

124

与祖国同飞

- 中国民航飞机简史
- 空客与欧洲的氢能航空大战略
- 中国国际航空旅客市场分析

大飞机 JETLINER



C919

全球最新一代大型客机

复合材料占比11.5%



* 右图为C919复材切片模型镜框

大飞机 JETLINER

10 October

2024.10 | 总第124期

ISSN 2095-3399



2024.10



图 | 张翔宇

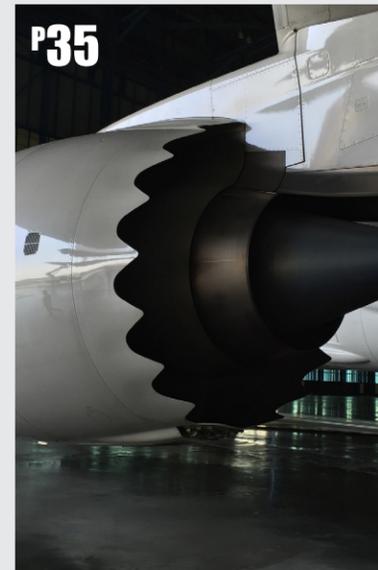
P20



P27



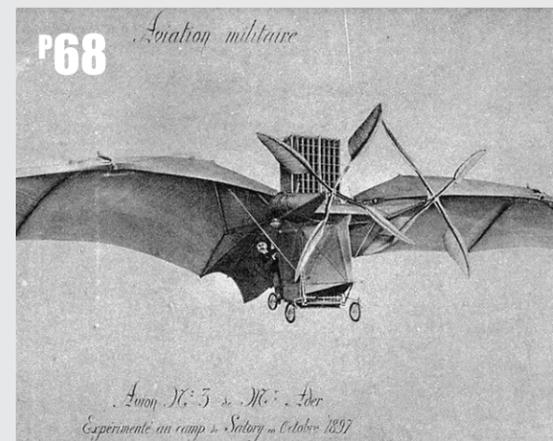
P35



P56



P68



05 卷首语

05 C919 多用户运营阶段
更要坚持“以客户为中心”
| 柏蓓

06 资讯

08 封面文章

08 中国民航飞机简史 | 詹东新

15 首架载旗 C919 首航背后的故事 | 陈姗姗

20 像一片祥云飞过蓝天
——C919 大型客机首次飞抵拉萨贡嘎机
场侧记 | 廖天航

24 天骄航空的“热辣滚烫” | 弓宸

27 航空制造

27 空客与欧洲的氢能航空大战略 | 纪宇晗

32 人工智能技术对航空复合材料市场的影响
| 陈济衍

35 人工智能或将改变 MRO 行业 | 文峻

40 航空运输

40 中国国际航空旅客市场分析 | 蒋星

46 中国发展国际航空枢纽的思路 | 边琪

51 中美民航机队的发展之路 | 张兆全

56 大韩航空：
今年底能成功收购韩亚航空吗 | 王双武

60 专访

60 聚焦航空制造与运维
布局服务低空经济
——访上海电机学院航空学院
执行院长李雷
| 吴苡婷

63 漫话航空

63 关于我国工业基础高质量发展的
思考 | 宋文通

68 航空史上的 10 月 | 黎时

71 云端书屋

71 2018 年“航空强国”的战略研究
——《张彦仲传》摘编（十一）
| 归永嘉 李韶华 雷杰佳

74 刘一枝帮忙筹经费
众青年思乡唱民谣
——《翱翔云端的风筝》摘编（四）
| 胡海林



▼ 本期导读

当前，国产大飞机 C919 已进入多用户运营新阶段，这意味着 C919 同时面临国内三大航更高标准、更严格要求的“综合考验”。新阶段、新征程，中国商飞必须一以贯之地继续坚持“以客户为中心”，才能让国产大飞机未来“飞出规模、飞出效益、飞出品牌”。

中国商飞公司党委书记、董事长贺东风将三大航同时运营 C919 看作是中国商飞“与高手同行、向高手学习”的宝贵机会。国航、东航、南航作为国内最大的三家航司，多年来在全球排名中始终位居前十。获得三大航的青睐，同时收获三家各 100 架的“大单”，这是 C919 获得市场认可和商业成功的伟大开端。



- 关注我们 -
FOLLOW US

本刊声明：

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

大飞机

2024 年第 10 期 | 总第 124 期 | 10 月 28 日出版

中国标准连续出版物号

ISSN 2095-3399 CN 31-2060/U

主管主办 中国商用飞机有限责任公司

出版发行 上海《大飞机》杂志社有限公司

编委会

主任 贺东风
副主任 谭万庚
委员 魏应彪 沈波 戚学锋
于世海 罗兴平 李玲
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

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
美术编辑 卢之萍 刘晓雨

采访主任 陈伟宁
记者 王脊梁 李琰 管超

商务总监 刘影 021-20887168
发行主管 颜康植 021-20887121

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

C919 多用户运营阶段 更要坚持“以客户为中心”

文 | 柏蓓



当前，国产大飞机 C919 已进入多用户运营新阶段，这意味着 C919 同时面临国内三大航更高标准、更严格要求的“综合考验”。新阶段、新征程，中国商飞必须一以贯之地继续坚持“以客户为中心”，才能让国产大飞机未来“飞出规模、飞出效益、飞出品牌”。

中国商飞公司党委书记、董事长贺东风将三大航同时运营 C919 看作是中国商飞“与高手同行、向高手学习”的宝贵机会。国航、东航、南航作为国内最大的三家航司，多年来在全球排名中始终位居前十。获得三大航的青睐，同时收获三家各 100 架的“大单”，这是 C919 获得市场认可和商业成功的伟大开端。

“以客户为中心”是中国商飞的生存法则。早在 2016 年，贺东风就提出：“中国商飞要进一步深化客户理念，以客户为中心，准确理解客户需求，及时满足客户需求，为客户创造价值，和客户一起探索构建独具特色的伙伴关系。”

多年来，中国商飞始终坚定地和客户站在一起，携手向前。在“护航”C919 全球首发用户东航平稳顺畅运营中，中国商飞的运营支持团队始终如影随形、快速响应、贴身保障；设计研发团队也在不断听取客户意见进行优化设计、积极改进；生产制造部门努力抓好质量、提升品质，让客户放心……

如今，三大航全部开启 C919 商业运营，意味着更广阔的航线运营范围和更多样的运营场景，对中国商飞的供应链管理能力和产品质量、产能提升等各方面要求也再上层楼。与“高手过招”需要自身内功深厚，跟得上客户脚步。中国商飞需要加快提升各种综合实力，需要设计、制造、客服、市场等方面继续坚持“以客户为中心”的客户观，继续坚持安全第一、安全永远第一，继续以谦卑的姿态去倾听客户的意见和建议，投入更多精力和耐力去快速响应并解决客户的问题，不断优化和改善产品，持续提升产品质量，不断完善服务体系，不断提升服务产品的多样性和及时性……

大飞机只有持续满足客户需求，让客户放心、让客户盈利、让客户成功，未来才能在全球商用飞机市场争得一席之地。



04 中国东航发布《C919 规模化商业运行体系建设》成果

10月22日，“2024北外滩国际航运论坛”上，中国东航发布《C919规模化商业运行体系建设》成果。东航是C919全球首发用户，现已接收8架C919飞机，运营5条商业航线。截至今年9月底，东航C919已运行492天，累计安全起降4288架次，飞行11151小时，服务58万名旅客。东航围绕C919商业飞行已创造多个“第一”，并探索出一套业内首创的操作规范、流程和标准。

05 交通强国指数发布 我国在全球主要国家中居第6位

10月22日召开的加快建设交通强国大会首次发布了交通强国指数。据测算，目前我国交通强国指数为88.9，在全球主要国家中居第6位，比2012年上升3位，是进步最快的国家。

06 BelugaXL 运输机首次飞抵中国

10月10日，BelugaXL（超级大白鲸）运输机飞抵天津滨海国际机场，这是BelugaXL首次飞抵中国、首次在欧洲以外地区执行运输任务。BelugaXL改装自A330-200，最大载货量51吨，航程4000千米，现共在役6架。

07 空客第三季度新增订单 340 架

第三季度，空客商用飞机项目新增订单340架（10架A220-300、44架A320neo、216架A321neo、37架A330-900、28架A350-900、5架A350-1000），其中净订单338架（调减2架A350-1000），共交付174架。截至9月底，空客商用飞机项目储备订单为8749架。

08 波音第三季度获得新订单 159 架

第三季度，波音商用飞机项目共获得新订单159架（131架737MAX、2架737军用衍生机、16架777货机和10架787-9），共交付116架。截至9月底，波音商用飞机项目储备订单为5456架。

09 巴航工业订单储备价值创 9 年来新高

第三季度，巴航工业共交付57架飞机，与去年同期相比增长33%，与上一季度相比增长24%。其中，商用航空交付了16架飞机，公务航空交付了41架飞机。截至2024年第三季度，公司订单储备价值达227亿美元，同比增长超过25%，创9年来新高。

10 巴航工业 E 系列货机获 FAA 认证

巴航工业E190F货机已获得FAA全面认证。该款货机已于7月获得巴西国家民航局（ANAC）的认证，EASA的认证将于2024年晚些时候获得。

11 俄拟未来 3 年拨款超 125 亿卢布 用于伊尔 -114-300 项目

近日，俄罗斯政府表示，计划未来3年向UAC拨款超125亿卢布（9.1亿人民币），用于伊尔-114-300涡桨飞机的设计优化、取证、批产及备件库建设。伊尔-114-300预计2025年取证，2026年4月交付首架，目前仅获得3架订单。

12 达美航空预计支线飞机运力将恢复至 2019 年水平

10月10日，达美航空表示，预计到2025年夏季，其支线飞机运力将恢复到疫情前水平；2025年，该行业将创造约5000个新的飞行员工作岗位，与2019年水平相似。



02

01 中国商飞召开 2024 年供应商中期会

10月17日，中国商飞2024年供应商中期会在上海滴水湖畔拉开帷幕。来自全球110家供应商的400余名代表汇聚一堂，交流经验、共谋发展。会议期间，举行了新一轮采购订单签署仪式。

02 中国商飞向南航交付第二架 C919

10月25日，南航第2架C919飞机执行调机航班，从上海浦东机场出发飞往广州白云机场，正式加入南航C919机队。这架飞机是今年中国商飞交付的第7架C919飞机。截至目前，C919累计交付11架飞机，运营1.3万小时，载客70万人次。



03

03 中国商飞亮相第二届 CATA 航空大会

10月25日，第二届CATA航空大会在北京召开。本届大会以“智慧民航·创新未来”为主题，聚焦服务国家、服务社会、服务群众、服务行业，通过广泛开展交流合作，推动培育和壮大新质生产力，构建现代化民航产业体系，助力交通强国建设再上新台阶。



06

中国民航飞机简史

文 | 詹东新

新中国民航始于“两航”起义。

1949年11月9日，经过秘密策划和精心组织，当时的中国航空公司（简称中航）和中央航空公司（简称央航）共12架民航机北飞起义。

当天清晨6时10分，带头机长潘国定驾驶的CV-240型飞机第一个升空，飞机上载有“中航”总经理刘敬宜、“央航”总经理陈倬林。其余11架飞机则由陈达礼、边任耕、林雨水等人驾驶。依次从香港启德机场起飞的12架飞机，

▼图 | airwar.ru

在脱离塔台航空管制员的视野后，突然转向，向北京和天津方向飞去，其中潘国定驾驶的CV-240型机降落北京西郊机场，其余11架机直飞天津张贵庄机场。同日，在香港的“两航”职工2000多人通电起义。随后，1700多人陆续回到大陆，1400多

件重要器材也分批运回。这就是震惊中外的“两航”起义。

在起义的12架飞机中，1架CV-240、3架C-46、8架C-47，都是美国道格拉斯公司生产的运输飞机。其中潘国定驾驶的CV-240型飞机最为出名，是道格拉斯为DC-3升级换代而设计的一款客机，能载客40人，1947年3月首飞，1948年6月投入航线，一经推出便获好评，当时的“中航”曾购买6架，将这款豪华客机命名“空中行宫”。“两航”起义时，就是由“空中行宫”领衔飞往京津的。

1950年7月27日，中央军委民用航空局将该机（CV-240）命名为“北京”号，毛泽东亲自题写了“北京”二字。1950年8月1日，新中国民航开辟了“天津—北京—汉口—广州”及“天津—北京—汉口—重庆”两条航线。这架“北京”号飞机仍由潘国定驾驶，作为首航班机参加了新中国民航的开航仪式，从天津经北京、汉口抵达广州，史称“八一开航”。从此，新中国民航有了自己的飞机和航线。

苏式飞机的时代风光

朝鲜战争后，美国和西方国家全方位围堵中国，国内民航飞机主要来自苏联。里-2、伊尔-12、伊尔-14等最早飞入中国机队，后来，伊尔-18和安-2、安-24等机型也陆续加入。

伊尔-14是苏联伊留申设计局研制



的双发活塞式短程客机，1950年首飞，1954年商飞，采用了金属半单壳结构，机身呈圆形断面，前部设有驾驶舱和乘客舱，后部设有货舱，最大起飞重量17.5吨，最大载重量2.5吨，最高巡航时速380公里，最大航程2000公里，最大升限7500米，可以搭载32名乘客或3.5吨货物，能在云底高30米的复杂天气条件下安全着陆。

中国从1955年起购买了55架伊尔-14，承担专机和国内的客运、货运任务。1956年，中国民航北京管理处飞行大队执飞伊尔-14型632号和626号两架飞机，执行周恩来总理和贺龙副总理访问越南、柬埔寨和缅甸的专机任务。这是中国民航首次担负国家领导人出国访问的专机任务。

中国航空博物馆至今保留着一架伊尔-14型(4202号)飞机，为国家一级文物。1957年3月至1958年12月，毛泽东23次乘坐这架飞机，这也是他生平乘坐次数最多的飞机。飞机内部陈设仍保持着他当年乘坐时的景况，舱内还挂着一幅由著名女记者侯波拍摄的毛泽东第一次乘坐时的照片。

更大载量的伊尔-18为一款四发涡轮螺旋桨中程运输机，全金属结构，最大巡航时速675公里，最大载重13.5吨，最大载油航程6500公里。客舱原设计载客

1956年，中国民航北京管理处飞行大队执飞伊尔-14型632号和626号两架飞机，执行周恩来总理和贺龙副总理访问越南、柬埔寨和缅甸的专机任务。这是中国民航首次担负国家领导人出国访问的专机任务。

75人，后来取消了机尾的货舱部分，扩大了客舱面积，标准客载110座，最大客载125人。

伊尔-18于1957年7月首飞，1959年4月投入航线，在苏联和东欧国家广泛使用，被出口到了20多个国家和地区，包括中国、朝鲜、埃及、古巴等。中国陆续向苏联购买的20架伊尔-18成为上世纪60年代中国民航主力机型之一，而且被重点配置在成都至拉萨的航线上。当年，内地至拉萨没有铁路，川藏公路常塌方中断，成拉航线成为香饽饽，伊尔-18架起了成都至拉萨的空中桥梁，常常一票难求。

二战结束后，著名设计师安东诺夫开始从事民用飞机的设计。安-2是其独立设计的第一批飞机中的一种，这是按照苏联农林部要求设计的活塞式单发双翼多用途飞机，最初称“农业经济1型”，后改称安-2，除了载客(12人)，还可用作医疗救护、护林防火、地质勘探、跳伞训练等。安-2于1949年投入批产后，放量狂产18000余架，创造了当时的吉尼斯世界纪录。

1954年，中国从苏联进口了一批安-2运输机，首批数量不多，共9架，5架给空军，4架供民航。

安-24为安东诺夫设计局在1959年研制的中短程双发涡轮螺旋桨客机，机长23.53米、翼展29.2米、机高8.32米，最大起飞重量21.8吨，最高时速460公里，航程1850公里，基本型载客44人，最大载客52人。

安-24运输机配备两台AI-24涡轮发动机，液压收放前三点式起落架，客舱有增压和空调系统；采用悬臂式单翼，全金属双梁结构；机身为全金属半硬壳式结构。1960年4月安-24原型机首次升空，1962年开始商用运输。1962至1979年间，苏联共量产了1356架安-24系列飞机，其中1028架在乌克兰基辅航空制造厂建造。

相比轻飘飘的安-2，安-24就是一架中型机，既安全又舒适，一面世便广受欢迎。1966年，中国从苏联引进安-24运输机，前后共购买40余架。安-24与安-2在中国航空工业发展的初期，曾发挥过“样板”作用，我国的运5、运7先后脱胎于“安系列”。

“丰收”的运5与运7

朝鲜战争中，志愿军受到美国空军的狂轰滥炸，东部沿海又屡遭抵近侦察的严重威胁，中国人民吃尽了“没有天空”的苦头。因此，我国航空工业秉承先军后民的方针，将力量集中在抵抗外侮的战机上，先后有歼5、歼6、歼7及轰5、轰6等军机升空。尽管如此，国家仍然重视民用飞机的发展。

1954年，初教5在南昌首飞成功，开创了新中国航空工业的先河。随着我国战后经济的迅速恢复与发展，及第一、第二个五年计划的推进，民用运输机运5、运7先后登上蓝天，加入航线。

运5仿制安-2研发，主要是安-2太适合中国的国情了：结构简单却坚固，安全性超赞，能从崎岖不平的泥土跑道上起飞——起飞距离179米，降落滑行180米，只要有块晒谷场之类的平地，或者森林中的一片空地就能平安起落；即使燃油用尽，也能凭它的双层翼，飘个几十公里，找块平地降落；维修方便度堪比直升机；拥有封闭式的座舱，最多可运载12名乘客或1吨多的货物。此外，它还有一个特别的功能：向后倒飞。1956年初，国产运输机的仿制母机正式确定为安-2，并以国家任务下达给了红土地上的洪都飞机厂(320厂)。

320厂成立专门的测绘队伍，将原型机安-2拆成零碎，分解为许多大小部件，细细测量。机翼的大小、长度及弧度，机

1958年，运5在南昌320厂下线，前后生产了700多架，1970年转至石家庄飞机厂继续生产，先后出口至越南、朝鲜等多个国家，成为我国出口批量最大、时间战线最长、作业用途最广的飞机种。

舱的容量、外形、厚度，起落架的高度、驾驶舱的结构，螺旋桨叶的片数、尺寸……切割了再切割，精细了再精细。当安-2被啃烂吃透，所有的部位、每一个零件都变成数据的时候，一架新机的模型图也自然生成了：长度12.69米，翼展18.18米，高度5.35米，最大起落重量5250千克，实用升限4500米，最大航程845千米，巡航时速160公里，乘员14人。

1957年12月7日，试验样机在南昌青云谱机场成功首飞。国家鉴定委员会对飞机进行了全面的技术鉴定，认为飞机性能良好，达到设计标准。同年12月24日，鉴定委批准将这款国产轻型运输机命名为“丰收2号”，并批量投入生产。1964年11月1日，为规范统一称谓，“丰收2号”被正式命名为“运输5型”，简称运5。

运5的机翼为单支柱、不等长翼展的双翼结构；全金属双梁骨架，前梁以后为布蒙皮，机翼平面形状为矩形；尾翼为斜撑杆式蒙皮结构。机身为全金属半硬壳式结构，外形呈流线型。起落架为后三点式。驾驶舱配两个可拆卸座椅，舱罩上部有应急舱盖，舱内有通风和加温装置，可用于对挡风玻璃加温除冰。运5采用一台南方航空动力机械公司生产的活塞5发动机和金属螺旋桨。运5另有两项绝活，一是手

摇发动，二是超低空飞行。尤其是它有着和拖拉机一样的手摇把子，使它能在电动打不着火的情况下，使用手动的办法“摇醒”发动机。

1958年，运5在南昌320厂下线，前后生产了700多架，1970年转至石家庄飞机厂继续生产，先后出口至越南、朝鲜等多个国家，成为我国出口批量最大、时间战线最长、作业用途最广的飞机。

但是，运5啥都好，就是装得太少了，人只能装十几个，货不过两吨，还比不过一辆解放牌大卡车。

上世纪60年代，西安603所的总设计师徐舜寿提议，以苏制安-24型飞机为蓝本，造一款国产的中型（支线）客机。1966年3月，同在阎良的603所、172厂首肯了徐舜寿方案，以联合行文的形式，上报《关于参照设计安-24的联合报告》。当年10月27日，国务院国防工办正式行文，下达了按安-24型飞机参照设计的任务条件，命名为运7。

接到批件后，中国的航空业整体躁动起来，阎良603所唱主角，西安飞机厂（172厂）、南昌洪都飞机厂（320厂）、成都飞机厂（132厂）派力量增援，共同组成了一支300人的队伍。项目以徐舜寿为总设计师，立马投入工作。

在那个动荡的年代，运7的研制也受到了严重的干扰，定型一拖再拖。1980年，运7在换装了大功率的涡桨发动机后终于进行了生产与鉴定试飞。1982年7月，国家正式批准运7的定型设计，1984年1月，中国民航局颁发了适航证。

上世纪80年代，曾经有56架运7同时在线，飞行在55条国内航线上，往返于56个城市间，成为国内航线的主力机型之一。

1988年，起初定名为“运7-200A”型机的“新舟60”立项。新舟60装配了

普惠涡桨发动机，大量引进国外部件，对驾驶舱内操纵系统、电子设备、告警系统、仪表盘进行了重新配套。新舟60以后，还有新舟600……

欧美客机进入中国

上世纪50年代末60年代初，中苏交恶，美国依旧对华禁运，于是欧洲看到了机会。1961年，英国维克斯公司来华推销“子爵”号飞机。有关部门将“子爵”号的技术性能与伊尔-18对比后发现，“子爵”号飞机及其发动机寿命都比苏制飞机长，飞机、发动机可使用三年以上而不必出国返修，其他方面也适合中国的国内航线。1961年11月，外贸部建议购买6至10架“子爵”号。周恩来批示购买6架。12月1日，中英双方签订了购置6架“子爵”号843型飞机的合同。中方派出人员赴英国学习，英方在广州交货。

“子爵”号是英国维克斯公司设计的四发涡桨客机，也是世界上第一种涡轮螺旋桨式客机。1946年设计制造，1948年7月16日原型机首飞。相对于常规活塞式飞机，“子爵”号飞机具有两大优势：一是速度快，时速可达576公里；二是巡航高度在平流层，旅客乘坐更舒适。“子爵”号先后改进多次，更换了多种发动机，载客量从43人增加到75人，航程提高到2800公里，油耗比当时的苏式客机降低一半以上。

1963年7月，维克斯公司开始在广州交付飞机，当年12月交付完毕。6架“子爵”号飞机，分配给民航4架，空军航空兵34师2架（50258号、50259号）。“子爵”号飞机加入航班飞行，改变了中国民航主要使用苏制飞机的状况，拓宽了民航学习西方先进航空技术的视野。

在以美国为首的铁幕封锁中，英国算

个例外，1950年即承认新生的中华人民共和国，双方从事贸易亦较早。“子爵”号飞机之后，中国于1970年代相继引进了39架“三叉戟”客机，成为英国宇航公司的主要用户之一。

“三叉戟”客机为英国研制的三发中近程喷气式客机。给飞机取名“三叉戟”，据说设计人员的灵感来源于飞机有三套独立的飞控系统和三台发动机。“三叉戟”客机采用半硬壳式机身，全金属（铝合金）蒙皮；机翼为悬臂式后掠下单翼，全金属结构；基本型客舱能载75至95名乘客，衍生的“三叉戟”超级3，客舱混合布局载客超过152人。

“三叉戟”客机装有当时先进的仪表着陆系统、飞行控制和导航设备，以及较为完善的通信设备。“三叉戟”是世界上第一种具备在恶劣气象条件下全自动着陆的民航客机，大大改进了商业航空服务的可靠性，提高了飞行安全标准。1965年6月10日，一架“三叉戟”从巴黎飞回伦敦希思罗机场时完成了首次全自动仪表着陆。1966年11月4日，在浓雾笼罩的希思罗机场，在零能见度条件下完成全自动盲降落地。

自1974年起，中国民航从北京、上海和广州始发的国内航线陆续改用“三叉戟”，后于1991年10月31日全部退役。

1972年，美国总统尼克松访问中国，乘坐的是由波音707改装的“空军一号”专机。当年，中美双方即签下购买10架707的合同，次年开始交付。相比苏联和英国的客机，波音飞机不但在许多技术指标上有优势，而且它的机型谱系几乎涵盖了短程、中程和洲际飞行的所有航空市场需求，“以客户为中心”的售后服务也相对到位。

1978年，中国首订3架波音747远程客机，用于国际航线。整个1980年

——
相比苏联和英国的客机，波音飞机不但在许多技术指标上有优势，而且它的机型谱系几乎涵盖了短程、中程和洲际飞行的所有航空市场需求，“以客户为中心”的售后服务也相对到位。

——
代，中国民航共订购了32架737、35架757、10架767。到了1990年代，中国民航步入发展高速期，波音加大促销力度，光在开局的1990年，就和中国民航签下了波音有史以来最大的一笔订单：36架确认订单和36架选择订单，总金额90亿美元。2005年，中国六家航空公司和波音签订合同，购买60架787客机，价值72亿美元。2013年3月，波音向中国南方航空公司交付第1000架进入中国市场的飞机。2016年2月，厦门航空公司接收了波音公司下线的第8888架737客机。至此，中国民航购买了波音主力机型737第一代（737-100、737-200）到第四代（737MAX）的所有机型。2018年11月，波音交付了第2000架进入中国民航机队的波音飞机……

与波音在中国天空唱主角的身份不同，麦道在与波音的内卷中处于下风，为在中国市场分一杯羹，选择了在华组装35架MD82/83的合作形式（其中5架返销美国），1992年又签署了在华总装MD90的协议，通过这些合作，将MD82/83、MD90（共2架）飞机打入中国航空公司。1991年，首架来自大洋彼岸的麦道MD11洲际客机交付中国。1998年，波音并购历史悠久麦道公司，加上MD11发生了几

起坠机事故，麦道飞机渐渐淡出中国市场。

中国运 10 遭“搁置”后，与运 10 差不多同时起步的空客公司异军突起，以 A320 为代表的机型开始竞技全球市场，渐渐与波音形成竞争态势。空客飞机集聚了欧洲德、法、英以及西班牙等工业国的综合实力，又有后发优势，在电传操纵等方面具有技术迭代水准，因此 A320 等机型一上市便受到广泛关注。

空客最早进入中国的机型为 A310，于 1986 年交付民航华东管理局（1988 年，华东局将飞机转交改革后成立的东航旗下）。1995 年，四川航空引进中国大陆的首架 A320 客机。2005 年 12 月，包括中国国航、东航、南航在内的六家航空公司共同签署了购买 150 架 A320 的框架协议，使空客奠定了在中国市场与波音分庭抗礼的基础。为进一步分割波音的在华份额，2006 年 6 月，空客公司决定在天津建设第一条 A320 海外总装线，2008 年，空客天津总装线正式投产。

A320 之后，便是 A330、A340、A380、A350，其中 A340、“巨无霸”A380、A350 都是当红一时的远程洲际客机，对波音 747、777、787 等机型形成重大冲击。随着近些年波音 737MAX 接连发生重大事故，777 也萌生质量事故，空客 A320 等主打机型的销售已经超越波音，成为中国天空的新宠。截至 2023 年底，中国各大航空公司已经拥有 2170 架空客飞机。

在波音、空客的飞机之外，上世纪八九十年代中国还曾引进过苏联（俄罗斯）、加拿大、巴西研制的客机，比如苏联的图 -154。中国民航从 1985 年开始先后引进了 31 架图 -154。然而，与西方的同类机相比，图系列飞机显得粗糙，油耗达到西方客机的近两倍，而且发生了重大安全事故。2002 年，图 -154 彻底退出了中国市场。

1995 年，海航引进了一架庞巴迪公司生产的二手里尔 -55 公务机，而庞巴迪支线机较大规模进入中国始于 1999 年，前后有数十架 CRJ 支线机在华运营。2000 年，四川航空引进 5 架巴西航空工业公司研制的 ERJ145 喷气式支线客机。两年后，巴航和哈飞组建合资公司，在哈尔滨建立 ERJ145 生产线。2008 年，巴航生产的 100 座级的 E190 在中国服役，并于 2014 年签署供应中国市场 56 架 E190 的协议。

国产民机竞逐天空

进入新世纪，新型国产民机迸发出耀眼的光芒，先后有 C909、C919 获得成功，C929 正在赶来的路上。

C909 的意义，使中国航空工业实现了多个零的突破：完成了我国涡扇运输类飞机从研制到运营的全过程的伟大实践；首次开辟国际航线，出口海外，站上了国际舞台；实现了我国完全自主研发新型喷气式支线机的突破，尤其是许多技术门槛的单项及细节突破。

2017 年 5 月 5 日下午 2 点，具有完全自主知识产权的大客机 C919 从上海浦东机场四跑道顺利升空，在扬子江口上空尽情挥动着双翅。至今，国产大飞机已获 CAAC 适航认证，并交付东航、国航、南航三大主流航司，开辟沪蓉、沪京、沪穗、沪西（西安）等航线。

让中国大飞机翱翔蓝天，承载着国家意志、民族梦想、人民期盼，是我国扎实推进制造强国建设，全面建设社会主义现代化国家、实现中华民族伟大复兴的中国梦的重要一环。笔者相信，在不远的将来，国产民机将会在全球与来自不同国家的客机竞逐蓝天，书写中国制造的辉煌。■

首架载旗 C919 首航背后的故事

文 | 陈姗姗

“飞行过程很顺利，天气也很好，整个飞行非常平稳，飞机的表现也非常好。”9 月 10 日，王岩走下飞机，对众多媒体讲述刚刚从北京飞到上海的飞行感受。

他所驾驶的这架飞机，是国航的首架 C919 飞机，当天的京沪之行是这架 C919 飞机的首航。

13 时，国航的 CA1523 航班从北京首都机场飞抵上海虹桥机场，标志着首架载旗 C919 飞机成功首航，并正式投入运营。

8 月 29 日，C919 正式加入国航机队，当时的接机组机长也是王岩。

作为国航飞行总队第七飞行大队——C919 大队的大队长，王岩与国航的其他 9 名 C919 飞行员一起，成为公司首批完成转机型训练的 C919 飞行员。为了首航的这一刻，他们已经准备多时。

“早就盼望着这一天”

从波音 777，到空客 A330、A320，飞行时间超 15000 小时，走过 20 年飞行生涯，王岩逐步成长为一名政治过硬、经验丰富、技术精湛的责任机长。

如今已至不惑之年，王岩迎来了他职业生涯中最为重要的一次改装——成为国航首批驾驶 C919 飞机的飞行员之一。

“我从未想过自己有机会能成为国航 C919 的首批飞行员。”王岩说：“但内心深处，我早就盼望着这么一天。”

第一次看到 C919 飞机时，王岩内心充满了自豪。“这是一架完全由我们中国人自主研发的大型干线客机，它的每一个细节都代表了中国航空工业的最高水平。当时我心里只有一个想法：要尽我所能，把 C919 飞机飞好。”

2024 年 5 月 21 日，国航飞行总队第七飞行大队——C919 大队正式组建，10 名经验丰富、技术精湛、作风优良的飞行员经过层层选拔脱颖而出，赴中国商飞进行转机型训练。

王岩介绍，政治忠诚、技术精湛、作风优良、德才兼备是 C919 飞行员选拔的主要标准，“大家的改装热情都特别高涨，很多都是主动请缨。”

“那次飞行，我们遇到了几乎所有可能遇到的挑战：雷雨、大风、低能见度和湿滑跑道等，但 C919 都完美地应对了，它的雷达性能、防冰性能等等都非常优秀。”王岩说，C919 的设计理念非常先进。

为期两个月的转机型训练于 5 月 28 日正式开课。训练期间，每名飞行员都要参加 111 小时的地面理论训练，并在 D 级模拟机上完成 12 场全动模拟机训练，还要进行东营本场训练、航线带飞等。

这段时间，王岩和同事们将理论知识、模拟机操作、航线带飞和本场起落训练一一攻克，力求在每个环节都做到最好。

由于飞机整体很先进，系统的集成性高，飞机改装就需要付出更多的努力才能掌握。回忆起理论考试时的情景，王岩调侃大家一个个都是“卷王”。“正常的及格线是 80 分，但我们每个人都把自己的标准定在 90 分以上。最后，我们全员取得了 95 分以上的好成绩。”

“C919 是个新机型，我们不仅要掌握操作技能，还要深入了解其原理和背后的知识。在理论学习阶段，为了全面掌握白天所学的知识，我们晚上利用中国商飞‘智慧学习中心’进行自主复习，大家争分夺秒，争先恐后进入系统学习。”国航飞行总队第七飞行大队一中队副中队长王玉坤说：“我们的学习热情让中国商飞的老师很感动，互动交流也更加顺畅。”

完成理论知识与模拟机操作训练后，王岩和其他飞行员开始了航线带飞，这是他们接触真实飞行环境的重要一环。

第一次由东营到银川的航线带飞中，天气预报显示银川的天气状况不佳，“当飞机准备落地时，我们突然进入了一片浓密的云层，什么也看不见。”王岩回忆道，经过几番调整，他们最终顺利完成了降落。

正是这次飞行让王岩对 C919 的性能有了更大的信心。“那次飞行，我们遇到了几乎所有可能遇到的挑战：雷雨、大风、低能见度和湿滑跑道等，但 C919 都完美地应对了，它的雷达性能、防冰性能等等都非常优秀。”王岩说，C919 的设计理念非常先进，它从一开始就瞄准了世界最先进的水平。飞行性能极佳，操纵精确度很高，特别是它的驾驶体验，可以称得上丝滑。

数千中航人的两年筹备

2024 年 7 月，王岩和同事们一起顺利完成 C919 机型的改装训练，获得了 C919 的飞行执照。

其实，参与国航 C919 运行筹备工作的不只包括王岩在内的飞行员，在过去近两年的时间里，数千中航人参与其中。2022 年 9 月 C919 取得民航局颁发的型号合格证后，中航集团党组统筹部署，集团领导挂帅，第一时间与中国商飞对接飞机引进工作。按照“早谋划、早部署、早落实”的原则，中航集团同时成立引进与选型、运行准备两个工作组，组长、副组长均由集团领导担任，同步推进合同谈判、选型构型与运行准备工作。

2023 年 1 月 12 日，中航集团组织召开 C919 机型运行准备工作启动会；半个月后，中航集团与中国商飞召开运行准备工作对接会，成立机务维修、人员训练、地面保障、运行控制四个专业对接组。此后，对外，每个专业组随时与中国商飞对接业务，推动工作；对内，

集团每月召开项目进度会盘点工作，交流信息，互助共促。

2023 年 3 月，机务工程部和 Ameco 开始编写公司手册。2023 年 4 月，运控中心召开 C919 飞机运行准备启动会，明确主要工作内容、工作推进机制。2023 年 5 月，培训部首批飞行理论种子教员赴上海开始学习，首批维修人员机型培训完成，地面服务部开始梳理现有地面保障设备的保障能力。

2023 年 6 月 14 日，民航华北局维修适航处审核员来到 Ameco 机库，对 Ameco 的 C919 维修保障能力进行全面审核。从手册体系到厂房设施、工装设备，从人员资质到技术能力，“人机料法环”，一项项审查，一步步检验，全面考察 Ameco 的维修能力建设。

半个月后传来好消息：Ameco 华北航线中心一次性通过局方审核，正式获批北京地点航线维修许可和 4A 级定检维修能力。紧接着，Ameco 西南航线中心、杭州分公司、上海分公司、西安航站也建立起 C919 航线维修能力。

与此同时，首架机运行储备的 84 名航空安全员和 126 名乘务员分别于 2024 年 7 月 5 日、7 月 18 日完成培训。截至 5 月，已有超过 500 名飞行签派员完成训练，具备 C919 运行控制资格；截至 7 月，近 1200 名地面服务人员完成新机型培训，可以在行李装卸、特种车操作、配载等岗位保障 C919。

经过 20 多轮修改，国航运控中心于 8 月 21 日正式推出了 500 多页的《C919 运行保障方案》，形成一套从航班排班到机务检查飞机，再到航班前一晚的会商、航班当天的签派放行与监控，直到飞机落地进港的一条龙方案。这套方案总体上是线性的、流畅的，但也会有各种“岔路”，要最大化地考虑到各种特殊情况并给出应

急处理，以确保在各类情况下 C919 都能安全、高效地运营，确保旅客享受到最佳飞行体验。

“非常感谢所有部门和工作人员对接机工作的大力支持和全力配合。大家共同努力，圆满完成了国航 C919 的此次完美首秀。”王岩说。

首航印证性能和舒适性

万事俱备之后，8 月 9 日，国航首架 C919 在上海首次试飞；8 月 15 日，C919 地服全要素演练顺利完成；8 月 28 日，国航首架 C919 正式交付。

“首架飞机的编号是 B-919X，在我看来，X 象征着国产飞机无限的潜能，无上的荣光、责任和使命。”王岩说：“C919 是一款非常优秀的机型，它不管是从设计和性能方面，还是从操控的感觉和人机交互等方面，都达到了非常高的水平。我为咱们的 C919 机型感到自豪，同时也为我能成为 C919 的飞行员感到骄傲。”

有同样感受的还有参加国航 C919 首航的旅客。不少人认为，C919 的乘坐感受与空客和波音的成熟客机没有什么区别。

C919 飞机与波音和空客的新一代飞机使用的均是 LEAP 发动机，因此客舱的噪声水平可以媲美新一代主流客机。与此同时，C919 搭载两台 LEAP-1C 型发动机，与 LEAP-1A 型（A320Neo 系列）发动机的寿命件和叶片（包括转叶和静叶）完全通用，也可以降低维修成本。

国航引进的 C919 是延程型，是目前三大航中唯一选择该子机型的公司。相较于基本型，C919 延程型拥有更大的最大起飞重量（78.9 吨）和发动机推力（30000 磅），航程更远。

与其他两家不同的是，国航 C919 上还采用了三大航中最宽敞、舒适的客舱布

局。共有 158 个座位，其中公务舱座位 8 个，间距 40 英寸，经济舱座位 150 个，间距为 30 至 31 英寸，安全出口位置间距达到 45 英寸，相较其他公司选择的 164 座布局减少了 1 排经济舱座位，使每一排座椅间距增加了 2 英寸，同时也优于同类国外机型的座椅间距。

值得注意的是，C919 飞机在座椅布局上还有一个巧妙的设计，也是咱们国产飞机独创的，就是靠窗和过道座椅宽度为 18 英寸，中间座椅为 18.5 英寸，从而能够为中间旅客提供更好的体验，提升旅客满意度。

而在客舱内饰的选择上，国航也配备了不少专属产品，以提高 C919 飞机的舒适度和私密性。比如公务舱座位就配备了专属的改进型私密耳翼、移动设备支架、隐藏式饮料台及外观装饰，同时对中央扶手区域进行优化；经济舱座位配备了专属的改进型固定头枕、改进扶手、多层储物袋、夜光座椅号牌以及移动设备支架。同时首次在每个座椅上都配备了高功率的 USB-C 充电口，满足旅客手机、平板和电脑的充电需求。

同时，国航 C919 飞机选装国产中电科公司的娱乐系统产品，每三排座椅会配备一个头顶播放屏幕，用于播放安全须知、登机音乐、媒体节目等，还是首家在 C919 飞机交付时实现航图功能的航空公司，根据乘客喜好对于航图产品进行了客户化定义，更好地满足客户需求。

此外，国航也是首家在 C919 飞机上实现舱内 WIFI 功能的航空公司。通过对 C919 飞机舱内 WIFI 功能和软件进行客户化定义，集成了国航门户软件平台，旅客可以在线观看电影等媒体节目，享受丰富的航班乘坐体验。

国航的 C919 飞机上还有不少专属标志的机供品。比如头片、清洁袋、纸杯、

杯垫、餐巾纸、托盘垫纸、餐盒、餐袋等，就连餐食、安全须知视频和广播词也都为 C919 飞机进行了专属设计。

“一上班就很忙”

在首航京沪之后，国航的 C919 飞机已经开始了一天四段的飞行，每天从北京往返上海，然后再从北京往返杭州。

值得注意的是，东航接收全球首架 C919 后，很长一段时间都是按照一天两段的节奏飞行，国航的 C919 在接收初期就飞起了一天四段，“一上班就很忙”。这与 C919 商业运营一年积累的经验，以及国产飞机维修能力的不断提升不无关系，随着飞行小时的增加，国产飞机的稳定性也在增加。

去年 5 月 28 日，东航的 C919 率先投入商业运营，到今年 9 月 1 日已累计安全飞行超 1 万小时，执行商业航班超 3700 班，承运旅客突破 50 万人次。随着国航和南航的 C919 陆续投入商业运营，C919 飞到的城市有望进一步扩大。

国航方面透露，今年公司共计划接收 3 架 C919 客机，执飞的航点也将进一步扩大到成都等地。

今年上半年，南航和国航分别向中国商飞公司订购了 100 架 C919，东航也累计订购了 105 架 C919，这些飞机都将陆续交付。除了国航和南航今年要各接收 3 架 C919 飞机，金鹏航空也计划接收其首架 C919 客机，东航则在其半年报中透露，下半年还要接收多架 C919 飞机。■



C919

全球最新一代大型客机

复合材料占比11.5%



* 右图为大飞机试飞墨镜

像一片祥云飞过蓝天

——C919 大型客机首次飞抵拉萨贡嘎机场侧记

文 | 廖天航

9月的雪域高原，天空蔚蓝浩渺，几缕轻纱般的白云在轻风吹拂下，灵动地游走在连绵的山峦之间。

天际隐约传来了一阵飞机发动机的轰鸣声。

“来了、来了”，聚集在拉萨贡嘎机场停机坪一角的人群中发出了喜悦的欢呼。

一架飞机如展翅高飞的雪域雄鹰，矫健而轻盈，在天空中划出一道优美的弧线——C919，中国人自己研制的大型客机。

2024年9月19日，C919第一次飞抵拉萨。

▼ 图 | 陈栋

贡嘎之约

9月19日9时33分，一架从成都双流机场起飞的C919结束了2小时8分钟的飞行，平稳降落在拉萨贡嘎机场的跑道上。

在众人注视下，C919徐徐而来，自信而优雅，在阳光照射下，机身闪耀着点点金光。

为了欢迎C919的首次造访，贡嘎机场进行了精心准备。跑道尽头，两道水柱冲天而起，于空中交汇。这是水门仪式，寓意为飞机“接风洗尘”，是民航最高礼仪。

飞机停稳后，中国商飞公司党委书记、董事长贺东风第一个走下舷梯，中国商飞首席科学家、中国工程院院士吴光辉紧随其后……刹那间，掌声雷动，喜悦的情感在空中弥漫，人们呼喊着手中高扬的哈达，表达着雪域高原对远方客人的热烈欢迎和诚挚敬意。

当记者忙碌地记录这一刻时，一位皮肤黝黑的汉子从背后轻轻拍了拍记者的肩膀，看马甲式样应该是贡嘎机场的地勤。他憨厚地咧嘴一笑，露出洁白的牙齿，“你能把飞机的照片发我一张吗？”

本次C919的贡嘎之约，是国产商用飞机“环青藏高原”演示飞行的一个重要组成部分。在C919之前，当日6时53分同样从成都双流机场起飞的一架C909飞机，于8时47分率先飞抵贡嘎机场。在这里，两款中国自主研发的飞机——

C919、C909相聚一堂。

根据中国民航局标准，海拔高度在2438米及以上的机场为高原机场。目前，我国共有25座高原机场，占全球高原机场（跑道长度2000米以上）总量的50%以上。为提高国产飞机对高原机场和高原航线的适应性，自今年8月21日开始，中国商飞的一架C909飞机以四川成都、青海西宁等地为运行基地，开展“环青藏高原”演示飞行。截至9月19日，已完成25条航线、55个航段、62小时的试验飞行任务，覆盖阿坝红原、甘孜格萨尔、九寨黄龙、青海果洛玛沁等11座高原机场，并4次飞抵世界海拔最高的民用机场——稻城亚丁机场（海拔4411米）。如今，C919和C909在拉萨贡嘎机场顺利会师，从一个侧面表明了国产飞机对高原运行的适应性。

在随后召开的国产飞机环青藏高原飞行总结会上，西藏自治区人民政府副主席韦秀长满怀期待地指出，C919、C909飞机圆满完成环青藏高原飞行并顺利飞抵拉萨，为未来国产飞机正式投运高原、高原机场打下坚实基础，为深化中国商飞与西藏航空合作迈出了关键一步。

贺东风表示，西藏民航事业蓬勃发展的未来，意味着国产大飞机大有可为。中国商飞一定要坚定国产飞机服务青藏高原经济社会发展的信心和满足青藏高原人民航空出行需求的决心。

曾几何时，贡嘎机场周围的群山，仿佛是孤独而坚韧的守望者，静静地守护着这片古老而神秘的土地。而今，贡嘎机场不仅是连接天与地、过去与未来的桥梁，更是西藏人民与世界沟通交流的纽带。随着C919、C909飞抵拉萨，这条纽带未来将更宽、更长、更顺畅、更高效。

进阶之战

成功从来没有侥幸，有的只是滴水穿石、聚沙成塔的坚持。为了履行C919的贡嘎之约，中国商飞的研发团队和试飞团队付出了长期而艰苦的努力。

实际上，早在2022年11月18日，C919就执行了从成都双流机场至阿坝红原机场的演示飞行任务，完成首次高高原试飞。本次贡嘎之行，C919重点开展了环控、航电、动力装置等高高原机场运行关键系统研发试飞，以及高高原机场适应性检查，为后续研发工作提供数据支撑。从这个意义上说，拉萨之行是C919高高原试飞的

一次进阶之战。

高高原飞行究竟难在哪儿

C919总师助理严子焜介绍说：“高高原航路的安全高度高、距离长，飞机要长时间在崇山峻岭上飞行，必须具备优异的爬升能力和越障能力。此外，还对环控、刹车和发动机等关键系统提出了更高的性能要求和可靠性要求。”

以贡嘎机场为例，该机场位于雅鲁藏布江河谷，海拔3569.6米，机场周边净空条件差，半径50公里内山峰众多，山峰海拔多在4500米以上。另外，拉萨贡嘎机场距离成都双流机场1200公里，上下程地形起伏大，进而对飞机起飞、降落的影响更大。

除了海拔和地形，气象也是影响飞机在高高原运行的一个重要因素。来自中国商飞试飞中心的气象工程师曹振宇告诉记者，贡嘎机场周边地形崎岖、山峰叠嶂，天气复杂多变，就像普通人上了高原会有

高反，飞机在复杂天气条件下也会出现操纵困难的“异常反应”。因此，及时、准确的气象预报对于确保飞行安全至关重要。

高高原飞行困难多、挑战大，飞行员首当其冲。本次C919飞机的机长是中国商飞试飞中心资深试飞员柳刚，他原是西藏航空的飞行员，飞行时间超过11700小时，其中高高原飞行时间约4000小时，执飞过至少13个高原机场，曾参与C919昆明高原专项试验试飞、阿坝红原机场演示试飞。在接受记者采访时，柳刚表示，为完成好C919进藏试飞任务，飞行机组开展了多次高高原机场模拟机训练，做好了各方面的准备。

渐入佳境

近年来，随着国家经济转型升级尤其是新质生产力的发展，大飞机事业也取得了长足进步。

根据公开资料统计，截至9月19日，C909累计交付145架，通航城市近160座，执飞航线580多条，安全飞行47万小时，载客人次1650万。其中，海外交付3架，航线8条，通航城市9座，载客人次超过18万。C919累计交付9架，航线7条，通航城市6座，载客人次超过55万，安全飞行超过1万小时。上述数据表明，国产商用飞机已经由研制阶段向规模化运营阶段迈进。

以C919为例，2022年9月29日，C919取得型号合格证；当年12月9日，全球首架C919正式交付东航；2023年5月28日，C919执飞首个商业航班；2024年8月28日，中国商飞同时向国航、南航交付首架C919，标志着C919正式进入多用户运营新阶段。

C919投入商业运营以来，不仅吸引了众多航空爱好者的目光，也激发了广大



图 | 刘伟

社会公众的民族自信心和自豪感，众多旅客特意到C919执飞的航线上“打卡”，抢先体验国产大飞机。“舒适”“平稳”“想不到”“自豪”，构成了旅客们对C919评价的关键词。

作为主制造商，中国商飞在致力于确保质量、提升产能的同时，积极携手地方政府、民航局、航司、机场等各方力量，不断探索国产飞机的运营之道。2023年以来，中国商飞组织了环云南、新疆演示飞行，以及环东南亚演示飞行、香港演示飞行等活动，在提升国产飞机知名度的同时，不断提升飞机的运行效率和运行品质。

行文至此，记者耳畔传来了韩红的《天路》——

清晨我站在青青的牧场，
看到神鹰披着那霞光，
像一片祥云飞过蓝天，
为藏家儿女带来吉祥……

再见，拉萨。
期待很快再次相见！■



天骄航空的“热辣滚烫”

文 | 弓宸

暑运期间，高涨的出游热情让第三季度的民航“热辣滚烫”。这家位于祖国北疆，填补内蒙古本土航空公司“空白”，全国首家全机队运营国产民机的航空公司——天骄航空，又交出了怎样的成绩单？让我们跟随笔者，一起翻开天骄航空 2024 年“第三季度报”。

定期航班计划执行率 100%

安全是民航事业发展的生命线，是一项长期、艰巨的系统工程，只有起点没有终点。对于目前全国唯一一家全机队运营国产民机的天骄航空来说，安全又是更加重要的政治责任。天骄航空坚持“三个不能过高估计”，遵循“稳”字方针，从“人、机、环、管”严抓、细抓、实抓各项安全管理工作，从手册完善、执行贯彻、责任压实、系统建设等方面全面夯实安全基础。可以说“稳”是天骄航空的主基调，但强调“稳”，绝不是原地踏步，故步自封，更不是安

于现状，无所作为，而是要知难而进、以进促稳。

2024 年 1 至 9 月，天骄航空定期航班计划执行率 100%，连续九个月位居全国客运航空公司第一；7 月航班正常率居全国首位，连续两个月居全国前两位；日均飞行量同比增幅较 2019 年增幅连续四个月居全国前列；2024 年上半年民航局“五率考核”，在全国 41 家客运航空公司中排名第五，其中，航班正常率、执行率均为第一。

2024 年的第三季度，天骄航空内蒙古自治区内运输机场覆盖率达到 56%，暑运期间执行航班量同比增长 99.68%，承运旅客人数同比增长 99.96%。

2024 年的第三季度，天骄航空接收了第七架 C909 飞机，为冬春航季储备了运力；获批 C909 飞机 1000FH (含) 定检维修资质，并于 9 月 24 日首次独立完成飞机 A 检级别定期检修工作，该项资质的获取，不仅增强了天骄航空的自主维修能力，降低了对外部维修能力的依赖，将原本 3 个月间隔的调机时间延长到 6 个月，提升了飞机可用率，推进持续降本增效，更为获取更高级别的维修资质奠定了基础。

着力打造“天骄籍”机长

人才是企业发展的第一资源，飞行员更是保障民航安全的中坚力量。加强飞行队伍作风建设，全面提高飞行员核心胜任力，是天骄航空落实高质量发展的一项重

大举措。9 月 5 日，天骄航空参加首届中国民航飞行员职业技能大赛民航华北地区选拔赛并取得优异成绩，将代表民航华北地区参加全国大赛。此次大赛不仅是对天骄航空飞行员队伍综合素养的一次全面检阅，更是对公司贯彻安全生产理念、提升飞行安全水平的重要实践。

为锻造一支训练有素、作风优良的飞行队伍，保障运行的持续安全有序，天骄航空按照标准和程序制定计划、组织实施、强化监控，把飞行训练的每个阶段、每个环节、每个步骤抓实抓细。2024 年 9 月 27 日至 29 日，在民航内蒙古监管局、上海飞机客户服务有限公司客户培训中心和鄂尔多斯机场集团的大力支持下，天骄航空在鄂尔多斯国际机场圆满完成了为期三天的本场飞行训练。此次训练，为天骄航空增添了 4 名 C909 机型副驾驶、2 名 C909 机型本场教员。训练完成后，天骄航空将具备自主带飞本场训练的能力，为公司完善训练体系、培养飞行人才队伍打下坚实基础。

现在的天骄航空正处于快速发展的关键阶段，据了解，天骄航空将从人员实力、机队规模、技能素质等方面持续完善飞行人才梯队建设，提高飞行教员利用率，加快推进副驾驶转升带飞进度。积极构建飞行员自主培养体系，拓展飞行队伍“造血功能”，着力打造“天骄籍”机长。持续优化机组资源配置，强化飞行训练管理，全面实现降本增效，为公司安全平稳有序发展提供更加坚实的保障。





聚焦产业项目落地

一个地区建了机场，不代表就有了民航业，还需要航空公司来“飞”，才能让机场发挥出应有的价值，机场与航空公司、空管等构成了民航发展的运输体系；只有当该地区的民航人才供给、航空器维修能力等民航发展保障体系完备后，该地区才能形成民航高质量发展的良性循环。

2018年10月，在“引进一架飞机、带动一个产业”的理念指导下，内蒙古自治区政府与中国商飞以天骄航空规模化运营国产民机为契机，统筹推进国产民机培训中心、维修中心等航空产业落地，从价值链、产业链、人才链等维度，对自治区民航产业发展能力进行全局性谋划和战略性布局。

7月3日，天骄航空培训中心启用，这是内蒙古地区首个拥有C909 D级飞行模拟机的航空培训中心，有效填补了自治区民航特业人才专业化社会培训的空白，加快解决制约自治区民航发展的人员瓶颈问题，为国产民机在内蒙古高质量运营以及自治区民航事业的全面推进奠定人才基础。该中心的启用，更是对自治区民航产业战略布局以及《国务院关于推动内蒙古高质量发展奋力书写中国式现代化新篇章

的意见》中推动民用航空产业发展的积极践行，对加速推进其他民航产业在内蒙古的落地起到标杆与引领作用。

第三季度的天骄航空，可以说是“喜报”频传，第四季度的天骄航空将继续实干笃行。10月27日将跨入到冬春航季，据悉此次换季，天骄航空将新开3条航线，新增乌海航点，布局蒙西地区航线网络；加密赤峰航线，经赤峰的航班密度由原来的每天一班增加至每日三班。此外，天骄航空在深入研究市场需求的基础上，积极结合各盟市需求，最大化发挥时刻、补贴等航空资源战略价值，利用现有航线网络，推出中转联程产品，让航线网络发挥“1+1>2”的效果，助力盟市通达性的提升。目前，天骄航空已与满洲里西郊国际机场签署联程航班合作协议，并首次推出“经赤飞”中转产品，换季后，该产品将助力满洲里通达上海、海口、西安等国内9个城市。

“追风赶月莫停留，平芜尽处是春山。”在这个千帆竞渡、百舸争流的新时代，笔者坚信砥砺奋进的天骄航空，必将聚焦“稳”字方针，做实“进”字文章，撸起袖子加油干、风雨无阻向前进，做好国产民机事业“践行者”，内蒙古自治区交通“先行官”、高质量发展“助推器”。■

空客与欧洲的氢能航空大战略

文 | 纪宇晗

自2020年9月首次公布以来，空客的ZEROe项目已经走过了整整五个年头。在这五年里，空客全方位部署关键技术研发，取得了多项成果，不断朝着氢动力飞机商业应用的终极目标迈进。回顾空客ZEROe项目的五年历程，有很多亮点值得我们总结和分析。

ZEROe 项目背景

2020年9月，空客首次公布了ZEROe零排放商用客机项目，目标是开发以氢为主要能源的零排放商用飞机，在2035年之前将氢动力客机投入运营。空客指出，ZEROe项目的实施目的主要在于全球对环境保护和可持续发展的日益关注，以及航空业对减少温室气体排放的迫切需求。

首先，随着全球气候变化问题日益严重，各国政府和国际组织对环境保护和可持续发展的重视程度不断提高。航空业作为全球交通运输的重要组成部分，其温室气体排放对全球气候变化具有重要影响。因此，减少航空业温室气体排放，

图 | pilotcareernews.com



推动航空业向更加环保、可持续发展的方向发展，已成为全球共识。空客作为全球领先的航空制造商，积极响应航空减排目标，旨在通过 ZEROe 项目研发和应用氢能源等清洁能源技术，减少航空业的温室气体排放。

其次，氢能源作为一种清洁、高效的能源形式，在航空领域具有广阔的应用前景。空客认识到氢能源技术在减少温室气体排放以及提高飞机综合性能等方面的巨大潜力，通过研发氢燃料电池等关键技术，希望在未来实现零排放的飞行目标。

ZEROe 项目最新进展

空客的目标是到 2035 年将世界上第一架氢动力商用飞机推向市场。为了实现这一目标，空客正通过 ZEROe 项目探索关键技术，研制生产和供应氢燃料的生态系统。空客提出了 4 款使用氢能源的 ZEROe 概念机，包括三架混合氢涡轮飞机和一架氢燃料电池飞机。前者分别使用了涡轮螺旋桨、涡轮风扇发动机以及翼身融合布局，通过改进的氢涡轮发动机将液氢与氧气混合后燃烧作为动力。后者使用氢燃料电池驱动电动机以及螺旋桨产生推力。上述两种动力方案是互补的，并且可以组成混合动力系统。

空客 ZEROe 项目第一阶段的研究计划预计将持续到 2035 年，目前主要开展以下三个方向的研究：

一是开发改进的氢涡轮发动机和燃料电池动力系统。二是在 A380 测试平台上进行氢动力推进系统的地面测试和飞行测试。三是设立氢能技术零排放研发中心 (ZEDC)，开展低温液氢存储和分配相关技术的研究。

为实现在 2035 年将氢动力飞机投入使用的目标，空客 ZEROe 项目在 2023 到 2024 年达成的阶段性成果和未来计划安排

如下：

2023 年 12 月，完成“铁舱 (Iron Pod)”氢动力推进系统的地面集成测试。2024 年 1 月，设立德国施塔德氢能技术零排放研发中心 (ZEDC)。2024 年，持续开展“铁舱 (Iron Pod)”氢动力推进系统的优化和测试，计划在 A380 测试平台上进行地面测试和飞行测试，飞行测试预计在 2026 年进行。计划在 2025 年进行 ZEROe 技术验证机（非 A380 测试平台）的首次试飞。计划在 2025 年底到 2026 年初决定首先进行哪种氢推进系统的飞行测试 (A380 测试平台)，评估氢涡轮发动机和氢燃料电池的技术成熟度。计划在 2027 年对通用电气公司 Passport 氢涡扇发动机进行首次飞行试验。计划在 2026 到 2028 年开展 A380 测试平台的液氢存储系统演示验证。

组织管理模式方面，空客 ZEROe 项目采取了多种工作模式，具体如下。

整合内部核心团队（系统集成和测试）。空客的 ZEROe 研究团队整合了空客商用飞机、国防与航天以及空客直升机等内部力量，主要负责氢动力系统集成和测试工作。建立氢能研发中心（储氢技术）。空客在法国和德国建立了 3 个氢能技术零排放中心 (ZEDC)，负责低温储氢技术的研究。ZEDC 研发中心依托于不来梅、南特、施塔德三个空客工厂的研究力量，与空客其他部门进行深度合作。通过子公司开展研究（超导电机、燃料电池 APU 和环境影响）。空客子公司 UpNext 在 ZEROe 项目中负责超导电机 (ASCEND 项目) 和氢燃料电池非动力系统 (HyPower 项目) 的开发，以及氢燃料的环境影响研究（“蓝色秃鹰”项目）。通过合资公司开展研究（燃料电池、氢涡轮技术）。空客与 ElringKlinger 的合资公司 Aerostack 负责氢燃料电池堆开发，GE 与赛峰的合

资公司 CFM 负责氢涡轮发动机开发，空客与赛峰的合资公司阿丽亚娜参与了氢涡轮和储氢技术的开发工作。建立外部合作关系（机场设施、监管体系）。空客通过“机场氢能枢纽”计划与航空制造商、氢能源供应商、航空公司等单位建立合作关系，开展机场制氢、用氢的前期探索。空客参与了英国政府主导的航空氢能 (HIA) 联盟，完善行业管理体系，协助制定氢能航空国家发展路线。

纵观空客的以上部署，可以看出 ZEROe 项目的工作模式具有以下特点：以关键技术为牵引，优先解决动力系统核心技术问题；研究内容广泛，布局了非推进能源技术、基础设施、环境综合影响等多方面的研究；大量开展内外部合作，整合了制造端、运营端、管理端的优势资源。

ZEROe 项目主要内容

为实现 2035 年将氢动力飞机投入使用的目标，空客 ZEROe 项目开展了氢燃料电池、氢涡轮发动机、低温储氢等核心装备技术攻关，同时部署了集成测试、大气环境影响等配套研究以及氢能基础设施建设，全方位推进氢能航空技术、装备与产业的发展。

围绕氢燃料电池推进系统研发与测试方面，2020 年 10 月，空客和 Elring Klinger 公司（德国汽车燃料电池供应商，）建立了合资公司 Aerostack，共同开展氢燃料电池的研发。空客通过 Aerostack 公司参与了德国政府资助的 H2Sky 项目，该项目聚焦 100 千瓦~200 千瓦航空氢燃料电池的研发，总预算超过 4400 万欧元。

2023 年 6 月，空客在德国奥托布伦的电动飞机实验室完成了 1.2 兆瓦氢燃料电池系统测试，随后又在 10 月完成了 1 兆瓦动力总成系统测试，包括电动机、驱动

器和其他相关组件。2023 年 12 月，空客 ZEROe 团队完成了“铁舱 (Iron Pod)”氢动力推进系统的地面集成测试，包括氢燃料电池、电动机、驱动器和冷却装置在内的所有组件均成功启动。在本次测试中，“铁舱”系统的 1.2 兆瓦氢燃料电池成功驱动了 1 兆瓦的动力总成。

ZEROe 项目测试主管表示，“铁舱”系统的测试结果与空客最初的系统架构设计完全一致。空客的下一步计划是在 2024 年继续开展“铁舱”氢动力推进系统的优化和测试，加强其对振动、湿度和高度等影响因素的适应能力，然后在 A380 测试平台上开展“铁舱”系统的地面测试和飞行测试。

围绕氢涡轮发动机研究，为实现航空脱碳目标，空客正在同时开展两项氢推进技术的研究——氢燃料电池和氢涡轮发动机。2022 年 2 月，空客与 CFM 国际公司签订协议，合作研制和改造氢涡轮发动机，包括燃烧室、燃料系统和控制系统等核心组件。空客与 CFM 国际公司联合研制的氢涡轮发动机将在 A380 平台上进行测试，评估氢涡轮发动机产生的水蒸气以及凝结尾迹对气候的潜在影响。

早在 2020 年 12 月，空客、赛峰与阿丽亚娜集团（空客和赛峰各持一半股份的合资企业）就在法国政府未来投资计划 (PIA) 的支持下启动了 HyPERION 项目，开展氢涡轮发动机研究。2023 年 5 月，阿丽亚娜集团完成了用于驱动氢涡轮发动机的氢燃料调节系统演示验证，测试了液氢从零下 253°C 调节到满足发动机燃烧室要求的温度和压力的能力。随后 HyPERION 项目于 2023 年 6 月顺利结束。

围绕超导技术研究，空客正在研究用于氢动力推进系统的超导技术。2021 年 3 月，空客启动了“先进超导和低温动力系统验证 (ASCEND)”项目，开发百千

瓦到兆瓦级超导电推进系统，支持空客对包括氢能在内的未来能源方案进行探索。ASCEND 项目由空客全资子公司空客 UpNext 负责。

ASCEND 项目在 2023 年 11 月结束，空客 UpNext 成功启动了 500 千瓦的超导电动力系统，该系统由超导电系统、低温电机控制单元、液氢冷却系统以及超导电机组组成，利用液氢温度（约零下 253℃）创造超导条件，电力电子设备的功率密度限制在 30 千瓦/千克，电压低于 500 伏，输电效率提高了 5% 到 10%，总重量比传统的涡轮发动机系统降低了 2 到 3 倍，动力系统总效率达到 97%。

2024 年 5 月，空客 UpNext 公司宣布其正在 ASCEND 项目的基础上研制 2 兆瓦超导电推进系统 Cryoprop，该系统由空客 UpNext 位于法国图卢兹和德国奥托布伦的团队开发，通过氢循环回路由液氢冷却。空客 UpNext 公司 CEO 表示，超导技术将成为未来氢动力飞机高功率电气化的关键推动因素。

围绕低温储氢技术研究，2021 年 6 月，空客首次在德国不来梅和法国南特的工厂建立了两个氢能技术零排放研发中心（ZEDC），目标是研发低成本的轻质复合材料储氢系统，包括液氢复合材料存储罐的基础零件、装配、制造和测试等环节，以支持 ZEROe 项目在未来的成功以及氢能航空技术的发展。上述两个 ZEDC 机构在 2023 年全面投入运营。

德国不来梅的 ZEDC 团队负责系统集成和液氢存储罐的低温测试，法国南特的 ZEDC 团队负责金属、复合材料技术和集成设计等工作。空客在法国图卢兹工厂的团队负责低温液氢罐的初步设计，然后交由不来梅和南特的 ZEDC 团队进行验证和制造。根据空客公开的信息，他们已经完成了首个低温液氢罐的制造和测试，测试

过程中使用液氮而非液氢，空客在充分收集本次测试数据后正在进行第二个液氢罐的设计和制造，预计将使用液氢进行测试，目前未披露最新进展。

空客与位于不来梅的阿丽亚娜集团开展了广泛合作，后者在航天领域深耕氢燃料技术多年，阿丽亚娜运载火箭采用液氢推进已有 40 多年的历史。阿丽亚娜集团负责 ZEROe 项目液氢燃料系统的设计、生产与运行等工作，目标是在 2026 到 2028 年期间在 A380 验证机上进行液氢存储系统的演示验证。

2024 年 1 月，空客在其位于德国施塔德的工厂设立了新的氢能技术零排放研发中心（ZEDC），开展低温液氢存储和分配相关技术的研究。空客首席技术官萨宾·克劳克表示，ZEDC 将与欧洲的其他复合材料和氢能研究机构进行广泛合作，例如复合材料技术中心（CTC GmbH）、德国氢能创新技术中心（ITZ）、CFK NORD 研究中心等。ZEDC 将成为空客 ZEROe 项目的重要组成部分，支持空客在 2035 年将氢动力飞机投入使用。

围绕氢燃料电池 APU 的研发，2023 年 6 月，空客 UpNext 公司在 ZEROe 项目框架内启动了 HyPower 研究计划，探索在地面和飞行过程中使用氢燃料电池对机上非推进系统进行供电的技术可行性。空客 UpNext 希望利用氢燃料电池代替飞机 APU 的部分功能，减少与传统 APU 相关的二氧化碳、氮氧化物排放以及噪音水平。

HyPower 项目所使用的氢燃料电池由 H3 动力公司提供，额定功率为 500 千瓦。2024 年 5 月，空客 UpNext 在西班牙国家氢能研究中心进行了氢燃料电池 APU 的地面测试，计划 2025 年底在 A330 测试平台上进行首次飞行测试，预计飞行持续 1 个小时，高度达到 10 千米，机上总共携带 10 公斤氢气。

在氢能基础设施建设方面，2020 年，空客推出了“机场氢能枢纽”计划，开展氢能基础设施需求和低碳机场运营研究。空客的方案是在机场就地制氢并使用。迄今为止，“机场氢能枢纽”计划的成员已经囊括了来自加拿大、法国、德国、意大利、日本、新西兰、挪威、瑞典、新加坡、韩国、瑞典、英国和美国 13 个国家的机场、航空公司和能源部门。空客认为，在机场部署氢能基础设施以及整个运营产业链是支持氢能飞机大规模推广和应用的先决条件，ZEROe 项目应当在 2035 年之前同步建立完整的氢能产业生态系统。

2022 年 11 月，空客与氢能基础设施企业 HyPort 签署了合作协议，扩大机场氢能枢纽的地面运营、调整生产、分销方式以及基础设施容量，以应对未来几年预计的氢燃料需求增长。同样在 11 月，空客和阿丽亚娜集团在图卢兹布拉尼亚克机场的首个液氢生产加注设施开始建设，规划日产 400 公斤液氢，满足地面车辆和氢动力飞机的测试需求，该设施预计于 2025 年投入运营。

2024 年 5 月，空客、ZeroAvia 与加拿大蒙特利尔国际机场、多伦多国际机场和温哥华国际机场签署了合作协议，共同研究在加拿大机场建设氢能基础设施的可行性。同时，空客也与美国哈茨菲尔德-杰克逊亚特兰大国际机场、达美航空和 Plug Power 公司签署了合作协议，计划在亚特兰大国际机场开展氢能基础设施建设。

在氢燃烧的环境影响研究方面，与航空煤油相比，氢燃烧产生的尾迹不含烟尘或硫氧化物，但含有氮氧化物和大量水蒸气，以上两者仍可能对环境产生影响。作为 ZEROe 项目的一部分，空客 UpNext 公司的“蓝色秃鹰（Blue Condor）”计划将研究氢燃料尾迹对环境的影响，利用一架改装过的 Arcus-J 滑翔机，将小型氢发

动机带到 3000 米高空，并与另一架携带航空煤油发动机的飞机进行对比测试。空客认为，尾迹特征对任何未来的氢燃料飞机项目都具有重要意义，“蓝色秃鹰”计划是 ZEROe 项目的基石。

2023 年 11 月，空客 UpNext 公司完成了“蓝色秃鹰”氢动力滑翔机的首飞试验，在三次飞行中完成了氢发动机的启动测试。试验中使用的氢涡轮发动机由德国 Aero Design Works 公司提供。空客 UpNext 公司计划在下次试验中开展氢发动机的排放测试，将一架德宇航（DLR）的 Grob Egrett 滑翔机拖曳到测试高度，然后由其收集并分析氢发动机的尾迹和大气数据。空客认为，“蓝色秃鹰”计划的实施有助于了解氢动力技术对环境的影响。

总的来看，ZEROe 项目五年来取得的丰厚成果体现了空客发展氢能航空的决心。从目前的形势来看，空客将很有可能实现 2035 年氢能飞机投入商用的终极目标。ZEROe 项目的阶段性成功也离不开欧洲航空业和政府的大力支持，空客正在持续加强跨行业合作与资源整合。另一方面，ZEROe 项目具有明确的长期规划和分阶段实施策略。空客在 ZEROe 项目的不同阶段设定了具体的目标和任务，并逐一推进。这种长期规划与分阶段实施的方式确保了项目的有序进行。

对于我国的航空产业来说，氢能商用飞机是必须发展但也要谨慎考虑的重要领域。欧洲企业和政府对氢能航空的热情并不意味着氢能技术就一定代表了航空运输业未来的发展方向。氢动力飞机的价值仍需要时间去检验。我们要做的是合理布局和持续投入，避免在未来的行业竞争中陷入劣势，并在合适的时间争取氢能源变革带来的民机产业“换道超车”重大机遇。■

人工智能技术 对航空复合材料市场的影响

文 | 陈济彬

制造商目前面临着—系列特殊挑战，这些挑战正在考验制造商运营的弹性和灵活性。虽然技术正在快速发展，全球市场也在不断变化，但由于经验丰富、技能熟练的劳动力严重短缺，企业在应对提高生产率的现实需求时更加困难。供应链中断变得非常常见，导致材料交货时间延长，使得制造物流进一步复杂化。此外，随着利益相关者要求采取更多环保做法，满足更高可持续性标准的压力也越来越大。因此，复合材料部件制造商正努力在不断变化的市场中保持效率和盈利能力，同时尽可能解决在可持续发展方面面临的诸多难题。

复合材料制造发展的回顾

回顾发展历史，复合材料的制造严重依赖人的专业知识，利用传统方法进行短期、中期和长期生产规划与执行。包括“先进先出”（FIFO 库存管理法）、“看板”管理（Kanban，也称拉动式生产计划）等传统方法，已经被证明是 20 世纪的最佳实践。进入新时期，传统方法在提高生产关键绩效指标（KPI）（如产量和良率、准时交货和质量等）方面已达到极限。此类方法没有充分考虑到制造环境的动态特性，工厂车间不可见的变化可能会对效率、可扩展性以及产能增长目标造成障碍。过去使用的静态管理方法在应对不可见的变化方面存在不足，并影响工厂或生产线运营的几个关键方面。

首先是制造计划受到限制，无法充分考虑复合材料零部件生产过程中的多变性和不可预测性。第二是日常执行通常效率低下，人工干预和决策执行效率不高，很多时候难以满足实时调整需要。第三是物流和供应链管理不够灵活，导致供应链效率低下，形成供应链终端和产品交付延迟。第四是在各个层面（特别是管理和运营层面）的决策均会受到阻碍。由于数据信息经常来自各种不相连的系统（ERP、MRP、采购、轮班日志等），难以及时全面掌握工厂产线实时情况，影响决策效果。

具体来说，产线上物料的选择过程通常由人工完成，这种方式不仅耗时，还会导致余料、废料产生以及产品产量降低。物料接收基本也由人工完成，且经常容易发生错误和延误。规划工作通常依赖于 Excel 表格等工具，这会

导致计划很快过时、整体设备效率（OEE）低下以及之后的交付延迟。这些问题足以证明，传统方法不足以满足复合材料行业日新月异、更具动态的发展特征。

数字化转型的曙光

随着数字技术的出现，先进制造业目前正在经历一场重大转型，将传感器、工业物联网和人工智能技术融为一体。尽管仍处于早期阶段，但这一数字化转型有望大幅改善工作流程、减少资源浪费和能耗。人工智能技术正在成为关键驱动因素，赋能人类做出更明智的决策，进而提高生产效率和可持续性。美国 Plataine 公司见证了这一转型，并在过去十年中参与其中。通过使用人工智能技术，复合材料制造在几个关键领域正在经历非凡的进步。

在规划和调度方面，传统的手动规划工具（如 Excel）正在被基于人工智能的软件取代，以自动优化生产计划，并持续保持计划处于更新状态。软件利用人工智能算法来最大化生产吞吐量并最大限度地减少低效操作。借助基于人工智能技术的软件解决方案，这种数字化变革不仅可以提高效率，还可以动态调整以适应工厂车间实时发生的意外变化。这可以确保最佳的资源利用率和最短的生产宕机时间。例如，一个生产医疗设备复合材料部件的

客户使用 Plataine 提供的软件，模拟增加模具将对产量增加产生怎样的影响。经过多场景模拟使其能够达到一个最佳平衡点——在增加零件产量的需求与购买额外模具的成本之间取得平衡。

在供应链协作方面，云软件使供应商和制造商之间能够更好地沟通和协作。这种集成加速并简化了装载和接收流程，减少了延误并提高了供应链的整体响应能力。

在库存管理方面，人工智能算法能够分析趋势并预测需求，从而使物料和采购管理最大限度地提高库存效率。这种方法大大减少了废料产生和资源浪费，有助于厂商实现节省更多成本并实现可持续发展的目标。

在设备和工具管理与服务方面，人工智能辅助软件向负责设备服务的员工提供警报和建议。这种主动维护设备的方式

人工智能技术正在成为关键驱动因素，赋能人类做出更明智的决策，进而提高生产效率和可持续性。美国 Plataine 公司见证了这一转型，并在过去十年中参与其中。

可防止意外停机、延长设备使用寿命并确保资源得到最佳利用。

在能耗优化方面，人工智能技术算法在优化能源使用方面可以发挥至关重要的作用，尤其是在热压罐固化等能耗较高的工艺环节中。为此，Plataine 不断向客户学习，重点了解热压罐调度系统，人工智能技术正在引领工厂内热压罐运营管理的重大变革。通过优化调度，使用该技术的制造商可以大幅减少热压罐的运行次数，从而降低能耗。

人工智能在未来制造业中的作用

展望未来，我们将会看到人工智能技术越来越多地被工厂员工用于简化工厂的生产流程，提高生产效率。就像人工智能已经成为人类日常生活中的一部分一样——智能手机、Siri、Alexa 助手等等——人工智能也将在工厂中扮演非常重要的角色。

在制造业中，人工智能被视为另一个数字助理，使人类的日常工作变得轻松很多。例如，生产规划人员将模拟不同的场景和结果，以提高工作效率。人工智能技术在制造业规划中的未来将横跨三个领域，每个领域都有其独特的可能性和创新。在短期规划（最多 2 周）方面，人工智能技术将使工厂能够模拟各种场景，例如对设备或操作不同的工作分配，以及对工作订单库存和工具分配。这种模拟可以为不同班次创建详细的日程表，并快速响应工厂车间中的意外事件。通过快速评估多种场景，基于人工智能的软件可呈现最有效的评估结果，确保短周期计划的高度灵活性和响应能力。

在中期规划（2~4 个月）方面，展望未来，人工智能的功能将扩展至模拟运营调整场景，例如增加班次、增加每班人

员或购买额外的工装模具。这种中期规划有助于将战术决策、需求预测和运营能力结合在一起，可优化资源分配与生产力。

在长期规划（1~2 年）方面，从长远来看，人工智能辅助软件将加快战略扩张和投资，例如购买新设备、增加生产线及拓展工厂空间。这种模拟将支持长期增长战略，确保投资物有所值并与未来市场需求保持一致。

作为互联工厂生态系统的一部分，人工智能技术还将在促进制造设施和工厂之间的协作互联、预测需求高峰和短缺方面发挥重要作用。此外，基于人工智能的软件将有助于供应商和客户之间的协作，简化沟通，提高透明度并缩短流程。

当前制造业正逐步由依赖传统方法过渡到示范应用人工智能技术，实现向效率、可持续性和创新真正变革性转变。毫无疑问，生成式人工智能（GenAI）技术的整合将进一步推进这一演进过程。传统人工智能专注于分析历史数据并使用算法进行对未来的预测，而 GenAI 使数字技术能够产生新的输出价值，包括图像、视频、文本、声音和其他媒介。

新的 GenAI 工具将实现人与机器之间的自然交流，使复杂的软件更加直观、友好、易于使用。这种技术不仅有助于简化生产流程，还可以获得实时警报和智能化解决方案建议——工厂中的人们将随着时间推移学会信任这些建议。Plataine 公司以可持续、聚焦客户生产为中心，已能够基于人工智能技术，帮助工厂提高 OEE、减少材料浪费、节省运转时间和运营成本。随着进一步利用这种技术创新，复合材料制造商将获得更快速的应急响应能力以及更具有环保责任感的工作流程。■

人工智能或将改变 MRO 行业

文 | 文峻

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

图 | aero-mro.com



近些年来，在售后维修领域，人工智能技术备受关注。初创公司、MRO 服务供应商、航空公司以及行业研究机构均致力于研究开发基于人工智能技术的新业务模式，不断提高飞机维护水平。其中包括开发飞机和发动机检修新方式、创建智能化的维修机库、构建航空资产的数字孪生系统，提高维修记录的自动化水平，提升工程技术人员的排故能力等。

一些先锋实践

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

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

LexX Technologies 公司是另一家 Aerospace Xelated 加速器项目中的初创公司。随着 ChatGPT 的备受关注，人们对 LexX 技术公司充满兴趣。该公司运营主管表示，其研发的人工智能平台就像苹果公司的 Siri 虚拟助手和《星球大战》(Star Wars) 中的 C-3PO 机器人的混合体，可以自动分析数据并向技术人员提供解决方案。凡是被它采集数据的领域，都可以针对性提供可阅读、可理解的信息输出，它几乎可以回答任何专业领域中的问题。就航空业而言，需要大量的数据积累和专业化知识的特征十分明显。LexX 平台应运而生，能够显著降低对人的依赖。LexX 技术公司认为，我们今天所处的时代充满了数据，人类智慧是多年积累形成的，面对航空运行中随时出现的各种情况，人工智能的作用将非常重要。以紧急安全通告为例，尽管员工能够怀着良好的意愿阅读安全通告，但这些信息在人的意识中通常不会持久保留。然而，LexX 平台可以识别不同场景，有针对性地与技术工程人员实时提供相关警示信息。例如，针对某些技术人员容易受伤的工作任务进行及时的提示。

LexX 技术公司强调，该公司的人工智能技术拥有自我学习进化功能，因此技术人员可以快速、轻松地从中受益。例如，有一名飞行员向维修服务供应商描述飞机故障，然后该维修服务供应商派出两名技术人员根据描述情况开展排故工作，其中一名技术员仅有 6 个月的工作经验，另一名则拥有 30 年的经验。在排故过程中，经验少的维修人员会按照工作清单一步步地排查故障原因；而另一位经验丰富的维修人员可能一眼就看出这是一个曾经遇到过的问题，马上找到故障点，很快就能完成修复工作。在这样的场景中，LexX 平台可以将维修技术人员的工作经验通过生成式学习传授给整个维修团队，可明显缩

短维修技术人员的成长时间。

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

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

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

目前，一个致力于提升航空航天制造和维修水平的人工智能平台——Basetwo AI，入选为 Aerospace Xelated 加速器项目。该平台连接数据源，如飞机部件传感器和维护日志，并通过这些数据建立飞机关键部件的仿真模型，该模型能够对飞机部件的使用状态进行有效预判。

Basetwo AI 的首席执行官表示，该功能将主要用于优化维修计划，以及延长

飞机资产的生命周期并提高利用率。他指出，目前应用前景非常明确的领域主要涉及发动机和飞机运行控制系统的维护。

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

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

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

在发动机检测工作中，人工智能技术的表现也非常不错。2023 年初，GE 旗下的 OC Robotic 公司推出了一款人工智能驱动的先导叶片检测工具，能够大幅提高 GENx

发动机的在翼检测效率，利用人工智能改进荧光渗透检测水平。针对 CFM56 型发动机，研发出基于机器人技术驱动的检测方案。与此同时，人工智能技术在提高发动机孔探的效率和准确性方面也取得了进展。GE 公司最近与无损检测专业公司 Waygate Technologies 合作，探索使用机器学习和人工智能提高检测的可靠性和一致性。Waygate 与荷兰初创公司 Aiir Innovations 合作，开展人工智能检测发动机缺陷并完成自动分析的研究。

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

人工智能的潜在风险

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

总部位于阿姆斯特丹的 AiirInnovations 的首席执行官兼联合创始人强调，只有把人工智能嵌入到恰当的应用软件中，其真正价值才会显现出来，这些软件需要融入已经存在的生态系统，实现与现有工具的连接。目前，这家初创公司正在与波

音公司合作，探索在业务部门的流程中嵌入人工智能技术。

克兰菲尔德大学的一位负责人表示，人工智能技术已然成为吸引外部投资的标签，但过度宣传人工智能技术的作用会导致不切实际的期望和失败的投资结果。目前，人工智能领域中的一些人士可能有些夸大其词，实际中，人工智能只有与工程专业知识深度结合，才能为 MRO 提供有力帮助。

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

期望人工智能具有完美的准确性本身是一种错误的想法。例如，在医学领域中，检测癌症的人工智能既没有 100% 的准确率，也没有 100% 的检出率，然而，一旦发现一个额外的病例，就可能挽救一个鲜活的生命。航空航天领域的人工智能也是如此。减少一次发动机故障，减少一次航班取消，减少一次 AOG 等等，都值得应用一个没有 100% 检验率的人工智能系统。

在准确性这方面，Aiir Innovations 也

MRO 行业应小心避免“人工智能冬天” (AI Winter)，即由于开发者过度承诺结果和用户不切实际的高期望而导致无法兑现承诺。

非常认同。该公司认为，人类本身并没有完美的准确性，研究表明人类的准确率约为 70%。据新西兰坎特伯雷大学 2022 年的一项研究，该研究针对不同类型发动机的 MRO 检查中，操作人员的表现与图像处理、人工智能软件和 3D 扫描进行了比较，研究发现，与人工操作相比较，基于人工智能的系统在检查速度、一致性和减少差错率方面表现得非常出色。

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

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

但是，如果人工智能能够超越人类，其运行结果足够透明和可靠，这是否意味着技术人员将被人工智能取代？对此，许多业内人士指出，这种担心是完全没有必

要的，人工智能并没有真正取代任何人，它只是取代了旧的工作方法和流程，人工智能的真正意义在于，作为支持性工具，以专业知识为底座，通过改善工作方式，显著提高工作效率。

荷兰皇家航空公司的负责人表示，人工智能可以创造新的就业机会。人类在专业领域的知识与技能积累是人工智能取得充分应用的关键因素。因此，MRO 需要雇用或培养出更多专家型人才。Amygda 公司的负责人同样认为，随着人工智能技术的广泛应用，将彻底颠覆一些现有的工作岗位，与此同时，未来也将有更多不同性质的工作岗位涌现出来，因为事实上任何人工智能技术都是被人类创造出来的。

当前，MRO 存在的劳动力短缺的现状，为人工智能应用创造了广阔发展空间。因为人工智能的大量应用将会加速促使消灭一些低技能要求的工作岗位。airxpert 公司创始人兼首席执行官表示，尽管行业内很多人担心人工智能会完全取代人力，但是其实行业内更多的人是希望能尽快解决人力短缺的问题，人力短缺对整个行业来说是非常痛苦的，并在整个行业生态系统中产生了连锁负面反应。airxpert 公司的数字化平台可以自动收集和处飞机维修中的相关数据，目的是不断缩短维修周期，降低资源消耗。airxpert 公司认为，人工智能和自动化的结合只是用来填补空缺，不会导致人员的净流失。而且在 MRO 领域中，人工智能并不是万能的，大多数情况下，完全可以通过优化结构性流程来解决生产中出现的的问题，而不是一股脑地涌入人工智能领域。■

中国国际航空旅客市场分析

文 | 蒋星

目前,我国国际航班数量和通达性均尚未恢复到疫情前水平,客票价格相较疫情前亦较高,公务、旅游、游学旅客国际出行尚存在不便,民航局正全力推进国际航班恢复工作。影响国际航班恢复的因素非常复杂,市场需求不足是重要原因。一般认为,航空公司可以在很大程度上控制供给,但对市场需求的影响力则要小很多。关于该主题现有研究主要关注供给端,即航班情况,对于需求端的定量研究较少,本文侧重对我国国际旅客实际出行需求进行分析,并提出建议。文中航班量数据来自国际民航数据公司 OAG,旅客量数据来自国际航空运输协会 IATA,并采用其最新更新的 2024 年 5 月数据,旅客量均为实际出行始发地及目的地,而非航段旅客量。

▼
图 | 美兰机场



我国国际航空运输市场总体情况

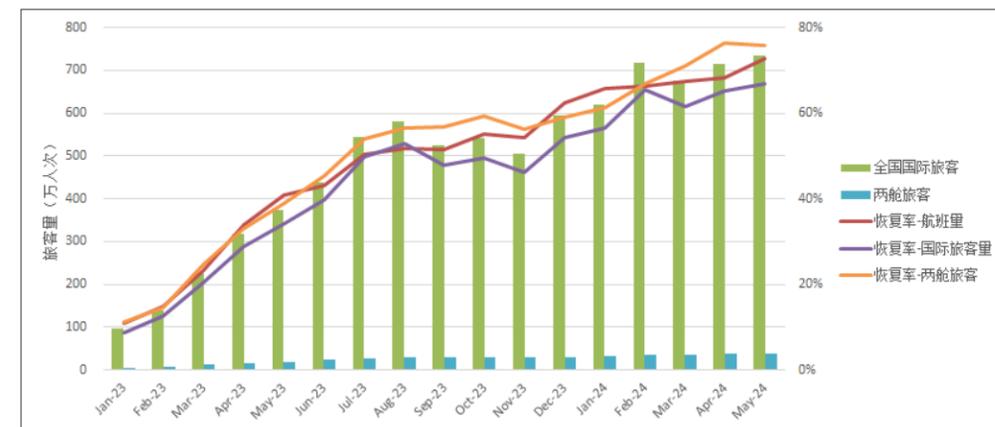
2024 年 5 月,我国国际 OD 旅客 734.1 万人次,恢复至 2019 年的 66.9%,其中亚洲、欧洲、北美、西南太平洋、中东、非洲、拉丁美洲分别为 523.9 万、92.9 万、44.5 万、25.7 万、22.3 万、19.6 万、4.6 万,占比分别为 71.4%、12.7%、6.1%、3.5%、3.0%、2.7%、0.6%。亚洲仍是我国国际航空运输主要市场,细分来看,其中东南亚、东北亚市场份额较大,旅客量分别为 289.5 万、210.3 万,分别占我国国际旅客总量的 39.4%、28.6%。具体来看有几个特点:

航班量恢复快于旅客量,航班量恢复率为 72.8%,高于旅客量恢复率 5.9 个百分点。自 2023 年 1 月至今,航班量恢复率基本高于旅客量恢复率 5 个百分点左右,但是在 2023 年 7 月、2023 年 8 月、2024

年 2 月两者基本持平,主要原因是旺季旅客出行需求增加。(详见图 1)

两舱旅客恢复快于旅客总量,国际两舱旅客恢复率为 75.9%,高于国际旅客总量恢复率 9 个百分点。自 2023 年 1 月至今,两舱旅客恢复率始终高于国际旅客总量,且差距在不断扩大,2023 年上半年各个月份两者恢复率差距在 5 个百分点左右,2024 年 3 月至 5 月两者差距基本在 10 个百分点,反映公商务出行更为刚需,市场恢复快于其他旅客。(详见图 1)

亚非拉区域相较其他区域恢复更快,中亚、非洲、中东、拉丁美洲恢复率高于平均水平,分别为 199.0%、92.4%、90.7%、72.2%,一方面由于这些区域规模较小,上述四个区域市场旅客总量约占我国国际市场的 7.5%,恢复相对较为容易;另一方面更重要的是,我国近年来与这些区域国家政治经济往来密切,



▼
图 1 | 国际旅客、两舱旅客、航班量对比 (2023.1~2024.5)

经贸和人文交往快速升级，带动相关区域快速增长。

国内发达地区客源恢复显著快于其他区域，华东、中南地区恢复率分别为72.4%、69.1%，西南、东北、华北、西北地区恢复率分别为61.6%、60.8%、58.3%、52.9%，华东、中南作为我国经

济最发达区域，在国际航空运输市场恢复中也表现出显著优势，反映经济基础影响旅客出国意愿；新疆区域恢复率高达87.1%，这与新疆地区的经济基础出现显著反差，主要原因是受益于中亚地区市场快速增长，而中亚地区是新疆最为重要的国际市场，市场份额高达61%。（详见表1）

2024年5月恢复率	总量(万人次)	东北	华北	华东	西北	西南	新疆	中南	总恢复率
非洲	19.6	98.0%	79.1%	89.2%	74.4%	106.4%	41.7%	102.1%	92.4%
亚洲	523.9	60.6%	56.7%	72.8%	52.6%	62.6%	113.4%	67.8%	66.9%
-中亚	8.6	99.0%	129.3%	321.7%	583.3%	785.4%	153.0%	350.8%	199.0%
-东北亚	210.3	65.3%	59.8%	70.2%	64.0%	60.5%	43.2%	66.4%	66.6%
-南亚	15.4	58.6%	46.8%	73.7%	18.3%	53.1%	27.4%	69.7%	62.3%
-东南亚	289.5	46.7%	51.2%	75.0%	43.6%	62.6%	139.3%	67.4%	66.0%
欧洲	92.9	75.7%	65.2%	74.0%	36.2%	54.9%	34.8%	77.8%	69.6%
-中东欧	20.8	142.3%	65.2%	76.8%	21.7%	41.1%	28.7%	79.4%	69.4%
-西欧	72.1	60.1%	65.2%	73.4%	42.1%	60.0%	57.2%	77.1%	69.7%
拉丁美洲	4.6	54.3%	71.6%	73.8%	22.7%	61.4%	52.2%	70.9%	72.2%
中东	22.3	46.5%	78.1%	100.4%	143.3%	61.9%	25.9%	103.5%	90.7%
北美洲	44.5	47.8%	45.7%	60.0%	46.4%	45.0%	26.4%	46.3%	52.2%
西南太平洋	25.7	62.5%	54.6%	69.8%	44.4%	54.6%	52.6%	58.3%	61.9%
总恢复率	734.1	60.8%	58.3%	72.4%	52.9%	61.6%	87.1%	69.1%	66.9%

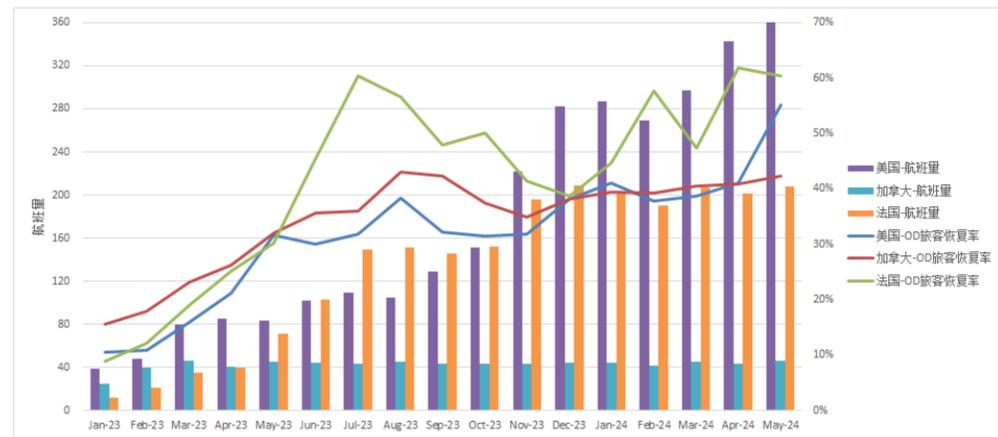
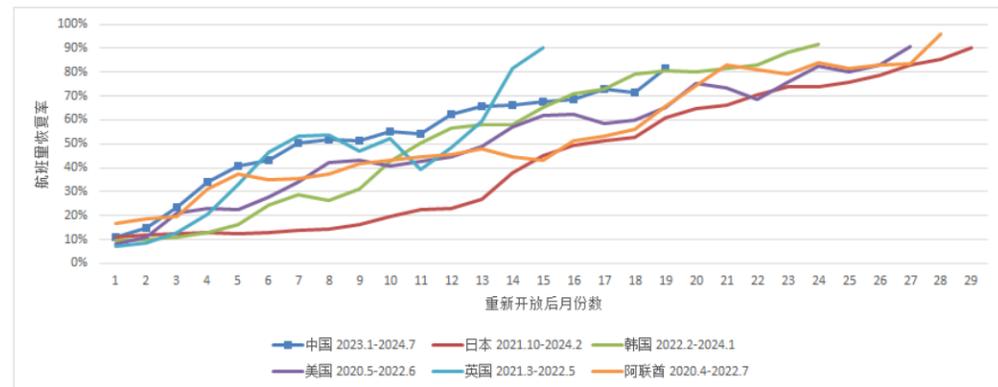


表1 | 中国与国外各区域 OD 旅客恢复情况 (2024.5)

图2 | 全球主要国家“重新开放”后航班量恢复情况

图3 | 美国、加拿大、法国航班量及 OD 旅客恢复率 (2023.1 ~ 2024.5)

国际旅客市场为何恢复缓慢

首先，我国国际航班量恢复速度与全球主要国家基本一致。我国国际航空运输市场“重新开放”较晚，观察全球主要国家航班量从10%以下增长到90%以上的时间，只有英国快速恢复，仅用时15个月（2021年3月至2022年5月），其他国家用时均较长，美国、阿联酋、日本、韩国分别用时27个月（2020年5月至2022年7月）、28个月（2020年4月至2022年7月）、29个月（2021年10月至2024年2月）、24个月（2022年2月至2024年1月），我国目前恢复速度与上述国家基本一致，符合全球规律。（详见图2）

其次，现阶段仅仅依靠增加国际航班对促进旅客量增长作用有限。国际航空运输市场发展需要供需平衡发展，在航空公司看来，目前我国国际航空运输需求不足，难以进一步增加国际航班，而各方面信息则反映票价过高影响旅客出行意愿，因此存在“鸡与蛋”的矛盾。在此局面下，我国航空公司超前投放运力，为我国国际航空运输市场恢复作出了贡献。但是，在我国国际航空运输市场重新开放初期，供给是最大制约因素，增加国际航空运力能够大幅提高国际旅客量，现阶段的状况已经发生了较大改变，在供大于求的情况下，继续增加国际航班难以促进旅客出行。

中国与美国、加拿大、法国至今尚未恢复航空运输安排，航班量受到政府制约，观察中国与这三个国家航班量和 OD 旅客量数据可以印证上述观点：一是2023年8月至今，中国往返美国、加拿大、法国 OD 旅客基本无明显增长，中美（2023年9月1日起增至各方18班，2023年10月29日起增至各方24班，2023年11月9日起增至各方35班，2024年3月31日

起增至各方50班）、中法（2023年10月29日换季）增班后，航班量显著增长，但是 OD 旅客增长不明显；二是中国往返加拿大航班量长期未增长，但 OD 旅客增长趋势与几度增班、地理位置相似的美国差异不大；三是印度至今与我国断航，但2024年5月 OD 旅客恢复率已达53.8%。（详见图3）。

第三，增加直达航班有利于提高直达率、降低票价，便利旅客出行。进一步增加中美之间直达航班虽然对于促进两国之间实际旅客需求增加作用有限，但是对于现有旅客出行便利意义重要，2023年8月（2023年9月1日起增至各方18班）至2024年5月期间，中美两国旅客经第三国中转比例由78.1%下降至49.5%，票价则下降38.7%。

第四，我国国际旅客结构正在发生改变，新兴市场快速增长。亚非拉区域虽然目前市场规模仍较小，但在疫情后旅客快速增长，这与我国国家战略发展方向吻合，有理由相信这些区域在未来一段时间将持续保持高速增长。东北亚、东南亚、欧洲等传统市场维持着平稳的增长速度，这与疫情前的趋势保持一致。北美市场恢复最慢，事实上在疫情前中国与美国、加拿大之间旅客量已经增长乏力，甚至出现下降

在我国国际航空运输市场重新开放初期，供给是最大制约因素，增加国际航空运力能够大幅提高国际旅客量，现阶段的状况已经发生了较大改变，在供大于求的情况下，继续增加国际航班难以促进旅客出行。

趋势。2017年至2019年，中美两国间旅客分别为742万、785万、761万，中加两国间旅客分别为222万、238万、227万。

第五，政治经济关系和经济水平影响公商务出行，进而影响两舱旅客恢复。总体来看，两舱旅客恢复率高于国际旅客总量近10个百分点，但是从细分区域看仍存在差异。大部分区域两舱旅客恢复率远高于国际旅客总量，但是北美洲、南亚、非洲、拉丁美洲等区域恢复率差距不明显，其中存在两类原因，一类是由于区域经济基础较差，包括非洲、拉丁美洲等，这些区域虽然旅客总量恢复较好，但是公商务出行恢复情况没有明显更好；另一类是由于政治经济关系，包括北美洲、南亚等，两个区域不仅旅客总量恢复较慢，而且两舱旅客恢复亦较慢。

最后，目前需求不足，航班量增长过快导致供大于求，降低中国市场对外国航空公司的吸引力。多个现象显示出疫情之后中国市场对外航的吸引力明显下降：一是中国与美国、加拿大、法国尚未恢复航空运输安排，其中有政治原因，但航空公司进一步增加至华航班意愿不强也是重要因素，中美两国在今年3月31日允许双方航空公司航班量增加至各50班后，中方航空公司立刻申请了全部增量航班的航班计划，用足50班运力额度，而与之形成鲜明

中国航线收益不再可观的主要原因包括：一是我国国际市场需求尚不足；二是目前我国国际航空运输市场出现供大于求；三是外籍人员来华减少。

对比的是，美方航空公司仅运营39班。二是近期澳洲航空、维珍航空先后宣布停航上海航线，原因都是收益不足，停航后两家公司在中国大陆将暂无航线经营，值得一提的是维珍航空已经运营该航线25年。三是中国市场收入在外航公司收入中的占比下降明显，疫情前中国市场是诸多外航收益最高的市场，而现在此景不再。

中国航线收益不再可观的主要原因包括：一是我国国际市场需求尚不足，且旅客消费意愿不足，对于高票价的接受度相对疫情前较低。二是目前我国国际航空运输市场出现供大于求，导致客座率不足、票价相对下降。三是外籍人员来华减少，各项数据均显示，疫情之后外籍人员来华意愿不强，而一般来说旅客意识中会优先选择乘坐本国航空公司的航班，为此我国已经推出多项举措便利外籍人员来华。四



是俄罗斯空域问题导致欧洲航空公司需要绕航，增加机组、燃油等各项运营成本，且影响航空公司商务合作。

意见与建议

当前增加国际航班的重点是协同各方解决需求不足问题。经济是国际旅客出行的基础，经贸和文旅交流是国际旅客出行的核心动力，目前我国航空运输市场供大于求，客座率水平较低。建议利用部际协同机制，鼓励航旅融合，促进国际旅客出行，吸引外籍旅客来华，推动我国国际航空运输市场健康发展。

过度超前增加国际航班可能引发系统性风险。疫情后的航空运输市场是重构的过程，需讲求经济规律，供需两端协同发展、相互促进，而非一蹴而就的恢复过程。运力过度超前投放对促进市场需求增长作用有限，但会影响外国航空公司在华经营意愿，可能引发系统性风险。

继续推动重点国家恢复航空运输安

排，便利旅客出行。目前，美国、加拿大、法国与我国仍尚未恢复航空运输安排，相较疫情前，我国和上述国家之间仍有大量旅客经第三国中转，且票价显著较高，旅客出行不够便利。

根据市场需要稳妥有序实施国际航空运输政策。航空公司虽然可以在很大程度上控制供给，但对市场需求的影响力则小很多。民航业是规制性行业，航空公司利润率极低，政府有必要发挥“看得见的手”的作用，积极引导行业发展。目前正处于百年未有之大变局，我国国际航空市场正在发生改变，传统市场保持低速增长，北美市场甚至出现回落，现有航空运输安排下的航权运力额度总体充裕，建议根据市场需求适当匹配资源；中亚、中东、非洲、拉丁美洲等区域新兴市场快速发展，建议通过各方面政策积极引导航空公司开通相关市场航线，但是这些市场目前规模仍较小，短期内建议仅支持适量的航空公司培育相关市场，否则运力过度投入可能不利于市场发展。■

表 2 | 国际旅客和两舱旅客分区域恢复率 (2024.5)

区域	国际旅客总量 (万人次)	恢复率-旅客总量	两舱旅客 (万人次)	恢复率-两舱旅客
非洲	19.6	92.4%	1.2	87.8%
亚洲	523.9	66.9%	18.5	81.7%
-中亚	8.6	199.0%	0.3	231.7%
-东北亚	210.3	66.6%	8.3	75.7%
-南亚	15.4	62.3%	0.8	60.4%
-东南亚	289.5	66.0%	9.1	88.8%
欧洲	92.9	69.6%	9.7	82.7%
-中东欧	20.8	69.4%	1.3	96.8%
-西欧	72.1	69.7%	8.4	80.9%
拉丁美洲	4.6	72.2%	0.4	78.4%
中东	22.3	90.7%	1.6	110.8%
北美洲	44.5	52.2%	5.4	51.8%
西南太平洋	25.7	61.9%	2.3	68.7%
总计	734.1	66.9%	39.2	75.9%

中国发展国际航空枢纽的思路

文 | 边琪

在航空领域，机场业务量无疑是衡量航空枢纽地位的关键指标。机场业务量呈幂次分布，恰如二八定律所示，大型机场数量虽少，却贡献巨大，唯其如此，方可称之为真正的交通枢纽。放眼全球 4000 余家商业机场，千万级旅客吞吐量的大型机场仅有 200 余家，却贡献了全球三分之二以上的旅客吞吐量，即 5% 的大型机场贡献了 67% 以上的客运量。在全球千万级机场中，美国约占 45 家，中国约有 41 家，欧洲约为 45 家。除中美两国之外，再无其他国家的千万级机场数量超过 10 家，此结果与一个国家的人口数量、国土面积以及经济状况紧密相连。严格而言，唯有中国和美国在全球拥有多中心、多层次的航空枢纽结构。在此，我们对比中美两国的航空枢纽，以探寻中国国际航空枢纽建设的发展进步之路。且需明确，本次仅讨论客运枢纽，货运枢纽留待后续再议。

表 1 | 美国 TOP20 客运航空枢纽



美国20大客运航空枢纽（整体）					
2023 Rank	Airport	2023 Enplaned Passengers	2022 Rank	2022 Enplaned Passengers	Pct. Change 2022-2023
1	佐治亚州亚特兰大：哈茨菲尔德-杰克逊亚特兰大国际机场	50.925	1	45.373	12.2%
2	得克萨斯州达拉斯/沃思堡：达拉斯/沃思堡国际机场	39.226	2	35.330	11.0%
3	科罗拉多州丹佛：丹佛国际机场	37.840	3	33.750	12.1%
4	加利福尼亚州洛杉矶：洛杉矶国际机场	36.611	5	32.285	13.4%
5	伊利诺伊州芝加哥：芝加哥奥黑尔国际机场	35.828	4	33.132	8.1%
6	纽约州纽约市：约翰·F·肯尼迪国际机场	30.512	6	27.006	13.0%
7	佛罗里达州奥兰多：奥兰多国际机场	28.019	8	24.442	14.6%
8	内华达州拉斯维加斯：哈里·里德国际机场	27.642	7	25.265	9.4%
9	北卡罗来纳州夏洛特：夏洛特道格拉斯国际机场	25.881	10	23.091	12.1%
10	华盛顿州西雅图：西雅图/塔科马国际机场	24.551	11	22.114	11.0%
11	佛罗里达州迈阿密：迈阿密国际机场	24.544	9	23.676	3.7%
12	新泽西州纽瓦克：纽瓦克自由国际机场	24.476	13	21.656	13.0%
13	加利福尼亚州旧金山：旧金山国际机场	24.174	14	20.402	18.5%
14	亚利桑那州菲尼克斯：菲尼克斯天港国际机场	23.814	12	21.791	9.3%
15	得克萨斯州休斯敦：乔治·布什洲际机场/休斯敦机场	22.210	15	19.800	12.2%
16	马萨诸塞州波士顿：洛根国际机场	19.950	16	17.433	14.4%
17	佛罗里达州劳德代尔堡：劳德代尔堡-好莱坞国际机场	17.037	17	15.371	10.8%
18	明尼苏达州明尼阿波利斯：明尼阿波利斯-圣保罗国际机场	16.985	18	15.203	11.7%
19	纽约州纽约市：拉瓜迪亚机场	16.172	19	14.369	12.5%
20	密歇根州底特律：底特律都会韦恩县机场	15.350	20	13.730	11.8%

美国20大客运航空枢纽（国内）					
2023 Rank	Airport	2023 Enplaned Passengers	2022 Rank	2022 Enplaned Passengers	Pct. Change 2022-2023
1	佐治亚州亚特兰大：哈茨菲尔德-杰克逊亚特兰大国际机场	44.698	1	40.526	10.3%
2	科罗拉多州丹佛：丹佛国际机场	35.870	2	32.123	11.7%
3	得克萨斯州达拉斯/沃思堡：达拉斯/沃思堡国际机场	33.834	3	30.626	10.5%
4	伊利诺伊州芝加哥：芝加哥奥黑尔国际机场	29.292	4	27.566	6.3%
5	内华达州拉斯维加斯：哈里·里德国际机场	26.048	6	24.004	8.5%
6	加利福尼亚州洛杉矶：洛杉矶国际机场	26.041	5	24.411	6.7%
7	佛罗里达州奥兰多：奥兰多国际机场	24.719	7	21.817	13.3%
8	北卡罗来纳州夏洛特：夏洛特道格拉斯国际机场	23.798	8	21.367	11.4%
9	亚利桑那州菲尼克斯：菲尼克斯天港国际机场	22.561	9	20.732	8.8%
10	华盛顿州西雅图：西雅图/塔科马国际机场	21.808	10	20.040	8.8%
11	加利福尼亚州旧金山：旧金山国际机场	17.427	11	15.595	11.7%
12	新泽西州纽瓦克：纽瓦克自由国际机场	17.268	12	15.574	10.9%
13	得克萨斯州休斯敦：乔治·布什洲际机场/休斯敦机场	16.573	13	15.165	9.3%
14	马萨诸塞州波士顿：洛根国际机场	16.102	14	14.477	11.2%
15	明尼苏达州明尼阿波利斯：明尼阿波利斯-圣保罗国际机场	15.523	15	14.144	9.8%
16	纽约州纽约市：拉瓜迪亚机场	15.242	18	13.701	11.2%
17	纽约州纽约市：约翰·F·肯尼迪国际机场	14.310	17	13.967	2.5%
18	佛罗里达州迈阿密：迈阿密国际机场	14.067	16	14.109	-0.3%
19	密歇根州底特律：底特律都会韦恩县机场	13.841	19	12.653	9.4%
20	佛罗里达州劳德代尔堡：劳德代尔堡-好莱坞国际机场	13.345	20	12.259	8.9%

美国20大客运航空枢纽（国际）							
2023 Rank	Airport	2023 Enplaned Passengers	2022 Rank	2022 Enplaned Passengers	Pct. Change 2022-2023	整体	国际占比
1	纽约州纽约市：约翰·F·肯尼迪国际机场	16202.019	1	13038.319	24.3%	30.512	53.10%
2	加利福尼亚州洛杉矶：洛杉矶国际机场	10570.556	3	7873.872	34.2%	36.611	28.87%
3	佛罗里达州迈阿密：迈阿密国际机场	10477.110	2	9567.008	9.5%	24.544	42.69%
4	新泽西州纽瓦克：纽瓦克自由国际机场	7208.734	4	6082.301	18.5%	24.476	29.45%
5	加利福尼亚州旧金山：旧金山国际机场	6746.632	7	4806.535	40.4%	24.174	27.91%
6	伊利诺伊州芝加哥：芝加哥奥黑尔国际机场	6536.020	5	5565.933	17.4%	35.828	18.24%
7	佐治亚州亚特兰大：哈茨菲尔德-杰克逊亚特兰大国际机场	6226.748	6	4847.156	28.5%	50.925	12.23%
8	得克萨斯州休斯敦：乔治·布什洲际机场/休斯敦机场	5636.877	9	4635.283	21.6%	22.210	25.38%
9	得克萨斯州达拉斯/沃思堡：达拉斯/沃思堡国际机场	5392.505	8	4704.176	14.6%	39.226	13.75%
10	华盛顿哥伦比亚特区：华盛顿杜勒斯国际机场	4521.465	10	3569.209	26.7%	12.347	36.62%
11	马萨诸塞州波士顿：洛根国际机场	3848.800	12	2955.885	30.2%	19.950	19.29%
12	佛罗里达州劳德代尔堡：劳德代尔堡-好莱坞国际机场	3691.968	11	3112.179	18.6%	17.037	21.67%
13	佛罗里达州奥兰多：奥兰多国际机场	3299.596	13	2624.665	25.7%	28.019	11.78%
14	华盛顿州西雅图：西雅图/塔科马国际机场	2742.531	14	2073.080	32.3%	24.551	11.17%
15	北卡罗来纳州夏洛特：夏洛特道格拉斯国际机场	2082.237	15	1724.393	20.8%	25.881	8.05%
16	科罗拉多州丹佛：丹佛国际机场	1969.322	16	1626.487	21.1%	35.870	5.49%
17	宾夕法尼亚州费城：费城国际机场	1763.377	17	1529.296	15.3%	13.629	12.94%
18	内华达州拉斯维加斯：哈里·里德国际机场	1594.397	18	1260.716	26.5%	26.048	6.12%
19	密歇根州底特律：底特律都会韦恩县机场	1509.235	19	1077.329	40.1%	15.350	9.83%
20	明尼苏达州明尼阿波利斯：明尼阿波利斯-圣保罗国际机场	1461.595	20	1059.448	38.0%	15.523	9.42%

三张图表看清美国航空枢纽

美国拥有固定跑道的机场数量超过 2 万家，而其中从事定期航班的商业机场大约 550 家。美国官方（包括美国交通部和美国联邦航空局）对于机场客运业务量按照登机旅客进行统计。登机旅客区别于旅客吞吐量，大约是旅客吞吐量的一半左右（但不是严格意义的一半）。

美国 TOP20 的门槛是年旅客吞吐量 3000 万。全球 3000 万级机场不足 80 家，美国占到四分之一以上。中国大陆 11 家，加上中国香港和台北桃园，一共 13 家。

美国 TOP10 的门槛接近 5000 万，全球 5000 万级机场 25 家，美国 9 家，中国 5 家。未来两年，中国 5000 万级机场将突破 10 家。

美国十大客运机场分别是：亚特兰大机场、达拉斯沃斯堡机场、丹佛机场、洛

表 2 | 美国 TOP20 国内客运航空枢纽

表 3 | 美国 TOP20 国际客运航空枢纽



杉矶机场、芝加哥奥黑尔机场、纽约肯尼迪机场、奥兰多机场、拉斯维加斯机场、夏洛特机场、西雅图机场。亚特兰大机场是全球最大的客运机场，也是全球唯二的旅客吞吐量过亿的机场。后面我们会看到美国机场在国内和国际业务方面的差异分布，这和中国形成鲜明对比。

美国的十大国内航空枢纽分别是：亚特兰大机场、丹佛机场、达拉斯沃斯堡机场、芝加哥奥黑尔机场、拉斯维加斯机场、洛杉矶机场、奥兰多机场、夏洛特机场、凤凰城机场、西雅图机场。

美国第一大国际客运航空枢纽是纽约肯尼迪机场，2023年国际旅客吞吐量3240万，领先中国上海浦东机场，落后阿联酋迪拜机场、英国伦敦希思罗机场和中国香港机场，而且没有进入全球国际客运枢纽TOP10。纽约肯尼迪机场的国际旅客占比53.1%，主要是大西洋欧美航线，当然也包括亚太和南美航线。

第二大国际客运枢纽是洛杉矶机场，2023年国际旅客吞吐量超过2000万，领先北京首都和广州白云，国际占比28.87%，这个占比也要领先北京首都和广州白云。洛杉矶机场的国际航线主要是太平洋航线，也包括少量欧洲航线。

第三大国际客运枢纽是佛罗里达的迈阿密机场，2023年国际旅客吞吐量超过2000万，国际旅客占比42.69%，主要是拉美航线。

第四大国际航空枢纽是纽约城市群的新泽西纽瓦克机场，2023年国际旅客吞吐量1420万。纽瓦克机场是肯尼迪机场的有效补充，国际旅客占比29.45%。

第五大国际航空枢纽是位于加州的旧金山机场，2023年国际旅客吞吐量超过1300万，作为洛杉矶机场的国际补充，主要还是服务于太平洋亚太航线。国际旅客占比27.91%。

第六是芝加哥的奥黑尔机场，国际旅客占比18.24%；第七是亚特兰大机场，国际旅客占比12.23%；第八是德州的休斯顿机场，国际旅客占比25.38%。第九是德州的达拉斯沃斯堡机场，国际占比13.75%；第十是美国首都华盛顿机场，国际旅客吞吐量900万，国际占比36.62%。

对比来看，中国规划的“3+7”国际航空枢纽中，上海浦东国际机场国际旅客占比超过40%，北京首都机场超过20%，广州白云国际机场超过10%。其他机场的国际旅客吞吐量都不足1000万，国际占比不足10%。

“3+7+N” 的四层级国际航空枢纽

中国国际航空枢纽建设任重道远，官方规划也是不断深化和晋级。国家立体综合交通体系建设提出四个核心增长极和20个国际综合交通枢纽城市。根据《国家综合立体交通网规划纲要》，京津冀、长三角、粤港澳大湾区和成渝地区双城经济圈4个地区作为增长极，建设面向世界的四大国际性综合交通枢纽集群。

确立中国二十大国际综合交通枢纽城市，加快建设北京、天津、上海、南京、杭州、广州、深圳、成都、重庆、沈阳、大连、哈尔滨、青岛、郑州、武汉、海口、昆明、西安、乌鲁木齐等20个左右国际交通枢纽城市。这些城市将在综合交通枢纽集群、枢纽城市及枢纽港站“三位一体”的国家综合交通枢纽系统中发挥重要作用，提升国际运输服务能力和全球资源配置能力，促进国际国内要素有序流动和高效配置，支撑国家重大战略实施和对外开放新格局。

中国民航局又将规划的国际航空枢纽从“3+7”升级到“3+7+N”，形成四个层

级的国际航空枢纽体系。“3+7+N”四层级国际航空枢纽体系是民航局联合国家发展和改革委员会发布的《关于推进国际航空枢纽建设的指导意见》中提出的重要内容。

第一层级，“3”，北上广三大城市的五大机场。强化北京、上海、广州等国际航空枢纽全方位门户复合型功能。

其中包括洲际连接与全球辐射能力，即增强其洲际连接能力和全球辐射能力，在辐射周边航空运输圈基础上，支撑“空中丝绸之路”建设。稳固发展欧洲、北美通道，积极拓展六大国际经济合作走廊及拉美、南太、印度洋及非洲通道。例如，北京首都国际机场拥有众多直飞欧美等大洲主要城市的航线，是中国连接世界的重要航空枢纽之一。

中转能力提升：进一步加快提升国内国际互转、国际转国际中转能力，建成通达全国、辐射“一圈”（如京津冀、长三角、粤港澳大湾区等经济圈）、连通洲际、连接国内航空运输网络与国际航空运输通道的核心链接节点。上海浦东国际机场作为亚太地区的重要航空枢纽，中转旅客数量众多，具备强大的中转服务能力。

第二层级，“7”，七大城市的八家机场。提升成都、深圳、重庆、昆明、西安、乌鲁木齐、哈尔滨等7个国际航空枢纽区位门户复合型功能。

其中包括结合城市定位提升枢纽能级。这些城市结合自身的城市功能定位，提升枢纽能级，建成辐射区域、连接国内航空运输网络与相关国际航空运输通道的连接节点。例如，成都作为西部地区的重要中心城市，成都双流国际机场和成都天府国际机场共同构建起西部地区重要的航空枢纽，连接国内众多城市并开通了多条通往亚洲、欧洲等地区的国际航线。

构建区位优势航线网络。构建具有区位优势的国际航线网络，提升国际航空枢

纽面向特定区域的区位门户复合型功能。比如，昆明长水国际机场凭借其地理位置优势，打造了面向东南亚、南亚的特色航线网络；西安咸阳国际机场则重点加强了与中亚、中东地区的航线连接。

第三层级，“N”，20余个城市的国际机场。提升大连、南京、杭州、合肥、福州、厦门、济南、青岛、武汉、长沙、南宁、海口等若干区域航空枢纽功能，稳步推进专业和综合性航空货运枢纽建设。其中杭州和南京机场国际旅客吞吐量稍微好一些，其他整体都很弱。

其中包括区域航空枢纽功能强化。加强这些区域航空枢纽面向特定区域的功能，鼓励构建“干支通，全网联”航空运输网络体系，提升对非枢纽机场的辐射带动作用。例如，杭州萧山国际机场不仅服务于杭州市及周边地区，还通过构建完善的航线网络，加强了与国内其他城市以及特定国际区域的联系。

第四层级，中国官方确认的国际机场。也就是说机场官方命名中，包含国际字眼，拥有国际口岸和国际航班。中国官方确认的国际机场有80家左右，去除以上三个层级还有50余家。官方冠名国际机场，必然拥有国际客运和货运航线，严格讲只是狭义的国际航空枢纽。

民航局“3+7+N”四层级国际航空枢纽体系的建设，旨在通过明确不同层级航空枢纽的功能定位和发展重点，实现资源的合理配置和差异化发展，提升中国民航的整体国际竞争力，更好地服务于国家重大战略实施、区域经济社会发展以及人民群众的航空出行需求。

中国建设国际航空枢纽的思路

开放的中国需要国际航空枢纽，需要多中心多層级的国际航空枢纽，更需要全

中美民航机队的发展之路

文 | 张兆全

飞机是民航核心生产工具，美国是世界民航第一大国，发展历史长，机队特点值得借鉴。综合美国交通运输部、FAA 披露数据、国内民航统计数据和公司年报等，美国民航机队特点简析、中美民航机队简要比较及思考如下。

美国民航机队特点简析

美国交通运输部公布的年度民航机队数据始自 2006 年，具体到每架飞机的承运人、序列号、座位数、获取方式、运营状态、制造日期和引进日期等。2007 年美国民航机队规模首次突破 7000 架，经过十年起伏变化，2017 年以来进入 7000 架稳定发展阶段。

2006 年以来，美国民航机队中波音飞机占比整体逐步提高，由当年的

▼ 图 | envoyair.com

球有竞争力的国际航空枢纽。中国发展国际航空枢纽，借鉴国际先进经验，应该三方面系统发力，创新进取，全球破局。

第一，大力发展国际航线，提高国际业务量。

持续拓展航线网络。积极开辟通往世界主要经济中心、旅游热点地区和新兴市场的直飞航线，增加航线密度和航班频次。这不仅可以满足日益增长的国际商务、旅游等出行需求，还能提升中国在全球航空运输市场的地位和影响力。随着中国与“一带一路”沿线国家的合作不断深化，加大对这些地区的航线开通力度，促进贸易往来和人文交流。

不断增强国际中转功能。建设高效便捷的中转设施和服务体系，提高国际中转旅客和货物的比例。通过优化航班衔接、简化中转流程、提供优质的中转服务等措施，吸引更多旅客选择中国的航空枢纽进行中转。在大型枢纽机场设立专门的中转休息区、快速中转通道等，为中转旅客提供便利。

全面提升口岸服务质量。在国际航线的运营中，注重提高服务质量，包括航班准点率、客舱服务、餐饮品质等方面。以优质的服务吸引更多国际旅客，树立中国航空的良好品牌形象。同时，加强对国际航线的市场营销和推广，提高中国航空枢纽的知名度和美誉度。

第二，加大航权开放，支持中国全球化发展。

积极参与国际航空运输谈判。在双边和多边航空运输协定谈判中，争取更加开放的航权安排，为中国航空公司拓展国际市场提供更多机会。争取与更多国家和地区签订“天空开放”协定，促进航空运输自由化，推动国际航线的快速发展。

推动区域航空一体化，尤其是亚太航空一体化。加强与周边国家和地区的航空

合作，共同打造区域航空一体化市场。通过建立区域航空运输联盟、协调航线规划、共享航空资源等方式，提高区域内航空运输的效率和竞争力。中国积极参与亚洲航空运输市场的合作，推动亚太地区航空一体化进程。

支持中国航空公司国际化发展。鼓励中国航空公司加大国际市场开拓力度，通过并购、合资等方式扩大国际航线网络 and 市场份额。同时，为航空公司提供政策支持 and 资金扶持，帮助其提升国际竞争力。中国政府出台了一系列政策，支持航空公司引进先进的飞机和技术，提高运营管理水平。

第三，优化资源配置，提升运行效率与服务品质。

加强基础设施建设。持续加大对航空枢纽机场的建设投入，提升机场的容量和设施水平。建设现代化的航站楼、跑道、停机坪等设施，满足不断增长的航空运输需求。同时，加强机场与其他交通方式的衔接，打造便捷的综合交通枢纽。

提高运行管理水平。运用先进的信息技术和管理手段，优化航班调度、机场运营和空中交通管理。加强大数据、人工智能等技术在航空运输领域的应用，提高运行效率和安全性。例如，通过智能航班调度系统，实现航班的精准安排和资源的合理配置。

提升服务品质。注重旅客体验，提供个性化、多元化的服务。在机场服务、客舱服务、行李运输等方面不断创新，满足不同旅客的需求。同时，加强对服务质量的监督和管理，建立健全服务质量评价体系，确保服务质量的持续提升。推出特色的候机服务，如文化体验区、休闲娱乐设施等，为旅客提供更加丰富的出行体验。■



41% 提高到 2023 年的 47%。

2006 年以来，美国民航客机规模占比长期稳定在 83% 左右，年度变化较小。美国民航客机、货机机龄均呈逐年微增趋势，客机机龄增幅较大，客机机龄长期较货机低 10 岁。经营租赁客机占比整体呈现逐年降低趋势，由 2006 年的 50% 降低

到 2023 年的 27%，具有“能买就不租”的趋势；经营租赁货机占比年度变化较小，在 20% 上下浮动。

2023 年末，美国民航机队 100 架以上（以下简称百架机队）航司共有 18 家，机队规模占全行业 89%，其中，纯客机公司 13 家，纯货机公司 2 家，客货兼营公司 3 家，因此，美国大部分航司专注客运，很少兼营货机。

2023 年末美国百架机队航司的经营租赁飞机占比差异非常大，特使航空 (Envoy)、太平洋西南航空 (PSA)、边疆航空 (Frontier) 全部是经租飞机，联邦快递 (FedEx)、奋进航空 (Endeavor) 的经租飞机占比非常低，忠实航空 (Allegiant) 则没有一架经租飞机（与年报数据存在差异）。

2023 年末，美国百架机队航司的平均机龄也差异较大，货运航司相对偏高。

中美民航机队简要比较

机队规模方面，2023 年末中国民航在册飞机 4270 架，美国民航在营飞机 7970 架，中国是美国的 54%。

机队结构方面，2023 年末中国民航客机占比 94%，美国民航客机占比 83%；中国民航支线客机占比 6%，美国民航支线客机占比 25%，差异较大；中国民航飞机来自 6 家制造商，空客占比最高，为 51%；美国民航飞机来自 19 家制造商，波音占比最高，为 47%。

机龄方面，2023 年末中国百架机队上市航司平均机龄 9 岁，美国百架机队客运航司平均机龄 12.5 岁。另据统计，目前中国民航飞机平均退役机龄比世界平均水平早 4 年。

经租飞机方面，2023 年末中国百架机队上市航司经租飞机占比 38%，美国百

架机队航司经租飞机占比 22%。

综合以上分析，美国民航机队具有喜新不厌旧、能买就不租、机型多样化程度高和大小兼顾等特点，相比之下，中国民航机队的机龄较小、机型多样化程度较低、经租飞机占比较高、支线飞机较少。

中国民航机队发展的思考

从企业经营角度思考，航空公司既承担交通运输的社会角色，也是营利性商业组织。美国民航业历史悠久，市场化程度高，航空公司经营探索和经验教训丰富，作为其特色集中体现之一的民航机队特点值得借鉴。例如，人们不喜欢旧飞机的常见理由是故障多、不安全。确实如此吗？

Harry A.Kinnison 在《航空维修理论》中介绍了基于美国联合航空公司实践的六种飞机故障率模式，不考虑早期阶段，使用寿命期内故障率不变的项目多达 89%。

郑东良在《航空维修理论》中介绍了航空装备故障规律，20 世纪 60 年代总结的复杂装备无损耗规律显示，大多数航空装备、机件在正常使用期内的故障率基本上是常数；20 世纪 80 年代出现的统一场故障理论认为，现代电子装备的故障发生遵从全寿命故障递减规律。

美国麻省理工学院 (MIT) R.John Hansman 教授 2014 年完成名为《机龄对航空运输喷气式飞机安全性的影响分析 (Analysis of Impact of Aircraft Age on Safety for Air Transport Jet Airplanes)》的研究报告，报告分析了全球最大起飞重量 (MTOW) 6 万磅（约 2.7 万公斤）以上商业运输飞机 1959 至 2012 年发生的飞机事故数据，分析结果显示，在机龄 27 岁以下时，致命飞机事故率与机龄之间没有相关性；在机龄 18 岁以下时，所有飞机事故率与机龄之间没有相关性；在机龄 20

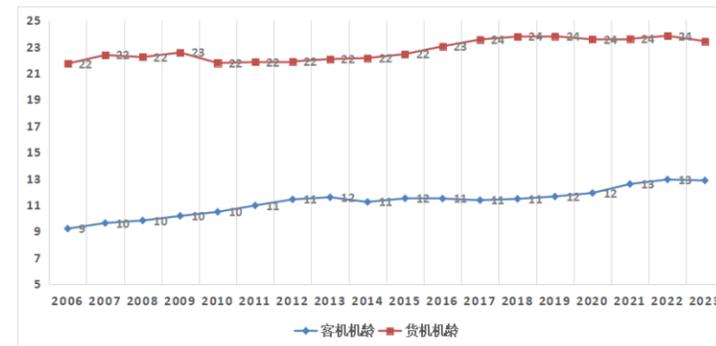


图 1 | 2006 ~ 2023 年美国民航机队年度变化
图 2 | 2006 ~ 2023 年美国民航机队波音飞机占比年度变化
图 3 | 2006 ~ 2023 年美国民航客机、货机占比年度变化

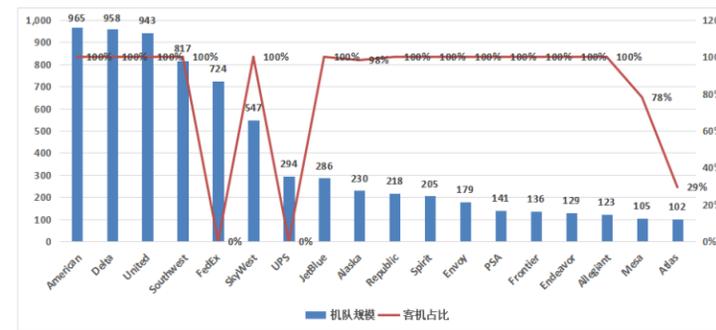
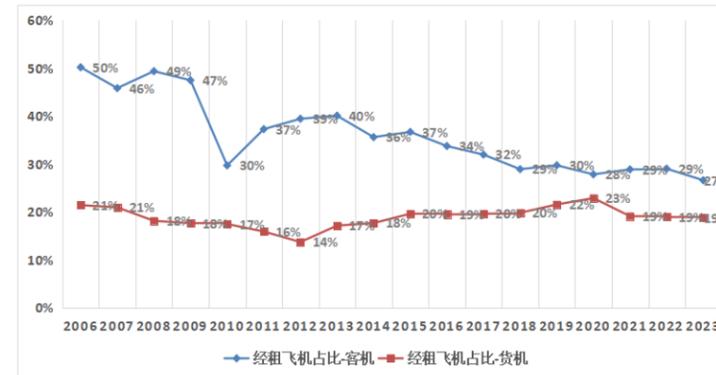
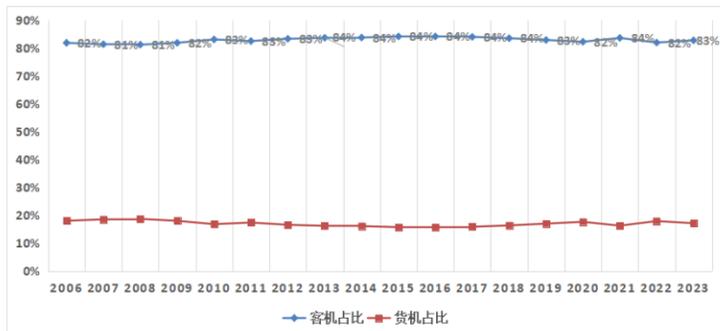
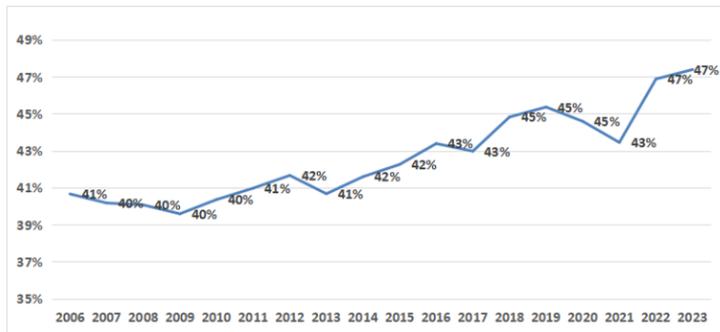


图 4 | 2006 ~ 2023 年美国民航客机、货机机龄年度变化
图 5 | 2006 ~ 2023 年美国民航经营租赁客机、货机占比年度变化
图 6 | 2023 年末美国百架机队航司客机占比

岁以上时，全球飞机事故率呈现弱增趋势，增加主要发生在非洲，而且，非洲事故率增加的主要原因不是机龄，而是薄弱的机组训练或监管等其他因素，欧洲、北美等其他地区的飞机事故率与机龄之间没有相关性。

因此，旧飞机故障多、不安全的直观

认知是不成立的，“喜新不厌旧”可能才是理性的更优选择。

美国航空公司取得竞争优势的方式之一就是购买二手飞机，而且，很多二手飞机来自发展中国家。2016年一则新闻显示，2015年美国航司引入二手飞机的数量达到198架，美联航从中国收购24架二手空客A319，达美航空致力于研究从巴西戈尔航空收购二手波音737，西南航空计划在全球范围内收购83架二手波音737。2023年末，美国民航机队7970架，其中，二手飞机（按引进年度晚于制造年度）2348架，占比高达29%。

可以说，“喜新厌旧”“喜新不厌旧”两种机队策略的经济性差异是很大的，“喜新不厌旧”航空公司通过延长机龄、引进二手飞机降低了经营成本，同时取得了“喜新厌旧”航空公司的竞争优势。

从支线市场角度思考，中美各自民航市场支线飞机占比差异较大，中国民航支线飞机占比明显偏低，是否还存在发展空间呢？

《美国支线航空协会（RAA）2023年年度报告》显示，2022年，在所有提供定期客运服务的美国机场中，64%的机场只有支线航空公司提供航空服务，在所有定期客运航班中，35%的定期航班由美国支线航空公司执飞；RAA协会成员运营的支线飞机总数是1701架，平均66个座位；RAA认为，保障健康、安全和可靠的支线航空服务，使其能够通往和抵达全国各个角落，这一目标正变得前所未有的重要。

美国天西航空公司（SkyWest Airlines）2023年末机队规模达到547架，均是CRJ200、CRJ700、E175等支线飞机，座位数50~76，过去21年（2003~2023）仅亏损过3年。

基本航空服务已纳入“十四五”现代综合交通运输体系发展规划，民航支线性

场始终存在。然而，由于历史发展、经营认知和配套支持等原因，国内支线飞机仍然偏少，社会资源配置有效率偏低。因此，民航业相关方有必要深化认知，扩大共识，加大支持，优化经营，稳步增加支线飞机数量和支线服务供给。

从运行保障角度思考，60多岁高龄仍然能够执行航班的飞机，不只是一架飞机，同时代表了该国民航系统强大的运行保障能力。

民航系统具有高度专业性、技术性，各型号飞机需要具备相应资质的飞行员，需要具备配套设施设备的机场，需要具备相应维修能力的飞机维修企业，需要具备相应能力的零部件生产维修企业。即便是相同型号的飞机，随着机龄的提高，前述运行保障能力要求也会变化，有些要求可能会提高。

学习曲线是在时间中积累形成的，运行保障能力是在难度中逐步提高的。如果一国民航机队机龄逐步提高，运行保障能力也会逐步提高，如果一国民航机队机龄始终偏低，运行保障能力可能也会长期受限。

从大国竞争角度思考，大国竞争是不同领域、不同行业的竞争，民航业是其中之一。长周期看，大国竞争体现在和平时期的竞争、冲突时期的竞争，冲突包括贸易争端、军事战争等，和平时期竞争以效益为核心，以企业为主体，冲突时期竞争以安全为核心，以国家为主体。

当前美国民航机队是各航空公司在长期和平、高度市场竞争状态下通过自主选择形成的，以经济效益最大化为目标。

显然，当前美国民航机队特点有利于降低飞机保有和运营成本，例如，哪家飞机便宜就购买或租赁哪家飞机，相应导致飞机制造商多样化、国产飞机占比高；高龄飞机的全周期全口径成本通常低于低龄



飞机，相应导致喜新不厌旧，运营不少高龄飞机；租赁方式的飞机保有成本通常高于购买方式，相应导致经租飞机占比低。

由于当前美国民航机队是以经济效益最大化为目标形成的，与其他国家相比，美国民航具有市场竞争优势。

俄乌冲突显示，俄罗斯民航主要面临飞机短缺、飞机零部件短缺、飞机租赁纠纷等问题，维持民航运输能力非常困难，和平时期形成的俄罗斯民航机队不利于冲突时期。那么，和平时期形成的美国民航机队是否有利于冲突时期呢？

首先，由于美国自身是民机生产大国、国产飞机占比最高，以及飞机制造商多样化，美国民航面临飞机及零部件短缺的风险较小。其次，由于经租飞机占比较低，

美国民航面临租赁纠纷的风险较小，代价较小。再次，由于强大的高龄飞机运行保障能力，即使无法获得新飞机或二手飞机，美国民航也能够较长时间内维持现有机队的运输能力，满足国家民航运输需求。因此，和平时期形成的美国民航机队同样有利于冲突时期。

总之，从企业经营、支线市场、运行保障和大国竞争角度看，美国民航机队的喜新不厌旧、能买就不租、机型多样化程度高和大小兼顾等特点值得借鉴。■

图 | airnewzealand.cn



大韩航空： 今年底能成功收购 韩亚航空吗

文 | 王双武

自今年初开始，尽管受到航油价格上涨、机场收费和人工成本增加等因素的影响，但是在市场客流强劲复苏和航空货运旺盛需求的带动下，大韩航空在今年第一季度实现收入 28.38 亿美元，比 2023 年第一季度增长 20%，实现营利润 3.23 亿美元，比 2023 年第一季度增长 5%。

大韩航空于 2020 年 11 月提出了收购韩国第二大航空公司——韩亚航空的意向，韩亚航空对双方公司合并表示了认同。但是由于牵涉到收购后的大韩航空在一些国际航线市场上可能会导致不公平的竞争，因此，此项收购提议受到美国、英国和日本等在内的 14 个国家的强制性报告要求。那么，大韩航空能否在今年底成功收购韩亚航空？针对合并后的公司发展，大韩航空又有哪些打算呢？

收购进程一波三折

大韩航空于 2023 年 1 月将收购其竞争对手韩亚航空的提议提交欧盟委员会审查。随后，欧盟委员会对大韩航空的收购提议展开了深入调查。这项调查包括对双方提供的内部文件进行分析，并从其他竞争航空公司、潜在市场进入者和客户那里收集有关信息和意见。

经过几个月的调查后，欧盟委员会认为，大韩航空和韩亚航空是韩国最大的两家航空公司，双方公司的合并一方面会减少韩国与法国、德国、意大利和西班牙等国之间航线上的客运竞争，另一方面也会减少欧洲各国与韩国之间货运市场的竞争。如果成功合并，新公司将会在前往欧洲航线上成为实力最强的公司，这势必导致在这些市场价格上涨和服务质量下降，不利于市场公平竞争，也会增加旅客出行相关费用。对此，欧盟委员会在同年 5 月发表了反对声明。

为了消除欧盟委员会对合并后的公司在货运航线上存在潜在垄断的担忧，大韩航空在 2023 年决定出售其价值约 7.4 亿美元的货运业务。随后，韩国三家廉价航空 Air Premia、Eastar Jet 和 Cargo-focused Air Incheon 参与了最终投标。另外，作为补救措施的一部分，大韩航空同意韩国低成本航空公司 T'way Air 从韩亚航空公司接管四条飞往欧洲法兰克福、巴塞罗那、罗马和巴黎的航线。根据欧盟合并条例，欧盟委员会在 2024 年 2 月批准了大韩航空对韩亚航空的收购计划。批准的条件是大韩航空必须完全遵守自己承诺的补救措施。



经过两年的市场与客户调查，英国竞争与市场监管局担心在伦敦和首尔之间，大韩航空和韩亚航空会成为唯一的承运人，而其他竞争对手只能通过间接航线来参与竞争，这不利于市场的公平竞争，且损害消费者利益。对此，大韩航空表示，同意在伦敦与首尔航线之间给维珍大西洋航空让出部分航班时刻。2023 年 3 月，英国竞争与市场监管局批准了大韩航空和韩亚航空的合并提议。

大韩航空计划投资 14 亿美元收购韩亚航空的提议，截至目前已经获得了代表 14 个司法管辖区中的 13 个国家监管机构的批准，其中就有新加坡、英国、中国、日本等，但尚未得到美国方面的批准。今年 5 月 20 日，大韩航空总裁吴基宏表示，

大韩航空正在与美国司法部进行密切谈判，相信美国司法部不会采取法律行动来阻止大韩航空收购韩亚航空，大韩航空仍在等待美国相关机构对此项收购的最后批准。

精心筹划机队发展

为了能够在今年年底前完成与韩亚航空的整合，大韩航空方面表示，将制定公司整体的机队规划以适应市场发展的需要。这主要涉及如何精简和控制飞机类型的数量，并通过简化操作流程和降低总成本来提高合并后公司的运营效率。

大韩航空目前拥有 162 架飞机，另有 183 架飞机的采购订单。随着与韩亚航空合并进程的推进，大韩航空正完善机队的

图 | Travel Daily Media

更新计划。大韩航空方面在今年初表示，将购买 20 架空客 A350 飞机，用来替换现有有机队中即将退役的波音 777-200ER 和波音 777-300 型飞机。目前，大韩航空有 8 架平均机龄在 18.8 年的波音 777-200ER 飞机，4 架平均机龄在 24.8 年的波音 777-300 飞机，还有 25 架平均机龄在 9.8 年的波音 777-300ER 飞机。

过去，大韩航空是以波音系列飞机为主要机型，此次采购空客宽体飞机打破了公司在机队选型上的传统做法。除了已经运营有 41 架空客 A321neo 飞机之外，大韩航空还在考虑继续采购同类机型，并在 2023 年 10 月投资数百万美元下了采购 20 架空客 A321neo 飞机的订单。而韩亚航空目前运营有 21 架空客 A321 飞机，另有 16 架同机型的订单。

今年 4 月，大韩航空正式宣布将购买 33 架空客 A350 宽体客机，具体来说 27 架空客 A350-1000 和 6 架空客 A350-900 飞机。大韩航空方面表示，将把体型较大的空客 A350-1000 飞机部署在一些远程航线上，而将相对较小的空客 A350-900 飞机主要部署在首尔仁川机场至美国纽约肯尼迪机场航线，用来执飞每天两个航班。目前，大韩航空虽然还没有运营空客 A350 飞机，但正在与其进行整合的韩亚航空则运营着 15 架空客 A350-900 飞机，另外还订购了 6 架空客 A350-900 和 9 架空客 A350-1000 型飞机。

为了维持在欧洲和北美洲主要商务市场的地位和进一步拓展市场份额，通过持续提高旅客出行体验争取客源，今年 7 月，大韩航空宣布将购买 50 架波音系列宽体飞机，具体包括 20 架波音 777-9，20 架波音 787-10 和 10 架波音 787-8 飞机。此时正值与韩亚航空进一步商讨合并过程，大韩航空方面表示，这些大型宽体机的引进将满足公司高速增长的市场需求，也符合公司进一步扩大宽体机机队规模拓展远程航

线的战略目标要求。

加强代码共享合作

2018 年 5 月，大韩航空与美国达美航空在跨太平洋航线上结成联营伙伴关系。双方通过联营提高了跨太平洋网络运输能力，双方通过各自的 App 应用为旅客实现无缝值机，为企业客户提高行李限额和优先登机，在对方航班可以相互累积和兑换里程等方式进一步改善了旅客出行体验。

如今，大韩航空与达美航空每天在仁川国际机场单向运输多达 2000 名中转旅客，比 5 年前增长了 40%。在夏季运输高峰期时，大韩航空和达美航空在首尔仁川机场与美国境内多条航线之间每天执飞多达 18 个航班，衔接了美国境内超过 290 个目的地，亚洲 44 个国家超过 80 个目的地。

2023 年 3 月，大韩航空与维珍大西洋航空签订了代码共享合作协议。维珍大西洋航空于 2023 年 3 月初加入天合联盟，而同为天合联盟成员的大韩航空与维珍大西洋航空的代码共享合作，为前往韩国、日本、越南、澳大利亚和新西兰等的旅客提供了航班无缝衔接和优质的中转服务，旅客在乘坐对方航班时可以累积和兑换里程。

2023 年 11 月，大韩航空与意大利 ITA 航空签署代码共享合作协议。乘坐意大利 ITA 航空从罗马和米兰始发前往韩国仁川国际机场的旅客，可无缝衔接大韩航空飞往釜山、大邱等 6 个国内目的地；乘坐大韩航空前往意大利的旅客，可在罗马或米兰无缝衔接意大利 ITA 执飞欧洲的雅典、巴塞罗那、开罗等超过 10 条航线。在上述合作航线上的航班均显示对方公司的航班号。在旅行过程中，除了可一票通达目的地，行李也可直挂到最终目的地之外，旅客在乘坐任何一家公司的航班时都能累积相应的积分。

2024 年 3 月，大韩航空与斯里兰卡航空签署代码共享合作协议。根据双方代码共享合作协议，斯里兰卡航空在大韩航空执飞的新加坡樟宜机场至仁川机场航线上实行代码共享，这样乘坐斯里兰卡航空从科伦坡到仁川机场的旅客就能在新加坡樟宜机场进行衔接。与此同时，大韩航空在斯里兰卡航空执飞的科伦坡至仁川机场、新加坡樟宜机场、金奈国际机场和马尔代夫的马累维拉纳国际机场航线上实行代码共享。与斯里兰卡航空的合作，加强了首尔与科伦坡之间的有效衔接，为旅客出行提供了更多的选择与便利。

加大运力决战夏季

大韩航空在 2023 年实现收入 113 亿美元，这打破了 2019 年保持的全年最高收入，同时实现经营利润 12.3 亿美元，比 2022 年增长 10.9%。今年以来，除了中国航空市场之外，大韩航空在主要国家和地区航线运力投入几乎恢复到 2019 年水平。在今年第一季度，大韩航空实现经营利润 3.23 亿美元，比 2023 年第一季度增长 5%，而市场收益主要来源于东南亚和日本旅游市场的快速增长。

据悉，大韩航空在今年夏季将执飞 10 个国内目的地和 50 个国家 150 个国际目的地航线。为了抓住市场增长的良好势头，大韩航空早就对今年国际航线市场的运力投入做了精心准备，确保在可用座公里上基本能恢复到 2019 年 96% 的水平。

瑞士苏黎世是韩国游客出境游最受欢迎的一个传统旅游目的地之一。大韩航空从 4 月 2 日起恢复了首尔仁川机场至瑞士苏黎世的航班，班期为每周 3 班；4 月 25 日起恢复中断了 4 年的釜山至泰国曼谷航班，班期为每周 7 班。与此同时，将首尔仁川机场至泰国曼谷和菲律宾马尼拉航班

分别由每天 3 班增加到 4 班、每天 2 班增加到 3 班。另外，从今年初开始，还将首尔仁川机场至泰国巴厘岛航班由每周 9 班增加到 11 班。

在今年夏季，大韩航空陆续恢复前往中国的航班。从 7 月 1 日起，恢复了釜山至上海浦东和济州岛至北京的航班，班期均为每周 7 班；从 8 月 19 日起恢复首尔仁川机场至合肥航班，班期为每周 5 班；9 月 16 日起恢复釜山至北京航班，班期为每周 6 班；从 10 月 14 日起恢复首尔仁川机场至昆明航班，班期为每周 4 班。另外，大韩航空还将增加前往中国其他城市的航班量。从 6 月 1 日起将首尔仁川机场至延吉航班由每周 4 班增加到 7 班，在 7 月 1 日至 9 月 15 日期间将首尔仁川机场至大连航班由每周 4 班增加到 11 班，在 8 月 5 日至 10 月 20 日期间将首尔仁川机场至天津航班由每周 7 班增加到每周 14 班。

日本旅游市场也是大韩航空主要收益增长市场。为了满足夏季日本出行市场增长需要，大韩航空在 7 月 19 日至 10 月 25 日恢复济州岛至东京成田机场航班，班期为每周 3 班；从 8 月 3 日开始，将首尔仁川机场至冈山航班由每周 3 班增加到 5 班；从 9 月 2 日开始，将首尔仁川机场至鹿儿岛航班由每周 3 班增加到 5 班。在欧洲市场方面，大韩航空已将首尔仁川机场至匈牙利布达佩斯航班由每周 3 班增加到 4 班；北美洲方面，将首尔仁川机场至达拉斯沃斯堡机场航班由每周 4 班增加到 7 班。

综上，大韩航空通过调整机队规划和加强合作之外，更加关注今年夏季市场的发展和运力投入。在市场恢复带来收益不断增长良好势头的推动下，大韩航空正加强与美国有关机构的沟通。大韩航空能否在今年底实现收购韩亚航空的愿望，就差美国政府能否临门一脚助力成功了。■

聚焦航空制造与运维 布局服务低空经济

——访上海电机学院航空学院执行院长李雷

文 | 吴苡婷



李雷

Li Lei

上海电机学院航空学院
执行院长

紧密围绕上海航空产业发展布局，服务上海民用航空产业发展需求，助力上海加快建设世界级民用航空产业集群，9月19日，上海电机学院举行了航空学院成立大会。

根据规划，新成立的上海电

机学院航空学院将聚焦飞机、发动机产业链中后端“生产制造、工艺技术、测试验证、运维服务”领域，以及商业卫星“设计、制造、总成、应用、服务”领域，形成以智能制造与运维为特色的应用

型航宇学科体系。

在成立大会现场，笔者专访了上海电机学院科技处处长、航空学院执行院长李雷，他向记者具体介绍了上海电机学院航空学院未来的发展蓝图。

“满足大飞机产业制造运维服务端人才需求”

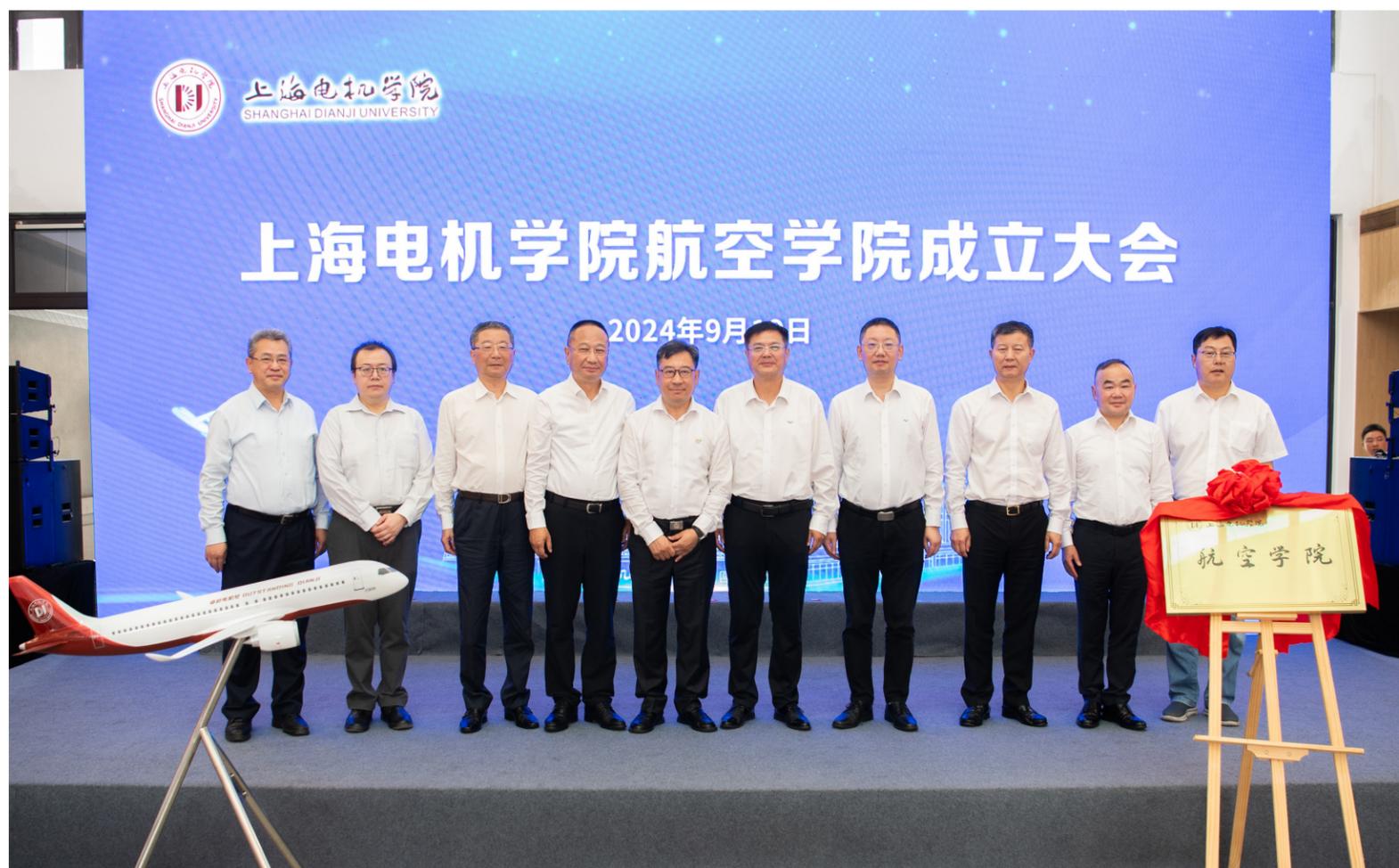
“我们的办学方向和上海其他大学的航天航空学院有较大差异，我们主要关注的是航空产业链的制造运维端。”李雷介绍说，经过调研，发现C919国产大飞机量产以后，大飞机产业特别需要相关生产制造、工艺技术、运行维护的人才。

“航空制造包括材料加工、航空部件制造和航空装备整机制造，航空材料主要有金属材料和复合材料，航空部件制造包括航空机体、航空发动机及机载设备三大部分。一架飞机的零部件数量是以百万个来计算的。其制造流程可以划分为工艺准备、零件制造、部件装配、总装调试等过程，在生产制造过程中，还需要检验检测、试验验证、性能评估等人才。在飞机运营中，更是需要大量的维修维护、运行服务人才。”李雷告诉记者。

在李雷看来，大飞机进入量产阶段后，最需要的是具有业务能力和创新能力的卓越现场工程师，而这正是上海电机学院航空学院培养人才的目标。这些在一线服务的技术人才除需要具备动

手能力、现场实践能力，还要具备发现问题和解决问题的能力。他举例说，比如要打造一副高性能航空发动机的轴承，需要高纯材料加工、铸坯、锻造、机加工、热处理、表面处理、润滑、装配、装机等一系列生产制造流程，各个流程之间还需要进行检验检测、试验验证，每一个环节都需要相关的设计工程师、模拟仿真工程师、制造工程师、工艺工程师、质量工程师、设备工程师等，每个环节的质量合格还要性能稳定和一致，最终才能生产出高性能长寿命的产品。大飞机有极其苛刻的质量和安全性要求，对检验检测、试验验证、安全评估、适航认证的人才需求也极为迫切。

“航空制造和运维是创新型工作，上岗的工程技术人才既要有实践能力，又要有理论基础，这样才能主动发现问题、改进技术，在出现问题时能及时分析原因，解决问题。我们之前培养的学生在大飞机产业中十分受欢迎，就是因为学生踏实扎根现场，既动手又动脑，及时发现和解决现场各类难题。”李雷说，传承建校以来“因产而生、随产而进、偕产而兴”的产教融合办学道路，上海电机学院航空学院的目标是建成以智能制造与



关于我国工业基础 高质量发展的思考

文 | 宋文通

运维为特色的应用型航空宇航学科体系，打造航空航天制造和运维技术的创新策源地，建设培养航空航天制造与运维领域卓越现场工程师的摇篮。

“服务低空经济的新蓝海”

2021年2月，中共中央、国务院印发的《国家综合立体交通网规划纲要》提出，发展交通运输平台经济、枢纽经济、通道经济、低空经济。这是“低空经济”概念首次被写入国家规划中。赛迪研究院发布的《中国低空经济发展研究报告（2024）》显示，2023年我国低空经济规模达5059.5亿元，增速达33.8%；预计到2026年，低空经济规模将破万亿元。

李雷说，低空经济正处于快速发展阶段，有望成为拉动经济增长的新引擎，急需大量工程技术人才支撑。低空经济关键技术领域包括低空航空器技术、空中交通管理技术、导航与定位技术、运营与服务技术、安全与保障技术，需要低空航空器机身设计与制造、低空飞行器动力系统、电动通用航空器工程化、低空监视与通信、空中交通管理系统智能化、高精度导航、室内外无缝定位、

航空器适航与安全、低空安全防护等领域的工程技术人才，航空学院将重点培养低空经济相关工程技术人才。

2023年12月，上海市人民政府办公厅印发《上海市促进商业航天发展打造空间信息产业高地行动计划（2023—2025年）》。文件指出，到2025年，以商业航天跨越式发展为牵引，围绕卫星制造、运载发射、地面系统设备、空间信息应用和服务等环节，加强卫星通信、导航、遥感一体化发展，推动空天地信息网络一体化融合。

商业航天是新的发展引擎，势必出现对应用技能型人才的需求。上海电机学院正面向微纳卫星及商业航天产业大规模市场需求，先行启动微纳卫星及应用产业的人才教育，采用实践加理论的方式针对航天产业应用技能型人才岗位的教育，为未来航天产业发展储备丰富的人才。

什么是微纳卫星呢？李雷回答说，微纳卫星是指质量小于100kg、具有实际应用功能的卫星，可以更低成本、更短周期、多星组网完成复杂的空间任务，在科研、国防、教育以及商用领域发展迅速。今年5月31日，上海电机学院微纳卫星团队已经与航天

公司合作研制并成功发射了“上海电机学院一号卫星”，开展激光通信在轨验证、星间激光通信等试验，极大丰富在轨星间通信试验和应用能力，助力新一代通信和互联网技术发展。

微纳卫星将如何服务低空经济发展？李雷告诉记者，很多大企业都需要这类小卫星，比如跨国能源装备集团如果拥有自己的小卫星，就可以对企业分布全球的风电系统进行产品状态监控。监控双碳变化和智能工地建设的微纳卫星也已经在国内打造成功，当然根据需求不同，需要配置不同的功能系统。而未来低空飞行器的监测和导航也将依赖大规模的卫星网与地面网络结合，进行低空飞行器航道规划、导航、安全监控，推动空天地信息网络一体化融合发展。展望未来，城际交通、旅游观光、医疗救援、应急响应等多个领域具有广泛的应用前景。低空经济的崛起不仅仅是技术的革命，更是经济结构调整和生活方式变革的体现。未来学院将重点聚焦微纳卫星的设计、制造、总成、应用、服务等领域，服务低空经济发展。■

中华民族伟大复兴不可能是一帆风顺的，未来二三十年将是与中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业的决胜阶段。基础研究和工业基础是创新链和产业链的根基，是国家综合国力的重要基础。由0到1的原始创新和技术发明极为重要，对技术路线和相关产业具有巨大的颠覆性，但因其路径与结果有着很大的不确定性，一般需要长时间的科研摸索与产品开发方能厚积薄发、大显神威，为此最重要的是培育和打造有利于激发全社会科技创新活力和成果转化效率的体系与生态。

而工业基础及相应的由1到N的技术创新，在应用场景和技术方向上有着较大概率的确定性，可以发挥新型举国体制的优势，通过计划性专项安排，短期内大幅提升其质量与效能；同时，众多工业基础产品面临的关键技术及背后的科学问题，具有需求场景具体而精准、性能指标清晰而可辨、经济成效明确而可期等特点，以此为切入点能够相对容易形成产学研协同攻关、融通创新的高效运行模式，进而激发全社会创新活力，逐步向技术集成度更为复杂的重大工程和原创性

更为突出的基础前沿领域迈进，最终打造我国崭新的创新体系与生态。找准我国现有工业基础的短板弱项，奋力推动我国工业基础实现转型升级，可以是快速全面提升我国经济实力、国防实力、综合国力，推动实现中华民族伟大复兴的关键一招。

当前我国工业基础的核心差距

党的十八大以来，随着工业转型升级规划及工业强基专项行动正式启动实施，我国整体工业基础水平进一步迈向强大，特别是在工业“四基”即关键基础材料、核心基础零部件（元器件）、先进基础工艺、产业技术基础方面基本解决了大多数种类产品有无问题。当前我们面临的发展课题是“好与更好”的问题。应该看到，我国工业基础同美西方个别工业强国相比仍存在重要短板和差距，全而不够强、强而不够优，相当一部分国产高端重要装备面临实践的严酷考验，功能尚得不到完全确保，性能也达不到持续稳定，而质量是否可靠、性能是否一致、成本是否低廉是最大要害，很大程度上影响着我国经济产业核心竞争

力、重要装备安全可靠水平和现代化强国的硬实力。

当前我国工业基础的这一核心差距导致我国很多基础产品应用不到民用飞机及其发动机上。这恰是因为被誉为“现代工业的皇冠”的民用大飞机及其发动机，具有区别于其他行业产品的综合性的高安全性、高经济性、高可靠性、高寿命（耐久性）以及高复杂技术的特点。这样一种特点使得民用飞机产业成为衡量一个国家科技水平、工业基础水平和综合实力的重要标志，是检验一个国家工业基础能力强不强、优不优的试金石。

随着全球化的推进，许多产业活动转移到成本低廉地区，但直到今天，航空航天特别是民用飞机仍然是西方国家为数不多的最后几个优势产业之一。因此贯彻满足民机这种安全、经济、可靠、耐久、复杂等综合性的多元化要求，是推动我国工业基础进一步跃升，由大而强，由强而优，实现转型升级和高质量发展的“药引子”和“金钥匙”。

高质量发展的导向

需求、产品和技术存在着相互

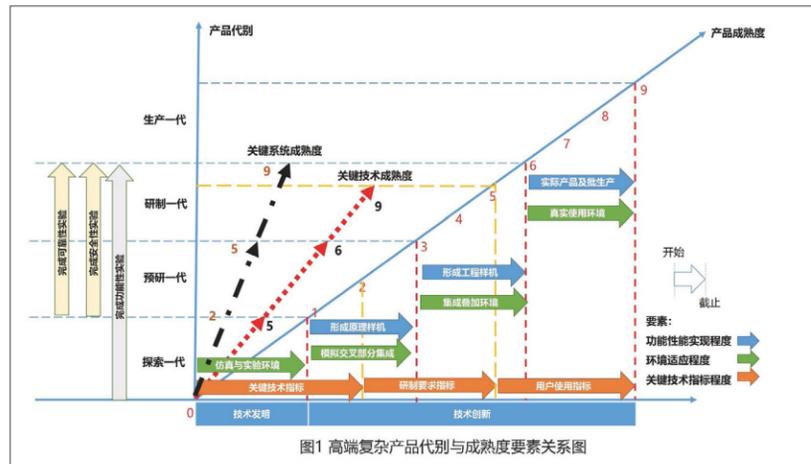


图1 高端复杂产品代别与成熟度要素关系图

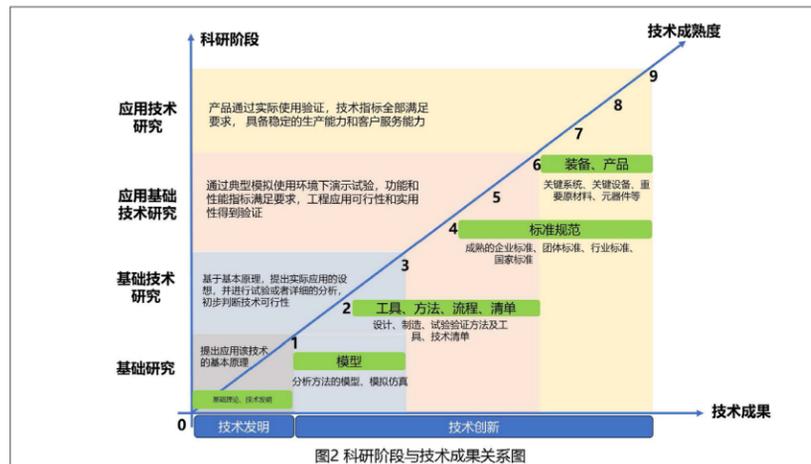


图2 科研阶段与技术成果关系图

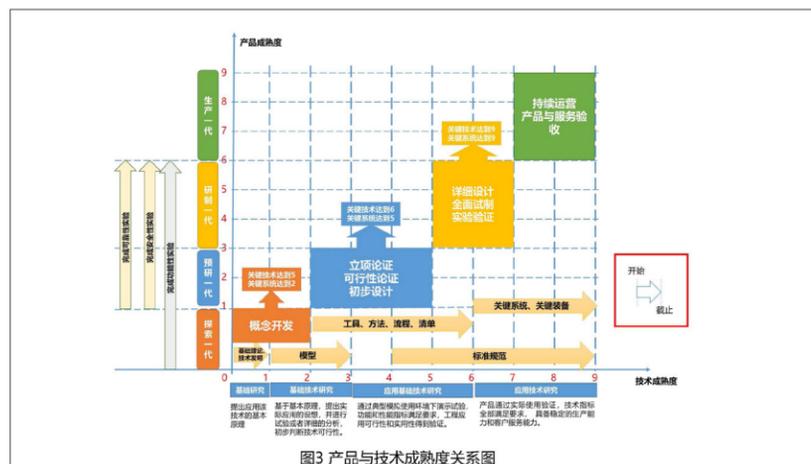


图3 产品与技术成熟度关系图

影响、互相依存、相互促进的关系。只有充分捕获需求并清晰准确传递，才能有效牵引产品研发。技术始终服务于产品，只有不断提升关键技术成熟度，才能逐步提升产品的环境适应性，减小性能离散度，最终降低成本，形成产品竞争力。从产品角度看，产品实现可分为“探索一代、预研一代、研制一代、生产一代”四大阶段，对应不同的产品成熟度，每个阶段对于功能、性能、安全、可靠性等有不同的要求。从技术角度看，技术实现可细分为“基础研究、基础技术研究、应用基础研究、应用技术研究”四个阶段，对应不同的技术成熟度，每个阶段对于标准、工具、方法、装备等有不同的要求，而且关联着技术难点背后的科学问题。

围绕民机基础零部件、原材料与标准件、元器件与芯片、基础工艺、基础产品标准等工业基础典型产品和具体方面进行分析，可以发现我国这些重要基础产品与基础能力处于不同的发展阶段，有的已经开始装机应用，有的正在研发与鉴定入册，有的尚处于初始科研攻关阶段。它们虽然各有特点，但均不同程度地存在各种问题。民机工业基础尚且如此，遑论暂未进入民机潜在供应商范围的广大基础产品企业以及

新技术创新类的基础产品水平。可以看出，民机工业基础水平不足的背后反映的是当前我国整体工业基础的短板弱项。参照西方发达国家的现实标杆，满足民用飞机等产业具有的高安全性、高经济性、高可靠性、高耐久性等综合需求，就是当前推动我国整体工业基础赶超先进、实现转型升级和高质量发展的绕不开的最重要的问题导向、目标导向。

提升我国工业基础的建议

如何快速提升我国工业基础整体效能，推动工业基础高质量发展？笔者抛砖引玉，提出四大建议、十项举措。

（一）发挥新型举国体制优势，以长期持续的民用综合高端装备项目研制平台为载体，以高安全、高经济及功能可靠性、性能稳定性等特有需求为牵引，是拉动国家整体工业基础转型升级和高质量发展的必由之路。

1. 坚持高端装备研制和基础产品提升强挂钩，久久为功，形成高端装备项目对国家工业基础的持久拉动力。

发挥国家新型举国体制优势，长期坚持，持续对民用航空、民用

航天、新能源智能驾驶汽车、人形机器人等重要研制平台和型号立项进行支持和投入。通过型号研制不断带动基础产品的提升。

型号研制分步走，开展系列化型号研制，在每个新研型号立项时，立足国内工业基础实际，制定合理的研制目标，通过持续的研发与带动，久久为功，逐步提升国家工业基础水平。产品提升分步走，针对具体的基础产品，主机单位联合国内基础产品企业，制定产品性能提升阶段目标，与型号研制时间进行匹配，通过产品研发、装机应用、性能再提升等循环迭代，最终达到符合综合高端要求的高水平的产品性能。

一旦产品达到主机厂要求的水平，即可引导高端装备等市场需求对产品制造商和该类型产品开展采购扶持，既解决基础产品企业自身发展的规模和市场问题，又为其他重要行业提供了质优价廉、可靠稳定的产品。

2. 坚持需求牵引，准确捕获和传递高端装备的环境适应性和功能可靠性需求。

强化重大装备的正向设计和准确需求捕获、逐级分解验证能力，实现对工业基础弱项的精准拉动。围绕高端装备高安全、高经济、高

可靠、高寿命等特点，针对基础零部件、原材料与标准件、元器件与芯片等基础产品，聚焦环境适应性、功能可靠性、性能稳定性等要求，准确捕获、逐级分解和验证安全概率、研制保证等级、可靠性、寿命、维修性、成本等核心需求。将核心需求自上而下逐级分解到系统、设备、原材料、电子元器件等，自下而上地开展逐级验证，提升各级产品正向设计能力。

3. 发挥企业创新主体作用，牢牢把握需求、产品和技术的关系，坚持需求牵引，聚焦环境适应性和功能可靠性，推动产业链、创新链融通发展。

国家工业基础能力提升涉及产学研用各个环节，需充分发挥企业创新主体作用，推动实现产业链带动创新链、创新链服务产业链、两链各环节融通发展的局面。型号研制项目要主动作为，带动基础零部件、原材料、工艺及设计、制造、验证、维修等产业链与创新链各个环节共同发力。产业链各企业作为创新主体亦需牢牢把握其产品实现与性能指标的关系，技术实现与标准、工具、方法、装备的关系，产品创新与技术创新的关系，在各自环节上奋力争先。

（二）聚焦解决基础产品功能

可靠性和性能稳定性的问题是当前国家工业基础实现转型升级的关键所在。

4. 加强工艺过程中的关键环节和关键参数控制，提升质量和过程管控能力。

持续向国内基础企业导入高端装备的研制体系、标准规范、门禁管理、系统工程方法，帮助其树立产品正向设计理念等，加强工艺过程中的关键环节和关键参数控制，通过数字化赋能提升过程管控能力，共建数字化平台进行需求的传递和进度的管控，提升质量管理和过程管控能力。

5. 联合高校、科研院所等开展关键技术识别与攻关。

工业基础企业要立足现有基础，强化产品的模块化、通用化、标准化、参数化设计，压缩品种，分级分类，有的放矢，识别基础产品的关键性能指标，联合高等院校、科研院所等，识别从离散度大到离散度小背后大量的科学问题和技术问题，发挥各方优势和力量，通过共建实验室、联合开发等方式开展技术攻关，解决自身产品质量这一根本问题。同时，在此基础上强化新技术应用和产品创新。

(三) 补齐应用基础研究短板，畅通从基础研究到应用基础研究再

到应用研究的创新链条，三者各安其位、紧密协同，是当前高效发挥国家战略科技力量和企业主体创新能力整体效能的最优方式。

6. 理顺国家战略科技力量的主体与功能定位，夯实应用基础研究，提升国家整体创新效能。

研究型大学应是基础研究主战场，在国家经费的保障下，聚焦于基础理论和科学前沿，汇集各类研究人才、青年学者及高校学生，广泛开展从 0 到 1 的基础研究和发明创造，出原理、出论文、出发现，在原始创新上百花齐放、百家争鸣。

国家实验室和国家科研机构要组织形成国家战略科技力量的旗舰，汇集成千上万支高水平专业化科技人才团队，坚持“四个面向”，聚焦各类关键行业共性技术和重大前沿技术，重拳出击，出模型、出标准、出技术，扎实开展面向国家重大应用的基础技术研究和应用基础技术研究，尽快补足创新链的短板弱项；同时与高校及企业紧密衔接协同，强化科技与金融结合，承前启后，加速成果转移转化，推动实现“把论文写在祖国的大地上”。

需求是根本是方向，科技领军企业应基于国家战略需要和市场具体需求，自身加大科研投入的同时，在国家科技力量的有力支持下更加

聚焦产品研发和技术创新，轻装上阵，更加专注开展应用研究及重要急需的应用基础研究，出产品、出服务、出创新，研发设计出高水平、高质量各类产品。

同时，布局畅通科技领军企业、国家实验室体系、研究型大学之间的纽带联系，后端引导前端，围绕具体领域和问题，相互间广泛建设联合实验室，实现人才、设备、方法、知识等共享共用、协同合作，强化创新链条整体效能。加快补齐应用基础研究短板，努力推动成立国家建设、企业主导、产学研高度协同的“民用高端装备共性技术国家实验室”，积极建设一批新的国家级和省部级重点实验室。

7. 布局组建关键领域产业和创新联盟。

加快产业联盟建设，积极推动航空、航天、汽车、高铁、核电等具有引领性的重要行业共通的产业链、创新链建设，在联盟的框架下，推动政产学研用高效联动。同时，大力支持基础材料、基础零部件试验评价中心建设，建立我国关键基础材料、基础零部件安全性、可靠性、寿命等试验数据库和可靠性评估体系，为基础材料和基础零部件安全可靠性的准确预判和改进提高提供科学依据和数据基础。

(四) 建设主体平等、规则透明、自由竞争、开放合作的良好科技创新环境与生态，是实现国家整体工业基础自我持续提升的长久之计。

8. 深化科技计划管理体制机制改革，构建高水平科技创新体系与生态，推动“真刀真枪搞科研”。

打造“真刀真枪搞科研”的创新体系与生态，首要是以工业基础产品简洁清晰的市场需求及相应的技术问题为主战场，推动科技创新和产业创新融合发展：要将产业的科研需求瞄准吃透，从面上的产品差距穿透至具体的技术卡点，确保“解决真问题”；针对问题和卡点，制定可能的解决思路和技术路线，通过灵活高效的科研与创新机制，精准发力，确保“真解决问题”。项目需求必须贴近产业实际需要和实际问题，项目指南必须精准确定需要提高的技术指标等真实研究攻关目标与内容，必须“动真格评审验收”，注重项目交付物等成果的公正认定，切实避免“专家学阀”等利益圈子左右指南指标，切实防止“假模假样搞科研”充斥与泛滥。

同时，努力构建我国高水平科技创新体系与生态，广泛采取“揭榜挂帅”和“赛马”机制，英雄不问出处，将科研主体各方真正置于“自由、平等、竞争”的框架之下，

注重用实际利益与价值最大化地激励科技人才创新动力，强者胜出、赢者通吃，全面解放科技人才，彻底解放第一生产力，让十几亿中国人乃至全世界人才的聪明才智在真刀真枪的真实战场上施展出来，实现科技大爆炸、人才大迸发、国力大提升、社会大发展的崭新局面。

9. 加快标准、数据和知识的共建共享，营造良好生态。

参照 SAE 等国际标准化组织的百年发展历史，推进国内团体标准发展，围绕高端装备产业链打造团体标准发布平台，提高产业标准自主权。参照 SAE 等国际协会发展模式，建议国家支持建设一批产业链龙头企业主导的工业基础相关的技术协会 / 联盟，并逐步放宽国家关于技术团体组建的限制，通过一批专业技术协会打造国家级基础数据、标准、知识共建共享平台，形成自由竞争、开放合作、持续向上的科技创新生态环境。

积极参与重要国际产业组织，参与基础领域相关国际标准和规则的制定，提高标准话语权。探索建设民机基础产品公共服务平台，加强产品故障和可靠性方面数据共享。统筹利用行业内外实验与验证资源，开展合作与服务单位认证，推进资源共享共用。

10. 开展国际合作，使用全球之智。

推动和促进国内基础企业与国外相关的上下游企业开展交流和合作，积极促成具备条件的国内基础企业与国外供应商合资合作，利用成熟经验缩短研制周期和降低研制成本。加强国内实验室、标准协会团体等与国外相关单位的交流和合作。促进基础产品和研究成果的跨国推广和转化应用。

综上，找准并聚焦当前我国工业基础的根本问题与症结，充分发挥新型举国体制优势，坚持问题导向与目标导向，坚持国际标准与技术引领，多措并举，加快推动工业基础转型升级和高质量发展，快速提升我国装备制造水平和产业竞争优势，是推动我国硬实力和综合国力实现短时期大幅跃升的现实可靠的关键路径。解决工业基础问题还能拉动技术攻关与集成创新，通过解决真问题构建人才竞争与激励的实战环境与活跃生态，辅以科技、产业、金融三者的充分融合，促进各行业强化原始创新能力，助推实现高水平科技自立自强，支撑强国建设、民族复兴伟业。■

航空史上的 10 月

辑录 | 黎时

1890 年 10 月 9 日，法国电气工程师克雷芒·阿德尔制造的一架“风神”号 (Eole) 蝙蝠式飞机，在阿美韦里斯从平地起飞，高度约 20 厘米，飞越距离约 50 米，然后

摔落。

1910 年 11 月 7 日，菲利普·奥帕尔马里驾驶莱特 B 型双翼机从俄亥俄州代顿飞到哥伦布，为一家公司运送 495.6 米丝绸，据称是世

界上第一次货运飞行。

1916 年 10 月 5 日，飞机运输和旅行公司在伦敦注册，成为英国第一家航空公司。

1919 年 10 月 7 日，荷兰皇家航空公司成立，是迄今最老的保持名称不变的航空公司。

1919 年 10 月 11 日，英国汉德利·佩奇运输公司开始率先在伦敦—布鲁塞尔的航班上提供由三明治、水果和巧克力组成的飞行套餐，每份售价 3 先令。

1922 年 10 月 22 日，苏联图波列夫设计局成立，主要设计轰炸机、运输机，由著名的苏联上将工程师安德烈·尼古拉耶维奇图波列夫主持，总部位于俄罗斯莫斯科。

1929 年 10 月 21 日，为了消除“不能载客飞行”的疑虑，德国道尼尔公司为新研制的 Do X 大型水上飞机精心准备了一次公开飞行。150 名员工、新闻记者、10 名机组成员和 9 名偷乘者共 169 人，一起登上了 Do X，总起飞重量达 44.768 吨，飞机起飞后成功飞行了 53 分钟。这次飞行创造了一个非官方的载容量世界纪录，也创造了航空史上飞机载客首次突破 100 人的纪录。

1930 年 10 月 13 日，德国容克斯公司 Ju-52 单发运输机首次试飞，更有名的 Ju-52/3m 三发于 1931

年 4 月试飞。

1931 年 10 月 1 日，荷兰皇家航空公司用有 4 个豪华客座的 F-12 开辟了阿姆斯特丹—巴达维亚航线，往返飞完全程需整整 10 天（其中空中飞行时间 81 小时），当时是世界上所有航空公司能提供的最长的定期航班。

1936 年 10 月 21 日，美国泛美航空公司 NC14714 “夏威夷飞剪”号从旧金山带了 11 名乘客起飞进行首次客运飞行，途中降落 4 次，10 月 27 日在马尼拉降落，每位旅客为 13200 千米航程支付 799 美元。美国跨太平洋客运航线正式开航，后来这条航线还延伸到澳门。

1947 年 10 月 14 日，美国贝尔公司第一架 X-1 火箭动力试验机由查尔斯·耶格尔驾驶，在 12800 米高空首次速度达到 1078 千米/小时，即 M1.015，是人类第一次实现超声速飞行。

1950 年 10 月 13 日，洛克希德公司 L-1049 “超星座”首次试飞。

1957 年 10 月 3 日，苏联图波列夫设计局研制的图-114 首次试飞。该机直接沿用了图-95 “熊”式轰炸机的基本设计和动力系统，在很长一段时间里是全球最大、飞得最快和号称航程最远的涡轮螺旋桨客机。

1958 年 10 月 4 日，英国海



▲ 洛克希德公司 L-1049 “超星座”

外航空公司 (BOAC) 使用“彗星 4”飞机，首开喷气式民航机跨越大西洋的载客飞行。

1965 年 10 月 28 日，国际航空运输联合会 (IATA) 代表批准在客机上放映电影。

1968 年 10 月 4 日，图-154 完成了首次试飞，试飞员是尤里·苏可夫。

1968 年 10 月 26 日，巴西航空工业公司 EMB110 “先锋”轻型运输机首次试飞。

1969 年 10 月 1 日，“协和”原型机在第 45 次试飞时突破了声障。

1969 年 10 月 20 日，芬兰航空公司在其飞机上首先采用惯性导航系统，成为第一家放弃机载导航仪、不需要在飞机上安排领航员的

航空公司。

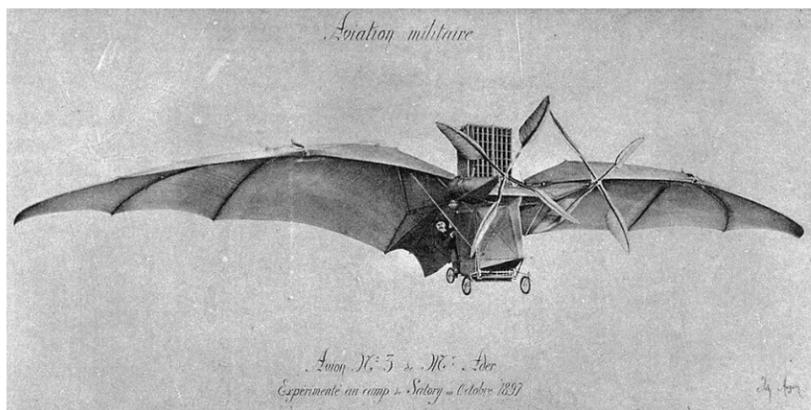
1972 年 10 月 28 日，空客公司 A300B1 原型机在图卢兹首次试飞。

1979 年 10 月 8 日，美国道格拉斯飞机公司总裁约翰·布里逊达因与中国航空技术进出口公司在北京签订了合作生产商用运输机的原则协议。

1979 年 10 月 30 日，中航技公司与美国麦道公司签订了 DC-9-80 主起落架舱门带料加工的基本协议，由上飞厂承担生产任务。这是中国航空工业第一个转包生产合同，由此拉开了航空零部件转包生产的序幕。

1987 年 10 月 15 日，中航技公司和联邦德国 MBB 公司在北京签订共同研制 MPC-75 飞机的预发

▼ “风神”号 (Eole) 蝙蝠式飞机

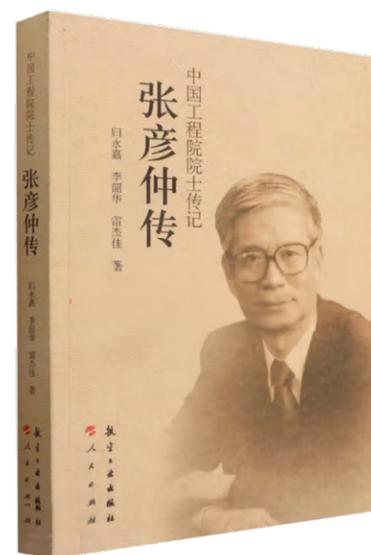


▼ Do X 大型水上飞机



2018 年“航空强国”的战略研究 ——《张彦仲传》摘编（十一）

文 | 归永嘉 李韶华 雷杰佳



日，他在发给 AG600 水上首飞成功的贺信里，又一次提出，要为实现建设航空强国的目标而奋斗。

2018 年底，在中国工程院周济院长的多次倡导下，中国工程院设立了“航空强国”院级重大战略咨询项目。由张彦仲院士任组长，组织 30 多名院士专家，开展“航空强国”的发展战略研究，对建设“航空强国”的战略目标、重大项目、关键技术、政策和措施等进行研究。

我国已经提出建设经济强国、军事强国、科技强国、制造强国、交通强国、海洋强国、航天强国等，为什么还要提出建设航空强国？鉴于历史上对航空是否属于高科技有三次争论，张彦仲提出：首先要提高对建设航空强国重大意义的认识，如果不建成航空强国，就不能成为现代化世界强国。

航空强国是现代化强国的重要组成部分。（1）航空强国是经济强国的重要标志。按产品单位重

量创造的价值计，如果船舶为 1，则轿车为 9，彩电为 50，电子计算机为 300，喷气飞机为 800，航空发动机达 1400。美国兰德公司统计，民用飞机工业可以为相关产业提供 12 倍于自身的就业人数，航空工业每投入 1 亿美元，10 年后航空及相关产业产出 80 亿美元。航空制造业具有巨大的辐射和带动作用，可带动材料、元器件、软件、工艺装备、工业控制、动力能源等工业的发展，保持基础工业位于价值链顶端。航空业是制造强国的重要标志。（2）航空强国是军事强国的重要保障。航空装备是空中优势、海上优势和陆地优势的重要保障。（3）航空强国是科技强国的重要引擎。航空涉及 13 大学科门类中 9 个门类的近 2000 个三级学科。航空业的科技进步，带动了空气动力学、固体力学、工程热物理、计算数学、物理学、化学、电子学、信息学、控制学等基础科学的发展，并引

鉴于历史上对航空是否属于高科技有三次争论，张彦仲提出：首先要提高对建设航空强国重大意义的认识，如果不建成航空强国，就不能成为现代化世界强国。

展阶段协议。

1989 年 10 月 28 日，广州飞机维修工程有限公司 (GAMECO) 成立，总部位于广州白云国际机场，是由中国南航、中国香港和记黄埔以及南华国际等公司共同合资经营的企业，经营范围包括为飞机提供检查修理、翻新喷漆、内部装修等维修服务。

1990 年 10 月 10 日，空客公司启用新的总装厂房——“克雷芒·阿德尔工厂”。

1990 年 10 月 26 日，在原民航 102 厂的基础上，民航上海飞机维修工程公司成立。

1990 年 10 月 29 日，在收到美国联合航空公司 34 架订单两周后，波音公司董事会正式批准研制波音 777。这是一种填补波音 767-300 和波音 747-400 之间的空白的飞机。

1991 年 10 月 25 日，空客公司 A340 四发远程客机首次试飞。

1995 年 10 月 30 日，《中华人民共和国民用航空法》正式颁布。这是我国第一部航空法。

1999 年 10 月 3 日，中美合作生产的第一架 150 座级 MD-90-30 客机在上海试飞成功，并于 11 月 9 日获得美国联邦航空局 (FAA) 颁发的单机适航证。合作计划原定生产 40

架，后减为 20 架，最后只生产了 2 架。

2002 年 10 月 31 日，从银川飞到北京南苑机场的中国联合航空公司 CUA506 航班成为图 -154 在我国执行飞行任务的最后一个航班。我国民航从 1985 年开始陆续引进过 30 架图 -154M。

2007 年 10 月 15 日，在交付时间被推迟一年半之后，空中客车公司终于正式向新加坡航空公司交付了全球首架用于商业运营的 A380 客机。

2009 年 10 月 12 日，卡塔尔航空公司以一架安装了遑达 556 发动机的 A340-600 飞机完成了全球首次天然气合成燃料的载客飞行，它代表着航空界在绿色环保方面的努力取得进展。

2011 年 10 月 26 日，波音 787 首次执飞商业航班——全日空航空公司首次用它执飞东京—香港航班。

2016 年 10 月 29 日，空客 A350-900 测试飞机抵达珠海，开始在中国为期 11 天的五大城市（海口、北京、上海、广州和成都）巡演。

2016 年 10 月 28 日，美国西锐设计公司研制的“视觉 SF50”单发轻型喷气机获得了型号认证，这是 40 多年来首架由单发活塞式飞机公司获得认证的喷气式飞机，并于当年 12 月开始在该公司的新德卢斯飞

机总装厂完成交付。

2018 年 10 月 20 日，中国研制的大型灭火 / 水上救援水陆两栖飞机“鲲龙”AG600 在湖北荆门漳河成功实现水上首飞。

2019 年 10 月 2 日，美国联合包裹服务公司 (UPS) 赢得美国联邦航空局 (FAA) 在全国范围开展无人机交付的批准，是第一家获得 FAA 批准运营全国性无人机机队的公司。

2020 年 10 月 7 日，美国“繁荣超声速”公司 (Boom Supersonic) 推出其 XB-1 验证机。该碳纤维演示飞机的尺寸是该公司计划最终制造的 65 座“序曲” (Overture) 客机的三分之一。据称，该机巡航速度为 2.2 马赫，从华盛顿特区到巴黎的飞行时间将缩短一半到 4 个小时。

2020 年 10 月 22 日，空客公司向达美航空公司交付第一架在美国亚拉巴马州生产的 A220-300。

2023 年 10 月 13 日，中国亿航智能公司 EH216-S 无人驾驶载人航空器系统获得中国民航局颁发的型号合格证 (TC)。■

发整个社会科技水平的全面提升。

到 21 世纪中叶，中国将进入世界强国行列，航空强国将为中国更加频繁地参与全球事务、经贸往来、交流合作提供强大支撑，也将为中国推动全球经济、政治、军事体系的发展提供强有力手段。

更重要的是，航空科技创新作为建设航空强国最核心、最有效的战略步骤，也将为实现科技强国的战略目标提供强大的驱动力。成为航空强国，不仅意味着中国拥有了在 21 世纪保持持续繁荣和长治久安的经济和军事支柱，也意味着中国重新成为尖端科技和工业文明的先行者。

那么，要达到什么目标才算实现航空强国的梦想？

开题会上提出一个建设“航空强国”基本战略目标的初步意见，又提出一个较为完整的论证方案总体框架：包括任务目标、重大项目、关键技术、政策措施等；同时，又安排论证的计划、进度、小组分工等。组织专家委员会深入研究讨论，

提出航空强国的建设战略。

为满足我国未来航空发展需求，支撑国家“两个一百年”战略目标的实现，张彦仲提出了一个建设航空强国战略目标的初步意见，分三个阶段：第一阶段到 2025 年，补齐短板，缩小差距，初步实现航空产业自主可控，自主保障。第二阶段到 2035 年，步入先进航空国家行列，基本实现我国航空现代化。自主研发先进的航空产品；自主掌握航空核心技术；形成全面的航空技术体系和产品体系；建成先进的航空产品设计、制造、生产和运营支持能力；培养一支高水平的人才队伍。军用航空装备能有效支撑军队现代化，民用航空产品有效占据世界市场份额，初步建立基于自主航空的高速、高效国家运行和治理体系，有力支撑国家全疆域经济和社会的平衡发展。第三阶段到 2050 年，成为世界一流航空国家，建成世界航空现代化强国。研发出世界一流的航空产品；领先创新能力突出、掌握有战略优势的航空核

心技术；航空技术体系和产品体系完备；建成一流的航空产品设计、制造、生产和运营支持能力；培养世界一流的人才队伍。航空装备全面支撑一流军队的持续发展，全面支撑国家全疆域经济和社会的平衡发展，全面支持我国参与全球治理体系。我国民用航空产业成为世界航空产业链的重要力量，支撑人类共同谱写可持续发展的新篇章。

各组围绕军用航空、民用航空、航空发动机、航空机载系统、通用航空等五个方面，分析我国航空工程科技与产业发展面临的国际环境、发展态势及国内外现状，研究提出面向 2025、2035、2050 年的我国航空科技、产品、产业和体系发展的指导思想、基本原则、战略目标，提出实现航空强国发展的关键核心技术，以及路线图、效益分析和措施建议。

在航空工业摸爬滚打几十年的张彦仲院士深深懂得，国家要强，科技必须强，航空科技体系更要强。航空工业几十年发展经验证明：无论是民用飞机、还是军用飞机，凡不坚持自主创新，想依赖西方国家的技术，都会遇到重大挫折！当前最重要的自主创新部署，是着眼长远、持之以恒地开展航空研发活动，在国际国内市场和供应链高度融合

航空强国必须以科技自主领先创新为发展理念；以掌握核心技术为发展重点；以新时代军民融合体制为发展动力。抓住历史机遇，在航空强国建设进程中长足发展、作出巨大贡献。

的状态下，坚持自主开发和创新核心技术。以自己的核心技术掌握项目和产品的技术和市场主导权。

大家深知“关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的”。只有把关键核心技术掌握在自己手中，才能从根本上保障国家经济安全、国防安全和其他安全。课题组提出当代航空工业的核心技术，不仅涉及航空体系、飞行器平台、发动机和机载系统、专用部组件、材料和工艺、元器件 / 软件 / 标准件等各个层面，还涉及需求开发、技术验证、研制、小批量和大批量生产、使用和保障等各个环节的设计开发工具、工程验证手段、体系保证方法和运营支持技术。重点要突破飞机、发动机和机载系统等核心技术。

飞机关键核心技术包括飞行器总体综合设计技术，高超声速气动总体技术，绿色飞行器高效气动设计技术，长寿命高可靠性轻质航空结构技术，系统集成技术，飞行

器试验测试技术，大部件复合材料设计制造技术等。

发动机关键核心技术包括大涵道比涡扇发动机设计和验证技术，高超声速动力技术，高效率、高稳定裕度压缩系统技术，低排放燃烧室技术，高温长寿命涡轮技术，先进数字控制系统，高功率密度传动技术，综合燃油管理技术，高温材料及制造技术，测控技术等。

机载系统关键核心技术包括综合模块化航电技术、非相似多余度电传飞控技术、液压系统技术、空气管理系统、电力系统及多电技术、起落架系统、辅助动力系统设计及验证技术、人工智能等先进技术。

因此，航空强国必须以科技自主领先创新为发展理念；以掌握核心技术为发展重点；以新时代军民融合体制为发展动力。抓住历史机遇，在航空强国建设进程中取得长足发展、作出巨大贡献。

推动航空强国建设，是实现

“两个一百年”战略目标不可避免的战略挑战、不可或缺的战略基石、不可动摇的战略途径。中华民族有智慧、有能力成为世界航空科技和航空产业发展的重要力量，让航空为中华民族的伟大复兴插上翅膀！

2019 年 9 月 21 日，刘鹤同志主持召开座谈会，以百年筑梦航空强国为主题，纪念冯如首次驾驶自制飞机飞上蓝天，开启中国航空事业 110 周年。会上，张彦仲发言，作了《建设航空强国》的汇报，得到了会议认可。

附：

“航空强国”项目主要参加人员

顾问：李晓红、周济、赵宪庚

组长：张彦仲

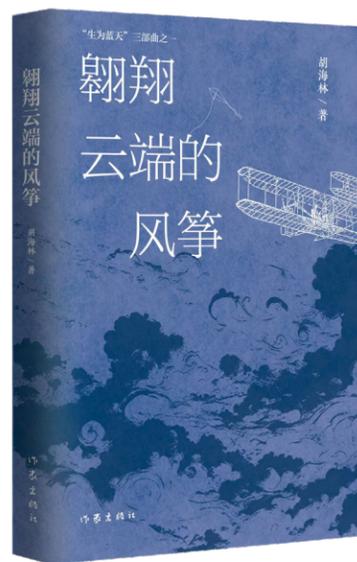
成员：尹泽勇、李椿萱、顾诵芬、徐惠彬、张军、冯培德、刘大响、甘晓华、陈懋章、王华明、王浚、房建成、曹春晓、杨伟、杨凤田、唐长红、樊会涛、向巧、孙聪、陈一坚、李应红、曹淑敏、陶智、汪亚卫、归永嘉 ■

当前最重要的自主创新部署，是着眼长远、持之以恒地开展航空研发活动，在国际国内市场和供应链高度融合的状态下，坚持自主开发和创新核心技术。

刘一枝帮忙筹经费 众青年思乡唱民谣

——《翱翔云端的风筝》摘编（四）

文 | 胡海林



把机器工业做好，乃是报国之心之举。”接着，冯如又说道，“黄叔，我们下火车便赶来，主要想给您汇报飞机研制进程的事。一会儿我与竹泉还要去几个工业区访厂，购买发动机的铸铁材料。”

黄梓材仿佛这才从忧郁中走出来，让人把泡好的茶端上来，说道：“既来之，则安之。吃完饭再去访厂。洛杉矶有七个工业区，到处都是铸铁钢厂、汽车制造厂与造船厂，不急。”然后接着问，“黄叔跟我来封信，说经费告罄，还有优先股东想退股，怎么回事？”

冯如说：“9月莱特兄弟在华盛顿的试飞坠地，导致战争部采购中尉丧生，想退股是受到当时舆情影响所致。”朱竹泉补说道：“资金耗尽，跟原来测算造一台两千三百美元左右的预估有错也有关，两千三百美元我现在测算，是至少造出五架、均衡摊薄的造价。第一架研发费用与工具购置、加建工棚都少计算了，这个费用目前已经有一百到二百美元了。所以，枝哥让我启动普通股扩股，却没有想到碰上莱特兄弟坠机事件。”

黄梓材问冯如：“我看报纸上说，战争部还是要按合同接收莱特兄弟的飞机嘛！而且洛杉矶政府近来不停宣扬，要把洛杉矶建成美国

的航空工业中心，因为洛杉矶有‘天使之城’的称号。现在美国造飞机的还有谁？将来，我们的飞机成功了，可不可以在洛杉矶建工厂？”

冯如笑了笑，回答道：“洛杉矶工商业比旧金山发达很多，当然好。在美国，除了莱特兄弟，另外最有名的是格伦·寇蒂斯，他造了‘红翼’‘白翼’飞机，性能比不过莱特兄弟的飞机，接着又造出了‘六月甲虫’，获得了‘科学美国人飞行大奖’，这次也参加了华盛顿梅尔堡表演，但性能还没有超过莱特兄弟。不过他背后有纽约实业家的支持，是以贝尔出资的全美空中试验协会名义制造飞机。”

黄梓材感叹道：“洋人搞工业舍得花钱投入，我们华商眼光是浅了短了，一看到困难就后撤。”

冯如也感叹说：“的确，困难比预期要大，我们碰到很多问题。工具不全又落后，大部分靠手工完成，只能凭经验和悟性，对构件的近似与差异进行观察和把握。因此，耗费的时间与精力会比别人多。”

朱竹泉说：“公司资金几近耗干，已捉襟见肘。解决上千元的资金缺口，乃当务之急！”

黄梓材拧紧了眉头，想了一下说：“阿如募资造飞机，大家对你的精神与干劲都很欣赏、折服，

可毕竟我们华商，每一分钱都来之不易。投资就像往地里播种，每一粒种子都要有收成。我原想让你们把无线电收发报机做大，用利润再加上产品影响力的无形资产吸收资本，研造飞机，这样我们大家都会轻松一些，压力少一些。”

冯如说：“是啊！我明白黄叔您的想法。不过这事已经是时不我待，在农场的优先股东会上我也说过，从1906年开始，尤其是今年，飞机研造发展进程犹如加鞭的快马，发展飞快。过去，航空先驱们完全是在未知的道路上探索，现在有了各式样板借鉴，新技术能得到采用，飞机性能越来越高。新的研究者、试验者纷纷加入。像在欧洲，不仅有了‘叙亚一号、二号’，新冒出的桑托斯·杜蒙也非常厉害，他的‘捕猎鸟’把莱特兄弟、哈格里夫、伏瓦辛等人设计的优点全部集中起来了。伏瓦辛兄弟也开飞机制造工厂。如果我们再不抓紧时间研造飞机，壮国体、挽利权也就成

为空话了。”冯如慷慨激昂地说完，黄梓材沉默了一会儿，说道：“这样吧，阿如，先咬牙克服困难把第一架做出来，再来扩展普通股。洛杉矶的唐人街，竹泉也待过几年，熟悉华商。我也推介宣传，争取过年后就动手扩展普通股。如何？”

冯如点点头说：“听黄大叔安排。”说完起身告辞，黄梓材挽留道：“哪有不吃饭的道理，先吃了再去访厂不迟。我今晨一直为光绪帝驾崩悲伤，无心做事。我们自家楼里吃，陪我喝杯黄酒，解一解忧闷。”

见黄梓材挽留言辞恳切，冯如与朱竹泉只好留下。席间说到致公堂要建无线电室的事，黄梓材说道：“我一心靠着朝廷的领事馆做事，一心支持康梁保皇立宪，看上阿如的无线电收发报机，也是想推广到朝廷衙门之用。致公堂支持兴中会，我与他们非一路人。再者那二十台广东水师货款，一直未收回。我也没有资金再投入这产品了。”

从黄梓材公司出来，朱竹泉不满地说道：“舍不得再掏钱就明说嘛！还扯什么保皇派与革命党的事。”冯如劝道：“黄大叔那二十台广东水师用的无线电收发报机的货款没有收回，他的确是遇到困难了。连本带利一千多美元呢！”

日落大道上车水马龙，行人熙熙攘攘。两人站在街口查看路线图后，决定先去埃勒米达街五金商店挑选铜片、钢丝等小配件，再去预先联系好的洛克维尔动力配件制造公司。

洛克维尔动力配件制造公司在洛杉矶市南港口工业区，坐巴士赶到工厂，已是快下班的时刻。工厂创始人威拉德·洛克维尔是个三十多岁的白人，对冯如与朱竹泉比预约时间晚到两小时，非常不满，冷冷地说道：“你们应该把时间观念先改正好，才能做工业制造，尤其是发动机这样精密的机器。”

朱竹泉一听这话，面有愠色。冯如笑着表达歉意，说：“洛克维尔先生，您说得很对，做机器工艺最重要的要有时间观念，办公司更应恪守预约时间。只是我们从旧金山远道而来，没有想到洛杉矶如此繁华与广阔，以至于晚到。请您理解、谅解！”

看到冯如真诚谦逊的态度，洛

“从1906年开始，尤其是今年，飞机研造发展进程犹如加鞭的快马，发展飞快。过去，航空先驱们完全是在未知的道路上探索，现在有了各式样板借鉴，新技术能得到采用，飞机性能越来越高。”

克维尔脸上才显出一丝热情，说道：

“你们要的所有发动机铸件，我这儿都有。我在宾夕法尼亚州还有家工厂，是专跟戴维·别克创办的别克汽车公司做汽车的轴承系统，而这里做的是汽车动力配件。”说着，他便带冯如走向他的产品展示室。冯如说：“为了节省时间，我希望直接到车间，特别是您的翻砂铸造车间。”

翻砂车间相较纽约船厂动力分厂的翻砂车间，简陋而又窄小，只有三个工人在忙碌。冯如仔细地查看了原料与熔炉，询问浇注工序，又问了切削工艺。洛克维尔见冯如对翻砂铸造的专业很熟练，脸上也泛起了笑意，开始忙不迭地介绍自己对发动机的认识，并询问冯如做多大力度的发动机？用途是什么？冯如回答：“我先做台六马力，然后再做台二十五马力，甚至四十马力。用途嘛——”冯如想了想还是告诉了洛克维尔，用于研制飞机。

洛克维尔听后，露出惊讶的表情，认真端详冯如好一会儿，有点不太相信眼前这个华人青年说的话。

“是你们华人自己做？”洛克维尔加重语气问。

冯如微笑着回答：“当然。”朱竹泉从包里拿出去年欧文斯在

《旧金山考察家报》上的系列报道《冯如：一个青年华人工程师的故事》，递给洛克维尔，说道：“你看看，我师傅可是个著名发明家，不但旧金山的报纸歌颂过他，连《纽约时报》都刊登过他的事迹。”

威拉德·洛克维尔接过报纸浏览完，脸上已写满钦佩，说道：“我好像是听过冯先生的事迹。今天你能光临我厂谈合作，荣幸！我愿意提供最好的产品。”

“谢谢！我们现在可以共同讨论一下我对产品技术性能的要求。”冯如说。洛克维尔摆摆手，热情地说：“我们先共进晚餐，再讨论产品性能问题。”

从洛杉矶回到旧金山的唐人街，冯如与朱竹泉直接到了大光书林商店。刘一枝让人煮了两碗汤面，等着冯如与朱竹泉吃完后，才叹着气说：“皇帝驾崩了，国难当头，听说袁世凯大人将梁诚大人的驻美公使免了，赶他去墨西哥任公使，真是岂有此理！”

“那钟宝僖大人与云屏兄呢？”

“钟大人不知道，云屏兄说，他想跟我一起做生意，由他接我的华商干事长。”

冯如说：“那好啊！这样枝哥你也有精力干大事了，也更有精力

来指导我们公司的发展！”

朱竹泉说道：“枝哥，指望黄大叔增加经费不可能了，现在得指望你，解决公司发展资金。”刘一枝看着朱竹泉，又看看冯如。冯如把洛杉矶见黄梓材与订购产品的情况详细地跟刘一枝说了一遍。刘一枝问：“资金缺口非要筹齐一千美元吗？第一架到底什么时候能飞起来？”

冯如说：“张南叔与耀能叔跟我不取工钱了，黄叔跟竹泉他们三人每个月也仅支十美元津贴，我想有个三百美元差不多了。现在就剩发动机与起落架了，我想明年开春就试飞！”

朱竹泉说：“为了省钱和早日飞起来，师傅已经放弃很多设计好了的方式。譬如，操纵姿势本来设计是坐式，可因为要增购许多材料，增大工程量与拉长时间，只好选择最简便的卧式，留待后面改进。”

刘一枝问：“既然如此，我就想办法去筹借三百美元吧！”

冯如说：“太谢谢了，枝哥！”

冯如回到东九街359号，跟吴英南交代了几句后，又与朱竹泉赶到伍·吉·典农场。夜色已经笼罩了寂静的农场，远远看见工屋里灯火通明。趴在工屋前的多多，见冯如来了，汪汪叫着，然后摇着尾巴欢

快地迎上前。

黄杞、张南、谭耀能与朱兆槐、司徒恩都在工屋里忙着。马灯与白炽灯泡齐亮，所有的木质构件已经打磨出来，整齐地码放在工架上。大家见冯如与朱竹泉风尘仆仆赶来，都围了上来。朱竹泉给大家讲了洛杉矶之行与在旧金山跟刘一枝见面的情况，冯如走到工架旁，仔细地察看机身总体的纵轴与横轴构件后，满意地笑了。

黄杞走过来问道：“无线电收发报机真空三极管采购没有？我想到几天与张南、朱兆槐把合同签订了。”

冯如叹口气说：“真空三极管工艺发明出现不到三年，现在连话匣子也有卖了。我一门心思都在飞机设计上，实在……”

冯如的话语未完，黄杞已明白，脸色凝重地说道：“美国的机器新发明是快，是要花时间与精力去把握。但这次答应致公堂，对我们发展也实在太有意义了。”

冯如转头问司徒恩：“居伊回信了吗？”

司徒恩回答：“回了，前天才收到。他说真空三极管发明人李·德福里斯特是西部的美国人，而且他父亲是公理会的牧师，让我们自己找他进货。”

“那问问尼里，他应该能找到李·德福里斯特。”张南说。

黄杞说：“明天刚好是礼拜天，尼里休息，请他来，也请詹姆斯一起过来看看。”

尼里赶来了，这是他第一次来伍·吉·典农场。看着满屋的构件与热火朝天的景象，开心地说道：“在你们身上，我总能见到不屈斗志与昂扬精神，太振奋了！”

黄杞赶过来招呼尼里，尼里说：“我跟詹姆斯说了，他太忙了。说找机会跟你与冯如见面。”

黄杞说：“请你来还有事请教，真空三极管发明人李·德福里斯特，你能联系上他吗？听说他的父亲是一名公理会牧师。”

尼里说：“我知道他，我们年龄差不多，我的父亲与他父亲相识，都是因宗教迫害逃离欧洲，他是耶鲁大学毕业的。他应该从纽约回到洛杉矶了。”

冯如说道：“他三年前发明的真空三极管，在无线电领域得到广泛应用。现在无线电收发报机已经完全采用真空三极管技术，我们也想生产几台，想直接联系他。”

尼里说：“我打听一下他，然后你们带我的信去找他谈谈。也许行。”

“太好了！”黄杞抓着尼里的

手摇晃起来。

张南在一旁提醒黄杞说：“还是让尼里跟阿如讨论图纸吧。”

冯如把起落架的图纸摊开，对尼里说：“机体、机翼、方向舵、螺旋桨、内燃机的图纸都好了，现在就剩下起落架图纸没定下来，原来想用滑橇作起落架，现在改用轮子，所以需要讨论探索。”

大家都围在起落架的图纸边，原来的滑橇已经改成啄木鸟爪子的形状，四只爪子的末端各装一个车轮，汉字与英文同时标注出每一个细小部位的尺寸比例及改进说明。尼里问：“起落架能不能承受得住巨大的冲力？保守一些，起落架还是滑橇式更安全。而且，你的操纵又怎么由坐式变成卧式了？趴在下部机翼上拉动手柄操纵飞机，不仅姿势难受，还影响视野哟。”

冯如指着图纸解释说：“杜蒙和莱特的一、二、三号飞机起落架是滑橇式的，滑橇与地面的摩擦面大，降落时，也未必更安全，所以他们的A型与B型飞机已改成轮式。我想如果升力足够大，飞机用轮滑起飞还是更好。至于回到卧式操纵，纯是经费拮据所致，下一架改回来就是。”

尼里眼盯着图纸，仍有疑问：“从你的图纸上看，轮子包括支架

的体积要比滑橇大，这会不会增加起飞的阻力呢？”

朱竹泉上来插话说：“我师傅算了三天两夜，他列式算，我用大珠算盘还复算过，风洞吹了上百次，硬是能起飞的。”

众人轻松地笑起来。冯如从自己的背包里掏出一件宝贝，研造飞机资料剪辑，厚厚的一大本。冯如说：“这件宝物，幸好上次带回了奥克兰，要是在纽约跟那些读书笔记一起被海军军械局的人拿走就麻烦大了。这是我博采众家之长，有塞缪利·兰利博士、机枪发明者马克沁爵士、画家达·芬奇、电话发明者贝尔和发明家爱迪生等人关于航空器的理论与实验资料，更有莱特兄弟、寇蒂斯、布雷里奥、杜蒙、杜瓦辛等人的飞机设计图，都剪贴成册在一起，作研究比较。”

尼里赞许地说道：“好一个有心人，已积五年的日月之功！就像你们中国传说中的武功大师！”

黄杞笑着说：“哎呀！尼里，你对我们中国文化越来越熟悉了。只要飞机飞起来，阿如就能媲美中国传说中最厉害的武功大师了！”

冯如说：“别赞美我，我只是努力想站在一百年来航空先驱和同行们的肩膀上起飞，在他们的血汗结晶中萃取精华、完成的一个轻巧

而坚固的组合而已。”

尼里说：“科学就是这样，都建立在前人研究的基础上。不管莱特兄弟还是杜蒙、布雷里奥，还有现在风头正劲的寇蒂斯。就拿莱特兄弟改进的A型、B型飞机讲，除了前升降舵，为了横向操纵的机翼扭转，几乎所有的东西包括足够轻巧而功率巨大的发动机，都借助了目前欧洲最新的技术，只有将智慧组合在一起，才能划时代地开创出伟大的通天之路。”

“如果莱特和杜蒙只知道蹈常袭故，那也永远造不出载人动力飞机。他们的飞机虽各有不同，有的甚至相差很大，但都无一例外地你中有我，我中有你，都企图采用最好的技术，制造出性能最好的飞机。”冯如感叹道。

黄杞提议道：“既然研制方案就这么确定了，尼里又是第一次来伍·吉·典农场，就请他在场舍再次吃餐中国饭。今天匹满高地正是风和日丽的好天气，到农场走一走，在山地上吹吹海风，闻闻花香，听听鸟鸣，看看蓝天。”

大家拍着巴掌齐响应，这一段时间手工加工构件，黄杞、张南、谭耀能、朱兆槐、司徒恩几个人全身心投入，夜以继日地工作，吃住都在工屋里，都已疲惫到极点。谭耀能说：“我守着工屋，你们去吧。”

大家欢笑着出了工屋，往农场的高地林间走去。此时风儿劲吹，所有人的精神都焕发抖擞起来，伸展着双臂，贪婪地呼吸新鲜空气。

尼里兴奋地用他那低沉的男中音唱起《淘金者》：“他们来自遥远的国度，来自山丘上的弗吉尼亚，你永远不会胜过乔治表兄弟，那敲打在钻头上的锤击。”这是一首赞颂英国科尼什人的歌，欧洲移民无人不晓，不少华人也能哼唱几句。但显然他们更爱唱家乡的歌。尼里一唱完，司徒恩接着唱起广东客家山歌：“食烟爱食两三筒，连妹爱连两三宗，第一就要言语好，又要人才盖广东。放下担子坐茶亭，敢唱山歌怕也人。阿哥好比诸葛亮，唔怕曹操百万兵。”优美的旋律与司徒恩洪亮的歌喉，悠长曲调中不时闪过颤音、滑音，使得旋律变得回环曲折、委婉动听，赢得众口赞叹。紧接着黄杞也起身，面对金山湾波涛汹涌的大海，放声唱起他家乡的咸水歌《对花》来：“乜野又花呀，开呀哩蝴蝶呀蝴蝶样啰哩，好又妹呀罗啲哎，花又开呀哩结呀……”

氛围立刻达到高潮，这两首歌曲尼里听不懂，但心里明白，这是这群华人心底久藏着的对遥远故乡的思念。■



C919 全球最新一代大型客机



* 右图为飞宝玩偶

2024年10月29日，印尼翎亚航空正式开通美娜多—广州直飞航线定期航班。

