

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.03.014

FAA 污染跑道运行飞机起飞性能 数据适航要求

FAA Takeoff Performance Requirements for Operations on Contaminated Runways

周艳萍 徐有成 / ZHOU Yanping XU Youcheng

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

针对 FAA 发布的 AC25-31 Takeoff Performance Data for Operations on Contaminated Runways 进行了研究, 内容包括污染道面类型及定义、污染道面起飞性能要求、污染道面起飞性能验证、污染道面中断起飞反推的使用等, 同时对 CAAC、EASA 和 FAA 对飞机在污染跑道上运行时飞机起飞性能要求进行了分析对比, 供飞机设计及适航审定参考使用。

关键词: 污染跑道; 起飞性能; 适航要求

中图分类号: 351.11

文献标识码: A

OSID:



[Abstract] The article studies AC 25-31 Takeoff Performance Data for Operations on Contaminated Runways issued by FAA. The content includes types and definition of contaminated runways, takeoff performance requirements and certificate on contaminated runways, the application of thrust reversing system on contaminated runways during aborted takeoff etc. The takeoff performance requirements were made a comparison among CAAC, FAA and EASA, which could be used as reference for aircraft design and Airworthiness Certification.

[Keywords] contaminated runway; takeoff performance; airworthiness requirements

0 引言

数据显示, 飞机在有积水或雪的跑道上冲出跑道的风险是干跑道的 8 倍。75% 的着陆偏出或冲出跑道事故的间接原因是跑道条件本身和/或结合不利的侧风, 18% 的着陆事故的直接原因是道面有积水、雪水、雪或冰。湿和污染跑道会显著增大滑跑、起飞、着陆和加速停止的距离, 为此包括欧洲、美国等在内的很多国家都积极开展飞机在污染道面上运行的适航标准研究。飞机在污染道面起飞的情境如图 1 所示。

我国对湿和污染跑道飞机性能的适航研究起步较晚。到目前为止, CCAR25 部^[1]对污染跑道上的飞机性能还没有提出适航标准要求。中国民航局飞



图 1 污染道面飞机起飞

行标准司于 2009 年颁布了咨询通告《航空承运人湿跑道和污染跑道运行管理规定》(AC-121-FS-

2009-33)^[2]。依据该咨询通告,当航空器制造商没有提供污染跑道飞机性能时,航空器营运人可以利用干跑道所需着陆距离,通过保守换算得到在飞机在污染跑道上着陆所需着陆距离。对污染道面上的起飞距离,这份咨询通告没有给出相关的指导材料。

JAR-25 第 13 次修订案^[3]于 1988 年引入了 JAR 25. 1591 Performance Information for Operations with Contaminated Runway Surface Conditions 和 AMC 25. 1591 The Derivation and Methodology of Performance Information for Use When Taking-Off and Landing with Contaminated Runway Surface Conditions, JAA 开始对湿和污染跑道飞机性能提出规定。2000 年发布的 JAR-25 第 15 次修订将 JAR 25. 1591 中湿跑道要求部分移到 B 分部正常性能要求中。从那时起, JAR25. 1591 以及后续的 CS25. 1591 和 AMC25. 1591 仅对污染跑道进行规定。CS25. 1591 指出申请人可以自行选择是否提供不同种类污染跑道的性能资料及相应机组操作程序,如果提供这些资料,则必须放入飞行手册,如不提供则必须在飞行手册中明确给出相应污染道面的运行限制。AMC 25. 1591 就如何提供污染道面性能数据提供了一种分析计算方法,并提出要考虑的因素。

FAR 25^[4]没有关于污染跑道的条款要求。过去波音和麦道根据其自身经验并参考欧洲标准确定污染跑道性能数据。1978 年 FAA 颁布了 AC 91-6A, 标题为 Water, Slush and Snow on the Runway, 对污染跑道运行提出了顶层要求。为细化 AC91-6A 的要求, FAA 后来又提出 AC 91-6B 草案, 但该草案一直没有发布。目前, AC91-6A 已被取消。

FAA 并没有停止对污染道面相关问题的研究。考虑到污染道面情况的复杂性及其对飞机性能的影响, FAA 对颁布指导性标准或指南持非常慎重的态度。2007 年 8 月 FAA 委托飞机起降性能评估适航要求委员会 (Takeoff and Landing Performance Assessment ARC, 简称 TALPA ARC), 就飞机在污染跑道上的起降性能开展研究, 希望委员会在飞机审定和运行方面提供建议或指南。2009 年 7 月 7 日, TALPA 委员会向 FAA 提交了研究成果, 形成 Takeoff Performance Data for Operations on Contaminated Runways (AC25-31)^[5]。TALPA 同时还建议 FAA 修改 25 部规章, 要求将“TC 持有人必须要提供飞机在污染道面上起飞的性能数据”列入规章。但到目前为

止, FAA 还没有启动该项工作。针对污染道面着陆情况, 截至目前 TALPA 还未发布相关指导性材料。

AC25-31 并没有对污染道面性能计算给出全面的技术分析过程, 而是给出了需要考虑的关键要素。

1 道面状态定义

依据 AC25-31, 机场跑道道面状况分类按如下定义。

1) 干道面: 为非湿、非污染的道面。在跑道报告的可用长度和宽度范围内, 当可见潮气、雾、积水、雪或冰的面积不超过 25% 时, 该道面状态为干道面。

2) 湿道面: 为非干、非污染的道面。当跑道报告的可用长度和宽度范围内有超过 25% 的面积上有可见潮气或深度不大于 3 mm 的积水时, 称为湿道面。

3) 污染道面: 当跑道报告的可用长度和宽度范围内有超过 25% 的面积被霜、冰以及任意厚度的雪、融雪或积水覆盖时, 称为污染道面。按道面污染物类型, 污染道面又分为下述各种:

(1) 干雪: 雪中水分不足, 且不足以粘结成团, 称之为干雪。干雪通常在温度小于 32 °F (0 °C) 时存在。

(2) 融雪: 雪中水的分量达到可以自由流动的程度, 具有了液体的特征 (如可以流动和喷溅), 此种状态的雪称为融雪。当把融雪捧起时, 水会流出。当踩踏融雪时, 这些含饱和状态水的雪会被溅开。

(3) 湿雪: 雪中存在适量水分, 可以将雪捏成雪团, 但又不能挤压出水, 此种状态的雪称为湿雪。

(4) 压实的雪: 雪被压实成实体状态时, 称为压实的雪。当飞机停在压实的雪面上时, 雪面不会有任何部分被排挤开。拿起一块压实的雪, 雪仍会成一整块, 或可以破损成几个小块, 但不会粉碎成分散的雪粒。

(5) 霜: 当气温低于冰冻温度时, 空气中的湿气凝结成冰晶, 这些冰晶沉积在物体表面形成霜。霜不同于冰, 每个霜冰晶相互独立, 构造上更具有颗粒构造。

(6) 积水: 液态的水, 厚度大于 3 mm。

(7) 冰: 固体冻结的积水, 称为冰。

(8) 湿冰: 熔化的冰或是冰上覆盖有任何深度的水。

2 污染物压缩性

按污染物特性, 污染物分为可压缩污染物和不可压缩污染物。不可压缩污染物只对飞机的机轮摩

擦力产生影响。可压缩污染物,除了会减少机轮摩擦外,还会产生附加污染物阻力,如表 1 所示。

表 1 道面污染物类型及可压缩性

序号	污染物类型	可压缩性
1	冰	不可压缩污染物
2	压实的雪	不可压缩污染物
3	干雪	可压缩污染物
4	湿雪	可压缩污染物
5	融雪	可压缩污染物
6	积水	可压缩污染物

表 1 内容引自 AC25-31。EASA AMC25. 1591 条对污染物可压缩性的定义稍有不同,FAA 认为所有厚度的干雪和湿雪都具有可压缩性,飞机压过时会产生附加阻力,EASA 认为对于厚度小于 5 mm 的湿雪和小于 10 mm 的干雪,可产生的附加阻力很小,可以认作为零,也即可理解为不具有可压缩性。

3 污染道面飞机起飞性能确定方法

3.1 可接受的验证方法

FAA 接受通过计算分析的方法提供污染道面飞机起飞性能。

污染道面飞机起飞性能计算采用的数学模型基于正常道面飞机性能计算模型,但要对飞机道面摩擦阻力和碾压污染物时产生的附加阻力等进行修正。正常道面性能计算数学模型当中的参数是基于飞行试验、风洞试验获得,并经过飞行试验进行确认,该性能数学模型被用于表明对 25 部规章 B 分部性能条款的符合性。

3.2 污染道面起飞性能数据的条件和假设

自然环境下由于污染道面的污染物分布状况以及污染物含水量等各不相同,给性能计算带来不确定性,为此,污染道面起飞性能计算基于下列条件和假设:

1) 25 部 B 分部对湿道面的相关定义同样适用于污染道面,包括湿道面起飞距离定义(25. 113 (b))、湿道面起飞滑跑距离定义(25. 113 (c) (2)),污染道面的起飞镜面高度和湿道面起飞镜面高度相同为 15 ft、污染道面和湿道面都不能有净空道。

2) 假定污染物在可用道面均匀分布;

3) 对可压缩污染物,假定污染物比重和厚度均匀一致。

由于道面污染物溅起可能会对飞机结构、发动机等造成损伤、吸入发动机后将降低发动机推力,影

响飞机起飞加速能力,除非能够表明在更大的深度不会对飞机结构和发动机造成不可接受的损伤或不利影响,建议道面的融雪深度和积水的深度应不大于 0.5 in(13 mm)。

3.3 机轮刹车摩擦系数

表 2 中的机轮刹车摩擦系数由 TALPA ARC 工作组研究提出。这些数据在 1995 - 2004 年的冬季跑道摩擦系数联合研究项目中,在最大范围内经工业界的飞行试验进行了确认。如果将来工业界发布新标准,这些数据将进行更新。

表 2 中的滑水速度按下列公式计算:

$$v_p = 9 \times \sqrt{P} \quad (1)$$

式中, v_p 为地速,单位 kn; P 为轮胎压力,单位 lb/in²。

表 2 中的数据所针对的防滑系统类型为全调节式。对半调节防滑系统,刹车摩擦系数应乘以 0.625,对开关式防滑系统,刹车摩擦系数应乘以 0.375。对没有安装防滑系统的飞机,刹车摩擦系数应按个案具体确定。

表 2 污染道面刹车摩擦系数

道面状态	刹车摩擦系数
霜	刹车系数按 26. 109 (c) 计算得到
湿(含不大于 3 mm 的积水情况)	
融雪(3 mm 及以下厚度)	
干雪(3 mm 及以下厚度)	
湿雪(3 mm 及以下厚度)	
压实的雪(外界温度小于等于 -15℃ 时)	0.20
湿滑	0.16
压实雪上覆盖任何深度的干雪或湿雪	
大于 3 mm 的干雪	
大于 3 mm 的湿雪	
压实的雪(外界温度大于 -15℃ 时)	
大于 3 mm 的积水	(1) 当速度低于 85% 滑水速度时,按 25. 109 (c) 计算,取计算值的一半和 0.16 中的较小值;
大于 3 mm 的融雪	(2) 在速度大于 85% 滑水速度时,取值 0.05
冰	0.08

3.4 污染物位移阻力和撞击阻力计算

飞机滑过可压缩污染物时,由于污染物被扰动排开以及污染物溅起后撞击飞机结构表面,会产生附加的污染物位移阻力和撞击阻力。

FAA 接受 EASA AMC25.1591 提供的计算污染物位移阻力和撞击阻力的方法。申请人也可以使用 EASA 接受的其它方法,或是经分析或试验数据证实的其它方法。

在飞机起飞计算中,污染物位移阻力和撞击阻力会降低飞机起飞加速能力,但在中断起飞中将有助于飞机减速。

污染物厚度测量要求在最厚的污染物处测量数据,而性能计算假定污染物厚度在道面均匀一致,因此实际的平均污染物厚度应小于计算使用的污染物厚度。因此对起飞距离和起飞滑跑距离,会给出保守的结果,对加速停止距离会给出偏不保守的结果。FAA 建议对加速停止距离,在加速段和停止段都使用 50% 的污染物厚度,对所有起飞构型给出偏保守的计算结果。

在计算污染物位移阻力和撞击阻力时需要用到污染物密度。FAA 建议使用表 3 中的密度数值。

表 3 污染物密度

序号	污染物类型	密度值
1	干雪	0.2
2	湿雪	0.5
3	融雪	0.85
4	水	1.0

3.5 对飞机抬前轮和离地速度的影响

考虑污染物附加阻力对飞机造成的气动影响,在确定污染道面起飞抬前轮速度 v_R 时,建议可以考虑下面两种方法,两种方法各有优缺点。

方法一:采用非污染道面相同的 v_R 速度,但需增加从 v_R 到起飞距离末端间的距离,以此保证在起飞距离末端获得起飞安全速度(v_2)。使用这种方法会减少最小离地速度 v_{min} 和起飞离地速度 v_{lof} 间的余量。因此,应对该余量进行检查以保证满足 25.107(e) 的要求。

方法二:增加 v_R 以获得正常的 v_{lof} 速度。使用这种方法能保证 v_{lof} 和 v_{min} 间的余量。

3.6 污染道面对航向可操纵性的影响

污染道面对航向操纵性的影响,应结合侧风以

及其它因素,如飞机重量、重心、起飞推力设定等进行综合评估。飞机制造厂商应在飞机运行类手册提供建议和指南,指导营运人针对不同的污染道面建立航空公司自己的操作程序,减少这些因素对航向操纵性的影响。

污染道面一台发动机停车的最小 v_1 和侧风限制可能需要进行调整。

4 反推的使用

污染跑道飞机性能允许使用反推,但需要满足下列条件:

1) 污染跑道中断起飞反推使用程序和非污染跑道中断起飞反推使用程序必须相同,且为了获得预期水平的反推力、保持航向操纵和安全的发动机特性,机组操作程序应包括所有操作步骤,包括将反推收到慢车或收起位置的步骤。

2) 在污染跑道上执行中断起飞,发动机的工作特性必须符合 25.939 的要求。发动机不能有 AC25.939-1 中所描述的任何不利的工作特性。可以在反推操作程序中指定一个速度,在该速度下将反推收到慢车位,以保证发动机有满意的工作特性。

3) 反推机组操作程序中拉反推到指定档位的动作应由中等水平机组完成。

4) 性能计算中应考虑机组动作后受影响系统的响应时间。比如机组拉反推后反推内锁的响应时间以及反推转速增加的过程时间等。

5) 为保证中等技能驾驶员始终获得建议的反推力水平,要求在油门杆设计上提供反推作动感知机构,比如设置反推卡档。如果油门杆没有这类设计特征,性能计算时应使用保守的反推力值。

6) 要考虑飞机航向控制能力,尤其是反推对流经方向舵和垂尾的气流的影响。在有侧风和机轮摩擦力较低的情况下,再打开反推会进一步减少飞机航向控制能力的影响。应提供飞机侧风起飞的建议或指南,包括最大允许的侧风限制。这需要通过模拟的方法进行验证。

7) 如果使用不对称反推力,需要评估该构型下的航向控制能力。可以在反推操作程序中指定一个速度,在该速度下需将反推减小到慢车位置以保证有足够的航向控制和操纵能力。

8) 对单个故障以及组合故障,每架次起落反推功能失效的概率应不大于 10^{-4} 次,还应考虑飞行中

防止反推打开的反推内锁特征。

9) 应通过飞行试验确定反推能提供的有效阻力。验证时可以对每种起飞构型进行验证, 或是对最临界的起飞构型验证。比如将使用反推和不使用反推的无刹车滑跑距离进行对比。为确保没有忽略任何不利的情况, 在确定加速停止距离的飞行试验中应使用全部的减速措施。

5 FAA 对 EASA 已批准数据的认可

对 EASA 已经完成型号审查的飞机, 除下面三点外, FAA 接受经 EASA 批准的污染跑道飞机起飞性能数据。尽管在道面摩擦系数或是不可压缩污染物阻力计算方面 AC25-31 和 AMC25.1591 间存在差异, 但为减少申请人为获得新数据而承担的负担, 最大程度上利用现有数据, FAA 接受经 EASA 批准的数据。

1) 提供的性能数据应覆盖所有类型污染道面(见表 2), 除非是制定使用限制, 禁止在没有提供性能数据的污染物类型道面上运行。

2) 污染跑道类型定义应和 AC25-31 一致。存在有湿气的跑道可认为是湿跑道。

3) 对已完成型号取证飞机, 允许在不对发动机反推可靠性及操纵性进行重新审查的基础上, 采用反推带来的效能进行性能计算。但是如果服役经历表明该型号飞机有尚未解决的反推可靠性问题或操纵问题, 则性能计算不允许使用反推的刹车效能。

6 机组运行手册要求

污染跑道运行飞机性能应在飞行手册、机组操作手册或快速检查单、电子飞行包中提供。如果污染道面飞机性能数据未经局方审定或批准, 应注明“仅供参考”。

另外, 手册还应提供如下信息:

- 1) 污染道面性能数据使用说明;
- 2) 不同污染道面类型的定义;
- 3) 在未包含于性能数据中的污染物类型和污染物深度条件下禁止起飞的限制;
- 4) 和污染道面起飞性能数据相关其他建议;
- 5) 性能计算中假设污染物均匀分布并采用均匀厚度的声明。

7 FAA、EASA 和 CAAC 要求对比

AC25-31 (FAA 发布) 要求和 AMC25.1591 (EASA

发布) 要求对比见表 4。AC25-31 和 AMC25.1591 在污染物类型、性能计算的基本定义和假设上完全相同, 但在论述的重点上各有侧重。

表 4 AC25-31 和 AMC25.1591 的对比

可接受的符合性方法	分析计算方法 (AC25-31)	分析计算方法 (AMC25.1591)
数学模型	常规性能计算模型, 用于表明对 25 部 B 分部性能条款符合性	常规性能计算模型, 用于表明对 25 部 B 分部性能条款符合性
计算假设条件及污染跑道起飞相关定义	见前文如污染物均匀分布假设、污染跑道起飞镜面高度要求、净空道要求等	和 AC25-31 相同
污染物类别及定义	见前文积水、干雪、湿雪、融雪、压实的雪、冰	和 AC25-31 相同 积水、干雪、湿雪、融雪、压实的雪、冰
道面刹车摩擦系数	摩擦系数规定见 AC25-31 附表	和 AC25-31 不同, 摩擦系数规定见 AMC25.1591 附表
污染物位移阻力计算方法	AC25-31 接受 AMC25.1591 的方法	见 AMC25.1591
污染物喷溅阻力计算方法	AC25-31 接受 AMC25.1591 的方法	见 AMC25.1591
反推力使用	允许	允许
其它	本 AC 只针对污染跑道起飞性能给出规定, 不包括着陆性能部分。在性能计算方法上没有给出具体分析过程, 只提出重点需关注的方面, 污染跑道阻力的计算接受 AMC25.1591 中的方法。在污染道面运行的航向控制、反推使用、 v_R 的确定等方面提出更具具体要求。	同时包括污染跑道起飞性能和着陆性能分析过程。在污染物阻力分析中给出详细指导材料。AMC25.1591 重点在性能分析, 对航向控制、侧风限制、反推使用等飞行操纵要求方面没有重点提及。

中国民航局飞标司发布的《航空承运人湿跑道和污染跑道运行管理规定》(AC-121-FS-2009-33) 没有对研制飞机的污染道面飞机性能计算提供指南。该 AC 只适用于航空公司机组和签派人员使用, 当飞机准备在机场着陆时, 如果飞机飞行手册中无相应污染道面性能数据, 机组/签派可以参考该 AC 提

供的保守计算方法对着陆跑道场长是否足够进行评估。

参考文献:

- [1] 中国民用航空总局. 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 中国: 中国民用航空总局, 1985.
- [2] 中国民航局飞行标准司. 航空承运人湿跑道和污染跑道运行管理规定: AC-121-FS-2009-33[S]. 中国: 中国民航局飞行标准司, 2009.
- [3] EASA. CS-25 Amendment 19, Certification specifications and acceptable means of compliance for large aeroplanes [S].

EU: EASA, 2017.

- [4] FAA. Airworthiness standards: transport category airplanes: FAR25[S]. US: FAA.
- [5] FAA. Takeoff performance data for operations on contaminated runways: AC25-31[S]. US: FAA, 2015.

作者简介

周艳萍 女, 硕士, 研究员。主要研究方向: 航空器适航标准及管理。E-mail: zhouyanping1@comac.cc

徐有成 男, 硕士, 研究员。主要研究方向: 民机的设计研发和适航取证。E-mail: xuyoucheng@comac.cc