

COMAC 飞行员套装

飞行员头盔包



四款魔术贴



136

大飞机 JETLINER



大飞机

JETLINER

智能设计

- “智”在必行——人工智能在航空业的应用及展望
- AI引领民机气动设计进入新纪元
- 大语言模型：让飞机设计师更“聪明”

10

October

2025.10 | 总第136期

ISSN 2095-3399

10>
9 772095 339259



图 | 徐炳南



05 卷首语

05 跟随走老路，创新走新路 | 陈伟宁

06 资讯

10 封面文章

10 “智”在必行——人工智能在航空业的应用及展望
| 马小庆

14 AI 引领民机气动设计进入新纪元 | 柳位 黄增辉 张淼 张煜

18 大语言模型：让飞机设计师更“聪明” | 王存俊

22 AI：重塑飞机研制全过程的关键钥匙
| 魏文婷 唐诗翔 黄华希 欧阳万里

28 航空制造

28 IATA 发布 2025 年全球商用飞机机队概况 | 冯鲁文

33 中国 eVTOL 企业强势崛起 | 纪宇晗

36 “达尔文”项目成功开展飞行试验 | 刘禹彤

39 航空运输

39 从“末梢”到“枢纽”的历史跨越 | 张嘉宁

45 2025 年上半年国内航司经营业绩分析 | 丁一璠

51 联合航空：用创新思维赢取市场主动 | 王双武

54 科普

54 飞机上的 APU | 蒋斯来

56 产业观察

56 C909 与天骄航空共同迈进 2.0 时代 | 张帅

60 SAF 供给侧制度障碍及政策建议 | 陆佳莹 丛玮

65 C909 如何开发银发族市场 | 张建恩

69 签下最大海外订单
小鹏汇天寻到“出海理想起跳台” | 欧阳亮

71 回眸

71 人类第一次成功飞越海峡——路易·布莱里奥
| 王思磊

74 参与庞巴迪 C 系列项目研制的回顾与思考（下）
| 汪亚卫



▼本期导读

2023年以来，大语言模型和智能体等人工智能技术发展迅猛，成为人们心中AI的代名词。然而，并非所有应用场景都适合大语言模型，且在大语言模型出现之前，AI就早已多次繁盛，并有诸多分支，深刻影响了我们的生活和工作的诸多方面，诸如人脸识别、AlphaGo、自动驾驶等。最适合的才是最好的，这对于AI在飞机研制中的应用同样适用。

当然，在寻找“最适合”的过程中，往往需要大量尝试，难免经历失败，带来时间和经费上的损失，更何况我们寻找的还是仍在快速迭代发展的AI。因此，遵循技术发展的根本规律，科学审视世界范围内民机研制中AI的应用情况，寻找自身最适合的方向和切入点，就变得尤为重要。

前路漫漫，挑战重重。无论是主制造商、航空公司，还是监管方，都在朝着智能化的方向努力探索前行。AI在航空业的应用正如AGI和汽车自动驾驶的发展一样，是大势所趋，“智”在必行！



- 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10期 | 总第136期 | 10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

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 蕙

记者 王脊梁 李 焱 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

卷首语

跟随走老路，创新走新路

文 | 陈伟宁



在大飞机规模化产业化发展新征程中，我们要辩证地处理好“跟随走老路”与“创新走新路”的关系。

芳林新叶催陈叶，流水前波让后波。在企业发展过程中，“跟随走老路”与“创新走新路”宛如车之双轮、鸟之两翼，推动着企业做大做强、迭代升级。

老路，凝聚着先行者的汗水和智慧，是对成功经验、成熟模式的总结和升华。前车之鉴，后事之师。“跟随走老路”，可以让后来者少走弯路、提高速度。综观 18 世纪以来世界主要国家的工业化进程，

在其发展初级阶段，无一例外都依赖大规模资金投入、技术创新和低廉的资源成本，通过规模效益迅速提升产能、扩大市场份额，推动企业快速发展，使工业化水平在短期内显著提升。这条老路的有效性，已经被世界工业发展史反复证明，未来还将被不断证明。

新路，则是借助颠覆性技术变革、组织变革或管理变革，创新性地开辟新的发展模式和发展路径，从而实现跨越式发展。遥想当年，在“快帆”“协和”等型号失败后，欧洲航空界痛定思痛，不仅聚集各国资源组建了空客公司，更在 A320 这一机型上创新性地采用了电传操纵技术，实现了对传统机械操纵系统的降维打击。凭借这一划时代创新，空客不仅杀开了一条血路，A320 也最终超越波音 773，成为全球最畅销的单通道客机。

当今时代，随着人工智能、大数据、人形机器人等颠覆性技术不断涌现，“不走寻常路”的创新型企业在以前所未有的速度发展。特斯拉、NVIDIA、ChatGDP、字节跳动、DeepSeek、宇树科技等创新型企业近几年、十几年中取得的成就，超过了大量存在了几十年甚至上百年的传统企业。它们的成功昭告世人：探索新路，固然风急浪大，但也意味着无限可能。

守正创新，笃行致远。在大飞机规模化产业化发展新征程中，我们要辩证地处理好“跟随走老路”与“创新走新路”的关系。作为后来者，我们必须积极学习、借鉴先行者的成功做法和经验，尽力加快追赶的步伐。但与此同时，又要紧紧扼住新一轮科技革命的咽喉，大胆探索新技术、新能源、新材料在大飞机研制全流程中的应用，努力打造非对称竞争优势，形成独具特色、具有强大市场竞争力的产品。唯有如此，才能在时代的洪流中乘风破浪、奋勇前行。



图 | 许哲豪

1 国航正积极筹划 C919 北京—香港航线

据中航集团网站消息，国航正在积极筹划使用C919客机开通北京—香港航线，进一步开拓市场。

据了解，国航C919在运营初期主要执飞北京首都至上
海虹桥、杭州、成都、重庆等商务客流密集的高品质航线。10
月26日新航季开始，其C919机队还将新增北京首都至长沙、
西安、广州3条航线。截至9月10日，国航C919机队累计安
全飞行8000余小时，运送旅客超41万人次。

2 国产航空润滑油地面测试与飞行试验圆满完成

10月5日12时50分，随着加注国产SINOPECTurboOil1合成航空润滑油的C919(B-658M)飞机平稳降落在东营胜利机场，为期8天的国产航空润滑油地面测试与飞行试验圆满完成。

此次试验自9月28日启动至10月5日结束，累计完成9小时发动机、20小时APU地面测试与6小时飞行验证，全程零故障、零异常。此次试验验证了国产航空润滑油与C919飞机的适配性，为国产润滑油取得STC证(补充型号合格证)助力。



02

01

3 无锡发力大飞机零部件产业链

近日，无锡市印发《无锡市加快推进大飞机零部件产业发展三年行动计划（2025—2027年）》，明确围绕航空发动机制造、特色机载系统、航空新材料3个核心子产业链，以及核心子产业链之外具有高附加值的高精尖缺子产业链，构建“3+X”产业体系，力争到2027年培育大飞机零部件产业链企业超200家，带动航空关联产业产值500亿元，将无锡打造为国际一流的大飞机配套产业关键技术自主高地、核心产品供给高地、科技企业集聚高地，为长三角（含江西）大飞机集群建设注入无锡动能。

5 欧盟已附条件批准波音收购势必锐

10月14日，欧盟委员会宣布已附条件批准波音收购势
必锐（Spirit Aero Systems）的交易，附加条件就是波音出售
势必锐旗下与空客相关的业务，并剥离其位于苏格兰、马来
西亚及贝尔法斯特的生产基地。

6 波音9月交付55架飞机

10月14日，波音公布9月和第三季度商用飞机项目订
单和交付情况：共获得新订单96架，包括32架737MAX、
49架787-9和15架787-10；共交付55架，包括40架
737MAX、1架737-700、2架767-300货机、2架767军用衍
生机、3架777货机、6架787-9和1架787-9。

第三季度，波音商用飞机项目共获得新订单153架，
包括67架737MAX、14架777X、1架787-8、54架787-9
和17架787-10；共交付160架，包括119架737MAX、2架
737-700、3架767-300货机、3架767军用衍生机、9架777
货机、1架787-8、19架787-9和4架787-9。

第三季度波音交付量同比增加38%，2025年累计交付
商用飞机440架。

4 737MAX7 重启飞行试验

10月6日，波音唯一的737MAX7试飞机（1E001）重启试飞，该机从2023年6月以来一直停放在摩西湖，于8月11日转场到波音机场。

同时，第2架737MAX10试飞机（1G002）的试飞量也有所增加，10月7日从西雅图飞往新墨西哥州的罗斯韦尔，开始新阶段的取证工作。第1架737MAX10（1G001）2025年一直在进行试飞，自2021年6月首飞以来已累计飞行近1100小时，超过319架次。

第3架737MAX10试飞机（1G003）在10月6日恢复试飞，上次飞行是8月初。1G003已累计飞行253小时、80架次，1G002累计飞行424小时、150架次。试飞的增加表明，737MAX7和737MAX10可能进入取证最后阶段。

10月17日，FAA批准波音公司将737MAX月产量提
升至42架，这意味着自去年1月起实施的38架月度产量
上限得以放宽。此举将助力波音改善财务状况，并逐步消
除外界对其安全与质量问题的担忧。



06

7 波音拟研发 737MAX 系列替代机型

据外媒消息，波音公司正计划启动一款新型窄体客机的研发项目，旨在未来取代目前的主力机型 737MAX 系列。此举被视为波音应对市场竞争、重塑产品线与安全声誉的关键战略步骤。

今年初，波音首席执行官凯利·奥特伯格与英国罗罗公司高管举行会谈，双方已就该新型客机发动机方案进行了磋商。奥特伯格还新任命了一位商用飞机部门的高级产品主管，该主管此前致力于开发一种新型飞机。

值得一提的是，在 2025 空客峰会上，空客就已披露了新一代窄体机项目的技术框架和战略规划，并计划于 10 至 15 年后投入使用，逐步取代现役 A320neo 系列飞机。

9 空客 9 月交付 73 架飞机

空客 9 月新增订单 10 架（均为 A350-900），无订单调减，净订单为 10 架。1~9 月，空客新增订单 610 架，净订单为 514 架。

9 月，空客交付 73 架（9 架 A220、59 架 A320neo 系列、4 架 A330neo 系列、1 架 A350，其中，A321neo 交付 40 架），较 6~8 月单月交付量有所提升，较 2024 年 9 月交付的 50 架增长 46%。1~9 月，空客共交付 507 架。截至 9 月底，空客储备订单量为 8666 架。

8 空客莫比尔第二条 A320 总装线启用

10 月 13 日，空客在美国阿拉巴马州莫比尔的第 2 条 A320 总装线投产。空客在莫比尔已有 A320 和 A220 总装线各 1 条，分别于 2015 年、2020 年投产。

空客计划 2026 年用 10 条总装线生产 A320（汉堡 4 条、图卢兹 2 条、莫比尔 2 条、天津 2 条）。预计到 2027 年，空客每月将生产 75 架 A320。

10 巴航工业第三季度交付量同比增长 5% 至 62 架

10 月 2 日，巴航工业公布第三季度交付数据：交付飞机 62 架（2024 年同期交付 59 架），同比增长 5%。商用飞机方面，交付 20 架（2024 年同期 16 架），包括 11 架 E195-E2；公务机方面，交付 41 架（与 2024 年同期持平），包括 20 架飞鸿 300；防务安全方面，交付 1 架军用运输机 KC-390。巴航工业预计，2025 年商用飞机交付 77~85 架，公务机交付 145~155 架。

11 赛峰实现陶瓷增材制造技术量产化

近日，奥地利高性能陶瓷材料和 3D 打印机供应商 Lithoz 宣布，巴黎附近的赛峰飞机发动机公司安装 3 台 CeraFabSystemS65 打印机，用于下一代 LEAP 与未来型号航空发动机高压涡轮叶片用陶瓷铸造型芯的批量生产。



11

12 罗罗将牵头 UNIFIED 项目 助力未来窄体飞机

日前，罗罗宣布，已被欧盟清洁航空计划选中，将牵头推进 12 个旨在实现航空业脱碳的突破性项目之一，其中包括新型飞机概念设计和创新推进技术研发等计划，将获得约 9.45 亿欧元的资金支持。

UNIFIED（超新型创新全集成发动机验证）项目由罗罗牵头，联合了来自法国、德国、荷兰、挪威、西班牙和英国的工业界、学术界及科研机构的核心合作伙伴。该项目将为 UltraFan 技术验证机进行中短程推力级的地面测试，用于助力未来窄体飞机，并为未来 UltraFan 架构飞行测试做关键准备工作。

14 美联航开通首个星链 Wi-Fi 干线航班

10 月 15 日，美联航宣布取得一项突破性进展：其从纽约纽瓦克飞往休斯顿的波音 737-800 航班(UA2940)成为美国主要航空公司中首个提供星链 Wi-Fi 服务的干线航班。

美联航计划每月为多达 15 架 737-800 机型安装星链系统，每架飞机将配备两套星链天线。该服务将对美联航 MileagePlus 会员免费开放。该航司预计将在 2025 年年底前完成另一机型的星链系统适航认证工作。

15 GE 启动 RISE 发动机核心机耐尘测试

10 月 10 日，GE 宣布，已启动针对 CFMRISE 开式转子发动机“紧凑核心机”的粉尘吸入测试。该测试较以往发动机研发周期大幅提前，旨在确保新一代发动机在沙尘环境中保持耐久性。

13 新西兰航空与 BETA 合作的首架电动飞机 ALIACX300 成功首飞

近日，挂有新西兰航空标志的首架电动飞机——BETAALIACX300，在陶朗加机场成功首飞。这架由美国 BETATechnologies 制造的电动飞机标志着新航“下一代飞机计划”的重要里程碑。

该飞机将在新西兰进行为期四个月的技术验证飞行，后续将转场至汉密尔顿和惠灵顿机场开展多场测试。ALIACX300 采用电池驱动，零排放、低噪音，航程约 398 千米，展示了区域航空可持续发展的新方向。

15 亿航发布长航程无人驾驶载人航空器 VT35

10 月 13 日，亿航智能 (EHang) 发布新一代无人驾驶载人航空器 VT35——采用高效气动布局与模块化电池系统，具备更长航程和更强载荷能力，主要面向中远距离客运和城际出行场景。

该机型搭载全冗余飞控系统和自主监控技术，在安全性、可靠性及环境适应性上均达到行业先进水平。相比此前的短程 eVTOL 产品，VT35 将亿航的应用边界从城市内交通扩展至区域级低空运输。



16



“智”在必行 ——人工智能在航空业的应用及展望

文 | 马小庆

2023年以来，大语言模型和智能体等人工智能技术发展迅猛，在聊天问答、图片甚至视频生成等应用场景中，均表现惊人，成为人们心中AI的代名词。然而，并非所有应用场景都适合大语言模型，且在大语言模型出现之前，AI就早已多次繁盛，并有诸多分支，深刻影响了我们的生活和工作的诸多方面，诸如人脸识别、AlphaGo、自动驾驶等。最适合的才是最好的，这对于AI在飞机研制中的应用同样适用。

当然，在寻找“最适合”的过程中，往往需要大量尝试，难免经历失败，带来时间和经费上的损失，更何况我们寻找的还是仍在快速迭代发展的AI。因此，遵循技术发展的根本规律，科学审视世界范围内民机研制中AI的应用情况，寻找自身最适合的方向和切入点，就变得尤为重要。

本文将从主制造商、航空公司、监管方等多个维度，聚焦各方近年来在AI应用上的进展和规划，基于可公开的资料，予以介绍和讨论。

主制造商：全面探索AI应用

欧洲的空客公司能够在20世纪后期崛起，取代美国波音公司成为现今大型民机年交付量最多的主制造商，其在诸如电传飞控等领域的不断创新和应用，是一个关键决胜因素。有着强烈创新基因的空客公司，对AI这种将深度影响未来民机市场格局的重要技术，始终保持高度关注与大量研发投入。对未来AI的重点应用，空客大致规划为六大方向，包括知识抽取(Knowledge extraction)、对话辅助(Conversational assistance)、决策(Decision-making)、异常检测(Anomaly detection)、计算机视觉(Computer vision)、自主飞行(Autonomous flight)。

空客对这六个方向各有侧重，采用的AI技术也不尽相同。前三项与飞机智能设计中大语言模型技术应用密切相关，第四项与智能制造、试飞、运营中的数据科学技术应用紧密联系，最后两项与智能飞机中自动驾驶技术应用休戚与共。右图为空客AI应用的六大方向。

2017年，空客利用大数据和自然语言处理等技术，开发了智慧天空平台

(Skywise)，面向航空公司提供优化维护等大数据服务。2020年，空客通过计算机视觉等技术，实现了自主起降滑行(Autonomous Taxi, Take-Off and Landing, ATTOL)项目验证，成功展示了在AI视觉识别辅助下全阶段自动飞行的潜力。2021年，空客利用自然语言和知识图谱等技术，开发了空客认知平台(Airbus Cognitive Platform, AIRKOG)，智能化解答使用者提出的航空领域专业问题。随着大语言模型技术的爆发，空客于2023年启动公司级人工智能工作组，旨在将生成式AI、大语言模型和其他基础模型的能力引入空客飞机全生命周期运营中，一年内完成了600个使用案例的识别。

美国的波音公司近年面临着一系列如飞机质量安全等问题，但作为历史最悠久的大型民机主制造商，也并未停止对AI应用的关注和研发投入。除了在数字孪生领域投入更多、更新的AI技术外，相比空客公司，波音公司更倾向于将AI应用到提升航空安全、降低企业运营成本等领域。其在航空安全上的AI应用措施，覆盖了飞机设计、制造、运营、管理等多个维度。

▼图|空客AI六大应用方向

Shaping our business through artificial intelligence

Airbus focuses on six technical areas relating to AI that will shape our business over the next five years:



Knowledge extraction

Extracting value from unstructured documents



Computer vision

Transforming images and video into objects and activities based on deep-learning detection and decision-making



Anomaly detection

Finding hidden patterns in data



Conversational assistance

Designing natural language-interaction systems



Decision-making

Optimising solutions for very complex constrained problems



Autonomous flight

Enabling the next generation of aerial vehicles with new capabilities

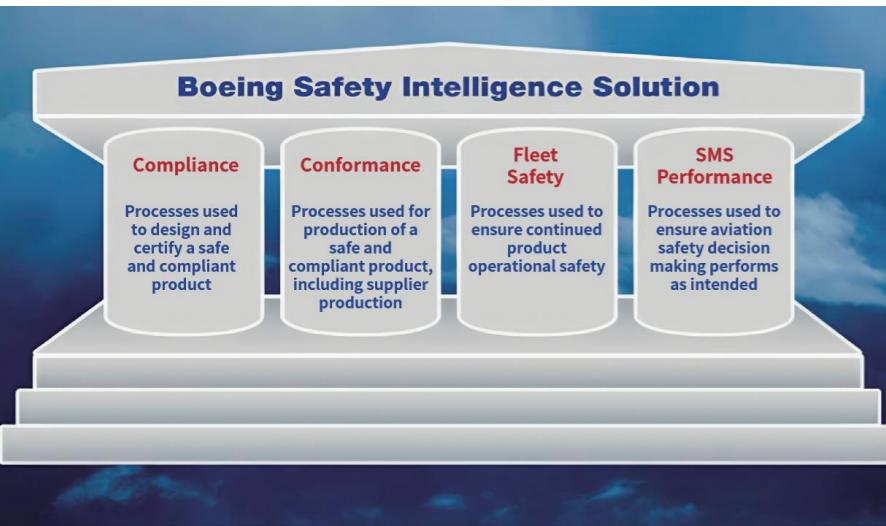
同时，波音公司也在加速对生成式 AI 和大语言模型的垂直应用研究。早在 2016 年，波音就成立了新技术研究部门 Boeing Intelligence & Analytics(BI&A)，研究诸如云、大数据和 AI 技术。2025 年 1 月，波音公司申请了一项名为“用于工作协议的人工智能助手”的专利（公开号 CN120407779A）。该专利聚焦于利用大语言模型技术，构建一个可通过自然语言对话快速检索技术文档和相关元数据的 AI 助手，帮助员工优化工作流程、提高工作效率。

中国商飞作为世界大型民机主制造商中的后起之秀，近年来系统性策划了人工智能应用研究，进行了大量探索实践，取得了一系列成果，如“东方”系列流体仿真大模型、“飞知”知识智能化引擎、智能制造、预测性维修等。

总体而言，世界三大民机主制造商，均以自身核心业务为牵引，将 AI 技术引入飞机研制的全生命周期，以提升企业研制效率和产品竞争力，力争在智能化时代的竞争中占据优势地位，这些研究均取得了阶段性成效。

主制造商由于市场竞争的需要，在

▼ 图 | 波音公司在航空安全上的 AI 应用措施



AI 应用的探索上势必会更加急切和全面。然而，由于民机研制的复杂性，注定这是一场技术马拉松，只有坚持到最后的选手才能大获全胜。

航空公司：用 AI 帮助盈利

从世界各大航空公司应用 AI 的情况来看，由于需要依靠运营民机而盈利，如何应用 AI 来提升服务质量和运营效率、降低运营成本并提升运营安全就成为其中的关键。

美国阿拉斯加航空公司与 Air Space Intelligence 公司合作，利用其 Flyways AI 平台优化航线，提升燃油效率，从而降低运营成本。在飞行过程中，Flyways AI 平台测试了所有可能的航线，收集了气象、里程和燃料等数据，并利用这些数据优化调整航线。2023 年，Flyways AI 平台已帮助阿拉斯加航空节省了超过 120 万加仑燃料。

德国汉莎航空公司在 2017 年开发了 AVIATAR 大数据平台，用于进行机队的健康管理和预测性维修，近年又与谷歌公司合作，利用深度学习算法，提前 2 个小时预测瑞士地区机场的风向，提高航班准点率。此外，汉莎航空还通过利用数字化和 AI 技术精简冗余业务、提升管理效率，以实现利润增长。

国内航空公司 AI 应用覆盖了旅客服务、运行调度、安全监管、维修保障、气象预警等全链条，特别是国产大语言模型的快速发展，带动了以 DeepSeek 为代表的国产大模型在民航领域的规模化落地。中国国际航空公司在 2025 年 6 月推出了 AI 智能助手“胖安达”，为旅客解答关于客票规则、航班计划、服务预订、会员权益等各类问题，以及行程规划等服务。

监管方：AI 发展太快

AI 在民机研制和运营中的应用，离不开监管方的指导和批准。

FAA 和 EASA 近年来均高度关注 AI 的应用。早在 2018 年，EASA 就成立了 AI 工作组，并于次年收到了第一份关于 AI 在飞机系统上认证的申请。2020 年，EASA 在前期研究的基础上，发布了 AI 路线图 1.0，识别 AI 对航空业的影响，提前制定应对措施。2023 年，EASA 结合大语言模型等新技术发布了 AI 路线图 2.0，给出了 AI 在航空业应用中更全面、具体的方案和措施。

FAA 则在 2024 年发布了人工智能安全保证路线图，概述了 AI 在航空业安全应用的方法，提出了七项具体指导原则，为 AI 在航空业的应用提供了重要的安全指引。

作为“立法者”和“执法者”，在对 AI 应用方案和措施进行研究时，FAA 和 EASA 均面临着一个难题：AI 仍在持续发展，且速度很快，由此带来的问题包括：AI 的定义往往无法准确界定，方案和措施常常刚制定就过时；同时，AI 的不确定性和风险性也极大限制了其在民机研制中的应用。为了解决这些问题，作为“标准制定者”和“技术专家组织”的国际自动机工程师协会（SAE）等技术组织，就成为推动 AI 这类新技术应用的重要力量。

2019 年，美国和欧洲在航空航天领域同时成立了两个 AI 工作组，分别为 SAE G-34 和 EUROCAE WG-114。成立这两个工作组的初衷是推动一批 AI 应用的可依据标准制定，以确保未来应用 AI 航空航天器的安全运行。因为以当前 AI 的技术特性，使用 AI 的机载软硬件无法满足现有标准（如针对航空电子软件开

发认证的 DO178 和航空电子硬件开发认证的 DO254），必须有针对性地研究及编制相应标准，满足确定性和安全性等要求。当前，两个工作组已发布 2 份国际标准，并有 3 份正在编制。但相比其他已发展数十年的技术领域，AI 国际标准的推进工作任重道远。

中国民航局在 2022 年发布了《智慧民航建设路线图》，聚焦于智慧出行、智慧空管、智慧机场、智慧监管等领域的 AI 应用，重点关注提升安全监管能力和优化设施设备应用等方面，同时提出要制定切实可行的数据管理办法，完善行业数据管理制度。

2024 年，大语言模型这波 AI 新浪潮的掀起者 OpenAI 公司发布了通用人工智能实现的 5 个等级 (L1 ~ L5)，以及各级评价标准（当前 AGI 水平位于 L2，即“推理者”）。这一年，距离 AI 诞生已经过去了 68 年，距离 2014 年 SAE 发布第一版自动驾驶的分级标准 J3016 也已过去 10 年。10 年间，全球智能汽车市场快速发展，尤其是中美两国企业的海量研发投入，使得汽车自动驾驶已是“坐 3 望 4”，正在大踏步逼近 L4 级的“专业司机”水平。然而，反观飞机的自动驾驶，仍有很长的路要走。一些业内人士认为，飞机相比汽车的自动驾驶至少要晚 5 到 8 年。

前路漫漫，挑战重重。无论是主制造商、航空公司，还是监管方，都在朝着智能化的方向努力探索前行。AI 在航空业的应用正如 AGI 和汽车自动驾驶的发展一样，是大势所趋，“智”在必行！

AI 引领民机气动设计进入新纪元

文 | 柳位 黄增辉 张森 张煜

当您乘坐飞机翱翔于蓝天之上，是否曾考虑过这架庞然大物为何能挣脱地心引力，带着数百人平稳穿越云层？当航班准点抵达、舷窗外的气流未造成剧烈颠簸，当机票价格因燃油效率提升而更具亲和力时，您或许未曾察觉，这些舒适与经济的体验背后，都离不开一项贯穿飞机设计始终的核心技术——气动设计。如今，这一飞机设计最初也是最核心的设计，正与飞速发展的人工智能结合，绽放出崭新的光辉。



气动设计的挑战

飞机的气动设计是飞机设计最基础、最核心的技术之一，是飞行器设计的核心与灵魂，直接决定了飞行器的性能、安全性和经济性。在气动设计领域，有三大设计“法宝”：飞行试验、风洞试验、数值模拟。飞行试验是最贴近真实场景的验证手段，能直接获取飞机在实际飞行环境中的气动数据，是气动设计最终的核心依据。风洞试验则是地面模拟飞行的核心，通过在可控环境中生成气流，搭配缩比模型，可精准调控各项参数，反复测试不同气动外形的性能。数值模拟则是依托计算机技术，通过求解 Navier-Stokes 方程组，无需实体模型即可快速模拟各类工况，是设计阶段快速筛选方案的关键。

在传统民机气动设计的设计流程中，设计师需要在气动外形设计、性能评估、迭代优化的流程中反复循环，各个相关专业的约束条件与性能要求的加入又使得气动设计需要历经一轮又一轮的更改优化，这些工作需要消耗大量的计算时间与硬件资源。

飞机的气动设计是一项门槛很高的工作，需要设计师了解流体力学、结构力学等多学科理论，还需要掌握几何建模、网格划分、数值计算等多种软件，同时气动设计高度依赖设计师个人的工程经验，这些工程设计经验难以进行量化提炼，更进一步推高了设计难度。

综上，传统气动设计的痛点包括：设计周期被反复迭代拉长，高额计算资源推高研发成本，各专业间的约束条件难以及时协同，且在既有流程框架下，突破性的气动创新也更难实现。要解决这些问题，就需要引入新的设计手段，发掘新的设计范式。

人工智能的未来

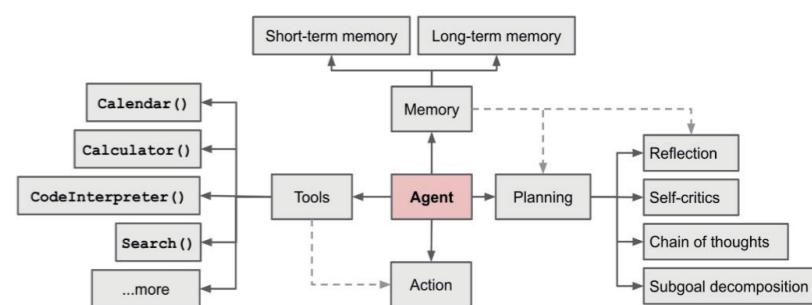
在人工智能领域，我们经常听到一个既熟悉又前沿的词汇——智能体（Agent AI）。简单来说，智能体是能够感知环境、进行决策并执行行动的程序或系统。它们不是被动地接收指令，而是像一个具备“思考”能力的个体，能够在动态的环境中独立运作，以达成特定的目标。你可以将智能体想象成一个数字世界的专业“助理”或“工人”，它们能持续不断地工作，从简单的任务到复杂的项目管理都能胜任。根据华为发布的《智能世界 2035》报告，到 2035 年，全球将会出现 9000 亿个智能体，智能体将以远超所有人想象的速度蓬勃发展。

从“大脑”到“生命体”，智能体正在获得过去的 AI 所不具备的感知与行动能力，从只能“听指令、给答案”到“观察世界、理解世界、主动执行”。智能体是

▼ 图 1 | 气动设计流程及痛点



▼ 图 2 | 基于大语言模型的智能体架构



让 AI 拥有“眼睛、耳朵和手脚”的系统，它能感知外界 (Sensors)，能思考决策 (LLM/VLM)，还能行动反馈 (Actuators)，形成一个完整的闭环：感知→决策→行动→学习。

智能体的价值在于它能够将复杂的、多步骤的任务自动化。它们不仅仅是简单的脚本或自动化程序，而是能根据环境变化调整策略的“智能”系统。例如，由 OpenAI 所发布的 DeepResearch 是一款能够自动化并加速复杂的、多步骤的深度研究任务的智能体。不同于我们熟悉的 ChatGPT 快速问答的模式，DeepResearch 就像一位经验丰富的分析师：它会主动分解复杂的查询，自主搜索在线来源（包括文件、图片等），然后运用先进的推理能力进行分析、交叉验证和综合，最终产出一份结构完整、有理有据的综合报告。这份报告不仅内容翔实，还会附带完整的引用和推理过程摘要，确保每条信息都可追溯和验证。对于金融、科学乃至工程领域的专业人士来说，DeepResearch 无疑是一项将数小时工作压缩到短短几分钟的生产力利器。

气动设计智能体的探索

深度学习方法的引入，在翼型的气动设计中带来了新的设计工具，而智能体在金融、医疗、教育等领域的广泛应用也促使我们考虑将智能体引入气动设计领域，将翼型气动设计从“零散深度学习工具应用”向“系统智能整合”演进。因此，上海飞机设计研究院智能气动设计团队联合多家高校、企业，在前期相关工作的基础上开发了超临界翼型设计智能体——“御风·智翼”。

智能体的几何模块负责储存翼型几何，是智能体的记忆库。深度学习依赖于

充足、合理的样本。在基于深度学习的各种深度学习模型训练之前，需要建立大规模、高质量的数据库。如何获取设计空间的信息最大化，合理反映设计空间信息是数据库建立过程中的重要组成部分。针对建立数据库中涉及的参数化方法、CFD 计算方法、采样方法等工具进行了精心设计，基于工程实际需求制定计算工况，完成了超临界翼型数据库构建。数据库中融入了气动设计专家的经验、知识，具有很强的工程实用价值。为了扩展数据集的使用范围，基于 MySQL 架构，系统化地存储、检索和管理数据集，并集成了查询和分析工具，能够帮助设计人员利用数据库进行初步的筛选、分析，提高设计效率。

基于与上海人工智能实验室合作打造的“书生·翼飞”二维翼型函数式生成与编辑模型，该模型的核心技术贡献是在函数空间中，使用生成模型建模几何与物理对象。相对于传统的基于数学的参数化外形设计方法，例如 PARSEC 方法、CST 方法等，它具备以下几个特点和功能：

首先，模型支持函数空间内的连续曲线的生成推理，也就是模型可以访问任意坐标点处的输出，可以以指定精度生成翼型，并可使用不同精度的翼型数据进行翼型设计。

其次，模型支持几何设计指标为基于条件的可控生成，生成条件包括“前缘半径、最大厚度、上表面尾缘夹角”等 15 个设计参数，该 15 个参数由设计师根据超临界翼型的工程设计经验设定，将工程经验及设计约束显示作为设计参数，便于设计师使用。

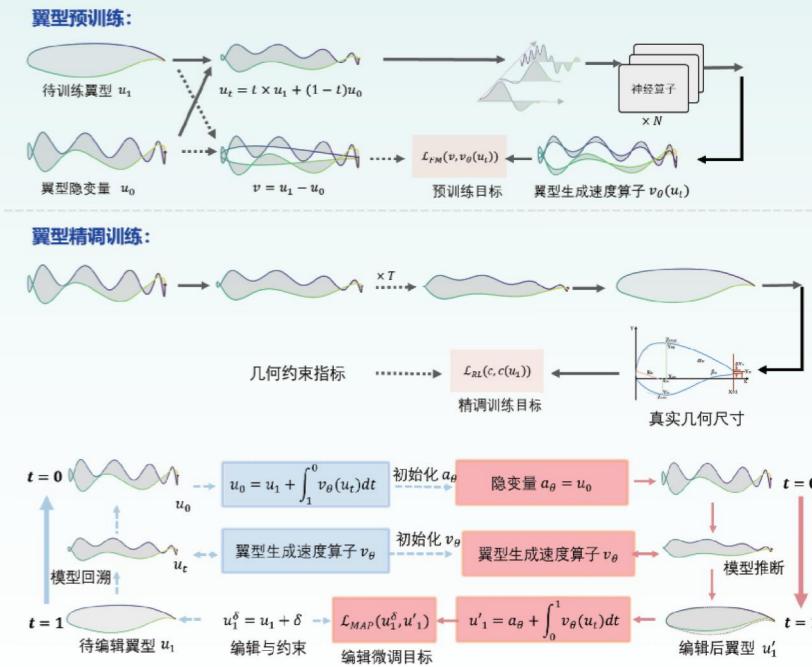
第三，模型支持任意位置和精度的几何约束下的曲线编辑。可以约束翼型表面任意坐标点不变，而将特定相关坐标点根据设计需要进行坐标变换，并保持曲线的曲率光滑以满足设计需要。

“御风·智翼”超临界翼型设计智能体在仿真模块中集成了“东方·御风”超临界翼型 AI 工业流体仿真模型。“东方·御风”是基于昇腾 AI 打造的面向大型客机翼型流场高效高精度 AI 预测仿真模型，并在昇思 MindSpore 流体仿真套件的支持下，有效提高了对复杂流动的仿真能力，仿真时间缩短至原来的 1/24，大幅减小了风洞实验的次数。同时，“东方·御风”对流场中变化剧烈的区域可进行精准预测，流场平均误差降低至万分之一量级，达到工业级标准。

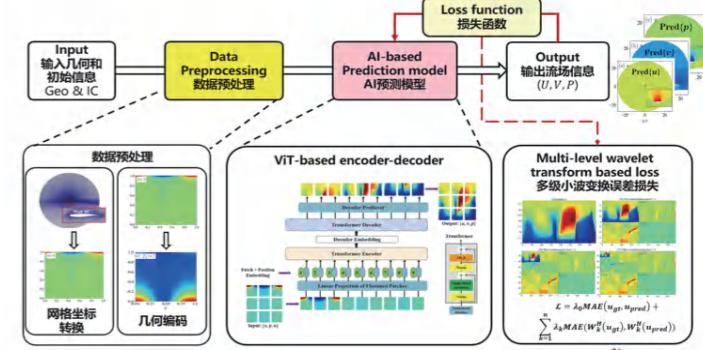
超临界翼型设计智能体中的优化模块，专门针对两种超临界翼型的典型设计目标——减阻与提高抖振边界的智能优化算法。减阻与提高抖振边界是现代民用飞机气动设计的两大核心目标，前者直接决定飞机的运营经济性与环保性能，后者则关乎飞行安全、飞行品质，二者共同构成了飞机气动设计的关键约束与优化方向。本文选取两种典型超临界翼型性能，结合工程实践经验给定相关优化约束，通过采用“东方·御风”二维超临界翼型 AI 工业流体仿真模型以及智能优化算法，实现对这两种性能的快速优化。

在智能决策方面，基于 DeepSeek-V3271B 大语言模型，超临界翼型设计智能体能够通过文字或语音对话，解析设计师输入的指令，通过任务规划——子任务执行控制——子任务结果检查——子任务验证纠偏流程，智能识别用户意图，调用各项功能模块，规划任务并执行，通过预嵌入飞机气动设计领域的专家知识，翼型设计智能体可优化、评估、反思并优化自身的行为决策，最终产生超临界翼型设计方案，形成超临界翼型设计报告，不断迭代进化，将助力智能体为设计师提供更高层次的反馈和能力，最终实现智能体与设计师的共生进化。

模型训练：神经算子-流匹配生成式预训练与精调



▲ 图 3 | 翼型生成基本原理



▲ 图 4 | “东方·御风”基本原理

总结与展望

“御风·智翼”二维超临界翼型设计智能体通过“几何存储—生成编辑—仿真预测—性能优化—智能决策”五大模块协同，破解了传统民机气动设计迭代长、成本高、协同难等痛点，实现了从“经验驱动”到“智能协同”的跨越，其技术与工程需求的深度融合为气动设计智能化提供了可落地范式；未来，该智能体将向多学科协同优化（整合结构、材料约束）、应用场景拓展（从二维翼型到全机及支线客机、无人机等多机型）等方向突破，长远将降低设计门槛、推动“人机共生”设计新模式，助力航空工业实现高效、安全、环保发展，支撑全球航空运输可持续发展。



大语言模型： 让飞机设计师更“聪明”

文 | 王存俊

“为什么民机研制如此之难？”民机为典型复杂巨系统，由数十个系统/子系统、百万量级零组件构成，每个研制过程如设计、制造、试飞等均具有其独特的复杂性。

设计师的“知识困境”

民机研制的一个核心挑战，就在于对复杂系统相关知识的掌握和熟练应用。设计一款飞机，工程师们需要熟记并遵循海量的设计标准、安全规范（适航条例）、前人积累的最佳实践和工程经验。过去，这些是堆积成山的纸质文件，如今，它们变成了海量的电子文档。面向文档的

PDM 使得工程师在产品设计时，管理、变更、协作、共享等都比纸质时代提升了效率。然而，这也是一把双刃剑。

第一个限制是知识理解：电脑能存储 PDF 文件，但它并不知道文件里“机翼结构需在特定载荷下保持稳定”这句话的真正含义。

第二个限制是知识管理：这些知识分散在不同部门、不同系统中，像一座座信息孤岛，设计师需要靠自己的智慧和记忆去“穿针引线”，效率低下。

第三个限制是知识过载：面对这片浩瀚无边的“知识海洋”，设计师想快速、准确地找到自己需要的那“一瓢饮”，变得异常困难。很多时候，他们不是在创新，而是在信息的迷宫中疲于奔命。

简单来说，我们拥有了知识的“图书馆”，却没有一个聪明的“图书管理员”。设计师们的大部分宝贵时间，都耗费在查找、阅读和整理资料上，而非专注于创造性的设计本身。

那么，有没有一种技术，能够真正理解这些知识，并像一位无所不知的专家助手一样，为设计师提供精准的支持呢？2022 年底，以 ChatGPT 为代表的大语言模型技术横空出世，以其惊人的自然语言理解和推理能力，为我们打开了解决上述困境的全新大门。一场由大语言模型驱动的民机设计智能化变革，正悄然拉开序幕。

“死知识”与“活智慧”

要理解大语言模型如何赋能飞机设计，我们首先得弄明白什么是大语言模型。

大语言模型最著名的代表——ChatGPT，您可以把它想象成一个阅读了整个人类互联网上几乎所有公开文本、书籍和论文的“超级大脑”。这个大脑的核心能力并不是简单地存储信息，而是通过

海量数据的学习，掌握了我们人类语言的深层模式、逻辑结构和知识关联。

通俗地讲，它的工作原理有点像一场极其复杂的“完形填空”游戏。在训练过程中，它被要求根据一句话的上文去预测下一个最可能出现的词。通过数以万亿次这样的练习，它不仅学会了语法，更学会了常识、逻辑和不同专业领域的知识。最终，它能够理解一个问题的意图，并像一个人一样组织语言，生成连贯、相关且富有逻辑的回复。

具体来说，大语言模型拥有三项“超能力”：

强大的自然语言理解能力：它能够“读懂”人类用日常语言提出的问题。设计师将不再需要学习复杂的计算机指令或检索语法，可以直接用自然语言提问。比如，“请总结一下复合材料机翼在结冰条件下的设计规范有哪些？”对于这种类型的提问，它能准确理解问题的核心。

一定的逻辑分析与推理能力：大语言模型并非一个简单的“复读机”，它能够对所学的知识进行联系、比较和推理。例如，当设计师提出一个新型连接方案时，它可以基于学到的知识，推断

这个方案可能会与哪些现有的安全条款相冲突，从而提前预警。

流畅的内容生成与总结能力：它可以快速阅读和理解上千页的技术文档，并为你生成一份精练的摘要；也可以根据几个关键参数，自动起草一份初步的设计报告或操作手册，将设计师从烦琐的文书工作中解放出来。

此外，结合“检索增强生成”（RAG）技术，我们可以为模型配备一个专属的、实时更新的“设计知识库”。当设计师提问时，模型会先从这个知识库中精准查找相关信息，再结合自己的理解生成答案。这就像一位专家在回答问题前，总会先查阅最新最权威的行业手册，从而极大地保证了答案的专业性和准确性，避免了“胡编乱造”。

总而言之，大语言模型的出现，相当于为每一位飞机设计师配备了一位不知疲倦、学识渊博、随叫随到的AI助理。它能够将沉淀在文档海洋中的“死知识”，转化为驱动设计创新的“活智慧”，这正是它能为飞机设计带来革命性变化的关键所在。

作为“活智慧”的一个表现，AI已

经实现了从“理解意图”到“生成方案”的跨越，这是大语言模型最具颠覆性的应用之一。未来的设计将不再是设计师与复杂软件的单打独斗，而是人与AI的协同共创。特别值得一提的是，结合了图像和3D模型理解能力的多模态大语言模型，还能够“看懂”设计草图和技术图纸。

美国NASA的研究人员已成功利用类似技术，将过去需要数小时完成的仿真设置和优化分析，缩短到几分钟内完成，展现了其在加速设计迭代、激发创新方案方面的巨大潜力。未来设计师可以用语言描述设计意图，AI可以理解这个复杂的、多约束的任务，然后通过与工业软件协作辅助设计，就像一位高级程序员自动生成驱动专业设计软件（如CATIA）的脚本代码，将设计师从烦琐的具体操作中解放出来。

除此之外，大语言模型还可以在许多方面发挥作用，例如航空安全与故障预测，通过分析海量的历史故障报告和维修记录，模型能够挖掘出人眼难以发现的隐蔽风险，帮助工程师在设计阶段就预见并消除潜在故障，从源头提升飞机的安全性。

更智能的飞机设计时代

展望未来，大语言模型驱动的飞机设计将向更集成、更自主的方向演进。在此进程中，多模态大模型将成为关键，它能同时理解图纸、3D模型、视频等多模态信息，设计师用自然语言描述需求，如“生成一个符合气动要求的翼梢小翼”，模型就能直接输出可供修改的三维数模，实现“所言即所得”。

更进一步的AI智能体将扮演“虚拟设计师”的角色。它具备记忆（存储设计规范）、思考（分析设计意图）和执行（调用软件工具）等能力，能自主完成“理解需求 - 检索案例 - 生成方案 - 仿真验证”

的完整流程，将设计师从重复繁琐的劳动中解放出来，专注于更高层次的创新。

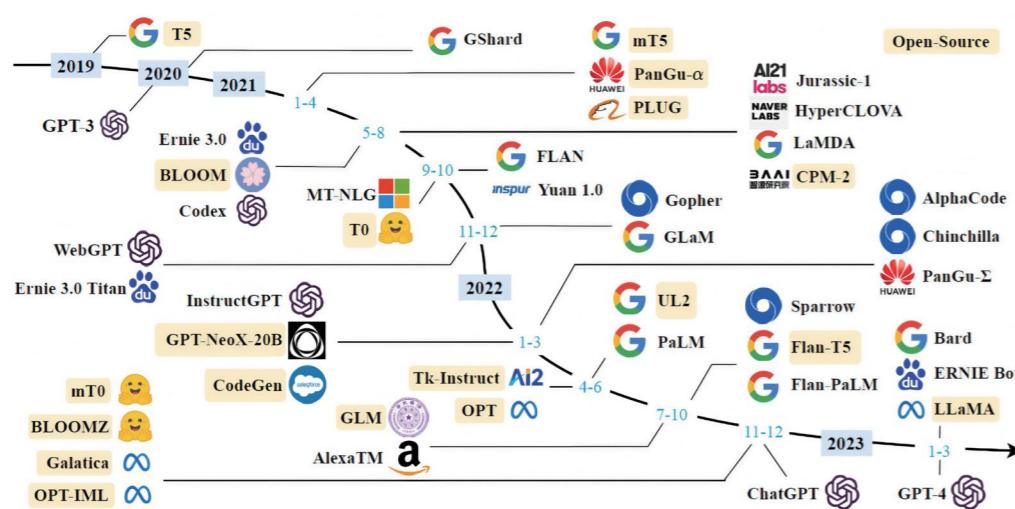
然而，通往未来的道路仍存挑战：需要构建高质量的航空专业语料库来“喂养”模型；庞大的模型对算力提出了极高的要求；同时必须持续治理模型的“幻觉”问题，确保其生成的每一个螺丝钉的参数都准确可靠。攻克这些难关，方能真正迎来飞机智能设计的新纪元。

需要强调的是，大语言模型的发展目标绝非是完全取代人类设计师，而是要成为一位不知疲倦、知识渊博的“超级外脑”，实现对人类设计能力的深度增强。它将设计师从烦琐的信息检索、重复的文档编制和复杂的软件操作中解放出来，让其宝贵的智慧与精力能够聚焦于最具价值的创造性工作——提出颠覆性概念、解决核心系统冲突、进行更高层级的审美与工程决策。

展望未来，这场由大语言模型驱动的智能化变革，其潜力远超效率的提升。它将构建一个更高效、更安全、更具创新活力的民机设计新范式：设计周期因自动化而大幅缩短；设计方案因融合了全谱系的历史经验与实时数据而更为可靠安全；更重要的是，设计师在AI的辅助下得以突破传统思维边界，探索过去难以想象的创新构型。

最终，我们迎来的将是一个“人机协同”的最佳时代——人类工程师的创造性思维、系统思维与价值判断，与人工智能的超强算力、海量记忆和不知疲倦的特性深度融合，共同绘制出更加安全、高效与智慧的飞行蓝图。

▼ 图1 | 大语言模型发展路径

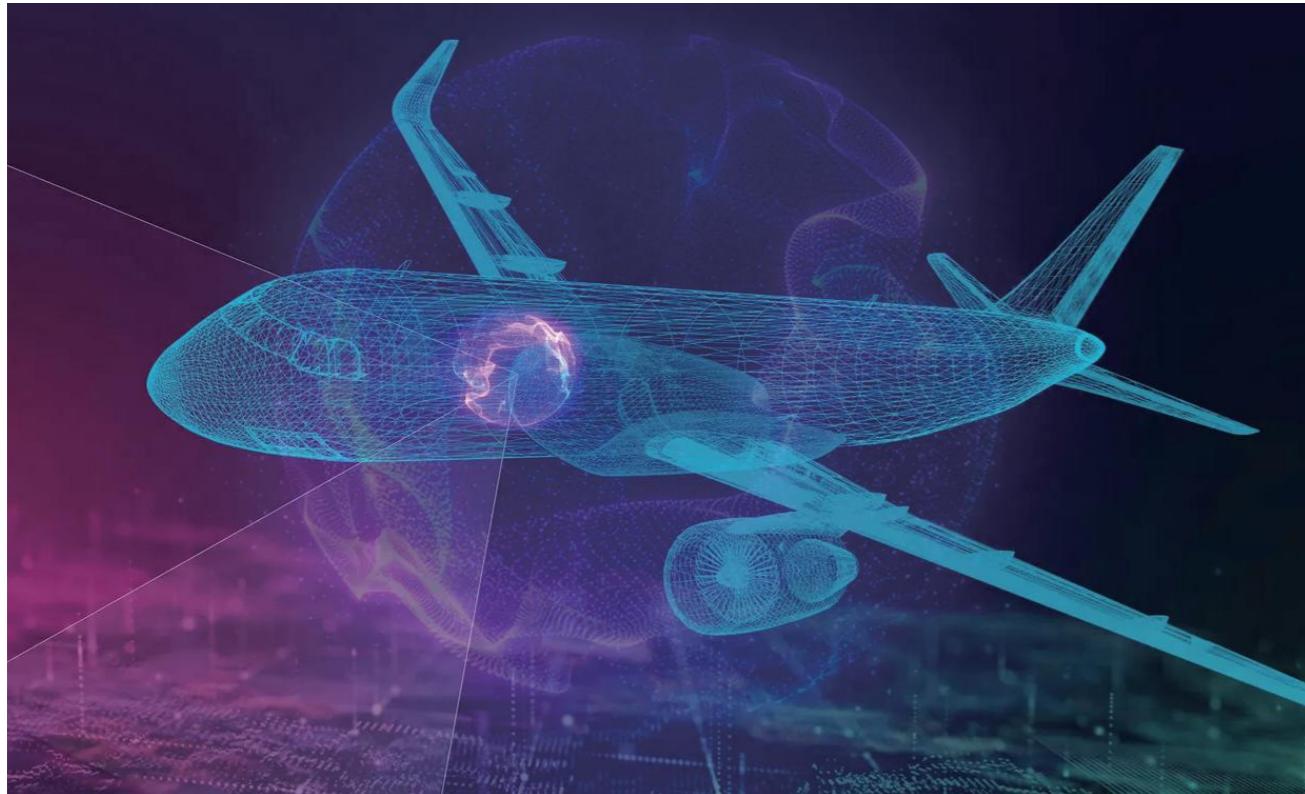


AI： 重塑飞机研制全过程的关键钥匙

文 | 魏文婷 唐诗翔 黄华希 欧阳万里

莱特兄弟完成首次颤颤巍巍的飞行以来，人类对天空的探索从未止步。商用飞机被誉为“现代工业的皇冠”，其研制不仅涉及数百万个零件，更涵盖数以万计的技术标准，堪称极致复杂性的典范。如今，人类正处于新一轮科技浪潮的前夜，人工智能（AI）技术正逐渐从实验室走向现实，成为重塑飞机研制全过程的关键钥匙。它正让飞机的设计更具创新性、制造更精准、飞行更安全，引领航空工业迈向全新的智能时代。

▼ 图 | 空客



技术范式的演进

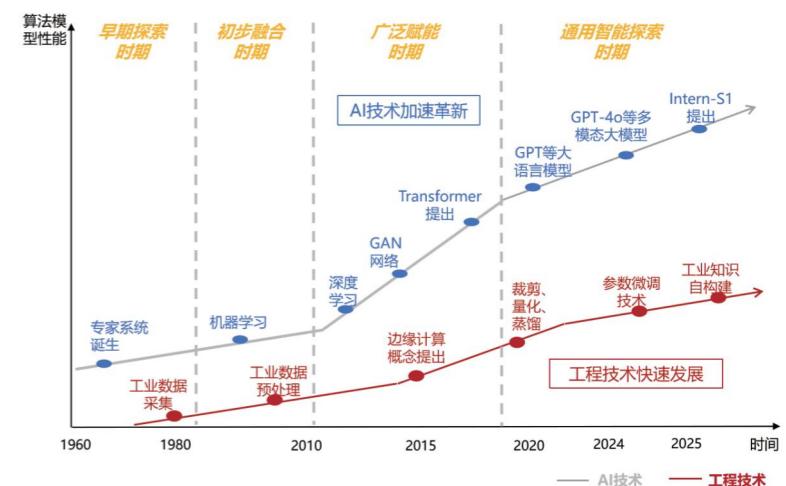
人工智能的发展是一部从理论构想走向产业核心的波澜壮阔的史诗。其产业化应用之路并非一蹴而就，而是经历了清晰的、层层递进的技术范式演进。每一次飞跃都伴随着标志性的代表产品或应用，最终汇聚成驱动今日产业变革的洪流。

AI 的发展始于 20 世纪 50 年代，之后作为重要里程碑的专家系统的出现，标志着 AI 进入了逻辑思维阶段。此阶段旨在将人类知识结构转化为计算机可理解和处理的形式。早期的代表如 DENDRAL 系统和 MYCIN 系统，证明了计算机可以通过编码的规则和逻辑在特定领域辅助人类进行专业决策。在航空领域，这类技术为构建飞机研制阶段的各类知识库奠定了基础。

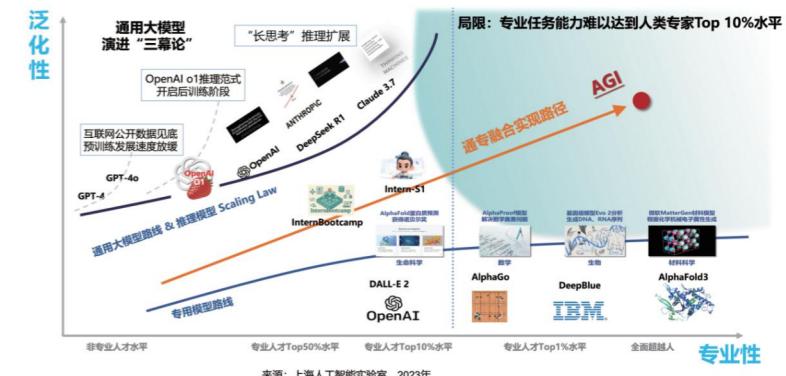
机器学习技术的成熟与广泛应用，标志着人工智能发展进入了一个新阶段。在这一阶段，计算机不再依赖人类事先编写好的固定规则，而是能够直接从数据中学习其中的规律和模式。以支持向量机、决策树等为代表的传统机器学习方法，在诸多实际任务中表现出强大的能力。工业界广泛将其用于设备故障预测、市场趋势分析、用户分类等场景，使之成为数据智能决策的核心工具。

随后，深度学习的突破让 AI 拥有了“感知世界”的能力。借助深层神经网络，AI 在处理图像、声音、文本等非结构化数据上取得了压倒性优势，其标志性事件是 2012 年 AlexNet 在 ImageNet 图像识别竞赛中以压倒性优势夺冠。此后，基于深度学习的人脸识别、智能语音助手和实时翻译等产品迅速进入人们的日常生活。在工业质检领域，计算机视觉系统开始替代人眼，成为检测产品表面缺陷的专家。

自 2015 年 AlphaGo 横空出世以来，



▲ 图 1 | 人工智能技术演进图



▲ 图 2 | ‘通专融合’将引领 AGI 进入新阶段

深度强化学习进一步赋予 AI 在试错中优化决策的能力。通过海量的自我对抗与试错，AI 掌握了对复杂工业任务进行模拟和控制的策略，为机器人路径规划、工艺参数调优等复杂工业流程提供了全新的解决方案。

当下，我们正迎来以生成式人工智能为核心驱动的新一轮科技浪潮。自 ChatGPT、DeepSeek 等代表性系统出现以来，生成式 AI 不仅重塑了人机交互的形态，也重新定义了多个行业智能化的路径与边界。

在这一浪潮中，通用大模型展现出强大的通识推理与生成能力，但在面对高度专业化、知识密集的现实任务时仍存在

响应准确性、领域适应性和可靠性不足等问题。与此同时，传统专用模型虽在特定场景中表现稳定，却因泛化能力有限，难以应对跨任务需求。两者均尚未完全实现从“可用”到“可靠好用”、从“感知理解”到“真实赋能”的跨越，距实现“通用泛化性”“高度专业性”和“任务可持续性”仍有明显差距。

针对这一现状，上海人工智能实验室提出了“通专融合”的技术发展路径，旨在将通用大模型的认知与泛化能力，与专业领域的知识体系、工具链及验证环境等进行深度融合。其推出的 InternBootcamp 和 Intern-S1 等代表性成果，已在数学、生物、气象等垂直领域中展现出优秀的任务适应性和输出可靠性。这表明“通专融合”不仅具备理论创新性，而且在产业化落地中显示出巨大的应用潜力。

四大重点研制场景

当前，人工智能技术已经深度融入现代民用飞机研制的核心环节，正在从根本上改变传统的设计、制造与运维模式。其应用呈现出从辅助工具到决策核心的演进路径，在智能设计、工艺规划、智能质检和智能运维四大场景率先实现价值赋能。

▼ 图 3 | AI 重点赋能场景——主要集中在数据密集、知识密集和流程优化需求强烈的环节



在飞机设计领域，AI 正在引发一场仿真与设计革命。传统设计方法严重依赖工程师的个人经验，面对气动、结构、强度、噪声等多学科优化问题，往往需要通过大量物理试验和仿真计算来寻找最优解，过程耗时耗力。AI 的赋能始于机器学习算法在仿真数据中的挖掘应用。通过对海量 CFD、CAE 历史仿真数据的学习，AI 能够快速预测设计参数的改变对飞行性能的影响，将原本需要数小时的仿真计算缩短至秒级，极大加速了设计迭代优化过程。

生成式 AI 的出现将 AI 在设计与仿真领域的应用推向了新的高度，工程师只需输入重量、载荷、约束条件等设计目标，算法便能探索人类经验之外的非传统设计空间，自动生成数百种满足条件的拓扑结构方案。空客公司利用生成式 AI 技术为 A320 设计的“仿生隔板”就是一个典型例证。这个由 AI 优化的结构部件，在保证强度的同时，比传统设计减重 30 公斤，每年可帮助每架飞机减少近 46.5 吨的碳排放。

工艺规划作为连接设计与制造的桥梁，其复杂程度往往超乎想象。以机翼装配为例，涉及成千上万个铆钉的连接，其顺序、扭矩都直接影响最终的质量和应力分布。强化学习技术在此领域展现出巨大潜力。研究人员通过在虚拟数字孪生环境中创建“数字工厂”，让 AI Agent 进行海量尝试，通过数百万次的试错与学习，自主寻找人类工程师难以直观发现的最优工艺方案。上述优化过程均在数字世界完成，消耗的是算力而非昂贵的物理材料和时间。

在实际应用中，增强现实等技术正将优化的数字工艺规程直接赋能一线工人。例如，航空维修人员佩戴 AR 智能眼镜即可按步骤指引进行操作，关键步骤自动识别复核，大幅提升复杂工艺执行的准

确性和效率。这种数字与物理世界的高度融合，标志着飞机制造工艺正在进入智能化新阶段。

质量检测是保证飞行安全的核心防线，而传统的人工目视检测方式正面临严峻挑战。基于深度学习的计算机视觉技术彻底改变了这一局面。通过在海量的缺陷样本数据上训练卷积神经网络，AI 模型能够像人脑一样分层提取图像特征，精准识别和定位各种缺陷。

在飞机研制中，AI 质检已经实现了广泛应用：在复合材料结构检测方面，能够自动识别蒙皮表面的划痕、凹坑以及内部的孔隙、夹杂等缺陷，检测精度可达 0.1 毫米级别；在紧固件安装质量检查中，可自动检测铆钉的漏铆、错位、划伤等质量问题，效率是人工的 5 倍以上；在自动化喷涂与涂层检测环节，3D 视觉系统能自动检测漆膜厚度的均匀性，实现闭环质量控制。

行业应用数据显示，先进的 AI 质检系统能够实现 7×24 小时不间断工作，准确率超过 99.5%，在提升质量一致性的同时，大幅降低质检成本。这种“明察秋毫”的能力，为航空安全提供了更加可靠的技术保障。

飞机交付后的运维环节约占其全生命周期的 50%，且因突发故障导致的航班延误或航班取消让航司损失巨大。如今，传统的“定时维修”或“事后维修”模式正被 AI 驱动的预测性维修与健康管理所颠覆。其核心在于利用机器学习和时间序列分析算法，对发动机、起落架等关键部件实时回传的 QAR 数据、传感器数据与历史维修记录进行融合分析。通过建立故障预测模型，精准预估剩余使用寿命，实现从“按时维修”到“视情维修”的根本性转变。

波音公司的飞机健康管理（AHM）



▲ 图 | AdobeStock

系统是这一领域的典范。该系统通过分析来自全球超过 5000 架飞机的实时数据，能够精准预测潜在故障，帮助航空公司降低总体维护成本约 30%。空客的 Skywise 平台则更进一步，不仅关注单部件的健康情况，而且通过融合全球机队数据和运营环境数据，为航空公司提供从单机到整个机队的健康状况洞察和运营优化建议，实现更高层次的降本增效。

目前，人工智能在飞机研制中的应用正从单点尝试走向全流程深度融合，其价值已在提升效率、保证质量、降低成本和控制风险等方面得到证实。随着技术的不断发展和应用场景的持续拓展，AI 必将在航空领域发挥更加重要的作用，推动整个行业向智能化、数字化方向加速迈进。

技术风险与挑战

尽管人工智能为大飞机研制带来了前所未有的机遇，但其深度应用仍面临着多重严峻挑战。这些挑战不仅关乎技术实现，更涉及数据基础、模型信任、算力瓶

颈、安全伦理及人才储备等系统性难题，需要业界理性看待、审慎推进。

第一个挑战是数据的治理与统一。航空数据体系极其庞大且异构，涵盖设计(EBOM)、制造(MBOM)、运维(SBOM)等多个环节，这些数据通常口径不一、格式各异，形成了严重的“数据孤岛”。然而，AI模型的训练和性能提升高度依赖高质量、大规模的数据。“垃圾进，垃圾出”是机器学习领域的经典法则，低质量或不一致的数据会导致模型预测出现偏差，甚至引发决策失误。因此，构建高质量、标准化、全链条打通的航空数据库，实现数据的互联互通与高效治理，是AI发挥效力的首要前提，但这需要巨大的资源投入和高效的跨组织协同。

第二个挑战是AI模型的可验证性与可解释性。AI模型的“黑箱”特性是其应用于高安全要求的航空领域的一大障碍。工程师和适航审定机构必须能够理解AI做出决策的内在逻辑，尤其是在涉及飞行安全裕度的关键决策中，模型的决策过程必须具备可解释性，其输出结果必须能通过严格的验证与审定，以满足航空业

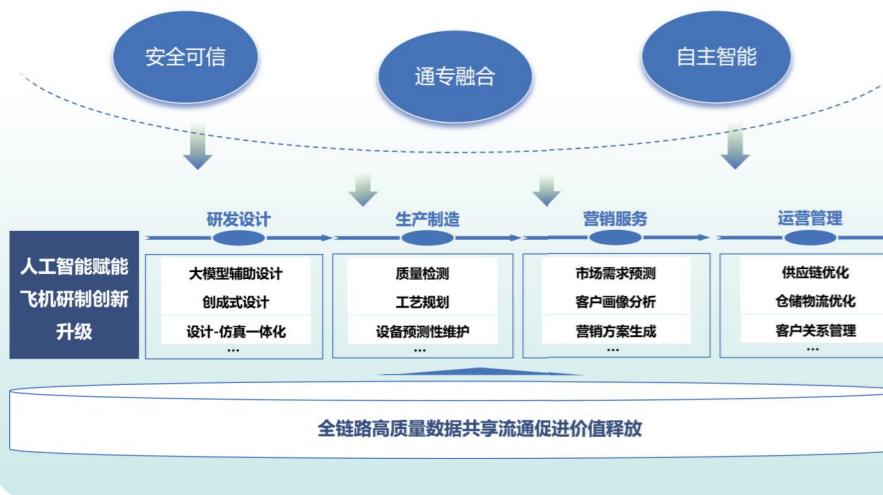
极高的安全标准。这不仅关乎技术可行性，还涉及伦理和责任。当AI的决策产生影响时，清晰的解释是进行责任界定和追溯的前提。此外，模型的公平性和抗偏见性也需得到充分验证，避免算法在数据学习中放大已有偏见，从而引发歧视性决策。

第三个挑战是算力瓶颈与实时性挑战。高精度AI模型的训练和推理需要巨大的计算资源，在车间现场或机载环境下，如何平衡计算精度与实时性要求是一大挑战。例如，实时视觉引导机器人对处理节拍有极高的要求，这催生了不同的解决方案：依赖云端计算可能受到网络延迟和稳定性的影响，而在现场部署边缘计算设备则需考虑硬件成本、功耗和散热限制。因此，根据具体场景选择最优的算力部署方式，并积极研发轻量化、高效能的AI模型至关重要。

前沿方向研判

展望未来，人工智能赋能大飞机研制将沿着“通专融合”、安全可信和自主智能三大方向纵深发展

▼ 图4 | 人工智能赋能大飞机研制将沿着通专融合、安全可信和自主智能三大方向纵深发展



“通专融合”将成为AI赋能产业的核心范式。未来，通用大模型的强大认知与生成能力将与航空领域的科学知识深度融合，形成面向飞机设计、制造、运维等各个领域的大模型。这些模型既具备通识理解能力，又深度融合气动力学、材料学、适航规章等专业知识，成为工程师的“专家级助手”。例如，在概念设计阶段，通专融合AI模型能够快速生成既符合多学科优化要求又满足适航标准的创新设计方案，实现设计与仿真的一体化协同，并可基于设计方案提供初步的工程报价等信息。这种融合将显著降低专业门槛，释放创新潜能。



安全可信是AI在航空这类高安全要求领域深度应用的基石。未来的发展将远超简单的模型应用，而是构建一整套可信的AI体系。这个体系主要包括：推进可解释AI(xAI)技术，使“黑箱”决策变得透明，让工程师和适航审定机构能够理解、信任并最终采纳AI的决策；研究模型的鲁棒性和抗攻击能力，确保其在复杂干扰下的稳定性；建立覆盖数据、算法、系统的全生命周期安全验证与审定规范，为AI驱动的航空系统获得适航认证铺平道路。没有安全可信的基础，AI在航空领域的应用将无从谈起。

具身智能将推动飞机研制从数字智能走向物理智能。AI将不再局限于屏幕后的数据分析，而是通过嵌入到机器人、AGV、AR设备等物理实体中，在真实的车间和机库中感知环境、自主决策、执行任务。例如，搭载视觉和力传感器的自适应机器人能够完成精细的复合材料

铺放或线缆装配工作，自主移动检测机器人可对飞机表面进行全天候自动化巡检。具身智能将实现“感知—决策—行动”的闭环，最终打造出能自适应、自调整的柔性智能制造单元和无人化智能工厂。

未来已来，人工智能与大飞机研制的深度融合，正将人类智慧与机器智能紧密结合，共同绘制出一幅更加智能、高效、安全的航空工业新蓝图。拥抱AI，意味着拥抱一个更加智能、高效与安全的航空未来。这条路固然充满技术与管理上的挑战，但只要秉持开放与审慎的态度，稳步推进，人类智慧与机器智能的双翼必将托举起下一代大飞机，飞向更广阔的苍穹。

▲ 图 | UASimage

IATA发布2025年全球商用飞机机队概况

文 | 冯鲁文

▼ 图 | 徐炳南



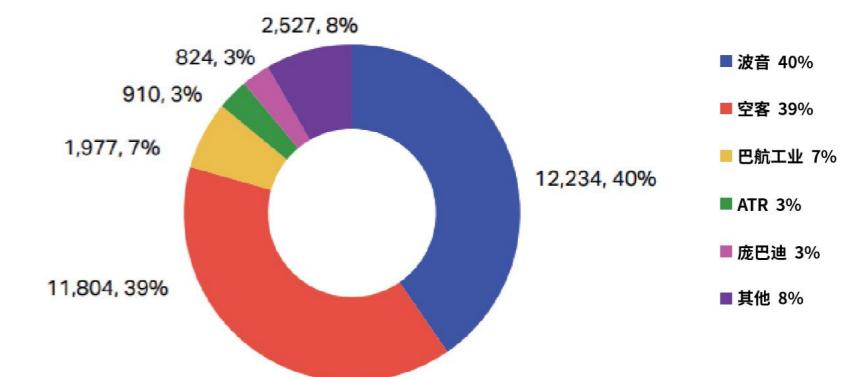
始于2019年的飞机短缺已成为航空运输业最严峻的挑战，它制约了运输量的增长，迫使航空公司运营更老旧、效率更低的飞机，从而增加了航空公司的运营成本并减缓了向可持续性目标迈进的步伐。尽管目前飞机产能有所恢复，但在2034年之前不太可能恢复正常，因为之前本该生产的飞机未能及时生产，订单积压持续增加。近日，国际航空运输协会（IATA）发布全球商用飞机机队概况，对全球机队情况进行了分析与梳理。

当前机队概览

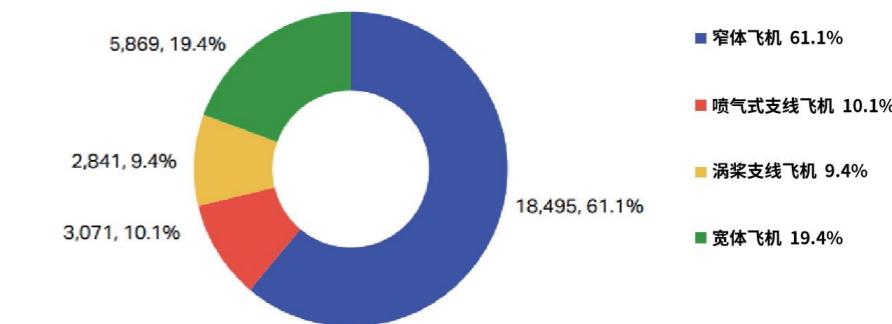
截至2025年6月，全球商用机队共有35550架飞机，其中包括30300架现役飞机和5250架处于封存状态的飞机。这些飞机由全球26家飞机制造商生产的152个型号组成。尽管这似乎表明市场较为分散，但实际上飞机制造业高度集中。两家制造商占据了当前现役机队的80%，前五名制造商则占所有在役飞机的近95%。（本报告分析的飞机数量包含所有被Cirium数据库归类为商用飞机的飞行器，这些飞机用于客运、货运、客货混合等）。

全球机队主要由窄体飞机组成，这反映了其在大多数中短距离航线上多用途性和较低的单机运营成本。窄体客机占机队总数的近60%，A320（包括neo系列）和737（包括MAX系列）占据了该细分市场的90%以上。值得注意的是，其在全球可用座位公里（ASK）中的份额也接近60%。这种一致性是由其高利用率（尤其是与较小的喷气式支线飞机和涡桨飞机相比）以及其运力和航程的平衡性较高导致的。

宽体飞机规模较小，按飞机数量计算占现役机队的19.4%。然而，其在全球



▲ 图1 | 按制造商划分的全球商用现役机队构成

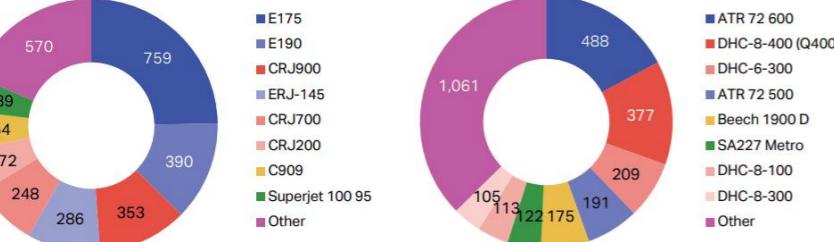


▲ 图2 | 按飞机类型划分的全球商用现役机队构成

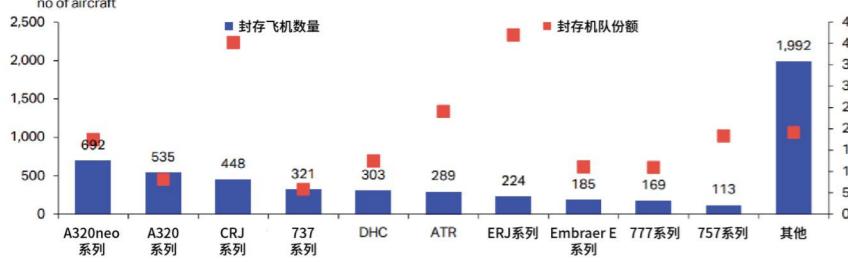
运输量中的份额更为显著，几乎占ASK的40%。这是因为宽体飞机在所有类型的飞机中利用率最高，比商用飞机机队的全球平均水平高出40%，并且其拥有更大的平均飞行距离和座位数。

宽体机队完全由两家制造商主导，波音占60%，空客占40%。该细分市场仅由四个飞机型号主导：波音777、波音787、空客A350和空客A330。宽体飞机的平均座位数为274个，而商用飞机机队的平均座位数为156个。

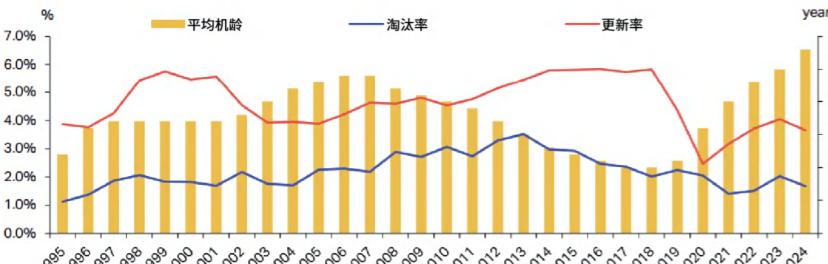
喷气式支线飞机和涡桨支线飞机的占比最小，仅占全球商用机队的19.5%。这两种支线飞机在全球ASK中的份额非常小，仅为3%。这是因为其平均飞行距离较短，且座位数量有限，约为每架次63个座位。有趣的是，这是制造商和飞



▼ 图 3 | 现役喷气支线飞机和涡桨支线飞机机队构成



▼ 图 4 | 封存飞机数量及各系列封存机队占其总机队的份额



▼ 图 5 | 全球机队平均机龄、机队淘汰率及更新率

机类型方面最多样化的市场。其中，最大的参与者巴航工业仅占这两个细分市场所有飞机的 30%，其他主要参与者包括庞巴迪、ATR 等。该细分市场的特点还包括飞机机龄最高和更新率最低，并且其新一代机队的份额最低。截至 2024 年底，该细分市场的平均机龄为 18 年，而整个商用飞机机队的平均机龄为 14.8 年。

尽管新飞机持续短缺，但封存飞机所

占比例仍然高达机队总数的 15%，远高于 2010 ~ 2018 年 11.8% 的平均水平。支线飞机在所有类型飞机中的封存比例最高。值得注意的是，CRJ 和 ATR 系列飞机的封存比例异常高，这既反映了支线飞机市场的结构性变化，也反映了基础设施短缺迫使航空公司使用更大机型的现状。此外，全球另有 2% 的机队因发动机相关问题而停飞，这进一步导致实际可用运力的减少。此外，目前封存的许多支线飞机机龄相当老，可能永远不会恢复运营。因此，当前封存机队的比例可能被夸大了。

机队变化趋势

当前飞机淘汰率接近历史最低水平。在正常市场条件下，老旧且效率低下的飞机会随着新飞机的交付而逐步淘汰，运营商会优化其机队以降低成本。然而，由于制造商无法满足交付目标且新飞机的交付周期已远远超过新冠肺炎疫情前的标准，航空公司被迫运营老旧飞机，导致机队平均机龄达到航空史上的最高水平。

由于现役飞机中老旧飞机占比较高，商用航空领域长期以来的燃油效率改善趋势近年来已经停滞。2024 年，每可用吨公里 (ATK) 的燃油消耗量与上一年持平，这打破了自 1990 年以来逐年稳步改善的历史模式。目前，全球机队的平均机龄为 15 年，而新冠肺炎疫情前为 13 年，老旧飞机的广泛使用不仅提高了运营成本，也使行业的脱碳进程复杂化，因为可持续航空燃料 (SAF) 和其他运营措施带来的收益被机队更新速度放缓部分抵消。

新一代飞机机队在扩张，但是整体机队的燃油效率停滞不前。新一代飞机的占比在 2024 年达到 26%，高于 2019 年的 11%。这些飞机在每座位和每吨公里的燃油消耗方面有了显著改进。然而，它们的

积极影响被持续运营的、效率较低的老旧机型所稀释。这些老旧机型由于交付延迟和淘汰推迟而继续服役，阻碍了原本可能实现的整体机队效率提升。

2024 年，全球商用飞机机队的利用率已达到创纪录水平。这反映出在持续的飞机交付延迟和运力增长受限的情况下，航空公司面临着最大化有机队产出的巨大运营压力。然而，并非所有细分市场都同等复苏。喷气式支线飞机和涡桨支线飞机的利用率仍远低于历史水平，因为飞行员短缺和成本压力，许多航空公司整合航班频次并改用更大的机型。这种转变降低了较小机型在运营中的作用，尽管它们在特定市场中仍然重要。

衡量飞机利用率的另一种方法是计算每架飞机的平均可用吨公里 (ATK)，是指一架飞机一年内每次执飞的最大可用载重 × 该飞机一年的飞行距离)。2024 年，每架现役飞机的平均利用率达到 5400 万 ATK 的历史最高水平，远高于 2010 年至 2018 年间的 4700 万 ATK 的历史平均水平。值得注意的是，影响这一增长的关键因素包括过去十年中飞机的尺寸不断增大，新一代飞机通常比上一代机型多提供 5% ~ 10% 的有效载荷。

老旧飞机持续处于封存状态而非完全退役，反映了飞机短缺的另一个影响，即航空公司保留老旧飞机作为应对交付不确定性的一种对冲手段。同时，受新飞机短缺的影响，老旧飞机的二手市场已经收紧。这提高了封存飞机的残值，使得其直接退役的可能性降低。

虽然目前全球机队中封存飞机的占比较高（这可能反映了持续的发动机相关问题，特别是 PW1000G 系列发动机的问题），但更具结构意义的趋势在于长期封存的机队。停放超过五年的飞机比例已达到前所未有的水平，超过了历史峰值。如此长时

间的封存可能表明机队经济性发生了更深层次的转变，包括转售可行性降低、退役决策推迟或为未来货机改装而进行的战略性资产持有。相比之下，短期封存部分相对占比则反映了截然不同的动态——几乎所有能飞的飞机都在飞行。

数据定量研究

始于 2019 年的飞机短缺限制了总运输量的增长，已成为行业急需解决的问题。

航空制造业生态系统依赖于复杂的供应链网络，由于新冠肺炎疫情、国际形势变化等多种因素的影响，许多供应商缩减了生产规模甚至退出市场，供应链企业的产能恢复一直很缓慢。与此同时，主要飞机制造商持续存在的质量控制问题和反复出现的技术问题使得监管机构加强监督，导致生产率下降甚至交付暂停。这些问题限制了飞机产量的提升，并造成了等待最终检查或返工的飞机积压。因此，全球机队更新周期受到显著影响，制约了航空公司扩张运力的速度。

如果交付量保持在新冠肺炎疫情前



▼ 图 | 空客



▲ 图 6 | 订单积压增加所隐含的飞机短缺

的水平，今天的全球机队规模将大得多。根据历史交付趋势（2010～2018年期间的平均增长率），2019～2025年间本应有16000架新飞机投入运营。然而，在此期间预计的交付量只有10720架，短缺了5284架。这无疑是一个巨大的供应缺口。

另一种方法是不看名义交付量，而是看交付量与机队规模的关系。假设更新率（交付量与机队规模之比）没有因飞机短缺而下降，那么在2019～2025年间本应多交付4055架飞机。另一方面，新飞机的缺乏也降低了全球机队的淘汰数量。如果淘汰率没有下降，同期市场上本应多淘汰2397架飞机。尽管这两个数字低于采用其他方法进行估算得出的结果，但它们可能被低估了，因为在新飞机交付恢复正常之前，淘汰率和更新率可能在未来几年内仍将低于历史平均水平，而其他方法或许更能捕捉到整个缺口。尽管存在这一不利因素，分析更新率和淘汰率对于评估市场状况仍然至关重要（淘汰率 = 淘汰数量 / 机队规模，更新率 = 交付数量 / 机队规模）。

量化当前飞机短缺规模的另一种方法是检视飞机订单的积压情况。在正常的市场条件下，积压订单的规模大致与预期的未来交付量成正比，反映了航空公司需求与制造商生产能力之间的平衡。历史上，全球飞机订单积压量稳定在现役机队规模的40%左右。然而，到2025年6月，积压订单相对于在役机队的比例达到了创纪

录的58%。这是未满足的替换需求和增长需求的一个明显迹象。根据积压订单与机队规模之间的历史关系，这种不平衡表明，相对于平衡市场下的预期水平，这中间存在5352架飞机缺口。

尽管供应链出现了改善迹象，且交付量有所回升，但鉴于当前问题的严重程度，全球飞机的短缺问题在2034年之前不太可能完全解决。累计短缺超过5000架飞机、大量飞机推迟退役以及创纪录的订单积压，已经造成了市场供求之间的结构性转变，可能需要很长的时间才能恢复正常。

观察积压的飞机订单规模（截至2024年底为5352架），与未来5年年均2100架的交付量相比，并进一步假设平均每年新增加的订单为1700架，那么积压订单与机队规模之比最早也要到2031年才能恢复正常。然而，如果我们采用过去10年的平均订单量（约2100架），那么正常化将不会在2034年之前发生。这个时间线不仅反映了补足损失交付量所需的时间，也反映了机队更新周期的惯性以及对老旧飞机的持续依赖。实际上，市场正在运营的本该淘汰的飞机相当于好几年的产量。航空运输业的复苏需要飞机生产能力的提升，而这又将极大地受制于各种客观条件，特别是在贸易政策方面。

中国 eVTOL 企业强势崛起

文 | 纪宇晗



▲ 图 | 峰飞航空

近年来，中国的eVTOL企业发展迅速，在国内外引起广泛关注。有分析人士甚至认为，即便是西方最激进的航空初创企业，也无法与快速发展的中国企业相提并论。

强势上榜

为了评估全球先进空中交通产业（AAM）的发展情况，美国SMG咨询公司推出了AAM企业现实能力指数（ARI），该指数涉及市场融资、业务团队、核心技术、取证进度和生产制造五个维度，从全球数百家eVTOL航空器制造商中评选出26家最具发展前景的头部企业。

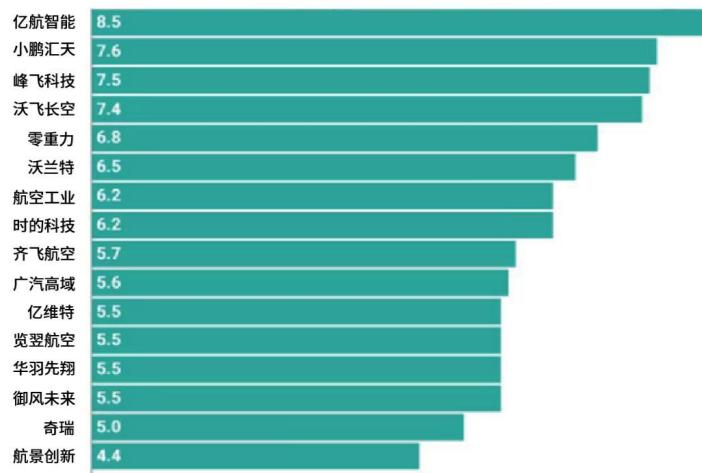
在最近两三年的榜单上，中国企业进步神速，亿航智能已经位居榜首，前15名中有5家中国本土企业。此外，SMG咨询公司还在2021年首次发布了中国ARI榜单，榜单规模每年都在大幅增加。中国榜单的前四名分别是亿航智能、小鹏汇天、峰飞科技和沃飞长空。分析人士认为，榜单展现出的中国eVTOL行业活跃程度已经远超全球平均水平。

亿航智能在中国和全球ARI榜单中均排名第一，目前得分为8.5，高于2021年的4.6。SMG咨询公司合伙人塞尔吉奥·切库塔表示，最高得分10分意味着经过认证的eVTOL航空器已投入使用并开始大批量生产。

SMG咨询公司在分析中指出，排名第一的亿航智能作为全球首家获得eVTOL型号合格证(TC)、生产许可证(PC)和单机适航证(AC)的制造商，其子公司合翼航空也是全球首家获得运营合格证的企业。亿航智能目前正在广东云浮、安徽合肥和山东威海的工厂扩大生产，预计云浮工厂到2025年底的产能将突破1000架/年。

▼ 图 | 中国AAM现实指数榜单

中国AAM现实指数榜单



排名第二的小鹏汇天和排名第三的峰飞科技是中国资金最充足的eVTOL制造商，资金储备几乎是其他企业的三倍以上。加上排名第四的沃飞长空，上述三家企业是中国汽车行业跨界参与低空行业的代表。小鹏汇天是电动汽车制造商小鹏汽车的子公司，小鹏汽车对小鹏汇天的支持除了体现在资金、技术和供应链等维度外，双方人才团队的相互流动也较为活跃。

2021年，主导小鹏P7和P5设计工作的设计师Rafik Ferrag加入小鹏汇天担任造型设计总监。2025年，小鹏汇天联合创始人王谭进入小鹏汽车担任设计中心负责人，Rafik Ferrag也重新回到小鹏汽车担任设计总监，推出了极具科技感和航空元素的小鹏X9和2025款P7。

2024年8月，宁德时代向峰飞科技投资数亿美元，共同研发eVTOL航空电池。沃飞长空则是吉利科技集团旗下开展eVTOL航空器研发的企业，在资金、技术、供应链等方面得到集团的全面支持。

关键优势

《航空周刊》《飞行国际》等国外媒体对中国低空经济的发展表现出极高的关注。有分析人士认为，发展低空经济在中国得到了全方位支持，地方政府为中国的低空装备制造商提供了大量的财政支持和其他帮助。

然而，值得关注的是，与西方国家的企业相比，中国企业在投入资金少得多的情况下实现了更快的发展。美国的头部eVTOL企业已经筹集了数十亿美元的资金，而中国的初创企业融资规模最多也只有数亿美元。根据SMG咨询公司的预测，一架eVTOL从设计到完成适航取证的研发投入在10亿美元以上，而在中国制造一架eVTOL航空器所需的成本可能仅为

欧美国家的七分之一，这一区别导致中国企业可以在和欧美同行的竞争中取得关键优势。

欧美分析人士认为，中国日益强大的新能源汽车制造业是低空产业的重要后盾，广大汽车制造商也将低空经济视为其现有市场的延伸。小鹏汇天就是一个典型的案例，该公司正在开发一款集驾驶/飞行于一体的新式产品——陆地航母。X3-F eVTOL航空器搭载在一辆六轮混合动力汽车上，计划于2026年投入使用。除了上面提到的小鹏、吉利、宁德时代以外，广汽高域和奇瑞也在开展分体式飞行汽车产品的研发。在SMG咨询公司的中国AAM现实指数榜单中，广汽高域和奇瑞分别位列第十和第十五位。

转折点

欧美资本对AAM行业的关注较早，在经历了2021年的投资高峰之后，市场在2022到2024年回归冷静，宏观经济压力是一个主要因素，投资者也意识到市场的发展时间可能会比预期的要长，整机制造商需要在适航取证和商业落地等方面拿出货真价实的成绩。

低空经济在我国的发展契机出现于2023年，此后吸引了资本市场的大量关注。与欧美国家不同的是，近年来我国无人机、电动汽车等产业发展迅速，产业链配套和技术储备丰富，网络通讯、发电配电、地面交通等基础设施建设完善，低空经济发展的软硬件条件更优。从整体趋势上看，我国低空产业的投资热度相比欧美国家滞后3到4年，目前还处在投融资市场的上升期。

尽管我国在发展eVTOL产业方面具有得天独厚的优势，但面临的现实问题仍然客观存在。笔者认为，2026到2027年



▲ 图 | 小鹏汇天

将是一个关键分水岭，头部eVTOL制造商预计获得适航认证的时间普遍在2026到2027年。能否顺利取证将是企业面临的第一道门槛，取证后能否实现真正意义上的商业运营将是第二道门槛。

目前，局方对eVTOL的使用条件仍有较多限制，例如必须在隔离空域飞行，必须目视飞行，雨雪夜间不可飞，仅能搭载1名乘客等，实现商业运营的难度极大。如果上述限制不能解除，那么eVTOL的商业化将十分困难。业界对eVTOL经济性的看法较为乐观，但安全性却成为摆在企业面前的一道难题。在各大eVTOL制造商描绘的愿景中，eVTOL的使用成本远低于直升机，部分型号甚至能和的士专车持平。EASA和FAA要求融合空域飞行的eVTOL安全水平达到 10^{-9} ，我国也同样会对eVTOL的安全性提出较高的标准。

以上两个问题将决定企业的生死，也决定行业未来的走向。任何一家企业都不可能永远站在聚光灯下，只有选择了正确的道路才有机会实现最终的成功。如果行业不能迈出商业化的关键一步，未来的一切设想不过是空中楼阁罢了。

“达尔文”项目成功开展飞行试验

文 | 刘禹彤

2025年7月，德国宇航中心(DLR)飞行引导研究所官网刊文称，欧盟SESAR资助的“达尔文”(DARWIN，用于减轻工作量并增强协作的数字助理)项目已取得重要进展。一方面，项目团队已于5月成功完成首批载人飞行试验，验证了基于人工智能的“数字副驾驶”初级版本。另一方面，该机构于6月16日至7月11日在iSIM驾驶舱模拟器中开展了人机协作测试。

▼ 图 | 德国宇航中心



项目基本情况

欧盟资助的“达尔文”项目将开发基于人工智能的驾驶舱和飞行操作自动化技术，以单飞行员操作(SPO)为愿景，力求在减少工作量的同时，实现与全机组操作相当或更高的安全水平。项目开发周期自2023年6月至2026年5月，共计36个月，总成本超5亿欧元，主要参与者包括霍尼韦尔国际有限公司(捷克)、德宇航(DLR)、斯洛文尼亚Pipistrel公司以及欧洲空中安全组织(EUROCONTROL)等。

“达尔文”项目的三个基本目标包括开发和验证可信机器推理平台(TMTP)、飞行员状态和任务负荷监测器以及人机协作技术。可信机器推理平台提供可解释且可靠的决策支持能力。飞行员状态监视器可以检测飞行员的困倦、睡眠和明显丧失能力等情况，并将这些信息传递给能够选择适当反应的系统。任务负荷监视器考虑到飞行过程中随时间变化以及飞行路径周围环境的可预见变化，确定飞行员沿飞行路径的当前和预期任务负荷。人机协作技术开发并验证在人类飞行员和一系列数字助理之间分配任务的创新方法，在推理平台上实现，并接收监视器提供的飞行员状态数据。该项目最终将交付在操作环境中经过验证的技术成熟度(TRL)达到7级的系统。

“达尔文”项目既应用基于逻辑和知识(如机器推理)的方法，也应用基于数据(如机器学习)的方法，这些方法和算法目前尚未直接应用于驾驶舱环境。该项目分析了所应用方法及其软件实施相关的监管差距和挑战，并将支持欧洲航空安全局(EASA)在人工智能领域的相关工作。



▲ 图 | 德国宇航中心

项目中期进展

截至2024年底，项目研究周期过半，主要进展包括以下几点：

第一，开发了人机协同的初步操作概念，分析了单飞行员操作的相关任务。创建了交互式演示器(推测为德宇航“人机协作显示器”)，用于测试人类飞行员和自动化系统之间任务动态分配功能。该演示器已在实验室中验证，达到技术成熟度4级。此外，与Pipistrel飞机航电系统的连接已完成实验室测试，计划在本年度开展飞行测试。

第二，可信机器推理平台(TMTP)的主要技术差距已被识别并成功解决。研究团队探索了此类人工智能系统在航空领域应用的监管标准，平台已集成到交互式演示器中，即将验证。

第三，飞行员状态和任务负荷监测器已拆分为两个子目标——飞行员状态

监测器和任务负荷监测器。飞行员状态监测器（PSM）取得了显著进展，包括改进了用于实验室和飞机集成的明显失能检测技术，提高了准确性、稳健性和计算效率，已达到技术成熟度4级。任务负荷监测器（TLM）已确定任务负荷定义，可从四个维度分析和评估任务负荷，集成了飞行管理系统，已达到技术成熟度4级。

“数字副驾驶”

2025年5月，DARWIN团队使用Pipistrel公司的一架四座轻型飞机在意大利东北部戈里齐亚机场附近进行了四次试飞，以测试“数字副驾驶”的初级版本，共有四名试飞员参与测试。

该系统在一系列具有代表性的正常和紧急情况下进行了测试，旨在评估其运行的稳健性和用户界面。测试从标准飞行模式开始，之后模拟了多种紧急情况，包括飞行员或乘客在飞行过程中出现健康问题。例如，飞行员困倦时，系统会提供多级警报并将任务自适应地委托给机器执行；飞行员丧失行动能力时，

▼ 图 | 德国宇航中心



会触发紧急自动着陆程序。本次飞行试验的成功开展，证明了DARWIN项目前期开发已达到初步目标。

2025年6月16日至7月11日，德宇航团队在iSIM驾驶舱模拟器中开展了人机协作测试。测试重点是德宇航研发的用于驾驶舱任务管理的“人机协作显示器”。该系统在驾驶舱模拟器内显示当前待处理的任务以及由谁来执行（人类飞行员或是AI辅助系统），可以根据飞行员的当前状态自动分配任务，同时允许飞行员手动调整。试验期间，共有19名商用飞机飞行员参与了测试。

测试采用了两种不同的自动化显示方案：第一种方案的自动化程度较低，飞行员必须主动同意系统建议的任务分配变更。在决策时，系统还会向飞行员提供多个选项供其选择。第二种方案的自动化程度更高，更改无需确认即可自动应用，在决策时也只显示系统推荐的解决方案，用户可以接受或拒绝。

在研究过程中，飞行员面临四种不同的飞行场景，分别设置了有和没有“人机协作显示器”支持的对照组，以确定“人机协作显示器”如何影响飞行员在驾驶舱内的工作方式。研究人员利用眼动追踪技术记录飞行员的注意力分布以及任务决策情况，此外还记录了“人机协作显示器”对工作量和态势感知的影响。情景模拟结束后，测试对象提供了对系统使用情况的反馈。

初步结果表明，灵活部署的“人机协作显示器”能够有效支持商用飞机驾驶舱操作，尤其在未来可能采用的精简机组方案中。该研究还为未来如何进一步开发该系统以提高安全性并减少驾驶舱工作量提供了重要参考。

从“末梢”到“枢纽”的历史跨越

文 | 张嘉宁

从戈壁荒漠上碾压成型的土质跑道，到如今天山南北28个现代化机场星罗棋布；从“航线不出疆”的艰难起步，到如今“东联西出、畅达欧亚”的空中枢纽；从年旅客运输量不足万人次，到年旅客吞吐量超4800万人次……新疆民航用70年时间，书写了一部从无到有、从弱到强的壮阔诗篇。

在这片占国土面积1/6的广袤大地上，新疆民航事业实现了从“末梢”到“枢纽”的历史性跨越，成为服务国家战略、推动区域发展、促进民族团结的重要力量。

▼ 图 | 徐炳南



用决心锻造基石

回望 1955 年，新疆民航事业迎来独立发展的起点。当时，新疆只有乌鲁木齐、哈密、伊宁、库车、阿克苏、喀什 6 个航站，乌鲁木齐机场仅有 1 条长 1800 米的土质跑道、2 个站坪和 1 座 566 平方米的候机楼。6 架里 -2 小型运输机执飞 3 条航线，“跑道泥土筑、房屋干打垒，飞机螺旋桨、航线不出疆”是当时新疆民航的真实写照。当年，新疆民航完成的旅客运输量只有 9499 人次，完成货邮运输量 560.1 吨，航班起降 894 架次。而正是这些在今天看来微不足道的数字，为新疆民航事业的后续发展奠定了重要基础。

随着国家对边疆建设的重视，新疆民航逐步启动基础设施建设与航线网络拓展工作。基础设施的跨越升级是新疆民航 70 年发展最直观的体现，乌鲁木齐机场的 4 次改扩建堪称中国民航基础设施建设的缩影。1971 年乌鲁木齐机场第一次改扩建历时 12 年，尽管当时的技术和资金有限，但凭借“能吃苦、肯奉献、敢打硬

仗”的优良作风和艰苦奋斗的精神，新疆民航人克服重重困难，对跑道、导航设施等进行升级改造，让机场具备了保障更大型飞机和更多航班的能力，结束了土质跑道的历史。

1994 年第二次改扩建历时 7 年，建设了新跑道、滑行道、机坪和航站楼，解决了机场保障能力不足等问题。2007 年第三次改扩建仅用了 3 年时间，便建设了新航站楼、机坪和货站，标志着乌鲁木齐机场的规模和运营能力迈上了新台阶。2025 年 4 月，乌鲁木齐机场完成第四次改扩建。建设者破解外借土方量巨大、交叉作业多、有效建设时间短等难题，创新应用 BIM+GIS（建筑信息模型 + 地理信息系统）技术、数字化工地系统与智慧工地集成平台，将乌鲁木齐机场打造成为“平安、绿色、智慧、人文”的现代化综合性国际门户。

党的十八大以来，特别是共建“一带一路”倡议的提出，为新疆民航发展注入了更加强大的动力。新疆作为丝绸之路经济带核心区，区位优势愈发凸显，民航

基础设施建设驶入快车道。为贯彻落实第二次、第三次中央新疆工作座谈会精神，民航局出台《关于进一步促进新疆民航发展的意见》，加大对新疆民航的政策支持力度。

2016 年 8 月，《乌鲁木齐国际航空枢纽战略规划》中首次提出乌鲁木齐国际航空枢纽的战略定位。2022 年 4 月，民航局联合国家发展改革委印发《“十四五”时期推进“空中丝绸之路”建设高质量发展实施方案》，为新疆民航深度参与核心区建设明确了具体任务。2024 年，民航局、新疆维吾尔自治区政府印发《关于加快乌鲁木齐国际航空枢纽建设，推动新疆民航业高质量发展的指导意见》（以下简称《指导意见》），进一步将乌鲁木齐机场的定位提升为区位门户和复合型国际航空枢纽。《指导意见》明确以乌鲁木齐国际航空枢纽建设为牵引，部署了强基础、拓网络、优环境等系列重大任务举措，为加快形成枢纽引领、畅通高效、安全可靠、保障有力的新疆民航高质量发展新局面绘就了美好蓝图。

这些支线机场如同繁星，分布在新疆各地，织密了航空运输网络，极大提高了航空运输的通达性和便利性。

近 10 年来，新疆民航持续发力，机场建设全面开花。目前，新疆已形成全国覆盖面积最广、支线机场最多的机场体系，运输机场数量达 28 个，省级行政单元内民用机场数量居全国第一位。“十四五”期间，新疆民航全力推进机场建设提速增效，建成昭苏、塔什库尔干、阿拉尔等机场，全疆运输机场密度由“十三五”末的每 10 万平方公里 1.3 个增至 1.7 个，保障旅客总量达 8800 万人次。这些支线机场如同繁星，分布在新疆各地，织密了航空运输网络，极大提高了航空运输的通达性和便利性。

▼ 图 | 徐炳南



如今，“疆内成网、东联西出”的空中走廊已基本成型，新疆民航不仅在国内航线网络中实现了与各大城市的紧密连接，还不断开辟国际航线，加强与中亚、西亚、欧洲等地区的航空联系，成为我国向西开放的空中前沿阵地，在促进区域经济合作、文化交流、旅游发展、对外开放等方面发挥着重要作用。

用匠心续写不凡

2024年12月31日，南航CZ6972航班平稳降落在乌鲁木齐国际机场的跑道上，新疆民航创造了又一个不凡的纪录——实现运输飞行和空防安全70周年。这一成就不仅是新疆民航人的骄傲，更是我国民航事业在复杂运行环境中稳健前行的生动写照。

70年前的新疆民航宛如一颗刚刚萌芽的种子，在艰苦的环境中努力生长。那时的机场设施极为简陋，然而新疆民航人怀揣着对蓝天的无限向往和对安全的执着坚守，在运输规模不断扩大的同时，始终将安全视为生命线，航空安全事件万架次率持续下降，以对安全隐患“零容忍”的

如今，“疆内成网、东联西出”的空中走廊已基本成型，新疆民航不仅在国内航线网络中实现了与各大城市的紧密连接，还不断开辟国际航线，加强与中亚、西亚、欧洲等地区的航空联系，成为我国向西开放的空中前沿阵地，在促进区域经济合作、文化交流、旅游发展、对外开放等方面发挥着重要作用。

坚决态度，守护着每一个航班的起降。民航新疆管理局积极发挥安全监管职能，通过强化责任传导、严格监督考核、严肃问责追责等方式压实企业安全生产主体责任，持续向企业传递安全压力，引导企业从政治高度深刻认识安全责任的重大意义，切实增强安全意识，将安全理念深深扎根于每一位民航人的心中。

针对辖区地域广、主体多元的特点，新疆管理局通过分类分级管控，实现对不同主体的精准监管。针对运输航空公司，按照公司规模和组织架构实施差异化监管：对南航新疆分公司、乌鲁木齐航空等大型航企，重点紧盯主体责任落实和安全管理体系建设；对规模较小的公司，重点督查驻疆运行安全管理和风险管控。这种

“靶向监管”模式有效提高了监管资源的利用效率。同时，新疆管理局还动态更新安全运行数据，准确把握事件发生的规律和趋势，通过数据分析和事件调查，精准定位风切变、机械故障、人为责任等核心风险；依托月度安委会、安全形势分析会，构建“运行数据+事件类型+原因溯源”三维分析体系。今年上半年，新疆管理局已开展明察暗访46次，通过QAR（快速访问记录器）数据监控、跑道道面监测系统，对3项重大隐患实施挂牌督办，限期整改率达100%。通过建立监管信息共享平台，新疆管理局整合飞标、适航等处室数据，避免重复检查23次，消除监管盲区17处，筑牢了新疆民航的安全防线。

在政策与监管的护航下，新疆民航的安全工作犹如一座根基牢固的大厦，在时代的风雨中屹立不倒。

作为新疆的空中门户，新疆机场集团始终与新疆民航发展同频共振，秉持“盯人、盯事、盯组织、盯系统”的安全发展理念，抓严抓实机场安全责任落实，抓实抓细安全隐患闭环管理，充分发挥安全监

察站深入基层的尖刀、利刃作用，提出运行管理可视化、运行控制自动化、信息传输网络化、管理数字化、决策智慧化的智慧发展“五化”要求，以智慧化发展赋能安全运行管理能力提升。2023年，集团打造的智慧安检区覆盖疆内26个机场，实现支线机场图像的回溯审核、实时质量控制、AI智能辅助监管以及关键航班监控等，为提升安检效率和质量提供了有力支撑。

南航新疆分公司这家与新疆民航共成长的企业，则通过持续完善涵盖安全责任、风险管控、过程控制、规章手册、训练培训、安全文化和科技创新七大子系统的安全管理体系，织就了一张多层次、立体化的安全防护网。

乌鲁木齐航空针对新疆特殊运行环境，加强飞行员针对高原、复杂地形、特殊气象条件的专项训练，编制详细的除防冰方案和低温运行程序，通过飞行数据分析(FDA)、快速访问记录器(QAR)等技术的应用，实现对飞行全过程的监控和分析，为改进飞行技术、优化程序提供支撑。

与此同时，随着两次大规模空域优化调整的顺利实施，新疆地区空域环境得到很大改善。新疆空管局相关负责人表示，通过大力推动新技术应用，在全国范围内率先实现航路航线PBN(基于性能的导航)运行，率先实现全区域ADS-B(星基自动相关监视广播系统)管制运行，不断缩小管制间隔，细化管制扇区调整，新疆空域的运行效率、安全裕度不断提升。

从机场设施升级到安全管理制度完善，从人员能力提升到安全新技术应用，新疆民航正以系统性、全方位的安全工程建设，向着更高的安全目标稳步迈进，为新疆经济社会发展和国家战略实施提供坚实可靠的航空运输保障。



用信心铸就辉煌

新疆民航的发展蓝图已绘就。《指导意见》的出台，让乌鲁木齐区位门户复合型国际航空枢纽战略定位如一颗璀璨的明珠，照亮新疆民航发展的新征程，进入战略升级的新阶段。

民航新疆管理局计划统计处处长、二级巡视员张嶢表示，《指导意见》明确了到2027年，乌鲁木齐国际航空枢纽功能体系和新疆综合机场体系、航线网络体系基本成型，全疆运输机场数量达37个，综合保障能力全面增强，实现年旅客吞吐量5500万人次，服务经济社会发展能力大幅提升；到2035年，乌鲁木齐作为面向中西亚、连接亚欧的区位门户复合型枢纽功能充分彰显、竞争力一流，全疆机场客货吞吐量在2027年的基础上翻一番，新疆民航业高质量发展新格局全面形成，服务国家重大战略和经济社会发展的作用更加突出。

目前，新疆民航正紧紧抓住这一历史机遇，围绕“双循环”新发展格局，以《指

▲ 图 | 中国南方航空

导意见》为蓝图，以开放的姿态、创新的举措，推动航空运输服务提质升级，实现从区域节点到国际门户的华丽跃升。

到“十五五”末，全疆机场将形成广覆盖、高密度、强联通、多层次的航空网络体系，航空服务 100 公里半径覆盖 97% 的县级行政单元。新疆机场集团相关负责人表示，集团正积极推动轮台机场新建工程在年内完成，加快推进伊宁机场迁建和乌苏、和布克赛尔、皮山等 9 个新建机场工程早日建设，加快实施克拉玛依、那拉提等支线机场改扩建工程，研究推进阿克苏、喀什、库尔勒等支线机场改造扩容。

同时，作为承东启西、向西开放的重要门户，乌鲁木齐纵横交错的空中航线和繁忙的国内、国际客货航班，也带动了产业聚集与产城融合。乌鲁木齐依托机场区位优势，加快建设空港型国家物流枢纽，构建临空产业体系，做强临空加工制造、航空运输、保税维修、保税航油等产业，实现“航空+物流”和机场功能性服务业等产业聚集。乌鲁木齐国际航空枢纽与中欧班列、跨境公路形成“空陆立体走廊”，成为国家供应链的“调节阀”。《指导意见》的实施，不仅将重塑新疆在亚欧大陆的区位价值，更通过“航空+”模式激发区域发展动能，为我国构建“双循环”新发展格局提供战略支点。

而随着数字技术的飞速发展，新疆民航抓住“数字新疆”建设契机，积极推进智慧民航建设，致力于为旅客提供更加便捷、高效、智能的出行体验，构建全新的智慧民航生态。如今，走进乌鲁木齐天山国际机场新航站楼，科技感十足的设施让人耳目一新，出发大厅内 6 个值机岛、168 个值机柜台与 120 台自助设备打造了“智慧矩阵”，旅客“刷

脸即办”，轻松完成值机、行李托运全流程。65 条智能安检通道配备人包绑定系统，毫米波安检门与高速 CT 机高效联动，在筑牢安全防线的同时，将过检效率提升至传统效率的两倍。据了解，目前全疆机场已全面部署 5G 专网，为智慧民航建设提供了强大的通信支撑。

展望未来，在《指导意见》的引领下，以打造乌鲁木齐国际航空枢纽为目标，通过基础设施建设提速与政策创新，新疆民航连接亚欧的门户功能将进一步增强，“西出东联、疆内成网”的航线网络新格局进一步完善，临空产业与低空经济将推动“航空+”产业生态加速转型，新疆民航将成为驱动区域高质量发展和我国向西开放的强大引擎。

70 年风雨兼程，新疆民航以安全为基、以发展为要，在天山南北架起腾飞的桥梁。站在新的历史起点上，新疆民航将以交通强国建设为指引，续写从安全高地向发展高地跨越的壮美篇章。

2025年上半年国内航司经营业绩分析

文|丁一璠



▲图|徐炳南

2025年上半年，中国民航业在客运量持续增长的背景下，呈现出“旺丁不旺财”的复杂局面。七大 A 股上市航司半年报及业绩预告悉数出炉，业绩分化趋势愈发明显。以春秋航空、吉祥航空为代表的民营航司延续盈利态势，海航控股、华夏航空成功扭亏为盈；而国航、东航、南航三大国有航司虽同比大幅减亏，但仍未走出亏损泥潭。其中，南航亏损额较去年同期有所扩大。市场竞争加剧、客源结构变化及成本波动等因素，共同塑造了当前行业的机遇与挑战。

客流复苏与票价“内卷”

2025年上半年，中国民航业延续了稳健的复苏态势。根据中国民用航空局发布的数据，上半年全行业共完成旅客运输量3.7亿人次，同比增长6.0%。国际航线恢复成为亮点，国际旅客运输量同比增长28.5%，显示出跨境出行需求的强劲反弹。

然而，客运量的增长并未完全转化为航司的盈利能力。国内市场激烈的价格竞争，即行业所谓的“内卷”，导致机票价格持续承压。数据显示，2025年上半年民航国内经济舱平均票价(含税)为740元，同比下降6.9%。客源结构下沉、公商务旅客被高铁分流等因素，使得航司“以价换量”的特征明显，“旺丁不旺财”的局面仍在延续。为应对这一挑战，民航局已将“综合整治行业内卷式竞争”列为重点工作，行业秩序有望得到改善。

在成本端，外部环境则喜忧参半。一方面，国际油价在2025年上半年呈现宽幅震荡下行趋势，航油成本压力有所缓解。另一方面，人民币对美元汇率在2025年上半年小幅升值，为持有大量美元负债的航空公司带来了可观的汇兑收益，成为部分航司业绩改善乃至扭亏为盈的关键因素。

▼ 图 | 2025年上半年七大上市航司主要经营、财务数据

航空公司	中国国航	东方航空	南方航空	海航控股	春秋航空	吉祥航空	华夏航空
营业收入(亿元)	807.6	668.2	862.9	330.8	103.0	110.7	36.1
营收同比	1.6%	4.1%	1.8%	4.2%	4.4%	1.0%	12.4%
归母净利润(亿元)	-18.1	-14.31	-15.3	0.57	11.7	5.1	2.5
净利同比	减亏35.1%	减亏48.3%	增亏24.8%	扭亏为盈	-14.1%	3.3%	859.0%
旅客运输量(万人次)	7711.4	7317.0	8328.0	3408.9	1521.9	1359.1	537.2
客座率	80.7%	84.8%	85.5%	82.8%	90.5%	85.2%	81.5%
客公里收益(元)	0.51	0.49	0.46	0.45	0.38	0.45	0.49
客公里收益同比	-4.9%	-7.2%	-6.1%	-8.5%	-4.2%	-6.4%	-10.5%

综合各航司发布的2025年上半年报告及业绩预告，七大上市航司的经营业绩呈现出清晰的分化格局。民营航司凭借灵活的经营策略和突出的成本控制能力，普遍实现盈利。三大国有航司虽体量庞大，但在复杂的市场环境中仍在努力寻求盈利拐点。

国航：战略投资成绩亮眼

作为中国唯一的载旗航空公司，国航在2025年上半年实现营业收入807.57亿元，同比增长1.56%。归母净利润为18.06亿元，相较于2024年同期的27.82亿元亏损，实现了显著减亏。数据显示，国航的客运运力投入(ASK)同比增长3.37%，旅客周转量(RPK)增长5.23%，客座率提升至80.72%。

国航的核心优势在于其北京主枢纽的地位以及在中欧、中美等远程国际航线上的传统优势。报告期内，公司国际航线运力(ASK)同比增长16.70%，旅客周转量(RPK)增长16.99%，恢复势头强劲。同时，国航持续打造北京、成都“双核枢纽”，旨在优化航线网络，提升中转效率。然而，市场供给不均衡、客源结构下沉、高铁网络冲击等因素依然对主营业务构成

压力。其客公里收益从0.5369元下降至0.5107元，反映出票价水平的压力。

值得一提的是，国航的参股公司国泰航空实现盈利，为国航贡献了11.74亿元的投资收益，成为其业绩改善的重要支撑。这凸显了国航通过战略投资优化资产配置、平滑主业波动的成效。

东航：国际航线前景看好

东航在2025年上半年同样实现了经营业绩的持续向好。报告期内，公司实现营业收入668.22亿元，同比增长4.09%，归属上市公司股东净利润为-14.31亿元，较去年同期的-27.68亿元大幅减亏13.37亿元。

东航的运营数据显示出强劲的增长势头。上半年，公司可用座公里(ASK)同比增长7.48%，旅客周转量(RPK)更是大幅增长12.24%。这主要得益于国际航线的快速恢复，东航的国际航线ASK和RPK分别同比激增24.38%和28.74%。

客座率提升是东航上半年的一大亮点，整体客座率同比提升3.59个百分点至84.81%，其中国内航线客座率达到86.40%，显示出较高的运行效率。与国航类似，东航也面临收益水平下滑的压力，整体客运人公里收益同比下降7.22%至0.488元，其中国内航线收益下滑7.92%。

作为国产大飞机C919的全球首发用户，东航在规模化运营上走在了前列。截至2025年6月30日，公司已运营11架C919飞机，在14条航线上累计安全飞行超过3万小时，这不仅是支持国家战略的体现，也为公司品牌形象和未来运营模式探索增添了独特优势。

依托上海主基地，东航持续强化其



▲ 图 | 徐炳南

世界级航空枢纽地位。报告期末，公司在上海枢纽的市场份额达到43.1%，同比增长1.2个百分点。通过“往远处飞、往国际飞、往新兴市场飞”的策略，东航新开14条国际/地区航线，成为中日、中韩、中国至澳新等市场的最大承运人。

成本控制方面，东航成立了成本管理委员会，对航油、起降费等大项成本进行精细化管控，财务费用同比下降26.89%，对减亏作出重要贡献。东航的半年报显示，公司正通过机队结构优化、枢纽网络深化和数字化转型，系统性提升其核心竞争力。

南航：量增利减，亟待破局

作为机队规模亚洲第一、全球第三的航空公司，南航在2025年上半年的表现不尽如人意。根据半年报，公司实现营业收入862.91亿元，同比微增1.77%，但归母净利润为15.33亿元，较去年同期的12.28亿元亏损有所扩大，成为三大航中唯一亏损扩大的航司。

南航在公告中将亏损归因于旅客结构变化、高铁冲击、国际环境不稳定、全球供应链不畅以及汇率波动等多重因素。业内分析指出，南航的区位劣势是影响其业绩的关键。南航的大本营广州临近香港，难以在内地至香港的高价值航线上获得显著收益。同时，南航在京沪等核心商务快线上的份额相对较小。更重要的是，其国际航线网络恢复相对缓慢，大量运力转投本已十分“内卷”的国内市场，导致“量增利减”，国际收益不足以弥补国内市场的价格压力。

从运营数据看，2025年上半年，南航的旅客运输量达到8328万人次，同比增长4.83%。可用座位公里(ASK)同比增长5.48%，其中国际航线ASK增长22.50%，显示出与同行一致的国际化扩张步伐。在运输效率方面，南航整体客座率提升2.35个百分点至85.47%，为四大航中最高。其中，国内航线客座率达到86.11%。收益方面，客公里收益为0.46

元，同比下降6.12%，同样反映了国内市场的票价压力。

春秋航：盈利能力领跑行业

作为国内低成本航空的标杆，春秋航再次展现了其强大的盈利能力。2025年上半年，公司实现营业收入103.04亿元，同比增长4.35%，实现归母净利润11.69亿元。尽管净利润较去年同期的13.61亿元有所下滑，主要系去年同期企业所得税较低所致，其盈利规模依然领跑行业。

春秋航的核心优势在于其极致的成本控制和高效率运营，上半年共完成运输总周转量241,295.8万吨公里、旅客周转量2,652,891.0万人公里、运输旅客1,521.9万人次，同比分别上升8.9%、8.5%和9.4%，客座率高达90.52%，飞机利用率达到9.74小时/天，均处于行业领先水平。

成本管理方面，2025年上半年，春秋航的单位成本为0.303元，较去年同期下降3.5%。单位成本同比下降的主要原因是国际油价呈现宽幅震荡下行趋势，叠加日利用率同比提升5.0%带来的单位固定成本下降效应。上半年，公司客公里收益为0.377元，虽同比下降，但凭借高客座率和低成本，依然确保了可观的利润。

航线网络方面，春秋航同样积极拓展国际市场，国际航线运力(ASK)同比增长41.0%，尤其在日本和韩国市场加大投入，有效对冲了部分东南亚市场的需求波动。此外，其多元化的辅助业务收入也为公司盈利作出了重要贡献。

吉祥航：HVC战略显成效

吉祥航上半年实现营业收入110.67亿元，同比增长1.02%；归母净利润5.05亿元，同比增长3.29%。其旗下的九元航空盈利表现稳健，上半年营收21.7亿元，同比基本持平，净利润2.3亿元，同比增加8.2%，在激烈的市场竞争中保持了稳健的增长。

吉祥航持续推进“高价值航空公司(HVC)”战略，通过差异化服务吸引中高端旅客。国际航线快速修复，客座率温和增长。上半年，公司ASK同比增长4.20%。其中，国内ASK同比下降9.76%，国际ASK大幅增长65.55%。客座率同比上升0.66个百分点。其中，国内客座率88.05%，同比上升1.78个百分点；国际客座率78.44%，同比上升1.30个百分点。

上半年，吉祥航新开神户、吉隆坡等航点，国际航班量已超过2019年同期水平。尽管客公里收益从0.47元降至0.45元，但仍保持较高水平。国际业务的快速恢复和双品牌(吉祥航空+九元航空)协同运作，为公司业绩提供了有力支撑。

吉祥航持续推进“高价值航空公司(HVC)”战略，通过差异化服务吸引中高端旅客。国际航线快速修复，客座率温和增长。

海航控股：精细管理成效显著

在经历破产重整后，海航控股在2025年上半年展现出强劲的复苏势头，成为四大航中唯一实现盈利的公司。报告期内，公司实现营业收入330.83亿元，同比增长4.22%，归属上市公司股东净利润0.57亿元，成功实现扭亏为盈，而去年同期为净亏损6.36亿元。

海航控股上半年旅客运输量达到3409万人次，同比增长5.36%，客座率达到82.75%，同比提升0.24个百分点。其盈利能力的改善更为显著，这主要得益于高效的成本管控和灵活的市场策略。

值得注意的是，海航控股的财务费用同比大幅下降33.44%，同时确认了2.25亿元的汇兑收益，这对公司扭亏为盈起到了关键作用。此外，公司通过精细化管理，在航油、维修、销售等各环节“跑冒滴漏”的堵塞上取得了显著成效。

此外，公司启动了重大资产重组项目，拟购买海南天羽飞行训练有限公司100%股权，旨在完善航空产业链布局，提升对核心培训资源的自主可控能力，从而降低长期运营成本。海航控股的率先盈利，为行业展示了通过深度改革和精细化管理实现困境反转的可能路径。

▼ 图 | 徐炳南





▼ 图 | 华夏航空

华夏航：支线市场潜力释放

作为国内唯一长期专注于支线航空的公司，华夏航成为上半年业绩的“黑马”。其上半年实现营业收入 36.1 亿元，同比增长 12.41%，归属上市公司股东净利润 2.51 亿元，同比增长 858.95%，显示出强劲的复苏势头。

华夏航的经营模式核心在于构建“干支通、全网联”的航线网络，通过与干线航司合作，将旅客从中小城市输送到核心枢纽，再通达全国乃至全球。

报告期末，公司在飞航线 194 条，独飞航线 170 条，占公司航线比例达 87.63%。其中，支线航线 189 条，占公司航线比例达 97.42%。公司覆盖支线航点 96 个，占比 43.84%，已在重庆、贵阳、成都、大连、天津、呼和浩特、包头、西安、库尔勒、阿克苏、喀什、哈密、衢州等地建立了 13 个运营基地，航线网络基本覆盖我国西南、西北、东北、华北等地区。这些区域是我国支线机场资源丰富的地区，也是对支线航空潜在需求较大的地区。

通过与国航、东航等大型航司的代码共享和中转合作，华夏航成功地将自

己融入全国航空运输网络。此外，随着国家大力发展低空经济和完善区域航空枢纽，专注于支线市场的华夏航有望迎来新的发展机遇。

盈利修复道阻且长

展望未来，中国民航业面临的机遇与挑战并存。暑运市场的“量价齐升”为行业注入了信心，但可持续的盈利能力仍需构建在更稳固的基础之上。

首先，行业的结构性调整势在必行。面对公商务旅客被高铁分流、因私出行需求对价格敏感度高的现实，航司需要从供给侧进行改革，优化航线网络，提升服务品质，开发更多满足差异化需求的产品，摆脱单纯的价格战。民航局及行业协会推动的“反内卷”举措，有望为市场创造一个更公平的竞争环境，引导行业从“价格战”转向“价值战”。

其次，国际市场的恢复仍是关键变量。国际航线通常具有更高的收益水平，其恢复进度直接影响航司尤其是三大航的整体盈利能力。随着更多国际航线的恢复和加密，以及入境便利化政策的持续推进，国际业务有望成为航司业绩增长的重要引擎。

最后，成本控制和风险管理能力依然是航司的核心竞争力。油价和汇率两大外部因素仍存在不确定性，航司需要通过精细化管理、优化机队结构、开展套期保值等方式对冲外部风险，夯实盈利基础。

总体而言，2025 年上半年是中国民航业从全面复苏走向结构性分化的关键时期。虽然前路仍有挑战，但随着市场秩序的逐步规范和国际业务的稳健恢复，行业整体盈利水平有望在波动中持续修复。



联合航空： 用创新思维赢取市场主动

文 | 王双武

为了提高公司的盈利能力、优化资源配置，为高价值旅客提供更好的出行体验，美国联合航空在 2025 年初对忠诚度计划进行了升级。升级后的忠诚度计划更加强调旅客的消费价值，提高了精英会员资格的积分门槛。

2025 年，英国 Good Travel Management 公司对全球主流航空公司的忠诚度计划进行了专题调研，基于旅客出行偏好和航空公司忠诚度计划战略性变革等因素，发布了全球最受旅客欢迎的十大航空公司忠诚度计划榜单，联合航空位居榜首。

升级忠诚度计划

为提高精英会员的专属感，联合航空 2023 年对忠诚度计划进行了一次重大调整。

在新的积分奖励体系中，联合航空不再按照航距长短来计算精英会员的积分，而是完全按照会员购买机票的实际消费金额进行核算。这表明联合航空开始优化客户忠诚度计划，将更多优质出行权益和福利向高消费客群倾斜。

2025 年，联合航空对忠诚度计划的精英会员资格积分门槛进行调整，银卡会员资格需要累积 5000 个积分且需乘坐联合航空（非伙伴航空）不少于 15 个航班，这比之前需要 4000 个积分和不少于 12 个航班有所提高。对于那些申请不设飞行次数的会员，最低门槛则需要累积 6000 个积分。也就是说，会员至少需要购买 6000 美元的机票才能达标。

另外，联合航空还通过强化与银行的合作，利用联名信用卡消费来进一步提升客

户忠诚度计划。联名信用卡消费是联合航空获取辅助收入的主要途径之一。2024年，联合航空的辅助收入为95.28亿美元，占总收入的17.7%。其中，联名信用卡消费带来的收入达到54.23亿美元，占辅助收入的56.91%。联合航空的会员用联名信用卡消费20美元就可以获得1个精英会员资格积分。

联合航空的精英会员享有诸多福利和出行权益，其中包括免费升舱、优先登机、机上选座等专属权益。联合航空对积分奖励的调整，折射出行业忠诚度计划向消费型转化的大趋势，这种变化在很大程度上能提高精英会员的专属体验。

提高机上服务品质

在完善忠诚度计划的同时，联合航空还通过对飞机客舱服务设施的改善不断提高旅客的出行体验，这也成为增加客户黏性的重要手段之一。联合航空在2023年第三季度财报中指出，高端经济舱的市场接受度较高，旅客对高端经济舱产品的需求仍然旺盛。自2019年该公司设置高端经济舱以来，高端经济舱带来的收入增长已经超过了运力投入增长。

图 | 波音767-300ER宽体机上设置了高端经济舱



联合航空在现有的14架波音767-300ER宽体机上设置了高端经济舱，并表示将在今后所有新交付的空客A321XLR飞机上新增高端经济舱。高端经济舱位于经济舱前部，座椅宽度为19英寸，间距为38英寸，腿部空间比经济舱大7英寸，靠背倾斜度大3英寸。此外，座椅上有一个可调节脚踏板，配备了电源插座和USB充电器，以及更大的娱乐系统显示屏。在一些特定的远程国际航线上，购买高端经济舱机票的旅客还能获得进入联合航空休息室的折扣券。

另外，联合航空目前正在对执飞国内短程航线的空客A321neo、波音737NG和波音737MAX等超过200架飞机进行头等舱座椅改造。新的头等舱座椅配备了交流电插座、USB接口、可供蓝牙连接的13英寸高清显示屏，内置平板电脑托架和可放置标准笔记本电脑的小桌板。在私密性方面，该头等舱座椅采用一个11英寸×19英寸的皮革挡板与邻座隔开，翼形头枕和从外部扶手展开的托盘桌进一步确保了私密性。座椅按照人体工程学设计，既宽敞又舒适。联合航空方面表示，预计在2026年之前完成这些飞机头等舱座椅的全面改造。

强化合作，拓展市场

2022年4月，维珍澳大利亚航空结束了与达美航空长达10年的合作，转身与联合航空建立了全新的合作伙伴关系。维珍澳大利亚航空在短期内因缺乏远程宽体客机，不能开通更多的远程国际航线，而联合航空已经开通了洛杉矶、旧金山至悉尼和墨尔本等地的跨太平洋航线。通过与联合航空合作，维珍澳大利亚航空将运输网络延伸到美国、墨西哥等国家。

2022年5月，澳大利亚竞争与消费者委员会同意了维珍澳大利亚航空与联合航空

的代码共享航班定价协议。维珍澳大利亚航空与联合航空以代码共享合作为基础，开展了会员忠诚度计划合作，实现了双方会员在乘坐对方公司的航班时，也能累积和兑换各自公司的积分。

目前，联合航空是美国航企中经营国际航线最多的公司，通航67个国家的134个非经停目的地。联合航空在跨大西洋和太平洋市场上运营的航班量，比美国其他航企加在一起还要多。2023年夏季，联合航空在跨大西洋和太平洋市场上新开设了25条航线，共通达114个目的地，航班量和订座量比2022年夏季分别增长了25%和15%。

2023年3月，联合航空与阿联酋航空签署了代码共享合作协议。旅客乘坐阿联酋航空航班到达美国芝加哥、休斯敦或旧金山后，可利用联合航空完善的国内航线网络，前往超过150个城市，并可以累积和兑换阿联酋航空的积分。美国的旅客选乘阿联酋航空航班直飞迪拜后，可继续乘坐阿联酋航空航班前往中东、非洲、中亚及南亚等地。所有在美国境内乘坐阿联酋航空航班的旅客，其行李可以直接托运到目的地城市。

在跨大西洋市场上，联合航空在空铁联运方面走在了其他航企前面。2023年11月，联合航空、汉莎航空与德国联邦铁路公司宣布建立合作伙伴关系，三方合作推出空铁联运产品。联合航空与汉莎航空此前曾在法兰克福机场开展航空联运合作，此次三方合作进一步将“航空+铁路”拓展至柏林、科隆、汉堡、慕尼黑和纽伦堡等25个城市。

提升旅客出行体验

为了向转机旅客提供帮助，联合航空利用人工智能技术在App上开发了一款名为“航班衔接保护器”的工具，为旅客提供下一段旅程的信息。航班衔接保护器可以识别转机旅客搭乘的始发航班，实时分析数千条

数据，告知旅客签转至哪一个航班最合适。该工具还可以向同意接收通知的旅客发送个性化短信，详细说明中转航班的登机口位置以及到达那里所需的时间。

根据美国交通部的数据，每年有超过2700万残疾旅客乘坐飞机。为提升残疾旅客的乘机出行体验，2023年7月，联合航空在10多架飞机客舱内用盲文标注了座位排数和号码，以帮助有视力障碍的旅客在客舱内自助行走。联合航空表示，将于2026年底前在所有执飞干线航线的飞机上标注盲文。

为了给视觉障碍者提供更多帮助，联合航空开发了一款移动App。这款移动App增加了颜色对比度，在图像与文字之间留出更大空间，用户可使用屏幕阅读器获得语音提示。另外，联合航空机上娱乐系统显示屏增加了文本语音控制、触摸探索、电影音频描述，以及高对比度的文本和颜色调和与校正等功能。联合航空表示，将在2032年底前交付的700架宽体机和窄体机上配置这类显示屏。

联合航空2023年运输超过了20万人次的轮椅旅客。为了给轮椅旅客带来更多出行便利，联合航空于今年3月底在公司网站和移动App上推出了全新的航班查询数字工具，使轮椅旅客更容易找到适合轮椅尺寸运输要求的航班。联合航空还表示，如果因轮椅尺寸无法乘坐选定的航班，当后续预订的航班机票存在差价时，轮椅旅客可以要求退还差价。

随着数字化和智能化的发展，持续创新已经成为航空公司提升市场竞争力的重要法宝。创新不仅是提升旅客出行体验的需要，而且是航空公司实现战略转型发展的需要。联合航空之所以能够掌握市场发展的主动权，与其在忠诚度计划和旅客出行体验等方面创新有着密不可分的关系。

飞机上的 APU

文 | 蒋斯来

APU (Auxiliary Power Unit) 是飞机主发动机外的一台动力装置——辅助动力装置，位于机身尾部，主要用于为主发动机启动前提供电力，并在紧急情况下保障飞机系统运行。目前，全世界 95% 以上的民用客机都装有辅助动力装置。

APU 是动力装置中一个完整的独立系统，但是在控制上，它和整架飞机是一体的。它的控制板装在驾驶员上方仪表板上，它的启动程序、操纵、监控及空气输出等都由电子控制组件协调，并显示到驾驶舱相关位置，如 EICAS 的屏幕上。

实际上，APU 就是一台独立的机载小型发动机。当飞机的主发动机不工作时，

它能替代发动机提供气源、电源。它不仅可用于地面准备、维护和检查，在飞行中还可以作为备用电源。所以，飞机安装了辅助动力装置后，可以降低对地面设备的依赖，无需气源车、电源车、空调车就能够独立起动、供电、提供地面空调，从而可以缩短飞机的再起飞时间，提高利用率。

组成及工作原理

通常情况下，APU 是一台由单轴、双支架、具有两级离心式压气机、单管燃烧室、单级径向涡轮以及传动装置所组成的燃气涡轮发动机，主要包括涡轮压气机、

电源装置、安装架、防火圈、连接接头、辅助动力装置舱门作动组件等。各系统及其工作原理如下：

1. 发动机燃油和调节系统。这是一个全自动的流体机械系统，由燃油调节器、燃油泵、燃油滤、燃油电磁切断阀以及油路和喷嘴组成。它利用气动、电子以及机械信号控制进入发动机的燃油流量，使辅助动力装置平稳加速到所需的转速。自动调节系统能确保在各种气动负载和电源负载的情况下，辅助动力装置具有恒定的转速，使辅助动力装置提供的功率和负载所需的功率相匹配。

2. 点火 / 起动系统。该系统用于起动发动机和点火，由点火装置、点火塞、点火器导线以及起动机组成，利用机载蓄电池直流电起动。通常情况下，飞行员将辅助动力装置主控开关置于起动位置，发动机继电器闭合，起动机开始转动，当滑油压力达到规定值时，燃油电磁阀打开，点火，供油。当发动机达到 35% 转速时，点火系统因电路自动断开而停止工作，从而完成 APU 起动点火程序。

3. 空气系统。该系统由进气系统、冷却系统和供气系统组成。进气系统包括冲压空气门、非冲压空气门、压力安全阀及有关作动机构等。冷却系统由风扇排气阀、冷却空气风扇以及一些通风管道所组成，为辅助动力装置润滑油、交流发电机、辅助动力装置隔舱提供冷却空气。供气系统由负载控制阀、气动恒温器和三通电磁切断阀组成，提供并控制来自发动机压气机的引气量，以满足主发动机启动、飞机空调和其他用气需要。

4. 发动机控制系统：该系统负责在地面或空中控制辅助动力装置，主控制板位于驾驶舱内，用于辅助动力装置的起动和停车，以及控制进气门的位置。此外，在辅助动力装置舱的左后侧有一块控制板，

用来控制辅助动力装置的停车和灭火。该控制板上装有火警指示器、火警喇叭、灭火瓶低压指示器及灭火瓶释放开关等。

除了上述系统，APU 还包括指示系统、排气系统、滑油系统等。

基本工作程序

1. 起动之前，28 伏直流电蓄电池接通，线路有电。

2. 将辅助动力装置主开关放到“起动”位置时，进气门打开，向起动机供电，起动，带动压气机转动。

3. 涡轮转速、滑油压力上升，当转速和压力达到规定值时，向辅助动力装置供油并点火。

4. 辅助动力装置转速达到 35% 时，多路离心开关作动，起动机脱开。

5. 辅助动力装置转速达到 95% 时，辅助动力装置电源可用指示灯亮，继电器接通供气阀电路，辅助动力装置准备接受气动负载。

6. 当辅助动力装置主开关在“断开”的位置时，辅助动力装置停车。

当发生故障或下列情况时，辅助动力装置自动停车：

1. 辅助动力装置的转速达到 110% 转速时。

2. 滑油压力太低，小于 0.31 兆帕。

3. 滑油温度高于 120 摄氏度。

4. 发现火警时。

辅助动力装置具有拆卸方便、简单的特点，更换辅助动力装置的大多数附件如发电机、起动机和燃油调节器等，只需拆卸最少量的相关部件即可。辅助动力装置使用的是与主发动机一样的滑油和燃油，燃油来自飞机的主油箱，使用和维护都相当方便。





C909 与天骄航空 共同迈进 2.0 时代

文 | 张帅

“天苍苍，野茫茫，风吹草低见牛羊。”

北朝民歌《敕勒歌》中的经典诗句，早已成为内蒙古草原的文化图腾，勾勒出这片土地辽阔苍茫的独特风貌。这片占全国陆地总面积约八分之一的土地，呈狭长形横跨东北、华北、西北三大区域，4200 多公里的边境线使其成为连接国内市场与东北亚经济圈的重要门户。然而，“地广人稀、道阻且长”的地理特质，曾让跨盟市出行成为牧区百姓的难题——从勒勒车在草原颠簸数日，到绿皮火车摇晃四十余个小时，距离一度是“走亲访友、求医求学”的无形屏障。

天骄航空，不仅是内蒙古自治区唯一的本土航空公司，更是全国首家全机队运营国产民用飞机的航司。自成立之初，它便肩负着“践行国家大飞机战略、服务北疆经济社会发展”的双重使命。自 2019 年 2 月引入首架 C909 至今，这家以“牧歌”为呼号的航司，始终与内蒙古航空事业发展同频共振，用国产民机在北疆草原织就便捷高效的空中交通网。

新机型、新团队、新公司

清晨的呼和浩特白塔国际机场，一架 C909 停在 03 号机位，塔台的指令穿透晨曦。

CREW：“塔台，早上好！牧歌 5665，停机位 03，准备好申请推出开车。”

TOWER：“牧歌 5665，可以推出开车，准备好滑出报告。”

C909 飞机的引擎缓缓启动，银白色的机身在草原晨光中泛着温润的光泽。发动机气流声与远处草原上隐约的鸟鸣交织，构成一幅传统与现代交融的北疆晨景。

如今，C909 已成为天骄航空穿梭于北疆空域的“挚友和伙伴”，用一次次平稳起降，恪守着“践行国家战略、确保安全第一、聚焦主责主业、服务北疆发展”的初心与使命。

时光回到 2020 年，彼时的天骄航空是中国民航大家庭中最年轻的成员，面临着“新机型、新团队、新公司”的挑战，而 C909 亦是民用航空器家族的新成员。为了让 C909 在北疆闯出一片“自己的天空”，中国商飞与天骄航空结成国产机高质量发展“命运共同体”，在 2021 年与 2024 年两次嵌入式支持，助力天骄航空完成蜕变，也让 C909 在广袤的草原上“站稳了脚跟”。

遥想 C909 运行初期，面对多重挑战，



天骄航空与中国商飞本着“一个目标、一个计划、一个团队”的理念，迅速组建起“安全运行专家团队”。中国商飞团队深度参与天骄航空飞行、运控、维修三大系统日常运作，量身制定《天骄航空安全运行能力提升工作方案》，协同推进安全运行能力提升。

历经 10 个月的共同努力，天骄航空的进步赢得了局方的认可，为其稳步前行提供了强有力的支撑，也为国产机安全高效运营积累了宝贵经验。

安全根基稳固后，提高运营保障能力与飞机可用性成为下一个挑战。为此，中国商飞于 2024 年初成立了由政策支持、保安全、飞行运行、适航维修、运营成本五个专业工作组构成的“支持天骄航空专项工作团队”，构建“系统化作战、分阶段实现、以问题为导向”的工作体系，稳步推进保障工作。

针对天骄航空 C909 机队因交付时间跨度大、构型不统一导致的改装维护问题，团队迅速作出响应：通过运行支持指挥中心实行总指挥长责任制、航线问题筛选制度及“252+X”五星管控机制，推进飞机持续优化；联合天骄航空共同制定“一本账”工作计划，构建“问题不过夜”保障机制。2024 年，客服团队提供机队故障



▲ 图 | 何嘉轩

清单 272 条，分享排故经验 37 条，召开对接会 12 次，答复客户意见 148 条，处理咨询对接 18 条且关闭率 100%，用专业坚守筑牢运行保障网。

2025 年 1 月 17 日，中国商飞在阿尔山和阿拉善地区机场开展演示飞行，全面测试 C909 飞机在特殊机场的适航与运行状态，为天骄航空后续开通上述航点奠定了基础。

截至目前，天骄航空累计开通 11 个区内航点（呼和浩特、鄂尔多斯、锡林浩特、乌兰浩特、赤峰、海拉尔、通辽、满洲里、扎兰屯、二连浩特、乌海）、3 个区外航点（长春、延安和榆林）、37 条航线，年承运旅客量从 2019 年的 3.6 万人次攀升至 2024 年的 44.4 万人次，年飞行时间从 1120 小时增至 11050 小时。2025 年 1 月 12 日，天骄航空累计承运旅客突破 100 万人次。截至目前，累计承运旅客超过 150 万人次。

内蒙古自治区东西横跨 2400 公里，不少盟市、旗县间相距较远，中短途飞行需求旺盛，支线航空市场潜力巨大。2025 年 5 月起，天骄航空恢复呼和浩特—

锡林浩特—满洲里航线，也开启了每日 8 段的高强度运营模式。

“我们没有备机，有多少架就飞多少架，8 月已实现单月盈利。”天骄航空一位工作人员的话语中充满了自豪感！

合力破解心腹之患

对于 C909 来说，投入市场后是否可以在商业运营中给航司带来实实在在的效益，决定了这一机型市场生存空间的大小。由于天骄航空尚未形成规模效应，航材成本高、资金占用大，这些问题曾是天骄航空运营的“心腹之患”。此前，天骄航空主要依靠采购、寄售等模式保障航材供应，仅周转件库存资金就接近 1 亿元，高价值件储备更让资金流转承压。为破解这一难题，中国商飞客服团队为天骄航空量身定制航材共享方案，2024 年 2 月双方正式签订协议，开启航材保障新模式。

根据协议，航材共享范围精准覆盖发动机核心部件、航电系统组件等 238 项高价值周转件，匹配日常高频需求，避免重复采购与资金浪费。费用采取“按飞行小时结算”机制，飞行越多费率越低，既降低小规模运营成本，又激励提升飞机利用率，实现双赢。

根据记者调研，目前在呼和浩特机场进出港旅客中，每 8 人中就有 1 人搭乘 C909。为了降低天骄航空航材储备的压力，中国商飞在呼和浩特库房储备了大量周转件，航司可直接调用，无需额外设库，大幅缩短了故障处理时间。此外，中国商飞客服团队还积极盘活历史库存，以“回购”的方式将航司手中价值数千万元的存量航材纳入共享池，直接释放流动资金。

2024 年，中国商飞客服团队接收航材 /GSE 服务订单 372 份，完成发货 337 份；处理共享类需求订单 124 份，完成

发货 117 份。截至 2025 年 7 月，航材共享模式稳定运行一年半，航司航材保障成本降低超 30%，资金周转率提升 40%，彻底摆脱了“重资产压身”的困境。

此外，中国商飞客服团队还联合天骄航空计算分析 C909 飞机飞行成本指数，推荐最经济的巡航速度，编发《天骄航空经济巡航与飞机全寿命直接运营成本控制分析报告》。在双方的共同努力下，天骄航空的运营成本持续优化，为 2024 年 8 月实现单月盈利奠定了基础。

为了提升天骄航空的可持续发展能力，同时为 C909 机型高质量运营储备专业人员，中国商飞与天骄航空密切合作，积极组织开展相关培训。

在维修能力自主化方面，2024 年中国商飞派出 6 名机务参与航线运行与航材保障，共同推进天骄航空成功获批 A 检维修能力，成为少数具备国产民机定检能力的地方航司。内蒙古地区沙暴、大风等极端恶劣天气频发，为避免沙暴天气对飞机的损害，天骄航空常态化建立沙暴天气

“应急处置预案”，为 C909 机型在极端天气下的系留、轮挡、罩布及封堵积累了宝贵经验。



▼ 图 | 张坤

在人员技能专业化方面，中国商飞组织发动机、航材管理等领域的专家开展多轮授课，提供 27 个机型培训名额，提升机场放行能力；协助开发 EBT（循证训练）课程与训练路线图，培养标准化操作飞行员团队。目前，天骄航空已自主建设 EBT 循证训练平台，推进地面训练设备引入，持续强化造血能力。

区域发展的新引擎

“女士们、先生们，欢迎您选乘天骄航空的航班出行，本次航班由我国自主研发的 C909 飞机执飞。”当客舱内中、英、蒙三语广播响起，C909 的价值早已超越了交通工具本身，成为连接草原的“情感纽带”与区域发展的“新引擎”。

“以前从海拉尔到呼和浩特坐绿皮火车要 40 多个小时，现在 C909 飞 2 个小时就到了，孙子去外地上学再也不用折腾了。”一位年长的呼伦贝尔牧民感慨地对记者说。

在重大活动中，C909 更彰显了国产民机的担当。2024 年第十四届全国冬季运动会期间，天骄航空作为赛事战略合作伙伴，挺膺担当，搭建起高效的“空中通道”，实现“零延误、零取消”，成为传播北疆文化和大飞机文化的重要载体。

如今，天骄航空已运营 7 架 C909，2025 年计划新增 1 架，乌兰浩特过夜基地启用，机队规模与运营网络持续扩大。国产飞机在内蒙古极端环境中站稳脚跟，印证了其可靠性能；支线航空蓬勃发展，激活了区域经济社会发展潜力；地方航司与国产民机深度绑定，成为践行国家战略的重要力量。经过多年淬炼后，天骄航空正从 1.0 时代迈向 2.0 时代，向着更广阔的市场稳步迈进。



SAF 供给侧制度障碍及政策建议

文 | 陆佳莹 丛玮

随着疫情后全球航空业复苏，碳排放水平快速回升，2024 年已达疫情前峰值的 96%，航空业碳减排压力日益加剧。可持续航空燃料 (SAF) 作为国际社会公认的中短期内航空脱碳关键路径受到广泛关注。然而，尽管 SAF 的技术路径不断发展，市场需求日益增长，但其实际产能和全球化、市场化流通程度远低于预期。国际航空运输协会 (IATA) 预测，2025 年全球 SAF 产量约 210 万吨，仅

占全球燃料需求的 0.7%，供不应求局面突出。

当前，对 SAF 供给侧发展的讨论多聚焦于原料、技术与经济性等硬性约束，而相关制度作为深层驱动因素常被忽视。实际上，制度不仅影响技术路径的选择与资源配置，还会影响企业决策与市场行为，对 SAF 的发展具有关键引导作用。因此，厘清 SAF 供给侧发展面临的制度障碍，对该产业的未来具有重要意义。

产能扩张阶段制度障碍

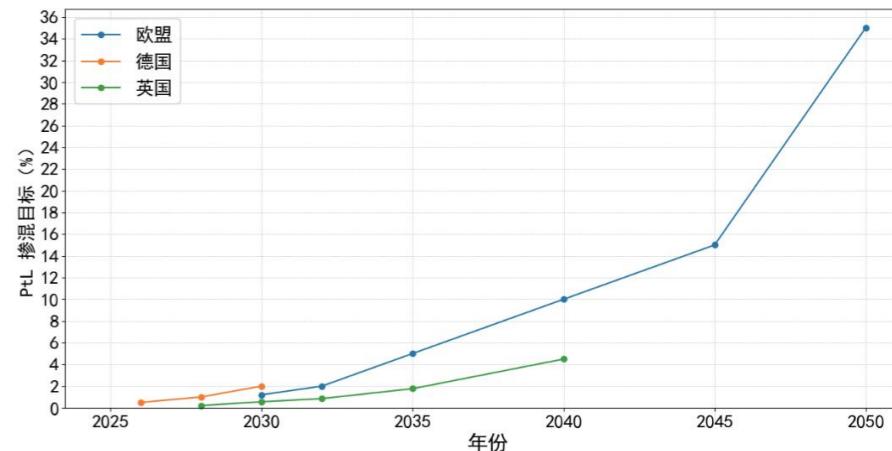
1. 政策性路径依赖

ASTM D7566 是国际通用的 SAF 技术标准，虽然已批准 11 条技术路径，但该标准认证时间长、流程复杂，容易形成路径进入壁垒，会滞后电转液、甲醇制喷气燃料等高减排潜力技术的推广。同时，已批准的 11 条路线允许的最大掺混比例仅为 5% ~ 50%，限制了减排效能的充分发挥。

各国政策大多偏向于支持技术成熟、经济性较强的技术，如加氢处理酯类和脂肪酸 (HEFA)，对其他路径支持不足。这种政策导向虽然能在短时间内快速推动 SAF 产能形成一定规模，但可能固化路径依赖，抑制技术多样性发展，并加剧对特定原料的依赖。

以美国为例，《通胀削减法案》对 SAF 提供税收抵免，实际补贴金额与碳减排效果挂钩，最高可达 1.75 美元 / 加仑。但实际补贴主要流向 HEFA 路径，因为该路径减排潜力较大，成本大幅低于其他工艺，且是目前唯一实现商业化部署的路径。预计到 2030 年，HEFA 路径在美国将仍占主导地位。欧盟早期的《可再生能源指令》未对 SAF 的技术路径提出差异化发展目标，导致成员国前期普遍优先发展 HEFA 工艺，路径和技术逐渐趋同。

随着政策的执行，欧洲国家开始意识到这一风险，尝试通过制度创新予以纠偏。2023 年，欧盟颁布的 RED III 提出了对合成航空燃料的使用要求，ReFuelEU 航空法案进一步明确了 PtL 的掺混比例。德国、英国也出台 PtL 强制掺混目标，并且英国还限制了 HEFA 工艺 SAF 的使用上限，试图通过制度调整促进技术多元化发展。



▲ 图 1 | 欧盟、德国、英国 PtL 强制掺混目标

2. 原料管理制度缺位

SAF 原料来源广泛，涵盖废弃油脂、农林残余物、有机固废、CO₂ 和可再生电力等。然而，目前许多国家缺乏系统的原料分级标准、跨行业协调机制及原料优先级政策，导致原料流向不确定、行业竞争激烈，制约了 SAF 产能的可持续提升。

例如，在中国，地沟油等废弃油脂是 HEFA 路径的主要原料，但这些原料也广泛应用于生物柴油、饲料生产等行业，由于缺乏“航空优先”保障机制，可用于 SAF 生产的原料供应难以保障。同时，欧美国家对废弃油脂的高需求进一步加剧了 SAF 项目原料供应波动和成本的不确定性。

值得借鉴的是，欧盟在 RED II 中引入了原料清单分级 (Annex IX Part A/B)，对原料的可持续性提出更高要求，设置差异化激励，有助于引导产业向更高阶原料和技术升级。不过，这一清单在执行层面仍面临成员国之间的协调困难。由于各成员国对原料分类、认证标准和激励机制的解释与执行存在差异，一定程度上限制了原料跨境流通和高效利用。

3. 财政激励政策不足

目前 SAF 生产成本较高，平均为传统航油的 3 倍，部分新工艺如 PtL 的成本更高。在技术尚未规模化、原料获取不稳定的阶段，SAF 的成本劣势尤为明显。尽管多个国家和地区已出台可再生燃料相关政策，但面向 SAF 的财政激励体系仍存在明显不足，尤其是在商业化运营方面缺乏持续支持，抑制了产能释放。

美国通过 IRA 建立的税收抵免机制，是目前全球范围内对 SAF 生产最具激励效果、覆盖阶段最完整的政策工具。相比之下，其他国家和地区尚未建立与之相当的、按产量或减排绩效直接补贴的

财政激励机制，在支持力度上存在明显差距。例如欧盟，虽然设有一系列资金工具支持绿色发展，如 EU Innovation Fund、Horizon Europe 等，但这些工具并非专门针对 SAF 设立，使得 SAF 需要与其他可持续发展项目进行激烈竞争。此外，这类资金支持多聚焦于前期研发与示范项目，难以覆盖 SAF 商业化阶段所需的高额投资，可能会导致成熟工艺因为经济不可行而较难实现大规模商业化生产。

亚洲地区现阶段财政支持更为有限。日本虽然提出到 2030 年实现 10% SAF 摆混目标，但缺乏配套的财政激励工具，企业投资意愿低迷。中国在“十四五”期间将 SAF 纳入绿色发展重点方向，但尚未出台明确的价格补贴、税收减免或碳市场接入机制，企业面临较大的融资压力。相比之下，新加坡计划通过国家集中采购 SAF 的方式以降低单位采购成本、稳定供应来源，这为区域政策创新提供了借鉴。

4. 投资风险分担机制不健全

SAF 项目普遍面临资本投入大、建设周期长、回报周期不确定等特征，使其在融资初期就面临较高的风险和困难。如果缺乏有效的风险分担工具，如长期购销协议、价格底线机制、绿色贷款担保或其他政策性融资支持，将显著抑制资本的进入意愿，限制产业规模化发展。

在国际实践中，长期购销协议被认为是降低投资不确定性的关键机制。据国际民航组织统计，截至 2025 年 5 月，全球累计达成 153 个购销协议，SAF 总量超过 530 亿升，涉及 61 家燃油生产商、77 个买家。尽管超半数协议时长在五年以下，十年（含）以上的长期协议仍占 17.6%，五年（含）至十年的中期协议占 27.5%。这类协议为项目提供了明确的收入预期与

现金流保障，从而提高了企业的信心。

从分布来看，当前 SAF 购销市场高度集中于欧美，美国企业在协议数量与销量上均占主导地位，亚洲区域尚处于起步阶段。根据有关资料，目前达成购销协议销量前五名的燃油生产商均为美国企业：Gevo、Fulcrum、Alder Fuels、Cemvita、USA Bioenergy，购买 SAF 总量前五名的买家分别是：美联航、美国西南航空、寰宇一家联盟、达美航空、汉莎航空集团。SAF 总量前十的购销协议主要在欧美企业之间达成，涉及 SAF 总量近 300 亿升，约占全球已达成购销总量的 57%。亚洲仅有日本航空参与，且购买的 SAF 也由美国企业生产。

相比之下，我国当前的 SAF 项目大多处于示范或试点阶段，缺少明确的长期购买方与价格托底机制，企业往往只能依赖内部资金或国有资本推动，难以大规模吸引市场化金融资源。在此情况下，即便部分企业具备技术和原料渠道，也可能因融资难、定价不稳而无法推进商业化扩建，制约了 SAF 产业的规模化发展进程。

全球流通与市场化阶段制度障碍

1. 全球标准与认证体系不一致

SAF 作为一种跨境流通的低碳能源产品，由于各国目前的碳强度核算、适航性等标准存在差异，导致其全球市场化发展受到明显制约。

首先，各国对原料来源、土地利用变更、间接碳排放等的定义存在显著差异，可持续性标准不统一。例如，欧盟 RED III 对于谷物和糖类作物生产的生物燃料使用有上限限制，政策上整体不支持，而美国 IRA 则允许这类原料生产的 SAF 享受税收抵免。这种标准差异直接

序号	年份	燃油生产商	买方	购销协议中 SAF 总量（百万升）	协议时长（年）
1	2021	Alder Fuels	United Airlines	5678.10	20
2	2022	Gevo	OneWorld	3785.40	5
3	2023	Cemvita	United Airlines	3785.40	20
4	2015	Fulcrum	United Airlines	3406.90	10
5	2023	USA Bioenergy	Southwest Airlines	3255.50	20
6	2022	Shell	Lufthansa	2248.50	7
7	2022	Gevo	Delta	1987.30	7
8	2016	Fulcrum	AirBP	1892.70	10
9	2022	Gevo	American Airlines	1892.70	5
10	2023	Raven SR	Japan Airlines	1892.70	10

▲ 表 2 | SAF 总量前十的购销协议

影响了跨境原料流动与技术路径规划。

其次，各地区的碳排放核算方法不统一。不同国家、国际组织、航空公司对生命周期碳排放评估边界设定不同，使用的排放因子、原料路径、碳排放计算规则也不一致，导致同一批 SAF 产品在不同市场下的碳核算结果存在差异，影响其作为碳减排工具的经济价值，导致跨国项目收益评估不准确，抑制了企业的全球产能布局与投资意愿。

在适航认证方面，尽管 ASTM D7566 标准已成为全球 SAF 适航认证的技术基础，但各国民航局仍需在本国法律框架下进行“再认证”。例如，使用 ASTM 路径生产的 SAF 在中国要通过民航二所进行适航审定，增加了 SAF 进入市场的时间与合规成本，反映出标准互认机制缺失对商业化的制约。

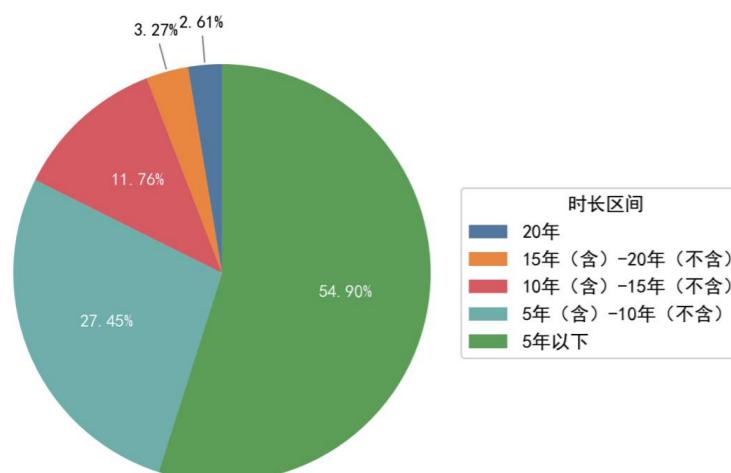
2. 现有国际协调机制薄弱

全球 SAF 治理缺乏统一的协调平台，导致政策碎片化，影响全球市场化进程。尽管国际民航组织努力在全球航空碳减排政策中发挥引导作用，但缺乏强制力，比如其推出的国际航空碳

▼ 表 1 | 不同国家、地区 SAF 财政激励政策对比

国家/地区	是否专门设立 SAF 补贴	是否与减排绩效挂钩	商业化阶段支持	补贴强度
美国	是	是	是	最高 1.75 美元/加仑
欧盟	否	否	不明确	不明确
澳大利亚	是	否	不明确	不明确
日本	否	否	否	—
中国	否	否	否	—

▼ 图 2 | 不同时长协议数量占比



抵消和削减机制 (CORSIA) 虽然设定了碳中和目标，但对 SAF 的激励作用有限。因为 CORSIA 仅将 SAF 作为一种可选减排路径，并未对航司提出强制使用要求，也未形成价格激励机制，难以有效拉动需求。

同时，缺乏常设性的国际合作平台和协调机制，致使各国在 SAF 标准、认证体系、碳核算方法等方面缺乏互认，导致重复认证、重复投资，增加了全球供应链的成本与不确定性。例如，在美国获得 ASTM 认证的 SAF 产品，进入欧盟市场还需符合 RED III 严格的可持续性标准。

3. 全球性市场机制缺失

目前，全球尚无统一的 SAF 基准价格，交易大多通过一对一谈判达成，价格信息高度碎片化，导致市场预期不稳定，阻碍金融机构开展风险评估与融资支持。尤其是对于 SAF 历史交易较少的地区，由于缺乏公开透明的价格参考，更难达成长期购销协议。

全球碳信用交易机制不健全，缺乏统一的碳信用登记与交易系统。CORSIA 等机制虽允许航司通过 SAF 获取碳信用，但由于与区域碳市场（如 EU ETS）衔接不足，导致航司难以形成统一的碳资产管理策略，也限制了 SAF 的跨境流通价值。

政策建议

为推动 SAF 产业规模化发展，应从制度层面系统破除产能扩张与全球流通市场化两大阶段的障碍，具体建议如下：

1. 产能扩张阶段

打破技术路径依赖，促进技术多元发展。设立多路径发展目标，明确 PtL、MtJ 等高潜力路径的掺混要求，并提供差异化财政支持，推动新路径研发

与商业化落地。

完善原料管理制度，保障供应稳定。建立原料分级清单和“航空优先”制度，统筹废弃油脂、农林残余物等原料流向。强调跨部门协调，减少与生物柴油、饲料等行业竞争，同时鼓励原料本地化与多样化开发。

构建长期财政激励机制，缓解成本劣势。借鉴美国 IRA 经验，建立与减排绩效挂钩的补贴机制。同时，探索价格底线、差价补贴等方式，增强企业投资可预期性。

健全投资风险分担机制，吸引市场化资本。鼓励航司与生产商签订长期购销协议，政府提供贴息或担保。发展绿色贷款、可持续发展债券等金融工具，推动政策性融资与商业资本协同发力。

2. 全球流通与市场化阶段

推动国际标准互认，降低跨境交易成本。建立多边互认机制，推动适航认证、碳核算、可持续性认证等标准协调，减少重复认证和合规壁垒，降低跨境交易成本。鼓励企业根据目标市场的差异，制定应对标准多元化市场的布局策略与合规路径。

推动建设常设性国际合作平台，强化国家间 SAF 政策和技术路径对话。行业协会应支持企业间建立 SAF 多边合作平台，促进原料、认证路径、碳核算模型等信息共享。推动国内政策与国际机制对接，提升政策的国际兼容性。

建立公开透明的 SAF 基准价格体系，推动集中采购和平台交易。加强碳信用跨境交易机制建设，实现 SAF 资产在多区域市场的互通，增强其金融属性与投资吸引力。



C909 如何开发银发族市场

文 | 张建恩

随着银发族人口基数的扩大和消费需求的多样化，银发族消费市场正在成为我国经济结构中非常重要的一个分支，具有广阔的发展前景。因此，深入理解银发族的消费特点，不断创新产品与服务，将极大促进 C909 机型执飞航班的经济效益。

银发经济的机遇

民政部、全国老龄办发布的《2024年度国家老龄事业发展公报》显示，截至2024年末，全国60周岁及以上老年人口31031万人，占总人口的22.0%，较2023年增长0.13亿人。随着时间的推移，60后、70后相继进入老年，我国老年人口数量还将继续增长，预计2035年前后将突破4亿。

目前，银发族已经成为国内旅游业不可忽视的消费群体。全国老龄委调查数据显示，“银发旅游”人数已占旅游总人数的20%以上。携程网的有关数据显示，2024年，银发人群出游订单同比2023年增长超22%，31%的银发人群出游频次是2019年的2倍。

2025年1月16日，商务部、文化和旅游部、国铁集团等9个单位联合印发了

《关于增开银发旅游列车促进服务消费发展的行动计划》的通知，再次引发全社会对银发旅游市场的关注。通知显示，国铁集团计划到2027年完成设计100条以上银发旅游精品路线，银发旅游列车开通规模达到2500列以上。这对丰富旅游市场供给，培育服务消费新增长点，更好满足银发群体旅游服务需求将起到更好的促进作用。

基于银发族的消费能力、出行习惯、需求个性化等特点，这个蕴含巨大商机的市场必将成为国内航司业务创新的蓝海，极有可能催生出航司利润新的增长极。

银发族旅游的特点

随着我国社会保障体系逐渐完善，更多银发人群依靠离退休金生活，经济更加独立。

▼ 图 | 华思清



中国人民银行2024年发布的《中国城镇居民家庭资产负债调查报告》揭示，我国60岁及以上城镇居民家庭平均金融资产为38.2万元。过去，由于经济条件有限或出行不便，银发人群更倾向于选择近距离或低成本的旅行方式。而随着经济状况的改善，越来越多的银发人群开始选择高端旅游线路和定制化服务，更注重生活品质，愿意为健康、旅游、教育等方面增加支出。

高端旅游市场的特点是定制化和精细化服务，如私人导游，银发族专属的健康旅行、长时间的度假式旅行等。此外，随着互联网的普及，银发族通过线上预订旅游产品变得越来越便捷，这也推动了他们旅游消费方式的升级。

银发族对航空服务的特殊偏好，包括票价敏感度、舒适性、便利性及健康保障等需求。因此，航司必须深刻认识到银发族购买航空服务时的五大特点：

首先，银发族对票价的敏感度高。根据携程2023年的有关数据，68%的银发族旅客选择非节假日出行以避开高价。

其次，银发族对舒适性的需求突出。大多数银发族偏好早班机（与起居习惯一致）、宽敞座椅（腿部空间大）、无障碍设施（登机口、机舱辅助设备）。

第三，银发族对健康服务的需求高。银发人群希望获得机上医疗应急服务（如血压监测、急救药品储备），航司应在空乘人员培训和客舱设施设备等方面做好相应的准备。

第四，银发族更偏好“机票+康养”，“机票+文化体验”类的打包产品（如黄山疗养航线、海南文化专线等），航司可以与旅行机构合作，积极开放有针对性的产品。

第五，相比其他客群，银发族的旅行周期更长。不同于其他客群5~7天的行程，银发人群单次行程时长一般为7~15

天，以慢旅行和康养旅居为主。

C909 高度匹配银发族需求

C909飞机是我国研制的首款喷气式支线飞机，专注于支线航空市场的发展。截至2025年8月，C909飞机的首家用户成都航空在新疆区域内投入运力17架，已覆盖区域内27个机场，执飞喀什—奇台—阿勒泰、吐鲁番—若羌—和田、伊犁—于田—博乐等50余条疆内航线。在黑龙江省投入运力6架，通航9个机场，执飞哈尔滨至五大连池、黑河、伊春、抚远等旅游城市航线。

这种区域内航线的开通有效地匹配了银发族偏好“避免长途奔波、多点浅度游”的特征。支线航线多连接自然景区（如伊春、阿勒泰等），与银发人群偏好的“名山大川”“康养旅居”高度适配，构成“航空+康养+旅游+保险”产业链。从价格上来说，这些航线的淡季票价常低至300元以下，有时甚至低于高铁票价，能完美契合银发人群性价比的追求。

人口浪潮即市场前景，3亿银发族催生的庞大、刚性的探亲、康养航空需求，是支线航空市场结构性增长引擎。成都航空在新疆、黑龙江的支线布局为分散式文旅需求提供密集班次的选择，打造一站式银发族出行解决方案，实现了客户价值与航线收益的双赢。

营销战略升级建议

当然，要进一步满足银发族的需求，航司仍需要从各方面提高自身的服务能力，不断优化升级C909航线的市场推广策略、产品设计及服务模式。

在营销策略方面，情感营销和口碑营销对银发市场可能更有效，因为老年人更

依赖信任和推荐。因此，航司需要建立符合银发族信息获取习惯的营销触达体系。

第一种方式是回归线下，与社区养老中心、老年大学和养老机构合作推广产品，进行社区路演。

第二种方式是新媒体渗透，在抖音、快手、微信视频号上寻找银发 KOL（关键意见领袖），加快信息的精准传播。

第三种方式是建立裂变机制，在银发群体内实施推荐奖励机制，提升拓新速度和复购率。

第四种方式是优化线上渠道，开发适老化购票 App 或微信小程序的银发人群购票专区。这些渠道在设计上要做到页面简洁，操作简化，比如使用大字体和语音辅助功能。

在航司服务方面，首先要对机舱进行适老化改造，比如在部分座椅上加装腿部支撑垫。其次，需要提供更多的定制化健康餐食，如适合肠胃疾病的清淡餐食，适合糖尿病患者的低糖餐，适合高血压患者的低盐餐。第三，在地面服务中，要增设银发族值机专柜和银发旅客专属通道，覆盖值机、安检、候机、登机全流程，配备专人引导；在候机区提供无障碍座椅、轮椅、急救箱等设施，满足生理需求。

银发族并非单一的“低价客群”，其消费需求已呈现分化特征，因此需要制定多层次的定价策略。

在定价策略方面，银发族并非单一的“低价客群”，其消费需求已呈现分化特征，因此需要制定多层次的定价策略。

第一个策略是常年推出“银龄特惠票”：根据淡旺季周期不同，推出银发族定座舱位下浮 10% ~ 20% 的优惠政策，培育银发族航空出行的习惯。

第二个策略是实行基于需求分层的阶梯定价：覆盖从“高性价比”到“高端定制”的全场景。针对注重出行成本、偏好“简约便捷”的银发群体（如首次尝试航空旅行的老人），推出高性价比的普惠型产品，如固定价格的次卡、套票（如国航推出的“敬老权益卡”），降低其尝试门槛。针对“追求人文体验、愿意为品质埋单”的银发人群，推出定制化的品质型产品，如主题定制游套餐，将“机票 + 酒店 + 专属导游 + 人文体验”组合定价，突出“无购物、慢节奏、深度体验”的价值，满足其“悠闲体验当地民风民俗”的需求。

第三个策略是执行情感驱动的定价策略：抓住“子女决策”与“陪伴需求”的关键节点，推出陪伴套餐，“子女 + 父母”或“老人结伴”的组合优惠，鼓励子女陪伴父母出行，将“情感价值”转化为“购买动机”；因为子女愿意为父母的“省心省力”付费，针对子女代订场景，推出“孝心服务包”（如“机票 + 无人陪服务 + 个性化餐饮”组合定价），将“全程引导、空中关照、定制饮食”作为溢价点。

银发人群凭借“有钱有闲”的特征，已经成为支线旅游市场的重要增长动力，尤其在淡季错峰游中表现突出，这与 C909 执飞航线的特性高度重合。因此，只要我们以“健康 + 舒适 + 情感”为核心，通过产品创新、精准营销和政策协同构建竞争力，努力开拓银发市场，必能充分发挥 C909 的良好性能，最终形成“适老化航空服务标杆”的品牌效应。



▼ 图 | 小鹏汇天

签下最大海外订单 小鹏汇天寻到“出海理想起跳台”

文 | 欧阳亮

10月12日，小鹏汇天在迪拜举办“陆地航母”首场国际品鉴会，首次进行“陆地航母”海外有人驾驶公开飞行演示，发布国际新品牌“ARIDGE”，并与阿联酋 Ali & Sons 集团、卡塔尔 Almana 集团、科威特 AlSayer 集团和阿联酋中华工商总会签订中东地区首批600台飞行汽车订购协议，创下该领域海外最大批量订购纪录。

小鹏汇天的“陆地航母”采取模块化设计，陆地部分为一辆智能汽车，飞行器部分为一个多旋翼飞行器。这种“可分离构型”是中国企业特有的创新思路，兼顾了汽车工业制造经验与航空安全冗余要求。在飞行演示中，飞行员驾驶飞行器沿波斯湾海岸绕飞一圈后平稳降落，并向媒体描述了其在空中看到的哈利法塔、阿拉伯塔、棕榈岛等美景。

2027 年开始交付

小鹏汇天选择在迪拜进行首秀，并非偶然。阿联酋近年来积极推动“低空出行示范城市”计划，雄心勃勃地要在未来三年内成为全球第一个开通“城市飞行出租车航线”的国家。当地媒体认为，小鹏汇天举办飞行演示活动不仅是在展示技术，更是在为未来市场布局打开突破口，阿联酋希望成为全球第一个实现 eVTOL 商业出行的国家，而中国制造正在成为其中关键的一环。

在制造环节，小鹏汇天已做好充分准备。据其官微报道，小鹏汇天位于广州开发区的飞行汽车制造基地已于 9 月底全面竣工。这是全球首个利用现代化流水线实现大规模生产的飞行汽车智造工厂，融合了航空级精度与汽车级效率，设计年产能达 10000 台，计划于 2026 年正式投产。

小鹏汇天首席财务官、副总裁杜超向迪拜当地媒体表示，向中东地区的交付最早将于 2027 年开始。“中东既是一个战略市场，也是我们重要的合作伙伴。”杜超说，“这里在全球创新中扮演着越来越重要的角色，加上前瞻性的政策环境，非常适合作为我们全球化布局的起跳台。”

适航、供应链、品牌

西方媒体对小鹏汇天的出海首秀异常关注。路透社称，中东订单的意义在于“能源国家正用新能源技术构建新的经济支点，当沙特与阿联酋投资石油以外的未来出行技术时，中国制造商成为他们最可行的合作对象。”《金融时报》称，中国厂商在市场推广与供应链整合上“展现了超越西方同行的速度”。彭博社认

为，演示飞行展示了技术成熟度的提升，小鹏汇天此举是“中国式创新全球化的最新信号”。

不过，大部分西方媒体都把重点放在国际适航认证和城市交通管理体系建设上。《金融时报》认为，EASA 对 eVTOL 的适航认证十分严格，“小鹏汇天的飞行仍处于展示性质，距离欧盟正式运营许可尚有较长距离”。

作为主权国家，阿联酋在引进飞行器前会进行自主适航审定，但其审定标准无疑会参考 EASA、FAA 等权威适航当局的框架。事实上，当天的飞行事先经过了阿联酋民航局、迪拜民航局的详细审查，阿联酋局方代表全程目击飞行，但这距适航认证取证尚远。

在国内，小鹏汇天早已开启适航认证布局。2024 年 3 月 21 日，“陆地航母”飞行器型号合格审定申请正式获得受理，具体的试验试飞包括在黑龙江呼玛县进行的整机低温实测、在甘肃民勤和新疆吐鲁番进行的高原与高温极限测试等。今年 5 月 9 日，其生产许可证申请又获得受理，距离量产又进了一步。

杜超在接受阿联酋《海湾新闻》采访时表示，公司将积极遵守海湾地区航空当局的规定，积极推进适航认证和相关监管程序。此外，与其他海湾合作委员会国家的类似合作也将逐步启动。

分析家认为，小鹏具备验证能力、制造体系和明确的市场通路。同时，中国的低空经济政策也为其实现发展红利。但国际适航体系的复杂性、供应链全球化的协调难度，以及海外品牌信任的建立，仍是决定其能否真正量产落地的关键。

回眸

人类第一次成功飞越海峡 ——路易·布莱里奥

文 | 王思磊

1909 年 7 月 25 日，破晓之前，法国加莱的海岸线还沉睡在浓重的夜色里，一位 30 多岁的年轻人驾驶着自己设计的单翼机，向英国的多佛尔飞去。

他的面前，是黑暗中未知的航程；他的身下，是分隔了英法两国的天堑——英吉利海峡。这一刻，年轻人在用生命叩问人类能力的边界：他要成为第一个飞越这片古老水域的人，为欧洲插上飞翔的翅膀。

36 分钟、41.9 千米，年轻人成功了，实现了人类航空史上首次越洋动力飞行。这次飞行与莱特兄弟的“飞行者 1 号”飞行、林白 1927 年单人跨过大西洋飞行一起被后人评为航空业早期的“三大里程碑飞行”。

这位年轻人，就是法国航空先驱路易·布莱里奥。

商人的飞行梦

1872 年 7 月 1 日，路易·布莱里奥出生于法国北部城市康布雷。他成长于一个工程师文化浓厚的家庭，自幼对机械充满好奇。长大后，布莱里奥进入巴黎中央理工学院学习工程技术，这段教育经历为他日后从事飞行器设计奠定了基础。

大学毕业后，布莱里奥并未立即投身航空业，而是选择了经商。他创办了一家汽车车灯公司，做起了经销汽车照明灯

的生意。生意颇为成功，布莱里奥也因此积累了一定的财富。

1896 年，德国航空先驱奥托·李林塔尔在滑翔飞行中不幸遇难的消息震撼了欧洲大陆，24 岁的布莱里奥深受感动，也就是从那时起，飞行的梦想在他心中生根发芽。

1900 年，布莱里奥开始研制飞行器。他最初尝试的是滑翔机和扑翼机，但多数以失败告终——不是坠毁，就是落水。他甚至一度被媒体讥讽为“落水鸟人”。然而，布莱里奥并未受此干扰，而是继续他的飞行实践，因为他坚信：飞行不是梦，只是还未找到正确的方式。

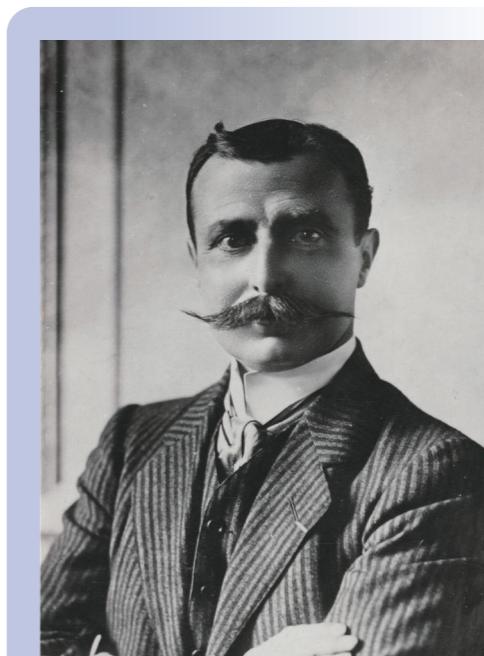


图 | 路易·布莱里奥



▲图 | 1909年7月25日，路易·布莱里奥的XI型单翼机的安扎尼发动机启动

1903年，莱特兄弟在美国成功实现动力飞行的消息传到欧洲，带给布莱里奥巨大的激励，他决定与另一位法国航空先驱加布里埃·瓦赞合作，共同研制双翼机和水上滑翔机。可惜，这些早期机型依然未能实现稳定飞行，挫折接踵而至，但布莱里奥的飞行梦想却愈发坚定。

飞行不是蛮力

1906年11月12日，旅法巴西人阿尔贝托·桑托斯·杜蒙驾驶他的“14比斯”飞机在巴黎成功飞行，创下欧洲第一个重于空气飞行器的持续飞行纪录。那一刻，布莱里奥正拄着双拐，在人群中静静注视。几天前，他在一次试飞中脚部严重烧伤，与这一历史性荣誉失之交臂。

人群中，布莱里奥的脸上写满不甘。而正是这种“不甘”，推动他开始新的探索和研究。如果传统设计不能成功，那么非常规设计呢？带着这样的想法，布莱里奥转向了非常规飞机设计——鸭式布局、串列翼、推进式螺旋桨……他几乎尝试了当时所有可能的飞机形态。1907年，他设

计的第六号飞机在试飞中坠毁，他本人险些丧命，媒体称他为“摔不死的布莱里奥”。

转机出现在1908年夏天。那一年，威尔伯·莱特到欧洲进行飞行表演。布莱里奥在现场目睹了莱特兄弟那架“飞行者”号在空中优雅转弯、稳定盘旋的场景，受到启发，他后来回忆道：“那一刻我才明白，飞行不是蛮力，是控制。”

他迅速调整设计方向，放弃了复杂而不稳定的构型，转向简洁的拉进式单翼机。1908年底，他推出了后来名垂青史的“布莱里奥XI”型飞机——一架机身纤细、机翼单薄、造型流畅的小型单翼机，装有一台安扎尼发动机，驱动一副木制双叶螺旋桨。就是这架看似脆弱的飞机，即将改变人类航空历史。

全球瞩目的英雄

1908年，英国《每日邮报》出资1000英镑，奖励第一位成功飞越英吉利海峡的飞行员。一时间，欧洲航空界群雄并起，引发了一场空前的飞行竞赛，其中最具竞争力的是法国人于贝尔·拉塔姆。

1909年7月19日，拉塔姆驾驶他的“安托瓦内特”单翼机从法国加莱起飞，意图一举夺魁。然而，飞行仅11公里后，发动机故障迫使飞机降落在海面上。幸运的是，他被及时救起，但挑战失败了。

5天后，1909年7月25日凌晨4时35分，布莱里奥驾驶飞机从同一地点悄然升空。虽然“布莱里奥XI”型飞机此前已经历了半年多的飞行考验，但人们对这次飞行几乎不抱希望：一是因为布莱里奥的知名度不是很大，不久之前刚在一次事故中受了伤，这次到海岸观察地形时还拄着拐杖；二是因为英吉利海峡的天气变幻无常，人们无法相信外观如此简陋和单薄的“布莱里奥XI”型飞机能经得住大西洋

的大风和巨浪。

此时，天空中的布莱里奥没有带罗盘，没有无线电，只有一瓶水、几块巧克力和一艘法国驱逐舰在海上作为引导。然而，起飞后不久，布莱里奥就轻易地超过了驱逐舰，失去了驱逐舰的引导。

“我独自一人，看不见法国，也看不见英格兰，只有茫茫大海和无边的天空。”他后来在回忆录中写到。天空中的布莱里奥，迷失方向长达10分钟，他的内心充满了恐惧与孤独，但他没有选择回头。

飞行约20分钟后，布莱里奥渐渐看到了英国一侧多佛尔的峭壁、城堡和预定着陆点。风势猛烈，他艰难地操控飞机转向，最终在一片名为“北草坪”的开阔地安全降落，飞行时间总计36分钟——人类首次飞越英吉利海峡的壮举就此完成。

降落的那一刻，等候在草地上的妻子扑向他，英法两国的官员、记者与民众蜂拥而至。随后，他的飞机被火车运到伦敦展览，数十万人前来参观。一时间，布莱里奥成为了全球瞩目的英雄。

让更多人飞起来

布莱里奥的飞行，不仅是一次技术胜利，更是一次心理突破。在他之前，飞机被视为“危险的玩具”；在他之后，飞机成为连接世界的工具，人们对飞机实用性的怀疑被彻底打消，民用航空与军事航空迎来新纪元。

飞越海峡的成功，不仅为布莱里奥带来了声誉，也为他打开了商业大门。“布莱里奥XI”型飞机一举成名，订单纷至沓来。仅1913年一年，他的工厂就生产了近800架各类军民用飞机。

1914年，第一次世界大战爆发，布莱里奥的飞机成为法国空军的重要装备。他于同年收购了斯帕德公司，并在战争期



▲图 | 布莱里奥的飞机在1909年8月的兰斯航展上失事

间生产了超过2500架飞机，其中包括著名的“斯帕德S.VII”和“S.XIII”战斗机。这些机型在空战中表现卓越，被誉为“天空的利剑”。

然而，布莱里奥本人的飞行生涯并未持续太久。1909年12月，他在君士坦丁堡（今土耳其伊斯坦布尔）进行飞行表演时，飞机失速坠毁。他虽然侥幸生还，但决定从此告别驾驶舱，专注于飞机设计与制造。他说：“我的使命不再是飞行，而是让更多人飞起来。”

一战后，航空工业经历剧烈波动，布莱里奥的公司也几经起伏。他本人因长期劳累，健康每况愈下。1936年8月1日，布莱里奥因心脏病在巴黎逝世，享年64岁。

英国多佛尔，在布莱里奥当年降落的地方矗立着一座石碑，上面刻着：“1909年7月25日，路易·布莱里奥于此着陆，完成了人类首次飞越英吉利海峡的壮举。”如今，那架完成历史性飞行的“布莱里奥XI”型飞机被珍藏在巴黎法国国立工艺博物馆，机身虽已斑驳，但它所代表的勇气与创新精神，依然激励着每一位参观者。



▼ 图 | telegraph.co.uk

参与庞巴迪 C 系列项目研制的回顾与思考(下)

文 | 汪亚卫

(接上期) 2013 年 9 月 16 日, 庞巴迪 C 系列飞机中 100 座级的 CS100 原型机首次试飞成功; 2015 年 2 月 27 日, 130 座级的 CS300 原型机首次试飞成功。此前, 庞巴迪宣布启动 C 系列飞机项目时, 曾宣称首架飞机将于 2013 年交付客户并投入航线运营。显然, 该项目严重拖期了。

实际上, C 系列飞机项目启动以来, 由于设计研制遇阻、项目超支等原因, 庞巴迪公司连年亏损, 公司股票暴跌, 不得不大幅裁员。行业分析师认为, 如果不能获得有力的外部支持, 庞巴迪很难维系该项目。作为 C 系列项目的风险

投资伙伴和主要机体制造商, 沈飞在相当长的一段时间内也承受着巨大的压力。

生不逢时, 陷入困境

客观地说, C 系列飞机项目启动以来, 庞巴迪遭遇的危机既有外部环境的原因, 也有公司内部的原因。从外因看, C 系列飞机号称是“全新定义的双发喷气大支线 / 小干线客机”, 直接对标的是波音 737-700 和空客 A319 两款 150 座级以下的客机。这显然是动了波音、空客的奶酪, 必然会受到两强的全力封杀。

虽然波音和空客并没有研制直接对

抗 C 系列的 110 ~ 130 座级的新型客机, 但波音 737-700 和空客 A319 在市场上有上千架二手飞机, 为与 C 系列飞机抢夺市场, 波音和空客甚至可以对相关机型降价 30% ~ 50%, 显然更具竞争力。

此外, 波音和空客都通过更换发动机, 研发了全新一代的 150 座级的改型机——波音 737MAX 和空客 A320neo。这两种新改型的飞机在性能方面不输 C 系列飞机, 而且分别获得了数千架订单, 强烈挤压了 C 系列飞机的市场空间。

2016 年 4 月, 美国达美航空公司宣布将购买 75 架 C 系列飞机, 这是 C 系列飞机获得的最大订单。为了阻止这笔交易, 波音公司向美国政府提出, C 系列飞机的研制和销售得到了加拿大政府和魁北克省政府的大量资金支持, 要求美国政府对此进行审查。2017 年 9 月, 美国商务部因波音公司的上诉, 决定对庞巴迪 C 系列飞机的生产商和出口商分别征收 219.63% 的反补贴税、79.82% 的反倾销税。

2015 年, 为了解决 C 系列飞机遇到

的困难, 庞巴迪开始与空客谈判, 试图说服空客收购 C 系列飞机的部分股权, 但空客拒绝了庞巴迪的提议。2017 年 2 月, 庞巴迪的直接竞争对手——巴西航空工业公司也通过巴西政府向 WTO 提出上诉, 指出 C 系列飞机在研制和销售方面共接受了魁北克省政府 25 亿美元的投资, 违反了 WTO 关于民用飞机产业发展的相关规定。

C 系列飞机遇到的另一个外部变化是石油价格不断下跌, 使该机最大的卖点——低油耗、低成本的技术优势逐渐丧失。2008 年庞巴迪启动 C 系列飞机项目时, 油价为每桶 145 美元, 其后油价一路下跌, 徘徊在每桶 50 美元左右。低油价使 C 系列飞机的优势未能充分发挥, C 系列有些“生不逢时”。

从公司内部来看, 庞巴迪在启动 C 系列飞机项目时, 对于可能遭遇的技术挑战、所需投入的资金和未来激烈的市场竞争估计不足。当时, 庞巴迪在民机发展方面战线过长, 在 C 系列飞机研制时, 庞巴迪还有涡扇支线客机

▼ 图 | wikiwand.com



CRJ-700/900/1000、喷气公务机环球6000/7000/8000、利尔系列小型公务机、Q400 系列涡桨支线客机等众多民机型号，它们或正在生产交付，或正在进行改进改型。面对如此众多的项目，庞巴迪的技术力量明显不足。此外，C 系列飞机属于采用全新技术的项目，庞巴迪的技术储备不足，工作大量外包导致协调压力大，致使 C 系列飞机的研制进度一拖再拖。

C 系列飞机研制计划的拖期，导致研制经费远远超出预期。项目启动时，庞巴迪预计其研制费用为 34 亿美元，但实际花费超过 60 亿美元。2014～2016 年，庞巴迪连续三年出现亏损，股价下跌 90%。2016 年，为解决财务危机，魁北克政府向庞巴迪注资 10 亿美元。2017 年 2 月，加拿大联邦政府又向庞巴迪提供了 3.72 亿加元的 4 年无息贷款。2016 年，庞巴迪裁员 4500 人，负责 C 系列项目的多位高管去职，庞巴迪面临着公司破产的严峻挑战。

迫于美国商务部在波音推动下对 C 系列飞机的制裁压力，加上庞巴迪本身面临的困境，2017 年 9 月，庞巴迪再次

与空客谈判，寻求空客接手 C 系列飞机项目。这一次，庞巴迪作出了巨大的让步。

2017 年 10 月 16 日，空客与庞巴迪宣布成立 C 系列飞机合资公司。根据协议，空客以 1 加元的投资加入 C 系列飞机项目，占合资公司 50.01% 的股权，庞巴迪占 34% 的股权，加拿大魁北克政府投资公司占 16% 的股权。空客同意为 C 系列飞机提供全球采购、销售和客服支持，未来将在位于美国阿拉巴马州的空客总装厂开设 C 系列飞机生产线，以抵消美国政府施加的高额关税，强化 C 系列飞机在美国市场的竞争力。

2018 年 7 月 1 日，C 系列飞机收购协议正式生效，空客宣布将 C 系列飞机命名为 A220，原 CS100 为 A220-100，原 CS300 为 A220-300。

2019 年 6 月 1 日，空客将与庞巴迪合资的“C 系列飞机有限公司”更名为“空客加拿大有限公司”。2020 年 2 月 13 日，庞巴迪以 5.91 亿美元出售了其剩余的 31% 股份，彻底退出了该项目。至此，空客持股为 75%，魁北克投资公司持股 25%。庞巴迪 C 系列飞机彻底成为空客 A220，从而增强了空客在单通道客机市场的竞争力。

易主后，在空客的努力下，A220 的市场开拓取得了一定成效，但也遇到了来自外部和内部的激烈竞争。外部竞争对手主要是波音 737MAX7 (138～172 座) 和巴航工业的 E195E2 (120～146 座)。而内部竞争对手主要是空客 A320neo 系列，空客显然会向市场首推 A320neo。2024 年，A320neo 共交付 602 架，而 A220 只交付了 75 架。

2019 年，空客开始了 A220 加长型可行性研究。2023 年 6 月，该项目进入技术评估阶段，暂命名为 A221，拟通过加长机身长度，使 A220-300 从

130～160 座级增至 A221 的 170～180 座级，并将更换新的发动机。据称，由于 A220 项目还处于亏损状态，所以空客至今并未正式启动 A220 加长型项目。

经验和教训

回顾沈飞参与庞巴迪 C 系列飞机国际合作的漫漫征程，值得汲取的经验和教训有很多，我认为以下几点特别值得重视：

第一，加快中国民机产业发展步伐的切入点是尽快提高设计研制的技术水平。C 系列飞机选择了波音和空客飞机的空档区——110～130 座级，产品发展的空间是广阔的。沈飞有地方政府的支持和多年的民机转包生产经验，想通过参与该项目快速提升发展能力和产业规模，这无疑是应该肯定的。但在参与大量采用新技术的 C 系列飞机设计和试制之后，发现由于自身技术力量不足、经验缺乏，难以完全承担全部工作包的设计和试制工作，只得将部分工作转包出去，不仅经济上有损失，在民机研制方面的收获也打了折扣。这充分说明，我们只有在产品设计和研发方面真正实现了自立自强，才能在激烈的市场竞争中站稳脚跟。

第二，指望在民机国际合作项目中获得关键核心技术是不可能的。实践表明，通过投资成为国外民机风险合作伙伴，并不能使我们在合作中掌握关键技术，因为合作方不会轻易把设计技术传授给你，使你成为新的竞争对手。“以市场换技术”不可行，“以投资换技术”同样难以实现。

第三，世界民机市场中的垄断者一定会对后来者采取各种打压措施。当庞巴迪 C 系列飞机完成研制并开始进军美

国市场时，波音立即通过美国政府以收取高额税收的方式打压 C 系列飞机，逼迫庞巴迪最终忍痛把项目“送给”了空客，最终退出了与波音和空客的竞争。这个残酷的现实告诉我们，市场上的垄断者一定会千方百计地阻碍后来竞争者的发展步伐。

第四，参与民机国际合作项目要与中国民机市场的需求紧密结合。庞巴迪 C 系列飞机项目研制之时，中国正在全力发展国产支线客机和大型客机，国内航空工业的主要精力放在国产民机项目上。尽管庞巴迪为了让 C 系列飞机能进入中国市场，在设计研制中放手让国内企业参与，后来由于未能如愿，庞巴迪对国内企业的态度也改变了许多。

放眼未来，在大飞机事业发展征途上，中国民机产业真正强大起来的标志是拥有一支实力雄厚的技术创新人才队伍，建立起完整的供应链体系，具备了强大的协同创新能力。我认为，这就是参与庞巴迪 C 系列飞机项目研制带来的最大启示。

(全文完)



10月26日晚间，老挝航空引进的C909飞机累计安全载客量突破10万人次，标志着该机型在老挝及区域航线的商业运营迈入成熟稳定阶段。



图 | 邬大鹏