

运输类飞机鸟撞及符合性验证综述

Review about Bird Strike and Substantiation for Transport Category Airplane

张柱国 郝一鸣 / 中国民航上海航空器适航审定中心

摘要: 针对民航运输安全的重要威胁——鸟撞, 简析了运输类飞机型号合格审定中鸟撞相关的适航要求, 概述了这些要求的演变历史, 对国外适航当局 (FAA和EASA) 关于鸟重量方面重大规章差异的缘由进行了解释。在综合考虑国外适航当局进行鸟撞审定指导的基础上, 重点归纳了鸟撞符合性验证中鸟撞部位的确定及符合性验证思路, 制定了鸟撞验证路线图。最后, 对鸟撞适航要求和符合性验证方法的发展趋势进行了展望, 为C919大型客机鸟撞的符合性验证提出了建议。

Abstract: Regarding to the bird strike which is an important threat to the safety of civil aviation transportation, this paper summarized the bird strike related airworthiness requirements for transport category airplane, introduced the history of these requirements, and explained the origin and development of the significant regulatory difference about the bird weight between the FAA and EASA. Based on the bird strike certification guidance by foreign airworthiness authorities, the determination of bird strike areas/zones and the means of compliance were summarized and a roadmap of bird strike substantiation was proposed. In the last, the development of bird strike related requirements and the means of compliance were expected, and suggestion about the substantiation of domestic C919 airplane was given.

关键词: 运输类飞机; 鸟撞; 符合性验证; 适航

Keywords: transport category airplane; bird strike; substantiation; airworthiness

0 引言

飞机运营中经常与飞鸟相遇发生鸟撞(也称为鸟击)事件, 鸟撞是目前民航运输安全的重要威胁之一。自1912年首次致命的鸟撞事件以来, 在商用飞机运输中已经发生了47起致命的鸟撞事故, 导致242人死亡^[1]。据统计, 鸟撞部位集中发生在发动机、机头(包括风挡、雷达罩、空速管)、机翼, 甚至起落架也遭受过鸟撞。在起飞、爬升、巡航、下降、进近、着陆阶段, 飞机飞行高度在2500m以上或以下均有发生过鸟撞事件^[1-2]。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^[3]。

因此研究运输类飞机鸟撞适航要求, 明确其符合性验证方法, 将是新研制飞机在运营后遭受鸟撞仍然能安全飞行和着陆的先决条件。本文将介绍鸟

撞适航要求中经常提到的“重3.6kg鸟”和“重1.8kg鸟”重大差异的来龙去脉。另外, 尽管鸟撞要求在最近30多年间没有进行修订, 但一些飞机服役经验和审定案例暗示应重新审视鸟撞要求的符合性验证, 本文也将对此进行重点归纳, 为我国正在研制的大型客机C919提供研发和型号合格审定参考。

1 运输类飞机鸟撞适航要求

当前的运输类飞机适航标准CCAR-25, FAR-25和EASA CS-25中的鸟撞适航要求主要为§ 25.571、§ 25.631和§ 25.775条^[4-6]。

§ 25.571(e) 要求飞机在受到重1.8kg的鸟撞击时, 必须能够成功完成该次飞行。CCAR/FAR 25.631要求尾翼结构的设计必须保证在与重3.6kg的鸟相撞之后, 仍能继续安全飞行和着陆。

CS 25.631对于尾翼结构要求的是能承受重1.8kg鸟的撞击, 这是CCAR/FAR-25和EASA CS-25之间对于鸟撞要求的重大规章差异。§ 25.775(b)(c)要求位于正常执行职责的驾驶员正前方的风挡玻璃及其支承结构, 必须能经受住1.8kg的飞鸟撞击而不被击穿。

另外, § 25.1323(j) 要求2套空速表之间必须相隔足够的距离, 以免鸟撞时2个空速管都损坏。§ 25.629(d)要求考虑鸟撞导致的失效、故障与不利条件下都不发生气动弹性的不稳定性。§ 25.1309(b)要求飞机系统与有关部件的设计, 在单独考虑以及与其他系统一同考虑的情况下, 发生任何妨碍飞机继续安全飞行与着陆的失效状态的概率为极不可能, 发生任何降低飞机能力或机组处理不利运行条件能力的其他失效状态的概率不大可能。鸟撞作为一种特定风

险,需要进行系统安全性分析以考虑鸟撞对系统和设备的影响。此外FAR/CS 25.773还要求在某些情况下,遭遇严重鸟撞后有清晰的驾驶舱视界,足以使至少一位飞行员能安全降落飞机。

2 鸟撞适航要求演变

图1给出了FAR-25鸟撞适航要求的演变历史。在一些飞鸟穿透风挡造成机组受伤的事件发生之后,为保护飞行机组人员和关键设备仪器的安全,将1.8kg鸟撞要求纳入CCAR 4b.352条中,后该条演变为FAR 25.775条。同样由于鸟撞也会导致系统的失效,鉴于空速指示系统的重要性,要求有两套空速表时,各自的空速管之间必须相隔足够的距离,以免鸟撞时两个空速管都损坏,后该要求纳入到FAR 25.1323条中。1962年一架“子爵号”飞机在约1829m的高度巡航飞行时,与一只天鹅(估计约重5.4~7.7kg)相撞,造成飞机左平尾和升降舵(单梁结构)的损伤,飞机随后失去控制坠毁,机上人员全部遇难。该事故导致新增FAR 25.631条,对尾翼结构提出3.6kg鸟撞要求。FAA后来基于服役经验,认为需要考虑飞机结构满足离散源损伤要求,于1978年在FAR 25.571条中增加重1.8kg鸟撞要求。

欧洲联合航空规章25部(JAR-25)对于鸟撞要求,全部规定飞鸟重量为1.8kg。2003年JAR-25转为CS-25时,鸟撞要求没有更改。因此,CCAR/FAR-25和CS-25之间对于尾翼鸟撞,仍然存在“鸟重3.6kg”和“鸟重1.8kg”的重大规章差异,型号合格审定中飞机的尾翼结构通常满足“鸟重3.6kg”这个更严厉的要求。

1987年FAA拟提高鸟撞标准,要求全机结构受到重1.8kg的飞鸟撞击后没有穿透,受到重3.6kg的飞鸟撞击后能够继续安全飞行和着陆。但遭到工业

界的强烈反对而没有通过,后来FAA决定通过航空立法咨询委员会(ARAC)来协调FAA和欧洲联合航空局(JAA,后转为EASA)在鸟撞要求方面的重大规章差异。然而ARAC进行了长达10年多的协调尚未达成一致,主要原因为:EASA认为发生重3.6kg的鸟撞事件的概率很小(10^{-8}),而且现代飞机多采用多载荷传力路径的破损安全结构设计,发生的多次事故都未造成灾难性后果;FAA认为该概率数据不是权威的,鸟撞威胁依然很严重。加拿大天鹅数量大、飞得高,在2001年发生一次4000m高度以上与飞机撞击的事故,飞机的速度高,损伤严重。已经发生的31起驾驶舱穿透事故造成了1死19伤。这表明,鸟重1.8kg是不充分的。另外,从经济角度考虑,采用鸟重1.8kg的适航要求并不能显著降低制造和运营成本^[7]。

3 符合性验证

3.1 鸟撞部位的确定

飞机可能遭受鸟撞的所有部位,不管位于增压区还是非增压区,不管是主要结构还是次级结构,都需要考虑鸟撞的影响,在确定鸟撞部位时还应该考虑飞机飞行中迎角的影响。通常需要考虑的鸟撞部位有:风挡玻璃及其支承结构(包括立柱);驾驶舱顶部(风挡上部);

仪表板区域(风挡下部和周围区域);雷达罩区域;前增压框;前增压框后部区域;机翼前缘(如缝翼),机翼后缘(如襟翼);翼梢小翼;发动机短舱唇口和吊挂(发动机需满足CCAR-33相关要求);放下状态的起落架及起落架舱门;平尾和垂尾;外部安装器件(如空速管、天线等);整流罩(如翼身整流罩)。

通常认为整流罩和翼梢小翼为次要结构,虽然§ 25.571条主要针对主要结构元件(PSE),但并不意味着次级结构不需要考虑鸟撞要求。如果在整流罩后部安置有飞机继续安全飞行和着陆所需要的关键系统,这些部位需要考虑鸟撞要求。另外,如果至少一个翼梢小翼在飞行中丧失或受到损伤,需评定飞机是否会发生颤振。

鸟撞时飞机的速度(沿飞机飞行航迹,相对于鸟),可以不取§ 25.571(e)规定的海平面设计巡航速度 V_C 或海拔2450m的设计巡航速度 $0.85V_C$,而基于实际情况确定鸟撞后果最严重的飞机速度,比如当高升力装置(襟翼和缝翼)遭受鸟撞时,飞机速度可以取§ 25.335(e)规定的设计襟翼速度 V_F ;当起落架遭受鸟撞时,飞机速度取§ 25.1515条规定的起落架收放速度 V_{Lo} 或起落架伸展速度 V_{Le} (两者中的较严重者)。

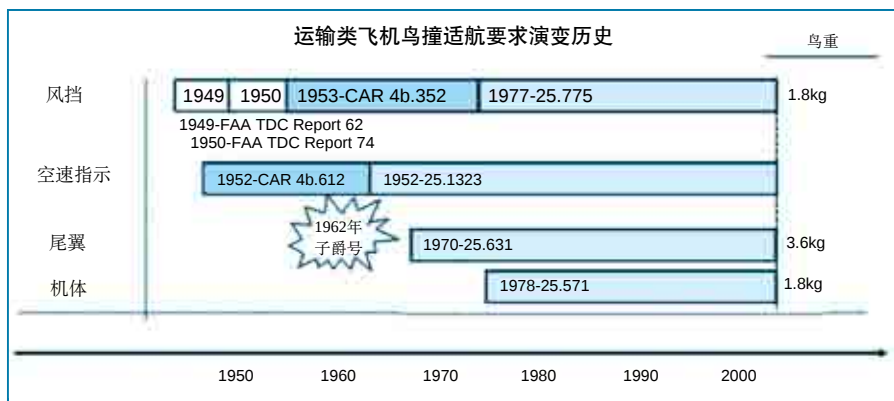


图1 FAR-25部鸟撞适航要求演变历史

3.2 符合性验证思路

尽管鸟撞要求在最近30多年间没有进行修订,但一些飞机服役经验和审定案例暗示应重新审视鸟撞要求的符合性验证。这些案例有:1984年,一架A310飞机机头遭受鸟撞导致飞行计算机失效;1986年,一架DHC-8飞机风挡遭受鸟撞导致全部电力失效;1989年,一架A320飞机驾驶舱顶板遭受鸟撞导致4台飞行显示器信息丧失,燃油阀门关闭导致一台发动机停车;1992年,一架AN-124飞机机头遭受鸟撞导致货舱门失效,飞机失去控制而坠毁;2008年3月4日,一架“赛斯纳”500飞机机翼结构被一只或多只重约9kg的鸬鹚撞击,飞机失去控制,该事故是1962年之后第一次欧美运输类飞机鸟撞导致结构失效的事件^[8]。一些鸟撞审定试验表明驾驶舱区域安装的某些系统应考虑鸟撞冲击波的影响。

鸟撞作为一种离散源(针对机体结构和特定风险(针对系统和设备)),必须在型号合格审定中进行验证,目的是保证飞机遭受鸟撞后能够继续安全飞行和着陆。在综合考虑国外适航当局(FAA和EASA)进行鸟撞审定的指导^[9],归纳鸟撞符合性验证思路如下。

1) 针对所有可能遭受鸟撞的部位,优先表明鸟撞不会致使发生穿透或者导致该部位的部件丧失。此时为表明遭受鸟撞的飞机能继续安全飞行和着陆,还需要进一步考虑:

a. 鸟撞引起的结构变形对于内部结构部件(如仪表板或电子设备支架)的影响。

b. 鸟撞引起的结构变形对于相关的设备、系统或经批准的运行性能(可以考虑驾驶员的纠正动作)的影响。

c. 鸟撞引起的冲击对于系统和设备(如顶部仪表板)的影响(通常机载

设备按照RTCA DO-160进行鉴定,可通过试验或分析表明鸟撞在设备上引起的冲击不超过设备鉴定时的试验等级)。

d. 鸟撞对驾驶舱内部安装的平视显示器(HUD)的影响,该影响不致伤害驾驶员(适用时)。

2) 如果鸟撞致使发生穿透或者导致该部位部件的丧失,此时应当考虑:

a. 鸟撞致使发生穿透后,对设备和系统的冲击不应当妨碍飞机继续安全飞行和着陆。

b. 除了§25.775条要求鸟撞不能击穿驾驶员正前方的风挡玻璃及其支承结构,将鸟撞引起的风挡玻璃飞散碎片伤害驾驶员的危险减至最小之外,也应当尽量避免鸟撞穿透进入驾驶舱区域,以防止飞行机组的失能或受伤,或者增加飞行机组工作量致使飞机不能继续安全飞行和着陆。

c. 如果鸟撞穿透飞机头部/雷达罩,应当评估在雷达罩上撞击出的孔洞产生的气流、动压对结构的影响。除非可以证明雷达罩的丢失不妨碍继续安全飞行和着陆,否则应当表明雷达罩结构能承受动压导致的额外载荷,雷达罩及其支持结构能继续固定在飞机上。同样该准则也适用于整流罩。

d. 如果鸟撞穿透增压舱,应当考虑快速释压的影响。

e. 对于翼梢小翼^[10],应当表明鸟撞导致翼梢小翼完全或部分丧失后,§25.629(b)规定的气动弹性稳定性包线内不发生气动弹性不稳定性。翼梢小翼的部分或完全丧失应当考虑是发生在明显断裂点,比如连接或接头处。对于部分丧失,应当进行灵敏度/参数研究,以确定最临界的情况。

f. 如果鸟撞通过前缘和前梁穿透进入燃油箱(如机翼整体油箱或平尾油

箱),必须验证火情或其他危险(如导致燃油不平衡或者不能继续正常飞行)不会妨碍飞机继续安全飞行和着陆,燃油箱泄漏发生在热源(起落架、发动机)的附近或上游是不可接受的。

g. 应当考虑鸟撞损伤及鸟撞后松脱的碎片对继续安全飞行和着陆的影响,比如考虑内侧缝翼或襟翼上松脱的碎片对尾翼结构产生二次离散源损伤,或者碎片被吸入发动机中,以及任何危险的非对称情况。结构设计特征(如多点连接)、工程判断及相关服役经验均可支持该二次离散源损伤的评定。

3) 服役中预期的环境条件,如温度、内外表面温差和湿度影响到抵御鸟撞的性能时(如对于复合材料结构或风挡),必须考虑环境条件的影响。必须保证带有鸟撞损伤的飞机结构的完整性,并能够承受飞行中可能出现的合理的静载荷(作为极限载荷考虑)。在鸟撞事故发生后,必须表明飞机在25.629(b)(2)规定的气动弹性稳定性包线内不会发生气动弹性的不稳定性^[11]。

4) 鸟撞作为一种特定风险,必须考虑鸟撞对关键系统和设备(如控制系统部件和电气设备)安装的影响^[6],如果可能,这些系统和设备不要安装在可能遭受鸟撞部位的正后方,以保证飞机遭受鸟撞后,飞机的操纵系统仍具有可操纵性,飞机能够继续受控飞行和着陆,虽然可能需采用应急程序,且通常伴随有飞行机组工作量的增大和飞行品质的下降,但不需要飞行机组额外的驾驶技巧或体力。

鸟撞符合性验证路线图见图2。

4 结束语

为将鸟撞对飞行安全的影响减至最小,当前的运输类飞机适航标准针对鸟撞提出了全面的适航要求。然而,一

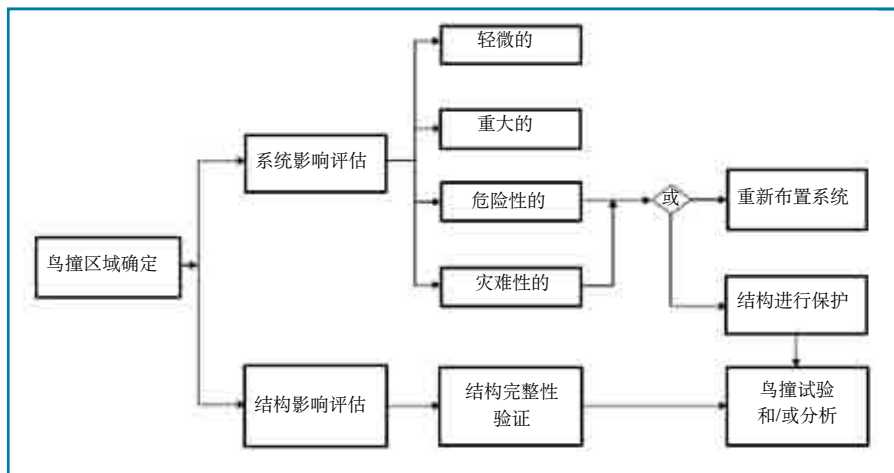


图2 鸟撞符合性验证路线图

些事故表明这些适航要求可能是不充分的。为此美国国家运输安全委员会(NTSB)在事故调查报告中建议修订适航标准,使所有运输类飞机机体结构部件具有相同的保护水平。另外,群鸟撞击飞机的案例也很多,若有必要,将可能修订鸟撞适航要求,增大鸟的重量,或者参照发动机适航标准考虑群鸟撞击的要求。

在鸟撞符合性验证中,通常需要采用活杀鸡或者鹅模拟“鸟弹”进行鸟撞试验,现在已经开始在研究采用“凝胶”代替“鸟弹”,甚至直接通过有限元分析(如SPH方法)代替鸟撞试验^[12-13]。为进一步减小鸟撞符合性验证成本,未来直接进行鸟撞分析,而不进行任何鸟撞试验将成为必然。

对于我国自主研制的大型客机C919,其鸟撞适航要求已经确定,在进行鸟撞的符合性验证时,将需要结构强度、系统、飞行性能和客舱安全等多个专业/专题的充分协调和配合。C919飞机型号合格证申请人需要和适航审定方一起,按照确定的审定计划,紧密结合鸟撞特定风险分析(PRA),做好鸟撞试验和/或分析等工作,保证鸟撞符合性验证工作的顺利进行。

AST

参考文献

- [1] Ilias maragakos. Bird population trends and their impact on aviation safety 1999–2008[R]. EASA Safety Report, Germany: European Aviation Safety Agency, 2009.
- [2] 中国民用航空局机场司. 2012年中国民航鸟击航空器事件数据分析报告[R]. 北京:中国民航科学技术研究院, 2013.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Federal Aviation Administration. 14 CFR Parts 25, Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes[S]. Washington: Federal Aviation Administration, 2013.
- [6] European Aviation Safety Agency. AMC 25.631, Bird Strike Damage, Certification Specification and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS–25 Amendment 13[S]. Germany: European Aviation Safety Agency, 2013.
- [7] Aviation Rulemaking Advisory

Committee. General structures harmonization working group report bird strike § 25.571(e) (1), 25.631, 25.775(b) (c) [R]. US: Federal Aviation Administration, 2003.

[8] N Dennis, D Lyle. Bird strike damage & windshield bird strike final report[R]. ATKINS, 5078609–rep–03 Version 1.1, Germany: European Aviation Safety Agency, 2008.

[9] European Aviation Safety Agency. Compliance with CS–25 bird strike requirements[R]. EASA Certification Memorandum CM–S–001 Issue: 01, Germany: European Aviation Safety Agency, 2012.

[10] Federal Aviation Administration. Transport airplane issues list [EB/OL]. (Updated: 7/19/2012). www.faa.gov.

[11] Federal Aviation Administration. FAA AC 25.571–1D, Damage Tolerance and Fatigue Evaluation of Structure[S]. US: Federal Aviation Administration, 2011.

[12] G.Olivares, N.Dhole, M.Tufano, etc. Development and validation of a gelatin bird substitute [C]. US: Aerospace Structural Impact Dynamic International Conference, 2012.

[13] Mahesh Turaga, Kyle Indermuhle, Vladimir S. Sololinsky. Application of smooth particle hydrodynamics (SPH) technique to modeling bird–strike on composites[C]. US: Aerospace Structural Impact Dynamic International Conference, 2012.

作者简介

张柱国, 工程师, 研究方向为民用运输类飞机适航审定。

郝一鸣, 工程师, 研究方向为民用运输类飞机适航审定。