



AR

21

700

ARJ21-700

ARJ21-700

ARJ21-700

ARJ21-700

ARJ21-700

ARJ21-700

2017.9.24

上海审定中心试飞团队成功完成 ARJ21 飞机 刹车系统设计优化、压调系统包线扩展审定试 飞工作

民航上海审定中心试飞员张惠中与试飞工程师张海涛在青海花土沟机场成功完成了 ARJ21 飞机 TC 证后刹车系统设计优化、压调系统高原包线扩展审定试飞工作。

试飞期间，该驾机飞行 4 架次，共完成 6 次起飞落地，飞行时间共计 2.5 小时。此次试飞严格按该架机 TIA 及相关的审定试飞大纲要求完成了“刹车系统 BCU 软件功能优化设计合格审定试飞”和“压调系统高原包线扩展适航审定试飞”两个科目。

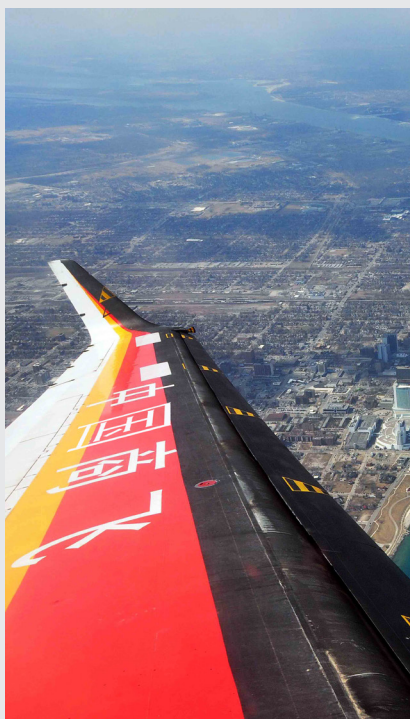
本次审定试飞过程中两科目均成功完成，顺利推动了 ARJ21 飞机证后设计优化和交付工作。



右一 宋智桃 右二 张海涛
左三 张惠中 左二 沈浩 左一 龚毅慧



Contents



05

卷首语

05 自然结冰试飞难在哪 | 欧阳亮

06

资讯

08

封面文章

08 ARJ21 自然结冰试飞：不放弃任何一次机会 | 赵志强

14 ARJ21 万里寻冰记 | 庄敏

20 结冰安全技术：从源头保证飞行安全 | 赵克良

25 自然结冰试飞与积冰气象 | 蒋瑜

27 逐冰于云 克难以专 | 张晓 王学良

31 自然结冰试飞的测试与改装 | 梅亚东

34

航空制造

34 俄罗斯航空产业的再布局 | 董帼雄

38 欧洲加速氢能飞机研发与布局 | 曲小

42 航空产业链之困 | 任治潞



46

航空运输

46 空中骨干大通道助力民航强国战略 | 彭静宇

50 后疫情时代，中国民航如何重启？ | 张晋

54 国际航班重启在即的思考 | 程佳俊

58

人物

58 潘星：为型号打赢每一场采供配套攻坚战 | 刘筱然 周岑茗

62

专栏

62 在阎良的青葱岁月 | 任和

64 风雨八角楼（上）——洪都航空的前世今生 | 詹东新

69 民航初创的“激荡十年” | 柏蓓



本期解读

结冰是航空器飞行的重大安全危害因素。据不完全统计,近现代航空史上因结冰导致的空难有600多起,每年大约有8起因结冰导致的飞行事故。按照中国民航规章和美国联邦航空条例,商用飞机进入航线运行前必须进行自然结冰试飞,证明飞机在最严苛、最罕见的极端气象条件下能够安全运行。

但自然结冰试飞的难度极大。首先是气象预测难,前几年甚至有一种观点认为国内没有适合进行自然结冰试飞的气象条件;其次是试飞风险大,飞机在结冰条件下长时间飞行,是对飞机气动设计、飞行品质,以及防冰、动力、大气数据等系统的全面考验,很容易出现安全事故;第三是制定试飞方案难,欠缺相关经验的主制造商和适航当局要制定合适的自然结冰试飞方案,必须要走相当长的弯路;第四是组织难,自然结冰试飞的试验点多,参与专业广,且必须在一定的气象窗口完成所有试验,对主制造商和局方的组织协调能力都是一大考验。



- 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

2022年第05期 | 总第095期 | 05月31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 赵越让
副主任 谭万庚
委员 赵九方 吴永良 郭博智 周新民
魏应彪 张玉金
学术顾问 吴光辉

上海《大飞机》杂志社有限公司

总经理 程福江
总编辑 王刚
副总经理 徐显辉

主编 欧阳亮
执行主编 庄敏 林喆
副主编 柏蓓
编辑 哲良 张凯敏 郑小芳 周逸云
记者 李欣阳 李琰 赵婷婷 陆庭庭
美术编辑 卢之萍 刘晓雨 刘伟
摄影记者 管超 王脊梁 颜康植 张竞霄 翟俊杰

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

商务主管 吴頔
电话 021-20887110
发行主管 谭路
电话 021-20887186

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

自然结冰试飞难在哪

文 | 欧阳亮



作为取证试飞路上最知名的“拦路虎”，自然结冰试飞究竟难在哪儿？

在商用飞机取得型号合格证之前必须完成的试验试飞中，有几个科目因难度与风险都特别高而知名，比如自然结冰试飞、失速试飞、大侧风试飞、最小离地速度试飞等。其中，自然结冰试飞在公众中的知名度最大，关注度也更高。2014年，ARJ21飞机远赴北美五大湖区进行自然结冰试飞，来回3万公里，共经停10个国家的18座机场，引起了全国人民乃至全球的瞩目，顺便也让自然结冰试飞“出了圈”。

作为取证试飞路上最知名的“拦路虎”，自然结冰试飞究竟难在哪儿？以至于当年ARJ21飞机连续4次奔赴乌鲁木齐地窝堡机场也未能完成该试验，最后不得不再远赴北美。

自然结冰试飞之难，大致体现在4个方面。首先是气象预测难。

所谓自然结冰试飞，先决条件是要有冰，而且对积冰的厚度、时间均有严格的要求。美国的航空气象专业对积冰环境的研究开始得最早、经验最丰富、手段也最多，综合运用卫星、雷达、地面站、闪电、飞行员报告等建立了实时的积冰潜势系统，对飞机积冰预报能力较强，其他国家在这方面还处在摸索阶段。

第二大难点是试飞风险高。结冰是航空器飞行的重大安全危害因素。根据1982年到2000年的统计，在所有气象导致的不安全飞行事件里，由于结冰导致的不安全事件占12%，其中地面防除冰工作占8%，发动机唇口结冰导致的占52%，机体结冰占比是40%。当航线飞机尽力要避开积冰云层的时候，进行自然结冰试飞的飞机却要去找寻过冷水，特意让飞机结冰。而在结冰条件下长时间飞行，是对飞机气动设计、飞行品质，以及防冰、动力、大气数据等系统的全面考验。

第三大难点是制定试飞方案难。自然结冰试飞最早是美国的适航当局针对五大湖区的自然条件提出的适航要求。美国的主制造商和适航当局对如何进行自然结冰试飞的试飞方案和改装方法研究十分深入，而对外则守口如瓶。欠缺相关经验的主制造商和适航当局要制定合适的自然结冰试飞方案，必然要走相当长的弯路。

第四大难点，是试飞的组织难。自然结冰试飞的试验点多，参与专业广，涉及到气象预测、测试改装、空域协调、天地沟通等多专业、多任务实施，且必须在一定的气象窗口完成所有试验，对主制造商和局方的组织协调能力都是一大考验。

01

国常会：增加 1500 亿元民航应急贷款

新华社 5 月 23 日报道，国务院总理李克强主持召开国务院常务会议，进一步部署稳经济一揽子措施，努力推动经济回归正常轨道、确保运行在合理区间。针对航空方面，将增加 1500 亿元民航应急贷款，支持航空业发行 2000 亿元债券。有序增加国内国际客运航班，制定便利外企人员往来措施。



04

空客一季度共交付 142 架飞机

5 月 16 日，空客发布 2022 年第一季度财报：一季度，空客共交付 142 架民用飞机，其中 109 架为 A320 系列飞机；新获得 253 架订单；收入增长 15%，达到 120 亿欧元；调整后息税前利润 13 亿欧元，上年同期为 6.94 亿欧元。

02

民航局：2021 年全行业亏损 842.5 亿元

5 月 18 日，中国民航局发布的 2021 年民航行业发展统计公报显示，2021 年，民航全行业累计实现营业收入 7529.2 亿元，比上年增长 21.5%；亏损 842.5 亿元，比上年减亏 187.1 亿元。

03

AG600 全状态新构型灭火机首飞成功

5 月 31 日，由中国航空工业集团研制的大型灭火 / 水上救援水陆两栖飞机“鲲龙”AG600 全状态新构型灭火机在广东珠海首飞成功。此次首飞的 AG600 全状态新构型灭火机最大起飞重量 60 吨，最大载水量 12 吨，填补了国产大型航空灭火飞机的空白。



05

波音宣布总部再搬家

5 月 5 日，波音宣布将把总部从芝加哥迁至美国首都华盛顿附近的弗吉尼亚州阿灵顿县。波音表示，此次迁址旨在让公司更接近其“客户和利益相关者，并获得世界一流的工程和技术人才”。波音 1916 年成立于西雅图，2001 年将总部由西雅图迁至芝加哥。

06

京东货运航空将起飞

5月23日，中国民航局运输司发布了关于为江苏京东货运航空有限公司（筹）颁发公共航空运输企业经营许可证的公示。该公示意味着京东航空真正具备了开航的资质。京东航空由宿迁京东展锐企业管理有限公司（出资4.5亿元，占75%）、南通机场集团有限公司（出资1.5亿元，占25%）共同出资组建，主运营基地为南通兴东机场。



09



09

巴航客改货飞机迎首单

全球最大的支线飞机租赁公司 Nordic Aviation Capital 将成为巴航工业 E 系列客改货项目（P2F）的启动用户。NAC 与巴航工业原则上达成协议，最多将改装 10 架 E190F/E195F，首架货机将于 2024 年开始交付。用于改装的飞机将来自 NAC 现有的 E190/E195 机队。

07

南航 A380 复出

Simple Flying 报道，5月23日至10月29日期间，南航 A380 将在三条航线上运行，分别是南航阿姆斯特丹航线（每周 1 次）、广州 - 洛杉矶（每周 2 次）和广州 - 悉尼（每周 1 次）。南航共引进了 5 架全球载客量最大的 A380 飞机，今年初已退役 2 架，剩余 3 架也计划于年内退役。

08

中国最西机场预计 7 月通航

5月19日，随着南方航空一架空客 A319 飞机平稳降落，新的国内最西端机场、新疆首个高原机场——塔什库尔干红其拉甫机场完成民航客机实地验证相关科目，预计 7 月正式通航。



10

东航募集 150 亿引进新飞机

5月10日，东航发布公告称，拟向不超过 35 名（含 35 名）特定投资者非公开发行 A 股股票不超过 150 亿元，用于补充流动资金并引进 38 架飞机，包括 4 架 C919 飞机、24 架 ARJ21-700 飞机、6 架 A350-900 飞机及 4 架 B787-9 飞机。

ARJ21 自然结冰试飞：

不放弃 任何一次 机会

文 | 赵志强



赵志强：

作为有20多年

飞行经历和一万多小时

飞行时长的飞行员来说，

我印象最深的还是ARJ21

飞机自然结冰试验。



“



我叫赵志强，是中国民航上海适航审定中心试飞室的一名试飞员。今天我的着装是我作为航空公司的一名机长在执行航班任务时穿的飞行制服。有些朋友会问我，为什么航空公司的机组制服有三道杠，也有四道杠。因为在航空业内，每一条杠都代表不同的意义和不同的要求。

第一道杠代表专业、职业，需要有专业的素养、职业的精神；第二道杠代表知识，包括飞机本体的知识，运行飞机的各个系统以及与运行相关的知识、比如气象条件、基本的航空医学等；第三道杠代表飞行技能，对现在的大型先进飞机来说，飞行技术基本驾驶技能已经占了越来越小的比例，但是它往往决定了飞行安全。特别是特殊情况下，比如说特殊的自然条件，大侧风或者是系统故障降级，造成必须要通过人的操作来完成起降。多的这一道杠代表责任，什么责任？安全责任，中国民航一直把安全作为我们的基石，所以作为一名机长来说，我们的责任就是在安全的基础上，把旅客舒适、准点地送达目的地。

试飞员的责任

在航空运行来说，飞行机组是安全的



最后一道关口，责任重大。但是如果我们把所有的安全压力放到飞行机组身上，既不合适，也不科学。所以我们要把安全关口前移，甚至前移到飞行设计之初。在飞机的设计、制造、审查中，试飞员大有可为，有很多事情要做，目的就是要把一款有更高安全性、更大容错性的飞机交给航空公司运营，保障公众安全。试飞员在这个过程中，不管是在人机交互、设计，以及试飞大纲的编制、评审，还是在风险评估的评审，以及最后的试飞实施中都起着重大的作用。

作为局方试飞员有哪些责任呢？除了刚才说的那些责任以外，我们还要承担中国民航局的适航审查，承担关于国内民航完整的型号合格审定的审查试飞、TC 试飞，以及外方飞机进入国内的市场所要完成的 VTC 审查试飞。同时还要协助我们的工程人员、研发人员进行人为因素评估、驾驶舱评审等工作。

实际上在 ARJ21 飞机立项之初，中国民航还没有自己的局方适航审查的专业队伍。关于这一点，当年在对 ARJ21 飞机进行审查时，美国联邦航空局（FAA）当时除了对 ARJ21 飞机的设计、符合性验证方法，以及试飞管理等提出疑问之外，还专门针对试飞员队伍问题，对中国民航局（CAAC）提出了一些质疑。他们认为你们局方连专业的试飞团队都没有，怎么能具备 ARJ21 飞机试飞数据的准确判定能力？我们的队伍就是在这种形势下开始逐渐建立起来的。

审定试飞队伍的建立

中国民航审定试飞队伍建立之初就承担着打破技术壁垒、质疑，以及拓展适航双边，迅速与国际最高的试飞技术水平接轨的重任。2011 年，我们的队伍成立之后，

打破技术壁垒，完成了 ARJ21 飞机所有审定试飞科目，包括大量高风险的科目，实现了很多零的突破。与此同时，我们还对进入中国市场的国外航空器进行了认可审查，结束了中国长期以来在引进国外航空器时所面临的短板。审定过程当中，我们陆续发现了国外航空器某机型的锂电池、操纵品质、操纵器件等问题，为中国公众的飞行之旅把好了第一道关。

对于我们来说，最主要的工作还是 ARJ21 飞机型号合格审定试飞工作。在局方介入之后，一共执行了 761 个架次的飞行，约 1200 飞行时长的试飞工作，完成了涵盖高温、高湿、高寒、高原等相关的环境要求，以及大量的高风险的试验，比如说大侧风试飞、自然结冰试飞等等。

自然结冰试飞：没时间紧张

作为有 20 多年飞行经历和 1 万多小时飞行时长的飞行员，我印象最深的还是 ARJ21 飞机自然结冰试验。我们都知道结冰对飞机带来的危害，首先会影响飞机的气动特性，可能会使发动机降低工作效能，甚至发生故障、导致空中停车。其他系统也可能在结冰条件下发生故障，比如说空速管冻结，迎角探测器冻结，导致仪表不准确，带来危及飞行安全的后果。

在全球民航运输历史上，因为结冰条件造成的灾难性事件很多，这也是为什么 FAA、EASA、CAAC 等适航当局对于民用飞机的自然结冰都做出了相应的规定的原因。

进行自然结冰试飞时，对于试飞员来说有哪些挑战呢？第一，是能否找到规章要求的天气条件。在 ARJ21 飞机进行自然结冰试飞时，我们在乌鲁木齐附近进行了多次尝试，但最终我们只取得了很少的一些试验点，难度很大。第二个挑战是，

即使找到了自然结冰的天气条件，如何认识我们飞机的防冰能力、除冰能力，包括发动机能否正常工作？第三，结冰以后对于飞机的性能操稳有哪些影响，还是不是我们熟悉的那款飞机，能不能继续安全飞行？这都是我们的挑战与疑问。

经过调研，最终我们还是选择了北美五大湖区，这里是制定自然结冰条款的发源地。2014 年 3 月到 4 月初，我们在五大湖区执行了很多架次的试飞，但是只完成了包括飞机系统、发动机、APU 等等这些科目。最重要的、安全风险最大的、带冰条件下的操稳科目依然没有完成，因为没有找到相应的、符合规章要求的结冰条件。在现场的参试人员都很焦急，因为随着气温的逐渐升高，有这样天气的可能性也越来越低。

现场的气象专家告诉我们说，有可能当年没有机会了，需要 2015 年重新来过。大家知道，为了去五大湖区做自然结冰试飞，我们投入了大量的人力物力，加上飞机的转场，这是一笔巨额的预算。如果重新来过，将造成极大的浪费和损失，同时也会对我们飞机的取证带来不利的影响。

我们坚持不放弃任何一次机会，又执行了两个架次的飞行。按照气象专家的预测，这两架次的试飞选的是可能会有结冰条件的区域。但是很遗憾，在将近四个小时的试飞中，我们一直未能找到有结冰条件的区域，而燃油逐渐消耗，越来越接近我们要返航的油量点。

我们决定返航。在回程路上，我们偶然注意到在航路右侧有块区域，云顶高和我们的飞机高度差不多，温度正好在零下 10 到 15 度左右。而且云顶上面，因为有阳光照射产生的炫光，一看就明白水汽很足，我觉得这是一个机会，不管怎么说我们都要做一次尝试。经过机组讨论，在确保安全的前提下，我们决定放手一搏。如

果天气不满足要求，我们继续返航，如果天气符合要求，我们就在里面完成相应的自然结冰的科目。万一油量不够，我们就就近找机场备降，加完油以后再返航。

机组达成一致意见以后，我们迅速飞向这块云体。刚刚进入云体，我们就发现，在我们飞机的风挡玻璃的非加热部位，迅速发现了冰集聚的现象。我耳边传来试飞工程师激动的声音。他说机长，机载设备显示，不管是温度、水汽颗粒含量、水汽颗粒的直径大小，都满足我们规章的要求。听到这个话以后，我们来不及细想，立即开始申请相关的空域。我们在云体里面盘旋，努力让冰集聚符合规章的要求。很快，冰就积起来了，满足3英寸的要求。

自然结冰试飞和航班运行不同，航班运行要求避免结冰条件，有冰要尽快脱冰，我们这个试验的要求是要尽快结冰，而且让冰集聚起来，不要脱落。我们迅速爬升高度，到更冷的地方把冰冻结实，以确保我们在后续飞行的时候，不至于因为冰脱落超过1/3，而造成试验的失败。

到了相应高度以后，我们迅速进行了包括大高度盘旋，带冰条件下进行各个构型的失速试飞。在试验过程当中，我们要密切关注的问题：一是冰会不会脱落，导致冰失效；第二，在带冰条件下，飞机不会出现不正常的飞行，危及飞行安全。

事后也有人问我，你紧张吗？我说没有时间紧张。紧张的环节，我们在地面起飞前已经完成了，我们做了大量的准备工作，就等着这一刻。完成试验以后，由于油量紧张，我们迅速开始下高度、脱冰，准备落地。因为没有时间想别的事，当时需要尽快落地，保证安全。落地以后，我们收拾完行李、飞行装备、打开舱门，忽然发现我们在场的几十号人涌向飞机，非常激动。有的人在呐喊、拥抱，甚至还流下了激动的泪水。这个时候我们突然发现，

这一架次的试飞解决了四年来一直苦苦追寻的天气条件，也完成了相应的试飞，很不容易。

有一张照片是我们很多参试人员都珍藏的，很多人做了一个手势，什么意思？三英寸的冰，我们成功了，在带着三英寸冰的条件下完成了相应的试飞。

大侧风试飞：数据远超规章

在试飞当中，还有一个科目让我记忆特别深刻，那就是大侧风的飞行试验。我们知道，在侧风条件下，如果想要保持飞机的稳定状态就需要做一些修正，比如说风来自左侧，我们必须通过小的修正角来保持飞机的运行轨迹和跑道中心线平行，才能够安全落地：用方向舵蹬正主轮，防止接地以后迅速冲出跑道，这是一种方法。还有一种方法，接地以前通过向左侧压坡度使机身的纵轴与跑道中心线平行，来保持落地。

在小侧风条件下，这些没有问题。在大侧风条件下，上述任何一种方法都会带来安全隐患。如果用纯粹的偏流法来修正，因为大侧风要求更大的夹角，那就会有一个更大的侧向扭矩，有可能对主起落架造成损伤甚至是损坏。如果压坡度，则需要更大的坡度来抵御侧风的影响，对于大飞机来说，可能造成翼擦地或发动机擦地，从而危及飞行的情况。所以，对于大侧风来说，需要更好的操控技能，用综合法来保证飞行安全。当然，这也对我们的飞行技能提出了很高的要求，在关键的时候基本驾驶技术是非常重要的，是保证安全必不可少的一个要素。

一个好的飞行员应该能够做到在大侧风发生之后，迅速把飞机修正到正常的轨迹上。但这是一个优秀的飞行员吗？还不够。和修正不好、回不到原来飞行轨迹的



飞行员相比，能做到这一点就是好的飞行员。但是作为一个优秀的飞行员，光是能够迅速修改偏差、修正还不够。优秀的飞行员应该能够做到在偏差发生之前，就要有预判动作，在偏差继续扩大之前，就要把这种状况抑制。

我们在航空公司带飞的时候，经常跟学员说，你要用你所有的感知来飞行，眼睛是不够的，当眼睛看到偏差，其实你已经有很大的偏差了；注意你腿部的感受，腿和座椅紧密度的感受，当你腿部一紧，你就知道飞机有上抬的趋势，如果不做预判，飞机很快就会抬起来，偏离正常轨迹，这个时候你就需要在偏差发生之前，能够快速预先抑制它的偏差的发生。

为了进行大侧风试飞，我们在嘉峪关追风三年，但受制于各种条件，特别是风的条件，最后我们去了冰岛来实施我们的试飞。

选择冰岛，是因为冰岛的机场常年有30节以上的大风，特别是它有一个十字跑道，当正常航班运行在一条跑道的时候，我们可以使用另外一条跑道获得最大的侧风来进行相关的试验。

在冰岛，为了完成好这个试验，所有

的参试人员都很努力。我们也为了迎接这个风，一直在进行高强度的训练，确保飞行状态。我们一共完成了14个架次、32个小时的飞行，顺利完成了大侧风试验。

最终我们获得的数据平均正常的风量在将近40节，阵风达到48节，已经远远高于很多机型的侧风限制。

所以大家可以看到，作为一个试飞员，还需要高超的驾驶技术、扎实的理论支持。如果在空中出现一些特情，能够及时、安全、有效地处理，但是仅仅做到这一点还不够。作为一个好的试飞员，首先他还应该是一个科研人员，我们在驾驶舱的工作除了正常验证包线，甚至有些时候，还要体验飞机的性能，并且要用最精准的操纵技术，获得工程人员所需的数据。如果飞机发生问题，在航后我们还需要用工程语言和设计人员交流，帮助他们一起完善飞机。

作为试飞员来说，我们就是在驾驶舱体验十的负九次方，保证飞行安全，这也是对试飞员最基本的要求。（作者为上海适航审定中心试飞室副主任、国际试飞员协会会员、局方试飞员）■

封面文章

ARJ21

万里寻冰记

文 | 庄敏

2014年3月19日，是许多人生命中平凡的一天，但对于ARJ21飞机的研制团队来说，这一天足以让其铭记一生。

在哈尔滨太平国际机场的跑道上，红白涂装的ARJ21飞机架机将从这里出发，远赴14000多公里以外的加拿大万里寻冰，完成4年未能终结的自然结冰试验。

2014.3.19

1044

清晨 5 点，黎明破晓，淡青色的天空还镶着几颗稀落的残星。3 名机务人员早早来到停机坪，对飞机进行最后的检查。与普通民航航班的机务不同，作为 ARJ21 飞机的“保健医生”，此次，他们将随机飞行，并全程负责飞机的“体检”和维护工作。

驾驶舱内，飞行员赵鹏和赵生正在对照飞行员检查单进行起飞前的最后准备。在此之前，这对组合已驾驶 ARJ21 完成了失速试飞、最小离地速度试飞等多项高风险试飞科目，但今天也许是他们成为飞行员以来，航前准备最细致的一次。如此远距离的转场，不仅是对飞机性能的全方位检查，也是对飞行员综合素质的考验。

上午 8 点，塔台下达放飞指令，ARJ21 飞机腾空而起，搭载着几代航空人梦想的新支线飞机将从这里走出国门，创造历史。

寻冰，为何舍近求远？

许多人也许会觉得奇怪，中国 960 多万平方公里的国土，难道就没有符合自然结冰试验条件的地方吗？中国商飞为何要不远万里，远赴加拿大完成试验？这个试验究竟有多重要？

从美国联邦航空局（FAA）最新的统计资料中，我们也许能够一窥究竟。目前，每年全球约有 30 起因结冰引发的安全事故。1991 年 12 月 27 日，一架 MD81 飞机从斯德哥尔摩机场起飞后不久，两台发动机因吸入了从机翼上脱落的冰块而停车，飞机紧急迫降，在机场外着陆，机体断为三截；1994 年 10 月 31 日，西蒙斯航空公司一架从印第安纳波里斯飞往芝加哥的航班，由于在利于积冰的气象条件下飞行了 30 分钟，突然失速并从大约 10000 英尺的高度坠落，机上 68 人全部罹难；2002 年 12 月 21 日，台湾复兴航空的一架 ATR72-

200 飞机由于机翼严重结冰而失速坠海。有鉴于此，结冰问题一直是飞机制造商和适航当局最关注的安全问题之一。

目前，中国民航局 CCAR25 部明确规定，民用运输机必须在极其苛刻的特殊气象条件下进行自然结冰试验试飞。其目的在于检测飞机的机翼、风挡、发动机短舱等部位的防冰与除冰功能是否能够保证飞机的活动面在严酷的自然条件下正常工作。

为满足适航当局的要求，ARJ21 飞机从 2010 年开始了自然结冰试验的征程。项目研制团队曾 4 次奔赴新疆地窝堡机场，却仅在 2012 年 3 月 19 日抓住了一次符合条款规定的气候要求，完成了部分自然结冰条件下的机翼、风挡、短舱防冰相关的试飞内容。那么，为何这项国外申请人和局方用 20 ~ 40 个飞行小时即可完成的试飞科目，却成了 ARJ21 飞机取证路上的拦路虎呢？

一组数据也许能从侧面反映 CCAR25 部附录 C 对民用运输机实施自然结冰试飞的云层状态、大气环境温度、云层微物理参数的严苛要求：连续最大结冰试验时液态水含量在 0 ~ 0.8g/m³，水滴直径在 15 ~ 40 微米；间断最大结冰试验时液态水含量在 0 ~ 3.0g/m³，水滴直径在 15 ~ 50 微米。但对于新疆这么一个气候干燥的地区来说，无论从水滴直径还是液态水含量考虑，显然不是一个最佳的试验地点。

另一组数据，能够反映出自然结冰试验对于空域的要求。在进行操稳试验时，要求飞机机翼未防护表面在结成 2 ~ 3 英寸厚度的冰型后，进行 45 分钟的不间断飞行。且不论新疆的气候条件能否让飞机结出满足适航要求的冰型，仅 45 分钟的带冰飞行就需要至少十几万平方公里的空域。但由于我国空域管理十分严格，ARJ21 在试飞过程中必须严格按照事先申

请的航线和空域进行飞行，即使在飞行过程中，发现满足试验条件的云层，如果不规定的空域范围，也只能“望云兴叹”，这也造成了“飞机等云”的被动局面。为了改变“守株待兔”的试验模式，2013年中国商飞联合中国航空工业集团试飞院，协调多方力量，在新疆申请了16.5万平方公里的试飞空域，并在乌鲁木齐、克拉玛依、福海三地设立监测点，实现三地联合追云试飞，这已是当时自然结冰领域最为先进的试验方法了。然而可惜的是，ARJ21依旧未能遇到满足试验条件的天气。

面对飞机取证交付时间的日益临近，“走出国门做试验”的念头在项目团队领导的脑中浮现。而事实上，这个想法早在两年前就已经有了雏形。时任ARJ21项目总指挥罗荣怀介绍，利用全球资源进行飞行试验在民航业并不是一件新鲜事。以空客为例，A320的高寒试验是在俄罗斯完成的，大侧风试验则在冰岛完成。因此，在国内捕捉合适天气无望的情况下，2012年，ARJ21项目总设计师陈勇和试飞员赵鹏就曾先后赴北美和欧洲进行考察，最终选定北美五大湖地区的一个很重要原因是，FAR25部中对于自然结冰气候条件的判据是根据北美五大湖地区的气候条件制定的。如果能够到五大湖地区进行试验，寻找适合的天气自然不在话下，但真正的难点在于中国商飞如何能像行业巨头那样动用全国乃至全球资源完成这次试验。

迎着暴风雪前行

幸运的是，中国商飞公司的这个想法很快得到了国家部委的首肯。国务院、外交部、工信部、民航局都给予了项目组大力支持。同时，作为主制造商的中国商飞公司和此次试飞任务承担单位试飞院也做

了大量细致的技术准备工作。4个月时间内，项目组完成了飞机调机方案、试飞组织方案、应急排故预案、备件保障和当地入库方案等数百份文件，为ARJ21第一次走出国门做足了功课。

3月15日，ARJ21飞机从阎良起飞，3月19日，从黑龙江省出境，开始由西向东穿越整个北半球，飞赴底特律河畔的温莎机场。尽管在出发前，机组已经了解到这个季节俄罗斯境内经常会有暴风雪天气，但飞机在白令海峡西侧所遭遇的恶劣气候条件依然出乎了所有人的意料，飞机不得不在原地等待了7天。在天气稍微转好之后，飞机再次出发，并在俄罗斯远东的阿纳德尔附近经受了大风、低温、暴风雪、越洋等多种考验。

据担任此次试飞转场任务的飞行员赵鹏回忆，飞机在阿纳德尔机场着陆和起飞的时候，跑道宽度的三分之一、长度的四分之一完全被积雪覆盖，飞机几乎是在雪堆上滑行着去加油的。当飞机完成加油起飞时，暴风雪再次袭来，强风将地面的雪卷起来，空中的能见度很低，并伴有风切变。即便在如此复杂、恶劣的气象条件下，飞机依然经受住了考验，表现出了良好的性能。

穿越白令海峡，进入美国阿拉斯加之后，北美的空中管制员对飞机表现出了极大的兴趣。从安克雷奇到乔治皇子城，从克利夫兰管区到芝加哥管区，几乎每更换一个频率，每换一个扇区，空中管制员都会问同一个问题：“你们的飞机是什么型号？”这时，我们的飞行员会骄傲地回答他们：“这是中国自主研发的新型支线喷气客机——ARJ21。”而有的空中管制员还会进一步问道，ARJ21是什么寓意？我们的飞行员则会向他们解释：A代表Advanced，RJ是Regional Jet的缩写，ARJ21寓意这是一款21世纪先进喷气支线客机。如果遇上爱聊天的管制员，他们

还会对飞机评价一番：“你们的飞机与波音 737-800 的飞行精度、巡航速度与高度几乎相同。”

一路上这种友好的空中对话，反映出国际社会对于中国民机产业的关注。在一些拐点相对较多的航线上，友善的空中管制员会让 ARJ21 优先直飞，这也在一定程度上加快了飞机转场的速度。

3月28日，在经历了14天的长途飞行后（停飞等待7天），加拿大时间上午10时02分（北京时间晚上11时02分），ARJ21飞机平稳降落在加拿大温莎机场。在本次飞行中，ARJ21飞遍了世界领土面积排名前四位的国家，中国人研制的飞机第一次翱翔在了世界发达国家的领空！

温莎机场的“A380”

温莎机场位于加拿大南部的安大略省，其东面不远处的魁北克省是庞巴迪公司的总部所在地。与北美众多通用飞机机场一样，温莎机场尽管面积不大，但每天迎来送往的小型通用飞机却络绎不绝。红白涂装的 ARJ21 飞机刚刚落地，就被当地的地勤服务人员戏称为“温莎机场的 A380”。

短暂的调整和适应性飞行后，4月1日，ARJ21飞机正式开始了北美自然结冰局方审定试飞。

为了确保试验顺利展开，中国商飞公司选择了曾经为巴航工业 ERJ170/190、庞巴迪 CRJ700/1000 北美试飞提供气象支持的 NTI 公司作为此次试验的合作伙伴。后者在试验中，为 ARJ21 提供结冰气象保障、飞行保障以及与塔台的机上无线电通讯联络和空域的机上申请服务。

在第一天的航前准备会上，NTI 公司气象专家的专业化服务给局方试飞员赵志强留下了深刻印象。

“之前在国内进行试验时，由于我国民机事业起步较晚，可供自然结冰试飞参考使用的气象资料几乎没有。每次航前会上，气象预报只能告诉机组大约在哪里会有结冰云，但水滴直径、过冷水含量等对试验成败起关键作用的数据几乎没有。而此次在加拿大，NTI 公司的气象专家，不仅能够详细地预报结冰气象出现的时间、位置和高度，还能给出水汽含量、结冰云移动轨迹等关键参数，甚至还能根据经验详细指导飞行员具体的飞行路径，并提前准备遇上恶劣天气时的逃离路径。这为机组有的放矢地进行追云试飞提供了有力保障。”

然而，惊喜远不止这些。在讨论备降机场时，NTI 公司负责申请空域的工作人员，一股脑地为机组列出了附近 50 多个可供选择的备降机场，并表示如有需要在飞机上随时向空管申请备降。

此外，作为本次试验的本场，为了保障 ARJ21 离场安全，温莎机场还专门为其“量身定制”了系留桩，并允许项目组在机场安装摄像头。种种这些专业化的服务，都是保障日后飞机顺利完成试验不可或缺的一环。

寻冰易，留冰难

在乌鲁木齐进行的多次自然结冰试验，尽管由于天气原因未能完成所有试飞科目，但是在这个过程中建立起了一支自然结冰试飞队伍，并在一次次挫败中磨练了队伍的试飞组织与管理能力。

在此基础上，借助五大湖地区得天独厚的气候条件，ARJ21 飞机自然结冰系统试飞科目进展顺利，几乎每天都有捷报传来：

4月1日，成功申请美国航线，并完成首次自然结冰试验跨境飞行；

4月4日，完成慢车状态风扇冰积聚、

单发引气构型防冰系统试飞、结冰条件下的 RAT 释放等关键科目；

4月5日，“巧遇”间断最大结冰气象。局方试飞团队抓住难得的机遇，完成了层云间断最大结冰试飞。这一天，机组经过2个架次、近6个小时的追云飞行，完成了应急供电、失速保护、失速告警等多个科目的试飞。

至此，ARJ21飞机通过7个架次的飞行，完成了所有11项系统试飞科目。

然而，项目团队还没来得及庆祝，就从局方获得了一个令大家颇为沮丧的消息。由于在进行操稳试验时，冰型未达到CCAR25部的要求，所有操稳试验点都要全部重飞。

这就带来了一个新的问题。如果说前期系统试验成败的关键在于如何找到符合条款规定的气候的话，那么操稳试验的关键就在于如何让飞机尽可能久地保持冰型。因为前者要验证的是飞机的防冰和除冰能力，后者则是要验证飞机结冰后是否能够安全运行。

目前，根据条款规定，飞机要在机翼未防护表面的结冰厚度达到2~3英寸的前提下，完成一系列操稳动作。为了满足这个要求，局方试飞员不断在云端进行各种尝试，但效果却不尽如人意，往往是好不容易结到3英寸，刚刚脱离云层准备做动作时，或者试验进行到一半时，冰就脱落了。尽管试飞团队后来通过与NTI气象专家的沟通，了解到逆温层是造成冰脱落的主要原因之一，并在后续的试飞中避开了有逆温层的区域，但是脱冰的现象依旧困扰着项目团队，直到4月8日上午，操稳试验依旧没有获得实质性的进展。

最后5分钟的尝试

据赵志强回忆，4月8日上午，和往

常一样，6点航前准备会准时开始。在会上，NTI的气象专家表示，当天的气候条件不太理想，飞机完成试验的概率不超过30%。但即便只有1%的希望，大家仍然不愿意放弃。在完成了航线规划和备降机场选择之后，上午8:00，试飞团队准备登机开始新一轮的追云逐冰。

上午9:40，ARJ21从温莎机场起飞，沿既定路线进入结冰云层。然而，与之前的预测一样，尽管完成了两次有效结冰，但在进行操稳机动试飞前冰就脱落了。无奈，在经历了2小时33分钟的飞行后，寻冰无果的机组只能按原定计划降落在圣休伯特机场。

飞机落地后，机组在与气象专家沟通后了解到，下午该机场附近可能会出现满足试验条件的气候。在经过短暂休整之后，下午14时27分，飞机再次起飞，直奔既定云区。

到了结冰区域后，机组发现气象条件依然不是十分理想，结冰的厚度最大不超过1.8英寸，始终达不到条例要求的2英寸，同时还伴有脱冰现象。而此时，机组已经在空中飞行了近2个半小时，与温莎本场的距离也已达到600海里。考虑到飞机上的油量已不太充裕，再加上返回温莎机场的路上只有一个备降机场可供使用，似乎这次试验又要劳而无功了。

驾驶舱内，局方试飞员赵志强的脑中在精确计算着飞机剩余的油量。凭借两年来对飞机性能的不断熟悉，他预计在满足安全返回本场的前提下，还有约5分钟油量可以再做一次尝试。如果依然不成功，机组就立即提升飞机的巡航高度，返回温莎机场。

作出决定后，飞机旋即再次进入云区。也许是天道酬勤，刚进云区后不久，飞行员就发现在风挡的未保护区域迅速出现了冰点。赵志强立刻让随机的试飞工程师对

云区的气候参数进行监测。不到一分钟，试飞工程师兴奋地回复道：“气候条件非常好，完全符合规章的要求。”

机组立即向空管申请在原地盘旋，并提前申请了 4000 到 5000 英尺高度的机动空间。一分钟后，加拿大空管就给予了肯定的回复。

在试飞工程师实时监测确定冰型满足条件的前提下，赵志强一气呵成地完成了包括未放起落架构型下的爬坡度盘旋、大坡度转弯盘旋、光洁条件下的失速特性飞行和带起落架条件下的大幅度盘旋在内的多项高风险操稳试飞科目。随着时间的推移，试飞员有条不紊地完成了所有适航条款规定的自然结冰条件下的操稳试飞。但此时，他根本顾不上高兴，因为飞机剩余的油量已经十分有限了。

在与空管联系后，飞机迅速爬升至 28000 英尺的高度返回，但此时机组发现，由于气温过低，之前所结的冰迟迟没有脱落，而带冰飞行大大增加了飞机的油耗。为了尽快脱冰，机组尝试提高飞行速度，希望借助气动增温来加速脱冰，但效果依然不明显。此时，负责飞行安全的申请方试飞员赵生建议，按照目前的情况，如不出现意外，飞机在落地时的剩余油量将在 2 吨左右，符合安全标准。因此，机组放弃了继续脱冰的尝试，决定带冰飞行。

临近温莎机场，飞机下降飞行高度时，飞行员发现陆续开始有冰脱落。此时，飞行员悬着的心再次被提起，立即开始关注发动机的相关参数和飞机上的摄像设备，以确保第一时间了解这些脱落的冰是否被吸入发动机。令人欣慰的是，整个脱冰过程，ARJ21 的发动机状态平稳，没有出现任何超出飞行员意料的情况。

18 时 28 分，在连续飞行 4 小时 01 分钟后，ARJ21 安全降落在温莎机场，飞机剩余油量 1.6 吨，困扰了项目团队四

年的自然结冰试验所有局方审定试飞项目圆满完成。

ARJ21 一小步，民机产业一大步

“四年追云逐雪事，一朝梦圆报国家。”这是时任 ARJ21 项目总指挥罗荣怀在完成试验后的感慨。对于 ARJ21 项目本身来说，北美之行攻克了取证路上的拦路虎，对于中国民机产业的发展来说，项目团队成功利用全球资源，走出国门完成试验，为后续机型完成特殊气象试飞任务开辟了新的道路。

在此次试验中，ARJ21 飞机横跨亚美欧三大洲，飞越太平洋、大西洋两大洋，完成了北半球自西向东、总航程 30000 公里的环球飞行，沿途经停 10 个国家的 18 座机场，向世界展示了中国民机产业的新面貌。

试验的顺利完成，一方面标志着 ARJ21 飞机具备了在极端恶劣天气条件下安全运营的能力，另一方面也标志着申请人和局方完全掌握了自然结冰试飞领域的相关技术，其中包括试飞组织、准备、实施、决策、数据分析以及对条款符合性的判断。

同时，局方试飞员在试验中所积累的经验，还能为航线飞行员提供相关领域的培训，如告知飞行员什么样的气候容易结冰，应该避免，以及万一结冰之后，如何快速脱冰等。这些培训对飞机的安全运营具有重要的指导意义。

值得一提的是，此次参与北美自然结冰试验的很多都是年轻人，以试飞工程师团队为例，很多都是年轻的 80 后。这些在项目中成长起来的年轻人，让世界看到了中国民机产业发展的蓬勃朝气。■

封面文章

结冰安全技术： 从源头保证飞行安全

文 | 赵克良

美丽的水滴，这么一个小精灵是如何变成冰的？结成冰以后对飞行有什么影响？飞机设计是如何保证飞行安全的？这就是我所从事的工作要考虑的问题。



一百年前，美国物理化学家约西亚·吉布斯等人提出了结冰成核相变经典理论，但这么多年来一直没有人用实验来证明这个理论的正确性。很荣幸，中国科学家于2019年12月19日在英国的《自然》科学期刊上发表了研究论文，用实验揭示了结冰成核理论的正确性。

美丽的水滴，这么一个小精灵是如何变成冰的？结成冰以后对飞行有什么影响？飞机设计是如何保证飞行安全的？这就是我所从事的工作要考虑的问题。

飞行安全的致命杀手

飞机在空中飞行，迎风面上会感知到来流，来流中如果有过冷水滴，在迎风面上就会有结冰，比如机翼、发动机唇口、发动机的风扇叶片、机头各种传感器，以及机头等部件都有可能结冰。

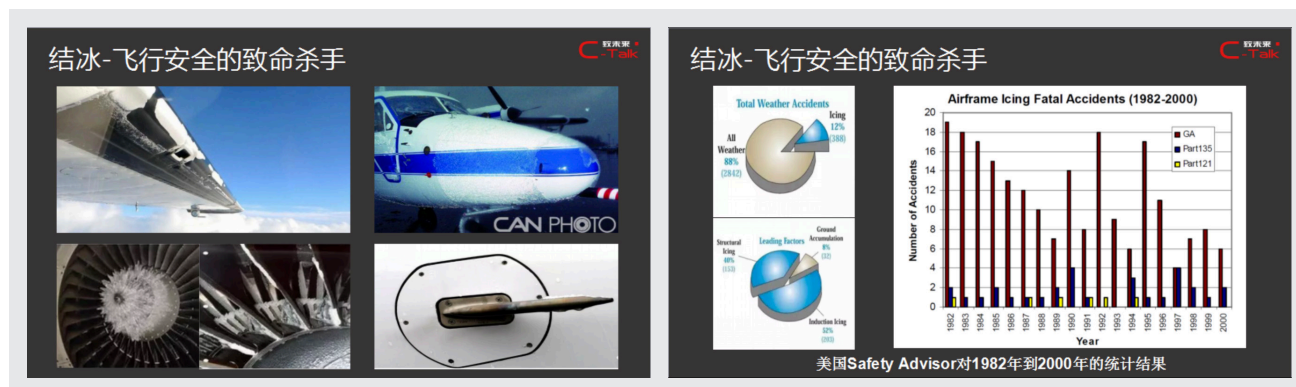
根据1982年到2000年的统计，在所有气象导致的不安全飞行事件里，由于结冰导致的不安全事件占12%，其中地面防除冰工作占8%，发动机唇口结冰导致的占52%，机体结冰占比是40%。再细化统计，按（中国民航规章体系的）CCAR121部（《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》）运行的大飞机，结冰导致的不安全事件每年出现1次左右，而大量结冰导致的不

安全事件是在通用飞机，即我们通常所讲的小飞机上发生的。

1982年1月13日，佛罗里达航空公司90号航班，起飞不久后就失速坠毁，执飞机型是波音737-200型。事后经过调查发现，第一个原因是实施地面防除冰措施以后，飞机起飞时刻已超出了除冰液时效半小时。第二个原因是雨雪把飞机的转速传感器覆盖了，导致飞行员读出错误的EPR数据，也就是推力读数。还有一个原因是机翼上的积雪融化后，水并没有流完，反而在机翼后部结了冰，改变了机翼气动特性。这些因素结合起来，导致飞机离地以后很快失速坠毁。

国内也有一个典型事件，2004年11月21日，东航MU5210航班，执飞机型是庞巴迪CRJ-200，没有做好地面防除冰工作，在机翼和平尾有结霜的情况下，起飞以后进入失速状态，最终导致飞机坠毁。

1994年10月31日，美国鹰航公司4184航班，在进场待机过程中发生失速坠毁，执飞机型是ATR72。事后调查发现，当时飞机遇到的过冷大水滴，超过了适航对气象参数的规定。这个事件推动了国际社会对过冷大水滴导致结冰现象的研究。2015年1月，FAA颁布了新的140修正案，同时在FAR25部附录O里要求新的飞机型号要进行过冷大水滴的结冰适航验证工作。



目前，国际上还没有一款飞机型号按照过冷大水滴适航条款要求获得适航证。

2008年11月27日，德国XL航空公司888T号航班，对一架空客A320飞机执行自动驾驶功能飞行测试工作，在返回途中飞机失速坠毁。事后调查发现，是由于地勤人员做飞机表面清洗时用高压水枪喷到机头传感器区域，水进入传感器。这架飞机在执行任务过程中曾经飞到过39000英尺的高度，传感器里的残余水被冻结。飞机下降高度以后，在低空做测试时，由于风标冻结，没有触发保护功能，导致飞机失速坠毁。

2009年6月1日，法国航空公司447号航班，执飞机型是空客A330-203型飞机，在大西洋上空飞机失速，直接坠入大西洋。事后调查发现是由于在高空中，空速管结冰，引发空速不一致等一系列错误信号，导致这个悲惨事件。

结冰适航要求

飞机在哪些飞行阶段会出现结冰现象？根据1982年到2000年的飞行数据统计，飞机在各个飞行阶段，从地面滑行到着陆，都有可能遇到结冰的气象。在巡航过程中，结冰气象产生概率将近40%，而在起飞阶段和进近阶段遇到结冰的概率也很高。

在什么样的条件下飞机会结冰？在上世纪四五十年代，美国人做了大量的气象研究，通过数据统计和参数回归，寻找到了结冰气象的关键影响参数，主要是：大气温度在 0°C 至 -30°C 之间，平均水含量LWC在0.04至0.8克/立方米之间，平均水滴直径大小MVD在15至50微米之间。这些气象参数已经在FAR25部附录C里进行了规定，也就是说，所有要获得适航证的民用飞机都要按照25部附录C上规定的

气象参数进行结冰设计工作和试飞验证工作，只有完成这些工作以后，才能证明这型飞机具备在结冰气象条件下安全飞行的能力。

不同部件结冰的危害

过冷水滴又是如何结成冰的呢？一个水滴撞到了一个物体表面，刚接触物面的这部分水，由于对流作用，温度会迅速降低，打到物体表面时会迅速结冰。由于结冰以后，会发出热使后面一部分水温度升高，温度高于 0°C ，蒸气压比周围蒸气压大，导致部分水升华，从而导致剩下的水也迅速降温，迅速结成冰。随着时间推移，在机翼前缘冰聚集的厚度和形状变化越来越大，这就是结冰的基本原理。

在飞机不同部位上会结有各种不同形状的冰型，小翼、吊挂、平尾、发动机锥上，冰型都是不一样的。这些各种不同形状的冰和处于不同位置的冰对整个飞行特性会造成什么影响呢？

结冰的位置不同，其对气动影响是不一样的。机翼主要提供飞机的升力，机翼前缘结冰以后，会导致机翼失速特性恶化，飞机使用包线会缩小；平尾主要负责给飞机提供平衡力矩和进行纵向操纵，失速攻角降低以后，可能使飞机提供的平衡能力不足，飞机就会失稳。

如果发动机短舱唇口结了冰，有可能导致进到发动机里面的气流流场恶化。如果流场恶化比较多，会导致发动机发生喘振，严重的话甚至可能导致熄火。如果唇口结的冰产生脱落，可能会导致发动机叶片损伤，使性能降低或者发动机的振动超标。

如果飞机风挡结了冰，就会遮挡机组视线，对起飞、着陆阶段影响非常大，

形成很大的安全隐患。飞机机头有大量的传感器，如攻角传感器、总温传感器、总静压传感器等，如果传感器结冰，就会提供错误的信号，导致飞行控制系统的紊乱。

结冰安全设计技术

飞机设计是很复杂的系统工程，涉及几十个专业，结冰跟环控、结构、气动力、飞行品质（控制律）、试飞、适航等专业都息息相关，只有这些专业共同按照这个目标去努力，才能保证飞机具备在结冰天气下安全运行的能力。

环控专业主要使用防除冰技术，防除冰方法最常用的是气热防冰，就是把热气从发动机引到机翼前缘或短舱前缘，对前缘蒙皮加温，使其温度高于 0°C 。当有过冷水发生撞击时，撞击的过冷水也会因为蒙皮温度比较高而蒸发。

风挡和机头各种传感器使用的防除冰方法是电加热防冰。飞机在地面，主要是化学防除冰方式，即防冻液，目前主要使用的是 3 型防冻液。以前的老式飞机使用电脉冲防冰，这种方法有缺陷，如果时间控制不好，会导致机翼蒙皮烧穿。通用飞机上使用比较多的方法是气动带除冰技术，即除冰气囊，这种方法由于会对飞机前缘外形造成不利影响，所以在在大飞机上用得很少。

现在学界还在针对防除冰技术开展持续研究，主要目的是尽可能降低能耗，提高防除冰效率。目前，国内外研究比较热的方向主要有超疏水表面涂层防除冰技术，还有超声波、红外线、微波等等都在研究，但目前都还没有进入到实用阶段。

虽然飞机部分部件上应用了防除冰技术，但还有未防护的表面，对于未防护表面怎么样做工作，这就需要气动力和飞

行品质专业开展详细研究。在飞机设计领域，首先在定义飞机初步外形后，先用快速评估方法形成的初始临界冰型进行气动特性计算或风洞试验，寻找结冰敏感区域。根据结冰敏感区域开展防冰系统布局论证，最终确定防冰系统设计方案。在未防护表面，结冰后气动影响都是通过气动优化设计和控制律来保证安全的。

局方在进行适航审查时会重点关注临界冰型如何界定。工业方通过工程估算、数值计算、冰风洞试验来确定一个临界冰型，然后向局方表明这款飞机的条款符合性。局方批准后，在验证阶段就可以用临界冰型开展干空气的风洞试验，得到各种气动力数据，供性能操稳专业进行分析。同时开展干空气模拟冰型试飞，最后以此为基础开展自然结冰试飞演示。通过这么一个设计循环以后，飞机就具备了在结冰天气下安全运行的能力。

各种不同的输入条件产生各种不同的冰型，什么样的冰型对气动力影响最严酷，这种冰型就被称为临界冰型。由于机翼尺度比较大，我们必须缩小模型尺寸，即冰风洞试验用到的混合翼模型设计技术。

在千变万化的冰的形状里还需要尽可能去简化，找出特征明显的冰型，主要依据是简化后冰型的气动力影响与未简化冰型一致。简化的目的是降低风洞试验的实验量和模拟冰型的试飞周期，降低飞机研制成本。

当机翼没有冰型时，流场很平顺，当前缘有了冰型，在小攻角下就开始出现比较大的分离气泡，攻角达到一定程度就会产生严重分离。这就是结冰后气动特性变差的直观体现。

我们在研究冰型气动的影晌时，也不能忽视粗糙度冰型的气动影响。飞行员意识到可能有结冰天气时，就会开防冰装

置，从打开到把机翼前缘温度提升上来，有一个2分钟左右的时间差。由于未完全蒸发，水滴在机翼表面会形成一些粗糙度冰，在某种情况下它的影响也非常大，所以粗糙度冰也是我们关注的一大重点。

如何通过控制律的设计来保护飞行安全呢？在控制律里设计有结冰提前模式，有时间延迟（DTO）、系统故障和待机模式，通过这三个典型模式，边界保护功能能够涵盖CCAR25部121修正案里规定的9种结冰形态产生的气动影响。根据系统安全性分析以及结冰场景，对飞机何时进入到保护模态以及进入条件都做了定义，同时也定义了退出条件，使我们设计的控制律能够保证在结冰条件下飞行的安全。

在验证环节上，局方关注的重点是有效性。有效性是通过研究适航条款和安全性分析结果以及场景分析，定义这些输入状态、计算方法和判据，最终保证验证结果的有效。

既然结冰对飞行安全影响很大，那么，如何保证试飞安全呢？要通过对模拟冰型风洞试验数据分析，找出临界状态，即气动影响最大，并合理地在试飞过程中制定分步实施的方案逐步开展工作，确保试飞安全。

模拟冰型试飞科目，是在飞机不同部位加装模拟冰型，然后进行飞行性能、飞行品质等科目适航验证。在完成干空气试飞科目后，还要按照§25.1419条的规定进行自然结冰条件下的飞行演示。

ARJ21的成功经验

中国商飞ARJ21飞机完整地按CCAR25部要求开展了适航审查工作。在模拟冰型试飞中，在机头、机翼前缘、垂尾、平尾、吊挂上都布置了模拟冰型。

甚至在两段缝翼交接处，也布置了模拟冰型，以模拟该部位未防护的效果。经模拟冰型试飞验证后，于2014年成功开展自然结冰飞行试验。

我们曾经在乌鲁木齐开展了四次ARJ21飞机自然结冰试飞，但是由于国内符合适航要求的结冰气象条件难以捕捉，所以均未成功。最终在加拿大五大湖地区顺利地完成了自然结冰的演示验证。ARJ21飞机也于2014年年底取得了型号合格证。

在ARJ21飞机结冰适航取证过程中，技术团队攻克了很多难关，形成了完整的结冰技术体系。未来，在结冰研究领域还需继续开展研究工作，比如在气动力设计领域，要开展容冰控制技术，即在机翼设计中引入结冰设计约束条件，优化设计机翼，尽可能少结冰，或尽可能减少结冰形状对气动力的影响。在水滴云雾场方面，对过冷大水滴的结冰机理和计算仿真模型开展研究，目前在国际上是全新的挑战。

在冰风洞试验技术里还有多段混合翼设计技术，不过目前国际国内也还没有成熟的设计方法。随着公众对安全水平的要求越来越高，导致飞机系统设计的复杂程度越来越高，飞机研制成本也会“水涨船高”。飞机总体设计需综合平衡，如何在飞机的安全性和系统复杂性中间取得平衡，这也是未来研究的重点方向。

虽然ARJ21飞机的研制带领我们走过了自主研发的全过程，突破了很多关键核心技术，但是未来还有很长的路要走，比如过冷大水滴，相信在相关研究领域同仁的共同努力下，我们未来在结冰领域能够走到世界前列，能够做领路人。（作者为中国商飞公司C919型号副总设计师）■

封面文章

自然结冰试飞与积冰气象

文 | 蒋瑜

自然结冰试飞的目的是验证飞机在自然结冰环境下的操纵性和稳定性。自然结冰这个词主要在飞机制造行业内使用，自然结冰环境可以理解为“一种真实的可以产生飞机积冰的大气环境”。航空气象学上通常使用飞机积冰一词来指代飞机机体表面某些部位聚集冰层的现象。

影响飞机积冰的因素很多，除气象条件外，还有飞行速度、机型等因素。气象条件方面，大气温度、过冷水含量、过冷水滴大小等因素都会对飞机积冰产生直接影响。

过冷水与飞行安全

飞机在真实大气环境中飞行，大气中不可避免地存在一种气象要素，即“云”。云是由悬浮在空中的无数小水滴和（或）小冰晶组成的。在不同温度条件下，云由不同状态的水滴组成。一般认为，高于 0°C 的云由水滴组成，称为“暖云”；低于 -40°C 的云由冰晶、雪晶组成，称为“冰云”；温度介于 -40°C 至 0°C 之间的云，属于“冷云”，由过冷水滴、冰晶和雪花组成。

“过冷水滴”指温度为 0°C 以下，仍未冻结的水滴，它处于一种很不稳定的状态，只要轻微震动，就会冻结。过冷水滴与机体碰撞后在机体表面某些部位冻结并积聚形成冰层，引起“飞机积冰”。除由过冷水引起飞机积冰外，还有一种由高含水量的冰晶粒子引起的发动机积冰，这是由大量的冰粒子进入发动机内部而引起的。

通过在飞机上加装云粒子探测仪器，对飞机积冰环境进行飞行探测，是认识积冰云层的最有效手段之一。从20世纪四五十年代起，美国开展了大量针对飞机积冰环境的飞行探测试验，美国气象局的Lewis在分析大量数据的基础上提出描述积冰环境特征的物理量，奠定了适航条款附录C的基础。

20世纪80年代后，西方航空气象专家开始注意到大的过冷水滴引起的飞机结冰较小水滴引起的结冰更严重。1994年10月，一架ATR72飞机在芝加哥机场外盘旋等待时，因飞机结冰导致失速坠毁。事后调查认为飞机遭遇了过冷大水滴结冰。从此以后，西方航空气象学家及FAA（美国联邦航空管理局）均认为过冷大水滴气象条件引起的飞机结冰现象不同于自然结冰，而当时已有的自然结冰包线未包括过冷大水滴结冰的情形。

在FAA的推动下，北美地区开展了大量的飞机探测试验，自1995到2000年间，采用康维尔(Convair)-580飞机和“双水獭”(Twin Otter)科研飞机至少开展了134架次的飞行探测，积累了大量数据。对这些数据的分析，奠定了过冷大水滴附录O条款的基础。

针对飞机积冰，我国航空气象专业人员也开展了大量的研究，目的是防止飞机进入可能的积冰环境。对于无法避免的情况，通过开启防除冰装置，也可以有效避免积冰带来的危害。对于航空运营而言，只要对飞机积冰有一些宏观的了解，明白什么样的云中可能产生积冰，基本就够了。但对于自然结冰试飞来说，则必须反其道而行之。为验证飞机在自然结冰环境下的性能，航空气象专业最重要的工作就是寻找过冷水，需要从那些可能产生积冰的云中，精准定位过冷水的位置。在试验中，不仅要引导飞机通过穿云飞行，使得飞机非防护表面产生积冰，而且对于积冰的厚度、时间均有严格的要求，同时还要对云层进行微观观测，云层的物理特征需满足相关适航条款的要求。

国外的研究进展

传统的飞机积冰预报方法，主要根据气象学方法和经验判断，预报准确性不高。随着航空业的发展，对于飞机积冰预报的准确性提出了更高的要求，计算机性能的提升和数值天气模式的发展，为飞机积冰预报能力的提升创造了条件。天气模式中的云物理方案可以描述云相态和含量，对飞机积冰预报具有重要意义。

目前，综合运用卫星、雷达、地面站、闪电、飞行员报告结合模式预报的温度、相对湿度、过冷水、垂直速度等资料，采用模糊逻辑和决策树方法，建立的实时积冰潜势系统，已在美国实现业务化运行。飞机探测资料可以提高对积冰云层形成机理的认识，验证飞机结冰预报方法和多源资料反演结果，发现预报误差并分析成因，有利于提升飞机积冰预报水平。在北美开展的大量飞机探测，加深了航空气象专业对积冰环境的认识，同时也提升了飞机积冰预报能力。

中国迎头赶上

科技进步受工业需求牵引，我国民用飞机在起步初期遭遇很多坎坷，相应地国内航空气象领域对飞机积冰的研究也起步较晚。20世纪80年代末，为帮助我国首款按国际适航标准设计制造的轻型多用途飞机Y-12(II)型飞机打入国际市场，中国气象科学研究院受哈尔滨飞机制造公司委托，对国内自然结冰环境下的大气状况进行了探测和分析。

当时，在新疆乌鲁木齐地区，我国首次对飞机积冰环境开展了科学探测飞行。试验采用Y-12(II)型飞机作为试验平台，机上加装了美国PMS公司生产的云粒子探测仪器和用以估计积冰厚度的结冰标尺。

2014年以来，由于民机研制对于寻找国内自然结冰环境的迫切需求，我国湖北宜昌、安徽安庆、内蒙古呼伦贝尔地区采用加装了云粒子探测仪器的新舟60、运12飞机，中国飞行试验研究院在陕西西安地区采用空中国王飞机，先后组织了针对飞机积冰环境的科学探测。

这些探测的主要目的有两个，一是寻找国内适合开展自然结冰试飞的环境，二是验证并不断优化飞机积冰预报方法。通过一系列科学探测试验以及相关人员的不懈努力，加深了我国航空气象人员对于国内自然结冰环境的认识，同时加速了国内飞机积冰预报研究追赶国际先进水平的步伐。

近年来，我国自主提出的飞机积冰预报方法在国内民机研制领域得到了验证和成功运用。然而，相关的研究还无法划上句号。例如，对于我国积冰云层特征的认识还需要加强，积冰预报方法有待进一步优化，持续研究我国自然结冰环境时空分布特征、过冷大水滴气象环境特征，提出过冷大水滴气象预报方法，并通过飞机探测进行验证与优化等等。■

封面文章

逐冰于云 克难以专

文 | 张晓 王学良

我国运输类飞机的自然结冰审定试飞筚路蓝缕，曾四处乌鲁木齐、远征五大湖。那么自然结冰试飞有何必要性呢？又到底难在哪里呢？



我国运输类飞机的自然结冰审定试飞筚路蓝缕，曾三赴乌鲁木齐、远征五大湖。那么自然结冰试飞有何必要性呢？又到底难在哪里呢？

自然结冰的危害

根据中国民用航空局 2015 年全国民航航班运行效率报告，不正常航班率中天气原因占比最高可达 58.4%。根据 1982 年到 2000 年的统计，在所有气象导致的不安全飞行事件里，结冰的影响占比 12%。其中，地面防除冰工作占比 8%，发动机唇口结冰占比 52%，机体结冰占比 40%。

飞机在空中飞行，迎风面上会感知到来流，来流中如果有过冷水滴，在迎风面上就会结冰，比如机翼、发动机、发动机唇口、发动机的风扇叶片、风挡、机头各种传感器等部件都有可能结冰，自然结冰会影响到众多飞机本体及系统级功能。

机翼上表面或前缘的积冰、霜、雪，即使厚度和粗糙度不如一片薄薄的砂纸，也可能产生大约 30% 的升力损失，最大

导致 40% 的阻力增加。事实证明，结冰不但使失速提前而且更加剧烈。同时结冰还易造成操纵面效率降低甚至卡阻，引发事故。

发动机等动力装置进气道结冰会导致内表面气动特性恶化，如果有冰块脱落进入压气机，还会造成压气机机械损伤，甚至造成发动机损坏或熄火。

飞机风挡上一旦结冰，会影响到飞行员的视野，干扰飞行员的正常飞行乃至飞机的正常起降。

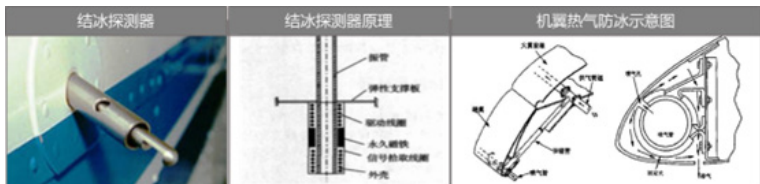
飞机的空速管、天线等部件通常裸露在飞机的外表面，一旦结冰，会导致速度、压力等基本参数显示错误，影响飞行员对飞机状态的判断；天线结冰则可能会影响通信。

结冰下的飞行风险巨大，对于现代运输类飞机，为了判断飞机是否处于自然结冰状态，往往安装有自然结冰探测器，通过传感器振动频率来判断是否结冰，为防止飞机结冰或及时除去飞机上的积冰，往往配有防除冰系统。大型运输类飞机通常使用热气防冰，将来自发动机压气机、APU 的热空气，经过导管、阀门、笛形管等部件供往防护表面来防止结冰。

适航审定机构为保证结冰探测、防除冰、发动机等系统的设计能保障飞机在结冰条件下的飞行安全，制定了一系列规章标准来规范飞机的设计与制造，飞机制造商需通过大量试飞来表明飞机之于规章的符合性，自然结冰试飞就是其中重要一环。

自然结冰的适航条款

考虑到自然结冰的危害，国际上的主流适航审定机构都对自然结冰下的飞行能力提出了一系列规章要求，其中以美国联邦航空局 FAA 最为全面成熟。



20世纪40年代末期，美国就开始了结冰气象条件和飞机防除冰相关的研究，推出了民用航空规章 CAR 4b.640，对飞机机体防冰作出要求。1958年，美国成立 FAA。1964年，FAA 发布联邦航空条例 FAR 25.1419 代替原有的 CAR 4b.640 条款。此后 FAA 根据实际飞行中出现的问题和事故，对适航规章以修正案的形式进行补充和修改，涉及到自然结冰的修正案主要是 121、129 和 140 号。可见，自然结冰涉及的专业众多，条款繁杂。

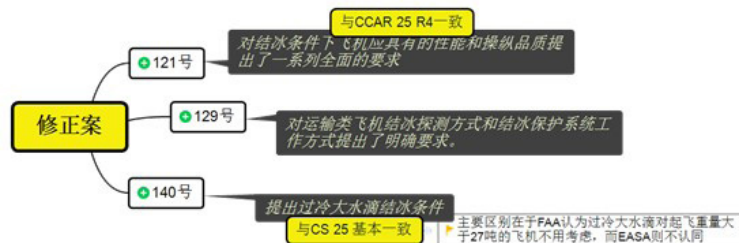
试飞难点与破解方法

自然结冰试飞是高风险试飞科目之一，是民机型号合格审定试飞中非常重要且需要满足特殊气象条件、试验要求的试飞科目。根据全球各主制造商的经验与教训，自然结冰试飞有三大难点，也有四步破解方法。

在难点中，第一是找冰难。根据 CCAR 25 部的条款要求，飞机必须证明自己能够在规定的连续和间断最大结冰状态（由云层液态水含量 LWC、云层水滴的中值体积直径 MVD 和周围空气温度三个变量决定）下安全运行。能满足这个规定的气象条件对云层液态水含量 LWC、中值体积直径 MVD 和周围空气的温度都有很高的要求。然而，由于我国民机事业起步较晚，国内几乎没有其他可供自然结冰试飞参考使用的结冰气象条件标准，CCAR 25 部附录 C 结冰条件也仅复刻了 14 CFR 25 部附录 C，而 14 CFR 25 部附录 C 是根据五大湖的气象条件制定的，那么国内是否有相似的结冰气象？如何较为准确地预测结冰气象？是否需将该标准进行本土化处理？这些都是未知的。

第二是风险高。一般的航线飞行都是避开云层，而自然结冰试飞需要追着云

适航审定机构	简称	全称	运输类飞机适航条例
美国联邦航空局	FAA	Federal Aviation Administration	之前为 FAR 25，现更名为 14 CAR 25
欧洲航空安全局	EASA	European Union Aviation Safety Agency	CS 25
中国民用航空局	CAAC	Civil Aviation Administration of China	CCAR 25
俄罗斯洲际航空委员会	IAC	Interstate Aviation Committee	AP 25



层跑，甚至要求在能够结冰的云层中连续飞行 45 分钟且结冰厚度达到 2 英寸以摸索飞机的极限性能。这对试飞准备、风险降低措施、试飞组织与试飞实施等都带来了巨大的挑战，稍有不慎，很可能导致不安全事件的发生。

第三是组织难。自然结冰试飞涉及到的专业众多、流程复杂。为保证抓冰效率，需要气象人员研究对比全国结冰条件，筛选合适的试飞地区；为保试飞安全，在自然结冰试飞前需要多轮迭代验证以确

定最后构型，这其中包括冰风洞试验、地面试验、模拟冰研发试飞、局方飞行员熟悉性试飞等等，而这每一步都需要广罗各专业参与；结冰气象窗口时间短暂，但需要验证的条款与试验点众多，为不浪费每一次气象窗口，需各专业协调能否统一标准、融合试验点以减少飞行架次；此外自然结冰试飞还需要大量的测试改装来支撑试验，测试设备的选取、安装与调试直接关系到试验的成功与否。可以说，整个试飞过程环环相扣，气象窗口短短数天，这给组织协调带来了巨大的考验。

针对上述难点，人们已经总结出相应的破解方法。第一步是探气象：气象专业进行全国结冰气象与云微物理参数研究，判断结冰潜势，让飞机在最有可能结冰的地方与时间飞上天，以提高抓冰效率。

第二是广协同：让所有专业集中办公、多方协同，进行多轮讨论。充分开展试飞风险识别，确保风险降低措施落实到位，探讨试验融合可能性，尽可能减少试

飞架次，提升试飞效率。

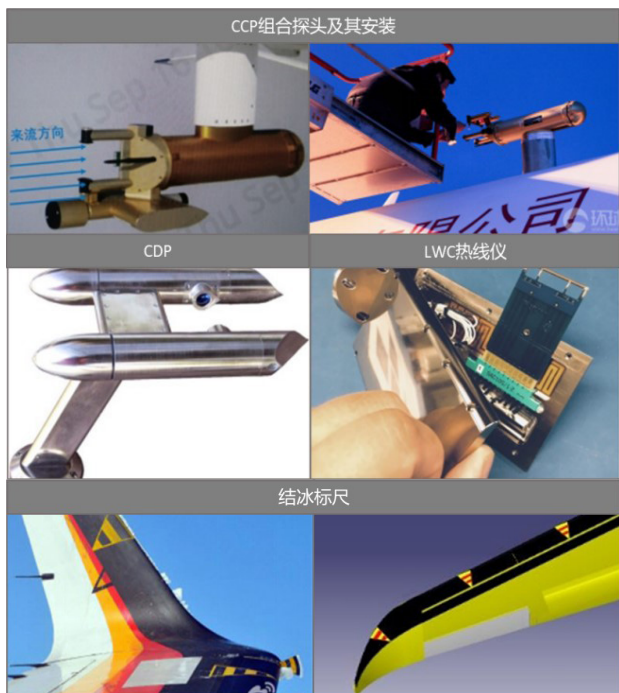
第三是同管理：试飞期间对各专业人员统一管理。各专业人员，包括但不限于机组、课题、测试、气象、航管、机务、设计、安质、项目等，在每一架次航前航后充分讨论，群策群力，实时暴露问题，解决问题。

第四是共监控：飞行时地面同步监控，依托自然结冰专用监控画面，提升空地协同效率，双重保障飞行安全。

值得一提的是找冰和避免过度结冰风险的两项关键测试改装——气象探测设备和结冰标尺。在自然结冰试飞实施时，气象探测设备能够测量环境中的LWC和MVD，将气象数据实时传输到机上和地面的监控画面中；结冰标尺安装在翼面上，可测量飞机表面的结冰厚度。

对于气象探测设备，可选择使用云粒子组合探头（Cloud Combination Probe，简称CCP），该设备是美国粒子测量技术公司（DMT）公司设计生产的一套大气物理探测设备。CCP系统包括CDP（云粒子探头）、CIP（云粒子图像探头）、LWC-300（热线含水量仪）、温度传感器、湿度传感器、动静压传感器等。CDP和CIP主要用于测量云层中液态水的中值体积直径MVD，LWC-300主要用于测量云层中液态水含量LWC。

明白了自然结冰的难点，并针对性地提出了破解方法之后，主制造商就可依据自身情况发挥长处，补强短板，最终拿下自然结冰这只取证路上的“拦路虎”了。■



封面文章

自然结冰试飞的测试与改装

文 | 梅亚东

民用飞机进行自然结冰试验时，必须拿出精确的数据才能证明飞机的安全性。这些数据的得来，当然要依靠装在飞机上的各种精密仪器，但这些仪器在“普通”的飞机上是没有的，也就是说，在进行自然结冰试验前，得先对飞机进行改装。本文就给大家讲一讲民机自然结冰试飞测试与改装的那些事儿。



ARJ21 飞机自然结冰试验



自然结冰试验的条件

自然结冰试验试飞的气象要求可谓“严苛”：天空中必须要有层积云，云层中要有足够量的过冷水，每立方米空气中的水含量要在 0.2 克到 0.8 克之间。同时，试验对环境温度和水滴直径也有很高的要求，空气过冷或水滴过小都无法实现结冰。那么影响飞机结冰的因素主要包括哪些呢？

CCAR 25 部附录 C 根据大量飞行试验统计数据给出了飞机易结冰的主要参数，主要包括气象参数和飞行状态两方面因素，其中气象因素包括云层环境温度、平均水滴直径（MVD）、液态水含量（LWC）等气象参数，飞行状态因素包括飞行速度、飞行高度、飞行姿态（主要是飞机迎角）等。

其中，环境温度、飞行速度、飞行高度和飞行姿态等参数较为常见，而云层的平均水滴直径（MVD）及液态水含量

（LWC）较为特殊且关键，MVD 代表单位体积大气内水滴的平均直径，一定程度上影响了冰型的体积和覆盖范围；LWC 代表单位体积大气内的液态水质量，影响着冰的形成速度、结冰类型等，是决定结冰量的关键因素。因此 MVD 及 LWC 参数的准确测量是自然结冰试飞成功的关键因素之一。

另外，由于自然结冰试飞属于 I 类风险科目，同时根据系统性能验证的需要，试飞过程中需对飞机结冰敏感部位进行监控，主要包括机翼前缘缝翼上/下表面（容易产生后流冰的部位）、发动机进气道唇口部位、风挡玻璃表面、水平尾翼及垂直尾翼、其他一些进气口等。

测量特殊结冰气象的方法

平均水滴直径（MVD）常用测量方法有机械记录法、热学分析法和光学测量方法等。其中光学测量方法应用较多，



测量精度更优，技术成熟度相对较高，其通过 Charge Coupled Device (CCD) 来记录不同直径的液滴对于激光的散射、干涉条纹的波动等影响来计算液滴直径 MVD。

液态水含量 (LWC) 常用测量方法包括热线测量法、冰生长测量法和超声波测量法等。其中热线测量法较为常见，其原理是用一根温度系数较大的金属丝，两端加定电压、电流加热金属丝使其温度升高，相应的阻值也随之升高，同时散热增强，最后与环境达到一定的热平衡。当云粒子撞在热线上被加热蒸发带走热量，系统需消耗额外的功率来维持线圈在原来的恒定温度上，而消耗的额外功率与碰撞的云雾粒子中水含量成正比，通过实时测量系统功率的增加值计算 LWC。

针对机翼前缘上/下表面、发动机进气道前缘、风挡玻璃表面和水平尾翼及垂直尾翼等结冰敏感部位监控，需加装视频设备进行摄像记录。对于机翼前缘上/下表面、发动机进气道前缘、水平尾翼及垂直尾翼，一般需将摄像设备布置于机身外部，风挡玻璃表面摄像装置则一般安装在驾驶舱内部。另外，为了确保位于机体外部的摄像设备正常工作，必要时需加装保护罩及配备加热除冰功能，以避免摄像设备在结冰条件下产生结冰而影响结冰摄像观察。

测试设备的改装

针对结冰气象参数测量需求，典型测试设备为 DMT 公司 CCP 组合结冰气象探测器，可实现 MVD、LWC 和环境温度等多个参数的同时测量，相比于一般传感测量设备，该设备体积、重量较大，相应需考虑的测试改装因素如下：

首先，要考虑 CCP 设备的安装位置。CCP 设备需安装于机身外部，保证安装



可靠性的同时需保证测得数据的有效性。因此，安装位置需要具备一定的适应性，测得的气象参数数据应与远方来流基本保持一致，避免由于飞行工况变化导致数据测量偏离；安装后应避免给飞机本体各个天线或传感器带来气流干扰；另外，还应考虑结构改装难度等要求。

再者，CCP 设备属于特殊测量设备，暂无相应计量标准或规程用于该设备的计量校准，如何保证 CCP 设备测得数据的有效性？首先，采用特殊设备及方法开展定期标定及误差修正；其次，在航前航后使用特殊设备检查 MVD 参数测量的有效性；再次，选取合适的气象条件，在飞行过程中开展 LWC 参数标定。

另外，针对机翼前缘上/下表面、发动机进气道前缘、水平尾翼及垂直尾翼等需安装于舱外的摄像设备，需考虑其与飞机本体的匹配，工程师们需结合测试需求、飞机本体特性、摄像设备特点等多方面因素，协同设计人员完成摄像设备外形设计，评估其对气动特性和安全性的影响，可行后完成特殊摄像设备定制及测试改装工作。■

航空制造

俄罗斯航空产业的再布局

文 | 董桐雄

随着俄乌战争的爆发，俄罗斯遭遇了欧美等西方国家的新一轮制裁，这直接对俄罗斯航空工业的发展造成了巨大的冲击。面对严峻的外部形势，俄罗斯政府大力扶持民族航空工业的决心丝毫未受影响，政府先后出台多项政策以扶持航空业走出低谷。近日，俄罗斯政府又出台了一系列新政策以帮助航空业走出困境。



图 | BillyPix



多年坚定的扶持政策

自普京总统上任以来，俄罗斯一直将航空业视为战略支柱产业，过去十多年来，政府出台了大量的政策以扶持民族航空业的发展。其中《2030年前航空工业发展战略》和《2025年前航空工业民用产品出口发展战略》，进一步为俄罗斯民用航空业夯实内部能力、拓展外部市场指明了方向。

在这两个战略规划中，俄罗斯政府指出了未来商用飞机产业重点发展的几个方向。首先要改变工业模式，提高行业竞争力。要求主制造商和一级供应商将主要精力集中在核心能力建设上，重点关注设计研发、总装和售后服务工作，精简冗余的生产能力，逐步将底层生产工序外包。二级以下供应商主要由中小企业组成，定位全球市场，通过多样化经营加强竞争，保证批量生产和规模经济。

其次，要尽快打破取证和技术准入壁垒。由于俄罗斯民用航空制造商长期以来定位在国内市场，民用飞机、直升机及配套产品只有很小一部分按照欧美适航标准进行生产，因此行业内大部分制造企业和设计局不适应国外订货商的适航审定要求。在《2025年前航空工业民用产品出口发展战略》中，俄罗斯明确提出要发展航空工业标准和技术准入系统，保障俄罗斯制造商在国际市场上的竞争力。

第三，要加速国内产品融入全球航空产业链。为使国有配套制造商进入大型航空器制造商的全球供应链，俄罗斯政府采取的措施包括：通过财政措施支持航空发动机、部件和仪表行业的产品和服务等获得外部采购及初次交付；在国有航空公司采购国外航空器时，针对国外航空制造商提出贸易补偿要求，即产品生产本土化和增加科研与设计试验

阶段在俄罗斯的工作量，并以此决定进口航空产品的交付量。

尽管这些规划并没有取得立竿见影的成效，但是这些战略规划体现了俄罗斯政府对民用航空工业的重视程度。这些战略规划将促进俄罗斯航空工业“内外兼修”，对内提高自身综合能力，对外积极开拓全球市场，通过改变工业模式、配套供应商融入国际供应链、吸引国内外私有资金等方式，为商用飞机产业未来的发展指明方向。

提前进行产业链布局

2019年，美国赫氏、日本东丽等公司突然停止向俄罗斯提供复合材料原料，自此欧美日本等发达国家对于俄罗斯航空业的制裁力度不断加码。但俄罗斯从一开始就态度十分强硬，并第一时间宣布启动了新一轮航空业重组和国产化替代计划，以应对制裁。俄罗斯之所以能态度如此强硬与普京执政后一系列的产业培育政策有着直接的关系。

普京总统执政后，十分注重航空工业的发展。为此，俄罗斯出台了一系列发展规划，从这些顶层战略规划中不难看出，俄罗斯在当时就已经从政策层面开始向航空业基础技术领域倾斜，建立航空科技储备，航空电子和发动机是俄罗斯目前最关心的两个方向。从产品上说，俄罗斯更加重视生产制造能力的恢复和提升，特别强调材料和基础技术研究。

其中，《2015年前俄罗斯航空工业发展战略》是俄罗斯重振航空工业的纲领性文件，提出了“在航空工业建立有效市场导向、具有自我发展能力的新一代业务结构；提高航空工业及相关行业企业的创新积极性和设施更新水平；简化航空企业进入金融市场程序，拓宽利用有价证券市

场吸引金融资源的渠道”等重大行动计划。虽然该战略并不是专门的科技发展战略，但对俄罗斯航空工业的发展起到了极大的促进作用。

此外，近年来俄罗斯还特别注重多渠道加强科技储备和高技能人才培养。在《2030年前航空工业发展战略》中，俄罗斯明确提出要建立科技储备在行业内的主导地位。

为进行预研技术储备，俄罗斯成立了茹科夫斯基国家研究中心（NRC），全面组织和协调民用航空相关的技术预研工作；航空领域的科研资金优先、适度向预研倾斜；提高科研成果商品化能力，鼓励科研机构参与到航空产品生产制造阶段，甚至参与到产品全寿命周期内；支持跨行业合作，鼓励相邻产业知识交流和技术扩散等。

为加速构建人才培养体系，俄罗斯还出台了一系列国家培训计划，保证中等职业教育机构和大学面向航空行业需求。

《2030年前航空工业发展战略》中明确提出了高等院校要围绕商用航空产业链中涉及的新材料、新工艺、数字化设计等开设相应课程；提升高等院校在先进设计方法、生产、试验、取证、市场销售、供应链管理、质量管理、知识产权管理、航空产品全寿命周期支持等专业上的教育水平；增加科研和工业企业中具有国际水平的专家比例；加强产学研体系建设，为高等院校和企业联合开展高技术综合项目给予持续的国家支持；创造条件巩固与国外教育、科研和生产机构的合作，促进航空工业从业人员的对外交流和培训。

从这些规划中可以看出，经过近10年的发展，俄罗斯政府对产业的关注已经不再局限于项目本身，而是旨在重塑产业链以重振雄风。一系列的规划促进俄罗斯航空工业对内提高自身竞争力，对外积极

开拓全球市场，通过改变工业模式、配套供应商融入国际供应链、吸引国内外私有资金等方式，为商用飞机产业的发展指明了方向。也正因为有了这些提前的谋划和布局，使得俄罗斯在面对发达国家的制裁时仍有回击之力。从在研项目来看，无论是MC-21项目还是PD-14、PD-35等发动机项目都在有条不紊地进行国产化替代工作。

新形势下的新布局

进入2022年，为了应对新的国际形势对航空产业的影响，俄罗斯从国家层面积极进行顶层布局，从而支持航空业在艰难的外部环境的影响下能够继续健康发展。

2022年新年伊始，俄罗斯总理就召集行业企业举行民用飞机制造企业发展会议，共同研究俄罗斯民用飞机研制、市场开拓、进口替代计划实施等多项工作。在这次会议上，俄罗斯政府明确表示将在未来3年内提供超过1220亿卢布用于民用飞机的研制。同时，政府也将进一步引导国内航空公司购买本国研制的民用飞机。俄罗斯政府表示，在2030年将支持国内航空公司采购583架国产民机，实现俄罗斯本土研制的飞机在大型航空公司机队中占比达到30%的目标。在国产替代计划方面，政府将引导俄工贸部与俄罗斯技术集团一起对MC-21和SSJ-100项目的进口替代计划进行全面分析评估，并重点关注飞机批产和售后服务体系建设等问题，必要时将为售后服务体系建设等环节投入更多的资金支持。

在会议上，俄罗斯政府表示，政府以国家订单的方式大量采购国产飞机将在一定程度上确保企业能够在动荡的外部环境中保持有序的运转，将更有助于企业的

稳步发展。同时，俄罗斯政府希望未来5年内，国内民用飞机的年产量可以达到100架。

目前，在民用飞机领域，俄罗斯从支线飞机到宽体客机，一些已经投入市场，一些型号正在加快推进研制。在支线飞机方面，俄罗斯在2021年的莫斯科航展上向公众展示了一款9座的轻型LMS-901。2022年2月，这款飞机完成首飞。目前这款飞机选用了GE公司的H80发动机，但未来俄罗斯计划用国产VK-800发动机替代H80。

此外还有68座的伊尔-114支线飞机，这款飞机装配的俄罗斯国内生产的TV7-117发动机，计划将在2023年取得型号合格证，以替代目前航线上老旧的An-24和Yak-40以及ATR-42、ATR-72等机型。俄罗斯政府方面已经为其制定了到2030年共交付100架的订单计划，届时这款飞机的年产量也将达到12架。

在中程干线飞机方面，俄罗斯政府表示将继续推进SSJ-100项目的进口替代计划及相关的取证工作。随着零部件国产化率的不断提高以及PD-8发动机的研制，俄罗斯计划在2024年左右完成全国产化SSJ-100飞机的适航取证工作。

但客观来说，由于售后服务能力有所欠缺，目前已经投入运营的SSJ-100飞机的市场情况并不乐观，对此俄罗斯也明确将在进一步完善售后服务体系建设的同时，继续扩大SSJ-100飞机的机队规模，预计2022年年底，这款飞机在俄罗斯国内的数量将达到190架。

MC-21飞机在2021年年末获得了俄罗斯民航局授予的型号合格证，同时机翼采用国产复合材料的MC-21飞机也完成了首飞。但由于受到西方国家的制裁，俄罗斯政府表示还将进一步扩展这一机型的认证范围，其中最主要的工作是完成

装配PD-14发动机的MC-21的适航取证工作。同时为了吸引更多航空公司采购MC-21飞机，俄罗斯政府也出台了許多优惠政策，如给予航空公司飞行小时和租赁费用的补贴等。

在宽体客机研制方面，装配升级版航电设备的伊尔-96飞机计划在2022年年底完成首飞，考虑到目前市场对于货机需求的激增，俄罗斯还计划推进这一机型的客改货项目。同时，伊尔-96还有一个十分重要的任务就是作为飞行平台来完成24吨~50吨的PD-35发动机的测试工作。

综上所述不难发现，近年来俄罗斯对于发展民用航空工业的决心一直十分坚定，但缺乏市场化研制和运营经验、经济能力不足、与国际适航体系话语权的不对等等多种因素的共同作用下，俄罗斯民用航空产业的发展之路并不平坦。SSJ-100飞机投入市场10年来交付量仅百余架，且出现了多次安全问题，交付海外的飞机由于售后支持体系难以满足需求，许多都处于停飞的状态；MC-21飞机虽然已经获得了国内的适航认证，但要冲破欧美的制裁，实现真正的市场成功还有很长的路要走，前路依然充满了巨大的风险和挑战。在这种背景下，俄罗斯政府对于民用航空产业依然坚定支持，一方面大力支持实施国产替代计划，一方面通过支持国内市场销售来为企业的生存和发展赢得更多的时间。尽管俄罗斯的民用航空产业发展之路与我国并不完全相同，但是同样作为希望跻身于这一“最高战场”的中国航空产业来说，仍有很多做法值得学习和借鉴。■

欧洲加速氢能飞机 研发与布局

文 | 曲小

新冠肺炎疫情令全球航空业遭受了前所未有的冲击，为了给航空业“输血”，各国政府出台了一系列政策。在欧洲，各国政府不仅从经济、政策层面大力支持行业企业渡过难关，并且还在危机中与企业一起寻找未来新的增长点。其中，氢能源的利用被欧洲各国视为未来航空业的战略性资源。欧洲不仅围绕氢能源启动了新的清洁航空计划，同时还鼓励区域内各国航空制造企业积极投身氢能源飞机的研发。可以说，欧洲航空业正在加速围绕氢能源开展一场技术革命。

新一轮清洁航空计划

作为减少航空碳排放最高效的方法之一，氢燃料在航空业的应用近年来被欧洲政府高度重视，并出台了一系列政策支持区域内企业围绕氢能源开展创新技术研究。2022年4月，欧洲启动了新的清洁航空计划，该计划以公私合作的方式进行民用航空领域的研究，首次征集的提案重点就包括了氢能源飞机以及支持未来新一代单通道客机的更高效率的动力系统。

在这份新的清洁航空计划中，围绕氢动力飞机（HPA）的研究课题包括涡轮发动机中氢的直接燃烧、多兆瓦燃料电池推进系统、大型轻量级液态氢（LH2）储罐和其他潜在的颠覆性氢技术。对于零排放、氢动力的支线飞机和中短途飞机，清洁航空计划的目标是比当前使用航空煤油的飞机至少节能15%。每种情况下都会将节能效果与拥有2020年最先进技术的同等飞机进行对比。该计划正在研究三类支线飞机，分别是50座的氢电推进飞机、50~85座的采用串联或并联混合动力推进的飞机；85~100座采用氢燃烧或并联混合动力推进器的飞机。根据计划，这些项目将持续36个月，在完成地面试验后，预计到2025年年底达到技术成熟度5级的水平，同时这些技术还将为2035年左右投入市场的新一代干线/支线飞机提供技术储备。

在政策支持方面，使用涡轮发动机的氢燃烧项目将获得欧盟提供的1.15亿

欧元的资金支持以进行地面试验。根据欧盟的规划，这一项目未来将主要用于混合动力支线飞机项目和用于短途飞机的9吨级推力的涡扇发动机。

大型轻量级液态氢存储项目获得了欧盟1000万欧元的资助。根据计划，项目将对一个装有150公斤氢气的集成储罐进行全尺寸地面测试，其中燃料重量与整罐重量之比至少为0.35，包括蒸发机制、泄露检测、排气、测量、计量和健康监测等。在清洁航空计划下，这一项目的目标是在2025年可以展示一个装有600公斤的大型液态氢存储设备，满足一架短途飞行飞机的燃料需求。由于氢能源的存储问题和安全问题是制约其在航空业广泛应用的重要瓶颈，因此此次大型轻量级液态氢存储项目的推进也绝非易事，如何设计油箱以最大限度地增加体积、如何集成油箱与飞机结构以最大限度地减重等都是需要研发团队重点解决的技术难题。

A380 转战氢能新战场

在欧盟的大力支持下，欧洲各国企业纷纷摩拳擦掌，围绕氢能源在航空业的应用开启了一场新的技术革命。其中，作为欧洲航空工业最具代表性的企业空客自然当仁不让。

2022年2月，空客与CFM国际公司签署战略合作协议，双方将在2025年左右共同启动一项氢动力演示项目。该项目旨在对氢燃料发动机进行地面和飞行测试，为零排放飞机在2035年以前投入使用做好准备。该演示项目将使用一架A380 (MSN1) 测试机作为飞行测试平台，该机将配备由空客研发的液氢罐，并在巡航阶段对氢燃料发动机进行测试。空客还将负责制定对氢推进系统的要求，监督飞

行测试。根据空客公布的信息显示，这架使用氢能源的A380计划在2026年左右开始试飞。

对CFM国际公司来说，氢燃料相关的工作则是RISE项目的重要部分。

RISE项目于2021年6月启动，旨在开发一套用于未来的超高效动力装置技术，包括开式转子发动机等。CFM希望确保作为未来飞机动力系统的RISE系统不仅能使用可持续航空燃料(SAF)，也能够使用氢燃料。

无论对于空客还是欧盟来说，如果这个计划能够取得实质性成果就意味着欧洲向着航空业零排放的目标迈出了实质性的一步。但这也意味着，企业在此之前需要克服大量的技术难关。

根据两家公司目前公布的信息，这架采用氢燃料动力发动机的A380飞机，机身内将安装4个液氢罐。这些液氢罐将共装载400千克液氢，并可以将氢燃料输送到发动机的燃料分配系统中。这也意味着低温的氢燃料分配系统不仅需要研发新的燃料泵、管道、密封件和材料，还需要新型热交换器，将液氢转化为气态氢。这种新型热交换器将比传统的飞机热交换器



图 | emag.directindustry



具有更高的温差和压力。因为氢气的燃烧速度比喷气燃料快 10 倍，因此还需要新技术来控制火焰并稳定燃烧，而在高空对氢燃料发动机进行点火也将是 A380 飞行测试的一个关键目标。

在动力装置方面，这架 A380 上的氢燃料发动机将由 GE Passport 发动机改装而来。为了使用氢燃料，该发动机的燃烧室、燃料系统和控制系统将被改装，然后被安装在 A380 的后机身段上，方便使用设备对发动机的排放（包括尾迹）进行监测。由于氢燃料比碳氢燃料的温度更高，因此改进后的 GE Passport 发动机需要使用新的材料和涂层，燃烧室涡轮的冷却也需要重新设计。

为了搜集相关数据，这架 A380 的飞机驾驶舱中还将安装额外的推力控制系统和用于监控性能的专用显示器，以管理氢燃料发动机的推力。机上还将安装使工程师能够在飞行期间收集数据的仪器，相关数据可通过遥测设备传输到地面。主要的收集和监测对象是氢燃料发动机排出的氮氧化物和水蒸气。因为氢燃料的温度更高，而更高的温度会产生更多的氮氧化物，因此试飞的重点之一是研究如何最大限度地减少氮氧化物。此外，由于氢燃料产生的水蒸气是传统碳氢燃料的三倍，因此飞行中将收集相关数据，以便后续分析不同大气条件对凝结尾迹形成的影响。

摩拳擦掌抢占“赛道”

除了空客之外，欧洲许多公司也纷纷摩拳擦掌，希望能够快速抢占航空业氢能发展的“快车道”。

英国 GKN 航空航天公司启动了一项名为氢电混动系统（H2GEAR）的项目，该项目的目标是开发首个可以应用

于支线飞机的氢能电驱动系统，该系统使用液氢（LH2）和燃料电池，并可扩展应用到较大型的飞机上。根据计划，该项目将在 2026 年左右应用于氢能支线飞机，并计划用 10 年左右的时间通过发展氢能航空技术在英国创造 3000 多个高技术岗位，并带动 168 亿英镑的产业经济效益。

H2GEAR 计划开发的氢燃料电池推进系统，其峰值功率为 1.25 ~ 2 兆瓦，并配装有一台低温电机。液氢冷却电机至低温，加热并变成气态氢，在燃料电池中被消耗，由此产生电力以驱动电机。为了与飞机集成，项目团队开发了一个综合飞机概念，包括两个独立、分离的推进系统，从燃料箱、发动机到驱动后机身的推进器。GKN 公司认为，这是一种逐步从低温冷却的传统电力系统转到部分超导、最终实现完全超导系统的方法。目前，有些技术在地面上是成熟的，比如电缆和低温系统的电流引线，但超导电机的技术还不是那么成熟。

英国航天技术研究所（ATI）2021 年年末公布了 FlyZero 液氢动力远程中型飞机概念。FlyZero 飞机翼展 54 米，可载客 279 名，航程达 5250 海里（约 9700 公里），可在伦敦和旧金山之间连续飞行，航程比 A330neo 少一点，但是将比目前其它在役的窄体客机都要远。

该飞机以液氢为燃料，存储在后机身及沿前机身两侧的低温燃料罐中，存储温度为 -250°C（-418 °F），其外形与普通宽体客机不同，但速度和舒适度与普通的客机无异。在飞行中，通过液氢消耗的重量调整来保持飞机的重心平衡，并减少对整机气动结构的设计需求。

FlyZero 项目由英国 ATI 牵头，于 2020 年 7 月宣布启动，旨在 2030 年前研制出零碳排放飞机。项目团队计划于

2022年初发布三种（支线、窄体和中型）飞机的详细概念。同时还将公布技术路线图、财务和市场报告以及可持续性评估。在 FlyZero 概念飞机的研制过程中，已经确定了需要研究开发的技术领域，包括无内置油箱的机翼（干式机翼）、氢气罐、低温燃料系统、燃料电池、电力系统以及可直接使用氢气为燃料的涡轮发动机。

作为欧洲老牌的航空强国，英国不仅希望 FlyZero 项目能够继续捍卫其在欧洲航空业的领先地位，同时更希望搭上氢能源的“顺风”，在欧盟大力支持氢能源发展的大背景下，通过这项创新技术的研究为英国创造更多的就业机会，在实现零碳目标的同时引领全球向净零航空过渡。

氢能使用的挑战

根据新思界产业研究中心发布的《2021年全球及中国氢能飞机产业深度研究报告》显示，未来随着飞机推进系统、低温存储技术、氢燃料提取以及专门用于氢动力飞机的结构设计等领域技术的不断突破，未来全球氢能飞机市场规模将在2030年左右达到70.9亿美元的规模，复合年增长率达到47%。然而在看到巨大市场潜力的同时，也必须正视，尽管氢能有许多显而易见的优势，但真正要用氢能替代传统燃油，不仅需要飞机制造商做大量的工作，更需要行业配套企业推进相关的工作，以配合新能源在航空业的推广应用。

首当其冲的是监管机构的监管范围将从飞行器扩展到航空器以外。从航空器本身来说，氢能飞机由于机体结构、动力系统以及燃料存储方式与现有燃料相比有着显著差异，未来氢能飞机只有在达到同

等甚至更高的适航安全标准后，才能真正投入商业运营。除了飞行器本身之外，正如欧洲航空安全局（EASA）在一次媒体发布会上所说的那样，“利用氢能实现绿色转型还需要更多基础设施保障，甚至对于监管机构来说，其监管范围可能还需扩大到航空器以外。”为此，EASA已经成为了专门的科学委员会，致力于加强各企业、高校之间的科研合作，以解决相关技术难题。

其次，是氢能源的生产和存储问题。由于氢燃料与传统石油燃料有很大的不同，对于机场来说，如何低成本实现氢燃料的运输和存储，将直接影响到航空公司未来的运营。

目前已有的研究表明，液氢存储罐应采用球形或柱形，而传统机翼油箱不适宜储存液氢燃料。因此，对于中短程客机而言，需要对现有机体结构进行调整或重新设计。因此，对于飞机制造商来说，如果要采用氢能就需要引入全新的、革命性的机体设计思路，如翼身融合设计、箱式机翼结构等，以达到提高飞机内部空间结构利用率的目的。

当然，上述这些工作并不是飞机制造商一家能够解决的。几十年来，航空行业已经对当前涡轮发动机所需的传统燃料有了全面认识，并在生产、使用、存储等各个环节积累了丰富的经验。但由于氢燃料与传统燃油有着本质区别，因此如何安全、高效地使用，需要监管机构、机场、航空公司等多方共同协作，从而实现管理措施、关键技术等方面的创新突破，但就目前来看，氢能源相关的理论、应用等仍有很多未知的领域有待突破。■

航空产业链之困

文 | 任治璐

随着后疫情时代，市场对于窄体客机需求的增长，根据空客最新的数据显示，截至 2022 年 5 月底，公司 A320 系列飞机的储备订单已接近 6000 架，这意味着空客需要尽快提升产能以满足市场的需求。早在 2021 年 5 月，空客就曾公布过一份产能提升计划，根据这份计划，A320 系列飞机的产能计划在 2023 年第二季度提升至 64 架，2024 年第一季度提升至 70 架，并考虑到 2025 年将产能进一步提升至 75 架的可能。但是对于空客的这份提产计划，供应商却并没有给予积极的回应，甚至在当时约有 45% 的供应商在一份调查中认为，空客的这一提产计划“并不切实际”。事实上，对于供应商而言，疫情后出现的人工和原材料短缺、通货膨胀等问题，使其面临着巨大的挑战。



图 | 空客官网



供应链困局

新冠肺炎疫情对于航空产业的影响是巨大且长远的。由于市场需求的极度萎靡，飞机制造商不得不通过“让利”来促进商用飞机的销售。根据《航空周刊》对众多行业企业的调研显示，疫情发生后，航空业正处于价格下行的阶段，飞机的实际销售价格要远低于目录价格。但与此同时，企业的生产成本却在进一步提升。

根据 Jefferies 分析师在 2022 年发布的一份原材料调查报告显示，2021 年 12 月全球消费物价指数（CPI）上涨了 7%，是 1982 年以来最大的月度上涨。今年由于受到大宗商品价格上涨和俄乌冲突等影响，预计铝、复合材料、钛、钢等材料的价格仍将继续上涨。预计与疫情前相比，行业今年原材料价格将高出 23%，到 2023 年将高出 25%，这对于制造业来说将是一个沉重的负担。

在劳动力成本方面，疫情后航空业在吸引熟练劳动力方面也面临挑战。过去 2 年多，由于受到疫情的影响，不少企业进行了裁员，如今当行业逐步复苏后，人力资源短缺问题将凸显出来。在调查报告中显示，2022 年全行业大约至少需要增加 3% 的人力资源才能满足行业复苏的需求，但高额的人力成本或许将超出劳动力增长所带来的收益。

为了抵消成本增加带来的影响，产业供应链企业不得不提高价格，将成本转嫁给客户，但事实上飞机销售的价格却并没有水涨船高，这就形成了一个难以调和的矛盾。事实上，对于主制造商来说，还试图进一步压低供应商价格。

此外，还有生产瓶颈这一不得不重视的问题。早前，CFM 国际公司等发动机制造商还指出，在 A320ceo 向 A320neo 转产、737NG 向 737 MAX 转产过程中，

其供应链中锻件和铸件存在生产瓶颈问题。这些问题在疫情前已存在，随着疫情的爆发、经济的低迷，被延迟交付掩盖，而行业复苏、主制造商提产计划提上议程，熟悉的问题又出现了。为减少关键零部件的供应风险，主制造商倾向于双源或三源供应策略，但总体来说，上述这些困扰供应链的问题都是主制造商提升产能所必须解决的难题。

产业链信心有待提振

曾经，全球商业航空产业高歌猛进的黄金期，航空产业链中的供应商们本着对行业发展的信心，纷纷加大投资，并在过去几年形成了几家超级供应链企业。

其中，最为人津津乐道的是 UTC 在 2012 年对古德里奇和 2017 年对罗克韦尔柯林斯的这两次收购。

2012 年，UTC 宣布收购古德里奇公司，此举在当时被业界评价为 UTC 在航空业务领域的一次“真正意义上的转型”，是其成为国际一流航空系统供应商的关键一步。2012 年的并购完成后，UTC 拥有了更高的集成化系统解决方案的能力，产品线的广度是全球任何一家制造企业所达不到的，而这种强强联合带给公司最直接的好处是收益的大幅提升。2017 年，UTC 又宣布了对罗克韦尔柯林斯的收购。这次收购进一步提升了 UTC 在航电、飞控、飞机内饰、数据连接解决方案等业务领域的的能力。对于 UTC 这样的大型企业来说，毫无疑问这样的大型并购奠定了其行业巨头的地位。

疫情发生后，尽管行业受到了巨大的冲击，但这样的并购并没有止步。2022 年 2 月，空客、赛峰和 Tikehau Ace 基金宣布组建并购联合体，收购欧洲上市公司埃赫曼（Eramet）冶金

矿业集团旗下的子公司法国奥伯杜瓦（Aubert&Duval）。

奥伯杜瓦冶金矿业集团是世界顶尖冶金集团之一，以设计、制造、加工和经销高质量特殊钢材、模具钢材、不锈钢、钴铬钼合金、高温合金、铝合金、钛合金而享誉全球。公司长期供应法国和欧洲工业所需的特殊钢材、高温合金和钛等关键材料，是航空航天业关键零部件和材料的战略供应商。尽管这一并购从一定程度上表明航空业正在逐步从疫情中复苏，但需要特别指出的是，由于航空产业的特殊性，事实上对产业链产生直接影响的还有数以万计的小型供应链企业，而这些企业恰恰是受疫情冲击最大、也是最不易复苏的。对此，有一种说法很好地阐述了行业的现状，“一级航空结构件供应商日子很难过，但毕竟还能过；二三级供应商因为成本结构、合同和库存等原因处境危难；以小企业为主的四级供应商或已陷入绝境”。因此，这一部分供应商对于主制造商提升产能的计划表现得并不积极。

2021年年末，埃森哲对商用航宇业主要企业高管进行了调查，近70%的受访者认为，受新冠肺炎疫情影响，其企业面临中度或重度的供应链中断问题。就未来半年供应链在及时性和质量方面的预期表现，55%的受访者仍存忧虑。然而，受访者对供应链在未来12~18个月内恢复至疫情前水平表示乐观。

受访者预计未来两年内疫情影响将逐步减少，但无论是从短期还是从长期而言，加息似乎更值得关注。受访者对近期或未来1~2年内的政治不稳定性、恐怖主义、地区武装冲突和汇率变化等地缘政治风险因素的关注度较低。超过60%的受访者预计未来6~12个月原材料成本将有所增加。疫情的爆发、波音737 MAX和787生产中断所导致的业务中断

则加大了供应商成本管理难度，供应商因需求疲软面临成本转嫁的挑战。

另据RBC Capital Markets调查，约65%的供应商认为劳动力和招聘是主要风险，55%的供应商认为原材料成本和通货膨胀存在风险。其他风险按关注度排序依次是航空复苏速度、疫情导致的中断、供应商质量和按时交付情况、地缘政治和宏观经济因素、次级供应商财务状况。该调查还显示，供应商对巴航工业生产预期信心较高，对空客的提产预期则在很大程度上存在分歧，而60%的供应商认为波音的生产预期过高。

产业链“区域化”趋势凸显

过去30年全球化是世界主流趋势。如今，受到新冠肺炎疫情、地缘政治不稳定性，以及区域大国崛起等一系列因素的影响，全球航空产业链的布局逻辑，将从“全球化”朝着“区域化”和“本土化”的方向发展。在此过程中，中国市场巨大的市场潜力令各方“虎视眈眈”。

最新预测显示，中国航空市场的年客流量以及机队数量将以约4%~5%的增长率攀升。中国航空市场在客流量方面呈现巨大的上升空间，未来强大的内需必定会给整个民航制造业带来更多商机。

尽管现在新冠疫情影响犹存，但中国航空运输业长远发展前景仍被业界所看好，疫情后中国市场对飞机和旅行的需求大幅增加，尤其是远途洲际旅行。

二是强有力的政府保障。中国政府推出《“十四五”民航发展规划》，全面开始多领域民航强国新征程；同时，提出 2030 愿景目标，加快发展现代产业体系，加快推进制造强国，其中就包括民用航空制造业。

三是疫后航空市场触底反弹增量巨大。尽管现在新冠肺炎疫情影响犹存，但中国航空运输业长远发展前景仍被业界所看好，疫情后中国市场对飞机和旅行的需求大幅增加，尤其是远途洲际旅行。市场预测显示，中国未来 20 年对于宽体机的需求约为 1400 架~1600 架。

四是强大的基础设施建设。民用运输机场是民航业发展的基础，近年来得到高速发展。据民航局 2021 年公开数据显示，十三五期间，我国境内颁证运输机场达到 241 个，民用运输机场覆盖 92% 以上的地级市，航空服务覆盖全国 88% 的人口和 93% 的经济总量。数据预计在十四五期间，民用机场数量将达到 770 个，而整个欧洲现在大约有 500 个机场。

因此，目前无论是主制造商还是供应商都在加快在中国市场的供应链布局。

其中，赛峰集团正在中国为中心，加速打造“更靠近客户”亚洲本土产业链。2020 年，赛峰将位于新加坡的起落架服务中心搬迁至中国，2022 年 3 月，赛峰短舱公司宣布将在苏州建立一个新的 MRO 项目，预计 2022 年第二季度开始运营，这个新的 MRO 基地将以中国为中心、辐射和服务整个亚洲地区。

作为主制造商，空客则在中国建立了相当成熟的产业链体系，包括机翼和机身制造的主工作包与转包等多个高附加值的工作包都在中国完成。此外，2019 年空客中国创新中心在深圳落成，是空客在亚洲设立的首个创新中心。2022 年空



客宣布将在成都建立一个飞机全生命周期服务中心，以满足日益增长的端到端支持需求。

同时，空客还在进一步布局中国本土产业链，持续增加自身在中国的发展和影响力。比如空客近期为了进一步打开中国市场，计划将一部分 A220 飞机的生产工作转移至中国。

此外，空客还在布局更多海外企业融入中国航空产业链。目前，空客采用全球化产业链模式，中国的航空制造业也是其中一环，现阶段仍依赖全球供应链来满足中国供应商的需求，即在中国交付的飞机，很大一部分原材料和零部件是由世界各地的供应商承担的。为了推行可持续发展绿色航空目标，同时也降低进出口风险以及优化流程和降低成本，进一步促进本地采购的需求日益强烈。因此，对于空客来说，如果能够引入更多国外企业融入中国航空产业链将更有助于其进一步拓展中国航空市场。■

图 | 中国航空新闻网



航空运输

空中骨干大通道 助力民航强国战略

文 | 彭静宇

5月19日，从规划到实施，历时8年之久的京广大通道空域结构调整方案（南段方案）正式启用，标志着这条纵贯我国南北2000多公里的空中大通道全面建成。2021年，中国民航局提出“十四五”期间要加快构建“系统布局、效率运行的航空运输网络体系”，“10+3”空中骨干大通道是其中重要的一环。



图 | 汪洋



此次启用的京广大通道是中国民航“10+3”空中骨干大通道建设中的第7条大通道，也是我国国家综合立体交通网的重要组成部分，它的启用标志着我国已经逐步构建起全国民航航路航线网络基本架构。

加快“空中高速公路”建设

民航运输业作为国家战略产业之一，在国民经济发展中扮演着重要的角色。近年来，为了进一步服务国家战略、行业发展和旅客出行需要，民航局对我国航线航路网络制定了建设“整体大循环、局部微循环、各单元协同”的目标，并按照“东部扩展、西部延伸、南部分流、北部拉直、中部疏通”的空域革新思路，全面推进全国民航干线航路网络规划设计，以单向循环设计理念推进航路大通道建设工作，规划了“10+3”空中骨干大通道建设。

根据民航局部署，“10+3”空中骨干大通道包括京昆、京广、京沪、沪广、沪哈、沪昆、中韩、沪兰、广兰、胶昆10条空中大通道和成都-拉萨、上海-福州、兰州-乌鲁木齐三条复线，覆盖了全国所有地区。

众所周知，民航的航路航线网络分为主干航路和支线航路。长期以来，主干航路交通流量过于集中，很多支线航路被闲置，整个航路航线容量潜力无法得到充分发挥是行业一直致力于解决的问题。2013年年底，“10+3”空中骨干大通道中的第一条京昆大通道正式开通。京昆线作为主干航路，这条航路贯穿北京、西安、成都、重庆、贵阳、昆明等重要机场，是连接我国西南、西北地区与华北、东北地区的航路主动脉。根据干支航路结合，进一步挖掘潜力的指引，经过调整后的京昆空中大通道以既有航路航线为主体，再通

过调整个别航线走向、新增部门航线段的方式，组合成上行飞行航线、下行飞行航线，形成航线组合通道，实现重要城市之间的班机航线往返飞行分离。

此后，我国又先后开通了广兰、沪兰、沪哈、沪蓉、中韩等5条空中大通道，其中中韩大通道则是我国民航第一个对外空中大通道。中韩大通道2018年12月6日正式启用，打造了由东北亚联通欧洲“来去分开、隔离运行”的国际空中运输通道。中韩大通道全长约1100公里，覆盖我国山东半岛及渤海湾地区，并与韩国衔接。这条“空中高速”开通后，中韩两国航路从“单向相对运行”转变为“双向来去分开运行”。中韩大通道的启用，减少了航班在航路上的交叉汇聚，降低运行风险，提升运行效率，有效缓解中日韩往返华北、欧美航班的空中拥堵，减少航班地面等待时间。同时，中韩大通道与沪哈空中大通道项目相衔接，形成一条纵横有致的空中经纬，两条大通道的建成为区域空域结构带来巨大变化。

根据公开数据显示，自2013年底京昆大通道等6条“空中高速公路”启用以来，民航日均航班量已从2013年的10360架次增长到2019年的16388架次，有力支撑了全国58.2%的航班增量，为我国民航运输业的高速发展提供了高质量的空域保障。

连接两大世界级城市群

为缓解京广航路拥堵现状，提升空域资源保障能力，服务京津冀和粤港澳大湾区两大世界级机场群建设，中国民航局制定并发布了《京广大通道空域结构调整方案》。由于这条“空中高速公路”涉及两个世界级城市群，从项目启动到正式投用共耗时8年。根据民航局相关信息显

示，京广大通道的建设方案涉及京广沿线河北、河南、湖北、湖南、广西、广东、江西等7个省份和北京、天津两个直辖市以及香港和澳门特别行政区，涉及面之广是之前几条“空中高速公路”所不及的。由于涉及面广，这条“空中高速公路”将影响到145个机场，占全国运输机场总数的57.1%，其中千万级吞吐量的机场数量就多达8个。

同时，京广大通道涉及的航线都有一个突出的问题就是航路拥堵、空域和时刻资源十分稀缺，而这条“空中高速公路”从设计之初就致力于缓解这一问题，为民航运输业的持续健康发展创造条件。此次，京广大通道在设计上采用了“两上两下”的建设规划，南段方案主体由两组4条航线组成，主要是将湖北区域以南的原京广航路进行平行单向化改造，并打通京广分流航线至粤港澳大湾区的衔接部分，再结合西侧W102航线，最终实现“两上两下、单向循环”的大通道格局，并有效将北京两场、天津、郑州、武汉、长沙、广州、深圳、香港、澳门等重要区域性枢纽机场进行了有效串联。根据《中国民航报》的统计显示，京广大通道南段方案共开辟及调整19条航路航线，新增航线里程2313公里，调整班机航线走向约5000条，这也意味着全国有超过一半的运输机场将因此调整航线。

从运行效率来看，中国民航局预测，京广大通道的启用预计可为京津冀地区和粤港澳大湾区及沿线地区航班提升近40%的空域容量，新增航线里程2313公里。同时，北京至港、深、珠、澳的航班单程可节省约125公里。在节能减排方面，全年可节省约318万公里里程，节省燃油约1.7万吨，减少碳排放约5.4万吨。在飞行流量方面，京广大通道空域方案实施后可降低京广沿线主要拥堵航路点飞行

流量，最高可降为实施前的67.1%，将大幅缓解航路拥堵情况，有效提升京津冀地区和粤港澳大湾区间航路通行能力。

此外，京津冀地区和粤港澳大湾区是我国两大重量级城市群。京津冀地区2021年生产总值达9.6万亿元，其中北京、河北经济总量均突破4万亿元。而处于改革开放前沿的粤港澳大湾区，是我国开放程度最高、经济活力最强的区域之一。随着2021年东莞迈入“万亿俱乐部”，在粤港澳大湾区，目前已经有深圳、广州、佛山、东莞、香港五座GDP破万亿元的城市，实力强劲。

“十四五”规划和2035年远景目标纲要提出：“以促进城市群发展为抓手，全面形成‘两横三纵’城镇化战略格局。优化提升京津冀、长三角、珠三角、成渝、长江中游等城市群。”这标志着，京津冀地区和粤港澳大湾区两大城市群在未来我国城镇化战略格局中，将发挥越来越重要的作用。京广空中大通道的正式启用，为京津冀地区和粤港澳大湾区两大城市群的优化提升、高质量发展，插上了有力的“翅膀”，赋予了新的强劲动能，而这也标志着两大城市群向世界级城市群又迈出了坚实的步伐。

“空中高速”助力打通干支网络

2022年年初，中国民航局出台了《民航局关于创新“干支通，全网联”服务模式实施意见》（以下简称《实施意见》）。《实施意见》指出，将持续优化航线网络建设，不断满足国家战略、人民出行、经济社会发展等目标要求，进一步释放国内潜在市场需求。而在持续航线网络建设方面，如何进一步实现“干支通、全网联”则是关键的一环。

近年来，为了有效满足中小城市、

边远地区民众的航空出行需求，持续提升旅客对航空运输的满意度和获得感，中国民航正在努力打造干线、支线与通用航空航线互联、机场互通的高质量国内航空运输网络。根据《中国民航报》数据显示，仅2021年一年，全国新增航空人口就达到3563万，截至2021年年底，全国颁证运输机场达248个。在保持数量增长的同时，我国民航干线、支线、短途通航运输之间的“供血”效应也在加速显现。在此基础上，《实施意见》进一步明确了目标和方向，即在“十四五”末，要基本建设广泛通达、中转顺畅的国内“干支通、全网联”高质量航空运输服务体系，为建设国家综合立体交通网、实现多领域民航强国战略目标提供有力支撑。

在这张宏伟的发展蓝图中，“10+3”空中骨干大通道建设就好比民航运输网络的主动脉，如何利用好主动脉，连接更多的“毛细血管”是目前民航业热议的话题。

根据规划，“10+3”空中骨干大通道将覆盖我国所有的领土，但高质量的国内航线运输网络不仅要“广泛通达”，还要“中转顺畅”，这也意味着未来中国民航需要通过更多的方式为旅客提供高效、便捷的中转服务。在这一背景下，如果将航线网络的建设比作“硬件”的话，那么如何在不依赖机队数量、机场等增量资源的前提下，对民航存量资源进行更精准、深入的挖掘，将全国航线网络的整体性优势发挥出来，使旅客可以通过现有网络进行快速中转，最终进入国家核心交通网，是行业亟需思考的问题。

为了解决这一行业难题，民航局在《实施意见》中指出，未来全行业要聚焦痛点堵点环节，开展试点示范工作。重点围绕干支、支支、支通等航线联程过程中存在的问题和瓶颈，鼓励企业联

合机场、航司、OTA等积极探索发展新路径，研究干线与支线、支线与通用等相衔接的运行模式和协作机制，支持各地开展一批因地制宜、各具特色的“干支通、全网通”试点工程，建立试错容错机制，推进试点成果固化推广。

在干支结合的探索方面，内蒙古民航企业已经探索出了一些行之有效的方式和手段。在内蒙古地区短途运输航线具有“小机型、小航线、小航程”的特点，既是当地人民高效的出行方式，也是干支航线网络的重要补充。目前，鄂尔多斯机场不仅开通了鄂托克前旗—鄂尔多斯—北京大兴、鄂托克前旗—鄂尔多斯—上海浦东等“干支通”品牌航线；在“支支干”航线网络建设方面，鄂尔多斯机场创新采用了“1+1+N”模式，即联合内蒙古乌兰浩特、河北邯郸等区内区外机场，以鄂尔多斯机场为中转点，运营邯郸—鄂尔多斯—重庆等试点航线，以此优化航线网络布局，增强机场航线网络通达性。下一步，鄂尔多斯机场还将逐步建设杭锦旗、鄂托克旗、乌审旗通用机场，连点成线、连线成网，构建“干支通”一体的航线网络，逐步形成以鄂尔多斯机场为中心的内蒙西南部通勤通用机场体系。尤为值得一提的是，为了给支线航线匹配合适的机型，国产ARJ21支线飞机在多条航线上深度参与了内蒙古“干支通”航线网络的建设。由此可见，在民航航线网络不断完善的同时，加速推进干支结合将不仅有助于进一步挖掘民航运输业潜能，同时也能助推航空制造业的上下游产业共同发展，从而助力民航强国目标的实现。■

后疫情时代， 中国民航如何重启？

文 | 张晋

近日，中国民航局发布了《2021年民航行业发展统计公报》，公报指出，2021年民航全行业亏损842.5亿元，新冠肺炎疫情对于民航运输生产的影响和持续性超出预期。但这似乎还不是中国民航业的最低谷。2022年3月以来，由于奥密克戎毒株的肆虐，中国民航业再次遭受巨大冲击。2022年第一季度，包括国航、东航、南航等在内的国内三大航亏损进一步加大。2022年第二季度的情况相比第一季度情况更加严峻，4月至5月初的几周，中国民航国内航班量跌至2020年1月底以来的最低水平，可以说，中国民航正在面临着“至暗时刻”，未来民航业该如何重启成为了行业从业者们热议的话题。

又一个百亿级亏损

5月18日，中国民航局发布一年一度的《2021年民航行业发展统计公报》（以下简称《公报》），不出意外，全民航再次遭遇了百亿级的亏损。

根据《公报》统计显示，2021年，中国民航全行业累计实现营业收入7529.2亿元，比上年增长21.5%；亏损842.5亿元，比上年减亏187.1亿元。

其中，航空公司实现营业收入4245.1亿元，比上年增长13.3%；亏损670.9亿元，比上年减亏149.2亿元。机场实现营业收入944.1亿元，比上年增长7.9%；亏损246.2亿元，比上年减亏14.1亿元。保障企业实现营业收入2340.0亿元，比上年增长48.4%；利润总额74.6亿元，比上年增加23.8亿元。据初步统计，2021年，民航全行业应交税金236.9亿元，比上年减少15.3亿元。

《公报》显示，2021年，全行业完成运输总周转量856.75亿吨公里，比上年增长7.3%。国内航线完成运输总周转量641.14亿吨公里，比上年增长9.1%，其中，港澳台航线完成3.01亿吨公里，比上年下降5.5%；国际航线完成运输总周转量215.61亿吨公里，比上年增长2.3%。

《公报》显示，2021年，全行业完成旅客运输量44055.74万人次，比上年

增长 5.5%。国内航线完成旅客运输量 43908.02 万人次，比上年增长 7.6%，其中，港澳台航线完成 59.25 万人次，比上年下降 38.4%；国际航线完成旅客运输量 147.72 万人次，比上年下降 84.6%。而在 2019 年，全行业完成旅客运输量超过 6.6 亿人次。

2021 年，全行业完成货邮运输量为 731.84 万吨，比上年增长 8.2%。国内航线完成货邮运输量 465.14 万吨，比上年增长 2.6%，其中港澳台航线完成 18.99 万吨，比上年增长 8%，国际航线完成货运运输量 266.70 万吨，比上年增长 19.6%。

运输效率方面，2021 年，全行业运输航空公司完成运输起飞架次 395.20 万架次，比上一年增长 6.5%；全行业在册运输飞机平均日利用率 6.62 小时，其中大中型飞机平均日利用率为 6.77 小时，比上一年增长 0.16 小时；正班客座率平均为 72.4%，与上年降低 0.5 个百分点。2021 年，正班载运率平均为 66.9%，比上年提高 0.4 个百分点。

据初步统计，2021 年全行业运输收入水平为 4.55 元/吨公里，比上一年提高 0.27 元/吨公里。其中，客运收入水平 5.28 元/吨公里，货邮运输收入水平 3.05 元/吨公里。

航空安全方面，2021 年，民航安全运行平稳可控，运输航空百万架次重大事故率十年滚动值为 0。发生通用航空事故 16 起，死亡 18 人。

至暗时刻到来

随着疫苗的普及，当业界普遍预测民航运输业将逐步走出阴霾的时候，奥密克戎毒株的肆虐让中国民航业再次跌入谷底。近日，各大航空公司陆续发布了 2022 年第一季度业绩报告，不出意外，无论是三大航这样的龙头企业还是春秋航空等中小型航空公司都出现了较大幅度的亏损，这对

于已经千疮百孔的民航业来说，无疑又是一个重创。

三大航中，国航的业绩报告显示，公司一季度营业收入减少 11%，经营亏损 105 亿元，较新冠肺炎疫情爆发之初 2020 年的 86.5 亿元亏损有所增加。在业绩报表中，国航表示亏损增加除了受疫情的影响之外，燃油价格的持续上涨也是一个十分重要的因素。

南航的业绩报告显示，公司一季度营业收入 215 亿元，运营亏损 59 亿元，去年同期亏损为 54 亿元。股东应占净亏损较上年同期的 40 亿元人民币增至 45 亿元。运营成本从 270 亿元人民币小幅升至 280 亿元。截至 3 月 31 日，南航的现金及现金等价物为人民币 197 亿元人民币，低于季初的 215 亿元。

2022 年 3 月 21 日，东航 MU5735 航班在执行昆明到广州航班，在广州管制区域巡航时，自航路巡航高度 8900 米快速下降，最终坠毁在广西壮族自治区梧州市藤县附近。飞机撞地后解体，机上 123 名旅客、9 名机组成员全部遇难。这起空难不仅终结了中国民航的安全纪录，更为全行业敲响了安全的警钟。同时，这起安全事故未来或将进一步影响东航的业绩。公司 2022 年第一季度业绩显示，公司营业收入下降 5.4%，为 126 亿元，运营亏损为 83 亿元人民币，较 2021 年的 56.2 亿元人民币亏损有所增加，股东应占净亏损较上年同期的 38 亿元人民币增至 77.6 亿元。截至 3 月 31 日，该公司流动资产为 129 亿元人民币。之后随着赔偿等相关事宜的启动，东航将面临更严峻的考验。

然而，由于二季度疫情在以上海为代表的一线城市的蔓延令民航业雪上加霜。由于封控，上海机场发布的 4 月数据简报显示，国内旅客吞吐量仅 8300 人次，较去年同期几乎“清零”。除了国内旅客吞吐量

锐减之外，上海机场国际、地区航线旅客吞吐量同比减少 54.52% 和 89.91%。重创之下，各航司业务量大幅下降。以东航和春秋航空为例，前者 4 月客运运力同比减少 86.61%、环比减少 62.92%，旅客周转量同比减少 89.75%、环比减少 64.5%，客座率 56.9%，同比下降 17.46 个百分点；后者客运运力同比减少 75.97%、环比减少 51.82%；旅客周转量同比减少 81.84%、环比减少 52.44%，客座率 66.67%，同比下降 21.57 个百分点。

之前疫情期间作为航空公司重要收入的货运业务，在 4 月的表现也差强人意。东航货运运力同比减少 82.76%、环比减少 75.08%；货邮吞吐量同比减少 77.06%、环比减少 72.71%。春秋航空货运运力同比减少 81.12%、环比减少 64.82%；货邮吞吐量同比减少 43%、环比减少 42.68%。而东航和春秋航空的市场表现绝非个例。根据 Cirium 的数据统计显示，2022 年 4 月至 5 月上旬，民航定期航班数降至 2020 年 1 月底新冠肺炎疫情爆发以来的最低水平，每日定期航班取消率达到近 70%。可以说，在奥密克戎毒株的冲击下，中国民航正在面临前所未有的艰难时刻。

民航该如何重启

面对严峻的形势，5 月 16 日，中国民航局组织国内航空公司召开视频会议，部署国内客运航班专项支持政策。众所周知，民航运输业在国民经济发展中扮演着举足轻重的作用，因此从 2020 年新冠肺炎疫情爆发之后，世界各国政府都从政策和经济等多个层面对深陷危机的民航运输业进行帮扶。因此，此次民航局在民航业最为困难的时刻召开会议，就是为了夯实民航安全基础，加快恢复市场信心，从而帮助民航业尽快度过疫情难关。

目前，根据民航局公布的信息，此次民航局拟向国家申请资金支持的具体政策内容包括，从 5 月 21 日起到 7 月 20 日，在两个月的时间里对 4500 个国内客运航班通过现金补贴进行“保不亏”的保底支持。即这个补贴政策就是以现有平均每天 2700 个航班为基础，再增加 1800 个航班，并以此为基数，每个飞行小时给予航空公司 2.45 万补贴。显然民航局希望通过财政补贴的方式帮助航空公司保持正常的运营，从而解决三个方面的问题。一是恢复市场信心，保证民航基本的航班数量，避免航空公司因为成本原因大量取消航班；二是保持民航各专业技术人员的业务技能水平；三是保持航空公司运行的基本费用，以达到夯实行业安全基础的目的。但是这样的财政补贴并非长远之计，对于航空公司来说，如何涅槃重生是当前亟需考虑的问题。对此，笔者有几点建议。

首先，无论是航司、机场在经过此次疫情的洗礼之后，应该更加注重航线航班的运行品质，动态化优化市场结构，优化调整航线航班，将更多运力、时刻和资源投入到高客座率、高载运率、高执行率、高准点率的优质航线航班上。举例来说，绵阳机场协调藏航、春秋航等航司，加密华东、中南等经济发达、人员密集地区主

航司、机场应该更加注重航线航班的运行品质，动态化优化市场结构，优化调整航线航班，将更多运力、时刻和资源投入到高客座率、高载运率、高执行率、高准点率的优质航线航班上。

要城市的航线航班，削减非热门、过度依赖旅游的航班在本场所占的份额，全年主营业务收入 1.8 亿元。湛江机场持续加密华东、西南地区等主力客源地的航班，提高了航空主业的风险抗能力，全年主营业务收入 1.08 亿元，同比增长 12%。遵义新舟机场优化航班布局，适时调整长期客座率不高、补贴高的航线，停飞航空公司运力调整、补贴过高的航线，在全年航线航班补贴同比减少 39% 的情况下，实现了利润总额同期增加 8.3%，即便在疫情的冲击下，2021 年也实现了盈利。

其次，要进一步关注二三线市场，通过干支结合的方式挖掘新的市场潜力。根据《中国民航 2021 年盈利企业经营状况调研报告》显示，内蒙古机场集团通过加大“调时刻、调机型、调结构”的工作力度，依托“干支联动”“支支通”的战略引领，提升航线网络辐射能力，积极恢复航线航班，助力地方经济发展，下辖（或托管）的包括呼伦贝尔、通辽等在内的 6 个机场实现了盈利。多彩贵州航空围绕贵州省内旅游资源，持续推出省内环飞、串飞航线，形成了“干线拉动、支线补充、干支联动”的网络格局，加大了民航对当地经济发展的拉动作用。银川月牙湖机场结合区位优势因地制宜地确定了“一中心、一基地、一平台”的发展目标（飞行员训练中心、通航作业保障基地、航空旅游研学平台），整合通航与旅游资源，深挖市场潜力，连续 3 年开展短途运输业务，社会影响力较好，为疫情下通用航空高质量发展起到了示范引领作用，2021 年共保障通航飞机起降 8600 架次、4100 飞行小时。九元航空深挖增量市场，全年陆续新开至三四线城市的航线 20 余条，以武汉—唐山的航线为例，由于市场规模不大，九元航空与当地有实力的旅行社合作，共同开发经营市场，旅游产品覆盖河北、北京的客源，客座率

稳定维持在 85% 左右。

第三，在非航业务方面企业也要适时转变角色，进一步拓宽营收空间。2021 年，安徽机场集团通过调整公司产品结构和创新合作模式，积极开拓新市场，商业资源招商、配餐、酒店、航延等辅业收入同比增长 18%，通过辅业的增收，安徽机场集团在所辖三个机场严重亏损的情况下实现了盈利。此外，企业还应该用足政策红利，培育新的业务增长点。根据《中国民航 2021 年盈利企业经营状况调研报告》显示，海口美兰机场紧抓海南自由贸易港建设契机和离岛免税政策红利，为各驻场商家、上下游企业搭建了良好的推广、展示与促销平台，有效拉动了旅客消费，2021 年离岛免税收入 5.6 亿元、其他非航空性收入 7.8 亿元、油料收入 21.4 亿元，合计占营业总收入的 85.6%，同比分别增长 25%、9.8% 和 56.3%。贵阳机场主动融入双龙航空港经济区发展，紧紧围绕“空港核心”，打造与航空主业相关程度高、经济效益好、发展潜力大的产业布局，2021 年实现非航空性收入约 5 亿元，同比增长 887.8%，占总营业收入的 54.2%。

综上所述，在经历了疫情的洗礼之后，对于中国民航业来说，新一轮的洗牌或许在所难免，而优胜劣汰恰恰也是行业不断前进和发展的必然结果。从长远来看，中国经济发展向好的态势并未因为疫情而发生改变，未来中国民航市场的发展前景依旧被全球市场看好，但尽管如此，相信后疫情时代，只有那些善于结合自身实际，制定全面、系统、精细化的经营管理策略和方案的企业才能继续享受中国民航发展的红利。■

航空运输

国际航班重启在即的思考

文 | 程佳俊

如今，新冠肺炎疫情已持续影响3年，新冠病毒从德尔塔到奥密克戎，病毒的致命性在降低。不少国家逐步恢复国际航班，促进人员流动，以重启萎缩的经济。那么，国内的管控政策何时得以松动，国际航班何时能逐步恢复？



图 | www.pinterest.com



为坚决遏制境外新冠肺炎疫情输入风险高发态势，根据国务院疫情联防联控工作要求，自2020年3月起，中国民航局颁布规定，即国内每家航空公司经营至任一国家的航线只能保留1条，且每条航线每周运营班次不得超过1班；外国每家航空公司经营至我国的航线只能保留1条，且每周运营班次不得超过1班。业内将上述政策简称为“五个一”政策。此外，各家航空公司在遵守“五个一”政策的同时，还须严格执行额外的熔断措施，这是目前导致国际航班数量骤减的主要原因。如今，新冠肺炎疫情已持续影响3年，新冠病毒从德尔塔到奥密克戎，病毒的致命性在降低。不少国家逐步恢复国际航班，促进人员流动，以重启萎缩的经济。那么，国内的管控政策何时得以松动，国际航班何时能逐步恢复？

部分国家已先行先试

目前，随着全球各国对新冠肺炎病毒研究的更加深入，对疫情防控手段也更加精准和有效。部分国家迫切地想要减少隔离措施，快速重新连接世界。研究普遍认为，某一国防疫政策若率先松动，一般会同时满足两个基本条件：第一、已经存在较好的疫情防控水平，即确诊人数未出现连续不可控的增幅；第二、该国内部难以存在自身供需循环，需要外部资本投入，特别是以旅游业为支柱的国家。例如，身处东南亚地区的泰国，早在2020年的7月，就宣布开始有条件地恢复国际航班。并在次年的3月，泰国恢复国际航班过境中转业务；11月，泰国正式接受来自63个国家和地区完整接种新冠疫苗的旅客可免隔离入境，以吸引更多国内外游客，推动该国旅游业的快速复苏。

根据新冠肺炎病毒毒株变异迭代的

研究普遍认为，某一国防疫政策若率先松动，一般会同时满足两个基本条件：第一、已经存在较好的疫情防控水平，即确诊人数未出现连续不可控的增幅；第二、该国内部难以存在自身供需循环，需要外部资本投入，特别是以旅游业为支柱的国家。

趋势，病毒虽然在传播能力上大幅提升，但是与初代毒株相比，致死率已经大幅下降。加之全球范围内疫苗接种率的持续提升，目前已有东南亚、澳洲、北美等国相继宣布恢复原有的国际航班，并且逐步放宽签证发放和旅行限制。世界旅游及旅行行业理事会预测，2022年世界旅游业对全球经济的贡献或将达到8.6万亿美元，仅比疫情前低6.4%。2019年，全球旅游业创造近9.2万亿美元的惊人收入，然而2020年，新冠肺炎疫情肆虐，导致旅游业收入骤降49.1%，相当于损失了4.5万亿美元。该组织相关负责人表示，在过去的两年，全球旅游休闲相关行业均遭受了巨大损失，随着游客再次开始旅行，各国政府应简化流程，帮助游客快速、简单、安全地进行国际旅行。

开放已提上日程

中国是目前世界公认疫情防控最好的国家之一，不仅能够正确、有效地管控境外输入病例，还能迅速控制本土疫情的蔓延扩散。尽管如此，中国政府却始终没

有降低严格的入境隔离政策。结合国内实际情况，不难发现：中国人口基数庞大，疫苗接种率相对较低是目前较为主要的原因；另一方面，全国大型活动相继举办，需要相对稳定可控的防控环境。

面对欧美、亚太等地多个国家和地区宣布将放宽或取消出入境旅行限制计划，中国何时能有条件开放国际航班，中央疫情防控指导组专家组成员、中国工程院院士张伯礼接受专访时表示，正在做相关评估工作。中国的适度开放一定会把“生命至上”放在首要位置，其次要做好充分准备，才能谨慎有序逐步进行。张伯礼还强调，社会大众对于感染人数的心理预期需要进行一定的调整，另外，物资的保障也必须充分，包括医院、方舱、药品、医疗队伍都要准备到位，以应对国际航班开启之后的疫情防控。复旦大学附属华山医院张文宏医生也发表了自己的见解：全球什么时候全面恢复往来，暂且难以给出答案。但是一些国家有条件地恢复往来，今年下半年就会开始准备。我们希望中国在2022年可以有条件地跟一些国家恢复往来，这取决于打疫苗的速度。尽快接种疫苗，满足有条件开放的需要，中国就可以跟世界上疫苗打得不错、发病率低的国家有条件地恢复人员往来。显而易见，计划已经提上日程，2022年是关键的一年，是全力做好准备的一年。

解读政策、指明方向、有的放矢

局方关于《“十四五”民用航空发展规划》给出了官方解读。总体来说，“十四五”时期支撑我国民航持续较快增长的基本面没有改变，民航发展不平衡不充分与人民群众不断增长的美好航空需求的主要矛盾没有变，航空市场增长潜力巨大，仍处于重要的战略机遇期，但机遇和

官方指明了方向，国际航班的恢复虽然要等到2023年，可一旦重启，恢复速度将远超我们的想象。

挑战都有新的发展变化。

从近期来看，受新冠肺炎疫情影响，民航“十四五”发展将呈现明显的阶段性特点。《规划》明确地提出将民航“十四五”发展分为两个阶段：2021～2022年是恢复期和积蓄期，要进一步巩固拓展疫情防控 and 民航发展成果，重点要扎实做好“六稳”工作，全面落实“六保”任务。这一时期民航发展要着眼于制约民航发展的长周期变量，利用好市场恢复阶段民航运行总量低负载期，加快重大项目实施，抓紧推进重大改革，合理调控运力投放，稳定扶持政策，积蓄发展动能，促进民航业恢复增长。2023～2025年则是增长期和释放期，重点要扩大国内市场、恢复国际市场，释放改革成效，提高对外开放水平，着力增强创新发展动能，加快提升容量规模和质量效率，全方位推进民航高质量发展。官方指明了方向，国际航班的恢复虽然要等到2023年，可一旦重启，恢复速度将远超我们的想象。

如何准备、又该如何有序恢复？

自从去年全球疫情爆发以来，出境政策逐步收紧，国家层面至今提倡“非必要不出境”，移民局也暂不签发非必要、非紧急出境事由的普通护照等出入境证件。从2020年3月底开始，国际航班也大幅削减，施行严格的“五个一”政策，

并多次升级增加熔断等措施，至今未有明显松动的迹象，部分航班在留学旺季等期间一票难求。由于出入境政策限制，以及航班大幅减少，除了留学生等持有国外中长期居留签证的人员以外，普通游客在去年3月后，理论上已经没有了出国旅游的机会。实施全球疫苗接种项目，共同努力结束疫情，这是全球经济复苏和国际航空客运恢复的基础。在此，笔者对航空公司恢复国际航班谈谈个人的拙见。

了解“入口”国家：从宏观政策出发，国家层面鼓励恢复与疫情管控较好的国家的各项交流，避免疫情失控的国家输入大量病例。所以，不排除在放宽入境限制后，熔断措施机制还会继续适用的可能性。做好有序开放的第一步，就是实时了解目的国家（地区）的疫情防控水平。

选对“出口”城市：落实到具体的政策上，政府肯定希望从自身疫情防控管理较为出色的城市中挑选，进行优先试点。通过这些试点城市的成果来逐步推广实施，这符合目前我国的国情。特别是拥有大型国际枢纽机场的一线城市或准一线城市，或将承担首批开放城市的重任。

根据自身的战略导向。顾名思义，根据公司的国际战略发展，以及现有的国际航线网络布局进行有序的快速恢复。2021年上半年业绩交流会上，三大航及春秋航

2021年上半年业绩交流会上，三大航及春秋航等上市航司均有此类看法：后续如果国际疫情持续稳定，会率先恢复原有的航班，重新与国内现有基地连接。



等上市航司均有此类看法：后续如果国际疫情持续稳定，会率先恢复原有的航班，重新与国内现有基地连接。原因很简单，这些在疫情发生之前，就已经获取的航权和时刻、已开拓成熟的市场较为容易开展自身工作。

遵循市场供需的法则。以市场需求为导向，是市场经济下航空公司赖以生存的法则。简单来说，有市场需求的国际航线才是疫情常态化下，我们需要有针对性地去挖掘和分析的。目前国际航班的刚需客源仍然以留学生为主，率先恢复留学生基数较大的航班是市场供需的首要原则。

夯实恢复和积蓄期的基础、抓住增长和释放期的机会，在“十四五”时期，民航强国建设将进入崭新阶段，努力实现从单一航空运输强国向多领域民航强国跨越的战略目标。当前，中国民航面临着新发展形势，也肩负着新的历史使命，在百年未有之大变局下，虽然民航发展外部环境的复杂性和不确定性增加，但是民航需求是强韧的，民航复苏之路依旧看好。■

人物

潘星：为型号打赢 每一场采供配套攻坚战

文 | 刘筱然 周岑茗 图 | 严天宇

潘星

采供物流中心副主任
结构系统采购部党支部书记、部长

1982年出生，中共党员，2009年入职。曾获2016年度中国商飞“先进个人”称号，2017年中国商飞C919大型客机首飞个人一等奖，2018年“突出贡献个人”称号，2021年度中国商飞公司“最美商飞人”。

2007年，告别校园、初入职场的潘星的第一份工作便是在中航商飞负责国际采购业务。直到2009年，因为组织机构变革，中航商飞采购部整建制划转到上飞公司，至此，潘星加入上飞，开启了他的大飞机奋斗之路。

型号任务就得能干成、能干好

2021年，决战决胜“三个一”目标势在必行。作为采供物流中心C919项目的负责人，潘星需要总体负责采购配套、供应商管理和仓储物流相关工作。

面对复杂的环境形势和疫情影响，采购配套工作的困难和复杂程度异常艰巨。面对挑战，潘星始终坚持“以生产为中心的服务”，在采供一线为C919研制工作保驾护航。他带领团队成员迎难而上，主动拉动，针对外场重大改装和试验试飞配套问题，积极协调上飞院、上飞公司和外场试验队，提出尽快梳理识别备件清单的要求，并根据产品清单，组织团队定期召开会议核对配套状态，对逐项产品进行包括备件、到货情况等在内的状态分析，从技术、配套、商务上综合考虑，直到确认试飞配件可以满足要求。

2021年10月23日，中国商飞公司党委书记、副总经理，上飞公司党委书记、董事长魏应彪在阎良召开了一场试飞备件专题会，急需改装需要的新构型产品加速入库。“任务明确，时间节点就是军令状，我们誓要干成拿下。”在上

海，以视频形式参加了本次专题会的潘星立志要在节点内完成采供配套攻坚。

而此时，由于疫情影响，零部件供应商难以订到合适发运的国际货运航班。试飞改装的必要物资卡在了半路，看着任务节点一天天逼近，潘星同团队成员们开展了多轮头脑风暴后，主动到国际货运市场上咨询货运代理情况。通过不懈努力，团队找到了适合运输物资的国内航空公司，为供应商的发运难题提供了解决方案。最终零部件完成入库工作，比预计的任务节点还提前了两天。

面对急难险重任务，勇挑重担，勇闯关隘，潘星从不退缩。2021年，他带领团队共完成900余项试验试飞重大改装所需物料配套工作，完成1000余项试飞所需替换件的配套工作，及时解决了一系列重大试验试飞配套问题，保障了C919飞机重大试验试飞工作的开展。

带着供应商一块儿向前“跑”

“最令我难忘的，还是要数2017年保障C919首飞。”潘星

回忆工作至今的种种经历说道。在C919首飞前的那一个月，潘星与供应商们一起“泡”现场全天候待命，随时为试飞工作做调整、排故，无论是上飞公司团队，还是供应商，白天黑夜都在一起，保证信息的同步更新和及时双向互动。“问题不过夜”也成为了那时候团队成员们的一致信念。正是拥有了使命必达的心态和全力冲刺的付出，采供团队和供应商互相融入，拧成一股绳，最终成功保障了C919第一架机的首飞。

保障C919首飞的工作，让潘星真切地感受到团结协作去解决所有问题的力量，当大家面前都有了一个准确的共同目标，供应商可以与公司一起为了实现目标做到齐心协力，逢山开路，遇水搭桥。“这是我最宝贵的财富，也为后来迎战C919飞机取证、批产等积累了丰富的经验。”潘星说。

从C919首飞，再到批产，潘星参与了采供配套保障的全生命周期，也渐渐明白，采供是一项与供应商无法分割的工作，如何与供应商合作，带着供应商一块儿往前“跑”，是一门重要学问。

这些年来，潘星一边工作一边总结，在他看来，作为主制造商，

“要先确定好目标，然后拆分目标，再通过制定相应制度，去落实每一个环节，最终定会达成目标，我们要做的，就是绝不在采供环节影响目标的落地。”



首先要理解法律法规、技术、质量、适航等各方面内容，吃透需求、吃透技术，分析清楚到底需要什么样的供应商，需要供应商做什么样的工作，这些工作要达到什么样的标准，并落实到选择供应商的文件以及和供应商签署的合同中去，坚持按合同办事的原则。与此同时，还要持续强化供应商管理，做好内部职责分工，不断提升管理水平和要求，持续对供应商进行项目管理和监控。

自 2021 年起，潘星带领团队制定了一套供应商绩效和风控管理措施，要求各个科室每月都对供应商的表现做出分析，按照规定的细则对供应商在产品交付率、交付时间、产品质量、撤保留工作完成情况和问题处理成效等多个方面进行打分，以此反映出供应商的工作趋势，形成完整的供应商管理档案，帮助部门提前判断供应商是否能在未来工作中满足公司的各方面要求。“实行供应商绩效和风控管理，根本目的在于通过适时向供应商反馈这些信息，最终提升供应商产品质量和交付时效，为供应商整改和提升提供依据。”据潘星介绍，正是因为建立起了完善的机制，主制造商的要求才能得到充分理解和尊重，摆脱简单的督促产品交付的被动局面，提高了工作效率，加快了工作进程。

在过去 15 年的工作经历中，潘星始终奋战在采购与供应商管理工作岗位上，先后参与了 ARJ21

飞机总装下线、首飞、试飞取证和首架机交付客户工作，又经历了C919飞机从供应商选择、合同谈判，到总装下线、首飞、试飞和批生产配套工作。虽然日常的工作繁忙且充满挑战，但是当潘星回看自己的工作成果时，总是满怀感恩与自豪：“每架飞机的上天都有我们的一份力，从选供应商，到合同谈判、合同签署、产品交付，然后入库，到现场安装，处理问题，最后看着飞机飞上天去，这种感觉真的挺好的。”

用有效管理保证高效工作

2020年，公司启动了供应商对C919项目的批生产工作，初期阶段由于项目众多，采供物流中心组建了C919大客批生产配套工作团队，潘星在团队中完整参与了与九大机体供应商的谈判工作，平均每周与五六家供应商开展高层协调会议，有时轮流与各个供应商商谈的会议一开就是五六个小时，就这样整整持续了一年，终于为C919项目批产配套工作定下了与供应商合作的基准。

C919首架交付客户飞机的中机身中央翼，生产任务至少需要6个月的时间，但因为种种原因，供应商生产的时间延后，交付节点近在眼前。“任务紧、时间短，要在采供配套阶段抢回一半的时间，只有齐心协力，紧盯效率。”在潘星看来，世上无难事，只怕有心人。

作为临时成立的中机身中央翼交付配套组副组长，潘星首先充分协调，明确设计要求并发图，协调验收，在装配现场安排采供总代表与工艺人员，生产时同步收集和更新现场需求，在小组内快速分配任务去解决现场生产和技术问题。哪怕面对极具压力的任务，潘星也总是有属于自己的问题解决方法，“要先确定好目标，然后拆分目标，再通过制定相应制度，去落实每一个环节，最终定会达成目标，我们要做的，就是绝不在采供环节影响目标的落地。”

这些年的工作中，潘星形成了自己擅长的工作模式：组建工作团队，统一工作目标，统一工作要求，统一汇报表格，统一管控工具，统一验收标准……“把握住明确的目标和制定完善的工作机制，可以更好地服务批产的工作需求。”这样的方法，也在无数次工作中印证了其高效性。

作为采供物流中心副主任，除了生产管理之外，部门内部管理也是潘星工作中的重要组成部分。为了更好地体现采购的业务专业性，增强专业归属，使采购员对产品更加熟悉并能更好地处理产品的技术问题和采购问题，2021年，潘星对内部组织机构进行大胆调整，参照产品类别及采购业务的特点，对采购组的组织架构进行一轮更新，形成更加专业化的采购队伍，强化了采购管理人员的供应商管理责任，使采购人员从单纯的采购管

理，转变到更加全面而系统化地掌控供应商绩效和管控风险。

如今，ARJ21飞机交付的客户越来越多，客户的选型产品需求越来越多样，为了更好地服务客户，更体现市场化的特点，部门成立了零组件采购室，更加面向市场进行成本管控。“以前结构件组既要负责大的部段，也要对接很多小件、零散的供应商，大部件的影响比较重大，所以科室重点精力难免会顾此失彼，现在通过科室拆分，无论大物件还是小物件都有专人负责了。”潘星带领着团队向更专业化的业务分工、管理又迈进了一步。

在潘星看来，采供工作未来依然会遇到很多新的形势变化，在工作中更要注重创新的意思，要适应新的变化，创造新的工作方式，满足如海关围网、局方监控等新的要求，面对不断变化的工作，潘星用自己乐观、豁达的性格，积极面对着挑战，从不退缩，即使工作繁忙，在潘星的办公室外，也总会听到他爽朗的笑声，“兵来将挡，水来土掩嘛，保持一个积极乐观的心态还是很重要的。”潘星笑着说。

回顾这些年的时光，潘星总会感慨：“总装制造要承担的任务是艰难的，面临的问题是很复杂的，我们使命重大，做难事终有所得，确实是如此。”■

在阎良的青葱岁月

文 | 任和



任和

中国商飞教授级高级工程师，中国商飞营销委技术总监。曾任 C919 总设计师助理，中国商飞客服中心副总工程师（主持工作）、工业设计所（国家民机工业设计中心）所长，上海民用飞机实时监控与健康管理中心常务副主任。共出版 10 部学术专著，发表一百余篇学术论文，有 5 项省部级以上科技成果奖、28 项国家专利，3 次获得德国“红点”设计奖、2 次中国创新设计“红星”奖，3 次上海“白玉兰”工业设计奖、中国“好设计”奖等。荣获“上海市浦江人才”、“世界十佳杰出设计师”等称号。

那年，我有幸应邀参加中国第一飞机设计研究院（一飞院）成立 50 周年的庆典。这是一个令人激动、让人感慨的日子。因为，一飞院是我的第一个工作单位，我人生最美好的十年青春在那里度过，那里有我难忘的记忆。

一飞院的前身叫西安飞机设计研究所（中航工业第 603 研究所），是国家研制大型运输机的基地，地处西安市阎良区，距西安 65 公里。我是 1980 年代中期大学毕业后分配来到这里，从事国家某重点型号飞机的研制工作。

那时的条件非常艰苦，从阎良去一次西安非常困难，要乘大巴走 3 个多小时。班次也很少，公路狭窄颠簸。我们经常和当地农民一起挤在满是鸡鸭的车上，一路尘土飞扬，臭气熏天。入职时我和十几个新员工挤住在一个大教室里，条件比上大学时的学生宿舍还要差。头顶上的日光灯不能关闭，24 小时亮着，让人无法入睡。结婚后单位也没有住房，我们不得不租住在附近农民的家里。阎良是黄土高原，严重缺水。当地



→

图片由作者提供

的井水矿物质严重超标，不能饮用。从外引来的水量又不能满足需求，我们每天只能定时供水几小时。家家户户不得不储备一口大缸，来水时灌满，以供断水时使用。

我大女儿出生时，我们租住了一间平房。房子外面搭建了一间窝棚作为厨房。没有煤气，没有暖气，房间里生一个蜂窝煤炉子取暖，窝棚里一个块煤炉子做饭，窗户外架一个烟筒，炉子下面装一个鼓风机。做饭时先用木材点燃，上面加煤，用鼓风机吹，火苗便呼呼地往上冒，但满屋都是灰。取暖的炉子有一根长长的烟筒伸到窗外。女儿的尿布就挂在这个烟筒上烘干。家里满屋都是尿臊味。

我的邻居恰巧是现今鼎鼎大名的吴光辉院士，C919 飞机总设计师。年轻时的辉院士潇洒帅气，夫人也是所里最漂亮的美女大学生。辉院士是南方人，为人温和谦逊，和他相处总能感受到他的真诚。我们居住的平房非常简陋，房顶的天花板是用苇席编织而成的。下面用报纸糊着，即便很小声说话，对方也能听见，根本就不隔音。两家没有任何秘密可言。



房顶的老鼠，一到晚上就像开运动会一般，从我家窜到他家，噔噔作响，吵得人难以入睡。辉院士的儿子和我的女儿同年先后出生。两个小家伙，你哭罢了我来唱，此起彼伏。天气好的时候，我和辉院士各自用一根长腰带拎着他们，像遛狗一样在院子里走来走去，让他们学走路。

周末，我和辉院士常骑一辆三轮车去煤场买煤拉煤。运回来以后，堆放在院子里，用大锤砸碎后再入池待用。我家做饭的炉子总也搞不好，要么是生不着火，要么是火苗被烟筒吸走效率不高。而辉院士心灵手巧，对砌炉膛很

有技巧。他攥泥巴时，往里面加了头发和稻草，又用燃烧理论做“回火弯”，效果非常好。

就是在这样的一个艰苦环境里，603 所承担着许多国家大型重点工程。那里的员工甘于寂寞，充满激情，无私奉献，为我国的国防事业和民机发展作出了巨大贡献。一晃我离开阎良 30 多年了，然而 603 所的人和事却让我魂牵梦绕。往事历历在目，难以忘怀。现在的 603 所有崭新的科研大楼，有绿树成荫的科研新区、全新的家属楼，还有宽敞明亮的体育馆。沧海桑田，今昔巨变，我为我的家园骄傲！■



詹东新

詹东新，浙江杭州人，中国作家协会会员，上海市作家协会理事。先后出版科普文集《飞遍天下》《享受飞行》《飞行与健康》和《和飞机有千万个约会》《人类的翅膀》；主编心理学专著《“管制”压力》；写作出版长篇小说《钱江潮》《圆》《马上起飞》《飞往中国》《晨昏线》等。多家报刊、杂志专栏作者。公开发表或出版各类作品 250 余万字，多次获奖。

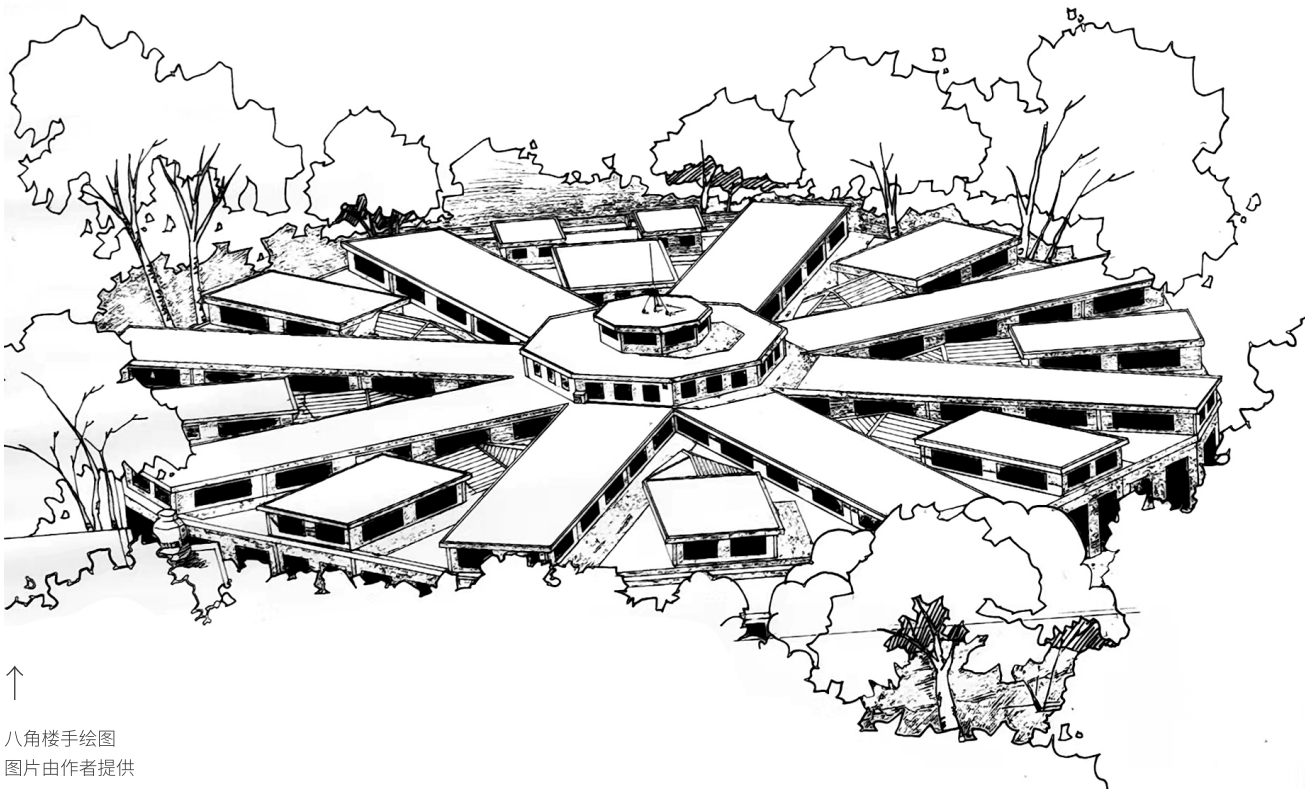
风雨八角楼（上）

——洪都航空的前世今生

文 | 詹东新

南昌，在我国航空史上写下了淋漓酣畅的篇章，八角楼更是一块名符其实的活化石。无论在山河破碎的民国，还是新中国的阳光下，八角楼都是中国航空工业百年风雨的见证者。

八角楼，又称八角亭，而称之为“楼”更合适，因为它是上世纪三十年代意大利人设计、中国人筑造的一座能容下八架飞机（当时的螺旋桨机）的现代化工厂建筑——正中为凸起的二层采光顶办公室，颇像一座亭子，整栋建筑以此为轴心，成八等分向四周散射，自然形成了八只角，坐在二楼同样呈八角形的“亭子间”，透过巨大的玻璃，能随时观察到一楼每个角落工人操纵机器的实况。如此庞大的建筑，称为“亭”，显然有些小气了。



↑
八角楼手绘图
图片由作者提供

航空救国

上世纪二三十年代，南昌东郊的老营房机场是中国空军的四大基地之一。1923年4月2日，孙中山在老营房机场的南昌航空教导队开学典礼上，亲笔写下“航空救国”四个大字。

后来，随着航空产业规模的日益扩大，老营房机场已不能满足需求，蒋介石亲自勘察，最后选定在三家店新建机场。八角楼就在三家店机场域内。

1935年1月21日，国民政府与意大利签约，同意建立中意合资南昌飞机制造厂。国民政府财政部长孔祥熙和意大利人阿坎波勒为双方代表，在上海签订了《国民政府与意大利联合成立意大利和中国航空协会》相关文件。当年9月30日，中意签订成立“中意南昌飞机制造厂”正式合同。工厂董事长为宋家二公子宋子良，总经理为意方的阿坎波勒。双方同意1936年4月1日为“中意南昌飞机制造厂”正式开工日，由意大利帮助建厂，引进生产意式飞机。八角楼便是1936年由意方工程师设计的，平面呈八角形、上下两层的建筑，第二层上部还

有一层八角形采光顶。一楼主体建筑的八面大墙，安置了大面积的钢窗小格玻璃，方便生产透光。八角楼的每一放射面能驻停一架飞机，总共能供八架飞机同时作业。这在当时的中国，已经是超豪华大气的厂区建筑了。

1936年11月始，中意南昌飞机制造厂边建厂边修理飞机。1937年4月，工厂落成，正式开启生产模式，组装生产意大利B-25教练机（计划20架）、SM-81B轰炸机（6架），尤其是后者，首开国内制造（组装）双发大型轰炸机先河。

此前，墨索里尼为拉拢中国，赠送蒋介石一架由SM-72轰炸机改型的豪华客机（编号1-ABMO）作为委员长与夫人的私人座机。这就是驰名中外的“美龄号”，此时指定在中意合资的南昌飞机制造厂维修保养。

青云谱机场

1933年9月，鉴于老营房机场不堪重负，蒋介石下令，在三家店附件的荒土地上辟建新机场。次年8月，工程如期展开。这是国民政府旗下的一场“人民

战争”——从各地征调民工29万，不分昼夜，无间断施工。不难想象，在8月的“火炉”南昌，几十万人龟集在数平方公里范围内是一番怎样的景象。头顶尘土蔽日，人人大汗如注。没有挖掘机，没有压路机，没有运输车，只有扁担、箩筐、铁锹、石碾子。在缺乏大规模机械的时代，人的血肉之躯发挥着主要作用。经过半年多的人海战术，1935年春天，三家店机场会战收官，号称远东第一大机场。蒋介石携夫人宋美龄（航空委员会秘书长）踏着春风前来剪彩，两人的嘴角挂满笑意。

三家店机场登上航空舞台后，老营房机场退居幕后。南昌飞机制造厂的大本营旋即迁至新机场。与八角楼在一起的，还有七座机棚、一幢库房、一条1500米长的碎石跑道、一座航空指挥塔。开始是修理车间，检修发生了故障的外国飞机，或者给飞机做定期保养。引进意大利技术后，工厂边修理边生产，八角楼的灯光彻夜亮堂，工人们如机器般连轴运转，常常多架飞机同时生产与检修。

蒋介石视南昌飞机制造厂为他的得意之作。正当他踌躇满志，

准备撸起袖子大干一场时，1937年7月，日本军国主义悍然发动了全面侵华战争。三家店机场一夜之间成为抗战前沿，中国空军的战斗机，从弹痕累累的三家店机场的碎石跑道上起飞，奔赴抗战第一线，轰击日本军队。

抗战爆发的当年，由于沪、宁、杭相继陷落，南京明故宫机场、杭州笕桥机场落入敌手，南昌机场成了中国空军基地的中流砥柱。当时，全国能升空的飞机共305架，南昌一地占了200多架。这里的飞机可轰炸到上海、南京、杭州等日占区的机场，并扼守着长江上的航道。从三家店起飞的飞机，先后与华东战场的日机进行了40多场殊死空战，击落击伤敌机60多架，击毁停场日机90多架，炸毁长江上的日舰20余艘。

1937年末，国民党“中央航校”教官、被张学良誉为“空军战魂”的驱逐机大队长高志航一度从笕桥转场南昌，他所在的大队驾驶美制寇斯霍克驱逐机。驱逐机大队从这里起航，飞临宁、沪、杭地区，跟日军反复拼杀。勇士们先后击毙了不可一世的日军王牌飞行员潮田良平、南乡茅章等，俘虏跳

伞飞行员15名，在抗战初期写下了彪炳青史的一页。

1937年8月21日，中苏签订互不侵犯条约。苏联应国民党政府请求，也从自身利益考量，派遣志愿航空队来华助战，三家店机场便是抗战前期苏联空军的重要作战基地之一。1937年至1941年间，苏军志愿航空队一度达到4个战斗机大队和3个轰炸机大队的规模，空地勤人员超过700人。苏联空军采取轮换制，先后在华人数达2000余人，其中200多人将英灵留在了中国。

抗战全面爆发后，蒋介石、宋美龄与美国在华的空军顾问克莱尔·李·谢诺尔特在庐山会晤。后者的中文名叫陈纳德，是1936年由航委会秘书长宋美龄（实际上是空军的领导人之一）聘任的中国空军顾问。会见后，蒋委员长指派陈纳德到三家店机场指导中国空军作战训练。到任后，陈纳德发觉情况不妙，南昌基地虽有200多架飞机，但能上天的飞行员才20多人，遂开始招募部分美国飞行员组成第14轰炸机大队。后来，抗日形势的发展，促成了陈纳德组建美国航空志愿队的初衷，飞虎将军陈纳

德是自始至终留在中国战区的美国志愿者。

1939年3月，日军占领南昌，满目疮痍的三家店机场沦为日军的军营，见证了中国军民六年的屈辱与抗争。1945年抗战结束，中国军队光复南昌，侵华日军华中派遣军第11军司令笠原幸雄从武汉乘飞机降落三家店机场，但这次他不是作为胜利者，而是作为败军之将向中国军队投降，也为机场的十周岁庆生。

该机场以前一直称为三家店机场，主要指的是地理坐标，后来为跟行政区域划分统一，更名为青云谱机场。

八角楼的泪光

话说当年南昌飞机制造厂运行后，在华东并不耀眼的南昌的地位如日中天，成为当时集航空工业中心、航空管理中心、航空科研中心及主要空军基地于一身的航空战略中心。战后，有美国研究人员撰文指出：“战前中国有四大空军基地，即南京、杭州、南昌、洛阳，其中南昌不仅是作战中心，还是训练中心。”

中日战争爆发后，德、意、

日为“轴心国”，日本军国主义当然容不得南昌飞机制造厂活下去。意方和日方互为友邦，暗中眉来眼去，早就将工厂的坐标出卖给了日方。日军侦察机抵近侦察在前，轰炸机跟随在后。1937年8月26日，6架日军轰炸机飞临三家店机场上空，点穴似的轰炸弹无虚发，厂棚、机坪、跑道全部中弹。在熊熊的火焰中，当时中国最完备最现代的飞机制造厂沦为废墟。八角楼因为离机坪与跑道较远，幸免于难。

瞧着满地瓦砾的三家店基地，仅存的冒着硝烟的八角楼，蒋介石下令中断与意方的合作，接管中意飞机制造厂，并将厂里残存的机器设备悉数迁往大后方重庆，在南川县丛林沟海孔洞重建工厂，并更名为第二飞机制造厂。

明治维新后的日本，其野蛮的进化远远超越文明的进步。南昌飞机制造厂的被毁并没有减轻日军对中国航空基地的仇视。据南昌史记载：“1937年10月20日，14架重轰炸机空袭市区，炸死市民数十人，烧毁大批房屋。10月23日，6架日机轰炸牛行火车站，并在市区投下十几枚毒气弹。1938年1月9日，



如今的八角楼旧址
图片由作者提供

风雨八角楼（上）——洪都航空的前世今生

37架日机在南昌王安石路、金盘路、张家花园等处投弹130余枚，炸毁民房20余栋，死伤市民无数。1月12日，42架日机空袭顺外及近郊乡村，掷弹100余枚，毁民房50余栋……”

飞机厂的被毁不影响空军基地的继续存在。况且，日军飞机轰炸在前，南昌军民恢复在后，三家店机场的跑道一旦被炸，从四面八方涌来的民众连夜抢修，浩浩荡荡的民工队伍不吃不喝，也要将跑道恢复。1938年六七七月间，中国空军依赖三家店基地，连续轰炸日军在长江上的军舰、运输船只，轰炸日占区安庆、南京、杭州等地的机场。日军视三家店机场为眼中钉、骨中刺，欲毁之而后快。1938年7月15日，37架日机突破中国空军的阻拦，侵入市区，在三家店地区投下炸弹140枚，炸死炸伤贫民数十人。8月4日，27架日机分两排侵入市区，投弹100余枚，炸毁房屋100多栋，市民死伤260余人。8月25日，日机18架袭入南昌西南郊等地……

1938年10月，日军又在南昌流血的伤口上狠狠补下一

刀。30日，蒋介石乘专机秘密降落在三家店机场。不料隔空有眼，消息被日军获悉，引来了南昌历史上最惨烈的一次空袭。日军18架重轰炸机在战斗机的掩护下突进市区，在中山路、胜利路、肖家港等地进行了地毯式轰炸。日军首脑估摸，蒋介石的地位决定了他必在新式洋楼下榻，是以凡有新式洋楼的地方都被扔下炸弹。

尽管有中国空军的顽强拼杀，日机仍在市区投下300余枚重磅炸弹，炸死炸伤贫民589人，毁坏房屋532栋，大批交通设施遭破坏，一时火光遍地，烈焰冲天。美丽的金边瑞香在燃烧，八角楼深深哀嚎。千年古城陷入空前劫难。

抗战胜利后，国民政府将西撤的飞机制造厂迁回南昌，随之而来的还有中央航空研究院，人才济济，其中有徐舜寿、余中奎、林士谔等蜚声海内外的科学家。这座式样别致的八角楼似乎迎来了重生，但由于蒋介石发动内战的烽烟再度燃起，南昌航空制造基地的重建举步维艰，倒像是回光返照，甚至没有恢复到战前的气势，许多杰出的航空英才空有

一腔热血，无用武之地，不是另奔他乡，就是去学堂教书。八角楼又沉寂下去，无限伤怀。直至解放后诞生了洪都航空，八角楼才真正迎来新生，它在鄱阳湖的浪涌浪打中，见证了新中国仿制的第一款飞机的起飞，强击机的亮相，第一架喷气教练机的冲上蓝天……

如今，曾经偏居南昌城外东南一角的八角楼所在区已成了市中心，这里的老机场和大片土地在挖掘机、推土机的震颤声中，逐渐让位于亮丽夺目的现代化高楼，而在它的东北方向，临近鄱阳湖的瑶湖区，一座现代化的新洪都航空城已开足马力，展开生产。与航空城联体的瑶湖机场正成为包括C919大飞机在内的试飞机场。

八角楼是幸运的，在大半个中国经历战火后，竟能免于兵燹。即使在今天看来，也不像是一件饱受风霜的旧物，倒似一件裹了包浆的古董，历久弥香，充满着建筑的质感和艺术的韵色。■



柏蓓

毕业于兰州大学新闻与传播学专业，长期从事航空新闻报道，现任职《大飞机》杂志社。公开发表各类文章 300 余万字，曾获得“上海新闻奖”三等奖、中国产业经济新闻奖一等奖、二等奖、三等奖等。多篇作品被《民航新闻实践与探索》《追梦大飞机》等收录。



新中国制造的第一架喷气式歼击机歼 5，是 1959 年国庆阅兵的明星装备之一
图 | 搜狐网《南方都市报》

漫话航空史

民航初创的“激荡十年”

文 | 柏蓓

庆祝新中国成立十周年阅兵时，在天安门广场上受阅的机群规模已达 155 架，领航机群飞过天安门之后是 6 个空中梯队，最后飞过的是由我国自己制造的歼 5 飞机编队，空中战鹰大显神威。

这一幕，距离“开国大典”时周恩来总理说“飞机不够，我们就飞两遍”仅过去 10 年，新中国的航空制造业在一穷二白的基础上，克服了重重困难，取得了这样的成绩。与此同时，国家也非常重视民航建设，处在基业初创期的新中国民航正在从无到有、从小到大，在调整探索中不断向前，经历了波澜起伏的“激荡十年”。



“小飞原则”

新中国诞生时，党和国家领导人高瞻远瞩，既把民航作为社会主义中国与西方敌对势力抗衡的重要力量，又把民航视作可借助和融合外来力量建设发展新生共和国的重要工具，在国家百废待兴、物力维艰中大力支持民航起步和建设。

新中国建立初期，全民航仅有几十架小型飞机，即“两航起义”飞回来的12架飞机和此后维修再用的国民党遗留在大陆的20多架

飞机，均为美国制造的DC-3、C-47、C-46、C-53型飞机。从1950年开始，中国民航先后从国外购买了各型飞机68架，其中里-2型和伊尔-14型飞机各32架，伊尔-12型飞机4架。1959年，购进伊尔-18型标志着中国民航由以前使用活塞式螺旋桨双发飞机，开始过渡到使用涡轮螺旋桨四发飞机。此时，欧美已陆续进入涡轮喷气式飞机时代，波音707、“彗星”、麦道DC-8、图-104等型号已陆续进入航线。

“开国大典”之后，民航最重要的两件大事就是成立民航局和“两航起义”。1950年是民航事业准备年，民航局首任局长钟赤兵向毛主席报告当时确定的民航经营方针为“小飞原则”和“采取企业制”等，获毛主席肯定。周恩来总理指示：“因为刚建国、百废待兴，人

民生活尚未提高，各种物质条件和技术条件很差，加之仍在展示状态，开辟航线不宜多。”抗美援朝期间，民航仍坚持“小飞原则”，为大规模发展民航事业打下基础。在此期间，中苏民用航空股份公司、中国人民航空公司的组建，“八一开航”等，为新中国民航起步开了个好头。

飞速发展

1952年5月7日，民航精简机构和人员，将行政管理和业务经营分开，收缩了民航的发展。不过，那时乘坐飞机是常人难以企及的出行方式。新中国成立之后规定，部队13级（类似地方县级）、地方地级以上干部才能乘坐飞机，民航受众群体非常小。直至1966年之后，旅客身份才有所放宽。

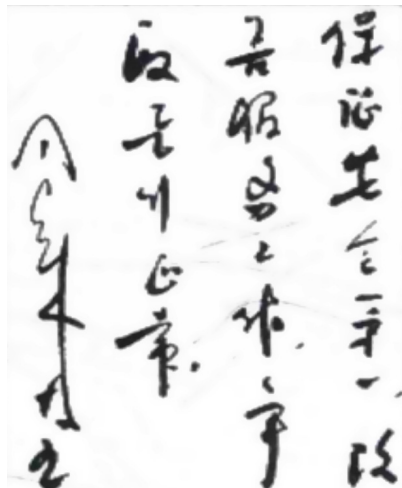


1950年“八一”开航全体人员在“北京”号飞机前合影
图 | 中国民用航空局综合司编 飞越时空：纪念新中国民航成立60周年



→

1957年周恩来对民航工作的方针性指示
图 | 中国民用航空局综合司编《飞越时空：纪念新中国民航成立60周年》



1953年开始的第一个五年计划期间，中国民航发展总体较好，超额完成了“一五”计划确定的各项主要指标。1957年，全民航完成运输总周转量1534万吨公里、旅客运输量6.9万人次、货邮运输量7976吨，与1952年相比，年均增长率分别为28.7%、25.3%和31.3%。

1957年，全国民航共有27条航线，比1952年增加17条。其中国内航线23条、通航城市36个；国际航线4条，通航苏联、缅甸和越南3个国家。“一五”期间，通用航空也在工农业生产和基本建设中初步显示了特殊作用。

到了1958年，民航提出“要在15年内赶上世界先进水平，要求‘运输航空四通八达’，大力扩展国内航线，积极增辟国际航线，运输总周转量每年平均增长30%以上。”与之相应，要求“专业航空遍地开花”，这里的专业航空就是通用航空。为了达到以上目标，当时不计成本核算，降低运价与铁路运输分流，运价水平平均下调40%，专包机收费标准降一半。

1958年至1960年，运输航空和通用航空连续3年均获得“迅猛发展”，数据非常惊人——1960年完成航空运输总周转量4045万吨公里、旅客运输量20.7

万人次、货邮运输量31788吨，分别是1957年的2.6倍、3倍和3.99倍；通用航空3年平均增长率高达84.2%。但是由于定价策略和逐步走低的票价导致行业承担了巨额损失，这种盲目冒进是违背客观规律的。好在1961年，中央及时提出“调整、巩固、充实、提高”的八字方针，民航开始降低生产指标、压缩建设规模，回到正常发展的轨道上。

多项第一

在新中国民航基业初创期这波澜起伏的“激荡十年”里，中国民航迎来了太多的第一次：1950年的“八一开航”第一飞；1951年5月21日，民航局首次使用C-46型飞机在广州市区上空喷洒药物杀灭蚊蝇作业，拉开了新中国通用航空事业发展的序幕；1952年8月15日，民航局派出3架C-46型飞机进藏空投物资，是新中国民航第一次执行特殊飞行任务；1954年10月18日，民航局飞行大队派出里-2型飞机执行印度总理专机飞行任务，是新中国首次在国内执行外国首脑专机任务；1954年底，周恩来总理乘坐里-2型飞机从北京飞往太原视察工作，是中国民航首次执行

党和国家领导人专机任务；1956年11月17日至翌年2月8日，民航派2架伊尔-14型飞机执行周恩来总理和贺龙副总理出访越南、柬埔寨和缅甸的专机任务，这是中国民航第一次执行国家领导人出国访问的专机任务。

1957年10月5日，周恩来总理在民航局《关于中缅通航一周年的总结报告》上批示，“保证安全第一，改善服务工作，争取飞行正常。”这份批示高度概括了民航工作的主要内容，全面揭示了航空运输的规律与特点，深刻阐明了民航工作的基本要求，闪耀着思想和智慧的光芒，成为中国民航发展的长期指导方针。

总而言之，这十年，新中国民航在空勤队伍的建设、专业人员的培养、民航院校的设置和调整、民航科技工作的开展、飞机配置和机队规模的扩充、机务维修能力的提升、机场的接收和建设，以及航管体系的建设等各方面全方位获得发展，奠定了新中国民航发展基业。■



2020.7.10

中国国际航空 ARJ21 首航

2020年7月10日7时47分，
国航全新引进的ARJ21飞机执飞的CA1109航班
从北京首都国际机场飞抵锡林浩特机场，
完成首航任务，正式投入航线运营。

