

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2024.01.002

基于 AC25-19A 的民机应急门 候选审定维修要求分析

徐锦锦* 朱铮铮 王帅强 吴绍庭 柯金霖

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 基于 AC25-19A 的最新要求,在民机舱门安全性评估过程中,考虑应急门的使用环境、操作频次,识别了隐蔽失效、磨损失效。针对隐蔽失效、磨损失效,建立了舱门系统候选审定维修要求(CCMR)分析流程,并给出了隐蔽故障风险暴露时间及失效概率的计算方法,确定了维修任务内容及间隔,形成了舱门系统候选审定维修要求的分析方法。同时,制定 CCMR 项目后迭代评估了舱门的安全性影响,结果表明:制定的 CCMR 项目能在保障安全性指标要求的前提下,及时探查应急门重要的隐蔽失效、磨损失效,CCMR 项任务间隔合理。

关键词: 应急门;隐蔽失效;磨损失效;候选审定维修要求;暴露时间

中图分类号: V244

文献标识码: A

OSID:



0 引言

隐蔽失效,即一种在飞行机组或维修人员发觉前一直保持隐藏状态的失效^[1]。审定维修要求(CMR)是用来探查飞机重大隐蔽失效的维修任务,重大隐蔽失效结合一个或多个其它的失效或事件,会导致飞机灾难性的或危险的失效^[2]。同时,CMR 针对灾难性的或危险的失效状态,关注其相关组件的临界失效,例如严重的磨损或泄漏,建立定期的维修任务以检测该组件^[3]。候选审定维修要求(CCMR)是 CMR 的候选项目。

为满足适航条款 CCAR-25-R4 部第 25.783 条^[4]要求,民用飞机舱门系统设计了多套机构,以实现舱门打开、关闭、密封等使用功能,以及锁闭、锁定、增压预防、指示等安全性功能。舱门系统功能复杂、机构众多、机构运动关系复杂,功能失效会造成飞机较大的、危险的和灾难性的影响。其中应急门作为客舱常闭舱门,仅在维修维护和应急撤离时开启,使用频次少,机构失效难以发觉,存在重大

隐蔽故障。此外,舱门机构运动存在大量的磨损,随着机构运动行程的积累,接触材料发生磨损,机构间隙增大,导致机构运动精度降低。同时磨损会导致机构表面轮廓发生改变,可能导致应力重新分配。因此,磨损失效会降低机构的可靠性。舱门系统存在隐蔽失效和磨损失效,会导致飞机较大的、危险的和灾难性的影响,应依据 AC25-19A^[3] 的最新要求,分析舱门系统 CCMR 项目。

目前国内外学者在 AC25-19A、舱门隐蔽失效和磨损失效等领域已开展了相应研究,例如:吴丽娜^[5]对 AC25-19A 和 AC25-19 进行了对比,分析了差异内容,并给出了差异产生原因以及差异背后的实质要求;刘会星^[6]对隐蔽失效的适航要求及其符合性方法进行了分析,说明了隐蔽限制和剩余概率限制准则的应用方法、隐蔽失效的概率和限制暴露时间的计算方法;冯蕴雯等^[7]针对民机舱门机构,明确了舱门的故障模式以及安全性指标,建立了安全性分析的流程;孙雨辰等^[8]以复杂轮廓的凸轮为研究对象,建立了磨损可靠性的分析方法;朱铮铮

* 通信作者。E-mail: xujinjin@comac.cc

引用格式: 徐锦锦,朱铮铮,王帅强,等. 基于 AC25-19A 的民机应急门候选审定维修要求分析[J]. 民用飞机设计与研究,2024(1):7-12. XU J J, ZHU Z Z, WANG S Q, et al. Analysis of candidate certification maintenance requirements for civil aircraft emergency doors based on AC25-19A[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2024(1):7-12 (in Chinese).

等^[9]在应急门安全性分析过程中,识别了隐蔽故障,并考虑了机构磨损导致运动不到位的失效概率。

结合现有研究,针对舱门系统开展了安全性分析,考虑了舱门机构中存在的隐蔽失效和磨损失效。但尚未有依据 AC25-19A 的最新要求,针对舱门隐蔽失效、磨损失效制定 CCMR 项目的分析方法。因此,本文以某型民机应急门为研究对象,依据 AC25-19A,识别隐蔽失效和磨损失效,建立 CCMR 分析流程,确定 CCMR 任务内容,计算任务间隔,形成应急门候选审定维修要求的分析方法。

1 适航条款内容

2011 年,FAA 发布了新的“审定维修要求”AC25-19A,取代了先前发布的 AC25-19^[10]。结合两者之间的差异,对舱门系统候选审定维修要求提出了以下四方面更严格的要求:

1) CCMR 作为 CMR 的候选任务,通常来源于安全性分析(如 SSA,确定是否需要建立定期任务以验证 25.1309 的符合性,以及其它需要进行此类分析的条款(如 25.671、25.783、25.901 和 25.933))。此项新增了 25.783 条款,将舱门条款明确纳入了 CCMR 的任务范围。

2) SSA 应识别一个或多个其它失效或事件会导致飞机危险的或灾难性的影响的隐蔽失效,作为 CCMR 的维修任务。CCMR 也来源于用以检查由于磨损导致的临界失效的维修任务。CCMR 应识别需探测的失效模式、关注的失效环境、检查间隔和维修任务。此项明确了针对 I 类和 II 类失效,舱门 CCMR 任务需考虑隐蔽失效,并补充考虑磨损类失效。

3) SSA 中应识别重大隐蔽故障。在某些情况下,失效状态可满足定量概率目标,通过分析,存在不需要检查也能满足概率目标的组件,该组件在飞机寿命内可能发生潜在故障。对于此类隐蔽失效,若该重大隐蔽失效是双重失效的一部分,则仍然有必要在飞机寿命期内进行适当的检查工作,以避免过度暴露在灾难性的或危险的情况下。因此,在飞机寿命结束前进行评估以确定维修任务,作为 CCMR 任务项。此项要求舱门 CCMR 任务需识别双重重大隐蔽失效,针对最大暴露时间大于飞机寿命的双重重大隐蔽失效,仍需制定相关的 CCMR 任务。

4) 25.1309(b) 条款针对 I、II、III 类失效开展评估,若一个隐蔽失效与一个或多个特定失效或事件组合后会导致较大的失效状态发生,且其相关的维修任务在 MSG-3 过程中未被识别,则也应考虑作为 CCMR 项目。此项要求舱门 CCMR 需识别较大的失效状态中的隐蔽失效,对比 MSG-3 维修任务,若无相关任务,需列为 CCMR 项目。

2 应急门安全性分析

舱门系统中包括登机门、应急门、货舱门等舱门。以某型民机应急门为例,应急门主要由手柄机构、提升机构、铰链臂机构、锁机构、增压预防机构、指示机构和密封组件等组成,以实现打开、关闭、锁闭、锁定、增压预防、指示、密封等功能,其机构功能框图如图 1 所示。

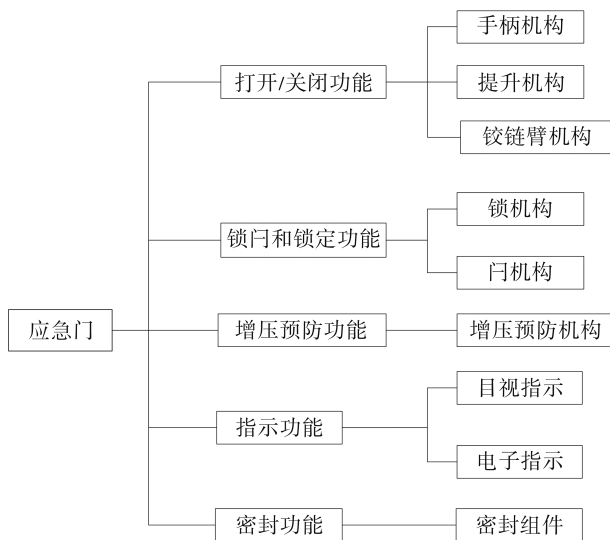


图 1 应急门机构功能框图

飞机失效状态的影响等级分为五类,即灾难性的、危险的、较大的、较小的和无安全性影响^[11]。基于 CCAR-25.783(a)(2)^[4]条款,应急门在增压和非增压的飞行中应避免从完全关闭的、锁闭的和锁定的状态解闭,并且必须由安全性分析来表明其满足极不可能的要求。由此,识别失效状态“飞行中应急门解闭”,综合失效造成的安全性影响,定义为灾难性的 I 类失效,其安全性指标应小于 1×10^{-9} /飞行小时(flight hour, 简称 FH)。依据应急门的工作原理,建立“飞行中应急门解闭”的故障树,如图 2 所示。

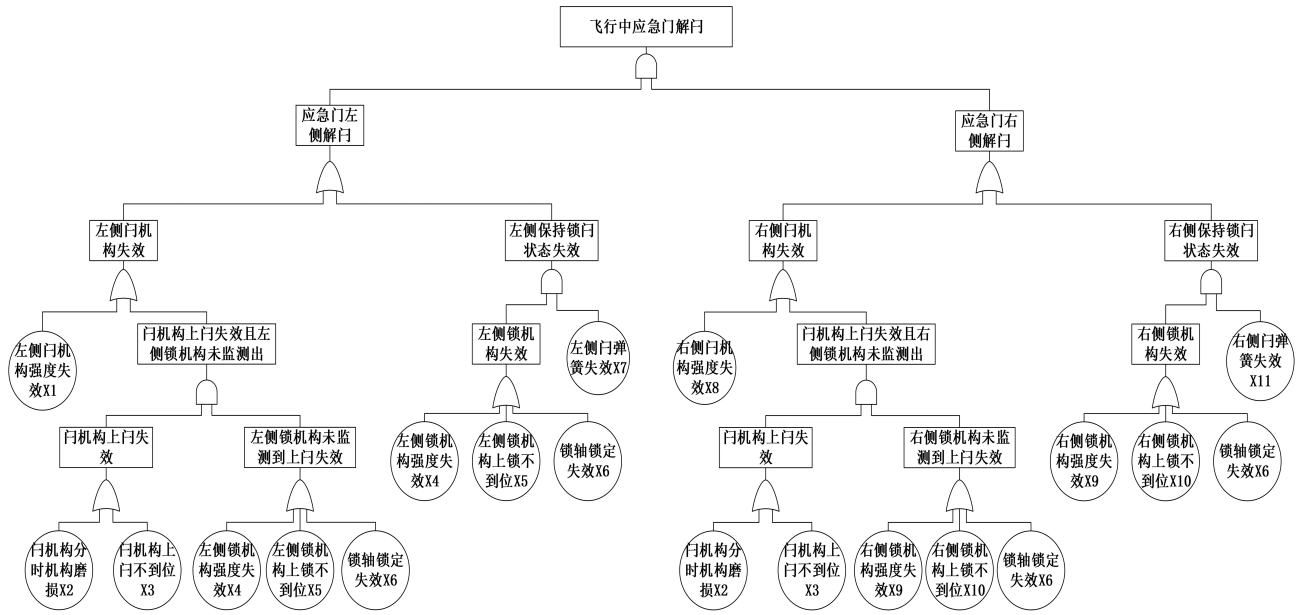


图2 “飞行中应急门解门”故障树

3 隐蔽失效的概率计算方法

在故障树计算过程中,应考虑应急门的使用环境,识别底事件中的隐蔽失效。综合应急门的运营维修情况,一般在飞机检修时进行机构失效相关的维修任务。

飞机定检分为 A 检和 C 检,其中 C 检包括检查影响飞行安全的主要电子和机械系统^[12]。在飞机 C 检时可检修应急门的机构,暴露其隐蔽故障。因此,应急门的隐蔽失效初步以 C 检时间间隔作为风险暴露时间,本文研究对象按照 6 500 FH 计算。而针对非隐蔽失效,其暴露时间为每飞行循环的平均时间,本文研究对象按照 2.5 FH 计算。

假设舱门部件的失效概率服从指数分布^[13],失效概率为:

$$P_f = 1 - e^{-\lambda T} \quad (1)$$

当 $\lambda T \leq 0.1$ 时,

$$P_f = \lambda \cdot T \quad (2)$$

式中: P_f 为失效概率; λ 为失效率; T 为暴露时间。

在故障树计算中,若两个底事件组合失效导致中间事件,其中一个为隐蔽失效,另一个为显性失效,则中间事件的失效概率为:

$$P_f = 1/2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot t_f \cdot (T + t_f) \quad (3)$$

式中: λ_1 为显性事件失效率; λ_2 为隐蔽事件失

效率; t_f 为平均飞行时间; T 为隐蔽失效的暴露时间。

若两个底事件组合失效导致中间事件,两个底事件均为隐蔽失效,则中间事件的失效概率为:

$$P_f = 1/2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot t_f \cdot (T_1 + T_2) \quad (4)$$

式中: λ_1 为隐蔽事件 1 的失效率; λ_2 为隐蔽事件 2 的失效率; t_f 为平均飞行时间; T_1 为隐蔽事件 1 的暴露时间; T_2 为隐蔽事件 2 的暴露时间。

由此,计算故障树失效率,详见表 1。

表 1 故障树失效率计算

事件名称	失效率/FH ⁻¹	暴露时间/FH
左侧门机构强度失效	1×10^{-8}	2.5
门机构分时机构磨损	2×10^{-8}	6 500
门机构上臼不到位	1×10^{-7}	2.5
左侧锁机构强度失效	1×10^{-8}	2.5
左侧锁机构上锁不到位	1×10^{-8}	2.5
锁轴锁定失效	7×10^{-6}	2.5
左侧门弹簧失效	1×10^{-6}	6 500
右侧门机构强度失效	1×10^{-8}	6 500
右侧锁机构强度失效	1×10^{-8}	2.5
右侧锁机构上锁不到位	1×10^{-8}	2.5
右侧门弹簧失效	1×10^{-6}	6 500
顶事件	4.57×10^{-10}	2.5

4 应急门候选审定维修要求分析

4.1 舱门系统 CCMR 分析流程

依据 AC25-19A 要求,建立舱门 CCMR 分析方法,制定舱门系统 CCMR 分析流程,如图 3 所示。

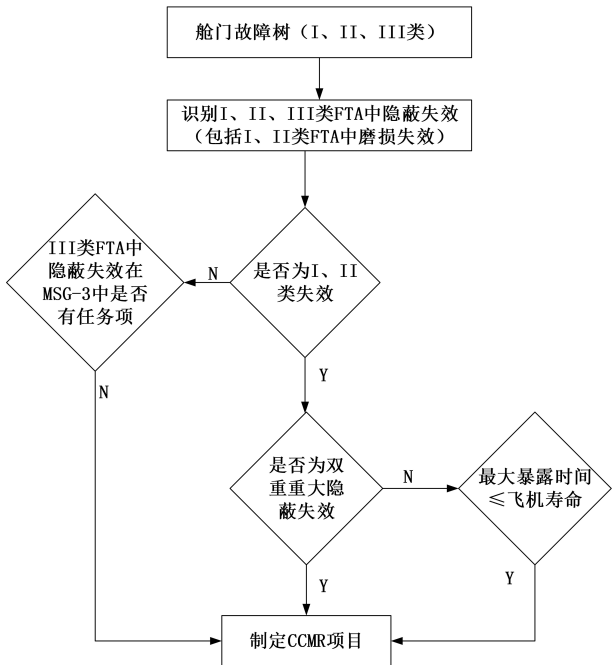


图 3 舱门系统 CCMR 分析流程

4.2 应急门 CCMR 分析及最大暴露时间计算

依据舱门系统 CCMR 分析流程,开展分析。以“飞行中应急门解闭”为例,具体分析如下:

1) “飞行中应急门解闭”为灾难性的 I 类失效。

2) 识别故障树中隐蔽失效和磨损失效,包括“门机构分时机构磨损”、“右侧门机构强度失效”、“左侧门弹簧失效”、“右侧门弹簧失效”。

3) 计算最小割集,表明“门机构分时机构磨损”、“右侧门机构强度失效”属于双重重大隐蔽失效。

4) 依据故障树的逻辑关系,为满足顶事件“飞行中应急门解闭”的失效率小于 $1 \times 10^{-9}/\text{FH}$ 的要求,计算隐蔽失效和磨损的最大暴露时间,详见表 2。

5) “右侧门机构强度失效”结合“左侧门机构强度失效”会导致顶事件发生,为双重重大隐蔽失效,其最大暴露时间超过 85 000 FH(飞机寿命),但仍需制定 CCMR 项目;详细检查“应急门门机构/

DET”。

表 2 隐蔽失效的最大暴露时间计算结果

底事件名称	失效率/ FH^{-1}	最大暴露时间/ FH	顶事件失效率/ FH^{-1}
门机构分时机构磨损	2×10^{-8}	14 252	1×10^{-9}
左侧门弹簧失效	1×10^{-6}	85 000	4.58×10^{-10}
右侧门机构强度失效	1×10^{-8}	85 000	4.61×10^{-10}
右侧门弹簧失效	1×10^{-6}	85 000	4.58×10^{-10}

6) “门机构分时机构磨损”结合“锁轴锁定失效”会导致顶事件发生,为双重重大隐蔽失效,其最大暴露时间为 14 252 FH,需制定 CCMR 项目;详细检查“应急门门机构分时机构/DET”。

7) “左侧/右侧门弹簧失效”,不属于双重重大隐蔽失效,隐蔽失效的暴露时间均超过 85 000 FH,不制定 CCMR 项目。

由此,针对“右侧门机构强度失效”、“门机构分时机构磨损”,制定 CCMR 任务:“应急门门机构及分时机构/DET”,详细检查应急门门机构及分时机构有无断裂、变形、裂纹、过度磨损等损伤,检修间隔为 6 500 FH。

4.3 应急门 CCMR 的确认

初步制定应急门 CCMR 项目后,将 CCMR 任务时间放入故障树中进行迭代计算,详见表 3,表明顶事件仍能满足 $1 \times 10^{-9}/\text{FH}$ 的失效率要求。

表 3 CCMR 制定后的故障树失效率计算

事件名称	失效率/ FH^{-1}	暴露时间/ FH
左侧门机构强度失效	1×10^{-8}	2.5
门机构分时机构磨损	2×10^{-8}	6 500
门机构上门不到位	1×10^{-7}	2.5
左侧锁机构强度失效	1×10^{-8}	2.5
左侧锁机构上锁不到位	1×10^{-8}	2.5
锁轴锁定失效	7×10^{-6}	2.5
左侧门弹簧失效	1×10^{-6}	85 000
右侧门机构强度失效	1×10^{-8}	6 500
右侧锁机构强度失效	1×10^{-8}	2.5
右侧锁机构上锁不到位	1×10^{-8}	2.5
右侧门弹簧失效	1×10^{-6}	85 000
顶事件	4.59×10^{-10}	2.5

同时,迭代计算隐蔽失效的最大暴露时间,详见表 4。

表 4 CCMR 制定后的隐蔽失效最大暴露时间计算结果

底事件名称	失效率/ FH^{-1}	最大暴露时间/ FH	顶事件失效率/ FH^{-1}
门机构分时机构磨损	2×10^{-8}	14 232	1×10^{-9}
右侧门机构强度失效	1×10^{-8}	85 000	4.63×10^{-10}

计算结果表明:隐蔽失效“门机构分时机构磨损”、“右侧门机构强度失效”的最大暴露时间均高于检查间隔 6 500 FH 的两倍,仍然保留暴露时间的余量,维修间隔合理,由此确定“应急门门机构及分时机构/DET”的间隔为 1 个 C 检。

5 结论

1) 针对 AC25-19A 新要求,本文突出对比了 AC25-19A 和 AC25-19 对舱门系统 CCMR 提出的分析要求差异,按照 AC25-19A 的要求,制定了舱门系统 CCMR 分析流程,为民用飞机舱门系统的 CCMR 分析提供了方法。

2) 考虑民机舱门的使用特点,在安全性分析过程中,充分考虑应急门的使用环境、操作频次,识别底事件中的隐蔽失效、磨损失效,并提供了舱门包含隐蔽失效的失效率计算方法。

3) 在满足舱门安全性指标要求的前提下,计算隐蔽失效的最大暴露时间,按照舱门系统 CCMR 分析流程,制定了应急门 CCMR 任务及时间:“应急门门机构及分时机构/DET”,检修间隔为 6 500 FH。

4) 应急门 CCMR 任务制定后,迭代评估了安全性分析结果及可接受程度,在保障顶事件满足安全性指标要求的前提下,隐蔽失效的最大暴露时间相较于检修间隔仍留有适当的余量,时间间隔为 1 个 C 检,符合飞机 C 检的维修任务内容。

参考文献:

- [1] European Aviation Safety Agency. System design and analysis; AMC 25. 1309 Amendment 24[S]. Europe: EASA, 2020.
- [2] 中国民用航空局. 审定维修要求; AC25. 1529-1[S].

北京:中国民用航空局,1996.

- [3] Federal Aviation Administration. Certification maintenance requirements; AC25 - 19A [S]. Washington D. C. :FAA, 2011 .
- [4] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准; CCAR-25-R4 [S]. 北京:中国民用航空局,2011.
- [5] 吴丽娜. AC25-19A 和 AC25-19 差异性分析研究[J]. 军民两用技术与产品, 2015 (14): 22-23, 133. DOI: 10. 3969/j. issn. 1009-8119. 2015. 14. 019.
- [6] 刘会星. 隐蔽失效适航要求符合性验证分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2020(4): 6-11.
- [7] 冯蕴雯,姚雄华,薛小锋,等. 民机舱门安全性分析方法研究[J]. 西北工业大学学报, 2013, 31 (5): 803-809. DOI:10. 3969/j. issn. 1000-2758. 2013. 05. 024.
- [8] 孙雨辰,冯蕴雯,薛小锋,等. 复杂构型凸轮机构磨损可靠性分析[J]. 机械设计与制造, 2012 (8): 132-134. DOI:10. 3969/j. issn. 1001-3997. 2012. 08. 048.
- [9] 朱铮铮,徐锦锦,丁鸿飞,等. 基于隐蔽故障和多失效模式耦合的应急门安全性分析[J]. 航空工程进展, 2021, 12 (5): 139-144.
- [10] Federal Aviation Administration. Certification maintenance requirements; AC25-19 [S]. Washington D. C. : FAA, 1994.
- [11] 郭博智,王敏芹,阮宏泽. 民用飞机安全性设计与验证技术[M]. 北京:航空工业出版社,2015.
- [12] 上官雪民. 航班计划的模拟与优化研究[D]. 上海:复旦大学,2008.
- [13] SAE International. Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment; SAE ARP 4761 [S]. New York: SAE International. 1996.

作者简介

徐锦锦 女,硕士。主要研究方向:飞机舱门系统安全性及可靠性分析。E-mail: xujinjin@comac.cc

朱铮铮 男,博士。主要研究方向:飞机舱门系统安全性及可靠性分析。E-mail: zhuzhengzheng@comac.cc

王帅强 男,硕士。主要研究方向:飞机舱门系统安全性分析及结构设计。E-mail: wangshuaiqiang@comac.cc

吴绍庭 男,硕士。主要研究方向:飞机舱门系统安全性分析及结构设计。E-mail: wushaoting@comac.cc

柯金霖 男,硕士。主要研究方向:飞机舱门系统结构及机构设计。E-mail: kejinlin@comac.cc

Analysis of candidate certification maintenance requirements for civil aircraft emergency doors based on AC25-19A

XU Jinjin * ZHU Zhengzheng WANG Shuaiqiang WU Shaoting KE Jinlin

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

Abstract: Based on the latest requirements of AC25-19A, in the safety assessment process of civil aircraft cabin doors, the operating environment and operating frequency of emergency doors should be considered to identify latent failures and wear failures. For latent failures and wear failures, an analysis process for the candidate certification maintenance requirements (CCMR) of the cabin door system was established, and a calculation method for the risk exposure time and failure probability of latent failures was provided. The maintenance task content and interval were determined, forming an analysis method for the candidate certification maintenance requirements of the cabin door system. At the same time, the safety impact of the cabin door was iteratively evaluated after the development of the CCMR project. The results showed that the developed CCMR project can timely detect important latent failures and wear failures of the emergency door while ensuring the safety index requirements, and the task interval of the CCMR project is reasonable.

Keywords: emergency door; latent failure; wear failure; candidate certification maintenance (CCMR) requirements; exposure time

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