



一个新机型的首飞期待条件严苛的“好天气”，而围绕适航审定工作的试飞，则需要寻找极端气象条件下的“坏天气”。从一张张设计图纸到5月28日商业载客首飞，这条国产大飞机完全自主研发之路走了数十个春秋。护航大飞机上岗的队伍里，还包括申城一支专业气象团队，他们探索空白领域，突破不少高难度技术，让大飞机顺利通过了高温、高寒、高湿、大侧风、自然结冰、溅水等诸多“坏天气”的“考试”。

追风

在正式进入市场之前，飞机必须经过一系列试飞考验。C919就曾转战大江南北、飞越五湖四海，接受了高温、高寒、高湿、大侧风、自然结冰、溅水等近6600小时的极限压力测试，最终通过严格审查获得适航证，赢得步入市场的“入场券”。“这样的试飞考验，都是在与天较量，离不开气象服务保障。”上海市气象局试飞气象保障团队负责人李佰平说，由于我国民机事业起步较晚，过度依赖国外技术让国产大飞机取证十分被动，试飞气象保障服务“国产化”刻不容缓。从2014年起，围绕国产大飞机试飞需求，上海气象部门跨前一步，主动对接商飞公司、中国飞行试验研究院，紧密合作，建立了气象部门首支专业化试飞气象服务保障团队。

特殊气象条件科目试飞气象保障是一项全新挑战。其中，大侧风和自然结冰试飞对气象条件有着极为严苛的规定和限制，也是最难的两个科目。强侧风会对飞行安全造成影响，这会让飞行员在起飞和降落时遭到更大挑战。针对大侧风试飞，试飞保障团队建立了基于多源数据的机场大风天气特征分析和气候概率推测方法，研发了基于高分辨率数值模式的局地大风订正等技术，还在2017年4月在内蒙古锡林浩特精确“捕获”到5次满足试验条件的大风过程，保障了国产ARJ21-700飞机地面大侧风试验成功开展，更创下国内大侧风试验风力最高和试验周期

最短两项纪录，为后续C919飞机开展侧风试验积累了丰富经验。

破冰

飞机“破冰”能力十分重要。飞机遇到结冰云，如果表面积聚冰层，飞机的空气动力学外形就会被破坏，可能会影响飞机的稳定性，造成失速的危险，严重时会造成飞机失事。自然结冰试飞，就是要检测飞机的机翼、风挡、发动机短舱等部位的防、除冰功能，对云层的液态水含量、云层水滴直径和周围空气的温度等要求极度严苛。

曾经，为了完成自然结冰试飞科目，ARJ21飞机在乌鲁木齐苦寻四年未果，最终远赴北美“万里寻冰”。“虽然国内可供参考的资料和方法几乎是空白，但我们始终相信，在国内一定能找到符合自然结冰试飞条件的云！”据李佰平回忆，起初团队从大量调研国内外自然结冰预报方法着手，学习国外飞机结冰气象条件预测算法。方法有了，但应用到国内试飞中，却“水土不服”。

为获取大量的观测数据反复检验算法，试飞气象保障团队不畏风险，主动进入结冰区域去探测，自2016年起陆续在安徽安庆、湖北宜昌、陕西等地多次开展飞机结冰综合探测试验。2021年初，团队对全国四个自然结冰重点目标区域进行长期跟踪预报，对过冷水、结冰等云物理参数进行采样，成功收集到大量实验数据和资料，为做好C919大型客机适航审定自然结冰试飞的准备工作奠定了基础。

护航C919 与天较量

试飞气象保障团队基于算法的预测结果和试验数据进行逐一细致比对，并依托中国气象局上海数值预报模式系统技术优势，研发适合大飞机试飞的自然结冰潜势预报新方法，逐步形成自主可控的全流程飞机结冰试飞气象服务能力，最终有效减少了空报的概率。

2022年2月17日，C919在陕西阎良上空完成了自然结冰试飞，实现在国内按照适航标准完成航空器自然结冰试飞零的突破，向适航取证迈出重要一步。此次试飞成功背后还有一套由“趋势预诊”和“临近诊断”相结合的飞机结冰试飞气象服务流程提供的有力支撑。

早在1月中旬，试飞气象保障团队就启动了“趋势预诊”，基于数值预报系统得到短期到中期的一系列自然结冰预报产品，提前一周给出“1月20日至28日，陕西地区将经历一次较大范围的雨雪天气过程”的预报意见，捕捉到珍贵的气象“窗口”。

试飞三日前，团队提供了一份更详细的天气预报，为大飞机申请试飞空域和试飞时间提供决策依据。试飞当天，试飞保障团队利用卫星云图、气象雷达、探空站点的资料等多源观测数据紧密追踪天气变化，及时调整预报结论，并与试飞现场保持密切沟通，及时引导飞机进入结冰云层。结果显示，预测结冰状况与实际探测基本相符。

穿云

无论是试飞，还是首飞，能见度、大风、云、降水、颠簸都是飞行气象安全的关键条

件，这就少不了对天气的精密监测和精准预报。2017年5月5日上午，国产大飞机C919在上海浦东国际机场执行首飞任务，然而阴云密布的天气却令人担忧，能见度和侧风均满足条件，唯独云底不够高。

当天10时多，商飞试飞中心气象台里的气氛十分紧张。“云底高度何时能从目前500米抬升到满足首飞要求的900米？”短短半小时内，国家工信部副部长和C919首飞总指挥、副总指挥、总设计师等先后前来询问下午的天气状况。

最终，气象保障团队通过密切监测、综合分析，凭借此前一系列技术攻关产品和近两年来积累的保障经验，提出了较明确的预报意见：“14时左右，云底高度将抬升到900米左右，有利于首飞；16时前后，随着气温下降，天气条件将转差。”

然而，接近中午，老天依然沉着脸。时任商飞试飞中心主任、首飞机组观察员的钱进很是担心：“云底高度过低，飞机降落时不容易看清跑道。”但上海中心气象台首席预报员漆梁波和当时的试飞中心气象台台长蒋瑜却明确答复：“14时至16时，云底高度能满足首飞条件。”午后天空果然越来越亮，15时19分，首飞任务完成。

“天窗”打开让大飞机最终“穿云”成功，除了有天气对大飞机首飞的眷顾，更有准确预测出试飞窗口期的核心技术底气。

本报记者 马丹
通讯员 谢丽萍 王瑾

“点火”“起飞”……伴随震耳欲聋的响声，长征二号F运载火箭喷射出的耀眼红色尾焰拔地而起，托起神舟十六号载人飞船冲出云霄。集合在3公里外观测点的中国航天科技集团有限公司八院神舟十六号推进舱总装团队见证了这一关键时刻。

神舟十六号推进舱总装任务中，一群上海年轻人挑起大梁 挥洒青春汗水托举飞天梦

90后守门人 质量检验无小事

“安装位置清洁了吗？”“电缆保护到位了吗？”“导热硅脂涂匀了吗？”……神舟十六号推进舱总装检验员90后刘峰均时常向总装人员发出一个又一个“疑问”。

作为一名总装检验，刘峰均就像一台扫描仪，将总装流程中的每一个关键环节、产品的每一项要求、过程的每一项操作细节都牢牢地锁定在脑海里。面对神舟十六号推进舱的九个分系统和数十种特殊的总装检测要求，他说道：“以前，我们是对照着工艺文件一个个签字确认、拍照，虽然有记录，但没法做到细致的对比和联查。现在，我们用多媒体来记录，想查哪里就点哪里。”

刘峰均提到的多媒体记录正是神舟十六号推进舱研制过程中质量记录的重要组成部分，对型号研制状态记录、故障排除、在轨支持都起到了重要支撑作用。为此，他针对数以万计的照片、视频等质量记录，按区域、功能进行分类收集和整理，提出了从型号研制流程和产品配套两个维度的记录方法，创立了覆盖各型号全周期的多媒体记录手册，从而确保神舟十六号推进舱从总装开始到发射、从局部到整体的记录完整性和准确性。

95后退役军人 想去酒泉执行任务

6年前，刚退役的95后凌晓峰心中总有一个遗憾。服役期间，他曾有机会被分配到酒泉卫星发射中心执行任务，阴错阳差没有成行。彼时，他的心中已种下了“去酒泉执行任务”的梦想。

2020年的毕业季，凌晓峰毅然选择了与学校一路之隔的149厂，重启了心中的梦想。如今，仅仅入职3年的他，已经前往酒泉、文昌参与了神舟载人飞船、天舟货运飞船在内的4次发射任务。作为神舟十六号载人飞船推进舱的总装



“天宫”再拍“全家福”

5月30日在北京航天飞行控制中心拍摄的神舟十五号航天员乘组与神舟十六号航天员乘组拍下“全家福”的画面。

新华社 发

一岗，凌晓峰始终坚持“第一次就做好、第一次就做对”。面对管路系统柱塞接头一次装配合格率较低的问题，他主动参与了专项技术攻关。在此期间，他时常向每一位总装人员请教各自的装配经验，从中观察微妙的细节。密封件外观是否存在缺陷、密封圈上密封脂涂抹是否均匀、导管安装是否垂直对中、螺母拧紧是否丝滑、测力力矩大小是否合适等等事项都被他一一罗列，经过数十次的数据比对，他摸索到了影响装配一次合格率的关键操作流程，总结出了“一看、二涂、三对、四测”的装配技巧，从而保证了产品的总装质量。

在此次任务最后的冲刺阶段，凌晓峰承担了试验任务推进分系统检漏及其他分系统加注、充气期间的操作任务。由于任务的特殊性，他需要配合各分系统连续作战，一气呵成地完成每一次的充气、加注工作。由此，他度过了一个又一个与星月做伴的深夜。当被问及是否需要更换人员时，他总是信心满满地笑着说：“请放心，没问题，保证圆满完成任务！”

在他的精心细致操作下，推进分系统检漏一次通过，各分系统的充气、加注任务均顺利完成。

00后小将 在舱体内“穿针”

作为团队的最新血液，神舟十六号推进舱总装操作韩宇是一名00后。入职的第一天，他就收到了一份149厂为航天新人定制的“入职礼包”，即“一人一策”的培训方案和“特级技师+青年技能人员”的师资力量，在部门的精心安排下，他也正式开启了师从青年技师沈鑫的总装学习生涯。

神舟十六号推进舱是韩宇参与总装的第一艘飞船，在总装高级技师陈为、青年技师沈鑫两位师傅的严格、细心教导下，他的操作技能得到快速提升，并顺利进入到神舟十六任务总装工作。上海总装、北京外场试验、酒泉发射场的各阶段工作任务中，都有韩宇精心操作的身影，他已成为载人飞船型号总装团队中的一名“小将”。

对于推进舱内各项精细装调而言，80余

束电缆在舱体内盘旋而居，就好比“穿针引线”一般。而自从三维数字化总装系统上线后，总装现场再也看不到纸质图纸，导管、电缆之间“纵横交错”的装配关系、空间关系都能通过数字终端设备看到它们的“真面目”，从而增加了总装时产品的可视性和可读性。

在电缆总装敷设期间，身高1.85米的韩宇蜷缩在舱内，或是确认固定位置，或是绑扎电缆，或是插接插座，或是做最后的电连接器保险工作。在三维模型的“加持”下，他先是将陈为、沈鑫两位师傅的提醒和电缆敷设的注意事项进行一次推演，着重关注每根电缆路径上的绝缘保护措施，从而真切地落实设计、工艺要求。随着他指尖的一次次“滑动”，哪里会干涉、哪里需要保护，都被他琢磨透了。他敷设的电缆不仅满足电缆固定最短距离的要求，还能满足不同粗细电缆转弯半径的控制要求，在舱内架起了一道道固定牢固整齐的“空中长廊”。

本报记者 叶薇 通讯员 许帆