米切口，一万里深度。科学探索，需要的不仅是敏锐的眼光，更需要一种执拗的精神。1908 年，地质学家魏格纳在格陵兰冰原发现大西洋两岸的岩层之间存在一厘米错位。为了解释这个问题，此后 40 年，他两次远赴格陵兰，并根据自己的研究提出了地球板块理论。可惜的是，魏格纳最终在零下 54°C 的暴风雪中失踪。1960 年代，海底磁异常条带被发现，板块构造理论被证实。魏格纳没能走完的一万里深度，由后人接力完成。

科学精神，说到底是一种“窄门与长路”的辩证法：它要求我们在一厘米切口前保持孩童般的好奇，又在一万米的深度里保持匠人般的坚韧。切口提示我们探知的路径，深度则奖励我们跨越边界的勇气。任何一个微小的异常出现时，我们必须“锱铢必较”——因为那里可能潜伏着下一个创新。

中国大飞机产业化规模化发展，特别需要弘扬“一厘米切口，一万里深度”的精神。为了打造真正的世界级产品，哪怕我们离世界顶尖水平只有“一厘米距离”，却必须用“一万里精神”去追赶。我们应当始终保持对“一厘米”的敬畏，始终拥有探求“一万里”的倔强——因为天空从不原谅捷径，但永远奖赏攀登。



01



03

## 1 国航接收第5架C919飞机

7月28日，中国国际航空B-658J飞机（MSN00029架机）“三证”颁发暨交付仪式在中国商飞祝桥基地试飞综合楼举行，B-658J飞机正式交付国航。局方代表、国航接机团队、中国商飞营销中心及交付团队代表参加交付仪式。

B-658J飞机是国航今年接收的第2架、总计第5架C919飞机，是中国商飞今年交付的第6架、总计第22架C919飞机。

## 2 C909从武汉直飞革命圣地延安

7月18日，一架C909客机从武汉天河国际机场腾空而起，搭载着70名旅客直抵革命圣地延安。这是南航湖北分公司开通的首条武汉至延安直飞航线。

旅客们一登机就被行李架上悬挂的鲜艳五星红旗所吸引，飞机平飞后，一场别开生面的“追寻红色记忆”主题航班活动拉开帷幕。乘务组化身“红色故事讲述者”，围绕延安精神、党的七大、南泥湾大生产等历史展开生动讲解。在知识问答环节，旅客们踊跃参与，争相抢答。

南航湖北分公司相关负责人表示，今年将实现执管5架C909的目标，构建宽体客机、窄体机、支线客机完整机队体系，持续拓展革命老区航线网络，让国产客机成为红色旅游的新名片。



02

## 3 翎亚航空第4架C909完成商业首航

7月11日，翎亚航空（TransNusa）引进的第4架C909客机完成商业首航。当天，这架全新的C909客机执行8B5286航班从雅加达苏加诺一哈达国际机场飞往山口洋，完成了其加入翎亚航空机队后首次商业航班飞行。

近期，翎亚航空C909机队持续保持高效的运营状态，航线网络不断拓展完善，已覆盖印尼国内及多条国际航线。其中，美娜多—广州、美娜多—上海、雅加达—吉隆坡梳邦等国际航线，以及雅加达—山口洋、美娜多—索龙等印尼国内航线均保持稳定运行。

## 4 我国首款 4 座电混动飞机首飞

7月5日，由沈阳航空航天大学辽宁通用航空研究院杨凤田院士团队自主研发的我国首款 4 座电混动飞机 RX4M 在沈阳完成首飞。

RX4M 采用的锂电池与氢燃料电池组合能源系统，打破传统锂电池能量密度和功率密度的制约，显著提升电动飞机的航时与航程。该机最大起飞重量 1400 千克，有效载荷 320 千克，航程 400 千米，续航时间 2 小时。

## 5 A321 开始在华装配机身系统

近日，中航工业西飞旗下中航西飞天津公司与空客合作，开始装配 A321 机身系统（为 A321 机身系统首次在华装配），待装配系统的 A321 前后机身于 7 月初运抵天津，未来 50 个工作日内将完成系统安装和测试，预计 10 月完成安装后将交付天津总装线。

## 6 中国航发 3D 打印极简轻质微型涡喷发动机成功首飞

7月1日，中国航发研研所自主研制的 3D 打印极简轻质微型涡喷发动机配装试验平台在内蒙古成功首飞。该发动机采用多学科拓扑优化增材制造技术，填补国内该技术方向整机工程应用的空白。

## 7 空客 6 月交付 63 架飞机

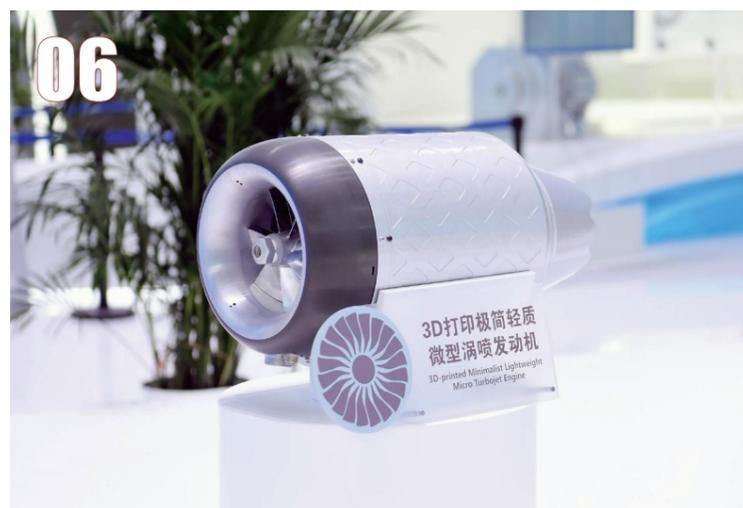
6月，空客新增订单 203 架（20 架 A220-100、20 架 A220-300、10 架 A320neo、47 架 A321neo、61 架 A330-900、35 架 A350-1000、10 架 A350F），因订单调减 16 架（9 架 A320neo、7 架 A350F），净订单为 187 架。1 月至 6 月，空客新增订单 494 架，净订单为 402 架。

6月，空客交付 63 架（12 架 A220-300、20 架 A320neo、23 架 A321neo、1 架 A330-800、2 架 A330-900、5 架 A350-900）。1 月至 6 月，空客交付 306 架（较 2024 年同期 323 架少 17 架）。截至 6 月底，空客储备订单量为 8754 架。

## 8 波音 6 月交付 60 架飞机

6月，波音商用飞机项目共获得新订单 116 架（54 架 737 MAX、30 架 787-9 和 32 架 787-10）。2025 年上半年，波音累计获得 668 架订单。

6月，波音共交付飞机 60 架，包括 42 架 737 MAX、2 架 767-300 货机、3 架 767 军用衍生机、4 架 777 货机、6 架 787-9 和 3 架 787-10。2025 年上半年，波音已累计交付飞机 280 架。



## 9 巴航工业第二季度交付 61 架飞机

2025 年第二季度，巴航工业共交付飞机 61 架，同比增长 30%，环比增长 103%。商用航空方面，交付 19 架，同比持平，环比增长 171%；公务航空方面，交付 38 架，同比增长 41%，环比增长 65%；国防安全方面，交付 4 架 A-29 超级巨嘴鸟飞机。

## 10 赛峰收购柯林斯飞控系统

近日，赛峰以 18 亿美元从 RTX 收购柯林斯飞控系统业务，8 月开始将该业务整合至赛峰电子和防务部门。柯林斯飞控系统业务 2024 年营收 15.5 亿美元、利润 1.3 亿美元，赛峰预计 2028 年前年度税前成本协同效应达 5000 万美元。

## 11 第 2 架 SJ-100 原型机飞抵茹科夫斯基

7月10日，俄罗斯第 2 架 SJ-100 原型机从总装厂飞抵茹科夫斯基，为启动取证试验做准备。该机生产序列号为 95157，配装 PD-8 发动机和进口机载系统。此次飞行航程 6000 千米，持续 8 小时，在新西伯利亚经停。

## 12 波音开始生产首架 777-8F

7月21日，波音埃弗雷特工厂复材梁车间工人开始在首架 777-8F（货机）的翼梁上钻孔，按照惯例翼梁组装标志着飞机开始生产。777-8F 的翼梁、机翼壁板和桁条在埃弗雷特工厂附近的机翼中心生产，之后再运往埃弗雷特工厂与金属翼肋组装成机翼的主要结构件。

## 13 UEC 已准备好启动 PD-8 发动机批产

近日，UEC PD-8 发动机副总设计师尼科夫表示，公司已完成必要工作，并为启动 PD-8 发动机批产做好准备。他表示，UEC 计划 2025 年批产首批 4 台 PD-8 发动机，并在随后几年将产量增至 30 台/年。

## 14 庞巴迪成立公务机客舱创新设计中心

近日，庞巴迪创新设计中心正式揭幕。该中心位于大蒙特利尔地区，靠近其制造工厂，地理位置优越，是庞巴迪强调以客户为中心和前瞻性设计的重要组成部分。

## 15 泰雷兹筹划下一代驾驶舱技术

随着空客下一代窄体机 NGSX（计划 2037~2038 年服役，接替当前 A320）的推进，相关供应商正筹划相应技术和匹配时间安排。航电领域，泰雷兹率先展示未来驾驶舱面板技术，重点关注自动化技术、飞行员辅助技术。

## 16 英国拨款 6300 万英镑推动 SAF 生产

近日，英国航空部长宣布，17 家领先的英国公司将共享 6300 万英镑，以加速 SAF 的生产，并在全国范围内创造约 1400 个就业岗位。



# 生命周期评价： “碳”寻商用飞机绿色发展

文 | 王政

近年来，全球民航业正面临着前所未有的可持续发展压力，国际民航组织（ICAO）2016年通过了“国际航空碳抵消与减排机制（CORSIA）”，对商用飞机的设计和运营提出了更高的标准和要求。欧盟“碳边境调节机制（CBAM）”等政策的出台，则通过严格的产品碳足迹要求，试图重塑国际贸易规则。与此

同时，中国“双碳”战略的深入实施，以及中国商飞自身高质量发展要求，也推动着中国民航制造业向绿色低碳转型。

在此背景下，生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）作为系统评估产品全链条环境影响的核心工具，正成为世界商用飞机制造商提升绿色竞争力、实现可持续发展的有力抓手。中国商飞作为商用飞机主制造商、国家大型客机项目的主要载体，始终重视环境影响，积极探索LCA在飞机研、造、买、用、拆各个环节中的应用，为国产民机绿色发展打下扎实的基础。

## LCA 是什么

生命周期评价（LCA）是一种系统性的环境管理工具，用于量化评估产品系统在其整个生命周期（从原材料获取、生产制造、运营使用到拆解回收）中的资源消耗、能源投入、环境排放及其潜在环境影响。碳足迹作为环境影响的特定维度，聚焦于产品全生命周期内的温室气体排放总量评估，而LCA是支撑此类评估的核心方法论。

它的主要工作框架是分析飞机全生命周期从资源获取、部件制造、整机组装、

运营及拆解回收的全过程能量消耗到最终回到环境的过程，从中识别出潜在的环境影响。其流程具体包括互相联系、不断重复进行的四个步骤：目标与范围定义、清单分析、影响评价、结果解释。

当前，中国 LCA 领域的研究正处于快速发展阶段，支撑评估的中国本地化生命周期基础数据库也在持续建设和逐步完善中。通过产品的 LCA，在有效实现产品碳管理的基础上，能够为企业和产品创造显著的绿色溢价。通过系统的产品碳足迹分析，可以在多个层面构建竞争优势。

1. 提升产品竞争力与价值：全面展示飞机的环境属性，尤其是低碳属性，有效提升产品附加价值和绿色竞争力，满足市场与客户日益增长的绿色低碳需求，为市场营销提供有力支撑。

2. 指导绿色设计与改进：LCA 评价结果能够直接反馈至工程设计环节，为优化飞机设计、推动产品的绿色化升级提供科学依据。

3. 强化供应链环境管理：为供应链绿色低碳管控提供量化基础和数据支持，促进上下游协同减排。

4. 支撑绿色认证与项目申请：形成产品

必要的、标准化的碳评价基础，有效支持绿色制造项目申报、绿色低碳标识的认证。

## 形成政策标准

为应对全球气候危机的紧迫性需求和国际涉碳贸易政策的挑战，中国正加速构建产品碳足迹管理体系，国家发展改革委、工业和信息化部、生态环境部等多部委陆续发布了多项产品碳足迹政策文件，如《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》《关于建立产品碳足迹管理体系的实施方案》和《产品碳足迹核算标准编制工作指引》等。这些文件系统部署了产品碳足迹核算规则和标准制定、数据库建设、碳认证制度建立等核心任务，旨在通过标准化、规范化的碳足迹管理，驱动产业绿色低碳转型，提升企业和产品的绿色竞争力。

在国际层面，LCA 温室气体排放核算已形成较为完善的标准体系。ISO14040 和 ISO14044 等标准分别规定了 LCA 的基本原则、框架和要求，PAS2050、GHG Protocol、ISO14067 碳足迹分析的国际标准则为全球范围内温室气体排放核算和产品碳足迹评价提供了统一、规范的方法学框架。

值得关注的是，国标 GB/T24067-2024《温室气体产品碳足迹量化要求和指南》已于 2024 年 10 月 1 日起实施，该标准充分对接国际标准 ISO14067，有效填补了国内通用产品碳足迹核算标准的空白，为国内各行业研究、编制具体产品碳足迹核算标准提供指导，解决了当前产品碳足迹核算标准规范性不足等问题。

## 商用飞机应用进展

在全球领先的商用飞机制造商中，波音和空客两家公司已将 LCA 深度整合到飞



机研制过程中，其系统化应用实践具有重要的示范和借鉴价值。

波音公司要求对所有新研的商用飞机产品执行全面详细的生命周期评价，该评价贯穿产品全生命周期，系统分析产品及其相关工艺或设施的环境效益和负担。近年来，波音公司已实现在工程过程中嵌入标准环境评价步骤，分析师可以通过系统和可重复的方法评估可持续性，环境影响的考量由此延伸至设计、制造乃至飞机全生命周期。如今，波音公司已经对多个项目和机型（包括 777X、737MAX 和 787）进行了生命周期评价。此外，波音公司还广泛使用简化的生命周期评价工具，用于评估某种材料或技术的环境表现。

空客公司同样致力于 LCA 的系统性应用，其生命周期评价应用可追溯至 2006 年，首次应用于 A340 和 A380 项目，并作为其环境管理体系认证的基石。目前，空客公司已完成其主力机型 A220-100、

A220-300、A320neo 和 A350-900 等机型的生命周期评价研究。此外，空客公司还与欧洲航空安全局（EASA）在“产品环境足迹倡议”框架下展开合作，以使未来能够发布经过验证的标准化数据。

## 中国商飞的探索

针对商用飞机这样的大型复杂产品执行 LCA，面临着多维度、深层次的挑战。第一，飞机是一种高度集成的复杂产品，材料种类多样，工艺过程复杂，全面梳理难度大；第二，民机全生命周期跨度大，从制造、交付到运营、拆解整个过程十分复杂；第三，民机主制造商属于长链企业，对整个供应链的低碳管控基础还比较薄弱；第四，国内 LCA 基础数据库处于建设起步阶段，国内本地化可参考的排放系数较少，导致评估结果可能出现偏差。此外，关于 LCA 的标准只是定义了方法框架，

▼ 图 | 波音



大多为原则性描述，缺乏实质性的具体工作步骤，应用难度大。

为推进绿色低碳发展，中国商飞对标国际标准体系，积极探索开展飞机产品碳足迹评价，将商用飞机的全生命周期分为四个阶段，分别为上游阶段、核心阶段、运营阶段、拆解处置阶段，并在各个阶段识别出主要的过程环节，按照各个阶段的特点执行 LCA。比如，飞机用的铝合金，除了制造阶段，在 LCA 工作框架中还需要关注产业链上游环节（如铝矿开采、电解铝生产、铝合金材料制造）和下游环节（如铝合金材料在飞机运营过程中的维修、拆解循环利用等），每个环节都要纳入碳足迹分析。这种全链条视角体现了生产者责任原则，强调主制造商不仅要为核心制造环节负责，而且对其他环节也负有环境责任。

### C909 飞机的工程实践

中国商飞的绿色发展团队聚焦产品层面，围绕 C909 飞机详细工程数据，成功完成了国内首个整机及典型部件的飞机产品碳足迹评价实践。

首先，完成了商用飞机 LCA 范围定义。通过系统化的供应商碳足迹数据收集，基于 BOM 数据对 C909 飞机进行了清单梳理，涵盖材料、重量、工艺过程、能量和物流数据的核算、整理与分析，形成产品在生命周期边界内各阶段对资源、能源的使用情况以及环境排放情况的详细数据。

其次，完成了工程软件及数据库配置。初步构建了飞机全生命周期碳排放数据库，包含 LCA 分析过程材料、加工工艺、拆解工艺等数据集。利用 LCA 软件，根据清单分析结果，完成了 C909 飞机详细的 LCA 建模，完成影响评价和结果分析，

最终形成了 C909 飞机碳足迹评价报告。

C909 飞机 LCA 实践工作，不仅在国内首次实现了 LCA 方法论在飞机产品上的应用，而且逐步建立了商用飞机应用 LCA 的工作框架和实施路线，形成了完整且可复制的商用飞机碳足迹研究与评价工作体系，为后续机型及行业推广奠定了基础。

### 总结与展望

LCA 作为产品环境管理的核心支撑工具，可以对产品全生命周期潜在的环境问题进行评价，建立产品碳基线，为飞机环境性能优化提供科学依据，并为飞机绿色设计实践奠定数据支撑。在商用飞机领域开展 LCA 碳足迹评价研究，既是突破传统设计边界、推动绿色转型的重要技术路径，也是支持飞机绿色设计、促进产业链绿色低碳管控、支撑实现绿色飞机的必要手段。

值得强调的是，LCA 技术与绿色技术创新体系并非孤立存在，二者通过“评价—反馈—优化”的闭环机制形成协同驱动——LCA 为绿色技术创新明确攻关方向（如高碳排放环节的材料替代、工艺改进），而绿色技术的突破又能反哺 LCA 模型的精准化与动态化，促使型号实现基于 LCA 的绿色设计，全面提升产品绿色竞争力，最终实现从“绿色设计”到“绿色制造”再到“绿色运营”的全链条贯通，为企业可持续发展及飞机产品国际竞争力提升构筑坚实的技术基础与管理基石。在此过程中，LCA 的应用深化与产品碳管理体系的完善，将成为我国航空工业构筑绿色制造体系、参与全球航空产业链低碳竞争的重要战略支点。

# 公平性困局与突围之路

文 | 薛锦巧

国际航空的温室气体排放如同一把悬在气候治理领域的双刃剑，尽管其总量仅占全球排放量的 1.8%，但年均 4% 的增速远超其他行业，加之飞机将温室气体直接排入温室效应更强的平流层，使其成为气候谈判的焦点。《京都议定书》曾寄希望于国际民航组织（ICAO）协调全球减排责任，但现实却陷入僵局——发达国家主导的“基于市场的全球减排计划”因强加不公平责任给新兴航空国家，遭到一些国家的抵制。而欧盟近期通过立法，将其单边碳市场措施（EU ETS）与 ICAO 机制捆绑，更将这场博弈推向高潮。



▼ 图 | 空客

## 治理机制的理想与现实

2010年，ICAO为国际航空设定双重目标：年均燃油效率提升2%、2020年后碳排放零增长（CNG2020）。然而，技术革新与可持续燃料的局限性很快显现：即使采用最激进的方案，到2050年，国际航空仍将有2亿吨碳排放无法消除。这迫使ICAO在2016年推出“国际航空碳抵消与减排机制”（CORSIA），要求航空公司购买外部减排额度抵消超额排放。

CORSIA的推出撕裂了ICAO阵营。发达国家坚持“全球统一标准”，认为差异化责任违背公平竞争原则。发展中国家则援引《巴黎协定》的核心精神——共同但有区别的责任，要求历史排放大国率先行动，为新兴航空市场保留发展空间。“当欧盟要求巴西的航空公司与

汉莎航空承担同等减排成本时，无视了双方人均航空出行次数相差8倍的事实。”一位参与谈判的发展中国家代表如是说。这场拉锯在2022年ICAO通过“2050净零排放目标”（LTAG 2050）后愈演愈烈，发达国家虽口头承认“各国能力差异”，却拒绝将历史责任写入决议。

## 三重困局下的突围挑战

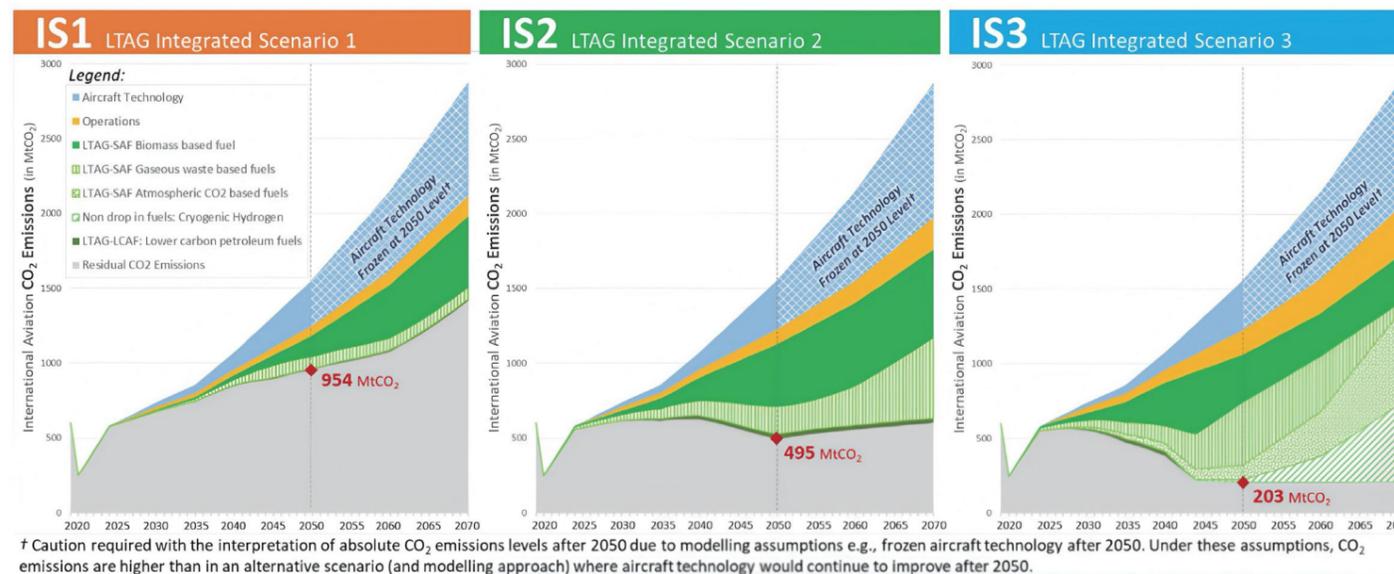
欧盟2023年通过的航空碳市场指令修订案（7983/23号），进一步升级了这场博弈：若2025年ICAO未强化CORSIA，或参与国排放占比不足70%，欧盟将从2027年起对所有离境航班征收全程碳税。这种“合规即豁免、违规即惩罚”的设计，对发展中国家十分不利。

更深层的矛盾在于转型成本的分摊。实现航空净零排放需巨额投入：全球平均碳减排成本高达237~491美元/吨，欧洲航空业预估总投资达8200亿美元。而ICAO仅模糊提议“考虑”建立气候融资机制，对发达国家的出资义务避而不谈。这种资金缺位与空客氢能飞机计划的困境形成映照——尽管获得欧盟150亿欧元的支持，空客仍因氢能基础设施缺失而被迫推迟项目。该公司首席执行官坦言：“没有政府主导的加氢网络建设，零排放飞机永远无法离开蓝图。”

## 在公平基石上重构规则

面对困局，我们需要以诺贝尔奖得主Hasselmann的研究为科学依据：只要发达国家人均排放远高于发展中国家，其就应承担主体责任——推动ICAO框架改革。

重构责任分配是破局的第一步。更



▲ 图 | 技术减排无法满足净零目标（来源：ICAO LTAG 可行性报告）

加科学、合理的方案是建立“累计排放量”与“支付能力”双维度模型：发达国家需为1870年以来占全球航空碳预算70%的历史排放量负责，同时为发展中国家留出合理的增长空间。例如，允许非洲国家在2040年前豁免CORSIA抵消义务，支持其建立区域航空网络。

捆绑资金与技术转移则是关键保障。ICAO应参照《巴黎协定》第9条建立刚性机制：要求发达国家提交年度航空减排援助路线图，将公共资金援助额度与其国内航空碳强度下降目标绑定。这种设计可避免重蹈覆辙——正如空客氢能项目所示，单靠企业无法突破液氢存储、低温燃料罐等核心技术瓶颈。

技术路径上需务实布局。短期推动可持续航空燃料（SAF）在枢纽机场的规模化应用；中长期联合新兴国家成立“航空绿色技术基金”，破解氢能飞机、电动滑行系统等技术壁垒。当巴西雨林地区的生物航油工厂与中东的绿氢制备中心形成供应链协同后，减排成本有望

降低40%。

国际航空减排博弈的本质，是全球化进程中发展权分配的缩影。欧盟的单边碳关税、CORSIA的公平性缺陷、LTAG 2050的资金缺口，构成三重挑战。但危机中蕴藏转机——当空客因基础设施缺失推迟氢能计划时，中国可以通过“一带一路”绿色机场倡议输出低碳解决方案。当发达国家回避历史责任时，新兴市场可以联合提出“人均航空碳权”新标准。

这场博弈没有旁观席，正如一位ICAO谈判代表所言：“要么共同设计公平的降落航线，要么在相互指责中失控坠毁。”我们需要以CBDR原则为导航仪，将差异化责任与捆绑式援助作为双引擎，方能在气候治理的乱流中开辟新航路。

▼ 图 | 西门子



# 从 50% 到 100%： SAF 的革命

文 | 茅佳兵

可持续航空燃料（SAF）作为航空业实现碳中和目标的基石，其重要性已成为全球共识。SAF 以餐饮废油、农林废弃物、城市固废等可再生资源为原料，通过先进工艺合成，其全生命周期碳排放较传统化石航煤可降低 80% 以上。根据国际航空运输协会的预测，到 2050 年，全球航空业 65% 的减排贡献将依赖于 SAF 的广泛应用。

▼ 图 | 空客



## “后 50% 时代”

为此，全球主要经济体纷纷出台强制性政策，例如欧盟的“Refuel EU Aviation”法案要求 2050 年欧盟机场燃料供应商提供的航空燃料中 SAF 占比须达到 70%，而丹麦更是设定了 2030 年国内航班 100% 使用 SAF 的宏伟目标。

然而，一个关键的技术瓶颈正阻碍着 SAF 潜力的全面释放。当前，所有获得国际（ASTMD7566，已批准 8 种工艺）和中国国内（CTSO-2C701a，已批准 7 种工艺；GB6537，已批准 2 种工艺）适航认证的 SAF，都必须与传统航煤进行掺混使用，且最高掺混比例被严格限制在 50%。这一限制的原因之一在于材料兼容性问题，特别是对飞机燃油系统密封件的影响。传统航煤中天然含有的芳香烃族化合物，能使燃油系统中的弹性体密封件发生适度溶胀，从而确保密封系统的紧密性和完整性。许多 SAF 工艺路线，尤其是目前商业化最成熟的油脂加氢（HEFA-SPK）路线，其产品中含有极低甚至为零的芳香烃，若直接使用 100% 低芳香烃 SAF，会导致密封件收缩、硬化，进而引发燃油泄漏风险，对飞行安全构成严重威胁。

但是，仅仅停留在 50% 的掺混水平，远不足以支撑航空业的深度脱碳雄心。要实现近零排放，开发并验证能够 100% 替代传统航煤的 SAF 解决方案已刻不容缓。顺应这一趋势，自 2021 年起，空客、波音、中国商飞等全球主要飞机制造商均已公开承诺，计划在 2030 年前实现其全系列机型对 100%SAF 的兼容。这一系列承诺标志着全球航空业的研发焦点已正式转向“后 50% 时代”，100%SAF 的应用探索已从远景构想进入技术攻坚与实证阶段。

## 技术路线图谱

为解决上述技术挑战，业界正从两条截然不同的技术路线上探索 100%SAF 的解决方案，即“即用型（Drop-in）”燃料开发与“非即用型（Non-drop-in）”飞机改造。

“即用型”燃料是当前研发的主流方向，其核心目标是开发出一种在化学组分和物理特性上与传统航煤几乎没有差异、无需对现有数万架飞机和机场加油设施进行任何改造即可直接加注的 100%SAF。这主要通过以下两种方式实现：

单一工艺路线的优化：部分 SAF 工艺本身具备生产包含芳香烃在内的全组分航煤的潜力。国际标准 ASTMD7566 已认可的三种工艺路线显示出 100% 应用的潜力，分别为附录 A4（FT-SPK/A 含芳香烃的费托合成煤油）、附录 A6（CHJ 催化水热解法制备合成煤油）及附录 A8（ATJ-SPK/A 含芳香醇制合成煤油）。这些工艺路线通过精密的催化剂设计和反应过程控制，能够“一站式”生产出满足所有性能指标的 100%SAF。

混合工艺路线的创新：这是目前商业上最受关注的方案。鉴于当前全球商业化 SAF 供应量中超过 80% 来自芳香烃含量极低的 HEFA 工艺，一个巧妙的解决方案是为其“补充”芳香烃。具体做法是将 HEFA-SPK 与一种专门生产的“合成芳香烃（SAK）”进行精确调和。SAK 可以由生物质或其他可再生原料制成，专门负责补足芳香烃含量，确保混合后的 100%SAF 燃料能够维持燃油系统的密封性能。这种“HEFA+SAK”的配方被认为是短期内实现大规模、低成本供应 100%“即用型”SAF 的最现实路径。

与改变燃料本身不同，“非即用型”路线选择改变飞机来适应燃料。这条路径

承认部分 SAF（如纯 HEFA-SPK）的低芳烃特性，并主张通过对飞机进行适应性改造来接纳这类燃料。核心改造对象是燃油系统，特别是更换与燃油接触的密封材料。

研发人员需要开发出新型的弹性体材料，这种材料在不接触芳烃的情况下也能保持稳定的体积和弹性，不会发生收缩。一旦这种新型密封件通过验证并完成装机，飞机理论上就可以安全使用 100% 的 HEFA 或其他低芳烃 SAF。然而，这一方案的主要挑战在于经济性和实施难度。为全球现有庞大的机队进行燃油系统密封件的更换，将是一项成本高昂、耗时漫长的巨大工程。因此，该路线目前更多被视为未来新设计机型的选项，而非对现役飞机的普遍改造方案。

## 从地面测试到洲际飞行

为积累数据、验证性能并建立公众信心，全球航空产业链的头部企业正以前所未有的合作力度，密集开展 100%SAF 的试验测试与验证飞行。这些实践覆盖了

不同机型、发动机和飞行场景，取得了令人满意的成果。

作为行业的领跑者，空客在 2024 年 6 月完成了一项名为 ECLIF3 的里程碑式的飞行测试。在一架空客 A350 飞机的两台罗罗遑达 XWB 发动机上使用 100%SAF 燃料，由紧随其后的一架德国航空航天中心（DLR）运营的科研追踪飞机测量其尾迹排放的影响。这是全球首个在商用飞机双引擎上使用 100%SAF 的飞行研究，该测试深入研究了 100%SAF 对飞机排放物、高空航迹冰晶形成以及整体飞行性能的影响，结果证实排放的烟尘颗粒和形成的凝结尾迹冰晶有所减少、显著降低凝结尾迹带来的气候变暖效应，飞行性能表现与传统航煤相当，且无任何负面效应。

波音同样在推动 100%SAF 验证方面不遗余力。2023 年，波音与维珍航空合作开展了全球首个由 100%SAF 提供动力的洲际飞行项目，维珍航空在后续公布了该次 100%SAF 跨洋飞行的研究成果。该项目从伦敦希思罗机场飞往纽约肯尼迪机场，由一架使用罗罗遑达 1000 发动机的波音 787-9 飞机执飞。本次飞行表明 100%SAF 与传统航煤具有同等安全水平，能够有效减少二氧化碳、非二氧化碳颗粒物的排放及尾迹云的形成，并在一定程度上降低油耗。此外，波音还联合阿联酋航空，在其旗舰机型波音 777-300ER 上开展了单发 100%SAF 的验证飞行，进一步将验证范围拓展至全球最大的双发客机平台。

在支线航空和公务机领域，巴航工业也积极跟进。2023 年 7 月，巴航工业就 100%SAF 研究与普惠展开了合作，研究团队为一架由 GTF 发动机提供动力的巴航工业 E195-E2 飞机制定 100% 使用 SAF 的地面和飞行综合测试计划。不仅如此，巴航工业还在其飞鸿 300E 和领航

600 等畅销公务机上完成了 100%SAF 测试，表明了业界推动 SAF 在各类细分市场应用 100%SAF 的决心。

这些密集的国际验证实践共同传递了一个清晰的信号：从技术角度看，飞机使用 100%SAF 是安全可行的。它们为后续的适航标准修订、商业化运营铺平了道路。

## 中国的优势与挑战

面对全球 SAF 发展的浪潮，中国凭借独特的资源禀赋和产业基础，正处在一个关键的战略机遇期。然而，要从“跟跑者”向“并跑者”甚至“领跑者”迈进，尤其是在 100%SAF 这一前沿领域实现突破，仍需克服一系列挑战。

中国在 HEFA-SPK 工艺路线的生产上占据一定优势。依托于庞大的人口基数所产生的丰富的餐饮废油资源，中国已成为全球最大的餐饮废油供应国之一。这为 HEFA 工艺提供了充足且具有成本竞争力的原料保障。目前，国内已有超过 5 家企业具备 HEFA-SPK 的商业化生产能力，合计年产能达到数十万吨。

然而，中国 SAF 产业也面临着技术路线单一化和标准体系滞后的发展瓶颈。中国的 SAF 产业呈现出对 HEFA 路线的过度依赖。而在费托合成、醇喷合成乃至被视为未来终极方案的电转液等技术路线上，研发进展相对缓慢。此外，中国的 SAF 认证体系在很大程度上是对国际 ASTM 标准的跟随和转化。这种模式虽然在初期能够快速与国际接轨，但缺乏对本土创新技术的兼容性和快速响应能力。一个新技术路线从研发成功到获得国内适航认证，面临着周期长、成本高的壁垒，这在一定程度上抑制了企业研发投入和产业化的积极性。

为突破上述瓶颈，中国必须系统地构建一个集“工艺研发—产业协同—标准建设—示范应用”于一体的协同创新生态。首先，必须摆脱对单一技术路线的依赖。国家应加大对非 HEFA 路线的研发投入，特别是集中力量攻关电转液等技术的核心瓶颈，积极探索微藻、城市生活垃圾等更多元化的原料来源。其次，要加快建立一套既与国际接轨又具有中国特色的 SAF 认证体系，积极推动该体系与国际权威机构的互认。再次，应强化产业链上下游的深度协同，通过建立由中国民航局、能源企业、航空公司、飞机制造商及科研院所共同参与的产业联盟，形成产学研用合力。通过联合项目，共同分担研发成本与市场风险，加速技术从实验室走向商业化应用。最后，以中国 SAF 应用试点项目为契机，逐步提升掺混比例，为 100%SAF 的安全评估、运行程序、供应链保障等积累宝贵经验和基础。

从 50% 到 100%，不仅是 SAF 应用比例的数字翻倍，更是对航空燃料技术、飞机材料科学乃至整个产业生态的一次深度革命。国际社会的密集验证飞行已经证明了 100%SAF 在技术上的可行性，对于中国而言，虽然在 HEFA 生产领域具备优势，但要在这场关乎未来天空领导权的竞赛中行稳致远，就必须正视技术路线单一化、标准体系滞后等核心挑战。通过实施多技术路线并举的研发战略，建立自主创新的标准认证体系，构建紧密协同的产业生态，并以示范应用为牵引，中国完全有能力突破瓶颈，在全球航空业的绿色转型中扮演更加重要的角色。

▼ 图 | 维珍航空





## CCER 重启带来新机遇

文 | 宋杨

2024年1月22日，在经历了七年沉寂后，“核证自愿减排量”（CCER）市场在北京绿色交易所正式重启，开市当日完成37.53万吨交易，成交额达2383.53万元。这标志着国内碳市场回到了由全国强制减排交易市场和CCER市场“双轮驱动”的时代。

依据此前颁布的《温室气体自愿减排交易管理暂行办法（试行）》，所有参与

自愿减排的减排量均需经国家主管部门在自愿减排交易登记簿进行登记备案，这些经备案的减排量被称为“核证自愿减排量”。

2015年，国内CCER交易启动，但一直分散在多个地区性市场。2017年，由于市场交易量小、部分项目不够规范等原因，国家发改委暂停了对CCER项目的审批备案。签发暂停后，存量的CCER仍

可在地方碳市场上交易，但数量有限，其在碳配额履约中也增加了许多限制。

CCER市场重启后，对于企业的碳管理会产生怎样的影响呢？

### “碳约束”时代

面对降低碳排放的呼声，近年来我国逐步构建起“区域碳交易+自愿减排机制”的碳交易体系，努力推动低碳经济发展。一般而言，狭义的碳资产是指包括碳排放配额、碳汇资产以及企业为节能减排而持有的其他经济资源。对于一般企业而言，最直接的碳资产即为碳配额和核证自愿减排的碳信用。

碳市场建立的初衷是通过发挥市场机制的作用，促进企业节能减排。如果企业的实际排放量高于碳排放配额，就需要去市场上购买其他企业富余的排放配额。

在建设全国碳排放权交易市场之前，上海等8个省市开展了地方碳排放权交易试点。全国碳排放权交易市场的启动标志着全国统一的碳交易、碳金融体系建设取得了实质性进展，不仅是我国生态环境治理体系和治理能力现代化的标志性成果，更是中国兑现气候承诺、引领全球气候治理的历史性跨越，意味着我们将进入“碳约束”时代。

碳达峰、碳中和箭在弦上，挑战和机遇并存，国资、央企纷纷入局“减排降碳”，投入节能环保改造，市场格局正在发生深刻变化，碳配额就在我们身边。

### 碳配额的交易成本

对于上海碳市场纳管企业，每家单位按上海市生态环境局发布的《年度碳排放配额分配方案》，获得相应的年度

碳市场建立的初衷是通过发挥市场机制的作用，促进企业节能减排。如果企业的实际排放量高于碳排放配额，就需要去市场上购买其他企业富余的排放配额。

碳排放配额。如果企业全年实际的碳排放值超过了配额，就需要通过上海环境能源交易所平台购买配额。碳排放配额的价格像股票一样存在波动性，会对企业履约清缴碳排放配额的成本带来波动。一般而言，越接近履约周期，碳配额的需求量越大，越容易造成碳配额价格上涨。

例如，企业A年初预判碳配额缺口20万吨，分阶段从碳市场以68~85元/吨购入，最终测算，实际缺口18万吨，剩余2万吨以102元/吨售出，净成本1190万元。而企业B，配额缺口同样是18万吨，但企业B在年中履约前突击采购碳配额，配额价格正在高点，以102元/吨购入18万吨，成本1836万元，较企业A高54%。这说明碳配额履约，提前规划可以降低成本，延迟交易则可能导致企业付出较高的代价。

### 碳信用的影响

值得关注的是，在提前采购碳配额之外，企业还有一种降低履约成本的方法，那就是采用碳信用来履约。



▲ 图 | 东方航空

在实际操作中，企业可以使用一定比例的 CCER 进行配额清缴，每吨 CCER 相当于 1 吨碳排放配额。一般而言，CCER 的价格低于配额价格。以上海市为例，有的企业通过配额置换，使用 CCER 履约，同时将富余的配额出售，利用二者的差价将碳排放权变成了真金白银，获得一定的经济收益。在上海的实践中，电力行业企业一直是购买 CCER 的主力军。近年来，航空、化工、电子等更多行业企业也积极参与到 CCER 交易中来，通过购买 CCER 进行履约，有效降低了企业的履约成本。

碳信用除了在履约降本方面存在一定的作用外，其在产品降碳方面也可以产生积极的影响。以航空运输企业为例，东方航空此前在航班碳中和上走出了重要一步。2021 年 10 月 12 日上午 9 时 14 分，东航 MU5103 航班搭载 278 名旅客从上海起飞前往北京，这是我国首班全生命周期碳中和航班。此次航班产生的二氧化碳当量，通过购买碳信用、支持植树造林、可再生能源发电、天然气

发电等项目实现了抵销。截至 2021 年 12 月 10 日，东航在 13 条国内精品航线上，执行全国首批、总计约 780 班全生命周期碳中和航班，为逾百万公里的航迹完成绿色飞行。

据东航介绍，MU5103 航班不仅仅像以往中外民航业的碳中和航班那样，完成航班运行中的碳抵销，而是迈向产业链上游，依托中国石化、中远海运联合完成我国首船“全生命周期碳中和石油”，使这一航班的航油实现了从原油开采、运输、航空燃油炼制、储存、成品油燃烧的“全生命周期碳中和”。

通过该案例可以看到，东航并非通过生物航煤的手段来实现碳中和，而是通过碳资产管理，以碳信用抵销的方式来实现航空产品的碳中和，这为国产民机未来的研发与运营提供了可贵的经验。例如，国产民机的产品碳中和，不仅可以考虑可持续生物航空燃料、电动化技术路径，还可以考虑搭配碳信用资产建设，利用碳信用积分来抵消产品碳排放，实现产品碳中和。

## ISO14064 ——必须握紧的“低碳通行证”

文 | 周方元

在全球气候变化危机与企业可持续发展需求的双重驱动下，企业的碳管理已从被动合规跃升为战略核心。本文梳理了 ISO14064 的背景、主要内容，多维度揭示了 ISO14064 在环境风险管控、经济效益提升、企业战略管理、社会声誉塑造中的关键价值，为企业在低碳转型中实现经济与环境绩效“双赢”提供理论指引。

▼ 图 | 徐英睿



## 多轮驱动下的碳管理

联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 于 2023 年 3 月 20 日正式发布第六次评估周期的最后一份评估综合报告《气候变化 2023》(AR6 SYR)。该报告总结了关于气候变化的事实、影响与风险以及减缓和适应气候变化的主要评估结论，为国际社会和各国政府进一步推进气候行动、实现可持续发展提供重要的科学基础。报告指出，全球平均气温较工业化前水平上升了 1.1°C，进一步明确了温室气体排放与全球升温的因果联系，人类活动对气候系统的负面影响是“既定事实”和“毋庸置疑”的。

联合国气候变化框架公约 (UNFCCC) 通过“国家自主贡献 (NDCs)”机制推动各缔约方制定减排目标以支持《巴黎协定》的长期目标——将全球平均气温升幅

限制在工业化前水平的 2°C 以内，并努力控制在 1.5°C 以内。所有国家必须每五年提交更具雄心的计划，2025 年 2 月是第三轮国家自主贡献目标 (NDC) 更新的截止日期，截至目前仅有阿联酋、巴西、英国、美国等 30 个国家完成 NDC 通报，而中国计划于联合国气候变化贝伦大会前宣布 2035 年 NDC。

各个国家和国际组织基于 IPCC、UNFCCC 也自行设立了针对 GHG 盘查标准和规范的顶层设计，开展了一系列的标准化工作：

国际组织世界资源研究所 (WRI) 和世界可持续发展工商理事会 (WBCSD) 发布针对企业、组织或者减排项目进行温室气体核算的方法体系——温室气体核算体系 (即 GHG Protocol)，以企业标准、项目标准、产品标准、供应链标准、城市和社区标准四项核心架构组成，受到财富 500 强公司的广泛支持。

英国在 GHG 盘查中走在前列，通过编制并发布 PAS 系列标准，构建了涵盖排放核算、评价、认证等多个维度，涉及产品、组织、活动、城市、基础设施等多个应用场景的碳排放标准体系，包括《PAS 2050：产品与服务生命周期温室气体排放的评价规范》、《PAS 2060：碳中和论证规范》、《PAS 2070：城市温室气体排放评估规范与实务》、《PAS 2080：建筑和基础设施的碳排放管理》等。

美国在企业层面上的碳排放核算主要依赖 GHG Protocol，而国家层面则由《2006 IPCC 国家温室气体清单指南》转向《推进统一规范的温室气体测量、监测和信息系统的国家战略 (GHGMMIS)》。

欧盟通过建立欧盟排放交易体系 (EU ETS)，利用市场机制激励企业减少温室气体排放，涵盖了欧洲主要排放行业，成为推动欧洲实现减排目标的重要工具。

中国在提出“30·60”双碳目标后，也正通过构建完善的政策体系和开展绿色低碳转型积极缓解、主动适应气候变化，先后发布了包括工业企业温室气体排放核算和报告通则 (GB/T 32150-2015)、温室气体产品碳足迹量化要求和指南 (GB/T 24067-2024)、《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》、行业《温室气体排放核算与报告指南》、《碳排放权交易管理办法 (试行)》、《碳排放权交易管理暂行条例》在内的一系列标准和政策文件。

在政策刚性约束与企业转型需求的动力驱动下，作为经济活动的主体和碳排放的重要来源，企业针对性地构建并有效实施科学的碳管理框架是适应政策要求、提升竞争力、履行社会责任的必由之路。由此，国际社会针对温室气体排放建立了 ISO14060 系列的国际统一标准，共同支撑温室气体排放的量化、监测、报告和验证以支持可持续发展和碳中和目标的实现。

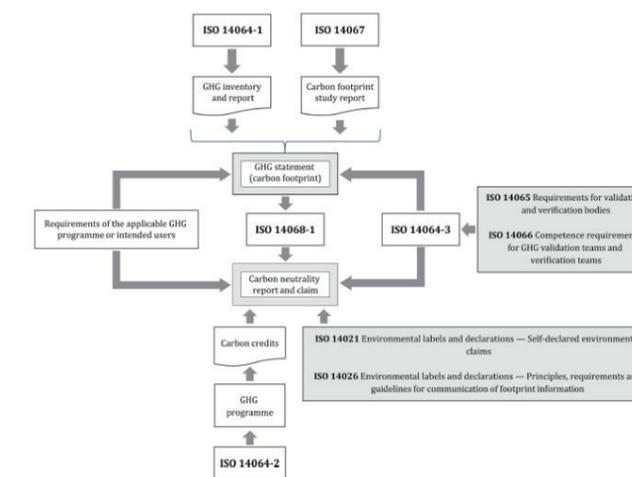
## ISO14064 碳核算标准

为解决企业碳排放数据“不可比、不可信、不可追溯”的痛点，2006 年 3 月 1 日，国际标准组织 ISO 发布了温室气体管理标准 ISO14064，应用于企业量化、报告和控制温室气体的排放和消除，旨在提高温室气体排放数据的一致性和公开性，增强可信度和透明度，帮助企业更有效地管理与其温室气体资产或负债相关的风险。该标准由三个子标准组成，可有效帮助企业将抽象的“低碳承诺”转化为可验证、可比较的“数据资产”，具体如下所示：

为量化温室气体排放和清除，企业应从 GHG 数据、管理制度等多维度掌握自身 GHG 信息，为进一步披露温室气体排放信息、制定碳减排目标、应对供应链

标准号	中文名称	适用对象	核心功能	关键产出
ISO 14064-1:2018	《组织层面对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南》	企业/组织	1. 设定组织边界 (直接控制或财务控制) 2. 划分运行边界 (直接温室气体排放和清除、间接温室气体排放) 3. 量化排放源 (6 类温室气体排放), 编制温室气体清单 4. 设定基准年及不确定性分析	《温室气体清单报告》
ISO 14064-2:2019	《项目层面对温室气体减排和清除增加的量化、监测和报告的规范及指南》	减排项目开发	1. 定义基准线情景 (假设无项目时的排放水平) 2. 论证项目额外性 (证明减排超出常规发展) 3. 设计监测程序 (数据收集、频率、方法) 4. 量化减排量/清除增量 (对比项目实施与基准线)	碳信用 (如 CER/CCER)
ISO 14064-3:2019	《温室气体声明审定与核查的规范及指南》	第三方核查机构	1. 制定核查计划 (包括抽样策略) 2. 评估数据真实性 (判断误差对决策的影响) 3. 确定保证等级 (合理保证/有限保证) 4. 验证组织或项目声明的合规性	《核查声明书》

▲ 表 2 | ISO 14064 标准的功能定位



▲ 图 1 | ISO 14060 系列标准之间的关系

客户要求打好基础。而 ISO14064-1 的审核认证，可以帮助企业建立起 GHG 排放清册，形成 GHG 排放自我盘查报告，制定完善的 GHG 管理手册与程序文件，并获得第三方 GHG 核查报告及认证证书。减排项目开发依据 ISO14064-2 标准对项目减排和清除增加的量化、监测和报告，将有效帮助和支撑企业以碳信用等形式开展降碳工作，加快实现企业的绿色低碳

▼ 表 1 | ISO 14060 系列标准

标准名称	发布时间	主要内容	目的与意义
ISO 14064-1	2016 年发布, 2018 年修订	规范组织层面对温室气体排放与清除的量化和报告, 包括排放源识别 (6 类温室气体排放)、边界设定、数据质量管理及报告框架。	为企业碳盘查提供国际通用方法论, 支撑碳交易履约、ESG 披露及减排目标设定, 提升数据可比性。
ISO 14064-2	2016 年发布, 2019 年修订	规范项目层面对温室气体减排和清除增加的量化、监测和报告, 适用于旨在减少温室气体排放或增加温室气体清除的项目。	为碳抵消机制 (如 CCER) 提供核算基础, 促进自愿减排市场发展, 推动技术降碳项目落地。
ISO 14064-3	2016 年发布, 2019 年修订	温室气体声明审定与核查的规范及指南, 适用于核查方组织。	确保组织/项目碳数据的可信度, 为第三方核查机构提供操作规范, 增强国际碳市场互认。
ISO 14065	2013 年发布, 2020 年修订	定义验证机构的资质要求, 涵盖公正性管理、能力建设、流程控制及管理体系。	规范碳核查行业, 为机构认可提供依据, 防止“洗绿”行为。
ISO 14066	2011 年发布, 2023 年修订	明确验证团队人员的能力标准, 包括专业知识、审计技能及持续培训要求。	保障核查人员专业性, 提升报告质量, 降低数据偏差风险。
ISO 14067	2018 年发布	规定产品碳足迹 (PCF) 生命周期评估方法, 涵盖原材料获取、生产、使用到废弃全链条排放量。	统一全球产品碳标签规则, 响应欧盟 CBAM 等贸易政策, 推动绿色供应链建设。
ISO 14068-1	2023 年发布	确立碳中和实现路径: 优先减排 > 增强碳清除 > 抵消残余排放; 要求制定碳中和管理计划并公开声明; 规范碳信用使用条件 (如时效性、项目类型限制)。	终结“碳中和”概念滥用, 明确减排优先原则, 为企业提供科学减碳框架, 支持《巴黎协定》目标实现。

碳转型乃至组织碳中和，形成绿色竞争优势。ISO14064-3 标准则通过第三方核查机构开展审定与核查工作，进一步确保企业开展 GHG 量化的可信度。上图展示了 ISO14064 标准与 14060 系列标准之间的相互关系。

## 碳管理的三重价值跃迁

近年来，我国相继出台了《工业企业温室气体排放核算和报告通则 GB/T 32150—2015》《企业温室气体排放报告核查指南（试行）》《温室气体产品碳足迹量化要求和指南 GB/T 24067-2024》等一系列标准和规范，共同建立起碳达峰碳中和标准体系。

在强制碳排放权交易机制或者自愿碳排放权交易机制影响下，企业积极主动开展诸如技术管理、实物管理和价值管理在内的碳资产管理手段（如组织建设、企业管理程序、碳金融、CCER 项目开发等），实现企业效益及社会价值最大化、损失最小化的目的行为。

在《碳排放权交易管理办法（试行）》《碳排放权交易管理暂行条例》等制度体系框架下，地方碳市场先试先行寻找创新

企业在碳管理方面具备涵盖核算标准、资产运营、市场交易与碳中和认证的完整价值链，碳管理势必成为企业在绿色低碳转型路上迈不过的坎。

发力点，全国碳市场纳管重点行业逐渐扩围提质，全国温室气体自愿减排交易市场建设也取得多项新进展。2023 年 11 月 30 日首个碳中和量化标准《气候变化管理-向净零过渡-第 1 部分：碳中和》(ISO 14068:1-2023) 出台，用于指导组织、产品通过量化、减少和抵消碳排放实现碳中和的目标。

综上所述，企业在碳管理方面具备涵盖核算标准、资产运营、市场交易与碳中和认证的完整价值链，碳管理势必成为企业在绿色低碳转型路上迈不过的坎。尽管从表面看碳管理会增加企业的成本和负担，但实际上企业开展碳管理具备多重商业价值，包括且不限于：

1. 经济价值：碳资产收益、企业运营成本降低、运营效率优化。据彭博数据资料，2023 年全球碳信用交易量达 950 亿美元，其中 ISO 认证项目占比 67%，特斯拉 2022 年通过 ISO14064-3 认证的碳积分实现了高达 17.8 亿美元的交易收入，占其年净利润的 12%。全球已有超 10 万家企业采用了 ISO14064，例如微软 2022 年通过该标准实现 GHG 范围 1 和范围 2 排放下降 17.6%（以 2020 年为基准年）。运营成本方面，有数据表明 ISO14064 认证企业的融资成本降低 1.5% ~ 2%。而在企业运营成本方面，化工巨头巴斯夫通过 ISO14064 识别出 23% 的碳排放来自低效设备，改造后年节省能源成本 2.4 亿欧元；IBM 公司在实施 ISO14064 标准后能源效率提升 25%，年节约成本 480 万美元。

2. 战略价值：政策合规保障、供应链韧性增强。美国《通胀削减法案》通过降低能源成本来对抗通胀，并使得美国向减少温室气体排放的目标迈进，对进口商品征收高达 18% 的“碳关税”税率，尽管该项政策在特朗普再度执政后前景堪

忧。自从欧盟碳边境调节机制 (CBAM) 于 2023 年 10 月启动以来，旨在通过对欧盟进口产品征收“碳关税”的方式保护本土企业竞争力，要求进口商品必须提供碳排放核算报告，不符合 ISO14064 标准的供应商将被征收惩罚性关税。国内“双碳”政策将 ISO14064 认证纳入绿色信贷评估体系，影响企业融资与招标，中国碳市场将 ISO14067 纳入碳配额核定依据，均加速企业开展 ISO 14060 系列标准工作。

以 ISO14064 标准为管理手段，也有助于大型企业开展供应链管理，例如苹果公司通过 ISO14064-1 认证后将范围 3 排放占比从 75% 降至 65%，发现减碳关键在优化供应商碳管理，要求供应商通过 ISO14067 认证后最终实现了 2022 年供应链碳强度下降 70%（以 2015 年为基准年）。包括宝马、巴斯夫在内多家跨国企业已跟进，将 ISO14064 认证纳入供应商准入条款，亚马逊甚至由此推动建立了覆盖 20 万家供应商的碳数据平台。

3. 声誉价值：ESG 评级提升、消费者信任构建。基于全球 ESG 基金规模超过 140 万亿美元的现实情况，完成 ISO14064 认证将有助于企业在开展 ESG 信息披露时获得更高级别。此外，国际可持续准则理事会 (ISSB) 发布的《国际财务报告可持续披露准则第 2 号——气候相关披露》(IFRS S2) 也明确要求且详细说明了 GHG 范围 3 的披露要求，制定了范围 3 的披露框架，这无疑对企业开展碳管理提出更高、更明确的要求。企业积极开展碳管理也有助于构建消费者信任，例如 2017 年，绿色和平组织曾公开批评可口可乐公司的产品造成了巨大的塑料污染，对其产品销售、企业形象都造成了负面影响。根据其《2024 可持续发展报告》，太古可口可乐公司通过打造“绿色工厂”、低碳供应链管理、策划可持续包装、开展



▲ 图 | 巴斯夫

“碳友好”行动等方式多举措助力碳达峰碳中和，建立良好的绿色企业形象。尼尔森 2023 年的调研数据显示，欧盟市场带碳标签产品可实现溢价 8% ~ 12%，且复购率有所提升，例如前述可口可乐公司通过标注产品生命周期碳排放的方式赢得部分消费者的信任。

从西方国家“碳关税”的利刃高悬，到中国碳市场向八大行业逐步扩容；从跨国企业供应链的“低碳门槛”，到投资者用真金白银投票的 ESG 评级，一场以 GHG 核查为核心的全球经济变革正在上演。而 ISO14064 标准，正是这场变革中企业必须握紧的“低碳通行证”。

通过系统化实施该标准，企业不仅能满足监管合规要求，更能挖掘碳资产价值，在低碳经济浪潮中赢得先机。随着全球碳定价机制的完善和披露要求的强化，率先实现碳核算精细化的企业，将在全球碳中和竞赛中占据制高点，开启可持续发展新篇章。



图 | Volocopter

# 欧盟发布最新航空研究与创新战略

文 | 李慧熹

2025年6月16日，汇聚欧洲99家机构历时两年联合制定的重磅文件《2025航空研究与创新战略（草案）》（以下简称“战略草案”）正式移交欧盟委员会。战略草案提出，将在2028~2034年间投入660亿欧元支持发展飞机技术、空管技术和转型推动因素，以巩固欧洲在全球航空业的领导地位。

## 战略草案发布背景

6月16日，巴黎航展首日，欧盟“清洁天空”计划和“单一欧洲天空空中交通管理研究”计划联合执行体的代表，向欧盟委员会正式移交了《2025航空研究与创新战略（草案）》。这意味着，欧洲航空领域新一轮技术路线图制定流程进入最终审批阶段。据悉，该战略草案已获欧盟成员国原则支持，具体资金分配将纳入2028~2034年欧盟财政框架审议。根据欧盟政府相关程序，有望于2025年第三季度正式生效并对外发布。

战略草案是在欧盟航空业最新一轮顶层纲领性文件《绿色航空协议》目标指引下，为实现《航空战略研究与创新议程（SRIA）》技术路线图中设定的目标而制订的执行计划，由“清洁天空”和“SESAR JU”牵头，联合了来自22个国家、99家欧洲航空业机构的300余名专家，历时两年共同完成。战略草案明确了欧洲航空业2035年前研发创新的优先事项和投资规模，并为各利益相关方提供了清晰的政策框架和投资方向。

## 战略草案主要内容

欧盟在这份战略草案中明确提出，航空业对于欧洲的发展至关重要。为打造全球最具竞争力、安全且可持续的航空生态系统，维护欧盟的安全与主权，欧盟需要通过大规模投资航空研究与创新应对航空领域的“死亡之谷”挑战，维持在民用航空和空中交通管理领域的全球领导地位，以应对脱碳、数字化及地缘政治挑战。

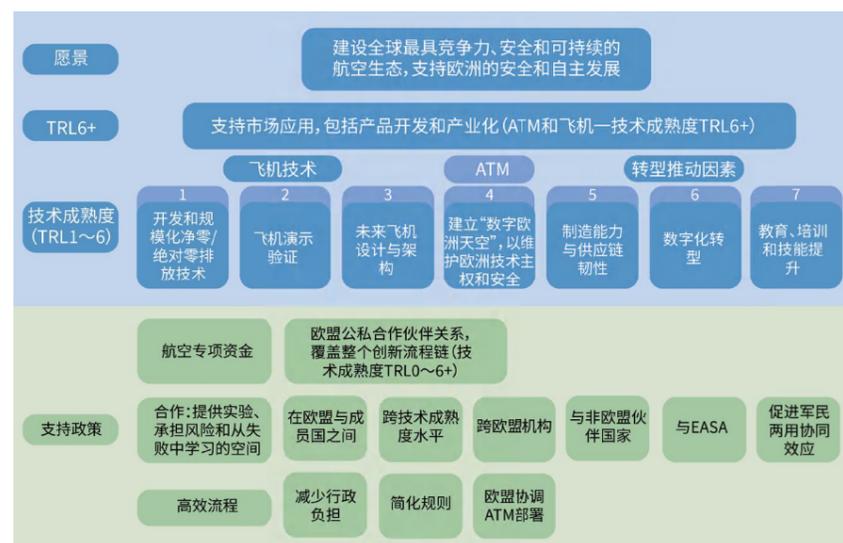
当前，在新一轮的全球竞争中，欧洲航空业在竞争力、主权和可持续发展方面，面临多重挑战。一方面，需达成到2050年减排90%，实现脱碳经济的宏伟目标；另一方面，要应对全球航空技术竞争。当前

美国、中国在电动飞机、氢能动力领域投资强劲，欧洲若不加大航空领域研发创新投入，可能丧失技术领先地位，从而面临在竞争力和市场份额上被超越的风险。这种战略自主权的潜在削弱及其相关经济影响已经在汽车行业成为现实，航空业应避免重蹈覆辙。

战略草案提出了一套发展欧洲未来航空业的战略框架，包括优先考虑研发创新投资的三个关键领域和七个技术支柱。

围绕飞机技术研发，主要有三大技术支柱。一是开发净零和绝对零排放飞机技术（TRL2~6+）。研究先进构型、新推进解决方案和能源解决方案（电气化、混合动力和氢推进等），涵盖所有飞机细分市场，并覆盖整个创新流程链。通过改进燃气轮机技术，赋能混合动力和氢推进（作为燃料电池构型的替代方案）。支持电动和氢燃料的地面基础设施和能源供应，推动净零技术发展。二是飞机演示验证机（TRL3~6+）。加速技术成熟，降低新型号研发风险。三是未来飞机设计架构（TRL0~3）。探索先进机翼设计、翼身

▼ 图1 | “战略草案”框架图



融合体、轻质结构、先进能源 / 电力管理系统、高效环境控制系统和混合电动动作系统等创新设计，以及针对先进发动机循环、机体设计和气动结构概念的低技术成熟度研究，以提升各机型（短途、远程、直升机等）效率。围绕自主飞行器设计、机载安全技术和可扩展的地面基础设施开展预先研究。

围绕空中交通管理，要建立“数字欧洲天空”。“数字欧洲天空”是《欧洲空中交通管理总体规划》的一个关键目标。通过基于航迹的运行、由人工智能和大数据分析驱动的增强数据通信、更高自动化水平以用机器对机器交互取代常规语音通信、人机协作实现最优协作，以及自动化及动态空域配置等 5 个关键技术，实现对欧洲空管体系的彻底重构。升级后的欧洲空管系统将有望实现无人机与有人机的协同运行，提升空域使用效率。

围绕转型推动，将聚焦以下几个方面：一是制造能力与供应链韧性。发展数字孪生和物流技术，轻质、高强度材料和先进工艺（如增材制造和无毒材料），提升制造就绪度（MRL），降低欧洲在关键材料，如复合材料、高温材料（如单晶合金）和增材制造粉末等方面的对外依存度。通过敏捷的生产流程、辅助装配操作、自动化测试和增材制造，提升欧洲航空制造业的可扩展性和灵活性。

二是实现数字化转型。利用人工智能、数字孪生、量子计算等技术，提升设计、运营和维护效率，强化网络安全。支持发展高性能计算的研究，包括百亿级计算机和量子技术，以实现高级仿真、数字认证、新工程方法和精确性能建模。

三是教育与人才培养。针对氢推进、电动航空、人工智能 / 虚拟现实 / 增强现实 / 扩展现实在航空中的应用、量子计算和创新空中交通等新兴领域，培养跨学科高能人才，确保劳动力适应技术变革。

此外，作为航空脱碳所需更广泛措施的一部分，对可持续航空燃料（SAF）、氢能以及支持机场基础设施升级的研究也至关重要。例如，研发创新投资对于实现 100% 兼容 SAF 和氢能的飞机、发动机和燃油系统，以及开发更高效、更具成本效益的 SAF 和氢能生产工艺等是必要的。然而，草案的投资预算仅限于对 SAF 和氢能的研发创新活动，对于扩大 SAF、氢能及支持基础设施的巨大投资不包含在内。

### 资金来源和发展建议

战略草案提出，欧洲航空业需要在下一个欧盟多年期财政框架（MFF）2028 ~ 2034 年期间，投入 660 亿欧元（约 4300 亿人民币）用于航空业研发创新（最高至技术成熟度 TRL6），以及支持市场应用，包括产品开发和产业化（技术成熟度 TRL6+）。其中，欧盟层面需投入 225 亿欧元，主要来自“地平线欧洲（Horizon Europe）”框架计划和创新基金（Innovation Fund），剩余资金将来自成员国和企业投入。

战略草案还指出，除了上述投资外，还应在以下领域为市场应用创造必要条件，包括：用于验证和认证未来清洁技术的大型技术基础设施，确保落实《欧洲空中交通管理总体规划》中 2025 ~ 2035 年战略部署优先事项，构建包括清洁技术制造、新的工业试验线 / 未来工厂在内的全产业链。

围绕后续发展，战略草案中提出了三点政策建议。一是增加专项资金，重点支持研发创新成果的产业化。首先，确保 660 亿欧元的支持落地，实现稳定的资助机制和实施行动，以增强欧洲航空业的安全性、可靠性、可负担性和可持续性。其次，重塑欧洲航空业的创新流程链，着重支持空中交通管理和飞机等重点领域的市场应用，包括产品开发和产业化（技术成熟度

TRL6+），加速新解决方案的部署。

二是以合作协同为核心原则。建立起跨国家、跨技术成熟度水平和创新流程链、跨欧盟机构与非欧盟伙伴国家，以及与适航监管部门和国防部门共同协同的工作流程与机制。战略草案特别提出，有必要修订现有监管框架，促进航空领域的军民两用技术和相关应用。

三是建立起顺畅和高效的流程，确保资金有效部署。具体建议包括：减少行政负担，在保护欧洲知识产权的同时实现高效参与和交付；简化规则，在项目评估中采取一致的标准；在欧盟层面统筹协调空中交通管理部署。

### 战略草案带来的启示

在大国竞争加剧的背景下，战略草案被视为欧盟实现航空业战略自主的重要支撑。文中明确提出“减少对非欧盟技术供应商的依赖”。尤其是面对中美在电动飞机、氢能动力等领域的快速突破，希望通过投资推动氢能安全、数字化空管协议等技术标准，建立欧洲在相关领域的标准话语权，从而在国际竞争中占据主动。

可见，战略草案的核心目的不仅是满足环境政策目标，而是通过系统性技术革新和产业整合，减少对外部供应链的依赖，重塑欧洲航空业的全球竞争力。其发布不仅显示出了欧洲航空业加速技术迭代的决心，也凸显了全球航空技术竞争的白热化。

航空产品研发时间长、投入大、风险高的特点决定了仅靠私营部门投入无法覆盖从研发创新到投入运营的全生命周期。此次战略草案在愿景和必要性中多次强调了对航空研究与创新大量投资以及对新技术市场应用支持的紧迫性，呼吁支持建设“技术转化管道”，以避免技术开发和产品投入运营之间的“死亡之谷”。

战略草案的核心目的不仅是满足环境政策目标，而是通过系统性技术革新和产业整合，减少对外部供应链的依赖，重塑欧洲航空业的全球竞争力。

同时，从经费投入比例上看，支持技术与验证（TRL0 ~ 6 级别）的经费为 180 亿欧元，支持市场应用（包括产品开发和产业化，TRL6 级以上）的经费为 480 亿欧元，可见投入重点仍在从实验室加速向演示验证过渡，以缩短实验室技术到商业应用周期。

战略草案明确新构型、新能源飞行器与空管系统作为欧洲航空领域未来两大投资重点，与我国民用航空领域低空产业、新能源飞行器等发展战略异曲同工。技术路径上，战略草案中提出的差异化布局多种能源路线（氢能、电动电池、SAF）、加氢 / 充电设施等基础设施与飞机研发协同，以及加速低空空域管理数字化，有效促进空管系统与无人机、eVTOL 等飞行器协同集成等投资思路，值得我国参考借鉴。

另一方面，战略草案在多处提及要加强合作，强调“加强欧洲作为连接、创新和国际合作中心的角色”。可见，面向绿色化、智能化的共同愿景与目标，中欧航空科技合作仍然“十分必要，大有可为”。

# 航空复合材料终端市场综述与展望

文 | 陈济彬

随着航空运输市场的复苏，全球商用飞机的需求量将达到历史最高水平——空客和波音公司的积压订单分别为 8658 架和 5595 架。然而，生产制造仍然举步维艰，2024 年空客交付了 766 架商用飞机，波音仅交付了 348 架——总数远低于 2018 年交付的 1800 架。尽管供应链问题持续存在，但在特朗普贸易和关税政策出台前，市场已准备好实现健康增长，而长期发展趋势有利于复合材料在新平台应用。与此同时，先进空中交通领域正在蓬勃发展，将进一步推动先进复合材料拓展应用。



图 | eVTOL News

## 商用飞机复合材料的长期增长

2024 年 10 月，英国市场研究机构 Counterpoint 介绍了其对航空航天领域碳纤维应用的展望，并指出复合材料密集型飞机（包括空客 A220 和 A350、波音 787 和 777/X 等机型）生产率将继续提升。预计到 2026 年，航空航天碳纤维增强复合材料市场规模将超过 2019 年的 17.4 亿美元，达到 19.3 亿美元，并以 10.5% 复合年增长率持续增长，预计到 2028 年达到 22.3 亿美元。

原始设备制造商已将更多复合材料业务收归内部管理，如湾流、波音对势必锐航空系统公司的收购（空客已接管势必锐在苏格兰普雷斯蒂克、法国圣纳泽尔和美国北卡罗来纳州金斯顿的工厂），再如依托 Stelia 航宇公司及其他一些工厂组建的全新空客大西洋公司。种种迹象表明复合材料飞机结构制造商正在寻求专业化和差异化，以推动新技术发展和执行效率提高。

## 下一代单通道飞机

生产率最高的波音 737 和空客 A320 单通道飞机，复合材料的使用比例分别仅为 15% 和 10%。这两种机型均已有超过 40 年的历史，市场多年来一直需要一款全新的窄体飞机。行业普遍预测，新的窄体客机平台将于 2030 年代中期投入使用，并将肯定会采用复合材料机翼，甚至采用复合材料机身，其中后者能否应用取决于有关项目进度和技术成熟度情况。在 3 月份举行的 2025 年空客峰会上，空客作为原始设备制造商概述了其下一代单通道飞机的几个要点：

一是机翼采用先进的空气动力学和仿生学设计，更长的机翼将产生更大的升力，但配有折叠翼尖以适配目前的主流机场。

二是开放式风扇发动机采用碳纤维复合材料风扇叶片，与现有发动机相比，可额外减少 20% 的燃料消耗和二氧化碳排放量。三是采用混合电力推进技术。利用锂电池或氢燃料电池的电力，补充辅助传统喷气燃料或可持续航空燃料（SAF）的使用。四是使用强度更高、重量更轻的复合材料，探索用生物基复合材料和热塑性复合材料替代目前碳纤维增强聚合物的潜力，这不仅可以提高可持续性，且对于后者来说，还可以实现更快、更具成本效益的装配。

## 航空发动机复合材料

在不断追求更高性能、更低油耗和更优排放的推动下，复合材料在航空发动机中的应用前景被普遍看好。碳纤维增强聚合物和陶瓷基复合材料的使用预计将会增加。

罗罗公司为新型达索猎鹰 10X 飞机（计划于 2027 年交付）设计的 Pearl 10X 涡扇发动机将在发动机短舱、旁通管道、维修门、风扇导轨衬套、整流罩和电缆套管中使用复合材料。为庞巴迪 8000 飞机设计的 GE Passport 发动机（计划于 2025 年投入使用）的发动机短舱、整流罩、排气锥和混合器均采用了碳纤维复合材料和陶瓷基复合材料。Passport 发动机还将作为 NASA 面向 2030 年后下一代客机的混合热高效核心机（HyTEC）项目的演示平台。该项目将研究在发动机中嵌入电动机以驱动更多飞机系统，以及在增强型燃烧室衬套中使用陶瓷基复合材料高压涡轮（HPT）部件和增强型燃烧室衬套。NASA 报告称，增强型燃烧室在 2024 年达到技术成熟度 5 级。罗罗还将在其 XWB-97 发动机中使用陶瓷基复合材料，以此增强高压涡轮叶片与静密封之间接口的耐高温性能，该发动机为空客 A350-1000 提供动力。

## 翼身融合飞机和超音速飞机对复合材料需求旺盛

美国 Natilus 公司、JetZero 公司均在开发大量应用复合材料的翼身融合 (BWB) 飞机。Natilus 的 Kona 无人货运飞机已获得 460 份预订单，该机翼展 85 英尺，有效载荷 3.8 吨，航程达到 900 海里，机身由 80% 碳纤维增强复合材料和 20% 的金属（主要集中在双尾翼和控制面）构成，可根据通用航空指南进行认证，计划于 2028 年投入使用。Natilus 第二款机型 Horizon，翼展 118 英尺，有效载荷 25 吨，航程 3500 海里，采用全碳纤维增强复合材料结构制造，计划于 2030 年代初期投入使用，主攻窄体飞机市场，最多可搭载 200 名乘客。与现有飞机相比，Kona 飞机的载货量增加了一倍，阻力降低了 30%，成本降低了高达 60%。Horizon 飞机的重量将比现有商用喷气式客机减轻 25%，载客量增加 40%，碳排放量减少 50%。JetZero 公司翼身融

合演示验证平台则计划于 2027 年试飞，预计可改造为容纳 250 ~ 260 名乘客的喷气式客机，其燃油消耗和碳排放量有望减少 50%，预计 2030 年代初投入使用。

成立于 2014 年的美国博姆公司旨在重塑全球超音速航空客运体验。其 XB-1 演示验证机和“序幕” (Overture) 超音速客机几乎完全由碳纤维复合材料制成。XB-1 于 2025 年实现了无音爆超音速飞行。博姆公司将使用 XB-1 飞行数据为“序幕”开发无音爆巡航。“序幕”飞机首尾总长为 201 英尺，续航里程为 4250 海里，可搭载 64 ~ 80 名乘客。由博姆公司自研的“交响乐” (Symphony) 涡扇发动机提供动力，“序幕”飞机飞行速度可达 1.7 马赫。博姆公司已收到 130 份“序幕”飞机订单和预备订单，其制造超级工厂于 2024 年 6 月竣工。第一条装配线将实现年产 33 架飞机，第二条装配线的投产将使年产量翻一番。该工厂计划于 2029 年投入运营。

▼ 图 | “序幕”超音速客机



## 热塑性复合材料继续进步

2024 年，“多功能机身演示验证件”项目顺利完成，标志着热塑性复合材料航空结构的技术成熟度显著提升，该项目还展示了实现“无尘”装配以及将生产废料在生产卡扣、支架等零部件中再利用的能力。未来几年，甚至在下一代单通道飞机平台问世之前，飞机上有望出现更多热塑性复合材料部件。

2025 年 3 月，空客德国不来梅公司和法国 Pinette PEI 公司宣布，安装世界上最大的热塑性复合材料压制成型设备，其加工部件面积可达 2×5 米，主要用于飞机翼肋、隔框和机身部件等零件的冲压成型和共固结。与此同时，为了确保美国在热塑性复合材料制造技术方面不落后，美国航空材料制造中心 (AAMMC) 宣布，正在最终确定一台更大规格的压制成型设备，并计划将其安装在位于华盛顿州斯波坎国际机场附近、占地 386,000 平方英尺的工厂中。AAMMC 及其 50 个联盟伙伴成员的共同目标是加速美国下一代飞机所需的大型热塑性复合材料部件的开发和认证。

一级供应商和通用航空飞机制造商法国大合 (Daher) 也持续开发 TPC 结构、焊接和回收技术。在庆祝其 Shap'in 技术中心成立两周年之际，该公司展示了无紧固件装配技术，可使飞机结构重量减轻高达 15%。

## 生产效率的竞争

促使热塑性复合材料发展的另一个重要动力，是其更快的生产制造周期。为此，空客正在加强供应链建设，以实现到 2027 年每月能够生产 75 架窄体飞机的目标。

这一目标的提出主要源于全球前所未有的 1.7 万架飞机积压订单——约占现有有机



队的 50%。但按照目前生产速度，清理这些积压订单需要 13.5 年。波音和空客预计，到 2043 年将需要 4.2 万至 4.4 万架飞机才能满足日益增长的航旅需求，其中包括 3.3 万架窄体飞机。

解决这一问题的重要案例就是 ASCEND 计划。这个由 GKN 航宇公司全球技术中心牵头、为期 4 年的计划，最终在 42 个独立研究项目中实现了 6 级技术成熟度。演示验证的快速固化预浸料包括赫氏的 HexPly M51，可在 40 分钟内完全固化且无需后固化处理，并可在复杂零部件中使用宽度为 6.35 至 300 毫米的单向带（广泛适用于 AFP 和 ATL 技术）进行验证。同样，世索科公司的 EP2750 在热压成型过程中选择采用双隔膜成型和弹簧框架压制成型时，可在 30 分钟内实现复杂几何构型。

其他的航空领域应用进步均与 RTM 技术有关。例如，GKN 航宇公司开发了一套自动化 RTM 制造单元，包含定制的注塑设备、智能模具和感应加热系统，所有设备和系统都能通过数字孪生架构进行控制，这使得生产线能够以汽车工业的生产速度

实现航空航天级产品的质量。通过采用自动化处理与成型技术、快速感应加热和闭环过程控制，GKN 改变了复合材料航空结构的生产方式。

### 未来可持续发展重点

可持续性要求已成为影响航空制造业的关键因素，指导着下一代发动机和机身的研发决策。空客公司对下一代飞机生物材料一直进行着持续探索，致力于改善未来飞机复合材料的生命周期。空客不仅对即将开发的新技术开展生命周期评估，而且还设置专项开发更具循环性的复合材料解决方案，包括回收和报废解决方案以及生物基复合材料。尽管空客不会在轻量化、性能和安全要求方面妥协，但目前使用的一些复合材料仍有可能找到生物基替代品，相比石油基材料对环境影响更小，不过仍然需要经历同样的鉴定和认证过程。在这方面，人工智能或量子计算工具将成为铺路石。

波音公司也在探索生物基材料，包括更轻、可回收、更耐用的机舱地板以及可回收碳纤维面板等，二者均采用 25% 生物基树脂制成。

氢动力飞机技术的开发仍在持续。尽管空客仍致力于这项技术的发展，但已将其首架 ZEROe 飞机的服役时间从 2035 年推迟到 2045 年，主要原因在于空客认为所需的氢气基础设施、生产、分配和监管框架的全球发展速度低于预期。美国 ZeroAvia 取得了进展，已获得美国联邦航空管理局（FAA）等机构资助，并为其氢动力推进系统建立了认证基础。

数字化的循环经济将是未来发展重要趋势。复合材料行业正在追求更高的材料数字化，涉及收集和处理的数字格式的数据，以实现更高效的存储、访问、连续性和分

析。这将使全行业能够以主动、可预测的方式利用信息，从而改进产品由初始创新到报废（EOL）的全生命周期。数据连续性对于追踪零部件材料历史至关重要。此外，行业还在研究能够加快创新速度的数字化解决方案。数字化和人工智能技术正在赋能改善材料 / 零件 / 工具跟踪、检查和降低能耗等活动。

先进空中交通（AAM）是航空和城市 / 区域交通领域的一次范式转变。尽管为城市空中交通（UAM）和区域空中交通（RAM）开发的无人或有人驾驶电动垂直起降飞机（eVTOL）将彻底改变客运和货运方式，但不断发展的 AAM 生态系统十分复杂，面临诸多挑战，其中包括技术、监管和公众接受度等方面的重大进步。

美国乔比航空已完成 1500 多次试飞，正在进行美国商用客运适航认证所需五个阶段中的第四阶段，已取得突破进展。美国 Beta 科技公司正在向 FAA 申请认证两种型号，世索科（Syensqo）已被指定为其复合材料主要供应商，用于主要和次要结构以及非结构部件生产。德国 Volocopter 公司已在新加坡和巴黎等主要城市进行了试飞，并正在开发全面生态系统，涵盖飞行器、垂直起降机场和维护工厂等，其 VoloCity “空中出租车” 已获得 500 多份预订单，该机机身、旋翼叶片和座椅部件均采用复合材料。

美国贝恩公司分析预测，到 2035 年全球 eVTOL 机队数量将达到 12000 架，到 2040 年将达到 45000 架。不过这仍取决于多种因素，包括电池技术的改进、空中交通管制法律和垂直起降机场基础设施的发展，以及飞机认证和运营表现情况。

# 从产品看 中美 eVTOL 型号审定政策

文 | 王雪铖 占芬 刘岩 慕琦

近年来，全球城市化进程加速，城市交通系统重塑需求，新型交通系统带来经济增长预期，这些趋势推动了城市空中交通（UAM）概念的快速发展。作为 UAM 系统中的核心运输工具，电动垂直起降（eVTOL）航空器以其环保、高效、灵活等特点备受关注。

中国和美国作为全球航空业的重要参与者，在 eVTOL 技术研发和政策制定方面均处于领先地位。美国凭借强大的航空工业基础与政策制定能力，率先由美国联邦航空管理局（FAA）对 eVTOL 适航认证提出明确要求，并制定了适用于乔比 JAS4-1 等新型航空器的特殊类适航标准；而中国民用航空局（CAAC）则以风险控制为导向，结合本土实际，制定了亿航 EH216-S 载人无人机的专用条件，为推动本土 eVTOL 产业的发展奠定了政策基础。

▼ 图 | 乔比航空



本文以亿航 EH216-S 和乔比 JAS4-1 为研究对象，通过具体对比分析中美在 eVTOL 型号审定政策制定背景、技术标准、适航审定程序和执行机制等方面的异同，探讨如何优化政策制定以推动行业发展。

## 适航审定的核心异同

中美两国在 eVTOL 型号审定程序和技术要求方面既有共性，也体现出各自的特色。这种差异不仅反映了两国航空法规体系的不同，也反映了两国对 eVTOL 技术特点的理解与发展策略的不同。

在飞行性能和安全性标准方面，中美两国均关注 eVTOL 在多模式飞行中的安全性，但其侧重点有所不同。CAAC 的专用条件侧重于飞行性能的基本保障，提出了涵盖起飞、着陆、飞行包线、稳定性等方面的要求。例如，亿航 EH216-S 的标准规定了飞行包线内的操作能力，包括操纵性和机动性要求，确保在最不利条件下航空器的可控性和安全性。此外，CAAC 在飞行性能评估中结合风险评估方法，允许在特定风险场景下调整部分要求。

FAA 则采用了更加严格和全面的标准。例如，乔比 JAS4-1 的适航标准覆盖基于不同等级分类的飞行控制、气动特性、失效条件下的可操作性等，而亿航标准目前尚未详细区分不同运行场景下的运行管理分级及相应管控标准。FAA 强调以性能为导向的审定方式，不仅要求飞行性能达到商用航空器的高安全性标准，还特别规定了应对失效场景（如分布式推进失效）的能力。这种高标准在提升 eVTOL 安全性方面具有显著优势，但也对技术成熟度提出了更高要求。

电动推进系统和复合材料技术是 eVTOL 的重要技术特点，也是适航审定中的关键关注点。CAAC 的标准中对全电动动力系统提出了基础性要求，例如动力装置的冗余设计、电池系统的安全性以及电磁兼容性等。对于

复合材料的应用，CAAC 更注重材料的强度和耐久性评估。然而，对于不同天气条件下的适航条件，还有待进一步细化。

FAA 在电动推进和复合材料技术上有更详细的要求。例如，乔比 JAS4-1 的适航标准明确了分布式推进系统的失效管理能力、电池系统的热管理设计以及复合材料结构在极端负载下的强度和气动弹性。FAA 还引入了性能导向的验证方式，通过一系列实际测试和仿真分析，确保这些技术在高强度商业运营中的可靠性。

中美在适航审定程序和技术要求上的差异源于各自的政策理念和技术优先级。中国的灵活性政策更适合本土产业的快速发展，而美国的严格标准为全球化市场竞争提供了技术保障。这种差异为 eVTOL 产业提供了多样化的实践路径，同时也凸显了协调和统一国际适航标准的必要性。

## 政策执行机制

中美两国在 eVTOL 适航政策的执行机制上展现了显著差异，这些差异反映了两国在航空管理模式、产业发展战略和技术监管方式上的不同优先级。

中国地方政府的 eVTOL 产业发展政策同中国民航局的 eVTOL 适航政策在执行中具有高度的互补性和适当的灵活性，依托省级管理与地方政府的主导作用，以风险评估为导向，联合民航局针对不同地区的运行需求和产业特点，制定差异化的 eVTOL 适航政策。这种模式在推动本土企业发展和促进产业应用方面展现出显著的优势。

首先，CAAC 在全国范围内制定适航政策框架，如《亿航 EH216-S 专用条件》提出了统一的技术要求和合规方法。在此基础上，各省级生态环境厅和地方政府根据本地实际需求，对地方的低空经济产业发展进行调整。例如，地方政府可结合区域经济特点

与技术发展水平，在符合民航局的型号审定政策的前提下，与企业合作推动试点项目，探索制定适应特定场景的 eVTOL 适航与应用模式。这种分散协作式管理模式赋予地方更大的政策灵活性，能够快速响应新型航空器的商业化需求。

此外，基于风险评估的导向是中国政策执行的核心特点。CAAC 在审定过程中采用了风险管理分级的方法，根据航空器运行场景的不同风险级别对适航要求进行动态调整。例如，对于低风险运行场景（如较低密度人口区域的物流配送），可适当降低部分技术要求，而对于高风险场景（如城市中心区域的载人飞行），则需满足更严格的标准。这一机制有效平衡了安全性与商业化之间的关系，有利于本土 eVTOL 企业的快速发展。

与中国地方政府同民航局相互配合的分散协作管理模式不同，FAA 在低空产业政策中采用集中式的顶层设计与统一标准，以确保适航政策在全国范围内的严格一致性和高标准化水平。这种模式在技术规范和安全保障方面具有显著优势，但灵活性相对较低，会对 eVTOL 企业的高速发展产生一定的障碍。

FAA 对 eVTOL 的适航审定执行以顶层设计为基础，通过统一的法规和技术标准，对全国范围内的审定工作进行规范。例如，针对乔比 JAS4-1 的适航审定，FAA 不仅制定了特别适航标准，还明确了适用法规的统一性（如《联邦航空条例》第 23 部分的修订）。这一机制确保了所有审定过程的技术一致性，使得美国的 eVTOL 适航政策在技术先进性和国际影响力方面保持领先。

此外，FAA 的集中式管理还体现在对技术验证的高标准要求上。例如，FAA 采用性能导向的方法，通过集中式测试设施和严格的技术审查程序，验证 eVTOL 航空器在不同飞行模式和失效条件下的安全性。这种方式有效避免了技术标准因地区差异而可能导致



的执行标准不统一问题。

然而，FAA 的集中管理模式也具有一定的局限性。在实际运行场景多样化的背景下，过于统一的技术标准可能对新型企业和小型试点项目形成技术门槛。例如，一些低风险应用场景需要满足与高风险场景相同的严格技术要求，这在一定程度上会限制产业的灵活性和创新性。

总体而言，中国和美国在政策执行机制上的差异反映了两国对 eVTOL 产业发展的不同策略。中国基于省级管理的灵活机制有助于支持地方经济发展和满足多样化场景需求，而美国的集中式顶层设计则确保了技术规范的高度一致性和安全性标准的全球化影响力。这两种模式各有优势，但也面临各自的挑战。未来，如何平衡灵活性与一致性，推动国际适航政策的协调与互认，将是全球 eVTOL 行业发展的重要课题。

## 创新机制与政策影响

中国和美国在 eVTOL 适航审定政策中均展现出重要的创新点，这些创新反映了两国在推动 eVTOL 技术和市场发展方面的不同侧重点。

▲ 图 | 亿航智能

亿航 EH216-S 作为中国民航局审定的首个无人驾驶载人航空器系统，其适航政策创新集中在如何结合中国城市空中交通的场景需求，为推动国内 eVTOL 产业的发展提供支持。EH216-S 的适航审定框架基于中国市场特点，展现了较强的场景适应性和市场优势。

首先，EH216-S 的设计以满足 UAM 场景为核心，其全电动垂直起降能力和紧凑设计特别适合高人口密度城市中的短途出行需求。中国的政策创新在于通过灵活的适航条件推动技术验证与实际应用的结合。例如，《亿航 EH216-S 型无人驾驶航空器系统专用条件》允许在较低风险的运营场景中测试新技术，包括在人口非稠密区的物流、巡逻和观光等场景运行，从而降低企业的研发和市场进入成本。这一政策有效解决了 eVTOL 技术与实际场景需求之间的匹配问题。

其次，中国市场的快速增长和政策支持为 EH216-S 的发展提供了重要保障。UAM 场景在中国一线城市和新兴经济区域的需求增长迅速，而 CAAC 通过与地方政府协同推进试点项目，为 EH216-S 的商业化运行创造了良好的政策环境。这种以针对性需求场景

为导向的政策创新不仅为本土企业提供了更加多元的发展平台，还可通过本地化的成功案例推动中国在全球 eVTOL 领域的影响力。

乔比 JAS4-1 作为美国联邦航空管理局审定的高性能 eVTOL 机型，其适航政策体现在对技术标准的严格制定和对全球市场的目标导向上。JAS4-1 适航标准的制定为全球化竞争奠定了技术基础。

首先，JAS4-1 适航标准的技术高度是其核心竞争力。FAA 制定的特别适航标准强调性能导向，包括多模式飞行能力、电动推进系统的冗余设计以及复合材料在极端环境下的强度与耐久性。例如，JAS4-1 需满足在失效情况下的安全着陆能力以及高强度飞行条件下的持续性能。这种高性能标准不仅确保了航空器的安全性和可靠性，还为其在国际市场中的技术领先地位提供了保障。

其次，JAS4-1 的适航政策充分考虑了全球市场的需求。FAA 通过严格的适航审定，确保其审定结果能够获得其他航空监管机构的认可，从而在一定程度上影响了外国对 eVTOL 适航性能标准的制定。此外，JAS4-1 的设计不仅适用于美国本土市场，还瞄准了全球高端市场的商业运营需求，例如城市空中出租车和短途商务航班，这对城市布局相似的加拿大、澳大利亚和欧洲等国家具有更强的参考作用。这种全球化竞争力量使 JAS4-1 成为推动 eVTOL 行业发展的重要引领者。

总体来看，EH216-S 和 JAS4-1 的适航政策创新点分别反映了中国和美国对 eVTOL 行业发展的不同关注点。EH216-S 更注重与本土市场和 UAM 场景的结合，通过灵活的政策设计推动技术与市场的双向促进。而 JAS4-1 则以高性能适航标准为核心，通过严格的技术验证与全球化布局提升市场竞争力。这两种模式为全球 eVTOL 产业的发展提供了多样化路径，也显示出未来在政策协调与市场互认方面的重要意义，尤其是针对不同运行场景下的 eVTOL 适航标准的互认。

## eVTOL 产业发展建议

随着 eVTOL 产业的快速发展，各国政策的差异化市场带来了机遇与挑战。为了促进全球 eVTOL 行业的可持续发展，有必要从国际标准化和中国本土市场发展的角度提出建议。

eVTOL 作为新兴的航空技术，面临的巨大挑战之一是国际市场的适航认证与运营标准的协调性不足。不同国家在适航审定程序、技术要求及政策执行方面的差异会对 eVTOL 的全球化发展形成阻碍。因此，推动适航标准国际化是未来发展的关键。以下是针对这一问题的建议：

加强国际监管机构的合作。建议通过国际民航组织 (ICAO) 牵头，组织各主要航空监管机构 (如 FAA、EASA、CAAC 等) 开展适航标准的协调工作，制定统一的技术规范和审定框架。例如，可以在 ICAO 框架下设立专门的 eVTOL 技术委员会，推动各国适航审定方法的互认。这将有助于减少重复认证，提高全球市场准入效率。同时，中国可同“一带一路”国家开展 eVTOL 适航标准互认，如同东南亚国家、非洲国家以及南太平洋国家开展 eVTOL 型号审定规章互认磋商。

建立跨国适航数据共享机制。各国可以通过数据共享，减少对 eVTOL 适航认证的重复验证。例如，对于已通过 CAAC 审定的机型，其他“一带一路”国家的监管机构可基于共享的测试数据和审定结果快速评估其适航性。这种机制不仅可以降低企业的技术与资金负担，还能提高全球适航认证的效率，也有助于中国 eVTOL 航空器的国际化运营。

推动区域性试点项目的国际合作。在不同区域开展基于国际标准的试点项目，例如中国与东盟、中国与非洲国家、中国与南太平洋岛国之间合作开展 UAM 场景的运营试验。这不仅可以验证技术标准的适用性，还能为国际协调提供实践经验。

引入行业自律与标准推动。建议由 CAAC 牵头，我国主要 eVTOL 制造商和行业协会参与，形成行业自律标准。这些标准可以作为国际适航规范的补充，为推动行业全球化奠定基础。

此外，对中国在推动本土 eVTOL 市场发展中政策调整的建议有以下几点。中国需要在政策设计和实施中做出进一步调整，以适应行业快速变化的需求，特别是优化区域政策协调。尽管中国的分省低空产业管理模式为 eVTOL 发展提供了灵活性，但也可能导致政策执行标准的不统一。因此，建议在 CAAC 的指导下，加强各省政策的协调，逐步建立全国性适航认证和市场运营框架，以支持统一的全国市场。同时，可以通过试点项目总结经验，为全国推广提供可复制的模式。加速技术研发支持政策的实施，eVTOL 作为高技术密集型产业，需要强大的技术支持。建议通过专项资金、税收优惠等方式，进一步鼓励企业在分布式推进、电池管理、复合材料等关键技术上的研发投入。同时，推动 eVTOL 与人工智能、5G 通信等技术的融合，为技术创新提供更多可能性。建立多层次的市场准入机制，中国市场的多样性需要灵活的市场准入政策。例如，可以针对不同风险级别的运营场景 (如物流、观光、载人短途运输等)，设立分级准入机制。这种方式不仅可以降低行业进入门槛，还能促进 eVTOL 技术的快速应用。推进公众接受与市场教育，eVTOL 作为新兴交通工具，其推广仍面临公众接受度和安全信任的挑战。建议通过宣传和试点运营，提升公众对 eVTOL 的认知。同时，通过引入保险机制等手段增强公众对 eVTOL 安全性的信心。

▼ 图 | 乔比航空



# 国内支线航空 发展困境与突破路径研究

文 | 王鹏



## 发展现状与特征

中国支线航空市场如何在有限资源与激烈市场中寻求突破是一个值得深思的时代课题。与成熟干线市场相比，中国支线航空市场发展长期面临一系列特殊挑战。

中国支线航空到 2024 年底已经展现出显著的广域覆盖特征。全国 174 个地级行政单位支线机场总数达到 182 个，新疆以 22 座支线机场位居首位，内蒙古、四川、黑龙江等省份机场布局密度高，凸显国家在交通基建布局时以促进区域均衡为目标的战略考量。2014 ~ 2023 年，中国支线机场数量年均增长率达到 2.47%，旅客吞吐量增速为 5.59%，高于民航全行业 5.26% 的平均水平。2024 年支线机场客运起降 96.6 万架次，同比增长 3.8%，占全国机场总起降架次 9.5%。

《全国民用运输机场布局规划》提出，2025 年中国民用运输机场布局达到 370 个，除三大世界级机场群、10 个国际枢纽、29 个区域枢纽外，其余均为支线机场，其中“三区三州”、边疆边境及偏远地区的中小机场建设是重点建设方向。当前贵州省机场密度达 0.63（每万平方公里机场数）居全国首位，云南、广西以 0.41 和 0.3 的数值分别位列二三位，内蒙古、新疆、青海等地密度处于 0.15 以下区间。

其次，国内目前是多主体运营支线航空。专业支线航空公司精细化运营，以独飞航线和高补贴依存度维持生存。华夏航空支线航线占比高达 97%，独飞航线 153 条，占其航线总量的 84%。华夏航空通过高比例的独飞航线规避同质竞争，2024 年实现归母净利润 2.7 亿元，同比增幅为 127.8%。天骄航空依托 7 架 C909 打造蒙内支线网络，作为全国唯一纯国产民机运营商，2025 年上半年机队日利用率 5.7 小时，居国内航司首位。

三大航凭借网络协同优势实现干支互补。南航运营 35 架 C909，构建以广州白云和揭阳潮汕为双中心的支线网络。东航运营 27 架 C909，支线网络以揭阳潮汕为

核心，浦东、南昌等为节点。国航聚焦呼和浩特与成都天府枢纽，以干线网络为35架C909提供中转旅客流量支持。

地方政府主导的区域性航司通过国资注资，整合区域资源，达到社会效益与经济效益再平衡。成都航空在吐鲁番、哈尔滨、达州等多基地运营304条航线，有效提升了区域通达性。江西地方国资为江西航空提供稳定资金支持，使其能够以南昌为枢纽构建30条支线网络。

中国支线航空发展打破传统城市间交通连接单一属性，更以打破地理屏障将航空服务纵深嵌入青藏高原、西北边疆等边远地带的方式实现国土空间均衡发展，强化区域社会联结。祥鹏航空运营的乌鲁木齐经喀什至阿里航线，十年间累计执行航班超1470架次，运输旅客逾12万人

次，有效破解新藏线单一地面交通瓶颈。

“乌鲁木齐—喀什”航空快线产品以“高频次、高准点率、高便捷性”为核心，日均往返近30班次，可提供往返座位数近5000个座位，2个月运营航班1940架次，服务旅客28.97万人次，构建便捷可达的边疆空中服务网络。西藏航空106条航线网络串联昌都、阿里等高原城镇与内地，加强各民族之间联系。2024年全国通程平台服务旅客126万人次，中转平台覆盖超过7000万人次，三网融合进一步释放支线机场能效，“干支通，全网联”国家战略初具规模。

国产民机在支线航空市场进一步规模化运用，完善供应链体系。华夏航空新疆部署C909执飞支线市场，天骄航空纯国产机队投建蒙内网络。

## 结构性矛盾

一是政策使命与市场规律内在冲突。支线航空核心职能是保障偏远地区基本航空通达性，彰显普惠性社会价值。但是边疆、高原或者偏远地区人口密度低，客座率长期低于60%，不能达到支线航空行业公认的75%~90%盈亏平衡区间。运营支线航空的运营主体本身属于市场化主体，应当遵循商业规律以保证经济可持续性。二元属性引发运营逻辑根本性冲突。支线航空公司不得不深度依赖补贴以覆盖其持续性经营赤字。公开信息显示，华夏航空2024年政府补助形成的其他收益占利润总额比例为344.8%，部分中西部航班补贴占收入比重超过30%。2014~2017年，中央财政年均支线补贴超10亿元。补贴成为维系航线存续的重要支撑。

地方财政周期性波动影响补贴资金稳定性和时效性，给支线航司财务带来系统性风险。在2024年华夏航空公布的财报中可以看到，10.39亿的应收账款，9.32亿的其他应收款项中政府补助欠款比例达到11.69%。补贴支付不及时导致的延到账问题呈现普遍性蔓延趋势，尤其在三四线城市。这些地区税收基础本身薄弱，土地财政收缩导致债务化债压力增加，支付能力衰减。春秋航空把补贴收入列入收入主要风险之中。幸福航空、长龙航空甚至将政府部门告上法庭。支线航司在两难的窘境中挣扎，公司如果继续运营亏损支线会加剧现金流压力，如果持续不能及时收到政府补贴，财务风险敞口扩大；倘若公司果断停航，不断违背公共服务契约，可能会丧失政策信用，不再获得未来补贴申领资格。

二是机型选择与运营效率存在适配难题。支线航司维修成本占比25%，超



▲ 图 | 王脊梁

过国际支线航司15%行业基准值。部分航司人机比达到120:1，比行业100:1的平均水平高出20个百分点，高原高温特殊环境需要减载15%~30%，削弱单班收益能力。这些因素提高了支线航司运营成本，迫使支线航司患上“政策输血依赖症”。部分中西部航线补贴收入占比超过40%。

部分支线航司为弥补低密度航线亏损，采用“干支混编”引入干线机型执飞高需求航段，多类型机队带来的协同负效应抵消规模经济效应，收入有所增长的情况下系统性成本大幅抬高，掉入规模不经济陷阱。航司运营机型从一种增至三种，运营系统因机型差异严重割裂，边际管理成本呈指数级攀升。某航司引入多种机型后，由于飞行员资质限制，机组调度灵活性降低23%，机务保障资源无法在不同机型间共享，飞机平

▼ 图 | 徐炳南



均故障时间延长 4.2 小时。2024 年，该航司就因机型调配问题导致航班不正常率达 12.8%。混编策略整体盈利能力显著低于行业平均水平。

三是市场培育与竞争环境双重挤压。支线航空覆盖地区原生航空客源规模有限，地理空间上还存在高度分散特征，全国机场总量五分之四的中小机场客运航班量仅贡献七分之一。多达 94 个机场日均航班量低于 5 班，更有 25 个机场日均航班量不足一班，客源碎片化现象严重。中小机场所在地消费能力不足制约支线航空市场需求。航司出于支线航空运营成本高昂、航线网络单一的考虑，会把票价设定在较高水平，尤其在独飞航线上。殊不知此种定价策略挡住大量对价格敏感的潜在旅客。高昂票价不仅没有带来收益增长，反而导致客座率低迷，无法触及支撑航线健康运营的盈亏平衡点，“高票价、低客流”局面长期存在。

高铁站点覆盖率是支线机场的 55 倍，准点率超过 98%，票价为航空出行的三到六成，高铁在 500 ~ 1000 公里距离对航空客流实际分流率达到 35% ~ 50% 区间。尽管航空出行方式可以给乘客创造 3 小时的时间价值，但是旅客选择航空出行的概率还是降低到 28% 以下。东部高铁密集区支线航空萎缩率超过 42%。中西部高原航线高铁系统性替代优势有所减弱，但运行环境需要减载 15% ~ 30% 削弱经济性。由于支线机场航点 80% 与干线重合，而支线航班频次不足，使得大约三分之一非省会城市旅客会选择省会机场出行，造成干线枢纽虹吸支线客源现象。全国低于 50 万人次的支线机场中 108 个处于亏损状态。前 25 大机场垄断全国 80% 吞吐量与此形成巨大反差。以地方政府补贴为新开航线的驱动模式潜藏运行

不稳定风险，补贴减弱甚至中断就会带来航线网络变更或者取消。

## 政策建议

一是优化支线航空扶持政策。民航行业管理部门要建立更加科学、动态补贴评估机制，改变以往相对粗放补贴方式，将补贴精准发放给真正服务偏远地区、填补市场空白、具有社会公益属性的航线运营商。补贴考量要素要从航线里程、机型拓展到运营效率、安全水平、航班正常率、旅客满意度、地方经济贡献度等更加综合的维度。2024 年 1 月生效的《支线航空补贴管理暂行办法》就调整旧规定补贴范围、补贴方式、央地责任，精细化补贴提升偏远地区航空服务可持续性，如西藏、新疆、青海等偏远地区及无高铁通达地面交通欠发达地区，推动“干支通，全网联”综合交通体系建设。

政策要着力引导航司探索适配中国支线市场差异化运营路径，构建多层次协同体系。推广本土化运力购买协议（CPA）模式，鼓励国航、东航等干线巨头通过长期合约采购支线航司运力，实现干线网络与毛细血管航班资源耦合，缓解支线航

**高昂票价不仅没有带来收益增长，反而导致客座率低迷，无法触及支撑航线健康运营的盈亏平衡点，“高票价、低客流”局面长期存在。**

**相关部门始终扮演好服务者与协调者的角色，为重组各方提供清晰的政策预期，简化行政审批流程，高效跨部门协调以降低制度性交易成本。**

司获客压力，降低干线航司小航线运营成本；推动组建区域性支线联盟，支持航司共享维修基地、机组培训中心及数字化调度系统，规模效应压降单位成本 15% ~ 20%，提升议价能力与抗风险韧性；深化“航空+”产业融合，联合地方政府开发文旅定制航线、开通生鲜货运专线，将航空网络嵌入地方经济循环，转化政策补贴为可持续造血能力。

二是完善航空公司市场退出与重组机制。针对经营陷入严重困境，长期持续亏损，经评估确无扭亏可能的航空公司，行业主管部门要制定规范有序的退出机制，妥善化解各类矛盾风险，维护好退出航司员工正当权益，维护消费者权益，确保旅客能顺畅办理退票、改签等手续，或通过其他承运人妥善安排行程，尽最大可能降低航司退出引发的社会震荡和负面冲击。在遵循市场规律和商业原则基础上，积极引导资本实力雄厚、管理经验先进、运营稳健的公司对陷入经营困境，特别是专注于支线运营的航空公司实施兼并重组，优化支线市场结构，提升行业集中度和行业整体运营效率。相关部门始终扮演好服务者与协调者的角色，为重组各方提供清晰的政策预期，简化行政审批流程，高效跨

部门协调以降低制度性交易成本。

三是强化行业监管与风险预警。行业主管部门要把个别支线航空公司高企的资产负债结构、紧绷的现金流状况、持续弱化的短期及长期偿债能力等反映财务健康情况的指标纳入常态化、动态化监管视野，实现行业财务状况全流程监测、分析和预警，将传统事后监管模式转为前瞻性风险防控。支线航司普遍存在规模小、抗风险能力弱、盈利模式脆弱的结构性矛盾，监管部门在航司持续暴露风险、自救效果不彰的情况下，根据风险监测与评估程度适时升级监管措施，进行穿透式监管，充分利用限制盲目扩张运力、暂停审批新开航线、冻结分配部分时刻资源等手段遏制风险进一步发酵，向产业链上下游蔓延。这种主动监管模式能动态监测、分级预警、精准施策，防止个别支线航空公司的财务困境演变为区域性甚至系统性风险。

在航空公司安全管理体系（SMS）审计时重点核查支线航司是否足额保障安全投入，将资源精准高效用于提升本质安全管理水平关键领域，严查小型机队、分散基地环境下支线航司的安全责任落地情况。对于刚购入新机型、开辟新航线，尤其是运行环境复杂的支线航空公司，增加审计频次与深度进行重点监管，以控制其运行模式、人员适应、保障体系在磨合验证阶段的风险。

消费者权益保护方面，监管部门高度警惕支线航司突发经营困难，对特定区域停运，特别是偏远、边疆地区断航可能造成的冲击，明确危机状态下旅客退改签规则，协助安排地面转运等替代交通责任边界和时间时限问题，杜绝支线服务问题中断引发区域性民生问题出现。

# 民航应抓住雅鲁藏布江下游水电工程带来的发展机遇

文 | 柴雨丰



▲ 图 | 王脊梁

2025年7月19日，雅鲁藏布江下游水电工程（以下简称雅藏水电）建设正式开工，同日中国雅江集团有限公司挂牌成立。据报道，整个工程投资1.2亿元人民币，预期十年建设完成，建成后发电量将是三峡发电站的三倍。1.2万亿的基建投资理论上能拉动3万亿以上的GDP增长。在工程建造期间，能直接提供10万个就业岗位。电站运营期上下游产业链更是能提供20万个长期的就业岗位。雅藏水电无疑是拉动国内经济增长的巨大引擎，民航业将受益于此波经济增长带来的发展红利。同时，该区域地处高高原，同样面临着高高原民航运输诸多的现实问题。

## 对民航的利好影响

雅藏水电工程位于西藏林芝市墨脱县，该水电工程建设周期长、带动就业岗位多，西藏本地劳动力无法满足工程需要，将带动进出西藏的外地务工人员大量增长。潜在的公务客户出行需求与航空便捷的服务保障相得益彰。

一是进一步彰显民航运输的比较优势。西藏自治区的交通基础设施相对滞后，墨脱县是全国最后一个通公路的县城，现有连接西藏自治区的地面交通线路是青藏铁路和川藏公路、新藏公路、青藏公路，地面交通出行所需时间长。而西藏区内现有机场为8个，飞机从成都、西安、重庆、昆明等主要进藏航点抵达拉萨的时间在2小时左右。雅藏水电公务出行旅客对时间的要求相对苛刻，川藏铁路预计2030年才能全线贯通，尽管从成都至拉萨的铁路行车时间预计将大幅缩减至10小时，但民航的快捷优势仍然十分明显，西藏高高原市场将是民航少有的不受高铁冲击的蓝海市场。

二是实现西藏航网布局的优化。高高原机场所在区域没有规模化工业布局 and 现代服务业，高高原运输是以客运业务为主，货物运输具有较强的单向性。当地经济的内生动力、资源禀赋、消费终端购买力不足，2024年西藏本地常住人口370万人，而2024年全区接待游客6389万人次、同比增速15.8%，因此西藏的客



▲ 图 | 徐炳南

流量以外输入型的旅游客人为主。受旅游产业的季节性影响，西藏民航运输市场淡旺季明显，很多航空公司采取候鸟式的航班编排模式，夏季增投明显，而在淡季减投甚至是停航。拉萨与全国省会城市的互通互联的密度远远低于国内其他城市水平。而随着雅藏水电工程的进展，西藏民航市场中公务、休闲出行的增加将削弱传统淡旺季旅客流量的显著差异，有利于航网布局的稳定和维持一定的航班频次。

三是促进西藏民航发展的新格局。藏雅水电工程将会带动林芝民航运输的高质量发展，预计林芝的航空出行将打破以旅游客为主、夏季出行为主的格局，客运量将趋于均衡稳定，有利于维持合理的收

▼ 表1 | 2016~2024年西藏全区及主要机场旅客吞吐量  
注：单位是万人次

	2024年	2023年	2022年	2021年	2020年	2019年	2018年	2017年	2016年
全区旅客吞吐量	760.9	689.7	334.5	603.1	515.4	575.0	532.0	454.8	406.5
拉萨/贡嘎	601.9	547.1	258.4	477.9	413.3	457.2	435.4	371.8	333.9
林芝/米林	79.7	68.3	29.3	51.6	41.4	55.8	48.5	46.8	39.0

益水平。目前西藏区内除拉萨机场外，其他各机场均不具备夜航保障和全天候、全时段放行条件，无法最大化发挥机场的设计产能。随着雅藏水电工程的开工建设，林芝米林机场不能全天候运行的问题将日益凸显，倒逼各方力量积极推动林芝米林机场的夜航开通。这将丰富林芝进出港航班的分布时间段，提高航空公司高高原飞机执飞高高原航班的比例，实现机型与航线的进一步匹配，有助于航空公司的效益提升。预计西藏相关机场和相关航线的盈利状况将得以改善，减轻对财政补贴的过度依赖。而以直升机为代表的区内通航摆渡业务的市场前景乐观。

### 面临的中短期发展难题

可执飞高高原运力存在断供的风险，在用飞机相对老旧，新机订单储备不足。目前在国内高高原市场的主力机型为A319飞机，且普遍存在机龄偏大、飞机集中退役、补充新订单不充足等情况。根据局方对机龄20年以上飞机不能飞高高原的规定，预计到2030年全行业将有39架A319飞机退出高高原市场运营。目前

仅有西藏航空、国航等少数几家公司有少量的A319NEO新机订单。因生产储备订单不足，空客公司将整合资源考虑关闭A319NEO生产线。其他窄体机型暂不具备高高原运行的经济性和适航性。到“十五五”末，民航高高原运力紧张问题将暴露无遗。

机场运行条件受限导致成本水平偏高。西藏除拉萨机场外，其他机场均未实现全天候全时段开放，仅在上午和中午时间段有航班起降。一方面是机场建设及日常运营的成本投入巨大，但每天可供使用时长并不高，形成低效的机场资源投入。另一方面是航空公司要承担高高原飞机的加改装、双机长运营、发动机下发周期缩短等额外成本增量，同时高高原飞机无法全部执飞高高原航线，被迫在高高原机场的非通航时间段执行平原航班任务，造成飞机与航线的错配，降低了航空公司在平原航线的竞争力。各高高原机场之间也没有互为备降场，航班往往优先选择临近的平原机场为备降场。航空公司运营成本居高不下的现状与百姓廉价出行的迫切愿望之间的矛盾十分突出。

安全服务保障压力和收益品质的担忧。高高原运行的准入门槛较高，可供选择的机型相对单一，并且需要进行相应的高高原性能改装，目前国内仅有11家航空公司开通了高高原航线。随着雅藏水电工程的开工，将会有更多的航空公司觊觎这块市场，可能会出现争相申请高高原运行能力，到处选择可执飞高高原二手飞机的情况，加剧供应链的紧张程度和来之不易的民航安全生产运行态势的维系。高高原航班运行条件恶劣，各相关保障方的资源、能力有限，航班的自然增长会放大不正常航班带来的连锁反应。随着高高原运营主体的增加，行业在平原航线内卷的情况是否会波及高高原航线，同样值得关注。

### 后续工作建议

针对雅藏水电工程这一千载难逢的大商机，民航各参与主体要主动行动起来，工作走在前面，进一步发挥民航助推经济增长排头兵的作用。

全行业要紧密围绕客户开展定制化服务。建议在局方层面要形成保障雅藏水电工程联席工作机制，倾听航空公司的发展诉求、协助解决新开航线、航权时刻等问题，组织航空公司营销部门要迅速走访雅藏水电工程各相关的设计、施工、监理等单位，对客户结构构成、基本客流流向、人员进驻安排、客户出行预算等进行摸底调研，夯实客户出行需求基础，避免行业内盲目增投和内卷。航空公司要迅速响应，签署相关的大客户销售协议，有针对性地设计相关的航空出行产品，根据客户反馈的基本客流向情况及时申请相应的航权时刻。相关航线经营效益情况出现转机时，建议择机开展分航线、分航点、分航季财政

补贴，避免大水漫灌式的补贴方式。

充分盘活米林机场资源。墨脱机场于2023年完成了选址，但建设投产仍尚待时日，目前最快捷进出雅藏水利工程现场的出行方式仍是选择林芝米林机场的航班。但米林机场可供起降时间段较窄，现有技术、天气等条件暂不能保障全天候、全时段的运营。民航要走在西藏发展的前列，全行业应以雅藏水利工程为契机，协调各方力量，积极争取一切资源，通过新技术应用、管理创新等尽早实现米林机场的夜航保障。米林机场应开始着手延长跑道长度、增加停机坪数量的工程改造，解决未来高峰出行期保障资源容量不够的问题。川藏铁路拉林段已投产运营，并在米林设有岗嘎火车站，与米林机场近在咫尺之遥，后续空铁、空地等方面应进一步加强合作。

持有谨慎性的乐观态度。局方要严把准入关，实行退出机制，让安全表现好、服务评价高的航空公司尽可能多地参与涉藏航线的运营。随着2030年雅安至林芝线路的开通，川藏铁路将全线贯通，预计铁路出行将分流大部分雅藏水利工程建设工人这一细分市场的客源。墨脱机场选址的海拔范围为1890~2150米，属于一般高原机场，后续随着墨脱机场的建成投产，将有更多的航空公司和更多的机型参与到该航线中，但墨脱机场属于特殊复杂机场，建议继续严控市场参与主体的数量。考虑到施工任务的艰巨复杂，后续医疗救助紧急服务需求旺盛，建议与中航工业等制造商共同推动国产直升机上高原，开展商业化通航运营事宜。

▼ 表2 | 国内主要航司持有高高原A319基本情况

航司	A319机队数量	平均机龄	2025年退役	2026年退役	2027年退役	2028年退役	2029年退役	2030年退役	2031年退役	2032年退役
藏航	35	7	0	0	0	0	0	0	3	1
东航	32	11.5	0	0	2	0	0	0	0	7
国航	24	18.1	12	5	4	0	0	0	0	0
川航	21	15.2	4	0	4	1	2	0	1	2
南航	9	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0
重庆	8	11.3	0	0	0	0	3	0	0	1
西部	5	11.2	0	0	0	0	0	2	0	2
成航	4	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0
总计	138	11.3	16	5	10	1	5	2	4	13
			未来8年飞机退役数量小计：56架							
备注：飞机统计截止时间为2025年5月，数据来源airfleets网站										

# 六大航司 上半年数据解析

文 | 丁一璠

2025年上半年，中国民航业在复苏航道上稳健前行，交出了一份亮眼的成绩单。根据中国国际航空、中国东方航空、中国南方航空、海南航空、春秋航空及吉祥航空六大上市公司的运营数据公告，民航业在规模上实现了对2019年的全面超越，进入了稳健发展新阶段，多个关键运营数据达到了历史新高。

图 | 王脊梁



## 各项数据稳中向好

根据已公布的数据，2025年上半年六大上市航司总旅客量为2.96亿人次，超过2019年同期15.3%。其中，南航以8328.0万人次的客运量位居榜首，国航(7711.4万人次)和东航(7317.0万人次)紧随其后，三大航的规模优势依然稳固。春秋航空和吉祥航空分别运送了1521.9万和1359.0万人次。与2024年同期相比，除吉祥航空外，其余航司均实现了正增长。值得注意的是，尽管吉祥航空旅客运输量同比微降0.8%，这并非需求疲软的信号，而是收缩部分国内航线运力，转而大力投入高增长的国际市场。数据显示，上半年吉祥航空国际航线旅客和国际航线运力分别同比增长45.1%和65.6%。

从供给端看，各大航司的运力投放策略积极而审慎。综合数据显示，2025年上半年，六大航司的可用座位公里(ASK)相较于2024年同期均有不同程度的增长。其中，海航和春秋航空的扩张步伐最为显著，ASK分别同比增长11.7%、9.5%；东航和南航也分别实现了7.5%和5.5%的稳健增长。数据显示，民营航司的运力扩张尤为迅猛，吉祥航空和春秋航空的ASK较2019年同期分别大幅增长了43.3%和40.9%，而三大航的增幅也相当可观，国航增长了25.3%，显示出全行业对未来市场信心的系统性恢复。

需求端的表现同样强劲，收入客公里(RPK)的增长甚至在部分航司超越了运力的增速，直接推动了客座率的提升。东航和海航以12.2%、12.1%的RPK同比增速领跑，春秋航空和国航也分别录得8.5%和5.2%的增长。与2019年相比，RPK的增长曲线同样陡峭，吉祥航空和春秋航空的增幅分别高达42.9%和39.1%，再次印证了其强劲的增长动能。

另外，上半年最引人注目的亮点无疑是国际市场的强劲复苏，主要得益于多重利好因素的叠加。包括中国对多国单方面免签政策在内的签证便利化措施，极大地激发了入境游和出境游的潜力。同时，压抑已久的国际商务、探亲和旅游需求持续释放，为市场提供了坚实的需求基础。此外，随着各国航权时刻的逐步恢复，也为航司增加运力投放创造了条件。

各大航司披露的运营数据显示，与2019年同期对比，部分航司的国际业务规模已远超。如吉祥航空、海南航空在国际市场恢复中表现最为突出，旅客量较2019年分别增长80.6%和67.6%，远超行业平均水平。东航和春秋航空也分别实现了24.8%和16.7%的增长，显示出其强大的国际市场开拓和恢复能力。这不仅是简单的客流回归，更是航线网络优化和市场策略成功的体现。

图 | 中国东方航空



在国际航线的恢复浪潮中，春秋、吉祥等民营航司凭借其灵活的决策机制和市场敏感度，不仅快速恢复了原有的优势航线，更积极开辟新的增长点。例如，吉祥航空在6月新增了浦东至吉隆坡的航线，其子公司九元航空则新开了广州至大阪的航线。东航也积极布局，新开上海至米兰、日内瓦等欧洲航线。

相比之下，三大航国际运力投入和旅客周转量也在快速增长，但受制于其庞大

的机队规模和复杂的全球航线网络，其整体恢复策略更侧重于逐步加密和恢复重点干线，恢复至2019年同期的比例相对民营航司较低。例如，国航和南航的国际旅客量较2019年同期仅分别增长4.2%和2.1%。

客座率作为衡量航空公司运营效率和市场需求强度的核心指标，在今年上半年普遍呈现积极态势。六大航司平均客座率普遍同比提升。国航、东航、南航凭借其强大的枢纽网络和常旅客基础，在国内市场依然保持了较高的运营效率。上半年，三大航的客座率均保持在80%以上，南航更是高达85.5%。春秋航空作为国内低成本航空的标杆，上半年客座率高达90.5%，远超行业平均水平。吉祥航空客座率为85.2%，紧随其后。从动态变化看，东方航空的客座率同比2024年提升了3.6个百分点，在六大航中改善最为显著，这得益于其在国际和地区航线上的快速恢复和精准的运力投放。

面对全球飞机制造商供应链紧张、交付延迟的外部环境，以及自身对成本控制和投资回报的审慎考量，各航司在机队扩张上普遍放缓了脚步。数据显示，上半年六大航司合计净增飞机49架，扩张节奏温和。

从机队规模来看，南航(943架)和国航(934架)依然是行业巨头，东航(816架)位列第三。民营航司中，春秋航空(133架)和吉祥航空(130架)的规模相对精干。从机队运力增长方面看，南方航空以净增26架飞机领先，继续巩固其机队规模第一的地位。东航净增12架，其中包括了国产大飞机C919的持续交付，体现了其支持国产民机战略的决心。国航、春秋和吉祥的净增长则更为有限。尤为值得关注的是海南航空，其上半年引进与退出飞机数量相抵，净变动为零，反映出海航在完

成重整后，战略重心已从追求规模转向聚焦存量资产的运营质量提升。

在客运票价承压的背景下，航空货运业务异军突起，成为航司收入结构中愈发重要的增长引擎。尤其是由跨境电商驱动的国际货运需求持续旺盛，为航司开辟了新的利润来源。数据显示，2025年上半年，六大航司的货邮运输量均实现同比增长。其中，民营航司和海航的增长尤为迅猛。春秋航空、吉祥航空和海南航空的货邮运输量同比增速分别达到了惊人的15.6%、23.8%和23.3%。这表明它们正积极利用腹舱资源或开拓货运业务，抓住市场机遇。

在客运票价承压的背景下，航空货运业务异军突起，成为航司收入结构中愈发重要的增长引擎。尤其是由跨境电商驱动的国际货运需求持续旺盛，为航司开辟了新的利润来源。

## 盈利水平进一步改善

近日，部分国内上市航司披露了今年上半年的财报业绩预告，国航实现归母净利润约为-22亿元到-17亿元；东航归母净利润约为人民币-12亿元至-16亿元；南航上半年归母净利润为-13.38亿元到-17.56亿元。对比2024年上半年同期国航、东航、南航分别亏损27.82亿元、27.68亿元和12.28亿元，据计算今年上半年国航和东航继续减亏，亏损分别收窄约为21%至39%、42%至57%，但今年上半年南航亏损同比扩大至9%至43%。尽管国有三大航司仍未扭亏为盈，但都在预告中提到，上半年经营效益稳步改善，同比实现大幅减亏。今年上半年国际原油价格从高位回落，使得占航空公司总成本约30%~40%的航油成本压力得到缓解。同时，人民币对美元汇率保持相对稳定甚至略有升值，为以美元负债为主的航空公司带来了可观的汇兑收益。这两大因素也是三大航能够大幅减亏、海航能够扭亏为盈的关键外部利好。对于亏损的原因，三大航普遍将原因归结为国内市场价格竞争激烈、旅客结构变化、高铁冲

击以及国际环境不确定性等因素。

与此同时，海航和华夏航空两家在上半年预计均实现盈利。海航在公告中表示，预计今年上半年实现净利润4500万元到6500万元，上年同期归属于母公司所有者的净利润为-6.36亿元。这一成绩标志着海航控股实现扭亏为盈。值得注意的是，这是自海航完成破产重整以来，首次在半年度报告期实现盈利。海航方面也表示，业绩改善得益于民航市场向好、公司持续加强精细化管理、推进航线网络提质增效，以及2025年上半年人民币升值带来的汇兑收益。此外华夏航空在公告中表示，预计2025年上半年度归母净利润2.2亿元至2.9亿元，同比增长741.26%~1008.93%。华夏航空解释称，主要受益于民航出行需求改善，公司积极推动航班量增长，提升机队利用率，同时公司抓住支线旅游、淡季出行等市场机会，从而提升客座率。另外，尽管春秋航空和吉祥航空尚未发布半年度业绩预告，但市场普遍对其盈利能力抱有乐观预期。春秋航空凭借其行业领先的客座率和成本

图1 | 2025年上半年六大上市航司运营数据

ASK	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航
同比2024	3.4%	5.5%	7.5%	9.5%	4.2%	11.7%
相比2019	25.3%	11.3%	17.8%	40.9%	43.3%	-12.7%
RPK	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航
同比2024	5.2%	2.4%	12.2%	8.5%	5.0%	12.1%
相比2019	24.9%	15.1%	20.8%	39.1%	42.9%	-13.7%
旅客运输量	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航
当期值(万人次)	7711.4	8328.0	7317.0	1521.9	1359.0	3408.9
同比2024	2.9%	4.8%	8.0%	9.5%	-0.8%	5.4%
相比2019	36.5%	14.4%	14.2%	41.3%	25.5%	-19.4%
国际旅客运输量	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航
当期值	893.9	1003.0	1091.2	291.6	210.1	194.1
同比2019	4.2%	2.1%	24.8%	16.7%	80.6%	67.6%
客座率	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航
当期值	80.7%	85.5%	84.8%	90.5%	85.2%	82.8%
同比2024	1.4%	2.4%	3.6%	-0.8%	0.7%	0.2%
相比2019	-0.3%	2.8%	2.1%	-1.2%	-0.2%	-1.0%
货邮运输量	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航
当期值(万吨)	73.5	94.0	53.1	4.5	7.8	28.5
同比2024	4.7%	6.0%	3.9%	15.6%	23.8%	23.3%
相比2019	6.8%	14.3%	18.1%	57.1%	40.3%	3.5%

图2 | 六大航司2025年上半年机队规模变动情况

客机机队	上半年引进(架)	上半年退出(架)	净变动	飞机数量
南方航空	37	11	26	943
中国国航	9	5	4	934
中国东航	24	12	12	816
春秋航空	4	0	4	133
吉祥航空	3	0	3	130
海南航空	6	6	0	348
合计	83	34	49	3304



▲ 图 | 徐炳南

控制能力，吉祥航空则受益于高收益国际航线的快速增长，预计将继续保持稳健的盈利表现，延续其作为行业“盈利标杆”的角色。

虽然行业整体仍处于盈亏平衡过渡期，但随着暑运需求爆发、航油成本下行等利好因素叠加，主要上市航司全年盈利可期。

中信研报表示，年初以来，各政策持续引导民航业“反内卷”，5月行业定价政策逐步优化，需求的强势表现或使得各航司对暑运定价更乐观。4月以来国际油价的大幅下跌叠加国内票价跌幅的收窄，预计二季度大航或实现接近盈亏平衡的利润表现。目前油价波动已缓解，预计大航2025年三季度或实现50亿元~60亿元利润，创单季度的历史新高，票价

是行业盈利修复及扩张的最后一环，在紧供给格局延续、因私出游持续景气的背景下，看好未来两年航司的业绩表现。

中航协此前通报看好2025年民航市场，其中指出，今年行业盈利水平有望进一步改善。今年需要航空公司加强合作，持续优化市场竞争格局，共同维护行业秩序，坚决避免“内卷式”无序竞争；持续优化航线网络，深化落实“干支通、全网联”，积极推动中转便利化，丰富航空运输产品；注重加强人才队伍建设，夯实高质量发展基础；强化精益管理，科学控制成本。

## “蓝天计划”动了谁的奶酪

文 | 王双武

6月24日，低成本公司美国精神航空正式向美国运输部提起上诉，提请美国运输部阻止捷蓝航空与美联航计划建立合作伙伴联盟的议案。精神航空在声明中表示，捷蓝航空与美联航的这种合作方式将会降低行业竞争，在一定程度上会导致市场机票价格上涨并伤害消费者利益。另一

方面，捷蓝航空则声称，与美联航即将建立的合作伙伴关系只会为旅客提供更多的出行选择，并且在很大程度上能够提高旅客出行权益。近些年来，美国境内的航企不断上演结盟、合并和重组的戏码。此次，精神航空又为什么积极阻止捷蓝航空与美联航的合作呢？

▼ 图 | businesstravelerusa.com



## 建立“蓝天计划”合作伙伴关系

今年5月，捷蓝航空和美联航宣布建立“蓝天计划”的战略合作伙伴关系。对于捷蓝航空与美联航之间即将开展的合作，美国精神航空对此表达了极大的疑虑。精神航空方面表示，捷蓝航空与美联航之间的合作会扰乱正常的市场竞争，会由此抬高票价并伤害消费者利益。为此，精神航空于今年6月下旬上诉美国交通部，强烈要求美国交通部拒绝捷蓝航空与美联航之间的合作议案。

精神航空方面认为，捷蓝航空与美联航之间的合作是一种反对市场竞争的行为，他们这样做只会减少彼此之间的竞争压力，尤其是他们在纽约和波士顿等竞争密集城市的压力，通过低成本航空公司与传统航空公司之间的平衡破坏了正常的市场秩序。精神航空方面表示，该公司票价明显低于市场价的7%~11%，一旦捷蓝航空与美联航之间的合作模式形成，势必会导致票价上涨，并且会鼓励达美航空或者美国航空采取相同的合作模式，这样一来就更不利于市场的健康发展。

精神航空曾经出资38亿美元与捷蓝航空合并，但是这种合并牵涉到美国的反垄断法。因此，美国运输部于2024年3月否决了他们的合并提案。精神航空于2024年11月完成破产重组后，就开始专注于实现公司的盈利目标。此时，面对捷蓝航空与美联航之间的合作，显然会压缩低成本航空的市场空间，尤其是美联航开展的企业客户忠诚度计划也会对低成本航空的客户市场带来很大影响。

对此，捷蓝航空驳斥了精神航空的投诉，并强调捷蓝航空与美联航的合作是基于消费者出行选择考量，在不损害竞争的情况下为旅客提供更多的选择。他们之间的这种合作也是避免了之前捷蓝航空与美



▲ 图 | unsplash

国航空提出的“东北联盟”合作陷阱。精神航空要求美国运输部延长60天的审查期限，并公开披露捷蓝航空与美联航的合作细节。而这正是在2021年捷蓝航空与美国航空建立“东北联盟”审查期间，美联航曾经向美国运输部提出的相同诉求。

捷蓝航空表示，与美联航之间的合作仅仅是一种灵活性的商业操作行为，而不是两家公司的合并。相反，两家公司仍然保持独立的经营。虽然在会员出行权益等方面会展开合作，但是两家公司并不会在经营上出现协商价格、协调航班计划或者是共享收入等行为。

除了在芝加哥奥黑尔国际机场设有主营基地，美联航还在休斯顿乔治·布什国际机场和丹佛国际机场设有主要运营枢纽。另外，美联航也是美国境内航空公司国际航线网络最发达的公司。而捷蓝航空在构建跨大西洋航线上已经初具规模，陆续开通了美国诸多城市直飞英国伦敦、法国巴黎、荷兰阿姆斯特丹、爱尔兰都柏林、苏格兰爱丁堡和西班牙马德里等欧洲城市。在一定意义上，他们之间的合作可以实现航线的优势互补。

## 不断上演结盟与合并戏码

长期以来，美国政府一直执行比较严厉的反垄断法案，尤其在航空公司收购或结盟问题上的态度更为强硬。对于因收购或结盟可能给市场竞争带来不利影响的案件，美国监管机构都会采取比较严格的审查措施。

2021年初，捷蓝航空和美国航空向美国政府提出成立“东北联盟”的申请，表示两家航企在美国东北地区的合作能够为旅客带来优惠票价和更多便利。美国司法部认为，这种联盟将抬高市场价格，使其他航企面临不公平的竞争。另外，美国政府并不热衷于大型企业的合并，曾发表过“大就是坏”的论调。

捷蓝航空与美国航空的“东北联盟”合作协议包括在美国航空超过60条航线和捷蓝航空130条航线上实行双边代码共享，同时还开展忠诚度计划会员权益的合作。旅客在乘坐双方代码共享航班时，均能享受无缝衔接服务。美国航空利用捷

捷蓝航空表示，与美联航之间的合作仅仅是一种灵活性的商业操作行为，而不是两家公司的合并。相反，两家公司仍然保持独立的经营。

蓝航空休闲旅游市场的优势补充客源，捷蓝航空则利用美国航空跨大西洋市场的优势完善航线网络。

2021年9月，美国司法部联手6个州和哥伦比亚特区，在马萨诸塞州一家联邦法院对美国航空与捷蓝航空结盟提起反垄断诉讼，以阻止两家公司在纽约和波士顿市场上为整合业务而签署一系列合作协议。美国司法部认为，如两家公司结盟，不但会削弱市场竞争力，而且这种不公平的现象也不利于航空运输市场的健康发展。

2023年初，美国司法部否决了捷蓝航空与美国航空在纽约和波士顿地区的联盟合作提案。美国司法部担心，捷蓝航空与美国航空结盟将打破市场平衡，使联盟在行业内的地位得到巩固。这两家公司结盟不仅会减少旅客的出行选择，而且将导致票价上涨，从而增加出行成本。但是不久之后，捷蓝航空又发起了收购精神航空的议案。2023年12月，美国司法部出手阻止了捷蓝航空收购精神航空的提案。

但是，也发生过收购合并成功的案例。2023年12月，阿拉斯加航空宣布将以19亿美元的价格收购夏威夷航空，其中还包括夏威夷航空9亿美元的债务。2024年2月17日，夏威夷航空宣布，公司召开股东大会，投票通过了与阿拉斯加航空的并购协议。按照双方谈判的结果，在收购完成后，两家公司将继续保持他们各自的品牌经营。

合并之后两家公司每天约有1400个航班，仅在12条航线上存在重叠。这两家航空公司在美国大陆往返夏威夷航线上的平均单程票价非常接近，仅略高于290美元，比全行业平均水平至少低8%。阿拉斯加航空方面表示，这更加有利于与其他航空公司开展竞争，也将为旅客提供更多出行选择。

2024年8月20日，美国司法部相

关负责人表示，在对阿拉斯加航空收购夏威夷航空的议案进行审查后，认为此项收购不存在市场垄断，不违反反垄断法。在对收购议案进行审查后，2024年9月18日，美国运输部正式通过了阿拉斯加航空收购夏威夷航空的提案，这一事件获得了圆满结果。

阿拉斯加航空收购夏威夷航空是传统航空公司之间的合并，从一定意义上说，不会像之前同是低成本公司的捷蓝航空收购精神航空那样严重影响市场票价。这种交易只关系到市场规则的改变，对消费者群体而言没有什么变化，这可能正是美国司法部不提起诉讼和美国运输部最终同意的缘由。

### “蓝天计划”是合作还是交换

捷蓝航空与美联航的合作涉及几个方面的变化。捷蓝航空与美联航的“蓝天计划”首先涉及双方开展航空联运业务，他们将在各自公司的网站或者App应用上进行彼此航班的销售，旅客可在一个行程单上在两家公司航班之间相互衔接。这也意味着美联航的旅客有更多的机会选择捷蓝航空东部海岸城市和加勒比海的航线，而捷蓝航空的旅客则有机会衔接美联航丰富的国内和国际航线网络。这对旅客出行来说，的确增加了更多的航班选择和更多的飞行目的地。

双方合作还将加强忠诚度计划会员权益的提升。即双方公司通过航班合作，给各自忠诚度计划会员带来更多的航班选择和更多的机会去赚取积分。双方公司可在对方执飞航班上销售座位，对于各自忠诚度计划会员在乘坐对方公司航班时将享有互惠的会员权益。作为合作的一部分，美国捷蓝航空和美联航在各自网站和App上均显示对方不同航线航班信息，各自会员

在乘坐对方航班时均能累积积分，并且也能使用积分兑换对方公司的机票。也就是说，忠诚度计划会员的出行权益，在乘坐对方公司航班时均能得到相应的体现。

另外，美联航还计划将宾馆、汽车租赁、游艇和度假产品等与忠诚度计划会员积分关联合作伙伴的预订服务，一并呈现在捷蓝航空的服务平台。这样一来，捷蓝航空的会员也能通过美联航的合作伙伴渠道赚取和兑换积分，这将在很大程度上扩大捷蓝航空忠诚度会员的权益范围。

美联航覆盖全球的航线网络也将有助于补充和完善捷蓝航空在美国东部海岸城市的休闲出行网络。对于美联航来说，与捷蓝航空的合作将有助于美联航获取更多执飞纽约肯尼迪国际机场的航班，从而加快进入热点航线市场，并能够带来更多收益和发展机遇。

根据双方的合作意向，在市场竞争激烈且需求旺盛的纽约肯尼迪国际机场，捷蓝航空最早在2027年将给美联航每天交换多达7个往返航班时刻。美联航方面表示，为了有效开展双方之间的合作，将计划恢复前往纽约肯尼迪机场的部分航班。与此同时，美联航计划把在纽瓦克国际机场的8个航班时刻交换给捷蓝航空。

不难看出，这种交换航班时刻的合作方式势必会引起在热点城市运营的其他公司的焦虑，也会巩固捷蓝航空和美联航的市场地位。据悉，捷蓝航空与美联航之间的合作提案在获得美国运输部同意后，计划在今年秋季开始实施。

### 是否重塑美国运输业格局

当前，美国航空运输市场主要由美联航、美国航空、达美航空和美国西南航空四家主要航空运输企业主宰，这四家的市场份额几乎占到美国所有航空市场份额



的80%。如果捷蓝航空与美联航实现了合作，也将会在一定程度上对美国航空业造成影响。

在选择战略合作伙伴方面，捷蓝航空的初衷是打算与美国航空和美联航进行谈判，就网络战略布局和发展、会员权益扩大和出行体验提升等进行充分的评估。但是，在2025年初，美国航空正式表示不参加与捷蓝航空的合作。相反，经过多轮谈判后，美联航与捷蓝航空就达成战略合作伙伴关系形成一致意见。

避免行业垄断和鼓励市场竞争是美国政府长期以来倡导的市场准则，低成本航空在市场上的存在在很大程度上也是对市场竞争的一种平衡，这样就可以避免整个行业出现高票价和不利于消费者的局面。如果作为低成本运营的捷蓝航空与美联航建立起“蓝天计划”合作模式，这势必会打破现有的市场格局，而对那些低成

本公司来说，其生存的空间将会被挤压得越来越小。

捷蓝航空之前与美国航空提出的“东北联盟”议案被美国交通部否决。在这次与美联航的合作中，捷蓝航空刻意表示将会避免时刻与价格协调，避免航线收入分享等敏感合作话题，确保与美联航之间保持适当的竞争。这样会不会打消美国监管机构的一些顾虑呢？

精神航空的担忧是一种必然反应。如果捷蓝航空实现了与美联航的合作，则捷蓝航空势必会逐步褪去低成本的外衣，并且可能影响其他低成本公司的正常经营。当然，捷蓝航空再次发起的合作意向能否取得成功，还是要看美国司法部和运输部的最终审核意见。

▲ 图 | unsplash

# 运 12 飞机的启示

文 | 汪亚卫

1980 年代，中国航空工业逐步开始了“军转民、内转外”的改革探索，民用飞机发展被摆上了议事日程。当时，国内对轻型通用飞机的需求逐年上升，国际市场的前景也很广阔。中国航空企业能否抓住机遇，研制出具有市场竞争力的轻型通用飞机？位于东北的哈尔滨飞机公司（下称“哈飞”）给出了肯定的回答。

▼ 图 | 安京



## 从运 11 到运 12

1986 年 12 月 31 日，中国民用航空总局颁布了《正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航标准》，对民用飞机提出了新的适航取证要求。当时，由哈飞自行研制的运 11 飞机由于不具备单发飞行能力，不能满足新颁布的适航规章的要求。哈飞通过认真研究国内外市场，认为中国通用航空（特别是农林航空）的潜在市场需求很大，运 11 飞机通过改进改型还是具有市场竞争力的。1988 年 1 月，哈飞向航空工业部（当时称“三机部”）提出对运 11 飞机进行换发并按

中国民航适航条例 CCAC23 部适航标准改进设计的请示。同年 3 月，航空工业部批复同意哈飞研制运 11B 飞机。

运 11 飞机是哈飞 1974 年开始研制的一款双发轻型通用飞机，主要为了解决运 5 飞机机体重量过大、单发布局和经济性不好等问题，采用双活塞式发动机、带撑杆上单翼、单垂尾布局，机长 12 米、翼展 17 米、机高 4.6 米。1975 年 12 月 30 日，运 11 首飞成功。1977 年 7 月，国家批准运 11 飞机设计定型，哈飞开始小批量生产。运 11 具有低空低速性能好、座舱宽敞、对机场跑道要求低、使用维护方便等特点，分为农用型、地质勘探型、客运型等型别。

运 11 交付后，得到了用户的欢迎，但是国家地质矿产部航空物探总队（原地质部物探大队）反映，该机商载、速度、作业时间都偏小，机上能够加装的物探设备非常有限，建议哈飞研制比运 11 稍大、能加装多普勒精密导航仪器、起飞重量不小于 5000 公斤的新飞机。哈飞经过反复论证，决定自筹资金研制运 11T 飞机。后来，航空工业部经研究认为运 11T 飞机从动力、总体布局到基本性能与原来的运 11 飞机已有很大不同，实际上是一个新型号，因此将运 11T 正式命名为运 12 飞机。

运 12 飞机采用双发、带撑杆的上单翼、单垂尾、低平尾、固定式前三点起落架总体布局，机身全金属、长桁隔框式半硬壳结构，能布置 17 个旅客座椅，或装载货物和农业、地质勘探设备。飞机空重 3000 千克，起飞重量 5000 千克，最大商载 1700 千克。该机选用普惠加拿大公司生产的 PT6A-12 涡桨发动机和与之匹配的 HARTZEL1 螺旋桨，具有良好的短距起降和简易跑道起降性能。

哈飞于 1980 年 10 月发出运 12 飞

机的设计图样。1981年5月，哈飞决定投产研制三架飞机，其中一架用于静力试验，另2架用于试飞。由于运12的设计参照了国际民机适航标准，在研制过程中新增了许多过去飞机研制中未曾做过的试验，如电磁兼容试验、燃油系统热气候试验、发动机吸雨试验、动力装置系统耐火试验等。首架运12飞机于1982年7月14日首飞，1984年完成所有试飞试验。

运12飞机是中国航空工业按国际适航标准研制的第一种轻型运输类飞机。在中国民航1985年开始正式管理适航审查工作之前，我国的飞机适航审定工作由航空工业部负责。1982年2月至3月，航空工业部根据美国FAR23部和SFAR23部条款，对运12飞机的设计进行逐条审查。1983年，航空工业部委任适航工程代表对运12的研制过程进行适航审定。1984年12月17日，由航空工业部、地质矿产部组成的运12飞机鉴定委员会，通过了运12飞机的技术鉴定，同意运12飞机投入地质矿产部门使用。

1985年，国务院决定，中国民用运输飞机的适航审定工作归口中国民航总局管理。当年5月，中国民航总局成立运12飞机型号合格审定委员会。经过该委员会审定，1985年12月，运12飞机获得了中国民航总局颁发的型号合格证（TC），这是国产民用飞机获得的第一个型号合格证。1986年3月，中国民航总局成立运12飞机生产许可审定委员会，当年12月，运12飞机获得生产许可证（PC）。

### 系列化与适航取证

当时，香港华南航空公司对运12飞机在东南亚的市场前景充满信心，该公司位于香港，属于英国民用航空管理局



▲ 图 | 中航工业

（CAA）管辖范围之内，加上当时中美双方民航适航机构还没有签订双边适航协定，运12无法出口。为此，航空工业部决定，运12要尽快获得CAA适航证。1986年初，航空工业部、中国航空技术进出口总公司、哈飞和海南航空公司达成共识，决定由香港海南航空公司出面提出运12飞机型号合格证申请，先争取取得CAA适航证。

为取得CAA适航证，中方聘请了4位在CAA工作多年、具有丰富经验的专家到哈飞考察，中国民航局于1987年3月派团访问了CAA，就运12适航取证与英方达成初步共识。1987年5月，英国派出多位民航适航专家对运12飞机型号合格证审定进行可行性研究。1988年5月，英方派专家组按照英国民用航空适航条例对运12飞机进行全面审查，并向哈飞提出了有关适航取证需解决的关键性问题。哈飞对照审定意见，对运12飞机的设计进行了全面改进，并补做了相关试验。

经过三年多努力，运12飞机共完成

试飞试验1591架次、1544飞行小时，按要求完成了获取CAA适航证所需的全部试飞科目。1990年6月20日，英国民用航空管理局在北京人民大会堂向运12颁发型号合格证，这是我国自主研制的民用飞机首次获得国际型号合格证，在中国民机发展史上具有重要的意义。

为进一步开拓国际市场，在运12飞机先后取得中英两国适航证后，哈飞按照美国联邦航空局FAR23部适航条款的要求，在运12II型飞机的基础上又启动研制运12IV型飞机。运12IV飞机的起飞重量由5300千克增加到5670千克，改为双人驾驶布局，飞机座位数由17座增加到19座，还增加了剪切翼尖、后行李舱门，电源、液压、防冰、辅助操纵等系统也进行了升级。1993年8月30日，运12IV飞机完成首飞。

1992年9月，哈飞向美国联邦航空局（FAA）提出运12IV飞机型号合格申请。由于运12飞机已经获得了CAA适航证，加上运12IV的研制严格参照新版的FAA适航条例要求，按照中国与美国签订的双边适航协议，中国民用航空总局与美国联邦航空局同意，双方共同派出适航专家，对运12IV飞机的图样设计、零件制造、总装、试飞试验进行全过程联合适航审定。在中美适航专家的严格指导和审核下，运12IV的研制和适航取证工作稳步推进。1994年7月3日，运12IV飞机获得中国民航局颁发的型号合格证。1995年3月26日，获得美国联邦航空局颁发的型号合格证。

运12IV飞机获得CAA和FAA适航证，为其走向国际市场铺平了道路。在哈飞的努力下，运12系列飞机先后出口到20多个国家和地区，销量超过100架。运12IV飞机以优异的性能、良好的经济性，成为当时世界轻型通用飞机市

场上的畅销产品，为中国航空工业赢得了声誉。

### 经验与启示

运12飞机成功取得CAA和FAA适航证，推动了中国民机研制技术和适航体系的进步，为中国民用飞机的发展积累了宝贵经验。概而言之，运12的主要成功经验在于——

牢牢抓住市场机遇。运12最初是按地质勘探飞机设计的，后来哈飞发现国际市场对涡桨多用途飞机的需求量较大，而当时主要竞争对手“双水獭”飞机过于陈旧，通过在香港改装运12II飞机，并严格按照美国FAA最新的适航标准优化设计运12IV飞机，全面提升了运12系列飞机的综合性能，增加了市场竞争能力，逐步获得了国际市场的认可。

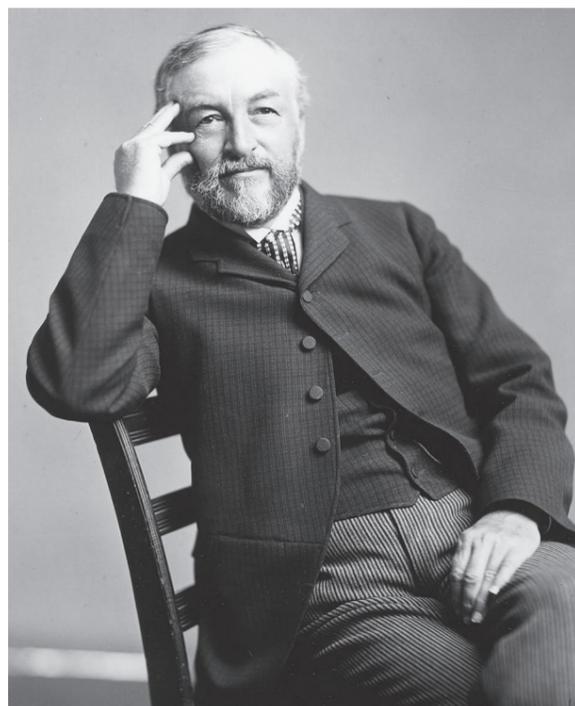
充分与国内适航部门协同，加快中国适航认证体系与国际适航体系的接轨。运12首先取得中国民航局颁发的国内适航证，再从香港海南航空公司与英国CAA适航当局的从属关系入手，取得英国CAA适航证，进而按照最新版的美国FAR23部设计规范进行优化设计，取得美国FAA适航证，三步走的策略是成功的。

利用价格优势抢占国际市场。运12V飞机之所以能够取得出口超百架的业绩，其中一个重要的原因是，当时国际市场上的主要竞争对手——加拿大德·哈维兰公司的DHC-6“双水獭”没有改进型，使得“物美价廉”的运12V在国际市场上风生水起。

# 咫尺云霄，他离成功仅一步之遥

## ——塞缪尔·兰利

文 | 王思磊



▲ 图 | 塞缪尔·兰利

在人类征服天空的史诗中，莱特兄弟的名字如雷贯耳，而与他们同时代的塞缪尔·兰利却鲜少被提及。1903年12月，当莱特兄弟的“飞行者一号”在北卡罗来纳州的基蒂霍克首次腾空时，兰利的载人飞机却在9天前的试飞中坠入波托马克河。媒体的嘲讽与政府的撤资，让这位年近古稀的科学家黯然退场。然而，历史的尘埃终将散去，兰利作为航空先驱的贡献，如今已被重新审视。历史长河中的真正先驱者，其实也不在乎是否第一个达到终点。

### 自学成才的科学家

1834年8月22日，兰利出生于美国马萨诸塞州的波士顿。这个安静内向的男孩从小就喜欢观察飞鸟，常常一个人坐在港口边，看着海鸥在风中翱翔。

兰利的求学之路并不顺利。由于家境贫寒，他没能接受正规大学教育，但这并没有阻止他追求知识的脚步。20岁开始，兰利便在波士顿的建筑事务所当绘图员，晚上就着油灯自学数学和物理。23岁那年，他独自前往芝加哥，在铁路

上找到一份工作。这段经历让他对机械产生了浓厚兴趣，也培养了他解决实际问题的能力。

美国南北战争爆发后，兰利回到波士顿，在哈佛大学天文台找到一份助理工作。在这里，他遇到了人生中最重要导师——天文台台长威廉·邦德。邦德发现这个沉默寡言的年轻人有着惊人的学习能力，便鼓励他深入研究。兰利没有辜负这份期望，很快就在天文学领域崭露头角。

30多岁时，兰利已是匹兹堡大学的物理学和天文学教授。就在此期间，他提出了“天文时制度”，被铁路系统广泛采用，成为美国标准时间制度的雏形。

1878年，44岁的兰利发明了“辐射热测试仪”，这个精巧的装置能精确测量太阳热量，为太阳辐射的定量研究奠定了基础。这项发明让他在科学界声名鹊起，也让他获得了国际声誉。但他心里始终惦记着儿时的梦想——让人类像鸟儿一样飞翔。

### 从理论到实践

1886年，52岁的兰利创建了“旋臂塔”，用以研究空气动力。塔臂长9米，圆周行程60米，线速度为112千米每小时，用蒸汽机作为动力。每天清晨，人们都能看见他穿着沾满油渍的工作服，在塔边调试设备。他会把各种形状的金属片固定在旋臂上，观察它们在高速运动时的表现，测量所受空气阻力的大小。

“再试一次。”这是兰利最常说的话。助手们记得，有时为了一个数据，他会连续工作36个小时。这个时候，他研究的目的还只是为了解决物理学上的问题，而不是为了研究飞机。

1887年，兰利到史密森博物院当助

理秘书，有机会接触到世界各地寄来的航空资料和实物，这点燃了他的飞行梦想，使他下决心创造一种能飞的机器。

他买了许多大鸟的标本，把鸟翼拿下来，放在“旋臂塔”上，试验鸟翼的升力，并揭示了为什么鸟类无须鼓翼就能在空中翱翔和滑翔的原理。1891年，他由独立研究转向仿制别人试飞成功的飞机模型，尤其是法国人阿尔诺斯·贝诺的扑翼机。5年后，兰利的第5架模型飞机研制成功，并实现了人类历史上首次重于空气的不载人动力飞行。

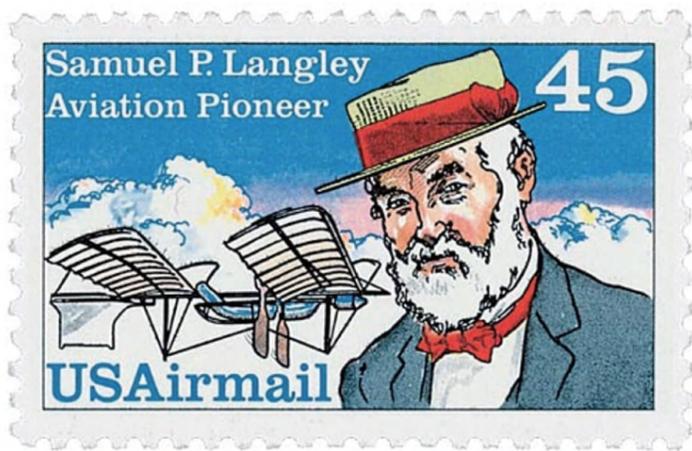
兰利的模型飞机用金属制成，有前后两副机翼，翼展4.27米，蒸汽发动机装在两副机翼之间，两副螺旋桨分别置于发动机的两侧，由链条传动，最长的飞行距离达到1280米，兰利称它为“空中旅行者”。当这架蒸汽动力的小飞机平稳落地时，兰利像个孩子一样跳了起来，这位62岁的科学家更加确信：载人飞行指日可待。

### “空中旅行者”

在“空中旅行者”模型飞机试飞成功的鼓舞下，兰利打算集中精力制造一架能载人的飞机。恰在此时，美西战争即将爆发。

美国内战时期，气球曾发挥过重要作用，如果能有载人的飞机用于战场，岂不更好。1898年，美国总统威廉·麦金莱看中了兰利的研究，决定提供5万美元经费，由兰利制造一架全尺寸的军用飞机，要知道，5万美元在当时是一笔很大的费用。这是兰利人生中最忙碌的时期，他每天工作到深夜，亲自检查每一个零件。

1899年，兰利和助手们对第5号、第6号蒸汽动力模型飞机进行了大量试



▲ 图 | 美国邮政发行的纪念邮票



▲ 图 | NASA 的“兰利研究中心”

验，然后进行全尺寸“空中旅行者”的设计。1903年，兰利的助手曼利按照兰利的设计，制成了一架全尺寸的载人飞机，装5缸气冷式发动机，翼展14.63米。

紧接着，兰利和助手们准备对这架载人飞机进行试飞试验。试飞方法和模型飞机一样，在波托马克河的船上用弹射车起飞。弹射车由压缩了的弹簧顶着，切断拉紧弹簧的绳索，弹射车就会推动飞机起飞。这时，兰利已经69岁，自己试飞显然已经不行，只好由他的助手曼利代劳。

1903年10月7日，兰利站在波托

马克河畔，看着自己设计的“空中旅行者”准备试飞。“准备好了吗？”他问曼利。得到肯定的答复后，兰利退后了几步，双手不自觉地握紧。

弹射装置启动，飞机冲了出去，却在空中失去平衡，栽进了河里，第一次试飞失败。12月8日，也就是莱特飞行成功前9天，修复后的飞机再次试飞，结果依然令人失望。虽然曼利无恙，但飞机全毁了。

两次试飞失败，连飞机是否能飞都无法判断，为此，政府取消了对研制飞机的支持。媒体的嘲讽接踵而至，兰利被斥为“浪费国家资产的蠢货”，是个“虚幻的梦想家”，报纸上刊登的讽刺漫画，把他画成了骑扫帚的巫婆。面对这些，兰利只是平静地说：“失败是研究的一部分。”

1906年2月27日，兰利在南卡罗来纳州去世，享年72岁。

兰利去世后，史密森博物院曾试图将他塑造为“飞机发明第一人”，引发与莱特兄弟的漫长诉讼。尽管法律站在莱特兄弟一边，但航空史学家逐渐认识到：兰利的贡献不可磨灭。他的模型飞机证明了动力飞行的可行性，其空气动力学研究为后人铺平了道路。后来的研究发现，兰利的载人飞机设计并无根本缺陷，失败主因是弹射起飞方式不当——若采用轮式起落架，结局或许不同。而莱特兄弟的成功，恰恰建立在兰利的基础之上：他们研究了兰利的著作，并改进了控制技术。

1990年，美国邮政发行的纪念邮票上，兰利与他的蒸汽飞机模型并肩而立，正式承认了他的先驱地位。今天，NASA的“兰利研究中心”以他的名字命名，也象征着他未竟的事业终由后人完成。

# 低空经济产业链分析

## ——《未来已来——我国低空经济的机遇与挑战》

### 摘编（二）

文 | 任和

▼ 图 | 亿航智能



低空经济产业链长、辐射面广、成长性好、带动性强。低空经济通常指距正下方地平面垂直距离3000米以内的空域，以民用有人驾驶和无人驾驶航空器为主，以载人、载货及其他作业等多场景低空飞行活动为牵引，辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态。数据显示，截至2023年底，无人机设计制造单位约2000家，国内注册无人机126.7万架，同比增长32.2%；飞行2311万小时，同比增长11.8%。据测算，去年我国低空经济规模已超5000亿元，2030年有望达到2万亿元。

目前，电动垂直起降（eVTOL）飞行器的上游产业链核心部分，包括电池、动力系统、飞控系统、航电设备、导航系统、通信系统、复合材料等。中游产业链主要是设计研发生产飞机的主机厂，国外有Joby、Wisk等代表企业，国内有峰飞航空、时的科技、御风未来、零重力等新创企业。下游为终端应用，主要是航空公司、直升机运营公司或通航公司。国内外知名的运营人有安徽省通航集团、深圳东部通航、中信海直、亚捷航空、精功通航等。

### 产业链上游： 航空器研发制造

航空器研发制造主要包括通用固定翼飞机、无人机、直升机及新兴产品eVTOL航空器的研发制造。低空航空器凭借其独特的航速和航程优势，未来将重点覆盖300千米以下的出行场景，包括：载人客运、载物货运、警务安防、公共服务、国防军事及私人飞行等。到2030年，全球投入商业运营的eVTOL数量将达到5000架；到2040年，这一数字将激增至4.5万架。航空器制造产业链涵盖原材料与核心零部件领域，研发包括各种工业软件、芯片、电池、电机等行业。

国内外已出现eVTOL产品，蓝海市场呈现差异化竞争趋势。国内eVTOL行业起步稍晚、体量小、潜力大，受益于低空经济热潮、政策支持、上游技术成熟、商业模式创新等因素有望实现高速发展。相关机构预测，到2030年，我国eVTOL产业规模将达到500亿元。

目前，多个独角兽公司已进入产品研发测试环节并快速进行全球布局；传统行业巨头采用投资与合作研发模式并行推进；另有部分制造商专注于电动垂直飞行器的商业应用探索。其中，亿航智能自主

研发的“空中的士”亿航EH216S无人驾驶载人航空器于3月18日上架电商平台，标价239万元，该产品座位数为2个。

据介绍，该产品于2023年获得中国民用航空局正式颁发的型号合格证，成为全球首个获得型号合格证的载人级无人驾驶eVTOL航空器。

峰飞航空V2000CG无人驾驶eVTOL已经通过了中国民用航空华东地区管理局（简称民航华东管理局）的审查，表明符合性审查已获得通过，并于2024年3月22日获得适航证。这是全球第一张复合翼无人驾驶eVTOL货运适航证，即将展开运营。

### 产业链中游： 地面基础设施和运营

地面基础设施是各类低空经济活动的关键载体，当前地面基础设施的主体是通用机场。2023年，我国通用机场达451个，已超过运输机场，但仍不能满足庞大的市场需求。要在“扩数量、提质量”上一并下功夫，结合新型城镇化建设，显著增加超大城市、特大城市、大城市的通用机场数量。与此同时，提升通用机场的数字化、智能化、信息化水平，优化服务品类，也是提高管理效率的重要因素。各地都在建设无人机起降点，编制相关规范。

与机场相关的塔台、信标、导航、气象、监测、监视、供油、地面服务等行业，以及衔接飞行审批、空域备案，飞行人员培训等行业也在编制相关技术标准和规范。

低空通信领域，5G-A技术、星链技术将成为重要技术。近期，5G-A技术将成为无人机互联的通信主要方式，雷达技术也是应用最为广泛的技术之一。预



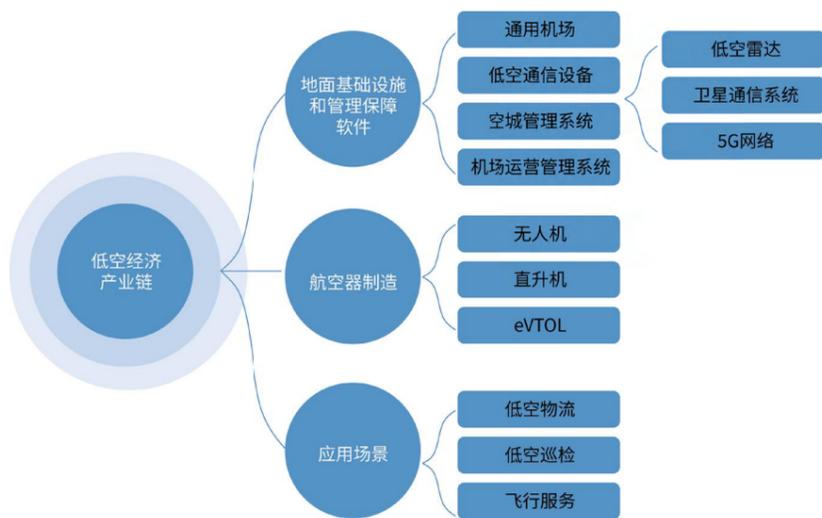
▲ 图 | 峰飞航空V2000CG飞越珠海—深圳

计到2025年，我国低空监测雷达行业的市场规模将达到25.6亿元。雷达按用途可分为预警雷达、监测雷达、气象雷达和航行管制雷达等，其中低空监测雷达主要用于检测无人机、飞行器和其他低空飞行物体，应用范围包括军事、空中保安、空中探测、空中娱乐等。

根据市场调研在线网发布的《2023~2029年中国低空监测雷达市场现状研究分析与发展前景预测报告》分析，我国低空监测雷达行业的市场规模在过去几年中呈现出良好的发展态势，年均增长率达到了7.2%，市场规模达到了14.8亿元，并且在未来几年呈现出良好的发展趋势。

管理保障软件可分为空域管理系统和机场管理系统，空域管理系统是空管人员实际用于管理空中交通运输的信息处理系统，主要由三层构成，即空域管理，空中交通流量、容量管理和空中交通服务。目前，我国空域管理能力对比发达

▼ 图 | 低空经济产业链（资料来源：方策产业智库）



▼ 图 | 时的科技E20 eVTOL



国家尚还不足，2019年人均通用航空飞行量和人均通用航空器拥有率仅为全球平均水平的15%和4%。空域管理主要由军方负责牵头，侧重于安全管理，尚未建立低空空域飞行安全、效率与经济性、公平性的全面评估机制；基础设施缺乏整体规划与布局建设。

### 产业链下游： 低空运营与维护

低空运营是一个多方面、多层次的综合性经济活动，它不仅涉及航空器的应用，还包括了产业链的建设、市场的拓展以及政策法规的完善。随着技术的进步和市场需求的不断增长，低空运营有望成为推动未来经济发展的新动力，其主要内容如下：

低空飞行活动：这是低空运营的核心，

包括有人驾驶和无人驾驶的航空器在低空空域内进行的载人、载货以及其他各种作业飞行活动。这些活动不仅涉及飞行操作，还包括飞行前的规划和飞行后的数据分析等。

**飞行器维护：**低空经济的发展离不开先进的航空器，这包括但不限于无人机、垂直起降型飞行汽车等。这些航空器的维护和升级是低空运营的重要内容之一。

**保障服务：**为了确保低空飞行活动的安全和效率，需要有完善的地面支持系统，如飞行监控、空中交通管理、气象服务等。

**法规与政策制定：**随着低空经济的发展，相关的法律法规和政策也在不断完善，以规范和指导低空飞行活动的健康发展。

**市场开发与应用：**低空经济的应用场景非常广泛，包括农业、城市管理、环境监

测等多个领域。开发这些市场并探索新的应用场景是低空运营的重要内容。

**旅游项目开发：**利用低空飞行器开展旅游观光项目，为游客提供独特的体验服务。

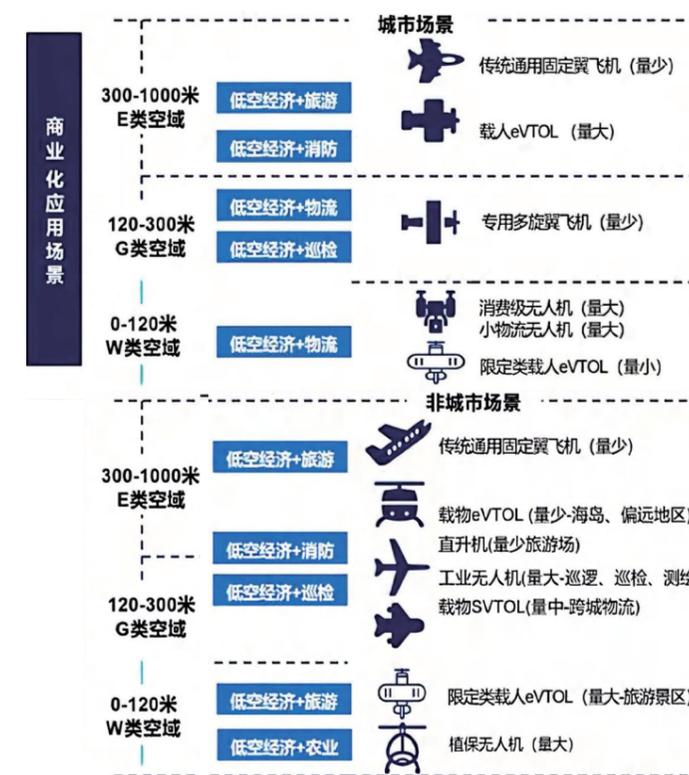
低空运营还包括以下几个领域：

**低空物流：**利用无人机等航空器进行货物的快速配送，特别是在偏远或难以到达的地区，低空物流可以大大提高效率和降低成本。

**飞行驾照培训：**随着低空经济的兴起，越来越多的人需要接受飞行训练，以获得驾驶无人机或其他低空飞行器的资格。

**医疗救护：**在紧急医疗救援中，低空飞行器可以迅速将医疗人员和设备运送到现场，或者将患者快速转移到医院。

**低空旅游：**提供空中观光服务，让游客体验从空中俯瞰风景的独特体验。



▲ 图 | 低空飞行器商业化应用场景

**航空摄影：**在地理测绘、电影拍摄、新闻报道等领域，低空飞行器可以提供独特的视角和高质量的影像资料。

**空中巡查：**用于监测森林火灾、边境安全、交通监控等，提高响应速度和监控效率。

这些行业都是低空经济的重要组成部分，它们的发展不仅能够推动低空经济的增长，还能为人们的生活带来便利和新的服务体验。随着技术的进步和政策的支持，低空经济的下游行业有望继续扩展和深化，为社会经济发展贡献新的动力。

▼ 图 | 御风未来





图 | 王脊梁