

民用飞机辅助动力装置进气系统 降扬雪适航验证要求研究

王 晗* 刘 昊 张 强

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘 要: CCAR 和 FAR 附录 APU 草案以及 CS25 J 分部中均在进气系统防冰条款中对 APU 在降扬雪条件下的运行提出了要求。对于符合性方法,目前 CAAC 还未有相关指导文件,FAA 和 EASA 则分别给出了一些详细要求,但两者还存在部分差异。本文对比了 CCAR 和 FAR 以及 CS25 J 分部中 APU 进气系统降扬雪条款内容差异,研究了 FAA 和 EASA 对于 APU 进气系统降扬雪气象条件详细验证要求,并从降雪强度、环境温度、扬雪条件、试验持续时间和试验工况等方面分析了 FAA 与 EASA 要求的差异。结果表明 FAA 和 EASA 在降雪强度、扬雪条件和试验工况要求方面基本一致,在环境温度和试验持续时间要求方面存在差异,总体上来看 EASA 对于降扬雪试验条件要求更为详细。根据研究结果,探讨了 APU 进气系统降扬雪适航验证方法,为民用飞机 APU 进气系统降扬雪气象条件下的验证工作提供参考。

关键词: 辅助动力装置;APU;降扬雪;适航;符合性方法

中图分类号: V228

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用飞机辅助动力装置(Auxiliary Power Unit, 简称 APU)主要功能是为发动机起动和空调系统提供引气,同时可以通过驱动发电机来提供电功率^[1-2]。通常 APU 是一个小型的燃气涡轮发动机,通过进气系统从飞机外部获取工作所需的空气。随着 APU 系统在越来越多飞机上应用,附录 APU 草案往往被适航当局通过等效安全作为 APU 系统安装的审定基础^[3]。CCAR、FAR 附录 APU 草案以及 EASA CS25 J 分部,均在进气系统防冰条款中对 APU 在降扬雪条件下的运行提出了要求^[4-6]。对于符合性方法,目前 CAAC 还未有相关指导文件,而 FAA 和 EASA 则分别给出了一些详细要求和符合性方法的指导意见,但两者在部分要求上还存在差异。

本文分别对 FAA 和 EASA APU 进气系统降扬雪适航验证要求进行了研究,分别从条款内容及详细验证要求等方面进行了对比分析,为民用飞机 APU 进气系统降扬雪气象条件下的适航验证工作提供参考。

1 适航条款内容及差异

CCAR 附录 APU 草案中进气系统的防冰 APU25.1093 中 b 条要求原文如下^[4]:基本 APU 进气系统部件,包括进气网(如有),必须确保 APU 在下列取证要求的条件下工作,不会产生对 APU 运转不利或严重的功率损失:(1)附录 C 规定的结冰条件;(2)为飞机作该类营运所制定的使用限制内的降雪和扬雪情况。

本文主要针对 APU25.1093 中 b(2)条降扬雪条件的适航验证要求进行研究。目前多数主流民

* 通信作者。E-mail: wanghan1@comac.cc

引用格式: 王晗,刘昊,张强. 民用飞机辅助动力装置进气系统降扬雪适航验证要求研究[J]. 民用飞机设计与研究,2020(4): 12-15. WANG H, LIU H, ZHANG Q. Airworthiness certification requirements of falling and blowing snow for APU inlet system of civil airplanes[J]. Civil Aircraft Design and Research,2020(4):12-15(in Chinese).

用飞机均将 APU 定义为基本型 APU,且为保护 APU 本体不受外来吞噬物的损害,多数 APU 集气腔(属于进气道一部分)内装有防护网^[7-8],需要表明在降扬雪条件下的适航符合性。对比 FAR APU25.1093b(2)条款以及 CS 25J1093b(2)条款内容可以看出 FAR 对于 APU 降扬雪相关条款要求与 CCAR 基本一致,而 EASA CS 25J1093(b)条中则做了更详细的表述,要求基本型 APU 包括所有工作的防冰系统及进气网(如有),在为飞机作该类营运所制定的使用限制内的降雪和扬雪条件下,能够在整个飞行功率范围内保持正常工作,不因在 APU 或进气系统组件或机身结构上的冰积聚而产生对 APU 的一系列不利影响(如影响 APU 工作、引起功率损失、APU 损坏等等)。

进一步研究发现,早期 EASA CS 25J1093b 中并没有降扬雪条件的要求,而在 2011 年修订建议通告中提到有服役经验表明在雪气象条件下造成了部分发动机和 APU 的运行中断,并提出对 CS 25.1093b 及 CS 25J1093b 中条款内容进行修订的建议,同时在 2012 年修订建议通告中给出了符合性方法建议的修订内容,最终在 CS25 第 16 修正案中正式发布了有关降扬雪要求的修订内容。因此近些年 EASA 对于 APU 进气系统降扬雪条件下的适航符合性验证也较为关注。

2 FAA 与 EASA 适航验证要求差异分析

2.1 概述

对于 APU 进气系统降扬雪条件的符合性方法以及具体要求,目前 CAAC 还未有相关指导意见,FAA 也尚未发布相关咨询通告。但 FAA 在 1992 年 8 月 3 日内部政策备忘录中记录了运输类飞机审定中心针对降雪和扬雪要求的问题答复,FAA 根据之前审定经验以及多种研究出版物的数据,对发动机和 APU 在降扬雪气象条件下运行的验证给出了一些试验准则。EASA 在 CS25 AMC25.1093 给出了降扬雪气象条件的详细验证要求,并指出如果能够在给定条件下表明发动机或 APU 处于可接受的工作状态,则在雪天条件下飞机营运起飞没有限制。FAA 和 EASA 对于发动机及 APU 进气系统降扬雪条件具体验证要求内容如表 1 所示。

表 1 FAA 与 EASA 降扬雪验证要求

项目	FAA 要求	EASA 要求
降雪强度	能见度不大于 0.4 km	能见度不大于 0.4 km
温度	粘性湿雪: 25 °F ~ 34 °F (-3.9 °C ~ 1.1 °C) 或更临界温度	湿雪: -3 °C ~ +2 °C 干雪: -9 °C ~ -2 °C 或更临界温度
扬雪	进行每小时 24.14 km ~ 48.28 km (13 kts-26 kts) 滑行模拟扬雪状态	飞机在 15 kts ~ 25 kts 的速度下滑行或通过其他飞机进行吹雪
持续时间	未明确要求	持续时间能够达到稳定的雪积聚和(如可能)脱落状态
APU 工况	不同发动机功率设置下的静运行,进入滑行或等待状态模拟典型的地面起飞前的等待状态	APU 所有预期的地面运行工况

2.2 降雪强度及环境温度

FAA 和 EASA 对于降雪强度的定义以能见度的指标进行衡量,均要求试验时能见度不大于 0.4 km,并且认为此能见度范围只有雪才能达到,而不是雾气等其它因素导致。除了能见度的指标之外,EASA 还分别给出了降雪和扬雪条件下对应的液态水含量的指标,降雪条件对应的液态水含量为 1 g/cm³,而扬雪条件对应的液态水含量为 3 g/cm³。

对于试验环境温度,FAA 认为申请人应根据 APU 和进气道实际构型确定临界温度,同时指出大气温度在 25 °F ~ 34 °F (-3.9 °C ~ 1.1 °C)之间时,容易出现易于在非加热表面产生积聚的“黏性湿雪”。此外 FAA 还提到针对于具体 APU 和进气道构型,可能还存在更临界的状态,比如在某些较低的温度条件下,雪在较冷的外表面不进行附着,而雪粒会粘在部分内部受热的进气道表面上融化,继而可能重新结冰,因此需要申请人来评估确定临界温度。EASA 则分别根据干雪和湿雪条件给出了相应的温度要求,并指出除非发现其它更加严酷的温度条件外(例如干雪在更低的温度条件下接触到热表面后会造溢流结冰等),干雪对应的温度范围为 -9 °C ~ -2 °C,而湿雪(黏雪)对应的温度范围为 -3 °C ~ +2 °C,可以看出 FAA 和 EASA 在湿雪温度范围较为接近,而 EASA 除湿雪外还对干雪提出了明确

要求。湿雪由于粘性较大易于在表面进行积聚,当雪积聚到一定程度后容易产生较大块的脱落现象导致发动机或 APU 停车等问题,因此目前普遍认为湿雪条件会相对更加严酷。

2.3 扬雪条件

关于扬雪气象条件,国内也称之为高吹雪,是指较强气流将雪从地面吹指高度 2 m 或者以上,造成能见度较低的自然现象^[9-10]。FAA 要求飞机以 24.14 km/h ~ 48.28 km/h (13 kts ~ 26 kts) 的速度滑行来模拟扬雪条件。EASA 则要求飞机以 15 kts ~ 25 kts 的速度滑行或者通过其他飞机在 APU 前面进行吹雪来模拟扬雪条件。飞机滑行的目的是在降雪条件下让雪和机身存在一定相对速度,来模拟当飞机静止时风将雪带动而与机身存在一定的相对速度的扬雪状态。从飞机滑行速度范围可以看出,FAA 要求比 EASA 要求更加宽泛,因此采用 EASA 给出的 15 kts ~ 25 kts 速度范围也满足 FAA 对于扬雪速度的要求。

2.4 试验持续时间及试验工况

对于试验持续时间,FAA 没有明确给出相关要求,EASA 则要求必须表明 APU、进气系统或机身结构不能因雪或半融雪的积聚而产生对 APU 所有预期的地面运行工况产生不利影响。同时要求应考虑持续时间能够达到稳定的积聚和脱落(如可能)状态,并且对 APU 来说,任何雪脱落都应是可接受的。从 EASA 的要求来看并没有给出明确的试验时间,而是要求达到雪积聚和脱落的稳定状态,这就要求试验过程中能够对 APU 进气道内雪积聚状态进行实时监测以确认试验持续时间。试验过程中也可能不会出现明显的稳定状态,因此有必要根据相关经验在试验前和局方预先商定一个基本的试验持续时间,以保证试验顺利开展。

对于验证工况,FAA 指出一旦确定需要进行降雪和扬雪试验,则需要同时表明地面状态和飞行状态下的符合,地面状态应包括发动机不同功率下的静运行以及滑行或等待等典型地面起飞前状态。飞行状态应该包括:起飞、巡航、等待、下降和着陆等典型工况。EASA 则指出试验(或分析)应考虑地面所有可能用到的工况,并且要充分证明没有有害的雪积聚或脱落情况发生。可以看出 FAA 和 EASA 对于地面状态验证工况要求基本一致,由于 APU 大多数情况仅为地面使用,因此对于 APU 来说更多应该

考虑地面状态的符合性。

除上述具体试验要求外,FAA 和 EASA 也均提到在自然环境下往往很难找到同时满足能见度以及环境温度等要求的降雪和扬雪条件,并且在试验期间也很难保证试降雪强度不发生改变,因此申请人可基于实际情况以及试验数据等通过分析的方法来表明符合性。

3 验证方法探讨

对于 APU 系统来说,可以在规定的降雪和扬雪气象条件下,通过地面试验表明对 APU25.1093b(2)条款的符合性。根据前文的分析内容,EASA 对于降雪和扬雪条件要求相对较为详细,虽然部分要求与 FAA 还存在差异,但差异内容较小,因此可以主要参考 EASA 的相关要求开展试验。由于试验条件中对于降雪强度和温度范围要求较为严格,特别是对于湿雪环境温度要求更为苛刻,自然条件下往往很难找到满足要求的降雪和扬雪条件。因此可以考虑通过试验室人工造雪等方式来模拟试验条件,一方面可以获得持续稳定的试验条件,另一方面也可以缩短飞机适航取证时间。对于扬雪条件同样可以通过实验室风洞系统等装置,将降雪叠加风速形成扬雪条件以代替飞机在给定的速度下滑行。

如果采用人造雪来模拟试验条件,可以将降扬雪试验与 APU 尾锥兼容等试验相结合在系统级开展。与在整机状态下开展试验相比,在系统级开展试验可以避免许多试验空间和测试改装等方面的问题,降低试验成本。近些年也有许多新型号的民用飞机通过在环境实验室内采用人工造雪的方式模拟试验条件完成了验证工作。

4 结论

本文分别对 CCAR 和 FAR 附录 APU 草案以及 CS25 J 分部中 APU25.1093b(2) APU 进气系统降扬雪适航条款内容以及详细验证要求进行了研究,结论如下:

1) CCAR 和 FAR 对于 APU 降扬雪相关条款要求基本一致,CS 25 中条款表述内容更加详细;

2) FAA 和 EASA 在降雪强度、扬雪条件和试验工况要求方面基本一致,在环境温度和试验持续时间要求方面存在差异,总体上来看 EASA 对于降扬雪试验条件要求更为详细;

3)根据研究结果,探讨了APU降扬雪适航验证方法,为民用飞机APU进气系统降扬雪气象条件下的验证工作提供参考。

参考文献:

- [1] 《航空发动机设计手册》编委会. 辅助动力装置及动力机[M]. 北京: 航空工业出版社, 2007: 1-2.
- [2] 张强, 银未宏, 李博. 民用飞机辅助动力装置适航标准及验证方法研究[J]. 装备制造技术, 2015(7): 201-203.
- [3] 蓝天, 张强, 李彦双. 附录APU草案与25部规章的差异性研究[J]. 科技视界, 2018(24): 219-220.
- [4] 中国民用航空局. 中国民用航空规章第25部运输类飞机适航标准: CCAR-25[S]. 中国: 中国民用航空局, 2011.
- [5] EASA. Certification Specification and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes: CS-25[S]. European: EASA, 2017.
- [6] FAA. Federal Aviation Regulation Part25-Airworthiness

Standards: Transport Category Airplanes[S]. U. S.: FAA, 2004.

- [7] 章弘, 常红. 辅助动力装置系统空中起动设计和验证[J]. 民用飞机设计与研究, 2016(02): 45-47.
- [8] 李博, 唐宏刚, 殷海涛等. APU安装系统设计与分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(03): 42-46.
- [9] 张威伟, 张光辉. 风吹雪的形成机理分析[J]. 中国水运, 2006, 4(3): 67-68.
- [10] 祁龙. 冰川、积雪及泥石流灾害研究的回顾与设想[J]. 冰川冻土, 1998, 20(3): 249-251.

作者简介

王 晗 男, 硕士, 工程师. 主要研究方向: 民用飞机辅助动力装置安装设计. E-mail: wanghan1@comac.cc

刘 昊 男, 博士, 工程师. 主要研究方向: 民用飞机辅助动力装置进气系统设计. E-mail: liuhao5@comac.cc

张 强 男, 硕士, 高级工程师. 主要研究方向: 民用飞机辅助动力装置集成设计. E-mail: zhangqiang@comac.cc

Airworthiness certification requirements of falling and blowing snow for APU inlet system of civil airplanes

WANG Han* LIU Hao ZHANG Qiang

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: Draft appendix APU of FAR and CCAR and part J of CS25 all has the requirement for the operation of APU in falling and blowing snow condition. CAAC has not issue the guidance for the compliance method, while FAA and EASA has provided some detail requirements for the certification test, but there are some differences between them. This paper compares the differences between CCAR, FAR and CS25 part J about the falling and blowing snow airworthiness requirements for APU inlet system, and studies the detailed certification test requirements of FAA and EASA. Comparison has been made in snow intensity, environmental temperature, blowing snow, duration time and operation condition. The results show that FAA and EASA are almost same in snowfall intensity, blowing snow condition and test condition, but there are some differences in environmental temperature and test duration. Generally, EASA's requirements for snowfall test conditions are more detailed. Based on this study, the method of compliance was discussed. This paper provides the guidance for compliance certification test of falling and blowing for APU inlet system.

Keywords: auxiliary power unit; APU; falling and blowing snow; airworthiness; method of compliance

* Corresponding author. E-mail: wanghan1@comac.cc