

# 电磁兼容性测试

## 前言

各类电子设备带给人类生活无限方便，却也造成复杂电磁噪声环境。国际及各国陆续制订相关的电磁兼容标准，要求电子电机设备相关产品必须符合辐射干扰与传导干扰发射规格，以及辐射耐受性与传导耐受性规格。国内各类电子企业为使产品达到国际 EMC 要求，促使 EMC 测试场地快速成长，大型企业都趋向自行筹建 EMC 实验室。为了验证电子电机设备 EMC 设计是否良好，必须在研发之整个过程中，对各种电磁干扰源之发射干扰、传输特性及受干扰设备能否负荷耐受性测试，验证设备是否符合相关电磁兼容性标准和规范；找出设备设计及生产过程中，在 EMC 方面之盲点。在客户安装和使用设备时，提供了既真实又有效之数据，因此，EMC 测试是 EMC 设计所不可或缺之重要环节。本文将针对 EMC 测试最新之军规、商规、车辆规范等作一比较分析测试方法差异及相关经验。

表一 . 常见美军军规，欧美商规及车辆用电磁干扰(EMI)测试项目摘要比较

电磁干扰测试 EMI	传导放射 CE	MIL-STD-461D	EN/IEC-欧联	FCC-美国	车辆-全车或零组件
		RE <td>CE-101, 30Hz~10KHz 电源线 CE-103, 10kHz~10MHz 电源线, 电压量测 CE-06(VBW) 天线端 10kHz~40GHz</td> <td>传导干扰与辐射干扰 EN550-11 工业, 科学与医疗仪器 EN550-13 广播接收机 EN550-14 家电及手工具产品 EN550-15 灯具类产品 EN 550-22 资讯类产品 EN61000-3-2 电流谐波 EN61000-3-3 电压变动与闪烁</td> <td>传导干扰与辐射干扰</td> <td>传导干扰与辐射干扰 CISPR 12 SAE J551C 72/245/EEC 95/54/EC PART 15J PART 18</td> <td>SAE J1113-23(扁条式天线) SAE J1113-25(平行板天线)</td>	CE-101, 30Hz~10KHz 电源线 CE-103, 10kHz~10MHz 电源线, 电压量测 CE-06(VBW) 天线端 10kHz~40GHz	传导干扰与辐射干扰 EN550-11 工业, 科学与医疗仪器 EN550-13 广播接收机 EN550-14 家电及手工具产品 EN550-15 灯具类产品 EN 550-22 资讯类产品 EN61000-3-2 电流谐波 EN61000-3-3 电压变动与闪烁	传导干扰与辐射干扰

表二. 常见美军军规，欧美商规及车辆用磁用耐受性(EMS)测试项目摘要比较

电磁耐受性测试 EMS	传导耐受性 CS	MIL-STD-461D	EN/IEC-欧联	FCC-美国	车辆(全车或零组件)
		CS	CS-101, 30Hz~10KHz, 电源线, Pmax=80W CS-103, 15KHz~10GHz 交互调变 CS-104, 30Hz~20GHz 消除不要讯号 CS-105, 30Hz~20GHz 交叉调变 CS-109, 60Hz~100KHz 结构电流 CS-114, BCI, 10KHz~400MHz CS-115, BCI, 10KHz 脉冲激发 CS-116, 阻尼式弦状波暂态	IEC 1000-4-2 ESD 静电放电 IEC 1000-4-3 辐射耐受性 IEC1000-4-4 快速暂态与丛讯 IEC1000-4-5 雷击突波耐受性 IEC 1000-4-6 传导耐受性 IEC 1000-4-8	不适用

辐射 耐受 性 RS	RS-101,30kHz~100kHz 磁场量测	电源频率磁场 IEC 1000-4-11 瞬降瞬断电压	95/54/EC ISO 10605(静电放电)
	RS-103,10kHz~40GHz 电场量测		
	RS-105 暂态电磁场		

### 电磁兼容性测试范围与所采用之标准和规范

依据相应之电磁兼容性标准和规范，电磁干扰(EMI)及电磁耐受性测试(EMS)在不同频率范围内，采用不同之方式进行。基于任意电子电机设备既可能是一个干扰源，也可能是被干扰者。因而，电磁兼容性测试包含电磁干扰测试(EMI)及电磁耐受性测试(EMS)。由于电磁兼容性测试种类太多，实在无法逐一详细说明，本文就表 1 及表 2 摘要列举了几个典型 EMC 测试标准和规范(含常见美军军规、欧美商规及车辆用 EMC 标准)，在不同频率范围中之测试项目，从军规 EMC 标准之演变，就可观察到欧美商规 EMC 标准之趋势。近年来，车辆工业界面对二十一世纪车辆设计新颖要求，纷纷成立车辆研发中心，由于国内主要汽车制造厂均需符合相关车辆用 EMC 标准和规范，因此更需了解比较车辆 EMC 设计与测试验证之方法。

此二表中 CE 表示可以传导发射(Conducted Emission)，CS 表示传导耐受性(Conducted susceptibility)，RE 表示辐射发射(Radiated Emission)，RS 表示辐射耐受性(Radiated Susceptibility)。一般电磁干扰(EMI，包括 CE 及 RE)测试主要内容有：电子电机产品和设备在各种电磁杂讯环境中之传导干扰和辐射干扰发射量之测试(例如电子电机设备之交换式电源之脉冲干扰和连续干扰)及各种讯号传输时，干扰传递特性之测试(例如如各种传输线之传输特性和屏蔽效果)。

而电磁耐受性(EMS，包括 CS 及 RS)测试主要内容则有：

1. 对电场、磁场之辐射耐受性测试
2. 对电源线、控制线、讯号线、地线等注入干扰之传导耐受性测试
3. 对静电放电和各种暂态电磁波(突波或电性快速暂态)之耐受性测试

EMC 测试场地之一般要求：

如何有效地量测出实际待测产品设备溢出之杂讯，与产生类似 EMI 之干扰源，用来验证待测产品设备之电磁耐受性，都是 EMC 工程人员所必须掌握。因此，为了模拟复杂电磁杂讯环境及保证 EMC 测试结果之重复性、准确性和可靠性，EMC 测试对环境有较高之需求，测试场地可分为隔离室(包含 TEM/GTEM Cell 等积向电磁波 EMC 测试室)、电波暗室和室外开放测试区之场地(open Area Test Site, OATS)等。这些 EMC 测试场地之功能、建材和限制条件简述如下

：就隔离室而言，隔离室之作法一方面是对外来电子电机干扰加以屏蔽，从而保证室内电磁杂讯环境满足要求，另一方面是对内部如天线等发射源进行屏蔽而不对外界造成干扰。

MIL-STD-461 及其它相关电磁兼容性标准规定，许多测试项目必须在隔离室内进行，隔离室为一个由金属材料做成之六面体，其建材形式为镀锌钢板式、铜网式、多层复合板板式等等不胜枚举。影响隔离室性能之主要原因有：屏蔽门、屏蔽材料、电源滤波器、通风波导、安装及焊接接缝、接地等。从屏蔽效益来看，钢板式最好，在 10kHz 至 18GHz 频率范围，可满足屏蔽效益 80~120dB 之要求。在使用隔离室进行电磁兼容性测试时，要注意隔离室之共振及反射。根据电磁理论，隔离室是一个很大之方形波导共振腔，具有一系列之电磁共振频率，当隔离室发生共振时，将会影响屏蔽效益及测试结果，隔离室基本共振频率公式为：

$$f(\text{MHz}) = 150 \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2} \dots (1)$$

式中 f 为共振频率(MHz)，a, b, c 为隔离室之长、宽、高度(公尺)；m, n, p 为 0 及正整数，三者中最多只能一个为零，对于 TE 波 m 不能为零，举例来说，商规长、宽、高 9\*6\*6 立方公尺之隔离室基本 TE101

波之共振频率约为 30MHz。由式(1)可见,隔离室有许多个共振频率,当隔离室共振时,其屏蔽效益大幅下降,并且会造成很大之测试误差,因此在进行 EMC 测试时应避免这些共振频率。天线等发射源将会在隔离室壁上产生多重反射,从而影响测试结果,往往误差大到 30~40dB,为此在条件许可之各种状况下,在体积较大之隔离室内进行测试,同时使待测件在保证入射为平面波之前提下,缩短待测件与接收天线之距离,对于最近之反射路径,针对反射点局部加贴吸波材料,可以减少反射波。

就电波暗室(全电波暗室或半电波暗室)而言,全电波暗室是针对一般隔离室各内壁面反射,将会影响测试结果,因而在六个壁面上,加装吸波材料而形成之隔离室(为了模拟室外开放测试区之场地测试,接地地板上不贴吸波材料之电波暗室称为半电波暗室)。吸波材料一般采用介质损耗型(如聚氨脂类之泡沫塑料,亚铁磁砖等),为了确保其耐燃烧特性需在碳酸溶液中渗透,吸波材料通常作成圆锥状、棱角锥状及方楔形状,以保持连续渐变之焦耳阻抗。军规 MIL-STD-462D 对吸波材料之最小吸收量有所规定,即频率 80MHz~250MHz 至少 6dB,频率大于 250MHz 则至少 10dB 以上。而为了保证内部测试场之均匀,吸波体之长度相对于隔离室工作频率下限,所对应之波长要足够长(1/4 波长效果较好),吸波体之体积也会限制吸波材料之有效工作频率(一般在 30MHz 以上)减小了隔离室之有效空间,电波暗室之屏蔽效益要求与隔离室相同。此外,商规 EMC 测试对电波暗室之场地衰减(Site Attenuation, SA)规定 NSA(Normalized SA)要在理论值 $\pm 4$ dB 之范围;对电波暗室内部测试场强之均匀度,则要求执行 16 点场强之均匀度校正试验,此试验之测试方法详加说明如图,发射天线与待测场强之均匀面(1.5m $\times$ 1.5m)相距 3 公尺,16 点均匀面正方形(4 点 $\times$ 4 点,点距 0.5m)场强之均匀度,至少要求其中 12 点(75%)要符合规格需求,这种测试方法与 1993 年版之军规 MIL-STD-462D 要求相当就室外开放测试区之场地(OATS)而言,开放测试区之场地通常用于精确测量待测件之发射极限值,OATS 要求平坦开阔,远离建筑标地、塔台、电线、树林、地下电缆和金属管道,环境电磁干扰背景要很小(如一般电磁兼容性标准和规范要求至少低于允许之极限值 6dB),接地地板可为钢板或其他低阻金属结构,场地尺寸在不同之 EMC 标准和规范要求不尽相同。

#### EMC 测试所需基本仪器之要求及其配备

在前节所述 EMC 测试场地执行 EMI/EMS 测试时,所需基本仪器之要求及其配备,随着不同频率范围中之测试项目而有所差异,图划出典型 EMI/EMS 测试组合示意架构,其中测试所需不同仪器之基本配备则如下列说明。

1. 隔离室屏蔽效益(Shielding Effectiveness, SE)测试所需仪器之基本配备参考 IEEE-299-1997 和 MIL-STD-285 等测试隔离室屏蔽效益之标准,在不同频率范围内将隔离室屏蔽效益分为磁场屏蔽(低阻抗场),电场屏蔽(高阻抗场)平面波电磁场屏蔽和微波屏蔽,其测试仪器之基本配备为:频谱分析仪或 EMI 测试接收机、场强监视系统、各类讯号产生器、功率放大器、各类衰减器、定向耦合器及各类发射、接收天线(棒状天线、环路天线、对数螺旋天线、喇叭天线等)及输出变压器。
2. 电磁干扰 EMI 测试所需仪器之基本配备需求

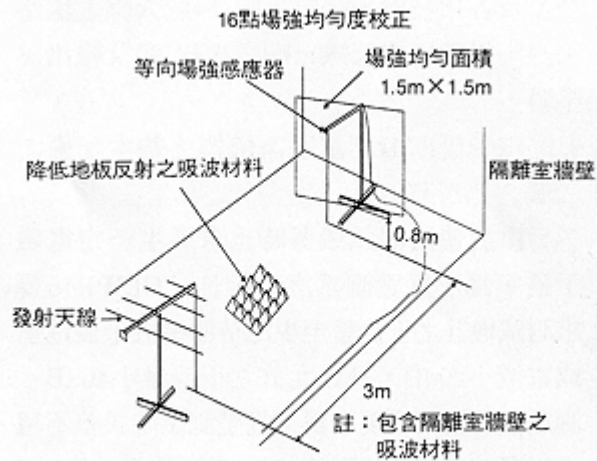


圖 1 場強均勻度校正測試架構

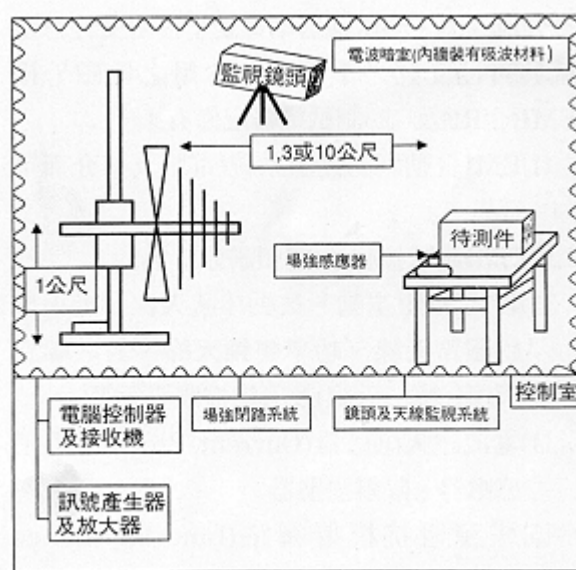


圖 2 典型EMI/EMS測試架構

由于使用测试仪器时也会产生一定电磁干扰，为了保证测试之准确性，CISPR16 要求测试仪器之干扰量至少比待测装置干扰电压或电流小 20dB，且比允许之干扰量小 40dB。测试仪器精确度要求为：电压测试时误差不超过正负 2dB，场强测试时误差不超过正负 3dB。测试仪器之屏蔽效益至少要有 60dB，测试仪器接入测试系统后，既不应改变被测电子电机设备之工作状态，也不应对被测干扰源有分压分流效应，测试仪器本身之干扰耐受性应远低于可能受到之干扰量。常用之电磁干扰 EMI (含 RE 及 CE) 测试仪器配备有：

- EMI 自动测试控制系统(电脑及其介面单元)
- EMI 测试接收机(或频谱分析仪)
- 各式天线(主动、被动棒状天线、大小形状环路天线、功率双锥天线、对数螺旋天线、喇叭天线)及天线控制单元等
- 电流注入感应器(Current Probe)、电压感应器、隔离变压器

- 电源阻抗模拟网路(Line Impedance Stabilization Network, LISN)贯穿电容, 储存式示波器, 各型滤波器、定向耦合器等

3. 电磁耐受性(EMS)测试仪器之基本配备需求常用之电磁耐受性 EMS(含 RS 及 CS)测试仪器之基本配备需求有:

- EMS自动测试控制系统(电脑及其介面单元)
- EMI测试接收机(或频谱分析仪)
- 各式发射、接收天线
- 讯号产生器 2 功率放大器、场强监视系统
- 储存式示波器, 注入隔离变压器, 各型滤波器、定向耦合器
- 电源阻抗模拟网路, 射频抑制滤波器, 光纤数据传输系统

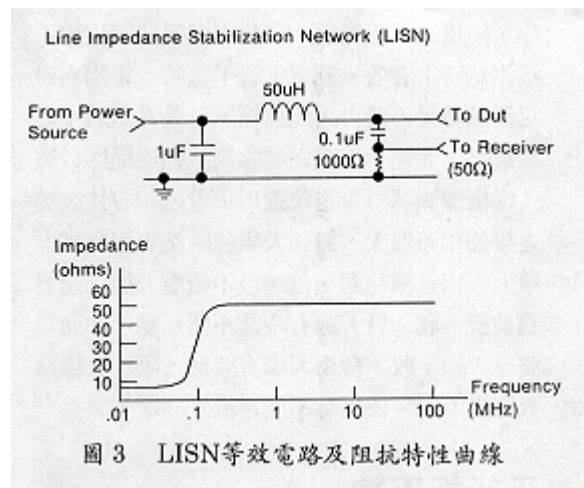
4. 简介常用之 EMC 测试重点仪器和设备电磁兼容性测试除了通用测试仪器外 还需许多特殊仪器和设备, 下面将简介一些电流感应器、电源阻抗模拟网路、EMI 测试接收机、频谱分析仪、各式发射接收天线、平行板线、及 TEM/GTEM Cell 等横向电磁波测试室等主要仪器设备之工作原理和使用特点。

### 电流感应器

电流感应器是引用荷尔效应(Hall effect), 从流动导线之电流穿过电流感应器产生磁场, 执行 CE101/CE102 等传导干扰测试时, 利用电流感应器来感应侦测导线所溢放射出之杂讯。

### 电源阻抗模拟网路(LISN)

电源阻抗模拟网路是一种耦合电路, 主要用来提供乾净之 DC/AC 电源品质, 阻挡待测件杂讯回馈至电源及 RF 耦合, 内部电路架构与阻抗特性曲线详如图。早期军规传导干扰测试是以 10 厉贯穿电容为主, 电源阻抗模拟网路(LISN)为辅, 1993 年以来, 军规 MIL-STD-462D 要求改以 LISN 为主, 所用导电桌或木桌上接地平面(Ground Plane)皆配备 LISN 作测试, 而 CISPR 商规要求所用木桌上也配备 LISN 作测试。



### EMI 测试接收机

EMI 测试接收机是 EMC 试验中最常用之基本测试仪器, EMI 测试接收机实际上是含高频选频放大之超外差接收

机, 其灵敏度可通过输入回路之可调衰减器来调变, 由于测试讯号输入常常是极宽之频谱讯号, 运用可调谐高频选择器对输入讯号进行预选, 可以改善混频器之工作状况, 中频放大器和中频选择器用来确定仪器之通行频带, 并对讯号进行功率放大。基于测试接收机之频率响应特性要求, 按 CISPR16 规定, 测试接收机应有四种基本检波方式: 准峰值检波、均方根值检波、峰值检波及平均值检波。然而, 大多数电磁干扰都是脉冲干扰, 它们对音频影响之客观效果是随着重复频率之增高而增大, 具有特定时间常数之准峰值检波器之输出特性, 可以近似反应这种影响。因此在无线广播频率领域, CISPR 所推荐之电磁兼容性规范采用准峰值检波。由于准峰值检波既要利用干扰讯号之幅度, 又要反映它之时间分布, 因此其充电时间常数比峰值检波器大, 而放电时间常数比峰值检波器小, 对不同频段应有不同之充放电时间常数, 这两种检波方式主要用于脉冲干扰测试。瞬间变化及重复频率很低之脉冲干扰源已成为主流, 使用准峰值检波器已不能客观评估此类干扰之特性, 军规测试 EMC 对于单一脉冲或重复频率很低之脉冲进行检测, 常用峰值检波, 由于峰值检波是要测试出干扰讯号振幅之最大值, 故它只取决于讯号之幅度

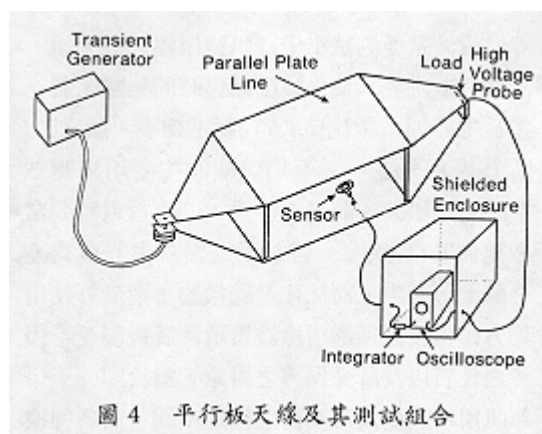
而与时间无关，其充电放电时间常数比值  $TC/TD$  要足够小，通常  $TC/TD$  为几百分之一。平均值检波主要用来测试窄频之连续波、调谐波干扰，其充放电时间常数比值  $TC/TD$  为 1。

若是干扰经常由许多独立之脉冲源产生，而往往是随机的，则最好使用均方根检波器。选用检波器取决于被测受干扰源之性质以及所受保护之对象，对于同一干扰杂讯用不同检波器测得之值是不同，而各种检波器对脉冲干扰之相对响应也是不同。但将测试数据通过转换后，仍可得出一致之结果，有些接收机只有峰值或准峰值检波器，此时只需通过准峰值或峰值转换器转换，就能满足不同之测试要求。

### 频谱分析仪

频谱分析仪之检波器为峰值检波，因而满足军规 EMC 测试要求，但不符合欧美 EMC 商规及我国电磁兼容性国家标准(CNS13430 系列)规定之极限值测试。为此必须在输入端配备预选器(Preselector)以防止混频器饱和，改善频谱分析仪之 S/N 比，提高灵敏度，并且在中频输出端配备准峰值转换器或检波器。则系统灵敏度、动态范围也提高，就可以满足军规 EMC 测试及 CISPR 标准测试。

EMI 测试接收机与频谱分析仪两类设备各有优缺点：测试接收机之优点有测试准确度高、动态范围大、频率分辨率高、灵敏度高、互调干扰小及有四种基本检波方式；缺点就是不能像频谱仪分析仪在很宽之频率范围内展开观察，而对被测讯号无法快速进行频谱分析和振幅测试。频谱分析仪之优点是能在很宽广之频率范围内观察而迅速地对被测讯号进行频谱分析和振幅测试、测试设备相对简单及测试比较方便；缺点就是测试准确度相对差一些、频率分辨率较低、互调干扰大、选择性较差及只有单一峰值检波方式。



### EMC 测试用天线

电磁兼容性测试频率范围从几 10Hz 到几 10GHz，在这么宽之频率范围内作电磁干扰及电磁耐受性测试，所用天线种类繁多，且必须借助各种探测天线把被测场强转换成电压。电磁兼容性试验中各频段优先使用之天线，包括在 150Hz ~ 30MHz 采用棒状与环路天线，30MHz ~ 300MHz 采用偶极与双锥天线，300MHz ~ 1GHz 采用偶极、对数周期及对数螺旋天线，1GHz ~ 40GHz 采用喇叭天线，这些天线之相关参数与理论可参考制造厂商提供天线出厂之资料。电磁兼容性测试用天线具有下列特点：广泛的应用到宽频带天线，为了提高测试速度，不得不采用宽频带天线，除非只对少数已知之干扰频率点进行测试。宽频频带天线在出厂前提供校正曲线，使用时需输入此天线因素。天线增益不高，方向性不甚明显。不少试验用天线都工作在近场区，测试结果对测试距离很敏感，为此试验中必须严格按试验规定进行。其次，在近场区电场、磁场之比(波阻抗)不再是常数，所以有些天线虽然给了电场、磁场之校正系数，但只有当这些天线作远场测试时才有效，测试近场干扰时，电场与磁场测试结果不能再按此换算，这是在试验中容易忽略之问题。天线之场强测试动态范围较宽，应根据测试对象正确选用，电磁兼容性试验之场强相差很大，对强大场强虽然可用衰减器扩大天线量测范围，但应以不损坏天线转换器为前提。收、发天线有时是不能互易，如同为双锥天线，收、发用天线有区别，收、发环路天线也不同，使用时不能互换。

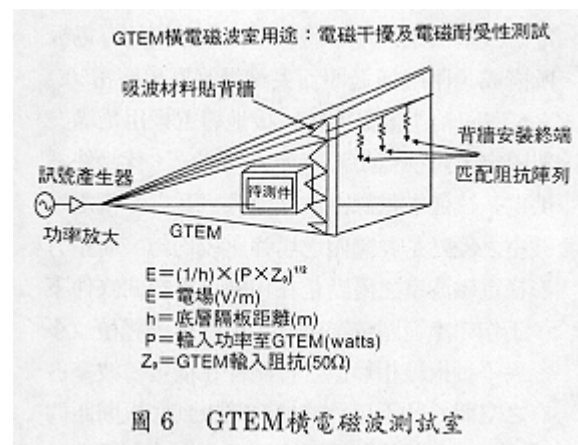
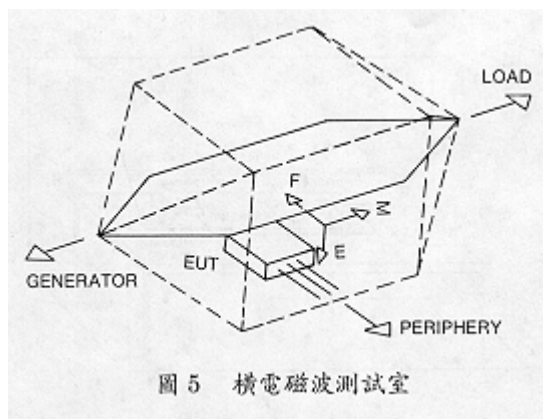
### 平行板天线

车辆零组件执行电磁场辐射耐受性试验(ISO 11452-6)时,需要均匀横电磁波之测量环境。利用平行板线,在其一端接相应之讯号产生器与功率放大器,另一端接匹配负载,可在两平行板间产生横电磁波之行波状态(详见图)。当两板间距为  $d$ , 所加电压为  $V$  时,平行板之电场强度  $E$  为  $E = V / d$  (2)

平行板线之工作频率与终端负载之匹配情况有关,而且与平行板之间之距离  $d$  成反比,距离越大,上限工作频率越低。随频率上升,传输讯号之  $1/4$  送到平行板间距  $d$  时,平行板在其开放之侧面将产生强烈辐射,以致于影响周围其它测试设备之工作,甚至危害试验人员之健康。

因此,当其内部电场较强时,应将其放在电磁隔离室内,或在其开放之侧面布置适当之可移动吸波材料墙。当频率进一步提高时,板间将出现高次模,使板间电磁场发生畸变,一般把出现高次模之频率定为平行板线之上限频率。当待测件置于平行板时,原来之均匀电场将发生畸变,为此通常规定待测件之体积应小于两板中间体积之  $1/3$ 。与一般采用辐射天线对待测件进行电场辐射耐受性试验相比,平行板线有下列优点:可在宽频段范围内产生平面波场;所有能量集中在平行板间,因而电磁能量利用率高,不需很大瓦特数之功率讯号放大器就可在板间产生高于  $25V/m$  之场强(车辆零组件规格);平行板线之造价与其它产生场强,用以进行电磁耐受性试验之方法和装置相比,成本较低。其主要缺点是:仅适用于如车辆零组件等小型设备之试验,对周围之辐射较为严重,影响监测仪器之功能及操作人员之健康。这些缺点限制了应用,从 1980 年以来,平行板线已逐渐被横电磁波室所取代,但在电磁脉冲(EMP)研究中,仍将其作为场强模拟装置。

### 横电磁波室 (TEM/GTMM CELL)



横电磁波(Transverse Electro Magnetic, TEM)室是利用传输线原理,由同轴线演变而来,一种内部能传输均匀横电磁波之长方形测试室。它是电子电机设备电场辐射耐受性试验之理想装置,除了可进行射频连续波耐受性,脉冲波耐受性试验外,还可用于测试电子电机设备所产生之辐射干扰,及作为对各种近场测试探夹(如电流注入感应器、电压感应器、场强感应器等)进行校正用之标准场源装置。图 为横电磁波室之示意图,如图所示,横电磁波室由矩形外导体和平板中心接地导电板所构成,两端通过四面尖锥过渡区与精密 50 呎冷型同轴连接器连接,接地导电板用绝缘支架固定,将横电磁波室分成两部分。待测件之供电系统通过电源滤波器进入,长方形横电磁波室之优点是腔体内之场强比较均匀,而正方形横电磁波室之优点是在相同可用空间条件下,工作频率范围较宽,所需用料省,体积较小。与平行板线相类似,待测件在横电磁波室占有之空间一般不超过接地导电板到底板间距的三分之一和前后壁板间距的三分之一,横电磁波室之工作频率与终端负载之匹配情况有关,上限频率依赖于接地导电板到上下底板间距之尺寸,而且与接地导电板到底板间距  $d$  成反比,距离越大,上限工作频率越低。为了使横电磁波室之工作频率提高到 1GHz 范围,于是 GTEM(Gigahertz TEM)横电磁波室因应而生,它之外型是斜面角锥状,详加说明如图,待测件放置方式与 TEM 横电磁波室类似,如图所示,有各种不同之终端负载,因为

工作频率与终端负载之匹配情况有关,目前欧美 EMC 商规已经广泛应用 GTEM 横电磁波室来执行辐射发射与辐射耐受性测试。

### 典型军规、商规之电磁兼容性测试

无论是美军军规、欧美商规或车辆用电磁兼容性测试标准与规范,都对 EMI/EMS 各类试验,就仪器之配备、场地布置、试验步骤、连接方式等都有严格之规定,试验时应严格按照规格要求执行。由表及表摘要得知电磁兼容性测试种类太多,实在无法逐一详细说明,因此下面列举了几个典型 CE、RE、CS 及 RS 等 EMC 测试之试验方法。

电源线传导干扰发射测试(Conducted Emission, CE)

参考规格: MIL-STD-461D/462D, CE102(10kHz ~ 10MHz), 规格极限如图 7

FCC Part 15 (450kHz ~ 30MHz)

CISPR Pub 22 (150kHz ~ 30MHz)

从规格极限图就可知道以上各种 CE 规格之差异,实际摆设、电缆、引线和接地平板间之最小间隔亦有些差异,其中细节相关规格皆有阐述。

电源线传导干扰测试目的:待测件所有适用于上列参考规格之频率范围内交直流电源输入和输出线(包括设备内部不接地之中线)之传导干扰测试。

电源线传导干扰测试所需配备:如图 8 所示,以 CE102 为例,电缆、引线和接地平板间之最小间隔为 5cm,从待测件 LISN 或到贯穿电容之电源线长度不超过 2cm,待测设备之每条电源线,从导线分界处到 LISN 或贯穿电容器之长度是 2m,根据测试系统之灵敏度及宽频带测试要求选用阻抗匹配变换器和滤波器。

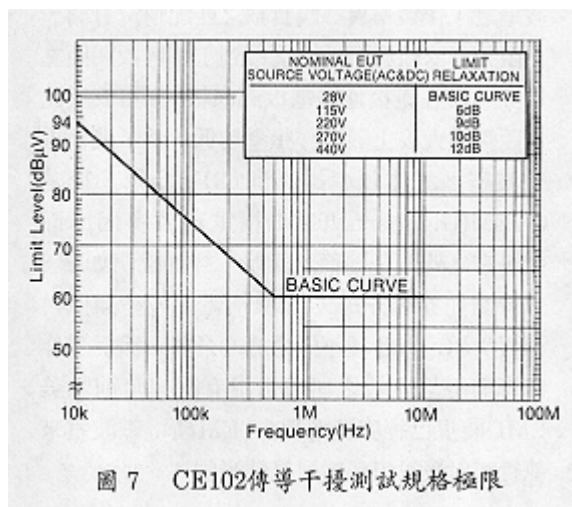


图 7 CE102 传导干扰测试规格极限

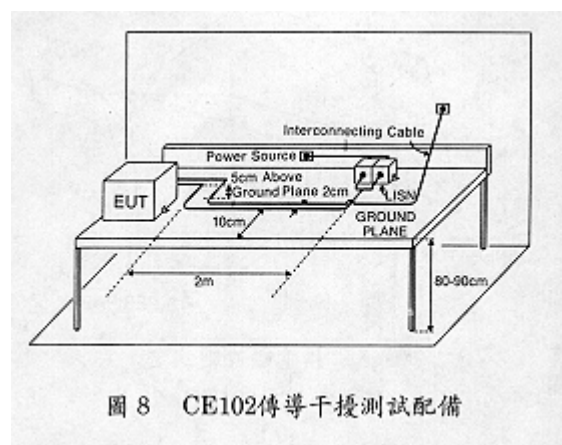


图 8 CE102 传导干扰测试配备

电源线传导干扰测试步骤:将电流探夹沿每根电源线之导线分界处到 LISN 或贯穿电容器之线段上移动,以使频谱分析仪或测试接收机之读数最大,并记录读数,所得结果与规格极限图比较即可知道是否合格。

电场辐射干扰发射测试(Radiated Emission, RE)

参考规格: MIL-STD-461D/462D, RE102 (10kHz ~ 18GHz)

FCC Part 15 (30MHz ~ 1GHz)

CISPR Pub 22 (30MHz ~ 1GHz)

电场辐射干扰测试目的:测试电子电机、电气和机电设备及其组件所辐射之电磁发射,包括来自所有组件、电缆及连接线上之杂讯发射。它适用于发射机之基本波发射、假

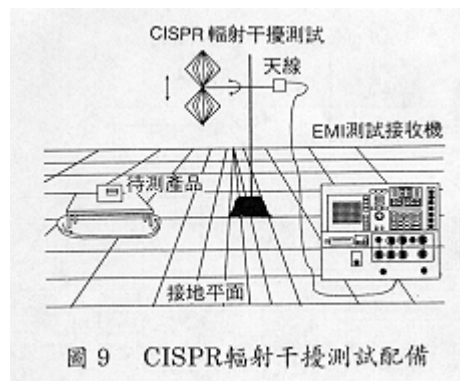


图 9 CISPR 辐射干扰测试配备



电讯发射、振荡器发射及宽频带发射，但不包括天线之辐射发射与交连导线上之电场辐射。

电场辐射干扰测试所需配备：如图 9 所示，按照待测件之性质，可分为桌上型配备及落地型配备。以 CISPR Pub 22 之开放空间测试为例，旋转台上木桌高度 80 公分，天线与待测件距离 10m，在 1m 至 4m 间升降天线，同时待测件应在转台上旋转，找出最大辐射点。对不同频率，选择相应之测试天线，以上电场辐射试验亦可在隔离室内进行之。

传导耐受性测试 (Conducted Susceptibility, CS)

参考规格：MIL-STD-461D/462D, CS102(10kHz ~ 10MHz) IEC 1000-4-6(150kHz ~ 30MHz)

传导耐受性测试：如图 10 所示，以 IEC1000-4-6 为例，RF 电压直接注入电源线或讯号线，试验水准有三种 1、3 及 10V；频率范围是 150kHz ~ 80MHz，使用耦合 / 去耦合網路，可加振幅调变。

电场辐射耐受性测试 (Radiated Susceptibility, RS)

参考规格：MIL-STD-461D/462D, RS103(10kHz ~ 18GHz)，IEC 1000-4-3(80MHz ~ 1GHz)

电场辐射耐受性测试：如图 11 所示，以 IEC1000-4-3 为例，测试设备对于规定频谱成分和规定强度之电场辐射场之耐受性。RF 讯号经由天线辐射 RF 功率，对试件产生干扰，干扰频率范围在 80MHz ~ 1GHz 试验水准分 1V/m, 3V/m, 10V/m；试验方向包括前、后、左、右(上、下)，使用无线电波反射室(需符合 16 点均匀场之规定)，试件至天线距离 3 米，可加振幅调变。

电场辐射耐受性测试 (横电磁波室法, 10kHz ~ 200MHz)

参考规格：ISO 11452-3(10kHz ~ 200MHz)

横电磁波室电场辐射耐受性测试：以 ISO 11452-3 为例，如图 12 所示，使设备尽可能置于接近地电位处，待测件尺寸最好符合三分之一原则，连接线和电源线保持在底板上面 4 ~ 6cm 处。待测件应在它直立位置之两个方向上进行测试，一个方向使设备前面板，沿着横电磁波室长度方向。另一个方向使设备之前面板，对着锥形过渡段方向。设定对待测件耐受性之频率和最小场强或按规定之极限值作耐受性试验，试验频率不应超出正常工作频率范围。

### 其他较常用之电磁耐受性测试

静电放电耐受性测试 (ESD)：参考规格 IEC 1000-4-2 (如图 13 所示静电放电波形)，模拟人体所带静电对产品之影响。试验点包括所有接触面(如图 14 所示)，空气放电加至 15kV，接触放电加至 8kV(含垂直与水平耦合)，试验次数分正负极性，至少各放电 10 次，试验间隔一般约 1 秒钟，静电放电测试前后要同时监测待测件功能是否正常，以判定是否合格。电性快速暂态耐受性测试 (EFT/Burst)：参考规格 IEC

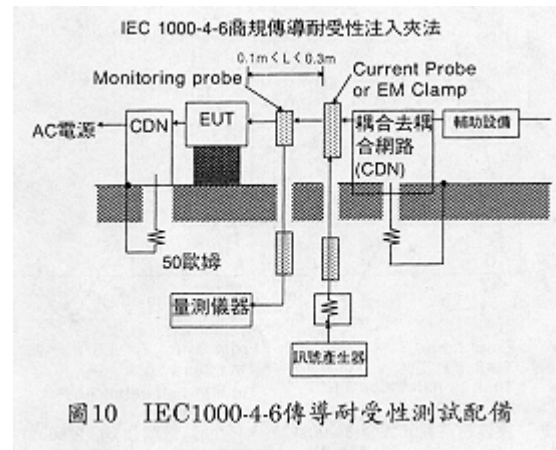


圖 10 IEC1000-4-6 傳導耐受性測試配備

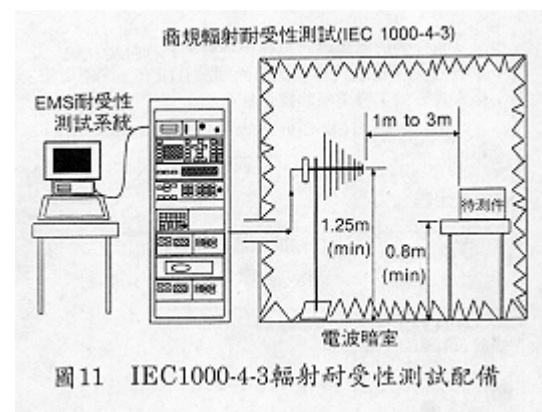


圖 11 IEC1000-4-3 輻射耐受性測試配備

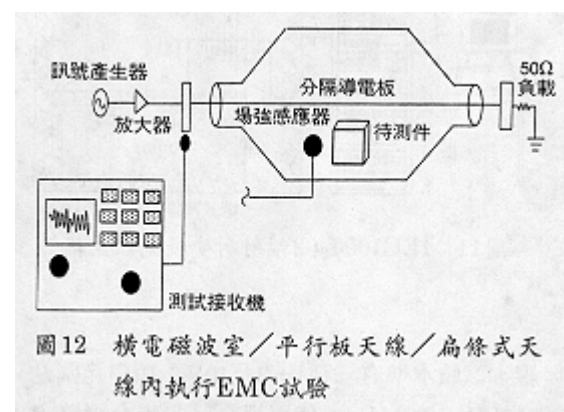
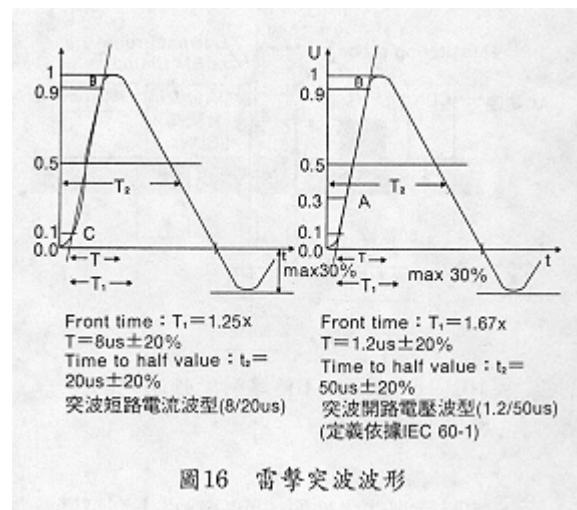
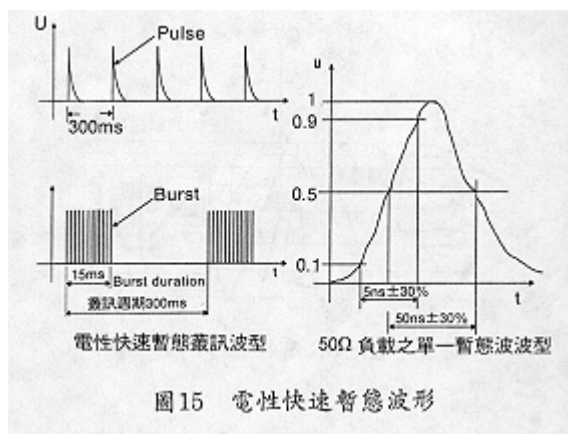
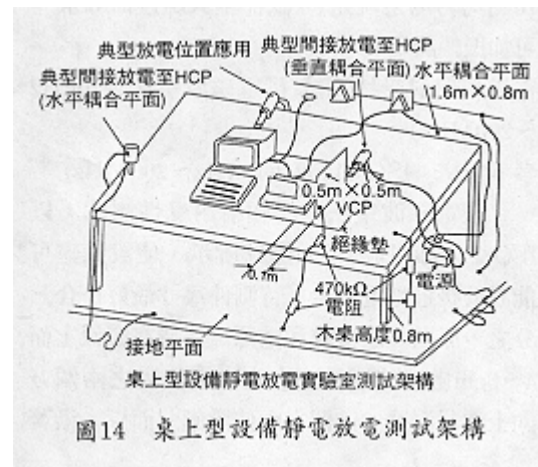
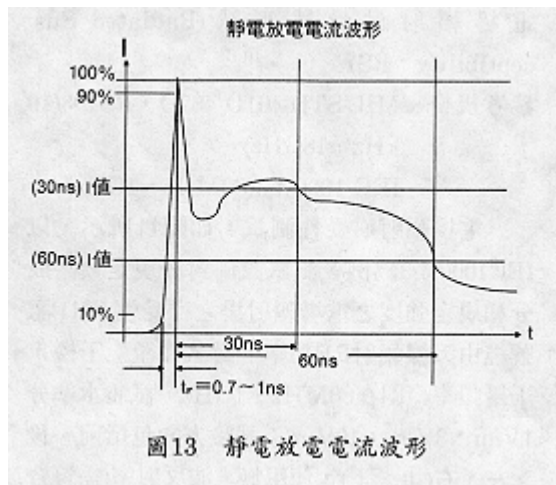


圖 12 橫電磁波室 / 平行板天線 / 扁條式天線內執行 EMC 試驗

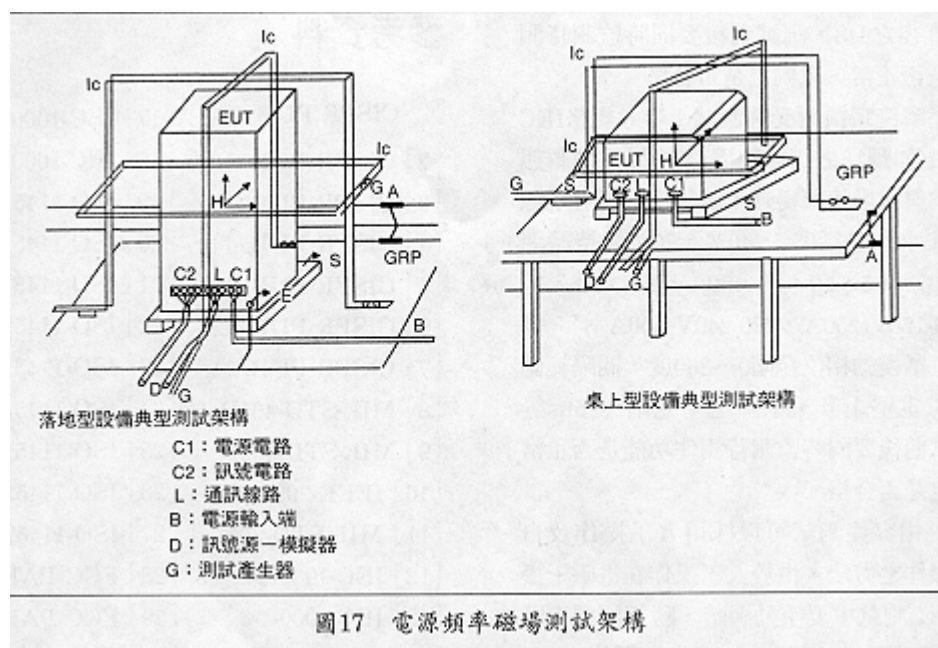
1000-4-4(如图 15 所示快速暂态波形), 干扰频率为 5kHz, 试验水准分 0.25kV ~ 4kV, 杂讯脉冲型式在 5/50ns, 试验模式用来干扰电源线与讯号线, 杂讯耦合模式可分直接入与电容性线夹, 试验方法分正负极性, 不同两线接法均可测试测试前后要同时监测待测件功能是否正常, 以判定是否合格。



雷击突波耐受性测试(Surge) : 参考规格 IEC 1000-4-5 (如图 16 所示雷击突波波形), 模拟雷击诱导与电感性负载切换, 试验水准为 0.5kV ~ 4kV, 脉冲型式在 1.2/50us(8/20us), 10 x 700us; 试验模式可分电源线与讯号(通讯)线, 试验方法包括正负极性、相位, 不同两线接法均可测试, 测试前后要同时监测待测件功能是否正常, 以判定是否合格。

电源频率磁场耐受性测试 : 参考规格 IEC 1000-4-8(如图 17 之测试架构), 模拟电流流经电力线所产生之电源频率磁场, 模拟器须提供连续 120A 与暂态 1200A 之电流, 经诱导线圈注入电流(sinusoid)产生干扰源, 试验水准包括 1, 3, 10, 30, 100A/m; 试验方向可分前后、左右、上下; 试验环境电磁场至少需低于试验条件 20dB 以上, 试件至诱导线圈距离约为试件直径之 1/3, 测试前后要同时监测待测件功能是否正常, 以判定是否合格。电压瞬降瞬断耐受性测试 : 参考规格 IEC 1000-4-11(如图 18 之测试架构), 模拟电源暂态快速变动与缓慢连续变动, 试验模式只有电源线, 试验水准包括 0%, 40%, 70%; 持续周期可分 0.5, 1.5, 10, 25, 50 cycles : 侵入电流为 100-120V/250A, 220-240V/500A 等; 试验方法包括变动相位范围 0 ~ 360 度, 间隔范围 3dips/s; 电压上升、下降速率范围 1 ~ 5us 等等, 测试前后要同时监测待测件功能是否正常, 以判定是否合格。电磁兼容性测试可以采用人工操作及自动控制操作之方法, 由于人工操作在电磁干扰发射(EMI)测试中要手动调谐, 随不同频率点校准及鉴别宽、窄频带; 在电磁耐受性(EMS)测试中随不同频率点调谐, 确定施加讯号强度, 人为观察动态, 以判定是否合格。因而使得人

工操作测试速度慢,重复性差,难以进行实际测量。采用电脑控制之EMI、EMS自动测试系统有测试灵活、误差小与重复性好等优点,而且可以进行即时测试,目前国内业者已经普遍使用。



### 结语

电磁兼容性测试基本上已经在验证产品量产前是否符合电磁兼容规范,但是,就笔者之经验,显示顾客层中(包括军规与商规业者)百分之八十五之设计者都在产品研发后期,才来考虑电磁兼容设计,这时要作EMI问题的修改,往往捉襟见肘,无法克尽全功。因此,只有在研究新型产品之初期,拟订产品电磁兼容设计整体规划书及电磁兼容设计指南,才能有系统地整合接地、布线、搭接、滤波、包装与隔离等根本因素,完成符合电磁兼容设计之布局。

### 参考资料

1, CISPR PUB· 22,	17, IEC-1000-4-8,
2, CISPR PUB· 16,	18, IEC-1000-4-11,
3, CISPR PUB· 15,	19, ISO-11451-2,
4, CISPR PUB· 14,	20, ISO-11451-3,
5, CISPR PUB· 13,	21, ISO-11451-4,
6, CISPR PUB· 12,	22, ISO-11452-2,
7, CISPR PUB· 11,	23, ISO-11452-3,
8, MIL-STD-461D,	24, ISO-11452-4,
9, MIL-STD-462D,	25, ISO-11452-5,
10, IEEE-299-1997,	26, ISO-11452-6,
11, MIL-STD-285,	27, ISO-11452-7,
12, IEC-1000-4-2,	28, FCC PART 15J,

13, IEC-1000-4-3,	29, FCC PART 18,
14, IEC-1000-4-4,	30, JASO 7637-1,
15, IEC-1000-4-5,	31, JASO 7637-2,
16, IEC-1000-4-6,	32, JASO 7637-3,