

# 飞机风挡玻璃探秘

武明飞

5月14日，川航一架空客A319-100飞机执行重庆至拉萨航班，9800米巡航过程中，飞机马赫数0.74~0.75时右风挡爆裂，机组人员冒着高空零下30摄氏度和时速900千米的高空风坚持操纵，最终安全降落。

想象一下飞机风挡的工作环境，从夏季高温50~60摄氏度的机场起飞，20分钟后到达零下40摄氏度的万米高空，享受着时速900千米的自然风和机舱内外的压力差，接受温度、高度、速度的三重考验。作为机身的一部分，风挡玻璃不仅要保持机头流线型外形，还担负着保证结构完整安全和提供清晰视野的功能。它相当于飞机的“眼睛”，直接关系到驾驶员和整个飞机的安全，能实实在在地体现客机研发单位的技术实力。

## 三层防护

飞机的风挡玻璃起初就是为飞行员遮风避雨的，因为更早期的飞机就没有风挡，飞行员只有一副风镜。后来在飞行员和乘客鼓励下，制造商生产带篷子的飞机。不过那时候的飞机



越南航空A321客机前风挡加温短路导致风挡破裂，更换一次程序包括拧拆装螺丝，拆装盖板，铲除密封胶后在涂抹，4个工作12小时完成。



外层风挡破裂的飞机正在降落，客机的外层风挡上会涂抹防雨剂，也称为防水涂层。



现代客机驾驶舱风挡玻璃。

没有增压技术飞不高，所以风挡有点像今天的私家车风挡，能加温但复杂程度不如今天的飞机。飞机风挡在20世纪20年代用的是平板退火玻璃；30年代用曲胶层纤维复合玻璃；40年代用热压火胶层聚乙烯醇玻璃；50年代以后是有机玻璃或钢化玻璃的多层复合结构风挡。

如今的波音、空客飞机的风挡更像是一块透明的玻璃墙，性能不俗，重量不轻。所以现代客机风挡采用三层加密设计，即分为外层钢化玻璃、中层树脂玻璃、内层钢化玻璃，玻璃与玻璃之间还有其他材料的涂层和胶层。中层和内层风挡玻璃是机身结构的一部分，根据飞机风挡制造商PPG的数据，每层厚度约为8毫米，承担着气压负载。外层风挡玻璃厚度约为3毫米，是一个坚硬耐磨的刚性表面，是外来物冲击飞机的第一道防线，起到防止外来物损伤和磨损的屏障作用，比如，一块空客A320的风挡玻璃重达35千克。既要承受压力、温度变化，又要承受鸟击不碎，能抵抗1.8千克重的鸟以600千米时速撞击。

## 43摄氏度恒温加热

飞机的风挡玻璃在外层和中层之间有一个纳米厚的导电涂层，采用氧化锡，氧化锡是一种N型氧化物半导体，主要的特性是其电学传导和光学透明的组合，其价格昂贵。在导电层与风挡内部通过汇流条连接，电流通过汇流条进入导电层，氧化锡涂层通电产生热量为风挡加热。风挡加温控制组件使风挡温度保持在43摄氏度。由于涂层原因，每个风挡导电层的电阻不一样，一般会在风挡上有电阻代码标识，不同代码代表不同的导电层的电阻值，便于匹配电压与



破裂左前风挡。

导电层电阻。

根据波音737NG排故手册，飞行中，若风挡温度小于37摄氏度时，加温电路连通加温；当达到43摄氏度时，会降低电流保持温度；如果温度超过62摄氏度时，继电器断电，加热电路切断。加温是为了防止风挡结冰，飞机在中低空飞行时，空气中的水汽大，比较容易结冰；而高空的空气干燥，所以不具备结冰条件，但在提高安全的前提下，依然要开启。美国航空周刊曾在一篇《风挡失效》的文章中提及，温度的变化会导致玻璃弹性发生变化。因为寒冷的窗户很脆弱，抵抗撞击的能力尤其鸟击的能力较弱，而温暖的窗户则更能抵抗撞击造成的损害。另外，有20%的风挡故障来自加热失效，加热失效警告发出不久后，一扇窗户开始破裂，风挡必须在短时间内承受温差导致的热胀冷缩，而产生的局部应力变化，此时，机组立刻采取应急处置程序。

在挡风玻璃内有恒温器，以防止过度加热，但恒温器或温度传感器有可能会失效。如果在飞行中发生这种情况，飞机的速度将被限制。如果在地面误操作加热，并且没有冷空气降温，可能会导致过热，从挡风玻璃上观察时景物出现波浪变形。从波音777飞机开始，风挡加温是自动打开，并在最后关闭，这一改进旨在从繁琐的操作劳动中解脱，消除潜在隐患让飞行员更专注飞行。

## 曲面大屏玻璃

在波音787的4扇式风挡出现之前，客机的风挡玻璃受成本、工艺、力学结构、技术限制，都是近乎于平面的6扇窗结构。为了与787飞机外形浑然天成，风挡玻璃加热加工成曲面，符合空气动力学。波音787的风挡面



空客A320的侧窗上上的风挡温度传感器。

积很大，而且不能打开。中国商飞的C919也是采用这种设计。

这就是驾驶舱设计的思路差异，驾驶舱风挡设计者必须与不同的安装要求相抗衡。在以往的飞机上，如波音767、波音777、空客A330等，窗框被固定在机身结构中，机长可以在地面开窗通风，但这意味着玻璃不能承重。为了提高结构可靠性，波音787取消了滑动侧窗设计，旨在让风挡免受破坏性负载。空客A350也曾想采用4扇式风挡，但这就需要对机头进行重新设计，重新进行风洞吹风试验，迫于时间和成本上的压力，最终该机采用了老式6扇式风挡。

## 潮湿短路引发爆炸

2013年1月15日，一架赛斯纳奖状X公务机，从萨摩亚飞往悉尼的途中，高度13700米平飞，EICAS显示左风挡加温故障，2分钟后左风挡外层爆裂，机组立即带上氧气面罩下降高度，宣布处于紧急状态MAYDAY MATDAY，并转向附近的斐济纳迪国际机场，飞行员报告风挡裂缝没有扩大，安全落地。澳洲交通安全委员会(ATSB)调查结果，风挡玻璃飞行时间3200小时，其顶部密封件磨损，水汽进入汇流条，并导致汇流条与加热膜之间的电气连接失效。最终加热膜开始烧坏，进而导致玻璃外部非结构面层的电弧和失效。NASA曾做过测试，当波音747上出现一个0.3平方米的洞，坐在洞旁边的人会被大约半吨的力向外拉扯，直到100秒后飞机内外气压取得平衡。

在正常情况下，驾驶舱玻璃可以承受5倍飞机最大内外压差载荷，当一层破损后，仍然可以承受2倍最大压差的载荷，也是非常安全的。



# 从川航特情处置看飞行员的培养

航空工业洪都 许伟

5月14日清晨，四川航空一架从重庆飞往拉萨的航班，在飞行过程中副驾驶座位前的挡风玻璃破裂脱落，成功备降在成都双流国际机场。机长刘传建，在备降成功后被网友们称为“中国版萨利机长”。刘传建拯救的不仅仅是那一架飞机的人，更向世界证明我国空军飞行员精湛的驾驶技术和极其沉着心理素质。

在5月14日的突发事件中，刘传建能够如此沉着地处置迫降得益于他当初在空军第二飞行学院飞行教员的学习训练，每一名学员都要进行特情处置训练，其中玻璃破裂后如何处置是必训科目。作为飞行教员，刘传建在执教多年的过程中，为他在处置民航飞机突发事件打下了坚实基础。

由航空工业洪都研制生产的初教6飞机，是空军第二飞行学院进行飞行训练时，常用的一款螺旋桨初级教练机，长期服役于中国空军及地方航校。刘传建执教期间，常用这型飞机进行特情处置训练，飞行过程中，机舱顶的玻璃会突然向后滑落，这是在模拟玻璃爆裂。每一个学员的训练周期为一年，这样的演练至少有一两次。执教多年，刘传建经历过无数次这样的训练。

从服役以来，初教6一直为人民空军海军航空兵部队的发展发挥了不可低估的作用。初级教练机的任务是对飞行学员进行筛选和适应性训练，良好的操纵性和出色的安全性显得更为

重要，初教6作为一款经受了时间考验的成熟机型，性能优秀。

一支强大的空军，不单是指其拥有众多先进的主战装备，更多的是指其拥有一支战术能力突出的高素质飞行员队伍，并且其培训体系能够不断地为飞行员队伍补充新的力量。

从仿制雅克18到研发具有自主知识产权、达到世界同类先进水平的L15高级教练机，洪都公司作为中国教练机研制制造基地，已形成了初、中、高级教练机全系列格局和成熟的“训练效能体系”，为飞行员培养和战斗力生成提供了全谱系软硬件的支撑。在产品研制、生产理念、服务保障上，洪都公司紧紧抓住世界军用飞机特别是教练机训练和保障体系的发展趋势，开辟了面向飞行员的全面训练中心，把飞机的研制生产、作战的使用、作战的评估，甚至服务保障融为一体，为军队建设和经济发展贡献了力量。

洪都公司训练中心目前已形成了初、中、高级教练机体系化训练效能仿真评估环境，可覆盖飞行员全体系、全过程，正在按照飞行训练需求、全流程工程、综合训练系统、嵌入式训练系统、分布式网络训练、训练开发六大专业技术方向发展，可为客户提供包括军事飞行训练集成系统、空勤和维护训练设备、课堂教学、课件、训练服务、训练管理、综合训练解决方案资讯和组织实施等全面训练服务。

经过前期建设，洪都公司训练中心利用其开发的流动平台，为国内外L15高级教练机用户提供接装培训，先后在军事训练、飞行训练安全、飞行员体系化培训等方面获得了一定积累，为飞行员训练奠定了厚实的储备。

# 普惠上海发动机中心成功交付首台大修V2500发动机

普惠上海发动机中心近日成功完成首台V2500发动机大修并交付普惠租赁公司；与此同时，该中心累计达到了500万零损工安全小时数。

为建立其全新V2500发动机大修生产线，上海发动机中心充分利用普惠全球网络的资源、技术与人才优势，与位于新西兰的姊妹工厂普惠克斯特彻奇发动机中心(CHCEC)紧密合作，派遣核心团队赴新西兰等地学习，同时邀请姊妹工厂的专家来沪向V2500团队成员传授相关技能与实际操作经验。在预定时间内，上海发动机中心以高质量成功完成了首台V2500发动机的大修任务。

“成功交付首台V2500大修发动机主要得益于普惠全球网络的支持，特别是姊妹工厂普惠克斯特彻奇发动机

中心的经验分享使我们缩短了学习周期，得以按时建成了V2500发动机维修能力。”普惠上海发动机中心总经理叶炳文介绍道，“此外，我们应用了普惠独特的‘获取竞争优势’(ACE)流程管理工具，通过3P流程、对账、通行证系统等ACE操作工具，确保了我们的所有流程均符合相关合规要求及V2500发动机的维护质量要求。”

上海发动机中心自运营以来，已大修超过750台CFM发动机。现在，该中心又成功增加V2500发动机维修能力。“我们目前已取得美国联邦航空管理局及欧洲航空安全局有关V2500维修能力的认证，并与中国民用航空局合作，期盼尽快取得认证。”叶炳文补充道。（宗合）

# 模块化交付：提升产能的管理利器

本报通讯员 周莉 罗润

3月20日，航空工业西飞机翼装配厂一季度最后一架机翼交付总装，实现首季开门红，这也是西飞部件装配首次在一季度实现全状态、零保留交付。模块化交付这一部件装配的巨大变革，已成为公司确保均衡生产、准时交付的坚强保证。模块化交付开启了飞机制造交付的新模式，其节约成本、保证产品质量和缩短装配周期的巨大优势，已成为提升飞机制造商价值创造能力的保证。

目前国外大型民用飞机制造商将主要部件和设备都交由零部件供应商进行生产，全部实行模块化交付模式。机翼装配模块化交付是建立在模块化制造装配的理论基础上，把飞机机翼作为一个模块化单元制造，该模块化装配单元不仅包含传统的机翼结构装配，同时涵盖了机翼系统安装及调试工作。模块化交付模式，可使机翼装配厂交付总装厂完成翼身对接后，便达到整机联调状态，并可将在故障提前解决，大幅缩短整机生产周期，提高产品质量和生产效率，在产品质量控制方面也能做到从安装到调试全程跟踪干预，使生产过程更加标准规范。

西飞机翼装配厂承担着多型飞机的机翼装配任务，包括机翼的结构装配、前缘系统安装、后缘系统安装、

翼盒系统安装以及活动翼面悬挂及调试工作等。飞机活动翼面装配产品尺寸大、重量大、运动形式复杂，对活动翼面调试带来较大困难。同时，机翼在架外站位完成既定工作后交付总装厂，由总装厂完成翼身对接工作后才能进行机翼系统调试工作。系统调试过程中，往往暴露出多个故障，需要机翼装配厂对已装机成品进行多次更换，对产品质量和生产周期都造成了极大影响，成为影响飞机交付的瓶颈问题。

怎样缩短机翼装配周期？怎样提高交付效率？怎样保证产品质量？西飞给出的答案是——实施模块化交付。通过全机活动翼面联动调试以验证机翼系统的功能性能指标，减少保留工序和交叉作业，将原来的静态机翼部件装配成动态机翼全系统装配，真正实现均衡交付。要对机翼生产进行模块化交付，必须打破原有的生产单元之间的壁垒，全局协调工艺流程，协调生产关系。

为了尽快实施模块化交付，机翼装配厂首先对工艺流程进行了修改，探索出一套翼面安装调整及检测工艺实施方案，以及相对应的机载传感器安装检测及调试，翼面偏转角度检测等工艺实施方案。同时，机翼装配厂根据实际应用情况及时进行工艺优化，最终完成了翼面安装调整及系统

检测研究，形成了缝翼、副翼、襟翼、扰流板、机载传感器、活动翼面偏转角度等系统安装调试及检测等一整套应用于飞机生产装配的安全可靠的工艺方案。工艺方案确定后，机翼装配厂及时根据工艺方案的需求，对装配场地进行了调整。为了确保模块化调试设备在架外站位顺利使用，机翼装配厂协调制造工程部技术装备设计所及型架夹具厂等单位，对配套工装进行了适应性优化和改造。

场地调整后，新建架外站位机翼高度发生了较大变化，原有襟翼作动系统驱动机构的放置架因重量过大、结构尺寸过大等原因无法在架外站位整体平台上使用，襟翼模块化调试无法开展。为了解决该问题，机翼装配厂首先根据机翼装配实际施工需求，利用架外站位机翼调整系统将机翼调整至指定高度，固化每架机翼的高度，同时对原有的放置架进行了适应性改造，减轻放置架重量，优化放置架结构形式，确保其在航向、展向上微调以适应机翼姿态，确保了襟翼模块化调试顺利进行。

在做好工装优化的基础上，机翼装配厂又对工作平台进行了适应性精益化改造。模块化交付涉及大量电缆、传感器、液压软管等零组件安装拆卸工作，涉及部位较多。为确保试验过程规范可靠，降低安全隐患，提高试验效率，机翼装配厂对模块化调试设备进行了精益化布局，先后完成了平台风源位置更改，确保风源可满足设备使用，且不影响物流通路；固化了设备放置位置，并在四周增加设备配套电源，避免反复移动设备造成设备损坏；在平台下方增加激光跟踪仪放置架，确保激光跟踪仪稳固，可测量所有活动翼面及机翼水平测量点……通过梳理改造，机翼装配厂生产现场精益化布局进一步提升，生产效率和加工能力也随之提高。

试验流程和设备安装规程的编制也是模块化交付的一项重要内容。模块化交付试验多为机上系统功能性试验，试验过程中襟翼、缝翼、副翼等活动翼面反复收放，机上系统需反复供电、供电，试验潜在风险较大。为

确保人员及产品安全，做到试验过程可控，他们提前梳理了试验过程中存在的风险，并通过认真分析和论证，在编制试验流程和操作规程过程中，充分考虑风险点的预防，先后编制了缝翼作动、副翼作动、襟翼作动等系统安装调试及间隙检查的试验流程，为模块化交付奠定了坚实的基础。

为了验证模块化方案的可行性，机翼装配厂分别进行了扰流板模块化交付试验、襟翼模块化交付试验、副翼模块化交付试验、缝翼模块化交付试验等。机翼装配厂本着边试验、边完善的理念，发现试验过程中的问题及时修正，已经形成了一套完整的模块化交付管理方案。经过验证，机翼装配厂模块化生产交付减少了运动机构故障率，做到了成品异响、结构磕碰等问题在机翼装配阶段提前暴露、提前解决，并通过模块化设备对传感器电缆接口进行了预连接，大大减少了管路漏油、电缆导通的故障，提高了产品质量。

实施模块化交付，机翼装配厂在进行机翼部件的装配之后，现场及时完成驱动装置的液压、电控等试验，进行活动翼面运转调试，全方位检测机翼装配后的运动位置和模拟飞行状态，将所有试验中出现的问题及时封闭在机翼装配阶段，大大减少了机翼交付总装后发生故障的风险，减少交叉作业，减少了排故时间，装配质量大幅提升。200条保留、160条保留、50条保留、0条保留……这是2017年机翼装配厂机翼交付的故障保留数据。2017年9月开始实行模块化交付后，问题保留数瞬间归零。如今，全状态、零保留交付已经成为机翼装配厂常态化交付模式。

西飞机翼装配厂是国内首个在飞机生产过程中实现部件制造模块化交付的单位，标志着公司已经由传统的机械制造模式转入现代精益化飞机设计制造模式，下一步，西飞将在机身装配中推广模块化交付模式。模块化交付必将成为公司在“十三五”乃至更长一段时期提升制造能力的抓手，最终实现建设“智能工厂”、创造核心价值目标。

