

Discussion on the risk management in the safety management system of civil aircraft test flight

Hao Zhang

Comac Shanghai Aircraft Test Flight Engineering Co., Ltd. Shanghai 20000

Abstract

Civil aircraft test flight involves the evaluation of aircraft performance, flight control system, aerodynamic characteristics and other aspects, and is an important step to verify the aircraft design and certification of airworthiness. At present, the flight environment and technical challenges are becoming more and more complex. In the test flight link, the effectiveness of the test flight safety management system is crucial to ensure the flight safety. However, the safety risks of civil aircraft test flight have a wide range of sources, such as structural failure, uncertain flight environment, human error, and insufficient data and technical support. The existence of these risks may not only affect the smooth implementation of test flight missions, but also may lead to the deviation of aircraft performance assessment, and even cause serious flight safety accidents. Therefore, it is particularly important to do a good job in the risk management of civil aircraft test flight. Based on this, this paper discusses the risk management method in the safety management system of civil aircraft test flight, in order to play a certain reference role in the improvement of the safety factor of test flight.

Keywords

civil aircraft test flight; safety management system; risk management

民机试飞安全管理体系中的风险管理的探讨

张浩

中国商飞上海飞机试飞工程有限公司, 中国·上海 200126

摘要

民机试飞涉及机体性能、飞行控制系统、气动特性等多方面的评估,是验证航空器设计以及认证适航的重要步骤。当前飞行环境和技术挑战越来越复杂,在试飞环节,试飞安全管理体系的有效性对于确保飞行安全至关重要。但民用飞机试飞的安全风险来源广泛,既有结构故障的原因,也有飞行环境不确定的原因,还有人为操作失误的原因,更有数据和技术保障不足的原因。这些风险的存在,不仅有可能对顺利执行试飞任务造成影响,还可能导致飞行器性能评估的偏差,甚至引发严重的飞行安全事故。因此,做好民机试飞的风险管理工作尤为重要。基于此,本文以此为基础,对民机试飞安全管理制度中的风险管理方法进行了探讨,以期对试飞安全系数的提升起到一定的参考作用。

关键词

民机试飞;安全管理体系;风险管理

1 民机试飞存在的安全风险来源

1.1 结构及系统失效风险

在民用飞机试飞阶段,常常会因为新设计方案的复杂性、材料性能的不确定性以及系统集成的适配性等问题而引发结构及系统失效风险。首先,机体结构需要承受包括空气动力载荷、惯性载荷和温度应力在内的实际飞行环境中的复杂载荷作用。如果在设计阶段没有充分分析疲劳寿命和损伤容限,就容易造成局部应力集中,造成裂口扩大或结构断裂。虽然复合材料和新型合金的应用使机体的轻量化和强度性

能得到了提高,不过其长期服役特性及环境适应性仍存在较大不确定性,加上在试飞环节各种无法预测的降解行为都有可能发生,这些均对结构的完整性产生一定影响。外,直接影响飞行安全的还有飞行控制、航电、液压和动力系统等方面的综合配套。如果飞控系统在算法参数设定上出现偏差,就有可能造成方向面指令超过限制或动态响应不稳定,从而对飞行操纵特性造成影响。这些因素可能会在试飞时叠加放大到特定的飞行剖面上,造成结构和系统的突然故障。

1.2 飞行环境不确定性风险

民机试飞过程中,飞行环境的不确定性主要体现在大气扰动、气象条件突变及外界干扰因素的复杂性。首先,大气层内的风切变、湍流及气流分层现象可能在不同飞行高度和速度条件下诱发非预期的气动力变化,导致机体姿态偏差

【作者简介】张浩(1992-),男,中国江苏连云港人,硕士,工程师,从事试飞安全体系建设,试飞安全技术研究。

或控制律修正延迟,增加飞行试验参数的波动性。其次,雷暴、积冰、沙尘暴等极端天气条件可能影响发动机进气效率、传感器数据采集精度及结构材料的温湿度响应特性,进而改变机载设备的工作状态。此外,高空电磁环境的不稳定性可能干扰通信链路及导航系统,造成数据链传输延迟或信号失真,影响飞行员及试飞工程师对状态信息的准确判断。同时,机场区域及试飞空域内的其他航空器、无人机活动及鸟类撞击风险亦不可忽视。试飞过程中,异物撞击可能造成机翼前缘、风挡及进气道等关键部位受损,影响气动性能及动力系统的稳定运行。

1.3 人为操作与管理失误风险

民机试飞过程中,人为操作与管理失误可能由飞行员操纵偏差、指挥决策漏洞及试飞流程控制缺陷等因素引发。首先,飞行员在复杂飞行剖面下的操纵精度直接影响试验数据的准确性,若对控制律特性理解不足或操作习惯偏离标准规程,可能导致操纵超调、响应滞后或误输入指令,进而影响飞行试验的安全性。其次,试飞工程师及地面指挥人员在数据分析、状态监控及应急处置环节的判断误差可能导致信息传递滞后或指令执行偏差,影响试飞任务的顺利实施。此外,试飞管理体系中的安全管控缺陷亦可能增加人为失误风险。试飞科目编排若缺乏系统性评估,可能导致任务安排超出机组承载能力,增加人员操作负荷。试飞过程中,若风险评估机制不完善,可能对潜在故障模式识别不足,影响安全预案的有效性。

1.4 试飞数据与技术保障风险

试飞数据的准确性与完整性直接影响飞行试验的评估质量,数据采集、传输及分析过程中若存在偏差,可能导致试验结果的可靠性下降。首先,飞行状态参数、结构载荷及环境变量的测量依赖高精度传感设备,若传感器零漂、标定误差或数据丢失问题未得到有效控制,可能引发试飞数据偏离实际工况,影响机载系统性能分析的准确性。其次,数据传输链路在高动态环境下易受信号衰减、电磁干扰及通道拥塞等因素影响,可能造成关键参数延迟、失真或缺失,影响实时监控与远程指挥的有效性。此外,技术保障体系的完备性对试飞任务的安全实施具有直接影响。试飞前,机载测试设备的状态检查、信号同步及存储系统的冗余设计若存在疏漏,可能导致试飞过程中数据采集异常或记录系统失效。试飞过程中,若地面测控系统的远程监测能力受限,可能影响对飞行器状态的精准掌握,降低异常工况下的响应效率。

2 民机试飞安全管理体系中的风险管理的策略

2.1 结构与系统失效风险控制策略

针对结构与系统失效风险,试飞安全管理体系应以系统性分析和预防措施为核心。首先,在设计阶段,特别是极限飞行条件下受力分布和载荷响应的极限飞行条件,必须对机体结构进行充分强度和疲劳分析。要建立涵盖气动载荷、

惯性载荷和温度梯度等因素的综合性模型,通过多学科的协同仿真技术进行综合力学分析,避免由于结构设计不当而造成局部的应力集中。对于复合材料或新型合金使用区域等重要部位,未来保证在长期服役过程中结构的安全与稳定,需要对其疲劳寿命预测与损伤容限实施全方位分析。其次,可以通过模拟地面环境以及小规模试飞的方式来对各种飞行环境以及气候条件下材料的可靠性与降解特性进行评估,来有效试验与验证新材料。对于复合材料及新型合金,应当深层次分析其在高温、高压及低温等极限环境下的物理性能,以充分验证材料的环境适应性。另外,在试飞阶段建立精确的卫生监测和故障预警系统是必不可少的。通过布设先进的传感器和监控系统,实时监测关键结构的受力、温度及振动等参数,确保发现潜在问题,在出现异常情况下及时处置。所有试飞资料都要经过严格的后处理和分析,确保结构与系统失效的模式能够被准确识别,并为后续设计优化提供数据支持。

2.2 飞行环境不确定性风险管理策略

首先,在大气扰动上,通过高精度气象雷达和气象预报技术,加强飞行器与气象资料采集系统的集成,对飞行过程中遇到的风切变、湍流及气流分层等现象进行动态监控。在试飞之前,飞行员要接受包括应急处置和适应极端气象条件的专门训练,并根据所预测的气象资料对飞行线路进行事先规划,这样才能避免进入剧烈气象变化区域,在飞行过程中遇到的风切变、湍流、气流分层等现象。其次,针对雷暴、积冰、沙尘暴等特殊天气事件的冲击,应制定全面的极端天气应对预案。这些气象条件对发动机进气效率、飞机控制系统稳定以及传感器的数据采集精度等潜在的影响,都应该纳入试飞计划的考虑范围。比如,在积冰的情况下,需要在飞机上安装冰霜探测和除冰系统,并对相关设备进行定期的检验和检测。对于沙尘暴这样的环境,为了防止外界颗粒物对机体和电子设备的破坏,飞行器应该加强空气过滤系统和传感器的保护。此外,在高空电磁环境方面,为保证数据链的冗余性和抗干扰能力,应充分结合飞行安全管理系统与通信、导航系统的设计,将高可靠性的备用通信系统及多通道数据传输模式引进,减少由于电磁环境波动异常而引发信号中断或信号失真风险。同时为保障飞行器与地面控制中心在试飞过程中的通信畅通,应加强对空域内电子干扰源的监控和管理。最后,在空域管理方面,需加强对试飞区域的严格划定与航空器活动监控,避免飞行器与其他航空器、无人机或鸟类的意外碰撞。通过与民航总局的协作,确保试飞区域的空域划分合理、空中交通指挥得当。

2.3 人为操作与管理失误风险管理策略

在民用飞机试飞过程中,对飞行员操作规范、指挥决策流程、试飞总体管理制度的完善等方面,都要着重考虑人为操作和管理失误风险的管理。首先,要加强对飞行员的训练和模拟演练,尤其是不同飞行阶段的操作技能和应急反应

能力,提高他们在复杂试飞环境下的操作精度。飞行员在严格按照飞行手册和操作规程执行任务的同时,还要掌握精确的操纵技巧,减少操纵失误造成的危险。在使用新型飞行器时,要求飞行员能够对其控制律、自动化系统及飞行器的动态响应特性具有全面的了解且熟练掌握,避免因操作不规范而导致超调、滞后或误输入等问题出现。其次,为保证在试飞过程中飞行员和指挥人员能及时获得准确的数据支持与反馈,需建立完善的信息传递和指令执行机制。应充分注重状态监控与数据分析的准确性要求,尤其是出现飞行器异常或故障的情况下,为防止信息传递滞后或决策失误,避免影响试飞任务的安全实施,要迅速采取有效的应急处置措施。另外,为避免因安排任务不合理,人员过载等造成的风险,应加强任务科目的系统性评估和规划,确保各种试飞任务的安排与飞行员、机组人员的承载能力相适应,避免负荷过大的现象发生。最后,务必要严格把控试验数据记录、分析及存储的管理流程,保证不会遗漏或误判重要数据,给决策的制定提供有效的数据支撑。

2.4 试飞数据与技术保障风险管理策略

在民机试飞中,保证飞行试验评估可靠性的核心因素是试飞数据的准确性和技术保障体系的完整性。首先,在设计和使用过程中,试飞所依赖的高精度传感器要加强标定和维护,这样才能保证它的长期稳定与精确无误。对传感器的零漂、误差范围、资料丢失等现象进行经常性的检查,并实行必要的补偿机制和自动校准流程,这样就避免了由于硬件故障或性能衰减而造成数据准确性下降的现象。同时传感器的数据输出要通过冗余系统进行交叉验证,在关键时刻保证飞行状态的正确参数的获取,从而降低单点故障的风险。其次,为确保飞行状态信息的高效传送,在试飞过程中应采用先进的数据链路技术,以应对数据传输过程中的风险。因为在高动态环境下可能会有信号衰减与电磁干扰等情况发生,所以需要将数据传输系统设计为多路径冗余、抗干扰

能力强的架构,装置动态监控设备,以便于可以将数据传输过程中出现的失真以及延迟的情况及时发现并修正。同时在飞行过程中要对传输设备的性能进行经常性的评估和测试,确保数据的完整性与时效性,避免由于信号丢失或通道拥塞而造成飞行任务不能顺利进行。另外,确保技术保障制度的有效性。试飞之前要对全部机载测试设备状态,尤其是测量仪器和信号传输系统进行全方位地检查,保证其运行情况正常且无缝对接地面控制系统。机载设备应具备自检与报警功能,及时发现系统故障或功能异常,减少试飞过程中因设备问题导致的数据偏差或丢失。为了确保数据记录的连续性和可靠性,在试飞过程中要采用冗余存储功能的系统,这样才能保证不会因为设备故障或者其他外部因素而造成关键数据的丢失。

3 结语

民机试飞的安全风险管理需要在多维度、全生命周期的框架下进行综合考虑。通过建立科学的风险评估机制和防控策略,加强技术保障与操作规范的执行,可以显著降低试飞过程中可能发生的安全事故。此外,试飞数据的精确采集与实时分析、飞行员及试飞工程师的技能提升以及跨部门协同配合等方面的优化,均是确保飞行安全管理体系有效运作的关键。随着技术的不断进步和安全管理理念的不断深化,民机试飞的风险管理将更加精细化、系统化,为航空器的安全飞行提供坚实的基础。

参考文献

- [1] 刘超强.民机试飞风险评估方法研究[J].民用飞机设计与研究, 2015(4):5.
- [2] 黄涛,王伟.大型民机试飞测试发展与挑战[J].计算机测量与控制, 2016, 24(9):4.
- [3] 杨守财,丁楠,张远祯.浅谈民机试飞机务保障准备[J].军民两用技术与产品, 2018(4):1.