

航空材料

- 航空铝合金的百年进化
- 空客持续布局中国航空市场
- 亏损收窄 运行向好——中国民航一季度运营回顾

15th COMAC C919 ARJ21
限量款行李牌
2008
2023
中国商用飞机有限责任公司成立 15 周年纪念



编号款 普通款 限量发售



大飞机

JETLINER

04 April

2023.04 | 总第106期

ISSN 2095-3399







05

卷首语

05 控制律攻关：细节是魔鬼 | 欧阳一方

06

资讯

08

封面文章

08 航空铝合金的百年进化 | 李红萍

14 增材制造在民机产业的应用
| 吴皓平

21 书写大飞机梦的复材篇章 | 肖辉江

24 新型高分子材料的研发及应用进展
| 杨军 谷元

30

航空制造

30 空客持续布局中国航空市场 | 杜婷

35 俄罗斯超声速科学中心的发展 | 贾晨雨

39 业绩回暖 创新不断：
航空动力市场加速复苏 | 董帼雄

43 波音持续推进“环保验证机”试飞
| 海鹗

47

航空运输

47 亏损收窄 运行向好——中国民航一
季度运营回顾 | 张进

51 印度民航大订单背后的思考
| 祁梦圆

56 提升旅客忠诚度——航司的另类经
营之道 | 程佳俊

60 关于加快我国可持续航空燃料发展
的思考与建议 | 李蕴

64

人物

64 何述明：用匠心铸就大飞机复材零件
| 牛旭青

68

科普

68 全机排液：在飞机内外架起“高速公路
网” | 何思元 于水

71

漫话航空

71 香港与大飞机 | 姜浩峰

74 世界商用飞机的宽体之争
——世界商用飞机发展简史（七）
| 王思磊



▼ 本期导读

总书记强调，任何时候，中国都不能缺少制造业。一个 14 亿多人口的大国，靠国际市场不行，单靠“一招鲜吃遍天”也不行，必须依靠自己解决自己的问题。

总书记曾打过一个生动的比方：“供应链的‘命门’掌握在别人手里，那就好比在别人的墙基上砌房子，再大再漂亮也可能经不起风雨，甚至会不堪一击。”

自力更生，把国家和民族发展放在自己力量的基点上，牢牢掌握发展主动权，这也是习近平总书记将加快实现高水平科技自立自强称为“必由之路”的深意所在。

科技立则民族立，科技强则国家强。只有科技自立自强，才能真正托起高质量发展的水准，才能掌握发展的主动权，才能增强发展的安全性。



本刊声明：

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

大飞机

2023 年第 04 期 | 总第 106 期 | 04 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 赵九方 吴永良 郭博智
魏应彪 张玉金
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 周逸云
美术编辑 卢之萍 刘晓雨 刘伟

采访部

记者 李欣阳 李琰 赵婷婷 阳庭庭
摄影记者 管超 王育梁 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 上海大邦律师事务所



习近平总书记要求我们，要“一以贯之、善始善终、久久为功”，在如今错综复杂的国际形势下，我们更要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，坚持安全第一、质量第一。

卷首语

控制律攻关：细节是魔鬼

文 | 欧阳一方

9 年前，习近平总书记来到公司视察。我有幸在现场聆听了总书记的殷切嘱托，当时我所在的 C919 大型客机控制律团队才刚刚迈出攻关第一步；9 年后，大飞机事业实现了从无到有的历史性跨越，我们也完成了 C919 飞机控制律的取证任务，建立起中国商飞控制律的 1.0 里程碑。回顾 C919 飞机控制律攻关历程，我有三点心得体会跟大家分享。

理想信念是大飞机梦的支柱。习近平总书记亲自关心、亲自指导、亲自推动，在大飞机项目研制的重要节点、紧要关头，作出一系列重要指示，为大飞机事业发展提供了根本遵循和行动指南。这是我们研制大飞机的最大动力。电传控制律作为飞机的“大脑思维”，是西方国家限制出口与转让的关键核心技术之一。为了掌握这项核心技术，中国商飞举全国之力，集全国之智开展设计。在试飞验证阶段，我们的工作得到了各方的大力支持，发挥了新型举国体制优势。正是在以上政治优势和制度优势的双重推动下，团队成员才有信心和决心，经历 10 年攻关，拿下该项技术。

自主可控是大飞机梦的基石。自主可控关乎国内民机研制的生死存亡。啃下控制律这个硬骨头，没有捷径，唯有踏踏实实走好每一步。团队成员虽然年轻，但没有被困难吓倒，反而凭借初生牛犊不怕虎的精神，攻克一座又一座大山。在公司的支持下，10 年来，控制律从最初两页纸的设计手稿，变为现在数十项功能、数百个模块、数千条需求。把图纸变成现实，源于大家对大飞机事业的热爱，源于公司专心钻研技术的氛围，源于科技兴则民族兴、科技强则民族强的创新型国家战略部署。

质量安全是大飞机梦的生命线。控制律直接关系到飞机的安全，我们提出“细节是魔鬼”的工作要求，采用系统工程“双 V”的工作流程，保证传递给供应商的模型和需求满足设计要求。在试飞验证阶段，面对一半以上的高风险科目，团队遵循“适度勇敢、适度谨慎”的试飞总原则，与适航团队、试飞团队密切协同，三方建立 6 张清单管理机制，最大程度管控试飞风险。自 2017 年首飞以来，中国机组在中国人设计的侧杆类民机上，采用中国的试飞方法完成了失速、自然结冰、最小离地速度等试飞科目，创造了新的国际纪录。

习近平总书记要求我们，要“一以贯之、善始善终、久久为功”，在如今错综复杂的国际形势下，我们更要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，坚持安全第一、质量第一。面对新的技术挑战，我们有信心在专业领域实现更深层次的自主可控，在实现 C919 飞机商业成功、实现中华民族伟大复兴的中国梦的道路上继续不懈奋斗！



01 海航航空集团与中国商飞签署百架飞机采购协议

4月27日，海航航空集团与中国商飞公司在上海签署百架飞机采购协议，其中包括60架C919飞机确认订单和40架ARJ21飞机意向订单。

02 ARJ21 飞机印尼首航

4月18日，一架编号8B5112的印尼翎亚航空ARJ21飞机从印度尼西亚雅加达起飞，2个小时后平稳降落在印度尼西亚巴厘岛伍拉莱国际机场，完成了在印尼的首航。

03 空客将在天津建设第2条生产线

4月6日，空客公司与天津保税区投资有限公司、中国航空工业集团有限公司签署协议，将在天津建设第2条生产线，拓展A320系列飞机的总装能力，为空客全球到2026年实现月产75架A320系列飞机的总目标贡献力量。

同日，空客还与中国航空器材集团有限公司签署了160架空中客车民用飞机的批量采购协议，包括150架A320系列飞机和10架A350-900宽体飞机。



04 SSJ-New 原型机将于5月首飞

4月24日，俄罗斯乌里扬诺夫斯克仪表制造设计局（UKBP）总经理表示，SSJ-New原型机将于5月首飞。UKBP为SSJ-New提供包括驾驶舱设备在内的多个系统和设备，如航电设备、控制面板、指示系统、内外部照明设备等。

05 波音第一季度交付飞机130架

2023年第一季度，波音商用飞机项目共获订单120架（78架737 MAX、27架787和15架767军用衍生机型）；共交付130架（111架737 MAX和2架737军用衍生机型、1架747-8F、1架767-300F、4架777F和11架787）。截至3月底，波音商用飞机项目储备订单为4555架。

06 空客第一季度交付飞机127架

2023年第一季度，空客商用飞机项目共获订单142架（包括12架A220、88架A320、42架A350）；共交付127架（10架A220、106架A320、6架A330、5架A350）。截至3月底，空客商用飞机储备订单为7254架。

07 首批6架MC-21飞机预计2024年交付

4月8日，俄罗斯国家技术集团（Rostec）透露，MC-21飞机预计2024年开始批量交付。

08 波音恢复767货机交付

4月7日，波音表示，767货机因供应商质量问题而暂停交付3个月，现已重启交付。波音年初发现1家供应商制造的中央油箱没有正确密封，因此停止交付767货机和KC-46（767衍生型）加油机。

09 PD-14 发动机开始批产

4月6日，俄罗斯联合发动机制造集团（UEC）高管表示，其子公司彼尔姆发动机公司已开始批量生产PD-14发动机。到2030年MC-21的年产量将达到72架，而PD-14的年产量将达到160台。



10 巴航工业将目光投向中国和印度

巴航工业计划扩大其在亚洲窄体客机市场的业务，其目标是到2025年，每年交付100架150座级的飞机。该公司首席执行官戈梅斯·内托接受采访时表示，中国和印度等亚洲市场将是该战略的前沿和中心。

11 波音公布2023年“生态验证机”项目计划

4月27日，波音宣布正在扩展其“生态验证机”项目，将进一步加速可持续性和安全性技术验证。2023年波音将在777-200ER生态验证机上评估19项技术，同时新增1架“探索者”飞机专门测试特定技术。

12 空客(成都)飞机全生命周期服务有限公司成立

4月26日，空客、TARMAC Aerosave、成都市政府正式合作成立空客(成都)飞机全生命周期服务有限公司，为中国首家中外合资的飞机全生命周期服务中心。2022年1月，各方签署谅解备忘录，宣布项目落地成都，该服务中心目前正在施工，计划2023年底投入运营，将面向各种机型提供从停放、存储到维修、升级、改装、拆解和回收的一站式服务。

航空铝合金的百年进化

文 | 李红萍

自 20 世纪初莱特兄弟发明了飞机后，减重一直是飞机设计师的追求目标。1906 年，德国科学家 Alfred Wilm 在实验中偶然发现了铝合金的沉淀强化现象，从此开始了时效强化型铝合金的发展历程。第一次世界大战期间，随着飞机制造用木材的快速消耗，飞机用材的选择开始转向金属，铝合金作为主体结构材料应用于航空飞行器的制造，航空铝合金飞速发展的序幕由此开启。

图 | Wallpaper Cave

机体结构最重要选材之一

在百余年的时间里，铝合金由于具有比重轻、比强度高、成本低、易加工、耐腐蚀等特点，一直是全球航空航天领域不可缺少的关键结构材料。如欧洲 A400M 运输机、俄罗斯伊尔 76 运输机、波音 747 客机、空客 A380 客机等，铝合金作为机体结构中最重要选材之一，其用量约占机体结构重量的 40% 到 70%，广泛应用于飞机主承力框、梁、壁板、蒙皮等部位。

经过近百年的发展，航空铝合金已经成为了代次特征鲜明、状态规格齐全的

航空航天用核心关键配套材料，是航空主干材料的重要组成部分。航空铝合金主要包括高强 / 超高强高韧型 Al-Zn-Mg-Cu 系（7000 系）、中高强耐损伤型 Al-Cu 系（2000 系）、高比强 / 高比模轻质型铝锂（Al-Li）合金以及少量其他体系铝合金，产品类型主要包括预拉伸厚板、薄板、锻件、挤压件、铸件等。近年来，树脂基复合材料由于在比强度、比模量、耐腐蚀等方面的性能优势，在更为关注燃油经济性的先进民航客机中的用量大幅提升，如波音 787、空客 A350 等客机中复合材料的用量均超过 50%，但仍存在装机成本高、可回收性差、无损检测困难等局限。因此，长期来看，铝合金仍然是世界航空制造业尤其是单通道飞机的核心结构材料。

我国大型飞机、航天飞行器等的研制发展，均选用了大量的先进航空铝合金材料，主要包括预拉伸厚板、薄板、锻件、挤压型材、铸件等，用于制造各种飞机和航天飞行器中的承力结构件。航空铝合金是我国国防科技工业发展、现代化经济体系建设、深入实施制造强国战略的重要保障。从国家重大战略需求看，所谓“一代装备、一代材料”，航空铝合金是保障国产大型飞机、先进战机、航天飞行器等重大型号自主可控的物质基础；从铝加工行业高质量发展需求看，航空铝合金作为一种高技术含量、高附加值的产品，工业发达国家一直将其看作是反映一个国家铝加工行业综合实力和科学技术发展水平的重要标志，是带动铝加工行业高质量发展的核心引擎。可见，航空铝合金材料的发展对我国航空工业乃至国民经济的发展具有极其重要的战略意义。

西方发达国家研究开发和生产制造航空铝合金材料已有近百年历史。国际上以奥科宁克公司（Arconic）、肯联铝业（Constellium）、诺贝尔斯（Novelis）



铝业公司、凯撒铝业公司（Kaiser）、奥地利金属公司（AMAG）以及库姆兹公司（kumz）等为代表的美欧俄罗斯等国家和地区的企业引领全球航空铝合金领域创新发展，产品大量用于制造飞机的关键结构件，如机翼蒙皮、机翼壁板、机翼翼梁和翼肋、机身蒙皮、机身承力框和长桁、客货舱地板梁等。

2000 系和 7000 系铝合金

2000 系和 7000 系铝合金基本是伴随着航空航天制造用材的需求发展而来的，航空航天型号设计需求推动了铝合金的定向研究与开发。

2000 系和 7000 系铝合金的发展历程大致可以分为 4 个阶段。第一个阶段可称为静强度阶段，时间大致是在 20 世纪 20 年代到 50 年代。

早期飞机用铝合金主要考虑其静强度

/ 刚度设计，以降低结构质量、提高载重量并延长航程。在此期间研发了 Al-Cu-Mg 系的 2014、2017、2018、2019 合金，后续又研发成功 2024-T3 合金，用于 DC-3 飞机的制造。20 世纪 30 年代起，2024 合金获得广泛应用。第二次世界大战期间，美国开发出强度更高的 7075-T6 及 7178-T6 合金，综合性能在当时领先，用于 B29 战略轰炸机的制造。这一阶段铝合金具备较高强度，但腐蚀性能、断裂性能以及疲劳性能较差。

第二个阶段可称为耐腐蚀抗疲劳阶段，时间大致为 20 世纪 50 年代到 70 年代。20 世纪 50 年代，因为当时新研发的喷气式飞机连续坠毁，引起了科学界对航空材料性能的深入研究，进而提出飞机用材必须具有较好的抗应力腐蚀性能、疲劳及断裂韧性。美铝公司开发了 7075-T73/T76 合金，与 T6 态相比，抗应力腐蚀性能大幅提高，但抗拉强度明显下降。随后又开发出具有高强高韧特点的 7475-T73/T76 合金，具有与 7075 基本接近的强度及抗应力腐蚀性能，断裂韧性提高了 30% 以上，疲劳性能也明显改善，因而在 F16、C5 等飞机上获得应用。在 2000 系合金方面，美铝公司开发了改进的 2214、2218/2618、2219/2319/2419/2519 等合金，具有较好的耐热性能，且部分合金加工性能良好，易于焊接，主要用来制造耐热可焊的结构件及锻件。

第三个阶段可称为高损伤容限阶段，时间大致是 20 世纪 70 年代到 90 年代。进入 20 世纪 70 年代后，航空制造业提出了基于损伤容限的飞机设计理念，要求强度与 7075-T6 合金基本接近，还具有较好的断裂韧性、较低的疲劳裂纹扩展速率和较好的抗剥落腐蚀性能。美铝公司开发了 7050/7150-T74 铝合金，强度比 7475-T74 合金提高了约 10%，且保持了同等水平的 KIC 值、疲劳性能以及耐蚀性能。20 世纪

90 年代，又开发了 7055-T77 合金，强度比同状态的 7050/7150 合金高近 10%，且耐蚀性能基本保持一致，但 KIC 值比较低，淬火敏感性较差。

法国开发了 7449-T79/T74 铝合金，强度比 7050-T76/T74 合金高 10% 到 20%，断裂韧性与其基本相当，抗剥落腐蚀、耐应力腐蚀和疲劳性能均表现良好。这一阶段铝合金的强度有所提高，但淬透性及综合性能匹配不够理想。同一时期，美铝公司在 2024 铝合金的基础上研制了 2124/2224/2324/2424 铝 合 金， 开 发 了 2324-T39 厚板及 2224-T3511 挤压材。

第四个阶段可称为高性能与经济性阶段，时间为 20 世纪 90 年至今。在这一时期，飞机设计要求合金具有更高的综合性能，且对大规格预拉伸厚板、锻件、挤压材等提出了要求。美铝公司在 20 世纪 90 年代初开发了具有更优的抗疲劳裂纹扩展性能的 2524-T3 铝合金，随后开发了改进的 2624/2724/2824 铝合金；西方国家还开发了 2026/2027/2028/2029 等铝合金。美铝开发了 7085 铝合金，7085-T7452 合金锻件的强度和断裂韧性比 7050-T7452 分别高约 12% 和 15% ~ 20%，且前者具有更好的淬透性、更高的损伤容限和更优越的抗疲劳裂纹扩展性能。

美国 UAC 公司和美铝公司于 2004 年分别注册了 7036/7136 合金和 7056 合金，7136-T76 合金挤压型材具有超高强高韧的特性，用于波音 787、747-400LCF 和空客 A380 的上翼蒙皮、桁条和翼尾的制造；7056-T7951 铝合金具有优良的断裂韧性，比 7449-T76/T74 铝合金高 40% 左右，用于制备 A380 客机的上翼壁板。2009 年开发了 7042 合金，7042-T6 合金锻件的强度和韧性比同规格的 7075-T6/7050-T74 合金高出 25% 到 35%。

法国开发了 7040/7140-T76/T74 合金，

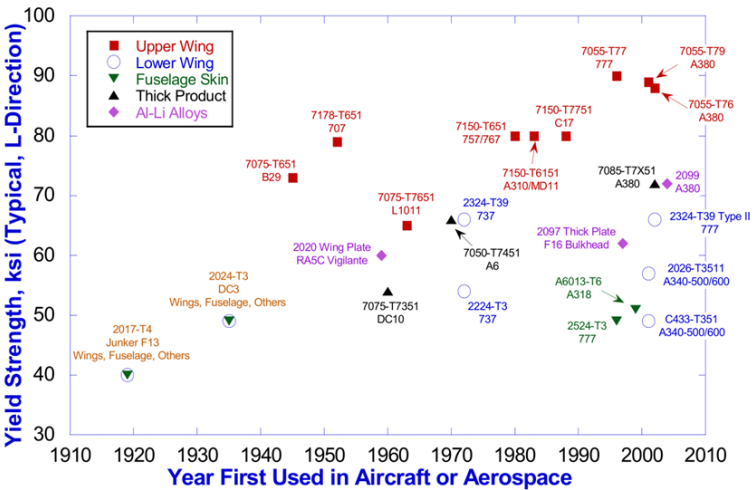


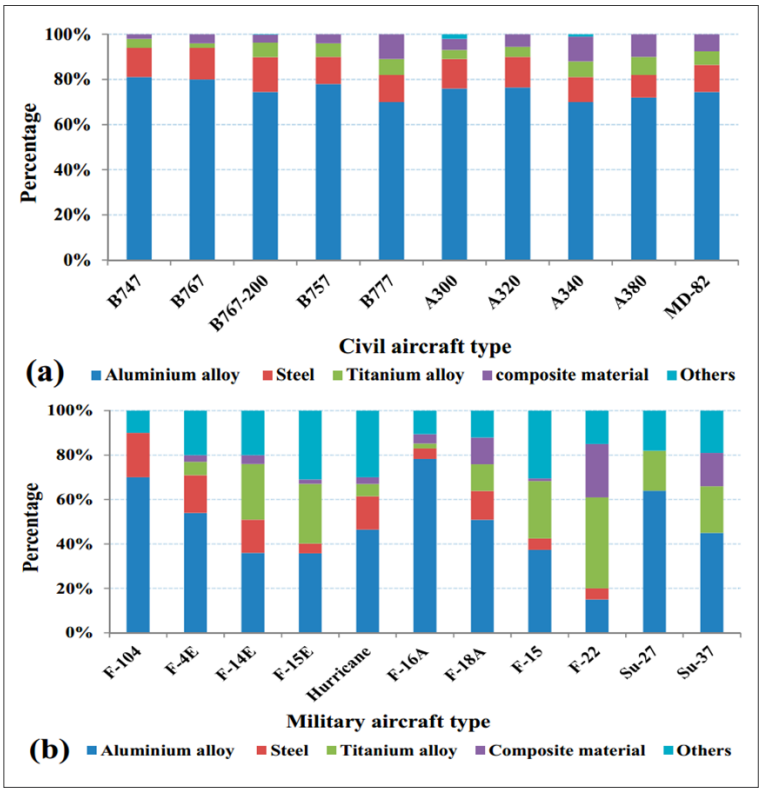
图 2 | 高强韧 2000 系和 7000 系铝合金总体发展情况



与 7075-T76/T74 合金相比，具有更高的强度值和 KIC 值，加工性能较好且抗疲劳裂纹扩展性能有明显改善。

德国开发注册了 7037 铝合金，其综合性能比 7050 和 7010 铝合金更好，7037-T7452 锻件已经用于空客 A400M 运输机。美国 Kaiser 公司开发出低淬火敏感性的 7099/7199 铝 合 金，7099-T7651/T7451 铝合金比 7050-T7451 铝合金强度高出 15% 以上，且断裂韧性和抗应力腐蚀性能较好，综合性能表现优良。此外，美铝公司 2011 年开发注册了 7255 合金，7255-T7751 合金各项性能指标全面超过 7449-T7951 铝合金；2012 年开发注册了 7065 铝合金，7065-T7651/T7451 板材在中厚板应用方面具有全面取代 7075、7475、7010 和 7050 铝合金的潜力。在微合金化方面，西方国家同期开发了 2039/2139、2040、2029 等含 Ag 的 2000 系铝合金，具有良好的耐热性能；美铝公司开发了含 Sc 的 7042 铝合金，7042-T6 铝合金在强度、断裂韧性及抗应力腐蚀方面均优于 7050-T74 铝合金。这一时期，合金发展呈现多样化的特点，在不同的应用领域、不同的性能及装备需求方面都已发展了适用的铝合金，同时铝合金也在朝着具有更高、更全面的综合性能的方向

图 1 | 军民用领域各型飞机上材料使用占比



向发展。

铝锂合金

铝锂合金的发展基本也可分为四个阶段，主要研制及应用国家是以美国为首的西方国家和俄罗斯（前苏联），见图3所示。

第一个阶段为初步发展阶段（1920s～1960s）。美铝公司于1958年开发出2020合金并工业化生产板材，用于制造海军RA-5C军用预警飞机的机翼蒙皮和尾翼水平安定面，获得了6%的减重效果。随后，1961年，苏联开发出成分类似的BA723合金。这一阶段的铝锂合金存在延展性差、断裂韧度低以及缺口敏感性高等问题，未能获得广泛应用。

第二个阶段为繁荣发展阶段（1970s～1980s）。20世纪70年代的能源危机给航空工业带来了巨大的压力，迫切要求飞机轻量化。因此，此阶段成功研制出低密度型、中强耐损伤型和高强型等一系列较为成熟的铝锂合金产品，以达到减重的目的。美铝公司开发了2090铝

锂合金薄板、厚板及挤压材来替代7075-T6铝合金；法国Pechiney公司开发了2091-T8X铝锂合金板材、Alcan公司开发了8090铝锂合金来替代2024-T3铝合金。苏联独立开发了Al-Mg-Li系的1420铝锂合金，可以生产板带材、挤压材与锻件等。

与传统的2000和7000系铝合金相比，第二代铝锂合金可实现减重7%～10%、弹性模量提高10%～16%、疲劳性能更加优越；但同时存在各向异性差、塑韧性及强度水平较低、难以与7000系超高强铝合金竞争等问题。除了1420铝合金获得大规模应用外，其他铝合金的应用并不广泛，大多用在飞机次承力结构。

第三阶段为优化发展阶段（1990s～2000s）。在这一时期，通过一系列优化调整手段，开发了一系列综合性能较高的第三代铝锂合金。美国/法国陆续开发的铝锂合金包括2094、2095/2195、2196、2097/2197/2297/2397、2098/2198、2099/2199等合金；苏联/俄罗斯开发的Al-Cu-Li系铝锂合金包括1450/1451、含

Sc的1460/1461合金。

第三代铝锂合金具有较传统铝合金更为优异的强度、韧度、耐损伤性能等优点，已在航空航天上获得大量的应用。2197合金替代2124合金用于F-16战机的后机身舱壁等部件，实现相对减重5%、断裂韧性提高7%的效果。2090-T86、2099-T83和2196-T8511合金挤压型材用于波音777飞机机翼长桁、大型客机A380的地板梁、座椅导轨、辅助导轨、座舱、紧急舱地板等。

第四阶段为轻质高性能低成本发展阶段（2010s至今）。为应对复合材料的竞争，并满足航空航天及武器装备等领域对相关结构件的高要求，美铝公司开始研发第四代铝锂合金，性能主要朝着更高综合性能的方向发展，包括更高强度、低淬火敏感性、良好的耐损伤以及焊接性能等方面；产品类型则朝着大规格的方向发展。

在这一阶段，美国、法国注册了2050、2055、2060、2070、2074等高性能铝锂合金。在航空领域，2050-T84合金板材比7050-T7451合金板材的强度和弹性模量分别高出4%和9%，且具有更高的断裂韧性、更好的耐应力腐蚀及抗疲劳裂纹扩展能力，在飞机上可全面替代7050合金用于翼肋、翼梁、机身框架及地板梁等。在航天领域，与第三代2195铝锂合金相比，2050合金的力学性能水平相当，且具有更高的比强度及比模量、更好的焊接性能、更低的淬火敏感性，其综合性能优于2195合金。用于机身桁条时，2055-T8E83合金替代现用的7055-T76511合金能够实现4%的减重效果；用于飞机上翼覆盖件时，2055-T8X合金的综合性能与7055/7255-T7651/T7751基本相当，全面替代能够实现6%的结构减重效果。

在此阶段，尤其值得一提的是，C919飞机全球领先使用的2060-T8E30合金，是中国商飞公司和奥克宁科公司（原美国

铝业公司）联合为C919飞机机身蒙皮应用独家定制研发的，替代原有2524等传统合金，实现了较大的减重效果。

铝锂合金已在商业化模式下成功发展了四个代次，形成了代次特征鲜明、状态规格齐全的航空航天用材。目前第四代高性能铝锂合金尚处于发展阶段，未来朝着高综合性能、大规格的方向发展。

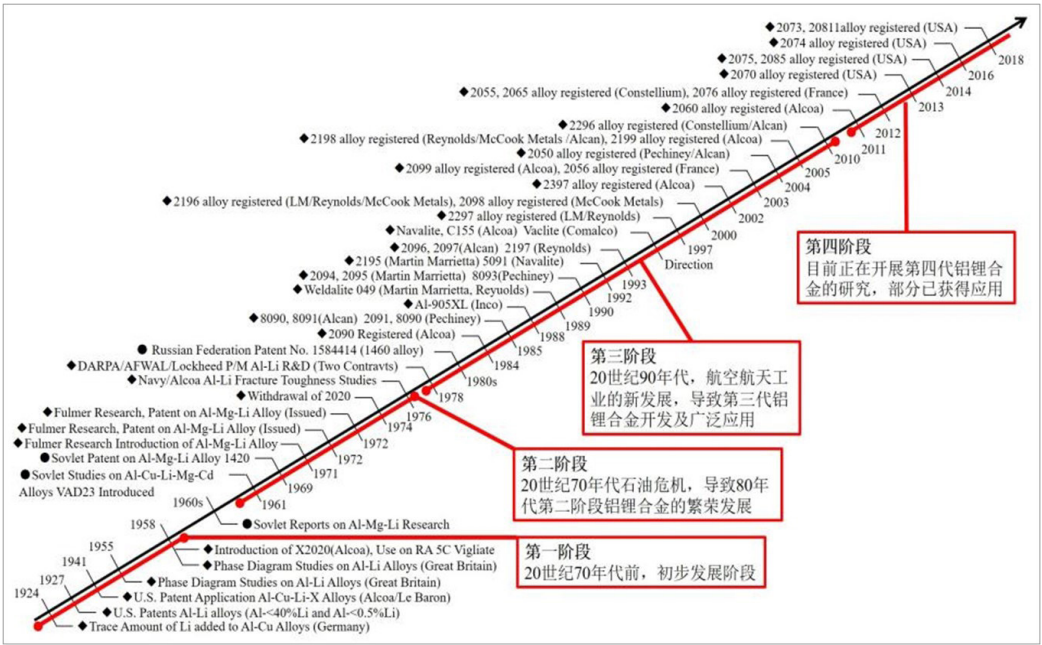
其他体系铝合金

航空用6xxx系铝合金先后发展了6061、6063、6013、6056等合金，用于飞机保护板、蒙皮、法兰盘等零部件。自20世纪60年代起，美国、俄罗斯（前苏联）等发展了Al-Mg-Sc、Al-Zn-Mg-Sc、Al-Li-Sc等体系的含钪铝合金，俄罗斯（前苏联）用于米格20、米格29、图-204客机和雅克36直升机等机型的承载结构件以及安东洛夫运输机机身纵梁等，由于价格高昂，在民用航空领域尚未规模化应用。

航空铝合金发展展望

在未来飞机减重、长寿命的设计需求牵引下，航空铝合金发展主要有以下几个方向：第一，进一步发展比刚度、比强度高的铝合金材料；第二是在超高高韧铝合金方面，进一步发展600MPa～650MPa级大规格铝合金厚板/锻件，用于飞机壁板、长桁等高强度需求结构件；第三，在高强耐蚀铝合金方面，发展强度在500MPa以上、有良好的抗晶间腐蚀-抗剥落腐蚀-应力腐蚀能力的铝合金材料；第四，在耐热铝合金方面，进一步发展在200℃及以上温度稳定使用的铝合金材料。■

图3 | 铝锂合金发展路线图



增材制造在民机产业的应用

文 | 吴皓平

增材制造 (Additive Manufacturing) 又称 3D 打印, 是一种集材料工程、机械工程、计算机工程、激光与电子束等多领域多学科交叉融合的成形技术。它以计算机三维数模为基础, 通过软件对数模进行分层, 使用粉末或丝材的原材料逐层打印进行构造, 实现复杂结构零件的一体化成形、特殊结构零件的个性化定制与设计需求的快速响应。

与传统的制造工艺相比, 增材制造可以提升零件设计的灵活性与自由度; 实现复杂零件的一体成形, 提高零件的整体性能和质量; 提升材料利用率, 减少材料浪费; 便于进行零件原型验证和个性化定制。这些优点使得增材制造在航空航天、汽车、医疗等多个领域得到了广泛的关注与应用。

增材制造的以上优点较好地契合了民用飞机减重降本、快速响应的目标与需求, 因而在民机制造领域一直备受关注, 波音、空客和中国商飞均已实现了增材制造件的装机应用。随着技术成熟度进一步提高, 增材制造在民机产业的应用也将会不断地拓展。

金属增材制造

从所使用材料来分类, 增材制造可分为金属增材制造和非金属增材制造。金属增材制造是以金属粉末 / 丝材为原料, 以高能束 (激光 / 电子束 / 电弧 / 等离子束等) 作为能量源, 来制造高性能金属构件的新型制造技术。根据制造原理, 又可将金属增材制造技术分为粉末床熔融 (Powder Bed Fusion, PBF) 技术和定向能量沉积 (Directed Energy Deposition, DED) 技术。

粉末床熔融技术于 1994 年由 EOS 取得专利。该技术将均匀的粉末层供给至沉积平面上, 并引导能量源的能量在指定位置照射粉末使其熔融固化。当一个平面完成后, 能量将被引导至下一个平面重复该过程直到零件成形完毕。根据能量源的不同, PBF 技术也被分为选区激光熔融、电子束熔化等不同技术。

PBF 技术制造的零件表面质量优秀, 且该技术打印的零件性能较好, 致密度较高。除此之外, PBF 技术可以制造具有高几何复杂度的零件, 适合生产可以直接应用的最终零件。该技术还可以与拓扑优化相结合, 减少材料使用并减轻零件重量, 实现飞机减重降本的关键需求。

定向能量沉积技术最早于 1995 年由美国 Sandia 国家试验室开发成功。

该工艺通过将金属粉末或丝材输送至基板, 并聚焦激光束、电子束或电弧等能量源于粉末床上, 从而形成多个小型熔池并连续沉积材料, 最终实现一体成形。根据所选能量源的不同, DED 技术也可分为激光金属沉积、电子束增材制造、电弧增材制造等多种技术。

DED 技术的沉积速率高, 相比其他金属增材制造技术, 其成形速度更快, 可以进一步缩短零件的制造周期。通过 DED 技术制造的零件拥有出色的机械性能, 与同材料的铸件不相上下。但是, DED 技术也存在一些缺点: 由于在制造过程中存在局部温差, 可能导致零件的收缩与变形, 所以使用 DED 技术制造的零件表面质量较差, 通常需要后处理来降低表面粗糙度。

金属增材制造所使用的材料一般为粉末或丝束。细粉 ($\Phi=15-50\mu\text{m}$) 常用于粉末床铺粉技术; 粗粉 ($\Phi=45-180\mu\text{m}$) 和丝束 ($\Phi=1-1.6\text{mm}$) 常用于送粉 / 送丝增材制造技术。目前常用的金属增材材料可分为钛合金、铝合金与高温合金。其中, 钛合金和铝合金常用于飞机机身, 而飞机发动机常用钛合金与高温合金。

非金属增材制造

与金属增材制造技术类似, 非金属增材制造技术将非金属材料丝材或粉末原材料进行逐层打印并最终成形。民机产业常用的两种非金属增材制造技术为熔融沉积成形和选区激光烧结。非金属增材制造件常用于功能性内饰件与功能性次承力件。

熔融沉积成形 (Fused Deposition Modelling,FDM) 技术于 20 世纪 80 年代由美国 Stratasys 公司的创始人 Scott Crump 博士发明, 该技术通过将热熔性丝材加热熔化, 将熔化的丝材沿切片软件确定的路径从喷头处按一定速度挤出。挤出

的丝材在平台上凝固后, 喷头将会抬升并进行下一层的成形。

FDM 技术不涉及激光、高温高压等环境, 技术较为简单, 设备体积较小, 操作简单, 打印成本与维护成本也相对较低, 原材料在整个成形过程中不涉及化学变化, 零件的翘曲与变形较小, 可选择 ULTEM 9085、聚碳酸酯 (PC)、聚酰胺 (PA) 等多种常用工程塑料作为原材料进行打印。但它也有一些较为明显的缺点: 表面粗糙度较高; 成形过程中需要支撑结构进行支撑, 打印完成后支撑去除较为复杂且会在表面留下痕迹; 由于打印工艺的限制, FDM 技术制造的零件在垂直成形方向的强度明显弱于其他打印方向, 各向异性问题显著。尽管具有较多缺点, 但 FDM 技术成熟度高、操作简单、价格低廉, 现已广泛应用于飞机非金属内饰件的制造。

选区激光烧结 (Selected Laser Sintering,SLS) 技术由 Carl Deckard 博士于 1989 年发明, 该技术通过激光器, 将平铺在平台上的材料粉末分层烧结成形。当一层截面烧结完成后, 新的粉末将会平整地铺在已烧结的截面上并烧结下一层。当所有截面烧结完成后, 通过清除多余粉末得到完整成形的零件。

SLS 技术选材广泛, 可用于 PA、PC 等多种工程塑料的成形制造。在制造过程中, 未烧结的部分可以充当烧结部分的支撑, 使得 SLS 技术在成形过程中不需要额外添加支撑结构。相比 FDM 技术, SLS 技术制造的零件性能略好且各向异性较低。然而, SLS 技术在使用过程中造成粉尘污染, 在加工与后处理过程中需要工作人员穿戴防护设备。由于使用激光作为成形能量来源, SLS 技术的运营成本较高, 能耗较大。

总体而言, 通过 SLS 技术制造的零件具有更好的性能与更小的各向异性, 在民机制造领域具有较高的应用价值。

根据不同的制造技术，非金属增材制造材料可分为粉末状和丝束状。粉末状材料常用于选区激光烧结技术，而丝材常用于熔融沉积成形技术。常用的非金属增材制造材料有 ULTEM 9085、聚酰胺、聚碳酸酯等多种工程塑料。

钛合金的增材制造

钛合金强度高、耐腐蚀、生物相容性好，在航空航天、生物医疗等领域备受关注。传统制造工艺制造钛合金材料工艺复杂，周期较长，无法满足民机产业个性化设计与新设计快速响应的需求。增材制造的出现为钛合金制造提供了新思路，也为钛合金在民机产业的应用提供了新方向。

钛合金增材制造件已在多个型号上实现装机应用。2016 年，空客使用 Ti-6Al-



图 1 | A350 XWB 飞机增材制造钛合金连接架

图 2 | A350XWB 增材制造钛合金托架

4V 增材制造对 A350XWB 连接架进行了设计优化并实现装机，这也是金属增材制造件第一次在型号上实现装机应用，该零件如图 1 所示。空客采用钛合金增材制造技术对该零件进行结构优化，成功将零件重量减少 30% 以上，大大缩短了交付周期并降低了制造成本。

铝合金的增材制造

铝合金密度低、韧性强、比强度高、热加工成形性能优异，还具有优秀的耐腐蚀性，一直以来都是民机产业最为常用的材料之一。

在增材制造领域，铝合金材料对激光和电弧的反射率与热导率高，在增材制造过程中极易产生熔体飞溅等现象，影响铝合金产品的性能与质量，提高了传统铝合金材料增材制造的难度。因此，增材制造用铝合金材料多为专为该技术开发的材料。常用的增材制造铝合金材料有 AlSi10Mg、AlMgScZr、Al2139 等合金粉末。

图 3 为空客 A350 XWB 型号垂直尾翼支架，使用 AlSi10Mg 进行增材制造，将 30 个零件集成设计为 1 个零件，减重高达 30%，并将制造周期从 70 天成功缩短至 19 个小时，大大缩短了制造周期。图 4 为空客 A320 轻量化仿生机舱隔离结构，采用空客子公司 APWORKS 研发的二代 Al-Mg-Sc 合金 Scalmetalloy® 进行选区激光熔融（SLM），减重 45%，成本降低 75%，实现了型号减重降本的设计需求。

高温合金的增材制造

高温合金具有出色的耐高温性能、稳定的组织与优良的力学与物理性能，在民机

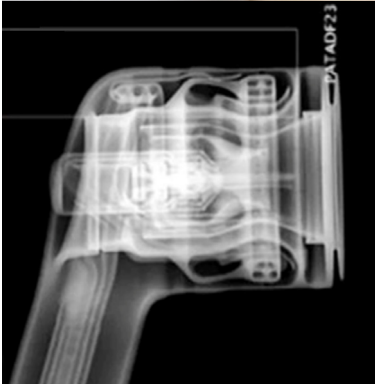


图 3 | A350 XWB 垂直尾翼一体化支架

图 4 | A320 轻量化仿生机舱隔离结构高温合金的增材制造

图 5 | LEAP 发动机燃油喷嘴

图 6 | A350 公务机娱乐系统内饰件

图 7 | A350 XWB 客舱门帘头

产业广受关注。常用的高温合金包括镍基高温合金、铁基高温合金和钴基高温合金等。

镍基高温合金是使用最为广泛的高温合金，占比高达 80%。镍基高温合金中铌和钼两种元素以固溶强化的方式提高材料的综合性能，镍和铬元素具有优秀的抗氧化与抗腐蚀性能。这些元素赋予了镍基高温合金良好的高温稳定性和耐腐蚀性，使材料更易于成形。

增材制造高温合金件最具代表性的应用是使用 SLM 工艺制造的 LEAP 发动机燃油喷嘴。该零件于 2014 年完成认证，是首件获得 FAA 认证的增材制造件。LEAP 发动机改用 Inconel 718 增材制造件后，不仅改善了喷嘴易过热和积碳的问题，还

成功将 20 个零件集成设计为 1 个零件，减重 25%，减少燃油消耗 15%，喷嘴寿命延长 5 倍，成本降低 30%，库存降低 95%，展现了增材制造集成设计、一体成形、减重降本等优点。截至 2021 年 8 月，该零件共有 10 万件在役，并在波音 737MAX、空客 A320neo、中国商飞 C919 等多个型号上实现装机应用，是增材制造产品在民机产业批生产应用的典型案例。

ULTEM9085 的增材制造

ULTEM9085 是聚醚酰亚胺（PEI）和聚碳酸酯的共聚物，广泛应用于航空航天领域。ULTEM 9085 有着出色的自熄性，



图 8 | 增材制造的 PA 2241 FR 零件 (左)

图 9 | “猎户座”舱门件 (右)



阻燃、无烟、无毒、热释放低，是满足美国 FAR25.853 条款的最优选项之一。ULTEM9085 热稳定性与尺寸稳定性好，具有良好的成形加工性能。ULTEM9085 还具有优秀的力学性能，增材制造的 ULTEM9085 拉伸强度可达到 69MPa，弯曲强度可达到 104MPa。优秀的阻燃与力学性能使 ULTEM9085 成为航空航天领域应用最为广泛的非金属增材制造材料之一。

目前，空客 A350 公务机 ULTEM9085 增材制造娱乐系统内饰件已经实现装机，相较于传统工艺制造的零件减重高达 55%。空客 A350XWB 已装机应用超过 1000 个 ULTEM9085 内饰件并取得 FAR-25 TC 认证。

聚酰胺的增材制造

聚酰胺，俗称尼龙，是最早应用在航空航天领域的热塑性材料，是航空材料中不可或缺的一部分。尼龙具有良好的阻燃性能，PA11 材料已通过 FAR 25.83 的 60s 垂直燃烧试验。尼龙材料本身力学性能同样优异，其抗张强度与金属不相上下，耐疲劳性能与铝合金相当，同时具有出色的抗弯强度和冲击强度。尼龙价格低廉，在非承力纯功能性零部件的应用上，相比

ULTEM9085 等工程塑料具有绝对的价格优势。尼龙可以作为基材与玻璃纤维、碳纤维等形成复合材料并作为增材制造材料使用，以获得更优秀的性能。

2021 年 5 月，Materialise 公 司 获得空客的许可，使用 EOS 公司生产的 PA 2241 FR 阻燃尼龙为空客制造零件。Materialise 公司和 EOS 公司也成为了首批通过空客认证的激光烧结零件供应商。

聚芳基醚酮族的增材制造

聚芳基醚酮族（PAEKs）是一系列高性能聚酮，根据分子链中不同组成的连接次序与比例，可形成多种不同的聚合物。聚芳基醚酮作为结晶型热塑性特种高分子材料，具有较高的机械性能，耐高温、耐冲击、耐腐蚀、耐疲劳，且具有优秀的电气性能，在民机产业具有广泛的应用场景。

常用于增材制造的 PAEK 族材料有聚醚醚酮（PEEK）和聚醚酮酮（PEKK）。PEEK 阻燃无毒，热释放低，且具有自熄性，满足民航客机对于客舱非金属材料阻燃要求。同时，PEEK 还拥有出色的性能，其拉伸强度可达到 80MPa 以上，可在 260℃ 的高温环境下长期使用。PEEK

还具有良好的电气性能，能在高温、高压、高湿的环境下保持出色的电绝缘性。相比其他工程塑料，PEEK 分子结构稳定，多次再加工对其性能影响轻微。相比 PEEK，PEKK 的阻燃性能也同样优秀，是 FAR25.853 条款的最优选项之一，拉伸强度也可以达到约 80MPa。除此之外，PEKK 还具有更低的结晶速率与可调整的结晶度和结晶温度，使其更易于加工成形，并适配熔融沉积成形与选区激光烧结等多种增材制造工艺。

PEEK 与 PEKK 在航空航天领域应用广泛，多家公司已经完成了该类材料的认证与使用。2020 年 10 月，空客通过了 Stratasys 公司开发的增材制造 PEKK 材料 Antero 800NA 的认证，并将使用该材料为飞机生产零件。在此之前，NASA 已经使用该材料为“猎户座”深空飞船打印复杂的对接舱门件。

树脂基复合材料的增材制造

复合材料是由两种或两种以上的材料通过物理或化学方式制备的多相材料。各种材料在性能上相互补充，产生协同效应，使复合材料拥有优于原材料的综合性能，满足不同条件下的多种需求。

对于增材制造，最为常用的复合材料为纤维增强的树脂基复合材料。纤维增强的树脂基复合材料由短切的或连续的纤维及其织物增强热固性或热塑性树脂基体，采用一定的成形工艺复合而成，已广泛应用于航空航天、汽车制造等领域，具有高比强度和比模量、抗疲劳、耐腐蚀、可设计性强、便于大面积整体成形以及特殊电磁性能等特点。纤维增强复合材料在航空航天领域的大量应用不但减轻了结构重量，而且通过结构和功能的一体化设计可提高装备的性能和质量。

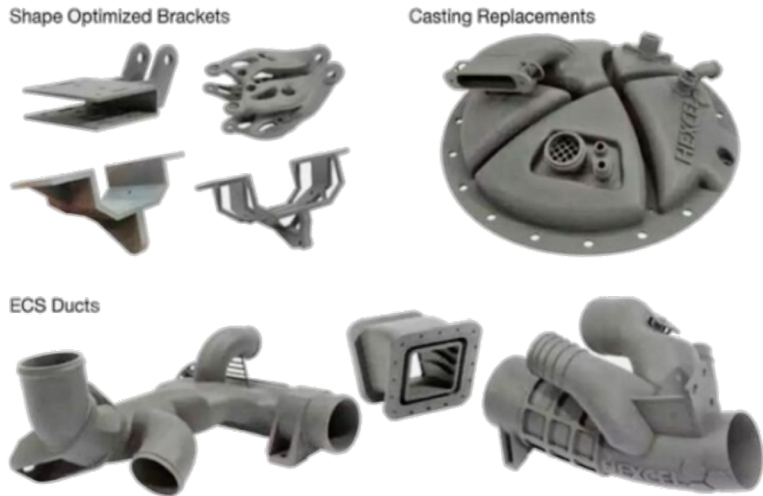


图 10 | 波音 777X 管路件



目前常用的增材制造复合材料通常以 PEEK、PEKK 和尼龙等材料为基体，使用碳纤维或玻璃纤维对基材进行增强并提高材料的各项性能。

2019 年，美国最大碳纤维制造商生产的基于碳纤维与 PEKK 的 HexPEKK-100 材料完成认证，并使用选区激光烧结（SLS）技术为波音 777X 制造管路件等零部件，其重量相比原有的铝合金件减轻了约 50%。图 10 展示了部分波音 777X 的复合材料管路件。

增材制造技术的前景与挑战

作为一种新兴制造技术，增材制造在国内外都备受关注。在中国，国务院于 2015 年发布的《中国制造 2025》将增材制造作为重点发展的装备和技术，科技部 2021 年下发的“十四五”国家重点研发计划中有 9 项涉及增材制造。2022 年美国白宫新发布的《关键和新兴技术清单》再次将增材制造列入这份清单内，并在同年 5 月宣布实施“增材制造推进计划”（AM Forward）。

在民机产业，包括波音、空客与中国

书写大飞机梦的复材篇章

文 | 肖辉江

中国商飞复材中心成立四年多以来，认真落实中国商飞战略部署，在复合材料结构件的原材料技术、结构设计技术、工艺技术、工装设计技术、制造技术、强度分析与试验验证技术等方面进行了多专业深度融合，成功进行了多项型号复合材料结构件研发技术攻关，如宽体机身壁板和尾翼梁等零件，填补了多项国内大尺寸复合材料零件空白。

▼
图 | 周家豪

可以预见的是，增材制造在未来的5到10年内必将成为各家OEM主机厂重点关注发展的技术之一，在各飞机型号上的应用也会随着技术的发展而越来越广泛，为民用飞机的发展提供新的方向与动力。

商飞在内的多家公司都在积极推动增材制造在民机产业的应用，并在多个型号上实现增材制造件的装机应用。可以预见的是，增材制造在未来的5到10年内必将成为各家OEM主机厂重点关注发展的技术之一，在各飞机型号上的应用也会随着技术的发展而越来越广泛，为民用飞机的发展提供新的方向与动力。

目前，以钛合金、铝合金和高温合金为代表的金属增材制造件已经在各型号上实现装机。现阶段金属增材制造件的应用主要集中在客舱、登机门、尾翼等承力要求较为宽裕、对飞机安全性能影响较小的位置与部段。随着技术的发展，金属增材制造件性能不断提升，在某些方面已经达到甚至超越传统的锻铸件，再结合增材制造一体成形、减重降本等优势，在未来一定会更多地代替传统锻铸件，并在具有更高承力需求的承力构件上实现一体式设计、拓扑优化减重等关键目标，在保证飞机结构强度的前提下进一步实现民用航空降本减重的目标。

非金属增材制造件可选用的材料众多，相比传统制造工艺制造周期更短，还兼具一体式集成设计的优点，这些优势导致非金属增材制造件适合应用于非承力或

次承力功能性内饰件。目前各型号上仍有许多使用金属材料制造的内饰件，而这些内饰件本身对于承力要求较小。未来使用非金属增材制造件替代现有的金属内饰件，在满足现有的承力需求的前提下，进一步实现减重降本的目标，更加契合民用飞机绿色环保的设计理念。同时，相较于使用注塑等传统制造工艺，使用增材制造可以节约成本并缩短供应周期，实现对新增客户需求和设计优化的快速响应。

增材制造常用的纤维增强树脂基复合材料具有较低的密度和出色的力学性能，填补了金属与非金属材料之间的空缺。随着未来增材制造技术的不断发展，增材制造的复合材料件可以代替现有的金属锻铸件更好地满足飞机次承力件的需求。目前各型号上的次承力件对力学性能的需求有限，使用金属件不仅强度过剩，还会增加飞机整体的重量，而非金属件，尤其是非金属增材制造件又很难满足其力学要求，复合材料很好地弥补了次承力件材料选择的空白。选用增材制造复合材料件不仅可以满足其力学需求，还能进一步降低飞机整体重量，实现减重降本的目标。

增材制造技术可以提供更加灵活、高效和可持续的制造解决方案，在民机产业具有巨大的潜力。然而，增材制造技术在民机制造领域仍面临着许多挑战与限制。民机产业对于材料的性能与可靠性有着极高的要求，适用于传统制造技术的材料未必同样适用于增材制造技术。因此，开发出适合增材制造技术的高性能材料并建立严格完整的质量控制与认证体系尤为关键。此外，建立相应的标准与规范以确保增材制造零部件满足适航与安全方面的要求也是推进增材制造技术发展的关键。■



工装顽疾促变革

复材中心目前主要承担公司复材专业能力建设与前期预研、ARJ21 复材零件设计优化、C919 复材零件批产和 CRJ29 复材零件研制任务。复合材料不同于传统的金属材料，具有材料、设计、工艺、工装、制造高度一体化，共同影响零件质量与性能的特点。其中，复材工装上承设计实现，下接零件制造，是复材零件制造过程中的重要影响因素。而随着公司各型号项目的深入推进和复材用量的日益提高，复材零件尺寸越来越大、成型工艺越来越复杂，复材工装的设计、制造、交付周期越来越成为复材零件研制的瓶颈，对型号研制进程形成了明显制约。

当前，CRJ29 项目正处于研发阶段，需要大量低成本、迭代快的研发类工装，以加快工程和工艺的迭代速度，从而快速提高技术成熟度，加快型号研制进程。但根据过去几年的交付数据分析，按照批产工装进行管理的 6 米以上复材工装的平均配套周期在 19 个月以上，是零件制造周期的几倍甚至十几倍，远远不能满足项目需求。因此，转变思维，改变做法，缩短复材工装配套周期，势在必行。

溯本求源寻根因

要改变现状，提高复材工装的配套效率，首先要找准造成复材工装配套周期长的病因。通过对复材工装的配套过程进行分析发现：以往技术部门在收到工装的采购指令（TO）后再开展相关的采购流程，该流程中所涉及的工程数模冻结、工艺方案确定、工装技术条件提出等工序均是串联进行，并且一般都是等待上游技术冻结后才启动后续的相关流程。同样，各工序间的反馈同样是串行，一套流程下来，少

辄几个月多则以年计，这显然与复材中心成立之初“设计制造一体化”战略背道而驰。

进一步对造成流程冗长的病因进行分析发现，关键因素主要有三点：一是工装需求不明确，没有科学的计划和规划，容易造成工装需求扎堆；二是研发工装不是“接力赛”，而是“足球赛”，不能靠等，需要齐头并进；三是项目管理没跟上，哪头急催哪头，缺少科学统筹有效的管理方法。

集智攻关去顽疾

针对以上三个重点问题，复材中心充分发挥“工程、工艺、工装”联合的巨大优势，运用科学的管理手段和方法，制定相应的管理措施，驱动复材工装配套过程的改革完善：

首先，发挥工艺牵头作用，统筹规划工装需求，合理制定造买计划，从源头加强工装管理，提高流程效率。由零件工艺牵头，以工程设计需求为牵引，结合工装设计制造特点，共同制定复材工装需求要素表，涵盖工装尺寸、材料、工艺形式、需求时间等要素，确定造买计划。基于工程 / 工艺积木式研发规划矩阵，结合不同零组件采用的自动铺丝、热隔膜、热模压、整体共固化等新型制造工艺，由小到大，由简单到复杂，逐级梳理各项复材零件研发所需的工装类型、工装尺寸、工装材料、工装数量、需求时间等，明确各项工装需求，形成科学的工装需求规划和计划，并固化形成工装需求要素表，经由工程、工艺、工装团队对关键技术要素共同确认后，作为工装管理的依据文件。

工装设计团队依据工装需求要素表，综合考虑工装复杂程度、需求周期等要素，提前规划、统筹安排，初步确定每一项工装的造买计划，由项目牵头有序分类实施，将造买计划反馈在前，提前明确 TO 流流转

程，大大减少了因 TO 流程反复造成的时间浪费，提高了 TO 流程效率。

其次，开展并行设计，利用科学的管理方法有效控制变更风险，缩短研制流程。在供应商选择初期，工程设计团队提供工程打样数模用于工装方案初步设计；合同签订后，工装设计团队在完善相应的设计工作后即开展工装初步设计评审（PDR），随即启动备料、框架焊接等工作；随后，工程设计团队提供工程 PDR 数模，用于工装详细设计评审（CDR），同时着手启动粗加工工序；接下来，工程设计团队提供风险控投预生产数据，用于工装最终设计评审（FDR）；评审顺利通过后，工装设计冻结，开始精加工等工序。

并行设计对工装设计各阶段数据输入以及参数控制提出很高要求，针对工装设计全过程，复材中心在工程设计、零件工艺、工装设计三方面目标高度一致，上下互通、左右协同、形成合力，充分发挥复材团队协同作用。通过并行设计，工装采购周期由原本平均 15 个月以上预计缩短至 8 个月以下。

第三，提高管理办法，多角度提升工装过程管控。根据工程、工艺、工装共同确定的年度工装需求，从项目管理全要素出发（时间、成本、质量、流程），协同相关部门、单位制定出详细的工装到位计划，并统筹各方按计划开展工装到位工作。积极发挥协调组织作用，对过程评审、交付物衔接及时组织相关对接工作，并基于以往经验，对上游工作细化具体要求，从而避免反复，提高效率。不断加强供应商工装制造过程监控，对工装制造过程设立标志性里程碑点（框架焊接、底面加工、型面粗加、型面精加等），对每个里程碑点组织开展汇报评审工作，以保证工装到位质量及进度。最后，举一反三，梳理过往工装到位过程中出现的问题，按 PDCA



原则不断优化管理流程，从而实现流程高效流转，过程减少浪费。

图 | 周家豪



打破常规显成效

通过一系列的改进，复材中心在工装配套周期上取得了显著效果：2021 年 12 月，宽体平尾全尺寸 12 梁完成 PPV 件制造，顺利完成“三个一”阶段目标，其为第一个工装采用并行设计完成的大型零件，整个工装采购周期缩为 11 个月，较之前招投标方式缩短近一倍时间；宽体中后机身 8×4 米双曲壁板 2021 年 3 月工装需求提出，同年 12 月配套到位，仅用 9 个月时间，配套周期进一步缩短，近期中机身 13×4 米、中后机身 15×2 米壁板工装顺利交付，周期进一步缩短为 8 个月和 6 个月，逼近工装固有制造周期。

虽然复材中心在复材工装配套上取得了一定成绩，但与型号研制迫切的需求相比，还有继续提升的空间。未来，复材中心还将策划复材工装联合设计工作，将工装设计重心进一步前移至工程零件设计阶段，更好地发挥复材中心设计制造一体化的优势，同时对厂内的工装管理程序提出优化建议，驱动技术、管理等要素改革，书写好大飞机梦的复材篇章。■

新型高分子材料的研发及应用进展

文 | 杨军 谷元

时代新材是中国中车旗下公司，以前致力于中国高铁的发展，现在倾注了更多的力量关注中国的大飞机事业。我们发现飞机和高铁一样，越来越多地使用高分子材料，同时我们也发现了一个问题，大部分的高分子材料依赖进口。

酰胺基材料

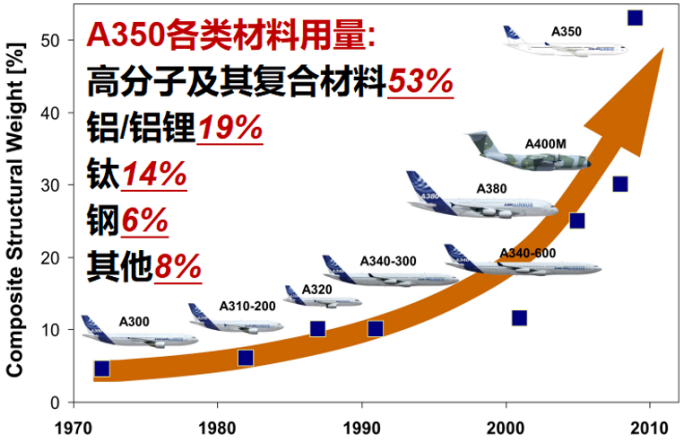
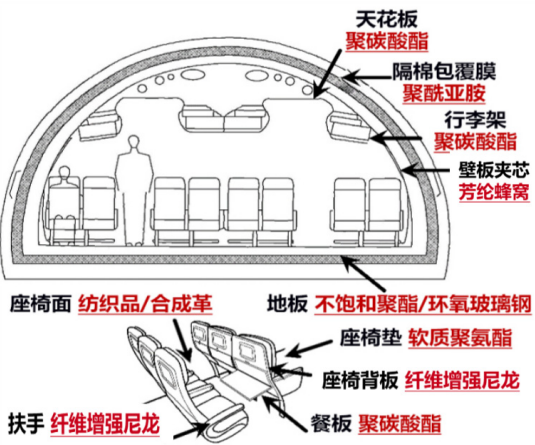
在 高分子主链上，如果存在重复的酰胺基单元，我们通常把它归类为酰胺基材料。脂肪族、半芳香族酰胺基材料称为尼龙，全芳香族通常称之为芳纶。间位芳纶俗称芳纶 1313 酰胺基材料，是常用的芳纶材料，它有非常好的特殊性能，所以国际上把它应用在很多比较苛刻的环境和条件下。

从产业链来看，我国现在最强的是基础原材料单体，芳纶制品等仍在不断开发、不断推进和不断验证的过程当中。

飞机轴承上常用的自润滑衬垫，采用间位芳纶纤维和聚四氟乙烯纤维，经过编织以后，再经酚醛树脂浸渍涂覆，然后用在衬垫里面。这是飞机上常用的一个关键部件，经过十几年的发展，我们打通了各个环节，包括轴



材料是实现先进飞机高性能、轻量化、高可靠性、长寿命、低成本的重要技术保障。高分子材料因其轻量化、具有优良的耐化学腐蚀性、电气绝缘性能、机械性能、减振降噪、易成型、美观等优势，在大飞机中用量越来越大，作用举足轻重。国内飞机用高分子材料研发起步晚，目前大多依赖进口，国产化替代需求强烈。



▲ 雷达罩



▲ 发动机罩



▲ 方向舵



▲ 机舱门



- 天线罩
- 雷达罩
- 整流罩
- 发动机罩
- 水平尾翼
- 减速板
- 方向舵
- 襟翼
- 货舱
- 地板
- 壁板
- 舱门

芳纶蜂窝是 C919/ 波音 / 空客 / 直升机 / 无人机等飞行器轻量化应用的关键材料

承制造、纤维编织、浸渍涂覆等，剩下最后一公里就是纤维。

最近几年我们重点突破了纤维制造技术。国内以前也有芳纶纤维的生产，而且产量比较大，但是和国外比起来仍然有差距。国外树脂是连续聚合，而国内是间歇聚合，这样纤维性能相对不稳定，在开始聚合的低温控制不是很精确，后面溶液黏度上升以后，它的搅拌和散热又相对比较困难，这样就造成产品不仅性能不好，表

观还会有发黄等缺点。

我们现在开发的连续聚合技术，在一定程度上克服了这些问题，使树脂的质量大幅度提高。此外还有一个问题，国外大多采用干法纺丝，而国内之前采用的是湿法纺丝，湿法纺丝导致产品表面的缺陷很多，纤维的取向度和结晶度也不够。

我们采用了干喷湿纺技术以后，改善了纤维产品外观，而且提升了产品性能。从第三方测试数据看，在做成衬垫以后，它的

摩擦系数和国外相当，磨耗量比国外有明显下降，现在产品在积极推进使用过程中。

芳纶纤维还是做芳纶蜂窝纸的材料。芳纶蜂窝是在飞机上大量应用的、性能优异的复合材料，它在客机、直升机、无人机等机型的很多部位上都有应用。

芳纶蜂窝现在已完成了国产化，但现在我们用的蜂窝纸还要依赖进口。为什么纸还要依赖进口？一个原因是上文说的国内纤维有一定的差距，另一个原因就是纸的成型工艺也有一定的差异，与国外比较，性能上最后体现出了差距。因此，之前我们虽然提供蜂窝，但是纸还是依赖进口。

在前期研究基础上，我们先解决了纤维强度的问题，同时解决了纸配方中另外一个重要组分沉析纤维制备的问题，使它比表面积和表面结构得到了大幅度提升。

我们采用长网成形工艺。这个工艺有什么特点？它能在比较长的时间内进行相对缓慢的脱水，这样就制成了芳纶蜂窝纸。它是三维结构，最短维度（厚度）方向上的结构对使用性能要求影响非常大，它表面要有一定的透气性，这样后期做芳纶蜂窝浸胶的时候，能够使胶和纸非常好地浸润在一起，保持非常好的黏接性能，同时保证胶不浸透纸的表面，不进入纸的内部结构，否则做出来的蜂窝发脆，韧性不好。我们现在已经能够做出性能合格的纸，最终做出合格的蜂窝。

通过和下游客户的合作，我们现在制备的纸及蜂窝复合材料的性能已达到国外相当水平，并正在进行各种各样的认证，某些成果和产品已经在重要领域实现了应用，包括高铁。

脂肪族酰胺基材料我们通常称其为尼龙，像尼龙这样高性能的工程塑料，现在也被制成热塑性复合材料，大量应用在飞机上。很遗憾的是，到目前为止大量热塑性复合材料中的基础树脂还依赖于进口，

这对我们较好地开发和应用造成比较大的影响。

这里以高流尼龙为例。中国是尼龙 6 单体最大的生产国，但是很遗憾的是，我们高端的尼龙 6 的聚合物产品非常少。玻纤浸润制成性能优良的复合材料，需要能够实现玻璃纤维在基体树脂中非常好的分散。聚合度高的树脂黏度比较高，如何让它高温下有尽可能好的流动性并让玻璃纤维有比较好的浸润，这是一个比较难解决的问题，国外这一类的树脂对中国基本是禁售的，不出售纯树脂。

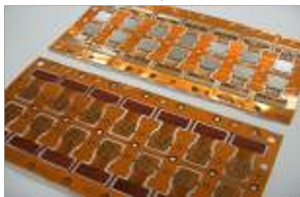
我们采用了新加入一个单体的方法。这个单体具有六个官能团，与己内酰胺进行水解聚合，制备出新型尼龙 6。这个新型的尼龙 6 由于分子间间距的增大，其流动性变得非常好，同时玻纤在高温下的浸润性也变得非常好，这样就让玻纤在和它复合的时候能够良好分散，而且树脂和玻纤的界面结合强度非常好，最终产品的综合性能达到了国际先进的水平。

在此基础上，我们继续研发，把连续纤维增强的热塑性尼龙做成器件的骨架或主要承重件。方法就是把新型尼龙 6 放在模具里进行二次注射成型，可以制作复杂构件，这样的结构使零部件更加简单、强度更好、重量更轻。这个产品已经在高铁和汽车上应用。我们是全球第一个把连续纤维增强尼龙材料应用在汽车的刹车、油门、离合器等装置上的企业，100% 替代原来的金属，减重达到 40% 以上，在疲劳试验台上的使用寿命是原来金属器件的 2 倍。最早使用我们产品的是保时捷，后来大众给了我们很大的订单，国内的一汽奥迪、上汽奥迪等也给了我们很大的订单。可以说，该产品在汽车领域的推广已取得成效。

座椅是我们现在重点开发的方向，包括汽车上一些类似的产品，这个未来在飞



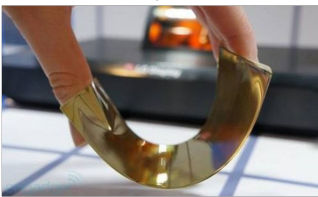
▲ 牵引电机主绝缘



▲ 挠性印制电路绝缘基材



▲ 航空线缆绝缘



▲ 柔性显示和光伏

机上使用的空间会非常大。

酰亚胺基材料

酰亚胺基材料是综合性能优异的材料，它处于高分子材料金字塔的顶端。聚酰亚胺薄膜是在聚酰亚胺材料里面应用量非常大的品种，过去我们长期依赖于进口，它的制备方法分为化学亚胺法和热亚胺法两种。20 世纪 60 年代，国内开始采用热亚胺法制备。热亚胺法制备的产品由于副产物比较多，分子取向不太好，性能与国外产品一直存在比较大的差距，很难应用到一些高端的场合。

经过十年的开发，我们的团队终于突破了化学亚胺法制备技术，成为世界上第四家拥有这项技术的企业。同时在手机导热膜等电子产品领域里，我们后来居上，达到世界领先水平。

目前我们有 2 条生产线。第一条生产线制备的薄膜，宽度是 1545 毫米，厚度公差可以控制在 1.75% 的范围内。现在第二条生产线薄膜幅宽达到 2 米以上，线速度达到 20 米 / 分钟。

从性能上看，化学亚胺法制备的产品，

和热亚胺法制备的产品相比较，有非常明显的优势。

在航空中它用在哪里呢？首先可以用在线缆上，它是非常好的绝缘保护材料。我们正在和相关部门合作推进这项工作，也完成了一些相关实验，比如上下两层进行镀氟工艺的探索，从镀氟以后材料的性能来看，我们的产品比进口的产品略有优势。

在 280℃ 的高温老化试验后，通过材料性能比较，国产薄膜相对于国外产品也有明显的优势。

第二种应用场景是用在复合材料的制备过程中。复材器件在使用热压罐成型的时候，需要使用真空袋。这个真空袋需要耐 420℃ 的高温，必须用聚酰亚胺薄膜，而且要用特殊的配方来做产品。以前我们依赖于进口，最近一段时间，我们研制的新品送到相关部门进行验证，在使用中表现出了相当好的性能，客户的结论是可以替代进口，相信未来在国产商用飞机上也能有比较广泛的应用。

尽管聚酰亚胺有非常好的综合性能，但也有一定的缺点。比如，后续加工比较困难。对其进行改性的方法是在它的主链

聚酰亚胺（PI）薄膜

聚酰亚胺材料最为重要的制品形态，也是世界上综合性能最好的绝缘薄膜，广泛应用于高速列车、战斗机、卫星、航空飞机等轨道交通和航空航天领域，同时也应用于柔性显示、智能手机、笔记本电脑、摄像机等电子消费市场



上引入酰胺基团。我们对单体进行了分析和比较，也突破了一些难题，最后实现了从树脂聚合、材料改性到成型加工、产品制备全过程的工作，填补了国内的空白。从力学性能来看，我们的产品和国外产品已基本相当。

目前，这些产品已经用在涂覆领域，它的溶液可以作为漆，用在需要防护的表面。同时它可以做成零部件，在高温下有非常好的尺寸稳定性和强度保持率，能够进行有效的传动减振。该产品从 2013 年开始批量应用，而且应用的范围越来越大。

火安全高分子材料

所有的公共交通工具都非常注重火安全，飞机的要求更高。国内在 2002 年一次空难后，限制携带火种、液体上飞机，担心机体里面有很多易燃或者火安全等级不够的东西。从我们的调研来看，飞机上典型的火安全材料应用的现状，依然像我

们前述的几种材料一样，目前也基本上处于进口状态。

我们现在和相关部门合作开发，用有机硅替代聚氨酯，做机舱内座椅的泡沫垫，这项工作取得了突破性的进展。座椅垫在机舱内用量非常大，一旦起火它是主要的着火材料，聚氨酯由于它的特点，很难根本性解决阻燃的问题，而有机硅的分子结构使它具备很好的离火自熄的特性。

另外有机硅的疲劳性能非常好，我们在同等条件下经过试验得出结论：有机硅泡沫的疲劳次数可以达到聚氨酯泡沫的 10 倍以上。同时有机硅在很宽的温度范围内，具有很好的阻尼吸声的性能，所以在机舱里面大量使用有机硅的泡沫，对降低机舱内的噪声反射和吸收噪声也有非常好的作用，它的缺点是比聚氨酯的泡沫稍微贵一点。

机舱的减振降噪用到高分子阻尼隔音材料，这类材料也有很高的要求，主要体现在两个方面，一是高分子材料本身重量

比较轻，要达到比较高的隔声效率相对来说有挑战性，同时它还要有一定的阻燃性。但是，通常很难让阻燃和隔音共同体现在一件产品上。

我们和高校合作，发明了一项多层共挤技术。我们发现，两种聚合物共混可以达到分子水平，但是这样会使两种材料的特性也发生融合，而我们要的产品必须让材料保留各自能表现自己物性的最小单元，这样它混合在一起的时候，才能把各自的特性都在产品中体现出来。通过多层共挤技术，我们实现了这样结构的材料，使我们的产品有更好的阻尼隔音性能和防火性能。我们的产品在自己的试验和客户的验证中都取得了非常好的结果，这个产品已经在高铁上大量应用。

橡胶是飞机上一大类材料，除了轮胎以外，还运用在密封、减震、传输、隔热等等各个领域。在直升机旋翼、飞机发动机等领域，减震的要求很高，但是从另外一个角度讲，这些材料都需要关注它的阻燃性。近期，高铁在全球范围内正在大规模修改一个标准，从整体上对高铁的阻燃性能提出了更高的要求，不仅仅对材料的防火性能进行了更严格的规定，还对燃烧时候的放热量，对火焰的传播速度，对燃烧时候周边的辐射等等都提出了更加明确的要求，对火的隔离也提出了明确的要求。这些要求推动了高铁乃至整个轨道交通领域内，高分子材料在火安全性能方面大幅度的改善。

我们做了一些研发，不管是有机硅方面、天然胶方面，还是在乙丙胶方面等都取得了一些阶段性的成果。现在看起来，在保证减振性能以及其他功能的前提下，防火性能可以进一步提高。比如，原先我们认为橡胶很难阻燃，现在经过我们的努力，绝大部分的橡胶件应用在火车上，都能基本满足车辆运行的要求，也能满足阻

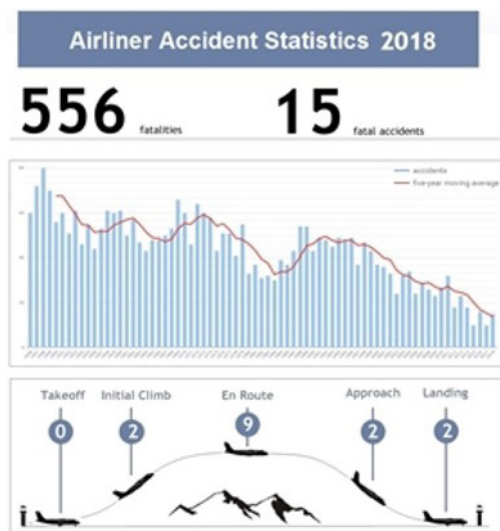
燃新标准的要求。

结语

一位专家问我高铁的材料是怎么逐步实现国产化的，我讲了我的观点：使用是最大的促进。高铁刚开始发展的时候，我们也面临大量材料需要进口的问题，我们凭借手中这么大的市场，这么大的订单，可以要求国外供应商为我们提供更多的服务，比如说告诉我们原理，告诉我们检测的标准，和我们共同开发满足我们这个型号需求的东西。

这也是一个学习的过程，拿到答案以后就可以要求国内的供应商按照这样的标准去实现，在比较长的一段时间内，既有一家国外供应商，又有一家国内供应商，既安全又有发展空间。经过几年的努力以后，我们现在高铁上的产品，绝大部分国产的产品都已经超越了进口的产品，最后实现了完全国产化替代，这样的产业链建设，是一个强链补链的过程，我觉得非常成功。据我了解，现在中国高铁上只有少数几种产品和国际水平还有一定的差距，这些主要是基础材料和基础器件。其他的绝大多数产品，国内的供应水平不仅可以应用在中国高铁上，还大量出口用于世界各国的高铁，并取得比较好的成果。我们希望中国大飞机的发展，也能够对中国先进高分子材料的进步产生巨大的牵引和扶持作用。(本文根据作者在 CTALK 上的演讲稿改写而成。作者时任株洲时代新材料科技股份有限公司董事长，现任公司首席科学家。) ■

高分子材料自身易燃性强，极易引发大飞机火灾



▲ 2018 年

全球共发生致命空难 15 起，包括 12 次客运航班、3 次货运航班，导致 556 人不幸丧生



▲ 自 1964 年有记录数据以来

全球已经累计发生客机致命空难超过 3000 起，死亡人数超 80000 人

空客持续布局中国航空市场

文 | 杜婷

2023 年 4 月，在习近平总书记和到访的法国总统马克龙的见证下，空客与中国航空工业合作伙伴签署了新的合作协议。合作协议包含工业合作、新飞机采购和航空业可持续发展等相关内容。合作协议中，空客将在天津建设第二条生产线，进一步拓展 A320 系列飞机的总装能力。同时，空客还将与中国企业一起，围绕可持续发展战略，进一步加强中欧双方在可持续航空燃料的生产、应用以及通行标准制定等方面的合作。从 2008 年首条天津 A320 飞机总装生产线投入运营至今，持续布局中国市场，不断探索与中国企业的深度合作，令空客在中国市场取得了不俗的成绩。

打造亚洲交付中心

2023 年 3 月 24 日，空客向吉祥航空交付了首架在天津 A320 系列飞机亚洲总装线总装完成的 A321neo 飞机，同时这架飞机在交付飞行中还使用了 10% 的可持续航空燃料。目前，空客在全球共有四处 A320 系列飞机总装设施，分别位于德国汉堡、法国图卢兹、中国天津和美国莫比尔。2022 年 11 月，天津总装线完成改造后，图卢兹最新的总装设施也将于近期完成改造，这意味着未来空客全球工业体系都将具备 A321 飞机的总装能力，这将有力保证未来 A321 系列飞机在全球市场的交付。

空客与中国的合作可以追溯到 1985 年。当时，中国民航总局华东管理局引进

了一架 A310，这是空客在中国卖出的第一架飞机。此后，为了提升在中国市场的竞争力，空客开始尝试在中国进行零部件转包生产。

此后，随着在中国市场占有率的不断提高，空客与中国产业链企业的合作范围不断扩大，层次不断深入。双方工业合作涵盖了从原材料采购到零部件设计与制造、大部件总装，直至飞机总装等多个领域。在 2008 年天津总装线投产前，空客在中国的工业合作总值已超过 1 亿美元。

空客在天津设立的 A320 总装生产线被业界誉为教科书式的本土化战略。通过这条生产线，空客用最短的时间在中国市场实现了“弯道超车”。对于空客来说，在中国建立总装线的意义早已超过了订单

图 | chinaaviationdaily.com



和工业合作本身。总装生产线的建立帮助空客在中国赢得了从政府到合作伙伴的信任和认可，巩固了双方战略合作伙伴关系，同时也让空客更加贴近目标市场，在市场竞争中占得了先机。

数据显示，在天津总装线投产之前，空客用了 25 年的时间在中国市场销售了 500 架飞机，但是从 2009 年天津总装厂生产出第一架 A320 飞机后，空客仅用了 5 年的时间就在中国卖出了 500 架飞机。从 2009 年交付首架 A320 飞机至今，天津 A320 系列飞机总装线已经成功运营 14 年，完成总装并交付了超过 600 架 A320 系列飞机。

如今，除了 A320 系列飞机总装线之外，空客还于 2016 年在天津再添“新翼”。2016 年，空客决定将 A330 飞机完成及交付中心设在天津，这意味着天津成为了空客在欧洲以外第一个同时拥有窄体和宽体客机交付中心的城市。

空客之所以作出这一决定与当时其渴望进一步为 A330 开拓更多客户有关。在 2016 年之前，虽然空客一直在为延长 A330 系列机型的生命周期而不断对飞机进行改进改型，甚至为了迎合中国市场还曾推出过 A330 区域型，以试图说服客户赢得更多的订单。但当时随着 777-300ER、

787 等机型的陆续交付，市场似乎更倾向于竞争对手的产品。面对竞争，空客决定将 A330 完成及交付中心设在天津。2017 年 9 月 20 日，首架在天津完成完工交付工作的 A330 在天津交付客户。这一次，空客的决策又一次被证明是正确的。如今，中国民航拥有全球最大的 A330 系列飞机机队。

之后，空客又在天津新增了 A350 飞机完工和交付中心。A350 完工和交付中心与 A320 系列飞机总装线和空客天津交付中心园区相连，该中心负责客舱安装、飞机喷漆和生产飞行测试以及飞机交付和客户接收等工作。2021 年 8 月 9 日，首架在天津完成最后交付工作的 A350 飞机交付东航。从不断拓展 A320 系列飞机生产线到 A330、A350 完工交付中心投产，通过十余年的布局，空客已经将天津打造成了亚洲重要的交付中心。

从制造到售后的全产业链布局

2022 年 6 月，空客宣布选址苏州设立中国研发中心。2023 年 4 月，空客中国研发中心正式启用。根据空客的规划，该研发中心将利用长三角地区的航空和氢能源产业链优势，重点围绕氢能源基础设施开展研究工作。同时，空客中国研发中心还将为空客全球提供先进制造、电气化、未来客舱及新技术的研究创新服务。空客中国研发中心还将对于有前瞻性技术和良好市场前景的科研创新项目进行培育，孵化对于当地航空航天产业具有影响和带动作用的科技创新企业。

在此之前，2017 年空客与深圳市政府签署了《空中客车（中国）创新中心合作备忘录》，正式将创新中心落户深圳。该中心是空客继在美国硅谷成立创新中心之后，在全球设立的第二家创新中心，也

是亚太地区唯一的创新中心，由此可见空客对于中国市场的重视。

2019 年 2 月，空客中国创新中心办公室正式启用。该中心的重点研发项目包括机上硬件、客舱体验、机上互联、智能制造及城市空中交通等领域。

在客舱体验项目中，空客将重点投向了当下关注度颇高的柔性屏。柔性屏具有重量轻、厚度薄、可弯曲卷折、显示色彩艳丽等特点，对于航空公司来说，如果用柔性屏替代传统的显示屏可以减轻飞机重量，降低运营成本，对于乘客来说则有了更好的乘机体验。空客中国创新中心选择与深圳本土的柔宇科技有限公司进行合作，后者专注于柔性显示传感器的研发制造。未来，双方将就柔性电子技术在客舱环境、客舱安全以及节能等方面进行合作研究。目前，双方的工作团队对于柔性屏的研发处于产品定义阶段，该阶段将决定哪些产品和技术需要快速推进。

在机上互联方面，空客中国创新中心选择了联手华为。在 2018 年珠海航展上，空客与华为签署了合作备忘录。随后，在中国移动全球合作伙伴大会上，空客又与中国移动下属的中移智行网络科技有限公司签署了合作备忘录，双方将在地对空高速网络领域进行全面合作，利用未来的 5G 技术共同开发端到端的一整套解决方案，打造全新的机上高速互联体验。2022 年，空客又与中国移动上海产业研究院合作推进 5G 空地互联应用，以在中国开展 5G 空地互联应用产业化和试点阶段航线验证。

2022 年 1 月，空客与 TARMAC Aerosave 公司以及成都市政府合作，成立中国首家飞机全生命周期服务中心，该中心落地成都。2023 年 4 月，该服务中心正式成立。根据规划，该服务中心将面向各种机型，提供飞机从停放、存储到维修、升级、改装、拆解和回收的一站式服务，预计将于 2023



图 | 成都市双流区

年年底投入运营。

该服务中心占地面积 71.7 万平方米，规划建设停放 125 架飞机。服务中心毗邻成都双流区的航空工业园区，航空制造和服务企业布局完善。根据规划，TARMAC Aerosave 公司将为项目提供以环保方式拆解飞机的专业技术能力。同样位于该项目中心的空客子公司欧航航材（Satair）将负责收购老龄飞机、交易和分销拆解后的二手可用件，覆盖整个生命周期的服务范围。75% 的存储飞机将进入第二个生命周期，其余飞机将采用 TARMAC Aerosave 公司独特的技术进行拆解，可实现飞机重量 90% 以上的回收利用，远超行业标准。

服务中心的成立标志着空客在中国的业务范围已贯穿整个航空产业链，从部件生产到飞机总装与交付，从机队运行到拆解和高价值零部件的循环利用，实现了全行业生命周期的闭环发展。

持续投资创新与可持续发展

可持续航空燃料（SAF）是国际民航在未来中短期内实现碳减排的成熟以及可靠替代解决方案之一，随着民航业低碳发展的需求日益增强，SAF 燃料的发展已驶入“快车道”。根据国际民航组织的预测，到 2025 年使用可持续航空燃料的商业航



图 | travellog.com



俄罗斯超声速科学中心的发展

文 | 贾晨雨

超声速世界级科学中心（以下简称“超声速科学中心”）是俄罗斯中央空气流体力学研究院（TsAGI）发起并组织协调巴兰诺夫中央航空发动机研究院、莫斯科大学、莫斯科航空学院等 6 家俄罗斯科研机构参与的世界级研究中心，旨在研究并突破构建先进的低声爆超声速客机所需关键技术，为大规模生产奠定科学基础。

超声速科学中心汇聚了俄罗斯最优秀的科研机构，聚合多位顶尖专家，体现了俄罗斯国家层面对超声速客机的重视。考虑到俄罗斯此前在图-144 超声速客机的积累，俄罗斯超声速客机研发进展值得关注。



班将会达到 100 万。

空客很早就意识到可持续航空燃料在实现航空业碳减排方面能够发挥的重要作用，并不遗余力地推进 SAF 燃料的应用。自 2016 年首次在法国图卢兹使用 SAF 实现交付飞行以来，空客将 SAF 交付飞行逐步推广到其他各地工厂，已有 200 余架飞机在交付飞行中使用 SAF 燃料。自 2021 年 3 月以来，空客已完成在 A350、A319neo 及 A380 上使用 100% SAF 的试验飞行，目前所有空客机型的飞机均可使用最高 50% 的 SAF 与航油混合飞行。

在中国，空客早在 2010 年就开始和各方合作伙伴在有关民航碳减排方面进行深度合作，并高度关注与中国的相关企业共同完善供应链体系、扩大生产，满足航司的实际需求。2011 年，空客与中石化、中航油、东航三家企业签署合作协议，共同推动 SAF 燃料在华应用。2013 年空客与东航携手，共同支持中石化自主研发生产的 SAF 燃料进行首次测试飞行。2022 年 9 月，空客与中航油签署采购合同，使用中石化镇海炼化生产的 SAF 燃料用于空客天津工厂的客户交付飞行，并支持中国航空公司的商业航班飞行。

2022 年 10 月 12 日，空客在天津总装线首次进行 SAF 交付飞行。当日，空客在其位于天津的交付中心向中国东方航空交付了一架 A320neo 飞机，其交付飞行使用了 5% 的可持续航空燃料。与以往空客在欧洲实现的 SAF 飞行不同的是，此次交付使用的 SAF 燃料由空客向中国航空油料集团有限公司采购，并由中国石化镇海炼化厂使用餐饮废弃油作为原材料炼制生产，是中国首套可持续航空燃料工业装置实现规模化生产后的首批国产 SAF 燃料。

一周后，国航在天津空客交付中心接收空客 A350 宽体机，并使用国产可持续航空燃料执行接收后的首次飞行。此次空

客在天津交付国航的这架 A350-900 飞机使用的可持续航空燃料由中国石化镇海炼化提供，采用中国石化自主知识产权的生物航煤生产技术（SRJET），以餐饮废油为原料，与传统航空煤油相比，全生命周期二氧化碳排放最高可减少 85%。该燃料于 2022 年 9 月通过民航局适航批准，并获得国际认证机构 SCS 颁发的亚洲首张全球 RSB 可持续航空燃料认证证书。

自 2022 年 10 月 12 日空客天津加注 5% 的 SAF 燃料实现首次交付飞行以来，现已有约 20 家客户选择加注 SAF 燃料交付飞行。2022 年 11 月，空客与厦门航空、浙江长龙航空和多彩贵州航空签署了关于推动使用 SAF 燃料商业飞行的合作协议，并于 2022 年 12 月与多彩贵州航空合作，实现了空客飞机在华使用 SAF 燃料的商业首飞。

除了 SAF 之外，空客还通过其创新中心在中国市场探索“空中飞的”的实现路径。2021 年空客就与深圳市签署合作备忘录，双方携手共同探索城市空中交通解决方案。根据计划，空客中国创新中心首先会在深圳进行地面基础设施模拟研究，然后把多个城市的经济状况、人口分布、交通状况整合在一起，进行建模分析，从而确定不同城市所需的飞行器数量和起降点分布等。在此之前，空客位于硅谷的创新中心已经在法国巴黎完成了第一期研究，未来空客将陆续完成深圳、上海等城市的可行性研究。

此外，空客还在与合作伙伴一起探索 Voom 服务在中国落地。这项服务类似“滴滴打车”，只是它呼叫的不是汽车，而是直升机。目前，这项服务在圣保罗取得了不错的成绩。通过采用“拼机”的方式，降低用户的使用成本，能够在需求发出后 60 分钟内实现出行。空客希望，这一项目未来能够有机会在中国落地。■

国家级研究中心成立的背景

2020 年，为了支持国家级高优先科技研究和发展任务，俄罗斯教育和科学部在 2020 年～2024 年期间，计划补贴 154.6 亿卢布（约 14 亿人民币），创建不少于 9 个世界级科学中心（NTsMU）。TsAGI 作为发起人和联盟协调者，申请建立“超声速世界级科学中心”（SUPERSONIC）。2020 年 6 月 3 日，超声速科学中心获批成立。超声速科学中心实施周期为 6 年（2020 年～2025 年），总预算 30.9 亿卢布（约合人民币 2.8 亿人民币），其中 80% 的资金来源于政府。

俄罗斯对于超声速世界级科学中心成立的目标十分明确，即致力于解决一系列基础性、探索性和应用性科技问题，优化超声速客机的经济及环境指标，使超声速客机具备大规模生产的可能性。中心将基于此前俄罗斯在超声速飞机领域积累的研究基础，研制新一代超声速客机验证机，并于 2023 年开始飞行试验。

该中心将在 2025 年左右，提出一种新的理论和方法基础，提高技术和布局解决方案的质量并缩短解决方案开发时间，确保新一代超声速客机在性能、环境和声学表现上获得质的提升。具体成果包括：一组具有低声爆和噪声的超声速客机创新性未来构型，飞行器多准则设计技术，基于视觉的信息显示系统和驾驶舱内的 AR（增强现实技术）等。

多个重点试验室齐发力

超声速科学中心是一个跨学科的综合性平台，涉及材料、强度、声学、振动、发动机、排放、人工智能等 10 类关键技术，研究空气动力学和概念设计、气动声学和振动、强度和智能结构、燃气动力学和动

力装置、人工智能和飞行安全 5 大技术领域问题，重点解决未来超声速航空领域的基础技术问题。

将有 7 个研究机构参与超声速科学中心相关技术研发工作，分别是巴兰诺夫中央航空发动机研究院（CIAM）、莫斯科大学（MSU）、莫斯科航空学院（MAI）、俄罗斯科学院克尔德什应用数学研究所（KIAM RAS）、俄罗斯科学院乌拉尔分院、彼尔姆联邦研究中心（PFRC UB RAS）和国家航空系统科学研究院（GosNIAS）参与。

超声速科学中心设置 5 个实验室，分别负责空气动力学和概念设计、气动声学和振动、强度和智能结构、燃气动力学和动力系统、人工智能和飞行安全。各实验室近三年（2020 年～2022 年）研究进展如下。

空气动力学与概念设计实验室主要任务是改进超声速客机的空气动力学布局，提高技术、经济效率，减少对环境的影响；开发声爆预测方法，搭建声爆模拟专用设备；开发超声速流动基础方面和数字建模方法；研究超声速客机的稳定性和可控性。

2020 年，试验室研究工作集中在两个主要方向：空气动力学分析及超声速客机设计方法研究和声爆领域研究（计算方法，传播、影响范围）。对于超声速客机验证机布局，形成了巡航速度与航程、起降跑道长度的平衡，以及安全进场速度的主要技术要求。

2021 年，形成了超声速客机空气动力学设计方法——飞机气动布局优化，通过机翼压力分布调整实现减阻。声爆领域研究进展包括但不限于开发了形成给定激波剖面的方法，以及计算声爆在非均匀分层大气中的传播。该实验室开发了超声速客机原型机 SPS R1，其被用于整个联盟的研究工作。其构型将得到进一步发展，并变得更加丰富。

2022 年，开发了新的湍流表面边界层数学模型，用于模拟地面附近大气的参数。开发了计算声爆在不均匀大气中传播的程序。对莫斯科 - 纽约、莫斯科 - 北京航线的超声速飞机飞行路径下的声爆特性进行了计算，确定了主声爆和次声爆在地球上的覆盖区域及其可听度的三维区域。

航空声学 and 振动试验室的主要任务是开发辐射湍流模型，开发计算噪声和振动的方法。为解决噪声问题，开发可提高精度的数学模型和数值方法。在研究舱内噪声和飞行过程中建筑物振动的框架内，研究结构响应和振动。

2020 年，试验室研究了现有湍流模型的总体情况，以及它们对噪声产生理论的适应性。研究了小涵道比发动机喷气噪声的计算方法。为解决航空声学问题，研究了可提高精度的数学模型和数值方法。研究了声辐射作用下影响可变形结构件响应。

2021 年，形成了一个湍流中小规模噪声源建模方法，克服了非均匀流中多极声源时著名的建模问题。基于多种喷流噪声数据，开发了湍流喷流噪声产生模型，数据与实验数据吻合较好，可以证明噪声建模方法的准确性。开发了低噪超声速民

用飞机新概念，概念中飞机装备额外的螺旋桨，螺旋桨在起降时工作，降低飞机主引擎运行噪声，在高速飞行时螺旋桨会折起，不影响飞机巡航模式下的气动性能。计算结果表明，这样的超声速飞机将符合当代亚声速飞机的噪声标准。

2022 年，开发了一种计算低涵道发动机喷流噪声的方法，以及在非圆形进气口上使用最佳吸声结构的方法。模拟超声速客机在着陆状态下增升机翼周围流动情况，确定在超声速客机产生的声载荷下声爆向舱室内部传递的机理。此外，实验室工作人员还考虑了帮助推螺旋桨的低噪声超声速飞机概念的可能性，研究了带有长支柱的前起落架的模型。借助这些创新解决方案，未来有望显著改善客机在地面的声学特性。

强度和智能结构试验室的主要任务是开发用于监测超声速客机结构性能的建模技术和系统；为延长新材料和航空合金的使用寿命建立研究基础；开发使用智能材料和类仿生设计的自诊断超声速客机。

该试验室 2020 年制定了有前景的仿生结构承力布局要求，进行了控制几何形状和动态过程的智能材料遴选等工作。





2021 年开发了一种超声速客机承重框架多级保护系统，以使其免受冲击和气候影响的仿生概念构型方案。开发了超声速客机原型机承力结构方案，形成了旨在改善机体结构性能的压电元件应用方法。

2022 年创建了用于分析机身结构飞行载荷的非线性模型。开发了优化机身舱仿生结构的方法，以及结构损伤累积建模的方法。

燃气动力学和动力系统试验室的主要任务是形成动力系统的外观、要求和项目的技术规范。形成动力系统技术方案。开发并使用创新性的数字技术，包括数字孪生技术等。

该试验室 2020 年形成了在机场区域有害排放影响建模方面的研究结果。2021 年，建立了超声速客机动力系统数学模型，获得了超声速客机进气道数值研究成果，完成了飞机有害排放源建模，以及开展了高温复合材料应用于超声速客机发动机热端部件的试验。

2022 年，研究了与机身融合的进气设备、噪声抑制方法以及动力系统的环保性能优化方法。研究了高温陶瓷复合材料，完善了发动机热件的制造和检测技术，并进行了合理的方案设计研究。

人工智能和飞行安全试验室的主要任

务是提升超声速客机智能化。创建适应不同飞行阶段的信息显示系统。开发飞行半自然模拟的原则。开发监控系统、重构和网络安全系统。

该试验室的研发进展为 2020 年进行了前景看好的集成控制系统的专利研究和文献综述，确定了影响命令响应准则和操纵杆选择的主要因素，确定了超声速客机作为控制对象的关键问题和特点等等。

2021 年，研究建立超声速客机驾驶舱单一信息 - 控制场的方法，以及对各种类型控制杆选择的研究结果。另一个讨论的话题是超声速客机飞行试验台总体方案构型。

2022 年，展示了用于手动和自动飞行控制系统的高可靠算法。形成了一个基于人工智能、技术视觉和增强现实（AR）的驾驶舱的单一信息和控制场。强调了通过飞机轨迹优化减少噪声。开发了重新配置和网络安全的子系统，创建一个有前途的可视化系统和 HIL 仿真工具。开发了困难飞行模式下的智能飞行员支持系统。

同时，为了支持 5 个实验室开展相关研究工作，超声速科学中心还制定了 2020 年～2025 年基础设施建设计划，为每个实验室采购专业软件和设备，并对部分已有设备、软件进行现代化改造。■

业绩回暖 创新不断： 航空动力市场加速复苏

文 | 董帼雄

2023 年 2 月，发动机制造商罗罗公司发布 2022 年全年业绩报告，报告显示，公司 2022 年的利润和现金流都得到了改善，同时公司正通过多举措并举的方式向创建高绩效、高成长性且具有竞争力的企业转型。在此之前，GE 公司的业绩报告也显示，2022 年公司的业绩较上一年实现了强劲增长。经历了疫情的洗礼，航空动力市场的企业正在通过数字化转型、绿色新能源探索等方式，进一步探寻企业的高效、可持续发展之路。

图 | Aviation Week



业绩逐步回暖

2023 年第一季度，各大飞机制造商、发动机制造商纷纷发布上一年度公司业绩报告，从总体来看，制造商们 2022 年的业绩都在一定程度上实现了复苏。

以罗罗公司为例，根据公司公布的业绩报告显示，2022 年公司的订单、收入和现金流均得到了改善。具体来看，公司民用航空和国防业务都赢得了大量的新订单，同时动力系统订单也创下了新高。报告显示，公司 2022 年基础利润为 6.25 亿英镑，比上年增长 2.38 亿英镑，增长的主要来源是民用航空和动力系统。公司持续营业业务的自由现金流为 5.05 亿英镑，比上一年增长 20 亿英镑，这主要得益于发动机飞行小时的恢复。

罗罗在业绩报告中表示，2022 年全球民航业的需求复苏是公司业绩增长的重要支撑。随着国际旅行的持续复苏，民用航空业务中大型发动机飞行小时（EFH）同比增长了 35%。同时，公司还赢得了来自马来西亚航空集团、北欧大西洋航空公司和澳洲航空公司新的大型航空发动机订单。2022 年，罗罗动力系统的订单增长了 29%，达到了 43 亿英镑。

从利润的角度来看，2022 年公司更高的利润和利润率主要来源于民用航空市场和动力市场利润率的提高。随着越来越多的飞机恢复投入市场，一些动力产品长期服务协议合同的利润得以改善，民用航空备用发动机利润也同比得到增加。

债务方面，2022 年年底罗罗公司净债务为 33 亿英镑，低于 2021 年年底的 52 亿英镑，债务的降低主要得益于资产的处置和现金流的改善。

与罗罗一样，2022 年 GE 公司的业绩也实现了强劲增长，同样 GE 也将业务的增长主要归功于航空市场的持续复苏以及公

司内部的管理革新。

GE 发布的业绩报告显示，截至 2022 年年底，全球有近 41000 台在役公司产品为全球超过 70% 的航空公司提供动力。2022 年，公司实现营业收入 261 亿美元，同比增长 23%，利润 48 亿美元，自由现金流 48 亿美元。公司商用航空发动机销售同比增长 13%，其中 2022 年下半年实现环比增长超过 25%。

尤为值得一提的是 GE 在中国市场的表现。2022 年，GE 助力国产大飞机 C919 完成试飞取证和交付全球首家用户，为中国商飞提供了包括 LEAP-1C 发动机在内的整体推进系统解决方案；提供唯一动力装置 CF34-10A 发动机，支持中国商飞向市场交付 100 架 ARJ21 飞机，其中包括首家海外用户。在工业合作方面，GE 授权并帮助厦门太古发动机公司建立 CF34-10A 发动机的 MRO 能力，进一步提升对国产飞机的服务支持能力。

不断探索零碳飞行

早在 2020 年，罗罗公司就在行业内率先表示加入联合国“奔向零碳计划”，规划在未来 10 年内通过 10 种技术路径在其业务板块实现净碳零排放的目标。

作为全球宽体客机动力市场的两巨头之一，罗罗在加入联合国“奔向零碳计划”后宣布，将通过开发新产品和新技术，在 2050 年全行业达到净碳零排放中发挥主导作用，并提出了实现这一目标的 10 种技术路径。在这 10 种技术路径中，有一些与航空业息息相关。

传统的燃气涡轮发动机研发方面，尽管罗罗在超扇发动机项目（UltraFan）中投入了大量的精力。超扇技术验证机项目得到了英国航空航天技术研究所、英国创新署、欧盟“净洁天空”计划、德国航空研究计划

LuFo 和德国勃兰登堡州的联合支持。

UltraFan 验证机集全新发动机设计和能助力未来数十年可持续航空旅行的一系列技术于一身，其风扇直径达 140 英寸，燃油效率比第一代遑达发动机提高 25%。根据规划，UltraFan 可以提供多种可持续解决方案，支持航空业净零征程。在短期内，可选择将该项目的技术应用在遑达发动机上，以实现更高的燃油效率并降低排放。长期来看，UltraFan 拥有 2.5 万到 11 万磅推力的可扩缩技术使其具备将窄体和宽体飞机的燃油效率进一步提高 10% 的潜能。

在 UltraFan 项目中，罗罗在发动机轴上安装了嵌入式电启动发电机，罗罗认为，如果能将电启动发电机安装在发动机冷端轴上的话，一个 100 ~ 500kW 的集成电动机就能启动发动机，同时使发动机具备足够的发电能力，从而为飞机系统供电。

为了实现这一目标，罗罗启动了“嵌入式电启动发电机计划”。在该计划中，罗罗将一台嵌入式电启动发电机安装在一台阿杜尔军用发动机的低压轴和高压轴上进行试验。按照原计划，罗罗后续还会发展一系列功率高达 150kW 的嵌入式电启动发电机，以满足大型飞机的电力需求。

2022 年末，罗罗宣布 UltraFan 技术验证机已经完成组装并准备试车，计划首次试车将在 2023 年上半年完成，并采用 100% 可持续航空燃料。目前，这款技术验证机位于英国德比的罗罗公司 80 号试车台。80 号试车台是目前全球最大最智能的发动机试车台，其经过专门的设计和建造，能够适应 UltraFan 验证机的尺寸和技术复杂性。

在传统燃气涡轮发动机使用方面，罗罗将与高校、科研院所合作，通过电解产生合成燃料，即所谓的电子燃料来替代一部分传统航油，同时罗罗还在评估氢在航空领域中的应用。

数字化技术在罗罗的绿色航空技术布

局中也扮演了重要角色。在“奔向零碳计划”中，罗罗正在试图通过使用数字孪生技术收集大量的客户机队信息，从而预测发动机在全生命周期中的表现。未来，罗罗希望这项技术能够帮助航空公司减少油耗。

除了运营环节，罗罗还希望通过数字技术的应用来实现绿色制造。罗罗位于英国布里斯托尔的新复合材料工厂正在使用低能耗、低排放工艺，并采用最先进的自动化制造技术进行生产。同时，罗罗还在使用虚拟现实技术设计发动机。在“奔向零碳计划”中，罗罗希望通过绿色技术和环保材料的使用，可以实现未来发动机产品在全生命周期结束后，仍有 98% 的部件和材料可以实现回收利用。

关注下一代窄体客机发动机

GE 公司与赛峰集团在 2021 年携手宣布，将共同启动可持续航空发动机的革命性创新技术验证机项目——RISE 项目。该项目引入了开放式风扇结构、混合动力和增材制造、陶瓷基符合材料等颠覆性技术，与现役最高效的单通道发动机相比，有望减少 20% 以上的燃油消耗和碳排放。需要指出的是，RISE 项目并不是直接研发下一代发动机型号，而是一项技术成熟与演示项目，是瞄准未来市场进行一些关键技术的开发。

根据 GE 和赛峰公布的消息，RISE 项目预计将在 2025 年前后开始第一台样机的测试工作，2035 年左右研发新一代发动机，以装配下一代窄体客机。这个时间表与当前主流飞机制造商对于下一代飞机规划的时间表相吻合。此前，波音和空客也都表示过，将在这个时间段推出全新的窄体客机。同时，作为启动 RISE 项目的一部分，GE 和赛峰已将在 CFM 国际公司的股权合作关系延长到了 2050 年，以支持 CFM 国际

波音持续推进“环保验证机”试飞

文 | 海鹭

作为行业领军企业，波音一直以来十分重视绿色环保技术在商用飞机上的应用。2023 年 4 月，波音宣布将继续拓展其“环保验证机”试飞项目，以进一步加速可持续性和安全性创新。自 2012 年以来，波音“环保验证机”项目已经通过把新技术带出实验室并将其在运营环境中进行测试加速了创新，目前已有至少三分之一完成测试的技术在波音的产品和服务中得到应用。

▼
图 | airlinegeeks.com

公司可以更好地推进下一代航空发动机计划。

从技术角度来看，在现役窄体客机发动机中，CFM 国际公司 LEAP 系列发动机和普惠公司 GTF 发动机采用了不同的技术路线。普惠在 GTF 发动机后面安装了一个行星齿轮组，使得风扇与发动机主轴分离，从而可以使用大直径、低转速的风扇，以增大外涵道空气流量。LEAP 系列发动机并没有采用齿轮减速器，而是通过使用陶瓷基复合材料等更耐高温的材料实现优化热效率的技术路线。尽管两家公司采用的产品技术路线不同，但 GTF 发动机和 LEAP 系列发动机都较上一代涡扇发动机提高了 15% 左右的燃油效率。

在 GE 和赛峰针对下一代窄体客机发动机研发推出 RISE 项目后，普惠及其母公司雷神技术公司宣布了一系列未来规划。普惠公司表示，短期内公司的研发重点将主要围绕完善齿轮传动涡轮风扇（GTF）发动机的结构，并在此基础上适时开发出重大改型，并同步推进一系列更加成熟的低排放技术以满足未来行业对于碳排放的严格要求。

举例来说，早前在 GTF 发动机中，相对于竞争对手，普惠更多地通过改进发动机产品的结构来提高燃油效率，但在未来，普惠将会投入更多精力在新材料领域。2021 年 7 月，普惠新建的陶瓷基复合材料工程与研发中心正式投入使用。同时，普惠的母公司雷神技术公司还在推进增材制造技术的研发，未来将可以通过 3D 打印技术“打印”由铝、钛和高温镍基超级合金等金属制成的部件。

尤为值得一提的是，由于目前窄体客机市场已经基本被 GTF 和 LEAP 两款产品所垄断，而波音和空客在短时间内似乎也不太可能推出全新的机型。对此，普惠也曾表示，由于研发一款全新的发动机产品

或一款革命性的产品需要耗费大量的资金，对于企业来说意味着巨大的风险，因此普惠对此将持非常谨慎的态度。

除了传统燃油发动机产品之外，普惠还在积极参与混合电推进飞机和氢燃料飞机项目。2021 年 7 月，在加拿大政府的支持和全球多家机构的参与下，普惠与柯林斯宇航共同启动混合电推进验证项目。该项目由瑞士 H55 公司提供电池组，加拿大国家研究协会（NRC）和创新交通工具学院（IVI）参与支持电池组及相关控制系统的设计开发。德哈维兰公司负责整机集成和试飞程序，普惠公司对德哈维兰公司生产的冲 8-100 型涡桨支线飞机进行改装，作为验证飞行平台。

2022 年年底，普惠宣布成功完成了混合动力电推进支线飞机验证机的首次地面试车，并计划在 2024 年开始相关试飞工作。首次地面试车在普惠位于魁北克的创新中心进行，表现符合预期。系统测试将在 2023 年持续推进。该混合动力装置使用柯林斯公司开发的 1 兆瓦电机和普惠为混合飞行改装的发动机，将在起飞、爬升和巡航等不同飞行阶段实现更高效的发动机性能，较当前最先进的支线涡桨飞机油耗和碳排放最多可减少 30%。普惠公司表示，混合电推进技术是公司未来持续提高飞机推进系统效率战略的核心要素，未来公司还将开发一系列创新技术以支持可持续航空燃油和氢能的应用。

其中，在氢燃料飞机项目中，普惠及其母公司雷神技术已经制定了技术研发时间表，基本上时间表与空客早前推出的氢能商用飞机研发时间表相吻合。但由于氢能在涡扇发动机中很容易燃烧，因此目前普惠的工程师们还在讨论重新设计飞机以容纳氢燃料箱的可行性。■



代代传承的“环保验证机”项目

作为企业、行业与政府三方共同合作的项目，波音环保验证机项目始于2012年，项目采用客运和货运飞机为验证平台，评估与安全性和效率相关的飞机新技术。环保验证机项目瞄准的目标是整个航空生态系统的进步，对可提高效率、降低噪声、改善飞行体验的各项新技术进行验证、改进和应用，促进商用飞机制造商和航空公司进一步提高运营效率、降低油耗、减少燃油排放和噪声。

自2012年环保验证机项目启动以来，该项目已经进行了上百项新技术的测试和评估。这些技术涵盖安全性、新型座椅、智能厨房、降噪节能等多个领域，其中很多已经被波音或其他合作伙伴转换为现实成果，投入航线运营。

波音第一代环保验证机项目是2012年在美国航空公司一架737-800飞机上进行的，共完成了14个测试项目。第一代验证机项目最显著的成绩就是后来被应用到737MAX飞机上的先进技术小翼的空气动力学性能。此外，包括可优化发动机效率的可变面积风扇喷嘴、可用于飞机电力的可再生氢燃料电池、可持续航空燃料、主动发动机振动控制等技术的研发都在第一代验证机项目中得到了很好的验证。

2014年，波音在787-8飞机上进行了35个测试项目，这也是第二代环保验证机项目。在这一代环保验证机上，波音首次使用了可再生柴油进行飞行。波音还与NASA合作，尝试了ASTAR系统微调，该技术有助于在进场期间实现飞机之间的精准间距控制。与此同时，在这一代验证机项目上，波音又尝试了一些新的可提高燃油效率和降低噪音的创新技术。

2015年，第三代环保验证机在Stifel飞机公司的一架757飞机上进行并完成了

20个测试项目。这次，波音再次与NASA合作研发主动气流控制系统，以期改善方向舵上方的气流。同时，这一次波音还在这架757飞机上尝试用太阳能和热能来驱动电子舷窗，从而达到减少布线、为飞机减重的目标。

2016年，波音在巴航工业E170飞机上开展了第四代环保验证机项目的测试，这也是波音迄今为止最小的一款环保验证机。在这架验证机上，波音共完成了6个测试项目，其中产自巴西的甘蔗被选作了可持续航空燃料。

2018年，第五代环保验证机从客机变成了货机。这一次波音选择了联邦快递公司的一架777F货机为平台进行了37个测试项目，并在多个航班中使用了100%的可持续航空燃料。在这架环保验证机上，波音还测试了地面作业碰撞感知系统，利用飞机上的雷达和光学传感器来探测其他物体。同时波音还与合作伙伴一起制造副产品作为高价值材料再利用，用于制造替代钛合金（Ti64）的配件。

2019年，波音利用其自有的777飞机为第六代环保验证机完成了53个测试项目，这也是迄今为止波音在一个项目中完成最多的测试。在第六代环保验证机项目中，波音取得了不俗的成绩。如与NASA合作开发的记忆钛合金可以使涡流发生器根据温度而变化；开发的电子飞行包应用程序在特定的天气下可以自动调整飞行航线；配备传感器的厨房可以帮助航空公司更好地管理餐饮库存等。

疫情未中断环保验证机项目

2020年，尽管新冠肺炎疫情对行业造成了巨大的冲击，但是波音并没有暂停第七代环保验证机项目的推进，其与阿提哈德航空合作，在一架787-10飞机上完

成了9个测试项目。针对疫情后对环境安全的更高要求，在该项目中，测试了便携式紫外线棒，可对高接触和难以清洁的表面（如驾驶舱控制面板）进行消毒。在减噪方面，该项目的合作伙伴赛峰对起落架进行了改装。同时，波音还与NASA合作对下一代商用飞机的气动声学进行了全面的研究。

2021年，波音与阿拉斯加航空合作的环保验证机项目是公司的第八代环保验证机项目，同时也是首个使用737MAX机型进行的验证项目。该验证机于2021年6月29日完成首飞，进行20项技术的测试，试验持续到12月，这也是波音环保验证机项目持续时间最长的一次。

在第八代环保验证机项目中，有5项技术较为引人关注。一是测试一种可以显著降低对臭氧层影响的新型飞机灭火剂——三氟碘甲烷（CF₃I），用于替代已经停产的哈龙（Halon）1301产品。二是与美国国家海洋和大气管理局合作测量大气中的温室气体水平，以支持该机构的气候建模和长期预测活动。三是评估降低现有发动机噪声，并探索在新一代发动机

上使用短舱降噪衬层的可能性。四是在所有新测试技术中，波音的研发人员将碳纤维废料转化为客舱内饰侧板。波音回收了777X机翼生产中的碳纤维复合材料，用于制造客舱侧壁。这种耐用、轻质的材料可以降低油耗和客舱排放，并支持波音可持续制造的目标。在制造和测试并行的同时，飞机测试将以面板的声学特性为中心。尽管波音已将所有碳纤维回收，但这次试飞标志着回收材料首次进入飞机供应链。五是测试可持续燃料的使用情况。2018年波音在联邦快递的一架777F环保验证机上创造了民用飞机首次使用100%可持续燃料飞行纪录。在2021年的环保验证机项目上，波音测试了掺混了可持续航空燃料的化石燃油在飞机上的使用情况。测试所使用的可持续燃料是World Energy公司通过农业垃圾和废物提炼出来的。混合燃料中的可持续燃料可以降低燃料寿命周期内超过75%的碳排放。波音公司还计划与监管机构和业界各方合作，提升目前50%的掺混比例限制来拓展可持续航空燃料的使用。根据波音的规划，其商用飞机将在2030年前获得使用100%的可持续航空燃



亏损收窄 运行向好

——中国民航一季度运营回顾

文 | 张进

伴随着疫情防控政策的放开，中国经济强劲复苏，民航业也在经历了 3 年的至暗时刻后迎来了复苏。2023 年 4 月，中国民航局举行例行新闻发布会，通报一季度民航整体发展情况；与此同时，国内上市航空公司、机场也先后发布一季度业绩报告，种种数据都显示出民航经济运行持续恢复、逐步向好，体现出了中国民航的强劲韧性。

图 | 贺明

料进行飞行的能力。

2022 年，第九代波音环保证证机是一架 777-200ER，这架飞机采用了明亮的蓝色涂装，围绕节油、减排和降噪的目标开展 30 项相关技术测试，其中包括来自中国科研机构的两项技术。

第九代波音环保证证机项目于 2022 年 6 月启动，为期半年，其中波音与中国企业的两个合作项目也是波音在环保证证机项目中首次与中国企业合作。一个是波音中国研究与技术部与中国供应商合作的“回收的铝合金和钛合金金属废料用于制造飞机内饰部件”的技术，旨在提升原材料利用率并减少能耗和废料。另一个是波音中国研究与技术部与中国合作伙伴共同开发的“植物纤维增强聚合物复合材料制造座椅桌板”技术，这种新材料具有 100% 可降解、成本低、重量轻等优势。

致力于可持续发展

2023 年 4 月，波音公布了其 2023 年环保证证机项目的计划，并表示将进一步加速可持续性和安全性技术验证。

根据公开信息，2023 年的环保证证机项目将在一架 777-200ER 飞机上展开，计划对 19 项技术进行评估，同时还将增加一架探索者飞机——波音 787-10 来进行一系列特定技术的测试工作。

作为环保证证机项目中首架探索者生态验证机，这架 787-10 飞机将在 2023 年 6 月从西雅图飞往东京、新加坡和曼谷进行飞行试验，以验证如何协调全球跨空域管辖区导航以提高运营效率，从而削减 10% 的燃油消耗和排放。波音将与美国、日本、新加坡和泰国的空中导航服务供应商合作，对飞机航线进行排序，以实现跨地区的最佳飞行路径，同时将天气、空中交通和空域关闭等情况纳入考量，飞机也

将在各地使用掺混比例最高的可持续航空燃料。

在 777-200ER 飞机上，波音计划启动评估的技术包括：40% 由可再生碳纤维和 60% 由生物基原料树脂制造的货舱壁板；与 100%SAF 兼容的光纤燃油量传感器；一个具有智能机场地图的电子飞行包应用程序，该程序是 Jeppesen FliteDeck Pro 的一部分，可以帮助航空公司降低运营成本，并通过详细的机场数据支持飞机安全滑行；在所有飞行试验中，飞机可在当地使用最高比例掺混的 SAF。

目前，根据公开信息显示，自 2012 年波音启动环保证证机项目以来，该项目验证的技术总数将在 2023 年达到 250 项左右，其中有约三分之一的技术已经应用到了波音的产品和服务中。如波音目前已经可以向飞行员提供实时天气和其他数据的 iPad 应用程序，能够改进燃油效率并降低碳排放。这些应用程序补充了波音提供给航空公司用于优化机队利用率的数字化分析服务。此外，新一代 777X 上安装的摄像机系统同样来源于环保证证机项目所取得的成绩，它可以帮助飞行员规避地面障碍来提高安全性。

绿色环保和降本增效是未来商用飞机产品保持竞争力的重要抓手，而波音环保证证机项目恰恰是围绕这两方面开展研究的。波音对环保证证机项目的定位并不是要在短期内取得重大的、突破性创新成果，而是循序渐进地开展满足未来市场需要的新技术，即便是在公司发展最艰难的时刻，波音也没有放弃对该项目的推进。或许这也是百年来波音能够在业界屹立不倒的重要原因，那就是始终坚信投资可持续发展就是投资未来，这一点值得中国企业学习和借鉴。■



一季度行业亏损大幅收窄

2023 年第一季度，中国民航终于迎来了久违的“暖流”。尽管由于三月为民航市场传统的淡季，再叠加疫情后，短期内航班量增长超过了市场需求，出现了一定程度的运力过剩，中国民航在 2023 年第一季度未能实现盈利。但可喜的是，2023 年第一季度民航运营的各项数据已经显示，行业正在快速触底反弹。

根据中国民航局公布的数据显示，2023 年第一季度，全行业共完成运输总周转量 239.9 亿吨公里，同比增长 39.7%，行业总体运输规模相当于疫情前 2019 年的 77.6%，较 2022 年第四季度大幅提升 38.5 个百分点，全行业恢复程度显著提升。

在客运方面，得益于国内市场的强劲需求，2023 年第一季度全行业国内客运规模恢复至疫情前约九成。全行业共完成旅客运输量 1.29 亿人次，同比增长 68.9%，旅客运输规模相当于 2019 年同期的 80.0%，较 2022 年四季度大幅提升 51 个百分点。从航线结构看，国内航线完成 1.26 亿人次，同比增长 66.6%，规模相当于 2019 年同期的 88.6%；国际航线完成 224.2 万人次，同比增长 717.0%，规模相当于 2019 年同期的 12.4%。值得一提的是，3 月随着国际客运航线的逐步恢复，国际航线旅客运输量已恢

—

2023 年第一季度，全行业共完成运输总周转量 239.9 亿吨公里，同比增长 39.7%，行业总体运输规模相当于疫情前 2019 年的 77.6%，较 2022 年第四季度大幅提升 38.5 个百分点，全行业恢复程度显著提升。

—

复至疫情前同期的 18.1%。

在货运方面，2023 年第一季度，全行业共完成货邮运输量 149.4 万吨，同比下降 7.5%，规模相当于 2019 年同期的 89.0%，较 2022 年四季度提升 19.8 个百分点。其中，国内航线完成 92.5 万吨，同比下降 2.0%，规模相当于 2019 年同期的 81.2%；国际航线完成 57.0 万吨，同比下降 15.2%，较 2019 年同期增长 5.5%。

与此同时，国内机场运输生产的恢复也表现出了良好的态势，其中中西部地区的恢复程度更快。民航局公布的数据显示，2023 年第一季度，我国运输机场共完成旅客吞吐量 2.65 亿人次、货邮吞吐量 350.0 万吨、起降架次 257.1 万架次，同比分别增长 68.0%、下降 9.6%、增长 31.7%，分别恢复到 2019 年同期的 80.3%、93.1%、93.4%。从区域来看，我国西部地区恢复最快，一季度已经恢复至 2019 年同期的 87.1%；中部地区货运市场恢复最快，一季度已恢复至 2019 年同期的 106.4%。

企业走出低谷

截至 2023 年 4 月末，根据上市航司和机场公布的业绩报告显示，2023 年第一季度已有吉祥航空、春秋航空、海航、白云机场和厦门空港五家上市公司实现了单季度盈利，其他上市企业尽管未能实现盈利，但亏损额也都实现了大幅收窄。

具体来看，三大航国航、东航和南航第一季度的营业收入大幅增长。根据国航公布的业绩报告显示，2023 年第一季度，公司实现营业收入 250.7 亿元，同比增长 94.1%，净亏损 29.3 亿元，但这个数字比去年同期 89 亿元减少了 59.7 亿元。南航实现营业收入 222.6 亿元，同比增长 58.6%，近亏损 19 亿元，相比去年同期亏损 45 亿元减亏了 26 亿元。东航实现营业收入 222.6

亿元，同比增长 75.8%，净亏损 38 亿元，相比去年同期亏损 77.7 亿元减亏 39.6 亿元。民营企业华夏航空实现营业收入 10.5 亿元，同比增长 74.2%，亏损 2.8 亿元，相比去年同期减亏 1.8 亿元。

上市航司中春秋航空、吉祥航空和海航在第一季度扭亏为盈。其中，春秋航空实现营业收入 38.6 亿元，同比增长 63.7%，净利润 3.6 亿元。作为我国第一家低成本航空公司，多年来春秋航空有其独特的发展路径。除了众所周知的精细化管理，严格控制各项运营成本之外，疫情三年里，春秋航空仍然坚持不断扩充机队，完善航线网络发展，并在开拓国际市场的同时，不断深耕国内市场。春秋航空管理层的深谋远虑为公司疫情后的发展打下了良好的基础。从公开数据来看，2023 年一季度，春秋航空旅客运输量为 500.4 万人次，已恢复至疫情前 95% 的水平，这一数字远高于行业平均水平。尽管目前春秋航空的飞机利用率还未完全恢复至疫情前水平，但 2023 年 1 月，公司客座率为 85%，2 月为 87.1%，3 月为 88.2%，这些数据同样也高于行业平均水平。

另一家民航航空公司吉祥航空一季度也实现了盈利。公司发布的业绩报告显示，2023 年第一季度公司实现营业收入 44.4 亿元，同比增长 78.7%，实现净利润 1.7 亿元。公司一季度业绩的大幅提升主要得益于航班量的恢复。数据显示，2023 年第一季度，吉祥航空旅客周转量同比增长 63.33%，已基本恢复至 2019 年同期水平。其中国内航线同比增长 52.85%，恢复至 2019 年的 111.33%。

在资不抵债边缘挣扎多年的海航控股在 4 月末发布的业绩报告中宣布，公司 2023 年一季度实现扭亏为盈。2023 年第一季度海航实现旅客运输量 1328 万人次，同比增长 98%，客座率达到 80.4%，高于行业平均水平 5.2 个百分点，仅次于春秋航空。



图 | 陈肖



公司实现营业收入 131.48 亿元，同比增长 106.36%，净利润 1.58 亿元，海航也成为了国内四大航中率先实现盈利的航司。2023 年春运期间海航的表现可圈可点。公司通过加密航线、提升运力、创新市场产品、推出各种优惠等多项举措，抢抓春运市场，实现业绩释放。2023 年春运期间，海航共运送旅客近 390 万人次，同比增长 78.7%，恢复至 2019 年同期的 77%。随着夏秋航季的到来，海航还重点聚焦商务旅客，推出了全新升级精品快线产品，首批 5 条精品快线已于 4 月上线。

伴随着深挖国内市场潜力，着力推动开通、恢复国际航线，广州白云机场 2023 年第一季度实现营业收入 13.59 亿元，同比增长 9.71%，净利润 4473 万元，实现同比扭亏为盈，这也是白云机场自 2020 年以来首次单季度实现盈利。过去几年，白云机场已经连续成为国内第一繁忙的机场，特别是 2020 年超过美国亚特兰大机场，首次成为全球最繁忙的机场。随着今年 1 月，白云机场免税店入境店正式恢复营业，未来白云机场在免税业务方面的表现也值得关注。

通过争取政策扶持、开拓货运市场等多举措并举，厦门空港一季度实现营收 4.78 亿元，净利润 0.09 亿元，保持了连续盈利。其中，厦门空港的货运控股子公司为其盈利

印度民航大订单背后的思考

文 | 祁梦圆

2023 年 2 月 14 日，印度航空公司宣布已经与飞机制造商空中客车（空客）和波音公司签署意向书，将创纪录地采购 470 架飞机。这个订单量超过了十多年前美国航空公司购买 460 架空客和波音飞机的订单总和。印度航空的这笔交易成为商业航空历史上最大的客机采购订单，印度航空的战略意图受到全球航空业的广泛关注。

背景情况

提到印度航空此次订单交易，就不得不提到一个公司，印度塔塔集团（塔塔集团）。1953 年，印度政府从塔塔集团手中将“塔塔航空”国有化，成立了印度唯一一家国有载旗航空“印度航空”。当地时间 2021 年 10 月 8 日，印度政府宣布，塔塔集团旗下的塔塔之子公司以 1800 亿卢比（约合 154.74 亿元人民币）收购印度航空和其旗下低成本航空——印度快运。时隔 68 年，印度航空又重新回到了塔塔公司的怀抱。

塔塔集团收购印度航空之举并非偶然。当年即使“塔塔航空”被收购，塔塔集团也并未停止进军航空业的脚步。2013 年，塔塔集团与亚洲航空和另外两家投资公司合资在印度成立了一家低成本航空公司——印度亚洲航空，股份占比 30%。2014 年，塔塔集团与新加坡航空合资在印度成立了一家全服务航空公司 Vistara 航空，股份占比 51%。

排名	航空公司	2019 年计划 座位数占比	航空公司	2022 年计划 座位数占比
1	靛蓝航空	35.27%	靛蓝航空	42.87%
2	印度航空	11.78%	印度航空	9.50%
3	香料航空	11.32%	香料航空	7.08%
4	Go Air	7.28%	Vistara 航空	6.47%
5	印度亚洲航空	4.19%	Go Air	5.72%
6	Vistara 航空	3.66%	印度亚洲航空	4.81%
7	Jet Airways (india) Ltd	2.51%	阿联酋航空	2.46%
8	阿联酋航空	2.46%	印度快运	2.36%
9	印度快运	2.45%	Go First	2.29%
10	阿提哈德航空	1.27%	FlexFlight ApS	1.06%
—	其他航空公司	17.80%	其他航空公司	15.38%

2019、2022 年印度市场上
航空公司计划座位数占比
图片数据来源：OAG

提供了支撑。业绩报告显示，从事航空货运装卸、搬运、分拣、计量、包装、理货、仓储、短途陆路运输等业务的元翔空运货站实现净利润 0.1 亿元。从事航空货物仓储和办公场所租赁的元翔空运货服实现净利润 0.16 亿元。

复苏暖意浓，但挑战仍在

航班量快速增长、机票搜索量翻倍、客流量直线攀升，可以说伴随着中国经济的企稳回升，中国民航在经历了 3 年的低位运行之后在 2023 年重新驶入了复苏的航道。疫情三年，我国民航业累计亏损超过 3000 亿元。2023 年的民航工作会上，中国民航局为全行业制定了年度目标：力争完成运输总周转量 976 亿吨公里，旅客运输量 4.6 亿人次，货邮运输量 617 万吨，总体恢复至疫情前 75% 左右水平，力争实现盈亏平衡。要实现这个目标，中国民航仍面临挑战。

首先是国际航线的复苏。从第一季度来看，我国民航运输业的复苏主要来源于国内航线恢复，但国际航线的恢复速度仍然较慢。根据飞常准和航旅纵横的航班统计数据，2023 年第一季度我国国内航班的复苏率已经达到 9 成以上，相比之下国际航线的恢复只有 2 成左右。同时由于受国际环境影响，中美航线至今仍处于低谷；中日航线、中韩等航线的恢复也不尽如人意。随着暑运的到来，国际航线的恢复对航司后续业绩将产生较大的影响。

其次是大力开拓国内市场。在国际市场恢复存在不确定性的背景下，如何进一步深挖国内市场潜力成为了全行业能否扭亏为盈的关键。对此，民航局在年初曾表示，将鼓励大型骨干航空公司打造枢纽间空中快线，鼓励中小航空公司专注支线市场，扩大“干支通、全网联”试点范围，扩展空铁联运服务。对此，笔者认为，国内以三大航

为代表的航司应该充分利用目前已接收的 ARJ21 支线飞机，一方面落实民航局部署，另一方面也为企业盈利开拓新的市场版图。

第三是油价对于航司运营成本的压力。航油成本是航空公司最重要的运营成本之一。目前，航空公司的成本主要由航油成本、航空器折旧和员工薪酬组成，三者合计占企业运营成本的 80% 左右。与后两者相对较为固定不同，航油成本价格是可变成本，主要受国际原油价格影响波动较大。随着欧佩克（OPEC）减产、对俄原油方案的落实，未来全球原油供应或将进一步收紧，原油价格预计将维持高位震荡。在国内，原油价格的高位震荡和人民币汇率的下跌都对航司的运营成本造成了一定的压力，未来这两个因素将令航空公司在成本方面继续承压。

最后，民航保障能力的恢复对行业发展也至关重要。3 年的疫情对全球民航运输业都造成了极大的冲击，在国外不少航企为了在疫情下“活下来”都采取了裁员、停止新员工招聘等手段。当行业快速复苏时，人员短缺等问题便开始显现出来。2022 年，英国希斯罗机场就曾因为机场工作人员不足，难以满足夏季航班大量增长的要求，出现了大面积航班取消、行李堆积等问题；北美市场更是出现过多次安全事故，尽管这些事故并未造成严重的影响，但也足以令中国民航敲响警钟。

中国民航局对航空安全高度重视，在今天的民航工作会上，民航局再次强调，局方将坚决落实“两个绝对安全”要求，严格落实国务院安委会“十五条硬措施”，推动全系统、全员牢固树立安全发展理念。为此，局方在行业逐步复苏时便制定了相关安全措施，为民航市场的全面复苏奠定了重要的基础。笔者认为，未来随着航班量的进一步增长，民航企业要充分考虑保障能力，做好人员轮换调配，在牢牢守住安全红线的基础上加速行业的恢复。■

疫情前，印度亚洲航空和 Vistara 航空在印度市场上的计划运力份额分别占比 4.19% 和 3.66%，位列第 5 和第 6 位；2022 年，Vistara 航空计划运力份额上升至 6.47%，排名升至第 4 位，印度亚洲航空占比升至 4.81%，排位下降 1 位。总体来看，塔塔集团这两次在印度航空业中的投资都是成功的，这或也为其重新运营印度航空提供了信心支撑。2022 年 11 月，塔塔集团在收购印度航空后又宣布已与新加坡航空达成协议，将 Vistara 航空与印度航空合并。同时印度政府同意将印度航空旗下印度快运与印度亚洲航空整合。如这几次合并顺利，塔塔集团未来将整合印度航空、印度快运、Vistara 航空、印度亚洲航空四家航空公司的运力与印度现今最大的航空公司靛蓝航空竞争。

从塔塔集团近几年的一系列操作看，其大举进军印度航空业之心昭昭，并且正在一步步有计划地实施当中。此次与波音、空客签订如此大的一笔订单，也无疑是塔塔集团计划中的一步棋。

发展战略

2022 年 9 月，印度航空公布了一项五年转型计划——Vihaan.AI。“Vihaan”是一个梵文词，象征着新时代的到来。计划

近期的重点工作是拓展印度航空的网络和机队，将国内市场占有率提高到 30% 以上，国际航线市场的占有率也将大幅增长，提高可靠性和准点率，并积极投资开发人力资源。

中提到，印度航空将在客户服务、技术、产品、可靠性和热情好客等方面，重新确立公司作为全球性航空公司的地位。近期的重点工作是拓展印度航空的网络和机队，将国内市场占有率提高到 30% 以上，国际航线市场的占有率也将大幅增长，提高可靠性和准点率，并积极投资开发人力资源。

印度航空 CEO Campbell Wilson 在答记者问时提到，印度航空的机队扩张将涉及窄体和宽体飞机的组合，以满足不同的网络需求。此次与波音和空客的订单也反映出印度航空正在按照所制定的 Vihaan.AI 计划推进。此次订单包括，印度航空同意购买 250 架空客飞机，包括 210 架 A320neo 窄体机和 40 架 A350 宽体机；以及 220 架波音飞机，包括 190 架 737 MAX 窄体机、20 架 787 宽体机和 10 架 777X。

在此基础上，印度航空还租赁了 25 架空客飞机，合计飞机数量将达到 495 架，租购费用预估在千亿美元左右。

订单意义

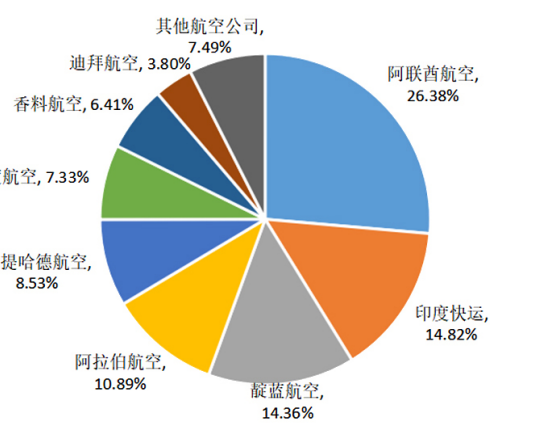
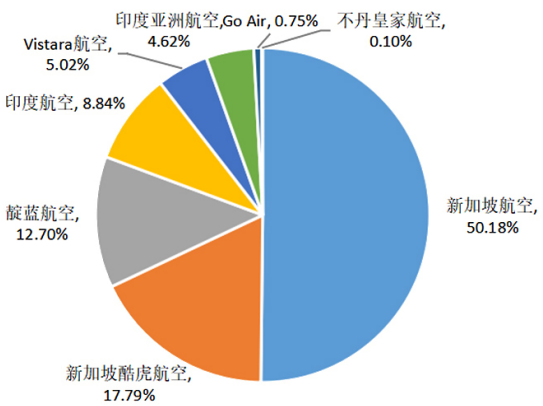
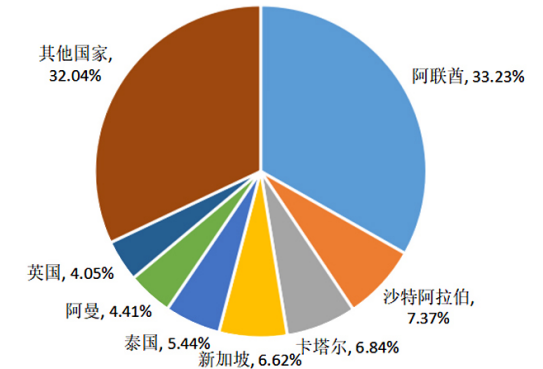
一是快速提高国内市场竞争力，大力提升国际市场自主可控力。从国内市场看，靛蓝航空一家占据印度国内市场一半以上份额，印度航空、Vistara 航空、印度快运、印度亚洲航空四家份额合计才达到 24%，不及靛蓝航空的二分之一。这距离其 Vihaan.AI 五年计划中国内市场份额达到 30% 的目标也有不小差距，印度航空需要赶超发展的紧迫性不言而喻。

从国际市场看，尽管印度航空在国际市场上的整体份额处于领先水平，但是在一些重点市场上并不占优。2022 年，印度航空国际市场计划运力占比为 12%，仅次于靛蓝航空的 14%。但是叠加印度快运和 Vistara 航空的运力，印度航空的国际运力占比可以达到 22%，远超靛蓝航空。

在中东、新加坡等印度重点国际市场上，外航的运力占比远超印度航空公司。

后疫情时代市场恢复时期是重塑市场格局绝佳的“窗口期”。截至 2022 年底，印度的国际航空市场已经恢复到疫情前 80% 的水平，窗口机遇转瞬即逝，印度航空需要加快优化重点市场运力结构的速度。

二是宽窄机队结合引进，国内外市场同时发力。疫情过后，印度航空的在役机队规模为 102 架，叠加印度快运、Vistara 航空和印度亚洲航空的机队数量，印度航空的在役机队规模可以达到 209 架。单从印度航空自身的机队规模看，其飞机保有量仅为我国春秋航空的水平；叠加塔塔集团旗下其他航空公司的飞机数量，也仅为我国海南航空 2021 年的机队水平。与我国三大航五六百架的机队规模相比，印度



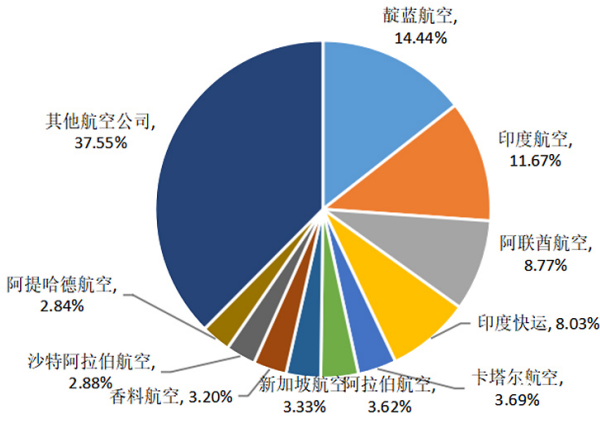
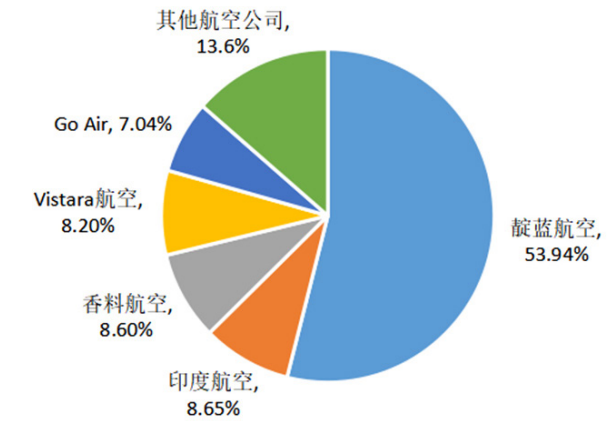
2022 年印度国内市场航空公司计划运力份额 (左)
数据来源：OAG

2022 年印度 - 新加坡市场航空公司计划运力占比情况 (中)
数据来源：OAG

2022 年印度 - 阿联酋市场航空公司计划运力占比情况 (下)
数据来源：OAG

2022 年印度国内市场航空公司计划运力份额 (左)
数据来源：OAG

2022 年印度国际市场航空公司计划运力份额 (右)
数据来源：OAG



航空的飞机数量确实不足以支撑起印度这样一个人口大国载旗航空的重担。

同样，209 架飞机的机队水平也难以与靛蓝航空抗衡。靛蓝航空在 2023 年初机队数量突破 300 架，因其低成本航空的特点，靛蓝航空没有宽体客机，但在窄体客机保有量方面远超印度航空。现阶段靛蓝航空还有近 400 架 A320neo 系列飞机未交付，此次印度航空下单 400 架窄体客机也是充分考虑未来与靛蓝航空在国内市场上竞争的需要。

宽体机方面，印度航空现有 27 架 787-8、5 架 777-200LR 和 13 架 777-300ER，Vistara 航空有 3 架 787-9，合计 48 架，在印度国内处于领先地位，但与中东地区国家和新加坡航空公司的上百架宽体飞机机队相比还存在明显差距。这或许是印度航空公司在这些地区市场上运力份额处于下风的重要原因。此次下单的 70 架宽体机将进一步弥补印度航空远程运力的不足，进一步提升印度航空欧美、中东、

此次下单的 70 架宽体机将进一步弥补印度航空远程运力的不足，进一步提升印度航空欧美、中东、新加坡等重点市场的市场份额，提高印度对这些市场的自主可控力。

新加坡等重点市场的市场份额，提高印度对这些市场的自主可控力。

波音空客均衡选择，分散订单履约风险。这次订单对印度航空执行 Vihaan.AI 计划，更新现代化机队迅速发展的意义重大。现阶段全球势力相互角逐，国际关系错综复杂，飞机制造产业供应链稳定性也受到一定影响，这对飞机制造商的履约能力提出了很高挑战。印度航空此次平均选择波音、空客两家飞机制造商进行整机制

造，并选择 GE、CFM 和罗罗三家航空器发动机制造商分别为这批飞机提供动力支持，一方面是考虑到欧美国家利益平衡，另一方面应是考虑到之前波音 MAX 系列机型故障所引发的安全危机，以及单个制造商产能不足、履约能力不能保证等问题。印度航空此举本着“不把鸡蛋放到一个篮子里”的原则分散订单履约风险和航空器安全风险，保证印度航空的机队和网络扩张计划顺利实施。

风险分析

印度航空此次大规模购买新机对其打造现代化机队、优化航线网络结构和提高市场份额有积极作用，但有一些可预见的风险点需要引起足够重视，否则可能会造成适得其反的效果。

首先是财务风险。塔塔集团当初收购印度航空时承担了印度航空 2300 多亿卢比（约 29 亿美元）的债务，此次又豪掷千亿美元采购飞机。尽管塔塔集团资金实力雄厚，但单就其航空板块而言，印度航空运营所面临的资金压力还是很大的。根据路透社新德里 2 月 27 日消息，印度航空此次采购的 470 架新机将通过现金、股权、售后回租等方式支付。售后回租等方式虽然对航空公司的现金流有一定的缓解作用，但如果印度航空扩大机队后的市场竞争并没有取得预期效果，按期支付飞机租赁费用仍是巨大的财务挑战。

其次是人才风险。由于缺乏长期的飞行人员储备，印度航空如今面临洲际远程航线乘务人员和飞行人员短缺的问题。今年印度来往北美、加拿大等洲际航线航班多次因飞行人员短缺而延迟或取消，长此以往不但会影响航空公司航班执行率，更加影响旅客体验和航空公司的信誉形象。未来大批量引进宽体客机后，如果飞行人

员短缺问题仍未解决，那么印度航空将面临飞机停场或利用率不高所造成的巨额经济损失。尽管飞行人员短缺问题已经引起印度航空重视，但是像靛蓝航空、香料航空等印度其他航空公司，乃至中东地区航空公司均面临缺少有经验的宽体飞机机长的问题，飞行员的引进竞争非常激烈，印度航空需在飞行人员待遇上加大投入才有机会获得青睐。

再次是运营风险。印度的机场基础设施落后是长期存在的问题。事实上，因为机场建设缓慢，印度现有的 400 多个民航机场中，只有 100 个左右可以正常使用。疫情前，德里、孟买、班加罗尔等印度枢纽机场的时刻资源就已经非常紧张，跑道资源不能支撑快速发展的航空市场。随着印度航空市场的不断扩张，机场容量不足的问题将会变得越来越严重。印度航空想在国内占据更多的市场份额，同时开拓更多的国际市场，国内机场设施保障问题必须解决，否则就算飞机再多，考虑到机场容量保障问题也施展不开。不过印度的机场建设基本由政府主导，印度航空没有太大话语权，如想改变还需积极协调政府机构。

最后是安全风险。印度航空飞机数量的快速增长，对机队的日常保养维修提出了更高要求。现阶段印度航空的飞机维修业务近九成都在依赖进口，印度本土飞机维护能力严重缺失。因印度的航空公司频发技术故障，印度航空管理局在去年 5 月 2 日至 8 日进行了一次商用飞机缺陷检查，一周内就发现有 250 架飞机存在问题，虽然没有发现对飞行安全造成威胁的重大缺陷，但是确实反映了印度民航在飞机日常保养维护方面的不足。未来印度航空在大批量引进飞机后或将面临更大的维护压力和安全运行风险，需要提前引起重视并加以防范。■



图 | ar.eturbonews.com

提升旅客忠诚度—— 航司的另类经营之道

文 | 程佳俊

在新冠肺炎疫情结束后，民航市场得以迅速复苏，各航司之间在高价值旅客的争夺上也更加白热化。本文通过剖析民航营销的全局流程，分析提升忠诚度的意义，并探讨在流程的各个阶段，所采取的相应措施策略。旨在帮助航空公司提升公商务旅客的忠诚度，进一步增加客户价值，提升航司品牌整体的知名度，从而在激烈的市场竞争中攫取更佳的业绩。



图 | ttoscandinavia.com



什么是民航营销的全局流程？

目前国内民航营销的全局流程包括航线网络设计、分销渠道搭建以及乘机服务体验三个方面。我们可以简单理解为：上游是航司设计并生成产品、中游是通过不同的渠道把产品销售给旅客，下游是旅客乘机使用并体验该产品。而我们在这整个上、中、下游的流程里，都有提升旅客忠诚度的空间。

首先，丰富的航线网络结构，在旅客选购阶段就占有先机。对于航空公司来说，航线网络是极为重要的，因为航线网络结构的好与坏，直接影响到航空公司的市场份额和收益。优秀的航线结构应该能够满足市场的需求，并且具有较高的利润潜力。在制定航线网络结构时，航空公司需要考虑的因素包括：市场需求、竞争状况、机场配套设施、飞行成本、运营效率等。

—

上游是航司设计并生成产品、中游是通过不同的渠道把产品销售给旅客，下游是旅客乘机使用并体验该产品。而我们在这整个上、中、下游的流程里，都有提升旅客忠诚度的空间。

—

其次是多元化的分销渠道，能够帮助航司与旅客形成利益捆绑。航空公司销售机票的各种渠道，包括航空公司自己的销售渠道和与其他平台机构合作的销售渠道。在现代商业环境下，分销渠道的选择和管理对于航空公司来说，是市场竞争的独门武器：多元化的分销渠道能够提高销售效率、增强销售的稳定性，最关键的是，可以满足航司与旅客各自的利益需求。

最后是良好的服务体验，包括航班的可靠性和服务的专业性；航班的可靠性，字面上理解是航班取消和延误率相对降低；抑或是，即便出现航班不正常，航司后续处理的服务（签转、绕道、退改等）也是以最大程度保障旅客利益出发。舒适便捷的服务体验可以增加乘客的满意度和忠诚度，从而提升航空公司的品牌价值和市场占有率。

上述三个方面的优化和整合可以使航空公司建立起良好的营销全局流程，在提高客户价值、增加目标客户忠诚度、降低客户流失率等方面带来好处。

为什么目标人群的定位是公商务旅客？

公商务旅客是航空公司最重要的客户群体之一，因为他们的消费能力和旅行频率都比其他客户群体高，所以高价值和低弹性是公商务旅客最显著的两大属性。

公商务旅客订购的机票价格通常比其他乘客更高，因此他们为航空公司带来更高的直接收益。此外，公商务旅客通常需要更高层次的服务和设施，航空公司可以为他们提供更高价值的服务和产品来获得更高的辅营收益。

与其他客户群体相比，公商务旅客对机票价格不敏感，因为公务或商业活动有别于休闲娱乐出行，是刚性需求。他们需要按时到达目的地，并且航班的时间和航班的可靠性（不挑选经常延误和取消的航班）对他们非常重要。他们通常会选择最“忠诚”的航班而非价格便宜的航班，因为这些航班通常值得“信赖”，也能提供更好的服务。

为了最大程度地发挥公商务旅客的高价值和低弹性的属性，航空公司应该着重关心其忠诚度。通过为这类旅客提供时刻丰富、稳定可靠、签转方便的航班波，民航公司就能吸引更多的公商务旅客青睐，从而提高收益和利润，并建立强大的品牌形象。

忠诚度的提升 有意想不到的“惊喜”

提升旅客的忠诚度不仅能够提高航空

——
与新客户相比，忠诚的顾客更倾向于购买高价值的产品和服务，并且他们更容易接受公司提高价格的决策，因为他们相信公司提供的服务和产品是高品质的，可以满足他们的需求和期望。
——

公司的收益和市场占有率，还能够形成航司核心竞争力，增强航司的长期生存和发展能力。即使是小幅提升忠诚度，也可以带来显著的利润提升。

随着市场竞争的加剧，航空公司不仅需要提供高质量的服务和产品，还需要建立与旅客的长期合作关系。这需要航空公司不断加强与顾客的沟通和了解，通过提供个性化、差异化的服务，来满足顾客的需求和期望。只有这样，航空公司才能够市场中脱颖而出，建立起良好的口碑和品牌形象，形成核心竞争力，并保持在市场中的领先地位。

同时，提升顾客的忠诚度可以带来“滚雪球”式的经济效益。研究表明，与新客户相比，忠诚的顾客更倾向于购买高价值的产品和服务，并且他们更容易接受公司提高价格的决策，因为他们相信公司提供的服务和产品是高品质的，可以满足他们的需求和期望。此外，忠诚的顾客还可以为公司带来更多的推荐和口碑，从而吸引更多的潜在客户，进一步提高公司的销售额和市场份额。

提升忠诚度的实施策略

针对忠诚度的提升，笔者从营销全局流程出发，航空公司可根据自身资源配置，

实施如下几个方面的策略：

优化航线密度和时刻分布。优化航线密度和时刻分布是提升公商务旅客忠诚度的关键措施之一。航司可以根据市场需求和竞争情况，合理规划航线密度。一般而言，日均有三个航班的航线被定义为公商务快线，四班至八班的航线被定义为主干线，八班以上的航线被定义为高密度主干线。航班密度越高，公商务旅客优先选购的几率越大。同时，在优化时刻分布方面，航司可以采取基地对飞的形式，占有更多白班优势时刻，提高航班的选择性和便利性，从而提高公商务旅客的满意度和忠诚度。

拓展多元化销售渠道。B2B 渠道的开发，航司可以与政府、事业单位、企业签订大客户协议，承诺提供定制化的机票、服务以及优惠政策，以吸引政企的公商务客户，增加高端客户群的机票销售量。

B2C 渠道的建设，通过建立忠诚度会员计划和营销活动来吸引公商务客户，提高忠诚度和复购率。忠诚度计划可以提供里程积分、优惠券等激励方式，营销活动可以包括节日特惠、促销打折等，吸引顾客在特定时期或特定产品上购买。同时，航司还可以通过社交媒体等渠道宣传自己的品牌形象和优质服务，以提高公众对航司的认知度和好感度。

开展旅客的用户画像分析。旅客的用户画像应该包括多方面的因素，包括基本信息如性别、年龄、户籍地等，以及个性化需求。这些因素能够帮助航空公司更好地了解客户，从而提供更贴近客户需求的服务和优惠，增加客户对公司的忠诚度和复购率。

例如，年龄是一个重要的因素。不同年龄段的客户对航空公司的需求和偏好可能不同。比如，年轻的商务旅客可能更加注重机上娱乐设施和无线网络等方面的服

务，而年长的商务旅客可能更注重座椅的舒适性和空乘人员的服务态度。

值得关注的是，户籍地也是一个重要的因素。本籍客户可能对本土航空公司的品牌认知和信任程度更高，所以需要航空公司针对性地进行宣传和营销活动。此外，一些地区的客户可能更注重航空公司提供的餐饮服务和机场贵宾厅等方面的服务。

除了基本信息和地域因素外，个性化需求也是客户选择航空公司和复购的重要因素。客户可能有不同的行李托运和提取需求，有些客户可能需要提前预留更长的候机时间，或者对机上服务的选择有特殊的要求。通过这些个性化需求，航空公司可以为客户提供更加贴心和专业的服务。

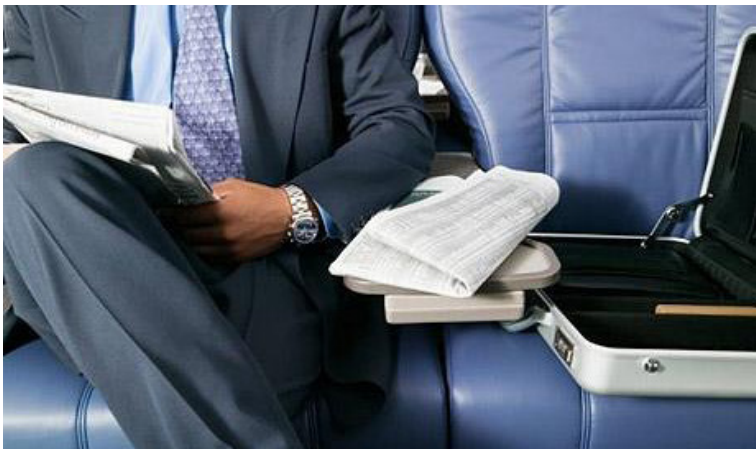
持续改善乘坐体验感。持续改善乘坐体验是提升公商务旅客忠诚度的重要手段。航空公司需要关注航班的可靠性，及时通知旅客延误和取消情况，并提供相应补偿和改签服务，以提高旅客满意度。在客舱服务方面，航空公司可以提供更加舒适的座椅、高质量的餐食和更多的娱乐设施，以增强旅客的舒适感受。此外，机票订购的便利性也是影响公商务旅客选择的关键因素之一，航空公司可以提供多种渠道、快捷的预订方式，以及更加灵活的退改政策，以满足旅客的个性化需求。

以上策略并不是相互独立，而是可以相互协同，形成一个完整的提升忠诚度的方案，并根据具体的市场需求和竞争情况进行定制化的实施。

民航业是服务业的代表之一，提升旅客忠诚度同样是企业发展的关键要素之一。因此，航司需要综合考虑多种因素，制定科学合理的忠诚度提升策略，不断优化服务体验，以吸引更多公商务旅客，提高市场竞争力，实现可持续发展。■



图 | noobpreneur.com



关于加快我国可持续航空燃料发展的思考与建议

文 | 李蕴

2023 年 3 月 29 日，欧洲航空协会在航空峰会上呼吁欧盟尽快通过《净零工业法案》，发展世界领先的可持续航空燃料（SAF）产业，助力航空运营商在 2050 年实现二氧化碳净零排放目标，以应对美国大力投资 SAF 的挑战，确保并加强欧洲航空业的竞争力。近年来，美欧政府部门均制定颁布了与绿色可持续航空发展相关的政策，民航业 2050 年实现碳中和的路线逐渐明朗，SAF 在其中将



图 | asianaviation.com



发挥重要作用，美欧也都正在加速发展。我国民航运输市场体量巨大，正在逐步建立民机产品体系和产业能力，但在 SAF 发展方面与美欧存在差距，未来可能成为制约我国绿色航空产业形成竞争力的风险因素，值得尽早研究分析和采取相关举措。

SAF 将在低碳经济中发挥重要作用

SAF 可由废弃油、能源作物、农林废物或城市垃圾生产，与传统航空煤油相比，可在寿命周期内（从种植或采集原料，到加工、运输、存储、使用和管理维护等）减少 50% ~ 80% 碳排放；与电推进、氢动力相比，其凭借获取途径广、技术成熟度高、设备兼容性强等优势，已成为短、中期内实现航空业大幅减排的最有效方式。综合国内外研究来看，SAF 将形成具有很大经济效益和社会效益的新产业，成

SAF 可由废弃油、能源作物、农林废物或城市垃圾生产，与传统航空煤油相比，可在寿命周期内减少 50% ~ 80% 碳排放。

为低碳经济的重要组成部分。

绿色创新，开辟可持续经济增长点。通过燃料制备技术创新、供应链管理模式的创新、基础设施绿色转型等多种手段，持续助力 SAF 产业链发展，可从多方面创造经济增长点，并将航空燃料市场由“油厂”向“农场”“林场”等转移，减少煤炭、石油等高碳能源消耗，减少碳排放，推动低碳经济又好又快发展。国际航空运输协会 2021 年预测显示，2025 年全球 SAF 年需求量将达 630 万吨，2035 年将扩大到 7262 万吨，2050 年将高达 3.58 亿吨。按照 2023 年 2 月中国进口保税航空煤油到岸价格 6171 元/吨计算（假设 SAF 未来成本约等于航空煤油），2050 年全球 SAF 年产值将达 2.2 万亿元。

生态保护，助力工农业高质量发展。通过回收农林业废物（如秸秆）、种植能源作物（如能源藻，在生长过程中可吸收大量二氧化碳，一年产出的油料是大豆的 30 ~ 180 倍）等方式为 SAF 产业提供原料，可增加农民收入，同时预防土壤侵蚀、提升土壤品质和有机物含量、增加生物多样性、改善水质，可谓一举多得。在我国实施乡村振兴战略的大背景下，SAF 产业可成为一种选择，助力乡村实现新发展，乡村生态展现新气象，提升农民的获得感、幸福感、安全感。此外，飞机起降过程中，SAF 燃烧产生的芳香烃类有害物普遍更少，

对机场工作人员和旅客的身体健康都有着积极意义。

我国在 SAF 发展方面存在的问题

在了解掌握美欧与国内 SAF 发展现状的基础上，通过对比分析，发现我国还存在政策引导不足、供应链不成熟等一系列问题，与美欧先进国家存在较大差距。

顶层政策引导不足。近三年，美国、欧洲、国际航空运输协会、世界航空运输行动小组等多个国家与国际组织纷纷出台民航运输业零碳排放相关计划，均提到 SAF 将在长达 30 年的减排过程中扮演关键角色，并指明未来需达到的年产量、基础设施建设等具体目标。其中，欧盟计划在 2025 年使生产能力达到 850 万吨/年（油脂加氢技术为主、醇喷合成技术为辅），美国计划到 2030 年将产能提高至 900 万吨/年（醇喷合成技术为主、油脂加氢技术为辅）。相比之下，我国还未在 SAF 产能方面出台过具体政策或目标，目前只有中国民航局于 2022 年发布了《“十四五”民航绿色发展专项规划》，力争 2025 年

当年 SAF 消耗量超过 5 万吨，但这并非一个强约束力目标。假设我国年航空煤油总消耗 3684 万吨（2019 年数据），则 2025 年 SAF 消耗占比仅为 0.1%，而同期欧盟计划的平均占比将达到 2%。

供应链体系尚不成熟。目前，美国、德国、芬兰等燃料生产大国已在积极推动 SAF 供应链体系迈向成熟化。美国能源部牵头的生产项目将玉米秸秆等农业废物循环利用，已建成一条成本甚至低于传统航空煤油的 SAF 生产线，该生产线只需改造美国已有的 200 多个乙醇处理工厂，无需建造新设施即可在未来几年实现规模化生产、供应。2022～2023 年，国内中国石化镇海炼化分公司、四川天舟通用航空科技有限公司的 SAF 生产设施正式投产或开工建设，二者均采用油脂加氢技术，年产能分别为 10 万吨与 50 万吨，标志着我国内地 SAF 大规模生产及商业化应用迈出了坚实一步。但总的看，与美欧相比，我国 SAF 供应链存在产能不足、成本过高等问题，需尽快统一行业标准，建立成熟、稳健的生产供应体系，缩短与国外的差距。

制备技术研发能力有待强化提升。当前，符合国际认证标准的 SAF 生产技术路线一共有 9 条。其中，美国、芬兰和我国的油脂加氢技术制备 SAF 已可实现商业化，但该方法制成的燃料价格浮动较大，并不适合长期应用。而费托合成、醇喷合成等技术路线可在与传统航空煤油售价持平或更低的同时抑制价格波动，具有更大商业化价值，美欧一些国家这两条技术路线的技术成熟度已达到 6～8。此外，电转液技术路线还处于发展初期，但其与传统航空煤油相比可在寿命周期减排 95% 以上，在未来拥有更大潜力。我国对 SAF 的需求正在快速增加，但燃料价格是影响商业化进程极为重要的因素。因此，我国需要加快多种工艺的关键制备技术研发，有

效降低 SAF 成本。

燃料测试体系尚需加速建立。近 10 年来，全球航空公司使用 SAF 开展商业飞行已超过 43 万架次，约 45 家航空运营商具备相关使用与保障经验；近 3 年，美欧多国大量开展 SAF 掺混比例达到 100%（即全部使用 SAF）的飞行试验。我国已成为亚洲首个、世界第四个（前三个是美国、德国和芬兰）具备自主研发 SAF 能力的国家，实现了使用国产燃料从制造基地到商业飞行、从客运航空到货运航空、从国内航线到国际航线的三层跨越。但迄今为止，我国使用 SAF 开展飞行试验仍然较少，且燃料掺混比例还从未达到过 100%，距离建立起成熟可靠的燃料测试体系还相差甚远。

建议与思考

鉴于 SAF 潜在的巨大作用，以及我国与美欧当前发展相比存在的一些差距，提出如下建议：

一是加快相关政策制定落实，从顶层引导完善产业总体布局。我国民用航空业务量位居世界第二，实现民航运输业绿色转型时间紧、任务重、难度大。首先，建议国内相关部委联合加快制定发展政策，面向原料来源、生产设施、年产油量、试验认证、运输储存等 SAF 发展需求，作出顶层设计；其次，顶层设计后的相应政策应下沉，引导相关航空运营商、燃油生产企业、研究机构等出台各自发展规划或导向，由上至下形成合力，统筹推进，争取赢得航空能源变革发展的主动权，并为国家经济社会发展作出贡献。

二是持续探索新工艺新原料，逐步实现燃料扩产降本。从工艺方面，首先应用油脂加氢技术规模化制备 SAF，在各地建立废弃油回收机制，就近回收、合理布局扩大生产规模，探索适合我国的商业模式。

同步加快费托合成、醇喷合成、电转液技术路线的发展，推进试验田建设，加速 SAF 产业新技术迭代，实现“探索一代、发展一代、应用一代”的发展模式。从原料方面，在《中共中央、国务院关于做好 2023 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》等近些年中央文件的指导下，在我国西北、东北、华北及滨海盐碱地区大力探索盐土植物、微藻类原料发展，并逐步扩大种植，不与人争粮、不与粮争地，大幅扩大原料产量的同时增加农民收入，减轻对海外能源的高度依赖，保护我国能源安全。

三是建立国产飞机示范运营航线，探索商业化发展新路径。大力推广 SAF 的前提之一是其商业化运营，因此要首先建立商业示范运营航线。当前，国产 ARJ21 飞机、AC313 直升机商业化运营的规模增长，C919 窄体干线客机即将投入商业飞行，AC352 国产 SAF+ 直升机获颁型号合格证，应启动研究运营国产飞机示范运营方案与支持政策，打造国产品牌新名片、扩大商业宣传效果、增强影响力的同时开展 SAF 在国产飞机应用、国内机场保障、储存运输等关键环节的验证及技术探索，逐步摸索出适合我国国情的商业化发展路径。

四是完善寿命周期评价模型，简化燃料适航认证流程。基于已有研究，完善从原料种植、加工炼制到储存加注、飞行燃烧、维护保障的寿命周期碳排放模型，更加科学精准评估与使用 SAF。建立标准化共用发动机模型，通过标准发动机燃烧少量燃料取得燃料认证资质，认证后的燃料再进行各型发动机与飞机的匹配测试，从而节省大量时间和经费，加速我国 SAF 产品投入航空运营。■

图 | refiningandpetrochemicalsme.com



何述明： 用匠心铸就大飞机 复材零件

文 | 牛旭青



何述明 | He Shuming

中国商飞复合材料中心胶接一组工程师 / 高级技师

1972 年出生，中共党员，高级技师，1991 年入职上飞，参与多型号复材零件制造，现为中国商飞复合材料中心胶接一组“双师型”（工程师和高级技师）骨干人才、上海市职工（技师）创新工作室领衔人，获 2022 年“上海工匠”、上飞公司第二届“上飞工匠”、2019 年上飞公司技术革新奖等荣誉 / 称号。

谈吐行止，庄重沉稳，这是在采访中何述明给人的第一印象。在复材中心胶接车间里，他详细地介绍起胶接车间的各道工序：预装配、表面处理、胶膜铺贴、装配打袋、固化、切边修缮，一个为大飞机制造复材零件的场景画面在眼前徐徐铺开。

何述明是做金属结构胶接的，用他的话说，就是“粘飞机零件”的。32 年来，他每天与胶膜为伴，制造复材零件，助力大飞机翱翔蓝天。

32 年锤炼过硬本领

小时候，当造飞机的舅舅用一双巧手为他做出各式各样的玩具的时候，何述明就已被深深折服。在一次次拿着飞机画报、追着舅舅问“为什么”的日子里，一颗梦想的种子也逐渐在他心中生根发芽。

岁月更替，不忘初心。1991 年，从上飞技校钣金铆接专业毕业的何述明正式加入上飞，开启了他的逐梦之旅。

据何述明回忆，开始进入上飞，车间先安排他做金属胶接。面对这个与梦想“相去甚远”的项目，

一开始他心有不甘，但在与车间领导谈心后，他豁然开朗，抱着“干一技专一技”的想法，心无旁骛地在技术技能提升上不断深耕。这一干，就是 32 年。

“金属胶接，就是在零件与零件的缝隙之间铺上胶膜，通过加热固化等工艺，让胶膜成为‘胶水’，把零件连接在一起。”何述明简单介绍了胶接的原理。

虽然听起来不复杂，但实践起来却并不容易。何述明补充道，胶接工艺讲究过程控制，一旦成型便不可逆转，因此一定要确保“零夹杂、零气泡、零褶皱”。加上胶膜材质柔软，不同零件的材质、形状各异，何况不少还需多层铺贴，要贴得均匀平整更是难上加难。

“只有多练，没有别的法门。”为了锤炼过硬本领，何述明每天泡在车间里，不是在钻研胶接技艺，就是在车床、钻床、铣床旁边观看老师傅们操作，向前辈请教经验。晚上，他总会在桌边温习巩固当天的笔记，不掌握誓不罢休……就这样边干边学，不到 2 年，何述明便成为同一批新入职员工中最早能够独立操作的一员。

在经年累月的辛勤付出下，

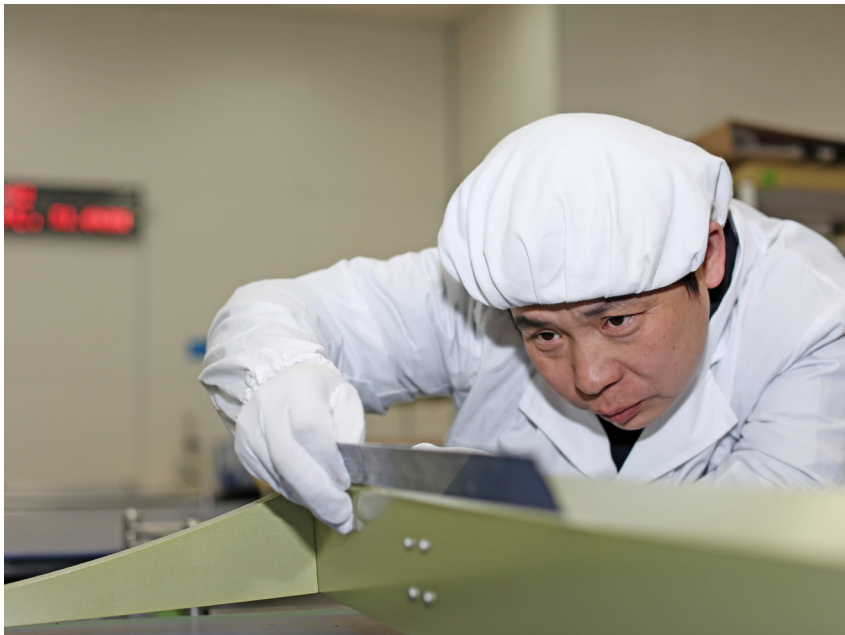
何述明成为精通每一道工序、环节的技术骨干。“干得了铆接，玩得转橡胶零件制作，拿得下金属蜂窝制造，更在金属胶接上颇有造诣。何老师一直是我们车间‘凤毛麟角’的存在！”谈起他，大家总是竖起大拇指，说“了不起”。

“还是喜欢，越钻研越发觉有意思。”32 年来，何述明坚守在胶接岗位上，从未停止过向技术高峰的攀登。这份极强的求知欲和上进心，这种从不放弃学习和思考

的热爱，在持之以恒的磨砺和锤炼中愈发彰显。

把复杂难题简单化

32 年来，何述明曾参与 MD-82/90 飞机非金属加工配套生产、波音转包项目、C919 飞机平尾可卸前缘和 RAT（冲压空气涡轮）舱门研制和生产以及复材零件制造等工作，丰富的工作经历为他在技术优化、发明创造上提供了





充足的储备。

以提升效率、赋能生产为目标，何述明获得 6 项国家发明专利授权，设计制造 20 余项现场辅助工具，提出了 80 多项改善提案，指导完成 8 项精益生产项目，获得了多项技术革新和奖励，是大家眼中当之无愧的创新达人。

在他的眼中，钟摆、弹簧、橡皮泥……这些玩具也可以成为飞机零件制造的小工具或好点子。他坦言，自己的初衷很简单，只是希

望通过一些小工具，能够“把复杂难题简单化”。

不同于简单零件，复杂多腔零件在磷酸阳极化处理过程中极易产生空气和溶液滞留，如何获得均匀、连续、合格的阳极化膜层成为摆在团队面前的大难题。

怎么让阳极化处理中产生的溶液不影响零件与电源之间的接触呢？看着墙上的钟摆，何述明灵机一动，是不是可以让挂架转动起来，及时让产生的溶液流走？

有了想法之后，何述明便马上带领团队成员讨论方案、确定细节，推进可转动的阳极化挂架设计。经过试验验证，可转动的阳极化挂架可以完美解决溶液滞留的难题。

随后，何述明又带领团队将该挂架推广至所有阳极化工艺中，据统计，该项目每年可产生千万余元的经济效益。

“这个装置也解决了我们当时的一个大难题。”现场的一名工作人员拿着何述明发明的闭腔填充块脱模装置，一边演示，一边介绍。当时，何述明通过构造出一个传动施力结构，将原本的局部施力方式转化成均衡施力，有效避免了脱模可能造成的零件损伤，还极大地提高了脱模效率。

不止于此，用橡皮泥“放大”零件填充状态、用弹簧夹持零件便于喷涂……何述明总能依靠丰富的经验，想出各种各样的好方法，助力零件高质量制造。正如何述明的同事们所言，他就是大家的“定心丸”。

把好经验传递给更多人

回看成长之路，何述明最感谢的，还是师傅的言传身教：一步一步按照流程操作，切不可急功近利；认真仔细、一丝不苟，一点问题都不能放过……这些谆谆教诲让他受益良多，他也希望可以把这些好经验传递给更多人。

基于这样的理念，他积极通过“传帮带”和团队成员一起成长。2017 年，飞机金属胶接技师工作室正式成立，依托于此，何述明带领 14 名成员开展攻关，围绕磷酸阳极化、底胶喷涂、胶接装配等专业方向，致力于解决零件在产品研发、工艺制造、安全生产、管理体制等方面的难题。在为各个项目产品保质保量交付坚定护航的同时，也逐渐带出了一支敢想敢试、敢闯敢拼的团队。

“要为成功找方法，不为失败找借口。”何述明是这么同大家说的，也是这么做的。很多技术攻关都是“从 0 到 1”的，过程一波三折是常态。

记得当时为了拿下波音 747 评审和国际航空航天特种工艺认证项目评审，攻克过程中的难点，何述明一边带领大家研究哪些环节可以优化，一边积极地在现场试验验

证，更换胶膜种类，改进铺贴方法，提高固化压力，变更零件装挂形式……经过多轮研究和零件制造试验，最终获得了稳定的数据，顺利通过了评审。“何老师总是带着我们积极地找方法。”工作室的一位同事这样说道。

脚踏实地，更要仰望星空。一直以来，何述明在埋头苦干搞研究的同时，也把复材高技能人才培养作为重要目标。“年轻人有什么疑问和难点，都喜欢咨询何老师”“何老师和蔼可亲，技术一流，总能在钻研和谈论中给我们启发，并且他总是毫不保留地给我们答疑解惑”……何述明对青年人才的关注大家深有感触。

作为技能带头人，何述明先后带出 3 位技师、20 多位高级工，培养出的各类技能人才走上了不同的岗位，在各自的领域发光发热。说起这些，何述明总是很欣慰，“青年强，则国家强。只有年轻人茁壮成长，才能谱写复材事业、大飞机事业更辉煌的篇章。”

获评 2022 年“上海工匠”，于何述明而言，不仅是对过去工作的肯定，更是对未来的要求，他将始终把“匠心”融入工作中的方方面面，勇攀高峰，助力大飞机翱翔蓝天。■

全机排液：在飞机内外架起“高速公路网”

文 | 何思元 于水

2007 年 8 月 20 日，中华航空 120 号班机降落在日本冲绳那霸机场后，由于在收起前缘缝翼过程中紧固件刺穿油箱，造成泄漏出的燃油接触发动机高温表面引发火灾，飞机发生数次爆炸后烧毁。

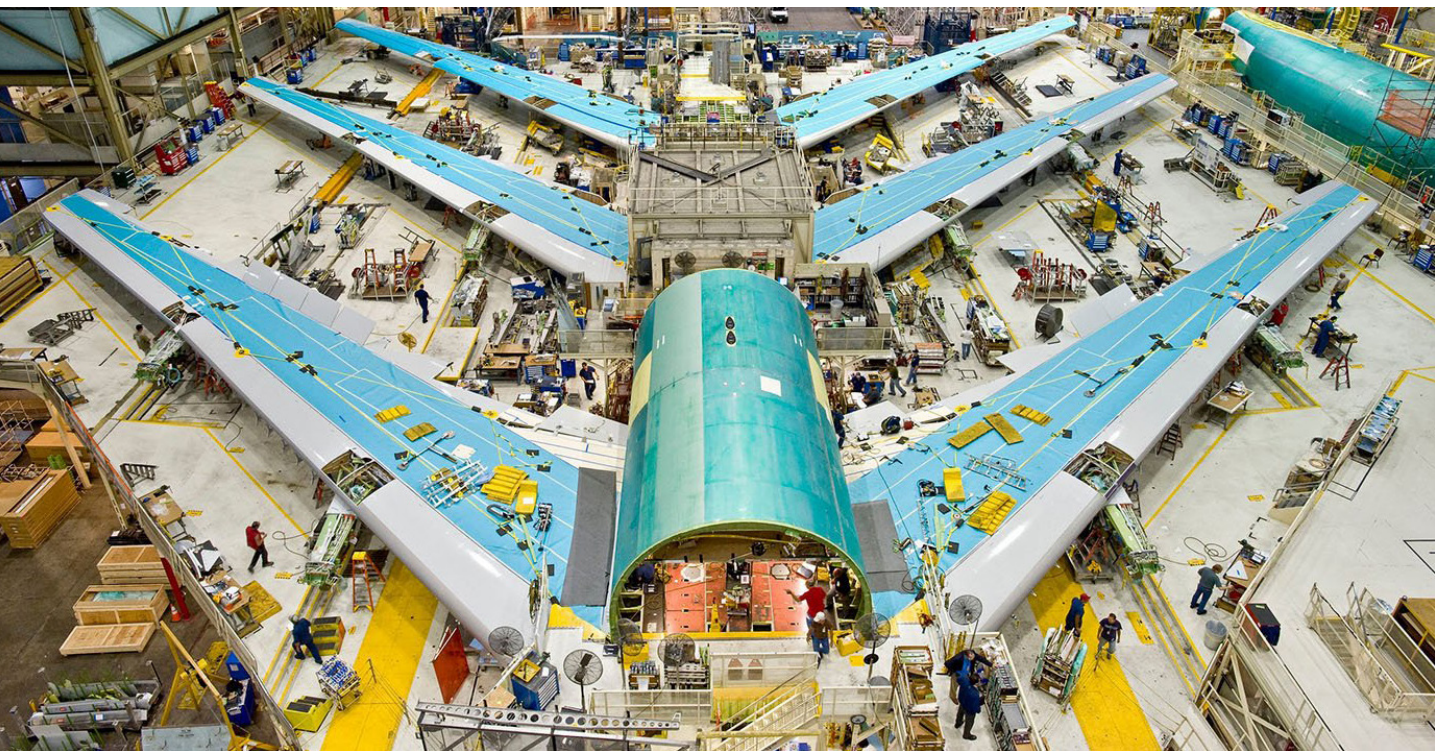
所幸乘客与机组及时疏散，没有造成人员伤亡。这起事故让排液问题再次成为大飞机设计师关注的焦点之一。

全机防火的重要措施

飞机上遍布各舱室的 EWIS 线缆、电子电气设备、动力装置和高温管路的高温热表面与热流体等都属于点火源，当点火源与泄漏出的燃油或液压油接触后便



图 | www.westerntechnologylights.com



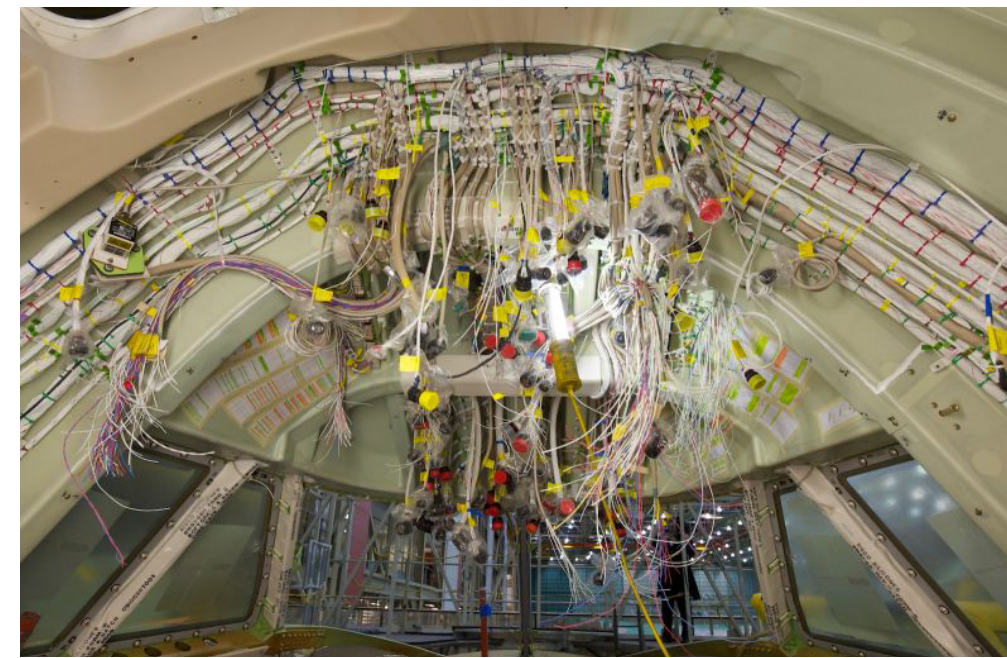
可能着火。飞机上储存着大量的燃油和液压油，一旦着火极有可能引发火灾。

CCAR-25 部 863 条款规定：在可燃液体发生渗漏的情况下应及时排出，排出的可燃液体不会再次到达危险区域。也就是说，一旦飞机的燃油或液压油等因管路接头松脱而渗漏，渗漏出的可燃液体必须迅速排出飞机机体外，且不会受气流吹拂的影响进入飞机的高温区。因此，全机排液设计是全机防火的重要措施之一，全机排液试验也成为飞机取证的一项重要科目。

设计排液“高速公路网”

排液设计就好像城市交通规划，需要将飞机内部和外部的排液“高速公路网”设计得井然有序。

这可不是简单的高速公路，它架设在全机各区域系统设备、管线错综复杂的飞机结构内部，不仅要能够保证“顺畅通行”，不造成局部“拥堵”，而且要能够避开可能的“危险源”。就是说，排液的内部路径设计，既要保证液体能够快速顺畅排出，不造成危险量的局部积聚，还要保证排液路径能够完美避开各类电子设备、高温表面和



▲ customdesignedcable.co.uk

线缆等可能的点火源。

这条“公路”上跑的“车”没有驾驶员，全凭重力驱使其流淌，既不能偏离预定轨道，也不能到达特定的危险区域。就是说要排出的液体只能沿着设定的路径安全排出，不能再次进入，也不能到达排气系统或高温热表面等任何可能造成着火危害的部位。

这是对精湛设计与精细制造的精准验证，只有这样才能管理好

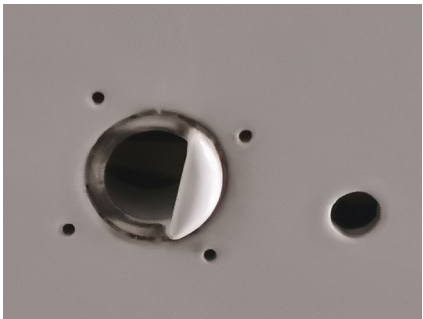
易燃液体在飞机内外部的“交通秩序”，降低着火风险，保证飞机安全。

精细的排液设计

飞机上和排液相关的设计非常广泛，分为看得见的排液设计和看不见的排液设计。

先从外表面说起，细心的小伙伴可能会发现，飞机机身和机翼下表面隔一段间距便会有一个小圆

▼ 空客 350 飞机排液孔 + 遮挡罩



▼ 空客 350 飞机机体内部排液通道



孔，这便是机身和机翼区域的排液孔。中机身底部“鼓包”下表面的排液孔外有一个半圆形的罩子，这便是俗称“猫耳朵”的排液孔遮挡罩。后机身底部和吊挂后部设计有伸出机体外的细圆管，这便是排液管。

在机体内部，机身及机翼许多肋与框、梁的交界处底部都会有缺口，这便是内部排液通道。吊挂内部前后缘交界处还设计有两个方形“小碗”，这便是积液槽。这些都是看得见的排液设计。

将泄漏点、排液通道、排液孔、机体外部流场串联起来便是内部排液路径和外部排液路径设计，这是看不见的排液设计。不仅如此，全机各区域的泄漏源布置、点火源布置、机身开口布置、口盖密封形式、区域内密封、区域间密封设计都与

排液设计密不可分。

排液验证怎么做

自由自在的“水往低处流”，偏偏遇上了 CCAR25.863 这一严格的“交通规则”（适航条款），排液验证便是一场驯服“水”的斗争。

全机排液地面试验时需一定量的液体，从飞机各区域有代表性的泄漏源位置以特定的速率注入，在事先规划好的各个“高速公路出口”进行液体收集。看起来很简单，要做到途经各处复杂的结构后在短短几分钟内排出的量达到 90% 甚至更高，而且区域内部不管哪里都不能形成危险量的液体残余，这可不是一件简单的事情。

相比地面试验，试飞试验就更加复杂了。考虑到空中低温情况

下液体可能结冰，以及机体表面显色要求，试飞试验不再选用地面试验常用的清水，而是选择着色液作为试验模拟液体。

试飞前需要在飞机上加装专门的着色液喷射系统，针对不同区域需要考虑各种各样飞行姿态下，以一定的速率在选取的泄漏源位置喷射，通过试验前后机身被着色液染色的痕迹对比来判断，从不同的“高速公路出口”排出来的液体是否能够沿着设定的路径流动，而且能避免到达任何可能造成着火危害的部位。

由于液体的流动特性、区域内系统设备、管线路布置、结构某些局部设计的复杂性，要完美地做到滴水不漏且路径唯一，从精湛设计到精细制造，是一项复杂繁琐的大工程，一个个藏在机身底部的排液孔，一根根看似突兀的排液管，都蕴含着排液设计师对于安全的严格要求。

排液设计对飞机安全意义重大，其设计验证过程复杂，同时对细节控制的要求非常之高，但这正是大飞机设计师共同的追求，也正是民机设计的魅力所在。■

香港与大飞机

文 | 姜浩峰



姜浩峰

《新民周刊》主笔，在交通运输行业深耕多年。著有《坐火车游青藏亲历指南》等书。作为策展人，在 M50 爱普生影艺坊策划航空类摄影展《想飞》等。

今春于中国商飞公司嘉兴基地举行的第六届 COMAC 国际科技创新周，有一大亮点——主办方除了中国商飞公司以外，还有同济大学和香港理工大学。

特别是来自香港的高校结缘商飞，令人颇有耳目一新之感。香港理工大学，在香港来说本是比较特别的一个存在。作为公立研究型大学，香港理工大学此前就曾与不少内地机构合作过。如今，在大飞机领域，香港理工大学具体能为商飞带来哪些资源，不妨进一步观察。

就笔者与香港一些高校的接触，以及回看过往历史中香港航空业对内地的支持，感觉未来无论是香港理工大学，还是整个香港特别行政区，都该更多与内地航空业对接。这样，无论对香港还是对内地，总体上就是对国家大有裨益。





▲ 图 | www.freeruider.com

航空科学研究高地

香港理工大学副校长赵汝恒在 3 月 27 日举行的 COMAC 国际科技创新周开幕式上致辞时，特别提到，香港理工大学通过与中国商飞合作，将会为学术界和工业界提供更多交流机会，为民用航空及相关领域的发展注入新的动力，共同推动科技创新和产业发展。

毫无疑问，赵汝恒所言“学术界”，主要是指高校，譬如与中国商飞共同主办国际科技创新周的同济大学、香港理工大学。而作为香港理工大学的副校长，他提到学术界，当然主要也是在亮明身份——香港理工大学代表着学术界，与代表着工业界的中国商飞交流，能够创出更多机会，为民航及相关领域发展注入新动力。当然，香港理工大学与同济大学之间，亦即学术界与学术界的交流，自然也有不少，同样能推动相关学科发展。

有朋友不禁会问——香港理工大学固然在学术界有相当高的地位，可香港不是早就去工业化了吗？起码在 20 世纪七八十年代，亦即改革开放之初，香港就通过产业转移，将曾经知名的诸如制衣、小家电等等工厂迁往内地——先是珠三角，接着是内地其他地方。即便这些产业转移之前，遍布香港各工厦里的，也几乎没有与大飞机配套

的企业。

殊不知，香港理工大学的航空及航天工程学系在香港排名第一。亦有朋友会反问——那又如何？哪怕香港理工大学自称其“为航空和航天领域的创新研究与行业需求之间，担当重要的桥梁角色”，可香港地区似乎并无航天器生产知名企业。

不过，香港地区是否有航天器生产知名企业，这本身与整个香港地区位于全球产业链的位置、国家的战略考量等等息息相关。譬如在 20 世纪中后期，香港经济腾飞期间，实则亦是香港在参与全球化的过程中，进入产业链的来料加工端口期。此后，当内地改革开放，已经赚得第一桶金、成为“亚洲四小龙”之一的香港地区，迅速将来料加工业转移到内地，而其自身的转口贸易能力、金融中心地位得以加强。而也大约在此阶段，香港理工大学的航空、航天相关学科建设得以大大加强。毕竟，哪怕没有本地相关产业，但有资金、人才流入本地，已经足够诞生一个学科高地。而这一学科高地，在全球产业链中可以支持其他地区相关产业，以谋得自身进一步发展。

2012 年，香港理工大学与波音公司联合成立航空服务研究中心，开始关注自动化、机器人、多轴加工和无损探伤等领域。十年时间，起码完成了二十多项研究项目。

荣获 2018 年第 46 届日内瓦国际发明展金奖的“飞机喷气式发动机表面点蚀自动分析系统”，即是其中较为著名者。

2022 年 11 月 10 日，在珠海举行的中国航展期间，波音与香港理工大学续签为期 5 年的航空服务研究中心合作协议。协议称，双方合作，致力于“促进实现航空维修和制造业的显著效率提升”。当时，波音中国总裁谢利嘉表示：“与香港理工大学的合作让我们深感自豪。在航空服务研究中心的帮助下，我们正把技术创新和波音的维修运营业务联系起来，并为航空服务业筑造一个更加光明的未来。”香港理工大学工程学院院长文効忠教授则称，成为波音研发大家庭的一员，并与波音保持长期伙伴关系，得到波音的持续支持，为香港理工大学航空科学及航空工程系、学员飞行员培训计划、飞机维修培训，以及在航空服务研究中心进行的创新技术的应用研发，提供了进一步的协同作用。在文効忠看来，这无疑可以支持行业需求，有效地为未来的飞行员和工程师创建航空研究和学习的卓越中心。

那么，作为民用航空器领域的后来者，中国商飞能否给予类似波音给予香港理工大学的支持，而香港理工大学又是否能回馈商飞更多技术创新呢？答案无疑是肯定

的。这一点，从香港理工大学之前与隶属于中国航天科技集团的航天推进技术研究院的合作中，就能看出端倪。

香港理工大学与航天推进技术研究院采用优势互补的常设合作形式，共建“先进空天推进技术联合研究中心”，自 2022 年 7 月起，同样为期五年——涉及多个共同研发项目，瞄准全球航空与航天推进技术的未来发展方向，专注研发关键技术，提升该领域的工程研制能力。

由此不难看出，香港理工大学与中国商飞的合作，无非新一波对接合作。比起波音 737 等单通道机型来，中国商飞的 C919 研发时间要晚得多，也就意味着采用的新材料、新工艺等更多，这对香港理工大学探索 MRO（维护、修理和检修）和相关领域，开发创新科技和改进航空服务技术等来说，无疑是再拥一座富矿。

赵汝恒称，希望通过此次国际科技创新周，香港理工大学与商飞能探索合作，“聚焦人工智能、大数据和新材料等主要领域，充分利用各自优势，为民用航空及相关领域的发展提供新动力，共同推动科技创新和产业发展，加快民用航空领域人才培养，携手为中国航空科技事业发展贡献力量”。从言语中，其实已经能看出香港理工大学与中国商飞合作的研究方向。

新中国民航的起点之一

在香港理工大学与中国商飞、同济大学共同主办第六届 COMAC 国际科技创新周之际，记者采访中感觉到一点颇为值得感慨之处——香港，对中国民航来说，是个宝地。

1949 年 11 月，原中国航空股份有限公司（简称“中国航空公司”或“中航”）与中央航空运输股份有限公司（简称“中央航空公司”或“央航”）的“两航起义”，就是在香港进行的。当年 11 月 5 日，起义指挥部在九龙半岛酒店秘密成立。之后，经过数天的准备，包括对一些两航高管进行说服教育工作，11 月 9 日，“两航”12 架飞机陆续从香港启德机场起飞，前往北京西郊机场。“两航起义”通电国内外各办事处、航站之后，在台湾、海口的“两航”员工，冲破国民党的阻挠，赶赴香港参加起义。中航曼谷、仰光、海防、加尔各答、旧金山等办事处和航站员工，纷纷响应起义，相继策应归附中华人民共和国。

当年，毛泽东同志称“两航起义”为“一个有重大意义的爱国举动”。周恩来称它是“具有无限前途的中国人民民航事业的起点”。“两航起义”是中国民航史上的一个转折点，也堪称中华人民共和国民航事业的起点之一。■

世界商用飞机的宽体之争

——世界商用飞机发展简史（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。

20 世纪 60 年代，世界经济进入快速增长期，全球商务旅行需求大增，商用飞机主制造商和航空公司对民航的前景纷纷看好，他们都预测民航客机需求量的增长率在 15% 以上，繁忙航线必然会更加拥挤，而要适应这一趋势，制造一种大型双通道宽体客机成为了商用飞机主制造商的又一选择。



从濒临破产到成就霸业——波音 747

正当各国飞机主制造商间的超音速竞赛热火朝天地进行之时，航空公司率先冷静下来，开始思考商用飞机的主力机型到底是什么样的？虽然单通道窄体客机的载客量已经达到 200 人，但这并不能满足日益增长的航线客运需求。此时，泛美航空董事长胡安·特里普敏锐地注意到了这一点，并最早提出研制宽体客机的主意。

1965 年夏天，私交不错的胡安·特里普和波音时任董事长比尔·艾伦相约度假钓鱼。特里普说：“我想要 400 座的飞机，只要你造出来我就会购买。”艾伦则回答：“只要你买我就能造！”400 座载客量是当时所有大型客机的两倍。而此时的波音公司正在超音速飞机项目——2707 上忙得不可开交，无论是人才还是资源，都难以保障同时启动另一个项目。但面对超级航运巨头的强烈需求，波音根本无法回绝。波音公司非常明白，任何一种商用飞机的研发，如果不能满足航空公司的需求，他们就不会购

买，而制造商就会倒闭。考虑到这样的利害关系，艾伦紧急召回了正在休假的工程师乔·萨特，由他组织研发一款 400 座的宽体喷气客机，这就是波音 747。

当时，没能入选 2707 项目组的乔·萨特，正在享受他为波音公司工作二十年来的第一个暑假。回到公司后，他才发现，这是一个毫无准备的项目，迎接他的将是巨大的挑战。但他却展现出了过人的勇气和毅力，使用 2707 项目剩下的资源，带领 100 位和他一样因为种种原因而没能入选 2707 项目的组员，在杜瓦米什河边上的老工厂，心无旁骛地开始了 747 的研制。

波音 747 的上马，无论当时还是现在来看都是一场前所未有的豪赌。研制这种极其昂贵的飞机，充满了不确定性。波音公司既缺乏资金，又缺乏厂房设施，为了投产 747，波音公司花费 2 亿美元建了当时世界上最大的厂房，该厂房占地 2.87 公顷，室内面积有 40 个足球场那么大。波音估计对 747 计划的投资起点是 7.5 亿美元，这相当于公司的全部可动用资产。

另一个重大的不确定因素是

发动机。从当时的技术实力出发，首选的发动机制造商为通用电气公司，但通用电气的任务十分饱满，无力在三年内再研制一种高难度的新发动机。英国罗罗公司瞄上了这个大项目，但提出了苛刻的专卖条件。波音公司只好转向普惠公司。当时，普惠公司在另一个发动机项目中竞标失败，正想重整旗鼓，所以双方一拍即合，并同意把发动机的涵道比提高到 5:1。这同样是一场很大的赌博。

1965 年 12 月 22 日，为了表示诚意，更为了波音 747 项目的顺利推进，泛美航空与波音公司签订了 25 架宽体客机的采购合同，总金额高达 5.25 亿美元。但同时，泛美航空也提出了一个苛刻的时间表，必须在 1969 年底，也就是特里普退休之前，交付第一架波音 747。

这让项目组感受到了巨大的压力，更让乔·萨特感到担忧的是团队的士气十分低落。波音公司里的很多高层和资深工程师都一致认为，这不过是个过渡性项目，只要波音 2707 超音速运输机研发成功，它立刻会被淘汰。而在与各国潜在



的客户接触之后，乔·萨特也尴尬地发现，他们都已经预定了“协和”号或是波音 2707。尽管波音 747 与它们的定位截然不同，却必须要加入到这场惨烈的混战中。

为了和 FAA 确定波音 747 适航取证的具体信息，乔·萨特在一个闷热的夏日里，独自前往华盛顿出差。在那里，他遇到了同样来自波音公司的 20 多名同事，他们此行的任务，是向 FAA 汇报波音 2707 超音速运输机的项目进展。这些热情的同事在酒店的吧台为乔·萨特点了一杯鸡尾酒，闲聊起各自的项目。其中一人搂着乔·萨特的肩膀说：“你知道吗？如果你在你的大飞机项目里干得出色，那我就在超音速运输机项目里，给你留一个位置。”

这个场景，乔·萨特铭记了一

生。如果说波音 747 与 2707 项目预算的差别还属于正常的工作范畴，那么这种被无视、甚至低人一等的感觉，则是乔·萨特无论如何也无法忍受的。以至于很多年后，当乔·萨特回首往事，还是会心酸地说道：“如果世界上有哪个项目是从一开始看起来就注定要失败的，那一定是我们这个！”

背水一战也好，破釜沉舟也罢，温文尔雅的乔·萨特从那一刻起，变成了一只疯狂的斗牛犬，毕竟这是他梦寐以求并一直为之奋斗的项目。他竭尽全力争取每一个可用之才，争抢可用的设备，从 2707 项目的“牙缝里”争取风洞试验的使用权……而他的激情，也点燃了整个团队。一个个天才的想法浮出水面，双通道的宽体机身、驼峰外形、37.5 度角的后掠翼、

四组主起落架……仅仅 3 年时间，747 项目组就解决了这款史无前例的空中巨无霸各方面的难题，其中大部分都是空前的创新。

1968 年 9 月 30 日，首架波音 747 总装下线，波音公司为她举办了盛大的出厂仪式，26 位美丽的空姐代表 26 家航空公司，敲碎了 26 支香槟酒瓶，在芳香四溢的气氛中，747 光彩照人。1969 年 2 月 9 日，747 成功首飞，全美国为她欢呼雀跃。1970 年 1 月 21 日，世界第一架大型宽体客机波音 747 投入航线运营，载客 324 人，从纽约飞往伦敦，引起巨大轰动。

波音 747 机长 76.4 米，机高 19.4 米，翼展 68.5 米，她的外形在民航客机中是独一无二的存在，最明显的特征就是头部突起，有两层客舱，这一创意来自泛美航空提出的从机鼻进货的需求。

过去，浩瀚的太平洋是飞机直飞的空白，而波音 747 的最大航程达到了空前的 15000 公里，让跨太平洋直飞成为现实，因此很快成为跨洋航空运输的主力。随后，波音又开发出 747 的很多衍生机型，747 一跃成为波音公司的“摇钱树”，迄今为止共交付了 1574 架。1990 年 8 月，波音 747 被选为美国总统新的座机，替代了曾为 8 位美国总统服务过的波音 707。

近几年，由于乘客变少，航空燃料价格上涨，各大航空公司纷纷宣布封存或退役 747 机型。2023 年 2 月 1 日，最后一架波音 747 正式交付。此后，“空中女王”波音 747 正式停产，结束了长达半个多世纪的生产历程。

麦道的沉没和洛克希德的退出

经过了大起大落磨难的波音公司逐步巩固霸主地位时，它在国内的另外两个对手——道格拉斯和洛克希德，却在相互苦斗中开始走下坡路。

道格拉斯公司创建于 1920 年，是一个家族式经营的公司。创办人唐纳德·道格拉斯在公司里实施的是完全说一不二的管理，而 1957 年接任的小道格拉斯，无论从决策才能、办事效率，还是建立同航空公司的关系方面都不及他的父亲。

1960 年波音公司推出波音 727 飞机后，小道格拉斯推出 DC-9 客机应战，销售业绩也很不错。但此后小道格拉斯却连续做出了几个错误的决定，首先他用 DC-8 的加长型向波音 707 挑战，因销售不理想而下马。接着，他决定同时进行 3 个 DC-9 的改型方案，不仅造成财力的分散与浪费，还引

起了管理上的混乱，使研制成本增加、生产速度放慢。由于飞机不能按期交付，航空公司开始诉诸法律，使得道格拉斯公司付出了巨额赔偿。加上飞机的制造成本上涨到难以控制的程度，公司又没有及时采取严格的财务紧缩措施，1966 年，道格拉斯公司濒临破产，不得不于 1967 年与麦克唐纳公司合并，成立麦道公司。

波音 747 完美地满足了远程干线航空市场的需求，但随着大众出行观念的转变，加之国内城市间距较远，火车不足以满足运输需求，美国国内中短途航线兴起。而波音 747 太大了，无法在中短程航线中盈利，市场急需一款“仅有 250 座”的宽体客机，并且要尽可能经济，最好只配备 2 台大型、高涵道比的喷气发动机。经过一番描摹，名为“柯尔克机器”的飞机设计跃然纸上。

弗兰克·柯尔克是美国航空公司的技术主管，在他看来，波音 747 是一个天才的开创，但这款飞机无法与美国航空公司的业务相兼容。尽管波音 747 的启动客户泛美航空是全世界最成功的航空公司之一，但它的业务优势在于跨大洋的国际航线，而像美国航空公司这样专注于经营国内航线的公司，有着与泛美航空公司截然不同的需求，

这也让道格拉斯和洛克希德看到了希望。两家商用飞机主制造商几乎同时启动了新飞机研发的项目，开始了一场你追我赶的速度竞赛。

在最初的设计中，他们都严格遵循“柯尔克机器”的构想，但随着项目的推进，反对的声音越来越大，FAA 出于安全性考虑，公开表示不欢迎 25 吨推力的双发飞机，随后环球航空公司等客户也基于同样的考量，先后表态新飞机可以保留“柯尔克机器”的其他数据，但必须要有三台发动机。

自此，道格拉斯和洛克希德的新项目，离“柯尔克机器”越来越远。在道格拉斯和麦克唐纳合并后，DC-10 项目才正式启动，洛克希德公司最终也确定采用“三星”方案。

1971 年，DC-10 正式交付，次年，L-1011 “三星”正式交付。DC-10 启用后第二年，业界就开始发现这款仓促设计的飞机有着许多安全隐患，其中最严重的是机腹货舱舱门设计，直接引发两起空难，其中最为最严重的是第二起——土耳其航空 981 号班机空难，造成机上 346 人全部罹难。但这只是 DC-10 噩梦的开始，在 1979 年，DC-10 更在一年内涉及三起意外，虽然意外起因与飞机本身设计并无直接关系，但航空当局以安全

为由，勒令全球的 DC-10 全部停飞，DC-10 由此名誉扫地，麦道公司也从此走上了漫长的下坡路，尽管后来推出了经典的三发客机 MD-11，但也没能重现 DC-3 时代“商用飞机第一巨头”的辉煌，最终被波音公司兼并。

洛克希德的命运也欠佳，为 L-1011 提供发动机的英国罗罗公司在引进先进技术一再受挫，使研制费用直线上升，不仅亏损严重，而且至少还需筹集 1.44 亿美元的资金才能兑现与洛克希德公司签订的合同。1971 年 1 月，负债累累的罗罗公司决定寻求破产清理，这也把洛克希德公司逼到了破产的边缘。1984 年，洛克希德公司在交付了最后一架 L-1011 后，彻底退出了民用飞机市场。

苏联研制大型宽体客机

20 世纪 60 年代，苏联民航业蓬勃发展。借鉴西方的经验，苏联也计划研制自己的宽体客机。1967 年 10 月，苏联当局批准了苏联民航关于新的宽体客机的设计要求——350 个座位，航程 5800 公里，有效载荷 40 吨，能在 2600 米跑道运营。而研发这一新宽体客机的重任，最终落在了伊留申设计局的肩膀上。

20 世纪 60 年代，伊留申设计局推出了一款 180 座级的客



机——伊尔 -62，最大起飞重量 165 吨。他们打算在伊尔 -62 的基础上衍生出新的宽体客机，但是受限于尾吊发动机和 T 型尾翼导致机尾过重的先天“缺陷”，伊留申设计局最终决定采用传统尾翼和翼吊发动机设计。1976 年 12 月 22 日，苏联第一款大型宽体客机——伊尔 -86 首飞成功，1980 年 12 月 24 日获得型号合格证，两天后投入航线运营。

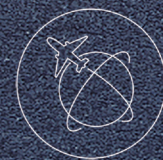
当时苏联的机场基础设施大部分相当简陋，如果有三百名乘客同时出现在一些州级机场，甚至会导致瘫痪。伊尔 -86 从一开始设计就被要求能够适应这一情况。因此工程师们在设计上考虑了各种创新，其自助式行李解决方案最终成为伊尔 -86 的标志性特征之一。在登机时，乘客会通过机身的三个自备金属登机梯进入飞机下层货舱。在这里，他们可以将行李存放在宽敞的货架上，然后再通过内部楼梯进入主客舱。这不仅降低了对机场地面行李处理设备的需求，而且还

显著缩短了周转时间，直接提高了伊尔 -86 的经济效益。

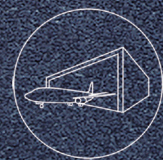
然而，伊尔 -86 也有致命的短板，它搭载了 4 台 NK-86 低涵道比涡扇发动机，燃油效率极低，导致伊尔 -86 在满载时最大航程也不到 3600 公里。这一弊端让伊尔 -86 的海外用户屈指可数，就连苏联民航也不怎么待见它。至 1994 年停产，伊尔 -86 总共也只生产了 100 余架。

伊留申设计局很清楚发动机是伊尔 -86 的最大短板，于是在伊尔 -86 的基础上，推出了一款机身稍短、航程较远，并配备先进机载设备和技术的伊尔 -96。1988 年 9 月 28 日，伊尔 -96 成功首飞。不久后，苏联便解体了，但伊尔 -96 的研发工作仍在继续，于 1992 年 12 月获得俄罗斯颁发的型号合格证并首批交付使用。后成为俄罗斯总统普京的专机，有“空中克里姆林宫”之称。■

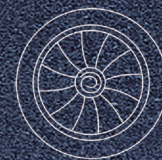
each & every One 成就每一次飞行



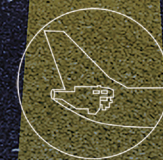
航线维护



飞机大修



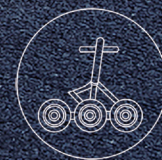
发动机大修



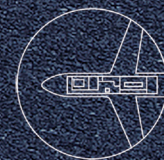
APU大修



附件维修



起落架大修



客舱与内饰改装

如需详情，敬请联系：电话: (+86)10 87494100

电子邮箱: sales@ameco.com.cn

网址: www.ameco.com.cn

