

运输类飞机包含EWIS的区域安全性分析研究

Zonal Safety Analysis on EWIS of Transport Category Airplanes

张绍杰^{1,2} 陶峰¹ 黄一敏²

1 中国商飞上海飞机设计研究院 2 南京航空航天大学自动化学院

摘要:为了解决运输类飞机EWIS设计过程中的安全性评估问题,针对包含EWIS的区域,提出了一种区域安全性分析方法。在对ARP 4761标准的区域安全性分析和AC 25-27的强化区域分析流程的基础上,考虑EWIS物理失效模式及失效对EWIS自身和区域内系统/设备的影响,给出了分析流程,为EWIS满足适航要求的设计提供技术参考。

关键词: 运输类飞机; 电气线路互联系统; 区域安全性分析

Keywords: transport category airplane; EWIS; zonal safety analysis

0 引言

电气线路互联系统^[1] (EWIS) 是指安装在飞机上任何区域的,用于在两个或多个端接点之间传输电能(包括数据和信号)的各种电线、端接器件、布线器件或其组合。

针对EWIS的适航规章要求是2007年美国运输类飞机适航规章FAR 25的123号修正案正式提出的,此修正案提出后设计的飞机应按照EWIS适航规章要求进行适航审定。目前国外申请人和适航当局也尚处于对EWIS规章的理解和审定原则把握的讨论过程中。

系统安全性评估是适航审定过程中的重要工作,25.1709“EWIS系统安全”提出了对EWIS进行安全性评估的要求。因此,在现阶段开展EWIS安全性评估研究具有重要意义。本文主要针对EWIS安全性评估中的关键技术^[2]之一,包含EWIS区域的区域安全性分析方法进行研究。

1 区域安全性分析的一般方法

目前,包括波音和空客在内的各民用飞机设计商已将SAE ARP 4761^[3]“民用飞机机载系统和设备安全性评估过程的指南和方法”作为飞机和系统设计过程中进行安全性评估的标准。

区域安全性分析(ZSA)的目标是确保系统设计和安装满足下面的安全性要求:设计和安装基本标准、失效对飞机的影响、维修差错的影响和验证设计满足FTA事件独立性要求。ARP 4761的ZSA流程如图1所示。ZSA主要是采用定性分析,为了满足上述要求,进行以下三个方面的工作。

1.1 准备设计和安装指南

设计和安装指南考虑飞机级需求和来自初步系统安全性评估(PSSA)的衍生要求,以及可能的维修差错的影响。指南分为通用指南、系统的具体设计与安装指南或区域的具体设计与安装指南。指南由负责系统设计的相关部门制订,经过相关部门的批准。

1.2 区域安装检查

按照一定原则进行区域划分,依据上述设计和安装指南,检查飞机各区域与指南的符合程度,并记录检查结果。

1.3 检查系统/组件的干涉

首先,制订飞机各区域的系统/组件清单,该清单在飞机设计的不同阶段可根据安装图纸、样机或飞机实物制订。针对这些系统/组件,确定其对附近系统/组件有影响的失效模式(系统/组件外部失效模式)清单。

考虑系统/组件的失效模式、外部失效的影响以及对飞机造成的影响。这些失效模式对区域内系统的影响通过系统描述、PSSA或等效方法进行判断。

将依据设计和安装指南进行区域检查的结果、系统/组件外部失效对飞机的影响,记录在ZSA报告中。如满足要求,作为相关的SSA的一部分;如不满足设计和安装指南,应根据偏离的情况进行设计更改,并重新进行

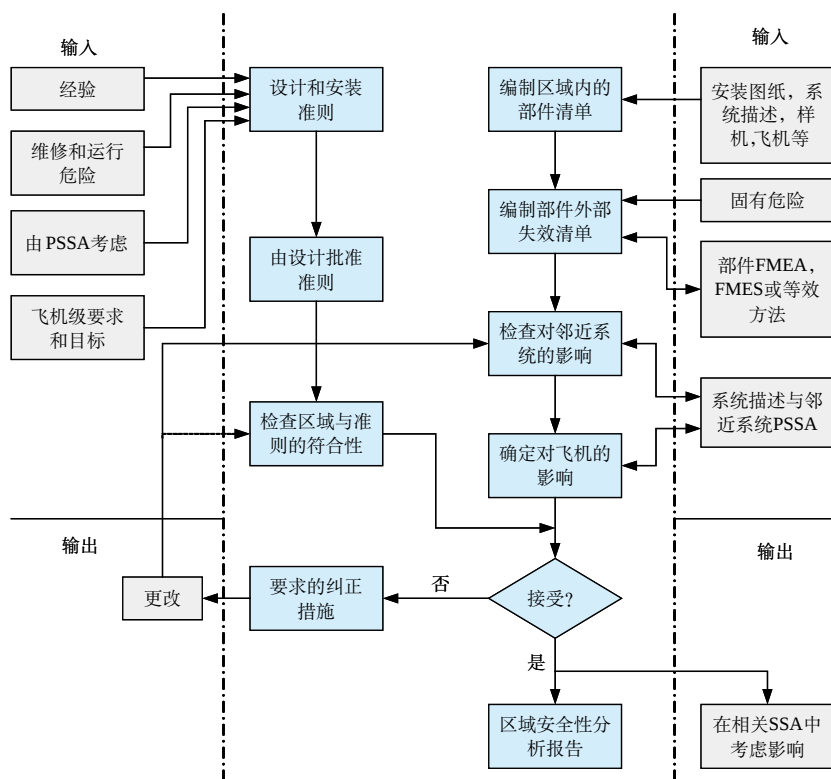


图1 ARP 4761的ZSA流程

检查和分析。

上述过程是对ZSA的一般要求，要结合具体的EWIS或相关区域进行分析，需要针对EWIS部件失效模式、不同失效模式对所在区域的设备或系统的影响分析等给出要求。所以，有必要研究专门针对包含EWIS的区域安全性分析方法。本文重点关注ZSA中EWIS部件失效对区域内系统/组件和EWIS自身的影响。

2 EWIS退化和物理失效分析

咨询通告AC 25.1701-1^[4]给出了EWIS安全性评估的一般流程，将EWIS失效对系统和飞机的影响分为物理失效和功能失效两方面进行讨论。包含EWIS的ZSA作为一种定性的分析方法，主要分析EWIS物理失效的影响。为此，首先结合EWIS设计和使用经验，分析EWIS部件的退化和物理失

效的影响因素以及失效模式。

2.1 导致EWIS物理失效的主要原因分析

导致EWIS部件物理失效的主要原因有振动、潮湿、维修、间接破坏、污染、热和安装不当等。

- 1) 振动 高频振动会加速退化，导致导线接触不良；产生的摩擦加速绝缘层的破裂等。
- 2) 潮湿 高湿度的环境会加速线端、针脚、插槽和连接器的腐蚀。
- 3) 维修 不适当的维修会导致EWIS的退化。实践表明不受干扰的EWIS要比经过改动的退化少。
- 4) 间接破坏 如压力管道破裂等会间接导致EWIS破坏，绝缘层磨损、导线与连接器或汇流条的分离等。
- 5) 污染 包括固体、液体、化学品、废水污染等。
- 6) 热 热会加速EWIS退化、绝缘层干燥、破裂。

7) 安装 不合适的线路、卡位和端接装置等安装会加速EWIS退化。

2.2 典型EWIS部件的退化和物理失效形式

1) 导线/线束

主要失效形式有线束与线束或线束与飞机结构的摩擦；线束下垂；导线因机械冲击、过热、局部磨损等引起的损坏；绑带或卡带缺失/安装错误；线路保护套管变形或安装错误；套头与连接装置端的摩擦；穿墙垫缺失或损坏；灰尘和纤维屑堆积；金属屑或塑料屑造成的表面污染；液体污染；维修导致的退化；死接头的退化；与流体管路的接触不当或分离。

2) 连接器

包括插座的外部腐蚀；后壳体尾部破损；后壳体上橡胶垫或包装缺失；后壳体线路固定装置缺失；安全链破损；保险丝缺失或破损；端子/接线排过热变色/征兆；扭力条错位。

3) 开关

保护帽损坏；零部件缺失；零部件松动；错误的零部件。

4) 接地点

腐蚀；零部件松动。

5) 搭接编织线和搭接跳线

编织线的损坏或断开；多个线股的腐蚀；多个线股的损坏。

6) 卡箍或支架

腐蚀；破损或缺失；弯曲或扭曲；松开或分离；附件不全；保护垫/衬垫损坏。

7) 支撑件（导轨或导管）

破损；变形；紧固件缺失；通孔边缘保护的缺失；轨道衬垫损坏；排水孔阻塞。

8) 电路断路器、接触器和继电器

过热征兆；电弧征兆；零部件缺失；零部件松动；错误的零部件。

3 包含EWIS的ZSA研究

在对上述ZSA的一般方法和EWIS退化的影响因素和失效形式分析的基础上,结合包含EWIS的区域,针对ZSA流程中“检查对邻近系统的影响”流程进行分析。

3.1 AC 25-27的强化区域分析程序

2007年,FAA针对EWIS的持续适航发布了AC 25-27^[5]“采用强化区域分析程序编制运输类飞机电气线路互联系统持续适航文件”。强化区域分析程序(部分)如图2所示。

由于该分析是针对EWIS的持续适航,如图2中⑤、⑥、⑧流程,主要是对可能存在问题的区域进行检视。本文主要讨论飞机设计过程中的ZSA,故采用其分析思路,结合EWIS物理失效的形式进行分析。

3.2 包含EWIS的区域安全性分析

针对图1的ZSA流程中“检查对邻近系统的影响”,本文分析EWIS物理失效可能造成的影响,结合EWIS安全性评估的要求,提出的包含EWIS的ZSA方法如图3所示。

首先对飞机进行区域划分,并确定区域内的系统/设备清单。这里的区域划分与进行全机ZSA划分的区域是一致的。

考虑到上述讨论的EWIS部件损坏、磨损等物理失效,如不导致电弧,并未对区域的安全产生影响。故针对包含EWIS部件的区域,进行电弧失效分析。其他形式的失效主要通过在设计、安装过程中考虑可能存在的影响,尽量避免其发生。

包含EWIS部件的区域,如存在可燃材料,则进行电弧失效分析,评估其可能产生的影响。可燃材料包括燃油、液压、氧气等有可燃物的管路;燃油蒸气、灰尘纤维屑和被污染的隔

热衬垫等。

对于如润滑油、液压油、防腐蚀化合物等液体,参考生产规范评估其易燃性。评估并确定区域中是否存在可能形成液体薄雾的条件。

在分析时,还需要注意可能会污染区域的可燃物来源。如把区域中有接线的裸露导管看作潜在的污染源。区域中的压力通风会通过空气吹动灰尘和纤维屑,这会使灰尘和纤维屑堆积在线路表面。潮湿的或油的表面会吸引更多灰尘和纤维屑。当评估区域中可燃物堆积的可能性时需要考虑这种情况。

位于驾驶舱和设备舱的航空电子和仪表往往会吸引灰尘和其他污染

物。对驾驶舱和设备舱而言,应认为包含可燃材料。

如区域内无上述可燃材料,则分析区域中是否存在提供关键功能的设备或EWIS是否提供关键功能。

其中的关键功能是指其失效会造成飞机灾难性或危险的失效状态的功能。针对EWIS失效造成的灾难性或危险的失效状态进行评估,正是EWIS安全性评估需要符合的适航要求。安全关键功能的设备可以通过飞机和系统级的FHA和FTA得到。线束是否提供关键功能,可以通过FTA得到。

减少EWIS部件物理失效可能性的措施,可根据前文EWIS物理失效分析的失效影响因素和失效形式,采取相

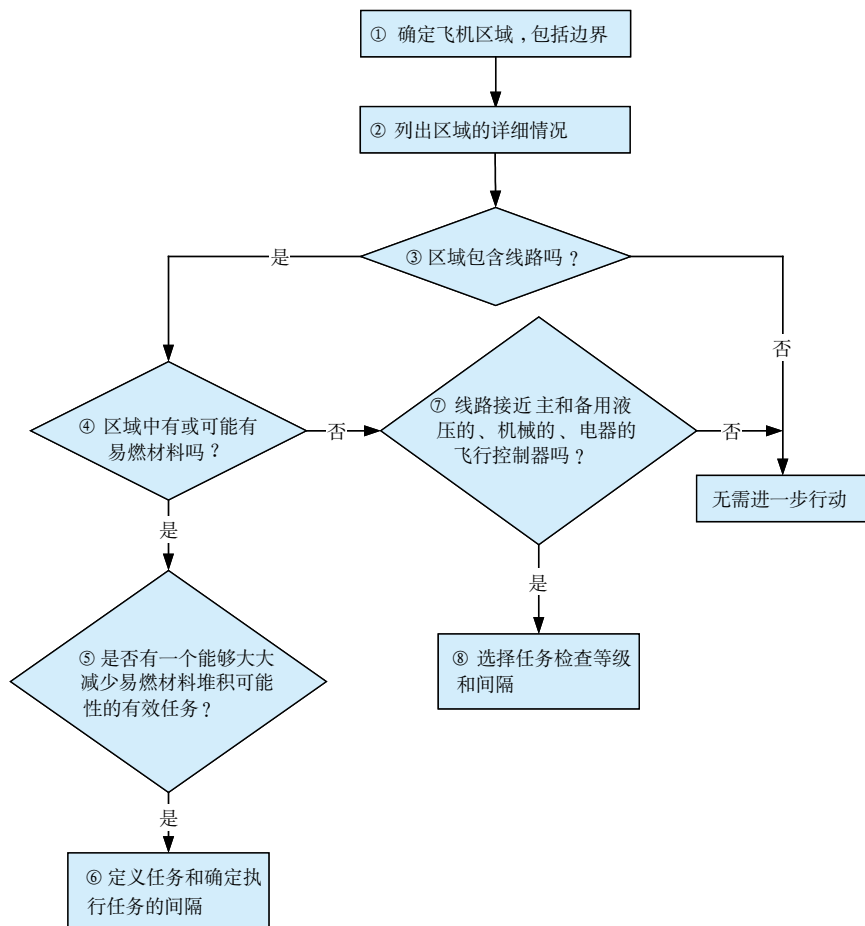


图2 AC 25-27的强化区域分析程序(部分)

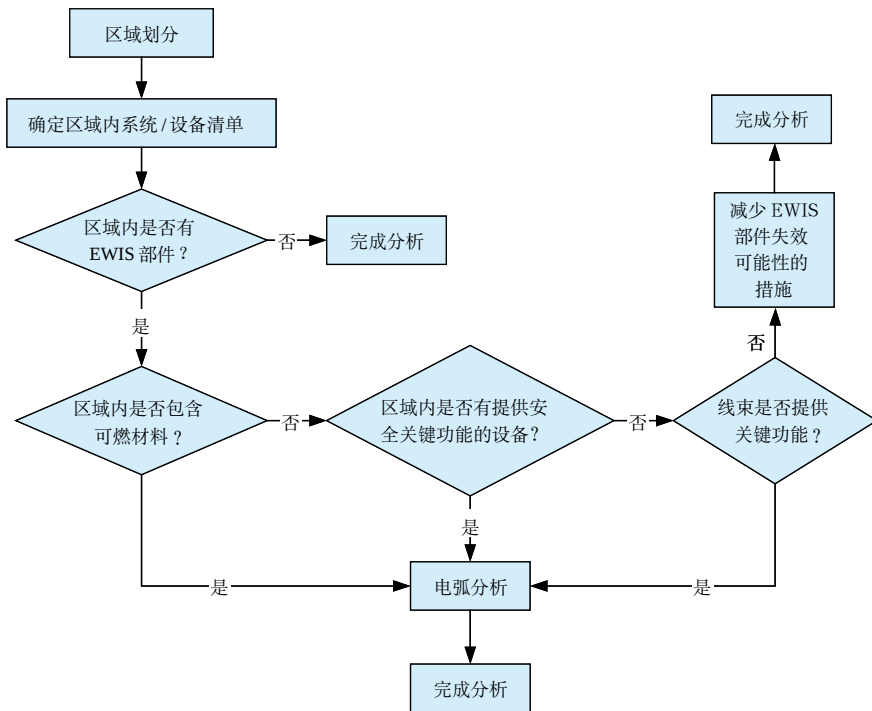


图3 包含EWIS的区域安全性分析方法

应的设计和维修性考虑措施，尽量避免其失效。

3.3 电弧失效影响分析

电弧失效影响分析是包含EWIS区域的ZSA工作的重点。电弧失效影响分析首先结合飞机EWIS部件选用、布线设计和安装情况，考虑如不同的电压、电阻、导线规格、导体材料、绝缘层等导线特性，电弧持续时间、电弧释放能量等电弧特性，以及电弧可能影响区域内的结构材料特性，分析影响电弧破坏程度的因素。

具体的分析方法可以结合导线选用和安装情况，根据历史数据、环境试验和建模分析等方法进行。

由于环境因素的复杂性，很难针对所有导线、电弧和安装情况进行试验，可采用建立电弧失效影响数学模型的方法进行分析。数学模型考虑三个方面：

1) 电弧能量模型 考虑布线系统

采用的断路器类型，确定电弧持续时间；依据产生电弧电路的电压、电流等因素，依据电路原理建立电弧产生的能量模型。

2) 电弧能量分配模型 根据发生电弧的导线所在线束、受影响材料与电弧距离、环境等因素，分析确定电弧能量对目标材料的影响系数；通过已有试验数据，进行模型修正。

3) 电弧影响模型 考虑飞机管路、导体等电弧可能影响的部件，根据所采用的典型材料的相变温度、融化温度、比热、熔解热、热传导率等材料特性，分析电弧产生的影响程度，建立相应的影响模型。

通过上述方法，评估电弧对飞机结构或硬件、对线束内其他导线的破坏程度，点燃EWIS材料或附近非EWIS材料的可能性，以及为了避免线束内和线束之间的破坏，而进行的必要的分开和隔离措施。

4 结论

新的适航规章提出了对EWIS进行安全性评估的要求。本文针对包含EWIS区域的区域安全性分析的新问题，分析EWIS物理失效的模式及影响，结合相关标准和咨询通告，提出了包含EWIS区域的ZSA流程，并给出了失效影响分析的方法，为EWIS满足适航要求的设计提供技术参考。

AST

参考文献

- [1] FAA. FAR 25. Airworthiness standards: transport category airplanes [S]. 2007.
- [2] 张绍杰，陶峰，黄一敏. 商用飞机EWIS安全性评估流程及关键技术[J]. 国际航空，2012(2): 54-57.
- [3] Society of Automotive Engineers. ARP4761. Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on airborne systems and equipments [S]. 1996.
- [4] FAA. AC 25.1701-1. Certification of electrical wiring interconnection systems on transport category airplanes [S]. 2007.
- [5] FAA. AC 25-27. Development of transport category airplane electrical wiring interconnection systems instructions for continued airworthiness using an enhanced zonal analysis procedure[S]. 2007.

作者简介

张绍杰，博士后，副教授，主要研究方向为机载系统安全性评估、控制理论与应用等。