

12月新品 NEW ARRIVALS

带C919 “潮”出日常



C919卡通钥匙扣

COMAC托特包



微店 | 小程序

大飞机文创

138 大飞机 JETLINER

民机客服

- 天空之外：现代民机客服的创新路径与发展趋势
- 国产大飞机智能运维的创新之路
- 运行支持指挥中心：筑牢国产大飞机运营生命线



大飞机

JETLINER

12 December

2025.12 | 总第138期

ISSN 2095-3399



9 772095 339259



P10



P23



P29



P40



P62



P76



P82



05 卷首语

05 质量：文明的魂魄 | 陈伟宁

06 资讯

10 封面文章

10 天空之外：现代民机客服的创新路径与发展趋势 | 白云帆

15 国产大飞机智能运维的创新之路 | 吴琼

19 运行支持指挥中心：筑牢国产大飞机运营生命线
| 张甜甜

23 翱翔南洋：C909 的区域运营新范本 | 张帅

27 卖飞机就是卖服务——从“器物交付”到“价值共创”
的范式跃迁 | 陈伟宁

29 航空制造

29 波音的“瘦身战略”——数字航空业务出售事件分析
| 陈蕾 张阳帆

33 2026 年全球商用飞机生产提速步伐将放缓 | 冯鲁文

36 翼尖的博弈 | 赵云

40 航空运输

40 独立放行 C919 的背后：一座中部枢纽机场的智慧跃迁 | 欧阳亮

44 中国民航固定资产投资现状及“十五五”发展路径 | 赵巍

50 国内航空运输业的合作发展新趋势 | 柴雨丰

53 土耳其航空打造伊斯坦布尔枢纽的实践和启示 | 蒋星

58 产业观察

58 哈飞的传承与破局 | 欧阳亮 廖天航

62 这个 C909 航班满载转机旅客 从“干支”输送客流
视角找寻国产商用客机经济性的更多维度 | 张凯敏

66 超音速商业飞行再见曙光 | 隋丕宁

72 科普

72 研制宽体客机难在哪儿 | 李忠剑

76 自适应循环发动机 | 闻载

79 回眸

79 从参照设计到自主创新
——运 8 飞机持续发展的启迪（下） | 汪亚卫

82 给船装上翅膀的人 ——亨利·法布尔 | 王思磊



▼ 本期导读

现代民机的客户服务是一套综合性的支持体系，旨在确保航空公司在飞机全生命周期——从设计研发、生产制造、售前服务、交付运营，到维护维修、升级改造乃至拆解回收的全过程中，都能确保安全与高效。它涵盖从售前咨询到售后支持的全方位服务，既是保障飞机安全运行的基础，更是民机产业价值链中极具竞争力的核心环节。

波音、空客、巴航工业等头部民机制造商，历经数十年探索形成各具特色的客户服务路径，持续挖掘客户服务在降本提效、价值增值中的核心作用，为行业树立了差异化服务的实践标杆。

▼ 封面图片 | 王脊梁 摄



- 关注我们 -
FOLLOW US

本刊声明：

- 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。
- 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。
- 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 12 期 | 总第 138 期 | 12 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 蓓

记者 王脊梁 李 琰 管 超

商务总监 刘 影 021-20887168

发行主管 颜康植 021-20887121

国内发行 上海市报刊发行局

国内订阅 全国各地邮局

邮发代号 4-883

地 址 上海市浦东新区世博大道 1919 号

邮 编 200126

电 话 021-20887197

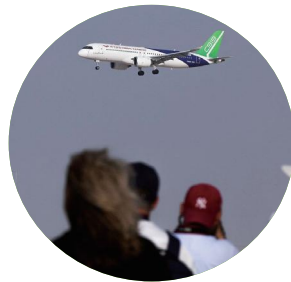
网 址 www.comac.cc

电子邮箱 dfj@comac.cc

定 价 人民币 20 元

印 刷 上海申江印刷有限公司

法律顾问 上海大邦律师事务所



质量是榫卯相合的无隙，是磐石之固的承诺，是格物致知的虔诚，是文明传承的魂魄——它构筑了文明的脊梁，决定了文明的疆界与命数。

卷首语

质量：文明的魂魄

文 | 陈伟宁

何谓“质量”？此问似简实繁。它是榫卯相合的无隙，是磐石之固的承诺，是格物致知的虔诚，是文明传承的魂魄——它构筑了文明的脊梁，决定了文明的疆界与命数。

溯源千年，质量意识如基因般镌刻于人类文明的初始密码。煌煌《考工记》有载：“审曲面势，以飭五材，以辨民器。”这不仅是器物制作的圭臬，更是对自然法则与人文精神的深刻体认。秦人“物勒工名，

以考其诚”，故有兵马俑惊世之规整。而李冰父子“深淘滩，低作堰”，倾尽才智造就都江堰，成就了“天府之国”千载的富饶传奇。质量，是器物之精，是工程之固，更是文明血脉得以绵延不绝的庄严誓约。

放眼世界文明，质量如同精灵手中的丝线，编织着帝国的兴衰。古罗马曾经凭借其无与伦比的建筑规范与工程质量，筑起条条“罗马大道”，缔造了“条条大路通罗马”的旷世辉煌。

然而当其鼎盛渐逝，对质量的敬畏亦随之崩塌，一条条倾颓的道路如同日渐断裂的帝国命脉，成为文明由盛转衰的悲怆隐喻。质量，是检验文明能否跨越时间峡谷的试金石，是抵御历史尘埃侵蚀的坚硬甲冑。

在当下这个被速度与效率主宰的时代，质量更彰显其作为文明定力的价值。我们惊叹于“天宫”巡宇、“蛟龙”探海的壮举，其背后是无数科研人员对“毫厘不失”的苛求；我们赞誉德国制造的精密耐用，其根基是深入民族骨髓的精益求精。然而，若一个社会唯“量”是图，为“速”而狂，纵能赢得一时繁花似锦，终难逃出根基松动、信任坍塌的宿命。

质量，承载着文明的重量。它要求我们在浮世喧嚣中，以灵魂雕琢时光，以极致叩问永恒，始终保持“如切如磋、如琢如磨”的专注，始终保持对职业的热爱、对生命的虔敬。当亿万心灵愿为精益求精而坚守，当普罗大众执着于细节之处的千锤百炼，中华文明定能以淬火重生的姿态，在这星辰大海的征途上，刻下属于自己的印记——那将是历史写给未来的情书，以永恒的质地诉说着我们曾经如何庄严地生活过！

01

2025 民机产业十大新闻

2 AG600 飞机获颁中国民航局型号合格证

4月20日，我国首次按照中国民航适航规章完全自主研制的AG600飞机在京获颁中国民航局型号合格证，标志着全球起飞重量最大的民用水陆两栖飞机通过了严格测试和验证，研制取得圆满成功，获得市场“准入证”。

3 波音、空客完成对势必锐的收购

12月8日，波音正式完成对势必锐(Spirit AeroSystems)的收购，交易规模达47亿美元。同日，空客同步实现了对这家全球最大独立航空结构件制造商有关空客项目供应链业务的收购。

这场历时18个月的行业整合，总价值达83亿美元(含债务承接)，不仅重塑了波音、空客的供应链体系，更标志着全球航空制造业从分散协作向垂直整合的战略转向。

4 波音 777X 认证试飞进入 TIA 第三阶段

自1月5日重启试飞以来，波音777X于5月完成了干跑道制动认证测试，8月第5架测试机成功首飞，并于12月23日获FAA批准更新飞行控制软件，解决翼尖折叠逻辑与飞控稳定性问题，为后续试飞提速。在今年的迪拜航展上，阿联酋航空增加了65架777-9订单，使其777X系列订单达到270架。

5 空客相继投产 2 条 A320 总装线，月产将攀升至 75 架

10月13日，空客在美国亚拉巴马州莫比尔的第2条A320总装线投产。10月22日，空客宣布在中国天津正式启用第二条A320系列飞机总装线。至此，空客在全球范围内建成由10条总装线组成的生产网络，其中4条位于德国汉堡、2条位于法国图卢兹、2条位于美国莫比尔、2条位于中国天津，A320产能将于2027年升至创纪录的75架/月。

7 C919 和 C909 首次亮相中东

11月17日，迪拜航展在阿联酋迪拜阿勒马克图姆国际机场拉开帷幕，C919飞机和C909公务机亮相航展现场，这是中国商飞首次参加迪拜航展。在航展现场的静态展示区，中国南方航空的C919飞机和中国商飞公司的C909公务机同台登场。此外，中国商飞公司的1架C919飞机进行了飞行表演。

展馆内，中国商飞公司展出了全谱系飞机模型，包括C909、C919和C929基本型，C909公务机、医疗机、应急救援指挥机、灭火机、货机，以及C919缩短型和加长型，以多样化产品满足全球航空市场各类需求。

01



02



6 俄罗斯国产飞机研制取得进展

4月29日，俄罗斯首架国产型 MC-21 原型机成功首飞。10月28日，第二架国产型 MC-21 客机在伊尔库茨克进行了试飞，试飞的主要任务是测试全新的俄国产飞控系统和 PD-14 型航空发动机。

9月5日，首架完全采用国产零部件的 SJ-100 超级喷气式客机在远东地区的阿穆尔河畔共青城航空制造厂成功完成首飞。这一里程碑事件标志着俄罗斯民用航空制造业实现了从设计到生产的完全自主可控。

俄罗斯工业和贸易部表示，MC-21 和 SJ-100 飞机的交付计划将于 2026 年开始。



9 C919、C909 飞机载客分别突破 300 万、3000 万人次

12月23日，交通运输部副部长李扬在国务院新闻办新闻发布会上介绍，C919 安全载客突破了 300 万人次。2025 年，C919 飞机还相继开辟了上海虹桥—香港、北京首都—香港等地区航线。

12月3日，在喀什飞往伊宁的华夏航空 G54969 航班上，C909 飞机迎来了第 3000 万名乘客，标志着 C909 飞机开启了规模化运营新征程。

10 IATA：2025 年全球航空业收入首破一万亿美元

12月10日，国际航空运输协会（IATA）发布的 2025 年全球航空业盈利预期显示，2025 年，航空业总收入预计将达到 1.007 万亿美元，同比 2024 年增长 4.4%，行业收入首次突破一万亿美元大关。行业净利润预计将达到 366 亿美元，净利润率 3.6%。2025 年客运量预计将达到 52 亿人次，同比 2024 年增长 6.7%，旅客数量首次突破 50 亿人次。

7 首架 C909 医疗机交付中国飞龙通航

9月9日，首架 C909 医疗机在郑州交付中国飞龙通用航空有限公司，标志着国产商用飞机系列化发展实现新突破。该架飞机交付后将承担紧急救援、远程医疗和重症转运等任务。C909 医疗机最大设计商载 10 吨，标准航程可达 3700 公里，具备高高原机场起降能力。舱内布局可根据不同救援需求灵活改装，能够满足医疗救援队伍出行、边远地区医疗救助、伤病员转运等多场景应用。

8 庞巴迪交付环球 8000 公务机

12月8日，庞巴迪正式交付了其旗舰公务机环球 8000，首位用户为加拿大企业家帕特里克·多维吉。环球 8000 搭载两台 GE Passport 发动机，最高巡航速度达到 0.95 马赫，是协和飞机之后最快的民用飞机。其航程最高可达 8000 海里（约 14816 公里），能够轻松执飞新加坡—洛杉矶或迪拜—休斯顿等超长直飞航线。



天空之外： 现代民机客服的创新路径与发展趋势

文 | 白云帆 编辑 | 欧阳亮

现代民机客户服务是一套综合性的支持体系，旨在确保航空公司在飞机全生命周期——从设计研发、生产制造、售前服务、交付运营，到维护维修、升级改装乃至拆解回收的全过程中，都能确保安全与高效。它涵盖从售前咨询到售后支持的全方位服务，既是保障飞机安全运行的基础，也是民机产业价值链中极具竞争力的核心环节。波音、空客、巴航工业等头部民机制造商，历经数十年探索形成了各具特色的客户服务路径，持续挖掘客户服务在降本提效、价值增值中的核心作用，为行业树立了差异化服务的实践标杆。

价值重构的时代

近年来，全球民用航空产业的竞争重心正悄然换挡，从早期的“产品性能比拼”逐步转向“全生命周期服务能力角逐”。过去，客户服务被视为飞机销售后的配套环节，如今却已成为民机制造商的核心盈利板块之一，完成了根本性的价值重构。

这种转变在很大程度上是源自民机产品技术趋同性的增强——当不同品牌机型的燃油效率、载客量等硬件参数差距不断缩小时，服务能力就成为差异化竞争的关键。与此同时，航司对“降本、提效、保安全”的需求日益迫切，而优质的客服体系正是满足这些需求的核心抓手。

当前，民机客服的价值重构主要体现在三方面：服务范畴从“售后维修”延伸至全生命周期，覆盖如售前选型咨询、售

中人员培训、售后健康管理，以至飞机客改货改装等多元化服务；服务模式从“标准化套餐”转向“定制化解决方案”，既能为低成本航司提供轻量维护方案，也能为全服务航司设计高端增值服务；服务技术从“人工被动响应”升级为“数字主动预判”，通过机载传感器采集数十万项飞行参数，依托数据分析实现故障预警，将传统的“故障后维修”转变为“故障前管控”。

在当代航空制造业的竞争版图中，客户服务已从技术保障的辅助角色跃升为决定市场地位的战略核心，其演进轨迹正沿着“全链条整合”“生态协同”“区域深耕”等路径展开深刻变革。

波音：全链条整合

波音客服的核心创新在于以“整合生态 + 技术赋能”打破传统服务边界，通过组织架构革新、数字化预判、供应链重构与定制化培训四大维度的突破，构建起兼具行业首创性与场景适配性的服务体系。其最鲜明的特色，是将自身的技术能力深度转化为航司的运营价值，让“全链条整合”不仅是业务的叠加，更是效率的倍增。

2017 年，波音率先将客服升级为独立的核心业务板块，成立了波音全球服务集团（BGS）。“Boeing Edge”作为波音品牌的延伸，实现了跨领域能力的生态化整合——将供应链、数字航空、维修、培训四大类业务板块打包为“一站式解决方案”，打破了行业“按环节分割服务”的传统。

例如，针对喀纳斯机场等复杂的地形场景，杰普逊公司定制精密导航程序，波音旗下的 Alteon 公司同步提供机组专项培训，Aviall 公司保障航材供应，形成“技术方案 + 落地服务”的完整闭环，高

▼ 图 | 余创 摄



效解决低云天气导致的航班延误问题。波音全球服务集团作为波音集团的第三个业务板块，2023 年收入达到 191 亿美元，其整合模式的行业领先性不言而喻。

随着数字化技术的持续演进，波音公司认为，21 世纪航空运输系统最重要的改进来自集成化信息智能处理的应用。为此，波音推出了 e-Enabled 战略工程，聚焦解决“集成”（Integration）与“关联”（Connectivity）两大核心问题。该战略依托无线网络、通信卫星等传输载体，基于 TCP-IP 协议与万维网技术，实现飞机实时与机场塔台、航空公司飞行管理中心、机务中心、航材库和机库之间信息共享。这一工程不仅实现了飞机与地面的实时互联、跨企业的信息高效流转，更通过整合成熟应用与智能软件，显著提升了航空公司的运营效率及飞机的可用性与可靠性。

航材供应链是波音客户服务全链条的关键领域之一。依托业内最完备的飞机备件销售与物流网络，波音的航材服务始终围绕“在恰当时间、恰当地点交付正确航材”的服务展开：不仅在全球布局航材配送中心，通过高效库存控制保障零件精准送达，还可提供高度客户化的维修航材包，并覆盖消耗件、周转件、可修件等全品类航材需求，从即时交易到长期供应链管理，全方位匹配客户运营场景。在供应链整合层面，波音进一步实现前端供应商、中端主机厂的全链路统一管理，构建“综合物料管理”（IMM）体系，为客户打造一站式 7×24 小时航材支援服务，全程以客户需求为核心，确保服务响应速度与精准度。

整体来看，波音的创新逻辑是以“全链条整合”为骨架，用数字化技术串联供应链、培训、维修等各个场景，将客服打造成兼具盈利性与客户黏性的核心竞争力。

空客：生态协同

空客的客服战略选择了与波音截然不同的路径——以“生态协同”为核心差异化优势，跳出主制造商“重资产自建”的传统模式，通过“Airbus+By Airbus”品牌体系整合自有核心能力与全球伙伴资源。其创新逻辑在于以“标准输出”替代“全链自建”，以“伙伴协作”覆盖“全场景需求”，既降低自身运营成本，又能精准响应不同航司的区域化、场景化诉求。

空客的协同方式具象为“四大方案包 + 分层伙伴网络”的架构：在维修工程、飞行运营、培训、集成化信息技术四大服务模块中，高附加值的核心环节由空客自主掌控——如 AIRTAC 快响中心 24 小时提供工程支援，Skywise 平台帮助航空公司预测维护需求、优化飞行运营并提升效率，AirStart 提供战略咨询；而维修执行、航材分销、培训等部分环节，则通过全球伙伴网络实现高效覆盖。例如，空客将 MRO 维修交给 17 家全球认证企业，通过提供维修手册、技术培训与质量监督，确保服务标准统一；航材服务由全资子公司 Satair 主导，其全球 10 大航材中心存储超 12 万种零件，配合“客户化航材物流（CSL）”实现 AOG 响应；培训则联合 CAE 共建 16 个全球培训中心，针对区域需求定制课程，并使其在全球培训领域占据资源丰富、设备先进、高效等优势。

在定制化服务层面，空客围绕航司类型差异与运营场景需求，设计高度适配的差异化方案，精准解决不同客户的核心运营痛点。针对低价值航材，空客推出了“空客管理库存（AMI）”自动补货系统，通过高效的航材补充，降低了航材成本；针对高价值、可修理部件，则提供“飞行小时服务（FHS Component）”。空客根据客户的业务规模、航线布局等需求匹

配最优服务方案，既保障先进的修理技术与航材高可用性，还同步提供库存优化、供应链降本等专业建议。

在空客的协同体系中，数字化工具是维系各方高效协作的关键纽带。作为空客专为航空场景打造的数字平台，Skywise 整合航空全链条数据（如飞行参数、维修记录、运营数据）与各类应用模块，将数据深度融入工程研发、维护执行、运营管理全流程的决策核心——通过标准化数据建模打破企业间信息壁垒，支持跨主体数据交互，最终构建起高效利用航空数据的生态系统。

空客在智能运维领域亦持续深耕：研发“蜻蜓”（DragonFly）人工智能飞行员辅助技术，以提升复杂场景下的飞行安全性；推出三维虚拟数字化机务培训工具，有效降低实操学习成本；将数字化能力延伸至服务全场景，进一步强化伙伴间协同的深度与广度。

总体而言，空客的服务创新逻辑以核心能力自持与全球伙伴协作相结合的服务模式为依托，以标准化输出筑牢服务底线，以定制化方案响应多元需求。凭借轻资产、高适配的特色，空客得以在干线市场与波音分庭抗礼。

巴航工业：贴合区域需求

在干线民机市场被波音、空客双寡头主导的格局下，巴航工业将支线市场作为差异化竞争的核心赛道。以东南亚区域为例，这里低成本航空蓬勃发展，小众目的地航线需求旺盛，却面临短跑道、湿热气候等特殊运营环境，传统干线机型难以适配。巴航工业通过精准的产品定位、本地化服务网络和多元化合作策略，逐步构建起贴合区域需求的服务体系。

巴航工业以 E 系列飞机的高适应性



▲ 图 | 来源：www.airbus.com

切入东南亚市场，扩大其在亚太的运营规模。在此基础上，搭建分层本地化维修网络：2010 年，巴航工业在新加坡设立区域分销中心（RDC），以此作为亚太地区的服务中心，24 小时提供航材存储、物流与维修支持。2024 年，进一步授权菲律宾的新航工程公司（SIAEP）成为亚太首个 E2 系列飞机授权服务中心，该中心凭借 E1 系列飞机服务的技术积累，确保 E2 系列飞机维护的顺利过渡。

巴航工业的培训服务同样紧密结合区域实际需求。2007 年，巴航工业在新加坡樟宜机场附近设立机组人员培训中心，配备地面航训设施、飞行模拟装置与虚拟实验室，年均可培训 300 名飞行员，解决区域内专业人才短缺的问题。2024 年，其与 CAE 合作启用亚太首台 E-Jet E2 全动飞行模拟机，采用基于胜任能力的培训和评估课程，结合互动式教学与沉浸式实践训练，大幅提升培训效率与实操适配性。

巴航工业通过在东南亚开展多项合作，包括政府合作、技术研发等，推动技术转让与人才培养，以增强长期市场渗透。这种“产品—服务—合作”的组合策略，让巴航工业在东南亚支线市场站稳了

脚跟，也为支线民机客服提供了“区域深耕”的参考路径。

发展的核心趋势

从波音、空客、巴航工业的实践来看，现代民机客服正呈现三大核心发展趋势，这些趋势均源于对航司“降本、提效、保安全”核心诉求的深度响应，未来将进一步重塑产业价值链。

数字化正迈向“数据驱动”新阶段。不再局限于替代人工操作，而是通过海量数据挖掘释放更大价值：波音 AHM 系统不仅能预判故障，还通过分析 1.2 万架机队数据，将 737 系列易损部件寿命延长。工具迭代也更趋场景化：波音维修性能工具箱（MPT）从三维手册升级为“维修场景模拟”，维修人员可虚拟演练复杂部件拆装；电子飞行包（EFB）则整合航班计划、气象数据等信息，可实时优化飞行参数与航线，进一步降低燃油消耗。

服务模式从“标准化”转向“模块化定制”。针对不同类型航司的需求差异，制造商设计差异化方案：低成本航司适配轻量方案，空客“轻量维护包”帮助东南

亚廉航降低客服成本。全服务航司可叠加增值服务，波音“Gold Care Premium”为汉莎航空 787 提供专属工程师驻场服务，减少非计划停场。空客专为货运机型开发了货舱系统健康管理模块，实时监控货物装载对机身结构的影响。

协作范围从“单一链条”拓展至“跨界生态”，主制造商逐渐发展成为资源整合的核心。在供应链层面，制造商与合作伙伴深度绑定——波音通过收购航材分销、维修企业，实现“航材—数据—维修”垂直整合，订单准确率显著提高。此外，主制造商联合其他行业企业拓展服务场景：空客与物流商共建区域航材通道，将航材交付时间大幅度缩短，并且成立专门的组织机构，为第三方 MRO 提供综合服务，为高度专业化的 MRO 市场提供创新的解决方案。这种“核心自主+生态开放”模式正形成覆盖设计、制造、运营的全域服务生态，推动行业从硬件竞争向全生命周期价值竞争跃迁。

从“以产品为中心”到“以客户为中心”的转变，通过数据驱动、模块化定制、跨界协作等手段实现“制造商—航司—伙伴”多方共赢。客户服务作为民机产业的核心价值增长引擎，持续推动行业从“硬件竞争”向“全生命周期价值竞争”演变，为全球航空业的高效、安全发展提供坚实支撑。

波音、空客等国际民机制造商的客服实践为国产民机客服体系建设提供了有益的参考和借鉴。未来，我国民机制造商需有效融合全球标杆企业的创新逻辑与国内产业优势，推动国产民机客服从“基础保障”向“价值创造”跨越，实现主制造商与客户的价值双赢，为 C919 和 C909 机型的商业成功提供有效支撑。

国产大飞机智能运维的创新之路

文 | 吴琼 编辑 | 欧阳亮

当下，人工智能与数字技术等新技术正刮着“数字旋风”，“科技创新是引领发展的第一动力”指引着行业前行。中国商飞客服公司科技创新团队（以下简称“创新团队”）紧跟技术革命步伐，不断探索前行，以“数智预研、数智转型、数智服务、数智创新”四数联动，持续提升大飞机智能运维领域科技创新水平，以数智赋能大飞机规模化产业化发展。

图 | 王脊梁 摄

图 | 亚太首台 E-Jet E2 全动飞行模拟机 来源：www.edb.gov.sg



数智预研：筑牢技术根基

创新团队立足行业发展趋势与规模化运营需求，以大飞机智能运维创新实验室为核心载体，构建起覆盖前沿技术研究、核心能力培育、产业生态协同的科研布局，为智能运维事业奠定稳固基石。

多向发力，织就全方位智能运维技术创新矩阵。围绕智能运维核心需求，实验室明确重点研究方向，织就一张全方位的技术创新矩阵。在机载与地面智能协同领域，通过优化空地数据传输、强化网络安全、拓展物联网应用，让飞机状态实时监控与维修决策高效联动，如同为飞机配置了“远程监控监护仪”；在运维大数据方面，打造从数据采集、分析到可视化的全流程体系，让海量数据转化为清晰可用的决策依据；故障预测与健康管理技术通过逻辑推理与数据融合建模，能提前预警故障风险、精准定位问题根源，为安全飞行保驾护航；机器人自主检测与辅助维修是重点攻关领域，针对民机检修场景开发专用机器人产品，攻克了复杂环境下的感知和控制难题，可灵活完成绕机检查、部件拆装等关键环节，成为维修人员的得力帮手。此外，运维智能终端、运行虚拟仿真等技术的探索，进一步完善了智能运维技术体系。

协同聚力，构建开放创新生态。创

创新从来不是孤军奋战，创新团队坚持“政产学研用”深度融合的创新模式，整合高校、科研机构、航司、机场等多方力量，搭建联合创新桥梁。

新从来不是孤军奋战，创新团队坚持“政产学研用”深度融合的创新模式，整合高校、科研机构、航司、机场等多方力量，搭建联合创新桥梁。与北航、民航科院等共建研发平台，与新疆机场集团、南航等开展联合攻关，实现技术需求与产业应用的精准对接。另外，创新团队注重人才培养，为创新发展提供源源不断的人力支撑。

数智转型：让服务更高效

为了给客户提供更优质的服务，创新团队坚持“航线问题的处置高于一切”的理念，以航线问题从发现到解决的价值流为主线，开展业务建模分析，利用系统思维和产品思维勾勒数智化蓝图，全面推进运营支持保障业务数智化转型。

重塑流程，破解运行支持堵点难点。创新团队对运行支持、维修、航材、培训等核心业务进行全流程梳理，精准定位服务中的痛点与难点，着力打造端到端的在线服务能力。以运行支持“全科急诊室”为试点，自主研发运营平台，打通了外场信息报送、运行问题管控等各环节数据流，实现敏捷响应和高效处理。平台上线后，共开通用户 2000 多人，访问量突破 30 万人次，大大提高了运行支持效率。

平台推出的外场信息数字化报送移动端功能，让现场代表可随时随地完成信息报告单、紧急事件、停机信息等数据报送，结合专业数据库支撑，既减少了人工操作误差，又让航线故障信息高效传递，为航线问题的快速处置提供有力支撑。

数字驾驶舱赋能，实现全局智慧管控。依托运行支持移动端和运行支持指挥大屏为载体，创新团队打造运行支持数字驾驶舱，集监控、数据、指挥等功能于一体，构建起数字化运维新模式。运行支持数字驾驶舱实时呈现 100 多个核心指标，

为运行支持决策提供精准、及时的数据支撑，使数据查询效率提升 90%，应急事件处理效率提升 25%，每年可降低航司 AOG 停机损失 200 万元以上。

针对主要机型，数字驾驶舱不断优化升级，实现全机队运行数据的实时采集、处理与动态监控。通过对全球航线数据的可视化分析，能够提前识别航班延误风险与部件故障趋势，提前制定科学应对方案，有效提升飞机利用效率。

数据中台筑基，激活数据价值潜能。数据是数智化转型的核心资产，运行支持数据中台建设与业务转型同步推进，通过整合飞行品质分析、实时监控与故障诊断、航材支援管理等关键系统，构建起“数据入库—治理—服务—应用”的完整价值链路。数据平台实现了数据全流程覆盖，形成了包含故障信息、航班计划、航材库存、培训数据等多维度数据资产库，让数据真正成为可用、好用的宝贵资源。

通过精准追踪航线运营表现与收入变化趋势，为航司优化航线布局、调整运营策略提供精准数据参考，助力航司降低运营成本、提升效益，实现双方共赢发展。

数智服务：打造“中枢神经”

为聚焦客户核心需求，整合产业链各方资源，创新团队打造了基于工业互联网的 FLYWIN 平台及其移动端 APP，并持续优化使用体验，用贴心服务连接每一位客户。

平台推进局方、航空公司、航材分销商等相关方业务互联互通，为所有参与者搭建起一站式家园，实现信息流、数据流、物流、资金流的多流合一。这一基于“开放、共享、共赢”理念打造的一体化、一站式数字服务平台，如同国产民机服务领域的“中枢神经”，推动航空服务从“单



▲ 图 | FLYWIN 平台

点服务”向“生态协同”转型，为国产大飞机商业运营筑牢全流程支撑。

功能持续完善，打造全方位服务载体。FLYWIN 平台目前已上线 20 余个功能模块，覆盖维修工程、航材供应链、飞行运行、安全管理、飞机健康监控等核心场景，用户规模已突破 1 万人，覆盖 150 余家机构，年访问量超过 80 万人次。

互联接口打破壁垒，打通数字化协同的“最后一公里”。FLYWIN 平台的重要组成部分——EX 互联平台，专注打通客户与制造商之间的系统壁垒，目前已完成与成都航、天骄航、中航材、商飞快线系统的互通，并与东航共同策划行业数据互联交换标准，填补主制造商与航空公司核心业务流程贯通的空白。这一平台有效解决了客户需在多系统间重复录入信息的困扰，实现数据一次录入、跨系统顺畅流转，既减少重复录入，又加快问题处置速度，打通了数字化协同的“最后一公里”，让产业协同更加高效。

以航材供应为例，航材的及时供应就像飞机的“血液补给”，容不得半点耽搁。此前，航材管理需多方协同，采购人

运行支持指挥中心： 筑牢国产大飞机运营生命线

文 | 张甜甜 编辑 | 欧阳亮



员需电话确认库存、邮件推进申请并跟踪物流，多轮衔接耗时费力，而 FLYWIN 航材模块像是线上“贴心调度员”，仓库里的每一件航材都有迹可循，库存、位置、检验记录等信息一目了然，大幅降低人工成本。

在采购与送修环节，平台与商飞内部系统深度融合，实现交易与管理数据一体化，同时整合供应商资源，提供一站式服务。例如，成都航空可以通过平台接口实现航材“一键寻源、询价”与订单“一键推送”。成都航空的 SAP 系统与 FLYWIN 平台实时联动，航材采购周期从原来的 72 小时缩短至 24 小时。未来，平台将进一步贯通全流程，真正实现“让数据多跑路，让大家少跑腿”，省心又省力。

数智创新：培育产业新高地

在数智创新的道路上，创新团队持续发力，通过优化创新机制、培育自主技术能力、深化开放合作，在大飞机智能运维领域取得了丰硕成果。

全链条创新平台，加速成果转化落地。如果说当下的创新是“扎根生长”，那么未来的探索便是“开枝散叶”。创新不能只停留在技术突破的“单点闪光”，更要形成“成果变现”的良性循环。创新团队搭建贯通“创新概念—场景开发—落地应用—成果转化”的全链条智能运维创

新平台，让好想法快速转化为实用成果。截至目前，已累计落地应用创新场景 60 余项，有效解决大飞机运维中的痛点和难点问题。

攻坚核心技术，夯实自主创新底气。创新团队深耕人工智能、大数据、云计算、虚拟现实等新一代信息技术领域，结合大飞机智能运维实际需求，开发出智能运维大模型、智能绕机检查、健康管理预测模型等一批标志性成果，用自主技术提升运维效率，为大飞机智能运维筑牢技术根基。

深化产业链协同，共筑开放创新生态。秉承“开放共享、合作共赢”的理念，积极联合航空公司、机场集团、高校科研机构等产业链上下游单位，打造紧密相连的科技创新“朋友圈”。这不仅加速了创新技术的场景落地，也促进了行业标准共建。未来，创新团队将继续拓展合作边界，推动数智创新成果在大飞机运维领域的深度应用，为航空强国建设贡献力量。

从打破壁垒到智能升级，从战略布局到未来探索，中国商飞客服公司的创新之路始终围绕“以客户为中心，为客户创造价值”，让科技创新构建起全维度、全链条、全生态的智能化服务体系。未来，随着数智技术的持续迭代与创新实践的不断深化，国产大飞机将在智能运维中持续书写新篇章，以更安全、高效、协同的服务能力，为国产民机高质量发展注入不竭动力。

当 C919 飞机平稳掠过“北京—上海”干线云端，当 C909 支线客机在新疆高原机场精准降落，当印尼翎亚航空顺利开通跨境航线……国产飞机的每一次安全起降，背后都离不开中国商飞客服体系的硬核支撑与默默守护。

从 2020 年运行支持指挥中心悄然起步，到如今构建起覆盖“客户培训、维修支援、航材保障、现场支援”的全链条服务网络，中国商飞客服团队坚持“以客户为中心”“航线问题的处置高于一切”，用专业、高效、温暖的服务，为国产飞机安全顺畅运营提供坚实保障。

▼ 图 | 余创 摄



从“人盯机”到“全科急诊室”

“2016 年首架 C909 飞机投入运营后，中国商飞组建了 70 余人的团队驻扎在成都运营现场，以‘人盯机’的模式保障运营。”回忆起成都航空 C909 飞机示范运营初期的场景，时任成都航空运行支持团队副队长的谢小东仍记忆犹新。团队秉持大飞机创业精神，圆满完成初期保障任务，但彼时保障依赖大量人力投入，成本高，标准化流程与系统化体系不完善，资源调配、故障处置多凭经验。

随着 2019 年底 C909 交付量突破 20 架，国产飞机迈入小批量运营阶段，传统服务模式渐显乏力。高高原、湿热、沿海等多样化运营环境（如华南雨季高湿度、西部冻雾天气）对航线运行构成挑战。与此同时，客户格局的多元化也让服务需求更趋多样——干线航司关注经济性，支线航司聚焦适配性。为此，中国商飞客服公司提出“不等故障发生、推动服务前移”的工作思路，为破局发展明确了方向。

2020 年，中国商飞运行支持指挥中

心应运而生。该中心聚焦多型号、多客户、多区域服务需求，整合运营支持、航材保障、数字化平台等核心服务功能，成为公司面向客户的一站式服务窗口。作为国产大飞机安全经济运行的核心保障平台，运行支持指挥中心凭借专业、全面的服务能力与快速响应的工作效能，被形象地喻为“全科急诊室”，其核心举措包括：着力打造懂技术、善协同、能攻坚的“全科大夫”型队伍，构建“全专业覆盖、全要素保障”的高效联动服务体系，为客户提供 7×24 小时无缝衔接的快速响应服务。

这个被定义为“国产大飞机运行支持中枢”的平台，一方面打通内部端口，搭建覆盖 19 个专业的组织架构，充分发挥总指挥长权威及调度职能，构建“前台现场支援 + 中台专业处置 + 后台技术支撑 + 总指挥长责任制”的四级架构，实现全链条一键调度。另一方面，梳理完善与民航局、客户、供应商的业务接口及信息交互机制，既筑牢内部服务能力根基，又打通外部协同沟通壁垒，形成“内外联动、全域保障”的服务格局。

这一体系重塑，不仅是运行支持体系资源整合的物理升级，更是国产飞机客户服务理念的深度革新。团队明确“五个目标”：提高航线问题自主处置率、实现总指挥长全链条资源一键调度、推动服务流程标准化专业化、快速处置各类航线问题、以客服数据反哺产品升级，以目标为牵引，为后续服务效能持续提升筑牢坚实基础。

从被动响应到四级闭环

走进中国商飞运行支持指挥大厅，80 平方米的 LED 大屏上，实时跳动着全国乃至海外的 C909、C919 机队状态。大屏前，总指挥长正与中台工程师讨论新疆机队的保障方案，前台现场代表通过视频连线向

总值班长汇报东航 C919 的航后检查情况，后台研发团队则在远程同步优化维修手册。这一幕，正是运行支持指挥中心四级架构协同运转的日常场景。

为更好倾听客户声音、捕获客户需求，中国商飞构建起辐射国内外的“指挥中心—区域办公室—现场代表室”三级现场支援网络。

现场代表作为运行支持体系的前沿与核心枢纽，是连接公司与客户的“第一触角”。他们依托“主动收集客户问题”机制，常态化提供三大核心服务：现场故障支援、机队运营数据采集、客户需求沟通协调。为让服务更高效，团队还持续优化“航线故障精准分发、客户请求闭环处置、航线问题科学评估”的全链条机制，确保航司需求“不遗漏、快响应、真解决”。

东航作为 C919 全球首家客户，切实感受到前台服务的暖意。2022 年，中国商飞组建了一支 20 余人的驻场团队，涵盖手册、维修、飞行、航材等专业，提前半年入驻东航一线联合办公，提供全流程技术支持。团队负责人在 2024 年 5 月 28 日 C919 商业首航一周年时表示，团队以“专心、专业、专注、创新”服务客户，让飞机好飞、客户爱飞、乘客爱坐……彼时，其核心团队已驻扎东航现场 537 天。

在印尼翎亚航空接收首架 C909 前，东南亚办事处提前 6 个月奔赴雅加达驻场支援。团队不仅协助客户完成补充运行合格审定文件准备，还全程陪同参与印尼民航局文审，更克服当地气候与场地限制，完成包含 48 个航段、74 个模拟非正常场景的高强度验证飞行。“我完成最后一项适航审定科目走下飞机时，印尼民航局的监察员特意为我送上鲜花。”客服公司党委委员、副总经理吴国芳回忆道，“对方直言商飞团队是一支国际化、专业化的队伍，为商飞的现场代表团队点赞。”

派驻国航的现场代表梁振，全程参与国航首架 C919 从交付到首航的全流程保障。“从 2024 年 8 月 28 日飞机交付到 9 月 10 日商业首航，我们驻场统筹协调，梳理适航审定与首航筹备的每一个环节，最终仅用 14 天就顺利投入运营！”这一速度不仅刷新了新机型投运纪录，更以现场代表的高效协同与专业支撑，让前台服务的速度具象化落地。

目前，中国商飞已在北京、成都、广州、雅加达、万象等客户运营现场设立了 17 个现场代表室。46 名驻场代表覆盖国内 20 个核心运营基地及海外 3 个重点市场，架起了主制造商和客户之间的“连心桥”。他们以主动服务和高效协同，把保障送到航司“家门口”。

如果说前台是“触角”，中台就是“大脑”——聚焦专业处置，统筹技术资源，快速响应需求，确保问题“接得住、分得清”。312 名专业工程师组成的中台团队，覆盖维修、飞行、航材、手册等全领域，实行 7×24 小时值班制，以“早晚例会制度”为核心，每日统筹故障处置，快速响应客户需求。

面对不同类型的航线问题，中台团队依照航线信息分类报送原则，促进研发中心、制造中心立行立改；不断完善客户请求处置流程，提升客户满意度；对航线运行问题制定五星管控机制，建立 C909、C919 飞机航线运行问题清单，拉条挂账，逐项解决，让客户的一项需求都有回应、每一个关注都有跟进，也让“问题收集—评估分级—协同处置—效果验证—总结归档”的闭环全面落地。

研发中心、制造中心及核心供应商组成的后台团队，是提升国产飞机客户服务的坚实后盾，凭借集体智慧破解多项运营痛点，让技术改进精准匹配一线需求。后台团队建立紧急 AOG 联席会议机制，协调

▼ 图 | 许哲豪 摄



解决航线飞机 AOG 事件，并使其快速恢复相关工作；建立运行支持四级会议例会机制，推动航线问题在中国商飞内部逐级上升，促进相关问题的彻底解决。

针对 C919 飞机“提升客舱空调制冷效率”的反馈，后台制造与研发团队先通过前台收集 10 余家航司的航线运营数据（涵盖华南湿热、华北干热环境），在实验室模拟 40℃ 高温环境开展多次调试，最终优化空调风道设计与制冷功率分配，使客舱降温速度提升 40%，客户反馈效果良好。后台的技术支撑，让“解决一个问题、避免一类问题”成为可能。

“飞机不停场、问题不过夜”是总指挥长的工作准则。作为四级架构的“核心大脑”，总指挥长坚持“例会就是战场，问题就是战斗对象”，主动捕获客户需求，第一时间落实解决方案；强化体系协同作战，统筹调度全链条资源，确保“问题在哪，资源就到哪”。“调度不是‘大水漫灌’，而是精准匹配需求，既不让资源浪费，也不让问题拖延。”总指挥长表示。

同时，运行支持团队聚焦数智化转型，与大飞机智能运维创新中心深度合作，引入运行支持业务运营平台，建设运行支持数字驾驶舱，推进飞机实时监控与健康管理技术研发，全面提升数智化服务水平。

日拱一卒，功不唐捐。截至 2025 年

11 月 28 日，中国商飞已累计交付两型飞机共 200 架，C909 飞机安全载客接近 3000 万人次。机队运营指标稳步提升，可利用率接近主流竞争机型水平。海外市场突破成效显著，为印尼、老挝、越南的 9 架 C909 飞机提供常态化保障。

这些亮眼成绩的背后，离不开运行支持指挥中心的核心竞争力——以“前中后台联动”为核心的系统设计。前台直面客户需求、中台统筹专业处置、后台提供技术支撑、总指挥长把控全局，四者环环相扣、协同发力，将专业势能与服务资源转化为可感知、可检验的运营保障实效。

新征程、新起点

站在大飞机事业规模化系列化发展的新起点，运行支持指挥中心既锚定当下保障需求，更着眼未来运营格局，将持续构建更高效的运行支持体系，强化数据赋能、深化数字化转型，推进现场代表区域化管理，前瞻性研究新场景运行支持，全力护航国产大飞机安全、顺畅、经济运营。

从首飞到首航，从首架到百架，从国内到国际，从怀疑到信任，中国商飞深知，这不仅是一份成绩单，也是向着全球一流客户服务能力迈进的新起点。从 2020 年运行支持指挥中心蹒跚起步，到如今全链条、高质量客服体系的初步成型，中国商飞以五年深耕实干，实现了国产大飞机客服能力的阶段性成效。这不仅是技术与流程的迭代创新，更是“以客户为中心”理念的深度践行——每一次故障处置，都关乎航司的信任；每一项服务优化，都连着旅客的出行；每一次体系升级，都朝着航空强国的目标迈进。未来，随着国产大飞机在世界蓝天不断拓展航程，中国商飞将继续以更实举措、更硬作风和更强合力，用更高质量的客户服务为客户创造更大的价值。

▼ 图 | 张竞霄 摄



封面文章



▲ 图 | 李奇霖 摄

翱翔南洋： C909 的区域运营新范本

文 | 张帅

编辑 | 欧阳亮

“大鹏一日同风起，扶摇直上九万里。”六百余年前，郑和率庞大船队扬帆西向，以和平之帆搭建起中外交流的海上通途。如今，中国商飞 C909 客机以钢铁之翼划破苍穹，在东南亚的天空展翅翱翔。

从印尼千岛之间到越南海岛机场，从老挝热带季风到马来群岛碧穹之上，C909 以“立足客户、对标一流、适配国情、前瞻创新”的服务理念，成为东南亚支线航空市场的参与者。在“一带一路”倡议与东盟国家发展战略深度对接的进程中，C909 为区域航空发展注入新动能，让海上丝绸之路的和平发展基因在新时代航空领域焕发出蓬勃生机。

叩开全球市场的试金石

东盟作为世界第五大经济体，2025 年人口达 6.85 亿，其中 35 岁以下人群占比超 50%。旺盛的人口红利催生出强劲的航空出行需求，也推动区域经济活力持续释放。然而，东南亚支线航空市场长期受适配困扰：空客 A320、波音 737 等主流机型无法起降于短窄跑道，传统支线飞机又受限於航程，难以满足“点对点”的出行需求。这一市场环境，不仅是商业机遇，更是中国以航空制造助力“一带一路”互联互通的切口。

选择东南亚，是地理、文化与经贸需求的三重契合。从地理维度看，东南亚与中国山水相连，地缘优势让航线规划更加灵活，物流与技术支持响应速度大幅提升；从文化维度而言，印尼、马来西亚等国华裔群体众多，中华文化底蕴为双方合作搭建天然桥梁，文化认同感成为信任基石；从经贸维度来讲，2024 年中国与东盟全年贸易额达 6.99 万亿元人民币。其中，越南、马来西亚、印尼为主要经贸伙

伴国，友好经贸关系为国产客机出海提供了肥沃土壤。

在此背景下，东南亚成为 C909 飞机叩开全球市场的试金石。中国商飞制定“梯度开拓”战略：以印尼为突破口，向老挝、越南逐步延伸，构建覆盖东南亚的运营网络，与东盟“开放天空协议”深化区域航权自由、促进航空一体化的目标同频共振。自 2022 年 12 月首架飞机交付印尼以来，C909 三年时间进入三个国家，航迹从雅加达到万象，从美娜多到上海；服务场景涵盖定期航班、包机服务、客货运输、政要专机等，在实践中不断探索新的可能。

创下多项飞机运营纪录

作为东盟核心国家、世界第四人口大国，印尼拥有 1.7 万余个岛屿，航空运输是连接各岛屿最有效的交通方式。印尼国内的机场数量达 250 多个，是东南亚最大的民航市场，自然成为 C909 海外征程的首站。

翎亚航空作为 C909 首家海外用户，

见证了国产客机在印尼运营的每一步。2022 年 12 月 18 日，C909 交付翎亚航空，标志着国产飞机首次进入海外市场。随后，翎亚航空连续开通两条印尼往返马来西亚的热门航线，半年内再引进第二架 C909，充分体现市场认可。

在跨境航线拓展上，C909 不断刷新航程纪录：2024 年 10 月 29 日，翎亚航空美娜多 - 广州航线首航成功，这条全程 2700 公里、空地时间约 4 小时的航线，成为 C909 执飞的最长跨洋不经停航线，不仅验证了其在长航线运行中的可靠性与经济性，更展现了国产客机在海外复杂运营环境下的适应能力，为拓展东南亚市场奠定了坚实基础。

针对印尼市场需求，C909 推行“两人制飞行 / 乘务机组”模式，通过优化运行程序，强化 SOP、CRM 训练，提升机组协同能力，在保障安全的前提下精简配置，降低人力成本。在雅加达苏加诺 - 哈达国际机场推行单发滑行程序，显著降低了地面运行油耗，缩短过站时间，减少刹车损耗。

此后，C909 持续突破：2025 年 3 月 31 日，翎亚航空创下 C909 单机 15.88 小时（空地）的最高日利用率新纪录。2025 年 5 月 7 日开通的美娜多 - 上海航线，航程超过 3300 公里，创下新的航程纪录。2025 年国庆期间，美娜多 - 深圳航线正式开通，成为继广州、上海之后，又一条连接印尼与中国一线城市门户枢纽的航线，为东南亚与中国东部地区的经贸、人文交流搭建起更便捷的空中通道。

让每个细节都经得起考验

在印尼市场突破后，中国商飞将目光投向老挝。2025 年 3 月 31 日，C909 交付老挝航空，开启中老航空合作新篇



▲ 图 | 邬大鹏 摄

章。同年 9 月初，老挝航空接收第二架 C909，次日即开通万象 - 曼谷国际航线。

为确保 C909 交付与运营顺利，中国商飞维修团队提前数月启动专项保障：8 名骨干工程师驻守万象，针对老挝热带季风气候特点优化飞机防腐方案，保障飞机在高温高湿环境下稳定运行；完成航材工具保障体系对接，建立“常用部件前置储备 + 紧急部件 48 小时调配”机制，确保航材供应“不掉链”；开展本土化维修培训，助力老挝航空逐步构建自主维修能力。2025 年 10 月 1 日，中老两国团队通力协作，顺利完成 C909 交付后的首次 A 检工作，实现“不停场”检修需求，最大限度提升飞机利用率。

老挝沙湾拿吉机场 1633 米的短窄跑道，是目前 C909 机队运行涉及的最短跑道。对此，C909 通过针对性机组训练与精细化性能计算保障安全，签派可靠度和可用率可达到 100%。“我们要让每一个细节都经得起考验，这是我们对安全的极致追求和对客户的承诺。”团队负责人的话，诠释了商飞团队的责任与担当。

▼ 图 | 来源：www.jetphotos.com



卖飞机就是卖服务

——从“器物交付”到“价值共创”的范式跃迁

文 | 陈伟宁

编辑 | 欧阳亮

“卖飞机就是卖服务”，这是曾任空客公司销售总监的雷义（John Leahy）经常挂在嘴边的一句话。雷义入职空客 32 年，担任销售总监 23 年，共卖出 1.6 万架飞机，平均每天卖出 2 架，被称为“史上最牛推销员”。因杰出业绩和巨大贡献，《华尔街日报》在报道雷义的一篇文章中称其为“The Living Legend”——活着的传奇。

“卖飞机就是卖服务”，此语初闻似悖于直觉，挑战着人们对制造业的传统想象——那关乎精钢巨翼、精密仪表的有形交付。然而，当这一理念从商界箴言蜕变为现代高端制造业的灵魂信条时，其揭示的绝非单纯商业策略的调整，而是一场深刻的价值哲学革命：有形产品仅仅是价值的“锚点”，无形的服务体验与持续赋能方是价值生长、产业升华的真正羽翼。

▼ 图 | 徐炳南 摄



一定要让航司轻装上阵

越南作为东盟经济增长的领跑者，2024 年 GDP 达 4734 亿美元，外资流入创 5 年新高，电子制造与新能源产业快速发展带动航空出行需求激增，年运输旅客超过 1 亿人次。针对越捷航空的机队构成和航线特点，中国商飞创新合作模式，积极开拓越南航空市场。

2025 年 4 月，越捷航空 C909 实现商业首航，两架 C909 投入河内—昆仑岛—胡志明市航线运营。昆仑国际机场作为典型的海岛小型机场，运营环境极具挑战性：短窄跑道、高湿度海洋环境、基础设施薄弱，无法提供加油服务与气源车。

对此，中国商飞优化维护方案，2025 年 5 月成功解除 C909 湿跑道限制，使航班准点率提升 26%。越捷航空评价：“C909 的服务模式让我们能够‘轻装上阵’，其可靠性与效率完全超出预期。”这一合作呼应了越南“两廊一圈”战略中“完善交通网络、提升区域联通”的目标。截至 2025 年 10 月 14 日，C909 的签派可靠度达到 99.92%，高于机队平均水平，航班准点率达到 90.5%，位居越南前列。

从交通工具到文化载体

东南亚地区多元文化交织，华人社群广泛分布。中国商飞以“尊重、适配、共鸣”为核心，将文化融合贯穿于产品设计与合作沟通全流程，让 C909 从交通工具升级为文化交流的载体。

以中国商飞工业设计所为印尼翎亚航空 C909 飞机量身定制的客舱方案为例，客舱壁板上，上海外滩的现代天际线与巴厘岛乌布皇宫的传统建筑剪影遥相呼应，既展现中国的现代化活力，又嵌入印尼的文化记忆。针对当地华人旅客需求，客舱

广播新增中文服务，登机指引与飞行安全提示实现双语覆盖，消除语言沟通壁垒。这种沉浸式文化体验，让 C909 超越交通工具的属性，成为增进两国民众情感联结的纽带。

针对客户运行条件和区域市场特点，C909 提供“国内+国际”“定期+包机”“客运+货运”等多元服务模式：印尼翎亚航空将其用于青山集团包机运行，并开通美娜多至中国多地热门航线；老挝航空采取客货互补的运行模式，及时开通万象—曼谷国际航线；越南越捷航空则用其执飞国内核心城市与热门旅游城市之间的航线。从定期航班到企业包机、旅游包机、政要专机，C909 以灵活多元的运输服务，满足多样化的运输需求。

聚焦东南亚海岛国家医疗资源分布不均、偏远地区民众“就医难”的问题，中国商飞历经一年研发，实现 C909 商业航班搭载医疗担架的功能升级。通过客舱座椅快速拆卸、医疗设备固定装置加装、生命支持系统接口预留等改造，C909 可在很短的时间内切换至医疗转运模式。这一创新不仅拓展了应用边界，也切实缓解了印尼、马来西亚等国偏远岛屿民众的紧急就医困难，让 C909 在交通价值之外，进一步承载了民生保障的社会价值。

从郑和下西洋的木质风帆到 C909 的钢铁羽翼，中国联通世界的载体在变，但“互联互通、互利共赢”的初心始终未变。如今的 C909，承载的不仅是乘客与货物的跨洋往来，更是中国民机走出去的生动缩影。相信在不远的将来，C909 的航迹将延伸至更多国家，为全球旅客架起更加便捷的空中之路，助力互联互通的和平基因在新时代的苍穹之下绽放更加耀眼的光芒。



从“器物交付”到“价值共创”的范式跃迁，意味着制造业价值重心的历史性迁移。对传统制造业而言，价值主要凝结于产品本身，交易完成即是价值实现之终点。相比之下，“卖服务”则是一种“比特经济”式的系统思维。以航空巨擘波音为例，与一般人的想象不同，波音并非将飞机销售作为其主要的利润来源，而是巧妙设计了一种将“卖飞机”转变为“卖系统性服务”的商业模式。虽然飞机销售是起点，但波音主要的利润却来源于售后、培训和软件升级等增值服务。

飞机，作为高价值耐用资产，其“使用价值”的持续、安全、高效释放，极度依赖于一整套无缝衔接的服务生态系统。对航司而言，飞机制造商实际上出售的是“可靠的飞行能力”与“持续的运营效益”这一承诺，飞机本体不过是承载这些承诺的物理基础。从这个意义上说，“服务”绝非产品的附属点缀，而是驱动价值创造与产业升级的核心引擎，它推动制造商从“产品提供者”转型内嵌为航司的“命运共同体”。例如，通过实时监控机队健康状况，制造商得以主动预警故障、优化维护计划，最大限度提升飞机利用率，实现与航司之间的共赢。从更深的层次来说，

基于海量运营数据的分析，制造商能够协同客户研发更省油、更智能的下一代机型，或为现有机队提供性能提升改装，实现双方的价值增值。在一系列动态互动中，知识、数据、经验持续流动反馈，形成驱动产品迭代与服务创新的强大闭环。服务，由此化身一条坚韧的“价值纽带”，将制造商与航司的利益深度绑定，双方基于共同利益，携手应对市场波动与技术挑战，在不确定性中共创韧性未来。

从更宏阔的视角审视，“卖飞机就是卖服务”的理念映照后工业时代经济逻辑的深刻转向——从“拥有”到“使用”，从“产品中心”到“用户中心”。这一变化拷问的本质命题是——客户购买产品的终极目的何在？

彼得·德鲁克曾经说：“顾客购买的从来不是产品，而是某种需要的满足。”因此，最高形态的竞争，不在产品参数的优劣，而在能否以服务为舟楫，更精准、更完整地驶向用户需求的彼岸。这要求企业超越传统的供应链思维，构筑以用户持续成功为目标的价值网络。在这个网络中，每一个服务触点都是价值再生的契机，每一次互动响应，都是信任强化的纽带。

由此可见，“卖飞机就是卖服务”绝非一句简单的营销口号，而是后工业时代高端制造生存和发展的圭臬。它宣告了价值重心从固化产品向流动服务的迁移，揭示出服务作为价值创造与产业升级的核心驱动力，并最终指引企业从售卖“器物”的制造商转型为提供“价值实现方案”的服务商与合作伙伴。当无形的服务为有形的飞机编织起坚韧的赋能之网，价值的翅膀才能真正挣脱一次性交易的桎梏，在用户成功的天空中获得永恒翱翔的自由。这不仅是商业智慧的结晶，更是这个时代赋予所有追求卓越者的关于价值本质的深邃启示。

波音的“瘦身战略”——数字航空业务出售事件分析

文 | 陈蕾 张阳帆

编辑 | 庄敏

2025 年 4 月 22 日，波音宣布将其部分数字航空解决方案（包括 Jeppesen、ForeFlight、AerData 和 OzRunways 四家公司）出售给软件投资公司 Thoma Bravo，这笔交易于 2025 年 11 月 3 日完成交割，价值 105.5 亿美元。该交易是波音战略“瘦身”的一部分，旨在专注核心业务，优化资产负债表，保持投资信用评级。

▼ 图 | 来源: services.boeing.com



剥离非核心业务

2024 年以来，波音首席执行官凯利·奥特伯格（Kelly Ortberg）面临董事会压力，要求通过剥离非核心业务来减少公司债务。2023 年财报显示，波音全年净亏损达 140 亿美元，并预期未来一段时间内将继续录得亏损。

2024 年 8 月，履新的首席执行官凯利·奥特伯格明确表示，正在评估包括太空探索业务在内的非核心资产出售的可能性，星际客机飞船及国际空间站支持项目等均被列入潜在的剥离清单。截至 2024 年 12 月 31 日，波音的债务总额达到 539 亿美元，其中约 136 亿美元的未偿债务本金支付计划在未来三年内到期，波音面临着巨大的债务压力。

2025 年初，英国航空公司收购了波音在盖特威克机场的维修业务。与此同时，波音还试图出售其无人机部门 Insitu，该部门曾为美国军方提供 ScanEagle 等战术无人机，估值约为 5 亿美元。2025 年 3 月，波音准备出售其导航软件公司 Jeppesen，竞标价格超过 80 亿美元。

此次资产剥离与波音维持投资信用评级的战略目标直接相关，交易收益将显著改善资产负债表结构，是波音深度战略调整的关键举措。

Jeppesen 资产出售引发多家私募股权巨头与航空供应商竞购，其中私募股权巨

头结对联手，希望能在出价上超越对方。私募基金竞购方有 Vista Equity 和 Warburg Pincus 联合体、Advent International 和 Permira 联合体、TPG 和 Francisco Partners 联合体、Thoma Bravo、Silver Lake 等，航空供应商竞购方有 TransDigm、Honeywell 和 Carlyle。最终，Thoma Bravo 击败其他竞争对手，完成近年来航空科技领域规模最大的分拆交易之一。

Thoma Bravo 是全球经验最丰富且最成功的软件投资机构之一，总部位于美国芝加哥，其发展经历了多次并购与重组，但公司一直秉承“购买并重建”（buy-and-build）的投资策略。这一策略旨在通过快速改进运营和增长计划，以及战略性和增值性收购，将分散的业务整合为更大、更有利可图 and 更有价值的业务。截至 2024 年 12 月，Thoma Bravo 管理的资产规模超过 1790 亿美元，其投资策略聚焦于软件与技术领域的创新型企业。为完成此次收购，Thoma Bravo 通过直接贷款方式筹集了 40 亿美元融资。Thoma Bravo 有关人士表示，Jeppesen、ForeFlight 是航空生态系统的关键一环，具有巨大的增长潜力。

被剥离业务分析

波音从 2000 年开始建设其数字航空业务能力，到 2024 年已成为全球数字航空市场的主导企业。2000 年，波音收购 Jeppesen 是其数字航空业务的重要起点。2014 年，通过对 AerData 的收购，进一步集成了维护、租赁等数字管理能力。2019 年，通过收购 ForeFlight，将 Jeppesen 的电子航图集成到电子飞行包应用程序中。2024 年，通过收购 OzRunways，打通了澳大利亚与新西兰的电子飞行包市场。

波音剥离的业务部门组织关系如右图所示。

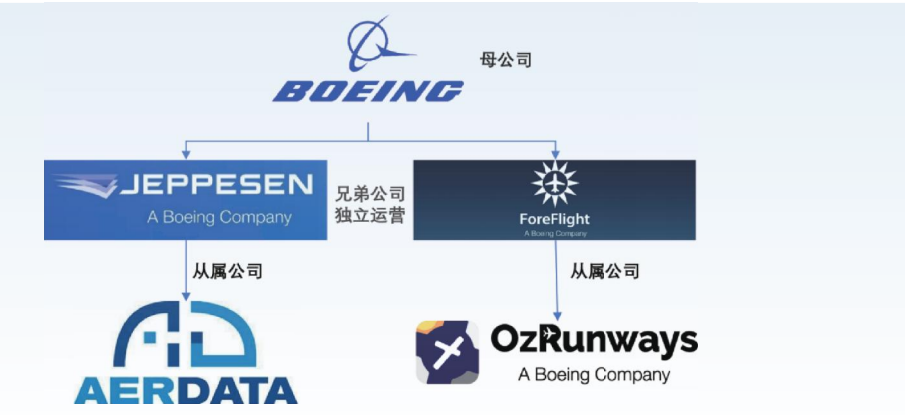
Jeppesen 公司成立于 1934 年，其创始人 Elrey Borge Jeppesen 将自己作为飞行员的飞行笔记整理成世界上第一本可靠的航空图表——“小黑本”，并开始销售。1947 年，Jeppesen 与美国民用航空局合作，制定了标准仪表进近程序，并建立了国家飞行数据中心。

1961 年以后，Jeppesen 公司进入了快速的发展和扩张时期，通过大量的收购，先后扩展了提供飞行计划、气象预报、海洋移动地图等方面的能力，并通过技术创新，推出了提供全球终端航图的 CD-ROM 产品，引入了基于互联网的 NavData 更新服务。

2000 年，Jeppeson 被波音收购后，仍然保持高速发展态势，先后收购了海洋导航和海图供应商、机组调度服务商、海运船舶航程优化解决方案供应商等，推出了首个商业电子飞行包和基于互联网的海图交付服务，成为获得 FAA 认证的合格互联网通信供应商，负责设计和验证美国所需的导航性能程序。

Jeppesen 公司主要提供航图与导航数据服务，包括纸质航图、电子航图、导航数据；飞行计划与优化，包括飞行计划软件、航路优化、飞行管理辅助工具；电子飞行包解决方案；航班跟踪与监控；机组管理与培训，包括机组排班与优化、飞行员培训以及其他包括航行通告、智能提醒、气象数据、机场和空域模拟等服务。

ForeFlight 公司成立于 2007 年，致力于为飞行员构建高性能的飞行计划和飞行包应用程序。ForeFlight 于 2017 年与波音合作期间开始向 Jeppesen Charts 提供数据支持，2019 年被波音收购。此后，ForeFlight 与 Jeppesen 两者在数据共享和技术整合上相互协同，但在品牌和运营方



▲ 图 | 波音剥离业务的组织关系

面保持独立。2020 年，ForeFlight 开始着手开拓公务航空市场。ForeFlight 与航班跟踪服务商 FlightAware 合作，提供实时航班跟踪服务，并在 IFR 飞行计划中自动显示飞机航线。

此外，该公司开发了广受欢迎的 ForeFlight 电子飞行包应用程序，适用于 iOS、iPadOS 和 web 平台，旨在帮助飞行员和企业飞行部门制定飞行计划、监测天气和文件管理等，用于通用、公务、商业和军用航空。ForeFlight 目前拥有 561 名员工，较 2023 年员工人数增加了 39.52%。2024 年，公司年收入为 1.725 亿美元。

AerData 成立于 2007 年，总部位于荷兰，主要业务包括租赁管理、机队发动机规划及维修管理等，帮助航空公司和租赁公司能够轻松管理复杂的维修记录，提高管理效率，简化租赁交易期间贵重资产交付流程。2014 年，AerData 被 Jeppeson 收购。截至 2023 年，公司员工共 127 名。

OzRunways 成立于 2010 年，是当时澳大利亚首个且唯一合法获得航空信息的电子飞行包供应商，为飞行员提供经 CASR Part 175 部批准的电子飞行包应用程序，用于规划、简报、飞行计划归档和移动地图导航。该公司为澳大利亚、新西兰和拉丁美洲其他国家的私人、商业、商务和军事航空提供服务，支持安卓、IOS 平台。2024 年，OzRunways 被波音收购，成为

▼ 图 | 波音建设数字航空能力过程



ForeFlight 团队的一员。

目前，波音的数字航空解决方案部门全球员工约 3900 人，一部分人员将随业务转移至 Thoma Bravo。波音承诺将与收购方协作，确保员工平稳过渡，并持续履行客户服务承诺。

类似案例分析

从国外航空企业发展历程来看，出售非核心资产应对债务危机是企业采取的普遍手段。

2020 年至 2024 年，因受新冠肺炎疫情和战略投资失误影响，罗罗 5 年累计亏损超过 54 亿英镑，2024 年财报显示总债务达 42 亿英镑。为应对债务危机，罗罗裁减了 9000 个岗位（占员工总数 17%），关闭了多家工厂，并剥离非核心资产。2020 年至 2021 年，罗罗先后剥离了卑尔根发动机公司（Bergen Engines）和 ITP Aero（全球第九大航发制造商）；2023 年宣布出售旗下电动航空研发部门罗罗电气公司。重组后，公司聚焦军用航空发动机，2024 年债务较上一年减少了 20%。

GE 近年来持续“瘦身”，先后剥离了家电、照明、生物技术等非核心业务，聚焦航空、医疗和能源领域，以应对债务危机和行业竞争。2016 年，GE 将家电业务出售给海尔；2018 年，将能源服务公司 Current 出售给私募基金 AIP，退出智能照明领域；2019 年，剥离生物技术业务，将生物技术业务出售给丹纳赫（Danaher）；2025 年，出售了北美住宅 LED 照明及家庭联网技术业务。通过业务出售，GE 削减了超过 1000 亿美元的债务。

2018 年，空客决定出售其数字航空子公司 NAVBLUE，这一举措是其战略调整的一部分，旨在聚焦商用飞机制造核心业务，提升核心竞争力。此外，出售 NAVBLUE 为

空客带来了一笔可观的资金，用于核心业务研发和生产投入。出售完成后，空客更加专注于商用飞机制造，进一步巩固了其在全球航空市场的核心地位。

2020 年以来，庞巴迪通过一系列业务剥离来应对财务压力并进行战略调整。2020 年，庞巴迪以 84 亿美元将其铁路业务出售给阿尔斯通，正式退出铁路运输领域；通过出售 CRJ 支线客机项目和转让 A220 项目股权，退出商用航空领域，专注于公务机制造；同年，庞巴迪还剥离了包括飞机结构业务、电气配线互连系统以及铁路电气部件和系统业务等在内的多项资产。这些举措帮助庞巴迪减少了债务，优化了资本结构，使其能够集中资源发展利润率较高的公务机业务，有助于其在复杂市场环境中实现业务优化和转型。

几点思考

首先，波音剥离非核心业务有利于财务改善与业务聚焦。此次交易总价值达 105.5 亿美元，采用现金支付的形式，这一价格较最初的 80 亿美元估值高出不少，将为波音带来巨额现金流，有助于波音在资本市场上获得更有利的融资条件，增强投资者信心，为公司的长期发展奠定更坚实的财务基础。此外，该交易有助于简化波音的管理结构，聚焦商用飞机制造和国防业务。交易后，波音仍将保留与飞机维护、诊断等直接相关的数字服务（如预测性维护分析），以支持其核心的飞机制造业务。

其次，数字航空软件与服务市场迎来发展新阶段。Thoma Bravo 计划加大在人工智能、集成运营工具方面的投入，进一步加速数字航空业务的创新和发展。在资本的助力下，Jeppesen 等企业将给行业内其他供应商带来冲击，促使整个数字航空服务业加大研发投入和创新力度。

2026 年全球商用飞机生产提速步伐将放缓

文 | 冯鲁文

编辑 | 庄敏

近期，《航空周刊》发布了《2026 年商用机队与 MRO 预测报告》。报告显示，当前飞机制造企业仍深陷供应链困境，尤以新型发动机供应短缺最为突出。尽管空客与波音均在加强自主制造能力建设，以期提升生产效能，但若不发生重大行业变革，要达到满足市场需求的生产规模，仍需长达数年的时间。

商用飞机市场

《航空周刊》发布的报告显示，至 2026 年末，全球在役商用飞机总数预计将达到 35000 架。在 3% 的复合年增长率驱动下，至 2035 年年末，机队规模预计将突破 45000 架。这一持续增长态势印证了全球航空出行需求的内在韧性——尽管近年面临经济波动与地缘政治动荡等多重挑战，市场需求仍展现出强劲活力。

商用飞机交付量历史数据与预测



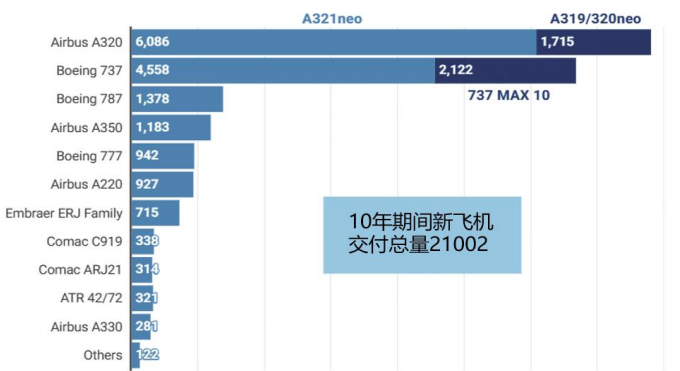
预计到2027年，商用飞机总交付量才能恢复至2018年的水平。COVID-19疫情、波音737 MAX的生产问题以及供应链危机导致行业增长延迟了近十年。预计交付量将在2030年代初期趋于平稳。

数据来源：航空周刊《2026年商用航空机队及MRO市场预测报告》



▲ 图 | 商用飞机交付量历史数据与预测

2026-2035 年新飞机交付数量预测



空客 A321neo 预计将成为未来十年内交付量占据主导地位的机型。其直接竞争对手波音 737 MAX 10 的预测交付量仅相当于该细分市场市场份额的 35%。

数据来源：航空周刊《2026年商用航空机队及MRO市场预测报告》



▲ 图 | 2026-2035 年新飞机交付数量预测

根据上述预测，2026 年至 2035 年，新飞机交付量预计将超过 21000 架，较 2024 年预测值呈现小幅下调。生产效率提升进程迟缓，使得波音 737NG 系列及空客 A320ceo 系列等传统机型运营周期延长。这一趋势在宽体机市场表现尤为显著：由于替代机型产能不足，波音 777-300ER 与空客 A330 等现役宽体机将持续在市场中发挥重要作用。

从新飞机交付量的区域分布来看，北美 (22%)、西欧 (21%)、亚太地区 (18%) 合计占比约六成。中国与印度市场共占交付总量的近 10%，其余份额由拉丁美洲、东欧和非洲等地区分摊。

未来 10 年，窄体机仍将主导市场，占新机交付总量的 75%。其中，空客 A320neo 系列预计交付近 8000 架，波音 737MAX 紧随其后，约 7000 架。值得关注的是，A321neo 的单机型交付量将占总交付量的 1/4。空客公司持续领跑飞机制造商交付榜单，在预测总交付量中占比近 50%，波音公司则以 43% 的份额紧随其后。中国商飞与巴航工业的交付量各占总量的 3%。

窄体飞机服役周期的延长同时影响着机队退役趋势。未来 10 年间，预计约有 10000 架飞机将退出运营，较 2024 年预测值有所减少，这反映出行业为维持运力而延长老旧机型服役年限的现状。尽管近年来飞机退役率始终维持在历史低位，但随着新交付飞机可靠性的稳步提升，年度退役率预计将逐步回归至在役机队规模的 2.5%——这一数值与长期历史平均水平基本持平。

根据预测，未来 10 年内，窄体机在全球机队中的市场份额将从 62% 上升至 71%。波音 787 和空客 A350 预计将成为最受欢迎的宽体机型。空客 A320 和波音 737 系列将在 2026 ~ 2035 年间成为

退役数量最高的机型，但其退役数量占 2026 年各自现役机队的比例相对较低：A320 为 17%，波音 737 为 19%。

MRO 市场

现役机队服役年限的延长已推动维护、维修和大修 (MRO) 市场规模显著增长。预测显示，MRO 市场规模将从 2025 年的 1.4 万亿美元上升至 2026 年的 1.6 万亿美元。

其中，发动机维护仍是占比最大的项目，占比超过总规模的 50%。其余零部件维修占比略高于 20%，航线维护占 16%，改装与机体大修则各占约 5%。

发动机大修支出将呈现显著增长，预计将从 2025 年的 5570 亿美元增至 2026 年的 6770 亿美元，增幅达 20%。这一激增主要源于窄体机队配备的发动机，尤其是 CFM 国际的 CFM56 和 IAE 的 V2500 发动机，随着运营商延长其装配机型的服役期限，其大修频次将持续增加。

该预测还揭示了当前发动机存在的耐久性问题，特别是普惠 PW1000G 系列齿轮传动涡扇发动机与 CFM Leap 系列发动机。PW1000G 系列发动机持续面临燃烧室换热器与高压涡轮叶片相关的技术挑战，而 Leap 发动机则存在燃油喷嘴和反推系统的技术难题。据《航空周刊》估算，解决这些技术问题需投入 51 亿美元，且仍需多年时间方可彻底解决。

预测中，另一值得关注的趋势是客改货 (PTF) 规模的萎缩。在客运需求持续高涨与新飞机交付受限的双重影响下，运营商与租赁公司正优先保留 737-800 等客运机队继续运营。尽管宽体机客改货规模保持相对稳定，但随着波音 767 客运飞机逐步退出市场，改装资源正转向空客 A330 和波音 777 等机型。然而，此类

在役商用飞机机队预测



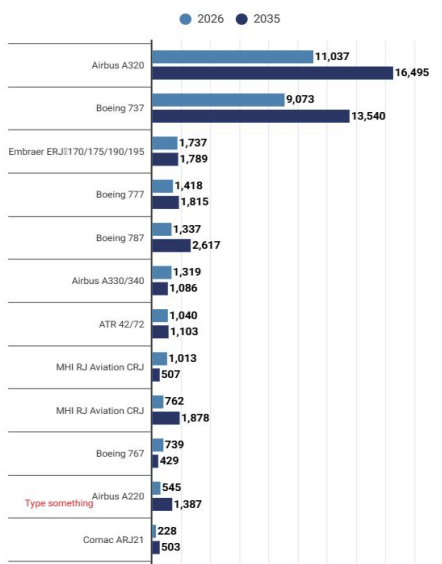
商用机队规模已恢复至2019年水平，但实际净增长于今年才刚刚开始。不过，这一增长态势预计将持续至2035年。

数据来源：航空周刊《2026年商用航空机队及MRO市场预测报告》



▲ 图 | 在役商用飞机机队预测

各机型在役机队数量预测



数据来源：航空周刊《2026年商用航空机队及MRO市场预测报告》



▲ 图 | 各机型在役机队数量预测

资源供应依然紧张，以阿联酋航空为代表的运营商正在延长现有宽体机队的服役周期，以等待波音 787 和 777X 的产能提升。

翼尖的博弈

文 | 赵云 编辑 | 庄敏

▼ 图 | 来源: www.boeing.com

在航空业百年发展历程中，每一次技术突破都深刻重塑了行业格局。20 世纪 70 年代中东石油危机爆发后，燃油成本飙升成为航空公司运营的沉重负担，如何提升燃油效率成为航空制造商竞争的核心焦点。翼尖技术，这一看似简单的机翼末端延伸装置，成为破解燃油效率难题的重要突破口。

由 Aviation Partners(以下简称“API”)研发的“混合翼尖”技术，以机翼与翼尖之间平滑过渡的创新设计，实现了 4%~6% 的燃油消耗减少，迅速成为航空业追捧的“效率利器”。然而，技术创新的背后往往伴随着激烈的知识产权博弈。2011~2015 年间，欧洲航空巨头空客与美国翼尖技术专业公司 API 之间爆发的专

利诉讼，不仅是两家公司之间的利益纷争，更折射出全球航空业技术竞争、合作与博弈的复杂生态。

“效率标杆”

API 成立于 1991 年，由航空业资深人士乔·克拉克创立，其核心团队集结了来自波音、洛克希德·马丁等航空巨头的资深工程师。1995 年，API 获得核心技术“混合翼尖”美国专利。混合翼尖的核心创新在于“弯曲过渡段实现弦长连续变化、前缘后掠角 $\leq 65^\circ$ ”，避免了传统翼尖的涡流集中问题。

在商业化进程中，API 与波音的合作成为技术落地的关键。1999 年，API 与波音成立合资公司 APB，混合翼尖技术得以在波音 737、757 等机型上使用。至 2011 年，该技术已应用于全球 5000 多架飞机，累计省油 30 亿加仑，减碳 3200 万吨，成为“效率标杆”。

与 API 在混合翼尖领域的快速突破不同，空客早期在 A320 系列飞机上采用了“栅栏式翼尖”，燃油节省率仅为 1%~2%，且增重抵消了部分收益。21 世纪后，空客面临双重压力：波音凭借混合翼尖在窄体机市场领先，2001~2008 年全球油价从 20 美元飙升至 147 美元，航司对提升燃油效率的需求日益迫切。

2006 年，API 主动提议为 A320 适配混合翼尖，双方签署《保密协议》，约定信息交换用于技术评估，发生争议时先友好协商，协商失败则提交伦敦 ICC 仲裁，适用英国法律。

2006~2011 年间，双方围绕混合翼尖在 A320 上的应用展开了多轮技术交流与测试，过程中逐渐暴露出分歧。2007 年技术提案与初步分歧在于 API 在图卢兹提交《气动与工程提案》，主张

A320 燃油可节省 4.5% 以上，空客以“增重抵消效率”质疑，称其技术无法用于 A320。2009 年 1 月，双方用空客 A320 测试机 (MSN1) 测试，空客认为未达“省油 3.5%”基准，API 称参数被篡改。2010 年，API 自费用捷蓝航空 A320 测试，省油率达 5.2%，空客承认其性能优越但仍谨慎。

2011 年 7 月，双方签署《谅解备忘录》，约定成立合资公司，但空客已秘密研发鲨鳍小翼并提交专利申请，未向 API 披露。之后不久，空客推出了“鲨鳍小翼”，随后 API 对空客进行了侵权指控。

合作破裂

2009 年 11 月，在迪拜航空展上，空客首次公开鲨鳍小翼，宣布将其作为 A320neo 的标配。该小翼采用轻型复合材料，高 2.5 米，空客称其为长航线带来 1.5% 的燃油节省，是 A320neo 实现 15% 以上效率提升的关键。鲨鳍小翼与 API 混合翼尖高度一致，均采用平滑过渡设计，核心目标均为降低涡流对飞行的影响。空客宣称这一技术为自主研发，未提及与 API 的关联，引发 API 警惕。

2011 年夏季，API 工程师通过对比分析发现，鲨鳍小翼与自身混合翼尖专利存在三大“显著相似性”：过渡段弦长变化、翼型弯度匹配和结构载荷优化。基于上述分析，API 正式指控鲨鳍小翼侵犯其混合翼尖专利，要求空客支付专利使用费，并停止鲨鳍小翼的商业化进程。

空客否认侵权，称鲨鳍小翼是“独立创新”，并质疑 API 专利无效。2011 年 12 月 1 日，空客向美国法院提起诉讼，请求法院宣告：1.API 混合翼尖专利 (US5348253A) 无效；2. 空客鲨鳍小翼未侵犯该专利。空客在起诉书中称，API

的侵权威胁“严重阻碍了空客的商业计划”，若不及时获得法院宣告，将影响A320neo的订单交付，使空客在与波音的竞争中处于“不公平劣势”。

2012年7月31日，API向美国华盛顿州西区地方法院提交《答辩与反诉状》，不仅否认空客的专利无效主张，还提出两项反诉请求：空客违反《保密协议》，滥用API提供的保密信息开发鲨鳍小翼；空客违反《华盛顿消费者保护法》，通过欺诈性承诺获取API的技术机密，构成不正当竞争。

针对API的反诉，空客从“专利有效性”“非侵权”“协议条款适用”三个维度提出抗辩，试图瓦解API的主张。

空客认为API混合翼尖专利不符合《美国专利法》的相关规定，主张API专利的“平滑过渡设计”缺乏新颖性。同时，空客认为混合翼尖的技术方案是“本领域技术人员的常规选择”，不具备创造性。

空客承认鲨鳍小翼与API混合翼尖在技术参数上存在相似性，但主张这种相似性是“气动优化的必然结果”，而非抄袭。空客认为，8英尺2英寸的翼尖高度与API专利的相似性纯属巧合。此外，空客还强调，鲨鳍小翼与翼梢小翼在制造工

艺上存在本质区别。此外，空客援引《保密协议》的仲裁条款，主张API的反诉应提交伦敦国际商会仲裁，而非由美国法院审理。

2012年10月25日，美国华盛顿州西区地方法院就案件管辖权及程序问题作出关键裁定，该裁定深刻影响了后续诉讼进程。

根据《联邦仲裁法》，仲裁协议的效力应优先于法院管辖。因此，API的反诉必须提交ICC仲裁。法院同时指出，空客提出的“专利无效与非侵权”本诉，不受仲裁条款约束，可由法院继续审理。这一裁定导致案件分裂为两个平行程序。

法院的这一裁定使案件陷入“双线并行”的复杂局面，也为后续的和解埋下伏笔。对于空客而言，A320neo的交付已箭在弦上，长期诉讼将严重影响市场布局。对于API而言，作为小型企业，持续的法律诉讼也带来了沉重负担。

双方和解

2013～2014年，案件的外部环境与双方的利益诉求发生了显著变化，推动了和解进程的启动。

A320neo作为空客对抗波音737MAX的核心机型，自2010年推出后获得大量订单，若诉讼持续，法院一旦认定侵权并发布禁令，空客将面临订单取消、延迟等风险，损失巨大。与此同时，其竞争对手波音公司相关竞争机型推出，使得空客必须尽快解决鲨鳍小翼的法律隐患，以避免陷入被动。

API虽在技术上占据优势，但作为小型企业，其法律资源有限，案件若进入技术鉴定阶段，还需额外支付数百万美元的专家费用。此外，长期诉讼还可能影响其与波音的合作关系。

2013年3月，美国专利商标局根据空客的请求，对API混合翼尖专利启动重审，虽然最终维持了权利要求2至5的有效性，但取消了权利要求1，这一结果表明专利的稳定性并非毫无瑕疵。在上述因素驱动下，2014年中期，双方在第三方调解人的推动下启动和解谈判，经过多轮博弈，最终达成一致。

2015年9月15日，API与空客共同向法院提交《合意驳回申请》，请求法院驳回双方的所有诉讼请求，案件以和解告终。根据行业消息及后续披露的间接信息，和解协议的核心条款包括：空客获得API混合翼尖专利的非独占许可，作为对价，空客向API支付一笔一次性保密费用，行业估算约为2亿～3亿美元。此外，空客还需按鲨鳍小翼的产量支付后续提成。

协议约定，双方均不承认任何过错或侵权行为。API不得向第三方披露和解金额及协议细节，也不得再就同一专利向空客提起诉讼。这场和解对双方及航空业产生了深远影响：对空客而言，通过支付合理价格获得了鲨鳍小翼的合法使用权，保障了A320neo的交付计划。对API而言，和解金缓解了财务压力，同时巩固了其在翼尖技术领域的地位。

诉讼反思

API与空客的专利诉讼并非孤立事件，而是全球航空业从“规模竞争”向“效率竞争”转型的缩影。

2000~2010年，全球航空业经历了深刻变革：“9·11”事件后，燃油成本成为影响航司盈利能力的核心因素；在环保法规的倒逼下，各国政府及国际组织出台了更加严格的航空环保法规；窄体机市场的白热化竞争，直接影响机型的市场竞争力，这也是空客不惜冒险研发鲨鳍小翼、API

坚决维护专利权益的深层原因。

在这一背景下，专利不再仅仅是“技术保护工具”，更成为“市场竞争武器”。通过专利布局构建技术壁垒，排除竞争对手，形成了“合作-竞争-博弈”的复杂生态。

API与空客的专利诉讼也引发了行业对“专利保护与技术共享”关系的反思。航空业既需要专利保护激励创新，也需要技术共享推动行业整体进步。如何平衡两者关系，成为行业面临的重要课题。

从诉讼结果来看，这场纠纷最终以和解告终，而非“赢家通吃”，这为行业提供了一种平衡：专利保护应聚焦“核心创新点”，而非“通用技术方案”。诉讼的成本与风险表明，“对抗式创新”并非最优选择，“合作式创新”更能实现行业共赢，加速技术突破。

API与空客的专利诉讼已落幕近十年，但这场纠纷留下的经验与教训仍深刻影响着航空业。

从技术层面看，翼尖技术已从“单一气动装置”发展为“多学科集成系统”，融合了气动优化、复合材料、智能控制等多种技术，成为飞机效率提升的核心抓手。从创新模式看，航空业正从“单个企业的独立创新”转向“产业链协同创新”。主机厂、供应商等通过专利共享、联合研发、标准共建等，推动技术快速迭代。

在技术密集型行业，专利是创新的“保护伞”，但不应成为“垄断工具”；竞争是进步的“驱动力”，但不应陷入“零和博弈”。随着全球航空业向“碳中和”目标迈进，翼尖技术仍将发挥重要作用，而围绕技术的竞争与合作也将持续上演。只有平衡好创新、保护与共享的关系，航空业才能在技术突破的道路上走得更远，为全球航空业可持续发展贡献更大力量。



▲ 图 | 徐炳南 摄

独立放行C919的背后： 一座中部枢纽机场的智慧跃迁

文 | 欧阳亮

编辑 | 林喆

2025年10月26日，中国国际航空CA1971航班平稳降落在长沙黄花国际机场。随着机场机务保障部责任放行员在飞行记录本上郑重地签署放行意见，一个历史性的时刻就此诞生——长沙机场成为全国首家机场机务独立完成C919国产大飞机短停放行的机场。这一看似简单的签字背后，是长达数年的系统性能力建设、技术积累与制度创新，更是中国民航在国产

大飞机全链条保障体系上的关键突破。

自2023年5月28日投入商业运营以来，C919虽已投入商业运营两年有余，但其短停维修与放行工作一直由航空公司自有机务团队或委托第三方MRO单位完成。“长沙机场的破局，不仅标志着我们的维修保障能力迈入新阶段，更揭示了一个深层逻辑：国产大飞机的规模化运营，离不开遍布全国的智慧化机场网络支撑。

正是在这张网络中，长沙机场以‘数字保障’为核心引擎，率先跑出了加速度。”11月中旬，在长沙机场的一间会议室里，湖南机场股份有限公司长沙黄花国际机场分公司党委副书记、总经理常希娟告诉《大飞机》杂志记者，近年来长沙机场通过数字孪生与空地一体化等技术狠抓智慧机场建设，已在打通数据孤岛、优化运行效率、提升旅客体验等方面取得了积极成果，为国产大飞机提供坚实可靠的地面保障即是这些成果的体现之一。

C919“数字保障”新范式

作为我国首款按照国际适航标准研制的新一代干线客机，C919的系统、结构、软件等与波音、空客的干线客机存在一定程度的区别。常希娟表示，对于机场来说，要具备C919的独立放行能力，必须在维修单位资质、人员技术能力、适航资料文件、工具设备航材、质量管理体系五大维度全面达标，并通过中国民航局严格的CCAR-145审定、国航全面审核以及相关授权等。长沙机场的破题之道，在于将传统机务保障与数字化能力深度融合，打造了一套“可追溯、可协同、可智能”的C919数字保障体系。

首先，人员资质是基础。长沙机场组织骨干机务人员外派学习取得C919的机型证书，系统学习飞机系统、维护程序与故障诊断逻辑。“这些培训不仅涵盖理论课程，更强调实操培训——包括绕机检查、舱门操作、leap-1c发动机反推地面收放、各重要系统测试、电子工卡填写等典型任务。”常希娟表示，完成培训后，这些机务人员还需在实际航班保障中积累足够的经验，方可申请机型签署。

其次，技术资料是命脉。长沙机场与国航签订技术支援协议，合法获取国航

C919的《飞机维护手册》《最低设备清单》等技术文档，并将其集成至内部维修管理系统。这意味着当机务人员面对一架C919时，只需在平板电脑上输入故障代码，系统即可自动推送处置流程、所需工具清单及历史案例参考，极大地降低了人为差错风险。

更重要的是，长沙机场将C919保障纳入其全域数字化管理平台。每一次检查任务均由系统自动派发电子工卡，工作人员扫码确认身份后开始作业，每一步操作均被记录并上传至云端，质量部门可实时抽查执行情况，确保“工卡不漏项、签字不代签、缺陷不隐瞒”。在首次独立放行CA1971航班前，系统还调取了该架飞机近期的QAR（快速存取记录器）数据，辅助判断是否存在安全隐患。这种“数据驱动+流程闭环”的模式，让放行决策建立在坚实的事实基础上，而非仅凭经验判断。

常希娟表示，正是这套融合了资质、流程与数据的保障体系，使长沙机场在众多千万级机场中脱颖而出，成为国产大飞机走向全国的重要支点。而这一成就的背后，正是其多年来深耕智慧机场建设所积累的深厚底蕴。

构建机场的“数字镜像”

如果说C919保障是长沙机场智慧化成果的一个缩影，那么其底层支撑，则是一套覆盖全场景、全要素的数字孪生系统。该系统并非简单的三维建模，而是遵循“建模—集成—应用”闭环逻辑，实现了物理机场的精准复刻与多系统的深度融合。

长沙机场的数字孪生建设始于对基础设施的“CT扫描”。从T1、T2航站楼的值机柜台、安检通道、登机口，到机坪的停机位、廊桥，再到地下管网、电力设施、消防系统，每一处细节都被高精度建模。

尤为关键的是，这些静态模型并非“死图”，而是通过接入视频监控、IoT 传感器等实时数据流，动态映射机场的运行状态。例如，当一架飞机滑入机位，数字孪生平台会立即更新其位置、状态（如舱门开启、电源车对接），并在三维场景中及时显示。

这一“数字镜像”带来了革命性的管理变革。在运行层面，指挥员无需亲临现场，即可通过“一张图”掌握全局态势。过去，机坪面积广阔，肉眼难以兼顾所有区域，易发生车辆与航空器冲突。如今，系统可基于厘米级的定位数据，自动识别潜在的碰撞风险并发出告警。“自系统投用以来，长沙机场引错航班、引错机位等现象已彻底清零，跑道侵入预警0秒响应。”常希娟表示，随着新系统的建成，运行指挥、飞行区调度、机务引导等各个岗位都体会到了新技术带来的好处。

在旅客服务方面，数字孪生系统同样大显身手。系统通过热力图分析各区域客流密度，一旦某安检通道排队过长，便会自动触发分流引导或增开备用通道。在登机口，旅客可通过全息投影“数字人”了解分舱登机顺序——后舱先登、前舱后登，有效避免客舱内行李放置拥堵。

常希娟表示，通过数字孪生机场的建设，长沙机场航班过站保障时间较行业标准压缩了10分钟，航班截载时间也缩短了10分钟，“你别小看这10分钟。因为这10分钟，长沙机场的廊桥周转率在全国千万级机场中名列榜首，而乘客因为截载时间缩短了10分钟，不仅更从容，同时也有更多的时间去逛商场、购物，从而实现机场与乘客的双赢。”

打通天与地的“数据动脉”

如果说数字孪生解决了“看得清”的问题，那么空地一体化系统则致力于实现

“联得通、调得动”。该系统的核心是打破空管、机场、航司之间的数据壁垒，构建一条贯穿“空中—地面—终端”的信息高速公路。

但是，构建这条信息高速公路并不容易。几乎所有机场在建设智慧机场的过程中，都会面临“数据孤岛”的难题，简单说就是机场、航司、空管、航油等各单位之间很难实现数据共享。常希娟表示，长沙机场之所以能打破“数据孤岛”，一是靠机场与各单位之间的高层积极推动，二是利用需求驱动共享的原则，“唯有让各方看到数据共享的巨大价值，才能形成合力。例如，在航班保障场景中，机场需要精准的落地时间以调度引导车；航司希望缩短过站时间以提升飞机利用率；空管则关注整体流量效率。三方诉求在此交汇，数据共享便有了共同的利益基础。”

为此，长沙机场搭建了统一的集成平台，融合ACDM（机场协同决策）、TCDM（航站楼协同决策）、空管航迹、ADS-B、场监雷达等多源数据。通过多数据源融合算法，飞机落地预测时间误差从过去的15分钟缩短至60秒以内。这意味着引导车无需提前半小时在机位“傻等”，而是在系统提示下准时抵达，车辆的使用效率大幅提升。

“一线员工对这些变化的感受最直接。过去，引导车司机需要凭记忆和无线电指令判断接哪架飞机，容易出错。现在则要直观得多，系统会在车载终端上生成红色指引线，明确标注目标航空器，并在接近时自动告警，司机只要跟着路线走就行。”常希娟表示，“摆渡车司机也能实时查看下一班次的旅客人数与登机口位置，提前规划好路线。”

对旅客而言，空地一体化带来的便利同样显著。在登机口的屏幕上，旅客可直观看到航班前方航路的雷雨分布、流量控

制情况，理解为何“长沙晴空万里，航班却仍延误”。中转旅客更是受益于系统的智能排布——长沙机场会将关联航班尽量安排在相邻机位，并通过“红马甲”专人引导、专用摆渡车接驳等，高效完成中转。在一次大面积航班延误后，长沙机场顺利完成500余名跨航司旅客急转，其中一批旅客中转间隔仅用了28分钟，创下了最短中转时间纪录，远超行业平均60~70分钟的水准。

“那一天有大雾，多个航班延误。我们通过系统事先了解哪些航班上有中转旅客，然后把有中转需求的航班安排在相邻机位，这样才能在28分钟内既完成旅客中转，又完成行李转运。过去没有这套系统的时候，这是完全无法想象的。”常希娟略带骄傲地表示，中国民航局的中转系统，就是由长沙机场和中国航信一起合作研发的，所以长沙机场率先尝到了甜头。

将迎来再一次腾飞

客观而言，长沙机场已有的硬件设施并不十分出色，只有两条近距跑道，同时可用的机位为90个，廊桥32条，航站楼设计吞吐量为1980万人次。但凭借智慧机场建设，长沙机场努力挖潜，2024年实现旅客吞吐量3122万人次，货邮吞吐量20万吨，飞机起降21.7万架次。“我们建设中的T3航站楼和第3跑道预计在2026年投运，在不久的将来，长沙机场的年运输保障能力有望达到6000万人次。”常希娟对未来充满信心。

常希娟表示，长沙机场目前正处在发展的关键期，也是建设的关键期，“计划于明年10月投入运营的T3航站楼使用面积有50万平方米，如果再加上交通中心及配套酒店，使用面积将达到81万平方米，仅是接入交通中心的轨道就有五条（一条

2030年，要建成全国领先的智慧机场，让系统具备自学习、自调度、自诊断的能力，成为民航运行环境最优、机场治理效率最高、旅客体验最好的机场。

高铁，一条轻轨，两条地铁，一条磁浮线），而目前的T1、T2两个航站楼加起来也只有23.6万平方米。”

但是，基建的扩大也意味着智慧机场的建设更加复杂。比如，T3航站楼的建设，使数字孪生节点扩大至百万级，建模范围比目前的T2航站楼成倍增加，对算力和网络等基础设施提出了更高要求。“如何应对挑战？一要在技术上更新迭代，采用更新的建模技术以适应新的需求；二要提升基础设施建设能力；三要让数字孪生适用于T3航站楼更加具体和场景化的需求，让智慧机场技术更好地服务机场各级工作人员的应用需求。”常希娟表示。

常希娟掰着手指头一路数过来，算力、网络、人才、体制的协同升级迫在眉睫，但蓝图也已绘就：“第一步，2026年，实现运行全流程的可视、可管、可控，数字孪生的节点突破百万级；第二步，2028年，实现算力的自给、智能的协同、服务的全感知，旅客的体验指标要能够与国际一流的机场对标；第三步，2030年，要建成全国领先的智慧机场，让系统具备自学习、自调度、自诊断的能力，成为民航运行环境最优、机场治理效率最高、旅客体验最好的机场。‘十五五’期间，长沙机场将迎来再一次腾飞。”

中国民航固定资产投资现状及“十五五”发展路径

文 | 赵巍

编辑 | 林喆



▲ 图 | 沈铨 摄

中国民航业作为国家现代化综合交通运输体系的核心组成部分，肩负着支撑长距离高效客货运输、服务国家对外开放战略、促进区域协调发展的重要使命。近年来，我国民航业实现跨越式发展，运输总周转量连续多年位居世界前列，枢纽机场集群初步形成，智慧民航建设成效显著，整体发展水平迈上新台阶。

然而，相较于铁路、公路领域已形成的成熟投资布局与基础设施网络，民航

业固定资产投资规模仍存在明显短板，部分中西部及偏远地区机场覆盖率不足，枢纽机场基础设施扩容升级相对滞后，一些老旧机场设施老化问题较为显著，与日益增长的航空运输需求及高质量发展的要求不相适配。

从国际视角来看，与美国等民航产业发达国家相比，我国在多维度仍存在阶段性差距。中国在区域机场覆盖、人均机场数量等方面落后于欧美发达国家，甚至

还不如巴西、印度等发展中国家。在空域管理层面，我国空域资源市场化配置程度较低，空域使用效率与美国等国家的灵活调度模式存在差距，制约了航空运输效能的进一步释放。

本文结合中国民航业发展实际与“十五五”规划战略导向，通过梳理行业固定资产投资数据、分析典型区域发展案例，剖析民航投资滞后的深层原因，探究“十五五”时期民航固定资产投资的重点领域，包括枢纽机场改扩建工程、中小机场补短板项目、通用航空基础设施建设、智慧民航技术研发与应用等，并提出优化投资机制、拓宽融资渠道、强化政策协同等针对性政策建议，为相关部门制定产业政策、优化投资布局提供决策参考，助力民航业更好适配国家现代化综合交通运输体系建设目标，为其高质量发展提供坚实的科学支撑与实践路径。

固定资产投资现状分析

近年来，中国民航固定资产投资规模持续增长，但与铁路和公路相比，其投资规模仍然偏小。根据国家发改委官方数据，2024 年全国铁路固定资产投资完成 8506 亿元，同比增长 11.3%；公路里程达到 549.04 万公里，新增 5.35 万公里，投资规模在交通固定资产投资中占比约 70%；民航固定资产投资为 1350 亿元，虽创历史新高，但仅相当于铁路的约 1/6，公路的 1/20 左右。中国的高速公路和高铁经过 20 余年的大力发展，已经成为全球领先的交通运输体系，但是民航基础设施依然落后于欧美发达国家，这与民航的固定资产投资规模较小是直接关联的。当前，我国民航固定资产投资仅占交通投资总额的 3.2% 左右，投资制约发展的问题必须正确面对。

铁路和公路建设主要由中央和地方政府主导，投资来源多元且长期稳定，具有战略优先级。相比之下，民航投资虽然逐年增长，但受限于资金筹措机制、空域管理、地理条件等因素，投资规模和增速受限。具体而言，民航项目需中央与地方共同承担财政压力，而铁路和公路建设则可通过土地综合开发、PPP 模式等多元化融资，社会资本参与度较高。

中国高铁网络的快速发展，覆盖了主要人口密集区，分流了大量中短途航空客流，降低了部分民航投资的紧迫性。同时，公路网覆盖广、投资回收期相对短，地方政府更易推动项目落地。相比之下，民航机场建设投资巨大、周期长，且受空域资源、地形、气候等因素限制，投资门槛高，导致地方政府投资动力不足。

中美民航基础设施差距

截至 2025 年底，中国运输机场数量达到 270 个，通用机场 400 多个，合计民用机场约 700 个。而美国民用机场总数约 2 万个，其中公共运输机场约 5000 个。若仅比较有定期航班的机场，美国有 600 个左右，中国有 270 个，差距约 2.2 倍。这一差距主要源于美国通用航空发展历史悠久，私人飞行、小型飞机、通航机场等体系成熟，且空域开放度高。而中国民航起步晚，空域 70% 由军方控制，民航可用空域有限，制约了通航和机场网络发展。同时，中国民航机场建设规划严重落后于时代的发展需求，支线机场建设严重滞后。

美国空域开放度达 85%，私人飞行前无需申报，而中国民航仅使用不到 30% 的空域，飞行计划需提前申报并经严格审批，导致航班准点率长期低于高铁。此外，美国空管系统高度自动化，而中国仍处于数字化转型阶段，空域使用效

率有待提高。例如，纽约空域试点允许 eVTOL 与直升机共享航线，通过 ADS-B OUT 技术实时监控，提升资源利用率，而中国在这方面尚处于起步阶段。

美国航空业拥有完整的产业链生态，从飞机制造到通用航空运营，形成了良性循环。美国通用航空飞机数量超过 20 万架，而中国不足 3000 架。在低空经济领域，美国同样领先，Joby Aviation 等企业已进入商业化验证阶段，而中国仍处于多地区试点推广期。但是在无人机产业链方面，中国具有强大优势，发展以无人机为主的低空经济，中国潜力巨大。

▼ 图 | 无人机取货 来源：www.hk01.com



▼ 图 | 深圳宝安机场的无人机货运中心 来源：www.hk01.com



需要关注的战略重点

首先，大力优化基础设施布局，强化区域协同。

一是枢纽机场扩容与升级。构建世界级航空网，未来应继续推进北京、上海、广州等国际枢纽和区域枢纽的扩能，提升国际航空枢纽的竞争力。

二是支线机场差异化发展。在中西部和偏远地区新建或改扩建支线机场，结合“干支通、全网联”模式，通过补贴和航线优化降低亏损面。开通无人机货运专线，利用支线机场构建低空物流网络，提升偏远地区航空运输可达性。

三是货运枢纽专业化发展。重点建设鄂州花湖机场等专业性货运枢纽，提升跨境电商物流效率。2024 年，鄂州机场货邮吞吐量突破 102.5 万吨，跃居全国第五，展示了货运枢纽的巨大潜力。

四是空铁联运深度融合。扩大“铁路 12306”与航司系统对接范围，实现“一次购票、一证通行”。未来，应进一步推广空铁联运模式，提升综合运输效率。

其次，推进智慧化升级，以科技引领民航新未来。

一是智慧机场建设。在全国主要机场普及生物识别通关、智能行李分拣等技术，提升旅客出行体验。2030 年之前，全国排名前 50 的机场生物识别登机率要超过 80%。深圳宝安机场的无人机货运中心 2024 年处理货物达 4.2 万吨，衍生收入占非航业务的 9%，展示了智慧机场的巨大潜力。

二是空管系统智能化升级。推进空域精细化管理试点，在京津冀、长三角、粤港澳大湾区及成渝地区等建设多机场协同放行系统，通过 AI 动态分配起降时刻，提升空域使用效率。

三是数字化平台构建。构建民航大

数据平台，实现飞行数据、气象数据、旅客行为数据等的实时采集与分析，为民航运行提供精准决策支持。通过数字化手段优化航班计划、提升运行控制能力，推动民航管理向精细化、智能化方向发展。

四是推动中国技术标准国际化。推动中国智慧机场、低空经济等领域的技术标准（如电子客票、无人机适航）被国际民航组织采纳，提升全球话语权。这将有助于中国民航业在国际市场上占据更有利的位置，推动全球航空业共同发展。

第三，推动绿色化转型，低碳引领民航可持续发展。

一是清洁能源广泛应用。加速光伏、地源热泵等清洁能源在机场的应用，降低机场运营过程中的碳排放，力争 2030 年可再生能源使用比例提升至 80%。上海浦东机场光伏项目年减排 12 万吨 CO₂，成都天府机场地源热泵技术节省制冷能耗 40%，为绿色机场建设提供了成功案例。

二是可持续航空燃料（SAF）推广。制定清晰的可持续航空燃料采购与使用路线图，鼓励航空公司使用 SAF 替代传统燃油。预计 2025 年全球 SAF 市场规模将突破千亿元，2030 年使用比例将提升至 5%，显著降低民航业碳排放强度。

三是绿色机队更新。持续引进新一代高效能飞机，加速淘汰老旧高油耗机型，降低单位旅客碳排放量。通过机队现代化改造，提升民航业整体能效水平，推动绿色低碳发展。

第四，着力发展低空经济，助力新质生产力崛起。

一是空域开放与法规完善。借鉴湖南全域低空开放试点经验，逐步扩大 3 千米以下空域开放范围，建立“报备制”飞行管理模式，降低通用航空运营门槛。2025 年，合肥、广州、深圳等试点城市已实现无人机“即报即飞”，为低空经济



▲ 图 | 来源：中国东方航空

发展奠定了基础。

二是通用机场建设和网络覆盖。在旅游景区、产业园区等地建设通用机场，发展短途运输、航空旅游等业态。深圳计划 2025 年建成 50 个无人机起降点，实现城市低空物流全覆盖，这将极大促进低空经济的发展。

三是 eVTOL 发展与无人机产业化。支持亿航智能、小鹏等企业的 eVTOL 研发，推动其在城市通勤、应急救援等场景的应用。同时，依托顺丰、美团等企业扩大无人机物流规模，到 2030 年形成万亿级低空经济市场。这将为民航业带来新的增长点，推动低空经济成为民航业发展的新引擎。

主要结论与政策建议

中国民航领域投资存在滞后问题，是战略定位精准性不足、资金保障机制不完善、空域资源配置约束及历史发展路径依赖等多重因素交织形成的复合性结果。从国际比较视角看，中美民航发展差距的背后，从本质上反映出两国在民航产业发

展理念、产业生态系统构建等层面的深层分野。基于这一现实判断，“十五五”时期中国民航需推动三大战略性转型，实现发展模式的根本性升级。

首先是发展导向转型，从规模优先的发展导向转向以安全为前提、质量为核心的发展导向，核心逻辑从“增量扩张”转变为“提质增效”。其次是动力机制转型，从传统要素（土地、资本）投入驱动模式，转向以技术创新、制度创新为核心的创新驱动模式，动力源泉从“资源依赖”升级为“创新引领”。最后是推进路径转型，从局部单点突破的发展策略转向全产业链、多主体协同的系统推进策略，实施路径从“分散发力”优化为“协同攻坚”。

对于“十五五”时期中国民航投资体系建设，笔者的主要建议如下：

构建多元化融资体系，破解资金供给结构性矛盾。以“拓宽资金渠道、优化资本配置、提升投资效益”为目标，完善民航领域投融资机制。第一，适度放宽民航枢纽项目国有股权比例限制，鼓励各类市场主体通过股权合作参与项目投资，提升资本市场化运作效率。第二，引入基础

设施领域不动产投资信托基金（REITs）的市场化运作机制，重点盘活枢纽机场航站楼、货运中心等存量资产，形成“投资 - 运营 - 退出”的良性资本循环。第三，针对支线机场、通用机场的公益性属性，制定差异化“以奖代补”政策，明确补贴标准与考核机制，引导社会资本通过政府和社会资本合作（PPP）模式参与建设运营，形成“政府引导、社会参与、多元投入”的格局。

从投资规模看，“十五五”时期中国民航综合固定资产投资需力争实现年均 2000 亿元以上，为转型发展提供资金保障。

推进空域管理体制改革，释放航空产业发展空间。以“统筹资源、简化流程、提升效率”为核心，深化空域领域改革。第一，建立军民融合的空域动态调配机制，设立国家级低空交通管理协调机构，构建跨部门协同决策机制，统筹军民空域资源优化配置。第二，制定空域分类分级管理办法，2027 年前实现 3 千米以下空域分类分级有序开放，同步简化飞行计划审批流程，建立“网上申报、即时审核、动态获批”的数字化管理体系，缩短审批周期。第三，

建立空域使用效率评估体系，定期对空域资源利用率、飞行流量调配合理性进行评估，推动空域资源向高效益领域倾斜。

面向低空经济的空域改革，将直接拓展通用航空、无人机物流、航空旅游等产业场景，为中国航空产业实现“弯道超车”提供关键支撑。

深化多交通方式协同，优化综合运输资源配置。以“提升系统效率、降低社会物流成本、满足多元出行需求”为导向，推动民航与高铁深度协同。首先，加快空铁联运技术标准、服务规范与数据接口的统一，建立跨运输方式的信息共享平台，实现旅客行程信息、行李转运信息的实时互通。其次，构建高铁与民航客源分流补偿动态调整机制，根据航线客流量、高铁开通情况等因素，制定差异化补偿标准，平衡两种运输方式的利益关系。最后，在一部分航线密集区域（如京津冀、长三角、珠三角城市群），推广“高铁 + 短途航空”联运产品，建立市场需求响应式产品设计机制，通过“干线高铁接驳支线航空”的模式，优化综合交通资源配置，提升跨区域出行效率。

聚焦新质生产力领域，聚焦重点投资方向。“十五五”时期中国民航投资需精准聚焦四大新质生产力领域。第一，民航基础设施新基建。重点投向智慧机场（如无人值机、智能行李分拣系统）、空管系统升级（如北斗导航融合应用、空管自动化系统迭代）等领域。第二，绿色航空技术研发与应用。加大对新能源飞机、航空生物燃料、机场绿色能源改造（如光伏供电、地源热泵）等方向的投资。第三，低空经济产业链培育。围绕通用航空器制造、低空交通管理系统、无人机物流运营、航空应急救援等产业链环节，加大投资扶持力度。第四，航空服务数字化转型。推动民航服务平台（如出行 APP、货运信息

唯有锚定新质生产力，培育这一核心方向，以改革创新为不竭动力，方能大幅缩短与美国等航空强国的差距，真正实现从民航大国向全球航空强国的战略性跨越。

系统）的数字化升级，构建“一站式”航空服务生态。

综观全局，“十五五”时期作为中国民航迈向新征程的关键战略窗口期，需以投资结构优化为核心抓手，联合融资模式创新、空域资源统筹、产业协同机制完善等关键体制改革协同发力，在持续推进服务品质与运行效能的实践中，推动民航产业实现从规模扩张向高质量发展的深刻转型。唯有锚定新质生产力，培育这一核心方向，以改革创新为不竭动力，方能大幅缩短与美国等航空强国的差距，真正实现从民航大国向全球航空强国的战略性跨越。

立足这一战略基点，中国民航更需聚焦关键领域突破：进一步加大有效投资力度，构建更具韧性的航线网络布局，攻克空管技术、绿色航空等关键瓶颈，健全全链条政策保障体系，为民航基础设施实现跨越式发展筑牢根基。展望 2035 年，中国民航有望在机场总量规模、多跑道枢纽建设水平、空管自动化效能、绿色零碳转型进度等核心领域全面赶超世界先进国家，建成引领全球标准的民航基础设施强国，为中国经济高质量发展的纵深推进与全球竞争力的稳步跃升，提供坚实而强劲的支撑。



国内航空运输业的合作发展新趋势

文 | 柴雨丰

编辑 | 林喆

近年来，随着外部经营形势的变化，全球航空运输业合并重组的案例屡见不鲜。在行业内卷、各方竞争加剧、成本压力如山的背景下，国内航空运输业的合作领域也在不断拓宽，逐步形成了较为紧密、稳健的合作关系。未来，全行业还将不断尝试拓展合作新领域，探索合作新高地。

合作的主要形式

一是运输业务类合作。该类合作是基于运输业务场景下的合作，目的是给旅客出行带来更多的便捷服务选择，以业务为合作纽带，增强航空公司的产品竞争实力

▼ 图 | 来源：中国东方航空



和旅客黏性，比如航空公司间的代码共享合作、跨航司的通程产品合作、共飞航线联营业务、地面代理服务、常旅客积分互换合作等。合作一方是国内航空公司，另一方可以是航空公司、旅行社、金融机构、地面服务公司等各类公司。合作另一方既可以是境内公司，也可以是境外公司，既可以是提供服务方，也可以是接受服务方。如果没有运输业务类合作，航空公司将成为业务孤岛，营销、产品、服务、保障等航空运行环节的每一项工作均需自行完成，此种方式往往是不经济、缺乏竞争力的。

在当前航空运输全球化、专业化、网络化、竞争白热化的大趋势下，全球主流航空公司纷纷选择加入星空联盟、寰宇一家、天合联盟这三大全球航空联盟，航空联盟内的双边、多边合作已经发展成为航空公司重要的合作形式。国内航空公司以股权为纽带，已经形成了国航系、东航系、南航系、海航系等超级综合运输集团，集团内各公司之间开展了深度市场化的业务合作。

二是资本运作类合作。该类合作以一方持有另一方一定比例的股权、或双方相互持有对方一定比例股权、或双方共同受第三方公司控制等形式，使得两家公司及其成员企业之间具备了比较紧密的关系，双方进而开展其他的业务合作。比如国航与国泰交叉持股，进一步巩固了双方在香港相关航线上的龙头地位。随着航空货运的发展，国内一些航空公司将货运业务从客运中剥离出来，形成独立运营的货运公司，原客运公司持有该货运公司股权，或原客运公司与货运公司共同受第三方公司控制，货运公司对原客运公司进行客机腹舱买断经营，原客运公司不再开展与货运相关的营销活动。

基于战略目的，国内部分航空公司

尝试布局蓝海产业，试图破解发展瓶颈。比如国内三大航空集团均对国内某民航网络服务商进行了战略投资，体现了提前谋划布局民航信息化、数字化发展的意图。在航空产业链上，各航空公司在航空配餐、基地地面服务、飞机维修保障等领域均不同程度有所涉足，通过引入战略投资，将产业链上各细分领域的龙头企业吸引为战略投资者，达到保供给、强管理、促运输主业提升的战略目的。

强化合作的动因

无论是运输业务类合作还是资本运作类合作，在实践中往往是你中有我、我中有你，两类合作的动因有相通相似之处，其初衷都是推动航空公司更好地发展。

首先，合作是应对竞争的现实需要。国内航空公司在国际市场中直面欧美航空公司的激烈竞争，国内市场受高铁分流的冲击日益严重，而旅客的需求是差异化的，一家航空公司的航线网络、产品、服务、保障等不可能完全满足当今旅客多样化的出行需求，且大而全的经营布局也不具备最佳经济性，通过运输产业链间的相互合作以及跨界合作，可以互通有无，为旅客提供更多的选择机会。航空公司通过合作，充分发挥“1+1>2”的协同效应，不失是有效应对市场需求、抱团取暖、共克时艰的有效举措。

其次，合作能弯道超车，助力发展壮大。航空运输业具有明显的网络经济性，航线网络越大、航班密度越高，潜在的市场需求也就越大。国内航空公司通过航空联盟、代码共享等合作形式，可以高效拓展自己的航线网络。比如华夏航空专注于西部支线航空业务，但通过与其他航空公司的合作，其触角已经延伸到国内更广阔的区域。航司加入航空联盟后，还可以通

过对标合作伙伴，提升自己的管理水平。此外，通过以参股、控股运输产业链相关企业等形式，航司可以借力发力，实现市场与规模的快速扩张。而企业间相互派驻管理人员并借鉴提升管理能力，还可推动合作双方在中长期规划的基础上协同发展。

最后，合作是规避风险的有效手段。通过合作，将各个业务单元分散由不同的经营主体来经营，在一定程度上缓解了航空公司资金投入大、资产负担沉重等问题，有利于航空公司的成本控制，符合降杠杆、控成本的工作要求。传统航空公司通过投资等方式可以在低成本航空领域试水，双方各自聚焦细分领域，减少业务转型带来的经营风险。

未来发展趋势

从目前来看，航空公司大而全、单打独斗的发展模式不适应新形势的需要，合作将是常态化趋势。随着市场竞争的日益加剧，各运营主体间的合作将更加频繁、

形式更加丰富。

值得关注的是，航司在开展合作时，要高度关注乘客维权和寡头垄断的潜在法律风险。行业内普遍存在的乘客值机选座收费问题，引发社会对航空服务的广泛热议。因此，航司在开展一些比较敏感的业务合作（如全行业反内卷下的价格维稳、共飞航线合作经营等）时，要注意规避相关的风险。

政府主导下的综合运输规划合作。充分发挥大交通体系下的大规划协同，组织实施国内中远程市场“十五五”规划，特别是民航规划与铁路规划要一揽子考虑，避免低效、重复的投资建设。通过航站楼、高铁站的合理规划建设，进一步加强铁路与民航的有效衔接。民航内部对市场规模、机队数量、航网布局、机场建设、空域保障能力、飞机引进批文等要进行通盘考虑，按照木桶原理匹配增长预期。

全行业要在旅客便利出行方面深挖合作潜力。必须牢固树立大民航、大服务的理念，局方、航司、空管、机场及其他各驻场保障单位必须打破门户界限，各项服务工作要聚焦旅客便捷出行这一中心任务，在机场设计规划、安检、值机、最低过站时长、停机位分配、进离港程序、申请临时航路等方面合作挖潜。

产业链上的相关战略合作。积极推动基地航空公司与枢纽机场之间交叉持股，便于二者之间协同发展。产业链上下游之间的合作可能更加紧密，比如解决供应链紧张问题，寻求技术合作而在国内建厂。为推动国产大飞机项目，在国内乃至境外投资设立航空公司，助力国产大飞机走出国门。在民航细分领域的专业化之路将会越走越深，比如货运板块、维修板块、数字化资源、非核心人才的服务外包等。

▼ 图 | 来源：www.trade.gov



土耳其航空打造伊斯坦布尔枢纽的实践和启示

▲ 图 | 来源：grimshaw.global

文 | 蒋星

编辑 | 林喆

2024 年 7 月，民航局联合国家发改委下发《关于推进国际航空枢纽建设的指导意见》，要求建设世界一流航空企业和一流航空枢纽，进一步强化国际航空枢纽功能体系，同时明确了枢纽运营人是枢纽建设的主体。土耳其航空依靠伊斯坦布尔优越的地理位置，携手伊斯坦布尔机场强化中转功能，成为世界上通航点最多的航空公司，助力伊斯坦布

尔机场成为世界上通航点最多的机场。本文对土耳其航空与伊斯坦布尔机场强化中转功能、全力打造枢纽的相关举措进行讨论。

基本情况

土耳其航空（英文 Turkish Airlines，两字码 TK，简称“土航”）成立于 1933

年，是土耳其的载旗国家航空。土航是世界上航点最多的航空公司，连接五大洲超300座城市。伊斯坦布尔新机场作为其枢纽，不仅将亚洲、欧洲和非洲紧密相连，更展示了其独特的地理位置优势。其机队由A320系列、A330、波音737、787等组成，拥有强大的运营实力。土航在本地市场具有显著优势，并且作为连接欧亚大陆之间的桥梁，在中东地区具有战略性地位。

伊斯坦布尔地处亚欧非三大洲中间位置，地理条件极佳。伊斯坦布尔机场于2018年10月29日正式启用，并于同年10月31日迎来首个商业航班。至2019年4月6日，原伊斯坦布尔阿塔图尔克机场的民航客运业务全部迁转至新机场，标志着伊斯坦布尔机场全面投入运营。2024年，伊斯坦布尔机场旅客吞

吐量达到8007万人次，单机场排名全球第7位；货运量达到197万吨，单机场排名全球第15位，较2023年增长近40%，成为欧洲最繁忙的航空货运枢纽。

根据OAG数据，目前，伊斯坦布尔机场通航全球301个通航点，其中国内航点48个，国际航点253个（含洲际航点229个）。选取欧洲（法兰克福）、美洲（芝加哥）、亚洲（首尔）、中东（迪拜）、中国（北京、上海、广州）为对比对象，伊斯坦布尔有几个特点：一是伊斯坦布尔洲际航点数量很多，远高于其他机场，除了迪拜与伊斯坦布尔数量接近外，其他枢纽洲际航点数量不足伊斯坦布尔一半，其中主要原因是伊斯坦布尔优越的地理位置便于开通至欧洲、亚洲、非洲的航线。二是伊斯坦布尔有一定的国内市场，迪拜的国际通航点数量与伊斯坦布尔基本一样，但是阿联酋没有国内通航点，所以迪拜通航点数量亦远少于伊斯坦布尔。三是伊斯坦布尔基地航土耳其航空贡献大，土耳其航空通航了260个航点，绝对量远高于其他枢纽基地航，且在枢纽机场的占比也远高于其他机场基地航。

相比来看，中国三大枢纽通航点数量差距较大，特别是国际、洲际通航点数量较少，而国内通航点较多。

考察伊斯坦布尔机场和土耳其航空是如何成为全球通航点最多的机场和航空公司，主要原因在于中转业务的发展，可以说中转业务是枢纽的核心功能。

根据sabre数据，在全球长航线城市对中，只有0.5%的城市对（174对）之间每天旅客量超过400人，旅客量占比24%，这部分市场97%都能通过直达运输。每天旅客量100人至400人的城市对占比3%（919对），旅客量占比29%，这部分市场86%能通过直达运输。

每天旅客量20人至100人的城市对占比8%（2798对），旅客量占比23%，这部分市场只有39%能通过直达运输，也就是说61%都需要通过中转完成。剩下的城市对每天旅客量不足20人，但是城市对占比高达89%（29970对），旅客量占比24%，这些市场只有2.4%能够通过直达运输。

以上数据充分说明，中转业务对于航线开通的重要支撑作用，对于绝大多数市场来说，是不可能开通直达航线的，而只有通过枢纽机场中转。因此总结来说，土耳其航空成为全球通航点最多的航空公司的关键在于，依托极好的地理位置，拥有一定规模的国内市场，大力

发展各类中转业务，强化枢纽功能，并由此支撑大量航线运营。

强化中转的举措

一是构建航班波。航线网络是枢纽机场的核心竞争力，通过构建航班波，打造“轮辐式网络”，实现最大可能性的航班衔接机会，提升中转产品竞争力。

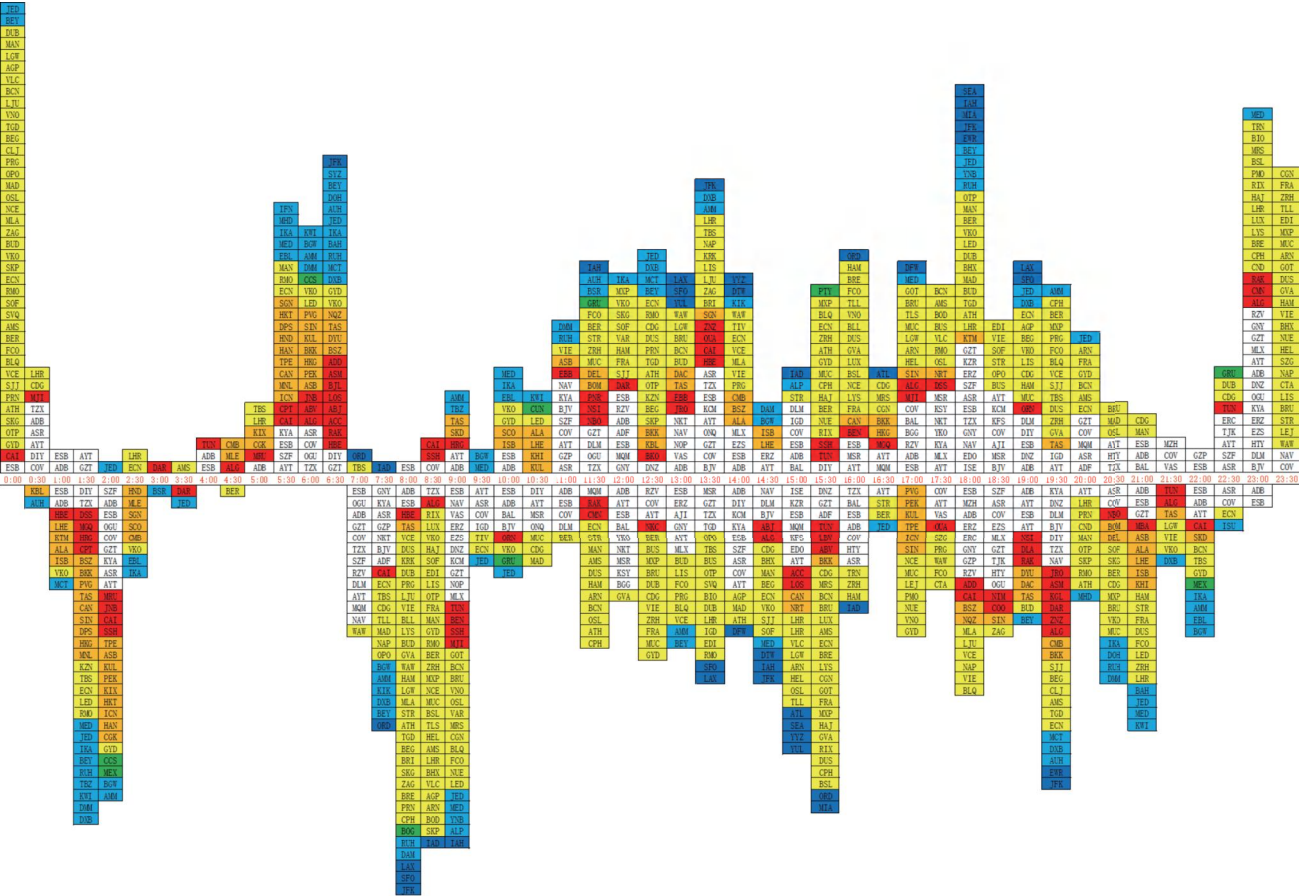
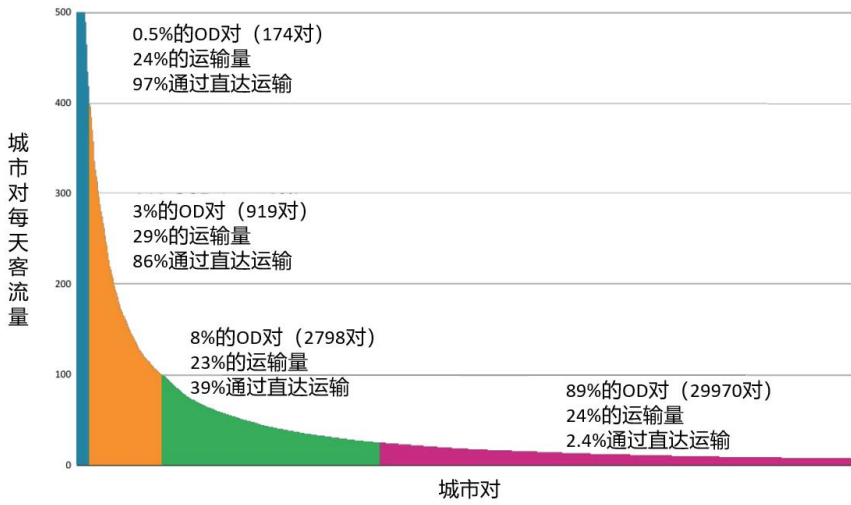
土耳其航空构建了每天“四进四出”的高质量航班波，依托该航班波实现跨越五大洲的中转业务。从波形可以清晰看出，进港波峰四个：23:00～1:00主要服务欧洲(黄色)、土耳其国内(白色)，5:00～7:00主要服务亚洲（橙色）、非洲（红色）、

图2 | 土耳其航空航班波（伊斯坦布尔机场）

表1 | 全球主要机场通航点对比

机场	通航点				
	总量	国内	国际	其中洲际	基地航
首尔	149	2	147	47	大韩航空
迪拜	251	0	251	211	阿联酋航空
伊斯坦布尔	301	48	253	229	土耳其航空
法兰克福	271	14	257	110	汉莎航空
芝加哥	240	174	66	59	美联航
上海浦东	221	134	87	39	东航
北京首都	200	123	77	45	国航
广州	189	128	61	29	南航

图1 | 全球长航线城市对OD旅客量情况 数据来源：sabre



中东（浅蓝色），11:00～14:00 主要服务亚洲（橙色）、非洲（红色）、中东（浅蓝色）、北美（深蓝色）、土耳其国内（白色），17:00～20:00 主要服务欧洲（黄色）、北美（深蓝色）、土耳其国内（白色）。出港波峰四个：1:00～3:00 主要服务非洲（红色）、亚洲（橙色）、中东（浅蓝色）、土耳其国内（白色），7:00～10:00 主要服务非洲（红色）、中东（浅蓝色）、北美（深蓝色）、土耳其国内（白色），13:00～16:00 主要服务非洲（红色）、欧洲（黄色）、北美（深蓝色）、土耳其国内（白色）、18:00～22:00 主要服务非洲（红色）、亚洲（橙色）、欧洲（黄色）、中东（浅蓝色）、土耳其国内（白色）。

二是运营保障。大规模中转业务开展需要强大的运营保障，土耳其航空通过运控中心统筹全部航班运行，运控中心设置在伊斯坦布尔机场内，负责监控土耳其航空所有航班运行，每一个航班的起降信息都在这里记录。所有航班、旅客和行李的信息也在这里追踪，包括其他航空公司与土耳其航空开展商务合作的旅客信息。

由于地理位置良好，土耳其机场较少出现极端恶劣天气，因此一年到头的运营通常较为稳定，这也为土耳其航空构建航班波、大力发展中转业务奠定了基础。其国际转国际 MCT 是 60 分钟，国际转国内则需要 90 分钟。

三是中转服务。除了尽可能降低 MCT 以满足旅客快速中转的需求外，土耳其航空针对中转时间较长的旅客推出各类文旅服务。

针对购买土耳其航空机票，在伊斯坦布尔机场中转时间 6～24 小时的旅客，土耳其航空免费提供 7 条当地旅游线路，时间范围包括上午、下午、晚上的半日游和一日游，可以满足各类旅客需要。旅游景点包括伊斯坦布尔的基本所有知名景点。土耳其航空还会免费提供交通和活动期间用餐，活动结束后会将旅客送回机场乘机。

针对中转停留时间在 20 小时至 7 天之间的旅客，可以在伊斯坦布尔享受免费住宿，经济舱旅客可享受四星级酒店住宿 1 晚。公务舱旅客可享受五星级或精品酒店住宿 2 晚。

机场的支持

机场基础设施和空域保障是土耳其航空枢纽运营的基础。目前，伊斯坦布尔机场航站楼总面积达 144 万平方米，设有 139 座登机廊桥及 78 个廊桥机位（采用组合机位，一个 A380 机位可以拆为 2 个机位保障 A320 等机型），另有 29 个货机机位；共配置 5 条跑道，包括两条长度分别为 4100 米的第一、第二跑道，一条 3060 米的第三跑道，以及两条各长 3750 米的第四、第五跑道。三组跑道在不同飞行程序下可以保障不同容量的航班起降，最高可达 120 架次 / 小时，是



IATA 一级机场，现在航班最多的一小时不到 110 个航班。整体设计满足高效运行需求，年旅客吞吐量设计能力达 9000 万人次。

但是，该机场目前只完成了 1/3 的建设计划，后续还有更多建设计划，远期将达到 9 条跑道（5 条同时满足起降需求、4 条单起或单降）、5 座航站楼，满足设计容量 1.5 亿人次。

伊斯坦布尔机场根据土耳其航空主要的客源国情况，在机场内有针对性地开展机场服务。例如中国是土耳其航空中转业务重要的客源国，因此伊斯坦布尔机场特别重视服务中国旅客，特别为中国人量身定制服务，机场中文提示覆盖广泛，各个服务环节都有部分员工可提供中文服务，并在机场内提供符合中国人习惯的热水，而在机场消费过程中，支持支付宝和微信支付。

伊斯坦布尔机场商业最大的特点是 24 小时运营，凌晨时分也是灯火通明，大部分商铺全都在经营，旅客络绎不绝，充分体现了“枢纽经济”的特点，这一

点和国内机场形成鲜明反差，凌晨中转旅客也可以在此进行购物消费。机场商业发展与枢纽中转是相辅相成的关系：一方面，伊斯坦布尔机场主要是国际中转旅客，中转比例达到 46.8%，国际中转旅客在出行过程中，由于大范围的跨时区移动，对时间的概念较低，因此在一天中的旅客分布也较为均匀，夜间旅客密度亦较高，足以充分支持大部分店铺营业；另一方面，良好的商业环境成为了伊斯坦布尔机场的名片，吸引了更多全球旅客来此中转。

土耳其航空携手伊斯坦布尔机场，依托优越的地理位置，通过构建航班波拓展航线网络、稳定高效运营、提供优质服务等系列举措，强化中转功能，打造出全球通达城市最多、连通性最好的枢纽机场，其发展模式值得中国民航借鉴。

▲ 图 | 来源：grimshaw.global

▼ 表 2 | 土耳其航空中转旅游线路

线路	时间	主要景点
线路 1	8:00-11:30	塔克西姆广场、瓦伦斯水道桥、叶尼卡皮港、城墙、埃米诺努区、金角湾、多尔玛巴赫切宫
线路 2	8:30-15:00	蓝色清真寺、竞技场：德国喷泉、埃及方尖碑、蛇柱、围墙方尖碑、伊斯坦布尔伊斯兰科学与技术历史博物馆
线路 3	8:30-18:00	蓝色清真寺、竞技场：德国喷泉、埃及方尖碑、蛇柱、围墙方尖碑、托普卡珀皇宫、大巴扎
线路 4	12:00-18:00	耶尔德兹宫、库兹贡丘克彩色木屋
线路 5	16:00-21:30	君士坦丁纪念柱、奴鲁奥斯玛尼耶清真寺、大巴扎、马哈茂德二世墓、竞技场：德国喷泉、埃及方尖碑、蛇柱、围墙方尖碑、蓝色清真寺
线路 6	18:30-23:00	博斯普鲁斯海峡游轮
线路 7	18:30-23:00	竞技场：德国喷泉、埃及方尖碑、蛇柱、围墙方尖碑等

哈飞的传承与破局

文 | 欧阳亮 廖天航 编辑 | 陈伟宁

20 世纪 60 年代初，随着国家对航空工业布局进行调整，哈飞正在研制中的一个大型飞机项目被整体迁往西飞，在该项目中起到重大作用的“马凤山笔记”也随之前行。不久后，西飞向上级机关请求把马凤山调到西飞来。马凤山在 1964 年被调往西飞，担任设计科副科长。后来，马凤山又被调往上海，担任我国自主研制的第一款大型商用飞机——运 10 的总设计师。

离开后，马凤山再也没能回哈飞工作，哈飞也因那次大调整而与大型飞机主制造商擦肩而过。但马凤山在离开哈飞前，先后参加了松花江 1 号小型旅客机、和平 401 号短程喷气客机的设计及和平 402 号涡桨客机的方案设计工作。这是以马凤山为代表的那一代哈飞人为探索前路而点亮的火把。

▼ 图 | 哈飞保留下来的运 11



之后，哈飞以此为起点，在通航飞机的赛道上闯出了一片天地——其研制的运 12 系列飞机大放异彩，至今已累计取得 16 个国家和地区的型号合格证，向 29 个国家累计出口 129 架飞机。在 C919 立项后，哈飞重回大型飞机的研制轨道，成为 C919 的结构供应商之一。

运 11 的“三个当年”

哈飞创立于 1948 年，是“一五”时期国家从苏联引进的 156 个重点建设项目之一，早期曾为我国航空工业发展作出过卓越贡献。

哈飞副总工程师刘永胜向《大飞机》杂志记者介绍说：“我国第一架直升机直 5、第一架轻型喷气轰炸机轰 5、第一架大型水上反潜轰炸机水轰 5 等机型都诞生在哈飞，后来因为国家对航空工业布局进行调整，哈飞把手中的型号、人才大量转移到其他厂所，支援了全国 20 余个厂所的建设。”

到上世纪 70 年代中期，企业发展的需求和型号研制的需要，让前人开创的小型飞机赛道重新回到了哈飞人渴望的视野。当时，我国民航、农业、林业等部门正使用安 -2 进行播撒农药、播种造林等业务，但安 -2 研制于 20 世纪 40 年代，已不太适应各部门日益增长的需求。于是，根据市场需求和自身技术实力，哈飞于 1974 年确定研制小型多用途运输机——运 11。

就像前面讲到的多个第一一样，哈飞在运 11 项目上又创造了一个奇迹：1975 年 1 月，哈飞召开运 11 研制动员大会，掀起大干运 11 的热潮。在研制过程中，哈飞人将设计与工艺准备高度平行交叉作业，大大缩短了研制周期。当年 12 月，试飞员驾驶运 11 在哈飞机场上顺利完成

首飞，实现了当年设计、当年制造、当年上天的“三个当年”研制目标。

“运 11 的研制为什么能这么快？是因为研制之初的定位就是要‘便于制造、易于维护’，比如它的机翼是平直翼，它的机身基本是一个矩形截面，这样使得它的框、肋等重复使用率特别高。”刘永胜介绍说，这一原则后来在运 12 系列飞机上也得以延续。

运 11 的优点很多，比如设计布局合理、低空低速作业性能好、座舱宽、视野好、对机场跑道条件要求低、使用维护简单等，因此先后被改装为农用型、客运型和地质勘探型等几个型别，被广泛地应用于飞播小麦和水稻、农业施肥、除草杀虫、植草造林、地质勘探、空中摄影、短途支线运输、旅游观光以及野外考察等多种用途。

后来，哈飞还组建了运 11 农林航空服务队。“农林航空服务队是当时全国除空军、民航之外的首个飞行单位。这也是哈飞创造的一个里程碑——航空制造工厂组建航空服务队。”刘永胜告诉记者，哈飞不仅负责设计、制造、运行支持，也提供航空服务，把民机各个环节的流程全部打通，更便于收集用户的反馈以对飞机进行升级迭代，不断提高产品的可靠性和成熟度。

民机适航的里程碑

在运 11 的基础上，哈飞进一步研制了运 12 系列飞机。运 12 飞机于 1980 年启动设计，1985 年取得中国民航局颁发的第一个民用飞机型号合格证，翌年又取得该局颁发的第一个生产许可证。

1986 年，运 12 飞机开始外销，开创了我国民机出口的先河。1990 年 6 月 20 日，英国民用航空总局向运 12 颁发了型号合格证。这是我国民用飞机第一次获

得国际权威适航机构颁发的型号合格证。随后，运 12 又获得了美国联邦航空局的适航证。“这都是我国民机史上的第一次。”刘永胜表示，通过运 12 系列飞机研制，哈飞实现了 23 部飞机设计、试验、制造等技术能力的全面提升。

“到今天，运 12 已经获得了 16 个国家或地区的型号合格证，向 29 个国家累计出口 129 架飞机。”刘永胜介绍说，运 12 系列不仅在设计、制造等领域极大地提升了中国通航飞机的水平，在适航领域，运 12 系列也作出了极大的贡献。

运 12 飞机是 1984 年中国民航局行使国家对民用飞机适航管理职能后审定的第一型飞机，也是我国首型全面按照 FAR23 部适航条例研制的飞机。“运 12 开创了中国适航工作的先河，可以说，中国适航工作是伴随着运 12 的成长发展起来的。”刘永胜总结了运 12 适航工作的两条经验：一是在定义阶段就把适航理念贯彻到每个系统的设计中，从材料标准体系的选用、制造工艺文件的确定到供应商支持计划，都有一整套充分的策划和评估，从而避免了返工；二是先易后难，先落实保证安全的基本条款，然后再一步一步迭代，使飞机在迭代中不断走向成熟，同时

工业方和局方的适航管理能力也逐步得到提升。

通过研制运 12 飞机，哈飞建立了基于民机适航的 23 部飞机研发体系，攻克了民机适航试验与试飞验证技术、风险科目试飞与安全管理方法、试飞数据采集与分析技术、试飞性能扩展方法，建立了符合国际适航要求的国产材料和标准件体系，突破了飞机发动机非包容性失效的设计防护分析方法、飞机系统安全性设计及分析方法，首次在美国联邦航空局适航审查中进行了尾翼结冰失速特性适航试飞。

通过研制运 12F 飞机，哈飞攻克了轻型飞机薄壁结构损伤容限设计验证技术，运 12F 飞机因此成为世界上首款按照损伤容限要求设计的 23 部飞机；建立了民机复合材料结构设计、制造、检验以及试验验证技术体系；国内首次在 23 部飞机上采用基于 IMA 技术的综合航电系统，并通过了中外民航局的适航审查。

“运 12 飞机见证了我国适航发展的历史，对我国适航管理体系的建立起到了巨大的推进作用，也为适航管理工作开展提供了技术与人才支撑。”刘永胜告诉记者，运 12F 飞机的中美联合审查，推动了中美两国适航部门最终达成双边适航协议。中国民用航空局、美国联邦航空局对按 23 部适航条例进行的适航审定工作对等互认，标志着中国适航管理真正与世界先进接轨，是中国适航管理发展史上具有里程碑意义的重大突破。运 12F 飞机申请 EASA 型号合格证，是在中欧适航协议框架下，23 部飞机产品类型中 EASA 对 CAAC 型号合格审定认可的首个项目。根据中欧 BASA-TIP，在运 12F 获取 EASA 型号合格证之后，EASA 将对中国新申请的 23 部飞机适航审查改为采用一般性技术认可模式，降低认可审查的范围和深度，这将大幅降低取证成本、缩短取证时间。

“大飞机与小飞机在适航工作的具体要求上会有不同，但是工作基本逻辑是相通的，运 12 系列国际适航工作的经验，特别是申请美国、欧洲型号合格证的合作审查经验能对 C909、C919 国际适航工作起到一定的借鉴作用。”刘永胜表示。

让国产民机越飞越好

“运 12 系列飞机经过很多次迭代，有运 12 I 型、运 12 II 型、运 12 IV 型、运 12E 型、运 12F 型等。”刘永胜介绍说，运 12 IV 型在原来的基础上增加了最大起飞重量，运 12E 型通过换发提升了高原性能，现在它的短途起降性能和高原性能特别优异，“运 12F 则相当于一款全新的机型，它的气动、航电、客舱宽度与长度、起落架都有改动，机身材料也有变化，其方向舵、升降舵、副翼等都采用了复合材料，全机面积的 10% 左右是复合材料。”

哈飞在飞机制造中大量使用复合材料始于上世纪 80 年代，当年引进海豚直升机，使哈飞在复合材料上的制造、检测、试验等方面的水平得到了跨越式提升。刘永胜表示，哈飞承接的 C919 飞机工作包基本上也是以复合材料为主，正是因为哈飞在复合材料制造上有 40 多年的经验，具备复合材料构件成型、数控加工、喷漆和装配等专业能力。

哈飞承接的 C919 工作包包括主起落架舱门、前起落架舱门、翼身整流罩、垂尾梁等。目前，翼身整流罩、起落架舱门和垂尾梁等已进入稳定的批生产状态。

刘永胜告诉记者，为配合中国商飞 C919 的产能提升计划，哈飞已启动了集复材零件成型和铆接装配的 C919 大部件工业化园区建设工作。其中，新复材厂房预计今年年底前实现暖封闭，翼身整流罩和起落架舱门工业化工装正在制造中，将于

在全力提升生产能力的同时，哈飞也在积极谋求向智能化转型，比如搭建智能生产线，全面启动制造数字化转型工程，构建覆盖从研发设计到批量生产的智能制造生态系统。

年底前交付，相关关键设备也已陆续到厂，整个园区将按计划在 2026 年投入使用，从而实现翼身整流罩、起落架舱门和垂尾梁等 C919 部件产能的大幅提升。

在全力提升生产能力的同时，哈飞也在积极谋求向智能化转型，比如搭建智能生产线，全面启动制造数字化转型工程，构建覆盖从研发设计到批量生产的智能制造生态系统。未来，哈飞还将通过构建智能化试飞调度与物理孪生环境、突破半物理仿真测试与高精度动态校准技术、建立航空工艺知识图谱及 AI 驱动的工艺设计工具，全面提升生产制造系统的智能化水平。

“哈飞的规模不是特别大，但有自己的特点：一是研产一体化结合得比较好，既有很强的设计能力，也有完整的生产制造团队，又有较强的客户服务运营支持能力，我们的产品包括通勤类飞机、直升机等，各方面的能力都比较均衡；二是在复合材料上的优势，我们有完整的制造能力和检测能力，因此我们的产品既可以保证质量，又可以凭借规模优势把成本降下来。”刘永胜表示，我们大家齐心协力，一定能让国产民机越飞越好！

运 12 飞机是 1984 年中国民航局行使国家对民用飞机适航管理职能后审定的第一型飞机，也是我国首型全面按照 FAR23 部适航条例研制的飞机。

这个 C909 航班满载转机旅客

从“干支”输送客流视角找寻国产商用客机经济性的更多维度

文 | 张凯敏

编辑 | 陈伟宁



▲ 图 | 贺明 摄

9月9日19时30分许，CZ3891航班抵达广州白云国际机场，旅客分乘两辆摆渡车前往航站楼。与记者一起抵达到达口的旅客大约有30人左右，然而其中只有3人与记者一起走向行李提取大厅，其他的旅客不约而同在之前左拐前往中转通道，准备搭乘下一个航班。

最近，记者搭乘C909航班时发现，部分航线旅客中转率极高。在民航局大力发展“干支通、全网联”的当下，中国商飞该如何从客户需求视角思考这一问题呢？

C909 这趟航班全满

CZ3891航班从揭阳飞往南航的大本营广州，航程380公里，飞行时间不到50分钟。

对于这类超短途航班，坊间往往会有“如此短的距离谁坐飞机”这样的质疑。市场总是用事实来表达“自己”的观点，记者搭乘的这趟C909执飞的航班不仅客满，并且还有两个挺有趣的场景。

首先，作为一个国内航班，大多数国内旅客都使用身份证值机，而在这个航班登机时，队伍中有很大一部分旅客手持的是中国护照。其次，飞机落地广州后，比起平时的客舱广播，乘务长在播报中特地提醒旅客，可以关注航司APP或小程序，查看后续航班信息。上述两个场景更多出现的场合是国际航班，以及中转率较高的大型枢纽机场。

回程的CZ3896航班同样让人感到浓浓的转机气息。刚一登机，乘务长便广播通知，正在等待几位因前序航班延误的旅客。之后，机上广播再次寻找几位转机行李无法同机抵达的旅客。最后，飞机减掉两名确定赶不上的转机旅客，以接近客满的上座率起飞前往揭阳。

“近年来，基于O & D管理的产品开发模式已经成为世界上大部分大型网络航空公司普遍的选择。”中国民航管理干部学院教授、通程航班研究所所长李桂进告诉记者，ORIGIN DESTINATION（起点—终点，简称O & D）模式就是航空公司在销售航空运输服务产品时，不单纯根据自己运行的点对点航班销售，而是按照旅客需要的航空运输始发地和目的地销售。只要旅客输入日期、出发地和目的地，航空公司就将其能够提供的多个最优航班组合显示出来，这些航班的中转或经停次数、中转或经停地点、

ORIGIN DESTINATION（起点—终点，简称O & D）模式就是航空公司在销售航空运输服务产品时，不单纯根据自己运行的点对点航班销售，而是按照旅客需要的航空运输始发地和目的地销售。

机型、时刻和价格不同，由旅客根据自己的偏好进行选择。

“从揭阳出发，经广州中转的行程就是南航采用O & D模式的一个典型代表。”李桂进表示，早些年南航以广州为枢纽，通过其与大洋洲、欧洲的航线网络打造“广州之路”，这是中国航司探索O & D模式的起源之一。

“从航班时刻看，CZ3891主要用来接续南航夜间到次日凌晨出港的国际航班。”据广州民航职业技术学院民航经营管理学院副院长綦琦介绍，南航目前揭阳至广州之间每天有3个C909执飞航班往返，早、中、晚各一班，主要用来给广州枢纽摆渡搭乘南航广州出港国际、国内航线的旅客，“考虑到航班波的衔接，这条航线早、晚两班客座率极高。”

没有旅客会跟钱过不去

无独有偶，东航于上周使用C909加密上海—合肥航班至每天两班。原本一对航班为晚上从上海出发前往合肥，第二天一早返回上海，新增的航班对应为一早从上海飞往合肥，晚上再返回上海。新航班开通第4天，记者体验了这

趟同样航程较短只有 412 公里的航班。

尽管航班开航还不到一周，这趟一大清早从上海浦东国际机场出发的航班仍有近七成的上座率，并且记者在旅客中发现了不少转机旅客的身影。一名新加坡籍女士当天凌晨搭乘 MU544 航班从新加坡飞抵上海浦东，抵达 3 个多小时后，再搭乘这趟 MU9021 航班前往合肥。

“新加坡到合肥有直飞航班，但不是天天飞，今天就没有，我就选择了东航这个中转，是最快的一个方案。” 这名女士表示，她从事的工作需经常往来新加坡与中国，对于一些中小城市，选择中转航班是家常便饭，“我一般会选择花费时间最少的。”

此外，这趟航班上还有一个六七人的旅行小团，他们前一天搭乘东航的航班从东京成田飞抵上海浦东，第二天一早继续飞往合肥。“我们原计划昨天下午抵达上海，然后当晚转机回合肥。结果在东京遇到了航班延误，到上海时已

经错过了原定的第二程航班。” 据团中一名年长者介绍，东航当即给他们改签到了这趟航班，“在上海住了一晚，他们（东航）说，原本得等到今天晚上才有航班，刚巧几天前新开了一个早上的航班，一下子方便了不少。”

“对于中转行程，如果其中必须有航空行程，那么旅客往往更愿意全部选择飞行。” 慕琦告诉记者，这个选择一方面来自于旅客的习惯，另一方面是联程航班衔接最为紧密，中间环节比较少，

“比如上述旅行团因为购买了东航的联程机票，在第一程延误的情况下，航空公司会妥善安排后续行程，误机带来的改签或者退票都是免费的。如果是与其他交通工具衔接，那会增加许多麻烦事，还会带来经济损失。”

记者还在 MU9021 上遇到一名年轻旅客，他是一大早从青岛出发搭乘 MU5522 航班到上海中转后前往合肥的。

让记者有些疑惑的是，同样是东航，

上午就有两班从青岛出发执飞合肥的航班，但这名旅客却执意选择出发更早、到达更晚的中转行程。面对疑惑，这名旅客略显尴尬地表示，因为中转航班的票价比直飞稍稍便宜了几十元，让他做出了这个选择，“而且我挺爱飞行，少花点钱，多飞一个航段、多飞些航程，心里也是挺开心的。”

“没有旅客会跟钱过不去。” 李桂进表示，一般情况下，有直飞航线竞争的中转航线，票价都会比直飞航线卖得便宜，这就是竞争，当然有时还需要考虑航空公司品牌效应的溢价，“C909 目前已经实质性地参与了国内航空公司 O & D 模式的经营，比较多的是从支线机场到干线机场的旅客输送。研究表明，中小机场与大型枢纽机场的航班频次，每天运营 3 班最佳。在航线客流不大的情况下，C909 或许是一个较好的选项。当然，如果有更大量的客流，C919 也可以成为市场的选择。”

更精准地了解市场需求

据了解，在支线航空较为发达的美国，中转这个概念已紧密地融入了广大公商务旅客的出行习惯。据李桂进介绍，美国人坐国内航班，只要去非大型枢纽机场，很大概率会选择中转航班。国际航协（IATA）数据显示，2019 年 10 月芝加哥奥黑尔机场起降的航班中平均每天有 1379 架次为支线机型，这一数字占日平均起降航班量的 54%。

在中国，中转航班也成为越来越多旅客的选择。今年 6 月，上海浦东进出往返首尔仁川的旅客量为 15.9 万人次，其中中转旅客超过 2 万人次。

“随着越来越多飞机投入市场运营，中国商飞近年来正逐步融入民航，不断

研究寻找合适的航空公司、合适的航点与航线，使两款飞机越来越符合市场的需要。” 慕琦建议，在充分关注飞机适航、性能等运营指标的前提下，中国商飞可以更多研究航空公司的市场运营模式，从旅客需求、航空运输市场需求出发，站在客户面前了解客户的需求，“真正掌握市场规律与商业逻辑，用案例给更多航空公司讲故事，用数据引导航空公司去思考，让国产商用飞机飞得更好、更远。”

李桂进介绍说，航空公司采用 O & D 模式，有一种方式就是当某条主要航线客座率较低的时候，放出与之相连接的中转行程较低票价，通过价格杠杆吸引更多旅客购买，从而提升主要航线的客座率。“要算大账、算总账，这时虽然卖出的中转票比较便宜，但对航司整体网络营收来说还是有益的。” 李桂进建议，在关注单座运营成本的基础上，市场也应该更多关注支线客机对航空公司整个航线网络的贡献率，“之前，有一家国内航司，为了促进自身国际枢纽通程航班的竞争力，单独考核各分子公司中转旅客量对国际枢纽的网络贡献，这一模式可以给综合计算 C909 经济性提供一定的借鉴。”

针对目前国内大型枢纽机场普遍存在的时刻紧张情况，慕琦建议可以参考学习华夏航空“库尔勒模式”，立足诸如揭阳、合肥、南昌、呼和浩特等相当规模的机场，采用串飞、环飞等模式，打通当前航空运输的堵点，释放市场需求，实现主制造商、航空公司、机场、地方的多赢格局。





图 | 来源：www.lockheedmartin.com

超音速商业飞行再见曙光

文 | 隋丕宁 编辑 | 陈伟宁

在告别超音速商业飞行 23 年之后，2025 年 10 月 28 日晨，人类再次见到了超音速商业飞行的曙光。当地时间早上 8 点左右，NASA 与洛克希德·马丁公司联合研制的 X-59 “静音超音速验证机”从臭鼬工厂的机场起飞，经过 1 小时 7 分钟的飞行后，降落在附近的爱德华兹空军基地，完成了其历史性的首次试飞。这次飞行的飞行速度约 380 公里 / 小时，飞行高度约 3660 米。洛克希德·马丁公司表示，X-59 “完全按计划执行飞行，验证了初始飞行性能和空速数据表现，最终安全降落

在其新基地”。

这次首飞并未突破音障，也没有展示任何“惊险动作”，但它仍然被视为一个重要里程碑。因为 X-59 的存在，本身就意味着人类继续追寻超音速商业飞行的梦想。更重要的是，这一次尝试不再以“飞得更快”为唯一目标，而是直面一个曾经让超音速客机折戟的核心问题——音爆。从技术来说，X-59 不可能直接成为一架载客飞机，但它很可能在不久的将来，为重新打开超音速商业飞行的大门铺平道路。

为“静音超音速”而生

X-59 是 NASA “Quesst” (Quiet Supersonic Technology) 项目的核心飞行验证平台，一架用于验证“低音爆”超音速飞行的实验飞机。从外观上看，它几乎颠覆了人们对飞机的传统认知：机身细长，机头异常修长，其长度甚至超过了整个机身的三分之一。

X-59 机身长约 30 米，翼展约 9 米，高度约 4.3 米，发动机藏在垂尾根部，整架飞机像一支拉长的银色箭头。它的设计巡航速度约为 1.4 马赫，飞行高度可达 1.6 万米以上，单次飞行时间通常在 1 小时左右。与历史上的超音速客机不同，X-59 只设计为单座飞行器，不具备任何商业载客能力。

X-59 的超长机头并非为了“造型前卫”，而是服务于一个明确目标：重新塑造冲击波的传播方式。传统超音速飞机在突破音障时，会在机头、机翼、尾部形成多重激波，这些激波在地面叠加后，便形成了震耳欲聋的音爆。X-59 通过极端拉长机身并精细控制整机的体积分布，使机头、机翼和尾部产生的多组冲击波在传播过程中不再叠加成传统的强烈“N 型音爆”，而是以一系列幅度更低、时间上错开的压力变化传到地面，使听感更接近远处雷声或关车门的闷响。

由于机头过长，飞行员在 X-59 的驾驶舱内几乎无法直接看到前方跑道。事实上，X-59 根本就没有设计前向舷窗，而是采用了一套名为“外部视觉系统”的数字化方案，通过前向摄像头和显示系统，为飞行员提供实时合成视野。这种设计既避免了协和飞机那种复杂且沉重的可下垂机鼻，也确保了机腹绝对光滑以控制激波。当然，这也体现了 X-59 作为验证机而非实用飞机的属性。

在首飞之后，时任 NASA 代理局长肖恩·达菲 (Sean Duffy) 表示，X-59 的成功首飞标志着美国在超音速航空领域迈出了决定性一步，其意义不在于速度本身，而在于“将巩固美国在航空领域的领先地位，并有望改变公众的飞行方式”。

美国媒体和航空界的评价总体谨慎而积极。多家媒体指出，X-59 并不是“新一代的协和飞机”，而是一款为监管和政策服务的技术验证机。航空工程界则普遍认为，如果低音爆设计能够在后续试飞中得到证实，将为修改现行的陆地超音速飞行禁令提供前所未有的数据基础。

从突破音障到商业搁浅

人类对音速的追求要回溯到 1947 年。那一年的 10 月 14 日，美国飞行员查克·叶格驾驶贝尔 X-1 “光彩格伦尼斯”号火箭飞机首次突破音障，证明了超音速飞行在工程上是可行的。这一成就迅速点燃了各国对超音速航空的热情。

比如，美国开启了 X 系列火箭 / 喷

图 | 来源：simpleflying.com



气试验机的试验 X-2 (1952 年)、X-3 (1952 年)、X-4 (1950 年)、X-5 (1951 年) 等, 系统探索了后掠翼、变后掠翼等气动布局, 后来的 X-15 高超音速试验机在 1959 ~ 1968 年间验证了 3 马赫以上的飞行技术。1960 年代, 波音启动了 2707 项目, 并曾进入详细设计阶段, 但最终因经济可行性、音爆和环境问题于 1971 年中止。

英国的三角翼超音速研究机费尔雷 FD-2 (Fairey Delta2) 也是 1950 年代标志性的超音速飞机项目, 为超音速飞行技术验证和后续协和式客机研发作出了关键贡献。1956 年 3 月 10 日, 费尔雷 FD-2 创造了世界速度纪录, 成为首架时速超过 1000 英里 (1609 公里) 的飞机。试飞员彼得·特威斯 (Peter Twiss) 因此成为第一个飞行速度超过地球自转速度的人——向西飞行时能“逆转日落”。

当然, 最有名的超音速飞机还是最终走向了商业飞行的英法联合研制的协和飞机和苏联的图 -144。协和飞机能够以 2 倍音速巡航, 将从伦敦到纽约的飞行时间缩短到 3 个半小时, 成为航空史上最具有象征意义的机型之一。

然而, 协和号的辉煌从一开始就伴随着阴影。首先是音爆问题。协和号在陆

地上空突破音障时产生的巨大噪声, 引发了大量投诉, 最终迫使各国限制甚至禁止其在大陆上空进行超音速飞行。其次是经济性问题, 高昂的燃油消耗、复杂的维护需求, 以及有限的载客量, 使其商业模式极为脆弱。2003 年 10 月 24 日, 协和飞机执飞最后一个航班后, 永久退出了商业运营。至于苏联的图 -144, 因技术成熟度不足和安全问题, 只进行了 100 次商业飞行, 早在 1978 年就退出了历史舞台。

音爆是协和飞机退出运营的重要原因, 也是全球民航业的一大障碍, 因此从人类第一次突破音障后, NASA 就开始着手研究音爆。1964 年, NASA 在俄克拉荷马城上空开展了大规模音爆实验。在接受调查的 3000 人中, 73% 表示可以忍受这种噪音, 而 27% 则表示无法接受频繁的噪音干扰。此外, 40% 的受访者报告称噪音导致建筑物及其他财产受损。研究表明, 噪音会导致建筑物振动, 石膏、瓷砖和玻璃等易碎材料容易受到损坏。

在这一背景下, 虽然欧美航空界从技术上证明了小展弦比机翼适合超音速飞行、涡轮喷气发动机也使持续超音速飞行成为可能, 且 X 系列与早期战斗机的探索解决了客机跨音速操控的难题, 但美国仍于 1973 年明确禁止民用飞机在本土上空进行超音速飞行。这一禁令至今仍然有效, 直接切断了超音速客机执飞美国本土航线的可能性。

再出发：重新定义“超音速”

虽然法规明令禁止在陆地上空进行超音速商业飞行, 但已“尝过鲜”的航空界对速度的渴望并未消失。在 2011 年的巴黎航展上, 空客展出了长达 4 米的“零排放超音速飞机”的模型。按空客的设想, 这款飞机的速度可达 4 倍音速, 两个半



小时就能从法国巴黎飞抵日本东京。而差不多的时间内, 日本 JAXA 也开始了一个名为 D-SEND 的计划, 以验证其所提出的“静谧超音速概念模型 (S3CM, Silent Supersonic Concept Model)”验证机的低音爆构型飞行性能。同时, ICAO 下属的航空环境保护委员会 (CAEP) 开始讨论新一轮的噪声标准, 让美国压力陡增。如果美国拿不出“可量化、可验证”的低音爆数据, 新的超音速噪声标准将有可能被欧洲主导, 导致美国在新的超音速商业飞行时代“被动挨打”。

2014 年 11 月, NASA 向工业界发布“Quiet Supersonic Technology (QueSST)”需求征询书, 要求实现四大目标: 把音爆降到 ≤ 75 分贝 (协和 ≈ 105 分贝); 巡航速度在 1.4 ~ 1.5 马赫, 巡航高度达到 55000 英尺 (约 1.6 万米); 单座, 可每日安全飞行 ≥ 4 小时;

能为后续 ICAO 超音速噪声标准提供社区测试数据。经过一番激烈竞争, 洛马的臭鼬工厂方案击败波音、诺格, 赢得合同, 于是诞生了 X-59。

由此可以看出, X-59 就是为改变规则而生。根据 NASA 的计划, 2026 年, X-59 将进行 60 架次的试飞, 在 1.6 万米高空以 1.4 马赫巡航, 届时 NASA 将采用地面麦克风阵列和高空探空球采集相关音爆数据。2027 至 2028 年, X-59 将在美国 6~8 个都会区进行 150 次超音速飞越, 届时 NASA 将收集 4000 份居民主观响应, 并将相关数据提交给 ICAO 作为国际超音速飞行噪声标准的依据。

事实上, 美国政府也在努力为陆地上空的超音速飞行松绑。2025 年 6 月 6 日, 美国总统特朗普签署行政命令, 要求: “通过更新过时标准, 拥抱当下及未来的技术, 我们将赋予工程师、企

▲ 图 | 来源: www.nasa.gov

▼ 图 | 苏联图 -144 超音速侧影





▲ 图 | 来源: skiesmag.com

业家和有远见者力量, 打造下一代航空旅行——比以往任何时候都更快、更安静、更安全、更高效。”

该行政命令要求 FAA 在 18 个月内发布拟议规则制定通知 (NPRM), 制定超音速飞机噪音认证标准, 并解除陆上空域超音速飞行禁令。当然, 前提是超音速飞行不会产生在地面可听见的音爆。

在美国政府之外, 产业界也对超音速商业飞行充满热情。其中, Spike Aerospace 和 Boom Supersonic 是最受关注的探索者之一。Spike Aerospace 正在研发一款名为 S-512 “外交官” (S-512 Diplomat) 的低音爆超音速公务机。该机型机身长度 40 米、翼展 18 米, 采用纤细弧形尖头机身与大后掠翼型, 并取消水平尾翼以减少飞行阻力。Spike 公司通过软件优化激波结构, 把 S-512 在超音速飞行时, 地面能听到的噪音降至 70 分贝以下。

Boom 公司正在研发的“序曲” (Overture) 超音速客机, 计划以约 1.7 马赫的速度在 6 万英尺 (约 1.8 万米) 的高空巡航, 搭载 60 至 80 名乘客, 主要服务跨洋高端航线。目前, Boom 公司已完成其缩尺模型 XB-1 飞机的超音速测试, 测试时 NASA 用纹影摄影和地面麦克

风实测, 确认 XB-1 飞行时地面确无音爆。XB-1 使用的技术说来也简单, 因为它飞得足够高, 产生的激波被大气折射, 能量逐渐衰减, 到地面时已听不见。

Boom 公司计划在 2027 年实现其全尺寸“序曲”的首次飞行, 并于 2030 年将这款飞机推向市场。目前, Boom 公司已收到日本航空公司、美国联合航空公司、美国航空公司共 130 架飞机的订单承诺, 另有 51 架订单来自未公开身份的客户。

结语：平衡之下的曙光

从 X-59 的首飞到各国企业和科研机构的持续探索, 超音速客机重返民航市场还需要很长时间, 法规的修改、技术的成熟、商业模式的验证, 都需要时间。

但与协和飞机退出运营时的悲壮相比, 今天的超音速商业飞行已经不再只是怀旧式的回忆。X-59 所代表的, 是一种更现实、更克制的尝试。或许正是这种不再追求“更快就是更好”, 而是试图在速度、噪声、环保和商业可行性之间寻找新的平衡, 让人们在很长一段时间后, 重新看到了超音速商业飞行的曙光。

大飞机

2026 会员招募

大飞机·大飞机报·大飞机文化

杂志会员价

《大飞机》杂志

1年 240元

3年 600元

付款方式

方式一：大飞机文创微店订购

支持支付宝/网银/微信
订阅即赠会员专属礼品



方式二：银行转账 (仅接受对公账户转账支付)

账号: 98840155200001416

开户行: 上海浦东发展银行股份有限公司金桥支行

开户名: 上海《大飞机》杂志社有限公司

方式三：中国邮政

线上: 微信搜索【中国邮政商城】小程序, 进入【报刊商城】, 搜索【大飞机】, 即可订阅全年刊或自选定期。

线下: 可前往任意邮政局 (所) 窗口办理订阅业务。



图片仅供参考, 具体以收到实物为准

2026年 会员礼品

凡于2026年1月31日前, 在【大飞机文创旗舰店】专属链接订购, 即可成为大飞机会员, 优享会员专属礼《大飞机2026年台历》一份。

杂志订阅卡

《大飞机》杂志订阅卡, 为企业和个人准备的可以享用整年的问候, 持卡人只需刮开密码就可以自行激活卡片并完成下单, 杂志每月寄送。

《大飞机》杂志全年订阅卡 240元/张 含12期杂志 (包邮)

大飞机

《大飞机》简介

由中国商用飞机有限公司主管、主办的《大飞机》, 创刊于2011年8月, 是一份以民机制造和航空运输为主要关注点的综合性期刊。致力于打造工业方、运营方、局方三者沟通的桥梁, 覆盖政策研究、产业发展、市场解析、科技动态等方面内容, 立志成为中国民机制造与航空产业的战略高地。

订阅须知

1. 凭本单可订阅2026年《大飞机》杂志一份。
2. 本订单不能到邮局办理订阅。
3. 本订单不挂失, 不兑换现金, 不调订, 不退订。逾期订阅的, 逾期部分不做补偿。
4. 用户地址变更或其他与订阅相关的事项, 请联系: 谭路 (15000108713) tanlu2@comac.cc

2026年《大飞机》网上订刊专用单

订阅2026年1-12月

定价240.00元

友情提示

本订单不能到邮局办理订阅

兑换方式

1. 微信扫描右侧二维码进入提货界面
2. 刮开本卡涂层获得提货密码
3. 输入密码, 进入提货页面后选择礼品
4. 在兑换页面填写收货信息, 点击确认提货



卡号:

密码:



研制宽体客机难在哪儿

文 | 李忠剑 编辑 | 张克农

当你背上背包，手持机票登机，一旁的空姐轻声引导，请走左侧或是右侧通道时，恭喜你，顺利登上了一款双通道宽体客机。

“双通道”是宽体客机最直接的外在身份标识，与只能容纳一条通道、最多六座一排的窄体客机相比，宽体客机经济舱的座位一排会有七至十个，总载客量覆盖 200 到 500 名乘客甚至更多。A320、B737、C919 这一类飞机属于窄体客机，而 A330、A350、B777、B787 都属于宽体客机。

看起来，宽体客机似乎只是个“大号”的窄体客机，好像就是把飞机做大一点、机身加宽一点、燃油加多一点、飞得更远一点。然而，宽体客机仅仅是窄体客机的简单放大吗？答案显然不是！飞机设计不是搭积木，体量“放大”的背后，远非“简

单加大或重复堆叠”。宽体客机相比窄体客机具有更快、更大、更宽、更远、更重等显著差异，导致其总体气动、结构强度、材料选择、系统设计、制造装配等，每个领域都面临前所未有的难点挑战，每个环节都需要全方位的技术跃升，深藏着无数超乎想象的工程难关。

速度更快：跨声速魔障

窄体客机典型巡航速度通常在 0.78 马赫左右，约 840 公里 / 小时，而宽体客机为了减少飞行时间，巡航速度进一步提升到 0.85 马赫，约 910 公里 / 小时，最大使用速度甚至达到 0.9 马赫以上。

可别小看这 0.05 左右的马赫数提升，它意味着在飞行时，机翼上表面的气流局部速度更接近甚至超过音速，这个速度区

间是跨声速流的“魔障区”，空气压缩性效应陡然变得极其显著和敏感，机翼上表面局部气流很容易形成强烈的激波，产生巨大的波阻。

激波的控制非常复杂，是一个多学科、强耦合、高度非线性的难题，这是宽体客机气动设计的关键技术瓶颈。为妥善应对波阻问题，宽体客机不得不采用高度优化的现代超临界翼型，设计更大后掠角和更纤薄的机翼，或引入机翼可变弯度等更具挑战的技术，这对机翼结构设计、制造工艺控制、作动机构能力都提出了相比窄体客机更加苛刻的要求。宽体客机大后掠角设计带来更明显的展向流动，与高速激波和低速分离耦合，流场更加复杂。为了准确模拟跨声速流场特性，需要海量的高精度计算机模拟和昂贵的高雷诺数跨声速风洞试验，每一轮设计迭代、每一次模拟验证的成本和时间都明显高于窄体客机。

为提升巡航效率、延缓临界马赫数的到来，宽体客机机翼普遍采用超过 30 度的大后掠角。然而，大后掠角虽能降低高速阻力，但削弱了低速时的升力性能，这时往往要配套采用更大、更复杂的增升装置，这些装置的结构支撑、作动机构、缝道外形、操作控制、复杂度和精细度要求相比窄体客机都上了一个层级。

变形更大：柔性考验

由于宽体客机飞行速度更快、机翼更加细长、结构材料更加轻质，导致巡航时翼尖处大幅上翘，向上弯曲甚至超过 7 米，这比窄体客机通常 2~3 米的变形量大了数倍。驾驭这种大变形，其设计难度远非窄体客机可比，是一场与空气动力学、结构力学和材料科学进行的精细博弈。

安装在机翼上的发动机、起落架、操

纵面、管路和线缆，必须能够适应机翼的大变形而不受损害或功能失效，这就需要设计更多的柔性连接件、预留足够的线缆和管路余量，以及专门考虑变形影响的操纵补偿。机翼内部的油箱也必须考虑变形的影响，防止在巨大的变形下发生燃油泄漏，为此需要设计更为可靠的密封结构。

同时，大变形叠加速度和重量的跃升，使得气动弹性效应更为凸显，气动和结构耦合更加剧烈，颤振分析和预防变得更为关键，宽体客机面临的颤振风险可以说比窄体客机高得多、复杂得多，设计时必须进行更加精细的颤振分析、风洞试验和弹性修正，部分宽体客机还引入了载荷减缓功能，确保在整个飞行包线内有足够的安全裕度。

尺寸更大：非线性难题

宽体客机的几何尺寸通常是窄体客机的 2 至 3 倍，如机身宽 5~6 米以上，而窄体客机通常在 3~4 米以内。宽体客机的翼展长 60~80 米以上，而窄体客机则为 30~40 米。

飞行时，气流作用在机翼上产生向上的升力，乘以升力作用点至翼根的距离，即为弯曲力矩，其大小和速度、尺寸、重量等是多重叠加关系，宽体客机翼根承受的弯曲力矩很容易达到窄体客机的 5 倍、10 倍甚至更高。巨大的弯曲力矩要求机身和机翼结构具有极高的弯曲刚度。与之类似，机翼扭转、剪切刚度也必须足够高，以维持气动外形，这些对结构设计、材料选择带来更大的技术挑战。

以 A350 和 B787 为代表的现代宽体客机，应用了超过 50% 的先进复合材料，相较而言，窄体客机这一数值通常在 20% 以内。复合材料的各向异性、损伤特性、环境敏感性等，与窄体客机上常用



的成熟金属材料相比大相径庭，导致其设计、工艺、验证、维修等环节差异显著，难度更大，周期更长，成本更高。

大尺寸部段制造工艺的复杂度同样令人咋舌，庞大的结构使得即使微小形变，累积起来也足以影响整机的几何精度。要将直径达 6 米以上的机身段拼接在一起，对合环节不容丝毫误差，即使仅有一个铆钉孔位出现毫米级偏差，都可能导致零件根本无法装配到位。生产长达数十米的复合材料机翼壁板或机身筒段，需要超大型的专用设备和高精度的装配工艺，成本和难度远超窄体客机。

超大部件的运输同样是巨大挑战，必须依赖定制的超大运输机、船舶、集装箱、货车等，比如 A350 机翼长 32 米，A380 机头段直径 7.1 米，普通货机根本无法容纳，只能采用特殊定制的“大白鲸”运输机。

航程更远：安全性挑战

宽体客机面向跨洋、洲际远程航线，需跨越 10000~15000 公里，实现不经停的飞行，而窄体客机通常仅覆盖数千公里航程，运营中短程航线。

想象一下，一架满载的宽体客机在大洋上空飞行，突然遭遇单台发动机失效，那么仅凭剩余的唯一动力，飞机也必须安全抵达指定的备降机场，可茫茫大海，备降机场少之又少、远之又远。为应对类似的灾难性因素，宽体客机必须要具备更强大的延程运行（ETOPS）能力，这一能力通常要求达到 240 分钟甚至 330 分钟以上，比如 A350 宽体客机达到了惊人的 370 分钟，这比窄体客机通常的 180 分钟运行能力高上了一大截。为此，宽体客机的动力系统必须设计得更加可靠，系统必须引入更多独立的冗余备份，如多套的液压、电源、通信系统等，这无疑增加了系统设计的复杂度。

航时更久：舒适度凸显

宽体客机执飞远程航线，飞行时间很容易超过 10 小时，如 A350 宽体客机执飞新加坡至纽约航线，用时长达 18 小时，而窄体客机飞行时间多数集中在 1~3 小时，很少超过 5 小时。

如果只是飞行一两个小时，闭闭眼休息一下就过了，一旦在封闭空间内待上十来个小时，人就会异常疲惫。时间越长，旅客对乘坐的舒适度就越关注，因此宽体客机通常都会提供丰富的机载娱乐系统，包括座椅后背安装屏幕、内嵌影视资源，支持乘客手机上网等。

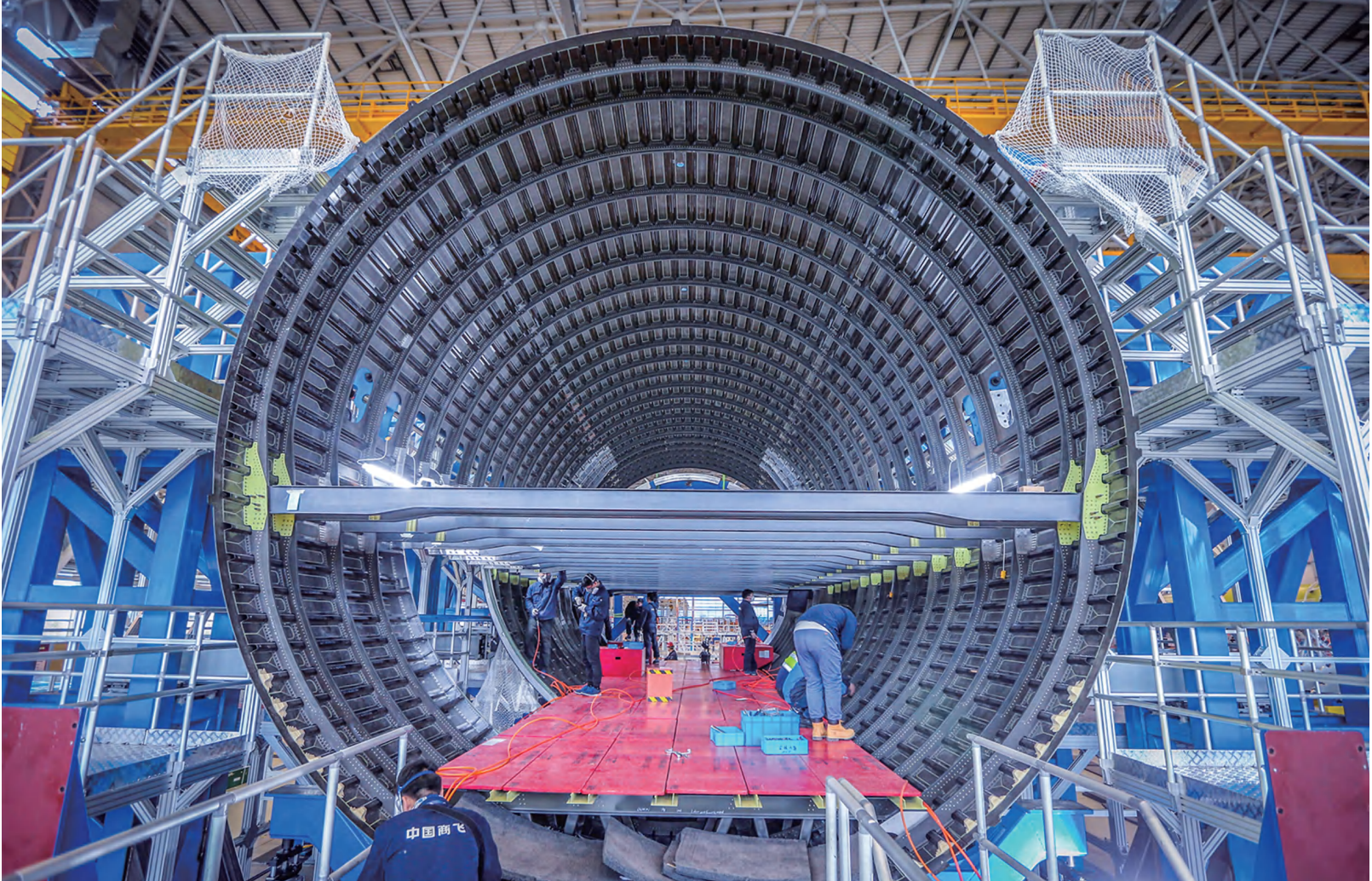
这本质上是在飞机上建立了一个庞大的移动数据中心，对飞机的空间、结构、供电、数据链和电磁环境都提出了超越窄体客机的要求。首先，需要更大规模的线缆连接座椅屏幕、头顶显示屏、服务器等。其次，支持几百个屏幕的使用和乘客电子设备的充电，要配备更强大的配电系统。同时，为几百人提供流畅的上网服务，需要更大的空地通信带宽，宽体客机对高通量卫星数据传输等技术的需求，比窄体客机更加迫切。

长途飞行驾驶和长时间客舱服务，使得宽体客机必须配置可供飞行员和乘务员休息的区域。窄体客机通常无需考虑机组休息室的布置安装、环境调节、噪声控制等，但宽体客机必须予以考虑。

重量更重：百吨重担

窄体客机的重量一般在 100 吨以内，而宽体客机起飞重量达到 200~500 吨，是窄体客机的 2 至 5 倍甚至更多，重量上的巨大差异导致起落架设计随之发生变化。

飞机降落时，起落架承受巨大的冲击力，必须设计得极其粗壮，并采用多轮、多支柱设计来分散巨大的载荷，避免压坏



跑道，如 B777 主起落架采用六轮小车式，A380 主起落架则一共有 20 个轮子。支撑和缓冲几百吨级飞机的冲击，多支柱结构本身以及连接它们的机身 / 机翼结构都必须具备极高的强度，将庞大、沉重的多轮小车式起落架可靠地收放到狭小的机翼空间内，需要设计精密的收放连杆机构，这些都是宽体客机不得不面对的技术难点。

环境更多元：闯关极端条件

宽体客机执飞全球范围内的远程、跨洋、洲际航线，要求起降于全球任何符合条件的机场，飞行在全球任何适宜运行的航路，从迪拜 50℃ 的灼热跑道，到北极上空 -70℃ 的严寒平流层，再到太平洋上空的狂暴雷雨区，宽体客机遭遇极端低温、强紊流、结冰、雷暴、火山灰等恶劣天气和环境的概率远高于窄体客机。

这就要求宽体客机运营的环境包线

显著大于窄体客机，比如 B787 和 A350 宽体客机低温包线在 -80℃ 左右，而 A320 和 B737 在 -70℃ 左右。这 10℃ 的差异完全不能忽略，对复合材料性能变化、密封件弹性、液压油粘度、系统设备功能特性等方面提出了更为苛刻的要求，为证明在这些环境条件下的可靠性，需要利用更加昂贵的环境实验室或寻找更为罕见的自然环境条件，开展范围更广、程度更深、要求更高的模拟验证，以确保所有结构和系统在整个环境包线内安全可靠运行。

如果说研制窄体客机是打造一艘精良的近海渔船，那么研制宽体客机就是在建造一艘能抵御任何海域风浪、连续航行数周的远洋巨轮。宽体客机远非窄体客机的简单放大，其技术挑战和工程复杂度远非窄体客机可比，代表着现代民用航空工业设计和制造能力的巅峰。



▲ 图 | 《人类的翅膀》

自适应循环发动机

文 | 闻载 编辑 | 张克农

2025 年 11 月 8 日，中国工程热物理研究所披露的一则消息显示，该机构已完成一款新型自适应循环发动机的地面测试。该发动机能够在从起飞到四倍音速的全速域范围内高效运行。这项技术突破如果得到验证，将标志着中国在航空动力领域取得重大进展，并可能改变全球高速飞行器的技术竞争格局。

根据披露的技术参数，这款发动机采用了独特的三流混合设计，相比传统同类发动机能够提供 27% 至 47% 的额

外推力，同时燃料消耗降低约三分之一。这些指标若属实，将超越美国通用电气为 F35 战斗机后续升级研发的 XA100 发动机和普惠公司的 XA35 发动机——这两款发动机代表了目前美国在自适应循环技术领域的最高水平。

从固定循环到自适应

理解这项技术的意义，需要了解喷气发动机的基本工作原理及其面临的核

心矛盾。

传统涡轮风扇发动机针对特定飞行条件进行优化，大涵道比设计适合亚音速巡航，提供良好的燃油经济性和较低噪音；小涵道比或纯涡喷设计则适合高速飞行和加速，但燃油消耗高且噪音大。没有单一的固定结构能够在所有飞行状态下都保持最优性能。

自适应循环发动机试图打破这一限制。其核心思想是通过可变几何结构，动态调整发动机的气流分配、压力比和燃烧循环，使同一台发动机能够在不同飞行阶段呈现出不同的热力学特性。在亚音速巡航时，系统打开旁路通道，让更多的空气绕过核心机，表现得像高效的涡扇发动机；在需要加速或超音速飞行时，则关闭旁路，将更多空气送入燃烧室，转变为大推力的涡喷模式。

美国在这一领域的研究可以追溯到上世纪 80 年代的可变循环发动机计划。通用电气和普惠公司在过去十年中分别为美国空军的自适应发动机转换项目开

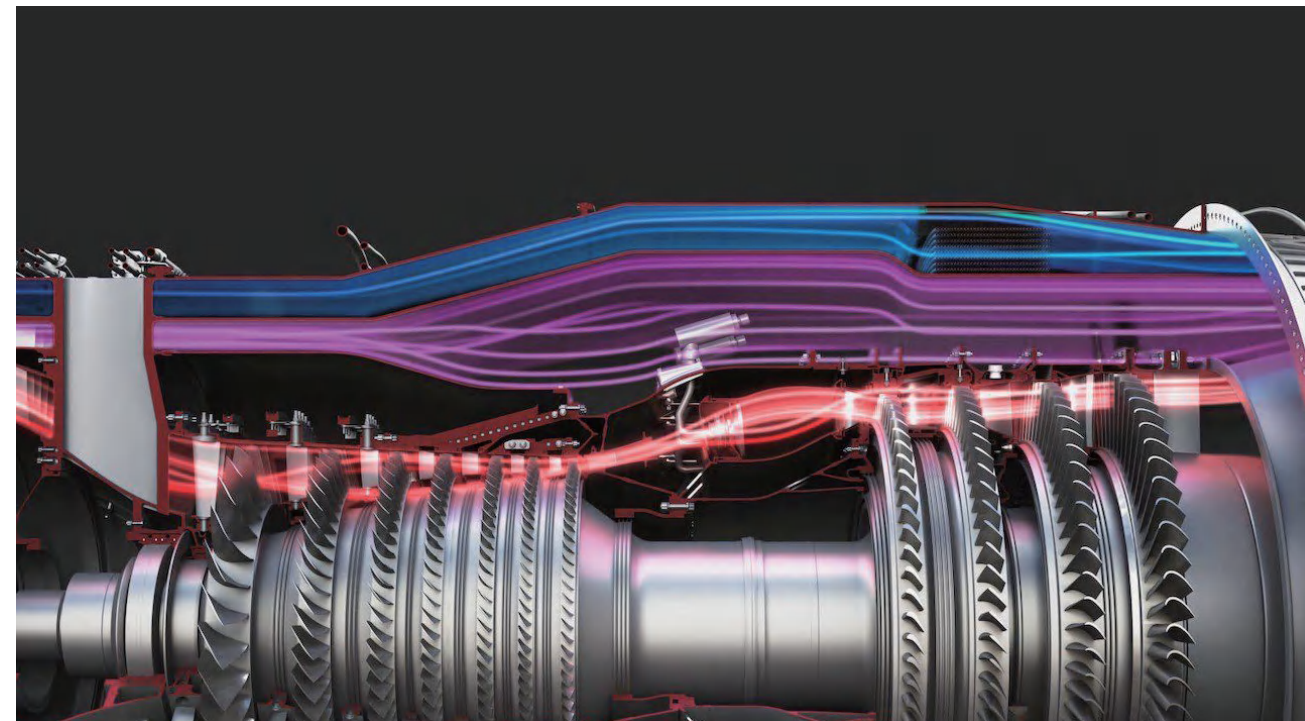
发了验证机，并在 2020 年代初期完成了地面测试。这些发动机采用双旁路架构，通过第三涵道调节气流分配，使涵道比能够在 1.3 到 3.5 之间变化。测试表明，相比 F35，现有的 F135 发动机，新型自适应发动机能够提供 10% 的推力增益和 25% 的燃油效率改善。

中国发动机声称采用的三流混合设计在理论上更进一步。除了主涵道和可调旁路外，系统引入了第三股独立控制的冷气流，用于热管理和气动优化。这种配置能够精确控制不同温度和压力的气流混合比例，在提高推进效率的同时降低红外特征。从技术描述来看，这接近于联合循环推进的概念——通过整合不同工作原理的推进系统，覆盖从低速到高超音速的完整飞行包线。

四马赫背后的挑战

上述消息中，最引人注目的指标是四马赫运行能力。现役战斗机发动机的

▼ 图 | GE 航空航天 www.geaerospace.com

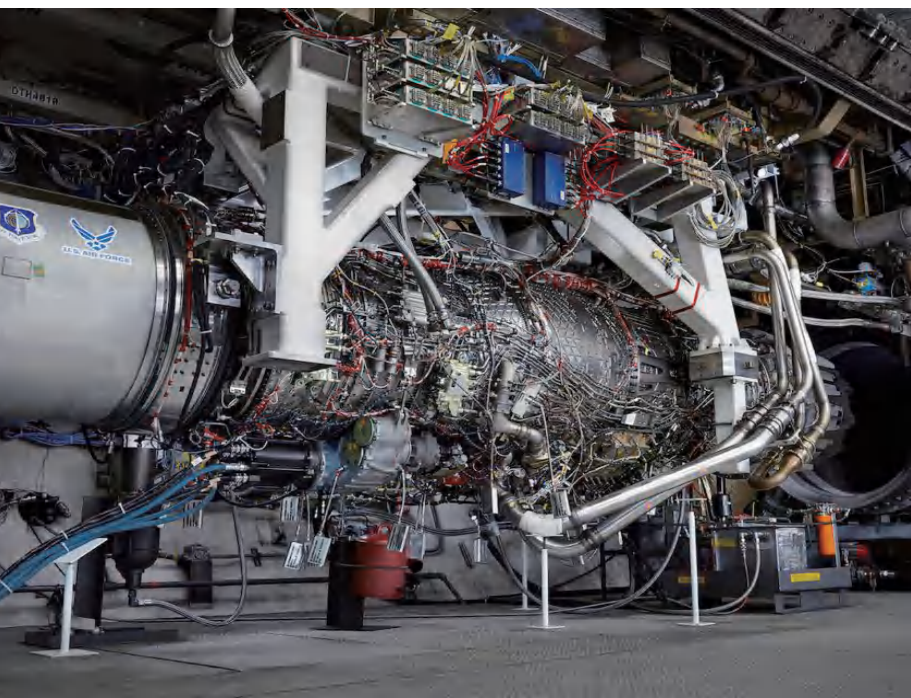


设计速度通常不超过两马赫，即便是专为高速截击设计的米格-25和SR71，其发动机的持续运行速度也在三马赫左右。要在四马赫条件下稳定工作，发动机必须解决一系列极端工程挑战。

首先是进气管理问题。在四马赫速度下，空气进入发动机前需要经过激波系统减速和压缩，此时气流温度可达数百摄氏度，压力升高数十倍。如何设计进气道和压气机，在如此恶劣的条件下保持高效压缩和稳定工作，是推进系统设计的核心难题。文中提到的“进气口性能改进”和“高马赫速度下更好的气压恢复”，暗示研究人员在可变几何进气道和自适应压气机技术上可能取得突破。

其次是热防护与冷却。四马赫飞行产生的气动加热会使发动机外表面温度超过600摄氏度，涡轮叶片面对的燃气温度更高达1700摄氏度以上。三流混合架构中的冷气流理论上可以用于冷却

▼ 图 | GE 航空航天 www.geaerospace.com



值得注意的是，自适应循环发动机的复杂性也带来了可靠性和维护性的挑战。可变几何部件、多流路控制系统、复杂的传感器网络和先进的数字控制算法，都增加了潜在故障点。

高温部件，但如何在维持推进效率的同时实现有效冷却，需要精密的流体力学设计和先进材料技术。单晶镍基高温合金、陶瓷基复合材料以及热障涂层的应用，对于发动机在极端条件下的可靠性至关重要。

第三是推力匹配问题。消息中提到的“旁路燃烧室”技术尤其值得关注。这种设计允许在旁路气流中直接燃烧燃料，相当于在涡轮发动机后段增加了一级加力燃烧室。这种混合推进模式介于传统涡喷和冲压发动机之间，能够在超音速条件下提供额外推力而不增加涡轮负荷。类似概念在冲压-涡轮组合循环发动机中已有应用，但将其整合到紧凑的战术飞机发动机中，对系统集成能力要求极高。

值得注意的是，自适应循环发动机的复杂性也带来了可靠性和维护性的挑战。可变几何部件、多流路控制系统、复杂的传感器网络和先进的数字控制算法，都增加了潜在故障点。美国在XA100发动机项目中遇到的一个关键问题就是如何在提高性能的同时保持与现有发动机相当的可靠性和寿命指标。因此，这款新设计的发动机要投入实际应用，还面临着许多工程方面的难题。

从参照设计到自主创新——运8飞机持续发展的启迪（下）

文 | 汪亚卫 编辑 | 张克农

（接上期）

走上自主创新之路

运8C气密型成功后，陕飞又启动了运8F民用货运型研制工作。1989年10月，运8F飞机完成改装。当年11月，第一架运8F交付使用。1993年12月25日，运8F飞机取得中国民航适航部门颁发的型号合格证。1994年12月8日，取得生产许可证。运8F由此成为我国第一款取得适航证的民用货机。

在运8F的基础上，陕飞针对不同客户的需求，又陆续发展了系列改型机。运8F-100（也称邮运F100）型飞机于1995年7月取得型号合格证，1995年11月取得生产许可证。运8F-200于1997年7月取得型号合格证，该机后来出口到缅甸等国。

1997年，运8F-400项目启动。它以运8F-200为基础，换装了国外先进的综合显示、通讯、导航、雷达等航电设备，驾驶舱由5人制改为3人制，机头缩短，机身拉长，减轻了飞机空重，提升了货运能力，飞机的经济性和可靠性也明显提高。运8F-400主要用于空中货运，可远距离、长时间运输各种鲜活货物。运8F-400于2001年完成首飞，2002年8月获得型号合格证。

2001年11月，运8F-600立项。该型号是由陕飞与世界著名运输机制造企业安东诺夫航空科技联合体联合研制的商载



▲ 图 | 运8F-400飞机 来源：公众号《中国航空工业集团》

为20吨的民用货机。运8F-600在运8F-400的基础上，对机翼整体油箱、燃油系统、液压系统、操纵系统等进行了全面改进，换装了国外先进的涡桨发动机，更新了航电系统。2005年6月，运8F-600成功首飞。

在陕飞公司干部职工的努力下，运8已从单一机型发展成为目前的两大系列20多个机型。此外，运8系列飞机还成功进入国际运输机市场。1992年9月29日，中航技公司向缅甸空军交付了第一批2架运8F-200飞机。2003年10月，2架运8F-200飞机交付给坦桑尼亚空军。此后，运8及其后续的运9系列飞机先后出口到十几个国家。

在国内民用航空运输方面，1996年

5月8日，中国邮政航空公司与陕飞在汉中举行了3架运8F-100货运飞机交接仪式。1997年2月27日，运8F-100飞机首次在天津至上海等货运航线上使用。2001年6月8日，中国邮政航空公司向中航技公司租赁了3架运8F-100邮航机，使该公司拥有的运8飞机数量达到8架，日空运能力达到150吨。

运8飞机在发展历程中还有一段辉煌的经历，就是从新疆空运活羊到中东。从1988年到1991年，为落实国家关于“利用国产运8飞机运送新疆活羊出口中东”的指示，航空航天工业部民用飞机开发公司与陕飞合作，对运8飞机进行改装，进行了运送活羊的一系列试验。按照设计要求，一架运8飞机可以运送活羊500只，乘坐护运人员8~13人。

1991年11月16日，一架运8飞机运载活羊317只，从新疆阿克苏机场起飞，经巴基斯坦拉合尔机场加油，于当天下午到达阿联酋沙迦机场。11月19日，运8起飞返航，经停巴基斯坦伊斯兰堡

机场，于20日返回新疆，运送活羊的试飞获得圆满成功。此次运送活羊的航程达7146千米，跨越巴基斯坦、伊朗、阿曼并到达阿联酋。飞行过程中，最大飞行高度10150米，途中飞机未发生任何机械故障。这次运8飞机向中东空运活羊，引起了很大的社会反响，也充分证明了运8飞机长途飞行的可靠性。

运8系列飞机伴随着航空工业的发展不断成长。值得一提的是，运8系列飞机中有多款改型的特种飞机参加了2019年10月1日国庆70周年天安门阅兵，其中包括空警200预警机、空警200H预警机、运8指挥通信机、运8反潜巡逻机、运8远距离支援干扰机、运8电子对抗侦察机、运8电子侦察机等。陕飞公司以运8飞机为基础，先后研制了一系列特种飞机，弥补了我国特种飞机的短板。

2006年，应有关部门要求，陕飞在运8F-600型运输机的基础上启动了运9运输机的研制工作。设计团队在运9运输机设计中，对运8F-600的机体结构进行了多方面的优化和改进。运9的载重重量为20吨，最大起飞重量77吨，满油航程7800公里，巡航速度550公里/小时，安装了4台大功率、低油耗的国产WJ-6C发动机，滞空时间延长到8小时以上。2012年底，运9飞机正式列装中国人民解放军空军，2016年又正式列装中国人民解放军陆军航空兵。

运9飞机研制成功后，既很好地满足了国内市场需求，也受到了国际市场的广泛关注，海外订单不断。同时，运9飞机成为多种新型军民用特种飞机的飞行平台。在2025年9月3日举行的中国人民抗日战争暨世界反法西斯战争胜利80周年天安门阅兵中，就有空警500A、运9F反潜巡逻机、运9DZ电子侦察机、运9LG电子干扰机等特种飞机正式亮相。如

今，运9系列飞机已经成为中国中型运输机和特种飞机的骨干装备，为我国的国防建设和国民经济建设提供了有力的支持。

何以成为“常青树”

从运8系列到运9系列，我国走过了从参照设计到改进改型，再到自行研制的艰辛历程。运8飞机为什么能在地处三线地区的陕飞开花结果，并实现绿树常青呢？它对于正在高速发展的中国航空工业有什么借鉴意义呢？我认为主要有以下几个方面：

一是坚持从实际出发，敢于创新，不断进取。运8虽然是参照苏联的安-12飞机设计研制的，但从原型机开始，就没有盲目照搬照抄，而是根据实际使用的需要，有所取舍，敢走新路。例如，运8的机头罩设计完全不同于安-12，却颇似国产轰6的机头，机头的这一设计改进显著扩大了飞机驾驶舱的视角，便于在机头安装其他设备。在运8发展过程中，设计团队总能抓住用户需求，大胆改进，不断完善，使飞机更好地满足用户的需要，发展路子也就越走越宽了。

二是抓住机遇，解决关键技术环节，拓展飞机使用空间。运8系列飞机能够持续发展，关键的一步是全力攻克了全气密型设计的难题，拓展了飞机的市场空间。安-12运输机的货运舱不是气密舱，这就严重影响了其使用范围，陕飞与兄弟单位密切合作，广泛吸取国外先进技术，成功研制出全气密型的运8C，使基本型已经缺少订货的运8飞机焕发了青春。此后，陕飞又研制了空警200预警机等多种特种飞机，以及运8F-400/600型等改进机型，并在此基础上自行设计研制了运9运输机，最终形成了持续发展的新局面。

三是坚持军用民用两结合、国内国

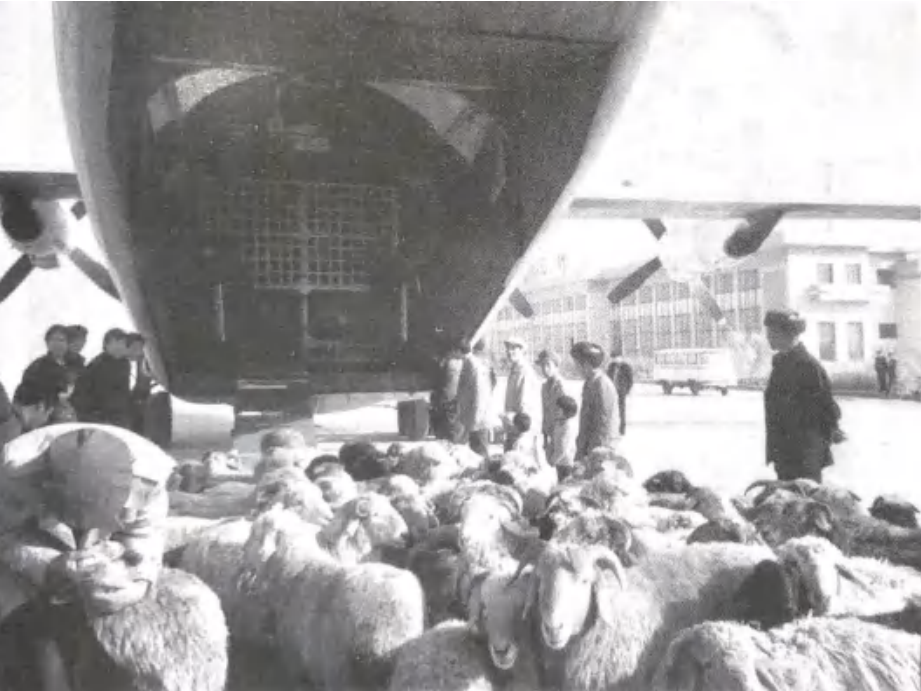


▲
图 | 运9飞机

外两个市场结合，不断拓展发展空间。运8虽然作为军用运输机立项，但在发展过程中，陕飞不仅盯着军方需要一个目标，而是努力争取军民结合，同时全力争取国际市场的订单。几十年来，陕飞积极主动地发展了多种军用特种飞机、民用货机、出口型飞机。正是军民结合、国内外结合才逐步使得运8走上了良性发展的道路，陕飞公司随之扭亏为盈，不断发展壮大。

四是坚持艰苦奋斗、埋头苦干的精神。作为三线地区的企业，陕飞公司虽然经验少、条件差、人才缺，但是他们在运8的发展过程中始终坚持艰苦奋斗、勇于开拓的优良传统，逐步培养了一支敢打硬仗的干部职工队伍。运8发展初期，他们加班加点、抢抓时机，完成了飞机设计定型。当运8订货出现瓶颈时，他们勇于开拓，发展了全气密型的运8C，打开了销路。此后，他们抓住特种飞机、货机和出口等机遇，又研发了运8F-400/600等型号，推出了更先进的运9运输机。在陕飞，无论是企业领导、科技人员还是普通工人，都有一种三线职工不服输、不怕难的拼搏劲头。

▼ 图 | 运8F飞机运载活羊试飞 来源：公众号《中国航空工业集团》



给船装上翅膀的人

——亨利·法布尔

文 | 王思磊 编辑 | 张克农

1910年3月28日，法国马赛附近的拉梅德海湾风平浪静，岸边聚集了无数翘首以盼的观众。人群中弥漫着期待与怀疑——今天，一位从未驾驶过飞机的年轻人将尝试驾驶他设计的水上飞机升空。

当这架造型奇特的飞机在水面滑行、逐渐脱离地心引力腾空而起时，人群中爆发出震耳欲聋的欢呼。5分钟后，飞机平稳地降落在水面上，如同海鸥归巢。这一天，亨利·法布尔的名字被永久镌刻在航空史册中，而他与海洋、天空的故事，也书写出了人类航空史的传奇。

▼ 图 | 亨利·法布尔



航海世家的天空梦想

1882年，亨利·法布尔出生于法国马赛的一个船主家庭。他的童年是在地中海的波涛中度过的。父亲经营的货船常年在风浪中穿行，年幼的法布尔曾多次亲历暴风雨的凶险，而这也无形中增添了他的勇气和智慧。

在自传中，法布尔回忆到：每当巨浪如山般压向甲板时，我总是紧紧抓住船舷，盯着那些在风暴中穿梭的海鸥。它们能轻易飞越浪涛，而船只却只能被动承受。这种鲜明的对比在他心中埋下了“为船插上翅膀”的梦想。

少年法布尔对机械与自然规律展现出惊人的天赋。他常拆解船用罗盘、气压计，用帆布和木条制作滑翔机模型从山上试飞。尽管家人希望他继承航运事业，但他却毅然选择进入理工学院攻读流体力学。因为那时的他，一心追随的是像布莱里奥那样的航空先驱。在实验室里，法布尔通过水槽模拟船舶阻力，逐渐意识到“水与空气的流动存在某种共性”。这一发现成为他后来突破水上飞机设计的关键。

从理论到实践

由于家庭经济条件优越，法布尔得以将时间和精力主要用于研究空气动力学问题。1907年，25岁的法布尔在家族的

资助下建立了自己的工作室。他深受莱特兄弟和布莱里奥的启发，但另辟蹊径专注于“水空过渡”领域。当时的主流观点认为，水面起降需要巨大浮力，会导致结构过重，但法布尔通过数学模型证明：通过合理设计浮筒形状和翼面角度，完全可以实现高效起飞。

他的研究方式极具创造性。为了获取最真实的数据，法布尔别出心裁地改造了一艘旧渔船，将其命名为“飞跃号”浮动实验室。他在甲板上安装了简易的风洞设备，直接在变化莫测的海面上测量不同翼型在潮湿空气中的升力表现。这个实验室是世界上第一个移动的水上空气动力学实验室，它让法布尔能够在真实的海洋环境中观察飞机部件与风浪的互动。在这儿，法布尔常常连续工作30多个小时，记录不同风速下翼面的压力分布。马赛港的老水手们私下称他为“疯学者”，因为他会在风暴天驾船出海，只为观察极端条件下的流体现象。

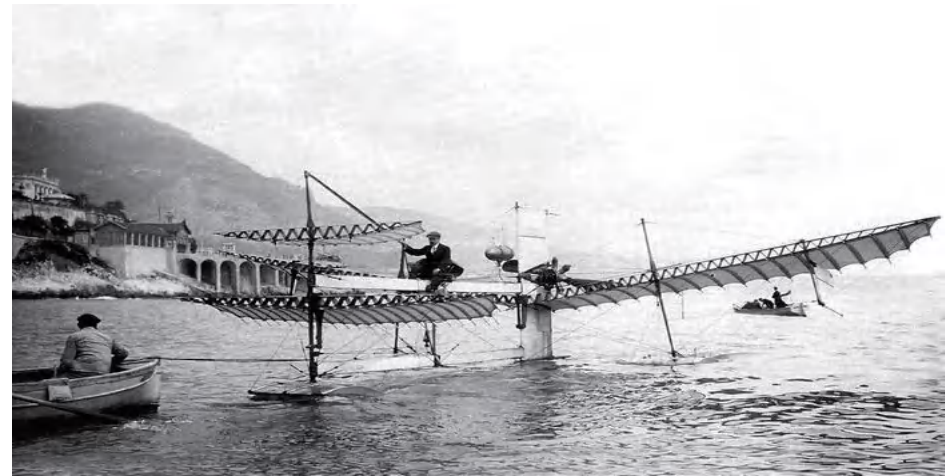
陆地实验同样惊人。法布尔将自家汽车的引擎拆下，改装成螺旋桨推进的“地面飞机”，在马赛郊外的公路上飞驰，通过测量不同速度下的风阻来验证空气动力学理论。这个场景在当时成为了一道奇特的风景，被媒体戏称为“法布尔的疯狂实验”。

更令人称道的是，法布尔从船舶制造中汲取灵感，摒弃当时普遍使用的金属浮筒，创新性地采用多层胶合板弯曲成型的浮筒。这种材料不仅减轻了30%的重量，还具有优异的抗冲击性能，这一突破后来成为了水上飞机制造的标准设计。

历史性的飞行

1909年，法布尔制造出第一架飞机。这是一架水上飞机，有三个浮筒，装三台发动机，连接一副螺旋桨。遗憾的是，

▼ 图 | 亨利·法布尔设计的水上飞机



这架飞机因浮筒设计缺陷在一次试飞中坠海。接着，法布尔又设计了另一架飞机。

这架飞机的结构非常有趣，其中有好几处反映出法布尔的船舶制造背景。在飞机的前端，有一对舵和两个水平升力面，上面的一个作为升降舵。机身前面有一个浮筒，另外两个浮筒装在机翼下。有点像自行车座的飞行员座椅，很靠前，安装在两根纵梁中的一根上，纵梁将机翼与升降舵连接在一起。一台36.75千瓦的汽缸旋转式发动机装在后面，驱动一副推进式螺旋桨。翼梁和机身主梁是一种新颖的格栅梁结构。机身主梁有蒙皮，而与飞行方向成直角的翼梁却没有蒙皮，这样空气就能通畅地流过网格并减小阻力。整个构架是木制的，浮筒用胶合板制成，有较好的弹性，可以有效应对水上滑行时的撞



▲ 图 | 亨利·法布尔与水上飞机

击和降落时的振动。

1910年3月28日，法布尔亲自驾驶第二架水上飞机进行了试飞表演。第一次试飞时，飞机以55千米/每小时的速度在水面滑行，但没有飞起来。第二次试飞时，法布尔驾驶飞机飞离了水面，速度达到60千米/每小时，直线飞行了大约500米，后来随着发动机关车而安全降落。

这一天，法布尔共飞行了4次，并在第4次试飞时实现了完美的起降。飞行结束后，激动的当地渔民划着小船围住这架创造历史的飞机，好奇地触摸那些还沾着海水的胶合板浮筒。

法布尔的成功引起了世界航空界的高度关注。1910年10月，美国航空先驱格伦·寇蒂斯在巴黎航展上仔细研究了法布尔的飞机后，深受启发，回国研制出著名的“寇蒂斯水上飞机”。值得一提的是，法布尔始终拒绝为自己的设计申请专利，因为他秉持着这样的信念——知识属于全

人类，就像海风不属于任何水手。

摩纳哥的挫折与转变

转折发生在1911年3月。在摩纳哥举行的一次重大汽船集会上，法布尔请来了经验丰富的飞行员让·贝居替他驾驶经过改进的水上飞机进行飞行表演。第一次飞行非常成功，但第二次却犯了一个严重错误：着陆时离岸太近，飞机掉进拍岸的浪里，被严重损坏。面对残骸，法布尔很平静，此时他觉得，人类还不能完全驾驭海洋与天空的边界。法布尔深知后续研发需要巨额投入，自己财力有限，因而转向了浮筒专业化设计与制造。

这一转变反而扩大了他的技术影响力。1911年，他为瓦赞双翼机设计了浮筒，使该机成为世界上第一架水陆两用飞机。1913年在摩纳哥赛会上获胜的水上飞机所装的浮筒也是他的设计。

晚年时期，法布尔仍然保持着驾船出海的习惯。1970年，88岁的法布尔独自驾驶帆船穿越马赛港的照片登上了《普罗旺斯报》，标题是“永不退休的航海家”。这位见证了航空从木布结构到喷气时代全部历程的老人，于1984年安详离世，享年102岁。

今天，当日本US-2救援水上飞机轻盈地掠过海面，当火星探测器采用类似他发明的格栅结构的缓冲支架，法布尔的智慧仍在各个领域延续。在亨利·法布尔102年的生命长卷中，最动人的不是那架破浪起飞的飞机，而是他始终如一的好奇心。从地中海船童到航空先驱，他用自己的生命轨迹告诉世人：最伟大的发明，往往源于人类最本真的向往——给船装上翅膀，让梦想挣脱引力。



图 | 徐炳南