

2023.9.29

商飞文创纪念 “C919取证一周年” 系列产品



中国商飞
官方特许商品
COMAC OFFICIALLY
LICENSED PRODUCT

大飞机 JETLINER

绿色航空

- 航空燃料的前世今生
- 尚待复苏的全球支线飞机市场
- 从三大航 2023 年半年报 看民航复苏之路



大飞机

JETLINER

09 September

2023.09 | 总第111期

ISSN 2095-3399



2023.09



天缘
TIAN YUAN

齐鲁机场

أوروجي

中国商用飞机有限责任公司

B-001C

C919

C919

P19



P36



P64



P46



P68



05 卷首语

05 航空能源革命呼之欲出 | 欧阳亮

06 资讯

08 封面文章

08 航空燃料的前世今生 | 昌中宏

14 SAF——中短期民航减排的最佳手段 | 原赛男 朱晓峰

21 下一代航空燃料——氢 | 宏翔

25 电动航空逐步走向商用飞机 | 李洪亮

30 航空制造

30 尚待复苏的全球支线飞机市场 | 李若男

36 创新，航空业发展的不竭动力 | 曲小

42 新加坡航空产业发展的启示与借鉴 | 海鹭

46 航空运输

46 从三大航 2023 年半年报看民航复苏之路 | 柏灵 柴雨丰

51 后疫情时代为低成本航空带来发展机遇? | 王双武

55 疫情后的首个 Q4，会有哪些不同 | 程佳俊

58 我国民航高原运输业务发展路径探析 | 此木 白冬明

64 人物

64 戴渊：传承匠心的大飞机“金蓝领” | 周岑茗

68 科普

68 远距离通信的桥梁——无线电 | 李佳圆 周波 张锡瑞

72 漫话航空

72 飞行员的“好伙伴”——飞行模拟机 | 乔善勋

77 抢占 21 世纪民用航空市场——世界商用飞机发展简史（十二） | 王思磊

82 专题

82 OKR 助力昂际航电战略落地及企业转型 | 文夷



▼ 本期导读

在人类百余年的动力航空史上，航空燃料是人类掌握飞行的开始，也是人类改变飞行速度、飞行姿态、飞行质量的重要工具。而随着航空推进技术的进步，航空燃料也经历了从航空柴油到航空汽油、到喷气燃料、再到高密度碳氢燃料的历程。目前，对于氢、可持续航空燃料（SAF）等新型燃料，以及电动航空的研究正如火如荼地进行着，可以说，一场航空能源的革命正蓄势待发，呼之欲出。

SAF 是目前技术最成熟、接受度最高因而也最有可能优先普及推广的新型航空燃料，不仅能有效替代现有航空燃料，还能帮助实现碳减排。氢燃料在减排方面比 SAF 更进一步，但在制备、存储、运输与分配上仍存在诸多困难。而电推进航空受制于电池技术的瓶颈，也有待技术的进一步突破。

封面图片：千图网、NASA



- 关注我们 -
FOLLOW US

本刊声明：

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

大飞机

2023 年第 09 期 | 总第 111 期 | 09 月 28 日出版

中国标准连续出版物号

ISSN 2095-3399 CN 31-2060/U

主管主办 中国商用飞机有限责任公司

出版发行 上海《大飞机》杂志社有限公司

编委会

主任 贺东风
常务副主任 周新民
副主任 谭万庚
委员 吴永良 魏应彪 张玉金 沈波
学术顾问 吴光辉

上海《大飞机》杂志社有限公司

总经理 程福江
总编辑 王刚
副总经理 徐显辉

总编室

主编 欧阳亮
执行主编 庄敏 林喆
副主编 柏蓓
文字编辑 哲良 张凯敏 郑小芳
美术编辑 卢之萍 刘晓雨 刘伟

采访部

记者 李欣阳 李琰 赵婷婷 阳庭庭
摄影记者 管超 王脊梁 颜康植 张竞霄

商务部

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

国内发行 上海市报刊发行局
国内订阅 全国各地邮局
邮发代号 4-883
地址 上海市浦东新区世博大道 1919 号
邮编 200126
电话 021-20887197
网址 www.comac.cc
电子邮箱 dfj@comac.cc
定价 人民币 20 元
印刷 上海申江印刷有限公司
法律顾问 上海大邦律师事务所

卷首语

航空能源革命呼之欲出

文 | 欧阳亮



目前，对于氢、可持续航空燃料（SAF）等新型燃料，以及电动航空的研究正如火如荼地进行着，可以说，一场航空能源的革命正蓄势待发，呼之欲出。

在人类百余年的动力航空史上，航空燃料是人类掌握飞行的开始，也是人类改变飞行速度、飞行姿态、飞行质量的重要工具。而随着航空推进技术的进步，航空燃料也经历了从航空柴油到航空汽油、到喷气燃料、再到高密度碳氢燃料的历程。目前，对于氢、可持续航空燃料（SAF）等新型燃料，以及电动航空的研究正如火如荼地进行着，可以说，一场航空能源的革命正蓄势待发，呼之欲出。

SAF 是目前技术最成熟、接受度最高因而也最有可能优先普及推广的新型航空燃料。它由植物或动物油脂提炼而成，不仅能量密度高、制备方式灵活，与现有航空动力装置兼容度高，而且能够通过植物生长实现碳捕获，制备燃料实现碳利用，利用残渣实现碳封存，能极大地降低航空业的碳排放。

当然，若从降低碳排放的角度来说，氢燃料更佳，因为氢燃烧后生成的是水，真正可以实现二氧化碳的零排放。而且，氢燃料的能量密度很高，达到标准航空燃料的 3 倍，因而可以为飞机提供更长的续航里程。此外，氢燃料不仅可以用于飞机、汽车、轮船等交通设施，还可以用于工业生产，可以说是比 SAF 更理想的燃料。但是，在目前的技术条件下，氢燃料的制备、存储、运输和分配都存在诸多困难，公众的接受度也不高，所以，氢燃料的普及还需要相当的时间。

近些年，全球电动汽车产业发展迅速，取得了令世人瞩目的成就，因而民众也对电动飞机提出了相应的期待。其实，电动航空在小型飞机上早已取得成功，目前要突破的是大飞机的电推进难题。与传统燃料动力飞机相比，电推进飞机有紧凑性好、动力线性解耦、能耗损失小、噪声低等优点，一旦实现突破，将对全球航空业产生革命性的影响。目前电动航空领域有两大技术发展趋势，一是逐步开展兆瓦级电推进系统的试飞验证，验证机型从通航飞机逐步走向商用飞机；二是单台功率达到 500 千瓦~1 兆瓦的电机逐步成熟，使大规模开展地面集成试验和试飞验证成为可能。

对于电动航空来说，最重要的是电池技术的突破。在这方面，中国公司宁德时代走在全球前列。该公司推出的凝聚态电池单体能量密度最高可达 500Wh/kg，实现高比能与高安全兼得，并可快速实现量产，执行航空级的标准与测试，满足航空级的安全与质量要求，而且在安全性等多个指标上也实现了突破，这意味着电池的高端化进入新局面。根据 NASA 的研究，这样的能量密度已足可支持混合动力飞机，但要驱动一架巡航状态的大型飞机则至少需要 1000Wh/kg 的能量密度。

在全球都在积极进行能源转型的当下，人类对航空新能源的探索已取得相当的成绩。笔者相信，一场新的航空能源革命即将到来。



01

01 中国东航增订 100 架 C919

9月28日，作为C919大型客机的全球首发用户，中国东航再次与中国商飞在沪签署购机协议。东航在2021年签订首批5架的基础上，增订100架C919大型客机。这标志着C919大型客机收获迄今为止最大单笔订单，中国东航同时成为当前C919大型客机的全球最大用户，国产大飞机C919大规模、大机队的商业采购、交付和运营全面开启，向着“飞出安全、飞出志气、飞出品牌、飞出效益”的目标稳步迈进。

02 国产商用飞机全面展开新疆演示飞行

9月11日，一架蓝绿涂装的C919飞机平稳降落在乌鲁木齐地窝堡国际机场，开启首次进疆演示飞行。与此同时，ARJ21飞机正在开展疆内“环飞”和南北疆“串飞”。C919与ARJ21两款机型齐聚新疆，标志着国产商用飞机在疆演示飞行全面展开。

03 波音：中国未来 20 年需要 8560 架新飞机

9月20日，波音发布中国民航市场预测，认为在远高于全球平均水平的经济发展和国内航空旅行增长的推动下，中国在未来20年将需要8560架新飞机，占全球飞机需求的20%。在2042年前，中国民航机队规模将增长一倍以上，达到近9600架飞机。



02



03

04 空客 8 月交付 52 架飞机

8月，空客商用飞机项目新增订单117架，交付52架（7架A220、42架A320、1架A330、2架A350），低于1~8月平均交付量（54.1架），低于7月交付量（65架）。1~8月，空客交付433架，高于2022年同期的382架，其中窄体机交付增长17.1%。但空客若要达成2023年交付720架的计划，9~12月还需交付287架（月均71.8架），交付压力增大。截至8月底，空客商用飞机储备订单量为8024架。

05 波音 8 月交付 35 架飞机

8月，波音订单量45架（取消订单2架），交付量35架，均为今年4月以来单月新低。今年前8个月，波音已向客户交付344架飞机，较去年同期大幅增长，包括40架787梦想飞机和271架737型飞机。

06 首架 SJ-100 完成第 2 次试飞

9月2日，首架SJ-100原型机完成第2次试飞，飞行持续75分钟，飞行高度6000米。首架SJ-100原型机已于8月29日完成首飞，飞行持续54分钟。

07 MC-21 首次完成全自动起降

9月1日，俄媒表示，MC-21已开展一系列试飞，并测试新版自动控制系统软件，为飞机扩展III类盲降能力提供支持。8月，MC-21首次采用自动油门完成全自动起降，2架试飞机在8月共完成19架次试验，时长累计超过65小时。

08 巴航工业首架 E190 飞机客改货进度更新

9月11日，自2022年3月巴航工业宣布客改货项目（P2F）以来，首次公开了正在进行的E190飞机改装进度。目前已经完成了新货舱门的安装，加固地板、安装烟雾探测器和更改空气发生系统等其他工作也在稳步推进中。



04

09 中国造 LEAP 发动机叶片产量将翻番

赛峰飞机发动机公司表示，随着中国贵阳新工厂的落成投产，其在中国制造的LEAP发动机叶片产量将增加1倍。该新工厂获赛峰投资3000万美元，厂内设有专用于CFM56和LEAP发动机低压涡轮转子叶片、静子叶片和密封件的制造设备。

10 中国首个倾转旋翼电动飞机 E20 eVTOL 亮相世界制造业大会

9月20日，2023世界制造业大会上，我国自主研发的首个倾转旋翼电动飞机E20 eVTOL亮相，成为展会空天信息展区的亮点之一。eVTOL（electric Vertical Take-off and Landing，即电动垂直起降飞行器）是小型飞机电动化升级的变革之作，是我国发展新能源航空的重要机会。

11 珍珠 700 发动机获 FAA 型号合格证

罗罗表示，珍珠700发动机已获得美国联邦航空管理局（FAA）型号合格证，该发动机是湾流全新旗舰公务机G700和G800的专属动力。2022年9月，该发动机获得欧洲航空安全局（EASA）的型号合格证。

12 猎鹰系列公务机选用 霍尼韦尔 Aspire 350 卫星通信系统

霍尼韦尔近期宣布Aspire 350卫星通信系统已被达索公司选用于猎鹰系列公务机。达索猎鹰系列公务机将采用Aspire 350卫星通信系统的前装和售后改装，支持机型包括F900、F2000、F7X、F8X、F6X和F10X。



10

航空燃料的前世今生

文 | 昌中宏

从热气球到飞艇,再到现代飞机,航空燃料的发展经历了漫长的历史过程。从无发动机的飞行系统中的人力动力源,到内燃机系统中的航空柴油动力源,到活塞式发动机系统中的航空汽油动力源,到喷气式发动机系统中的喷气燃料动力源,到超音速发动机系统中的高密度碳氢燃料,再到新能源发动机系统中的甲烷、氨、生物燃料、可持续航空燃料(SAF)或太阳能动力源,也就是说航空燃料的发展史是由航空发动机的发展衍生而来的。

图 | cerexio.com

初始阶段(1903年至1938年) ——内燃机时期的航空柴油

事实证明,蒸汽机的过于笨重和种种局限使之不适于作为航空动力。第二次工业革命提供了电动机和内燃机两种动力装置,大大推动了飞艇的发展。最初,内燃机以煤气为燃料,但是煤气内燃机燃烧热值较低,且产生一氧化碳等有毒气体,使用不方便。19世纪70年代以后随着石油开采、提炼技术的成熟,汽油、柴油取代煤气成为内燃机燃料。

因此内燃机经历了煤气内燃机到汽油、柴油内燃机的发展过程。借助于内燃机带来的巨大动力持久支持,美国莱特兄弟制造出了第一架依靠动力系统进行载人飞行的飞机——“飞行者1号”,实现了人类首次持续的、有动力的、可操纵的飞行。而这次飞行的动力供给就是柴油。柴油使持续的动力飞行成为现实,实现了航空器动力升空自主飞行。

第一次世界大战期间,战争需求推动

航空柴油的缺点较明显:燃烧热值较低,含硫量较高,会造成严重的空气污染,而且它的闪点较低,在运输、储存、使用方面存在安全隐患。

了军用飞机的发展,对于飞行稳定性的要求非常高,因此要求燃料来源广泛、资源丰富以满足战时之需。而航空柴油的优点恰恰就是资源丰富、开采提炼工艺成熟,能够保证大数量的飞行燃料供给。随着石油开采和炼制工业的分工细化,产生了一系列的航空柴油型号:5#柴油、0#柴油、-10#柴油、-20#柴油、-35#柴油和-50#柴油等。它们的凝固点逐渐降低,满足了飞行动力系统的要求。

完善阶段(1939年至1945年) ——活塞式发动机时期的航空汽油

航空柴油的缺点较明显:燃烧热值较低,含硫量较高,会造成严重的空气污染,而且其闪点较低,在运输、储存、使用方面存在安全隐患。第二次世界大战又一次因战争需求促进了空军的发展。这一时期是活塞式内燃发动机的完善发展期:在提高发动机功率方面,采取了加大气缸容积、增加气缸数量、加大发动机转速和预压缩工作介质等措施。由于航空汽油具有足够低的结晶点(-60℃以下)和较高的发热量、良好的蒸发性和足够的抗爆性,在这个特殊阶段,航空汽油逐渐取代柴油,成为了主要的航空燃料。

在发动机性能改进的过程中,航空汽油种类也逐渐细化。因为航空汽油是由催化裂化或催化重整生产的高辛烷值汽油馏分加高辛烷值组分和少量抗爆剂及抗氧化剂调合而成,序列号越高,抗爆性能越高,

爆发力越强，飞机的飞行速度越快、航程越长，所以序列号也从 75 号发展到 95 号再发展到 100 号（例如 95 号航空汽油，即汽油—空气贫混合物在巡航条件下的马达法辛烷值为 95）。

突破阶段（1946 年至 1957 年） ——喷气发动机时期的喷气燃料

在第二次世界大战的推动下，燃气轮机技术开始走向实用化，人类开始制造大批涡轮喷气发动机。由于喷气式飞机需要在 1 万米之上的高空飞行，发动机必须适应高空缺氧，气温、气压较低的恶劣环境，所以要求喷气燃料清澈透明、不含悬浮和沉降的机械杂质和水分，还要有较好的低温性、安定性、蒸发性、润滑性以及无腐蚀性，不易起静电和着火危险性小等特点。

在喷气燃料使用的初期，军用喷气燃料的标准是由航空标准化协调委员会（ASCC）实施的：喷气燃料的演变过程如下：1944 年首次公布的 JP-1，1950 年改为军用规格，为煤油型燃料，冰点为 -60°C，高闪点，但原油的平均出油率只有 3%；1947 年公布的 JP-3 属于宽馏分，其蒸汽压高，类似航空汽油。1951 年公布的 JP-4 也属于宽馏分，目的是保持高收率和良好的低温起动机性以及高空重新点火能力，缓解高蒸汽压带来的问题。1952 年公布的 JP-5，闪点高，冰点不高于 -46°C。1956 年专门为 XB-70 轰炸机设计的煤油型燃料 JP-6，与 JP-5 相比，冰点更低，热安定性更好。但是由于 XB-70 轰炸机的研究计划被取消，JP-6 未得到使用和推广。航空热安定性涡轮燃料 JPTS 是 1956 年专门为高空飞行的 U-2 飞机设计的煤油型燃料，目前 U-2 以及较新型的 TR-1 高空侦察机仍使用这种燃料。1970 年首次公布的 JP-7，是在 20 世纪 60 年代末为空军

SR-71 高空侦察机专门研制的燃料。SR-71 飞机是迄今为止唯一能以 3 马赫巡航飞行的飞机，而且升限达 30000 米。由于飞机作超音速巡航飞行，空气动力热使整个机体产生巨大的热应力，使大部分燃料的温度超过 149°C。因此 JP-7 燃料是相当纯洁的烃混合物，其中硫、氮和氧等不纯物的含量都较低，有很高的热安定性和低蒸发度。

1976 年首次公布的 JP-8，1987 年修订到 B，为煤油型燃料，有适中的蒸发度和冰点（不高于 -47°C）。由于 JP-8 的高密度、高热值和安全性，经济效益显著，所以在 1992 年美军完成了由 JP-4 到 JP-8 的全面转向。当然，改用 JP-8 后也并非百利而无一害，由于蒸发度比较低，现有飞机的地面起动机和空中重新点火的能力均受影响，需要对现有的发动机进行一些改进和调整。

民用喷气燃料中较常见的为 3 号喷气燃料和 JETB。3 号喷气燃料是由直馏馏分、加氢裂化和加氢精制等组分及必要的添加剂调和而成的一种透明液体。3 号喷气燃料密度适宜，热值高，燃烧性能好，能迅速、稳定、连续、完全燃烧，且燃烧区域小，积碳量少，不易结焦；低温流动性好，能满足寒冷低温地区和高空飞行对油品流

——
超音速飞机的发展使燃料的质量又发生了一个极大的跳跃。高温、高负荷和高空飞行向燃料的质量提出了新的要求，要求燃料热安定性高、密度高、饱和蒸汽压低、污染物含量低、燃烧完全性高。
——

动性的要求；热安定性和抗氧化安定性好，可以满足超音速高空飞行的需要；洁净度高，无机械杂质及水分等有害物质；硫含量尤其是硫醇性硫含量低，对机件腐蚀小。JETB 是以石脑油与煤油混合配方制成的航空煤油，主要是为改善寒冷天气下的性能而制的。但是它的重量较低，处理时的危险性较大，因此只在寒冷天气且有绝对需要时才会使用。

高超音速阶段（1958 至今） ——超音速发动机时期的高密度碳氢燃料

1958 年，随着使用碳氢燃料或液氢燃料的超音速发动机的出现，人类开始进入航空超音速时代，航空高新技术不断出现并综合应用。超音速飞机的发展使燃料的质量又发生了一个极大的跳跃。高温、高负荷和高空飞行向燃料的质量提出了新的要求，要求燃料热安定性高、密度高、饱和蒸汽压低、污染物含量低、燃烧完全性高。

高密度碳氢燃料具有突出的参数优势——更大的质量密度和体积热值。在发动机燃料箱容积有限的情况下，能有效增加所携带的能量，降低发动机油耗比，满足高航速、大载荷和远航程的要求；或在保持性能不变的情况下，减小燃料箱容积，实现飞行器小型化，提高机动性和突防能力。

从 20 世纪 50 年代起，高密度碳氢燃料的发展经历了从宽泛的石油蒸馏筛选品到特定的高密度化合物，从单纯烃类到混合了金属的凝胶燃料，从天然物质到人工合成物的复杂过程。而高密度燃料的合成策略基本相同：选择或制备结构致密的分子作为基本材料，然后重排获得密度更高、粘度更好的结构。合成方法大体可分为两种，一种是热聚合—异构化的方法，如

RJ-5 用降冰片二烯和双环戊二烯的热聚合产物作基础，加氢饱和双键，然后异构化得到液态产物，总产率一般小于 30%；另一种是沸石催化方法，沸石兼有对聚合和重排的催化作用，可以得到多种共溶物的液体混合物，产率可达 20%～90%，热值和低温性也更佳。

可持续航空燃料（SAF） ——航空燃油革命的到来

由于气候变化、燃油紧缺、价格上涨，替代性航空燃料的研究成为当务之急。发展可持续航空燃料已成为业界解决传统燃料危机的首选方案之一。2021 年 11 月 12 日，为激发业界降碳动力，促进行业绿色转型，国际民航组织理事会批准了国际航空碳抵消和减排计划（CORSIA）之下 SAF 的可持续性标准，同时还批准了符合性评价指导材料。欧美各相关机构与企业在 2022 年加大了在 SAF 领域的投入力度，并给出了相应的研究计划。空客、罗罗等公司已宣布其 SAF 的测试及推广计划。空客计划在 2030 年之前实现 100%SAF 的认证。罗罗的“超扇”（UltraFan）验证机将使用 100%SAF 进行首次测试，并且承诺在 2023 年年底之前对其全部现有的发动机进行 100%SAF 运行验证，所有遄达发动机（占全球远程机队的 40%）将与 100%SAF 兼容。壳牌公司承诺 SAF 的年产量到 2025 年达 200 万吨，这是当今全球 SAF 总产量的 10 倍以上。到 2030 年，壳牌全球航空燃料销售额中，至少 10% 将是 SAF。壳牌在荷兰建造的大型生物燃料工厂将于 2024 年开始生产。

生物柴油是清洁的可再生能源，它以大豆和油菜籽等油料作物、油棕和黄连木等油料林木果实、工程微藻等油料水生植物以及动物油脂、废餐饮油等为原料制成

液体燃料，是优质的柴油代用品。生物柴油具有以下优点：

原料易得且价廉。用油菜籽和甲醇为生产原料，可以从根本上摆脱对石油制取燃油的依赖。

有利于土壤优化。种植油菜可与其他作物轮种，改善土壤状况，调整平衡土壤养分，挖掘土壤增产潜力。

副产品具有经济价值。生产过程中产生的甘油、油酸卵磷脂等一些副产品市场前景较好。

环保效益显著。生物渣燃烧时不排放二氧化硫，排出的有害气体比柴油减少

70%左右，且可获得充分降解，有利于生态环境保护。

利用可再生资源来合成航空煤油也是一种应急办法。目前再生合成的方式很多，有灯烟提纯和煤制油等。灯烟提纯就是利用回收的旧轮胎燃烧后所产生的灯烟（几乎 100% 是碳）来作提纯的材料，对成千上万的旧轮胎进行循环利用。煤制油就是把相对不便于运输、贮存、使用的固态燃料转变为液态燃料，把相对污染程度较严重的“煤”转化为更洁净的“油”的技术。简单地讲就是将煤炭进行液化。目前再生资源合成航煤尚处在工业化试验和示范阶段，还存在技术和工程放大风险，需进一步进行大量的实验和摸索。

在国际航空 2050 碳中和目标分析中，燃料技术改进的贡献将占到 55%，远高于航空器技术和运行手段的 21% 和 11%。若以碳中和为目标，低碳方案的核心需从航空器的燃料入手，大力发展低碳 / 负碳燃料以替代传统航空煤油。

以生物质燃料为代表的 SAF 具有能量密度高、制备方式灵活、与现有航空动力装置兼容度高等优势，已成为绿色航空的首选方案。SAF 是由可再生原料制成的航空替代燃料。其中，能源植物基 SAF 以植物为原料，在种植阶段通过光合作用大量吸收二氧化碳，实现“碳捕获”；通过粉碎、热解等技术制备生成航空燃料以及氢、氨等，实现“碳利用”；而其余以碳为主要构成的残渣则被制成生物炭，用于肥料、建材等，实现“碳封存”；虽然在运输与制备过程中可能会带来一定的过程碳排放，但在规模化量产后，其碳捕获量可能超越总排放量，通过碳封存实现全生命周期负碳排放（如表 1 所示）。能源植物基可持续航空燃料为“负碳航空”提供了可能性。

因此，以能源植物基 SAF 为代表的负碳航空能源新路径可以有序有力有效保障

航空深度脱碳，是提升民航脱碳能力、维护行业发展权益、拓展行业发展空间的重要手段。

航空氢燃料 ——未来实现双碳目标的主要途径

氢燃料是一种清洁的二次能源，一种以氢气作为能源的燃料。用氢燃料为航空提供动力是实现航空业脱碳的重要发展方向。相关研究显示，氢燃料的能量密度约为 120MJ/kg，是标准航空燃料的 3 倍。航空业使用氢燃料不但可以实现二氧化碳零排放，同时还能有效减少其他污染物的排放量，具有非常明显的优势。因此，发展航空氢能动力是航空运输业实现碳中和的主要途径，这也将成为航空技术的重要发展趋势。

氢燃料可以用于驱动燃料电池以产生电力，或者用于直接燃烧以产生热能。氢燃料具有以下特点和优势：

清洁能源：氢燃料在使用过程中不产生有害的尾气排放物，只产生水和热能。这使得氢燃料成为一种非常清洁的能源选择，可以减少空气污染和温室气体排放，有助于应对气候变化和改善空气质量。

高能源密度：相比于传统的化石燃料，氢燃料具有很高的能量密度。这意味着在同等质量的情况下，氢燃料可以提供更多的能量，使其在应用中具有更长的续航里程和更高的效能。

快速加注和可充电性：与电动车辆相比，使用氢燃料的车辆加注时间更短，可以在几分钟内完成。此外，氢燃料电池也可以通过再生能源或电力网重新充电，提供更高的灵活性和可再生能源利用。

多领域应用：氢燃料在许多领域具有广泛的应用潜力，包括交通运输（如汽车、公共交通和飞机）、工业用途（如氢气燃

烧锅炉和工业加热）以及能源储存等。它可以作为替代传统石油和天然气的清洁能源解决方案。

由于生产的工艺方法不同，氢有许多类型，如绿色、蓝色、灰色、黑色或棕色氢等。它可用于燃料电池或内燃机。氢气已经开始用于乘用车等商用燃料电池汽车，并且已经在燃料电池公交车上使用了很多年。它也被用作航天器推进的燃料，并被提议用于氢动力飞机。氢燃料技术已经引起了汽车制造商的兴趣，他们声称，将氢燃料技术纳入现代车辆架构，相对便宜且更安全。

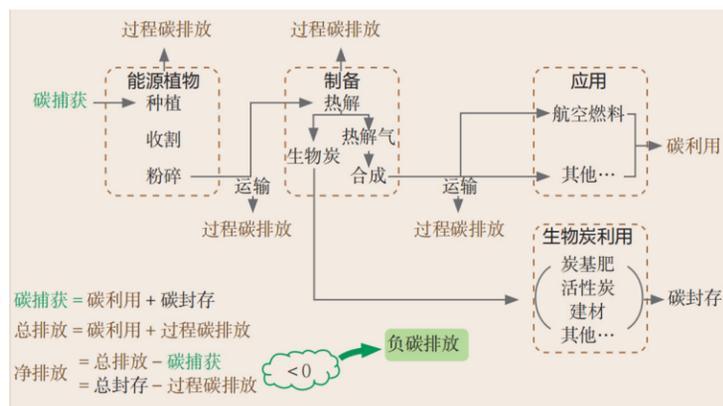
氢气是无色并且密度比空气小的气体（在各种气体中，氢气的密度最小。标准状况下，1 升氢气的质量是 0.089 克，相同体积比空气轻得多）。因为氢气难溶于水，所以可以用排水集气法收集氢气。另外，在一个标准大气压下，温度 -252.87°C 时，氢气可转变成无色的液体；-259.1°C 时，变成雪状固体。

航空氢能动力主要包括氢燃料电池和氢涡轮发动机。氢燃料电池具有能量转换效率高、能量密度大、零排放、低温运行及低噪音等优势，但受制于燃料电池功重比低等设计水平，难以应用于中大型飞机；要实现大型飞机在空中无需加油又能长时间飞行，主要的思路是在高性能的涡轮发动机上利用氢燃料替代传统的航空煤油，即氢涡轮发动机。

氢能将在双碳目标下引领能源转型，发展氢能动力成为交通运输业实现双碳目标的主要途径。航空氢能动力是氢能动力技术和产业链的高端，是交通运输领域氢能动力技术的战略高地，发展航空氢能动力技术，不仅将促进航空双碳目标的实现，且将增强汽车、船舶等交通运输领域氢能动力的自主创新能力和产业创新发展。■

表 1 | 能源植物基 SAF 全生命周期碳排放链

表 2 | 氢气的物理性质



氢气的物理性质			
沸点	-252.8 °C (101 kPa)	熔点	-259.2 °C (101 kPa)
密度	0.089 g/L (101.325 kPa, 0° C)	气液容积比	974 L/L (15°C, 101 kPa)
相对分子质量	2.01588	临界密度	66.8 kg/m ³
三相点	-254.4 °C	临界压力	1.313 MPa
熔化热	48.84 kJ/kg (-254.5°C, 平衡态)	表面张力	3.72 mN/m (平衡态, -252.8°C)
热值	1.4 × 10 ⁸ J/kg (2.82 × 10 ⁵ J/mol)	折射系数	1.0001265 (1 atm, 25°C)
比热比	C _p /C _v =1.40 (1 atm, 25°C, 气体)	易燃性级别	4
比热容 (c _p)	14.30 kJ/(kg·K), (1 atm, 25°C)	比热容 (c _v)	10.21 kJ/(kg·K), (1 atm, 25°C)
汽化热	305 kJ/kg (ΔH, -249.5°C)	临界温度	-239.97°C
比容	11.12 m ³ /kg (1 atm, 21.2°C)	蒸汽压力	53.33 kPa (正常态, 21.621 K) 119.99 kPa (正常态, 24.249 K)
粘度	0.010 mPa·s (1 atm, 0 °C)	导热系数	0.1289 W/(m·K) (1 atm, 0 °C)

SAF——中短期民航减排的最佳手段

文 | 原赛男 朱晓峰

在全球“能源转型”以及我国提出“碳达峰”“碳中和”的大背景下，航空新能源发展进入了快车道，电能、氢能和可持续航空燃料(SAF)成为航空减碳的能源密钥。相比于电能和氢能，可持续航空燃料因其能量密度高、减碳效果好、可实现低碳零碳甚至“负碳”、技术成熟度高、与现有航空器和基础设施兼容、短期可商业运行等优点，成为中短期内航空碳减排的最佳手段之一。根据国际航空运输协会(IATA)预计，到2050年，65%的航空碳减排将通过可持续航空燃料来实现。

图 | news.goodyear.eu

可持续航空燃料是指符合航空适航标准和可持续性评价标准的航空燃料，其原料来自生物质(餐厨废油、动植物油脂、植物纤维素等)或废弃物(城市固废、农林废弃物等)。可持续航空燃料具有适航性(安全性)和可持续性两个重要特性。为保证在飞机上使用的安全性，可持续航

空燃料须经适航审定批准才能获得推广应用的“入场券”，同时还需通过生命周期评价(LCA)实现可持续性认证，获得碳减排市场“价格”。

政策多维度牵引

当前针对SAF的研究、生产和应用，发展路径呈现显著的“政策驱动”特点。全球各国主要采用减免税政策、制定减排目标和时间表、提供研发补贴和经济激励措施等方式，鼓励企业投入到SAF的研究和生产中，SAF未来有望形成百亿级别的大市场。

为促进SAF的使用，欧洲推出减税、强制使用和津贴等组合拳，推动航空企业加速进行低碳转型。通过减税，降低SAF生产成本，缩小传统航空燃料与可持续替代品之间的成本差异，激励航空公司采用SAF。制定ReFuelEU航空提案(ReFuelEU Aviation Initiative)，强制将SAF纳入欧盟机场供应链中，要求燃料供应商在欧盟

为促进SAF的使用，欧洲推出减税、强制使用和津贴等组合拳，推动航空企业加速进行低碳转型。



机场机载航空燃料中不断提高 SAF 使用比例，力争在 2025 年将其占航空燃料比重提升至 2% 以上，到 2050 年提升至 63% 以上。与此同时，欧洲议会 ETS 投票通过了“SAF 津贴 (SAF allowances)”决议，津贴主要用于资助低碳、零碳燃料技术研发以及 SAF 推广应用等。制定 SAF 津贴被业内认为是欧洲为推动 SAF 实现大规模生产和使用的重要举措。

2022 年，美国能源部通过《通胀削减法案》要求，SAF 生产商生产燃料时将

《2022 中国民航绿色发展政策与行动》提出可持续航空燃料 5 年累计消费达到 5 万吨目标，首次对可持续航空燃料的用量提出量化指标。

整个生命周期内的温室气体排放量相对传统燃料至少降低 50%。税收抵免的起始额度为 1.25 美元/加仑；实现 100% 减排的燃料，抵免额度涨至 1.75 美元/加仑。同年，美国能源部发布了报告“可持续航空燃料大挑战”，旨在降低成本，增强可持续性，并扩大生产，使国内可持续航空燃料产量达到每年 30 亿加仑。到 2030 年温室气体排放量比使用传统燃料至少减少 50%；到 2050 年，预计航空喷气燃料使用量减少 100%，即年减少 350 亿加仑。

我国也相继发布多项政策鼓励 SAF 发展。2021 年，国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》中明确指出要开展低碳、零碳和负碳技术攻关；大力推进可持续航空燃料替代传统航油。同年，中国民航局《“十四五”民航绿色发展专项规划》提出了推动可持续航空燃料商业应用取得突破，力争 2025 年当年可持续航空燃料消费量达到 2 万吨以上。2022 年发布的《2022 中国民航绿色发展政策与行动》提出可持续航空燃料 5 年累

计消费达到 5 万吨目标，首次对可持续航空燃料的用量提出了量化指标。

市场需求刺激

国际民航组织 (ICAO) 提出国际航空替代燃料愿景 (ICAO Version 2050)，全球可持续航空燃料使用目标为 500 万吨/年 (2025 年)、1.28 亿吨/年 (2040 年) 和 2.85 亿吨/年 (2050 年)。截至 2022 年底，中国有民航运输飞机约 4000 架，航煤需求为 4000 万吨；至 2035 年，民航机队将增加飞机 4000 余架，航煤需求将达到约 9000 万吨。按照 50% 航煤替代目标，中国国内至 2035 年将有 4500 万吨可持续航空燃料的增量需求、接近万亿的市场需求。

据国际航空运输协会 (IATA) 统计，可持续航空燃料在 2022 年产量飙升至 3 亿升 (约 24 万吨)，比上一年增长高达 200%，但与 2050 年的 SAF 总需求相比仍有较大差距。

作为 SAF 主要的消费市场，欧美也是生产商集中的地区。在欧洲，生产商主要以 HEFA 工艺路线为主。到 2025 年，HEFA 路线产能可达 720 万吨。

随着民航业使用可持续航空燃料的共识不断加深，可持续航空燃料的市场竞争也开始变得愈发激烈。全球已有近百个机场可连续或批量提供可持续航空燃料，主要分布在北欧、美国、澳大利亚等国际机场。作为 SAF 主要的消费市场，欧美也是生产商集中的地区。在欧洲，生产商主要以 HEFA 工艺路线为主。到 2025 年，HEFA 路线产能可达 720 万吨。

而美国市场的产能更多以 AtJ 路线为主。2019 年，SkyNRG 和荷兰皇家航空公



司承诺与可持续生物材料圆桌会议 (RSB) 合作建立新的荷兰生物飞机燃料工厂，荷兰承诺每年向 SkyNRG 购买 7.5 万吨可持续生物飞机燃料。2021 年，生物能源公司 Velocys Renewables LLC 与美国西南航空公司签订了为期 15 年的 2.19 亿加仑 SAF 承购协议。今年，Indian oil 公司与 Lanza Jet 公司通过签订谅解备忘录建立合作伙伴关系，利用 Lanza Jet 公司成熟的乙醇制喷气燃料技术在印度成立合资企业并大规模生产可持续航空燃料。

作为全球第二大航空市场，中国从 2010 年开始加大对 SAF 的研发和应用。国内除已建成的中石化镇海炼化 SAF 装置外，近年部分 SAF 项目先后宣布投建计划。霍尼韦尔公司和中国签下三个 SAF 项目合作，分别是嘉澳环保在灌云的 100 万吨/年 SAF 项目、东华能源在茂名的 100 万吨/年 SAF 项目，以及近期四川金尚在遂宁的 40 万吨/年 SAF 计划工厂。

SAF 商业化应用的拦路虎

尽管民航业界对可持续航空燃料的热情持续高涨，但成本问题始终制约着 SAF 的大规模推广与应用。根据国际能源署 (IEA) 的数据显示，以超过每桶 80 美元的石油价格为例，传统航空燃料的生产成

中国的 SAF 发展之路必须从单一原材料和单一工艺向多元原材料和多元工艺转变，针对 HEFA 和 FT 工艺，建立健全原材料供应链管理，规范收、储、运模式和供应稳定性。

本约为每升 50 美分，而通过脂肪和植物油提炼的 SAF 成本可能在每升 85 美分至 1.5 美元之间。为降低成本，打通 SAF 应用的全流程环节，需要我们着重关注原材料供应链和新技术研发、适航认证和可持续认证。

可持续航空燃料目前主要以玉米、大豆、废弃油脂、农林业废弃物、城市有机固体废弃物等作为原料。其中欧盟以菜籽油为主，美洲以大豆油为主，东南亚以棕榈油为主，中国由于“不与人争粮”政策，目前主要采用废弃油脂为原料生产 SAF。中国废油脂供应潜力超 1200 万吨/年，但目前实际规范化利用的不足 300 万吨/年，不足以满足我国 SAF 原材料需求。此外，原材料的收集、运输、加工等成本均高居不下，进而导致现阶段 SAF 生产供应能力不足，严重制约 SAF 商业化应用。

中国的 SAF 发展之路必须从单一原材料和单一工艺向多元原材料和多元工艺转变，建立适合中国国情的 SAF 工艺发展路线和原材料供应链。针对 HEFA 和 FT 工艺，建立健全原材料供应链管理，规范收、储、运模式和供应稳定性。

为保证可持续航空燃料使用安全性，必须通过适航审定批准才能获得推广应用的“入场券”。目前，国际公认按照 ASTM D4054 进行新型航空燃料和燃料添加剂的适航认证，包括全流程审批和快速认证。快速认证通道仅允许第一阶段的有限测试协议，这种简化的测试认证的 SAF 最大混合比例被限制在 10% 以下。ASTM D4054 评估航空燃料工艺主要分为燃料规格特性和适用用途、台架测试和飞机试飞及投票和批准三个审查阶段，是一个反复迭代和异常严格的评估过程。目前 SAF 的全流程认证需要 90 万升燃料、3~5 年的时间、500 万美元以上的成本，全流程费用支出则高达 1000 万~1500 万美元。

截至目前，经 ASTM D4054 认证列入 ASTM D7566 的合成烃组分包括费托合成石蜡煤油 (FT-SPK)、加氢酯和脂肪酸合成石蜡煤油 (HEFA-SPK)、加氢发酵糖合成异构烷烃 (SIP)、费托合成带芳香烃的石蜡煤油 (FT-SKA)、醇制喷气燃料合成石蜡煤油 (ATJ-SPK)、催化水热合成煤油 (CHJ)、加氢碳氢化合物酯和脂肪酸合成石蜡煤油 (HC-HEFA-SPK) 以及酒精制喷气合成带芳香烃的石蜡煤油 (ATJ-SKA) 8 种。

此外，经过 ASTM D1655 认证通过了在炼油厂中将可再生成分与原油衍生的中间馏分油共同加工工艺，分别为传统炼油厂中酯类和脂肪酸的共加氢处理工艺 (co-processed HEFA)、传统炼油厂中费托烃共加氢处理工艺 (co-processed FT) 及生物质的共加氢处理工艺 (co-processed biomass)。

而对于新型的 SAF 制备技术，例如电转液 (PtL) 等，如何简化认证流程，缩短认证周期，降低认证成本，是新技术实现商业化推广应用的必经之路，需要政府、民航管理单位、航空装备制造商和油品制造商多方参与，共同探索低成本和高

安全的简化认证流程，为 SAF 适航认证修路搭桥。

目前国际公认的可持续认证体系主要有可持续生物物质圆桌会议 (RSB) 和国际可持续发展和碳认证系统 (ISCC)。在遵循环境、社会、经济和可持续性管理四大标准的前提下，要求涉及到生物物质生产、转化和供应链的各个环节都须符合认证标准。2022 年 4 月，中国石化镇海炼化获得了亚洲可持续发展航空燃料第一张 RSB 认证证书，对助力我国 SAF 走出国门，推动可持续航空燃料产业化、链条化进程具有里程碑的意义。但国内缺少适合国情的 SAF 可持续性标准、精确的全生命周期排放评估模型及相应的审查机构等，未形成一套完整的体系对 SAF 进行可持续认证。

目前，国内政府和高校纷纷采取行动，开展全生命周期碳排放新模型研究、创新可持续燃料认证标准及方法研究。2023 年，民航局发布了行业标准《航空替代燃料可持续性要求 (征求意见稿)》，为 SAF 可持续认证体系建立迈出了重要一步。后续，还需要政府联合多部委单位、研究机构和供应链企业等，建立健全国内 SAF 可持续认证体系。



SAF 国产化与应用展望

截至 2021 年，全球超过 45 家航空公司 40 万架次的航班使用了 SAF，其中大部分采用传统 JETA-1 航空燃油和 SAF 混合加注的方式。早在 2011 年，荷兰航空公司便执行了由 SAF 提供部分动力的商业首飞，使荷兰航空公司成为全球首家在商业航班中使用 SAF 的航空公司。2021 年，罗罗成功以一架搭载其 Trent 1000 发动机的波音 747 进行了一次 100% 使用 SAF 的试飞，被视为实现真正意义上“绿色航空”的一次重大迈进。

2022 年 10 月，中国南方航空在空客天津交付中心接收 A350 飞机，这是南航首次在宽体机上使用“中国制造”的 SAF 执行交付飞行。同年 12 月，中国国际货运航空股份有限公司完成从中国大陆首次可持续航空燃料货机商业航班飞行任务，两次飞行航班使用均是经民航局认证的石化镇海炼化 SAF 产品。

目前，国内 SAF 商业化仍处于起步阶段，已投入产能的仅两家，分别为石化镇海炼化分公司和张家港易高环保投资有限公司，规划产能总计约 15 万吨/年，生产方式为以废油脂为原料的 HEFA 工艺。

为了实现国产 SAF 商业化产业可持续发展，政府机构、航空公司、油品制造商和航空 OEM 等应通力协作，共同推动

目前，国内 SAF 商业化仍处于起步阶段，已投入产能的仅两家，规划产能总计约 15 万吨/年，生产方式为以废油脂为原料的 HEFA 工艺。

SAF 的产业化发展之路。

首先，建议组建跨部委工作组，协调解决 SAF 发展重大问题，研究制定相关配套政策，加快制定完善航空涡轮生物燃料国家质量标准和航空燃料可持续性行业/国家标准，开发既满足国际社会共识又符合中国国情的可持续航空替代燃料适航审定技术，健全航空生物燃料相关行业的温室气体排放监测/报告/核查管理体系，建立相应的认证认可机制。

其次，应鼓励油品制造商、航空 OEM 和航空运输公司等全产业链联动，燃油需求侧与供给侧之间形成协同联动，强强联合形成合力，共同开展 SAF 项目，实现 SAF 应用的常态化和规模化。切实实现产业链上下游各方充分沟通与交流，广泛开展合作，形成真正建立完善“原料—炼制—运输—加注—使用”的完整产业链，为我国民航业和新能源产业的可持续发展提供有力支撑。

SAF 因其优良的燃料性能、全生命周期显著的温室气体减排能力、与传统航煤及现有飞机、发动机、燃油供给系统良好的兼容性而被业界公认为其应用是实现民航业减排的重要手段。各国生产商、航空公司以及飞机制造公司等纷纷加大相关生产研发投入，推动了 SAF 生产和应用的进展速度。我国应积极推进 SAF 研究与推广应用政策落实，积极参与 SAF 国际认证标准的制定，加快 SAF 生产新技术研发以及工业生产装置建设，解决原料、技术与产能难题，形成完备的 SAF 产业体系，为应对风险挑战、抢抓发展机遇做好充分准备，为全球民航低碳发展贡献更多中国智慧。■

下一代航空燃料——氢

文 | 宏翔

随着近年来各种极端天气出现，如何应对全球气候挑战已成为人类共识。在这个背景下，世界各国都在寻求可持续的能源解决方案。对于航空工业来说，这意味着需要寻找替代传统化石燃料的新能源。氢燃料，以其零排放和高能量密度的优势，已经成为备受关注的选择项。

氢燃料飞机的研发

空客正在为其零排放飞机项目探索氢燃料的应用潜力。目前，空客已经公布了全球首款零排放民用飞机的三种概念机型，并计划于 2035 年投入使用。这些概念机各自代表了实现零排放飞行的不同方法，并都以氢燃料作为主要的动力来源。这标志着氢燃料在航空工业的应用已经从理论阶段进入到了实践阶段。

空客被命名为“ZEROe”的首款气候中立零排放民用飞机包括三种概念机：

图 1 | 空中客车零排放概念飞机 ZEROe

Introducing Airbus ZEROe

Turboprop		<100 Passengers Hydrogen Hybrid Turboprop Engines (x 2)	1,000+nm Range Liquid Hydrogen Storage & Distribution System
Blended-Wing Body		<200 Passengers Hydrogen Hybrid Turbofan Engines (x 2)	2,000+nm Range Liquid Hydrogen Storage & Distribution System
Turbofan		<200 Passengers Hydrogen Hybrid Turbofan Engines (x 2)	2,000+nm Range Liquid Hydrogen Storage & Distribution System

AIRBUS

一种采用涡轮风扇发动机的设计方案。该机可以搭载 120 ~ 200 名乘客，航程超过 2000 海里，能够进行跨大陆运行。它由燃烧氢气而非传统航空燃料的改型燃气涡轮发动机提供动力。液态氢将通过位于后耐压舱壁后面的储罐进行存储和输送。

一种采用涡轮螺旋桨发动机的设计方案。这款设计最多可以搭载 100 名乘客，使用涡轮螺旋桨发动机代替涡轮风扇发动

机，并且还通过改进的燃气涡轮发动机中的氢燃烧来提供动力，航程超过 1000 海里，是短途旅行的理想选择。

一种采用“翼身融合” (Blended Wing Body) 设计的概念机。这款设计采用了革命性的机身和翼面融为一体的设计，可以实现更高的燃油效率和气动性能。它将通过改进的燃气涡轮发动机中的氢燃烧来提供动力，航程超过 1000 海里。这款机型可以容纳多达 200 名乘客。

氢燃料发动机

当世界上第一台内燃机投入使用时，它所采用的燃料并非汽油或柴油，而是氢气。

1804 年，瑞士发明家伊萨克·德·里瓦兹 (Isaac de Rivaz) 在成功地设计了几辆以蒸汽为动力的汽车后，他开始尝试使用具有爆燃特性的燃料来取代蒸汽。他的第一个试验就是研究发动机气缸内燃料爆燃膨胀后推动活塞运动的基本原理。当时，他使用氢气和氧气混合点火驱动内燃机运转，试验取得了初步成功。1807 年，他将试验原型发动机安装在一架四轮马车上，驱动马车行驶了一段距离，此举使这辆马车获得了“世界第一台由内燃机驱动的汽车”的殊荣。

在过去的整个 20 世纪，无论是车企、院校，还是发明家甚至业余爱好者，都对氢燃料内燃机的可行性进行了各种各样的研究测试。1970 年，发明家保罗·迪格斯 (Paul Dieges) 甚至率先申请了一项以氢燃料为动力的内燃机设计专利。

如今，氢燃料发动机已经被证明具有向从小轿车到公共汽车等各种车辆提供动力的能力。未来，氢燃料也可能为民用飞机提供动力。

燃烧是一个从燃料和空气混合物中释放能量的化学过程。在氢的燃烧过程中，液态或气态的氢在改进的燃气涡轮发动机中燃烧

来制造动力。这个过程与传统的内燃机相同，只是用氢取代了其对应的化石燃料。

点燃式发动机由一个固定的气缸和一个或数个移动的活塞组成，其工作原理如下：进气过程中，燃料与空气混合通过进气门被吸入气缸；活塞压缩燃料和空气的混合物，并由火花塞点燃可燃气体；高温高压的燃气推动活塞运动，从而转动曲轴；就汽车而言，这种旋转运动可以驱使车轮转动。

相比传统化石燃料，氢燃料具有以下显著优势，包括：

高热值：氢的热值是目前已知的燃料中最高的，其燃烧产生的能量是传统航空燃料的 3 倍。这意味着氢在单位质量上可以提供更多的能量，为航空旅行带来更长的飞行距离和更大的载货量。

零排放：氢燃料的燃烧产物只有水蒸气，不会产生任何有害的气体或颗粒物排放。使用氢燃料的飞机可以实现真正的零排放飞行，大大降低了航空工业对全球气候变化的影响。

可再生：氢可以通过电解水得到，而电力可以由可再生能源（如太阳能、风能）提供，使得氢燃料成为一种可再生能源，有助于航空工业的可持续发展。

宽适燃范围：氢可以在与空气混合不充分的条件下燃烧。这意味着在消耗同等空气量时，所需要的氢燃料少于其他燃料，提高了燃料的经济性，同时降低了燃烧温度。

高自燃温度：与碳氢发动机相比，氢发动机的高自燃温度使其具有更高的压缩比。压缩比越高，热效率越高，燃烧过程中损失的能量越小。

应用氢燃料的挑战

当下，氢燃料已经成为飞机的动力来源之一。1988 年，世界上第一架使用液化氢气（后来还曾使用液化天然气）运行的

试验性民用飞机——图 -155 试飞成功。这款飞机共进行了约 100 次试飞。30 多年后的今天，航空业再次将注意力转向使用氢燃料来为民用飞机提供动力。上文提到的空客 ZEROe 零排放概念飞机便是其中之一。这些进步令人振奋，但我们必须承认，氢燃料在航空工业的应用面临着许多挑战，包括存储、输送和分配问题，以及现有基础设施的改造和升级问题。

首先，氢气体的存储和运输是目前应用氢燃料的主要挑战之一。氢气体具有很高的活性，容易与氧气结合产生水，因此需要在低温、高压的环境下进行储存和运输，这对于航空工业来说是一项技术挑战。例如，存储液态氢需要在极低的温度下（约 -253°C ）进行，而这在飞机上是很难实现的。此外，氢气的体积非常大，对

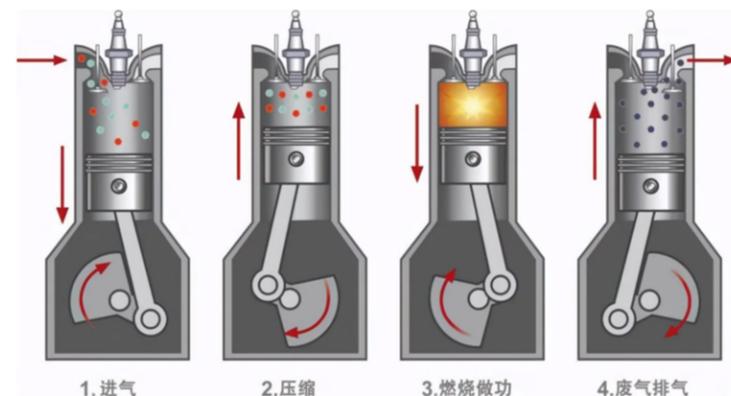
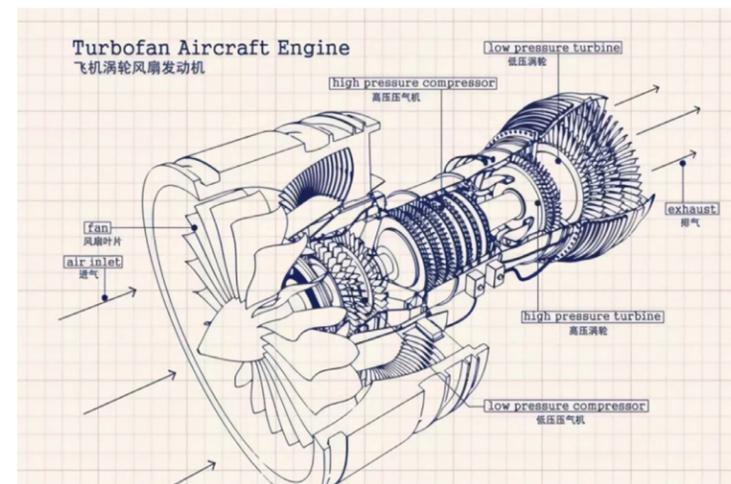


图5 氢燃烧的工作原理
图6 点燃式发动机的工作过程

图2| 涡轮风扇发动机设计方案
图3| 涡轮螺旋桨发动机设计方案
图4| 翼身融合设计方案



于飞机的设计和结构也提出了新的挑战。目前，科研人员正在研发更有效、更安全的氢储存和运输技术。

其次，要大规模使用氢燃料，必须对现有的航空基础设施进行升级和改造，包括飞机设计、发动机技术、机场设施、燃料供应链等。这一过程需要航空公司、机场运营商、燃料供应商和政府部门等多方共同配合，投入巨大的资金和人力资源。例如，机场需要建设新的燃料储存和分配设施，航空公司需要研发和采购适合氢燃料的新型飞机，燃料供应商需要建立新的供应链，政府需要出台相关的政策和法规。

最后，公众对于氢燃料飞机的接受度也是一个重要的考虑因素。虽然氢燃料飞机具有环保和高效的优点，但是如果公众对其安全性有所担忧，或者对新技术的接受度不高，那么氢燃料飞机的推广就会变得困难。因此，航空公司需要对公众进行教育，提高公众对于氢燃料飞机优点的认识，消除他们的疑虑。

飞机的氢燃料系统

尽管目前世界各国一直在着力研发飞机用氢燃料系统，但不同机型对任务持续时间、系统寿命、运行周期、飞行安全等方面的要求各有不同，因此必须针对不同的设计要求提供不同的设计方案。如需以液氢作为航空发动机的燃料，则必须对动力装置及其系统进行技术调整。航空发动机的涡轮机构可以维持不变，但必须对燃烧室和燃油控制系统进行重新设计，并布设换热器，实现氢燃料的汽化。

同时，氢燃料必须以液体形态储存在 20.2 ~ 22.3K 及 0.12 ~ 0.2MPa 的压力条件下。换热器对发动机布局、重量和阻力几乎不会产生影响，因为换热器可以布置在核心机排气管附近，从而充分利用排气

废热，并以此提高循环效率。然而，燃油系统中的两相流会表现出明显的压缩性特点，内压会因油箱绝热特征和燃烧室进口条件之间的平衡情况而出现持续变化。因此，氢燃料系统可能表现出意想不到的动力学特征和其他故障模式。

氢燃料储存是亟需解决的关键技术之一。为使绝热层实现轻量化、更可靠且耐久性更好，燃料箱可采用泡沫或超级绝缘型多层材料进行制造。在储存条件下，氢燃料会面临着从液体到气体以及气体到液体的连续相变过程。在飞机停止飞行时，部分氢气难免会因蒸发而产生汽化损耗现象。将加压燃料箱集成到飞机上，是氢燃料应用面临的一项重要挑战。油箱的最佳布局取决于飞机类型和总体布局。但是在布置过程中，使乘客过于靠近氢燃料箱可能会引发公众的安全顾虑。

对于宽体飞机而言，燃油可以储存在客舱前部和后部，为最大限度减少氢燃料消耗引起的机体重心位置变化，可减小机身长度/直径比和油箱长度，并将发动机布置在机身后端。三翼面布局对此类飞机而言有着较好的应用效果。同时，也需要保持氢燃料箱的安全性，以避免出现爆炸等重要风险。

氢燃料作为一种新的航空燃料，具有巨大的潜力。它不仅能帮助航空工业实现零排放，还能提高航空运输的效率。但是，氢燃料在航空工业的应用也面临着许多挑战，包括存储输送技术、燃烧技术、基础设施和公众接受度等方面的问题。因此，我们需要在政策、技术和公众教育等方面进行全方位的努力，以推动氢燃料在航空工业的应用。

尽管面临挑战，但是我们相信，随着科技的进步和人类对环保的追求，氢燃料在航空工业的应用将成为现实。未来的天空，将会由零排放的氢燃料飞机主导。■

电动航空逐步走向商用飞机

文 | 李洪亮

随着航空运输规模的不断扩大，绿色节能、降噪环保以及安全高效越来越成为民用航空领域研究的热点。在此背景下，电动航空正在引发新一轮航空变革。目前电动航空领域有两大技术发展趋势，一是从 2022 年起逐步开展了兆瓦级电推进系统的试飞验证，验证机型从通航飞机逐步走向商用飞机。二是单台功率达到 500 千瓦~1 兆瓦的电机逐步成熟，大规模开展地面集成试验和试飞验证成为可能。航空业应以此为契机，加快关键核心技术攻关，打造未来航空发展新优势。

研发热潮涌动

与传统燃料动力飞机相比，电推进飞机紧凑性好、动力线性解耦、功率具有相对尺寸无关性，能耗损失小、噪声低。电动航空正开启航空领域新一轮创新与变革热潮，引领航空技术创新、推动绿色航空发展，将对世界航空业产生革命性的影响。从全球电动航空的发展趋势来看，各个企业和研究机构都在瞄准更大功率、更高座级飞机开展技术验证，并逐步开展



与传统燃料动力飞机相比，电推进飞机紧凑性好、动力线性解耦、功率具有相对尺寸无关性，能耗损失小、噪声低。

商用飞机的兆瓦级电推进技术验证。

2022年9月27日，全球第一架兆瓦级纯电动客机“爱丽丝”（Alice）在美国格兰特国际机场完成首飞。首飞持续约9分3秒，最高飞行高度为3500英尺（约1066米）。“爱丽丝”由两台后置MagniX 650电动机提供动力，单台功率850马力（634千瓦），总功率突破了1兆瓦。作为纯电动客机，“爱丽丝”只需要充电30分钟就可以搭载9名乘客飞行1小时，完成约800公里的行程。

2023年3月3日，美国氢能航空初创企业“环球氢能”公司（Universal Hydrogen）研制的基于冲-8-300型支线客机改装的氢燃料电池电推验证机成功首飞。这是今年1月美国Zeroavia公司的道尼尔228氢燃料电池电推验证机成功首飞后全球第二架氢燃料电池支线飞机验证机。该飞机是50座双发涡桨式支线运输

机，首飞持续了15分钟，到达3500英尺的高度。

2022年12月20日普惠公司实现了其混合动力电动演示机的首次运行，整个混动推进系统的总功率输出为2兆瓦，与涡桨发动机PW121功率相当。普惠公司准备在2024年将其装备到一架冲-8支线客机（39座级）上进行飞行测试，也是目前全球最大功率的混合电推进地面集成验证，柯林斯航空航天公司为该飞机制造了单台功率达1兆瓦的电动机。

此外，GE航空与波音公司将合作改装一架萨博340B支线飞机，使用混动电推进系统进行飞行测试。双方计划采用并联混动方式，在CT7-9B涡桨发动机上加一个发电机组，并搭配储能的电池组。

单机功率有望突破兆瓦级

航空电机要求重量轻、体积小、可靠性高、效率高。当前飞机上使用的电机功率最大只有250kVA。航空电机作为新能源航空器的核心关键设备，需要满足高可靠、高功率密度、高环境适应性、低噪音等要求。航空混合动力推进领域研究较多的是永磁电机，目前永磁电机的技术成熟度较高，功率等级和功率密度已经可以满足小型电动飞机的需求，但用于兆瓦级电推进系统仍需解决大量技术难题。一是需要单台电机的持续输出功率达到兆瓦级，NASA、GE、霍尼韦尔、赛峰和相关企业及研究机构正在积极推进1兆瓦电机的研究工作；二是需要进一步提高电机的效率并设计高效冷却方式，大容量电机需要更高的效率以将发热功率控制在冷却系统的承受范围内。

目前，国际先进水平百千瓦功率等级航空电机相对比较成熟，额定功率密度2.5~5kW/kg，效率93%~96%，变换

器效率在98%左右。500kW~1000kW电机产品额定功率密度一般大于4kW/kg，在该功率密度下，可以等效替代普惠公司生产的PT6发动机，目前该型发动机在全球涡桨发动机占比超过97%。

500kW~1000kW航空电机产品也是进入商用飞机的应用门槛，目前国际上应用最成功的是MagniX 650电机，已经在多款电动飞机上应用。

电动航空电机的研发应当聚焦在500kW~1000kW航空电机产品，并瞄准适航目标，牵引供应商开展航空电机研发，实现集成和试飞验证，推动商用飞机电动化进程。

电池技术的提升

《中国制造2025年》提出的电池技术目标是2020年达到300Wh/kg、2025年达到400Wh/kg。中科院统计表明1991年~2015年能量密度提升了3倍。液态锂电池理论能量密度极限350Wh/kg。固态电池具有高能量密度和高安全性优势，其能量密度有望突破500Wh/kg，中科院物理所预测半固态电池在2024年规模应用。中科院院士欧阳明高曾表示，固态电池真正投入大规模商业应用的时间在2025年~2030年。宁德时代预测全固态

电池的商业化量产要到2030年。

NASA研究表明，400Wh/kg的电池能量密度足以支持有意义的电动和混合动力飞机。在民航客机方面，美国NASA燃气-电混合推进项目的技术负责人谢丽尔·褒曼曾表示，驱动一架巡航状态的大型飞机至少需要1000Wh/kg的能量密度。

2023年4月，宁德时代发布了新一代电池—凝聚态电池，该电池单体能量密度最高可达500Wh/kg，实现高比能与高安全兼得，并可快速实现量产，执行航空级的标准与测试，满足航空级的安全与质量要求，打破了目前主流材料体系的天花板。其次在安全性等多个指标上也实现了突破，这意味着电池的高端化进入新局面。

高比能锂电池技术是电动航空器研发中的关键一环，其中锂电池热失控是较为严重的安全风险，必须标明满足适航标准的安全性要求，以保证航空器运行安全。我国需要尽快利用锂电池的产业优势和技术实力，自主完善航空锂电池相关规范，深入分析航空锂离子的安全性风险，从对现有规章条款和专用条件的解读出发，借鉴锂电池行业最新积累的验证和使用经验，针对航空锂电池的环境试验、电气安全性测试、热稳定性测试和功能性能测试等符合性验证试验方法提出完善和改进方案。



2023年3月，据《中国民航报》报道，国内首个航空动力锂电池热失控包容性符合性验证试验在重庆取得成功，标志着高比能锂电池在航空器上的应用取得重大突破。

燃料电池是一种将燃料的能量转化为电能的发电装置，目前应用于飞机的主要为氢燃料电池。氢燃料电池能量转换效率高，但功率密度低，涉及氢气存储和运输等问题，产品应用主要集中在100kW级，目前在航空领域已经开展更高功率等级、更高功率密度燃料电池技术研究和集成验证。

从2022年9月份开始，美国环球氢能公司在一架40座位的冲-8-300支线飞机上安装并测试两个1兆瓦氢燃料电池发动机系统（由Plug Power提供），配备Magnix电动机，以驱动冲-8的两台螺旋桨。2023年3月3日，该架飞机完成搭载试飞测试，完成了有史以来最大的航空氢燃料电池试飞验证。

2023年3月，ZeroAvia宣布其高温

—
氢燃料电池能量转换效率高，但功率密度低，涉及氢气存储和运输等问题，产品应用主要集中在100kW级，目前在航空领域已经开展更高功率等级、更高功率密度燃料电池技术研究和集成验证。
—

质子交换膜 (HTPEM) 系统在测试中取得了破纪录的表现。ZeroAvia 进行的 20kW 加压 HTPEM 堆叠电源模块的早期测试显示，电池级别的比功率达到创纪录的 2.5kW/kg，为未来 24 个月内实现 3kW/kg 的系统密度铺平了道路。这个性能相对于传统燃料电池技术有了巨大提升，使燃料电池推进在大型飞机上具有商业可行性。HTPEM 系统将支持 ZeroAvia 用于 40~80 座飞机的

ZA2000 动力系统，以及一系列旋翼飞机和 eVTOL 应用的主要候选设备。这种下一代燃料电池也足以作为波音 737 和空客 A320 等单通道涡扇飞机提供电力推进系统。

但氢燃料电池在航空领域的应用也存在一些问题，首先是散热问题，传统氢燃料电池能量转换效率为 40%~60%，其余都以热量耗散掉，不同于发动机的散热方式，燃料电池需要通过热交换器和通风系统处理废热。其次，氢燃料电池需要吸入氧气与氢气发生化学反应，在高空环境下需要对空气进行压缩，以保证达到氢燃料电池所需的进气压力。最后就是氢气的存储问题，当前氢气存储空间需求较大，可能会侵占飞机现有的商载空间，降低运营经济性。冲-8-300 支线飞机改装为氢燃料电池推进后，飞机的 56 个座位容量被减少到了 40 个。此外，可能发生的氢气泄露等风险也是在航空业的应用中必须考虑的问题。

大型商用飞机电动化

从当前航空技术发展来看，电动化是航空制造业的大趋势，是飞机能源装备领域面临的巨大变革。不管是波音、空客等主制造商，还是 GE、普惠、罗罗等传统航空动力企业都在积极开展电推进产品的开发和测试工作。一方面相继推出相关产品，配套相关机型设计改装，另一方面也在积极开展更大功率等级的构型地面测试与验证，解决电推进系统面临的技术难题，并促进与传统动力的深度融合。

当前阶段，电池能量密度、电机功率密度仍相对较低，不具备支持大型飞机的混合电推进，仅可支持 19 座级以下的通航/通勤飞机电推进应用。等电池、电机性能改善后，固态锂电池/燃料电池能量密度大于 500Wh/kg，具备支撑 1~2 兆

瓦等级电推进功率时，混合动力技术将用于 40~70 座级支线飞机。

混合动力综合了电推进效率高与燃油能量密度高的优点，将是大型商用飞机的较优选择。依靠绿色能源形式、新型动力形式以及先进气动布局，实现高效、节能、绿色、低噪的发展目标。NASA 预计 2035 年混合动力飞机将进入民用航空运输系统，IATA 提出 2045 年将实现 150 座级混合电推进飞机研制。NASA、赛峰都制定了大型混合动力飞机的发展路线，预计 2025 年初步实现 1~2MW 级的混合电推进系统，起飞、爬升和慢车推力的 10% 由电力提供。2035 年实现 2~5MW 级的混合电推进系统，采用边界层吸入，推力的 20%~30% 由电力提供。2050 年后逐步实现全电推进。

兆瓦级是电推进系统进入商用飞机领域重要的技术里程碑，当前阶段应重点开展兆瓦级电推进系统研发，瞄准适航、集成开展关键技术攻关。在关键系统及关键设备高可靠性、高安全性方面开展工作。通过地面试验、飞行环境条件下系统及设备适应性以及系统电磁兼容技术等方面提升技术成熟度。

绿色航空发展要服务于国家重大战略，以型号需求牵引、提升工程实现能力、商业应用和推广能力。以新能源航空器需求为牵引，通过行业协同创新，利用我国在新能源领域的产业优势，整合带动国内新能源产业资源，以满足航空可靠性、轻量化、高效率、环境适应性等为目标，推动国内航空电机、电力电子设备和储能系统及其配套产品领域的设计与制造能力，形成新能源航空器的产业体系，推动自主创新和产业优化升级。

我国电动航空器研发需要从航空业发展路径和飞机总体需求出发，以装机试飞验证和适航为目标，快速提高技术成熟度，牵引带动高质量产品研发和技术提升。■



尚待复苏的 全球支线飞机市场

文 | 李若男

由于新冠肺炎疫情的严重冲击，2022年全球支线飞机市场表现不太乐观，尽管机队规模和年交付量有所恢复，但新增订单和储备订单量继续下滑。

2022年，主要支线飞机项目的表现参差不齐。巴航工业宣布E系列飞机累计交付了1700架飞机，项目创造新的里程碑。中国商飞ARJ21正式交付首家海外客户，进军海外市场；ARJ21客改货设计更改项目正式获得中国民航局批准。SSJ-100飞机受俄乌冲突影响国产化替代研制仍在继续进行。日本三菱重工Spacejet项目于2023年初宣布停产。ATR致力于涡桨支线市场，并积极对现有机型进行升级。

图 | 徐炳南



全球市场年度表现

过去30年，全球支线飞机在役数量平均保持在6000架~7400架之间，整体较为平稳。2020年疫情爆发后，全球支线飞机数量下降到6000架以下，为近30年最低。截至2022年底，全球支线飞机机队规模恢复到近6000架，恢复速度较慢，并延续了过去的一些行业趋势。

喷气支线飞机继续挤压涡桨支线飞机市场。喷气支线飞机的市场份额从1992年的19%上升到2022年的50%，而涡桨支线飞机凭借可在较短跑道起降的特点，在较短航程支线航线受到欢迎。

50座~100座的中型喷气支线飞机占比上升。2022年中型喷气支线飞机（定义为61~100座级）保有量为1484架，在支线飞机机队中占比25%，较1992年增加20个百分点。100座以上的大型喷气支线飞机（定义为101以上座级）如E190

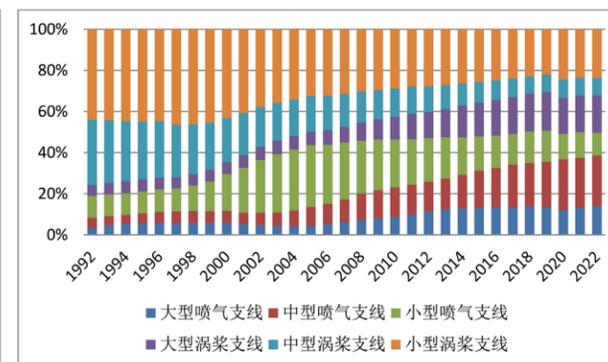
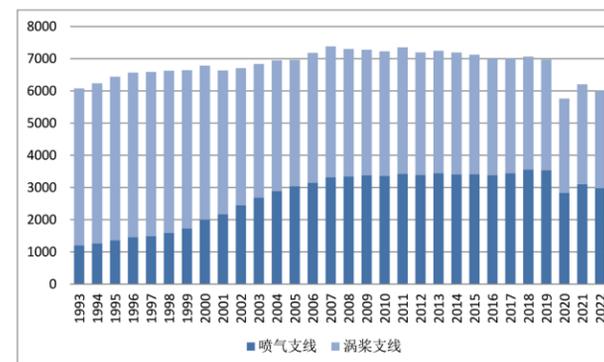
-E2、E195-E2等机型与干线小座级窄体机型接近，可用于运量较大的支线航线，也可替换客流量不足航线上的窄体干线飞机（部分国家不认可E190-E2、E195-E2等机型的支线飞机身份）。2022年大型喷气支线飞机保有量为837架，市场占比为14%。50座以下的小型喷气支线飞机（定义为60以下座级）市场受疫情的延续影响，2022年仅有658架。

50座以上的大型涡桨支线飞机受欢迎。2022年，全球大型涡桨支线飞机（定义为61以上座级）保有量共有1101架，在支线飞机机队中占比为18%，较1992年增加13个百分点；中型涡桨支线飞机（定义为31~60座级）的市场保有量从1992年的32%下降到2022年的8%；小型涡桨支线飞机（定义为30以下座级）的市场保有量从1992年的44%下降到2022年的24%。

不得不说的是，全球涡桨支线飞机存

图1（左）| 全球在役支线飞机规模（架）
数据来源：Cirium

图2（右）| 全球在役支线飞机结构
数据来源：Cirium



在严重的机龄老化问题。2022 年底，全球有 1027 架在役涡桨支线飞机的机龄超过 30 年，占整个涡桨支线飞机机队的 34%；其中有 242 架机龄超过 40 年，这部分飞机将因安全性与环保性问题而被替换。截至 2022 年底，全球喷气支线飞机的机龄分布较为合理，74% 飞机机龄在 20 年以下。

新冠肺炎疫情爆发前，全球支线飞机年交付量保持在 200 架~400 架之间。自 2016 年以来，全球支线飞机交付量连续 6 年下滑，且在 2020 年交付量跌破到 200 架以下，为近 30 年来的最低交付水平。2022 年，全球支线飞机共交付 122 架，较 2020 年有所恢复，但总体水平仍处于低位。

从喷气支线飞机来看，50 座~100 座的中型喷气支线飞机交付量最大，2022 年交付量占全球支线飞机交付份额的 52%，较 30 年前增加了 51 个百分点。

巴航工业和中国商飞成为 2022 年喷

气支线市场的主要制造商，各占 2022 年喷气支线飞机交付总量的 58% 和 35%。2022 年，巴航工业的 E 系列飞机共交付了 56 架，市场份额最高；其中 E175 向美国天西、共和等 4 家支线航空公司交付 35 架；E195、E190 向巴西、荷兰、加拿大等国客户共交付 21 架。中国商飞向国内 5 个航空公司共交付 34 架 ARJ21。俄罗斯联合飞机公司 (UAC) 受俄乌冲突的影响，仅向其国内 3 个客户交付 7 架 SSJ-100 飞机，较 2021 年的 26 架有所降低。从客户地域分布来看，巴航工业的客户主要集中在北美洲，UAC 和中国商飞的客户主要集中在各自国内，呈现各占一方的局势。

从涡桨飞机来看，涡桨飞机交付量占比明显下降，2022 年共交付 35 架，比 2010 年的高数值约少 88 架；大型涡桨支线飞机仅交付 24 架，占比为 18%，较 2012 年 40% 的占比低 22 个百分点。

涡桨支线飞机中，ATR 成为统治

者，占 2022 年涡桨支线飞机交付总量的 96%。2022 年，ATR 公司共交付了 20 架 ATR 72 飞机、4 架 ATR 42 飞机，维京航空 (Viking Air) 交付了 1 架 DHC-6。ATR 公司的客户主要分布在欧盟。

2022 年全球支线飞机市场仅获新增订单 73 架，为近 20 年最低。其中喷气支线飞机获新增订单 58 架，涡桨支线飞机获 18 架。喷气支线飞机新增订单下降主要是受俄乌冲突、新冠肺炎疫情延续以及认证等原因影响。

2022 年，喷气支线飞机中仅有 120 座的大型喷气支线飞机 E195-E2 和 100 座支线飞机 E175 分别获得 46 架和 12 架订单。其中，E195-E2 订单来自加拿大波特航空、阿曼德萨拉姆航空等客户，E175 飞机主要来自美国客户。俄罗斯 SSJ100 未获得新增订单。大型涡桨支线飞机 ATR42、ATR72 分别获得 7 架和 6 架订单，主要来自法属波利尼西亚、西班牙和马尔

代夫；20 座级小型涡桨支线飞机 DHC-6 获得来自菲律宾客户的 2 架订单。

储备确认订单数量继续下降。截至 2022 年底，全球支线飞机共有约 750 架确认的储备订单，其中喷气飞机 524 架，涡桨飞机 194 架，均低于前 3 年水平。根据目前的年交付量，预计当前储备订单未来将很快被消化，若各制造商增加产能，储备订单交付速度可能会更快。

其中，巴航工业的 E 系列飞机共储备 259 架确认订单，占支线飞机总储备订单的 50%。在涡桨支线领域，ATR 的储备订单最多，70 座大型涡桨支线飞机 ATR72 储备有 118 架确认订单，占全球涡桨支线飞机订单数的 60%。

值得一提的是，瑞典电动飞机制造商 Heart Aerospace 已获得葡萄牙 Sevenair 航空公司订单，将交付 30 架 ES-30 混合电动支线飞机。ES-30 最多可搭载 30 名乘客，由电池和涡轮发电机共同提供动力。

图 9 (上) | 全球支线飞机订单量变化 (架) (1992~2022 年)
图 10 (下) | 全球支线飞机订单量构成变化 (架) (1992~2022 年)
数据来源: Cirium

图 3 (左) | 全球在役喷气支线飞机机龄分布
图 4 (右) | 全球在役涡桨支线飞机机龄分布

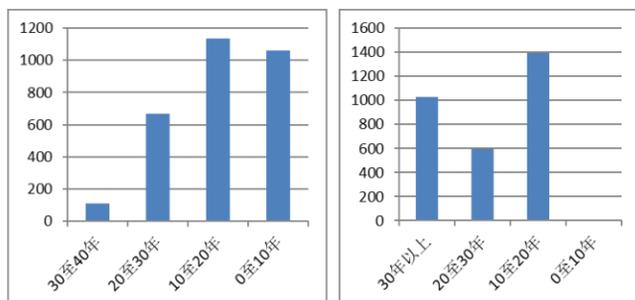
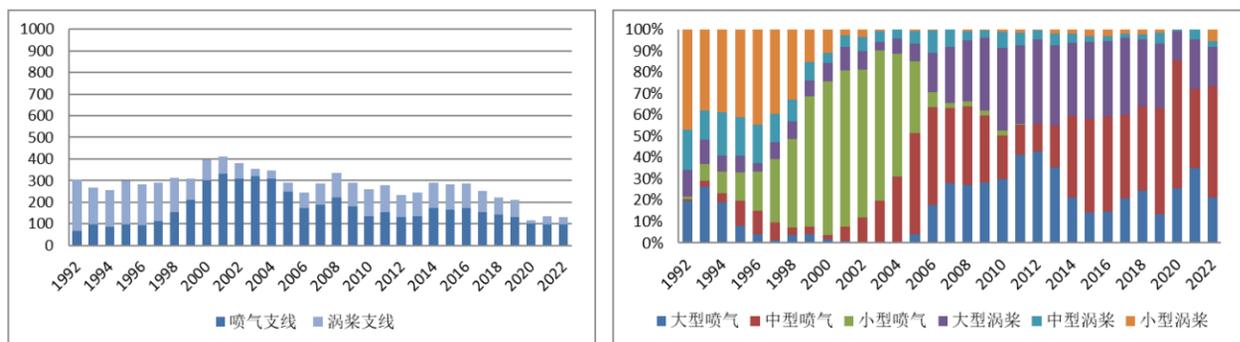


图 5 (左) | 全球支线飞机交付量变化 (架) (1992~2022 年)
数据来源: Cirium
图 6 (右) | 全球支线飞机交付量构成变化 (1992~2022 年)
数据来源: Cirium



分类	制造商	机型	交付数量 (架)
喷气支线飞机	巴航工业	E175	35
		E190	3
		E195	18
	UAC	SSJ100	7
涡桨支线飞机	中国商飞	ARJ21	34
		ATR	4
	ATR	ATR42	4
		ATR72	20
维京航空	DHC-6	1	
合计			122

表 1 | 2022 年各支线制造商飞机交付情况

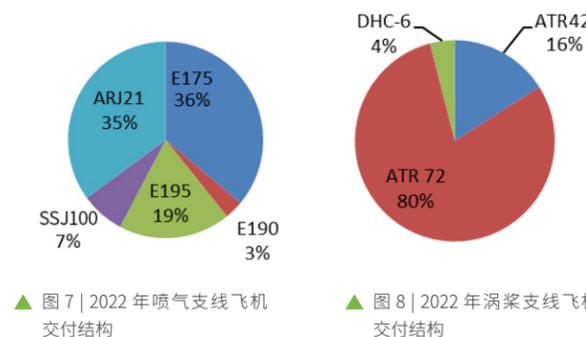


图 7 | 2022 年喷气支线飞机交付结构

图 8 | 2022 年涡桨支线飞机交付结构

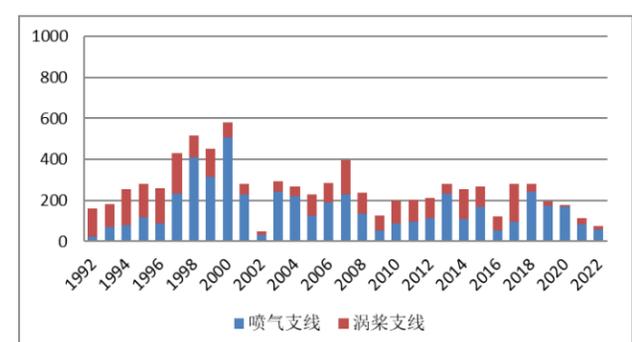
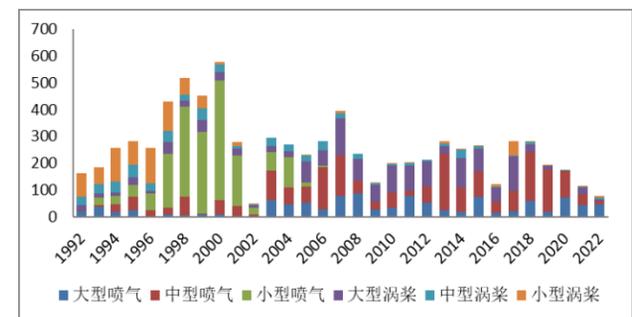


表 2 (上) | 2022 年各支线飞机新增订单情况

表 3 (下) | 2022 年底全球支线飞机储备订单情况
数据来源: Cirium

分类	制造商	机型	2022 年订单 (架)
喷气支线	巴航工业	E175	12
		E195	46
涡桨支线	ATR	ATR42	7
		ATR72	6
	维京航空	DHC-6	2
总计			73

分类	制造商	机型	储备订单 (架)
喷气支线飞机	巴航工业	E175	90
	巴航工业	E190	4
	巴航工业	E195	165
	中国商飞	ARJ21	198
	UAC	SSJ100	67
合计			524
涡桨支线飞机	ATR	ATR42	21
	ATR	ATR72	118
	航空工业西飞	MA60	30
	UAC	IL-114	19
	维京航空	DHC-6	5
	加拿大德·哈维兰	DHC-8	1
合计			194
电动支线飞机	Heart Aerospace	ES-30	30

以目前的电池技术，可以飞行 200 公里；如果使用混合动力，其航程将扩展到 400 公里。Sevenair 是一家支线航空公司，目前在葡萄牙运营 7 条航线，ES-30 混合动力支线飞机可以覆盖其所有航线。

随着 CRJ 系列飞机、ERJ 系列飞机的停产和 SpaceJet 项目的停止，喷气支线飞机只剩下巴航工业的 E 系列飞机、俄罗斯 UAC 的 SSJ100 及 SSJ100New 和中国商飞的 ARJ21 系列飞机；涡桨支线飞机主要是 ATR 公司的 ATR42 和 ATR72。

巴航工业 E 系列飞机共有 4 款型号，分别是 E170、E175、E190 和 E195，座位数覆盖 70 至 122 座。其中 E2 系列有 3 款机型，分别为 E175-E2、E190-E2、E195-E2。E175-E2 的载客量为 80 人~90 人，主要针对的还是传统支线市场。E190-E2 的单舱载客量已经达到 114 人，E195-E2 的单舱载客量已经达到 146 人，

且两者的最大航程分别为 5300 公里和 4800 公里。

2022 年 3 月，巴航工业宣布正式启动 E190 和 E195 客改货项目并在当年 6 月获得启动用户的确认订单；2022 年 9 月，巴航工业宣布 E 系列飞机累计交付了 1700 架飞机，项目创造了一个新的里程碑。2022 年 11 月，巴航工业 E190-E2 客机宣布获得中国民用航空局颁发的型号认可证。

2022 年俄乌冲突爆发后，美国对俄罗斯进行出口管制，SSJ00 项目因进口零部件断供影响生产。2018 年，伊尔库特公司开始实施 SSJ100 的进口替代项目——全国产型 SSJ100-New 项目，该项目最大程度使用国有产品替代原来国外配套的部件和系统，其中，使用国产的 PD-8 发动机替代当前的 SaM-146 发动机，计划 2023 年取证。同时，俄罗斯也在与阿联酋方面沟通，考虑出售 SSJ-100 项目，从而绕开美国制裁。

截至 2022 年底，ARJ21 已累计交付运营超百架，开通 300 多条航线，通航 100 多座城市，安全运送旅客超 560 万人次，飞机的安全性和可靠性得到了验证。2022 年 12 月，ARJ21 正式交付首家海外客户——印尼翎亚航空，这是该机型首次进入海外市场。2023 年 1 月，ARJ21 飞机客改货设计更改项目正式获得中国民航局批准。ARJ21 客改货是 ARJ21 项目继公务机后推出的又一个重要的衍生型号，项目于 2020 年 5 月立项，经过初步设计、详细设计、改装实施等一系列攻关过程，于 2022 年 12 月底完成全部符合性验证试验试飞以及适航符合性报告批准。

市场竞争格局

在喷气支线飞机领域，随着曾经的市场元老加拿大庞巴迪公司退出，以及日本

三菱公司宣布停止 SpaceJet 项目，全球喷气支线飞机市场发生巨大变革，该领域内竞争者的数量已经从原来的 5 个减少到 3 个：分别是久经沙场的巴航工业和正在接受市场考验的中国商飞和俄罗斯 UAC 公司，形成“一强+二新”的竞争新格局。

在涡桨支线飞机领域，随着冲-8 即将停产，ATR 将稳居统治地位。尽管巴航工业多次表示计划重返涡桨飞机市场，但尚未敲定最终决策。

不过，ATR 面临着到 2050 年实现碳中和的挑战。

对此，ATR 提出并正在落实两大举措。一是换发，ATR 将为其涡桨飞机换装更节油、成本更低的加普惠 PW127XT 发动机；二是积极为到 2025 年取得 100% 可持续航空燃料 (SAF) 使用认证而努力。

2022 年 5 月，ATR 宣布启动现有机型的下一代机型项目——ATR EVO，该机型将在现有平台的基础上进行改进升级，并换装具备先进设计功能和具备混合动力能力的全新发动机。项目计划 2023 年启动，2030 年前完成研制并投入运营。2022 年 6 月，ATR 公司与瑞典 Braathens 航空、可持续航空燃料供应商 Neste 合作，首次在 ATR72-600 涡桨飞机上完成了双发使用 100% 可持续航空燃料的飞行试验。在可预见的未来，ATR 将积极保持涡桨支线飞

2022 年 11 月，中国航空工业发展研究中心发布市场预测，认为未来 20 年全球将需要 3550 架喷气支线飞机、2350 架涡桨支线飞机。

机市场的统治地位。

目前，美欧都在积极探索研究用于支线航空领域的混合动力客机。其中，波音公司和 JetBlue 航空公司共同投资美国 Zunum 航空电动支线飞机公司，致力于发展 10 座~50 座、航程约为 1120km 的短程商务支线飞机，不过，目前项目进展不如预期。此外，2022 年 9 月，全球第一架全新开发的全电动支线飞机“Alice”成功首飞。

市场前景展望

全球支线航空业经历了 3 年新冠肺炎疫情的严重冲击，2022 年市场暂未表现出复苏信号，在此背景下，行业各界均发布最新支线飞机市场预测。

在 2022 年，ATR 预测未来 20 年全球将需要至少 2450 架涡桨飞机，巴航工业则预测未来 20 年需要 2280 架涡桨支线飞机，日本飞机协会预测未来 20 年需要 2327 架 61~100 座级喷气支线飞机。

2022 年 11 月，中国航空工业发展研究中心发布年度市场预测，认为未来 20 年全球将需要 3550 架喷气支线飞机、2350 架涡桨支线飞机。其中，30 座~60 座和 61 座~100 座喷气支线客机的需求量分别为 200 架和 3350 架；30 座~60 座和 61 座~100 座涡桨飞机的需求量分别为 500 架和 2150 架。

此外，全电、混电、氢燃料动力、氢/锂电池混合动力以及 100% 可持续替代燃料等新技术已经在支线飞机领域开始了应用研究，在绿色航空领域的率先发展或将刺激需求增长，推动支线飞机在 2030 年之后迎来新的快速发展阶段。■

创新， 航空业发展的不竭动力

文 | 曲小

一直将创新作为企业发展重要推动力的空客公司，近十年来不断推出令人眼前一亮的新技术和新产品。从无人机自动运输系统到网约飞行出租车服务，再到模块化客舱，无不令人惊喜。尤其是近几年，随着零排放时代日趋临近，各飞机主制造商更是加快了创新的步伐，一些现在看来有些“天马行空”的想法在不久的将来或将成为现实。

图 | 空客

客舱新愿景

在飞机对环境的影响中，客舱对环境的影响占比约为 10% ~ 20%（具体取决于单通道飞机还是双通道飞机），因此为

提升飞机可持续性，同时改善乘客的客舱体验，多年来空客围绕客舱创新做了大量的工作。

早在 2016 年，空客 A³ 硅谷技术与业务创新中心就推出了“模块化客舱”的全新理念。在这一理念下，航空公司可以通过按需定制的客舱模块，快速地将一架货机转换为客机，大大缩短调整客舱布局所需的时间。与此同时，这种方式还可以为乘客带来一种全新的乘机体验，激发乘客更多的机上消费，为航空公司创造更多的收入。

航空公司要对客舱布局进行改变是一件很繁琐的事情，会涉及到客舱与飞机系统的集成、重新布线等工作。即便只是将卫生间的位置移动几米，都要进行大量的结构改造方面的工作和一系列试验验证。

空客 A³ 团队所提出的模块化客舱是对现有飞机客舱布局的一次颠覆性挑战。模块化客舱最大的特点在于，它是以宽体货机为平台，提供的客舱模块和飞机系统的接口被大大简化，复杂的布线在模块中预先集成，并且各种模块都可以快捷地在飞机内进行拆装组合。A³ 团队设计的这些客舱模块通过货舱门进入飞机内，利用地板上的滑轨抵达安装位置。如此一来，内饰供应商就可以将更多精力放在设计工作上，而不是放在复杂系统的集成上。

目前航空公司在客舱布局方面，大多通过提高头等舱和商务舱乘客的乘机体验来吸引高端乘客，达到增加收入的目的。



但空客模块化客舱的理念则是将目光投向了整个飞机客舱的设计理念。航空公司只需要几个小时就能完成整架飞机的客舱布局，极大地提高了航空公司对市场需求的快速反应能力。

而且对航空公司来说，将一架货机变为一架客机，既可以采用纯模块化结构，也可以采用模块化结构+传统客舱内饰的方法。空客 A³ 团队认为，在飞机上除了盥洗室和服务区附近的一些特殊机身段，飞机上的其他区域都适于采用模块化客舱。当然，前提是所有的模块都必须满足适航当局对飞机在滑跑、起飞和降落过程中的要求，并采用通过适航审定的航空座椅。

十多年前空客在进行 A380 项目的时候，曾经向航空公司大力宣传，A380 飞机上可以设置赌场、健身房、美容院、浴室等各种设施，但事实上至今为止除了两家航空公司在订购的 A380 飞机上安装了沐浴设施之外，其他航空公司对这些并不感兴趣。因为对于航空公司来说，盈利才是最终的目标，与这些豪华的设施相比，他们更关心的是飞机能否安装更多的座椅，提高营业收入。

在吸取了 A380 项目的经验之后，空客 A³ 设计团队提出的模块化客舱并没有将重心放在令人眼花缭乱的内饰上，而是将重点放在了客舱布局的灵活转变方面。

例如，航空公司在运营时会发现，有些航线在某个时间段对公务舱和头等舱的需求比较大，在其他时间这类需求会比较小，相反经济舱的需求会较大。现在，航空公司普遍的做法是调配不同的飞机进行执飞，而不是对座位布局进行更改。但是如果引入模块化客舱的话，就会是另一番景象。航空公司可以根据售票情况，随时调整经济舱和公务舱、头等舱的座位比例。比如，在使用飞机执飞洛杉矶到慕尼黑航线时，就可以增加卧铺模块和咖啡吧模块，

而在后续执飞至孟买的航班时，因为高端客户较少，就可以把客舱转换为有更多座位的经济舱模块。

此后，A³ 创新团队提出的很多想法在空客全新客舱品牌——“空客飞行空间”（Airspace by Airbus）得到了体现。这一全新理念的核心在于将乘坐舒适性和航空公司客户的运营效率完美结合，使乘客和航空公司的利益实现最大化。之后，A330neo 系列飞机成为了采用这一全新客舱品牌的首款机型。除了常规的在提升乘坐体验和飞行体验方面下足了功夫之外，值得一提的是，Airspace 模块化“空间拓展”解决方案优化了 A330neo 尾部的厨房和卫生间布局，释放了更多客舱空间，航空公司可借此扩大座椅间距或增加最多十个座位。目前，全球已有不少航空公司在购买新飞机时选装了空客飞行空间。

而空客对于客舱的创新并没有止步。2023 年 5 月，空客又发布了一个名为“Airpace 客舱愿景 2035+”的计划，全面展示空客对 2035 年及以后的客舱发展构想。“Airspace 客舱愿景 2035+”将考虑使用新材料减重、改进设计和程序、研究利用仿生学等创新方式，如在机上餐饮方面，短程航班按需预订飞机餐、远程航班改进手推车设计，以实现客舱减重。目前，达美航空、新西兰航空、汉莎航空等 10 家航空公司、8 家技术供应商参与制定“Airspace 客舱愿景 2035+”。空客将依据更多的乘客反馈进一步明确未来几年客舱产品开发主要方向。

从明日之翼到氢电推进

除了客舱的创新之外，围绕着机翼技术、新能源的应用、数字化的应用等，空客也进行了诸多创新。

2023 年 7 月，位于空客英国菲尔顿园

区的全新机翼技术开发中心（WTDC）正式启用，该设施将为空客下一代机型和研发项目制造和测试相关样件。根据空客的规划，这一中心将通过使用最新技术和世界领先的原型件，进一步提高飞机机翼的性能，帮助空客推进下一代飞机机翼的设计、制造和测试工作。

事实上，空客对机翼的进一步优化与完善与航空业 2050 年实现净零碳排放的目标息息相关。在实现减排目标方面，除了发动机的优化工作至关重要之外，机翼的改进对燃油效率的提升同样也不可忽视。更长、更轻薄、更轻的机翼同样可以显著降低飞机的油耗。为此，空客启动了名为“明日之翼”的研发项目。

“明日之翼”项目包括 3 个 17 米长的全尺寸机翼样件。其中一个为静态机翼样件，用于测试全新设计和材料的结构能力，并验证相关分析；另一个是装配齐全的样件，用于测试安装技术和新方法，以进行

下一代机翼的系统安装；第三个是一个名为 Run rate 的样件，将测试工业能力和自动化技术，用于评估以怎样的规模和速率进行新一代机翼产品的制造。对于“明日之翼”项目，空客的定位也十分清晰，即这个项目一方面是在探索新一代机翼的制造和装配技术，更重要的是为下一代飞机在人才、技术、工业系统、供应链等各方面做好准备。而所有这一切都是在为未来的新一代飞机研发做好技术储备。

对于近几年行业热议的新能源在航空领域的应用，空客也通过 ZEROe 验证机项目、投资具有潜力的制造商等方式加快创新的步伐。

早在 2020 年，空客就发布了具有潜力的概念飞机，并将其统称为“ZEROe”。这些概念飞机在尺寸类别、空气动力学布局 and 推进系统构架方面都各有不同，但它们有一个共同的特点，就是均使用氢燃料来驱动燃气轮机的发动机。其中，最为值



得一提的一款是100座级的高翼支线飞机，其发动机吊舱上装有6个八叶螺旋桨。尽管从外表看，这款飞机的发动机类似于涡轮螺旋桨发动机，但这些吊舱实际上包含氢燃料电池，这些氢燃料电池通过电化学反应为电动机提供动力。

在2022年11月的空客峰会上，公司首次对外宣布该原型机将采用多模式飞行测试平台，也就是标志性的A380 MSN001号原型机。这架飞机进行了外部改装，加装了携带燃料电池的发动机吊舱。同时在飞机机身后部的客舱还将安装一个独特的低温储罐，用来储存液氢。

在飞行中，来自低温储罐的液氢会被转化为气态，然后通过与储罐相连的供应管线以及机身外部的空气动力学承重支撑结构与发动机吊架接口相连，最后分配到燃料电池中。

气态氢从这里进入吊舱内的燃料电池，在燃料电池内，还有通过受控空气流（来自周围大气）提供的氧分子。因此，燃料

电池内部会发生反应，产生直流电，然后再通过逆变器转换成交流电。之后，吊舱前部附近的电机通过将扭矩传递给减速齿轮箱，将电能转化为机械能。在推进链的末端，由螺旋桨提供推力。燃料电池产生的热能通过液体冷却系统输送到热交换器，随后散发到周围空气中。水也会作为电化学反应的副产品产生，并从吊舱后部的出口排出。

在这个项目中，包含了空客大量的创新技术，其中很多都是其“首创”的。例如，飞机上与分配中心和电机控制器装置方面相关的所有设备都是由空客制造的；推进系统、相关的齿轮箱以及变桨控制则是由空客直升机公司、防务部门和航天部门的工程师合作完成的。

目前，相关的地面测试工作正在有条不紊地进行，如电气试验台、热管理系统和数个燃料电池集成试验台。从2024年起，将有更多的集成试验台出现，例如配备一个200千瓦燃料电池堆和一个气候室的燃

料电池系统集成试验台；用于发动机控制系统的功能集成试验台（FIB），以验证真实接口和作动器；推进器集成试验台（PIB）。后者将探索螺旋桨变桨驱动齿轮箱集成、齿轮箱耐久性和部分叶片脱离测试。同时，新研发的燃料电池飞行验证机的电力中心和电源逆变器将与A380“铁鸟”试验台相连，以便将其整合进A380 ATA 24章电源系统。

2024年下半年还将有一个“铁质吊舱”。这个试验台将首次将两台使用的800千瓦燃料电池的电动机、电动机控制装置、齿轮箱、全新高压电力分配和转换系统以及飞行中的空气供应和液体冷却系统等各种关键元件集成到一起。

到2026年，如果各种集成实验台的测试进展顺利，团队就能在集成测试试验台（ITB）上对整个系统进行测试，包括配备一套包括螺旋桨在内的完整系统，以及符合飞行标准的燃料电池吊舱。ITB将于2024年建成，与一套和A380 MSN001上完全相同的飞行测试仪器相连，并将同一

个地方配备一个用于飞行机组培训的控制室。根据规划，在2026年到2028年间，空客将在A380试验平台上进行更大型的验证系统试验。

除了加快自主研发之外，空客还在全世界范围内寻找合作伙伴，加速氢能在新一代飞机上应用的脚步。

2023年9月，空客宣布投资氢电推进系统研制企业ZeroAvia。ZeroAvia正在研发的首款氢动力发动机ZA600计划被用于最大座级20座的涡桨飞机。目前，这款发动机已经被安装在Dornier228试验平台上完成了第一阶段的试飞，预计顺利的话，2025年左右可以获得型号合格证。同时公司还在研制更大推力的ZA2000发动机，并计划将其在阿拉斯加航空Dash8-400飞机平台上进行测试。根据公开信息，未来空客将主要围绕燃料供给、燃料电池技术等方面与ZeroAvia进行合作。■



新加坡航空产业发展的启示与借鉴

文 | 海鹭

改革开放以来，我国已经成功实现从农业大国向全球制造业第一大国的转型，并成为全球第二大经济体。进入新发展时期，我国正在经历第二次经济结构转型，在这个过程中制造强国、数字经济等都将发挥关键的作用。航空产业作为国家战略产业，其重要性更是不言而喻。本文以新加坡航空的发展为例，抛砖引玉，进行一些探讨。

图 | cavok.com.br



从蚊香生产到飞机维修

新加坡这个国土面积仅 700 多万平方公里的国家，在 40 多年前曾以生产蚊香闻名。从新加坡并不长的建国史中不难发现，基本上每十年这个国家都会转换一次产业赛道。从 20 世纪 60 年代的航运产业到 70 年代的石油化工产业，再到 80 年代和 90 年代的半导体产业和生物医药产业，在“赛道”转换的过程中，新加坡一方面将“旧赛道”不断优化，另一方面通过“新赛道”不断进行经济结构优化和转型。最终，将这些“新老赛道”都打造成为全球颇具影响力的龙头产业。

进入 21 世纪，航空航天产业成为了新加坡重点发展的“新赛道”。如今，经过 20 多年的发展，凭借得天独厚的地理位置、相对完善的产业链、健全的基础设施、富有竞争力的税收制度、值得信赖的知识产权保护政策以及有利的商业环境和高效的劳动力队伍等优势，航空航天产业已经成为新加坡经济的重要组成部分，在新加坡经济结构转型的过程中扮演着十分关键的角色。

作为亚洲著名的航空枢纽，入驻樟宜机场的 100 多家航空公司经营的航线覆盖 60 多个国家的 200 多个城市，新加坡航空也已成为享誉全球的顶尖航空公司。新加坡拥有许多世界级的综合性航空航天工业园区，如樟宜北工业园、罗央航空工业园、实里达航空工业园等，先后吸引了波音、

空客、巴航工业、普惠、罗罗、GE 航空、泰雷兹等一大批世界知名的航空企业，而且聚集了新科宇航、古德里奇、赛峰等 100 多家从事航空维修业的国际公司，拥有飞机结构维修、客改货、发动机维修、起落架维修、辅助动力系统维修、航电系统维修等较为完备的维修能力。这也使新加坡的航空维修业在国际航空维修领域享有很好的知名度。

此外，借助 ASL 计划（根据该计划，在新加坡企业上缴 17% 所得税的基础上，针对飞机租赁业务收入的适用税率可在 5 年间降至 10%，甚至 5%。同时，在 2017 年 3 月 31 日前用于购买飞机或飞机发动机的贷款可享受预扣税豁免）和极为优惠的双边税收协定，新加坡已成为全球最重要的航空金融租赁中心之一，世界前十大飞机租赁巨头都已进驻。

然而，新加坡政府并不满足于此，而是希望航空产业能够再上一个新台阶，在原有合资授权维修的基础上转型升级，凭借地理位置、高素质人才资源等优势，做强原本较为薄弱的航空制造业。如今，GE、罗罗等发动机制造商都已经在新加坡建立研发中心。

从旧机场到产业园

位于新加坡北部的实里达机场是新加坡第一个国际民用机场，21 世纪以来，随着国际航空交通中心逐渐转移至樟宜机

场，政府开始着手对实里达机场进行重新规划。2007年，新加坡政府斥资6000万新元对该机场进行重建，并将其定位为新加坡未来重要的航空产业基地。

根据新加坡政府的规划，这个占地约300公顷的专用园区被定位为飞机维护、修理和翻修基地，飞机系统及组件与轻型飞机的设计与制造基地，商务及通用航空活动中心，并建设地区性航空学院和科研设施，培训飞行员、地勤专业人员和技术人员等各类配套人才。同时，新的实里达航空园区还实施了提升机场设施的一系列措施，包括延长跑道至1800米、改造停机坪及飞机滑行道等。

专业化的定位帮助园区吸引了大量优秀企业入驻。罗罗公司投资5.5亿美元在园区新建了用于生产发动机宽弦风扇叶片的工厂。空客直升机公司将东南亚总部设立于此，并将其定位为亚洲地区的技术研发中心。本土公司新科宇航则不断扩大在园区内的规模，承接包括客货机转换等飞机维修和改装业务。

如今，完善的基础设施和专业的服务体系已经成为了实里达航空产业园的优势。园区内配备了各种研发和测试设备，包括风洞、机载系统和结构测试设备等，以及一系列专业机构和服务机构，如机械加工工厂、材料试验室等，这些设施和机构能够为园区内的航空企业提供全面的技术支持和服务保障。

此外，毗邻樟宜机场的樟宜航空产业园是亚洲最大的综合航空中心之一，占地面积约12.5平方公里，拥有包括航空维修、航空物流和航空研发等业务。新加坡航空工程公司、新加坡技术航空、新加坡飞行培训学院等都已入驻。在一个紧密结合的航空业界环境里，进驻企业与供应商、客户和合作伙伴共享园区内的基础设施，便利的互通往来也为企业与其他公司提供了

更大的合作空间。

从航空维修到航空制造

新加坡航空维修业从20世纪70年代的军机翻修业务起家，经历40多年的发展，形成了多家具有国际竞争力的维修企业，并在全球树立了新加坡航空维修的品牌。

如今，新加坡共有100多家国际性航空维修企业。其中，本土的新科宇航和新航工程公司都是世界级的航空维修企业。前者的维修工时在2012年就已突破千万小时，并被美国《航空周刊》评为世界最大的独立第三方机体维修提供商。

值得一提的是，在高附加值的发动机维修业务上，新加坡无疑占据着亚洲的桥头堡位置。比如，新加坡一直是普惠发动机在美国以外最全面的售后服务中心，也是罗罗公司在英国本土以外的一个十分重要的发动机维修中心。罗罗公司更是先后与新航工程公司成立了两家发动机维修合资企业，为亚洲及全球的遑达系列发动机提供维护保养服务。

然而，新加坡的航空维修业务也并不是完全高枕无忧的。首先，来自周边国家的挑战日益增长，特别是马来西亚和印尼的南北夹击。由于新加坡土地资源有限，昂贵的设施租金和人力成本导致一部分业务流失，而周边国家凭借低廉的人力和土地等成本优势，近年来大力加强在机场和基建领域的投资，正在逐渐蚕食一部分市场份额。

北面的马来西亚，正踌躇满志地希望依托吉隆坡国际机场、士乃（Senai）机场和梳邦（Subang）老机场，打造一个服务于东南亚民航业的维修基地。南面的印尼，除了GMF AeroAsia已经崛起为亚洲重要的维修企业以外，印尼狮航正致力于将距离新加坡仅20公里的印尼Batam岛

建设成为其第二大飞机维修基地。

此外，来自飞机和发动机制造商的挑战更为严峻。这主要是由于新加坡航空维修业的市场主体，还是非OEM系的第三方维修企业，随着OEM制造商在售后服务市场中所占的比重越来越大，给制造业相对薄弱的新加坡形成了巨大的压力。为了改变这一现状，新加坡航空产业亟须寻找新的战略发展方向。

由于国土面积较小，新加坡并不具备引进飞机总装线的条件。因此，政府将目光转向同样高附加值的航空发动机总装、设计和研发。

为了吸引投资，新加坡政府出台了一系列政策，同时新加坡对于知识产权保护的高标准及数量众多的高素质科研人员，对于发动机制造商来说也极具吸引力。

如今，发动机制造巨头罗罗公司在实里达航空工业园拥有一个技术研发中心、一个航空发动机总装厂和一个风扇叶片制造厂。这个总装厂还参与了遑达7000发动机的研制，在此之前，罗罗所有航空发动机研制工作都是在欧洲完成的，然后再将生产转移到新加坡。与此同时，罗罗还将其亚太地区服务中心设在了新加坡。

启示与思考

综上所述，新加坡如今正利用自身多年积累的优势，紧跟航空业发展的新需求，在巩固飞机、发动机、部附件维修业务的同时，积极引进知名航空企业和高端制造技术，提高研发能力，从而使其从航空工业外围领域向核心领域过渡、挺进。这与新加坡政府倡导的制造业朝着“高增值、小批量、多品种”方向发展的目标是一致的。在我国探索经济结构转型的今天，更需要借鉴新加坡的成功经验。

近20年来，我国航空运输业的发展

成绩有目共睹。航空制造业和维修业是上下游关系，对于中国航空业来说，制造业向维修业拓展有着得天独厚的有利条件。如何利用好这些优势，在国内培育出几家类似新科宇航这样的“招牌”维修企业，树立中国飞机维修的招牌，值得业界探索。

此外，近年来随着民航运输业的快速发展，我国很多大中型城市的原有机场已经无法满足快速增长的客运及货运需求，一大批新机场如雨后春笋般涌现。通常情况下，在新机场投入使用后，原有机场往往被保留，但这些被保留的旧机场如何发挥最大价值却是一个值得思考的问题。虽然国内的很多旧机场并不具备像实里达机场那样转型为航空产业园的条件，但新加坡的一些做法却值得借鉴。

目前，国家正大力推进通用航空产业的发展，一些旧机场可以考虑大力发展通用航空产业，吸引通用航空器4S店、私人航空俱乐部入驻，打造通用航空FBO，设立航空培训机构，承办航展活动，提供覆盖通用航空产业链的各项服务。

旧机场还可以转而主营公务机、旅游航班等业务。旧机场由于修建时间较早，往往地理位置较为优越，与市中心距离较近。而商务旅客、公务机旅客通常对时间要求较高，需要较短时间到达工作或会谈地点，游客需要快速到达市内旅游景点，旧机场更容易满足这部分旅客的需求。例如，实里达机场距市中心13公里，樟宜机场距市中心17公里，实里达机场目前主营公务机、东南亚国家的旅游航线等业务，在为樟宜机场分担一部分航班时刻压力的同时，也为旅客提供了便利。可见，如何利用好老机场、如何依托航空港培育航空产业、打造航空产业链仍然需要业界的不断思考与探索。■

从三大航 2023 年半年报 看民航复苏之路

文 | 柏灵 柴雨丰

过去 3 年，对于全国航空公司来说，日子并不好过。一方面市场需求不足导致运力投入减少，飞机日利用率严重下滑，特别是 2022 年，全行业在册运输飞机平均日利用率为 4.35 小时，不及正常年份的一半，营业收入较 2019 年下滑 48%；另一方面，诸如飞机等固定资产的折旧及租赁费、人员薪酬、培训费等高昂的固定开支并未因疫情而有所减少，营业收入大幅萎缩和成本刚性表现对利润形成明显的剪刀差，2020 ~ 2022 年全行业累计亏损超 3000 亿元，意味着很多航空公司流动性危机、资产负债率破百等至暗时刻的到来。

自 2023 年 1 月 8 日国家对新型冠状病毒感染实施“乙类乙管”以来，国内民航市场迎来复苏。2023 年上半年，共完成旅客运输量 2.84 亿人次，同比 2022 年增加 141%，恢复到 2019 年同期的 88.2%。虽然全行业运输生产正稳步恢复，各项效益指标普遍改善，但考虑到全行业飞机架数逐年净增加，简单将 2023 年上半年数据和 2019 年上半年数据对比还不足以客观反映全行业的发展情况。本文以三大航 2023 年半年报数据为例，选取经营活动、财务状况等维度指标进行分析，并对后续影响行业发展的因素加以阐述。

2023 年上半年经营数据表现

2023 年上半年，国航归属于上市公司股东的净利润为人民币 -34.51 亿元，东航归属于上市公司股东的净利润为人民币 -62.49 亿元，南航归属于上市公司股东的净利润为人民币 -28.75 亿元，同比 2022 年同期均大幅减亏。上半年三家上市公司合计亏损为 125.75 亿元，相比 2022 年同期减亏 370.84 亿元，呈现较为明显的复苏态势。但相比 2019 年同期（三家公司盈利 68 亿元），仍处于亏损状态，回归盈利仍需要时间。同时，从未分配利润指标看，截至 2023 年 6 月底，国航、东航、南航累计未分配利润分别为 -328.83 亿元、-507.75 亿元、-355.54 亿元，过去年度的税后利润积累已经消耗殆尽，今后

很长一段时期，实现盈利以修复“未分配利润为负数”的情况、给投资者一个可预见的分红预期是各公司的重要任务之一。

2023 年 6 月末，国航经营活动现金流量净额为 200.31 亿元，东航经营活动现金流量净额为 161.13 亿元，南航经营活动现金流量净额为 197.75 亿元。相比 2022 年末，国航和东航的经营活动现金流量净额均由负转正，分别增加 368 亿元、225.87 亿元；南航的经营活动现金流量净额相比 2022 年增幅为 471%。2023 年上半年，三大航累计经营活动现金流量净额约为 559 亿元，较 2019 年同期经营活动现金流增长 33%。而这一指标 2020 年、2021 年、2022 年全年分别为 117 亿元、320 亿元、-198 亿元，印证了随着民航市场的恢复、客运量的增加，航空公司经营活动现金流量稳步增加、流动性危机逐渐缓解、“造血能力”大大增强。

2019 年末至 2023 年中期，三大航公司的带息负债规模不断增加，且资产负债率一路攀升。2023 年 6 月底，国航带息负债规模为 2421.27 亿元，同比 2019 年底增加 1023.51 亿元，资产负债率 90.44%，较 2019 年底上升 25 个百分点；东航带息负债规模为 2191.71 亿元，同比 2019 年底增加 570.24 亿元，资产负债率 91.89%，较 2019 年底上升 17 个百分点；南航带息负债规模为 2026.88 亿元，同比 2019 年底增加 174.34 亿元，资产负债率 82.74%，较 2019 年底上升 8 个百分点。



另外三家公司带息负债占总资产比例迅速提升，资产增长不足以弥补负债增加带来的偿付压力。资产周转率不升反降，净资产收益率未得到有效改善，盈利能力和债务规模高度不匹配，现阶段大规模融来的资金主要用于缓解流动性风险，还会增加未来的利息支出。在经营未完全恢复的情况下，各航司仍需延续高负债过日子的局面，并且受制于国家宏观信贷政策的宽松情况。

2023年6月底，国航、东航、南航客机机队规模同比2019年6月底分别增加13%、9%、5%，然而2023上半年旅客运输量同比2019年上半年分别下降19%、19%、11%，客座率同比2019年上半年分别下降10.9、10.9、6.9个百分点，可供座公里同比2019年上半年分别下降21%、17%、13%。机队规模同比增长，而旅客运输量、客座率、可供座公里却没有呈现出相应的变动趋势，飞机资产的增速和旅客运输量的增速出现倒挂的情况，说明飞机日利用率仍不及同期水平，机队规模的增加并没有带来相应的规模效益。

三大航中，仅南航保留货机业务，三大航仍以客机腹舱为货运主要载体，且腹舱收入的贡献比重不大，在此不予分析。客运方面从运力投入看，2023年上半年，三大航国内航线可用座公里3350亿座公里，比2019年同期增长12.48%；国际航线可用座公里404亿座公里，比2019年同期下降73.32%。可见目前的客运运输及其增长仍围绕着国内市场。三大航旅客运输量为17248万人次，恢复至2019年同期的84%、较2022年同期增长146%。其中，国内客运量基本恢复到疫情前水平，下半年“暑运”和“十一黄金周”客流量加持，全年客运量有望超越2019年；国际客运量恢复到疫情前的22%，恢复之路仍旧漫长。从收益品质看，2023年上半年三大航国内航线座公里收入与2019年同期相比出现下降，主要原因是受客座率下降的影响；虽然国际航线客座率有所下降，但国际航线座公里收入与2019年同期相比有所提高，主要得益于票价水平的普遍提高。

行业全面复苏增长的考量因素

新冠肺炎疫情对我国民航运输业的生死大考已告一段落，但“病来如山倒、病去如抽丝”，后续影响行业全面复苏增长的不确定因素依然不容忽视，还需要假以时日观察，有必要预先研判和积极面对。

首先是地缘政治及经济增长的不确定性。俄乌冲突已经严重影响国际航班的运行。俄罗斯对欧美等国家进行反制裁，不允许这些国家的民用航空器在俄罗斯领空飞越，导致相关航线绕飞、运行时长增加。虽然中国的航空器允许飞越俄罗斯领空，但欧美等国家出于对等运行条件的考虑，采取限制中方航班量增加或限定使用航路。欧美等传统高附加值国际航班受到冲击，从上半年的经济指标看，PPI下行、CPI上行，出现经济增速减缓陷入滞涨的迹象。而广义货币M2的增速高于流通中的现金M0的增速，说明老百姓对未来的预期并不乐观，采取了谨慎消费的观点，从“衣食住行”等消费结构看，经济一旦不景气，最先被放弃的是非刚性的出行需求。

其次是国际航线的恢复情况。在国内国际双循环相互促进的新发展格局下，国际航线能否全面恢复对航空公司今后业绩增长至关重要，特别是宽体机和国际航线占比较高的三大航。疫情期间，国际航线几乎停滞，严重影响了宽体机利用率，宽体机占比较高的国航（2022年为17.7%）业绩所受影响比东航（2022年为13.03%）和南航（2022年为12.7%）更大。国际航线全面恢复一方面增加了宽体机、长航线的收入贡献，形成国内、国际市场相互支撑的局面，还能够有效摊薄固定成本，降低航油、发动机维修等变动成本的单位运营成本水平。同时国际航线的全面恢复能够发挥客机腹舱点多面广的航线网络特点，重新构筑客机、货机均衡发展结构。目前中国政府和各航司对国际航线的全面恢复意愿强烈，而美国方面的态度不明朗。截至2023年8月底，作为世界前两大经济体的中美两国之间的航班往来，中方航空公司的执飞量仅为疫情前的16%。

第三是油价及美元汇率的变动情况。通常情况下，航油成本占航空公司成本的



图 | airplanes.
itsabouttravelling.com



后疫情时代为低成本航空带来发展机遇？

文 | 王双武

2020年初在全球范围内爆发的新冠肺炎疫情给全球的经济带来了重创，也对民航及相关产业造成了重大损失。全球民航业遭遇了历史上少有的次重创和变革，有的航空公司不得不因亏损而裁员，有的走投无路进行破产或重组，全球民航业的格局在一定程度上发生了改变。

当疫情受到控制，各国陆续开放边境和解除旅行限制时，压抑已久的航空运输市场出行需求得到了释放。欧美一些主流航空公司首先打破僵局，加快了疫情防控措施的调整步伐，在恢复航线运营的基础上，采用高票价收割市场红利。同时，遭受疫情影响的低成本航空也开始走出阴霾。面对后疫情时代航空旅行的需求，低成本航空能否抓住机遇快速发展呢？

图 | 春秋航空

比例在30%左右，而航油价格与国际原油价格完全挂钩，国际原油价格时常会兴风作浪。在现有票价定价机制下，传统航空公司加收燃油附加费收入仅能有效覆盖燃油成本价格增量的一半左右。2023年上半年国内平均油价比2019年同期上涨约1200元/吨，涨幅为24%，按当期耗油量计算，燃油价格增长给三大航带来的成本增量合计约为143亿元。2023年9月，国内航空煤油出厂价格核定为每吨7453元，环比8月提高18.9%，增长迅猛。随着地缘政治、能源转型的不确定以及国际资本力量的博弈，未来极有可能重现2007年高油价的行情。航空公司的飞机引进、航材采购、飞机维修、其他相关的国际业务均以美元结算，三大航司的外币负债也以美元为主。国内各航空公司以国内航线为主，销售环节以境内人民币销售为主，付款及债务结构与销售结构的不匹配带来天然的缺陷，特别是在美元汇率走强时，将产生巨额的汇兑损失。2023年上半年，美元汇率上浮4%，三大航合计汇兑损失约为42亿元。

第四是上游供应链的稳定性。现阶段，国内航司机队以波音、空客机型为主，而波音和空客飞机的发动机及其他核心部件有对应的选型供应商，这些关键产品和技术长期掌握在美、欧、日等国外供应商手中，暂时无法通过国内产品和技术进行替代。虽然经历了3年疫情的冲击，但是全球飞机订单数不减反而大幅增长，飞机的目录价格也是每年有3%左右的自然涨幅。受俄乌冲突、贸易限制、少数国家“躺平”观念等因素的影响，目前关键航材供应量、发动机等核心部件的维修能力远低于现投产飞机的保障需求，导致订货及交付周期延长、单方面提价等情况的发生。未来不排除国际政治原因导致的以美国为首的西方利益集团对中国民航采取关键技术出口

管制、贸易配额等非市场经济行为，届时对我国民航运输业将是致命打击。因此在飞机选型方面要主动融入国家大飞机战略中来，积极支持国产大飞机项目，通过飞机制造强国来助推民航强国的发展。

第五是把防控风险牢牢地放在第一位。当前世界经济发展正在面临百年未有之大变局、大挑战，民航运输业不可能独善其身，地缘政治、贸易制裁、石油危机、碳排放交易、局部公共卫生事件等各类问题的发生属于大概率事件，成为悬在民航人头上的达摩克利斯之剑，防范化解各类风险事件永远在路上，必须提前做好应对。坚持稳字当头，片面追求机队增长不等同于高质量发展，要及时调整中短期发展规划，主动适应供给侧改革、调结构的国家战略要求，宁可牺牲一部分短期的发展增速和经济利益。以股权收购、交叉持股等形式借力发展壮大，并进一步整合市场、营销、集采、客户等可共享的经营活动，减少国内同业间的无序竞争。在机队引进方面，要适当考虑经营性租赁飞机，通过不同租期的合理搭配，为后期机队调整创造条件。随着生产量的大幅提升，航空公司在专业技术人员的培养和尺度把控方面要宁缺毋滥，不能放水，不能降低标准。

中国民航运输业经历十几年的快速发展后，在量级上基本位列世界民航前列。但实现高质量发展的本质内涵要求，还有漫长的路要走。这期间也是稳健恢复、补齐短板、筑牢高质量发展基础、实现波浪式成长的关键期。相信经过疫情生死考验的民航运输业，一定会迎来厚积薄发、涅槃重生的辉煌。■



走出市场低谷

从 2022 下半年起，旅行需求的激增导致了机票价格的上涨。与 2022 年第二季度机票大幅打折相比，今年第二季度瑞安航空的平均票价上涨了 42%，实现利润 6.63 亿欧元（约合 7.35 亿美元）。尤其在 2022 年 6 月，瑞安航空旅客运输量创造单月历史最高 1740 万人次的记录，7 月再次刷新记录，实现 1870 万人次，平均客座率达到 96%。在今年上半年，瑞安航空新建了一些航空基地，如贝尔法斯特（北爱尔兰首府）、特内里费岛（西班牙加那利群岛最大岛屿）、兰萨罗特岛（西班牙岛屿）等，并从包括上述基地在内新开了约 200 条航线。

截至今年 6 月，亚航 X 拥有 17 架空客 A330 飞机，其中只有 11 架正常运营。随着航线恢复和运力的增加，亚航 X 在今年第二季度的运力投入比第一季度增长了 30%，比去年同期增长超过了 26 倍；旅客运输量为 62.19 万人次，同比增长了 70 倍，比今年第一季度增长了 23%。另外，客座率达到了 76%，比去年同期增加了 47 个百分点。

今年第二季度，亚航 X 恢复了前往曼谷、北京和黄金海岸的航班，尤其是飞往悉尼，以及悉尼与奥克兰之间、墨尔本与大阪之间的运力均恢复到一周 7 班。亚航 X 执行到东京和台北的两条核心航线收益最佳，客座率已经超过了 85%。亚航 X 泰国公司目前拥有 8 架空客 A330 飞机，在今年 4 月开通了飞往上海的航班。随着低成本航空旅游市场需求的增加，亚航 X 泰国公司将飞往东京的航班增加到每周 14 班。

新加坡酷航被 SkyTrax 授予“最佳远程低成本航空公司”。今年第二季度，酷航实现经营利润 2400 万美元，比 2022 年

同期利润增长 7600 万美元。截至今年 6 月 30 日，酷航拥有 55 架机龄在 6 年左右的空客 A320 和波音 787 飞机，主要经营前往中国和澳大利亚，以及中东和欧洲等 65 个目的地航线。在第二季度，酷航加大了到中国长沙、海口、南宁、宁波、沈阳、武汉和西安等 7 座城市航班恢复的力度，7 月又恢复了到济南、深圳的航班。酷航计划在 10 月底起增加到清迈和吉达航班频次，并调整雅典和柏林航线结构，每周执行 3 班新加坡—雅典—柏林往返航班。

美国西南航空 7 月 28 日发布第二季度经营数据。由于人工成本的增加，今年第二季度收益比第一季度下降了 10%，实现利润 6.83 亿美元。目前，美国国内航空市场在解除旅行限制、航空需求增长一段时间以后，已经开始出现降温迹象。但是，在国际航空运输市场上的旅行需求却逐渐升温，这对以经营国内航线为主的美国西南航空来说，无法取得像达美航空和美国航空等传统公司经营国际航线的优势。

面对不同的经营环境

受疫情的影响，在全球范围内不同程度上出现了航空公司破产或重组现象，如意大利航空、北欧航空等。疫情带来的冲击导致这些公司大幅削减航线和缩小机队规模，为了生存，有些公司还获得了数十亿欧元的国家援助基金。航空市场结构性的运力缩减相反为瑞安航空的发展创造了机会。

2022 年底，旅游增长、圣诞和新年出行的强劲需求刺激了压抑已久的市场并导致票价上涨。2022 年第四季度瑞安航空旅客运输量比 2021 年同期增长 24%，甚至比疫情前还要高出 7%，票价也比疫情前提高了 14%，尤其在意大利、波兰、爱尔兰和西班牙的市场份额得到了快速扩

张。瑞安航空在 2022 年底接收了 84 架新型波音 737 飞机，计划在 2023 ~ 2024 财年再接收 124 架新飞机，并在 2023 年新开 230 条航线。

在亚太地区，中国是地区航空运输市场驱动经济和拉动消费很重要的市场，这自然也成为低成本航空逐利的目标。据悉，亚航马来西亚公司和亚航 X 马来西亚公司在今年 7 月往返中国的航线客座率都在 80% 左右，尤其是在吉隆坡—上海、哥打基纳巴卢—广州和武汉，以及吉隆坡—南宁航线在八九月份里的订座竟高达 95%。

今年上半年，这两家公司在马来西亚和中国之间的航线上销售超过了 32 万个座位，而这仅是 2019 年同期座位销售量的 30%。所销售座位的 75% 来自中国籍旅客，可见马来西亚仍是中国游客海外游的首选目的地之一。亚航 X 马来西亚公司计划在 9 月份将吉隆坡—北京大兴航线由每周 4 班增加到 5 班，吉隆坡—上海航线由每周 4 班增加到 7 班，吉隆坡—杭州航线由每周 3 班增加到 4 班。

当然，在航空市场恢复的进程中，因受地区政治和经济环境、航线市场结构和劳动力成本等因素的影响，不同地域的低成本公司也会面临不同的问题。目前，美国西南航空面临着飞行员要求涨薪，甚至一度出现了飞行员短缺的现象，这给美国西南航空带来了一些经营上的困境。

为了达到飞行员行业薪酬标准，美国西南航空方面表示在今年下半年不得不增加非燃油性成本。届时，美国西南航空的劳动力成本较上年同期会增加 25.5%，超过 5 亿美元。美国西南航空方面表示，第三季度每飞行一英里座位的非燃料成本将增长 3.5% 至 6.5%，这主要是对工资上涨的预期。另一方面，今年夏季美国西南航空的单程平均票价为 179.44 美元，比去年同期下降了 3%。

提高数字化服务

随着市场的发展和数字化技术在航空领域的应用，改善旅客出行体验和提高客户忠诚度也日益成为低成本航空增强竞争力吸引客户的一种手段。而对于美国西南航空、捷蓝航空和瑞安航空等一些低成本公司来说，也开始逐步开拓商务旅行市场。

美国西南航空在 2022 年底已经对 350 架飞机完成最新一代机上 Wi-Fi 和宽带链接技术的升级改造，改造后的宽带链接速度比原有机载设备快了 10 倍。美国西南航空利用改造后的新一代宽带链接技术，在机上免费实时播放电视节目，还计划在 Wi-Fi 产品上继续增加投资，以满足旅客对个人移动设备顺畅链接的需求。

2022 年 8 月，美国西南航空通过在公司商务旅游门户网站新增“西南航空商务助手”一站式服务功能，实现了差旅资金管理、完善合同权益和客户业绩洞察、优化持续性经营报告等实时自动化功能。这种自助服务工具使商务旅客、旅行决策者、商旅管理公司等能更好地管理商旅计划，有效地提高了美国西南航空与商务合作伙伴的沟通效率。

亚航十分关注客户体验提升和数字化营销生态系统建设。亚航通过开发的一款超级 App，在数据和技术的支持下，为消费者提供一站式旅游与购物交易平台。亚航超级 App 利用其 5100 万用户和 4000 万下载量的数字生态系统，为用户提供个性化、经济性和无缝隙服务的消费体验。2022 年 6 月，亚航与马来西亚领先的电子货币提供商 Faspay 开展金融合作，在亚航超级 App 上推出了全新的电子钱包。用户使用电子钱包除了支付 App 上的产品和服务，如机票、酒店、零售、餐饮、租车等，还能获得亚航相应的积分奖励。

为了进一步提升客户体验，方便客户

疫情后的首个 Q4，会有哪些不同

文 | 程佳俊

国内民航的 Q4（第四季度），是每年跌宕起伏、却又干货满满的三个月：不仅有暑运旺季向淡季过渡的 9 月，也有全年座收峰值的国庆黄金周，还有 10 月末的全民航航班换季，以及年末的淡季促销。今年是疫情解禁后的首个 Q4，或许有几个与往常不同的地方值得我们关注。

国际航班恢复或继续加速

国际航班的恢复，不仅仅是一个商业决策，更是涉及到国家层面的复杂博弈。国家之间稳定的政治关系，是文化与经济交流的基础，也是国际航班复航的基本条件。伴随着全球疫情逐渐受控，国际间的合作显得日益重要。国家政策支持，以及疫情防控措施的有序实施，同样为国际航班的加速恢复创造有利条件。近期出台的政策也可以佐证：中国外交部发言人汪文斌 8 月 28 日在例行记者会上宣布，自 2023 年 8 月 30 日起，来华人员无需进行入境前新冠病毒核酸或抗原检测。因此，我们可以预期，在第四季度，国际航班将加速复苏，为人们的跨国旅行提供更多选择。

国际航班的复飞不仅关乎民生经济，更涉及国家间的友好关系。各国的政治决策和国际关系的稳定程度，都将在国际航班的恢复过程中发挥重要作用。如果国家之间的关系不稳定，国际航班的复飞可能会受到限制。8 月 11 日，美国交通部发布新通知，称自 2023 年 9 月 1 日起，中国航空公司每周可运营 18 班中美往返定期客运航班。并于今年 10 月 29 日起，增至每周 24 班。其中，涉及的中国航司有国航、首都航、东航、南航、海航、川航以及厦航。该通知的发布意味着中国航空公司将有更多的机会逐步恢复中美之间的航班。逐步增加的中美往返航班数量表明了国际航班恢复的积极信号。这将有助于满足那些有出国留学、工作、旅游等需求的乘客。

国内民航市场竞争或加剧

第四季度民航市场竞争加剧、机票频繁调整的原因主要与季节性需求差异、燃油成本上涨、市场份额争夺等因素密切相关。这些因素相互交织，

查询所有航班信息，瑞安航空于 2021 年 10 月 28 日推出了一套数字化客户体验改进方案，具体包括在“旅行日”App 上实时更新出发时间，在旅行中断期间重新安排路线，实时更新机场、候机楼、航班和登机口信息，以及 App 上显示登机牌等旅行文件。

瑞安航空还设立了数字自助服务中心，实现在线自助服务，实时更新客户索赔进度和与客服部门的互动情况。在电子钱包应用方面，瑞安航空不断研发改善功能，实现了电子钱包快速机票预订、实时状态更新和 24 小时内获得退款确认等。另外，瑞安航空还升级了客户航空电子帐户，允许客户将所有与旅行相关的文档存储在一个地方。

机遇与挑战并存

目前，航空公司面临影响市场经济增长的主要挑战就是运营费用的增加。在过去一段时间，美国对伊朗石油生产和出口的制裁导致了燃油价格的飙升，由于地缘政治的矛盾与冲突对全球航空燃油价格会产生影响，而这种影响在短期内不会被消除。因此，航空公司在燃油运营成本上存在着不确定因素。

此外，劳动力成本的上升也增加了低成本航空的整体运营费用。据悉，在 2021 年，劳动力成本约占航空公司总运营成本的三分之一。这一数字在多年稳定后显著增加，导致了单位成本压力上升，并影响了低成本航空的利润。美国西南航空面临飞行员涨薪要求而又不得不按照行业标准进行调整，接下来的人力成本会削弱利润的增加。

日趋激烈的竞争迫使低成本航空在客户体验技术解决方案上进行重大投资，以增强行业数字化竞争实力和提高客户忠诚

度。美国西南航空对飞机宽带链接技术的升级、亚航开发的超级 App 以及瑞安航空的数字化客户体验改进方案等，一方面是低成本航空在数字化时代不断提升竞争力和维系客户关系的转型，另一方面也会增加低成本航空的经营费用。为此，不难发现一些低成本航空如捷蓝航空、美国西南航空和挪威航空开始涉足一些传统航空公司经营的航线市场。

在后疫情时代，随着航空市场的发展与变化，低成本航空正适应市场发展需求逐步转型，为深度拓展市场奠定基础。美国西南航空打破过去专注于直销的经营思维，陆续与 Travelport 和 Amadeus 等全球分销商合作，加快销售渠道转型和获取商务客源；捷蓝航空与美国航空、卡塔尔航空与爱尔兰航空等传统航空公司建立合作伙伴关系，并开展常旅客里程兑换业务；亚航与在中国、马来西亚、阿联酋、澳大利亚等 20 个国家经营和管理 125 个酒店及度假村的瑞士贝尔霍特国际酒店集团签署了一项战略合作伙伴协议，加快了亚航数字商业经济发展和在线旅游商务生态系统建设。

目前来看，尽管今年下半年航空旅行市场需求有所增长，但是当前在全球范围内出现的高通货膨胀和利率上升可能会削弱今年下半年人们对航空旅行的需求。瑞安航空方面表示，从今年七八月份的机票订座来看，已经开始出现市场需求缓和状态。

不难判断，随着下半年运力的增加和外部不确定因素的影响，市场需求在增加的同时，市场整体的票价会面临下滑风险。受疫情的影响，企业和居民收入降低，在航空出行时更多会考虑出行成本和费用，在航线通达的目的地选择上，对于低成本航空的市场拓展来说，应是一个良好的发展机遇。■

形成了市场的多样化竞争格局，为乘客提供了更多选择和机会，但也需要航空公司谨慎制定策略，以应对市场的波动性和竞争性。

季节性需求差异：第四季度是市场由旺转淡的过渡期，此时乘客需求从暑运高峰逐渐下降。然而，特定航线和市场仍可能保持相对高的需求，如公商务出行航线。这种季节性需求差异导致了航空公司在不同航线上的竞争，频繁调整机票价格。

燃油成本的上涨：燃油成本的上涨对航空公司的运营成本造成了巨大压力。为避免航班收入无法覆盖变动成本，航空公司可能会采取积极的市场策略，包括超远期销售机票、降低机票价格、加大市场份额争夺等。近日，民航局发布文件公布了2023年9月5日上调燃油附加费的消息，标志着民航市场全面竞争的号角已经吹响。

市场份额的争夺：航空公司会在竞争激烈的市场中抢占市场份额，以保持高价值旅客的粘性，特别是在一些高需求城市的航线上。例如国航的北京首都、大兴两场基地；南航的大湾区基地；东航的江苏、上海基地，以及新兴的成渝双城经济圈市场，这些都可谓“兵家必争之地”。为了攫取更多份额，航空公司会推出促销活动、特价机票和其他优惠，从而导致机票价格的频繁波动。

机场提质改造智慧升级

第四季度是机场进行修护升级、提质改造的绝佳时期。9月初，成都双流机场T1航站楼、跑道升级以及无锡硕放机场的停航升级，都充分体现出机场管理方对于服务质量和体验的高度重视。在新冠肺炎疫情后，乘客对于机场的卫生和安全环境有更高的期望，机场环境的提升已经迫在眉睫。

值得一提的是，智慧机场的转型，将是未来机场发展的重要方向。随着科技的进步，机场管理方将借助数字化技术提升机场运营效率，提供更便捷、高效的乘客体验。拥有85年历史的成都双流国际机场，将从9月1日开始迎来一次提质升级的“大手术”，所有航班将实施单跑道起降。双流国际机场提质改造项目于9月开工建设，计划于2025年12月全面竣工投运。施工期间，机场飞行区不停航施工，最大限度降低对航班运行影响。据悉，改造的亮点包括：

自助服务设施，引入了更多的自助值机柜台和自动化行李托运系统，以减少排队时间，提高处理效率，并使乘客更加独立。

智能导航系统，在航站楼内部署了智能导航系统，通过数字指示牌和移动应用，帮助乘客更轻松地找到登机口、餐厅和其他服务设施。

大数据分析，安装传感器和监控设备，实时监测乘客流量、行李处理时间和安全情况，并采用大数据分析来进行实时决策，以优化运营。

环境友好的设计，在改造中考虑了环境卫生、环境友好的因素，包括能源效率改进、废物管理和可持续建筑设计，以减少对环境的影响。

机场改造与智慧技术相结合，提升了机场的乘客体验、运营效率和可持续性。通过在淡季期间进行改造，最大程度减少了对乘客和航班的干扰，同时为未来旺季的旅行需求做好了准备。

公商务出行需求或改变

传统四季度的市场趋势是前期低、中期高峰、后期低的大致走势，这是一个典型的季节性趋势。但今年疫情结束之后，各地会展、演出、比赛以及学术论坛扎堆

在第四季度，预计波谷低值和持续周期会有一定程度缩窄。

9月初到国庆节前的季节性低谷是民航市场的休整时期。此时航班需求下降，票价相对较低，航班空座率增加，航空公司会调整计划以适应需求变化。商务差旅也减少，因此这段时间通常是乘客寻找经济实惠的旅行机会的有利时机。

国庆节是中国国内民航市场的峰值周期，加之今年国庆与中秋重叠，假期增加至8天。旅行、探亲访友或参加各类庆祝活动的人数增加，导致机票需求激增，热门航线座无虚席。航空公司采取措施增加运力，提供特殊服务和促销，以满足高峰需求，同时乘客需提前规划和预订旅程，以确保愉快的旅行体验。这一节日期间代表着中国国内航空市场的挑战和商机的巅峰。

黄金周结束之后，当年法定节假日全部结束。通常情况下，各种大型活动也随之结束，但是疫情对整体经济造成了重创，需要通过这类大型活动来促进恢复。目前已知的年末大型活动比2019年有大幅度增加，这导致了市场上的OD需求回落的速度或慢于往常。

—

传统四季度的市场趋势是前期低、中期高峰、后期低的大致走势，这是一个典型的季节性趋势。但今年疫情结束之后，各地会展、演出、比赛以及学术论坛扎堆在第四季度，预计波谷低值和持续周期会有一定程度缩窄。

—

航空公司运营策略调整

进入第四季度，各家航空公司将陷入一场运营策略的鏖战。然而不同航司的目标各不相同：有些航空公司追求最大化盈利，有些力求保持盈亏平衡，还有些试图缩小亏损幅度，因此，他们会频繁地调整运营策略。

第一类是盈利追求者，一些航空公司在这一季度会积极追求更多的盈利。他们可能会在高峰期提高机票价格，特别是在国庆节等假期期间。此外，他们可能会增加热门航线的班次，以满足高需求，从而实现更多的盈利。

第二类是盈亏平衡者，他们可能会采取保守的策略，以确保盈亏平衡。例如维持相对稳定的票价，努力保持较高的航班准点率，同时控制成本以降低亏损风险。

最后一类是减亏保全者，这类航空公司可能会试图缩小亏损幅度。他们可能会在需要调整票价时采取谨慎的方式，以吸引更多乘客，减少空座率，从而降低亏损。

这些策略的选择取决于航空公司的具体情况、市场地位和战略目标。在第四季度这个竞争激烈的时期，航空公司需要灵活应对市场变化，同时确保他们的运营在盈亏平衡或实现盈利的范围内。这也为乘客提供了更多的选择和可能的优惠。

总体而言，疫情结束后的第四季度，是一个充满活力和挑战的时期。从国际形势复杂多变，到国内市场竞争趋于白热化，再到航空公司需要灵活应对市场波动，满足各类需求，并努力在竞争中脱颖而出。这三个月或许真的比以往任何一年的Q4更为精彩，让我们拭目以待。■

我国民航高高原运输 业务发展路径探析

文 | 此木 白冬明

民航“十二五”规划实施以来，国内高高原机场的运营投入迎来了快速发展期。高高原机场数量由2010年底的10个发展到2022年底的23个；如不考虑疫情的影响，截至2019年底，高高原机场的旅客吞吐量同比2010年的年均增速为8.9%，低于国内全部机场旅客吞吐量年平均增速1.3个百分点。民航高高原运输业务的高质量发展依托于高高原机场的地理分布、航空公司的运力投放、市场需求、政策扶持等多方因素的共同作用，不能单凭一方力量。

图 | 王脊梁



高高原运输基本情况概述

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高原机场的运输业务被视为高高原运输。受我国地理版图“西高东低”特征的影响，高高原机场多分布在青藏高原及其周边延伸区域内，西藏、青海、四川等西部省份的高高原机场数量居多。目前高高原运输存在以下几种情况：

一是运输保障条件有限。从可执飞的机型看，窄体机中A319、B737-700以及宽体机中A330机型经高原性能改装后能够执飞高高原机场任务，其他机型即使经加改装后能执飞高高原机场，但减载严重，不具备高高原运行的经济性。从飞行区等级看，国内高高原机场多数以中小型机场为主，能满足A319、B737-700飞

——
高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、资源禀赋暂时不足以带来足够的客源，导致短期内很难达到机场建设立项时的预期效果。
——

机的起降，极少数机场能供大型高高原机型起降。多数高高原机场不具备夜航保障条件，航空公司也没有建立相应的夜航能力，机场没有过夜飞机，进出港航班排班的时刻受限制。

二是客货运输结构简单。受高高原地区特殊的地形地貌、复杂多变的气象条件、备降场稀少且相距较远等因素的影响，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数十分有限。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，能够走航空货运的货物少之又少。因此高高原运输具有以客运业务为主的结构特征，并且货物运输具有较强的单向性。

三是全面发力尚待时日。从机场吞吐量数据看，高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、资源禀赋暂时不足以带来足够的客源，导致高高原机场的发展不均衡，很多高高原机场的旅客吞吐量数据寒酸，短期内很难达到机场建设立项时的预期效果。高高原机场的数量占全国民航机场数量的8%左右，但其旅客吞吐量占全行业的比重一直在1%以下徘徊，需要进一步盘活现有

的机场公共资源。

高高原运输的难点分析

首先是运输成本居高不下。高高原机场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，高高原运输的保障难度远远高于平原运输。目前高高原适航的机型较少，并且需要进行高高原性能的加改装投资，比如选配大推力的发动机、安装机载制氧装置等。飞机轮胎、刹车装置、滑油等耗品的更换频次高，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400元左右，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。

其次是运行品质不够理想。高高原机场气象条件复杂多变，很难适合全时段运行，难以全方位满足人民出行的美好愿望。比如有些高高原机场的气象条件会出现适合起降的窗口期，每天的进出港航班需要集中在此时间段内起降，否则航班只能原地等待或返航备降。因此航班的正常性远远低于平原航线，该正常性指标将影响航空公司后续航班时刻、飞机批文等资源获取的难易程度。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



表1|国内高高原机场概况及2010-2022年旅客吞吐量数据

注：表中机场海拔高度单位为米，并以海拔高度降序排列。高高原机场各年度的旅客吞吐量单位为万人次。因受2022年西藏严格的防疫政策影响，2022年高高原吞吐量下滑严重，以拉萨下降最为突出。不考虑疫情因素，拉萨市场的年均增速为15%，且具备夜航的保障能力，拉萨市场在高高原运输中地位重要。

项目	海拔高度	机场等级	2022年	2021年	2020年	2019年	2018年	2017年	2016年	2015年	2014年	2013年	2012年	2011年	2010年	通航时间
稻城/亚丁	4,411	4C级	10.5	15.5	14.2	22.6	24.2	19.9	18.6	22.3	14.5	2.6	-	-	-	2013年9月
昌都/邦达	4,333	4C级	26.5	40.1	35.7	37.3	32.5	23.1	22.6	22.0	20.2	14.8	12.7	8.5	8.9	-
日喀则/定日	4,316	4C级	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2022年12月
阿里/昆莎	4,274	4D级	11.3	19.0	9.6	9.1	7.5	6.6	6.2	6.1	4.1	2.8	1.8	0.9	0.6	2010年7月
甘孜/康定	4,238	4C级	1.3	2.5	3.1	5.5	8.4	11.6	13.4	10.6	5.0	3.8	3.3	2.8	2.2	-
甘孜/格萨尔	4,067	4C级	4.2	8.1	5.4	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2019年9月
山南/隆子	3,980	4C级	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2022年12月
玉树/巴塘	3,905	4C级	15.6	37.5	35.6	31.9	30.3	26.4	18.1	19.3	11.8	11.3	9.8	7.6	8.1	-
日喀则/和平	3,801	4C级	9.1	14.5	15.3	15.5	8.1	6.5	4.8	3.7	3.0	2.7	2.3	1.1	0.0	2011年7月
果洛/玛沁	3,787	4C级	4.9	13.2	12.3	13.5	12.5	7.1	1.2	-	-	-	-	-	-	2016年7月
拉萨/贡嘎	3,570	4E级	258.4	477.9	413.3	457.2	435.4	371.8	333.9	290.8	256.3	229.7	183.0	158.2	129.6	-
阿坝/红原	3,540	4C级	1.3	2.3	4.7	4.0	2.8	1.3	2.5	1.3	0.04	-	-	-	-	2014年8月
九寨/黄龙	3,448	4D级	4.7	15.0	12.2	2.0	2.2	52.3	112.2	141.7	170.3	135.1	175.3	171.8	174.1	-
宁德/泸沽湖	3,293	4C级	1.8	7.4	12.2	21.6	16.4	4.7	4.0	0.8	-	-	-	-	-	2015年10月
迪庆/香格里拉	3,288	4D级	16.9	37.0	38.3	61.8	59.2	57.1	48.7	50.4	45.4	50.2	42.9	37.5	26.3	-
喀什/库尔干/红其拉甫	3,258	4C级	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2022年12月
甘南/夏河	3,190	4C级	0.1	8.9	9.1	8.6	12.2	11.8	9.2	4.6	2.3	0.1	-	-	-	2013年8月
海北/祁连	3,163	4C级	0.1	0.4	0.4	3.2	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	2018年8月
林芝/米林	2,949	4D级	29.3	51.6	41.4	55.8	48.5	46.8	39.0	38.3	31.5	25.9	22.0	14.4	14.9	-
海西/花土沟	2,905	4C级	2.5	6.5	6.7	7.9	7.7	3.9	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2015年6月
海西/德令哈	2,862	4C级	1.2	5.7	7.7	10.8	10.7	8.2	6.3	1.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2014年6月
格尔木	2,842	4D级	12.4	31.3	25.8	22.7	18.4	17.2	14.9	11.9	12.5	10.1	9.0	7.1	4.2	-
神农架/红坪	2,585	4C级	0.7	2.0	1.6	4.4	2.0	1.0	1.8	2.8	2.1	-	-	-	-	2014年5月
高高原机场吞吐量合计	-	-	412.9	796.4	704.8	796.4	740.3	677.4	659.8	628.6	579.6	489.1	462.2	409.8	368.9	-
占全民航比重	-	-	0.79%	0.88%	0.82%	0.59%	0.59%	0.59%	0.65%	0.69%	0.70%	0.65%	0.68%	0.66%	0.65%	-

多数航空公司对高高原运输持谨慎性的态度，短期看受制于安全压力及效益压力，不敢贸然在高高原运输领域进行大量投资和运力投放，长远看又怕失去高高原市场的未来市场份额。

力等情况比较普遍，容易造成生产秩序的紊乱。旅客乘机过程中出现身体不适，甚至是危及生命的突发案例比重较大，一方面考验航空公司客舱紧急施救的应急处置能力，同时分散了客舱工作人员的精力，不利于对其他旅客的全心服务。

第三是发展动力略显不足。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，政府相关部门出台了相应的财政补贴措施，“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。高高原航班具有明显的季节性特点，很多航空公司采取候鸟式的航班编排模式，如夏秋旺季增投明显，而在淡季减投甚至是停航。多数航空公司对高高原运输持谨慎性的态度，短期看受制于安全压力及效益压力，不敢贸然在高高原运输领域进行大量投资和运力投放，长远看又怕失去高高原市场的未来市场份额。

高高原运输发展路径建议

基础设施及配套服务的简约化。高高原机场多分布在老少边穷地区，高高原航空运输承担了一定的社会责任，短期内多

数高高原运输发展的外围经济环境不足以支撑机场、航空公司的盈利，而大幅亏损运营或长期靠财政补贴维持生计不是长久之策。在机场规划方面，要站在大交通体系建设的视角来确定机场的立项规划，避免机场建设投产后对其他机场造成巨大冲击，或被其他交通运输方式分流和替代。在机场建设环节，不要“高大上”的建设风格，应以简单实用为主。鉴于高高原分布地域的特殊性，以及高高原运输技术条件的复杂性，在高高原机场的建设投放、高高原运输突发事件及应急处置方面，民航应与军方协调，争取能利用现有的国防资源，国防安全与民生保障两不误，尽可能走军民融合之路。

以集约化方式做强高高原承运人。目前国内可飞高高原的窄体机约为133架，具有高高原运行资质的航空公司为十家，其中有四家公司的高高原窄体机架数在20架以上，四家合计数约占高高原窄体机架数的72%；另外有三家公司高高原机队仅有2架、4架、4架飞机。高高原运输分散经营，对航司而言没有规模化的效应，不利于打造网络布局和织密航网密度，容易形成无序竞争和价格战；同时高高原运输需要积累丰富的运行经验，而确保在高高原航线的运力投入量是关键。行业主管部门对飞机引进审批程序要前置，在飞机批文和航线审批环节给与必要的行政干预和政策倾斜。各航空公司应以市场化手段，通过交叉持股、资源互换等方式解决高高原运力投入“小而散”的问题。同时要尽可能避免一家公司独飞垄断某条航线的情况。

打造高平原结合的结构布局。航空公司具有严格的安全属性、技术属性和人才属性的特点，从事高高原航线运输的航空公司，需要有平原航线网络支撑其发展。平原航线是高高原航线专业技术人员的培



养基地，也是滚动吸收高原业务分流下来的专业技术人员的接收基地。平原航线与高原航线在市场方面、专业人才的培养和使用方面形成背靠背相互支撑的关系。行业主管部门对高原航班的正常性考核应自成体系，不应将航空公司平原航班、高原航班打包在一起进行评价考核。对于保护乘客生命安全的机上急救应急服务，行业主管部门应将此类工作作为对航空公司服务考核的加分项进行细化管理。

高原机场自身要主动寻求破解突围。航空公司的资源具有流动性，哪里客源多，航空公司的运力就向哪里集结。而高原机场一旦建成投产，必须要想方设

—
机场联合航空公司、地方政府推行基本航空服务计划，机场和航空公司两家企业各让一点，政府财政补贴一点，让偏远落后地区的百姓坐得上、坐得起飞机，慢慢去培养人气。
—

法地引导航空公司、旅客去使用该机场的公共资源。比如机场联合航空公司、地方政府推行基本航空服务计划，机场和航空公司两家企业各让一点，政府财政补贴一点，让偏远落后地区的百姓坐得上、坐得起飞机，慢慢去培养人气。每个高原机场要找到自己的生存定位并逐渐形成自身的竞争优势，比如立足服务于当地的文化旅游产业，成为当地文旅产业的配套项目；主动开辟地空联运通道等。

等待时机发展高原通勤航空。高原机场所在周边区域地广人稀，地面交通不发达；在该区域本应开展通勤航空服务，在简易机场使用小型机将周边县城的旅客摆渡到高原机场后再去中转后续航班。全球高原运输属于小众化的细分市场，主要飞机制造商对高原航空器的研发热情远低于对其他主流航空器的研发热情，导致从单座成本和安全性等方面考虑，目前市场上没有合适的小型航空器用于开展高原通勤运输。随着国产大飞机项目的稳步推进，我国的航空制造业正在崛起，期待中国自己研发生产的高原小型通勤飞机尽快问世。■



LEAP

LEAP 万众瞩目

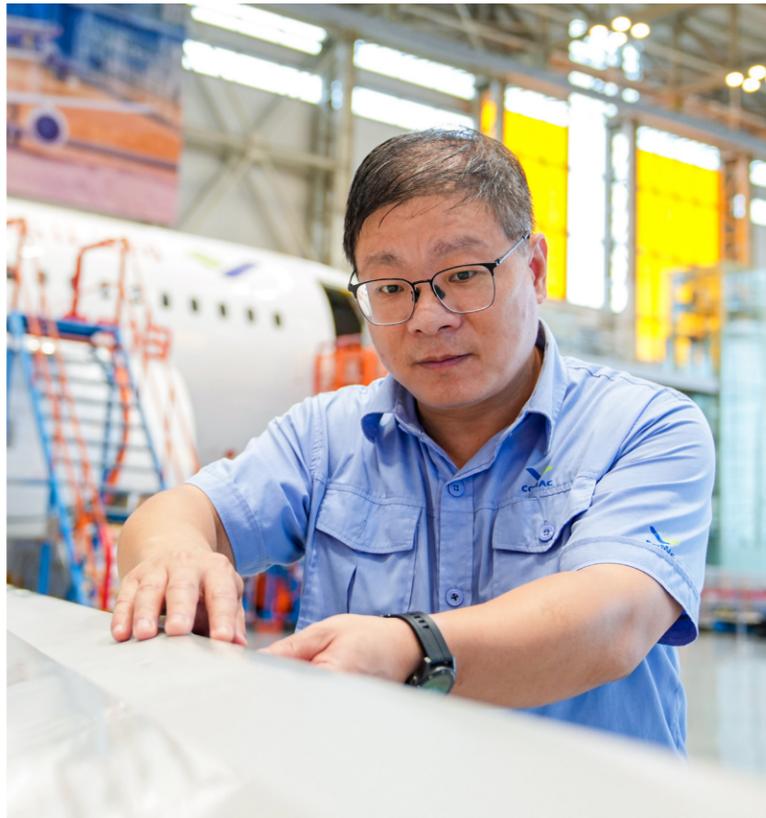
在同等级别中，搭载LEAP发动机的飞机实现了最高的飞行天数比率*。这意味着更少的备用飞机和更多的航班，由此助您获得更高利润。这也正是您青睐LEAP的又一理由。我们只用事实说话。*竞品为83%，数据来源为第三方。

资产利用率高达 92%

领袖绝非天生， 而系铸成。

戴渊：传承匠心的大飞机“金蓝领”

文 | 周岑茗



戴渊 | Dai Yuan

国家级技能大师工作室带头人

1970年7月生，中共党员，1988年入职上飞，现为上飞公司零件加工中心“双师型”（高级工程师和特级技师）骨干人才、国家级技能大师工作室带头人，荣获“全国技术能手”、上海工匠、2022年“上海产业菁英”（产业领军人才）等荣誉称号。

择一事，终一生。在大飞机钣金制造领域深耕35年，从一名普普通通的钣金工成长为“双师型”（高级工程师和特级技师）骨干人才，戴渊在平凡的岗位上苦练匠艺、锤炼匠魂、传承匠心，收获成长、带队攻关的同时也在辛勤育人，获评2022年“上海产业菁英”之“产业领军人才”。

匠心筑重器 当好“手艺人”

1980年9月26日，我国拥有自主知识产权的喷气式客机运10首次试飞成功。当时还在读小学的戴渊听闻这个消息激动不已，“长大了我要造飞机”，戴渊暗暗下定了决心。

“还记得上小学时，我老师的丈夫就是上飞的员工，他看我特别喜欢航模，就跟我讲，你这么喜欢飞机，以后去读上海飞机制造厂技校，毕业了就能去造飞机了。”三十多年后，戴渊回忆起如何与大飞机结缘时说，正是这句儿时的鼓励吹响了自己成长道路上的冲锋号角。1988年，戴渊从上海飞机制造厂技校毕业加入上飞，开始从事飞机钣金工作，自此踏上了他的逐梦之路。

钣金制造技术是航空航天制造工程的重要技术之一，也是实现飞机结构特性的重要技术之一。“我热爱钣金制造这门手艺，即便在大飞机事业发展遇到坎坷之时也舍不得放弃。”戴渊介绍，家里的长辈会时常用《弟子规》中的“居有常，业无变”的警句来教育自己，居家作息要有规矩，工作不要随意更换。正是对事业的热爱和长辈的叮咛，让他一直坚持了下来。

对质量的极致追求最终都会体现到产品中。十多年的理论学习和现场实践，为戴渊后来技术攻关的屡屡成功奠定了坚实基础。2007年5月，当时还只是高级工的戴渊勇挑一项难加工零件的任务攻关工作。“毫厘之间”见匠心，通过细致分析零件形状，融合多种飞机钣金成形技能，反复验证，戴渊最终啃下了这块“硬骨头”，成功保障了飞机下线节点，也总结形成了一种特色成形操作法。后来，这种特色成形操作法在公司内得到推广，突破了深拉深零件难加工的技术难题。

潜心攀高峰 勇做“领军人”

“在戴师傅这里，办法总比

困难多。”这是生产现场对戴渊的一致印象。

从制造到创造，勇攀技术高峰不仅是科研人员的事，产业技能工人也能够“闪闪发光”。作为国家级技能大师工作室带头人，戴渊将爱钻研的劲头发挥到了极致，带领团队开展一系列工艺创新试验和产品转化，相继完成了飞机型号相关的9项重大科研课题，形成了《降

低减轻孔的累积误差》等4项QC（质量管理）成果，解决了100余项钣金技术难题，掌握了近10项钣金制造核心技术。这些创新创造的成果，也曾获得上海市职工合理化建议创新奖、上海市优秀QC小组等荣誉。

以知识产权推动技术成果转化，2023年，分别以第一发明人、第二发明人又申报了两项国家发



戴渊带领团队开展一系列工艺创新试验和产品转化，相继完成了飞机型号相关的9项重大科研课题，解决了100余项钣金技术难题，掌握了近10项钣金制造核心技术。

明专利。已经成功拥有5项国家实用新型专利、申报3项国家发明专利的戴渊，仍在不断学习、不断创新。

科研创新的经验是可以复制的吗？对于能够不断干成拿下关键技术有什么秘诀可以传授？戴渊认为是有的。“首先，要目标明确，坚持我们正在做的事情，相信我们一定能干成。其次，就是要终身学习，在不断思考中积累经验、摸索方法，天道酬勤，没有人能够随随便便成功，也从来没有白费的努力。”

作为大飞机钣金制造的领军人物，在戴渊的示范引领下，技术创新走进车间、知识产权走进班组，越来越多的技能人员加入到创新创造的队伍中来，为推动大飞机事业发展增添源源不断的活力。

精心育桃李 甘为“引路人”

参加工作以来，在自身钣金成形技术不断精进的同时，戴渊也感到了理论知识的重要性。2009年到2015年，他先后获得了上海开放大学机械电子工程专科、本科毕业证书，理论水平提升的同时也增强了解决问题的思维能力和文字总结能力。

善学善教，育己育人。热爱

学习的戴渊，不仅自己学，还乐于带动他人一起学，把好的经验进行总结，把好的技术进行转化，把好的成果进行分享。

通过5年时间，戴渊带领团队编制了《飞机钣金技能操作方法》《飞机钣金成形基本知识》等近9万字、500余幅配图的飞机钣金工专业教材，包括理论培训讲义12份、实操培训讲义9份；结合现场实操，总结形成《钣金零件成形标准工作法》《冲压成形标准工作法》等8份标准工作法；组织开展理论培训近900课时、实操训练800余人次；培养出2名“全国技术能手”、3名中国商飞技术能手，2名徒弟在国家级二类竞赛中取得飞机钣金项目第一名的成绩。

“言传身教是最有效的，当然我也经常向年轻人学习，一起探讨新想法、新技术，教学相长，共同进步。”在工作中，戴渊带领国家级技能大师工作室以“攻关创新、培育骨干”为宗旨，从“项目引领、技能竞赛、高师带徒、能力提升、基础培训”五个方面出发，提升技能人员的岗位操作能力，树立“生命至上、安全第一、安全永远第一”的安全观，坚持“要做事先做人，凭良心做事”的工匠精神。

对内苦练技艺，对外增强交流。在日常工作之余，戴渊还积极

组织团队成员与其他技师工作室进行技术交流活动，赴上海电气、东航、唐山轨道客车有限责任公司、北京航天211、上海沪东造船有限公司、江南造船有限公司等国家级技能大师工作室进行技术交流。

“要走出去，开阔眼界、开拓思维的同时，也能够提高公司的知名度。”终生学习、传播知识，始终是戴渊孜孜以求的。

为了让更多人了解大飞机，戴渊还积极担任上海技师协会督导员、上海市技师协会飞机制造分会主任、上海民航技术学院航空制造系客座教授、上海市总工会“工匠学堂”首批讲师、“大国小工匠”青少年技能体验活动技能导师等社会学校的兼职工作，也曾代表公司作为专家评委参与上海市、浦东新区、青浦区等市级、地方级技能工作室的评审工作。

“每一位高技能人才干任何事要以‘德’为先，发扬‘多干活、多吃苦、多吃亏、多学习’的‘四多’精神，把‘忠诚、热爱、坚持’的工匠精神发扬光大。”戴渊，这位传承匠心的大飞机“金蓝领”，将继续坚守这份初心，在型号任务新的征程上勇毅前行。■

SHANGHAI
AIRSHOW

2023上海 国际商用航空航天产业展览会

SHANGHAI INTERNATIONAL COMMERCIAL AIRSHOW 2023

空天交融 聚睿无疆

AERIAL FUSION LINK YOU INTO THE BORDERLESS WISDOM WORLD

专注于商用航空航天全产业链发展的专业展览

The Exhibition Focuses on the Development of the Commercial Aerospace Industry Chain

2023.11.23-25 上海展览中心
Shanghai Exhibition Center, Shanghai, China



免费领取门票
邀请码:AS1709

WWW.SHANGHAIIRSHOW.CN

远距离通信的桥梁——无线电

文 | 李佳圆 周波 张锡瑞

随着我国现代化进程的加速推进，无线电技术与应用对各行业领域的渗透不断加深，与人们的生产生活关系也越来越密切。与此同时，作为无线电技术与应用的载体，无线电频谱资源已成为构建新一代基础信息网络的关键要素，国家对无线电频谱资源的管控也愈加全面和严格。

▼图 | 陈栋



无线电波的传播方式

无线电波指在所有自由空间(包括空气和真空)传播的电磁波，是频率介于3赫兹到约300G赫兹之间的电磁波，也称作射频电波，或简称射频、射电。无线电技术将声音信号或其他信号经过转换，再利用无线电波传播。

航空通信使用高频2-30MHz和甚高频118-137MHz。另外，航空业在中低频、甚高频、特高频、超高频等频段也占据了部分频率。

无线电波自发射地点到接收地点主要有天波、地波、空间直线波3种传播方式。

沿着地球表面传播的电波，称为地波。在传播过程中因电波受到地面的吸收，其传播距离不远。电波的频率越高，地面吸收越大，因此短波、超短波沿地面传播时，距离较近，一般不超过100公里，而中波传播距离相对较远。地波的优点是受气候影响较小，信号稳定，通信可靠性高。

靠大气层中的电离层反射传播的电波，称为天波，又称电离层反射波。天波经距地面70~80公里以上的电离层反射后至接收地点，其传播距离较远，一般在1000公里以上。天波缺点是受电

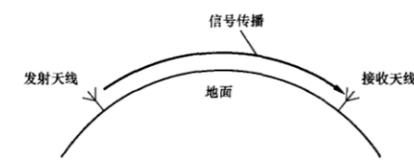
离层气候影响较大，传播信号很不稳定。短波频段是天波传播的最佳频段，渔业船舶配备的短波单边带电台，就是利用天波传播方式进行远距离通信的设备。

在空间由发射地点向接收地点

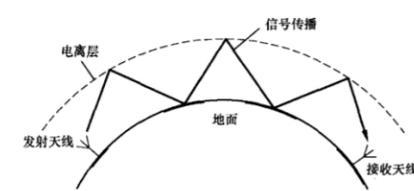
直线传播的电波，称空间直线电波，又称直线波或视距波。空间直线波的传播距离为视距范围，仅为数十公里。民航甚高频通信电台、渔业船舶配备的对讲机和雷达均是利用空间波传播方式进行通信的设备。

频段名称	频率范围	波长范围	波段名称	主要用途
甚低频 (VLF)	3-30 kHz	100-10 km	超长波	导航、固定业务
低频 (LF)	30-300 kHz	10-1 km	长波	导航、固定业务
中频 (MF)	300-3000 kHz	1000-100 m	中波	导航、广播等
高频 (HF)	3-30 MHz	100-10 m	短波	导航、民航高频通信等
甚高频 (VHF)	30-300 MHz	10-1 m	米波	民航甚高频通信、导航电视、调频广播等
特高频 (UHF)	300-3000 MHz	100-10 cm	分米波	微波 ADS-B、遥测、导航、雷达、Wi-Fi等
超高频 (SHF)	3-30 GHz	10-1 cm	厘米波	
极高频 (EHF)	30-300 GHz	10-1 mm	毫米波	

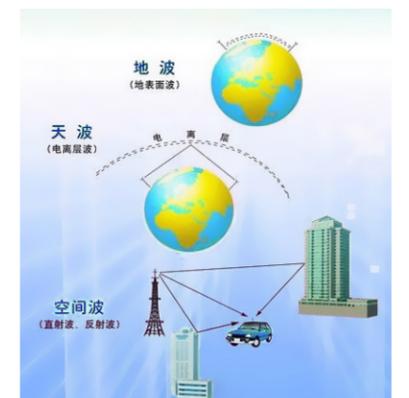
▲表1 | 无线电波的波段划分



▲图1 | 地波传播



▲图2 | 天波传播



▲图3 | 无线电传播的方式

无线电管理

无线电频谱是具有重要战略意义的国家稀缺资源，是推动信息化发展的重要载体。新修订的《中华人民共和国无线电管理条例》(以下简称《条例》)由国务院、中央军委签署，已于2016年12月1日起施行。

《条例》规定了无线电管理机构和无线电监测技术机构的法定职责，明确了无线电管理机构与技术机构的领导关系。

《条例》明确指出，国家无线电管理机构负责全国无线电管理工作，依据职责拟定无线电管理的方针、政策，统一管理无线电频率和无线电台站，负责无线电监测、干扰查处和涉外无线电管理等工作，协调处理无线电管理相关事宜。其他管理机构如中国人民解放军电磁频谱管理机构、省、自治区、直辖市无线电管理机构、国务院有关部门的无线电管理机构在国家无线电管理机构的业务指导下，相应地负责各系统(行业)的无线电管理工作。

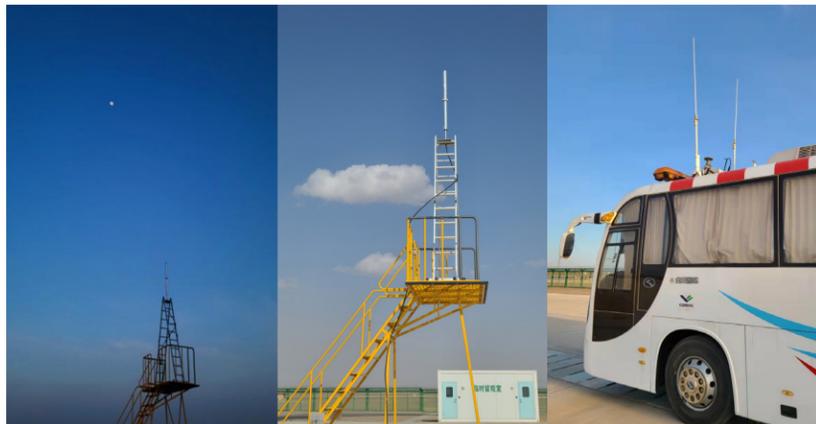
国家无线电监测中心和省、自治区、直辖市无线电监测站作为无线电管理技术机构，分别在国家

无线电管理机构和省、自治区、直辖市无线电管理机构领导下，对无线电信号实施监测，查找无线电干扰源和未经许可设置、使用的无线电台(站)。

依法设置、使用的无线电台(站)受到有害干扰的，可以向无线电管理机构投诉。收到投诉的无线电管理机构应当及时处理，并将处理情况告知投诉人。处理无线电频率相互有害干扰遵循频带外让频

带内、次要业务让主要业务、后让先用、无规划让有规划的原则。

根据《条例》，未经许可擅自使用无线电频率的，或擅自转让无线电频率的，或违反条例规定使用无线电发射设备、辐射无线电波的非无线电设备干扰无线电业务正常进行的，由无线电管理机构责令改正，拒不改正的，将处以相应的罚款，及其他处罚。



无线电在民航的应用

无线电为飞机提供飞行导航和信息沟通服务，没有无线电技术的支撑就没有现代航空业。飞机起飞后，飞机上的无线电导航系统开始工作，对两个地理位置最好的导航台进行自动调谐，计算出距离后与导航数据库里的各台经纬度以及飞行高度等其他信息相结合，从而计算出飞机的无线电位置。同时，全球卫星导航系统也为飞机提供导航服务。飞机在整个飞行过程中，飞行员利用机载无线电导航设备实时与地面导航台保持实时联系，控制飞行航线。飞机降落时，自动驾驶系统在地面塔台的指令指挥下，由无线电波引导，完成对准跑道降落的全过程。

在民机试飞工作中，无线电也有着举足轻重的作用。

利用无线电完成地空通信指挥，例如甚高频通信系统，在试飞任务中，扮演着试飞员与指挥员之间沟通的桥梁。指挥员之所以可以运筹帷幄，千里传音，正是甚高频通信系统的功劳。一套简易的装置就能架起一道地空通信的桥梁，这座桥梁就是看不见摸不着的无线电。

在一些“短平快”的试飞机场，往往不具备地空通信指挥的硬件条件，需要自备电台等硬件通信设备，以满足试飞指挥及监听的保障需求。

大家经常在试飞外场看到一部梯子。它就是甚高频的天馈系统，虽然看似简单却很重要，它承担着外场试飞地空通信的重要职责。通常，一部电台、一根天线、一根馈线、一个话筒、一部折叠梯，就临时建起了一个兼有指挥和监听功能的简易通信系统。随着经验的积累，技术创新改进，逐渐加入了网络交换机、遥控单元、优化天线支撑杆，使得通信效果更好，更适合远程监听及试飞指挥。而在一些空域范围较广、甚高频地空通信设备(VHF)最大作用距离无法覆盖的空域，可以通过建设甚高频通信系统中继站，对空域中的通信信号覆盖能力进

行补充，类似于“接力棒”一样，在一个站址接收信号，通过地面传输链路，将信号数据送达指挥大厅，接力传递，实现信号补盲。

有了这些设备的加持，再辅以无线电的“功力”，就能将指挥员的命令传给千里之外、万米高空的试飞员。

在飞机研发及批产交付前的地面试验中，无线电也扮演着重要角色。例如开展机载无线电功能验证试验，包括OATP试验(ELT、TCAS、ATC)、MOC5试验(甚高频、高频、EMC试验)、使用导航信号发生器等工装设备开展的ILS试验、VOR/DME试验以及其他临时执行的使用无线电发射设备的验证科目或系统试验。■

序号	试验类别	试验科目
1	通信专业	高频通信系统功能测试
2		甚高频数据链系统功能测试
3		甚高频通信系统功能测试
4		选择呼叫系统功能测试
5		固定式应急定位发射系统功能测试
6	导航专业	测距器系统功能测试
7		甚高频导航系统功能测试
8		多模接收机功能测试
9		地形提示和警告系统功能测试
10	监视专业	交通告警和防撞系统功能测试
11		交通管制 ATC/S 模式应答机功能测试

飞行员的“好伙伴”—— 飞行模拟机

文 | 乔善勋



乔善勋

现任职河南工业贸易职业学院，毕业于北京航空航天大学交通运输专业，中国航空学会第一批航空科普专家、河南省航空业协会专家委员会秘书长。新媒体《航空之家》创办人。已发表 67 篇专业文章、出版 2 本航空专著《空难悲歌，航空安全背后的故事》、《空难启示录，谁是航空安全的金钥匙》

▼ A330 模拟机传来失速警报时的姿态和场景

万米高空，A330 在操纵法则降级到“备用法则 2”之后，飞机可用速度区间很小，稍微拉杆，驾驶舱就会在摇晃中传来“stall（失速）”的声音。笔者在颠簸中本就有些不适了，再加上闪烁的警告灯和蜂鸣器，此前没有接受过高空失速训练的笔者已经开始慌神。

还好这一切发生在 A330 的模拟机中，笔者身旁坐着经验丰富的珠海翔翼飞行教员宋国超，他给笔者讲解演示了飞机从进入失速到改出失速的过程。

此情景和 2009 年法国航空 447 号航班非常相似。2009 年 6 月 1 日，法航 447 号航班在从巴西里约热内卢加利昂国际机场飞往法国巴黎戴高乐机场的途中，坠毁在大西洋中，事故导致 228 人遇难。

事故调查报告指出事故原因是皮托管结冰导致 A330 发生空速不可靠事件，控制律降级为“备用法则 2”，自动驾驶仪自动关闭，飞行包线保护消失，飞行员错误操纵导致飞机失速。而更深层次的因素一方面为飞行员驾驶技艺不精，缺乏情景意识、沟通决策意识和对惊吓情绪的管控意识，一方面则是因为法国航空仅提供模拟机低空失速训练，没有提供高空失速训练。

游乐场的“蓝盒子”

飞行员必须做好应对从恶劣天气到空中交通管制，再到机载设备故障的一切准备。但在真实的飞机中进行此类情况的培训既昂贵又危险，因此需要借助飞行模拟机。笔者在模拟机中感受了空间迷向、飞机复杂状态预防和改出训练（UPRT）、飞行员技术训练科目（单发 + 大侧风 + 直接法则 + 边缘天气条件），充分感受到模拟机在飞行员培训体系的重要性。

发明模拟机的是美国发明家、企业家和航空先驱埃德温·阿尔伯特·林克（Edwin Albert Link，1904 年 7 月 26 日至 1981 年 9 月 7 日）。他发明的飞行模拟机，被称为“Blue Box”（蓝盒子）或“Link Trainer”（林克模拟机），在 1929 年投入商业化，并开启了价值数十亿美元的产业。

1920 年，林克第一次接触飞行。1927 年，林克买了一架塞斯纳飞机，他通过巡回表演、包机和授课维持生计。后来林克用 18 个月时间发明了“林克模拟机”，它拥有类似机身的设备，带有驾驶舱和控制装置，能产生飞行的动作和感觉。

1929 年，林克成立林克航空公司来制造模拟机，它由电动泵驱动，能做俯仰和滚转两个动



林克模拟机的早期客户是游乐场，而不是飞行培训学校，其专利（US1825462 A）名称就是“飞行学员和娱乐设备的组合训练设备”。模拟机被涂上蓝色漆，因此也被称为“蓝盒子”。

作。林克模拟机的早期客户是游乐场，而不是飞行培训学校，其专利（US1825462 A）名称就是“飞行学员和娱乐设备的组合训练设备”。模拟机被涂上蓝色漆，因此也被称为“蓝盒子”。

多起航空邮件事故成就了林克的第一笔军事订单。当时美国陆军航空兵接管了美国航空邮件业务，但飞行员不熟悉仪表飞行规则，导致在 78 天内有 12 名飞行员遇难。飞行员的牺牲让美军开始考虑多种解决方案，包括林克模拟机。

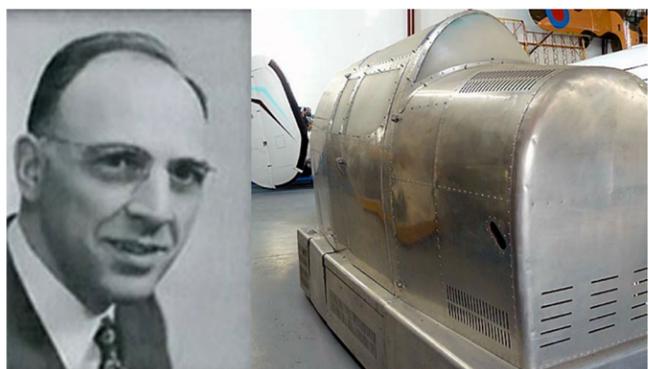
1934 年，美国陆军航空兵以单

价 3400 美元的价格购买了六台模拟机。1937 年，美国航空公司成为第一家购买林克模拟机的商业航空公司。在二战前期，林可模拟机远销德国、日本、英国、俄罗斯等国家。

在二战期间，林克公司生产了超过 10000 台模拟机，高峰时每 45 分钟生产 1 台，有超过 50 万飞行员在林克模拟机上训练。

1945 年，林克因发明飞行模拟机而获得霍华德 N. 波茨奖章，并在 1947 年获得皇家航空学会韦克福尔德金奖。1976 年，他入选美国国家航空名人堂。





德梅尔改进了培训泛美 B-314 飞行员的林克模拟机。它能和无线电导航系统相结合，通过无线电信号精确模拟飞行。飞行员第一次真正学会“靠仪表飞行”而不是凭“感觉”！

“地面飞行”走向现实

飞行训练成为美国在二战时期的当务之急，理查德·德梅尔 (Richard C. Dehmel, 1904 年~1992 年) 博士曾是贝尔电话实验室的一名工程师，他在 1938 年开始对飞行训练产生兴趣，并开始为林克模拟机制作自动信号控制器。这也是仪表飞行训练的一大进步，该系统能让模拟机更贴近实际导航设备环境。

1943 年德梅尔加入寇蒂斯-莱特公司担任总工程师，他在

1946 年升任电子部门的工程和制造总监。德梅尔改进了培训泛美 B-314 飞行员的林克模拟机。

1950 年 1 月 10 日，德梅尔获得“飞机飞行训练装置”发明专利 (专利号：2494508)。他的创新设计可以让模拟机的操纵杆、方向舵和仪器的响应与飞机完全一样。它能和无线电导航系统相结合，通过无线电信号精确模拟飞行。飞行员第一次真正学会“靠仪表飞行”而不是凭“感觉”！

1954 年，美联航以 300 万美元的价格从寇蒂斯-莱特 (Curtiss-

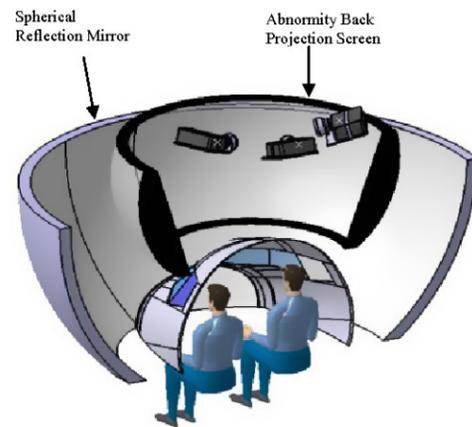
Wright) 公司购买了四台飞行模拟机。它相比早期的模拟机增加了视觉、声音和动作，这也是商用飞机的第一台现代飞行模拟机。

德梅尔模拟机能大大降低培训飞行员的成本、时间和风险。例如泛美航空在 13000 小时内培训了 125 名飞行员、40 名英国海外航空飞行员和 85 名空军飞行员。模拟机让泛美航空培训飞行员的成本降低 60%，并将飞行员的培训时间从 21 小时减少到 8 小时。

1972 年，胜家公司研发了一套直透镜仪器，配备了曲面镜和分光镜，能将驾驶舱外的景色投射在一定距离的焦点上。这些直透镜显示器大大改善了飞行模拟机的真实性。1976 年，采用广角直透镜解决了视角狭窄的问题。1982 年，研发出的广角无限显示设备采用在横向大幅度扩大的曲面镜，可以让多人透过显示屏看到模拟影像。

早期的模拟机相对简单，但今天使用的模拟机能非常准确地模仿飞机的声音、动作和视觉效果。以至于一些飞行员在训练时完全忘记了他们从未离开过地面。当飞行员向前推模拟机的控制杆时，他们会感觉真的向地面俯冲。

模拟机能提供在空中过于危险而无法尝试的练习机会，例如无



▲ D 级全动模拟机系统中使用的视景显示系统

意间开启的反推器等。飞行员能体验飞机电气故障，还能体验自动化的飞机系统如何诊断和解决故障。此外还有针对特定机场的模拟机训练，例如帮助飞行员练习以陡峭的下降飞行进入伦敦市金丝雀码头附近的短跑道。

2010 年澳洲航空 A380 发生发动机故障时，飞行员处理得很好，其中一个原因是他们在模拟机训练中早就明白当发动机停车时，飞机会有什么表现以及驾驶舱的指示。

飞行员培训离不开模拟机

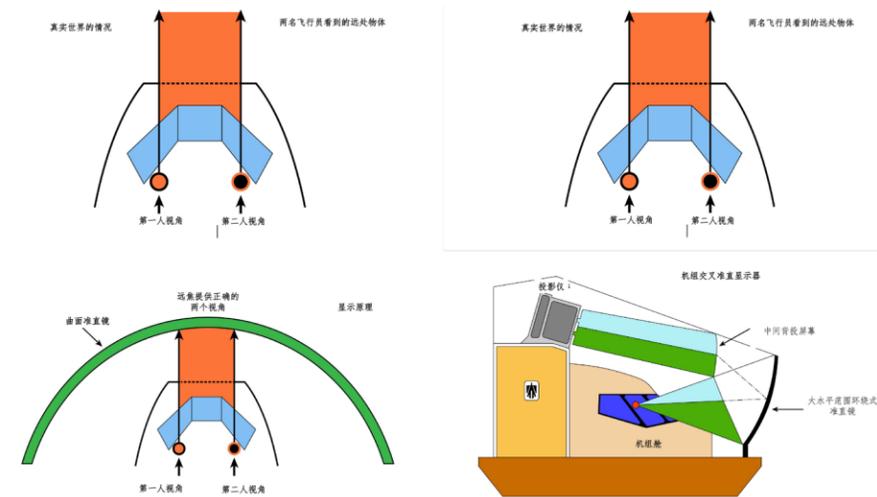
现代全动飞行模拟机中，从 A 到 D 一共分为四个级别，其中 D 为最高级别。D 级模拟机必须能

在所有六个自由度 (6-DoF) 中产生加速度，身体可以在空间中自由移动。因此，D 级模拟机适用于商业航空运输飞机的初始和复训。其中初始训练是为了转换为新机型，复训是所有商业飞行员必须定期进行的训练。

模拟机通常由模拟座舱、运动系统、视景系统、计算机系统和教员控制台组成。飞行员有 70% 以上的信息来自视觉，因此视景系统是关键系统。现在模拟机使用的是虚像显示系统，它向飞行员显示窗外图像的显示系统通常设计为让图像出现在远处的焦点处，也被称为准直显示，这能让两名并排坐着的飞行员都能看到相同的图像，不会出现角度误差或失真。

目前，模拟机市场中最大的制造商是加拿大 CAE 公司，他们拥有 70 年制造培训设备的历史，占有 70% 的市场份额，销售收入达 28 亿美元。现在 CAE 从培训中获得的收益甚至超过了生产模拟机的收益。

CAE 的产品线包括基础款模拟机：CAE 400XR 和 CAE 500XR，全动模拟机：CAE 3000、CAE 5000 和 CAE 7000XR。2001 年 CAE



▲ 全动模拟器显示原理示意图



▲ 珠海翔翼鸟瞰图



▲ 翔翼公司研发的国产 A320 模拟机

收购了 BAE 系统的飞行模拟和训练部门。2021 年 CAE 收购了美国 L3Harris 的军事培训业务，其中还包括林克模拟和培训项目。

中国飞行员队伍庞大，也是飞行模拟机的重要市场。比如亚洲机队规模最大的航空公司中国南方航空，目前在职专业飞行员逾万人，旗下的珠海翔翼模拟机训练中心就是亚洲规模最大、机型最全、

国内历史最悠久的训练中心之一。1992 年 11 月 18 日，南航珠海飞行训练中心开业。2003 年 CAE 和中国南方航空股份有限公司合资组建了珠海翔翼航空技术有限公司。2017 年，珠海翔翼成为南航全资子公司。

翔翼公司除了飞行培训外，还提供签派、管制及机务等人员的专业和管理培训；研发和提供安全运行及训练解决方案；同时也提供模拟机维护技术及航材支持、训练中心管理咨询等服务。目前珠海翔翼拥有 31 台全动模拟机，每年有超过 7000 名南航飞行员在此训练，是亚洲规模最大、机型最全、国内历史最悠久的训练中心之一。截至目前，已累计为国航、东航、空客、波音、安博威、中国商飞、河北航、川航、多彩贵州、顺丰、春秋、澳门、华信、JAL、大韩、Bristow 等国内外 300 多家客户提供训练，致力于打造世界一流的飞行安全研究和训练机构。

未来，科技创新将是翔翼发展的关键词。珠海翔翼总经理周易之表示：“正在加强飞行数据和训练数据的应用研究，将业务领域向全面航空安全管理拓展，并加强训练设备产业链的技术攻关。”■

抢占 21 世纪民用航空市场 ——世界商用飞机发展简史（十二）

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。

▼ 图 | 作者提供

从 20 世纪 90 年代开始，波音和空客就为抢占 21 世纪的民用航空市场展开了激烈的竞争。在窄体客机市场，波音 737 和空客 A320 的垄断地位进一步巩固；在宽体客机市场，波音相继推出 777 和 787，空客陆续推出 A330、A340、A350 和 A380，尤其是“梦想飞机”787 和“空中巨无霸”A380 的研制生产，进一步促进了商用飞机产业链的全球化，而其投入商业运营，也带给了大众全新的出行体验。21 世纪世界干线飞机市场，基本被波音、空客“平分天下”。



市场不再需要四引擎飞机

1995 年，空客 A340 刚刚开始热销，波音的重要供应商通用电气推出了大推力发动机 GE90，立刻让意气风发的 A340 前景堪忧。

GE90 是一种新型高涵道比涡扇发动机，集合了当时最先进的发动机制造技术，推力可达 11.5 万磅。一台发动机的推力比波音 707 四台发动机的推力还要大，这极大提升了发动机的可靠性。

当年 5 月，装配有两台 GE90 发动机的波音 777，成功获得美国联邦航空管理局批准的 ETOPS-180 认证（ETOPS，即双发延程飞行，最初是国际民航管理机构出于民航安全性考虑，制定的针对双发飞机的一系列规定。一架飞机如果取得了 ETOPS-120 认证，就意味着这架飞机可以在单发动机全负载下，安全飞行 120 分钟）。这不仅意味着波音 777 可以在单发动机全负载下，安全飞行 180 分钟，更意味着包括太平洋航线在内的绝大多数超远程航线，都可以使用双发客机执飞，这一点深深改变了商用飞机产业格局。

1995 年 11 月，首架装配 GE90 发动机的波音 777 正式投入运营。只装配了两台发动机的波音

777，比四台发动机的飞机更加经济，维护成本也大幅度降低。因而，波音 777 成为了公认的赚钱机器，航空公司趋之若鹜，订单如雪片般飞向波音。

在波音 777 等大推力双发飞机的冲击下，空客 A340 的辉煌犹如昙花一现。问世第一年就拿下 100 多架订单的 A340，在此后的 20 年间，总订单数都没能超过 400 架。

2005 年 11 月 9 日，一架波音 777-200LR 创下了民用飞机不经停直飞新的世界纪录，用时 22 小时，飞行距离 21601 千米，相当于绕地球半周以上。777 为波音公司带来了相当可观的营业收益，其客户遍及世界上所有主要航空公司。从这时起，市场不再需要四引擎飞机，双引擎就已足够。

空客“巨无霸”诞生

1992 年范保罗航展，波音和空客分别透露出了研制超大型飞机项目的消息，引起了业内轰动。此后三年，双方一直在寻找合作机会，因为超大型飞机的研制成本太高了，全球市场有可能只能养活一种这样的飞机，最好能联合美国人和欧洲人来共同研制这种飞机。因

为对于任何一家飞机制造商来说，一旦将钱投到这个大飞机项目中，就没有剩余的钱投给其他项目了。

双方都有合作的意愿，但在具体谈判中，都仅从自身的利益出发。波音想尽量把空客拖在谈判桌上，空客则认为，谈判越久，波音将有更多时间从 747 的垄断地位中获利，这样使空客更难挑战其垄断地位。双方各执己见，许多事情没有任何结论。很快，由于在发展理念上的分歧，双方终于分道扬镳。

波音认为 21 世纪的航空市场主要追求快速、便捷而不是超运力，因此不看好 550 座级以上的市场，而空客却坚定地认为，增加运力将是改善 21 世纪空中交通越来越拥挤的最好途径。实际上，空客希望制造这样一种飞机，不仅是为了完善它的飞机家族，而且是为了打破波音 747 对大型飞机市场长期垄断的现状。

在 20 世纪 90 年代早期，空客 A340 已经开始在瘦长航线市场给波音造成了适度的冲击，虽然它搭载的乘客要比 747 少一些，但比 747 飞得更远。空客希望通过研制超大型飞机，采用典型的钳形攻势攻陷波音，正如齐格勒所说：“我们已经用 A340 从下面向 747 的市场占有率展开了攻击。现在的想法是用

大容量飞机从上面超过他们。”

而此时，空客对市场的预测研究也进一步坚定了他们的构想。他们断定，到 21 世纪 20 年代末，超大型飞机的需求将达到 1235 架左右，价值 3200 多亿美元。根据这一点，他们认为新的飞机应可搭乘 555~655 人，航程在 14000~16000 千米之间。于是 1994 年，空客向公众宣布了 A3XX 超大型运输机计划。

收益尽管很丰厚，但制造如此之大、如此昂贵的超大型飞机的风险也是巨大的，即使在空客内部，许多经验丰富的工程师也认为，A3XX 的项目是一次冒险，就像伊卡洛斯不顾父亲的警告飞得离太阳太近，以至胶接翅膀的蜡融化而坠入大海。因为它不仅存在技术、机体、发动机、资金以及适航方面的风险，而且这种飞机如何能融入到空客的整个飞机家族中，也是一个棘手的问题。要知道，此前所有的空客飞机型号都是以统一的方式一步一步发展起来的，新的型号是基于前一个型号开发的，所以各种型号的飞机之间至少具有 60% 到 80% 的通用性，而这种新开发的超大型飞机与其他空客飞机的通用性几乎为零。空客必须非常小心地考虑由此可能带来的各种后果。



但空客高层对此项目充满信心，在 A3XX 项目启动的预备阶段，空客就进行了大规模的公开宣传，在公开发布的飞机草图中，整个飞机被描绘成一个高空飞行的快乐宫殿。为了吸引航空公司，空客还在图卢兹制造了一个全尺寸的客舱模型，带给航空公司无尽的遐想。

2000 年 4 月，阿联酋航空公司宣布，准备购买 10 架以上 A3XX，同年 7 月，法国航空公司和国际租赁投资公司也成为了 A3XX 的客户。2000 年底，A3XX 定名为 A380，项目正式启动。

在设计 A380 时，空客几乎将可以应用的新技术都用上了，除了设计更先进的机翼外，还在飞机的

主要构件上大量采用碳纤维增强塑料和全新的玻璃纤维——金属夹层板轻质材料，高压的液压系统和激光束焊接先进工艺技术等，使 A380 的座英里成本比目前效率最高的飞机还低 15%~20%。空客认为，A380 将是人类有史以来所设想的最宽敞、最富效益的民用客机。这种“巨无霸”客机最大起飞重量达 500 吨以上，机身内分三层，底下一层为货舱，上面两层为客舱，舱内可以配备全躺式个性化的豪华座椅、豪华酒吧台、宽敞的淋浴室、小型图书馆、会议室、休闲娱乐室和免税商店。

2005 年，A380 完美首飞，2007 年 10 月 15 日，首架 A380



交付首家用户新加坡航空公司，10月25日，首架机首航。A380投入运营翻开了人类航空史新的一页，这是世界上至今生产和运营的尺寸最大的民用客机，宣告了747飞机垄断大型民机市场长达30余年的日子正式终结，也将为今后的航空旅行带来一种全新的体验。

波音“梦想飞机”启航

面对空客的挑战，波音

推出了747加长改型计划——747-500X/600X应战。波音认为，他们的优势在于747在全球已经有一个庞大的机队，有很大的潜在替换市场，由于利用了现有机型的改型，所以研制风险小、成本低、进度快，因而比A380更有竞争力。但是，波音忽略了747-500X/600X与A380的技术差距，毕竟747是20世纪60年代的产品，很难适应21世纪用户对新产品的需求，因而市场反应远不如波音的期

望，加上波音依然不看好超大型运输机的未来市场，于是决定放弃747-500X/600X计划，退出与空客在550座级以上超大型运输机市场的竞争。

放弃了与空客在超大型运输机市场的正面竞争后，波音在2001年宣布，要集中力量启动一个充分体现波音“快速、便捷”新理念的“声速巡航者”计划，并声称该机将以其高速巡航性能、点对点的服务开创21世纪全新的飞行

方式。

果然，“声速巡航者”一亮相，就以它完全不同于常规客机的布局，吸引了全球航空界的眼球，引起了不小的轰动。当时，一些在世界上领先的航空公司确实受到了这种新设计理念的鼓舞，将其视为继欧洲“协和”号超声速客机投入运营之后第一种比较接近市场实际需求的、并以成本上可接受的超声速巡航飞行行为目标的未来新型运输机计划，表示很想跳上这辆“时代的列车”。

然而，2001年9月11日，一场对航空业产生灾难性影响的事件发生了。“911”恐怖袭击事件之后，世界经济严重衰退，民航运输业深受重创，航空公司迫切呼唤运营经济效益更好的超高效益新型飞机，他们普遍认为，对于大部分乘客来说，现在还不可能愿意多掏1/3的钱去赢得1~2小时的时间，所以对速度虽然更快但运营成本也更高的“声速巡航者”不再感兴趣。

此外，许多客户还认为“声速巡航者”太“激进”，全新布局的背后必然是高投资、高风险，“声速巡航者”完全脱离了波音传统系列的体系，对于客户来说将意味着全新的备件和保障费用。于是，在2002年，波音宣布“声速巡航者”

搁置，该项目在“叫好不叫座”的客户反应中无疾而终，尽管该机的设计工作已经接近达到波音提出的设计目标，风洞试验也证实了该机可以以马赫数0.98的速度巡航飞行，比现在常规设计的运输机的巡航速度快20%。

放弃了“声速巡航者”计划，波音将其全部技术和成果集中，计划发展一个还是采用常规布局的中大型运输机项目——7E7，也就是后来被称为“梦想飞机”的787。波音启动这个项目的理由非常清楚，这种200到250座级的双发宽体飞机将用来填补已经使用了25年的767与现代化的777之间的空档，预计有3000架新订单的潜力。

波音787的机身采用一种横向双圆形横截面设计，将结合为“声速巡航者”开发研究的很多先进技术和航空工业的最新研究成果，包括大量采用与因特网相兼容的系统和网络技术，先进气动性能的机翼和设计，新一代的高效发动机，特别是复合材料在飞机结构重量中占到了60%，是目前唯一的飞机结构以复合材料为主的大型民用客机，这也使这种飞机的效益能够比现有同级飞机高15%~20%。

2007年7月8日，“梦想飞机”787总装下线，但是波音在

787项目中采用了革命性的生产全球化战略，对供应链的管理提出了很高的要求。果然，在第一架飞机总装时，出现了意想不到的飞控软件等方面的技术问题与供应链问题，波音不得不在当年10月10日宣布，首批787的交货期将推迟半年。

为了应对787，空客推出了A350，但这一项目启动以来收到的订单，明显处于787的下风。于是，在2006年12月2日，空客又推出了全新的A350XWB（超宽体客机）方案，采用了新的客舱、新的机翼、新的材料、新的系统和新的发动机，并声称A350XWB的飞行性能和客舱舒适性将全面超越787。

可以预见，波音与空客谁将是21世纪民机市场的霸主，很大程度上将取决于A350与787的竞争。截至2017年，两款机型的订单量基本持平，经过多年运营，两款机型也都展现出了非常好的状态。在21世纪的民用航空市场，波音空客仍然保持着干线客机的垄断地位，并将商用飞机的世界性竞争，又提高到了一个全新的高度。■



助力昂际航电战略落地及企业转型

文 | 文夷

OKR 全 称 Objectives and Key Results (目标与关键成果)，是近几年流行的目标管理工具之一。在 OKR 诞生的数十年里，它见证了众多技术巨人的崛起：英特尔、谷歌、微软、领英、推特……OKR 最早由英特尔公司前 CEO 安迪格鲁夫在英特尔公司进行实践、发展，后由约翰杜尔以投资人的身份介绍给谷歌的创办人，直至今日，谷歌依旧使用 OKR 系统。随着谷歌的成功，OKR 风靡硅谷企业界，成为硅谷企业的必备管理工具之一。

2015 年后，OKR 迅速被国内企业所接纳，成为国内企业的标准目标管理工具。如今，很多国内互联网公司如腾讯、字节跳动、华为等都引入了这一管理工具。

十年磨一剑。昂际航电致力于支持中国商飞国产大飞机 C919 项目，到如今 C919 已经正式进入商业运营。与此同时，昂际也在卯力新产品研发，拓展新市场。

2020 年，昂际发布了五年发展战略，着眼于从项目型公司向产品型公司转型。

2020 年夏秋，昂际管理团队自发研究学习了多个管理工具，包括 GE 母公司推进的“精益管理”中的 Hoshin Kanri 管理法，以及很多科技创新行业正

在实践的 OKR 管理法等。

相对于 Hoshin Kanri 管理，OKR 更简单专注，追



OKR 是

- ✓ 一种目标管理方法
- ✓ 与组织的使命、愿景和战略相关
- ✓ 要实现共同目标
- ✓ 专注于最重要的事
- ✓ 定义要实现什么以及如何实现
- ✓ 可以应用在不同的时间段内
- ✓ 一种文化...塑造行为的方法

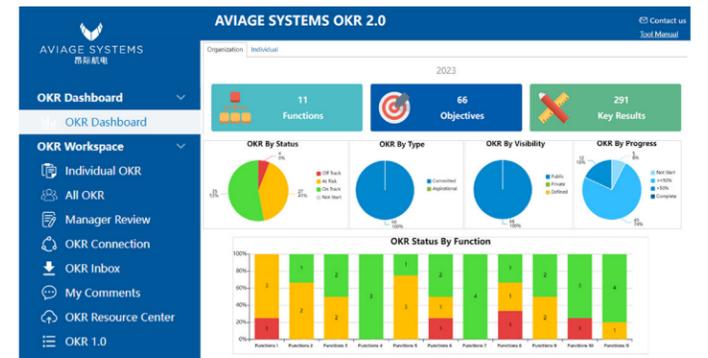
OKR 不是

- ⊗ 绩效评估工具
- ⊗ 关键绩效指标
- ⊗ 对既定目标 100% 实现的期望值
- ⊗ 单向协同（自上而下或自下而上）
- ⊗ 特定愿望清单
- ⊗ 团队常规任务的集合
- ⊗ 与薪酬和奖励直接挂钩



OKR 四大原则和实操准则

- 对优先事项的聚焦和承诺**: 目标设定是整个 OKR 体系的第一步，设立 5 个以内的目标有利于聚焦到最优先的事项上。同时，对每个目标设定一个关键结果。关键结果必须是可量化的、可衡量的、可追踪的。对于每个可衡量的关键结果，需要制定具体的行动计划。无论个人还是团队都要对目标的达成负责。
- 团队工作的协同和联系**: 开放透明是 OKR 的一大特征。透明的系统能够让大家看到互相联系的、跨部门以及不同级别的 OKR，促进目标执行过程中的沟通和协作，也能够驱动下而上的建议。
- 责任追踪**: 设立好目标，建立部门间的联系后，责任追踪确保项目目标达成不可分割的部分。定期跟踪目标达成的进度和状态，及时发现风险点，并有针对地提出调整，确保项目目标的有效执行。
- 挑战不可能**: 激发潜能是 OKR 的另一大优势。在确保主要目标达成的情况下，鼓励大家设置一些有难度的目标。客观看待目标执行过程中的问题，做大量的目标复盘。这样的挑战性能够进一步激发团队的潜能。



求相互关联、协调统一，创新挑战及透明管理，能关注到定期和不定期的目标落实的回顾跟踪，实现更灵活敏捷的目标管理。最终昂际管理团队决定以 OKR 作为公司现阶段转型战略实施的目标管理工具。

一个由人力资源、IT、产品、工程、运营和财务部门的 OKR Pioneer 代表组成的 OKR Office 悄然成立。推广公司内部 OKR 文化，推动 OKR 在昂际的生根落地，确保公司战略顺利部署执行。

昂际 OKR 的四大原则和实操准则也油然而生，即：对优先事项的聚焦和承诺、团队工作的协调和联系、责任追踪、挑战不可能。

OKR 的设立和复盘周期、公司年度财年运营规划一致。在公司年度大目标框架下，每个部门员工会自发设置自己的年度目标、关键结果以及具体行动项，所谓“协

同和关联”。而全年当中，部门和个人可以基于 OKR 随时复盘，如每个季度末公司会设置 2 周共同的时间节点，进行公司层级的复盘，即所谓的“责任追踪”。

理论清晰完整，还需工具配合。OKR Office 和 IT 团队一同开发了昂际自有的 OKR 线上工具，并不断优化迭代。通过线上工具，OKR 的透明度和跨部门协作得到了很好的体现，员工能够方便查阅任何组织或个人的 OKR，与其相关联的 OKR 建立联系，且在关联 OKR 状态改变时获得及时通知，并留下反馈。

理论和工具皆备，接着是内部推广。覆盖全员的培训，包含了理论知识和线上工具的讲解。人手一本的 OKR 使用手册，在介绍 OKR 机制的同时，也通过示例和图片加深对实际应用的理解。昂际

首次推广 OKR 就达到了 100% 全员参与率，为 OKR 在公司内部进一步应用打下了良好基础。

2023 年已经是昂际运用 OKR 工具的第三年。从 CEO 到员工个人，OKR 已经成为工作中管理目标不可或缺的帮手。打开 OKR 线上工具，了解目标进展，有的放矢地安排工作，已经成为每位员工日常工作模式。

OKR 能够顺利在昂际落地生根并推进，主要得益于四方推力：管理团队的承诺和参与；成立专项小组 (OKR Office)；快速上线 OKR 工具；利用定期 OKR 复盘机制来管理日常运营。

OKR 应用为昂际营造了一个良好的企业环境。开放透明、互相协作的文化种子已悄然萌发，信息传递效率逐步提高，团队凝聚力进一步增强，团队业绩逐步攀升。昂际的转型战略步伐还在向前迈进，管理团队也将继续总结经验，直面挑战，持续评估，优化机制。我们期待，OKR 作为昂际战略落地和企业转型的助推器，在未来迸发出更多潜能与“魔力”。■

OKR 应用为昂际营造了一个良好的企业环境。开放透明、互相协作的文化种子已悄然萌发，信息传递效率逐步提高，团队凝聚力进一步增强，团队业绩逐步攀升。



图 | 徐炳南