

飞机电磁环境效应的特性及控制

Characteristics and Control for Electromagnetic Environment Effects of Aircraft

王明皓 / 中航工业沈阳飞机设计研究所

摘 要: 从飞机设计中电磁环境效应基础专业的技术领域和专业构成的演变出发, 本文系统地介绍了电磁环境效应的特性以及与飞机使用和安全的关系, 重点论述了飞机研制中来自电磁环境效应的威胁及其控制措施。

Abstract: On the basis of the evolution of technical field and professional constitute for electromagnetic environment effects which is a fundamental profession in aircraft design, this paper has a systematic introduction for the characteristics of electromagnetic environment effects and relations with aircraft's service and security, and focuses on the research for the threats of electromagnetic environment effects and their control measures in aircraft development.

关键词: 电磁干扰; 电磁兼容性; 电磁环境效应; 适航性; 飞机

Keywords: electromagnetic Interference; electromagnetic Compatibility; electromagnetic environment effects; airworthiness; aircraft

0 引言

第二代飞机以及更早的飞机仅有单纯的电磁干扰概念,那时的电磁干扰主要体现在飞机自身无线电设备之间存在的干扰。那一代飞机上的无线电设备相对较少,主要是单独的电台、无线电罗盘、雷达高度表、信标接收机和雷达测距器等。由于这些设备发射功率相对较小,所以对于电气设备一般不会造成大的影响。在这一阶段只是由于无线电接收设备灵敏度较高,需要解决一些其他设备对于具有高灵敏度接收机的干扰问题。那时人们开始逐渐认识了静电对于电台的干扰、静电对于燃油和电引爆器件的危害,同时由于对全天候飞机的需求,也开始研究飞机对于雷电的防护。此时定义的电磁干扰是指设备、传输信道或系统由于电磁扰动产生了性能的降低^[1-2],从而影响了被干扰者的正常工作。这一概念仅仅描述一个单纯的干扰冲突过程。

随着电子设备在飞机上大范围使

用,第三代飞机面临的电磁环境变得复杂起来。同时,研究和解决干扰问题也推进了技术的发展。此时的电磁干扰已经不能涵盖所有相关技术内容,电磁兼容性的概念开始逐步形成。同时,技术发展也促生了新的技术分支,电磁兼容性设计工作逐步形成体系,对静电危害的研究也比较完善,作战环境的电磁兼容性和电磁脉冲的防护也开始备受关注。此阶段形成的电磁兼容性描述的是一个设备或分系统和系统或周边系统在电磁方面的共存关系。它是指一个设备或分系统的电磁发射,不影响所在的系统或周边系统的正常工作,同时周边系统或设备的电磁发射也不影响该设备或分系统的正常工作。这一概念通过相应的标准体系体现在此阶段的飞机研制中。

进入现代,飞机设计已经形成了较为完善的设计流程和方法,建立了一系列标准,形成了飞机设计中的电磁环境效应设计体系。目前,电磁环境效应已经

成为飞机设计的一项重要的基础性工作,已经渗透到飞机设计的全过程中。

在电磁兼容性的基础上,电磁环境效应的概念有较大扩展。发展后的电磁环境效应是指一个系统在使用全过程中和电磁环境之间的所有作用或冲突^[3],但是这种作用或冲突并不单纯是对飞机性能的影响,电磁环境效应还应包括电磁兼容性、电磁干扰、电磁易损性、电磁脉冲、电子保护、静电放电以及电磁辐射对于人体、军械和易挥发气体的危害等电磁设计准则的影响;同时也包含那些射频系统、超宽带装置、高功率微波系统、雷电、沉积静电等对于电磁环境有贡献的设备和自然现象,甚至还包含飞机系统的低可探测性,如发射控制和无意信号辐射的控制等。

综上所述,电磁干扰、电磁兼容性和电磁环境效应本身就是一个技术领域不同发展阶段的描述,随着技术的发展,其技术内涵在不断的扩充。而每一次重要的扩充,其专业名称更具包涵

性,并重新进行了定义。

简单地讲,电磁环境效应专业就是做好频谱规划的管理,防止电磁威胁的出现,抑制电磁干扰的发生,解决出现的电磁兼容性问题,它的每一组成部分也是一个单独的技术学科。电磁环境效应正是构建在这些学科之上的一门综合性的技术领域。但与飞机研制的其他技术相比,电磁环境效应是一门基础技术。图1描述了电磁环境效应的基本技术体系框架,本文按照此体系结构介绍飞机设计中电磁环境效应的主要技术内容。

1 飞机的敏感设备和干扰设备

1.1 敏感设备

敏感设备在飞机上很多,从接收机到电气电子设备,从模拟电子到数字电子设备,应当说几乎所有和电子技术相关的设备都有可能成为敏感设备。在以前的飞机设计中,最易受干扰的敏感设备主要是高灵敏度的接收机和一些使用小信号测量和传输的模拟式的电子设备。现代飞机设计易受干扰的敏感设备仍然包含高灵敏度的接收机,而模拟电子设备变为了带有小信号采集和处理的计算机类设备。随着针对飞机干扰能量的增强,各种控制类的电气电子设备也成为易受干扰的设备。

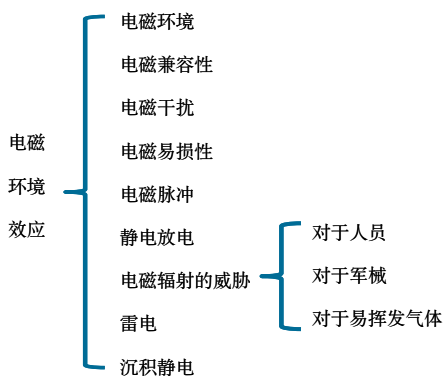


图1 电磁环境效应技术构成

1.2 干扰设备

飞机上典型的干扰设备首先是那些大功率的发射设备,其辐射的能量被设备获取,而获取者就需要付出非正常响应的代价。另外一类是产生瞬态干扰的设备,由于这类机载设备很多,所以影响也很广泛。计算机类设备也是一种重要的干扰源,它的窄带和宽带辐射会对机上高灵敏接收机造成很大的影响。

2 飞机电磁环境效应的特性

飞机设计首先要保证机上设备之间不出现电磁干扰问题,确保飞机自身的电磁兼容性。但是,维持电磁兼容性所需要的代价却经常是飞机设计所难于接受的,例如,滤波器所需要的安装空间和重量、屏蔽套带来的电缆变硬加粗加重、设备舱屏蔽隔离使得飞机的结构增重等。这与飞机的设计目标发生冲突。因此,任何飞机都不存在单纯电磁兼容性的完美设计。

飞机上的干扰现象通常都比较复杂,涉及的环节很多。当确认一个问题为干扰或疑似干扰后,首先需要确定干扰的形成原因。第一步是寻找干扰源,然后确定发射的条件和时机,发射在时间、频率和调制三个方面的特性;然后确定耦合途径,找到辐射的传播路径或传导的线路组成,或者是它们的组合;第三步要给出被干扰设备的影响部位和进入机理,同时确定与干扰相关的设备工作状态;之后才能确认问题是电磁干扰问题。每一个干扰形成的机理各有不同,也各具有特点;从外观来看,干扰也有各种不同的表现形式。

2.1 多径性

干扰的多径性体现为两种,一种是一个干扰源通过一系列路径传输干扰到被干扰体,但这一系列路径比较曲折,不同路径阶段经历了不同的传输媒

体和耦合方式;另外一种是一个干扰源通过两条以上传输路径将干扰信号送到了被干扰体,多个干扰途径共同作用,影响被干扰体的正常工作。

第一种多径性可能包含传导和辐射两种耦合方式的多次组合,具有较明显的曲折性。这种电磁干扰在用排除法确定干扰源时比较简单直接,但是在确定耦合路径采取相应措施时需要仔细分析和试验,不易直观地理解和判断。第二种多径性体现在路径的数量上,其中也包含了传导和辐射的多种组合。也可用排除法确定干扰源,干扰源不工作干扰现象就消失。因此,必须把每个干扰途径都截断,才能解决干扰问题。

2.2 多源性

多源性是指一个被干扰体受到多个干扰源同时干扰的现象。与多径性不同,多源性体现的是源的数量,而不是路径的数量。它是指多个设备干扰单一设备,使被干扰设备无法正常工作。

在解决多源性干扰问题时,采用排除法确定干扰源和途径的过程中会遇到困难,往往会忽略一些干扰源,同时,有时由于方法的问题也会形成误导。因此,这就要求在做干扰检查和确定干扰的过程当中,需要仔细编排检查试验程序,通过正和反的程序进行检查,逐一确定干扰源。例如,两个设备干扰一个设备,而且现象相同,在关掉任何一个设备时,干扰现象还存在,只有关闭第二个设备时,干扰现象才消失。这时可能会误以为只有第二个设备是干扰源。

2.3 连锁性

干扰的连锁性体现在一个干扰的形成过程,即一个小的干扰通过一系列的反应形成了一个大的干扰问题。

连锁性最典型的例子是短波电台对模拟式自动驾驶仪的干扰。干扰源是短波天线,天线产生比较高的电磁场,

电磁场通过设备舱的缝隙进入设备舱,泄漏进设备舱的电磁场对于驾驶仪的角位移传感器产生了干扰,在原有的信号上叠加了射频信号。这个信号随着传感器信号传给驾驶仪模拟计算机。这个过程发生了检波,使得传感器反馈给计算机的信号变为真实的反馈信号叠加上干扰的调制音频。计算机在感受叠加了音频的反馈后,按照控制规律输出信号给方向舵舵机,舵机驱动方向舵发生了震动。这时可以清楚看到方向舵震动的频率和座舱飞行员发话的声音频率一致,而且震动的幅度也和飞行员喊话的声音强度有关。一个电波干扰可以使舵面发生偏转和振动,正是电磁环境效应中蝴蝶效应式的连锁反映。

干扰的连锁性还体现在下述情况:一个干扰并不影响另一个设备的正常工作,但是由于它影响到该设备交联的第三个设备的工作,而第三个设备的非正常响应导致了第二个设备的非正常工作。

2.4 易变性

易变性体现在干扰现象随着时间推移和状态的改变变化,既可能是干扰的表现变化,也可能是干扰的现象时有时无。这种干扰在排除时很困难,主要原因是干扰的复现比较困难。

例如,曾经遇到一种干扰使飞机短波电台出现啸叫,在外场试验时,飞机加电过了一段时间出现了啸叫,过会又没了。连续几天试验也没能确定造成啸叫的原因。后来通过测量发现,发电机的一个组件产生了窄带辐射信号,而这一窄带信号随着通电时间的变化和温度温度的变化,频率在不断地漂移,当频率漂移到电台接收通带内时就造成干扰。

干扰在频域内的变化是易变性的一个方面,有时也表现在时间域上。时

域的易变性往往伴随条件的触发,这往往与一个设备的固定逻辑有关。例如,对于在同一个频段范围按照自己的跳频图案跳频的两个设备,频率冲突只是偶尔出现,这种情况也给干扰的确认造成影响。

2.5 潜伏性

有时在飞机电磁兼容性试验过程没有发现干扰问题,但是在飞机交付一段时间以后,使用方却反映存在一些干扰现象。这些干扰经常表现在各种电台的接收机上。其原因主要是由于在飞机的研制过程中,电磁兼容性试验并没有覆盖所有机载设备的工作状态和工作频点,只是进行了这些状态和频点组合的部分验证试验。一个典型的短波电台覆盖2MHz到18MHz,按照100Hz一个频点来计算,总计十六万个频点。机载设备的数量庞大,再加上频点和状态的组合,几乎无法统计这些设备的状态和频点的组合总数。如果每个频点都要试验,工作量、时间和设备损耗也难以让人接受。在这种情况下,一些干扰问题必然会出现遗漏现象。

潜伏性有时还表现在原来的干扰可能已经接近临界,在特定的情况下临界被破坏,干扰幅度增加,或者另外一个干扰出现,两个干扰叠加就超出了临界,这时就形成了新的干扰。这种干扰也需要经过一段时间的使用才能反映出来。

2.6 复合性

干扰的复合性主要体现在多个干扰源共同作用形成一个干扰现象。也就是说,对于一个设备,当有超过两个设备同时对其干扰才形成该设备的非正常响应,而其中任何一个设备对它不形成干扰。与多源性不同,多源性体现在每一个单独干扰源都可以形成干扰,而干扰的复合性体现在干扰的叠加上。通

常两种干扰的叠加应当是同一种形式的,这样才会超出被干扰设备的敏感门限,形成干扰。

互调干扰也是干扰复合性的一种特例表现,表现在两个信号都没有进入接收机的通带范围,但是这两个干扰的互调产物却正好落入该范围。这种干扰在飞机系统干扰检查试验中很难构建条件来验证。

2.7 瞬时性

飞机电子电气工程师经常会遇到一些现象,如某个告警灯闪了一次又灭了,显示上画面突跳一下就恢复正常。这就是干扰瞬时性的表现。干扰的瞬时性表现在看似没有规律的条件下出现偶然的非正常响应。这种响应有的随即就恢复正常,也有的持续存在。这些看似无规律的干扰,实际是有规律的,这些响应和飞机状态的转换、开关的操作以及继电器的动作直接相关,不过这些过程有时并没有直接表现显出来。通常,这些现象都是由于在瞬态过程在导线中形成的电流突然流动,对周围电缆造成了影响,同时周围电缆中的控制信号或模拟传输信号由于耦合突然出现跳变,从而引起接收电路的响应。这种现象是一种典型的瞬态或尖峰信号干扰。

2.8 发展性

发展性实际上是指该干扰在研制过程确实并不存在,只是装备在长期使用过程中由于环境的变化才开始显现出来。

最近十几年,随着通信技术的发展,我们周围的电磁环境变得越来越复杂,频率的覆盖范围和辐射功率都在增加。例如,由于城市和城市周边通信网和广播站的增加,机场周围的电磁辐射密度增加,原本与飞机兼容的环境发生了变化,这可能会造成有的飞机通信频

道无法使用,大多数通信频道由于接收机噪声增加使作用距离有所降低。雷达告警设备也出现过类似的问题。随着第三代移动通信技术的应用,雷达告警设备经常出现误告警,这种情况将加剧飞行员的紧张情绪,影响飞行员对飞机的操纵。还有一种情况,即由于飞机机体和设备组件腐蚀造成接地电阻的升高,从而引起新的干扰问题。

3 飞机的电磁威胁及控制

飞机的电磁威胁是指那些严重的干扰环境。这种环境在飞机、机载武器、机载设备和系统的存储、运输、维护和使用全过程中会引起很强的干扰,从而对于飞机安全和人员安全造成威胁。这些严重的干扰环境既包括人工产生的,也包括自然产生的,既包括飞机周边系统和设备形成的,也包括飞机自身产生的。

通常所说的电磁威胁包括高射频场环境、高功率微波、电磁脉冲、雷电等。高射频场环境是指射频环境中那些场强很高的部分,或者大功率发射机产生的、距离辐射天线很近的电磁场。这种环境可以在场环境内金属体的缝隙之间形成打火放电而引爆燃油蒸气,可以通过耦合影响那些电气电子设备的工作从而使正在飞行的飞机失控,可以影响飞行员或者地勤维护人员的身体健康,也可以耦合进电引爆器件并且集聚能量造成爆炸。

高功率微波也可以说是高场环境的一种特例,它也是射频电磁场,但它又是特指微波武器产生的专门攻击对方的电磁辐射。电磁脉冲和雷电是一种瞬态的高压或高场干扰。

3.1 燃油蒸气

燃油蒸气是最危险的,在遇到打火或火种的时候,有燃爆的风险。为了减

少这种风险,在设计时必须采取各种技术措施,包括油箱内各种导体的搭接以防止静电的积累,在油箱空隙内充氮从而隔绝氧气,在油箱内填充发泡材料和飞机的接地。这些措施都是为了使燃油蒸气和燃爆的条件远离,避免引爆。

3.2 电引爆器件

飞机上存在很多电引爆器件,包括推动座椅弹射的弹射弹、座舱抛放的抛放弹、发动机灭火的灭火弹、弹射发射架中的抛放弹、以及各种武器的点火装置等等。如果这些电引爆器件在受到强场辐射或静电干扰,耦合产生的能量超过其发火条件时,就会引爆引起误发射,造成安全事故。

3.3 敏感器件

各种电子设备中,有的电子元器件耐压值较低,在受到干扰时就会造成暂时或永久失效。如果这样的器件存在于飞行控制系统,就会对飞机的飞行安全造成影响。影响可能是直接出现响应,如控制系统不稳定进入振荡,也可能引起计算机死机,造成控制不响应,还有一种隐藏的威胁就是系统无法实现下一次启动。

对于电子元器件威胁最大的是电磁脉冲,而最敏感的电子器件是半导体器件,特别是微波器件。微波器件更敏感是由于它们可以吸收较多的能量。

3.4 人员

我们已经了解到电磁波在日常生活中对人体的危害,在飞机设计上也需要识别飞机自身电磁辐射强的设备,根据标准的要求分析飞机周围这些设备工作时的场分布,给出电磁辐射危险区域,以便于控制维护人员进入。同时,还要分析各种电磁辐射对于飞行人员的影响。飞机的座舱玻璃金属涂层可以对辐射提供最大程度的衰减。

飞机的静电也会对人员造成威胁,

一种是高静电放电的威胁。这种威胁一般存在于旋翼飞机,在吊装和系留过程中容易造成几百千伏的静电放电;另一种是一般的静电放电威胁。这种威胁往往是二次效应影响较大,比如在登机梯上受到静电放电而跌落。

3.5 射频环境

射频环境是飞机所需要面临的主要电磁环境,也是飞机研制过程中经常出现的干扰源。

在飞机内部对电磁环境有贡献的、通过射频发射机驱动天线产生辐射的设备主要包括短波通信电台、超短波通信电台、联合战术信息分发系统机载设备、战术导航设备、雷达高度表、航管应答机、敌我识别设备、雷达、电子对抗设备等。在电磁干扰的范畴内,这些辐射通常都是窄带干扰信号。而电子对抗设备的辐射有的模式属于宽带干扰信号,其干扰场强比较高。

另一方面,飞机上各种电子和电气设备在工作时,由于有电流和电压的变化,也可以产生辐射发射。电缆中传输的各种时变信号,也可以产生辐射发射。这种辐射发射有宽带和窄带两种类型。电子设备中时钟信号的辐射发射是典型的窄带干扰,而脉冲信号产生的辐射发射却是典型的宽带干扰。

飞机周围设备辐射产生的电磁环境主要以机载大功率发射设备为主,此外,还包括飞行中同一空域环境下的编队友机产生的、敌方或未知飞机产生的、机场场站使用的各种通信导航设备产生的、舰面发射机辐射产生的以及战场上地面或船上敌方产生的各种探测和攻击电磁辐射。

高功率微波也是一种典型的外部射频电磁环境,主要由微波武器产生,产生的目的就是干扰或损伤对方的电子设备。

3.6 电磁脉冲

电磁脉冲武器是近些年发展起来的一种攻击武器,它以对方电子设备为攻击目标,可以对飞机上的接收机、电缆和设备中的电子元器件造成影响,甚至毁坏敏感元器件。

传统意义上的电磁脉冲是核爆炸的产物。根据经典核爆电磁脉冲形成理论^[4],核电磁脉冲是由多脉冲构成,可以分为E1、E2和E3三个分量。E1是一种高上升速率的脉冲信号,是核爆炸 γ 射线的副产品,瞬态场强可以达到几十千伏每米以上,脉冲宽度在几十纳秒的范围,可以对计算机和通信设备造成损害。对于这样的威胁,一般的雷电防护设备响应时间不足,难以提供防护;E2分量的特点在强度和时间特性上类似于雷电形成的电磁脉冲,是比较容易防护的一种分量;E3分量是一种慢速脉冲,持续几十到几百秒,它的特性和太阳风暴比较接近。

目前,许多国家已经开展非核爆电磁脉冲发生器的研制,以期在战场上作为武器使用。由于研制的电磁脉冲武器很难实现高上升速率,因而研制的电磁脉冲武器的特性大多接近于E2分量。

电磁脉冲的威胁主要有三种,一种是针对防护较弱的普通信号接收机前端,另一种是针对电子设备内部敏感电子元器件的损坏(永久或短时的失效),还有一种就是影响线路传输信号的逻辑。

3.7 磁场环境

有电流流过的地方就有磁场产生,直流电周围形成静磁场,变化的电流周围形成交变磁场。在电磁环境效应中,一般主要考虑低频磁场对于其他系统或设备的影响,其原因是低频磁场向周围辐射的磁场衰减很大,仅需要考虑磁场附近设备的适应能力。

除了具有反潜能力的反潜机,其他飞机几乎没有低频段的敏感设备,所以飞机设计中低频磁场是比较易于防护的。同时,由于低频磁场频段很窄,飞机上也没有大的电流使用设备,场强不高,试验环境也很容易模拟,所以飞机上的电磁兼容性是很容易考核的。

3.8 雷电

雷电是一种自然现象,是云层之间或云层和大地之间的一种放电过程。当飞机处在放电通路中的时候,雷电会附着在飞机机体上,将机体作为放电通路的一个部分,雷电流会在机体表面或内部传输。此时,飞机蒙皮、结构或内部设备会受到大电流的冲击,同时这种电流在周围也会形成高冲击的电磁场,影响周围设备的正常工作(即使这些设备没有受到直接雷击)。如果雷击没有直接附在飞机上,放电通路从飞机周围掠过,也会形成高的冲击电磁场,对飞机的设备造成威胁。

雷击效应分为直接效应和间接效应两种。直接效应是指当雷击电流直接作用在飞机上时,雷击电流对飞机部件的烧熔;间接效应是指雷击电流形成的瞬间电磁场变化作用在飞机上。在飞机设计中,雷击的直接效应和间接效应都要考虑。飞机的外表面或结构必须通过对应强度的雷电直接效应试验,其强度要根据雷电分区来确定,而飞机的系统或设备必须通过间接效应试验。

3.9 静电

1) 人体静电

人体静电就是人员在走动或工作的过程中,由于鞋子和地面摩擦或者衣物之间的摩擦产生的静电。这些静电在人员的手或其他部位接触飞机设备时会形成放电过程。

人体静电会对军械造成影响。在接触军械或电引爆器件时如果出现放电,

可能会使放电能量进入电引爆器件的桥丝,能量超过最低发火能量时就会引爆电引爆器件。这种情况不仅发生在飞机上武器的挂载过程,也可能发生在各种军械的储运、组装和维护过程。人体静电对于普通的计算机类设备也存在影响,当人员接触的此类设备出现静电放电时,设备可能会出现死机或错误的状态转换。人体静电对于飞机的燃油蒸气也存在威胁。

人体静电可以通过接触接地线而预先泄放。例如,将把机体接地,飞行员或地勤人员在登机时手触摸飞机机体,就可以将静电泄放掉。

2) 燃油静电

燃油静电是指在飞机燃油加注和燃油在油箱内晃动或流动的过程中产生的静电。这种静电需要合理地导向泄放,以减少静电荷的积累,从而防止放电过程的发生。

3) 沉积静电

沉积静电是飞机在飞行过程中飞机蒙皮和大气中的各种云层、灰尘、水滴、雪或冰晶等之间摩擦产生的一种静电。在飞行中,随着电荷的积累,飞机沉积静电的机体表面和周围大气之间的电压逐渐升高,当达到一定程度,大气被击穿,形成一种电晕放电。这种放电的影响主要是通过它产生的电磁噪声对于各种无线电接收机形成宽带噪声干扰,从而影响接收机对于有用信号的接收能力,对于电台典型的现象是耳机中出现强的噪声。

3.10 辐射

有电荷周围就有电场,只要有变化的电流在流动,周围的电场就会变化,电场的变化就会产生辐射。由于电子设备的工作就依赖于电压电流的变化,所以电子设备周围必定有电磁场的变化,也必定有电磁辐射的产生。

在飞机电子设备的影响下,飞机周围存在各种的电磁辐射,其产生的根源在于电源线上电流流动、设备的元器件工作、线路板传输的数字脉冲信号、发射机推动天线等。这些电磁辐射有的属于窄带,如设备中晶体振荡器产生的单频连续波;有的属于宽带,如脉冲信号占用较宽频谱。

有的电磁辐射源辐射能力不强,其主要分布在飞机设备舱和机身周围。随着与飞机距离的增加,其辐射强度迅速衰减;而有的辐射源能力较强,主要通过天线辐射,在几百千米以外还可以接收到其辐射的电磁信号。

飞机设计的一项基本原则就是要尽量控制飞机的电磁辐射,避免不必要的辐射产生;尽量压低辐射电平,压缩辐射的频谱。其目的就是避免对于其他设备的影响,并且降低电磁辐射被截获的可能。其控制措施主要有以下3项。

1) 有意辐射

有意辐射是指有功用的电磁辐射,如发射机产生的雷达探测、通信等信号。在飞机设计过程中,有意辐射控制只要遵循一个“够用”原则。所谓的“够用”就是指可以保障飞机正常使用,并且具有合理的余量。在这个基础上对于辐射的频谱和电平进行控制。

例如,当满足一定的探测和跟踪距离时,雷达辐射需要具有一定的余量。而在实际的设计时,要考虑功率控制,使辐射强度可调。在跟踪到必要的目标以后,可以降低辐射,使辐射功率满足对于该目标的跟踪,避免辐射被对方截获。同时,需要考虑调制波形的控制,以压缩频谱。

2) 无意辐射

由于本身没用实际功用,无意辐射需要尽量的抑制。无意辐射的抑制主要是通过系统优化,避免电脉冲信号和时

钟信号在设备间传递,采取各种屏蔽措施隔断传播路径,增加滤波,减少输入输出线路中对于射频信号的携带;合理控制接地,将辐射减小到最小。发射机产生的有用信号所附带的谐波辐射需要通过滤波来滤掉。

3) 信息泄漏的防护

信息泄露在飞机上可以通过多种手段来控制。从分类看它也是无意辐射抑制中的一种。对信息的截获不是为了确定辐射体的位置,而是要从中获取情报信息。

从电磁环境效应的角度看,信息泄露的防护需要控制好未加密前电信号(模拟或数字)的辐射,防止被截获;同时,还要控制好未加密信号与已加密信号的串扰,防止两个信号叠加调制而辐射出去。

4 结束语

从技术上说,电磁干扰、电磁兼容性到电磁环境效应的发展,体现了飞机设计理念的变化,这一变化突破了飞机设计仅仅围绕自身问题解决的局限,将飞机的设计扩展到未来使用环境的电磁环境适应性上,对于战斗机更加突出了作战电磁环境的适应性。从范围上说,飞机从自身的设备干扰,扩展到自然和人为电磁环境的适应,同时也考虑了自身对于环境的影响。从体系上说,电磁环境效应专业扩展了频谱管理内容,突出了对于解决电磁干扰问题的管理措施以及管理措施的技术实现。频谱管理是指一个环境中各个系统中的射频设备或分系统要想在一起兼容工作,需要预先进行频谱分配、功率管制、使用时间化分等工作。它既是一个细致的管理工作,也是一项复杂的技术工作。频谱的规划需要熟悉电磁传播理论知识,也需要了解收发机的工作原理,同时还要通晓系统的工

作逻辑。飞机设计中的射频闭锁设计就是一种频谱管理的雏形,新一代飞机的射频管理设备是将频谱管理通过技术手段在飞机设计上的实现,在频域和时域同时实现最优化的管理。

电磁环境效应设计已经是飞机设计的一个重要组成部分,不论是民机的适航性要求,还是军机的研制规范,都将它作为飞机设计重点的里程碑考核内容。同时,它也是飞机安全性设计的基本要素,飞机要想取得适航认可或得到军方的鉴定批准,必须对电磁环境效应的各个构成要素进行验证通过。 **AST**

参考文献

- [1] American National Standards Institute. ANSI C63.14-2009 American National Standard Dictionary of Electromagnetic Compatibility(EMC) including Electromagnetic Environmental Effects (E3)[S]. New York: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. 2009.
- [2] IEC. IEC 60050-161 International elektrotechnical vocabulary, chapter 161: electromagnetic compatibility[S]. International Electrotechnical Commission, 1990.
- [3] MIL-STD-464, Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems [S]. Department of Defense of USA, 1997.
- [4] Jerry Emanuelson, B.S.E.E. Nuclear Electromagnetic Pulse[M]. Futurescience, LLC.

作者简介

王明皓, 研究员, 工程硕士, 中航工业首席技术专家, 国家多个重点型号副总设计师, 从事飞机电磁环境效应研究和飞机设计工作。