工控机电磁干扰屏蔽技术分析

电磁兼容性(EMC)是指“一种器件、设备或系统的性能，它可以使其在自身环境下正常工作并且同时不会对此环境中任何其他设备产生强烈电磁干扰（IEEE C63.12-1987）。”对于无线收发设备来说，采用非连续频谱可部分实现EMC性能，但是很多有关的例子也表明EMC并不总是能够做到。例如在笔记本电脑和测试设备之间、打印机和台式电脑之间以及蜂窝电话和医疗仪器之间等都具有高频干扰，我们把这种干扰称为电磁干扰(EMI)。**深圳祈飞科技**的工控机从整机层面对电磁干扰屏蔽上做了相当多的工作，下面让我们来详细分析电磁干扰屏蔽技术问题。

一、EMC问题来源

所有电器和电子设备工作时都会有间歇或连续性电压电流变化，有时变化速率还相当快，这样会导致在不同频率内或一个频带间产生电磁能量，而相应的电路则会将这种能量发射到周围的环境中。

EMI有两条途径离开或进入一个电路：辐射和传导。信号辐射是通过外壳的缝、槽、开孔或其他缺口泄漏出去；而信号传导则通过耦合到电源、信号和控制线上离开外壳，在开放的空间中自由辐射，从而产生干扰。

很多EMI抑制都采用外壳屏蔽和缝隙屏蔽结合的方式来实现，大多数时候下面这些简单原则可以有助于实现EMI屏蔽：从源头处降低干扰；通过屏蔽、过滤或接地将干扰产生电路隔离以及增强敏感电路的抗干扰能力等。EMI抑制性、隔离性和低敏感性应该作为所有电路设计人员的目标，这些性能在设计阶段的早期就应完成。

对设计工程师而言，采用屏蔽材料是一种有效降低EMI的方法。如今已有多种外壳屏蔽材料得到广泛使用，从金属罐、薄金属片和箔带到在导电织物或卷带上喷射涂层及镀层(如导电漆及锌线喷涂等)。无论是金属还是涂有导电层的塑料，一旦设计人员确定作为外壳材料之后，就可着手开始选择衬垫。

二、EMI抑制策略

只有如金属和铁之类导磁率高的材料才能在极低频率下达到较高屏蔽效率。这些材料的导磁率会随着频率增加而降低，另外如果初始磁场较强也会使导磁率降低，还有就是采用机械方法将屏蔽罩作成规定形状同样会降低导磁率。综上所述，选择用于屏蔽的高导磁性材料非常复杂，通常要向EMI屏蔽材料供应商以及有关咨询机构寻求解决方案。

在高频电场下，采用薄层金属作为外壳或内衬材料可达到良好的屏蔽效果，但条件是屏蔽必须连续，并将敏感部分完全遮盖住，没有缺口或缝隙(形成一个法拉第笼。然而在实际中要制造一个无接缝及缺口的屏蔽罩是不可能的，由于屏蔽罩要分成多个部分进行制作，因此就会有缝隙需要接合，另外通常还得在屏蔽罩上打孔以便安装与插卡或装配组件的连线。

设计屏蔽罩的困难在于制造过程中不可避免会产生孔隙，而且设备运行过程中还会需要用到这些孔隙。制造、面板连线、通风口、外部监测窗口以及面板安装组件等都需要在屏蔽罩上打孔，从而大大降低了屏蔽性能。尽管沟槽和缝隙不可避免，但在屏蔽设计中对与电路工作频率波长有关的沟槽长度作仔细考虑是很有好处的。

任一频率电磁波的波长为: 波长(λ)=光速(C)/频率(Hz)。当缝隙长度为波长(截止频率)的一半时,RF波开始以20dB/10倍频(1/10截止频率)或6dB/8倍频(1/2截止频率)的速率衰减。通常RF发射频率越高衰减越严重，因为它的波长越短。当涉及到最高频率时，必须要考虑可能会出现的任何谐波，不过实际上只需考虑一次及二次谐波即可。

一旦知道了屏蔽罩内RF辐射的频率及强度，就可计算出屏蔽罩的最大允许缝隙和沟槽。例如：如果需要对1GHz(波长为300mm)的辐射衰减26dB，则150mm的缝隙将会开始产生衰减，因此当存在小于150mm的缝隙时，1GHz辐射就会被衰减。所以对1GHz频率来讲，若需要衰减20dB，则缝隙应小于15 mm(150mm的1/10)，需要衰减26dB时，缝隙应小于7.5 mm(15mm的1/2以上)，需要衰减32dB时，缝隙应小于3.75 mm(7.5mm的1/2以上)。因此可以采用合适的导电衬垫使缝隙大小限定在规定尺寸内，从而实现这种衰减效果。

三、屏蔽设计难点

由于接缝会导致屏蔽罩导通率下降，因此屏蔽效率也会降低。要注意低于截止频率的辐射其衰减只取决于缝隙的长度直径比，例如长度直径比为3时可获得100dB的衰减。在需要穿孔时，可利用厚屏蔽罩上面小孔的波导特性；另一种实现较高长度直径比的方法是附加一个小型金属屏蔽物，如一个大小合适的衬垫。上述原理及其在多缝情况下的推广构成多孔屏蔽罩设计基础。

多孔薄型屏蔽层：多孔的例子很多，比如薄金属片上的通风孔等等，当各孔间距较近时设计上必须要仔细考虑。下面是此类情况下屏蔽效率计算公式：SE=[20lg (fc/o/σ)]-10lgn，其中 fc/o为“截止频率”， n为“孔洞数目”。（注意此公式仅适用于孔间距小于孔直径的情况，也可用于计算金属编织网的相关屏蔽效率）

接缝和接点：电焊、铜焊或锡焊是薄片之间进行永久性固定的常用方式，接合部位金属表面必须清理干净，以使接合处能完全用导电的金属填满。不建议用螺钉或铆钉进行固定，因为紧固件之间接合处的低阻接触状态不容易长久保持。

导电衬垫的作用是减少接缝或接合处的槽、孔或缝隙，使RF辐射不会散发出去。EMI衬垫是一种导电介质，用于填补屏蔽罩内的空隙并提供连续低阻抗接点。通常EMI衬垫可在两个导体之间提供一种灵活的连接，使一个导体上的电流传至另一导体。

封孔EMI衬垫的选用可参照以下性能参数：（1）特定频率范围的屏蔽效率；（2）安装方法和密封强度；（3）与外罩电流兼容性以及对外部环境的抗腐蚀能力；（4）工作温度范围；（5）成本。

大多数商用衬垫都具有足够的屏蔽性能以使设备满足EMC标准，关键是在屏蔽罩内正确地对垫片进行设计。

垫片系统：一个需要考虑的重要因素是压缩，压缩能在衬垫和垫片之间产生较高导电率。衬垫和垫片之间导电性太差会降低屏蔽效率，另外接合处如果少了一块则会出现细缝而形成槽状天线，其辐射波长比缝隙长度小约4倍。

确保导通性首先要保证垫片表面平滑、干净并经过必要处理以具有良好导电性，这些表面在接合之前必须先遮住；另外屏蔽衬垫材料对这种垫片具有持续良好的粘合性也非常重要。导电衬垫的可压缩特性可以弥补垫片的任何不规则情况。

所有衬垫都有一个有效工作最小接触电阻，设计人员可以加大对衬垫的压缩力度以降低多个衬垫的接触电阻，当然这将增加密封强度，会使屏蔽罩变得更为弯曲。大多数衬垫在压缩到原来厚度的30%至70%时效果比较好。因此在建议的最小接触面范围内，两个相向凹点之间的压力应足以确保衬垫和垫片之间具有良好的导电性。

另一方面，对衬垫的压力不应大到使衬垫处于非正常压缩状态，因为此时会导致衬垫接触失效，并可能产生电磁泄漏。与垫片分离的要求对于将衬垫压缩控制在制造商建议范围非常重要，这种设计需要确保垫片具有足够的硬度，以免在垫片紧固件之间产生较大弯曲。在某些情况下，可能需要另外一些紧固件以防止外壳结构弯曲。

压缩性也是转动接合处的一个重要特性，如在门或插板等位置。若衬垫易于压缩，那么屏蔽性能会随着门的每次转动而下降，此时衬垫需要更高的压缩力才能达到与新衬垫相同的屏蔽性能。在大多数情况下这不太可能做得到，因此需要一个长期EMI解决方案。

如果屏蔽罩或垫片由涂有导电层的塑料制成，则添加一个EMI衬垫不会产生太多问题，但是设计人员必须考虑很多衬垫在导电表面上都会有磨损，通常金属衬垫的镀层表面更易磨损。随着时间增长这种磨损会降低衬垫接合处的屏蔽效率，并给后面的制造商带来麻烦。

如果屏蔽罩或垫片结构是金属的，那么在喷涂抛光材料之前可加一个衬垫把垫片表面包住，只需用导电膜和卷带即可。若在接合垫片的两边都使用卷带，则可用机械固件对EMI衬垫进行紧固，例如带有塑料铆钉或压敏粘结剂(PSA)的“C型”衬垫。衬垫安装在垫片的一边，以完成对EMI的屏蔽。

四、衬垫及附件

目前可用的屏蔽和衬垫产品非常多，包括铍-铜接头、金属网线(带弹性内芯或不带)、嵌入橡胶中的金属网和定向线、导电橡胶以及具有金属镀层的聚氨酯泡沫衬垫等。大多数屏蔽材料制造商都可提供各种衬垫能达到的SE估计值，但要记住SE是个相对数值，还取决于孔隙、衬垫尺寸、衬垫压缩比以及材料成分等。衬垫有多种形状，可用于各种特定应用，包括有磨损、滑动以及带铰链的场合。目前许多衬垫带有粘胶或在衬垫上面就有固定装置，如挤压插入、管脚插入或倒钩装置等。

各类衬垫中，涂层泡沫衬垫是最新也是市面上用途最广的产品之一。这类衬垫可做成多种形状，厚度大于0.5mm，也可减少厚度以满足UL燃烧及环境密封标准。还有另一种新型衬垫即环境/EMI混合衬垫，有了它就可以无需再使用单独的密封材料，从而降低屏蔽罩成本和复杂程度。这些衬垫的外部覆层对紫外线稳定，可防潮、防风、防清洗溶剂，内部涂层则进行金属化处理并具有较高导电性。最近的另外一项革新是在EMI衬垫上装了一个塑料夹，同传统压制型金属衬垫相比，它的重量较轻，装配时间短，而且成本更低，因此更具市场吸引力。

五、结论

工控机一般都需要进行屏蔽，这是因为结构本身存在一些槽和缝隙。所需屏蔽可通过一些基本原则确定，但是理论与现实之间还是有差别。工控机外壳表面处理及垫片设计是保持长期屏蔽以实现EMC性能的关键因素。