C909 飞机模型

卡通版

143 大飞机 JETLINER 2026.05

低空经济

- 低空经济：从战略蓝图驶入体系化发展快车道
- eVTOL 怎么选？——不同构型和动力方案适用场景解析
- 深圳：从“无人机之都”到“低空第一城”

大飞机 JETLINER

05 May
2026.05 | 总第143期
ISSN 2095-3399
9 772095 339266 05>

COMAC | C919
出口
EXIT
COMAC | C919
B-919D
B-227T
DREAMLINER
汪洋 摄

05 卷首语

05 万亿赛道起飞进行时 | 林喆

06 资讯

10 封面文章

10 低空经济：从战略蓝图驶入体系化发展快车道 | 丁一璠

15 eVTOL 怎么选？——不同构型和动力方案适用场景解析 | 纪宇晗

20 低空经济政策布局解读 | 王翔宇 晏武英

24 中国低空经济应用场景的实践图景 | 谢林轩

28 深圳：从“无人机之都”到“低空第一城” | 于占福

32 航空制造

32 破局蓝天：绿色飞机发展的现状与展望 | 李拥军 杨慧娟

37 从 INSAT 计划看加拿大的绿色航空规划 | 钟怡菲

43 全球三大区域的发动机 MRO 企业的市场挑战 | 赵平

47 航空运输

47 2026 年我国国际航空运输市场发展 | 尤怀墨、刘月

51 C909 飞机支线航班营销策略研究 | 张建恩

55 全球航空业分化下的双城记——西南航空与春秋航空业绩分化原因分析 | 王鹏

59 飞机维修成本管控实施路径 | 柴雨丰、李灵

63 专栏

63 中国民航上网，怎么那么难 | 于达维

66 科普

66 传统导航：保障航班安全的最后一道防线 | 徐海涛

69 空中隐藏的杀手！飞机静电如何威胁飞行安全 | 晴天

72 回眸

72 南苑机场的落幕与回响 | 陈伟宁

▼ 封面图片由 AI 生成

- 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

2026 年第 05 期 | 总第 143 期 | 05 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 李　玲 张小光 吴文生
学术顾问　吴光辉 陈　勇

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
编辑部主任　庄　敏

主编　林　喆
副主编　陈伟宁 欧阳亮
责任编辑　张凯敏 哲　良 郑小芳
新媒体编辑　张竞霄
图片编辑　王脊梁
美术编辑　刘晓雨 邵奕辰

采访主任　柏　蓓
文字记者　李　琰 廖天航 赵婷婷
摄影记者　管　超 华思清 颜康植

发行总监　刘　影
广告主管　瞿席燕

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　021-20887106
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

卷首语

万亿赛道起飞进行时

文 | 林喆

据行业预测，我国低空经济市场规模已稳步迈向万亿级别，未来将持续扩容，成为经济增长的重要新引擎。

曾经，低空领域是少有人触及的空白空间，如今这片广袤蓝天正转化为发展沃土。低空经济依托低空空域资源，融合通用航空、无人机应用、低空通勤等多元业态，成为孕育新质生产力的万亿级新赛道，为我国经济转型升级注入澎湃动能。

政策赋能、顶层布局，为低空经济腾飞筑牢根基。作为国家重点培育的新兴支柱产业，低空经济连续几年被纳入国家重要发展规划，空域管理持续优化、行业规范不断完善，打破了以往低空飞行的诸多限制。政策红利的持续释放，让低空经济摆脱概念化标签，迈入规范化、规模化发展的黄金时期。

场景多元、业态丰富，让低空经济融入民生与产业。如今，低空技术早已走出专业航空领域，渗透到生产生活方方面面。城市之中，无人机穿梭街巷完成外卖配送、快递运输，解决城市末端物流难题；产业一线，无人机助力农业植保、电力巡检、地质测绘，大幅提升作业效率、降低人力风险；文旅领域，低空观光、航空运动等，催生出全新文旅业态。从民生服务到产业赋能，低空经济不断拓展应用边界，展现出极强的融合活力。

创新驱动、科技赋能，是低空经济长远发展的核心底气。我国无人机、电动垂直起降飞行器（eVTOL）等技术持续突破，自主研发水平不断提升，产业链日趋完善。人工智能、大数据、物联网与低空飞行深度融合。据行业预测，我国低空经济市场规模已稳步迈向万亿级别，未来将持续扩容，成为经济增长的重要新引擎。

尽本求实，方得长远。当前低空经济仍处于快速发展阶段，空域精细化管理、行业标准完善、专业人才储备等方面仍有提升空间；方寸低空，大有可为。低空经济是科技进步的成果，更是时代发展的机遇。立足新发展阶段，深耕低空蓝海、激活创新潜能，低空经济必将绽放更大价值。

本期杂志“封面文章”栏目以低空经济为主题，聚焦低空经济发展情况、eVTOL 技术发展新趋势，产业政策的专业解读、低空应用场景的构建以及深圳打造“低空第一城”等内容，全方位多角度阐述了低空经济的现状与未来。

资讯

C919 商业运营 3 周年

01

1 C919 迎来运营 3 周年

5 月 28 日，C919 迎来投入运营 3 周年。据统计，3 年来，C919 累计安全运送旅客超 500 万人次，通航城市达到 23 个。

2023 年 5 月 28 日，东航 MU9191 航班从上海虹桥机场飞往北京首都机场，开启了 C919 航线飞行。

▼ 来源：成航

02

2 C909 在固原探索“客货齐驱”

5 月 26 日，成都航空 C909“六盘山”主题喷绘客机首航，通过执飞成都—固原航线实施“航空 + 文旅 + 产业”融合发展的创新实践落地，为客流往来、货物流通开辟了新的空中通道。

在组织客运的同时，成都航空与固原市在货运领域开展合作。依托成都航空的航线网络与运力资源，为当地特色农产品、冷链物资等搭建起高效而便捷的空中物流通道，畅通“山货出山”之路，让黄牛肉、冷凉蔬菜等高原特色农产品更加新鲜地抵达消费者餐桌。

3 波音计划提升 737MAX 产量

波音首席执行官奥特伯格近日表示，在与美国联邦航空管理局（FAA）协商后，波音将把 737 系列飞机的月产量从 42 架提升至 47 架。

2024 年 1 月，一架几乎全新的 737MAX 客机在飞行途中发生舱门脱落事件，显示出波音存在严重的生产品质问题，并引发客户与 FAA 的严密审查。FAA 曾将 737 的月产量上限设定为 38 架，并于 10 月取消这项限制。

4 巴航工业一季度营收同比增长 31%

近日，巴航工业发布 2026 年第一季度财务业绩：公司实现营收 14 亿美元，创下第一季度营收历史新高，同比增长 31%，主要增长动力来自防务与安全及商用航空两大业务板块。

据悉，巴航商用航空业务表现可圈可点，本季度营收达 2.93 亿美元，同比增长 45%，主要受益于交付量增加等因素。公务航空本季度营收达 4.18 亿美元，较去年同期增长 30%，增长驱动力来自于交付量增加及产品组合优化。服务与支持部门季度营收达 4.9 亿美元，同比增长 15%，主要受益于各个业务部门交付量的全面增长。

06

▲ 来源：SMECO

5 进口替代 Superjet-100 或于年底执行航班任务

俄罗斯工贸部长阿里汗诺夫近日在接受卫星通讯社采访时表示，认为进口替代的 Superjet-100 客机预计年底就将开始在国内执飞定期航班。

阿里汗诺夫表示：“飞机批量生产已完全准备就绪。首架量产机已通过工厂测试，我们准备在获得该款飞机的型号合格证后立即交付。接下来的问题就是航空公司的实际运营了。”

Superjet-100 是根据系统和部件进口替代计划制造的窄体式客机，将成为当前投入运营的 Superjet 型又一款飞机。该型机计划在 2026 年 8 月认证。目前共有 26 架量产机处于不同制备阶段，共签约了 42 架。

6 LEAP-1C 发动机 Premier MRO 服务商落户四川

日前，四川国际航空发动机维修有限公司成为 CFM 国际 Premier MRO 服务商，为 LEAP 发动机提供维护、维修和大修（MRO）服务。

此次授权也标志着，四川国际航空发动机维修有限公司正式成为中国首家 CFM LEAP 发动机 Premier MRO 服务商，也是全球首家获得中国商飞 C919 飞机配套 LEAP-1C 发动机 Premier MRO 资质的企业。此外，四川国际还将获得 LEAP-1A 和 LEAP-1B 发动机的维修授权，分别服务于空客 A320neo 系列和波音 737 MAX 飞机。

7 英国将放松对俄罗斯产原油进口限制

据相关媒体消息，英国将允许从印度和土耳其等国进口用俄罗斯原油提炼的柴油和航空煤油，从而实际上放松对俄罗斯的部分制裁。

该措施仅适用于这两种燃油，当前大量石油生产仍因美以伊冲突而中断，其中柴油和航空煤油受到的冲击尤为严重。

据 Vortexa 数据，自 1 月以来，英国没有从印度进口任何柴油或航空煤油。

▲ 来源：https://www.ccaonline.cn/

8 亚航接收首架空客 A321LR

近日，亚航正式接收了首架空客 A321LR。

这架注册号为 9M-XVC 的飞机是亚航订购的至少 62 架 A321LR 中的第一架。此次交付正值亚航集团加速向全窄体网络战略转型之际。亚航认为，这些远程窄体飞机将支持区域扩张，同时降低对中程市场宽体机运营的依赖。

9 全日空计划退役波音 777 机队

全日空近日确认将退役剩余的波音 777-300 飞机，此举标志着日本国内商务航线“专属”高密度布局客机时代的终结。这些飞机在日本主要航线上服务了二十多年。

最后三架波音 777-300 将于明年 3 月 31 日前退役，与航空公司的财年末相符。

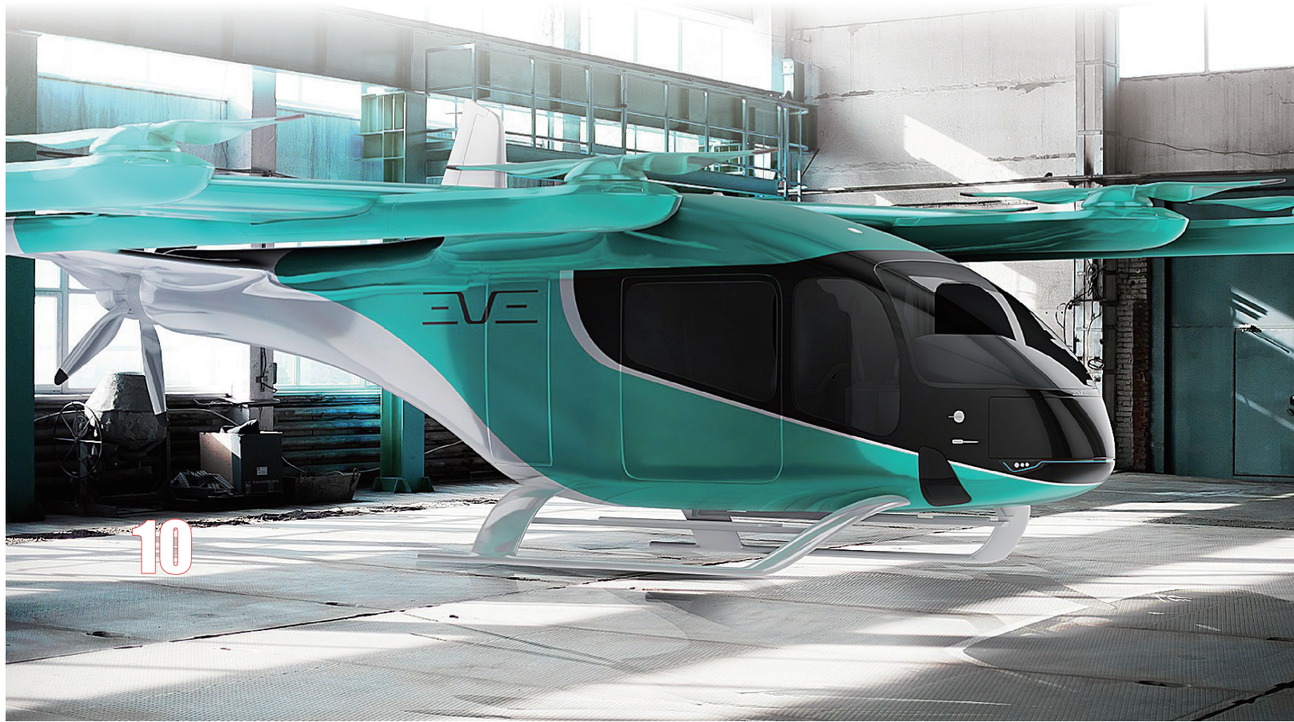
全日空目前正专注于以波音 787 为核心的机队，包括 -8、-9 和 -10 等型号。这些飞机在国内和国际航线上都提升了燃油效率、更低的排放以及更大的灵活性。

10 Eve eVTOL 完成悬停及低速飞行测试

巴航工业旗下 Eve Air Mobility（Eve）宣布，其全尺寸工程原型机飞行测试活动中的悬停及低速飞行阶段已圆满收官，为 Eve 迈向过渡飞行测试奠定了坚实基础。

未来数周内，Eve 工程原型机将按计划开展地面测试，为预计于 2026 年夏季启动的过渡飞行阶段做好准备。

▼ 来源：https://www.defesaaereanaval.com.br/



封面文章

汪洋 摄

低空经济：从战略蓝图驶入体系化发展快车道

文 | 丁一璠　　编辑 | 林喆

2026 年 4 月 17 日，国家发展改革委低空经济发展司司长郑剑在国务院新闻办公室举行的“开局起步‘十五五’”系列主题新闻发布会上首次亮相，这一重要举动标志着中国低空经济国家战略正加速落地。回顾过去三年，低空经济实现了令人瞩目的战略定位“三级跳”：2024 年首次写入政府工作报告，被定位为国民经济“新增长引擎”；2025 年明确为重点培育的“新兴产业”；2026 年“十五五”规划纲要明确提出将其作为“新兴支柱产业”进行打造。这一路径清晰显示，低空经济已从概念探索阶段迈入实质性爆发增长期。

国家战略加速落地

随着《中华人民共和国民用航空法》将于 2026 年 7 月正式施行，国家层面的政策重心将从顶层设计转向精准赋能和细则落地，重点围绕“十五五”规划建议展开。

据了解，新法实施后将出台一系列配套实施细则，核心创新点在于空域资源的动态配置，建立基于需求的空域灵活使用机制，打破空域“碎片化”瓶颈。实施路径将包括制定详细的低空空域分类标准与使用规范，明确 G、W 类空域的划设标准和审批流程。

作为“十五五”时期的专项规划，《国家低空经济发展规划纲要(2026—2030 年)》将明确未来五年的发展路线图。核心内容包括构建全国一体化低空基础设施网络，推动 5G-A、卫星互联网等技术在低空领域的深度融合；完善技术标准体系，重点制定电动垂直起降飞行器（eVTOL）适航审定标准、无人机系统技术标准及低空交通管理规则。创新点在于提出“数字低空”概念，推动低空经济数字化转型。在基建层面，政府工作报告首提以超长期特别国债支持低空基建，国家级低空智联网正加速推进，预计 2027 年全国低空通信网络覆盖率将不低于 90%。

地方发展格局成型

截至目前，全国超 30 个省份均出台了低空经济相关配套政策，形成了国家战略引领、地方特色发展的格局。地方政策主要聚焦于产业目标设定、基础设施建设、应用场景拓展和企业扶持等方面，呈现出因地制宜、各具特色的发展路径。

从天眼查专业版数据显示，截至目前我国现存在业、存续状态的低空经济相关企业超 10 万家。其中，2025 年新增注册相关企业超 2.5 万余家，从企业注册数量趋势来看，近五年间，低空经济相关企业的注册数量呈现稳步增长态势，但在 2025 年呈现出显著增长，同比增长达 162.36%，并达到峰值。

从区域分布来看，广东省、山东省低空经济相关企业数量位居前列，分别为超 1.2 万余家和 8100 余家。排在其后的是四川省、江苏省和北京市，反映了地方政策对产业发展的直接推动作用。

首先是全产业链生态型，以深圳、北京产业集群发展为例。深圳定位“世界低空经济第一城”，其路径核心是构建最完备的产业生态。它拥有全国首部低空经济地方专项法规，政策体系系统性强。产业链上已集聚超 1700 家企业，覆盖研发、制造、应用、服务全链条，并规划建设了十余个特色产业园区。应用场景落地成熟，例如 2025 年前 8 个月无人机载货飞行就达 54.8 万架次。深圳正从“世界无人机之都”向涵盖 eVTOL 等多元飞行器的“全球低空经济第一城”演进。

北京则依托其无可比拟的创新资源密

度，走空天一体创新路径。作为空天一体创新中心，其低空经济领域专利总量居全国第一，拥有大量国家级实验室和顶尖高校院所。产业布局上，聚焦 eVTOL 研发、低空通信等前沿领域，资本活跃度评分居首。通过设立百亿级产业投资基金和建设低空经济产业园,推动创新成果转化和产业集聚。

其次是高端制造与场景引领型，例如上海、广州致力于抢占技术制高点。上海明确押注 eVTOL 高端制造与城市空中交通（UAM）。其行动方案旨在建立完整的研发设计、总装制造、适航检测体系等。上海聚集了全国约 50% 的 eVTOL 创新企业，被誉为“eVTOL 技术策源地”，并致力于打造国内首个城市空中交通运营示范区。其发展重点不在于广泛的物流配送，而是抢占未来城市空中出行的先机。

广州的特色在于低空物流网络的先行与商业化运营。它致力于构建“干线 + 支线 + 末端”三级物流体系，是全国首个实现无人机物流常态化运营的城市。拥有亿航智能等龙头企业，其 EH216-S 成为全球首个“三证齐全”的 eVTOL 机型。通过发布地方性法规和设立产业基金，广州正巩固其作为“低空新载具领航者”的地位。

第三是特色应用驱动型，例如成都、杭州等积极探索差异化发展。成都是西部空域管理改革的先行者，形成了“链合试点型”发展模式。作为西部首个 3000 米以下空域试点城市，它开通了大量无人机货运专线，并组建产业联盟。其路径强调空地协同与场景融合，例如京东无人机配送试点有效降低了末端成本，并探索开通跨城 eVTOL 航线，压缩通勤时间。

杭州在省级框架下，提出建设“数智低空第一城”。其发展方案设定了具体的产值、起降场和航线目标，与省级规划相呼应。特色在于形成以无人机全场景商业化运营和安防反制为特色的产业体系。

另外，还有一批城市也展现出鲜明特色，如武汉聚焦“低空 + 应急”，打造国家应急救援低空基地；合肥发力“低空 + 科创”，建设创新策源地；海南利用自贸港政策，探索跨境低空旅游。

▼ 汪洋 摄

产业现状

在强有力的政策驱动下，中国低空经济产业已驶入发展快车道，市场规模、企业活力、基础设施和应用场景均呈现出蓬勃生机。

市场规模和资本呈跨越式增长。2023 年至 2026 年，中国低空经济经历了从“政策萌芽”到“资本爆发”，再到“理性聚焦”的三段式演进。这一时期，低空经济的资本流向呈现出四大结构性变化：其一，融资规模从 2023 年的不足 40 亿元跃升至 2025 年约 200 亿元，事件数从 63 起增至 255 起，增幅超过 300%；其二，国资与地方政府引导基金的占比从 20% 攀升至 40.3%，成为绝对主力；其三，资金高度向具备适航取证能力和量产潜力的头部企业集中，“亿元俱乐部”企业仅 32 家，却占据全年融资总量的 40%；其四，并购重组（M&A）已取代单一的 IPO，成为一级市场资本退出的核心路径。2026 年被业内定义为低空经济的“商业化量产前夜”与“场景化应用元年”，预计全年市场规模将突破 1.06 万亿元，正式迈入万亿级产业行列。

产业链条完整且快速扩张。低空经济已形成覆盖上、中、下游的完整产业链。上游研发与材料环节，涉及铝合金、钛合金、碳纤维复合材料等，国内相关产业基础雄厚，产能稳步增长。中游是核心的航空器制造与系统集成环节，包括无人机、eVTOL、直升机等整机制造，以及发动机、传感器、飞控系统、动力电池等关键零部件制造。其中，eVTOL 作为城市空中交通的关键载体，市场正进入规模化扩张阶段。

▲ 汪洋 摄

中商产业研究院预测，2026 年市场规模将增至 95 亿元。下游则涵盖广泛的运营服务与多元化应用场景,以及起降场、空管系统、飞行服务站等基础设施建设。

基础设施与保障能力显著提升。截至 2025 年底，通用航空在册航空器总数达 3140 架，全国在册管理的通用机场数量达 513 个，全国通用航空全年共完成飞行 121.9 万小时。截至 2025 年底，全行业注册无人机共 328.7 万架，比上年底增长 51.0%；全年无人机累计飞行 4530.29 万小时，同比增长 69.89%；全国低空飞行服务站 46 个,覆盖 23 个省(自治区、直辖市)。低空经济市场规模创新高，成为新质生产力的重要组成部分。这些数据表明，支撑低空经济飞行的“硬设施”和“软服务”网络正在迅速铺开。

应用场景“走入寻常生活”。 低空经济已从概念探索快速走向实际应用，涌现出大量“守护万家灯火”的鲜活案例。在物流领域，云南红河、普洱的边境乡镇利用无人机作为“空中信使”，将邮件配送时间从近 3 小时缩短至 40 分钟左右。在医疗急救领域，深圳的无人机“空

▲ 汪洋 摄

中急救员”能在 4 分钟左右将 AED 运抵现场，大幅提高抢救成功率。在城市治理领域，上海的无人机“空中交管员”可 2 分钟内飞抵事故现场取证，加速处理流程。此外，在农林植保、电力巡检、测绘勘探等传统领域，无人机应用也已实现行业普及。这些场景生动诠释了低空经济如何赋能千行百业，让民生需求获得高效的“空中答案”。

未来展望

综上所述，“十五五”开局之年，中国低空经济已完成了从顶层战略设计、法律法规完善、标准体系构建到地方实践探索的全方位布局。产业本身也展现出规模加速壮大、链条日趋完整、场景持续创新的良好态势。展望未来，中国低空经济将沿着“安全、产业、场景、创新、合作”五大路径，全面进入“体系化发展”的快车道。随着空域资源进一步盘活、基础设施网络日益密集、智能网联系统逐步建成，一个万亿级规模的战略性新兴产业正蓄势腾飞。它不仅将深刻改变物流、交通、医疗、农业等众多行业的面貌，更将成为培育新质生产力、推动经济高质量发展、提升国家综合竞争力的关键力量。

同时，我国低空经济行业仍面临如核心技术自主化程度有待提升、空域管理与法规体系仍需完善、基础设施建设存在区域不平衡、应用场景商业化路径尚不清晰、安全监管与应急处置能力有待加强等现状。面对当前存在的短板和挑战，需要政府、企业、科研机构等多方协同，通过技术创新、政策优化、基础设施建设和市场培育等多措并举，推动低空经济产业发展。

eVTOL 怎么选？——不同构型和动力方案适用场景解析

文 / 纪宇晗　　编辑 | 庄敏

▲ 汪洋 摄

当前，低空经济加速规模化发展，电动垂直起降飞行器（eVTOL）未来将广泛运用于城市客运、低空物流、应急救援等应用场景。构型设计与动力方案是 eVTOL 的核心关键，直接决定其飞行性能、载荷航程、使用成本以及场景适配能力。目前，在研 eVTOL 型号的方案选择百花齐放，包括多旋翼、复合翼、倾转旋翼等主流构型，以及锂电池、氢燃料电池、油电混动等动力形式。开展 eVTOL 构型与动力方案的对

比研究，厘清各类方案的优劣势及适用边界，可为 eVTOL 研发选型、场景精准匹配提供参考依据，对推动 eVTOL 技术迭代与商业落地具有重要现实意义。

构型分析

eVTOL 的核心特征是垂直起降和电推进。电动机具有一定的功率相对尺寸无关性，eVTOL 飞行器可以采用分布式动力方式，在传统直升机构型的基础上逐渐发展为多旋翼、复合翼、倾转旋翼三种新的总体构型。

▼ 汪洋 摄

多旋翼构型的出现，解决了直升机的痛点问题——机械结构复杂，同时也彻底变革了直升机的工作原理和运行方式。直升机机械结构复杂的主要原因是直升机的升力、推力、控制力只能依靠单一螺旋桨提供，且螺旋桨转速不能随意改变，只能使用机械减速器设置几个转速档位，导致螺旋桨必须在定速旋转的同时做变攻角、变挥舞角等复杂动作。多旋翼构型采用分布式电动机驱动螺旋桨，电动机天然特性使得螺旋桨改变转速更容易，不需要在旋转同时改变攻角、挥舞角。多旋翼构型主要优势是研发、维护成本低，可靠性高；主要劣势是无机翼提供升力，气动效率低，巡航速度低，载重效率低。

复合构型具有多个旋翼，其中一部分为升力旋翼，固定为垂直方向，只提供升力；另一部分为推力旋翼，固定为水平方向，只提供推力。复合翼 eVTOL 飞行器在起降状态下升力旋翼工作、推力旋翼停止，飞行器垂直升降；巡航状态下升力旋翼停止、推力旋翼工作，飞行器水平飞行。复合构型的主要优势是研发、维护成本低，可靠性高，有固定翼提供升力，气动效率高于多旋翼；主要劣势是巡航时所有升力旋翼停止工作，成为死重和阻力来源，导致载重效率（载荷 / 空机重量）通常较低，巡航速度较低。

倾转构型具有多个旋翼，部分为升力旋翼 (可有可无)；部分为倾转旋翼或倾转机翼，可在水平 (0°) 和垂直 (90°) 倾转角之间变化，提供不同比例的升力和阻力。根据倾转旋翼数量的不同，可细分为部分倾转旋翼构型和全倾转旋翼构型。倾转旋翼 eVTOL 飞行器在起降状态下升力旋翼工作、推力旋翼停止，飞行器垂直升降；巡航状态下升力旋翼停止、推力旋翼工作，飞行器水平飞行。倾转构型的主要优势是各个状态下都充分利用动力，气动效率高、巡航速度高、载重效率高；主要劣势是研发、维护成本高，可靠性低。

除多旋翼、复合翼、倾转旋翼构型以外，传统的直升机构型也在不断发展并衍生出更多构型，这些构型的主旋翼（通常至多只有 2 个）仍然保留了变攻角、变挥舞、变转速的能力，本质上仍然是直升机的延续，采用燃油动力或油电混合动力。当前主要的直升机构型包括单旋翼构型（传统直升机构型）、复合推力直升机构型、共轴双旋翼、纵列双旋翼、并列双旋翼直升机构型等。

构型与应用场景

eVTOL 飞行器的应用场景包括载人和载货两大类。载人应用场景以城市客运为主，可以细分为机场 / 高铁接驳、旅游观光、商务包机、医疗运输等。货运应用场景有城际支线货运和城内末端货运，无人化是其重要特点。本文仅探讨具备垂直起降能力的 eVTOL 飞行器构型之间的优劣势和适用场景，不涉及固定翼飞行器和 eVTOL 飞行器之间的比较。

eVTOL 飞行器的载人应用场景主要面向城区短途通勤、点对点接驳、空中旅游以及近郊中短途出行等，核心任务是实现 2 ～ 6 人载客运输，要求适配城区楼宇密集、起降场地有限的环境，兼顾飞行安全性、噪音控制与运营效率，需满足短途至中短途飞行需求。

多旋翼构型具备灵活的垂直起降能力，无需专用起降场地，可适配城区楼宇间短途飞行，噪音控制较好，但载客量较少、航程较短，续航能力有限，适合短途通勤、点对点接驳场景；倾转旋翼构型兼具垂直起降与高速平飞能力，载客量可达 4 ～ 6 人，航程可达 100 ～ 200 公里，能满足中短途跨区域客运需求，安全性较高，但结构复杂、制造成本高，飞行噪音略高于多旋翼，对起降场地的空间要求稍高；复合翼构型结合多旋翼与固定翼优势，垂直起降便捷，航程与航时优于多旋翼，载客量 3 ～ 4 人，噪音适中，适配城区及近郊客运场景，但低速飞行灵活性略逊于多旋翼。

载货应用场景涵盖同城即时配送、城际短途配送、偏远地区配送等细分场景，核心是实现轻小件至中重型货物的高效运输，要求兼顾载荷能力、航程航时与运营成本，适配不同配送场景的差异化需求，部分场景需实现“门到门”配送，减少场地依赖。本文只考虑不同构型飞行器的优劣势和主要特点，不限制飞行器尺寸和最大起飞重量，例如在即时配送、末端配送等场景中选择十千克到百千克级的轻小型无人机，在城际、偏远地区配送等场景中选择吨级的 eVTOL 飞行器。

多旋翼构型载荷能力较弱，航程较短，但起降灵活，可实现“门到门”配送，适合同城轻小件即时配送，运营成本较低，操作便捷，但续航短板限制其远距离运输；倾转旋翼构型载荷能力中等，航程可达 100 ～ 300 公里，具备垂直起降与高速平飞能力，运输效率高，适合城际中短途中重型货物配送，但其结构复杂、维护成本高，不适用于低成本轻小件配送场景；复合翼构型载荷能力与航程介于多旋翼与倾转旋翼之间，兼顾垂直起降灵活性与长航程优势，运输效率较高，运营成本适中，适配同城大件、城际轻中型货物配送，是货运场景泛用性最高的构型方案。

动力方案分析

电推进是 eVTOL 的核心特性，目前

主流的电力供给方案有三种——锂电池、氢燃料电池和油电混动。锂电池是一类电池的统称，以含锂化合物或锂金属单质作为电极材料，通过金属原子在正负极之间得失电子产生电能。氢燃料电池是一种能量转化装置，本身不存储能量，通过外部供给的氢燃料和空气中的氧气化合反应产生电能。航空混合动力技术包括串联、并联、串并联等多种技术架构，以串联涡轮电混合动力技术为例，内燃机通过化学燃烧驱动机械转轴，再经由发电机为电动机提供电力。以上三种动力方案具有不同的特点和优势区间，目前处于并行发展阶段。

锂电池包括正极材料、负极材料和电解质三个主要组成部分。石墨正极 + 三元锂负极 + 液态电解质是目前最成熟的技术方案，单体能量密度一般在 300 ～ 350 瓦时 / 公斤，对应航程 200 到 250 公里。短期的技术提升方案是新材料 / 新技术与现有成熟技术的组合，例如固态 / 半固态电解质 + 石墨 / 硅基负极、液态电解质 + 锂金属负极，实现难度低，技术风险相对可控，未来 3 ～ 5 年单体能量密度可以提高到 500 瓦时 / 公斤，对应航程 300 ～ 400 公里。如果单体能量密度继续增加到 600 瓦时 / 公斤以上，需要正负极材料和电解质的全方位升级，例如固态锂金属电池、锂硫电池、锂空气电池等，五年内实现难度极大。

按照锂电池目前的技术发展水平和未来发展趋势，纯电动力 eVTOL 飞行器可以满足绝大多数应用场景的使用需求。锂电池的使用成本和便捷性要优于氢燃料电池和油电混动方案，碳排放和噪声污染也更低，但锂电池在低温环境下存在严重的续航衰减，针对部分极端环境的适应性不如另外两种动力方案。如果对 eVTOL 航空器的续航能力提出更高的要求，应当优先考虑氢燃料电池或油电混动方案。

氢燃料电池主要包括电池堆、空压机、氢气循环泵电机及控制器等辅电部件（BOP）。电池堆的核心原理是氢气和氧气生成水的电化学反应、传热传质以及多尺度多相流。氢燃料电池在航空领域应用的主要问题是功率密度偏低，起飞、爬升、悬停等高负载飞行阶段的供电压力较大，业界普遍采取的方案是将氢燃料电池与锂电池组成混合供电系统。

氢的存储方式有高压气氢、低温液氢、固体吸附储氢等，高压气氢的储氢密度适中，存储时间较长，适用于轻型长航时的应用场景。低温液氢的储氢密度较高，钛合金、复合材料液氢瓶存储质量比达到 20% 以上，但存在氢燃料随时间蒸发的问题，适用于大载重长航程的应用场景。固体吸附储氢效率低，使用成本高，适用于部分特殊作业场景。

与锂电池相比，氢燃料电池的等效能量密度可以达到 1000 瓦时 / 公斤以上，续航能力更优。与油电混动方案相比，氢燃料电池避免了发动机产生的诸多问题，例如噪声、震动、尾气排放等。在低空经济的发展构想中，eVTOL 将大量在城市上空飞行，尤其要考虑噪声、排放。氢燃料电池的理论航程远超锂电池，噪声和排放比燃油更低，是城市长距离飞行的最佳选择。另外，氢燃料电池的需氧量低于燃油发动机，氢的燃烧效率和氢电转化效率也更高，在高原低氧环境中的适应性显著优于燃油发动机。

混合动力方案是一种兼顾了燃油直升机和电动 eVTOL 优势性能的折中选择。eVTOL 的混合动力推进系统主要有串联式、并联式、串并联混合式三种。混动系统的核心优势是更强大的续航能力，更低的使用成本与更成熟的技术产品。虽然混合动力系统增加了涡轮发动机、发电机等额外部件，同时也降低了 eVTOL 飞行器对大容量电池的依赖，简化了 BMS、热管理系统、电力变换等功能组件。

▲ 汪洋 摄

与另外两种动力方案相比，混动系统保留了燃油发动机，噪声、碳排放、震动等问题仍未得到解决。因此，业界有观点认为混合动力方案是电池技术尚未达标之前的过渡选择，或者用于少数不需要关注噪声、排放问题的 eVTOL 飞行器。

一点思考

综合来看，多旋翼构型的核心优势是垂直起降灵活、操作便捷、噪音低、运营成本低，短板是航程短、载荷小，适用场景为短途客运接驳、末端物流配送等；倾转旋翼构型的核心优势是兼具垂直起降与高速平飞能力、载客 / 载荷能力较强、航程较长、安全性高，短板是结构复杂、制造成本与维护成本高，适用场景为长途客运接驳、城际物流配送等；复合翼构型的核心优势是兼顾灵活性与长航程、运营成本适中、适配性广，短板是低速灵活性略逊于多旋翼、高速性能略逊于倾转旋翼，适用场景与倾转旋翼基本重叠，例如中距离客运接驳、同城与城际物流配送等，在三种构型中泛用性最强。

电推进是 eVTOL 飞行器的核心特征，电力来源可以是锂电池、氢燃料电池或涡轮电混合动力。绝大多数整机制造商选择了纯电动力方案（完全由锂电池供电），综合性能最佳，满足主流应用场景需求。氢燃料电池适用于对航程、载荷要求更高的特定场景，同时也可以满足城市环境对噪声、污染排放的高要求。混合动力的技术成熟度高、使用成本低，在远离城市或人员密集区域有较好的应用潜力。

封面文章

▲ 汪洋 摄

低空经济政策布局解读

文 | 王翔宇 晏武英　　编辑 | 庄敏

在 2026 年国务院政府工作报告中，低空经济被明确列为“新兴支柱产业”，这是其连续第三年被纳入该纲领性文件。从 2024 年表述为“新增长引擎”，到 2025 年定位为“新兴产业”，再到 2026 年提升为“新兴支柱产业”，持续强化的政策信号标志着低空经济发展已从局部探索进入系统推进、全面布局的新阶段，为我国经济结构转型升级提供了新的增长动力。

国家战略的清晰擘画

我国对低空经济的系统性政策引导始于“十四五”规划初期。2021 年 2 月，《国家综合立体交通网规划纲要》首次在国家级综合交通规划中纳入低空经济，确立了其在现代综合交通体系中的组成部分地位。2023 年起，相关政策逐步向操作层面深化。工业和信息化部等四部门联合发布《绿色航空制造业发展纲要（2023—2035 年）》，提出“十四五”期间以电动化为小型航空器的主要技术方向。同年 11 月，《中华人民共和国空域管理条例（征求意见稿）》公布，首次对空域用户的权利义务作出规范，为空域管理改革提供了制度依据。年末的中央经济工作会议将低空经济列为重点培育的战略性新兴产业，开启了后续政策密集支持阶段。

2024 年，低空经济首次作为“新增长引擎”写入国务院政府工作报告，实现了从行业概念到国家战略的转变。工业和信息化部等四部门印发《通用航空装备创新应用实施方案（2024—2030 年）》，确立了 2024 至 2030 年间产业创新的重点任务，强调无人化、智能化、电动化发展方向，并首次提出“到 2030 年形成万亿级市场规模”的量化目标。同年 7 月，党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》首次在中央全会文件中写入“发展通用航空和低空经济”，将其提升至服务国家现代化建设的战略高度。为加强统筹协调，国家发展改革委于年底设立低空经济司，标志着低空产业管理进入专职化、系统化阶段。

2025 年，低空经济政策重点从战略引导转向制度体系的夯实。国务院政府工作报告相关表述从“积极培育”调整为“安全健康发展”，体现了对低空经济发展质量与安全底线的双重关注。一系列基础性制度在这一年密集出台：国家发展改革委发布《低空经济及其核心产业统计分类（试行）》，首次官方界定了低空经济产业范畴，解决了统计与管理的标准化问题；市场监管总局等十部门联合印发《低空经济标准体系建设指南（2025 年版）》，规划了涵盖技术、产品、运行等五大领域的标准体系路径；新修订的《中华人民共和国民用航空法》于 12 月通过，明确“划分空域应当兼顾低空经济发展需要”，为低空空域资源配置提供了法律依据。

2026 年以来，低空经济政策逐步转向全面落地与深化实施，作为“新兴支柱产业”的战略地位在国务院政府工作报告中得到最终确认，与之配套的多项关键操作细则开始生效。除了新修订的《中华人民共和国民用航空法》将于 7 月 1 日施行外，《民用无人驾驶航空器系统运行识别规范》和《民用无人驾驶航空器实名登记及激活要求》两项强制性国家标准也正式实施，旨在推动形成“一机一码、全程可溯”的全生命周期管理体系。随着“战略引领 - 规划统筹 - 标准规范 - 法律保障”的闭环越发完备，这些政策导向指向了一个共同的目标——在坚守安全底线的前提下，构建规则清晰、监管有效、创新活跃的低空经济产业发展生态。

地方政策的多元探索

在国家顶层设计的引导下，低空经济政策已在全国范围有效传导，截至 2026 年全国 31 个省份均将低空经济纳入地方政府工作报告。各地区基于自身资源禀赋和产业基础，在制造研发、场景应用、基础设施与规则创新等多个维度展开差异化探索，形成了多元实践、优势互补的区域发展格局。这种中央与地方协同、多层次联动的政策体系，结合法治保障、场景驱动与资本支持的多维支撑，正汇聚成推动低空经济从规划走向实施的系统性合力，为产业在全国范围内的落地与繁荣奠定了实践基础。

战略定位梯度分明，先发地区引领产业高地建设。东部沿海经济发达地区如上海、广东、江苏等，依托其制造业基础、资本与科研优势，着力打造具有国际影响力的低空经济产业高地。例如，

上海市于 2025 年 12 月发布《上海市关于链接长三角加快建设低空经济先进制造业集群的若干措施》，计划到 2028 年实现低空经济核心产业规模突破 800 亿元，全力打造比较优势凸显的“世界 eVTOL 之都”。中西部及东北地区则依托空域、文旅或工业基础，探索特色化场景驱动的发展路径，如内蒙古规划培育“呼包鄂低空经济发展圈”，重点布局通航旅游与短途运输；贵州则借助安顺等地航空产业基础，重点聚焦航空发动机研发制造全产业链发展。

区域协同加速推进，跨域产业集群效应初显。通过基础设施互联、规则对接和产业分工，超越单一城市的竞争、以城市群为单位的区域协同正成为塑造低空经济产业竞争力的关键。随着上海在相关政策中突出“链接长三角”、推动长三角低空经济先进制造业集群建设，江苏、浙江、安徽等地积极响应，在基础设施规划、空域协同管理、产业链分工等方面加强协作。同时，大湾区正在形成“广州 - 深圳 - 珠海”三核驱动、辐射港澳的协同发展格局，《深圳市低空经济标准体系 2.0》在商业化运营、标准制定方面起到了很好的示范作用；重庆与成都携手规划建设“成渝双城低空经济走廊”，旨在打造辐射西部的强大增长极，避免同质化竞争，实现优势互补。

真金白银精准滴灌，打造全链条政策支持体系。地方政府通过财政补贴、基金引导、税收优惠、用地保障等方式对产业链关键环节给予系统支持，确保产业政策落地而非“口惠而实不至”。上海虹桥国际中央商务区对投资建设低空飞行管理服务系统的企业按实际投入的 20% 给予最高 500 万元奖励。四川鼓励运用投贷联动、风险补偿等金融工具，引导金融机构加大对相关企业的信贷投放。珠海市创新性地在市级建设用地分类中增设“低空起降设施用地”类别，为起降场、充电设施等提供用地政策支持。山东则率先发布全国首个省级低空信息基础设施专项规划，着力构建“空天地一体、通感算智融合”的低空通信网络数字基础设施。

法治先行与场景开放，为产业持续发展清障拓路。地方立法方面，2025 年 2 月《广州市低空经济发展条例》正式实施，阐明了空域分类划设、市级低空飞行综合管理服务平台建设等关键制度。同年，苏州、无锡也相继出台相关低空经济促进条例并于 2025 年下半年施行，为产业发展提供稳定、透明的管理预期。场景开放方面，上海在加强进博会期间安全管理的同时，也为经批准的物流运输、应急救援、低空文旅等活动留出了专用通道。南京在长江段开展“空中外卖”试点，陕西华山景区利用无人机进行物资运输与垃圾清运。这些真实场景不仅为低空经济技术迭代与商业模式验证提供了测试环境，也有效激发了市场创新活力。

政策体系协同演进的主要特征

纵观从中央到地方的整套政策布局，我国低空经济的政策体系展现出层次分明、互动增强的鲜明特征，其有效实施依赖于“国家顶层设计”与“地方实践创新”之间的良性互动机制。国家层面通过根本大法的原则性修订与行业标准体系的持续完善，确立了统一的法律与制度框架；地方层面则依据区域资源禀赋与发展需求，在统一框架下开展差异化的场景试点与制度探索，推动宏观战略向具体实施方案转化。由此，一个涵盖国家法律、地方性法规、行业标准及操作规范的多层次、立体化制度架构逐步形成，在确保政策统一性与产业发展秩序的同时为地方创新保留了弹性空间，从而构建起稳定、可预期的制度环境。

政策体系的核心驱动力来自“供给侧技术创新”与“需求侧场景牵引”的双轮驱动。在供给侧，政策清晰引导产业奔向无人化、智能化和电动化的新赛道，从国家到地方的资源均重点投向 eVTOL、大型物流无人机等前沿装备的研发制造，以推动关键技术自主化与产业升级。在需求侧，则通过开放以城市交通、无人物流、应急救援为代表的多样化应用场景，激发真实市场需求，进而牵引能源、制造、运营、保障等全产业链能力提升。这种以场景应用为纽带的联动机制，促进了技术迭代、商业模式验证与产业生态的整合与成熟。从区域分布来看，华东、中南和西南地区具体的支持政策力度较大，具备全产业链条和集群式发展的良好前景。

在推进产业发展的过程中，政策体系整体上遵循了“基础设施适度超前、空域开放审慎渐进”的原则，兼顾发展效率与安全可控。各地通过专项规划推进通航机场、起降平台等基础设施布局，旨在突破未来规模化运行的物理约束，推动企业增资扩产重点项目的落地。与此同时，空域管理实行分类、分级、分区域的有序开放，并持续完善适航审定、人员资质、运营许可等全流程监管制度，逐步完善覆盖航空器全生命周期与运行各环节的精准监管体系。该路径体现了“在发展中规范，在规范中发展”的治理思路，致力于实现低空活动在“放得开”的同时也能“管得住、看得清”，从而为产业长期稳健发展奠定基础。

几点思考

当前，我国低空经济政策框架已较为完善，产业正处于从试点示范向规模化商业运营转型的关键阶段。为促进该新兴支柱产业的持续健康发展，既需要政策制定者以更具前瞻性的视野完善制度设计，也需要市场参与者基于更精准的研判调整竞争策略，从而在产业动态演进中形成清晰的战略导向与发展路径。

未来政策应着力构建更具场景适应性、市场兼容性与运营安全性的制度环境。重点包括推动空域管理从静态划分转向动态精细治理，建立基于流量预测与需求响应的智能空域调度机制，以支撑城市空中交通等规模化应用。同时，需积极参与全球产业规则制定、推动国内标准与国际规范衔接，并鼓励国内机构在新型航空器适航、无人系统运行等前沿领域贡献中国标准与实践经验，提升国际话语权。此外，应加快提升权责清晰的数据治理能力，在保障国家安全、商业秘密与个人隐私的前提下，探索合规高效的数据要素流通与利用路径，支撑产业智能化转型。

围绕低空经济相关政策导向，企业发展的前瞻性与精准性尤为关键。其一，要把握稍纵即逝的政策窗口期，优先与产业导向明确、应用场景清晰的地区建立深度协同关系，将短期政策支持转化为长期区位优势。其二，产品路线应坚定聚焦无人化、电动化的发展趋势，需在电池能量密度、电机效率、飞发一体等硬件层面持续突破，并在多电控制、集群智能协同等软件系统上构筑技术壁垒。其三，通过充分利用多层次资本市场与产业金融政策，实现商业模式从单一环节向价值链生态整合，助力企业在产业动态演进中持续构筑差异化优势、保持战略主动性。

封面文章

中国低空经济应用场景的实践图景

文 | 谢林轩　　编辑 | 林喆

在中国 2900 多个县级行政区中，每年都有数以百计的政府部门签订一类相似的合同：用无人机替代有人直升机进行森林防火巡护，替代地面网格员进行违章建筑监测，替代救护车进行紧急血液运输。

这些合同金额从 30 万元到 18.3 亿元不等，看似零碎，串起来却构成了 2026 年中国低空经济最真实、也最容易被外界忽视的一面——应用场景的扎根落地。

过去三年，低空经济在公共话语中更多被讲述为一个产业概念：万亿级市场预测、密集资本涌入、不断刷屏的飞行汽车原型机。但产业落地的真正进展，并不在聚光灯下的远期场景里，而在一笔笔平实的政府采购合同、一架架飞往海岛山区的工业级无人机、一条条已常态化运行的低空航线之中。中国低空经济，正从“能不能飞起来”走向“用得起来”。

已经“用起来”的场景：B2G 体系下的存量替代

观察当前中国低空经济应用场景，最稳定的现金流并不来自被广泛讨论的载人飞行汽车，而是在一组看似平凡的政府采购合同中。

最具标志性的是国家电网 2026 年首批无人机巡检框架采购，规模达 18.3 亿元，由大疆行业应用中标。这是中国低空经济迄今披露的单笔最大合同。背后的产业逻辑非常清晰：传统电力巡检主要依靠贝尔 407 等中型有人直升机或 4 至 6 人的徒步巡检团队，前者每小时费用约 2 万元，后者一日成本相当于 1.4 万至 2.1 万元人民币。相较之下，自主驻地无人机的日均运营成本仅 500 至 800 元，且可避免一次大面积停电对应的数千万元间接损失。这种存量替代的经济性差距如此明确，以至于电网系统将无人机采购从“试点项目”推升为“框架采购”。

森林防火是另一个进入常态化阶段的应用。广西壮族自治区林业局自 2024 年起连续三年发布航空护林无人机租赁采购公告：2024 年预算 3750 万元，2026 年 4 月 22 日最新中标公告显示金额为 1185.08 万元。其对标的米 -171 有人重型直升机租赁费用为 3.5 万至 5.5 万元 / 小时。中小型无人机虽然单架次载重不及有人机，但在巡护监测、夜间作业、复杂气象条件下与有人机形成“高低搭配”，将常态化巡护成本压低至有人机的零头水平。

医疗物资运输是更具人文温度的应用。深圳市宝安区中心血站自 2024 年起连续两年签订年度无人机血液运输服务合同，单年金额 182.1 万元，2026 年 4 月已启动新一轮单一来源谈判。这一模式解决的是城市拥堵环境下急救血液输送的不可控时延问题。在血液品质与生命价值的尺度下，运输方式选择已超出单纯的成本计算。从更广阔的视野看，该模式与非洲卢旺达、加纳 Zipline 医疗配送系统在理念上一致——让无人机成为公共卫生体系的“标准物流外包”。

这些场景共同构成了中国低空经济 2026 年最稳定的“基本盘”。它们有四个共同特征：政府或央企采购、多年期续约、刚需不变、单位经济性已成立。这一类应用场景，正从“试点”走向“常态”。

物理断点驱动：中国低空经济的特色应用

中国地面物流体系成熟度居于世界前列。这意味着，简单复制非洲“无人机医疗配送”或美国“无人机替代外卖骑手”的路径在国内大部分地区并不天然成立。但中国地理空间的复杂性，又孕育出一类独特的应用场景——“物理断点驱动型”。

物理断点指地面交通与运输方案在客观上无法触达的区域，如跨海岛屿、内陆高山、深险峡谷、林区腹地。在这些场景里，低空经济的价值并非“成本更低”，而是“地面方案根本不存在”。

安徽鸠兹航空披露的一组数据可以说明这种价值。在黄山风景区，载重 100 公斤的 VF180P 无人机仅用 6 分钟即完成从山下慈光阁到山上天海景区近 1000 米海拔落差的物资运输任务。同样的任务由人工完成需要数小时，且对部分重物根本不可行。安徽东汇储运的船舶补给在传统模式下需乘坐交通艇耗时 4 小时，无人机方案压缩至 30 分钟，并省去了船舶停泊产生的不可见沉没成本。

县域层级的复合应用更具系统价值。浙江省永嘉县 2025 年签订的低空医疗物

流服务采购合同——铁塔智联浙江分公司作为付款方，合同期 38 个月，规模 212 万元——是其中较有代表性的一例。该模式将无人机、起降设施、SaaS 平台与飞行服务整合为多年期打包合同，相当于一套“县域低空公共服务基础设施”。如能在浙江 10 个县复制这一模式，年度合同总额可超过 2000 万元。顺丰速运下属丰翼科技截至 2025 年底在粤港澳大湾区累计完成无人机配送 620 万件，日均 1.2 万票，主要连接城市、山区与海岛之间的网点。

这些案例的共同点是：低空方案补足了地面方案的天然缺口，而非取代既有方案。这种“做地面做不到的事”的应用模式，是中国低空经济能够形成可持续商业闭环的少数纯商业化领域，也是相对独立于补贴的几类场景之一，预计 2026 至 2027 年仍将保持快速增长。

还在跑通中：模式验证期的关键应用

并非所有低空应用场景都已实现稳定的商业闭环。在第一类已经“用起来”的场景之外，存在一组同样重要、但仍处在模式验证期的应用——它们的商业化兑现，将很大程度决定 2026 至 2030 年中国低空经济的整体规模。

最受关注的是城市末端配送。美团无人机在深圳、东莞、珠海等地已开通常态化配送航线，部分航线实现最快 15 分钟送达。中通研究院实测数据显示，规模化运营条件下美团无人机单均配送成本约 3.5 元，低于地面骑手 6 至 8 元的水平。但顺丰丰翼科技无人机政务总监陈孝辉 2025 年 5 月接受采访时坦言：由于研发与平台建设成本较高，无人机的实际运输成本“要比地面运输贵不少”。两组数据之间的落差，揭示了规模化路径与全口径成本的真实距离。该领域的商业化拐点，在于硬件规模化能否使单均成本进一步下探，以及用户付费意愿在去除补贴后能否持续。

短途观光是载人飞行场景中预计最先实现规模化的领域。中信海直深圳—珠海直升机摆渡票价 999 元 / 人，深圳湾观光票价 798 元 / 人。亿航 EH216-S 作为全球首款获得“三证”齐全的无人驾驶载人 eVTOL，模拟运营票价测算显示盈亏平衡点为 298 元 / 人 / 次，30% 营业利润率对应票价约 425 元 / 人 / 次——仅为传统直升机的三到四成。这种“消费降级”潜力如能兑现，将大幅拓展低空观光市场边界。但 2026 年的核心观察点在于：实际上座率能否支撑模拟测算？电池循环寿命是否会带来超预期更换成本？

吨级支线货运是另一个备受期待的方向。中国航空工业集团自主研制的 HH-200 大型货运无人机于 2026 年 4 月 15 日完成首飞，最大商载 1.5 吨、最大航程 2360 公里，全寿命周期综合运营成本测算值为 4.7 元 / 吨公里，约为同级别有人机的三分之一。京东集团旗下天鸿科技已签订意向采购订单 20 架，但需客观认识到，意向订单不等于正式合同，4.7 元 / 吨公里也是“全寿命测算值”，依赖于规模化生产摊销。该应用进入大规模运营阶段预计仍需 1 至 2 年的产能爬坡。

这一组应用场景共同的特征是：单位经济性在测算层面已成立，但能否在去除补贴后仍然成立，仍需 2026 至 2028 年的产业实证。

载人飞行：保持理性的远期展望

将视野推得更远，载人飞行汽车与城市空中通勤是低空经济最具想象的空间，也最容易引发讨论的应用方向。但站在 2026 年的产业现实来看，对这一领域的预期需要保持理性。

国际市场提供了重要对照。Joby Aviation 在 SPAC 上市文件中披露每座英里成本（CASM）目标为 0.86 美元，按 4 座机型满载换算约为每英里 3.44 美元。但独立分析机构 Kerrisdale Capital 在 2023 年的研究报告对 Joby 的成本模型进行了系统性重新测算，认为其官方数据建立在“机队利用率极高、电池循环寿命极长、维护成本极低、载客率稳定在 90% 以上”的多重乐观假设之上，独立估算的全口径每英里成本约 15 至 20 美元，相当于公司公开模型的 4 至 5 倍。

更具警示意义的是产业事件。德国 Volocopter 于 2024 年 12 月申请破产保护，Lilium 同年濒临破产后获得救助。这两家国际 eVTOL 头部企业的困境并非源于技术不成熟，而是因为无法在资本市场再融资以覆盖研发、认证与前期运营成本——单位经济性模型未能说服资本市场。

国内产业声音也在保持冷静。合肥零重力飞机工业首席战略官陈炎在 2026 年初一次行业大会上借用瀛海威的历史典故指出：“互联网经济曾经也面临过基础设施与生态尚不成熟的阶段”，类似逻辑也适用于今天的低空经济。

从中长期看，随着电池能量密度提升、专用起降设施网络建设完善、专项保险产品成熟，载人 eVTOL 有可能在 2030 年后进入真正的商业化运营阶段。但 2026 至 2028 年的现实路径，仍将以小规模试运营、特定景区低空观光、特定城市点对点示范为主，远未到大众化空中出行的阶段。对载人场景的产业预期，不宜过早透支。

中国航空制造体系的协同支撑

值得注意的是，中国低空经济的应用场景拓展，正在与国家航空制造体系形成深度协同。国产民机研制中积累的适航取证流程、航电与复合材料技术，覆盖数千家企业的供应链体系，对载人 eVTOL 的型号合格证审定与关键零部件国产化具有显著参考价值。航空工业集团自研的 HH-200 吨级货运无人机首飞，标志着大型航空制造企业系统性进入低空经济产业链。中信海直作为通用航空体系的代表性运营商，已在深圳地区新增起降点 4 个、空中游览航线 14 条，并完成全球首次 2 吨级 eVTOL 跨海跨城货运试飞验证。

从干线大飞机到支线无人机，从万米高空的客运到 300 米以下的物流，中国航空工业正在形成“两端协同”的产业格局——这是低空经济能够长期可持续发展的重要支撑。同样重要的是，大型航空工业体系所沉淀的人才、标准、工艺与适航能力，将系统性向低空经济外溢，为这一产业从“应用扎根”走向“自主可控”提供深层基础。

回望此刻，中国低空经济还未到“已成”的阶段。但已看见的，是一架架在县城上空盘旋的工业无人机、一笔笔从地方财政流向运营商的服务采购、一条条在大湾区与中部省份开通的支线航线——它们或许不像飞行汽车那样夺目，但它们是这个产业的根。当更多产业参与者把目光从“未来已来”的口号上移开，转向“现在已用”的真实场景时，中国低空经济离“用得好”那一天，也许就不远了。

封面文章

深圳：从“无人机之都”到“低空第一城”

文 | 于占福　　编辑 | 林喆

如果要为低空经济这个新质生产力代表选择一个全球研究样本，深圳几乎是无可争议的选择。

深圳在这场全球性产业重构中的位置，可以由几组数据迅速勾勒：2024 年全市无人机载货飞行 77.6 万架次、直升机载人飞行 2.8 万架次；截至 2025 年 9 月，各类低空起降设施累计建成 1077 个、开通无人机物流航线 310 条。这些不是演示验证场景下的数字，而是规模化商业运营的真实流量。中国人民大学发布的《2025 中国低空经济城市发展指数》中，深圳以 90.0 分位列全国 58 个城市之首。

但仅用规模数据描述深圳并不充分。本文试图回答的问题是：从一座以大疆为标签的“无人机之都”出发，深圳如何用约五年时间，搭建起一套兼具制度供给、场景密度与产业生态的体系化布局，以及它向“全球低空经济第一城”目标行进过程中，还有哪些待解的命题。

在国家事权与地方事权交界处的创新

深圳低空经济政策体系的特殊性，在于它没有停留在产业扶持文件层面，而是用地方立法来构建治理框架。2024 年 2 月 1 日，《深圳经济特区低空经济产业促进条例》正式施行，这是全国首部低空经济地方法规。条例确立了两大协调工作机制：产业发展协调机制由市工信局会同交通运输局牵头，低空飞行协同管理机制则由市政府与空管机构、民航管理部门共建。

立法之上，深圳形成了“条例 + 行动计划 + 若干措施 + 专项规划”四层架构。2023 年底出台的《支持低空经济高质量发展的若干措施》20 条，三年政策期内奖励规模超 5 亿元；2025 年 10 月印发《深圳市低空航空器起降设施布局规划 (2026—2035 年)》，是全国首个针对低空航空器起降设施的市级专项规划。该规划提出“低空枢纽—末端起降点”两级架构，目标到 2026 年建成 13 个示范枢纽和 1200 个末端起降点，到 2035 年建成 56 个枢纽 + 1500 个末端起降点的完备网络。

低空经济的核心难点不在产业而在空域，因为空域管理涉及国家事权，地方政府能做的事十分有限。深圳的破题思路是协同。2024 年 11 月，上级空管部门正式明确支持深圳无人机城市飞行试点，深化 “放管服”，建立军地民协同运行机制，分类划设管理空域。同年 6 月，深圳低空飞行服务平台与国家民用无人驾驶航空器综合管理平台 (UOM) 完成数据对接，推动深圳 A 类飞行服务站成功设立备案。

数字化基础设施的另一支柱是 SILAS(智能融合低空系统)，由粤港澳大湾区数字经济研究院自主研发，业界称为“低空大脑”。SILAS 已全面接入深圳全市域时空信息平台 (CIM)，具备空域划设、航路规划、飞行申报、冲突告警等核心管理功能。配套的通信感知网络方面，截至 2025 年 9 月，深圳累计建成 5G-A（5G-Advanced）通信和通感基站 9328 个，实现 120 米以下空域 5G 网络全覆盖，成为全国首个市级监管平台全量接入三大运营商通感数据的城市。

政策的诚意需要通过财政力度兑现。深圳对深港跨境航线给予每条 100 万元一次性奖励，飞行架次每增 100 架次再奖 50 万元；首条 eVTOL（电动垂直起降飞行器）商业航线运营企业一次性奖励 100 万元。2024 年 11 月，深圳市低空经济产业基金正式发起设立，单只基金规模原则上不低于 10 亿元，100% 投资于低空经济领域。各区配套也紧跟其上——南山区对整机企业给予千万元级资助，龙华区“三年两个亿”，形成市区两级、立体覆盖的资金供给网络。

深圳上空每天都在发生什么

如果说制度供给是骨架，场景落地则是血肉。深圳低空经济的真正说服力，在于它已经从“能不能飞”进入了“飞得有多密”的阶段。

美团无人机是观察这一进程的最佳样本。其在深圳完成中国首个面向真实用户的订单配送任务可追溯至2021年初。截至 2024 年底，美团无人机已开通 53 条航线、累计配送订单超 45 万单。其中 2024 年单年完成超 20 万单，同比增长近 100%，覆盖商品超 9 万种。最具标志性的是 2024 年 10 月 23 日开航的福田口

岸航线——国内首条设在口岸区域的常态化无人机配送航线，平均可为港深往返的市民节省近 30 分钟等待时间。ARK Invest 在 2024 年报告中将美团无人机的运营规模列入全球第一梯队，与 Zipline、Google Wing 同量级。

载人运输是低空经济的“皇冠”。深圳在直升机和 eVTOL 两条轨道上同步推进，东部通航是核心运营商。其大中华城市候机厅（福田大中华国际交易广场 43 楼顶）是中国首个空中城市候机楼及首个 A 类高架直升机场。东部通航在国内运营管理超 100 个起降点，服务整个粤港澳大湾区“9+2”城市群。目前东部通航已签署 100 架峰飞盛世龙采购订单，适航取证完成后预计 2026 年将开启载人商业运营 。

物流和载人是低空经济的显性场景，但公共服务领域的应用更能体现城市治理价值。在医疗领域，深圳已有 14 家医院使用常态化低空运输服务，运输时间较地面缩短一半。南方电网深圳供电局部署 126 台无人机机巢，实现超大城市 3600 多公里输电线路自主巡检全覆盖。文旅场景中，累计开通低空旅游观光航线超 20 条。东部通航的 “见圳奇迹”45 公里日航夜航线、盐田“初见梧桐”、“臻美海岸” 等精品项目获得出众口碑。跨境维度，深港跨境物流试点、河套合作区低空运输探索均在推进，大湾区“1 小时空中生活圈”的轮廓正在成型。

深圳模式在国际坐标中的位置

跳出深圳看深圳，全球低空经济呈现出四种典型路径，每种路径对应不同的资源禀赋与治理传统。

美国走市场化适航主导路径。FAA（美国联邦航空管理局）通过 Part 21/135（美国适航与运营规章）框架推进 eVTOL 型号合格审定。Joby 已进入 FAA 五阶段中的第四阶段，2025 年累计完成 850 余次飞行航程，航程超 5 万英里。计划 2026 年在迪拜启动商业客运。Archer 进入 TC 认证的最后阶段。2025 年 9 月，美国白宫推出 eVTOL 整合试点计划 (eIPP)，允许成熟机型在选定市场的 TC(型号合格证) 正式获批之前先行运营，也是罕见的政策变通调整。

欧洲走标准化筑基路径。EASA（欧洲航空安全局）发布 SCVTOL（电动垂直起降航空器专用适航标准），要求灾难性失效率低于 10^{-9}/ 飞行小时，与宽体客机同标准。该路径监管严谨，商业化时间表偏晚。

中东走资本化加速路径。阿联酋 GCAA（阿联酋通用民用航空管理局）建立快速审定通道，全面接收 AA/EASA 型号证书有效性认证。迪拜已与 Joby 签署独家运营协议，首批 vertiport（垂直起降港）网络规划清晰，原计划 2026 年启动首飞服务。

深圳所代表的是制度化协同路径——以地方立法为基、以空域治理协同为核、以应用场景规模为引，呈现显著差异化优势。产业链完备度上，深圳现有低空经济相关企业 4739 家，位居全国第一。大疆所需的碳纤维、特种塑料等材料，在深圳几小时内即可集齐；这种供应链运作效能，在海外往往需要一个月以上。飞行规模量级上，深圳 2024 年单年载货飞行 77.6 万架次，已超过多数海外城市的累计实飞数据。场景多样性上，从外卖、医疗到口岸和跨境，深圳几乎覆盖全部典型用例。

但显性差距同样需要正视。在适航话语权上，亿航 EH216S 与峰飞凯瑞鸥虽已获国内三证，但中国 eVTOL 适航标准与 FAA SCVTOL/EASA SCVTOL 的国际互认尚未打通。在跨境监管框架上，深港、深澳之间的空管、海关、保险体系仍存在程序性障碍。在国际标准制定参与度上，中国企业的话语权与产业规模尚不匹配。

未来发展建议

基于上述事实基础与国际对比，为更好地支持深圳迈向“全球低空经济第一城”，笔者提出以下六点操作建议：

从“全国首部”到“国际标准”：争取 eVTOL 适航与运行标准的全球规则话语权。深圳已在地方立法和机型适航上实现“全国首部” 序列，下一步应推动民航局牵头建立中国 eVTOL 适航标准与 FAA、EASA、GCAA 的双边互认机制，让深圳企业产品直接服务全球市场。

从“SILAS 1.0”到“湾区一张网”：推动深港穗珠空域数字底座互联。当前 SILAS 仍处试运行阶段，且基本止步于深圳市域。建议将 SILAS 升级为大湾区级低空数字操作系统，与香港民航处、广州、珠海实现空域信息、飞行计划、监视数据实时互通，这是跨境商业化的前置条件。

从“先载货、后载人”到 eVTOL 商业闭环：用场景换规模，用规模换成本。载人运输的核心矛盾不是技术而是单位经济模型——直升机千元级票价仍无法有效普及，eVTOL 适航后也必须通过高密度航线运营摊薄成本。建议深圳率先开放 eVTOL 在通勤、机场接驳、城际等高频场景的试运营许可，用场景密度推动成本下行。

从“起降点密度”到“垂直港体系”：攻克“电池上楼”等技术规范空白。未来 1500 个起降点中，大量将设在商业楼宇屋顶。但目前国内对大功率锂电池进入高层建筑的消防、结构、动线等规范几乎空白。建议深圳联合住建、消防、民航等部门制定全国首部《城市垂直起降港建设技术导则》，既解决眼前问题，也为全国输出规范。

从“产业集群”到“应用场景出海”：把深圳方案向新兴市场复制。美团已在迪拜获 BVLOS（超视距飞行）资质，峰飞已在阿联酋、日本完成首飞。深圳应建立“产业 + 场景 + 标准”的整体出海机制，以“一带一路” 沿线、东南亚、中东为重点，把深圳验证过的运营 SOP 与 SILAS 类系统作为整体解决方案输出。

从“政府搭台”到“社会接受度管理”：前置治理噪声、隐私与安全议题。当起降点深入社区、屋顶，公众担忧将从“新鲜”转向 “困扰”。建议深圳率先建立低空噪声分级管控、隐私数据保护、第三方责任保险等社会治理工具，这是规模化阶段不可回避的软基建。

2026 年对深圳低空经济将是多重事件叠加的关键节点——盛世龙载人取证有望落地；起降设施规划首期 13 个枢纽与 1200 个末端起降点应建成；峰飞 V2000CG 进入规模交付阶段；深圳全市开放无人机适飞空域占比力争突破 75%；低空商业航线总数有望破千条。

“全球低空经济第一城”的含义，不仅是规模指标的领先，更是一种范式的成立——在国家事权与地方事权之间寻找创新空间、在政府供给与市场内生之间形成共振、在产业链完备与场景密度之间构建闭环。这套范式的真正价值，可能要在它被其他城市复制之时才能被完整理解。

深圳值得被书写，正在于它给出了一份中国城市参与全球新质生产力竞争的可参照样本。

破局蓝天：绿色飞机发展的现状与展望

文 | 李拥军 杨慧娟　　编辑 | 庄敏

以全生命周期低碳、节能、降噪为核心价值，以可持续航空燃料（SAF）、电能和氢能为主要动力的“绿色飞机”，正在实现从示范试飞到局部应用，从动能到整机设计、运行模式等各方面的深度变革。围绕动力与能源的差异组合，业界已形成掺混 SAF、100%SAF、混电、纯电、氢燃料电池和氢涡轮推进等六条主要路径。聚焦这三大类别、六条路径，梳理其发展现状，对于我国民机产业发展具有重要意义。

可持续航空燃料飞机：近中期的现实选择

在六条绿色飞机路径中，掺混 SAF 是最具现实应用性的方案。其最大特点在于兼容现有飞机、发动机和机场供油体系，无需对现役机队进行颠覆式改造，因而能够以较低成本实现行业减排，对于航空公司和主制造商而言，这一路径目前是最具操作性的减排选项之一。国际上，欧盟制定强制掺混比例，建立较为确定的需求预期，美国借助联邦税收抵免等产业政策来激励产能投资。

目前，主流机型和发动机掺混 SAF 已完成大量验证，核心问题已不是能否安全使用，而是能否持续稳定推广。据国际航空运输协会统计，2025 年全球 SAF 产量约 190 万吨，2026 年约 240 万吨，占航空燃料消费比重仍不足 1%，高成本是制约其扩大应用的主要瓶颈。掺混 SAF 虽然技术成熟度高，但产业化节奏更多取决于政策力度、炼化投资和供给体系的协同闭环。对我国而言，掺混 SAF 是形成规模减排效果的现实路径。C909、C919 等国产机型已具备使用既定掺混比例 SAF 开展运行的能力，政策层面也明确提出推进国产民机的 SAF 示范应用。下一步，在于尽快打通国产机型适航、油料供应、机场保障和航司运营之间的全链条协同，把示范应用转化为稳定的产业能力。

如果说掺混 SAF 是对现有航油体系的低风险延伸，那么 100% SAF 则是液体燃料飞机向深度脱碳迈出的关键一步。它的产业价值在于，在不彻底改变喷气客机总体构型和航空运输体系的前提下，为中远程飞机保留了一条高减排潜力的升级路线。对于依赖长航程和高载运效率的干线市场而言，这一路径的重要性尤为突出。

目前，100% SAF 正在从技术验证走向适航和工程数据积累阶段。波音、空客、GE、罗罗等企业近年来围绕多型机体和发动机开展了 100% SAF 地面和飞行试验，验证重点包括燃油系统适应性、材料和密封件兼容等。罗罗已宣布完成其在产民用发动机的 100% SAF 兼容性验证，这表明头部制造商正把这条路径视为新产品准备的重要环节，而不是单纯的演示项目。

从产业逻辑看，100% SAF 的瓶颈更多在“机外”而非“机上”。一方面，国际燃料标准和适航规则扩展仍需时间，常态化商业运行尚未建立；另一方面，高减排属性的 SAF，尤其是由可再生电力驱动生产的电可持续航空燃料（e-SAF）产能有限、成本高企，决定了即便飞机和发动机具备适配能力，也未必能迅速转化为规模市场。100% SAF 不是简单的飞机技术升级，而是一项需要整机制造商、发动机企业、燃料供应商和监管机构同步推进的系统工程。

对中国民机而言，100% SAF 更像是一项必须提前布局的“能力储备”。它未必会在短期内直接改变机队结构，却关系到未来国产干线客机和发动机能否在全球深度脱碳议程中保有竞争资格。因此，在掺混 SAF 示范应用基础上，围绕 C919、后续宽体平台和国产发动机逐步开展 100% SAF 适配试验、标准研究和自主数据积累，将是我们从“能用 SAF”走向“用好 SAF”的关键一步。

电动飞机：支线与小型通航的突破口

在绿色飞机版图中，混电推进被普遍视为一条兼顾技术可达性和商业可行性的过渡路径。它不追求一步到位地摆脱燃油系统，而是通过电池、电机与燃气轮机等热力发动机协同工作，在起飞、爬升和巡航等不同阶段优化能量分配，从而降低油耗和排放。混电推进最适合的不是大型干线客机，而是对航程要求适中、对运营成本较为敏感的支线市场。

从产业进展看，混电推进已从实验室论证走向工程样机阶段。以法国初创企业 AURA AERO 的 19 座 ERA、瑞典初创企业 Heart Aerospace 的 30 座 ES-30，以及空客、赛峰等联合开发的 6 座涡桨分布式混电推进验证机 EcoPulse 为代表，欧洲企业正围绕短程支线场景探索不同的推进构型和业务模式。在美国，Ampaire 公司的 9 座混电支线飞机 Eco Caravan，以及 Electra 公司面向通勤市场开发的 9 座混电超短距起降飞机 EL9 等为代表，混电推进同样正从改装原型机、技术验证机迈向可适航、可运营的工程样机阶段。行业之所以集中押注这一座级，不仅因为技术门槛相对可控，更因为这一市场长期面临“航程不长、航班频次偏低、盈利能力薄弱”的痛点，混电方案若能在能效和运营成本上取得突破，就可能重塑部分支线网络的经济性边界。

当前制约混电推进商业化的关键，不仅在于电池能量密度和电机功率密度的瓶颈，更在于整机层面的系统集成能力，包括高压供配电安全、功率电子与热管理、系统可靠性以及相应的适航审定方法等。混电飞机竞争的核心，不再是“能不能飞起来”，而是“能否在可接受的成本和监管框架下实现持续运行与规模化商业应用”。

从中国的产业条件看，混电推进具有较强的战略弹性。一方面，它有望与支线航空振兴、通用航空发展和低空经济建设形成良性衔接；另一方面，相比直接跨越到氢涡轮或各类大型零排放干线客机构型，混电更适合作为中国积累电推进系统、飞发一体化和新型适航能力的中间台阶。因此，以 10 ～ 30 座级的短程支线为载体打造验证和示范机型，可能比过早追求“颠覆式替代”更符合产业节奏。

纯电推进：小型通航和低空经济的先行者

在绿色飞机路径中，纯电推进往往最容易被公众理解，也最符合“未来出行”的想象空间。它完全依靠机载电池供能，由电机驱动推进系统，运行过程中零直接碳排放、噪声低、结构相对简单，因此在飞行培训、短途观光、低空物流等短程高频场景中具有较大的应用和吸引力。

从现状看，纯电推进已在小型飞机领域取得若干标志性进展。2020 年，斯洛文尼亚轻型飞机制造商 Pipistrel 研制的 2 座纯电飞机 Velis Electro 获得 EASA 型号合格认证，成为纯电飞机商业化进程中的重要里程碑；以色列初创企业 Eviation 的 9 座纯电飞机 Alice 等更大座级项目，显示出产业界向更高功率和更大载荷迈进的意愿，但其认证进度和商业时间表多次后移，表明电池比能量、热安全和运行经济性仍然构成难以绕开的硬约束；与此同时，一些早期明星企业如德国的 Lilium 和 Volocopter 已因资金链和商业模式等问题先后申请破产或被收购，而美国的 Joby 和 Archer 等企业虽仍在推进商业化，却也长期承受估值回调和监管不确定性的压力，提示纯电路线在迈向商业化的过程中同样面临严峻的融资与市场风险。因此，纯电推进的现实边界，至少在当前阶段，仍主要集中于 2 ～ 9 座级平台以及部分 eVTOL 场景。

纯电飞机不会率先改变大型航空公司的主力机队，却有可能优先改变通航和低空市场的服务形态。它的商业价值，首先来自短程、高频、低噪等特点与低空经济需求的匹配，其次才是更远期的大座级延伸可能。纯电推进的发展速度不仅取决于航空技术本身，还取决于地方低空基础设施建设、充换电体系以及空域管理和运行规则能否同步成熟。

对于我国来说，纯电推进是最容易与“低空经济”形成共振的绿色飞机路径之一。当前多家 eVTOL 企业（如亿航智能、峰飞航空、时的科技、华羽先翔等）和多个纯电固定翼项目（如锐翔的 4 座纯电飞机 RX4E、中航工业通飞的 2 座纯电轻型运动飞机 AG60E 等）已相继完成验证机或原型机首飞，并陆续进入型号合格证适航取证和应用示范阶段，政策层面也提出，在 2030 年前后实现 400 瓦时 / 公斤级航空动力电池的量产应用，并推动更高比能量产品的应用验证。因此，中国纯电飞机的重点不应放在与干线客机比高下，而应聚焦训练、巡检、短途客货运输、观光和城市、城际低空出行等可形成商业闭环的细分场景。

氢能飞机：面向中长期的零碳愿景

如果说纯电推进代表的是电池驱动的低空未来，那么氢燃料电池推进则更像是零碳通勤航空的潜在入口。其基本原理是通过燃料电池把氢气的化学能转化为电能，再由电机驱动飞机推进，兼具零碳排放、低噪声和较高系统效率等特点。与纯电飞机相比，它在能量密度上更具优势；与氢涡轮相比，它更适合中小型座级和区域通勤市场，因此被广泛视为 2 ～ 40 座级航空器实现零碳运营的重要候选路线。

从产业看，氢燃料电池飞机正从试飞验证走向监管探索。美国控股、英美两地运营的氢燃料电池航空公司 ZeroAvia 正在推进 ZA600 氢电推进系统试飞，并在 FAA 的监管工具支持下，开启面向 ZA600 系统的适航路径探索；空客则在 ZEROe 项目框架下推进兆瓦级燃料电池动力系统测试，围绕未来 100 座及更高座级氢电客机目标积累系统集成经验。这说明，该路线的产业焦点已经从实验室原理验证，转向机载功率等级、飞行安全和认证可行性等现实工程问题。

氢燃料电池推进要真正落地，还必须跨过三道门槛：一是提升燃料电池系统功重比和寿命水平，二是解决储氢系统的轻量化与安全性，三是建立机场制氢、储运、加注和应急保障体系。因此，未来十年该路线更有可能先在中小型通勤、区域货运和验证型运营场景中试水，而不是直接走向主流干线航空市场。

对我国而言，氢燃料电池飞机的价值不在于短期形成规模市场，而在于尽快建立零碳航空的工程能力和规则参与能力。以中国商飞“灵雀 H”等项目为代表的早期探索，已经为国内积累了初步经验，但与国际先进企业相比，在高功率燃料电池系统、机载储氢装备、整机集成和适航方法等方面仍有较大提升空间。如果能够结合支线运输、低空货运和新型通勤市场提前布局，中国有望在这一中小型零碳航空赛道中形成自身特色和比较优势。

在所有绿色飞机路径中，氢涡轮推进被普遍视为最接近未来大型客机远期替代方案定位的技术路线之一。其基本思路是以液氢替代传统航煤，在改造或新设计的燃气涡轮发动机中直接燃烧，从而在保持较高功率密度和中远程航程能力的同时，推动大型或中远程飞机实现深度脱碳。正因如此，即便氢涡轮距离商业化应用仍然较远，却始终被整机制造商和发动机企业视为未来干线市场竞争格局中的关键筹码和押注方向。

氢涡轮推进并不是简单的“换燃料”，而是会牵动飞机总体布局、储氢方式、燃烧室设计、热管理以及机场保障体系的一系列系统性重构。空客 ZEROe 项目早期提出了多种氢涡轮推进构型，并通过 A380 ZEROe 演示机和一系列欧盟氢能联合研发项目，围绕液氢储罐、氢燃烧和系统集成等关键环节开展验证试验。中国航发研制的 AEP100 兆瓦级氢燃料航空涡桨原理样机完成多次台架试车，并在 7.5 吨级无人运输机平台上成功实现首飞验证，表明国内也开始由概念研究逐步走向工程化验证阶段。

但从产业落地节奏看，氢涡轮显然不是解决未来十年航空减排压力的现实工具。目前全球范围内尚无氢涡轮客机投入商业航线，主流预测多认为最快也要到 2035 年前后才可能出现首批示范机型，真正走向较大规模应用大概率要在 2040 年以后。因此，对产业界而言，氢涡轮更像是一项面向 2040 年以后干线市场的战略储备，短期难以直接贡献运力和收入，却会深刻影响下一代大型客机的技术路线、产业链重构方向和国际竞争位势。

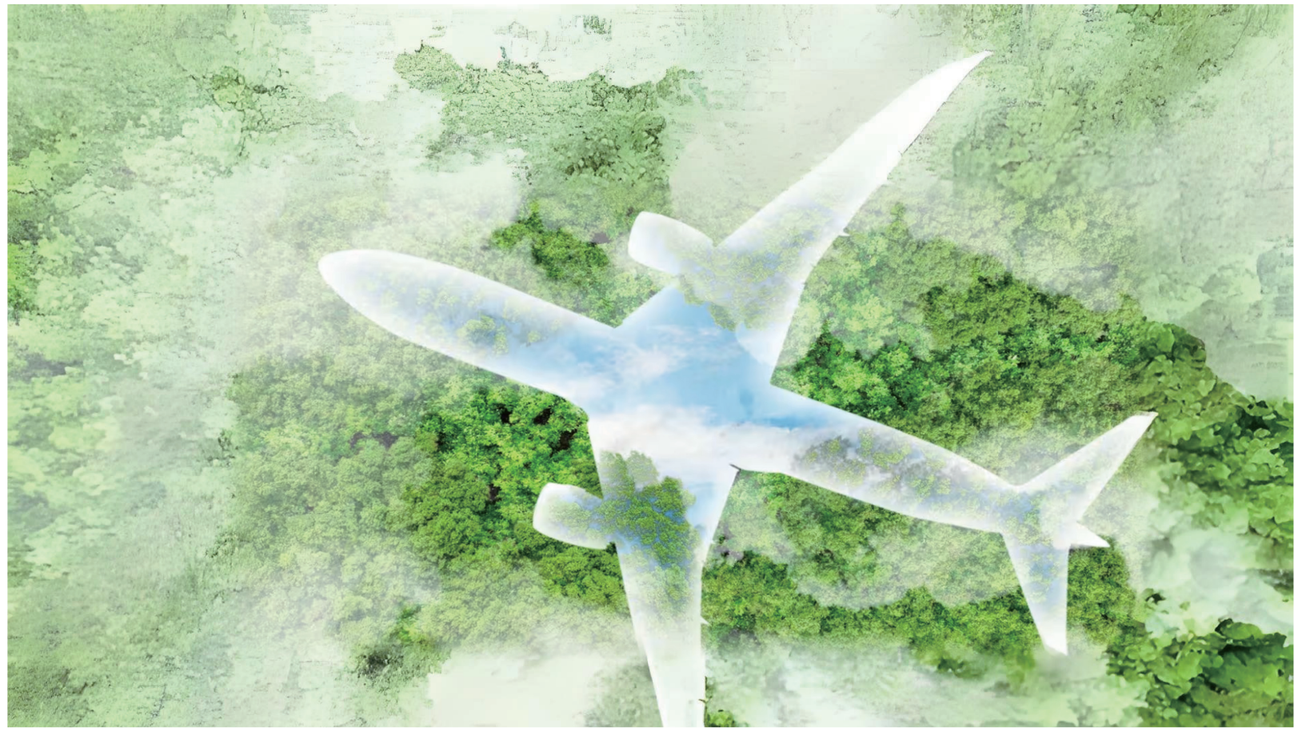
对我国民机产业而言，氢涡轮最需要的是一种面向 2040 年以后的大型客机“长期主义”布局。既要围绕氢涡桨、氢涡扇形成分层推进的技术路线，也要把液氢制储运加体系、安全标准和适航规则研究同步纳入整体规划。只有把发动机、整机、机场和能源系统统筹起来，氢涡轮这条目前看来最远的路线，才有可能在未来真正转化为中国大型民机跨代发展的新机遇。

多路线并行下的趋势、挑战与中国选择

当前，全球绿色飞机发展正在形成一张相对清晰的产业路线图：掺混 SAF 为当前减排提供主力支撑，100% SAF 为液体燃料体系保留深度脱碳潜力，混合电推进和纯电推进分别在支线市场与小型通勤 / 低空经济中寻找突破，氢燃料电池和氢涡轮则共同指向零碳航空的中长期未来。未来相当长一段时间内，航空脱碳不太可能由某一条单一路线“包打天下”，而更有可能呈现“短期依托 SAF 稳住运力规模与减排节奏，中期依托电推进拓展新场景，长期依托氢能重塑干线技术格局”的分阶段演进态势。

六条路径都面临着严峻的现实制约：SAF 受制于产能、成本和原料约束，电动飞机受制于电池比能量、高压安全和适航规则，氢能飞机则面临储氢、基础设施和认证体系的系统性挑战。这意味着，绿色飞机的竞争本质上已不再是单一机型或单项技术的竞赛，而正演变为能源供给、航空制造、机场保障、政策规则和商业模式等全链条能力的综合比拼。

更重要的问题不是押注哪一条路线，而是如何在不同时间窗口形成合理的资源配置和产业节奏。近期应把 SAF 兼容与示范运营作为抓手，尽快形成国产机型与燃料体系的协同能力；中期应围绕混电推进、纯电飞机和氢燃料电池平台，系统积累工程经验和适航能力；长期则需围绕氢涡轮和液氢基础设施提前布局。只有把绿色飞机发展纳入国家能源转型、低空经济培育和民机产业升级的大框架统筹考虑，才有可能在这场新一轮航空产业变局中，从“跟随适配”走向“主动布局”，并在部分细分赛道实现真正意义上的前瞻突破。



从 INSAT 计划看加拿大的绿色航空规划

文 | 钟怡菲　　编辑 | 庄敏

在全球应对气候变化的紧迫背景下，航空业的绿色转型已成为各国竞逐科技制高点与产业竞争力的核心战场。2022 年，加拿大交通部发布的《2022—2030 年航空气候行动计划》明确提出到 2050 年实现净零排放的战略目标，其中开发和采用绿色航空技术是关键路径。在此背景下，加拿大政府于 2023 年 6 月正式宣布启动“可持续航空技术倡议”（Initiative for Sustainable Aviation Technology,INSAT），通过“战略创新基金”（Strategic Innovation Fund,SIF）投入高达 3.5 亿加元的资金支持。该倡议旨在建立一个由产业界主导、覆盖全国的协作创新网络，以加速加拿大航空航天业的绿色转型。

截至 2025 年 11 月，INSAT 完成了三轮项目的征集与资助。Horizon Aircraft、飞鲸、

泰雷兹等公司均列其中，建立了从大型跨国企业到初创科技企业在内的广泛合作。

INSAT 计划情况

INSAT 计划由加拿大创新、科学和经济发展部组织，非盈利组织 Strix 负责管理，将政府资金、产业需求与科研力量有效结合，构建一个高效的创新生态系统。其使命是“协调和加速加拿大可持续航空技术的发展，通过促进跨行业合作和创新，推动加拿大航空业迈向一个更具环保意识的未来”。

INSAT 旨在加速交通、能源与信息技术领域的跨界创新，所有资助的项目均围绕以下四个关键的技术支柱（如表 1 所示）展开：

INSAT 是一项长期性资助计划，根据加拿大政府官方数据库的合同记录，该计划总价值 3.5 亿加元（约 2.5 亿美元），执行期为 2023 年至 2031 年，作为一项长期战略。项目申请方必须是加拿大注册企业，且每个合作项目必须至少有一家中小企业参与。项目技术成熟度需介于 3 至 7 之间，总周期不得超过 3 年，并承诺在项目完成后，新产生的知识产权需在加拿大境内保留至少 5 年。INSAT 计划采取“后补助”型的方法，即不承担项目全部费用，以报销形式提供资助，最高可报销符合条件支出的 36%，最高资助额为 700 万加元。

技术支柱	内容
混合动力与替代推进	推进绿色推进技术，重点发展电力传动系统、电池系统、氢燃料电池和新型热循环。
飞机架构与系统集成	显著提高飞机的效率和性能，并开发和集成新的飞机系统，包括空气动力学形状、轻质材料和结构、人工智能飞行控制系统以及优化电能管理的机载智能微电网。
向替代燃料转型	加强广泛采用和核证替代航空燃料所需的基本技术。这方面的例子包括允许使用高比例可持续航空燃料（SAF）混合燃料的适应技术，氢和其他无碳燃料的燃烧技术，以及机载低温储存系统。
飞机支持基础设施与运营	例如，用于氢气分配、储存、处理和加油的机场级技术、数字孪生以及用于下一代飞机开发的先进制造工艺。

▲ 表 1 | INSAT 计划的四个关键技术支柱

INSAT 计划特点

INSAT 计划并非简单的政府补贴，它强制要求产学研合作，鼓励 OEM 与中小型科技公司、大学形成联合体，旨在打通从基础研究到产品集成、再到市场应用的完整链条。计划条款强调技术的商业化潜力和知识产权保留，旨在确保研发投入能最终转化为加拿大的产业竞争力和就业岗位。同时，支持货运飞艇、远程无人机等项目，也隐含着加强北极及偏远地区物资运输主权能力的地缘因素考量。

国际航空运输协会 IATA 承诺到 2050 年实现净零碳排放，这对于各个国家而言并非单纯的技术挑战，更是国家间在下一代航空产业与市场主导上的博弈。各国基于自身产业基础、科研实力上推出了各具特色的国家级航空科技计划，如英国的“航空非二氧化碳影响项目”、欧盟的“洁净天空”等。对这三项计划从不同维度进行了比较。

综合来看，英国非二氧化碳项目是科学导向型的基础类研究项目，洁净天空 2 是欧盟作为工业领导性工业集团，为维持全球市场霸权，旨在进行全方位技术集成、平台验证与产业链协同，具有明显的“工业驱动”特征。加拿大作为中型航空强国，INSAT 更注重本土产业生态的构建与中小企业创新能力提升，确保其在绿色转型中不掉队。

比较维度	加拿大 INSAT	英国航空非二氧化碳项目	欧盟洁净天空
资助规模与周期	小型（单个项目政府平均资助约 400 万加元）、项目团队约 2 ～ 3 家，短期项目	小型（单个项目政府平均资助约 70 万英镑）、项目团队约 2 ～ 5 家，阶段性	巨型（单个项目政府平均资助约 400 万欧元）、项目团队约 3 ～ 10 家，长期项目
技术焦点与层级	侧重于 TRL3-7 的系统集成与商业化前验证	聚焦 TRL1-4 的基础研究	全方位技术验证，涵盖组件到整机全层级，目标 TRL5-6
知识产权强制性保护	在加拿大境内保留至少 5 年	无强制要求	无强制要求
管理机制	政府部门组织，非盈利组织 Strix 管理，要求组建联合体	自然环境研究理事会（NERC）、英国交通部（DfT）和英国商贸部（DBT）联合开展，ATI 组织评审	欧洲气候、环境和基础设施执行机构 CINEA 管理，工业界巨头如罗罗、空客等在具体项目中牵头
资助形式	项目后补助报销	立项征集资助	立项征集资助

▲ 表 2 | 不同研究计划间的比较

资助项目进展与案例分析

截至 2025 年 11 月，INSAT 已成功完成三轮项目征集与资助，支持了从大型跨国公司到初创科技企业在内的广泛合作网络。其中第一轮资助宣布时间为 2024 年 11 月，INSAT 出资 2800 万加元，项目总价值 1.01 亿加元；第二轮资助宣布时间为 2025 年 6 月，INSAT 出资 2480 万加元，项目总价值 8740 万加元；第三轮资助宣布时间为 2025 年 10 月，INSAT 出资 1800 万加元，项目总价值 6230 万加元。

第一轮项目有 5 个子项目。第一个是涡轮发动机高效先进材料（TEAME）项目，该项目合作方为普惠加拿大和衍生研究实验室（DRL），双方探索用于燃气涡轮发动机热段部件的先进材料，这将有助于提高热效率，减少燃料消耗和排放。普惠加拿大公司将领导整个项目，提供技术投入和项目管理，而 DRL 将为各种关键材料性能提供世界一流的测试能力。

第二个项目是开发用于航空应用的集成固态氢储存系统的燃料电池堆。合作方是巴拉德动力系统公司与氢动力公司。项目旨在开展必要的研究与开发工作，为航空领域打造可扩展、经济高效的氢储存与燃料电池集成解决方案，以解决重量与体积问题并优化加注后勤保障。评估优化后的高功率密度燃料电池堆与新型固态氢储存系统，可满足航空应用的严苛要求。

第三个项目是 Duxion 250 千瓦 eJet 实验性电动喷气机电池动力系统的地面测试。合作方是 Duxion Motors 公司和 Tronosjet 维修公司。项目通过增强系统冗余性、减轻重量及提升高空性能，为 Duxion 公司 250 千瓦的 eJet 首次飞行做准备。这款由电池和 Duxion eJet 驱动的单发单座实验性喷气机将完成地面测试，为后续飞行测试做好准备。 通过分析、制造、飞机集成及地面测试获得的经验教训，将作为系列项目收尾分析的输入依据，其中包括商业运营的可扩展性评估。

第四个项目是德哈维兰加拿大 DHC-2“海狸”号飞机的电动化改造。合作方是 Harbour Air 航空公司与 Elevate Aviation 公司。“海狸”是一种单引擎高

翼螺旋桨驱动短距起降（STOL）飞机，由德哈维兰加拿大公司开发和制造。它主要作为灌木飞机运营，已用于各种用途，如货运和客运运输，航空应用（作物喷粉和空中追肥）和民用航空任务。Harbour Air 航空公司与 Elevate Aviation 合作，旨在填补传统航空与电动航空之间的知识鸿沟，同时鼓励青年探索这一创新领域的职业发展。项目成功后，Harbour Air 计划将其所有海狸机队完成改装，并为其他运营商提供改装服务，同时将相关知识产权应用于其他机型。 Elevate Aviation 将通过在温哥华建立学习中心支持教育环节，为 11 ～ 18 岁青少年开设课程，培养设计、操作和维护电动航空技术所需的新一代专业人才，激发他们投身航空业的热情。

第五个项目为氢先进发动机研究（HyADES）。合作方是普惠加拿大公司和 Next Hydrogen Solutions 公司。其中，普惠加拿大公司将在 PW127XT 支线涡桨发动机上演示氢燃烧技术。该项目中的 Next Hydrogen Solutions Inc. 公司将开发建立氢气生产基础设施所需的高效、低成本电解槽。

第二轮项目也有 5 个子项目。第一个项目是轻型高效电动飞机机舱（CLEVER）项目，合作方是德莱斯泰克公司与飞鲸公司（魁北克）。

CLEVER 项目旨在为飞鲸公司的 LCA60T 混合动力飞艇开发轻量化机舱，该飞艇专为基础设施匮乏地区的重型货物运输设计。机舱划分为两个关键任务区：飞行操作区（驾驶舱）与有效载荷管理区（LEO）。其设计运用先进系统集成技术（尤其在电气系统领域），并通过计算建模与新型制造工艺实现结构减重。 项目目标是通过开发全尺寸（1:1）机舱原型验证关键技术。

第二个项目是低排放飞机飞行测试与控制法规制定，合作方是庞巴迪公司、维多利亚大学、航空航天研究中心，Quaternion 工程公司。项目主要目标是在飞行过程中验证并评估一种创新型翼身融合型（BWB）飞机布局的适航性、控制律（CLaws）以及稳定性与可控性。其宗旨在于探索并发挥翼身融合设计的固有环保优势。该项目基于现有知识体系，充分挖掘该设计方案的潜力，尤其在降低排放和减少化石燃料消耗方面。目前已投入大量研发资源，对 BWB 飞机进行渐进式探索。

第三个项目是基于超长航时太阳能电动无人机的可扩展遥感技术，合作方是 Superwake 有限公司与多伦多城市大学。Superwake 和多伦多城市大学（TMU）正联合研发全球首款完全融入空域的远程无人机测绘解决方案，旨在提供大面积按需成像服务。目标用户涵盖自然保护机构、野火消防员、气候科学家、林业工作者及农业从业者。该方案将推动行业摆脱对有人驾驶飞机的依赖。Superwake 和 TMU 合作研发了超高续航能力的太阳能无人机，可以在空中停留 24 小时以上。2023 年的公开报道中，该公司研发的无人机翼展超过 6 米，重约 12.5 公斤，主要由碳纤维 / 玻璃纤维层压板制成，重量轻，强度高。

为实现技术突破，双方正同步推进四大核心技术研发: 机载探测避障系统；极寒环境电池；低阻力气动弹性定制机翼；航迹优化算法。

第四个项目是面向可持续航空器的机载直流微电网：从设计到仿真验证，合作方是 OPAL-RT 和拉瓦尔大学。

新一代电动飞机将有助于减少温室气体排放，其研发需开发符合 MIL-STD-704F 标准的高性能机载微电网。直流配电虽具有效率提升等优势，但在电气故障时可能引发稳定性与安全隐患。网络架构的选择需通过精细分析，以优化重量、效率、可靠性及韧性。 拉瓦尔大学与 OPAL-RT 联合开展的研究聚焦于网络组件优化、能源管理及基于协同仿真技术的实施，旨在通过原型验证与实景演示加速设计进程。

第五个项目是未来环保型飞机控制系统开发项目，合作方是泰雷兹加拿大、庞巴迪和 ICARUS。项目致力于泰雷兹公司新一代控制架构的设计与验证，同时支持庞巴迪公司开发的先进飞机配置——翼身融合体飞机的研发。 泰雷兹的核心目标是通过设计开发集控制、指挥、导航与监视功能于一体的架构，彰显其在关键系统领域的专业实力。而 ICARUS 公司则将致力于研发可收放式支架技术，该技术将集成于控制系统，从而实现主动系统的部署。DeCAF 支持 Ecojet 研究项目的路线图，该项目旨在开发可将飞机碳排放量降低 50% 的新技术，尤其通过使用缩比模型作为验证手段。

第三轮项目同样包括 5 个子项目。第一个是 SAF 飞行学校项目，合作方包括 BioFlight 燃料公司、Ivys 吸附公司和 Brightspot 气候公司。项目将对生物气制成的可持续航空燃料（SAF）进行认证，并验证其环境效益。 BioFlight 将携手 Ivys Adsorption 与 Bright Spot

▼ 图 3 | DHC-2“海狸”号

Climate，整合先进沼气提纯技术与费托合成技术推动商业化进程，生产符合 ASTM 标准的 SAF。项目将建立碳减排模型及认证供应链框架，确保 SAF 符合为加拿大实现航空净零排放目标作出直接贡献。

第二个是加拿大研发可持续全天候起降系统，合作方是新地平线飞机运营有限公司、多伦多大学管理委员会和飞行测试卓越中心有限公司。项目聚焦开发并测试适用于 eVTOL 飞机的全天候垂直推进系统，第一阶段重点研究先进防冰技术特性，包括疏冰技术与电热防冰技术。第二阶段计划在地平线公司的 Cavorite X7 eVTOL 上进行技术测试，该型号飞行器在 2025 年 5 月成功实现了翼内风扇设计下的稳定翼载飞行过渡，公司计划为该飞机获取已知结冰环境的飞行认证。

第三个项目是绿色、混合氢能和电动航空的测试方法和试验，合作方是飞行测试卓越中心有限公司和 MTLS 航空结构有限公司。项目旨在研发一套完整的模块化工具及地面 / 飞行测试设备。该测试基础设施对于验证航空领域脱碳所需技术 (如混合动力、电动及氢能新型推进系统) 的测试与认证至关重要。

第四个项目是协同规避开发方法成熟度。合作方是泰雷兹加拿大、Jaunt Air Mobility 加拿大公司和 Vertiko Mobilité 公司。为满足无人机与 eVTOL 领域日益增长的需求，制造商正开发新型飞行器，但面临技术挑战，尤其在空域共享与运行可预测性方面。关键问题包括信息共享、连接性、航路规划及空中碰撞规避。空中碰撞规避是空中交通管制与飞机系统的共同责任，相关标准化工作正在推进。本项目旨在增强无人机和 eVTOL 飞机的空中冲突检测、导航及规避系统，重点关注能源管理和运行场景。

第五个项目是轻型混合动力电动飞行器控制与航电系统，合作方是魁北克飞鲸公司和泰雷兹加拿大。项目致力于开发 LCA60T 的飞行控制、航电及电力分配系统，该机型配备 32 台电动螺旋桨电机、纹盘和电动尾部作动器。这些系统对飞行操作至关重要，尤其在悬停进行货物交换作业时。该项目通过地面试验台集成测试及模拟器演示，力争实现技术成熟度等级 (TRL)7 级目标。

▲ 来源：aircraftinteriorsexpo.com

全球三大区域的发动机 MRO 企业的市场挑战

文 | 赵平　　编辑 | 庄敏

如今，航空发动机相关新闻频频登上行业头条。发动机制造商除了承受着巨大的产能爬坡压力，还要持续处理发动机在翼运行中低可靠性的问题；此外，航空公司为了满足运力需求，仍在继续运营老旧机型，所以老旧机型的售后服务同样重要。本文聚焦全球三大区域的主要航空发动机维修企业，分析它们所面临的主要机

遇与挑战。

北美地区

北美地区的航空运营商仍保持着高利用率运营，窄体机队尤为突出。在过去几年里，新一代发动机耐久性问题已对多家北美航空运营商造成影响，导致北美机队中大批在翼发动机需要提前拆下送修，主要是 CFM 国际公司的 LEAP1A 和 LEAP-1B 发动机，以及普惠公司的齿轮传动涡扇（GTF）发动机。

近年来，普惠公司已将美国佛罗里达州西棕榈滩的发动机维修车间产能提升 40%。此外，达美技术运营公司（Delta TechOps）作为普惠公司 GTF 发动机 MRO 维修网络的重要成员，也计划在未来 10 年内，将为空客 A220 提供动力的 PW1500 发动机年修理产能提高到 450 台以上。达美技术运营公司同时也承担 PW1100 系列发动机的维修工作。

从北美地区上一代发动机维修市场表现上看，CFM 国际公司的 CFM56 系列与 IAE 的 V2500 系列发动机维修市场需求依然旺盛，预计到 2028 年，上一代发动机送修量将超过预期，但发动机维修市场的重点已经在悄然发生变化。CTS Engines 公司表示，北美地区的发动机维修市场在出现明显转变，航空公司与发动机 MRO 企业正愈发聚焦于 GTF 和 LEAP 系列发动机，随着维修资源与产能向这些新一代发动机倾斜，对上一代发动机的维修保障能力变得愈发有限。

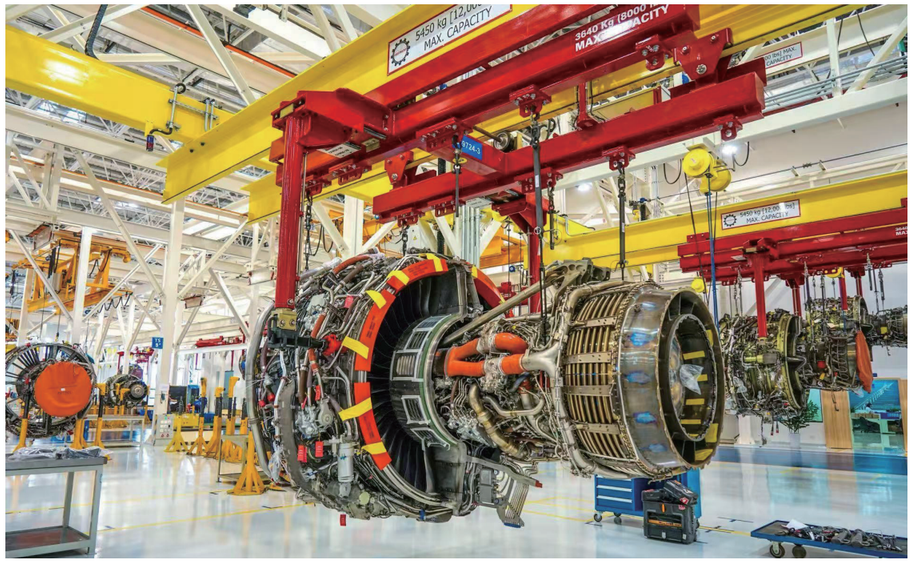
一个直观的现象是，上一代发动机试车台资源紧张，在过去半年中，上一代发动机的试车工位需求明显增多，预计这一趋势短时间内将延续。虽然上一代发动机维修需求还很大，但新一代发动机的耐久性问题直接导致上一代发动机的维修资源被挤占，上一代发动机可获得的维修服务在变少，这就给独立第三方发动机 MRO 企业带来了市场机遇。

CTS Engines 公司认为，像 CTS Engines 这样的独立发动机 MRO 企业有望获得更大的市场发展空间，为仍主要运营 CF6 等上一代发动机的航空运营商提供维修服务。

由于北美地区发动机维修厂面临维修周期延长、人力紧张、航材供应不稳定等问题，北美地区部分航空公司已对其售后保障策略进行了多元化调整。例如，在可行条件下，将发动机 OEM 的维修协议与独立第三方发动机 MRO 企业的产能相结合，控制发动机送修周期，同时对发动机送修计划进行更长期的规划。新一代发动机在投入运营时出现的各类问题，已促使很多运营商将发动机租赁期延长 2 ～ 3 年以上，这会导致这些延长租期的发动机在送修时的送修工作范围更大。

北美地区部分航空公司正在按机型调整发动机机队管理策略。加拿大航空正逐步淘汰机队中的 CFM56-5A 发动机，同时通过采取措施延长 CFM56-5B 发动机的在翼寿命。该航司在 2025 年 10 月《航空周刊》举办的欧洲 MRO 展会上谈及 CFM56-5A 时表示，为了保障当前机队平稳迭代，加拿大航空将从即将退役的飞机上拆下状态良好的发动机作为备用发动机使用。

尽管许多发动机 MRO 企业将劳动力短缺和航材供应不足列为当前发动机维修市场面临的主要挑战，但北美地区的发动机维修企业正通过提升产能保障新一代发动机的运行。StandardAero 公司计划在 2029 年前提升其圣安东尼奥工厂的 LEAP-1A/-1B 发动机维修产能。目前，北美地区对发动机快修和性能恢复的需求持续上涨，这也反映出全球范围内的整体趋势。



作为 CFM Premier MRO 网络创始成员，StandardAero 公司还向送修发动机的运营商提供 LEAP 系列发动机的短期租赁服务，以解决航空公司的短期发动机需求。

与此同时，德国 MTU 航空发动机有限公司沃思堡工厂正在逐步转型成综合性发动机维修基地，目前已加入 LEAP 发动机和 GEnx 发动机的 MRO 网络。其中，GEnx 是波音 787 飞机的两款选装发动机之一。

欧洲地区

欧洲地区的航空公司，尤其是拥有枢纽航线网络的大型航空公司，正推行机队简化策略，旨在降低对传统宽体飞机发动机的依赖，将维修和运营集中于市场保有量大的窄体飞机上，同时优化发动机维修与备用发动机管理。

与此同时，欧洲地区发动机 MRO 企业也在维修技术研发上寻求突破。随着新一代发动机逐步进入成熟使用阶段，汉莎技术公司（Lufthansa Technik）计划针对新一代发动机开发更多维修能力。该公司计划 2027 年在葡萄牙波尔图附近新建一处飞机及发动机零部件维修设施，员工规模将超 700 人。该基地将具备深度维修能力，以缓解汉莎技术公司位于德国汉堡的发动机主维修中心的产能压力。

德国 MTU 航空发动机有限公司计划扩大其全球维修网络产能，在欧洲及全球范围内拓展针对 LEAP 等新一代发动机的维修与测试能力。葡萄牙航空旗下维修子公司 TAP Maintenance &Engineering 正推进 LEAP-1A 维修资质获批工作。该公司已通过了 LEAP-1A 发动机零部件修理、全面大修及试车的相关审定，并完成了里斯本试车台设施升级。

为了更好地掌控窄体飞机发动机的维修业务，爱尔兰低成本航空公司瑞安航空（Ryanair）计划在未来 5 ～ 10 年内投产两个发动机维修车间，目前仍在欧洲及北非地区进行选址评估。

在宽体飞机发动机维修领域，罗罗公司已完成英国德比总部基地扩建，并恢

复了其在德国达勒维茨的商用发动机维修服务。此外，罗罗公司还与土耳其航空技术公司（Turkish Technic）合作，在伊斯坦布尔建设一座用于 Trent XWB、Trent 7000 的发动机维修车间，计划于 2027 年投入运营。

相较全球其他地区，欧洲发动机 MRO 企业在成本结构方面存在劣势，这促使他们推行增效举措，在数字化检测、预测性维修和模块化维修等领域持续投入。叠加地缘政治影响以及企业对于提升供应链韧性的重视，未来欧洲地区可能会涌现出一些规模较小的本地化发动机 MRO 企业。

亚太地区

预计到 2026 年，亚太地区将成为全球发动机维修市场增长最强劲的区域，核心驱动力来自亚太地区机队持续扩张以及境内外客运需求走高。据《航空周刊》预测，2026 年亚太地区窄体飞机发动机维修业务占比将达到约 47%，宽体飞机发动机维修业务占比接近 45%。

受疫情期间劳动力流失影响，亚太地区航空供应链仍处于恢复阶段，区域内整体发动机维修产能存在缺口，但行业投资热度不减，多个国家和地区均在扩大维修产能。

例如，大韩航空（Korean Air）作为亚太地区规模领先的航空售后服务商，正在仁川机场附近建设大型发动机 MRO 产业集群，项目计划于 2027 年竣工。设施建成投用后，大韩航空年发动机维修产能将从 100 台提升至 360 台，产能增幅超过两倍。

再如，罗罗公司在中国的首个发动机 MRO 企业——北京航空发动机服务有限公司（BAESL）于 2025 年底投入运营，为亚太地区宽体飞机发动机 MRO 市场带来跨越式变化。该维修厂主要维修用于空客 A350 飞机的 Trent XWB-84/-97 系列发动机，以及用于空客 A330neo 飞机的 Trent 7000 发动机。预计该厂在本世纪 30 年代中期达到满产状态，年维修数量最高可达 250 台。由罗罗公司与新加坡航空工程有限公司合资的新加坡航空发动机服务公司（SAESL）也在努力将其发动机维修车间的产能提升约 40%；罗罗公司与香港飞机工程有限公司（HAECO）合资的香港航空发动机服务公司（HAESL）也在不断加大工具设备的投入。

2025 年，德国 MTU 航空发动机有限公司与中国南方航空股份有限公司的合资企业珠海摩天宇航空发动机维修有限公司在金湾厂区启用其第二个发动机维修车间，该车间主要进行 PW1100G 发动机的维修，预计年维修能力最高可达 260 台。与此同时，新加坡科技工程有限公司（ST Engineering）聚焦窄体飞机发动机维修能力的提升，持续扩大 CFM56 及 LEAP-1A/-1B 发动机的维修产能。

2026 年我国国际航空运输市场发展

文 | 尤怀墨、刘月　　编辑 | 林喆

2025 年全球经济呈现“韧性与乏力并存、分化与调整交织”的特征。2026 年全球经济增长动能持续减弱，“东升西降”的区域分化格局进一步深化，发达经济体受高通胀余波、劳动力紧张、债务高企等问题困扰，增长乏力；新兴市场凭借人口、资源、政策红利领跑全球，其中亚太等区域增速尤为突出。国际权威机构普遍预判全球经济将维持“弱复苏、低增长”的态势，其中，国际货币基金组织预测 2026 年全球经济增速约 3.2%，新兴市场增速达到 4.0%，美国、欧元区分别为 2.4%、1.3%；联合国、世界银行预测更谨慎，全球经济增速分别为 2.6%、2.7%。这就要求我国国际航空进一步优化区域布局，深耕新兴市场，不断开创新的发展路径。

2026 年宏观经济运行态势

2025 年全球贸易环境剧烈动荡，特朗普政府以“美国优先”为导向推行“对等关税”，引发多国报复性反制，贸易壁垒攀升、跨境流量下滑、供应链区域化、近岸化布局加速。2025 年下半年起，在全球复苏诉求、多国政策协调等因素推动下，贸易环境出现局部修复迹象。2026 年这一修复进程有望延续，但受保护主义思潮、地缘冲突、全球需求疲软等制约，全面复苏阻力较大，整体预计呈现“弱势修复、渐进改善”态势。

小额包裹关税政策调整对跨境电商及关联物流需求影响深远。2025 年 5 月起，美国终止对华小额包裹免税待遇，征

收 54% 从价税或每件 100 美元从量税，Temu、Shein 等跨境电商平台被迫加大欧洲及东南亚、拉美等新兴市场布局。而 2025 年底，欧盟、英国也相继宣布调整关税豁免政策，使得跨境电商面临的全球监管环境持续收紧，跨境电商行业加速向多元布局、本地化运营转型，全球贸易结构与航空物流市场格局正迎来深度重塑。

我国免签“朋友圈”持续扩大，240 小时过境免签、离境退税等便利政策落地实施，极大激发跨境旅游与商务出行需求。截至 2025 年底，我国单方面免签国家增加至 48 国、互免签证国家扩大至 29 国，推动对中国单方面免签国家增至 28 国，免签覆盖范围持续扩大，有效降低了入境门槛。这一系列便利化措施，为 2026 年国际航空客运市场，特别是入境旅游市场的复苏与增长，注入了强劲的政策动力。

此外，2026 年原油供给端面临多重冲击叠加，尤其是在“2·28”美以袭击伊朗以来，伊朗原油出口受阻，霍尔木兹海峡进入事实关闭状态。尽管 OPEC+ 已宣布自 4 月起日均增产 20.6 万桶以稳定市场，但当前海湾产油国的闲置产能高度依赖霍尔木兹海峡出口，若航道持续受阻，增产承诺难以转化为实际供应。

2025 年美元兑人民币汇率呈“先升后贬”走势，为航司释放汇兑收益。2026 年人民币有望延续偏强运行，尽管美以伊冲突导致美元反弹，但地缘因素难以主导美元周期走向。据德意志银行预测，2026 年底人民币兑美元汇率达 6.7，2027 年底进一步升至 6.5。然而，若地缘冲突导致原油供应实质性中断，人民币升值幅度恐难以完全对冲由此引发的燃油附加费传导压力及需求侧波动，因而对盈利的支撑作用存在上限。

地区	时间	政策内容
美国	2025 年 4 ～ 5 月	2025 年 5 月 2 日起终止对从中国内地和中国香港进口的小额包裹免税待遇，需缴纳其价值 54% 或每件 100 美元的关税。
欧盟	2025 年 12 月 18 日	自 2026 年 7 月 1 日起，将对来自非欧盟国家的价值低于 150 欧元的包裹征税，每批货物临时加收 3 欧元的进口关税，并计划在 2 年后实施永久性关税。原计划为 2028 年生效。
英国	2025 年 11 月 26 日	英国财政部宣布将取消价格低于 135 英镑的商品的关税豁免政策，预计该变动至少要到 2029 年 3 月才会实行。

▲ 表 1:2025 年以来小额包裹关税豁免政策变化
资料来源：作者整理

纵观 2026 年，大国博弈将更多围绕利益平衡、战略收缩与局部对抗展开，整体格局有望保持稳定，但局部扰动与规则博弈仍将对全球复苏与贸易流通构成影响。

美国对外战略呈现收缩性与激进性并存的矛盾格局。2025 年底，特朗普政府发布《美国国家安全战略》，标志着美国对外战略从“全球主导”转向“美国优先”，战略收缩态势显著，将更多精力聚焦本土利益与西半球主导权争夺，委内瑞拉和格陵兰岛事件便是典型案例。而今年发生的美以伊冲突，表明特朗普政府对外行为具有激进性与不可预测性，也导致中东航线处于高度不稳定状态，航司需在风险评估与战略布局间寻求新的平衡。

2026 年我国民航市场特征研判

一是增长态势温和理性。2026 年，我国国际民航市场将在全球经济温和复苏、国际经贸往来回暖的宏观背景下，延续稳健复苏态势，但增速将从疫情后的高速反弹转向温和理性增长，正式步入“高质量复苏”周期。随着免签政策持续加码、跨境出行便利化水平提升，入境游客源结构将更加多元，散客化、个性化、深度体验化成为主流趋势，商务出行与旅游需求有望实现协同增长。货运市场迎来结构性变革，跨境电商小包直邮模式受监管政策调整影响降温，半导体、服务器及人工智能相关硬件及医药冷链、高端机械设备等高价值货物成为核心需求，推动货运向高价值密度转型。

二是运力供给持续紧张。受全球航空制造业供应链危机持续影响，我国航司 2025 年面临一定运力紧张压力。与此同时，需求端呈现稳步复苏态势，国际经贸往来持续恢复、入境旅游市场回暖、AI 基础设施全球布局推进，共同推动航空客货需求温和上升。

在此供需背景下，部分热门远程航线、节假日航线可能出现局部供不应求的局面。国际客运票价具备显著向上弹性，尤其是公商务需求集中的中欧、中美远程航线，票价有望稳步回升，行业客运收益质量将持续改善；货运运价在供需紧平衡及高附加值货品占比提升的双重支撑下，将保持相对稳定。但价量上涨幅度将受全球经济增速、行业竞争秩序、地缘政治扰动等因素制约，整体呈现“稳步回升、理性波动”的特征。

三是区域格局分化加剧。2026 年我国国际民航区域市场将呈现“新兴市场领跑、传统市场企稳、敏感市场承压”的分化格局，与全球经济“东升西降”趋势高度契合。东南亚、中亚、非洲等市场，受益于区域经贸合作深化、基建互联互通提速、旅游资源开发加速等因素，航线运力有望持续增加，成为行业增长的核心增量区域；北美、欧洲等传统市场将稳步恢复，但受经济增速放缓、地缘政治博弈、竞争加剧等影响，增长空间相对有限，航司将聚焦收益管理而非运力扩张；海湾国家的领空被迫持续关闭或局部受限，中东枢纽中转功能受到严重冲击，航线运行风险高、运力投放整体谨慎；中日航线恢复进度仍取决于双边关系发展，若政治互信未能改善，运力投放将持续受限，恢复进程缓慢。

▲ 图 1：Brent 原油价格变化趋势（截至 2026 年 3 月 31 日）
资料来源：TRADINGECONOMICS

四是竞争维度全面升级。市场竞争从单纯价格竞争转向价值竞争，各类经营主体差异化竞争凸显。客运方面，境内航司聚焦核心能力提升，通过深耕特色领域、完善航线布局等路径打造竞争优势；境外航司以宽体机和高端服务争夺远程高净值客源。货运方面，头部货代企业向供应链等高附加值赛道突围，物流主体推进“海陆空”多式联运融合，联盟化协作成为破局关键。市场竞争已升级为服务质量、运营效率、网络覆盖、人工智能应用能力等全方位较量，具备全链条服务能力与核心枢纽资源的经营主体有望在市场博弈中占据主导地位。

五是数智转型全面提速。在全球海关数字化改革与行业标准化倡议的双重驱动下，航空货运数智化转型进入加速期，正从“单点数字化”向“全链条智能化”跨越。国际海关组织（WCO）《未来海关框架》、欧盟 ICS2 系统等监管政策落地，要求航空物流全链条实现数据实时共享、全程可视化可追溯；IATA“ONERecord”标准推广应用，推动航空货运数据格式统一，打破信息壁垒，提升供应链协同效率。这既对物流商、航司的数据获取、整合、分析与应用能力提出更高要求，也倒逼行业加速数字化升级，以满足严格的监管合规要求与客户对供应链透明度、时效性的核心需求。

▲ 图 2：美元兑离岸人民币汇率及人民币汇率指数 资料来源：Wind 数据库

思考与建议

首先，要优化航线网络布局，强化航权博弈与保障能力。以国家外交战略为核心牵引，秉持“外交所向、航线所至”的发展理念，统筹推进“一圈六廊五通道”提质升级，确保航线布局与国家对外交往布局同频共振、同向发力。深化与“一带一路”共建国家、RCEP 成员国的航空合作机制，通过简化审批流程、优化航权配置、加强基础设施互联互通等方式，引导航司聚焦中亚、非洲、拉美等潜力新兴市场，拓展网络覆盖、加密航班频次，降低对传统欧美市场的过度依赖。针对中日航线波动等问题，建立常态化航权谈判与应急应对机制，强化沟通协商，维护我国航司合法权益；对受地缘政治冲击严重的航线，建立阶段性运力调配机制，通过政策引导、资源统筹等方式，助力航司有序转移运力至其他潜力区域。

第二，要完善成本风险管控，减轻行业经营压力针对油价、汇率波动风险，支持市场主体、科研机构建立行业油价与汇率风险管理公共服务平台，整合市场信息、发布趋势研判、推广成熟避险工具，引导航司科学规避风险；完善人民币汇率双向波动应对指引，开展专题培训与案例推广，鼓励航司运用外汇衍生工具构建多元化风险对冲体系。推动 SAF 产业生态构建，建立 SAF 技术研发与产业应用协同机制，支持企业扩大产能规模，推动 SAF 与传统航煤价格逐步趋同；细化欧盟碳关税（ETS）应对方案，探索建立碳成本分摊与传导机制，推行碳减排激励政策，试行对航司碳减排投入给予税收抵扣，助力行业绿色转型。

第三，要加速人工智能转型，构建行业标准体系。持续推动构建跨部门、跨主体的数据共享机制，建立统一的数据标准与安全规范，推动海关、航司、物流企业、机场等多方数据互联互通，打破信息孤岛，为人工智能应用筑牢数据基础。搭建人工智能技术应用交流推广平台，遴选标杆案例进行示范引领，引导航司、机场聚焦安全、运行、出行、物流、监管、规划建设等重点领域，加快人工智能系统落地应用，提升运营效率。逐步建立行业人工智能安全监管体系，规范数据采集、存储、使用及算法应用全流程，保障数据安全与合规运营。同时，鼓励航司、机场深度参与全球航空业人工智能规则制定，提升行业国际话语权。

最后，要完善入境旅游配套，激活跨境出行潜力。支持有条件的枢纽机场、航司健全入境游全周期服务体系，探索开发过境免签政策停留活动区域联游航线、“航空 + 高铁”联运产品、“邮轮 + 航空”联程套票等，满足入境游客多样性、差异化出行需求。推动枢纽机场优化过境免签旅游专用查验通道和快捷通关设施，实现旅行社团队游客快速通关；建好境外来宾一站式服务中心，强化多语种服务能力，提升入境游客出行体验。支持枢纽机场所在城市结合自身文旅特色与航空枢纽优势，实施全球品牌推广计划，借力涉外机构、航空联盟、文旅企业等机构组织，结合目标市场文化特色、消费习惯与客群偏好开展精准推介；用好境内外主流媒体、新媒体平台，构建线上线下联动、境内境外协同的全渠道全球传播体系，推动“中国游”“中国购”持续升温。

C909 飞机支线航班营销策略研究

文 | 张建恩　　编辑 | 林喆

当前 , 中国航空运输业正经历结构性变革。“干支通，全网联”已成为国家航空运输网络建设的重要战略方向，支线航空市场也迎来了前所未有的发展机遇。在此背景下， C909 飞机凭借其短窄跑道起降性能，以及在高寒、高温、高原机场的适应能力，正逐步成为航空公司拓展支线网络的主力机型。

《中国支线城市航空通达性报告》指出，2024 年，C909 在新疆区域的航班量占比已从 2023 年的 3.6% 跃升至 17.3%，同比增长约五倍。在国际市场，通过“干租”和“湿租”的运行模式，C909 飞机为印尼翎亚航空、老挝航空、越南越捷航空三家海外航司提供了更灵活的选择，也为国产客机的商业模式探

索开辟了新路径。这些成绩证明了 C909 的市场竞争力，但如何进一步释放其商业潜力，仍需系统化的营销策略支撑。

品牌塑造与价值传播

品牌价值是航司在市场竞争中脱颖而出的核心资产，这对 C909 机型尤为关键。航空公司需要从品牌定位、文化共鸣和传播渠道三个维度构建系统化的品牌战略，塑造 C909 独特的市场形象。支线航空的品牌塑造不应简单复制干线航空的豪华、舒适等传统诉求，而应立足支线市场的特殊性，强调通达性、可靠性和地域特色三大价值支柱。

首先，本土化品牌叙事是 C909 品牌建设的切入点。新疆市场的经验表明，将 C909 与区域发展战略相结合能有效提升公众认同感。在新疆，C909 被定位为“疆内环起来、进出疆快起来”战略的重要支撑，通过执飞塔城、富蕴、库车、且末等地区航线，有效提升了疆内城市间通达效率。这种将机型品牌与区域发展紧密绑定的策略值得在全国范围内推广。特别是针对川西高原、云贵山区等地面交通不便但旅游资源丰富的地区，突出 C909 的短跑道起降优势（1800 米以下跑道），强化其作为“山区百姓出行首选”的品牌形象。

▼ 华思清 摄

其次，C909 的视觉识别需要大胆融入地域文化元素。老挝市场的案例极具启发性——身披老挝国花占芭花涂装的 C909，配合全老挝语驾驶舱改造，不仅获得了当地民众的情感认同，也成为传播中老友谊的“空中名片”。其他航司可借鉴这一思路，在执飞九寨沟、稻城亚丁等著名旅游目的地的 C909 上采用“熊猫乐园”、“七彩云南”等主题涂装，并在客舱内布置地方特色文创产品展示，使每一架 C909 都成为传播地方文化的移动展馆。

第三，创新传播渠道对支线航空品牌建设至关重要。华夏航空的“航空 + 直播”模式提供了成功范例——通过打造“花样空姐”品牌 IP，将空乘人员转化为“云端推销员”，在直播间推介航线沿途的农特产品和旅游资源，实现了品牌曝光与商业转化的双重价值。在此基础上，航司可针对 C909 的主要客群（中小城市商务人士、旅游爱好者、探亲访客）的媒体使用习惯，构建抖音、微信、小红书等多平台内容矩阵。例如，邀请少数民族空乘用方言录制“C909 带你游西部”系列短视频；与旅游 KOL 合作打造“乘 C909 发现未知中国”主题内容；在相关平台开展“支线航空开放日”直播，展示 C909 的驾驶舱和维修过程，满足公众对国产大飞机的好奇心。

第四，构建品牌合作生态，有效放大 C909 的品牌影响力。支线航空不应孤立运作，而应积极寻求与旅游机构、地方政府、特色企业的跨界合作。航空公司可与新疆、黑龙江省文旅厅签署战略协议，将 C909 航线纳入地方旅游推广体系。例如，推出“乘 C909 游黑龙江”联合品牌，旅客凭登机牌享受景区门票折扣；与地方特产企业合作开发“C909 云端市集”，旅客可在飞行途中扫码预购沿线特色商品。这类合作既能丰富 C909 的品牌内涵，也能为合作伙伴带来客流，实现多方共赢。

C909 的品牌塑造是一项系统工程，需要产品力、文化力和传播力的协同共振。通过将国产民机的技术优势转化为乘客可感知的价值体验，将支线航空的通达性优势转化为区域发展的助推器，航空公司完全有可能将 C909 从单纯的运输工具，提升为深受民航市场欢迎的“国民支线飞机”品牌。

通程与联程产品设计

支线航空的核心价值在于连接，即将中小城市旅客高效输送至全国乃至全球航空网络。航空公司运营 C909 飞机不能仅满足于点对点航线开发，更需要构建系统化的航线网络战略，通过创新性的通程和联程产品设计，破解支线航空“最后一公里”难题。通程航班作为民航局“干支通，全网联”政策的重要载体，通过提供一次支付、一次值机、行李直挂和无忧中转服务，能够显著提升支线旅客的出行体验，是 C909 航班营销的关键突破口。

通程与联程产品是 C909 突破支线市场瓶颈的战略抓手。通过将离散的支线航线编织成有机网络，将单一的航空运输扩展为全链条出行服务，将 C909 发展为改变区域交通格局的网络型产品。在这一过程中，技术整合能力、合作伙伴生态和服务创新能力比飞机本身的性能更为关键，这要求营销团队具备系统思维和资源整合能力，从乘客痛点中寻找产品创新的机会。

跨航司联运合作和旅游一体化开发

当前 OTA 平台（在线旅行社）在中转产品推广上面临诸多制约，同一通程产品在不同平台显示不一致，甚至无法被搜索到。航空公司可主动打破这种壁垒，与主要干线航司（如国航、东航、南航）签署联运协议，将 C909 执飞的支线航线与干线航司的国内国际航线有机结合。技术上可采用“虚拟联程”模式——旅客在航司官网或航旅纵横购买组合行程，后台自动拆分至各承运航司，但旅客仍享受一体化服务保障。例如，达州－成都－上海航线的达州－成都段由 C909 执飞，成都－上海段由合作航司执飞，旅客可享受全程值机、行李直挂和航班延误无忧改签服务。这种模式既能弥补支线航司网络覆盖不足，也能为合作航司输送客源，实现互利共赢。

支线机场周边往往拥有优质但开发

不足的旅游资源（如四川稻城亚丁、云南腾冲）。航空公司可整合航线网络与旅游资源，打造“航空＋旅游”打包产品。例如，针对港、澳、台游客设计“乘 C909 游大美新疆”环线产品：成都—乌鲁木齐（干线航班）—吐鲁番（动车）—伊犁（C909）—和田（C909）—塔城（C909）—成都（干线航班），包含机票、酒店、景区门票和地面交通的一站式服务。这类产品通过 OTA 平台和旅行社双渠道销售，既能提高 C909 的客座率，也能促进地方旅游业发展，获得政府支持。航空与旅游的深度融合是支线航线可持续运营的有效路径。

大数据驱动的精准营销与运营优化

数字经济时代，数据已成为航空企业最核心的战略资产。对于运营 C909 支线航班的航空公司而言，大数据技术的预测和应用不仅能提升传统营销的精准度，更能从根本上重构运营模式，实现从经验驱动到数据驱动的转变。

在预测维度上，与传统干线航空不同，支线航线的历史数据往往匮乏，难以用传统时间序列模型进行预测。航空公司可采用“外部数据＋类比分析”的混合预测方法：一方面，整合各省市统计局的经济数据、旅游景区客流量、酒店入住率、铁路公路客运量等替代指标；另一方面，寻找经济发展水平、人口结构相似的城市航线作为类比参照。

在分析维度上，支线航空市场的高度分散性和需求不确定性，使得大数据分析变得尤为重要——只有通过多维度数据的采集、整合与挖掘，才能准确把握那些中小城市航空需求的微妙脉动，将有限的运力资源配置在效益最大的航线上。通过建立机器学习模型，系统可以自动识别影响支线需求的关键因子（如节假日效应、地方特色节庆、学校寒暑假等），动态调整 C909 的航班计划，避免运力浪费。

支线航空旅客主要由价格敏感型群体构成，但不同航线、不同时段的价格弹性存在显著差异。航空公司可构建基于大数据的价格弹性模型，综合考虑以下因素：同一 OD 对（起讫点）的地面交通替代方案及价格；航线上的旅客构成（探亲、旅游、商务的比例）；地方政府提供的航线补贴政策；竞争对手的定价策略等。例如，数据分析可能显示，哈尔滨—五大连池线的商务旅客占比高于预期，他们对早班机有刚性需求且价格敏感度较低，因此可减少早班机的折扣舱位数量，提高收益水平。还可以进一步识别同一航班上不同旅客群体的支付意愿差异，如旅游团客与散客、本地居民与外地游客等，通过渠道差异化定价实现收益最大化。

随着中国民航业的快速发展和国产民机的规模化运营，C909 作为国产支线航空的重要载体，在新疆、东北、东南亚等市场已取得一定成效。C909 支线航班的营销探索，不仅关乎一款飞机的商业成功，更关乎中国民机产业的市场化能力和中国支线航空的可持续发展模式。通过系统化的品牌塑造、网络化的产品设计、数字化的运营管理，航司完全有可能将 C909 打造为国产支线飞机的商业典范，为中国从“航空大国”向“航空强国”迈进贡献营销智慧。这一过程中积累的经验与教训，也将为后续国产民机的市场化运营提供宝贵借鉴。

全球航空业分化下的双城记
——西南航空与春秋航空业绩分化原因分析

文 | 王鹏　　编辑 | 林喆

后疫情时期全球航空业呈现出明显的复苏及分化状态。在低成本航空领域，分化尤其明显。成本结构的刚性和弹性、供应链的稳定性、商业模式对环境的适应性成为了决定企业走向的关键变量。美国西南航空和中国春秋航空是欧美和亚洲最具有代表性的低成本航空公司，近年来发展的态势反差比较大。西南航空陷入到运营困境之中，在连续几年业绩低迷之后被迫推行公司史上最大规模的战略调整。春秋航空在 2025 年实现净利润 23.17 亿元人民币，在国内延续着盈利领先的态势。两家航司不同的命运折射出低成本航空在不同市场发展阶段以及制度环境下的适应性演化，值得行业深入思考。

西南航空的“中年危机”

西南航空是全球低成本航空模式的开创者。创立时便始终秉持只用波音 737 系列机型这一策略。这使得西南航空机组人员的培训、飞机的维护以及航材储备体系得以极大地简化，将运营的复杂程度降到最低。点对点的航线网络结构令飞机得以避开大型枢纽机场的高成本以及拥堵状况，

使得飞机的利用率以及运营效率长时间在行业里名列前茅。这套颇为自洽的运营体系，为公司创造了连续 47 年保持盈利的良好成绩，成为全球商业航空卓越运营的范例。

新冠疫情对美国航空市场造成冲击之后，传统运营模式遭遇困境。2025 年，西南航空运送旅客 1.34 亿人次，同比下降 4.2%。旅客周转量 1394 亿客英里，同比下降 2.2%。全年的客座率为 77.4%，和上一年度相比大幅度下滑了 3 个百分点。机队规模 803 架，和 2024 年保持一致，运力扩张基本停止。全年净利润 4.41 亿美元，是 2021 年以来最低水平。

分析西南航空当下困境形成的原因，人力成本急剧攀升是首要原因。近年来，美国航空业劳动力市场一直都资源紧张。西南航空还有着业内规模最大、影响力最强的工会组织。2023 年 11 月，公司和空乘人员达成临时劳资协议，承诺在五年之内一共加薪 36%。到 2024 年初又和飞行员工会达成五年协议，加薪 29.15%，整个协议价值约 120 亿美元。这些协议暂时缓解了劳资方面冲突，但也极大增加了人力成本，严重削弱了公司盈利基础。

当人力成本变高时，西南航空长久以来所依赖的单一机型策略的脆弱性便彰显出来。在过去几十年里，西南航空借助波音 737 的标准化机队来获取规模效应以及效率方面的优势，这是其核心竞争力中的重要组成部分。但是波音公司从 2024 年开始出现质量事件，生产存在波动情况，飞机交付计划一直大幅度延期。2025 年西南航空把原本计划的 86 架新飞机订单削减到 73 架，并且还规划未来三年每年航班量只增加 1% 到 2%。在市场需求慢慢回暖的情形下，运力存在瓶颈，公司没有办法有效抓住增长机会。为了弥补不断上升的成本压力，西南航空把平均票价同比上调 6.7% 到 190 美元，客座率却大幅度回落，定价策略和价格敏感型客源之间的深层冲突展现出来。

持续经营存在压力。西南航空在 2025 年启动了一系列具有强烈颠覆性的改革举措。2025 年 2 月，公司宣告要裁减 15% 的企业支持岗位，涉及 1750 名员工，这开启了西南航空历史上第一次大规模裁员先河。公司还关闭了佛罗里达州劳德代尔堡和得克萨斯州奥斯汀这两个外站基地，将大约 280 名受到影响的空乘人员重新安置，来达成组织架构收缩以及节省成本的意图。

更具有标志性意义的是西南航空开始完全改写自身商业模式基因。2025 年 5 月 28 日，该公司正式结束已经实行了数十年的两件行李免费托运政策。对于购买基础票价的旅客，第一件托运行李收取 35 美元，第二件收取 45 美元。在 7 月 29 日，公司舍弃了同样极具辨识度的开放式登机选座系统。正式开始售卖指定座位机票，还推出了占总座位数三分之一的高级座位。选择这类座位的旅客能够拥有更大的腿部空间以及优先登机的权利。此外推出限制更为严格的入门级基础票价，旅行积分的使用规则也明显被收紧。与此同时西南航空加快机队更新换代步伐，计划让 50 架老旧的 737-700 机型退役，转而接收 38 架更为省油的 737MAX8 新飞机。公司 CEO 鲍勃 • 乔丹甚至公开提及，未来有可能放弃单一机型这个深深镌刻在企业 DNA 里的标签，研究引入不同机型来拓展长航线以及更高密度市场的可能性。公司所设定的目标是到 2027 年达成超过 10 亿美元的成本节约。

春秋航空的稳健成长

与西南航空处于困境中相比，春秋航空正在走出一条稳健成长的上升道路。根据春秋航空 2025 年年度报告，全年营业收入是 214.60 亿元，同比增长 7.30%。归母净利润 23.17 亿元，同比增长 1.96%。扣除非经常性损益后的净利润是 22.94 亿元，同比增长 1.75%。值得注意的是，由于递延税项等因素的影响，剔除税盾之后的利润总额达到 30.3 亿元，同比增长 14.2%，这更加能够体现主营业务的真实盈利能力。

在运营方面，2025 年，春秋航空运输旅客 3233.5 万人次，同比增长 12.7%。旅客周转量同比增长 12.1%。客座率维持在 91.5% 的高水平上，同比微升 0.04 个百分点。在运力投放方面，可用座位公里（ASK）同比增长 12.08%，基本跟旅客周转量的增速相匹配。特别突出的是国际航线变成了增长的主要动力，2025 全年国际航线 ASK 同比增幅达到 28.52%，远远高于国内航线 8.71% 的增速。日本、韩国航线由于免签政策的推动，客流量大大增加，部分赴韩航班的外籍旅客占比一度靠近 80%。泰国航线运力已经恢复到 2019 年同期的 70% 以上，又重新稳定了它作为第一大国际航线的地位。

春秋航空一直持续跑在同行业前面，成本控制方面的能力是最为关键的核心所在。该公司实施精细化管理，2025 年，飞机日利用率提升到 9.97 小时，和 2024 年同期相比上涨了 7.2%，超过行业平均水平 1.5 小时。过站时间被压缩在 35 至 40 分钟之间，有效增加每日可飞行时段，从而摊薄了飞机租金、员工薪酬等固定成本。单位航油成本因为国际油价全年呈现震荡下行的态势，和 2024 年同期相比降低 9.6%。在销售端依靠以电商直销为核心的渠道策略，春秋航空 2025 年的销售费用仅仅是 2.59 亿元，占营收比例大约是 1.2%，保持着对全服务航司的分销成本方面的优势。

春秋航空的航线网络布局以及收入结构是颇为特殊的。这也是其保持韧性的关键所在。公司认真研究中国消费分级以及区域发展不平衡的实际状况，把运力重点放置到兰州、石家庄、扬州等二三线城市。传统大型航司相对来说不太重视这些市场，但是这里面存在着很大的首次乘机出行的需求。春秋航空董事长王煜多次表示，春秋航空出发地旅客人次当中，二三线市场占比超过 50%，其中首乘旅客的比例是特别高的。针对这些市场，公司不仅提供很低的基础票价，还擅长把地方政府的航空发展需求转化成自身的竞争优势。

2025 年 2 月，甘肃省民航机场集团和春秋航空签订战略合作框架协议，双方在基地建设、航线网络拓展、航班时刻优化等领域展开深入合作。这种政企合作的模式给公司带来了稳定的航线补贴收益。2025 年全年公司其他收益有 12.1 亿元，同比增长 15.3%，主要是以航线补贴的形式呈现，有效补上了低票价策略下的部分利润空间。另外辅营收入也是利润增厚的一个重要角色。

两种路径的分化逻辑

西南航空及春秋航空皆归属于低成本航空阵营。二者都把采用单一机型当作机队策略的核心，也都把点对点航线以及高利用率运营作为自身的长处之一，但近些年来它们却走出了极为不同的轨迹。它们命运的背离，并非是简单地对比经营模式优劣就可以解释的。而是它们在各自的市场土壤、制度环境以及发展阶段之下适应性演化的必然结果。

在战略定位方面，存在着一个被动

转身、另一个主动深耕的情况。西南航空多年来实行的低成本运营、友好服务双支柱战略，在美国航空业竞争越发白热化的状况之下，劣势凸显。达美、美联航等全服务航司，通过加强高端舱位的盈利能力持续给经济舱票价进行补贴，同时在服务产品方面不断增加内容，使得西南航空的性价比优势明显被削弱。面向未来，西南航空打算彻底放弃过去五十多年所依靠的核心标识——行李免费托运以及开放式选座服务，并通过基础经济舱票价、高级座位选座费、行李托运费等开辟新的辅助收入来源。这就意味着西南航空正在从低成本模式的创新者主动向全服务模式的追随者进行转变。不过这样的转身也带来了身份认同模糊的问题，如何平衡多年来建立的友好品牌形象和新开启的收费服务之间的关系，对管理层来说将是新的课题。

春秋航空同样面临着全服务航司所带来的压力。国内三大航以及一部分地方航司近些年大多推行服务加上低价的组合策略。它们在经济舱提供类似于廉航的基础票价，同时还具备行李托运以及简餐服务，这直接就侵蚀了春秋航空的客源范围。但是春秋航空并没有选择在主干线和对手进行正面竞争，而是把战略重心系统地往下沉降，把运力大规模地配置到传统航司相对忽视的二三线城市，开拓出一个增量空间很大的蓝海。春秋航空在下沉市场作为航空出行普及者的角色一直是很清晰的，并且围绕这个市场定位持续进行极致的成本管控以及产品设计，策略连贯，逻辑自洽。

成本结构方面，一个刚性特别突出，另一个则弹性相当充足。西南航空高企的人力成本、单一的机型以及不稳定的运力交付，使得其 2025 年客座率骤降到 77.4%。这引发出了一个深层的困境，为了覆盖高昂的固定成本，公司得提高票价，但提价又失去了部分价格敏感的旅客，导致单位固定成本的分摊就更加不够，形成了成本没有办法消化、价格没有办法提升、客座率没有办法维持的僵局。

春秋航空搭建了一个具有多层级、动态平衡特点的成本弹性系统。极高的飞机日利用率、较低的销售成本、与地方政府的合作及辅营收入的加持，让公司从单纯地运输旅客转变为运营旅客，增强了收入结构的多元性以及抗风险能力。

市场的环境可以分为存量博弈以及增量开拓这两种情况。中美两国航空市场所处于的发展阶段从本质上来说是不一样的。美国航空业经过了数十年的兼并重组之后，形成了高度集中的寡头垄断格局。OAG 数据显示，美国的四大航司所贡献的国内运力大概占三分之二，全部航班量所占比例达到 54%，市场新增运力空间有限。西南航空得从追求规模的扩张转变为存量航网的精细化优化。基于这样的认识，公司下了很大的决心，用先破后立的方式，试图通过改变多年固化的商业模式在存量市场中挖掘新的价值点。

中国民航市场当下依旧处于成长时期。消费方面的分级以及区域发展存在不平衡的情况，带来了增量方面的机遇。春秋航空没有在主干线区域和三大航、地方航司进行竞争，反而朝着下方去开拓增量空间。2025 年旅客运输量增长了 12.7%，国际航线运力增长了 28.5%，这是增量市场具有巨大潜力的一个证明。

西南航空在困境之中寻求变化，春秋航空在进取之中追求精细。这并没有高低的区别，而是低成本航司在各自的市场阶段以及不同竞争格局之下的理性战略选择，未来发展如何，让我们拭目以待。

航空运输

飞机维修成本管控实施路径

文 | 柴雨丰、李灵　　编辑 | 林喆

近年来，随着全球供应链问题的凸显，航空公司的飞机维修工作一方面要积极应对维持飞机适航状态的保障压力，同时对飞机维修成本管控工作形成巨大的挑战。在此，作者对当前飞机维修成本管控的实施路径进行简要分析，希望对行业的发展有所裨益。

维修成本项目的构成及驱动因素

飞机维修成本是指在飞机使用过程中，为保持飞机处于适航状态、确保飞行安

全和正常运行所发生的一系列费用支出。无论是自营维修还是委托第三方维修，飞机维修成本的构成大致由材料费（如航材消耗、运输、仓储、自然损耗等）、人工成本（如外委工时费，或自营维修板块的薪酬、培训、差旅等）、维修设备与设施成本（如维修厂房、专用设备、维修能源消耗等）、其他项目（如工程管理、质量控制体系）等构成。

飞机维修受起降架次（发动机循环）、飞行小时数、日历天数等驱动因素的影响而对应不同的维修项目，包括与起降架次相关的项目如起落架系统、发动机大修等，与飞行小时数相关的项目如各类定检对应的维修内容等，与日历天数相关的项目如机身结构防腐、橡胶制品和密封件更换、应急设备检查和维护等。另外高温潮湿等气象条件、执行特殊任务、法规与政策调整、意外事件等因素也会导致维修间隔的相应调整。

成本管控中的难点分析

一是供应链紧张的影响持续发酵。新冠疫情、俄乌冲突、中东冲突等事件带来技术人员流失、产能扩张乏力、基础材料供应不足等负面影响，加之长期技术垄断使全球维修产能严重不足，行业供应链紧张问题日益凸显。航材价格连续数年普涨、交货周期被迫拉长，短期内没有任何缓和迹象。老款发动机停产、新发及备发严重不足，发动机长时间排队等待大修机位，是供应链中最迫切需要解决的难题；而发动机一次深度大修的成本开支额几乎等同于购买一台新的发动机所需的资金，且维修占用时间不断拉长。

据贝恩咨询公司分析，新一代发动机的维修周转时间比疫情前的基准时间高出 150%，传统发动机的维修周转时间比疫情前高出 35%，而厂商并不承担延迟交付的损失赔偿。维修供应链问题已经影响了航班的正常供给，根据航空媒体 Simple Flying 的分析，2025 年欧洲约有 10% 的运力因供应链问题被动停场。

二是发动机相关的隐性成本影响较大。发动机大修（包括包修第三方及自修）是建立在一定的年飞行小时数、小时循环比假设基础之上的，如果达不到费率的假设基础，将触发调整包修收费矩阵、收取保底飞行小时数对应的大修费、较中长期维修计划提前下发、包修第三方单方面无责取消合同等解决方案。受国内供大于求、国际复苏乏力的影响，飞机的日利用率并未完全恢复到历史水平。国际航线的结构较疫情前发生了较大变化，导致宽体机执飞国内航线的比重较高，使小时循环比缩短，降低了发动机大修的下发间距。上述飞机与航线的不匹配对发动机大修成本造成较大的隐性支出，直接拉高了大修费小时成本水平。

三是维修管理与成本管控目标的偏离。航空公司对维修板块的考核重点是飞机可利用率、事故征候率等安全保障类指标。行业内对维修事件的容错率低，维修一线员工安全压力大。因此其自身定位的最主要职责是确保维修工作万无一失，维修人员对维修项目、平时更换航材的价格也并不敏感。比如维修检查某部件，按维修手册可以先检查旧件，然后再考虑是否换新件。但在实操中，拆旧换新简单易行，很少有维修人员会主动尝试旧件再利用，造成航材消耗件利用价值未能最大化。各航空公司也会尽可能多地储备航材，形成较大的资金占用压力。而采购计划不准确、飞机排故判断不精准、飞机退役、改装等还会导致部分航材沦落为冗余航材。

四是从严执行标准带来的成本增长。航空公司出于万无一失的安全管理理念，在工程管理、日常维修的执行环节，会严于制造厂商的推荐标准。比如针对执飞高高原航班的飞机，航空公司、局方在厂商推荐下发时间的基础上，进一步从严下调发动机大修的下发间隔，超过自定标准的发动机不得再执行高高原任务，而通过内部串发以减少大修次数的调剂空间又十分有限，导致该发动机或提前报废处置，或在使用周期内的大修次数多于厂商推荐的大修次数。国内对二手航材、国产替代航材的推广使用态度不坚决、不积极，大面积普及尚需时日。对通过更换滑油、胎皮等易耗品以降低采购成本持谨慎观望的态度。

五是其他影响成本管控的因素。航空制造中大量新技术的应用并不意味着万无一失，操之过急的新技术应用在实际商业运营中也许会给客户带来非计划性的停场。部分厂商对飞机及其航材的转售处置有严格的限制约定，对流转到制裁清单国家中的飞机及航材的行为有严苛的追溯处罚条款。在飞机制造全球化合作的大潮中，仍然存在着严重的技术壁垒和排他性。

成本管控的实施路径

中国的工业体系比较健全，而中国航空制造业游离于全球主流供应链之外，是全球航空业的隐性福祉损失。但供应链紧张问题在短期内是难以逾越的坎，既然在议价方面压缩空间有限，在维修工作量、航材消耗量上进行精打细算是当下行之有效的成本管控方法。

从结构方面发力控制维修成本。加强飞机与航线的匹配，在航班编排上要让飞机物尽其用，在飞得远上下功夫。宽体机是为国际长航线而生，在安排宽体机执飞国内航线的同时，必须要穿插安排一定量的国际长航线，使其发动机

总的平均小时循环比控制在合理值之上。通过提高小时循环比，增加发动机大修的下发间隔或降低大修包修的费率。不片面追求成本绝对值的下降，而是控制单位成本水平的增长。比如简化飞机客舱娱乐系统配置可减少非必要的运维成本，适应消费降级趋势而将公务舱改为座位数更多的经济舱，可摊薄座公里成本水平。全行业要积极进行供给侧结构性改革，迅速遏制无序竞争带来的收入下滑趋势，保持合理的收入水平是对成本投入最好的回应。

维修管理应主动适应当前严峻的成本形势。要突破惯性思维，不拍脑袋决策，运营方、厂商、局方在数据的基础上一案一策对维修标准进行调整优化。对二手件要持开放的态度，培养对民航老龄飞机的拆解能力，挖掘老旧航材再利用价值。积极处理冗余航材，航材实物与其长期挂账闲置不用，不如尽早处置变现，根据行业内标杆企业冗余航材管理规定，确定本企业可接受的冗余航材处置损失。小项成本抓成本意识，通过业财融合，提高一线维修人员的成本敏感度，维修人员一次手下留情，就可能节约成千上万的成本。要主动对维修方案进行优化，比如将各定检维修包中的换件项目安排在航后检查过程中进行，一方面减少停场占用天数，另外可减少定检维修时集中换件带来的剩余使用寿命损耗。

要形成内部跨部门的合力效应。航班的编排应征求维修单位的意见，充分考虑航线长短变化对维修成本的影响。飞行、性能、维修单位通力合作，积极实施减推力运行，包括起飞减推力、优化爬升推力。据了解，如果优化推力运行，低推力发动机可延寿 5%，新一代高推力发动机可延寿 20%。因此发动机减推力运行，在包修模式下能降低费率，在自修模式下可以减少维修工时和材料消耗量。另外，在航班运行阶段，要及时调整成本指数，积极申请临时航路，在落地滑行阶段推行单发滑行等措施。控制 APU 的使用时长比，避免桥载设备和 APU 的长时间“双开”，规范维修单位在航前、航后的 APU 使用场景。

要积极推动航空公司间的维修工程合作。特别是国内第一承运人梯队的航空公司要发挥其自身机队规模庞大、成员航企众多的特点，在谈判筹码方面争取有利条件。各公司间首先要加强信息互通，建立常态化沟通机制，特别是在谈判策略、关键合同条款、疑难故障排查诊断等方面相互支持。二是各公司间的航材、备发资源要互通有无、实现共享，扩大备发互援范围，通过市场化、行政化等手段实现集团内的一体化航材优化管理方案。三是各公司组织专业力量加大工程管理的标准化建设，共同研究发动机工程管理策略，提高拆发决策和排故的精准度。

当前错综复杂的国际形势下，国内航空公司的命运与中国航空制造业的命运联系得更加紧密。中远期看，中国制造力量积极争取在全球供应链中的话语权是解决航空公司所面临的供应链问题的关键所在，而中国发展高铁自主技术的经验在很多方面值得民航借鉴，国内要有一个牵头部门代表国内各分散的购机主体，找准时机通过购买带动民族制造业充分参与全球航空供应链竞争。各航司可积极成为国产替代的启动用户，在易耗品、易损件等方面勇敢迈出第一步，给国内厂商一个市场历练和学习成长的机会。

中国民航上网，怎么那么难

文 | 于达维　　编辑 | 欧阳亮

近日，英国航空（British Airways）一架编号为 G-ZBJB 的波音 787-8 客机从伦敦希思罗机场起飞，目的地休斯敦。这不仅是一次常规的跨大西洋飞行，更是一座航空通信史上的里程碑。

这架飞机搭载了 SpaceX 旗下的“星链”低轨卫星系统，向全舱旅客提供最高超过 500Mbps 的免费带宽，哪怕你坐在经济舱的最后一排，依然可以流畅地刷短视频、开启高清视频会议，甚至进行对延迟要求极高的在线游戏。

这一消息在中文互联网引发了巨大的震撼。对于习惯了地面 5G 速度、却在万米高空忍受“信号失联”或“龟速加载”的中国旅客而言，英航的这次商业运营像是一面刺眼的镜子，照出了与国内航空互联网发展的真实差距与重重困境。

回溯中国民航的上网史，我们并非起步太晚。早在 2011 年，国航

作者简介

于达维，18 年传媒行业知名媒体机构从业经验，多次对高科技领域技术特点、潜在问题、发展趋势等进行深入报道。

聚焦航空航天、通信导航、人工智能、生物医药研发等众多高新科技领域，并对博世、霍尼韦尔、阿里巴巴、甲骨文等知名企业进行采访，各类报道累计 1000 余篇。

就在其北京往返成都的航班上尝试了地空通讯。到 2014 年，国航的地面基站地空互联航班已经能提供 30 兆带宽的接入服务。

2014 年 4 月 16 日，北京飞往成都的 CA4116 航班，通过一场空地视频会议见证了中国民航机上互联网服务的飞越，网红“筷子兄弟”分别在两架国航宽带互联网飞机上隔空对唱，国航成为首家同时实现地面基站宽带互联技术及卫星通讯技术应用的航空公司。

中兴通讯是此次地空宽带测试地面基站通信唯一系统设备提供商，也是当时唯一一家可以提供全套解决方案的设备厂商。

国航采用的技术，是当时的两种主流技术之一，即 ATG（地空宽带），利用布设在航线沿线或指定空域的地面基站对空发射的无线电信号，形成空地通信连接。它的优势是延迟低，但缺点是受限于航线，飞机一旦飞入海洋、无人区或跨越国境，信号就会中断。

对于疆域辽阔且国际航线众多的中国民航而言，ATG 只能是过渡方案。另一种则是高轨卫星（GEO）通讯。通过位于赤道上空 3.6 万公里的地球静止轨道卫星转发信号，实现全球覆盖。

2014 年，东航与中国电信合作完成首次空地互联机上 WiFi 商业测试飞行，完成上海往返北京的飞行任务。此次飞行是利用亚太 6D 地球同步轨道卫星的 KU 波段传输信号来实现空中宽带上网。

根据测试，万米高空客舱内实际能够达到的最高共享带宽为 32Mb/s，能够满足民航旅客网页浏览、收发邮件、即时通信、社交互动等基本上网需求。

到了 2018 年，东航几乎给旗下所有宽体机配置了机上 WiFi。在 2026 年元旦前夕，东航宣布其宽体机队全面实现空中 Wi-Fi 覆盖，并尝试推行免费策略。

然而，用户端的感受却是：虽然“连上了”，但“没法用”。网页加载转圈、图片半天刷不出来、微信语音频繁掉线成了常态。这种“有胜于无”的体验，让中国民航的互联网尝试一直处于一种尴尬的低效状态。

为什么投入了巨额资金，体验依然不尽如人意？答案藏在物理定律里。

国内航司目前依赖的高轨卫星，距离地面极其遥远。无线电波以光速传播，从飞机发出指令到卫星，再回到地面中继站，最后返回飞机，仅仅是这段物理距离带来的延时就超过了 500 毫秒。加上机载路由设备的损耗，总延迟往往在 1000 毫秒以上。这种延迟对实时交互应用是致命的。

更严重的是带宽总量。传统一颗 Ku 频段的高轨卫星，带宽虽然能达到几十 Gbps，但它是为了覆盖整个亚太地区设计的。当成百上千架飞机同时接入这颗卫星时，分配到单架飞机上的带宽往往只有几十 Mbps，再分摊给舱内两三百名乘客，每人分到的带宽还不如十年前的拨号上网。

反观英航采用的星链，属于低轨（LEO）星座。这些卫星距离地面仅 500 多公里，延迟被压缩到了 20 毫秒～40 毫秒，几乎与地面宽带无异。由于星链通过数千颗卫星形成全球组网，单机 500Mbps 的独享带宽成了可能。这就是所谓的“降维打击”：当你在高轨卫星上还在纠结能不能发出一张原图时，低轨卫星已经让万米高空成为了办公室的延伸。

截至今年 3 月，马斯克的星链已经和全球 40 多家航司签约。其中卡塔尔航空已经装了近 120 架，覆盖 58% 的宽体机队，美联航超过 300 架，年底要冲到 800 架。

除此之外，还有阿联酋航空全机队、夏威夷航空全机队、汉莎航空、西南航空、英航、阿拉斯加航空、大韩航空、维珍大西洋航空、法航、北欧航空等航司都在排队装星链。乘客实测反馈，客舱内下载速度可达每秒 70 兆，不仅能顺畅进行在线聊天，还可无卡顿观看 4K 高清视频。

上述航空公司机上 WiFi 几乎全部对乘客免费，这是 SpaceX 在商业合同里的一个关键条款。马斯克把星链在飞机上的免费使用，当作向高价值客户推广星链的最好方式。

安装星链的一大优势，是成本低。星链硬件成本仅约 15 万美元，总体成本在 22.5 万美元到 40 万美元之间，且具有终身保修服务。

而如果要连接静止轨道卫星，必须给现役民航客机加装上网设备，需要在飞机的蒙皮上切开豁口，加装庞大的卫星接收天线，并重新布置舱内数公里的电缆。单架飞机的硬件改装成本通常在 300 万至 600 万人民币之间。

中国民航上网难，还有一个特殊的原因，安全与合规。

民航是对安全要求近乎苛刻的行业。任何加装在飞机上的电子设备，都必须获得民航局的适航认证，这种认证不仅涉及防火、防震、防电磁干扰，还涉及复杂的网络安全审查。星链作为一家美国私营企业的服务，其数据传输路径、加密方式以及内容过滤机制，在短时间内很难完全符合中国关于跨境数据安全和监管的要求。

因此，中国民航无法像英国航空那样直接“拿来主义”，直接装上星链的天线就起飞。这意味着我们要等待中国自己的低轨卫星星座成熟。值得欣慰的是，2025 年和 2026 年，中国的“千帆星座”和“国网星座”进入了密集的发射期。

按照千帆星座规划，2027 年组网约 1300 颗，2030 年冲刺 1.5 万颗，如果进度顺利，国内航司未来三到五年内就有可能用上自己的低轨卫星 WiFi，速度和体验向星链靠拢。

但在这些星座实现全球组网、并研发出适配民航适航标准的国产机载设备之前，国内航司仍需在“高轨卫星的寒冬”里等待。

当然，中国作为全球最庞大的民航市场之一，也有着全球最领先的卫星发射效率。真正的突破口或许不在于如何在现有的老旧飞机上打补丁，而在于未来新飞机的“出厂预装”。如果国产客机在出厂时就将低轨卫星天线作为标配，并实现与国产星座的深度耦合，那么中国民航的上网体验将跳过欧美曾经历的缓慢进化过程，实现跨越式升级。

传统导航：
保障航班安全的最后一道防线

文 | 徐海涛　　编辑 | 张克农

在北斗、GPS 等卫星导航高度成熟的今天，很多人认为传统的地面导航已经逐渐退出了飞行舞台。但在民航实际运行中，GNSS 信号干扰、遮挡、失效风险始终存在。一旦卫星导航精度下降或短暂失效，VOR/DME 等传统仪表进近，就是保障航班安全落地的最后一道可靠防线。

正因如此，VOR 甚高频全向信标导航至今仍是飞行员必须熟练掌握的基础核心技能。飞行中绝大多数航迹偏移、进近不稳、程序不标准等问题，并非设备原因，而是机组对 VOR 修正逻辑、分段飞行技巧、原始数据监控原则理解不深。本文以科普视角结合飞行实操，系统讲解 VOR 导航的工作逻辑、修正方法与标准进近规范，让传统仪表飞行清晰、可控。

地面基准信标

VOR（甚高频全向信标）是民航应用最成熟的地基无线电导航系统，工作频率覆盖 108.00MHz ～ 117.95MHz。其工作方式简单可靠：地面台站 360 度全方位发射导航信号，机载设备接收信号后，通过相位比对解算出飞机相对导航台的径向方位，从而确定飞机位置与飞行航迹。

配合 DME 测距设备使用时，VOR 可同时提供方向 + 距离双重导航信息，实现高精度二维定位。

相比卫星导航，VOR 最大的特点是“稳定可控”：不受云层、降雨、雾天影响，具备全天候工作能力；定位精度稳定，常规飞行误差可控制在 ±1°以内；信号独立、不依赖卫星资源，抗干扰能力强，是极佳的备用导航方式。

当然，VOR 系统也存在一定的短板。受甚高频视距传播特性限制，VOR 信号容易被山地、高大建筑遮挡；开放频段易受电磁干扰，出现指针抖动；同时航迹固定、灵活性不如卫星导航。

也正因为优缺点分明，民航运行始终保持卫星导航为主、传统导航兜底的双重模式。

读懂 VOR 指针

背台保持径向线飞行是仪表飞行最基础、最高频的操作。许多飞行员在初学阶段容易修正过度或修正反向，本质是没有掌握针尾偏移规律。

以常用 360°正北径向线为例，规律非常清晰：针尾指向 330°，说明飞机偏左，需向右修正；针尾指向 30°，说明飞机偏右，需向左修正。

可以总结出通俗且通用的飞行规律：针尾偏向哪一侧，航迹就偏向哪一侧，向反方向轻柔修正，即可回正航线。

掌握这一底层逻辑，就能从根本上杜绝 VOR 飞行中最常见的反向修正、越修越偏等问题。

在 VOR 程序飞行中，全程使用同一角度修正，是典型的操作误区。距离导航台远近不同，偏差放大效果完全不同。行业通用的“远大、中小、近半”分段修正方法，是兼顾精度与稳定性的最优方案。

远距离——倍角修正。远距离飞行时，微小角度偏差会随着距离持续放大。因此需要偏差角度加倍修正，快速收拢航迹。进近程序中四边大角度切入五边，正是利用倍角修正原理，高效修正大范围偏差。

中距离——等角修正。飞机处于中等距离时，航迹变化平缓，只需按照偏差多少度、修正多少度的等角方式操作，即可平稳保持标准航迹。

近距离——半角修正。临近导航台、进入精密进近阶段后，飞行容错率极低。此时必须减半修正、微量微调，避免大幅度操作导致航迹左右摆动，保证最后阶段进近稳定顺滑。

需要特别注意，所有修正动作必须严格区分向台、背台飞行状态，防止修正方向颠倒。

进近实操流程

传统仪表进近逻辑通用性极强，无论机场程序如何变化，核心步骤基本一致。

起始进近：精准定位，稳定航迹。调整对应 VOR/DME 频率，确认飞机位置，飞向起始进近定位点。过台后严格保持程序航迹，根据风向修正偏流，建立稳定的

初始进近状态。

阶段转弯：卡点转向，严守裕度。依靠 DME 距离和径向线位置判断转弯时机，做到把握提前量、不晚转。全程遵守航图高度限制与越障要求，平稳调整姿态与高度，保证程序规范性。

切入五边：按需控迹，稳步下降。成功切入最后进近航道后，持续小幅度修正，保持飞机位于航道中心。在 FAF 最后进近定位点前建立稳定下降剖面，逐点核对距离与高度，确保进近剖面完全标准。

建立目视：稳定落地，规范复飞。下降至决断高度后，在建立可靠目视参考的前提下持续进近、完成着陆。若无法建立目视，则严格执行标准复飞程序，保证运行安全。

在需要人工规划航迹的盲降程序中，四转弯时机是仪表飞行的重难点。

行业通用标准状态下：飞机保持 25° 转弯坡度、180 节表速时，提前 1.5 海里开始转弯，可以实现最顺畅、最标准的航道切入。

在管制指挥自主截获航道的场景中，机组可依据 DME 距离、航迹偏移角度，参照标准提前量灵活把控转弯时机，保证切入角度适中、航迹稳定。

不可突破的安全底线

现代客机自动化程度极高，但自动驾驶、FMC 计算永远不能替代人工监控。数据库偏差、单导航源失效、卫星信号跳变等隐患始终存在，因此原始仪表数据监控是不可突破的安全底线。

飞行运行中有几条硬性原则：航向道类进近全程监控原始指针数据，实时校验航迹真实性；使用 FMC 导航时，必须定期对照 VOR 径向、DME 距离等原始参数；单导航源工作时，必须在 FAF 前完成双屏原始数据切换与交叉校验；始终以航图、原始无线电数据为准，杜绝完全依赖自动化飞行。

优秀的仪表飞行，其核心就是：机器辅助、人掌全局。

很多飞行员存在认知误区：手动操纵更能体现技术。但在民航运行标准中，仪表气象条件下自动化进近才是安全首选。

自动驾驶可以有效降低终端区高强度负荷、稳定航迹与垂直剖面、规避人工操纵的随机性误差。仅在目视条件良好的训练飞行中，可适当断开自动驾驶，保留手动操纵手感。

同时需要重点注意：部分垂直导航模式无航迹偏离告警，必须全程接通自动驾驶至建立目视，杜绝隐性偏差。

结合 VOR 进近全流程特点，可总结出通用实操原则：先定位、后修正，杜绝盲目操作；轻操作、稳修正，杜绝粗猛操纵带来的航迹震荡；近距微调、绝不超量，守住最后进近的精度底线。

结语

VOR 导航虽是传统地基导航技术，却是仪表飞行的根基，更是复杂电磁环境下的关键安全备份。熟练掌握 VOR 指针修正逻辑、分段飞行技巧、标准进近程序与原始数据监控规范，能够让飞行员在自动化失效、卫星导航异常等特殊场景中依然掌控飞行姿态与航迹。

守好传统仪表飞行技能，就是守住飞行安全的底气与底线，让每一次进近都精准、稳定、可控。

空中隐藏的杀手！

飞机静电如何威胁飞行安全

文 | 晴天　　编辑 | 张克农

1967 年春天，在越南西贡机场，一架满载伤员的美军直升机在即将降落时突然爆炸，所有在场的地面人员亲眼目睹了这一可怕的情景。碎片散落四方，不少乱飞的废铁残钢还伤及了离爆炸点很近的地面人员。

直升机突如其来的爆炸颇为蹊跷。情报人员赶往现场对事件进行调查。专家们从散落地面的残存物里找到一小块还未燃尽的毛衣碎片。有人认出那是直升机副驾驶员的毛衣，经过测试后发现毛衣上带着强烈的静电。最后专家们调查分析认为，爆炸症结就出在这件普普通通、带静电的化纤毛衣上。

当时机舱内温度较高，副驾驶员在情绪放松状态下脱去毛衣，化纤材质与座椅摩擦产生了强烈静电。由于未有效接地，静电在放电过程中引燃了舱内

可能存在的易燃蒸气或油雾，最终导致直升机起火并爆炸。

小小的静电导致了重大飞行事故。根据美国联邦航空管理局的统计，1959 年后全球共 17 起军机油箱静电起火，其中在 1966 年到 1980 年期间，美国空军因喷气燃料静电事故就发生 53 起爆燃事故，毁机 7 架，死亡人数高达 7 人。

小小的静电居然成为了飞机“杀手”，今天我们就来谈谈静电对于飞机安全的危害。

飞机的静电有内外之分

所谓静电，就是物质原子的核外电子，受摩擦、感应等外力作用发生转移，有的原子失去电子带正电，有的得到电子带负电，造成物体整体正负电荷失衡，通俗来说就是无中生有产生了电荷，这就是静电的产生。

飞机的静电来自内外两个渠道，一个是外部的“机身”，另一个则是内部的“机舱”。

除了起飞和降落，民航客机大部分时间在 10000 米左右的高空飞行。在飞行过程中，飞机的机身一直在和空气、冰晶、小灰尘疯狂摩擦，这样的摩擦导致了飞机机身的电荷失衡，绝大多数的静电堆积在机身外壳，其中机翼、机头、尾翼这些尖角位置分布较多，这些区域在常态下的静电电压可达数万至数十万伏特。

封闭机舱内部同样会源源不断产生静电。机舱里空气干燥，乘客和机组人员走动、衣物之间互相摩擦、人体和座椅、地毯持续接触摩擦，都会让人体和衣物积聚大量静电。

就像 1967 年那次飞行事故里的情况：副驾驶穿着的毛衣，在机舱活动中不断摩擦起电，身上蓄积了极高的静电电荷，当靠近仪表盘、机载精密电子设备时，静电发生放电火花，干扰航电系统，甚至埋下安全隐患。

此外，油料在管道、油箱或运输容器中流动时，与金属或非金属内壁反复接触、分离，导致电荷转移并积聚，形成静电聚集的情况。

看不见摸不着的飞行隐患

与可燃液体、明火爆炸等隐患完全不同，飞机静电的隐蔽性极强，其中潜藏着不容忽视的飞行安全风险。主要的安全隐患集中在这三个维度。

首先是影响飞行的控制系统与通讯系统。静电放电时会瞬间迸发一股强烈的脉冲电磁信号，会干扰飞机的通信、导航、雷达等核心系统，导致信号衰减、出现杂音或误报，尤其对中长波导航系统干扰更为显著，可能增大定位误差，影响飞行员对飞行姿态的判断。

1982 年 6 月 24 日，英航 009 号航班（机型为波音 747-200）执行从伦敦希思罗机场飞往奥克兰国际机场的长途航线，在途经印度尼西亚爪哇岛上空时机身因与火山灰摩擦产生强静电，导致驾驶舱外被蓝色光环包围，这种强静电严重干扰了无线电通信和雷达系统，使飞机无法与地面正常联络，通信完全被杂音淹没，机组发出的“四发全熄火”求救信号地面无法识别，飞机一度失去全部动力急坠，险些机毁人亡。

前些年也发生过一起复合材料通用航空飞机因静电导致飞机“姿态航向参考系统”失灵的事件，当时一架玻纤（复合材料）机身的飞机在云层中巡航，机身与空气摩擦持续积聚静电，因复合材料导电性差、静电难以泄放，最终发生突发性静电放电。放电产生的强脉冲电磁波导致两台“姿态航向参考系统”先后瞬间“失稳”并离线。

其次是引发火灾或爆炸风险，这是飞电最直接、最危险的危害。当机身及燃油系统累积的静电无法释放，一旦在燃油箱、油路等易燃易爆区域发生静电放电，产生的微小火花就足以点燃油箱内高挥发性的燃油蒸汽，引发爆燃、火灾甚至油箱爆炸。

此外，在地面加油、飞机维护作业时，机身未及时泄放的静电，若与加油设备、金属维护部件接触产生放电火花，同样会引燃周围燃油蒸汽。这些事故会造成人员伤亡与巨额的财产损失。

1996 年 7 月 17 日，环球航空公司航班空难是航空史上最具代表性的、疑似由静电引发爆炸的重大事故案例。这架波音 747 客机在纽约长岛上空飞行时突然发生爆炸解体，机上 230 名人员全部遇难。事后，美国国家运输安全委员会的最终调查报告明确指出，此次空难最可能的诱因是中央油箱内的爆炸性燃油和空气混合物被电火花点燃，而这道电火花的来源，极大可能是电线短路或机身及燃油系统累积的静电发生放电所致。

第三，机身外部的静电形成的强电场可能会增加飞机遭遇雷击的概率。通俗来说，飞机在高空飞行时，积攒了大量静电，在机身外表形成较强的局部电场。雷雨天气里，云层本身就携带大量电荷，在空中布好了大范围的隐形电场。飞机自带的静电强电场，会打乱、扭曲周边原本平稳的大气电场，尤其机头、翼尖、尾翼这些尖角位置。高空的空气原本是不导电的绝缘体，但是当局部电场强到一定程度，就会把空气“击穿”，产生放电电弧，向上伸出导电的放电通道。

这条通道会主动和云层向下延伸的雷电通道相互吸引和对接，相当于飞机变成了“引雷针”，主动“勾引”来了闪电，所以大大增加了飞机遭遇雷击的概率。1963 年泛美航空一架飞机就因雷击导致左侧机翼的备用油箱发生爆炸，最终坠毁，机上 81 人全部遇难。

南苑机场的落幕与回响

文 / 陈伟宁　　编辑 | 张克农

2019 年 9 月 24 日 20 时 40 分，位于天安门广场正南方 13 公里的南苑机场，一架航班号为 KN5971 的波音 737-800 飞机腾空而起，直插云霄。飞机起飞后，随着送客人群渐渐散去，机场工作人员开始有条不紊地关闭设备，收拾行李。23 时 23 分，机场的跑道灯缓缓熄灭。这座历时 109 年的机场就此退出了历史舞台。

南苑机场是中国航空史的一个缩影，它不仅见证了中国航空业的发轫和发展，更镌刻着中华民族百年来的兴衰。

中国第一座机场

1903 年 12 月 17 日，美国莱特兄弟成功试飞了“飞行者一号”，人类动力航空史正式开启。这一消息迅速传遍世界，“飞机”这一现代科技的产物在很短的时间内受到了各国的高度关注，中国也不例外。

彼时，北京南苑为“毅军”驻地。“毅军”是晚清将领宋庆所率军队的统称。宋庆因镇压捻军有功，得赐“毅勇巴图鲁”称号，其所率军队被称为“毅军”。

关于南苑与飞机的第一次结缘，相关记载语焉不详。大体情况如下：

1904 年（清光绪三十年），一名法国商人为了向清政府推销飞机，将两架“高德隆”式小型飞机运到北京，并在南苑进行了飞行表演，这是飞机在中国的首次起降。当飞机在发动机的轰鸣声中划破长空时，现场的达官贵人和兵丁们仰望苍穹，眼中充满了惊愕。这次飞行让国人第一次真切地感受到航空的魅力，也为南苑机场的诞生拉开了序幕。

1910 年，清政府着手筹办航空事业，从法国购入了一架“法曼”双翼机（也称“桑麻式”或“亨利 • 法尔芒 III”型），这是中国官方正式进口的首架飞机。南苑地势开阔平坦，且具备一定的军事基础设施，飞机运抵北京后，安置于北京南苑，清政府调派军队对场地进行整修，设立了简易机场和飞机修造厂，用于试飞与仿制尝试。自此，南苑机场成为中国第一个真正意义上的机场。

商用航空的曙光

1913 年，中国第一所正规的航空学校——南苑航空学校成立。至 1924 年第二次直奉战争结束后，航校停办。该校前后 4 期共培养 100 多名飞行员，在中国航空史上发挥了重要作用。

南苑机场不仅是中国第一个军用机场，也是第一个民用机场。1919 年 1 月，北洋政府交通部成立“筹办航空事宜处”，先后从英国、法国、美国购买“爱佛罗”“高德隆”“道济”等型号飞机 100 多架，开展民航事业。经过一年多筹备，1920 年 4 月 24 日，第一条民用航线南苑至天津段开始试航。当时，北洋政府使用英国亨式飞机“京汉”号，由英籍飞行员麦肯锡驾驶，从北平飞往天津，成功开辟了中国第一条民用航线。

1920 年 5 月 7 日，京津航线正式运行，首批乘客包括英国驻华公使艾斯敦等 15 人。飞机还运载了一些邮件和报刊。经过 1 小时飞行，飞机安全抵达天津张贵庄机场。此后，北洋政府还使用“维梅”运输机开通了北京至济南、北京至北戴河的夏季临时航线，以及长城游览飞行专线。

1921 年 7 月 1 日，北洋政府开设北京至济南航线，中国航空邮政正式创办。执飞该航线的飞机只有两架，分别是“舒雁”号和“大鹏”号。可惜由于时局多变，常常不能按时往来，很快停航。

中英公司于 1921 年 8 月 11 日在北京南苑至北戴河之间开辟航线，每周五下午 3 时由南苑起飞，在北戴河赤土山机场降落，周六、周日在北戴河飞行游览海滨和长城，周一返回北京。该航线运行约 3 年，至 1924 年停航。

除商业航线外，1921 年 4 月，南苑航校开通了中国历史上第一条空中游览航线。每星期二、四、六下午 2 时飞行，分甲、乙两种客票：甲种票游览全程 30 分钟，每位 30 元；乙种票游览 10 分钟，每位 10 元。虽然价格不菲，却广受欢迎。

这一时期，中国航空业虽呈现良好

势头，但由于各路军阀混战、时局混乱、国事衰微，中央政府无力持续支持航空业发展，无论是政府还是私营公司开设的航线大多虎头蛇尾、昙花一现。但不可否认，借助这些航线的开辟，飞机进入了越来越多国人的视野，我国在机场建设、航站配置、飞行及维修人才培养、油料补给等方面开始了第一次系统性探索。

毛主席乘专机访苏

在中国领导人的出行史上，毛主席极少乘坐飞机。在国内视察时，他更倾向于乘坐专列，认为火车更为稳妥且能随时了解民情。

然而，南苑机场的历史档案中记载了一次特殊飞行。1957 年 11 月 2 日，为参加在莫斯科举行的“十月革命”40 周年庆祝活动，并出席各国共产党和工人党代表会议，毛主席率领中国党政代表团，在南苑机场登上苏联提供的图—104 喷气式客机。图—104 是苏联第一代喷气式客机，技术水平当时首屈一指。选择南苑机场作为起飞点，一方面因其军用机场的安保级别更高，另一方面也体现了中苏合作的紧密程度。

这次飞行在当时有一定风险：喷气式飞机虽速度快，但技术尚处早期，雷达导航系统远不如今天发达。这次跨越数千公里的飞行，不仅是对航空技术的考验，更是当时国际共产主义运动中的一次重大外交行动。毛主席在空中度过漫长的十几个小时，其间批阅文件、思考国际局势。

这是毛主席生平唯一一次乘坐飞机出国访问。1957 年南苑机场的那次起飞，成为中国外交史和航空史上一个极其珍贵的“孤本”。

基辛格的隐秘落点

1966 年前后，美国开始谋求改善对华关系。1969 年 10 月 25 日，美国总统尼克松在白宫会见巴基斯坦总统叶海亚·汗时，表明希望同中国改善关系的意图。叶海亚·汗表示支持并主动提供帮助。

为打破中美外交僵局，尼克松计划派遣国家安全事务助理基辛格作为秘密特使访华。行动代号“波罗行动”，保密程度极高，连美国驻巴基斯坦大使都不知晓。

基辛格的行程安排极为巧妙。他先以考察疟疾的名义出访南越、泰国、印度和巴基斯坦等，随后在巴基斯坦突然“生病”，住进总统别墅。接着制造自己已“离开”巴基斯坦的假象，实际却悄悄乘专机飞往中国。

为避开外界耳目，基辛格一行没有选择设施更完善但可能引人注目的首都机场，而是直飞相对僻静的南苑机场。当那架印有巴基斯坦国旗的波音 707 客机在夜色中平稳降落时，历史的齿轮开始转动。

舱门打开，基辛格走下舷梯，与前来迎接的叶剑英、黄华、熊向晖等人一一握手。他虽有些疲惫，但激动之情溢于言表。随后的 48 小时里，基辛格与中方进行了 6 次会谈，累计时长 17 小时，就尼克松访华、中美公报等事宜达成初步意见，为此后中美关系改善打下基础。

南苑机场作为中美关系解冻的“第一块基石”，见证了两个大国从敌对走向对话的微妙瞬间。

“蜜月”时期的空中芭蕾

时间快进到 1987 年 9 月，中美关系处于难得的“蜜月期”。此时的南苑机场作为中国人民解放军空军的重要基地，迎来了一群特殊的客人。

来访的是美国空军部长奥尔德里奇。除随从外，还有一支由美国空军顶尖飞行员组成的特技飞行表演队——虽然当时出于政治考量未直接使用“雷鸟”的名义，但其成员多为雷鸟表演队的精英。对于中国空军而言，这是一次前所未有的近距离接触西方顶尖航空技术的机会。

这次访问不仅是一次简单的飞行表演，更是一次深刻的技术交流。为表示友好，美军战机的垂尾上甚至贴上了五星红旗贴纸，这一幕在当时国际背景下显得格外意味深长。

百年间，发生在南苑机场的故事还有很多。将这些故事串联起来会发现，南苑机场不仅仅是一个起降飞机的物理空间，更是一个沉默的历史见证者，见证着百年来中国航空业曲曲折折的发展历程。

陶冉 摄