

级联影响分析方法在 EE 舱通风冷却失效影响定级中的应用

仇志凡* 郑友石

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要: 民用飞机电子设备舱(EE 舱)通风冷却功能是保证舱内各系统的电子设备安全、正常工作的基础功能。随着民用飞机航电系统集成化程度的不断提高,越来越多系统的电子设备放置在 EE 舱内,通风冷却功能也越来越重要。若通风冷却功能失效,如何确定电子设备舱内设备工作情况、如何确定失效设备对飞机的影响、如何确定该失效模式的影响等级,这些问题急需解决。通过制定确定失效场景、判断直接影响、分析间接影响和分析全机综合影响的原则,研究基于级联影响分析技术的 EE 舱通风冷却功能失效影响定级问题。通过分析 EE 舱通风冷却系统架构和功能,确定通风冷却功能失效机理,定义通风冷却失效场景。通过级联影响分析技术,分析通风冷却失效对全机系统和整机的影响,适用于通风冷却失效全机综合安全性评估,为通风冷却功能失效影响定级提供技术支撑。

关键词: 级联影响分析;通风冷却;失效影响定级

中图分类号: V243

文献标识码: A

OSID:



0 引言

飞机多数系统的重要电子设备安装于飞机 EE 舱内^[1]。若 EE 舱通风冷却功能失效,电子设备可能受温度变化影响,其交联关系复杂,影响范围广,倍受关注^[2]。

通风冷却失效安全性分析涉及全机各交联系统和多系统专业^[3],需要完整正确地分析、评估通风冷却功能失效对整机的安全性综合影响,该工作分析难度大、分析任务繁重,且需要考虑功能失效组合的影响。

级联影响分析方法可以完整正确的捕获公共资源系统失效后对各交联系统的影响,验证系统架构设计的合理性,为系统级和飞机级的功能危险性评估提供支撑材料^[4]。根据级联影响分析的结果可以优化系统设计方案,若分析出某失效的安全性影响等级高于系统能满足的安全性等级,

可以准确定位,按需完善系统架构设计;若分析出某失效的安全性影响等级远低于系统能满足的安全性等级,可以适当减少冗余,降低成本,提高经济效益^[5]。

1 级联影响分析技术

级联影响分析方法(Cascading Effects Analysis, 简称 CEA),是一个自下而上的定性分析方法,它用来评估一个初始状态(如某一失效状态、失效模式或失效模式的组合)并捕获其对飞机的所有影响。CEA 可以迭代识别初始状态通过系统交联传播产生的直接和间接影响。CEA 应考虑与受初始状态影响的系统有直接或间接交联关系的所有系统。CEA 流程如图 1 所示,包括以下步骤:

- 1) 确定 CEA 范围;
- 2) 迭代确定初始状态对飞机的影响;
- 3) 反馈初始状态对飞机影响的描述到源分析。

* 通信作者. E-mail: qiuzhifan@comac.cc

引用格式: 仇志凡,郑友石.级联影响分析方法在 EE 舱通风冷却失效影响定级中的应用[J].民用飞机设计与研究,2022(2): 132-136. QIU Z F, ZHENG Y S. Application of cascading effects analysis method in rating the failure ventilation and cooling system of EE bay[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2022(2): 132-136 (in Chinese).

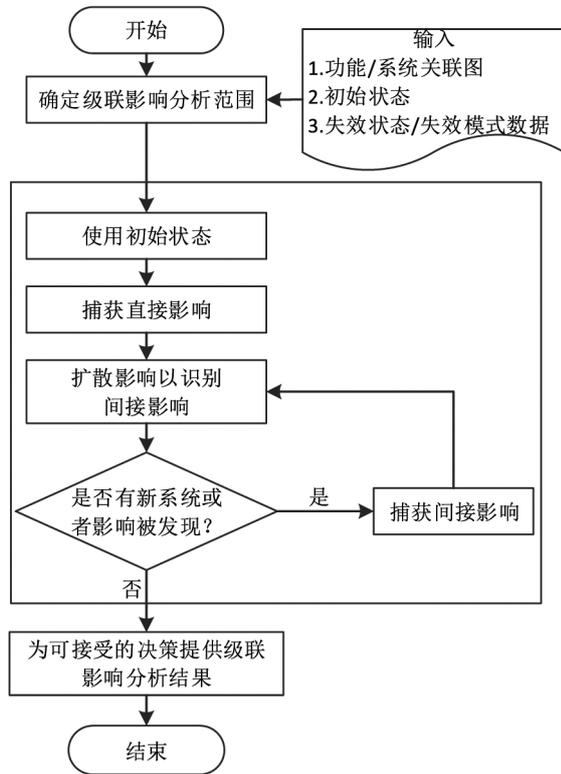


图1 CEA流程图

2 通风冷却失效级联影响分析原则

2.1 失效场景确定原则

1) 根据通风冷却功能原理及故障树,确定基本失效模式分类,如冷却方式(强迫风冷、排风)、是否有告警、EE舱所处位置(前EE舱、中EE舱)等;

2) 根据EE舱内电子设备热载荷和舱内通风量计算EE舱在丧失强迫风冷或排风的情况下的环境温度情况,作为不同冷却方式失效模式的分析条件;

3) 对于通告的失效模式,机组收到告警后改航,降落时间不会超过最大ETOPS改航时间,以飞机的最大ETOPS改航时间作为分析时长;

4) 对于未通告的失效模式,机组不会收到告警信息,继续飞行,以飞机的最大飞行时间作为分析时长。

2.2 直接影响判断原则

通风冷却失效的直接影响结果为EE舱内的设备在各失效模式下能否正常工作。根据确定的失效场景,分析已知设备在失效场景下的工作情况,采用以下原则:

1) 设备正常工作环境温度超出失效场景温度的,认为该失效场景下设备正常工作;

2) 设备鉴定试验中环境温度超出失效场景温度的,且鉴定试验时长超出失效场景分析时间的,认为该失效场景下设备正常工作;

3) 其它不符合1)或2)要求的,保守认为设备在该失效场景下失效。

2.3 间接影响分析原则

1) 将各用户系统直接影响分析的结果作为间接影响分析的输入,各相关系统分析对其自身产生的间接影响;

2) 以所有系统的间接影响为输入,各相关系统继续分析对其自身产生的间接影响;

3) 不断迭代上一步,直至各系统不再产生新的影响。

2.4 全机综合影响分析原则

梳理汇总所有级联影响(包括直接影响和间接影响),得到各失效模式导致的影响与失效状态,根据CCAR 25.1309条款^[6]要求综合分析其对飞机的安全性影响,也可通过开展飞行员评估或试验,判定通风冷却各失效模式对飞机的综合影响等级。

2.5 EE舱通风冷却失效影响定级

根据EE舱通风冷却系统设计架构,对比通风冷却失效对全机的综合影响,若设计架构研制保证等级满足要求,则分析出的综合影响等级可直接作为通风冷却失效模式的影响定级;若设计架构无法满足影响等级要求,则需修改通风冷却设计架构或更改舱内设备冷却方式,降低失效模式的影响。

3 EE舱通风冷却失效模式分析

3.1 功能正常运行场景

电子设备通风方式包括强迫风冷和排风^[7-8]:对于强迫通风冷却设备,采用鼓风和排风相结合的方式通风冷却;对于自然对流冷却设备,采用排风的方式使设备周围环境温度满足要求。一般EE舱通风冷却系统功能原理如图2所示。

强迫风冷方式利用鼓风风扇抽取飞机货舱三角区的空气,通过强迫通风设备的内部进行冷却,在鼓风风扇上游设有过滤器,鼓风风扇自带单向活门,防止逆流,在鼓风风扇的下游装有冷却效果

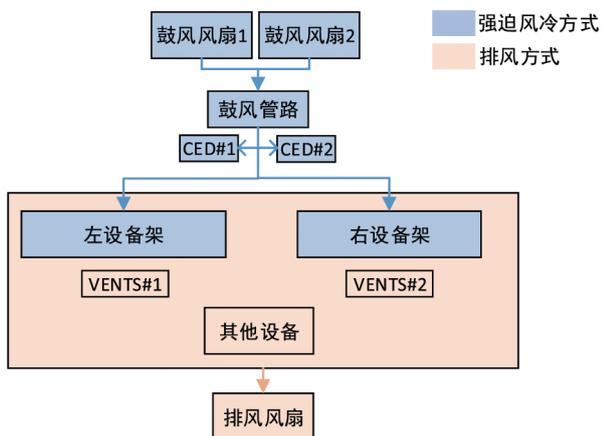


图 2 EE 舱通风冷却系统功能原理

探测器 (CED), 监测冷却空气的流量和温度; 排风方式抽吸舱内热空气进行排风冷却, EE 舱内装有区域温度传感器 (VENTS), 对舱内温度进行温度监控。为保证电子设备正常工作, RTCA/DO-160^[9] 和 ARINC600^[10] 规定了电子设备环境通风系统的冷却要求。

3.2 通风冷却功能失效场景

EE 舱内强迫风冷功能丧失或是排风功能丧失都会导致通风功能丧失。图 3 为某飞机未通告的 EE 舱通风功能丧失故障树, 对于通告的 EE 舱通风功能, 其故障树不包含 CED 失效和 VENTS 失效。

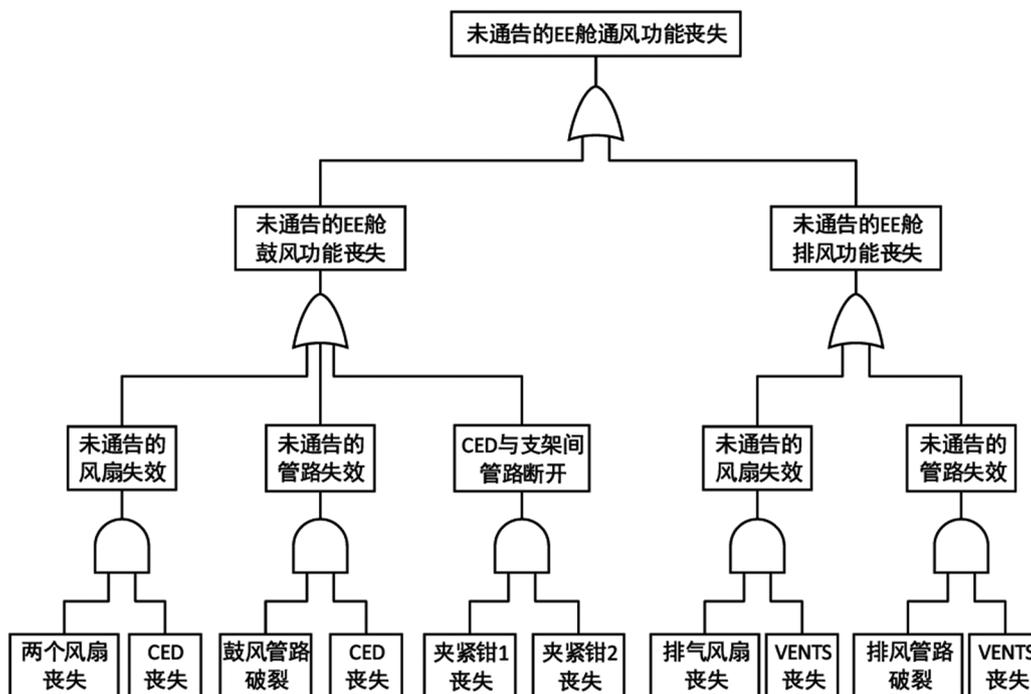


图 3 某飞机 EE 舱通风冷却丧失故障树

4 级联影响分析技术应用案例

某型飞机 EE 舱通风冷却功能失效模式及安全性目标如表 1 所示。

表 1 通风冷却功能失效模式及安全性目标

失效模式	环境 温度 分析/℃	时间/ min	安全性 目标
通告的强迫风冷丧失	≤50	120	IV
未通告的强迫风冷丧失	≤50	300	III
通告的排风丧失	≤55	120	IV
未通告的排风丧失	≤55	300	III

该型飞机通告的失效可接受的安全性等级为 IV 类, 未通告的失效可接受的安全性等级为 III 类; 强迫风冷丧失后舱内温度不超过 50 °C, 排风丧失后舱内温度不超过 55 °C; 最大 ETOPS 改航时间为 120 min, 最大飞行时间为 300 min。

以“未通告的 EE 舱强迫风冷丧失”为例, 分析该失效模式导致的所有影响, 直接失效影响结果见表 2, 所有间接影响结果见表 3, 对飞机的综合影响见表 4。

对比表 1 中“未通告的 EE 舱强迫风冷丧失”失效模式 III 类的安全性目标, 该失效模式对全机的综合影响等级为 III 类, 满足安全性要求。

表 2 “未通告的 EE 舱强迫风冷丧失”直接影响分析结果

受影响用户	失效设备	直接影响	影响等级
主飞控	FCM、ACE、PCM	丧失正常模式	III
		丧失俯仰控制增稳	III
		丧失滚转控制增稳	III
		丧失协调转弯	III
		丧失失速保护	III
		丧失俯仰姿态保护	III
		丧失滚转角保护	III
无线电导航	多模接收机	丧失 ILS 信息	III
		丧失 GLS 信息	IV
		丧失 GPS 位置信息	IV
综合监视	综合监视计算机	丧失 S 模式应答机	III
		丧失 ADS-B Out	III
		丧失反应型风切变	IV
		丧失预测型风切变	IV
客舱	ACU、CIU、BC、DSU/MSU	丧失旅客广播	IV
		丧失机组与乘组之间的内话	IV
		丧失乘组与乘组之间的内话	IV
		丧失机组/乘组呼叫功能	IV
信息	通用信息处理机柜	丧失客舱谐音	IV
		丧失网络安全服务	IV

表 3 “未通告的 EE 舱强迫风冷丧失”间接影响分析结果

上一轮分析的影响	受影响用户	间接影响	影响等级
主飞控:FCM 失效	自动飞行	丧失安全自动着陆	III
		丧失飞行指引	IV
		丧失推力等级	IV
	高升力	丧失襟翼自动收回	IV
		丧失襟缝翼巡航锁定	IV
		丧失安全自动着陆	III
无线电导航:多模接收机失效	自动飞行	丧失飞行指引	IV
		丧失 ILS 信息	IV
综合监视:丧失反应型/预测型风切变	指示记录	丧失两侧 HUD ILS 偏差指示	IV
	自动飞行	无法激活风切变指引模式	V
自动飞行:丧失飞行指引	指示记录	丧失两侧 HUD 飞行导引信息	IV
	飞行管理	丧失 FMS 水平导引信息	III

表 4 “未通告的 EE 舱强迫风冷丧失”整机综合评估表

重要功能失效	对飞机的影响	对乘员的影响	对飞行机组的影响	综合影响等级
丧失飞行导引和 FMS 水平导引信息,丧失自动着陆,丧失正常模式、俯仰/滚转控制增稳、协调转弯、失速保护、俯仰姿态保护和滚转角保护,丧失 ILS 信息,丧失 S 模式应答机	异常的行驶轨迹或姿态,稳定裕度降低,俯仰/滚转姿态存在异常风险,需要通过目视或信号等其它手段确保飞机安全间隔,极大地降低功能特性和安全裕度	感到不舒适	就近合适机场上,人工操作,需要通过其它手段通告本机 ATC 失效情况,极大增加工作负担	III

5 结论

本文将级联影响分析方法应用在民用飞机通风冷却失效影响定级中,该方法适用于通风冷却失效全机综合安全性评估,可为通风冷却失效影响定级提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 张继斌, 聂雷. 民用飞机电子设备舱通风冷却系统研究[C]//中国航空学会. 2016 第五届民用飞机航电系统国际论坛论文集. 北京:中国科学技术出版社,2016.
- [2] 丁晓丽. 飞机电子设备舱通风冷却系统[J]. 国防制造技术, 2019,12(4):46-48.
- [3] 张娅妮,陈菲尔,田洋. 机载电子设备冷却散热技术的发展[J]. 航空计算技术,2012,42(4):113-116.
- [4] SAE. Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment: SAE ARP4761 [S]. USA: SAE, 1996.
- [5] SAE. Guidelines for development of civil aircraft and systems: SAE ARP4754A[S]. USA: SAE, 2010.

- [6] 中国民用航空局. 设备、系统及安装: CCAR 25. 1309 [S]. 北京:中国民用航空局, 2009.
- [7] 安杨,马俊,白宏伟,等. 某型机电子设备舱空气冷却系统设计[C]//中国航空学会. 第八届中国航空学会青年科技论坛论文集. 北京:中航出版传媒有限责任公司,2018:640-644.
- [8] 刘牧,袁建新. 电子设备舱设备架通风设计与仿真计算[J]. 科技视界, 2017(3):96-97.
- [9] RTCA. Environmental conditions and test procedures for airborne equipment: RTCA DO-160G [S]. USA: RTCA, 2010.
- [10] AEEC. Air transport avionics equipment interfaces ARINC specification: ARINC 600-19[S]. USA: AEEC, 2011.

作者简介

仇志凡 女,硕士,助理工程师。主要研究方向:安全性评估。E-mail: qiuzhifan@comac.cc

郑友石 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:安全性评估。E-mail: zhengyoushi@comac.cc

Application of cascading effects analysis method in rating the failure ventilation and cooling system of EE bay

QIU Zhifan * ZHENG Youshi

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

Abstract: The ventilation and cooling function of civil aircraft electronic equipment cabin (EE cabin) is the basic function to ensure the safety and normal operation of electronic equipment in cabin. With the continuous improvement of avionics system integration of civil aircraft, more and more system electronic equipment is placed in EE cabin, and the ventilation and cooling function are becoming more and more important. If the ventilation and cooling function fail, how to determine the working condition of the equipment in the electronic equipment cabin, how to determine the impact of the failed equipment on the aircraft, and how to determine the impact level of the failure mode, these problems need to be solved urgently. Based on the principles of determining the failure scene, judging the direct impact, analyzing the indirect impact and analyzing the comprehensive impact of the whole machine, this paper studies the impact rating problem of EE bay ventilation and cooling function failure based on Cascading Effects Analysis Method. By analyzing the architecture and function of EE bay ventilation and cooling system, the failure mechanism of ventilation and cooling function was determined, and the failure scene of ventilation and cooling was defined. Using Cascading Effects Analysis Method, the influence of ventilation cooling failure on the whole machine system was analyzed, which was suitable for the comprehensive safety assessment of ventilation cooling failure, providing technical support for rating the influence of the ventilation and cooling function.

Keywords: cascading effects analysis; ventilation and cooling; failure rating

* Corresponding author. E-mail: qiuzhifan@comac.cc