

潜在分析技术在飞机改装中的应用研究

李颖¹, 崔媛媛², 贺尧²

1 北京航空航天大学, 北京 100191

2 北京飞机维修工程有限公司, 北京 100621

DOI: 10.61369/ERA.12261

摘 要 : 潜在分析技术是提高民用航空安全性的一项重要分析方法, 旨在分析非设计人员预期的状态或通路而导致系统产生非期望的功能。本文论述了潜在分析技术在飞机改装中的应用^[1], 在潜在分析技术的方法流程的基础上, 紧密结合飞机改装目前的工程实际情况, 深入探讨了潜在分析技术在飞机改装中的应用并结合实际案例进行了分析。

关 键 词 : 潜在分析; 飞机改装; 民用航空

Application of Sneak Analysis Technique in Aircraft Modification

Li Ying¹, Cui Yuanyuan², He Yao²

1. Beihang University, Beijing 100191

2. Aircraft Maintenance and Engineering Corporation, Beijing 100621

Abstract: sneak analysis technique is an important analysis method to improve the safety of civil aviation. it aims to analyze the state or path that is not expected by the designer and lead to the unexpected function of the system. this paper discusses the application of sneak analysis technology in aircraft modification. on the basis of the method and process of I sneak analysis technology, the application of sneak analysis technology in aircraft modification is deeply discussed and analyzed in combination with practical cases.

Keywords: sneak analysis technique; aircraft modification; civil aviation

随着飞机改装业务的兴起, 飞机改装的电路设计也由简单的增加线缆逐步演变为复杂的系统设计, 在规模较大、组成较为复杂的改装项目设计过程中, 由于线路复杂, 而改装设计工程师缺乏对飞机原有设计的整体把握, 很容易在设计中引进潜在电路, 导致在系统 / 部件均未发生失效的情况下, 产生非设计人员预期的状态或通路, 从而对飞机的安全性产生不利影响, 因此, 在复杂的改装系统设计中, 通过潜在电路分析技术事先分析出系统的潜在问题并采取改进措施^[2], 对于飞机改装的安全性及可靠性是非常必要的。

一、国内外潜在分析技术发展现状

潜在电路分析的概念来自于1961年对美国红石火箭发射事故的调查和分析。美国红石火箭在某次发射时由于尾插头较脱落插头早断开29ms, 使点火指示信号通过指示灯后又通过潜通路(紧急关机指示继电器线圈和抑制二极管、TC、关机线圈到地), 导致火箭刚起飞又被关机, 掉回了发射台。1976年, 美国国家宇航局 NASA 为了提高阿波罗登月计划中系统的安全性和可靠性, 委托波音公司进行了潜在分析技术的研究, 波音公司在1970年与1976年相继开发出模拟及数字电路的潜在分析技术, 并在1978年开发出混合电路的潜在分析技术。而在国内, 人们从八十年代末至九十年代初期也开始了潜在问题的研究, 在1987年前后中国航天总公司就开始引入有关资料, 1990年潜在问题通路的分析技术也被列入中国航天九五工程重大预研课题。后续, 在航空航天领域, 陆续开展了很多潜在分析研究, 航天部12所研发的CANTGS、航天部301所、611所和成都电子科技大学联合开发

的计算机辅助 SCA 软件 UEST-611-301SCAS 均可采用不同的计算机辅助技术完成潜在问题的分析。

二、潜在电路分析概述

(一) 潜在电路分析原理

由于系统设计电路往往比较复杂, 即使使用成熟的线索表也很难清晰明了得分析出线路中的潜在问题, 因此, 潜在电路分析首先基于两个基本原理, 一个是划分原理, 一个是类似电路拓扑模式表现出类似电路行为的原理, 利用以上两个原理, 可以将复杂电路划分为很多单独的网络树, 并通过对网络树中拓扑模式的识别发现系统中的潜在电路。

波音公司通过研究^[3]发现, 所有的电路都可以归纳为5种拓扑结构, 分别是直线性、电源拱形、接地拱形、组合拱形以及 H 型, 也可简单称之为 I 型、Y 型、倒 Y 型、X 型和 H 型, 在通过划分原理将复杂电路分块划分为独立的网络树后, 通过识别网络

作者简介: 李颖(1988.03-), 女, 羌族, 四川省阿坝藏族羌族自治州人, 北京航空航天大学高级工程师、硕士研究生, 研究方向: 装备通用质量特性设计及分析。

树中的5种拓扑结构,利用线索表对网络树进行识别和分析,以便发现系统中的潜在电路问题。

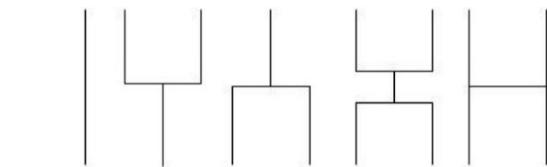


图 1 拓扑结构

其中,网络树的生成,目前已有较多成熟的计算机辅助工具可以自动绘制网络树图,而线索表是由相关专业人员通过调查收集大量的历史案例,并加以深入分析提炼而产生的经验性知识库。

(二) 潜在电路分析方法

目前常见的两种潜在电路的分析方法分别为基于网络树生成的拓扑模式识别的分析方法和基于功能节点识别和路径追踪的分析方法,其中应用比较多的是基于网络树生成和拓扑模式识别的分析方法。而基于功能节点识别和路径追踪的分析方法的本质也是基于拓扑模式识别。虽然由于基于功能节点识别和路径追踪的方法只关心路径,不具有揭示潜在时序、潜在指示等潜在问题的能力,但是结合飞机改装目前设计电路的情况^[3],使用该方法可以简化潜在分析的复杂程度和工作量,更适用于飞机改装工程初步应用。

三、潜在电路分析方法在飞机改装中的应用^[4]

(一) 分析对象

潜在电路包括四种表现形式,分别是潜在路径、潜在时序、潜在指示和潜在标志。现阶段改装项目大多集中在后舱,涉及前舱以及飞行员操作的改装较少,目前飞机改装关注的潜在电路问题主要集中在潜在路径和潜在时序。^[6]

而在分析对象方面,首要工作是筛选出待分析电路,尤其是大型客舱改装,涉及系统和电路较多,若全部开展潜在电路分析,一方面所需成本和时间会很高,另一方面,由于飞机改装中部分电路并不和 OEM 系统连接,且其功能属于非关键非必要,不论是其失效还是潜在电路,并不会对飞机飞行安全造成不利影响,因此也无需对其开展潜在电路分析。

飞机改装优先需要分析的是和飞机 OEM 系统相连接的系统,因为虽然这些系统本身可能是非必要非关键的系统,但它们的潜在电路可能会导致飞机 OEM 系统发生故障从而对飞机的安全造成不利影响。

其次,需开展功能危险分析,通过对系统的功能、失效状态以及失效影响的分析,梳理出其功能失效可能会对飞机造成不利影响的关键系统。

以上两者是飞机改装中主要需要进行潜在电路分析的对象。

(二) 分析流程

在明确了分析对象之后,飞机改装的潜在电路分析整个流程可以划分为三个阶段,准备阶段、分析阶段和结论阶段^[7]。具体的分析流程如图 2 所示。

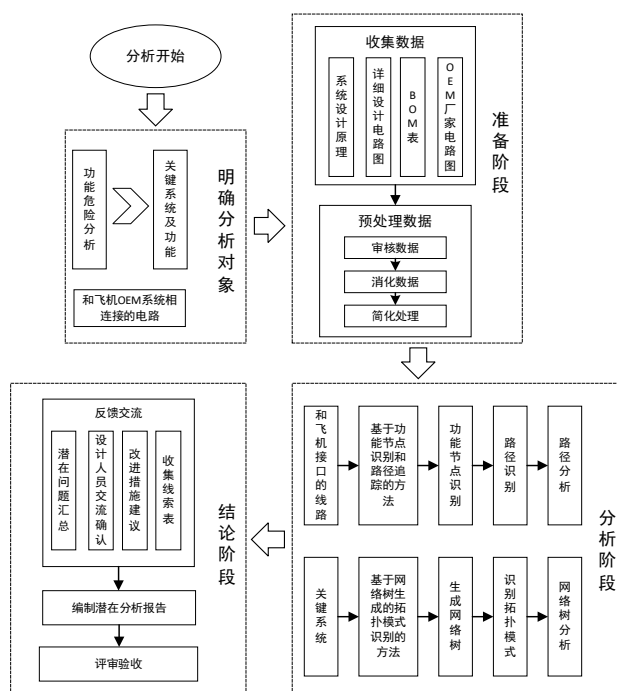


图 2 分析流程

准备阶段主要工作是收集和预处理数据,对于飞机改装项目,主要收集的数据包括设计定型的详细设计电路图、BOM 表以及和改装线路连接的 OEM 厂家电路图,收集的对象主要包括与飞机 OEM 系统相连的系统电路以及通过安全性分析确定关键系统。

在完成上述数据的收集后,需对所收集的电路进行预处理,包括审核数据、消化数据以及简化处理三个方面的内容。准备阶段最重要的是简化处理,包括将复杂的电路按照边界点切分为较小的部分,为后续网络树生成或路径识别提前做好工作。其中,在飞机改装设计中,以下部件需要进行简化处理以便开展潜在分析:

1. 转接插头插座:飞机改装中,为保证构型的快速变换,会使用大量的转接插头插座;
2. 设备:已获得适航取证的设备或非本次分析对象的设备可按照黑盒简化处理;
3. 邦迪块:一个邦迪块上往往有多个系统的插钉,这也往往是造成分析电路复杂的原因,需简化和待分析电路无关的导线和插钉;
4. 继电器:改装所使用的继电器多为多触点的继电器,和待分析电路无关的触点可简化处理;

分析阶段的任务是利用线索表,对网络树或路径进行分析,识别所有功能/路径,然后与设计意图图比较,若两者一致,则说明系统设计符合设计要求,若两者不一致,则说明系统中可能存在潜在路径。

在结论阶段,编写潜在电路初步分析报告,并将报告中发现的问题和系统设计人员深入沟通分析,确定这些问题在设计中是否确实存在以及在系统工作过程中是否有可能被激发。

(三) 分析方法

如前文所述,常用的分析方法包括基于网络树生成的拓扑模式识别的分析方法以及基于功能节点识别和路径追踪的方法。

对于基于网络树生成的拓扑模式识别的分析方法，主要工作包括网络树的绘制、拓扑模式的识别以及应用线索表进行分析。

针对飞机改装，网络树的绘制可采取将各级跳开关以及接地作为划分边界点，将供电的跳开关绘制在上或左，接地点绘制在下或右的方法，以便识别拓扑模式^[8]。在识别了相应的拓扑结构后，可应用线索表对网络树以及所识别拓扑模式进行分析，并将分析结果和设计意图想比较，就能发现实际电路和预期功能之间是否存在偏差，若存在偏差则说明可能存在问题。

对于基于功能节点识别和路径追踪的方法，主要工作包括路径的识别以及应用线索表进行分析。针对飞机改装，可以将与飞机 OEM 的接口作为分析路径的终点，将供电跳开关或接地位置作为分析路径的起点，然后遍历识别它们之间的所有路径，并应用线索表对所识别的路径进行分析。

不论采用哪种分析方法，一个很重要的因素是充分且完善的线索表，线索表通常可根据不同的分析方法分为不同的线索表，如基于网络树的元器件应用线索、功能设计线索、拓扑结构线索，以及基于路径追踪的路径线索和路径－器件线索，线索表需在现有的通用线索的基础上。

四、案例

某型号飞机加装系统后，在试验过程中，偶然发现 1L 门打开状态下，ECAM 和 FAP 均指示舱门已关闭，进行排查后发现，将 E 卫生间顶部的新加装的控制盒脱开后，1L 门指示恢复正常，更换控制盒后现象已然存在。

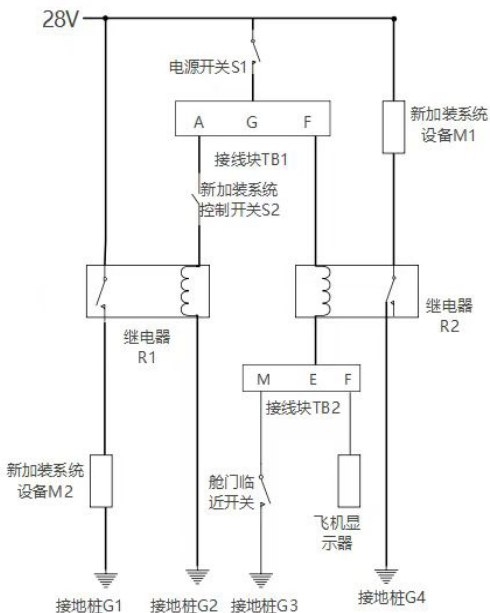


图 3 简化后线路图

将新加装系统的线路简化如图 3 所示。左上角为飞机 28V 电源，该电源通过接地块 B1 分别为继电器 R1 和继电器 R2 提供电源，正常通路为电源开关 S1 闭合，当新加装系统控制开关 S2 闭合时，新加装系统设备 2 开始工作，继电器 R1 吸合，新加装系统

设备 M1 开始工作，当 1L 舱门关闭，舱门临近开关闭合，继电器 R2 吸合，新加装系统设备 M2 断电停止工作^[10]。

将简化后线路图中的开关闭合状态进行组合分析，用 0 表示开关断开，用 1 表示开关闭合，电源开关 S1、新加装系统控制开关 S2 和舱门临近开关存在 23 种开断组合状态，具体组合见表 1 所示。

表 1 开关组合状态

序号	电源开关 S1 状态	新加装系统控制开关 S2 状态	舱门临近开关 S3 状态	系统开关组合
1	0	0	0	0-0-0
2	0	0	1	0-0-1
3	0	1	0	0-1-0
4	0	1	1	0-1-1
5	1	0	0	1-0-0
6	1	1	0	1-1-0
7	1	0	1	1-0-1
8	1	1	1	1-1-1

在 8 种开关开断的组合状态下，经分析存在以下几种信号传输途径，见表 2 所示。

表 2 信号传输路径

序号	开关状态	信号传输路径
1	0-0-0	28V-M1-R2(A1)-R2(A2)-G4
2	0-0-1	28V-M1-R2(A1)-R2(A2)-G4
		G3-S3-TB2-M3
3	0-1-0	28V-M1-R2(A1)-R2(A2)-G4 G2-R1(X2)-R1(X1)-TB1-R2(X1)-R2(X2)-TB2-M3
4	0-1-1	28V-M1-R2(A1)-R2(A2)-G4 G2-R1(X2)-R1(X1)-TB1-R2(X1)-R2(X2)-TB2-M3 G3-S3-TB2-M3 G2-R1(X2)-R1(X1)-TB1-R2(X1)-R2(X2)-TB2-G3
5	1-0-0	28V-M1-R2(A1)-R2(A2)-G4
6	1-1-0	28V-R1(B1)-R1(B2)-M2-G1 28V-M1-R2(A1)-R2(A2)-G4
7	1-0-1	G3-S3-TB2-M3
8	1-1-1	28V-R1(B1)-R1(B2)-M2-G1 G3-S3-TB2-M3

结合该系统的设计功能分析，明显 G2-R1(X2)-R1(X1)-TB1-R2(X1)-R2(X2)-TB2-M3 这条信号传输路径属于设计人员设计意图以外的通路，结合故障现象，可以分析得出，故障发生是因为对于接线块 TB1 而言，当电源开关 S1 闭合时，TB1 传输的是 28V 电信号，但是当电源开关 S1 断开时，G2 的地信号通过继电器 R1、接地块 TB1、继电器 R2 及接地块 TB2，传输至飞机 SDAC，导致飞机 1L 舱门不论处于打开或关闭状态，ECAM 和 FAP 均指示舱门已关闭。

五、结论

潜在电路分析技术在飞机改装中的应用，能够在设计阶段识

别出非预期的电路状态或通路，避免因潜在路径、潜在时序等问题导致系统功能异常，进而优化改装设计流程，有效识别和消除

潜在电路问题^[9]，对提高飞机改装的安全性、可靠性和适航性具有重要意义。

参考文献

[1] 李明, 王强. 潜在电路分析技术及其在航空航天中的应用 [J]. 航空学报, 2005, 26(3): 45-52.

[2] 陈刚, 王磊. 航空电子系统潜在通路分析方法研究 [J]. 电子测量技术, 2020, 43(8): 67-73.

[3] 王海燕, 孙建国. 民用飞机改装中的安全性分析与潜在电路检测 [J]. 民用飞机设计与研究, 2015, 25(2): 56-62.

[4] 高翔, 李娜. 潜在电路分析技术在飞机改装适航认证中的应用 [J]. 适航与安全, 2019, 40(1): 22-28.

[5] 刘洋, 陈静. 潜在分析技术在航空电子系统中的应用研究 [J]. 航空学报, 2019, 40(5): 45-52.

[6] Smith, J., & Brown, T. Safety analysis techniques for aircraft modification[C]. In Proceedings of the International Conference on Aerospace Engineering, 2018, 123-130.

[7] 赵鹏, 孙丽. 民用航空器改装工程管理 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2021.

[8] Johnson, R. Advanced sneak circuit analysis for modern aircraft systems[J]. Aerospace Engineering Journal, 2022, 15(2): 89-97

[9] 王磊, 李娜. 航空电子系统设计与改装 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2020.

[10] 张伟, 王芳. 飞机改装工程中的安全性设计 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2021.