

民机试飞风险评估方法研究

Research on Flight Test Risk Assessment Method of Civil Aircraft

刘超强 / Liu Chaoqiang

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)

(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘要:

试飞风险评估是飞行试验活动中的重要一环,是试飞实施和安全保障工作的基本前提。为降低民机试飞风险,研究建立了一套民机试飞风险评估方法,对试飞危险识别方法、风险分析方法和风险降低措施、应急处理措施的制定方法等进行了阐述。以民机首飞为例进行了风险评估,识别了多项潜在危险,制定了相应的风险措施,根据本方法进行评估的结果基本满足试飞风险管理需要。

关键词:危险;发生概率;严重程度;风险等级

中图分类号:V217+.1

文献标识码:A

[Abstract] The flight test risk assessment is a vital part of flight test activity, and is a basic safeguard for flight test execution. To reduce the test risk, a method of flight test risk assessment is researched and developed, including test hazard identification, risk analysis, and the method of establishing risk mitigation and emergency measures. A risk assessment case is conducted based on the first flight of civil aircraft. Many kinds of hazards are indentified and their corresponding risk mitigations and emergency procedures are designed. The risk assessment results based on this method satisfy the basic requirement of flight test risk management.

[Key words] hazard; probability; severity; risk level

0 引言

飞行试验是一项技术性强、风险大、周期长、投资大的综合性系统工程^[1]。试飞风险评估是对试飞执行过程中可能遇到的各种风险进行识别、分析和制定应对措施的过程。试飞风险评估是试飞实施和安全保障工作的基本前提,是降低试飞风险,控制飞行安全的基础。尤其对于飞机首飞、包线拓展、极限条件下性能操稳特性试飞等试飞任务,试飞风险很高,在试飞实施前必须进行充分的安全风险评估,识别潜在危险源,并制定相应的风险降低措施,规划应急处理措施等。当前国内对民用飞机的试飞,是在军用飞机的风险管控体系下开展风险评估的,因而国内尚缺乏民用飞机试飞科目风险评估和控制管理的实践经验,需要研究建立符合适航要求的民机风险评估方法,与国际主流民机试飞机构一致,弥补国内试飞机构在民机试飞风险评估方

面经验的不足。

1 评估方法

1.1 试飞风险概述

危险是一种能够导致非计划或非期望事件(也就是人员伤亡、设备或财产受损、资料损失或功能丧失等)的条件、事件或环境。风险以事件的严重程度和发生概率对不期望事件的影响来表示。

试飞风险一般分为以下四个等级^[2]:(1)避免——飞行试验或者飞行活动对于人员、设备或财产的风险不可接受;(2)高——飞行试验或者飞行活动对于人员、设备或财产具有显著的风险。这必须在各级进行严格监管;(3)中——飞行试验或者飞行活动对于人员、设备或财产的风险比正常运行要高,因此需要比常规监管更严格的监管;(4)低——飞行试验或者飞行活动对于人员、设备或财产的风险不比正常运行高。

1.2 风险评估步骤

开展试飞风险评估时,应按照试飞内容和方法进行风险评估。其主要步骤包括:识别试飞所有危险,对每项危险进行风险分析,确定危险发生的原因、危险产生的后果、风险等级、风险降低措施、应急处理措施等内容。主要步骤如图1所示。

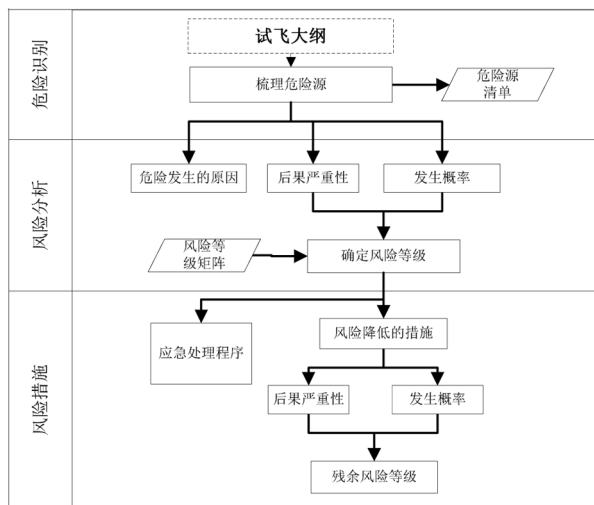


图1 试飞风险评估步骤

1.3 危险识别

试飞危险识别可按发生后果从以下方面开展:

- (1) 飞机或系统级功能失效或降级,如俯仰控制失效、双发熄火等;
- (2) 飞机机体结构与外界物体的碰撞,如飞机尾部结构擦地、鸟撞等;
- (3) 飞越飞机包线或限制条件,如失速、结构载荷超限等;
- (4) 机组遭遇不利条件,如,缺氧、遭受烟雾等;
- (5) 飞机遭遇不利的外界环境,如遭遇冰雹、闪电、结冰等;
- (6) 飞机测试或改装失效对飞机的影响,如失速改出伞无法正常打开。

1.4 风险分析

试飞风险分析包括:确定危险发生原因、可能产生的后果以及发生概率,并确定风险等级。

1) 危险发生的原因

从以下方面分析危险发生的原因:(1) 飞机设计或构型;(2) 试验方法原因,如特殊机动操作;(3) 特殊环境(气象、空域、机场条件等外界环境);(4) 测试改装影响。

2) 后果分析

后果包括4个方面:(1) 对飞机的影响,指危险发生后对飞机的破坏程度;(2) 对飞机功能、安全裕度的降低程度;(3) 对机组的影响,指对机上人员的伤害程度;(4) 对机组工作负担的影响情况(如增加机组工作负担的程度,减弱机组执行预定任务能力的程度)。

为了确定危险后果的严重程度,应使用定性分析与定量评估相结合的方式,确定危险的严重程度等级。严重程度由高到低分为如下五个等级^[2-3]:(1) 灾难性的——人员死亡和/或飞机损毁;(2) 危险性的——会大幅降低安全裕度,给机组成员带来严重伤害或者给飞机带来显著损坏;(3) 重大的——会显著降低安全裕度,给机组成员带来轻微伤害或者给飞机带来较小损坏;(4) 较小的——对于机组人员或者飞机的安全没有显著影响,但会轻微地增加机组人员的工作负荷和/或降低安全;(5) 对安全无影响的——指对安全方面没有影响,不会比正常运行的安全性更低。

3) 发生概率

危险发生概率评定应使用定性分析或定量评估相结合的方式,结合实际的工程经验来估计该危险的发生概率等级。发生概率由高到低分为以下5个等级^{[2][3]}:(1) 经常——经常会发生;(2) 可能——可能会发生;(3) 偶然——不会频繁发生;(4) 不太可能——不太可能发生;(5) 极不可能——极不可能发生。

1.5 风险控制

通过风险评估工作,给出降低风险的适当措施,措施应考虑降低危险的发生概率和降低危险发生后果的严重程度两方面。

1) 风险降低的方法

风险降低方法应从降低风险发生概率及降低后果严重程度两方面考虑。可参考以下方面制定风险降低措施:

(1) 试验方法辅助,因试验内容要求进入危险状态而设置的风险降低措施。如使用防尾旋伞。

(2) 设置限制条件,为防止试验内容、已知设计问题或飞机构型状态缺陷带来安全风险,而设置相应的飞行限制条件。如设置安全高度。

(3) 试验环境条件,为防止特殊的环境条件影响飞行安全而进行的辅助措施。

(4) 测试改装,为防止因测试改装问题而造成

的不安全,而进行的措施。

(5)机组工作能力,防止因试飞机组工作量的增加而造成不安全的措施,如足够的机组培训。

(6)在模拟器或试验室等地进行试验,将各种危险情况进行模拟,对风险降低措施进行演练。

(7)配置机组人员安全辅助设备。典型的机组人员安全辅助设备有:随身设备(降落伞、头盔、手套、氧气);驾驶舱安全带、防松开设备;设置清晰的应急出口标志,确保通道无阻碍;消除危险突出物或尖锐的试验支架边缘等。

2)应急处置程序

应急处置程序是在危险发生时的最优处理程序。制定应急处置程序的基本原则如下:程序应能使飞机恢复到正常状态或脱离危险;操作步骤应尽可能简单、方便,语言描述应清晰明了;所有危险均应建立相应的应急处置程序;试验前应尽可能对应急处置程序进行验证;应对所有上机人员都应进行应急处置程序培训;建立试验放弃标准,并充分培训机组人员。

1.6 试飞风险管理

为对试飞科目的风险进行有效控制,试飞机构可通过以下方法开展试飞风险管理,从试飞文件编制到实施过程进行风险全程管理。

在试飞风险评估单编写过程中,组织召开试飞科目风险评估头脑风暴会,对试飞内容进行风险详细评估,并按照评估结果编写试飞风险评估单。

在试飞风险评估单编写完成后,应由有经验的专家对试飞风险评估单进行评审,最终确定试飞科目风险等级和风险控制措施等。

在科目试飞实施前,应根据飞机状态评估科目实施的安全风险是否已识别并可控,所有参试人员评估是否对试飞科目风险存在异议;若评估认为风险不可控,不允许飞行实施。

科目飞行实施过程中,若试飞参与人员对试飞风险评估的准确性有异议,应及时提出修改意见。

2 试飞风险评估案例

根据本文所提的试飞风险评估方法,以下对民用飞机首飞的风险进行评估。评估发现一些多项必须注意的潜在危险。

2.1 飞机偏出/冲出跑道①

1)风险发生概率为:偶然。

2)后果严重程度:飞机结构重大损坏(灾难性的)。

3)发生原因:(1)飞机离地速度远高于预期,使飞机抬前轮后长时间未能离地;(2)失去航向控制,或滑行速度下航向操纵控制效率过低;(3)中断起飞时刹车系统故障,或轮胎爆破。

4)风险降低措施:(1)试验前检查起落架试验数据,确保刹车和前轮转弯控制功能正常;(2)尽量选择可用的最长跑道;(3)通过多次高速滑行试验检查航向操纵控制效率;(4)试验在硬质干跑道上执行;(5)选择在阳光非直射飞行员眼睛的跑道方向滑行起飞。

5)应急处置程序:制定飞机冲出跑道应急预案并按预案执行。

2.2 低高度失速②

1)风险发生概率为:可能。

2)后果严重程度:飞机坠毁(灾难性的)。

3)发生原因:(1)离地迎角过大;(2)离地后,横向操纵能力不足,使飞机大角度横滚;(3)起飞时过度抬前轮。

4)风险降低措施:(1)校核起飞性能数据,限定起飞最大迎角;(2)离地后,尽量保持机翼水平;(3)通过多次滑行试验检查横向操纵能力;(4)柔和抬前轮,限制拉杆速度;(5)飞行前讲评驾驶舱资源管理。

5)应急处置程序:推杆以减小引角,保持安全爬升率稳定爬升。

2.3 发动机失效或异常③

1)风险发生概率为:偶然。

2)后果严重程度:发动机损坏,机组工作量过大(灾难性的)。

3)发生原因:新研发动机第一次装机飞行,可能出现未知系统故障。

4)风险降低措施:(1)限制顺风 and 侧风最大风速;(2)发动机点开关置于连续点火位;(3)掌握AFM发动机失效程序;(4)APU始终打开;(5)进行发动机关键参数的实时监控;(6)试飞前在模拟器进行充分的相关故障演练。

5)应急处置程序:按飞行手册发动机失效程序执行。

2.4 飞机失去控制④

1)风险发生概率为:偶然。

2)后果严重程度:飞机坠毁(灾难性的)。

3)发生原因:理论与实际气动特性差异大,导致飞机操纵响应异常;操稳特性未经验证,操稳品质显著低于预期;飞机装机后第一次飞行,飞控或液压系统可能出现未知故障,丧失舵面控制。

4)风险降低措施:通过地面试验或模拟器试验检查首飞控制律;通过多次滑行试验检查操纵特性;地面监控飞控、液压系统关键参数。

5)应急处置程序:如果有失去控制的迹象,不改变任何飞机形态。若飞机系统故障导致失去控制,按飞行手册相应程序执行;若飞机操稳特性或控制律问题导致失去控制,尝试柔和调整操纵杆以恢复控制。

2.5 尾部擦地⑤

1)风险发生概率为:可能。

2)严重程度:飞机尾部结构损坏(危险性的)。

3)发生原因:(1)气动特性差异大,或控制律不恰当,导致拉杆后飞机抬头响应过大;(2)最小离地速度远大于抬轮速度,导致持续拉杆后飞机过度抬前轮;(3)拉杆过快,或飞机抬头响应滞后。

4)风险降低措施:限制抬轮拉杆速度和最大俯仰角;飞机尾部加装尾撬,或触地检测装置;通过多次抬轮滑行演练抬轮操作。

5)应急处置程序:一旦出现擦地提示,柔和减小俯仰角,保持安全角度起飞。

2.6 轮胎爆破或着火⑥

1)风险发生概率为:偶然。

2)后果严重程度:起落架着火,飞机结构损坏(重大的)。

3)发生原因:(1)中断起飞时使用过量刹车;(2)轮胎碾压跑道异物。

4)风险降低措施:(1)飞行前,对防火和救援队讲评试验飞机和所进行的试验情况;(2)试验全程中轮胎降温设施和灭火设施待命;(3)试验前清理跑道,确保无异物;(4)密切监控轮胎温度变化趋势。

5)应急处置程序:(1)中止试验,谨慎使用刹车刹停飞机;(2)如果起飞时怀疑轮胎爆胎且起飞没有中止,不能收起落架并按一个轮胎爆胎的着陆检查清单执行(如果在同一跑道着陆,降落在爆胎轮胎相反方向的跑道一侧)。

2.7 鸟撞⑦

1)风险发生概率为:不太可能。

2)后果严重程度:飞机坠毁(灾难性的)。

3)发生原因:飞机在鸟类飞行路线上低空运行,导致鸟撞击飞机。

4)风险降低措施:(1)检查飞行通报中有任何低高度交通管制或鸟击警告;(2)在能看见周围地形的目视气象条件下执行试验;(3)在实施试验前调查首飞空域的气象条件(紊流)、鸟类活动情况;(4)试验前申请机场的驱鸟服务;(5)优先选择一天中鸟类活动较少的时间进行试验;(6)试验中开启可用的外部照明。

5)应急处置程序:在 V_1 前鸟撞:中断起飞;在 V_1 后鸟撞:(1)若鸟撞导致发动机停车,按飞行手册发动机失效程序执行;(2)若鸟撞导致机翼/尾翼前缘或其他机身结构损伤,继续起飞,待爬升到安全高度以上后,进行飞机操纵检查,并尽快着陆。

2.8 起落架无法放下⑧

1)风险发生概率为:偶然

2)后果严重程度:飞机坠毁(灾难性的)。

3)发生原因:(1)液压系统故障;(2)起落架系统故障。

4)风险降低措施:开展充分的起落架收放地面试验。

5)应急处置程序:按照飞行手册进行起落架应急放,中止试验。

2.9 重着陆⑨

1)风险发生概率为:偶然。

2)后果严重程度:起落架和机体结构损坏(危险性的)。

3)发生原因:飞机下滑角过大,导致来不及拉平;飞机显示有偏差。

4)风险降低措施:非把杆飞行员监控下降率和飞机运动轨迹,并及时提醒把杆飞行员;地面远程监控下降率和飞机运动轨迹,并及时提醒机组;进近过程中飞行员综合使用 PAPI 灯、飞机指示进行目视着陆;飞行前讲评驾驶舱资源管理。

5)应急处置程序:除非飞机跳起,不要尝试复飞,接地后,柔和操纵飞机减速停稳飞机。

2.10 评估结论

将上述9项潜在危险及风险等级评估结果按发生概率和严重程度等进行汇总,如图2所示,因6项危险处于高风险等级,则民机首飞风险等级应定为高。

(下转第82页)

向后厨房。这一布置可使救生筏从储存箱里取出后,快速地被投放到飞机外面。但是当救生筏与后厨房位置比较小时,储存箱门打开后,救生筏难以取出,此时箱门开口就只能朝向主客舱。在本例中,此门开口朝向主客舱。

如图3所示,一个乘务员打开救生筏储存箱,储存箱打开时最低点的高度距离地板为1 250mm。这样,乘务员可较容易地打开储存箱,取出救生筏。两个乘务员在打开箱门后合力将救生筏抬出飞机。

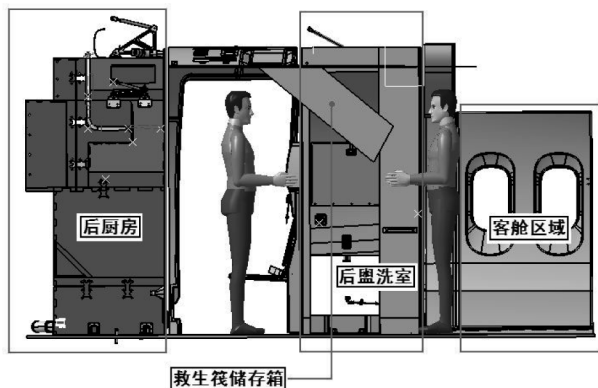


图3 救生筏取出状态

6 结论

本文介绍了民用飞机救生筏在飞机上的位置布置情况,分析了两种布置的优缺点。同时结合具体的飞机型号,以天花板式救生筏储存箱为例,结合民航相关法律法规的要求,详细地阐述了救生筏储存箱的结构设计要求及思路,可为其它飞机型号上救生筏存储箱的设计提供一定的参考。

参考文献:

- [1]中国民用航空局. CCAR121-R4 中国民用航空规章第121部:大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则[S]. 北京:中国民用航空局,2010.
- [2]中国民用航空局. CCAR25-R3 中国民用航空规章第25部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2001.
- [3]HB7066 民机机舱内部非金属材料燃烧产生毒性气体的测定方法[S]. 1994.

(上接第22页)

严重 程度	发生 概率	经常	可能	偶然	不太可 能	极不可 能
灾难性的		避免	②③④	①⑧	⑦	
危险性的			⑤	⑨		
重大的			高	⑥		
较小的				中		
对安全无 影响的						低

图2 首飞风险评估结果

3 结论

本文从飞行试验危险识别、风险分析、风险控制措施和风险管理等方面进行了研究,建立了一套适用于民用飞机试飞的风险评估方法和步骤。

为检验本文提出的风险评估方法的合理性,本文以民用飞机首飞为例进行了风险评估,提出了飞机偏出或冲出跑道、飞机失去控制、低高度失速、发动机失效或异常、尾部擦地、轮胎爆破或

着火、鸟撞、起落架无法放下、重着陆等多项潜在危险,对各项危险进行了分析后给出了相应风险措施。

并根据各危险评估结果可知,民用飞机首飞为高风险试飞,符合民机试飞实际情况,使用本文的方法进行民机试飞风险评估可以发现主要的潜在风险、制定的相应风险降低措施和应急处理措施可基本满足试飞风险管理需要,可用于保障首飞安全。

参考文献:

- [1]刘东亮,刘镭等. 基于试飞员操纵特性的试飞科目风险定量评估[J]. 飞行力学,2010,28(3):82-88.
- [2]中国民用航空局航空器适航审定司. AP-21-AA-2014-31R1 航空器型号合格审定试飞安全计划[Z]. 2014.
- [3]FAA Order 4040. 26B. Aircraft Certification Service Flight Test Risk Management Program[S]. FAA National Policy, 2013.