

民用运输飞机适坠性要求浅析

Analysis of Crash-worthiness

Requirements of Civil Transport Aircraft

范耀宇 / Fan Yaoyu

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

全面解读了民用运输飞机适坠性要求,并对 CCAR/FAR25 与 CS25 之间差异进行剖析,总结国内外相关经验,提出适坠性后续工作方向。

关键词: 适坠性; 应急着陆; 轻度撞击; 起落架; 短舱; 燃油箱

中图分类号: V217

文献标识码: A

[Abstract] The paper comprehensively states the air-worthiness requirements of crash-worthiness, analyses the difference between CCAR/FAR25 and CS25, summarizes the experience of airplane crash-worthiness in the domestic and over-sea, and proposes the further research domain.

[Key words] Crash-worthiness; Emergence Landing; Minor Crash; Landing Gear; Nacelle; Tank

0 引言

民用飞机适坠性是指在飞机迫降发生时机体结构、座椅系统、逃生装置等应能具有保护乘员、使之最大可能地不受致命伤害的特性。

据相关公司统计,虽然着陆阶段事故率占整个飞机事故的 46% 左右,但由于考虑了适坠性要求,采用了防坠撞设计措施,使得着陆阶段事故死亡率仅占整个飞机死亡事故的 3%,如图 1 所示。2005 年 8 月 2 日,法航一架 A340 飞机在多伦多机场应急着陆,虽然飞机受损严重,但 12 名机组人员和 297 名乘客仍然安全撤离,如图 2 所示。

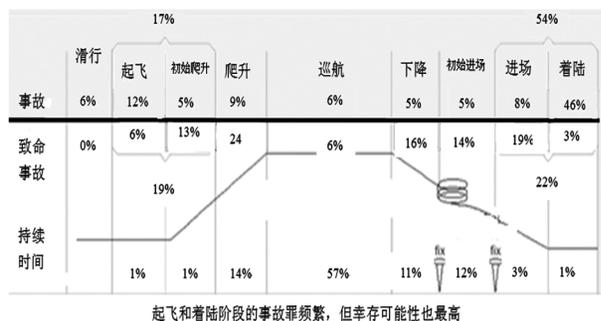


图 1 民用飞机事故统计分布



图 2 法航 A340 应急着陆事故

1 CCAR/FAR 适坠性要求剖析

其实,CCAR25/FAR25/CS25 等适航法规均没有明确定义适坠性概念,各公司的设计准则和规范对适坠性要求亦比较笼统,适航规章中的适坠性要求是指散落在法规中的众多方面要求的综合,主要包括对机体和座椅的坠撞动响应特性的要求、对燃油系统不泄露的防火要求,及应急照明、氧气等系统的功能要求。当前,适坠性所涉及的所有条款及核心内容如下:

a) 25.561 应急着陆总则

为了能给乘员提供可幸存的空间,客舱地板结构、座椅导轨、连接和固定质量能承受指定的轻度坠撞惯性载荷。

同时,对可能会“直接伤及乘员”、“引发火灾或爆炸”、“影响应急撤离设施功能”的“设备、客舱中货物或其它大件物品”亦要求能承受指定的轻度坠撞惯性载荷。

b)25.562 应急着陆动力要求

座椅及座椅滑轨的卡槽需承受考虑动态响应的碰撞载荷。

c)25.721 起落架总则

需考虑起落架因超载破坏,和任何起落架组合失效情况下,燃油系统不能漏油、发生火灾。

d)25.785 (b)(f)座椅、卧铺、安全带和肩带

为了能给乘员提供可幸存的空间,座椅、卧铺、安全带、肩带和固定安装结构能承受指定的轻度坠撞时的惯性载荷。

e)25.787 (a)(b)存储舱

位于机内乘员之上或之后的存储舱能承受指定的轻度坠撞惯性载荷。

f)25.789 客舱和机组舱以及厨房中物品的固定

客舱和机组舱以及厨房中物品和机内通话器的固定结构能承受指定的轻度坠撞惯性载荷。

g)25.809 应急出口的布置

必须有措施使应急出口在轻度撞损着陆中因机身变形而被卡住的概率减至最小。

h)25.812(i)(k)(1) 应急照明

应急照明系统能承受指定的轻度坠撞惯性载荷,能源能提供指定时间的照明,出口标示及外部应急灯在单个机身横向垂直分离后能工作。

i)25.963(d) 燃油箱总则

机身内燃油箱能承受指定的轻度坠撞惯性载荷,且安装位置有保护、不可能擦地。

j)25.994 燃油系统部件的防护

发动机短舱内或机身内的燃油系统部件在机轮收起着陆时,防止发生燃油喷溅、引起火灾。

k)25.999 燃油系统放液嘴

放液阀位置和保护措施,能在起落架收起和着陆时防止燃油喷溅。

l)25.1309 设备、系统及安装

系统与部件妨碍飞机继续安全飞行与着路的实效状态概率为极不可能。

m)25.1453 (b)防止氧气设备破裂的规定

氧气瓶和管路的位置应使撞损着陆时破裂的概率和危险减至最小。

n)25.1457 (e)(f)(g) 驾驶舱录音机

录音在坠撞冲击后破裂和起火毁坏的概率减至最小,抹音装置在撞损冲击时工作的概率减至最小,记录容器固定方式在撞损冲击时不大可能分离。

o)25.1459 飞行记录器

记录器容器在坠撞冲击后破裂和起火毁坏的概率减至最小,在撞损冲击时不大可能分离。

2 CCAR/FAR25 与 CS25 适坠性要求差异性分析

在 CS-25 Amendment 3 颁布之前,CCAR/FAR 25 和 CS 25 适坠性要求是一致的,但 2007 年 9 月 19 日 EASA 通过 NPA 2005-21 修订了 CS 25.721、CS 25.963 和 CS 25.994 条,从而使得 CCAR/FAR25 与 CS25 对民机适坠性要求产生了差异,核心差异如下:

a)CCAR/FAR25.721(a) 仅针对主起落架,而 CS25.721(a) 针对所有起落架;

b)CCAR/FAR25.721(a) 对于客座等于或小于 9 的飞机,仅要求考虑机身内燃油系统不溢出起火,而 CS25.721(a) 对于客座等于或小于 9 的飞机也要考虑所有燃油系统不溢出、起火;

c)CCAR/FAR25.721(b) 仅要求客座等于或大于 10 的飞机考虑任何起落架组合放下时不溢出足够燃油,而 CS25.721(b) 要求所有座位数飞机均需考虑任何起落架组合放下时,结构破坏不导致溢出足够燃油。

d)CCAR/FAR25.721(b) 未定义轻度撞击着陆工况,而 CS25.721(b) 明确定义两种轻度撞击着陆工况;

e)CCAR/FAR25.721(c) 对短舱脱离未做明确要求,而 CS25.721(c) 明确要求短舱由于超载断裂时,结构破坏不导致溢出足够燃油。

f)CCAR/FAR25.963(d) 仅要求机身内燃油箱能承受轻度坠撞惯性载荷和安装方式不大可能擦地,而 CS25.963(d) 要求靠近或在机身内、或靠近发动机的油箱能承受轻度坠撞惯性载荷,同时需考虑任何起落架未放下的组合工况下不导致火灾、在 CS25.721(a) 起落架破坏和 CS25.721(c) 短舱破坏工况下不破坏。

从以上分析可知,CCAR/FAR 与 CS 关于飞机适坠性的核心差异体现在起落架脱离、短舱脱离对油箱泄露、起火的要求上。

基于字面表述,CS25 部要求更广、更具体,但如果从内在逻辑上分析,其实两者之间要求是一致的,符合性验证工作是一样的,以常规翼吊布局、100 座构型的型号为例,适坠性要求解析如下:

1)CS25. 721(a)(b)对所有起落架和客座量小于或等于 9 的差异要求。因为型号为常规翼吊布局、100 座构型,所以两者之间要求完全一样。

2)CS25. 721(b)对轻度坠撞着陆工况的定义。其实在 FAR 25-32 修正案中,FAR25. 721(b)也有与 CS25. 721(b)一样的工况定义,仅在 FAR 25-64 修正案中,删除了这些定义。在型号符合性验证中,采用 CS25. 721(b)的定义是可以被 CAAC /FAA 接受的、申请方也往往采用该定义。

3)CS25. 721(c)对短舱断离的要求可以被 FAR25. 721(a)及 FAR25. 1309 覆盖。因为按 FAR25. 721(a),如果主起落架破坏后,会引起短舱触地,或更甚者,襟副翼触地,均需满足这些破坏不会导致燃油泄漏、发生火灾。同时,按 FAR25. 1309 逻辑,根据营运经验,发生意外着路的油箱撕裂的概率超过极不可能,所以考虑短舱或襟副翼断离问题。

4)CS25. 963(d)对“靠近机身、或靠近发动机的油箱能承受轻度坠撞惯性载荷要求”被 FAR25. 561(c)覆盖。因为按 FAR25. 561(c)逻辑,油箱在轻度坠撞惯性载荷下不能破坏。

5)CS25. 963(d)对“在 CS25. 721(b)任何起落架未放下的组合工况下不导致火灾”的要求被 FAR25. 994 覆盖。

6)CS25. 963(d)对“CS25. 721(a)起落架破坏和 CS25. 721(c)短舱破坏工况下油箱不破坏”的要求与 CS25. 721(c)一致,被 FAR(a)覆盖(见上第 3 条分析)。

基于以上分析可知,国内研制的 ARJ21-700 型号、C919 型号或宽体客机型号在适坠性方面,不管是申请 CAAC/FAA 还是 EASA TC 适航证,要完成的符合性验证工作是一样的,没有差别。

3 民机适坠性验证经验

不像水上迫降、鸟撞或闪电防护等综合专题那样成熟,适坠性验证过程中,国内遇到一些疑问、走过一些弯路,如某型号中要求货舱阻拦网需满足 25. 561(c)、短舱结构与燃油系统断离面不协调等问题。

欧美成熟飞机设计公司在适坠性方面做了大量工作,全机适坠性设计及验证是一个独立的专题,其涉及的机体结构、燃油、照明、应急撤离设备等方案均统一规划,特别是波音 787 和空客 A380,由于复材机身和双层客舱的非常规特征,对撞击的动响应特性更是进行了大量试验和分析,如图 3 所示。

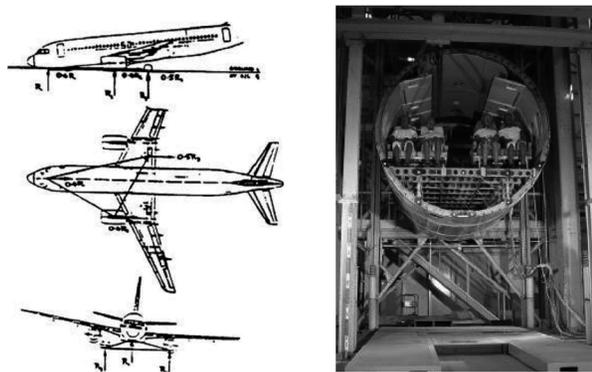


图 3 国外机型适坠性分析和试验

4 结论

随着大型运输类民用飞机的研制工作逐步推进,特别是 ARJ21-700 型号适航取证和 C919 型号适航规划开展,众多适航难点被不断突破,适坠性适航工作也取得长足发展,但总体上由于参考资料匮乏、条款定义模糊,全机适坠性设计及验证缺乏顶层的、全局的规划,该领域还有众多问题待进一步探索,如重度坠撞的定义和要求、燃油系统与结构断离协调性、复材机体对撞击的响应特性等。

参考文献:

- [1] CCAR25/FAR25/CS25 运输类飞机适航标准[S].
- [2] 郑作棣主编. 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.
- [3] AC25-21 Certification of Transport Airplane Structure.
- [4] DOT/FAA/CT-83/23 Analytical Modeling of Transport Aircraft Crash Scenarios to Obtain Floor Pulses.
- [5] DOT/FAA/CT-82/69 Transport Aircraft Crash Dynamics.
- [6] DOT/FAA/CT-82/86 Commercial Jet Transport Crashworthiness.
- [7] DOT/FAA/CT-82/70 Transport Aircraft Accident Dynamics.
- [8] AC 25. 994-1 Design Considerations to Protect Fuel Systems during a Wheels-Up Landing System Installations.