

# C919 ARJ21 复材切片模型



## 航空材料

- 潜力新材料在先进航空结构中的应用
- 飞机制造商或加速新一代窄体客机研发
- 我国高高原航空运输市场发展现状与展望
- 美国航空货运体系对我国航空货运发展的经验借鉴

# 大飞机

JETLINER

06 June

2024.06 | 总第120期

ISSN 2095-3399



9 772095 339242



6月14日，国产大飞机 C919 开始执飞上海虹桥机场至广州白云机场航班。



图 | 东方航空





## 05 卷首语

05 新材料为民机带来新机遇  
| 欧阳亮

## 06 资讯

## 08 特别推荐

08 “两机”专项第一轮论证和纳入中推发动机  
——《张彦仲传》摘编（七）  
| 归永嘉 李韶华 雷杰佳

## 11 封面文章

11 潜力新材料在先进航空结构中的应用  
| 王岩

16 碳纤维向航空工业的“浸润” | 王岩

21 铝钎合金材料的发展与应用 | 陈晨忻

## 25 航空制造

25 飞机制造商或加速新一代窄体客机研发  
| 杨敏 张洋 冯鲁文

29 从德国汉堡飞机内饰展看航空出行新愿景 | 刘振敏

33 俄罗斯重新调整国产民机交付计划  
| 曲小

37 全球 MRO 市场发展展望 | 文峻

## 41 航空运输

41 我国高高原航空运输市场发展现状与展望 | 柴雨丰 王晓林

46 全球航空运输业有望重回增长轨道——国际航协发布全球航空运输业年中报告  
| 张晋

50 美国航空货运体系对我国航空货运发展的经验借鉴 | 乔婧

54 加入天合联盟能否让北欧航空走出困境  
| 王双武

## 58 人物

58 翎亚航空副主席李耀民：ARJ21 海外运营一年了 | 陈姗姗

## 61 科普

61 晴空颠簸加剧的背后  
| 徐婷

## 65 漫话航空

65 在“航空救国”的主题下——《翱翔云端的风筝》创作谈  
| 胡海林

69 第一次环球飞行 | 蒋斯来

73 巴西商用飞机发展之路——世界商用飞机发展简史（十七）  
| 王思磊

77 航空史上的6月 | 黎时





#### ▼ 本期导读

航空材料是大飞机的基石，所以业内有“一代材料，一代飞机”的说法。随着技术的进步，更多的新材料被引入到航空工业之中。比如，结构功能一体化材料不仅能将承载和功能结构合二为一，而且能减重，像波音 787 采用的电热防除冰前缘和空客 A350 采用的金属条带 + 结构件的雷击防护网络等。通过在复合材料中预置或附加形状记忆合金、压电材料及电流变体材料等智能作动材料，可以实现对复合材料结构的振动噪声控制、形状控制和基体增强，从而显著提高复合材料的使用效率，满足服役环境对复合材料结构的特殊要求。

作为大飞机的基石，航空材料的进步将对提高大飞机的安全性、环保性、经济性、舒适性带来极大的助益，甚至有望带来结构设计、制造、维护等观念的颠覆性创新，从而给世界带来一个崭新的大飞机产业。



- 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

2024 年第 06 期 | 总第 120 期 | 06 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  
副主任 谭万庚  
委员 魏应彪 沈波 戚学锋  
于世海 罗兴平  
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

#### 卷首语

## 新材料为民机带来新机遇

文 | 欧阳亮



航空材料的进步将对提高大飞机的安全性、环保性、经济性、舒适性带来极大的助益，甚至有望带来结构设计、制造、维护等观念的颠覆性创新，从而给世界带来一个崭新的大飞机产业。

航空材料是大飞机的基石，所以业内有“一代材料，一代飞机”的说法。1903 年莱特兄弟发明的“飞行者 1 号”和后来冯如的“冯如一号”，用的材料都是木材和布料。一开始，世界各国的航空先驱们大多选择轻便的木材和布料来造飞机；1920 年代，大部分飞机只在部分结构件，比如发动机架上使用金属材料；1919 年首飞的容克斯公司 F-13、和 1930 年代早期成功研制的波音 247 和道格拉斯 DC-3 等机型的出现，宣告了全金属飞机时代的诞生。

全金属飞机出现后不久，一种叫玻璃纤维增强塑料的复合材料便开始应用于飞机，当然，主要是用于飞机的非结构部件，如装饰板等。20 世纪 70 年代，碳纤维复合材料被引入航空工业，是航空材料的一次重大突破。与玻璃纤维增强塑料一样，碳纤维复合材料也是先用于非结构件，后来慢慢扩展到结构件。波音 767 是第一款在主要结构件上使用碳纤维复合材料的商用飞机，波音 777 则采用了更多的碳纤维复合材料，其翼梁和地板梁都使用了碳纤维复合材料。进入新世纪，空客于 2005 年推出的 A380 的结构重量的 25% 使用了碳纤维复合材料，而波音 787 和空客 A350 所使用的碳纤维复合材料更是超过其结构重量的 50%。

从以上对航空材料的粗略梳理可以看出，每一种新材料的出现，都会为飞机的变革带来新的机遇。对于飞机设计师来说，选用某种航空材料，首先要考虑的是其轻质性、耐久性、强度与刚度等因素。早期的航空先驱们选择木材和布料，便是因为其轻质性，特别是在当时航空动力还不强大的背景下，木材与布料成为各国航空先驱们不约而同的选择。但木材与布料的强度不足，因此后来兼具轻质性与强度且加工性能好的铝合金成为全金属飞机的首选材料，但后来碳纤维复合材料的问世使得铝合金在飞机上的用量大为减少，因为碳纤维复合材料不仅更轻，而且其拉伸强度达到 3500 兆帕，是铝合金的 7 至 17 倍。此外，碳纤维复合材料还具有高刚度、耐腐蚀、耐疲劳、热膨胀系数低、能量吸收能力强等特性，因此近几十年来，我们看到碳纤维复合材料在飞机结构重量中的占比节节攀升。

随着技术的进步，更多的新材料被引入到航空工业之中。比如，结构功能一体化材料不仅能将承载和功能结构合二为一，而且能减重，像波音 787 采用的电热防除冰前缘和空客 A350 采用的金属条带 + 结构件的雷击防护网络等。通过在复合材料中预置或附加形状记忆合金、压电材料及电流变体材料等智能作动材料，可以实现对复合材料结构的振动噪声控制、形状控制和基体增强，从而显著提高复合材料的使用效率，满足服役环境对复合材料结构的特殊要求。

作为大飞机的基石，航空材料的进步将对提高大飞机的安全性、环保性、经济性、舒适性带来极大的助益，甚至有望带来结构设计、制造、维护等观念的颠覆性创新，从而给世界带来一个崭新的大飞机产业。





### 01 C919 开启第四条商业航线

6月14日，国产大飞机 C919 再添新航线——当日 9 时 37 分，机号为 B-919A 的东航 C919 客机执行 MU5309 航班，从上海虹桥机场飞往广州白云机场，标志着 C919 正式开启第四条商业定期航线的运营。截至目前，东航 C919 机队规模已达 6 架。

### 02 首架 ARJ21 客改货飞机首航飞中亚

6月6日，由圆通航空 ARJ21 客改货飞机执飞的 YG9097 次航班，满载货物从新疆伊宁机场飞往乌兹别克斯坦塔什干国际机场，这是 ARJ21 客改货飞机首次商业飞行，标志着 ARJ21 客改货飞机正式投入民航货运市场，ARJ21 飞机系列化发展迈出新步伐。ARJ21 客改货飞机最大设计商载 10 吨，设计航程 2778 公里。



### 03 ARJ21 飞机开通喀什至胡占德“空中丝路”新航线

6月7日，由成都航空 ARJ21 飞机执飞的 EU2977 次航班，从新疆喀什徕宁国际机场飞往塔吉克斯坦胡占德机场，该航线的开航标志着 ARJ21 飞机首条中亚航线开通，国产商用飞机国际化发展迈出坚实步伐。

### 04 国产商用飞机完成首次加注可持续航空燃料演示飞行

6月5日，中国商飞公司一架 ARJ21 支线飞机和一架 C919 大型客机，分别从上海浦东机场和山东东营机场起飞，经过 1 个多小时的飞行，圆满完成首次加注可持续航空燃料（SAF）演示飞行任务，展现了加注 SAF 后两型国产商用飞机的良好飞行性能。

### 05 5月中国民航客运总量稳中有升

5月，中国民航客运总量为 5553.8 万人次，环比增长 5.9%，同比增长 13.2%，为 2019 年同期的 108.8%。南方航空、中国东航、中国国航、海南航空、春秋航空、吉祥航空等 6 家上市航司旅客运输量稳步攀升，合计达到 4733.7 万人次，较 2019 年同期增长 8.8%。

### 06 中国 HH-100 航空商用无人运输机首飞

6月12日，由中国航空工业集团自主研制的 HH-100 航空商用无人运输系统验证机，在陕西西安成功首飞。该系统由无人飞行器平台、指挥控制系统（地面站）组成，兼具成本低、吨位大、商载高、全国产的特点。飞机最大起飞重量 2000 千克、商载 700 千克、满载航程 520 千米、最大巡航速度 300 千米/时、最大使用高度 5 千米，货舱容积 4 立方米。

### 07 空客 5月交付 53 架飞机

5月，空客新增订单 27 架（7 架 A321neo、20 架 A330-900），调减订单 12 架（租赁商 NAC 的 2 架 A220-100 和 10 架 A220-300），净订单 15 架；1~5 月新增订单 254 架、净订单 237 架，未新增 A220 订单。5 月向 34 家客户交付 53 架（6 架 A220、41 架 A320neo 系列、2 架 A330neo、4 架 A350），1~5 月共交付 256 架（2023 年同期为 244 架）。截至 5 月底，储备订单量为 8579 架。

### 08 波音 5月交付 24 架飞机

5月，波音商用飞机项目仅新增 4 架 787-10 订单；共交付 24 架，包括 19 架 737MAX、1 架 767-300F、2 架 767 军用衍生机和 2 架 787-9，交付量与 4 月持平。截至 5 月 31 日，波音商用飞机储备订单为 5625 架。

### 09 空客提升 A330neo 高原性能

6月12日，空客透露，为提升 A330neo 在高海拔机场的运营能力，已于 3 月在墨西哥托卢卡、玻利维亚拉巴斯成功试飞 A330-900，计划 2025 年第一季度获海拔 12500 英尺机场运行认证（目前可运行海拔 8000 英尺机场）。此举将使 A330neo 获得与 A330ceo 相同的高原性能，并可在中国西藏拉萨、埃塞俄比亚的斯亚贝巴、哥伦比亚波哥大、厄瓜多尔基多等地运营。

### 10 波音 777 货机运营 15 周年

自波音在 2009 年交付首架 777 货机（777F）以来，这款畅销的宽体货机已经运输了全球五分之一的空运货物，现役机队超过 250 架。波音预计将在 2027 年开始交付 777-8 货机，与 747-400 相比，该机可以在油耗和二氧化碳排放方面实现 30% 的改进。波音预测全球货机机队到 2040 年将增长到 3435 架。

### 11 俄罗斯国产型 SJ-100 开始取证试飞

6月10日，俄罗斯首架国产型 SJ-100 原型机（生产序列号为 97001）完成首次取证试飞。试飞持续 2.5 小时，测试了俄制燃油系统。该机配装俄制航电、辅助动力系统、飞控、电源等机载系统，但因 PD-8 发动机研制进展推迟，仍配装俄法 SaM146 发动机。

### 12 IATA 预测 2024 年全球航司净利润将达 305 亿美元

6月3日，IATA 宣布，预计 2024 年全球航司营收将达到 9960 亿美元，客运量达到 49.6 亿人次，均创历史新高，净利润达到 305 亿美元（净利润率为 3.1%），较此前预测的 257 亿美元（净利润率为 2.7%）有所提升，2024 年交付的飞机数量为 1583 架，较此前预期有所下降。





# “两机”专项第一轮论证 和纳入中推发动机

## ——《张彦仲传》摘编（七）

文 | 归永嘉 李韶华 雷杰佳

### 第一轮论证——方向任务之争

论证委员会开始论证航空发动机及燃气轮机重大专项时，首先要回答：这个专项干什么？达到什么目标？如何实现这个目标？关键要深入调查研究，听取各方面的意见。

2012年2月7日至10日，论证委员会认真听取了工信部、科技部、教育部、能源局、国防科工局、民航局、中科院、中航工业、中国商飞、船舶工业、三油集团、三大动力等部门及企业的计划和意见。制造部门、使用部门、管理部门的想法不完全一致，重点不突出。专家研究认为，要从实际需求出发，明确专项的奋斗目标和研究重点。

2012年2月中旬，组织三个组到东北、西南和华东、中南地区去调研。2月29日至3月1日听取各调研组的汇报，并进行论证。3月21日开始分航空及燃机两个组分专业论证。3月30日至6月

28日，航空发动机组听取工信部、国防科工局、中航工业等单位的第二轮汇报。对所提出的项目、技术、经费和进度等，进行了认真的论证。专家对专项的目标、进度、重点型号、关键技术、基础研究、人才培养、条件建设等内容反复研究，提出初步意见。

专项干什么？完成什么任务？出现过两种不同的意见。第一种意见：重点研究核心机技术，不搞型号，提出“研究不同流量的六种核心机，将来用户需要什么发动机，重新立项开展新型号的研制”。这个方案没有考虑用户的需求和当前的突出问题，炒很多“半成品菜”。而六

个核心机仅流量不同，属于同一代水平、同一个技术档次。另一种意见：重点研制装备型号和验证机，带动基础研究。这个方案强调了型号产品的任务，难以解决基础研究和能力建设薄弱的问题。后来，论证委又组织听取了中国科学院关于基础研究的意见，教育部对人才培养的意见，工信部、科工局关于条件建设的意见。

2012年6月底，专家委综合各方面的意见，研究认为专项定位必须统筹型号研制、基础研究和能力建设；统筹航发和燃机的发展。基础研究和关键技术是型号研制和创新的技术支撑，型号研制是基础研究和关键技术的验证和应用平台。专项实施“技术推动与型号牵引相结合”，型号与基础协调发展，不可偏颇。

根据这个定位，专家委对专项的目标

任务、重点关键、基础研究、能力建设等内容分类认真研究，提出一个初步意见。方案以“夯实基础、突破关键、强化验证、攻坚型号、提升能力”为纲领，统筹安排基础研究、关键技术、工程验证、重点型号、条件建设和人才培养等内容。

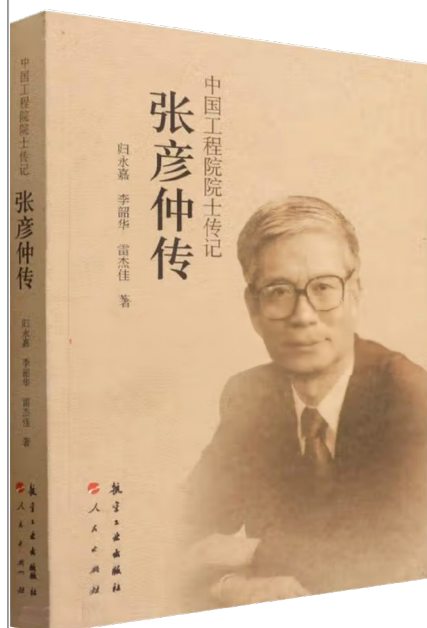
在综合协调各方面的意见后，论证委提出专项的总体奋斗目标和主要任务是：

通过专项实施和努力，实现我国航空发动机从测仿研制到自主创新发展的战略转变，促使我国早日进入世界航空发动机及燃气轮机先进国家行列。

在总体目标任务的要求下，论证委反复研究，对几百个项目论证优化，突出重点，凝聚为：夯实三类基础，突破九项关键技术，开展六类技术集成验证，强化四项工程验证机，攻克六项重点型号，提升三项能力等重点任务。到2012年6月底，基本上形成专项的基本技术方案。

### 中推发动机列入专项

中等推力（8000千克力至10000千克力）涡扇发动机，开始于20世纪80年代的高推比预研（见第七章第二节《三代飞机“五大关键”的突破》），已经完成三大部件、核心机和验证机的研制。分别





张彦仲与有关专家协商后，提出：把中推发动机安排到工程验证机类，要求在 2020 年实现工程验证机的研制及挂飞，完成第四代中推发动机的工程验证机。

获得过国家科学技术进步一、二等奖。后来由于种种原因下马停止研制。这中间专家不停地呼吁恢复中推发动机的研制，但由于长期争论，至今已有 30 多年，仍未得到解决。

中等推力涡扇发动机，单发可用于轻型战斗机、教练机、无人机，双发可用于中型战斗机、舰载机、轰炸机等，是各国军用涡扇发动机的主要机种。中等推力发动机占全世界军用涡扇发动机产量的 56% 左右。

中等推力涡扇发动机，能不能列入这次航空发动机及燃气轮机重大科技专项的实施方案？引起各方面的极大关注。论证期间，刘大响院士等人多次建议把中推发动机列入重大专项。4 月初，李明院士找张彦仲主任，说燃气院的专家和他们几位院士对中推发动机有重要意见要反映。后来，顾诵芬院士也反映这个意见。张彦仲觉得，不能仅听发动机专家的意见，还要听听飞机专家的意见，才更有说服力。后来，他找了李明、顾诵芬等飞机院士，请飞机设计专家从飞机发展的需求，提出对中推发动机的意见。2012 年 4 月 30 日，八名飞机院士联名写信给刘延东国务委员和张彦仲主任，建议把中等推力涡扇发动机纳入航空发动机重大专项。八位院

士是：歼 8 II 总设计师顾诵芬、歼 11 系列总设计师李明、“飞豹”总设计师陈一坚、歼 10 总设计师宋文骢、教 8 总设计师石屏、四代机背景型号总设计师李天、歼 8F 总设计师杨凤田、大型运输机总设计师唐长红。

八位总师的信引起国务院领导的高度重视，5 月 2 日刘延东国务委员把信批给“万钢、志刚和彦仲同志阅研”。根据领导同志的批示，2012 年 6 月 6 日，张彦仲主持论证委员会进行传达研究，大家提出：希望进一步了解详细情况。2012 年 6 月 19 日，论证委员会认真听取了写信的部分专家：顾诵芬、李明、李天及杨凤田院士的意见；还请中航工业总经理谭瑞松代表集团公司做汇报，正式表明集团公司的态度。经过认真研究讨论，刘大响、陈懋章、徐建中、甘晓华、尹泽勇院士和叶金福、孙刚等论证委员会绝大多数专家同意：把中等推力涡扇发动机纳入航空发动机及燃气轮机重大专项。

由于飞机型号尚未立项及历史争论，论证委既要遵照动力先行的科学规律，又要考虑到短短七年，也难以完成一个新型号的研制。张彦仲与有关专家协商后，提出：把中推发动机安排到工程验证机类，要求在 2020 年实现工程验证机的研制及挂飞，完成第四代中推发动机的工程验证机。这个意见妥善地解决了飞机型号立项装机和长远发展的矛盾，体现了动力先行，取得大家一致同意。由张彦仲代表论证委上报科技部、工信部和延东副总理等领导。国务院领导很快就圈阅同意。

这样，中推发动机就纳入“两机”重大专项，结束了 30 多年来的争论！■

## 潜力新材料在先进航空结构中的应用

文 | 王岩

“一代材料、一代飞机。”复合材料、新型轻质合金等新材料，以及增材制造、整体化制造等新工艺的涌现，为商用飞机安全性、经济性、舒适性和环保性的发展提供了更多的途径。其中，以碳纤维复合材料和先进合金为代表的先进材料，以其高比强度和比刚度、可设计性强、抗疲劳和耐腐蚀等优异的性能特点成为提升商用飞机竞争力的一大选择。此外，与之相结合的先进功能和智能材料的应用也为解决民机问题提供了新的途径。

当前，美欧等国家和地区已将复合材料和新型轻质合金等新材料用于实际型号应用，如波音 787 和空客 A350XWB 上复合材料用量均达到或超过 50%。在此基础上，为了充分发掘新材料应用潜力，提升民机性能和环保水平，空客提出了“未来之翼”，波音提出了“环保验证机”等预先研究计划和项目，对先进金属材料及可回收金属材料、低成本和快速制造复合材料、环保功能性涂层材料等开展了应用验证。而 NASA 和欧盟等通过一系列研究计划，也对未

▼ 热塑





来民机热塑性材料、智能化材料和功能化材料应用的低成本化和多功能化趋势进行了研究。由此可见，新型先进材料在商用飞机应用领域研究工作的开展将直接影响新一代飞机的发展。

## 先进新型合金材料

在传统航空用铝合金基础上，通过成分与工艺改性，开发具有优势性能的先进新型合金材料可有效实现飞机结构减重。

具有代表性的陶铝新材料是以铝合金材料为基体，通过原位生成纳米陶瓷颗粒强化相复合而成，以实现铝合金基体的塑性、韧性与强化相的高强度、高模量的优化组合，满足材料在复杂应用场合下的需求。目前，陶铝新材料在航空、航天和汽车工业有着广泛的应用前景。

铝镁钽合金以其优异的可焊接与耐腐蚀性能成为另一种极具竞争力的商用飞机潜在应用材料。相较 6XXX 系铝合金，铝镁钽合金具有更高的静力、疲劳与损伤断裂性能、优异的焊接性能和更好的耐腐蚀性能。目前德国莱茵铝业 AA5024、AA5028 等中高强度铝镁钽合金已列入空客材料采购目录。空客研发的 Scalmalloy 高强度铝镁钽合金已经用于增材制造，在 2016 年，空客用该材料 3D 打印了机舱隔断，帮助空客 A320 客机实现了瘦身。

此外，飞机大尺寸主承力结构对高强度钛合金和损伤容限型钛合金具有强烈的需求，以 Ti-1023 为代表的针对损伤容限设计需求的高强度高韧钛合金具有比强度高、断裂韧性好、淬透性好、锻造温度低、耐疲劳性能好，抗应力腐蚀性能强等特点，可应用于起落架等主承力结构代替 Ti-6Al-4V，可实现减重 20% 的收益，对提高结构效率，降低油耗量、成本等具有重要作用和积极意义，其已在空客 A320、波音 777 等飞机获得应用。

## 形状记忆合金材料

形状记忆合金 (SMA) 是一类智能金属材料，具有感应和驱动一体化特性，即“材料即器件”。形状记忆合金具有形状记忆效应和超弹性两大特性，该特性使其可以很好地应用在航空工业领域。在温度或电流作用下形状记忆合金可发生自驱动效应，无需马达、电机等复杂驱动器件。以形状记忆合金材料制备的智能驱动装置，由于重量轻、变形连续协调、相对变形量较大、无噪声、易于控制等特点而成为新型折叠翼梢、变体机翼、防除冰前缘、降噪短舱等智能结构的热门方案。其具有以下特点：驱动条件简单；输出力和输出位移较大，能满足一些需要大变形和高输出力的需求；空间需求小，设计与布置灵活；静强度高，

不容易损坏；无污染和噪声等。

形状记忆合金在未来民机上具备较大的应用潜力，波音、空客针对 SMA 作动器、门锁类机构已经进行了专利布局。变形机翼方面，SMA 也存在一定的应用价值，其中南京航空航天大学的学者在缩比验证机上研制了基于栅格结构的变高度翼梢小翼以及采用 SMA 弹簧驱动的变倾斜角翼梢小翼。

民用飞机活动面结构是实现飞机飞行操控、增升的重要结构，目前，该类结构的作动主要通过不同形式的作动器实现，如液压作动器、电液作动器等，这些传统形式的作动器相对重量较大。面对未来民用飞机更经济、更环保的迫切要求，飞机减重需要从各方面综合考虑。在飞机活动面结构作动器方面，有研究表明，SMA 作动器相对于传统作动器可实现减重 50% 以上。NASA 和波音公司共同合作开展的“SAW (Spanwise Adaptive Wing)”项目针对 SMA 作动器，从材料、工艺、结构到缩比平台验证和全尺寸平台验证，将 SMA 作动装置在飞机上的应用进行了技术可行性论证。

## 高性能 / 耐温复合材料

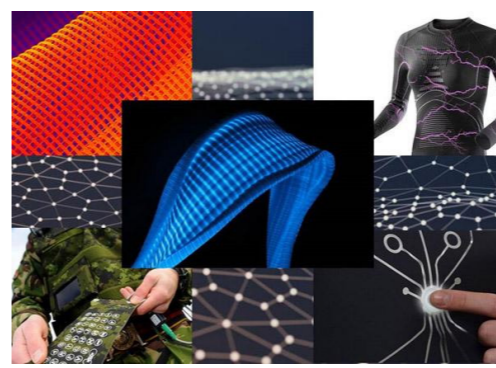
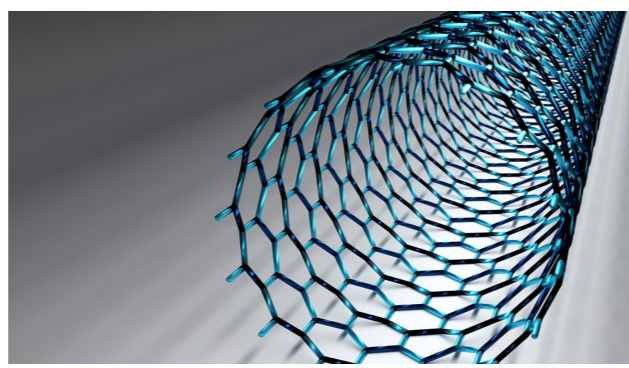
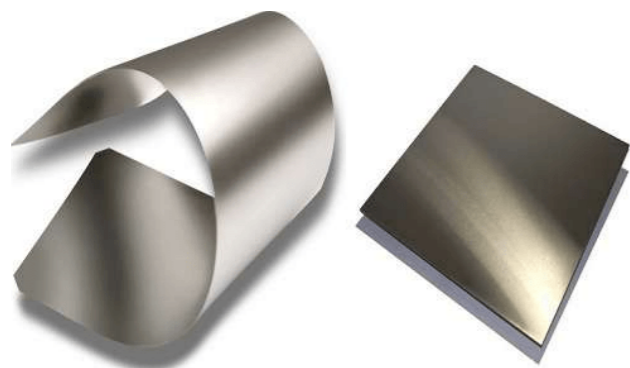
复合材料不论是纤维还是基体都有繁多的种类，由它们组合而成的复合材料种

类更多。航空复合材料需要拥有比一般复合材料更好、更稳定的性能。碳纤维树脂基复合材料比强度和比模量高，材料性能的可剪裁性好，成型工艺具有多选择性，以及良好的耐疲劳性能和抗腐蚀性能等，已在航空领域广泛应用。目前，碳纤维复合材料的运用已成为衡量民机先进性的重要标志之一。除此以外，以陶瓷基复合材料为代表的耐温复合材料等也成为民机实现结构轻量化的潜在途径。

2014 年 3 月，东丽公司利用传统的 PAN 溶液纺丝技术，精细控制碳化过程，采用先进的纳米技术，在纳米尺度上改善碳纤维的微结构，使其强度和模量都得到大幅提升，从而研制成功 T1100G 级别的高性能碳纤维，其模量提升至 324GPa、强度提升至 7.0GPa。日、美相关企业和机构都明确表示高性能碳纤维的应用目标是航空航天高端市场，旨在替代目前正在广泛使用的碳纤维产品，提高飞机结构部件强度、刚度等综合性能，减薄结构厚度、减轻重量，提高飞行速度，大幅提升机动性能。全球最大的一级航空结构制造商 Spirit Aerosystem 公司基于 T1100 推出创新型复合材料机身壁板，并预计该壁板能够降低未来复合材料机身 30% 的生产成本。2022 年，Overair 公司宣布与东丽复合材料美国公司合作，使用新一代 T1100/3960 高性能材料建造“蝴蝶”电动垂直起降飞行器的主要机身部件。

随着航空飞行器技术快速发展，更加严酷的极端环境对飞机材料提出了更高的要求，对低温绝热、耐高温材料及抗辐射等极端环境材料的发展与应用提出迫切需要。高超音速飞机无论是飞机表面还是内部动力装置都产生了越来越明显的高温问题，对材料的耐高温性能提出了更高的要求。高温 / 热防护材料方面包括先进高温合金和陶瓷基复合材料、超高温陶瓷、高温隔热材料、耐火

▼ 记忆合金 (左)  
纳米材料 (中)  
智能材料 (右)





材料以及热防护涂层技术等。

## 热塑性复合材料

纤维增强热塑性复合材料是指以碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维等材料增强的热塑性树脂的复合材料。与热固性复合材料相比，连续碳纤维增强热塑性复合材料具有出色的冲击后压缩性能、高断裂韧性、可循环利用、存储成本较低、工艺周期短等优点，可用于使用环境较为苛刻、承载能力要求较高的场合。并且，由于热塑性复合材料结构件之间可焊接成型，无需钻铆，可大大降低结构的重量和制造成本、提高结构效率。目前，航空用热塑性复合材料体系包括 CF/PPS、CF/PEEK、CF/PEKK 等，分别用于功能性结构件和主/次承力结构件。此外，尼龙、PI 等热塑性材料体系也有应用。

世界各主要国家均极为重视对热塑性复合材料的研究。近年来，在欧盟以及空客、福克航宇等航空制造企业的强力推动下，热塑性复合材料在民机上频频崭露头角，在一些部件上成为热固性复合材料的有力竞争对手。最具代表性的应用有空客 A340 和 A380 飞机上使用的热塑性复合材料机翼前缘和龙骨梁结构。前缘的蒙皮与肋的连结，采用了先进的热塑性焊接技术。同时，空客在 A350 飞机上应用了 PEEK 先进复合材料的机身连接角片，其数量多达 3000 多个。可负担的航空主结构热塑性材料组织（TAPAC）于 2011 年研制出可用于平行尾翼等结构的热塑性复合材料扭力盒段以及带有加筋结构的热塑性复合材料机身壁板等典型结构件。2024 年，弗劳恩霍夫制造工艺与应用材料研究所（IFAM）宣布，其与合作伙伴联合完成了长 8 米、直径 4 米的热塑性复合材料机身演示验证件，是目前世界上最大的碳纤维增强热塑性复合材

料机身部件。该项目中使用的材料和制造技术可在高速生产过程中减轻约 10% 的结构重量，并降低 10% 的成本。

## 先进智能材料

智能材料和结构将传感器、驱动器、控制元件与机体结构融为一体，不仅具有承受载荷、传递运动的能力，而且具有检测（应力、应变、损伤、温度、压力等）、变形（改变结构外形和位置以获得最佳气动特性）、改变结构特性（结构应力应变分布、结构阻尼、固有频率、周围电磁场分布）等功能。智能材料的诞生使结构不但具备承载功能，还具备感知（自检测能力）、判断决策（自处理能力）甚至执行功能（自愈和自适应能力）。

目前，碳纳米管、石墨烯等纳米材料因其良好的热学、电学和光学性能成为智能材料领域研究的热点。此外，形状记忆合金、压电材料及电流变体材料等智能材料也因其良好的监测反馈集成性而逐渐得到广泛应用。

智能复合材料的损伤敏感性随近年国内外大量研究而迅速提升，其在损伤监测中的应用已成为研究热点。民机智能复合材料的实现将依托三种方式：一是将石墨烯或碳纳米管粉体分散于基体材料中，通过在复合材料变形过程中纳米材料的结构电阻的变化实现基体材料监测；二是将纳米材料通过特定方式形成导电薄膜状网络结构，通过材料变形过程中导电网络结构电学性能的变化实现监测；三是将纳米材料涂覆于其他纤维材料表面，提高纤维材料的导电性，通过变形过程中导电纤维电阻的变化来监测结构变形。这种材料从微观结构感知到宏观参数反应实现了自感知、自检测、自适应的目的。针对该领域的集中研发，有望在材料制备、传感特性等方面进一步突破，以期在民

机未来型号中发挥重要作用。

在复合材料中预置或附加形状记忆合金、压电材料及电流变体材料等智能动作材料，实现对复合材料结构的振动噪声控制、形状控制和基体增强，可以显著提高复合材料的使用效率，满足服役环境对复合材料结构的特殊要求。智能结构与材料科学、信息科学、仿生学和生命科学等诸多前沿学科密切相关，具有巨大的应用前景，并可能引发结构设计、制造、维护和控制等观念的革新。

## 结构功能一体化材料

随着民航环保需求的不断提升，世界各国先后启动了清洁天空项目，通过对新材料、新工艺、新技术的合作研究，减少燃油消耗和碳排放。结构功能一体化复合材料被认为是未来具有较大结构减重潜力的技术手段之一，其实现途径为将民机功能需求集成到现有结构中实现，将承载和功能结构合二为一。

现有的国际先进机型已经实现了特定部位的结构功能一体化，如波音 787 采用的电热防除冰前缘和空客 A350 采用的金属条带 + 结构件的雷击防护网络等。相比于传统的气热除冰需铺设大量管路，电热防除冰一体化结构不需额外的结构铺设而节省了重量，且其热效率是气热方法的 1.5 倍以上；而通过导电材料与结构的功能一体化设计，可以提高结构复合材料的导电能力，实现对机体结构和系统的有效保护。

此外，承载储能复合材料结构技术是目前备受关注的研究方向，其特点是使复合材料结构在满足承载功能的同时，具备一定的电存储性能，从而实现飞机重量的有效降低。随着低空经济的发展，目前自重较大的电池动力系统制约了无人机的续航里程以及有效承载能力。以碳纤维为载

体的结构储能复合材料有望节约载荷空间，减轻系统重量，提高电池能量密度，因此，成为了国内外高校和研究所的研究热点。

此外，飞机结构除了要承受飞行载荷，还要满足闪电防护、隔音降噪、防冰除冰、防火耐火等需求。传统的功能结构设计往往带来结构重量增加，导致飞行成本上升、经济性下降。石墨烯和碳纳米管等纳米材料、仿生材料、形状记忆合金材料等在光学、电学、力学、声学等方面具有优异的性能，其在航空结构上的应用将实现功能结构一体化设计，实现结构减重增效，具有广阔的前景。例如，石墨烯薄膜与复合材料机翼蒙皮一体化结构，可实现机翼蒙皮防除冰、闪电防护等功能，省去闪电防护铜网、引气防除冰管路等结构重量；波音 777-300 发动机喷口通过使用 SMA 材料实现构型变化降低噪声；南京航空航天大学采用 SMA 弹簧驱动实现变倾斜角翼梢小翼的验证机。纳米技术、仿生技术、新型功能材料的发展为民机结构功能一体化设计提供了可能。综上，结构功能一体化设计与制造有望为解决飞机功能问题提供新方法和新途径，同时也有望提升机体结构的效率、经济性和竞争性。

## 结语

新型金属材料、高性能复合材料、热塑性复合材料、智能材料和结构功能一体化等新型材料的不断涌现和成熟度提升为民机的发展带来了新的机遇和挑战。这些潜力材料具有重量轻，强度高，电学、热学、光学性能优异等特点，面对未来民用飞机更经济、更环保的迫切要求，具有非常大的应用潜力，甚至有望带来结构设计、制造、维护等观念的颠覆性创新，实现民机竞争力的提升。■



# 碳纤维向 航空工业的“浸润”

文 | 王岩

碳纤维复合材料由于其低密度、高强度、耐久性、耐腐蚀性等优良特性，已成为航空航天、交通运输和风能等领域的重要材料。最初，碳纤维复合材料主要用于飞机的次承力结构，随着技术的不断发展，碳纤维复合材料也逐渐用于飞机的主承力结构，且用量也有了较大提升。如波音 787 和空客 A350 碳纤维复合材料用量达到机体结构重量的 50% 以上。

## 碳纤维的迭代

碳纤维是构成复合材料的关键原材料，承担着复合材料结构件的大部分

▼ T100 壁板

载荷，其拉伸强度和弹性模量的双重提升是复合材料结构性能提升的关键途径，也是目前新型碳纤维材料研发的重要方向。

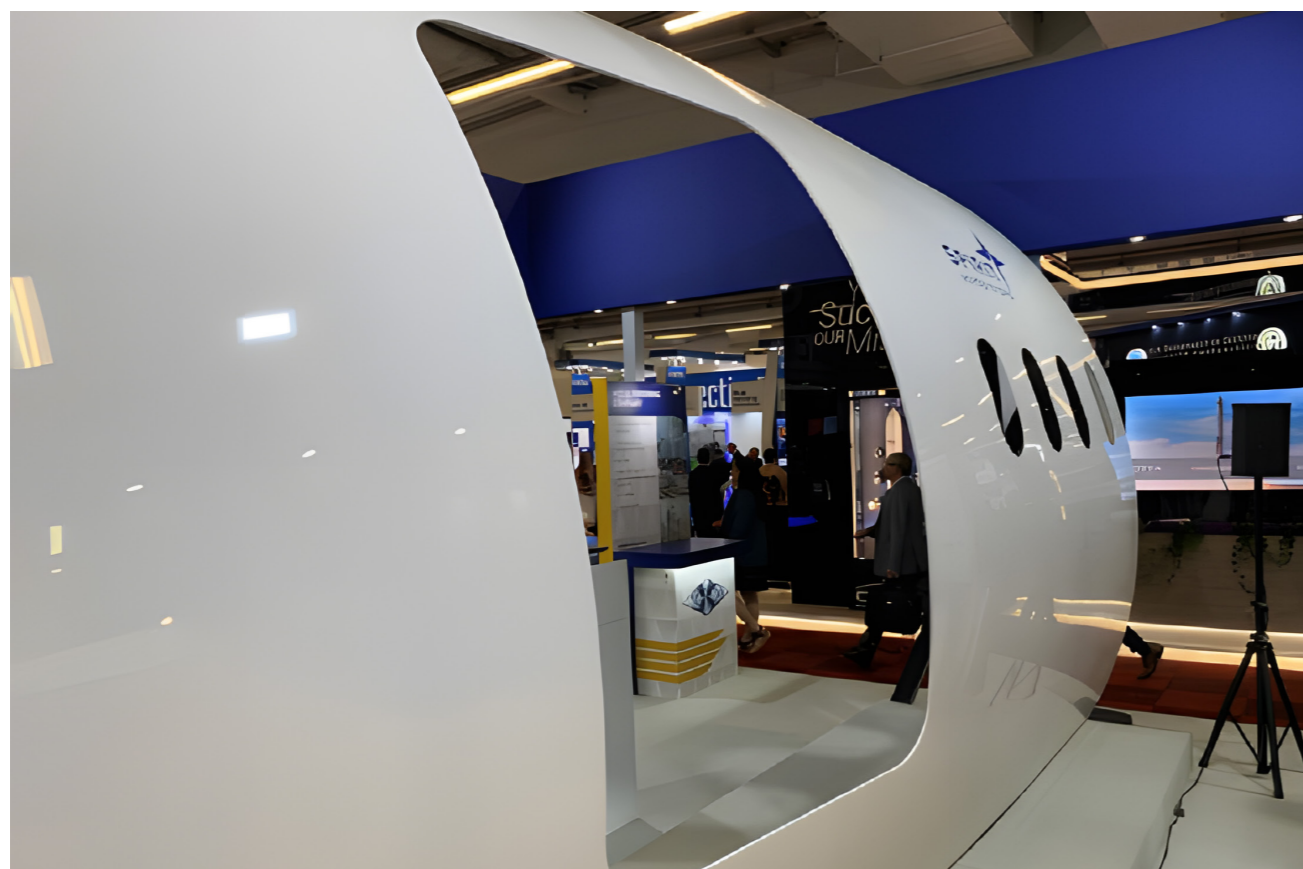
第一代碳纤维以 20 世纪 60 年代东丽公司生产的通用型 T300 级碳纤维和赫氏公司生产的 AS4 低模量低强度碳纤维为代表。1971 年，东丽公司建立了 12 吨碳纤维生产能力并开始生产 Torayca®300，产品最初主要用于运动和休闲领域。石油危机的出现导致航空领域迫切需要降低机身重量以减少燃料消耗。波音和空客等飞机制造商提出将碳纤维增强复合材料用于飞机结构制造，但主要应用于不影响飞行安全的次承力结构。1980 年，波音提出了商用飞机制造对碳纤维的要求，波音 737 飞机的扰流板和波音 727 飞机的方向舵首次实现了 T300 级复合材料的装机应用，并

颁布了 BMS 相关材料标准。

第二代碳纤维以 20 世纪 80 年代东丽公司的 T800 级碳纤维和赫氏公司 IM7 的标模量高强碳纤维系列为代表。1981 年，波音公司提出高强度、大伸长率碳纤维的需求，促进了高性能碳纤维的研发步伐。1984 年，日本东丽公司率先研制成功 T800 级碳纤维；1986 年，T1000 级碳纤维研制成功；随后，日本东邦、三菱人造丝公司和美国赫氏公司相继研制出同类高性能碳纤维，为制造大型客机提供了新型复合材料。目前波音 787 和空客 A350 等主流机型的主承力结构广泛应用的是第二代碳纤维复合材料，即标模高强复合材料产品。

第二代的 T800 级碳纤维相比于第一代 T300 级碳纤维材料强度提高了 68%、

▼ T1100 壁板





模量提高了 28%，被应用在波音 787 的机身蒙皮、框、长桁和机翼前后梁等主要结构件中，使得每架飞机复合材料用量达 35 吨左右，东丽公司也成为波音 787 飞机主结构复合材料的独家供应商。日本航空共同开发促进基金财团法人在《碳纤维作为材料的应用动向》中明确指出：“波音 787 把外翼、中央翼、机身等关键部位更换成了碳纤维复合材料部件，使用量达到全部重量的 50% 以上，实现了 20% 轻量化。”第二代碳纤维在主承力结构大量应用，确立了复合材料在飞机结构应用上的重要地位。

2014 年 3 月，东丽宣布研制成功 T1100 级高性能碳纤维，标志着新一代的模量和强度双高的高性能碳纤维材料问世。东丽利用传统的 PAN 溶液纺丝技术，精细控制碳化过程，采用先进的纳米技术，在纳米尺度上改善碳纤维的微结构，从而使强度和模量都得到大幅提升。T1100G 碳纤维的拉伸强度为 6.6GPa，比 T800 级碳纤维提高了 12%；模量为 324GPa，比 T800 级材料提高了 10%。2017 年 6 月其强度又由 6.6GPa 更新至 7GPa。继东丽之后，达到 T1100 级别产品量产的企业只有日本三菱丽阳的 T1100 和美国赫氏的 HexTow IM10。但 IM10 的拉伸强度为 6895MPa，弹性模量为 314GPa，尚不及东丽的 T1100。

## 国内的突破

我国碳纤维行业起步于 20 世纪 60 年代，几乎和日美等国家同时起步，但由于存在相关知识储备不足、知识产权归属不明等问题，发展缓慢。同时，日本、美国等国家对碳纤维核心技术形成垄断，我国碳纤维生产技术和装备水平整体落后于国外。但近年来伴随着国家政策的大力扶

持，国内高性能碳纤维制备与应用技术取得了重大突破，基本掌握了高性能碳纤维研制和生产的核心技术，产品质量不断提高。但也存在不足之处：一是，T300/T700/T800 级碳纤维的规模化、稳定化、成本控制水平与国际水平相比仍有较大差距；二是，高性能 T1000/T1100 级碳纤维的相关研发和生产仍处于对标国际先进水平跟跑状态。

目前，国内具备高性能碳纤维复合材料生产能力的企业包括光威复材、江苏恒神、中复神鹰、中简科技等。光威复材在 2005 年生产的 GQ3522 碳纤维突破 T300 级碳纤维工程化关键技术，在 2013 年生产的 QM4035 级碳纤维指标达到 M40J 水平。江苏恒神主要生产高性能碳纤维有 HF20 系列、HF30 系列、HF40 系列、HF50 系列及高强高模 HM 系列。中复神鹰主要的产品型号以 T300 和 T700（对标日本东丽）为主，产品主要包括 SYT45、SYT45S、SYT49S、SYT55S、SYT65 和 SYM40 等。

在 T1000 和 T1100 级碳纤维研制方面，目前国内开展相关研究的单位有光威复材、中科院山西煤化所、山东大学、长盛科技、中复神鹰、江苏恒神等，多采用干喷湿纺原丝技术路线，实现碳纤维强度和模量的双提升。

我国 T1000 级碳纤维研究最先在 2014 年由江苏航科突破关键技术。2019 年，中复神鹰超高强度碳纤维百吨级工程化关键技术顺利通过验证并开始生产。同年，中科院山西煤炭化学研究所 T1000 级超强碳纤维验收。另外，山东威海拓展、江苏恒神等也实现了国产 T1000 级碳纤维的研究和生产。

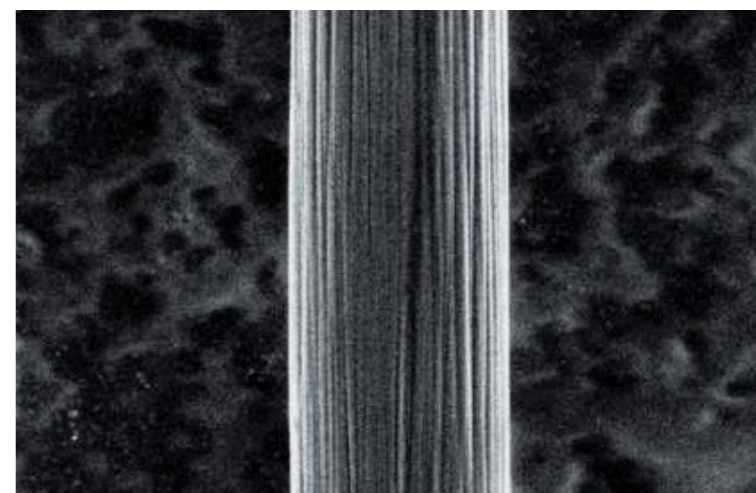
2021 年，中复神鹰取得 T1100 聚合关键技术突破，聚合物分子量和聚合液性能达到目标，并开发出了干喷湿纺 T1100

级碳纤维关键制备技术。2022 年至 2023 年，实现百吨级生产线试车生产。光威复材也于 2021 年在 T1100G 级产品方面实现关键技术突破。恒神公司在 2022 年的复合材料工业技术展会上，展示了新一代高性能碳纤维 HF60-12K（T1100 级）和高强高模碳纤维 HM55-6K（M55J 级）等产品。2022 年，华阳集团与中科院山西煤化所联手建设千吨级高性能碳纤维产线及其下游复合材料产业，包括千吨级 T1000、百吨级 T1100 等。

## 向低成本进军

在民用飞机领域，结构轻量化一直是民机设计追求的目标之一，而大型客机保持市场竞争力的手段之一就是采用性能更好的材料来提高结构效率，达到结构减重和降低成本的目标。例如，波音 787 飞机的机身和机翼主要结构件全部采用碳纤维复合材料，空客 A380 采用碳纤维复合材料生产中央翼盒、机尾组件以及压舱壁等。在通用航空领域，赛斯纳 TT 整个机身，赛斯纳 Cessna 350 的翼梁、机身梁、水平安定面、操纵面，西锐 Cirrus SR22 飞机主承力结构梁等部件均由碳纤维复合材料制造，美国比奇公司 Premier I 是第一架通过 FAA 认证的全复合材料机身喷气公务机，整个机身采用面板为碳纤维的蜂窝夹层结构。

以 T1100 为代表的最新一代碳纤维同时实现了拉伸强度和弹性模量的双重提升，成为下一代民机的选材新选择。日、美相关企业和机构都明确表示最新一代高性能碳纤维的应用目标是航空航天高端市场，替代目前的 T800 和 IM7 等第二代碳纤维产品，从而实现飞机结构部件强度、刚度等综合性能的提升，达到减轻结构重量、提升燃油效率的目标。



众所周知，一种新型号碳纤维产品进入航空等领域会经过漫长的验证期，如以 T300 和 T800 级碳纤维为代表的第一代和第二代复合材料从研发成功到应用都大约经历了十几年的时间，而最新一代的 T1100 级碳纤维复合材料的首次应用也是在高端体育用品领域。2018 年 10 月，全球高尔夫球杆顶级制造商 Graphite Design 公司推出了 Tour AD 系列高尔夫球杆，球杆采用了东丽 T1100G 碳纤维预浸料和先进的纳米合金技术，尤其是 T1100G 碳纤维应用，在保证纤维重量不增加前提下，大幅度提高了结构刚度。

在高端体育领域小试牛刀后，东丽

碳纤维（上）  
碳纤维微观形貌（下）



复合材料尤其是高性能复合材料在民机结构中的应用，不仅可实现结构减重，还能提升民机的承载能力，从而降低油耗，提升经济性，为民机发展和进步带来了新的机遇。

T1100 级碳纤维继续瞄向更高端空天领域，并逐步完善了该款纤维复合材料的数据库。东丽复合材料美国公司 2021 年 3 月 16 日发布消息，公司最新款结构预浸料 CMA 3900 已上市，具有广泛的公共允许设计数据库，并在 CMH17 手册的下一版修订版中将发布 5 批 3900 个允许的设计数据。

在 T1100 优异的模量和刚度组合下，已有结构制造商对其开展了应用初步验证，期待在航空领域充分发挥其性能优势。全球最大的一级航空结构制造商 Spirit Aerosystem 公司基于 T1100 推出创新型复合材料机身壁板，并预计该壁板能够降低未来复合材料机身 30% 的生产成本。2023 年，位于美国加利福尼亚州圣安娜 Overair Inc. 和 Toray Composite Materials America Inc. (东丽美国) 宣布了一项战略合作，将东丽先进的 T1100/3960 预浸料系统用于 Overair 的“蝴蝶” (Butterfly) 飞机原型项目。据说在安全性和效率方面无与伦比，蝴蝶飞机是一种低噪声、零排放的电动垂直起降 (eVTOL) 飞机，将在人口稠密的城市提供可持续的空中共享服务。

复合材料尤其是高性能复合材料在民机结构中的应用，不仅可实现结构减重，还能提升民机的承载能力，从而降低油耗，

提升经济性，为民机发展和进步带来了新的机遇，但是机遇往往也伴随着挑战，直接制约了复合材料的广泛应用。其中最突出的挑战之一就是材料成本和制造成本居高不下，如原材料的价格高、生产效率低、生产周期长以及固定设备投入高、能耗大等问题。因此，如何降低成本已成为复材在民机领域广泛应用的热点问题。

为了降低材料成本和生产成本、提高制造效率，欧美等国都制订了多种研发计划，以研制低成本复合材料结构。如美国 DMLCC (低成本复合材料设计和制造) 计划进行了包括液体成型和自动铺放等技术的批生产飞机低成本制造方法研究，目标是与以往类型的复合材料结构相比降低 50% 的成本。NASA 也提出了 ACT (先进复合材料) 计划，进行材料开发、分析技术开发、研究新的设计方法和制造方法，以期比原有金属结构降低 25% 的成本。国内在复合材料低成本研发方面，目前仍处于初级阶段，主要集中应用于风电和汽车等民用产品领域，而航空航天产品对于结构性能要求较高，且验证流程严格，因此，仍需大量针对材料和相关制造技术的验证和系统方法研究。

在航空方面，碳纤维增强复合材料在大飞机上的用量需求直线上升，直接促进了碳纤维工业的发展和先进复合材料技术的日趋完善。我国大飞机产业对于具有自主知识产权的高性能复合材料体系，尤其是具有高强高模和高环境适应性的新一代复合材料，需求极为迫切。尽早跟踪、评价和发展适用于国产民机的高性能碳纤维增强复合材料体系，是保障我国商用飞机结构技术水平和市场竞争能力的关键基础。■

## 铝钪合金材料的发展与应用

文 | 陈晨忻

作为一种对航空运输装备非常重要的轻合金，铝合金的宏观力学性能与其微观组织结构密切相关。通过改变铝合金组织中的主要合金元素，可以改变铝合金的微观组织结构，并明显提升材料的宏观力学性能和其他性能 (耐腐蚀性能、焊接性能等)。截至目前，微合金化已成为优化铝合金微观组织结构、改善铝合金材料综合性能的最有希望的一种技术发展策略。

钪 (Sc) 是已知的最有效的铝合金微合金化元素增强剂。钪在铝基体中的溶解度小于 0.35 wt.%，微量的钪元素加入到铝合金中便能有效改善铝合金微观组织结构，全面提高铝合金的强度、硬度、塑性、热稳定性及耐腐蚀性能。钪在铝合金中具有多重物理作用，包括固溶强化、颗粒强化、抑制再结晶等。本文将介绍含钪铝合金的历史发展、最新进展及其在航空装备制造领域的应用潜力。

图 | aircraft-aluminium.com





## 铝钪合金的研究与发展

把钪以合金元素的形式加入铝合金中，最早可以追溯到 20 世纪 60 年代。当时大部分工作是在二元 Al-Sc 和三元 Al-Mg-Sc 合金体系中进行的。20 世纪 70 年代，苏联科学院巴依科夫冶金与材料科学研究所和全俄轻合金研究院对钪在铝合金中的存在形式和作用机制进行了系统的研究。经过近四十年的努力，研制出了三大系列（Al-Mg-Sc、Al-Li-Sc、Al-Zn-Mg-Sc）共 14 个牌号的铝钪合金。钪原子在铝中的溶解度较低，通过采用合适的热处理工艺，可以析出高密度的 Al<sub>3</sub>Sc 纳米析出相。这种析出相为近球形，颗粒细小，分布弥散，与铝基体有良好的共格关系，可以极大程度提高铝合金的室温强度。此外，Al<sub>3</sub>Sc 纳米析出相在高温下（400 °C 内）具有良好的热稳定性粗化抗力，对合金的强耐热性极为有利。

在俄制铝钪合金中，1570 合金因强度最高、应用最广泛而备受关注。该合金在 -196 °C 至 70 °C 的工作温度范围内表现出优异的性能，并具有天然超塑性，可以替代俄制 LF6 铝合金（一种铝镁合金，其主要成分包括铝、镁、铜、锰和硅）用于液氧介质下的承载焊接结构，性能明显提升。此外，俄罗斯还开发了以 1970 为代表的铝锌镁钪合金，其材料强度达到 500 MPa 以上。

## 铝钪合金的工业化现状

2015 年，欧盟发布的《欧洲冶金路线图：生产商与终端用户展望》提出研究“铝镁钪合金的焊接性”。2020 年 9 月，欧盟公布了 29 种关键矿产资源清单，钪列入其中。爱励铝业在德国开发的 5024-H116 铝镁钪合金具备中高强度，高损伤

容限性，是非常有潜力的机身蒙皮材料，可用来替代传统 2xxx 系铝合金，已列入空客公司的 AIMS03-01-055 材料采购书中。5028 是 5024 的改良牌号，适配激光焊与搅拌摩擦焊，可实现双曲整体壁板蠕变成型工艺，耐腐蚀无需包铝，机身整体壁板结构相较 2524 合金可以实现 5% 的结构减重。爱励铝业公司生产的 AA5024-H116 铝钪合金板材已用于制造飞机机身与航天器结构零件。该 AA5024-H116 合金板材的典型厚度为 1.6 mm 至 8.0 mm，并且由于该合金的密度低，同时具有中等的力学性能、高的抗腐蚀性能、严格的尺寸偏差，因此该合金可取代 2524 合金作为机身蒙皮材料，目前 AA5024-H116 合金板材已通过空客公司 AIMS03-04-055 的认证。

2018 年 12 月，我国工业和信息化部发布的《重点新材料首批次应用示范指导目录（2018 年版）》将“高纯氧化钪”列入了新材料产业发展目录中。2019 年，我国工业和信息化部发布的《重点新材料首批次应用示范指导目录（2019 年版）》将“含 Sc 铝合金加工材、Al-Si-Sc 焊丝”列入了新材料产业发展目录中。中铝集团东北轻合金开发了含有钪和锆的 Al-Mg-Sc-Zr 系 5B70 合金，相比于传统不含钪和锆的 Al-Mg 系 5083 合金，其屈服和抗拉强度均提升 30% 以上。而且，该 Al-Mg-Sc-Zr 合金还可以保持与 5083 合金相当的抗腐蚀性能。目前，国内具备工业级铝钪合金生产能力的企业主要为东北轻合金公司与西南铝业。东北轻合金有限责任公司研制的大尺寸 5B70 铝钪合金板材，可以供应最大板厚 70 mm、最大宽幅 3500 mm 的大型铝合金厚板；薄板产品和型材产品可以进行定制化生产，薄板制品厚度范围为 2 mm 至 6 mm，最大宽幅为 1500 mm。西南铝自行研发了 5K40 材料，并在薄板研制方面进展显著。

Al-Zn-Mg 合金是时效可强化型合金，具有强度高、加工性能好、焊接性能优良等特点，是目前飞机等交通工具中不可缺少的重要结构材料。在中强可焊 Al-Zn-Mg 的基础上，添加钪和锆合金元素，可以在组织中形成细小弥散的 Al<sub>3</sub>(Sc, Zr) 纳米颗粒，从而显著改善合金的力学性能和抗应力腐蚀性能。美国航天局兰利研究中心（Langley Research Center）开发了牌号为 C557 的三元铝钪合金，准备将其应用于型号任务中。该合金在低温（-200 °C）、室温和高温（107 °C）下的静强度、裂纹扩展和断裂韧性均达到或优

于 2524 合金。美国西北大学开发了 Al-Zn-Mg-Sc 合金 7000 系超高强铝合金，抗拉强度达到 680 MPa。现已形成中高强铝钪合金与超高强 Al-Zn-Mg-Sc 共同发展的格局。Al-Zn-Mg-Cu-Sc 系合金是一种高强铝合金，其抗拉强度可超过 800 MPa。现阶段铝钪合金主要牌号的名义成分和基础性能参数汇总如下，详见表 1 和表 2。

## 铝钪合金的应用前景

高强度的 Al-Zn-Mg-Cu-Sc 和 Al-Cu-Li-Sc 合金被应用于承载结构件，包括俄罗

表 1 | 铝钪合金的名义成分

表 2 | 铝钪合金微观组织与拉伸性能

合金	Mg	Mn	Sc	Zr	Zn	Fe	Si	Ti	Cu	Al
AA5024	5.1	0.2	0.4	0.09	0.25	0.4	0.32	0.2	0.2	Ba1.
1575C	6	0.35	0.2	0.08	-	-	-	-	-	Ba1.
01570C	5.4	0.37	0.2	0.09	-	0.07	0.04	0.29		Ba1.
5B70	6.1	0.3	0.25	0.1	0.05	0.10	0.20	0.03		Ba1.
Al-Mg-Mn-0.10Sc-0.12Zr	6	0.4	0.1	0.12	-	0.08	0.04	-		Ba1.
Al-3Mg-0.36Sc-0.14Zr	3	0.002	0.36	0.14	0.29	0.1	0.05	0.012		Ba1.
Al-6Mg-0.3Sc-0.15Zr	6.15	0.31	0.3	0.15	-	0.09	0.068	0.027		Ba1.
Al-6.01Mg-0.45Mn-0.25Sc-0.10Zr	6.01	0.45	0.25	0.1	-	0.02	0.06	-		Ba1.
Al-5Zn-2Mg-0.55Cu-0.4Sc	2.03	-	0.43	-	5.08	0.11	-	-	0.56	Ba1.

合金	热处理状态	平均晶粒尺寸 (μm)	弥散相体积分数 (%)	弥散相平均直径 (nm)	屈服强度 (Mpa)	抗拉强度 (Mpa)	延伸率 (%)
AA5024	H116			<20	299	392	17.3
1575C	热轧态		0.08	-	295	450	20
01570C	退火态	30	0.10	9	278	418	23
01570C	热轧板	3.1	0.10	9	307	419	17
01570C	冷轧板	3.8	0.10	9	463	514	5
5B70	热轧板				288	416	18
Al-3Mg-0.36Sc-0.14Zr	冷轧板			8	425	462	5
Al-3Mg-0.36Sc-0.14Zr	人工时效			8	403	441	7
Al-6Mg-0.3Sc-0.15Zr	冷轧态	1.27	0.32	9.19	297	421	20
Al-6Mg-0.3Sc-0.15Zr	退火态	6.34	0.33	17.64	193	387	31.2
Al-6.01Mg-0.45Mn-0.25Sc-0.10Zr	退火态			12	312	422	20.7
Al-5Zn-2Mg-0.55Cu-0.4Sc	热挤压	-	-	0.288	10.1	373	490



斯的米格 21 和米格 29 型战斗机。俄罗斯航天飞行器“火星一号”的仪表盘由 1570 铝钪合金制作，共减重 20%。“火星-96”航天飞行器的仪表舱承力件由含钪的 1970 铝合金制作，仪表舱减重 10%。

在“洁净天空”计划以及欧盟“2050 飞行路线”项目中，空客基于 5024 铝钪合金的后续牌号 AA5028-H116 铝钪合金面向 A321 飞机开展整体化货舱舱门设计研发、制造及装机试飞试验，以 AA5028 为代表的铝钪合金展现出了良好的加工成型和焊接性能。利用搅拌摩擦焊、激光焊等先进焊接工艺实现含钪铝合金材料的可靠连接。在飞机加筋薄板类结构中逐步实现

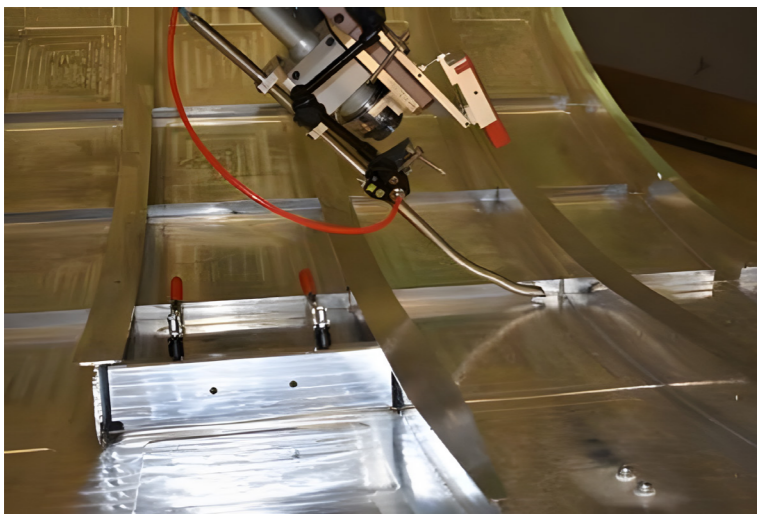
“以焊代铆”，不仅维持了飞机材料的一致性和结构整体性，实现高效低成本制造，同时兼有减重和密封效果。

中国航天特种材料研究所对铝钪 5B70 合金的应用研究工作，突破了变壁厚构件强力旋压、耐蚀与强度匹配性控制、焊接残余应力控制技术，制备出了铝钪合金适配焊丝，合金中厚板搅拌摩擦焊的接头强度系数可达到 0.92。中国空间技术研究院、中南大学等针对 5B70 材料进行了大量的力学性能测试和工艺性试验，对 5A06 的结构选材方案进行升级迭代，已开始将 5B70 铝合金应用于空间站密封舱及返回舱整体加筋壁板主结构。板式结构增压舱整体壁板通过采用蒙皮和加强筋的组合设计，实现了更高的结构集成度和重量优化，在提高了整体刚性和强度的同时减少了连接部件的数量和复杂性，从而在保持高性能的同时进一步减轻了重量。随着 5B70 材料工程应用的推广，5B70 材料的使用量将逐渐增加并超过最低供应门槛，有助于确保原材料的持续生产和质量稳定，并显著降低原材料价格。

如前所述，尽管通过钪微合金化提高了铝合金的诸多性能，但由于钪价格高昂且稀缺，限制了铝钪合金的应用范围。含钪铝合金材料相较 Al-Cu、Al-Zn、Al-Zn-Mg 等铝合金材料，良好的综合力学性能、耐腐蚀特性和优良的加工特性使其在航空航天等工业领域的主结构件制造方面具有广阔的应用前景。随着钪微合金化技术研究的不断深入，供应链、产业链配套完善，制约铝钪合金大规模工业化应用的价格成本因素将逐步改善，铝钪合金良好的综合力学性能、耐腐蚀特性和优良的加工特性，使其在航空装备制造领域具有明确的结构减重优势和广泛的应用潜力。■

图 1 | 铝钪合金机身壁板

图 2 | 铝钪合金焊接舱门



# 飞机制造商或加速新一代窄体客机研发

文 | 杨敏 张洋 冯鲁文

2024 年 4 月 7 日，日本政府发布新版《飞机产业战略》（上一版于 2014 年发布），其中明确提出了新一代窄体客机研发计划。在此之前，波音和空客也曾提出，将研制替代当前 737MAX 和 A320neo 的下一代窄体客机。与此同时，巴航工业正重新考虑进入低端窄体客机市场。美国初创企业捷零公司正在开展翼身融合体飞机研发，该布局也可用于窄体客机。因此，总体来看，国外制造商已经纷纷将下一代窄体客机的研制计划提上了日程，这或将对 2035 年前后全球商用飞机市场产生重大影响。

图 | NASA





## 新一代窄体客机研制动态

美国作为传统的航空强国，在新一代窄体客机的研制上，美国航空航天局（NASA）和波音或将再次强强联手。根据公开信息显示，双方将合作并投入可观的资金，用于研发 X-66A 桁架支撑翼演示验证机。

2023 年 6 月，美国航空航天局和波音宣布，双方将共同研制一款编号为 X-66A 的桁架支撑翼演示验证机，这也是美国航空航天局“可持续飞行演示验证机”（SFD）项目中的首型全尺寸 X 系列飞机。该机以马赫数 0.8 时的巡航性能为优化设计点，在 MD-90 窄体客机的基础上进行大幅改装，主要是用桁架支撑翼取代原来的机翼，且翼展由 MD-90 的 32.86 米增加到 44 米多。按计划，X-66A 演示验证机将从 2028 年开始在美国航空航天局位于阿姆斯特朗的飞行研究中心开始为期一年的飞行试验。从 2023 年~2030 年，美国航空航天局将为 X-66A 项目投资 4.25 亿美元，并提供专业技术和试验设施等支持；波音及其合作伙伴将为该项目投入约 7.25 亿美元。美国航空航天局认为，X-66A 的桁架支撑翼可将窄体客机油耗降低 9%~10%，与推进系统、材料和系统架构技术进一步结合后，油耗最多可降低 30%。综合来看，波音新一代窄体客机可能会选用桁架支撑翼，同时其机身可能采用更宽、圆形或椭圆形客舱截面；动力系统还未确定，可能的选择包括 CFM 国际公司的开式转子发动机、美国普惠公司的下一代齿轮传动风扇发动机，以及英国罗罗公司的超扇发动机。

2024 年 2 月，空客首次披露其下一代窄体客机（NGSA）项目，并透露其发展路线是将传统方案与颠覆性技术相结合。这种设计可能沿用传统的管状机身，但采用先进机翼设计、气动改进、更高效

推进系统，并完全使用可持续航空燃料等。

空客计划在 2027 年~2028 年启动该项目，2035 年~2040 年投入运营。该型机可能设置 180~240 个座位，外形尺寸很大程度上取决于推进系统的选择。空客一直在和美国 GE 公司密切合作，研究将开式转子发动机用于其新一代窄体客机，但普惠和罗罗的上述新型发动机可能也是备选方案。在机翼方面，该型机可能采用“海鸥式机翼”（鸥形翼），获得更大的距地高度以适应大尺寸发动机；为实现更高效的巡航，机翼翼展可能也会加长，为此可能采用折叠机翼以适应现有机场设施的要求。此外，空客还将在下一代窄体客机项目中改进其生产系统，创新工业生产模式，优化工业生产组织，高效提升集成能力。

另一家飞机制造商巴航工业则有意争夺低端窄体客机市场。巴航工业在推出 E2 系列支线客机之前曾考虑研发更大型的商用飞机，但经过慎重考虑后采取了保守策略，开发了相对较小的 E190/195 E2 支线客机，不对波音和空客飞机构成竞争。但是最近美国《华尔街日报》、英国《金融时报》等权威商业媒体报道，巴航工业正在考虑研发新客机，进入低端窄体客机市场。如《金融时报》2024 年 5 月 2 日报道称，巴航工业正在研究一种新客机的选择，它可能会发展成为窄体客机或新型远程公务机，其中发展公务机的案例计划在 2025 年年底前完成，并提交公司董事会批准。巴航工业表示“有能力开发新型窄体飞机”，但“近年来已开发了新型且非常成功的产品组合，公司正专注于销售这些产品”，且“公司目前没有任何大规模投资的规划”。巴航工业预计会在未来几年内做出是否研发一款新的窄体客机的决定。

日本新一代国产客机的研制直接将目

标瞄准了新能源飞机市场。目前，日本政府新的《飞机产业战略》中并未指明具体是何种“新能源”，仅提出“氢能或其他替代能源”，因此可能包括氢燃料电池、氢燃烧或混合动力等选择。另外，该战略还强调多方参与的研发模式，除了三菱重工等飞机制造商和零部件公司，还将包括在氢动力领域领先的日本汽车制造商等。此外，日本政府也不排除与海外企业的合作，以引入更多的技术和市场资源。

2023 年 4 月，美国捷零公司推出 Z-5 翼身融合体飞机方案，宣称其气动效率比波音 767 或空客 A330 提高 50%，该方案适用于 250 座级宽体客机，但捷零公司表示该方案也可用于更小的客机。2023 年 8 月，该公司获得美国国防部一份总金额 2.35 亿美元的合同，要求制造 1 架 XBW-1 全尺寸演示验证机，并从 2027 年开始试飞。XBW-1 研发项目于 2024 年 1 月通过了系统需求评审，计划 6 月完成初步设计评审，2025 年上半年完成详细设计方案。同时，

捷零公司正在准备开展翼身融合体飞机的 1:8 缩比演示验证机试飞。

## 新一代飞机的几点研判

综合分析迄今为止国外新一代窄体客机相关进展，笔者有几点思考和研判。

首先，从时间上看，笔者认为，波音或将率先于 2035 年前后推出新产品。波音和空客在窄体客机市场有丰富经验和雄厚基础，相比于还未进入该市场的巴航工业、日本企业等有绝对竞争优势。波音早在 2018 年之前就寻求波音 737NG 的替代方案，曾于 2019 年提出 220~270 座新中型客机项目，但新冠肺炎疫情和 737MAX 系列诸多安全事故使该项目未始即终。目前看，空客已占全球窄体客机市场 70% 的份额，优势极大，且波音 737MAX 系列仍不断出现质量安全事故，业界普遍认为波音新一代窄体客机研制紧迫性更高。与波音相比，空客直至 2024



图 | <https://runwaygirl.net-work.com>



年才披露相关项目，且仍未透露具体技术方案。综合来看，波音新产品可能在2035年前后推出，空客新产品可能在2040年前后推出。

其次，从构型上看，桁架支撑翼或将应用，翼身融合体将是更长期方向。美国航空航天局认为，桁架支撑翼客机结合其他技术进步，可满足其早在2006年提出的2030年~2035年客机目标，即与当时最先进的空客A320和波音737NG相比，噪声降低71分贝，起降阶段氮氧化物排放减少80%，油耗降低60%。尽管翼身融合体飞机结合其他技术进步有望实现更高的性能（如油耗可能降低50%），但其同时改变了窄体客机机翼、机身和发动机布局，缺乏开发、适航、运营等经验，对现有技术及运营体系可能产生颠覆。因此，桁架支撑翼在性能、成本和风险之间的平衡更好，更适应现有体系，且技术正发展成熟，或将得到应用。

第三是从推进系统看，“三款新型涡扇发动机+可持续航空燃料”的方案或为优选，其他路线尚需观察。前述CFM国际、普惠和罗罗的新型涡扇发动机，预计将是国外新一代窄体客机的主要动力装置选择，它们都可使用可持续航空燃料。如届时可持续航空燃料产业实现了大规模低成本生产，则这些新型发动机+高配比的可持续航空燃料或仅使用可持续航空燃料将成为首选。其他路线方面，尽管日本提出其国产窄体客机选择以氢能源为首的新能源，但无论是氢燃烧，还是氢燃料电池或其他全/混合电推进路线，其在新一代窄体客机的应用可能性尚需观察。

## 启示与建议

2023年5月，我国自主研发的窄体客机C919正式投入商业航线运营。C919

整体技术水平与A320neo和737MAX基本相当，我国窄体客机在产品方面实现了与波音和空客“同代竞争”。随着国外新一代窄体客机发展提上日程，围绕我国商用飞机产业可持续发展壮大，笔者有几点建议：

首先是完善和优化我国未来商用飞机发展整体安排，产品和技术双线同步推进我国商用飞机加速发展。立足“预研一代、研制一代、批产一代”策略，短期内加快推进C919规模化生产、系列化发展和C929宽体客机研制，同时积极推进可提高效率、降低排放的重点技术预研和演示试飞。2040年前，在对现有技术持续升级的基础上，推出以集成渐进式技术创新为主要路径的新一代窄体客机，并开展新能源、新构型、新材料、超声速等颠覆性技术演示试飞。深入研究国内及周边民航运输市场需求，适时立足颠覆性技术突破，与美欧同步或领先推出超声速客机、翼身融合体飞机、混电或全电飞机等新型商用飞机。

其次是谋划启动我国新一代窄体客机先期研究，开展市场调研、论证分析、技术识别、路线评估等工作。持续收集国外新一代窄体客机技术发展、市场分析、研发进展等信息，进行系统性分析评估，准确识别其从平台到系统到运营等方面可能的变化。持续收集国内C919及其他窄体客机运营情况，识别问题，分析可能的技术和非技术解决方案。滚动开展新一代窄体客机市场调研和论证分析工作，结合国内技术发展布局等识别关键技术体系、提出可选发展路线并进行评估，为C919升级改进和新一代窄体客机研发提供有力政策支持。■

# 从德国汉堡飞机内饰展看航空出行新愿景

文 | 刘振敏

作为飞机客舱内饰领域全球规模最大、最具影响力的展会，2024年5月28日至30日，德国汉堡飞机内饰展如期举行。来自70多个国家的400多家企业，13000多名参观者聚集在这座以海港闻名于世的城市。从飞机座椅、内饰、机上娱乐系统、灯光、地毯，到舱内的支架、精细部件等，汉堡飞机内饰展在带给业界惊喜的同时，也带来了客舱内饰领域最前沿的技术和最先进的产品，展会不仅是行业技术创新的展示窗口，更是业内相互交流学习的重要平台。

图 | 同济大学





## “水晶客舱奖”：行业的奥斯卡

一直以来，水晶客舱奖（Crystal Cabin Awards）被誉为飞机内饰领域的奥斯卡奖。本届水晶客舱奖的评比更关注可持续发展与绿色环保理念，并设立了客舱概念、客舱系统、健康与安全、机上娱乐系统与数字服务、材料与部件、乘客舒适度、可持续客舱和大学类作品等 8 个类别。28 名行业专家组成的评审团从 8 个大类的众多作品中评选出了每个类别中最具创新性的产品。最终，这 8 个大类的“水晶客舱奖”分别授予了赛峰客舱公司、艾森哲有限公司、泰雷兹航空电子公司、柯林斯航空航天公司、同济大学 and 迪尔航空，其中迪尔航空拿下了“乘客舒适度”和“可持续客舱”两个类别的大奖。在本届汉堡飞机内饰展上，赛峰集团共有 4 款产品入围四大类别的竞赛角逐，最终集团旗下的赛峰客舱公司最新的 CUBE 系统荣获大奖。

CUBE 系统是赛峰客舱公司最新研发的备餐间废弃物处理系统，该系统可以为机组人员节省空间并确保环境清洁。同时 CUBE 系统相比传统的产品更便于安装，操作也更简单，更易于维护。与传统的备

餐间废弃物处理系统相比，CUBE 系统的用水量可以减少 30%。CUBE 可以无缝融入飞机厨房的整体外观，并通过在关闭时激活紫外线，达到消除异味、防止细菌滋生的效果。

柯林斯宇航凭借 STARLigh 结构技术获得了材料与部件类别的“水晶客舱奖”。STARLigh 结构是一种超轻、坚固且更环保的复合材料结构，易于集成到机舱内部，可用于飞机座椅、厨房、内饰等。STARLigh 结构技术采用先进加工技术消除了材料组装过程中对预浸织物和粘合剂的需求，既可以实现飞机部件的减重要求，还可以降低生产成本。对于航空公司来说，选用这项技术能够在不额外增加飞机重量的前提下，更好地设计客舱空间，并提供更好的隔热和隔音性能。

特别值得一提的是，来自中国的同济大学代表队的作品今年斩获了水晶客舱奖“大学”类别唯一奖项，这也是国内高校首次获得这一奖项。水晶客舱奖的“大学”类别奖旨在为新一代航空设计师提供舞台，交流对未来飞行的创意和想法。

此次同济大学代表队的获奖作品是一款名为“Flexifold”的航空座椅。这款座椅运用“折”的概念体现轻量化和舒适性。“Flexifold”通过创新的折叠和锁定机制为乘客提供更好的身体支撑，同时还可以为航空公司带来更大的灵活性和新的创收机会。“Flexifold”的设计集轻便和舒适于一身，采用轻质且透气的夹层结构材料，并提供隐私、倾斜角度和脚踏的模块化定制选项，可以轻松安装到现有座椅上。

## 从创意看航空出行新愿景

德国汉堡飞机内饰展从来不缺乏创意，整个会展中心俨然像一个巨大的飞机客舱，从“经济舱”到“头等舱”，各种

琳琅满目的产品都预示着更加互联、更加舒适、更加可持续和更加便捷的航空出行新愿景。

展会上，空客展示了其 A330neo 飞机的最新客舱内饰设计，该设计包括更精致的客舱和照明系统，经过改进的门框、侧壁板，以及应用 Gentex 新一代电致变色舷窗（EDW）。

波音率先在 787 飞机上采用了由美国 Gentex 公司研发的电致变色舷窗技术。空客一直到 2020 年左右才开始准备将这一技术应用到 A350 系列飞机上。直到 2022 年，台湾星宇航空成为第一个在 A350 飞机上采用这一技术的航空公司。根据空客的计划，采用最新客舱内饰设计的 A330neo 飞机预计将会在 2027 年~2028 年开始交付市场。

巴航工业与圣保罗大学合作，在本次展会上推出了名为“Silentium in Excelsis”的降噪装置。这款产品利用人工智能技术，通过减少局部噪音干扰的方式，让乘客可以在不额外使用耳塞的情况下在飞行途中休息或工作。此外，双方还合作研发了一款名为 Silvacomfort 的客舱系统。这一系统通过将温度传感器、录音设备等集成到客舱系统中，再利用人工智能技术预测每位旅客适合的空调温度、灯光强度等，实现为每位乘客打造量身定制的客舱环境。

飞机内饰设备的互联是赛峰此次参展的亮点之一，其电动备餐间和座椅驱动系统在展会上吸引了大量专业观众的驻足。公司表示，目前赛峰客舱公司、赛峰航空座椅公司、赛峰电子与防务公司等正在探索合作，开发一种在客舱中创建互联生态系统的解决方案，最终实现将数据整合到一套统一的解决方案中。

早在 2022 年，赛峰就曾提出过一个名为“i+sCabin2.0”的研究项目，该项目旨

在将大量飞机客舱产生的数据进行联网，从而最终帮助航空公司大大减少因维护、修理等造成的飞机离场时间。目前，该项目得到了德国联邦经济事务和气候行动部（BMWK）的支持，预计 2025 年年底，该项目的研究成果将在评估平台上进行验证。

此次展会上，另一个看点则是机上娱乐系统的竞争越发激烈。柯林斯宇航展示的 ADAPT 系统可以让乘客通过个人移动设备来控制座椅、机上娱乐系统和机上服务。ADAPT 平台还支持语音控制、试听反馈等功能。泰雷兹航空电子公司的 FlyEdge 是业内第一个基于云的数字机上娱乐系统解决方案，它能够集成网络应用程序和流媒体服务，并可实现软件和内容的实时更新。

在可持续发展和绿色航空方面，本届展会也有不少厂家带来了颇具创意的产品。Recaro 公司带来的“R Sphere”概念座椅采用了软木、回收渔网、仙人掌等材料。公司表示，这款座椅相比传统座椅，每年可以使每架飞机减少 63 吨二氧化碳排放，并实现 100% 回收。

围绕舒适性和便利性目标，Zephyr 航空航天公司的斜倚座椅专为长途飞行准备。波音、柯林斯宇航、弗吉尼亚理工大学与 All Wheels Up 四家企业联合研发的轮椅空间和安全系统（WSSS）解决了航空出行的又一个难题：无障碍出行。该产品将轮椅固定位整合到经济舱座位中。赛峰乘客创新公司（SPI）与新西兰航空、维珍大西洋航空合作，为有视觉、听觉、认知和运动障碍的乘客设计了一款机上娱乐产品。

## 中国企业积极融入产业链

此次汉堡飞机内饰展上，除了同济大学斩获“水晶客舱奖”之外，另一个受到业界较大关注的中国企业则是来自湖北的



图 | 航宇嘉泰



航空工业航宇嘉泰。

展会期间，航宇嘉泰展台吸引了众多参观者和体验者，其中既有国内外航司、飞机租赁公司，也有波音、空客等飞机制造商代表。本次展会，航宇嘉泰共展出了12款座椅产品，覆盖了从商务舱到经济舱的各类别座椅，展示了公司产品线的丰富性、多样性和精细化。展出的产品中，既有广受好评的网红产品JT220B商务舱座椅和JT220E经济舱座椅，也有广受关注的JT220B电动座椅、Ottoman脚踏，更有代表着创新的JT1122E双通道座椅、全新轻量化座椅以及单座VIP座椅等。

近年来，国内航空企业一直在努力跻身于全球航空产业链。早在2018年的范堡罗航展上，中航工业宣布将旗下早年收购的FACC、AIM和Thompson三家公司与航宇嘉泰和菲舍尔公司合并，成立中航客舱系统公司，从而加快进军客舱内饰市场的步伐。根据预测，到2025年全球客舱内饰市场规模将达到226亿美元，面对如此庞大的市场，正在不断跻身产业链上游的中国企业也希望能够分得一杯羹。此后，中航客舱系统公司旗下的菲舍尔公司建立起了一套符合欧美适航标准的内饰生产体系，并开始为ARJ21飞机提供内饰产品。

航宇嘉泰近年的发展态势更是十分良好。目前公司不仅是C919飞机客舱座椅的唯一供应商，同时也成为了空客A320系列飞机的优质座椅供应商，且是唯一保持100%准时交付的座椅供应商。这一成绩的背后是公司每年将15%的销售收入用于研发。目前，航宇嘉泰已经获得了70多项航空座椅专利授权，是全球首家通过乘员头部损伤叠加颈部损伤试验的座椅厂家，航空座椅关键技术——航空适坠性技术、乘员损伤评估和防护技术等都已经达到世界先进水平，同时公司还是参与制定

航空座椅国际标准的SAE航空座椅委员会会员单位。如今，航宇嘉泰已经获得了全球主要适航当局——美国联邦航空局、欧洲航空安全局和中国民航局的适航认证，是亚太地区唯一一家同时向波音、空客、中国商飞交付座椅的企业。如今在航宇嘉泰的生产线上，每10~15分钟就能够下线一台航空座椅。

当然，在中国企业积极融入产业链的同时，有一个不得不正视的挑战就是近年来飞机内饰市场的竞争也越发激烈。

以飞机座椅市场为例，曾经很长一段时间，卓达宇航集团、罗克韦尔柯林斯和瑞卡罗集团三家占据了整个市场超过70%的份额。其中，罗克韦尔柯林斯的市场份额为30%~35%，卓达宇航为30%，瑞卡罗占10%。但近几年，不断发生的并购与重组，使得客舱内饰市场的寡头垄断越发明显。

2016年10月，罗克韦尔柯林斯宣布以64亿美元现金加股票收购机舱内饰制造商B/E Aerospace。2017年1月，赛峰集团宣布出资97亿欧元收购卓达宇航集团。几个月后，美国工业巨头联合技术公司(UTC)宣布收购罗克韦尔柯林斯，交易总金额约为300亿美元。上述几项并购对飞机内饰市场造成了巨大冲击，以波音、空客为代表的主制造商开始担心未来自己在交易谈判中会处于劣势，因此，它们也开始进入这一领域。以波音为例，2018年公司收购了知名座椅生产商安道拓，直接从事飞机座椅生产。面对新的行业格局，对于中国企业来说挑战可想而知。如何在竞争激烈的市场中占有一席之地，对于行业来说是一道待解的难题。但从航宇嘉泰的发展历程中，可以看到有很多经验值得中国企业学习和借鉴。■

## 俄罗斯重新调整 国产民机交付计划

文 | 曲小

2024年5月4日，俄罗斯总理签署文件批准了俄罗斯联邦政府关于修订《2030年俄罗斯联邦航空运输业发展综合规划》(以下简称《规划》)的提案。5月19日，俄罗斯政府正式发布更新版本的《规划》。总体来看，由于国产替代计划的推进遇到了一些阻碍，《规划》重新调整了包括SSJ-New、MC-21等型号在内的所有国产民机的研制生产和交付计划。新版本的《规划》一方面为俄罗斯民机产业的发展制定了新的时间表，同时也反映出面对制裁，未来俄罗斯航空产业，尤其是航空运输业或将面临更加严峻的挑战。

图 | <httpsstatic1.simpleflyingimages.com>





## “双子战略”明确发展方向

航空业作为国家战略产业，它的发展不仅有企业层面的竞争，更有国家力量的博弈与布局。过去十多年里，俄罗斯一度曾以开放的心态，希望通过国际合作积极融入全球航空产业链，这一点在当年 SSJ-100 项目中表现得尤为明显。与此同时，俄罗斯意识到，在经济全球化的大背景下，想要重新跻身主流商用飞机制造商之列，就必须摒弃企业之间的嫌隙，聚合业内资源，实现设计、生产、销售、维修等各个环节的协同发展。普京上台后，高度重视航空产业发展，开始了对航空工业近 20 年的重组。在此期间，俄罗斯为了进一步优化产业链结构，接连从国家层面出台了多项战略规划，为俄罗斯航空产业发展指明方向。其中影响力较大的是《2025 年前航空工业民用产品出口发展战略》和《2030 年前航空工业发展战略》，这两个战略被业界称为新时代俄罗斯商用飞机产业发展的“双子战略”。

在这两个战略规划中，俄罗斯政府明确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，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、试验试飞、总装和售后服务能力建设，精简冗余的生产能力，逐步将底层生产工序外包。明确第 2~4 级供应商主要由中小企业组成，定位于全球市场，通过多样化经营加强竞争，保证生产批量和规模经济。

其次，要尽快打破技术准入壁垒。在《2025 年前航空工业民用产品出口发展战略》中，俄罗斯明确提出要发展航空工业标准和技术准入系统，保障俄罗斯制造商在国际市场上的利益。

第三，要加速国内产品融入全球航空产业链。为使国有配套制造商进入大型航

空器制造商的全球供应链，俄罗斯政府采取的措施包括：通过财政措施，支持航空发动机、部件和仪表行业的产品和服务等获得外部采购及初次交付。

第四，多渠道加强科技储备和高技能人才培养。在《2030 年前航空工业发展战略》中，俄罗斯明确提出要建立科技储备在行业内的主导地位。为进行预研技术储备，俄罗斯成立了茹科夫斯基国家研究中心 (NRC)，全面组织和协调民用航空相关的技术预研工作；航空领域的科研资金优先、适度向预研倾斜；提高科研成果商品化能力，鼓励科研机构参与到航空产品生产制造阶段，甚至参与到产品全寿命周期内；支持跨行业合作，鼓励相邻产业知识交流和技术扩散等。为加速构建人才培养体系，俄罗斯还出台了一系列国家培训计划，保证中等职业教育机构和大学面向航空行业需求。《2030 年前航空工业发展战略》中明确提出了高等院校要围绕商用航空产业链中涉及的新材料、新工艺、数字化设计等开设相应课程；提升高等院校在先进设计方法、生产、试验、取证、市场销售、供应链管理、质量管理、知识产权管理、航空产品全寿命周期支持等专业上的教育水平；增加科研和工业企业中具有国际水平的专家比例；加强产学研体系建设，为高等院校和企业联合开展高技术综合项目给予持续的国家支持；创造条件巩固与国外教育、科研和生产机构的合作，促进航空工业从业人员的对外交流和培训。

## 《规划》调整交付计划

在上述两个被业界称为俄罗斯航空工业发展的“双子战略”的基础上，2022 年又发布了《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 1063 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%。同时，《规划》中还明确了俄罗斯全国产民机的生产和交付计划。此次重新更新后的《规划》则对几乎所有俄制国产民机的交付计划进行了重新调整。

在新版本的《规划》中，全国产的 SSJ-New 支线飞机的取证和首架交付时间从 2023 年年底推迟至 2025 年和 2026 年 2 月；全国产 MC-21 干线飞机取证和交付时间由 2024 年推迟至 2026 年；伊尔 -114-300 涡桨支线飞机取证和交付时间由 2024 年推迟至 2026 年。由于交付时间的推迟，俄罗斯政府在《规划》中也不得不调整了国产飞机的交付量。新的《规划》中，到 2030 年，俄罗斯国产飞机的交付量降至 994 架，比上一版《规划》中的计划量减少 8%。其中，商用飞机交付 592 架，包括 142 架 SSJ-New、270 架 MC-21、115 架图 -214、14 架伊尔 -96、51 架伊尔 -114-300。

对于俄罗斯来说，全国产民机的推迟交付或将对航空运输业造成一定的影响。自 2022 年 2 月，俄乌冲突爆发以来，西方对俄罗斯航空业实施全方位制裁。根据公开信息显示，2022 年俄乌冲突爆发时，俄罗斯国内最大的航空公司俄航 (Aeroflot) 共有约 400 架西方租赁公司的商用飞机。当时这批飞机被飞机租赁商要求退回，但俄罗斯扣押了这些飞机，并陆续强制性地向租赁公司购买了这些飞机。然而由于受到制裁的影响，各种零部件的断供对于飞机维护是巨大的挑战。对此，普京曾公开表示，“俄罗斯国内不少民航飞机已超负荷工作，因此我们必须在 2030 年前生产至少 1000 架飞机，为民航机队补充‘新鲜血液’。”根据路透社的报道，

截至 2023 年年末，俄罗斯已经向航空制造业和运输业投入了至少 120 亿美元资金支持。但西方的制裁对于俄罗斯航空产业的影响仍在不断发酵。

从民航运输安全的角度来看，由于没有新飞机的补充以及零部件短缺等问题，近一年来俄罗斯民航安全事故频发。根据《环球航空资讯》的报道，俄罗斯民航安全事故从 2022 年的 37 起增长至 2023 年的 81 起。就在 2024 年 6 月，俄罗斯优梯航空 (Utair) 运营的一架安 -26 飞机在距离乌特连尼机场约 1.6 公里处紧急降落，机身断成两截，万幸的是飞机上 41 名乘客，仅有 1 名乘客和 2 名机组人员受伤。据报道，这架安 -26 机龄已超过 40 年，而一般民航飞机的使用寿命在 25 年~30 年。从市场需求端来看，俄罗斯民航也亟需新飞机的加入。根据俄罗斯联邦航空运输署的最新数据显示，俄罗斯国内航空公司 2024 年 5 月的客运量较 2023 年同期增长 6.8%，达到了 930 万人次。一边是市场需求的增长，另一边是新飞机迟迟无法交付，而这种供需矛盾从短期来看仍无法解决。

图 | AIN





## 国产替代道阻且长

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，俄罗斯决定生产全国产化干线飞机，代号为 MC-21-310RUS。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控制，俄罗斯在 MC-21 项目中要求每一个重要的机载系统都至少有一家俄罗斯供应商参与，确保近一半的部件和系统来自俄罗斯国内。在发动机的选择上，俄罗斯更是直接引入了发动机的双选方案，分别是普惠公司的 PW1400G 发动机和俄罗斯的 PD-14 发动机。

但从目前来看，MC-21 项目的国产化替代仍然遇到不少问题。例如，在替换了国产发动机和国产复合材料以及一些国产航电系统后，MC-21 飞机机身重量较之前采用西方供应商的产品重了 5.75 吨，这无疑会对这款飞机的性能和经济性产生较大影响。

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。

但配套 SJ-100 项目的国产发动机 PD-14 的研制目前遇到了一些问题。2023 年 8 月首飞时，那架 SJ-100 使用的仍然是土星公司与法国斯奈克玛公司联合研制的 SaM-146 发动机。2023 年 12 月，PD-8 发动机在测试中发现了一些问题，因此需

要完成补充试验，从而确保产品的安全性。这也使得 SJ-100 原来的交付时间不得不推迟。

仅从目前这两款飞机的国产化替代进程来看，近几年来，由于获得了国家层面的大力支持和政府层面的明确指引，俄罗斯国内配套企业参与商用飞机项目的积极性被充分调动了起来，很多企业都加大了自主研发力度，以支持民用航空项目的国产化替代计划。从目前来看，俄罗斯国产化替代计划的实施，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。尽管未来的路还很长，但所取得的成绩依然值得肯定。

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

## 全球 MRO 市场发展展望

文 | 文峻

当前，全球航空运输业正在迎来强劲复苏。随着世界大多数地区航空客运量的不断攀升，商用飞机售后服务市场也有望实现稳步增长。但由于全球航空供应链仍不稳定，因此尽管未来几年，航空售后服务市场依然能保持盈利，但参与其中的企业仍或多或少将面临新的挑战。

### 原厂制造商（OEM）面临压力

就新飞机而言，波音和空客的交付量预计会逐年增长，尽管与两家制造商几年前的预测相比仍有差距。目前，波音公司面临诸多挑战，与空客之间的

图 | <https://calaero.edu>





差距正在被拉大。由于项目积压和其他技术障碍等因素，波音仍有若干 737MAX 和 787 飞机需重新交付。尽管如此，未来新机型的产量仍将稳步上升，月度交货量也会不断增加。目前，仍有不少运营商依赖于老旧飞机，随着使用率下降，老旧飞机将被逐步替代。

空客也同样存在供应链紧张和内部不利因素等方面的挑战，一些项目未能完全按计划推进，许多 A320neo 和 A220 飞机没有按时交付。与此同时，普惠公司出现 PW1000G 涡扇发动机危机，影响了其多种机型的交付。其中，A320neo 系列受到的影响最大。

普惠公司最初认为，2015 ~ 2021 年生产的部分零部件因制造问题而出现裂痕，这些问题可通过发动机停场维修检查进行解决，但 2023 年初普惠公司改变了这一判断。在没有足够数量新部件可以一一更换缺陷零件之前，高利用率的发动机需要执行每年至少一次的检查。据普惠估计，到 2024 年中期，第一轮检查将包含在大约 700 次计划停场大修之中。全球 PW1000G 大修网络已经受到计划外以及

特定工作量的限制要求，主要用于解决发动机耐久性问题。大量新出现的、计划外的检修工作量使得大修厂不堪重负。

受此类强制性检修等工作量的影响，PW1000G 发动机大修周期上升至 300 天。对于拥有选择条件的航空公司来说，空客 A320ceo 系列或波音 737 传统系列飞机等老旧飞机将被保留以填补运力缺口。但许多深受影响的运营商别无选择，只能削减运力，被动等待。预计这种情况可能会持续若干年。目前，根据普惠公司的机队管理计划，到 2026 年每年平均都会有 300 架飞机停场等待处理，2024 年上半年最严重时还可能达到 650 架的停场峰值。

2023 年已经过去，普惠公司的预测被证明是准确的。据美国《航空周刊》飞机利用率跟踪工具的数据显示，2023 年 8 月底开始实施新一轮检修之前，有 175 架装配普惠发动机的 A320neo 飞机未投入运行，约占全球机队的 13%。其中大多数是由于耐久性问题停用，需要返厂更换零部件。截至 2023 年 11 月底，停飞数量接近 400 架，占现役飞机总数的 27%。普惠公司正在积极扩大 PW1000G 系列发动机大修能力，配套的 OEM 厂商也在加大零部件生产速度，以便尽可能多地更换有缺陷部件。此外，普惠与空客达成一致，不得将指定用于空客生产线的发动机重新分配到备用发动机池，以确保空客飞机的正常交付。

目前，PW1000G 事件被视为发动机技术缺陷最典型的案例之一。航空公司普遍认为，原厂制造商提供的技术支持远远不够，这不仅涉及机身和发动机制造商，还涉及一级供应商。维修供应商同样倍感压力，由于更长的零部件交货周期导致更长的检修周期，将造成客户更多不满意，这些趋势愈演愈烈。因此，某些航空公司和维修厂商正在采取增加航材备件的方式应对变化。

此外，有些原厂制造商的年度提价时间较传统的每年 12 月 1 日左右有所提前。GE 航空就因此在 2023 年第三季度零部件销售额增长了 35%。在大修方面，MRO 和航空公司均优先考虑维修而不是更换部件。因为一定程度上，自行修理能够避免供应链上可能出现的各种风险，而且从长远来看成本也往往更低。在某些情况下，MRO 也会权衡采购新部件与修理旧零件两者对环境的影响，并采取更环保的方案，而不是仅考虑维修成本和周转时间的因素。

由于供应链受限等原因，二手件和 PMA 件的供应商并没有获得更多业务。在过去几年里，老旧飞机退役率一直保持低位，二手件的数量和可用性受到制约。目前，PMA 制造商正以最快速度推进零部件制造并获得新的批准。有分析认为，未来几年，这两个领域都将出现稳健增长。

《航空周刊》最新的机队和 MRO 预测显示，2024 ~ 2033 年全球平均每年退役 1020 架飞机，其中，2028 年将达到 1220 架的峰值。与 2017 ~ 2023 年间平均退役数量 669 架相比较，属于强劲的增长趋势。但是，如果供应链的顶层问题仍然持续存在的话，峰值到来的时间将会变得不确定。

## 全球飞机维修业未来可期

从目前发动机维修档期 (slots) 的需求来看，未来大多数发动机维修厂的业务将非常饱和。随着宽体飞机运力的不断恢复，大推力发动机的维修需求将显著推动这一趋势。罗罗公司表示，2023 年预计完成了 1100 ~ 1200 次停场大修，比 2022 年的 953 次增长了 15% ~ 25%。据《航空周刊》预测，今年商用 MRO 需求量将达 1050 亿美元，到 2033 年，其平均复合年增长率 (CAGR) 有望达到 3%，但

《航空周刊》预测，2024 ~ 2033 年全球 MRO 总需求将达 1.2 万亿美元。其中，发动机大修 46%，占比最大；其次是部件维修 23%，维航线护 19%，飞机改装 7%，机体大修 5%。

PW1000G 等问题将会使全球 MRO 增长曲线充满波折。雷神公司 (普惠母公司) 预测，2024 ~ 2026 年期间将会发生近 80 亿美元的计划外维修费用 (含补偿费用)，该数字不计入总体复合年增长率。

MRO 全球市场近期增长预期远高于未来 10 年平均预测水平。根据 2023 年 10 月对约 40 家商业航空售后服务提供商进行的一项调查发现，加拿大皇家银行 (RBC Capital Markets) 预计，2024 年全球 MRO 市场将处于中高增长区间。对零部件供应商而言，定价将保持强劲上涨态势，在一般性通货膨胀外加 3% ~ 4% 价格上涨的背景下，可能会出现高个位数的增长。该调查还发现，供应链风险和劳动力不足是全行业的最大隐患。加拿大皇家银行认为，只要供应链仍然面临挑战，航空公司和 MRO 就会继续采取增加库存水平的方式规避风险，因此库存量在 2024 年年中之前不会明显下降。此外，供应链问题正促使一些 MRO 供应商将零部件制造或维修工作由外包转向自行完成，规避缺乏足够熟练劳动力的小型分包商的供应风险。劳动力问题不仅仅是小厂商面临的挑战，大型航空公司同样面临成熟技术人才的争夺，拥有维修厂工作经验的技术人员仍旧炙手可热。

图 | aviationpros.com





# 我国高高原航空运输市场发展现状与展望

文 | 柴雨丰 王晓林

我国是全球高高原机场商业运营数量最多的国家。截至 2023 年底，全国共有 24 个高高原机场，且多数分布在西部经济欠发达地区。发展高高原航空运输业务不仅是发展当地经济的需要，更有国防、政治、民生的综合考量。因此，不仅需要行政性措施的加持，还要有市场化的手段；既要算经济账、服务账，还要有政治、民生方面的考量，也更需要市场参与各方的共同努力。

图 | 稻城亚丁机场

《航空周刊》预测，2024 ~ 2033 年全球 MRO 总需求将达 1.2 万亿美元。其中，发动机大修 46%，占比最大；其次是部件维修 23%，航线维护 19%，飞机改装 7%，机体大修 5%。在预测期内，部附件和发动机业务增长最快，复合年增长率分别为 3.8% 和 3.4%。从地区划分来看，印度和中东是发展最受瞩目的区域。预计到 2033 年，印度 MRO 复合年增长率将达到 12.2%，中东地区 MRO 复合年增长率约为印度的一半。印度和中东地区都在加大力度支持本土航空公司，且制定了雄心勃勃的发展计划，并不断开拓利润丰厚的第三方业务。

## 全球 MRO 发展趋势

从趋势来看，《航空周刊》预测全球市场将呈现以下十大趋势。

第一，印度市场或将迎来发展。尽管在印度建立 MRO 一直是行业讨论的热点，但是 2023 年并未有显著的成果。随着国外的 OEM 和 MRO 不断与印度公司发展合作伙伴关系和建立售后服务合资企业，2024 年在印度建立 MRO 的趋势或将迎来实质性的进展。

第二，机体零部件价格将继续上涨。根据国际航材市场的变化，2024 年供应商将继续上调零部件价格，预计涨幅可能超过 10%。零部件价格的涨幅可能会迫使运营商选择更多的 PMA 部件和采取更多的 DER 维修。

第三，能源成本增加。通货膨胀引发的能源成本增加仍将是困扰全球 MRO 产业的难题。预计 2024 年上半年，全球能源成本不会下降，并且能源成本增加可能会持续到 2024 年底。

第四，窄体发动机售后市场将继续调整产能。在窄体发动机售后市场方面，近期新型发动机暴露出来的问题将继续影响

窄体发动机领域的发展趋势。为了应对在 2024 年可能出现的 CFM56 和 V2500 发动机大修需求高峰，MRO 供应商势必需要提高发动机大修产能或调整大修产能的分配。

第五，宽体发动机售后市场将迎来大的发展。在宽体发动机售后市场方面，2024 年宽体飞机领域的复苏对其至关重要。预计全年将有大量宽体飞机投入到运营中。

第六，维修能力渐趋本地化发展。受疫情影响，全球 MRO 在供应链重建发展中采取近岸战略。2024 年全球的 OEM 和 MRO 将会继续优化供应链建设，MRO 维修能力和航材供应的本地化将成为发展的重点。

第七，全球 MRO 将继续加强可持续发展。在全球航空业可持续发展方面，北美、欧洲和亚太地区的售后市场将努力与中东、拉丁美洲和非洲的 MRO 供应商进行更多的联动，努力降低能耗和成本，共同推进全球航空业的可持续发展战略。

第八，退役飞机集中的情况不会出现。受到当前航空市场中飞机数量不足和发动机退役的影响，2024 年全球航空市场的发展将会继续受到航材供应的限制，航空市场的运力仍将依赖于现有的成熟机型，这一点将在窄体飞机领域表现得更为明显。

第九，并购将成为售后市场的亮点。2024 年全球航空出行需求将持续增长，这将促使全球航司开辟更多的航线，进而产生更多的航空维修业务。据金融分析专家预计，随着航空售后市场中越来越多的公司寻求多元化发展，可能导致全球航空业出现更多的并购。

第十，通过加大培训投入缓解人力短缺问题。2024 年航空公司的维修部门和 MRO 将继续加大维修人员培训的投入，为了满足维修人力需求，很多公司会通过补贴学费的方式以吸引更多的年轻人进入民航维修行业，还会通过海外人才引进的方式填补技能工种的缺口。■





## 高原运输的历史表现

根据局方的规定，机场海拔高度在2438米（8000英尺）及以上的机场为高原机场，而航班的起飞机场、落地机场中的任一端或两端均为高原机场的运输业务视为高原运输。

民航“十二五”规划实施以来，国内高原机场的运营投入迎来了快速发展期，高原机场数量由2010年底的10个发展到2023年底的24个；2023年全年高原机场的旅客吞吐量为875万人次，较2010年的年均复合增长率为6.9%，高于国内全部机场旅客吞吐量年均复合增长率0.5个百分点。高原机场的数量占全国民航机场数量的9%左右，其旅客吞吐量占全行业的比重多年来一直在1%以下徘徊，但高原运输的速度优势明显，未来受其他运输方式分流替代的可能性小，

同时将受益于区域均衡发展的政策红利，有望成为民航细分市场中的下一个增长点。因此民航高原运输在服务基本民生、保障国防安全、推动区域经济协调发展、巩固民族团结等方面的头雁效应和新质生产力特征明显。

综合来看，我国高原机场之间的发展失衡比较严重。受高原地区特殊的地形地貌、复杂多变的气象条件、备降场距离较远等因素的影响，航空公司在高原航线签派放行时必须预留更高的安全冗余度，如采取较平原航线携带更多的燃油量以应对航路及目的地机场的突发情况，导致飞抵高原机场的航班可供业载远低于正常平原航班，能提供给货运销售的剩余吨位十分有限。回程航班的签派放行条件明显改善，虽较去程航班有明显的可供业载提升，但高原机场所在地域没有工业布局和规模化的现代服务业，能够走航空货运的原产地货物较少。因此高原运输是以客运业务为主，并且货物运输具有较强的单向性。从各机场吞吐量数据看，高原机场分布区域多集中在西部经济欠发达地区，当地经济的内生动力、资源禀赋、消费终端购买力不足，导致高原机场间的数据表现不均衡，很多高原航班的客货量数据寒酸，短期内很难达到机场建设立项时的预期效果。需要特别指出的是，拉萨航线有宽体机执行，单班旅客人数和单班货邮量明显较高，单班货邮量折算成旅客人数约为10人。其他航点航班均是窄体机执行，各机场的单班旅客人数和单班货邮量的差异较大，单班货邮量折算成旅客人数约为0~6.5人不等。

从航空公司可执飞的机型看，窄体机中A319、737-700以及宽体机中A330机型经高原性能改装后能够执飞高原运输任务，其他机型即便经加改装后能执飞高原航班，但减载严重，不具有运输经

济性。从机场保障看，多数高原机场为中小型机场，仅能满足窄体飞机的起降，极少数高原机场能供宽体机起降。且多数机场不具备夜航保障和全天候放行条件，无法最大化发挥机场的设计产能。航空公司也没有建立相应的夜航能力，该机场没有过夜飞机，进出港航班排班的时刻受限制。放行方面，每个机场甚至不同时间段的航班起降，对机务适航状态、放行标准、机组力量的要求也不完全相同。气象条件方面，机场周边经常会有扬沙、暴雪、风切变、低能见度等恶劣天气，通过技术手段难以实现对该机场气象变化的精确预测，因此某些机场只在适合起降的窗

口期运行，在此时间段以外的航班只能原地等待或返航备降。

## 发展高原运输的难点分析

首先是运营成本居高不下与廉价出行的矛盾。由于高原机场的高海拔导致空气密度和空气压力小，加之周边复杂的地形地貌和多变的气象条件，因此高原运输的保障难度远远高于平原运输。目前高原适航的飞机需要进行额外的高原性能改装投资，比如选配大推力的发动机、下货舱额外携带机载氧气瓶等。飞机轮胎、刹车装置、滑油等耗品的技术标准和更换

图1|24个高原机场基本情况

序号	机场名称	所在省份	海拔高度（米）	飞行区等级	通航年份
1	稻城/亚丁	四川	4,411	4C级	2013年9月
2	昌都/邦达	西藏	4,333	4C级	-
3	日喀则/定日	西藏	4,316	4C级	2022年12月
4	阿里/昆莎	西藏	4,274	4D级	2010年7月
5	阿里/普兰	西藏	4,250	4C级	2023年12月
6	甘孜/康定	四川	4,238	4C级	-
7	甘孜/格萨尔	四川	4,067	4C级	2019年9月
8	山南/隆子	西藏	3,980	4C级	2022年12月
9	玉树/巴塘	青海	3,905	4C级	-
10	日喀则/和平	西藏	3,801	4C级	2011年7月
11	果洛/玛沁	青海	3,787	4C级	2016年7月
12	拉萨/贡嘎	西藏	3,570	4E级	-
13	阿坝/红原	四川	3,540	4C级	2014年8月
14	九寨/黄龙	四川	3,448	4D级	-
15	宁蒗/泸沽湖	云南	3,293	4C级	2015年10月
16	迪庆/香格里拉	云南	3,288	4D级	-
17	喀什米尔干/红其拉甫	新疆	3,258	4C级	2022年12月
18	甘南/夏河	甘肃	3,190	4C级	2013年8月
19	海北/祁连	青海	3,163	4C级	2018年8月
20	林芝/米林	西藏	2,949	4D级	-
21	海西/花土沟	青海	2,905	4C级	2015年6月
22	海西/德令哈	青海	2,862	4C级	2014年6月
23	格尔木	青海	2,842	4D级	-
24	神农架/红坪	湖北	2,585	4C级	2014年5月

注：上表中未列示在2010年以前已经通航的机场的具体通航年份。

图2|2010~2023年高原机场旅客吞吐量及占比变化

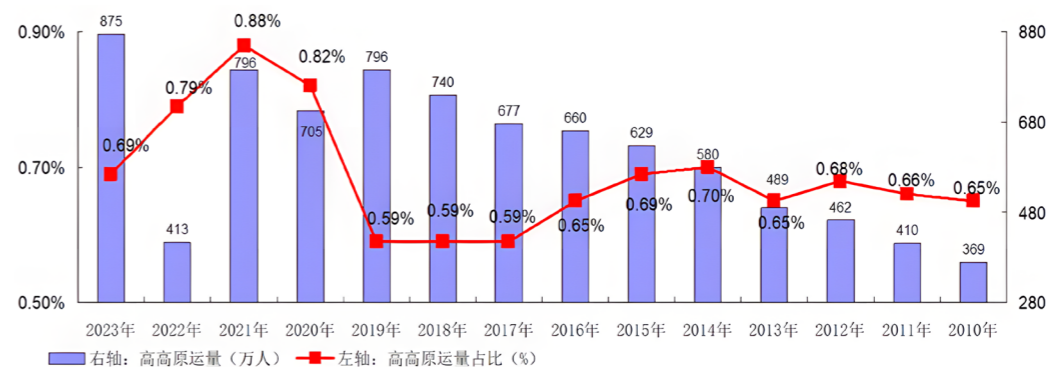
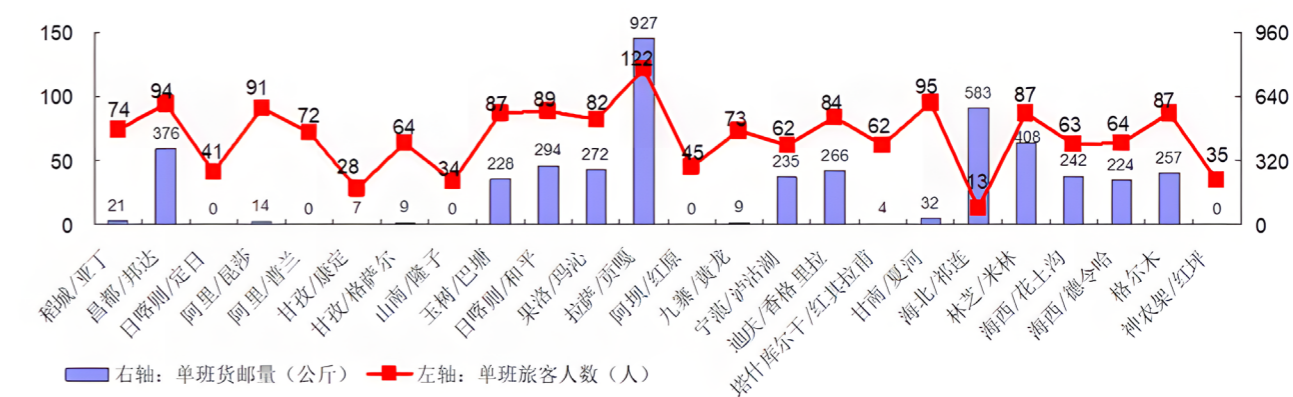


图3|2023年高原机场单班旅客人数、单班货邮量对比





频次高，而执飞高高原航线的飞机发动机的大修周期明显缩短，导致机务成本偏高。高高原航线小时费标准是平原航线的2倍以上，并且航空公司需要安排双机长执行任务。高高原机场的油价比平原机场每吨高出500元以上，受签派安全放行燃油政策的影响，飞抵高高原方向航班的“油载油、油耗油”的情况比较突出。一方面是航空公司运营成本的居高不下，另一方面是百姓对低票价航空出行的迫切愿望，短期看很难实现在高高原市场上既要航空公司盈利、又要广大乘客对价格普遍接受的双赢局面。

其次是发展意愿与驱动力不足。高高原机场多分布在老少边穷地区，经济基础薄弱，本地消费能力对民航运输的支撑作用有限。为了推动高高原运输的发展，政府对相应航线实施财政补贴支持，但近年来各级政府的财政压力陡增，补贴标准和补贴范围均有所调整，财政补贴的兜底保障作用正在逐年弱化。“以边际贡献为导向，有补贴就飞、没补贴少飞甚至不飞”成为很多航空公司航班编排的重要决策因素，旺季增投明显，淡季减投甚至停航的航班编排特征明显。相关航空公司对大力发展高高原运输的信心和决心不足，短期看受制于安全压力及效益指标，不敢贸然在高高原运输领域进行大规模投资和运力投放，长远看又怕失去高高原市场的未来市场份额。缺少对高高原运输的长远规划，在高高原机队引进、基地设置、航线开发、人才培养等方面相对保守，多采取观望、跟随、试水等发展策略，各家航空公司在高高原运输方面并没有形成绝对的控制地位。

第三是安全服务压力不容小觑。高高原机场的航路及气象条件复杂，对飞行器、飞行员的技术要求高，当前高高原飞机的老龄化问题日益显现，对民航安全基

础构成一定的影响。现阶段只有南航、西藏航少量引进A319neo新机型，且仍处于积累运行数据阶段，何时能大面积投入到高高原航线上尚待时日。技术先进并不代表技术稳定，当新机型因某项技术原因大范围停场检修时，今后可能面临无机可飞的局面。受高高原运行条件的限制，其航班的正常性远远低于平原航线，该正常性指标将直接影响航空公司今后新增航班时刻、飞机批文等资源的获取。因航空公司运力编排是基于航班环来进行的，前段航班不正常，必然引发后续航班的连锁反应，临时调配运力、航班延误等情况比较普遍。高高原运输过程中旅客出现身体不适，甚至危及生命的突发案例较多，一方面考验客舱紧急施救的应急处置能力，影响客户体验，同时也会导致急救备降的不正常运行。

### 推动高高原运输高质量发展

党的二十大报告提出促进区域协调发展、推动西部大开发形成新格局的工作要求，势必加深高高原机场所在区域与其他地区的经贸往来。发展高高原运输在遵循民航基本发展规律的同时，还要考虑高高原运输自身的特殊性。

首先是要审慎看待高高原市场的增速。高高原机场所在区域以旅游业、农牧业为支柱产业，经济结构相对单一。其对民航运输的需求主要是建立在外部输入需求基础上的，旅游业受地缘政治变化、维稳及社会综合治理、环保承载能力、基础服务保障条件、主要景区接待容量等多方面因素的限制。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、房地产萧条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，整体看将长期维持“大体量下的

低增长”模式。因高高原市场运输量基数较小，不能仅凭历史数据就机械地平推该市场长期保持高增长态势，高高原运输抵御及消化意外事件的能力弱，因此航空公司应主动降低对高高原市场的发展预期，控制窄体高高原机型的引进节奏，一旦高高原市场出现下滑，窄体高高原机型转移到平原航线运行没有任何竞争优势。而在生产旺季，可通过加班、机型小改大等方式获取机会市场。

其次，各运营主体要主动提质增效。航空公司的运力具有流动性，哪里有市场机会，优势资源就向哪里集结。各航空公司要在旺季飞机可用率、机组执勤率、航班正常性等方面做足文章，确保有足够的运力投放以获取尽可能多的市场份额。高高原机场管方必须要想方设法地盘活机场这一公共资源，在土地、楼宇等方面多多支持航空公司的基地建设。各机场要依托航空产业带动当地经济的发展，积极促进回程航空货运市场的发展。比如根据回程业载大的特点，可联合当地政府，主打生态绿色农副产品这张牌，发展订单农业，发挥高原地区日照时间集中、昼夜温差大，太阳能资源丰富，发展温室种植业，将高高原优质的水果、高原水产品、高原肉蛋奶等通过航空货运快速返销到国内一二线城市。在候机区内设立当地特色产品专柜，发挥机场的广告带动效应，使其成为高高原经济走出去的重要窗口单位。

第三，要积极争取国家政策支持。目前国内各航空公司高高原运输经营效益并不理想，仍需要各级财政对高高原运输给与相应的财政扶持，重点针对在高高原机场设立基地、有过夜航班、淡季执飞航班等情况进行财政补贴倾斜。要打破国内航空公司高高原运营“小而散”的局面，积累和丰富运行经验，消除无序竞争和价格战，重点扶持打造有一定规模的高高原运

输骨干企业，在飞机引进批文、土地获取和基地设立、民航服务考核、航班时刻资源申请、安全能力提升与技改、维修关税减免等方面给与与支持，使其能形成区域枢纽、织密航网密度，争取更多的客源来分摊成本。政府要鼓励各航空公司采用市场化手段，通过交叉持股、资源互换等运作方式实现高高原运力投入的相对集中；同时要尽可能避免一家公司独飞垄断某条航线的情况。鼓励航空公司打造高平原结合的航网布局，对于机上急救应急服务，民航主管部门应将此类工作作为服务考核的加分项进行细化管理。

第四，其他各项助力措施要到位。高高原机场建设提倡简约化，注重基本功能和旅客便捷性，减少“高大上”的机场设计方案。从部分高高原机场实际运行看，仍需要扎紧裤腰带过紧日子。因此各地方政府对高高原机场建设的投资热情要适当降温，毕竟国家财力有限，避免盲目投资以及不达预期的投资项目。对于开航数年经营不善，没有明显社会效益、经济效益的高高原机场，探索能否实行退出机制，由民用机场划转为军用机场或军民合用机场。实践证明，国内制造技术尚未成熟，各航空公司只能被动与国外飞机制造商合作，只能忍气吞声接受诸多不公平的合同条款，因此迫切期盼国产大飞机项目能够尽快在高高原细分市场上发力。由于我国西部地区地广人稀，其他交通方式落后，比较适宜开展通勤航空服务，在简易机场使用小型机将周边县城的旅客摆渡到高高原机场后再去中转后续航班，因此需要单座成本低且安全性高的小型高高原飞机，这些都需要国内飞机制造商贡献力量。■



# 全球航空运输业 有望重回增长轨道

## ——国际航协发布全球航空运输业年中报告

文 | 张晋

2024年6月5日，国际航空运输协会(IATA)发布全球航空运输业年中报告。在这份最新的报告中，有鉴于全球航空运输业近半年来的表现，IATA上调了全球航空运输业2024年盈利预期，预计全行业2024年净利润为305亿美元，对比2023年年末，IATA预计全行业净利润为257亿美元。

然而在上调盈利预期的同时，国际航协理事长威利·沃尔什先生也指出，全球航空运输业5.7%的投资回报率远低于9%以上的资本成本。根据国际航协的预测，2024年全行业每运送一名旅客仅可获利6.14美元。因此从行业长

图 | aviationsourcenews.com

远健康发展来看，如何提高盈利能力是亟需解决的行业问题。

### 全行业收入有望创历史新高

随着人们航空出行需求的进一步回暖，全球航空运输业正在加快复苏。根据国际航协预测，2024年全球将有49.6亿人次有搭乘飞机出行的需求，这也使得全球航空运输业整体收入在2024年预计达到9960亿美元，创下历史新高。

其中，2024年客运收入预计将达到7440亿美元，比2023年的6460亿美元增长15.2%，收入客公里(RPKs)预计同比增长11.6%，客运收益率预计同比增长3.2%。

与客运收入的增长不同，2024年全球货运收入预计将从2023年的1380亿美元降至1200亿美元。新冠肺炎疫情暴发使得全球货运市场收入增幅明显，2021年

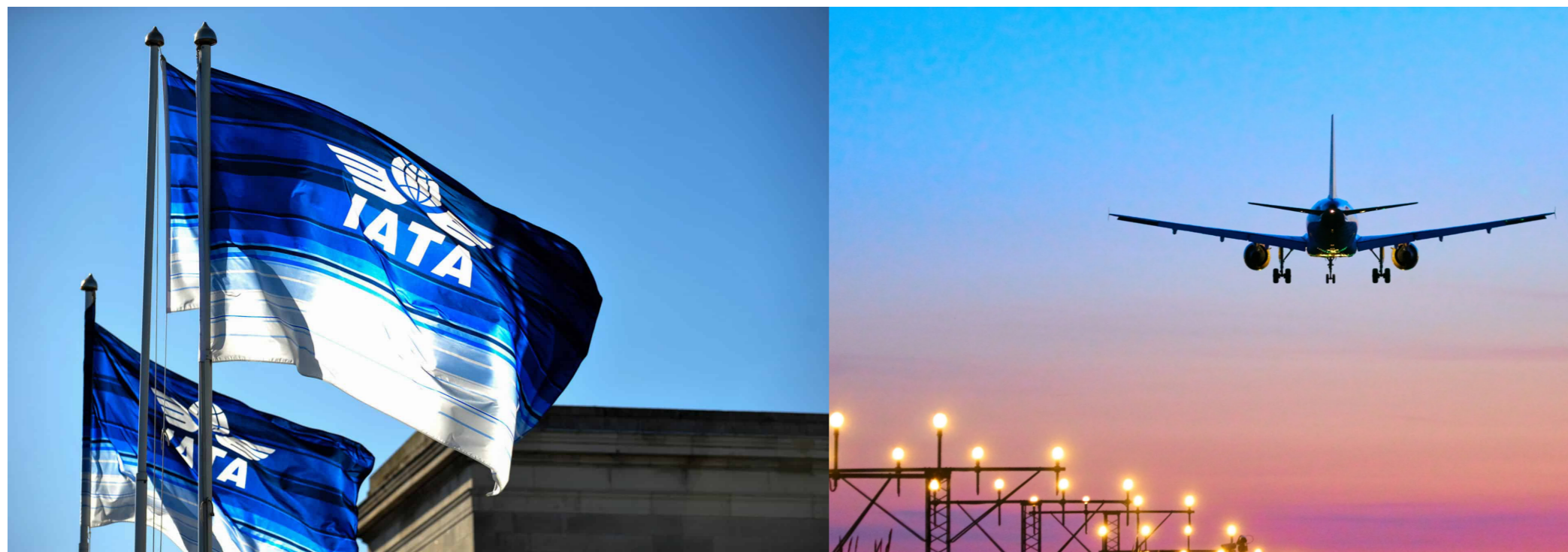
甚至达到了2100美元的收入。此后，随着货运量、运力增长、腹舱运力增加以及其他一些关键指标从疫情中期的特殊情况回归常态化，航空货运市场也开始逐步回归疫情前趋势。国际航空运输协会预测，2024年全球航空货运总量预计达到6200万吨，同比下降17.5%，但仍略高于2019年的水平。

### 亚太地区利润增长最为显著

根据国际航协的预测，2024年全球所有地区航司将连续两年实现利润增长，但今年亚太地区航空公司的利润增长将最为明显。

得益于高载客率、强劲的收益率，北美地区航空公司的利润将继续领跑全球。2024年北美地区航空公司的净利润将达到148亿美元，净利润率4.5%。欧洲地区尽管需求依然强劲，但由于受到供应链问题、高利率和劳资纠纷等不利因素影响，或许会对该区域航司盈利能力进一步提升造成不利影响。国际航协预计，2024年欧洲地区航司净利润为90亿美元，净利润率为3.8%。

作为全球最重要的市场之一，国际航协预计，随着中国、日本、澳大利亚等市场的进一步复苏，亚太地区客运量的增长量预计占全球增长量的一半。该区域预计2024年实现净利润22亿美元，净利润率为0.7%。同时国际航协也指出，与疫情前相比，亚太地区跨境出行的需求仍未被充分激活，这主要由于中国等重要市场的国际航线尚未完全恢复。2023年，中国国内7家上市航空公司中，仅春秋航空、吉祥航空和海航控股实现扭亏为盈，国内三大航依旧录得亏损。这与国内三大航体量大、国际航线多有直接关系。2023年第三季度，包括三大航在内的国内7家上





市航空公司都实现了盈利，单季度累计净利润超过 175 亿元，这也是自新冠肺炎疫情暴发以来，国内上市航司首次实现全部盈利。但遗憾的是，由于国际航线恢复不及预期，最终国内三大航 2023 年依旧未能实现扭亏。对此，国际航空运输协会在预测报告中也指出，未来中国市场国际航线的需求能够得到释放的话，将有望进一步提振该区域航空运输市场的恢复。

得益于地区经济发展和全球航空枢纽地位，中东地区航空公司总体发展态势良好。根据预测，该地区 2024 年净利润为 38 亿美元，净利润率 5.3%。近年来，中东地区不断加强基础设施建设，加大对旅游业的投资布局，带来了航空客运与货运量的强劲增长。尽管疫情后，中东地区航空公司仍在购买新飞机，增加运力，但从收益率来看，该地区航空公司的发展十分健康，未来也将有望继续保持良好的态势。尽管地缘政治风险在该区域依然存在，但国际航协也指出，除非伊朗和以色列之间的紧张局势升级，否则海湾航空公司受到的影响相对较小。

拉美地区航空公司之间的表现差异较大，这主要是因为一些财务表现滞后的航空公司所在的地区社会动荡。但在中美洲国家，特别是墨西哥、萨尔瓦多、危地马拉、洪都拉斯等国家，航空运输市场表现稳定，各项财务业绩呈现稳步改善的迹象。国际航协预测，2024 年该地区净利润有望达到 6 亿美元，净利润率 1.4%。

不同于全球其他地区，非洲地区航空公司运营成本很高，地区间通达性较差，这些不利因素使得该区域航空运输业的发展一直较为落后。但由于该地区对于航空出行的需求依然有一定的增长，国际航协预测该地区航司也有望连续两年实现盈利，预计 2024 年全行业净利润 1 亿美元，净利润率 0.6%。

## 机遇与挑战并存

从利润角度来看，国际航协预测，2024 年全行业营业利润将达到 599 亿美元，高于 2023 年的 522 亿美元；行业投资回报率预计 5.7%，比平均资本成本低约 3.4 个百分点。对此，国际航协认为，全行业在 2024 年如果能够取得预期的成绩，将是巨大的成功。但同时，国际航协也指出了，航空运输业微薄的利润将不利于行业的长远发展。其认为，未来提升航空公司的盈利能力和不断增长财务的弹性尤为重要。

从支出来看，国际航协预测 2024 年全行业支出预计增长至 9360 亿美元，同比 2023 年增长 9.4%。其中燃油平均价格预计 2024 年为 113.8 美元 / 桶，总燃油成本为 2910 亿美元，占有所有运营成本的 31%。同时，国际航协也指出，由于裂解价差（将原油提炼成航油所支付的溢价）预计在 2024 年将平均达到 30%，这也意味着航空公司的燃油成本将持续走高。

在可持续航空燃料（SAF）的使用方面，国际航协预测，2024 年全球 SAF 的产量或将增长，满足全行业 0.53% 的燃料需求，成本为 37.5 亿美元。比购买相同量的传统燃料的成本多了 24 亿美元。尽管如此，由于 2024 年全行业将消耗 990 亿加仑燃料，预计工业二氧化碳排放量为 9.35 亿吨，考虑到未来行业净零碳排放的目标，国际航协呼吁各国政府继续出台政策措施，加速 SAF 在航空运输业的使用。

通过国际民航组织（ICAO），各国政府已经设定在 2030 年利用 SAF 将国际航空二氧化碳排放量减少 5% 的雄心壮志。为了实现这一目标，2030 年所有预期的可再生航空燃料产能中有约 27% 必须生产 SAF。但目前，SAF 仅占有可再

生燃料生产量的 3%。对此，国际航空运输协会提出了几项可以促进 SAF 产量的潜在政策措施，并希望得到各国政府的支持。

首先是原料的多样化。加速使用其他经过认证的方法和原料，包括农业和林业残留物以及城市垃圾等，将大大扩大 SAF 的生产潜能。其次是联合处理。现有炼油厂可将高达 5% 的已批准可再生原料与原油流一起联合处理。这一解决方案可快速实施并大幅扩大 SAF 产量。第三是采取激励措施改善可再生燃料设施的生产组合。国际航空运输协会指出，当前的可再生燃料设施旨在最大程度地提高柴油产量。随着公路运输向电气化过渡，应制定政策将生产转向航空运输对 SAF 的长期需求。针对 SAF 的激励措施有助于促进可再生柴油向 SAF 的转换，仅需要对现有的独立可再生燃料设施进行最低限度的改造即可。第四是通过激励措施促进可再生燃料生产的投资。国际航空运输协会强调，所有可再生燃料的生产都需要迅速扩大规模，其中 SAF 的生产份额需要更有力度的政策支持。国际航空运输协会特别指出，鼓励建设更多可再生能源设施、加强原料供应链以及将更多可再生燃料产出分配给航空业，这将有助于帮助航空业早日脱碳。政府还可以通过加速批准各种原料和生产方式以及在原油工厂中联合处理可再生原料来促进技术解决方案的落地。虽然任何一项单独的政策或许都无法让行业达到所需的 SAF 产量，但是如果整合所有潜在的政策措施，是很有希望大幅提高 SAF 的产量的。

国际航空运输协会预测报告中，另一个可能影响行业复苏的因素则是全球范围内的供应链问题。根据预测，2024 年全球将有 3870 万架次航班可以投入商业运营，这一数字比国际航空运输协会在 2023 年

12 月的预测下降了 140 万架次。这主要是因为困扰航空制造业的供应链短缺问题，导致了飞机交付速度不及预期。根据飞机制造商最新的数据显示，2024 年全球预计交付的新飞机数量为 1583 架，这一数字低于几个月前所预测的 1777 架。除了飞机交付之外，国际航空运输协会也指出，除了新飞机交付之外，供应链问题所导致的发动机交付延迟、关键零部件供给不足等都会对航空公司的运力扩张、机队更新产生直接影响。

除此之外，由于全行业在经历了疫情的冲击之后，盈利能力十分脆弱，加上航空运输业又与宏观经济息息相关。因此，国际航空运输协会也在报告中特别提到，尽管从上半年的表现来看，其看好行业全年的发展，但仍有一些风险不得不起重视。

首当其冲的是全球经济的发展。航空运输业的发展历来与全球经济趋势密切相关。在后疫情时代，通货膨胀、高利率、GDP 增长放缓等因素都会对行业产生正面或者负面作用。其次是地缘政治的影响。俄乌冲突、哈以冲突等尽管目前都仅限于对冲突附近的区域产生影响，但一旦冲突升级，将会更大程度上对经济前景带来负面影响。第三是监管风险。在监管方面，航空公司可能面临合规成本的上升，以及与旅客权利制度、区域环境举措和无障碍要求等相关的额外成本。第四是公共政策。2024 年是全球大选年，新的全球政治格局正在加速形成，世界正处于百年未有之大变局中。在这场变局中，更有利于商业发展和提振经济的措施无疑是有利于行业发展的，反之则会对航空运输业的发展造成负面影响。■



# 美国航空货运体系 对我国航空货运发展的 经验借鉴

文 | 乔婧

航空货运是国家重要的战略性资源，具有承运货物附加值高、快捷高效等特点。美国作为全球最大的经济体之一，其货运机场在全球范围内占据重要地位，其建立的“专业化、区域化和产业一体化”的航空货运体系，有力保障了产业链供应链稳定运行。中美两国是全球最大的两个经济体，民航位居全球前两位，拥有国内、国际市场双旺的航空货运市场，美国的货运体系发展经验具有一定借鉴意义。但也要注意我国在空间格局、产业结构等方面的独特性，建议强调货运特色建立专业运输服务、完善客货运分工助力机场群城市群建设、需求牵引货运供给提升与产业体系适配性，以中国式航空货运体系支撑经济社会高质量发展。

## 美国航空货运市场发展模式

美国早在 20 世纪 80 年代就完成了 700 多个商业颁证运输机场的布局，形成国内与国际、客运与货运专业化分工的机场体系。在全球化和经济发展推进下，美国货运机场成为美国经济和国际贸易的重要节点，147 个货运机场服务于国际和国内货运业务，不仅为其经济发展提供了重要支撑，同时也形成了自身的发展特色。

首先是建立了专业化的货运机场及设施，形成了专业化的航空货运供给能力。美国除传统客货运兼顾的国际枢纽外，以综合物流服务商为主体的货运机场承担大量的航空货物运输，形成了孟菲斯、路易斯维尔、辛辛那提、波利斯以及安大略等航空货运枢纽。这些货运枢纽以全货机停机坪和分拣中心为核心开展建设和运营，如孟菲斯货运枢纽将四分之一机场面积，也是与飞行区紧密相连的核心位置提供给联邦快递作为其作业区。二是建立了完善的全货机运输网络。2019 年美国航空货运中 79% 的货物由全货机承运，国内和国际（美国至他国市场）航线的全货机占比分别为 90% 和 73%，远高于中国和全球平均水平，这也与美国安保管制要求客机腹舱不载货政策有关。三是形成了以集运商为主的专业货运团队。美国航空货运公司 20 强中有 14 家为专业货运公司，FedEx、UPS、Amazon 三家物流商全货机运能占美国的 70%，FedEx 和

UPS 承担货运量达到 62%，远超其他航空公司。达美航空、美国联合航空和美国航空等综合航空公司主要是借助腹舱完成货运服务，并无全货机队及服务。

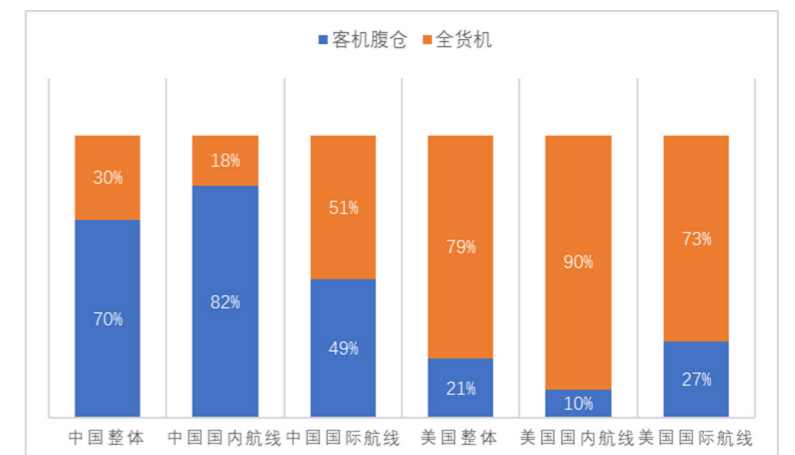
其次是形成了区域化的国际与国内分工。国际以“综合性航空枢纽+腹舱全货并进”模式开展协同运输。美国国际航空货运枢纽通常也是客货运兼顾的综合性航空枢纽，这些航空枢纽通常位于沿边靠海的经济发达地区，是城市群乃至区域的核心枢纽。这些机场国际旅客交流旺盛，拥有充足的腹舱空间，可有效降低国际货物运输成本。美国国际航线腹舱带货率达到 27%，是国内全货机比例的 2.7 倍。洛杉矶和芝加哥机场的客运腹舱市场占比均超过 40%，肯尼迪机场更是高达 80%。

国内以“全货机+专业枢纽+物流商”模式开展专业运输。美国国内航空货运是依托于物流运营商的专业货运机场体系，通过全货机建立轴辐式航线网络开展航空货运运输。美国国内货运吞吐量前五的机场中孟菲斯、路易斯维尔、辛辛那提以及印第安纳波利斯 4 个机场均是以国内货运为主，国内运输的全货机比例超过 98%。专业货运枢纽建立转运中心，支撑企业形成依赖少数核心枢纽中转的运营模式，并发展成为高效覆盖全美的轴辐式航线网络。如联邦快递 94% 的货物通过孟菲斯机

场中转后，再向全美及全球 220 个国家和地区提供服务。

第三是机场与产业的一体化协同。产业的空间转移催生长距离物流需求。纵观时间历程发现，美国产业迁移与航空货运发展历程时间相互叠加，制造业西迁南迁的同时也是专业化航空货运的起步期。1970 年以来电子、宇航等新产业在西、南部发展迅速，美国制造业呈现西迁与南迁，推动形成了东北部、南部及西部的东西两岸工业区布局。东西两岸的货运交流催生出长距离、分层级的适空物流运输需求，也衍生出位于中部的中转航空货运枢纽，DHL、联邦快递等物流企业、孟菲斯专业货运机场也在这个时期应运而生。

图 1 | 美国航空货运全货机运输占总周转量 70% 以上 (2019 年)





产业的结构升级推动高时效物流需求。随着计算机和信息技术等新兴产业成为美国新支柱产业，产品轻、小、贵的特征要求提供的运输服务更加迅速、安全、可靠，形成了大量适航货物，美国航空货运高价值货物货值占比达66%，单吨货值高达4.5万美元。同时，制造质轻价昂产品的技术密集型企业不再依赖于接近原料产地的布局模式，将办公地点或总部设在经济中心，办公研发人员与制造生产分离也推动物流高时效新需求，制造业的集中为规模化运输提供了货源基础。

### 对我国航空货运发展的经验借鉴

对于美国航空货运市场的发展，笔者认为有以下几点值得借鉴。首先是强调专业化货运能力，建立货物运输服务体系。通过专业化设施提升货运服务能力。区别于中国香港、迪拜、韩国仁川等客货兼顾的航空枢纽，美国孟菲斯、路易斯维尔等机场设有超级中心、临近停机坪机位、丰富集散能力等专业化设施，满足大量航空货运需求。我国除2022年首个建成运营的鄂州专业货运机场外，其他机场均为客运为主的设计方式，亟需建立货运机场布局体系，并完善货运分拨中转能力和设施、提升货运流线组织效率、优化货运设施布局和工艺流程，建立专用邮件、快件和冷链等专用航空物流设施，强化7×24小时服务能力，为货运机场提供专业化的运输服务。值得注意的是也要及时总结鄂州机场的实践经验，推动打造中国特色的航空货运服务。鄂州货运枢纽由于发展经验认知限制和国情特色，在运营中出现转运中心货物处理空间不够、货物安检不畅、口岸开放不足等问题，要及时总结经验并指导后期货运机场建设。

要强调货运一体化的运输履约能力，

增强全链路管控能力。航空运输货物大多对时间要求较为严格，而在运输链条中，机场两端时间是影响时效的关键。IATA数据显示，空运货物的平均门到门运输时间是134小时，其中航空公司仅有44小时支配装运，这对全链条管控能力提出更高的要求。美国航空货运打破原有客运网络，重构以专业货运枢纽为核心的轴辐式航线网络，以专业化的物流商为主导，将取货到交货的整个运输链都掌握在物流商，强化控制全链路的第一和最后一公里，实现服务时效性、稳定性、安全性的综合提升。我国既要畅通机场周边运输网络，建设高效快速集散运输体系，强化机场货运场站建设与运营的有效衔接，更要推动航空货运机场与航空物流企业、货代企业和其他运输方式之间建立密切合作关系和运行机制，推动建立全链条整体协调运作和延伸能力。

第二是要完善机场客货运分工，推动机场群城市群高质量发展。以货运功能推动机场功能错位发展。专业货运枢纽与客运枢纽在机场选址上存在一定差异，使机场群有条件通过客货运功能分工，形成差异化定位和专业化分工。美国通过城市群中心城市的枢纽机场承载客货运功能，周边城市承载国内客运或货运功能，形成了与城市群空间格局相匹配的机场群分布模

IATA数据显示，空运货物的平均门到门运输时间是134小时，其中航空公司仅有44小时支配装运，这对全链条管控能力提出更高的要求。

式。如加州城市群的洛杉矶机场是核心枢纽，客货运航线基本覆盖全球，与其距离60公里的安大略机场则是以北美地区的区域航空货运中心为定位发展。我国民航由于长期重客轻货的发展思路，机场功能均以旅客运输为主，“同质化”竞争较为严重。可根据在城市群内非中心城市的产业和区位特色，研究既有中小机场货运设施的改善提升和货运业务的转型升级，助力打造现代化的世界级机场群。值得注意的是我国拥有良好的客机腹舱资源，是航空货运中的重要运力组成，要求在航空货运发展过程中强化对客货运关系的统筹考虑。

要货运机场差异化聚集资源助力区域协同发展。客货运对产业影响存在较大的差异，机场客货运功能分离有助于形成差异化的经济带动能力，促进城市功能价值多样化发展。客运与商业商务酒店会议等城市服务业密切联系，亚特兰大机场是典型的客运枢纽机场，聚集了77%的美国500强（南方）总部或技术中心。而货运与物流、生物科技、精密仪器等高端制造产业的联系更为密切，孟菲斯机场更侧重于通过物流及产业供应链企业聚集带动高端制造产业发展，经济影响达271亿美元。当前我国机场的临空经济区均以航空运输业、制造业、高新技术产业及现代服务业为主，存在同质化现象，缺乏特质性产业带动。货运机场的发展为城市发展提供了新的可能，我国航空货运发展要注重机场与产业的密切协同，提高两者的互动联系，既可利用航空货运枢纽的航线网络打造物流集群，也可通过支线机场全货机运输带动牛羊肉、水果等特色农产品和制造业发展，以机场供给牵引提升产业发展能级，促进城市群高质量协同发展。

第三是产业需求引领供给，建立与现代产业相适配的航空货运。

要紧抓高端货运需求建立完善的货

运供给能力。高端货运需求是支撑航空货运高速发展的关键因素，美国电子产品、精密仪器等高附加值产业的发展对航空货运的专业性和履约能力提出了更高要求，推动航空货运体系高速发展。当前我国高端货运需求较为薄弱，每吨空运货运对应的GDP为2093元人民币，仅为美国的1/4。但近年随着产业结构调整的深入，适航货物需求逐渐增加且呈现多样化，传统高端制造产品需求仍在增长，SHEIN、TEMU等跨境电商已形成一定规模的国际航空货运需求，生鲜食品已成为国内与国际航空运输的重要组成。我国航空货运要针对不同适航货物需求特征及痛点难点，细化针对性的解决方案，如释放带电产品、放宽审批约束、完善冷链运输设施供给等。要推动机场、集运商、制造企业建立密切运输协调机制，建立满足货物需求的专业货运供给能力。

要紧跟产业升级转移趋势，谋划布局航空货运体系。产业发展规律表明，产业结构的转型升级往往与产业的空间结构变化同时发生。美国航空货运的发展就是抓住了上世纪八十年代美国产业升级和2000年后产业链全球化的产业升级与结构变化的重要时机，形成了完善的国内和国际货运网络。当前我国产业结构以制造业为主并集中在东部沿海地区，随着制造业转型升级进程的加快，新发展格局的加快建立，新兴制造业向内陆纵深地区迁移，中部产业带和消费力量的崛起，供给和需求分散将带来商品的双向流动，这将带动跨区域的航空货运需求，有必要立足各区域已形成的产业基础，结合我国重大生产力布局需求，建立完善的货运机场体系和货运运输能力，培育与产业升级发展需求相适应的航空货运体系。■



# 加入天合联盟能否让 北欧航空走出困境

文 | 王双武

2024年4月29日，北欧航空与天合联盟正式签署了一份《联盟遵守协议》，北欧航空向加入天合联盟迈出了重要的一步。按照协议，从今年9月1日起，北欧航空将正式成为天合联盟的成员，天合联盟的网络将延伸和扩展到北欧斯堪的纳维亚半岛地区。北欧航空的旅客可借助天合联盟的运输网络前往全球包括非洲、拉丁美洲和加勒比海地区等超过 1060 个目的地。

加入天合联盟之后，北欧航空的银卡会员将被视为天合联盟的精英会员，金卡和钻石卡会员将被视为天合联盟的精英+会员。北欧航空的精英会员可进入全球超过 750 个机场休息室，并在 8 个机场享有优先值机、优先登机 and 优先行李处理等天合优享服务。作为星空联盟的创始成员，北欧航空为什么要投身天合联盟呢？

▼  
图 | cavok.com.br



## 疫情雪上加霜

北欧航空成立于 1946 年 8 月，是由丹麦、挪威和瑞典三国政府在斯堪的纳维亚地区联合组建的航空实体，也是该地区领先的航空公司。

北欧航空在历史上经历过与荷兰皇家航空、奥地利航空和瑞士航空的重组，但最终因高层原因导致重组破产。随着欧洲低成本航空实力的崛起和传统航空公司的竞争压力，北欧航空面临着发展危机，多次出现过严重经营亏损。在 2019 财年，北欧航空实现利润 8 亿瑞典克朗（约 9500 万美元）。但在 2020 财年，该公司税前亏损 102 亿瑞典克朗（约 12 亿美元）。

北欧航空在 2021 年第二季度继续出现旅客运输量严重不足现象，造成当季直接亏损 24 亿瑞典克朗（约 2.8 亿美元），比 2020 年第二季度还多亏损了 11 亿瑞典克朗（约 1.28 亿美元）。为了帮助北欧航空度过财政危机并解决其经营成本问题，欧盟委员会批准了给瑞典和丹麦约 3 亿欧元的经济援助。该项援助以贷款和补贴利率等方式分别给瑞典和丹麦政府发放了 1.5 亿欧元，贷款期限为 5 年。

丹麦政府持有北欧航空 21% 的股份，北欧航空的困境让丹麦政府犯难。此前，瑞典政府和挪威政府先后分别发表声明，将把持有的北欧航空现有债务转换为公司的股权资本，但是不会再给北欧航空注入新的资本。2022 年 6 月，丹麦政府与反对

派政党达成协议，同意给处于困境中的北欧航空注资，但前提条件是丹麦政府需要一个或多个新的大股东，以确保自身持有的股份仍占少数。

这种情况下就意味着，与北欧航空有关的三个政府利益相关者中，仅有丹麦政府同意向北欧航空注入新的资金。丹麦政府采取这一措施，主要是基于国家层面仍然希望承担起振兴北欧航空的责任，并以此作为北欧航空的长期所有人之一，促进丹麦的国际旅游业、外贸出口和商业交流。

经过不懈努力，北欧航空在 2022 年第三季度旅客运输量比第二季度增长了 30%，客座率也比第二季度增加了 11 个百分点，达到了 78%，这也是北欧航空自疫情暴发以来旅客运输量最多的季节。然而，由于飞行员连续罢工 15 天，迫使在夏季减少了 4000 个航班，北欧航空在当年第三季度税前亏损 19.9 亿瑞典克朗（约 1.88 亿美元），高于 2021 年同期亏损 13.3 亿瑞典克朗（约 1.25 亿美元）。飞行员罢工对北欧航空在夏季旅行需求旺盛的季节造成了比较严重的影响。

## 破产保护申请

为了实现公司资产重组和压缩成本持续经营，2022 年 6 月，北欧航空在美国申请破产保护。北欧航空希望通过破产保护重组债务，重新规划机队和实现新的资本注入。在收到北欧航空的破产保护申请之



后，美国纽约南区法院在 2022 年 7 月 7 日同意了北欧航空的破产保护申请，并回复北欧航空可以按照正常方式继续营业，包括支付员工薪酬、为供应商和销售商提供服务和产品。

通过此次破产保护行动，北欧航空能够额外获得 7 亿美元的债务融资以支持其重组业务的开展。但是，由于削减成本导致飞行员降薪 30%，引起了北欧航空在瑞典、丹麦和挪威的飞行员工会的强烈不满，并举行了连续罢工，导致北欧航空 2022 年夏季运力严重不足。

2022 年 7 月 19 日，北欧航空与飞行员达成一项 5.5 年的集体谈判协议，从而结束了长达 15 天的罢工。双方同意飞行员承担更多的工作从而降低飞行员的单位成本，北欧航空还承诺重新雇用 450 名全职飞行员。双方还就撤回部分飞行员针对北欧航空采取的法律行动达成协议。这次飞行员罢工导致 4000 个航班被取消，影响到 38 万名旅客出行，造成公司损失超过 15 亿瑞典克朗（合 1.45 亿美元）。

自宣布破产保护以来，北欧航空一直在积极推行成本削减战略，通过简化业务运营来提高公司的财务状况。2023 年 11 月，北欧航空获得了包括 Castlelake 公司在内主要股东 12.1 亿美元的现金贷款。该项贷款实际上是取代了阿波罗全球管理公司在 2022 年提供的债务人持有资产的融资安排。

同意现金注资的财团还包括法国—荷兰航空集团、丹麦林德投资集团和丹麦政府。同时丹麦政府还同意对该航空公司再增加 2526 万美元的投资。各投资方与北欧航空经过谈判，并对包括投资能否完成扭亏和加快重组进程进行了评估。因为只有北欧航空完成了重组和实现了盈利，才能不再受到法院的监管。

经过不断的努力，在 2023 财年第三

季度，北欧航空自新冠肺炎疫情暴发以来首次实现了盈利。旅客运输量比 2022 财年第三季度增长了 36.8%，客公里收入增长了 42.5%，运力增加了 35.9%，客座率增加了 3.7 个百分点达到了 81.5%，实现收入 131.7 亿瑞典克朗，净利润 4.61 亿瑞典克朗。但是就 2023 财年整体而言，北欧航空旅客运输量超过了 2370 万人次，比上一财年增加了 33%，总收入为 420 亿瑞典克朗，运营费用比上一财年增加了 27.3%，但该财年亏损额为 57 亿瑞典克朗。

### 机队规划降成本

北欧航空在 2022 年开始实施的公司重组计划中，有一项内容就是计划到 2026 年削减 75 亿瑞典克朗（约 7.54 亿美元）的成本，还将把 200 亿瑞典克朗（约 20 亿美元）的债务转换成股权，并筹集至少 95 亿瑞典克朗（约 9.53 亿美元）的新资金。

北欧航空还将对机队进行重新规划，接下来就是与飞机租赁公司就精简机队和实施成本削减的措施达成一致。但是，这一机队重组方案在开始的时候并未取得实质性进展，北欧航空只是强调因远程航线市场不景气，需要减少机队中包括空客 A330 和 A350 飞机在内的数量。

北欧航空于 2022 年 7 月在美国自愿申请破产保护后，就一直在寻求如何在重组计划和削减成本方面取得进展，其中比较困难的就是如何与飞机租赁公司谈判并修改飞机租赁协议。经过不懈的努力，北欧航空终于在谈判中取得了一些进展。

截至 2022 年 9 月，北欧航空拥有 117 架飞机，其中有 62 架飞机是租赁而来。作为破产保护重组过程中减少成本的一部分，2022 年 10 月，北欧航空与 Aergo 资本有限公司、ALAFCO 航空租赁和金融公司等 10 家飞机租赁公司进行了建设性的

谈判，对 33 架窄体飞机和 3 架宽体飞机的租赁条款的修改达成一致。同年 11 月，又与 Carlye 和 SMBC 两家飞机租赁公司就 7 架窄体飞机及其配件的租赁条款达成修改意见。飞机租赁协议条款的修改进一步改善了北欧航空的成本结构。

另外，北欧航空分别与日本 Fuyo 通用租赁公司签有 2 架空客 A350-900 租赁协议，与中国交银金融租赁公司有 3 架 A330-300 宽体飞机租赁协议，与爱尔兰 SMBC 航空租赁公司有 3 架空客 A320neo 租赁协议，与日本伊藤忠租赁公司有 1 架空客 A321 租赁协议，以及与爱尔兰 AerCap 飞机租赁公司有 1 架波音 737-700 飞机租赁协议。为了进一步削减成本和缩减机队规模，北欧航空分别与这些租赁公司谈判，并从 2022 年 9 月起陆续退租了这 10 架飞机。

北欧航空与飞机租赁公司就租赁条款修改达成一致，也是根据当时地区旅游市场不景气和远程航线运力过剩的变化，以及在破产保护进程中加快削减成本的需要采取的措施。北欧航空还打算今后在一些中远程航线上，用单通道飞机代替双通道飞机，以及控制机型的多样性，最终实现只拥有三种机型来提高生产效率。据悉，通过对租赁协议的修改，北欧航空每年至少节约成本 8.5 亿~10 亿瑞典克朗（约 7800 万~9200 万美元）。

### 入盟天合乃形势所逼

随着债务重组过程即将结束，北欧航空的资本结构将发生重大变化。2023 年 10 月，北欧航空宣布 Castlelake 公司持有公司 32% 的股权，法国—荷兰航空集团持有 20% 股权，丹麦政府持有 26% 的股权，丹麦林德投资集团持有 8.6% 的股权，其余股权则由其他债权人持有。实际上，新

股东对北欧航空的投资总额达到了 11.6 亿美元。北欧航空与 Castlelake 达成的信贷协议价值为 5.05 亿美元，将主要用于再融资贷款和增加该公司的现金流动。

破产保护与债务重组对北欧航空带来了很大的变化。一方面，北欧航空面临着原先股东的彻底流失，这将对债券持有人造成重大经济损失；另一方面，北欧航空还将从公开市场上退市，并发行新股和可转换债券。在资本结构重组的新财团中，法国—荷兰航空集团对于北欧航空未来的发展将具有重要的影响。

在此次资本重组的过程中，法国航空提供了 1.44 亿美元，其中有 1.095 亿美元以股权形式注入，其余的则为可转换债券形式注入。这一行为使法国—荷兰航空集团获得北欧航空 20% 的股权。北欧航空与法国—荷兰航空集团的合作，也为法国—荷兰航空集团在北欧地区的商业运营创造了更多的机会，其市场地位的战略意义甚至远远大于金融领域的扩张。

北欧航空于 1997 年加入星空联盟，并且是星空联盟的创始成员。为了完成债务重组和加快恢复经济，北欧航空与法国—荷兰航空集团在 2023 年 10 月加强密切合作，并开始形成战略联盟合作伙伴关系。目前，法国—荷兰航空集团已经成为北欧航空的一个重要股东。为了今后市场的持续扩张和增强在北欧地区的竞争实力，在法国—荷兰航空集团的主导下，北欧航空自然会退出星空联盟，并加入以法国—荷兰航空集团为核心的天合联盟，开展全新的商业合作。■



# 翎亚航空副主席李耀民： ARJ21 海外运营一年了

文 | 陈姗姗



李耀民  
Leo Budiman

新加坡南洋理工大学航空管理专业工商管理硕士、国际企业家，拥有多年企业经营及投资领域的管理经验。

2023年4月18日，国产支线客机ARJ21首次在海外投入商业运营，执飞雅加达—巴厘岛航线。如今，ARJ21在印尼的运营已经满一周年。

一年过去了，ARJ21在印尼

的运营到底如何？是否达到了客户对安全性和经济性的要求？未来还会飞向哪里？近日，翎亚航空副主席李耀民(Leo Budiman)接受《大飞机》杂志采访时，对上述问题进行了一一回应。

## 目前飞哪里

翎亚航空是ARJ21飞机的首个海外用户，2022年12月18日接收了首架ARJ21飞机，意味着国产喷气式飞机首次成功出口，并开启探索海外商业化运营的进程。

在此之前，ARJ21飞机主要在国内运营，用户也主要是国内航空公司，包括成都航空、天骄航空、江西航空、国航、东航、南航和华夏航空等。

中国商飞公司高层在交付仪式上表示，印尼经济增速快，人口

规模大，岛屿众多，非常适合支线飞机的发展。ARJ21经过6年多的规模化运营已经成为一款安全的、成熟的、值得信赖的支线飞机产品，将帮助翎亚航空扩大机队、航线网络、提升市场竞争力。在为客户提供价值的同时，商飞期望走好国际化战略的第一步，收获成长和进步。

“当时也是ARJ21飞机最近的一次调机飞行，达到4小时22分钟。”李耀民回忆，在第一架ARJ21飞机抵达印尼雅加达后，就开始了100小时的验证飞行，并在4个月后开启雅加达—巴厘岛的首次商业飞行。

截至2024年4月，翎亚航空用ARJ21飞机开通了6条航线，通航8座城市，载客近12万人次。这些航线主要集中在印尼国内，从航班时刻来看，飞行时间最长的超过2小时，最短的只有20分钟。

但也有国际航线。比如，2023年6月24日，ARJ21首次执飞了雅加达到马来西亚吉隆坡的国际航班。

李耀民透露，未来，翎亚航空的ARJ21飞机更多会在印尼东部的岛屿间飞行，因为那里的中资企业比较多，航班又比较少，放太大的飞机过去也不经济，用ARJ21飞机运营更合适。“目前已经在东部飞行，效果很好，未来还会执行一些企业的包机航班，比如一天两趟接送工人上下班。”

## 安全性和经济性如何

ARJ21飞机包括基本型、货运型和公务机型等系列型号，航程

2225至3700公里，主要用于满足从中心城市向周边中小城市辐射型航线的需求。

翎亚航空的ARJ21飞机为95座全经济舱布局，客舱内饰、旅客座椅以及外部涂装均为客户定制化设计，其中旅客座椅采用了全皮质座椅面料。

李耀民介绍，目前翎亚航空已经为ARJ21飞机配备了26位机长和副驾，相关特业人员也都曾在ARJ21的制造商中国商飞公司位于上海的客服中心接受过培训。

而为了给ARJ21飞机在海外的运营提供更多的支持，中国商飞也在印尼建立了中国商飞服务公司东南亚代表处，就近为用户提供更高效、更本土化的人员培训、航材备件、飞机维修等保障服务。

一年来，中国商飞还派出资深飞行教员前往印尼带飞带教，派出安全管理专家和工程人员提供现场技术支持。

“作为制造商，不仅要产品卖出去，还要保障用户把飞机用好。”中国商飞服务公司副总经理吴国芳说，“我们运营支持团队提供全方位的服务，包括飞行员、乘务员航线带飞，维修、签派人员现场带教以及手册、航材等保障，有力地支持了ARJ21飞机在印尼翎亚航空国际、国内、干线、支线、包机、救援等不同种类运行要求下的安全、顺畅运营。”

每天，中国商飞与翎亚航空都会进行沟通，希望能让飞机在印尼的运营更安全、更经济，比如飞机是否可以适应更短、更窄的跑道等。



**ARJ21 Regional Jet**  
First short-medium range turboprop regional aircraft independently developed by China in accordance with international civil aviation standards.  
78-97 Seats  
Range: 2225-3700km

**A Reliable Regional Jet**  
Trustworthy System | Excellent Handling  
Comfortable Experience | Strong Adaptability

**Flexible Cabin Layout**

78 Seats  
Twin Class

90 Seats  
Single Class

**COMAC**

Fire Fighting Jet (2025)  
Medical Service Jet (2023)  
COMAC Business Jet (2021)  
Freighter (2022)  
Emergency Management Jet (2024)



李耀民介绍，相比国内，印尼不少岛屿上的机场跑道比较短，因此 ARJ21 飞机在印尼的运营，也获得了在短跑道飞行的验证机会。此外，ARJ21 飞机在印尼的日利用率也渐渐爬升，目前已经达到了 8 小时。

“目前来看，这个机型没有什么大毛病，飞机可用率、签派可靠度已连续 4 个月保持‘两个 100%’。”李耀民透露：“ARJ21 确实是一款非常适合我们市场的支线飞机，今年公司会接收更多的 ARJ21 飞机。”

## 未来还要怎么飞

ARJ21 飞机是我国首次按照国际民航规章自行研制、具有自主知识产权的中短程新型涡扇支线飞机。要让海外航司主动订购一款新机型，并不是一件容易的事。一个全新的机型在投入使用初期，都有一个“可靠性增长期”，在这段时间内通常会遭遇一些故障和问题，随着使用磨合的增加，飞机的可靠性会不断提升。但对于运营它的航空公司来说，就面临运行保障成本较高的挑战。

这样的风险同样困扰着波音、空客等成熟飞机制造商。由于新飞

机往往会使用一些新材料或新技术，创新带来优势的同时，使用风险也将伴随。

这也是一款新飞机研发后，打开市场相对困难的重要原因之一，很少有航空公司愿意承担新制造商、新机型所带来的潜在风险。因此，自 2016 年 6 月 28 日投入航线运营以来，ARJ21 的主要运营商，还都是国内航空公司。

印尼翎亚航空帮助 ARJ21 打开海外市场的背后，有来自光大集团旗下中飞租赁公司的推动。中飞租赁对翎亚航空进行了投资，并帮助其改善了管理，包括完善法人治理结构、清理历史遗留问题（税务、合同等），重组国际化专业化管理及运营团队、全面提高运作规范性等。

翎亚航空趁势转型低成本运营，采取品牌运价的模式，并更新老旧机队，目前已经引入了 4 架空客 A320 和 3 架 ARJ21 飞机，还开通了到中国的航线：雅加达—广州。

据了解，翎亚航空未来将以雅加达、巴厘岛和美娜多为三个中心点形成航线覆盖网络，将 ARJ21 飞机执飞航线延伸到澳大利亚和中国。

而 ARJ21 在印尼远超预期的

表现，也为国产支线客机加快出海创造了有利条件。今年春节后，C919 和 ARJ21 双双参展新加坡航展，之后又飞往东南亚进行演示飞行，巡演覆盖新加坡、越南、老挝、柬埔寨、印尼、马来西亚等多个东南亚国家。

值得注意的是，在 2022 年的珠海航展上，国内多家租赁公司与商飞签署了 30 架 ARJ21 的确认订单，目标也是将 ARJ21 投入更多海外市场。

而除了推动 ARJ21 飞机尽快“出海”，作为 ARJ21 的制造商，近年来中国商飞公司也在不断推进 ARJ21 飞机的系列化发展，包括公务型 ARJ21 飞机，以及货运型 ARJ21 飞机。

在 2021 年的珠海航展现场，中国商飞公司就与一二三航等国内多家公务机运营商共同为首架 CBJ 公务机（公务型 ARJ21 飞机）揭幕，这也是国产 CBJ 公务机首次参加航展，近距离出现在公众面前。

去年 10 月，两架 ARJ21 “客改货”飞机交付给圆通航空和中原龙浩航空。2024 年 6 月 6 日，圆通航空 ARJ21 客改货飞机进行了首次商业飞行。■

# 晴空颠簸加剧的背后

文 | 徐婷

2024 年 5 月 21 日下午 4 时许，载有 211 名乘客和 18 名机组人员的新加坡航空公司 SQ321 航班，因遭遇严重湍流紧急迫降泰国曼谷素万那普机场。有媒体称，客机的飞行高度在短时间内从 38000 英尺降到 31000 英尺，急速下降了 7000 英尺（约合 2133 米）。

该新闻引起很大的震动，很多人以为是多年未见的偶发事件，但实际上近年来飞机巡航阶段遭遇晴空颠簸的概率在增加，强度也有所增大。

2023 年 7 月 10 日，国航 CA1524 航班飞行中突遇晴空颠簸，导致两人受伤；2023 年 2 月 12 日，西部航空 PN6392 航班遇到气流发生剧烈颠簸下坠；2022 年 5 月 1 日，印度香料航空一航班飞行途中遭遇严重颠簸；2020 年 8 月 20 日，国航 CA1704 航班在 8900 米左右高度上突遇晴空湍流，出现急速颠簸……

在多种飞机颠簸中，晴空颠簸是飞机巡航阶段可能遭遇的一种常见类型，是指发生在飞行高度 6000 米以上、与对流云无关的颠簸。由于它发生在晴朗





的天气条件下，因此难以被飞机上的气象雷达探测到。而飞机一旦遇到，颠簸强度往往会在中度及以上，如果乘客或乘务人员此时未系好安全带，可能会受伤。

欧洲航行安全组织对其提供服务的国家所进行的一项调查显示，86%的受访者表示适应气候变化对飞机制造业至关重要。而据国际民用航空组织（ICAO）的调查，65%的受访国家认为气候变化已经影响了本国的航空运输，30%的国家已经实施了适应气候变化的措施。

## 晴空颠簸只是冰山一角

晴空颠簸的形成是因为高空存在晴空湍流，晴空湍流是高空风切变的产物。有气候模式模拟显示，当大气中二氧化碳浓度增加一倍，北大西洋冬季高空晴空湍流的中位数强度将增加10%~40%。其中，轻微晴空湍流会增加59%，轻至中度增加75%，中度增加94%，中至重度增加127%，重度晴空湍流则将增加149%。

由此可见，随着碳排放增多，高空中的晴空湍流会变得更强大，各种强度的晴空湍流更加频繁，越强的晴空湍流频率增幅越大。

而相关气象数据统计显示，

这些情况正在真实世界中发生：1979年至2017年间，北大西洋地区高空急流的风切变强度增加了15%；1979年到2020年，中纬度地区（南北纬30°至60°之间）的晴空湍流有显著增加。

从持续时间上看，1979年至2020年间，北大西洋上空出现的严重及以上强度的晴空湍流的年总持续时间从17.7小时增加到27.4小时，增幅高达55%；中度及以上强度的晴空湍流从70.0小时增加到96.1小时，轻度湍流则由466.5小时增加到546.8小时。

数据显示，晴空湍流频率增大趋势最显著的地区是在东亚，如果这种趋势继续下去，将会对西北太平洋地区上空的飞行运行产生重要影响。

除了晴空颠簸，全球变暖还会从多方面影响人类的空中通道。

例如，航路上风和温度的变化将会改变未来的飞行时间。目前，大型商用客机的典型巡航高度在8千米至12千米。总体而言，气候变暖未来将会使向东航行的跨大西洋航班顺风增加，从而缩短飞行时间，向西飞行的航班则需要飞行更久。

随着大气二氧化碳浓度的增加，一架从美国纽约肯尼迪机场

飞往英国伦敦希思罗机场的飞机，途中所遭遇的顺风和逆风在所有季节都会有所增加，增幅可达14.5%，但从总体平均风速变化来看，航班跨大西洋飞行的耗时将平均增加2%。

此外，航路温度也会随着气候变化而变化。在特定巡航条件下，飞机真实飞速将每十年下降 $0.18 \pm 0.05\%$ 。30年后，每8小时的长途飞行时间增加2至3分钟，大约增加1%。也就是说，航路温度也会影响飞行时间。

众所周知，大型迁徙性鸟类撞击飞机可能会降低飞机气动性能，严重时可能造成发动机损坏。然而，气候变暖正在使不少候鸟的生活习性悄然改变。当它们改变迁徙时间、调整飞行高度，就可能与原本“风马牛不相及”的飞机相遇，从而给飞机航路带来安全隐患。

例如，在太平洋地区，由于厄尔尼诺现象改变了一些动物食物来源的可获得性，不少南方物种向北扩张，动物的春季迁徙也开始提前。由于目前所有航班的飞行路线及安全建议，均基于已知的大型迁徙性鸟类行为，这些新变化可能会带来不可预测的鸟击隐患。有统计显示，全球机场附近的鸟击事件一直在增加。

## 地表升温的影响

除了对高空大气的影响，气候变暖还会显著改变地面气温和地面风，而这将会直接影响飞机性能的有效发挥。

物理学常识告诉我们，气温升高会使空气密度减小。因此，当地面温度变得更高时，飞机在靠近地面的飞行阶段，其发动机燃烧燃油时单位时间内获取的氧气就会减少，这会使得飞机性能有所降低。其最直接的影响就是飞机的最大载重量减小，起飞和降落时所需的跑道距离有所增加。

据预测，本世纪中叶（2021~2050年）到本世纪中后期（2071~2100年），飞机的夏季平均起飞距离将增加1.6%~11%。以波音737-800飞机为例，未来夏季，它的起飞距离将额外增加3.5米至168.7米。对于跑道足够长的机场，只需增加飞机的滑跑距离，而对于跑道较短的机场，就必须对超过某个温度阈值的飞机起降限制重量，以确保安全起飞。

自1980年以来，随着地表温度的升高，各机场夏季需要对航班限重的天数已有所增加。研究发现，在未控制的高排放假设情境下，



▲ 海拔仅3米的马来西亚槟榔屿国际机场

2050年至2070年间，美国四个主要机场每年5月至9月间对波音737-800飞机的限重天数将增加50%~200%。

限重对于航空公司的影响十分显著。以希腊希俄斯机场和空客A320为例，1988年至2017年间，每架飞机所需减少的有效载荷相当于搭载38名乘客及其行李或飞行1300千米的燃料。

此外，飞机在运行中也有温度限制。2017年6月20日，美国菲尼克斯气温超过49℃，由庞巴

迪CRJ支线飞机执飞的40余个航班由于高温被取消，原因是气温超过了其运行的最高温度。

地面风在飞机起飞和降落阶段发挥着重要作用：逆风是飞机起降最有利的条件；顺风会使飞机起飞或着陆滑跑距离增长，也会带来冲出跑道的风险；侧风则会使飞机对不准跑道、发生滚转等。因此，在飞机起降时，对顺风和侧风有相应限制。气候变暖给地面风带来的改变，可能影响航空安全系数。

此外，气候变暖使强对流天



# 在“航空救国”的主题下

## ——《翱翔云端的风筝》创作谈

文 | 胡海林



胡海林

教授职称，博士学历，曾在国家机关、大学与央企工作。亦曾有过军人、中小学教师经历。出版《心灵的地狱》、《雪泥鸿爪》、《精算珠三角》等多部文学与经济学著作，发表数十篇政经论文。

气增加，也会对航空造成影响。在机场范围内，对流天气会增加航班延误或取消的风险。在航行过程中，对流天气可能会让飞机更多遭遇颠簸、积冰、低能见度、风切变及闪电等安全威胁。

有研究预测，2050年春季和夏季，荷兰东南部城市马斯特里赫特上空的对流天气将会增加。这些对流天气可以发展到17千米的高度，将迫使航线延长、飞机爬升和下降坡度更陡、空速降低，所有这些都会对尾气排放、飞行时间和飞行成本产生不利影响。而且，这还会使更多飞机进入其他空域，从而产生潜在的安全问题。

### 百余国确认已受影响

气候变暖造成的一大后果是海平面上升，未来几十年，这将给不少低海拔沿海机场带来严峻考验。

自1900年以来，全球海平面上升了0.2米。预测显示，到2150年，在一定程度的变暖情景下，海平面可能上升1米至5米。这可能会使海平面高出许多低海拔沿海机场的跑道。例如，马来西亚槟榔屿国际机场海拔仅3米，美国纽约肯尼迪机场海拔为4米，

意大利罗马菲乌米奇诺机场海拔为5米。还有研究表明，如果全球平均温度上升2°C，海平面上升将使低海拔沿海地区1238个机场中的100个低于平均海平面。

目前看来，欧洲、北美和大洋洲的不少机场处于危险之中，但东南亚和东亚的风险最高。受益于多年来日益增强的防洪措施，目前该风险已降低了23%，但要在2100年将风险维持在当前水平，可能需要高达570亿美元的投入。

除了平均海平面的升高，强降水、台风等恶劣天气的发生，对低海拔沿海机场的防洪、排水能力也是巨大考验。这些极端天气可能会使机场运行中断，且中断恢复时间不确定，尤其对于枢纽机场而言，影响将非常巨大。

全球气候变暖所引起的极端天气事件，还包括中高纬度地区冬季的极寒。当极寒事件频发，机场的除冰车、防冻液等设施设备物资储备也需动态调整，某些地区的供暖需求也会增加。

气候变化和航空市场的变化对机场而言是双重挑战。未来几年，航空市场的恢复将给新兴市场和成熟市场的运营带来越来越大的压力。预测显示，即使是在相当成熟的欧洲航空市场，一些地区也会出

现较高增长率。其中，东南欧和中欧的航空市场预计增长最快，但这些地区恰好也是受气候变化潜在影响最大的地区。因此，这些地区可能不得不在应对航空市场需求快速增长的同时，应对气候变化所带来的挑战。

2019年，国际民用航空组织（ICAO）对其193个成员国展开调查，了解他们对气候变化适应的理解和相关计划，并根据调查结果绘制了风险图。其中，65%的受访国家认为气候变化已经影响了本国的航空运输，另有15%的受访国家预计到2030年将受到影响。在具体行动方面，30%的国家已经实施了适应气候变化的措施，另有25%的国家计划在十年内实施，只有6%的国家尚未制订相应计划。

欧洲航行安全组织在2018年对其提供服务的国家进行调查，86%的受访者表示适应气候变化对飞机制造业至关重要，53%的受访者已经开始制订相应计划。就特定组织而言，48%的组织认为自己已经受到影响。展望2050年，57%的组织预计将受到影响，仅10%的组织明确表示不会受到影响。■

《翱翔云端的风筝》是我以中国航空先驱人物冯如为题材创作的系列长篇小说——《生为蓝天》三部曲的第一部。之所以从冯如写起，当然是因为他是中国航空事业的开创者，创始飞行大家，人们称之为“中国航空之父”。而且，冯如与美国的莱特兄弟、寇蒂斯，法国的杜蒙和伏瓦辛兄弟等航空先驱有本质的不同。他们大多是为掘金财富而迷上研制飞机的冒险家，或者说是航空飞行爱好者。冯如研制飞机的初心是要“壮国体，挽利权”，为祖国强盛不再受列强欺压而踏上研制飞机之路的伟大爱国者。

### 为什么以“风筝”作为书名

我国著名航空史大家、航空教育家姜长英认为：“飞机、滑翔机与风筝的原理是一样的。只是飞机比滑翔机多了发动机与推进设备，风筝比滑翔机多了线轴。风筝的飞行原理是滑翔机与飞机飞行的基础。”要不然，美国华盛顿的国家航空和空间博物馆飞行器馆里，就不会挂着一只硕大的中国风筝，写着“最早的飞行器是中国的风筝和火箭”。大英博物馆也不会标示：“风筝，中国的第五大发明。”

事实上，航空先驱们的许多灵感就来自中国风筝，模仿鸟翼制造了许多架滑翔机的德国人李林塔尔，还有美国人奥克塔夫·沙尼特，他们无一例外，在制作滑翔机时都参考了中国的风筝设计与飞行原理。沙尼特自己承认他在1898年设计制作四翼滑翔机的灵感就来自中国的串式风筝。另外，沙尼特称得上是莱特兄弟研制飞机的引路人，莱特兄弟总共给沙尼特写了177封信，来探讨风筝与滑翔机的问题。并且，1900年莱特兄弟以双翼风筝的样式制造了一架滑翔机，在北卡罗来纳州多风的歼魔山上试飞，虽然滑翔机载人失败了，但为他兄弟俩1903年重于空气的载人动力飞行试验成功奠定了基础。当时，美国最著名的科学家、电话发明人贝尔，投入巨资研制各种类型的风筝进行载人飞行试验，寇蒂斯后期参与贝尔飞行风筝的研制项目，受益匪浅。

冯如自小便是个玩风筝的高手，无师自通做了各类风筝，尤其是曾制作飞起翼端呈椭圆形的大型风筝，两翼端各悬挂着一个小木桶，负重飞到近百米的高度，一时成为岭南五邑地区的乡间奇闻。玩出这种负重飞行的风筝，是需要具备空气动力学、流体力学与机械力学的知识，把握好物体在气流中感受到的力度。木桶风筝的飞行成功，说明了11岁的冯如不知不觉中已具备了运用航空科学的基础——空气动力学与流体力学的知识。



实际上，在我国古代劳动人民不计其数的创造发明中，不乏与航空的空气动力学、流体力学有关的成果。比如船帆，起初的船帆通过顺风使帆所受的力来推动船前行，后来掌握了帆的空气动力性质，用了分力与合力来推动帆的侧风行船。到了明代，船工们又摸索出在宽阔河面，走“之”字形，以航向曲折分力转换成逆风推力，使船前行。还有古老的武器弓箭，箭杆末端的羽毛是用来加大空气动力推力与校准目标的。这些中国古人的智慧，是启迪冯如蓝天梦想的种子，奠定了他研制飞机最初的学术基础。所以，书名定为“翱翔云端的风筝”，是符合人物与事件特征、更说明了飞机的诞生与中国元素是密切相关的。

## 重新认识冯如的历史地位

书稿创作完成后，我的最大感受是，冯如的成就足以证明中国的航空制造与飞行与欧美国家的航空制造与飞行是同步的。但遗憾的是，世界航空发展史，包括我们国内编著的中国航空发展史，都没有把冯如这个人物高度挖掘出来！

我参观过巴黎的法国航空博物馆、西雅图的波音航空博物馆，

还有加拿大蒙特利尔市的航空博物馆，那些馆内都有世界航空先驱人物专题介绍，突出的都是西方人与西方国家的元素，冯如的名字仅有个别的综述中提到，悬挂的先驱人物的画像中没有他。航空史学大家姜长英的经典著作《中国航空史》对冯如研制飞机作了简略记录，可能基于成书时掌握的资料限制，或者时代局限，没有进行更为详尽的讨论，这是我感到这部经典史书遗憾的地方。

通过比对冯如研制飞机的资料，我发现冯如在众多世界先驱人物中，其个人的航空探索技能是全面性的。在全球研制飞机的著名航空先驱人物中，美国的莱特兄弟、寇蒂斯，法国的伏瓦辛兄弟与桑德斯·杜蒙，他们制造飞机都是分工协作的。莱特兄弟中，哥哥威尔伯·莱特负责机体设计制造，弟弟奥维尔·莱特负责飞行，发动机由他们公司机械师 Charlie Taylor 设计制造；寇蒂斯研制的飞机，他本人仅负责发动机并参与飞行驾驶，机体设计与制造则由他的几个合作伙伴完成；杜蒙与伏瓦辛兄弟都是在飞机设计与飞行驾驶中取得无可挑剔的成就，可他们的发动机却完全向第三方购置，也未全部参与制作整架飞机。只有冯如是从机体设计制造、发动

机设计制造，再到自我驾驶飞行，全部由自己独立完成。从这个视角研究冯如，他不仅是创始飞行家，也是创始飞机设计家、制造家与发动机设计发明家。再进一步看，冯如制造的“冯如二号”无论是飞行高度、飞行时速与飞行距离都媲美莱特的 A 型飞机与寇蒂斯当时设计制造的飞机，达到第一届国际飞行比赛的冠军记录。所以说，在这群耀眼的航空先驱人物中，冯如关于飞机设计制造的个人素养一点也不亚于他们，甚至可以说是最高的。

同时，我们还要分析冯如所处的艰难研制环境以及缺乏足够的研制资金等不利情况。他所处时代，正是美国种族主义盛行、排华暴力事件不断发生时期。在这样恶劣的环境下，冯如以孤勇者的无畏气魄，克服各种困难去学工业机器制造，搞工业产品的发明，去研制白人才刚刚触及的航空飞行。其难度之大是今天的我们无法想象，也正因为如此，冯如的飞机飞起来以后，就有人不问青红皂白指责他抄袭，就因为他的“冯如一号”是个鸭式的结构布局，与莱特的“飞行三号”与 A 型飞机外形结构有类似之处；后来“冯如二号”改为“顿垦前制”的结构布局了，又有人指责他是仿制寇蒂斯的双翼飞机。实际上，虽

然美国工业界因为逐利而抄袭成风，但冯如研制飞机，正是美国掀起保护专利权的打假运动浪潮时。以至于莱特兄弟都没有心思研制飞机，就忙着打官司维权，争金夺银。冯如研制飞机时应该很注意这个问题，知道作为华人，唯有努力设计出有别于洋人的飞机才行。所以，莱特、寇蒂斯都有派律师搜集冯如飞机设计资料，没有发现冯如的飞机技术跟他们的飞机专利有任何关系。因此旧金山的白人英文报纸都惊叹：“中国人在航空领域超越白人了！”

我国有关部门与航空行业应该重视宣传冯如这样的人物，复原冯如在世界航空史上应有的历史地位！要知道，西方人不可能在他们的航空发展史中大写冯如，只有我们自己去挖掘，去宣介，讲好冯如故事，就是讲好世界航空史中的中国故事。

## 冯如最宝贵的遗产是爱国

冯如浑身上下都闪耀着爱国主义精神，是个为民族自尊自强而赴汤蹈火、勇于牺牲的时代大英雄。

1904 年，为争夺在中国东北的特权而爆发的日俄战争，虽然在美国的调停下，日俄订立《朴茨茅

斯和约》，但其条约竟规定将旅顺、大连及附近海域转让给日本；从长春到旅顺口的铁路为日本所有。奇耻大辱的是清政府声明中立，竟予以承认，令海外华人无不痛心疾首。为此，冯如发誓要用自己的一技之长报效祖国。恰好莱特兄弟的飞机问世不久，各国纷纷跟进，掀起研制飞机、飞艇、航空武器的热潮。冯如想，制造一艘军舰，要耗费数百万金钱，不如造数百架飞机，价廉省工，用处更大。主意拿定以后，冯如毅然放弃电力、通信等热门的掘金行业，勇敢地选择了对生命有风险的航空救国道路，他对助手说：“当下是竞争激烈的时代，飞机已经成为军事上不可缺少的装备，如果我们能够制造出千百万架飞机，分别驻守在中国的各港口，足以使中国的国防强大起来，外国列强再也不敢欺负我们。从而实现强国体，挽利权、固吾圉、慑强邻的目标。”当有人对他是否有能力研制飞机提出疑问的时候，冯如坚定地说：“我发誓要用毕生的精力为国家研制成飞机。苟无成，毋宁死！”

当有人对他是否有能力研制飞机提出疑问的时候，冯如坚定地说：“我发誓要用毕生的精力为国家研制成飞机。苟无成，毋宁死！”



汽车与造船工业蓬勃发展，各种新的电器层出不穷，冯如经过多年历练，掌握了电机与无线电技术，具备优秀工程师的能力。他改装并发明了抽水机与打桩机、电话网络与无线电技术，是美国华埠知名发明家与工程师，华文报纸经常刊登他的消息。如果不搞飞机，其在电力与机械方面必将取得成就。飞机研制成功后，若他不返回国内，而是留在美国，更是会声名远著，积累雄厚财富。

因此，今天如果加大宣传好冯如航空救国精神，必然激励后人，重燃海外华人华侨火热的爱国心！为今天国家的科技创新、发展新质生产力注入正能量。

## 遗憾会在第二部书中弥补

这本书从酝酿到完稿，花了三年时间。在搜集资料时，我就想到要突出人物所处的时代，不仅要写当时岭南五邑地区与美国唐人街华人生活场景表现出来，更要把美国第二次工业革命景况与世界航空发轫之初的景况也准确表现出来。对此，我花了三分之一多的篇幅去描绘，以此来提高小说的可读性，并烘托人物的性格与坚强形象。

在文学作品中，完全描写 100 多年美国华人华侨生活的长篇小说

并不多见，航空题材的作品更是绝无仅有。虽然我研读了相当多航空史料，但仍未能全面、生动地写出冯如研制飞机的艰巨性。冯如第一次飞行成功后，再试飞，连着六次失败，其中有两次是他没有注意到木材构件的顺纹理与横纹理压力有区别所致。当时的“航空木材”，其密度、比重等物理性质是科技杂志公开报道的。冯如花了许多时间与金钱去选购木材，并亲自设计制作木材构件，却因两次木材构件纹理受力不够而没有飞起来，应该很有戏剧性，却没有抓住这个好情节去展开刻画描写，甚至未触及到。再就是机布的用料，有资料说莱特是用茧绸，这个面料当时非常昂贵，冯如根本用不起，可供选择的有中国江西传统手工织的麻布，叫夏布，在唐人街也价格不菲。所以未敢着墨写这些内容，完稿交出版社后才知冯如用的是“爱尔兰麻布”，价格便宜，数量也多。由于书中有相当多情节写了华人与爱尔兰人冲突，要是又有使用“爱尔兰麻布”的情节，一定会增添不少精彩内容。

这些遗憾，期待有后续更正的机会，同时在写作进行中的第二部书《凋落的翅膀》中得到弥补。如果说《生为蓝天》三部曲的第一部《翱翔云端的风筝》写的是美国华侨的航空爱国者故事，那么第二

部《凋落的翅膀》便是讲述欧美留学生航空爱国者的故事，两者之间的人物故事与主题思想都有继承。第二部书中的主人公巴玉藻、王助他们，和冯如一样是充满悲壮色彩的爱国者。作为冯如的后继者，从某种意义上讲，他们更能证明中国人曾经站在世界航空工业顶端。因为他们都是麻省理工学院航空工程专业的硕士，学位证书序号排在麻省理工该专业的前 10 位。王助一毕业就被波音请去做了总工程师，设计、监造了双浮筒双翼的“B&W-C”型水上飞机，波音靠这款机型赚了战争部（现国防部）下属的海军部 50 万美元，这在当时是天文数字，奠定了波音的发展基础。巴玉藻更是身兼两职，既被爱迪生聘任为美国通用飞机厂总工程师，又兼任寇蒂斯飞机公司设计工程师，王孝丰、曾诒经也曾担任寇蒂斯飞机公司设计工程师。但一战爆发后，日本对中国虎视眈眈，尤其是先后在法国、英国、美国与日本海军派出学习航空人员的相识相知之后，促使他们放弃美国的优厚待遇，决心以航空来挽救中国，在 1918 年初回国创建中国的飞机工厂，培养中国空军，防范并抵御日本发动的侵略战争。■

# 第一次环球飞行

文 | 蒋斯来

一战后，航空事业陷入低潮，许多国家试图通过举行一场环球飞行来鼓舞士气，振兴航空事业。各航空大国纷纷摩拳擦掌，高调宣传，结果却是低调的美国人拔得头筹。

## “世界巡航者”号

1923 年春，美国陆军航空队对环球飞行发生了兴趣，最主要的鼓动者是帕特里克将军，他计划组成一个飞行中队承担环球飞行任务。军方认为，环球飞行的成功，对于促进航空技术进步、推动全球航空运输发展具有十分重要的意义，于是就批准了这项计划。经过认真考察，选择了道格拉斯公司的 DT-2 型鱼雷机用于环球飞行，并重新将其命名为“世界巡航者”号。道格拉斯公司又对 DT-2 进行了改进，以满足环球飞行的需要。

主要改进是增加燃油量，内部安装炸弹的装置全部取下，换成油箱，机翼油箱也增大了。总的载油量从 435 升增加到 2438 升，这可使飞行距离增



## 蒋斯来

高级工程师，在上飞公司工作了近 55 年。参加过歼击机修理、运 10 飞机研制、麦道飞机合作生产、波音飞机的转包生产。在《航空工艺技术》等刊物、报纸发表文章 30 多篇。参与编写了《ARJ21 新支线飞机的研制历程总结》，组织编写了《民用飞机制造技术与管理》等书稿，出版了《英汉航空技术缩略语词典》等 6 本书籍。曾担任《上海市志·工业分志·航空业卷》的评议专家和审定专家、《上海市级志·上海科学院志》的评议专家、《上海市级志·宝钢集团志》的审定专家。



图 | Airliners.net



加5倍以上。1924年3月11日，最后一架飞机交付，备件包括15台解放者型号发动机、14套浮筒和足以建造两架飞机的机身部件。

参加此次环球飞行的4架“世界巡航者”号飞机，分别以美国的四座城市命名为“西雅图”号、“波士顿”号、“新奥尔良”号和“芝加哥”号。陆军航空队精选飞行技术优良的飞行员和工程技术经验丰富的技师组成四个机组：“西雅图”号，弗雷德里克·马丁少校（飞行员及指挥官）和阿尔华·哈维上士（机械师）；“芝加哥”号，洛弗尔·史密斯少尉（飞行员及副指挥）和莱斯利·阿诺德中尉（机械师）；“波士顿”号，雷·韦德中尉（飞行员）和亨利·奥格登上士（机械师）；“新奥尔良”号，艾力·尼尔森少尉（飞行员）和杰克·哈丁少尉（机械师）。他们被选定后，在兰利研究基地进行了为期6周的集训。

环球飞行途经日本、中国、越南、马来西亚、缅甸、印度、伊朗、伊拉克、土耳其、罗马尼亚、匈牙利、奥地利、法国、英国、冰岛、格陵兰岛和加拿大，最后回到美国西雅图。

## 从西雅图起飞

环球飞行分段进行，每一段至

少1000英里（约1609千米），因此飞机需要既可在陆地上起降，也可在水面上起降。没有起降场的地方，海军需要配备船只和提供后勤保障服务。外交使团经过努力得到了22个国家的飞行过境许可。苏联当时尚未被美国承认，因此飞行路线必须向南调整，从亚洲南部经过。

飞行路线确定从西雅图起飞向西飞行。因为这个时候向西飞行，到达日本和中国时不会进入多风季节，最终可以在冬天来临之前飞越北大西洋。从政治上考虑，可以赶在法国国庆日到达巴黎。

1924年4月4日是预定起飞日，但当天西雅图的华盛顿湖面上起了大雾，飞行只能推迟。第二天，天气转好，数百名参观者聚集在湖岸，马丁少校启动他的飞机，但没有料到飞机螺旋桨断了一只，只能再次推迟。在场的观众都担心美国能不能完成这样一次飞行。当时航空技术还很不成熟，飞行员也很年轻，整个旅途4万千米，怎么确保中途安全？

4月6日天气很好，飞行员提前2小时起床，对飞机进行了检查。太阳升起时，人们再次聚拢观看，希望这次飞行是壮观的开始，谱写新的历史。四架飞机工作正常，浮筒沿湖面滑行，终于一架接一架全部升空了。

## 一架飞机因大雾撞山

起飞当天，4架飞机到达加拿大不列颠哥伦比亚省的鲁珀特王子港。经过3天休整，于4月10日出发，飞往美国阿拉斯加的东南沿海小城西提卡。4月13日从西提卡出发，继续在阿拉斯加飞行，当天到达塞沃德镇，4月15日开始飞往南部狭长岛屿城市奇格尼克。马丁和哈维驾驶的“西雅图”号在抵达鲁珀特王子港后，因飞机故障需要修理，落在了后面。修理完毕，他们试图追赶上前面的3架飞机，又由于无线电设备故障，马丁和哈维与其他3架飞机失去了联系。剩下3架飞机为寻找长机和机组人员等待4天后，于4月19日起飞，飞向阿拉斯加的荷兰港、乌纳拉斯卡岛。

在马丁机组失去联系的时间里，美国上下都在为寻找他们尽力，飞机将要经过的各国都急切地等待他们被发现的消息。北美新闻联盟总经理皮克林还悬赏1000美元奖励第一个发现马丁和哈维的人。原来，马丁驾驶“西雅图”号在4月30日起飞后，因大雾撞在一座山上。虽然两人只受轻伤，但飞机基本损毁，他们不得不退出此次环球飞行。

马丁作为机队指挥官，不能继续飞行了，于是美国陆军航空队

指定“芝加哥”号飞行员史密斯担任指挥官。

## 人类第一次飞越太平洋

其他3架飞机继续飞行，航线是：4月19日到达荷兰港后，一直停留到5月3日才再次起飞飞往纳赞和阿特卡岛，属于阿拉斯加西南方的阿留申群岛。5月9日，飞机又飞往阿图岛，是阿留申群岛的最西端，已经离苏联不远了。他们在美国这个偏远的寒冷之州一直停留到5月14日，然后开始沿太平洋西北海岸线飞向亚洲的日本。

5月15日，机组离开阿图岛跨越太平洋向日本飞去。当时天气极其寒冷，途中遇到了风暴，史密斯作为指挥官面临两个选择，或引导他的飞行队通过风暴，或进入苏联水域。他没有犹豫，宁可冒政治风险，选择避开自然风暴进入苏联水域，飞机随后降落在库伯岛的尼古拉村。飞机降落后，在小岛外随即就出现了苏联的船只。苏联人要求他们留在飞机上，等待莫斯科的指令。当日晚，他们给飞行员送来了伏特加酒以示友好。第二天，莫斯科的指令来了，美国飞行员被告知他们不得在苏联继续停留，必须马上离开。史密斯对苏联的决定当然表示理解。几个小时后，他们飞

向日本。这是人类第一次飞越太平洋，创造了一个新的纪录。

5月17日，机队到达幌筵岛，当地的日本民众聚集起来欢迎远道而来的美国飞行员。在幌筵岛停留了2天，5月19日，机队沿着千岛群岛飞行，5月20日，飞往东京市港区，6月2日飞往九州岛南部海港城市鹿儿岛。在东京地区，40000多人等待飞机降落。在鹿儿岛，20000多人前往迎接。6月4日，机队开始飞往中国上海。

由于飞行过程中的路线、天气条件不同，3架飞机到达上海的时间也不同。“波士顿”号和“新奥尔良”号6月4日到达上海，“芝加哥”号6月5日到达上海。机队在上海停留了2天时间，游览了中国这个新兴的城市。6月7日从上海向南沿海飞行，沿途在厦门等地也作过短暂的停留，于6月8日到达香港。6月10日，他们从香港飞往越南、柬埔寨，接着又飞到泰国首都曼谷。

6月20日，机队从曼谷飞往缅甸的仰光，在那里停留了5天之久，6月25日飞到缅甸西部港口阿恰布，6月26日飞到印度的加尔各答。加尔各答是个大城市，飞行员们一共住了5天，7月1日飞到印度北部新兴城市阿拉哈巴德，7月2日飞往印度哈里亚纳邦西部

城市安巴拉。7月4日到达卡拉奇，在卡拉奇住了几天，7月7日飞往伊朗的班达阿巴斯，7月8日飞向巴格达，7月9日从巴格达飞向叙利亚的阿勒颇古城，7月10日飞向土耳其的伊斯坦布尔。从巴格达到伊斯坦布尔，名胜古迹很多，每一地都值得游览。在伊斯坦布尔休整2天后，机队进入欧洲地区。

7月12日，机队飞到罗马尼亚的布加勒斯特。7月13日飞向奥地利的维也纳。7月14日飞向法国巴黎，实现了在法国国庆日到达巴黎的预期目标。他们在巴黎的布尔歇机场着陆。成群的法国人和美国人前来欢迎勇士们的到来。潘星将军也前来欢迎他们。到达巴黎后，他们就像回到了家里一样。在巴黎他们还遇到了一些具有特别意义的日子，如法国国庆、奥运会等。

7月16日，机队从巴黎直飞英国伦敦。7月17日从伦敦飞往布劳。在布劳停顿的时间较长，他们把起落架的轮子换上了浮筒，等待海军确定他们的位置并补给，以及适宜飞行的天气条件，前后共花去了13天时间。

8月3日，当3架飞机飞越北大西洋时，大雾笼罩在英国和北爱尔兰之间。浓密的雾气使他们彼此之间难以看到，“新奥尔良”号进入另一架飞机的下洗气流中，飞机



失去操纵，开始螺旋下坠。“波士顿”号由于漏油，不得不在冰冷的海水中迫降，“芝加哥”号则在上空盘旋。“芝加哥”号即时通知了海军驱逐舰，告知“波士顿”号的情况。在海军的轻型巡洋舰“里奇蒙德”号拖拉“波士顿”号飞机的过程中，救出了飞行人员，飞机则翻转沉入水中。“新奥尔良”号后来改出了螺旋下降的飞行状态，飞往冰岛的北部城镇伊萨菲厄泽，准备在那里与其他2架飞机会合。

“波士顿”号损坏严重，短期内难以修复成功，只能退出飞行。此时，韦德和奥格登已经飞行了5个月，航程32000千米。出发时的4架飞机现只剩下“新奥尔良”号和“芝加哥”号2架飞机了。

8月2日，“新奥尔良”号最先飞到了冰岛东南部海港赫本，“芝加哥”号于第二天到达。8月5日，“新奥尔良”号和“芝加哥”号到达冰岛的首都雷克雅未克。由于天气异常恶劣，两架飞机在雷克雅未克等了15天。8月21日，借助美国海军的后勤保障，在冰岛起飞，前往格陵兰东部的昂马沙利克，再飞往腓特烈斯霍布。

在该航段的前800千米，天气状况很好，飞行员能看到驱逐舰甲板上白色的“好运”字样，但接近格陵兰160千米左右时，天气

变坏，大雾弥漫，雾气笼罩了整个海面，能见度很差。当他们接近陆地时，冰山出现了。“芝加哥”号冒险在腓特烈斯霍布着陆。40分钟后，“新奥尔良”号也安全着陆。

格陵兰的各航段都比较艰苦，中间经常停留。在格陵兰的遥远海角，4个飞行员给飞机换装了新的发动机，准备最后一时间的海洋飞行。经过数千米穿过大雾、越过冰山的飞行后，天气变好，这是北极地区这个季节少有的好天气。2天后，他们抵达加拿大的拉布拉多半岛。

在拉布拉多海岸，相当多的人已经聚集在那里了，记者也已经等了一个月，准备抓拍飞机着陆瞬间的精彩镜头。9月2日，机队继续出发飞往霍克斯湾，9月3日从霍克斯湾飞向加拿大新斯科舍州的皮克陶。在这里，他们迎来了一架新飞机和两位老战友：“世界巡航者”号原型机，现在改名为“波士顿”2号。两位老战友是在英国退出飞行的韦德和奥格登。于是3架飞机9月5日从皮克陶出发飞向美国东北部缅因州的梅尔泡因特，9月6日飞向马萨诸塞州的波士顿。9月8日，他们从波士顿飞到纽约，受到英国威尔士亲王和国会议员的欢迎。9月9日从纽约飞到美国首都华盛顿。在华盛顿，美国总统柯

立芝率全体内阁成员等了4个多小时，为凯旋者举行了盛大的欢迎会。

9月13日，又从华盛顿飞往西雅图，中间多次停留，其中也进行了宣传并展示，例如他们造访了飞机发明者莱特兄弟的故乡俄亥俄州代顿。每到一地，都受到当地民众的热烈欢迎，热烈场面令人振奋。

1924年9月28日下午1点28分，3架飞机几乎以肩并肩的方式降落在西雅图机场，使人无法看清谁第一个降落，3架飞机和6名飞行员都同获冠军。在175天的环球飞行中，66天处于飞行状态，飞行了76次。飞行期间，大量的时间用在了修理飞机、等待好天气上。飞行活动的总花销是177482.35美元，相当于今天的200万美元。4架“世界巡航者”号飞机最终有2架完成了史无前例的环球飞行，飞行距离达44085千米。环球飞行极大地唤起了美国人对航空的热爱。20世纪30年代后期美国航空技术迅速赶上和超过欧洲，与此次飞行不无关系。正如帕特里克将军所说：“这是航空史上最伟大的成就。”■

## 巴西商用飞机发展之路 ——世界商用飞机发展简史（十七）

文 | 王思磊



王思磊

毕业于北京大学传播学专业，长期从事航空文化传播工作，现任职中国商飞公司。

在人类百年航空史的灿烂长河中，有一位巴西人创造出了一系列非凡成就，成为20世纪初最伟大的航空先驱之一，他就是阿尔贝托·桑托斯·杜蒙。他是欧洲第一位制造出能转弯飞行飞艇的人，第一位驾驶飞艇绕埃菲尔铁塔飞行一周的人，第一位在欧洲实现动力飞机飞行的人，也是世界上第一架超轻型飞机的设计制造者，他是巴西人心中的“飞机之父”，巴西引以为傲的“国家英雄”。

巴西是南美洲面积最大的国家，领土面积851.49万平方公里，约占南美洲总面积的46%，仅次于俄罗斯、加拿大、中国和美国，地理区位非常适合发展航空业。经过几代人的努力，巴西航空业在人类航空史上也创造出了一系





列辉煌成就，如同他们的先驱——阿尔贝托·桑托斯·杜蒙。鼎盛时期，巴西航空工业位居世界商用飞机市场的第三把交椅，其支线飞机产品也成为了巴西除足球外的另一张国家名片。

## 20 世纪的探索发展

巴西的飞机制造业起步于 20 世纪 30 年代，但由于技术水平有限，资金也不到位，这一产业一直没有发展起来。20 世纪 40 年代，巴西政府开始重视航空业的发展，筹划建立航空工业以及相关的航空科研机构。1945 年，一家由军方管理、专门从事应用航空科学研究与教育培训的机构——航空技术中心（CTA）成立。1950 年，政府又建立了航空技术研究院（ITA），主要职责是培养航空工程师。1953 年，政府又在 ITA 下面设立了一个飞机设计研发机构——航空发展研究院（IPD），专门进行应用航空科学研究。20 世纪六七十年代，ITA 开展了一系列航空科研项目，包括航空科学、信息技术、微电子及航天科学探索等。1965 年，IPD 研发了一种涡桨运输机——IPD-6504，它就是后来大获成功的 EMB-110“先锋”19 座支线飞机。1969 年 7 月，为加快发展航空工业，巴西航空部

正式组建了巴西航空工业公司（简称“巴航工业”），即安博威公司。曾经研发 IPD-6504 的设计队伍加盟其中，为巴西航空工业的发展提供了技术支撑。

国有企业的身份使得巴航工业在发展的早期就得到了巴西政府和军方的大力支持，包括军方订单以及限制国外飞机进口的产业政策。1973 年，巴航工业生产的首批 EMB-110 飞机交付巴西空军，紧接着巴西的航空公司也开始购买。1975 年，EMB-110 飞机开始出口，在市场上获得了一定的成功，约有 500 架销售到 36 个国家。同年，巴航工业又推出了其第一种增压座舱飞机——比 EMB-110 略小，能载客 8~9 座的 EMB-121，该型飞机共生产了 106 架，其中有 51 架交付给了法国空军。20 世纪 70 年代末，巴航工业开始发展一种 30~40 座的支线飞机 EMB-120。该机于 1983 年首飞，1985 年取得型号合格证，并很快进入国际市场。EMB-120 共生产了 354 架，2007 年停产。

20 世纪 90 年代初，巴航工业与阿根廷 FMA 飞机公司联合研制了新型支线飞机 CBA-123。这是一款现代化的飞机，在技术创新、速度、安全性和舒适性方面都取得了重大进步，展现了巴航工业工程师们卓越的能力。然而，这款原本让

工程师们感到骄傲的机型，却因造价昂贵，最终未被市场接受，一架也没有卖出去，项目随之终止。加之 20 世纪 90 年代世界航空运输业的衰退和世界飞机市场的萧条，巴航工业出现了订单骤减、公司亏损和资金困难的局面。在内外交困的情况下，巴西政府于 1994 年 12 月签发了对巴航工业实行私有化的法令。由此，巴航工业开始“脱胎换骨”，迎来辉煌。

## 迈入高速发展期

1995 年，在巴航工业深陷债务危机、濒临破产的关键时刻，巴西人默里希奥·诺维斯·博泰罗临危受命，成为了巴航工业新任首席执行官。博泰罗不是航空专家，却是一位杰出的职业经理人。在上任前的一次工作会议上，他请当时的代理首席执行官描述公司的业务，这位代理首席执行官回答：“我们的业务是制造飞机。”博泰罗摇了摇头，起身说：“你错了。你们的业务不是制造飞机。如果是那样的话，为什么不开动机器直接制造飞机呢？跑道上的飞机已经够多了。你们的业务是服务客户！”

这场看似不经意的对话，却预示了巴航工业在经营战略上的革命性调整——从以设计为主导的

“工程师企业”，转变为以客户需求为主导的服务型企业。在这一经营理念的指导下，巴航工业积极顺应全球航空市场对支线飞机的巨大需求，毅然终止其他全部民用项目，做出了全力发展支线喷气客机的战略决策，将公司所有力量集中于开发 50 座级的涡扇支线飞机 EMB-145。为反映其喷气式的新型市场定位，EMB-145 随后更名为“巴航工业支线喷气飞机 145”，即 ERJ145。

1996 年，ERJ145 成功获得美国联邦航空局颁发的适航证，得以在全世界热销。也就是从这一年起，巴航工业进入了高速发展期，销售额和合同待交付额都大幅增加，1998 年开始扭亏为盈。紧接着，巴航工业在 ERJ145 的基础上，发展出 37 座的 ERJ135 和 44 座的 ERJ140，不但摆脱了债务危机，而且在随后的 10 年内迅速跻身世界商用飞机制造商前列。

ERJ 系列获得市场成功的背后，“零首付”购机模式功不可没。零首付，对于航空公司，特别是上世纪 90 年代初期的航空公司来说，有着极大的吸引力。航空运输业，从它诞生的那天起，就是一个重资产的行业，而购买飞机的费用可以占到航空公司前期投入成本的 10% 左右。博泰罗正是看中了



客户的这个“痛点”，对症下药，协调巴西开发银行为购买该飞机的航空公司按照国际利率水平提供 100% 融资，解决了航空公司最大的难题。

## 进军“大支线飞机”市场

20 世纪 90 年代末，巴航工业敏锐地发现，在全球客机市场，“70~100 座”的客机是一片空白，于是，他们巧妙地提出“大支线飞机”的概念，并于 1999 年 7 月宣布，将推出更大载客量和更长飞行距离的新一代支线飞机，瞄准的是支线飞机和小型单通道干线喷气飞机之间的市场，型号为 ERJ170 和 ERJ190，后来改名为 E170（70-78 座）和 E190（98~114 座），后来又根据市场需求推出了同一型号 E175（78~88 座）和 E195（108~122 座）两款飞机。

E 系列飞机拥有先进的人体工学设计、高效的性能、出色的运营

经济性、低污染排放和宽敞的客舱等优势，自 2004 年 3 月首架 E 系列飞机交付全球启动用户波兰航空公司使用后，E 系列飞机就获得了航空公司、乘客等多方的青睐，逐渐占据了全球 130 座级以下喷气式飞机市场超 60% 的交付份额。

2013 年，基于对未来支线航空市场发展的精准把握，巴航工业在 E 系列飞机的基础上宣布打造 E2 系列飞机，包括三款新机型：E175-E2、E190-E2 及 E195-E2，总投资 17 亿美元。E2 系列飞机最大的特点在于它与上一代 E 系列飞机保持了高度通用性，飞行员可以轻松地完成机型转换。在延续了现役 E 系列飞机驾驶舱的设计后，航空公司可以高效地完成机队升级和飞行员培训。2016 年 5 月，E2 系列中的首款机型 E190-E2 首飞，震惊了整个航空业界。2017 年 3 月，该系列中的第二款机型 E195-E2 完成首飞，2019 年 12 月，第三款机型 E175-E2 成功首飞。



# 航空史上的 6 月

辑录 | 黎时

在全球干线飞机市场上，波音与空客并驾齐驱，而在全球支线飞机市场上，巴航工业和加拿大庞巴迪几乎瓜分了 120 座以下的支线飞机市场，其中，巴航工业一家就占据了约 45% 的份额。

2000 年，巴航工业进入公务机市场，成为世界唯一一家提供从超轻型到超大型全系列产品的公务机制造商，产品包括飞鸿 100、飞鸿 300、莱格赛 450、莱格赛 500、莱格赛 600、莱格赛 650 和世袭 1000。此外，巴航工业还生产多种用途的防务飞机，包括情报、侦察与监视飞机、教练机、战斗机，以及军用运输机等。

## 试图与波音“联姻”

2018 年 7 月 5 日，波音公司宣布已经与巴航工业签署了一份谅解备忘录。根据该协议，巴航工业将其商用飞机业务独立出来，并以此为基础，和波音共同建立合资企业，而波音将以 38 亿美元的对价占据该合资企业 80% 的股份，巴航工业则保留剩余 20% 的股份。

消息一出，世界商用飞机市场格局变得扑朔迷离，巴航工业为何要与波音“联姻”？这不得不从庞巴迪投向空客说起。

2017 年 10 月，空客公司宣布以象征性的 1 美元收购庞巴迪 C 系列飞机项目 50.01% 的股权，这让波音公司万万没有想到，原本其与庞巴迪的贸易争端，竟促成了庞巴迪投向竞争对手空客的“怀抱”。波音不可能无动于衷，根据世界商用飞机市场上的势力分布，波音毫无疑问要拉拢巴航工业。本次合作无论是对波音还是巴航工业来说，都可能是一种双赢：波音能够与完成收购庞巴迪的空客在支线飞机市场上一较高低，巴航工业则找到了一个靠山，确保自己能够在竞争日渐激烈的支线飞机市场保持优势地位。

2019 年 5 月，波音公司宣布：新成立的合资公司将被命名为“波音巴西商用飞机有限公司”。这就意味着，“巴航工业”这个名字将彻底退出商用飞机的历史舞台。新成立的合资公司业务估值 47.5 亿美元，运营总部仍然设置在巴西，但是波音将对该公司的运营和管理拥有直接控制权。在完成本次收购之后，波音旗下的商用飞机产品将覆盖从 70 座的支线飞机到 450 座以上的干线飞机和货运飞机。

但是，到了 2020 年，波音公司宣布，将放弃与巴航工业的“商用飞机业务合并计划”，根据总体

交易协定，2020 年 4 月 24 日为初始终止日期，如果满足某些条件，则任何一方均可延期。此前，欧盟一直反对波音对巴航工业的兼并，并出动了反垄断委员会开展“调查”，试图阻挠美国人的计划。令欧盟大吃一惊的是，波音竟然自动将到手的果实吐了出来。

究其原因，波音把责任推卸给了巴西——波音宣称，由于巴航工业不满足必要条件，所以波音行使了终止合同的权利。也许波音宣布放手，也是全球航空业危机大背景下的无奈之举。由于 737MAX 事件，波音的商用飞机业务已遭到了史无前例的重创，一度上千架飞机订单无法继续进行，数百架交付飞机被停飞，损失预计超过数百亿美元。此外，加上前几年新冠肺炎疫情对全球航空业的影响，波音和空客的新增订单不仅大幅减少，客机生产线在疫情下也被迫停工，全球部分航空公司面临破产，能否接收新飞机也成了大问题。如今，时过境迁，全球航空业已慢慢复苏，麻烦不断的波音如何解决自身困境？已决定依附于波音的巴航工业将何去何从？只能拭目以待了。

1905 年 6 月 23 日，美国莱特兄弟在俄亥俄州霍夫曼草原开始试飞他们最新的“飞行者 3 号”，与前两架飞机相比，“飞行者 3 号”具备重复起降、倾斜飞行、转弯和完全圆周飞行、8 字飞行等能力，因此被看作是历史上第一架实用动力飞机。

1914 年 6 月 30 日，俄国人西科斯基带着 3 人机组，驾驶“穆罗麦茨”四发飞机从圣彼得堡飞往基辅，航程 660 英里，只停了一站，于第二天下午回到圣彼得堡。有人称，这是自 1903 年莱特“飞行者 1 号”上天以来飞机技术的最大进步。

1916 年 6 月 15 日，波音公司研制的第一架飞机在西雅图联合湖试飞，是一架用于教练和运动的单发 B&W 双翼水上飞机。

1919 年 6 月 6 日，加拿大成立国家航空管理局，成为世界上第一个立法和建立机构管辖其境内航空事务的国家。

1919 年 6 月 14 日，英国人阿尔科克（飞行员）和布朗（领航员）驾驶维克斯公司经过改装的“维米”离开纽芬兰向东飞越大西洋。他们在空中飞行 16 小时 27 分，飞行距离 3032 千米，最后在英国克利夫登附近一块沼泽地降落。这次飞行虽然只是一次成功的冒险和

试验，但它向世人证明了飞机作为长途运输工具的巨大潜力和优势。

1919 年 6 月 25 日，德国容克斯公司 F-13 首次试飞。该机是世界上第一款全金属商业飞机，1919 ~ 1929 年期间，F-13 共生产了 322 架。

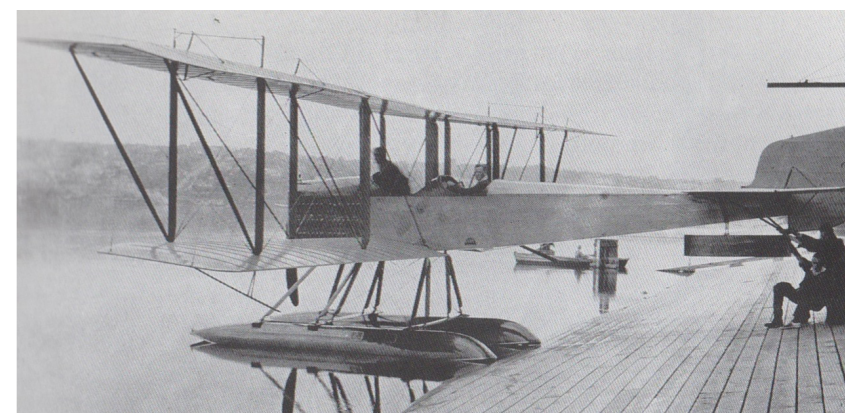
1926 年 6 月 11 日，美国福特公司 4-AT 飞机首次试飞，该机

是一架全金属单翼机，与荷兰福克公司的三发飞机竞争，成为美国客机的先驱。

1929 年 6 月 6 日，中华航空协进会在杭州西湖博览会上开设航空陈列室，有模型、图片及飞机实物展出，是中国第一次举办航空展览。

1934 年 6 月 19 日，苏联图

▼ 波音公司的第一架 B&W 飞机 图 | umumsekali.com



▼ “马克西姆·高尔基号”图 | RBTH





波列夫设计局为纪念作家高尔基诞辰50周年而研制的AHT-20“马克西姆·高尔基”号飞机首次试飞。该机是在装有6台发动机的TB-6(AHT-16)轰炸机的基础上改型的,装有8台发动机,是当时世界上最大的陆上飞机。出于宣传目的的需要,机上装有印刷机、电影摄像机、暗室、空中摄影机,以及乘客舱和卧铺。不幸的是,1935年5月18日,AHT-20在空中与一架陪伴飞行的战斗机相撞而坠毁。

1938年6月7日,波音公司314型水上飞机首次试飞。314是当时最大的飞机,也是豪华飞行的巅峰。机舱内有卧铺区、餐厅、酒

吧间、高级套房和化妆室。机翼里还有走道,工程师可以在飞行中完成修理工作。

1955年6月15日,苏联研制的图-104原型机首次试飞,是苏联民航第一架喷气客机。直到改进的“彗星4”和波音707于1958年投入使用,图-104在1956到1958两年多时间里是世界上唯一服役的喷气客机。

1955年6月16日,英国维克斯公司向美国首都航空公司交付60架“子爵”745客机中的第一架,是美国航空公司第一次使用在美国以外的地方生产的飞机。后来“子爵”式飞机获得了大批订单,

到1971年止,各型“子爵”式飞机共生产了560架。

1958年6月6日,毛泽东主席由赵尔陆、徐昌裕陪同,参观在中南海瀛台举办的航空工业展览。毛主席指示:刚开始设计经验不足,免不了要照葫芦画瓢,然后再逐步提高。7月2日,毛主席再次来到展览馆,提出中国要自己设计飞机,要有自己的“图波列夫”。

1959年6月12日,苏联图-114客机第一次在第23届巴黎航展亮相。

1959年6月25日,中国航空工业试飞中心(中国飞行试验研究院)在西安阎良成立,是我国军民用飞机、航空发动机、机载设备等航空产品的国家级鉴定试飞机构,开创了新中国自己的试飞事业,我国也成为继美、俄、英、法之后,世界上第五个拥有独立飞行试验机构的国家。

1962年6月29日,英国维克斯公司VC-10原型机(机号G-ARTA)首次试飞,是世界上第一种把4台发动机装在尾部的客机。

1965年6月10日,英国航空公司的三叉戟1C飞机在从伦敦飞往巴黎的BE393航班上首次完成民用客机的自动着陆。

1965年6月16日,巴黎航

展上出现的一架苏联安-22大型运输机让西方人感到震惊。安-22于1965年2月28日首次试飞,此后仅过了3个月,就直飞巴黎,引起难以形容的轰动。

1985年6月25日,中国民航华东管理局引进了中国民航的第一架空客飞机,是一架注册号为B-2301的A310。该机在安全服役20多年后,于2006年9月25日光荣退役。后被空客回购并捐赠给了中国民航博物馆。

1987年6月5日,空客正式启动了“双子星计划”:研制A330和A340,是世界上第一个“双胞胎”飞机研制计划。

1989年6月5日,苏联安东诺夫设计局研制的安-225“梦幻”巨型飞机在机背上带着“暴风雪”号航天飞机在巴黎布尔歇机场着陆,参加1989年巴黎航展。该机从基辅起飞时,总重量达560吨,创升空重量记录。

1990年6月20日,中国运12飞机获英国民航总局(CAA)型号合格证,颁证仪式在北京人民大会堂举行。这是我国民用飞机首次取得外国的型号合格证,也是向国外出口的通行证。

1993年6月16日至18日,一架被称为“世界游侠”的A340-



▲ 首款取得外国型号合格证的国产民航运12图 | aerochina.net

200飞机由机长伯纳德·齐格勒驾驶,从巴黎布尔歇机场起飞,仅在新西兰的奥克兰市经停一次加油,就完成了巴黎—奥克兰—巴黎的环球飞行。

1994年6月12日,波音777成功地进行了首次试飞,历时3小时48分。随后用5架飞机完成了11个月的试飞计划。波音777是世界上第一种完全采用三维计算机辅助设计手段进行设计和预装配的喷气式客机,号称“无图纸设计”,研制过程中没有先制造代价昂贵的全尺寸样机,但设计、制造和安装精度都显著提高。

2009年6月23日,空客天津总装厂向四川航空公司交付第一架A320。

2022年6月15日,空客公司最新、最大的窄体客机A321XLR(超长航程)在德国汉堡首飞成功。该机是A321neo的增程型,通过增加新的中心油箱、增加最大起飞重量、改装起落架等措施,用最小的改动实现航程的增加,8700千米航程是目前窄体飞机中航程最远的,足够横穿大西洋。

2023年6月9日,空客天津生产线制造的一架A321neo进行了首次试飞,这架飞机是空客第一次将在天津生产的飞机交付给欧洲用户——匈牙利廉价航空公司Wizz Air。■

▼ 波音公司B-314水上飞机图 | wakebill.com





6月6日，ARJ21 客改货飞机成功首航。

