

飞机高强度辐射场 (HIRF) 防护分析

Analysis on Aircraft HIRF Protection

中国民航大学 贾宝惠 刘东山

[摘要] 首先通过对HIRF引起的飞行事故的介绍,提出研究HIRF防护的必要性,接着介绍了HIRF防护条款在国内外的的发展及相关要求,在此基础上研究了飞机HIRF合格审定方法,最后对比了实施HIRF防护适航条款前后的费效比,指出实施HIRF防护条款后有更大收益,对我国在HIRF防护领域开展相关研究具有借鉴意义。

关键词: HIRF 防护 适航 合格审定 费效比

[ABSTRACT] First, some accidents caused by HIRF are introduced, and the necessity of researching HIRF protection is proposed. Then, the history of HIRF protection's evolution in western countries is reviewed and the requirements associated with it are introduced. On the basis of that, the method of aircraft HIRF certification is studied. At last the cost benefit analysis of applying HIRF protection is introduced, and the conclusion is that implementing HIRF protection has more benefits and can serve as a reference for our research in related areas.

Keywords: HIRF protection Airworthiness Certification Cost benefit

高强度辐射场 (High Intensity Radiated Field, HIRF) 是来自地面、舰船、海上平台或航空器上的雷达、无线电、电视、卫星上行数据等高功率发射机的辐射,它是由人类活动造成的电磁环境问题,特点是频带宽、作用时间长。现代民用客机中电子设备应用越来越多,而这类设备更容易受高强度电磁辐射的影响,高强度电磁辐射已成为影响飞机安全的重要因素。

1 研究 HIRF 防护的必要性

1990年4月15日,在卡罗莱纳州北部,一艘某型飞艇在横穿由美国之音的天线发射出的定向射频时两个引擎突然同时失效,致使飞艇在迫降时撞在树上并最终掉落地面。1999年3月2日,一架某型直升机遭遇一个广播电台发出的高频波,直升机的通信系统、无线电导航系统以及内部通话装置都受到影响,发动机和转子指示仪表都显示它们的工作状态下降。事后调查发现,两

起事故的可能原因都是因为受到电磁波和辐射场的影响,并且它们都缺少电磁防护。

尽管到目前为止没有事实证明由于HIRF影响直接导致运输机失事,但航电系统设备在HIRF环境下常常出现的一些异常症状却是对安全运行的最大威胁。HIRF环境对飞机电子电气系统造成不利影响是因为^[1]:

(1)从飞机本身来看,执行关键功能的传统机械或机电控制及机电指示系统已逐渐被电子式飞行控制系统、电子式显示指示系统和全权限数字式发动机控制器等所替代,而这些设备对外部电磁环境的敏感程度显然高于传统的系统。

(2)随着导电性低的复合材料越来越多地出现在新型飞机上,使得飞机对外部电磁环境的屏蔽效能大大降低。

(3)飞机上的数据总线越来越多,处理器的运行速度越来越快,集成电路的密度越来越高,电子设备更加敏感,这些都使得电子电气系统更容易受到HIRF的影响。

(4)现在射频发射机的数量和功率增加,工作方式增多(如地面雷达、通信和广播电视发射台、舰载和机载射频发射机等),使得空间电磁频谱变宽,电磁场强度增大。

以上几种情况使近年来由于外部电磁环境引起的飞行事故时有发生。如在外部高强度电磁辐射环境的影响下,飞行操纵系统不稳定、控制舵面错误运动、发动机转速突然变化、导航指示器的航向、高度等参数显示错误等,从而导致飞机坠毁等严重事故。所以,对HIRF效应的影响进行量化研究势在必行。

2 HIRF 防护适航审定条款的发展

2.1 HIRF 防护条款在西方的发展

美国和欧洲都有专门机构,进行了多年HIRF环境研究。通过多年的工作,他们在HIRF防护设计技术、预测分析技术、适航符合性验证技术等方面积累了丰富的经验。经过长时间的酝酿和讨论之后,美国联邦航空局 (FAA) 于2007年12月1日正式颁布了关于大型运输类飞机HIRF防护的适航条款。

在此之前FAA曾发布了3个有关HIRF影响的适

航指令。针对 HIRF 环境会引起某型飞艇发动机失效,颁发了 AD 91-03-05,要求更换该飞艇的点火控制装置;针对射频信号会引起某型号姿态航向基准系统(AHRS)的不正常反应,颁发 AD 96-21-13,要求对其进行改装;针对电磁干扰对某型飞机发动机电子组件造成的不良影响,颁发 AD 98-24-05,要求更换相关组件。

2.2 FAA 关于大型运输类飞机 HIRF 防护的适航条款要求

FAA 在 FAR 25 部中,要求大型运输类飞机对于 HIRF 防护要满足以下要求^[2]。

(1) 对于其功能失效会影响或妨碍飞机继续安全飞行和着陆的每种电气、电子系统的设计和安装,必须保证:飞机在遭遇高强度辐射场环境 I 以及之后的一段时间里,执行这些功能的系统不受不利影响,并且系统应能够及时自动恢复正常功能(当系统恢复与其他系统操作需求或功能需求冲突时除外);飞机在遭遇高强度辐射场环境 II 以及之后的一段时间里,系统不受不利影响。

(2) 对于其功能失效会显著降低和降低飞机能力或飞行机组处理不利运行条件能力的各种电气和电子系统的设计与安装,必须保证飞机在遭遇高强度辐射场设备测试水平 1 或 2 时,系统不受不利影响。

(3) 在 2012 年 12 月 1 日前,对于其功能失效会影响或妨碍飞机继续安全飞行和着陆的每种电气、电子系统的设计和安装若没能达到规定(1)的要求,则需证明:系统符合 HIRF 的特许条件(见 FAR21-16,发布于 2007 年 12 月 1 日前);系统符合 HIRF 的特许条件后系统的 HIRF 防护设计没有进行更改;需提供证明系统符合特许条件的数据。

上述要求中所提到的高强度辐射场环境 I、II 以及

高强度辐射场设备测试水平 1 和 2 详见文献 [2]。

2.3 CAAC 关于 HIRF 防护的要求

在 2003 年以前,中国民航适航等部门未曾提出过 HIRF 的防护问题,国内在 HIRF 防护设计、预测分析、试验验证技术方面基本处于空白状态。随着新型支线客机项目的启动,中国民用航空总局适航司依据 FAA N8110.71《运行在 HIRF 条件下的航空器合格审定指南》及 AC/AMJ20-1317《运行在 HIRF 条件下的航空器合格审定》,颁布了针对该机的 HIRF 专用条件和问题纪要^[3]。

目前,我国正在启动大型飞机项目,未来它在适航符合性验证过程中也必然会遇到 HIRF 的防护问题,即必须满足 CAAC 的 HIRF 防护要求。在新支线飞机的研制中,我们已针对适航当局提出的 HIRF 专用适航要求,开展了飞机 HIRF 的防护设计、适航符合性验证和试验等工作。尤其是飞机级适航符合性验证试验技术等方面的研究工作,为飞机的 HIRF 防护技术研究积累经验。但是我国民机 HIRF 防护技术研究仍处于起步阶段,在 HIRF 设计防护技术、预测分析技术、适航符合性验证等方面有待进行深入研究,与国际上日趋成熟的 HIRF 防护技术相比依然存在很大的差距。

可以预见,大型飞机研制将会更多地采用复合材料,HIRF 的防护问题将更为严峻,我国应及早启动预研攻关工作。

3 飞机 HIRF 防护合格审定内容

飞机 HIRF 合格审定方法的基本内容见图 1^[4-7]。

3.1 确定要评估的系统

必须先确定需要 HIRF 评估的飞机系统。所选择的系统,其失效会影响飞机的飞行安全。因此,遭遇 HIRF

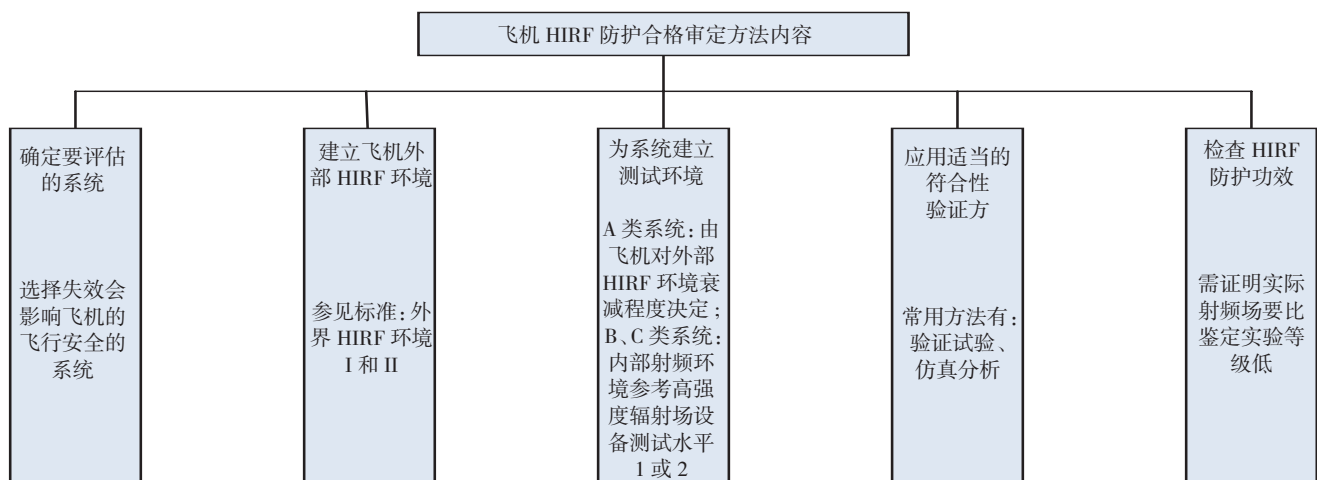


图1 飞机HIRF防护合格审定内容

Fig.1 Content of aircraft HIRF certification

所受到的影响如何,应该看它对飞机或对飞机系统的安全的影响程度。飞机系统的操作应该单独评估,然后跟其他系统相结合再进行评估。这个评估应该包括:

(1)所有正常的飞机操作模式、所有的飞行阶段和操作条件;

(2)所有失效状况以及它们对飞行操作和机组人员的后续影响;

(3)任何必需的校正行为。

跟HIRF相关的安全评估应当找出设备或系统的失效状况,并对其进行分类。失效状况以及系统的分类如下:A类是灾难性的,是指该系统失效会妨碍飞机继续安全飞行和降落。B类是有危险性的,是指该系统失效会严重降低飞机飞行能力或严重影响机组人员处理危害的能力。C类是较大的,是指系统失效会降低飞机飞行能力或影响机组人员处理危害的能力。

安全评估应考虑到系统失效、故障造成的所有不利影响。安全评估可能显示一些系统在不同的飞行阶段有不同的失效状况;因此,在不同的飞行阶段,系统对HIRF防护会有不同要求。比如,自动飞行控制系统在自动降落时会有灾难性的失效状况,而在巡航阶段会有危险性的失效状况。

3.2 建立适当的飞机外部HIRF环境

外界HIRF环境I和II读者可参阅文献[3]。

3.3 为安装的系统建立测试环境

外部HIRF环境会穿透飞机并形成内部射频环境,而电子电气系统就暴露其中。内部射频环境的产生是由一系列因素相互作用引起的,比如飞机的孔缝、飞机内部结构和线路的再辐射,还有典型的飞机电子共振。

对A类系统,最终的内部HIRF环境是由飞机对外部HIRF环境I、II衰减程度决定的。对A类系统要进行设备级、系统级和飞机级的符合性验证。对B、C类系统,内部射频环境参考高强度辐射场设备测试水平1或2,两类系统要进行设备级和系统级的符合性验证。

3.4 应用适当的HIRF符合性验证方法

为每个系统建立特殊的HIRF符合性通过/否决标准。那些标准应当通过局方的审核。还要找出跟那些标准相关的监测系统性能的方法,并通过局方的审核。所有通过/否决标准中的结果都应该是对系统进行分析后等到的结果。这个分析应当包括评估系统性能的失效,偶然的或者是由其他对系统性能有反作用的原因联合引起的。

HIRF符合性验证方法包括:验证试验(飞机级试验、系统级试验、设备级试验)、仿真分析(一般用于飞机设计前期,用来发现不足之处,以减少风险)。

3.5 检查HIRF防护的功效

需要证明在系统和设备线束上的射频电流以及由HIRF环境引起的,在系统上形成的射频场,比设备或系统HIRF鉴定试验等级要低。

4 实施HIRF防护适航条款的费效比研究

实施HIRF防护适航条款,势必引起飞机制造和审核成本的增加。曾经有人担心如果电子电气系统安装到飞机上因HIRF防护需要重新取证的话,很多公司会花费很大一部分检验费用,得到的安全收益却很小。以下对FAA在实施HIRF防护条款前后的成本与收益做简要分析^[8]。

4.1 实施HIRF防护适航条款前后的增加成本对比

实施HIRF防护条款前后增加成本对比见表1(以10年为期)。

在第一列,对于25部飞机的制造者来说没有额外增加的HIRF防护费用,对于多数的FAR23部和29部飞机的制造者有相对较低的增加费用,因为它们已经满足了之前HIRF防护的相关规定。对于剩余FAR23部和29部飞机的制造者有适中的增加费用,对于大多数的FAR27部旋翼机有更低的增加费用,这是因为:他们的旋翼机没有安装复杂的电子系统;或者是他们不打算把旋翼机卖到国外。如果以10年为期,在实施HIRF防护适航条款之前,飞机因HIRF防护总共增加的成本是28.6百万美元。

在第二列,FAA颁布HIRF防护适航条款后,飞机制造和审核总共增加的成本为409.5百万美元。

4.2 实施HIRF防护适航条款前后的增加收益对比

收益是来自对电子电气系统实行HIRF防护后避

表1 实施HIRF防护条款前后增加成本对比 百万美元

类型	实施之前有关HIRF防护规定所需增加的成本	实施HIRF防护适航条款后制造和审核所需增加的成本
FAR23部(飞机)	21.8	72.8
FAR25部(飞机)	0	308.1
FAR27部(旋翼机)	1.5	2.0
FAR29部(旋翼机)	5.3	26.6
总共估计成本	28.6	409.5

免了恶性事故、事件和伤亡事故的发生。对FAR23部和25部飞机应用“HIRF风险分析”,结合FAA关于27部和29部旋翼机的事故数据,FAA认为实行HIRF防护适航条款后预计的事故数量会减少。

实施HIRF防护条款前后增加收益对比见表2(以34年为期)。

收益表中的第一列显示遵守之前的有关 HIRF 防护有关规定规定,因预防事故可使 FAR23/27/29 部飞机增加收益 88.1 百万美元;25 部飞机已经符合之前的相关规定,所以没有额外收益。

表2 实施HIRF防护条款前后增加收益对比 百万美元

类型	实施之前有关 HIRF 防护规定所增加的收益	实施 HIRF 防护适航条款后增加收益
FAR23 部(飞机)	37.1	123.5
FAR25 部(飞机)	0	3 683.9
FAR27 部(旋翼机)	33.3	44.4
FAR29 部(旋翼机)	17.7	88.6
总共估计效益	88.1	3 940.4

第二列显示,若实施 HIRF 防护适航条款会增加收益 3940.4 百万美元,而且预计可以避免以下数量的飞行事故(以 34 年为期):(1)23 部飞机,24 次事故;(2)25 部飞机,22 次事故;(3)27 部旋翼机,41 次事故;(4)29 部旋翼机,14 次事故。

FAA 根据前面提到的风险评估认为,如果现在或将来 25 部的所有飞机、23 部和 29 部的部分飞机以及 27 部的大部分旋翼机不能符合 HIRF 防护适航条款的要求,会出现上述数量的飞行事故。

4.3 关于成本和收益

为了满足之前 HIRF 防护相关规定的要求而增加的成本为 28.6 百万美元,收益是 88.1 百万美元,收益与成本比是 3.1:1。相应的,为了满足 HIRF 防护适航条款的要求所增加的费用是 409.5 百万美元,收益是 3 940.4 百万美元,收益与成本比是 9.6:1。从长远来看,实施 HIRF 防护适航条款后收益更大。

5 结论

(1)近年来,由于航空器中电子电气设备的增多以及外部电磁环境的更加复杂等原因使得高强度辐射场成为影响飞机安全的重要因素,因此,我国应及早启动预研攻关工作,并对其进行深入研究。

(2)尽管实施 HIRF 防护使飞机制造和审核成本增加,但从总体分析来看,实施 HIRF 防护条款后安全与经济收益要大于成本的增加。

参考文献

- [1] 唐建华. 飞机研制的新要求. 国际航空,2007(11): 65-66.
- [2] FAA. Federal Aviation Regulation25. Washington D.C.:FAA,2007.

[3] 中国民用航空总局. 航空器高强度辐射场(HIRF)保护要求 AC-21-1317. 北京:中国民用航空局,2006.

[4] Advisory Circulars33.4.3. Instructions for continued airworthiness;aircraft engine high intensity radiated fields(hirf) and lightning protection features, U.S. Department of Transportation, FAA 2005(09): 169.

[5] Advisory Circulars20.158. The certification of aircraft electrical and electronic systems for operation in hirf environment. U.S. Department of Transportation, FAA 2007(07): 30.

[6] FAA. AR-99/50, High-Intensity Radiated Fields(HIRF) Risk Analysis.FAA,1999.

[7] Sweers G. James, Professor J P Fielding. Use of qualification testing in determining aircraft continued airworthiness of lightning/hirf protection. AIAA,2006-7714,1-16.

[8] Federal Register Environmental Documens[EB/OL]. <http://www.epa.gov/EPA-IMPACT/2006/February/Day-01/i895.htm>.

(责编 小颖)

(上接第 85 页)

的滑阀限流孔性能下降。实际效果与颗粒冲刷而磨损附件表面一样,影响附件的动态响应,使性能指标降低。

4.2 氯污染的特征

氯元素通常以溶解状态存在于工作油液中。

4.3 氯污染的控制方法

控制液压传动系统氯污染的方法如下:

(1)限制液压油中氯化物的含量。

(2)采用油液净化器:油液净化器是一种介质转移装置,内部产生的真空,能使溶入油液中的水和氯化液逸出。

4.4 氯含量的测量

目前国际上普遍采用的实验室测定液压油氯含量的方法有 5 种: X- 光萤光法、气体色谱法、中子放射性法、微库仑法、红外分析法。

5 结束语

通过上述分析,对液压传动系统污染物控制提出全面污染综合控制的设想。首先从配置精细油滤入手,一是对泵源系统供压路配置绝对过滤度 $3\mu\text{m}$ 大容量精密油滤,对总回油路配置绝对过滤度 $5\mu\text{m}$ 大容量精密油滤,可确保系统的污染度达 5 级水平;二是对大颗粒或微小颗粒污染敏感的附件的入口设置末级过滤器;三是对油箱部位设置自动排气活门、空气排除器等,就能从根本上控制系统内部磨损及失效问题。其次是选配压传动辅助设备,包括超洁净度的加油装置(固体颗粒度不高于 GJB420A-5 级,含水量不大于 100×10^{-6} ,含气量不大于 2%),液压油液水气氯净化器等。使其注入系统的油液经循环后取得油液污染度和系统附件污染耐受度的适当平衡,以保障液压传动设备的运行安全和可靠的使用寿命。

(责编 良辰)