



浅析航天器电磁干扰及控制

吴卫权¹ 张国升²

(1. 上海卫星装备研究所, 上海 200240; 2. 上海卫星工程研究所, 上海 201109)



摘要: 为了控制电磁干扰, 规范星上电子设备的设计、试验技术、试验方法和计划管理流程, 针对航天器设计、研制与试验过程中产生的电磁干扰问题, 介绍了航天器电磁干扰源、电磁干扰方式; 分析了航天器上易受干扰的设备、干扰现象及航天器电磁环境影响因素; 论述了航天器电磁干扰控制设计与估算方法、航天器电磁干扰控制技术和措施等内容; 规范了航天器电磁干扰测试要求、方法及引用标准。可为相关卫星工程技术人员提供有益支持和帮助。

关键词: 航天器; 电磁干扰; 控制

A Brief Analysis of Electromagnetic Interference and Control of Spacecraft

Wu Weiquan¹ Zhang Guosheng²

(1. Shanghai Institute of Spacecraft Equipment, Shanghai 200240;

2. Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 201109)

Abstract: In order to control EMI, the design, experimental technique and method, plan management procedure of on-board electronic equipment must comply with their standard. In this paper, aiming at this EMI problem produced during design, development and experiment for spacecraft, electromagnetic resource and EMI way were introduced; the equipment which is susceptible to interference, interference phenomena and effects on electromagnetic environment were analyzed; EMI control design and estimation method, EMI control technology and measurements for spacecraft were described; EMI testing requirements, methods and quoted standard for spacecraft were normalized. They can provide technical support and references for researchers of space engineering.

Key words: spacecraft; EMI; control

1 引言

电磁干扰(EMI)是一种天然或人为的电磁信号扰动, 电磁干扰可以由星上源或者外部源(非星上)引起, 如从地球传播出来的射频等。电磁干扰会降低或破坏航天器上电子设备的工作性能。航天器易受干扰的一些重要工作状态有: 制导、运载火箭各级程序点火、指令通讯、跟踪、实验数据的收集及遥测。航天器从研制计划开始就将遇到大量电磁干扰问题, 因为: a. 要求工作在有限空间和频谱环境中的电子器件

数目日益增加; b. 能源功率的增加; c. 设备灵敏度提高。为了控制电磁干扰, 必须规范星上电子设备的设计、试验技术、试验方法和计划管理流程。

2 航天器电磁干扰源^[1]

航天器主要电磁干扰源为: 航天器内部源和自然源。自然源是从地球、飞机或其它航天器中发射出来的射频信号, 主要的自然源有: 星系噪声、大地噪声、宇宙噪声。另一类是航天器自身单机、部件或系统中

发射出来的电磁干扰。在航天器飞行阶段,绝大多数电磁干扰是由星上源产生。

本文主要叙述航天器内部干扰源,星上单机、部件或系统产生的干扰可分功能性及随机性两种。功能源是那些产生辐射电磁能量的单机设备,诸如:振荡器、倍频器、混频器、发射机(如雷达发射机、通信发射机、遥测发射机)、信号发生器、应答机、转发器等;随机源是那些不产生电磁能量的单机设备,诸如电源及配电系统、功率变换器、电磁线圈、电机、开关、继电器、螺旋管和寄生振荡器、陀螺仪等。与功能源不同,星上随机源可在分系统功能不受影响下加以克服和抑制。

2.1 功能源

功能信号最简单的波形是单频正弦波。而能产生单频正弦波的振荡器、倍频器和放大器等设备存在着不稳定性、非线性电路及非线性元件。因此,在其工作时,基波附近的某个窄频带内以及在谐波和伪频率处都存在能量,为了使星上设备稳定工作和减小非线性影响,可以控制这些正弦波源中的能量带宽、谐波输出或伪输出。

通信、遥测或雷达发射机等更复杂系统,在其产生功能信号的同时,常伴随产生不期望的电磁能量。如发射机会产生不同于工作频率的伪输出,这些伪输出对于正常工作是有害的;因此必须消除或降低其振幅。发射机发射的宽幅噪声电平一般是比较低的,但也可引起附近接收机灵敏度降低或引起干扰,这种噪声不易识别;因为它与接收机噪声特性几乎相同。

另一种与功能源有关的干扰是从发射机或高频发生器中发出的射频能量。这种辐射能严重地影响安装在相同位置处的设备性能,一般可采用接地、屏蔽和适当的线间隔离等处理技术消除。

2.2 随机源

随机源引起的干扰能量存在于一个大频率范围内,且是宽频带的。宽频带干扰源又可分为随机干扰和脉冲干扰。

2.2.1 随机干扰

热扰动能产生随机幅值的干扰,大气干扰、宇宙、太阳噪声和电晕均可认为是随机源,这些脉冲经常出现并且相互重叠,具有多个尖脉冲,其峰值超过平均值。

另一种脉冲由一个接一个的脉冲组成,不能单独区分,这种干扰形式也可看作是随机的。

2.2.2 脉冲干扰

脉冲干扰是由一个或多个尖脉冲组成,它可以是周期性的,也可以是非周期性的;此类干扰特性由脉冲波形和重复频率决定。姿态控制推力器、力矩器、开关通断瞬变过程、时钟与数字脉冲和其它脉冲形式的电气扰动等都是典型的脉冲干扰源。

3 航天器电磁干扰方式

航天器电磁干扰通常以传导和辐射方式从干扰源传播到敏感部件或系统中。传导干扰包括通过外部连接件引入的电磁能量;辐射干扰也是一种电磁能量,其从外部源进入到星上设备中不需要外部连接件。传导传播干扰的定量分析需要应用电路理论,而辐射传播干扰的分析则需用场论。

3.1 传导干扰

电路元件的缺陷可能产生噪声电压或噪声电流,如继电器的工作触点、压力连接、焊接和接插件的连接处都可能出现有害的干扰。噪声干扰引入系统,会降低或破坏系统的运行性能。

电路元件对其它电路或元件产生传导干扰的方式最常见的是经由直接电连接的传导,如电缆。通常须用电缆传输功率和工作信号,进而有可能将干扰信号与有用信号一起传送,特别在长电缆情况下。当多个电路共用一个具有较高阻抗的回路时会产生公共阻抗的耦合,在某种情况下,一个电路中的电流会引起显著的电压差,而这个电压差将在另一个子电路中产生不良的影响。此外,多个电路同时工作的综合影响也能对另一个电路产生干扰。

在大电流电路中,磁通链的耦合是干扰传递的一种主要方式,而在高压电路中,主要是电容耦合。稳定的交变电流或瞬态变化电流所产生的磁场将产生一个正比于磁通变化率的干扰电压。因此高频大功率电流(如在雷达设备里的电流和多层线圈中的电流)均为干扰源。同样,产生高电流变化率的电器件(如开关)也能产生很强的干扰脉冲。

一个电路上的干扰源通过电容、电感或公共阻抗能够在与该电路相连接的另一条导线上产生一个信号导致相互干扰,电容耦合取决于电压变化率(dv/dt),这个电压变化率通过耦合电容(CC)耦合到相邻的电路上,如图1所示。耦合电压 V_2 的大小取决于电路 NO_1 的电压变化率(dv/dt)和耦合电容(CC)、负载电阻及对地的分路电压三者之间的相对值,由于周围总存在着导线或电路,因此这种情况经常出现。

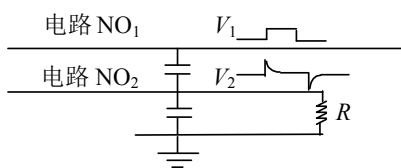


图1 容性耦合

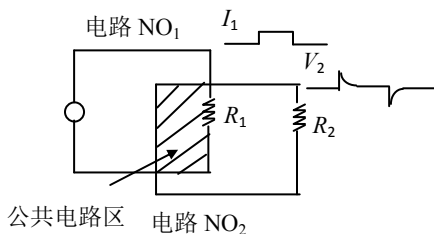


图2 感性耦合

电感耦合电路中的干扰同样也是由波形的变化率所引起，即电流的变化率（ di/dt ）起作用，如图2所示，第一电路中的 di/dt 和变压器相似，它能在第二个电路中产生一个成比例的电压，而两电路公共面积的增加也能使耦合电压增加。在大部分航天器的电路中，通常电感性耦合比电容性耦合问题要小；因为其所用的电流均比较小。

3.2 辐射干扰

辐射干扰主要是电路元件的缺陷产生的噪声电压或噪声电流等干扰信号通过天线或电缆辐射到敏感器件，例如从偶极子来的辐射干扰，能在二极管、半导体三极管、真空管的栅极和其它一些非线性电路两端出现偏置。特别易受辐射干扰的非线性电路能在电路中产生干扰频率与信号频率之间的合成频率，同时也能产生干扰信号的谐波频率。这种电磁干扰能降低或破坏航天器上电子设备的工作性能^[2]。

4 航天器中易受干扰的设备

航天器中能响应电信号及与其相关电场的任何器件都是易受干扰的设备，特别是高增益和高灵敏度设备。易受干扰的星上设备主要有：载荷设备、接收机、火工器件、电气开关、记录设备、场效应器件、敏感器（光敏元件、热敏元件）、前置放大器、红外探测器等。应鉴别此类器件并确定其灵敏度。

例如测量用的放大器由于其高增益和高灵敏度，会经常遇到共模干扰问题，对于此类问题须注意对带宽的要求和接地结构；应注意印刷线路板接地线过长及导线截面积不够等问题。另外，在湿度较低的试验

环境条件下，若无预防措施，某些灵敏微电路会发生静态放电现象，导致元件损坏。

5 航天器自身电磁环境影响因素

每种航天器自身都有其特有的电磁环境，对于具体的电磁干扰，都必须要在特有的电磁环境中研究，且主要有如下五种相关设计。

5.1 结构

航天器结构主要由其部件、系统和导线的长度及走向、间距决定，而结构又影响着整个航天器的电磁环境。来自磁通链耦合、电容耦合和辐射等的干扰强度随着干扰源和易受干扰系统间的距离减小而增加。因此，若干扰源和系统间的距离越小，则对设备的要求越严格。此外，在采用屏蔽和滤波与重量制约之间须综合折衷考虑。

5.2 稳定方式

航天器稳定方式是决定航天器结构的主要因素之一，同时也间接地决定了电磁干扰存在的可能性。航天器的稳定方式决定了其接收与发射天线的基本形式和安装位置，从而影响其电磁环境。例如：在相同效果下，适合于自旋航天器的全向低增益天线比定向天线需更大的发射功率和接收机灵敏度。

5.3 电子和电气系统

航天器上每一个电气或电子系统都必须进行电磁干扰分析工作，所有系统（含能源系统）都须估算其对其它系统的电磁干扰，频率分配、频带宽度、系统定向、与天线端连接的系统灵敏度、敏感器特性和接地系统等复杂因素均须综合考虑。

5.4 轨道高度和轨迹

影响航天器电磁环境的第四个因素是轨道和弹道，它与外部信号（例如从地球和辐射带来的信号）有关，在轨道上航天器可接收到许多与任务无关但与任务频率相近的信号。根据航天器接收机的输入带宽和灵敏度特性，当地面发射机按正常分配的频率向航天器发射必要的能量时，这些外部信号均可被航天器接收机接收到。

5.5 科学任务的要求

航天器科学任务决定其对载荷的特殊要求，如非常低的频率、在载荷带宽范围内无离散信号、高灵敏度要求等因素，均会影响航天器的电磁环境。

6 航天器电磁干扰估算

6.1 电磁干扰的预估

为了鉴别潜在的电磁干扰源和与之相冲突的敏感源要求,需要对航天器上的敏感设备设计中考虑的所有潜在电磁干扰源进行检查。干扰控制水平由任务对象和航天器运行要求决定,根据这些要求确定功能源和随机源产生的电磁能量所允许的量值。

6.2 电磁干扰抑制方法

在鉴别和预估电磁干扰源、敏感设备和各种耦合模型后,为使航天器各分系统的任务要求在其工作时兼容一致;通过对干扰的抑制、采用接地网、良好的电磁兼容性设计等措施获取兼容性。应尽可能使干扰得到抑制。视干扰源是功能源或随机源确定干扰抑制的难度,当干扰信号是从功能源发出的某个有用载波信号时,若想在发射机中减小干扰则须采用改变信号强度、频率和工作程序等方法加以解决。某些情况下,干扰须抑制在受干扰的设备里,为了把干扰抑制在信号源里,可采用的主要方法是:

- a. 新分配载波信号频率,优化单机内部的频率流程;
- b. 重新布局受干扰设备或发射设备的位置,以使干扰信号的影响减至最小;
- c. 为使发射系统和受干扰的敏感器件正常工作,可根据任务要求的优先程度设计一套分时程序工作流程;
- d. 增加必要的屏蔽和滤波。

7 航天器电磁兼容性的预估^[3]

航天器对电磁兼容性要求由任务目标、易受电磁干扰敏感设备及潜在电磁干扰源等相关要求确定。充分考虑这些要求是设计和实现电磁干扰控制流程的先决条件,控制流程的执行贯穿于航天器设计、研制、试验、发射准备等全任务周期;以确保设计控制后的电磁干扰不会降低航天器在轨飞行任务性能。

从干扰控制和处理技术角度来说,系统设计主要分四个阶段:a.初始阶段,形成基本设计方案并确定系统参数;b.选择组成系统的设备或分系统;c.把选出的设备或分系统组成一个系统;d.进行兼容性试验并对整个系统作出最终的调整,使电磁干扰引起的特性衰减因素降到最低限度。最后阶段中的每一步调整通常存在着折衷权衡关系,应由设计师做系统的综合评估。根据飞行任务的目的和要求、发射时间窗口及经费预算,确定既能保证航天器系统的电磁兼容性最佳

而又不损害其它要求的措施。

工作在远离航天器直接试验和发射区的地面辅助设备也应仔细考虑其潜在干扰所带来的危险。对试验和发射中与航天器密切相关的地面辅助设备,应认真检查接地、接触和电缆屏蔽是否良好。

7.1 系统的初始设计

在系统设计的初始阶段,分系统设计师在综合评估各种关系后须适当考虑电磁干扰因素,应对选择的元器件提出电磁兼容性技术要求。对分系统电磁兼容性有显著影响的特性参数主要如下:频率分配、发射机功率、接收机灵敏度、数字脉冲电路开关门限值及设备运行流程等。航天器系统运行要求和兼容性问题是复杂多样的,设计一个对任何飞行任务要求均为最优的系统几乎是不可能的。每个分系统均须独立地按功能要求并结合边界条件(与航天器其它部分及工作任务的电磁环境交界面)进行综合考虑后选定系统参数。

7.2 设备的选择

系统设计的下一步就是选择系统的电子设备(如电源、发射机、接收机)以实现型号任务所要求的功能。这一阶段,应充分考虑电磁兼容性,规定设备的工作特性,对设备作验证试验保证其符合技术指标,并不断解决运行中出现的兼容性问题。

7.3 干扰控制分析

干扰控制分析的第一步是识别电磁干扰的潜在源并确定其干扰特性。为便于分析须规定每种源的幅度-频率特性与幅度-时间特性。这些特性可从设备说明书、电路图和设备设计师处获取,也可对该设备进行干扰测量获得。

在识别这些干扰源后,应确定所有的敏感设备及其灵敏度特性。通常须确定敏感设备响应各种信号的形式以及灵敏度对频率(或其它电磁干扰敏感信号参数)的关系。从电路图、设备设计师或设备的干扰测试结果中,获取灵敏度、响应特性等参数特性。

在确定了可能的电磁干扰源和易受干扰的设备后,下一步分析工作是确定电磁干扰可能发生的状态。通常用传输损耗来修正干扰源的作用以估算可能出现的问题,使修改后的结果能代表敏感设备的干扰水平。把这个结果与设备灵敏度作比较(如图3~图6所示),以确定潜在干扰信号的幅度是否足以在敏感设备上产生不希望响应。从图3~图6的电磁兼容性分析图中可以看到,干扰源作用频率为 f_1 时可能引起兼容性问题。通常,假如一个信号引起一个不希望的响应,

那么这个信号对敏感设备工作的影响将作为干扰来预估。

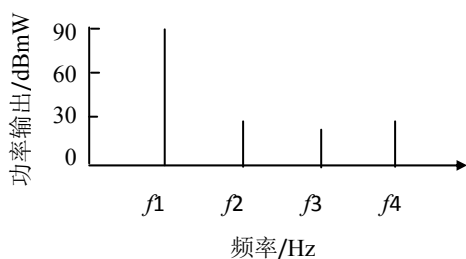


图3 源的特性

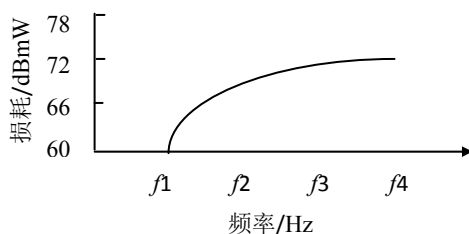


图4 传输线损耗特性

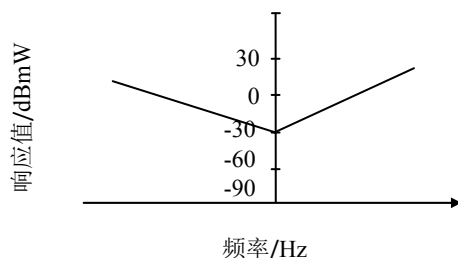


图5 灵敏度特性

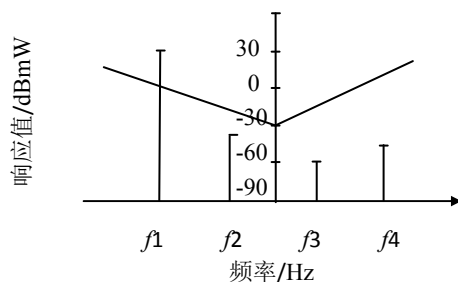


图6 相容性特性

除了预估特定源的干扰影响外，还要估算星上所有电气和电子分系统在工作时引起的综合电磁环境。然后把每一个设备的敏感特性与该综合环境相比较，以此确定该设备与它们工作时的电磁环境是否兼容。系统干扰分析的最后一步是确定要消除兼容性问题所

必须降低的干扰量，并明确为保证兼容性而要求分系统所采取的设计措施和方法。

7.4 系统综合

当把所选定的设备和分系统组成一个系统时，需要注意分系统间接口交界面和接地问题。分系统间接口交界面的问题可通过重新布置电缆、重新布局设备位置或方向、在输入输出端加滤波、屏蔽潜在电磁干扰源和敏感设备等方法来加以纠正或改善。对于系统接地，应对所有分系统提供单一直流接地点，使公共电流的危险降至最小。对于体量较大的航天器，需多个接地点来处理所有分系统，也应根据系统要求综合考虑连接问题。

7.5 系统兼容性

为了提前暴露问题，系统元件和设备都须进行相关干扰试验，并避免试验设备、接线盒及相关长导线影响接地结构而产生感应干扰。

8 航天器电磁干扰控制

通常在系统级上分析电磁干扰，以估算系统的兼容性并找出该系统可能出现干扰的实际范围，一旦分析出存在问题的范围，则可采用相应的技术去控制或者减小这种干扰。当然，采用这些技术的代价会增加重量、成本等等，因此，一般需进行折中考虑。减小电磁干扰的具体方法主要有：屏蔽、接地、导线的处理和走向以及滤波等。

8.1 电磁干扰源的控制措施

8.1.1 抑制功能源干扰的措施

- 对假信号滤波；
- 更换一种比较兼容的信号产生方法；
- 控制信号发生器空间指向；
- 对分配给功能源的频率加强控制；
- 为了对易受干扰的敏感设备提供电磁平稳运行的时间周期，对其运行进行分时控制；
- 尽量减少使用非线性电路。

8.1.2 抑制随机源干扰的措施

若干扰源是随机源，如电机或电开关等，可在信号源处采用下列技术加以抑制：**a.**采用接触法能消除旋转机械与其外壳之间发生的电弧；**b.**接地和屏蔽法能有效降低有害信号；**c.**可用新器件替换引起干扰的设备器件。

8.2 敏感器件的保护措施

对敏感设备的干扰分析通常从考察干扰信号进入

到设备的各种途径入手。一般干扰途径越多,系统越易受干扰,对干扰控制的技术要求也越高。干扰信号正常的输入途径是:a.输入电源线;b.系统间相互连接的电缆;c.不密封的盒子(穿透);d.天线。

干扰信号通过互感能耦合到一个电感器上。如某个电感器接近另一个电感器、电阻器、导体或任意载有交变电流的电路元件时,所产生的磁通量将在电感器上感应一个电压,这个电压将干扰电感器上的正常电流。为了使电感性耦合的干扰影响减至最小,电感器必须加以屏蔽或把它放置在与干扰源耦合最小的方向上。

8.2.1 继电器

设计和研制专用于继电器电路的外壳、盒子、机架,以保证其有效隔离。潜在的电磁干扰源(如电源线或信号线)须隔开或屏蔽以避免耦合,进入外壳的导线应加滤波器。

安装在潜在干扰源处的继电器应配有无机械间断点金属盒子。固态电路继电器和其它易受电磁干扰的灵敏电子部件,均须采用信号接地保护;且此接地须是低阻抗回路,以使进入信号回路的假电压最小。在低频电路中采用单点接地,对高频电路则采取多点接地;前者,导线的绞合有助于消除低频磁场的干扰。在多点接地系统中,参考点上流过的电流能引起磁场;也可使用单点与多点接地的混合方式。

8.2.2 导体

任何单股导线当其置于电场或非平行可变磁场中时均能产生电动势,当导体处于交变磁场中,但磁力线没有和其耦合,则不会产生电动势。即导体、走线与交变场应相互垂直相交,或尽可能使其平行的导线最少。

通过屏蔽及屏蔽接地措施,采取双线绞合方法,均能减小导体对感应信号的灵敏度。因此,兼容的导线可捆扎在一起以减少对屏蔽的要求。

8.2.3 电子管

电子管如光电倍增管、光电摄像管,特别对于干扰很敏感的高增益电子管;当某伪信号出现在管子栅极时,则其与正常信号一起被放大,并在输出端出现干扰,引起管子的非线性特性而使问题变得复杂。也即若管子的栅极出现两个信号,则在交变的板流波形内将出现工作频率及谐波频率;同时,还存在工作频率的和频或差频以及它们的各次谐波频率。对此类现象,应在栅极电路上采用屏蔽线。

当电子管处于射频场附近工作时,干扰信号可通

过管子的外壳进入其中,此时须通过管子的屏蔽消除干扰影响。机械振动能使电子管产生颤噪效应,因此处于恶劣工作环境下的管子须对其采取加固措施以尽量减小这种效应的影响。此外,辐射也会影响电子管,可采用陶瓷管解决此类影响。

8.2.4 接插件

若不采取适当屏蔽保护措施,射频干扰易进入到接插件中。大多数屏蔽技术用以抑制电磁干扰,作为功能传输传导途径中的接插件均应通过某个界面与静地物理连接(如:焊接、螺栓连接或夹接);其最大的接触电阻应不大于 $10\text{m}\Omega$ 。

通过接插件管脚的合理分配可使接插件中交叉干扰减至最小。

8.2.5 半导体器件和集成电路器件

半导体器件和集成电路器件能敏感瞬时过载,此类过载能烧坏半导体器件或细导线。由于起二极管作用的结点对射频有整流作用,所以少量的射频能量就可能改变集成电路的偏压和工作状态。

为使半导体和集成电路对电磁干扰不敏感,引线处须加滤波;同时组件或外壳要适当加以屏蔽。若电源线上的脉冲干扰难以滤掉,可采用电压调节器作为保护设备。

8.3 电磁干扰途径控制措施

8.3.1 接地

接地就是在电路间相对于某个参考点建立一个电的通路,其目的是为了保证系统中所有部分都处于同一个电位上,多余的电磁能量可在系统中平衡掉。航天器系统的电气部件和结构件都必须保持在相同的参考电位上,以使用有效的接地系统来抑制干扰。工程上一般先把系统的结构件和电气部件分别接地,然后使它们组合在一个公共参考点或平面上来完成接地。为了实现良好的接地,连接点不应通过导体流到连接点上的电流呈现出更多阻碍。

接地系统包括静电地、结构地、交直流功率地以及屏蔽地;静电地和结构地并不是为走电流而设计的,但须与航天器所有导电部分相连。

通常,对于有效接地系统,电流的作用、氧化速率和对偶材料等因素均应视为可能引起性能衰退的干扰源,其中任一因素都可产生附加的假频率。由此设备在短时间内将取得一个比地高的电位,且像天线一样接受或者发送能量,这种现象可引起设备工作异常。此外,对于用作地回路的电缆不应采用屏蔽。

8.3.2 电连接

电连接是一种把某些金属部件机械地连接起来使其构成良好低电阻接触的方法,按照连接的质量要求,可采用熔焊、钎焊和压力连接等方式。

良好的电连接须使两种金属导体牢固地结合,对流经它的电流呈现一个均匀的电阻;且在连接处不至产生干扰的附加电位梯度。良好的连接与接触程度的好坏有关,它是由接触面积、压力及被结合的接触表面状态所决定。当不同化学成分的材料结合在一起时,则须避免发生腐蚀。连接的几何尺寸是很重要的参数,因其影响射频阻抗;阻抗正比于搭接片的长度,而与接触截面积成反比。此外,电流倾向于沿着连接处外层流动(集肤效应),当其频率增加时,这种效应会变得越来越明显;将导致有效电阻随频率增加,且使导体电感略增。工程上,为了使这种影响减小到允许值的范围,通常搭接片长与宽之比可取5或更小。

8.3.3 屏蔽

屏蔽是另一种减小电磁干扰的有效方法,屏蔽主要靠衰减干扰信号而抑制由干扰源发出的干扰,或保护敏感的设备免受干扰。由于在输入与输出的连接中会出现屏蔽间断点,因此,在设计屏蔽时,必须考虑这些间断点的存在,使其不致显著地减小整个屏蔽效果。

通常,屏蔽是把设备封闭起来,使得由设备产生的或与设备发生干扰的那些假信号均被全部隔离;一般根据能获得给定屏蔽效应的最低频率来决定选用屏蔽材料的类型。高导电材料(如铜、铝)和高阻抗电路结合使用,对电场通常有较好的屏蔽效应;而与低阻抗电路结合使用时,磁场较难屏蔽。对非磁性材料(如铝),其吸收和反射损耗随着频率的下降而不断下降,因而用非磁性材料屏蔽磁场是非常困难的。在低频时(低于150kHz),必须采用高导磁率材料(如金属或坡莫合金),其对磁场能提供满意的屏蔽效率。屏蔽的衰减和反射是决定屏蔽效果的两个主要参数,当用屏蔽来抑制干扰逸出时,则衰减(吸收)损耗是主要;相反当在敏感设备上用屏蔽来防护外来干扰时,则反射损耗变得更重要。

8.3.4 滤波

滤波器经常和屏蔽技术一起用来衰减从导线屏蔽间断点进入或者发出的干扰。干扰衰减滤波器对建立兼容性提供了另一种有效方法。

当利用接地和屏蔽使干扰减小以后,剩余的传导和辐射干扰可进一步采用滤波加以抑制。滤波器是一种能衰减多种频率的特殊电路或网络,所要求的衰减

量通常与有害信号或假信号的幅度有关,也与附近设备的敏感度或适用的电磁干扰技术规范限制有关。在敏感设备中要降低假信号的能量一般是较困难的,因为噪声电位能通过传导和辐射或二者的组合进入到设备中;为了消除或使干扰信号降到最小程度,或限制所要求的功能信号的带宽,最好的方法是在电磁干扰源处使用滤波技术。

信号经过滤波后会增加数字脉冲的上升或下降时间,从而减小 dv/dt 的噪声,滤波也有助于减小脉冲序列的谐波频率。滤波器有多种形式,最简单的是并联电容器,它跨接在载有假信号噪声电压的导体与地之间。经常用铁氧体磁环滤波器来衰减信号高频分量的振幅,显著的效果是减小振幅上升时间和波形前沿震荡。

8.3.5 导线的处理和走线

合理的走线和电缆布局有助于对干扰的控制。走线包括物理上隔离、电缆的排列和分股包扎等。在分股时把导线和电缆分成彼此可兼容的几组,每组均为屏蔽。在一股线中成对的相邻导线由于其电感和电容耦合可引起干扰,采用把两根发送或者接收导线扭合起来使干扰显著下降,这种方法的效果是在两个扭合线路之间减少了公共电路面积。

为了估算电路和分系统之间相互作用的有害性,针对其干扰和敏感度特性,分析系统内部和系统之间的走线、并以此来布置连接电缆和走线。在此基础上,用绞合线、屏蔽、束捆、引入参考基准和接地等方法消除或减小相互作用的影响。

通常根据敏感度、信号幅度和频率等参数把线路分类处理。在一定试验范围内火工电路均须隔离,功率电路常可当作单独电缆来处理。线路的分类如下:

a.电源电路:一次和二次直流电源、交流电源;b.小噪声电路:灵敏电路、小信号电路、高阻抗电路;c.大噪声电路:控制电路、大信号电路、火工点火电路。

9 航天器电磁干扰测试要求和方法

航天器上设备和系统的电磁干扰测量,包括受干扰灵敏度和干扰发射强度两大主要内容。大多数试验为系统兼容性试验,其目的是确定航天器各分系统同时工作时的抗干扰能力,即a.分系统的干扰试验,是测量单个航天器上设备或其相关辅助设备中发射出的

(下转第69页)