

文章编号:1674-8190(2016)02-186-05

运输类飞机风挡抗鸟撞适航符合性验证方法

何思,刘存喜

(中国航空工业集团公司第一飞机设计研究院,西安 710089)

摘要: 每年全球鸟撞飞机事件频发,将鸟撞损伤对飞行安全带来的影响减至最小一直是不断追求的目标。通过对 CCAR-25-R4《运输类飞机适航标准》中与风挡鸟撞密切相关的适航要求进行解读与分析,并基于某民用飞机型号经验,详细说明了如何将鸟撞适航要求融入飞机风挡设计阶段中,总结了一套可操作的满足运输类飞机适航要求的风挡抗鸟撞验证方法,为新研 MA700 客机风挡鸟撞的符合性验证提供了参考。

关键词: 运输类飞机;适航;风挡;鸟撞;符合性验证

中图分类号: V271.2; V328

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2016.02.008

A Verification Method of Bird-strike Resistance Airworthiness for Transport Category Airplane's Windshield

He Si, Liu Cunxi

(The First Aircraft Design and Research Institute, Aviation Industry Corporation of China, Xi'an 710089, China)

Abstract: Global bird-strike to aircraft is frequent every year, minimizing the impact on flight safety led by bird-impact damage is always pursued. Based on the deep understanding and analysis of the windshield bird-strike airworthiness requirements described in CCAR-25-R4 *Transport Category Airplane Airworthiness Standards*, as well as the engineering experience in a specific civil aircraft type, a detailed description of satisfying bird-strike airworthiness requirements in windshield design process is given. Finally, a set of feasible windshield resistance of bird-strike verification methods which satisfies the corresponding requirements is summarized, and a suggestion about the substantiation of MA700, a new airplane, is given.

Key words: transport category airplane; airworthiness; windshield; bird-strike; verification

0 引言

随着生态环境的不断改善,全球每年发生多起飞鸟撞击飞机的事故。近年来,我国的鸟撞事故呈明显递增态势,2013年中国民航共统计的鸟撞事故3124起,较上年增长20.02%,占事故征候总数的57.97%,因鸟撞造成的经济损失约合人民币9672万元^[1]。鸟撞事件屡见不鲜,将鸟撞损伤对飞行安全带来的影响减至最小一直是不断追求的目标^[2]。传统鸟撞的验证流程为计算—试验—再计

算—再试验。国外对于风挡鸟撞有着成熟的分析软件和试验技术,且分析结果和试验结果相匹配,试验通过率高,能够有效支持其风挡的设计和适航验证^[3-4]。然而国内运输类飞机由于起步较晚,设计和验证经验不足,鸟撞的软件分析结果和试验结果吻合度较差^[5],导致试验循环反复,周期长且花费巨大,给民机型号鸟撞的验证工作带来了困难。

随着国内新研的 MA700 客机风挡鸟撞设计工作的开展,为了满足 CCAR 25 部的条款要求,尽可能避免在验证过程中走弯路,本文通过对某民用飞机的鸟撞验证经验进行总结,改进设计与验证流程,提出一套满足条款要求的具有可操作性的风挡鸟撞设计与验证方法,为 MA700 飞机的鸟撞适航性验证工作提供参考。

收稿日期:2016-02-24; 修回日期:2016-03-10

通信作者:何思, yukikaze115@163.com

1 适航条款要求

CCAR-25-R4《运输类飞机适航标准》^[6]中,与风挡鸟撞相关的适航条款为 25.775(b)和 25.775(c)条。

(1) CCAR 25.775(b)条专门就鸟撞问题对风挡玻璃及其支承结构提出要求。安装在驾驶员前面用来保护驾驶员的风挡玻璃及其支承结构应能承受飞机速度等于按照 CCAR 25.335(a)选定的海平面 V_c 值时与 1.8 kg(4 lb)重的鸟的撞击。撞击后,不允许有影响飞机操作的结构破坏,即因玻璃或塑料零件破碎、结构元件破裂而伤害驾驶员和其他乘员或引起舱内衬板撕掉进而影响正常工作都是不允许的。

(2) CCAR 25.775(c)条指出某些要害部位的玻璃在不能保证风挡及其支承结构受到鸟撞还能保持完整性的情况下,必须有措施将风挡玻璃飞散碎片伤害驾驶员的危险减至最小。必须通过分析或鸟撞试验证明风挡玻璃受到鸟撞时破碎是极不可能的,否则必须有措施保护驾驶员不受玻璃碎片的伤害。该条中列出了三种安装情况的玻璃:位于飞机正面的;对飞机纵轴倾斜 15° 或更大的;其某一部分的位置会导致碎片伤害驾驶员的。上述情况在发生鸟撞时,玻璃碎片都有可能伤害驾驶员^[7-9]。

2 某民用飞机风挡抗鸟撞案例

2.1 风挡玻璃结构

某民用飞机主风挡和通风窗均为五层层合结构。主风挡沿厚度方向分布如图 1 所示。其中第 1、3、5 层为钢化玻璃层,第 2、4 层为中间层粘接材料,第 6 部分为风挡的橡胶包边。通风窗玻璃结构与主风挡类似。

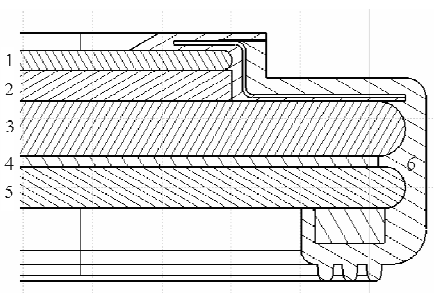


图 1 主风挡玻璃结构

Fig. 1 Structure of front windshield transparency

2.2 鸟撞动响应分析

按照 CCAR 25.775(b)条要求,鸟体质量为 1.8 kg(4 lb),结合飞机的设计速度包线,确定风挡鸟撞速度为 151 m/s(293 节)。以该飞机主风挡为例,风挡及窗框的有限元模型如图 2 所示。

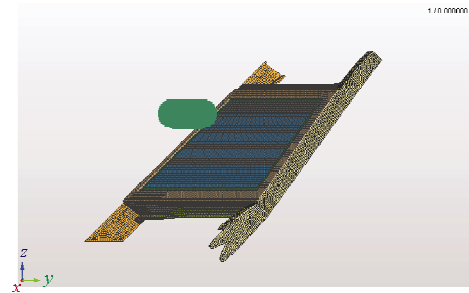


图 2 主风挡鸟撞有限元模型

Fig. 2 FEM of front windshield bird-strike

参照已经完成的鸟撞研发试验,选取包括主风挡顶部前拐角处和风挡玻璃中心在内的共计 5 个位置进行鸟撞分析,并与研发试验结果进行比较,发现两者基本一致,表明动响应分析结果可以指导设计及改进。

综上所述:每个位置鸟撞之后,主风挡的外层玻璃均出现破坏,但中间层及内层玻璃最大应力均在其材料极限应力以内;有三个位置的支撑部件均出现了不同程度的破坏,因此需要对主风挡的支撑部件进行改进。结构改进后重新进行分析,结果表明该民用飞机主风挡能够承受 1.8 kg 鸟体、151 m/s速度的撞击,还需通过试验进行验证。

2.3 鸟撞试验

某民用飞机的鸟撞验证试验按照 ASTM-F330 标准中的试验方法在国外进行。

参考空客、波音和其他飞机的驾驶舱风挡玻璃鸟撞试验:加温状态下最不利的情况是对玻璃中心的撞击,冷却状态下最不利的情况是对玻璃拐角处的撞击。故试验选取四处鸟撞部位进行试验,在主风挡、通风窗每块窗玻璃上进行一次撞击试验。同时试验增加 CCAR 25.775(d)条款中要求的“温度对玻璃联合作用的影响”作为试验条件之一,并在试验前采用电加热毯或充有液氮的制冷箱覆盖在窗户外表面来对玻璃进行加温或降温,从而达到试

验所需温度。

(1) 试验判据

①不允许鸟穿透玻璃进入驾驶舱。可以接受的现象是:当撞击时由于结构变形,少量鸟的血肉从缝隙流入驾驶舱,不会对飞行员造成伤害。

②没有因玻璃散落而造成的危险。即外层玻璃可以被撞坏,但是第3层和第5层两个结构层中至少要有一层保持完整,以确保飞机能紧急着陆,并且玻璃不能在驾驶舱内发生散裂。

(2) 试验结果

①左侧、右侧主风挡和右侧通风窗在试验中没有鸟肉渗入,玻璃和结构均完好,通过了试验验证。

②左侧通风窗外层成放射状碎裂,但玻璃两个结构层均完好,试验中有少许鸟肉进入驾驶舱,不会对飞行员造成伤害,且结构部件和运动功能未受可见的影响,满足试验成功的评判标准,通过了鸟撞试验验证。

试验后的照片如图3所示。



图3 左侧通风窗(从驾驶舱内看)

Fig. 3 The left windshield(from cockpit inside)

3 风挡抗鸟撞适航性验证方法

某民用飞机是严格按照CCAR 25部进行设计的民用客机,但其最初的动响应分析模型与研发试验结果并不一致,不能有效地指导设计和试验,使得其鸟撞适航验证工作进展缓慢。基于该民用飞机风挡鸟撞适航验证经验,本文总结出一套完整的抗鸟撞设计及适航符合性验证流程。

鸟撞适航性要求的目的是保证飞机遭受鸟撞后能够继续安全飞行和着陆^[10]。验证的总体思路是采用动响应分析与鸟撞试验相结合的方法。

3.1 适用的符合性方法

在初步设计方案确定之后,需按照适用的适航条款要求,确定相应的符合性验证方法,建议CCAR25.775(b)和CCAR25.775(c)都选择的符合性方法(Means of Compliance,简称MoC)包括MoC0、MoC1、MoC2和MoC4。

MoC0:符合性声明。若飞机的风挡设计与已取得型号合格证的飞机相似,可采用说明性文件进行类比表明符合性,不进行分析 and 试验验证(例如A320系列机型)。

MoC1:说明性文件。包含风挡设计图纸、技术方案、符合性说明报告等。

MoC2:分析/计算。包括风挡鸟撞动响应分析和/或支撑结构剩余强度分析。

MoC4:试验室试验^[11]。

3.2 鸟撞动响应分析

在完成结构初步设计之后,对风挡玻璃及窗框结构进行动响应分析。

鸟撞动响应分析方法包括基于能量的半经验工程方法(能量法)和有限元方法。早期型号上应用较多的是能量法,但是由于该方法未考虑鸟体与飞机结构之间的耦合效应,导致分析结果通常精度不高且偏保守。有限元方法考虑了鸟体与飞机结构间的耦合效应,并已在新研型号(例如A380和B787)上成功应用且逐渐趋于成熟,分析结果精度相比于能量法有很大的提高,鸟撞试验的次数明显减少^[12]。综上所述,飞机鸟撞动响应分析建议采用有限元方法。

鸟撞动响应分析主要包括建模、确定风挡鸟体质量与鸟撞速度、模型验证、选择撞击点并进行动响应分析、筛选鸟撞薄弱部位、结构安全分析。

3.2.1 建模

建立鸟撞结构有限元模型,真实模拟鸟撞区域结构的自身刚度、支持刚度及连接刚度。对于鸟体模型,由于鸟体与结构撞击时通常会表现出流体特性,通常假设为理想不可压缩的流体单元(目前主要采用胶囊型)。

3.2.2 确定风挡鸟体质量与鸟撞速度

按照CCAR 25.775(b)条要求,鸟体质量为

1.8 kg(4 lb),结合飞机的设计速度包线,确定风挡鸟撞速度。

3.2.3 模型验证

目前国内鸟撞动响应分析结果与试验结果还不能很好地吻合,原因是鸟撞动响应分析属于结构高速加载后大变形和大应变的非线性冲击动力学,影响仿真结果准确性的因素较多,其中鸟撞分析模型的准确度、材料非线性状态参数的选取、鸟撞速度等因素对动响应分析结果影响较大。因此,需对动响应分析模型进行研发性试验验证,验证鸟体与风挡结构的本构关系、鸟体模型的合理性、连接件的模拟及风挡结构材料的非线性状态参数选取的准确性与合理性等。

根据研发性试验验证结果与动响应分析结果的对比情况,对分析模型进行修正迭代,直至试验结果与动响应分析结果趋于吻合,以确认风挡结构模型、鸟体模型及材料模型的准确性。

3.2.4 选择撞击点并行动响应分析

风挡上的撞击点应考虑风挡、支撑骨架及连接情况,撞击点应从下列五点选择^[18]:①结构刚度最大点;②结构刚度最小点;③最大变形点;④有代表性的边缘点;⑤风挡中心。具体撞击点位置的选择可参考类似机型设计经验。

3.2.5 筛选鸟撞薄弱部位

根据各个点的鸟撞分析结果,依照其变形/损坏情况,从鸟撞分析点中筛选出薄弱点,作为鸟撞试验验证选点。

3.2.6 结构安全分析

依据鸟撞动响应分析结果,若鸟撞对风挡支承结构产生影响,则需对该结构进行安全分析。

(1) 如果支承结构仅仅变形,没有出现裂纹或破坏,应通过分析/计算表明变形后的结构能满足静强度载荷工况要求;

(2) 如果支承结构出现裂纹或损坏,将破坏部位结构元件设为虚元,对损伤结构进行剩余强度分析,如果剩余强度满足载荷要求,则认为结构是安全的,否则需更改支承结构设计。虽然条款原文要求支承结构承受鸟撞后不被击穿即可,但通常设计方要求更高,不允许此种情况出现。

3.3 试验验证

(1) 根据风挡鸟撞点的分布情况及风挡鸟撞

适航性要求,编制试验任务书和试验大纲,并在其中给出试验合格判据:风挡及其支承结构不允许被击穿;且为了满足 CCAR 25.775(c)条要求,除非证明风挡玻璃受到鸟撞时破碎是极不可能的,否则必须有措施保护驾驶员不受玻璃碎片的伤害。

(2) 然后根据动响应分析中得出的鸟撞验证试验选点,开展鸟撞试验验证。试验件的安装应尽可能地模拟结构支持刚度及连接情况,通常情况下会采用真实机头机构。试验结束后依据试验结果编写试验报告并对结果进行分析。

若鸟撞理论分析结果与试验结果不符,以试验结果为准。若试验结果不满足试验判据要求,则需查找原因(若为设计原因,需改进风挡设计,重新进行分析和试验;若为制造、安装等其他问题,需改进后重新进行试验)。

风挡抗鸟撞设计与验证流程如图4所示。

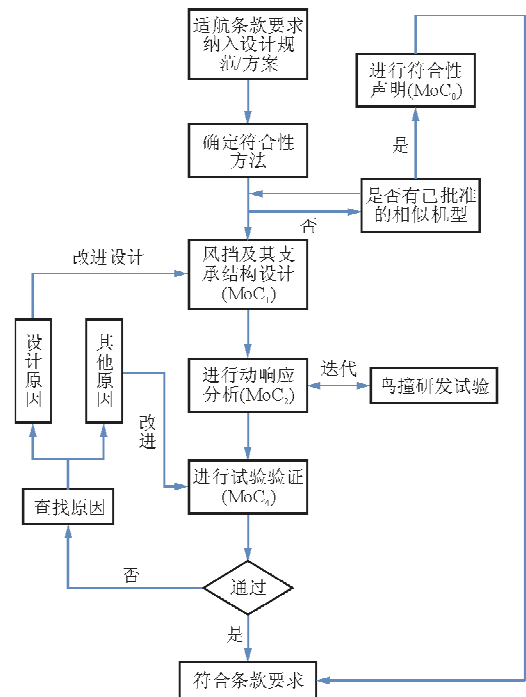


图4 风挡抗鸟撞验证流程

Fig. 4 Verification flow chart of windshield bird-strike

4 结论

通过对风挡鸟撞适航条款 CCAR 25.775(b)和 25.775(c)条进行分析,结合某民用飞机鸟撞设计与验证经验,提出了满足条款要求的具有可操作性的风挡鸟撞设计与验证方法。该方法适用于民

用运输类飞机,也可扩展到军用运输类飞机上。

参考文献

- [1] 中国民用航空局机场司. 2013年度中国民航鸟击航空器信息分析报告[R]. 北京:中国民航科学技术研究院机场研究所, 2014.
Airport Department, Civil Aviation Administration of China. Data analysis report on bird-strike of China civil aviation in 2013[R]. Beijing: China academy of civil aviation technology airport institute, 2014. (in Chinese)
- [2] 邱韬. 运输机鸟撞损伤的适航要求和试验[J]. 国际航空, 1997(10): 55-56.
Qiu Tao. Airworthiness requirement and test about bird impact damage[J]. International Aviation, 1997(10): 55-56. (in Chinese)
- [3] Steve Georgiadis, Andrew J Gunnion. Bird-strike simulation for certification of the Boeing 787 composite moveable trailing edge[J]. Composite Structures, 2008, 86(1-3): 258-268.
- [4] Guida M, Marulo F. Certification by birdstrike analysis on C27J fullscale ribless composite leading edge[J]. International Journal of Impact Engineering, 2013, 54: 105-113.
- [5] 何俊, 王猛. 鸟撞飞机前风挡动态响应的数值模拟[J]. 沈阳理工大学学报, 2012, 31(2): 66-69.
He Jun, Wang Meng. Numerical simulation of the dynamic behavior on windshield subjected to bird impact[J]. Journal of Shenyang Ligong University, 2012, 31(2): 66-69. (in Chinese)
- [6] 中国民用航空局. CCAR-25-R4 运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局, 2011.
Civil Aviation Administration of China. CCAR-25-R4 Transport category aircraft airworthiness standards [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [7] Federal Aviation Administration. FAA AC 25.775-1-2003 Windows and windshields[S]. USA: Federal Aviation Administration, 2003.
- [8] 杨建忠. 运输类飞机适航要求解读[M]. 北京:航空工业出版社, 2013.
Yang Jianzhong. Transport category airplane airworthiness standard interpretation [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2013. (in Chinese)
- [9] 郑作棣. 运输类飞机适航标准技术咨询手册[M]. 北京:航空工业出版社, 1995.
Zheng Zuodi. Transport category aircraft airworthiness standards, technology consulting handbook[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1995. (in Chinese)
- [10] 张柱国, 郝一鸣. 运输类飞机鸟撞及符合性验证综述[J]. 航空科学技术, 2013(6): 1-4.
Zhang Zhuguo, Hao Yiming. Review about bird strike and substantiation for transport category airplane[J]. Aeronautical Science & Technology, 2013(6): 1-4. (in Chinese)
- [11] 中国民用航空局. AP-21-AA-2011-03-R4 航空器型号合格审定程序[S]. 北京:中国民用航空局, 2011.
CAAC. AP-21-AA-2011-03-R4 Aviation type certification procedure[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [12] 金镛, 刘友丹. 运输类飞机鸟撞适航性技术研究[J]. 航空标准化与质量, 2012(6): 11-15.
Jin Lei, Liu Youdan. The study of bird-strike airworthiness skill for transport airplanes[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2012(6): 11-15. (in Chinese)
- [13] 刘小川. IIB 7084-2014 民用飞机结构抗鸟撞设计与试验通用要求[S]. 北京:中国航空综合技术研究所出版, 2014.
Liu Xiaochuan. HB 7084-2014 General requirements for civil airplane bird-strike design and test[S]. Beijing: AVIC Cnina Aero-polytechnology Establishment Press, 2014. (in Chinese)

作者简介:

何 思(1984—),女,工程师。主要研究方向:结构、材料适航技术。

刘存喜(1965—),男,研究员。主要研究方向:飞机适航技术、管理。

(编辑:赵毓梅)