

# 运输类飞机适坠性审定技术研究进展

## Research Development of Crashworthiness Certification Technology on Transport Category Aircraft

郝鹏 / 中国民航大学

冯振宇 邹田春 / 民用航空器适航审定技术与管理研究中心

**摘要:** 为了提高坠机事故中乘员的生存率, 飞机应当具备良好的适坠性, 将乘客的冲击过载限制在人体所能承受的范围。本文综述了近年来国内外有关飞机适坠性试验与数值模拟应用的研究成果与发展前景, 在此基础上指出了我国民用飞机适坠性审定技术中存在的主要问题。

**关键词:** 运输类飞机; 适坠性; 审定技术

**Keywords:** transport aircraft; crashworthiness; certification technology

### 0 引言

适坠性是指飞机在发生坠撞或其他意外事件时具有的一种保护乘员生命安全的能力。适坠性的两个主要设计目标是限制传递给乘员的冲击力以及维护机身结构的完整性, 从而确保乘员的最小安全空间。通过改进飞机的机身结构、客舱布局和内部设施等来改善飞机的适坠性能, 可以大大提高乘员和机组人员在坠撞事故中的生存能力。因此, 各国民航部门和大型民机制造商对与适坠性直接相关的抗坠撞设计、适航要求与验证技术给予高度关注, 组织开展了大量的研究工作。

我国民用飞机型号设计和制造经验相对缺乏, 对于民用飞机结构适坠性方面的研究起步较晚, 缺乏系统、全面的研究。随着国产大型客机设计工作的全面展开, 为使我国自主研发的民用航空器达到国际先进水平, 迫切需要开展对运输类飞机适坠性的系统性研究, 进而为适坠性设计以及适坠性审定工作

提供技术支持。

### 1 国外研究现状

#### 1.1 相关条款

民用航空规章给出了航空器的最低安全标准。对于大型运输类飞机, 美国采用的适航规章FAR25中, 适坠性主要涉及C、D、F、G三个分部及附录F、J, 有效条款共42个(包括附录F、J)。其中, 与飞机结构适坠性相关的条款分为应急着陆与水上迫降两个方面, 应急着陆方面包括§ 25.561总则, § 25.562应急着陆动力要求, § 25.785座椅、卧铺、安全带和肩带要求; 水上迫降方面包括§ 25.801水上迫降, § 25.563水上迫降的结构要求、§ 25.1411总则、§ 25.807应急出口<sup>[1]</sup>。

其中与“应急着陆情况”相关的条款“总则”和“应急着陆动力要求”等, 都强调了结构设计必须在应急着陆过程中对每一位乘员提供保护。“总则”明确地规定了发生情况时飞机上乘员可能

经受的极限过载系数和相对应的静惯性载荷; 规定了舱内可能伤害到乘员的部件可承受的极限过载系数和相对应的静惯性载荷等。要求对飞机上的座椅、安全带和肩带系统采用施加静载荷的静力试验方法验证其强度。“应急着陆动力要求”条款强调的是乘客、空中服务员和驾驶员的座椅与约束系统在特定的动力受载情况下能保护成员, 至少要进行纵向和垂向的试验。

#### 1.2 适坠性试验

20世纪70年代美国联邦航空局(FAA)和美国国家航空航天局(NASA)在工业部门的帮助下, 对小型通用航空器的坠撞动力特性及坠撞安全性等问题进行了大量研究。在充分研究飞行事故数据的基础上, 进一步研究了民用航空器可生存事故的坠撞环境和成员生存所需的条件, 并进行了一系列全机分段结构和整机结构的坠撞试验。其目的一是用试验手段来评价结构的抗坠撞性能; 二是将试验测得的数据

(有关部位的加速度、位移、挤压、失效或破坏形式等)与计算机仿真分析模型的计算结果进行相关性比较,以此作为改进计算模型、计算方法和计算程序的基础。

美国NASA 兰利研究中心1974~2003年使用全机坠撞试验设施,共开展了41架次的通用航空飞行器的全尺寸坠撞试验、11架次直升机全尺寸坠撞试验以及3架次波音707机身框段垂直坠撞试验<sup>[2]</sup>。NASA针对某些试验建立了仿真分析模型,用于评价非线性瞬态分析程序的有效性,同时开展了模型确认研究,全面评价仿真分析模型与试验结果的相关性。

20世纪80年代早期,NASA和FAA合作开展了一项“冲击可控性论证研究(CID研究项目)”,该项目的主要目的在于预防坠撞后火灾,评价大、中型运输机附加燃油箱的耐撞性能<sup>[3-4]</sup>。CID研究项目最重要的一项试验是远程运输机B720的全机坠撞试验。为了保证试验的可靠性,选择了3架次的波音707机身框段进行准备性坠撞试验。准备性试验的目的是为了评价用于CID项目试验的数据采集系统的完整性,并且为后期CID项目中的模型评估技术提供一系列的试验数据。

随着复合材料在飞机上的广泛应用,有关部门立即针对复合材料飞机进行了抗坠毁性能试验。20世纪90年代前期,兰利研究中心对两架采用了环氧碳纤维复合材料蒙皮的Lear Fan 2100型飞机(其中一架飞机进行了改造,为其增加了复合材料缓冲吸能地板)进行了坠撞试验。试验结果表明,在这种飞机的机舱地板上测得的过载远远高于全金属飞机地板上测得的过载<sup>[5-8]</sup>。90年代中后期,兰利研究中心对比奇“星舟”、西锐SR-20、Lancair等型号的复合

材料飞机进行了全尺寸坠撞试验。其中Lancair飞机集中体现了当时最新的抗坠毁设计思想,飞机采用了缓冲吸能地板、限载座椅、先进乘员约束系统。试验结果表明,在高强度撞击条件下,机舱内部空间和作用于乘员身体上的过载都完全控制在可生存范围内,该型飞机具有非常优秀的抗坠毁性能。通过一系列的试验,研究者们认为,仅仅需要对现有设计作少量修改就能够使飞机的整体抗坠毁性能得到较大幅度的提高<sup>[9]</sup>。

FAA和NASA利用大量的坠撞试验结果检验和修正了抗坠撞分析方法和计算程序,最终建立起确定飞机坠撞安全性问题的数据库,为确定运输类飞机坠撞系统设计标准,以及建立有效的适坠性适航审定程序及评审方法奠定了基础。到目前为止,针对民用航空器适坠性的适航审定,FAA已经制定和颁布了近40个咨询通告(AC),其中与飞机结构适坠性密切相关的有5个,分别是AC 20-146、AC 21-22、AC 21-12B、AC 25-17A、AC 25.562-1B,近23个技术标准规定(TSO),其中与飞机结构适坠性密切相关的有2个,分别是TSO-39C、TSO-127A,以及其他一系列审定政策、程序、方针等,用于指导型号申请人的设计,规范审定人员的评审工作。

欧盟在适坠性的方法研究和审定方面也进行了大量工作。20世纪90年代后期,欧盟开展的“CRASHWORTHINESS”计划为验证有限元方法的有效性提供了完整的机身盒段坠撞试验数据。空中客车公司参与由欧盟资金赞助的“坠撞可生存设计(CRASURV)”研究计划,在复合材料机身段的抗坠撞性能和全复合材料结构抗坠毁设计方法等方面开展了一系列研究,开发出最大程度地保障可生存坠撞中乘员生命安全

的复合材料机身结构设计技术,并提出了一套完整的飞机结构(包括复合材料结构和常规金属结构)的试验方法,并利用此试验方法先后对A340、A380飞机的适坠性性能进行了评估。

### 1.3 适坠性仿真分析技术

1999年10月,FAA 休斯技术中心进行了一项波音737机身段的垂直坠落试验,垂直坠落速度为30英尺/秒,机身框段长10英尺。这项试验是为了研究机身地板下分别为行李箱和副油箱时的撞击性能。评定中,为机身段建立了一个全尺寸三维有限元模型,运用非线性动态算法MSC.Dytran进行撞击模拟,主要目的是积累飞机机身段结构适坠性评估的建模经验<sup>[10]</sup>。研究成果对波音飞机结构的抗坠撞能力评估和动态座椅设计准则的确定起到了积极的作用。

2003年7月FAA建立了ATR42-300型公务飞机的全尺寸有限元模型,使适坠性评估的模型验证进入了一个新阶段。该模型采用MSC.Patran建立,用LS-DYNA分析计算。FAA完成了30英尺/秒的飞机垂直跌落试验,确定了机体包括地板、座椅轨道、假人及燃油系统的冲击响应,对机体结构的变形和损伤性能以及选择的加速度时间历程进行了比较,准确获得的地板加速度响应数据可用于评估FAA提出的公务类飞机动态座椅准则<sup>[11]</sup>,所积累的宝贵经验为评估公务类飞机的座椅标准提供了冲击数据。

欧盟开展的“CRASUVR”研究计划的最终目标是要开发出能够准确描述强冲击载荷作用下的复合材料机身框段的仿真分析程序。NASA也专门开展了一些飞机结构坠撞试验,为相应的仿真分析提供试验数据,用于模型的确认研究,以此检验仿真分析程序的有效性。模型确认技术也被确定为

飞机结构耐撞性仿真计算的五个关键技术之一。

资料显示,未来几年适坠性审定技术研究的主要思路是,通过大量的数值仿真分析和相对较少的试验验证,来修正分析模型和分析方法。主要研究方向包括三个方面:

1) 随着复合材料在飞机机身结构上的广泛应用,为了对复合材料飞机机体进行适坠性评估,必须建立新的分析方法和手段。

2) 通过对现有民机机身结构所进行的适坠性仿真分析与试验验证,为未来飞机结构的适坠性研究提供可靠的评估技术。

3) 为了降低机体结构和座椅的重量及成本,吸能结构的新概念和新技术被引入民用飞机机身结构中。

## 2 国内研究现状

目前,国内飞机制造公司、研究所和高等院校陆续开展了对可生存事故中的飞机结构适坠性问题的研究,研究的具体问题主要集中在机身结构抗坠撞仿真分析、着陆系统吸能能力、地板吸能特性、航空座椅安全性等方面。国内对固定翼飞机的坠撞安全性研究较少,只有洪都航空工业集团有限公司在农5A型飞机在适航取证过程中进行了全机的瞬态动力学有限元仿真分析和实机坠撞试验,在适坠性的适航审定方面首次走完了一个全过程,对适坠性审定程序有了初步的认识。国内直升机制造厂商、科研院所对武装直升机抗坠撞起落架和机身抗坠撞结构的设计进行了大量研究工作,但主要通过经验手段进行设计,通过试验进行验证,只进行了个别部件的仿真工作,缺乏系统性和广泛性。

## 3 结论

随着国产大型客机C919、ARJ21-700飞机的研发,为了满足未来国人民用飞机适坠性审定技术及设计需要,提高我国民机适坠性研究的整体水平和技术基础,应当跟踪世界先进航空技术,借鉴国外民机适坠性研究的成功经验,针对大型客机研发、制造和审定中可能遇到的新技术、新标准、新程序等特殊问题,开展适坠性的适航审定技术和符合性验证方法的研究。 **AST**

## 参考文献

[1] 中国民用航空规章,第25部,运输类飞机适航标准[S].中国民用航空局,2001.

[2] Jackson K E, Fasanella E L. A Survey of Research Performed at NASA Langley Research Center's impact dynamics research facility[C]// AIAA-2003-1896. Proceedings of the 44th AIAA Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. Norfolk, VA. 2003-4.

[3] Hayduk R J. Full-scale transport controlled impact demonstration[R]. NASA CP 2395, 1985-4.

[4] Fasanella E L, Alfaro-Bou E, Hayduk R J. Impact data from a transport aircraft during a controlled impact demonstration [R]. NASA TP 2589, 1986-9.

[5] Hart-Smith L J. Design and development of the first lear fan all-composite aircraft[C]// McDonnell Douglas Paper 8184. Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Conference on Design of Composite Materials. London: 1989(3):7-8.

[6] Carden H D, Kellas S. Energy absorbing-beam design for composite aircraft subfloors[C]// Proceedings of AIAA/ASME/ASCE/ASC 34th Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. La Jolla, CA, 1993-4.

[7] Carden H D, Kellas S. Composite energy-absorbing structure for aircraft subfloors[C]// 10th DoD/NASA/FAA Conference on Fibrous Composites in Structural Design. Hilton Head, SC, 1993-11.

[8] Jones L E, Carden H D. Overview of structural behavior and occupant responses from a crash test of a composite airplane[R]. SAE Paper 951168, 1995-5.

[9] Terry J E, Hooper S J, Nicholson M. Design and test of an improved crashworthiness small composite airframe-phase II report[R]. NASA SBIR Contract NAS1-20427. Terry Engineering, Andover, Kansas. 1997-10.

[10] Fasanella E L. Crash simulation of a Boeing 737 fuselage section vertical drop test, techreports[EL/OL]. larc.nasa.gov/ltrs/PDF/2001/mtgNASA-2001-3ikus-elf.

[11] Jackson K E. Test-analysis correlation of a crash simulation of a vertical drop test of a commuter-class aircraft, techreports[EL/OL]. larc.nasa.gov/ltrs/PDF/2001/mtg/NASA-2004-4tiac-kej.pdf.

## 作者简介

郝鹏, 硕士, 研究方向为运输类飞机适坠性审定技术。