

携手新阶段
Together We March into New Era

共赢新未来
Prosper New Successes

回顾与展望

国产大型客机的自主研制——《张彦仲传》摘编(三) ○

迈向新征程, 展翼新时代——全球商用航空市场展望 ○

创新驱动下的航空动力市场 ○



大飞机

JETLINER

02 February

2024.02 | 总第116期

ISSN 2095-3399



9 772095 339242



图 | 东方航空



05 卷首语

05 新的征程，新的起点 | 欧阳亮

06 资讯

08 特别推荐

08 国产大型客机的自主研制
——《张彦仲传》摘编（三）
| 归永嘉 李韶华 雷杰佳

12 封面文章

12 迈向新征程，展翼新时代
——全球商用航空市场展望 | 程江涛

17 动力先行——对大型客机发动机的
回顾与展望 | 张征

23 客运复苏呈现分化 运营效率有待提升
——2023 年中国民航客运的回顾与
展望 | 柴雨丰

28 航空制造

28 创新驱动下的航空动力市场 | 李蕴

34 巴航工业的 2023 | 任治潞

38 人工智能或将改变 MRO 行业 | 文峻

43 亚太市场客改货热度不减 | 魏君

46 航空运输

46 发挥新疆支线航空独特作用
服务区域协调发展 | 马睿

50 中国民航业的政策取向
一致性思考 | 王鹏

54 空铁联运：竞合协作促成成效 | 王双武

58 商旅忠诚度计划变革：
中小企业竟成“香饽饽” | 沈嘉伟

62 人物

62 张馨元：
永远保持跨出第一步的勇气
| 张倩楠

67 科普

67 向“永不着陆”进军的太阳能
飞机 | 沈海军

72 漫话航空

72 苏联民机的“出口明星”：图-154
| 乔善勋

78 航空史上的 2 月 | 黎时



▼ 本期导读

2月20日，阔别6年的新加坡航展在樟宜会展中心拉开帷
幕。本届展会最大的亮点当属2架C919飞机和3架ARJ21飞机。

在开幕当天，西藏航空与中国商飞签署了40架C919高原型和10架ARJ21高原型飞机订单。河南航投与中国商飞签署了6架ARJ21衍生机型订单，包含ARJ21灭火机、ARJ21医疗机和ARJ21应急救援指挥机。

美国消费者新闻与商业频道（CNBC）称，C919成为本届新加坡航展上最受瞩目的展品之一，让中国的航空制造业成为全球的焦点。法新社也认为，C919有望成为未来世界的主流单通道客机。

航班管家发布的数据显示，2024年春节期间（2月10日至17日），民航旅客运输量达1799.2万人次，日均达224.9万人次，为历年春节最高水平。其中，首度服务春运的东航C919飞机在8天内合计执行了66个商业航班，累计运送旅客9670人次。

2024年，我们站在新的起点，开启新的征程。

封面图片：徐炳南



- 关注我们 -
FOLLOW US

本刊声明：

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

大飞机

2024年第02期 | 总第116期 | 02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 于世海

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

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 吴頔 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



2024年春节期间民航旅客运输量
达1799.2万人次，为历年春节最
高水平；其中，首度服务春运的
东航C919飞机在8天内合计执
行了66个商业航班，累计运送
旅客9670人次。

卷首语

新的征程，新的起点

文 | 欧阳亮

2月20日，阔别6年的新加坡航展在樟宜会展中心拉开帷
幕。据主办方介绍，本届航展吸引了全球来自50多个国家和地区的1000多家公司，推出了自家的最新主打产品，有近6万名商客参加，比2018年举行的上一次航展增加一成，打破了历届纪录。

本届航展上，中国的参展商有50多家，为历届最多。除中国商飞公司、中国航空工业集团等央企外，还有多家中国民营企业携无人机、电动垂直起降复合翼飞行器（eVTOL）参展。本届展会最大的亮点当属2架C919飞机和3架ARJ21飞机。首次亮相新加坡航展的C919飞机和ARJ21飞机通过馆内模型展览、室外静态展示和飞行表演等多种方式向公众呈现了中国商用飞机发展的阶段性成果。

在开幕当天，西藏航空与中国商飞签署了40架C919高原型和10架ARJ21高原型飞机订单。河南航投与中国商飞签署了6架ARJ21衍生机型订单，包含ARJ21灭火机、ARJ21医疗机和ARJ21应急救援指挥机。

美国消费者新闻与商业频道（CNBC）称，C919成为本届新加坡航展上最受瞩目的展品之一，让中国的航空制造业成为全球的焦点。他们还认为，本届航展意义重大，被视为“亚洲（航空业）复苏的象征”。法新社也认为，C919有望成为未来世界的主流单通道客机。

疫情三年，对全球的航空制造业和航空运输业都造成了巨大的冲击，原本大家以为疫情结束后，包括航空制造业和航空运输业在内的全球经济都将迎来报复性反弹，但2023年大家看到的只是温柔的复苏。IATA公布的数据显示，2023年，全球航空客运总量同比增长36.9%，恢复至疫情前水平的94.1%。国际航空客运量同比增长41.6%，达到2019年水平的88.6%，国内客运量同比增长30.4%，比疫情前水平高3.9%。其中，中国的国内客运量同比增长138.8%，比2019年的水平高7.1%。

从以上数据可以看出，中国国内客运量的增幅明显高于全球平均水平，而另一个数据能更有力地佐证这一点。2月18日，航班管家发布的数据显示，2024年春节期间（2月10日至17日），民航旅客运输量达1799.2万人次，日均达224.9万人次，为历年春节最高水平，日均旅客运输量较2019年同期增长25.1%，较2023年同期增长74.8%。其中，首度服务春运的东航C919飞机在8天内合计执行了66个商业航班，累计运送旅客9670人次。

一切过往，皆为序章。2024年，我们站在新的起点，开启新的征程。



01



03

01 中国商飞 C919 和 ARJ21 飞机首次亮相新加坡航展

2月20日，新加坡航展在樟宜会展中心拉开帷幕，2架C919飞机和3架ARJ21飞机首次亮相，并通过馆内模型展览、室外静态展示和飞行表演等多种方式，向公众呈现中国商用飞机发展的阶段性成果。

展馆内，展出了最新涂装的1:20比例C919、ARJ21和C929基本型飞机模型，以及1:32比例ARJ21公务机、医疗机、应急救援指挥机、灭火机、货机，C919缩短型/高原型和加长型等系列化飞机模型。航展期间，C919飞机和ARJ21飞机还进行了飞行表演。

02 西藏航空、河南航投与中国商飞签署 C919 和 ARJ21 飞机订单

2月20日，在新加坡航展开幕当天，西藏航空与中国商飞签署40架C919高原型和10架ARJ21高原型飞机订单。河南航投与中国商飞签署6架ARJ21衍生机型订单，包含ARJ21灭火机、ARJ21医疗机和ARJ21应急救援指挥机。

03 ARJ21 和 C919 飞机 开启东南亚演示飞行

2月27日，中国商飞ARJ21和C919飞机东南亚演示飞行启动仪式在越南广宁省云屯国际机场举行，由此拉开了国产商用飞机东南亚演示飞行的序幕。在接下来的两周时间里，这两架飞机将在越南、老挝、柬埔寨、马来西亚、印度尼西亚五国开展演示飞行，主要验证国产商用飞机对东南亚五国机场和航线的适应性、机场地面服务设备的适配性、特殊飞行程序的适用性和航线业载的经济性，展现飞机良好性能，为后续开拓东南亚市场奠定基础。

04 国际民航研究院 第一次理事会暨揭牌仪式举行

为进一步贯彻落实国家制造强国和交通强国建设工作部署、服务“一带一路”战略布局，深化校企合作，打造“创新、开放、合作、共享”的民航高端国际合作交流平台，2月4日，国际民航研究院第一次理事会暨揭牌仪式在上海交通大学举行。会议通报了国际民航研究院筹建过程、工作章程和理事会成员等有关情况，表决通过了研究院工作章程，举行了揭牌仪式，标志着国际民航研究院正式成立。

05 韩克岑荣获“首届上海杰出人才”奖

近期，在2024年上海市慰问高层次人才新年文艺晚会暨首届上海杰出人才颁奖典礼上，中国商飞公司科技委常委、C919型号首席专家韩克岑获颁首届上海杰出人才。此次共有50位在各行业中作出突出贡献、获得社会认可的科学家、名家大师、工程师、企业家入选首届上海杰出人才。

06 2023 年波音营收 777.94 亿美元， 同比增长 17%

波音宣布，2023年营业收入为777.94亿美元，同比增长17%。其中，波音民机集团2023年营业收入为339.01亿美元，同比增长30%。2023年净亏损22.42亿美元（2022年同期50.53亿美元）。波音民机集团营业收入大幅增长主要受益于737和787交付量的增加。

07 空客 2023 年总收入同比增长 11%， 达 654 亿欧元

2月16日，空客发布2023年度业绩。2023年，空客总收入同比增长11%，达654亿欧元，其中来自商用飞机的收入同比增长15%，经调整的息税前利润为58亿欧元。2023年全年空客共交付商用飞机735架，截至2023年底储备订单量达8598架。

08 IATA: 2023 年全球航空旅行需求 全年保持复苏态势

IATA近期表示，2023年全球航空旅行需求持续复苏，客运总量（以RPK衡量）进一步接近2019年水平。2023年，全球航空客运总量同比增长36.9%，恢复至疫情前水平的94.1%。国际航空客运量同比增长41.6%，达到2019年水平的88.6%，国内客运量同比增长30.4%，比疫情前水平高3.9%。就区域而言，亚太航司2023年全年国际客运量同比增长126.1%，增幅在各地区中最为强劲。中国全年国内客运量同比增长138.8%，比2019年水平高7.1%。

09 首架 MC-21 交付推迟至 2025 年

2月26日，俄罗斯副总理兼工贸部长表示，首架全国产型MC-21-310RUS飞机交付预计将推迟至2025年。MC-21-310RUS原计划2023年首飞，后推迟至2024年。根据俄政府计划，UAC应于2024年向俄罗斯航空交付首批6架飞机。后者有18架MC-21的确认订单，并保留192架选择权。

10 空客将在新加坡建设可持续航空中心

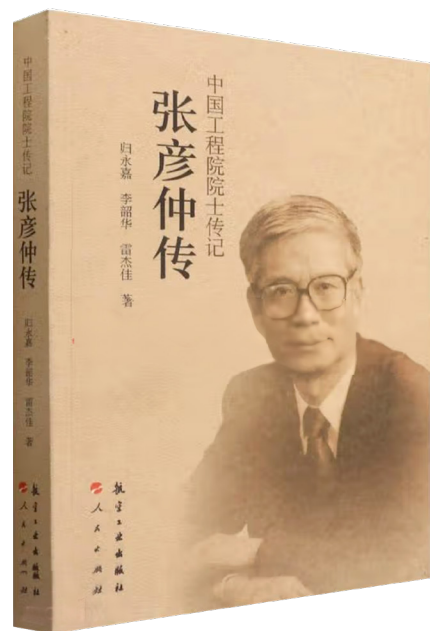
2月20日，空客与新加坡经济发展局（EDB）签署谅解备忘录，以在实里达航空园空客园区内建设可持续航空中心，工作方向包括：研究可持续航空燃料（SAF）供应链、氢能技术以推进航空脱碳；应用先进技术并吸取实践经验，提升航空业维护、服务和运营水平；开展革新空中交通管理（ATM）、无人航空器系统交通管理（UTM）的项目。该中心还将与新加坡当地企业、大学和研究机构合作，以促进知识交流、人才培养和联合研究。



国产大型客机的自主研制

——《张彦仲传》摘编（三）

文 | 归永嘉 李韶华 雷杰佳



2008 年 5 月 11 日中国商飞公司挂牌成立后，立即开展商飞的组建和 C919 的研制工作，一手抓组建、一手抓研制。张庆伟调动全国几十个单位的专家，在上海、西安、四川、北京组织四个团队，分头进行先进气动布局的计算研究。各地共提出 2000 多种翼型。经过反复比较优化，选出 4 种先进翼型，做出模型供风洞试验用，确定气动总体方案。

大型飞机的研制工作已迅速铺开。但是，仍有很多问题需要研究及时解决，才能保障大型飞机专项的顺利实施。

2008 年 10 月 30 日，经国务院批准，成立大型飞机重大专项专家咨询委员会（名单附后）。任命张彦仲院士为大型飞机重大专项专家咨询委员会主任。专家咨询委员会的主要责任是为国务院大型飞机重大专项领导小组提供决策咨询服务。专家咨询委主要从事大型飞机设计方案的论证，详细设计的技术评审，安全性与经济性的实现，发动机、机载设备和关键材料的国际合作与自主研究的咨询，关键技术攻关的评审，项目风险分析与规避研究，法律法规的讨论，客运结合与经费的调整等。

随着大飞机项目的不断推进，作为专家咨询委员会主任委员的张彦仲与专家委员会的委员们每年奔跑在北京、上海和西安之间几十次，为我国大飞机事业做出奉献。他主持 C919 飞机的气动总体方案评审、概念设计评审、初步设计评审、详细设计评审、试制制造评审等，在 C919 的重大研制节点，做好技术把关。只要看一下这份专家委员会 2012 年前的部分技术评审把关工作，就可知他们辛勤忙碌的程度。

2008 年 8 月 27 日在上海主持大型客机主动控制技术方案会议。

2008 年 8 月 28 日在上海主持大型客机多电技术方案会议。

2008 年 9 月 4—5 日在北京主持大型客机可研纲要评审会议。

2008 年 9 月 9—10 日在上海主持大型客机复合材料技术方案会议。

2008 年 10 月 10 日张彦仲在上海主持 C919 大型客机总体技术方案会议。

2008 年 10 月 11 日张彦仲在上海主持 C919 大型客机气动总体技术方案评审会，评审通过 C919 大型客机气动总体技术方案，顾诵芬、陈一坚、李明院士等专家参加。

2008 年 10 月 12 日在上海主持 C919 大型客机发动机第一次选型会：从三种方案中选出 LeapX 和 GTF 两种方案，继续跟踪研究。

2009 年 5 月 21—22 日张彦仲在上海主持 C919 大型客机材料选用会议，确定复合材料、铝锂合金、钛合金等材料选用方案及比例，师昌绪、杜善义、曹春晓院士，章怡宁、吴学仁等专家参加。

2009 年 5 月 21—22 日在上海主持 C919 大型客机制造技术会议。

2009 年 5 月 25—26 日在上海主持大型客机空域及总装定点会议（受民航局委托，民航局夏副局长，南空、上海市等单位参加），确定在浦东总装及建第五跑道

方案。

2009 年 5 月 26—27 日在上海主持 C919 大型客机总体技术方案内部评审会。

2009 年 10 月 23 日张彦仲在上海主持 C919 大型客机第二次发动机选型会，从三种方案中找出主选发动机，刘大响、尹泽勇等院士专家参加。

2009 年 11 月 18—19 日张彦仲在北京主持 C919 大型客机可研评审会议。2009 年 12 月 1—2 日张彦仲在上海主持 C919 大型客机八大机载系统 JCDP 评审会议，评审通过 C919 大型客机八大机载系统 JCDP 方案，冯培德等院士专家参加。

2009 年 12 月 15—16 日张彦仲在上海主持 C919 大型客机基本总体方案评审会议（工信部主办，工信部苗圩副部长参加），同意 C919 大型客机由概念设计阶段转入初步设计阶段。

2010 年 1 月 15 日张彦仲在北京主持国务院大型飞机重大专项专家咨询委员会，审议通过大型客机在浦东总装及建第五跑道方案，同意上报国务院大型飞机重大专项领导小组审批。

2010 年 5 月 10 日张彦仲在北京主持“长江”1000 商用发动机验证机总方案评审会议，刘大响、尹泽勇等院士专家参加。

2011 年 1 月 23 日张彦仲在北京主持国务院大型飞机重大专项专家咨询委员

会，审议通过“长江”1000 商用发动机验证机总方案，同意上报国务院大型飞机重大专项领导小组审批。

2011 年 8 月 22 日张彦仲在上海主持 C919 大型客机转入详细设计阶段内部评审会。

2011 年 9 月 20 日张彦仲在北京主持中国商飞专家咨询组会议，同意 C919 大型客机转入详细设计阶段，上报工信部。

2011 年 9 月 24—26 日张彦仲在上海主持 C919 大型客机转阶段预评审会议（200 余人参加）。

2011 年 12 月 7—9 日张彦仲在上海

主持 C919 大型客机转阶段政府评审会议（工信部主办，工信部苏波副部长参加），同意 C919 大型客机由初步设计阶段转入详细设计，全面铺开工程发展研制工作。

2012 年 C919 大型客机进入全面试制阶段。

2014 年 5 月 23 日，就在大飞机研制的关键时刻，习近平总书记来到中国商飞研制现场，作了重要讲话，他说：“我们要做一个强国，就一定要把装备制造业搞上去，把大飞机搞上去！起带动作用、标志性作用。”他指出，“大型客机研发和生产制造能力是一个国家航空水平的重要标志，也是一个国家整体实力的重要标志。制造大飞机所承载着几代中国人的航空梦。我们的事业刚刚起步，前面的路还很长，但时间紧迫，容不得半点懈怠，要一以贯之、锲而不舍抓下去，用前进的目标激励自己，用比较的差距鞭策自己，早日让我们自主研制的大型客机在蓝天上自由翱翔！”习主席说：“我们这个国家也是最大的飞机市场，每年几百亿、上千亿地花在购买飞机上。过去的逻辑是：造不如买、买不如租。我们现在要倒过来！我们

首先要花更多钱来研制、制造自己的飞机，形成我们独立的、自主的能力！”习主席表示，“中国飞机制造业走过了一段艰难、坎坷、曲折的历程，现在是而今迈步从头越，势头很好，开局很好，希望大家锲而不舍，脚踏实地，我寄厚望于你们。”他叮嘱企业负责人：“中国大飞机事业万里长征走了又一步，我们一定要有自己的大飞机！”

习主席的讲话，极大地鼓舞了中国商飞和全国人民。又经过一年多的攻关试制，C919 大型客机于 2015 年 11 月 2 日完成总装下线。C919 飞机总装下线，国内外有强烈的反应。有赞扬的，也有怀疑的。主要集中在：C919 是中国自己的大飞机吗？

（有人说：C919 只造了个壳，发动机等部件是国外的，不算中国自己的大飞机。）为此，中央电视台和光明网等媒体采访了国家大飞机重大专项专家咨询委员会主任张彦仲院士。他斩钉截铁地说：C919 是中国自己的大飞机！他从设计、制造、集成、试验、试飞和知识产权六个方面科学地说明了这个问题：

（1）C919 客机是中国自主设计的。自主完成气动设计、结构设计、系统设计、新材料选用等。气动设计：完成了先进超临界机翼、机头机尾、翼梢小翼、吊挂等的气动设计。气动阻力比国外现役同类飞机低 5% 左右。结构设计、新材料的使用减轻了重量：新材料占结构重量的 26.2%（其中：复合材料 11.5%，第三代铝锂合金 7.4%，钛合金 7.3%），高于国外现役同类飞机。系统设计：完成了先进的飞控、航电、电力、环控等系统的设计。

（2）C919 客机是中国自主制造的。机头是成飞制造的，机翼是西飞制造的，前机身是洪都制造的，尾段是沈飞制造的等。95% 以上的机体部件都是中国自己制造的（欧美的大飞机都未达到这么高的比

例）。

（3）C919 客机是中国自主集成的。包括飞控系统集成（控制率必须自己设计，国外禁运）、航电系统集成、电力系统集成、燃油系统集成、环控系统集成、液压系统集成、刹车系统集成等。

（4）C919 客机是中国自主试验的。包括风洞试验、强度试验、疲劳试验、铁鸟试验、铜鸟试验等都是中国人自己完成的。

（5）C919 客机是中国自主试飞的。包括首飞、滑行、起飞、着陆等科目；边界包线试飞，包括最大航程、最大升限、最大速度、最大起飞重量等；风险科目试飞，包括结冰、失速、颤振等；取证试飞，包括高温、高寒、高原等。这些都是中国自己的飞行员和试飞机构完成的。

（6）C919 客机拥有中国的自主知识产权。到 2017 年 11 月底，已申请专利 1040 项，授权专利 501 项。C919 飞机已成为全世界知名的中国自主品牌！

当然，一开始就搞全部国产化也不现实，有些系统如航空发动机等，要取得适航证还要一段较长的时间。为了提高飞机的国际竞争力，在国内外择优招标供应商，也是国际上的通行做法（波音、空客也如此）。当然，我们也安排了 CJ1000 发动机和机载系统的自主研制，防止受制于人。现在，全世界都公认 C919 是中国的大飞机！

科学地分析，澄清了思想，统一了认识，增强了民族自豪感。

如果说，年轻人立志报国，志在千里，那么张彦仲把目标定为志在万米蓝天，他要在有生之年尽自己的力量，让我国的大飞机翱翔在祖国的万米蓝天上！正如中央首长赞扬他“老当益壮，宝刀不老”！

2011 年，张彦仲获国家重大科技计划组织管理突出贡献奖。■



迈向新征程，展翼新时代 ——全球商用航空市场展望

文 | 程江涛

2023 年是疫情后经济恢复发展的一年，受益于全球多数国家陆续放开入境限制，全球航空运输业全力迈向复苏，整体恢复至接近疫情前水平。商用飞机市场订单继续保持快速增长态势，波音和空客飞机交付总量和订单总量均双双上涨，全年新增净订单创近十年新高。商用飞机重点产品研制取得新进展，C919 商业运营正式“起步”，全面转向产业化发展；A321neo 完成 100% 可持续航空燃料试飞，航空业脱碳又进一步；ARJ21 衍生机型相继取证与交付，系列化发展迈出坚定步伐。

当前全球大型商用飞机市场仍处于双寡头垄断阶段，随着新机型的加入以及新技术的发展，市场竞争将日益多元化，全球航空业将朝着更加绿色、可持续发展的方向发展。

新增订单创新高，交付稳步提升

受全球航空运输市场复苏以及市场需求上扬牵引，2023 年商用飞机市场订单继续保持 2020 年以来的快速增长势头。根据公开数据统计，2023 年新增净订单超过 3800 架，超过 2022 年和 2021 年数量之和，新增订单中波音和空客订单总量达到 3550 架，占比 90% 以上。

在 6 月份的巴黎航展上，空客从印度低成本航司靛蓝航空获得 500 架 A320neo 系列飞机的巨额订单，而在 11 月的迪拜航展上，波音则以 295 架飞机的销量击败了竞争对手空客，但从全年来看空客订单数优势明显，新增净订单 2094 架，远高于波音新增订单 1456 架。

2023 年全球航空制造业全力提升产能，新机交付数量稳步上升，全年交付新

机逾 1260 架，但距离疫情前水平有较大差距。空客实际向客户交付 735 架飞机，包括 579 架 A320neo 系列单通道客机，57 架 A350 宽体飞机，相较 2022 年的 661 架交付量增加 11%。对于波音来说，因机体供应商 Spirit AeroSystems 质量问题导致延期交付，737MAX 全年生产计划从 400 ~ 450 架下调至 375 ~ 400 架，全年累计交付 528 架飞机，包括 396 架 737 系列飞机和 73 架 787 飞机，相较 2022 年 480 架的交付量增长 10%。

经过数年的低交付量之后，飞机制造商的积压订单量在增加，2023 年超高的订单量大大超过了飞机产量增长，推高了积压订单量，波音、空客积压的飞机数量分别达到了惊人的 5626 架和 8598 架。对于波音和空客来说，如此高的订单数量意味着新的一年需进一步提升生产率以提高飞

图 | 徐炳南



机交付量，但同时还需重点关注材料和零部件短缺以及可靠性等问题，这些因素都可能阻碍产量提升。

窄体客机：新机型崭露头角

2023 年，窄体客机领域最大的新闻是 C919 投入商业运营。2023 年 5 月 28 日，首架国产大飞机 C919 顺利完成全球首次商业载客飞行，标志着该机型正式进入民航市场。随后中国商飞分别于 7 月 16 日、12 月 9 日、12 月 29 日陆续交付第 2、第 3、第 4 架飞机。根据东航网站数据，截至 2023 年 12 月 31 日，C919 机队已累计执行商业航班 655 班，累计承运旅客近 8.2 万人次，运行情况整体良好。在此之前，2023 年 9 月 28 日，作为 C919 大型客机的全球首发用户，东方航空在签订首批 5 架的基础上再增订 100 架，成为 C919 客机迄今为止最大单笔订单。

2023 年 11 月，中国商飞在上海航展上推出 C919 衍生机型发展计划，包括 210 座加长型和 140 座缩短型。随着 C919 客机的“研发、制造、取证、投运”全面贯通，国产大飞机正向规模化、产业化、系列化发展的新阶段迈进。

737MAX10 认证继续延后。波音原计划 2022 年获得 737MAX10 的型号检查核准书（TIA），因坠机事件后 FAA 更为严格的认证方式，推迟了取证的时间。2023 年 11 月 22 日，在完成系统安全评估和新要求的人为因素假设验证后，波音宣布获得 TIA，进入审定试飞阶段，并预计 2024 年完成认证。但 2024 年 1 月 5 日发生的 737MAX9 可选应急舱门插销脱落事件为最终的取证又蒙上了一层阴影。

A321XLR 有望二季度交付。作为 A320 系列最新的超远程窄体客机，空客有意在部分远程航线上用 A321XLR 替代宽

体飞机，进一步巩固竞争优势。2023 年 9 月，A321XLR 试验机开展模拟航司运营，并执行短程和远程任务，同时着手完善 A321XLR 生产设施，为 2024 年二季度生产交付做准备。目前影响其交付的问题主要是航空监管机构对其提出的额外油箱解决方案的认可。

MC-21 交付继续延期。尽管 2022 年底，MC-21 配装的 PD-14 发动机和国产复材机翼已获得俄局方的认证，但该飞机还需实现其他进口系统和设备的国产化，如作动器、航电、空调等。由于机载系统进口替代工作量大，俄政府已经将首架交付时间推迟至 2024 年。然而，2023 年 12 月 22 日，俄方又表示将在未来 2 年内实现进口系统国产化，这可能导致 MC-21 飞机的交付时间进一步延期。

宽体客机：最后一架 747 交付

波音 747 结束交付停产。2023 年 1 月 31 日，随着波音向 Atlas 航空公司交付最后一架 747-8 货机，历经半个多世纪的波音 747 生产正式结束。747 是世界上第一种双通道客机和超大型飞机，其前机身凸起的驼峰结构令该机在外形上拥有极高的辨识度，素有“空中女王”之称，数十年来主导国际航空货运和客运业务，但因耗油量太大导致订单量越来越少。目前全球约有 507 架 747 在役运营，平均机龄 20 年，其中大部分是货运型。

777X 认证步履蹒跚。777X 最初定位为 777 的衍生机型，受 737MAX 事件影响，FAA 对其审查程度更加严格，将 777X 视为一个新型号。因前期发动机问题导致的暂停试飞现已恢复，目前波音还在持续评估并改进 777X 气动性能与飞行控制系统。2023 年 2 月开始，波音加快试飞进度，针对 3 架飞机同时开展航电系统、自

动飞行与着陆系统、推进系统试验。基于满足 FAA 认证新要求的评估，波音将首架 777-9 交付时间按照 2025 年推进，认证时间的推迟使波音公司正面临着额外的生产成本以及客户的不确定性的挑战。

A350-1000 持续优化。为了满足航空公司的需求和应对竞争压力，空客对 A350-1000 进行了微小的改进，将飞机起飞重量提高了 3 吨，达到 322 吨。这一改进使得 A350-1000 航程增加约 180 海里（333 公里），在最大载客量下航程达到约 8900 海里（16482 公里），为该飞机执飞长途航线提供了更大的灵活性。此外，空客将基于 A350-1000 开发货机版本，并给出了 109 吨的有效载荷能力，这将有助于空客在竞争激烈的航空市场中保持竞争力。

伊尔 -96-400M 原型机首飞。该机型

基于伊尔 -96-300 基本型研制，最大载客 370 人，航程 8100 公里，配备 4 台 PS-90A1 发动机和最新的俄制航电和通信设备。2023 年 6 月首架原型机下线，并于 11 月完成首飞，此次试飞重点测试了飞机的操稳性能及俄制系统及其设备的稳定性。受美西方制裁影响，该项目成为 UAC 唯一的宽体项目，目前 UAC 尚未透露新客机的认证时间表。

支线客机：ARJ21 开启海外运营

2023 年，ARJ21 飞机走出国门出口印尼，4 月通过印尼民航局运行合格审定并正式投入商业运营。11 月 24 日，ARJ21 飞机在运营 7 周年之际累计载客突破 1000 万人次，标志着该机型的运营日趋成熟可



靠。此外，ARJ21 飞机在系列化发展方面已开展了公务机、医疗机、灭火机、应急救援指挥机等衍生机型的研制工作。

2023 年 10 月 30 日，杭州圆通货运航空和中原龙浩航空在广州分别接收 1 架 ARJ21 客改货飞机。随着 ARJ21 飞机产品线的进一步丰富，将显著提升我国在物流、重大灾害抢险、医疗救治、高端商务保障等方面的航空服务能力。截至 2023 年底，ARJ21 飞机已累计交付 122 架，开通国内外航线 400 余条。

俄罗斯原计划 2023 年初完成全国产型 SJ-100 首飞，2023 年底前完成取证，但发动机等国产替代进度缓慢，SSJ-100 直到 8 月才首飞，且依然配装的是 SaM146 发动机，目前取证已推迟至 2024 年。因赛峰退出合作，UAC 尚不具备 SaM146 发动机部件维修能力，部分前期交付运营的 SSJ-100 有可能面临困难。

未来：如何突破供应链瓶颈

2023 年，全球航空业实现了全面恢复。尽管还存在诸多地缘政治不确定性，随着美元加息周期转向、通胀减缓以及我国经济进一步好转，2024 年航空业的复苏势头将进一步加强，国内航线将保持平稳增长，

根据中国商飞 2023 年 11 月发布的市场预测年报，未来 20 年，全球航空旅客的周转量年均增长率为 3.8%，国内航空旅客周转量将以每年 5.4% 的速度增长。

国际航线加速恢复，航空市场增长将变得更加常态化。

根据中国商飞 2023 年 11 月发布的市场预测年报，未来 20 年，全球航空旅客的周转量年均增长率为 3.8%，国内航空旅客周转量将以每年 5.4% 的速度增长。在此期间，全球预计将新交付 43644 架客机，几乎为当前全球客机保有量的 2 倍，其中大部分为 C919 类别的单通道客机。与此同时，国内航空公司将接收 9171 架飞机，市场价值约 1.4 万亿美元。

在市场需求牵引下，飞机储备订单快速增加，但由于供应链瓶颈制约，飞机交付问题可能会持续存在。目前，空客宽体机生产档期已排至 2028 年，窄体机要到 2030 年。为应对这一挑战，波音、空客已开始在美国埃弗雷特、德国汉堡、中国天津等地新建飞机生产线，以提升产能。然而，航空制造产业链的质量问题将加剧航空公司的运力紧张，同时也给 MRO 企业带来挑战。但这也为航空制造业带来了机遇，推动其加快创新和改进。

航空业是节能减排的重点行业。为实现 2050 年的净零排放目标，各国和主制造商正积极探索可持续航空燃料的应用、下一代氢能和全电动飞机的研究等绿色发展方案。例如，空客已在双发使用 100% 可持续航空燃料（SAF）的 A321neo 上完成试飞，并针对更远期目标开展氢动力验证机研究；波音则加速了其“生态验证机”项目中可持续性和安全性技术的验证工作，同时开展下一代窄体验证机 X-66A 的研制。针对可再生航空燃料研究，中国商飞探索出基于废弃油脂的生物燃料，并在多次试验中取得良好效果。随着可持续航空技术研究深入推进，商用飞机正迈向可持续发展新时代。■

动力先行 ——对大型客机发动机的 回顾与展望

文 | 张征

航空发动机是一种高度复杂和精密的热力机械，也是当今世界上最复杂的、多学科集成的工程机械系统之一，是以材料和机械制造等为基础的多学科交叉融合的结晶。研制所需学科交叉融合多、技术涉及面广，被誉为“现代工业皇冠上的明珠”。

商用航空发动机还必须考虑适航条款、经济性、噪声及排放指标等相关要求，限制条件更为苛刻，尤其对于大型客机发动机，技术和可靠性要求更高，其研发具有典型的资金密集高投入属性，需要更多资源的强力支持和保障。大型客机发动机可以说是“站在了制造业顶端”，能够承担其产品研制的主制造商放眼全球也是屈指可数。

图 | flugrevue.de



目前大型客机发动机主制造商有美国的 GE 公司（GE）和普惠公司（P&W），英国的罗罗公司（RR），CFM 国际公司（CFMI，美国 GE 公司和法国斯奈克玛公司合资），国际航空发动机公司（IAE，美国普惠公司、英国罗罗公司、日本 JAEC 及德国 MTU 公司合资），发动机联盟公司（EA，美国 GE 公司和普惠公司合资），俄罗斯的联合发动机公司（UEC）以及中国航发商发公司（ACAE）。

各主制造商在其产品上均具有各自的市场竞争优势。宽体客机发动机市场目前基本被 GE 公司和罗罗公司瓜分，窄体客机发动机市场则群雄割据，但 CFM 国际公司和普惠公司占领的市场份额更大。从发动机数量市场占有率来看（截至 2023 年 6 月数据），CFM 国际公司占 54%，GE 公司占 13%，罗罗公司占 11%，IAE 公司占 11%，普惠公司占 10%，其他占 1%。

传统三巨头：牢牢占据高端市场

GE 公司、罗罗公司和普惠公司作为航空发动机行业传统三巨头，在大型客机发动机领域占有无可比拟的优势地位。

GE 公司是全球最大的航空发动机制造商，产品谱系极为广泛，覆盖了商用飞机、通用飞机和大量军用飞机，创立于 1892 年。

GE 公司大型客机发动机产品主要有 CF6 系列、GE90 系列、GENx 系列及 GE9X 系列发动机。CF6 系列市场占有率非常大，为 GE 公司在航空发动机领域确定领先地位立下汗马功劳，主要用于 A330、767、747 等宽体客机；GE90 系列曾经是最强大发动机的典型代表，其 GE90-115B 最大推力高达 120000 磅，用于波音 777 系列大型客机；GENx 系列是以 GE90 发动机为基础，最大推力在约 66000 磅，主要

用于 787、747-8 等宽体客机。GE9X 系列是目前动力最强劲的先进发动机，试验最大推力超过 134000 磅，拟用于 777X 新型远程宽体客机。

GENx 发动机技术主要源自 GE90，旨在取代 CF6 产品系列。2012 年，GENx-1B 开始作为 787 动力系统投入使用，随后迅速占领市场。Flight Global 发布的 Commercial Engines 2023 数据显示，2022 年 GENx-1B 产品交付数量约占到市场的 82%；GENx-2B 于 2011 年开始装配波音 747-8 客机，目前是其唯一动力装置。

GENx 系列发动机目前在役发动机约 3000 台，供全球 70 多家运营商使用，平均每月飞行小时数超过 45 万小时。

截至 2023 年底，GENx-1B 发动机已运行约 3200 万小时，GENx-2B 发动机累计运行超 1800 万小时。不到 13 年时间，GENx 系列发动机已超 5000 万飞行小时数，比其他大型发动机型号达到该里程碑数据所用时间都要少。

GE9X 发动机是基于 GE90 发动机的核心机，并结合 GENx 发动机在风扇和燃烧室设计中取得的经验积累，进一步提升了民用大推力、高涵道比涡扇发动机的设计研制水平，用于 777X 远程宽体客机。

GE9X 发动机于 2018 年 3 月 8 日完成首飞。2017 年 11 月 10 日，在工程测试中发动机最大推力达到了 134300 磅（约为 61 吨），大大高于最初设计时 10 万磅的推力预测，也打破了自 2002 年以来由 GE90-115B 发动机保持的 127900 磅（约 58 吨）最大推力记录。

GE9X 发动机采用了 GE 公司近十多年来开发的最先进技术，包括高效的空气动力设计、先进材料、数字化运用，300 多个零部件采用增材技术，是商用发动机的巅峰之作。NOx 排放低于现有标准 55%，噪声相较于 GE90-115B 噪音降低了 9dB。

2020 年 9 月 28 日，GE9X 发动机取得美国联邦航空管理局（FAA）认证，为装备全新的 777X 宽体客机做好了准备。GE9X 发动机还未正式投入商用，但已获得了诸多肯定，目前已收到超 600 台的订单和购买承诺。

罗罗公司成立于 1904 年，旗下产品包括航空发动机、船舶发动机以及核动力潜艇的核动力装置，航空发动机是其久负盛名的拳头产品。

罗罗公司的大型客机发动机产品主要有 RB211 系列和 Trent 系列。其中，TrentXWB 是罗罗公司专门为空客 A350XWB 飞机量身打造的新型动力装置，由 Trent1000 发展而来，代表了罗罗公司在发动机设计和制造领域的最高成就，是世界上性能最可靠的发动机之一，签派可靠率高达 99.9%。TrentXWB 生产有两个型号，分别是最大推力 84000 磅为 A350-900 提供动力的 TrentXWB-84 和最大推力 97000 磅为 A350-1000 提供动力的 TrentXWB-97。

2010 年 6 月，TrentXWB 开始试车，2013 年 2 月成功获得了 EASA 颁发的型号合格证，2015 年开始交付运营。罗罗公司官网显示，目前在役 TrentXWB 发动机 1800 台，订单超过 2000 台，成为罗罗公司历史上最畅销的发动机。

Trent7000 发动机是罗罗根据空客的要求在 Trent1000 的基础上改进而来，用于装备 A330neo 客机，是 Trent 系列的第 7 个成员，于 2015 年 11 月 27 日完成首次试车；2018 年 11 月 26 日，空客公司向葡萄牙航空交付了装备 Trent7000 的首架 A330-900neo 飞机。A330neo 市场前景看好，在中国民航局的取证工作目前正稳步推进中，预计 2024 年完成相关认证，力争 2025 年上半年能够交付国内航空公司。

普惠隶属美国联合技术公司，是集飞

机发动机、燃气涡轮和航天推进系统的设计、制造和支援为一体的制造商。创建于 1925 年，是美国第二大航空发动机制造公司。普惠公司大型客机发动机产品主要有 JT8D 系列、JT9D 系列、PW2000 系列、PW4000 系列、PW1000G（即 GTF）系列。

普惠公司最受瞩目的产品是 PW1000G，之前称为 GTF 发动机，是一款齿轮传动涡轮风扇发动机，属于传统双转子涡扇发动机的一种衍生型，不同之处是在双轴涡扇发动机的低压涡轮及增压级和风扇之间加入一个齿轮减速器，以便使风扇和低压涡轮及增压级都可在各自最有效的转速下工作，从而可减少低压涡轮级数，增大风扇直径，提高发动机涵道比，实现发动机更加节能、降噪和环保的优化设计目标。

目前，PW1000G 系列发动机有 PW1100G（用于 A320neo）、PW1400G（用于 MC-21）、PW1500G（用于 A220 系列）、PW1700G（用于 E-Jets E2 175）、PW1900G（用于 E-Jets E2 190/195）等 6 个型号，已有多型 PW1000G 发动机投入

▼
图 | AviationPros



商业运营，但在投入运营前及运营过程中，可靠性却不尽人意。

普惠公司在解决当前 PW1100G 发动机问题的同时，也在积极与 NASA 合作，为开发下一代 GTF 发动机做准备，研究包括增大风扇直径，将涵道比提高至 15～18；采用效率更高的全动行星齿轮的结构、传动比最低为 4：1 的齿轮箱；采用轻质结构技术，包括复合材料风扇叶片及风扇机匣等。

合资三公司： 取长补短，合纵连横

CFM 国际公司、IAE 公司和 EA 公司作为各发动机巨头为了获取更大市场份额，取长补短成立的合资公司，CFM 国际公司和 IAE 公司针对窄体客机市场，EA 公司针对宽体客机市场，都取得了良好的市场效果，堪称合纵连横的典范。

CFM 国际公司是由美国 GE 公司和法国斯奈克玛公司（2005 年与萨基姆公司合并成立赛峰集团）各出 50% 股份合资组建的一家跨国发动机制造商，于 1974 年 9 月正式成立，总部设在美国辛辛那提，产品目标是争夺窄体客机动力市场。GE 公司主要负责核心机部分及发动机一体化研发，斯奈克玛公司主要负责风扇、低压压气机及附件驱动（后由于装配原因，改由 GE 负责）研发，两家公司各自生产各自负责的零件，运往对方进行总装。CFM 国际公司在商用发动机的地位无人可及，截至 2023 年 6 月 30 日，CFM 公司在世界商用喷气发动机市场所占份额高达 54%。

CFM 国际公司大型客机发动机产品主要是 CFM56 系列和 LEAP 系列发动机，CFM56 系列用于 737MAX、A320 飞机，LEAP 系列用于 737max、A320neo 以及 C919 飞机。

LEAP 作为 CFM56 的下一代发动机，属于典型的传统双转子涡扇发动机。2008 年，CFM 国际公司启动 LEAP 项目；2009 年 12 月，中国商飞选择 LEAP 发动机为 C919 飞机提供动力，这也是 LEAP 发动机的首个飞机应用平台；2010 年，空客公司选择 LEAP 发动机作为 A320neo 的可选动力装置；2011 年，波音公司将 LEAP 发动机作为 737MAX 的唯一动力装置。取飞机型号首字母为发动机型号后缀，分别为 LEAP-1A、LEAP-1B 与 LEAP-1C。

截至 2023 年 5 月，三种型号的 LEAP 发动机共获订单超 21000 台，以 LEAP 为动力的飞机已交付给全球 141 家运营商，总计 2712 架。2024 年，随着 737MAX 的复飞和 C919 飞机不断投入运行，LEAP 发动机订单必将进一步增长。

IAE 公司是普惠公司和罗罗公司为了抢夺窄体客机动力市场，与德国 MTU、意大利菲亚特、日本 JAEC 于 1983 年在瑞士成立的商用发动机公司。普惠公司占 30% 股份，负责燃烧室、高压涡轮和涡轮排气机匣的研制；罗罗公司占 30% 股份，负责高压压气机部分研制；JAEC 占 19.9% 股份，负责风扇和低压压气机研制；MTU 占 12.1% 股份，负责低压涡轮研制；菲亚特占 8% 股份，负责附件齿轮机匣部分研制。罗罗公司于 2012 年 6 月退出 IAE，将其股份卖给了普惠公司。

IAE 公司推出的 V2500 系列是世界上最成功的高涵道比发动机之一，用于 A320 系列窄体客机。

V2500 是为了与 CFM56 竞争而开发的双转子高涵道比涡轮风扇发动机，于 1983 年 9 月开始研制；1985 年 12 月第一台发动机开始运转；1988 年 4 月 24 日取得美国联邦航空局（FAA）颁发的型号适航证；1988 年 7 月开始安装在 A320 上试飞；1989 年 5 月正式投入使用。

截至 2023 年 6 月，就数量而言，V2500 占商用航空发动机市场 11%，占窄体客机动力市场约 20% 份额。

EA 公司是美国 GE 公司和普惠公司于 1996 年 8 月在股权对等的基础上成立的一家合资公司，负责开发、制造、销售新一代超大型长航线客机系列的发动机，起初是为波音 747-500/600X 项目提供发动机，但最终项目取消。EA 公司将产品进行优化，以 GE90 和 PW4000 为基础，推出 GP7200，为空客 A380 提供备选动力，以与罗罗的 Trent900 竞争。

GP7200 是一款基于成熟技术且不断改进的衍生产品发动机，最初是空客 A380 的备选动力，目前在役超 500 台，装备比例已经超越了作为启动用户产品的 Trent900。随着 A380 于 2021 年停产，GP7200 与 Trent900 的对决也已尘埃落定。

新入局者：肩负大国使命

俄罗斯联合发动机公司和中国航发商发公司作为商用发动机的新入局者，均肩负着大国使命与责任，欲以窄体客机发动机为切入点，逐步实现国际商用发动机格局的突破。

联合发动机公司隶属于俄罗斯国家技术集团（Rostec），拥有俄罗斯超过 85% 的航空发动机和燃气轮机资产，其子公司包括彼尔姆、乌法、克里莫夫、土星等苏联著名的航空发动机公司。

联合发动机公司大型客机发动机产品主要是 PD-14，用于 MC-21 窄体客机。PD-14 属于典型传统双转子涡扇发动机，以 LEAP 发动机为竞争对手设定各项技术指标，是俄罗斯独立研制的第一款符合国际规范和要求的民用涡扇发动机。

PD-14 发动机于 2008 年立项；2014 年 10 月，开始进行地面试验；2018 年 10

月，获得俄罗斯联邦航空运输局的型号合格证；2019 年 12 月，获得了欧洲航空安全局（EASA）颁发的型号合格证；2020 年底，装备 MC-21 客机进行飞行试验。

PD-14 项目在俄罗斯的定位非常高，是俄罗斯举全国之力的核心项目，试图通过该项目扭转民用大涵道比发动机完全被西方企业垄断的现状，事实上也取得了一定成功。但基于俄系发动机特点，在部分指标的光鲜背后，PD-14 实际寿命和可靠性等方面的问题仍值得关注。

中国航发商发公司是我国大型客机发动机项目的责任主体和总承制单位，主要从事商用飞机动力装置及其相关产品的设计、研制、生产、总装、试验、销售、维修、服务、技术开发和技术咨询等业务，成立于 2009 年 1 月。

中国航发商发公司以“提供商用大涵道比涡扇发动机系列产品及相应服务”为使命，以“成为商用航空发动机全球主制造商之一”为愿景，重点打造 150 座级窄体客机发动机产品（CJ-1000A）系列和 250 座级宽体客机发动机产品（CJ-2000）系列。

CJ-1000A 是我国自主研制的首款大涵道比民用涡扇发动机。CJ-1000A 发动机于 2016 年正式立项研制。2017 年 12 月 25 日，大型客机发动机验证机（CJ-1000AX）首台整机在上海完成装配，标志中国首个民用大涵道比涡扇发动机整机验证平台已经建立；2018 年 3 月 30 日，CJ-1000AX 在上海总装试车台完成了全部调试工作；2018 年 4 月 3 日，CJ-1000AX 通过了试验前评审；2018 年 5 月，CJ-1000AX 首台整机在上海点火成功。

我国在商用发动机研制方面基础相对较弱，要想在竞争异常激烈的窄体机领域站稳脚跟，依然存在诸多挑战。道阻且长，行则将至，随着商发公司工作稳步推进，CJ-1000A 还是很值得期待。

新产品新技术展望

随着人们日益重视环保工作，为满足“绿色航空”要求，商用航空发动机不断向低油耗（节能）、低 NOx（减排）以及低噪声（降噪）方向发展，同时也要求具有良好的操纵性、维修性、可靠性、经济性等。在这种形势下，各主制造商也在不断改进改型老产品或提出新的设计方案。

目前窄体客机新型动力产品主要有开式转子发动机（Open Rotor）、下一代齿轮传动发动机（GTF），宽体客机新型动力产品有超扇发动机（Ultrafan）。

Open Rotor 本质是介于传统涡扇和涡桨之间的一种桨扇发动机，风扇没有短舱包裹。2021 年 6 月，CFM 国际公司宣布启动可持续发动机革命创新（RISE）计划，瞄准下一代窄体客机研发 Open Rotor 核心技术。2023 年 7 月，CFM 国际公司宣布已完成 100 多个开式转子发动机部件与系统级测试。CFM 国际公司给出 Open Rotor 的目标是比现役 LEAP 系列发动机的耗油率降低 20%，预计将于 2035 年前后投入商用。

因为在实现更高的效率、更低的排放和噪声方面具有优势，GTF 也成为了各主制造商新产品发展的一个重点方向。普惠公司基于 PW1000G 系列研制经验，在推进下一代 GTF 方面更具优势。2022 年 7 月，普惠公司披露了下一代 GTF 发动机的发展路线图，以推进效率和热效率提高为基础。目前普惠公司在“持续降低能耗、排放和噪声”（CLEEN）项目和“混合热高效核心机”（HyTEC）项目中也开展了多项下一代 GTF 技术开发，包括改进风扇压比、提高压气机气动效率与密封性、低污染燃烧室设计和增强涡轮冷却能力等。同时，在下一代陶瓷基复合材料、环境屏障涂层等新材料方面也取得一定进展。

此外，普惠还与 MTU、空客、柯林斯宇航、GKN 宇航公司合作，在欧盟“净洁天空”（Clean Aviation）计划下，由 MTU 公司牵头开发（WET）发动机，为下一代 GTF 发动机改进提供技术储备。

UltraFan 是罗罗公司基于 Advance 核心机，结合大尺寸齿轮传动风扇技术在研的新型发动机。2023 年 5 月，Ultrafan 技术验证机完成了首次地面测试；11 月 15 日，完成了使用 100% 可持续航空燃料（SAF）进行全功率运行测试。

罗罗公司表示，在短期内，也可以选择将技术从 UltraFan 开发计划转移到当前的 Trent 系列发动机上，为客户提供更高的可用性、可靠性和效率。长远来看，通过 UltraFan 的可扩展技术，推力变化区间很大，有望为 2030 年代的新型商用飞机提供动力。

随着新能源革命和人们快捷出行需求的发展，各飞机制造商和民航相关组织也对动力系统提出了新要求，如空客公司明确提出 2030 年所有空客飞机取得 100% 可持续航空燃料（SAF）认证，拟于 2035 年将氢能飞机推向市场；FAA 和 ICAO 拟在 2025 年制定超声速飞行噪声标准；欧洲启动“高速推进概念的平流层飞行应用”（StratoFly）计划等。为适应发展需求，各发动机制造商针对新能源（氢能、SAF、电推进等）、超声速、新概念等相关技术研究也在如火如荼开展中，由于目前没有明确的商用发动机产品研制型号，故未在本文中讨论。

在装机对象尚未明确、技术指标和时间节点未知的情况下，各发动机主制造商能够秉承“动力先行”理念，提前布局、开展技术验证和储备，这也为未来大型客机市场的发展创造了良好条件。■



封面文章

客运复苏呈现分化 运营效率有待提升 ——2023 年中国民航客运的回顾与展望

文 | 柴雨丰

2023 年，随着国家对新冠肺炎实施“乙类乙管”，中国民航客运正式步入了疫后恢复的发展阶段。但国内航线、国际航线疫后恢复增长不均衡、运行效率不高的问题比较突出，全行业尚未彻底走出亏损的泥潭，似乎预示着复苏之路并非一帆风顺，更要审慎看待后续发展的影响因素，并妥善加以利用。

▲ 图 | 陈松涛

2023 年客运特点分析

首先，客运复苏出现分化。根据作者推算，2023 年全年旅客周转量（RPK）较 2022 年增长 163.4%，其中国内航线 RPK 增长 138.6%，国际航线 RPK 增长 1029.3%。但与疫前的 2019 年相比，2023 年全年 RPK 增长为 -11.9%，并未达到疫前水平，但客运市场以国内航线复苏为主导的增长特征十分明显，其中全年国内航线 RPK 较 2019 年增长 6.6%，并从 4 月份开始出现正增长，且一直延续到年底；全年国际航线 RPK 较 2019 年增长 -61.4%，但与 2019 年分月数据对比，差距在逐月缩窄，主要得益于中国政府坚持开放政策，单边或双边扩大了入境免签的国家数量，国内各航空公司也都在加大开通国际航线的共同努力。

其次，运营效率需进一步提高。2023

年 12 月初全行业客机数量为 3961 架，同比 2019 年末增加 0.5%，2023 年全年 RPK 较 2019 年全年 RPK 增长 -11.9%，客运产出增速低于客运机队增速。2023 年全年正班客座率为 77.9%，较 2022 年全年提高 11.3 个百分点，但仍较 2019 年全年低 5.3 个百分点。2023 年全年飞机日利用率为 8.1 小时，比 2022 年全年提高 3.8 小时，但较 2019 年全年低 1.2 小时。随着中国民航机队的更新迭代，A320neo、A350 等新机型大量引入，新机型虽然在可供业载、燃油效率、客舱体验等方面优势明显，但新机型的引进价格远高于老机型，势必要通过提高飞机的日利用率、客座率来摊薄固定成本。

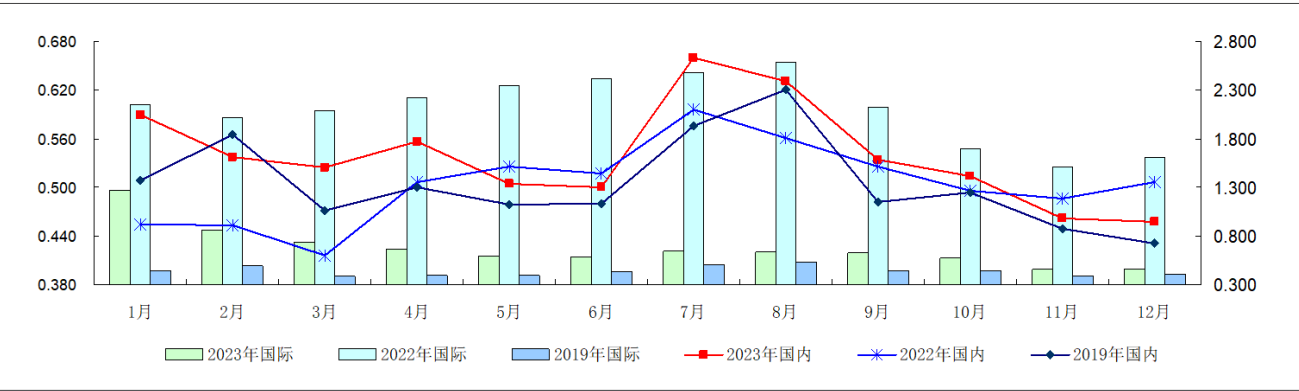
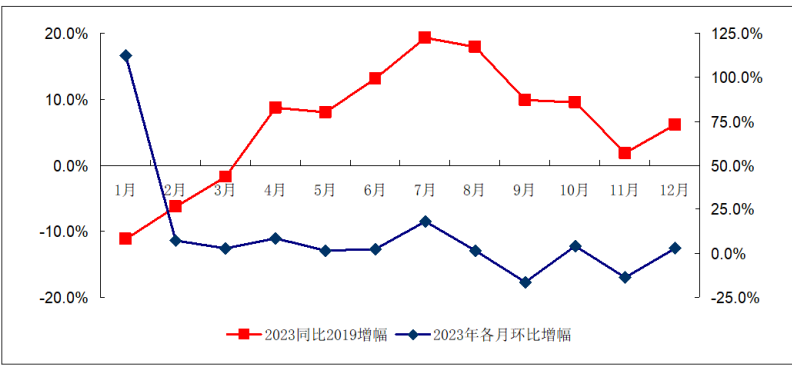
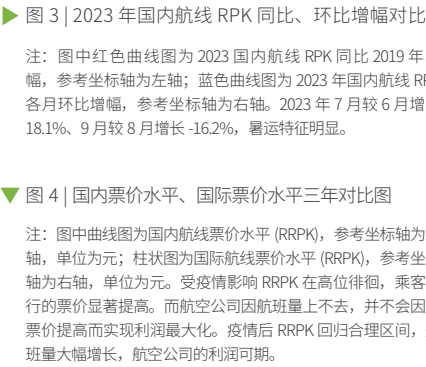
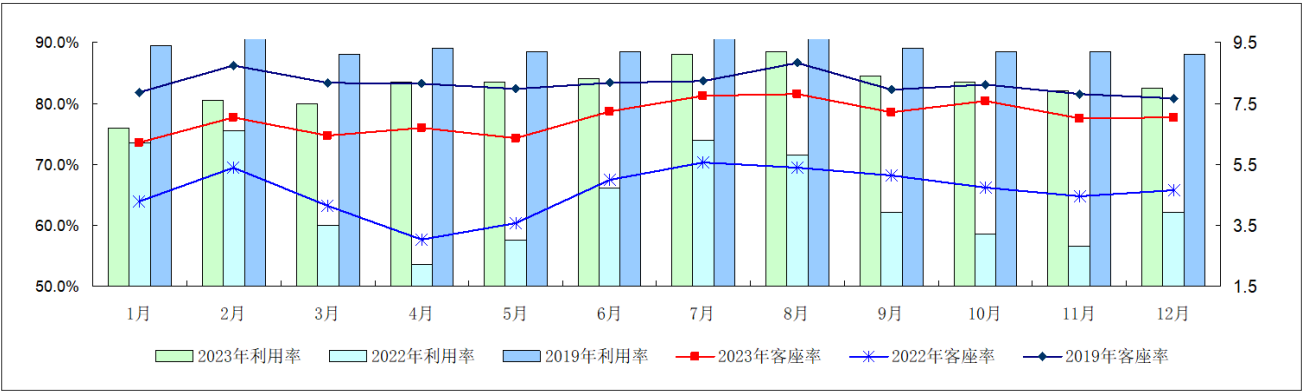
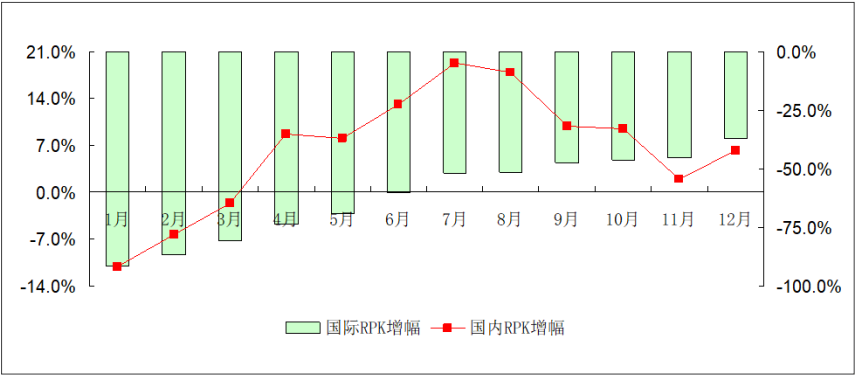
第三，持续发展基础应不断优化。2023 年全年国内航线 RPK 已超过 2019 年的水平，受国际航线复苏增长不及国内航线复苏增长的影响，国内航线的 RPK 贡献

占比由 2019 年的 72.8% 被动提升到 2023 年的 88.1%，国内国际双循环的发展不均衡，国际市场有待进一步发展。2023 年的国内市场更像是一个大的旅游市场，季节的波动性特别明显，国内航线 RPK 在 7 月、8 月份暑期同比 2019 年同期迎来近 20% 的报复式增长，而后增速又迅速回落。国内市场缺少长期稳定的市场增量需求，从 2023 年“十一黄金周”期间的机票大跳水就能看出端倪。

第四，票价水平波动较大。2023 年全年国内航线 RRPK 为 0.537 元，较 2019 年提高 0.028 元，因票价提高较 2019 年增收 288 亿元。分月看，国内航线在 1 月、7 月、8 月分别受疫情放开、暑运的影响票价水平维持在高位，12 月 RRPK 已回落接近 2019 年的同期票价水平。2023 年全年国际航线 RRPK 为 0.550 元，较 2019 年提高 0.112 元，较 2022 年已经大幅回

落 1.51 元。分月看，国际航线的 RRPK 逐月回落，但 12 月 RRPK 仍略高于 2019 年的同期票价水平。随着国际航班量的逐渐恢复，疫情以来国际航线乘客出行体验票价高，而航空公司因航班量上不去不能实现效益最大化的双输局面有望改变。

第五，经营效益不乐观。2023 年全年行业同比减亏 1832 亿元，但仍然是连续第 4 年出现亏损，2023 年只有少数航空公司实现报表盈利。而根据 IATA 在 2023 年 12 月初的预测数据，2023 年全球航空业净利润 233 亿美元，其中北美地区航空公司盈利 143 亿美元、欧洲地区航空公司盈利 77 亿美元、亚太地区航空公司亏损 1 亿美元。而同处亚太地区的国泰航空、新加坡航空及日韩的主流航空公司均实现止损盈利。究其原因，飞机成本、人工成本等固定成本开支并未同节奏增减，而收入端的增长复苏情况不及预期，收入增长与



成本投入不匹配是主要影响因素。

第六，局方积极助力行业发展。民航局在年初工作会上准确判断 2023 年的恢复态势，并不遗余力地助力全行业的复苏。依法开展整治“机闹”活动，为行业健康发展保驾护航。精准施策，鼓励和支持支线航空发展，协调中央财政全年发放支线航空补贴款 18.4 亿元。积极推动国产 C919 实现商业运营。继续推动智慧民航建设在机场的应用，开展千万级机场航班靠桥率专项整治，平均靠桥率提升 3.41 个百分点，累计增加靠桥航班 15 万架次、惠及旅客 2239 万人次，旅客出行体验明显改善。持续开展空域优化，2023 年全年约 144.9 万架次航班使用临时航线，缩短飞行距离 4145 万公里。

后续影响因素研判及应对

当今世界正处于百年未有之大变局，民航运输业赖以生存的国内外形势错综复杂，我国民航客运运输长期向好的大趋势并没有发生根本的改变。持续恢复增长、

深挖发展潜力的主旋律是毋庸置疑的，同时应密切关注影响行业发展的中短期制约因素。

首先，对行业的发展持谨慎乐观态度。本次行业客运衰退是新冠肺炎疫情、国内经济内生动力不足、国际政治经济形势等不利因素相互叠加、共同作用的结果。只要任何一项不利因素未得到有效化解，都会给行业带来直接或间接的负面影响。国内经济增速放缓，就业压力、地方债风险、百姓消费意愿下降产生的连锁反应等老大难问题并未实质性改善，民航发展的基础出现松动迹象。高速增长并不等同于高质量发展，控制风险是第一要务。强基固本、稳健经营是当务之急。因此各航司要主动下调增长预期，牢固树立过紧日子的思想，主动压缩投资，下调飞机引进速度。把“降杠杆、减负债”、提高资本充足率作为抵御流动性风险的重要抓手。从三大航机队增速来看，国航、东航、南航 2023 年底客机架数较 2019 年底分别增长 8.9%、8.2%、5.1%，且主要来自窄体机和支线客机架数的净增加。

其次，国际形势的改善非一朝一夕之事。当前，国际局势中的冷战思维、局部冲突正在碾压和平与发展这一世界主流思想。而以美国为首的西方阵营对中国采取贸易制裁、技术限制等手段。在此背景下，即使国际航班量增加了，客运高附加值产品销售和客机腹舱也很难全面恢复到历史高位，因此要有长期的思想准备，要有打持久战的行动安排。2023 年下半年各航司陆续开通了中东、非洲、中亚等传统非热点航线，颇有一番“由传统边缘市场向传统主流市场渗透、在传统边缘市场中寻求新的经济增长点”的意味。

第三，国际航线的全面复航应遵循效益优先的原则。在国内国际双循环相互促进的新发展格局下，国际航线能否全面恢

复对航空公司的业绩增长至关重要，特别是宽体机占比较高的公司。但国际航线的新开或恢复背后依赖于双边政治、经济活动的交往程度，特别是高级别的政府、商贸活动才是保证国际航线效益的压舱石，单纯靠旅游、民间往来等，因低廉的票价、明显的季节性、有限的消费群体及购买力等不足以支撑国际航线的长远发展。对于国际航线，应采取“先算后干、边算边干”的策略，短期的市场流量及收益品质不支撑，容易出现负边际贡献的情况。航空公司承担了对外开放交流的形象大使和先遣兵，同时要兼顾航线的经营业绩。南航于 2023 年 12 月底开通了每周一班“广州—巴布亚新几内亚莫尔兹比港”的直飞航线，该航线航程 5000 公里，而执飞机型为窄体机 737，可见其“试水”经营的思路明显。

第四，进一步深化民航改革。各航司要主动进行供给侧结构性改革，旺季要开足马力保市场供应，加大对飞机可用率、航班执行率、机组执勤时间挖潜的考核力度，必要时要开通红眼航班，争分夺秒去赚取收入。淡季要通过减投、价格协调等控制低边际、负边际航线的亏损，对高级别的飞机定检维修尽可能安排在淡季进行。对于重保任务、抢险救灾任务，航空公司要不计成本义无反顾地执行。提倡飞机引进方式的多样化，解决资产底盘过重问题。以股权为纽带，加大航司间业务合作的深度和广度，形成长期抱团取暖的共识，加强行业自律，杜绝“杀敌一千自损八百”的价格战。加强与铁路部门的深度合作，针对诸如北京大兴机场、上海虹桥机场、成都双流机场等有高铁站的机场，民航相关各方要主动对接铁路部门，开发空铁联运产品、增加市场供给选择。对于安全管理基础薄弱、服务口碑差的航空公司，应引入收购、市场退出等机制。

第五，在飞机引进环节要充分考虑技

术风险。欧美航空制造商大量使用新技术，但新技术不等同于成熟技术，而成熟技术是建立在运行时间长期沉淀基础之上的。比如美国雷神技术公司 2023 年 9 月表示因存在制造缺陷，将扩大旗下子公司普惠生产的齿轮涡轮风扇发动机检测范围。预计未来几年将有约 3000 台发动机需要拆除检测，每台发动机检测耗时将长达 300 天，这将导致每年约 350 架飞机停飞。由于飞行中舱门脱落，2024 年 1 月 6 日美国联邦航空局 (FAA) 宣布，暂停由美国的航司或在美国境内运营的波音 737MAX9 飞机，并引发其他国家民航管理当局的连锁反应。航空公司可退而求其次，飞机引进时考虑相对低机龄、技术稳定的二手飞机，比如 A320CEO、737NG，并且该类飞机的引进成本、维修成本有一定的优势。此前阿联酋航空已从租赁公司购买了至少 3 架二手 A380 飞机，后续在租赁期满后还将购买二手 A380。

第六，期待国产替代助力行业健康发展。我国民航市场潜力巨大，但因为之前国内飞机制造商的产品没有核心竞争力，各航空公司只能与国外制造商合作，其议价空间、交货周期、付款进度、逐年涨价等要求十分苛刻，有时甚至还会被迫接受不公平的合同条款和后续服务。可喜的是，国产支线飞机 ARJ21 先行一步，截至 2023 年底已累计交付国内外客户 122 架，通航 140 余座城市，载客突破 1000 万人次，并实现了海外运营。同时也期待国产民航发动机能尽早商业化，国产 C919 能尽快量产，届时对于航空工业、航空公司都将是多赢的局面。■

▼ 图 | 陈松涛



创新

驱动下的航空动力市场

文 | 李蕴

2023 年，欧美为加速实现民航业 2050 年净零排放总目标，出台了一系列政策规划，有力保障新技术新产品的开发。同时，各国大力发展先进民用航空动力与能源。一方面，加大开式转子、高效齿轮传动、新型螺旋桨等技术研发，提升传统涡轮发动机效率；另一方面，持续投入电推进、氢动力与可持续航空燃料领域，加速实现低碳航空。

欧美发布多项民用航空发动机发展政策与计划

2023 年，欧美发布了一系列涉及先进民用航空动力、新能源航空、可持续航空燃料（SAF）的发展政策或计划，召开了多次行业产业发展会议。这些文件或会议将为未来欧美国家改善民航运输业碳减排提供重要支撑，也为未来商用飞机竞争设置了门槛和指标。

图 | cnnespanol.cnn.com

下一代民用涡扇发动机研制取得重要突破

未来 10～20 年（甚至更远），民用涡扇发动机依然会是民航运输业的主要动力形式，因此该领域一向是各大航空发动机巨头争夺的高地。2023 年，CFM 国际、普惠、罗罗公司各自取得了一系列重要突破。

CFM 国际公司开式转子发动机达到里程碑节点。2023 年 6 月，CFM 国际公司在巴黎航展上宣布已完成 100 多个开式转子发动机部件与系统测试，并重点开展数字化设计工作。一是对开式转子发动机的噪声与集成特性进行建模仿真，探究风扇、定子叶片、安装位置在不同配置条件下的噪声和性能水平；二是和橡树岭国家实验室合作开发了仿真软件，模拟发动机空气动力学特性，识别流体相互作用、影响的区域，进而在全尺寸硬件测试之前作出适当设计修改；三是开展高低压涡轮、叶片、喷嘴的设计工作。11 月，该发动机通过概念设计评审，达到里程碑节点，同时 CFM 国际公司再次确认将在 2025 年前后开展第一台验证机的测试工作。

MTU 公司公布水增强涡扇（WET）发动机更多细节。2023 年 7 月，普惠公司公布了 WET 发动机目前开展的主要工作。一是与空客公司合作，设计并测试不同体积、尺寸、重量的冷凝器和热交换器，探

欧美涉及民用航空发动机的重要会议或文件（2023 年）（上）
CFM 国际公司开式转子发动机示意图（下）
图 | 航空周刊

时间	单位	名称	主要内容
1 月	欧盟	“净洁天空”计划	2023 年 1 月正式签署拨款协议并启动实施，重点研发混动支线飞机、超高效中短程飞机、氢动力飞机
3 月	美国政府	《国家航空科技优先事项》	实现可持续航空：①开发并使用新一代高效低排放发动机技术；②加快 SAF 的开发、测试和认证
3 月	欧盟	《净零工业法案》	提出实现航空业净零排放需采取的五大举措，包括扩大 SAF 使用规模和大力推进零排放飞行
6 月	国际航空运输协会	航空业 2050 年实现净零排放的一系列路线图	①到 2030 年，将发动机涵道比提升至 12 以上，并采用齿轮传动；②按计划试飞开式转子发动机；③开发可使用 SAF 的新型低污染燃烧室；④扩大 SAF 生产；⑤相关政策保障
8 月	NASA	新版《航空战略实施规划》	六大领域航空战略重点，包括：①发展经济可承受、可持续的民用高速（马赫数 1~5）飞机；②更经济、环保的超高效亚声速运输
9 月	麻省理工学院	零影响航空联盟（ZIAA）召集会议	ZIAA 成员包括飞机制造商、推进系统制造商、燃料供应商、航空公司和机场，共同围绕 SAF 技术、激励和挑战开展研讨
11 月	国际民航组织	第三次航空和替代燃料会议	通过全球航空清洁能源框架。到 2030 年，全球范围内，与假设全部使用零碳燃料相比，使用 SAF、低碳燃料和其他航空清洁能源的减排总量达 5%



Tech TP 涡桨发动机技术验证机（上）
图 | 赛峰集团

乔比航空公司开展空中出租车飞行验证（下）
图 | 乔比航空



究其与传统发动机的差异和对飞机集成的影响；二是与普惠公司合作，将新技术集成到 PW1100G 发动机上并开展混合动力系统改装与集成工作；三是与柯林斯航宇公司和 GKN 航宇公司合作，分别开发用于发动机高、低压轴的 0.5 兆瓦和 1 兆瓦电动机混合动力系统。WET 发动机技术将在随后开展部组件和子系统测试，最终在 2035 年前后应用在普惠公司的下一代齿轮传动涡扇（GTF）发动机改进型别上。

在现役 GTF 发动机方面，普惠公司 2023 年爆出发动机高压涡轮盘存在制造缺陷，虽然采取了补救措施，但可能导致 2024 年全球 A320neo、A220、E-Jets E2

机队的飞行时长缩短。

罗罗公司开展超扇发动机全推力地面测试。2023 年 4 月，罗罗公司首台超扇发动机验证机的首次地面测试在 80 号试车台正式启动，测试全程使用 100% SAF。由于只有 1 台发动机可供使用，罗罗公司严格按照干转（不点火不供油，只确保所有部件可正常运转）—湿转（只供油不点火）—最后点火的过程开展测试，以保证最佳安全性。2023 年 11 月，罗罗公司在 80 号试车台开展了超扇发动机验证机全推力测试，最大推力达 386 千牛，比该发动机的设计推力提高了约 23 千牛。此外，罗罗公司确认该发动机未来将扩展应用到中短程飞机市场，并将整合混合电推进与氢涡轮技术，实现更大减排。

民用涡桨涡轴发动机 聚焦新技术新产品开发

相较于民用涡扇发动机，近年来，民用涡桨涡轴发动机产品的开发力度总体不大，多以研究适应更高效飞行的新技术为主。另外，受各方制裁影响，俄罗斯主要聚焦相关产品的国产替代。

德国开发新型高效螺旋桨。2023 年 1 月，德国 MT 螺旋桨公司将其开发的首型 11 叶螺旋桨，替换了一台 PT6A 涡桨发动机的螺旋桨并在飞行试验台上开展了飞行测试。结果表明，该型螺旋桨较该公司已认证的 5 叶螺旋桨的静推力提升了 15%。涡轴发动机普遍使用 5 叶螺旋桨，MT 公司经研究后认为，增加螺旋桨叶数、降低直径，可提高螺旋桨转速，进而提升推力、降低噪声，使螺旋桨飞机的飞行速度达到 740 公里 / 小时，接近喷气式飞机的速度，同时燃油效率比其高约 30%。

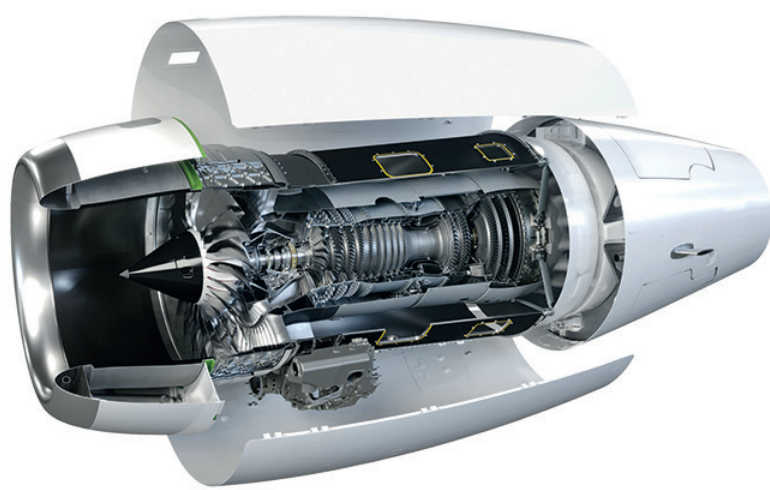
法国完成混合动力涡桨发动机验证机首次试车。2 月，法国赛峰直升机发动机

公司完成了 Tech TP 涡桨发动机技术验证机的首次地面试车。该发动机基于“阿蒂丹”3 发动机设计，其电机、电子电源转换器和相关控制器由欧盟“净洁天空”计划下的 ACHIEVE（用于新型涡轮螺旋桨电启动发电机和健康监测系统的先进机电设备）项目提供支持。与现役同类发动机相比，Tech TP 技术验证机的油耗和二氧化碳排放降低 18%。后续，相关技术还将在“净洁天空”计划下的 HE-ART（支线飞机的混合动力推进系统）项目中持续开发。

俄罗斯持续开展多型涡桨涡轴发动机国产替代工作。2023 年 1 月，俄联邦航空运输署为 TV7-117ST-01 涡桨发动机颁发了型号合格证，该发动机未来将用于俄伊尔 -114-300 国产支线飞机，以取代大量乌克兰和西方国家制造的支线飞机。6 月，俄罗斯确认其米 -26 重型直升机将配装 PD-8V 新型发动机，用于替换乌克兰 D-136 发动机，该发动机功率较 D-136 提高了 15%。8 月，俄罗斯圣彼得堡工业大学宣布正在开发一型用于无人机和轻型飞机的小型涡桨发动机 CML-180/240，该发动机功率 500kW，填补了俄国内空白，用于替换上述平台广泛使用的美制活塞发动机。10 月，俄罗斯完成了 VK-650V 涡轴发动机地面测试，将配装在安萨特直升机上开展飞行测试，最终用于替代普惠加拿大公司的 PW207K 发动机。

新能源航空动力研发 多领域稳步推进

电推进与氢动力作为实现民航业净零排放的重要途径，战略地位迅速提高，但二者目前都存在技术成熟度偏低、尚无法应用于中大型客机、市场认可度不足等现实因素，目前的工作多以部件、系统级的开发验证为主。此外，罗罗公司正式确认将逐步剥离电气业务。



“珍珠”15 小型航空发动机
图 | 罗罗公司

混合电推进完成多个重要测试。2023 年 6 月，美国柯林斯航宇公司完成了 1 兆瓦电机的额定功率试验，该电机将与普惠公司开发的高效发动机结合，作为“冲”8-100 验证机混合动力系统的一部分。6 月，美国 RTX 公司的混合动力可扩展涡轮电力总成技术（STEP-Tech）验证机完成首次试车和电气系统集成测试，该验证机旨在对未来的分布式推进概念进行快速原型设计，有望应用于先进空中机动平台、高速 eVTOL 飞行器和翼身融合飞机等。12 月，空客、法国赛峰与法国达赫集团（Daher）共同开发的 EcoPulse 混合动力验证机完成混动模式的首次试飞，验证了控制计算机、高压电池组、分布式推进系统、发电机等部组件的正常运行。

全电推进在空中交通领域应用得到验证。2023 年 9 月，法国 VoltAero 公司在法国政府支持下完成了 5 座 Cassio330 混合动力飞机飞行测试，其功率 330 千瓦的推进系统可满足全电动起飞、着陆和巡航的需要，具备在空中交通领域应用的潜力。11 月，美国电动垂直起降航空器制造商乔比（Joby）航空公司开展了空中出租车在城市环境下的首次飞行验证，飞行全程 6 分钟。该空中出租车可搭载 4 名乘客与 1

名飞行员，巡航速度 320 千米 / 小时，航程 161 千米。

氢涡轮发动机聚焦提升技术基础能力。2023 年 1 月，欧盟“净洁天空”计划启动了氢涡轮技术相关研究，一是罗罗德国公司牵头的“珍珠”15 发动机改进燃氢项目（2400 万欧元），将于 2024 年开展地面测试；二是西班牙航空结构公司 Aciturri 牵头的 H2elios 项目（2500 万欧元），将开发 150 千克至 600 千克的液氢燃料储罐并与飞机集成。2023 年 6 月，英国反作用发动机公司宣布参与“氢气发动机布局的鲁棒实现”（RACHEL）和“液氢涡轮机”（LH2GT）两个前沿项目，将分别开发氢冷燃油冷却器与低温储罐。10 月，穆格英国子公司宣布，将在英国航空航天技术研究所资助下，牵头开展“未来发动机氢控制技术”（FETCH）项目，开发并演示用于氢涡轮的燃料控制系统，以及用于变几何形状发动机的液压机电驱动系统。

欧美多国开展燃氢测试。2023 年 5 月，欧洲 Destinus 公司装备氢燃料加力燃烧室的“少女号”（Destinus-1）原型机完成了演示飞行，氢燃料加力燃烧室多次点火，最终达到了约 250 千米 / 小时的飞行速度。

7 月，DLR 和美国通用电气公司开展了首次真实飞行环境下的 100% 燃氢试验，验证机采用改装了新型燃烧系统的通用电气“护照”发动机，试验在德国航空航天中心（DLR）的燃氢试验台开展。7 月，法国赛峰集团对涡轮发动机的氢气燃烧子系统进行了测试，研究了氢燃料从离开储罐到喷射燃烧的全过程，并评估了燃烧系统中所使用金属的兼容性。9 月，罗罗公司与洛夫堡大学、DLR 合作完成了“珍珠”700 发动机 100% 氢燃料的全环燃烧室测试，证明了氢燃料可以在模拟最大起飞推力的条件下燃烧。

美国初创公司接连创造氢燃料电池飞机首飞纪录。2023 年 1 月，美国 ZeroAvia 公司研制的氢燃料电池验证机成功首飞，成为当时已试飞的全球最大氢燃料电池载人飞机，该验证机基于多尼尔 228 飞机改装，左侧涡桨发动机被替换为 ZA600 氢动力系统，功率 600 千瓦。3 月，美国 Universal Hydrogen 公司研制的 Lightning McClean 验证机成功首飞，打破了 ZeroAvia 公司在 1 月创下的最大氢燃料电池飞机首飞记录，该机右侧 PW123 涡桨发动机被替换为 650 千瓦电机。6 月，该验证机在飞行测试中的某航段全程使用氢燃料电池提供动力，飞

行时间超过 1 小时，航程超过 333 千米，是迄今为止使用氢燃料电池独立进行的最长飞行。7 月，ZeroAvia 公司氢燃料电池验证机完成了第一阶段飞行测试，成功验证了 ZA600 氢燃料电池系统，并于测试期间创造了飞行高度 1524 米的新纪录。

可持续航空燃料 全面加速商业化进程

国际航空运输协会预计，2023 年全球 SAF 总产量约为 50 万吨，是 2022 年的两倍，虽然增长迅速，但该产量距离实现国际民航组织 2030 年（产量达 1400 万吨）和 2050 年（产量达 5 亿吨）目标仍有极大差距。各国已经采取多种举措加速这一进程，如欧盟正在制定首个涉及 SAF 发展的法规文件、美国推动 SAF 在亚太经合组织国家中的使用、英国提出 SAF 税收优惠计划、澳大利亚发布 SAF 行业发展路线图、印度首次使用本国 SAF 完成商业飞行，从政府层面逐级向下推动，航空公司、油料供应商、飞机制造商、发动机制造商从试验试飞、标准认证、技术研究、生产采购等领域全面推动 SAF 的商业化进程。

多方开展 100% SAF 飞行验证。加速 SAF 商业化进程的一项重要是使飞机中 SAF 的掺混比例由 50% 增加至 100%，从而完成对传统航煤的替换，大幅减少全生命周期碳排放。2023 年，维珍航空、阿联酋航空、空客公司、湾流航宇公司、莱昂纳多公司、罗罗公司、普惠加拿大公司等均完成了不同型号飞机、发动机的 100% SAF 飞行验证。其中，维珍航空与湾流航宇公司分别完成了各自飞机的跨大西洋飞行，罗罗公司完成了其全部在产民用航空发动机型号的 100% SAF 兼容性测试（包括遄达系列、珍珠系列、BR725/710 发动机），各自达到了重要里程碑节点。

SAF 标准认证取得重大进展。2023 年 6 月，由 ECOCHEM、Neste 和 WorldEnergy 公司生产的 9 个批次 SAF 通过了国际航空碳抵消和减排计划认证（CORSIA），这是 SAF 首次通过这一组织认证，标志着 SAF 可在全生命周期中提供的环境效益正式得到国际认证，也是国际社会共同推动航空业减排的重要里程碑。8 月，瑞典生物燃料公司（Swedish Biofuels）开发的带芳烃的醇制合成煤油（ATJ-SKA）技术路线通过美国材料与试验协会国际委员会（ASTM）投票，将成为第 10 种符合国际标准（ASTM）的 SAF 制备工艺。

多国积极推进 SAF 技术研究。在制备工艺方面，美国阿尔德可再生能源公司证明了芒草可用于高效制备低碳 SAF，不与粮食作物争夺土地；法国 Haffner Energy 公司推出 Safnoca 制备工艺，可将所有季节的生物质和有机废物转化为 SAF，极大拓展了原料来源，减少了因季节变化导致原料供应不稳定的弊端；美国霍尼韦尔公司推出 UOP eFinishing™ 制备工艺，可高效生产 eSAF 和其他生物燃料。此外，英国初创公司 OXCCU、美国 Dimensional 能源、加拿大 Svante 和美国 Aether 燃料公司分别获得融资开发低成本 SAF 工艺或其他制备技术。在排放研究方面，DLR 首次在真实机场环境中开展了 SAF 对当地空气质量的影响研究，结果表明其可减少超细颗粒物排放；通用电气公司正在开展 SAF 对飞行尾迹影响的测试工作，将定量探究 SAF 产生的排放物和尾迹冰粒。

在生产采购方面，美国环境保护署批准 LanzaJet 公司可使用从甘蔗中提取的乙醇生产 SAF，从而扩大 SAF 原料范围以提升产量。汉莎航空、壳牌公司、Dimensional 能源公司、空客公司、普惠加拿大公司等多家涉及 SAF 生产、使用的企业均开展了相应产能提升计划或合作。■



ZeroAvia 公司开展氢燃料
电池验证机飞行测试
图 | aviationweek.com

巴航工业的 2023

文 | 任治潞

作为当今全球第三大飞机制造商，2024 年 1 月末，巴西飞机制造商巴航工业发布业绩报告。总体来看，公司 2023 年新飞机交付有所增长，尤其是公务航空业务表现强劲。但与其他飞机制造商一样，持续的供应链压力影响到了公司 2023 年的飞机交付量。然而，值得一提的是，2023 年除了专注于传统业务领域之外，巴航工业还在积极布局货机项目、先进空中交通市场和可再生能源技术等领域，并取得了一些成果。

图 | 巴航工业（飞机）
wondrouslandscapes.com（背景）

公务机交付数创 7 年来新高

根据巴航工业发布的业绩报告显示，2023 年公司共交付 181 架新飞机，与 2022 年的 160 架交付量相比，同比增长 13%。截至 2023 年年末，公司储备订单价值同比增长 12 亿美元，达到 187 亿美元，创 2018 年第一季度以来的新高。其中，巴航工业公务机板块的表现尤为突出。

数据显示，2023 年巴航工业共交付了 74 架轻型公务机，同比增长 12%，创下了 7 年来轻型公务机交付量的新高。此外，公司还向市场交付了 41 架中型公务机，实现了两位数的年增长率，增长率达到 14%。尤为值得一提的是，2023 年第四季度，巴航工业公务航空业务板块的确认订单储备价值高达 43 亿美元，同比增长 4 亿美元，订单出货比超过 1.3:1。

这一成绩与飞鸿 300 机型的持续畅销有着直接关系。根据通用航空制造协会（GAMA）公布的数据，飞鸿 300 系列公务机连续 12 年问鼎全球最畅销的轻型公务机，并连续 4 年成为最畅销的双发喷气飞机。在巴航工业 2023 年交付的 74 架轻型公务机中，其中有 63 架为飞鸿 300 系列。目前，飞鸿 300 系列公务机已经在全球范围内交付超过 730 架，累计飞行时数超过 200 万小时。

多年来，巴航工业一直不断地对飞鸿 300 系列公务机进行改进。如飞鸿 300E 推出了全新自动油门功能，这项新增的选装

功能将为可单机组驾驶的驾驶舱提供更有力的支撑。此外，Prodigy Touch 驾驶舱基于佳明 G3000 系统，可以进一步增强飞机的运营能力。通过多年来不断地改进，如今飞鸿 300E 在同级别公务机中具有明显的优势。在性能方面，飞鸿 300E 是在产的飞行速度最快的可单人驾驶公务机，在满足 NBAA IFR 燃油备份条件下，搭载 5 名乘客时，航程可达到 2100 海里（3724 公里）。

与销售同步增长的还有公司服务与支持部门的订单储备。2023 年，巴航工业公务机与商用飞机售后服务订单储备订单价值达到 31 亿美元，同比增长 4 亿美元，创历史新高。售后市场的增长与 2023 年巴航工业扩大了其公务机在美国的维修与客户支持能力有直接关系。2023 年，巴航工业在德克萨斯州、俄亥俄州和佛罗里达州新建了 3 个公务航空 MRO 设施，并将其在美国的维修服务能力提高一倍，以支持其在美国公务机数量的持续增长。

商用飞机交付待破局

2023 年巴航工业商用飞机交付也呈现了平稳的态势。2023 年，公司 E 系列飞机共交付 64 架，其中 E2 系列飞机交付 39 架，与 2022 年的 19 架相比，交付量实现翻倍。截至 2023 年年末，巴航工业商用飞机储备订单为 298 架，总价值 88 亿美元，同比增长 2 亿美元。

巴航工业的公告显示，波特航空在已

有 50 架 E195-E2 订单的基础上，增购了 25 架 E195-E2 飞机。目前这家加拿大的航空公司已有 46 架确认订单尚待交付，此外还有 25 架优先购买权。与此同时，公司现有的储备订单还包括美国航空之前签署的 4 架 E175 飞机以及 2023 年 12 月订购的另外两架飞机。

亚太地区作为全球最具发展活力的民航市场，一直以来是飞机制造商的必争之地。在 2024 年 2 月举办的新加坡航展上，巴航工业一架全新“科技鹰”涂装的 E195-E2 飞机也飞抵航展现场。2023 年 11 月，巴航工业 E190-E2 和 E195-E2 获得了新加坡民航局颁发的型号合格证。同年，巴航工业也收获了包括新加坡酷航等在内的航空公司 E2 系列飞机订单，但与其传统的北美市场相比，目前亚太市场仍有潜力可挖。

2023 年 8 月，E195-E2 获得了中国民航局 (CAAC) 颁发的型号合格证。在此之前，2022 年 11 月，E190-E2 也已获得 CAAC 颁发的型号认可证。获得型号合格证也意味着，E2 系列具备了进入中国市场的“入场券”。

根据巴航工业最新发布的《未来 20 年市场展望报告》显示，受到疫情复苏周期延长、地缘政治以及行业动态变化的影响，用来衡量全球航空旅行需求的旅客周转量 (RPK) 预计将在 2024 年恢复至 2019 年的水平。预计到 2042 年，全球旅客周转量每年将增长 3.2%。在此基础上，未来 20 年全球市场对 150 座以下新飞机的需求量共计 11000 架，新飞机市场价值 6500 亿美元。从细分市场来看，旅客周转量年增长率最高的是亚太地区，而中国被巴航工业视为亚太地区增长的重要推动力。从市场对机队灵活性的需求来看，与大型窄体飞机在运力上形成互补是 150 座级以下机型需求增长的主要驱动力，而这也是 E2 系列飞机面对的市场。

当然，面对中国这一庞大的市场，其它飞机制造商也不会拱手相让，其中既有 A220 这样的老对手，也有 ARJ21 这样的“新对手”。A220 目前还未在中国申请型号合格证，未来空客是否会让这款机型进入中国市场亦未可知。ARJ21 飞机目前已有 120 多架在中国市场运营，国内三大航都已经成为了这款机型的客户。对此，巴航工业曾表示，E190-E2 和 E195-E2 两款机型在运力上与 ARJ21、C919 是互补的关系，它们将为中国航空公司提供更加灵活、高效和环保的机型选择。从这个角度来看，对于航空公司来说，任何良性的竞争都将最终促进行业的健康发展。

在美国，由于受到范围条款的影响，目前 E2 系列飞机无法进入美国支线航空市场，而这一市场恰恰是这一型飞机重要的目标市场。在欧洲，E2 系列飞机在与 A220 的竞争中已经处于劣势。根据数据统计，截至 2023 年 12 月末，A220 已经在欧洲地区交付 131 架，E2 系列飞机则为 45 架。因此总体来看，E2 系列飞机未来的市场开拓还有待进一步破局。

加速战略转型

除了继续深耕传统公务机与商用飞机市场之外，近年来，瞄准未来的巴航工业也在积极谋划战略转型与发展。

2024 年 2 月的新加坡航展上，巴航工业 Eve 电动垂直起降飞机 (eVTOL) 客舱模型首次在海外航展亮相，这也是其全球巡展中的首次亚太之行。2020 年 10 月，巴航工业成立独立子公司 Eve 进行电动垂直起降飞机的研发工作。目前，公司已经与来自美国、英国、阿联酋、韩国等在内的 26 家客户签订了 2770 架电动垂直起降飞机的意向订单。

在本届新加坡航展上展示的这款 Eve

eVTOL 使用传统的机翼和尾翼布局，8 个旋翼固定在机翼周围，提供垂直起降的能力；简单直观的复合翼构型也能够为运行提供安全性和可靠性，并可容纳 1 名飞行员和 4 名乘客。Eve eVTOL 最新的概念设计还包括一个由双电机驱动的电推进器，其在确保飞机的高性能和高安全性的同时，可增加推力的冗余度。该设计旨在提供高效推力并降低噪音，此外它还具备运营成本更低、零部件更少、结构和系统优化等诸多优点。航展现场，观众还可以通过佩戴特殊的头戴式设备，通过互动，现场沉浸式感受 eVTOL 的飞行。

在新加坡航展上，巴航工业还为其 Eve eVTOL 项目确定了包括传感器、制导与导航、座椅和飞行控制装置等在内的主要供应商。其中，泰雷兹将为 Eve eVTOL 项目提供空中数据解决方案，其中包括传感器和计算机。这些解决方案会将收集到的关键信息传递给飞行员和机载系统，以确保飞机在任何天气条件下都能安全高效地飞行。霍尼韦尔将为该项目提供制导和导航产品，包括磁强计、GPS 辅助姿态和航向参考系统以及惯性基准系统，这些系统将为飞行员和其他机载系统提供中继和辅助，以确保飞机安全高效飞行。此外，霍尼韦尔还将为 Eve eVTOL 项目提供外部照明设备。

根据巴航工业的规划，目前 Eve 已经在巴西圣保罗州陶巴特开始组装首架全尺寸 eVTOL 原型机，预计将在 2024 年开始进行原型机测试，并力争在 2026 年开始交付市场运营。

面向未来，巴航工业早前还发布了 Energia 系列全新飞机概念设计，这一系列机型采用了包括纯电动、氢燃料电池、双燃料涡轮增压发动机以及混合动力这四种不同的推进技术。其中，E9-HE 为 9 座混动电推进飞机，预计 2030 年左右完成技术储备；

E9-FE 为 9 座全电推动，飞机垂尾上置对转双发电驱，可以实现净零碳排放，预计 2035 年完成技术储备；E19-H2FC 为 19 座氢能电推进飞机，采用后置电驱，预计 2035 年完成技术储备；E50-H2GT 为氢能涡桨机型，计划采用氢能或 SAF，座位数为 35 座至 50 座，气动布局上采用尾吊涡桨发动机，预计 2040 年左右完成技术储备。尽管 Energia 系列是巴航工业着眼于未来的布局，但相对于大型商用飞机，小型商用飞机更有利于完成新推进技术的整合测试和技术验证，也便于日后将这些技术扩展应用到更大的飞机上。也正因为如此，巴航工业认为，未来 Energia 系列将成为一系列新技术验证的重要平台，而巴航工业在新机型研发、取证、运行支持等方面的经验也将有助于公司进一步探索具有颠覆性意义的绿色技术的研发。

此外，面对货运市场的快速发展，巴航工业也在 2022 年 3 月就推出了 E190 和 E195 的客改货项目。根据计划，首架改装货机将于 2024 年投入市场。2023 年 12 月末，巴航工业发布一则视频，公司已经完成了首架 E190 飞机货舱门的改造工作，预示着公司客改货项目正按计划稳步推进。

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 架改装货机。在进展方面，巴航工业已确定该客改货项目将在巴西圣保罗的工厂进行改装，改装内容包括安装主货舱门、货物装卸系统、地板加固、带门的 9G 隔板、货舱烟雾探测系统、主货舱 E 级灭火系统；进行空气管理系统改装（空调、增压等）、内饰拆除，以及危险品运输改装。根据规划，项目启动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。■

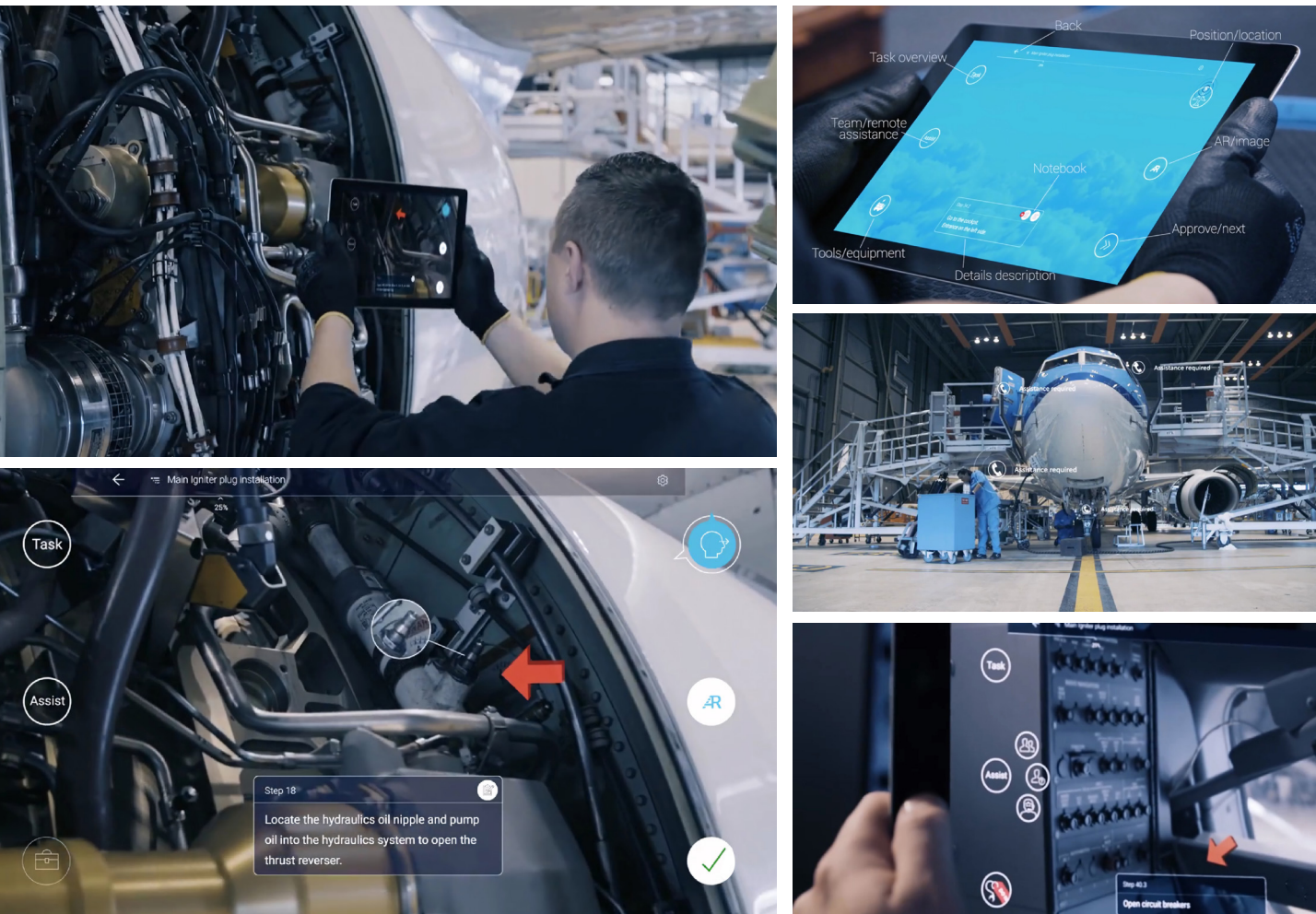
人工智能或将改变 MRO 行业

文 | 文峻

2022 年，ChatGPT 横空出世，人工智能热潮席卷全球各行各业。企业家们都在认真思考如何利用这项新技术提高效率，提升经营利润。在 MRO 领域，许多初创公司、MRO 服务供应商、航空公司以及行业研究机构也在探索 AI 的应用，但专业人士认为，该技术只有经过充分实践检验，才能被认可并获得广泛推广。更重要的是，从业人员要管理好对这项技术应用的期望。

在售后维修领域中，人工智能同样备受关注。初创公司、MRO 服务供应商、航空公司以及行业研究机构均致力于研究开发基于人工智能技术的新业务模式，不断提高飞机维护水平。其中包括开发飞机和发动机检修新方式、创建

图 | silicon.co.uk



智能化的维修机库、构建航空资产的数字孪生系统，提高维修记录的自动化水平，提升工程技术人员的排故能力等。

一些先锋实践

波音公司支持的技术加速器项目名为 Aerospace Xelated，该项目一直与许多人工智能初创企业合作，评估行业应用案例，积极加强与创新型公司的联系。Amygda 是一家总部位于英国的初创公司，由罗罗公司的前技术工程师创立，该公司开发了一种“生成式人工智能” (Gen-AI) 的应用程序，被视为 MRO 中的 ChatGPT。

Amygda 的联合创始人兼首席执行官表示，这项技术将成为飞机维修工程技术人员的有效助手。该系统采取纯文本输入查询的方式，自动生成易于理解的方案。这位创始人表示，技术人员可以通过该应用程序，根据数据（如维护日志、飞行时间、飞行员报告和传感器数据等）找到“假设”场景中的解决方案。例如，技术人员可以与人工智能交谈，查看系统上生成的故障警报，提出有关问题，如发生故障警报的潜在原因是什么。此外，Amygda 公司开发的人工智能应用技术还可以执行逻辑运算。例如，评估时寿件的剩余使用循环。他强调，这是该系统内置的独特功能之一。Amygda 公司认为，目前 ChatGPT 或其他语言学习模型无法进行细分专业领域的分析，所以 Amygda 公司致力于为 MRO 专门开发这一功能。

LexX Technologies 公司是另一家 Aer-

ospace Xelated 加速器项目中的初创公司。随着 ChatGPT 的广泛宣传，人们对 LexX 技术公司充满兴趣。该公司运营主管表示，其研发的人工智能平台就像苹果公司的 Siri 虚拟助手和《星球大战》（Star Wars）中的 C-3PO 机器人的混合体，可以自动分析数据并向技术人员提供解决方案。凡是被它采集数据的领域，都可以针对性提供可阅读、可理解的信息输出，它几乎可以回答任何专业领域中的问题。就航空业而言，需要大量的数据积累和专业化知识的特征十分明显。LexX 平台应运而生，它能够显著降低对人的依赖。LexX 技术公司认为，我们今天所处的时代充满了数据，人类智慧是多年积累形成的，面对航空运行中随时出现的各种情况，人工智能的作用将非常重要。以紧急安全通告为例，尽管员工能够怀着良好的意愿阅读安全通告，但这些信息在人的意识中通常不会保留很久。然而，LexX 平台可以识别不同场景，有针对性地与技术工程人员实时提供相关警示信息。例如，针对某些容易使技术人员受伤的工作任务进行及时的提示。

LexX 技术公司强调，该公司的人工智能技术拥有自我学习进化功能，因此技术人员可以快速、轻松地从中受益。例如，有一名飞行员向维修服务供应商描述飞机故障，然后该维修服务供应商派出两名技术人员根据描述情况开展排故工作，其中一名技术员仅有 6 个月的工作经验，另一名则拥有 30 年的经验。在排故过程中，经验少的维修人员会按照工作清单一步步地排查故障原因；而另一位经验丰富的维

修人员可能一眼就看出这是一个曾经遇到过的问题，马上找到故障点，很快就能完成维修工作。在这样的场景中，LexX 平台可以将维修技术人员的工作经验通过生成式学习传授给整个维修团队，可明显缩短维修技术人员的成长时间。

美国航空正在探索在飞机维护操作中使用自然语言处理 (NLP) 技术，NLP 是实现人与计算机之间用自然语言进行有效沟通的一种人工智能方法。该航空公司正在研究如何使用 NLP 通过语音即时记录和编译维护信息，以确定应该使用哪些 ATA 代码对故障进行分类，并简化搜索排故措施的过程。

法荷航工程维修公司的 MRO 实验室也在探索人工智能在飞机维修领域中的应用。该公司表示，MRO 供应商正在使用 NLP 和计算机视觉技术简化文档处理，使技术人员能够更快捷地访问技术文档和安全工作流程，迅速找到所需的零件编号。该公司还将人工智能技术应用于 Prognos 预测性维护平台。

新加坡科学技术研究机构的航空航天计划项目开发了一种应用于文本识别和缺陷检测的机器学习算法。该算法使用由 1600 多个数据点组成的数据集，通过机器生成和手写文本的方式测试算法。该项目负责人 Ric Parker 表示，该机构正在进一步探索 Gen-AI 工具如何在 MRO 行业中使用，这些工具可以根据输入的数据进行主动学习并生成有效输出。该项目还与新加坡航空公司和新航工程公司等合作，开展人工智能解决方案和提高制造能力的若干项研究，如基于人工智能技术的生产车间提升项目。

目前，一个致力于提升航空航天制造和维修水平的人工智能平台——Basetwo AI，入选为 Aerospace Xelated 加速器项目。该平台连接数据源，如飞机部件传感器和

维护日志，并通过这些数据建立飞机关键部件的仿真模型，该模型能够对飞机部件的使用状态进行有效预判。

Basetwo AI 的首席执行官表示，该功能将主要用于优化维修计划，以及延长飞机资产的生命周期并提高利用率。他指出，目前应用前景非常明确的领域主要涉及发动机和飞机运行控制系统的维护。

另外一些初创公司则通过将人工智能与物联网 (IoT) 技术相结合，致力于打造更智能化的维修机库。Fyve By 公司发出一个应用于机库场景中的实时监控系统。该系统将摄像头、传感器与软件配对，创建机库的 3D 模型，提供飞机、货物、工具和人员的实时视觉跟踪，用于监控设备和人员运行状态，减少工作现场的潜在安全风险。该公司联合创始人 Preston LaVangie 先生称，这项技术类似于 360° 全景监控，如同汽车上的倒车摄像头。该系统能够帮助 MRO 最大化利用机库资源，更高效地安排飞机停场。

英国克兰菲尔德大学的数字航空研究与技术中心正在开展一项关于如何将人工智能技术应用于飞机维修从而获得商业价值的研究。克兰菲尔德大学人工智能 MRO 项目负责人 Ip-Shing Fan 先生介绍，目前项目组在 MRO 领域开展的各项测试技术都属于人工智能的范畴，其中基于文本的机器学习系统能够实现无纸化，物联网驱动了机器人和传感器技术，自动图像处理技术为图形筛检提供了支持。

克兰菲尔德大学的智能机库正在开展基于图像技术的检查测试。该测试系统由安装在机库基础设施上的视觉摄像机和热传感器、用于机翼上方检查的无人机和安装在地面检查机器人上的摄像机组成。通过这套系统，每一颗铆钉的状态都历历可见。通过自动化工作流程，可以让机器人和人一起协调，在遵守各项法规和飞机维

修手册的前提下，极大地提高工作效率和准确度。

在发动机检测工作中，人工智能技术的表现也非常不错。2023 年初，GE 旗下的 OC Robotic 公司推出了一款人工智能驱动的先进叶片检测工具，能够大幅提高 GEnx 发动机的在翼检测效率，利用人工智能改进荧光渗透检测水平。针对 CFM56 型发动机，研发出基于机器人技术驱动的检测方案。与此同时，人工智能技术在提高发动机孔探的效率和准确性方面也取得了进展。GE 公司最近与无损检测专业公司 Waygate Technologies 合作，探索使用机器学习和人工智能提高检测的可靠性和一致性。Waygate 与荷兰初创公司 Aiir Innovations 合作，开展人工智能检测发动机缺陷并完成自动分析的研究。

荷兰航空航天中心 (NLR) 采用摄像头、机器人技术的集成化系统，开展对直升机旋翼叶片进行自动化探伤的研究项目。NLR 的维修与工程负责人表示，机器人技术能够基于设定规则的算法测量和比较数据，如距离和阈值等，对缺损检测进行量化评估；下一步，研究中心将开展人工智能实施缺陷检测的适航资格研究，并开展应用型推广。此外，NLR 还开展使用人工智能改进维护计划的研究，促进飞机可靠性的有效提升。这位负责人表示，通过 Gen-AI 系统可以自动化完成大量工卡的编制工作，人工智能能够对适航指令 (AD) 或服务通告 (SB) 进行自动响应，并对现行维修手册进行更新修订，更高效地做好维修计划。

人工智能的潜在风险

如前所述，众多企业和机构都在积极开展人工智能的应用研究。但业内普遍认为，该技术只有经过充分实践检验，才能被认可并获得广泛推广。

总部位于阿姆斯特丹的 AiirInnovations 的首席执行官兼联合创始人强调，只有把人工智能嵌入到恰当的应用软件中，其真正价值才会体现出来，这些软件需要融入已经存在的生态系统，实现与现有工具的连接。目前，这家初创公司正在与波音公司合作，探索在业务部门的流程中嵌入人工智能技术。

这位负责人指出，MRO 行业应小心避免“人工智能冬天” (AI Winter)，即由于开发者过度承诺结果和用户不切实际的高期望而导致无法兑现承诺。人工智能不是万能的，关键是要以一种明智的方式处理问题。作为人工智能公司，最大的责任是确保从第一天起就管理好人们的期望，不要过度承诺，而是专注于交付。

克兰菲尔德大学的负责人指出，人工智能技术已然成为吸引外部资源的标签，但过度宣传人工智能技术的作用会导致不切实际的期望和失败的投资结果。目前，人工智能领域中的一些人士可能有些夸大其词，实际中，人工智能只有与工程专业知识深度结合，才能为 MRO 提供有力帮助。

Amygda 公司的负责人则认为，期望人工智能具有完美的准确性本身就是一种错误的想法。例如，在医学领域中，检测癌症的人工智能既没有 100% 的准确率，也没有 100% 的检出率，然而，一旦发现一个额外的病例，就可能挽救一个鲜活的生命。航空航天领域的人工智能也是如此。减少一次发动机故障，减少一次航班取消，减少一次 AOG 等等，都是有价值的。

在准确性这方面，Aiir Innovations 也非常认同。该公司认为，人类本身并没有完美的准确性。研究表明人类的准确率约为 70%。据新西兰坎特伯雷大学 2022 年的一项研究，该研究针对不同类型发动机的 MRO 检查中，操作人员的表现与图像处理、人工智能软件和 3D 扫描进行了比

亚太市场客改货热度不减

文 | 魏君

在电子商务与制造业结构布局调整的双重因素的作用下，近年来亚太地区航空货运市场一直保持着较好的发展势头。航空货运市场的发展同时也带动了该地区客改货业务的发展。一方面，飞机制造商积极加大在该地区客改货产品的销售力度，另一方面该地区航空维修企业也在不断开拓新的客改货生产线。

制造商看好亚太市场

如今，亚太地区在全球经济中扮演着越来越重要的角色。各大飞机制造商发布的市场预测报告中也对未来亚太地区客改货市场的发展持相当乐观的态度。

根据波音公司发布的市场预测报告，到 2029 年全球市场大约需要 1300 架窄体客改货飞机，如波音 737-800BCF；需要约 600 多架宽体客改货飞机，如 767-300BCF。其中，波音预测亚太市场对客改货飞机的需求将是全球市场中最大的，大约需要 500 架客改货飞机。同时，波音还在市场预测报告中指出，未来亚太地区货机的增长率将达到 2019 年水平的 3 倍，有望与北美地区货机规模相当。空客的预测则与波音类似。空客在一份市场预测报告中指出，预计从 2023 年到 2042 年，将有 1590 架以上的飞机完成客改货的改装，其中约 600 架将用于亚太地区。

与行业巨头一样，中国商飞发布的市场预测年报中同样也指出了未来亚太地区客改货市场的巨大潜力。根据《中国商飞公司市场预测年报（2022-2041）》的预计，未来 20 年，新货机和客改货飞机交付量为 2991 架，预计到 2041 年，将有 2041 架客机通过客改货方式进入货运市场，其中窄体货机为 1283 架，中型宽体货机为 465 架，大型宽体货机为 293 架。

小货机或有大市场

现代商业、贸易以及物流等行业正在经历转型，使市场对货运航空的需求空前高涨，对当日达和分散化运行的需求增长更是如此，而支线飞机改装而来的“小货机”则可以很好匹配这类市场对于飞机大小的要求，从这个角度来看，小货机在航空货运市场也有着自己的一片天地。也正因为如此，近年来市场也不乏支线飞机客改货项目的涌现。

涡桨支线飞机制造商 ATR 公司近几年来在积极开拓货机市场。目前 ATR 公司有 5 ~ 10 吨的货机方案，主要提供两种货机，分别是基于第二代 ATR42/72-500 客改货飞机和基于第三代 ATR72-600 的全新货机。其中，前者的客改货方案

较，研究发现，与人工操作相比较，基于人工智能的系统在检查速度、一致性和减少差错率方面表现得更出色。

尽管这项研究的结果令人鼓舞，但 NLR 公司的负责人则表示，应用人工智能最大的风险之一是难以证明人工智能产生 100% 正确的结果。该公司认为，把大量数据放在算法面前，然后得到结果，但不能清楚说出中间过程中发生了什么，也不能证明是否获得了可靠的数据。因此，需要用某种方式证明得出的结果有一定的有效性，是可靠和值得信赖的。同时他认为，应对风险的关键是通过建立透明化的人工智能系统，帮助人工智能用户理解并解释清楚技术是如何做出预判的。NLR 一直在探索开发可解释人工智能技术，并遵循欧洲航空安全局 (EASA) 等监管机构的倡议，制定关于如何认证人工智能用于航空领域的指导方针。

Basetwo AI 平台的负责人表示，该公司正在积极应用可解释人工智能技术，正是由于航空受高度严格监管的行业特点，这种更高水平的人工智能技术将大有作为。他介绍道，通过将特定领域中的专业知识与海量数据相融合，有助于工程师随时查看数据运算背后的理论原理。例如，当模拟发动机运行时，人工智能系统整合了有关的热力学方程和控制原理，这个模型完全值得信赖。

但是，如果人工智能能够超越人类，其运行结果足够透明和可靠，是否就意味着技术人员将被人工智能取代？一些观点认为，这种担心是完全没有必要的，人工智能并没有真正取代任何人，它只是取代了旧的工作方法和流程。人工智能的真正意义在于，作为支持性工具，以专业知识为底座，通过改善工作方式，显著提高工作效率。

荷兰皇家航空公司的一位负责人表

人类在专业领域的知识与技能积累是人工智能取得充分应用的关键因素。因此，MRO 需要雇用或培养出更多专家型人才。

示，人工智能可以创造新的就业机会。人类在专业领域的知识与技能积累是人工智能取得充分应用的关键因素。因此，MRO 需要雇用或培养出更多专家型人才。Amygda 公司也持相同的观点。该公司认为随着人工智能技术的广泛应用，将彻底颠覆一些现有的工作岗位，与此同时，未来也将有更多不同性质的工作岗位涌现出来，事实上任何人工智能技术都是被人类创造出来的。

当前，MRO 存在的劳动力短缺的现状，为人工智能应用创造了广阔发展空间。因为人工智能的大量应用将会加速一些低技能要求的工作岗位被取代。对此，airxpert 公司创始人兼首席执行官认为，尽管行业内很多人担心人工智能会完全取代人力，但是其实行业内更多的人是希望能尽快解决人力短缺的问题，人力短缺对整个行业来说是非常痛苦的，并在整个行业生态系统中产生了连锁负面反应。airxpert 公司的数字化平台可以自动收集和处理飞机维修中的相关数据，目的是不断缩短维修周期，降低资源消耗。airxpert 公司认为，人工智能和自动化的结合只是用来填补空缺，不会导致人员的净流失。而且在 MRO 领域中，人工智能并不是万能的，大多数情况下，完全可以通过优化结构性流程解决生产中出现的问题，而不是一股脑地涌入人工智能领域。■

主要通过第三方 STC 方式，可根据客户的要求提供标准货舱门型和可与大型喷气货机实现联运、能装载集装箱的大舱门型。后者则直接从图卢兹生产线交付，飞机在原厂交付时就具备包括大舱门、无窗机身、增强地板等。目前联邦快递已经成为了 ATR72-600 货机的启动用户。

ATR 公司表示，ATR72-600 这类小型货机十分适合低流量市场，适合客户用于开辟新的货运航线，将是喷气货机的重要补充。同时，在这一机型的研发上，ATR 公司与联邦快递充分合作，明确将其定位于 10 吨级市场解决方案，从而解决低流量航空货运市场覆盖难题。

ATR 公司十分希望将这种与联邦快递的合作模式应用到中国市场。ATR 相关负责人在接受媒体采访时曾表示，目前中国市场航空货运高度集中于前五十大航点，航司大都只关注枢纽货运点，对二三线城市的航空货运业务挖掘不够。ATR 的货机产品恰恰可以为国内二三线城市群的货运业务提供支撑。

巴航工业 2022 年 3 月正式启动了 E190F 和 E195F 客改货项目。2023 年 9 月，巴航工业首次对外公布了 E190F 项目的进度。在一个公开视频中可以看到，首架 E190F 已经完成了新货舱门的安装，此外加固地板、安装烟雾探测器和更改空气发生系统等其他工作也在有条不紊地推进中。2023 年 12 月，巴航工业表示，另一款 E195F 的改装工作很快也将启动。根据巴航工业的规划，2024 年首架 E190F 将投入市场。

对于中国市场，巴航工业也进行了提前布局。2023 年 6 月，巴航工业宣布与兰州航产集团签署 20 架 E 系列货机改装服务及客改货项目合作框架协议。在这份合作协议中，巴航工业将在兰州建立 E190F 和 E195F 的客改货改装能力，从而支持并

推动巴航工业 E 系列货机进入中国市场。

早前巴航工业在一份市场预测报告中指出，未来 20 年将向全球市场交付约 700 架 E 系列改装货机，其中中国市场将占约 34% 的份额。因此也就不难理解，巴航工业为何选择在兰州建立 E 系列飞机客改货生产线。如今国内多个航空货运枢纽的建设正在推动航空货运向二三线城市下沉市场进行覆盖，而这或许也是巴航工业希望通过工业合作进一步打开中国市场的重要原因。目前，兰州航产集团已成为巴航工业 E 系列货机在中国的启动用户。

2023 年 10 月，中国商飞 2 架 ARJ21 客改货飞机分别交付杭州圆通货运航空和中原龙浩航空。ARJ21 客改货项目 2020 年 5 月正式立项，经过初步设计、详细设计、改装实施等一系列过程，于 2023 年 1 月获得中国民航局适航批准，这是我国商用飞机第一次客改货的成功实践。其间，作为项目改装实施单位，广州飞机维修工程有限公司（GAMECO）与中国商飞公司深度合作，先后完成了飞机机身大开口和结构加强、主货舱门安装、系统改装等工作。

ARJ21 客改货飞机最大设计商载 10 吨，设计航程 2778 公里，主要用于国内航线及短程国际航线上的货物、邮件和快递等运输业务。主货舱安装了可兼容不同装载方案的货运系统和大尺寸全电作动外开式舱门，可满足客户对不同集装箱器的使用需求。未来，ARJ21 客改货飞机在中国市场的表现也值得关注。

客改货产能有待提升

在 market 需求的驱动下，近年来国内航空维修企业也在加强与主制造商的合作，不断开拓客改货生产线。

广州飞机维修工程有限公司（GAMECO）2019 年与波音公司合作，开设了第

一条波音 737NG 生产线，2020 年正式启动第二条 737-800 生产线。2021 年，波音又在 GAMECO 增设了第三条 737-800BCF 生产线。2022 年，波音又将 767-300BCF 的改装线设在了 GAMECO。4 月，首条 767-300 改装货机改装线正式投产，首架飞机主货舱门按时切割。波音表示，767-300BCF 改装线是 GAMECO 现有三条 737-800BCF 改装线的补充，GAMECO 也是全球首家同时改装 767-300BCF 和 737-800BCF 的维修机构。

767-300BCF 是一款多用途飞机，可以让用户同时在远程、区域和支线市场上使用。在中型宽体改装货机中，767-300BCF 拥有最低的航段运营成本。根据波音预测，到 2040 年，亚太地区的航空公司将需要 505 架包括原产货机和改装货机在内的大中型宽体货机。

山东太古飞机工程有限公司（STAE-CO）是国内首家获得 737-800 客改货改装能力的维修企业。2021 年，波音宣布在山东太古再新增两条 737-800BCF 改装生产线，至此，山东太古共拥有 7 条 737-800BCF 改装生产线。

然而放眼整个亚太市场，《航空周刊》的报道指出，该地区客改货的改装产能基本已经接近极限。《航空周刊》在一份调查中发现，近年来随着亚太地区客户对客改货飞机的需求不断增加，该区域 MRO 企业客改货能力已经出现了难以满足需求的现象，一些客改货项目已经出现了延期或订单积压的情况。

对此，新科宇航公司表示，目前空客 A320/321P2F 和 A330P2F 的改装机位已经安排到了 2026 年。也正因为如此，早前新科宇航就曾表示将在中国、新加坡和美国加大投资，增加更多的生产线，以提升产能，满足市场对客改货飞机的需求。

一些企业则已经开始加快在亚太地区

扩大客改货产能的布局。2023 年 3 月，EFW 航空航天公司和四川海特签署改装合作意向书，将在其子公司天津海特开展空客 A321 机型客改货项目。天津海特也成为 EFW 航空航天公司在全球范围内的第 4 个空客 A321 机型客改货改装点。双方还签署了首批 10 架客改货飞机订单。天津海特表示，首架改装周期约 240 天，后续的 A321 飞机改装周期会逐渐缩短至 130 天左右。同时，为了进一步扩大产能满足业务发展需求，天津海特将于 2024 年年底开始启动三期机库建设，并计划在 2025 年下半年投入使用。届时，天津海特将增加三个窄体机机位，为航空维修市场提供更多优质的飞机定检及客改货服务。目前由于民航飞机定检维修与货运客改货订单数量日益增加，天津海特拥有的线位数量已无法完全满足产能需求。因此，第二条空客 A321 客改货线位最快也要到 2024 年下半年启动，波音 737NG 机型客改货订单也排到了 2025 年之后。从天津海特的例子中不难发现，由于行业的特殊性，飞机改装新产能上线的速度较慢，短时间内大幅提高生产速率并不现实，因此也难以满足市场的快速增长；同时具备客改货资质的航空维修企业受制于人力紧张和生产线现状，产能无法再有显著的提升。因此这两个因素已经成为了当前阻碍亚太地区客改货产能进一步提升的发展瓶颈，未来也有待进一步破局。

对此，《航空周刊》在报道中也指出，亚太地区的客改货市场发展依赖于飞机制造商、航空维修企业、航空公司和飞机租赁公司等多方的通力合作。所有这些相关方都应该充分发挥各自的专业优势和能力，以应对迫在眉睫的各种挑战。只有多方通力合作才更有利于释放亚太地区作为全球客改货中心的巨大潜力，共同促进亚太客改货市场长期健康发展。■

发挥新疆支线航空独特作用 服务区域协调发展

文 | 马睿

党的二十大报告指出，深入实施区域协调发展战略，支持革命老区、民族地区加快发展，加强边疆地区建设，推进兴边富民、稳边固边。作为民航战略产业的重要组成部分，支线航空是大中城市与小城市之间航空运输的主要方式之一，在西部边远地区交通运输中比较优势最为明显。

近年来，支线航空快速发展，极大地便利了边疆民族地区对外沟通联系。进入新时代，推动新疆支线航空高质量发展，更加有利于构建民航服务体系，推动发展成果惠及民生、凝聚人心；更加有利于拓展边疆地区航线网络通达性，扩大对内对外开放；更加有利于促进各民族交往交流交融，铸牢中华民族共同体意识；更加有利于高水平打造维护国家地缘安全的战略屏障。

图 | 天骄航空



新疆支线航空的独特作用

党的十八大以来，新疆支线机场新一轮新建、改扩建项目加快实施，机场密度迅速增至 1.51 个 /10 万平方公里。截至目前，地州市级行政中心 60 分钟到运输机场已 100% 覆盖，南疆地区机场占比 50%，边远地区机场占比超过 40%，兵团地区机场不断发展壮大，军民合用机场平稳运行，以于田机场为代表的民航局定点扶贫重点项目有力保障支撑了新疆脱贫攻坚和乡村振兴。2023 年，新疆支线机场完成旅客吞吐量 1586.3 万人次，运输起降 16.8 万架次，分别占比约 39%、49%。

新疆地域广阔，地面交通基础设施规模和密度不大。支线航空始终坚持以人民为中心的发展思想，聚焦新疆各族群众急难愁盼问题精准发力，2023 年机场百公里服务半径覆盖县级行政单元比例超过

95%，累计开通支线航线 272 条，“疆内环起来，进出疆快起来，南北疆畅起来”的目标加快实现，全疆 2587 万各族群众享受航空出行服务更加便捷。新疆一盘棋，南疆是棋眼，先联快通的空中通道已成为南疆地区的发展通道、幸福通道、生命通道、团结通道、安全通道。自 2014 年以来，南疆机场数量增长 1 倍，旅客吞吐量年均增速是 GDP 的 2 倍（排除疫情影响测算），航空发展带动人流、物流、信息流、资金流加速汇聚，南疆五地州综合经济实力明显增强，边远地区各族群众生产生活条件大幅改善。航空应急救援能力有效提升，空中通道第一时间救援阿克苏乌什县 7.1 级地震灾区，成功救助救治南疆和田断臂男孩，均生动展现了“人民航空为人民”的行业宗旨，维护保障了各族群众生命健康权，有力筑牢了中华民族共同体意识。

此外，科技赋能中小机场，新疆支线机场的安全生产运行水平明显提升。ADS-B 管制运行有效提升边疆地区无雷达覆盖区域的安全裕度，远程塔台新技术试运行迈出了中国民航远程管制指挥“第一步”，行李全流程跟踪系统加快建设，“人享其行，物畅其流”正开花结果。国产民机在疆开拓航空市场具备天时地利人和。2023 年，ARJ21 投运提速，平均客座率与 CRJ-900 等支线机型相近。实践证明，国产民机运力供给与新疆航空市场需求具有较高契合性，从短期看较快适应了新疆支

——
国产民机运力供给与新疆航空市场需求具有较高契合性，从短期看较快适应了新疆支线市场发展，从长期看
在满足边远地区各族群众航空出行需求方面更具稳定性和可持续性。
——

线市场发展，从长期看在满足边远地区各族群众航空出行需求方面更具稳定性和可持续性。

当前面临的短板和问题

一是支线机场核心资源相对不足，协同运行难度较大。从硬件基础看，机坪机位、航站楼等核心基础设施保障能力短板与日益增长的航空市场需求之间的矛盾较明显，边远地区空管、航油等配套设施设备也亟待扩容增效。从软件保障看，空管、机务等特业人员相对不足，招人难、留人难、结构性短缺仍不同程度存在。从协同运行看，24 个支线机场点多、线长、面广，军民航飞行冲突调配难度和地面跑道侵入风险均不断加大，贯通协同管理难度远超其他省份。二是新疆支线航空市场“客源少、培育慢、效益不高”的特点明显。从航线品质看，除首府乌鲁木齐外，多数地州师市城镇化率低于全国平均水平，受人口总量和人口结构分布限制，支线航空航线品质不高，边远地区小机场航班客座率和载运率不到 60%。从市场培育看，一方面部分支线航空市场培育周期长，边远县市航线补贴日趋收紧，在“大马拉小车”的高成本运行下，航空公司新开支线航线

—

除首府乌鲁木齐外，多数地州师市城镇化率低于全国平均水平，受人口总量和人口结构分布限制，支线航空航线品质不高，边远地区小机场航班客座率和载运率不到 60%。

—

积极性不高；另一方面，受制于信息交互壁垒，航企之间、航企与机场间优化资源、集中客源的合作模式有待加快建立。

三是新技术投入与立足自主可控加快成果转化应用的安全发展要求还有差距。支线航空的安全不仅体现在传统安全上，关键核心技术自主可控也日益被纳入新型安全范畴。例如，新疆中小机场 ADS-B 监视能力对提升空管安全保障能力具有现实作用，但 ADS-B 过于依赖 GPS 系统，存在“卡脖子”风险；远程塔台基本实现了运行验证的阶段性工作目标，在正确处理系统可靠性与技术指标先进性的关系上还需要加快推进专业论证，推动成果转化。

对策建议

补齐基础短板，推进中小机场高质量建设。进一步提高边远地区航空服务覆盖率。加快建成并投运奇台、和静、巴里坤、轮台机场，推进乌苏、和布克赛尔、皮山、且末（兵团）机场建设，研究建设拜城、阿合奇、青河、吉木乃机场。

进一步服务支撑新疆融入国家向西开放总体布局，加快迁建伊宁机场，更好发挥伊犁州区位优势，提升支撑丝绸之路经济带核心区“一港、两区、口岸经济带”建设和自贸区发展能力。

进一步提升综合保障能力，以满足旺盛的航空市场需要。按照适度超前但不过度超前原则，推进疆内百万级机场扩能提级；稳妥有序推进克拉玛依、图木舒克、那拉提、阿拉尔等机场改扩建；结合实际需求，加强中小机场航站楼、机坪机位、安防、空管、特种车辆等设施的配置和更新；加快完善空管、通导、气象等设施设备更新改造；推进南疆地区航油配送体系优化升级。

优化资源配置，推进支线航空高水平

运营，推进支线机场管理降本增效。机场管理机构要充分利用资源整合和共建共享能力，加快现有管理模式向全域管控一区域协同转变，提升疆内支线机场安全管理水平和运营效率。鼓励机场、航企加快航旅融合，以旅游、培训、研学为重点延伸产业链，打造增值服务，增加产业收益。转变“重客轻货”理念，鼓励有条件的机场增强货运功能，以纺织服装、电子产品、冷链生鲜、生物医药为重点提升货运销售能力，提高发展效益。

推动支线航线运营持续优化。加强乌鲁木齐机场与中小机场航线连接，推动南北疆空中通道畅起来，保持偏远地区中小机场至乌鲁木齐航班达到日均一班以上，确保民生航线稳定运营。发挥百万级机场辐射效应，推动“进出疆快起来”，加强百万级机场与国内枢纽机场航线航班联系，尽可能多地开通小机场经百万级机场直飞疆外航线，着力构建进出疆快速通道格局。发挥新疆支线航空特有的环飞串飞灵活性优势，推动边远中小机场联起来，依托新疆典型地形、资源优势和生产力布局，着力构建环南疆、环北疆、环天山航空服务网，加强区域航空网络联系，提升边远机场通达能力。以“干支通，全网联”航空运输服务网络试点为契机，发挥通程航班服务管理平台和民航中转旅客服务平台作用，打破信息交互壁垒，畅通各试点单位合作渠道。

提升国产民机、新技术应用水平。新疆运行环境复杂，是提升国产民机适应各类环境能力的天然“试验场”，建议加快引导航空公司、航空装备制造商在疆布局建设国产民机运行保障基地，加强适航验证和运行标准研究，扩大国产支线飞机在边远地区运行范围。立足自主可控，积极推进研究评估南疆东部、南部以及塔城出境点航路航线 6000 米以上监视覆盖范围，

—

以“干支通，全网联”航空运输服务网络试点为契机，发挥通程航班服务管理平台和民航中转旅客服务平台作用，打破信息交互壁垒，畅通各试点单位合作渠道。

—

加快建设空管基础设施设备，提高空管监视能力。在充分考虑与机场运行规模相适应的基础上，加快推进提升远程塔台等新技术应用的安全性、稳定性。

强化协同配合，营造持久稳定的政策环境。财政补贴政策要更加精准稳健。不断调整优化支线航空补贴方案，在沿边抵边、高原、高高原等特殊机场的航线开辟、基本航空服务、保障民生等方面加大补贴力度，并保持长期稳定。

加大特殊航线培育支持力度。加大对边远特殊地区航线特别是国产飞机执飞航线的支持力度，让运营人见到效益，提振发展信心。支持机场吸引航空公司建设运行基地，在起降费、过夜飞机停放费、部分地面服务费上给予减免优惠；同时增强支线机场基地航空公司安全管理能力，推动实现支线航空高质量发展和高水平安全良性互动。

进一步优化人才引进培育环境，加大空管、机务维修等紧缺人才培养引进力度，不断提升机场管制人员资质能力和服务水平，支持提升新疆本地机务维修人才培养能力和水平。■

中国民航业的政策取向 一致性思考

文 | 王鹏

中央经济工作会议提出 2024 年重点是“稳中求进、以进促稳、先立后破，多出有利于稳预期、稳增长、稳就业的政策，在转方式、调结构、提质量、增效益上积极进取”。

中国民航业作为交通运输体系的核心组成部分，具有促进经济发展、推动科技创新、服务社会大众的天然属性。如何在 2024 年贯彻落实好中央经济工作会议精神，助力经济复苏与消费提振，是摆在民航从业者面前的新考卷。

图 | 徐炳南



当前面临的经济形势

在全球经济不确定性加剧的背景下，我国出口业面临诸多挑战，包括国际贸易摩擦和地缘政治紧张等。据彭博经济研究预测，2023 年我国出口可能从增长引擎转变为增长的拖累。海关总署数据显示，今年前 11 个月，我国进出口总值下降 5.6%，其中出口下降 5.2%。加工贸易进出口总额同比减少 9.7%，占我国外贸总值的 18.4%。外商投资企业进出口总额同比减少 9%，占我国外贸总值的 30.4%。

在消费市场，2024 年的消费需求呈现微弱复苏态势。居民人均可支配收入年增长率达到了 4.4%，但今年前三季度实际增长率仅为 5.9%，低于 1979 年至 2019 年间的平均实际增速 8.4%。另一方面，全国人均消费支出从 2020 年至 2022 年每年平均增长率为 2.6%，而 2023 年前三季度实际增长率为 8.8%。尽管如此，过去两年的平均增长率仅为 5.1%，未达到 1979 年至 2019 年每年平均实际增长率 7.7% 的水准。

当前经济运行的整体趋势显示出我国正面临全球经济不确定性的严峻挑战。受国际贸易摩擦和地缘政治紧张等因素的影响，出口业从增长引擎转变为拖累因素，出口总额和加工贸易出口均出现下降。固定资产投资增速趋缓，民间固定资产投资呈现微幅下降，显示出投资市场的谨慎态度。消费市场虽缓慢复苏，但人均可支配收入和消费支出增长率均低于历史平均水平，消费者信心尚在恢复之中。总体来看，经济运行面临一定压力，需要进一步激发内需潜力，稳定外贸，推动经济持续健康发展。

2023，中国民航在逆境中飞翔

疫情爆发期间，民航行业遭受了前所未有的打击，但随着疫情控制的进步和

旅行限制的放宽，该行业迅速反弹。政府和监管机构推出了一系列刺激措施，如税收减免、财政补贴和航班时间表优化等，以促进航空运输市场的复苏。这些措施激活了消费者需求，加之防疫措施的改进和旅游市场的复苏，为民航市场注入了新的活力。

2023 年 1 ~ 11 月，中国民航运输总周转量达到了 1080 亿吨公里，同比增长 95.5%；旅客运输量达到 56869.6 万人，同比增长 144.1%；货邮运输量达到 661 万吨，同比增长 18.1%。这些数据反映了经济活动的复苏和旅游市场的回暖，民航运输需求得到有效释放。货邮周转量的增长则表明航空货运市场的稳定发展。

民航运输市场的快速复苏不仅体现了我国经济社会活动的逐步正常化，也展示了交通运输领域的积极发展态势。在中国经济持续向好的背景下，民航业的经济恢复力超过整体经济增长速度，成为推动中国经济高品质发展的重要力量。民航行业的发展不仅提升了交通运输效率，还促进了经济的多元化发展，拉动了整体消费水平。

民航行业的增长对消费市场的拉动作用显著。航班次数的增加和航线的扩展吸引了更多人选择飞机出行，直接增加了航空运输的消费支出，并促进了旅游业、酒店业、零售业等相关行业的消费增长。民航业的发展不仅提升了交通运输效率，还促进了经济的多元化发展，有效地拉动了整体消费水平。

民航发展与固定资产投资密切相关。民航发展需要大量的固定资产投资来支撑，同时，民航发展又能带动固定资产投资的增长，刺激相关产业链的发展。此外，民航发展还能够带动区域经济的发展，进一步促进固定资产投资的增加。

民航与外贸之间也存在着紧密的联系。民航为外贸提供了高效、便捷的运输

服务，是推动外贸发展的重要力量。民航的发展能够带动航空物流、航空快递等相关行业的繁荣，进一步提高外贸的运输效率和质量。同时，外贸的发展也会对民航产生积极的影响，增加民航的运输需求和市场份额。

总体而言，民航业在中国经济高质量发展中扮演着重要角色，其发展与消费市场、固定资产投资、外贸之间存在着相互促进和依赖的关系。随着经济活动的进一步恢复和民航业的持续发展，预计未来这些联系将更加紧密，为民航业和整个中国经济的高品质发展提供动力。

2024：增强民航宏观政策取向一致性

2024 年，中国民航业在助力国内消费复苏与经济提振方面，核心任务在于增强民航宏观政策的取向一致性。这意味着，民航业需要与国家整体宏观政策保持同步，以稳定的市场预期促进消费增长，同时通过政策引导，刺激航空需求，助力相关产业链的恢复与发展。

一是加强与国家宏观政策的对接。中国民航业作为国家战略性产业，肩负着理解与贯彻国家宏观政策的重要使命。这不仅 是行业发展的内在需求，更是对国家经济社会发展战略的积极响应。民航业的发展规划应与国家财政、货币、就业、产业等政策紧密相连，形成政策协同，确保行业政策与国家宏观政策同步推进，共同促进国家经济的稳健增长。

民航业应紧密对接国家财政政策。在财政政策的指导下，民航业可通过优化税收环境、争取财政补贴等途径，降低企业成本，增强行业竞争力。此外，民航业还应积极参与国家重大工程项目，如机场扩建、航空器材创新等，以获得更多的财政

扶持，推动技术进步和产业升级。

同时，民航业应与国家货币政策紧密对接。在货币政策的框架内，民航业可以通过贷款、发行债券等金融手段，筹集资金，扩大投资。同时，民航业还应探索资产支持证券、融资租赁等金融创新工具，拓宽融资渠道，降低融资成本。

在就业政策方面，民航业应积极扩大就业，提高就业质量，为社会创造更多的工作机会。同时，通过加强职业技能培训，提升员工素质，增强行业整体竞争力。

最后，民航业应与国家产业政策紧密对接。在产业政策的指引下，民航业应优化产业结构，发展高附加值的航空服务，提升经济效益。同时，积极参与“一带一路”等国际合作项目，拓展国际市场，提高国际竞争力。

中国民航业的发展应与国家宏观政策紧密结合，通过政策协同，实现行业发展与国家经济的共赢。在确保安全、提升服务的同时，民航业将为国家经济的持续健康发展注入强大动力。

二是促进政策协调配合。在制定和实施行业政策时，中国民航业应当充分考虑到与其他领域政策的协调配合。政策的协调配合能够形成政策合力，推动行业的健康发展，同时避免出现政策间的矛盾和冲突，从而确保国家宏观政策的顺利实施。

民航业应当与科技政策紧密协调。科技是第一生产力，对于提升民航业的竞争力具有重要意义。民航业应当把握科技政策的发展方向，积极引进和消化吸收先进技术，提升行业的整体技术水平。例如，在飞机研发、航空器材制造、航空运输管理等方面，运用大数据、云计算、人工智能等先进技术，提高安全水平、服务质量和运营效率。通过与科技政策的紧密协调，民航业可以不断提升自身的创新能力，推动行业的转型升级。

民航业还应当与其他领域的政策紧密协调。例如，与教育政策协调，加强职业技能培训，提高员工素质；与产业政策协调，优化产业结构，发展高附加值的航空服务；与贸易政策协调，积极参与国际市场竞争，拓展国际市场等。通过与其他领域政策的紧密协调，民航业可以实现行业的全面发展，为国家经济作出更大的贡献。

三是创新政策工具。探索和创新适应新形势下的政策工具，如财政补贴、税收优惠、融资支持等，有利于稳定行业预期，促进行业健康发展。在具体实施过程中，政府需要根据行业实际情况，不断调整和完善政策，以实现政策效果的最大化。同时，政府、企业和社会各界应共同努力，为民航行业的健康发展创造良好的环境。

财政补贴是支持民航行业发展的有效手段。针对民航基础设施建设项目，如机场、航空公司等，政府可以提供一定的财政补贴，以降低企业投资成本，鼓励更多的企业投资民航产业。此外，对于安全生产、节能减排等方面表现优异的民航企业，政府也可以给予财政奖励，以引导企业加强安全管理、提高环保水平。

税收优惠可以激发民航企业的活力。政府可以通过减免增值税等方式，降低民航企业的税收负担，提高企业的盈利能力。此外，对于研发新技术、新设备的民航企业，可以给予税收减免，以鼓励企业创新，提升行业整体竞争力。

融资支持是民航行业发展的重要保障。政府可以推动金融机构加大对民航企业的信贷支持力度，提供优惠利率贷款，降低企业的融资成本。同时，政府可以设立专项基金，支持民航企业进行债券发行、股权投资等融资活动，拓宽企业的融资渠道。

此外，政府还可以通过优化行业准入、简化审批流程等措施，降低民航企业的运

营成本，提高行业效率。如推进“一网通办”“最多跑一次”等改革，简化行政审批流程，减少企业的时间和精力成本。

四是优化行业结构。2024 年，中国民航业高质量发展需遵循创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，推动民航业转型升级，加快形成高效、绿色、安全的发展模式，提升行业整体竞争力和抗风险能力。

创新是推动民航业高质量发展的关键。民航业应加强科技创新，推动智慧民航建设，运用大数据、人工智能等先进技术，提高航班运行效率、优化旅客服务体验、降低安全风险。此外，民航业还应加强与高铁等其他交通方式的融合发展，探索新的业务模式和服务产品，满足人民群众多样化、个性化的出行需求。

绿色发展是民航业转型升级的重要内容。民航业应加大绿色航空技术的研发与应用，推广节能降耗技术，降低航空运输对环境的影响。同时，加强与国际民航组织的合作，积极参与全球气候治理，共同应对气候变化挑战。

安全是民航业发展的基石。民航业应强化安全风险防控，完善安全管理体系，提高安全培训和教育水平，确保航空安全。同时，加强网络安全防护，防范恐怖主义、黑客攻击等非传统安全威胁，保障旅客信息和航空安全。

完善民航业法律法规体系，加强行业监管，规范市场秩序。此外，建立健全民航业风险预警和应急机制，提高行业应对突发事件的能力。

总体而言，通过全面提升服务质量和效率，民航业将不仅能够更好地满足旅客需求，还能为社会发展作出更大贡献。政府的支持和行业自身的努力将共同推动民航业向着更加高效、人性化的方向发展。■

空铁联运： 竞合协作促成效

文 | 王双武

为了确保旅客乘坐飞机到达欧洲机场后与其他城市有效衔接，加拿大航空曾与德国汉莎航空通过代码共享合作方式实现了“空空联运”。乘坐加拿大航空的旅客到达法兰克福机场后，可以接驳汉莎航空的航班前往欧洲其他城市。2023 年 11 月 6 日，加拿大航空公布了多伦多和蒙特利尔至欧洲主要航线目的地城市的“空铁联运”旅游创新产品，加拿大航空由此开创了自身跨大西洋市场“航空 + 高铁”的全新运营模式。航空市场历经发展与改变，“空铁联运”将成为航空公司开拓市场的另一种利器？

图 | Airline Reporter



打造跨大西洋“空铁联运”市场

为了进一步完善运输网络和扩展更多的欧洲旅游目的地，加拿大航空与德国 AccesRail 铁路运输公司和 WorldTicket 票务分销公司达成商业合作伙伴关系，在跨大西洋市场上开创了“空铁联运”新局面，为前往欧洲旅行的游客提供了更多的便利。

旅客可在加拿大航空 App 上选择“空铁预订”产品，在到达欧洲后可衔接服务于欧洲诸多机场的四大主要客运铁路运营商，顺利衔接前往德国（5600 个火车站）、法国（22 个火车站）、瑞士（11 个火车站）和奥地利（9 个火车站）境内铁路通达城市，实现空铁无缝衔接运输服务。旅客在加拿大境内登机前，可办理好旅途所有航段（含铁路）的值机手续，确保航空与铁路旅行的顺利衔接。如果发生航班延误或者取消，系统将会自动为旅客重新订座。

同时，为了进一步深耕欧洲市场，加拿大航空计划在 2024 年夏季增加其跨大西洋前往欧洲的航班量，运力投入将比 2019 年运输高峰期时增长一倍。届时，加拿大航空将有 53 条航线通往欧洲、非洲和中东 31 座城市，进一步巩固在加拿大境内通过多伦多和蒙特利尔航空枢纽发挥跨大西洋市场的领先地位。

跨大西洋航空市场是欧洲和北美主流航空公司的传统盈利市场，也是竞争最为激烈的市场。2021 年 8 月，达美航空首次在跨大西洋市场与阿姆斯特丹的铁路运营商合作开展空铁联运业务。旅客乘坐达美航空到达阿姆斯特丹机场后，就能顺利衔接火车前往比利时的布鲁塞尔和安特卫普。2022 年 10 月，达美航空再次扩大了其在欧洲的铁路运输网络，新增了 20 个空铁联运目的地城市。

在布鲁塞尔，达美航空通过与铁路运

营商 SNBC 合作，旅客乘坐火车可到达荷兰的布雷达或鹿特丹；在罗马，通过铁路运营商 Trenitalia，旅客乘火车可前往包括博洛尼亚或佛罗伦萨在内的四座城市；在苏黎世或日内瓦，通过铁路运营商 SBB，旅客可乘火车到达瑞士境内的 7 座城市；在英国曼彻斯特，通过 TransPennine Express 可到达英国 7 个主要城市。持有达美航空空铁联运机票的旅客在旅行途中，不管是在机场还是在火车站，只要出现了延误，系统会自动帮助旅客重新预订下一个航班或火车的座位。

美国联合航空、汉莎航空与德国联邦铁路公司在 2023 年 11 月宣布建立新的合作伙伴关系，开展空铁联运业务。作为合作的一部分，旅客除了到达德国后乘坐汉莎航空的支线联运航班外，还可通过美国联合航空购买空铁联运组合票。旅客到达法兰克福机场后，可乘坐德国联邦铁路公司的火车通往包括柏林、科隆、德累斯顿、汉堡、慕尼黑和纽伦堡等在内的 25 个城市，以及瑞士的巴塞尔市。

扩大空铁联运出行权益

就空铁联运的成效和市场接纳度而言，在很大程度上取决于服务标准的一致性和规范性，尤其是对于航空公司的会员而言，更关心的是空铁联运出行权益的链条式服务是否有保障尤其是航空出行产品的延伸能否与铁路运输服务相匹配，以及常旅客航空里程的累积与兑换等切实出行权益能否得到实现。在空铁联运业务相对成熟的欧洲市场，虽然存在一些产品和服务的差异，但是旅客出行基本权益还是首要的。

法国航空以巴黎戴高乐机场为主要运输枢纽，与法国国家铁路公司合作，在通往法国境内的所有火车站以及布鲁塞尔火

车站实现对接。购买法航空铁联运机票的旅客在乘坐火车时能够轻松赚取法航的里程，如果旅客购买了高等级舱位机票，还能乘坐火车上相应等级舱位的座位。荷兰皇家航空与荷兰铁路运营商斯普尔韦根公司在阿姆斯特丹史基浦机场到布鲁塞尔的铁路线上也提供了类似的服务。

汉莎航空与德国联邦铁路公司之间的空铁联运比较成功且覆盖面最广。汉莎航空在法兰克福枢纽机场与德国联邦铁路公司的 5600 个火车站建立了对接，持有空铁联运票的旅客可在航班起飞前或后的 24 小时内随时完成铁路出行。对于持有联运票的旅客乘坐火车还能累积汉莎航空的里程，如果是持有航班公务舱的旅客还能进入德国联邦铁路公司的休息室以及乘坐火车上同等舱位车厢座位。

瑞士航空与瑞士联邦铁路公司合作，在从巴塞尔、卢加诺和日内瓦到苏黎世的铁路线上开展联运服务。通往这些站点的火车均挂有瑞士航空的航班号，旅客需持有瑞士航空登机牌才能乘坐火车，同时还能累积瑞士航空的里程。另外，瑞士联邦铁路公司还提供航班行李托运服务，通过该项服务，旅客可以在瑞士多个指定的火车站直接托运航班需交运的行李。

西班牙伊比利亚航空与国家铁路主要运营商伦夫公司合作开发空铁联运产品，铁路网络连接西班牙萨拉戈萨、科尔多瓦、塞维利亚、马拉加等 14 个主要城市。虽然这些城市都通有高铁，但是在伊比利亚的枢纽城市马德里机场却没有通高铁，因此旅客需乘坐市郊火车到马德里市中心的阿托查或夏马丁火车站换乘高铁。换乘时间通常需要 2.5 小时。但是，旅客在乘坐高铁时不能累积或消费伊比利亚航空的里程。

奥地利航空与奥地利最大的铁路运营商 OBB 开展空铁联运合作，购买奥地利

航空空铁联运机票的旅客可以凭与奥地利航空登机牌黏贴在一起的联票，从林茨、萨尔茨堡和格拉茨乘坐火车前往维也纳国际机场。另外，在林茨和萨尔茨堡车站还提供航班行李托运手续，这样旅客到达机场后就可以直接前往登机口。旅客乘坐火车也能累积奥地利航空里程，还能在火车上得到一份零食并免费使用 Wi-Fi。奥地利航空的精英会员能进入火车站贵宾休息室，还能在火车站预订停车位。

增强空铁联运出行体验

为了构建空铁联运网络，打造便于旅客出行和提高出行体验满意度的旅游产品，欧洲多家航空公司加快与一些国家铁路运营商合作，确保两种交通运输模式的无缝衔接。在欧洲多地，如从西班牙到德国，从法国到奥地利，旅客可以购买铁路和飞机的组合产品，他们用一张票就能往返于机场以外的更多城市。与单独购买飞机或铁路机票的方式相比较，这种空铁组合产品在价格上往往具有一定的优势。

2021 年 3 月，汉莎航空与德国联邦铁路公司合作深化空铁联运业务，整合航空与铁路的服务资源，在法兰克福机场与德国主要城市如柏林、慕尼黑、奥格斯堡和埃尔福特等，以及瑞士巴塞尔之间，为旅客提供快速、便捷的服务。2023 年 6 月，星空联盟宣布吸收德国联邦铁路公司为其最新合作伙伴，以此整合和加强不同运输方式的多模式联运联盟。

在空铁联运过程中，为了提高旅客出行体验和增加出行权益，航空公司会与铁路运营商实行代码共享的合作方式，在航空公司的机票订座上同时显示铁路班次。通过代码共享合作，进一步密切了航空公司与铁路运营商之间的关系，确保服务的一致性和连续性。与此同时，旅客在乘坐

火车时同样能够累积航空公司的里程。例如：在阿姆斯特丹至布鲁塞尔的火车上，荷兰皇家航空就为旅客提供了这类服务。

为了方便旅客在火车与飞机运输之间的畅通连接，荷兰皇家航空在阿姆斯特丹史基浦机场设有一个专门的值机柜台，为从布鲁塞尔坐火车过来赶飞机的旅客提供快捷的登机服务。奥地利航空在维也纳和林茨之间由 OBB 运营的火车上显示有奥地利航空的指定航班号。

目前，达美航空的旅客托运行李尚无法实现“一票到底”服务。旅客到达欧洲机场，必须通过海关提取行李后，才能去乘坐预订座位的火车。即使旅客是通过达美航空购买了联运票，旅客仍需在乘坐火车 72 小时之前，利用达美航空航班订座号在第三方在线平台 AccesRail 上确认火车班次和时间。另外，购买联票的旅客在乘坐火车时，尚不能累积达美航空的里程。

美国联合航空如发生飞机或火车延误，购买空铁联运票的旅客可享受优先行李处理、优先中转和运输衔接保护，持有高端舱位的旅客还可进入德国联邦铁路公司的休息室。另外，美国联合航空的忠诚度计划会员在乘坐火车时还能累积和消费里程。

空铁联运未来走向何方？

对于航空公司来说，空铁联运是融合不同运输方式来维系客源和深度拓展旅游市场的有效手段。一方面，空铁联运整合了不同运输方式的资源优势，扩展了空地运输网络；另一方面，满足了旅客出行的便利和提高了出行体验，进一步增加了忠诚度计划客户的黏性。

但是，空铁联运业务的拓展也受到多种因素的影响，如地区经济发展状况、铁路网络布局、居民出行消费习惯等。在一

些国家和地区，铁路与民航之间又存在着激烈的市场竞争，尤其是航空公司的短程航线受到高铁运输的冲击更大。铁路运输与航空运输之间到底是竞争关系还是合作关系？不同地域和不同经济发展环境下会有不同的结果。

2023 年 7 月，绿色和平组织在一份报告中指出，通过对欧洲 112 条航线的分析后发现，有 79 条航线的价格比火车便宜，仅有 23 条航线价格比火车贵。在这 23 条航线中，有 16 条航线没有低成本航空公司运营，还有 6 条航线根本没有直飞航班可供选择。研究显示，铁路旅行的平均费用是航空旅行的两倍。与机票相比，火车票价最高的国家是英国、意大利、比利时、法国和西班牙。在中欧和东欧，与西欧相比，火车票价格往往比机票更便宜。

尽管在一些城市间的旅行中，铁路运输票价会高于机票价格，但是因旅游爱好和消费习性，人们还是偏爱火车旅行。例如：在阿姆斯特丹 - 伦敦、伦敦 - 爱丁堡、图卢兹 - 巴黎等火车线路上，虽然乘坐时间超过了 4 个小时，并且价格比乘飞机还贵，但是大多数人还是比较偏爱乘坐火车去旅行。这对空铁联运业务拓展来说，有一个良好的市场发展基础。

另外，欧洲一些机场与铁路运输之间有良好的接驳规划，这为空铁两种不同运输方式之间业务的拓展打下了天然的基础。相反，在美国境内因没有丰富和完善的高铁运输网络，相对而言，尽管也开展了一些空铁联运业务，但运营成效并不是那么明显。因此，空铁联运的市场拓展是航空业务的发展方向，但是经营成效则取决于战略定位、竞争环境、经济发展状况以及运输网络的建设与规划。■

商旅忠诚度计划变革： 中小企业竟成“香饽饽”

文 | 沈嘉伟

忠诚度计划是航空公司吸引和留住客户、挖掘市场潜力、创造市场价值的一个重要手段。忠诚度计划不仅是围绕和利用航空公司自身资源服务客户，更重要的是通过积分累积和兑换实现与产业链合作伙伴的价值传递、利益共享。

美国航空在 2022 年 3 月开始实施新的忠诚度计划，取消了之前按照有效里程、有效航段和消费金额 3 个计量指标核定会员等级的做法，而是采用操作较为便捷的忠诚度积分方式。2023 年 10 月，美国航空又针对中小企业制定了一项全新的商旅忠诚度计划。为什么近年来美国航空在忠诚度计划上接连出招呢？

关注中小企业的商业合作

去年 10 月，美国航空针对中小企业制定了一项全新的商旅忠诚度计划。中小企业只要符合以下条件之一，就能加入美国航空的商旅忠诚度计划：一是至少注册有 5 名旅行活跃的企业员工，且自签订协议当月起 12 个月内须乘坐美国航空航班并支付超过 5000 美元的企业；二是在 2023 年 10 月 16 日后申请办理了花旗银行与美国航空合



▲ 图 | 达美航空

作的铂金万事达联名卡的企业。

在新的中小企业商旅忠诚度计划中，美国航空不仅给签约企业提供额外奖励，而且给商旅公司的公务出行员工提供额外的奖励。美国航空自 2022 年 3 月 1 日按照忠诚度积分核定会员等级以来，加入忠诚度计划的普通会员乘坐美国航空航班每支付 1 美元可以获得 5 个忠诚度积分，金卡会员可获得 7 个积分，铂金卡会员可获得 8 个积分，铂金 Pro 卡会员可获得 9 个积分，行政铂金卡会员可获得 11 个积分。对签约的中小企业来说，在此基础上还能获得额外的奖励。

中小企业员工购买机票每支付 1 美元，企业能额外获得美国航空忠诚度计划中的 1 个里程；如果使用花旗银行与美国航空的联名卡支付，每花费 1 美元，企业还能额外获得 2 个里程。也就是说，在交易中如果直接使用联名卡支付，每花费 1 美元，企业能够获得 3 个里程。在交易中，企业员工个人每花费 1 美元则能获得进取会员等级的 1 个忠诚度积分；如果使用花旗银行与美国航空的联名卡支付，每花费 1 美元，企业员工个人还能额外获得 2 个忠诚度积分。

在美国航空忠诚度计划中，会员获取金卡、铂金卡、铂金 Pro 卡和行政铂金卡所需积分分别为每年 3 万、7.5 万、12.5 万和 20 万。对于这些精英会员，美国航空允许他们在北美地区享有无限次免费升

美国航空的商旅忠诚度计划既能让中小企业赚取额外消费里程，又能让企业员工获得额外的忠诚度积分，这在行业内尚属首创。

舱权益。当然，不同等级精英会员升舱申请提交的时间是有区别的，这在一定程度上吸引了中小企业加入商旅忠诚度计划。

美国航空的商旅忠诚度计划既能让中小企业赚取额外消费里程，又能让企业员工获得额外的忠诚度积分，这在行业内尚属首创。要想获得美国航空商旅忠诚度计划的里程，中小企业必须通过美国航空网站或 App 直接预订和购买机票。当然，中小企业还可以将获得的里程转入员工个人账户，这些里程可以用来兑换美国航空的产品，如机票、进入休息室的权限、升舱等。

形势所迫还是主动出击

美国航空此时制订针对中小企业的全新商旅忠诚度计划，是形势所迫还是主动出击？这要从近期美国航空市场出现的变化说起。

2023 年第一季度，除美国航空小幅

盈利 1000 万美元外，美国其他航企均出现不同程度亏损，其中达美航空亏损额最高，达 3.63 亿美元。2023 年第二季度，美国各大航企如各自预期的那样均实现了盈利。美国航空实现收入 140.6 亿美元，利润达 13.4 亿美元；达美航空实现收入 146 亿美元，税前利润达 22 亿美元；美国联合航空实现收入 142 亿美元，利润达 11 亿美元。10 月中下旬，美国三大航企陆续公布了第三季度财报。美国航空在第三季度实现收入 135 亿美元，总债务减少了 14 亿美元，但是净亏损 5.45 亿美元。美国航空在第三季度运营超过 51.5 万个航班，平均客座率达 84%。该公司在第三季度的收入除了来自联名卡和旅行奖励计划，主要来源于机构和政府采购收入的增长，以及中小企业旅行需求的增长。

达美航空在第三季度实现收入 145.5 亿美元，比第二季度增长 13%；净利润为 11.1 亿美元。近几个月来，随着航班量增加，机票价格有所下降。美国联合航空得益于国际市场增长和稳定的国内需求，公司运力同比增长 15% 以上。美国联合航空在第三季度的总营收同比增长超过 12%，税前利润为 15 亿美元，税前利润率为 10.3%。

2023 年第三季度，虽然美国国内市场稳定增长，尤其是跨大西洋市场旅行需求激增，但是美国航空与达美航空、美国联合航空的竞争出现了差距，美国航空及时变革中小企业商旅忠诚度计划的目的显而易见。美国联合航空在跨大西洋和跨太平洋市场上的利润创历史新高，在跨大西洋市场上的收入同比增长 15%，与 2019 年同期相比增长 70%；在跨太平洋市场上，其收入超过 2019 年第三季度水平。这引起了美国航空的警觉。

去年 8 月，美国航空宣布，将在 2024 年夏季新开美国费城直飞丹麦哥本哈根、意大利那不勒斯和法国尼斯的航线，

还将新开美国达拉斯 / 沃斯堡—西班牙巴塞罗那航线，恢复执飞美国芝加哥—意大利威尼斯航线航班。这是美国航空自 2019 年以来在跨大西洋市场上新开航线和增加运力最多的一次行动，其将在美国至欧洲跨大西洋航线上为旅客提供超过 200 个目的地城市的航线选择，而美国航空忠诚度计划的会员能够使用里程兑换美国航空近 1000 个目的地城市的航班机票。

企业商旅计划焕然一新

2022 年 8 月，美国联合航空宣布建立一个允许企业客户全面定制商务旅行计划的全新商旅平台。该平台最主要的特征是实现客户定制化和个性化管理，增加企业客户商旅计划管理功能，进一步完善企业忠诚度计划管理，为企业客户提供更加优质的出行体验。

美国联合航空在商旅平台上不仅允许企业客户预订航班上更宽敞的经济舱座位和申请免费使用机上 Wi-Fi，还为企业客户员工个人休闲旅行提供优惠机票。企业客户还能与美国联合航空的销售人员协商，从众多产品目录中选择最适合自己的商务旅行方案。美国联合航空定制化的企业客户商旅平台进一步突出了商旅出行个性化产品，提升了客户忠诚度。

目前，达美航空也针对中小企业制订了 SkyBonus 商旅忠诚度计划。加入达美航空 SkyBonus 商旅忠诚度计划的中小企业须在一个日历年内至少消费 5000 美元，并且须有至少 5 名注册员工在一个日历年内完成有效航空旅行。达美航空的 SkyBonus 商旅忠诚度计划按照消费层级将中小企业分为普通会员、进阶会员和精英会员三类，不同等级的企业享有不同的出行权益。只有作为进阶会员和精英会员的企业才能在员工进行公务出行时赚取达

—

达美航空的 SkyBonus 商旅忠诚度计划按照消费层级将中小企业分为普通会员、进阶会员和精英会员三类，不同等级的企业享有不同的出行权益。只有作为进阶会员和精英会员的企业才能在员工进行公务出行时赚取达美航空里程，并且这些里程不会过期。

—

美航空里程，并且这些里程不会过期。作为精英会员的企业还能将企业获得的里程转入员工个人里程账户。

2021 年，美国西南航空制订了商旅快速奖励计划，对加入该计划的企业及个人进行快速积分奖励。美国西南航空的商旅快速奖励计划是基于收入价值贡献进行积分奖励的，这不同于过去以飞行里程计算积分奖励的办法。奖励积分有效期为 24 个月，在 24 个月内只要有积分的累积和兑换，账户就处于激活状态。

2022 年 8 月，美国西南航空宣布，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，实现差旅资金管理、合同权益完善和客户业绩洞察、持续性经营报告优化，以及通过实时功能和服务提高自动化水平等商务旅行管理。这种自助服务工具将帮助商务旅客、旅行决策者、商旅管理公司等更好地管理商务旅行。

对于加入商旅快速奖励计划的公司和个人，美国西南航空制订了相应奖励方案，并且旅客享有优先值机、优先安检、优先登机、免费使用机上 Wi-Fi 等权益，能够获得更多积分奖励，还能够把飞行信用账户

内的钱转入自己指定人员的飞行信用账户。

中小企业商旅计划差异化成为一种发展趋势

忠诚度计划权益的策划、制定、实施和评测，在很大程度上反映了航空运输企业客户价值观和市场价值观的战略思维与竞争理念。对大型企业来说，加入航空公司的商旅奖励计划往往具有议价和获得更多出行权益的优势，而航空公司也从合作中获得了相对稳定的收入。对中小企业来说，在与航空公司的谈判中相对较难获得更多奖励。但是，随着全球经济的变化和航空运输市场的发展，航空公司开始关注与中小企业的合作。

就传统的商旅奖励计划而言，企业获得奖励是基于员工出行购买机票实现的，企业获得的这些奖励（如里程）可以兑换很多产品或权益，如机票、进入休息室的权限、升舱等。但在通常情况下，如果企业员工本身就是航空公司常旅客会员，员工在商务旅行时会获得来自航空公司常旅客计划的奖励，而企业则从员工的商务旅行中累积作为商旅奖励的里程。目前，美国主流航空公司如美国航空、达美航空和美国联合航空等都有自己的中小企业商旅奖励计划。

不难看出，航空公司的商旅奖励计划根据市场竞争的需要和市场的深度拓展已经进行了客群细分，尤其是以往被忽视的中小企业日益成为航空公司商旅奖励计划不可或缺的一部分。由于不同航空公司的商旅奖励计划存在差异，在员工公务出行时，除中小企业和员工个人获得奖励外，在里程兑换范围、里程账户转移、消费门槛以及员工个人会员等级积分上给予更多差异化奖励，预计将成为今后中小企业商旅奖励计划的核心内容。■

张馨元： 永远保持跨出第一步的勇气

文 | 张倩楠 图 | 陈宇辉



张馨元 | Zhang Xinyuan

**研究员，中国商飞上飞院构型管理中心主任
首届“上海质量工匠”**

1986年5月出生于河南省周口市，本科就读于清华大学力学系，2008年7月入职中国商飞，后公派至多伦多大学攻读硕士学位。

组织编发民用飞机构型管理领域行业标准一份，出版专著一本，基本建成覆盖飞机研制全生命周期的构型管理体系，主持或参研多项工信部、上海市科委专项等课题，获得全国质量标杆、全国工业互联网大赛二等奖、上海市质量标杆、上海市质量创新综合奖等。个人荣获型号嘉奖令8次，获得中国商飞质量先进个人、系统工程推进者等荣誉。

2023年，16位来自各行各业的首届“上海质量工匠”揭晓，中国商飞上飞院构型管理中心主任张馨元荣获首届“上海质量工匠”。后来，她又带领团队获得“全国质量标杆”。

心系一处，无事不成，这是自古以来的匠心要义。“我相信中国的大飞机一定会飞遍全世界的天空。”带着这样的信念，2008年从清华大学毕业后，张馨元加入中国商飞，选择了这份她热爱的民机事业。

从总体设计专业开始打基础，经历团青等工作的锻炼，再到构型管理的岗位，15年时间如白驹过隙，张馨元经历了ARJ21和C919飞机首飞，也让她更加明白“让中国的大飞机翱翔蓝天”绝非朝夕之事，需要经年累月的努力和“十年磨一剑”的坚持。

在国内民用飞机构型管理领域，她牵头编发了第一份行业标准，出版了第一部专著，构建了一套比较完整的构型管理体系。她像一个不知疲倦的赶路人，永远本能地想继续往前跑，永远在探索新的边界。“我希望自己一直保持前行的状态，永远有跨出第一步的勇气，一步一个脚印走好每一步。”

潜心钻研 努力成为构型管理领域专家

构型管理是个综合性极强的技术管理专业，本质是要解决所得即所需的问题。

就像定制一件衣服，不同于买现货，消费者都希望最终拿到手的衣服和最先提出定制需求时期望的一样，构型管理就是要把控定制的每一个流程，与其他的管理活动一起确保消费者拿到符合预期需求的衣服。

一言以蔽之就是努力做到文文相符、文实相符。文文相符就是要做到客户最初的需求经过设计方设计，最终呈现的一整套图纸或者软件代码，经过确认符合客户的需求。文实相符，即生产图纸发放给制造方造出一架飞机，最终交付的实物和图纸符合客户需求。

但说起来容易做起来难。起初，构型管理专业只是总体部门下设的一个科室，十来个人的配置致力于把工程端相关构型管理做好，即把单一的设计状态说清楚。

改变，是在2018年。随着上飞院机构改革的步伐，构型管理中心呱呱坠地。构型管理专业的定位从“铁路警察各管一段”变成了面向产品全生命周期。在飞机研发制造过程中，构型管理会对产品研发、制造过程中所有相关的活动和数据进行管理和记录，保证在全生命周期内，涉及到产品的图样、文档以及更改等所有数据都可控可追溯。

“构型管理中心成立后，不

仅要对接制造，还要对接客服、试验试飞甚至航司，包括供应链上的供应商。航线、生产线、试飞现场的疑难杂症亟待解决，业务范围的延伸导致各方面的需求不断增加。”在比较薄弱的基础上建设中心，这个任务交给了刚刚转变身份成为构型管理中心主任的张馨元。“要学的东西是无限的，感觉一辈子都学不完。”学习，成为了她的第一堂必修课。“希望在有限的时间里，成为构型管理专业的专家。”张馨元暗暗下定决心，给自己定下了这个目标。

她在部门内开设晚课，每周固定时间开展集体学习，大家轮流分享技术心得。查阅文献、对外交流、内部分享……她通过很多渠道主动学习，静下心来系统思考。“馨元主任很聪明，学习能力特别强，同时她有着非常强的意志，要把所有专业知识搞得特别明白。”构型管理专业骨干于红飞说道。

每次召集大家一起进行技术讨论，在参与解决问题的过程中，她总是习惯让每个人发表看法。作为一名“学霸”，张馨元总是思路清晰，从错综复杂的问题里抓住关键点，提炼出问题的本质，协调每个从不同立场出发的人快速形成共识。“这

其实特别考验人。”这种统筹全局的能力和对细节的把控让负责构型纪实专业的郭鑫羡慕不已。

从0到1 过程和数据两手抓

日益繁重的型号任务没有留给张馨元太久的熟悉过程。“怎么建立一套严格的科学管理体系？”打破信息孤岛，让技术状态流动起来，成为了摆在面前的第一道难题。

构型管理和产品研制过程中的每个日常活动息息相关。秉持着“要做就一次做好”，2018年底张馨元带领团队提出从正向设计出发，建立构型管理中心“两张地图”，即“过程地图”和“数据地图”，一手抓过程一手抓数据。

一方面，统一通用文件体系，理清构型管理需要多少份程序规范、表单模板，覆盖哪些场景，包含哪些业务，再配套各级培训教材等，她称这是“立法、普法”。用一套过程理论，把制造、客服、试飞、供应商等管理过程和活动全部串联起来，统一在一张版图下。

另一方面，统一和规范构型主数据，她称这是要当好“警察”。“掌握技术状态的核心在于数据，

构型管理专业是各型号飞机的数据大管家。数据的流向是我们的核心业务。我们需要完整掌握设计产生了哪些数据,比如每设计一个零件,它的属性信息是什么,制造环节在哪一本工艺文件里落实,航材在哪些客户手册里落实等等。通过这些数据以及流向,把业务全过程和其中每个环节的关联关系理清,掌握技术状态的同时围绕它开展管理活动。”业务骨干孙洪洋解释道。

在 5 年多时间里,紧紧瞄准过程和数据,张馨元和她的团队每年确定一个目标,不断识别新的场景,拓展地图的边界,逐渐建起了一套覆盖全生命周期的构型管理过程体系和流程,形成了中国商飞品牌的构型管理实践。

弯道超车 迈出数字化转型的第一步

构型管理专业有一个天然的属性——掌握海量数据。怎样通过这些无穷多的数据的视角,重新审视流程,反过来思考流程的改进,促进质量的提升,是张馨元带着团队这些年一直在努力的方向。

在 ARJ21 飞机开始交付时,每架机的单机构型状态需要梳理比



在 5 年多时间里,紧紧瞄准过程和数据,张馨元和她的团队每年确定一个目标,不断识别新的场景,拓展地图的边界,逐渐建起了一套覆盖全生命周期的构型管理过程体系和流程,形成了中国商飞品牌的构型管理实践。

较长的时间。“状态很复杂,规则也很复杂,其中很多数据还需要大量人工去识别。”

“马上就要批产交付提速了,这样的低效率以及人工可能造成的差错会把整个团队拖垮。”张馨元当即感觉到这样不行。问题来了就

得想办法,想办法解决问题。“我没有包袱,我才不会想这件事干不成怎么办,我只想我必须干这件事,我要大胆往前走。”

最敏锐的人总能最先捕捉科技的前沿。张馨元牵头上线构型信息平台,第一次把支线飞机基于图

号的数据关系链接展示出来,迈出构型管理数字化转型的第一步。她利用飞机构型管理专业逻辑,和团队一起规划定义好所有存量数据的基准线,同时创新性引入 RPA(机器人流程自动化)、OCR 图形识别技术,帮助设计师提前识别构型更改增量,实现单机构型文件自动生成。这样只需要固定的人手重点管控增量,保证风险不发散,最后人工校核确认,把有限的人力资源集中在应该做的事情上。原本需要一群人干两个月的工作现在只需要半天时间,单机构型文件初始生成准确率达到 99.9% 以上,大大减轻了设计师的工作量。

“我们把程序合法性、覆盖面固化到信息化流程中,技术管理做得越来越细致,保证程序执行没有差错,人为因素导致的错误率大大降低,为产品质量保驾护航,局方对我们也更加信任了。”张馨元说。在近百架飞机的交付工作中,没有发生过一次因为单机构型文件而影响交付节点的事故。

持续改进 敢于直面挑战

飞机每时每刻都在发生变化,

而飞机的零部件数量是百万级的,引申到整个构型管理工作中,落实“两透一控”要求,完整准确地管理变更的需求,完整准确地实施变更,是构型管理专业的初心和使命。追求极致、把控质量,张馨元始终在思考如何做得更好,如何做得更快,如何管控变化,如何预防变化。

“这些年我们一直在开展 QC 小组、精益项目,运用质量工具和方法,对流程进行诊断,有效识别薄弱环节或者进展缓慢环节,针对性地进行改进。比如流程环节的裁减,流程顺序的调整,优化之后,整体效率有了明显的提升。”孙洪洋说道。事实上,他们曾经在解决“5+15”质量问题中,面对牵涉面广、难度大的选题攻关成效显著,连续三年获得公司评审第一名。

今年以来,张馨元和团队加速攻关产品全生命周期数据管理的数字化,满足不同业务用户对产品数据和信息的管理、查看及使用需要,以利于未来在万物互联的基础上实现各个层级的“数据驱动决策”。“这个挑战太大了,比当年做全三维转换还要难。”她很清楚,对物料清单的定义、重构和数据打通,意义巨大,民用航空产业高质量发展又会迈上新的台阶。

创新应用场景 面向民用飞机全生命周期

全生命周期构型管理从来不是简单说说而已。从客户选购、交付到最终飞机报废,整个过程构型管理都要发挥作用。随着 ARJ21 飞机在印尼开启海外运营,医疗机、灭火机、公务机等衍生型相继问世,构型管理又出现了新的应用场景。面对新产品、新需求,流程应该怎么走,该有哪些管理程序,打通的过程也是探路的过程。“针对衍生型等管理程序都是之前没有经历过的,还有全三维转换工作,都是很大的挑战。”这些新场景,开辟了一个个新的战场。

主动多跨前一步,工作才能更向前一步。伴随着大飞机事业从研制阶段全面转入产业化发展阶段,平衡各生产线、高效满足机位变更和客户选型变更的要求逐步提高。张馨元没有停下探索的脚步,她开始研究起了一种具有不完全功能的绿皮飞机,设计了一套客户选型未确定情况下的配置生产模式。待客户明确购机条款后,可直接从特定构型开展客户化改装,快速满足客户需求、达到交付状态。

张馨元的“野心”不止于此。

作为构型管理中心负责人，她带领团队举办构型管理高级研修班，输出中国商飞构型管理实践经验。“我们要努力当‘武林盟主’，搭好舞台，构型管理专业应该怎么干，未来干什么，我们要制定国内行业规范并且引领未来趋势发展。”

“守正创新。”构型管理中心副主任孟旭用这四个字来形容张馨元这些年的工作。“守正在于构型管理的规则被大家认可，得到很好执行。而创新在于在遵循规则 and 标准之外，不断进行突破。”无论是数字化转型、创新场景应用还是绿皮飞机项目，对张馨元来说，在工作范围内、在尽责清单上事事追求 100 分，努力追求极致已成为她的习惯。“我挺喜欢挑战的，一想到是以前没做过的事儿，即使再困难，我都浑身充满了干劲。”

敢挑战、敢冲锋的性格让张馨元看上去天不怕地不怕，可每当夜深人静，她也曾有过很多辗转反侧、难以入眠的时候，面临的需求那么多、场景那么多，需要动脑筋解决问题的地方实在是太多了。不过，这些似乎都影响不了她前进的勇气。

随着产品设计迭代越来越快、产品结构越来越复杂、多专业协同

牢记嘱托砥砺前行，夺取新时代大飞机事业新胜利



今年以来，张馨元和团队加速攻关产品全生命周期数据管理的数字化，满足不同业务用户对产品数据和信息的管理、查看及使用需要，以利于未来在万物互联的基础上实现各个层级的“数据驱动决策”。

要求越来越高，构型管理变得越来越重要。牵一发而动全身，更考验构型管理人员的顶层规划能力、全局把控能力、复杂攻关能力。

张馨元和部门里的每个人说，把一件事做成的最大的难度就在于，认准一个目标，然后朝着它慢慢努力，一直坚持下去。“构型管

理是个很小众的专业。”而现在，这支队伍从最初的十几个人发展成近 70 人，梯度合理、成长迅速，数年来的坚持和努力看到了成果，张馨元带着这支队伍，每一步都走得很扎实。■

向“永不着陆”进军的太阳能飞机

文 | 沈海军

为应对全球变暖，实现“双碳”目标，2023 年 10 月，我国工业和信息化部、科技部、财政部、中国民航局等四部门联合印发了《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035 年）》（简称《纲要》）。《纲要》中指出，要加快电动通用航空器系列化、谱系化，突破高能量密度锂电池……太阳能无人机等关键技术；《纲要》要求到 2025 年显著提高国产民机节能、减排、降噪性能，全面提升航空绿色制造水平。显然，太阳能飞机，连同电动飞机、氢能源飞机，已被我国并列为未来绿色飞行的几大重要发展方向。

和传统飞机相比较，太阳能飞机优势很多。首先，太阳能飞机可降低飞机对传统燃油（汽油或航空煤油）的依赖，避免了当下油价上涨的经济压力。其次，太阳能飞机飞行中不产生碳排放，绿色环保。第三，太阳能飞机电机的声音很小，甚至可以在静谧的夜晚飞行，几乎无噪音污染。第四，太阳能飞机理论上可以永久性在高海拔空中飞行，即白天用太阳能板获得电能，并将多余电能储存起来，然后供夜间飞行。

图 | designlaunches.com



太阳能飞机潜在应用前景广阔，可实现超长航时、高升限，适合作为通讯中继站、进行地形地貌测绘等。一些太阳能飞机能连续在 1.8 万米高空工作数月，向地面提供互联网服务，覆盖范围相当于 200 个地面基站，比卫星优势更大，成本更低，可作为“准卫星”。在未来，太阳能飞机有望被建设成空间无人航行太阳能电站，源源不断向地球无线供电。此外，根据技术发展趋势，太阳能无人飞机未来还有可能被用来探测火星等其他行星，前景可期。

20 世纪中叶以来，美、瑞士、英、中国等国在研发太阳能飞机方面作出了杰出的贡献，特别是美国，在该领域一直处于世界领先地位。

美国的太阳能飞机

1974 年 11 月，世界上第一架太阳能飞机“日升”号在美国加利福尼亚州成功试飞，标志着太阳能飞行时代的来临。该无人机由美军方资助，采用正常式布局，机翼上铺设 4000 余块太阳能板，总量 12 公斤，翼展 9.8 米。1975 年 9 月，加装了新太阳能板的“日升”2 号完成首飞，电池效率提高到 14%，总功率达到了 600W。

20 世纪 80 年代初，“人力飞



▲ 图 | CTV News

行之父”美国人保罗·麦克里迪研制出了“太阳挑战者”号单座太阳能飞机，这是世界上首架载人太阳能飞机。“太阳挑战者”号飞机翼展 14.3 米，空重 90 千克，机翼和尾翼上表面共有约 1.6 万片硅太阳能电池。理想日照下能输出 3 千瓦的功率。1981 年 7 月，美国人史蒂夫·普塔塞克驾驶该机成功由巴黎飞到英国，成为人类首次飞过英吉利海峡的太阳能动力飞行者。

1995 年 9 月，美国航空环境公司“探险者”号遥控太阳能飞机成功试飞，创下了太阳能飞机 1.5 万米高度的世界纪录。该机机翼上采用 0.12 毫米晶体硅太阳能板，输出功率为 6.5 千瓦；机翼大梁为

木质，后改为碳纤维复合材料。1996 年 11 月，更换了电能更强的太阳能板的“探险者 Plus”号再次试飞，飞出 22 千米的新高度，成为世界第一型临近空间太阳能无人机。值得一提的是，该机没有设计机身、机尾和舵面，只有一张翼展 30 米、翼弦 2.5 米的机翼，由 8 组电机 / 螺旋桨驱动。

1998 年，航空环境公司又研发了更大的“百人队长”号太阳能飞机。该机翼展长 37 米，中央翼更换为光效率达 18.5% 的太阳能板，增加了两台直流电动机和新螺旋桨。1998 年 8 月，“百人队长”在美国夏威夷试飞，飞出了 24 千米的世界高度新纪录。2000 年，

航空环境公司再接再厉，研制出了“太阳神”号太阳能飞机。该机重 590 千克；机身长 2.4 米，翼展达 75 米，该尺寸连超大客机波音 747 也望尘莫及。“太阳神”结构为碳纤复材，机翼前缘装有 14 组电机 / 螺旋桨，翼上铺设 6.5 万片太阳能板。晨光照射下电能输出为 10 千瓦，中午为 40 千瓦，飞机时速可达 30 至 50 公里。晚上靠储电飞行。2001 年，“太阳神”创下了太阳能飞机飞行 29.5 千米的高度纪录。不过，2003 年再次试飞时，遭遇强湍流，“太阳神”在机翼诱发俯仰振荡后坠毁。

2005 年，美国爱西推进公司研发出了“永恒 (solong)”号太阳能无人机，该机重 12.8 千克，翼展 12.2 米，在空中持续飞行了 48 小时，成为世界首架实现昼夜持续飞行的太阳能飞机。该机有望将来作为空中的无线电塔台。不过，这次“永恒”号飞行飞机并没有携带任务载荷，任务适用性上还有待于完善。

2009 年，美国电动飞机先驱埃里克·雷蒙德设计的“逐日 (Sun seeker)”号太阳能飞机创下了横跨美国飞行的纪录。2013 年，改进的“逐日”双座型太阳能飞机成功首飞。该机翼展 22 米，重 280 千克。机翼和尾翼表面铺有 1510

块太阳能板。收集的太阳能可存储在位于机身的锂电池组内，最大可以输出 25 千瓦，性能优异。目前，“逐日”双座型性能指标不断完善，已能在仅依靠太阳能供电的情况下载 2 人空中飞行 12 小时。

2016 年，美国谷歌 (Google) 公司收购英国泰坦航空公司后，研发出了 Solara 系列的太阳能无人机。其中 Solara 50 型翼展 46 米，配备 3000 块太阳能电池。飞机采用弹射起飞，最大时速可达 97 千米。该飞机既定目标是携带 32 公斤载荷飞行 5 年，在 19.8 千米高度停留数周。2016 年，Solara 50 完成了测试，在谷歌的“Sky Bender”计划中，Solara 飞机拟作高空信号基站，使用毫米波传输技术传送 5G 移动网络，为美国偏远地区提供网络信号。

2017 年，脸书 (Facebook) 公司研制的“天鹰座” (Aquila) 太阳能无人机成功试飞。该机采用大展弦比飞翼布局，翼展 43 米，起飞重量 450 公斤，时速约 130 千米，航时为 1 小时 46 分钟，最后自主着陆在地面——152 米直径的圈内。该机没有起落架，靠发动机舱底部的凯夫拉垫着陆。“天鹰座”现有续航记录是两个星期。脸书公司希望能使用该机为落后地区提供网络服务。

2019 年，美国波音旗下的极光飞行科学公司 (Aurora) 生产了一台翼展 74 米的超大太阳能无人机，打破了世界无人机翼展的纪录。这款名为“奥德修斯”无人机加载了我国汉能阿尔塔全球领先的柔性碲化镓薄膜电池板，光电转化率可达 29%。

瑞士的太阳能飞机

2003 年，瑞士探险家贝特朗·皮卡尔成立了阳光动力 (Solar Impulse) 公司，旨在实现“驾驶太阳能飞机，多次起降昼夜飞行环球”的目标。此举得到了法国达索航空和欧洲宇航局的大力资助。2010 年 7 月，该公司单座小型太阳能动力飞机“阳光动力”号首次实现了 24 小时不间断载人飞行，成为世界上第一架完全依靠太阳能、实现昼夜飞行的载人飞机。该机翼展 63.4 米，碳纤维复材机身，总重 1.6 吨，太阳能电池 11628 块，四组电机 / 螺旋桨，每组功率 10 马力，最大飞行高度 8500 米，平均时速 70 公里。

此后，“阳光动力”飞机年年都有突破。2011 年 5 月，“太阳动力”号首次完成瑞士至比利时跨国载人飞行。次年 5 月完成了瑞士至摩洛哥的跨洲飞行。2014 年

6月，“阳光动力”2号飞机成功首飞，成为当时世界上最大的太阳能飞机。该机在太阳能电池数量、翼展长度、重量等都有明显进步。比如，使用了超过1.7万块太阳能电池板，比第一代多出5000块，翼展更长，达到72米。使用超轻碳纤维复材，总重2.3吨。2015年3月，两名探险家驾驶“阳光动力”2号从海湾地区出发，历时16个月，经阿拉伯海、印、缅、中、日、美、西班牙、埃及、阿联酋完成了环球首航。这是人类历史上第一次由太阳能驱动的环球飞行。其中，从日本飞往夏威夷的5天里，“阳光动力”2号连创3项世界纪录：太阳能飞机最长时间不间断飞行、最长时间单人驾驶飞行和最远距离

太阳能动力飞行。2015年3月，为纪念全球最大太阳能飞机“阳光动力”2号环球飞行的壮举，瑞士银行还特意为其发行了纪念币。

2005年，瑞士苏黎世联邦理工学院和欧洲宇航局合作，设计出了“天空使者”号太阳能火星研究飞行器。该飞机重2.6公斤，电池重1.3公斤，翼展3.18米，时速30公里；起飞方式为手抛发射，空载连续飞行了5小时。该机结构由轻木芯和碳纤复材制作，216块硅太阳能电池板可提供80瓦以上光电力。该机机载CCD（电耦合）相机可对地拍摄，自动驾驶系统允许地面控制站监控和给飞行中的飞机发送指令。设计者坚信，10至20年内“天空使者”号将能够抵

达火星上空飞行。

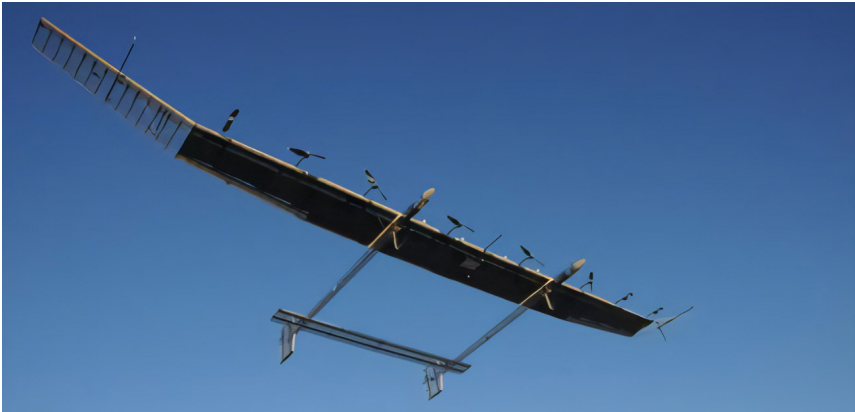
2016年，苏黎世联邦理工学院研制的“大西洋”号太阳能飞机，以4天3夜的续航时间和2.3千公里的飞行距离，打破了50公斤以下无人机的世界纪录。该机为固定翼，重6.8千克。同年7月，该机又进一步完成了滞空长达26小时的负载搜救任务。

英国的太阳能飞机

2006年，全球首架太阳能无人侦察机“西风(Zephyr)”号成功试飞。该机由英国国防承包商QinetiQ公司研制，总重33千克，时速250公里；碳纤复材机翼，翼展12.2米，覆盖有太阳能电池板，光伏发电部分驱动电机/螺旋桨，部分存到40节锂电池内，供夜间使用。该机GPS导航，升限4万米，可持续3个月对地标长时高密度监控。机载相机可以在1.8万米高空，精确拍摄25.4厘米的地标，还可收发地面士兵无线电信号。

由于“西风”号是为高空飞行设计的，机身脆弱，动力偏弱，试飞过程中，需3名男子一路狂奔，才能将它“推送”上蓝天。2010年，空客公司资助改进“西风7”，后者连续滞空飞行超过了14天。

2010年以来，美国陆军和海



▲ 图 | woiwrj.com

军一直在资助和试验各型号的“西风”，希望未来能利用“西风”对公海和沿海地区进行持续监视或网络支持。2013年，英国将该设计出售给欧洲空中客车公司。2016年，英国国防部购入了2架“西风S”型太阳能飞机，以承担持续监控和通信传递等任务。2018年，空客“西风S”型太阳能飞机在美国亚利桑那州举行了首次平流层试飞，创下持续飞行26天的纪录。该飞机翼展25米，重74千克，升限2.3万米，比传统间谍卫星更灵活，比现有高空长航时无人机更持久，飞行距离更长，部署前线更快。

中国的太阳能飞机

2017年5月，中国航天科技集团的“彩虹-T4”临近空间太阳

能无人机试飞成功，这使我国成为继美、英之后，第三个掌握临近空间太阳能无人机技术的国家。该机翼展45米，表面布满太阳能电池板；未来一次性飞行可滞空数月甚至数年，具备“准卫星”特征；可充当“空中移动WIFI”基站、高空实时监视定位，前景广阔。

2022年，中国航空工业第一飞机设计研究院设计的“启明星50”太阳能无人机成功试飞。该机翼展50米，巡航高度2万米以上，是继“彩虹-T4”之后，国内最先进的太阳能无人机。“启明星50”太阳能无人机未来有望做到持续飞行几个月时间，甚至更长，成为“永不着陆”的飞机。

近年来，中国汉能集团推出了一款“汉能”太阳能无人机。该机翼展4.4米，续航时间6至10

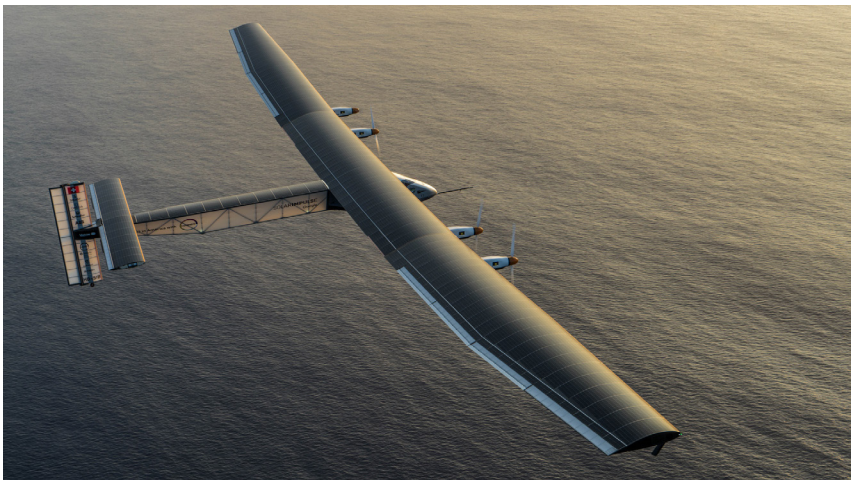
小时，作业范围可以达到400至700公里，是目前世界上航时最长的工业级太阳能无人机。该机可应用于民用和商用，如石油天然气管道巡线、农业监控、警用巡逻、灾害和应急救援、航拍和土地测绘、自然资源检测、边境海岸线巡逻、矿业监测等。

其他国家的太阳能飞机

2016年，俄罗斯Tiber公司研制的“猫头鹰”号太阳能无人机成功首飞。该机机身碳纤维复材材质，自重12千克，翼展9米，在9000米高空飞行了50个小时。俄罗斯国防部表示将装备该高空无人机，对全球大洋、俄高纬度区域国土海疆、北极等边远地区进行长期巡逻监察，给俄各地特别是北极地区提供中继通信服务，甚至取代昂贵的低轨道观测和通信卫星。

同年，韩国航宇研究院研制的EAV-3太阳能无人机在18.5千米平流层中飞行了90分钟。该机翼展20米，2020年再次试飞时达到了22千米的飞行高度，总航时13小时。韩国因此成为继美、英、中之后世界上第四个拥有临近空间太阳能飞机技术的国家。■

▼ 图 | designapplause.com



苏联民机的“出口明星”： 图 -154

文 | 乔善勋

图 -154 是苏联图波列夫设计局在 1960 年代推出的一款三发、中程窄体客机，能搭载 152~180 名乘客。这款机型是苏联最成功的喷气式客机之一，数十年来，都是苏联、乃至后来俄罗斯航空公司的主力机型，几乎承运了俄罗斯载旗航空公司俄罗斯航空（Aeroflot）的一半乘客。图 -154 还是俄制飞机的出口“明星机型”——卖给 17 个国家，并被多个国家当作国家元首的专机使用。



乔善勋

毕业于北京航空航天大学交通运输专业，中国航空学会第一批航空科普专家、河南省航空业协会专家委员会秘书长，新媒体《航空之家》创办人，现任职河南工业贸易职业学院。已公开发表 64 篇专业文章、出版 2 本航空专著：《空难悲歌，航空安全背后的故事》、《空难启示录，谁是航空安全的金钥匙》。



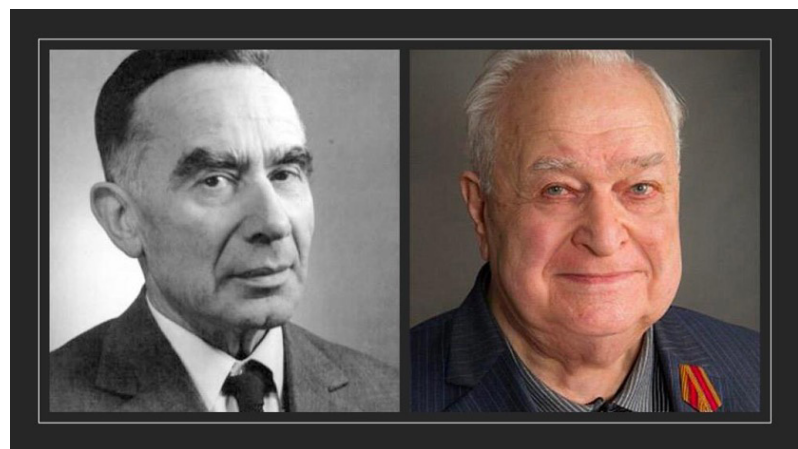
从设计上来看，图 -154 非常适合苏 / 俄国情环境，它的巡航速度为 850 公里 / 小时，航程达到 5280 公里，能在未铺装跑道的机场运营。图 -154 最初设计的使用寿命为 4.5 万小时（18000 次起降循环），升级后的机型能达到 8 万小时。

技术参数对标波音 727

1960 年代初，苏联民航向苏联航空工业部门提出新要求：需要一款飞行时速达到 900 公里的飞机，载荷 16~18 吨时航程能达到 4000 公里，载荷 5.8 吨时航程能达到 7000 公里，其最大起飞重量下起飞距离在 2600 米，而且载客量比此前苏制客机都要多。苏联民航打算用它来替代涡桨式的伊留申 IL-18 和安托诺夫 An-10，以及图波列夫基于图 -16 轰炸机衍生的图 -104/124/134 机型。当时伊留申设计局也拿出伊尔 -62 参与竞争。

最后苏联飞机工业部选择了图波列夫设计局，他们在 1963 年正式展开研发工作。图 -154 早期的首席设计师是德米特里·谢尔盖耶维奇·马尔科夫，1975 年后由申加特·亚历山大·谢尔盖耶维奇负责。新飞机的技术参数直接对标波音 727。

▼ 图 -154 的两位首席设计师：左为马尔科夫，右为谢尔盖耶维奇



▼ 图 -154 飞机



苏联境内有大量环境恶劣的非铺装跑道机场，客机需要在凹凸不平的跑道上起降。于是他们为新客机设计了 14 个低压轮胎。

与此同时，图波列夫设计局还在紧锣密鼓地研制世界首架超音速客机图 -144。时间紧，任务重。设计师决定围绕 80 座级的图 -134 进



行大刀阔斧的设计。

图-154采用传统的细长管状机身、前倾式驾驶舱、T型尾翼、35°后掠翼。机身两侧各有四个矩形舱门，方便乘客快速上下飞机。货物存放在乘客座位下面的货舱中。

由于飞机更大，需要更多推力，于是设计师在机身后段的T型尾翼上加装了第三台发动机。图-154也是图波列夫设计局首架不以军用飞机为基础而研发的民用喷气式客机。

设计师还需要为新客机充分考虑未来的运营环境——苏联境

内有大量环境恶劣的非铺装跑道机场，客机需要在凹凸不平的跑道上起降。于是他们为新客机设计了14个低压轮胎。

新客机最终被命名为图-154。1968年10月4日，图-154原型机完成首飞。1969年，图-154在法国巴黎航展上进行了展示。图-154的量产机在1970年才进行首飞，1971年5月开始提供从莫斯科到第比利斯、索契、辛菲罗波尔和矿水城的货运服务，并在1972年2月开始提供客运服务。1972年4月2日，图-154首次出现在国际航线上，

执飞苏联往返德国的航线。

图-154最多可以容纳167名乘客，最远航程达到5200公里，但在最大载荷下航程缩短至3460公里。动力方面，图-154搭载3台库兹涅佐夫NK-8-2低涵道比涡扇发动机，每台推力为9.5吨（20940磅）。

同步研发发动机

图-154服役不久后，图波列夫设计局就推出了新的图-154A型，它最大的改变是换装了推力为10.85吨的NK-8-2U发动机，并换装了新的航电系统。1975年，第一架图-154A正式服役。考虑到偏远地区运输航空燃料不便，图-154A舱内还增加了一个燃料箱。

NK-8最早是苏联库兹涅佐夫设计局在1960年代为伊尔-62设计的民用涡扇发动机，主要依托1950年代末的NK-6发动机设计经验，利用其核心机技术研制而成。1961年，NK-8发动机开始设计，同年底就完成了首次试验。1964年6月顺利通过国家鉴定试验，并提前3个月搭载在伊尔-62上完成首飞。

1965年，库兹涅佐夫设计局为图-154研制NK-8-2型发动机。1971年8月25日，NK-8-2型发动机通过苏联国家鉴定试验。

1971年，库兹涅佐夫设计局开始研制NK-8-2发动机的最新改型——NK-8-2U。后者在1973年9月通过苏联国家鉴定试验，一共生产约2500台，主要装配在图-154B和图-154S上。

NK-8-2U发动机的大修寿命为8000小时，规定寿命为18000小时，总的工作时间超过3200万小时。发动机的维修主要在乌拉尔的民用航空制造厂和乌克兰国防部的尼古拉航空维修工厂进行。

NK-8研制成功后历经多次改型，例如NK-8-2搭载于图-154，NK-8-4搭载于伊尔-62，NK-8-2U搭载于图-154B和图-154S，NK-88搭载于气垫飞行器，NK-89搭载于图-156。这也让NK-8系列成为苏联史上量产最多的涡扇发动机，仅喀山发动机厂就生产了超过2500台。

1975年到1981年间，图-154还不断进行改进型设计，起飞重量从94吨增加至98吨。1977年，图波列夫设计局推出图-154B型，包括B1和B2两个型号，除了客舱布局不同外，还新增了自动驾驶仪。其中B1型为苏联境内运营，载客量为160人。而出口的B2型载客量则达到180人。图波列夫设计局还推出了专供货运的图-154S型。

设计师认为图-154B已经发挥

了原机身结构的极限，因此在1980年代开始着手研发代号为图-164的新一代图-154客机。设计师对新飞机的主翼、尾翼、航电系统都进行了改进。1982年，改头换面的图-154M完成试飞，它的最大起飞重量达到100吨至104吨。

图-154M换装D-30K高涵道比发动机。得益于发动机技术的进步，图-154M的燃油效率和噪音都进步明显。最大航程达到6600公里，最大载荷下能飞3900公里。

D-30发动机是索洛维耶夫设计局在1960年代研发的一款双转子涡扇发动机。它在苏联首台投入生产使用的民用发动机D-20P基础上发展而来，提高了涡轮进口温度，

并保持了低耗油率。

D-30KU采用双转子轴流式压气机，其中低压2级、高压11级。分流机匣用来分离内外涵道气流，装有连接前后传动机匣的中央传动零件。燃烧室为环管式设计，能在发动机部分拆卸的条件下，对火焰筒、集气室、喷嘴等零件进行检查和更换。

涡轮方面，D-30KU采用2级高压涡轮盘设计，导流叶片和工作叶片都采用空气冷却，4级低压涡轮只有盘带冷却。反推力设备有2个外部调节片，它的控制系统为液压闭环自主控制系统。发动机通过2个承力带固定在机身上。

D-30KU-154主要搭载在



图 -154M 上。为了满足《国际民航组织标准》第三章对局部噪音的要求，提高发动机的实用性和可靠性，延长发动机使用寿命，“土星”公司还对其进行改进，在发动机中引入消声结构，降低噪音。

大改款的图 -154M 一经推出，成为苏俄生产周期最长和产量最大的机型之一。而且图 -154M 在海外市场收获颇丰，即便在西方国家的客机大量涌入东欧和中亚国家的背景下，它也斩获了不少订单。

惨烈的空难

西方国家一直将图 -154 和波音 727、英国的三叉戟进行对比。虽然后两款机型比图 -154 的燃油经济性更好，但是在极寒环境，尤其是非铺装跑道的运营方面，就不如图 -154 “皮实耐用”了。图 -154 更适合当时的苏联国情。

但大部分运营图 -154B/M 的航空公司财务状况都不佳，飞机也缺乏相应的维护保养，尤其是长期在恶劣环境中运营，导致图 -154 空难的消息时有发生，这也影响了该机型的声誉。加上图 -154 的技术已经严重落后于西方国家机型，2013 年，图 -154 彻底停产。

飞行安全数据显示，在 1973 年至 2016 年间，图 -154 发生了 110 起严重事故，其中 73 架图 -154 发生机身损毁事件，一共导致 2911 人遇难。在致命的事故中，有 5 起是因为恐怖主义，几起是因为冬季恶劣环境，其中一架图 -154 撞上了跑道上的扫雪机！

图 -154 涉及最致命的一次事故是 2010 年 4 月 10 日的斯摩棱斯克空难，当时机上搭载了包括波兰总统莱赫·卡钦斯基在内的诸多波兰高官，他们从华沙出发，准备参加“卡廷大屠杀 70 周年”纪念活动，但由

图 -154M 飞机参数		
机组成员：3 人	机翼面积：202 平方米	最高升限：12100 米
载客量：114~180 名乘客	机身空重 / 最大起飞重量：55.3 吨 /104 吨	首飞：1968 年 10 月 4 日
机身长：48 米	发动机：2 台索洛维耶夫 D-30KU-154 涡扇发动机，单台推力 103kN	服役：1972 年 10 月 4 日
翼展：37.55 米	飞机最高飞行时速：913 公里 / 时	建造时间：1968~2013 年
机身高：11.4 米	航程：5280~6600 公里	建造数量：1026 架

于飞行员失误，导致飞机可控飞行撞地，机上 96 人全部遇难。

伊朗也是图 -154 运营的“重灾区”，大约损失了 9% 的图 -154 飞机。2011 年年初，俄罗斯联邦运输监督局就建议航空公司停止使用图 -154 飞机。2011 年 2 月，伊朗停止运营图 -154。

2016 年 12 月 25 日，一架图 -154 从俄罗斯索契起飞后坠入黑海，导致机上 92 人悉数罹难。其中包括俄军亚历山德罗夫乐团的 64 名团员。空难发生 2 天后，俄罗斯国防部宣布，在事故调查结束之前，停飞所有的图 -154。

2020 年 10 月 28 日，阿尔罗

萨航空公司旗下一架注册号 RA-85757 的图 -154 完成了最后一次定期民用航班，标志着其长达 48 年职业生涯结束。■

航空史上的 2 月

辑录 | 黎时

1910 年 2 月，清朝政府军谘大臣载涛率团赴日、美、英、法、德、意、奥、俄 8 国考察。据称，他在巴黎会晤了 1909 年驾驶“布莱里奥”XI 第一次成功飞越英吉利海峡的法国飞行家路易·布莱里奥，并参观布氏座机，国外航空技术的发展给他留下了深刻印象。这对清政府开始重视航空事业起到了促进作用。

1918 年 2 月 28 日，美国总统伍德罗·威尔逊发布命令，要求民航飞行员和飞机拥有者持有执照，对航空公司的管制由此开始。

1929 年 2 月 23 日，上海航空工厂自造“成功”1 号飞机获得成功，次日由沈德燮厂长亲自驾驶试飞，降落后，掌声雷动，据称该飞机“操纵灵敏，机体坚固，与进口飞机无异”。

1930 年 2 月，鄂豫皖苏区红军在宣化店缴获因故障迫降的国民

党空军飞机一架，飞行员龙文光被俘加入红军。这架沃特 V-65C 型“可塞”（Corsair）侦察机修复后被命名为“列宁号”，是红军的第一架飞机，曾参加过攻打黄安等战斗。

1933 年 2 月 8 日，波音 247 首飞。该机装有两台“黄蜂”发动机，具备了现代客机的基本特征，被认为是世界上第一款现代化客机。

1945 年 2 月 4 日，美国总统罗斯福乘“圣牛”号（Sacred Cow，用 DC-4 的军用型 VC-54C-DO 改装而成）总统专机抵达苏联克里米亚疗养胜地雅尔塔，与丘吉尔和斯大林举行峰会，讨论德国投降条件和欧洲战后格局。“圣牛”是第一代“空军一号”，机身腹部为携带罗斯福总统的轮椅而设有专用升降梯。

1946 年 2 月 15 日，美国道格拉斯公司 DC-6 首次试飞，并于 1947 年 4 月 27 日投入航线运营。

1960 年 2 月 20 日，中国第一座跨超声速风洞在沈阳空气动力研究院基本建成并投入使用。

1963 年 2 月 9 日，波音 727-22 原型机（机号 N7001U）首次试飞，该机采用 T 形平尾，3 台发动机装在机身后部。从 1962 年到 1984 年，波音公司制造、交付了 1832 架，成为历史上最成功的客机之一。

1969 年 2 月 9 日，波音 747-121 原型机（机号 N7470）首次试飞。最大起飞重量超过 350 吨，是迄今最大的商业飞机，也是世界上第一种宽体机，开创了人类航空史上的又一个新纪元。

1972 年 2 月 21 日，尼克松总统乘“空军一号”访华，结束了中美两国 20 多年相互隔绝的局面。随后，我国民航订购 10 架波音 707，于 1973 年投入使用。该机航程远，为贯彻周恩来总理 1965 年提出的中国民航“一定要飞出去”的战略

目标创造了重要的技术物质条件。

1976 年 2 月 9 日，欧洲空中客车公司向德国汉莎航空公司交付第一架空客 A300B2。

1987 年 2 月 22 日，世界上第一架全数字电传操纵的空客 A320 客机首次试飞，满足了航空公司提出的改善旅客舒适程度、降低运营成本的要求。据空客网站数据，截至 2023 年 10 月，A320 系列总订单量达到 17907 架，已经交付了 11370 架。

1993 年 2 月 22 日，美国麦道公司 MD-90 首次试飞。该机是 MD-80 的后继机型。1997 年波音公司兼并麦道公司，以 MD-90 与波音产品系列冲突为由于 2000 年停产，共交付 114 架。我国曾发起中美合作在上海飞机厂生产 20 架 MD-90 的项目，最后由于种种原因只生产了两架，分别于 1999 年 10 月 3 日和 2000 年 2 月 24 日试飞成功，并

取得美方颁发的适航证。

1996 年 2 月 7 日，英国航空公司的一架“协和”超声速客机从伦敦飞抵纽约仅耗时 2 小时 52 分钟 59 秒，创下了航班飞行的最快纪录。

2000 年 2 月 15 日，国务院专题办公会议指出：集中力量发展支线飞机，国家全力支持研制世界水平的支线飞机。2001 年 8 月，ARJ21 涡扇支线客机被列入“十五”期间 12 项重点科技攻关项目。2002 年 4 月 30 日国务院 ARJ21 正式立项。

2002 年 2 月 19 日，巴西飞机工业公司全新的客机 EMB170 原型机（机号 PP-XJE）首次试飞。

2007 年 2 月 26 日，国务院常务会议听取大型飞机重大专项领导小组关于大型飞机方案论证工作汇报，原则批准大型飞机研制重大科技专项正式立项，同意组建大型客

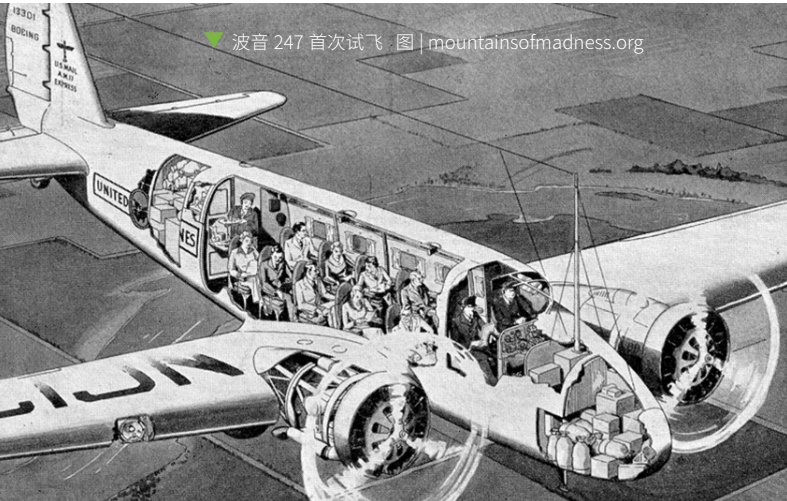
机股份公司。

2008 年 2 月 21 日，中航技公司在玻利维亚城市圣克鲁斯向玻方交付 2 架“新舟 60”飞机，玻利维亚总统莫拉莱斯参加交付仪式。这是“新舟 60”首次落户拉丁美洲。

2016 年 2 月 8 日，经过 6 年多的谈判，联合国国际民用航空组织（ICAO）提出了对飞机二氧化碳排放的首个约束性限制，这是应对气候变化的一系列国际努力中的最新一项。

2019 年 2 月 14 日，空客宣布，由于储备订单不足，A380 飞机总装生产线将于 2021 年停产。

2023 年 2 月 7 日，日本三菱重工正式宣布终止 SpaceJet（原名 MRJ）开发工作，理由是该业务不会盈利，启动于 2008 年、已经于 2015 年 11 月 11 日完成首飞的日本国产支线客机计划最后以失败告终。■



▲ 波音 247 首次试飞 图 | mountainsofmadness.org



▼ “圣牛”号总统专机 图 | AF.mil



▼ 波音 727-22 原型机 图 | geoffs.net



▼ 美国麦道公司 MD-90 图 | simviation.com

ARJ21 飞机进行东南亚演示飞行



图 | 王脊梁