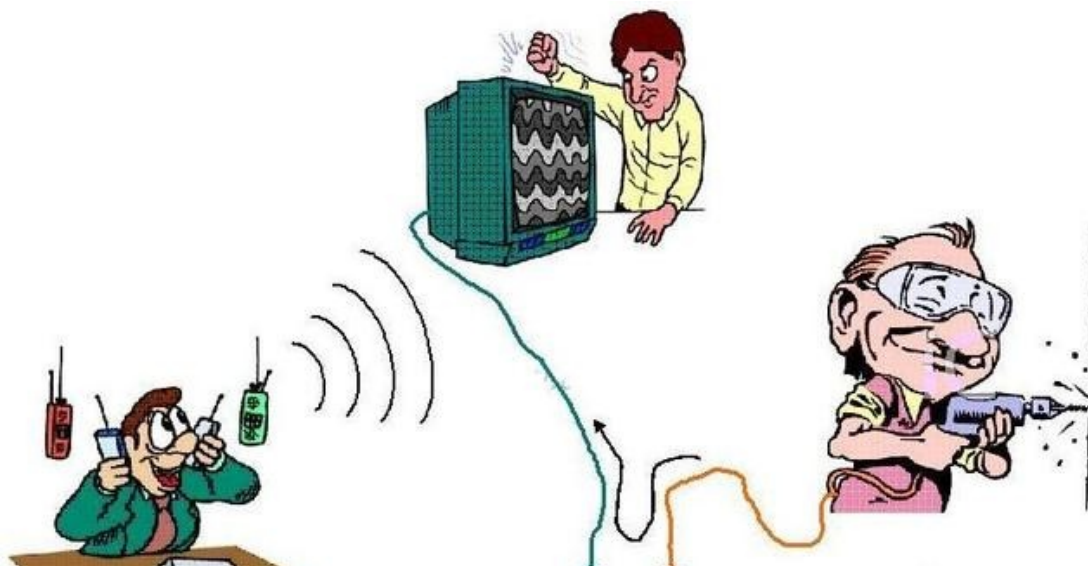


结构工程师必须掌握的 EMC 结构设计知识

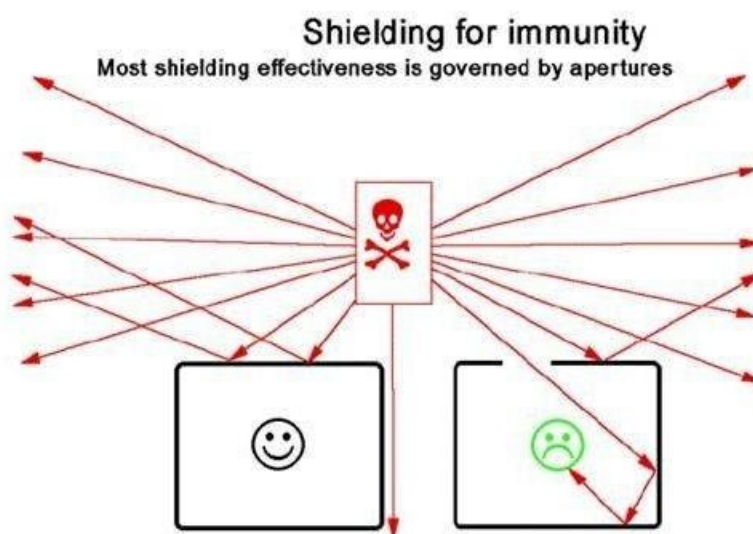
1. EMC 简单介绍

EMC 的概念：

电磁兼容（Electromagnetic Compatibility，EMC）其定义为“设备和系统在其电磁环境中能正常工作且不对环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力”。

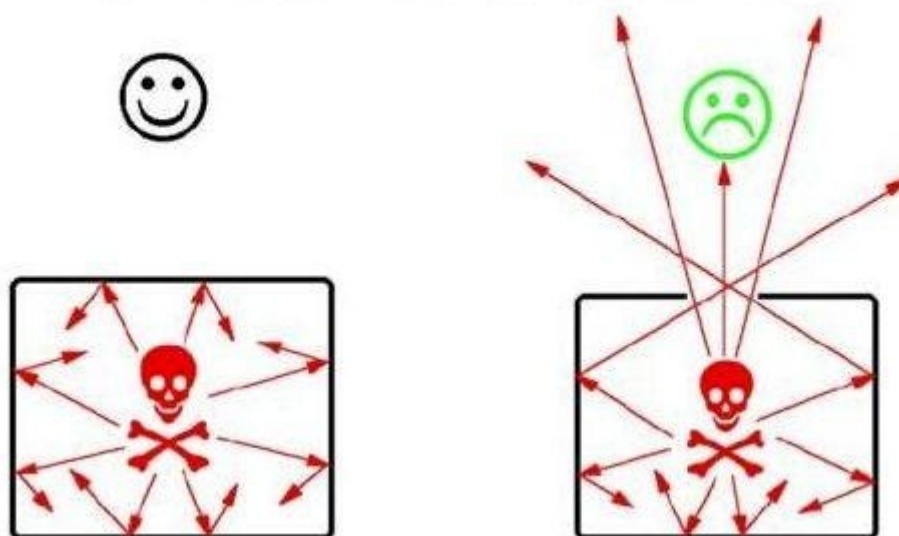


EMC 包含两个方面的意思，首先，设备能够抵抗所接受到的干扰而正常工作(即 EMS)；其次，设备所发射的电磁干扰不能影响其它设备的正常工作(即 EMI)。



Shielding for emissions

Most shielding effectiveness is governed by apertures



生活中的 EMC：

飞机上限制使用手机等电子设备，是因为手机等有可能会对机载设备造成电磁干扰，引起机载设备性能下降或者功能丧失，影响飞机飞行安全。

有时乘客会偷偷使用手机，为什么没有“引起机载设备性能下降或者功能丧失”？这是因为飞机的“电磁兼容性”设计有很高的安全裕度。

随着电子电气设备越发密集的应用，电磁兼容性引起工业制造领域各设备制造商的广泛关注，民用飞机电磁兼容性设计验证更是有着严格的适航要求。电磁兼容性设计工作基于一个重要的现象：电子电气设备在正常工作时，既对外部空间发射电磁能量，也容易被外来电磁能量干扰。

现代民机作为高度集成各种电子设备的精密系统，任何关键设备的正常工作受到影响，后果都将不堪设想。例如，飞机若想按照事先规划的航路飞行以确保空域畅通和绝对安全，在飞行中需要时刻与地面塔台保持联系，这有赖导航系统的准确定位，且通信系统能快速清晰传达和接收信息。

如果电磁兼容工作不到位，同时工作的其他设备所发射的电磁能量经过叠加，可能超过一般设备的耐受上限，通过线缆传导或者空间耦合等机理进入通信、导航等系统，轻则降低系统工作性能，重则损坏电路，使系统彻底失效。

电磁干扰作为一种可传播的能量，从发射源产生通过耦合路径最后到达受影响设备。上述三者即电磁兼容三要素。民机设计师通过“三要素”开展电磁兼容工作。比如，在设计初期，通过优化“发射源”的设计，使其降低无意泄漏的电磁能量；在系统安装集成阶段，通过增加敏感设备之间的隔离距离，“切断”耦合路径；在系统验证阶段，如果发现了电磁兼容问题，再针对性地为问题设备增加屏蔽层。

在飞机上限制使用手机，就是为了减少“发射源”，降低外来电子设备对机载设备的电磁干扰，尤其是飞行起降阶段，飞机与塔台通信频繁，为了不影响导航等机载设备的正常使用，应该尽量少用手机。

当然，也曾经出现过手机干扰飞机飞行的事情发生。国内某航空公司的一名机长描述，他就曾遇到过手机干扰飞机飞行的情况，当时，飞机下降找跑道时，连方向都找反了。“太危险了，还好没出事。”

2. EMC 设计

1. EMC 设计的内容：

EMC 设计可分为：

信号设计、线路设计、屏蔽、接地、滤波、合理布局

其中与结构关系较大的有：

屏蔽、接地、合理布局

注意：并不代表其它措施与结构设计完全无关，结构设计亦需配合完成其它措施比如合理布局。

2. EMC 设计基本目的：

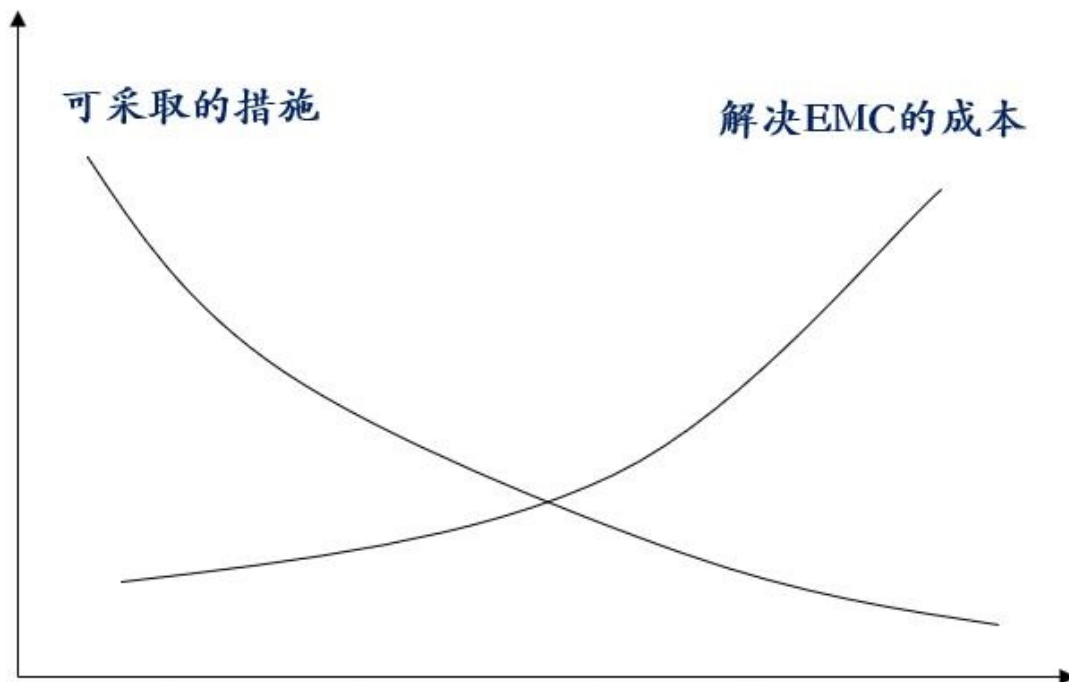
产品内部的电路互相不产生干扰，达到预期的功能。

产品产生的电磁干扰强度低于特定的极限值。

产品对外界的电磁干扰有一定的抵抗能力

3. EMC 设计在产品开发各阶段的成本：

在产品设计的早期阶段，解决 EMC 问题的途径多，将花费较少的成本；到产品生产后期再采取解决 EMC 的技术措施，将受到各种情况的制约。并且，采用同样的技术措施，在生产后期采用时，将大大增加产品成本，延长产品开发周期。



▲ EMC 设计在产品开发各阶段的成本

因此，随着产品开发向前推进，解决 EMC 的成本越来越高。因此，EMC 设计越早进行越好，千万不要等到 EMC 测试出现问题了，再去急急忙忙的查找原因、寻找解决方案。

4. 传统 EMC 对策：

产品在进行实际测试的时候，EMC 问题实际发生了，开始查找 EMC 问题，使用的工具：频谱仪和近场探头

此时能够采取的手段是：屏蔽和滤波

传统 EMC 对策存在的问题是：

需要考虑设备内部【板间，板内信号间】EMI 问题，不能使用屏蔽/滤波手段；

屏蔽和滤波会导致产品设计修改，增加产品成本和延长产品开发周期；

信号频率与干扰频率一致，不能采用滤波；

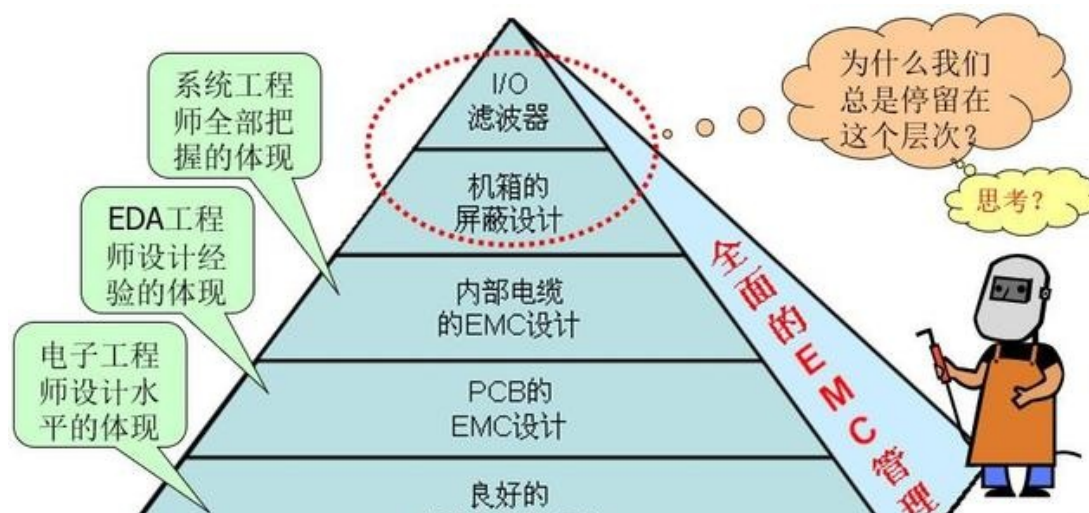
频率提高，布线、屏蔽体、机箱等成为天线；
高频信号耦合到电缆，由电缆发射；

产品开发最后阶段解决 EMC 问题的唯一办法是：屏蔽和滤波。但是，用屏蔽能解决所有的 EMC 问题？

屏蔽策略的隐患：机箱及屏蔽材料的变形及损坏，产生电磁泄漏

这种对策的结果是：有利于通过 EMC，但是会恶化内部干扰，影响设备稳定性，增加抗干扰的要求。

5. EMC 对策新理念：



▲全面的 EMC 管理

EMC 对策的新理念是进行全面的 EMC 管理，尽早进行 EMC 设计：

EMC 是一项系统工程：早考虑，成本低，手段多，效率高；需要产品开发团队协同配合，包括结构设计。

充分利用现有的 EMC 设计规范和设计指南（专家的经验），当然，在使用的时候需要思考：设计能全部按照设计规则执行吗？所有理论在所有场合都正确吗？

合理使用仿真技术，把问题扼杀在萌芽阶段。PCB 板设计的仿真：Hyperlynx。电子电路仿真：Pspice、Serenade。

精度与速度，实际问题实际解决。使用测量技术，使用一般仪器进行对比测试。引入电磁场扫描技术，进行 EMC 预兼容测试。

6. EMC 设计的流程：



7. EMC 结构设计的经验：

在项目的早期就参与结构设计，由硬件工程师主导硬件系统的结构设计，而不是被动地接收已有的结构造型，然后千方百计地想办法怎样才能现有的造型基础上尽量满足性能、EMC 等的要求，要在结构设计中起到主导性的作用；

尽早设计出 3D 图，针对 3D 图，组织各方面的人员反复讨论，权衡利弊，就 EMC 而言，要针对 3D 图去发现问题，填补问题，这样的互动要进行很多次，直至能得到一个比较满意的结果；

屏蔽结构的使用，哪些板卡需要屏蔽、哪些可以不要，未屏蔽的板卡要针对 EMC 采取哪些预防措施，PCB 本身也许就可以作为 EMC 的屏蔽体；

线材处理，包括内部模块互连线（暴露在屏蔽壳之外）及外部接口线，是否已经在母板、连接板或输出板等位置预留滤波措施。

3. EMC 结构设计之屏蔽

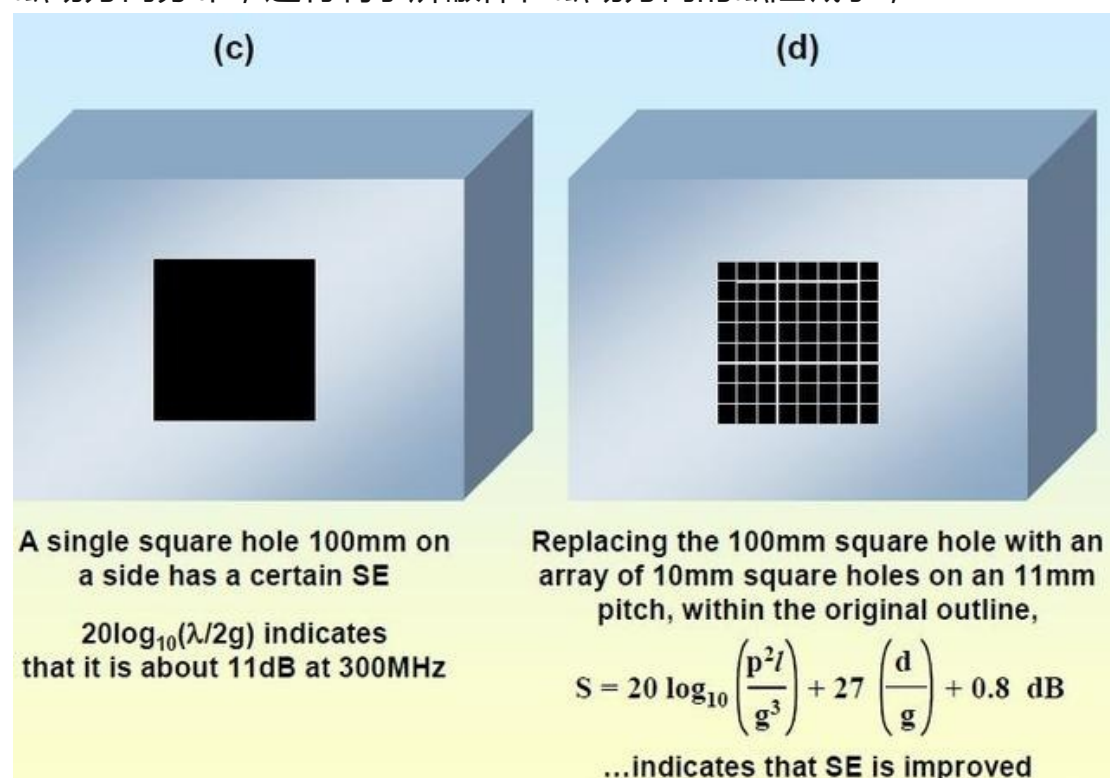
1. 什么是屏蔽：

屏蔽是解决电磁兼容问题的重要手段之一。屏蔽就是对两个空间区域之间进行金属的隔离，以控制电场、磁场和电磁波由一个区域对另一个区域的感应和辐射。具体讲，就是用屏蔽体将元部件、电路、组合件、电缆或整个系统的干扰源包围起来，防止干扰电磁场向外扩散；用屏蔽体将接收电路、设备或系统包围起来，防止它们受到外界电磁场的影响。

2. 屏蔽设计的基本原则：

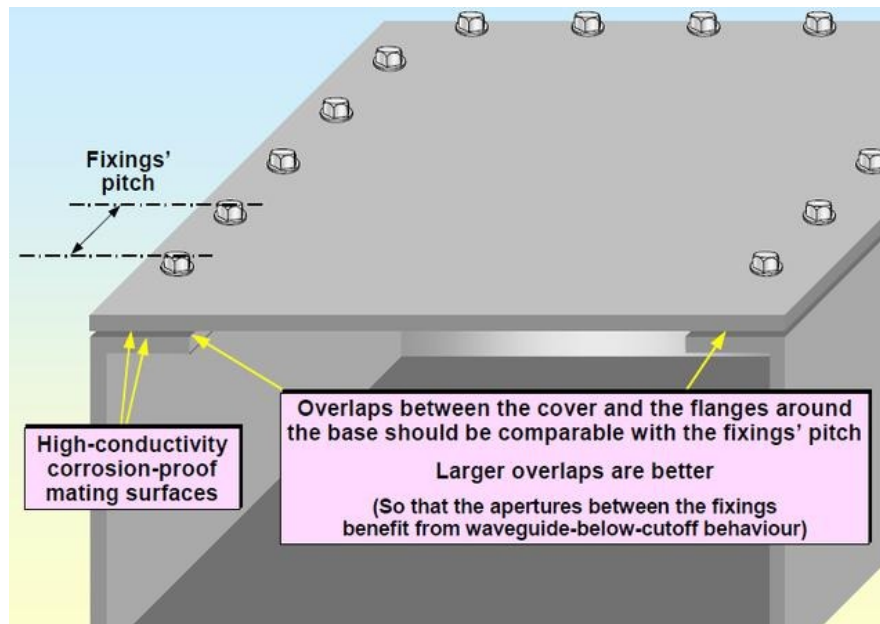
屏蔽体结构简洁，尽可能减少不必要的孔洞，尽可能不要增加额外的缝隙；

结构方面影响孔洞屏蔽效能的因素主要有：孔的最大尺寸、孔的深度、孔间距以及孔的数量，其中影响最大的是孔的最大尺寸和孔的深度。需要注意的是屏蔽效能只与孔的最大尺寸有关，而与孔的面积并没有直接关系，因此在设计中尽量开圆孔，其次考虑是开方孔，尽量避免开长腰孔；通风孔尽量采用圆孔并阵列排放。屏蔽和散热有矛盾时尽可能开小孔，多开孔；另外，可以让缝隙或长条形通风孔循着磁场方向分布，这有利于屏蔽体在磁场方向的磁阻减小；



两个零件结合在一起，结合面的缝隙是影响结构件屏蔽效能的主

要因素。如果不安装屏蔽材料，结构方面影响缝隙屏蔽效能的因素主要有：缝隙的最大尺寸、缝隙的深度等。如果缝隙中安装屏蔽材料，缝隙的屏蔽效能还与屏蔽材料自身的特性有关。在实际设计中缝隙的最大尺寸与：紧固点的距离、零件的刚性、结合面表面的精度等因素有关；



足够重视电缆的处理措施，电缆的处理往往比屏蔽本身还重要；

足够细心，电磁兼容设计必须注意每一个小环节，稍不注意就可能功亏一篑；

屏蔽体的电连续性是影响结构件屏蔽效能最主要的因素，相对而言，材料本身屏蔽性能的影响是微不足道的（低频磁场例外）；

对于强磁场的屏蔽可采用双层磁屏蔽体的结构。对要屏蔽外部强磁场的，则屏蔽体外层要选用不易磁饱和的材料，如硅钢等；而内部可选用容易达到饱和的高导磁材料，如坡莫合金等。反之，如果要屏蔽内部强磁场时，则材料排列次序要倒过来。在安装内外两层屏蔽体时，要注意彼此间的磁绝缘。当没有接地要求时，可用绝缘材料做支撑件。若需要接地时，可选用非铁磁材料（如铜、铝）做支撑件。但从屏蔽体能兼有防止电场感应的目的出发，一般还是要接地的；

提高磁场屏蔽效能的主要措施有：选用高导磁率的材料（如坡莫合金）以及增加屏蔽体的壁厚；以上两条均是为了减少屏蔽体的磁阻；

被屏蔽的物体不要安排在紧靠屏蔽体的位置上，以尽量减少通过被屏蔽物体体内的磁通。

3. 机箱（或屏蔽盒）之屏蔽：

前面所述都把电磁屏蔽体看成是一个全封闭的屏蔽体，亦即它在电气上是连续均匀的，没有孔隙的。但在实际中，这种屏蔽体并不存在，现实中机箱都有空隙，在电气上并不连续，导致其屏蔽效能会降低。

下面是机箱（或屏蔽盒）设计中的一些基本做法：

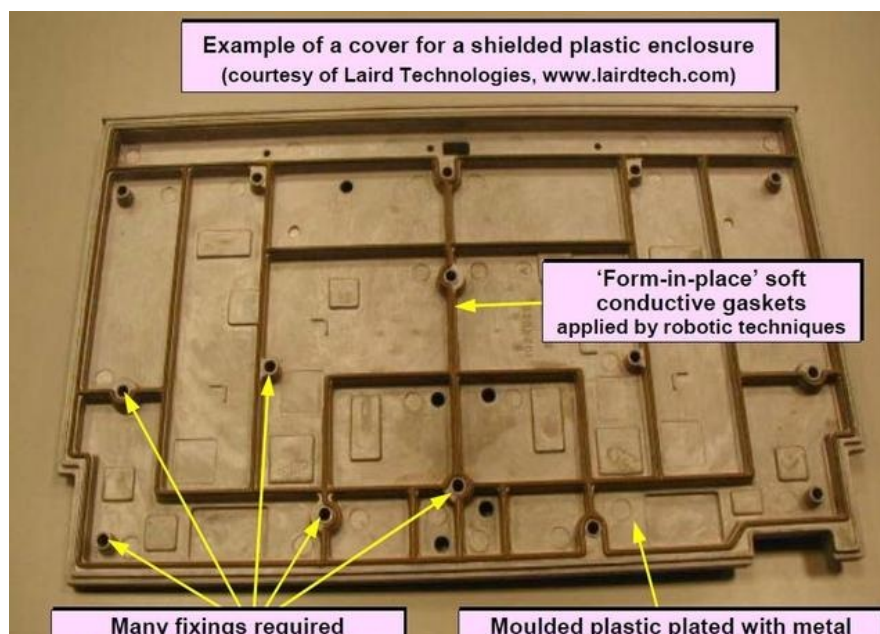
（1）结构材料

1）适用于底板和机壳的材料大多数是良导体，如铜、铝等，可以屏蔽电场，主要的屏蔽机理是反射而不是吸收。

2）对磁场的屏蔽需用铁磁材料，如高导磁率合金和铁。主要的屏蔽机理是吸收而不是反射。

3）在强电磁场环境中，要求材料能屏蔽电场和磁场两种成分，因此需要结构上完好的铁磁材料。屏蔽效率直接受材料厚度以及搭接和接地方法好坏的影响。

4）对于塑料壳体，是在其内壁喷涂屏蔽层，或者使用导电塑料。必须尽量减少结构的电气不连续性，以便控制经底板和机壳进出的泄漏辐射。提高缝隙屏蔽效能的结构措施包括增加缝隙深度，减少缝隙长度，在接合面上加入导电衬垫，在接缝处涂上导电涂料，缩短螺钉间距等。



（2）对于塑料壳体的表面处理方法

等级	屏蔽值(dB)	说明
1	90~120	最高等级的屏蔽，用于高功率和非常灵敏的仪器，适用于军事产品
2	60~90	高等级的屏蔽，用于排除严重的电磁干扰
3	30~60	中等级的屏蔽，用于要求中等水平电磁屏蔽的场合
4	10~30	低等级的屏蔽，用于不灵敏和低功率的仪器

2) 可靠性

要求镀层在使用过程中屏蔽能力基本不降低，附着力良好，镀层如有脱落，不但影响屏蔽性能，而且落入仪器内部能造成短路事故。对可靠性的鉴定是按有关标准进行冷—热循环，高温与低温实验后，对镀层的导电性和附着力进行检验。

3) 脆性

要求镀层按有关标准进行冲击试验后，不应有剥落。

(3) 缝隙

在底板和机壳的每一条缝和不连续处要尽可能好地搭接，以防电磁能的泄漏和辐射，尽可能采用焊接。若条件受限，可用点焊、小间距的铆接和用螺钉来固定；

在不加导电衬垫时，螺钉间距一般应小于最高工作频率的 1% 波长，至少不大于 1/20 波长；

用螺钉或铆接搭接时，应首先在缝中部搭接好，然后逐渐向两端延伸，以防金属表面的弯曲；

保证紧固方法有足够的压力，以便在有变形应力、冲击、振动时保持表面接触，当需要活动接触时，使用指形压簧（而不用网状衬垫），并要注意保持弹性指簧的压力；

在接缝不平整的地方，或在可移动的面板等处，必须使用导电衬垫或指形弹簧材料；

选择高导电率、弹性好的、硬韧材料做成的衬垫。选择衬垫时要考虑接合处所使用的频率并保证同衬垫配合的金属表面没有非导电保护层；

导电橡胶衬垫用在铝金属表面时，要注意电化腐蚀作用。纯银填料的橡胶或线形衬垫将出现最严重的电化腐蚀。银镀铝填料的导电胶是盐雾环境下用于铝金属配合表面的最好衬垫材料。

4.常用屏蔽材料

1. 导电布

导电布是以纤维布（一般常用聚酯纤维布）为基材，经过前置处理后施以电镀金属镀层使其具有金属特性而成为导电纤维布。可分为：镀镍导电布，镀金导电布，镀炭导电布，铝箔纤维复合布。外观上有平纹和网格区分。



2. 导电泡棉(Conductive Foam or Gasket)

导电泡棉衬垫(CF)制成的板料。方形条。及用于电脑接口的 I/O 屏蔽衬垫。有半（椭）圆形、腰圆形、矩形、方形、C 形等。C 形常用于机柜门、插箱门等需要较大压缩量的屏蔽场合。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/558123140067006137>