

文章编号:1007-1180(2011)05-0038-04

航空光学成像与测量系统的电磁兼容技术

刘铁军

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 电磁兼容性对航空设备来说是至关重要的, 它直接关系到飞机整体系统的正常、安全运行。本文简要介绍了航空成像与测量系统的综合电磁环境, 并针对综合电磁环境采用了减弱干扰源、线缆的分类整理、地线系统改良、屏蔽技术、优化电路板的布线结构等有效措施, 使航空成像与测量系统的电磁兼容性满足行业标准的要求, 所有设备能正常运行, 从而保证了飞机整体系统的安全性。

关键词: 电磁兼容; 电磁干扰; 屏蔽

中图分类号: V447.3 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/OMEI20112805.0038

EMC Technology of Airborne Optical Imaging and Measurement System

LIU Tie-jun

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China)

Abstract: Electromagnetic compatibility is essential to airborne device. It is directly related to the normal and safe operation of the whole aircraft system. The integrated electromagnetic environment was introduced for the airborne optical imaging and measurement system. Some effective measures were adopted, such as reducing interference source, sorting cables, improving ground system, shielding technology, optimizing the wiring structure of the circuit board and so on, so that the airborne optical imaging and measurement system met the electromagnetic compatibility requirement of the industry standards. All equipment can operate normally, ensuring the safety of the whole aircraft system.

Keywords: electromagnetic compatibility; electromagnetic interference; shielding technology

*基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) (No.2009CB72400105)

1 引言

近年来，电子、计算机等技术飞速发展，使各类型现代航空光学成像与测量系统都存在一个共同点：任务设备都是由大量的传感器等电子设备组成。这就决定了航空光学成像与测量全系统也存在一个共同的问题：电磁干扰（EMI）问题。电磁干扰是一种非常普遍存在的电磁现象，它会使整体系统的性能降低，甚至不能正常工作。一个系统如果能在电磁环境中正常工作，即系统中的设备不会相互产生干扰或者设备能承受其他设备带来的干扰，系统的这种能力被称为电磁兼容（EMC）。航空机载设备所处的综合电磁兼容环境越来越复杂，各种航空机载的电子设备或系统的电磁兼容性设计就越来越重要。

航空光学成像与测量系统电子设备的内部或外部存在干扰源，会对很多敏感器件和敏感电路产生干扰，甚至对飞机系统的稳定性产生影响。为了使设备能正常、稳定、安全的工作，就要既有一定的抗干扰能力，又能对自身所产生的干扰有一定的限制。本文采用了减弱干扰源、线缆的分类整理、地线系统改良、屏蔽技术、优化电路板的布线结构等有效措施来提高系统的电磁兼容性，使系统满足行业标准的要求^[1-2]。

2 综合电磁环境

电磁环境通常是由多个复杂的电磁干扰源构成的，某个干扰源的函数和它的频谱分别可以表示^[2]为 $f_i(t)$ 和 $S(w_i)$ ，其中

$$S(w) = \sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j\omega t} f_i(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[e^{-j\omega t} \sum_{i=1}^n f_i(t) \right] dt \quad (1)$$

设干扰源的场强值基本相等，则在频率为 f 点的综合干扰场强值为：

$$E = 20 \lg [\sqrt{N} \times E(f)] \quad (2)$$

3 电磁兼容性整改的常用方法

3.1 减弱干扰源

查找系统内部的干扰源，在其允许的范围内进行减弱。减弱干扰源的主要方法有：在电路中的电源和地之间加去耦电容，电容的引线越短越好；在保证系统灵敏度和信噪比的情况下加衰减器；还有一个间接的方法就是使信号线远离干扰源，从而减弱信号所受的干扰^[3]。

3.2 线缆的分类整理

在电子设备中，线路间耦合是一种常见的造成干扰的重要原因。按照其耦合频率高低的不同，可大体分为高频耦合与低频耦合。耦合方式不同，其整改方法也有所不同。

3.2.1 低频耦合

低频耦合是指导线长度等于或小于波长的 $1/16$ 的情况。低频耦合主要有电场耦合和磁场耦合，电场耦合的物理模型的实质是电容耦合，因此，整改的主要目标是尽量减小分布耦合电容或减小耦合量。主要方法有：第一，增大线路间距，减小分布电容；第二，安装滤波器以减小两电路间的耦合量；第三，加装导电性屏蔽罩，使屏蔽罩单点接地，从而有效地抑制低频电场干扰；第四，降低输入阻抗，例如某些电路的输入阻抗比较高，对电场干扰极其敏感，可在允许范围内在输入端并接一个电容或阻值较低的电阻。磁场耦合的物理模型的实质是电感耦合，其耦合主要是通过线路间的分布互感来耦合，因此，整改的方法主要是尽量减小其耦合量。主要方法有：第一，电路中追加滤波器，在追加滤波器时要注意电路中滤波器的输入输出阻抗及其频率响应；第二，增大两电路间距，减小线路间的互感，以降低耦合量；第三，尽量减小敏感回路与源回路的环路面积，即尽量使信号线或载流线与其回线靠近一些或扭绞在一起，成为一体；第四，若有可能，尽量使敏感回路与源回路平面正交或接近正交来降低两电路的耦合量；第五，用高导磁材料来包扎敏感线，使其

封闭，这样可有效地解决磁场干扰问题，值得注意的是，要构成闭合磁路，努力减小磁路的磁阻将会更加有效。

3.2.2 高频耦合

高频耦合是指长于波长的 1/4 的情况，走线由于电路中出现电压和电流的驻波，会使耦合量增大。主要的解决方法如下：第一，尽量缩短接地线长度，与外壳接地时，尽量采用面接触的方式；第二，屏蔽电缆屏蔽层要采用多点接地的方式；第三，重新整理滤波器的输入输出线，防止输入输出线间产生耦合，确保滤波器有较好的滤波效果；第四，将连接器的悬空插针接到地电位，防止其产生天线效应^[4]。

3.3 地线系统改良

理想的地线是以一个零阻抗、零电位的物理实体存在，它的特点是：不仅是信号的参考点，而且电流流过时不会产生电压降。但在具体的电气电子设备中，这种理想地线是不可能存在的，当电流流过地线时必然会产生一定的电压降。因此，可根据地线中干扰形成机理采用如下方法：第一，减小线路阻抗和电源馈线阻抗；第二，正确地选择接地方式和阻隔地线环路，接地方式主要有：悬浮地、单点接地、多点接地、混合接地。如果敏感线的干扰主要来自于外部空间或系统外壳，这时可采用悬浮地的方法加以解决，但悬浮地设备容易产生静电堆积，当电荷达到一定程度后，会产生静电放电，因此，悬浮地不宜用在一般的电子设备中。单点接地适用于低频电路中，即频率低于 3 MHz 的情况，为防止电流在信号地线上各点之间产生地电位差，使信号地线与电源及安全地线隔离，在电源线接大地处单点连接。多点接地是高频信号最实用的接地方式，适用于频率 300 kHz 以上，在射频时会呈现传输线特性，为保证多点接地的有效性，当接地导体长度超过最高频率波长的 1/8 时，多点接地需要一个等电位接地面。混合接地适用于既有高频又有低频的电子线路当中。

3.4 屏蔽技术

屏蔽是提高电子系统和电子设备电磁兼容性能的重要措施之一，它能非常有效地抑制通过空间传播的各种各样的电磁干扰。屏蔽的好坏可以用屏蔽效能来衡量：

$$S_E = 20 \times \lg \left(\frac{E_0}{E_1} \right) \text{dB} \quad (3)$$

$$S_H = 20 \times \lg \left(\frac{H_0}{H_1} \right) \text{dB} \quad (4)$$

其中， S_E ， S_H 分别为电场和磁场屏蔽效能， E_0 ， H_0 分别为无屏蔽情况下的电场和磁场， E_1 ， H_1 分别为屏蔽体内的电场和磁场。屏蔽按其原理可分为：磁场屏蔽、电场屏蔽及电磁屏蔽。电场屏蔽应注意以下几点：第一，选择高导电性能的材料，并且要有良好的接地；第二，要正确选择接地点，最好是屏蔽体直接接地。磁场屏蔽通常只是指对直流或低频磁场的屏蔽。其屏蔽效果远不如电场屏蔽和电磁屏蔽。电磁屏蔽往往是工程上的重点，电磁屏蔽时：第一，要选用铁磁性材料；第二，可采用双层屏蔽甚至三层屏蔽方式；第三，电磁屏蔽体需要远离有磁性的元件，防止磁短路；第四，屏蔽体上边的开孔要注意开孔的方向和方式，尽可能使缝的长边平行于磁通量流向，使磁通路长度最少。一般情况下，电磁屏蔽不需要接地，但为防止电场感应时，还是接地为好。电磁场在通过金属或对电磁场有衰减作用的阻挡体时，会受到一定程度的衰减，即产生对电磁场的屏蔽作用。

3.5 优化电路板的布线结构

(1) 目前 PCB 设计中，如果系统中同时存在数字电路部分、模拟电路部分以及大电流电路部分，则必须将其分开布局，使各部分电路之间的耦合最小。

(2) 在系统布局时使 IC 去耦电容尽可能靠近 IC 芯片的电源和地线的引脚端，滤波效果会比较好。在数字电路系统中，为保证其可靠工作，在每一数字集成芯片（包括门电路和抗干扰能力较差的 CPU、RAM、ROM 芯片等）的电源和地之间均要设

置 IC 去耦电容。

(3) 高压或大功率元件尽可能与低压小功率元件分开布线，即彼此电源线、地线分开走线，以避免高压大功率元件通过电源线、地线的寄生电阻(或电感)干扰功率小元件。

(4) 热敏元件等要尽可能地远离大功率电子器件。

(5) 时钟电路元件应尽可能靠近 CPU 时钟引脚。在数字电路中，尤其是控制系统中的时钟电路，最容易产生电磁辐射，干扰系统中的其他电子元器件。

(6) 在数据总线之间，可以加信号地线来实现彼此的隔离。为了提高抗干扰能力，小信号线和模拟信号线应尽可能地靠近地线，尽量远离大电流和电源线。数字信号既容易干扰小信号，又容易受大电流信号的干扰，布线时必须认真考虑和处理好数据总线的走线，必要时加电磁屏蔽罩或屏蔽板。

(7) 线路板中导线转折点内拐角不能 $<90^\circ$ ，一般需要选择 135° 或圆角，导线与焊盘、过孔的连接处要圆滑，以免出现小尖角产生电磁辐射，影响系统性能。

(8) 连线应尽可能短，尤其是场效应管栅极、晶体管基极以及高频回路。高频信号如果需要引到电路板之外，最好单独使用连接器引出，不要与其

它信号、电源线合用一个连接器，以避免相互干扰。

(9) 在多层线路板中，上下两层信号线的走线方向尽量要相互垂直或斜交叉，尽量避免平行走线。对于数字、模拟混合电路系统来说，模拟信号走线和数字信号走线应尽可能分别位于不同面内，且走线方向最好不要平行，以减少相互间的信号耦合。

(10) 在高频电路中必须严格限制平行走线的最大长度。

(11) 数字电路、模拟电路以及大电流电路的电源线、地线必须分开走线，最后再接到系统电源线、地线上，要形成单点接地形式。

(12) 在双面电路板中，由于没有单独的地线层屏蔽，应尽可能避免在时钟电路下方走线^[5]。

4 结 论

电磁兼容的设计是系统设计的关键环节，在系统设计之初就应该先进行电磁兼容性的设计。本文在工程实践的基础上，采用了减弱干扰源、线缆的分类整理、地线系统的改良、屏蔽技术、优化电路板的布线结构等有效措施，使航空光学成像与测量系统的电磁兼容性满足行业标准的要求，保障了系统稳定可靠的工作，提高了飞机系统的可靠性。

参考文献

- [1] 杨士元. 电磁屏蔽理论与实践[M]. 北京：国防工业出版社，2006.
- [2] 中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会. 电磁兼容技术[M]. 北京：国防工业出版社，2005.
- [3] 苏东林，王冰切. 电子战特种飞机电磁兼容预设计技术[M]. 北京航空航天大学学报，2006，169(10):2100–2104.
- [4] 冯家珍译. 无线电电子设备电磁兼容性[M]. 北京：航空工业出版社，1992.
- [5] 周开基. 电磁兼容性原理[M]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2003.

作者简介：刘铁军（1953-），男，吉林长春人，高级实验师，主要从事航空光学成像与测量技术的研究。