

EMC 实验室规划与设计

本文整理与发布：微波仿真论坛 (bbs.rfeda.cn) EMC 版主 stoney (转载请注明)

要建好一个 EMC 实验室，作好规划设计是首要的。规划设计包括哪些内容呢？怎样才算一个好的规划设计呢？建设一个 EMC 实验室耗资高昂，建成后改动困难，因此动工之前要全面考虑好。通常规划设计包括：

- a) 确定 EMC 实验室的任务范围：EMC 的研究、实验范围非常广，从印制电路板 (PCB)，到单机设计，到系统。从任务性质看，有完成鉴定实验的，或完成生产与科研中的预测试的，有执行军标的，有执行民标的；
- b) 确定实验室的主要技术指标：不同的技术指标所需采用的测量系统和实验设施大不一样，经费悬殊很大，因此技术指标要提得恰当，并非愈高愈好；
- c) 确定最佳效费比的实施方案；
- d) 确定先进合理的关键技术措施。

一个成功的规划设计应该是能满足当前和以后较长时期内所研制和检测的实验任务；能在完成主要的功能的同时，兼顾其他功能；花费的经费合理；实验室技术指标有先进性，前瞻性和可扩展性。

EMC 实验室中屏蔽半暗室是最主要的组成单元，它的性能影响整个 EMC 实验室的主要技术指标，所需的费用占整个 EMC 实验室的较大比重，因此本章讨论的重点放在屏蔽半暗室上，第 2 节详述屏蔽半暗室的分析与论证，第 3 节讨论屏蔽半暗室的总体设计。在第 1 节中为了清晰说明 EMC 实验室总体布局设计的要点，是以一个 10m 的 EMC 实验室为例子来阐述的。

1 EMC 实验室总体布局设计

1.1 EMC 实验室的组成

EMC 实验室的组成见图 1，通常包括以下几个单元：

- a) 屏蔽半暗室
为一屏蔽室，其天花板及 4 个侧壁铺有吸波材料，地板为导电面。主要用于进行辐射发射 (RE) 实验和辐射敏感度 (RS) 实验。
- b) 传导测试室
为一屏蔽室，主要用于进行传导发射 (CE) 和传导敏感度 (CS) 实验。
- c) 控制室
为一屏蔽室，放置 EMI 和 EMS 测试系统。
- d) 功放室
为一屏蔽室，放置 RS 测量系统的功率放大器。
- e) 配电室
为上述 a) ~d) 提供电源。
- f) 通风空调系统
为上述 a) ~d) 提供通风及温度控制。
- g) 火情自动报警系统及消防设施
为上述 a) ~d) 提供火情报警及消防设施。
- h) 电视监控系统
为屏蔽半暗室提供电视监测和实验现场的录相功能，兼有火情监测功能。
- i) 负载室
为放置受试发射机等等效负载或其他相连设备的屏蔽室。

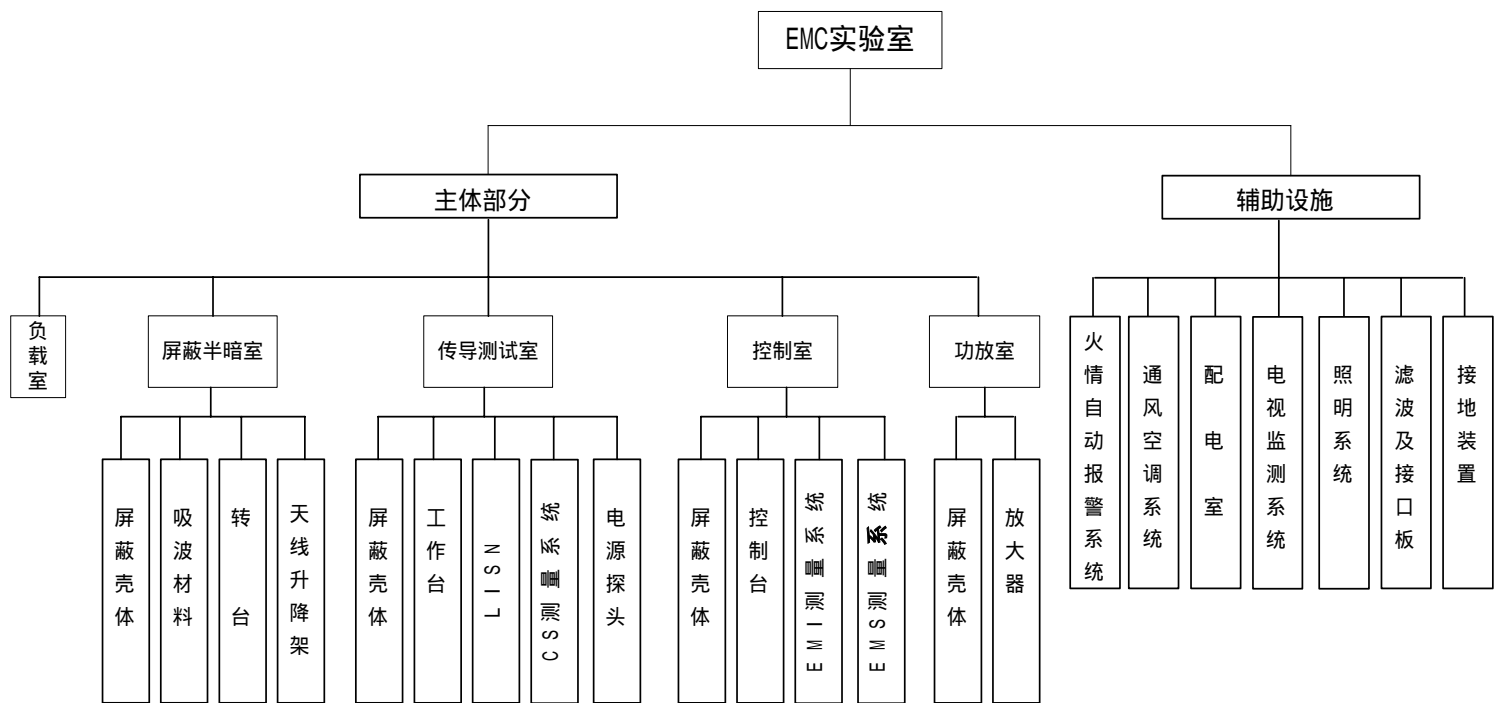


图 1 EMC 实验室组成框图

1.2 设备尺寸

表 1 为 EMC 实验室典型测试设备的外形尺寸。

表 1 设备尺寸表

序号	设备名称	尺寸, m (深/长 X 宽 X 高)	所在位置
1	转台	由 EUT 尺寸决定	屏蔽半暗室
2	电视监测系统	摄像机 0.3 x 0.2 x 0.2	屏蔽半暗室
3	火情报警探头		屏蔽半暗室
4	天线升降架	1.2 x 0.7 x 3.8	屏蔽半暗室
5	CS 测量系统	0.5 x 0.5 x 1.2 (机柜) 2 个	传导测试室
6	工作台		传导测试室
7	火情报警探头	1 x 3 x 0.8	传导测试室
8	RS 测量系统	0.5 x 0.5 x 1.2 (机柜) 2 个	控制室
9	EMS 计算机		控制室
10	EMI 测量系统	0.5 x 0.5 x 1.2 (机柜) 1 个	控制室
11	EMI 计算机		控制室
12	火情自动报警系统 显控器	0.5 x 0.5 x 0.4	控制室
13	电视监测显控器	0.5 x 0.5 x 0.4	控制室
14	UPS 电源	0.5 x 0.5 x 0.4	控制室
15	转台显控器		控制室
16	1GHZ 以下功放	0.5 x 0.5 x 1.2 (机柜) 1 个	功放室
17	火情报警探头		功放室

1.3 布局图

图 2 为 EMC 实验室四个组成部分的布局的一种可能方案(10m 法暗室),将屏蔽半暗室、控制室和功放室相邻布置有利于缩短信号连线长度,减少电缆衰减。将传导测试室布置在控制室另一侧也是为了缩短信号线长度,同时使受试设备从半暗室转送到传导测试室的距离不要过长。

图 3 为屏蔽半暗室内的设备布置图。此暗室按 10m 法暗室在天花板和 4 个侧壁铺 0.6m 高的宽带复合型吸波材料。

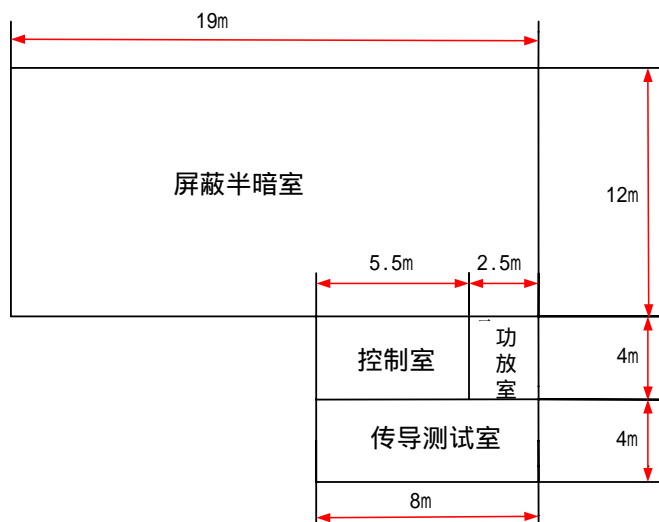


图2 总布置图（平面图）

在图中离左侧壁 5m 放置转台，受试设备实验时放在转台上。在暗室中轴线上距转台一定距离放置接收天线（辐射发射测试时）或发射天线（辐射敏感度测试时）。根据受试设备尺寸和测试标准（军标或民标），按表 2 选取收发距离。也就是说，天线可能离受试设备 1m 或 3m 或 10m。

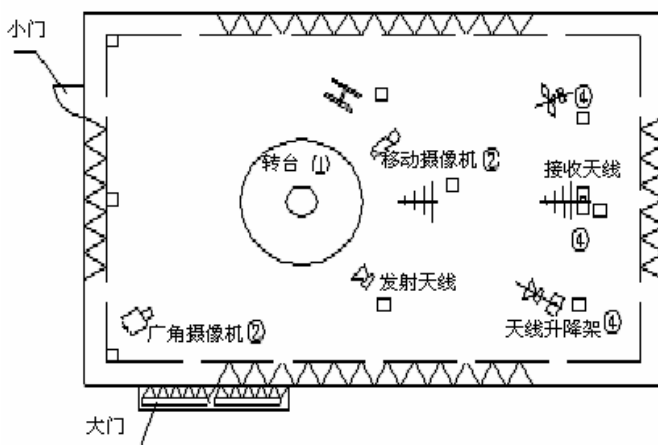


图3 屏蔽半暗室设备布置图（俯视图）

注：图中的序号请参见表 1。□ 为信号转接窗。

表 2 收发距离的选取

收发距离，m 被测设备横向尺寸，m	贯彻的标准	
	国军标 GJB152A	国标
< 1.2	1	3
1.2	1	10

屏蔽半暗室设置两个门：大门在图中左下方，其宽度和高度按 EUT 最大尺寸决定，小门在图中左边，高 2m x 宽 1m。在图中下方中部和右部各设有一个信号转接窗口，分别与控制室、功放室相连。在暗室天花板上设有 6 个高帽式灯箱，供暗室照明用。在图中上边和下边的侧壁设有进风口和回风口。暗室地板为双层结构，下层与四壁连成屏蔽壳体，上层为暗室的导电地平面，两层间隔 0.3m，其间敷设电源线、信号线和转台。地平面开有 9 个孔口，设有高频插座板，供天线射频电缆连接，并有电源插座。

图 4 为传导测试室的设备布置图。图中右上方放置传导敏感度 (CS) 测试系统的两个 19" 机柜，其左面放置测试工作台 (宽 3m, 深 1m, 高 0.8m, 桌面铺铝板或黄铜板, 厚 2mm, 用铜箔与屏蔽室侧壁搭接, 搭接电阻小于 $10\text{m}\Omega$)。图中左边设有一个门, 下边开有 60cm x 60cm 的窗口^[注], 窗口四周框边用 20mm 厚的钢板制成, 开有导电密封衬垫槽, 供测量电磁屏蔽材料和部件的屏蔽效能, 也可供测量通风截止波导窗的屏蔽效能和电源、信号滤波器的插入损耗和屏蔽效能。平时用盖板盖上, 保持屏蔽室的电磁密封。盖板与窗口边框用螺钉固定, 边框上的螺孔为盲孔, 深度 10mm 左右。图中上方右边设有一个信号转接窗口, 与控制室相连。图中左方和右方顶壁上设有进风口和回风口。

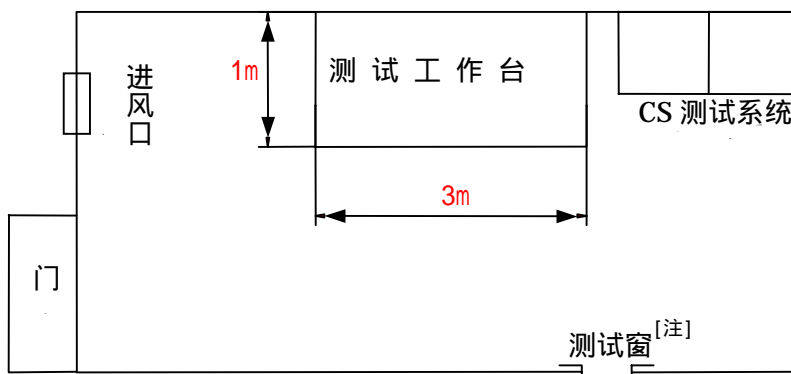


图 4 传导测试室设备布置图 (俯视图)

[注] 此窗口用于屏蔽材料及屏蔽部件的屏蔽效能测试用, 是选件, 不是传导测试室必需有的。

注: 图中的序号请参见表 1。

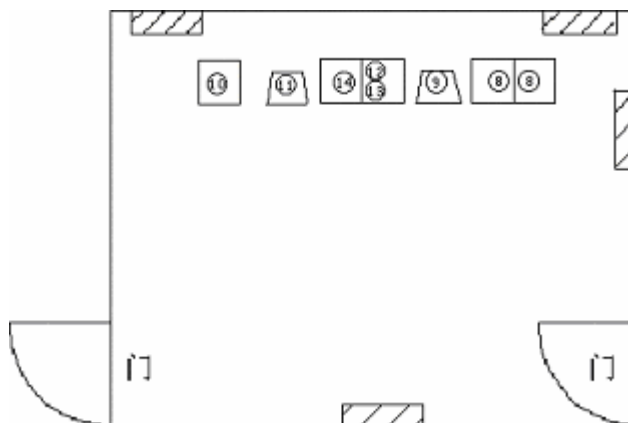


图 5 控制室设备布置图 (俯视图)

注: 图中的序号请参见表 1。▨ 表示信号转接窗。

图 5 为控制室内的设备布置平面图。图中左侧壁开一个门，高 2m 宽 1m，供进出用，右侧壁开一个门，高 2m 宽 1m，供进入功放室用。图中上方右边放置 RS 测量系统，其左边放置 EMS 系统计算机，上边右边放置 EMI 测量系统，其右边放置 EMI 系统计算机，在两个计算机之间放置电视监测显控器和转台显控器、火情自动报警显控器。它们均布置在一个高 0.8m 宽 2m 深 0.8m 的台面上，台面左方放置 UPS 电源。在 EMI 系统和 EMS 系统计算机前各设一个操作员椅。图中上边左角设一个信号转接窗与暗室相连，右侧壁上方设一个信号转接窗与功放室相连，下方右侧设一个信号转接窗与传导测试室相连。左下方和右上方顶壁各设进风口和回风口。

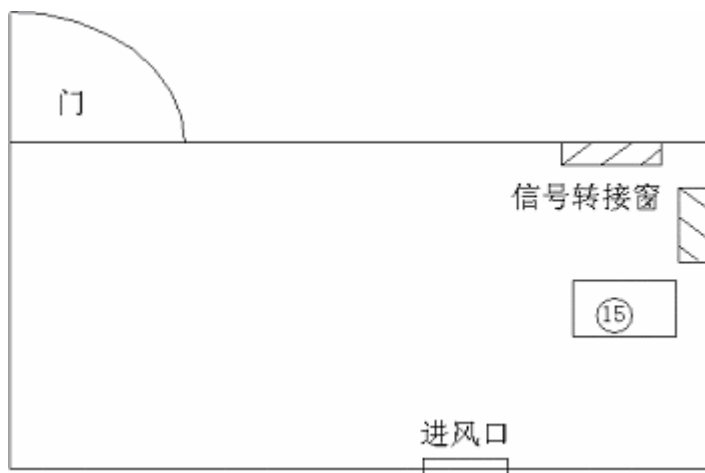


图 6 功放室设备布置图（俯视图）

图 6 为功放室内的设备布置平面图。图中右侧壁放置 1GHz 以下的放大器，右上角设一个信号转接窗与暗室相通，上方侧壁右边设一个信号转换窗与控制室相通。上方侧壁左边有一个门与控制室相通。下方侧壁和上方顶壁开有进风口和回风口。

1.4 电气连接

1.4.1 射频信号和控制信号连接

EMC 实验室包括四个部分，测量设备分布在传导测试室、控制室和功放室，EUT 在半暗室和传导测试室，在这 4 个组成部分之间有大量的射频信号电缆和控制信号电缆相互连接并穿过各屏蔽室，因此有两点需要考虑：一是穿过屏蔽室时不要降低或破坏屏蔽效能，二是在电缆穿过屏蔽室前加滤波器。具体设计在后面的 1.7 中详述。

EMC 实验室四部分之间的信号连接总图如图 7 所示。

图 8 单独示出频率为 1GHz 以下的 RS 测量的信号连接。

图 9 示出频率为 1GHz 以上的 RS 测量的信号连接 移动机架上放置两个机柜 包括 1GHz 以上的信号源、功率放大器、功率计，天线在机柜背面的支架上，这样可使他们之间的射频衰减减到最小，并可方便地按 EUT 的大小移动到所需位置。

图 10 示出所有频率时 RE 测量的信号连接。在按军标测量时，天线离 EUT 1m 远；按民标测量时，EUT 横向尺寸 < 1.2m 时采用 3m 法，天线离 EUT 3m 远，当 EUT 横向尺寸 > 1.2m 时采用 10m 法，天线离 EUT 10m 远，这三种情况分别通过暗室地板上中轴线上距转台不同距离的信号转接窗内的高频插座来连接接收天线。

图 11 示出 CE 测量的信号连接。

图 12 示出 CS 测量的信号连接。

图 13 示出火情自动报警系统的信号连接。

图 14 示出电视监测系统的信号连接。

EMC 实验室四个组成部分的信号通道明细表详见 1.7 节。

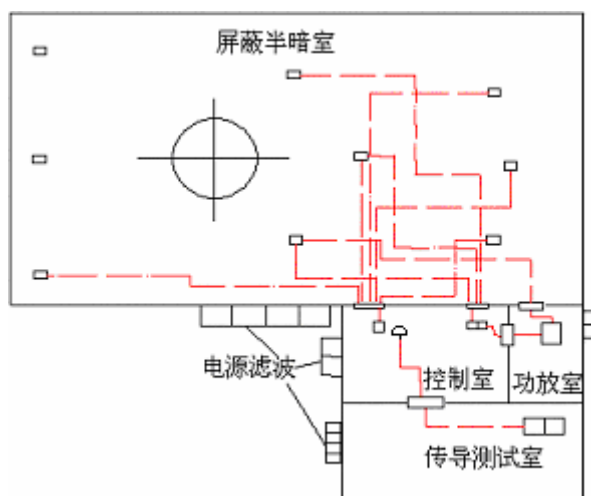


图 7 EMC 实验室信号连接总图

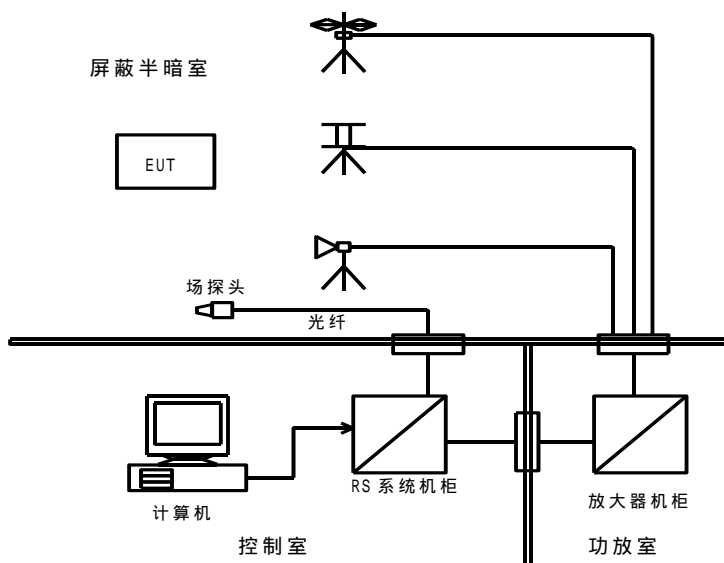


图 8 1GHz 以下的 RS 测量信号连接

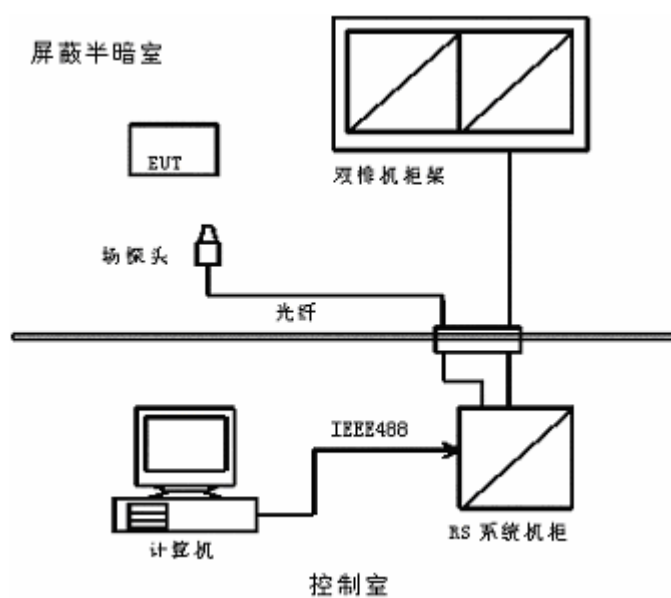


图 9 1GHz 以上 RS 测量信号连接

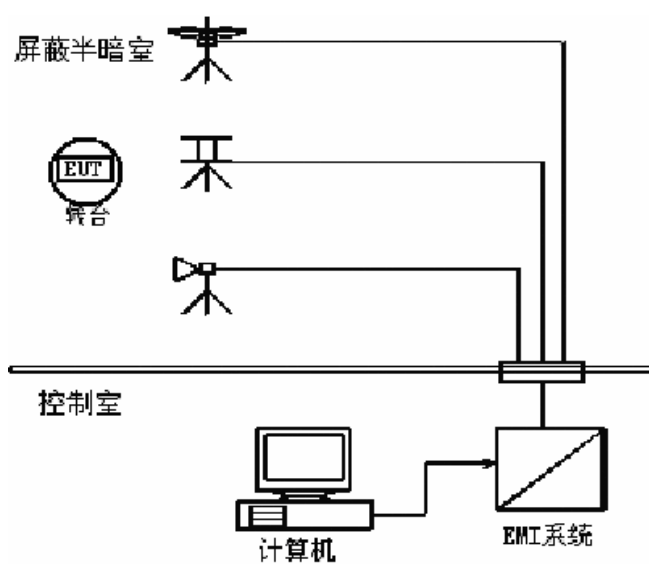


图 10 RE 测量的信号连接

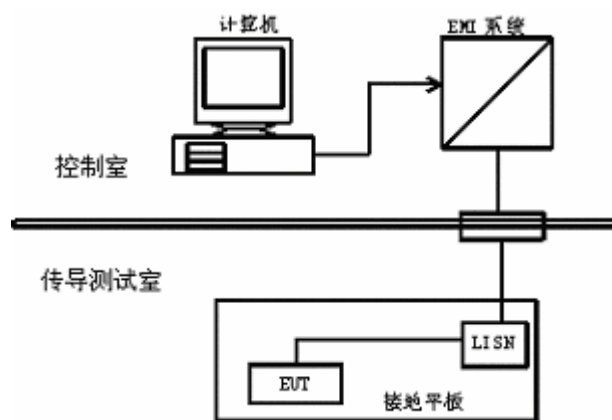


图 11 CE 测量的信号连接

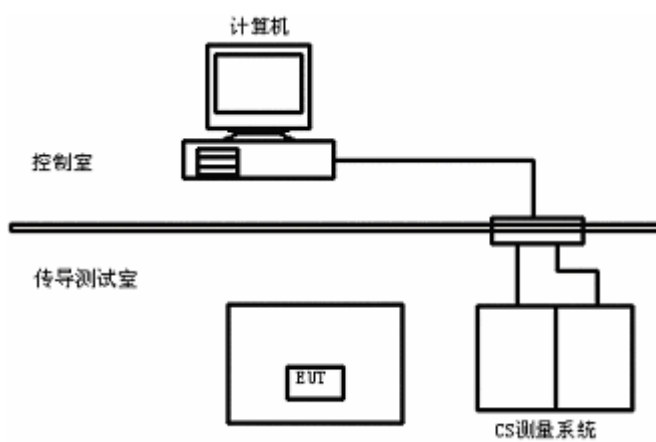


图 12 CS 测量的信号连接

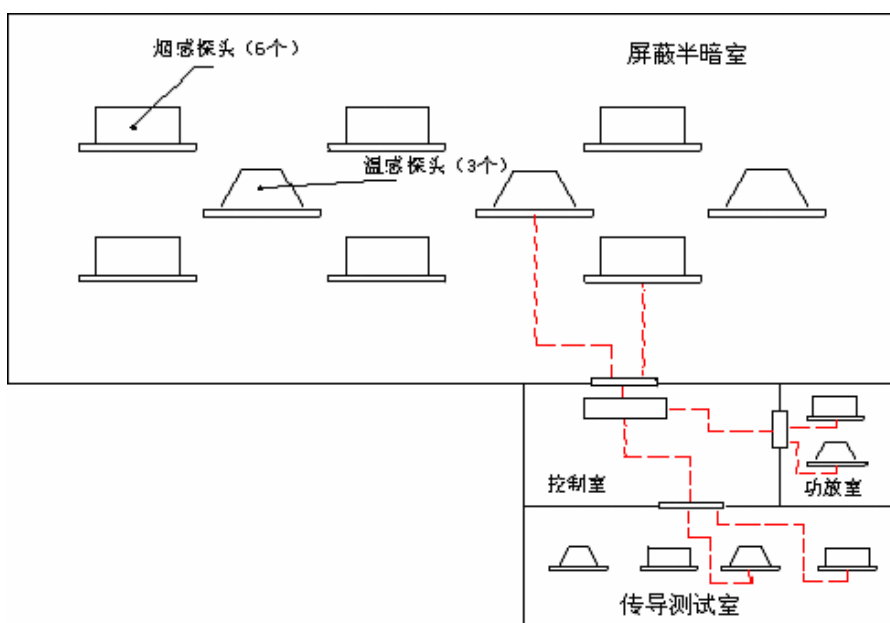


图 13 火情自动报警系统的信号连接

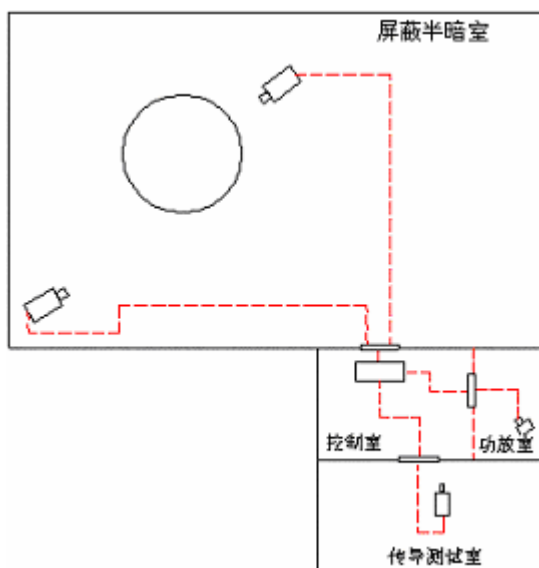


图 14 电视监测系统的信号连接

1.4.2 电源连接

EMC实验室的供电配电间内的 50Hz、400Hz和直流电源，通过四个屏蔽室的电源滤波器

(其位置见图 7) 送至 EMC 实验室的四个组成部分。电源连接见图 15。

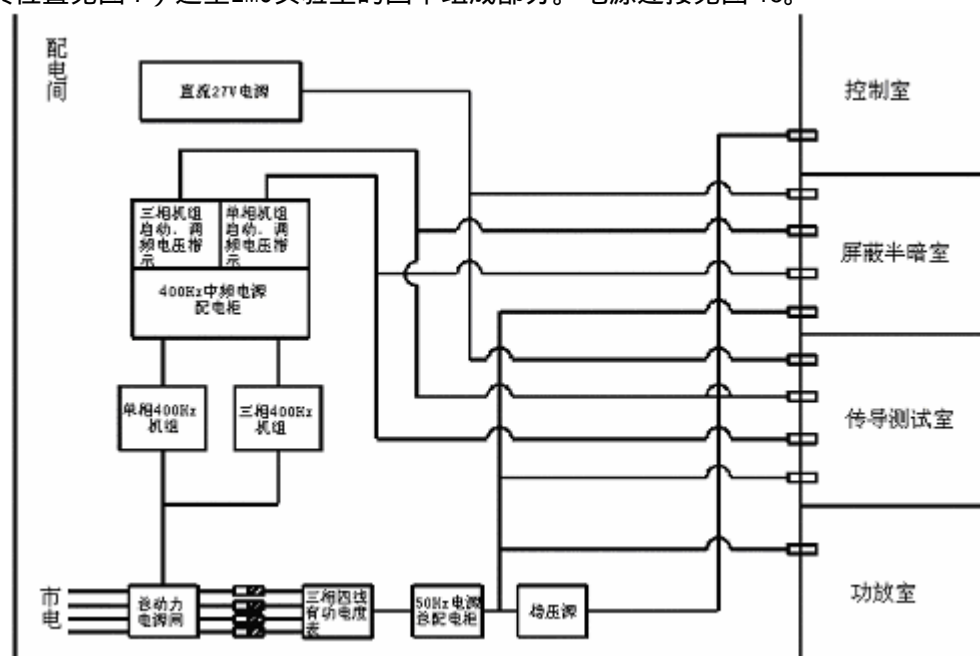


图 15 电源连接图

1.5 转台

在 EMC 测量的 RE 测试中，要求 EUT 最大辐射发射方向对准测量天线，因此需要将 EUT 放在转台上，作 360° 方位转动。

1.5.1 转台的技术要求

根据暗室的功能要求，对转台的技术要求如下表：

表 3 转台技术要求

转台直径	1~3m (根据 EUT 尺寸决定)
中央孔直径	10cm
承重	200~3000kg (由 EUT 决定)
转速	180°/分和 1080°/分两档
角度误差	$\pm 1^\circ$
角度范围	$\pm 360^\circ$
遥控	手持遥控器，带有长 10m 软线

转台的转速设定应与 EMI 测试系统软件一致。为了使转台回到初试位置，将转速调到高速可以节省时间。转速的控制和位置指示均在控制室，但为了在调整时便于室内人员的操纵，使用手持遥控器是很方便的，它用软线与控制室内的转台显控器相连。转台台面中央孔用于受试设备电源线、信号线的进入。

1.5.2 转台结构

图 16 是一种转台的结构示意图。

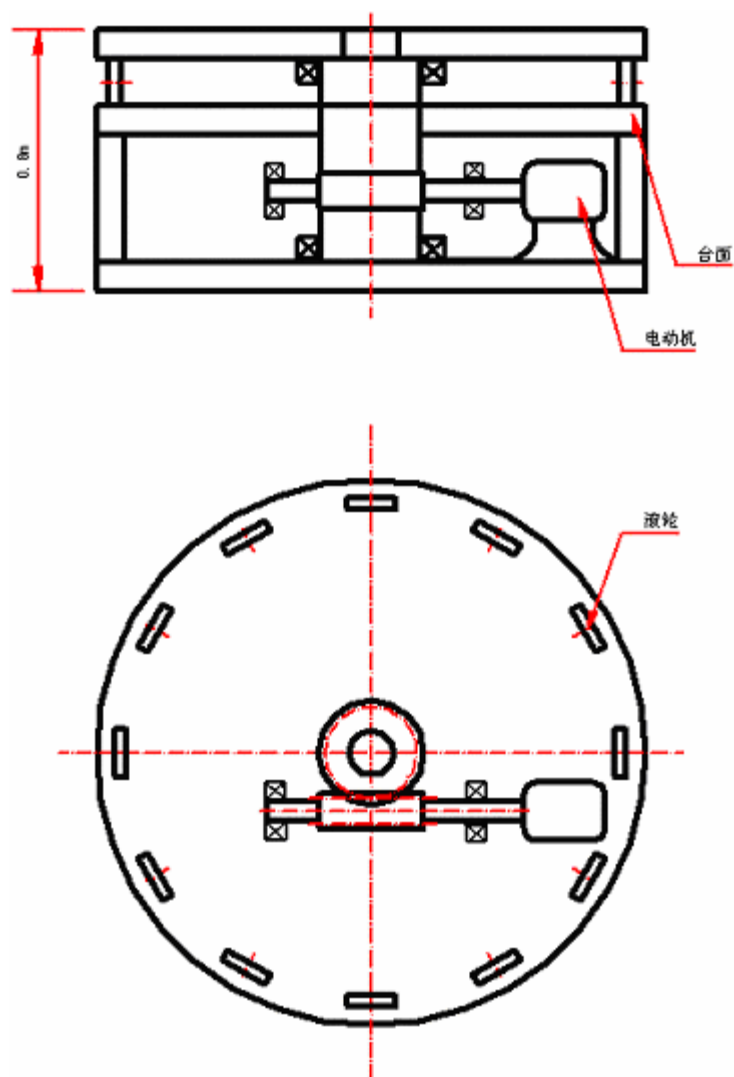


图 16 一种转台的结构示意图

1.6 屏蔽门

EMC 实验室的各个屏蔽室屏蔽效能主要决定于屏蔽门的设计和加工。根据不同的使用要求，国内外的屏蔽门可以归纳为以下几类：

a) 插刀簧片式屏蔽门

图 17 为单刀双簧，图 18 为双刀四簧。

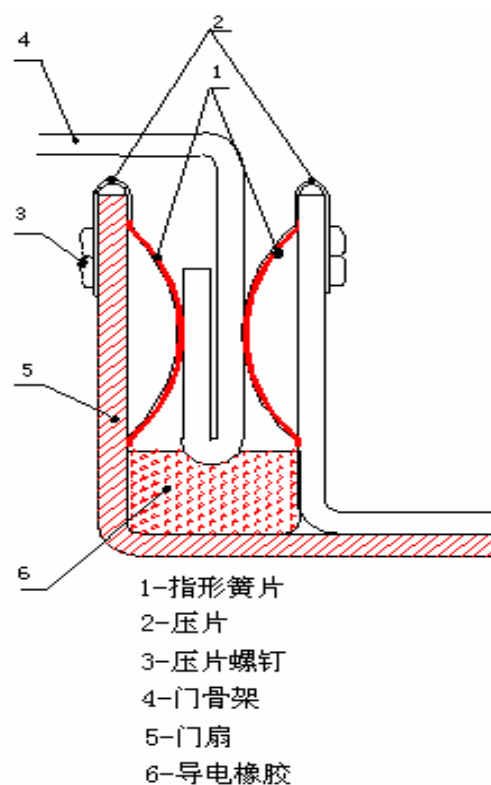


图 17 屏蔽室插刀簧片式屏蔽门结构示意图（单刀双簧）

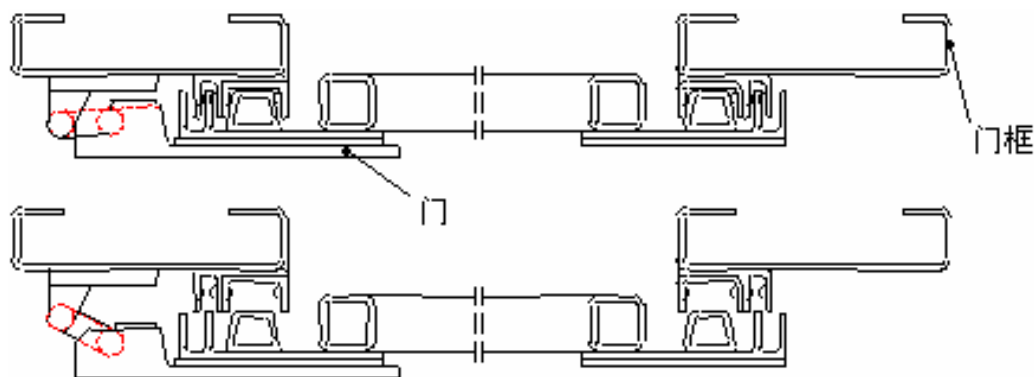


图 18 屏蔽室插刀簧片式屏蔽门结构示意图（双刀四簧）

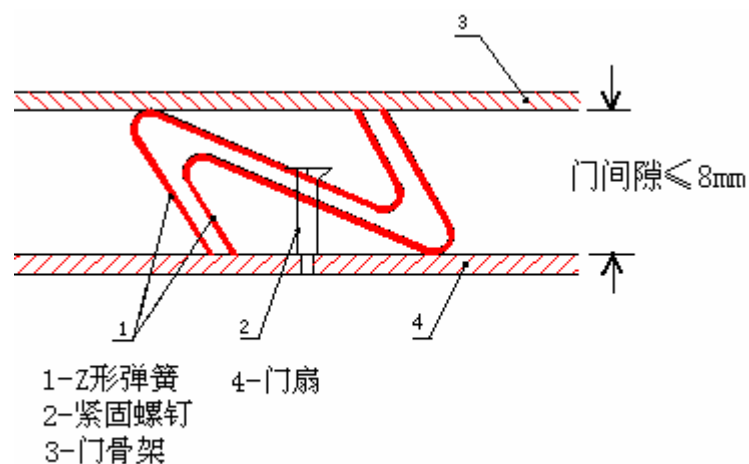


图 19 屏蔽室簧片式屏蔽门结构示意图 (Z 形簧片)

簧片多数为指形簧片,由薄的镀青铜片模压成形,并热处理。也有采用 Z 形簧片的(如图 19)。

门的运动方式有旋轴式和平移直插式。一般宽度在 1.2m 以下的多为旋轴式,2m 以上宽度的多为平移直插式,宽度在 1.2m~2m 的常采用双扇旋轴式(如图 20 所示),其中左扇使用中大多处在锁定状态,当需通过大的设备时才打开。

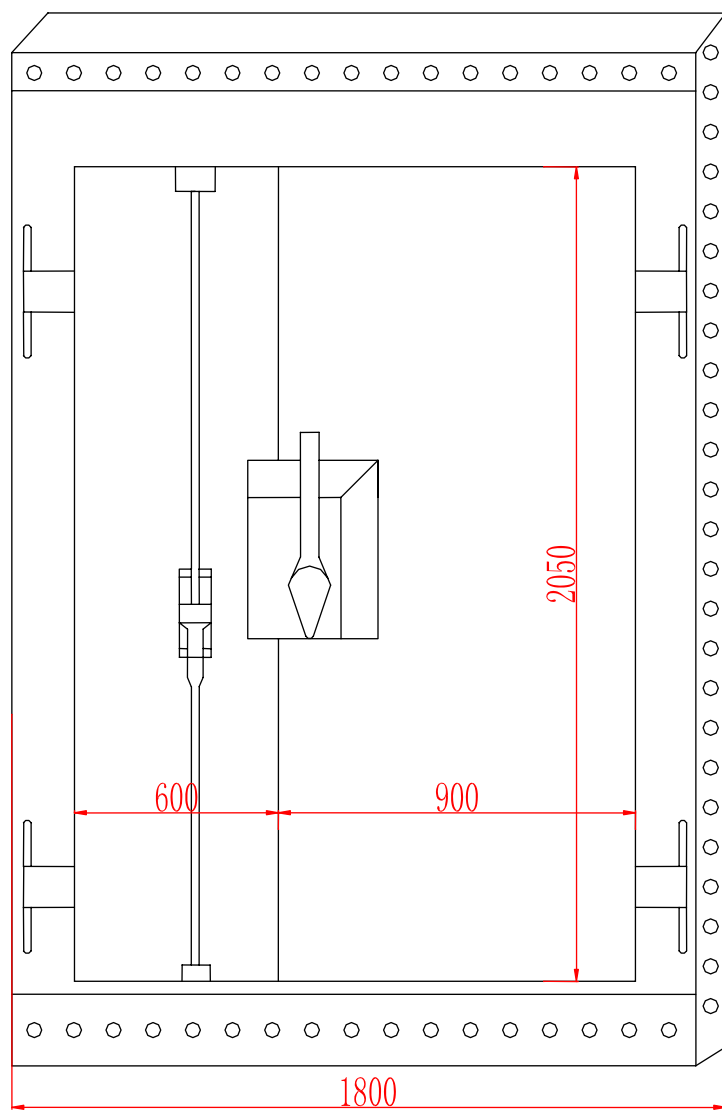


图 20 双扇旋轴式屏蔽门结构图

门的旋转有手动和电动两种（极少情况下有采用气动或液压）。

b) 气囊式屏蔽门

此类门均为平移门，到位后气囊由气压机充气，气囊膨胀，推动簧片紧压在门的四周，形成电磁密封。参见图 21。各种尺寸的门均可采用气囊式屏蔽门。

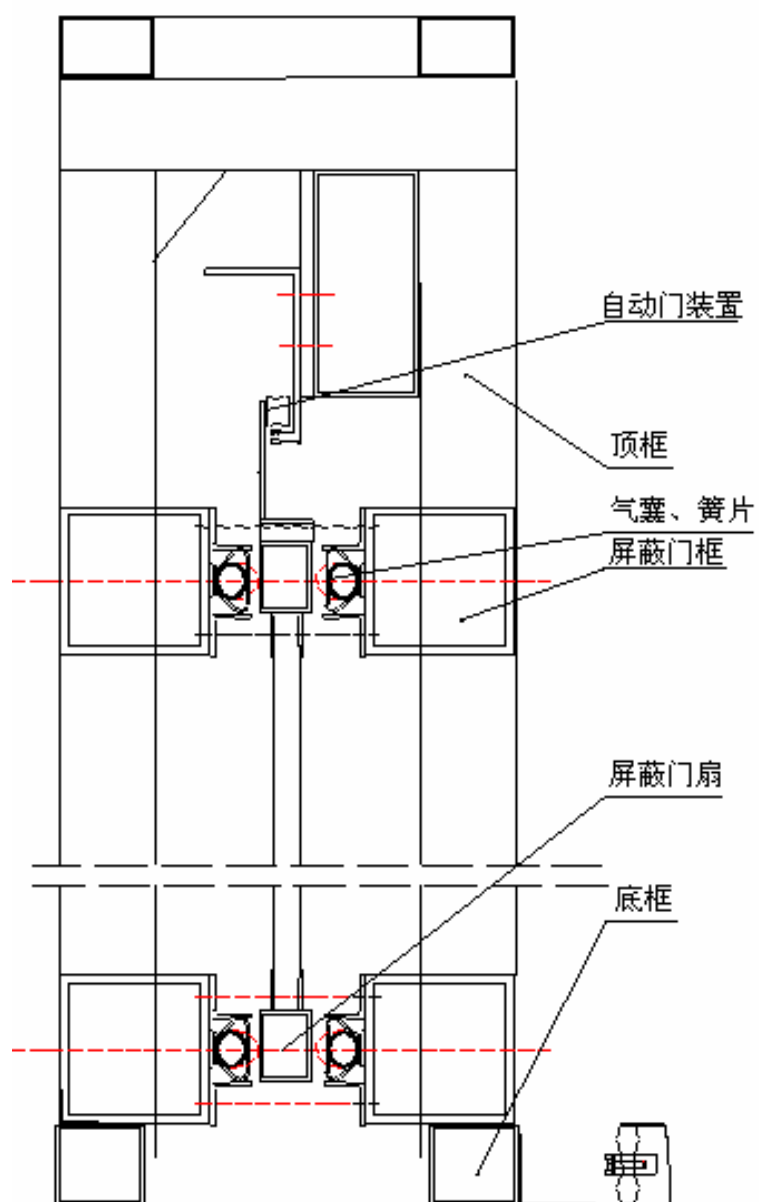


图 21 屏蔽室气囊式屏蔽门结构图

1.7 信号通道布置与转接窗设计

1.7.1 信号通道布置

1.7.1.1 屏蔽半暗室信号通道明细表

表 4 屏蔽半暗室信号通道明细表

序号	通道名称	用 途	起点/终点
1	转台位置监控	a) 控制转台转速、转向、起始角度 b) 接收转台发出的角度指示 c) 与暗室内手持遥控器的连接	暗室/ 控制室
2	电视监测系统	a) 控制摄像头调焦和云台转角 b) 接收摄像头发出的视频信号	暗室/ 控制室
3	火情报警	接收温感探头和烟感探头发出的火情报警信号	暗室/ 控制室
4	EMI 系统数据	将接收天线收到的信号传送 EMI 自动测量系统	暗室/ 控制室
5	EMS 系统控制	暗室内的 EMS 测量仪接受控制室的计算机控制	暗室/ 控制室
6	EMS 系统 1GHZ 以下射频信号	接收功放室内 1GHZ 以下放大器输出的射频信号	暗室/ 功放室
7	受试设备与暗室外的信号连接	部分的受试设备或系统有些信号线需连接到暗室外部	暗室/ 暗室外

1.7.1.2 传导测试室信号通道明细表

表 5 传导测试室信号通道明细表

序号	通道名称	用 途	起点/终点
1	EMS 系统控制	将控制室 EMS 系统计算机发出的控制信号送到传导测试室内的 CS 测量仪器	控制室/ 传导测试室
2	EMI 系统控制	将控制室 EMI 系统计算机发出的控制信号送到传导测试室	控制室/ 传导测试室
3	电视监测	将移动摄像头的视频信号发送到控制室的电视监测系统显控器	传导测试室/ 控制室
4	火情报警	将传导测试室的温感和烟感探头发出的火情报警信号送到控制室	传导测试室/ 控制室

1.7.1.3 控制室信号通道明细表

表 6 控制室信号通道明细表

序号	通道名称	用 途	起点/终点
1	EMS 系统控制	由控制室内的 EMS 系统计算机发出控制信号到功放室内的 1GHZ 以下 RS 系统	控制室/功放室
2	电视监测	a)接收功放室的摄像头发出的视频信号	功放室/控制室
		b)接收暗室摄像头发出的视频信号 ;控制摄像头调焦和云台转角	同表 4 的通道 2
		c)接收传导测试室的摄像头发出的视频信号	同表 5 的通道 3
3	火情报警	a)接收功放室的温感和烟感探头发出的报警信号	功放室/控制室
		b)接收暗室的温感和烟感探头发出的报警信号	同表 4 的通道 3
		c)接收传导测试室的温感和烟感探头发出的报警信号	同表 5 的通道 4
4	EMI 系统数据	a)接收暗室内的接收天线送来的射频信号	同表 4 的通道 4
		b)由 EMI 系统计算机将控制信号送到传导测试室	同表 5 的通道 2
5	EMS 系统	a)由 EMS 系统计算机将控制信号送到暗室	同表 4 的通道 5
		b)将 EMS 系统计算机的控制信号送至传导测试室	同表 5 的通道 1

1.7.1.4 功放室信号通道明细表

表 7 功放室信号通道明细表

序号	通道名称	用 途	起点/终点
1	电视监测	将摄像头发出的视频信号送至控制室	同表 6 的通道 2-1)
2	火情报警	将温感和烟感探头信号送至控制室	同表 6 的通道 3-1)
3	EMS 系统控制	接收由控制室 EMS 系统计算机发出的控制信号	同表 6 的通道 1

1.7.2 转接窗设计

1.7.2.1 信号电缆的转接

第一种形式是螺钉固定的转接窗口,在屏蔽室壁上的信号转接窗口按图 22 所示安装双层转接板,在板上按需要布置若干个双阴直通射频插座。

为了直通双阴插座固定时不要转动,在双层转接板上钻的孔中,有一个板上为“D”形。

上述转接板在有的要求屏蔽效能低的场合,也可只用单层。另外图 22 为安装在侧壁时的场合,此种结构也适用于在地板下的安装,如图 23 所示。

第二种形式为焊接的转接窗口,如图 24 所示,窗口转接板(单层)尺寸为 600mm 宽、300mm 高,对于在屏蔽室设计时已确定的射频插座和光纤插座、总线插座,可布置在窗口板的左边和中部,在右边留出一个矩形孔口,有盖板固定,作为将来可能增加插座的预留安装板,盖板在将来可按需要打孔,打完孔可方便地安装好插座后再固定到转换板上。转换板与屏蔽室侧壁采用连续焊接。

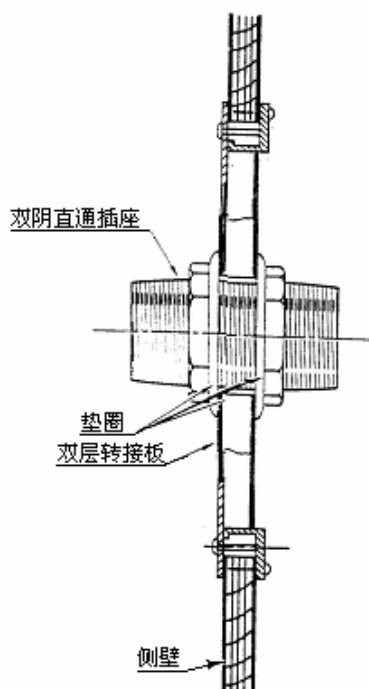


图 22 信号转接窗的双层转接板

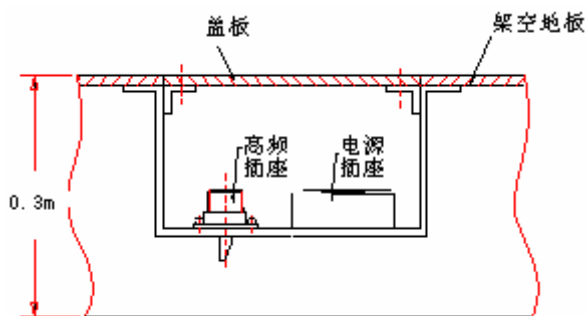


图 23 地板上的信号转接窗

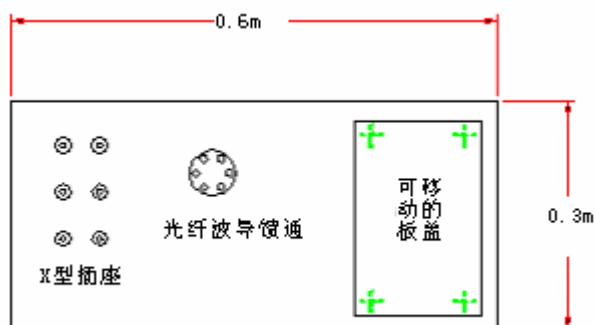


图 24 侧壁上的信号转接窗

1.7.2.2 多芯电缆的转接

a) 采用宽频带高性能信号滤波器

对于要求高插入损耗的滤波器，可选用国内已研制成功的宽频带信号滤波器，其技术指标如下表所示：

频率范围：	在 14kHz ~ 40GHz 插入损耗 100dB
带内衰减：	< 0.5dB
耐 压：	600VAC
环境温度：	- 20 ~ + 40

b) 采用圆形多芯滤波连接器

对于在屏蔽室之间的信号转接，当要求插入损耗不太高时，可采用圆形多芯滤波连接器，其插损如下：

频率	0.1MHz	1MHz	10MHz	100MHz	500MHz	1GHz
插损	3dB	22dB	40dB	41dB	41dB	41dB

其外形如图 25。

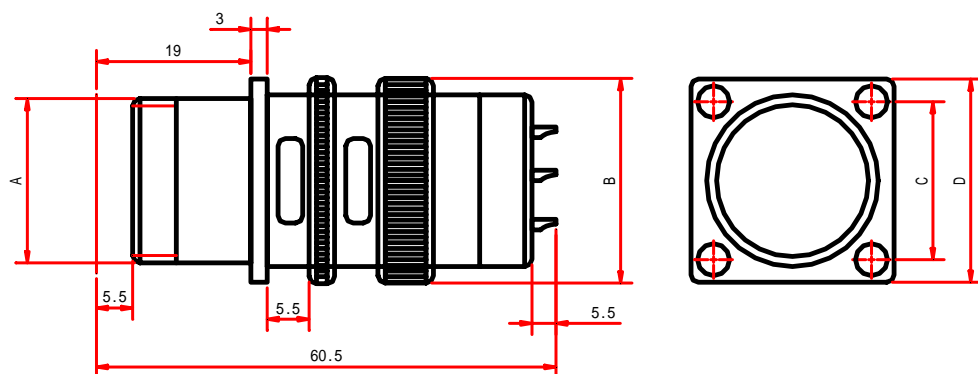


图 25 圆形多芯滤波连接器

1.7.2.3 采用多线滤波阵列板

当要求插入损耗不太高时，也可采用多线滤波阵列板，其插损如下：

频率	0.1MHz	1MHz	10MHz	100MHz	1GHz	10GHz
插损	--	1dB	16dB	36dB	41dB	68dB

1.7.3 信号转接窗的位置选择

考虑到屏蔽半暗室四个侧壁都铺有吸波材料，与其它三个屏蔽室的信号连线数量多，因此国内外的屏蔽半暗室都采用架空地板的结构形式，这些信号线及电源线都铺设在架空地板的下面，通过若干个窗口引到地板上面来，不用时这些窗口用盖板盖上，因此暗室地板上很干净，看不到许多电缆。

至于传导测试室、控制室、功放室，就不必采用架空地板的形式，它们之间信号转换的窗是设置在屏蔽室的侧壁上，它们与暗室的信号转接窗也是在其侧壁上，但处在暗室架空地板下的侧壁上，如图 26 所示。

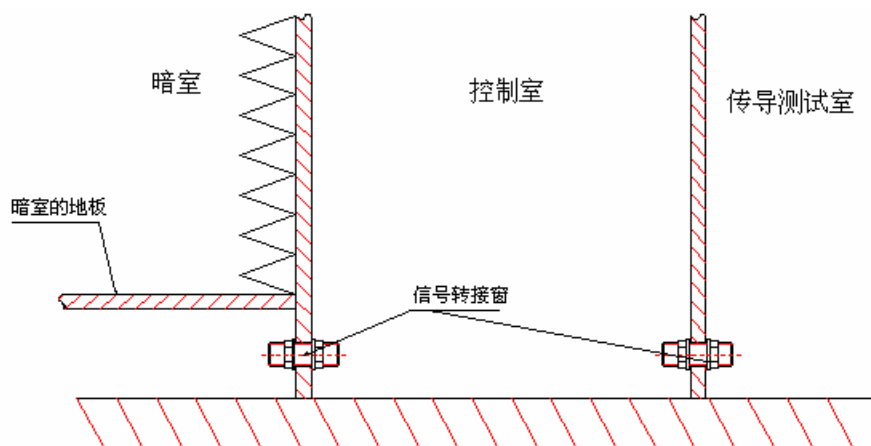


图 26 暗室、控制室和传导测试室信号转接示意图

1.7.4 信号线贯通箱

不少场合希望信号线缆在通过屏蔽室时不要断开,此时可采用信号线贯通箱的设计,它可避免外部干扰随信号线缆带入屏蔽室内部,同时还能保证屏蔽室屏蔽效能不降低。

2 屏蔽半暗室的分析与论证

2.1 概述

在 EMC 测试与试验中,屏蔽半暗室是一项必不可少的设施。对一个设备或系统进行辐射发射(RE)和辐射敏感度(RS)试验时,以前还可以在开阔试验场(OATS)上进行,近30年来随着环境电磁噪声强度和密度的不断增加,很难找到符合标准要求的OATS。根据标准要求,环境电磁噪声电平应在标准RE界限值6dB以下才不至产生明显的测量误差。因此,不要说一个EMC实验室或研究中心,就是一般的电子电器设备制造厂要对其产品进行EMC的预测试,也都需建屏蔽半暗室。

军用EMC标准规定RE和RS试验是在距被测设备(EUT)1m远处,因此对屏蔽半暗室只要求在屏蔽室局部铺设吸波材料(见图27),而且对吸收波材料的反射损耗(反射系数)的要求也较低。(见表8)

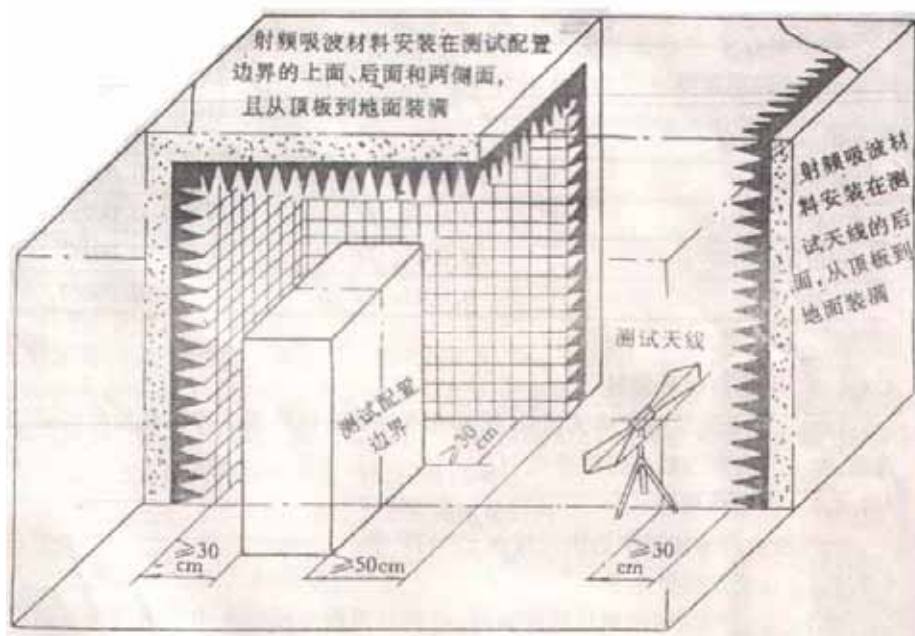


图 27 按 GJB152A 要求的吸波材料安装图

表 8 吸波材料反射损耗(垂直入射)

频率 MHz	最小反射损耗 dB
80 ~ 250	6
>250	10

民用 EMC 标准规定 RE 测试是在距 EUT3m 或 10m 或 30m 远处,而且规定了暗室归一化场

地衰减（NSA）与 OATS 理论值的偏差不大于 $\pm 4\text{dB}$ 。对 RS 测试，要求在 EUT 所在处垂直面上场（75% 采样点）的不均匀度小于 $0 \sim 6\text{dB}$ 。频率范围上，军标对吸波材料的低端是 80MHz ，民标对 RE 的 NSA 要求低端是 30MHz ，RS 的场均匀度要求低端是 26MHz 。因此，总的说来，民标对暗室的吸波材料的要求比军标要严得多。

由于建造一个暗室要考虑到如何充分发挥其作用，而且军品与民品的定位也不是一成不变的，一些军品以后也可能会进入民品市场，因此也需要符合民用 EMC 标准，再说今后一个单位，即或以军品为主，也会逐渐拓宽到民品范围，就算自己不生产民品，也可能需为其他单位的民品作测试，因此目前国内凡新建 EMC 暗室的，都兼顾军、民标准要求。

2.2 暗室功能

暗室^[注]功能如下：

- 1) 按国军标 GJB152A《军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量》进行产品 EMC 检测，EMC 故障诊断及排除故障试验；
- 2) 按国军标 GJB1386-92《系统电磁兼容性要求》对电子电气系统进行 EMC 试验，故障诊断及排故试验；
- 3) 为 EMC 研究提供一个理想的实验环境；
- 4) 按 EMC 国标对民用产品进行 EMC 检测。

〔注〕这里所说的暗室均指屏蔽半暗室，即在屏蔽壳体内的天花板和四个侧壁铺吸波材料，地平面不铺吸波材料，这样可与 OATS 等效，在军、民用 EMC 标准中均规定是屏蔽半暗室，这主要是由于以前的 EMC 标准制订是以 OATS 为基础的，采用半暗室后有继承性。至于用作天线测量、RCS 测量、仿真试验、天线罩测量的暗室均为全暗室，包括地板在内的六个面均铺吸波材料，以等效自由空间。

2.3 主要技术指标

- 1) 频率范围
由需贯彻的军标或民标的要求决定
- 2) 暗室静区性能
 - a) 静区尺寸
以转台旋转轴为轴线，一定直径（取决受试件大小）的圆柱体。
 - b) 在 $30\text{MHz} \sim 18\text{GHz}$ 频率范围内，暗室静区的归一化场地衰减（NSA）与理想开阔场理论值相差不大于 $\pm 4\text{dB}$ 。
 - c) 在 $26\text{MHz} \sim 18\text{GHz}$ 频率范围内，在转台地板上 $0.8 \sim 2.3\text{m}$ 高度的 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 垂直面上，场均匀度：75%的测点场强幅值偏差在 $0 \sim +6\text{dB}$ 以内。
- 3) 屏蔽效能：参见表 9。

表 9 屏蔽效能指标一览表

磁场	14kHz ~ 1MHz	x x dB
电场	1 ~ 1000MHz	x x x dB
微波	1 ~ 10GHz	x x x dB
	10 ~ 18GHz	x x x dB
	18 ~ 40GHz	x x dB

- 4) 接地电阻 1
- 5) 通风空调
通常暗室内的换气率不低于 3 次/小时
室内温度：10 ~ 28

- 6) 消防
 - a) 设计、安装均符合《消防防火规范》;
 - b) 具有自动火情声光报警能力。
- 7) 照明

通常距地面 0.8m 处的工作区的照度不低于 100 ~ 400LUX , 其他区域可降低到 50LUX , 但不应有暗角。
- 8) 转台

直径 × m 承重 × T
- 9) 暗室尺寸

暗室长、宽、高根据受试设备和执行的 EMC 标准决定。
- 10) 暗室地平面不平度

2.4 技术指标的确定

2.4.1 暗室使用频率范围

暗室使用频率范围的选择取决于暗室的功能 , 为满足国军标 GJB152A 和国标 GB9254 等的要求 , 它涉及到以下两方面 :

a) 吸波材料的选型

为满足 30MHz ~ 18GHz 的归一化场地衰减要求 , 通常暗室需采用铁氧体片与渗碳泡沫角锥或空心角锥复合型的宽带吸波材料。

根据文献报道 , 对于 10m 法暗室 , 为满足归一化场地衰减偏差 $\pm 4\text{dB}$ 要求 , 吸波材料在 30 ~ 1000MHz 垂直入射时反射系数应小于 -20dB , 45 ° 入射角时小于 -15dB。对于 1 ~ 40GHz 频率范围 , 吸波材料垂直入射及 45 ° 角入射的反射系数也应不高于上述数值 , 参见图 28。

关于复合型宽带吸波材料 , 要注意以下两点 :

- a) 与铁氧体片组合的渗碳聚氨酯泡沫角锥 , 其含碳量不同于单独使用的角锥 , 对于这点 , 国内第一次 (1995 年) 研制复合型吸波材料时并不清楚 , 而是沿用常规的角锥吸波材料的含碳量配方。

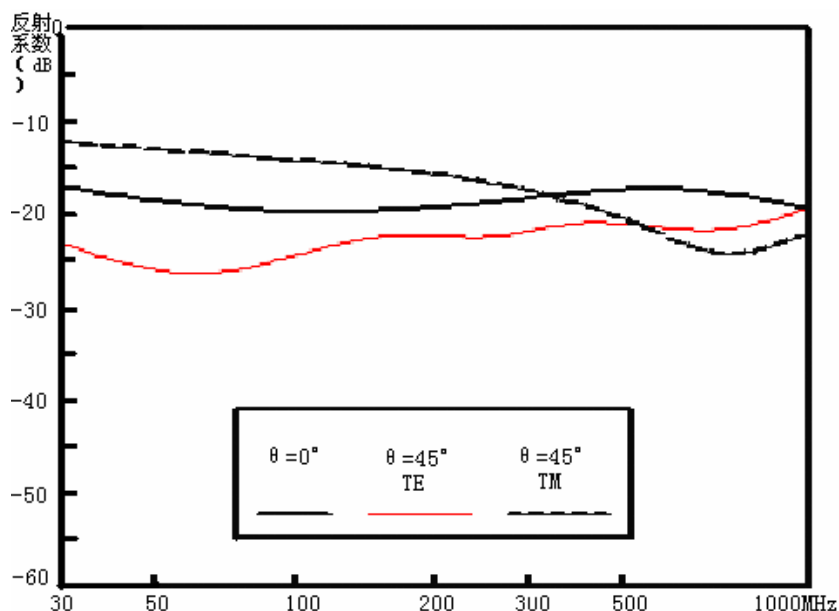


图 28 复合吸波材料的反射系数

- b) 复合型吸波材料与屏蔽室之间宜加一层胶合板，如图 29 所示。根据国外文献报道，增加这层电介质（胶合板）对改善反射系数是有益的。

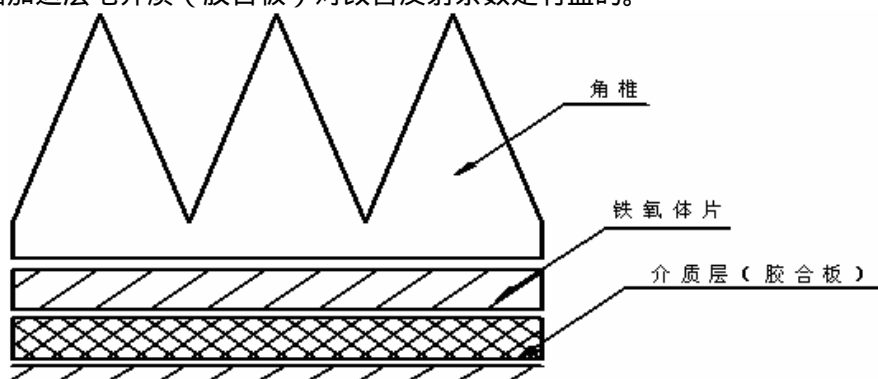


图 29 复合型吸波材料结构图

b) 屏蔽效能要求

从国内制造水平，在频率范围 1MHz ~ 10GHz 内屏蔽效能达到 100dB 是不困难的，但是在 (10kHz ~ 1MHz) 和 高频 (10GHz ~ 40GHz) 要达到较高的屏蔽效能，对焊缝、门、通风截止波导窗的设计和制造必须十分小心。

屏蔽半暗室的屏蔽效能要求应适当，并非越高越好，要从效费比考虑。最终的效果要求是暗室内的环境电平只要低于标准限值 6dB 就可以了。

2.4.2 尺寸的选择

暗室尺寸的选择原则是：

- a) 功能的需要

b) 合理的效费比

c) 前瞻性, 考虑今后的发展留有必要的余地, 因为一旦建成再变化尺寸就很困难。

国军标 GJB152A 和美军标 MIL-STD-462D 均规定在 RE 和 RS 测试时, 天线与 EUT 的距离为 1m。国际民用 EMC 标准对 RE 测试的收发距离通常是按受试设备 (EUT) 的尺寸来选择, 见表 10。

表 10 收发距离与 EUT 尺寸的相关性

EUT 尺寸, m	收发距离, m
<1.2	3
<4	10
<12	30

因此国外通常有 3m 法半暗室, 10m 法半暗室, 30m 法开阔试验场之分, 近年来欧盟标准又出现 5m 法全暗室用于 EUT 尺寸<2m 的标准 (草案)。

在开阔试验场情况, 场地范围不应小于椭圆区, 该椭圆长轴为 2 倍收发距离, 短轴为 $\sqrt{3}$ 倍收发距离。在半暗室情况, 由于有吸波材料, 长度和宽度可以比椭圆区尺寸稍短些。例如: 10m 法暗室, 屏蔽室长度可以稍短于 20m, 宽度可稍短于 17m。

半暗室的高度按下式选取:

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} R + 2 \quad (\text{m})$$

式中 R 为收发距离, m。

2.4.3 静区性能

a) 静区尺寸

在保证一定的 NSA 和场均匀性条件下, 静区尺寸将直接影响到暗室尺寸的选取。静区尺寸越大, 暗室尺寸必须越大。

b) NSA

通常暗室要求在 30MHz ~ 18GHz 内 NSA 误差不大于 $\pm 4\text{dB}$, 在目前国外水平看, 这并不是最高的。文献报道, 今天满足 NSA 的 $\pm 4.0\text{dB}$ 的半暗室只是普通水平, 某些 10m 法半暗室 NSA 低至 $\pm 2.8\text{dB}$, 一般的 10m 法半暗室容易满足表 11 列出的 NSA 要求:

表 11 现代半暗室的典型 NSA 要求 (30MHz ~ 18GHz)

测试容积直径 (m)	测试距离 (m)	最大 NSA ($\pm \text{dB}$)
3.0	3.0	3.0
3.0	10.0	3.5

对于 1GHz 以下的测量, 采用表 12 列出的天线按 ANSIC63.4 - 1992 测试, 天线应按 ANSIC63.5 - 1988 校准。

表 12 NSA 测量要求的天线

频率	天线型式
30 ~ 200MHz	双锥
200 ~ 1000MHz	对数周期
>1000MHz	喇叭

在暗室招标中要与暗室承建单位明确天线的校准方法，因为天线校准方法的不同将影响 NSA 的测量结果。对于 1 GHz 以上频率 NSA 测量，目前国际上尚无公认的 NSA 测量方法，但国外现在新建的暗室对 1 ~ 18 GHz 的 NSA 也参照 ANSI C63.4 进行测量。

c) 场均匀性

从国内外的暗室建造情况来看，只要暗室的 NSA 达到 $\pm 4\text{dB}$ ，一般都能满足场均匀性 0~+6dB 的要求，但场均匀性仍需单独进行检测。根据文献，为保证此指标，吸波材料在 80 ~ 1000MHz 内垂直入射时的反射系数应小于 -18dB，所以比 NSA 对吸波材料的要求松些。

2.4.4 屏蔽效能的选择

暗室屏蔽效能如何选择？是否越高越好？回答是否定的。从目前国外水平，1MHz~10GHz 可达到 120dB 的屏蔽效能（如用于 TEMPEST 的屏蔽室），但这要很高的成本。选择合适的屏蔽效能的论证过程如下：

- a) 从暗室完成 RE 实验来考虑，通常应先实测暗室所在处的电磁环境，设测到的电场强度为 E_1 (dB)，磁场强度为 H_1 (dB)。暗室需执行的 EMC 标准的电场发射限值设为 E_2 (dB) (如 GJB151A 的 RE102 限值)，磁场发射限值为 H_2 (dB)，则暗室的屏蔽效能 SE 应为：

$$SE(\text{电场}) = E_1 - E_2 + 6 \quad (\text{dB})$$

$$SE(\text{磁场}) = H_1 - H_2 + 6 \quad (\text{dB})$$

这就是说，所需的屏蔽效能只要使环境电平低于标准限值 6dB 就可以了。通常情况下屏蔽效能为 70dB 就满足此要求。

- b) 从暗室完成 RS 实验来考虑

为避免污染环境，国外标准规定在离辐射源 100m 远的电场应低于 $15 \mu\text{V}/\text{m}$ 。

设按民标在发射天线离受试件 3m 处产生 10v/m 电场（参见图 30 (a)）：所需屏蔽效能 SE 为：

$$SE = 20 \log \left(\frac{10\text{v}/\text{m} \cdot 3\text{m}}{15\mu\text{V}/\text{m} \cdot 100\text{m}} \right) = 86 \text{ dB}$$

设按军标在离受试件 1m 处产生 10v/m 电场（图 30 (b)）：所需屏蔽效能 SE 为：

$$SE = 20 \log \left(\frac{10\text{v}/\text{m} \cdot 3\text{m}}{15\mu\text{V}/\text{m} \cdot 100\text{m}} \right) = 76.5 \text{ dB}$$

设按军标在离受试件 1m 处产生 200v/m 电场（图 30 (c)）：所需屏蔽效能 SE 为：

$$SE = 20 \log \left(\frac{200\text{v}/\text{m} \cdot 1\text{m}}{15\mu\text{V}/\text{m} \cdot 100\text{m}} \right) = 102.5 \text{ dB}$$

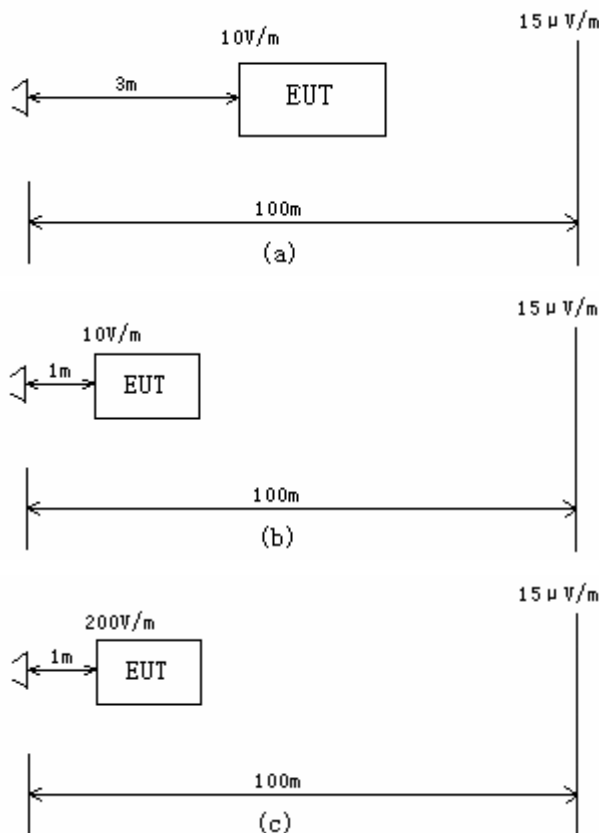


图 30 按 RS 实验考虑屏蔽效能

从以上分析看出，暗室的屏蔽效能选择主要按 RS 考虑，RS 测试时所需的场强越高，对屏蔽效能要求就越高。对于军标，如果测量场强不超过 200V/m，那么选择 100dB 就够了，具有这种能力的屏蔽室可以做电场要求最大不超过 150V/m 的民标辐射敏感度测试(3m 法)。

2.4.5 暗室地平面不平度

为避免 EMI 信号失真，地平面应满足由瑞利规则确定的不平度要求，与地平面最大变化高度，波长，入射波擦地角、EUT 和接收天线高度、间隔距离和信号波长的函数有关。例如在 1000MHZ，EUT 和接收天线分别在 1m 和 4m 高度，在 3m 法暗室地平面最大允许的不平度是 4.5cm，在 30m 场地是 14.7cm。

3 屏蔽半暗室总体设计

3.1 吸波材料的选型与布置

3.1.1 概述

众所周知，一个屏蔽暗室的性能主要取决于三个方面：1) 暗室尺寸；2) 吸波材料布置；3) 吸波材料品质。关于暗室尺寸选择已在 2.4.2 节作了论证和分析，本节讨论吸波材料品质和选型、吸波材料的布置设计。

对于常见的矩形半暗室，当确定收发天线的位置后，暗室的五个内表面（天花板和 4 个侧壁）的吸波材料并非都起着同等作用，其中镜面区的吸波材料对暗室静区性能影响最

大，通常铺设性能最好的吸波材料，其余区域可以铺性能稍差的吸波材料，这样可得到暗室建造最佳效费比。

下一节从电磁传播的基本理论出发，给出暗室镜面区的计算模型，按此模型进行计算可为吸波材料布置方案提供依据。

3.1.2 镜面区计算模型

在收、发天线之间的电波传播空间中，根据惠更斯—菲涅尔原理可在传播路径划分为多个菲涅尔区。以收发天线连线为轴线，与轴线相位差小于 $\pi/2$ 的区域为同相区，称为第一菲涅尔区，它是以收发天线为两个焦点的一个椭圆球，由收 / 发天线到椭圆面上任一点的连线长度与两焦点距离之差为 $\lambda/2$ (λ 为波长)。由发射天线经椭圆内任一点到接收天线的电波与收发间直达波的相位差 π ，为同相相加。紧邻第一菲涅尔椭圆区，与其球面的相位差小于 $\pi/2$ 的区域也是一个椭圆区，称为第二菲涅尔区，依次向外的椭圆区称为第三、第四、……菲涅尔区。第一、第三菲涅尔区同相，第二、第四菲涅尔区同相，相邻的反相。

工程上常把第一菲涅尔区作为对电波传播起主要作用的区域，称为传播主区，只要在主区内满足自由空间条件，无障碍物，就可以认为电波是在自由空间传播。

当收发天线置于暗室中，由于暗示地平面为良导电面，对电波有镜象反射作用，此时可认为电波是从发射天线的镜象发出到达接收天线。此时以镜象与接收天线为两焦点的菲涅尔椭圆面与地平面的交线通常称为镜面区。至于暗室天花板和四个侧壁，虽然铺有吸波材料，但吸波材料仍有一定的反射，也存在镜面区。我们需要作的就是计算这五个面的镜面区的形状、大小与位置。

3.1.3 吸波材料的选型

3.1.3.1 宽频段吸波材料的国内外现状

a) 国外现状

从文献及样本上收集的国外宽频段吸波材料有以下四种：

- 1) 0.61m 高含碳 7% 的角锥 + 6mm 厚铁氧体片 + 1.27cm 厚胶合板构成的复合型，其结构如图 32 所示。这里称为“A”型。其反射系数见图 33。

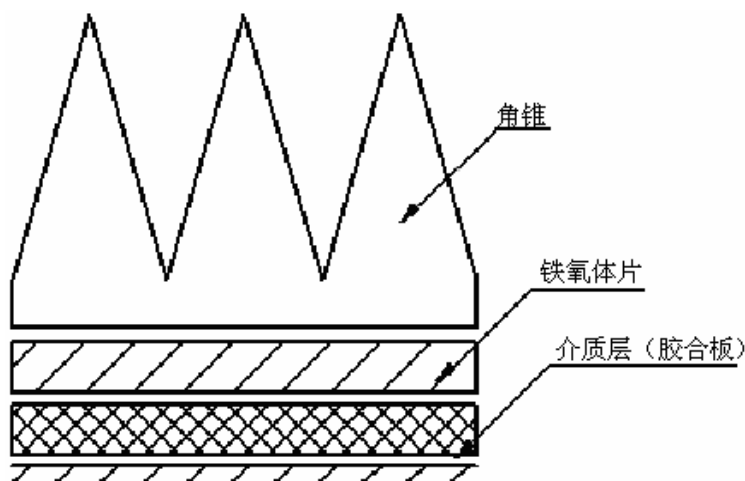


图 32 “A”型复合宽频段吸波材料结构图

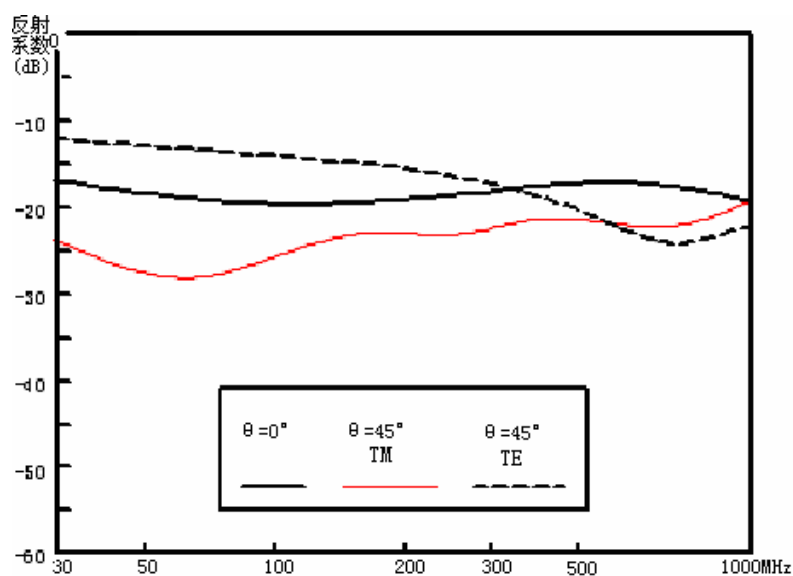


图 33 “A”型的反射系数

- 2) 聚氨酯角锥 + 3 层薄的聚氨酯 (每层含碳量和厚度不同) + 铁氧体片 + 胶合板构成的复合型, 其结构如图 34 所示, 反射系数如图 35 所示。这里称为 “B” 型。

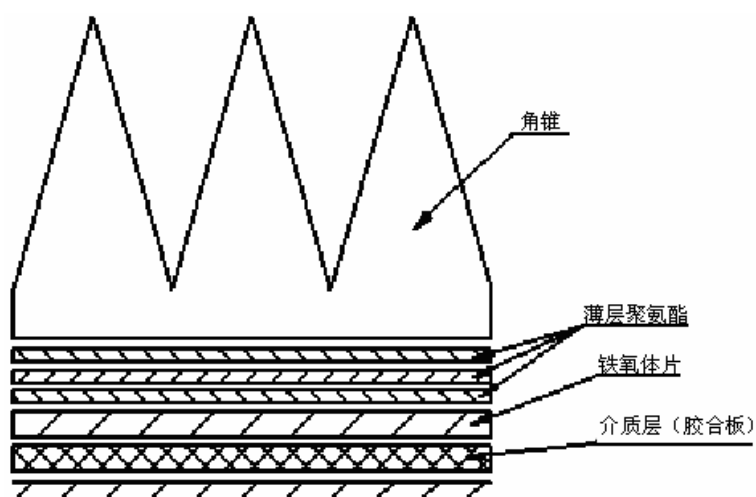


图 34 “B”型复合宽频段吸波材料结构图

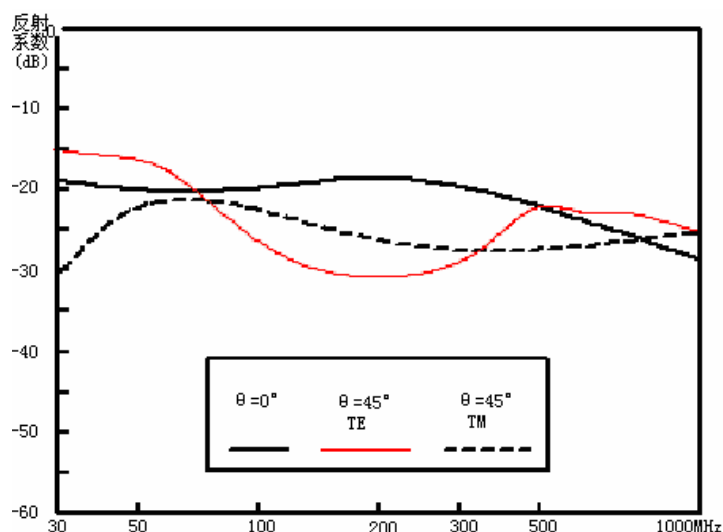


图 35 “B”型的反射系数

- 3) [1m 高尖劈 (聚氨酯泡沫) + 两边 15cm 高角锥] + 铁氧体片 + 介质层构成的复合型, 反射系数如图 36 所示。这里称为“C”型。“C”型是美国 ETS 公司的 RANTEC 子公司生产的型号为 FS-1000 的用于 10m 法暗室的宽频段吸波材料, 可保证暗室达到 NSA $\pm 4.0\text{dB}$ 及场均匀性 $< 0\sim+6\text{dB}$ 要求, 并可承受 200V/m 场强辐射, 阻燃性满足 NRL8093 实验 1, 2 和 3。安装时, 尖劈顶端套上白色的泡沫材料 (有阻燃性) 板, 以改善暗室光线。图 38 为用该材料铺设的 10m 法暗室外观。

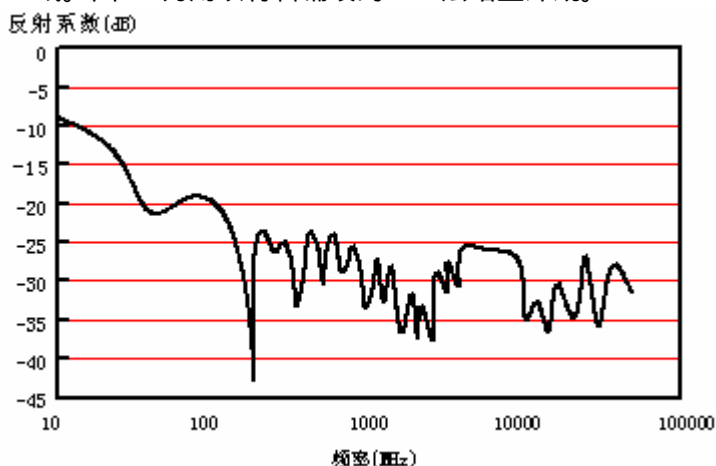


图 36 “C”型的反射系数 (垂直入射时)

- 4) 铁氧体片+介质层复合型地板吸波材料, 用于在进行辐射敏感度实验铺设在收发天线间的地面上, 以保证达到场均匀性 $0\sim+6\text{dB}$ 要求 ($26\sim1000\text{MHz}$)。其外形如图 37 所示, 反射系数如图 38 所示。每块尺寸为 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$, 表面上覆盖一层特殊的耐磨面。此型材料是美国 ETS 公司 RANTEC 子公司生产, 型号 FT-100。

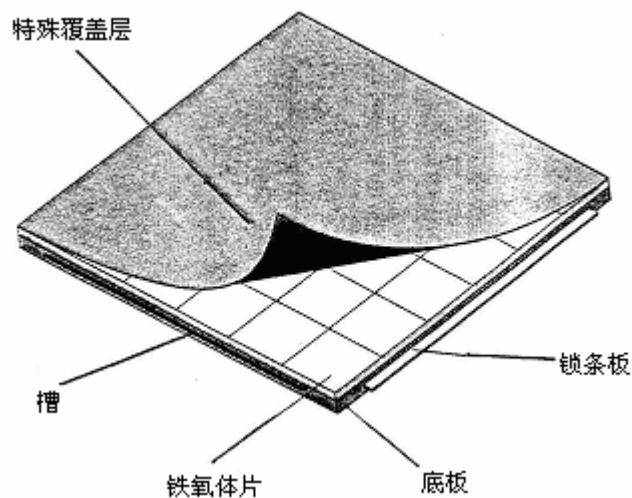


图 37 FT-100 型互锁地板吸波材料

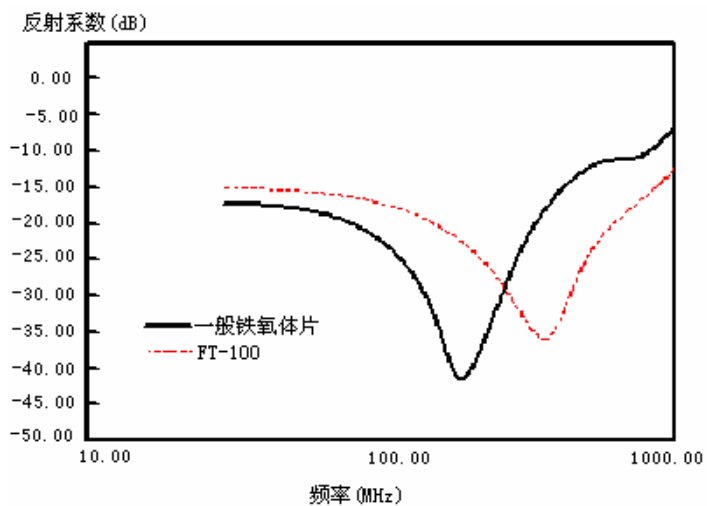


图 38 FT-100 型吸波材料的反射系数

b) 国内现状

1) 复合型宽频段吸波材料

国内在 1995 年由 701 研究所、宜宾 899 厂、南京紫金山天文台吸波材料厂三家共同研

制成功宽带复合型吸波材料。

首先由 899 厂研制出铁氧体片，它由 Fe₃O₄、镍、锌按一定配方烧结后研磨成六面光滑平坦的片块，尺寸为 110 x 110 x 6.5mm³。经与国外（美国 RANTEC 公司）同类产品对比实验，反射系数几乎相同，见图 39。

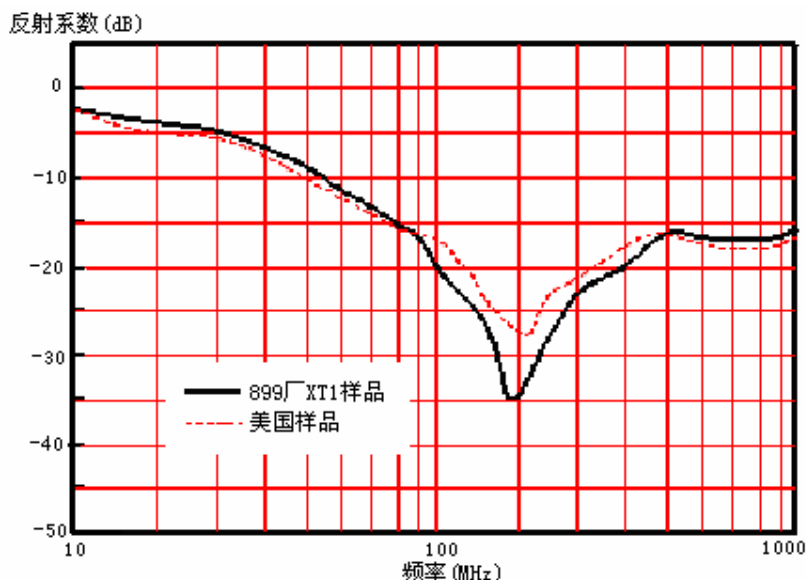


图 39 国内外铁氧体片反射系数比较

将宜宾 899 厂生产的铁氧体片与紫金山天文台吸波材料厂生产的 FL-50 平板过渡段和 PY-300 角锥吸波材料组合在一起所构成的宽带复合型吸波材料，经测试其反射系数与国外铁氧体片构成的复合型吸波材料的反射系数比较相近，如图 40 所示：

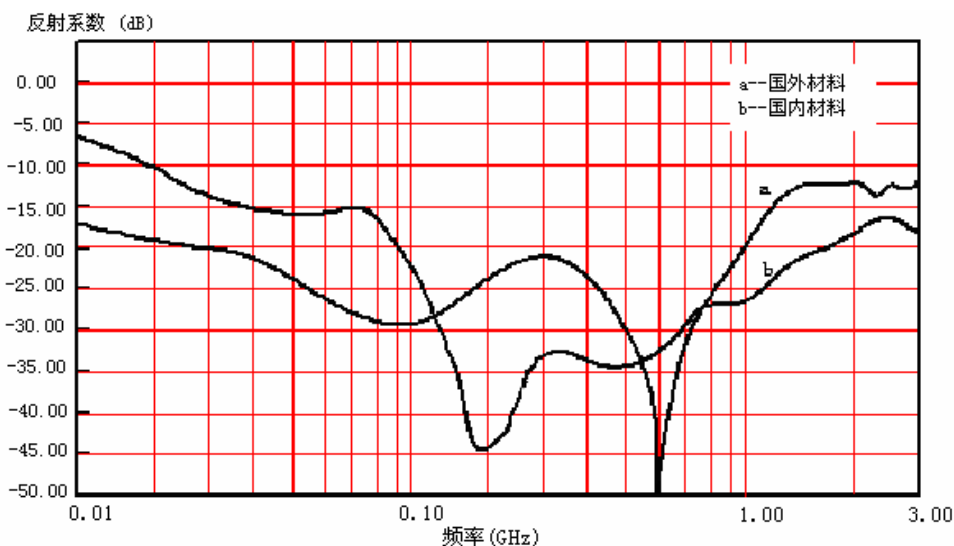


图 40 组合吸波材料国产与国外产品特性

2) 泡沫尖劈型吸波材料

表 12 列出了国内 5 个厂家生产的吸波材料，同时也列出国外 4 个厂家的产品以便于比较。（这里只列出高度为 1m 左右的吸波材料的数据）

3.1.3.2 吸波材料的选型与指标要求

这里以一个 10m 法暗室为例，说明吸波材料的选型与指标要求。

a) 镜面区吸波材料选型

采取图 41 所示结构的复合型宽频段吸波材料：

- 0.6m 高角锥；
- +6mm 厚的铁氧体片；
- +13mm 厚的五夹板。

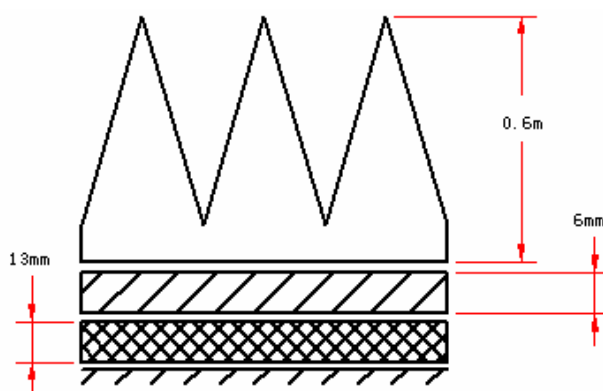


图 41 复合型宽频段吸波材料结构图

b) 非镜面区吸波材料选型

采用上述所示结构的复合型宽频段吸波材料：

- 0.3m 高角锥；
- +6mm 厚的铁氧体片；
- +13mm 厚的五夹板。

c) 地板收发之间区域吸波材料选型

与 b) 的吸波材料相同

d) 吸波材料反射系数要求

	镜面区吸波材料	非镜面区材料	地板材料
反射系数 (dB)	< -20	< -15	< -15
每块尺寸	1m × 1m	1m × 1m	600 × 600 mm

e) 阻燃性要求

应符合国标或国际通用标准 NRL8093（参见附录 A）。

3.1.4 吸波材料的布置

3.1.4.1 镜面区/非镜面区吸波材料的布置

从国内外的各种用途暗室（EMC 半暗室、天线测量暗室、仿真实验暗室、RCS 测量暗室等）的吸波材料布置方式来分析，基本上有两种，一种是按暗室的用途和可能的各种收发天线位置，采用射线轨迹法计算菲涅尔区，从而对暗室的五个或六个面铺设不同高度的（因而吸波效果也不同的）吸波材料。这种布置方式的优点是有最佳的效费比，但需在设计阶段进行大量计算，在铺设吸波材料时工艺上也比铺一种材料要繁杂些。第二种方式是整个暗室满铺单一型号的吸波材料。这种方式的优点是对收发天线的位置没有约束，缺点是吸波材料的费用比第一种方式要高 10~20%。但可省去计算费用，施工也简单、快捷些，对小型半暗室大多采用此方式。

另外，当需要时，只要在地板上铺满吸波材料，就成为全暗室，可兼作天线测量和实验用。

3.1.4.2 几个特殊部位吸波材料布置设计

a) 通风口

在暗室的通风口（进风口、回风口）四周铺一圈“B”型吸波材料，正对通风口的吸波材料向暗室中心前移一段距离，固定在非金属框架上（如用木架），这种布置结构既保证了通风截止波导窗不直接受电磁波照射引起有害的电磁散射效应，又可使空气的进出风阻很小。详见图 42。

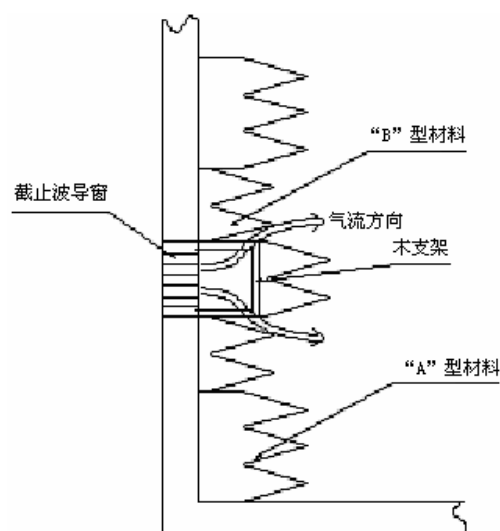


图 42 通风口吸波材料布置

b) 灯箱口

在暗室天花板上有 6 个高帽式灯箱口，为了保证光线能通过一定的张角照亮暗室内空间，必须处理好灯箱口吸波材料的布置。图 43 示出灯箱口吸波材料的布置设计。在灯箱口周围铺设一圈“B”型材料，其外再铺“A”型材料。

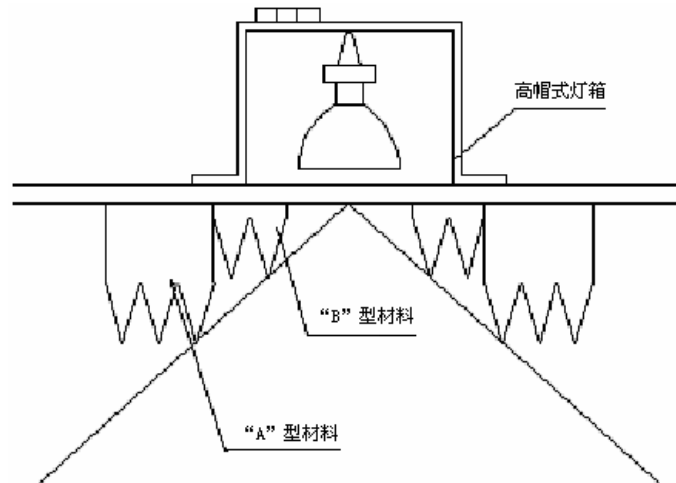


图 43 灯箱口吸波材料布置

c) 暗室的角边吸波材料布置

暗室的四个顶角及与其相交的八条角边在铺设吸波材料时要仔细处理,采用特殊形状的角锥吸波材料,不允许将金属或铁氧体片外露。

d) 地板吸波材料布置

在按民标进行 RS 测试时,应在 EUT 与发射天线之间的区域铺吸波材料,这样才能满足场均匀性 0~+6dB 的要求。但在 RE 测试时又必需将这些材料移开,因此地板上铺设的吸波材料不用螺钉固定。另外,在 RE 测试时应将他们移到靠墙边的地方,严格讲,应在长轴焦距为 10m 的椭圆之外。

3.1.4.3 吸波材料的安装方式

复合型吸波材料的安装方式可以有多种,下面的这种方式简单可靠:采用中间有 6 通孔的铁氧体片,将其用胶粘贴在五夹板(厚度 1.27cm)上(面积 60cm x 60cm,粘贴 10cm x 10cm 的铁氧体片 36 块),在往屏蔽室壁上安装时用手电钻先在壁上钻 4 的通孔(在 60cm x 60cm 的组体上选 5 个点,沿铁氧体片上的 6 孔钻孔),然后攻丝(M5),用 5 只 M5 的铆钉就可牢固固定此组件。角锥吸波材料待组件全部固定好(要注意铁氧体片之间的间隙要尽量小)后,用胶粘贴在铁氧体片上。

3.2 供电、照明、滤波与接地设计

3.2.1 供电设计

屏蔽半暗室及控制室、功放室、传导测试室统一由配电间供电,电源种类包括直流、交流 50Hz 和 400Hz。它们供给测量系统、受试设备、各屏蔽室照明装置的用电。

供电通常注意以下两点:

- 测量系统和受试设备尽可能分相供电;
- 三相配电时尽可能作到三相平衡。

3.2.2 照明设计

通常在暗室天花板上布置高帽式灯箱,采用高帽式的优点是避免了大功率灯泡的发热引起吸波材料的燃烧,同时电源线在屏蔽壳体外部敷设,与吸波材料完全隔离。而且灯箱维修

方便，更换灯泡只需爬到屏蔽半暗室顶上卸下灯箱侧面盖板即可。

灯泡采用功率为 500~2000 瓦左右的泛光灯。

高帽式灯箱的结构示意图见图 44：

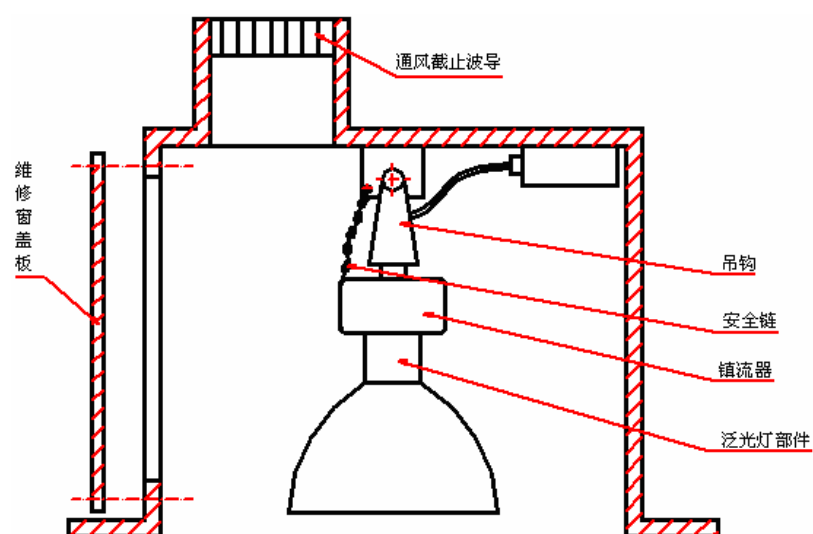


图 44 高帽式灯箱示意图

3.2.3 滤波设计

理论和实践都表明，进入屏蔽室的电源线（DC 和 AC）和信号线，都需经过滤波，这是为什么呢？从图 45 可以看出，在屏蔽室外，有相当长度的电源线或信号线起接收天线的作用，环境交变电磁场 E_1 在其上感应出电流 I ，当导线穿入屏蔽室内，它又起发射天线的作用，向室内空间辐射电磁场 E_2 ，这就使屏蔽室的屏蔽效果丧失。为此必须在导线进入屏蔽室的入口处加装滤波器，将环境场感应电流引到屏蔽壳体，然后流至大地。如图 46 所示。滤波器不可能将环境噪声电流 I 全部滤掉，正如屏蔽室不可能将环境电磁场全部屏蔽掉，前者以滤波器的插入损耗来表征滤波的有效性，后者以屏蔽效能表征屏蔽的有效性，显然两者有密切的相关性。

一个屏蔽效能高的屏蔽室，滤波器的插入损耗也必须高。通常存在两种误解，一个是认为滤波器壳体的屏蔽效能与屏蔽室的效能相同就可能满足要求，这只说对了一半，上面已说明了，滤波器的插入损耗必须与屏蔽室的屏蔽效能匹配。另一个误解是滤波器的覆盖频率与屏蔽室的覆盖频率不一致。如近年来屏蔽室的使用频率已从 10kHz~10GHz 扩至 10kHz~18GHz 甚至 10kHz~40GHz。但有的设计师对 10kHz~40GHz 的屏蔽室仍采用 10kHz~10GHz 的滤波器，如果这样做，屏蔽室在 10~40GHz 内的屏蔽效能就有问题了。

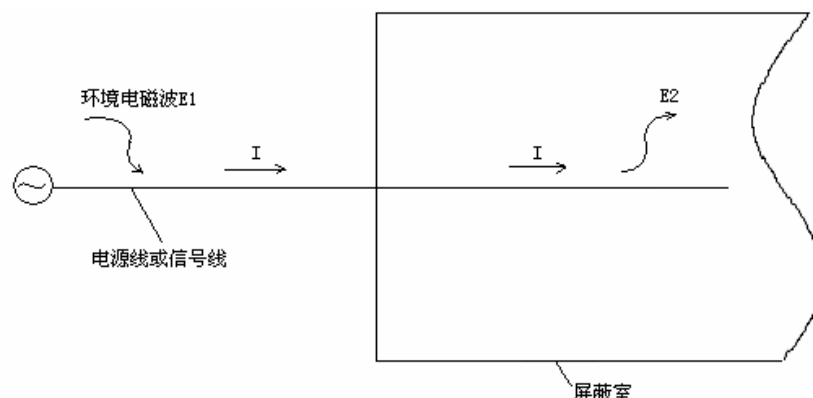


图 45 可能进入屏蔽室的环境电平

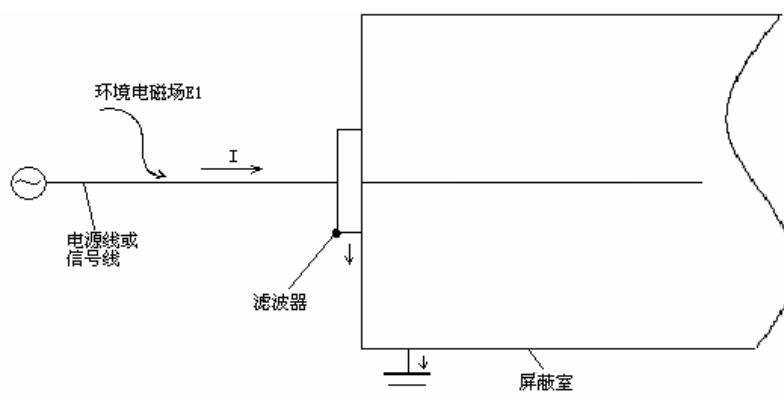


图 46 屏蔽室的接地

需要指出的是，上世纪 90 年代以前，国内屏蔽室频率范围大多只到 18GHz，以后随着国军标及民标的要求，高端已上升到 40GHz，但过去国内屏蔽室滤波器高端都只到 10GHz，结果一些屏蔽室制造厂也将这种滤波器装到 40GHz 的屏蔽室上，这显然是存在隐患的。国外在出现高端到 40GHz 的屏蔽室的同时，也有与之相配套的 40GHz 的滤波器出现，由于价格昂贵，因此国内在 1999 年开始研制，2000 年上半年研制成功 40GHz 的各种工作电流的电源滤波器和信号滤波器，并经鉴定后形成产品投入使用。

通常用于屏蔽室的滤波器有电源滤波器（AC，DC，单相，三相等）、信号线滤波器（电话线滤波器、数字信号滤波器、烟感/温感信号滤波器、摄像云台控制线滤波器、空调信号滤波器、转台/天线架控制信号滤波器等）。

电源滤波器的另一个作用是防止屏蔽室内的设备的电磁干扰进入电网，同时防止电网的电磁干扰进入屏蔽室内的设备。从这点上，它的作用就像一台设备的电源输入滤波器一样。

3.2.3.1 滤波器的技术要求

3.2.3.1.1 电源滤波器

- 在 10kHz~40GHz 频率范围内插入损耗不低于 100dB；
- 容性漏泄电流；
- 电源频率压降 5%额定电压；
- 在环境温度 -20 ~ +40 时连续工作 24 小时；
- 绝缘电阻 > 500M。

3.2.3.1.2 信号滤波器

- 在 14kHz ~40GHz 频率范围内插入损耗不低于 100dB；
- 在有用信号带宽内衰减 < 1dB；
- 输入阻抗为 300/600。

3.2.3.2 滤波器的安装注意事项

- 电源滤波器的位置尽可能靠近屏蔽室接大地点，这是出于安全考虑；
- 滤波器的输出端采用螺栓连接形成，如图 47 所示。在屏蔽室壁上开通孔（一般为 18~ 30，视不同规格的滤波器输出螺孔而定），滤波器的输出端穿过此通孔，在穿入屏蔽室壁两侧均垫双层铜丝网（100 目左右），然后用螺母拧紧；

- c) 在滤波器加电压之前，要检查屏蔽室接地点是否牢靠接地，不允许为了测量或其他目的随意断开此连接，否则可能造成电击事故。

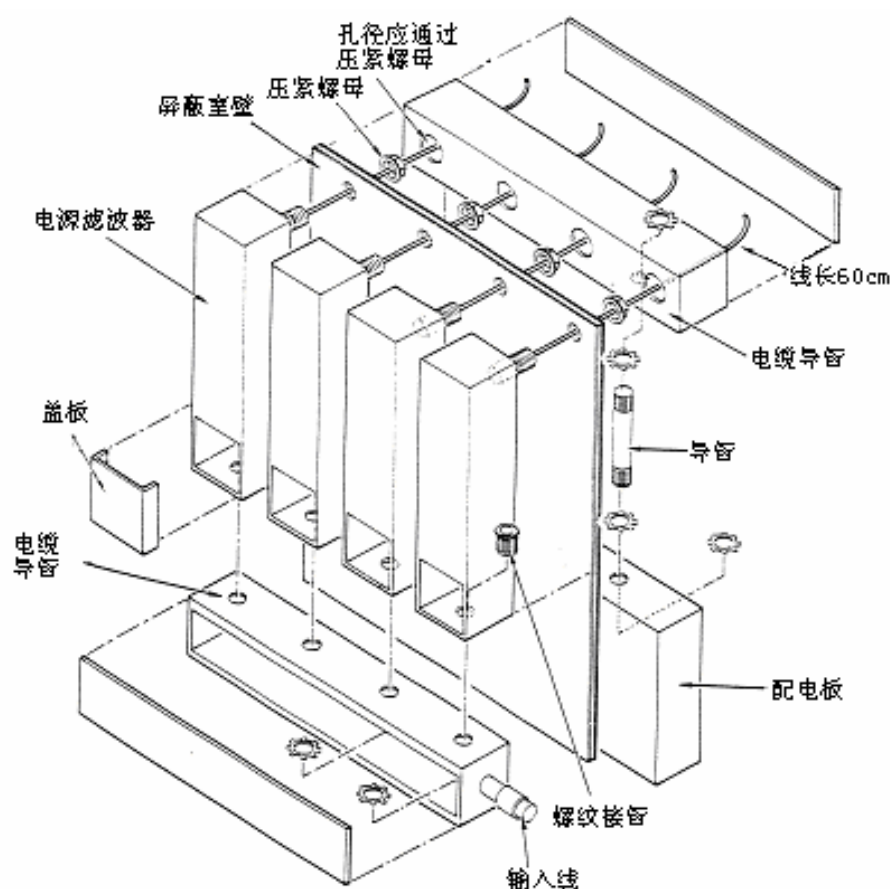


图 47 屏蔽室滤波器安装示意图

3.2.4 接地系统设计

3.2.4.1 屏蔽室接地的目的

屏蔽室应与大地相连，其目的有两个：

- 1) 给屏蔽室供电的交流（单相、三相）的中线在进入屏蔽室前需接大地，这就是所谓的“电源地”；
- 2) 屏蔽壳体与大地相连主要是出于安全性考虑，它保证当人员与屏蔽室壳体接触时不存在电击危害。此可能存在的电击危害电压来自电源线绝缘损坏、短路、雷电效应、电源滤波器容性漏电流。

3.2.4.2 单点接地与多点接地

对屏蔽室来说，要求在一点与大地相连，这就是通常所说的单点接地，这样既可满足安全性接地要求，而且在低频段可将屏蔽壳体上的射频感应电压传至大地，不致因多点接地导

致屏蔽壳体上不希望的射频电流流动。但在高频（1GHz 以上）时，由于屏蔽壳体（尤其是底面）与大地间的分布电容的阻抗很小，壳体上的高频感应电压随处均可通过此分布电容到地。因此高频时屏蔽壳体不可避免地形成多点接地，这是自然的、随机地形成的。因此可以说，屏蔽室的单点接地是人为的，而高频时的多点接地是自然形成的。

对于单点接地，常规作法是在尽量靠近屏蔽室的地方制作一个地坑，埋置接地网，见图 48。一般要求接大地电阻在 $1\ \Omega$ 左右，然后用长宽比小于 5:1 的铜带将屏蔽壳体与接地网相连，连接电阻 $< 10\text{m}\Omega$ 。为保持接地电阻始终在 $1\ \Omega$ 以内，地网应埋一定深度，老的办法是周围放木炭、食盐，并保持土壤的温度，比较新的办法是在土壤上加降阻剂，但成本要高些。

3.2.4.3 接地系统的制作

3.2.4.3.1 四个屏蔽室共用一个接地网

由于四个屏蔽室紧靠在一起，电气上、结构上已连为一体，所以不必为这四个屏蔽室分别做接地网，可以公用一个接地网。

3.2.4.3.2 接地网设计

参见图 48，接地网为栅格尺寸 $21\text{m} \times 21\text{m}$ 水平埋置在 1m 深的地中的栅（ $1\text{m} \times 1\text{m}$ ），由圆钢做成，纵横交点均焊接，在栅格区均匀配置 16 根直径 12mm 长 3m 的垂直铜棒或角钢，用铜焊与栅格焊接，每根铜棒或角钢周围土壤中加 MgSO_4 进行盐化处理。用 $50\text{mm} \times 3\text{mm}$ 截面的铜带，长度 10m ，搭接到屏蔽室接地柱上。

此铜带直流电阻为 $1.15\text{m}\Omega$ ，在 50Hz 时的阻抗为 $0.4\text{m}\Omega$ ， 1MHz 时为 $0.8\text{m}\Omega$ 。整个系统接地电阻的计算值为 $0.97\ \Omega$ 。

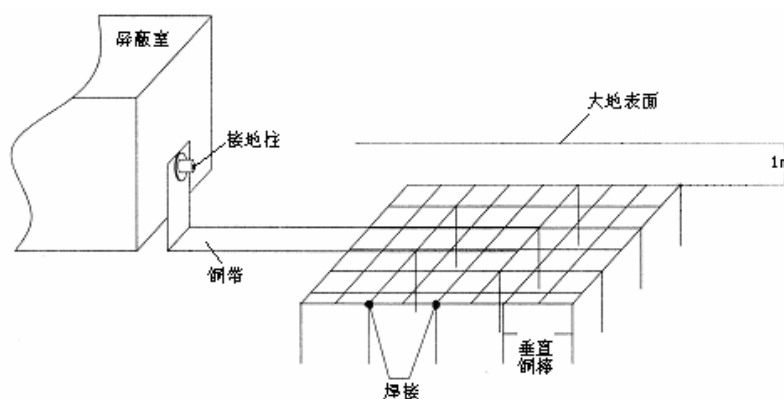


图 48 屏蔽室接地网

3.3 通风、消防、电视监测

现代化的实验室通常都配置通风空调系统和消防设备，EMC 实验室，尤其是暗室，由于吸波材料属于可燃物，且有气味，所以这两类设备更是必需配备的。我国先后发生数例暗室失火事故。从考察国外的大、中型暗室都看到其环境条件很好，既无气味，空气质量也很好，消防设备完备。如德国的 Greding（地名）暗室是欧洲最大的 EMC 暗室，采用气体灭火系统。国内的大、中型暗室也应在设计上把通风和消防作为重点之一予以考虑。

3.3.1 通风系统设计

暗室配备通风系统的主要目的有 2 个，一是排出吸波材料，尤其是粘接剂的气味，这种

气味往往在暗室竣工后很长时间内还在少量挥发,对人体有害,而且是引起火灾的原因之一。唯一的办法是加强通风。第2个目的是保证四季中有一个较好的工作环境,冬天送暖风,夏天送凉风。

由于暗室与另外几个屏蔽室布置在一起,所以采取集中通风空调系统是比较适合的方案。

进、出风口均需采用射频屏蔽窗。目前普遍采用蜂窝式截止波导窗,孔口多为六角形,少数为圆形或正方形。与屏蔽室壁的固定有螺钉固定和焊接两种方式。近年来出现一种新型屏蔽窗,它运用截止波导和加大路径衰减相结合的原理,可以大大减小风阻,克服在频率达40GHz时蜂窝孔口易堵塞的弊病。但其尺寸比传统的蜂窝式截止波导窗大些,因此适用于中、大型屏蔽室。

3.3.2 消防系统设计

3.3.2.1 火情报警系统

火情报警系统由火情自动报警系统控制器(如JB-TB-9800型,南京消防器材厂生产)和多个温感和烟感探头组成。控制器放在控制室的主控台上,在屏蔽半暗室布置若干个烟感探头和温感探头。

报警控制器为智能型模拟量控制器,采用单片机作为数据处理单元,液晶显示,实现良好的人机对话功能,具有火情记录及打印功能。

3.3.2.2 灭火系统方案

有三种可能的灭火系统可供选择:

- a) 低压二氧化碳自动灭火系统
- b) 高压二氧化碳灭火系统
- c) 自动喷水灭火系统

1) 低压二氧化碳自动灭火系统

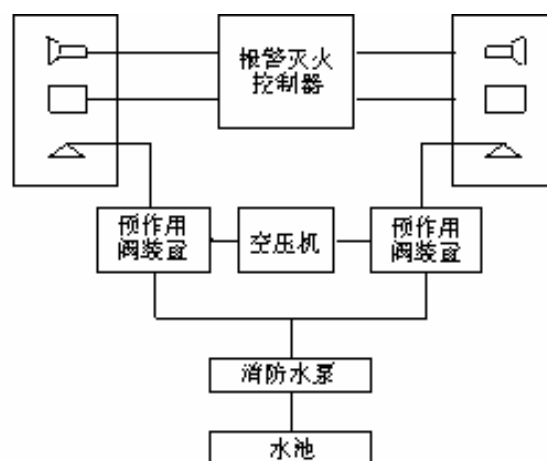
这是一种采用全淹没的灭火系统,该系统有一个固定的CO₂供给源,在规定的时间内(120秒)内,通过管道和喷嘴把CO₂气体喷射到封闭的空间内,并均匀地充满整个空间,使空气中的氧气含量低于不能燃烧的浓度。此灭火系统与上面所述的火情自动报警系统相连,可在无人到场时达到自动灭火的目的,也可由手动控制,由值班人员判定火情后再启动灭火系统。

2) 高压二氧化碳灭火系统

其灭火原理与低压CO₂灭火系统相同,所不同的是不铺设管道和喷嘴,平时不用时用高压使CO₂保持液态(在常温下),因此无需低压CO₂灭火系统一大套低温恒温装置。它占的空间要小些,可做成移动式,平时放在室外,有火警时再推到失火的现场。

3) 自动喷水灭火系统

此系统由一个水池、一套消防水泵、二套预作用阀、空压机及供水管道、喷头组成。这种水喷雾自动灭火系统组成结构见图49。



图形说明

□ 声光报警 □ 火灾探测器 △ 喷头

图 49 水喷雾自动灭火系统组成结构图

4) 三种灭火系统的比较

参见表 13。

表 13 三种灭火系统的比较

属性 类别	对吸波材料和仪器损坏	对暗室静区性能的影响	灭火效果	造价
低压CO ₂	无	较大	最佳	最高
高压CO ₂	无	无	好	中
水喷雾	损坏	较大	好	低

结论：

- 从表 13 可见，采用高压CO₂自动灭火系统比较适合，且可只配一套兼顾 4 个屏蔽室；
- 无论是低压CO₂还是高压CO₂灭火系统，通风系统的进、出风口均需设置电动闸门，在喷放CO₂之前将闸门关闭；
- 无论是低压CO₂还是高压CO₂灭火系统，在喷放前要保证室内人员安全撤离，以避免造成窒息死亡。

3.3.2.3 综合性防火设计

根据国内几个暗室失火的原因分析，可归纳以下三个致火因素：

- a) 电动装置带故障运行导致的电火花引燃附近的吸波材料；
- b) 大电流导线绝缘损坏或老化，因漏电导致附近吸波材料燃烧；
- c) 大功率照明装置的高温使附近吸波材料引燃。

因此，在暗室和屏蔽室设计中应采取全面的综合性预防火灾的设计措施，以下几点在暗室设计中应给予重视：

- a) 电源线在暗室内的敷设严格与吸波材料隔离，如实在需经过吸波材料，应将电源线敷设在钢管内；
- b) 暗室顶灯采用高帽式，其供电线在屏蔽室钢壳体外部敷设，并在钢管内，灯座内有

- 散热窗将热量传至外部空间；
- c) 暗室内大量的电线均敷设在架空地板下面，并穿钢管；
 - d) 屏蔽室(控制室、功放室、传导测试室)的电源线敷设在钢壳体与内装饰板之间时，应穿 PVC 防火管；
 - e) 吸波材料(角锥聚氨酯泡沫型)应有良好的阻燃性，订货时应抽样试验。

3.3.3 电视监测系统

电视监测系统在封闭的暗室和屏蔽室中具有独特作用，它能实时、形象、真实地反映被监视对象的画面，具体说，它具有以下功能：

- a) 监视 EUT 的运行；
- b) 监视暗室内转台、天线升降架；
- c) 观察暗室内人员情况；
- d) 监视火情；
- e) 对实验过程录像。

所以电视监测系统是一个现代化 EMC 实验室必不可少的一个辅助系统。

电视监测系统由摄像机、传输分配、控制、图像的处理与显示四部分组成。该系统是双向的多路传输系统，既要向接收端传输视频信号，又要向摄像机传送控制信号和电源。

3.3.3.1 控制方式及控制信号的传输方案选择

暗室常用的电视监测系统是一种简单的闭路电视系统，线路长度并不长，摄像机也不多(最多为 4 台，其中暗室 2 台，传导测试室 1 台，功放室 1 台)。系统应具有对电动云台、电动变焦镜头和电源的控制功能。根据实验室的实际情况，可选择直接控制方式，采用多芯电缆传输控制信号，用同轴电缆传输视频信号。

至于在闭路电视中的其他控制方式，如间接控制方式、数据编码微机控制方式适用于较大范围、多监视部位的场合，线路复杂，造价高，必要性不大。在传输方案上还有光纤传输、视频信号及控制信号共同一条同轴电缆，造价高，必要性也不大，所以都很少采用。

3.3.3.2 摄像机及附属设备的选择

电视监控用摄像机近年来已逐渐采用固体摄像器件(CCD 器件、MDS 器件)摄像机取代过去的电真空摄像器件(即摄像管)摄像机。选择摄像机时要着重考虑以下几点：

a) 摄像机照度的选择

一般要求监视目标的环境最低照度应高于摄像机要求的最低照度 10 倍以上。通常黑白摄像机监视目标最低照度不应小于 10LX，彩色摄像机最低照度不应小于 50LX。针对 EMC 测试，暗室、传导测试室和功放室要监测的目标环境照度均大于 50LX，所以选择黑白摄像机或彩色摄像机都可以，此时主要根据需要，考虑合理的效费比来决定。

b) 摄像机镜头的选择

要将被监测的目标图像清楚显示，又考虑价格，可在有的场合用变焦镜头和遥控云台，有的场合用定焦镜头和固定安装。

c) 摄像机云台的选择

云台的使用电压有交流型和直流型，交流型云台适用于定速操作下，直流型云台适用于

变速操作，速度快。

3.3.3.3 图像的处理与显示

a) 图像的处理

闭路监控电视系统对所传输的图像信息具有切换、记录、重放、加工和复制等功能。视频切换器能手动和自动编程，将所有视频信号在指定的监视器上进行固定或时序显示，也可以进行图像混合、画面分割、字幕叠加等处理。为了加强火灾的监控和其它安全问题的监视，视频切换器应具有与报警控制器联网的接口，当报警发生时切换出相应部位的摄像机图像，并能进行记录和重放，以便分析处理所发生的事故。

b) 图像的记录和重放

闭路监控电视系统采用录像机实现记录和重放功能，这种录像机的特点是能长时间录像（目前普遍使用 24 小时录像），可以快速和静止重放所记录的画面，而且具有遥控功能，系统可以对录像机远距离操作，或利用系统中的控制信号自动操作录像机。

c) 图像的显示

暗室宜选用彩色监视器，以便于观察实验区的工作情况和暗室的全景，监视器的清晰度应不低于摄像机的清晰度，以便充分发挥摄像机的功能。

3.3.3.4 摄像机的布置

a) 位置选择的标准

- 1) 摄像机的位置不要离接收天线太近，以免摄像机的电磁干扰进入接收天线；
- 2) 摄像机的位置不要离发射天线太近，使其所在位置的场强 $<3V/m$ ，这样就不必配置抗扰度高的摄像机，此摄像机（如可承受 $100V/m$ 场强的）价格贵，而且对发射天线产生加载效应。

- b) 摄像机位置尽量避开暗室的镜面区。实在避不开，摄像机的支架及支杆选用非金属材料。

c) 监测部位。

- 1) 屏蔽半暗室
在转台边缘放一台移动式摄像机，固定是非金属支架上。
在靠转台的暗室角上放一台带有旋转云台的摄像机，固定是非金属悬臂支杆上。
- 2) 传导测试室
在对着 CS 测量系统的侧壁上放一台带旋转云台的摄像机。
- 3) 功放室
在对着放大器的侧壁上放一台摄像机。

3.3.3.5 设备选型

目前市场上电视监控系统的种类繁多，有进口的，也有国产的，表 14 可作为参考。

表 14 电视监控系统设备选型

序号	名称	型号	厂家	主要技术指标	台数
1	摄像机	MV-CPG50	松下	480 线、0.9LX、带三可变、10 倍镜头、红外光源	4
2	矩阵切换控制器	WJ-SX380/CH	松下	多路输入、输出、可编程控制	1
3	云台	FTH-302	台湾	室内直流型变速方向云台	2
4	监视器	LG-17	韩国	17 彩色监视器，分辨率为 1024 × 768 或 1280 × 1024	1
5	录像机	AG-TL300	松下	24h 长时间录像	1