



LEAP

LEAP 万众瞩目

搭载 LEAP 发动机的飞机实现了更高的可利用率。这意味着更少的备用飞机和更多的航班，由此助您获得更高利润。这也正是您青睐 LEAP 的又一理由。我们只用事实说话。

cfmaeroengines.com

资产利用率高达 92%

领袖绝非天生，
而系铸成。

113

大飞机 JETLINER

未来飞机

- “大型飞机重大专项”论证专家组组长李未：用三倍于常人的努力去工作 & 学习
- 商用飞机的技术流变
- 抢占绿色航空发展新赛道



大飞机 JETLINER

November

2023.11 | 总第113期

ISSN 2095-3399



2023.11



图 | 徐炳南



05 卷首语

05 商用飞机看得见的未来 | 欧阳亮

06 资讯

08 封面文章

08 商用飞机的技术流变 | 张涛

15 未来飞机的新动力 | 张晓东 宋寒冰

19 新一代超声速客机如何重返蓝天 | 林榕婷

24 人工智能技术对民用飞机产业影响初探 | 李博

28 航空制造

28 抢占绿色航空发展新赛道 | 海鹭

32 运输业回暖带动制造业加速复苏 | 杜婷

37 俄罗斯国产替代计划初见成效 | 董帼雄

42 航空运输

42 黑天鹅事件对民航的影响 | 占芬 尤怀墨 王涵

50 民航业加快数字化转型 | 王双武

54 航司赢得第一桶“碳收益”：基于机票碳标识的民航旅客碳普惠 | 顾晏 顾胜勤

58 人物

58 “大型飞机重大专项”论证专家组组长李未：用三倍于常人的努力去工作与学习 | 水木

62 科普

62 说说飞机的机外灯光 | 步恒祚

68 专题

68 亚洲最大专业货运机场鄂州花湖机场 梦想照进现实 距离世界更近 | 文夷

广告索引

49 Ameco

67 中国二重万航模锻

封底 CFM



▼ 本期导读

今年是飞机发明 120 周年。120 年前的 12 月 17 日，莱特兄弟首次试飞了完全受控、依靠自身动力、机身比空气重、持续滞空不落地的飞机，即世界上第一架飞机“飞行者一号”。120 年间，飞机这一人类征服蓝天的工具，飞得越来越高，越来越快，也发展得越来越安全，越来越复杂。

今天，在传统的安全性、经济性、环保性、舒适性等追求之外，又增加了对智能化的追求。可以预见，在以智能为核心的“第四次工业革命”的引领下，商用飞机也面临着“大变身”，其气动外形、结构材料及系统控制等方面都将出现极大的变化。



- 关注我们 -
FOLLOW US

本刊声明：

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

大飞机

2023 年第 11 期 | 总第 113 期 | 11 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 周新民
副主任 谭万庚
委员 吴永良 魏应彪 张玉金 沈波 戚学锋
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
总编辑 王刚
副总经理 徐显辉

总编室

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 郑小芳
美术编辑 卢之萍 刘晓雨 刘伟

采访部

记者 李欣阳 李琰 赵婷婷 阳庭庭
摄影记者 管超 王脊梁 颜康植 张竞霄

商务部

广告总监 吴崧 021-20887110
发行主管 谭路 021-20887186

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 远闻（上海）律师事务所

卷首语

商用飞机看得见的未来

文 | 欧阳亮



笔者相信，在看得见的未来，我们将坐上更安全、更经济、更环保、更舒适、更智能的商用飞机，这一天不会太远！

今年是飞机发明 120 周年。120 年前的 12 月 17 日，莱特兄弟首次试飞了完全受控、依靠自身动力、机身比空气重、持续滞空不落地的飞机，即世界上第一架飞机“飞行者一号”。120 年间，飞机这一人类征服蓝天的工具，飞得越来越高，越来越快，也发展得越来越安全，越来越复杂，已经成为人类高科技的“集大成者”之一，被称为“现代工业的皇冠”。

在“第四次工业革命”的今天，以智能为核心的各种新技术层出不穷，商用飞机也面临着“大变身”。

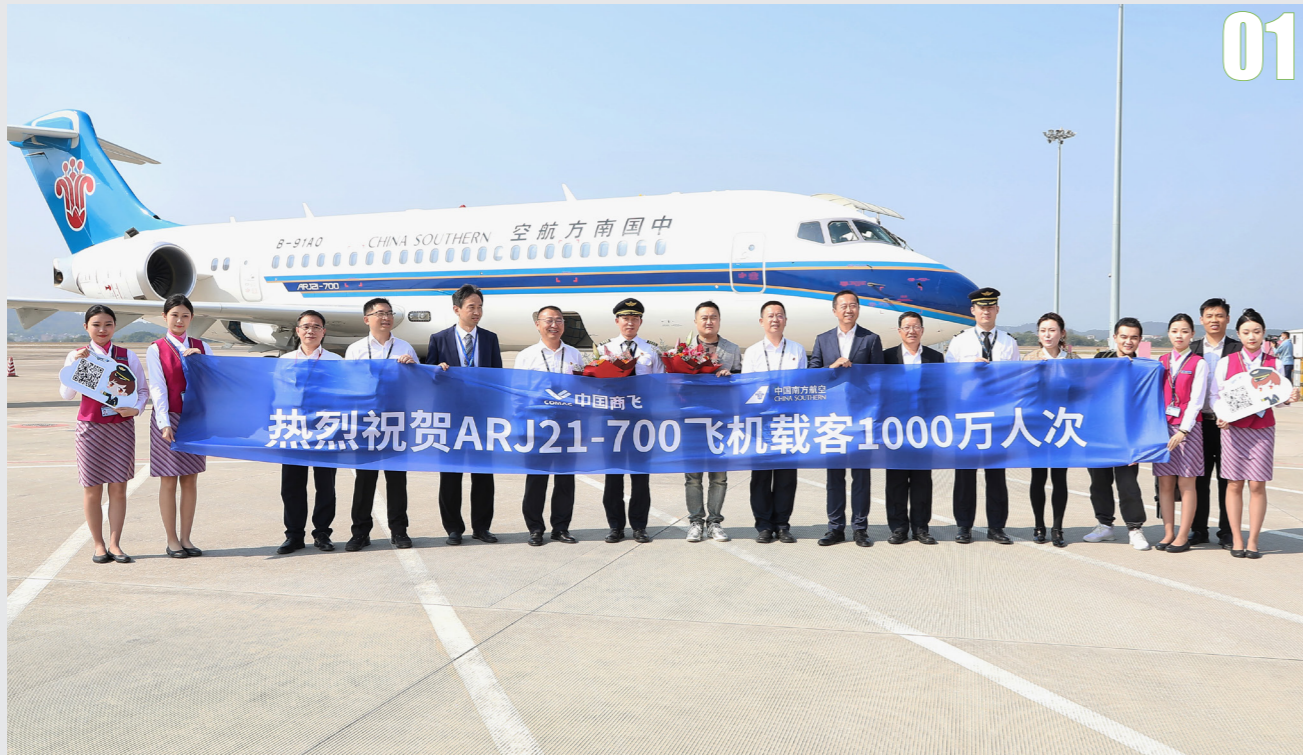
首先是气动构型。飞机诞生之后，其气动构型基本延续“圆筒机身加翅膀”的格局。虽然在发展的早期“翅膀”的数量有所变化，出现了三翼机、双翼机，并最终基本统一于单翼机，但“圆筒机身加翅膀”的格局基本未曾改变。20 世纪 60 年代，航空发达国家出现了翼身融合体的设想，到 90 年代，麦道开始研究翼身融合布局。之后随着麦道并入波音，波音在这个领域加大了投入，同 NASA 合作推出了 X-48 项目。空客也不甘落后，于 2019 年首次试飞了自己的翼身融合布局飞机项目——Maveric 概念机。

其次是材料。材料方面的进步不如气动构型那么显眼，但其实变化更为剧烈。早期的飞机材料是木材和布，一战结束后出现的第一种专用旅客机容克 F13，才实现了向全金属结构制造飞机的跨越。20 世纪 50 年代，英国喷气式客机“慧星”以灾难形式向人类提出了金属疲劳问题，引起全球航空界对飞机安全寿命的高度重视。现在，第三代铝锂合金、碳纤维等材料越来越多地用在飞机上，波音 787 和空客 A350 应用的复合材料重量分别占到了机体结构重量的 50% 和 53%。

再次是动力。莱特兄弟的“飞行者一号”使用的是一台 12 马力的活塞式发动机。1953 年，世界上第一款采用涡轮螺旋桨发动机的客机“子爵”号投入商业运营。搭载涡桨发动机的飞机，飞行速度比采用活塞发动机的飞机更快，与使用涡扇发动机的喷气式客机相比，又具有更好的燃油经济性。不过，涡桨飞机速度还是慢，因此现在大部分客机都采用了涡扇发动机。今天，航空动力系统又迎来革命性的变化，全电飞机、混合动力飞机、氢动力飞机等概念相继提出并不断试验，而可持续航空燃料已在部分航线上投入商业运营。

第四是智能驾驶。目前，汽车行业的智能驾驶技术正一日千里地向前迈进，航空领域自然也不甘落后。在各国政策的引导下，各主制造商都在研究在机载自主飞行控制系统中融入人工智能技术，为飞行员提供帮助，甚至减轻飞行员的工作量，有关裁撤副驾的报道也不时见诸报端。

笔者相信，在看得见的未来，我们将坐上更安全、更经济、更环保、更舒适、更智能的商用飞机，这一天不会太远！



01

01 ARJ21 飞机载客突破 1000 万人次

11月24日，在从广州飞往揭阳的中国南方航空CZ3892航班上，ARJ21飞机迎来了第1000万名乘客。1000万人次的载客运输量，标志着这一机型趋于成熟。



02

02 2023 年中国商飞客户大会在贵阳举行

11月23日，以“筑梦新阶段、携手再出发”为主题的2023年中国商飞客户大会在贵阳举行。来自政府部门、金融机构、航空公司、租赁公司、机场集团、科研院校、合作伙伴和中国商飞公司的300余名领导专家齐聚一堂，共商航空产业合作发展大计，畅谈大飞机事业美好未来。



03

03 空客前三季度营收 426 亿欧元

空客2023年前三季度营收426亿欧元，同比增长12%。其中，总部及商用飞机营收315.07亿欧元，同比增长18%，反映出空客交付数量的增加。空客前三季度净利润为23.32亿欧元，同比减少9%。

04 波音 10 月交付飞机 34 架

10月，波音商用飞机项目共获得订单123架（111架737 MAX、2架777货机、4架787-9和6架787-10），共交付飞机34架（18架737 MAX、1架737军用衍生机、3架767-300货机、3架767军用衍生机、3架777货机、3架787-9和3架787-10）。截至10月底，波音商用飞机项目储备订单为5239架。

05 A220 有望 2025 年后实现盈亏平衡

空客预计，A220有望2025年后实现盈亏平衡（并非重大调整），并重申不会即刻推出加长型A220-500。2023年1~10月，空客共交付50架A220；2022年全年交付53架。截至2023年10月底，A220有523架储备订单。

06 波音公布 777-9 审定试飞计划安排

波音民机集团总裁 Stan Deal 表示，波音已解决所有设计和系统安全保证问题，777-9即将获得FAA签发的型号检查核准书（TIA），进入审定试飞阶段。777-9已累计试飞1100多次，飞行时间约3200小时。

07 巴航工业第三季度共交付 43 架飞机

巴航工业第三季度共交付43架飞机（15架商用飞机和28架公务机），同比增长30%；营收12.84亿美元，同比增长38%，环比持平。截至第三季度，巴航工业储备订单价值达到178亿美元，为一年来的最高水平。

08 E190-E2 和 E195-E2 获新加坡民航局型号认证

近日，巴航工业E190-E2和E195-E2获得新加坡民航局（CAAS）的型号认证。新加坡航空的低成本子公司酷航将从2024年开始运营E190-E2。E190-E2和E195-E2分别于2018年和2019年获得FAA、EASA和巴西国家航空管理局（ANAC）的认证。

09 罗罗完成 100% SAF 测试计划

11月14日，罗罗宣布，已完成其所有在产民用航空发动机的100% SAF兼容性测试。测试包括各种地面和飞行测试，均证实使用100% SAF不会影响罗罗发动机的性能。

10 北斗系统可全球民航通用

日前，包含北斗卫星导航系统标准和建议措施的《国际民用航空公约》附件10最新修订版正式生效。这标志着北斗系统正式加入国际民航组织（ICAO）标准，成为全球民航通用的卫星导航系统。

11 FAA 批准 737MAX10 进行认证飞行测试

11月22日，波音宣布，FAA已批准对波音737MAX10进行认证飞行测试。这是此款飞机准备投入商业运营的一个重要里程碑。



10

商用飞机的技术流变

文 | 张涛

自 20 世纪初被发明出来后，飞机所涉及的各种技术就不停地在向前迭代发展。今天，在传统的安全性、经济性、环保性、舒适性等追求之外，又增加了对智能化的追求。可以预见，技术的进步将在现有的基础上进一步给飞机的气动外形、结构材料及系统控制等方面带来极大的变化。

图 | hispaviacion.es



商用飞机发展简史

早期的飞机制造商普遍采用木结构和布蒙皮制造飞机，直到 1919 年首飞的第一种专用旅客机容克 F13，才实现了向全金属结构制造飞机的跨越，提高了飞机的寿命和舒适性。1933 年首飞的波音 247 飞机采用全金属硬壳式流线型机身及可收放式起落架及应力蒙皮技术，使得飞机的结构更轻、强度更强、气动效率更高。

20 世纪 30 年代中期，波音积极响应主流航空公司对增压客舱、高空飞行的需求，开发了波音 307 平流层客机，全机蒙皮采用气密式设计，能够在 20000 英尺（6096 米）高空进行横跨大陆的巡航飞行，使其能避开恶劣天气和山区干扰。随后气密式增压客舱成为商用飞机上的一项基本配置。

但随着客机飞行高度的增加，客舱压力更高，以及飞机使用次数的增加，早期的客机制造商遇到了飞机结构疲劳问题。英国“彗星”号喷气客机发生机毁人亡的事故后，金属疲劳问题逐渐受到重视。

20 世纪 50 年代，欧洲各国提出了安全寿命原则，通过计算确定飞机安全寿命和使用寿命，如今对于一些关键的飞机结构部件，例如起落架，还是按照安全寿命设计。20 世纪 60 年代，美国在飞机设计上提出破损安全原则，20 世纪

70 年代，又提出了损伤容限设计原则，即假定飞机结构存在初始损伤，然后根据分析和试验确定飞机的检修周期。

在动力方面，早期的商用飞机采用活塞式发动机，在喷气式发动机广泛采用之前，涡桨发动机作为过渡方案，具有更好的效率、可靠性和动力。因为有低油耗的优势，现在仍有大量的支线客机采用涡桨发动机作为动力方案，例如 ATR-72 系列飞机、我国的新舟系列飞机等。但涡桨飞机的速度太慢，因此在干线飞机市场上很快被喷气式飞机挤出，同时被挤出的还有采用活塞式发动机的大型客机。波音公司的波音 367-80（波音 707 的前身）喷气式飞机奠定了今天广泛使用的涡扇发动机飞机的基本构型。

随着喷气式客机速度的不断增加，飞机达到临界马赫数时会出现一系列的复杂气动现象，包括“马赫下俯”，即飞机接近声速时气动焦点急剧后移，导致机头下俯，以及抖振和升降舵效率降低。为了解决这些问题，设计师引入了一些新的装置，例如全动平尾。其他一些措施还包括更薄、弧度更小的翼型和后掠机翼，其中机翼后掠使得喷气式客机可以在更高的速度下巡航，因为后掠角减小了弦向来流速度，延缓了激波出现和阻力激增。但过大的后掠角导致翼尖容易失速，会影响飞行安全。超临界机翼在此背景下应运而生。它是一种为增大阻力发散马赫数而专门设计的特殊

翼型，能够使机翼在接近声速时推迟发生阻力剧增的现象，空客 A300 在 1972 年即采用超临界机翼，目前超临界机翼已成为商用飞机的一项基本设计。

机翼上还有一项革命是翼梢小翼。翼梢小翼的概念最早可以上溯到 19 世纪，但一直停留在图纸上，直到 20 世纪 70 年代初油价开始高涨时，才真正受到关注。20 世纪 80 年代翼梢小翼正式应用于商用飞机，带来的好处包括改善了飞行方向的稳定性、降低了起飞噪声、增加了航程等。

采用翼梢小翼技术，一架波音 737-800 飞机一年大约可节省燃油 13 万加仑（约 492 吨）。2000 年以来，制造商追求更高燃油效率飞机的努力推动了具有巨大节油潜力的层流技术的不断进步。波音在 787-9 飞机的平尾和垂尾上使用了混合层流控制系统，在发动机整流罩、737MAX 的翼梢小翼和短舱上采用了自然层流控制技术。

材料方面，在 20 世纪的绝大部分时间里，铝合金是飞机结构的主要材料。但是 20 世纪 80 年代以后，碳纤维复合材料开始成为飞机结构的材料。复合材料以其优异的轻质、高强、耐久等特性受到众多飞机制造商的青睐，也从整流罩和舵面上的小范围应用逐渐扩展到了飞机主结构上，波音 787 飞机和空客 A350 飞机应用的复合材料重量分别占机体结构重量的 50% 和 53%。然而，复合材料目前的成本还较铝合金昂贵，并且复合材料还面临损伤探测和修复的技术挑战。

系统控制方面，20 世纪 60 年代，随着第一代喷气式宽体客机的出现，飞控技术上升到了新的高度。洛克希德公司的三星 L-1011 飞机采用直接升力控制（DLC）系统，这是第一款采用数字式自动驾驶仪的宽体客机。自动驾驶仪和 DLC 系统的结合使得 L-1011 具备了实施三类盲降标准着陆的能力。L-1011 还采用了主动控制系统增加飞机的稳定性。



▲ NASA 的桁架支撑翼布局

后来，电传飞控系统（FBW）的使用在减轻飞机重量和线缆连接复杂性的同时，通过机载计算机控制飞机在飞行包线范围内运动，改善了飞机的操纵特性、减轻了飞行员负担。“协和”号超声速客机首次采用电信号传输、模拟控制的电传飞控系统，A320 飞机首次采用了数字电传飞控系统。在航电方面，自从 1995 年霍尼韦尔开发了波音 777 的信息管理系统 AIMS，被认为是第一代 IMA（Integrated Modular Avionics, 综合模块化航电）架构，到后续的空客 A380 飞机和波音 787 飞机，IMA 技术达到了一个前所未有的水平，也预示了未来航电技术的发展趋势。

超越“圆筒机身加翅膀”构型

“圆筒机身加翅膀”的成熟构型已经统治商用飞机领域近 100 年，如今，受激进的环境指标驱动，传统的构型布局已经不能满足这些指标。这种背景下，包括翼身融合 / 混合翼、双气泡机身、盒式机翼布局、支撑翼布局的概念被提出，其中翼身融合体以及桁架支撑翼布局最

受到关注。

麦道公司在 20 世纪 90 年代初开始研究翼身融合布局，以确定这种新构型是否能够比传统的后掠翼、流线型“圆筒机身加翅膀”的设计带来显著的优势。波音在合并麦道公司后，同 NASA 合作继续翼身融合布局的研究，提出了一种 450 座级翼身融合布局的概念方案。该方案将翼展限制为 260 英尺，上层搭载乘客，下层用于载货，相比 A380 客机，每座乘客的耗油量降低了 32%。后续的研究项目被命名为 X-48，相继推出了 X-48B 和 X-48C 两种缩比验证机，对低噪声设计及稳定性控制方面开展了飞行测试。2017 年，空客首次启动了翼身融合布局飞机项目——Maveric，并于 2019 年首次试飞了 Maveric 概念机。

混合翼身融合布局是翼身融合布局走向实际应用过程中妥协的产物，主要面向 450 座级以下民机。其显著特征，或者说与翼身融合布局的差异，主要体现在中央机体加长、机翼—机身的融合过渡更快、机身宽度减小、机身轮廓更加明显等方面，它保留了翼身融合布局的众多设计特点和气动优势，同时也降低了设计难度，更注重飞机的综合性能（安全性、经济性、环保性、舒适性）和可实现性。近年来，国内外披露的翼身融合布局方案大都应用了混合翼身融合设计思想，体现了国内外对技术瓶颈认识 and 解决途径的一致性。

对运输类飞机来说，增大展弦比是降低诱导阻力、提高巡航气动效率的有效途径。然而，常规布局客机在增大展弦比的同时要为保证结构刚度付出很大的结构重量代价。支撑翼（Strut-Braced Wing, SBW）布局形式是在机翼下方加一根支撑杆来承受外部机翼大部分载荷，使得内侧机翼载荷降低，从而带来结构

▲ NASA 的混合翼身融合布局图 | NASA



重量收益。SBW 还发展出一种桁架支撑翼 (Truss-Braced Wing, TBW) 即在支撑杆与主翼之间再加支柱形成桁架结构。支撑翼布局已经成为新一代客机概念方案的备选。

超声速飞行的愿景

“协和”号超声速客机于 1976 年首次开始商业飞行，采用 S 形前缘的双三角翼布局，可变进气道技术控制激波，数字电传飞控改善起降阶段机头下垂导致的视野受限问题。对于协和号来说，噪声和声爆问题严重限制了其商业前景，因而它只在法国航空公司和英国航空公司短暂服役。继 2000 年法航一架“协和”号坠机以及 2001 年空中运输系统崩溃后（911 事件带来的影响），“协和”号于 2003 年退出了历史舞台。

进入 21 世纪后，特别是最近十年以来，世界主要航空强国提出了各种超声速商用飞机甚至高超声速飞机概念，并着手开展超声速商用飞机、发动机等领域关键技术攻关，开展适航标准的修订意见征集与研究。

2020 年 3 月，FAA 就修订超声速民机噪声适航规章征求各界意见建议。美国国家航空航天局 NASA 与洛克希德-马丁公司联合研制低声爆超声速验证机 X-59，该验证机预计 2023 年底实现首飞，2025 年该验证机声爆测试数据将提交 FAA 和国际民航组织 ICAO，为未来的超声速商用飞机声爆标准制订提供参考。同时，美国一些初创公司如 Aerion 公司、Boom 公司也正积极推动超声速商用飞机研发并取得了阶段性的进展。

实现超声速飞行的技术挑战主要来自低声爆的气动外形设计，结构重量的轻量化设计，高速气动加热带来的结构

热防护问题，细长机体构型的颤振问题，以及解决起降阶段机头下垂导致的飞行员视野受限的辅助起降等机载系统技术问题。

智能飞行概念兴起

随着人工智能技术在汽车等领域的应用，在商用飞机上的应用前景也越来越受到重视。以波音、空客为代表的领军企业正积极探索人工智能技术在航空领域的应用，实践了包括航空数据分析实验室、智慧天空平台、Analyt X 数据平台等“人工智能+航空业”融合应用。商用飞机为人工智能技术提供了广阔的应用场景，而智能飞行技术是其中最具行业特征并可能带来颠覆性变革的研发方向。智能飞行技术通过逐步提升航空器的智能 / 自主能力与内外协同能力，实现飞行驾驶中的职责转换与功能优化，重构未来飞行的人机交互模式与空域管理架构，与航空业发展趋势一脉相承。

智能飞行愿景分为辅助智能飞行 (L1)、增强智能飞行 (L2) 和完全智能飞行 (L3) 三个阶段。在要求最为严苛的 25 部运输类飞机上，现阶段从技术成熟度、适航符合性、飞行员和旅客接受度等方面看，L2 级别以上的智能飞行技术不具备应用条件。针对 25 部运输类飞机面临的实际问题，例如飞行员负担重、复杂场景决策难、人为错误无法避免、航迹优化不足以及飞行效率低等，辅助智能飞行具备可实施性。辅助智能飞行人（飞行员）为飞行过程的决策主体，一切智能化功能均围绕飞行员决策需求和操作需求开发，包含扩展现有自动驾驶能力的辅助驾驶技术和新增飞行员决策支持能力的决策辅助技术。

人工智能可信度以及如何证明，一

直是行业的焦点问题，尤其是在民机的适航体系中，需要通过正向分析证明技术的可靠性，有必要对智能飞行技术开展详细的适航可信性论证，以此向适航当局提供足够证据表明：采用智能飞行技术的软硬件设备能够在预期运行环境和使用限制下持续保持飞行安全性，通过有效的适航符合性验证方法建立公众对智能飞行技术安全性的信任。

在智能化技术与航空技术的融合过程中，将不可避免地对现有的舱内驾驶任务分配、交互方式、驾驶主导权等方面产生巨大的影响。无论从人为因素设计的评价维度上还是模型能力上，传统的默认标准范式都难以支撑应对智能化技术的引入而带来的对人为因素考量的全新挑战。人为因素考量的研究重心也逐渐转移到对情景意识、人机协同、人机信任、控制权接手等方面。如果无法系统地思考智能化技术引入带来的变革因素，将会极大地降低航空飞行的安全性。

全新动力革命

绿色航空的兴起，一方面是飞机制造商从原材料、生产工艺的角度不断推行绿色制造，另一方面如何使用更环保、更低排放的航空燃料也成为了制造商、航空公司等多方共同关心的话题。各种新能源飞机的方案也随之出现，主要有电推进和氢能两种方案。

电推进方案通常包括部分涡轮电、全涡轮电、混合电推进及全电推进。涡轮电或部分涡轮电系统将所有能量存储在燃料中，并将其中的全部或一部分转换成电能驱动推进器。波音在 NASA 的亚声速超绿色飞机研究 (SUGAR) 项目支持下，进行了大量的飞机构型研究，并采用了不同的技术构型。其中的构型之一是混合动力电推进飞机 SUGAR Freeze。该方案采用一系列先进技术，包括桁架支撑翼和边界层抽吸风扇。尾部风扇由固体氧化物燃料电池循环 (Topping Cycle) 供电，由带有超导

▼
空客带独立吊舱的氢能飞机概念
图 | 空客



电源管理系统的超导电机驱动。采用这些先进技术后，SUGAR Freeze 飞行 900 英里的能源消耗减少了 56%。

此外，NASA 提出的 N3-X 概念机，探索翼身融合体布局的全涡轮电和全分布式电推进系统相结合的新构型，与波音 777-200LR 机型相比燃油消耗减少 70%。其具有边界层抽吸风扇的涡轮分布式推进系统的贡献占 33%，翼身融合体结构占另外 14%，燃油节省效益的其余部分由其他先进技术贡献。波音 SUGAR Volt 设计采用并联混合电驱动概念，通过电池供电带动电机驱动风扇来增强巡航性能，采用先进的桁架支撑翼构型，与波音 737-800 基准飞机相比，在 1667km 的飞行距离上燃油和能源消耗减少 53%。

得益于电池技术的发展，以电能为唯一能量来源的全电飞机变得可能。空客集团响应“2050 航迹”（Flight path 2050）项目中提出的环保目标，完成了 E-Fan 电动飞机的设计。E-Fan 电动飞机装配 120 组锂聚合物电池，可飞行大约 1 小时，起飞速度为 110km/h，巡航速度为 160km/h，最大飞行速度为 220km/h。已于 2014 年 3 月完成了首飞，与传统飞行器相比，飞行状态下 CO₂ 排放量为 0，噪声和振动水平大幅降低。

与新能源汽车采用电动化的路线有所不同，航空领域对液体燃料的清洁化更为关注，目前的电池能量密度和电池重量还远达不到远程航线对能量供给的需求。氢气所产生的推力是航空煤油的 3 倍，但所释放的二氧化碳量为零，氮氧化物也为超低排放。

氢能飞机包括氢涡轮和氢燃料电池两种技术路线。2020 年 9 月，空客公司发布了 3 个名为 ZEROe 的氢能飞机概念：涡扇氢混合动力、涡桨氢混合动

力和翼身融合混合动力。其中，翼身融合飞机由两台氢燃料涡扇发动机提供动力，液氢储存和分配系统位于后增压舱，预计能搭载 120 ~ 200 名乘客，航程为 3700km；涡桨氢混合动力飞机的液氢储存和分配系统设计与第一种类似，只是换成了两台氢燃料涡桨发动机驱动六叶螺旋桨提供推力，搭载乘客 100 名左右，瞄准短程飞行市场；涡扇氢混合动力飞机的液氢储罐位于机翼下方，内部空间较为宽敞，主动力仍为两台氢燃料涡扇发动机。

2020 年 12 月，空客又公布了一种有 6 个独立推进吊舱的全新氢动力飞机构型，每个吊舱由独立的液氢储罐、冷却系统、燃料电池、电力电子装置、电动机、螺旋桨和其他必要的辅助设备组成。目前 ZEROe 项目还停留在概念演示阶段，根据先前的规划，预计在 2024 至 2025 年完成其氢能飞机的技术选择，并在之后的 5 年内完成小尺寸验证机研制，并启动全尺寸原型机研制工作，以确保在 2030 至 2035 年间，实现 100 座级以上氢动力客机的商业化。

尽管氢能源有着绿色环保的优点，但是还有一些亟待解决的技术难题。首先是储氢的问题，对于机场来说，如何低成本实现氢燃料的运输和存储，将直接影响到航空公司未来的运营。传统机翼油箱不适宜储存液氢燃料，对于飞机制造商来说，如果要采用氢能就需要引入全新的、革命性的机体设计思路，如翼身融合设计、箱式机翼结构等，以达到提高飞机内部空间结构利用率的目的。另外氢能飞机只有在达到同等甚至更高的适航安全标准后，才能真正投入商业运营。■

未来飞机的新动力

文 | 张晓东 宋寒冰

商用飞机动力系统的核心是航空燃气涡轮发动机，它是一种高度复杂和精密的热力机械，该系统不仅是飞机飞行的动力源泉，也是促进航空业发展的重要推动力。以 A350 飞机为例，人均能耗相较于 1954 年首飞的波音 707 飞机已经降低约 70%，燃油效率已提升了 80% 以上。全球航空制造商采用一切可行的技术在提高发动机的效率上持续进行优化和创新，从而使飞机的人均能耗大幅下降。

▼
NASA X-57 Maxwell 全电分布式推进飞机
图 | NASA



然而，出于近年来不断严苛的航空减排要求，全球航空业已将航空净零排放和碳中和作为未来发展的战略要求，而当前基于传统石化燃料的航空动力系统，其燃油效率平均每年提高不足 2%，要实现该目标的技术难度极大。因此发动机制造商需要突破传统动力构型，向分布式推进、全电推进、混合动力、氢能源动力等新型动力形式方向发展。这些新技术具有不同的优势和劣势，但都可以助力商用飞机实现更高效、更环保的飞行，预计未来将成为航空运输业的重要动力形式。

分布式推进系统： 可大幅降低油耗

分布式推进系统是指通过涡轮发电机或储能系统为分布在机翼或机身的多个电涵道风扇提供电力，并由电机驱动风扇提供绝大多数或全部推力的一种新型推进系统概念，分布式推进系统与飞行器的机体高度耦合设计，结合飞机的翼身融合布局和附面层吸入技术可进一步提高全机的升阻比和推功比，具有等效涵道比高、动力差可产生矢量动力、安全冗余度高、有利于实现能源与动力装置的解耦等优点。如果采用全电池技术，可大幅降低油耗，并减少噪声和排放。

分布式推进在传统飞行器如 X-57、翼身融合布局如 N3X，无人机甚至垂直起降飞行器如 Joby S2、Lilium jet 等项目上均表现出较高的应用前景。

分布式电推进对系统功率需求很大，电力系统技术是支撑分布式推进发展的重要基础，主要包括高性能电机技术、大容量功率变换器技术、大容量输配电技术、热管理 / 能量管理技术等。电力系统的架构对飞机的体积、重量乃至整体性能的影响较大。

全电推进飞机： 逐渐成为可能

在很长一段时间，全电动飞机被认为遥不可及，但随着近几年来电池技术的飞速发展，电动航空逐渐成为可能，其有着高效率、节能环保、响应速度更快、噪音更小等诸多优点。当今最好的锂电池组的能量密度为 250Wh/kg 左右，循环寿命为 1000 至 2000 次，充电时间为 45 分钟以上。随着固态电池的持续快速技术迭代，电池的能量密度在未来几年内有望会突破 400Wh/kg。

然而目前大部分纯锂电动力飞机的研究主要集中在短航时近程的应用场景上，对于长航时飞机而言，在能量密度上还存在瓶颈。即便目前全球性能最优的电池，能量密度依旧远低于化石燃料的 12.7kwh/kg。在旧金山到洛杉矶的航线上，一架 737 飞机一天最多需要往返 4 次，目前的锂电池技术还无法满足需求。未来即便是锂电池技术的进步可以将循环寿命提升至 4~8 个月，一架飞机在 20 年的全生命周期内也需要更换 50 多次电池，这对于航空公司来说是一笔巨大的成本。

另外锂电池内部储存了大量的能量，且含有不稳定的锂和可燃电解质。一旦发生故障，引起的火灾和爆炸将造成严重的后果。今后的研究，需考虑全电动飞机飞行的特殊环境和条件，并加大电池设计、系统管理、安全预警、火灾防控以及适航验证等方面的投入。

混合动力飞机： 串联与并联

混合动力系统一般由燃油和电池共同为飞机的动力和系统提供能量。按照燃油和电池的相互关系可分为串联架构和并

联架构。飞机制造商根据飞机在不同飞行阶段的动力需求，选择相应的架构和能量来源。

作为实践案例之一，空客、罗罗和西门子于 2017 年启动了 E-FanX 的混动飞机项目，该飞机采用 BAE-146 飞机作为验证平台，并将四台发动机中的一台替换成了 2MW 的电机。

在并联式架构中，发动机与电动机通过传动装置共同驱动螺旋桨。发动机在最佳工况点附近运行，电动机用来提供不足的功率，当发动机输出功率大于飞行所需时，电动机作为发电机运行吸收多余能量。这种系统效率较高，燃油消耗也较少。但由于发动机通过传动装置直接耦合到飞机螺旋桨驱动轴上，传动装置的存在限制了效率的进一步提高。

串联式架构最主要的特点是发动机不直接提供动力，只驱动发电机提供电能，此举实现了发动机与电动机的解耦，使得发动机能够始终在最佳工况点附近稳定运转，效率高、排放性能好，但电力传输损失较大，整体系统的重量代价也比较大。

氢动力飞机：预计 2035 年商用

氢能源是一种清洁的可再生能源，氢的能量密度约为 142MJ/kg，是标准航空燃料的 3 倍。同锂电池相比，液态氢燃料

电池系统的循环功率可达到 3000Wh/kg 以上，以及 15000 多次的循环寿命，并且在 20 分钟内即可加满燃料。航空业使用氢能源不但可以实现二氧化碳零排放，同时还能有效减少其他污染物的排放量，氢能源是航空脱碳的重要发展方向，具有广泛的应用前景。

空客近年宣布了其 Zeroe 氢能飞机的计划，以燃氢涡桨发动机 / 氢燃料电池、燃氢涡扇发动机、氢全涡轮电为动力形式，针对支线、干线、宽体飞机都提出了相应的规划，并预计氢动力飞机 2035 年将投入商用。

氢燃料在航空动力上有氢燃料电池和氢涡轮两种应用方式，氢燃料电池是通过氢气与空气中的氧气发生电化学反应产生电能，为电力驱动的螺旋桨提供动力，只留下水蒸气作为副产品。氢燃料电池具有能量转换效率高、能量密度大、零排放、低温运行及低噪音等优势；但受制于热管理系统设计水平低、以及燃料电池功重比低等限制，难以应用于中大型飞机。

要实现大型飞机在空中无需加油又能长时间飞行，更优的选择是在高性能的涡轮发动机上利用氢燃料替代传统的航空煤油，即氢涡轮发动机。即直接将液氢注入燃气轮机，在燃烧室中燃烧氢气，膨胀产生的推力推动涡扇或涡桨飞机，其航程可能是氢燃料电池动力飞机的两倍。

空客推出的三款氢燃料推进飞机
图 | 空客



- 燃氢涡桨发动机/氢燃料电池
- <100座级, <1000nm
- 传统气动布局



- 燃氢涡扇发动机
- 120~200座级, 2000+ nm
- 传统气动布局



- 液氢动力, 全电推进
- 200座级, 2000+ nm
- 翼身融合, 分布式BLI

表 1 | 氢与 Jet A-1 物理特性对比和影响评估

	JetA-1	氢LH ₂	影响评估
密度 (Kg/ M ³)	780-840 (标准大气压、20°C)	70.85 (液氢-253°) 40.85(70Mpa 加氢气氢) 0.089(标准大气压、氢气)	即便是液氢, 密度也不到燃油的1/10
质量能量密度(MJ/kg)	43.11	142.7	相同能量需求, 需要质量更少
体积能量密度(MJ/M ³)	31 240	10 110 (液氢)	相同能量需求, 体积是燃油的三倍
沸点 (°C)	167-266	-252	引起冻伤、氢沸腾、材料脆化等问题
可燃性限值 (%) :	0.6-4.7	4-75	氢气起火范围很宽, 但起火所需的浓度较高
最小点火能量 (毫 J)	0.25	0.02	极有可能发生氢火灾, 并伴有微弱火花
燃烧速度 (cm/s)	18	265-325	氢气着火会更快熄灭
浮力	—	比空气轻14倍, 以20m/s的速度上升	氢气扩散迅速
自燃温度 (°C)	210	585	更难点燃氢气
火热辐射分数	30%~40%	10%~20%	氢火的破坏性可能较小, 因为它们散发的热量较少

这两种动力形式均无 CO、CO₂、硫化合物和碳氢化合物排放。但氢涡轮的燃烧室温度较高, 相对传统发动机, 容易产生更多的氮氧化物和水蒸气等污染物排放。

从表 1 可以看出, 引入氢燃料作为航空动力将对飞机的设计和机场运营等各方面都带来巨大的改变。

第一, 对于飞机制造商来说, 由于氢燃料的体积能量密度低, 需要占用较大飞机的空间。另外储氢罐最优的形状是球形, 但飞机通常无法提供如此巨大的空间来布置, 可能需要加长机身或者设计专门的整流罩。

第二, 对于氢燃料的发动机制造商来说, 氢燃料比传统碳氢燃料的燃烧温度更高, 燃烧室涡轮的冷却机制需要重新设计, 同时也要开发新的材料和涂层, 且更高的温度会产生更多的氮氧化物排放。

第三, 氢燃料对机场的运输、储存、加注和安全等提出了巨大的挑战, 需要在基础设施进行持续的投资, 同时要不断完善适航规章。

最后, 氢燃料在未来的应用还取决于其能否实现大规模生产的要求, 以及能否有效降低制氢成本。

目前中国在可再生能源生产和电动汽车方面已处于世界领先地位。未来新的动力形式都离不开三电(电机、电控、电池)水平的限制。首先, 克服高能量密度、高功率密度、快速充电、长循环寿命和高安全性等多个方面的不平衡是发展新动力问题的关键。同时, 新的动力形式需要融合先进气动布局, 如边界层抽吸、桁架支撑翼、翼身融合、分布式推进技术, 降低能耗、噪声、排放, 这样才能满足未来绿色航空发展要求。■

新一代超声速客机如何重返蓝天

文 | 林榕婷

1960 年代, 美国民机迅速占据欧洲市场的大量份额, 欧洲无力迎接挑战, 决心发展速度更快的超声速客机, 占领未来市场。英国和法国政府联合出资 1.5 亿英镑, 于 1964 年启动研制协和飞机。为了与协和飞机竞争, 苏联几乎同期启动研制图 -144 客机。

1968 年底, 图 -144 首飞成功, 成为历史上第一款超声速客机。协和飞机紧跟其后, 于 1969 年初也成功首飞。图 -144 和协和飞机的问世, 正式开启了人类超声速旅行的新纪元。而后, 图 -144 载客运营了半年, 协和飞机更是成功商业运营达 27 年之久。

那么, 超声速客机有何特别之处? 又是由于什么原因遗憾退场? 如今, 时间过去将近半个世纪, 超声速客机是否有望重返蓝天? 为了回归, 新一代超声速客机又该作何改变?

协和飞机(左)与图-144(右)



协和飞机的辉煌与落幕

协和飞机以两倍声速的速度飞行，能轻松追上并超越地球自转。尽管票价高昂，但自从投入商业运营后，协和飞机便成为了诸多高端人士的中意之选。由巴黎或伦敦飞往纽约的航班在太阳落后起飞仍然可以在途中追上太阳，让乘客看到太阳从西边升起的奇观。所以搭乘协和飞机的旅客最喜欢说“我还没出发就已经到了”，英航的广告词就是“出发前到达”。

那么，以协和飞机为代表的老一代超声速客机，长相有何特别之处？为了突破声速，协和飞机的外形设计与常规的亚声速客机明显不同。与亚声速飞行不同，飞

机在超声速飞行时，会急剧压缩周围空气，这将在飞机周围产生一系列激波系，对飞行产生极大阻力。因此，为突破音障并降低阻力，协和飞机采用了S形的大后掠三角翼布局，机身细长且机鼻为尖头设计。在飞机起降阶段，机头可下偏，用于改善驾驶舱视野。

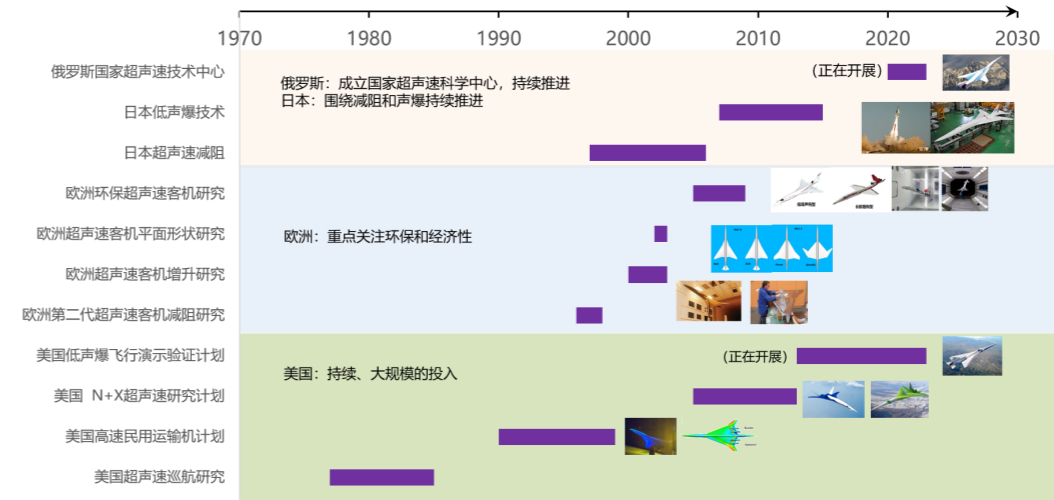
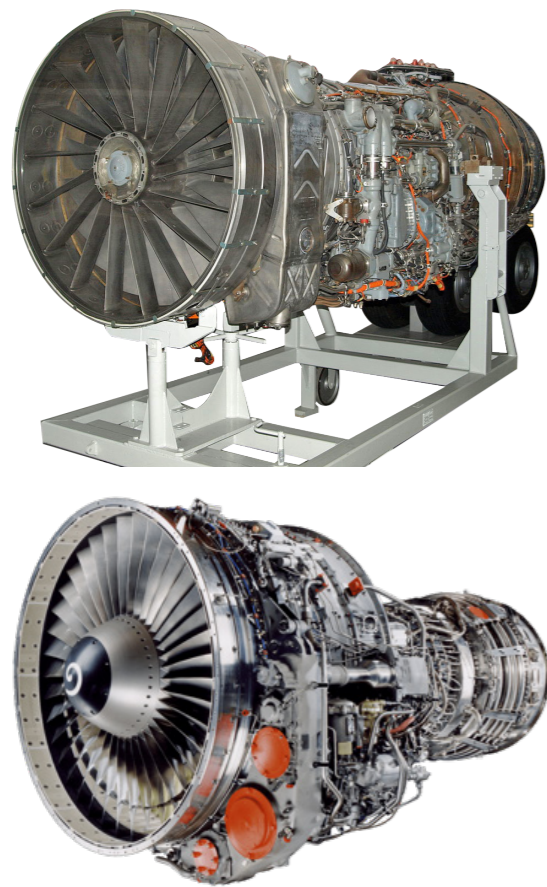
在动力系统方面，协和飞机的发动机要能够推动整机实现超声速飞行，要满足长时间超声速巡航状态，且满足紧凑的小轮廓发动机舱空间要求。因此，协和飞机配备了4台Olympus 593发动机。这是加力涡喷发动机，相比同时期的亚声速客机所采用的CFM56涡扇发动机，其耗油率较高，经济性能较差。

进气道是连接发动机与飞机机体的重要部件。与亚声速进气道不同的是，超声速进气道为适应较宽速度范围内的发动机进气需求，复杂度更高。从亚声速客机与协和飞机进气道的对比可以看到，亚声速客机采用的发动机进气道长度较短，整台发动机安装在机翼前缘线之前。协和飞机采用的是长度较长的二元矩形状的进气道，发动机与飞机机体的耦合更加紧密，发动机安装在机翼前缘线之后，利用机翼对气流的预先压缩，并减小迎风面积来降低飞行阻力，此外，协和飞机进气道还带有可调的斜板，用以改变进气道面积，以满足不同速度范围的进气要求。

为保证在宽速度范围内具有较高的推进性能，超声速飞机的发动机喷管需要能够调节喷管的面积。亚声速客机的发动机喷管为固定式喷管，其面积不可调整，出口速度相对较低，而协和飞机的喷管为收敛扩张型喷管，且面积可调，出口速度高。超声速客机可用的喷管还有带中心锥的塞式喷管、单边膨胀喷管等。

自1976年起，协和飞机安全飞行纪录长达25年之久，直至2000年7月25日。

▼ 协和飞机采用的Olympus 593发动机（上）
与同时期737-300用的CFM-56发动机（下）



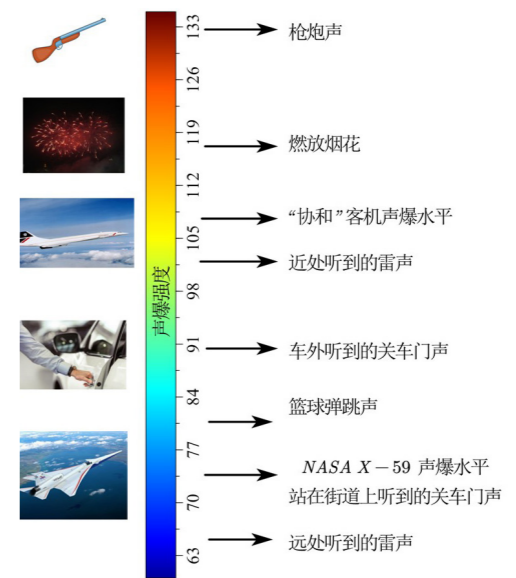
超声速客机研究从未停止

当日，法国航空4590号航班在巴黎戴高乐机场起飞时碾过了跑道上另一架美国大陆航空DC-10脱落的小铁条，造成爆胎，轮胎碎片击中机翼中的油箱引发大火并最终坠机，造成机上109人全部遇难。

在运营中，受上座率、油价、物价、运营成本等影响，协和飞机的机票价格逐年上涨。比如从巴黎到纽约航线，1982年是3900美元，2002年是8148美元。2000年的巴黎空难加上次年911事件的影响，使协和飞机的上座率雪上加霜。此外，受到1973年美国关于声爆的适航禁令影响，协和飞机无法在大陆上空超声速飞行。在诸多因素重重影响之下，协和飞机最终于2003年遗憾退役，第一代超声速客机所开启的超声速旅行时代也随之落幕。

超声速客机的回归

尽管协和飞机退出了历史舞台，但人类从未放弃超声速旅行的梦想。纵观全球市场，今天仍有大量超声速客机潜在航线，以从北京出发为例，到旧金山、伦敦等城市的跨洲飞行，乘坐超声速客机均能极大缩短旅行时间。根据美国超声速客机制造商Boom公司的预测，到2035年前后，超



声爆与一般声音的对比

声速客机的市场需求将超过1000架。近年来，国内外掀起了新一代超声速客机的研究热潮，美国、欧洲、日本、俄罗斯等国家均相继启动了一系列研究项目，旨在推动新一代绿色经济的超声速客机重返蓝天。

那么，新一代超声速客机需要作何改变？

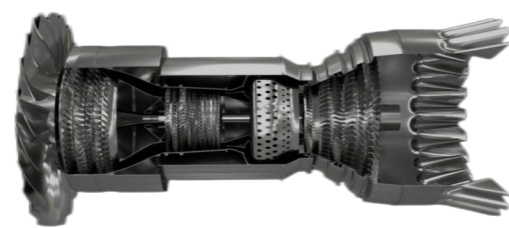
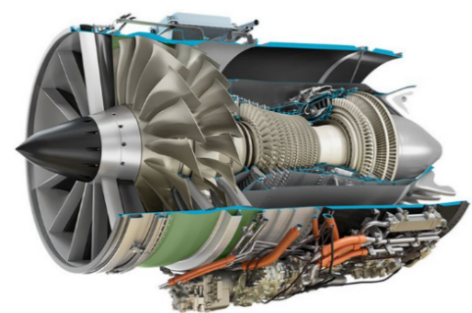
老一代超声速客机油耗大、噪声大且声爆强烈。为了重返蓝天，新一代超声速客机必须在追求气动性能的同时降低声爆，这无疑是巨大的挑战。那么，什么是声爆？声爆是超声速客机以超声速飞行时，地面上的人们听到的雷鸣般的巨响。这是飞机

周围复杂激波系由高空到达地面时引起的压力扰动，一般声爆影响区为 80 至 160 千米宽。1964 年，美国民航局曾开展了一项声爆影响测试试验，以测试地面上的人们对声爆的反应。结果，人们承受了半年的声爆，最高建筑玻璃被震碎 147 块，美国空管局接到了近一万起投诉。可见声爆对人们的正常生活危害极大，由此，FAA 出台了声爆禁令，禁止超声速客机在陆地上空以超声速飞行，这也是导致协和飞机等老一代超声速客机退出市场运营的重要原因之一。该禁令至今尚未解除。协和飞机的声爆约 110 P LdB，比近处打雷的声音还大。新一代超声速客机必须打破陆地禁飞令，才能真正重返蓝天，这就需要低声爆设计。

截至目前，超声速声爆适航标准仍未

制定。NASA N+X 代规划中制定的巡航阶段声爆水平需达到 65 至 70PLdB，而目前最先进的低声爆设计水平仅能达到 80 至 85PLdB。机体周围复杂的激波系从高空传至地面，受到飞机操作、大气风力等诸多因素影响而非线性扭曲汇聚，这给低声爆设计造成了很大难题，需通过外形的优化设计控制激波系形态，进而控制地面声爆强度。目前，国内外所公开的低声爆的超声速飞机外形具有显著特点，在沿用老一代超声速客机大后掠翼设计的基础上，采用了箭型翼、低声爆修型设计过的机身，加大机翼机身融合程度，采用鸭式布局或 T 尾和 V 尾布局以调控机体激波系作将发动机安装在机翼上方，加装静音锥等，从而降低声爆。

非低声爆外形与低声爆外形对比



▲ 新一代超声速客机发动机典型代表
Affinity 发动机 (左) Symphony 发动机 (右)



▲ 超声速客机可用的新型进气道

▲ 新一代超声速客机发动机布局型式

新一代的超声速客机需要同时兼顾低阻与低声爆性能，并兼顾结构、系统等多学科要求。除了在外形方面做低声爆设计的改变外，在动力系统方面也在寻求变革。为满足新一代绿色经济的超声速客机设计要求，国内外围绕实现低油耗、低排放、低噪声的发动机设计、变循环发动机技术、发动机布局型式、宽速域飞发匹配集成设计、先进低声爆进气道设计等领域展开了研究。GE 公司的 Affinity 发动机、Boom 公司的 Symphony 发动机是新一代超声速客机发动机的典型代表，均采用新型中等涵道比涡扇发动机，可兼顾超声速和亚跨声速性能，耗油率和排放水平低，噪声可达现有规章标准要求。

目前，以全新发动机架构、新材料、新制造技术等为基础的新一代发动机技术仍在持续研究中。除了常规的涡扇发动机外，变循环发动机、可持续航空燃料、智能制造等技术有望在不久的将来投入使用。

在进气道方面，超声速客机可用的新型进气道有无隔道进气道、低声爆进气道等。在推进系统的布局和飞发集成方面，从公开的新一代超声速客机概念方案来

看，多采用翼吊式、背负式布局，综合考虑低阻力与低声爆的设计要求。在系统方面，X-59 采用了新的外部视觉系统取代驾驶舱的挡风玻璃，可以帮助飞行员比通过直接视线更快地发现空中情况。两个摄像头、图像处理软件和一个带有两个处理器的计算系统将新技术和现有技术结合在一起，以支持增强现实显示，这种显示几乎就像从窗户往外看一样。

2023 年 9 月，美国 Boom 公司宣布，Overture 超声速客机原型机已经完成关键里程碑的测试，即将进行首次试飞。Boom 公司宣布 Overture 客机已收到 186 架订单，客户包括维京航空、日航、美联航、美利坚航空。这预示着，Overture 将在不久的将来实现商业运营。2023 年 6 月，NASA 的 X-59 低声爆验证机样机已完成组装，表明正式进入飞行验证阶段，NASA 于近期宣布，将于 2024 年开展低声爆验证机的首次飞行试验。相信在不久的将来，新一代超声速客机将翱翔蓝天，带领人们重新实现超声速旅行。■

人工智能技术对民用飞机产业影响初探

文 | 李博

从早期的双翼飞机、手动设计到现代的单翼飞机、计算机辅助设计，从喷气式发动机的引入到超音速概念的提出，航空工业一直以来都处于技术革命的前沿，致力于不断推进民用航空运输往更加安全、更加高效、更加便捷的方向发展。

▼
图 | chatgpt



人工智能是一种通过计算机系统模拟、拓展人类智能过程的技术，其核心能力建立在对复杂数据的处理、数据驱动的机器学习算法和大规模算力基础上，可以完成过去只有依靠人类智能才可处置的学习、推理与决策任务。当前，以大语言模型为代表的生成式通用人工智能技术正飞速提升其多模态数据综合判断推理能力，其解决问题的手段和效率在部分领域已达到甚至超过了人类水平。人工智能技术不仅给当代人类发展进程带来深远影响，也在推动着整个民用航空体系的重大变革，开启了以民航智能化为代表的新一轮民用航空工业革命序幕。

民机全生命周期智能化实践现状

人工智能技术正渗透至民用航空全生命周期产业，在民用飞机设计制造、运行驾驶与运营维护等诸多领域的实践正不断增长。

在设计制造方面，现代民机制造商已经积累了海量数据供人工智能技术进行设计经验、制造工艺的学习与模拟，而大量的试飞与检测数据则给予设计、生产人员不间断的灵感反馈，帮助人们在极少时间内完成复杂计算，并通过并行仿真模拟获得设计方案与制造流程的优化。早在 2015 年，空客就基于生成式设计开发了仿生机舱隔离结构，而如今基于 AI 的快速生产检测已经成为行业主流。如今，以万物互联

为基底，5G 工厂中数据驱动的智能体正高效提升着工装与质检效率；同时，大量的智能辅助设计工具正支撑结构有限元计算、气动噪声预测、动力学模型辨识等工作的快速推进。

在飞行驾驶方面，通过探索以人工智能为代表的新一代信息技术与飞行平台的融合，以延伸与扩展飞行机组能力、提高与增强机载功能、促进与融合空地协同的智能飞行技术正牵引着机载系统、飞机座舱的智能化进程，成为人工智能应用于航空安全关键领域的重要试点。2020 年，空客的自主起降滑行（ATTOL）项目验证了 AI 视觉识别支持下全阶段自动飞行的可行性，而 Avidyne 公司的 Piloteye 产品已经成为首款扩展飞行员视野、增强风险感知能力的 AI 机载产品。各主制造商围绕着语义识别、视觉起降引导、滑行风险识别、机组状态监测及自主路径规划等智能飞行的研究已经开展了广泛的数据采集与测试，探索在商用飞机安全可控边界内容的人工智能机载应用。

在运行管理方面，基于人工智能强化学习的飞行助手工具可以通过分析飞行气象、飞行扇区基本信息、空中交通拥堵位置等数据得到能够最大限度节省飞行时间、减少燃油消耗的优化飞行路径，向空管人员提供实时飞行位置、潜在冲突检测，并生成最佳解决方案，辅助空管人员更快作出飞行指令。基于人工智能技术，泰雷兹的 Neolink 平台已被用于飞行流量及拥

堵预测工作，而阿拉斯加航空的 Flyway 平台增强了其应用辖区内近 30% 的空域利用效率。2022 年，中国民航局发布了《智慧民航建设路线图》，提出了智慧民航建设的总体方案和阶段性目标，一体推动包括空管、机场、监管的智能技术应用与智慧化转型。

在飞机运营和维护方面，通过对生产维修数据的智能建模构造替代模型或者数据孪生体，采用工业物联网和人工智能相结合的方式对其进行管理，能够发现海量生产维修数据中隐藏的故障征兆并给出补救措施防患于未然。空客公司已经通过飞机智能维护分析平台（Airman）为数以百计的航空公司提供了飞机健康状况以及故障警告信息的实时监控服务，掌握了飞机机体、发动机及其零部件的剩余飞行小时数据，快速生成故障响应文件和解决方案进行预先维护，能够有效提升飞机利用率。

应用人工智能的挑战

从民用航空全生命周期产业链的应用

现状来看，设计、制造、运营和维护方面属于非航空安全关键应用领域，飞行、运行方面属于牵涉到飞行安全性和可靠性的航空安全关键应用领域，人工智能技术在民用航空全生命周期产业链的应用仍然处在论证和测试阶段，人工智能技术在民用航空应用的落地主要面临以下两个挑战。

其一，人工智能技术不可避免地引入了系统预测和执行操作的不确定性。如何对这些不确定性带来的失效安全进行风险管控，确定人工智能技术的可信赖等级水平，已经成为人工智能系统在民用航空应用落地的前提条件。

其二，人工智能技术仅仅通过在输入数据和预期结果之间建立脆弱的概率关联是缺乏可解释性的。通过海量数据得到的概率关系很容易被数据本身的局限性和分布偏差所误导，其应用的潜在风险不容忽视。对于场景应用特别复杂、可靠性和安全性要求极高的航空系统而言，当前的数据驱动人工智能技术并不能获得人们的足够信任。

为应对上述挑战，航空领域监管机构与工业界共同推动相关研究。从 2020

年发布《人工智能路线图 1.0》到 2023 年发布的《人工智能路线图 2.0》，欧盟航空安全局（EASA）持续更新发布航空领域应用人工智能的发展路线，期待在人类监管、技术鲁棒、隐私性、可解释性研究方面占据领先地位。2023 年，美国国家航空航天局（NASA）在其最新的《航空战略实现计划》中提出实现有保障的航空运输自主化，推进自动及时的安全监控与告警服务、跨领域的风险综合预测以及时间自适应的安全管理，将智能飞行作为复杂场景中具备运行能力的智能化机器系统实现。2023 年，中国民航局正式推动《人工智能适航审定技术研究路线图》的编制与意见征询，强调 AI 技术可信度分析、研制保障与风险缓解方面的挑战与应对。

2023 年，美国机动车工程师学会（SAE）以 SAE AS 6983 为主提出了机载系统（特别是事关航空安全性的关键系统）应用人工智能技术的基本要求，并依托 SAE AIR 6987《机载人工智能系统术语》、SAE AIR 6994《机载系统应用人工智能技术的实际用例》等形成机载系统人工智能标准体系。该体系继承经典系统工程思想，通过机器学习组件需求捕获、数据管理过程、模型设计过程、多重物理架构的组件分解方案以及集成验证过程，将机器学习模型转换为嵌入航空安全关键系统的硬件/软件产品，走出了应对当前 AI 机载应用挑战的第一步。中国商飞高度关注标准讨论情况，并积极推动案例实践与路径验证工作。

启示与思考

人工智能技术已经在民用飞机全生命周期产业链的很多方面得到了应用落地，但是我们需要认识到，人工智能技术的应用目前仍然被严格限制在非航空安全关键

领域，对于人工智能执行空中管制以及飞行决策等复杂任务时的可靠性、实时性以及网络安全性问题仍然需要攻关解决。人工智能技术自身高度的复杂性很难避免出现各种错误和故障，因此仍然需要经过充分的测试和验证才能大规模应用于民用航空领域。

笔者认为，要继续推进人工智能引领航空产业革命，首先需要打破航空专业壁垒，使民航技术研发应用更加开放。在这个过程中，需要重点考虑人工智能在网络安全性、人机交互、道德伦理、隐私保护、数据分析等方面和航空专业领域进行深度融合发展，加紧开展人工智能与航空专业结合人才的培养，为未来航空产业智能化升级提供人才储备和技术储备。

其次，要高度重视与人工智能相关的适航标准文件发布。欧盟已经对欧洲航空产业进行了相应的调整和布局，制定出了人工智能航空应用的规范指导政策文件并且开展实践，并计划在 2023 年继续开展对人工智能航空应用的适航指导文件编制。然而，我国航空产业目前尚无被广泛接受的人工智能航空应用指导文件，人工智能航空应用产品不成熟，没有形成体系，与国外差距较大，更需要在适航标准体系上奋力追赶。

第三，联合航空产业界、学术界、人工智能头部企业机构，构建国内高水平航空专家联合工作组，以安全可信为基底梳理认证方法，联合多行业设立专项支持，开启核心数据采集、核心算法演示验证工作，彻底解决航空安全关键应用领域人工智能技术的顾虑，逐步推进航空产业整体智能化布局，最终实现航空产业智能化升级应用落地。■



抢占绿色航空发展新赛道

文 | 海鹰

近年来，绿色环保与可持续发展是航空业发展的关键词。2023年10月，工信部、科技部、财政部、中国民航局等四部门联合印发《绿色航空制造业发展纲要（2023-2025年）》，为未来全行业抢占绿色航空发展新赛道指明了方向。

绿色航空发展目标与路径

《绿色航空制造业发展纲要（2023-2025年）》（以下简称《纲要》）作为指导性文件，为未来我国绿色航空制造业发展制定了短期和长期目标。

《纲要》指出，当前大力推进制造强国、交通强国、航空强国建设，为我国航空制造业开辟绿色航空新赛道提供了难得的历史性机遇。总体来看，通

▼
图 | 亿航智能



过顶层谋划，我国在超前部署绿色航空新技术、新产品、推进产业化进程方面已经取得了积极的成效。绿色高效、安全低噪的飞行器设计、制造与验证技术持续更新迭代；轻小型固定翼电动飞机、多旋翼无人机发展水平居世界前列；电动垂直起降航空器（eVTOL）、飞行汽车等产品迅速兴起，部分领域形成产业优势。

瞄准未来，《纲要》指出，到2025年，国产民用飞机节能、减排、降噪性能进一步提高，航空绿色制造水平全面提升，绿色航空产业发展取得阶段性成果，安全有效的保障体系基本建成。使用可持续航空燃料的国产民用飞机实现示范应用，电动通航飞机投入商业应用，电动垂直起降航空器实现试点运行，氢能源飞机关键技术完成可行性验证，绿色航空基础设施不断夯实，形成一批标准规范和技术公共服务平台，有效支撑绿色航空生产体系、运营体系建设。到2035年，建成具有完整性、先进性、安全性的绿色航空制造体系，新能源航空器成为发展主流，国产民用大飞机安全性、环保性、经济性、舒适性达到世界一流水平，以无人化、电动化、智能化为技术特征的新型通用航空装备实现商业化、规模化应用。为实现上述目标，《纲要》明确了实现路径。

首先是“绿色+”助推民机产业升级。推动现有国产民用飞机的优化改进，通过多种手段实现国产通用飞机、直升机、干线飞机的减重、减阻、降噪和增升，提高多电水平，持续提高国产民用飞机经济性和环境友好性。加快航空绿色制造体系

建设，推动民机企业生产工艺和流程的绿色化、智能化升级，发展航空再制造模式，完善绿色航空技术/路径全生命周期管理，推动全产业链碳排放足迹评估，降低能源资源消耗及二氧化碳等温室气体排放。加强可持续航空燃料在国产民用飞机和发动机上的应用验证。

其次是开辟电动航空新领域。面向城市空运、应急救援、物流运输等应用场景，加快eVTOL、轻小型固定翼电动飞机、新能源无人机等创新产品应用，形成以典型场景为导向的电动航空器供给能力、运营支持能力和产业化发展能力，打造新经济增长极。鼓励开展绿色航空示范运营，推动轻小型固定翼电动飞机、eVTOL实现商业运营。加快将eVTOL融入综合立体交通网络，建立统一的空地智联管理平台，打造低空互联网，初步形成安全、便捷、绿色、经济的城市空运体系。针对市场应用场景需求，结合纯电推进技术及涡轮混合电推进技术发展，由小到大开展新能源商用飞机预先研究。

第三是布局氢能航空等新赛道。积极布局氢能航空关键技术研发，加快储氢装置、动力装置等关键核心技术攻关，开展适用于氢能源飞机的新型结构布局技术研究。推进氢燃料电池与氢内燃机、氢涡轮、氢涡轮混合动力飞机理论研究与技术验证，打通与氢能源产业上下游协同创新的技术应用模式。围绕氢能航空未来发展趋势，探索商业化氢能源飞机运营体系新模式。积极探索LNG等其他能源在航空领域的应用方法和路径。

三个重点工程

为了实现上述目标，《纲要》明确了三个重点工程。首先是绿色航空技术创新工程，主要包括“绿色+”产品技术升级、基于混合动力系统演示验证平台开发、电动通用航空器工程化攻关和氢能源飞机可行性论证与关键技术攻关这四个方面。

在电动通用航空器工程化攻关方面，《纲要》明确指出，要突破高能量密度锂电池、高比功率氢燃料电池、高效率电推进系统、高推重比涵道风扇、先进气动布局涵道风扇、太阳能无人机等关键技术。满足电动航空器使用需求和适航要求的400Wh/kg级航空锂电池产品投入量产，500Wh/kg级产品小规模验证；250kW级航空电机及驱动系统投入量产，500kW级产品小规模验证，功重比达到20Nm/kg。

众所周知，电池问题一直是困扰电动飞行器大量投入商业运营的主要障碍之一。近两年来，我国一些企业和研究院所进行了一些探索，也取得了一些成绩。

据报道，2021年1月，中国民用航空东北地区管理局适航审定处签发了

RX1E-A双座电动飞机50Ah电池系统型号合格数据单，这标志着我国50Ah航空动力锂电池系统在中国民航的适航审定认证工作取得阶段性成果。该型号锂电池电芯能量密度300Wh/kg，是当前国际上航空动力三元材料能量密度最高的电芯。

第二是绿色航空创新应用试点示范工程。《纲要》指出，要依托长三角、成渝黔、长株潭等优势地区民用航空产业集群，建设国产航空装备绿色升级示范区，开展绿色智能制造工厂的论证试点，提升国产航空装备经济性和环境友好性。鼓励珠三角、长三角、环渤海、成渝等优势地区，设立低空经济示范区，开展轻小型电动飞机规模化示范运营，eVTOL商业示范运营，推动电动航空应用场景、产品规范、运营体系、客户服务方案等领域的论证试点。鼓励京津冀、长三角、长株潭、成渝等有基础条件的地区布局氢能航空研制试验基地，开展国产民用飞机的氢动力改装，推动氢能航空技术体系的论证试点。发挥中西部地区能源产地和空域资源丰富的区位优势，布局绿色航空技术、产品、安全性等试验基地，推动绿色航空产品方案和安

全验证的论证试点。

在eVTOL商业示范运营上，我国电动垂直起降航空器研发领军企业亿航智能已经开始了探索。2023年7月，亿航智能与深圳宝安区政府签订战略合作协议，双方将共同构建UAM体系，开发低空示范运营航线，打造全国低空经济发展示范城市。2023年10月，公司又与合肥市签署战略合作协议，双方将在合肥共同打造低空经济产业生态。安徽省作为全国低空空域管理改革试点拓展省份，正在积极打造低空产业集群。合肥市则是安徽省全域低空空域管理改革试点的中心和重要枢纽节点。在此次企业与地方的合作中，亿航智能将参与合肥的全空间无人系统综合应用示范项目，在合肥的骆岗中央公园开启无人驾驶航空器的常态化运营。

第三是绿色航空标准与适航符合性验证体系建设工程。《纲要》指出，要建立可持续航空燃料适航审定体系。制定可持续航空燃料技术标准和可接受的符合性方法。开展国产可持续航空燃料的储运加注以及在国产航空器上的适应性研究，并进行试飞验证和试点示范工作。要建立新能源航空器适航审定体系。开展基于风险的新能源航空器适航符合性设计与验证体系研究，建立符合国情的新能源航空器适航审定标准及符合性技术路径。

具体来看，《纲要》指出要建立绿色航空安全监管体系。利用5G、北斗、低轨卫星互联网、ADS-B等技术手段，开展星基通信导航监视应用，加强有人机和无人机融合运行研究验证，推进绿色航空服务监管数字化智慧化，构建设施互联、信息互通的低空物联网。加强新能源航空器市场监管，建立健全新能源航空器设计质量保障体系，研究论证新能源航空器安全管理政策。推动建立第三方技术检测检验机构。

《纲要》同时还指出，要推动建设新

型地面基础设施配套体系。根据各地既有的基础设施条件和经济承受能力，研究论证城市空运、物流配送等设施网络，推动纳入城市交通基础设施布局规划。统筹新能源干支线飞机技术与现有机场设施的适配性。研究建设多场景、多层次的起降点网络，具备保障eVTOL等航空器起降、停放、充电等功能。

事实上以氢能飞机为例，欧美等国在研发的过程中也指出，未来氢能飞机的商用应用，除了需要解决技术问题之外，配套的适航体系、机场设施的适配等都需要提前谋划。以适航为例，从航空器本身来说，氢能飞机由于机体结构、动力系统以及燃料存储方式与现有燃料相比有着显著差异，未来氢能飞机只有在达到同等甚至更高的适航安全标准后，才能真正投入商业运营。除了飞行器本身之外，正如欧洲航空安全局（EASA）在一次媒体发布会上所说的那样，“利用氢能实现绿色转型还需要更多基础设施保障，甚至对于监管机构来说，其监管范围可能还需扩大到航空器以外。”为此，EASA已经成立了专门的科学委员会，致力于加强各企业、高校之间的科研合作，以解决相关技术难题。

此外，《纲要》还指出，要加强政策支持，发挥政府采购作用，推动相关部门、地方政府积极采购和使用绿色航空装备。通过首台（套）重大技术装备保险补偿，支持绿色航空装备推广应用。鼓励企业用好绿色基金、绿色债券、绿色信贷、绿色保险等金融扶持政策。鼓励企业充分利用好市场化投融资渠道。推动社会资本以融资租赁、股权投资等方式积极参与绿色航空装备研制和运营服务。

可以预见的是，在政策顶层谋划下，央地协同加快布局，并充分调动市场、科研院所等多方力量，将会为我国未来蓝色经济的蓬勃发展注入新的活力。■



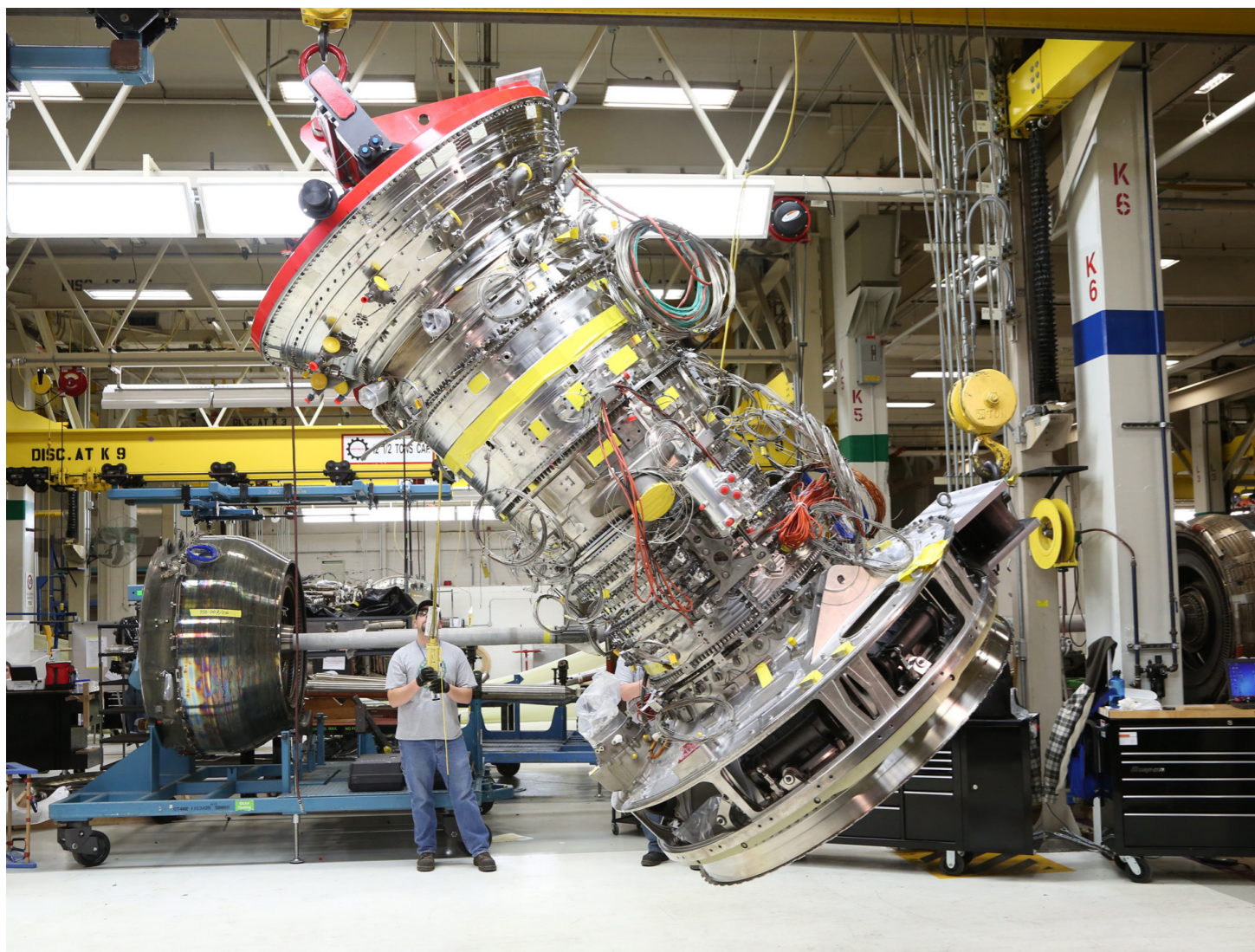
图 | ATR

运输业回暖带动制造业 加速复苏

文 | 杜婷

进入10月，全球多家航空运输企业陆续发布业绩报告，总体来看，全球航空运输业在2023年第三季度都表现出了强劲复苏的态势。得益于全球航空运输业的加速恢复，航空制造企业2023年第三季度的业绩报告也进一步向好。在此基础上，已有不少企业上调了全年业绩预期。

图 | GE



全球航空运输业快速复苏

总体来看北美、欧洲等地航司由于较早进入恢复轨道，因此2023年第三季度的业绩表现也更好。

在北美地区，美国三大航之一的美国航空第三季度营收创新纪录。2023年10月19日，公司发布业绩报告显示，第三季度公司实现营收134.8亿美元，运力（以ASM衡量）同比增长6.9%，收入客公里（RPK）同比增长5.2%。根据需求趋势和当前燃油价格预测，排除特殊项目的影响，美国航空预计，第四季度调整后营业利润率为2%~4%，2023财年全年调整后营业利润率约为7%。

另一家大型航空公司，美联航第三季度业绩报告显示，公司实现营收144.8亿美元，同比增长12.4%，净利润11.37亿美元，同比增长20.7%，其国内客运营营收76.7亿美元，同比增长8.7%，国际客运营营收56.8亿美元，同比增长23.6%，客运量同比增长14.4%，运力（以ASM衡量）同比增长15.7%，收入客英里（RPM）同比增长14.6%。

在欧洲，汉莎航空集团2023年第三季度净利润同比增长47%。集团实现营收103亿欧元，同比增长8%，净利润12亿欧元，同比增长47%，客运量达3800万人次，运力同比增长13%，恢复至疫情前88%的水平。汉莎航空集团表示，如果第四季度的机票预订量能够实现同比增长两

位数，预计2023年集团调整后息税前利润将超26亿欧元。此外，汉莎航空集团还表示，2024年除了计划接收40架新飞机之外，还在考虑订购40架A220或E2系列飞机以及40架A320neo或737MAX飞机。

在中东，大型航司卡塔尔航空的半年报显示，公司2023年财年上半年（2023年4月至9月）实现利润翻倍。公司实现营收401亿卡塔尔里亚尔（110亿美元），同比增长7%，净利润为37亿卡塔尔里亚尔（10亿美元），同比增长114%。得益于A350机队恢复运营，卡塔尔航空财年上半年客运量达1910万人次，同比增长22%，客运运力同比增长近20%。

在南美，大型航司LATAM航空集团在2023年第三季度财报中表示，公司营收创下新纪录。集团营收达到创纪录的30.6亿美元，同比增长18.1%，归母净利润2.32亿美元，客运量达到1973万人次，运力（以ASK衡量）同比增长15.2%，收入客公里（RPK）同比增长18.5%，载客率同比上升2.4%至85.3%。

在亚太地区，中国三大航国航、东航、南航均实现了扭亏为盈。其中，2023年第三季度，国航实现营收458.64亿元，同比增长152.89%，归母净利润为42.42亿元，实现同比扭亏；2023财年前三季度实现营收1054.77亿元，同比增长150.61%，归母净利润为7.91亿元，实现同比扭亏。东航营收361.13亿元，同比增长

118.92%，归母净利润 36.42 亿元，2023 财年前三季度营收 855.38 亿元，同比增长 138.60%，净亏损 26.07 亿元；南航实现营收 476.61 亿元，同比增长 62.42%，归母净利润 41.95 亿元，2023 财年前三季度营收 1194.91 亿元，同比增长 70.31%，归母净利润 13.2 亿元。

此外，该地区全日空集团 2023 财年上半年净利润也实现了大幅增长。公司发布的 2023 财年上半年（4 月至 9 月）业绩显示，实现营收 1 万亿日元（66 亿美元），同比增长 27%，归母净利润 932 亿日元（6.2 亿美元），同比增长 736 亿日元（4.9 亿美元），国际客运量达 347 万人次，国际运力同比增长 76.1%，国内客运量达 2000 万人次，国内运力同比增长 15.1%。

带动制造业加速恢复

得益于全球航空运输业的快速恢复，2023 年第三季度飞机制造商、产业链各级供应商也都交出了一份不俗的成绩单。

2023 年 10 月，波音先后发布第三季度飞机交付与订单情况和第三季度业绩报告。2023 年第三季度，波音共获得 224 架商用飞机订单，共交付 136 架新飞机。公司 2023 年第三季度实现营收 181.04 亿美元，同比增加 13%；其中，波音民机集团营收为 78.76 亿美元，同比增加 25%；净亏损 16.38 亿美元，2022 年同期净亏损 33.08 亿美元；经营现金流为 0.22 亿美元，2022 年同期为 31.9 亿美元。

2023 年 11 月 8 日，空客发布 2023 年第三季度业绩报告，报告显示公司实现营收 426 亿欧元，同比增长 12%。其中，总部及商用飞机营收 315.07 亿欧元，同比增长 18%，反映出交付数量的增加。前三季度净利润 23.32 亿欧元，同比减少 9%；调整后息税前利润 36.31 亿欧元，同比增长 4%。

巴航工业发布的业绩报告显示，随着飞机交付量的增长，公司营收同步实现了增长。截至 2023 年 10 月末，巴航工业全年共交付 105 架飞机，交付量与 2022 年同期相比增长 33%。其中，第三季度交付 43 架飞机，包括 15 架商用飞机和 28 架公务机，交付量与去年同期相比，增长了 30%。公司 2023 年第三季度收入达 12.84 亿美元，同比 2022 年增长 38%。截至 2023 年 10 月末，公司累计收入与去年同期相比增长 29%。尤为值得一提的是，巴航工业商用航空业务部门的增长较公司其他版块更为突出，该业务版块同比去年增长 68%，同比去年前三季度增长 52%。

GE 发布的业绩报告显示，在市场强劲需求和公司稳健执行的双重推动下，2023 年第三季度收入、利润和现金都实现两位数的增长。订单总额同比增长 19%，达到 179 亿美元，调整后收入同比增长 18%，达到 165 亿美元，调整后利润率为 9.8%，自由现金流 17 亿美元。其中，GE 航空航天业务版块订单总额同比增长 34%，达到 98 亿美元，收入同比增长 25%，达到 84 亿美元，利润为 17 亿美元。

同样得益于航空航天业务版块的强力支撑，赛峰集团 2023 年第三季度调整后收入同比增长 20.1%，达到 58.25 亿欧元，前 9 个月收入同比增长 25.1%，达到 167.7 亿欧元。得益于民用飞机售后市场的强劲需求，推进系统业务收入同比增长 23.2%，达到 30.83 亿欧元，飞机内饰业务同比增长 15.9%，达到 6.05 亿欧元。LEAP 系列发动机第三季度共交付 389 台，较 2022 年同期增长 12%，2023 年前 9 个月的交付量为 1174 台，较 2022 年同期增长 45%。

得益于航空航天部门业务、过程解决方案业务的强劲增长以及供应链的持续改善，霍尼韦尔集团 2023 年第三季度业绩表现强劲。其中，销售额同比增长 3%，



图 | airteamimages

达到 92 亿美元，储备订单同比增长 8%，达到 314 亿美元，调整后每股收益同比增长 1%，达到 2.27 美元，自由现金流为 18 亿美元。受售后市场强劲需求影响，航空航天部门业务销售额同比增长 18%，达到 35 亿美元，这是该业务部门连续五个季度实现两位数增长，利润同比增长 18%，达到 9.6 亿美元。

同样得益于航空航天业务快速恢复的还有伊顿公司。公司发布的 2023 年第三季度业绩报告显示，实现了季度销售额同比增长 11%，达到 59 亿美元，创下了公司最高的季度销售业绩，同时公司现金流也达到了创纪录的 11 亿美元，其中自由现金流 9.13 亿美元，分别同比增长 18% 和 10%，储备订单同比增长 18%。公司航空航天业务部门销售额同比增长 13%，达到 8.67 亿美元。

恢复后劲仍存不确定因素

总体来看，鉴于第三季度的市场表现，制造商都对行业未来的发展持乐观态度，并不约而同地调整了第四季度或全

年财务目标。

GE 公司基于前三季度的表现，将 2023 年调整后每股收益预测由原来的 2.1 美元至 2.3 美元上调到 2.55 美元至 2.65 美元，自由现金流也由原来的 41 亿美元至 46 亿美元上调到 47 亿美元至 51 亿美元。同时，GE 还表示计划在 2024 年年初剥离能源部门 Vernova，从而将更多资源集中到公司航空航天业务中去。

与此同时，产业链一级供应商也陆续公布了全年预测数据。赛峰集团预测，公司 2023 年全年收入至少可达 230 亿欧元，自由现金流至少 27 亿欧元。霍尼韦尔预计，2023 年全年销售额 368 亿美元至 371 亿美元，调整后每股收益在 9.1 美元至 9.2 美元。

尽管总体来看，制造商都对 2023 年全年业绩持乐观态度，但一些或将影响行业未来发展的不确定因素仍需引起重视。

首当其冲的是地缘政治和油价上涨对于行业的影响。在 2023 年第三季度财报中，包括新加坡航空、卡塔尔航空、美联航等都指出，这两大因素将直接对业绩产生影响。美联航在业绩报告中，更是明确指出，如果

以色列航班停飞到 2023 年底，其第四季度营收将同比增长 9%；如果停飞只持续到 10 月，第四季度营收将同比增长 10.5%。

其次是供应链存在的隐患对于主制造商飞机交付的影响。GTF 发动机问题对未来 737MAX 飞机和 A320neo 飞机的运营和交付会产生怎样的影响还需要进一步观察。对此，空客在 2023 年第三季度财报中指出，目前普惠 GTF 发动机的问题暂时还不会影响 2023 年新飞机的交付计划，但公司已经就 2024 年的飞机交付问题与普惠进行谈判。

第三，供应商产品的质量問題也值得关注。波音 2023 年第三季度财报中指出，由于供应商势必锐的产品质量问题，使得部分 737MAX 飞机后压力隔框生产问题导致交付量减少、异常成本和研发等期间成本增加。由于部分 737 MAX 需进行必要的检查和返工，近期的交付和生产都将受到影响。与此同时，波音还不得不调整了 2023 年全年 737MAX 的交付计划，即从年初的交付 400 架至 450 架调整至 375 架至 400 架。

第四，供应链企业能否跟上主制造商的产能提升计划也存在一定不确定性。

图 | aerospacepower.cn



2022 年，空客就曾因供应链等因素的影响，未能完成年初制定的 720 架的交付目标。

对于飞机制造商而言，提升产能不仅仅单方面提升自身生产和管理能力就能实现的，更需要航空公司、供应链企业的支持和配合。从波音和空客制定的产能计划来看，双方都将主要精力放在了窄体客机的产能提升上。目前，根据空客的规划，力争在 2025 年前实现 A220 月产 14 架的目标，A320neo 系列飞机计划在 2026 年达到月产 75 架的目标；A350 在 2025 年年底前达到月产 9 架的目标。波音的规划则是在 2023 年年底前，737MAX 实现月产 38 架，2025 年至 2026 年间提高到 50 架/月，787 系列计划在 2025 年至 2026 年间实现月产 10 架的目标。但对于供应链企业来说，要满足主制造商的产能提升计划，就必须解决零部件短缺、通货膨胀、生产线人员短缺等一系列问题。

在新冠肺炎疫情爆发前，随着主制造商产能的步步提升，相关供应商也在不遗余力地提高配套产能。疫情爆发后，由于市场需求减少，制造商不得不降低产能，使得产业链配套企业原有的生产节奏被打乱，一些产业链中的中小企业破产，对航空产业链造成了一定的负面影响。这也是为何，疫情发生后，世界各国纷纷为航空业输血的重要原因。如今，航空产业链或多或少经历了一轮残酷的洗牌，此时要提高产能，很重要的一点是要建立起产业链中小企业的信心。对于飞机制造商来说，需要在技术、资金等各方面给予产业链中小企业信心，这一点在竞争更为激烈的系统、部件等领域尤其明显。从这个角度来看，如何调整合适的生产速率不仅关系到飞机制造商的长远发展，同时也将直接影响整个产业链的健康发展，是全行业都值得关注和思考的问题。■

俄罗斯国产替代计划初见成效

文 | 董帽雄

随着国际形势的变化，对于俄罗斯民用航空产业来说，产业链国产化成为了必然选择。2015 年，俄罗斯联邦工业与贸易部发布 663 号令，批准《民用航空制造领域进口替代措施的专项计划》，正式开启民用航空产业国产化替代的宏伟计划。

经过 8 年多的摸索，尽管过程充满了困难与挑战，但俄罗斯民用航空产业国产替代计划已初显成效。2023 年 8 月，机载系统完全实现国产替代的一架 SJ-100 完成首飞；10 月，安装俄罗斯国产 PD-8 发动机的 SJ-100 飞机吊架开始进行风洞试验；11 月，首架伊尔 -96-400M 宽体机原型机成功实现首飞。

图 | airdatanews.com



多个项目国产化成果显现

MC-21 干线飞机项目是被俄罗斯国内寄予厚望的项目，同时也是受到西方制裁影响较大的民用飞机项目。

2017 年 5 月，MC-21 在伊尔库茨克完成首飞，此后，俄罗斯积极与欧洲航空安全局（EASA）沟通，希望 MC-21 飞机能够获得 EASA 颁发的型号合格证，为未来进军海外市场做好准备。2018 年，EASA 正式介入 MC-21 飞机的相关试飞工作。然而，就在俄罗斯积极推进 MC-21 飞机项目的时候，2019 年 6 月和 9 月，欧盟将对俄罗斯经济制裁以及个人和法人实体制裁分别延长半年；9 月，美国以俄罗斯违反美国对叙利亚相关制裁将航空燃料运到叙利亚为由，对俄罗斯多家企业和个人实施制裁。受此影响，2019 年 1 月起美国企业对俄罗斯断供复合材料。这对俄罗斯民用航空业造成了很大困扰，特别是对于复材机翼是一大优势的 MC-21 无异于釜底抽薪。此后，随着俄罗斯与西方国家的关系不断恶化以及俄乌冲突的爆发使得俄罗斯民用航空产业发展面临空前考验。

但就 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。对于复合材料的进口替代，俄罗斯也早在 2015 年左右就开始布局。如今，替代赫氏成为 MC-21 飞机复合材料供应商的是原子能公司下属的 UMATEX 公司。2015 年 UMATEX 公司在阿拉布格地区建立了新的碳纤维生产厂，碳纤维材料

研制生产水平在俄罗斯排名第一；2018 年公司又兼并了预浸材料——SKM 公司，形成了覆盖高强度和高模量碳纤维、织物和预浸料生产的复合材料全寿命周期研发能力，已基本能够用本国产品为 MC-21 飞机生产提供保障，且无需对 MC-21 的机翼等部件进行重新设计。在此背景下，制裁和配套产品的断供虽然使 MC-21 项目的进度延迟了一年左右，但却加速了俄罗斯民用航空工业的进口替代过程。

俄乌冲突爆发后，随着美欧等西方国家进一步对俄罗斯实施断供，俄罗斯决定生产国产化干线飞机，代号为 MC-21-310RUS。之后，在政府政策、资金的大力支持下，俄罗斯国内企业不断加快相关配套的研发进度。

2022 年 5 月，俄罗斯导航仪航空仪表公司（Navigator）表示，已经成功研制出首个国产机载防撞系统（TCAS），未来该系统将替代洛克韦尔柯林斯公司的产品被应用于国产化的 MC-21 飞机上。2022 年 7 月，俄罗斯国家技术集团（Rostec）旗下俄罗斯电子控股公司宣布为 MC-21 项目研发的通信设备电子原件已经通过民航机载通信设备相关测试，从技术参数来看，可以完全替代西方供应商提供的同类产品。2022 年 12 月，俄罗斯国家航空系统研究院表示，正在电鸟（该电鸟之前主要测试西方供应商提供的系统和软件等）上对 MC-21 飞机的航电系统与 PD-14 国产发动机的接口进行试验。由于 MC-21 飞机驾驶舱内的进口控制面板已完成国产替代，面板需要进行相关集成测试，借助电鸟平台将加快俄罗斯国产系统和设备的集成进度，可以在装机前发现并消除软硬件的缺陷。2022 年年末，装配 MC-21 的国产 PD-14 发动机和国产复合材料机翼通过了俄罗斯局方适航认证。

2023 年 5 月，项目重要供应商俄罗斯

联合航空制造集团（UAC）表示，按照俄罗斯国家技术集团和俄罗斯工贸部的要求，已将 MC-21 和 SSJ-100 进口替代计划的完成时间从 2025 年至 2026 年提前到 2023 年至 2024 年，为此集团正在加速相关系统和设备的研发进度。2023 年 10 月，俄罗斯国家航空系统研究院表示，正在与雅科夫列夫公司合作为全国化 MC-21 飞机搭建一个全新的电鸟平台，这一全新电鸟平台将用于测试 MC-21 飞机国产机载系统与软件的交互。根据计划，设计人员将在这个新电鸟上搭建 12 个带有系统控制模块的工作台。2023 年 11 月，俄罗斯国家技术集团旗下的无线电电子技术集团的子公司交付了首套用于 MC-21 飞机的全国产驾驶舱航电设备，其中包括液压、燃油、惯导、防除冰、防火、环控和空速测量等系统的控制设备以及驾驶舱的照明设备。在动力系统配套方面，2023 年 4 月，俄罗斯国家技术集团表示，完成取证工作后，PD-14 发动机已经开始在彼尔姆工厂批产，预计 2024 年交付 14 台。

另一款支线飞机 SSJ-100 也在加速其国产化替代。SSJ-100 飞机项目早期，俄罗斯积极融入国际产业链，项目机载设备几乎全部来自于国外供应商，但由于国际形势的瞬息万变给项目蒙上了阴影。之后与意大利的合作也不欢而散，土星公司与法国斯奈克玛公司联合研制的 SaM-146 发动机热端部件也多次出现技术问题，飞机交付后，由于发动机的问题导致的停场时间过长令 SSJ-100 备受诟病。2014 年克里米亚事件爆发后，俄罗斯就有了生产国产化 SSJ-100 飞机项目的想法，俄乌冲突爆发后，更坚定了其全国产化的信心。

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。8 月 29 日，机载系统实现全国产化的



SJ-100 完成首飞。根据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 系统也将装配在首批 SJ-100 飞机上。

当前，SJ-100 项目实现国产化一个重要的阻碍是发动机。2023 年 8 月首飞的那架 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，与之相配套的 PD-8 发动机仍处于研制阶段。根据《看航空》和英国《飞行国际》报道，目前 PD-8 发动机正在进行风洞测试，检验 SJ-100 机翼与 PD-8 发动机之间连接吊架的可靠性。俄罗斯中央空气流体动力研究院负责开展 PD-8 发动机风洞试验，研究人员正在比较机翼与发动机吊架和短舱组件之间的“几种配置”，并在轮廓细化后，使用 SJ-100 飞机半模型，在跨声速风洞中对修改后的吊架进行分析。在各种马赫数下对气流可视化和飞机巡航性能（包括升力和阻力变化）进行检查，并验证有关其空气动力学特性的计算。下一步将是对第二

图 | aviatinowee.com

架配备国产 PD-8 发动机的 SJ-100 原型机进行飞行测试。

宽体客机研制上，2016 年 5 月，俄罗斯决定研制伊尔 96-400M 飞机，2017 年研制工作正式开始，2023 年 6 月首架原型机完成总装下线。伊尔 96-400M 基于伊尔 -96-300 改进而来，飞机最大起飞重量为 270 吨，有效载荷航程为 8100 公里，配备了 4 台 PS-90A1 发动机和俄罗斯本土生产的航电和通信设备等。11 月 1 日，首架伊尔 -96-400M 原型机完成首飞。此次试飞持续 26 分钟，飞行高度 2000 米，飞行速度为 390 千米/小时。此次试飞验证了飞机的操稳性能及系统、发动机和无线电设备在着陆过程中的运行状况。目前，对于该项目的研制计划，制造商俄罗斯联合航空制造集团还未公开明确的时间表。

多项政策全力支持国产化推进

从以上三个民用飞机项目的国产化替代推进程度来看，尽管距离商业运营还有一段路要走，但项目都已经取得了阶段性成果，这些成果与俄罗斯政府多维度出台的各项支持政策有直接关系。

俄罗斯先是接连出台了《2030 年前航

空工业发展战略》和《2025 年前航空工业民用产品出口发展战略》，进一步为俄罗斯民用航空业夯实内部能力、拓展外部市场指明了方向。在这两个战略规划中，俄罗斯政府指出了未来商用飞机产业重点发展的几个方向。首先要改变工业模式，提高行业竞争力。要求主制造商和一级供应商将主要精力集中在核心能力建设上，重点关注设计研发、总装和售后服务工作，精简冗余的生产能力，逐步将底层生产工序外包。二级以下供应商主要由中小企业组成，定位全球市场，通过多样化经营加强竞争，保证批量生产和规模经济。

之后，《2030 年俄罗斯联邦航空运输业发展综合规划》（以下简称《规划》）强调了飞机及其备件、运维、数字服务系统等实现全国产化的重要性，并计划在未来七年，通过生产 1000 多架国产飞机，将国产飞机在俄罗斯国内运输业的占比从 2021 年的 31% 提升至 81%。

2022 年年末，俄罗斯又出台了《2030 年前航空供应商发展战略》（以下简称《战略》），该《战略》是俄罗斯《2013～2025 年航空工业发展》国家规划和《2030 年前航空运输业发展》综合计划的进一步落实，旨在创造条件协调供应商和客户之间的关系，保障航空产品质量符合竞争需求，发展各级航空供应商，以生产具有先进技术、运行和经济指标的航空产品。具体目标包括：建立航空供应商信息系统，对国内供应商和参与国产航空产品研制项目的国外供应商进行登记，到 2030 年登记数量达到 100%；实施 MC-21 和 SSJ-100 飞机的国产化配套，在 2025 年达到 100%，建立民用航空领域航空供应商专家技能定期提升系统等。

尤为值得一提的是，俄罗斯在《战略》中明确指出，通过联邦预算支持制定生产进口替代产品的航空供应商工艺流程标准

程序；筹备和批准进口替代产品供应商支持规划，并通过修改现行法律确保规划实施；促进进口替代方向的中小企业供应商发展，从风险控制的角度对进口替代提出建议等，这些规划或程序的制定落实将为进口替代提供制度保障。同时，《战略》还提到要进一步完善国内供应商的产品认证体系，探索引进第三方认证机构，从而提高适航认证的可信度等。

在资金支持方面，俄罗斯政府同样不遗余力。在《2030 年俄罗斯联邦航空运输业发展综合规划》中，俄罗斯政府明确表示，将拨款 7700 亿卢布（约 847 亿人民币）用于支持航空运输业及航空工业。其中，4000 亿卢布（约 440 亿人民币）直接用于支持国产飞机制造，计划生产国产飞机 1000 多架，将国产飞机在俄罗斯国内运输业的占比从 2021 年的 31% 提升至 81%。为实现该目标，联邦政府计划拨款 4000 亿卢布，支持生产并交付 1036 架飞机，以满足国内民航运输需求。

2022 年，俄罗斯总理签署了俄联邦预算为民用航空产品提供的额外拨款文件，政府将为俄罗斯联合航空制造集团拨款 16.16 亿卢布（约 1.32 亿元）资金支持其国产替代计划。其中，10 亿卢布（约 8197 万元）用于宽体客机项目，剩下的 6.16 亿卢布（约 5049 万元）用于伊尔 -114 项目。

在此之前，俄罗斯总理还专门组织召开民用飞机制造业发展会议，专题研究俄罗斯国产民机研制和市场开拓、进口替代等工作。会议明确，俄罗斯将在未来 3 年，拨款 1220 亿卢布（约 100 亿元）用于民用航空产品的研制，并支持航空公司在 2030 年前采购 583 架俄罗斯民机，实现国产民机在大型航空公司机队占比达到 30% 的目标。同时，会议还明确了，未来俄工贸部与俄罗斯国家技术集团将共同对 MC-21 和 SJ-100 飞机的批产、客户服务体系建设等

进行进一步的探索，国家层面将为俄罗斯国产民机的客户服务体系建设和售后维修体系建设提供必要的资金支持。此外，俄罗斯国家福利基金还将在未来 3 年向民用航空产业拨款 2790 亿卢布（约 228 亿元）资金。2023 年 8 月，俄罗斯财政部长表示，将从国家福利基金中拨款 2800 亿卢布（约 210 亿元）支持 MC-21 飞机项目。

另外值得一提的是，欧美对俄罗斯航空领域的制裁似乎更激发了俄罗斯的斗志。在欧美宣布加大制裁力度后，俄罗斯还公布了区块链系统、量子技术、新制造技术、神经技术与人工智能、机器人和传感器组件、无线技术、虚拟/增强现实技术等 7 大数字化技术领域的研究计划，其中有多项技术与航空制造业关系密切。从这些政策中可以看出，俄罗斯政府不仅希望通过进口替代计划缓解制裁带来的影响，更重要的是将其作为产业结构调整的重心，使其具有保障国家安全、兼具调整经济结构和产业政策的多重作用。

正是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。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。■



黑天鹅事件 对民航的影响

文 | 占芬 尤怀墨 王涵

从非典、金融危机、新冠肺炎疫情到俄乌冲突，全球各类突发风险事件频发，影响广度、深度日趋增大，其中既有“黑天鹅”事件，也有“灰犀牛”事件，有时二者还会联袂而至，两类事件对民航发展产生深远影响。系统回顾和总结历次黑天鹅事件对民航的影响，探寻规律、提炼经验有利于更好应对意外事件的冲击，更快促进行业恢复发展。

▼
图 | aviationweek.com

“黑天鹅”的内涵

“黑天鹅”是指并不明显、逐渐完成累积的低概率、高风险事件，特征是稀有性、极大的冲击性、事后的貌似可预测性。而“灰犀牛”指长期潜藏且正在持续累积、没有得到充分重视但却显而易见的大概率风险事件，特征是高概率、特征明显、破坏力极大。通常人们认为，“黑天鹅”是被忽视的一系列“灰犀牛”事件合力的结果，而“黑天鹅”爆发后如处理不当，也

有可能变成“灰犀牛”事件。

值得注意的是，“黑天鹅”带来的不全是负面影响，也有正面影响，如2003年非典时期迅速成长的阿里巴巴，以及此轮疫情中的国际航空货运，都是典型利用“黑天鹅”快速发展的案例。

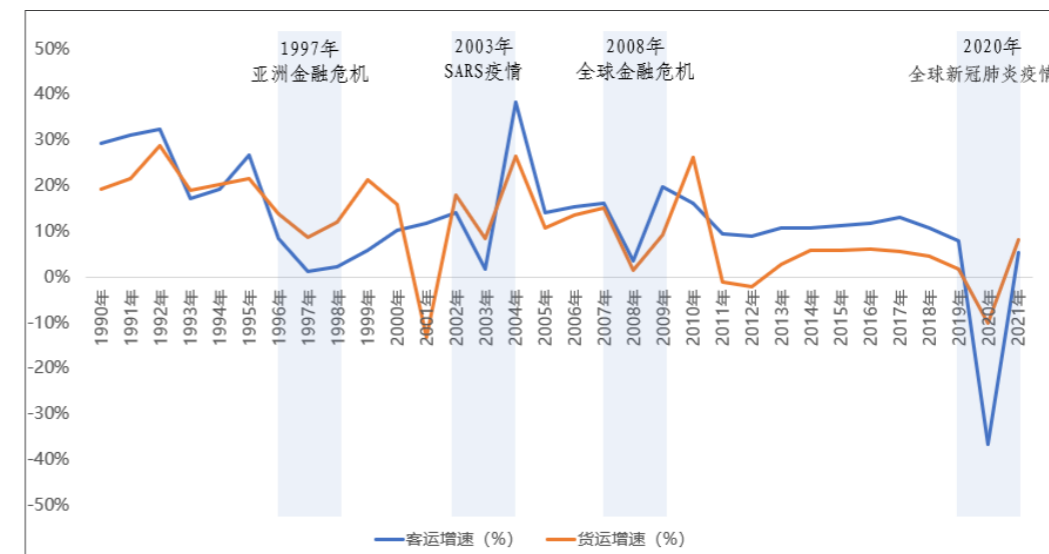
“黑天鹅”对民航的影响分析

由于民航具有强周期性、国际性等特征，经济、公共卫生、安全事件等不同类

类型	特点	事例
“黑天鹅”	1.稀有性 2.极大的冲击性 3.事后的貌似可预测性	非典、新冠肺炎疫情、经济危机、东航事件、大规模杀伤性武器的破坏、传染病、自然灾害、马航370事件等
“灰犀牛”	1.高概率 2.特征明显 3.破坏力极大	俄乌冲突、全球治理失败、气候变化导致的极端天气、可控飞行撞地/跑道安全等安全事件

◀ 表1 | “黑天鹅”与“灰犀牛”内涵辨析

▼ 图1 | 近30年我国民航客货增速变化情况



型的“黑天鹅”事件对行业发展都具有较强的冲击。20世纪90年代以来，中国民航经历的典型“黑天鹅”事件包括1997年亚洲金融危机、2003年SARS疫情、2008年全球金融危机以及最近的新冠肺炎疫情和东航事件。以上“黑天鹅”对民航业的影响程度、影响机制和特点各不相同。

2008年全球性金融危机作为典型的“黑天鹅”事件，不仅使我国经济雪上加霜，也对我国民航发展产生巨大影响。

一是民航客货增速急剧下降。2008年我国航空运输业增长速度大幅放缓，效益严重下滑，全行业累计完成运输总周转量、旅客运输量、货邮运输量分别为374亿吨公里、1.92亿人次和403万吨，比上年分别增长仅2.4%、3.3%和0.2%，但增长率分别下降17.1、13.0和14.8个百分点。其中，国际以及港澳地区航线，客货运输均为负增长。而我国改革开放30年来（1978~2008年），我国民航的运输总周转量、旅客运输量和货邮运输量，年均增长率分别为17.5%、15.9%和14.6%，可见金融危机对民航客货发展均会产生负面冲击。

二是民航业在金融危机中呈现先导性、脆弱性和高弹性特征。一方面，民航业对

市场层面微小变化能更快做出反馈。尽管我国GDP增速在2008第三季度才跌至9%，但民航生产指标的增速下滑早在5月份就初现端倪，旅客运输量就出现1.1%的负增长，而民航运输总周转量在6~10月连续出现负增长。由此，民航的增速下滑时间和放缓速度都早于和快于国民经济放缓的时间和速度，具有典型的先导性特征。另一方面，航空需求恢复速度快于宏观经济。2009年初，我国经济延续上年的下滑走势，经济增长速度于第四季度才恢复至正常水平。而民航业则于2009年一季度企稳反弹、二季度逐步回升后，三、四季度呈现持续向好态势，国内运输生产迅速恢复高速增长，国际运输生产企稳回升态势明显，行业恢复速度快于宏观经济层面的恢复。可见我国民航业在黑天鹅事件中具有较强的脆弱性，同时也具有较高的弹性。

三是经济下行阶段往往是结构调整的最佳机遇。以应对国际金融危机为契机，民航局着力发挥宏观调控作用，并不断优化行业发展结构。2008年民航局印发《支线航空补贴管理暂行办法》，建立了支线航空补贴政策；同年发布《国际航权分配与使用机制暂行办法》，完善了国际航线评审规则；并对筹建货运航空公司、引进货运飞机实行宽松政策，以扶持航空货运发展；后续进一步构建了公正、公开、透明的内部资源分配环境，鼓励企业开展各种方式的联合、重组和合作，以推动航空公司优胜劣汰，促进有序良性竞争，优化市场结构和行业环境，为民航业充分适应国家经济社会发展需要夯实基础。

2002年11月，突如其来的“黑天鹅”SARS疫情降临广东省，并扩散至东南亚乃至全球，并于次年7月得到全面控制。自2020年初起，蔓延全球的新冠肺炎疫情，让人类再次遭受了公共卫生领域“黑天鹅”的肆虐，航空运输业在两次疫

年份	政策文件	主要内容
2005年	《国内投资民用航空业规定（试行）》	鼓励和支持民营资本投资民航业。
2007年	《民航总局关于调控航班总量、航空运输市场准入和运力增长的通知》	2010年之前民航总局将暂停受理新设立航空公司的申请。
2010年	《关于进一步加强公共航空运输企业经营许可管理的通知》	继续暂停受理新航空公司的设立申请，提高设立子公司、分公司门槛。
2013年		重新放开新设航空公司的限制，放开民营航空审批。
2014年	《促进低成本航空市场发展的指导意见》	鼓励发展低成本航空。
2016年	《关于加强新设航空公司市场准入管理的通知》	加强对新设航空公司市场准入管理，对支线航空干线、全货运航空转客运营制定了更严格的限制条件。

▲ 表2 | 新设航司准入政策

情中首当其冲受到影响。总体来看，两次疫情“黑天鹅”有以下共同点：

一是客货均受冲击，但货运市场所受冲击小于客运市场。2003年5月，受SARS影响，我国航空旅客运输量一度降至20世纪90年代初期水平，当月同比跌幅达到77.9%，仅为164万人；航空货运所受冲击相对较小，当月运输量同比下降25.2%，降至12.02万吨。2021年，新冠肺炎疫情对民航运输生产影响的深度和持续性超出预期，全行业仅完成旅客运输量44055.74万人次，较2019年同比下降33%，而货邮运输量达731.84万吨，已恢复至2019年的97.2%。

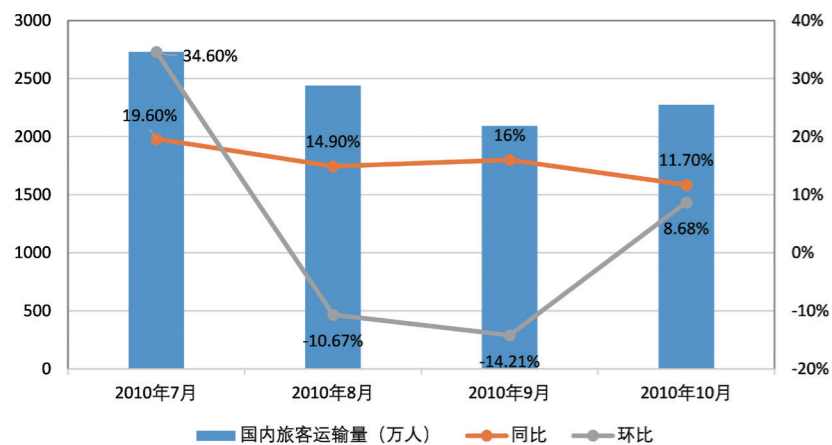
二是客货运市场均出现新增长点。客运方面，SARS疫情期间，国人日益增长旅游消费热情被极度压抑，疫情后休闲旅游需求爆发，航司逐步将飞机运力向旅游航线倾斜，开发更加多元的休闲类航空旅游产品；疫情爆发后，航空公司在产品创新、营销推广方面积极探索，推出多款“随心飞”“观光飞”“红色旅游航线”等航旅产品，推动形成国内大循环。货运方面，SARS疫情不仅推动了阿里、京东等互联网平台经济的成长，也加速了顺丰向航空货运业务发展；疫情期间，随着电子商务持续渗透，冷链市场方兴未艾，跨境电商、专线物流、生鲜冷链、医药冷链等新兴业务已成为我国航空货运发展新动能。

三是突发公共卫生事件应急体系逐步完善。SARS疫情所酿成的危机暴露我国紧急公共卫生事件的标准处理程序尚不完善，后续民航局于2005年发布实施《突发公共卫生事件民用航空应急控制预案》以应对突发公共卫生事件。新冠肺炎疫情爆发以来，民航局相继出台了八版运输航空公司和运输机场疫情防控技术指南，为帮助航空公司、机场做好疫情防控工作充分发挥了行业指导作用，为守好民航疫情防线、促进行业恢复发展提供了重要支持，也为支持、配合各地卫生疾控部门防疫工作展现了行业担当。

安全事件对民航业的影响较为系统，结合历史看，安全事件对需求、供给和政策层面均会产生较大影响。

从需求端看，对旅客出行信心产生影响，短期内抑制客运需求。2010年黑龙江伊春“8·24”飞机坠毁事故发生后，同年8月、9月全行业月度旅客运输量分别环比下降10.67%和14.21%，10月份需求开始恢复，运输量回升至8%以上的增幅。东航“3·21”坠机事故发生后，消费者对民航运输的安全信任需要时间修复，民航业整体复苏进程会受到影响。从旅客出行意愿指数来看，4月份出现了明显的下降趋势，其中受疫情防控政策影响是首要因素，占比55.6%；担忧飞行安全的比例达11.6%。国内疫情多点频发的持续影响，叠加东航“3·21”坠机事故，导致短期内

▼ 图2 | 2010年7-10月我国国内旅客运输量变化
数据来源于民航局



航空市场持续低迷。

从供给端看，短期内运力供给将有所收紧。坠机事件发生后，民航局立即下发《关于加强航空安全工作的紧急通知》和《关于做好民航空防安全工作的通知》，开展行业安全大检查，防范安全隐患。截至3月22日，东航停飞所有B737-800机型，全国范围机场进出港航班量大幅取消。B737-800机型在国内三大航占比约35%，国内航空公司采购的未交付订单或将面临退订，各航司需重新发出新订单，引进新运力有时间差，将导致飞机供给恢复进程减速。同时，航司时刻安排、飞机引进、驾驶员培训等方面采取更加严格监管措施，运力增速或有所下降。

从政策端看，安全管理力度加大，民航准入政策或将趋严。全行业对风险隐患排查、队伍作风建设、安全监管、安全文化等全链条、全流程安全管理能力的要求将不断增强，航司准入政策或将收紧。2010年伊春空难后，民航局出台《关于进一步加强公共航空运输企业经营许可管理的通知》，指出继续暂停受理新设航司申请，并提高设立子公司、分公司门槛。此后在2013年和2014年航司准入政策有所放开，2016年再度收紧。本次东航“3·21”坠机事故或将导致航司准入政策进一步收紧。

历次“黑天鹅”事件的启示

降低“黑天鹅”事件影响的关键在于风险管控。黑天鹅属于随机扰动事件，我们无法预测它何时发生，也无法预测它发生后对经济社会带来何种冲击。如新冠肺炎发生之初，几乎没有人预知到疫情持续的时间会如此之长，影响深度如此之大。不同时期、不同类型的黑天鹅事件对民航的影响程度不同，甚至对不同市场主体的影响也不同，因此，基于过去的经验难以预测黑天鹅，我们能做的是风险管理本身，时刻关注过程而非结果。从民航经历的历次黑天鹅事件来看，只有快速有效的需求扩张政策和风险防控措施才能减少黑天鹅带来的负面影响，促进市场快速恢复。

不同“黑天鹅”对供需层面的冲击路径不同，政策层面应有所区分。从历史来看，地缘政治、经济、公共卫生等“黑天鹅”事件对民航供需两端都有不同程度的影响，但不同类型的“黑天鹅”对民航的冲击路径和程度有所不同，经济危机和公共卫生事件属于需求冲击型“黑天鹅”。而石油危机导致油价暴涨，增加企业成本导致供给能力承压，是典型的供给冲击型“黑天鹅”。安全事件则属于供需双向冲击型“黑天鹅”。

面对不同的“黑天鹅”，应对症下药，

提高政策精准性。对于需求冲击型的“黑天鹅”，政策发力的重点在于稳住需求粘性，激发潜在需求。对于供给冲击型的“黑天鹅”，政策的导向在于提供宽松的制度环境，降本增效，鼓励创新，扩大有效供给。而对于双向冲击型的“黑天鹅”，政策使用上应更加注重综合性，一方面要恢复行业信心，另一方面也要稳定企业生产能力。

只有创新制度供给，才能不浪费每一次危机。“祸兮，福之所倚。”从历次“黑天鹅”事件来看，危中有机是常态，历次危机也是民航完善政策供给、创新商业模式的窗口期。突发事件必定会导致民航偏离正常运行轨道，引发消费习惯、需求结构、商业模式等方面的改变。其中一些改变是永久性的，这就需要政策层面顺势而为，提升政策对形势的适应性、先导性。只有为航空企业创造更宽松的创新环境，支持市场主体在服务价格、产品类型、运营模式等方面进行更具灵活性和创新性的调整，才能及时捕捉“黑天鹅”中蕴藏的机遇，在危机中创造新机。

政策建议

“十四五”以来，疫情和安全事件等多个“黑天鹅”叠加，民航业发展面临空

前挑战，亟需总结经验，在坚守安全底线的基础上，提高政策的创新性和精准性。整体来看，在“黑天鹅”来临时，可从以下几个方面着力促进行业恢复发展：

一是加强规律和原因探寻，提升安全风险预警能力。

安全风险评估与风险源把控是安全风险管理的核心内容。建议要加强规律和情报研究，提升风险识别和评估能力。当前安全风险来源愈加复杂化、多元化和非传统化，应坚持系统思维，以更宽广的视角关注宏观层面的各类风险，加强安全信息情报研究；继续深化对“黑天鹅”事件的分类研究，对不同类型“黑天鹅”事件的发生前兆、规律特征、过程表征、影响程度、应对举措等进行系统研究，不断推进安全风险防控链条前移。

制定安全“错题集”，提升风险源把控能力。利用大数据进行智能化安全分析，形成全行业共享的动态安全“错题集”，全面摸清风险底数，深刻剖析风险根源，重点关注结构性和体制性风险源。根据“错题集”不断推进安全生产标准化，完善清单化管理机制，形成更加精细化的安全检查和培训，推动安全风险防控从个案分析向全局视角转换，从事件预警向前置预防转变。

黑天鹅类型	事件	黑天鹅时间	宏观调控时间	市场恢复时间
公共卫生事件	SARS	2002.2-2003.7	2003.5	2003.6
	新冠肺炎疫情	2019.12	2020.3	/
经济危机	金融危机	2007.8-2009	2008.12	2009年一季度
安全事件	伊春空难	2010.8	2010.10	2010.10
	东航事件	2022.3	2022.3	/

▲ 表3 | “黑天鹅”事件及民航市场调控时间点

冲击类型	事例	政策导向
需求冲击型	经济危机、疫情	稳住需求粘性，激发潜在需求
供给冲击型	石油危机	宽松制度环境，扩大有效供给
双向冲击型	安全事件	稳定生产能力，恢复行业信心

▲ 表4 | “黑天鹅”对民航的影响路径及对应政策的重点



图 | archonca.com

二是充分发挥科技作用，提升民航安全管理能力。

民航运输安全风险日益呈现系统性和隐蔽性等特点，亟需围绕人因风险、设备风险、监管风险等方面加强关键技术研究，深化“云大物智移”等核心前沿技术在行业生产运行全场景的深度应用，夯实智慧民航安全管理体系。

在人因风险方面，加快推动建立疫情常态化下民航职业群体工作负荷风险评估原型系统；开展基于运行和个体特征大数据的飞行风险特征识别，构建飞行员风险心理特征、风险画像、安全状态监测等模型；探索建立基于多源数据融合的飞行员胜任能力特征模型，研究飞行员核心胜任能力演化及干预方法，开发基于循证训练飞行员核心胜任能力提升方案。

在设备风险方面，加强航空移动通信应用研究，加快实现态势推演、空-空信息共享等关键技术突破；探索基于态势分析的飞行精准控制辅助决策，推进飞行过程的精准控制；推动航空器非正常飞行安全预警告警和飞行趋势研判等技术研究和试验，提升突发事件处置能力。

在监管风险方面，优化安全监管信息系统，充分发挥大数据在重大隐患识别、重大风险研判、预测预警和及时应对中的作用，推动从事后被动管理向以风险管控为核心的主动管理，支撑安全监管精准化，力争充分发挥科技作用，做到既防范“灰犀牛”，也高度警惕“黑天鹅”，确保“两个绝对安全”。

三是创新宏观调控政策，激活航空市场需求。

遭遇意外事件冲击时，救市托底和市场振兴往往是政府面临的两大重点任务，建议改革民航发展基金，计提“黑天鹅”准备金。目前我国民航发展基金的使用范围主要是基础设施建设、补贴、科教、安

全能力建设等方面，对于救市等应急方面的使用并未作单独的规定。面对当前外部风险点不断增多的宏观局势，应探索研究民航发展基金改革制度，借鉴央行存款准备金制度，在征收发展基金后计提部分比例，专门用以应对“黑天鹅”风险，以保证每次经历“黑天鹅”事件时，能快速、有效地为市场恢复提供资金支持。

发放消费券，激活市场需求。意外事件冲击将主要导致需求收缩，因此特殊时期仅仅对企业供给端降本减负无法解决根本问题，关键在于激活市场需求。建议特殊时期可将部分财政资金用于向广大出行旅客发放消费券，降低出行成本，一方面可稳定刚需，另一方面促进潜在消费者选择民航出行，激发下沉市场。

进一步放松市场管制，鼓励市场主体持续创新产品。持续深化民航国内航线运输价格改革，继续扩大实行市场调节价的航线范围，提高政府指导价上限；放松选座、航食、行李等收费管制，充分发挥航企积极性，形成多元经营模式；鼓励航司持续开发盲盒、随心飞等服务产品，激活更多出行需求，培养消费习惯。

四是加大舆论引导，促进旅客出行信心恢复。

无论是突发公共卫生事件还是安全事故，都会对短期内旅客出行信心造成影响，为缓解旅客出行安全担忧，建议完善官方信息发布机制。发挥传统媒体在突发事件中的舆论正向引导力量，提高新闻报道的时效性，加大对航空安全性的解释、宣传力度，最大限度消除公众的恐惧心理。

利用新兴媒体平台加强科普力度。针对民航自有平台流量小的现状，应加大抖音、微博大V等新媒体渠道的发声，对大众关注的舆论问题进行有效科普，减少虚假信息散播机会，引导好中青年等互联网主要群体。■

成就智慧客舱 分享每次感动

— Ameco空地互联产品



Amecoconnect

经验丰富 - 360余架Wi-Fi改装安装完成，运营效果良好，Wi-Fi数据高速稳定

能力全面 - B737/ B777/ A320/ A330 窄体机型全覆盖

技术领先 - 中国首家空地互联实验室，Ka Jet Wave卫星通讯系统改装项目已获得民航局颁发的补充型号合格证（STC）

自主研发 - 方案自主设计、器材自主制造、数据自主可控

全流程服务 - 从工程取证、改装设计、器材包生产、机上施工，再到持续运营的全生命周期空地互联产品工程服务

客户化方案 - 与国内外领先供应商合作，可打造多样化、客户化的客舱互联网、商业合作模式和商业运营方案

Amecoconnect 成就智慧客舱，分享每次感动。

如需详情，敬请联系：Ameco市场与销售 部 电话：010 87494100 网址：www.ameco.com.cn

Ameco
飞机工程技术全球服务商
International Aircraft Engineering Technology Service Provider

民航业加快数字化转型

文 | 王双武

随着数字技术的进步，从机票预订、值机服务到机上娱乐等不同过程，民航业正经历一场数字转型，以创新方式提高运营效率和改善旅行体验。在线预订已经改变了民航业的游戏规则，旅客可以在家里或办公室轻松地预订航班。这种在线预订模式的转变既加快了机票销售和增加了收入，又降低了运营成本。

数字技术能提高航空公司的持续经营能力和市场竞争力，这是毋庸置疑的。随着航空商旅市场的发展和个性化旅行需求的增长，民航业应在生产经营的各个方面进行数字技术集成，通过信息技术的提高和数字化转型来改善旅客出行体验。那么，当今国际民航业是如何实施数字转型，又是如何通过数字技术提高自身的经营能力呢？

App 应用成为数字转型的主要抓手

目前，国际民航业利用云计算、大数据分析、人工智能、机器学习和物联网等先进技术正经历着一场数字转型，从而促进航空公司收集、分析和处理大量的实时数据来改变行业的经营模式。航空公司 App 应用的开发成为连接旅客和改善出行体验的一种主要手段。航空公司在 APP 应用中整合了诸多出行相关功能，如座位选择、行李追踪和机上娱乐等。

阿联酋航空利用数字转型为旅客提供更多的出行便利和个性化的体验。阿联酋航空



图 | allyair.com.tr



除了允许旅客在公司 App 上实现旅客对订座、航班、娱乐等进行个性化管理之外，还投资引进了先进的系统为旅客提供航班动态实时更新来提高运营效率。

阿联酋航空在数字转型降低传统纸质流程的基础上，还利用数字化营销手段在不同社群扩大销售范围。汉莎航空基于旅客出行需求重新开发了 App 应用，从今年 2 月起供旅客下载使用。新的 App 应用不但界面简洁、清晰，而且加快了运行速度。汉莎航空在新推出的 App 上采用了更加直观和现代化的设计，使旅客通过一种轻松的方式为出行做准备，尤其是订座和值机更加高效便捷。另外，新的数字钱包实现了无缝支付，为旅客出行账户提供了多种支付方式。随着新 App 的推出，汉莎航空集团旗下奥地利航空、布鲁塞尔航空和瑞士航空的旅客也能共享同一个 App 应用。

瑞安航空从 2021 年 11 月开始推出了一套数字客户增强体验功能，主要包括旅行 App 助手、数字自助服务中心和瑞安航空钱包等内容。使用旅行 App 助手，客户能够获得航班和登机口实时信息的更新和通知。瑞安航空的 App 应用还可以方便地获取登机牌和相关旅行证件。另外，旅客可使用瑞安航空新的数字自助服务中心来变更航班，更新乘客信息，增加托运行李、选择座位和其他服务。瑞安航空的数字钱包让旅客可以使用他们的钱包余额快速预订航班，并提供退款的实时状态更新。瑞安航空 App 应用的开发进一步完善了旅客自己管理出行计划。

虽然亚航是低成本航空运营的典范，但在注重成本控制的同时，亚航也十分关注提升旅客体验和数字化营销生态系统建设。亚航通过开发的一款超级 App 应用，在数据和技术的支持下，为消费者提供一站式旅游与购物交易平台。亚航超级 App 应用利用其 5100 万用户和 4000 万下载量

的数字生态系统，为用户提供个性化、经济性和无缝隙服务的消费体验。

亚航在超级 App 上推出了全新的电子钱包。用户使用电子钱包除了支付 App 应用上的产品和服务外，如机票、酒店、零售、餐饮、租车等，还能获得亚航相应的积分奖励。亚航在开发超级 App 应用数字生态系统提升用户消费体验的同时，还通过对电子钱包应用跟踪，分析用户行为洞察，为用户提供更高的价值和更优质的服务。

技术投资加快数字转型

全球著名市场数据提供商 IDC 发布的一份报告中指出，到 2023 年全球民航业在数字转型技术和服务方面的支出将达到 2.3 万亿美元，高于 2018 年估计的 1.3 万亿美元。该报告还指出，为了创造新的收入来源和提高效率，各航空公司正加大数字转型的技术投资来改善旅客出行体验。

在涉及旅客出行体验和服务提升方面，航空公司却希望用更少的钱做更多的事，试图利用数据驱动优化资源作出决策，但因内部复杂且没有被集成的独立数据无法全面反映旅客需求、消费行为和出行计划等的完整数据，所以在客户洞察和市场反应的分析上出现了片面性和不完整性。为此，航空公司需要考虑如何将忠诚度产品与全渠道服务平台集成，基于云计算与生态系统合作伙伴共同提高出行体验。

数据分析是数字转型成功的一个关键因素。航空公司应收集和分析客户数据，以推动个性化体验和提高运营效率来开发新的收入来源，这包括使用预测分析来优化航班时间表和定价策略。航空公司应与包括技术提供商在内的合作伙伴共同加快数字转型进程，为行业发展带来新的思路和解决方案。

民航业完成数字转型需要对技术和基

基础设施进行投资，其中就包括升级遗留系统和实现基于云的解决方案，以及集成多个平台。就传统意义上来说，航空公司内部有许多数据，但是这些数据相互又是独立的，甚至会来自于不同的数据源。在很大程度上，航空公司的数字转型必须要解决不同口径数据的一致性和连接性。

在人工智能模式与定价计算方面具有权威的 PROS 公司，通过开发人工智能软件帮助企业实现收入最大化。PROS 与包括阿联酋航空、澳洲航空、汉莎航空、墨西哥航空、日本航空和美国西南航空等在内的企业进行合作，帮助他们实现收入管理、分销渠道和数字零售等关键部分数据的有效连接。随着航空公司日益寻求降低运营成本和增加收入，由人工智能驱动对客户数据的使用是不可阻挡的发展趋势。

英国航空在实施数字转型过程中，除了利用自助值机柜台、移动 App 和在整个飞行途中开通机上 Wi-Fi 外，还利用电子商务和社交媒体数据识别来定位旅客个人需求。阿联酋航空引入了沉浸式 360 度 3D 内部客舱，方便旅客在购买机票时提前在公司应用程序上通过网络虚拟现实技术对购买机票舱位进行浏览，为旅客提供体验式信息，增强旅客对飞行的控制感。

因此，航空公司面临的挑战不仅仅是要收集更多的数据，更重要的是如何更好地利用已经拥有的数据。航空公司需要发展数字技术，以更好地满足旅客出行的不



图 | www.de-you.cn

同需求。通过技术投资与革新加快数字转型，才能实现数字转型降低成本和提高成效的目标。

打造数字出行生态系统

近年来，民航数字技术的进步改变了行业运营模式，既提高了航空公司的安全和高效运营，也为旅客提供了出行的便利。数字技术的应用加快了自助值机、自助托运行李以及无接触安检及人脸识别登机的普遍应用。随着个人设备和互联网空地链接的出现，航空公司已投入大量资金升级机上娱乐系统，旅客可通过个人设备或机上娱乐系统欣赏各种电影、电视节目和社媒交流。

土耳其航空在非接触性数字技术的开发与应用上，为旅客提供以移动为中心的出行体验，在电子护照系统、远程数字视频信息显示和移动应用程序等方面持续提升旅客出行体验。通过与土耳其电信公司的合作，今年 4 月土耳其航空为跨越欧洲、亚洲、非洲和美洲的远程国际航班旅客在机上免费使用 WhatsApp、iMessage 和脸书 Messenger 等流行社媒应用，使旅客在万米高空中能与家人和朋友及时沟通交流。目前，旅客可通过携带的智能手机、平板电脑或笔记本电脑上网使用。

新加坡航空自 2021 年 7 月起，在一些空客 A350 飞机上利用机上娱乐系统的 KrisShop 互联网电商平台为旅客提供实时购物服务。KrisShop 电商平台有超过 4000 种商品，包括新加坡航空专有商品、美容产品、电子产品、香水和酒类等。如果下次飞行还选乘新加坡航空的航班，旅客可预先下单并享受商品免税优惠价。下次乘机时，这些预订的商品将被送到飞机上旅客的手中。当然，旅客也可以选择将商品直接投递到住处。

美国西南航空从 2022 年 8 月起通过

在公司商务旅游门户网站新增“西南航空商务助手”一站式服务功能，实现了比以前更容易的商务旅行管理。“西南航空商务助手”在第一阶段将实现差旅资金管理、完善合同权益和客户业绩洞察、优化持续性经营报告、通过实时功能和服务提高自动化程度等自助服务工具，使商务旅客、旅行决策者、商旅管理公司等更好地管理商旅计划。这项自助服务有效提高了美国西南航空与商务合作伙伴的沟通效率。

为了方便旅客查询所有航班信息，瑞安航空于 2021 年 10 月推出了一套数字化客户改进方案，具体包括在“旅行日”App 上实时更新出发时间，在旅行中断期间重新安排路线，实时更新机场、候机楼、航班和登机口信息，以及 App 上显示登机牌等旅行文件。瑞安航空还设立了数字自助服务中心，实现在线自助服务，实时更新客户索赔进度和与客服部门的互动情况。

达美航空通过技术革新手段来改善运营流程和增强旅客出行体验的方式实现数字化转型，例如：为旅客提供移动 App、自助值机、行李追踪等自助服务方式来降低企业成本和减少旅客等待时间。另外，达美航空还采用人工智能为旅客提供重新预定工具减少旅客等待时间的方式，来进一步提高旅客满意度。

员工赋能提高数字转型效率

在民航数字转型过程中，客户关系管理已成为不可分割的一个组成部分。航空公司通过收集和分析客户数据可以深入了解他们的消费行为和出行偏好，并采取相应的措施来调整和完善服务方式。客户关系管理既能有助于航空公司针对客群特征开展个性化的营销活动，又能改善客户关系和提高客户忠诚度。因此，民航数字转型不仅仅是依赖技术革新，更关乎员工的

工作效能。

在一定层面上来讲，航空公司需要考虑如何利用数字技术来投资和增强员工的能力，真正理解和掌握他们的疑难问题和关注点，从而提高他们围绕客户体验的工作效率。在关乎民航降低成本和提质增效的数字转型过程中，航空公司应加大对员工数字转型业务的培训和教育，以确保他们具备适应新技术和新流程所需的专业技能和知识。在数字转型的关键环节应让员工参与计划制定与战略实施，确保工作方向与公司目标的一致性和连续性。

在旅客出行的不同阶段，航空公司不同部门的不同系统，如销售、客户关系、餐饮预订、机票更改、地面服务、空中服务等会有很多客户服务记录，而由于庞杂的服务体系没能有效连接和打通，航空公司很难对客户需求和出行体验形成一个系统性的画像。

在利用集成数据战略推动未来的盈利能力方面，IBM 公司全球旅游与运输总经理迪·瓦德尔认为，航空公司在技术和权力上应赋能员工，让来自于忠诚度计划、公司网站、呼叫中心、机场服务、机上服务等各类数据有效连接和打通，确保所有数据可以被人工智能所利用，并无缝集成到客户维护的链条中。

民航数字转型应侧重于改善客户体验，员工对数字技术的维护、开发与创新关切到旅客出行体验的品质，尤其是个性化商旅客群的出行体验更需要员工开展深入有效的市场洞察与调研，通过数字技术持续完善忠诚度计划。因此，民航在数字转型过程中应提倡和执行员工赋能。

如今，民航业正经历着数字转型的一场革命，数字转型将为民航的发展带来全新的经营模式，也为旅客出行带来更多的便利和服务。■

航司赢得第一桶“碳收益”： 基于机票碳标识的民航旅客 碳普惠

文 | 顾晏 顾胜勤

近期，国家市场监督管理总局提出了在 2025 年建立全面碳标识制度的要求，这就意味着建立机票碳标识体系刻不容缓，而机票碳标识也为航空旅客碳普惠创造经济价值提供了依据。最近上海市发布的个人碳普惠管理办法，为基于机票碳标识的旅客碳普惠模式实施提供了制度保障，使得航司能从减碳中获得切实收益，从而促进 SAF 的推广使用，更好地在全行业实现双碳战略目标。

国家双碳政策与民航双碳目标的挑战

在全球气候变化的严峻挑战下，国家提出了“碳达峰”和“碳中和”的宏伟目标，确立了到 2030 年碳排放达峰、2060 年实现碳中和的时间表。这一战略性决策，不仅展示了中国作为大国在全球气候治理中的领导角色，也为国内产业转型升级提出了明确要求。在此背景下，各行各业积极调整能源结构，推动技术创新，完善市场机制，力求在绿色低碳发展的道路上取得实质性进展。

图 | sunairjets.com

民航业作为全球能源消耗和碳排放的重要行业，其在双碳目标实现过程中的作用尤为关键。民航业正面临双重压力：一方面是国际航空运输协会（IATA）设定的全球航空业到 2050 年实现碳排放量净零增长的目标，另一方面则是与国家双碳战略相一致的自身发展目标。为此，民航业积极响应，通过提高能效、优化航线、发展绿色机场、推广可持续航空燃料，探索建立碳排放权交易机制等多方面措施，推动行业绿色转型。

可喜的是民航在追求双碳目标的道路上已有积极进展。《“十四五”民航绿色发展专项规划》中提出的目标和措施，不仅着眼于当前的改善，也为长远的绿色发展铺设了道路。规划中特别提到，要通过提高航空公司的能效、优化航线网络布局、推动绿色机场建设、发展新型航空运输模式等，以减少碳排放，实现民航业的可持续发展。同时，积极推广可持续航空燃料（SAF）的使用，并探索建立碳排放权交易机制，以市场化手段促进碳减排。

在实现这些目标的过程中，中国民航业还面临着一系列挑战。当前，航空公司对双碳政策的认识多停留在完成政策要求的层面，对双碳带来的经济价值和商业模式转变的认识不足。此外，虽然疫情给航空业带来了前所未有的冲击，但也为行业提供了转型的窗口期。航空公司可以利用这一时期通过更新机队、提高燃油效率、淘汰老旧飞机等方式减少碳排放，并在复苏过程中加强绿色低碳的发展理念。长期而言，可持续航空燃料的使用和推广将是实现零碳飞行的关键。但是目前，SAF 的成本较高且供应有限，尽管相比化石燃料能够减少高达 70% 至 100% 的碳排放，其推广仍处于早期阶段。

未来，民航业在双碳目标的实现过程中，或需将双碳政策融入到企业的长远发

展战略中。同时，通过市场化的手段，鼓励航空公司超前布局，不仅在技术创新上下功夫，更要在通过双碳工具优化客户体验上进行探索。基于机票碳标识的民航旅客碳普惠体系，或能为航司带来一条积少成多的碳资产收益新路径。

建立机票碳标识体系迫在眉睫

近期，国家市场监督管理总局发布了《关于统筹运用质量认证服务碳达峰碳中和工作的实施意见》。其中明确提出了到 2025 年基本建成涉及直接和间接碳排放的认证制度体系的目标。在实物和服务产品层面，将有序建立国家统一推行的产品碳标识认证制度，统一制定认证目录、实施规则和标识，按照“成熟一个、设立一个”的原则，逐步开展产品碳足迹等碳标识认证。

对于民航业而言，这意味着机票碳标识制度的建立成为了行业发展的必然趋势。机票碳标识将记录每一次航班服务的碳排放量，通常由以下排放数据构成：

范围一：直接排放（Scope 1）：

飞机燃料消耗：这是机票碳足迹中最大的部分，包括飞机在一次航班中燃烧燃料产生的直接二氧化碳排放。

范围二：间接排放（Scope 2）：

航空公司设施能源使用：包括航空公司办公楼、机库、机场设施等使用的电力和热能。

范围三：其他间接排放（Scope 3）：

飞机制造和维护：飞机的生产和维护过程中产生的碳排放；机上服务：包括餐饮服务、废物处理、洗涤布草等服务的碳排放；机场运营：包括旅客使用的机场设施和服务，如候机楼、交通工具、地勤服务等；旅客交通：旅客前往和离开机场的交通工具产生的排放；货物运输：飞机上运输的货物的生命周期排放；员工通勤：

航空公司员工上下班的交通排放。

为了准确计算一张机票的碳标签数据，航空公司需要收集和分析所有相关的排放数据，并采用标准化的计算方法。比如，具体平均到个人的燃油消耗，由于不同航班上座率的差异，需要制定行业规范和计算方法，以确保排放量被公平合理地标识到机票上。除此以外，具体哪些排放数据需要被纳入机票碳标签标识范围等问题，都需要全行业在有关部门的领导下配合第三方专业机构共同制定。

随着2025年碳标识认证体系的建立，机票碳标识制度的推行将成为民航业绿色发展的关键一步。表面上看，机票碳标识的基本职能是让乘机人明确知晓本次消费所造成的碳排放量，从而引导消费者选择低排放航班，但实际上，碳标识的价值远不止于此。

基于机票碳标识的碳普惠可成为航司和旅客双赢的商业闭环

碳普惠是双碳体系中的重要环节，是其相关政策落实到个人的实现路径。10月7日，上海市生态环境局印发《上海市碳普惠管理办法（试行）》（以下简称《管理办法》），考虑到上海在全国碳交易体系中的核心地位，本管理办法大有在全国推广之前先行试水的意味。在民航领域建立的机票碳标识体系，能为航司通过旅客碳普惠创造经济价值提供切实依据。

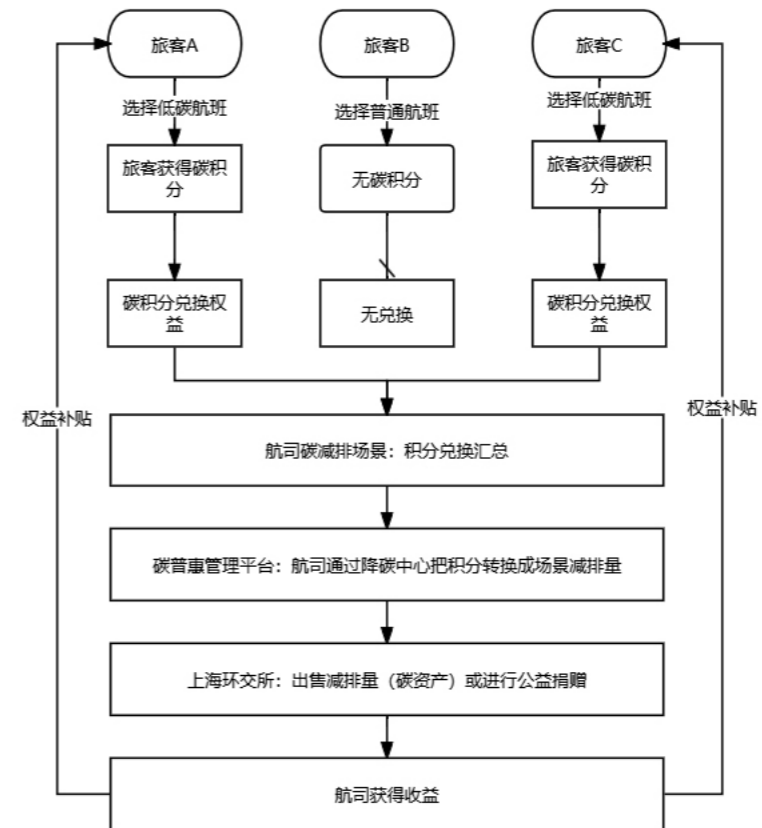
个人碳普惠账户的作用。个人碳普惠账户是碳普惠体系的基础，它为每个人的低碳行为提供了量化和奖励。每个人通过生活中的选择，如乘坐公共交通、减少能源消耗等，都可以在个人账户中积累碳积分。《管理办法》第二条对碳普惠给出了定义：“是指针对本市机关、企事业单位、社会团体、其他社会组织或个人在绿

色出行、能源节约、资源循环利用、可再生能源利用等领域的减碳行为，基于本市公布的碳普惠方法学进行量化和赋予一定价值，并运用商业激励、政策支持、市场交易等方式，推动建立绿色低碳生产生活方式的正向激励机制。”个人碳普惠账户作为记录碳积分的工具，正是碳普惠定义中所提倡的商业激励的具体实现形式。

民航旅客碳普惠。民航旅客碳普惠是指将民航旅客的出行与碳排放量关联，通过认证后的机票碳标识，鼓励旅客选择低碳排放航班。在实施过程中，需制定相应的碳积分制度：旅客通过选择低碳航班积累碳积分，可兑换各种奖励，如航空里程、酒店积分等，从而激励更多人参与低碳行动。通过碳积分制度，航司可增强旅客粘性，提高企业形象。更为重要的是，旅客个人碳积分将成为构成航司碳资产的涓涓细流。

个人碳普惠方法学开发。为了使旅客通过购买低碳机票能够获得有效的碳积分，需要开发相应的“民航旅客碳普惠方法学”。在双碳领域，“方法学”（Methodology）是指用于量化、监测、报告和验证（MRV）温室气体排放和减排效果的一套规则、程序和指导原则。方法学通过比较基准情况下航班的排放量和低碳航班排放量的数据（由机票碳标识认证提供），来确认每一个旅客选择低碳航班出行实际获得的减排量。简而言之，开发、备案“民航旅客碳普惠方法学”是民航旅客获得碳普惠积分的必备条件与计算标准，这一点在《管理办法》第五条中也有明确的规定。

依据备案后的方法学，选择低碳航班进行出行可获得“市减污降碳中心”签发的减排量，并可转化为碳积分，然后依据这些积分向航司兑换商品和服务等权益。航司作为碳普惠权益主体，在这些积分通



过兑换汇总后，转化为属于航司的场景减排量（碳资产），即可在上海环交所碳市场进行出售。虽然单张机票、单个旅客所得的碳积分价值有限，但考虑到航司庞大的客运量，累计所得的碳资产数量将相当客观。换一个角度考虑，如果低碳排放成为必须的行业管理要求，那么汇集旅客的碳资产变现就能成为碳市场对航司的补贴。航司通过碳交易所得的收入，反过来可用于对民航旅客的补贴，增强自身市场竞争力。就目前情况来看，国内主要碳资产成交价格持续上涨，随着近期钢铁、水泥等行业被强制纳入碳市场，预计未来碳资产价格将持续上涨，那么越提前开始累计碳资产，就越能够实现“早起的鸟儿有虫吃”。

民航旅客在接收到碳积分的实质福利

后，会更倾向于选择低碳航班，这将更进一步促进航司主动降低航班的碳排放，在碳资产价格日益上涨的情况下，可持续航空燃料（SAF）的推广或因此更进一步。

在全球共同应对气候变化的大背景下，中国的双碳目标不仅彰显了国家责任，更为各行各业提出了转型升级的要求。民航业作为国际化程度极高的行业，其碳减排工作自然成为全球关注的焦点。机票碳标识作为创新的减排工具，不仅为消费者提供了明确的低碳选择，而且通过个人碳普惠账户和碳积分转移的机制，形成了从个人到企业，再到整个社会的碳减排参与链。■

“大型飞机重大专项”论证 专家组组长李未： 用三倍于常人的努力去工作与学习

文 | 水木



李未 | Li Wei

1943年6月生，北京市人，计算机专家，中国科学院院士，北京航空航天大学原校长、计算机学院教授、博士生导师。“大型飞机重大专项”论证专家组组长。曾获国家自然科学基金二等奖1项、国家科技进步二等奖1项、何梁何利科技与技术进步奖1项，以及多项省部级奖。

“用三倍于常人的努力去工作与学习”，这是李未在担任北京航空航天大学校长期间多次在毕业致辞中勉励学生的话。实际上，这也是李未本人的真实写照。

作为改革开放后国家选派的第一批出国留学人员，学成回国后的李未成为第一批国家重点实验室主任和当时最年轻的国务院学位委员会委员，并将计算机科研与教育工作当作自己毕生追求的事业。

李未常说，自己人生的每一次进步，都离不开国家的培养，离不开学校的支持，离不开改革开放提供的机遇和环境。为此，李未把干好工作、回报祖国和学校作为自己不变的选择，并坚持以三倍于常人的努力去工作。

与计算机结下不解之缘

李未的本科专业是数学，但在中学时期，他却常常为数学功课不好而发愁。为了学好数学，李未不惜采用题海战术，久而久之便受到了老师的表扬。这增强了他学好数学的信心。到高考前，李未已经将学校图书馆馆藏的所有数学书里的习题做了个遍，因此也如愿考入

了北京大学数学力学系。

1966年，李未从北京大学数学力学系毕业，被分配到北京航空学院（今北京航空航天大学）工作。1970年经三机部和北京航空学院推荐，协助华罗庚先生在三机部下属工厂和研究所推广“优选法和统筹法”。在推广工作中，李未主动使用“正交设计方法”处理影响因素多、数据复杂且周期长的试验项目，取得了明显效果，为科技攻关作出了贡献。

改革开放后，国家格外重视对计算机学科的人才培养与教育，决定在全国选派200名骨干教师到国外进修学习，李未顺利地通过了选拔考试，1979年他赴英留学，师从国际著名计算机科学家普罗特钦教授，在著名的爱丁堡大学计算机系攻读计算机科学博士学位。该系开设了大量前沿课程，承担了多个重要科研项目，学术交流活动异常活跃。在这样的学术氛围中，李未受到了严格的学术训练，培养起严谨求实、精益求精的治学态度和敏锐的学术眼光，也激发出他对学术研究的极大热情。

李未在国内感兴趣的高级程序语言，亦即“并发程序设计语言”，恰是爱丁堡大学研究的热点；

而他的导师普罗特钦提出的“结构操作语义方法”，正可用来研究并发进程中的并行、同步和通信行为。在导师的指导下，李未使用这种方法，研究了著名的Ada语言，给出了该语言有关任务（包括并行、汇聚、通信、同步及选择等程序机制）的语义，首次给出了在并行机制下的程序例外处理的语义。他的工作系统地解决了实用并发式程序设计语言的操作语义问题，并在语义研究的基础上给出了这些机制的正确实现方法。李未还对多种并发语言进行了比较研究，建立了关于并发语言的翻译正确性理论，在当时被称为“并发语言比较研究的开创性工作”。

1983年，李未的爱丁堡大学获得博士学位，成为1949年以来我国大陆第一位在英国获得计算机科学博士学位的留学生。同年，他被英国科学工程委员会聘为高级访问研究员。1986年，被德国不莱梅大学承担的欧共体发展信息技术

战略计划项目聘为教授级研究员。他在并发程序设计语言方面的研究获得1995年国家自然科学基金二等奖。

学术研究锲而不舍

在学术生涯中，李未一直着眼于学术前沿的重大问题，锲而不舍地开展学术研究。

1987年，李未辞去了德国的研究职位，应召回国，担任国家高技术研究发展计划（简称“863”计划）计算机领域专家，同年破格晋升教授、博士生导师，当选国家级有突出贡献的中青年科技专家。1988年起任国务院学位委员会委员。

1987年至1997年，李未任“863”计划智能计算机领域担任基础研究的责任专家，这使他有可能会从更加宏观的角度思考人工智能的问题。众所周知，当一个科学理论遇到试验和应用的反驳时，人们必须查找这个理论中与实践有矛盾

李未常说，自己人生的每一次进步，都离不开国家的培养，离不开学校的支持，离不开改革开放提供的机遇和环境。为此，李未把干好工作、回报祖国和学校作为自己不变的选择，并坚持以三倍于常人的努力去工作。

的原理或定律，并将其删除，代之以得到试验支持的新原理或新定律。这是科学发现进程中关键的一环。李未发现，这个环节的完成依靠的是逻辑分析和推理，本质上与数学证明一样，所不同的是后者只有一个前提（即这个数学理论的公理系统），而前者有两个前提（一是现有理论，二是试验结论）。

为此，李未在经典数理逻辑的基础上，提出了查找错误的逻辑推理系统，称为修正演算或 R-演算，包含 7 条推理规则。他证明了这个系统的可靠性和完全性，即使用 R-演算可以删除所有与试验有矛盾的原理或定律，并可以推算出所有不同的改进方案。这个研究结果使他获得了 1998 年光华科技进步一等奖。李未进一步认识到，第二次世界大战后计算机软件和人工智能应用的快速发展，对数理逻辑学提出新的要求，并将丰富它的研究内容。为此，他从数理逻辑的角度，对人工智能和软件开发的几个主要方面进行了系统深入的研究。经过 20 年的不懈努力，除证明 R-演算的可靠性、完全性和可达性之外，他还先后提出了版本序列、关于软件开发方法的过程模式理论，归纳推理的合理性理论，以

及 3 个语言环境的理论。他将这些成果撰写成专著——《数理逻辑：基本原理和形式演算》。2007 年，该书中文版由科学出版社出版，英文版也于 2009 年由 Springer / Birkhauser 出版社出版。

李未还曾主持过多个重点科研项目。研究过逻辑推理计算机，开发过软件生产线，曾任我国第一个 IPV6 互联网的专家组组长。他在国内首先倡导研究海量信息传输、存储和管理，担任过两届国家重点基础研究发展计划首席专家。他的这些研究工作获得了国家科技进步二等奖 1 项、何梁何利科技与技术进步奖 1 项及多项省部级奖。

1997 年，在科研上不断追求创新、取得突出成就的李未当选为中国科学院院士。

培养创新型领导人才

在担任北京航空航天大学教

授和博士生导师之后，李未也自觉地像华罗庚一样教书育人，培养英才。在李未看来，一个高水平的好教师，应该既是学术方面的专家，又是培养高素质人才的行家。李未先后指导了 50 多位博士生，上百位硕士生，堪称“桃李满天下”，为国家培养了一大批优秀的专业人才。目前，他的学生活跃在国内外计算机科研、教学和产业的各个领域。

2002 年初，李未受命担任北航校长。在教育管理的岗位上，李未也像他在学术研究和教书育人上一样，始终保持着科学家的战略性眼光和教育家的清醒认识。

为了更好地服务国家战略需求，建设现代化大学，李未提出了北航要着力实现两个转变：在“十五”办学规模拓展的基础上，向全面提高办学质量转变；在过去有效培养常规型科技人才的基础上，向培养国家和国防创新型人才

经过 20 年的不懈努力，除证明 R-演算的可靠性、完全性和可达性之外，他还先后提出了版本序列、关于软件开发方法的过程模式理论，归纳推理的合理性理论，以及 3 个语言环境的理论。

他坚决支持大型飞机产业必须引进国际适航标准，接受监督，以保证国产大型飞机的安全性的原则。

转变，力争为国家培养出国民经济和国防科技创新型领军人才和国际经济一体化的创新型领导人才。

他提出本科教育是大学之本，制定了“强化基础，突出实践，重在素质，面向创新”的指导方针，本科低年级抓好 6 门核心基础课，高年级上好专业核心基础课。他坚信研究生教育是创新之源，提出了“拓宽基础、瞄准前沿、建设团队、自主创新”的指导方针，并进一步提出服务国家战略要落实到承担重大项目上的口号，摸索出了一套培养引进学术带头人、竞争国家重大项目，建设重点实验室、构建科研梯队、获得标志性成果的经验和方法。这些措施的实施使北航连续 6 年获得国家技术发明奖、国家科技进步奖共一等奖 6 项、二等奖 27 项。他还倡导并实施了“严进、重教、优出”的质量管理模式和以学生和教师为本、面向教学科研服务的大学管理体系。他的改革思路和措施受到北航师生的欢迎和支持。李未获得 2004 年国家教学成果一等奖，作为教师，指导博士生 78 人、硕

士生百余人。出版专著 3 部（中文 2 部、英文 1 部），发表论文百余篇，获专利 20 余项。

奠定大飞机项目基础

2003 年，李未受命担任国家中长期科技发展规划“大型飞机重大专项”论证专家组组长。为使这一关乎我国是否能建设有国际市场竞争力的大型飞机的产业论证成功，他一不纠缠历史旧账，二不钻研具体技术细节，而是组织专家组听取政府部门、航空企业、航空公司、民营及合资企业等 77 个单位的汇报，研究我国民航运输业对大型飞机的需求，调查在购买国外大型客机中存在的问题，讨论大型飞机产业在我国产业结构转型中的地位，调研使专家组一致认识到立项的必要性。

同时，专家组还深入 4 省 2 市 48 家相关企业、院所和公司，实地考察了我国航空制造业的设计、制造、生产、营销和服务诸方面的现状、能力和存在问题，与

450 多名专家、企业家、官员等进行了不同形式的座谈交流，对可能性问题也达成共识。在此基础上，专家组完成了 25000 字的报告，以翔实的数据、事实和严谨的逻辑分析，论证了大型飞机重大专项立项的必要性和可能性，并首次提出发展大型飞机产业必须建立多元化投资的股份公司，必须按市场规律经营并取得竞争力。大型飞机重大专项终于通过立项论证，进入了中长期科技规划。李未因此获得规划领导小组颁发的重要贡献奖。

2005 年，李未被任命为国务院大型飞机重大专项实施方案论证委员会主任委员。他坚决支持大型飞机产业必须引进国际适航标准，接受监督，以保证国产大型飞机的安全性的原则。为保证适航标准得到严格执行，他又全力支持成立多元化投资的股份制公司，并采用国外通行的主制造商和供应商的市场机制。国务院常务会议原则批准大型飞机研制重大科技专项正式立项。李未对我国大型飞机项目上马和实施方案的制定作出了重要贡献。■

说说飞机的机外灯光

文 | 步恒祚

在候机楼等待登机时，你一定看到过停机坪上的飞机机身上闪亮着各种灯。这些灯虽然多种多样，但按用途也只分为两大类，一类是信号灯，用来向其他飞机机组或地面管理人员、操作人员表示一种视觉语言；一类是照明灯，除了用于照明环境和自身，有的也具有一定的信号作用。



飞机的信号灯

外部信号灯可以简单概括为：两个系统、三种灯。两个系统即航行灯系统和防撞灯系统；三种灯，即航行灯、防撞灯和频闪灯。防撞灯系统对航行灯系统也能起到强化作用，但基本设计功能不尽相同。

航行灯系统

按适航标准，航行灯系统分为前航行灯和后航行灯，共 5 盏。前航行灯由靠近机翼左翼尖的红灯和靠近右翼尖的绿灯组成；后航行灯为位于机翼翼尖后部和机尾末端的白色灯。这样的布局，不仅显示出飞机的轮廓、姿态，而且可以让飞行员相互判断他机相对位置和飞行方向，与飞行安全密切相关。

多年来民航飞行的实际情况表明，尽管有空中交通管制员对飞机的监控以及空中防撞系统（TCAS）的监视，也不能杜绝飞机相撞事故的发生。所以航行灯对飞行员的警示和进一步的判断是极其重要的。

为了能够尽早发现并及时规避对方，避免发生事故，要求航行灯具有一定的发光强度。适航标准允许的航行灯最短能见距离取决于

飞机的相对速度和飞行员从看清航行灯到做完机动转弯所需的时间。根据现代民航飞机的飞行性能，运输类飞机适航标准要求前航行灯（红色灯、绿色灯）沿飞机纵轴向前方向的光强不小于 40 坎德拉，离开飞机纵轴向后偏转至 110° 的最小光强允许为 5 坎德拉。白色灯最小光强允许为 20 坎德拉。

上述光强度只是对运输类飞机的最低标准。有些飞机航行灯的光强高达 150 坎德拉，在 7000 米高度时能见度达 15 千米~20 千米。上面所说的光强度要求都是指飞机水平面内的，对于离开水平面向上或向下方向允许的最小光强度要求就低得多。因为两架飞机不在同一高度飞行不会发生碰撞，例如在飞机正上方航行灯允许的最小光强只有 2 坎德拉。

航行灯的颜色也有一定要求，并不是任意的红、任意的绿、任意的白，而是符合适航标准中“航空红”“航空绿”“航空白”的相关数据要求。

飞机在飞行中航行灯一直是

打开的。在地面时，航前准备一开始就由航前机务打开航行灯，这是飞机在地面向四周发出的警示信号。

当然，战斗机进入作战任务区要关闭机外所有照明灯，只有在巡航飞行、训练飞行、编队飞行时才打开必要的灯光。

防撞灯系统

防撞灯系统由红色防撞灯和白色频闪灯组成，习惯上红色防撞灯也称信标灯。飞机防撞灯的作用是配合航行灯显示飞机位置。从总体功效看，防撞灯也算是航行灯系统组成的一部分，防撞灯与航行灯一起使用可以增强附近飞行员的现场感知能力。飞机在地面进行作业时，红色防撞灯也能起到提醒、警告附近车辆或其他机械和人员的作用。

民用航空适航标准对飞机“防撞灯系统”中有关防撞灯的安装位置、数量并未作出规定，而只是提出必须满足的要求：防撞灯应能照

外部信号灯可以简单概括为：两个系统、三种灯。两个系统即航行灯系统和防撞灯系统；三种灯，即航行灯、防撞灯和频闪灯。



亮飞机周围重要的区域，显示飞机外部形态和轮廓；防撞灯的安装位置应使其发出的光线不影响飞行机组的视觉，也不能损害航行灯的明显性。飞机的红色防撞灯位于飞机机身上方和机腹区域。白色频闪灯位于翼尖前缘和飞机尾部区域，翼尖频闪灯的位置比航行灯更靠近翼尖，有独立灯罩或与航行灯合用一个灯罩。

早期机身上下的防撞灯亦为白色，但造成驾驶舱内有明显的、耀眼的反向散射光，影响机组人员视觉。由于翼尖白色频闪灯位置距离红色或绿色航行灯较近，在一定程度上影响到对航行灯的观察。但在它明亮的灯光下，更能显示飞机的轮廓，增强了防撞作用，起到强化航行灯显示飞机轮廓的效果。当只看到对面飞机的左右频闪

灯时，即使看不清航行灯，飞行员也可以判断它的飞行方向。因为白色频闪灯光强度很高，影响正常观察且对人眼有可能造成伤害，所以在地面作业时（主起落架处于被压缩状态）一般不打开频闪灯。此时全靠红、绿航行灯判断飞机位置。正常情况下，接通自动控制程序后，飞机一旦脱离地面，频闪灯就会自动点亮，触地后随即关闭。因此我们在候机时看不到廊桥登机口处飞机频闪灯的亮光。飞机滑向起飞跑道时起落架也处于压缩触地状态，所以频闪灯是关闭的。但是要穿过跑道时，飞行员都会手动强制打开频闪灯，向塔台和其他飞机发出信号：我要穿过跑道了。另外在起飞之前，获得排队指令、进入起飞跑道时要打开频闪灯。在落地以后，每当穿过一个跑道，也须打开频闪灯。飞行中没有必要一直打开频闪灯，当起飞爬升到3000米左右高度时频闪灯关闭。红色防撞灯自飞机被推出就要打开，一直到飞机落地滑行到机位并关闭发动机后才关闭。

按适航标准，防撞灯要具备一定的闪光特性。红色防撞灯的闪烁频次相对低一些，约为40~60次/分钟；白色频闪灯的闪光频次

较高，约为70次/分钟。它的发光强度很大，在数千米内均可看到，在夜间高空飞行时容易被察觉。但这两种灯都采用爆闪方式，爆闪发光时间为1毫秒。细心观察可以发现，波音飞机白色频闪灯每次闪烁1下，空客飞机频闪灯每次闪烁2下，也有的其他小飞机每次闪烁3下。防撞灯的颜色必须是“航空红色”或“航空白色”。防撞灯的照射范围自水平面向上、向下各75°。灯光强度要求比航行灯高得多，水平方向允许的最小光强为400坎德拉，向上或向下75°允许的最小光强为20坎德拉。

防撞灯、频闪灯的频闪模式有电机旋转式、气体脉冲放电式（氙气弧光灯）和晶体管开关式。近些年波音787和空客A350等新型飞机上的防撞灯、频闪灯使用了超亮的LED灯来产生所需的红光或白光。这些灯比氙气闪光灯闪亮时保持亮的时间更长。这种LED灯看起来更像是在交替开、关，而不是在闪光，因此更容易被发现。值得注意的是，不要混淆翼尖白色航行灯和白色频闪灯。白色频闪灯的灯光是闪烁的且安装在翼尖前缘，白色航行灯灯光是连续、不闪的且安装在翼尖后缘。

飞机的照明灯

飞机机外照明类灯有两种，一种用于飞机起降时照亮跑道和临近的周围环境，一种用于照亮自身机体重要部位。它们是着陆灯和机翼检查灯。

着陆灯

夜晚的机场，我们常能清楚地看到，即将着陆的飞机，机身两侧有两道耀眼的光柱，那就是飞机的着陆灯。着陆灯通常安装在机翼翼根前缘、前起落架或机身腹部的某处。着陆灯是飞机灯光系统中最重要的外部照明设备。民航客机在跑道入口的速度一般可达260千米/小时，因此着陆灯必须拥有更好的聚光性、足够的光线强度以及合适的照射角度，才能在夜航进近时让飞行员清楚地看到足够远的距离和宽度范围内的地面环境，及时观察到异常情况，目测飞机高度，判断障碍物。一般情况下，飞机夜

间降落，当高度在约60米时打开着陆灯，下降到约15米时，着陆灯必须能够照亮并清晰地显示跑道道面，照明宽度必须超过主起落架之间的距离。在飞机夜航滑行时，着陆灯用于照射机场跑道上的主要障碍物，及时作出继续起飞或终止起飞的决定。为满足上述需求，大多数民航客机着陆灯采用的光源为带聚光功能的卤素灯或者高压气体放电灯（金属卤化物灯简称金卤灯）。其聚光效果为水平面散射角11°。卤素灯作为着陆灯光源，比一般白炽灯发光效率高，使用寿命长。例如波音757、767和较早期的空客A320着陆灯采用的卤素灯，功率600瓦，光强达到76.5万坎德拉。相比之下，我们的家用汽车前灯功率仅为65瓦。

在所有飞机外部照明灯中，着陆灯的功率最高、发热量也最高，因而一般仅在飞机着陆时段和夜间起飞时开启。中国民航总局规定，各航空公司机组在3000米以下高度飞行（注意，不是指降落）需要

飞机机外照明类灯有两种，一种用于飞机起降时照亮跑道和临近的周围环境，一种用于照亮自身机体重要部位。它们是着陆灯和机翼检查灯。

打开着陆灯，其主要目的是防止鸟击。如果飞机在夜间起飞时遇到雨天、雾天等情况，着陆灯产生的光屏反而会干扰飞行员，这时机组可以选择关闭着陆灯。

为了满足适航关于光强和照射范围的要求，大型客机至少需要装有2具着陆灯，有的多达3~6具，我国C919飞机有4具着陆灯分别位于机翼翼根和前起落架处。波音737在左右两侧各有1具固定式和1具可收放式共4具着陆灯。夜间运行时，要求每一侧的着陆灯至少各有1具处于正常工作状态，并且至少其中一侧的正常工作着陆灯是固定式的。部分小型单发螺旋桨飞机的着陆灯就安装在机鼻处，简单高效。

有的时候我们会看到飞机着陆下降中的着陆灯一会儿左侧亮，一会儿右侧亮，这是由于引入了脉冲系统的缘故。该系统交替地向左右着陆灯发出脉冲，其目的是为了

滑行灯和跑道脱离灯

飞行员在飞机的起降过程中都需要良好的照明，因而除了着陆

灯，飞机还有滑行灯和跑道脱离灯，有的机型还特意设置了起飞灯（空客A320等）。着陆灯、航行灯、跑道脱离灯的安装位置各个机型不尽相同，但不外乎前起落架减震支柱、机腹和机翼翼根前缘几个位置。

滑行灯的用途类似于汽车前灯，用于照亮飞机前方不远处的滑行道。滑行灯不需要照得很远，但需要照的区域较宽。因此它的亮度仅次于着陆灯，而不需要强的聚光功能。例如波音757的滑行灯采用功率为450瓦的白炽灯，光强可达9万坎德拉，散射角50°。

跑道脱离灯，其实就是两个特殊的滑行灯，它们安装在前起落架支柱或翼根上，分别对准机头的左右两侧约30°至45°，而不是对准正前方，用于照明滑行道、跑道边线。另外也是在示意地勤人员飞机准备滑出。飞机离地起落架收起时，跑道脱离灯自动关闭。

其他机外照明灯

机翼检查灯，也称大翼照明灯或探冰灯，位于机身两侧，在夜间或低亮度的情况下对机翼上表面，特别是前缘及发动机进气口提供照明。机组成员可以根据需要开启照明灯，以确认机翼和发动机的

结冰情况，并及时进行除冰。尽管现代客机机翼前缘区域安装有结冰探测器，但是机翼结冰厚度和结冰范围分布是很不规律的。大多数情况下，都是机翼前缘结冰最突出，对升力影响也最大。而在特殊气象环境条件下，在机翼前缘以后的区域也会结冰，可能使副翼气动效率下降甚至出现反效作用。这就需要飞行机组借助机翼检查灯的照明进行观察，及时发现结冰情况，采取除冰措施或脱离结冰气象区。

适航标准以及国家军用标准和行业标准对机翼检查灯作了明确规定。标准要求它的发光特性和安装位置应为机组人员提供正常的照明，且不应产生妨碍机组成员作业的单炫光或反光，并对机翼检查灯光源、功能、照明灯等级、需照亮的机翼面积、光源等提出设计要求。

飞机外部还有一盏照亮飞机所属航空公司标志的灯，称为航徽灯或标志灯，俗称logo灯，位于左右水平尾翼上表面。由于航徽图案一般都在飞机垂直尾翼两侧，而垂直尾翼又是飞机的突出部位，所以照亮垂直尾翼，也有一定的防撞作用。■



大国重器

国家高新技术企业

中国第二重型机械集团德阳万航模锻有限责任公司是专业化航空锻件生产基地，拥有800MN、200MN大型模锻压机等航空模锻件装备及机械加工、热处理生产线。具有完全的航空锻件设计制造能力，能够为航空、航天、能源、舰船动力等行业提供优质模锻件和技术服务支持。

中国第二重型机械集团德阳万航模锻有限责任公司

CHINA NATIONAL ERZHONG GROUP DEYANG WANHANG DIE FORGING CO., LTD

地址：四川省德阳市珠江西路460号

电话：0838-2341766

官网：WWW.WANHANGDIEFORGING.COM

邮件：WANHANG@WH.SINOMACH-EZ.CN



万航模锻官方微信



亚洲最大专业货运机场鄂州花湖机场 梦想照进现实 距离世界更近

文 | 文爽

2023年6月16日晚，伴随着引擎的巨大轰鸣声，顺丰航空一架波音747-400货机从湖北鄂州花湖机场腾空而起。这架搭载着近100吨货物的全货机将飞往美国纽约，将鄂州机场的航线拓展至美国东北部大西洋沿岸城市群的核心。

作为民航局首批四型机场示范项目，鄂州花湖机场的建设、运营一直受到民航管理部门的高度重视。经历了9年，3000多个日日夜夜，鄂州举全市之力，架起联通世界的“天路”，百万人民的航空梦想照进现实，开放、美丽的鄂州，距离世界更近了一步。腾飞就在眼前，让我们一起回望这段乘风破浪的时光。



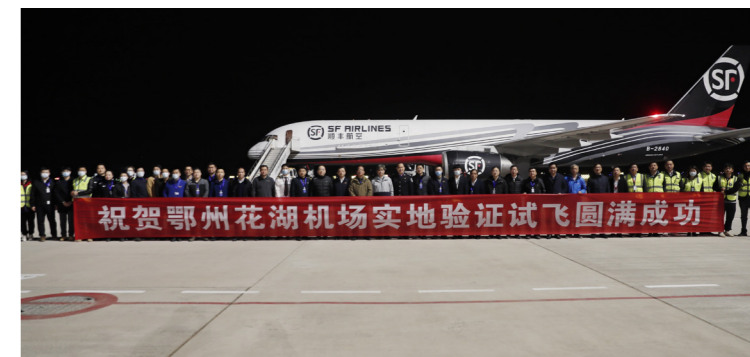
从选址到规划，从落地开工到建成投运，无数次魂牵梦萦，多少回艰辛努力，所有汗水与泪水，点点滴滴的酸甜苦辣，都是这座城市的荣光，更是鄂州创造的奇迹。

2017年12月20日，湖北国际物流核心枢纽项目正式开工；2020年8月24日，鄂州民用机场建成亚洲第一个专业性货运机场上升为国家战略；2021年1月7日，鄂州民用机场定名为“鄂州花湖机场”；2022年3月19日，鄂州花湖机场试飞成功；2022年7月17日，鄂州花湖机场正式通航。

亚洲最大货运专业枢纽

以“平安、绿色、智慧、人文”为核心，依靠科技进步、改革创新和协同共享，通过全过程、全要素、全方位优化，实现安全运行保障有力、生产管理精细智能、旅客出行便捷高效、环境生态绿色和谐，充分体现新时代高质量发展要求的机场。

2018年2月经过国务院、中央军委批准新建，机场性质为客运支线、货运枢纽机场。位于中国湖北省鄂州市鄂城区燕矶镇、沙窝乡、花湖镇交界处，西北距鄂州市中心约16千米、南距黄石市中心约15千米，为4E级国际机场、航空物流国际口岸、亚洲第一座专业性货运枢纽机场。鄂州花湖机场紧邻长江黄金水道，周围环绕7大深水港、4条快速路、2条高速公路、6条高铁线。1.5小时飞行圈可覆盖全国90%的经济总量、80%的人口和5大国家



级城市群；300公里半径内辐射中部武汉、长沙、南昌、合肥等40个城市、1.5亿人口。

截至2022年6月，鄂州花湖机场航站楼面积1.5万平方米，设有4部登机廊桥；航空货站面积2.3万平方米，分拣中心面积67.8万平方米；民航站坪共设132个机位；2条远距跑道均为3600米长、45米宽；可满足年旅客吞吐量150万人次、货邮吞吐量330万吨的使用需求。

2022年，鄂州花湖机场共完成旅客吞吐量25787人次，全国排名第255位；货邮吞吐量46.8吨，全国排名第188位；飞机起降769架次，全国排名第223位。

机场建设规模

作为全球第四个、亚洲第一个专业性货运机场，列入多项国家重点规划、国家“十四五”规划纲要、交通基础设施重大工程建设三年行动计划、全国民航机场布局规划、四型机场示范项目。

机场工程本期一次性建成两条 4E 级远距平行跑道及滑行道；建设 1.5 万平方米的航站楼，2.4 万平方米的货运用房，132 个机位的站坪；同步建设面积约为 70 万平方米的转运中心，其内部，智能化分拣线长约 52 公里，分拣系统每小时最多可处理各类包裹 28 万件。远期将在东跑道东侧新建第三跑道，长 3600 米、宽 45 米。

至 2025 年，货运量 2.45Mton、客运量 1.0M；2030 年，货运量 3.30Mton、客运量 1.5M；2050 年货运量 9.08Mton、客运量 20M。

花湖机场主体工程位于机场转运中心中轴线北侧，建设用地面积约 6932 平方米，包含塔台、裙楼及附属物建筑。空管塔台工程是最先开建的机场主体工程部分。塔台建筑高度 89 米，地上 13 层、地下 1 层，建成后将成为机场的制高点。塔台造型呈

花瓣形对称，朴素淡雅，简洁大方，灵感来源于鄂州市市花——腊梅，整体象征着鄂州空港未来绽放于吴楚大地，傲立于世界货运枢纽之列。

鄂州机场项目总投资 320 亿元，飞行区等级指标 4E，建设东西 2 条远距跑道，长 3600 米、宽 45 米；1.5 万平方米的航站楼、132 个机位的站坪；1 座塔台和 5000 平方米的航管楼，以及通信、导航等设施；场外输油管线、机坪加油管线、机场油库、加油站等。

全面感知定位、探测、监控。据介绍，“对于跑道养护，传统机场往往是在出现肉眼可见的隐患后才采取措施。而通过几万个传感器不间断感知，我们可以对跑道是否脱空、起鼓、错台等情况进行快速判定。”同时，这对于跑道外来物（FOD）的精准定位也发挥着重要作用。

机场建设历程

2018 年 2 月，湖北鄂州民用机场获得国家立项批复；2019 年 1 月，机场工程可行性研究报告获得国家发改委批复；2020 年 4 月，机场主体工程正式开工；2021 年 9 月，机场跑道、航站楼、塔台、货运站、综合业务楼竣工；2021 年 12 月，机场建成校飞；2022 年 3 月 19 日，机场完成试飞；2022 年 7 月 17 日，花湖机场正式投入运营。

鄂州民用机场项目是我国第一个获批建设的货运枢纽机场，项目总投资 320 亿元。建成后，1000 公里半径内、1.5 小时飞行圈可覆盖全国 90% 的经济总量、80% 的人口和 5 大国家级城市群，距离世界主要城市不过一夜之隔，武汉城市圈内将形成航空客货双枢纽的格局。

本期工程飞行区跑道、滑行道系统按满足 2030 年旅客吞吐量 150 万人次、货邮吞吐量 330 万吨的目标设计，航站楼、转运中心等设施按满足 2025 年旅客吞吐量 100 万人次、货邮吞吐量 245 万吨的目标设计。主要建设内容包括：飞行区等级指标 4E，建设东西 2 条远距跑道，长 3600 米、宽 45 米；建设 1.5 万平方米的航站楼、132 个机位的站坪；建设 1 座塔台和 5000 平方米的航管楼，以及通信、导航等设施；建设场外输油管线、机坪加油管线、机场油库、加油站等；深圳顺丰泰森控股（集团）有限公司进驻机场设置转运中心以及顺丰航空公司基地。

客货运发展

鄂州花湖机场始终坚持以建设智慧机场为引领，以智慧运营为理念，多项技术为行业、全国乃至全球首次应用，具备智慧机场建设先行先试示范点的基础条件。

在“十四五”期间，客运航线网络规划：



目前国内客运航点 20 个、客运航线 14 条；货运航线网络规划：货运国内航点 39 个、国内航线 44 条、国际航点 13 个、国际航线 10 条。

打造国际一流航空货运枢纽，至 2035 年国内货邮吞吐量达 464 万吨/年，国际货邮吞吐量突破 200 万吨/年，通达全国大中型机场和全球主要货运目的地，“4×4”立体集疏运体系构建完成。

从客运到货运，从国内到国际，鄂州花湖机场在不断地发展壮大，逐步提升其在国际航空物流领域的地位。未来，鄂州花湖机场还将继续加大基础设施建设力度，提高服务水平，为国内外商家提供更加便捷、高效的航空物流服务。

机场发展蓝图

一座只有 100 万人口的城市，有机场，有高铁，有码头，想想真是不可思议。刚刚抵达鄂州，大数据就为我们推送了这则令鄂州本地人颇感自豪的短视频。

鄂州花湖机场，紧紧围绕“打造国际一流航空货运枢纽”的战略目标，坚持智



慧引领，深植数字基因，积极创造更多国内第一。

机场的规划设计应牵一发而动全身。智慧化建设始终坚持问题导向、需求导向，在机场的规划设计阶段就投入足够多的精力，同时机场运行管理体制机制也要作出变革性调整，以满足智慧化发展需求。

展开鄂州花湖机场未来的航线图，预计到2025年，鄂州花湖机场将开通国际货运航线10余条、国内航线50余条，年货邮吞吐量将达到245万吨。鄂州机场正在建设的鄂州空港综保区和湖北自贸区武汉片区的联动创新区，吸引着来自世界的目光。鄂州机场将与顺丰携手打造大型航空货运枢纽，进一步对标国际一流，完善优化网络布局，肩负起重构全球航空物流格局、打造世界供应链中心的历史使命。

2023年，货运枢纽全面转场。客运吞吐量达到30万人次，顺丰货运航线全面转场，货邮吞吐量达到10万吨。

2024年，航空货运枢纽功能完备。航空物流体系网络化、专业化、标准化、智慧化，进入国内机场前列，客货运航线将达到60条以上，客运吞吐量75万人次，货邮吞吐量140万吨。

2025年，国际航空货运枢纽初步建成。客货运航线达到70条以上，机场全国排名迈进前5，运行效率进入中国机场前列，成为国际国内贸易互联互通的组织平台，区域经济高质量发展的重要动力源。

2035年，国际一流航空货运枢纽全面建成。在全球航空货运网络中的枢纽地位凸显，运行组织效率和服务水平国际领先，竞争力、创新力、影响力达到国际先进水平，成为国际知名航空货运枢纽。

鄂州枢纽转运中心

鄂州枢纽是亚洲第一个、世界第四个专业航空货运枢纽。顺丰将以此为中心，全面打造覆盖全国、辐射全球的航空网络，实现“一夜达全国，隔日连世界”的目标。

这座面积达70余万平方米的转运中心位于鄂州机场东西两条4E级长跑道之间，俯瞰呈“工”字形，是整座机场最为显眼的地标式建筑。在机场项目总投资的308.42亿元中，仅顺丰转运中心就投资115.29亿元，占项目总投资的近37%。

为什么顺丰航空要将枢纽机场设在鄂州花湖机场？

据介绍，因为花湖机场到全国各大主要机场的平均距离最短。其他机场的货运航班飞到花湖机场，经过分拣后再送达目的地城市，效率比直飞要高很多。

假设有5个机场，每个机场之间单独开通往返航线，一共得开通20条航线。如果在5个机场之间建设一个枢纽机场，10条航线就足够了。如果选择5个机场中的一个机场作为枢纽机场，则只需要8条航线。这就是枢纽机场、支线机场分工运营的优势。

如果机场达到50个、100个甚至300个，彼此之间直接通航的航线数量将会非常多，采用枢纽机场的方式，航线数量就可以大幅减少。机场数量越多，采用枢纽机场模式的成本就越低，效率就越高。

比如，亚特兰大机场就是这样一个枢纽机场，该国3亿多人口中，有80%的人都可以从亚特兰大机场出发，2小时内到达自己的目的地。亚特兰大机场是一个24小时不间断飞行的机场，日均航班起降达2700架次，旅客可从这个机场飞向全世界45个国家、72个城市及超过240多个目的地。如果以武汉天河机场为全国性的中转枢纽机场，我国的航空业将很快

进入井喷发展阶段。

亚洲最大快递包裹处理系统

在转运中心内，是一幅颇具未来感的惊人画面：在总长52公里的分拣线上，型号各异的包裹以每秒2.7米的速度飞驰而过，人工已经无法识别和处理。智能化的分拣系统投运后，将达到每小时分拣处理28万件包裹的高效率——这将是亚洲规模最大的快递包裹处理系统。

在转运中心外，一架飞往比利时列日的顺丰航空波音747货运飞机正从跑道起飞。它载着普货、电商货物、快件等100多吨货物从鄂州出发，在列日完成卸货和装货后将返程，于次日深夜在鄂州机场降落。这是鄂州机场开通的首条国际货运航线。这架飞机每周可以为中欧之间的货物流通提供超过400吨的航空运力，为中欧经贸往来开辟了一条高效的航空物流通道。

在2022年鄂州机场投运时，新冠肺炎疫情防控形势依然严峻，大规模开通国际航线希望渺茫。而在2023年，随着疫情防控政策调整，鄂州机场终于有机会敞开大门，践行飞向世界的使命。

顺丰的新基地，智慧民航建设试点机场……种种标签让鄂州花湖机场自规划设计建设以来就吸引着大众好奇的目光。

投运一年间，鄂州花湖机场已开通14条国内客运航线、20个客运航线点，运输旅客22万人次。自今年4月1日以来，鄂州花湖机场先后开通了至印度金奈、印度德里、比利时列日、哈萨克斯坦卡拉干达、美国洛杉矶、美国纽约等国际航线，货运辐射北美、西欧、南亚地区，“一夜达全国，隔日连世界”的快货物流圈不断扩大。（本文图片由鄂州花湖机场提供）■



ARJ21首飞15周年

2008-2023



ARJ21 规模化系列化发展

累计交付**117**架
2架“客改货”交付

开通国内外航线**400**余条

通航城市**140**余座

运送旅客突破**1000万**人次

每周运营航班量近**1800**班

