

文章编号: 1674-8190(XXXX)XX-001-08

航空轮胎爆破适航审定技术体系与关键内容研究

周昌伟¹, 王兆东²

(1. 上海飞机设计研究院 飞机架构集成工程技术所, 上海 201210)
(2. 中国民用航空上海航空器适航审定中心 结构强度室, 上海 200335)

摘要: 航空轮胎爆破是飞机设计中的一种特定风险, 民用飞机适航规章对轮胎爆破有明确的条款要求, 开展轮胎爆破审定技术研究对促进飞机取证、提升飞机安全性具有重要意义。为进一步推动轮胎爆破适航技术发展、规范审定技术体系, 对各国适用的轮胎爆破适航规章发展现状及其差异进行跟踪调查, 基于国内民用飞机对当前国际最新轮胎爆破专有条款适航审定的工程实践, 针对 CS 25.734 条款建立航空轮胎爆破的适航审定技术体系, 细化验证流程、验证对象、关联条款及审定技术指标, 完整解读 CS 25.734 预期的安全性水平; 围绕适航审定关键内容, 提出需要重点关注的审定要素和建议。结果表明: EASA 最新修订的专有条款 CS 25.734 要求更高且轮胎爆破模式更明确; 本文所提航空轮胎爆破的适航审定技术体系、审定要素及建议已在某国产大型客机的适航审定中得以验证, 可为相关行业的审查和设计人员提供指导, 是国内审定技术领域的新突破。

关键词: 航空事故; 轮胎爆破; 特定风险; 适航规章; 适航审定

中图分类号: V221

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.XXXX.XX.01

Study on the airworthiness verification technical system and key contents of aircraft tire burst

ZHOU Changwei¹, WANG Zhaodong²

(1. Institute of Aircraft Architecture Integration Engineering Technology, Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)
(2. Department of Structural Strength, CAAC Shanghai Aircraft Airworthiness Certification Center, Shanghai 200335, China)

Abstract: Aircraft tire burst is a specific risk in aircraft design. Civil aircraft airworthiness regulations have clear requirements for tire burst. The research on tire blasting approval technology is of great significance to promote aircraft forensics and improve aircraft safety. In order to further promote the development of tire burst airworthiness technology and standardize the technical system, the development status and differences of applicable tire burst airworthiness regulations in various countries are tracked and investigated. Based on the engineering practice of domestic civil aircraft on the latest international tire burst airworthiness certification, establish an airworthiness certification technology system for aviation tire explosions in accordance with clause CS 25.734, refine the verification process, verification objects, related clauses, and certification technical indicators, and fully interpret the expected safety level of CS 25.734. Propose key elements and suggestions for airworthiness certification that require special attention. The results show that the newly revised proprietary clause CS 25.734 of the EASA requires higher requirements and clearer tire burst modes. The airworthiness certification technology system, certification elements, and recommendations for aviation tire explosions mentioned in this article have been validated in the airworthiness certification of a domestic large passenger aircraft, providing guidance for industry reviewers and designers, and is a new breakthrough in the field of certification technology in China.

Key words: aviation accident; tire burst; specific risk; airworthiness regulation; airworthiness approval

收稿日期: 2023-12-27; 修回日期: 2024-03-20

通信作者: 王兆东(1979-), 男, 硕士, 高级工程师。E-mail: wangzhaodong_hd@caac.gov.cn

引用格式: 周昌伟, 王兆东. 航空轮胎爆破适航审定技术体系与关键内容研究[J]. 航空工程进展, XXXX, XX(XX): 1-8.

ZHOU Changwei, WANG Zhaodong. Study on the airworthiness verification technical system and key contents of aircraft tire burst [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, XXXX, XX(XX): 1-8. (in Chinese)

0 引言

航空轮胎爆破是大型运输类飞机适航验证必须考虑的一种特定风险,国内外运输类飞机适航规章,如CCAR-25-R4、FAR-25(Amdt. 25-144)、CS-25(Amdt. 20)均对轮胎爆破提出了明确的要求^[1-3],而国际主流的飞机主制造商,如欧洲客车公司、美国波音公司和巴西航空工业公司的主流机型基本都通过了轮胎爆破适航审定。由于国内大型运输类飞机前期研发进度较慢,加上国外的技术封锁,我国关于轮胎爆破特定风险的适航审定仍处于起步和探索阶段。

近些年在国产大型客机项目的牵引带动下,国内研究人员对航空轮胎爆破适航审定技术进行了研究讨论。张建敏^[4]基于事故经验和试验数据讨论了TGM/25/08与NPA 2013-02中航空轮胎爆破失效模型的参数定义,指出空气喷流压力效应模型的修正完善是适航审定技术的重要研究方向;王曦瑶^[5]研究了CS-25 Amendment 14修正案,分析了轮胎爆破发生的场景并给出了简化的适航审定方法;王佩艳等^[6]研究了航空轮胎爆破防护设计流程与方法,为飞机起落架舱内关键系统设备防护设计的适航审定提供了技术指导;周昌伟等^[7]建立了轮胎爆破空气喷流载荷下的结构损伤分析方法,正确预测了瞬时喷流载荷的压力场并为飞机结构的适航审定提供了可靠手段;吕军^[8]研究了飞机轮胎爆破特定风险中的安全性评估方法,借助三维建模软件建立了满足CS 25.734适航审定要求的机轮与轮胎失效模型;朱日兴^[9]依据CCAR-25-R4相关条款,研究了轮胎爆破适航审定中的技术交联工作和技术要点。

参照国际最新轮胎爆破专有条款CS 25.734开展型号设计与适航审定以提高飞机安全性水平,迫在眉睫。然而目前国内关于航空轮胎爆破的适航审定仍局限于CCAR-25-R4相关条款,或满足CS 25.734审定要求的轮胎爆破失效模式与建模方法讨论等入门阶段,关于CS 25.734的适航审定技术缺乏深入研究和指导材料。

本文跟踪研究欧洲航空安全局(EASA)的CS 25.729(f)~CS 25.734专有条款的演变过程,系统分析各国适用的航空轮胎爆破条款和差异,基于国内民用飞机对CS 25.734适航审定的工程实践,解读CS 25.734的审定技术要求,建立完备的审定

技术体系,提出适航审定关键内容,以期助力于提升我国运输类飞机轮胎爆破适航审定能力,为相关行业的审查和设计人员提供指导。

1 航空轮胎爆破适航条款发展现状

尽管CS 25.729(f)识别了轮胎爆破的威胁,要求考虑轮胎爆破对飞机的影响,但并未给出具体的分析模型和方法对其进行量化。实际上,在2000年初欧洲联合航空局(Joint Aviation Authorities,简称JAA)的临时指导材料(Temporary Guidance Material,简称TGM)出版之前,由于各飞机主制造商对于轮胎爆破的认识不同,提出了各自的失效模型,这不可避免地导致对轮胎爆破的解释不一致,适航验证方法也各不相同^[4]。

2002年6月1日,JAA基于空客A320飞机项目发布了最终版本TGM/25/08,统一了轮胎爆破模式,被广泛应用于欧洲和许多国际项目,在JAA和后来EASA参与的项目中,均将TGM/25/08作为认证审查项目(Certification Review Item,简称CRI)的咨询材料^[10]。

EASA调查分析了迄今为止发生过的相关事故,并以现有的失效模型为基础判断其适用性(如TGM/25/08,AC 25.963-1,CRI等),在综合考虑服役事件、过去的适航认证与型号设计实践后,在2013年初提出了修订决议草案^[11](Notice of Proposed Amendment,简称NPA 2013-02),发布了适用于评估飞机结构与系统的轮胎爆破失效模型(即轮胎与机轮失效),在征询主制造商、起落架供应商等各方意见并略微修改后,在2013年12月正式发出CS-25部第14条修订案^[12](CS-25 AMENDMENT 14),修正了CS 25.963(e)条,删除了CS 25.729(f)条,新增了CS 25.734条《Protection against wheel and Tyre failures》,并要求2018年后取证的飞机均需执行此标准。

可以发现,随着对事故/事故征候数据的深度发掘,对运输类飞机的轮胎爆破相关条款进行了修正与完善,失效模型更加科学全面。基于CS 25.734定义的轮胎爆破失效模式合理、失效模型具体准确,涵盖了目前发现的所有轮胎爆破情况,对适航审定具有很强的指导意义,现已被中国民航局接受,并作为国产新研大型客机轮胎爆破的验证指导材料。目前,国内仅C919飞机按此要求

走完了轮胎爆破型号设计与适航审定流程。

2 各国适用的适航条款与差异分析

2.1 各国适用的适航条款

国际上现存关于航空轮胎爆破的适航条款如表 1 所示。

表 1 轮胎爆破适用的适航条款

规章	适航当局	条款
CCAR-25(R4)	CAAC (中国民航局)	25.729(f) 25.963(e)(1)
FAR-25 (Amdt. 25-144)	FAA (美国联邦航空管理局)	25.729(f) 25.963(e)(1)
CS-25 (Amdt. 20)	EASA (欧洲航空安全局)	25.734 25.963(e)(1)
AR-25 (Amdt. 8)	FATA (俄罗斯联邦航空运输局)	25.729(f) 25.963(e)(1)

2.2 各国适航条款的差异分析

对于 25.729(f), CCAR-25、FAR-25、AR-25 的适航要求基本相同,但 FAR-25、AR-25 相比 CCAR-25,除了验证位于轮舱内的设备安全性,还增加了对起落架上安装设备的验证考虑。CS-25 则移除了 25.729(f)并新增 25.734 条。相比之下,CS 25.734 的要求更高且轮胎爆破模式更明确,将验证对象由舱内设备扩大到全机的结构与系统,足以覆盖原先 25.729(f)的要求。

对于 25.963(e)(1), CCAR-25、FAR-25、AR-25 的适航要求相同,但 CS-25 的适航要求相对较高,如表 2 所示。

表 2 各国关于 25.963(e)(1)的适航要求对比
Table 2 Comparison of requirements on 25.963(e)(1)

CCAR-25、 FAR-25、 AR-25	CS-25	差异项
油箱口盖	机翼整体油箱	验证对象扩大
轮胎小碎片 分析或试验	轮胎大/小碎片、 轮缘碎片 试验支持的分析或试验	验证工况增加 验证方法细化
击穿、渗漏	击穿、渗漏、 压力波冲击	验证因素增多

2.3 适用的适航指导性文件

鉴于轮胎爆破危害巨大、失效模式复杂^[4],各国适航当局均对轮胎爆破提出适航要求,并发布验证指导文件,如美国联邦航空管理局(FAA)发布了咨询通告(AC)、欧洲航空安全局(EASA)发布了可接受的符合性方法(AMC),中国民航局(CAAC)目前也在计划编制相关指导材料。相关的验证指导文件如表 3 所示。

表 3 轮胎爆破适用的验证指导文件

适航当局	文件	标题
FAA	AC25-22	Retracting mechanism
EASA	AMC 25.734	Protection against wheel and tyre failures

3 CS 25.734 适航条款解读与审定

3.1 基于 CS 25.734 的条款解读与技术难点

CS 25.734 要求,下列情况对系统或结构造成破坏时,必须保证飞机的安全运行:轮胎碎片、爆破压力、甩动胎带和轮缘碎片。

可以发现,CS 25.734 明确提出了四种轮胎爆破失效模式,完整涵盖了来自起落架机轮和轮胎失效的任何威胁,定义了飞机预期的安全性水平。但由于缺乏可量化的设计指标,也未对具体验证方式提供指导,开展适航审定时无法确定飞机设计达到了 CS 25.734 要求的安全性水平,这是审定中的难点。

3.2 航空轮胎爆破适航审定技术体系

明确适航条款要求,是规范符合性活动、梳理审定条目与确保审定完整性的关键。综合考虑运输类飞机适航规章对轮胎爆破的全部要求,将航空轮胎爆破的适航审定对象划分为全机系统、结构、防火三个部分。

通过与其他条款建立关联关系,引用关联条款的分析方法,表明轮胎爆破后全机系统、结构、防火各自满足了对应的指标后,则可以认为飞机设计达到了 CS 25.734 预期的安全性水平,由此建立了航空轮胎爆破的适航审定技术体系。航空轮胎爆破适航审定时推荐的关联条款、符合性方法与具体的审定指标如表 4 所示。

表 4 航空轮胎爆破关联条款、符合性方法与审定指标
Table 4 Related clauses, compliance methods and approval indicators

条款	符合性方法	内容	具体的审定指标
CS 25. 571(e)	AMC 20-29	结构损伤容限评估	要求飞机主承力结构的剩余强度裕度大于零
CS 25. 1309(b)	ARP4761	安全性评估	要求飞机安全性事件的失效等级与其发生概率一致
CS 25. 963(e)(1)	AMC 25. 963(e)	漏油与防火评估	要求不能使危险量的燃油进入可能导致飞机危险性事件的区域

4 航空轮胎爆破适航审定关键内容

4.1 轮胎爆破后的结构审定要求

CS 25. 734 提出,必须防止机轮和轮胎失效对结构造成的损伤影响飞机的安全操作,因此轮胎爆破发生后,结构设计必须保证本次飞行安全,否则可能影响飞机继续飞行安全,甚至导致飞机空中解体,相应的验证活动直接关联到了 CS 25. 571 (e) 条《离散源损伤容限评估》。

CS 25. 571(e) 规定不需要对飞机的所有结构进行损伤容限与疲劳评定,仅需对可能引起灾难性破坏的结构部分(即主要结构元件, Principle Structural Element, 简称 PSE) 进行评定即可^[13]。PSE 参与了全机载荷分配, PSE 失效极有可能导致传力路径变化, 直接破坏结构完整性进而导致飞机解体。开展轮胎爆破的离散源损伤容限评估流程如图 1 所示。

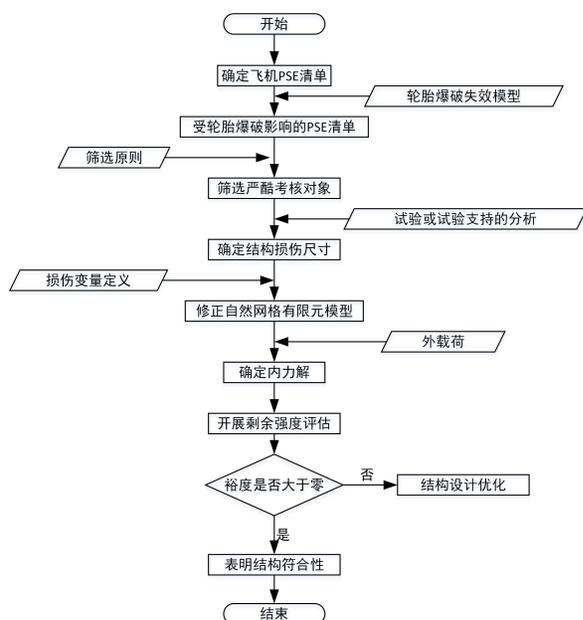


图 1 轮胎爆破的离散源损伤容限评估流程

Fig. 1 Damage tolerance assessment process of discrete sources of tire burst

在梳理受轮胎爆破的 PSE 清单时,通常有如下考虑:

1) 通常假设发动机转子碎片为无限能量,可穿透其扫掠路径上的所有结构,在机体上形成贯穿损伤,因此可能可以排除发动机转子爆破影响区域,不再重复考核;

2) 对于非承载式舱门,在空中主要承受机舱内外压差产生的气密载荷。当飞机处于地面状态时机身不充压,不会立即产生诸如泄压的全机安全性事件,轮胎爆破事件本身也易于发现,出现后飞机会中止起飞或起飞后立即返场,所以,对于地面发生的轮胎碎片模式,无需考核非承载式舱门结构;

3) 机体的典型结构,如机翼、尾翼、操纵面及其系统,机身、发动机短舱及吊挂、起落架以及上述各部分有关的主要连接等。

综上,适航当局在针对结构进行轮胎爆破适航审定时,需要关注的审定要素和建议如下:

1) 轮胎爆破模型参数。例如轮胎大小碎片的尺寸、质量与速度,爆胎时的喷流压力,起落架收起时甩胎速度的衰减量等;

2) 防护结构的设计。当需要使用防护罩(用来保护组件或系统),或需进行能量分析时(如评估系统结构组件的有效性),仅要求防护结构可以抵抗轮胎小碎片的威胁;考虑到轮缘碎片、轮胎大碎片的能量很高,很可能击穿结构,轮缘及轮胎大碎片的威胁应当通过系统设计进行消除,这种工况无需作为结构设计工况;

3) 起落架舱内轮胎爆破引起的增压载荷。工程经验表明,起落架收起后发生的舱内轮胎爆破很可能引起舱内增压,空气喷流增压载荷的量级远大于舱门正常工况下的飞行载荷,很可能导致舱门及其连接组件发生损伤,严重时可能导致舱门非预期脱落,需要重点考虑;

4) 具备功能的结构件。有些飞机结构如舱门蒙皮、框、门锁以及起落架与发动机吊架等,在 AC

25.571 中归为 PSE, 却未被 AMC 25.571 识别为 PSE, 但由于这些结构具备某些重要功能, 也应纳入结构考核对象, 例如避免起落架侧撑杆、锁链杆等组件因轮胎爆破冲击影响起落架正常收放, 甚至导致起落架坍塌。

5) 与机翼油箱有连接关系, 可能影响燃油泄漏的密封件或紧固件。例如, 由于机翼下蒙皮遮挡, 油箱前梁框通常不会被轮胎爆破直接冲击, 然而暴露在冲击区域内的襟翼主吊挂接头通常安装在油箱前梁框上, 冲击载荷极有可能通过襟翼传递到油箱前梁框, 使油箱密封或连接处产生危险的燃油泄漏。

4.2 轮胎爆破后的系统审定要求

CS 25.734 提出, 必须防止机轮和轮胎失效对系统设备造成的损伤影响飞机的安全操作, 因此在飞机设计时, 需评估轮胎爆破特定风险对飞机系统的安全性影响, 相应的验证活动直接关联到了 CS 25.1309(b) 条《系统设备与安装》。

CS 25.1309(b) 要求飞机安全性事件的失效等级与其发生概率一致, SAE ARP4761^[14] 是表明 25.1309 条款符合性的推荐方法。开展轮胎爆破特定风险分析的验证流程如图 2 所示。

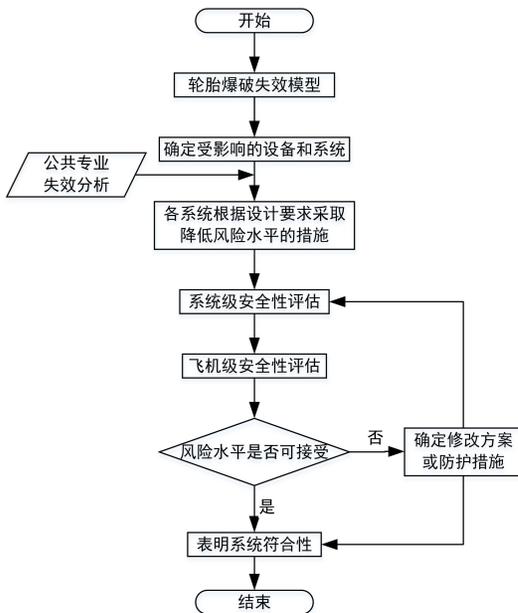


图 2 轮胎爆破特定风险分析的验证流程
Fig. 2 Verification process of specific risk analysis of tire burst

适航审定中应对所有轮胎爆破失效场景进行安全性评估, 此时要考虑相邻轮胎同时或依次爆破。通过系统级、飞机级特定风险分析识别飞机失效状态, 任何失效场景均不能导致灾难性的等级, 应采用所有可行的设计预防措施, 消除飞机 I 类失效事件, 并尽可能消除 II 类失效事件。这些措施包括系统分离设计、抗冲击防护罩或系统重新设计。如果审查方认定申请人已采取一切可行的预防措施防止失效事件的发生, 并且事件发生的概率与危险等级一致(假定发生相邻轮胎同时爆破的失效概率为 10%), 那么就认为这个设计符合适航条款。

综上, 适航当局在针对系统进行轮胎爆破适航审定时, 需要关注的审定要素和建议如下:

1) 线缆、电源、液压等公共资源专业对自身及关联系统的影响。根据轮胎爆破失效模型, EWIS、电源、液压等公共专业分析对系统的间接影响, 各系统专业评估对系统的直接影响, 并根据系统级功能危险性评估、系统级故障树分析确定系统级功能失效状态, 并结合公共资源专业的结论得出最终影响, 进而追溯到相关的飞机级功能失效状态, 其分析原则如图 3 所示。

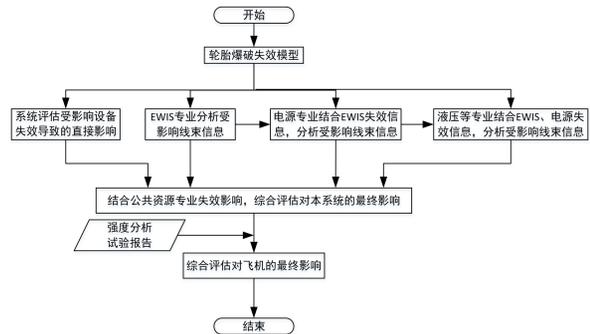


图 3 公共资源专业评估对自身及关联系统的影响
Fig. 3 Assessing the influence of public resources on itself and its associated systems

2) 同侧轮胎组合失效场景分析。当某个轮胎发生爆破时, 可能引起相邻轮胎(指安装于同一个轮轴上的轮胎)的失效(即使轮胎具有两倍的承受过载能力), 并抛射出大碎片。系统安全性分析应考虑安装在同一轮轴上的相邻两个轮胎同时爆破的场景, 并仅需考虑大碎片的影响。受同侧轮胎组合失效影响的关键系统包括起落架系统、刹车系统等;

3) 刹车装置可靠性的可靠性。若飞机装有起落架收起过程中的机轮刹车系统(收上刹车),则申请人可因这个系统得到信任,但仍需表明:收上刹车系统功能可靠,不存在潜在失效可能;收上刹车失效与甩胎事件之间互相独立;在甩胎对飞机造成任何危害前,刹车系统可使轮胎止转;评定零速度收起的甩胎影响。

4.3 轮胎爆破后燃油的防火审定要求

CS 25.734 提出了关于防火的审定标准,即要求机轮和轮胎失效时:

1) 受轮胎小碎片影响区域内的燃油箱或供油系统结构,不能因轮胎小碎片导致泄漏危险量的燃油;

2) 受轮胎大碎片或轮缘碎片影响区域内的燃油箱或供油系统结构,不能使危险量的燃油进入可能导致飞机危险性事件的区域。这些区域包括

但不限于:发动机进气区域、APU 进气区域、客舱进气区域。需要采取一切可行措施防止燃油与点火源接触,这些点火源也可能因轮胎爆破产生,例如电缆损伤。这需要在每个发动机正常工作状态,及每个发动机反推力工作状态下,通过试验或分析,甚至试验结合分析的方式,表明其符合性。此外,如能证明如上碎片,不会造成燃油箱显著的变形和损伤,从而避免泄漏危险量的燃油(包括通过压力波或裂纹的扩散导致的泄漏),其表明符合性的方式也可以接受。

上述与防火相关的验证活动,直接关联到了 CS 25.963(e)(1)条《整体油箱保护》。CS 25.963(e)(1)是对油箱抗冲击能力的评估,其要求整体油箱受到可能的碎片(例如轮胎与轮缘碎片)冲击后,避免发生危险量的燃油泄漏^[15]。

开展轮胎爆破防火设计的验证流程如图 4 所示。

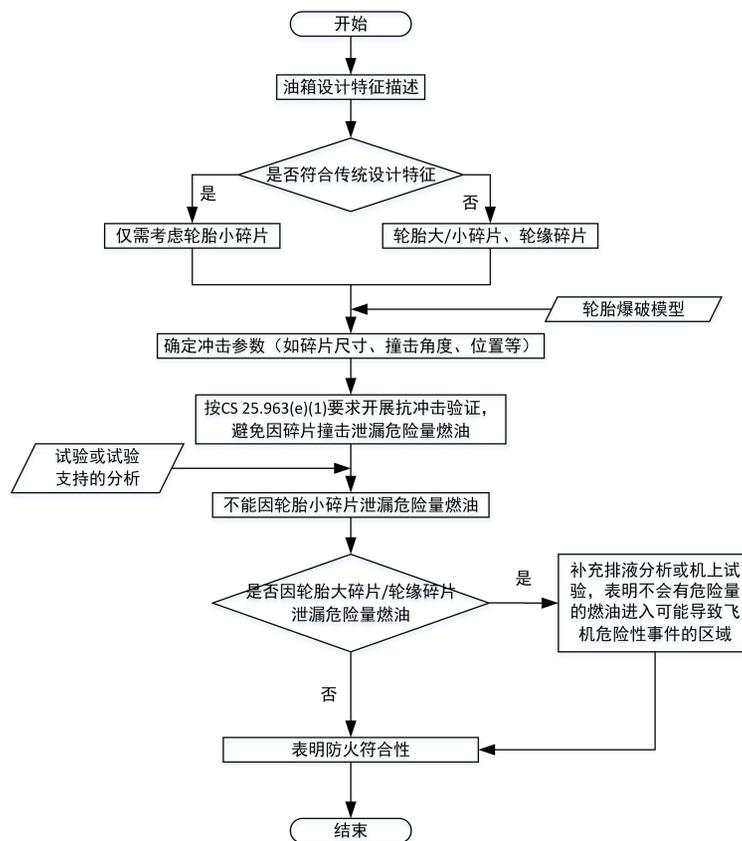


图 4 轮胎爆破后燃油的防火设计验证流程

Fig. 4 Fire prevention verification process of fuel after tire burst

综上,适航当局在针对防火进行轮胎爆破适航审定时,需要关注的审定要素和建议如下:

1) 明确 CS 25.963(e)(1)的考核范围。CS 25.963(e)(1)条款主要考核整体油箱抵抗低能量小碎片撞击的能力,而不要求油箱结构可以抵抗高能量大碎片的冲击,这种情形一旦出现,必须通过设计考虑予以避免,例如设置干舱;

2) CS 25.734的防火要求高于CS 25.963(e)(1)。若整体油箱因轮胎大碎片、轮缘碎片出现危险量的燃油泄漏,即便可以满足CS 25.963(e)(1)的要求,即避免发生危险量的燃油泄漏,将漏油的可能性降至最低。但根据CS 25.734,也需要补充必要的排液MOC2分析或机上MOC5试验,表明不会有危险量的燃油进入可能导致飞机危险性事件的区域;

3) AMC 25.734指出,服役经验表明,位于轻金属合金制造的大展弦比、机翼扭力盒内的整体油箱具有良好的安全记录,这是由于结构的固有特性导致的,包括机翼蒙皮与典型的框肋布置等。因此,在没有任何不寻常设计的情况下,对具有类似结构的整体油箱评估只需考虑轮胎小碎片。

4.4 审定中应当关注的其他因素

航空轮胎爆破的适航审定,是一项涉及全机的、复杂的系统工程,其合格审定需要考虑多种因素的影响,应着重关注以下三类:

1) 结构大变形对系统功能的影响;轮胎爆破时,带有巨大能量的空气冲击波和轮胎碎片对任何结构或系统的威胁都非常巨大,除了直接造成冲击影响导致失效以外,还可能会导致结构大变形,需要评估轮胎爆破导致结构变形对系统设备的安全性影响。

2) 冲击区域内的机身外部突出物;通常有若干设备会安装在飞机外部,如鼓包处的冲压进气口或引气调节系统、机翼下表面的燃油放沉淀阀或静电放电器、机头处的总温传感器或全静压探头,由于其位于轮胎爆破冲击区域且突出机身表面,会受到轮胎爆破的直接威胁,很可能导致非预期的燃油泄漏或功能丧失,需要着重考虑。

3) 影响飞行着陆的重要设备。起落架系统是

飞机起降的重要组件,受到轮胎爆破威胁时,很可能丧失放下功能及刹车功能^[9],造成重大事故。对影响起落架收放和舱门开关的重要元器件需要做特殊设计以消除威胁,例如起落架上位锁、舱门上位锁等。此外,也应重点关注碎片对发动机的影响(碎片是否会被吸入发动机中)等。

5 结论

1) 对各国适用的航空轮胎爆破条款进行跟踪比较,欧洲航空安全局(EASA)最新修订的专有条款CS 25.734要求更高且轮胎爆破模式更明确,涵盖了目前发现的所有轮胎爆破情况;基于国产新研大型客机轮胎爆破适航审定的工程实践,中国民航局(CAAC)目前也在计划编制相关验证指导材料。

2) CS 25.734定义了飞机预期的安全性水平,但由于缺乏可量化的设计指标,不具有可操作性,这是审定技术中的难点。综合考虑运输类飞机适航规章对轮胎爆破的全部要求,将验证对象划分为全机结构、系统与防火三个部分,并通过与损伤容限评估25.571(e)、安全性评估25.1309(b)、漏油评估25.963(e)(1)等三个条款建立关联关系,引用关联条款的分析方法,细化了具体的审定技术指标,完整阐释了CS 25.734预期的安全性水平,建立了航空轮胎爆破的适航审定技术体系;

3) 对全机结构、系统、燃油的防火三种验证对象,提出了航空轮胎爆破适航审定关键内容,具体包括适航验证流程、需要重点关注的审定要素和建议等,已在国产某大型客机轮胎爆破的适航审定中得以验证,对后续修订CCAR-25及编制验证指导材料有重要借鉴意义,可为相关行业的审查人员和设计人员提供指导,代表了国内审定技术领域的最新突破。

参考文献

- [1] 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.
Civil Aviation Administration of China. Airworthiness standards of transport category aircraft: CCAR-25-R4[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)

- [2] FAA. Airworthiness standards: transport category airplanes: 14 CFR, PART25[S]. USA: FAA, 2000.
- [3] EASA. Certification specifications for large airplanes: CS 25 [S]. Cologne, Germany: EASA, 2008.
- [4] 张建敏. 飞机轮胎爆破模式浅析[J]. 力学季刊, 2014, 35(1): 10.
ZHANG Jianmin. Analysis of tire blasting mode of aircraft [J]. Chinese Quarterly of Mechanics, 2014, 35(1): 10. (in Chinese)
- [5] 王曦瑶. 运输类飞机轮胎爆破适航条款追踪分析[J]. 科技创新与应用, 2015(26): 1.
WANG Xiyao. Tracking and analysis of airworthiness terms of tire blasting for transport aircraft[J]. Technology Innovation and Application, 2015(26): 1. (in Chinese)
- [6] 王佩艳, 张建敏, 岳珠峰. 航空轮胎爆破防护设计研究[J]. 力学季刊, 2017, 38(1): 8.
WANG Peiyan, ZHANG Jianmin, YUE Zhufeng. Study on protection design of aircraft tire blasting [J]. Chinese Quarterly of Mechanics, 2017, 38(1): 8. (in Chinese)
- [7] 周昌伟, 张利娟, 张陈力子. 航空结构轮胎爆破喷流载荷下的结构损伤分析及试验研究[J]. 振动与冲击, 2023, 42(8): 334-340.
ZHOU Changwei, ZHANG Lijuan, ZHANG Chenglizi. Structural damage analysis and experimental study of aviation structure under tire blasting jet load [J]. Journal of Vibration and Shock, 2023, 42(8): 334-340. (in Chinese)
- [8] 吕军. 基于三维软件辅助的轮胎爆破特定风险评估方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2015, 119(4): 5-8.
JunLYU. Research on specific risk assessment method of tire blasting based on 3D software[J]. Civil Aircraft Design & Research, 2015, 119(4): 5-8. (in Chinese)
- [9] 朱日兴. 航空轮胎爆破适航审定技术分析[J]. 质量与可靠性, 2021(2): 4.
ZHU Rixin. Technical analysis of airworthiness verification of aircraft tire blasting [J]. Quality and Reliability, 2021(2): 4. (in Chinese)
- [10] JAA. JAA temporary guidance material, wheel and tire failure model: TGM/25/08 (issue 2) [S]. Tokyo, Japan: JAA, 2002: 1-6.
- [11] EASA. Notice of proposed amendment, protection from debris impacts: NPA 2013-02[S]. Cologne, Germany: EASA, 2013: 1-7.
- [12] EASA. Certification specifications for large aeroplanes[S]. Cologne, Germany: EASA, 2013.
- [13] 毛可毅, 牟浩蕾, 巩天琛, 等. 欧美损伤容限与疲劳评定适航符合性方法差异分析[J]. 航空标准化与质量, 2016(2): 3.
MAO Keyi, MOU Haolei, GONG Tianchen, et al. Analysis on the difference of airworthiness compliance methods between damage tolerance and fatigue assessment in Europe and America [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2016(2): 3. (in Chinese)
- [14] SAE. Guidelines and methods for conduction the safety assessment process on civil airborne systems and equipment: SAE ARP4761[S]. USA: SAE, 1996.
- [15] 仓馥芝. 飞机轮胎爆破模型初步研究[J]. 电子测试, 2016(8): 2.
CANG Fuzhi. Preliminary study on explosion model of aircraft tire[J]. Electronic Test, 2016(8): 2. (in Chinese)

(编辑:马文静)