

C919 飞机模型

卡通版



131

大飞机 JETLINER

2025.05

民机技术

- 大型客机折叠翼尖技术发展纵览
- 由空客 A220 项目引发的思考
- 卡塔尔航空盈利创新高的秘诀



大飞机

JETLINER

05 May

2025.05 | 总第131期

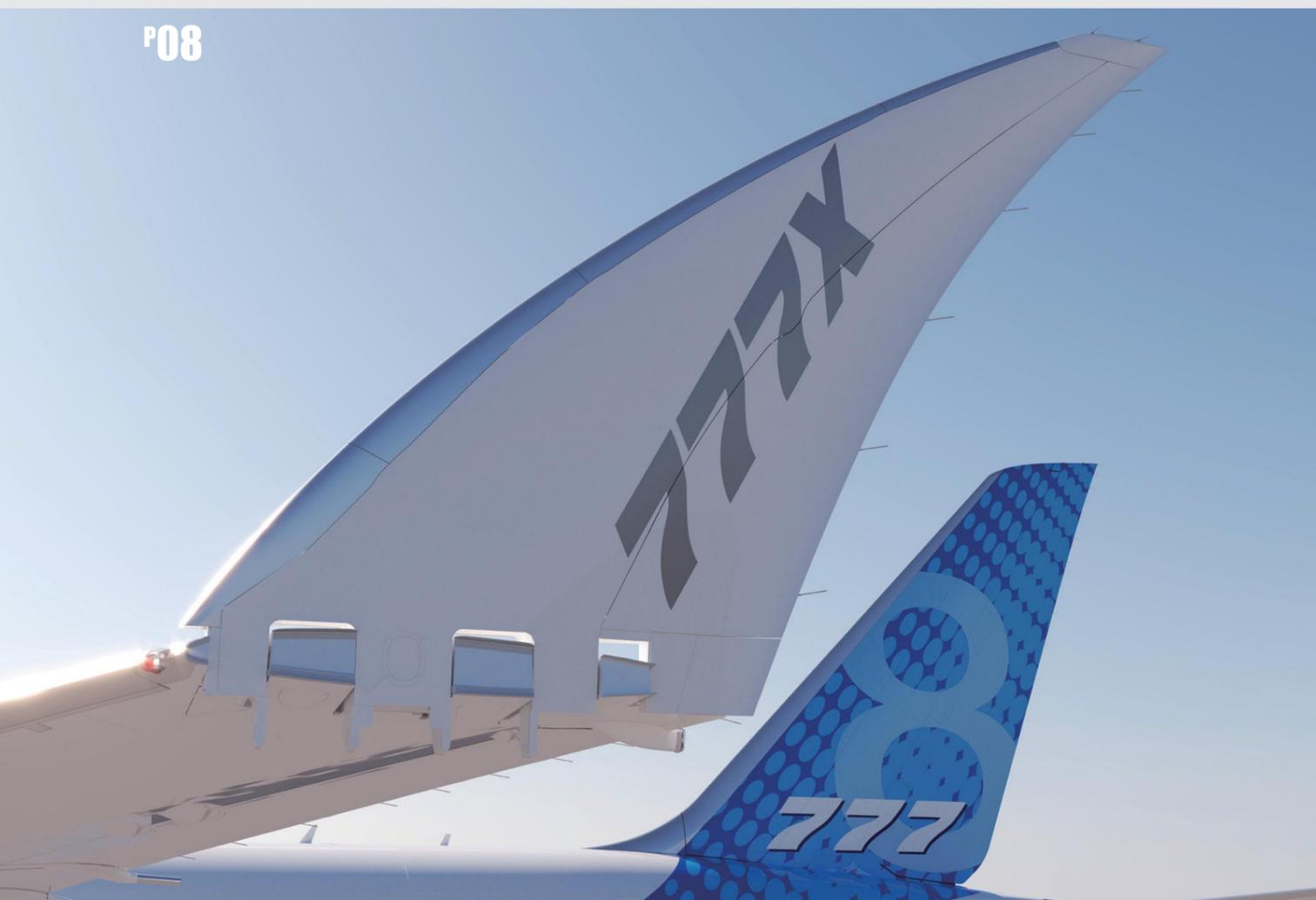
ISSN 2095-3399



9 772095 339259



P08



P26



P34



P42



P47



05 卷首语

05 规模化是产业化的强大引擎
| 欧阳亮

06 资讯

08 封面文章

08 大型客机折叠翼尖技术发展纵览 | 潘宸

14 “生物灵感”：航空界的生物启发和仿生
| 梁长城 钟怡菲

20 人工智能在民机中的应用 | 刘蔚然

26 航空制造

26 由空客 A220 项目引发的思考
| 冯鲁文 杨敏 张洋

30 俄罗斯加速推进 SJ-100 项目 | 曲小

34 巴航工业稳步拓展市场影响 | 任治潞

38 庞巴迪精耕公务航空赛道 | 张晋

42 航空运输

42 三大航差异化布局与协同推进 C919
市场运营 | 王鹏

47 中美民航吨公里油耗分析及美国民航节油
措施借鉴 | 张兆全

53 上市航司：盈利低谷中的运力博弈
| 文墨

57 卡塔尔航空盈利创新高的秘诀 | 沈嘉伟

62 人物

62 国泰集团行政总裁林绍波：
植根香港、背靠祖国、联通世界 | 陈姗姗

67 科普

67 干租 VS 湿租，谁更香 | 张帅

70 产业观察

70 客机衍生型谱系规划思考 | 张建军

72 回眸

72 航空史上的“普罗米修斯”
| 王思磊

74 云端书屋

74 对国产运输机设计研制的探索
| 汪亚卫



▼ 本期导读

规模化是产业发展的重要阶段。企业既可以利用规模效应来降低成本，又可以通过专业分工组成强大的产业集群，并最终通过知识溢出、人才流动和配套协作提升整体竞争力。

在航空工业领域，波音、空客对供应商的带动作用有目共睹。波音对供应商的“帮助与共享”策略，空客对供应商的“包容性、韧性、灵活支持”策略，不仅在前几十年带动了全球民机产业的繁荣，而且在帮助供应商走出疫情的冲击方面，也显示了巨大的作用。

当前，中国大飞机事业已全面进入规模化、产业化发展新阶段，中国商飞期待与全球供应商在产业规模扩大、产业要素凝聚、产业生态培育过程中，进一步拓展深化合作，实现互利共赢，共享大飞机事业发展新机遇，携手开创大飞机规模化发展新篇章，共同打造更加健康、繁荣、高质量的大飞机产业链。

大飞机

2025年第05期 | 总第131期 | 05月28日出版

中国标准连续出版物号

ISSN 2095-3399 CN 31-2060/U

主管主办 中国商用飞机有限责任公司

出版发行 上海《大飞机》杂志社有限公司

编委会

主任 贺东风

常务副主任 沈波

副主任 罗晓

委员 戚学锋 于世海 罗兴平

李玲 张小光 吴文生

学术顾问 吴光辉

上海《大飞机》杂志社有限公司

总经理 程福江

副总经理 徐显辉

主编 欧阳亮

执行主编 庄敏 林喆

副主编 柏蓓

文字编辑 哲良 张凯敏

美术编辑 刘晓雨

采访主任 陈伟宁

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

卷首语

规模化是产业化的强大引擎

文 | 欧阳亮

2019年8月，十九届中央财经委员会第五次会议明确，要“打好产业基础高级化、产业链现代化的攻坚战”。而要实现产业链的现代化，规模化是前提之一。

从供应链管理实践来看，OEM厂商的批量生产，首先能给供应商带来长期稳定的大规模采购订单。一些OEM厂商在刚起步时，供应商会因其对其能否成功心存疑虑而不愿合作或不愿加大投入。雷军刚组建小米时，

外界不看好其商业模式，连螺丝钉厂商都不愿意跟他合作，他想采购夏普的手机屏幕，也是费尽周折才见到对方的一个部长。但小米手机进入大规模量产，供应商的配合度大大提高，相关投入自然也随着水涨船高。

其次，OEM厂商的大规模量产能为供应商提供开拓新市场的机会。近些年的一个显著现象是，随着中国新能源汽车厂商的出海，很多相关的供应商也跟着走向了全球市场。比如电池厂商国轩高科就在海外规划布局了10家工厂，主要为长城、奇瑞、五菱等中国车企的全球布局做配套。

第三，OEM厂商的大规模量产还能给供应商带来开拓新的产品线的契机。OEM厂商量产，通过共享研发资源和技术成果，能够引导供应商开拓新的产品线。比如国内代工巨头闻泰科技进入“果链”后，起初只是为苹果试生产智能家居的小项目，后来通过高质量的产品逐步获得更多订单，于2021年开始生产苹果笔记本电脑，并在昆明建设智能制造产业园二期项目，规划6条产品线，将形成年产600万台笔记本电脑的能力。

在航空工业领域，波音、空客对供应商的带动作用也是有目共睹。波音对供应商的“帮助与共享”策略，空客对供应商的“包容性、韧性、灵活支持”策略，不仅在前几十年带动了全球民机产业的繁荣，而且在帮助供应商走出疫情的冲击方面，也显示了巨大的作用。

总之，规模化是产业化的核心驱动力之一，能通过成本控制、技术创新、市场整合等路径，推动产业从分散化向系统化、从低效率向高效率演进。当然，在实践中，也需结合产业特性平衡规模化与灵活性，警惕垄断、创新僵化、资源环境压力等问题，以实现可持续发展，最终推动产业向高端化、智能化、绿色化演进。



规模化是产业化的核心驱动力之一，能通过成本控制、技术创新、市场整合等路径，推动产业从分散化向系统化、从低效率向高效率演进。



- 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。



01

01 习近平总书记视察中国商飞公司十一周年

5月23日，在习近平总书记视察公司十一周年之际，中国商飞举办深入学习贯彻习近平总书记重要指示精神专题研讨会，重温习近平总书记重要讲话精神，牢记嘱托，坚决扛起“大飞机事业一定要办好”的职责使命。

02 中国商飞公司成立 17 周年

5月11日，是中国商飞公司成立17周年的“生日”。公司举行升旗仪式，并开展“大飞机爱心日”活动，弘扬“爱心翱翔、责任领航”的社会责任感。公司领导和全体干部职工捐出一天的工资，为困难职工和社会困难群体奉献爱心。

03 空客 4 月交付 56 架飞机

4月，空客新增订单11架（匿名客户1架A320、华航10架A350），无订单调减，净订单11架；交付56架（7架A220、43架A320、2架A330、4架A350）。截至4月底，储备订单量为8681架。

04 波音 4 月交付 45 架飞机

4月，波音交付45架飞机，较2024年同期的24架大增近九成，较今年3月的41架亦有增长。4月交付清单中，29架为737MAX系列飞机，占比超过六成，此外还包括8架787、4架777货机及3架767。

05 波音 787 运送乘客超 10 亿人次

波音宣布，787自2011年服役以来已运送乘客超10亿人次，是历史上最快达到这一里程碑的宽体机。目前，全球现役787共有1175架，累计执飞近500万个航班，飞行时长超过3000万小时。787机队日均执飞2100个航班，每天运送48万名乘客，单机日均飞行时间超过12小时。

06 巴航工业发布第一季度业绩

2025年第一季度，巴航工业营收11.03亿美元，同比增长23%，交付30架飞机（商用飞机7架，公务机23架），同比增长20%，确认储备订单达264亿美元。

07 俄首架国产型 MC-21 原型机为取证试飞做准备

5月7日，俄罗斯首架国产型MC-21原型机从总装厂转场至茹科夫斯基机场，为取证试飞做准备。转场航程超4100千米，时长6小时9分钟，高度10980米，速度800千米/小时。该机配装PD-14发动机和部分国产机载系统，于4月底完成首飞。

08 第 2 架 SJ-100 原型机开始取证试飞

5月，俄罗斯第2架SJ-100原型机在总装厂开始取证试飞。该架机配装PD-8发动机和进口机载系统，于2025年3月首飞。

09 庞巴迪 Global 8000 公务机首架批产型飞机首飞

5月20日，庞巴迪宣布，首架批产型Global 8000公务机于16日在加拿大安大略省的庞巴迪总装中心首飞。首飞时执行了一系列生产试飞流程的测试项目，飞机及各系统功能表现符合预期；后续飞机将运往庞巴迪完工中心开展内饰安装。

10 罗罗珍珠 10X 发动机认证测试接近尾声

罗罗在日内瓦EBACE公务航空展上表示，珍珠10X发动机及Advance2核心机验证机已进行了超过3400小时的测试，完成了包括初始维护间隔、发动机型号测试、中型鸟撞、室外横风和排放等关键认证测试，仅剩一项最终确认发动机排放性能的重要测试未完成。

11 长春应化所研制的仿生合成橡胶航空轮胎完成飞行验证

5月12日，中国科学院长春应用化学研究所研制的仿生合成橡胶航空轮胎在大型固定翼无人机上完成飞行验证。该轮胎全部采用仿生合成橡胶材料，打破航空轮胎只能以天然橡胶为原料的传统局限。

12 空客积极推动 A220 进入马来西亚市场

5月19日，空客亚太地区总裁阿南德·斯坦利表示，正与马来西亚的航空公司就A220采购展开谈判，但并未透露具体是哪家航司。马来西亚是空客在亚太地区仅次于中国和印度的第三大市场。

13 匈奴航空开通 E195-E2 执飞的蒙古—中国首条航线

5月11日，蒙古匈奴航空开通由巴航工业E195-E2飞机（双舱布局，共136个座位）执飞的乌兰巴托—北京大兴国际机场定期航班，这是该机型首次在飞往中国大陆的定期航线上运营。

14 中国第一家罗罗发动机大修厂即将开业

罗罗表示，其在中国大陆的首个航空发动机维护、维修和大修（MRO）合资项目计划于2025年底投入运营。该合资企业北京航空发动机维修有限公司（BAESL）由中国国航与罗罗共同成立，初期将为空客A330飞机的达达700发动机提供服务，后续将扩展至空客A350使用的达达XWB及波音787使用的达达1000发动机。



大型客机折叠翼尖技术发展纵览

文 | 潘宸

波音 777X 的试飞让广大飞友见识了折叠翼尖技术，也引起了热烈的讨论，大家对折叠翼尖技术如何提升民用航空运输飞机的经济性和飞行品质非常关注。

出于对经济性的追求，制造商往往希望能够使用更大的翼展，增大机翼的面积，降低机翼的翼载，以期提升燃油消耗效率，提升飞机飞行品质，降低噪音和碳排放。同时，飞机的翼展又受限于机场条件、飞机的设计航程和商载及

飞机的结构重量要求等，在现有的条件下传统机翼进一步增大翼展存在很大困难。因此，通过开发折叠翼尖、翼梢小翼等翼尖设备，优化机翼气动性能并提升经济性，成为一种可能的选择。

折叠翼尖技术的实现路径

折叠翼尖技术可以视作已为军用的航母舰载机广泛使用的折叠机翼技术在民用航空领域的适应性应用与进一步发展。对于民用客机而言，折叠机翼的设计难度和成本因机翼的展弦比较军用飞机明显增大而进一步增加，而对机翼进行折叠的收益则相对不明显。如果应用折叠翼尖技术，则设计难度和成本的增加相对可控，又能够在不降低机场通用性的前提下进一步延伸翼展、提升飞机起降性能和巡航性能。波音和空客均对折叠翼尖技术表现出兴趣，并进行了工业化的初步研究。

波音公司正在研发的 777X 上使用了折叠翼尖技术，该型号原型机已于 2020 年 1 月 25 日首飞。通过采用折叠翼尖技术，最大翼展达 71.75 米的该型飞机在停靠航站楼时翼展可以低于 65 米（64.82 米），从而可以使用按照 E 类飞机翼展限制设计的廊桥停机位；而在起飞前仅需约 20 秒即可放下翼尖，可增大飞机起降和飞行过程中的飞机翼展，使其达到 F 类飞机的翼展，提升运营经济性。这种设计构型简单，结构重量增加较少，对于提升运营效率、降低运营成本的主要目标能够较好地完成。

然而，由于在进入跑道后其翼展将达到 F 类飞机标准，因此，现行适航标准下允许该型飞机运营的机场仍需满足 4F 等级，虽然可以经过特殊批准在 4E 机场

▼ 图 | 波音

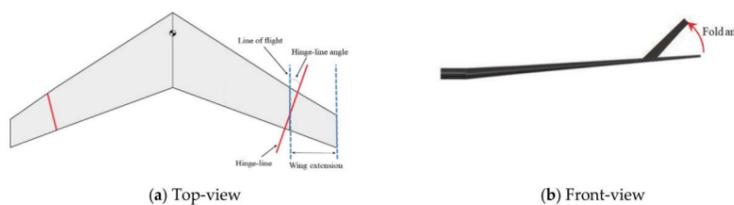


运营，但是仍可能带来额外的认证要求、审批手续和机场运营需求（如飞行前进行跑道外来巡查）；同时，翼尖放下后其气动特性近似为无翼尖设备的一般客机机翼，与具备翼梢小翼等翼尖设备的机型相比，缺少了对气流三维效应的抑制效果，同时低速状态下的横向稳定性能也有不如。而且，单次试飞成功尚不能说明该装置长期使用的经济性、可靠性和可维护性，且其铰链结构的转折处为直角过渡且凹凸不平，可以预见此处的空气动力学性能不能够满足在飞行状态下使用的需求。

▼ 图 1 | 波音 777X 项目的折叠翼尖



▼ 图 2 | 扩张型铰链折叠翼尖示意图



空中客车公司将折叠翼尖作为未来最有前途的技术之一。空客希望使用折叠翼尖能够在地上减少翼展、在飞行中减轻翼载。为了实现这一点，空客正在考虑扩张型铰链折叠翼尖（flared-hinge folding wingtips, FFWTs）。将张角定义为飞机航向与铰链旋转轴之间的角度，如图 2 所示。由于存在张角，当翼尖折叠时，其几何入射角下降，直至降为负角度。换句话说，向上的翼尖运动会增加空气动力下压力，从而产生一个能够产生大的向下空气动力以减轻翼载并确保机翼的空气结构稳定性的机制。

空客研究开发了 AlbatrossONE 模型机项目，以研究扩张型铰链折叠翼尖的空气动力学和飞行动力学特性。AlbatrossONE 模型机是一架小尺寸模型验证机，机身按照 1/14 的窄体短途客机 A321 飞机制作，机翼则使用半气动弹性铰链（Semi Aeroelastic Hinge, SAH）技术重新设计制造。半气动弹性铰链折叠翼尖是一种扩张型铰链折叠翼尖概念。在巡航期间，翼尖使用一个专门的阻塞机制被锁定在一个地方。当检测到触发事件时，翼尖被主动释放，然后作为一个被动翼载减轻系统，纯粹由空气动力和惯性力驱动。事件结束后，作动器将驱动其回到初始位置。飞行测试表明，翼尖在整个飞行过程中都是静态和动态稳定的。通过比较两次飞行的应变计测量结果，证实了自由翼尖减轻翼载的效果。

空客工程师 A. Castrichini 等建立了半气动弹性铰链折叠翼尖的气动弹性飞行动力学模型。经过数学建模分析认为，尽管翼展增加了 25%，但自由铰链飞机的操纵品质和动态响应与没有翼尖延伸的基本翼型相同，因此半气动弹性铰链折叠翼尖既可以用作减轻翼载的装置，也可以减轻由更长的翼展引起的滚转阻尼增量，从

而增强了副翼的操纵效率，相较于固定铰链飞机减小了副翼面积，从而节省结构重量。

英国布里斯托大学 R. C. M. Cheung 等进一步通过风洞试验和建模计算，研究了大展弦比柔性机翼安装扩张型铰链折叠翼尖后，在不同张角下的空气动力学特性。在稳态条件下，使用折叠翼尖可以降低翼根处弯矩的最大值。此外，研究还发现，在较大的迎角和较低的风洞速度下，由于翼尖折叠时铰链的几何特性，翼尖可以越过其气动失速角仍保持性能。在阵风载荷下，扩张型铰链折叠翼尖可以减轻阵风翼载，载荷减轻水平随铰链弹簧刚度和提升条件的不同而变化，最佳性能达到峰值载荷降低 56%。

英国布里斯托大学 Fintan Healy 等进一步研究了扩张型铰链折叠翼尖的滚转性能，通过一种新的风洞实验，验证了与相同翼展的固定翼构型相比，扩张型铰链折叠翼尖可以显著提高飞机的滚转性能。这种改进的滚转性能是通过在滚转过程中卸载翼尖，减少了被激发的气动滚转阻尼，从而提高了飞机的最大滚动率。此外，扩张型铰链折叠翼尖可以增加机翼的最大角加速度，减少到达一个稳定的滚转速度所需的时间，进一步提高了飞机的滚转性能。扩张型铰链折叠翼尖可以用来增加飞机的总翼展，同时能够提升或至少保持与原始翼展相同的滚转性能。

国际学术界也在持续对扩张型铰链折叠翼尖的性能开展研究。英国南安普顿大学 Josh Mills 等通过改造小型无人机测试了将折叠翼尖作为控制面（Folding Wingtips Serving As Control Effectors, FOLDERONS）的可行性。实验表明，将折叠翼尖作为控制面可以提高传统飞机的滚转能力，特别是在高攻角或大动力压下。折叠翼尖产生的滚动力矩（方向

和幅度）高度依赖于迎角，而传统的副翼并非如此。在负迎角下，改变翼尖的角度向右滚转会产生向左的滚转。设计控制律时必须考虑到这种不稳定性，如果在快速下降高度时操作，可能会造成问题。同时，将折叠翼尖作为控制面显著影响横向和航向的稳定性。

对于传统飞机来说，稳定性是至关重要的，但太多的稳定性会导致飞机反应迟钝和难以操纵。调整这些稳定性值的能力导致了较少抵抗的操纵情况的发生。通过将折叠翼尖作为控制面可以对横向和航向的稳定性进行调整，允许更小的控制输入并减小控制面载荷。

英国克兰菲尔德大学 Gaétan Dus-sart 开发了用于折叠翼尖的降阶飞行动态模型，适用于实时的飞行员在环模拟的实现。利用克兰菲尔德大学 AX-1 模型飞机，研究了折叠角和翼尖尺寸对飞机滚转的动力学的影响。结果表明，折叠翼尖对滚转的动力学影响不那么重要，因为机翼的形状适应了空气动力载荷的变化。对于较大的翼尖，与相似飞行条件下的基本翼型飞机相比，由于向下和向上的偏转，滚转阻尼系数的振幅分别增加了 4% 和 2%。

英国南安普顿大学 Rafic M. Ajaj 研究了扩张型铰链折叠翼尖对窄体运输机飞行载荷和飞行力学特性的影响。张角和翼尖展长对静态飞行载荷都有显著影响，能够大幅降低刚性机翼的翼根弯矩和翼根剪切力。然而，当考虑到结构的柔性时，扩张型铰链折叠翼尖的有效性急剧下降。扩张型铰链折叠翼尖对横向飞行动力学模式特别是螺旋模式有明显的影响。螺旋模式的时间常数显著减小，使该模式更加稳定。考虑结构柔性时，扩张型铰链折叠翼尖对横向飞行动力学模式的影响也不太重要，但导致螺旋模式的时间常数大幅降低（因此更稳定）。对于窄体客机，无论是结构

柔性还是扩张型铰链折叠翼尖都不会导致任何稳定的飞行动态模式变得不稳定。最后，结构柔性降低了副翼的有效性和飞机的滚转率，但随着折叠角的增加，这种情况消失了。总而言之，配备扩张型铰链折叠翼尖的飞机与基本翼型飞机具有相似的操纵品质。Rafic M. Ajaj 等进一步建立了一种低保真有限元气动弹性模型，研究了具有扩张型铰链折叠翼尖的机翼的气动弹性。结果表明，张角可以明确降低翼根处的弯矩和剪切力。

国内学术界亦有一些针对折叠翼尖技术的研究。哈尔滨工业大学刘璐针对传统蒙皮面内刚度大，在荷载下材料整体延展小的不足，以变翼尖飞机折叠处蒙皮为研究对象，提出了一种由 Miura 折纸结构演变而成的折叠蒙皮，该蒙皮由 Miura 折纸结构基本单元结合机翼翼型折叠而成，利用 Miura 折纸结构刚性转动的特点，有利于把机翼折叠过程中蒙皮所要求的较大的变形量，转化为多个局部应变及刚性转动位移的叠加。结合 Miura 折纸单元具

—

波音公司正积极与美国联邦航空局（FAA）就折叠翼的适航认证进行探索。尽管 777X 是在 777 基本型上进行附加认证，但由于折叠翼与原来的设计偏离太大，因此这一部分必须进行重新认证。

—

有的转动的自由度，蒙皮以具有变刚度特性的形状记忆聚合物材料制作，借助形状记忆聚合物在一定条件下将会变刚度的特点，在机翼折叠时驱动折叠蒙皮，形状记忆聚合物材料转化为橡胶态，模量显著降低，延展性增加，这使得折纸蒙皮结构的整体刚度降低，变形能力增强，从而实现 Miura 折纸单元中的刚体转动。为机翼折叠过程中提供机翼下表面蒙皮拉伸所需的大变形量提供了一种思路。

大连理工大学肖伶针对折叠翼尖的气动弹性问题，提出基于部分动力学等效方法简便快速的对折叠翼尖模型进行气动弹性评估和技术开发，同时通过对机翼模型和部分等效的平板模型开展仿真计算进行初步验证，并应用于大展弦比模型和小展弦比模型的折叠翼尖气动弹性研究工作，获得了不同折叠设计变量对于折叠翼尖模型的气动弹性影响规律。

大连理工大学陈小雨提出一种基于刚柔混合结构的翼尖变形模型，采用了机电-桁架式驱动机构，并采用硅橡胶作为模型蒙皮的材料；针对柔性蒙皮与翼肋之间出现的脱离问题，通过制作试件进行试验，确定了蒙皮与翼肋的连接方式，进一步确定了蒙皮的厚度及连接孔的孔径，以及翼肋上、下翼面的连接孔间距及分布，使蒙皮与翼肋之间获得了较好的连接性能。

折叠翼尖技术的适航认证情况

波音公司正积极与美国联邦航空局（FAA）就折叠翼的适航认证进行探索。尽管 777X 是在 777 基本型上进行附加认证，但由于折叠翼与原来的设计偏离太大，因此这一部分必须进行重新认证。实际上，波音早在 2014 年已经就此问题与 FAA 开展了合作研究，并在华盛顿州埃弗雷特建立了相应的试验室，全方位测试折

叠结构的可靠性。此外，波音还在西雅图以南的波音机场附近新建了一个全尺寸试验设施，进一步对折叠结构进行专项测试。在 2017 年迪拜航展期间，波音展示了符合 FAA 要求的 777X 驾驶舱和折叠翼尖操作界面。

由于适用的适航法规没有包含折叠翼尖这一设计特性的足够或适当的安全标准，2018 年 5 月 11 日，FAA 针对波音公司 777-8 及 777-9 项目签发了最终的特殊条件，共提出 10 条特殊条件，包括系统状态指示、极限载荷确定方法与安全性、侧风对操纵品质的影响、翼尖在地面的锁止等，以建立与现有适航标准相当的安全水平。其中第 3 条要求：申请人在评估符合 14CFR 第 25 部分第 C 部分的设计载荷要求和 25.629 要求的气动弹性稳定性（包括颤振、发散、控制反转和因结构变形导致的过度稳定性和控制损失）时，必须考虑折叠翼尖自由间隙的影响。因此，必须考虑折叠翼尖操作机构的正常磨损和其他长期耐久性条件（如腐蚀）对自由间隙的影响，以及自由间隙对负载和气动弹性稳定性的影响。如果需要自由间隙限制以确保气动弹性稳定性，必须建立可接受的自由间隙限制和自由间隙检查程序。如果需要润滑以控制过度磨损，则必须建立润滑间隔。这些程序和限制必须按照 25.1529 形成文档。如果需要建立自由间隙检查和机械润滑间隔，则这些要求必须记录为认证维护要求（CMR）。CMR 的指导可以在咨询通告 25-19A 的“认证维护要求”中找到。当表明对载荷和气动弹性稳定性要求的符合性时，必须评估自由间隙对机翼接头扭转和弯曲刚度以及机翼频率的影响。此外，当表明对 25.571 的符合性时，必须考虑自由间隙对疲劳和损伤容限的影响。

第 10 条明确要求：翼尖必须有办法防止在飞行中由于故障，包括任何单一结

—

由于适用的适航法规没有包含折叠翼尖这一设计特性的足够或适当的安全标准，2018 年 5 月 11 日，FAA 针对波音公司 777-8 及 777-9 项目签发了最终的特殊条件，共提出 10 条特殊条件。

—

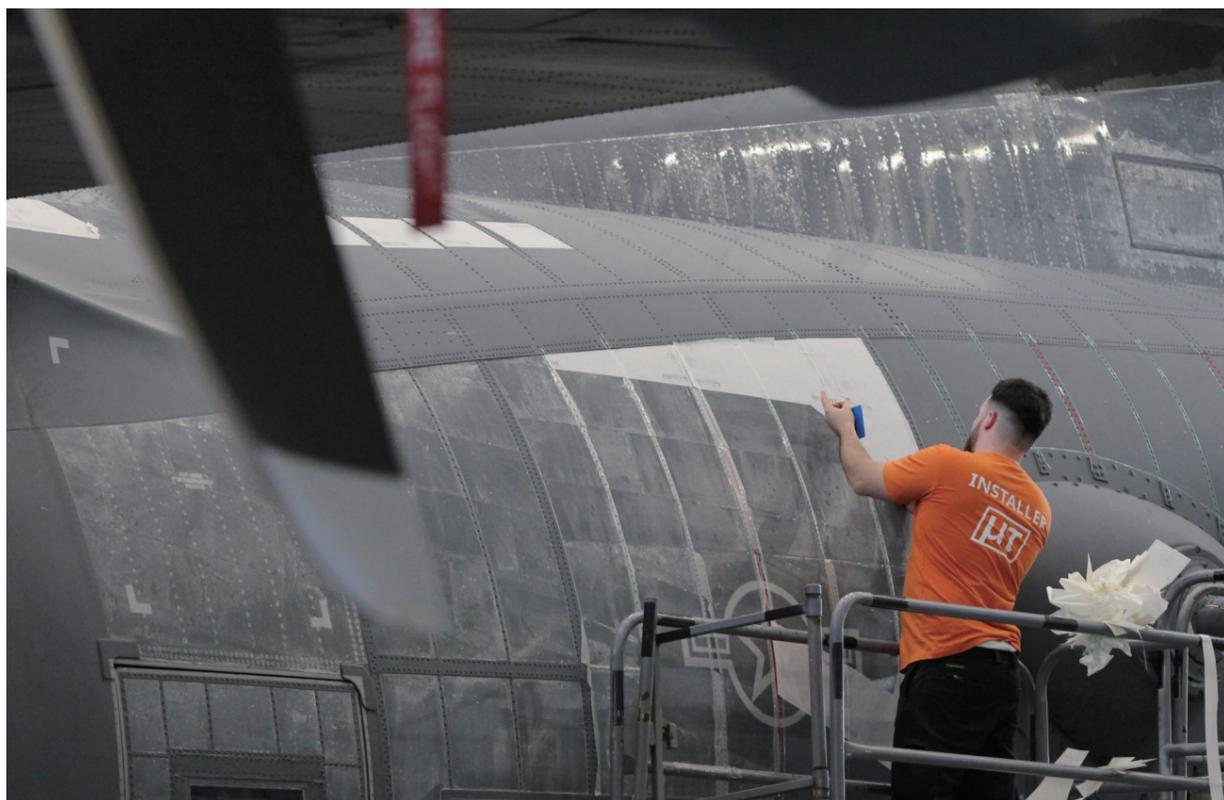
构部件的故障，从展开的飞行部署位置解锁。所有可以启动翼尖解锁的飞机能源必须在飞行前自动与翼尖折叠操作系统（包括固定和锁定系统）隔离，并且在飞行期间不能恢复系统的电源。翼尖固定和锁定机构必须设计成在所有飞机飞行载荷条件下，没有力或扭矩可以松脱或解锁机构。固定系统必须包括一个将固定器固定在固定位置的装置，且独立于锁定系统。如果固定器和固定机构不处于固定状态，则锁定系统将不能处于锁定位置；如果锁定装置处于锁定位置，则固定装置将不能松脱。可以看到，适航当局对于折叠翼尖系统的磨损、运动及由此可能带来的后果持有强烈的警戒。空客公司的扩张型铰链折叠翼尖作为在飞行过程中可运动的翼尖折叠系统，势必将在认证过程中面对更大的挑战。事实上，波音曾计划于 2020 年完成认证并交付客户使用，但已被多次推迟，且 FAA 认为其现有认证时间表“已经过时，不再反映计划活动”，而波音公司随后宣布其首架交付时间将至少推迟至 2026 年。■

“生物灵感”： 航空界的生物启发和仿生

文 | 梁长城 钟怡菲

2025年，达美航空正在进行多方面的飞机减阻增效工作，包括为部分适配机型加装尾部小鳍（Finlet）、加装“鲨鱼皮”（Sharkskin Riblet）减阻蒙皮肋条膜材料、与空客公司合作进行民机伴飞增效的新运行模式试验。据达美航空介绍，这三种对现有有机队进行的微小改装和运行模式的调整，均是从自然界中学习并提升运行效率的重要举措。这些调整将在整个机队的规模上减少超过10%的燃油消耗和碳排放。

图 | microtau.com.au



达美航空为飞机加装的尾部小鳍，或称 VCT（Vortex Control Technologies，涡流控制技术）小鳍，是用于减少飞机尾部涡流的小型翼片阵列。这些小鳍可重塑气流流动模式以改善压力分布，并减少气流分离和产生的气动阻力。而“鲨鱼皮”肋条膜材料是澳大利亚 MicroTau 公司近几年为部分商用和军用飞机机型开发的用于减少飞行阻力的蒙皮膜材料，利用类似鲨鱼皮微小的脊状突起优化飞行效率。这种膜材料与汉莎航空采用的 Aeroshark 膜体材料原理甚似，可提升4%的飞行效率。达美航空与空客自2019年合作开始的 Fellofly 项目提出的民机伴飞运行的模式概念，灵感则来源于对大雁排列成V形飞行编队迁徙的观察和生物模仿。

这些对生物体观察产生的灵感并应用于技术的创新性方法被称为广义的仿生或生物启发（Bioinspiration，推荐性国家标准将此翻译为“生物灵感”）。仿生学及相关方法论已经在人类数个世纪的航空器设计、制造和运行进程中为航空工程师们提供灵感，指导他们从自然界中学习，不断找到更高效的设计。

仿生航空器技术

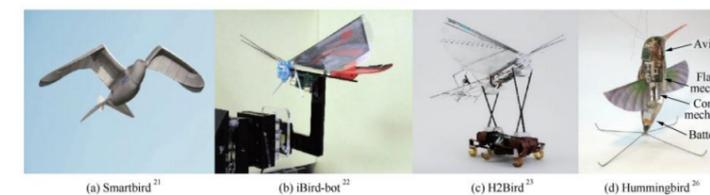
在航空器中采用的生物机械学（Bionics）结构催生出了一类特有的航空器——仿生航空器 BAV（Bionic/Biomimetics Air Vehicle）。由于采

用了与飞行动物相同的扑翼飞行方式，这种特殊的航空器构型在保持了固定翼飞机高效水平飞行的同时，还能达到同旋翼机一样的垂直起降优势。其独特的飞行姿态和高敏捷性飞行潜力早在数十年前便吸引了军用和民用领域的目光。早在工业革命前，达芬奇仿照蝙蝠翅膀的骨骼和膜结构，设计了相同结构和运作方式的扑翼飞行器。1990年，

尾部减阻小鳍（图片来源：www.diu.mil）



2010年代初期受鸟类启发设计的仿生航空器，其成功地模拟了扑翼飞行，但仍处于不成熟的雏形期



DARPA 首次提出了微型航空器 (Micro Air Vehicle) 的概念, 在航空业掀起了一股仿生扑翼航空器设计的热浪。在之后的数十年中, 大量仿照鸟类、昆虫、

▼ 西工大“信鸽”仿生无人机 (图片来源: 西北工业大学)



▼ 来自中国、韩国、瑞士、美国等多国学者对隼、啄木鸟、鸢、猫头鹰、乌鸦、渡鸦等多种鸟类不同爪形进行的仿生学应用



蝙蝠的扑翼生物机械学航空器设计和原型机逐渐出现, 并产生了很多设计 and 应用案例。不过, 由于受到结构材料、储能方式及控制理论等方面的限制, 直到 2010 年代, 扑翼仿生飞行器的各项飞行能力 (如态势感知、飞行效率、控制能力、持久性和敏捷性等方面) 均远落后于鸟类。

近年来, 随着电池技术、扑翼飞行控制原理、算力的飞跃进展, 扑翼仿生飞行器的飞行能力已经今非昔比, 无论是飞行稳定程度、抗风能力、敏捷性还是续航能力, 都产生了质的飞跃。2022 年, 由北航团队研发的扑翼无人机创造了一个半小时的飞行续航时间纪录。而在 2024 年, 西工大的扑翼无人机“信鸽”更是在经过包括低温和不稳定风场等多重复杂的气象环境的训练以及全国多地的数千次演示飞行之后, 创下了超过 3 小时的单次充电飞行持续时间纪录。不断提升的飞行效率和环境适应性给仿生飞行器带来更多的实用潜力。

此外, 近几年生物机械学的应用也让仿生飞行器和其他无人机具备了额外的生物模拟应用功能。对多种鸟类的鸟爪和脚趾进行的机械模型构建和仿生, 已经可以让无人机具备复杂起降 (在崎岖地形、树枝、绳子等) 和物体抓取能力。这些新功能在模仿鸟类功能过程中也开拓了未来无人机执行多行业复杂任务的前景。

在未来, 无人机将引入更多的智能感知技术以应对多变的运行环境和日益复杂的运行任务, 而对生物体功能机制的模仿则为仿生感知能力带来新潜力。例如, 对鹰眼双中央凹机制进行生物模拟的设计可让物体感知注意力模型进行算力优化和反应速度提升, 而对鸟类羽毛进行生物模拟的仿生羽毛气流传感器可在无人机上提供更灵活的飞控逻辑 (跟着感觉飞, Fly-by-feel)。

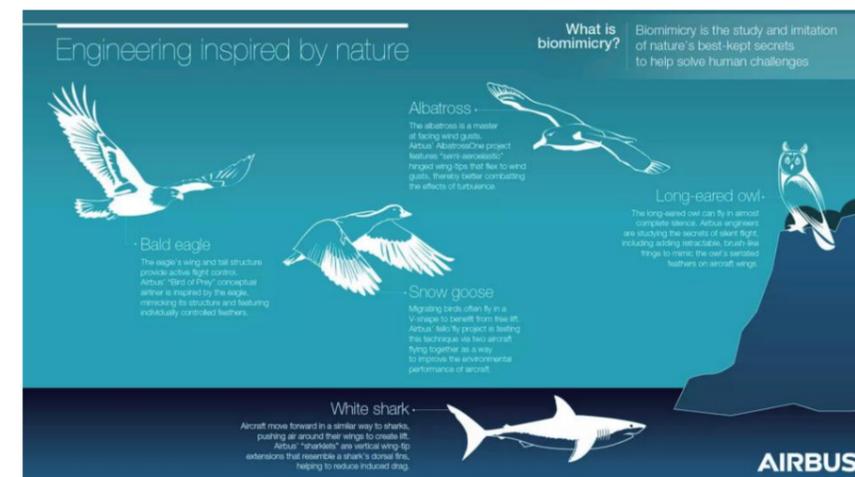
民航减阻增效技术

生物启发让学者们认识到自然生态中系统的相互作用, 并为航空业的可持续发展提供启发。动物经过数亿年的进化和演变, 在运动过程减阻增效方面的优化达到了炉火纯青的地步。这不仅体现在个体的系统功能上面, 还体现在群体的交互和行为上面。因此, 生物启发正在民航领域帮助飞机向更高效、更舒适、更安静、更具适应性的多个方向发展。

近年来, 空客公司针对大雁迁徙过程中的 V 形组队形式进行学习, 为民机新运营模式提供启发。自 2019 年起, 空客先后开展了 Fello'Fly (伴飞) 和 GEESE (节能与增加环境效率) 项目, 开展了“尾流能量回收” (WER, Wake Energy Retrieval) 的技术开发。项目利用生物模拟的方法探索提升客机飞行效率的新技术和运行方式, 在近 5 年



▲ 扑翼、固定翼和旋翼无人机实现了在不同地形起降、行走、起跳和物体抓取的能力



▲ 民航界部分源于鸟类的生物模拟研究项目 (图片来源: 空客)

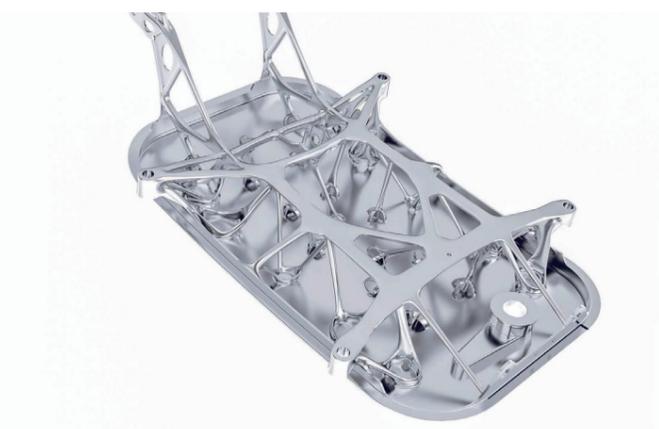
来利用 A350 飞机作为平台进行飞行试验。研究成果表明, 采用 WER 技术的伴飞飞行模式能使每个航班节约 5% 到 10% 的油耗。2025 年 2 月, 达美

航空宣布其正在与空客合作开展伴飞相关运行的准备，并预计在 2025 年下半年在实际运行中部署该技术，并试验在跨大西洋航线航班的会合点机动

▼ 空客开展的尾流能量回收试验及未来用于民航伴飞运行的会合点机动模式



▼ Sogeclair 和空客公司采用新制造和设计方式生产的仿生结构飞机部件 (图片来源: 维捷)



(Rendezvous Manoeuvre)，即两个出发地不同的航班在空中会合的飞行模式。

除此以外，民航领域还有多项受动物启发的生物模拟项目，如受白头海雕羽毛启发的用于未来油电混动螺旋桨飞机的主动飞行控制技术、受长耳鸮静音结构启发的飞机结构降噪装置、受信天翁抗突风能力翅膀启发的飞机柔性半气动弹性自顺应翼尖、受鲨鱼启发的用于减少诱导阻力的纵向翼梢鳍和蒙皮肋条膜材料等。

新材料、制造与设计创新技术

设计和制造能力在伴随着工程技术不断演进的同时，也在当前为仿生带来了前所未有的新机遇。从新设计理念（云设计、生成式 AI）到新制造方法（如增材制造），仿生产品的开发将迎接多维度的新机遇。

在制造领域，来自 3D 打印（增材制造）等新型加工技术能够超越传统工艺上限，为特定仿生结构创造新的可能性。在塑料产品 3D 打印机为仿生设计提供了便利且快速的原型制造的同时，基于激光和金属粉末材料的技术则为飞行器的部件提供了更加轻量化的结构可行性。例如，法国航空供应商 Sogeclair 早在 2017 年的巴黎航展上便展示了其利用 3D 打印生产的仿生轻

量化结构飞机舱门。而在设计领域，云设计、生成式人工智能也为设计过程提供了新方式。早在 2018 年，空客就联合 Autodesk 一起进行仿生飞机结构部件的设计和加工创新。利用云计算产生的生成式设计迭代及激光辅助铝镁钛合金 3D 打印技术，空客成功生产了用于客舱隔板的大型仿生骨骼结构部件，并相较传统构件减重 45%、应力形变减少 8%。

在宏观上对生物结构进行仿生催生了新设计理念，对微观分子结构的模仿也让仿生学创新方法走进材料科学，为航空器提供高性能材料。近年来，中国科学院长春应用化学研究所对天然烟片橡胶的分子结构和关键的化学组分进行模仿，在合成橡胶分子链上以特殊的方法嵌入蛋白质和磷脂，攻克了连续聚合工艺和工程技术，制备出了批量化仿生合成橡胶。目前这种仿生橡胶关键性能指标已经达到了特级天然橡胶的水平，为航空轮胎提供了材料替代，减少了对进口天然橡胶原料的依赖。

总结

从对飞行动物姿态进行观察和模仿，到深入学习生物飞行原理并掌握飞行控制技术，再到构建具备先进感知系统和可持续性的现代和未来航空器，生物启发和仿生方法论与航空行业的结合



▲ Sogeclair 和空客公司采用新制造和设计方式生产的仿生结构飞机部件 (图片来源: 维捷)

在历史、现在和未来不断为技术创新提供灵感。随着仿生相关学科方法论的逐渐成熟，从自然界中获得的灵感将不仅引导人们进行简单且原始的模仿，也从系统功能、相互作用等方面让学者从宏观到微观进行深层生物原理的认识，并将其成果应用于当前的航空技术发展和可持续进展中。

掌握飞行能力让我们不断突破自然界给人类带来的先天束缚，但航空的目的从不应该把自然界当作被征服的对象。把自然界的生物与环境当作学习领悟的源泉和设计创新的导师是工程学科可持续发展的本体逻辑。未来，随着新材料、新算法、新概念、新设计和制造手段的融合，生物启发和仿生技术将在更多层面赋能航空产业，让人类在有限的自然环境中创造无限的可能。■

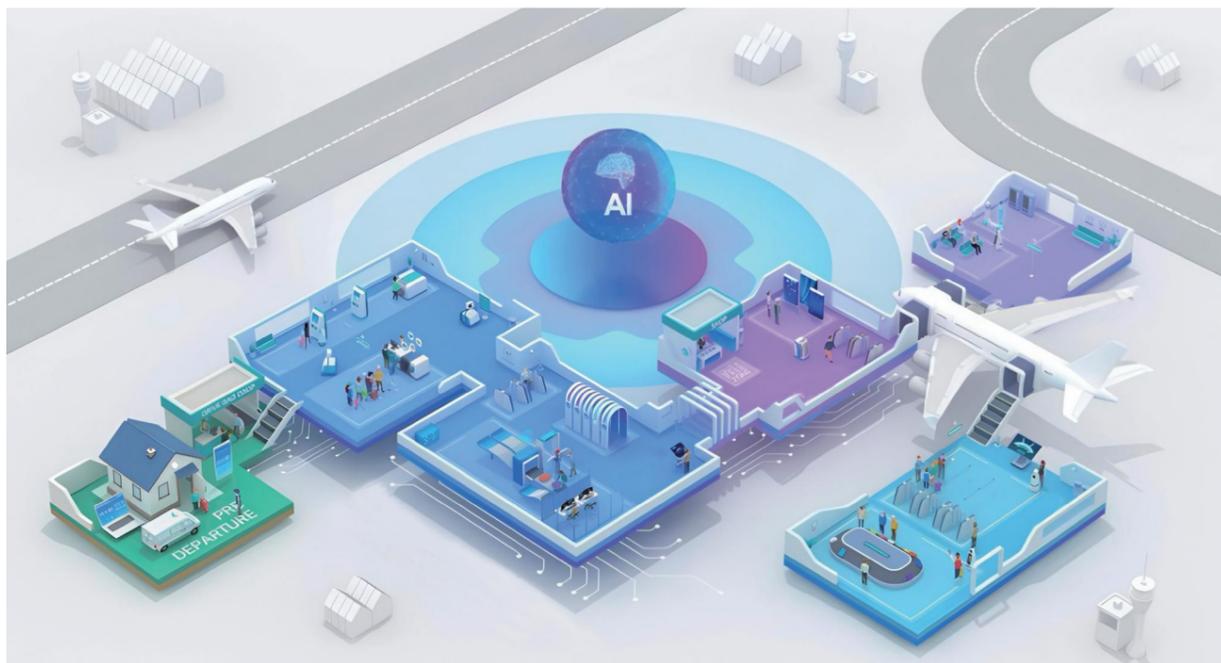
人工智能在民机中的应用

文 | 刘蔚然

2025 年以来，国际民航界连续发生的多起航空事故和紧急事件凸显了采取更先进的安全措施必要性，人工智能能否成为降低人因风险和提高空中安全的关键？当前，人工智能已在提高飞行技术、机务维护、导航设备监控等方面投入应用，在风险监测、效率优化、辅助决策和人机交互等领域提供有力支撑。

然而，“人工智能能否取代民航飞行员”始终是需要回答的核心关键，人工智能引入驾驶舱后能否保证运行的安全性和稳定性？客机的算力能否支撑人工智能在驾驶舱的大范围应用？遭遇“黑天鹅”事件时人工智能能否胜任应急处置？在找到答案之前，人机竞合或能帮助民航业实现更高安全、更优效率发展。

图 | Behance



人工智能路线图

近年来，一些国家和民航国际组织提出了民机运营中的人工智能路线图，其中比较典型的路线有三种：

一是欧洲航空安全局提出的《人工智能路线图 2.0——以人为中心的人工智能航空应用》。它把人工智能在民机运营中的应用分为三个级别：L1 级，即人类辅助增强，约定在 2025 年就完成相应的试验以及试点工作；L2 级，即人机协同合作，预计在 2030 年可以完成相应的试点和试验工作；L3 级，即高级自主飞行功能，预计在 2035 至 2050 年完成相应试验和试点工作。

该路线图设定的 L3 级，尤其是 L3B 级，是真正意义上的无人飞行。目前比较尴尬的一点是，欧洲的行动明显滞后于该计划。现在来看，有些方面才只达到 L0.5 的水平。

2024 年，美国 FAA 也提出了《人工智能安全保证路线图》。这份文件着眼于如何确保人工智能安全，及如何通过使用人工智能加强航空安全，但在使用上人工智能方面相对较为保守，完全没有提及人工智能替代飞行员的应用。

中国民航局于 2022 年 1 月发布了《智慧民航建设路线图》，提出以“智慧出行、智慧空管、智慧机场、智慧监管”为核心抓手的重点工作。

相对来说，欧洲路线图最为激进，

更多把重心放在对未来的预想上，而我国走的是一条无人机—低空经济—航空货运—运输航空路线比较明确的发展方向。从这三条路线来讲，我国智慧民航的路线可能是最为稳定和稳健的。

2024 年 4 月 7 日，中国民用航空中南地区管理局向广州亿航智能控股有限公司颁发了全球首张载人无人机生产许可证，这也是电动垂直起降飞行器获得的首张生产许可证，也象征着路线图中的第一步，即由无人机作为引导和开端，向有人机包括货运乃至客运过渡的第一个里程碑。

AI 在民航的应用

目前，人工智能在民航多领域都进行了广泛的应用。

在飞行技术方面，QAR（快速记录器）提取的飞行数据，通过对超限事件，包括各类不安全事件，对飞行员人群进行画像分类，制定相应的训练措施，帮助飞行员提高飞行技能。

在机务维修方面，借助各类飞行和机载数据库、机载获取的数据，对飞机的相关性、故障率、可靠性进行定量和定性分析，挖掘可能潜在的故障。

对导航设施和完好性的监控。通过反向挖掘飞机的运行参数、航班运行情况，可以得知导航台包括导航数据库、GPS 的稳定性情况。

我国在安全管理和风险监测方面广

泛使用了各类大数据以及人工智能的各类算法、应用和模型，通过挖掘 SMS 信息报送问题中的自然语言的关键词、关键字以及关键字段，局方监管的 FSOP、ESMS 以及危险品运输等各个方面的安全信息数据平台，获得了大量的安全数据。数据、算法和算力是人工智能不可或缺的三大要素，通过数据的获取，走完了人工智能在民航推广的第一步。

运行效率优化。对航空器数据分析可以有效提高我国对空域划分、航线规划以及进离港和机坪的优化，包括对后续设计和改进的有力支持。

为航空公司包括各个监管局以及控制大厅做辅助决策，可以提供精确的数据指导。

驾驶舱的人机交互。以前，飞行员

在飞行中有需要时可以查阅纸质手册、纸质航图和纸质资料，每次航班运行可能都要携带上百页资料，这些资料中可能隐藏着相对有用或无用的信息，都由机组对这些信息进行人工识读和筛选。现在驾驶舱加载了人工智能后，可以直接把这些信息推送到飞机的机载设备包括飞行员使用的平板电脑中，有效提升他们的飞行胜任力水平。

至于具体的应用场景，这里举个例子。比如，我们乘坐飞机时会遇到颠簸。飞机在空中遭遇颠簸是常有的事，有时甚至会导致旅客受伤乃至死亡。AI 在飞行过程中获取飞行数据，并反向推出当时的运行情况，然后可以向后续飞机、空管、航空公司及时播报，让他们进行规避，比如改变高度层、改变航向或封闭该空域、暂缓航班等措施，从而避免人员和旅客受伤的情况。

另一个应用场景是：舱音驾驶舱数据以及飞行参数相结合的系统，可以直接通过视频反馈飞机每秒钟的飞行情况、设备工作情况以及驾驶舱内语言情况，并通过各类降噪算法，有效地在嘈杂的驾驶舱环境中提取出所需信息，有效还原各类不安全事件中在驾驶舱中发生了什么。例如，坐飞机时感到落地非常重，有时可能是体感原因，有时可能是操作技术因素。通过上述系统提取的数据，我们可以辨别原因，并帮助飞行员有效修正和改进训练，让航班坐起来更为舒适和安全。

AI 能否取代飞行员

在民机上应用人工智能，一个挑战是：人工智能是否能替代民航飞行员？

在人类航空史上，飞行自动化进程大致可以分为四个阶段：

第一阶段是在二战之前，飞机完全由人工进行驾驶，所有仪表都是机械式或气压式等纯机械结构；

第二阶段是在二战以后到 20 世纪 80 年代，进入喷气时代以后，飞机上加装了包括电子管、晶体管在内的传感器等最初阶段的自动化设备；

第三阶段是开始于 20 世纪 80 年代前后，即空客 A320 和波音 737 投入运营后，这时在驾驶杆后方出现了综合的显示仪表，通过机载的计算机，包括空客的电子式计算机和波音早期的半机械半电子式飞行计算机来将所有参数整合在同一个仪表上，供飞行员参考；

第四阶段是在 2000 年以后，飞机上加装了更多传感器以及自动驾驶和高级自动化功能，有效监控飞机的各类状态、各类参数。例如空客的电子显示单系统，在飞机出现不正常情况时，传统飞机的飞行员第一时间想到的可能是自己去翻手册、翻应急程序，而对空客的飞行员来讲，飞机会根据已有的参数，得出电子处置建议，并显示在飞机的显示器上，飞行员只需按照它的步骤一步一步完成就可以了。

综上所述，我们可以认为，人和人

工智能的关系更多是一种竞争和合作的关系。我们在人工智能上所做的各种研究和努力并不是要把飞行员直接拉出驾驶舱、不再用人来飞飞机，而是让人工智能和人类的飞行员共同坐进驾驶舱，让他们共同推进航班的运行，保证安全，提高效率，提高航班运行的速度。

AI 在飞行中应用的难点

难点一，人工智能在驾驶舱尤其是在替代飞行员或辅助飞行员进行决策的第一大问题就是安全。众所周知，民航尤其是客运航空最看重的就是运行安全。由人工智能所引发的新一代飞机包括客机的革命，一方面由于设备的进步，安全保障措施或改进措施会更多；另一方面人工智能引入民航以来，也会带来各种各样的困扰。例如 2023 年和 2024 年在欧洲和北美的空管系统中都发生过由于计算机系统故障导致的航班无法放行、无法进行管制的情况，将人工智能引入驾驶舱之后，能否保证它在运行过程中的稳定性，这是一个很大的研究课题。

难点二，硬件是人工智能在驾驶舱应用中的一个致命难题。人工智能对算力的要求很高。在飞机上，尤其是在民航客机中，算力最集中的地方其实是客舱，客舱的娱乐系统比驾驶舱里面的自动化设备对算力的要求更高。为了稳定性，飞机上的 CDU、SMC 等机载设备和机载控制

图 | julienflorkin.com



系统的算力并不高，即使是新一代的 787 和 A350，在硬件上也无法支持人工智能在驾驶舱大面积的应用。

难点三，成本考量。民航包括飞行其实是一个非常烧钱的行业，现在主流的窄体机即 737、A320 客机主流报价大约在 7000 万至 8000 万美元之间，宽体机 787、A350、777 客机的售价可能在 3 亿至 5 亿美元之间。这样的成本已经是航空公司的重大开支来源，如果人工智能真的引入了驾驶舱、引入了飞行过程中，无疑需要大量的技术改进、设备更新，包括但不限于重新设计驾驶舱结构、重新设计飞机的飞控逻辑，乃至完全设计全新的飞机，这样的成本可能是无法接受的。

难点四，配套问题。一是各种政策法规的配套，二是智慧民航中的监管、空管、空域、机务维护以及决策和数据传输上的配套。民航发展到今天，并不是一个孤立的单元，更多时候需要一整套系统、一整套体系来进行支撑，才能顺利飞行。除了民航在驾驶舱和监管 / 空管过程中有人工智能推进的过程，其他如机务、地面维护、地面引导和机场管制等还有很长的路需要走。

AI 在驾驶舱应用的难点

难点一，可靠性难题。人工智能在可靠性上还存在着一些问题亟待解决，有时候会出现“AI 幻觉”，这也是现在困

扰人工智能在驾驶舱和飞行中进一步应用的难点。

难点二，应急处置难题。手册制造商和飞机设计师不可能穷尽每一种情况。在手册里，第一条就是免责条款，因为手册不可能包含全部可能遭遇的情况，只能尽量把已知情况都列举出来，并通过训练不断提升机组的胜任力，让他们有一定能力在面对“黑天鹅”事件时，能有效保障飞行的安全。人工智能在遇到从未出现过的未知事件时，会怎么处置？

难点三，适应性难题。现在很多中小机场尤其偏远机场的设备并不完善，如果想要支撑人工智能在航班中的大规模应用，无疑要对这些机场进行大面积改造，否则未来基于人工智能的全自动飞行器可能只能飞北京、上海、广州或成都这种一线、二线机场，而无法在小机场运行。

难点四，信任性难题。很多时候开车或飞行，前面有一位驾驶员或有一套机组坐着，会让人更安心一些。例如无人驾驶汽车，乘客一上车发现前面没有驾驶员，会感觉心里发慌，一旦失控了怎么办？没有人在前面，会不会存在责任的逃避？这也是现在旅客对无人驾驶的客机最大的信任难题。

信任难题还有一个现成的案例。2018 年 5 月，四川航空 3U8633 航班驾驶舱右座前风挡玻璃破裂脱落，导致驾驶舱受损。机组紧急处置，在失去了所有导航和状态信息之后，仍然坚持把飞机飞回

来了。未来人工智能驾驶的飞行器如果遭遇这种情况，在飞行器的完好性受到损伤，无法通过传感器和运算单位进行合理规划时，飞行器就有可能失去控制乃至坠毁，这肯定是民航无法接受的。

AI 在驾驶舱应用的构想

人工智能在飞行中可以提供有效的运行决策支持，提高安全运行裕度。很多资料可以交给人工智能进行阅读、分析，只需要它提取有效的内容或直接通过询问获取需要的信息。

人工智能包括自动飞行可以在飞行中提供更高的准确性、可靠性、稳定性、适应性。在可靠性方面，从安全学角度来说，人也是整个系统中非常不可靠的一环，可以通过人、机共同协作的关系，共同监督和提整体的可靠性。在稳定性方面，人在困倦、高压、高应激性情况下，能力会大幅下降，这时候如果人工智能能有效辅助飞行员，让他恢复平静，则可以大大提高飞机的运行安全度。在适应性方面，很多时候，机器学习包括人工智能相对人来说，会有更高的适应性，在面临一些问题时，它会提出一些独到的观点。就像下棋，现在的 AlphaGo、AlphaZero 提出了一些闻所未闻、前所未见的下棋思路，相信未来人工智能与飞行员或者驾驶舱相应设备结合后，也会得到相应的新思路。

下一代 EFB 电子飞行包的构想。通

过人工智能与实时数据链提升整体飞行预测准确度，改善机组对机械故障包括不可预期的设备故障进行的诊断。比如本来是在机务相关范畴内的故障，对于飞行员来讲处于不可知状态，人工智能可以为机组提供知识或能力上的支持。

下一代人机交互平台，利用自然语言处理模型，有效提高人机交互效率。现在驾驶舱的交互更多是通过键盘输入或类似翻阅的情况进行，在高负荷情况下，这种交互的模式效率非常低，乃至影响飞行员的判断。如果未来能用自然语言进行交互，不仅能减轻飞行员的工作负荷，还能提高处理问题的准确性。

那么回到最初的问题：人工智能能取代民航飞行员吗？很多人相信，未来总有一天人工智能将变得足够强大，足以克服上述诸多困难并独立控制飞机。但在此之前，人工智能与人类飞行员不是非此即彼的关系，而是人工智能与人类飞行员共同参与的格局。人工智能可以在特定场景下辅助或短时替补人类飞行员，提升飞行安全性和运行效率；而人类飞行员则通过与人工智能通力协作，应对各种复杂情况。可以预见的是，这种人机竞合关系将推动民航运输领域持续发展，为人类带来更加安全、高效的飞行体验，携手共创飞行新纪元。■

由空客 A220 项目引发的思考

文 / 冯鲁文 杨敏 张洋

2025年4月28日，空客与美国势必锐航空系统公司正式达成收购协议，收购后者多个工厂，这些工厂主要制造空客 A220 客机的发动机短舱挂架、翼盒、中机身等组件。空客此举旨在优化 A220 客机的供应链布局，支撑实现到 2026 年每月生产 14 架的产能目标。

▼ 图 | 空客



A220 的由来

2004年，庞巴迪开始筹划研发 100~150 座级单通道客机，并将其命名为 C 系列（CS）。2008 年正式启动项目，研制 CS100（110~115 座级）与 CS300（130~135 座级）两个型别。其中，CS100 于 2013 年 9 月 16 日首飞，2015 年 12 月 18 日获得加拿大交通部型号合格证，2016 年 7 月 15 日由瑞士国际航空公司正式投入商业运营；CS300 于 2015 年 2 月 27 日首飞，2016 年 7 月 11 日获型号合格证，同年 12 月 14 日由波罗的海航空公司启动首航运营。该型机集成应用铝锂合金机身、复合材料机翼、美国普惠公司 PW1500G 齿轮传动涡扇发动机、先进电传飞控系统等多项先进技术，综合性能指标优于同级竞品。2017 年波音指控加拿大政府不正当补贴 C 系列飞机项目，对 C 系列飞机项目产生严重影响，导致庞巴迪在该项目资金状况持续吃紧情况下加速寻求买家控股。2017 年 12 月，美国商务部决定对 C 系列飞机征收 292% 的反倾销税，尽管该决定于 2018 年 1 月被美国国际贸易委员会驳回，但这加速了庞巴迪在更大程度上退出 C 系列飞机项目。

2017 年 10 月 16 日，空客正式以 1 加元的象征性价格收购了 C 系列飞机项目 50.01% 的股权，其余股权由庞巴迪（34%）及加拿大魁北克投资公司（16%）持有。此次交易对空客而言财务负担极低，但为其增加了与 A320neo 系列形成互补的新单通道客机产品线，覆盖 100~240 座级市场，对波音 737 MAX 全系列构成竞争压力。2018 年 7 月 1 日收购协议生效，空客于 7 月 10 日将 C 系列更名为 A220，其中 CS100 与 CS300 分别更名为 A220-100 与 A220-300。2019 年 6 月 1 日，空客将“C 系列飞机有限股份合资集团”

（CSALP）更名为“空客加拿大有限合伙公司”（ACLPL），全面启用空客品牌标识。2020 年 2 月 13 日，庞巴迪以 5.91 亿美元出售其剩余的 31% 股权、彻底退出项目，空客持股增至 75%，魁北克投资公司持有 25% 股权。

A220 项目待解的困局

空客收购 C 系列飞机项目，最初显著提升了该系列飞机的市场占有率。2018 年 7 月空客还宣布在美国阿拉巴马州莫比尔建设第二条 A220 总装线，抵消美国政府施加的高昂关税影响，强化该系列飞机在美国市场的竞争力，但该计划最终未落实。同年，捷蓝航空公司宣布订购 60 架 A220-300，标志着该系列飞机成功打入美国市场，实现了关键突破。波音为应对空客的市场扩张，曾尝试收购巴航工业部分业务以增强竞争力，后因自身财务问题而终止。空客通过 A220 进一步巩固了其在全球单通道客机增量市场的主导地位。但时过境迁，当前该产品面临困境，主要包括以下几个方面。

▼ 图 | 空客



首先是发动机与供应链问题，其中发动机裂纹问题冲击飞机运营商。空客收购 C 系列飞机项目正值全球航空市场高峰周期，而随后三年因新冠肺炎疫情导致市场严重停滞，民机产品供应链出现短缺。2023 年 10 月，普惠齿轮传动涡扇发动机系列被爆出高压涡轮盘微观裂纹问题，维修周期长达 250 ~ 300 天，而 A220 仅选配了该系列发动机中的 PW1500G，没有其他选择，导致运营商遭冲击。2025 年 1 月，波罗的海航空公司宣布取消 4670 次夏季航班，停飞 19 条航线，预计影响 6.7 万人次乘客。

优化供应链以降低成本的目标仍未实现。空客收购 C 系列飞机项目时，计划依托其全球供应链降低飞机生产成本，提升其市场竞争力，最初显著提升了该系列飞机的市场表现。但实际上，庞巴迪原有供应链韧性差，且改进难度大。原因是庞巴迪在供应商管理中缺乏强有力的议价能力，在合作条款中长期处于不利地位，不利于 C 系列飞机的成本控制。

其次是如何处理内部优先级与市场拓展问题。A220 系列在空客内部的优先级显著低于 A320neo 系列。面对当前供应链

A220 系列在空客内部的优先级显著低于 A320neo 系列。面对当前供应链挑战，空客将提升 A320neo 系列产能作为核心任务，从战略层面为该系列优先配置资源。

挑战，空客将提升 A320neo 系列产能作为核心任务，从战略层面为该系列优先配置资源。2024 年，A220 系列仅交付 75 架，新增订单 17 架，但却被取消 26 架订单，订单净减 9 架。截至 2024 年年底，A220 系列的储备订单为 516 架。相比之下，A320neo 系列在 2024 年交付 602 架，订单净增 615 架，储备订单已达 7210 架。

自空客收购以来，A220 系列新订单疲软，空客提产乏力。2024 年 A220 月均交付仅略超 6 架，虽在第四季度有所提升（10 ~ 12 月分别交付 8 架、12 架和 10 架），但 2025 年一季度共交付 17 架，距 2026 年月产 14 架的目标仍有很大差距。同时，普惠对齿轮传动涡扇发动机的资源优先投入 A320neo 系列配装的 PW1100G 系列及其后继产品，针对 A220 配装的 PW1500G 系列投入有限，进一步加剧了 A220 产能提升和市场拓展问题。

第三是外部竞争加剧问题。A220 系列面临 737 MAX 系列及巴航工业 E2 系列双重挑战。737MAX 系列中最小的 737MAX7 标准双舱配置为 138 座，最大 172 座，最大航程 7040 千米。巴航工业 E195-E2 标准双舱配置为 120 座，最大 146 座，最大航程 5556 千米。A220-300 标准双舱配置为 120 座，最大 160 座，最大航程 6300 千米。近年来，E195-E2 市场呈增长态势。2023 年、2024 年分别交付了 38 架、40 架，截至 2024 年年底的储备订单为 159 架。尽管 E195-E2 在最大座位数（146 座）及航程方面略逊于 A220-300，但价格更低、交付周期更短，对 A220-300 构成较大竞争压力。同时，根据波音 2024 年年报披露的数据，737MAX7 的储备订单为 301 架。未来取证、交付并投入运营后，737MAX7 也将挤压 A220-300 的市场空间，尤其是在 100 ~ 150 座级细分市场中，两者可能直接竞争。

未来前景及项目启示

空客 2019 年启动 A220 加长型的技术可行性研究，2023 年 6 月确认该项目已进入内部技术评估阶段，并将该型机暂定名为 A221，但并未明确具体研发时间表。加长型将通过增加机身长度，将座位容量从 A220-300 的 130 ~ 160 座提升至 170 ~ 180 座，从而全面覆盖 737MAX7 与 A319neo 的市场区间。但该项目推进面临技术挑战，包括需重新选型更高效的发动机以满足需求。同时因与 A320neo 系列在市场定位上存在高度重叠，其开发也需平衡内部资源分配。

未来发展困境可能进一步加剧。首先，持续亏损与产能瓶颈严重制约项目可持续性。当前每架 A220 交付亏损超 4200 万元人民币，而空客需在 2026 年将月产能提升至 14 架才能实现盈亏平衡。然而，供应链和发动机等问题仍未解决，产能爬坡计划屡次受阻。其次，E195-E2 系列强势崛起直接压缩 A220 的市场空间，前者凭借更低的运营成本、灵活的座位配置以及在美国支线市场的稳固地位，已成功吸引波兰航空、墨西哥航空等客户采购。最后，内部竞争与市场定位可能导致加长型难以落地。A320neo 系列是空客绝对核心产品，其下一代产品计划已官方发布，预计 2035 年前后投入市场。相反 A220 加长型市场定位不明，研发计划仍未明确。综合来看，A220 未来发展困境可能进一步加剧，前景不容乐观。

通过分析空客 A220 飞机产品当前困境和未来前景，结合我国 C909 支线客机的下一代机型发展需求生成，提出两方面启示建议。

一是聚焦差异化市场定位，构建差异化竞争优势。A220 因市场定位模糊，导致其在 100 ~ 150 座级市场陷入与巴航工业

A320neo 系列是空客绝对核心产品，其下一代产品计划已官方发布，预计 2035 年前后投入市场。相反 A220 加长型市场定位不明，研发计划仍未明确。

E2 系列、737 MAX 系列及自家 A320neo 系列的多重竞争。我国 C909 飞机的下一代机型不应盲目加长加大，应明确其支线客机的定位属性，面向国内及亚太地区“小支线、大航程”的差异化需求，设计更灵活的航程与座位数组合（100 ~ 130 座），精准匹配中短途高密度航线或高原/复杂机场等运营场景，重点提升燃油效率和乘坐舒适度，形成与国内干线机型及国际竞争机型的差异化竞争力。

二是强化全产业链协同创新，夯实技术自主基础。A220 因供应链复杂，且与空客原有供应链体系存在一定差异，导致其供应链相对脆弱，后期压缩成本潜力较低。

C909 飞机的下一代机型应着力构建技术先进、运行强韧的“自主可控+开放协同”产业链生态。首先，优先推进发动机、航电系统等关键组件和系统的国产化替代，突破国际供应链依赖。其次，要充分进行市场调研，建立组件和零部件备选方案，在与供应商的议价中掌握主动权。最后，整合国内机场、航司及维修网络等资源，针对支线运营特性，打造“飞机+服务”的一体化解决方案，形成并提升全价值链的协同效率与市场响应能力。■

俄罗斯加速推进 SJ-100 项目

文 / 曲小

航空业作为国家战略产业，它的发展不仅有企业层面的竞争，更有国家力量的博弈与布局。过去几年，由于受到西方国家的制裁，俄罗斯不遗余力地推进商用飞机项目的国产化替代，尽管过程中遇到了很多困难和挑战，但这些并没有动摇俄罗斯政府的信心。正如俄罗斯政府对外所说的：“我们需要扩大国家航空制造业中商用飞机的比重，商用飞机应该和军用飞机齐头并进。”

图 | 俄罗斯卫星通讯社



2025年3月17日，一架装配俄罗斯国产PD-8发动机的SJ-100原型机完成首飞，首飞时长40分钟，飞行高度3000米。尽管此次首飞装配的PD-8发动机仍有一些系统采用了国外产品，但对于SJ-100飞机项目来说依然意义重大。随后，俄罗斯政府表示，未来将进一步加快SJ-100飞机项目的研发进度，但将放弃此前所制定的100%国产替代的目标，转而研制一款“最大限度实现国产化”的支线飞机。

制裁“倒逼”技术攻关

作为苏联解体后俄罗斯全新研制的第一款民用客机，SJ-100的“前身”——SSJ-100曾经被俄罗斯寄予厚望。为了融入全球市场，俄罗斯在SSJ-100飞机的研制中，不仅在生产和研制过程中采用了全球主流的“主制造商-供应商”模式，还在客户服务领域与欧洲企业合作，试图借力开拓西方市场。但最终SSJ-100飞机项目并没有像俄罗斯一开始所期望的那样获得市场成功。尤其是2018年，西方国家对俄罗斯开启制裁之后，更是让这款机型的后续发展蒙上了阴影，并最终走到了出售项目、处置海外资产的地步。然而也正是西方国家的制裁，倒逼俄罗斯不得不重新审视国内航空制造业的发展，并大力培育国内研制生产体系能力建设，以求最终实现对商用飞机项目的国产化替代。在这个过程中，SSJ-100的国产替代项目SJ-100应运而生。

2018年，伊尔库特公司开始着手实施SSJ-100的进口替代项目——SSJ-New项目。该项目最初计划投入1200亿至1300亿卢布，其中很大一部分用于PD-8发动机的研制。根据计划，俄罗斯将用这款国产发动机替代SSJ-100所使用的

SaM146发动机。根据最初的计划，SSJ-New会在2023年投入市场，但如今来看，全国产替代机型的研制远没有那么简单。

2023年8月，SSJ-100的生产商伊尔库特公司正式更名为雅科夫列夫公司，同时全国产化的SSJ-100也正式更名为SJ-100。同年8月29日，机载系统实现全国产化的SJ-100完成首飞。根据当时俄罗斯工业和贸易部的公开信息，共计有约40个系统和组件为100%俄罗斯本土生产。其中包括航空电子设备、起落架、辅助动力装置、综合控制系统、空调系统、供电系统、消防系统等。俄罗斯国产的TCAS系统也装配在首批SJ-100飞机上。

但配套SJ-100项目的国产发动机PD-8的研制遇到了一些问题。2023年8月首飞时，那架SJ-100使用的仍然是土星公司与法国斯奈克玛公司联合研制的SaM-146发动机。2023年12月，PD-8发动机在测试中发现了一些问题，因此需要完成补充试验，从而确保产品的安全性。这也使得SJ-100的交付时间不得不推迟。根据俄罗斯政府发布的《2030年俄罗斯联邦航空运输业发展综合规划》，全国产的SJ-100支线飞机的取证和首架交付时间从2023年年底推迟至2025年和2026年2月。

SJ-100 加速试飞进程

当前，对于俄罗斯来说，加快商用飞机国产化替代进程的重要性已不言而喻。过去几年间，西方国家的制裁对俄罗斯国内民用航空运输市场的影响正在逐步显现。因此，在外部制裁环境短期内无法改变的背景下，为了保证俄罗斯国内民航运输的需求，俄罗斯政府制定了《2030年俄罗斯联邦航空运输业发展综合规划》，明确了国产化商用飞机的交付时间。同

时，面对已经出现的研制拖期问题，俄罗斯政府对相关制造商采取了外部审计、组织机构调整、更换主要项目负责人等措施，试图从提升管理水平的角度出发，进一步加速国产化替代的进程。

总体来看，为了推动商用飞机的国产化替代工作，俄罗斯对相关企业在组织机构调整中，更倾向于加强集中管理。例如，由于前期 SJ-100 和 MC-21-210 项目都出现较为严重的项目拖期，因此在此次机构改革中，俄罗斯联合飞机制造公司（UAC）、雅科夫列夫、图波列夫等主要的生产企业一把手都进行了调整，同时明确了未来 UAC 将会对商用飞机国产化替代相关的工作进行直接领导。同时，俄罗斯政府还对相关的飞机设计局和飞行测试中心进行了新一轮的整合。雅科夫列夫公司是雅科夫列夫公司的设计局，过去主要负责 MC-21 飞机项目的研发。2024 年 10 月，俄罗斯政府宣布将雅科夫公司旗下负责 SSJ-100 项目的支线飞机分部的

设计局整合到工程中心，由母公司雅科夫的一把手直接领导。为了提高飞行测试工作的效率，将飞机试验综合体也并入雅科夫列夫。从目前来看，这些机构调整，从一定程度上减少了项目推进过程中可能存在的内部阻碍，加快了项目研制进度。

2025 年 3 月 17 日，第一架装配俄罗斯国产 PD-8 发动机的 SJ-100 原型机完成首飞。这一架原型机所装载的 PD-8 发动机并非 100% 纯国产，其轴承、燃油泵等依然采用进口部件。一个月后，4 月 23 日，采用纯国产 PD-8 发动机的 SJ-100 完成首飞，并在首次飞行中对控制系统、液压、空调、飞行导航设备、起落架收放等进行了测试。根据《环球航空资讯》的报道，UAC 母公司俄罗斯国家技术集团相关负责人表示，此次首飞的这架 SJ-100 飞机实现了约 40 个进口系统和部件的替代，其中就包括最为核心的发动机，其中包括飞行控制计算机、燃油管理系统、机翼防冰装置等。根据计划，后续这架飞机还将通过飞行和地面试验来进一步测试俄罗斯国产机载系统和 PD-8 发动机的交互情况，并开展高强度辐射场（HIRF）试验。5 月，第三架 SJ-100 原型机完成首次科研试飞，预计将在 6 月转场至茹科夫斯基投入取证试飞。

根据目前公开信息显示，如果项目进展顺利，SJ-100 飞机计划在 2026 年 2 月完成与适航取证相关的工作。SJ-100 飞机客舱布局为 95 座，航程为 2500 公里，可以有效覆盖俄罗斯国内 85% 的支线航空市场需求，并预计到 2030 年实现年产 30 架的目标。

但需要特别指出的是，在过去几年中，由于俄罗斯在推进国产替代计划中遇到了很多难题，加上目前俄罗斯国内对于新飞机的需求已经日渐凸显，因此俄罗斯政府在今年 2 月曾明确表示，针对 SJ-

100 的国产化战略将有所调整，不再追求 100% 的国产化替代。此外，政府还将通过公开招标的方式，拨款 276 亿卢布（3.1 亿美元），以确保 SJ-100 飞机项目后续的改进和取证工作。

国产化需要耐心和恒心

回顾俄罗斯航空领域的国产化替代，最早可以追溯到 2014 年。当时俄罗斯就提出了航空工业国产化计划，但鉴于当时更为开放的国际环境，这一计划的进展较为缓慢，相反当时的俄罗斯将主要精力放在了通过国际合作提高本国航空制造业的能力上。但 2022 年俄乌冲突爆发后，俄罗斯不得不加速推进国产替代项目的进展，其中 PD-8 发动机项目从立项到装机仅用了 3 年时间。这其中，俄罗斯政府“这只无形的手”在背后做了大量的工作，并逐渐形成了“国家主导 + 产业协同”的发展模式。但商用飞机产业作为“现代工业的王冠”，要对其进行全国产化替代，难度远超俄罗斯最初的设想。

除了 SJ-100 外，另一款正在推进国产替代计划的干线飞机 MC-21-310RUS 的研制更能体现研发之难。就 MC-21 项目来看，在项目启动之初，俄罗斯已经未雨绸缪地明确了国产化的要求。为避免关键配套产品完全由国外供应商把控，俄罗斯在 MC-21 项目中要求每一个重要的机载系统都至少有一家俄罗斯供应商参与，确保近一半的部件和系统来自俄罗斯国内。在发动机的选择上，俄罗斯更是直接引入了发动机的双选方案，分别是普惠公司的 PW1400G 发动机和俄罗斯的 PD-14 发动机。

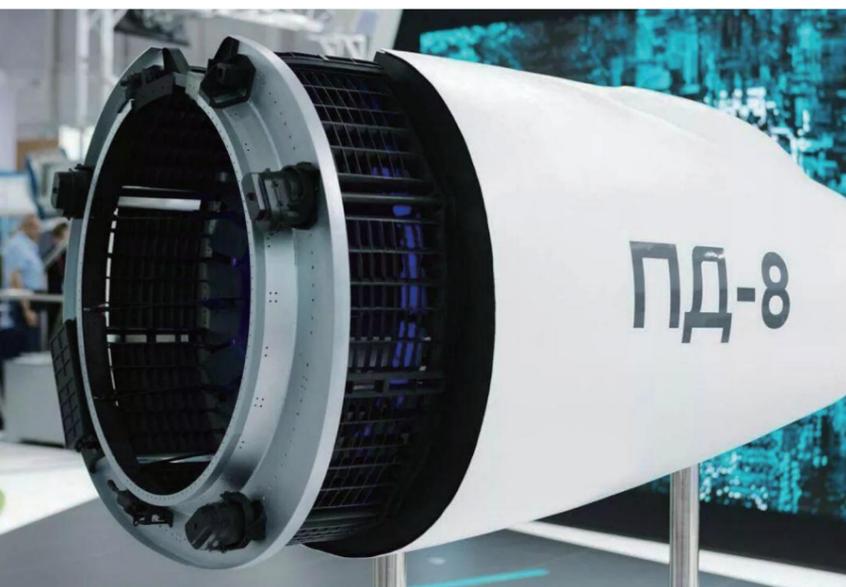
但从目前来看，MC-21 项目的国产化替代仍然遇到不少的问题。例如，在替换了国产发动机和国产复合材料以及一些

国产航电系统后，MC-21 飞机机身重量较之前采用西方供应商的产品重了 5.75 吨，这无疑会对这款飞机的性能和经济性产生较大影响。

因此，从这两款机型的国产化替代工作中不难看出，近几年来，由于获得了国家层面的大力支持和政府层面的明确指引，俄罗斯国内配套企业参与商用飞机项目的积极性被充分调动了起来，很多企业都加大了自主研发力度，以支持民用航空项目的国产化替代计划。从目前来看，俄罗斯国产替代计划的实施，一是促进了部分俄制航空产品的自给和自主可控，促使俄罗斯基本形成了各类航空产品研制、生产的闭环。二是带动了国内航空工业的转型和升级。但需要指出的是，对于发动机等核心产品来说，研制只是第一步，后续的技术成熟度和可靠性才是更为严峻的考验。因此，尽管未来的路还很长，但俄罗斯所取得的成绩依然值得肯定。

从长期来看，航空业的特殊性决定了俄罗斯全国产替代的道路上势必布满荆棘。除了上述两款产品所涉及到的技术研发能力之外，后续的产能提升、大型先进设备的严重不足等都会对俄罗斯民机产业提出新的问题和挑战。仅以大型生产设备为例，俄罗斯对西方设备的依赖性较大，未来要实现对这些进口设备的国产化替代绝非易事，而这些设备或是其中的零部件或许都会对未来的批产产生重大影响。因此，对于俄罗斯来说，要实现航空业的国产替代道阻且长。然而，尽管距离完全自主可控仍然有很长的路要走，但航空业作为国家战略产业，建立完整的航空工业体系和自主可控、安全高效的产业链、供应链具有极其重要的意义。俄罗斯的这些探索无论最终结果如何，都具有一定的借鉴意义。■

图 | 俄罗斯卫星通讯社



巴航工业稳步拓展市场

文 / 任治潞

过去几十年来，波音和空客一直牢牢占据全球商用飞机制造领域双寡头的地位，尽管庞巴迪也曾试图在干线市场分一杯羹，但最终无疾而终。在波音 737MAX 接连发生 2 起坠机事故以及接踵而来的质量问题发生后，空客曾试图借机占领更多市场份额。但新冠肺炎疫情之后，叠加地缘政治和特朗普政府不停发起的贸易战给商用飞机产业链造成了一系列负面影响，无论是波音还是空客的新飞机交付量一直难以满足市场需求。面对市场需求的增长，巴航工业正凭借 E2 系列飞机不断占领更多的市场份额，尤其是将目光投放到了全球最大的商用飞机市场之一的亚太市场。从挖掘新客户到开设新的售后维护中心，再到布局航空金融市场，巴航工业近年来稳扎稳打地开拓亚太市场，并已取得了一些实质性成果。

▼ 图 | 巴航工业



业绩稳步增长

2025 年 4 月末，巴航工业发布了公司第一季度业绩报告，在这份报告中最亮眼的莫过于其储备订单价值达到了 264 亿美元，创下了公司最高纪录。在飞机交付方面，2025 年第一季度，巴航工业共交付 30 架新飞机，较 2024 年第一季度（25 架）增长 20%。同时，巴航工业还在报告中特别指出，公司一季度交付量占全年商用飞机和公务机整体业绩指引中值（231 架）的 13%，高于该业务五年同期 11% 的历史平均水平。

商用航空方面，2025 年第一季度该部门订单储备价值达 100 亿美元，环比下降 2%。全日空（ANA）宣布订购 15 架巴航工业 E190-E2 飞机，并保留额外 5 架优先选购权。待最终合同签署后，该订单预计将计入 2025 年下半年订单储备。

2025 年第一季度，商用飞机部门共交付 7 架飞机，占全年业绩指引中值（81 架）的 9%，略低于过去五年一季度 12% 的平均水平，这主要是受到了供应链的持续挑战和影响。巴航工业预计，产能提升计划将在 2025 年第二季度、2025 年下半年及 2026 年初显成效。

公务航空方面，该部门订单储备价值达 76 亿美元，创历史新高，较 2024 年第四季度增长 3%。公务机交付量同比显著增长：2025 年第一季度交付 23 架公务机（14 架轻型公务机和 9 架中型公务机），较 2024 年同期的 18 架增长 28%。该交付量占全年业绩指引中值（150 架）的 15%，显著高于五年同期 11% 的平均水平。根据通用航空制造商协会（GAMA）2025 年 2 月发布的数据，飞鸿 300 系列公务机连续第 13 年获评全球最畅销及交付量最高的轻型公务机，并第 5 年蝉联双发喷气公务机交付量榜首。

服务与支持方面，该部门 2025 年第

一季度订单储备价值达 46 亿美元。其中公司成功开拓了非洲第一家采用协同式库存管理协议的用户，即南非支线航空公司 Airlink。巴航工业与 Airlink 签署协议，前者将为其机队中的 68 架巴航工业飞机机队提供支持，帮助 Airlink 优化航材库存配置，从而降低其机队运营成本。

客货机业务通力发展

2022 年巴航工业宣布正式启动 E 系列货机项目，共有 E190F 和 E195F 两款产品，以满足电子商务和现代贸易发展的需求。2024 年 4 月 7 日，巴航工业首架客改货 E190 飞机（E190F）在巴西圣若泽杜斯坎普斯成功完成首飞。2024 年 7 月，巴航工业 E 系列货机 E190F 获得巴西国家民航局（ANAC）颁发的型号合格证。两个月后，该机型获得美国联邦航空管理局（FAA）的适航批准。2025 年 2 月，E190F 获得欧洲航空安全局（EASA）的适航批准。

巴航工业 E 系列货机的航程是大型涡桨货机的 3 倍，且载货体积可增加 40% 以上，与窄体喷气货机相比，E 系列货机的运营成本可减少 30%。E190F 业载为 13.5 吨。根据巴航工业预测，未来 20 年全球市场对于这一类型货机的需求约在 700 架左右，同时公司也乐观预测 E190F 和 E195F 将占据其中 100 ~ 200 架份额。在产能规划方面，巴航工业计划第一年客改货产能约在 5 架左右，之后将逐步提升至年产 12 架。后续如果有足够的市场需求，公司还将进一步提升客改货项目的产能。

在 2024 年 7 月的范堡罗航展上，巴航工业宣布对 E2 系列飞机进行全面升级和性能提升。此次全新升级主要围绕降低油耗、增加航程以及航电设备、客舱升级等方面展开，目标是实现每架飞机在未来 15 年期间的运营利润增加 600 万美元。

总体来看，巴航工业此次对 E2 系列飞机的改进主要围绕减少油耗及排放、提升飞机航程、改善旅客乘机体验和客舱舒适度，以及使用新技术和提供机上网络连接等方面展开，具体包括以下改进。

在降低油耗方面，巴航工业将 E190-E2 和 E195-E2 这两款机型的燃油效率相比竞争机型再提高 2.5%，即从之前的 10% 提升至 12.5%。公司表示，巴航工业 E2 系列飞机投入运营至今，燃油效率得到了航空公司用户的高度认可，这主要得益于公司对引气管理系统进行的一项技术改进，使得该系统所需的引气更少，从而减少了发动机的负担，实现降低燃油消耗的目标。巴航工业希望，此次围绕降低油耗的性能提升能够帮助 E2 系列飞机在单通道飞机市场上具有更强的竞争力。

在航程提升方面，E195-E2 的最大航程将从原来的 4815 公里增长至 5556 公里。公司表示，目前这款飞机新的最大起飞重量（62.5 吨）已完成适航认证工作，结合燃油效率的提升，从而实现了最大航程的提升目标。

在动力装置方面，巴航工业将与发动机供应商普惠公司合作，将 GTF 发动机的在翼时间延长 10%，根据公司的预测，这项改进可以为航空公司客户在 15 年内节省 50 万美元运营成本。这项改进将通过优化发动机爬升推力，减轻发动机负担，从而延缓发动机性能衰减，最终实现延长发动机在翼时间的目标。

在此次优化中，巴航工业首次披露了 E2 的增强型起飞系统。这套自动起飞系统达成了更精确且高效的俯仰力矩和飞行航迹，减少了起飞所需的跑道长度和飞行员工作负担。这意味着飞机从起降难度大的机场出发时，可实现更大业载和更长航程。这使得 E2 能够在伦敦城市机场、佛罗伦萨机场和圣杜蒙特机场这样的机场中表现

出优异的性能。例如，其从伦敦城市机场出发的航程可增加 648 公里。

在客舱优化方面，升级后的 E2 系列飞机为客户提供了 Recaro 座椅作为可选项目。配备 Recaro 座椅的 E195-E2 飞机可以在最常见的客舱布局中额外增加一排座位。例如，一架原本设有 136 个座位的飞机现在可设 140 个座位。针对高密度布局，E195-E2 最大座位数仍然为 146 座。通过增加一排座位，每架飞机在 15 年间可为航空公司带来 450 万美元的额外收益。

稳步拓展市场

作为巴航工业商用飞机产品的主力机型，近年来公司一直在努力为 E2 系列飞机开拓更广阔的市场。对此，公司相关负责人曾表示，随着航司越来越关注运力与需求的匹配和机队的灵活性，小型窄体飞机的重要性日益凸显。对中低密度市场而言，大型飞机在经济性或运营方面并不一定是最佳选择，尤其是当这些城市需要更高的航班频次来保证有效的连通时。小型窄体机能够飞到大型飞机无法抵达的地方，它们的飞行频次更高、盈利能力更强。未来，小型和大型窄体飞机组成的混合机队将成为满足航空公司网络多样化需求的最佳方式。

2024 年 4 月，新加坡酷航接收首架巴航工业 E190-E2 飞机。E190-E2 的交付也标志着新加坡的航空公司首次引进由巴西飞机制造商制造的飞机。对于此次交付，巴航工业也表示，标志着其在扩大对亚太地区业务发展上迈出了关键的一步。

2025 年 4 月，巴航工业 E190-E2 和 E195-E2 获颁蒙古国民航局（MCAA）型号合格证，在此之前，这两款机型已获得美国联邦航空局、欧洲航空安全局、巴西国家民航局、新加坡民航局、中国民用航空

局颁发的型号合格证。巴航工业与蒙古国的合作可以追溯到 2018 年，当时 ERJ145 飞机在 Aero Mongolia 投入运营。2019 年，蒙古国最大的私营航空公司匈奴航空引进了两架 E190 飞机，并用这一机型执飞蒙古国内及周边国家 / 地区的航线。

此次，在获颁型号合格证后不久，匈奴航空（Hunnu Air）就接收了首架 E195-E2 飞机，这不仅标志着全新合作伙伴关系的建立，也是蒙古国首次引入并运营 E2 系列机型。近期，匈奴航空还将接收第二架 E195-E2 飞机。根据规划，E195-E2 飞机的加入将帮助匈奴航空将其航线网络延伸到整个亚太地区的主要目的地，增强公司飞往海口、三亚、越南富国岛等地的运力，拓展日本、中国、越南、印度和韩国市场，并开通飞往塔什干的定期航班。

在接收新飞机一个月后，2025 年 5 月 12 日，匈奴航空就用 E195-E2 飞机开通了乌兰巴托到北京大兴的定期航班，这也是该机型首次运营飞往中国大陆的定期航线。根据匈奴航空的计划，从 6 月 1 日起，乌兰巴托到北京大兴的这条往返航线将加密至每天一班，从而进一步强化北京大兴国际机场核心枢纽的辐射能力。

在此之前，2025 年 2 月，巴航工业与日本全日空集团签署了 15 架 E190-E2 飞机确认订单，并保留额外 5 架优先选购权，预计这批飞机将从 2028 年开始交付。巴航工业上一代 E 系列飞机于 2009 年开始在日本市场运营，如今全日空航空也成为了日本首家订购新一代 E2 系列飞机的航空公司。

此外，印度、越南、马来西亚等亚洲国家也是巴航工业关注的市场。目前，巴航工业在亚太地区约有 20 多家运营商运营着上一代 E 系列飞机，机队数量约在 200 架左右。未来，随着这批飞机退役，巴航工业希望争取这些客户能够选择 E2 系列

飞机。对此，巴航工业曾表示，E2 与全球各类航空公司的适配度都很高。为了争取更多亚太市场的客户，公司已经在亚太地区成立两家服务中心，其重视程度可见一斑。未来，巴航工业能否在亚太市场收获更多订单，值得关注。

在开拓新市场的同时，巴航工业放眼产业链上下游，积极布局。2025 年 3 月，巴航工业宣布成立专门负责全球租赁与货机业务的团队，持续强化公司在货运市场和租赁市场的战略地位。新成立的团队总部设于全球航空枢纽阿姆斯特丹，将整合 E 系列客改货项目与商用航空租赁业务的专业资源，并形成统一的管理体系。

与此同时，在全球范围内加速布局 E2 系列飞机的生产能力也是巴航工业近年来关注的重点。2025 年 3 月，巴航工业宣布与波兰进一步深化航空产业合作，并将波兰打造成其欧洲卓越中心。未来，巴航工业希望能够在航空制造、飞机总装、航空维修、客改货业务、电动垂直起降飞行器等领域探索与波兰的合作。

目前首个合作项目已落地。3 月 12 日，巴航工业宣布与波兰卢卡西维奇航空研究院签署协议，双方将共同开展新型航空器技术与材料研发合作。作为欧洲最重要的航空研究机构之一，卢卡西维奇航空研究院成立于 1926 年，并长期致力于航空航天技术及无人机技术的研发。未来双方还将围绕航空材料、未来飞行技术、航空器设计及智能维修流程等领域开展合作。

事实上，近年来巴航工业正在加速产能提升，积极在欧洲布局生产能力。巴航工业 E2 机型 30% 的部件来自欧盟，机翼及其他关键部件来自于葡萄牙、法国、德国、奥地利、西班牙和比利时。而波兰也是 E2 系列飞机核心部件的供应地，其中就包括座椅、辅助动力装置、发动机关键部件等。■

庞巴迪精耕公务航空赛道

文 / 张晋

近日，加拿大飞机制造商庞巴迪公司宣布，公司最新研制的环球 8000 首架量产型飞机从加拿大安大略省密西沙加市的总装中心起飞，顺利完成首飞。作为继“协和号”之后，飞行速度最快的一款民用飞机，环球 8000 的最大飞行速度可达到 0.94 马赫，最大航程达到 8000 海里，根据计划，这款飞机将于 2025 年正式交付客户。此外，根据美国通用航空制造商协会（GAMA）2025 年 2 月公布的最新数据显示，2024 年庞巴迪公务航空业务整体也有不俗的表现。可以说，过去几年间，在完成了一系列业务出售、业务重组并偿还了大量债务之后，重回公务航空赛道的庞巴迪正在重新崛起。

▼ 图 | 庞巴迪公务机



跌宕起伏 30 年

作为曾经商用飞机市场的第三把交椅，庞巴迪的“起家”之路是从轨道业务开始的，并在布局轨道交通业务 16 年之后，1986 年，公司收购了加拿大飞机制造商康纳戴尔（Canadair），该公司生产的主要产品为挑战者公务机和 CL-215 水陆两栖灭火机。1989 年，在完成了技术、人才和资金储备之后，庞巴迪开始自主研制支线飞机，也就是后来大获成功的 CRJ 系列飞机。50 座级的 CRJ 飞机项目于 1992 年获得型号合格证。此后，庞巴迪又陆续推出了 CRJ700、CRJ705、CRJ900 和 CRJ1000 等机型。

从过去 20 多年 CRJ 系列飞机的销售来看，50 座的 CRJ200 最受市场欢迎，70 座的 CRJ700 和当时专门为北美市场量身定制的 75 座 CRJ705 则一直表现平平。2006 年以后，市场对于大型支线客机的需求开始显现，于是 90 座的 CRJ900 开始取代 CRJ200，成为这一型号飞机的主力销售机型。

2004 年，庞巴迪迈出了进军干线客机市场的第一步——启动一项名为 NCAP 的项目，这也是后来的 C 系列飞机项目的雏形。但久未启动全新项目研制的庞巴迪低估了新机型研制的难度，更低估了研制一款干线客机的难度。由于项目研制的不断推迟，研发成本不断增加，更令人不安的是，这些庞大的研发经费中有近一半来自于企业借债。从 2008 年项目正式启动研制开始，庞巴迪的营业收入一直逡巡不前，直到 2015 年公司几乎被逼到了破产的边缘。

此时，庞巴迪曾对其航空业务板块进行拆分重组，设立了商用飞机部、公务机部和飞机结构件与工程服务部，并提出了“五年重振计划”。公司希望通过降低

流动性风险和项目风险、改善收益和现金流、调节资产负债表的“三步走”战略来实现重振。然而，此后的剧情却未能按照庞巴迪的设想发展。三年后，由于 C 系列造成的大量资金缺口和长期以来对 CRJ 系列飞机的忽视造成的订单流失，使得这些重组和战略规划难以达到预期效果。无奈之下，2017 年，庞巴迪以 1 欧元的价格将 C 系列飞机项目出售给了空客。随后，空客又与庞巴迪签署了一系列协议，其中最为值得一提的是，魁北克政府所持有的 C 系列飞机的 25% 股份也将从 2026 年开始逐步回售给空客。同时，空客还同意从庞巴迪手中收购 A220 和 A330 工作包生产能力，这笔交易将通过其全资子公司 Stelia Aerospace 来进行。这意味着庞巴迪耗费了大量人力和财力研制的 C 系列飞机，最终成为空客的全资产品。除了 C 系列项目之外，此后庞巴迪还陆续出售了 Dash 系列、CRJ 系列和飞机结构与工程服务业务。2019 年，三菱重工和庞巴迪签订了 CRJ 支线客机购买协议。根据协议，三菱公司不仅要支付 5.5 亿美元的收购资金，还要承担该项目约 2 亿美元的负债。三菱重工将相应获得 CRJ 飞机项目的维修、支持、翻新和销售业务等。由于协议规定，庞巴迪公司仍拥有和保留 CRJ 项目位于加拿大魁北克省的生产基地，未来将继续为 CRJ 项目提供飞机部件和备件，并代表三菱重工继续完成 CRJ 储备订单的飞机生产和总装。在这些交易完成后，庞巴迪将彻底退出商用飞机领域。此外，2020 年初，庞巴迪宣布将庞巴迪运输公司（Bombardier Transportation）出售给阿尔斯通公司（Alstom），这一交易也意味着庞巴迪彻底退出轨道交通市场。在完成一系列壮士断腕的举措之后，庞巴迪最终选择将业务重点重新回归公务航空领域。

重回公务航空市场

1990年，庞巴迪收购了里尔公司（Learjet Corporation），推出了里尔60，并迅速成为同类竞品中最畅销的机型，正式涉足公务航空市场。1993年，庞巴迪宣布开发全新的超远程环球快车（Global Express）公务机，该机型具备蒙特利尔直飞东京的能力。飞机于1996年首飞，1999年投入使用。环球快车XRS（6000）、环球5000、环球5500、环球6500和环球7500随后相继问世。

从产品线来看，庞巴迪曾凭借里尔、挑战者和环球三大系列公务机，覆盖了从短程小型到洲际大型公务机市场，并一度成为全球市场份额最大的公务机制造商之一。从商用飞机市场撤离之后，庞巴迪将更多的精力用在了产品升级和新产品研发上，以期尽快占领更大的市场份额。

2020年，庞巴迪宣布停产已有60年历史的里尔系列公务机的生产。首架LearJet系列公务机于1963年投入市场，成功销售3000多架。但近年来，由于市场需求减少，这款机型的月产已经降至每月一架。尽管市场需求是一方面，但庞巴

▼ 图 | 庞巴迪公务机



迪宣布停产这一机型或许还有更深层次的含义，即全身心地投入到大客舱、高端公务机市场。

早在2018年，庞巴迪就推出了环球5500和环球6500两款大型公务机，并将其旗舰公务机环球7000更名为环球7500。环球5500和环球6500这两款全新的公务机都采用了罗罗公司最新研制的珍珠15发动机，相比之前的BR700发动机，珍珠15发动机增加了4445牛推力，燃油效率提升了近7%，从而使得这两款公务机在高温高原机场使用时航程可增加2400多公里。

2021年末，庞巴迪推出了挑战者3500飞机。作为一款中型公务机，挑战者3500在实用科技方面处于领先地位，率先引入行业首创的语音控制系统、4K客舱娱乐和真正支持自携带设备客舱理念，堪称同级别飞机中最智能的一款机型。紧接着2022年，庞巴迪又推出了新一代旗舰机型环球8000。庞巴迪曾表示，环球8000除了在飞行速度和航程方面树立了公务机领域的新标杆，还拥有同级别机型中少见的短跑道能力，能够在其他同类飞机无法起降的小型机场运营。

转型已现成效

在完成了业务重组和转型之后，近两年来庞巴迪新公务机项目的研发进展都较为顺利。

2024年末，庞巴迪宣布，最大飞行速度可达0.925马赫的环球7500飞机已经创造了75项速度纪录。同期，湾流公司发布其最新机型G700同样累积创下了65项速度纪录。就环球7500的最新纪录而言，其在多个热门航线上创下了新的飞行时长纪录，包括从东京至香港仅需3小时40分钟，新德里至东京7小时，以

及洛杉矶至奥克兰11小时55分钟等，展示了其超远程飞行能力的强大。庞巴迪提到的其他破纪录航班包括迈阿密到圣保罗，东京到洛杉矶，东京到圣何塞，吉达到伦敦。

环球7500作为一款大型远程公务机，配备了四大真正独立的起居空间、设备齐全的厨房和全尺寸机组休息区，飞机的最大航程为7700海里，最大飞行速度可达0.925马赫。客舱配备的云座（Nuage）采用了新型座椅构架，独特的零重力姿势，得益于庞巴迪的专利倾斜连杆系统，该座椅能够提供中立的身体姿势，以实现最佳的重量分布。先进的Nice触控客舱管理系统也是专门为环球7500独家设计的，用户通过触控按钮就可以轻松掌控客舱设置和机上娱乐系统。同时，环球7500的机上娱乐套房还配备了业内最大的55英寸OLED电视流畅播放高清视频，庞巴迪歌剧院（l'Opera）沉浸式音响系统可以让用户沉浸在高保真音响和环绕音效打造的听觉盛宴中。平稳柔性机翼（Smooth Flex Wing）是环球7500公务机的又一技术亮点。先进的机翼技术让环球7500具备轻型飞机的起降性能，专属的柔性设计有利于缓解飞行颠簸，能够在一些具有挑战性的机场安全运行。

另一款在研的旗舰机型环球8000也在近期完成了首架量产型飞机的首飞。作为环球7500的“升级版”，在环球8000这一型号上，庞巴迪将“快”与“远”的理念推向了新的高度。环球8000的最大航程达到8000海里，这就意味着这一机型可以轻松解锁全球更多直飞城市对，例如迪拜至休斯顿、新加坡至洛杉矶、伦敦至珀斯等，从真正意义上拓展全球高端出行的边界。

然而环球8000公务机的卓越之处不仅限于性能表现。这款公务机拥有四大真



▲ 图 | 飞机娱乐套房

正独立起居空间与专属机组休息区，并配备同级别中最长的座椅纵深。此外，环球8000还搭载业界健康的客舱环境，旨在最大限度地提升乘客的舒适度和旅行中的工作效率，为每一段旅程带来真正意义上的舒适与私享。

从市场表现来看，根据2025年2月美国通用航空制造商协会（GAMA）发布的最新数据显示，2024年庞巴迪公司公务机交付量同比增长5.8%。2024年，庞巴迪公务机交付146架，包括73架“环球”飞机和73架“挑战者”3500和650飞机，相比2023年交付的138架飞机，增加了8架，增长了5.8%，其中，“环球”系列飞机交付量减少了2架，但“挑战者”系列增加了10架。

此外，根据霍尼韦尔2024年10月发布的《全球公务航空展望报告》显示，随着市场的逐步复苏，全球市场对于新公务机的需求将持续增长，“正常化”和“稳定”将是公务航空市场未来一段时间内的主流特征。同时，霍尼韦尔预测，未来10年，全球市场将需要8500架新公务机，总价值将达到2800亿美元，其中大客舱公务机将占总价值的2/3。尽管在这一细分市场，湾流是庞巴迪强有力的竞争对手，但如今专注于公务市场的庞巴迪的实力不容小觑，未来其在大客舱公务机市场的表现值得期待。■

三大航差异化布局与协同推进 C919 市场运营

文 | 王鹏

国产大飞机交付以来，三大航肩负历史使命，协同推进实践运营，逐步从可靠性验证过渡到常态化商业运营阶段。风雨兼程、砥砺前行的时代潮流中，三大航始终围绕 C919 的规模化、商业化和国际化目标协同发力。紧扣市场定位，遵循战略导向，三大航积极探索差异化发展路径。“差异布局、效率协同”的发展格局为国产民机下一步的国际化道路奠定坚实基础。

图 | 余创



C919 接收运营概述

C919 是我国按照国际民航规章标准自行研制，具有自主知识产权的大型喷气式民用飞机。首架 C919 于 2022 年 12 月 9 日交付东航，至今开启商业化运营 2 年，始终保持快速发展势头。从试点运营、快速扩张到当前的初步规模化运营三个阶段，C919 经历了技术、市场和运营层面的层层突破。

2023 年 5 月 28 日，东航作为全球首发用户执飞上海虹桥至北京首都航线，完成首次商业载客飞行，国产大飞机商业运营阶段拉开序幕。为进一步检测飞机性能，东航集中资源在上海虹桥至成都天府单一航线上进行可靠性验证。密集飞行展示了 C919 在高需求干线的运营能力。试点初期，东航始终保持谨慎态度慎重探索。2023 年只有东航一家公司运营 4 架 C919，日均利用率 5.03 小时。但市场反应良好，全年累计承运旅客 8.17 万人次，客座率高达 80%。东航经过 1956 小时的磨砺运营，探索出 C919 初期运营维护标准。

2024 年 8 月，国航、南航同步接收首架 C919。三大航全面参与到 C919 商业运营中，截至当年末，合计接收 16 架 C919。其中东航 10 架，国航 3 架，南航 3 架。C919 运营航线从单一航线扩展到 15 条，涉及北京、广州、西安 10 个城市，呈现国产大飞机商业运营快速扩张局面。仅 12 月一个月，C919 执飞航班量超过 1200 班次，同比激增 882.1%，累计载客 70 万人次。运营效率显著提升，东航日利用率升至 7.37 小时，国航达 7.5 小时。

2025 年迈入规模化运营，三大航机队扩至 18 架，执飞 20 余条航线覆盖 16 个城市，新增上海虹桥—香港跨境定

期航线及上海—深圳、厦门等高收益干线。C919 商业运营两周年时累计安全飞行 3.6 万小时、运输旅客 205 万人次，东航客座率稳定于 80%，日利用率突破 7.4 小时，接近波音 737、空客 A320 的 8 小时标杆。

三大航运营特点分析

国航以高端服务与高效运营积极布局并深耕干线市场。国航作为中国唯一载旗航司，运营 C919 的战略目标聚焦于重塑国产大飞机高端品牌形象，打破市场对国产客机“低端化”的固有认知。

机型选配上，国航独家选用 C919 延程型（ER），通过优化燃油系统与气动设计将航程延长 1.7 小时，使其可覆盖北京至武汉（约 1150 公里）、北京至海口（约 2350 公里）等中长距离高收益干线，突破窄体机传统运营半径限制，实现与宽体机航线网络的互补。技术集成层面，国航全球首装机载高速 WiFi，支持空中实时通信与娱乐流媒体传输。单口输出 30W 的高功率 USB-C 接口满足商务旅客电子设备快充需求。国航定制化娱乐系统搭载国航专属“凤舞云端”交互界面及《空中博览》C919 主题内容，应用复合材料降低舱内噪音 3 分贝，提升舒适性。

国航运营上选择京沪、京杭等日均客流量超万人次的核心商务航线进行高强度验证。2025 年春运期间投入 3 架 C919 单日循环执飞 6 班次，采用宽体机级备机保障标准，备份运力达 20%，以“零延误”表现确立高端干线可靠性标杆。

差异化服务方面，在 158 座两舱布局基础上深度定制。公务舱配置私密耳翼式座椅、隐藏式饮料台及移动设备支

架。经济舱创新微头枕与夜光座位标识。全舱 8 类机供品嵌入 C919 徽标，安全须知视频针对机型特性重构，细节强化品牌感知。

稳健拓张的“先行者”东航。东航接收首架飞机以来，稳健拓张、渐进优化，初期聚焦单一航线验证。2024 年进入加速期，扩展开通航线包括上海虹桥至北京大兴、成都天府、西安咸阳及广州白云等 8 条国内干线。6 月 1 日首次执行上海虹桥至香港包机。2025 年迈入规模化与国际化并行阶段，1 月 1 日启动的每日 1 班上海虹桥至香港定期商业航班，同时覆盖上海、北京、广州等 9 城 9 条精品航线，累计执飞超 6600 班、承运旅客超 90 万人次。

东航还建立了超 100 人的后勤保障团队，形成涵盖飞行、乘务、机务的全流程标准化操作体系，输出《C919 全环节运行手册》，为行业提供运维样板。

东航采用 156+8 座两舱单一布局，客座率稳定于 80%，主攻高频次商务干线市场。东航注重文化融合与服务创新，在沪广快线提供岭南风味“腊味煲仔饭”、沪港航线推出“闪耀中国红”主题涂装及特制“C919 中国印”机供品，强化本

土化体验。东航始终坚持经济舱主导的大众化精品策略，依托“沪港快线”“沪广快线”等高流量航线，以高频次、低票价的组合吸引大众旅客，2024 年暑运月均运输 15 万人次。

南航坚持体验导向的服务革新。南航首创三舱差异化布局，其中公务舱 8 座、明珠经济舱 24 座、经济舱 132 座。明珠经济舱通过加宽座椅间距至 34 英寸、增设专属储物空间及可调节头枕提升舒适度，精准分割消费层级，瞄准商务客群需求；增加 USB-C 高功率接口、升级娱乐系统界面交互优化客舱设备，强化硬件体验竞争力。

南航深度融合岭南文化基因，推出“木棉华彩”主题涂装与机供品，在沪广和沪港等航线提供粤式“腊味煲仔饭”、广府老字号伴手礼。借力白云机场“中华老字号集市”及新春花市传递广府年俗。南航将服务流程嵌入“亲和精细”标准，乘务组“微笑服务”获全国青年文明号认证。春运期间增设爱心大使提供一站式应急协助。针对粤港旅客推行“一证通关”，行李状态实时可查。技术端依托“南航 e 行”App 实现全流程无纸化覆盖千万级机场，缩短 19 个站点截载时间至 40 分钟，运用 AI 算法优化航班排期与乘客需求响应。制定《C919 特情处置指南》，开发故障预测模型，提升维修效率，落地“首乘无忧”专属柜台及宠物托运专区。2024 年春运更承诺 95% 旅客值机等候 ≤ 10 分钟、误机免费退改、行李延误派送到家，以系统性保障支撑体验升级。

三大航运营 C919 共性分析

一是航线部署模式高度契合。三大航在 C919 的航线布局上展现出高度一

致的战略选择，核心策略集中高收益干线、枢纽互飞及经济核心节点的覆盖。三大航均将 C919 重点投放至客流量大、收益表现优异的商务干线，优先服务于连接京津冀、长三角、粤港澳大湾区等国家经济核心区骨干航线。国航负责执飞的京沪航线是国内最繁忙、最具商业价值的黄金航线之一。东航用 C919 执行上海虹桥至北京大兴航线，考虑 2025 年新增沪深航线拓展华东与华南市场联动。南航聚焦沪广通道执飞广州白云至上海虹桥的航班。2025 年春运期间广州至西安航线客座率高达 93.6%。

同时，三大航在 C919 的航线网络布局中均以各自的核心枢纽为起点向外辐射延伸。东航以上海虹桥机场为核心枢纽，构建覆盖成都、北京、西安、广州、重庆等 7 个重点城市的航线网络，通过开通上海至厦门航线强化对东南沿海经济带的覆盖。南方航空以广州白云机场为战略中心执飞至上海、杭州、成都等热门城市航线，计划进一步拓展至郑州、太原、西安等地，完善华南与中西部地区连接。国航依托首都机场的国家级枢纽地位成功辐射诸如上海虹桥、杭州萧山、成都双流及武汉天河等多个核心节点，下一步也会考虑对海口、厦门等旅游及经济热点城市的覆盖范围。

在关注北上广深此类一线城市的同时，三大航把次级枢纽和特色城市纳入下一步 C919 市场渗透的考虑范围。东航和南航会把历史文化名城和区域交通要地作为 C919 重点布局城市。国航把热门旅游目的地海口纳入拓展规划范围。东航充分重视厦门在东南沿海的区位优势，对其布局以提升区域通达性。

香港得天独厚的地理位置决定了其国际影响力，是 C919 走向国际的重要突破口，战略意义不言而喻。今年 1 月



▲ 图 | 华思清

1 日，东航启动执行上海虹桥至香港定期航班成为 C919 跨境运营的标志性事件。国航虽然至今没有执飞香港航线，但是推动 C919 升级延程能力、优化配置机载 WiFi 等一系列技术布局说明国航始终默默为中长途国际航线的拓展积极准备。南航充分利用区域文化认同优势，以定制化服务体验的方式在涉港航线注入粤式文化印记，品牌辨识度跃然纸上，旅客认同度高。

多重因素的协同叠加导致三大航在 C919 航线运营布局战略趋同。C919 作为三大航新投入运营的机型往往在投运初期运维成本高。三大航必须考虑其成本对公司财务利润的影响。商务干线具有高收益的特点，盈利能力较强，能及时覆盖运维成本以稳定长期运营 C919 机型的决心。优先选择在商务干线投放 C919 运营是必然的战略选择，也是聪明的财务决策要求。

二是日利用率稳步攀升。持续推进 C919 的规模化运营、技术性能的优化与改进，加上保障体系的不断完善，三因素共振带来飞机日利用率稳步攀升。三大航 C919 机型日利用率从 3.6 小时提升至 7.4 ~ 7.5 水平区间，两年多时间

▼ 图 | 李彤





▲ 图 | 张弘历

C919 实现日利用率翻倍。

东航在运行 C919 的实践中不断优化编排航班，规范维修流程，完善机组培训机制，运营效率稳步提高。2023 年日利用率仅为 5.03 小时，2024 年已经达到 7.37 小时，今年 5 月进一步摸高 7.3~7.5 小时。单机日均起降到达 3.7 班次。国航将 3 架 C919 部署在日均客流量超过万人次的京沪、京杭等高收益干线上执行高强度验证策略，单日循环执飞达到 6 个班次。2024 年国航 C919 日利用率率先突破 8 小时，成为三大航 C919 运营效率冠军。国航订购的延程型配置比较标准型而言，航程延长时间至 1.7 小时，能满足北京—海口等中长航线运行需要，单机生产运行潜力进一步释放。南航与中国商飞基于 PHM（故障预测与健康管理系统）技术联合开发的故障预测模型能对 C919 状态进行检测、分析和判断，提前发现潜在故障风

险，采取预防性措施。以上举措使得南航 2024 年在航班正常性、出勤可靠性、航班执行率三个维度达到 100% 符合。

三大航在 C919 运营实践中展现出差异化布局与协同推进并存的格局。国航以高端技术配置深耕干线市场，推动国产客机走向国际适航体系。东航作为“先行者”以标准化运维降低行业门槛。南航聚焦服务体验创新，打造文化 IP 特色。尽管三大航战略路径不同，但是在航线选择、效率提升和产业链协同方面高度一致，集中发力于高收益干线，实现日利用率快速爬升。在单一产品落地转向系统化、规模化商业运营的新阶段，三大航围绕技术突破、运维标准化与服务创新协同发力，共同推动 C919 从“能飞”到“精飞”转变。■

中美民航吨公里油耗分析及美国民航节油措施借鉴

文 / 张兆全

航油是民航业碳排放重点，是国内航空公司第一大成本，是美国航空公司第二大成本，耗油消耗量影响重大，美国民航吨公里油耗长期低于中国，美国民航节油措施值得借鉴。

▼ 图 | cn.nytimes.com



美国航空公司的航油成本占比和单位油耗概况

根据美国运输统计局（Bureau of Transportation Statistics, BTS）官网民航业数据，航油是 2023 年美国营业收入 2000 万美元以上航空公司的第二大成本，美国民航全行业吨公里油耗呈现逐年下降趋势。

根据图 1，2023 年美国营业收入 2000 万美元（含）以上航空公司合计成本中，航油成本占比 20%，仅次于占比

最高的薪酬福利，远高于飞机租金（折旧）占比。

根据图 2，1990～2023 年美国民航全行业吨公里油耗整体呈现下降趋势，其中，基于实际业载的吨公里油耗（公斤/收入吨公里）由 1990 年的 0.478 下降到 2023 年的 0.239，降幅 50%；结合 2007～2023 年机龄与吨公里油耗数据初步看，吨公里油耗与机龄的关系并不显著，虽然全行业在营机队平均机龄由 2007 年的 11.5 岁提高到 2023 年的 14.9 岁，增幅 30%，吨公里油耗仍呈下降趋势。

中美民航吨公里油耗比较

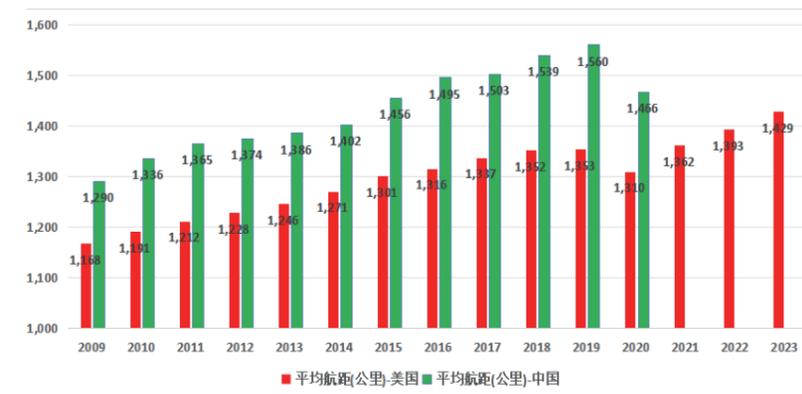
综合美国运输统计局官网民航业数据、中国民用航空局生产统计年报和行业发 展统计公报数据，2002 年以来中国民航全行业吨公里油耗（公斤/收入吨公里）始终高于美国。

根据图 3，中美民航吨公里油耗差距 2000～2010 年较小，2012 年以来有扩大趋势，不考虑新冠疫情三年，中国民航年度吨公里油耗较美国高约

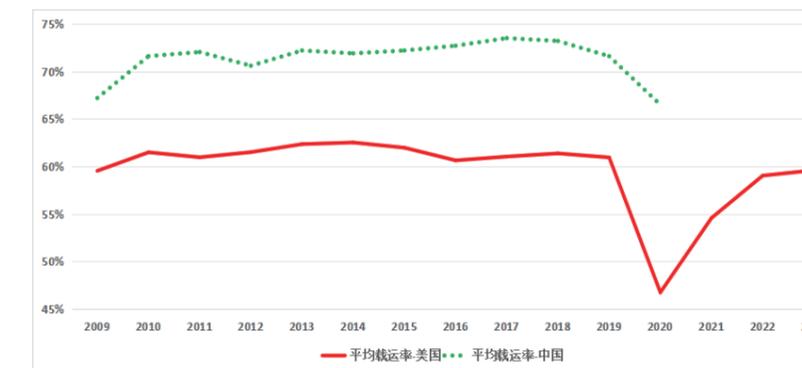
10%～20%。例如，2023 年中国民航吨公里油耗 0.292，比美国同期高 0.048，高幅 20%，基于当年生产量和航油价格推算，全年全部国内航空公司增加航油成本 362 亿元，当年全部国内航空公司实际亏损 59 亿元。

当然，不能完全排除上述中美民航吨公里油耗差距扩大的主要原因可能是数据准确性、完整性等数据质量问题或者数据口径差异。那么，如果不考虑数据质量或数据口径问题，中美民航吨公里油耗差距扩大的主要原因是什么呢？

飞机吨公里油耗的影响因素非常复杂，包括机型、机龄、航距、载重、飞行高度、飞行速度、风向和风速等，以及相关节油措施。（1）机型方面，新设计或改进机型的燃油效率通常较高，例如，A320neo 系列飞机是 A320 系列飞机的改进机型，换装新型高效发动机并配备最新大型鲨鳍小翼，大幅降低油耗。另外，支线飞机（按 100 座及以下）吨公里油耗通常大于窄体机、宽体机，例如，2019 年国内民航 CRJ-900、B737-800、A330-300 机型吨公里油耗分别是 0.43、0.298、0.288。（2）机龄方面，通常情况下，随着机龄增加，飞机使用时间增加，发动机性能下降，燃油效率相应降低，同时，如前所述，吨公里油耗与机龄关系并不明显。（3）航距方面，在旅客或货物等商载不变情况下，航距增加，油耗量增加，但是，吨公里增量更大，吨公里油耗相应下降。（4）载重方面，根据波音公司提供的理论数据，每减少 1000 公斤飞机重量，每小时减少燃油消耗约 30 公斤，即载重增加会导致油耗量增加，但是，如果增加的载重是商载，吨公里增量更多，吨公里油耗相应下降。（5）飞行高度方面，飞机在巡航阶段存在最佳巡航高度，这个高度的空气稀薄，阻力最小，同时发动机



▲ 图 4 | 2009～2023 年中美民航平均航距比较
说明：2021～2023 年中国民航数据尚缺



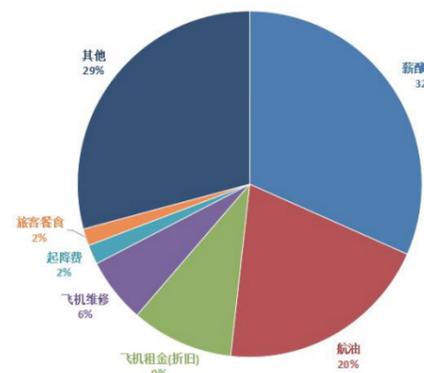
▲ 图 5 | 2009～2023 年中美民航平均载运率比较

也能保持较高效率。（6）飞行速度方面，飞机在巡航阶段存在最佳巡航速度，即飞机在特定飞行高度下能够实现燃油效率最高、经济性最佳的飞行速度。

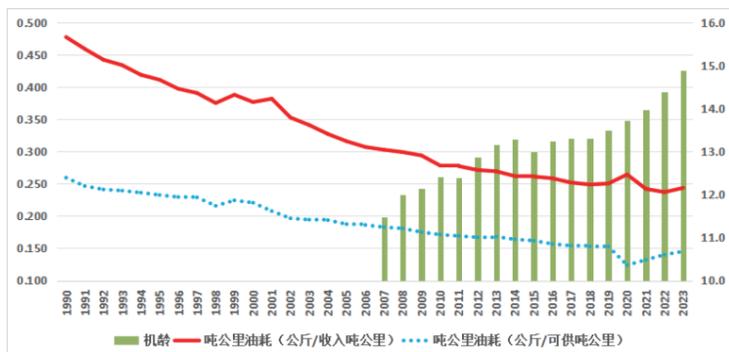
综合美国运输统计局官网民航业数据、中国民用航空局生产统计年报和相关航空公司年报，中美民航的机队结构、平均航距、载运率和飞行速度，以及主要百架机队航空公司平均机龄的比较分析如下。

机队结构方面，2023 年末，中国民航 4270 架飞机，其中，C909、EMB-190 等支线飞机占比 6%；同年末，美国民航

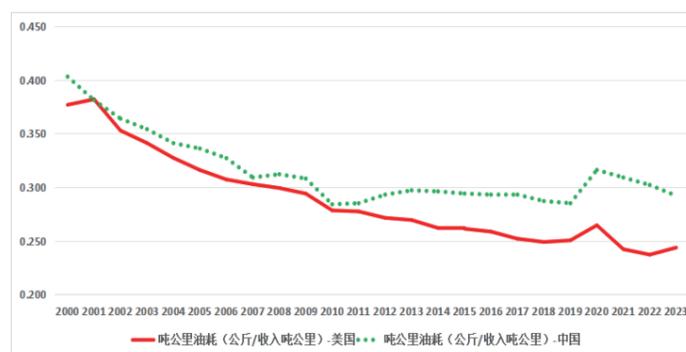
▼ 图 1 | 2023 年美国营业收入 2000 万美元以上航空公司成本结构
说明：BTS 官网机队数据始于 2007 年；计算吨公里油耗时基于 2023 年末百架机队航司剔除了整个统计期内油耗为零或偏低等相关异常原始数据



▼ 图 2 | 1990～2023 年美国民航全行业吨公里油耗与机龄
说明：计算美国吨公里油耗时基于 2023 年末百架机队航司剔除了整个统计期内油耗为零或偏低等相关异常原始数据；中国吨公里油耗取自生产统计年报或发展统计公报，推算吨公里与同期旅客吨公里、货邮吨公里即收入吨公里基本一致



▼ 图 3 | 2000～2023 年中美民航吨公里油耗比较



在营飞机 7970 架，其中，ERJ-170、CL-600 等支线飞机占比 25%。在支线飞机吨公里油耗通常大于窄体机、宽体机，及中国支线飞机占比远低于美国情况下，机队结构应该不是中国民航吨公里油耗高于美国的主要原因。

根据图 4，2009 ~ 2020 年中国民航平均航距始终大于美国，比美国长约 10% ~ 15%。如前所述，在商载不变情况下，航距增加，油耗量增加，但是，吨公里增量更大，吨公里油耗相应下降。由此推断，航距较长大概率不会导致中国民航吨公里油耗高于美国。当然，航空公司不能仅仅为了降低吨公里油耗而刻意拉长航距，在起飞和降落机场不变、商载不变情况下，通过航路优化缩短航距，进而降低油耗量绝对值，减少碳排放，始终是航空公司应当开展的工作。

根据图 5，2009 ~ 2020 年中国民航平均载运率始终高于美国，不考虑新冠疫情年度，每年比美国高出 13% ~ 20%，例如，2019 年高幅 17%。其他条件相同下，载运率高即是商载较多，收入较多，油耗量相应增加是正常的，如前所述，如果增加的载重是商载，吨公里增量更多，

吨公里油耗相应下降。基于 2019 年中国民航公布生产数据和波音公司载重与耗油量关系理论数据测算，载重增加 17% 导致油耗量增加约 2.3%，吨公里油耗下降约 10%。由此推断，载运率高大概率不会导致中国民航吨公里油耗高于美国。

根据图 6，2023 年末中国百架机队上市航司平均机龄 9 岁，美国百架机队客运航司平均机龄 12.5 岁。通常，机龄低意味着飞机引进晚、发动机性能较好，机型也相对较新。另外，如前所述，吨公里油耗与机龄关系并不明显。由此推断，机龄不是中国民航吨公里油耗高于美国的主要原因。

根据图 7，2009 ~ 2020 年中国民航的平均飞行速度始终高于美国，差距在缩小。由于两国机队机型较杂，在公开数据有限情况下，无法分析飞行速度高低对油耗的具体影响。

在飞行速度、飞行高度的油耗影响量化研究方面，以目前国内飞机数量和油耗量占比最高的 B737-800 机型为例，使用统计软件 SPSS 对某航空公司某些历史年度 B737-800 飞机巡航阶段航油消耗进行多元回归分析的结果显示，飞行速度、

飞行高度对飞机油耗具有显著影响，继续提高飞行速度会增加油耗，而提高飞行高度则会减少油耗。

因此，如果原始数据质量、数据口径不存在问题或者不存在重大问题，在中国民航支线飞机占比较低、机型较新、机龄较低、航距较长有利于降低吨公里油耗情况下，在载运率较高大概率不会增加吨公里油耗情况下，中国民航吨公里油耗高于美国的主要原因可能是飞行速度、飞行高度的选择，及各种节油措施的采用。

美国民航的节油措施案例

鉴于国内航空公司在节油方面还有较大提升空间，有必要参考借鉴美国航空公司的有效做法。

美国西南航空 (Southwest) 是全球低成本航空鼻祖，其 2023 财年年报披露的 15 项节油措施如下：

- (1) 引进 MAX 飞机，与上一代 737 飞机相比，MAX 飞机更省油，每可用座位英里排放的二氧化碳更少。
- (2) 在公司机队的所有飞机上安装小翼 (Winglet)，以减少阻力并提高燃油效率。
- (3) 定期清洗发动机，有助于提高燃油效率。
- (4) 在可用的情况下，实施登机口飞机使用地面电源和预调制空气 (Pre-conditioned Air, PCA) 的程序。
- (5) 在选定地点用电子设备更换符合条件的内燃地面支持设备。
- (6) 部署自动油门 (Auto-throttle) 和垂直导航 (Vertical Navigation)，以保持最佳巡航速度。
- (7) 实施单发滑行程序。
- (8) 实施始发航班 APU 启动时间程序，以减少 APU 使用。
- (9) 实施燃料规划举措，以安全地减

少落地剩油；

(10) 对飞机客舱进行改装以减轻重量。

(11) 飞机在地面时实施降低发动机怠速 (Engine Idle Speed) 程序，以延长发动机寿命。

(12) 利用优化航线 (包括飞行最佳风向以利用顺风或尽量减少逆风)。

(13) 改进飞行计划算法 (Flight Planning Algorithms)，以更好地匹配飞行管理系统，从而使飞机在最有效高度飞行。

(14) 用更轻的 EFB 平板电脑替换飞行员和空乘飞行包和纸质手册。

(15) 实施实时下降风 (Real Time Descent Winds)，将最新风数据自动上传到飞机，使机组人员能够对下降进行计时，以最大限度地减少推力输入，从而提高每次燃油效率。

阿拉斯加航空 (Alaska Airlines) 2023 年末在营机队 230 架，过去 34 年 (1990 ~ 2023 年) 净利润 56 亿美元，全美排名第 4。

阿拉斯加航空集团 2023 财年年报在提高运营效率方面提到，“阿拉斯加航空公司率先采用了所需导航性能技术

图 6 | 2023 年末中美百架机队航司机龄

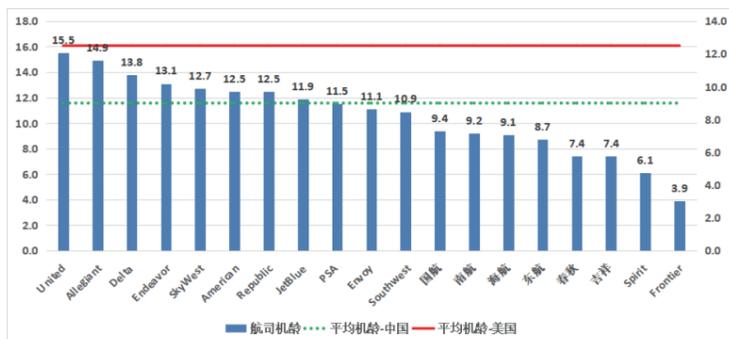


图 7 | 2009 ~ 2023 年中美民航平均飞行速度比较
说明：2021 ~ 2023 年中国民航数据尚缺



图 | 阿拉斯加航空





▲ 图 | uscreditcardguide.com

(Required Navigational Performance, RNP)，该技术现已成为行业标准，该技术提供了更直接、更省油的飞行方式，并减少了天气原因导致的改道”；“阿拉斯加航空和地平线航空（Horizon Air，同属阿拉斯加航空集团）采用了 Flyways AI 技术，该技术利用人工智能和机器学习来优化空中交通，实现更省油的飞行路线”。

值得注意的是，阿拉斯加航空很可能是美国 2023 年末在营机队 100 架以上航空公司中唯一一家明确利用人工智能 (AI) 技术降低航油消耗的航空公司。

当然，国内航空公司也在探索、创新运行模式和节油措施，例如开展目视进近、EoR（独立平行仪表进近）、CDO/CCO 等，对节油产生了积极影响。在市场化方面，更多航空公司开始关注将市场需求与优势机型进行匹配，以便提高燃油效率。

美国民航可借鉴之处

总之，近年中美民航吨公里油耗差距有所扩大，主要原因可能是飞行速度、飞行高度优化及各种节油措施的采用，国

内航空公司在节油方面还有较大空间。

他山之石，可以攻玉。航油长期是中国航空公司第一大成本，美国长期是世界第一民航大国，其民航业相关政策和航空公司航油成本管理措施值得借鉴。

一是进一步优化空中管制和空域管理，为航空公司开展飞行高度优化和航路优化等提供更大支持、更多选择。

二是国内航空公司有必要深度分析和确认中美吨公里油耗差距主要原因，探索采用更加切实有效的节油措施，包括但不限于更大力度开展飞行高度优化、飞行速度优化和航路优化；借鉴美国已经实施而国内尚未或较少实施的直接节油措施，例如单发滑行、采用预调制空气、实施实时下降风、实施恒定下降角进近和人工智能 (AI) 技术等；同时，淡季减少运力投入、增加直达航班和进入航空服务不足市场等间接节油措施同样值得借鉴。

民航业相关政策优化方面，国内航空公司有必要加强合作，广泛交流、深入研究，结合国内民航运行实际和美国民航可取之处，提出更加符合中国民航业实际的政策优化建议。■

上市航司： 盈利低谷中的运力博弈

文 | 文墨

2025 年第一季度，中国民航客运量延续高增长态势，全行业运输旅客约 1.9 亿人次，创同期历史新高，平均客座率超过 83%。然而，与繁荣的出行需求形成鲜明对比的是，航司财务表现跌入疫情后低谷，多家大型航空公司利润大幅缩水甚至持续亏损。值得注意的是，受市场竞争加剧、公商务出行需求不足、高铁冲击、全球供应链紧张以及人民币贬值等多重因素影响，除华夏航空外，报告期内其他航司普遍呈现归母净利润同比下滑的趋势。业内专家指出，春节后出行需求季节性回落叠加“以价换量”式竞争，导致票价承压下行，“旺丁不旺财”的困局挥之不去。在运力投放全面恢复乃至超越疫情前的背景下，我国航司正经历一场利润低谷中的运力博弈。

▼ 图 | 安京



运力加速恢复与客座率此消彼长

2025年一季度，中国航司在国内外航线大举恢复运力投放。民航局数据显示，一季度民航客运航班总量达136万班次，同比增长2.6%，较2019年同期增长12.4%。国际市场方面，中国至日本、英国、意大利等35国的航班量已超过2019年水平，与“一带一路”沿线国家航班恢复率达94.5%。以中国东方航空为例，其国际航线运力同比增长28.73%，旅客量增长33.73%，客座率提升2.06个百分点。国内市场同样火热，2025年春运期间民航旅客运输9020万人次，同比增长7.4%，均高于疫情前水平。总体而言，多项运营指标已逼近或超越2019年。一季度中国南航和东航的收入客公里（RPK）相比2019年分别增长15.9%和20.3%，增速略高于运力投入（ASK）的增幅。这意味着运力

恢复的同时，客座率等效率指标并未被显著摊薄。

2025年一季度春秋航空客座率高达90.6%，在可比航司中领跑；南方航空紧随其后，平均客座率为85%以上。东方航空一季度国内航线客座率也达到85.8%，国际航线投入增加的同时客座率稳步提升2~4个百分点。行业平均客座率约为83.3%，较上年同期提高2.8个百分点。高客座率体现出航司积极承接市场需求，但也部分源于以低票价刺激上座所取得的“以价换量”效果。

横向对比来看，各家航司客座率表现分化明显。坚持低成本运营的春秋航空一枝独秀，一季度平均客座率达90.6%，几乎满座运营。南方航空受益于庞大的国内航线网络，客座率达到85.4%，吉祥航空紧随其后，客座率约84%，略低于南航。在运力大幅扩张的同时，不同航司填舱能力高下立现，东方航空通过精细化运营使国内航线客座率提升至接近86%。而中国国航由于宽体机大量投入国际市场，客座率恢复相对滞后。据行业统计，今年一季度仅春秋、南航等少数航司的RPK增速略超运力增速。整体而言，一季度六大上市航司客座率同比多数提升，但与上年四季度相比略有下滑，表明供给增长已开始超过淡季需求。这一趋势在全球范围也有体现，2025年3月全球航空运力同比增长5.3%，高于3.3%的需求增速，导致当月全球平均客座率降至80.7%。由此可见，运力的快速回归在带来流量增长的同时，也开始对上座率和单位收益形成挑战。

营收持平难掩利润下滑

尽管运输量屡创新高，航司的营收却未能同比大幅提升。一季度大部分航司收入同比增幅不足3%，部分甚至略有下降。

例如，国航2025年第一季度营业收入400.23亿元，较上年同期降0.11%，归属于上市公司股东的净利润为-20.44亿元；东航第一季度营业收入为334.06亿元，较上年同期增长0.65%，归属于上市公司股东的净利润为-9.95亿元；南航营业收入434.07亿元，同比下降2.68%，净利润亏损7.47亿元；海航控股营收为176.01亿元，同比增长0.29%，净利润为2.72亿元，同比下降60.34%。在民营航司中，春秋航空实现营业收入53.17亿元，同比增长2.88%，实现归属于上市公司股东的净利润6.77亿元，同比下降16.39%；吉祥航空营业收入为57.22亿元，同比增长0.05%，归属于上市公司股东的净利润为3.45亿元，同比下降7.87%。唯有区域航司华夏航空表现亮眼，一季度收入17.74亿元，同比增长9.78%，归属于上市公司股东的净利润为0.82亿元，同比增长232.31%。整体来看，航司在客运规模大幅扩张的情况下并未实现同期营收的同步增长，这反映出票价和客单收益水平的显著下滑。

除华夏航空外，其余航司收入与上年同期基本持平或略有增长，中国国航和南方航空甚至出现小幅下滑。这在一定程度上说明，在运力和客运量增长的同时，票价下降抵消了流量增长带来的营收增量。换言之，各航司普遍遭遇“旺丁不旺财”，只能通过提升客运规模勉强维持收入。

盈利方面，一季度三大国有航空公司依然深陷亏损泥潭。其中中国国航净亏损达到20.44亿元，较上年同期的16.74亿元亏损进一步扩大22%。东方航空亏损9.95亿元，同比亏损额增加近2亿元。南方航空的业绩波动更为剧烈，去年一季度南航曾实现7.56亿元净利润，如今却转为亏损7.47亿元。

对此，业内分析认为，高铁分流和行业竞争加剧使三大航不得不以低票价维持客座率，导致国内航线平均票价同比下降超10%，客公里收益下降12.5%。油价波动和汇率成本也是影响因素之一——2024年以来国际原油价格的高位震荡推升燃油成本，而人民币汇率波动也影响具有大量外币负债的航司财务表现。不过，需求侧因素仍是主导。今年一季度市场供大于求的局面使票价持续承压，中国航协指出行业经营效益“不及预期”。国航管理层亦坦承，一季度利润下滑“主要系今年市场竞争加剧所致”。相比之下，几家民营和地方航司虽然盈利能力也受到挤压，但仍维持了正向盈利。一季度春秋航空以6.77亿元的净利润继续领跑国内航司。不过这一数字同比下降16%，表明即便是成本控制卓著的低成本航企也难独善其身。海南航空实现净利润2.72亿元，同比大幅下滑60%。吉祥航空净利润3.45亿元，同比下降7.9%。值得注意的是，唯一实现同比利润增长的是华夏航空——净赚0.82亿元，同比飙升232%，成功扭转上年同期亏损局面。华夏航空作为支线航司，受益于下沉市场的旅行需求释放，

▼ 表1 | 2025年Q1七大航司运营数据

ASK	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航	华夏
同比2024	2.6%	4.9%	6.5%	6.9%	6.7%	12.0%	23.7%
相比2019	25.8%	12.5%	18.3%	43.2%	46.3%	-10.1%	83.7%
RPK	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航	华夏
同比2024	3.5%	7.9%	3.5%	6.2%	5.0%	13.2%	28.1%
相比2019	23.9%	15.9%	20.3%	40.8%	44.3%	-11.7%	81.3%
旅客运输量	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航	华夏
当期值 (万人次)	3811.5	4194.9	3645.0	744.3	673.1	1759.6	252.8
同比2024	1.1%	3.6%	6.5%	5.7%	-1.3%	5.5%	28.4%
相比2019	34.0%	15.3%	14.2%	42.4%	27.9%	-18.2%	48.8%
国际旅客运输量	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航	华夏
同比2019	2.5%	0.8%	12.7%	21.9%	77.5%	-25.7%	135.1%
客座率	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航	华夏
当期值	80.2%	85.4%	84.0%	90.6%	84.1%	83.1%	79.8%
同比2024	0.7%	2.4%	3.3%	-0.6%	-1.4%	0.9%	2.7%
相比2019	-1.2%	2.5%	1.3%	-1.6%	-1.2%	-1.5%	-1.1%
货邮运输量	国航	南航	东航	春秋	吉祥	海航	华夏
当期值 (万吨)	34.8	44.9	25.7	2.3	3.8	13.0	0.37
同比2024	2.9%	3.5%	0.7%	11.3%	25.8%	14.6%	23.5%
相比2019	4.5%	14.1%	19.1%	61.7%	50.4%	-2.2%	128.5%

▼ 表2 | 2024年及2025年Q1七大上市航司营收和归母净利润同比及2019年同期

	国航	东航	南航	海航	春秋	吉祥	华夏
2024年营收 (亿元)	1667.0	1321.2	1742.2	652.4	200.0	220.9	67.0
营收同比2023年	18.1%	16.2%	8.9%	11.2%	11.5%	9.9%	30.0%
营收同比2019年	22.4%	9.3%	12.9%	-9.9%	35.1%	31.9%	23.8%
2024年归母净利润 (亿元)	-2.4	-42.3	-17	-9.2	22.7	9.1	2.7
归母净利润同比2023年	77.3%	48.4%	59.7%	-396.4%	0.7%	17.5%	127.8%
归母净利润同比2019年	-103.7%	-232.3%	-164.0%	-269.6%	23.5%	-8.1%	-46.6%
2025年Q1营收 (亿元)	400.2	334.1	434.1	176.0	53.2	57.2	17.7
营收同比2024年Q1	-0.1%	0.7%	-2.7%	0.3%	2.9%	0.1%	9.8%
营收同比2019年Q1	23.0%	11.2%	15.4%	-5.5%	46.1%	38.5%	41.9%
2025年Q1归母净利润 (亿元)	-20.4	-10	-7.5	2.7	6.8	3.5	0.8
归母净利润同比2024年Q1	22.1%	23.9%	-198.8%	-60.3%	-16.4%	-7.0%	232.3%
归母净利润同比2019年Q1	-175.1%	-149.6%	-128.2%	-76.1%	42.7%	-13.8%	-4.2%

一季度运力投放和客座率同步提升，从而带来盈利改善。总体来看，民营航司盈利水平虽优于三大航，但除了华夏外普遍较去年有所回落。

可以看到，2024年初航企刚迎来疫情后首轮盈利高峰，南航等实现扭亏为盈，春秋、吉祥、海航等盈利创新高；而2025年一季度行业整体再次陷入亏损低谷，三大航亏损额明显扩大，南航更是由盈转亏。春秋航空虽保持盈利但净利下滑，海航利润亦大幅缩水。七大航司合计由上年同期盈利1.72亿元转为2024年全年亏损超过36亿元人民币，显示出“以价换量”策略对利润的侵蚀之深。与2019年疫情前相比，目前仅有少数航司的盈利恢复接近往年水平。春秋航空2024年全年的净利润已达22.7亿元，超过国航、南航等传统巨头，成为疫情后国内“最赚钱航司”。吉祥航空一季度盈利亦接近2019年水平。然而三大航的盈利恢复仍任重道远：以南航为例，其当前盈利水平尚未重返2019年同期的正常水准。国航和东航虽然2024年全年已显著减亏，但2025年初仍未能摆脱亏损。换言之，中国航司整体盈利能力尚处于谷底，距离全面回归疫情前水平尚有时日。正如业内人士所言，“一个季度亏掉往年最高利润”，航司当前亟需走出低价竞争的泥潭，重塑健康的收益结构。

探寻破局： 航司提质增收迎接拐点

面对白热化的市场竞争和业绩低谷，中国航司正在积极求变，期待迎来扭亏为盈的拐点。一方面，各航司优化运力投放，更加注重收益质量。随着二季度旺季来临，航司普遍计划收紧低效运力供给，提升票价水平。据中国航协预测，二季度起国内客运市场票价将稳中有升，“五一”小长

假或迎来出行高峰，带动行业收益上行。事实证明，今年“五一”假期民航旅客运输量已创同期历史新高，热门航线机票价格显著回升，不少航班客座率接近满座。这预示着二季度航企单位收入有望改善，从而减缓亏损压力。

另一方面，航司纷纷开源节流，多元化增收。以东方航空为例，公司今年推出“易享退”灵活退改产品，带动辅助收入同比增长；拓展“空铁联运”等跨界合作，完善航旅产品供给。南方航空则依托国内最大机队优势，加强货运和旅游业务协同，开发新的利润增长点。国航、吉祥等致力于加强成本管控，在一季度财报中均提到通过精细化管理降低单位成本。同时，各航司加码国际航线抢占高端市场份额。东航今年夏秋航季大幅增加远程洲际航班，欧洲航线班次已达2019年的152%。国航、南航也在恢复北美、大洋洲航点，寄望于国际长航线客座率和票价同步提升，弥补国内收益的不足。跨境旅游的升温为中国航司提供了新的机遇：一季度我国国际客运规模已首次超过疫情前水平。充分利用这一契机，有望助力航司改善整体收益结构。

更为重要的是，这场运力博弈终将回归商业本质——航空公司唯有提升自身经营效率和服务价值，才能摆脱无序竞争的泥淖。低成本航司春秋航空在成本管控和差异化服务上的成功经验，证明了“旺丁”也能“旺财”并非不可兼得。可以预见，随着行业逐步走出疫情阴霾，票价回暖和需求增长将推动中国民航业绩触底回升。在业绩低谷中寻找破局曙光，中国航司正在从规模扩张转向提质增效的新阶段。展望2025年余下的时间，若能平衡好运力投入与收益产出，告别单纯拼规模、拼客流的粗放竞争，中国航司有望在全年迎来难得的转盈契机，驱动业绩曲线重回上行轨道。航空业漫长冬夜的尽头，曙光已现。■

卡塔尔航空盈利创新高的秘诀

文 | 沈嘉伟

在2023~2024财年，卡塔尔航空旅客运输量达到了4000万人次，实现收入222亿美元，盈利17亿美元，成为公司历史上盈利最多的年份。卡塔尔航空通过股权投资的方式，在收购一些航空公司股权的同时，通过联营不断扩展全球网络。2025年2月，卡塔尔航空成功投资并持有维珍澳大利亚航空25%的股权。紧接着，澳大利亚竞争与消费者委员会在3月通过了卡塔尔航空与维珍澳大利亚航空在两国航线之间的联营申请。卡塔尔航空方面表示，预计2025年盈利水平会超过2024年。

图 | 卡塔尔航空



股权投资强化联营

为了能够掌握市场拓展的主动性，卡塔尔航空在战略层面上通常会采取股权投资的方式开展联营合作。2020年2月，卡塔尔航空增加了对国际航空集团的投资，将所持股权增至25.1%。随后，卡塔尔航空与英国航空就双方在澳大利亚与欧洲之间经多哈中转的联营航线的航班时刻、票价与促销等业务进行深度合作。2022年2月，卡塔尔航空宣布使用英国航空常旅客俱乐部的Avios作为会员奖励的积分货币。此举进一步拓宽公司会员积分使用的渠道和消费范围。

2022年9月，卡塔尔航空与英国航空进一步深化战略合作伙伴关系。双方在伦敦和多哈以远点涵盖欧洲、非洲、亚洲和大洋洲在内42个国家的航线上开展联营，他们联营航线的通达性已经超过了全球任何其他公司之间的联营合作范围，构建了全球最大的航空联营运输网络。

2023年7月，西班牙伊比利亚航空加入到卡塔尔航空和英国航空的联营阵线，伊比利亚航空将马德里至多哈之间的航班量由每天一班增加到每天两班。加上卡塔尔航空每天一班的航班量，在

▼ 图 | 陶冉



多哈与马德里之间每天运营三个航班。伊比利亚航空的加入，使三家的联营航线扩展到全球超过200个目的地。

为了进一步扩展南非市场，2024年8月，卡塔尔航空投资收购了南非当地行业领先的区域航空公司Airlink25%的股权。Airlink执飞非洲15个国家超过45个目的地，卡塔尔航空与Airlink在非洲航线上实行代码共享，并且还就忠诚度计划旅客出行权益等方面展开了合作，为卡塔尔航空在非洲大陆的战略发展奠定了经济基础。

2024年10月，卡塔尔航空宣布有意收购维珍澳大利亚航空股权。2025年2月，在卡塔尔航空成功投资并持有维珍澳大利亚航空25%的股权之后，澳大利亚竞争与消费者委员会在3月通过了卡塔尔航空与维珍澳大利亚航空在两国航线之间的联营申请。通过双方之间的联营，维珍澳大利亚航空利用卡塔尔航空多哈枢纽可衔接前往欧洲、中东和非洲超过100条航线，双方在联营航线上也同时开展了忠诚度计划积分奖励与兑换的业务。

按照澳大利亚竞争与消费者委员会的批准，维珍澳大利亚航空将使用从卡塔尔航空湿租的飞机，计划在今年年中时候开通布里斯班、墨尔本、珀斯、悉尼到卡塔尔多哈的直飞航线。从澳大利亚上述机场出行的旅客可在多哈转乘卡塔尔航空执飞到欧洲、非洲等航线航班。此外，双方还在联营航线和衔接航线上开展了代码共享合作。

AI 赋能出行体验

2024年，卡塔尔航空获得Skytrax年度“全球最佳航空公司”称号，这也是卡塔尔航空连续8年获得该荣誉。卡

塔尔航空在利用AI技术提高旅客服务质量的同时，还通过在波音777飞机上安装机载星链高速互联网设备提高旅客出行体验。

卡塔尔航空在官方网站和移动App上推出了一款AI订座体验和AI客舱服务的工具，这款智能工具通过语音和聊天的方式，在旅客订座的每一个步骤为他们提供轻松、个性化的交互体验。借助这款AI工具，在旅客提出简单的航班信息咨询之后，系统会为旅客建议一个定制化的行程。如果是计划家庭旅行，系统还会实时规划一个适合家庭出行的行程。

卡塔尔航空还在官方网站和移动App上建立了一个忠诚度计划收藏数字平台，能够使忠诚度会员在平台上消费会员积分货币方面有物超所值的体验。该数字平台整合了会员对体育、音乐和文化，以及在购物和餐饮方面的兴趣爱好，为会员消费积分提供了极为贴切的建议。这种为会员在积分消费上的智能化建议方式，将忠诚度计划融入到会员的生活方式中。

2024年，卡塔尔航空为旅客推出了一款积分奖励兑换座位的AI工具。该款工具以月度日历显示方式，对所有能够用积分兑换机票的航班有一个直观清晰的显示。这样一来，旅客能够以比以前更加简洁和便捷的方式兑换机票。与此同时，这款积分兑换座位的AI工具，能够使旅客根据个人偏好更加有效地选择靠窗座位和出行舱位，并能够显示兑换机票所需的积分数量等具体情况。

为了进一步增强远程国际航线的竞争力和为旅客提供最佳的出行体验，2024年7月，卡塔尔航空宣布向美国波音飞机制造公司额外订购20架波音777-9型飞机。波音777-9型飞机采用



▲ 图 | 卡塔尔航空

了波音787梦幻飞机的先进技术，在运行效率和旅客体验方面有了进一步的提高，在两舱设计的基础上能够运输426名旅客，最远航程超过了1.3万公里。至此，卡塔尔航空波音777X系列飞机总数将达到94架。另外，卡塔尔航空还拥有12架波音787梦幻飞机和25架波音737Max飞机。

截至2025年2月底，卡塔尔航空已经完成旗下第30架波音777机载星链高速互联网设备安装工作。为了不影飞机的航班利用率和为旅客提供最佳的出行体验，卡塔尔航空将机载星链高速互联网设备的安装时间由以前的每架飞机用时2~3天缩短到9.5小时，而安装工作均安排在飞机过夜停车场时间，这种无缝的高效安排，既能按时完成工作进度，又不影响飞机的航班运营。据悉，卡塔尔航空将优化工作流程，计划在2025年第二季度完成所有波音777飞机的设备安装工作。

网络扩张紧抓热点

卡塔尔航空在不断提高旅客出行体验的同时，一直践行网络扩张的发展理念，尤其是在 2024 年夏季抓住旅游热点城市出行需求，及时调整运力恢复或新开航线，在客座率和航线收入方面均有所提高。

2024 年 3 月，卡塔尔航空与爱尔兰航空建立全新代码共享合作伙伴关系，使旅客通过在英国伦敦和曼彻斯特、爱尔兰都柏林和卡塔尔多哈的枢纽机场，相互衔接到非洲、亚洲、中东以及大洋洲的澳大利亚和新西兰等多个城市。在完成与爱尔兰航空的代码共享合作之后，卡塔尔航空基本上与国际航空集团旗下的英国航空、伊比利亚航空、伏林航空均实现了代码共享合作，进一步强化了卡塔尔航空在欧洲市场的网络布局。

为了抓住夏季欧洲旅游热点市场的出行需求，在已经开通多哈至意大利罗马和米兰直飞航线的基础上，2024 年 6 月，卡塔尔航空恢复了多哈至威尼斯每

卡塔尔航空在不断提高旅客出行体验的同时，一直践行网络扩张的发展理念，尤其是在 2024 年夏季抓住旅游热点城市出行需求，及时调整运力恢复或新开航线，在客座率和航线收入方面均有所提高。

天一班的直飞航班，为经多哈前往意大利旅游的旅客提供了更多的出行选择。与此同时，卡塔尔航空也恢复了多哈至葡萄牙里斯本每周 6 班的直飞航线。这条航线是卡塔尔航空开通前往欧洲的第 47 条航线。这条航线的恢复为前往东南亚的巴厘岛、曼谷和马累等著名旅游度假城市提供了便捷的空中航线。

2024 年 8 月，卡塔尔航空与马尔代夫国家航空建立了新型联运伙伴关系，旅客可以在卡塔尔航空的官方网站上订购卡塔尔航空和马尔代夫国家航空的联运机票。通过与马尔代夫国家航空的联运合作，旅客在到达马尔代夫马累国际机场之后，可继续乘坐马尔代夫国家航空航班前往其国内 17 个海边旅游城市。双方通过协调航班计划和提供具有竞争力的票价，进一步拓宽了旅游市场。

2024 年 10 月，卡塔尔航空将多哈至英国伦敦希斯罗机场的航班由每周 49 班增加到 56 班。加上联营伙伴英国航空的航班，在多哈与伦敦希斯罗机场航线上每天有 10 个航班。从 2024 年 12 月开始，卡塔尔航空将执飞马尔代夫马累的航班量由每周 21 班增加到 28 班；执飞到美国迈阿密的航班量由每周 10 班增加到 12 班。2025 年 2 月开始，将执飞日本东京成田机场的航班量由每周 7 班增加到 11 班。

为了深入拓展北美市场和有效提高网络衔接，自 2011 年开通多哈至加拿大蒙特利尔每天一班直飞航班后，2024 年 12 月，卡塔尔航空采用波音 777 飞机新开每周 3 班多哈至多伦多航线，这成为在加拿大境内的第二个通航点，也是卡塔尔航空开通到北美地区的第 14 条航线。卡塔尔航空在执飞北美 14 条航线上的波音 777 飞机上为旅客全部提供免费星链互联网服务，旅客可以在整个旅行途中

实时观赏娱乐节目和体育赛事，以及及时处理商务文件和开展线上会议。

在 2023 ~ 2024 财年，卡塔尔航空运力比上一财年增长 21%，旅客运输量达到了 4000 万人次，平均客座率为 83%，实现收入 222 亿美元，盈利 17 亿美元，比上一财年盈利增长了 28.8%，成为公司历史上实现收入和利润均是最多的年份。卡塔尔航空最终摆脱了疫情的影响，公司的发展开始步入正常的发展轨道。

公益营销提升品牌

在忠诚度计划的拓展与社会公益的融合方面，卡塔尔航空另辟蹊径做出了表率。卡塔尔航空于 2020 年利用忠诚度计划成立了学生俱乐部，成立学生俱乐部的初衷是通过学生群体的维护来进一步提高卡塔尔航空社会公益的形象。尽管其他一些公司也做过相关公益活动，但是能够与忠诚度计划相互融合的公益营销活动，应该说卡塔尔航空实现了创新。

作为卡塔尔航空学生俱乐部的会员，拥有许多出行权益，如：特殊学生票价、额外托运行李额、灵活性的机票日期变更、旅游同伴相邻座位、作为毕业礼物的会员升级和免费机上 Wi-Fi 等。只要学生俱乐部的会员每订购一张卡塔尔航空的机票，卡塔尔航空就向当地一家慈善机构 Education Above All 捐赠 10 美元。

Education Above All 是卡塔尔国内的一家非营利性组织，该组织致力于促进平等入学，并且为所有社区的积极变革和包容性发展提供相关服务。Education Above All 的社会公益活动在卡塔尔国内深受欢迎，而作为卡塔尔

不难看出，为了掌握市场竞争的主动性，卡塔尔航空在市场拓展方面通常会采取股权投资加航线联营的方式不断拓宽全球网络。

学生俱乐部会员的学生出行与社会公益活动的关联行为也激发了学生团体的荣誉感。

在市场的拓展和客群的维护方面，航空公司通常会以商业运作的手法提高竞争力，大多数情况下忽略了通过持续性社会公益和慈善活动去提升品牌形象以及社会影响力，从而提高自身忠诚度计划的社会价值。目前，卡塔尔航空学生俱乐部会员虽然仅有 100 万会员，但是通过忠诚度计划传递社会公益的价值已经远超商业推广的价值。这种价值将会影响当地一代又一代的年轻人，也会进一步提高卡塔尔航空的品牌价值。

不难看出，为了掌握市场竞争的主动性，卡塔尔航空在市场拓展方面通常会采取股权投资加航线联营的方式不断拓宽全球网络。在旅客出行体验方面不断创新来维系客户关系，尤其是将公益活动与忠诚度计划高度融合发展，进一步提升了品牌的社会形象。卡塔尔航空能否在 2025 年再创利润新高，我们拭目以待。■

国泰集团行政总裁林绍波： 植根香港、背靠祖国、联通世界

文 | 陈姗姗



林绍波 Lin Shao Bo

国货航董事、香港快运航空公司主席、国泰航空行政总裁。

毕业于英国剑桥大学，曾任 Salomon Brothers Inc. 分析员，国泰航空经理、部门总经理，中国香港飞机工程有限公司董事及总经理，国泰航空商务及货运董事、中国香港快运航空公司行政总裁、国泰航空顾客及商务总裁等职。

2023年1月林绍波获任行政总裁之时，国泰航空已经连续亏损三年。但在林绍波的治理之下，国泰航空当年便扭亏为盈，2024年更是再进一步，净利润达到99亿港元。

“过去两年我们都获得了非常

稳健的财务成绩，这对我们来说是一个非常大的鼓舞。”林绍波说，“我很荣幸完成了重建国泰这个历史任务，如果说过去两年的关键词是‘重建’的话，2025年我给团队的主题是希望再进一步。”

复盘重建的两年

从1996年加入国泰以来，近达30年里，林绍波辗转过很多岗位，可以称得上是现在最了解国泰航空的高管之一。

1996年，林绍波作为管理培训生加入国泰，管理培训生的计划是通过不断的转岗锻炼，培养国泰的管理人员。

“第一年我是在工程部做机务，第二年去了日本大阪，回来后又加入到香港机场当值班经理，这三年的体验完全不同。”林绍波回忆，后面也陆续在不同的岗位锻炼过，差不多国泰每个范畴的工作他都做过。

而最大的挑战，还是来自任国泰集团行政总裁后。“当时疫情后刚刚放开，重建初期压力很大，香港开放得也比较迟，我们从很低的点起步，面对很多挑战，包括突发的毛毯事件，也让我们学到很多。”林绍波说：“但些在重建初期出现，我觉得是好事，是推动我们进步的动力，因此这两年也作了很多调整，尤其是在内地的战略和定位。”

2023年5月，有乘客指控国泰空乘服务人员向非英语乘客提供毛毯时，表现了明显的歧视态度。这一事件令国泰航空迅速陷入舆论争议中，在社交平台上引起广泛讨论。国泰反应速度很快，连发三份道歉声明，随即展开系列举措。

“这个事件我们迅速处理了，国泰也作了很多反思和改善，比如机上普通话广播、招聘内地空乘

等。”林绍波说，“也是在这个事件之后，我经常往返内地和香港。”

2024年，林绍波往返于香港和内地的次数，远超往年的十倍以上，在与内地的不断沟通和了解中，他也为公司制定出了12个字的全新定位：植根香港、背靠祖国、联通世界。

“‘植根香港，联通世界’方面，国泰过去70多年已经做得很好，但‘背靠祖国’还有进步的空间。”林绍波说，“这不是一个口号，而是在我们的员工、服务等所有的工作上都要体现这个独特的定位，这个定位抓对了，我们在香港的发展、在内地的发展、在国际市场的发展就会越走越顺。”

对内地的重视首先来源于对市场的判断。在国泰内地到香港的航线上，有超过一半的客源是经香港中转的，作为一个网络枢纽型定位的航空公司，抓住更多内地乘客，是其航班客座率和收益保障的关键。

为此，这两年国泰不仅恢复和新开了不少香港到内地的航点，还加大了对内地一线员工的招聘力度。

2023年下半年，国泰曾在深圳连开6场空乘招聘会，当时林绍波就透露，公司计划到2025年的空乘人数达到1万人，其中内地空





乘将占到 1000 人至 2000 人，内地空乘的人数将仅次于香港空乘。

据了解，在 2024 年年底，国泰集团的员工数量超过 30000 名，其中内地员工约 3000 人，这一数字到 2025 年年底预计将达到 4000 人左右，其中空中乘务员和见习飞行员都是公司在内地的招聘重点，此外还包括机务、IT 等岗位。

“内地的市场对我们来说不止是一个客户市场，也是一个很重要的人才市场，尤其是在大湾区，大湾区是国泰在香港以外延伸的总部，对于大湾区的人员布局我们也是有很多的发展。”林绍波说：“目前我们的客户服务跟结算业务已经

在大湾区有好几百人的规模，近年我们在 IT 方面也正在大湾区的广州、深圳扩充办公室，现在国泰集团的数字化、IT 团队已经超过 1000 人，其中有 20% 的人员会放在香港以外的大湾区城市。”

同时，国泰还新增了一个中国内地董事的职位，希望进一步加强中国内地团队的战略性发展。4 月 1 日，首个中国内地董事郑家驹 (Arnold) 将正式上任。

此外，国泰在餐食、娱乐系统等方面，也在不断融入内地元素。去年已经在公务舱、头等舱推出了内地红酒的推介，今年会在机上餐食方面推出更多中华美

食，在机舱娱乐方面，这两年国泰也在陆续增加更多的国产大片、国产电视剧，比如 5 月份上新《熊出没·重启未来》，6 月份会上新《唐探 1990》，前段时间非常火的《我的阿勒泰》也能在国泰的飞机上看到。

在客舱服务方面，国泰也在加强提供普通话的服务，确保所有的国泰航班上都最少有一位可以说普通话的乘务员，并在现有团队里加强了对中华文化的培训，提升他们的普通话语言能力，希望获得更多内地顾客的喜爱和认同。

重注投资未来

五一前，国泰航空新开乌鲁木齐至香港的每周四班直航航班。随着乌鲁木齐的开通，以及 5 月国泰旗下香港快运即将新增常州及义乌两个航点，国泰内地航点增至 22 个，每周提供约 300 对航班，成为运营香港和内地航班数量最多的航司。

内地航点也是国泰集团今年的客运航点突破 100 个的重要组成部分。

“去年年底香港国际机场的三跑道系统开通，对我们国泰集团来说是一个非常巨大的机遇，我们已经决定投入超过 1000 亿港币，为三跑道系统的未来、为香港国际枢纽地

位的未来做出重大投资。”林绍波说，“投资方向除了包括新开更多航点，还有订购超过 100 架新航机，并继续提升顾客体验，无论是机舱的产品也好，机场贵宾室也好，我们都会继续投资更新。”

2024 年，国泰接收了 12 架 A321neo 飞机，并宣布订购 30 架 A330-900 飞机，同时，国泰航空还在波音 777-300ER 上推出了全新的客舱产品。今年，公司将重新开放位于香港机场的逸适堂贵宾室，并在香港、北京及纽约推出全新的旗舰贵宾室。公司还计划在现有 A330 区域宽体机上推出新客舱，包括具备平躺睡床的商务客舱，全新头等舱则需要等待 777-9 的首架交付。

去年，林绍波曾带队到中国商飞公司交流，了解国产飞机的进展。对于是否会订购国产 C919 飞机，林绍波透露，国泰的架构和需求是需要加长版，更大的窄体飞机，非常希望看到 C919 推出更长一点的飞机类型，同时也在关注 C929 能否配合到公司的中等宽体飞机需求。“我们会继续跟中国商飞保持交流，继续保持合作的机会。”

值得注意的是，中国商飞在 2023 年的进博会上展示过 C919 的加长型，主要是针对中远程市场的运营而设计，可以在两舱布局下搭

载 210 名乘客，航程为 4500 公里。

做员工的后盾

尽管国泰的航班量和航点近两年一直都在增加，但公司的成本却没有相应提高。根据国泰集团的财报，去年每单位燃油价格按年下降超过 9%，而与 2023 年比较，公司每可用吨公里数（不包括燃料）的成本也下降了 4.5%。

“这两年我们无论是在收入的管理还是在成本的管理方面，都是看得非常精细，务求不会浪费每一块钱，”林绍波说，“每天我都会看如何改善成本效益，会亲自看公司的收益损耗表，评估是不是有智

慧地花钱，花出的钱是不是有价值的投资。”

追求细节也是林绍波的特点之一。比如在财报的制定上，他就与公司的 CFO 每个月都做了很多更新，把成本和其他分类尽可能做细致，“所以看到 2024 年报表时我就感觉很舒服，因为这个过程都是我们谈论过的，对每一块钱的流动也比去年要掌握得更好了，这是作为 CEO 领导一个生意很重要的部分，公司每一块钱是怎样赚、怎么花的，其中是怎么运行的，我希望自己都知道。”

2024 年，国泰集团旗下定位低成本航空的子公司香港快运录得 4 亿港元的亏损。对此，林绍波分



析，香港快运的业绩主要受到短期因素的影响，比如去年平均有5架空客A320neo型飞机因发动机问题而停飞，影响了飞机使用率及营运效率，同时，在亚洲区内运力增加40%的情况下，短途市场票价迅速正常化，导致收益率压力增加，香港快运2024年的收益率有23%的下降。

“从长远看，我们对香港快运恢复盈利有信心。”林绍波说，去年虽然有5架飞机被迫停飞，但香港快运的飞机利用率依然同比增加10%，单位成本则同比降低超过10%，公司还被国际航空数据机构OAG评为“全球增长最快的航空公司”，被Airline Ratings评为“全

球最安全的低成本航空公司”。

这样的判断，也给了香港快运员工更多的信心，甚至有员工把林绍波称为“精神支柱”，有香港员工透露，尽管公司2024年在亏钱，但林绍波一直在给员工派定心丸，鼓励员工继续往前冲，做好自己，而他会做员工的后盾。

作为一个管理培训生出身的人，林绍波对“如何做领导、如何管理”的课题很有兴趣，以前更多从企业战略出发、关注宏观领导力，这几年则比较感兴趣微观视角，也就是怎么管理好自己。

“作为CEO，如果能自己管理好自己，时间、心态、身体、心情，我认为这对管理一个公司和团队是

很有效的，所以这几年，我很关心怎么让自己每天都能以一个好的状态出现，用最短时间做最多事，对整个团队而言，也能带来正能量影响。”林绍波说，“做生意最重要的有三个群体：员工、顾客、股东，对于我来说，这三个群体都非常重要，但是在我们的发展过程中有一个秩序，首先要从我们的员工出发做好，相信有快乐的员工就会有快乐的顾客，有快乐的顾客肯花钱，股东也会高兴。”

林绍波认为，这两年国泰做得对的，除了明确了清晰的定位，把员工的士气搞好也很重要，“员工的士气做好了，就会很用心地服务我们的顾客，顾客满意了，才会有更多人选坐我们的航班，票价等才可以做得更好。”

2025年，林绍波认为国泰还有很多进步空间，“比如高端航司这块，有些细节还要完善，包括长途机的洗手间还不够，餐饮靠乘务员重新加热是不是恰到好处，摆盘是否摆得好等等，我们有几个小组在做这些改善，这几年所做的很小的改善，乘客都有留意到。”林绍波说，“除了客舱、客货运业务，也包括公司的办公室、财务部门等，还会去完善每天每一秒的工作，争取可以做得更好。”■



干租 VS 湿租，谁更香

文 | 张帅

在航空领域，飞机可是“身价不菲”的。一架飞机的目录价格往往高达上亿美元，购置飞机这件事，不仅前期投入巨大，后续回收成本的周期也很长。巨额资金被长期占用，航空公司面临的资金压力可想而知。所以，很多航空公司不会选择直接购买飞机，而是另辟蹊径，把目光投向了租赁飞机这条路。

租飞机是否跟租共享单车一样，扫码付款，骑完就还，轻松简单？当然不可能！今天，就跟着笔者一起解锁国产商用飞机的两种租赁方式——干租和湿租，看看对于航空公司来说，到底谁才是真正的“梦中情租”！

▼ 图 | 王振龙



干租： 租机界的“极简主义者”

干租，咱们可以把它理解为飞机租赁界的“极简主义者”。想象一下这样的场景，你满心欢喜地花大价钱买了个超酷、功能超强大的手机，结果拿到手却发现，充电器、耳机、手机壳啥都没有，甚至连贴膜都得自己亲自动手——这就是干租！航空公司选择干租时，从租赁公司那里租到的仅仅是一架“裸机”，机组人员、燃油供应、

维修保养等等这些关键的东西，统统都得自己想办法解决。

航空公司选择干租，那就相当于给自己接了一个充满挑战的“大型养成任务”。首先，寻觅一支经验丰富的机组团队就是个大难题。机组人员的素养和经验，直接关系到飞行的安全和乘客的体验。航空公司需要严格筛选，找到那些技术精湛、经验丰富，能够在各种复杂情况下保障飞行安全的机长和乘务人员。这不是一件容易的事，要考虑的因素太多了，比如飞行时

长、飞行经历、应对突发状况的能力等等。其次，定期安排飞机“体检”也是必不可少的。飞机在高空飞行，面临巨大的压力和各种复杂的环境因素，零部件很容易出现磨损和故障。航空公司要制定详细的维修保养计划，定期对飞机进行全面检查和维护，确保飞机的每一个部件都处于良好的工作状态。这就像照顾孩子，时刻担心它会“闹情绪”罢工，影响整个飞行计划。

当然，尽管干租的过程都要亲力亲为，但它带来的好处也不少。航空公司能完全按照自身的需求定制飞行计划，飞行路线、运营模式等都可以根据自己的实际情况来安排，主打一个“我的飞机我做主”，运营自由度直接拉满！比如，有些航空公司，有独特的市场定位和目标客户群体，他们可以根据这些特点，制定个性化的飞行路线，避开热门航线的激烈竞争，开拓新的市场空间。或者，根据不同季节和旅游旺季，灵活调整运营模式，提高飞机的利用率和经济效益。

湿租： 懒人福音的“全包套餐”

与干租的“自力更生”截然不同，湿租是航空公司的“懒人

福音”！选择湿租，就好比点了一份超级豪华的套餐，不仅有热气腾腾、美味可口的饭菜（飞机），就连吃饭用的餐具（机组人员）、搭配的饮料（燃油）、餐后的服务（维修保养）都给你安排得明明白白、妥妥当当。出租方就像一个贴心到极致的“航空管家”，全程保驾护航，航空公司只需要专注于航班运营这一件事就好，其他的都不用操心。

航空公司湿租飞机，出租方会精心配备专业的机组团队，这些“空中老司机”个个技术精湛，飞行经验丰富。他们在驾驶飞机时，就像经验丰富的老司机开车一样，稳稳当当，能够应对各种复杂的天气和飞行状况，保障乘客的安全。同时，出租方还会在飞机交付时，把油箱加满，确保飞机以最佳状态投入运营。这就好比你租了一辆车，不仅是保养得好好的，连油箱都给你加满了油，直接就能上路跑。在日常的维修保养方面，航空公司也无需操心。出租方会按照严格的标准和流程，对飞机进行定期检查和维修，及时更换磨损的零部件，确保飞机始终保持良好的性能。这样一来，飞机就像一个被精心呵护的运动员，时刻保持着最佳

未来，随着航空市场的不断发展和变化，干租和湿租这两种租赁方式也可能会不断创新和完善。也许会出现更加灵活多样的租赁模式，融合干租和湿租的优点，为航空公司提供更多的选择。

的竞技状态，能够顺利完成每一次飞行任务。

这两种租赁方式，其实各有各的特点。从成本角度来看，干租相对便宜，因为航空公司只需要支付飞机的租赁费用，其他的费用可以根据自己的实际情况进行控制。但是，干租对航空公司的要求比较高，需要航空公司具备较强的运营能力和管理经验，能够独立解决机组人员、燃油供应、维修保养等一系列问题。而湿租虽然费用相对较高，但是省事省力，航空公司只需要把更多的精力放在航班运营和市场拓展上。

航空公司在选择租赁方式时，需要综合自身的资金情况、运营能力以及发展战略等多方面因素来考虑。如果一家航空公司资金雄厚，运营团队强大，有着丰富的管理经验，那么干租可能更适合他们。他们可以充分发挥自己的优势，根据市场需求灵活调整运营策略，实现飞机的最大价值。相反，如果一家

航空公司资金相对紧张，运营团队还不够成熟，那么湿租可能是更好的选择。这样可以让他们在减轻运营压力的同时，逐步积累经验，发展壮大。

未来，随着航空市场的不断发展和变化，干租和湿租这两种租赁方式也可能会不断创新和完善。也许会出现更加灵活多样的租赁模式，融合干租和湿租的优点，为航空公司提供更多的选择。比如，在干租的基础上，出租方可以提供一些增值服务，如协助航空公司招聘和培训机组人员，或者提供燃油采购的咨询和服务；在湿租方面，出租方可以根据航空公司的需求，调整服务内容和费用，实现更加个性化的合作。

总之，租飞机这件事可不像表面看起来那么简单，干租和湿租背后的门道，真的是学问多多。这里面涉及的运营策略、成本控制、市场定位等多方面的因素，都值得我们深入研究和探讨。■

▼ 图 | 越捷航空



客机衍生型谱系规划思考

文 | 张建军

客机谱系是飞机制造商基于统一的设计理念、技术平台和供应链体系，综合考虑市场需求、航程、用途、载客量等多方面因素，通过模块化设计、渐进式创新和多场景适配形成的具有共同技术基因且功能互补的机型组合，能实现从“单一型号”到“谱系生态”的跃升，既降低研发风险，又精准覆盖细分市场，最终形成对竞争对手的立体化优势。

一般来说，可以从3个维度进行谱系规划：以航程和载客量为主的纵向维度、以扩展功能实现特殊任务为主的横向维度、以及以换发、复合材料应用、机载系统更新为主的技术迭代维度。本文重点对横向维度，即衍生型提出了谱系规划的原则和方法。

▼ 图 | COMAC



衍生机型谱系规划的意义

衍生机型是客机谱系的重要组成部分，它不仅能精准覆盖细分市场需求，为客户提供更加多样化、个性化的选择，更重要的价值在于其对客机残值的重塑。它将书写一个民机产业新的商业模式，即为客户提供资产未来价值的守护，确保客机“老而不废”，实现残值托底和残值保障，降低客户的资产贬值风险，大幅改善客机的全生命周期收益率。丰富的衍生型谱系，有助于技术的传承和技术兼容性的提升，有助于客机易改性设计理念的贯彻，为客机的持续改进和发展提供技术支持。

“现在购机、未来保值”

的衍生型生态，将提升客户融资时的抵押物估值，构成“隐性担保”，尽管其客机溢价能力高达5%~8%，但仍然能显著增强客户下单时的信心，提高对新机价格更高的容忍度，实现从残值管理到销售促进的信任循环，提升飞机制造商的品牌知名度和美誉度，从而扩大市场覆盖范围，实现“规模化”，降低单位生产成本，提高经济效益。

衍生机型谱系规划原则和方法

衍生型飞机运行场景复杂，功能需求多样。依据使用用途的不同，客机衍生型主要分为四类：公众运营类，服务于广大公众，以商业运营为主，提升社会服务水平，满足特殊公共运营的需要，如公务机、货机等；应急救援类，服务社会，体现社会责任、国家担当，满足国家航空应急救援的需要，如医疗机、指挥机、灭火机等；科研服务类，服务国家，提升国家综合实力，满足国家科学研究和科考任务的需要，如增雨机、遥感机、科考机等；军用衍生类，满足国家对国防建设的需要。

衍生机型与客机相比，包含的专用任务多、涉及的专业技术广、涵盖的专用场景险，多需求交织、多用户协同、多专业交叉，衍生出众多的利益攸关方和用户。在开展衍生型谱系规划时，重点要加强市场调研，捕获不同客户群体的需求特点和市场趋势，分析各类型客机衍生型的市场需求规模、增长趋势和潜在机会。关注竞争对手的衍生型谱系规划情况，找出自身的竞争优势和差异化特点。此外，还应遵循一些顶层的原则和方法来确保规划的科学性、合理性和市场适应性。主要的规划原则和方法包括如下4项，分别是：

尽早启动原则。衍生型谱系的规划应在客机立项论证阶段就启动并贯彻于客机项目全生命周期。基于市场需求和技术演进的衍生机型布局，可在快速响应用户定制化需求的同时抢占市场先机；能为关键技术预研和迭代优化预留充足窗口期，有效控制技术风险并缩短衍生机型研发周期；此外，还能实现资源协同配置，在满足差异化需求的同时维持规模经济效益。

全面性完整性原则。应从功能需求和运营场景出发，广泛查阅



▲ 图 | 空客公务机

资料，参考竞争机型的衍生型谱系，从公众运营类、应急救援类、科研服务类和军用衍生类分别识别出已有、正在研制，以及预期未来可能的衍生机型。其次，对识别的衍生机型开展顶层的需求指标分析、主要技术特点分析，结合客机平台自身的限制，开展客机的衍生型改装潜力分析，形成全面和完整的客机潜在衍生谱系。

梯度发展原则。按照不同的技术难度、市场需求窗口期和竞争机型的衍生型战略，分阶段、分层次地开发衍生型号，可以逐步验证技术可行性，降低一次性投入的风险，可以灵活应对市场

变化，根据市场反馈及时调整开发计划，确保每个阶段的投入都能产生最大的效益。

市场互保原则。应确保不同型号之间能够相互补充，形成协同效应，共同满足市场需求。不同型号之间应定位清晰、功能互补，避免内部竞争，共同开拓市场。通过提供多样化的型号组合，可以满足客户的多样化需求，增强客户对品牌的忠诚度。实现资源的共享和优化配置，提升企业的整体效益。■

航空史上的“普罗米修斯”

文 | 王思磊

1896年8月9日，德国柏林郊外的一片荒地上，一架形似蝙蝠翼的滑翔机从15米高的山丘上俯冲而下。突然，一阵狂风袭来，机身剧烈摇晃，飞行员如断线的风筝般坠落。翌日，这位名叫奥托·李林塔尔的航空先驱在病榻上留下遗言：“牺牲是必须的。”

李林塔尔的名字或许不如莱特兄弟般家喻户晓，但他是人类航空史上的“普罗米修斯”——以凡人之躯挑战苍穹，用两千余次滑翔试验为后来者点燃了希望的火炬，他用血肉之躯铺就的道路，托起了人类飞行的梦想。

少年的信念

1848年5月23日，奥托·李林塔尔出生于德国普鲁士的安克拉姆市。这座宁静的小城以风车和教堂闻名，但少年李林塔尔的眼中只有天空。

12岁那年，他与弟弟古斯塔夫用木棍和麻布制作了一架简陋的“飞机”，从谷仓屋顶一跃而下，结果摔得鼻青脸肿。母亲责备他异想天开，他却指着窗外盘旋的鸟儿说：“它们能飞，为什么我们不能？”

当时的欧洲，飞行被视为痴人说梦。1811年，德国裁缝阿尔布雷

希特·贝林格尔曾绑上自制的翅膀从乌尔姆大教堂跳下，摔断双腿后沦为笑柄，连他的裁缝铺也因此破产，最后在贫困和绝望中结束了一生。当时在德国手工业甚至流传一句谚语：“鞋匠，别离开你的榫子！”但李林塔尔坚信：人类终将征服天空，只是还未找到正确的方法。

14岁时，在安克拉姆市圣尼古拉教堂做义工的李林塔尔，偶然发现了达·芬奇《鸟类飞行手稿》的德译抄本。市政记录显示，李林塔尔因“擅自取阅教会藏品”被罚清扫教堂三个月，而他却在此过程中完成了第一部飞行笔记《风与翅膀》。这些泛黄的纸页现藏于柏林工业大学档案馆，其中一页绘制着精确的鹞鸟翼骨结构图，边缘批注：“关节活动范围决定升力效率”。

1867年，19岁的李林塔尔考入柏林技术学院学习机械工程，课余时间全部用于观察鸟类。他记录下不同鸟类的翼展、振翅频率和气流关系，解剖鸽子的翅膀研究骨骼结构。这些笔记后来成为航空学的奠基性文献。同时，他还热衷于实验室研究，该校教授弗朗茨·罗伊斯在回忆录中写道：“这个安静的学生总在实验室待到深夜，用蒸汽机驱动各种翼型模型。有一次他制造的‘扑翼机’掀翻了半间实验室，

而他却兴奋地大喊‘我们离真相又近了一步！’”

从工程师到“空中飞人”

普法战争（1870～1871年）爆发后，李林塔尔被迫中断研究，应征入伍。战友回忆道：“他沉默寡言，但只要谈起飞行，眼睛就会发光。”战地医院护士艾玛·赫兹在日记中记录：“那个年轻的机械师伤员，总在绷带上画满奇怪的翅膀。他说要设计一种‘飞行观察哨’，让士兵们不用再冒着枪火侦查。”战后发现的军方档案显示，李林塔尔确实向总参谋部提交过《可操纵军用飞行器方案》，但被批注为“不切实际的幻想”。

战争结束后的1885年，李林塔尔创办了安克拉姆机械公司，生产蒸汽发动机和航海信号灯，公司赚取的利润也作为了他的“飞行研究基金”。柏林商业档案馆数据显示，该公司1890年利润的62%（约4.9万马克）用于航空实验。他为克虏伯公司设计的“飞行广告”滑翔机，在1894年柏林博览会上引起轰动——机身悬挂的30米丝绸横幅，正是用公司生产的最优质缝纫机缝制。商业上的成功为李林塔尔积累了研究资金，但也让他陷入两难：

是继续安稳地生活，还是追逐危险的梦想？

1889年，41岁的李林塔尔作出选择，继续飞行实验研究。也就在这一年，他出版了《作为航空基础的鸟类飞行》，系统阐述了翼型空气动力学原理。书中一个结论轰动学界：人类无需模仿鸟类扑翼，固定翼滑翔才是可行的方案。

为了验证这一理论，李林塔尔与弟弟在柏林郊外建造了一座人工山丘。他们用矿渣堆出15米高的“飞行山”，顶部设有木质跳台。1891年夏天，李林塔尔身披柳条骨架和棉布机翼的滑翔机，从山巅一跃而起，实现了人类首次可控滑翔飞行。

此后的五年里，李林塔尔成为了真正的“空中飞人”。他设计了18种滑翔机，包括单翼、双翼甚至可折叠翼型。最著名的“标准滑翔机”采用蝙蝠翼造型，飞行员需用腰部力量控制重心。他先后进行了2000余次试飞，每一次都是生死赌博：1893年一次着陆时，他撞上栅栏，肋骨断裂；次年又因侧风失控，险些坠入湖泊……

李林塔尔还开创性地用摄影记录飞行，弟弟古斯塔夫拍摄的数百张照片成为了珍贵史料，其中有一张被莱特兄弟钉在工作室墙上，旁注：“像他一样精确。”

陨落的星辰与不灭的火种

1896年8月9日黄昏，柏林郊外的施特伦镇笼罩在金色的余晖中，当天风速骤增至10米/秒，远超安全阈值，但李林塔尔坚持试飞新设计的尾翼控制系统。于是，他再一次站上那座用矿渣堆砌的“飞行山”，紧了紧滑翔机上磨损的麻布翼膜，对助手轻声说：“今天的风有些调皮，但正适合测试新尾翼。”话音刚落，他纵身跃入气流。

15秒后，一阵突如其来的侧风撕裂了左翼骨架，滑翔机在30米高度失速旋转，李林塔尔试图调整姿态，却因机身断裂直坠地面。在夏里特医院的最后时刻，李林塔尔断续的遗言被记录为：“数据……交给古斯塔夫……系数0.55……牺牲……值得……”他的生命定格在了48岁。

李林塔尔的死震惊世界。《柏林日报》头版写道：“我们失去了一位用翅膀思考的天才”；沙皇尼古拉二世给予悼词：“他教会了钢铁如何亲吻云朵”；美国史密森尼学会则降半旗致哀——这是该机构首次为外国科学家举行哀悼仪式。

但他的遗志仍在延续：英国人珀西·皮尔彻受其启发，为滑翔机加装可动尾翼和起落架；莱特兄弟通



▲ 奥托·李林塔尔于1895年的滑翔试验

过研究他的著作，解决了飞行控制难题。1903年12月17日，当“飞行一号”在基蒂霍克腾空而起时，奥维尔·莱特对威尔伯·莱特说：“李林塔尔先生一定在天上看着我们。”

2011年，空客A380总设计师查尔斯·尚普兰在《自然》杂志撰文指出：“A380机翼的弯度分布曲线，与李林塔尔1893年绘制的‘理想翼型’高度吻合。”更惊人的是，NASA在火星无人机“机智号”的设计中，同样参考了李林塔尔关于“低密度大气中翼展效率”的研究笔记。

今天，德国利希特费尔德公园的“飞行山”遗址矗立着一座青铜纪念碑，铭文引自李林塔尔的日记：“发明飞行器不算难，制造它稍难些，而最难的——是驾驭它。”每年8月，世界各地的滑翔爱好者在此放飞纸鸢，向“滑翔机之父”致敬。

李林塔尔用一生证明，伟大的进步从来不是偶然，而是无数失败与牺牲的必然。恰如他笔下对信天翁的描述：“它并非不知风暴可怖，却依然选择与雷霆共舞。”■

对国产运输机设计研制的探索

文 | 汪亚卫

运 7 开中国支线运输机之先河

仿制苏联安-2 运输机的运 5 成功之后,1966 年,国家要求航空工业研制支线运输机,以满足客运和货运的要求,并确定引进苏联安-24 运输机样机和技术资料,开始测绘仿制国产运 7 运输机。这个任务下达给西安飞机设计研究所和西安飞机厂,飞机设计领导小组组长是西安飞机厂总工程师李溪溥,副组长是西安所副所长兼总设计师徐舜寿。

研制运 7 之初,徐舜寿提出,第一步要以测绘仿制安-24 客机为主,更改要慎重,要先进行试验。但后来有人以急需军用运输机为由,按伞兵型运输机要求,在原准机身腹部开了一个向下打开的舱门,导致飞机强度难以保证。1969 年 11 月,上级要求,运 7 按安-24 客机原样测绘发图。在经过迂回曲折后,重新回到徐舜寿当初提出的起点。西安飞机厂在运 7 试制制造中采用了许多新工艺和新技术,如飞机整体壁板、喷丸成形、钛合成形、整体油箱等。运 7 飞机的所有材料和机载设备全部立足于国内。1970 年 12 月 25 日,首架国产运 7 首飞成功,

中国有了自己的涡桨支线运输机。1972 年,西安飞机厂开始单独承担运 7 飞机后续机型的试制工作,先后换装了涡桨 5A-1 发动机,补充了飞机静力试验,完成了单发起降试飞。1982 年 7 月,运 7 飞机设计定型,开始批量生产。

运 10 大型客机研制终未完成

运 10 飞机大型客机的设计研制启动于 1970 年 8 月,该机的定位是载客 148~178 人,采用涡扇发动机,最大起飞重量 110 吨,航程 6400 千米,达到当时国际先进水平。为设计研制该机,在全国调集精兵强将,云集上海成立了上海飞机设计研究所(当时称 708 设计院),调飞行试验研究所所长熊焰担任行政负责人,西安飞机厂设计室副主任马凤山担任技术负责人。运 10 配装的发动机采用参照美制 JT3D-3B 设计的涡扇 8 发动机,前期由成都新都发动机厂完成参照设计并转入试制,1973 年转交给新建的上海航空发动机厂继续研制。

运 10 飞机总设计师马凤山最初曾考虑采用轰 6 改的设计方案,即在轰 6 基础上,参考“三叉

戟”客机机身,采用尾吊 3 台发动机。之后发现该方案难以达到使用要求,又改为了翼下吊挂 4 台发动机的布局。为设计运 10 飞机,设计研制团队开展了 171 项课题研究,编制了计算机程序 138 项,编写了各种技术手册 200 万字。1972 年,运 10 总体设计方案通过评审,1975 年完成设计发图,1974 年开始试制,1978 年完成全机静力试验。

运 10 研制在技术上取得了多方面的成果,包括首次采用了 FAR25 部适航条例进行设计,广泛应用计算机辅助飞机设计,采用了破损安全和安全寿命的设计方法,突破了机翼整体油箱和气密客舱等技术。运 10 飞机上选用的新成品占 70%,运 10 试制成功后,先后完成了全机静力试验以及多项地面模拟试验。1980 年 9 月 26 日,运 10 飞机在上海首飞成功,随后运 10 飞机在国内多地进行了试飞,曾成功飞赴拉萨、乌鲁木齐等地,表明飞机的稳定性良好,基本达到了设计要求。1985 年 2 月,由于种种原因,运 10 飞机和所用的涡扇 8 发动机的研制工作终止。运 10 飞机虽未成功,但为中国进军大飞机研制打下了一定的基础。



运 8 研制采用了“反设计”

1968 年底,国家决定参照苏联安-12 运输机,启动研制国产运 8 中程中型运输机,最初由西安飞机厂、西安飞机设计研究所等单位承担运 8 的设计试制工作。西安飞机厂马凤山曾担任飞机设计组组长,运 8 设计时并没有苏联的飞机设计资料,只有一架安-12 样机和随机技术说明,所以设计团队采用了“反设计”的方式来完成运 8 的设计工作。飞机配装的涡桨 6 发动机由西安发动机厂负责试制(1969 年又转至株洲发动机厂生产)。

1969 年 3 月,运 8 的测绘设计开始,设计工作没有照搬苏联安-12 飞机的设计,而且力图“把全世界所有运输机的优点都集中到运 8 飞机上来”,采用了多项改进和创新,如运 8 的机头罩采用了轰 6 的设计;尾炮系统、环控系统、空投空降系统、软油箱等都更改了安-12 的原设计;飞机的材料和机载设备都采用了国内产品。但是设计中的有些改进已经超出了当时中国航空工业的能力水平,为此后来又严格按样机进行了测绘和复查更改。1972 年,运 8 的测绘设计工作完成。

1972 年,上级决定,将运 8 运输机的试制工作从西安飞机厂

转到陕西汉中的陕飞厂继续完成试制和生产任务。运 8 的研制经历了飞机和发动机转地试制的不利影响。陕飞厂边建设、边试制,研制全线克服了重重困难。1974 年 12 月,运 8 先在阎良试飞成功,1975 年 12 月 29 日,由陕飞厂完成的第一架运 8 飞机在汉城中城固试飞成功。

运 8 装 4 台国产涡桨 6 发动机,飞机最大起飞重量 61 吨,最大航程 5620 千米,其货舱可运送 2 辆“解放”牌卡车或 1 架直升机,可运送 96 名士兵。飞机具有航程长、速度快和油耗低等特点。1976 年 9 月,运 8 完成了全机悬空静力试验。陕飞厂克服技术资

料缺乏、设计力量不足和新厂建设缺少条件等困难，以三线人艰苦奋斗的精神夺取了运8飞机试制的成功。1980年2月，运8飞机设计定型，开始批量生产。运8飞机的成功，为后来我国发展多型军用特种用途飞机提供了优质的飞机平台。

中德合作 MPC-75 支线飞机项目

1985年10月，在航空工业部的支持下，中国航空技术进出口总公司（简称中航技）与联邦德国MBB公司签署合作研制MPC-75支线飞机的协议，以西安飞机设计研究所为中方项目总设计单位，西飞为中方项目生产制造单位。1986年1月，中德双方联合启动了MPC-75支线飞机可行性研究工作。开展这一合作项目的目的是掌握现代民用飞机设计技术，学习德方先进的飞机设计、制造、适航、质量控制、市场销售、产品支援的技术。中方先后派出了多人参与MPC-75的技术转让工作，他们通过与联邦德国技术合作，学习并掌握了大量新知识和新技能，培养了一批技术骨干。通过中德MPC-75项目合作，中

国飞机设计师们更新了观念，学习了现代民机的先进设计研制技术。因此，该合作项目的开展对于中国民机技术发展有着重要的促进作用。

运8改进改型 取得突破

为了提高运8运输机的适用范围，陕飞提出将运8飞机改成气密型飞机。1986年，上级批准陕飞启动运8改进为气密型的研制工作。陕飞科技人员通过运动轨迹计算和反复试验，对运8的机身结构进行了加强设计，重新设计了飞机货舱门。通过气密大口框的设计，成功地将运8尾部两扇内开式大门改为一扇下开式大门。通过对飞机空调系统、环境控制系统进行重新设计，将飞机整个货舱改为了全气密舱。

1990年12月17日，运8气密型运8C首飞成功。运8C的成功，为运8运输机打开更广阔的应用前景。此后，民用货机型运8F研制成功并取得了适航证。1991年11月，运8运输机成功完成了从新疆赴阿联酋运载317只活羊的空中运输。运8飞机从单一机型逐步发展成十多种改型，

从单一装备空军发展成适用于各军兵种、多种特种飞机、民用运输、出口的“多面手”。

运7改进型 进入客运市场

为了使运7运输机能够顺利进入国内民航运输客运市场，从1980年起，西飞通过换装涡浆5A发动机，补充进行了飞机的静力试验，完成了运7飞机的单发起降试飞。1982年7月24日，运7飞机完成设计定型，交付使用。

为提高运7飞机作为客机使用的安全性、经济性和舒适性，1984年11月，西飞决定引进国外的民机通信、导航、雷达和客舱装饰等先进设备和技术，在香港对运7客机进行全面改装工作，包括机翼上加装翼梢小翼，改装飞机的电子设备、空调设备，增加失速告警系统，驾驶舱改为3人体制，载客增加到52人。改装后的运7-100客机可满足在复杂气象条件下起飞、航行和进场着陆的使用要求。这是中国民用飞机在技术上的一次大胆且成功的尝试。1985年8月，运7-100在香港完成改装，经过适航试飞验证，中国民用航空总局于1986

年1月向运7-100客机颁发了适航证，运7系列飞机开始批量进入国内民航客运市场。此后，运7系列客机一度成为国内最大的民航客机机队。同时，西飞将运7飞机改成了民用货机。除了供国内客货运输使用之外，运7飞机还在航空测绘、资源勘探和出口销售等方面取得了订单。

运12 取得适航证

哈尔滨飞机工业（集团）有限责任公司（简称哈飞）抓住国内外市场机遇，从1980年起，自筹资金，在运11轻型飞机的基础上研制了新一代多用途轻型运输机运12。运12选装了两台加拿大PT6A涡浆发动机，全面采用国际通用适航标准进行设计和研制，增加了国内民机从未做过的电磁兼容、发动机吸雨、燃油系统热气候等专项试验，全面提升了飞机设计的水平。1982年7月14日，运12首飞成功。此后，运12发展了客运型，也在香港进行了改装工作，换装了空调、座椅、内装饰等设备，1985年12月，运12I型飞机获得了中国民航的型号合格证，这是中国民用飞机获得

的第一个型号合格证。

运12飞机从研制开始，就采用美国联邦航空条例作为设计规范，其飞机适航水平居于国内领先水平。为使运12II型飞机进军国际市场，该机于1990年6月获得英国民用航空局(CAA)适航证。1992年，按照美国最新的适航条例，运12再次改型，增加了剪切翼尖、后行李舱门，改善了液压、电源、防除冰和辅助操纵等系统，使飞机安全性、可靠性明显提高。1995年3月，运12IV型飞机取得了美国联邦航空管理局(FAA)颁发的型号合格证，这是中国第一种取得国际权威适航证的民用飞机。运12系列飞机累计交付200多架，成功出口到世界30多个国家，总出口量超过100架。运12在适航取证和商业成功方面为中国民机树立了榜样。

对大型客机研制工作的探索

1985年运10客机下马后，中国开始通过国际合作发展大型客机。1985年3月，上海航空工业公司与美国麦道公司签订协议，在上海组装生产了MD82大型客机，此后又组装生产了MD83客机，使上海飞机制造厂在大型客

机的装配、生产和质量保证等方面逐步达到了国际水平。

此后，中国启动了国产干线飞机项目，并同时向波音、空客和麦道等公司发出了联合研制的邀请。1992年，中方与美国麦道公司签订协议，在MD90基础上合作发展中国的干线客机，并确定由上飞、西飞、成飞、沈飞按分工完成干线客机的机体制造。1996年12月15日，波音公司兼并了麦道公司，中国干线客机研制宣告中止。

1993年，航空工业总公司组织专家进行调研后认为：通过国际合作研制100座级的AE100民用客机，市场上有需求，技术难度适中，贴近中国航空工业的实力，也有利于从研制阶段开始，掌握现代民机的设计技术、试验技术和项目管理技术，走完中国民机研制的全过程。1993年起，中国航空工业总公司提出通过国际合作研制100座级的AE100喷气式客机。1998年6月，中国采取国际合作的100座级的AE100喷气式客机项目停止。■



B-605Y

中国国际航空公司 AIR CHINA

AIR CHINA 中国国际航空公司 B-652D

黑龙江机场公司

民航-A3549

图 | 方全