



中华人民共和国国家军用标准

FL

GJB 1210—91

接地、搭接和屏蔽设计的实施

Grounding, bonding and shielding
design practices

1991—10—18 发布

1992—06—01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

目 次

1 范围	(1)
1.1 主题内容	(1)
1.2 适用范围	(1)
2 引用标准	(1)
3 定义	(1)
4 一般要求	(1)
5 详细要求	(1)
5.1 接地	(1)
5.1.1 接地平面的要求	(1)
5.1.2 接地技术与接地连接	(2)
5.1.3 屏蔽体的接地	(2)
5.1.4 电路的接地	(6)
5.1.5 电源	(6)
5.1.6 设备接地实施	(8)
5.1.7 大地接地	(9)
5.1.8 交流中线与机架接地线的隔离	(11)
5.2 搭接	(11)
5.2.1 搭接的有效性	(11)
5.2.2 设计要求	(11)
5.2.3 搭接的类型	(11)
5.2.4 搭接金属的选择和搭接条的表面处理	(13)
5.2.5 搭接的应用	(16)
5.2.6 搭接实施小结	(18)
5.2.7 船舶的搭接和接地方法	(20)
5.3 屏蔽	(20)
5.3.1 屏蔽设计原理	(20)
5.3.2 多重屏蔽	(24)
5.3.3 外壳接缝设计	(24)
5.3.4 孔的屏蔽	(24)
5.3.5 紧固件	(30)
5.3.6 导电衬垫	(30)
5.3.7 压力密封和防雨密封	(31)
5.3.8 设备面板的密封及连接器的密封	(31)

5.3.9	导电衬垫材料的特性	(32)
5.3.10	插入损耗	(38)
5.3.11	接合的分类及导电衬垫的选择	(38)
5.3.12	特殊的屏蔽技术	(43)
5.3.13	电缆的敷设	(48)
5.3.14	电缆的应用	(51)
5.3.15	电缆屏蔽层的接地	(52)
5.3.16	电缆屏蔽层的搭接	(56)
5.3.17	电缆的走线	(56)
5.3.18	设备的安装	(63)

接地、搭接和屏蔽设计的实施

GJB 1210—91

Grounding, bonding and shielding

design practices

1 范围

1.1 主题内容

本标准规定了接地、搭接和屏蔽的设计方法及实施要求。

1.2 适用范围

本标准适用于建造与安装船用台站、固定台站、可移动的和地面机动的电子设备、分系统和系统。

2 引用文件

- GJB 150 环境试验方法
- GJB 72 电磁干扰和电磁兼容性名词术语
- GJB/Z 25 电子设备及设施的接地、搭接和屏蔽设计指南
- GJB 1046 舰船搭接、接地、屏蔽、滤波及电缆电磁兼容性要求和方法

3 定义

本章无条文。

4 一般要求

本章无条文。

5 详细要求

5.1 接地

本节规定了设计电气和电子设备所采用的各种接地方法。在设计阶段就明确而系统地规定电缆、导线及设备接地程序,可使安装后干扰产生的不良影响减到最小程度。虽然本标准不可能给出的一套指导电子电气电路或设备接地的固定规则,但可作为工程设计人员解决其特定接地问题的指南。

5.1.1 接地平面的要求

良好的参考接地平面是使设备运行可靠和免除干扰的基本条件。理想的接地平面应在系统的任何地方都能为设备提供公共的参考电位点。接地平面应采用低阻抗材料制成(例如铜),

并且有足够的长度、宽度和厚度,以保证在所有频率上它的对边之间都是低阻抗。对于位置固定的成套装置或设备,其接地平面应由连接的铜板或格孔不大于 25cm 的铜格栅组成。多路发射装置需用铜板作接地平面。甚低频发射机则常常会遇到一些特殊的问题,需要采取独特的解决办法。在组装时接地平面应延伸到所有设备底面的下方,而且要比该设备底面最大尺寸伸出 2m 或更远。大功率多路发射装置要求接地平面在径向延伸到最低工作频率的 $1/4$ 波长,以便泄放地电流。接地平面对地的直流电阻必须足够低以免由传导电流或感应电流在它上面所产生的电位发生较大的变动。接地桩要打到永久的地下水位面以下,并且和接地平面焊接在一起,这样可获得 10Ω 或更小的对地连接。在地电阻很大、永久地下水位很深的极端情况(例如沙漠地区),要求钻地井以获得低的直流地阻抗。需要设计一条接地母线,以便为设备提供就近接地汇流点,该母线应当用铜带每隔 1.8m 或更短的时间隔与接地平面熔焊搭接一次。

5.1.2 接地技术与接地要求

2.1.2.1 接地技术

a. 悬浮接地系统(图 1A):系统不与大地相接;

b. 单点接地系统(图 1B):把整个电路系统中某一结构点看作接地参考点,所有对地连接都接到这一点上;

c. 多点接地系统(图 1C):在该系统里,是用一块接地平板(例如用一整块底板)来代替电路中每部分各自的地回路。

5.1.2.2 影响接地阻抗的因素

接地连接的阻抗与引线尺寸和布线技术等因素有关。正确的接地线可以使电路满意地工作。为此,必需考虑以下几个因素:

a. 每根导线都具备一个固有的电感;

b. 通有电流的导线在其周围产生磁通;

c. 当工作频率增加时,电感使电路阻抗增加;

d. 即使一些很小的电感,它们与电路的电容相作用时,谐振频率常常会处于该电路工作频率范围之内;

e. 当射频频率增加时,趋肤效应将成为需慎重考虑的因素。

5.1.2.3 接地要求

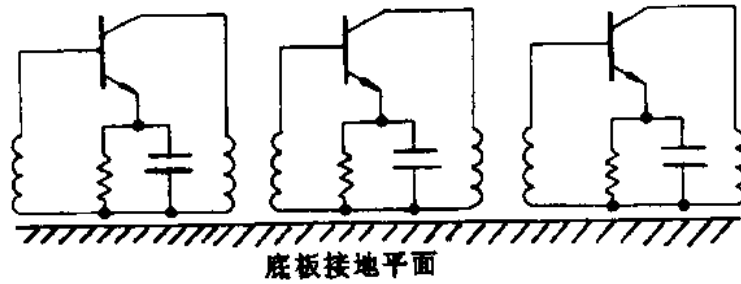
低阻抗接地,要求接地线宽而短,并且直接而牢靠地接到地平面上。典型的接地片连接及其等效电路示于图 2。图 3A、图 3B 分别介绍了电源、信号不正确和正确的接地方法。

此外还需要考虑底板上电位的分布。图 4 示出典型接地平面底板电位分布,图中阴影线表示了围绕接地搭接条和屏蔽体周围的高电位或大电流区域,或者两者同时作用的区域。这区域的功率足以在实际的接地平面上产生干扰信号。因此,在研制初期选择底板接地点时,设计师就应考虑电位分布图,避开临界部位。生产中的公差问题会使困难增多。为此要对开始选择的接地部位进行一番鉴别。为了利用接地平面上的低电位点,有时要敷设较长的接地线。

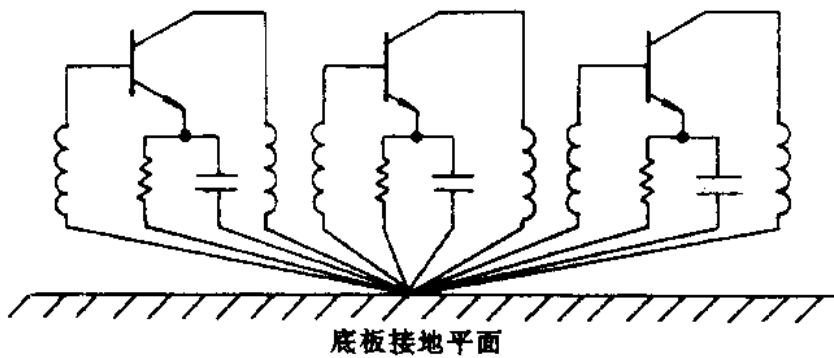
5.1.3 屏蔽体的接地

5.1.3.1 设备

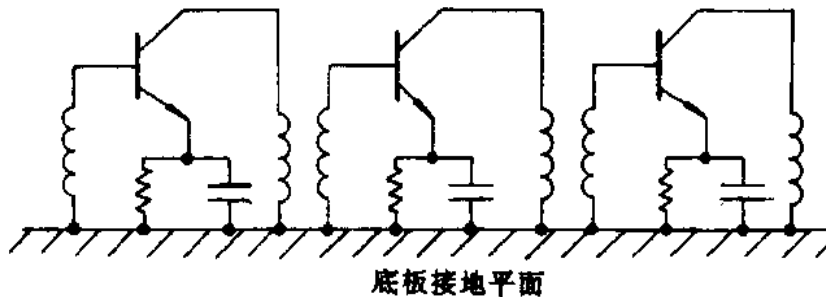
为屏蔽体内的装置安排地线时,不得将屏蔽体本身作电流的回线。装置应经接地母线或紧



A 悬浮接地系统



B 单点接地系统



C 多点接地系统

图1 接地系统

靠屏蔽体的接地平板接地,这些母线或平板除了在一点与屏蔽体连接外,其余部位应与屏蔽体绝缘。这个接地点为屏蔽体内的装置提供唯一的接地连接,如图5所示。

5.1.3.2 电缆屏蔽层的接地

在复杂的电气或电子系统里,电气的兼容性问题依赖于屏蔽措施以及连接线的屏蔽层接地处理方法,为了符合电磁兼容性要求,推荐电缆屏蔽层采用单点接地。

5.1.3.2.1 电缆屏蔽层的单点接地

对于多引线系统,每个屏蔽层应在一点接地,且各屏蔽层应相互绝缘。为了满足电磁兼容性要求和缩短屏蔽层的长度,要求单点接地。当引线长度 L 大于 0.15λ (λ 为系统最高工作频率相对应的波长)时采用单点接地方法减小磁场和静电耦合的效果很差。

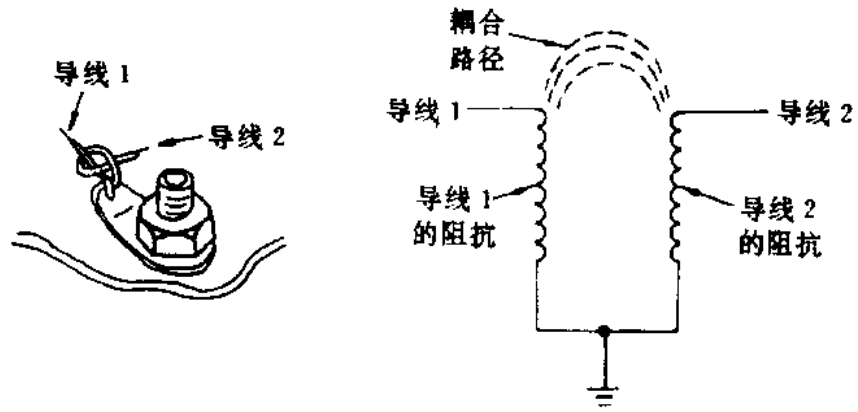
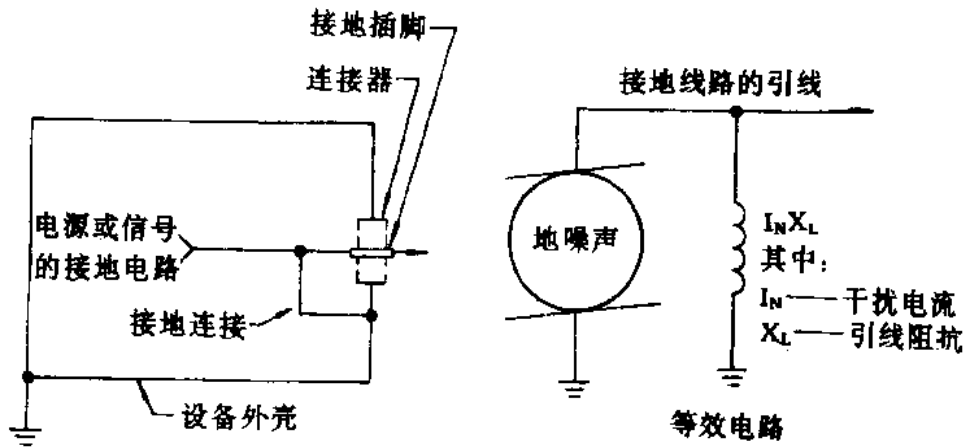
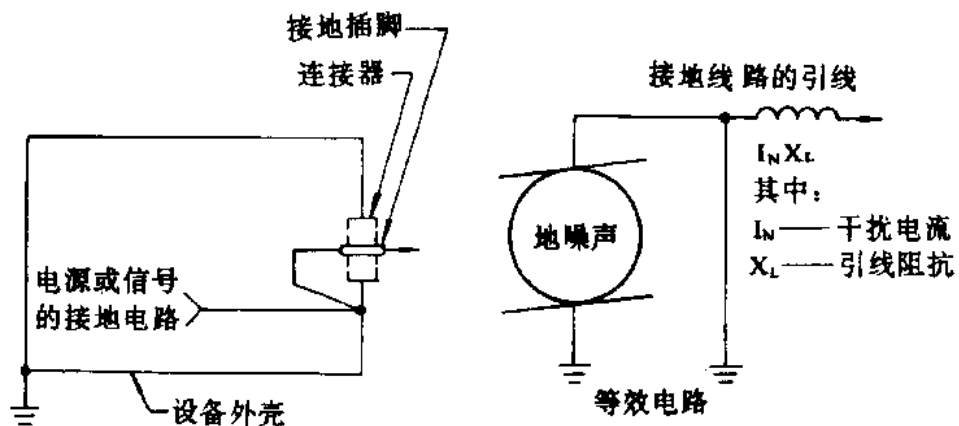


图2 接地搭接条的连接方法及其等效电路



A 在电气和电子设备中不正确的接地方法



B 最大限度地减小干扰的正确接地方法

图3 接地方法

5.1.3.2.2 电缆屏蔽层的多点接地

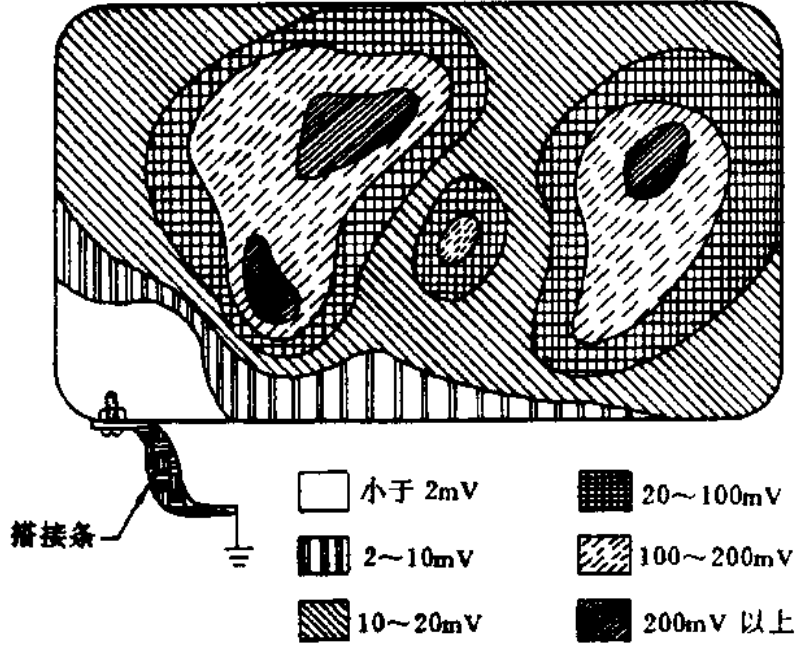


图4 在特定频率上典型的地电位分布

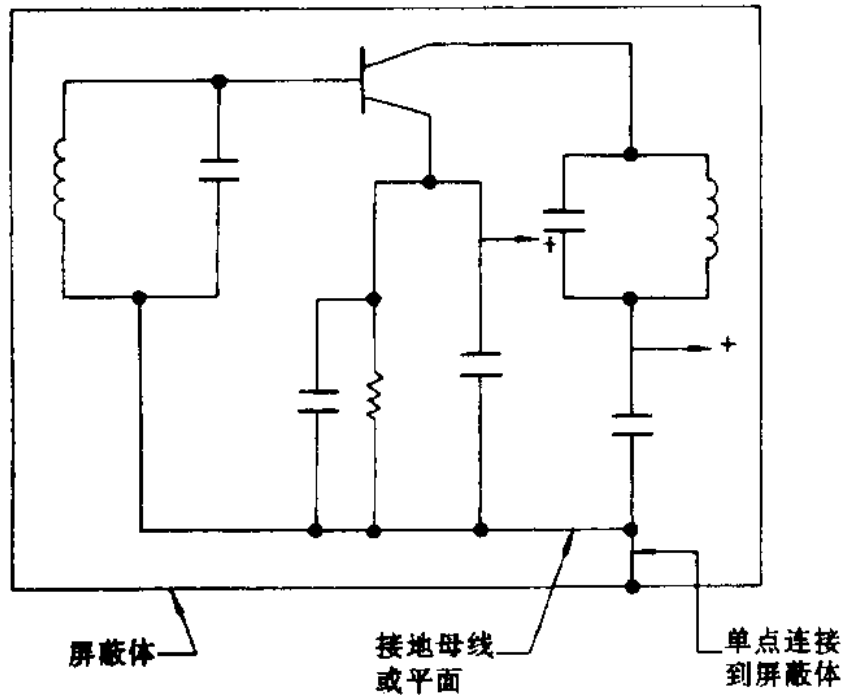


图5 单点接地母线的接法

对于 L 大于 0.15λ 的电缆要求采用间隔为 0.15λ 的多点接地方法。若屏蔽层按 0.15λ 的间隔接地不能实现时,则至少将屏蔽层的两端都接地。

5.1.3.3 印制电路板的接地

为了获得最大限度的屏蔽和隔离效果,印制电路板上的屏蔽罩接地线应直接连接到主底

板,安装在印制电路的射频变压器的屏蔽罩的接地问题可作为一个典型的例子,如图6所示,其他例子参见 GJB/Z25。

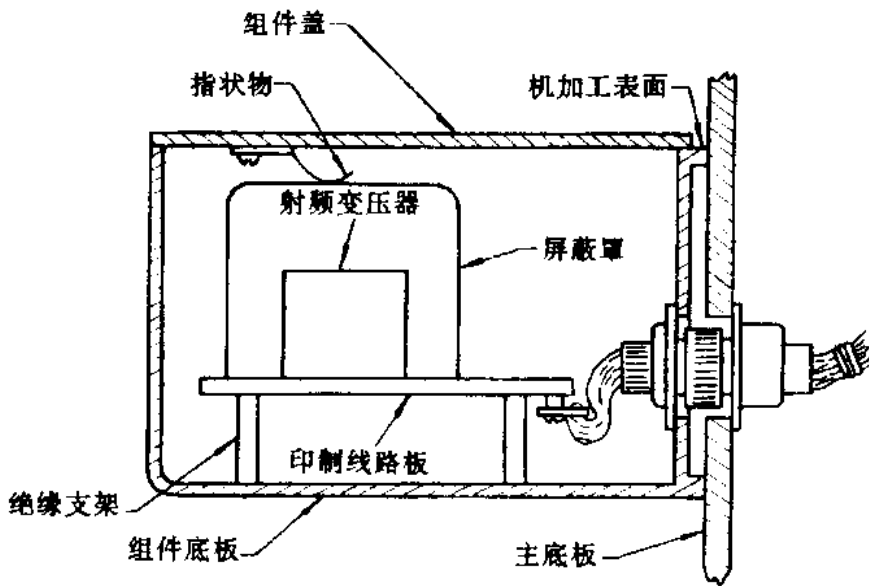


图6 利用主底板达到良好接地

5.1.4 电路的接地

设备中电子电路的接地平面应对系统内所有工作频率都呈现低阻抗特性,该接地平面应当作为一个公共的地回路。在规定系统所能容许的环境噪声电平和确定可能出现的信号噪声比时,必须考虑噪声电压。每个电子电路都会向接地平面送出自身的地电流,任何一个地回流路径,只要它绕过或穿过别的地回流路径,就会引起电路之间的耦合(图7)。接地平面应当防止各种地回流产生干扰电压,以免在敏感电路的输入端引起干扰,上述干扰电压的幅值取决于接地平面上两个电路接地点之间的阻抗以及该接地平面的电流,如图8所示,低阻抗电路中的电流 I 在高阻抗电路中产生的电势为 $I Z_{gp}$ 。解决这个问题的最简单而直接的途径是根据实际情况安排电路元件,使地回流路径短而直,并且尽可能使其交连最少。使用这种方法,地电流在电路之间的耦合量将保持在最小值。还可用电气隔离来消除地电势的影响,图9所示的隔离变压器就是应用这种技术的一个实例。这种方法用在音频和射频低端时效果特别显著,高于上述频率以后,这种变压器的隔离效果逐渐减小,因为随着地电势频率的升高,将会出现多种耦合途径。在射频段,必须把上述地电势看作一个串联在信号回路中的电压源(图10)。设计关键的低电平电路系统时应当考虑这个电势的影响。考虑地电势耦合影响的典型电路的正确设计如图11所示。

5.1.5 电源

电源地线和信号地线在整个底板上都应分别敷设,以便尽可能地减小信号线间的耦合。应用下列技术可以避免地电势问题:

- a. 对交、直流电压和信号分别使用单独的地线回路;

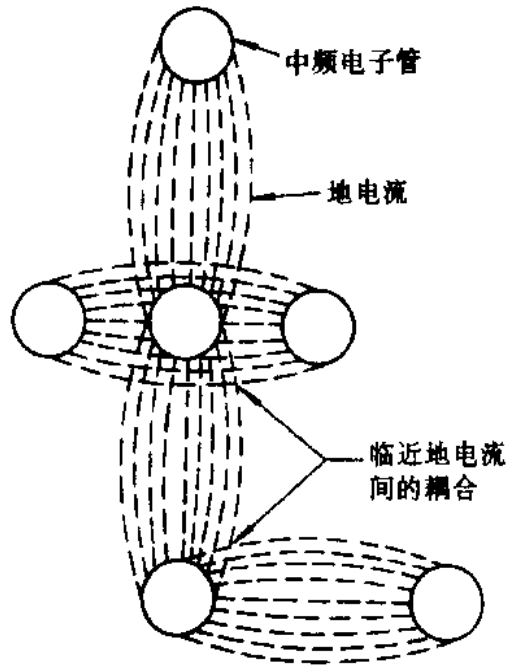


图7 输入电路耦合实例

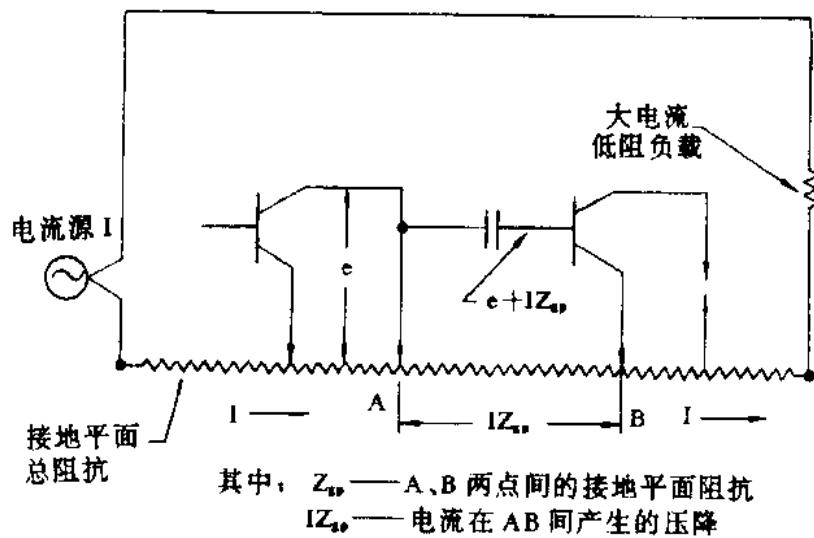


图8 典型电路的地环流作用

- b. 把地线回路沿直线连接到最大的导体上(阻抗最低);
- c. 利用几个独立的地线通路连接到电源公共点,并保证电路有低的接地阻抗;
- d. 避免采用多端式接地母线或横向接地环路;
- e. 在接地母线中尽可能少用串联接头(如钎焊接点、连接器等),并且要确保它们有良好而紧密的电气连接性能。

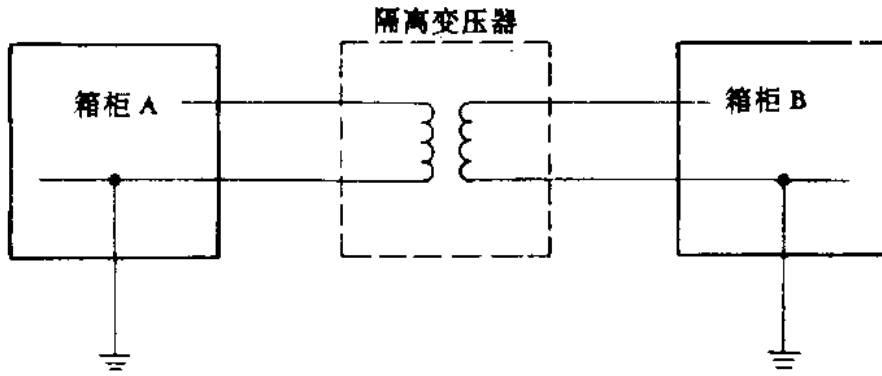


图9 用隔离变压器技术将地电势影响减至最小

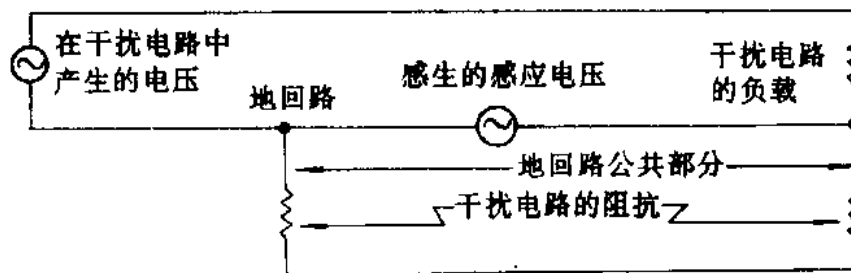


图10 电子耦合电路中地线噪声的等效电路

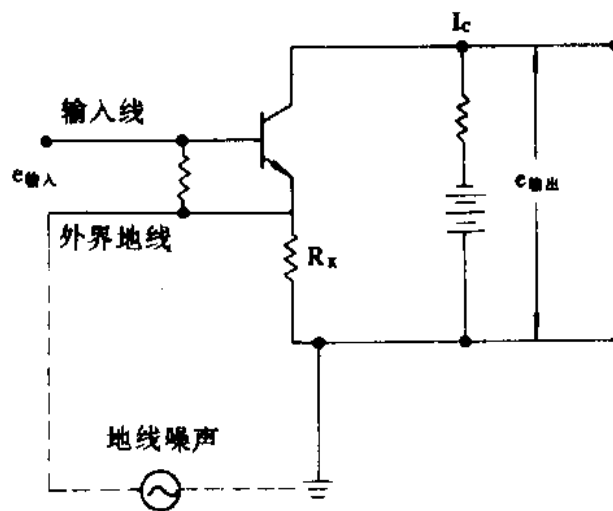


图11 考虑地线噪声的典型电子耦合电路的正确设计

5.1.6 设备接地实施

在设备上设置一个接地螺栓,接地螺栓必须为底板和机架提供电气上的接地连接,并应用机械方法加以紧固,以保证低电阻的连结。如将螺栓钎焊到一个末端熔接的突缘物(如接线片)或钎焊到底板或机架上可钎焊的成型突缘部位,也可利用螺钉、螺帽和锁紧垫圈固定的接

线柱。接地螺栓的规格应能与线径为 2.65mm 左右(美国线规-10号)导线进行电气连结。用于接地的所有金属或其他电气连接件应由铜或铜合金制成,终端突缘物应镀锡或热浸锡,应将涂料、清漆、油漆等从紧固点附近清除掉,以保证两表面间的金属接触。对所有的接地连接件应给予防腐保护。在任何接地或其他螺钉一类的电气连结上,不应使用内齿式、外齿式的锁紧垫圈。在金属板和接地端突缘物之间或用于接地的其他部位都不应放置锁紧垫圈,以确保两部件的完全直接接触。锁紧式的接线端突缘物 and 自锁螺母都不应用于接地。任何部件与其相邻部件之间如果接触面不够大则必须垫入平垫圈。

5.1.7 大地接地

5.1.7.1 接地电阻

大地可以泄放由人为干扰和自然干扰在设备上引起的过剩电荷,这种电荷可能伤害设备操作人员并危及有关的设备。所谓大地接地,就是与接地桩、埋设的金属板、埋设的导线或地下供水系统管道(当利用管道接地时,管道的接地电阻必须小于 10Ω)等连接。当不能利用埋设的管道系统时,接地桩被认为是最满意的代用品。接地的基本要求是接地电阻要小,影响接地电阻的因素为接地桩的电阻、连接引线、接地桩和土壤间的接触电阻及土壤的类型。土壤的类型对接地电阻影响最大。对种类繁多的土壤无法进行简单分类,对某些土壤的研究结果反映出电阻率的明显趋势。表 1 给出了大致的土壤分类。

表 1 土壤分类表

土 壤 的 种 类	1.524m 长 15.88mm 粗的接地桩的接地电阻 Ω		
	平均值	最小值	最大值
填土、灰土、煤渣、含盐污土	14	3	41
粘土、页岩、肥粘土、细粘土	24	2	90
同上。另外加入不同比例的沙石与石	93	6	800
具有小部分粘土或细粘土的石、沙石	554	35	2700

温度是影响接地电阻变动的另一因素。当温度超过 0°C 时,接地电阻变化极微。图 12 用曲线表示了土壤电阻率随温度的下降而增加的情况。对于同一土壤,随着湿度的变化,其电阻通常有很大的差别。土壤湿度的变化范围很大,从干燥季节的 10% 到潮湿季节为 35% 左右,其平均值大概是 16%~18%。湿度对土壤电阻的影响可从表 2 看出。

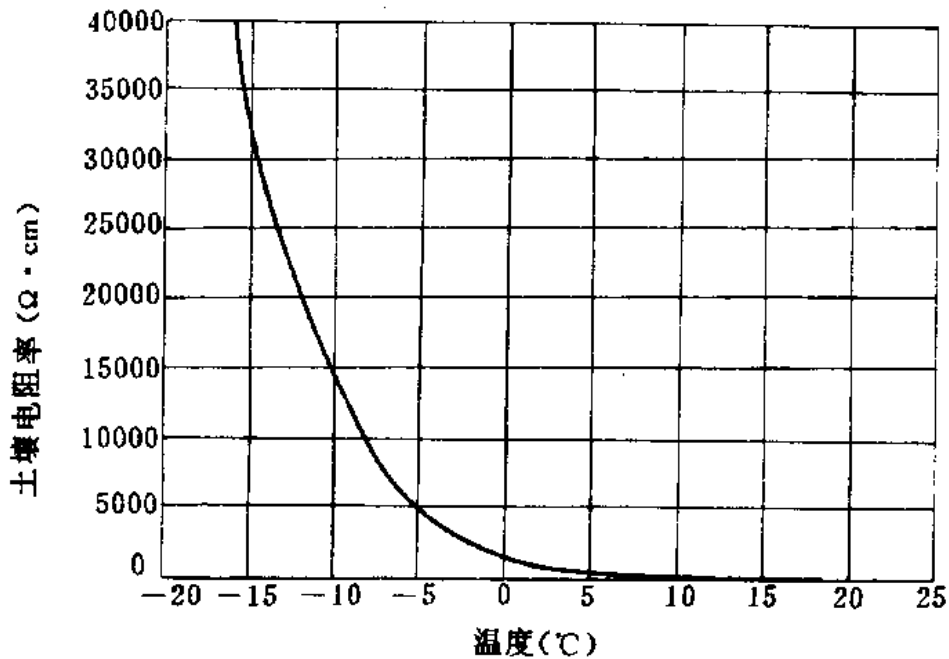


图 12 土壤电阻率随温度的变化

表 2 湿度对土壤电阻的影响

湿 度 (以重量计的百分数)	电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$	
	表层土壤	沙质细粘土
0	$>1 \times 10^9$	$>1 \times 10^9$
2.5	250000	150000
5	165000	53000
10	53000	18000
15	19000	10500
20	12000	6300
30	6400	4200

5.1.7.2 温度在零摄氏度以下地区设备的接地

温度在零摄氏度以下地区设备的接地方法有两种：

- a. 在冰雪覆盖下要实现良好的大地接地是困难的,但下述接地方法可导致满意的结果。供车载设备使用的接地桩通常应尽可能地水平放置在雪下的窄沟槽中,用作地线、线径为 4.5cm 左右(美国线规 6 号)的裸导线或更粗的裸铜线应从接地桩辐射状地延伸 3m,再沿着接

地桩和敷设的导线撒入化学助剂,并将整个地线系统埋入雪下。从总的效能和防蚀能力来考虑,可用的主要化学助剂依次排列如下:

- (1)硫酸镁
- (2)硫酸铜
- (3)氯化钙
- (4)氯化钠
- (5)硝酸钾

b. 把接地桩埋入土壤时,接地桩埋入地下的深度对接地电阻有影响。在深度小于 1.5m 时,接地电阻一般比较大。在接地桩周围挖掘直径约 50cm 浅圆沟并填入化学助剂,接地桩周围的区域要保持潮湿。

5.1.8 交流中线与机架接地线的隔离

接地线中干扰电流主要来自与机架接地通路并联的交流中线,解决这个问题的办法是把所有的交流中线与机架地线绝缘。紧靠设备区域内的所有交流电源线应是悬浮的,仅有一点与机架地线相连。电源是指二次交流电源,它传输到设备所在区域内的任一部分,包括照明、加热、空调、通用电源插座、通信联络设备等以及紧靠设备的区域。悬浮线路又叫有单点接地参考的闭合输电路线,机架地线或大地地线不与中线回流通路的任一部分接通。对一个现场安装的线路来说,所有交流电源线必须是悬浮的,每条交流中线在任何点都不能与机架地线或大地地线相连。在设备范围内的所有主要单元里,除了一个部位以外,各中线母线电流排都不得与其机架接地汇流排相连接。所有电源(输入或相互连接)电缆(轻便或可移动类型)都应带有一根准备供设备非载流金属部分接地用的导体。这根设备接地线端接的方式和其他导体相同,并且应具有和其他导体相同的规格和额定电压(V)。设备接地线不应作为电源回流线路(中线)使用。电源电缆应按国家的有关规定标以不同的颜色。

5.2 搭接

5.2.1 搭接的有效性

在射频频段,搭接的有效性不仅取决于能测量的直流电阻,在高频段更是如此。高频段搭接条的等效电路及搭接条阻抗与频率的关系表示在图 13。在实际应用中,测量直流电阻就能粗略地找出不良连接,如将测量结果与制造厂的测试数据进行比较,还能很快地确定设备上现有搭接性能在现场是否已经劣化。满足搭接要求的直流电阻值应为 $0.1\text{m}\Omega$,最大不得超过 $2.5\text{m}\Omega$ 。

5.2.2 设计要求

在设计和制定具体用途的搭接指标时,对设备的干扰频谱必须予以考虑。另外一个重要的方面是选择搭接件的物理特性,诸如尺寸、强度、抗疲劳性、防蚀能力、电阻率和温度系数等。设计的搭接应确保当设备处于其规范要求的环境条件时,搭接性能不发生劣化。

5.2.3 搭接的类型

有两种搭接类型:直接和间接搭的,两者中最好采用直接搭接。

5.2.3.1 直接搭接

直接搭接包括铆钉连接、拉杆连接、紧配合的压入式定位安装及利用螺纹锁紧装置将一些

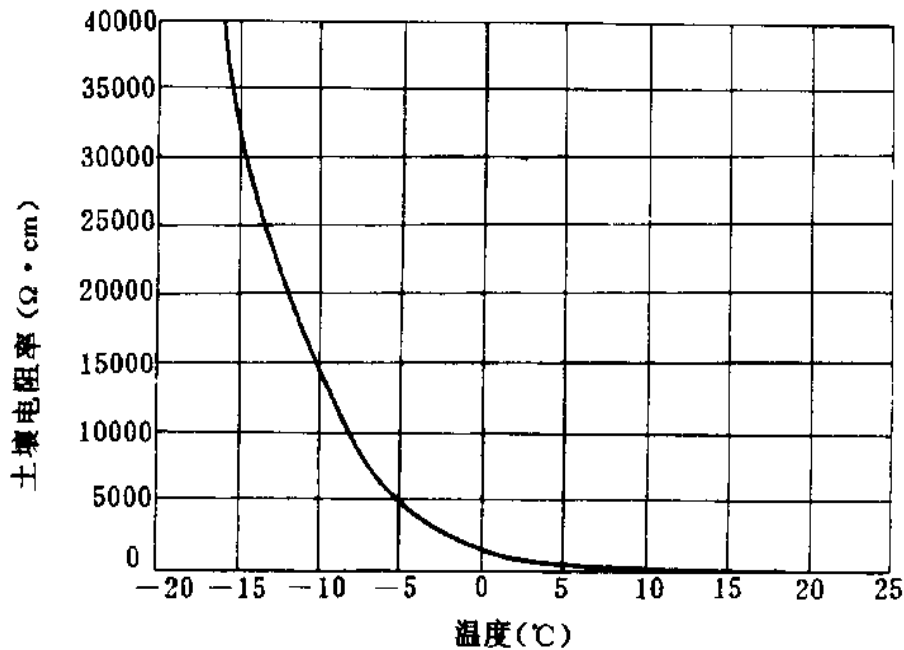


图 13 搭接条的阻抗特性

机械加工表面或带有导电衬垫的表面固定在一起时形成的金属对金属的永久性的连接。直接搭接的接头采取熔焊、钎焊或堆焊成形,避免采用低温钎焊。直接搭接的基本要求是首先要保证金属对金属的接触,其次是接头要密封,以阻止潮气进入接头内部。在直接搭接处要避免使用不同的金属,特别要注意,在搭接中采用金属薄板式螺钉是不妥当的。如果用螺钉将两个构件固定在一起,就能保证两构件的直接接触。

5.2.3.2 间接搭接

当不能采用直接搭接时,设计师必须选择某种间接搭接。良好的间接搭接应在整个干扰频谱范围里呈现低阻抗,并且在设备的使用期限内保持这种搭接都是有效的。间接搭接功能通常借助于搭接条或跨接片来完成的,紧固的手段有:螺栓、铆钉、熔焊、钎焊或堆焊。齿状锁紧垫圈与螺栓紧固件一起使用,可以确保搭接条连接时金属与金属间的可靠接触。搭接条最重要的结构参数是材料和厚度,采用的典型材料是铍铜合金或磷青铜。在剧烈振动条件下,建议将上述材料制成的搭接条做成回折型式,以防止过渡的阻尼和确保预期的使用寿命,图 14 表示了用螺栓固定在合适位置的典型搭接条。在搭接时保证金属与金属的接触对正常工作是不可少的,任何可能危及这一接触要求的腐蚀都是不能容许的。

5.2.3.3 搭接条

搭接条必须是扁平、实心的狭长条金属导体,实心的搭接条因其自感小而被优先选用。用图 15 可确定搭接条的射频阻抗,该图中画出了两个搭接条和线径 2.12mm(美国线规 12 号)

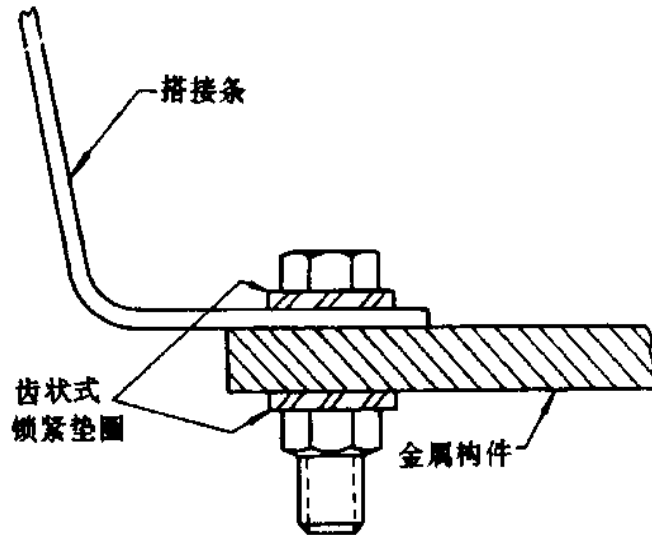


图 14 推荐用螺栓固定搭接条

导线阻抗与频率的关系。在频率很高时,若搭接条的长度已占波长的可观比例,则搭接条就等效于射频传输线,其阻抗将随着频率的增加从最小到最大作周期性变化。为保持搭接条的低电感,搭接条的长宽比应是 5:1 或更小。

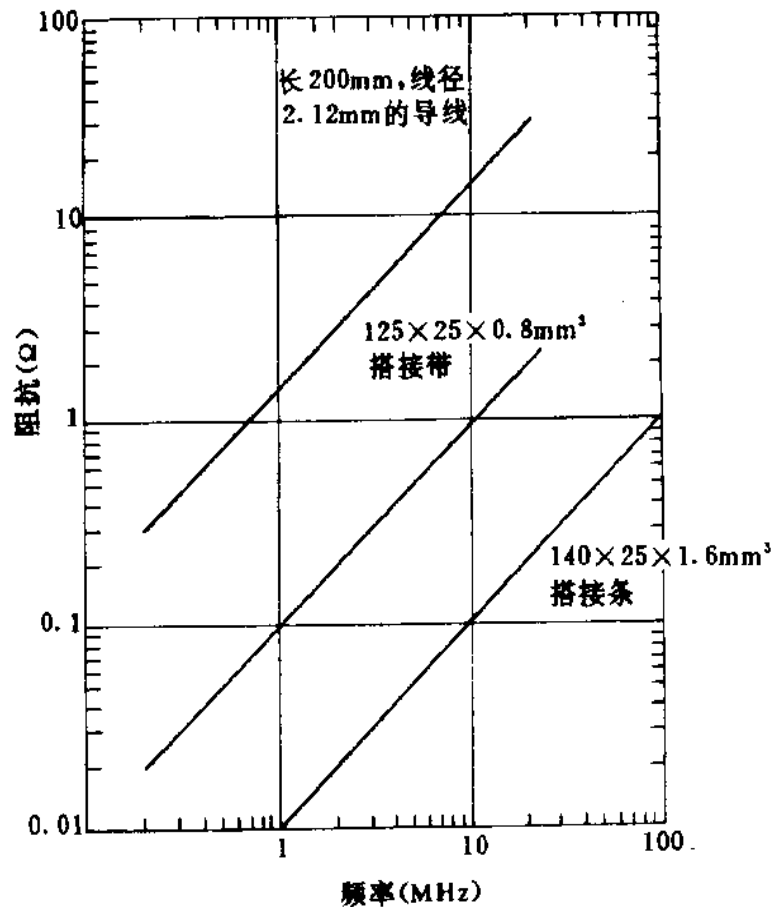


图 15 搭接条和线径 2.12mm 导线的阻抗

5.2.4 搭接金属的选择和搭接条的表面处理

对于规定的搭接应用,其材料的选择取决于被搭接金属及搭接工作环境。当搭接用于不同类金属的连接时,腐蚀便成为需慎重考虑的问题。为了尽量减小或防止腐蚀对搭接的有害影响,应采用表 3 中化学活度低的金属,如铜、铅或锡等,对表 3 中电解偶离得很远的金属,可利用电镀层使这种差异协调起来。不同类金属接触时,其中负电极电位较高的金属受腐蚀的影响较大。表 4 列举了一组可以兼容的材料,其中箭头所指表示上下组可相容的金属。用这张表来选择材料,可使原电池作用引起的腐蚀最小。当需要把搭接条固定到构件上时,其接触表面所能容许的材料组合方式列于表 5。表中所列出的金属组合方式是按照它们暴露在电解质中时原电池活性减小的次序来排列的,连结用的螺钉、螺母和垫圈分为两种类型镀镉、镀锌或铝质的为 I 型,而不锈钢钝化制作的为 II 型。在未指定采用哪类紧固件的场合,从防腐蚀的观点来看,类型 II 是最佳的。在设计连接接头时,必须注意可能出现的电解作用。两金属结合之前,其表面应作干燥处理,并借助高压力使它们紧贴在一起,以使潮气进入接头的可能性减到最小。用 7/0 号金相砂纸或者相应的方法将表面的油漆、氧化层以及阳极氧化膜清除掉,上述接触表面应洗刷清洁,并且应比实际需要的接触面积大出 1.5 倍。一个接头(不含潮气)装配之后,其周围暴露的边缘应依照 GJB/Z 25 的相应要求进行密封。

表 3 常用金属的电化序列

金 属	电极电位 V	金 属	电极电位 V
镁	-2.375	锡	-0.1406
铍	-1.700	铅	-0.1263
铝	-1.670	铜	+0.346
锌	-0.7628	银	+0.7996
铬	-0.740	铂	+1.200
铁	-0.441	金	+1.420
镉	-0.402	—	—
镍	-0.230	—	—

表4 兼容的组合

组号	金属种类	兼容组合
1	金,固体和镀层;金铂合金;精铂。	○
2	铜,镀铑后镀银。	● ○
3	银,固体和镀层;高银合金。	● ● ○
4	镍,固体和镀层;蒙乃尔合金;高镍铜合金。	● ● ○
5	铜,固体和镀层;低黄铜或青铜;银焊料;德银合金;镍铬合金;奥氏体耐腐钢。	● ● ● ○
6	商业黄铜和青铜。	● ● ● ○
7	高黄铜和青铜;海军黄铜;四六黄铜。	● ● ● ○
8	18%铬型不锈钢。	● ● ● ● ○
9	镀铬、镀锡;12%铬型不锈钢	● ● ● ● ○
10	锡板;镀锡板;锡铅焊料。	● ● ● ● ○
11	铅,固体和镀层;高铅合金。	● ● ● ● ○
12	铝,2000系列的锻铝。	● ● ● ● ○
13	铁,锻铁;灰口铁;可锻铸铁;普通碳钢和低合金钢;磁性铁。	● ● ● ● ○
14	铝,超过2000系列的锻铝合金;硅型铸造铝合金。	● ● ● ● ○
15	铝,其它类型的铸造铝合金;镀镉,镉酸盐处理。	● ● ● ● ○
16	热浸锌板;镀锌钢。	● ○
17	锌,精锌;锌基压铸合金;锌镀层。	●
18	镁和镁基合金;铸造和锻造。	●

注:○表明系列的阴极端,●表明阳极端,箭头表明阳极方向。

表 5 金属构件的紧固

金属结构 (外层抛光的表面)	铝跨接片连接	螺钉型式	镀锡的铜跨 接片连接	螺钉型式
镁和镁合金	直接或镁垫圈	型 I	铝或镁垫圈	型 I
锌、镉、铝或铝合金	直接	型 I	铝垫圈	型 I
钢(不锈钢除外)	直接	型 I	直接	型 I
锡、铅和锡合金	直接	型 I	直接	型 I 或型 II
铜和铜合金	镀锡或镀镉垫圈	型 I 或型 II	直接	型 I 或型 II
镍和镍合金	镀锡或镀镉垫圈	型 I 或型 II	直接	型 I 或型 II
不锈钢	镀锡或镀镉垫圈	型 I 或型 II	直接	型 I 或型 II
银、金或贵金属	镀锡或镀镉垫圈	型 I 或型 II	直接	型 I 或型 II

注:型 I 是镀镉、镀锌或是铝质的。型 II 是不锈钢钝化的,凡两种型式都适用的场合,从防腐蚀的观点应优先选用型 II。

5.2.5 搭接的应用

5.2.5.1 减震支座

设计师设计支座时应考虑到两个被连接表面间预定的相对运动程度、有关材料的特性以及需要搭接的干扰频率范围。典型的减震支座如图 16 所示,用于车辆发动机的搭接条如图 17 和 18 所示。被连接支座的弹性形变取决于支座的特性而与搭接条无关,搭接条不应妨碍支座的减震作用,为此它应当制成能经受猛烈的连续振动的回折形式。在甚高频或更高的频率范围内工作的装置,应在每个减震支座上安装两个搭接条。

5.2.5.2 转动轴

转动式机构的转轴必须接地,以防止静电的积累,常用的搭接手段是使用滑环和电刷组件或将磷青铜的指状接地片直接压在转轴上。

5.2.5.3 空心导线管

长跨距的导线管或屏蔽电缆的外表皮是干扰电流的高阻抗通路,应把这种长跨距外表皮的两端和中间的某些点适当地搭接到构架上,在柔性导线管的外面应包上开口式的衬套(图 19A)。为了进一步改善接地性能,可在衬套上开些孔洞,并透过孔洞把衬套焊到导线管上。图 19B 给出了一种通过夹持附件把刚性导线管搭接到构架上的方法。导线管或导管在被搭接夹

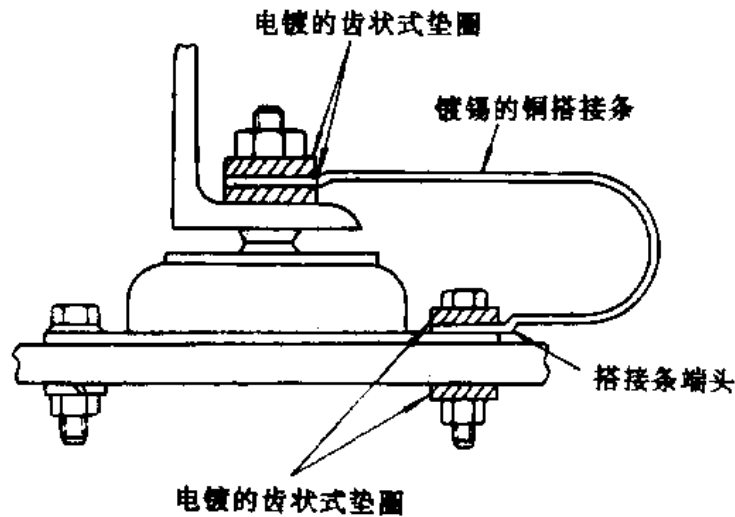


图 16 典型减震支座的搭接

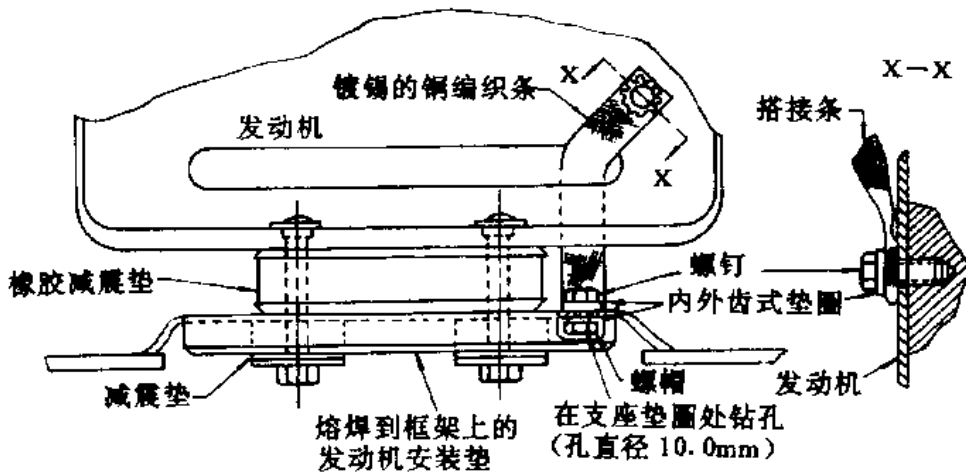


图 17 发动机减震支座的搭接 (前视图)

箍夹持之前,应当清洗去将被夹箍遮掩的整个表面的油漆和异物。组装之前应当除去接触表面的所有绝缘保护层,导电的螺钉、螺帽和衬垫圈仅用作紧固零件。

5.2.5.4 铰链

在必须使用铰链的地方,应当采用适当的方法达到搭接的目的,图 20 表示了一种用于铰链搭接的典型结构型式。

5.2.5.5 电缆托架

应把电缆托架作为整个系统搭接安排的一部分予以利用。每个电缆拖架的每一截口应当与相邻截口相连接,以构成一个连续的通路(图 21)。电缆托架还应该通过柔性的实心搭接条接到设备的外壳上,电缆托架搭接的典型实例如图 22 所示。

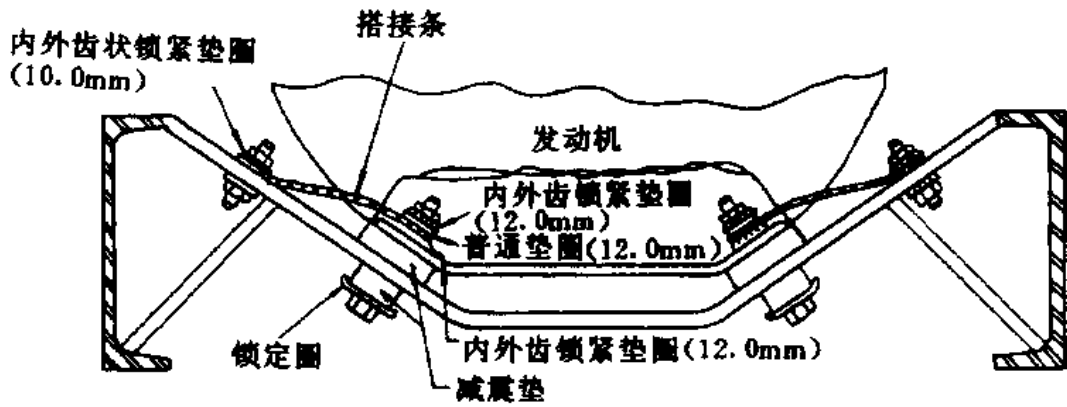
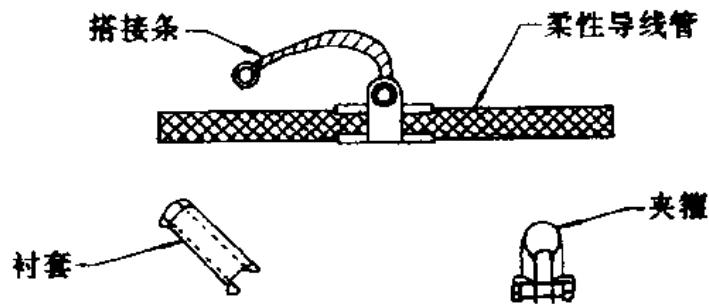
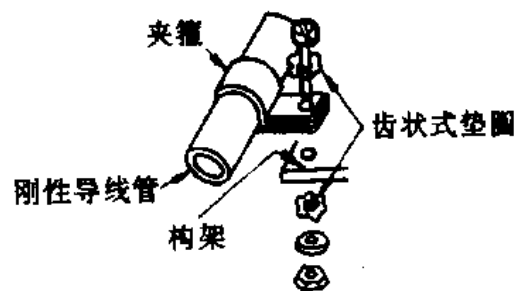


图 18 发动机减震支座的搭接 (后视图)



A 柔性导线管的搭接



B 刚性导线管的搭接

图 19 电缆导线管的搭接

5.2.6 搭接实施小结

- a. 永久性搭接比半永久性搭接更可靠,应优先采用;

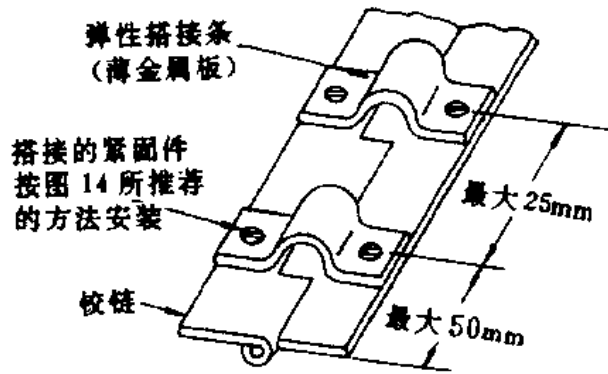


图 20

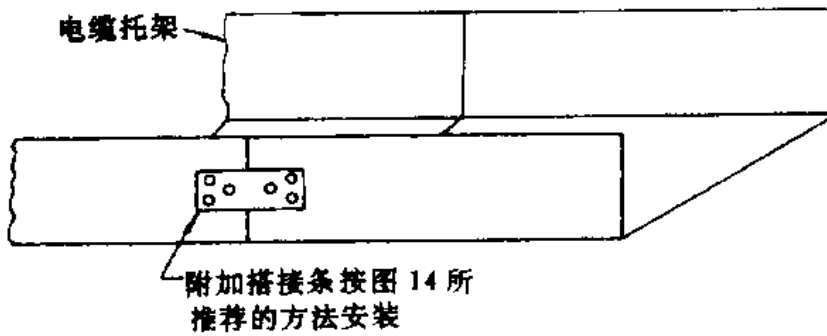


图 21 电缆托架截口处的搭接

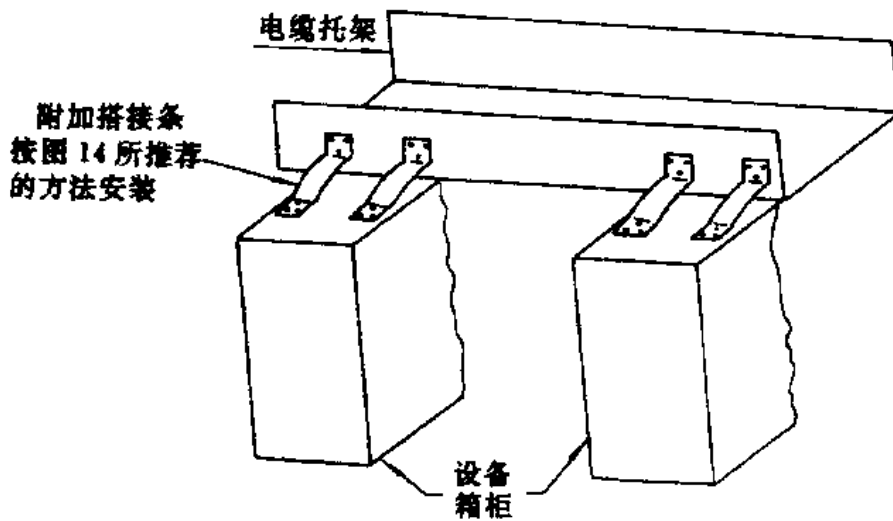


图 22 设备的箱柜与电缆托架的搭接

b. 以熔焊、堆焊或钎焊所形成的直接搭接接点，一般比间接的阻抗更低，所以应优先采用；

c. 搭接应使得搭接接点的整个表面有良好的金属与金属的接触。配合表面应保持清洁,并且除去非导电的表面涂层。裸露、清洁的金属与金属的接触将确保配合表面之间为低阻抗接触。

5.2.7 船舶的搭接和接地方法

GJB 1046,列出了船舶结构与设备安装的要求、船用设施的搭接方法及使舰船上环境电磁干扰减至最小所必需的实施方法。陆军的舰船安装通信设备、雷达、电子和机电设备时也应遵循上述各项要求。

5.3 屏蔽

5.3.1 屏蔽设计原理

本条提供的资料对电磁兼容性设计将有所帮助。本标准所用符号定义如下:

SE—屏蔽效能,表示入射能量经过其传播通路上的金属屏蔽层时受到的衰减,测试可借助测量功率、电压或电流的比值来实现,dB;

R——两个表面的总反射损耗,这里忽略了屏蔽层内部的多次反射效应,dB;

A——屏蔽层内部的吸收损耗,dB;

B——多次反射系数(正数或负数),当吸收损耗 $A > 10\text{dB}$ 时,这个系数可以不考虑。系数 B 是由两界面内侧的反射波所引起的。

当金属阻挡层的吸收损耗 $A < 10\text{dB}$ 时,就称这种阻挡层为电薄(应避免使用电薄阻挡层),dB;

屏蔽效能可表示为:

当 $A < 10\text{dB}$ 时:

$$SE = R + A \dots\dots\dots (1)$$

当 $A > 10\text{dB}$ 时:

$$SE = R + A + B \dots\dots\dots (2)$$

Z_s ——金属的本征阻抗, Ω ;

Z_w ——入射波在空间的波阻抗, Ω ;

μ_r ——相对于自由空间的相对磁导率:铜 $\mu_r = 1$ 。在微波波段时,铁合金 $\mu_r = 1$,在低频时,铁合金 μ_r 为 200~1000,见表 6;

μ_0 ——自由空间的磁导率, $\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6}\text{H/m}$,该值近似为 $\frac{120\pi}{c}$;

ϵ_0 ——自由空间的介电常数(电容率), $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\text{F/m}$ 该值约为 $\frac{1}{120\pi c}$;

c ——自由空间的光速, $c = 3 \times 10^8\text{m/s} = f \cdot \lambda$;

f ——频率,Hz;

λ ——波长,m;

β ——金属相移常数:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ (rad/m)} \dots\dots\dots (3)$$

$$\omega = 2\pi f \text{ (rad/s)}$$

r ——干扰源到屏蔽层的距离, m;

r_1 ——干扰源到屏蔽层的距离, cm;

σ_r ——以铜为基准的相对电导率, (铜 $\sigma_r=1$, 铝 $\sigma_r=0.61$, 铁 $\sigma_r=0.17$), 见表 6;

T ——屏蔽层的厚度, mm;

E ——电场分量或电场强度, V/m;

H ——磁场分量或磁场强度, A/m;

α ——金属的衰减常数, dB/mm;

$\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ ——平面波在自由空间的波阻抗, Ω ;

$\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377.6 \Omega = 120\pi \Omega$ 。

表 6 铜、铝、铁在不同频率时的 σ_r 、 μ_r 值

频 率 (Hz)	铜		铝		铁	
	σ_r	μ_r	σ_r	μ_r	σ_r	μ_r
60	1	1	0.61	1	0.17	1000
1000	1	1	0.61	1	0.17	1000
10k	1	1	0.61	1	0.17	1000
150k	1	1	0.61	1	0.17	1000
1M	1	1	0.61	1	0.17	700
15M	1	1	0.61	1	0.17	400
100M	1	1	0.61	1	0.17	100
1500M	1	1	0.61	1	0.17	10
10000M	1	1	0.61	1	0.17	1

注:铁在其它频率上的 μ_r 值: 3MHz, 600; 10MHz, 500; 1000MHz, 50。

R 的计算:

$$R = 20 \lg \left| \frac{(Z_s + Z_w)^2}{4Z_s Z_w} \right| \dots \dots \dots (4)$$

$$Z_s = (1 + j) \sqrt{\frac{\mu_r \cdot f}{2\sigma_r}} \times 3.69 \times 10^{-7} \dots \dots \dots (5)$$

$$Z_w = \sqrt{\frac{\mu_r \cdot f}{\sigma_r}} \times 3.69 \times 10^{-7} \dots \dots \dots (6)$$

当频率大于 1kHz 时, R 为正; 修正后的总反射损耗等于 R 加 B(代数和)为正; B 大多数情况下

为负;SE 为正。总反射损耗 R 可据以下三种情况下的关系式计算:

(a)平面波, $r > \lambda$:

$$R = 108.3 + 10 \log_{10} 10 \frac{\sigma_r \cdot 10^6}{\mu_r \cdot f} \dots\dots\dots (7)$$

(b)磁场:

$$R_{(H)} = 20 \log_{10} \left(\frac{0.012}{r_1} \sqrt{\frac{\mu_r}{G_r f}} + 5.364 r_1 \sqrt{\frac{f G_r}{\mu_r}} + 0.354 \right) \dots\dots\dots (8)$$

(c)电场:

$$R_{(E)} = 322 + 10 \log_{10} \frac{\sigma_r}{f^3 \cdot r^2 \cdot \mu_r} \dots\dots\dots (9)$$

吸收损耗 A 可根据下列关系式计算:

$$A = 0.1317 \sqrt{\sigma_r f \mu_r} \dots\dots\dots (10)$$

多次反射修正系数 B 可按下列关系式计算:

$$B = 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{Z_N - Z_W}{Z_N + Z_W} \right)^2 \times 10^{-\frac{A}{10}} \times [\cos(0.23A) - j \sin(0.23A)] \right| \dots (11)$$

当吸收损耗 A 大于 10dB 时, B 可以忽略。表 7 和表 8 表示了不同金属的吸收损耗, 表 8 给出了各种金属和磁性材料的比较, 这些数据有助于在具体应用时确定所需要的屏蔽材料类型。鉴于一些磁性材料在低频的磁导率高, 吸收损耗大, 将它们用作屏蔽体是比较有效的。

屏蔽材料选择的一般规则如下: 对于高频屏蔽体选用良导体, 如铜、铝和镁, 以获得最大的反射损耗; 低频屏蔽体选用磁性材料, 如 μ 合金和铁, 以获得最大的吸收损耗。给定所要求的总屏蔽效能后, 根据以上公式便可估计所需要的金属和厚度。

表 7 吸收损耗 A

频 率	铁		铜		铝	
	μ_r	A dB/mm	μ_r	A dB/mm	μ_r	A dB/mm
60Hz	1000	13	1	1	1	0.8
1.0kHz	1000	54	1	4	1	3.0
10.0kHz	1000	174	1	13	1	10.0
150.0kHz	1000	662	1	51	1	40.0
1.0MHz	700	1430	1	131	1	103.0
3.0MHz	600	2300	1	228	1	178.0
10.0MHz	500	3830	1	416	1	325.0

续表 7

频 率	铁		铜		铝	
	μ_r	Λ dB/mm	μ_r	Λ dB/mm	μ_r	Λ dB/mm
15.0MHz	400	4200	1	509	1	397.0
100.0MHz	100	5420	1	1310	1	1030.0
1.0GHz	50	12110	1	4160	1	3250.0
1.5GHz	10	6640	1	5090	1	3970.0
10.0GHz	1	5420	1	13140	1	10300.0

表 8 在 150kHz 时各种金属的吸收损耗

金 属	相对电导率 σ_r	相对磁导率 μ_r	吸收损耗 dB/mm
银	1.05	1	51.96
铜(退火的)	1.00	1	51.00
铜(冷拉)	0.97	1	49.61
金	0.70	1	42.52
铝	0.61	1	40.00
镁	0.38	1	31.10
锌	0.29	1	27.56
黄铜	0.26	1	25.93
镉	0.23	1	24.41
镍	0.20	1	22.83
磷青铜	0.18	1	21.63
铁	0.17	1000	662.00
锡	0.15	1	19.69
铍	0.10	1	16.14

续表 8

金 属	相对电导率 σ_r	相对磁导率 μ_r	吸收损耗 dB/mm
铅	0.08	1	14.17
高磁导率镍铜	0.06	80000	3484.00 ¹⁾
蒙乃尔合金	0.04	1	10.24
μ 合金	0.03	80000	2488.00 ¹⁾
铍莫合金	0.03	80000	2488.00 ¹⁾
不锈钢	0.02	1000	244.40

注：1)只有在入射场未使金属饱和时才能达到。

5.3.2 多重屏蔽

在有些情况下,为了得到特殊的综合屏蔽特性,需要采用两层甚至三层屏蔽材料代替单层金属屏蔽。在多重屏蔽组合中,应当采用铜、 μ 合金、铁、钴—乃铁克和乃铁克类型的材料以及其它的金属,其中有些金属的电场反射损耗特性极好,而另一些则磁场吸收损耗特性极好。为了降低对设备整个外壳屏蔽效能的要求,可以在该设备内部采取各种抑制措施,例如:对元件加屏蔽;在不希望的干扰信号源上加滤波;采取局部屏蔽;用去耦隔离电路;缩短引线及用接地平面代替接地回路的引线等。用多重屏蔽处理机箱盖子的有效方法示于图 23A。盖子的屏蔽采用了双层方式,在盖子夹层中垫入了绝缘材料。内盖的导电表面与屏蔽体的内侧面相接触,外盖的导电表面与屏蔽体的外侧面作弹性接触。电子设备中最大的干扰源是振荡电路,这种电路应用辅助屏蔽体封闭后再装入屏蔽体内。整个调谐电路、振荡器和与之相关的射频调谐电路以及扼流圈等都必须装入各自独立的屏蔽体内。这些屏蔽体也都装在主屏蔽体内,内、外屏蔽体之间除了有一点连接外,其余必须隔绝,如图 23B。这种安置排除了在两层屏蔽体间形成环形电流的可能性。在该装置内,贯通内、外两屏蔽体的引线应在两屏蔽体之间的空间加装附加的滤波装置。此外,从外部深入内腔的各种轴亦必须采取屏蔽措施。

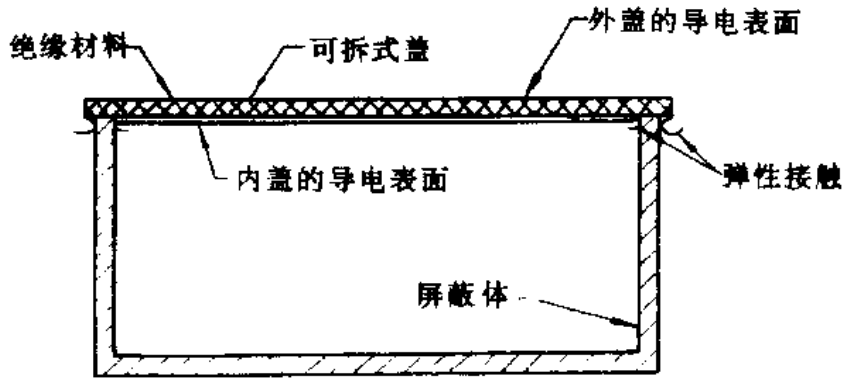
5.3.3 外壳接缝设计

接缝设计要求在接合处采用电弧焊接、螺栓联结、点焊或精加工以实现连续的金属接触。如果所使用的连接材料的电导率较低,那么信号必经通道上的材料其重叠部分提供的屏蔽效能应接近机箱材料本身的屏蔽效能。图 24 说明了一个设计得很好的接缝。复式接缝(图 25)是带有活动缝隙的,这部分结构是靠折弯的金属件或镶边的并接实现的。一般来讲,这种形式的接缝比简单接缝具有更好的屏蔽效能。但实际获得的屏蔽效能将随结构的不同而有所差异。

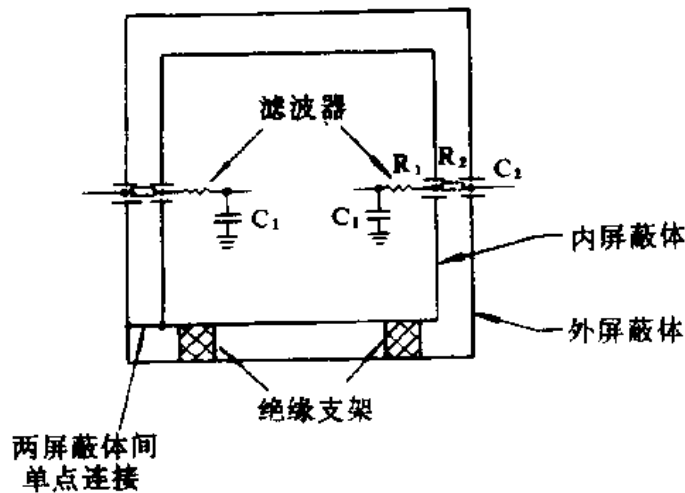
5.3.4 孔的屏蔽

5.3.4.1 概述

在电磁学上,所谓小孔,是指最大尺寸远小于信号波长的孔。凡尺寸接近或超过信号波长



A 屏蔽体的夹层型盖



B 屏蔽体间以单点连接的多重屏蔽系统

图 23 多重屏蔽的应用

的孔,必须覆盖屏蔽材料。应依照信号衰减要求的高低依次采用下列器材:蜂窝状通风孔板、穿孔金属板、编织金属网或编结金属网。当控制轴必须穿过封闭壳体时,波导式衰减器也具有可观的衰减值。利用绝缘控制轴穿过这种波导式衰减器执行控制功能几乎不产生干扰信号的泄漏。在许多场合,屏蔽遮板使空气阻力增加过多(图 26)。而且有时用屏蔽遮板还达不到所要求的屏蔽效能。在这种情况下可以运用截止波导的工作原理专门设计一种覆盖窗孔的通风孔板(如蜂窝状通风孔板)。蜂窝状通风孔板的样品示于图 27。以蜂窝状通风孔板代替屏蔽板的优缺点有:

- 在规定的频率范围内比网状遮蔽板具有更大的衰减量;
- 对于同样直径的孔能通过更多的空气而几乎无压力损失;
- 不象网状遮蔽板那样容易损坏,所以它工作更可靠;
- 受到氧化和暴晒不易变质。

所有非实心的屏蔽器材(如穿孔金属板、细眼网状铜屏蔽遮蔽板和蜂窝状金属板)对通过

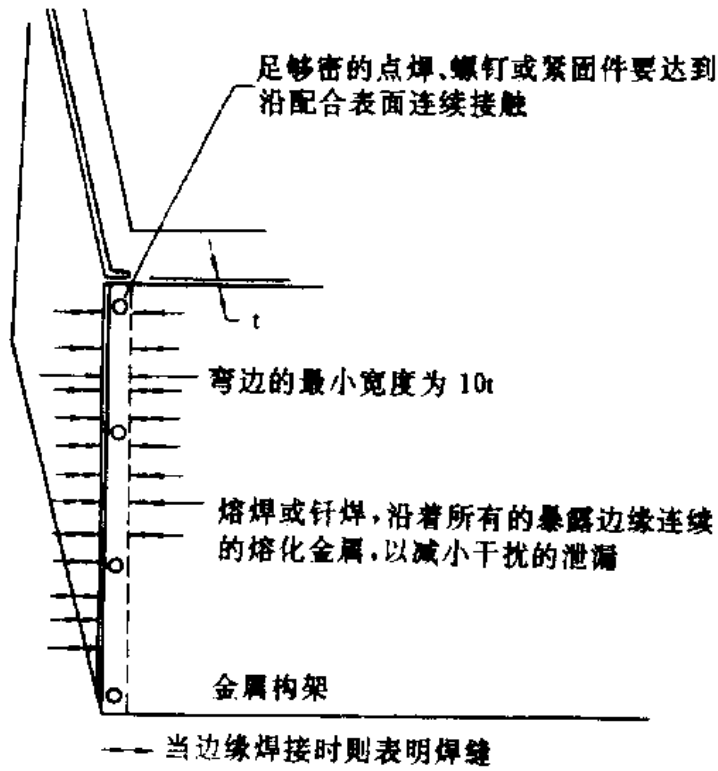


图 21 使干扰最小的接缝设计

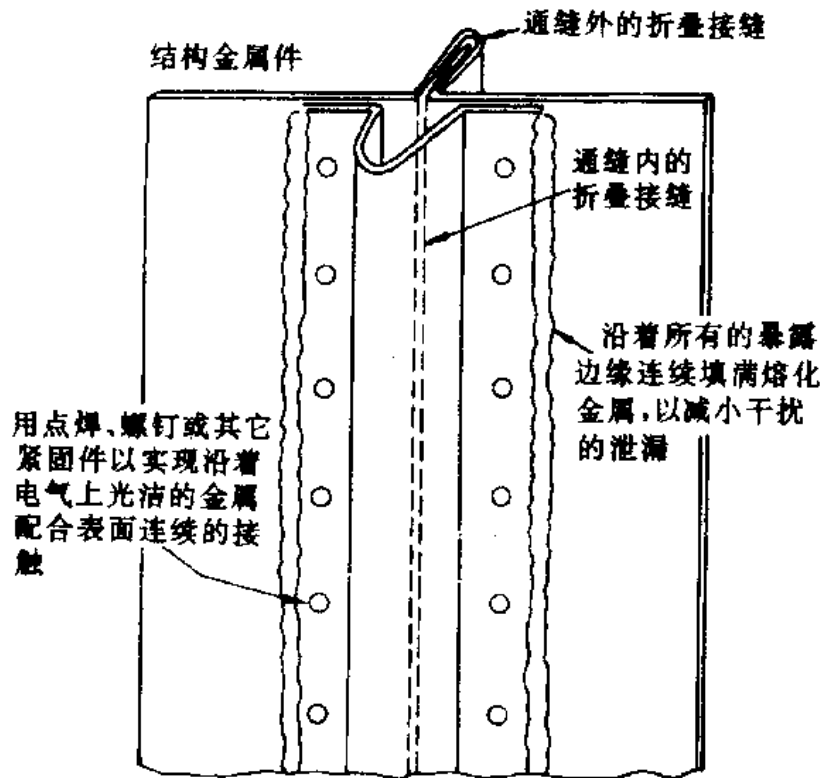


图 25 复式接缝的一个实例——立式伸缩接缝

气流都要产生阻力。在上述器材中,蜂窝状金属板性能好,因为它即使在微波频段都能对电磁场产生很大的衰减,而空气的压力损失却可以忽略不计。蜂窝状通风孔板的厚度可按照预期的衰减量在 20~60mm 的范围内变化。蜂窝状通风孔板的衰减量当频率在 10MHz 以上时可以达到 136dB。通常遮蔽的孔径尺寸必须通过足够的气流量。如果要使频率高于 1GHz 的信号受到很大的衰减,必须把通风孔设计成截止波导式衰减器。用 5.3.4.2 条的公式可计算截止波导式衰减器的屏蔽效能。为了获得足够的通风孔径尺寸,以满足所需要的通风流量,应将通风管挨个排列起来,直到能通过所需要的足量空气为止。

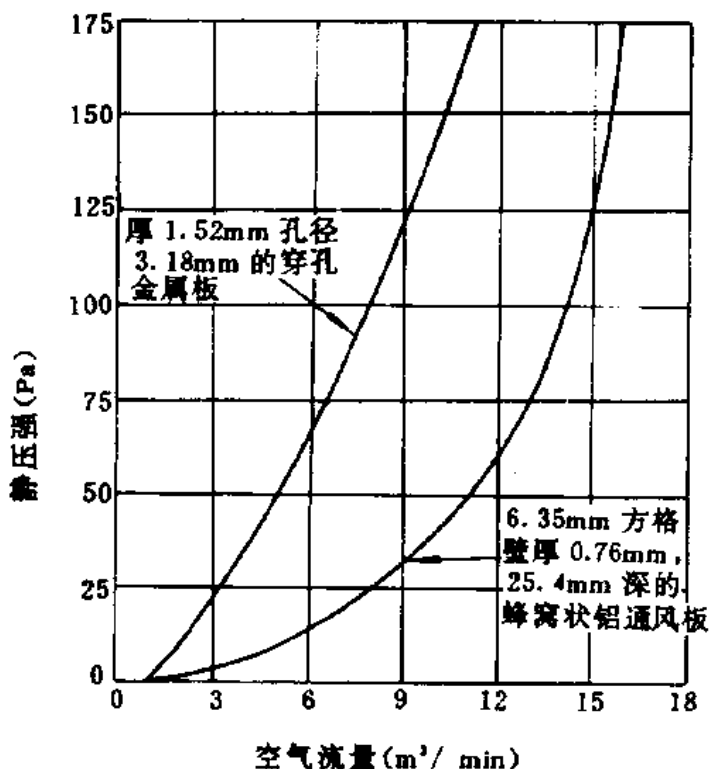


图 26 穿孔金属板和蜂窝状通风板的风阻

5.3.4.2 波导的衰减特性

工作在截止频率以下的矩形波导所具有的衰减示于图 28,圆波导的衰减特性示于图 29。

在设计时,如果 $D/w \neq 1$,则按图中查得分贝数乘上 D/w 就可得到正确的衰减值。矩形波导衰减器的方程式是:

$$A = 27.3 \frac{D}{w} \sqrt{1 - \left(\frac{wf}{150114}\right)^2} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

- D —— 波导深度,mm;
- w —— 波导横截面的长边内壁尺寸,mm;
- f —— 频率,MHz;

在矩形波导横截面的长边内壁尺寸 $w = 3.175\text{mm}$,且要求它在 1GHz 时的衰减量为

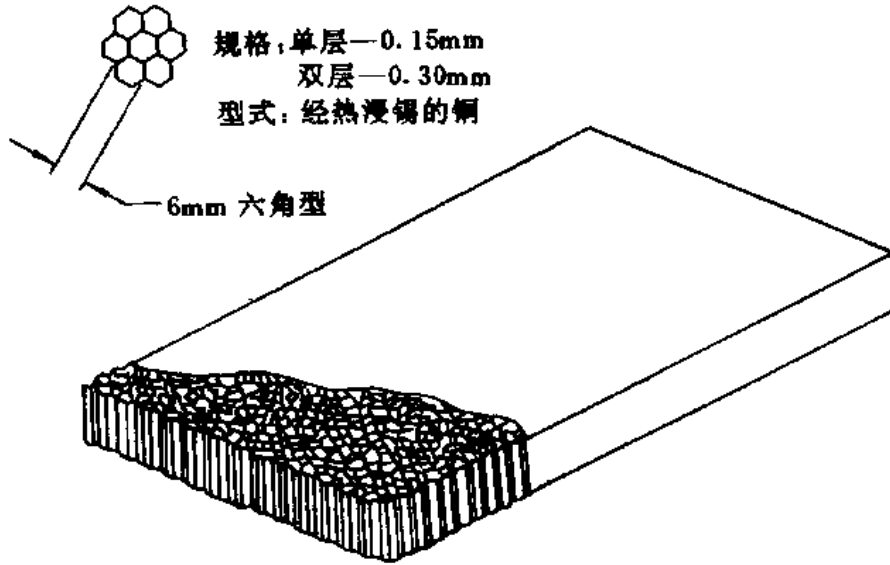


图 27 蜂窝型通风孔板

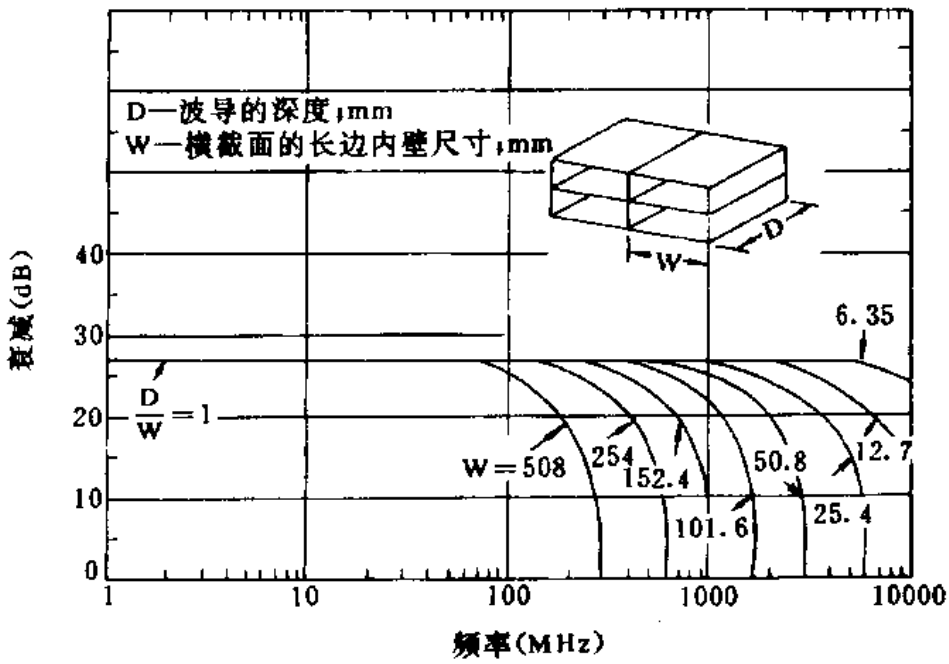


图 28 矩形波导衰减特性

100dB, 则可确定深度 D:

$$A = 27.3 \frac{D}{w} \sqrt{1 - \left(\frac{wf}{150114}\right)^2}$$

$$\frac{A}{D} = \frac{27.3}{3.175} \sqrt{1 - \left(\frac{3.175 \times 10^3}{150114}\right)^2}$$

D = 12.6(mm)

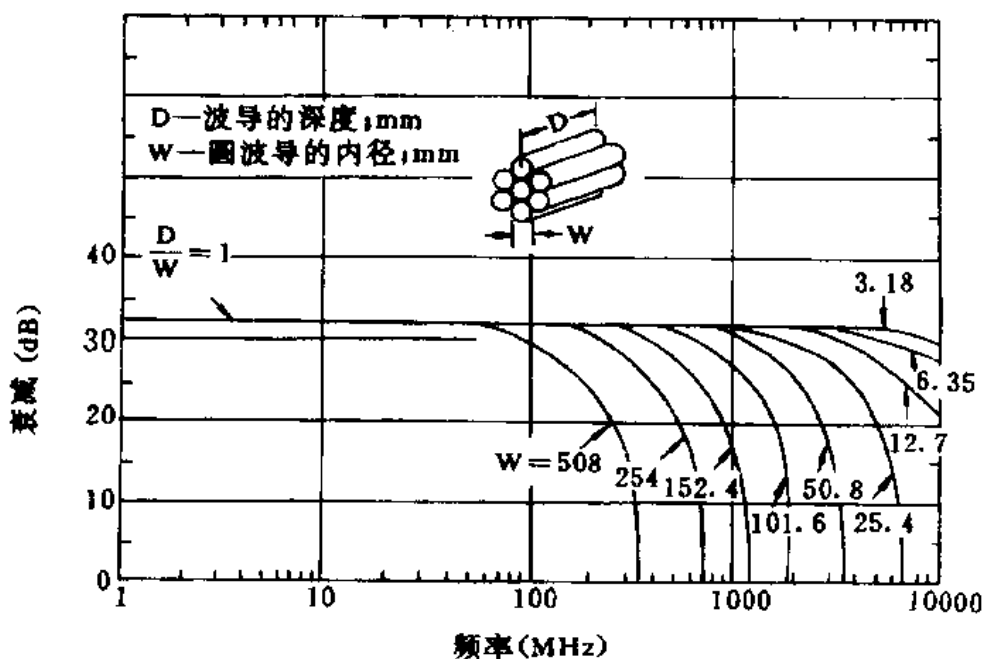


图 29 圆型波导衰减特性

圆波导衰减器方程式为：

$$A = 31.95 \frac{D}{w} \sqrt{1 - \left(\frac{wf}{175768}\right)^2} \dots\dots\dots (13)$$

式中： D —— 波导深度，mm；
 w —— 波导内壁直径，mm；
 f —— 频率，MHz。

上述两种波导具有高通滤波器的性质。所有低于截止频率分量都要衰减。矩形波导和元件的最低截止频率分别是：

$$f_c = \frac{150114}{\text{矩形最长边尺寸}(mm)} \dots\dots\dots (14)$$

和

$$f_c = \frac{175768}{\text{圆孔直径}(mm)} \dots\dots\dots (15)$$

最高工作频率应是截止频率的 1/10。虽然当工作频率为截止频率的 1/3 时衰减量已接近最大衰减值，但考虑到要有个安全系数，故选工作频率的 1/10 为截止频率较为合适。工作频率 f (MHz)，在单位长度所受到的衰减为：

$$\alpha = 0.1176f \sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots (16)$$

图 28 和图 29 所标出的频率范围，对于任一特定尺寸的孔都是适用的。当频率低到 1MHz 时，两相邻孔之间金属壁的电气厚度和电导率是足够的。因为截止波导具有衰减量较大、空气

压力损失最小的特点,所以把它推荐为较可靠的屏蔽手段。穿过屏蔽外壳的孔洞而伸出来的控制轴,可以是尼龙、聚四氟乙烯或其它介电材料做成的轴,但要使其穿过金属管或截止式波导管(图 30、图 31a),也可以是借助金属指状物接地的金属轴(图 31B)。在外壳必须钻孔的场合,应考虑用波导法屏蔽。如果金属板厚度足以提供一个长度合适的管道,它就可有效用作波导衰减器。

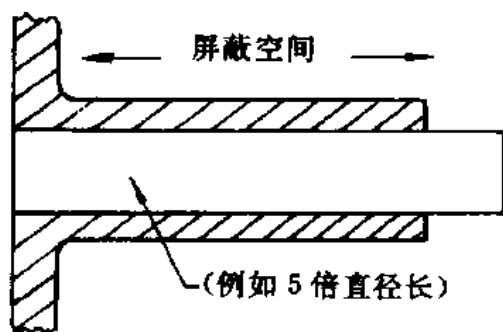


图 30 具有波导衰减器作用的管道

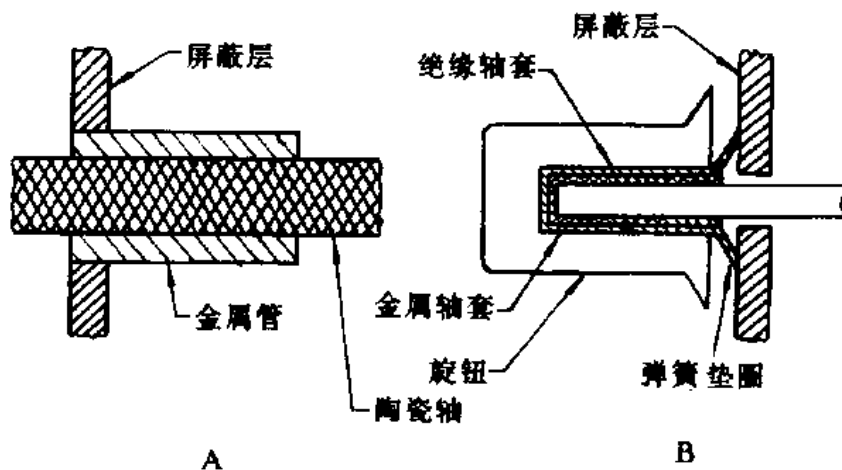


图 31 轴的贯通方法

5.3.5 紧固件

为了保证金属配合表面实现合格的接触,必须使用足够数量的紧固件,并且要防止配合表面出现翘曲。在紧固压力作用下,受压材料会变薄而出现翘曲(图 32),所以紧固件间隔必须很近。当由于振动或安装误差在两金属表面之间引起空隙时,紧固件的间距应能防止射频泄漏。有时除了采用屏蔽阻止干扰以外,还需要使设备的接缝保证气密性。图 33 给出了实现这一要求的方法之一。

5.3.6 导电衬垫

在密封的产品中缝隙和面板接合处是最薄弱的环节,需要用导电衬垫来确保金属配合面间低阻抗的连续接触以防止电磁干扰能量的引入或泄漏。有两类可压缩衬垫:平衬垫(图 34)和沟槽衬垫(图 35)。具有绝缘沟槽衬垫的接缝,应考虑能使螺栓孔之间仍保持金属表面的接

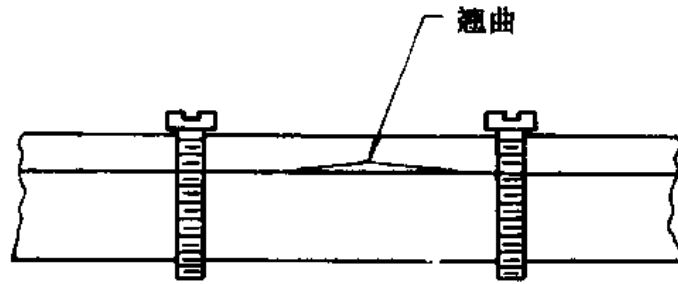


图 32 薄壁材料在紧固件间的翘曲

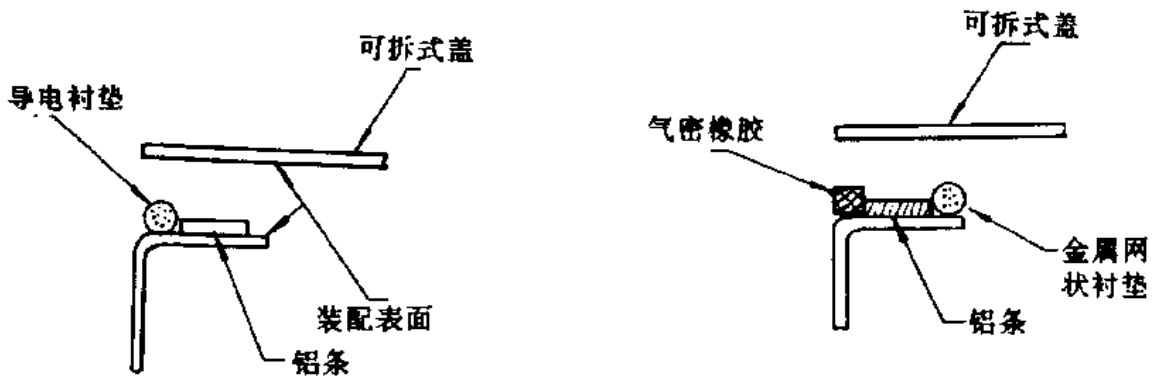


图 33 用网状衬垫处理缝隙

触。槽的容积必须大于衬垫的体积,良好的配装方式应是把衬垫夹持在缝口或沟槽中。图 36 说明了这类衬垫用在法兰盘和盖板接合处的具体结构。使用导电弹性的阻风雨条的典型封闭结构示于图 37。在设计衬垫时,必须考虑到接合表面的不平整性以给出衬垫的最小厚度,同时,其工作高度及产生的压力须适当,还需考虑翘曲的频数。选作衬垫的材料应能抗腐蚀、导电、有弹性,并满足 GJB 150 的要求。衬垫位置必须固定,它可以利用侧壁摩擦力、由附加的凸棱使其固定在适当的位置,也可以借助台肩定位,如图 38 所示。图中表示了衬垫被直接点焊或使用搭接粘合剂定位的情况,此种方法应以直径为 0.3cm 点滴方式使用,每隔 2.5~5.0cm 滴一点或在较宽的材料上象薄带那样连续地涂上一层。各种不同形状的衬垫如图 39 所示。

5.3.7 压力密封和防雨密封

在某些应用场合中,要求对压力和干扰同时加以密封。图 40 表明了这类密封的典型实例。把导电衬垫直接粘贴到橡胶或其它弹性材料上,构成压力和干扰的组合密封。为了使这种组合的密封定位,可以把橡胶粘合到两配合面之一的表面上。装入衬垫的材料(例如氯丁橡胶与编织金属的组合衬垫)不如金属的指状物或网状衬垫有效。金属氯丁橡胶在很大的压力下才能达到令人满意的密集程度,因此要求每单位长度上所采用的紧固件数量较多。可以在氯丁橡胶或有机硅上编结 1~2 层金属网构成防雨水的密封,如图 41 所示。这种密封可以抵御雨淋但不能承受水压。

5.3.8 设备面板的密封及连接器的密封

图 42 举例说明了设备面板推入内部带有凸缘的机箱时,垫入导电衬垫的一种典型处理方法。如果面板还连结着底板,那么设备扣除机箱以外的全部重量将由凸缘承受,一种很合乎要

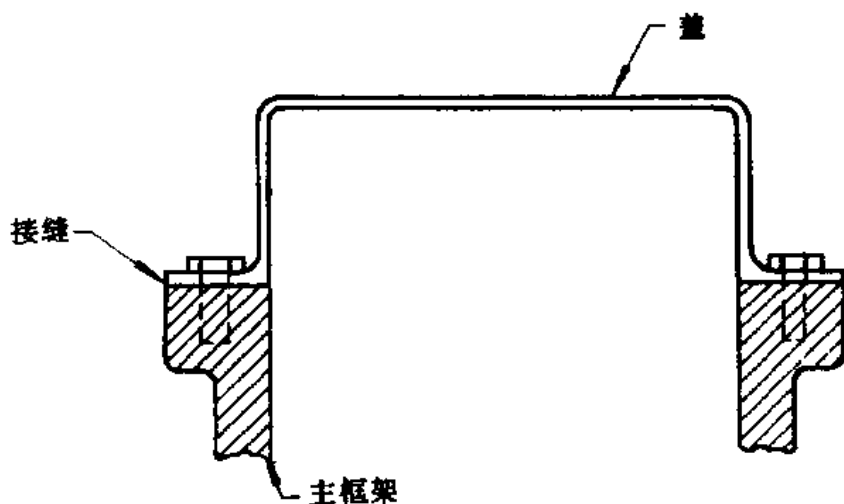


图 34 平法兰型接缝

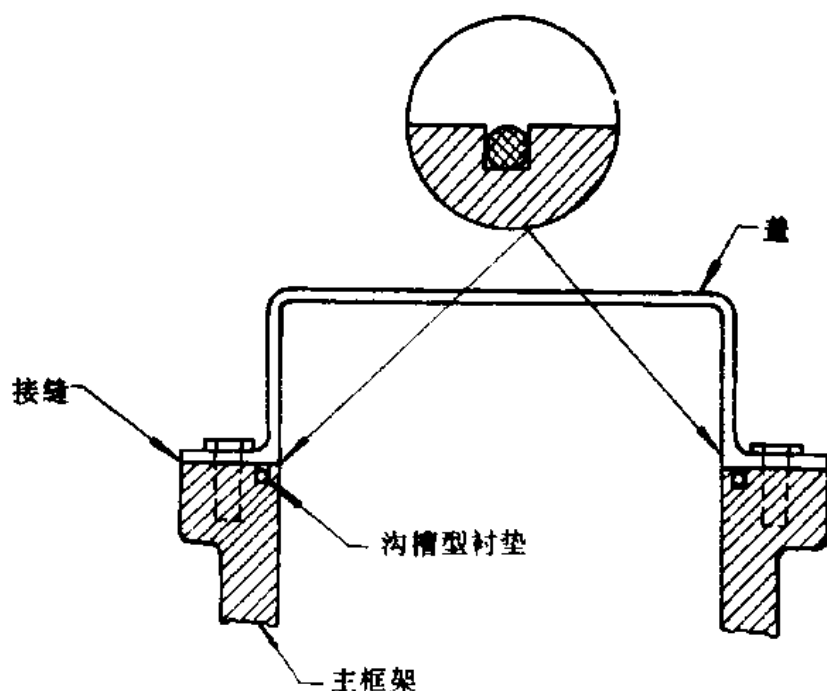


图 35 带沟槽型衬垫的平法兰型接缝

求的处理办法是：由一固定连接的刚性挡块对衬垫材料限位。衬垫夹持在面板和机箱凸缘之间。图中显示的衬垫最合适在这种场合应用，在弹性衬垫材料上连接一挤压成形的铝支座。推入的面板被挡在铝支座的厚度位置上。因为衬垫未受挤压时的厚度大于铝支座的厚度，所以衬垫将在受压条件下工作。

安装在舱壁上的连接器必须同时保证对电磁辐射和流体的密封。在这种情况下，应采用氯丁橡胶灌注过的多层编织铝栅网。应把采用高精度公差连接器安装在足够硬的表面上，以这种衬垫材料稍许压缩即可起密封作用。这种衬垫很小，所以用其它材料做不出性能如此好的组

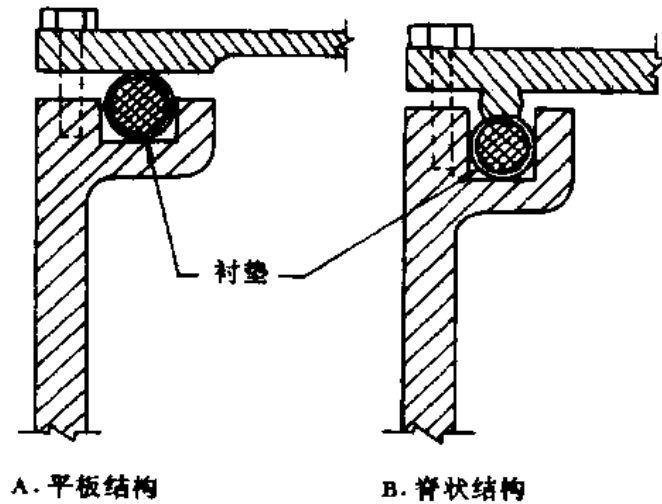


图 36 典型沟槽型衬垫的应用

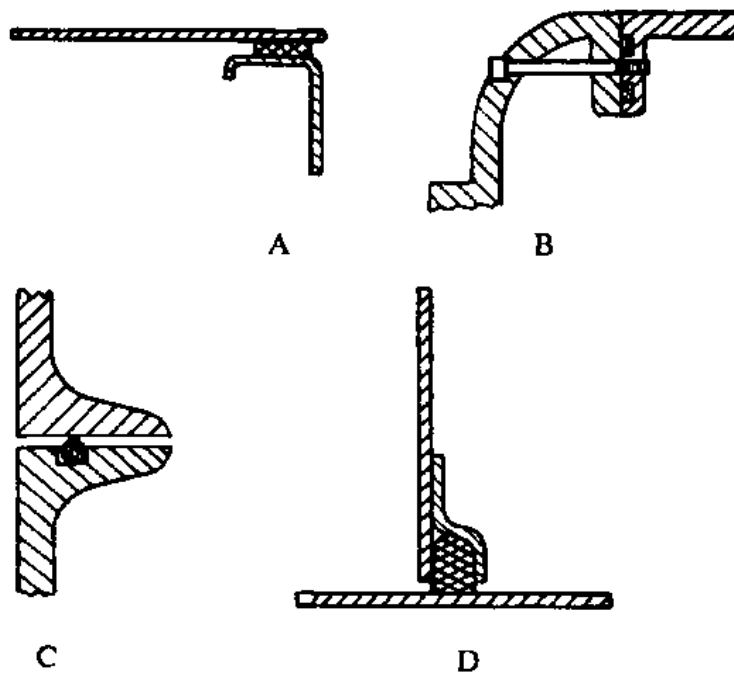
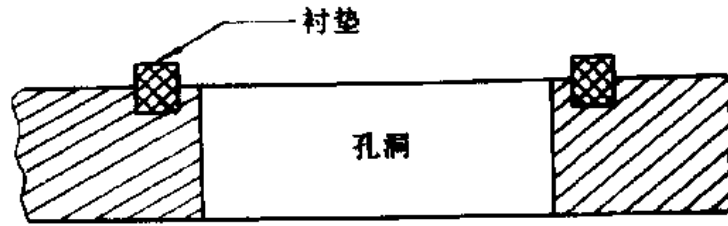


图 37 典型导电衬垫的应用

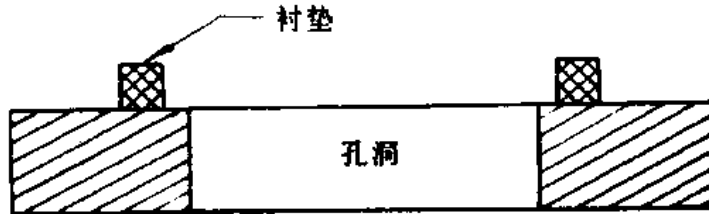
合密封衬垫。

5.3.9 导电衬垫材料的特性

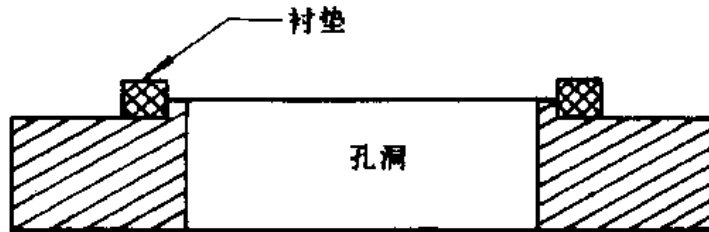
已经采用了各种兼有弹性和导电能力的材料,这些特性可以通过采用几种材料通过不同的方法而得到。较常用的一些材料列于表 9。



A 用侧壁摩擦力固定在沟槽里



B 用低温钎焊把衬垫固定在适当位置(必须仔细地控制所用焊料的总量,以防止浸入衬垫)



C 用台肩安装

图 38 典型衬垫的安装方法

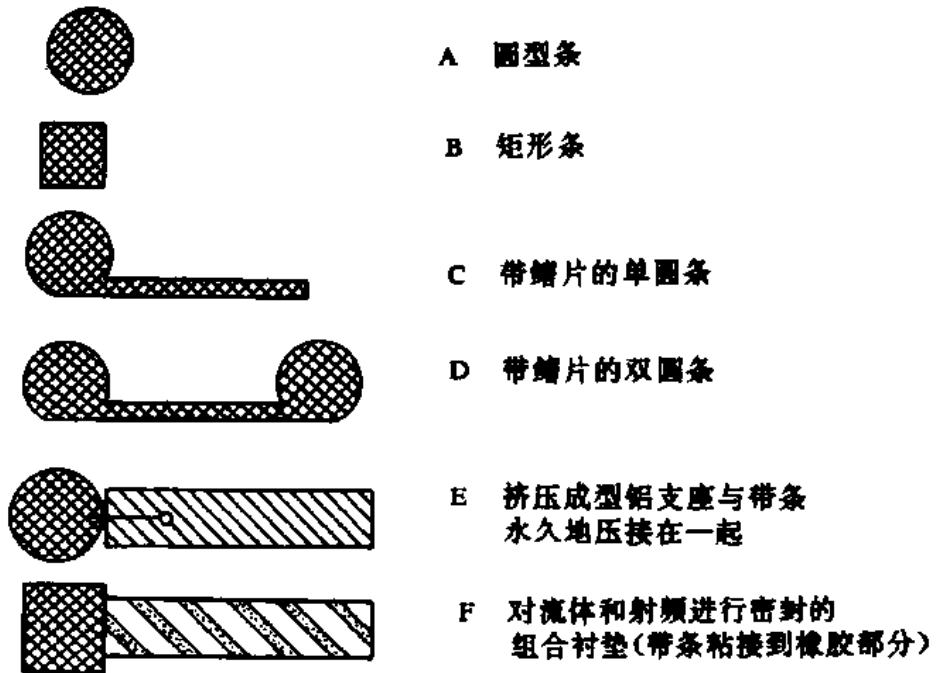


图 39 各种衬垫的断面形状

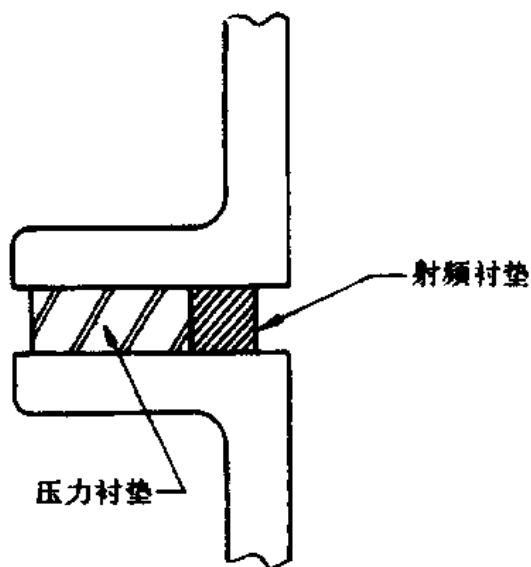


图 40 压力导电衬垫的应用

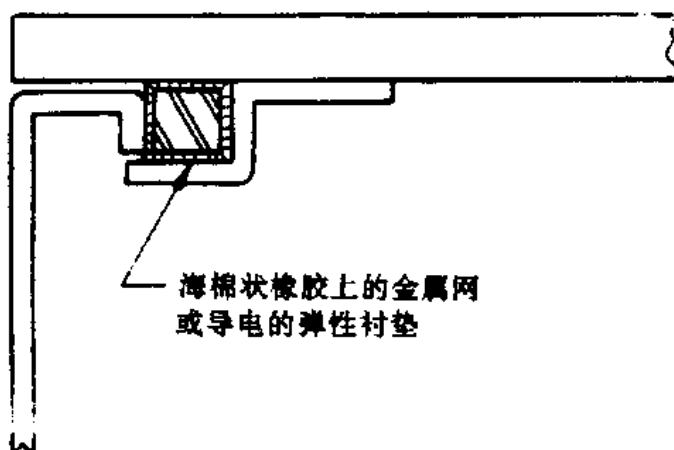


图 41 防雨导电衬垫密封

表 9 导电衬垫材料的特性

材 料	主 要 优 点	主 要 缺 点
可压缩的编织金属线网	最富有弹性的金属衬垫(只需较小的法兰压力),接触点最多,适用于各种不同的厚度和弹性。	不能用在薄板状的接合缝(某些复杂的形状难以制作)。厚度必须 0.10cm 或更厚。
灌装氯丁橡胶的铝栅网	兼有流体和导电密封性,是最薄的衬垫。	弹性变形很小,(要求较大的法兰压力)。
软金属	尺寸小,使用时最便宜	冷塑加工,弹性变形小。

续表 9

材 料	主 要 优 点	主 要 缺 点
橡胶外包裹金属	承接了橡胶弹性变形的优点。	位置错动时金属层要开裂,插入损耗一般较低,射频性能差。
导电橡胶	兼有流体和导电密封的性能	射频性能差,几乎没有插入损耗。
接触式指状物	最适用于滑动接触	易损伤,接触点少
卷曲螺旋弹簧	沿螺旋弹簧轴线方向即使只加 0.184g/cm 的压力,仍保证导电性,弹簧直径能大到 2.54cm。	在薄板状的接缝里不适用(许多复杂形状不能制作)最小直径只能做到 0.12cm。

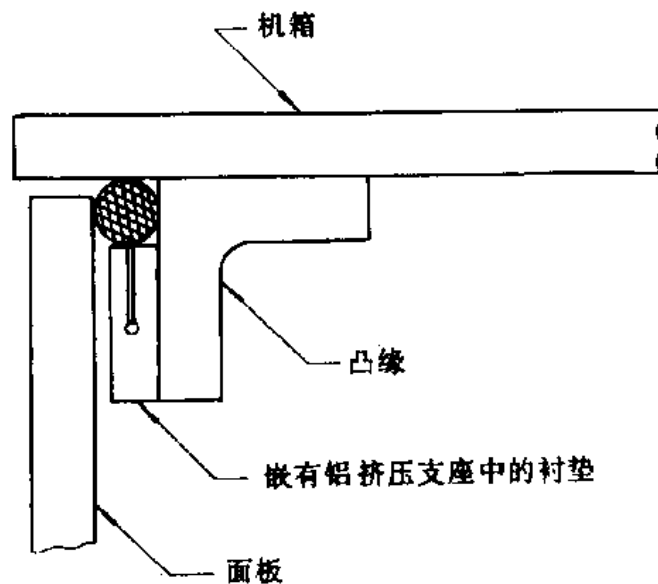


图 42 典型导电衬垫安装的问题

5.3.9.1 编结金属线网

编结金属线网衬垫材料是由许多互相扣住的环状弹簧组成的,它兼有内聚力和适应性较好的弹力。当将金属网压缩并使它足够致密而成为有效的屏蔽材料时,该金属网可保持上述性质。不要把这类衬垫使用在镁构件上。

5.3.9.2 铍铜合金

铍铜合金衬垫是 0.25mm 的铍铜合金带,其制造方法是在薄片两面刺扎小孔使得两侧面具有毛刺。所形成的尖而凸起的点与接缝两边分别构成接触。这种衬垫用橡胶灌注后,除了用

作射频密封外,还能构成良好的压力密封。因为它能刺穿薄膜层,所以还可用于受过阳极氧化及遭受到侵蚀的表面,构成良好的金属对金属的接触。

5.3.9.3 嵌线式衬垫

嵌线式衬垫是由许多金属丝制成,每根金属丝被弯成一个张开的V字形,它们相对于配合表面的平面旋转 90° ,用硅橡胶灌注后就构成有效的衬垫(图43)。衬垫的金属丝能刺破任何配合表面的氧化膜。有些金属丝的两端一经与配合表面建立接触,则它们的折弯就容许衬垫经受进一步的压缩。这类衬垫不宜用在镁构件上。

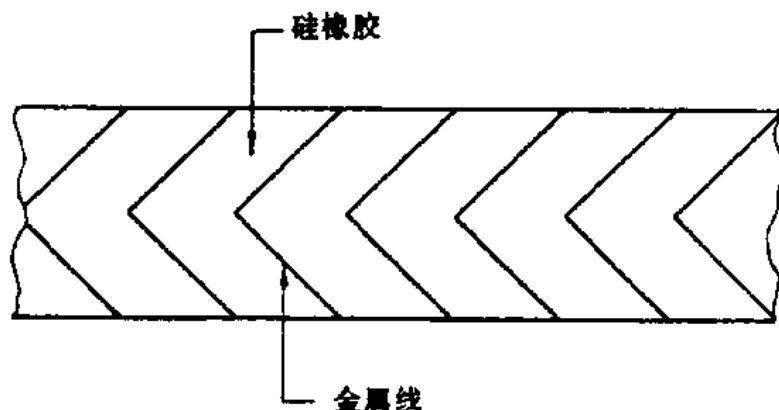


图 43 嵌线式防干扰衬垫

5.3.9.4 用氯丁橡胶灌注的编织铝网或遮蔽栅网

氯丁橡胶灌注的编织铝网或遮蔽栅网要磨得各边露出网线尖端。

5.3.9.5 软金属

软金属(例如铜或铅)可以作为导电衬垫使用。

5.3.9.6 橡胶外包裹金属

由于橡胶上包裹了金属箔或金属丝,所以这种材料就兼容了橡胶的弹性和金属的导电性。

5.3.9.7 梳状簧片接触指状物

簧片的悬臂部分实现弹性变形,簧片与其相配合的构件表面间的摩擦接触起着导电衬垫的作用。

5.3.9.8 卷曲螺旋弹簧

卷曲螺旋弹簧是用薄而扁平的弹性材料绕制而成,由于它容易与不平整的接合面相配合,所以在接合面之间能提供一连串的低阻抗连接通路。

5.3.9.9 导电合成橡胶材料

使用含银导电合成橡胶衬垫材料时,需要施加较大的压力才能获得与其它类型材料相当的环境密封效果及电磁干扰的屏蔽效能,但这需要以稳定的、经过完善地设计与加工的配合表面为条件。这些材料的表面电阻率和体电阻率很小,当需要配合表面间的电导率非常低时,使用这些材料是理想的。但是,这些材料与铝、镁构件相联接时要发生强烈的电化腐蚀作用,因此对这种配合表面要单独进行特殊处理。一般不应使其与镁构件联接。对于铝构件,应首先对其配合表面进行红外辐射处理,再涂上一薄层($25\sim 50\mu\text{m}$)环氧银粉漆。

5.3.10 插入损耗

图 44 画出了弹性金属衬垫的插入损耗(分贝)与所加压力的关系。这种插入损耗是把导电衬垫插入原来无衬垫的接缝后由射频量的泄漏所得出的结果。由图 45 可见,因此使用了衰减器可以在保持 E_1 不变的条件下将两种情况的 E_2 调到相同读数,那么由校准衰减器的两次读数变化可直接得到插入损耗。对不同的频率、衬垫材料和接缝材料进行试验所得出的插入损耗值会有所改变,但曲线形状都是一样的。在曲线的拐弯处总有那么一点,当再增加压力时,插入损耗并不再变化。按其平均来说,这个拐点大约在 138kPa 处出现。图 46 示出了梳形簧片的指状物。所有各类衬垫的插入损耗数据应作为电磁干扰(电磁兼容性)控制计划的一部分提出。

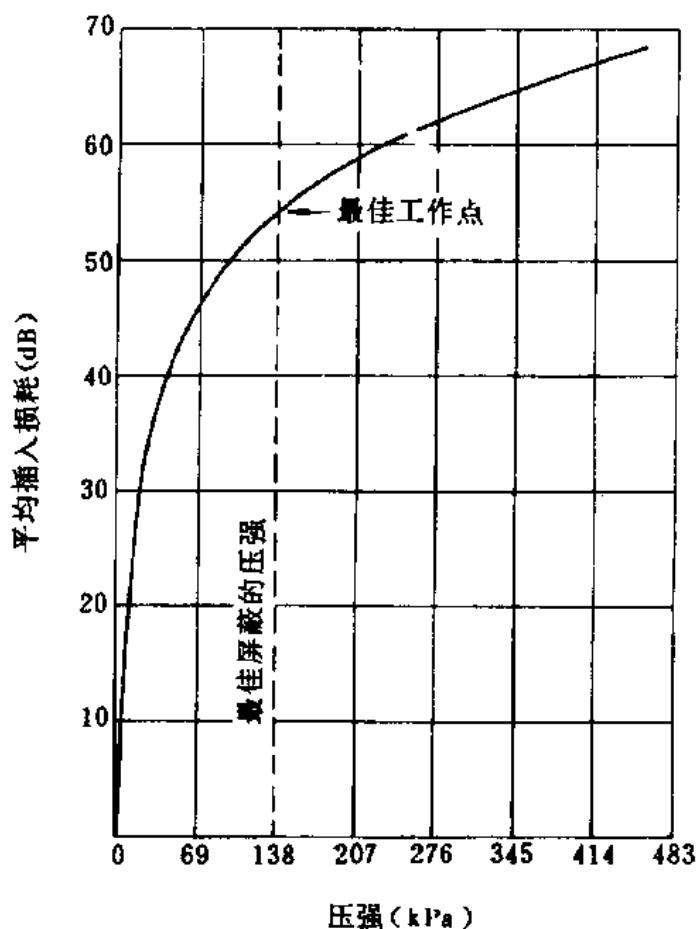


图 44 弹性金属衬垫的插入损耗与压强的关系

5.3.11 接缝的分类及导电衬垫的选择

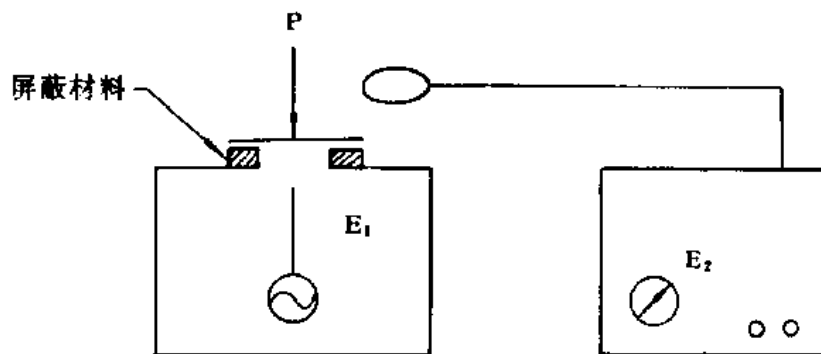
选择接缝形式不仅随配合面的密合程度而变,而且还要考虑到设备使用期间开、合的方式和次数。弹性金属衬垫受压时都将产生一定的变形。接缝可分为下列几类:

a. A 类,永久封闭型

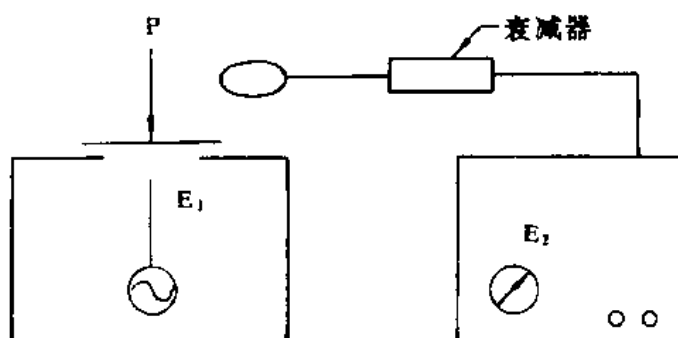
A 类接缝在最初封闭后,只有在大修或检修时才打开。以贯通方式安装的干扰滤波器和波导接头属 A 类接缝。

b. B 类,位置固定型

在 B 类接缝里,配合表面和衬垫的相对位置保持不变。例如:每次把门打开后再合上时,



A 屏蔽材料上施加不同的压力 P 测得 E_2 值, 而保持 E_1 不变



B 没有屏蔽衬垫材料时, 重复施加不同的压力 P , 并测量 E_2 值, 而 E_1 仍保持不变, 插入损耗由衰减器测得

图 45 弹性金属衬垫插入损耗的测量方法

门边上的任一点总是与门框上的对应点相吻合。在使用期限内, B 类接缝的衬垫被多次压缩和松开时, 衬垫上同一点的工作高度是相同的。装有铰链的凸缘与门、以及机架与面板的配合都是典型的 B 类接缝。

c. C 类, 可互换型

C 类接缝是指配合表面或屏蔽材料都能互换, 也就是两个配合表面和衬垫的相对位置可以改变的一种接缝。在 C 类接缝中, 衬垫往往可能被压缩成几种不同的工作位置。对称的盖板和波导的抗流式法兰就是 C 类接缝的例子。

采用导电衬垫时, 设计的主要目的是要求衬垫的弹性足以使不规则表面间构成连续的接触, 以保证其所在接合面间的低阻抗特性。各种型式的导电衬垫可采用的材料有: 蒙乃尔合金、镍铜合金、镀银黄铜及铝等。这些材料的适用场合列于表 10。当这些导电衬垫用在与铝或镁构件相接触的场合时, 需要对金属表面进行专门的处理。

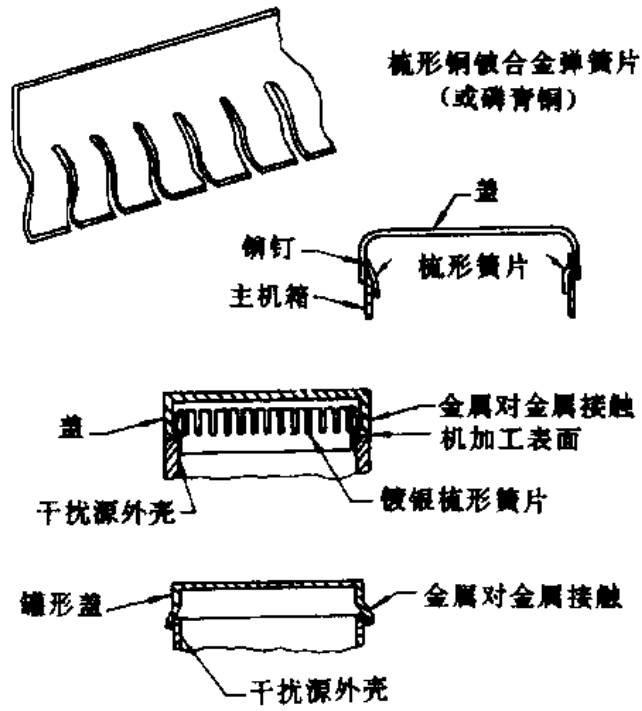


图 46 防干扰屏蔽体的盖子和机箱的金属对金属接触技术

表 10 根据机械适用性选择射频衬垫类型的指南

	网带条形状				挤压型衬垫	成型射频衬	被类似衬垫材料	组合型衬垫	编织丁橡胶网加	金属网包裹	导电橡胶	指状物	卷曲螺旋弹簧	
	○	□	○_	○○									○	○
固定方法	靠侧壁紧配合卡在缝或槽内													
	用不导电胶的点式粘合													
	除射频衬垫部分外,用不导电的胶粘合													
	用导电胶粘合射频衬垫部分													
	螺钉、点焊或铆接													
	低温钎焊													
	用穿过螺栓孔的螺栓固定													
	压敏粘合剂敷层													
	冷却空气密封													
	防雨密封													
衬垫的其它功能	压力密封													
	0~35.0kPa													
适用的压强	35.0~350.kPa													
	350.0kPa 以上													
接合面总的平整度	小于 0.05mm													
	0.05~0.75mm													
	0.75~1.50mm													
	超过 1.50mm													

续表 10

	网带条形状			挤压型衬垫	组合型带条	成型射频频衬	被铜衬垫或材料	组合型衬垫	编织铝网加氟丁橡胶	橡胶网外包裹	导电橡胶	指状物	卷曲螺旋弹簧	
	○	□	—										心	口
可用间隙的宽度	小于 1.50mm			3	3	2	3	3	1	3	1	3	1	1
	1.50~12.70mm			1	2/3	1	2	2	1	1	1	2	1	1
	12.70~38.10mm			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
可用间隙的厚度	小于 0.75mm			3	3	3	2	3	1	3	2	2	3	3
	0.75~1.50mm			1	2	1	1	2	3	2	1	1	1	3
	1.50~2.30mm			1	1	1	1	2	3	2	2	1	1	1
接缝的类型	超过 2.30mm			1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1
	仅有压缩			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	兼有压缩和滑动			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	仅有滑动			2	2	2	3	3	3	2	3	1	2	2
	表中数字: 1 适用 2 可考虑 3 不适用													

注: ① 用不导电胶的点式粘台, 如果这种粘台方式的粘点直径仅为 3.0~6.0mm, 间隔为 25.0~50.0mm, 则不导电胶也可用于射频频衬垫之下。

② 不导电胶如果是用在组合条、衬垫的附着物或橡胶部分之下, 应采取连续粘台, 但不能粘在射频频衬垫的下面。

③ 导电胶可以在射频频衬垫之下进行连续式粘台。

④ 借助覆盖在附带鳍片上的衬条固定。

⑤ 假定采用的挤压型衬垫是橡胶外包裹金属网的一种变形材料。

⑥ 仅评价其机械适用性。可进一步提高高压强, 以满足插入损耗的要求。

⑦ 评价的前提是, 接缝的间隙可以容纳足够厚的衬垫。

⑧ 此宽度包括固定材料所必须的间隙。

⑨ 各项评价并非是按导电橡胶的电气适用性为依据。因为它一般比所列其它材料的电气性能差。

5.3.12 特殊的屏蔽技术

5.3.12.1 气体放电灯

各种气体放电灯如日光灯、紫外灯和霓虹灯都是干扰源。控制这类干扰的技术属隔离和抑制问题。气体放电产生的电磁干扰频率通常在兆赫范围。这些灯泡所辐射的电磁能有三种方式传送到接收机：由灯泡直接辐射；从电源辐射或两种兼而有之。这类灯不能用薄金属板屏蔽，因为金属板会把发生的灯光全部挡住。应当采用金属线屏蔽栅网屏蔽灯管。在需要对干扰实现足够屏蔽时，应当考虑采用经过涂覆的玻璃，这种玻璃能透过90%的可见光，而它上面的涂层又能拦截辐射干扰，并将其接地旁路。其典型的组成结构是在耐热硼硅酸盐玻璃板的一个光滑表面上牢固地镀一层透明导电薄膜。用一根宽为6mm的金属接地条环绕玻璃板边缘一周，并将其烧结到导电薄膜上。应采用含银导电涂料构成玻璃板和框架之间的良好接触，并把上述框架连接到金属灯架的接地平面上。玻璃涂层的电阻范围是 $7\sim 31\Omega/\text{cm}^2$ ，因此它可在0.014~25MHz的频率范围内减小辐射干扰。

5.3.12.2 磁屏蔽技术

设计完善的电路也能受到元件所产生的寄生磁场干扰的影响。通过元件在底板上的合理取向可以使这些影响减至最小。

在受影响的元件周围加上磁屏蔽体以后，这类问题的大部分是可以解决的。磁屏蔽体是低磁阻通路，所以寄生磁场将被这一通路抑制。有效的磁屏蔽体应采用高磁导率的铁镍合金（如 μ 合金）制成。当单层屏蔽不能把干扰场抑制到足够低的时候，还可采取别的措施来解决。在这种情况下，需要采用多重屏蔽，所有附加安装的各屏蔽体应能达到预期的抑制指标。各屏蔽体之间应相互隔离，以确保组合体有最大的导磁性能。利用牛皮纸作0.25mm厚的隔离层，就可以实现上述目的。在结构上，磁屏蔽可分为两类：一类是用平板坯料深冲成形；另一类是焊接成型。鉴于镍—铁合金在拉伸过程中会迅速硬化，给其深冲工艺带来了困难，所以必须采用很大的曲率半径才能防止工件撕裂。在深冲 μ 合金屏蔽罐时，应注意尽快地消除其内应力。对于诸如变压器、阴极射线管和光电倍增管这一类元器件屏蔽罩，可以用未经退火的金属平板仿照这些元器件的外型制造。板材在弯板机或滚筒上弯曲成形后，应对重叠接缝进行点焊。所有孔洞和槽缝都应在成形之前开好。全部机加工结束后，屏蔽罩要放入纯净、干燥的氢气中，在1120℃的温度上进行最后的一次热处理，以达到需要的磁导率。在最后一次热处理之前，磁导率大约只有退火之后最终达到磁导率的5%。业已证明，接缝处只要保证有10mm宽的材料重叠就可阻止干扰场的任何透射。为了密封接缝，应采用12mm的点焊间距。屏蔽体表面接缝的部位对屏蔽效能有影响。对阴极射线的屏蔽罩而言，位于管子轴线方向的接缝对屏蔽效能影响较小，垂直于轴线的接缝会降低屏蔽效能。图47表示了这两类结构的实例，并画出了组成这两类屏蔽罩的坯料展开图。如果设备内空间及安装无问题，可采用图48简化形状，从而使成本降低。由于可把锥体套叠在一起退火，还减少了退火费用。冷加工对 μ 合金板的退火工序安排在最后的成形工序中，用于磁屏蔽罩的高磁导率材料有相同的基本成分：80%的镍和20%的铁。鉴于含镍80%的合金难以拉伸成形，所以应采用聚合重整工艺，先在金属模或砂模中浇铸一个具有预定形状的胎模，然后在这一胎模边旋转、边冷却的同时将雾化的磁性屏蔽材料喷涂在胎模上，直到获得要求的厚度。屏蔽罩制成后，应接着进行磨平、钻孔等机加工，最后退火，这样

可获得最佳的屏蔽效能和延展性能。在需要时,可用多层结构进一步改善屏蔽效能。在两层屏蔽材料间夹入铜喷涂层就可提供一些特殊的屏蔽性能。这一点很容易做到,且成本增加很少。

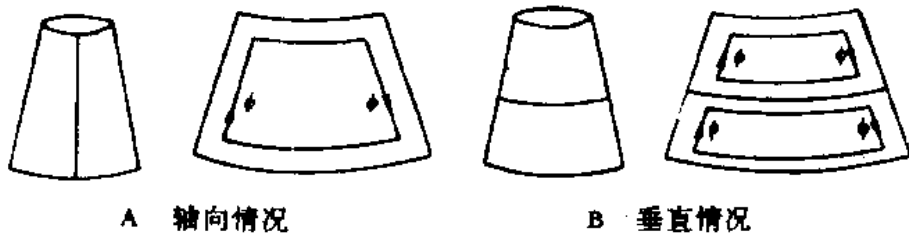


图 47 磁通路径上接缝方向的影响

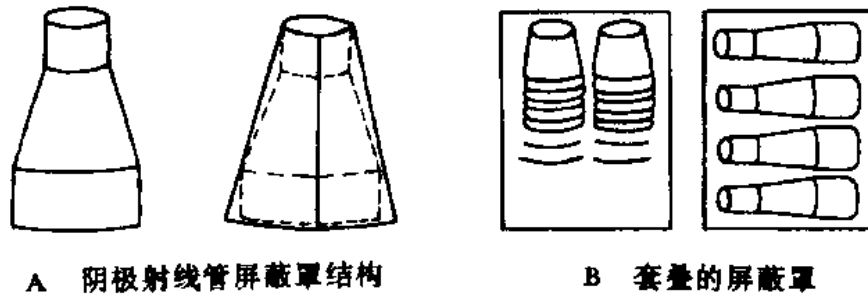


图 48 屏蔽罩的节约措施

5.3.12.3 数据输出口

存储管,阴极射线管和表头等数据输出口会在设备的机箱上造成屏蔽的不连续性。为此,可在读出装置后背的外面安装一个屏蔽罩,并对读出装置的所有引入、引出线采取滤波措施(如图 49 所示)。有些半透明的屏蔽材料可用于数据输出和显示装置。这些材料包括遮蔽铜网、穿孔金属板,经导电涂覆处理过的玻璃和导电涂覆的透明塑料。

5.3.12.4 存储管

为了有效防止存储管杂散磁场的影响,需采用双层屏蔽。它可以采用一层乃铁克合金和一层钴——乃铁克合金组合而成。乃铁克合金材料的主要特点是具有高的磁通容量和极低的剩磁性。钴——乃铁克合金材料用来解决低频弱磁场的屏蔽更为有效,其厚度应为 0.60mm;外屏蔽层则用乃铁克型材料或与其性能相当的材料,其厚度应为 1.50mm。采用这种结构后,可将直流杂散磁场减少到 1/1000,50Hz 的交流磁场能减少到 1/30000。

5.3.12.5 阴极射线管

如图 50 所示,各种阴极射线管的开口为屏蔽干扰造成了困难。为此必须将穿过屏蔽罩的所有零件(例如各种管道和导线管)在穿入屏蔽罩的部位借助铜钎焊或熔焊使它们与屏蔽罩实现良好的电气连接。各种把手、螺钉头、销钉及其它穿透屏蔽罩的金属凸出物都应铜焊或熔焊到屏蔽罩上;所有间断处都应采用连续焊缝连接。在高频情况下,伸出屏蔽罩的金属零件能象天线一样捡拾电磁能量,为此应将它们与屏蔽罩搭接。

5.3.12.6 指示表和记时表

表头的运动构件部分应采取屏蔽措施以防止交、直流磁场的影响。对于未加屏蔽的仪表来

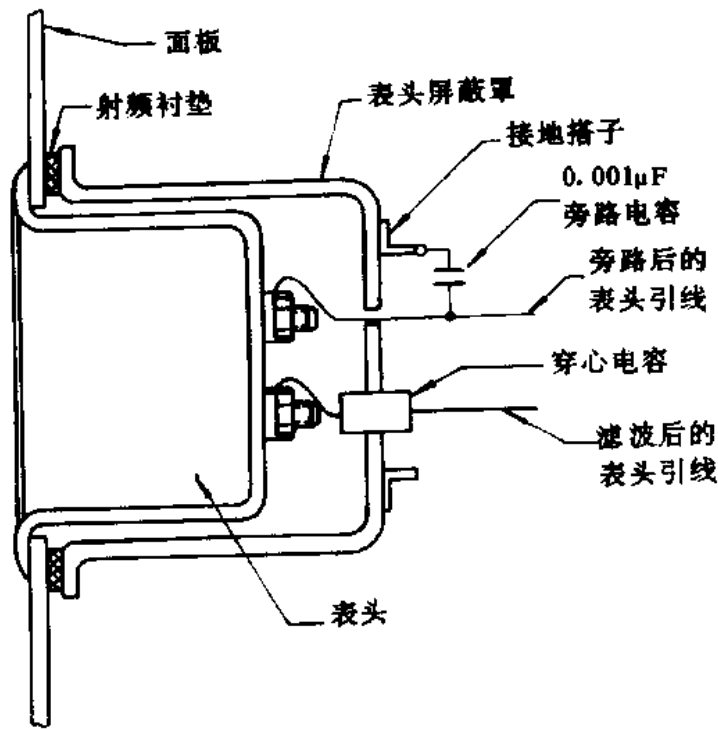


图 49 表头的屏蔽与隔离

说,最常见的干扰源是变压器、电动机、发动机、载流电缆或母线、管状电磁线圈以及能产生磁场的其它部件。若能对这类干扰加以屏蔽,则上述表头仍可在这些场合使用。

5.3.12.7 熔断器盒和指示灯的开口

如果面板其它各处的屏蔽都好,仅是装在它上面的熔断器盒未加屏蔽,则高频干扰可能通过这个开口传播。为此可先把所有的熔断器座集中在一起,然后用带有金属丝网衬垫的刚性金属屏蔽罩将这组熔断器座封闭起来。对于指示灯开口,要用到遮蔽栅网或专门的导电玻璃。

5.3.12.8 开关装置及电缆

某些部件,如管状电磁线圈或其它含有强的起动冲击电流的装置,可能成为防干扰设计中的一个问题。应把这类单元完全封闭在屏蔽体内,且用厚 0.02mm,宽 6.0mm 的退火 μ 合金带分两层缠绕在电缆上。缠绕第一层时,在匝间留有 3mm 的间隙,然后利用重迭在外面的第二层屏蔽带遮盖原先留下的匝间间隙,绕完后,再在外面裹上橡胶保护层将缠绕带固定,使其屏蔽效能不至于下降。

5.3.12.9 导电的表面涂料

专供屏蔽使用的高导电表面涂料是用导电环氧树脂配制而成的。这些精制的银基清漆能够牢固地粘附在金属、塑料、陶瓷、木材和混凝土上。当它涂在介电材料上时,其表面电阻率大体上小于 $0.16\Omega/\text{cm}^2$,若反复地多涂几层则能进一步减小表面电阻率。这些涂料常被用来改变屏蔽室或金属壳体的射频完整体,其方法是把表面涂料涂在各种接缝、缝隙以及接触表面之间。这种涂料呈流体状,所以极易流入缝隙。使用这种涂料还可以大大改善金属与金属之间的接触。表面涂料能填补被涂表面那些细微不平整部位,并使它与裸露的金属形成紧密的接触。

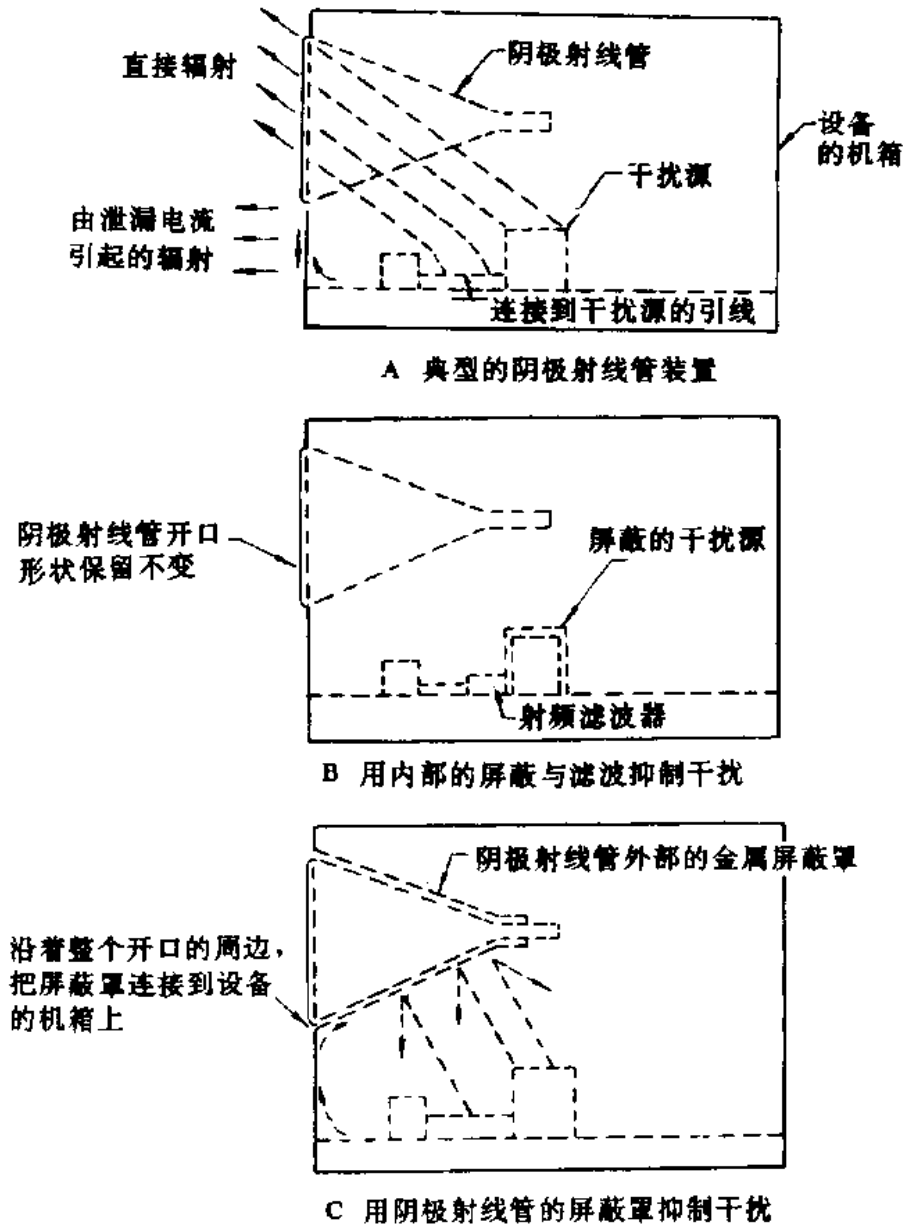


图 50 阴极射线管开口的处理

甚至那些遭受腐蚀的接缝也能用这种涂料大大地改善电气密封性能,用喷涂法使银微粒进入裂缝及难以达到的其他部位。金属结构的典型屏蔽盒或屏蔽壳体所有的接触表面采用导电环氧树脂(或与它相当的材料)处理以后,在 $15\text{kHz}\sim 10\text{GHz}$ 的整个频率范围内,插入损耗大约改善 30dB 。稀薄的涂料无法填满接缝或隙缝上的粗糙孔隙,在这种情况下,首先必须用导电填隙料嵌塞孔隙。如果是在金属表面使用上述涂料,则首先要用溶剂即清洁剂,或者借助研磨、抛光,即对需要涂覆的表面采取机械加工等各种手段除去金属表面上润滑油、机油、腊、油漆、灰尘或其它不导电的薄层。在金属基面建立起电气接触状态以后,就用刷子或喷枪将导电涂料加

到处理过的表面上。上述涂料在空气中干燥时,一小时之内它的表面电阻率应降低到 $0.16\Omega/\text{cm}^2$ 以下。外部追加的涂层则可按需要涂覆。图51给出了一些导电表面涂料及填隙料的应用例子,表11汇总了它们的应用情况。导电填隙料具有油灰状的粘稠性,可用手工嵌捻或借用风动挤料枪挤入孔隙,沉积层的厚度是容易被控制的。

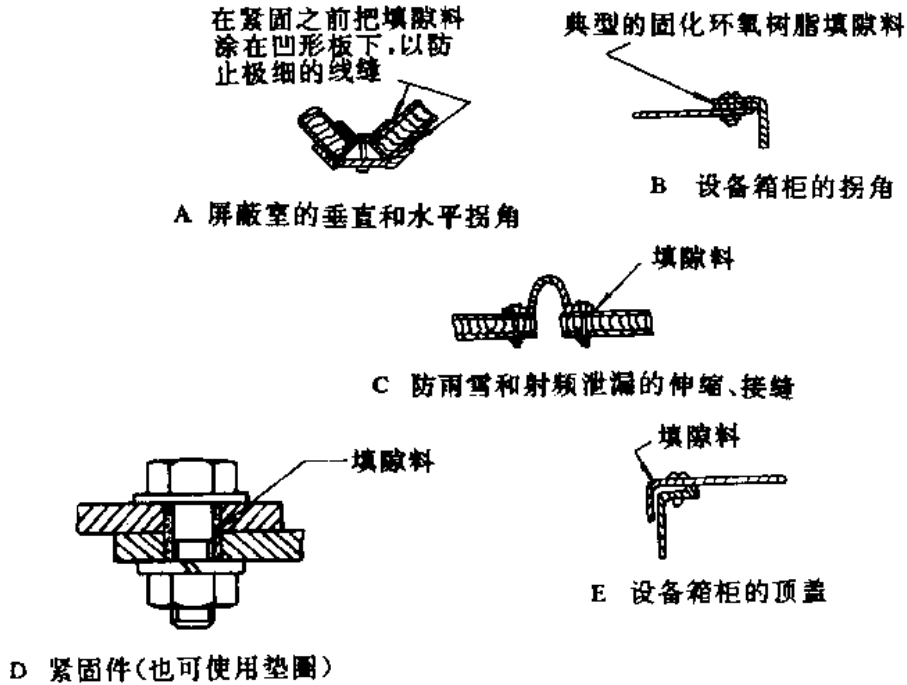


图51 典型导电填隙料的应用

表11 导电表面涂料的应用

应用	以前的方法	现在的方法	优点
屏蔽室,屏蔽罩和封闭壳体中的固定接缝缝隙	熔焊和钎焊 在夹紧的接缝处做成滚花表面;搭接隙缝处加金属带条	填隙料 填隙料	使用简便;性能可靠;不损伤金属表面;对翘曲无妨碍;无细长裂纹可加大螺栓间隔;接缝重量较轻能适应膨胀、压缩、弯曲和振动等条件。

续表 11

应 用	以前的方法	现在的方法	优 点
门、检修孔、容器盖以及法兰的密封	编织金属网带,铜质指状片 嵌入橡胶带内的定向金属线网带有O型环和滚花接触表面的机加工金属密封;填入橡胶的金属丝网。	衬垫带状衬条 带状衬垫	以单一材料实现射频和压力密封;只需较小的密封压力;间隙空间小压缩性好;衰减量大。可重复使用;性能可靠衰减量大。法兰表面不留伤痕;价格低;可重复使用;只需较小的密封压力
紧固件、螺栓、钉子、螺钉头等的密封	熔焊或钎焊	密封填隙料,密封衬垫	使用简便,性能可靠;不损伤金属表面;容易拆卸。

由于混合涂料的某些成分不会变硬或固化,所以接缝不会开裂,而且具有柔性;另一些成分干燥后形成硬树脂表面;还有一些成分在凝结后则具有橡胶状的稠性。通过加温促使涂料干燥的方法是可取的,而且是值得推荐的一种方法。接缝应保证在受压下工作。从接缝中挤压出来的多余填料可以回收使用。尽管导电环氧树脂具有很大的粘结能力,但不能依赖用导电填隙料把接缝粘合在一起。

5.3.13 电缆的敷设

连接电缆可能会把干扰从一个电路或部位传输到别的地方。干扰可能来自电缆的辐射。也可能由外界场引入电缆内部,一旦由于辐射或其阻抗元件把干扰引入到电子或电气设施的电缆线后,它便会通过电缆将干扰传导到设施的其它各单元。而且,电缆引线或其它的电缆附近由于电缆间电磁能量的交换可能在电缆内部或电缆间产生串扰。因此,电缆敷设成为设计中需慎重考虑的问题。它包括合适的选择、安装和确定电缆走向、电缆连接器及互连线路等内容。

5.3.13.1 电缆的屏蔽

对电缆屏蔽的方法包括下列几种:

- a. 编织的柔性导管;
- b. 刚性导管;
- c. 用高磁导率材料作螺旋形缠绕构成屏蔽层。

其中最常见的形式是利用编织的柔性导管。典型结构详图如图 52 所示。屏蔽层有效覆盖面的百分率可用下式计算:

$$K = (2F - F^2) \times 100\% \dots\dots\dots (17)$$

式中:K —— 有效覆盖面的百分率;

$$F = \frac{Npd}{\sin\beta};$$

- N —— 每一锭内线股的根数；
 P —— 每一厘米的交叉锭数；
 d —— 锭内单根线股的直径，cm；
 β —— 屏蔽层编织线与芯线间夹角，°；

$$\tan \beta = \frac{2\pi(D + 2d)P}{C}$$

- C —— 锭数；
 D —— 屏蔽层下绝缘芯的直径，cm；

单根导体的屏蔽层一般用规格为线径 0.13~0.16mm 的导线编织而成，大多数电缆的编织层使用线径 0.25~0.27mm 粗的导线。表 12 是用于选择屏蔽层导线尺寸的指南。

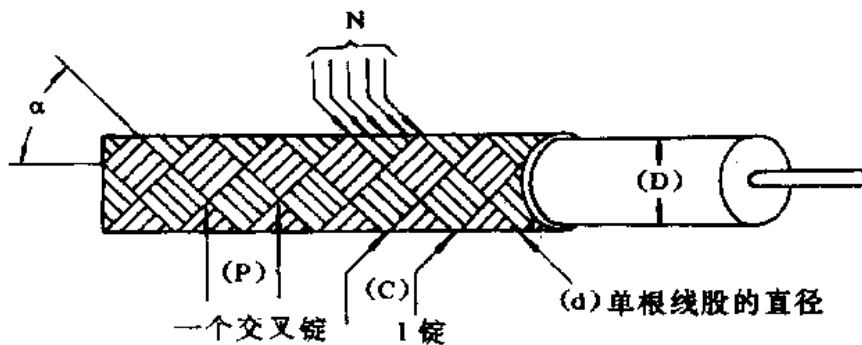


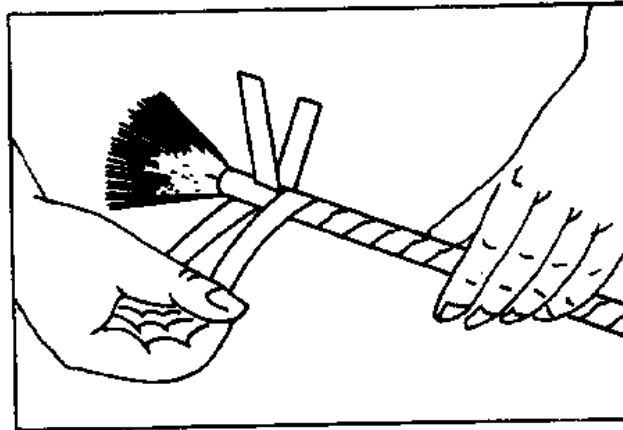
图 52 电缆屏蔽层结构详图

表 12 屏蔽层导线规格选用指南

屏蔽层下绝缘芯的直径 D cm	屏蔽层编织线线径 mm
0.12 以下	0.10
0.12~0.75	0.13
0.75~1.25	0.16
1.25~2.5	0.20
2.5 以上	0.25

下面推荐一种用四层互相螺旋式反绕的乃铁克、钴-乃铁克或其它相当材料的箔带对电缆进行屏蔽的方法，其结构示于图 53。所用箔带的宽度为 6~25mm，为了防止泄漏，必须将屏蔽材料沿着电缆的长度方向螺旋形缠绕，同时每一个紧贴在外面的螺旋形屏蔽层应按前一层相反的绕向缠绕。用这种方法缠绕的箔带层能确保间隙最小，而且电缆仍可具有柔性。缠绕完后，可将电缆进行防水密封或上胶封装，以防箔层散开。当干扰场强大到足以使钴-乃铁克型箔带饱和时，应在钴-乃铁克两箔层之间夹入一层乃铁克箔层，此时，乃铁克箔层对钴-乃铁

克箔层起缓冲作用。



用四条箔带进行屏蔽的电缆

图 53 电缆的磁场和静电的屏蔽

还可用刚性屏蔽导管或柔性屏蔽导管屏蔽电缆。

刚性屏蔽导管有如下特点：

- a. 电缆屏蔽以隔离干扰；
- b. 为电缆和导线在安装及更换难以接近的部位提供一个敷线通路；
- c. 防止绝缘导体和电缆的机械损伤，例如擦伤和磨损；
- d. 使外界因素（潮气、机油、汽油）与电气导体或它的绝缘层相隔离；
- e. 帮助散热以保护绝缘。

柔性屏蔽导管有下列特点：

- a. 是一个有效的屏蔽体，能在预期的整个频率范围内抑制干扰；
- b. 有恰当的柔性并容许小的弯曲半径；
- c. 结构稳定，经受恶劣环境和持续振动不致降低它的电气和机械性能；
- d. 保持水密和气密，它采用的覆盖层应不受润滑油、冷却液、防冻剂以及燃料油等的侵袭；
- e. 能在规定的环境温度下工作。

5.3.13.2 屏蔽电缆的类型

屏蔽电缆有下列类型：

- a. 单层屏蔽的单导线；
- b. 单层屏蔽的双导线；
- c. 各自屏蔽的双导线；
- d. 外面带有单层或双层屏蔽，内部又各自屏蔽并彼此绝缘的双导线；
- e. 单层屏蔽的双绞线；
- f. 双层屏蔽的双绞线；
- g. 外面具有单层或双层屏蔽的三芯扭绞线；
- h. 屏蔽的多芯线；

i. 单层屏蔽的同轴电缆、双层屏蔽的同轴电缆、低噪声同轴电缆、铝护套同轴电缆和螺旋形同轴电缆；

j. 三轴电缆；

k. 刚性电缆；

l. 在屏蔽层和护套上加有铠装的电缆。

对各种电缆应规定如下参数并予以鉴定：

- (1) 尺寸；
- (2) 特性阻抗；
- (3) 衰减量；
- (4) 屏蔽层量(单、双、三层)；
- (5) 额定功率；
- (6) 最大工作电压；
- (7) 护套类型；
- (8) 介质材料的类型。

5.3.13.3 电缆连接器件

对于信号、控制、音频、视频、脉冲和射频等电缆线路的连接必须使用各种连接器。它们除了应具有特殊的功能外,同时还要求有密封、防水、防风雨的能力。连接器的种类有:直式、弯式、螺口式、卡口式和卡口锁定式、卡口螺旋式、平板式、直插式、推入式。对于抗干扰设计来说,应当提供一个配装有屏蔽电缆的屏蔽连接器。

5.3.14 电缆的应用

5.3.14.1 电缆的选择

电缆的选择由使用的电磁环境和物理环境所决定。当按电信号电平和波形的要求提出选用电缆的特殊规则时,可采用下列一般准则:

- a. 外接电源线路不采用屏蔽线；
- b. 对于多点接地线路以及音频和电源线路采用屏蔽导线；
- c. 对于单点接地的音频线路采用双绞线；
- d. 要求最大限度地电磁隔离的单点接地和多点接地线路中,采用屏蔽的双绞线；
- e. 传输射频信号应采用同轴电缆；
- f. 所有的绞线应单点接地。对于使用接地线路的低频装置,要采用单层屏蔽导线电缆,对于单端接地的低频装置,采用单层屏蔽的双芯电缆。

5.3.14.2 多芯电缆的屏蔽

多芯屏蔽电缆一般分为两类。一类是由一大束各自屏蔽的单根导线所组成,为使屏蔽效能最好,需要使每根屏蔽导线彼此绝缘,另一类电缆是在一束彼此绝缘的导线外面加一个总的屏蔽,这种电缆通常用于传输控制信号。对于高电平的电源线可采用镀锌钢管。

5.3.14.3 设计要求

- a. 屏蔽层不能用作信号回流电路；
- b. 所有的信号线路(包括信号地回路)应各自单独屏蔽,并在屏蔽层外装套绝缘套管,平

衡的信号线路应采用双绞线或者带有公用屏蔽层的平衡同轴线。当多芯双绞线电缆既有单个屏蔽又采用公共屏蔽时,所有屏蔽层必须彼此绝缘。

c. 同轴电缆终端所接负载的阻抗,应等于该电缆的特性阻抗;

d. 对线束中各屏蔽电缆必须采用公用的屏蔽接地线,借助线夹或粗导线(绕成环)把所有屏蔽层都接到连接器的外壳上,同时,这些屏蔽层还应通过连接器中的一个或几个插脚接到地线上;

e. 传输高电平信号的同轴电缆不能与未屏蔽的电缆或传输低电平信号的屏蔽电缆扎在一起。虽然电缆或信号线路的特性阻抗通常很低,但如果屏蔽层的长度过长,则其阻抗可变得相当高,使屏蔽效能下降;

f. 所有屏蔽电缆的屏蔽层都应端接到带有防电磁干扰或射频干扰后罩的连接器的外壳上,以实现其外部搭接。所有连接器的外壳表面不能有绝缘涂层,并应与同其一起装配的连接器及设备机壳可靠的搭接和接地。任何连接器的直流搭接电阻都不应大于 $2.5\text{m}\Omega$ 。

g. 应避免采用单根接线将导线的屏蔽层接到连接器的一个插脚并通过它接地。如果屏蔽层到连接器或连接器到地线的引线长度超过 2.54cm ,或者涉及相互可能影响的不同电路时,更应避免采用上述接法。这种接地引线是公共阻抗元件,其两端会产生干扰电压,该电压可以从一个电路传递到一个电路;

h. 应用屏蔽罩壳将连接器各插针都屏蔽起来(图 54)。多插针连接器的罩壳应与电缆屏蔽层相连接。各同轴芯线应端接到装有屏蔽套管的插脚。在电子设备中,屏蔽电缆内带有屏蔽层的引线及引出线应保证单点接地。

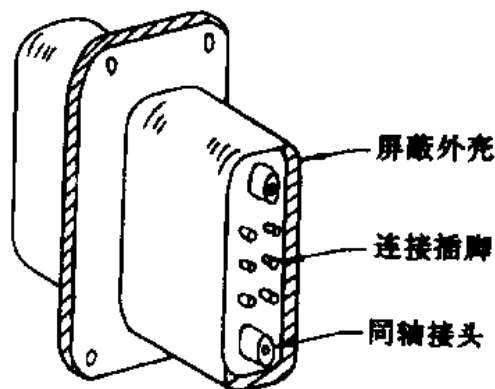


图 54 带有屏蔽外壳的多芯连接器

5.3.15 电缆屏蔽层的接地

5.3.15.1 设计要点

每个屏蔽线路应单独安装,每一屏蔽层在电气上是连续的,而且两端应该接地,为了使屏蔽线或同轴线获得最大限度的射频屏蔽,必须把它们的屏蔽层连接接地平面,应当采用最短的搭接片或跨接片,并遵循本标准所规定的一般搭接方法。若同轴电缆传输的是射频信号,则电缆屏蔽层在收、发两端都应接地,为此可以采用同轴连接器以避免采用电缆编织层的辫状连接。在低频段,由于敏感线路中的屏蔽电缆两端接地后,接地平面内电源频率电流能在敏感线

路中引起音频干扰(图 55),因此对于工作在低电平的音频或伺服放大器要求一端接地。特别是接地平面内通过交流电流较大时,更应采用单点接地。若要进一步提高防护性能,还应采用屏蔽双绞线(图 56),这时屏蔽层应在两端接地,而信号回路线仅在一端接地。

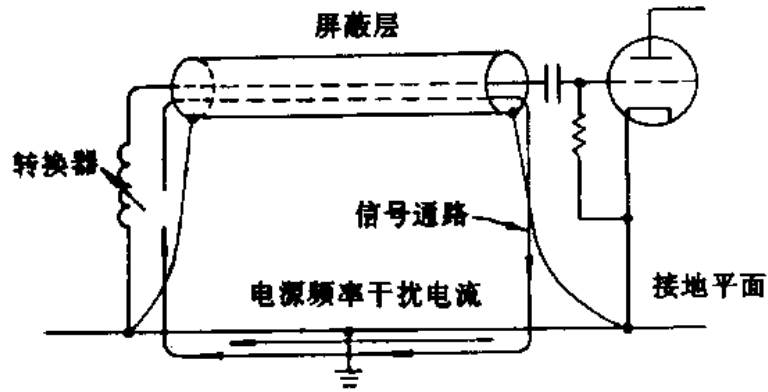


图 55 屏蔽层两端接地时电源频率干扰耦合到低电平电路

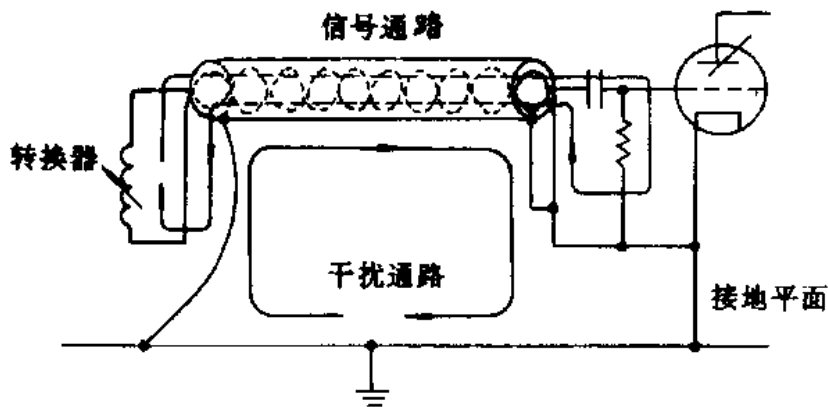


图 56 用对绞屏蔽线电缆减小电源频率干扰的耦合

5.3.15.2 屏蔽层端部的连接方法

导线和同轴电缆的屏蔽层应端接到各自的连接器上。外露的无屏蔽引线要短,以防止线路之间的电气耦合。要是屏蔽电缆直接穿入完全封闭的盒内,并在屏蔽层的内部接地时,将会引起干扰。当一根引入封闭盒的射频屏蔽电缆为了构成接地辫线而把它的尾部屏蔽层剥去时,上述干扰电流可能在这剥去屏蔽层的位置耦合到盒内,所以应避免采用这样的辫线。图 57 所示箭头表示由屏蔽体表面拾到的信号或干扰流入地回路的必经通路。这些绕着环路流通的电流在封闭的盒内将会产生干扰场。安装射频屏蔽电缆的正确方法是将电缆屏蔽层直接与连接器的外壳相连接。图 58 说明了屏蔽电缆引入屏蔽盒的正确方法。在封闭盒内侧延续的电缆屏蔽层应通过连接器里的插脚保证它的连续性,上述射频电缆的屏蔽层是屏蔽机壳的一部分,所以应是连续的(图 59)。

5.3.15.3 隔离

在设计初始阶段,就应考虑恰当的设备配置及布线,使得各传输通路间耦合的干扰最

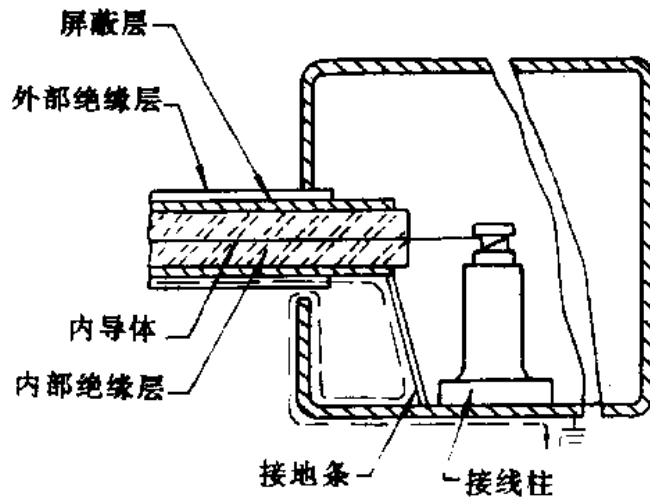


图 57 屏蔽电缆引入屏蔽盒的错误方法

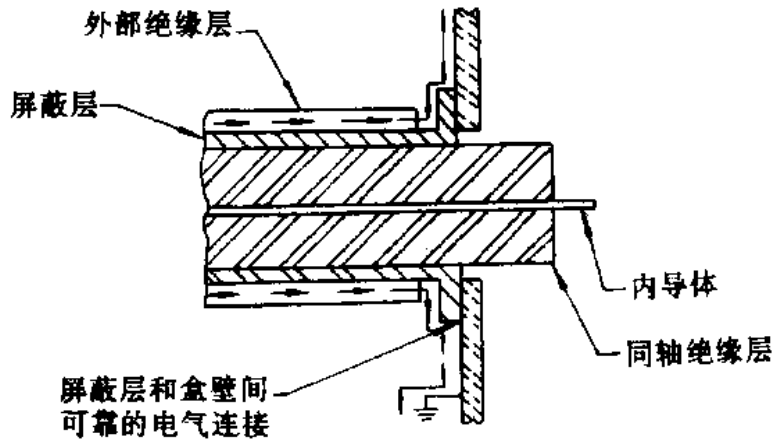


图 58 屏蔽电缆引入屏蔽盒的正确方法

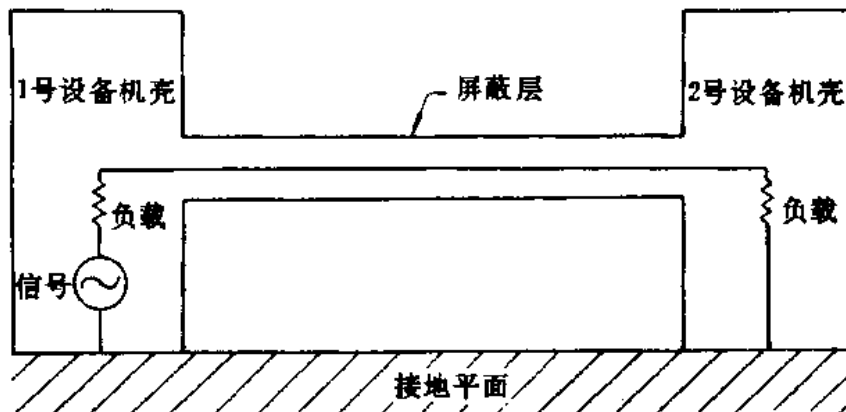
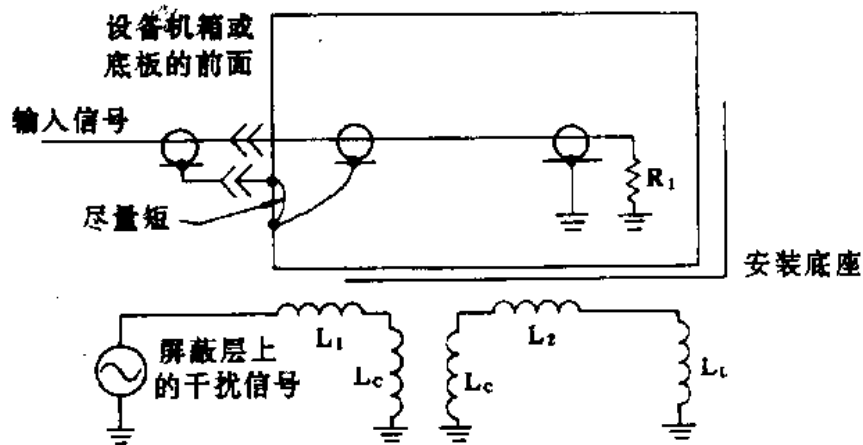


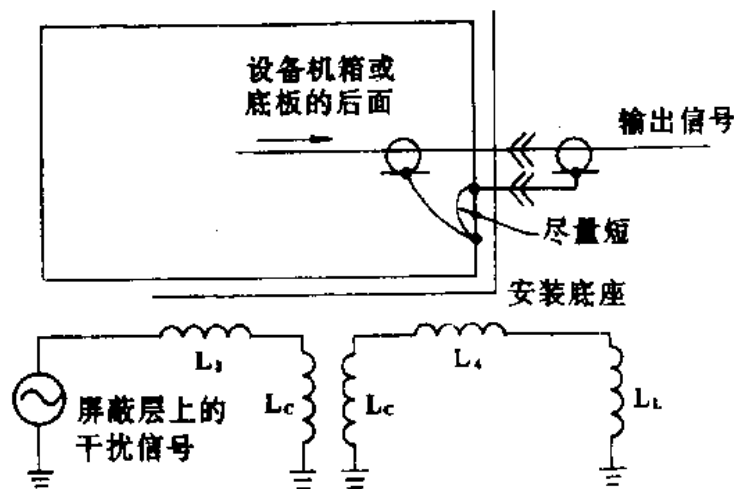
图 59 设备机壳的连续屏蔽

小。如果敏感信号线必须在载有干扰的引线旁通过，那么这两种线的相对取向应互成直角。用屏蔽的连接线作为底板内侧各种噪声电路的引线，可防止由于干扰信号流到外部引线所引起

的辐射。在高频时,这种屏蔽的连接线可看作一根有损耗的传输线,所以会引入损耗。使用屏蔽接线时,在必须进行连接的端头,其屏蔽编织层剥去的长度要尽量短,以保持屏蔽的完整性。屏蔽层的端头应沿着导线的长度方向就近直接搭接到底板上。当导线是一根紧挨一根敷设或互相交叉跨越时,应将它们的屏蔽层焊接在一起。屏蔽的电气插头和插座通常安装在设备底板的前面或后面,也可以固定在安装底座上。如果在前面板装了几个电气插座,则相应的插头应当是分开的部件。屏蔽层应按图 60A 给出的方式接地。如果电气插头和插座安装在机箱的后面板,则至少应把一个部件可靠地固定到机箱或底板上,另一些不是分开安装就是可靠地固定到安装底座上,它们屏蔽层的接地方式如图 60B 所示。在几个屏蔽层必须用一个公共接地通道的场合(如多层屏蔽电缆或者在线束中有着大量单独屏蔽的线路),除了经过连接器中的一个或几个插脚把屏蔽层接地外,还应当利用线夹或汇流排把所有屏蔽层都接到连接器的壳体上。



A 装在前面的电气插座
A 装在前面的电气插座



B 装在后面的电器插座
B 装在后面的电器插座

图 60 电缆屏蔽层的连接

5.3.16 电缆屏蔽层的搭接

应把屏蔽层端接在屏蔽导线的末端,且这些端头仍是屏蔽的,搭接环或交织搭接带常常被用来端接屏蔽层。可采用镀锡铜片把屏蔽层端接到地平面,搭接条的尺寸应符合 5.2.3.3 的规定。只有当线束中包含有少量导线时才采用搭接环技术。在多层屏蔽或有大量各自屏蔽的线束中可使用搭接条交叉搭接构成一个公共的屏蔽接地通道,上述交织带最小尺寸为:宽 7mm,厚 0.3mm,并且要与连接器可靠连接。如图 61 所示。

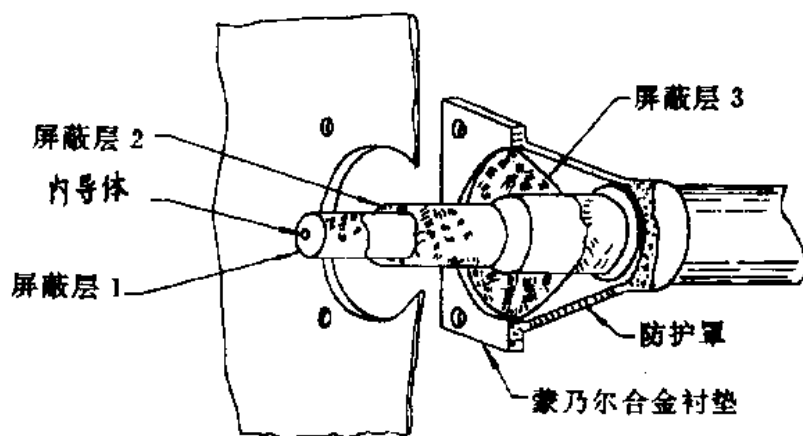


图 61 三轴电缆¹⁾的应用

5.3.17 电缆走线

5.3.17.1 线路的耦合作用

a. 辐射耦合

辐射耦合将随着线路布置的路径和它们传输的信号频率而变化,耦合程度一般随频率的升高而增加。泄漏是电磁波穿过电缆的屏蔽编织层所造成的,发生电磁波穿透的原因是由于编织金属本身具有一定的电阻,并且编织屏蔽层总有孔隙存在。在低频段,磁屏蔽是一个主要的问题。由于屏蔽层造成的反射很小,所以磁场必须依赖屏蔽材料的吸收作用来削弱。如果采用了高磁导率的屏蔽材料,则这种屏蔽将构成低阻抗的磁通分路,同时它将吸收能量并使磁场改变方向。为此,屏蔽层应有非常高的磁导率和足够的厚度以保证屏蔽层中的磁通密度低于其饱和磁感应强度。应采取防护措施,使屏蔽层的裸露部分与电缆其它无绝缘的部分在振动条件下不致发生断续接触。可将各电缆进行刚性束缚和束带捆扎来实现上述要求。

b. 磁耦合

磁耦合是指能量通过互感从某一线路传输到其它线路,由此引起的干扰耦合系数最大。图 62 示出两个线路的排列位置,图中线路 1 表示产生干扰的线路,线路 2 表示感应而产生干扰电压的线路。其中, I_1 为产生磁场的电流; Z_{01} 和 Z_{02} 为电源阻抗; Z_1 和 Z_2 表示负载阻抗。 e_0 为干扰信号, L_M 为线路之间的互感,该互感与线路相互邻近的长度(l)成正比,与线路的相互间距(d)成反比。等效互感器次级的感应电压与频率、互感量及电源电路的电流成正比。干扰电压则为感应电压乘以敏感电路负载阻抗与等效互感器次级总阻抗之比:

¹⁾原文为 TRIAXIAL CABLE APPLICATION.

$$e_0 = KfL_M I_1 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_{02}} \dots\dots\dots (18)$$

线路结构布置的变化(会改变磁通交链)或线路参数的变化都会改变感应电压。线路在结构上分离以后,由于降低了拾取环路中的磁通密度,结果使感应电压减小。另外,所使用的线路形式要能使该线路中感应的电压幅度相等,相位相反。在频率低于5kHz时,采用对绞线能使磁耦合减少20dB以上。然而,编织的铜屏蔽层实际上几乎不起磁屏蔽作用。在频率增加到大于5kHz之后,抑制磁场的普通铜编织层的屏蔽能力将变得较为有效,低于5kHz时,铁类屏蔽层能提高屏蔽效能,为了在整个频谱范围内能有效地减小磁耦合,通常使用以铜编织层包封的对绞导线,频率在20kHz以下时,铜编织层的屏蔽效能小于10dB,在1MHz时屏蔽效能高到40dB,在40MHz时更进一步提高100dB,对绞线电缆的屏蔽效能很大程度上取决于扭绞的一致性及其扭绞数;60绞/m的屏蔽对绞线对磁耦合具有更大的抑制能力,表13给出了普通导线(扭绞数/m)的最小值。

表13 导线的扭绞(每米)

导线线径 mm	双导线 扭绞数	三导线 扭绞数	四导线 扭绞数	六导线 扭绞数	八导线 扭绞数
4.25	13	10	6	3	3
3.35	16	13	10	6	5
2.65	20	13	10	8	6
2.12	23	16	13	10	6
1.70	26	20	13	10	8
1.30	30	23	16	13	10
1.00	40	26	20	20	13
0.85	52	40	26	26	20

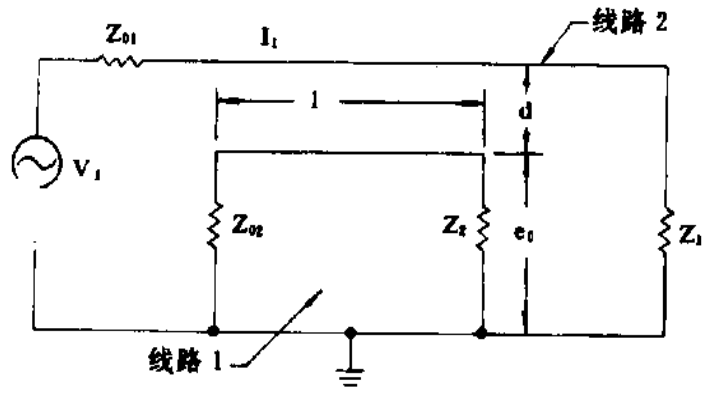
c. 静电耦合

静电耦合的机理是由于线路之间存在着互电容的作用(参看图63)。决定干扰信号值的物理因素是:导线间的接近程度,导线公共路径的长度,导线离与接地平面的距离,源信号的频率以及两线路阻抗的比值。尽管源电流不流通时磁耦合是不会发生的,然而存在静电耦合的情况下,干扰乃会发生。

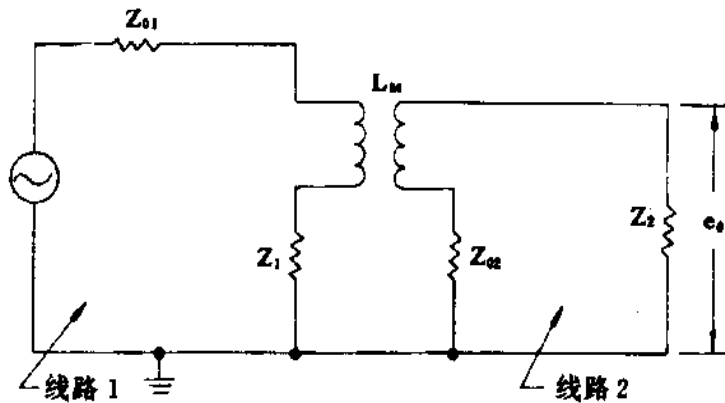
5.3.17.2 瞬态响应

5.3.17.2.1 线路分析

某些线路(如继电器开关线路)要引起瞬态过程,这一类型的典型线路如图64所示,在图中,线路1被一个阶跃电压所激励,该阶跃电压在 $t=0$ 时的幅值为 V_0 ,为简化瞬态响应的分



A 实际线路



B 等效电路

图 62 磁耦合

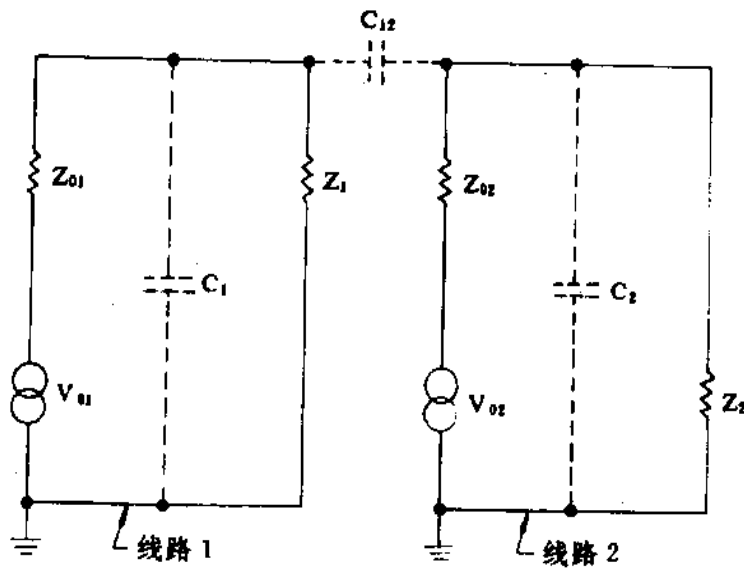


图 63 电容耦合电路

析,可假定这两个线路有相同的对地电容,并且负载和源内阻有相同的并联组合,这时输出电压表达式为:

$$e_0(t) = \frac{1}{2} V_0 \left(\frac{R_p}{R_{01}} \right) [e^{-\frac{\delta t}{\tau}} - e^{-\frac{t}{\tau}}] \dots\dots\dots (19)$$

式中: R_p —— 每个线路的负载电阻与源内阻的并联组合值。

R_{01} —— 线路 1 的源内阻。

τ —— $R_p C_1$

$$\delta = \frac{\eta - 1}{\eta + 1}$$

$$\eta = 1 + \frac{C_1}{C_{12}}$$

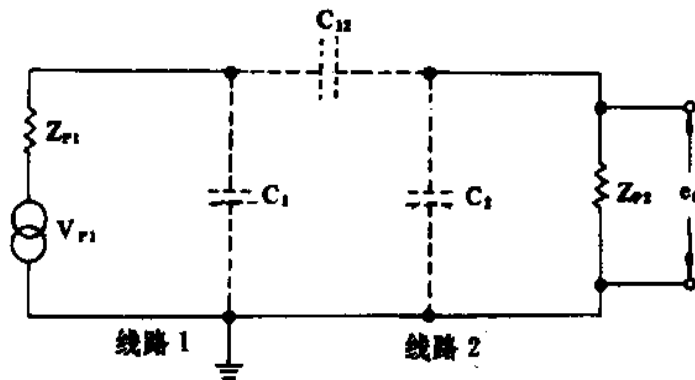


图 64 寄生耦合信号的等效电路

图 65 表示了响应电压的波形。耦合到线路 2 中的最大 e_0 值和总能量(W)可由下式决定:

$$e_{max} = V_0 \cdot \frac{R_p}{R_{01}} \cdot \frac{\delta^{\frac{\eta}{2}}}{\sqrt{\eta^2 - 1}} \dots\dots\dots (20)$$

$$W = \frac{1}{4} \frac{V_0^2}{R_2} \left(\frac{R_p}{R_{01}} \right)^2 \frac{\tau}{\eta(\eta - 1)} \dots\dots\dots (21)$$

上述两参数(e_{max} 和 W)是耦合电容及每个线路对地电容的敏感函数。在缺乏关于一个线路的功能和原始状态的具体数据的情况下,要确定上述参数中每个参数的相对重要性是不可能的,因而只能进行一般的探讨,即把几何位置不同的各对线路与上述两个参数进行对照比较。

5.3.17.2.2 线路布置的比较

要对线路的不同布置情况进行有意义的比较,首先要对每种布置确定比较的依据,对几种线路布置进行比较的基本前提是保持每种线路的导线所占的重量和体积应相同,两线路之间的耦合电容以及每个线路的对地电容完全是由于柔性绝缘层中两个导体靠近在一起产生的。图 66 给出了四种线路中电缆布置的断面图。在这四种线路中所有导体和它们之间的间隔都是相同的(图 67)。情况 A 和 B 的区别仅是两条线路接地导体的相对位置不同,对于情况 C,除了在绝缘层的两边覆盖厚度约 0.025mm 的柔性铝箔以外,其余皆与 A 相同,这种金属箔可以看作作为接地平面,起静电屏蔽作用,因此减少了相邻线路之间的耦合电容。同样地,情况 D 中除了采用双面屏蔽之外,其它与 B 也是相同的。在上述所有四种情况中峰值电压和总值能量的传输情况与常用的含有二对双绞线屏蔽电缆相似。情况 C 和 D 中分布电容是相同的,所以结

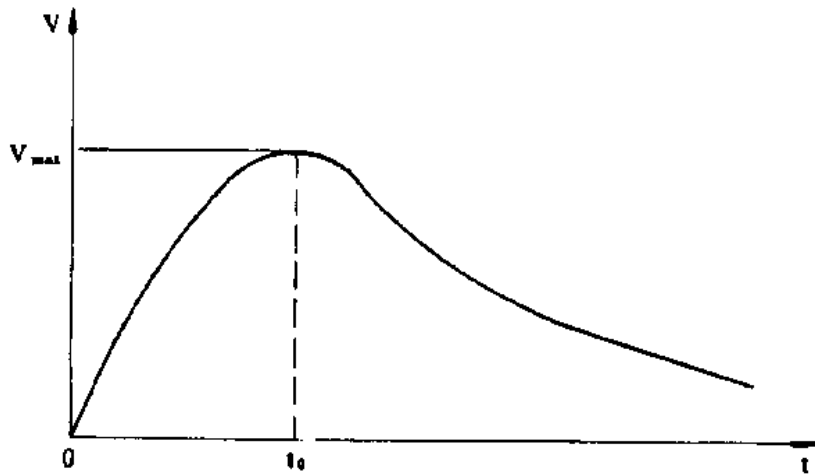


图 65 阶跃电压产生的耦合信号

果也相同,而且对上述情况分析表明,双面屏蔽布置形式可以得到最好的线间隔离。结果列于表 14 中。

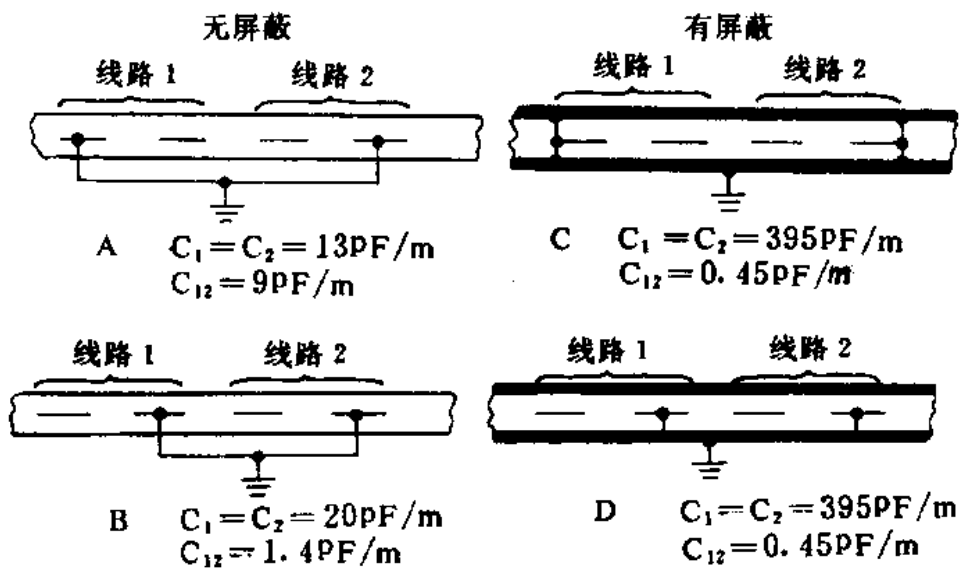


图 66 电缆的结构

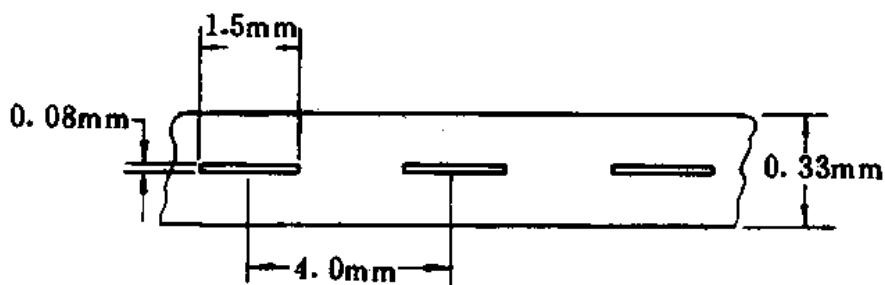


图 67 扁平柔性电缆的尺寸

表 14 四种不同电缆配置形式的比较

情 况	感 应 电 压 e_{max}	耦 合 能 量 W
A	380	7700
B	93	209
C, D	1	1
屏蔽电缆	133	1030

所列数据提出了在对待含有直流信号的线路和产生瞬变过程的开关线路中采用屏蔽式布置后所获得的效益,这表格还表明在有直流开关的线路中很可能会出现由于开关动作造成的危害以及耦合能量所造成的烧毁。表中所列的对照数据可以作为例子来说明预测干扰的一种可行手段。对于其它类型的电缆线路(例如印刷板线路和圆形导线)可以采用同样的方法处理。此外,用价格、功率传送容量、干扰信号超过一定的限值的持续时间等参数进行比较也是可能的。为了使电容性串扰最小,应采用低介电常数的绝缘层或增加它的厚度。若有可能,则应把两线路分别敷设在多层电缆的不同绝缘层内。

5.3.17.3 电源布线

三角形接法输电系统的三根相线和星形接法三相四线制输电系统中的三根相线及一根中线都应扭绞在一起,组成一根电缆,把这些导线扭绞在一起后可以使上述两类接法中由三个呈 120° 相位差的电压及电流所产生的电场及磁场分别抵消。在星形接法的四线制中,扭绞在一起的三根相线中线能够消除同相三次谐波电流(该电流流过每一相线,并在中线中代数相加)所产生的磁场。这三次谐波电流是在变压器或电动机的铁芯被迫接近磁化曲线的饱和区或工作在磁化曲线的非线性部分时所产生的。在进行电器设备设计,如果碰到空间尺寸和重量的限制非常严格而设备的使用率又很低的情况,经常是故意地把设备的铁芯设计在饱和状态下运行。由于此类设备的电源上存在谐波的电压和电流,就可能会引起功能设备运行性能的下降,所以电源线上每米的扭绞数应尽可能的多。如果三相都需要两根并联连接的导线,则总共要用六根导线扭绞成一根电缆。在六根电缆里传送同一相电源的线对中,每根导线上的相位刚好与和它

相并联的配对导线上的相位反相。

5.3.17.3.1 电动机负载与信号负载的分隔

由直流电机中的整流子和交流电机中的集流环所引起的干扰是常见的干扰源,灵敏电路对这些干扰源产生的瞬态电压特别敏感。为了防止传导干扰,灵敏电路应采用独立的电源线。

5.3.17.3.2 公用线路与信号负载的隔离

公共线路除了可以给传导干扰提供不希望有的通路以外,而且还能把干扰信号辐射到附近区域。为了预防这种传导干扰进入信号负载,应当采用独立的馈电线路。推荐采用三角形——星形转接,每个负载的馈电线应当分别连到接线盒内的不同接点上,以达到线路间隔离的目的。并且要采用单独的地线,使回流接到大地。

5.3.17.3.3 导管和电缆槽的安排

低电平电缆应当与其它电缆分开敷设,在专供走线用的安装平面图上,应当区分高电平和低电平电缆,用于脉冲信号的电缆放在单独的电缆槽内。如果线路的灵敏度需要有最大的分隔保护,则推荐采用金属导管安装电缆。必须遵循将电源线和信号线分离的原则,在电缆和电缆槽被引入接线盒的场合,电源线和信号线应使用分开的接线盒,如果一个电缆和电缆槽内的走线进入同一个接线盒,则应当把电缆接点分开,并且在接线盒里的各线之间要进行内部屏蔽,要求采用封闭的电缆槽和导管,并适当地加以接地。

5.3.17.3.4 平衡和不平衡线路

平衡线路可以隔离干扰。只有当一个线路满足下列所有条件时才可以认为它是平衡的:

- a. 对于构成这一线路的两根导线,在任一指定的点上都应有大小相等、相位相反的电流通过;
- b. 线路与基本的接地面无连接;
- c. 线路的两导线具有相同的线号、长度和金属材料;
- d. 两接线采用介电常数类同的绝缘材料;
- e. 两接线彼此同样地扭绞;
- f. 导体金属的连接和端接在电气上是可靠的。

5.3.17.3.5 信号线路和脉冲引线

所有的信号线路都应与电源或其它线路隔离。不能把低电平信号线路和交流电源线路敷设在一起。传输脉冲信号的各种引线应当用彼此分开的连接器接通。当任意一根脉冲引线在某一路线的连接器中通过时,必然会涉及到屏蔽引线上同轴结构的不连续性(例如,把脉冲引线的芯线和屏蔽层分别接到了连接器的不同插脚上),所以必须把连接器中屏蔽层的接地引线直接与地线连接。连接器中屏蔽层的接地引线应提供合适的低阻抗连接。这种合适的低阻抗连接可以借助一个特别粗的插脚或几个并联的插脚来实现,最好是在与脉冲引线的芯线相连的插脚周围布置一圈环形的接地引线。并且要把脉冲引线进行屏蔽以防止将干扰传输到其它引线上。应当根据需要,用射频滤波器旁路不希望的干扰分量以提供附加的防护能力。

5.3.17.4 波导

通过选择波导的激励方式,断面尺寸以及合理地设计波导接头可以消除波导所产生的寄生模式。

波导安装得不好也会引起寄生模式,因为在振动环境里(特别是在使用柔性波导的场合)不适当的支承可能会给各种寄生模式的产生提供条件。应该使波导接头边缘一周保持连续的导电连接,以预防因接头的泄漏而产生的干扰。选用导电衬垫时,还要求它能提供良好的压力密封。上述波导的基本密封要求所适用的范围应当从馈送微弱信号给灵敏接收机的波导起,直到承载兆瓦级发射机输出功率的波导为止。对应用于大功率条件下的这种多功能密封接头,应当进行设计计算,并使它的热耗散能力与其所连接的波导截面的功率额定值相一致。设计密封结构时,必须使它在预期的工作频谱内不发生泄漏。实际的金属构件通常都会在密封接头处引入不连续性。设计者应设计一个连续的整体密封结构。这种波导密封在其工作频率范围内应当对整个配合面形成射频短路。标准的扼流式法兰可以满足防止泄漏的要求。为了使扼流式法兰更有效,可以采取附加的措施,在法兰外围的凹槽中垫入编织的金属衬垫,使两个法兰表面之间形成电磁的连续性。密封结构包括了一块为改善邻接波导接口处的接触而加的金属板(它与波导法兰的表面相配合)。邻接的这个电气密封面应当采用成形的导电橡胶衬垫,并将它模压在金属板上。当两个波导法兰的表面紧合在一起,衬垫就产生形变,这种组合的效应能实现双重密封,阻止射频泄漏,因而,环状的密闭层对实现上述功能是必不可少的。

5.3.18 设备的安装

5.3.18.1 机柜的搭接

设备的机柜为保持安装在该机柜上的底板、面板及接地面板及接地平面等构件之间的电气连续性提供了条件。它本身还可作为电缆托架的电气接地构件。为了达到上述搭接要求而作了必要改进的典型设备机柜如图 68 所示。设备各个底板和机柜之间的搭接是在设备前面板和机柜至角形立柱的配合实现的。在机柜的框架上熔焊有单节水平导板,上述立柱应当与这水平导板进行接地连接。机柜的底面应涂上导电的防护涂层,以改善它与接地基座之间的搭接性能。机柜顶部的接地螺栓必须把电缆托架的框架连接在一起。图 69 表示了典型的搭接安装方法。电缆托架连接在电缆引线槽上;再把电缆引线槽连接到机柜的顶部,机柜又被连接到平整的安装接地衬板上(该衬板与接地格栅熔焊在一起)。而设备的前面板则是被连接到机柜或机柜的正面的安装表面上。在搭接之前必须清除设备前面板上不导电的防护层。设备与机柜间的接缝应当提供双重作用;实现电连接和防止干扰泄漏。接缝四周应使用导电衬垫以确保金属对金属的接触,装在防振托架上的设备必须把防振架跨接到机柜的构件上。连接器安装板应采用导电密封以改善与底板的连接性能。如果底板要能从机柜上卸下,则应当用带有乙烯树脂套管的 2.5cm 宽的编织带将底板的后背与机柜连接起来。

5.3.18.2 机柜屏蔽和设备安装

对机柜底部进行屏蔽除可以控制由安装在机柜内的设备所产生的干扰之外,还能防止外界电磁场对这些设备的影响,特别是当必须把未加屏蔽的现成设备组装成一个可靠的电子成套设备时更是如此。除非考虑在外部采取屏蔽措施,否则上述设备的干扰特性将引起电磁兼容性问题。进行机柜设计的程序与任何形式的屏蔽壳体的设计程序一致。所设计的全部接缝都要防止泄漏,安装设备应避免各种干扰问题。每个设备的外壳应有一个接地配合表面,该配合表面就在预先制备的滑槽内接地。此外还要用铍铜合金的连接条把各个外壳连接在一起。用于搭接的铍铜合金的连接条的宽度不得小于 2.54cm。而它们的长度与宽度之比最大为 5:1。

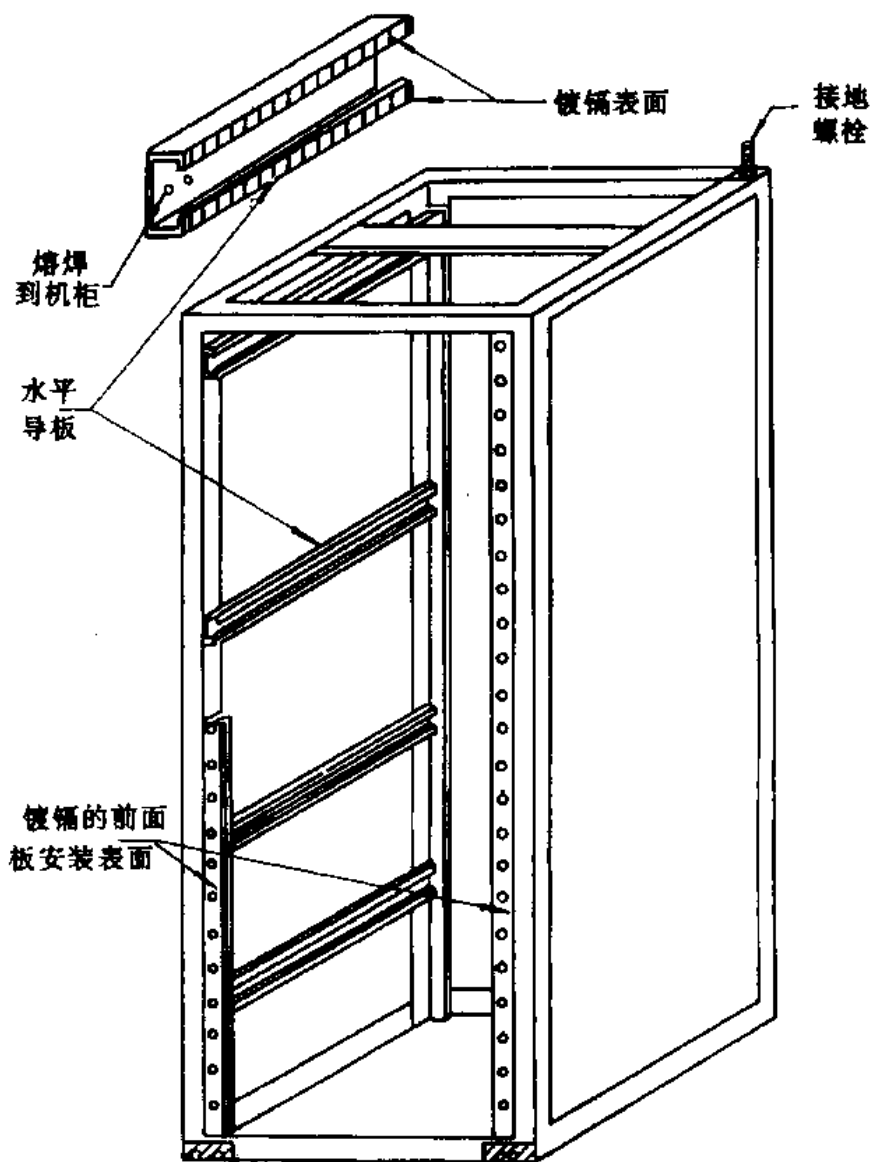


图 68 改进搭接的机柜

每个设备的外壳都应装备一根接地条。

设备安装的各项要求如下：

- a. 所安装的通信接收机和发射机与它们的天线之间的连接线路要短；
- b. 电动直流发电机、逆变器、电动交流发电机以及电动机都应远离接收机安装，而且选择的相对位置要防止它们所产生的干扰场耦合到接收机的引入线上；
- c. 所有的电器机械装置应远离设备的开口处。为了防止干扰场直接辐射到外部的天线上，需要在各种孔洞上覆盖屏蔽层；
- d. 各种雷达的调制器和发射机应当远离通信机安装；
- e. 各辅助电源应安装在设备的开口处；
- f. 低电平线路系统应远离高电平线路系统安装，并正确运用屏蔽搭接和接地等措施。

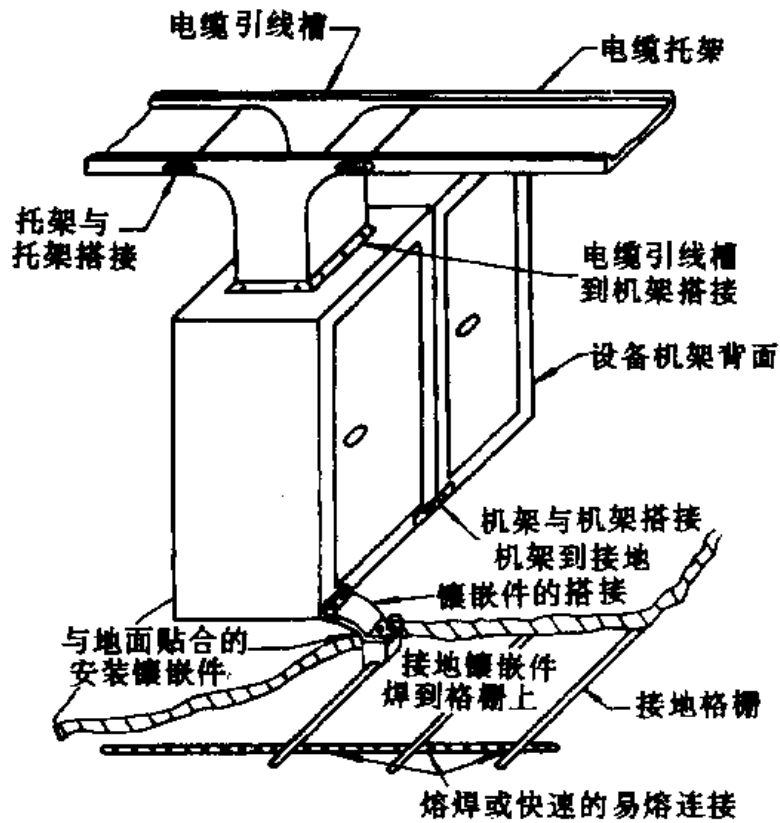


图 69 典型的机柜搭接结构

附加说明:

本标准由机械电子工业部军工司提出。

本标准由机械电子工业部电子技术标准化研究所归口。

本标准由机械电子工业部电子技术标准化研究所起草。

本标准主要起草人:胡景森、卢世济、刘利华、邵子昕、张淦祥。