

自然结冰试飞成功的影响因素研究

A Study on Key Factors to Success of Natural Icing Flight Test

张强 范东方 刘旭华 / 中国飞行试验研究院飞机所

摘要:试飞成功的关键要素是选择合适的试验空域、准确的气象预报和合理的试验安排。本文研究了ERJ-190自然结冰试飞的成功经验及其影响因素,并介绍了其在ARJ21-700飞机上的应用,可以为民用飞机自然结冰的适航验证提供参考。

Abstract: The key factors of the flight program depend on right test airspace choosing, accuracy weather forecast and logical planning. In this paper, each aspect of these key factors of the ERJ-190 aircraft flight program and their application to the natural icing flight test of ARJ21-700 will be studied. It will support the natural icing airworthiness certification of other civil aircrafts.

关键词: 自然结冰; 试验空域选择; 气象预报

Keywords: natural icing; flight test airspace choosing; weather forecast

0 引言

飞机结冰是飞机在飞行过程中可能遇到的表面某些部位聚集冰层的现象。结冰会降低飞机性能和操纵性稳定性,甚至导致飞机损伤或机毁人亡。在现代民用飞机设计过程中,必须考虑飞机在自然结冰气象条件下的飞行安全。中国民用航空规章CCAR25部要求飞机必须进行防冰系统飞行试验,同时也要求飞机在自然结冰飞行条件飞行时具有良好的性能和操纵性稳定性。CCAR25附录C定义了飞机安全飞行的连续最大和间断最大结冰条件要求^[1]。

新研制飞机的取证试飞通常很难在短时间内顺利完成,尤其是自然结冰环境下的试飞需要用数月甚至数年的时间才能完成。目前竞争激烈的市场环境使得新飞机高效的自然结冰试飞成为飞机型号合格审定过程中很重要的一部分。例如,ERJ-145喷气式支线客机自然结冰试飞延续了6周,而

且飞机不得不在南美洲和北美洲之间飞行。与ERJ-145形成鲜明对比的是,2003年春天ERJ-170自然结冰试飞用了2周时间。2005年冬天ERJ-190自然结冰试飞仅用了4天。这些结冰试飞试验采集了大量数据并有影像资料留证^[2]。

ERJ-190自然结冰试飞成功的关键是选择了合适的试验空域、准确的气象预报和合理的试验安排。本文研究了ERJ-190自然结冰试飞的成功经验和影响因素,并介绍了其在ARJ21-700飞机上的应用,可为民用飞机自然结冰试飞的适航验证提供参考。

1 自然结冰试飞空域的选择

自然结冰试飞空域的选择是试飞试验最关键的因素,是试飞试验中首先应该完成的工作步骤^[3]。选择合适的自然结冰试飞空域可以提高飞机自然结冰试飞的成功机率,减少等待结冰天气的时间和试验费用。

自然结冰试飞空域的选择依赖于结冰试飞时间安排在一年内所处的月份。特定区域的冰情在一年内会发生明显的变化,冬天很多空域都可以被选为结冰试飞空域,而夏天只能在阿拉斯加、加拿大北部或俄罗斯西伯利亚做出选择。所以,自然结冰试飞最好安排在冬季进行。

典型的自然结冰试飞空域选择程序如下:

1) 必须仔细分析试飞所需的气象条件,即CCAR25附录C定义的最大和间断最大结冰条件。

2) 查找近年来有合适的结冰气象条件且结冰概率高的空域,将其作为参考的结冰空域,空中交通不是很繁忙、地面地势平坦且无人居住的空域是最理想的试验空域。

3) 在试验空域附近选择合适的飞机起降机场。自然结冰试飞是飞机研制风险的试验科目,要求在气象条件、飞机系统效能和飞机性能品质主

要参数在安全限制范围内飞行。通常情况下,飞机的航程限制、地面遥测监控范围可能会限制飞机的活动范围,选择距离理想试验空域较近的机场作为飞机的起飞着陆机场是很有必要的。同时,要求机场可以提供空地对话设备以及配备有燃油供应站、供暖设备的飞机维修停放机库和除雪设备,应急救援设备和车辆。此外,试验空域还要有合适的办公地点,住宿方便且交通便利。

4) 在试验空域附近选择合适的备降场。自然结冰气象条件通常是一个大范围的天气变化过程,起、降机场的天气有可能超出飞机安全着陆的限制,选择合适的备降场很有必要;

5) 自然结冰试飞前试验的主管人员必须要去与试飞空域相关的空中交通管理部门和起降机场主管部门调研,了解自然结冰试飞过程以及所需提供的服务内容,并分别签署合作协议。

北美五大湖区域是自然结冰试飞最理想的试飞区域,寒冷干燥的气流在流经五大湖时会产生大量的潮湿空气,与落基山脉的天气系统相遇,形成了理想的自然结冰气象条件。其附近除了芝加哥和底特律以外的区域,人口不是很密集,地面地势平坦,空中交通不是很繁忙,海拔高度在500m以下,附近可供ERJ-190飞机起飞着陆的机场很多,是自然结冰试飞的理想区域。位于美国田纳西州纳什维尔的ERJ-190维修机场能够满足起飞着陆机场的所有条件,因此,它被选为起降机场,附近的民航机场被选为备降场。ARJ21-700飞机自然结冰试飞机场选址时也综合考虑了上述因素,选择天山北麓为试飞空域,乌鲁木齐机场为飞机起降机场,附近民航机场

为备降场。

2 准确的天气预报

自然结冰气象条件是非常恶劣的飞行自然环境,有时还伴随着降雨或降雪。飞机飞行时的云层能见度不好,气流不稳定。云层厚度有时达到数千米,云层的范围也很大,分布不均匀,有时可能会遇到超出CCAR25部附录C定义连续最大结冰条件范围,这给飞行试验带来很大的风险。航线飞机在CCAR25部附录C定义的气象条件范围内飞行,是特别危险的。但是,对于需要进行自然结冰试飞验证的飞机来说,这种气象条件是比较难得的好天气。

为了找到这种好天气,需要查阅最新的气象信息资料并进行分析计算。在整个自然结冰试飞过程中,主要完成的工作包括:

1) 试飞前完成天气预报,主要内容包括结冰天气的发生时间、发展过程、预计的结冰强度和可以满足条件地点的地理坐标位置,以便于试飞管理部门进行试飞安排和准备。

2) 试飞过程中向试飞员提供实时的气象数据,包括云层温度、液态水含量、水滴直径、云层的均匀程度和垂直方向及水平方向的范围,还要根据空中交通状况和地面地形状况规划飞机飞行方向。

3) 完成结冰飞行后飞机要在一个低温的不结冰的空域完成试飞动作,需要气象专家提供相应的信息。

4) 气象专家必须关注飞机起降机场和备降场的气象条件。如果起降机场的气象条件突然变差,飞机需要在备降场着陆,气象专家还要推荐合适的着陆备降场。

5) 气象专家要分析机载气象测量

设备测得数据和天气预报数据的一致性,递交结冰气象条件分析报告。

3 合理的试飞安排

ERJ-190飞机自然结冰试飞安排是试飞成功的关键因素之一。ARJ21-700飞机自然结冰试飞借鉴了ERJ-190飞机试飞成功经验,安排了自然结冰试飞前、飞行过程中和飞机着陆后所有参试人员应该完成的工作。

3.1 起飞前工作安排

在每个试验日开始试飞前,试飞人员需要完成以下准备工作:

1) 气象专家详细预测结冰空域的坐标位置、范围、高度和结冰强度,预测天气的变化趋势和持续时间;

2) 检查确定表面的热电偶是否已经得到了好的维护;

3) 对机载气象设备进行操作检查;

4) 检查用于拍摄飞机结冰视频的摄像头;

5) 检查飞机表面是否有可见的冰、霜、雪;

6) 检查机场跑道;

7) 其他飞机起飞前需要完成的维护工作。

3.2 飞行过程

起飞后,飞机爬升至巡航高度,然后驶往目标空域。试飞员选择一个合适的晴空高度进行飞行,完成机载气象设备的零位校准。气象专家使用通信卫星给试飞员提供目标云层的变化情况。试飞员结合气象预报,通过气象雷达和目视方式选择合适的结冰云层,当靠近目标云层时,调整飞机降落到适当的高度。进入结冰环境之前,试飞员做好准备并按照计划的试验程序设定系统,然后飞机进入结冰环境,试飞员记录进入云层(飞行员

识别进入可见的湿气或结冰探测器告警)的时间。飞机在云层中飞行,要求试验结束后未防护表面结冰厚度至少有2in(5cm),更适宜的结冰厚度是3in(7.5cm)或在未防护表面结了更厚的冰。典型的冰积聚时间是30~75min。

在结冰云层飞行时试飞员需要观察飞行高度、温度和空速是否有不正常的指示,飞机的防冰系统是否能够正常工作。机组成员需要完成以下工作:

1) 观察关于发动机系统、防冰系统和失速保护系统的CAS(是什么?)信息;

2) 开启无线电和监控器记录任何非正常的操作;

3) 检查风挡、雨刷和侧窗是否存在结冰现象;

4) 观测和记录机翼和发动机进气道加热表面特别是低功率运行时可见的回流结冰现象。

完成结冰飞行后,飞机通常爬升到云层上离开结冰环境。离开结冰云层后,飞机要完成巡航、待机、模拟进近、着陆和下降等构型完成演示失速、30°快速急剧滚转、加减速和40°坡度转弯等飞行动作。试验动作过程中可能会出现冰脱落现象,所以试验能否顺利完成取决于未防护表面上结冰持续时间。持续时间的主要影响因素是外部环境温度和是否有阳光照射。如果飞机在冬季、高纬度空域飞行,高度足够高,环境温度一般比较低,飞机在飞行动作执行过程中甚至飞行结束后也不会出现冰脱落现象。结冰飞行结束后,飞机要以理想的速度(飞行速度太快可能会导致飞机前缘气动加温导致冰脱落)尽快返场。

3.3 飞行后工作

飞机着陆后,全体人员需要立即完成以下工作:

1) 对飞机未防护表面的残留冰进行拍照;

2) 对飞机雷达罩、前伸的排水管和机身其他部件上的残留冰并对其进行拍照;

3) 检查机体外观,确认是否有部件结构损伤现象;

4) 检查发动机。如果发动机存在损伤,记录损伤情况并拍照;

5) 检查缝翼吸水情况或缝翼排水口的排水情况;

6) 下载结冰数据,并将其提交给结冰专家以确认遇到的结冰环境;

7) 下载数据采集系统采集的数据,并转交给相关技术人员完成数据分析。

一旦完成上述工作,工程技术人员、试飞员、试飞工程师和气象专家讨论所遇到的气象条件,包括所处位置、温度、液态水含量、水滴大小、均匀性和发展变化情况。这些信息需要记录在飞行情况记录本,其中需要描述飞机积聚的冰型,包括冰型特征、满足要求冰型的飞行时间(比如30min内积聚7.5cm)以及离开结冰云层后的冰型保持能力。试飞员评价遇到的结冰的严重程度,和在气象专家通过空中交通管理指引下飞机在结冰云层飞行的能力。工程技术人员和飞行员讨论飞机防冰系统的性能以及当天在云层中飞行过程中以及飞机带冰型飞行操纵是是否存在问题。

如果下一个试验日还有飞行,气象专家要向全体人员介绍试验空域当天的天气和相关的结冰情况、天气

变化情况、温度范围以及对液态水含量的估计值。同时,气象专家还要介绍接下来两三天的天气情况。技术人员和飞行员获得天气情况的信息后,一起讨论后续的试飞计划。飞行计划确定以后,技术人员处理当日的飞行数据并为下一个飞行的数据采集做好准备。

4 结论

由于在试飞空域、天气预报和试飞安排等方面科学细致地统筹安排,ERJ-190飞机的自然结冰试飞相当成功,在很短的时间内,确保安全的情况下有效地采集了满足附录C的充足的试验数据。ERJ-190自然结冰试验对民用飞机适航审定项目有深远的影响,大大节省了试飞时间和经费,极快地推动了飞机的适航验证进程。ARJ21-700飞机参考了ERJ-190飞机的成功经验,成功地完成了飞机防冰系统的自然结冰试飞。

AST

参考文献

- [1] CCAR-25,中国民用航空规章[S],中国民用航空总局,2001.
- [2] Ben C. Bernstein. The Embraer-170 and-190 Natural Icing Flight Campaigns: Keys to Success[R]. AIAA2006-264,2006.
- [3] Fort Rucker. Aircraft Natural/Artificial Icing[R]. Army Aviation Technical Center,2009.

作者简介

张强,硕士,工程师,从事飞行力学及飞行试验研究工作。