

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2016.04.009

# 国外运输类飞机最新 结冰适航规章差异初步研究与分析

## Study and Analysis of the Latest Foreign Icing Airworthiness Regulation's Differences on the Transport Category Airplanes

丁媛媛<sup>1</sup> 蒋彦龙<sup>1</sup> 施 红<sup>2</sup> 高志刚<sup>2</sup> 裴后举<sup>1</sup> /

DING Yuanyuan JIANG Yanlong SHI Hong GAO Zhigang PEI Houju

(1. 南京航空航天大学, 南京 210016; 2. 江苏科技大学, 镇江 212003)

(1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

### 摘 要:

总结了 FAR 25 部与 CS 25 部最新结冰相关的规章条例。因为引入过冷大水滴条件和混合相与冰晶结冰条件, FAA 与 EASA 在其适用性方面产生了差异, 导致了两者条款规定的不同要求, 所以将 FAR 25 部与 CS 25 部运输类飞机结冰相关的适航规章进行了比较。根据两部结冰适航规章, 具体阐述和分析规章中存在的差异性。总结出 CS25 部更为严格, 限制的范围也更大。同时也对过冷大水滴结冰条件规章作了分析。这对国内适航规章的研究和未来取得 FAA 和 EASA 对我国运输类飞机设计批准有着重要的参考作用。

**关键词:** FAR 25; CS 25; 结冰; 规章; 过冷大水滴; 飞机

**中图分类号:** V221<sup>+</sup>.91

**文献标识码:** A

[ **Abstract** ] The latest rules and regulations about icing in FAR's part 25 and CS 25 were summarized and described briefly in this paper. Since the introduction of large super cooled water droplets, mixed phase and ice crystal icing conditions, the differences of applicability between FAA and EASA come out, which leads to the different requirements of both provisions. Therefore, FAR 25 and CS 25 transport airplanes airworthiness regulations related to icing are compared. According to the two regulations about icing, the differences that exist in the regulations were specifically described and analyzed. It is concluded that the CS25 is more strict, and has the larger scope of the limit. Meanwhile the regulations of Super cooled Large Drop are analyzed. It has an important effect on domestic aviation regulation study and transport category airplanes design approval by FAA and EASA in the future.

[ **Keywords** ] FAR 25; CS 25; icing; regulations; super cooled large drop; airplane

## 0 引言

结冰对飞机产生的危险和后果十分严重。在飞机飞行过程中如果发生结冰, 就会造成飞机升力

减小、阻力增大, 失速攻角变小、失速速度增大, 重量增加, 稳定性和操纵性降低, 从而影响飞机的安全飞行。各国民航管理部门和工业部门为了保证运输类飞机在结冰条件下能安全运行, 推出了结冰

[ **基金项目** ] 江苏高校优势学科建设工程基金资助。

相关的适航审定规章。一个国家生产的飞机如果想要出口给另一个国家,就必须取得出口国或国际通行的适航证,这就说明,适航取证具有很强的地域性。目前世界上主要认可的适航通行证是美国联邦航空局(Federal Aviation Administration,简称FAA)和欧洲航空安全局的认证。

上世纪四五十年代,美国就开始研究飞机防/除冰,推出了民用航空规章 CAR 4b. 640,对飞机机体防冰作出要求。1958 年美国成立 FAA,1964 年 FAA 发布联邦航空条例 FAR25. 1419 替代原有的 CAR4b. 640 条款。之后的很多年,FAA 又根据实际飞行中出现的问题和事故,通过咨询各界建议和研究总结,对适航规章以修正案的形式进行补充和修改。我国的运输类飞机适航审定规章<sup>[1]</sup>就是在美国联邦航空局推出的 FAR25 部内容的基础上发展而来。上世纪 90 年代,西欧共同体成立了联合航空局(Joint Aviation Authority,简称 JAA),但是 JAA 发布的 JAR 适航规章对成员国并不具备法律约束能力,各成员国的航空当局都依据本国的实际情况制定自己的航空法规。这就导致了各国航空标准的参差不齐,因此不能满足欧洲航空领域未来的发展以及欧洲一体化的发展趋势。所以 2002 年,欧盟成立了欧洲航空安全局(European Aviation Safety Agency,简称 EASA),其目的就是保证欧洲的航空安全,促进欧盟的经济贸易发展。EASA 代替 JAA 的所有工作和作用,并且具有更强大的航空法律法规约束效能。2003 年 9 月,EASA 发布了针对固定翼飞机的 CS-25 适航审定规范。此后 FAA 与 EASA 不断推出修正案修改 FAR 和 CS25 部,到 2016 年 8 月 23 日为止 FAA 已推出 FAR25 部 143 号修正案,到 2016 年 6 月 23 日为止 EASA 推出 CS25 部 18 版修正案,并且两部规章还在不断地修正。

## 1 FAR25 与 CS25 的差异

从 1980 年代开始,欧洲与美国就对适航之间的协调性进行了多次调整。为了进一步促进双方航空事业的交流与航空商品的进出口,经过各方的努力达成了大型民用飞机适航要求的基本一致,但还是存在着一定的差异。

由于各国适航适用的飞机范围不同,导致了 FAR<sup>[2]</sup>与 CS<sup>[3]</sup>的 25 部适航条款在某些方面的差异<sup>[4]</sup>。例如,美国 FAR 25 部适用于水上飞机、雪上飞机、往复式发动机飞机等,而欧洲 CS 25 部中不包括水上飞机、雪上飞机、往复式发动机飞机、水陆两

用飞机、飞艇或装有助推火箭发动机的飞机。尤其在近年引入了过冷大水滴和混合相,冰晶结冰条件。新提出的过冷大水滴环境要求适用的是所有新的大型飞机,并不仅限于运输类大型飞机,而 CS25 部规范的对象是除了正常类、实用类、特技类和通勤类(这些类别归 CS-23)以外的所有大型飞机,FAR25 部适用的是运输类型飞机。对于混合相和冰晶环境对外部探测器影响方面,EASA 使用的是 CS33 部附录 D 结冰包线,适用的是所有飞行设备的外部探测器,而 FAR 中制定的环境包线只限于皮托管和攻角传感器。以上这些差异性直接决定了相关条款不同。通过对 FAR 25 部 143 号修正案与 CS 25 部 18 版修正案的运输类飞机结冰相关适航条例的分析,找出两者存在的不同点,这对国内适航规章的参考研究有着重要的作用。表 1 是 FAR 25 和 CS 25 最新结冰相关条款不同之处的对比情况。

## 2 条款内容分析

根据上文所述 FAR25 和 CS25 的差异性,下面对各个条款的不同进行详细的说明分析。

### 2.1 25.21(g)和 § 25.1420:

FAR25. 21(g)(1)规定了申请人在不寻求或者寻求附录 O 结冰条件的合格认证和符合性验证时,只适用于飞机属性为起飞总重小于 27 000kg 或者具备有回力飞行操纵器件。以上要求满足其中一种即可。此类条款要求在 CS25. 21(g)未提出,并且在 CS25. 1420 过冷大水滴结冰条件(a)中也未提出此项要求。

根据 FAR25-140 号修正案,在附录 O 定义的过冷大水滴结冰条件下,必须考虑最大起飞重量小于 27 000kg 或者具备有回力飞行操纵器件的飞机,而无需考虑重量大于或等于 27 000kg 或者不装备有回力飞行操纵器件飞机的运行受过冷大水滴结冰条件限制。FAA 制定此项标准是因为采纳了一部分 IPHWG(防冰保护协调工作组)成员的建议,认为尺寸直接关系到运输类飞机对冰积聚产生的不利影响的敏感性。飞机的大小决定了它的飞行特性对冰的厚度和粗糙度的敏感性,给定的结冰高度(或冰粗糙高度)的相对影响会随着飞机尺寸的增加而减小,而且许多大飞机在过去几十年飞行服役中在 SLD(过冷大水滴)条件下经过证明都是安全的。不装备有回力飞行操纵器件设计特征在某种程度上是可接受的,因为不装备有回力飞行操纵器件降低了飞机对过冷大水滴条件的敏感性,过冷大

表1 FAR25 和 CS25 与结冰相关条款差异对比情况

序号	FAR 条例	CS 条例	FAR/CS 条款名称	差异
1	§ 25. 21 (g)	CS25. 21 (g)	符合性证明规定	本分部关于结冰条件的要求, FAR 对 25. 21 (g) (3)、(g) (4) 适用的飞机满足的属性作出了要求, 即飞机总重范围和有回力飞行操纵器件, 而 CS 并未给出说明
2	§ 25. 1093 (b) (3)	CS25. 1093 (b)	进气系统防冰规定/ 进气系统除冰和防冰规定	FAR 中本节定义了附录 O 的结冰条件和大水滴条件下并不适用最大起飞重量大于等于 27 000kg 的飞机, CS 中没有此项说明
3	§ 25. 1323 (i)	CS25. 1323 (i)	空速指示系统	FAR 说明了空速管指示系统在各类结冰条件下的要求, CS 中此项为保留项
4	§ 25. 1324	CS25. 1324	攻角系统/ 飞行仪表外部探头	CS 对飞行设备外部探测器系统在大雨和结冰条件下作出了要求, 包括空速管、皮托静压管、攻角传感器、温度探测器等, 而 FAR 只对攻角系统作出要求
5	§ 25. 1325 (b) (2)	CS25. 1325 (b) (2)	静压系统	FAR 中空气压力对结冰条件的要求有附录 C 与附录 O, CS 未明确哪种结冰条件
6	§ 25. 1326	CS25. 1326	空速管加温指示系统/ 飞行仪表外部探头加温 系统告警	CS 提出对所有飞行设备外部探测器加热系统警告的要求, FAR 只说明了空速管加温指示系统的要求
7	§ 25. 1420 (a), (d)	CS25. 1420 (a)	过冷大水滴结冰条件	FAR 强调飞机最大起飞重量少于 27 000 磅或者没有回力飞行操纵器件, CS 并没有规定此设计特点

水滴结冰所产生的铰链力矩或者其他异常的控制力及剪切效果并不有利于这些系统。因此 FAA 考虑了以上两种运输类飞机设计特点在过冷大水滴结冰条件下的适用要求。

而在 CS 中 25. 21 (g) 和 25. 1420 并没有特别提出具有重量标准和有回力飞行操纵器件的飞机在过冷大水滴下的要求, EASA 对这种适用划分并不支持。EASA 采纳了大部分 IPHWG 成员的意见, 认为上述两个飞机设计特点应该排除在 25. 1420 符合性之外, 过冷大水滴条件的要求应对所有大型飞机适用。事实上, 过冷大水滴在飞机表面撞击和冻结的位置比附录 C 定义的水滴撞击和冻结位置要靠后很多, 这也会影响所有类型飞机的性能和操纵质量。而且因为飞机机翼和控制面的大小以及飞机重量对于不同飞机设计来说是不一样的。因此飞机起飞重量不能决定其升力、控制面大小和弦向尺寸。而上面三个因素恰恰是影响给定冰积聚测量仪器灵敏度的重要参数。对于将没有回力飞行操纵器件的飞机排除在 25. 1420 的符合性审定之外, EASA 认为是不可取的。因为在过冷大水滴结

冰条件下铰链力矩和其他异常的控制力并不是唯一需要考虑的因素。一个没有回力的控制面也许不会因为过冷大水滴积聚而偏转, 但控制的气动效率可能会因为在控制面前部出现过冷大水滴积冰而有所降低。并且, 现在欧洲正在进行的大飞机项目将会使用不同于之前的防冰系统, 即基于电气动力结构或使用不同方法的发动机引气防冰系统 (如湿运行代替完全蒸发式)。而具有上述两种设计特点的飞机的使用经验是否适用于未来的设计也是未知的。另外, EASA 在 CS25. 21 (g) 款最后第 (4) 条中规定了适用于结冰条件下的飞机要符合 CS25. 23 规定的载重分布限制、CS25. 25 规定的重量限制和 CS25. 27 规定的重心限制, 在结冰条件下或存在积冰时不会改变。此项条款可以看出 EASA 对结冰条件下飞机符合范围的要求比较严格。

另外在 25. 21 (g) 对过冷大水滴结冰条件的合格认证和符合性验证中, CS 提出附录 O 第二部分 (c) 和 (d) 定义的冰积聚可以使用对比分析作为一种替代方法表明符合性。这是因为虽然一些规定



已经被包含在了 AMC (Acceptable Means of Compliance) 25.1420 中, 申请人可以使用和信任相似于之前已经证明了能够在过冷大水滴结冰环境里安全运行的型号设计。但是在进行对比分析时使用的方法细节和可接受的标准并没有为申请者提出, 因此 EASA 决定制定这一条款来促使申请者发展对比分析。

## 2.2 25.1093(b)

发动机进气系统结冰严重影响发动机的正常工作<sup>[5]</sup>, 会造成功率/推力损失、发动机损坏、熄火。对于涡轮发动机, 两部规章都要求发动机在 25 部附录 C 和附录 O 的整个过冷大水滴结冰条件下安全运行。不同的是 FAR 要求发动机还要满足在 FAR33 部附录 D 定义的结冰条件下安全运行, CS 则要求发动机满足本部附录 P 结冰条件。而 CS25 部附录 P 是从 FAR33 部附录 D 上发展而来, 都为混合相和冰晶结冰包线, 内容相同。FAR33 部(飞机发动机适航标准)附录 D 和 CS25 部附录 P 是由 ARAC 的发动机协调工作组和发动机安装协调工作组制定。这些工作组成员包括气象学家、结冰研究专家(来自美国联邦航空局和联邦航空局技术中心、加拿大气象服务部、NASA、加拿大交通部/运输发展中心)。对于这类结冰条件, 混合结冰条件由冰晶和散布的液态水滴组成, 在确定云层的液态水含量和总含水量时, 要特别注意计入这类冰晶的水含量。区分水滴和冰晶, 需要特种仪表, 例如总含水量探头。进行这样的区分非常耗时, 需要进行详细的调查研究, 包括把 LWC(液态水含量)和冰冻水的含量区分出来, 以确定总含水量。

另外, 在 FAR25.1093(b)(3) 中再次强调在附录 O 定义的结冰条件下, 包括地面测试在大水滴条件下结冰, 适用的飞机最大起飞总重量少于 27 000kg。由于适用范围的不同, 在发动机进气系统结冰部分, FAA 为了确保飞机在意外遭遇附录 O 定义的结冰条件下能够安全运行, 将 FAR25.1093 在 140 修正案参照 25.1420 作出了修改, 即满足飞机最大起飞重量少于 27 000kg。

## 2.3 25.1323(i)

在 FAR25 部空速指示系统条款中, 对大雨条件、混合相和冰晶条件、附录 C 和附录 O 定义的结冰条件下每个系统必须有可加热的皮托管或有等同方法的去除机制作了规定, 这是为了防止空速指示系统在结冰条件下失灵。而 CS 中此项为保留

项, 但是 FAR25.1323 中提供的结冰条件表格 EASA 在 CS 25.1324 中已经包含。

运输类飞机的空速指示系统源自两个不同压差: 机身上皮托管测量的总压和静压孔所测的静压。静压孔因为其嵌入式安装以及外形特征使其不易进入结冰。而空速管的安装方式使得其易于收集到结冰。当遭遇高强度结冰环境, 如过冷大水滴条件时, 可能会导致空速系统的损坏, 因为融化积冰的热量超出了空速管的设计要求, 而空速管的堵塞可能会导致测量系统报错。因此 FAA 要求了结冰条件下的空速管防除冰。EASA 在此条款中没有给出要求是因为基于已服役飞行数据, 得出飞机在上述各种天气条件下已经服役很多年并且已经具备足够强大的空速指示器且 CS 附录 P 很好地覆盖了已存在的环境的结论, 并且 EASA 在 CS25.1324 中已经对此方面作出了更加广泛的要求, 所以在此没有强调在各类天气条件下空速指示系统的要求。

## 2.4 25.1324

FAA 提出的混合相和冰晶的适用条件只是限于针对空速管和攻角传感器。如上文 25.1323 中所述, EASA 根据服役数据, 得出现有飞机已经在各种天气条件下服役很多年并且已经具备了强大的指示器。所以 EASA 认为现在提出的环境气候适用于飞机上各种外部探测器, 并不仅限于空速管、皮托管、静压管、静压探测器、攻角传感器、侧滑叶片和温度探测器。

## 2.5 25.1325(b)(2)

FAA 在此条款中要求静压系统的空气压力和真实的机舱环境静压之间的关系在飞机暴露于附录 C 和附录 O 定义的结冰条件下不会改变, 而 CS 中定义的是所有结冰条件并没有明确指出哪种结冰条件, 也就是说此类结冰条件除了包含附录 C 与附录 O, 同时也包含了混合相、冰晶结冰条件即 CS25 附录 P。

## 2.6 25.1326

一些事件表明空速探针加热电阻失效时飞机低电流探测系统不会查出。在一些条件下, 超出规定的电阻在不能提供空速探测器适合的除冰时可能不会被检测出来。因此 FAA 与 EASA 强调了这一失效, 例如飞机低电流探测系统不能查出空速探测器, 在 25.1326“空速管加温指示系统”条款明确

了包含非正常工作的加热系统。这也是因为 25.1419(c) 条款要求“当防冰或除冰系统的功能不正常时,必须有诸如琥珀色戒备灯或等效的戒备信息向飞行机组告警”而作出的声明。CS 在 16 版修正案中拓展了 CS25.1326 规章范围,包括了所有飞行设备外部探测器,但并没有必须仅限于空速管、皮托静压管、静压探测器、攻角传感器、侧滑叶片和温度探测器。而以上的变化 FAA 在 FAR25 部修正案中至今并没有提出改变。这也再次说明 EASA 对结冰相关规定比 FAA 要更为严格,限制范围更大,所以要想取得欧洲航空安全局的适航认证需要我国各界的一致努力与共同合作。

### 3 有关过冷大水滴结冰条件的分析

在 FAR25 部 140 修正案出现之前,运输类飞机在结冰条件下的飞行认证工作主要围绕附录 C 的连续最大或间断最大结冰条件展开,但是从近年来飞机结冰事故调查结果中发现,很多事故发生在附录 C 所定义的结冰条件之外。2015 年 1 月 5 日,FAA 为了进一步提高结冰条件下运行的安全标准,在原有附录 C 结冰包线的基础上增加附录 O 和 25.1420 等关于过冷大水滴的结冰条件。

附录 C 的使用没有因为添加附录 O 而改变。附录 O 被设计成类似于附录 C 的形式并且以相同的方式使用。附录 O 和附录 C 之间的主要差异在于,对于附录 O,申请人现在必须:

1) 在确定临界结冰条件时考虑四个结冰条件而不是两个,分别为微冻雨与冻雨,再按照 MVD 大于或小于  $40\mu\text{m}$  进行划分;

2) 区分水滴大小分布情况。

附录 C 的设计是包括 99% 的结冰条件。因此,遇到附录 C 包线外的结冰概率的阶数为 0.01。申请人可以假设遇到附录 O 结冰条件的平均概率是  $1 \times 10^{-2}/\text{h}$ 。这个概率不应该在不同飞行阶段有所减小。

在 FAR25 部的符合性验证中,如果原型机已经通过自然结冰条件下的飞行测试,那么与原型机有相似气动特性的衍生机则没有必要再进行额外的自然结冰飞行试验。这也就是说,在附录 O 结冰条件下有成功服役历史并且飞机性能和操纵特性满足符合性验证要求的原型机,其衍生机并不需要寻求附录 O 自然结冰飞行试验。相反的,如果原型机的服役记录中包含了一次由于遭遇附录 O 条件的

事故或事件,则应该要完成衍生机在附录 O 自然结冰条件下的飞行试验。25.1420 并没有明确要求需要进行测量的自然结冰飞行试验,但是可能需要经测量的附录 O 自然结冰条件下的飞行试验来:

1) 确认一般物理特性和用于干空气试验的模拟冰形位置,尤其是对飞机操纵特性的影响;

2) 确定积冰生长在没有预测到的位置;

3) 确认结冰探测器和视觉线索的性能完好;

4) 进行与 25.21(g) 对应的性能和操纵特性的符合性验证;

5) 评估积冰的影响(在螺旋桨、天线、整流罩等上的结冰)并且评估暴露在附录 O 结冰条件后每个飞机系统或组件的临界运行状态。

### 4 结论

由于我国民用飞机结冰适航取证研究起步较晚,通用的运输类飞机适航规章标准主要借鉴吸收美国联邦航空局的适航文件。通过本文研究发现美国联邦航空局认证的标准和欧洲航空安全局认证标准之间存在一定的差异,我国运输类飞机要想取得欧洲航空安全局的合格审定就必须要对欧洲大型飞机适航取证做深入完善的研究。本文对 FAR25 部和 CS25 部结冰相关规章条例存在的差异作出了比对和研究,为结冰适航审定提供了技术支持,但是对围绕两部规章的咨询通告、技术标准、符合性验证工作等还需要后续进一步的研究总结。

#### 参考文献:

- [1] 中国民用航空局. CCAR25 - R4 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空总局, 2009.
- [2] FAA. FAR Airworthiness Standards; Transport Category Airplanes[S]. USA: FAA, 2016.
- [3] EASA. EASA Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes [S]. EASA, 2016.
- [4] 刘友丹. 欧美大型民用飞机适航要求差异浅析[J]. 航空标准化与质量, 2010, 6: 39 - 42.
- [5] 曾海军. 航空发动机进气系统结冰、冰吸入及结冰保护的合格审定[J]. 中国民航飞行学院学报, 2006, 17(3): 14 - 17.