

中国
机械

ITEM™
interference
电磁干扰与兼容 | **technology**

ISSN1003-0086 CN11-5417/TH

2012年11月

**不再需要
为核电站设立禁区** P12

凝胶剂涂层和黏结剂涂层包装载体的对比研究 P24

电磁屏蔽技术的理论分析与应用 P40

在高频段关键元件的评估和高电流的设计中穿心电容的精确测量 P46

非自动秤电磁兼容性试验及其对策 P52

免费赠阅

超越 EMC 测试极限

更快的速度

更强的观察力

更多的捕获信号

跨越
EMC 测试与测量
领域 40 年

新一代 EMC 认证测试接收机 R&S® ESR

■ 节省测试时间

ESR 的时域扫描使 EMC 测试比以往更快，在主要的测试任务中节省大量的时间。

■ 发现所有干扰

实时瀑布图和实时频谱模式无缝地显示频谱，可以使用户侦测和分析零星（短时或猝发信号）或隐藏的发射以及由这些发射引起的其他干扰。

■ 灵活的使用

将测试接收机和全性能频谱仪合二为一，提供所有所需工具用于测试任务。

■ 简化测试

通过清晰的架构连接相应的功能，配备方便的触摸屏，更易引导操作。

想了解更多详情？

请访问我们的网站 www.rohde-schwarz.com/ad/esr。

罗德与施瓦茨中国有限公司

www.rohde-schwarz.com.cn

800-810-8228, 400-650-5896




ROHDE & SCHWARZ



TESEQ, IFI & MILMEGA

射频、微波与行波管专业级放大器 频率范围10kHz-40GHz，功率最高可达10kW

2012年，三个强势品牌：TESEQ、IFI与MILMEGA，共同聚集在特测集团的旗帜下，携手为您提供工业级10kHz - 40GHz宽范围的功率放大器！我们的产品系列包括Milmega的著名固态微波放大器、特测坚固耐用的A级功率放大器与IFI的高功率射频固态与四级管放大器，以及他们驰名的行波管放大器，频率最高可达40GHz。特测涵盖了电磁兼容、电信与国防工业领域的任何应用。我们强大的全球服务网络与当地经过认可的校准实验室能够保证快速的校准与修理周转期。基于我们对产品品质与可靠性的信心，我们为您提供长达五年的保修期。

TESEQ-IFI-MILMEGA，值得铭记的新型功率放大器品牌！

我们提供如下产品：

- 用于电磁兼容、工业科学医疗、电信与国防行业的放大器
- 固态A级与AB级型号产品
- 连续波、脉冲与组合行波管放大器
- 四级管放大器

我们的独特之处：

- 坚固耐用、可靠的设计，可用于任何负载的电磁兼容测试
- 在低频率区间提供更高的输出功率，以补偿天线增益的不足
- 模块化结构的紧凑型设计
- 五年保修
- 通过特测自身的服务组织提供本地化服务

北京特测电子仪器有限公司
北京市东城区东直门外大街46号
天恒大厦1001室(100027)
T+8610 8460 8080 F+8610 8460 8078
Chinasales@teseq.com www.teseq.cn



激光动力电场测量的 新规范



调制与连续波电场测量更快、更简单、更精确

AR的最新激光动力电场分析仪系列具有极其高的采样频率，并且能够精确地测量微秒级的脉冲电场。

那并不仅仅意味着这一系列的分析仪测量速度快；它意味着在提供组成电场的详细信息的时候，这种分析仪要比迄今为止的任何其他类型电场监控设备具备更高的精确度。

FA7000系列电场分析仪基于一种创新方法，这种方法利用一个各向同性场传感器对一个复合场取样，通过光导纤维以数字化的形式将其波幅传送到一个处理器单元。

它们代表了一种在传统暗室与混响室中更为精确地测量调制与连续波电场的全新方法，使用户能够看到调制波包络线。

为您提供您认为不可能的精确度与速度。

www.arworld.us/field-analyzer

在中国地区，请拨打嘉兆科技的电话400-007-3336。

ISO 9001:2008
Certified

▲反馈服务代码：IU0903



射频/微波 设备测试

其他 ar 部门：模块化射频•接收器系统• ar 欧洲

美国：215-723-8181。应用工程师电话：800-933-8181

www.arworld.us

Copyright © 2012 AR. The orange stripe on AR products is Reg. U.S. Pat. & TM. Off.

全新数字式 **EMI** 接收机 **PMM9010F**,

将扫描时间从小时缩短到秒。



我们可以为您提供:

- ★高性价比的 **EMI** 接收机及其它 **EMC** 测试附件。
- ★最新的电磁兼容行业动态，权威专业的技术咨询服务。
- ★覆盖民用、汽车电子、国军标等多个行业的 **EMC** 测试系统解决方案。
- ★强大的技术支持和售后服务为您解决后顾之忧。

北京森馥科技有限公司

地址: 北京市朝阳区北苑东路清河营郊野公园西北门 A 座

电话: 400-668-6776 传真: 010-84925485-818

网址: www.safetytech.cn

邮箱: sales@safetytech.cn

06 电磁资讯 EMC News 06

12 技术前沿 Technology Pulse

不再需要为核电站设立禁区 12

凝胶剂涂层和黏结剂涂层包装载体的对比研究 24

30 设计策略 EMC Design

电磁兼容设计基本原则：我们的产品正在帮助我们（下） 30

电磁屏蔽技术的理论分析与应用 40

46 测试与测量 Testing & Measuring

在高频段关键元件的评估和高电流的设计中穿心电容的精确测量 46

在几乎所有的低通滤波器中，并联电容器都是关键元件。穿心电容器具有的形式为一接地壳体中心有一电极穿过，从电极到接地外壳间形成它所需的电容值，几乎消除了引线电感的影响。本文将介绍穿心电容器的重要性，并给出改进的方法以实现关键部件的高频性能测试。对于设计、应用条件、进货检验或质量审核中进行穿心电容的评估，需要用到一个可重复使用的装置来测试其插入损耗性能。高电流和高性能滤波器的测试对于元件测试具有特殊的挑战性……

52 标准与认证 Standards & Certification

非自动秤电磁兼容性试验及其对策 52

60 产品与服务 Products & Services 60



06



08



14



25



60

验证 EMC 性能并不难, 诊断 EMI 原因则全然不同



全新安捷伦 MXE EMI 接收机提供
独特诊断测试工具 Strip Chart
和 Spectrogram
帮助 EMC 工程师深入分析解决问题,
为进一步整改提供可靠依据。
前瞻理论, 源自安捷伦!

Agilent N9038A MXE EMI 接收机

符合 CISPR 16-1-1 2010 标准

先进的全数字中频结构

强大的诊断测试工具

前瞻的软硬件扩展性

模块化可升级双核 2 GHz CPU

集成直观的界面支持半自动化测试

下载数据手册和应用指南: www.agilent.com.cn/find/EMIreceiver

请与安捷伦客户服务中心联系, 热线电话: 800-810-0189、400-810-0189

© Agilent Technologies, Inc. 2012

前瞻 加速 实现



Agilent Technologies
安捷伦科技有限公司

▲反馈服务代码: IC1101

■ 波音公司将于2014年之前在飞机上安装无线连接系统



波音航空公司计划于2013年底之前在波音747-8和波音777上安装能够提供飞行中手机使用、Wi-Fi连接、机内娱乐(IFE)互联

网接入以及现场电视转播等服务的系统。

波音787目前经过改造的系统可为乘客在飞行中提供个人手机与Wi-Fi连接服务，该公司目前正在努力开发一整套无线连接产品，作为今年年底波音787的标准目录中的一部分。无线流媒体也有望自2014年起在所有新的波音飞机上使用。

■ 可形成局域网连接并可用于充电的桌子

来自东京大学的研究人员在日本举行的日本高新技术博览会(Ceatec)电子展上展出了一种桌子，这种桌子能够为置于其上面的装置提供无线充电并在装置之间形成一个局域网。这一概念源自于支持无线专网的想法，这种网络比当前的Wi-Fi网络更安全、更为局域化，同时也不需要网线。

这种桌子由小网面板组成的薄板制成，这种小网面板在两个维度内含有电磁波，并携带一个较小的电流。东京大学的一名博士生Akihito Noda称，虽然在标准的无线连接中，电磁波通过空气进行传输，在本例中，通过与桌子表面进行接触，即可形成无线连接。从桌子表面移除装置会终止连接，可以用作终止欺诈或有害链接的一种方法。根据Noda的介绍，利用这种桌子与置于其表面上的装置，互联网连接可以Wi-Fi速度运行，装置的充电功率大约为4瓦特。

该研究团队正计划在家庭俱乐部中使用这种技术，并希望将这种技术用于商业会议或教室中的临时、即时网络连接。

■ 世界上最小的天线将Wi-Fi速度提高200倍

来自新加坡科学技术研究院(A*STAR)下属的微电子学研究所(IME)的研究人员成功地开发出了世界上最小的高性能谐振腔槽缝(CBS)天线。这种硅质天线以135GHz的极高频运行，其信号传输要比相同频率下运行的芯片上的天线强30倍。这种天线的尺寸大约为1.6mm x 1.2mm，同时结合其他毫米波模块，可以支持无线速度最高可达每秒20GB——比当今的Wi-Fi速度快了200倍。

■ MILMEGA公司荣获英国女王企业创新奖



MILMEGA公司最近荣获了英国女王企业创新奖，该公司基于其新颖的设计方法，利用氮化镓晶体管技术开发放大器。

9月28日，在英国Priory Bay酒店举行的颁奖仪式上，爱尔兰总督、巴斯大勋爵(CB)、英帝国二等勋位爵士(CBE)、太平绅士(JP)Martin White少将代表伊丽莎白女王向该公司颁发了这一奖项。

女王企业创新奖专为英国本土企业所设，旨在表彰不同规模企业的杰出创新成果。为了赢得该奖项，MILMEGA公司需要在五年的时间内展现出持续的创新与发展，从而大幅提高公司的业绩。该奖项只颁发给能够展现出较高水平公司责任的企业。MILMEGA公司是大功率、固态宽频射频与微波放大器的专业设计商与生产商。

满足最新国际标准 ▼



R3000系列EMI测试接收机

满足CISPR 16-1



汽车瞬态骚扰模拟发生器VTE-743T1

满足ISO 7637-2:2004



静电放电模拟器ESD-30A

满足ISO 10605 GB/T 19951-2005



汽车高能量抛负载发生器
GRP5a-5b

满足ISO 7637-2:2004 GB/T 21437-2008

汽车电压跌落模拟发生器
GRP2b-P4

满足ISO 7637-2:2004 GB/T 21437-2008



汽车瞬变脉冲干扰模拟器
GRP3

满足ISO 7637-2:2004 GB/T 21437-2008



汽车微脉冲干扰模拟器
GRP1-2A

满足ISO 7637-2:2004 GB/T 21437-2008

▲反馈服务代码: IC1053

意大利 **AFI** 中国区总代理

CISPR16-1 CISPR14-1 CISPR15的EMI测试解决方案

客服热线 4006-0512-77

电磁兼容 (EMC) 及高压 (HV) 测试解决方案专业供应商

总部: 江苏苏州市高新区金山路198号安达科技园2号楼
电话: 0512-68413700 / 68413800 / 68413900
传真: 0512-68079795
服务热线: 0512-68078090
E-mail: info@3ctest.cn 邮编: 215011

北京办事处
地址: 北京市海淀区上地东路27号春生泰克大厦1009室
电话: 010-51552155 传真: 010-51552145
手机: 13651165654 邮编: 100085

深圳办事处
地址: 深圳市南山区深南大道北侧9030号瑞思中心2208室
电话: 0755-86626625 0755-86344313
传真: 0755-26966255 邮编: 518053

香港保特电源科技公司
地址: 香港丰业街10号业昌中心11D室
电话: 00852 98289428 E-mail: protech@protec-power.com
Web: www.protec-power.com

台湾利诺科技有限公司
地址: 台湾新北市新店区宝桥路235巷130号6F-5
电话: +886-2-89121185 传真: +886-2-89121812
E-mail: rich.tec@msa.hinet.net Web: www.richtec.com.tw

■ 欧洲干旱监控卫星受到来自地球的无线电干扰



2009年11月，欧洲航天局（ESA）发射了其首颗土壤湿度和海洋盐度（SMOS）监测卫星，以测量全球土壤湿度水平。这颗卫星的辐射计可测量

50 x 50 公里的区域，通过探测来自陆地与水面的微波辐射来构建土壤湿度和海洋盐度的全球分布图。科学家们计划使用这颗卫星所收集到的数据来更好地监控并预测干旱。

但是，土壤湿度和海洋盐度监测卫星刚刚激活之后就开始了遇到了困难。虽然这颗卫星的信号频率处于专门为无线电天文学和地球观测留出来的被称为L波段的受保护频率范围之内，来自雷达系统以及电视与广播发射机的传输信号还是中断并破坏了大部分数据。特别值得一提的是，土壤湿度和海洋盐度监测卫星收集的图片显示中国、印度、东欧和南欧、中东的一些地区以及美国北部的大部分地区都是干扰热点。一些国家当局比较配合地关掉了辐射源，但其他国家不愿意强制执行监管。

为了应对剩余的干扰源，欧洲航天局的研究人员正在开发智能数据处理算法来探测并消除干扰，并且正在继续为强制执行监管打基础。美国宇航局还在其土壤湿度主动-被动探测（SMAP）卫星上安装了智能仪表，以避免发生相同的问题，该卫星计划将于2014年底发射。

■ 天线公司获得隐形斗篷专利

Fractal 天线系统有限公司获得了世界上首项隐形斗篷专利，这是标志着创新的一个里程碑，同时也让科幻小说离现实更近了一步。

根据这项专利，通过使用大量的不规则形状（通过重复几何图形而得到的形状）来环绕物体并将周围的电磁波转向另一侧，从而可以实现隐形。2009年3月，Fractal 天线系统有限公司公开演示了在微波的作用下，一部手机在较宽的频率范围内清晰消失的过程。这种效果与其他公司的早期努力形成对比，那些公司在研究过

程中出现了较窄的频率覆盖范围、阴影、衰减以及较差的保真度。

Fractal 天线系统有限公司计划开始其隐形斗篷的商业生产与供应，以改进微波电信盲点的覆盖面并消除天线阴影。

■ LED-无线光纤网络可消除汽车中的电磁干扰



英国华威大学的科学家们正在研究在私家车中使用无线光纤网络。无线光纤网络目前用于航空业，可能不久之后就会被用在

汽车中，用于汽车发动机舱的不同部分之间的通讯，从而不再需要使用铜线。

在汽车中使用 LED 无线光纤网络将会大幅减少引擎盖下组件的重量，节省燃料并为乘客提供用于计算机装置的无限制频谱。无线光纤网络技术的使用还将消除电磁干扰，由于 LED 与红外光源的低廉成本，制造与维护费用也会降低。

■ 新的多元天线技术可以帮助满足不断增长的数据通信量需求

来自莱斯大学、耶鲁大学和贝尔实验室的研究人员成功地演示了一种新技术，这种技术通过允许手机发射塔利用同一个频率同时向十几个客户发送信号，将使移动网络运营商能够在不增加频谱的前提下提高运营能力。这项新的多元天线技术被称为 Argos，将帮助无线网络供应商满足智能手机不断增加的数据需求量。

在莱斯大学创建、并在2012年MobiCom伊斯坦布尔无线研究会议上展示的一个原型使用64个天线，使单一一个无线基站能够直接与15个用户进行同步通信。研究人员做出如下理论推定：这一性能可以被按比例放大，以便于同时与数百个天线和几十名用户通信，同时还能够减少传输所需要的功率。预计至少还需要五年的时间，Argos 才能在商业市场中加以推广。

Prima

普锐马电子

普锐马公司三大服务领域

- 提供常规的智能型电磁兼容 (EMC) 干扰模拟器
- 定制非常规EMC模拟器, 以满足特殊客户要求
- 为客户提供电磁兼容解决方案

专业的电磁兼容 (EMC) 测试设备制造商 为您提供完善的电磁兼容解决方案

新品



- 静电放电、快速瞬变脉冲群、浪涌 (冲击) 三合一多功能组合
- 超性价比, 功能板块独立, 性能稳定可靠
- 静电放电 $\pm 20\text{KV}$, 群脉冲 1200KHz 连续可调, 雷击浪涌 6KV
- 超大LCD显示, 可一键编程操作
- 内置智能型耦合/去耦网络, 试验安全
- 内置RS-232通讯接口, 选配测控软件实施远程控制
- 使用程控高压电源, 电压稳定精度高
- 内置静电放电、群脉冲、雷击浪涌国际标准四等级参数

专业提供:

- 静电放电抗扰度测试系统
- 电快速瞬变脉冲群抗扰度测试系统
- 浪涌 (冲击) 抗扰度测试系统
- 工频磁场抗扰度测试系统
- 脉冲磁场抗扰度测试系统
- 振荡波抗扰度测试系统
- 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度测试系统
- 射频场感应的传导骚扰抗扰度测试系统
- 射频电磁场辐射抗扰度测试系统
- 车载电子EMC测试系统

上海普锐马电子有限公司

SHANGHAI PRIMA ELECTRONIC CO.,LTD.

地址: 上海市久富开发区盛龙路77号 邮政: 201615 总机: 021-51877625

销售热线: 021-51877626 67626649 67626337 传真: 021-33522759

服务热线: 021-33522739 67626392 33522665 邮箱: prima@emcprima.com

深圳办事处

总机: 0755-61193029 手机: 13923757060

地址: 深圳市南山区南新路3058号(深南大道路口)D508



全国免费客服热线

4006-021-806

www.emcprima.com

▲反馈服务代码: IC1032

■ 新研究明确了癌症与手机使用之间没有关联



影响长期以来一直都是许多消费者关心的问题。

由挪威公共卫生研究所发表的一项新研究从另一个角度考虑了这个问题，发现由手机中的无线电发射机、广播发射机以及其他通信设备产生的低辐射水平电磁场都低于国际非电离辐射保护委员会建议的阈值。阈值设定为比加热人体组织或刺激神经细胞所需要的最低电磁辐射值低五十倍的数值。

该委员会对来自低辐射水平电磁场的众多可能的健康影响进行了评估，并明确了没有任何证据表明低辐射水平电磁场会增加患癌症的风险、损害男性生育力、造成其他生殖损害或者有可能导致其他疾病或影响健康。

■ 雷击浪涌抗扰度测试技术的重大突破

以往用户进行雷击浪涌试验都需要试验操作人员全程值守，人工判断试品好坏，操作模式复杂，动辄几十分钟到数个小时的一次浪涌试验对试验人员来说是一个枯燥乏味的噩梦。如今，中国本土干扰模拟发生器制造商——上海凌世电磁技术有限公司研制出的浪涌抗扰度测试时被试品故障自动判断及预警技术成功地解决了这一世界范围的测试功能难题，制造出唯凌世电磁独有的全新一代智能化浪涌抗扰度测试产品——EMC PUZZLE（“魔方”）测试系统。

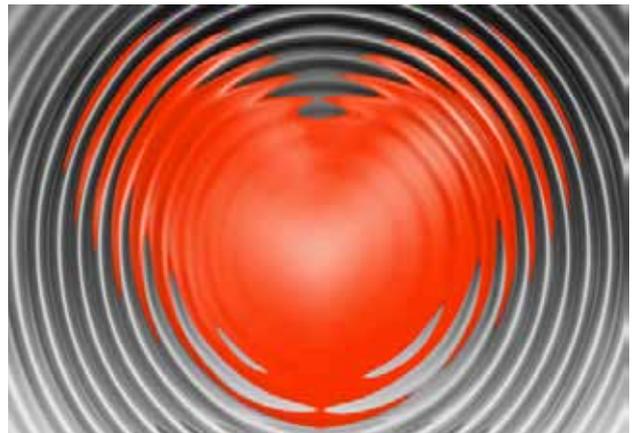
该技术实现的基础是建立在对被试品在浪涌抗扰度测试过程中基本电压电流特性的敏感捕捉及产品特性劣化趋势的建模分析技术。该技术的应用除极大地方便了浪涌抗扰度测试流程，解放了测试人员的精力，更在极大程度上实现帮助用户对被试品承受干扰能力的趋势的分析，是在产品设计阶段，设计人员验证抗干扰电路有效性及可靠性的利器。该技术的诞生，标志着把抗干扰测试仪器推向真正实现智能化方向迈出坚实的步伐。

■ EMSS公司宣布：FEKO Suite 6.2正式发布

近日，电磁分析软件供应商 EM Software & Systems-S.A. (Pty) Ltd（以下简称“EMSS”）宣布，FEKO Suite 6.2 正式发布，新版本中引入了多项全新技术。

FEKO 是 EMSS 公司旗下一款强大的三维全波电磁仿真软件，它基于多种先进计算电磁技术，可求解多类电磁问题，在航空、航天、汽车、电子等行业拥有诸多成熟用户。此次，推出的 V6.2 版本产品在特征模式求解、阵列快速求解、高阶基函数、时域分析等方面皆有全新的技术突破。

■ 由无线电波驱动的微型起搏器



在一篇发表在《应用物理报》上的论文中，斯坦福大学的研究人员证明了向植入胸部内心脏表面五厘米深的一个微型心脏起搏器无线传输电力的可行性。这一深度，是曾被视为无线电力传输无法达到的深度。这一装置被放置在一个每边 0.8 毫米的立方体中，接收来自人体表面上的一个小型电源装置传输的无线电波的功率。

这支开发人员团队由 Ada Poon 领导，他去年因为展示了一种能够在血流中游进的无线供电自推进装置而备受关注。这种无线心脏植入装置通过感应与辐射电力传输相结合的方式，向人体内的一卷电线发送高频无线电波，从而产生一个足以使小型装置运行的电流。

该开发团队认为，除了无线心脏装置，其他医疗器械，比如可吞咽内窥镜、永久起搏器以及精密脑部刺激仪，也可以利用相同的技术进行开发。



深圳市力征科技有限公司
High & Low Corporation

One brand · More options

一个品牌 · 多种选择



力征是EMI/RFI濾波器制造和發展的先驅，致力於充分滿足市場需求。力征擁有高素質的研發隊伍、強大的生產能力、完善的專屬實驗室(SMTA)&加工中心。多達上百萬種產品已經通過UL、VDE、S、COC、CE認證，額定電流可達到1~3000A，能夠很好的滿足不同領域之需求。



High & Low Corp.

深圳市力征科技有限公司

深圳市光明新区公明办事处将石社区大围沙河工业区

Dawei Shahe Ind., Jiangshi Village, Gongming Town, Guangming Dist., Shenzhen City, Guangdong, China

TEL:+86-755-2138 2095~99(5线) FAX:+86-755-2138 2094

E-mail:Service@hal-china.com http://www.hal-china.com

▲反馈服务代码: IC1051



Http://www.hal-china.com

不再需要为核电站设立禁区

Philip F. Keebler, EMC Group,
Electric Power Research Institute

作 为公共事业运行的核电站20多年来一直在处理电磁干扰问题。许多影响核电站内仪器和控制设备(I&C)运行的早期问题是由在系统机柜和电缆附近使用无线通信设备(WTDs) (如射频步谈机, 移动电话等)引起的。减少无线通信设备电磁干扰最简单和有效的方法是在安装仪器和控制设备的机柜和区域附近划分禁区。在已有核电站使用禁区这种方法存在一定问题。例如, 有的核电站不得不扩大某些区域的面积, 如果在这些区域使用新的无线通信设备, 禁区的效果将大打折扣, 这最终会导致I&C设备运行和电磁防护的风险。有些

扩大区域的面积能达到2000平方英尺。而且有的区域还侵占了人们日常活动的范围。

即使是设计新的核电站, 禁区也会产生一些问题。有的核电站规划和设计者决定不采用禁区, 他们认为, 即使有的项目规划良好, 有效限制了无线通信设备在这些区域内的使用, 它们仍然具有产生电磁干扰问题的高风险。禁区策略的成功与否取决于是否限制在这些区域使用无线通信设备。然而, 在系统维护和故障排除时, 核电站工程师和技术人员在 I&C 设备区域附近必须要使用他们的无线通信设备, 即使机柜门处于打开的状态。而且, 控制

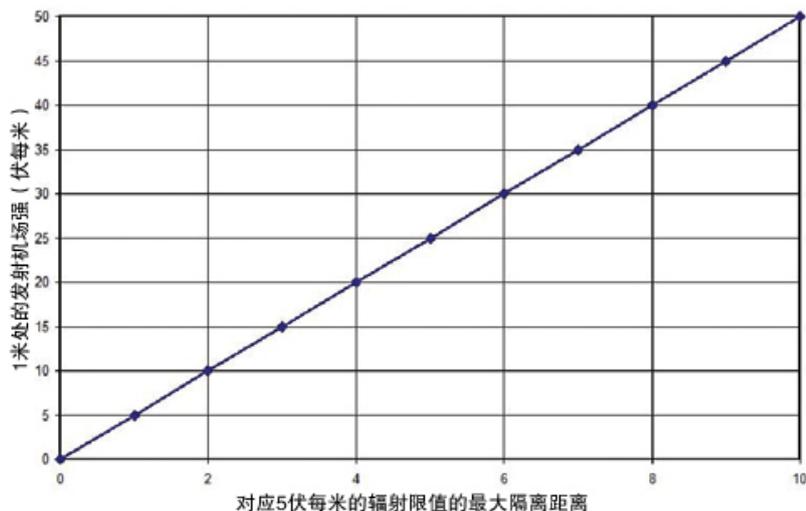


图1 推荐的最小隔离距离 (单位为米), 它是1米处接收机场强的函数 (伏每米)。
(EPRI TR-102323 (1997)版本1)

无线通信设备的使用，特别是射频步谈机，也会为核电站工作人员带来一些问题。如果射频发射机按照功率等级分类，那么核电站员工可能需要使用并不存在的低频率射频发射机。此时，在发生紧急情况时，高功率射频发射机可能是唯一可选的选项。

这篇文献的第1部分介绍了已有核电站的禁区问题。过去的电力科学研究院提供了有用的电磁兼容设计指南，该指南用于避免发生在过去17年中核电站电磁环境状态下的电磁干扰问题。然而，随着已有核电站中数字I&C设备使用增多，而新核电站中计划大量使用这种设备，并且在核电站中使用无线通信设备的需求增加，电磁环境的改变要求产生控制在今天和将来的核电站中电磁兼容及EMI相关风险的更为有效的新方法。

背景介绍——电力科学研究院原有报告中禁区的来源

核电站对于电磁干扰需要很高的防护度。为了实现这个目的，电力科学研究院原来颁布了一系列指南，指南中采用了进行电磁测试的方法，并基于测试的数据建立了推荐的发射和抗扰度水平，测试和电磁管理策略。EPRI TR-102323 版本1在它的摘要中描述：

核电站的数字升级需要进行昂贵的，具体地点的电磁测试以表明电磁干扰不会影响敏感电子设备的运行。有的团体需要更完整地理解电磁干扰问题并提供合理的技术方案，他们促进了这项研究。基于核电站内发射水平和预期的干扰类型及水平，制定了设备敏感度测试指南。基于分析数据得到的水平是比较保守的。工作组确定了获得额外发射数据以验证这些指南的规范，开发了设备发射测试的准则，限制了核电站的最高可测发射，并消除了现场测试的需求。这份报告包括最小电磁干扰限制实际方案和设备及核电站发射水平指南。

版本1 (Rev. 1) 中对于已有报告的最大改变是“将核电站允许发射限值和抗扰度限值间的冗余从6dB增加到8dB”。然而，这个报告里并未给出做出此改变的技术基础。关于8dB冗余的讨论在第7章的报告中提到：

8dB的核电站发射限值低于推荐的设备抗扰度测试水平。当公共设施工程师确定他们核电站的发射值是否与推荐的敏感度测试水平存在足够界限，从而采用报告中给出的通用敏感度限值时，选择8dB限值只是为其提供了一个参考点。选择低于推荐敏感度水平的8dB核电站发射，是为了在确定报告中规范是否适用于特定设备

时提供额外的保守考虑。

虽然该报告提供了利用策略研究核电站发射的方法，并由此及其他信息开发了一个电磁防护计划，甚至在报告版本1的结论部分给出了过度依赖核电站电磁测量数据的危害。

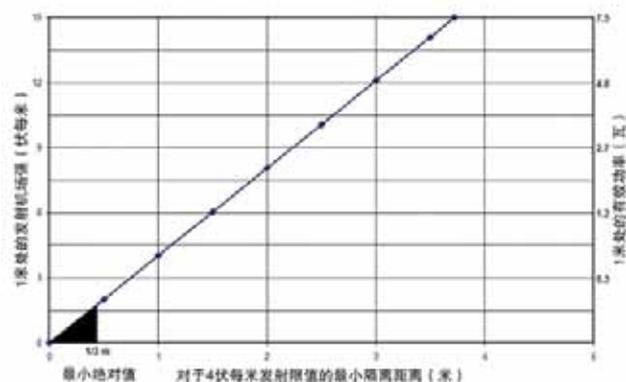


图2 (EPRI TR-102323版本2的图6-1) 推荐的最小隔离距离 (单位为米)，它是1米处接收机场强 (伏每米) 的函数。(EPRI TR-102323 (2000)版本2)

团队成员的经验表明核电站工业的EMI/RFI问题主要来源于非频发的瞬态干扰和非稳态电磁干扰。各种工业标准对瞬态干扰进行了很好的研究和记载。这些工业标准不需要进行现场发射测试 (勘测)，作为替代的方法，它们基于预期的最大核电站EMI/RFI水平确定设备的敏感度测试水平。短时内记录的稳态发射不可能捕捉瞬态事件。移动发射机是唯一可能影响数字设备运行的EMI/RFI发射机。我们可以合理的得出稳态测试对于确定对数字系统产生的威胁不是很有用。

基于对核电站电磁干扰源的理解，进行了通用发射测试以确定稳态和瞬态电磁干扰，并开发了关键安全系统的最高观测环境的程序。

报告的以前版本主要关注于核电站电磁测试获得的数据，他们也认识到仅仅依赖于这些数据的危害。尤应指出，大多数干扰问题是由非频发的瞬态事件引起这个事实也得到了认识。指南仅仅关注于这个论述，“移动接收机是影响数字设备运行的唯一EMI/RFI发射机”。必须对这点进行修正，并强调在已有核电站和新建核电站中广泛使用智能无线通信设备带来的风险。虽然已经确定了某些移动发射机产生的风险，但在I&C设备周围使用现代蜂窝电话和其他无线通信设备产生的实际风险应在核电站管理计划中提出。



图3 一个创新型产品的例子（电子图书阅读器），它具有一个集成的手机发射机

通过调查核电站电磁环境的已有数据，包括稳态和瞬态情况，推荐采用确定干扰防护所需水平这个策略，并推荐了设备的发射和抗扰度水平及相应测试。为了保证不超过抗扰度水平，EPRI TR-102323 报告的以前版本推荐使用禁区以保证电磁和射频源远离 I&C 系统。根据版本 1 的第 6 章，以下的章节讨论了移动式发射机的防护方法。

控制发射源

移动发射机（步谈机）

1 正确管理控制移动发射机对于保护 EMI/RFI 敏感设备很有必要。为了在发射机发射限值（4 伏每米）和推荐设备敏感度限值（10 伏每米）间提供至少 8dB 的裕量，必须保持最小发射机间隔距离。在已知设备功率水平和假设最高天线增益因子情况下可根据以下等式计算发射机场强：

$$V_d = \frac{(30 P)^{0.5}}{d} \quad \text{版本 1 的 4.1 式}$$

其中 P 为发射机的有效发射功率，单位为瓦； d 为至发射机的距离，单位为米， V_d 为场强，单位为伏每米。

一个有效辐射功率为 3 瓦的移动发射机在 1 米处产生的场强为 9.5 V/m，2 米处场强为 4.75 V/m，10 米处的场强为 0.95 V/m。场强随着距离线性衰减。作为替代方法，可根据电子工业标准（EIA），EIA-329，移动射频（20）的第二部分测试 1 米处的发射场强。

为了确定最小发射机间隔距离：

1 根据式 6.1 计算 1 米处的发射场强

2 参考图 1（EPRI TR-102323 版本 1 中的图 6-1），根据计算得到的 1 米处发射场强确定最小发射机间隔距离。

采用最小间隔距离以确保在发射机发射水平和敏感设备测试水平间具有 8dB 的裕量。增加最小发射机间隔距离甚至限制发射机在 EMI/RFI 敏感设备所处房间的使用都是可接受的方案。集团认识到使用这些设备的需求，因此制定了这个指南以支持当发射机和 EMI/RFI 敏感设备不得不共处一室时这些设备的使用。

本章标题指明，“移动发射机（步谈机）”，此时报告主要是根据步谈机的使用而编制。下个报告将会讨论电弧焊并给出控制这种源的指南。报告假设移动无线设备的种类是有限的，通常有基于硬件的射频发射机，并

日本、亚洲老牌的电磁兼容专业厂家

全世界超过 47 个国家 5,000 家企业 / 机关采用

电磁兼容行业的“可靠”的标志。

空间磁场可视化系统 NEW (销售时间未定)

EPS-02 系统



概要

新产品 EPS-02 系列, 是用数码相机的图像来进行磁场探头位置的检测, 在解析磁场探头测试到的数据的频率的同时, 在电脑上可显示和数码相机图像相吻合的磁场场强分布的可视化系统。通过对 ICNIRP (国际非电离放射线保护委员会) 公布和人体辐射相关的参考等级的测试、解析、可视化分析, 来消减采取对策的工时数。

特征

- 可进行针对人体辐射要求的 IEC62233 (以及 JISTSC0044) 的测试。
- 不仅可直接读取探头的显示数据, 还可以显示频率解析 (频谱)。
- 不依赖于探头一部分的形状、颜色, 实现了追踪性良好的图像识别技术。

应用例

汽车、铁道、家电 (IH 调理器等)、电力等领域。

电子元器件类的静电试验器

(IEC61340-3-1(3-2)Ed.1.0 2002 等多种标准)

- 10V ~ 2000V ±10%
(ESS-6002) 1V 的步进
- 100V ~ 8000V ±10%
(ESS-6008) 10V 步进
- 波形上升沿可调 (选件)
- 可半自动定量放电 (选件)



ESS-6002/6008

电磁波分析系统

(应用标准 IEC61967-1-6)

- 到被测物各界面等距离的测试
- 实物和磁场强度的合成显示
- 电磁场强度的 3D 显示
- 最大测试频率可达 8GHz (选件)
- 实现 X、Y、Z、θ 多方向测试 (EPS-6000)
- 机型: EPS-6000/EPS-3007
- 对应多种频谱仪



EPS-6000

雷击浪涌试验器

(GB/T17626.5、IEC61000-4-5)

- 最大输出电压可达 (15KV)
- 可主机编程 (彩色液晶触摸屏)
- 可远程电脑控制
- 标准配置波形 (电压 / 电流) 监测端口
- 具有互锁功能等非常高的安全性
- 间隔时间 10 秒 (6KV 以下)
- 机型: LSS-6230(6KV), LSS-F02 系列 (15KV)



LSS-6230

静电放电试验器

(对应 GB/T17626.2/IEC61000-4-2/ISO-10605)



ESS-S3011>-30R

ESS-B3011>-30R

- 3种自检功能
(高电压输出、绝缘不良、继电器动作)
- CR值确认功能
- 业内最轻量级放电枪
- 考虑重心平衡的设计
- EUT 照亮功能
- 空气放电时放电有无检查功能



放电继电器的检查

高频噪声模拟试验器

(★CC Link 协会一致性测试标准品、对应标准: NECA TR-28, JEM-TR177, JEC0103_2005 和个别行业厂家标准)

- 选件丰富
- 可电脑控制 (INS-AX2 系列)
- 可主机编程
- 4KV 对应和 2KV 对应型
- 机型: INS-4020/4040, INS-AX2 系列



INS-4020/4040

电快速瞬变脉冲群试验器

(GB/T17626.4、IEC61000-4)

- 完全满足最新版本 IEC-61000-4-4 Edition3 的标准
- 可在主机界面上直接编程 (彩色液晶触摸屏)
- 脉冲频率可达 2MHz (远超于标准的 100KHz)
- 内置 CDN 网络 (单相或三相)
- 机型: FNS-AX3-A16B/B50B



其他满足 IEC61000-4 系列和 ISO7637, ISO-16750, 以及个别行业, 厂家标准的测试仪器 / 系统也可对应, 请咨询!

▲ 反馈服务代码: IC1122

噪声研究所 <http://cn.noiseken.com>

海外营业课

地址: 日本国神奈川县相模原市中央区千代田 1-4-4

TEL: +81-(0)42-712-2051 FAX: +81-(0)42-712-2050

E-mail: sales@noiseken.com

上海办事处 / 诺伊兹电磁兼容科技事业部

地址: 上海市徐汇区喜泰路 239 号 8 号楼 102 室

TEL: 021-5406-9653 FAX: 021-5406-9653

E-mail: zq-lu@noiseken.com

主要具有单功能服务，对于实用目的而言步谈机是唯一关心的类型。对于这些发射机，采用禁区是一种有效的策略。从那时起，无线通信以各种方式快速增长。

使用数字技术的设备日益增长，它们通过软件控制，而不是传统的基于硬件射频进行控制。趋势是采用更多的多功能设备，这些设备采用各种协议在多频带上进行发射。非常流行的电子书阅读器可以证明，它们经常采用手机界面，能够运行在众多频带的任意频带，采用各种射频协议并具有 WiFi 射频功能。

这些设备越来越多的采用功率控制以使电池寿命最大化。这意味着完全相同的设备能够运行在不同频率，只需采用不同协议和改变其发射功率。MIMO（多输入多输出）得到了广泛应用，这使有些设备能同时通过众多天线中的任意一个发射多个频率。一个非常成功的智能手机在它的边缘植入了三个天线。

EPRI TR-102323 报告的版本 2 中，在图上（如下面图 2 所示）将版本 1 中规定的 5V/m 修改成了 4V/m 的最大发射限值。而且，增加了 1/3 的绝对最小防护距离。绘制的总距离从 10 米减少到 4 米。而且，在纵轴添加了子刻度以显示有效辐射功率和场强。虽然指南和用语保持相对一致，差别在于要求提供附加的电磁兼容防护，这也是在大面积规定禁区的难度所在。

EPRI TR-102323 (2004) 的版本 3 保持图表不变，但在等式中加入了增益因子：

$$V_d = \frac{(30 P)^{0.5}}{d}$$

来自 EPRI TR-102323 版本 3 的等式 4.1

虽然 EPRI TR-102323 报告版本 2 和 3 的变化说明了移动发射机威胁的复杂性，以及有效修改和规定禁区策略的难度，但是它们对于移动发射机的观点相对比较一致，在所有三个版本中都在章节标题部分保留了步谈机。

然而，有些情况下禁区不能提供所需的防护，反而越来越成为建立和实施时的负担。这是 2008 年 12 月在华盛顿召开的 EPRI 核电站电磁干扰工作组会议得出的一致结论，该会议由美国南方某团体的 I&C 工程师主持，他目前正在设计先进的核电站（有个核电站正在建设中）。

已发生的干扰事件证明了禁区策略不能为已有核电站的 I&C 系统提供想要的电磁兼容防护水平。当标准系

统机柜的柜门打开时，在它附近使用移动无线传输设备（不总是步谈机）造成了许多已有核电站中 I&C 设备误动作，这些事件已被记录在案。

经常在未采用禁区的区域，引起故障的电磁能量无法被认出。例如，当高功率放电（HID）照明系统（磁力施压）尝试点燃一盏熄灭的灯时，启辉器会发射一串电磁脉冲。由于灯处于熄灭状态，启辉器会重复尝试点燃它，因此会产生连续的电磁脉冲。这种发射会造成另一房间的辐射监测器探测结果错误。故障灯产生的辐射电磁脉冲转化成一系列传导发射，并耦合到辐射监测系统的信号回路中。这会引发控制室的频发故障警报。

禁区失败的另一原因在于随着无线技术使用的日益增加，禁区的实施也成为问题。由于无线技术被采用并成了各种个人工作设备的重要部分，如维修工人和的安全人员，但当禁区不允许工人采用这些工具完成他们的工作时，矛盾就产生了。由于无线技术使用的各种功能日益增加，这种矛盾日趋严重。而且，随着核电站安全需求的增加和对于潜在威胁的快速响应需求，对于安全和核电站人员，任何对移动无线设备的使用限制只会影响这些人员保护员工和核电站人员免受可能发生的灾难情况的响应效率。安全人员必须关注于保护核电站和员工，而不用担心受限于与安全相关的 I&C 系统。

一个 I&C 工程师和其他核电站人员的工作经常与系统机柜开着时使用移动无线设备有关。他们在维护和排查 I&C 系统时，经常需要与不在核电站的人员进行通信。没有这些通信，为 I&C 系统提供在线支持所进行的标准程序则无法进行。

而且，先进核电站的设计者会考虑到，禁区策略的使用会产生关于核电站移动无线设备“可以使用”及“不能使用”的清单。如果基于无线设备是否会产生电磁干扰问题对它们进行隔离，当核电站人员管理这些分类清单时会产生其他的混淆。一个工程设计者就担心核电站人员如果使用同意使用的无线设备，有可能非同意使用的无线设备也会在核电站中使用，即使这是违背核电站规定的。

今天，核电站同意使用有些手机和无线电话，而不许使用其他无线设备。同意或不同意的决定有时基于错误的信息，不正确的测试结果，不完善的测试程序，或者无线设备数据，而这些数据会引起核电站人员怀疑设备是否会引起电磁干扰问题。

幸运的是，禁区只是防护设备免受电磁干扰（EMI）的三种方法之一。这三种方法是：

1 通过将发射设备与敏感设备隔离，使敏感设备远离不想要的电磁能量。这就是禁区策略。

2 在系统机柜级或外部连接到敏感设备的机柜内部采用附加的屏蔽或滤波以保护敏感设备。

3 对敏感设备进行设计以具有对抗不想要能量的自身抗扰性。

EPRI TR-102323 的版本 3 和以前的版本，即发电站的电磁干扰测试指南中，由简单逻辑指导的应对移动发射机的禁区策略是这些策略中的首选。

采用禁区策略的优点和限制

在核电站前期，移动无线设备很少时，禁区有很明显的优点。然而，需要在已有核电站中进行数字 I&C 设备升级和继续设计更先进的核电站时，除非采用不同的策略否则它们就具有很多限制。禁区的优点有：

- 它们是通过各个分离的核电站直接控制。

- 它们能为各个核电站或区域的特定需求及条件进行定制。
- 禁区不需要专门的培训或设备。
- 它们不依赖于设备提供商，外部实验室或其他外部团体。
- 它们关注于具有问题的特定设备种类。
- 禁区不会增加设备成本或需要专门的设备安装经验。

禁区最真实的优点之一在于它们直接在每个单独的核电站控制之下。核电站不依赖于外部团体，如设备供应商或测试实验室。如果禁区策略失效，那是因为发生故障的核电站没有充分实施禁区策略。如果禁区的边界区域太小或它的尺寸不足以为某核电站使用已知厂商生产的移动无线设备提供电磁兼容防护，禁区策略也会在某种程度上失效。因此，如果有故障发生时，保持控制质量和在核电站实施禁区的责任应承担此后果。

禁区的另一优点在于它能为单独的核电站和核电站特定区域进行定制。例如，如果核电站某一区域对于干扰具有很高的抗扰性，那在此区域就不需要采用禁区。然而，对于另一核电站，如果采用了对于干扰更为敏感的不同设备，则需要对相应区域采用一定程度的防护。

全新的混合动力及电动车电磁兼容测试方案

emtest
the benchmark for emc

UCS 500N7 | CNI 503B7.3

新产品



- › IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5
- › IEC 61000-4-8, IEC 61000-4-9
- › IEC 61000-4-11, IEC 61000-4-29
- › EN 61000-6-1, EN 61000-6-2
- › ANSI/IEEE C62.41, EN 61543
- › IEC 61851-21, Ed. 2, Part 21
- › 符合欧洲经济委员会第10号法规
- › 符合多种制造厂家标准要求

DPA 500N | NETWAVE 7.2

新产品



- › IEC 61000-4-13, IEC 61000-4-14
- › IEC 61000-4-17, IEC 61000-4-27
- › IEC 61000-4-28, IEC 61000-4-29
- › IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3
- › IEC 61000-3-11, IEC 61000-3-12
- › JIS C 61000-3-2, MIL-STD 704
- › RTCA/DO 160 Section 16
- › Airbus › Boeing

› 符合欧洲经济委员会第 10 号法规 (ECE Regulation No. 10)
IEC 61851-21, Ed. 2, Part 21

› 适用于对交流电源线缆和高压线缆进行脉冲群和浪涌测试
› 可达三相 690 V AC 和 1000 V DC/100 A

▲ 反馈服务代码: IC1034

› 符合欧洲经济委员会第 10 号法规 (ECE Regulation No. 10)
IEC 61851-21, Ed. 2, Part 21

› 适用于进行谐波和电源模拟测试

www.emtest.com

而且，核电站可能会不时调整它的禁区，例如在维护阶段，该区域处于下线状态，或当 I&C 设备升级到对于电磁能量更有抗扰性时，对禁区的要求会放松。能根据本地条件灵活调节禁区。

禁区还不需要专门的培训或设备。射频测试价格昂贵并且需要专业知识才能做好。这些因素增加了测试成本，也增加了达不到所需测试效果的几率。采用不足的设备，在非认证测试实验室或通过未经过适当培训和具有一定经验的人员进行测试并不普遍。而采用禁区则避免了这些问题。

禁区的另一个好处同时也是它的重要缺陷。如果只是移动发射机，特别是步谈机会产生问题，那么禁区能使这些设备远离 I&C 设备。这避免了需要 I&C 系统花费成本和提高复杂性以提供很高的抗扰度。如果是步谈机产生的问题，那么将它们隔离是一种有效的解决方案。后面将在缺点那部分讨论这如何成为缺点的。

禁区还具有另一优点，就是它不会增加设备或安装成本。要求具有厂商习惯的射频抗扰度水平将不可避免的增加设备价格。典型的模式是当厂商要求满足新的要求时，他们很快实现了该要求但并没有提供有效的解决方案，如仅仅是添加了滤波和屏蔽，而这些方案都没有为该设备进行专门的设计。通常他们会依赖昂贵的屏蔽和滤波。原因在于他们很少设置专门的人员开发替代的解决方案。这也是他们想要避免重新设计设备带来的成本，而只是想找到保护他们已有电路或设备的简单方法。

随着时间的推移，厂商开始学习设计自身具有射频抗扰度的设备。这种解决方案通常只会增加一点甚至不增加设备的成本，但需要更丰富的专门知识。当厂商具有这方面专业知识的员工并迫于市场压力不得不提高抗扰度和降低成本时，他们通常采用这种方法。在厂商意识到电磁干扰问题，特别是由于这个问题使他们不得不以赔偿用户金钱而了结时，他们也会重新设计以提高产品的电磁兼容防护水平。结果是，设计更高的射频抗扰度水平在长期的运行过程中不会太大程度增加设备的成本，只是在短期内会增加成本。

禁区的这些优点是明显的，它解释了为什么在 EPRI TR-102323 的早期版本中采用这个策略的原因。很有必要注意到在采用一种混合策略时，禁区是很经得起考验的。实际上，EPRI TR-102323 报告并不过多依赖于

禁区，而只是推荐它们作为包含发射和抗扰度测试的电磁干扰控制策略的一部分。根据这个观点，问题不在于是否使用禁区，而在于核电站在现有和将来的电磁环境中运行时，如何优化和协调使用禁区及其他控制策略。

禁区的缺点也很明显，并且修改和制定它禁区的人员也很好认识到了这些缺点。它们包括：

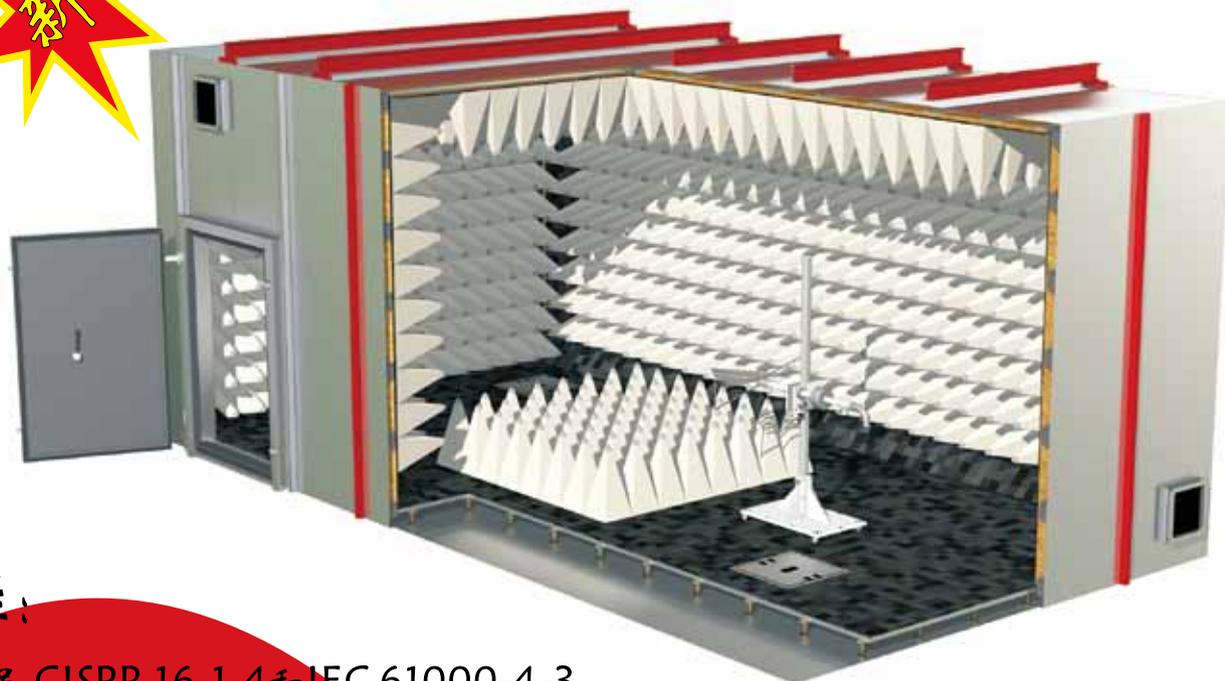
- 禁区的执行很难甚至是不可能的。
- 禁区的实施越发困难甚至是不可能的。
- 它们会花费每个核电站的时间和资源。
- 即使核电站使用相同的设计，它们禁区的形状和面积也会不同；这些核电站的禁区差别足以使系统级策略的设计和实施差别很大，而这些策略用于限制无线传输设备的使用。
- 实际中经常需要采用无线技术执行必要的工作功能，而禁区的使用常与此矛盾。
- 禁区是用于简化问题的产物，它也是一种具有一定缺陷的解决方案。
- 禁区经常采用过于保守的通用规则。
- 由于物理障碍（如铁路，阶梯，其它设备）的限制，不能在 I&C 系统附近完全实现禁区。
- 禁区可能会延伸进需要保留的区域及核电站人员频繁走动的过道。
- 设计禁区用于保护 I&C 设备免受无线传输设备（典型的如步谈机）发出的电磁能量影响。核电站努力控制无线传输设备的使用，特别是承包商和参观者使用的手机。如果核电站允许使用这些设备，那么某些禁区则无法为 I&C 设备提供足够的防护。

很难甚至是不可能实施禁区。因为它们需要控制敏感设备周围的大量区域。然而，经常很难甚至是不可能控制需要防护的区域。例如一个安装在墙边的 I&C 系统，墙的另一边允许使用无线传输设备，或者墙是临近停车场的外墙。如果要以某种确定的方式才可能对其进行控制的话，则很难控制驶入停车场的车辆上无线电的使用。特别当防护距离从 3 米增加到 10 米时，它超出了典型的房间尺寸并占用了一定的面积。有的禁区耗费了核电站的大量面积。

无线技术的突增使禁区的实施越来越成问题。无线设备目前引入了智能判决技术和编码以更为有效的利用未使用的频谱。图 3 展示的手机就是一个例子。越来越多的种类的产品和应用使用了无线技术，这导致甚至确定

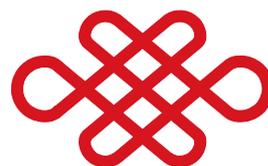
法兰克尼亚新三米法全电波暗室“FAC-3”

为您节省测试时间和成本!



特性:

- 满足 CISPR 16-1-4 和 IEC 61000-4-3 (辐射发射和辐射抗扰度测试) 标准要求;
- 紧凑的尺寸:
8,705mm x 4,655mm x 3,750mm (L x W x H);
- 场衰减从自由空间最大偏差为: +/- 4dB;
- 场地电压驻波比最大: 6dB;
- 测试区域: 1.5m 直径 / 1.5m 高;
- 无需天线高度扫描;



FRANKONIA

法兰克尼亚宗旨:

持续研发全新暗室!



Frankonia GmbH
Industriestr. 16
91180 Heideck
Tel: +49 (0) 9177 98 500
Fax: +49 (0) 9177 98 520
www.frankoniagroup.com
info@frankonia-emc.com

嘉善法兰克尼亚电磁兼容有限公司
浙江省嘉善经济开发区虹桥路55号
电话: +86 (0) 573-84731555
传真: +86 (0) 573-84731558
邮编: 314100
E-mail: info@emc-frankonia.com

法兰克尼亚电磁兼容有限公司北京办事处
北京市朝阳区望京北路9号叶青大厦 C 座
100-102 室
电话: +86 (0) 10-64399815
传真: +86 (0) 10-64398863
E-mail: info@emc-frankonia.com

哪些是无线设备都很困难。虽然医疗设备也引入了无线发射机，但它们的发射功率较低。如果在核电站工人体内植入了发射机，又如何实施禁区？

当使用禁区时，每个核电站必须安排人员并花费时间和精力制定和实施它们。当核电站选择使用一种能达到比以前技术高的功率水平的新无线技术时，必须要重新计算并确定新禁区的布局。需要修改的禁区不只是一个而是很多（当有其他更为有效的策略可以采用时核电站人员为什么还要努力保持禁区的升级）。这是一个不间断的成本，它占用的资源其他地方通常也需要用到。而且，如果发生了故障，禁区的实施可能引发潜在的严重后果。必须有警惕的实施禁区以确保不会发生故障。然而这种持续的警惕通常需要过度保守和大量的监测，以确保连续和有效的兼容性。

禁区的另一问题在于他们通常会在需要保护敏感 I&C 设备和需要采用无线服务间产生矛盾。各种用途的无线技术的使用增长使这种问题更为普遍。一个工人使用并开始依赖无线工具以完成他们的工作，但随后他们被告知在禁区里进行维修，维护安全或其他工作时不能使用这些工作必需的工具。这种类型的矛盾时有发生，就像没有原因的规则一样。

由于人们经常按照通用规则制定禁区而不考虑无线设备的差异，这种类型的矛盾越演越烈。例如，如果发现在核电站使用手机会产生电磁干扰问题，那么就会禁止使用所有频带和所有功率等级的手机。然而，人们经常发现他们的手机不会产生干扰，此时禁区的划分看起来就比较武断和没有必要。这使有的核电站对所有的手机关发“完全同意”——这种策略对于 I&C 设备的运行是一种未知的风险。

原来的手机一般工作在 800MHz 频段，射频功率最大到 2 瓦。今天，大多数手机仍然工作在 800MHz，同时还可以工作在 1900MHz，此时最大功率为 1 瓦。而且，700MHz 频段已经被拍卖，尽管目前还没有开发工作在此频段的设备。还计划拍卖先进无线服务频段 (AWS)，增加了高达 2100MHz 的频率。其他移动服务频段移至 2300MHz 和 3500MHz。将来可以见到采用不同频率和功率等级的各种移动服务。对于这些服务禁区应该是相同的，因为大多数用户不能将一种服务与另一种服务区分开来，而且越来越多的设备能够工作在多频段，它们占用的频段由网络动态分配。

进一步的问题是手机和许多其他无线服务采用过度的功率控制。它们只使用需要的射频功率来维持它们的通信连接。手机能够将它们的射频功率变化到 15dB，采用高达 30 的因子。当一个手机处于网络信号良好的地点时，它使用的功率是相同手机处于网络信号不好的地点时的 1/30。禁区必须假设处于最坏情况下，假定设备运行在最大功率时进行控制。实际上，核电站无法控制设备使用了多少 RF 功率，而且功率是动态变化的。因此，如果手机供应商改变了网络的运行情况，核电站又如何得知呢？这会导致射频功率水平管理方式的改变。那时为了确保达到要求的防护水平，禁区策略的唯一选择就是保守化。

在已有核电站采用禁区来源于一种分析，即找出唯一产生电磁威胁的移动发射机，特别是步谈机，然后简单的将它们与 I&C 系统进行隔离，此时这种方法是有效的解决方案。但是难道只有移动发射机才是唯一的问题吗？移动发射机产生的电磁场影响比其他发射源的影响更糟糕吗？实际上，禁区只是防护的一种谬见。

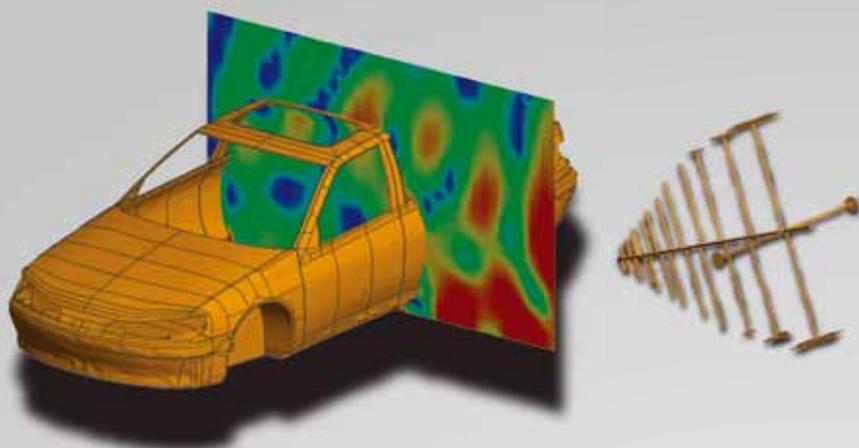
实际上，存在虽然很少发生但是风险很大的低频，高影响事件。产生高水平电磁能量的两个低频事件例子是电磁脉冲 (EMP) 和使用电磁场进行恐怖主义。虽然这些事件很少发生，但他们是真正的风险。如果它们真的发生，核电站该如何应对？使 I&C 系统具有足够的抗扰度来应对移动发射机，也会增加它们承受其他发射源产生的电磁场的能力。

一般的核电站环境

禁区已成为在各种核电站环境中进行电磁兼容控制的一种方法，它还适用于核电站以外的其他产业。它是控制电磁干扰的一种有效方法。禁区使用的关键要素在于禁区控制的程度。环境控制越可靠，禁区策略就越有效。如果控制环境的能力下降，那么禁区策略的有效性也会下降。因此，保证禁区策略有效性的基本要求是能够控制敏感设备周围的环境。当敏感设备周围的环境不能控制时，不推荐采用禁区策略。

当核电站处于非例行停工和例行停工这两个特殊时期时，禁区不再适用。非例行停工时，每个核电站人员的目标是解决问题，从而使核电站重新开工。当核电站不能发电时，会损失大量的金钱。核电站工人无中断和障碍地工作只为了使核电站重新运行。在这段时期内，

全面的 EMC仿真分析解决方案



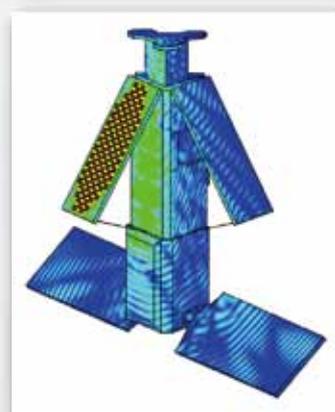
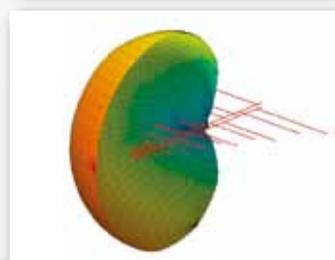
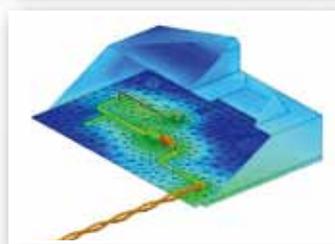
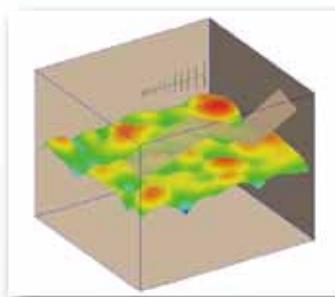
FEKO内置了针对不同类型问题的多种算法，并可混合使用，从而高效分析从低频到高频的复杂问题。针对以下EMC问题，FEKO均有针对性的工具和处理方法：

- 屏蔽
- 耦合
- 线缆分析
- 辐射
- 照射
- 近场
- 快速扫频
- 混合场和网络分析
- 比吸收率 (SAR)
- 测试系统设计和分析

其他应用

天线设计，天线布局，波导，射频器件，微带电路，天线罩，RCS，生物电磁等。

FEKO
Comprehensive Electromagnetic Solutions



www.feko.info

▲反馈服务代码：IC0125



获知更多电磁仿真信息，请访问 www.emss-china.cn

info@emss-china.cn

EMSS China 上海市浦东新区张江路665号德宏大厦1006/1007室 021-50116635

会大量使用射频设备。然而，不是所有的系统都完全下线。这对于核电站是绝对的。因为许多 I&C 系统需要保持在线以具有某种安全功能。这些系统的部分可能会采用禁区。

当非例行停工时，核电站和它的人员具有一定的时间来完成预定的工作（通常是加燃料）。核电站人员如果能早日开工并使核电站早日上线，他们会得到一定的奖励。此时，某种 I&C 系统必须具有多功能以正确并及时的工作。这些系统的部分可能会使用禁区。

当合理的效益存在矛盾时，禁区策略也具有一定的压力。为了实现电磁兼容，禁区可能是可取的方案。然而，对于为什么在禁区内设备附近仍然要使用无线设备，也可能有合理的原因。如果维修人员可以使用他们的手机或步谈机来确定设备功能或从其他核电站工程师处获得技术支持，那他们的效率会更高。许多禁区面积很大，他们给 I&C 系统的三种人员带来了麻烦，这三种人员分别是：在系统机柜处观察指示器和测试的人员，在禁区中央作为“中继器”发送消息到禁区外的人员，他们使信息能够传送到控制室或核电站其他区域。当空间有限且不同设备由于其功能性必须相邻放置时，这是产生的另一个例子。有各种原因会对禁区的使用造成压力。

禁区存在问题的一个简单原因在于其对核电站土地的需求量很大，且土地一般都比较昂贵。在环境中使大量空间闲置通常导致效率低小。展开设备需要更多的空间，从而造成金钱的浪费。而通常可用的空间是有限的。然而，即使有可用空间，它也会造成高成本的耗资。为特定 I&C 系统制定禁区可能永久标志着这些区域不能再用于其他功能。

由于这些原因，人们越来越多的拒绝使用禁区。负责在已有核电站进行数字升级和为先进核电站确定数字设备的设计者不希望在他们的核电站中看见禁区。电磁兼容控制的其他方法看起来更为有效。正确的进行屏蔽，滤波或提高抗扰度越来越成为进行电磁兼容控制喜欢采用的手段。

先进的核电站环境

考虑先进核电站环境时，禁区的缺点变得越来越中肯。看看将来，无线通信，数据传输和传感器网络的使用成为现实。使这些服务远离 I&C 系统运行的区域不仅

越来越成问题，而且也是不方便的。实际上，有的 I&C 系统能从无线连接中受益很多，例如，对于分布式传感器网络。当把无线技术应用到各种设备类型后，实施禁区越来越成问题。因此，需要采用不同的方法提供需要的防护水平。

结论

这篇文章的 1 部分围绕禁区这个问题展开，它们描述了核电站的禁区策略，展示了 EPRI 研究核电站电磁兼容时定义的禁区的发展和和使用历史。当无线服务还很少时，早期的禁区策略能够实现它们的目的。随着时间的发展，要制定保护数字 I&C 设备免受辐射威胁的更为有效的策略需要了解禁区的优点和缺点，正如文中所述。数字 I&C 设备对于辐射威胁的有效和动态防护必须是 I&C 系统的本身固有部分，从而使核电站工程师能够专注于核电站安全，运行，维护和升级，而不用受限于禁区使用带来的挑战。核电站面临的挑战更多，如果能提供高度的安全，这些挑战就能解决，并且减少的风险有助于团体保证核电站安全。这篇文献的第 2 部分将强调禁区策略的组成，主要关注 I&C 系统各层的抗扰度以建立整个系统的抗扰度。

参考文献

Philip F. Keebler 管理着 EPRI 雷电和电磁兼容小组，该小组进行着电磁兼容现场测试，终端用户服务的电磁兼容测试，确定电磁兼容审计和电磁干扰解决方案。Keebler 进行了个人电脑，雷电，医疗设备和网络数据中心设备的系统兼容性研究。雷电任务与确定电子荧光灯和高强度气体放电灯整流，电子荧光灯和高强度气体放电灯整流干扰，电子荧光灯和高强度气体放电灯整流故障，以及电子荧光灯和高强度气体放电灯故障等有一定联系。Keebler 起草了测试协议并制定了与电源质量和电磁兼容相关 SCRP 任务的标准。他还作为编辑为电力线滤波制定新的电磁兼容标准，即 IEEE1560。

翻译：石丹

校对：高攸纲

我们的经验值得信赖



德国奥尔托项目公司上海代表处
奥尔托射频科技（上海）有限公司
上海市徐汇区龙吴路2998号
邮编：200231

电话：+86-21-6434 1110
传真：+86-21-6434 7800

E-mail: info@albatross-projects.com.cn
<http://www.albatross-projects.com>

▲反馈服务代码：IC1036

 AlbatrossProjects

凝胶剂涂层和黏结剂涂层 包装载体的对比研究

Robert J. Vermillion: 来自美国加利福尼亚州莫菲特菲尔德市
美国国家航空航天局 (NASA) 埃姆斯研究中心, RMV科技
集团有限责任公司;

Doug Smith: 来自美国加利福尼亚州洛杉矶托斯市的DC
Smith咨询公司。

多年来, 静电放电 (ESD) 时的敏感器件, 在分发、储存和出售过程中使用凝胶剂和黏结剂涂层包装材料是否合适的问题, 半导体和航空工程师们已经给出了答案。既然这种包装类型经常用于无电离的 ANSI/ESD S4.1-2006 规定的 ESD 敏感器件工作表面, 那么问题就出现了: 这种铆定组件无需特殊设计的包装或电离的做法, 是否能构成保护超敏感 0 级 ESD 器件的兼容方法?

本文作者试图分析凝胶剂和黏结剂涂层技术是否符合静电控制环境或 ESD 防护区 (EPA) 的要求。选用于测试和评估的两种产品载体类型分别是: 交联凝胶聚合物填料 (如图 1 所示) 和具有静电耗散性能的涂层聚合物填料 (使用时, 每种都需人工使用镊子取放)。

研究背景

为了更好地了解在 ANSI/ESD S4.1-2006 或者 MIL-PRF-87893B-1997 标准下的静电防护工作站使用不充分包装的设施有可能带来的风险, 我们只需将当今的小型化技术和 1969 年阿波罗 11 号登陆月球时的技术进行比较。2011 年 5 月, 宇航员 Col. Buzz Aldrin 博士指出一部手持智能电话的数据处理能力比 NASA 的阿波罗 11 号上的电脑还要强。1971 年的英特尔 4004 微处理器只有相当于 2300 个晶体管元件, 而根据《处理器新闻》(Processor News) 的报道, 当今的英特尔四核安腾 (Tukwila) 中央处理器 (CPU) 晶体管的数目突破了 20 亿。(见参考图 1)

随着科学技术的进步, 从铁氧体磁芯到单个晶体管, 继而又到几十亿个晶体管, 这些设备的 ESD 敏感度

也呈指数增长。20 世纪 80 年代早期 ESD 敏感度为 1000 伏的设备已经为现在阈值低于 50 伏的设备所取代。在过去 5 年多的时间里, 磁盘驱动器的 GMR (巨磁阻), PMR (垂直磁阻记录), TMR (隧道磁阻) 以及普遍定义为 EAMR (能量辅助磁记录) 的 HAMR (热辅助磁记录) 磁头的 ESD 敏感度都低于 5 伏。当今的人体模型 (HBM) 敏感度只有大约 1 伏。在如此低的静电耐受水平下, 增强保护设备的必要性将确保设备的成品率和可靠性。

由于设备的敏感性不断增强, 包装过程和材料处理应能对航空及国防、半导体、医疗设备、磁盘驱动器和汽车系统提供静电放电防护, ANSI/ESD S541-2008 第 7 部分《静电防护包装材料性能的分类》中指出了其必须达到的要求是: 用于防止敏感电子设备受到损坏的材料



图1



图2 a b c d

和包装必须具备以下性能：

- 低的电荷聚集（抗静电）
- 阻抗
 - 导电性
 - 损耗性
 - 绝缘性
- 屏蔽
 - 静电放电
 - 电场

a. 电流探针：

- i. 有电离
- ii. 无电离



图3

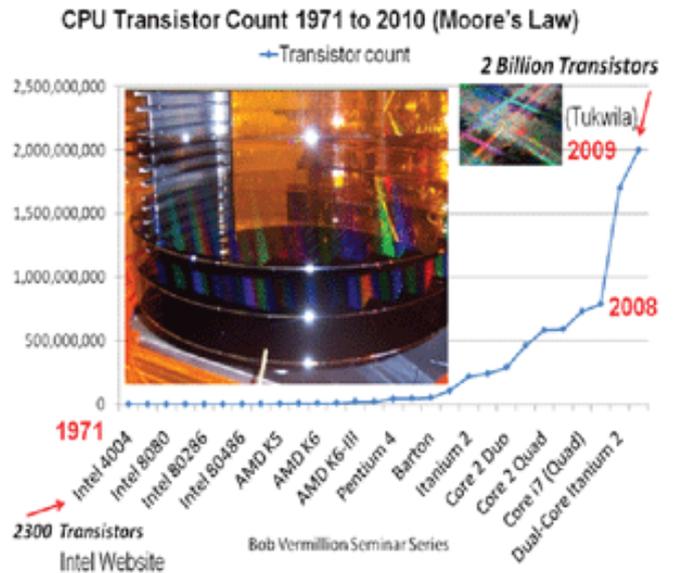
表1

研究方法和测试结果

如前文所述，两种产品被用来评估是否适用于 0 级 EPA 的 ESD 工作站。产品 A 是交联凝胶聚合物包装填料。根据供应商的要求，产品 B 是不依赖下面的导电表面的具有静电耗散性能的黏结剂涂层。无论是用凝胶聚合物还是黏结剂表面涂层，都应将设备倒置或垂直放置于一个工作位置，尽量不要将设备从包装中移出。

本文中的这组 ESD 试验展示了符合标准的材料鉴定过程的要求。以下测试方法被用于测定包装物的 ESD 安全性能：

1. 相对湿度为 12%±3%RH 时的表电阻 (ANSI/ESD STM11.11)
2. 相对湿度为 12%±3%RH 时的体电阻 (ANSI/ESD STM11.12)
3. 静电衰减：凝胶剂 / 黏结剂填料接地 [MIL-STD-3010B (修订版), 湿度为 12%±3%RH]
4. 法拉第杯测试，依据 ESD ADV.11.2 标准，湿度为 12%±3%RH
5. 充电和接地后，湿度为 12%±3%RH 时产品 A 和产品 B 填料的峰值电压
6. 湿度为 30%RH 时，在 1kV 充电后，镊子直接接触 ESD 敏感器件时产生的接触放电



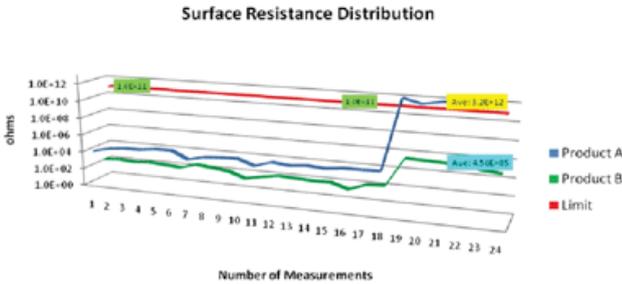
表电阻和体电阻与相对湿度(RH)之间的关系

有人错误地认为无论是在低相对湿度还是在高相对湿度状态下进行 ESD 实验所得的测试结果都是相似的。在湿度独立技术下这也许是对的，但依靠湿度进行导电的材料，例如抗静电聚合物，在湿度分别是 50% 和 12% 的 ESD 实验中产生的数据是完全不同的。在 EPA 中，许多装置用来维持湿度在 30% 到 70%RH 之间。

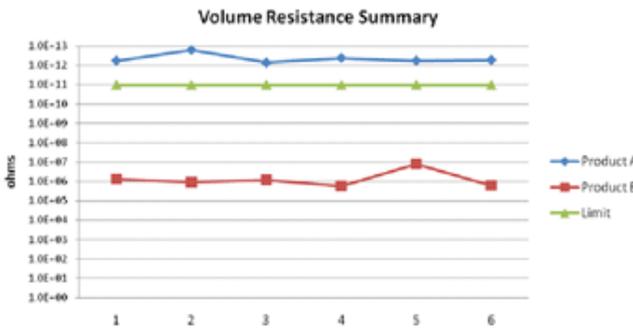
依据 ANSI/ESD STM11.11-2006 和 ANSI/ESD STM11.12-2007 标准的要求，产品 A 和产品 B 必须在测试前 48 小

时保持相对湿度 12%±3% RH 和温度 730F±50F。图 2 展示的是产品 A 进行的表电阻测试；图 3 展示的是产品 B 的体电阻测试。表 1 就是产品 A 和产品 B 表电阻的测量结果。

表2



在产品 A 的测试中，外表载碳的硬塑料盒在低静电耗散区间内进行测量。在上述情况下，测试产品 B 获得了表 1 所示的导电数值。这两种情况都适用于 EPA 中。由于部件和产品 A 和 B 的基底直接接触，载碳盒不能完全展现荷电器件放电模型 (CDM) 的风险。如表 2 所示，产品 A 凝胶状基底的测量结果为 3.2×10^{12} 欧姆（属于不合格），高于要求的平均 $<1.0 \times 10^{11}$ 欧姆的阈值。但是通过测试产品 B，我们发现它在静电耗散区间内，平均为 4.5×10^5 欧姆（属于合格）。



体电阻测试的重要性在于，当被置于一个接地工作位置的顶端时，体电阻代表了包装保持接地导通的能力。在产品 A 上，当不锈钢镊子接触 ESD 敏感器件时，充电后的凝胶剂表面（尽管已接地）可能会带来 ESD 危害。

产品 A 的体电阻测量的平均绝缘值为 2.6×10^{12} 欧姆（属于不合格）。但产品 B 在 2.2×10^6 欧姆测得静电耗散（属于合格）。

依据 MIL-STD-3010B-2008 (已修订) 标准的静电衰减

静电衰减

这个实验方法测量的是一个充电了的单独物体静电



图4a

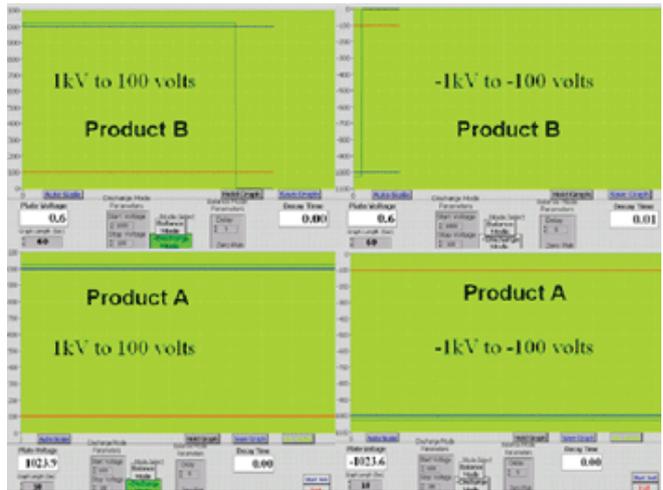


图4b

衰减为原值十分之一的衰减率。MIL-STD-3010B 规定荷电物体电压应从 ±5000 伏耗散到 ±500 伏或更低。近年来普遍使用的电压区间是 ±1000 伏到 ±100 伏。在 MIL-PRF-81705E 和前面提到的 EIA-541 标准中，衰减时间要求低于 2 秒才算合格。这个测试展现了在恰当接地的情况下材料消散感应电压的能力。衰减测试对于构造复杂的材料很难实施，比如 ESD 旋绕泡沫，吸尘器状的聚合物和可能小于测试仪器测量夹具范围的小物件。

产品 A 的测试持续 3 秒钟后停止（见图 4a 的左边），而产品 B（见图 4a 的右边）通过接地的聚合填料和充电板顶部的碳盒加快了静电衰减。甚至在接地 5 秒钟之后，产品 A 的凝胶性填料基底都没有释放电荷（见图 4b），板极电压分别保持在 1023.8 伏和 -1023.6 伏。值得提醒的是当充电板电压达到 ±1000 伏时，衰减计时器就开始工作。产品 A 的特性是表 6 中重叠部分，超过了低于 2 秒钟的限制，但产品 B 的特性如表 6 所示，是合格的。

法拉第杯 (Q = CV)，依据 ESD ADV.11.2 标准

在相对湿度 12%±3%RH 的室内环境预先处理 48 小时之后，将产品 A 和 B 放在使其电压低于 10 伏的

表6
Electrostatic Decay
Products A and B

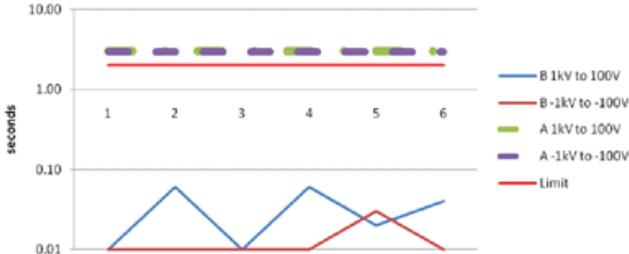


表8
ESD Adv. 11.2
Faraday Cup
Passing = <1.0 nC

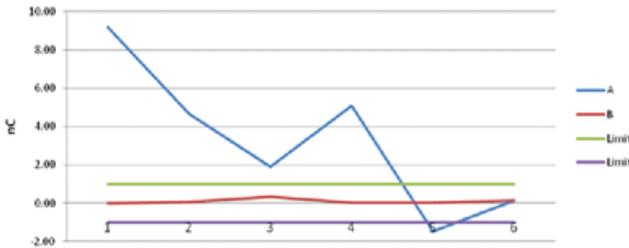
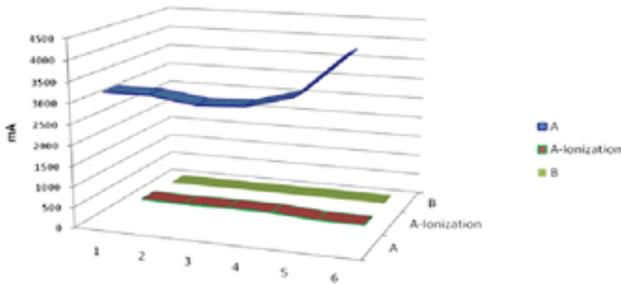


表10
Contact Discharge



离子发生器下。在法拉第杯测试之前，电离消除了可能储存的电荷，接下来，把产品放在 1000 伏的充电板上。将包装材料从充电板上拿开，接地 5 秒钟后自由落入法拉第杯中，如图 5 所示。有些组织规定的合格分数是 ± 1.0 纳库即大约 ± 100 伏。产品 A 未能通过测试，而产品 B 在可接受的限度内，测试合格。

表 8 是法拉第杯的测试结果，绿色和紫色的线展示了 ± 1.0 纳库的上限和下限。产品 A 的结果用蓝线标注，产品 B 的结果用红线标注，产品 B 通过了测试。

非接触式电压测试

通过使用非接触式电压测量设备可达到精确定位隐藏电荷（危险部位）的目的，如图 6 所示。测试危险部位很重要，因为 ESD 敏感器件可能被放置在这个区域

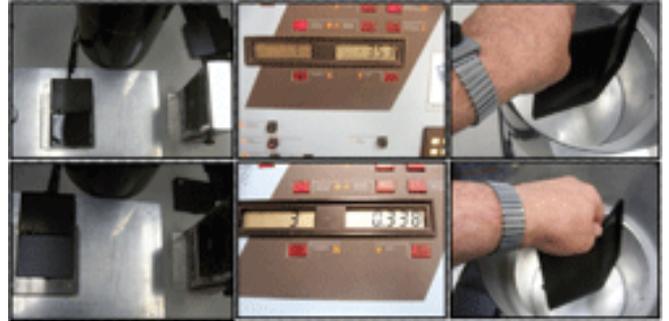


图5

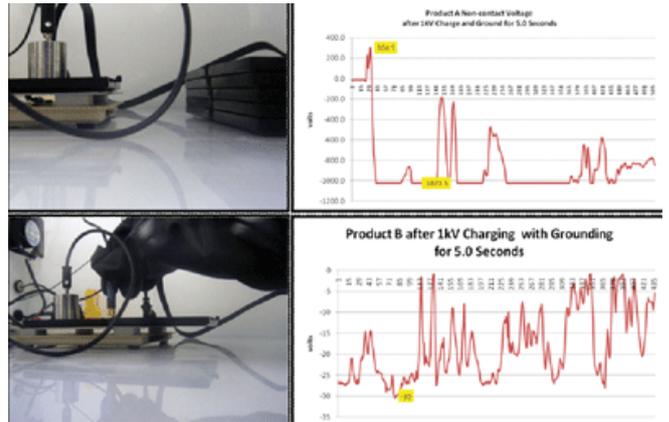


图6

上，用镊子移动时就会造成其损坏。如果整个表面测量值低于 50 伏，而一个点的峰值达到 200 伏，这表示用镊子接触一个耐受 100 伏的 ESD 敏感器件会产生潜在的危害。产品 A 的峰值电压 -1023.5 伏，超过了非接触电压系统的区间；产品 B 的峰值为 -30 伏。

有和没有电离条件下，用镊子接触放电测量

“有和没有”电离条件下，导电接触放电测量

这两种产品 A（看起来光滑的填料）和 B（缎面样的填料）都放在一个充电板上，在包装填料上放一个 25 美分的硬币。在电离条件下，消除产品 A 的电荷使其成为中性。一个 6 吋 × 6 吋 20 皮法的充电板充电到 1000 伏。接地了的人与 25 美分硬币直接接触，充电板就会接地。这模拟了一个接地的操作员，在 ANSI / ESD S4.1 工作站，直接接触不锈钢镊子和 ESD 敏感器件。如果电荷靠近 ESD 敏感器件，金属表面间的接触对敏感器件会产生静电放电。

F-65 电流探头在 25 美分的硬币上方，接地不锈钢镊子与硬币接触（见图 7 和图 10）。在图 8 中的左半部分画出充电盘上的电荷，注意在充电板被充电到前述的 1000V 后硬币被触碰的曲线的倾斜。这一现象是由于硬



图7



图8

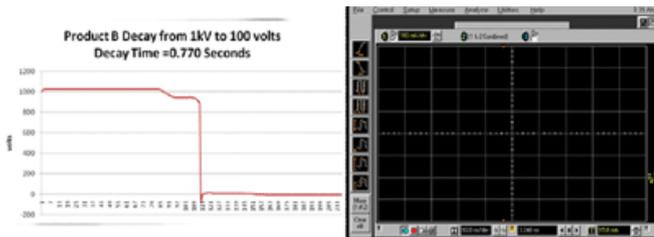


图9

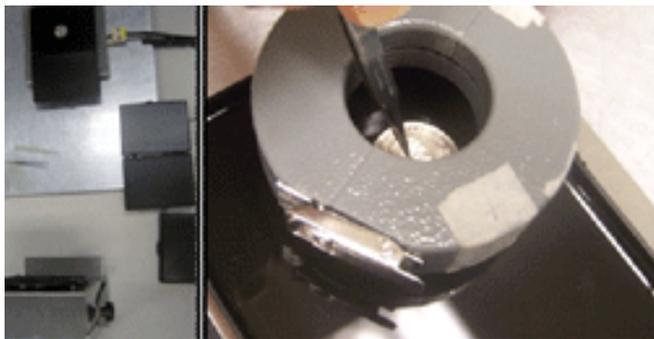


图10

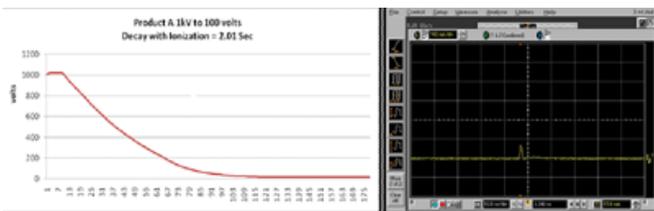


图11

币和现在接地硬币（当佩戴接地腕带的人触碰后）之间的电容效应产生的。

如图 8 所示，产品 A 产生了显著的放电现象。在这种情况下，放电电流为 4.4 安培（在示波器屏幕上的垂直刻度为 1 安培 / 格和水平刻度为 2 纳秒 / 格）、有次纳秒级的上升时间和大约 2.0 纳秒脉冲宽度。测量到了范围从约 3.0 安培至 4.4 安培的 6 个独立的放电峰值。

十年前，20 毫安持续 1 纳秒的放电就会损坏磁盘驱动器磁头。

产品 B 的情况如图 9 所示，接地的人触碰硬币，致使充电板开始传导式的电荷衰减（参见图 9 的左图）。因此，当硬币与插入电流探头的不锈钢镊子触碰时，没有产生放电。本试验重复 6 次，没有记录到放电电流。注意，示波器的垂直刻度只有 100 毫安 / 格，灵敏度比图 8 高 10 倍，触发电平小于 20 毫安，但放电现象仍然没有被记录到。因此，在放置和搬移 ESD 敏感器件期间，产品 A 可能会因为凝胶型表面造成潜在危险，而产品 B 在这期间不会产生放电危害。

电离措施下的产品A

图 11 给出了约 70 毫安的小放电电流波形，6 次试验发生了 4 次，另两次尝试没有发生放电。图 11 的左图展示了带电板上的离子如何慢慢放电超过几秒钟，因此，当 25 美分的硬币被镊子触碰时，很少或根本没有发生过放电现象。在电离条件下，产品 A（暗红色）产生放电可以忽略不计。图 11 和表 10 显示，在湿度 30% RH 时，产品 B 无需电离措施。

结论

总之，铆定组件的做法具有吸引力的方案，它可以构成一个保护超敏感的 0 级 ESD 器件的 ESD 兼容方法，但只有产品经过仔细的评估和鉴定后才行。

用于 ESD 敏感器件的产品 A 的凝胶型基板所测量的绝缘性，不符合 ANSI / ESD S541-2008（防静电包装材料）标准。产品 B 的黏结状基板在湿度 12% RH 具有静电衰减和低的电荷聚集的静电耗散性能。在无电离措施下，当导电“镊子——硬币”接触时，产品 A 不能阻止 ESD 事件发生。然而在稳态直流电离空气流条件下，产品 A 不会造成问题。与此相反，产品 B 无需电离就能阻止 ESD 敏感器件放电。在不考虑填料时，两种载碳盒是符合 ANSI / ESD S541-2008 标准。可以根据产品打算应用的场合联系供应商供应相应包装，但终端用户仍然必须证实供应商所说的，以决定什么样的包装类型是适合用在 ESD 控制区。

特别致谢

特别感谢 Conductive Containers 公司董事长 Brad

根据国标GB17743-2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》中，附录B“辐射骚扰测量的独立方法”的相关规定，我公司整合了一套专用测量系统，其测量频段为9kHz-300MHz，可同时满足GB17743-2007中传导骚扰和辐射骚扰的测量要求，此系统配置简单，如购买过传导测试系统的客户可直接将设备升级至300MHz，再配置一台耦合去耦网络即可，新客户购置此套测试系统可以同时拥有传导骚扰测试和辐射骚扰测量两种测试手段，既节约了经费，又解决了分别进行测试的繁琐操作，还能提高整改效率。

Alhm 先生提供了产品 B 的样品。

特别感谢在静电放电减灾领域的专家 Melissa Jolliff。

参考文献

- [1]. Dr. John Kolyer and Watson, “ESD from A to Z,” 2nd Edition.
- [2]. Mil Handbook 1686C-1995.
- [3]. Mil Handbook 263B-1994.
- [4]. EIA STANDARD (defunct) Packaging Materials Standards for ESD Sensitive Items, EIA-541, June 24, 1988, Appendix C, “Triboelectric Charge Testing of Intimate Packaging Materials” .
- [5]. ANSI/ESD S20.20-2007, ANSI/ESD S541-2008, ANSI/ESD S3.1-2006, ANSI/ESD S4.1-2006, ANSI/ESD STM4.2-2006, ANSI/ESD STM11.11-2006, ANSI/ESD STM11.12-2007, ANSI/ESD STM11.13-2004, ESDA Adv. 11.2-1995
- [6]. Albert Escusa and Bob Vermillion, “Using An ESD Packaging Materials Qualification Matrix for Contract Manufacturing and Supplier Conformance,” Sep 1, 2006.
- [7]. Dr. John M. Kolyer, Ph.D., Rockwell International Telephone interview in 2004.
- [8]. John Kolyer and Donald Watson, The Charged Device Model & Work Surface Selection, October 1991, pp. 110-117
- [9]. Humidity & Temperature Effects on Surface Resistivity, John Kolyer and Ronald Rushworth Evaluation Engineering, October 1990, pp. 106-110 Military Handbook-263B-1994
- [10]. Triboelectric Testing at KSC Under Low Pressure and Temperature ESD Association Proceedings 2002, Dr. Ray Gompf, PE
- [11]. ITRS Technical Requirements – Electrostatics, The ITRS is devised and intended for technology assessment only and is without regard to any commercial considerations pertaining to individual products or equipment Intel Website, Moore’ s Law

Doug Smith 最近从牛津大学演讲回来，他的专业是从事高频测量，电路系统设计和验证、电磁兼容等等。Smith 主要关注于系统，电路和设备的电磁兼容与敏感（包括静电放电）水平的设计验证和问题解决。运用多年专业知识和测量技术的经验，Smith 常常可以在很短的时间解决那些用传统工程研究方法需要工程师花费几个星期、几个月或几年的设计问题。可以通过电话 408-858-4528 或邮箱 doug@dsmith.org 和他联系。

翻译：施海霞

审核：熊蕊



▲反馈服务代码：IC1042

北京科环世纪电磁兼容技术有限责任公司

地址：北京市朝阳区将台路乙21号

邮编：100016

电话：86-10-64363390/51395131

传真：010-64363390

网址：www.kh-emc.com

电邮：bjkhsj@126.com

感谢您的一路支持

科环的未来更精彩

电磁兼容设计基本原则：我们的产品正在帮助我们（下）

Keith Armstrong, Cherry Clough Consultants
keith.armstrong@cherryclough.com

（接上期）

对于波动电流来说，最大的不同点在于有时被称作“隐形原理”——杂散电容和电感的阻抗，是电磁能流入的路径，成功的 EMC 工程师每当在考虑传导结构时都会将此路径显示出来。

电流回路的每一部分都有几个可选路径。这些路径可能是沿着导体或者通过元件和设备，抑或是通过在绝缘体，PCB 基片，空气中的杂散路径。

这看起来和电磁波传播无关。我们所设计的导体，元件和设备以及我们不曾设计过的杂散电容/电感耦合，还有不想要的（但是不能完全避免的）“意外天线”发射（见 7.2），这些看起来都只是导纳不同（阻抗的倒数）而已。

比如，电磁波的部分能量可能会离开一个导体并且沿着空气继续传播——如（电容，电场）位移电流——如果它能识别出阻抗与导体阻抗可比拟的空气路径。

当一个导体回路以高阻抗的形式产生谐振时（如阻抗匹配不好的传输线，见 7.6），而空气的“杂散电容”可以轻易创建一个低阻抗回路，从而

使大部分电流都以位移电流的形式流动。

当空气路径以低阻抗的形式产生谐振时，所形成路径的回路阻抗就会比设定导体的阻抗小得多，所以大部分电流再次以电场位移电流的形式在空气中流动。

可以说我们 SI, PI 和 EMC 设计师的主要任务都是在减少从导体电磁波（所需电流）泄露的比例——通过杂散电容和电感“逃跑”到附近导体（我们所说的串扰），和通过远场电磁波（我们称为电磁发射，并在测试实验室用天线测量）“逃跑”到空气中的部分。

每一条电流回路，不管如何形成，不管分支电流路径有多少，也不管流向哪里，总是以 100% 的电磁能量返回到源上，从而遵从能量守恒定律，了解到这一点至关重要。

事实上，能量和信号的传播并不是电流从电源流出最后又流回——在一个或多个回路间流动——而是发射和回流电流由电源同时产生，并且随即就平衡了。

总之，电流根据导纳流入不同回路的观点表明——为了达到良好的 SI,

PI 和 EMC——我们就要控制好各个路径的导纳，我们可以通过调节各路径的导纳使需要的信号或能量电流主要沿着我们设计的路径流动。

比如，如果可以设计一个可以“掉入”多条路径的无信号或能量的电流，那么就一定不存在串扰，发射，并且——直接导致——我们的产品有一个完美的 SI 和 PI，它的电磁发射为零（见 [2]）。而且，通过互惠原则（见如下 7.2）可知，它具有良好的 RF 抗扰度。

当然，我们从未达到过绝对的完美，但是我们可以将发射总量减少到一个足够小的值，并且尽可能地提高抗扰度，并且这个过程仅仅是运用物理定律而整体的制作成本没有显著增加。

相关详情请见 [6] 中的第 2 章，[7] 的 2.3 节或者 [10] 中的 10.1.4。

7.2 所有导体都是“无意天线”

发射天线就是一个将其自身电压和电流产生的电磁能刻意泄漏到空气中的导体。一个接收天线也就是一个从周围电磁场接收电压和电流的导体。

当然，通常情况下我们并不想导体发射（泄漏）它们的电磁能量，或者从环境中接收噪声。EMC 工程师通常称这种泄漏和接收现象为：“意外的天线行为”或者“无意的天线行为”。

当导体暴露在电场，磁场或电磁波在它的绝缘媒介中传播（比如空气）时，它的电气/电子线路就会产生噪音电压和电流，如果我们想在导体中产生同样的场强，就需要产生这样相同的噪音电压和电流。这叫做互易定理。

互易定理也适用于无意天线。所以当电流流过一个导体，而这个导体并未控制好电流回路，那么就会造成噪音发射，同样它也会从周围电磁环境中接收噪音。

当电子工程师谈到 SI 和 PI 时，通常将无意天线行为称为串扰，他们注意到减少来自串扰“干扰源”噪音耦合的方法也有助于减少串扰“受害者”的噪音接收——互易定理的另一例子。

7.3 电流回路的大小和耦合

当电磁能量从一个导电回路转移到另一个导电回路——不管刻意与否——都叫做电磁耦合。可以用耦合系数来描述这种耦合，该系数与频率相关，因为它包含

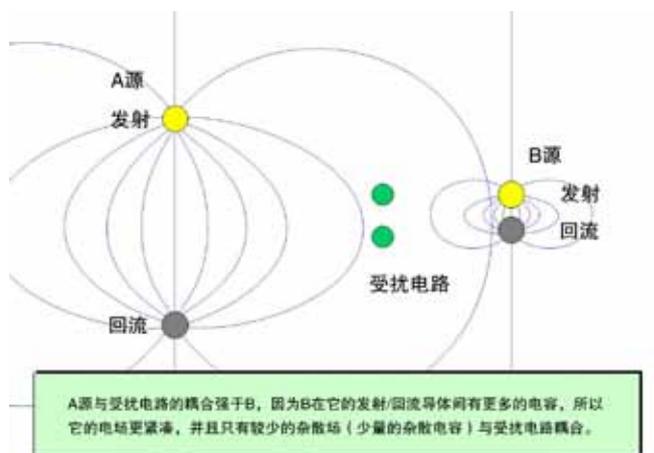


图5 电场耦合实例

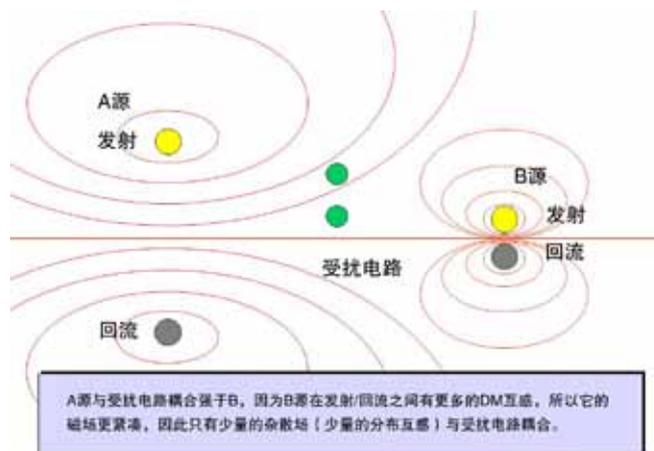


图6 磁场耦合实例

了杂散电容和电感。

截止到第一个谐振频率，接收/回流电流路径的总回路越大，阻抗就越大，导纳就越小，由此产生的电场和磁场就越大，因此它与其他导体的耦合就越强。

如图 5 电场所示，图 6 磁场（和图 10，见下文）所示，电流回路越大，需要的电流与受扰回路耦合的比例就越高，流入不想要回路的噪声电流水平就越高，引起了所需信号的波形畸变，并造成发射和抗扰度恶化。

图 5 和图 6 说明对于所有电路，减小发射/接收电流回路面积的重要性——无论它们是意外发射还是接收电磁噪声，都是为了使它们的 SI, PI 和 EMC 最优化。详情请见 [6] 中第五章，[7] 中 2.7 或者 [10] 中 10.1。

7.4 所有电流（包括杂散电流）都会自然选择阻抗最小的路径

电流天生“偏爱”面积最小的回路和最低阻抗（见上述 6 描述），这是我们知道的唯一一个对 SI, PI 和 EMC 设计者有用而不是背道而驰的物理定律。

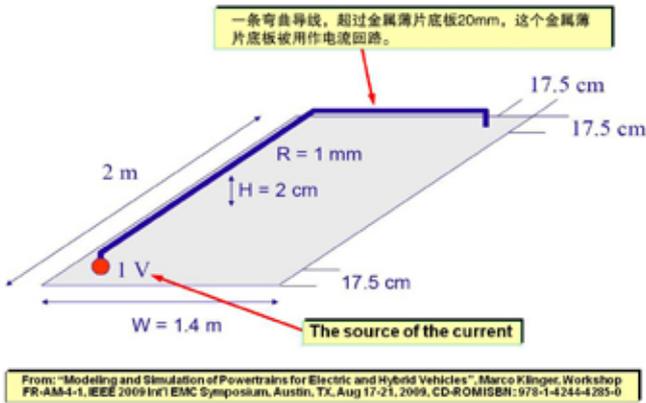


图7 一个金属薄片板底盘做回路的实例

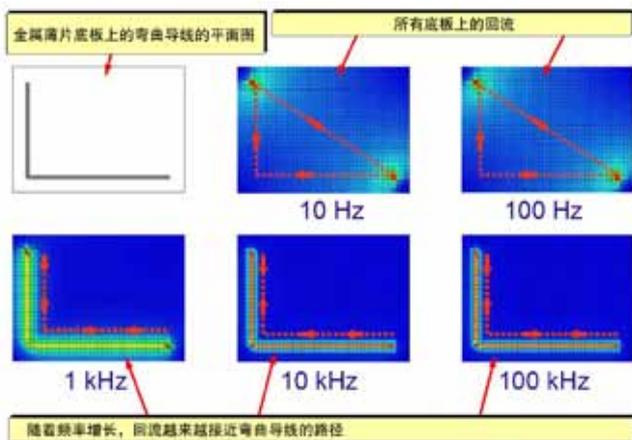


图8 平面上导线内回回路径计算机仿真

计算机场强求解器非常清晰地展现了这种现象。图7和8摘自[11]，它们表明当承载电流的弯线接近包含其回回路径的金属地板时，频率约1kHz以上的回流几乎只在导线内的金属丝里流动，并沿着导线的弯曲路径。

这是因为回路在弯曲导线内的金属片里，这也使得整个结构的阻抗在电流回路区域里尽可能小，即使回路电流不得不沿着弯道流动。

文献[11]的作者用图8中的红色虚线帮助读者了解平均电流回路路径的位置，因为电磁场求解器只提供颜色梯度。

注意到超过1kHz时，虽然回路电流沿金属片的一部分流动，但金属片剩余部分是“安静的”——也就是说它内部没有电流流动也没有电压跌落。

电路用这些电流回流路径的安静部分（比如零伏平面）就不会从弯线电流中耦合到任何电压噪声。（处于100Hz时和低于薄片阻抗时，由扩散的回流在其他回路中产生的噪声电压一般忽略不计）。

我们有很多不同的电路隔离区域（比如数字，模拟，转换模式等）共用相同的零伏平面（在下文8中称为射频参照面），这些区域相互间没有引起串扰或干扰的“地噪声”电流。如何运用该理论创造出低成本的SI，PI和EMC，详情见[7]中的第7章和[12]全文。

我曾经多次见过对图7中的地板走线结构或地平面上的PCB走线（比如[13]中幻灯片46-50）进行的仿真，也有用近场探头来做实际测试。所得结果都一样，即使到了人们关心的数GHz以上的频率。

7.5 导体内的能量和信号有两种波传播模式

差模，DM（也称为横向模式或者金属模式）就是之前所说的我们“想要的”能量和信号。

如图5、6所示，当一个DM回路的近区电场和磁场遇到另一导体时，杂散的、泄漏的、“不想要的”电磁能量就会造成共模（即“纵向模式”或“天线模式”）。当远场电磁波从设定电路的需要信号耦合能量到另一个

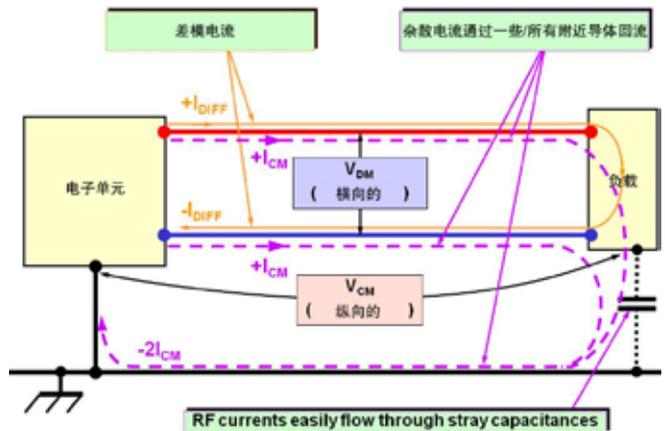


图9 对于一个浮动负载，DM（想要的）信号产生CM噪声的例子

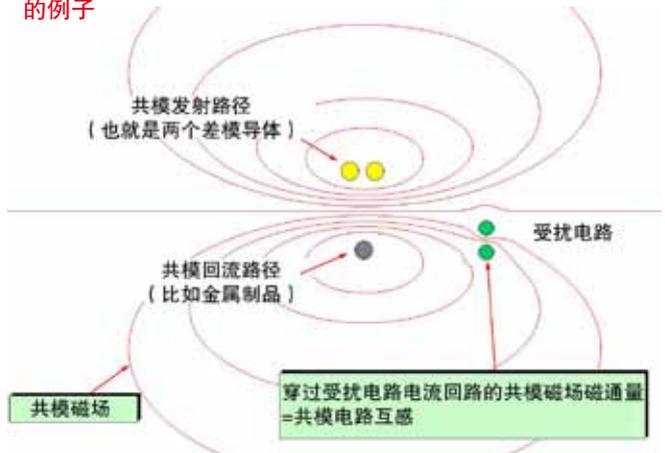


图10 共模磁场耦合的例子

电路时（意外无线电传输和接收），共模也会发生。

图9展示了一个简化系统中DM和CM的相对路径。

上述7.1说明并不是所有电流都在导线内！

有些电流是以杂散CM电流的形式流动，它也跟所有电流一样必须沿闭合回路流动。

因为CM回路一般比DM回路大很多，所以它们的电场和磁场波形传播的更远。CM通常是引起“无意天线”效应的主要原因，它造成了从1MHz到1GHz频段的发射和抗扰度问题。

图10表明了CM电流也会通过磁场耦合与“受害”电路耦合，这与DM电流耦合相似（见图6）。

减小CM回路的大小会减少它与被扰回路间的磁场耦合，图6同样减少了DM回路的大小以减小其与被扰回路间的耦合。减少CM电流回路的大小同样会减少它与被扰回路间的电场耦合，这对于图5所示DM电场同样适用。

所以，与减小所需（DM）电流回路面积从而实现良好SI、PI和EMC设计类似，所有多余的，意外的，CM电流回路也很重要。详情请见[6]中的5.5，[7]中的2.7.5或者[10]中的10.1.5

7.6 谐振导体会产生完美的无意天线

导体结构在某个频率产生谐振的原因有多种。

- a) 当L和C电抗相等时
- b) 尺寸与波长相互制约

第二项主要涉及传输线匹配。特性阻抗不匹配的导体会引起反射波，在某种条件或某个频率会出现驻波，这是谐振的一种。

处于谐振频率时，回路阻抗在导体的串联电阻（可能只有几 $m\Omega$ ）和并联电阻（可能几 $M\Omega$ ）之间大幅波动。

无意天线效应（无论近场还是远场的杂散耦合）被谐振显著放大，通常在10到100倍之间（20到40dB），也有可能更大，由互易定理知发射和抗扰度均会受到影响。

7.7 对于SI、PI和EMC没有“大地”或“地”之说

电流总是沿着闭合回路流动。所以这个观点，即我们可以用接地电极提供的零阻抗槽来吸收或去除不想要的电能，信号或噪音，是不现实的——完全是虚构的，并且是没有事实依据的[13]。详情见讲义32，33和79。

即使存在零阻抗地极（实际上不可能存在，因为一切事物都有阻抗）——假如我们让不想要的电流流入它，那么电流将通过一些其他路径流回以形成回路。因此宇宙中没有电流接收器。

地仅仅是相对于人身安全的一个概念（只有一些作用），它通过限制人们能接触到的最大电势差来防止触



图11 这个铜线不是SI、PI或EMI的“地线”或“地”



图12 这些也不是SI、PI或EMI的“地线”或“地”



图13 这些也不是SI、PI或EMI的“地线”或“地”



图14 这些也不是SI, PI或EMI的“地线”或“地”电，不管是由电流泄漏、故障还是雷击引起。

即使地线是出于安全在完成本职工作，相关电流依旧会沿闭合回路流动。

图 11 到 14 说明了一些地的例子，但这仅仅是一个产品，设备，建筑物传导结构的一部分，这些传导结构帮助 CM 电流回流到源。无论这些结构是否与安全地线相连接，它们对于 SI, PI 和 EMC 都无足轻重。

当然，我不是第一个说地对 SI, PI 和 EMC 无意义的人。IBM 的杰出工程师 Bruce Archambeault 博士是 IEEE 电磁兼容学会的重要成员，许多年前他绘制出图 15 中的图像，以一种更有趣的方式展现出了相同的观

点，详见 [13]。

人们很自然认为“地”可以无限吸收噪声电流——虽然这种事情并不存在——运用这些词语或标识导致了許多 SI, PI 和 EMC 错误的设计，多年以来为此浪费了数百万美元。

所以我强烈推荐不要再将“地”这个词语和它的标识用于电子设计中（除了实际需要安全地，并只用于电气安全目的）。作为替代，我们称传导结构为射频参照（见如下 8），CM 回流路径等其它。

用“底座”，“框架”，“外壳”，“屏蔽”或者“法拉第笼”这样的词语也会导致像“地”一样的概念设计错误——所以一定要非常小心地去运用这些词语，确保它们代表的意思是它们的实际内容（即用金属做的机械结构），而不是假设它们是（虚构的）噪声电流的无限接收器。

详情见 [6] 中 5.7 或者 [7] 中 2.7.7, [10] 中 11.1.2 和 11.1.3

8.将这些“电磁设计工具”运用到实际PCB组装中

8.1示例介绍

上述 2 到 7 部分给出了一组电磁设计工具——能量和信号的电磁能是如何选择沿最佳 SI, PI 和 EMC 传送



From Slide 42 of: "The "Ground" Myth", Bruce Archambeault, Ph.D., IBM Distinguished Engineer, FIEEE, 18 November 2008, <http://ewh.ieee.org/r6/phoenix/phoenixemc/PCB-Design.pdf>

图15 “地”对于SI和EMC没有意义

的抽象概念。

注意到从第2到第7部分特意只涉及到了少量数学；理解这些重要内容是不必要采用大量数学的。实际上，用方程式难以理解其精髓，成功的EMC设计师会用“心”去“看”产品的传导结构。

对于现代产品如此复杂的结构，设计师最好是理解概念并且拥有“慧眼”，而不理会电磁场求解器的计算。

举一个现实生活中的例子——典型电子产品的电磁发射和抗扰度控制，如图16中设计图所示。

为了将总的制造成本最小化，PCB组装应该具有良好的EMC特性，才可以防止浪费时间和金钱（还要增加重量和大小）。

因为我们的电磁设计工具都关注于通过控制电磁场模型来减小不需要的“噪声”耦合，因此这个工具也同时提高了模型的抗扰度（提高对周围环境的抗扰度，比如附近的对讲机，手机，GPRS，3G，无线网和蓝牙，瞬变电压，静电放电和闪电）。

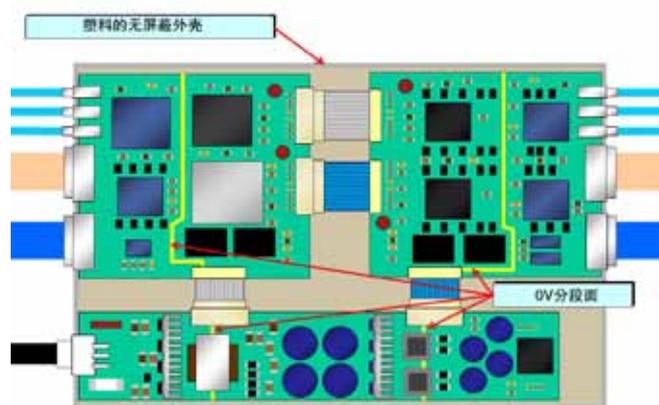


图16 PCB组装的实例概述

这个假设使得实例的初始设计与上文概述2到7中的“电磁设计工具的物理定律”不一致。我们从中看到了在实际应用中，许多电子产品设计部门普遍糟糕的设计。

其中一个例子就是运用所谓的“单点地”（有时也叫做“星式接地”），并用0V面在PCB之间分隔。即假设保证设备的回路电流只在一个特定区域内流动，以防止它们之间的噪音串扰（比如模拟电路里的数字噪音）——但这仅在数十kHz以下才适用。

对0V面进行拆分忽略了一个事实——即波动电流总是根据路径的导纳来分配，这些路径包括了通过空气或者绝缘导体的“杂散”路径（见上述7.1）。正是这个原因，自1980年以来，作者发现在使用微处理器和开

关模式转换器时，对于SI，PI和EMC来说单点地是一个糟糕的设计。其他人必定会给出1980年之前的例子。

在实例中用到了另外一个糟糕的设计原则，就是以最低的物料清单成本（BOM）生产最盈利的产品。这样板层和去耦的数量就会减小到满足功能规范的最低要求。而且，并未规定EMI滤波器适合于所有电缆连接，因为这将会增加板的面积。

第1节提到自2000年以来，以最低的物料清单成本生产盈利产品是错误的做法。有一般常识的人就能看出，在这个过度简化的方法里存在的谬论——我们不得不考虑一个物料清单成本虽然只有对手一半（或许更少）的产品——但是会惨遭100%的保修退货率。毫无疑问，这不可能是个成功的产品，就算产品的盈利确实比材料成本多得多。

我每年都会看见许多像图16的设计。最初它们的功能性很差，特别是信噪比（S/N）较低并采用多种重复设计的不可靠软件，就会造成项目延迟，成本增加并降低盈利。

一旦解决了功能性问题，他们就会通不过EMC测试，这需要进行更多的设计迭代，因而造成更多的延迟和项目成本，额外的滤波器和屏蔽也会增加成本、重量和大小并减少盈利。他们还会遇到出乎意料的保修退货率，这从很大程度上减少了盈利。

图17显示了PCB上方20mm的近场发射，此时它满足了功能性规范但尚未进行过EMC测试。

这样的近场意味着什么呢？这靠近PCB及它的元

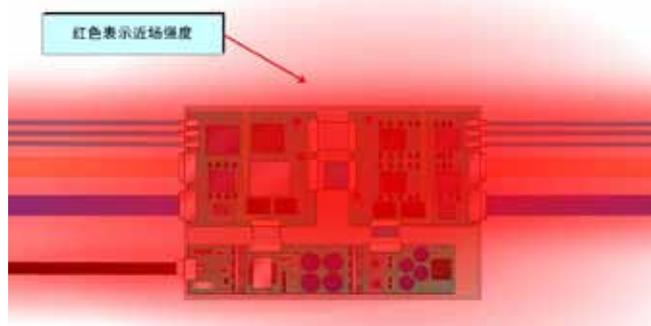


图17 实例的近场图（用近场探头测量或模仿）

件，包括所需的DM信号，加上DM和CM串扰与噪音。高水平意味着在模拟电路上信噪比的减少，以及在数字电路上噪声容限的减少——导致了软件的不可靠。

在 EMC 测试中，大面积的近场强度高也代表着传导和辐射发射强，及较差的传导抗扰度和辐射抗扰度。

在现实中，大面积的近场强度高意味着客户满意度低（因为卖顾客喜爱的产品更简单容易，但销售成本却会增加），并且保修成本更高。这些都会降低盈利。

从第 2 章到 7 章所讨论的物理定律来看：

- 所有电流（包括 DM 和 CM “噪音” 电流）都沿闭合电路流动

- 电流回路形状和面积控制着场的分布

- 电流会“偏爱”阻抗最低的回路——因此场分布最小，并且有良好的内外部 EMC。

所以我们可以知道如何对电路设计和 PCB 布局做一系列改进，努力减少 DM 和 CM 电流的区域面积，使得它们产生的近场更小。

8.2改进 #1：建立一个射频参照

我们用单个 PCB 板来代替多个 PCB 板，且单个 PCB 板具有一个横跨整个区域的公共导体（几乎总是 0V），我们把该公共导体称为射频参照。你可以为它选择一个你自己的名字，只要不是“地”就行。

PCB 中的射频参照是一个固体的，连续的，铜平面，它位于底部——完善地远隔——所有设备，元件，导线和电源层区域。

应该不会有导线“溜进”这个平面层，在该平面出现的任何缺口一定都是无法避免且尽可能小。

手机设计者发现贴近 2 瓦特超高频或微波射频发射机，扩音器和微处理器的产品即使过孔周围的空隙也过多地增加了射频参照面的阻抗，因此他们采用了先进的微过孔 PCB 制造工艺（称为“高密度连接”或 HDI，或者叫“积层”），该工艺能够提供 100% 的固体铜射频参照面。

一个射频参照可以有非常低的阻抗（Z），它的值取决于设备和需要满足的 EMC 规范要求——但必须使其值在全频段远小于 1Ω ，以免引起 / 遭受电磁干扰问题。

“必须控制好频率范围以免引起 / 遭受电磁干扰问题”是指在 PCB 设备里产生的所有 DM 频率，及在工作环境和 / 或抗扰度测试标准里的所有频率（如果他们需要一个更高频率范围的抗扰度）。

设计一个盈利的产品是在满足客户的同时以一个整体利润来销售产品，并且要满足客户更多的 EMI 要求，

而不仅仅是通过 EMC 测试标准的最低要求。

建立射频参照很自然地就为所有可能的能量 / 信号 / 噪声电流，以及 PCB 上的 CM 噪声电流提供了一个低阻抗（高导纳）的回流路径。由于它非常贴近 PCB 的元件，设备和导线，所以这些电流回路区域都很小——这正是我们所需要的良好的 SI，PI 和 EMC。

意识到没有必要“强迫”回路电流沿射频参照面流动，从而使电场和磁场发射最小这点至关重要——我们只需要提供一个射频参照面，随即它们将会自然而然地“选择”沿它流动而不是其他地方！（见图 7 和 8）。射频参照面最适用于一些低剖面元件，所以我们可以用一些离 PCB 和射频参照面极近的元件代替那些离参考面高的元件。

在 PCB 中建立有效的低阻抗射频参照面，详情请见 [7] 中 7.4，[12] 中的 3 和 4，[10] 中 11.2.2。

8.3改进 #2：直流源的去耦

我们在直流电源导线和射频参照面间设计去耦以实现低阻抗，它的值（对于 8.1）由设备和需要满足的 EMC 规范决定——但一定要使其在全频段远小于 1Ω ，以免引起 / 遭受电磁干扰问题。

这就允许在电源导线间的 DM 波动电流沿更小的回路流动，并且离设备非常近——它们“选择”了自己的方向，而不是在射频参照面内大范围流动——由此产生更小范围的 DM 近场，并且引起的 CM 噪声发射比大面积引起的发射少。

PC 主板目前要实现频率远大于 1GHz 时电源阻抗远低于 $0.25m\Omega$ 。这是不可能通过廉价的去耦电容实现的，因为 300MHz 以上超出了它们自身的谐振频率因此呈现感性——它们的阻抗随着频率升高——所以阻抗不可能很低。

然而，由于在 PCB 里有一个射频参照面，我们便可以在 PCB 的玻璃纤维介质里，将它和相邻的电源层配起来提供分散式的去耦电容，这能在数 GHz 以上都维持一个非常低的阻抗。

如何在 PCB 里进行有效的去耦，相关细节见 [7] 中的 7.5，[12] 中的 5 和 [10] 中的 12.1.3。

8.2改进 #3：滤波电缆

对于射频参照面内所有与外部导体有连接的走线，

我们都在其上设置连接或滤波器，不管它们的电子/电气/或是其他用途（包括金属部件；和金属液压/气动管等）。

输入端的滤波器常常只是一个与射频参照有关的电容，但在输出端的滤波器一般都需要一个串联电阻器或者软磁扼流圈，以此来保证增加电容的同时不会显著增加输出电流的峰值。

当然，我们可能需要通过电容与电阻或软磁扼流圈/CM扼流圈相结合来制作更复杂的滤波器——但有太多的细节是本文刚涉及到的。滤波详情请见[7]中的5、[12]中的2或[10]中的13.2。

将这些滤波器放置在走线与外部导体连接的地方，这样就为CM电流提供了一个低阻抗的路径，否则这个电流将从PCB“泄漏”到导体中。至于8.1，阻抗的值是由设备和EMC要求规范决定的，但是一定要使其在全频段远低于 1Ω ，以免引起/遭受电磁干扰问题。

8.5改进 #4：用匹配的传输线

设备数据表规定了匹配的传输线——通常用于高速时钟或串行数据——设计师一般都记得控制它们的走线布局 and 匹配阻抗。

但是他们一般不会将其他所有的走线都视为匹配传输线，除非他们在研究数字信号上升/下冲，振荡或其他冗余噪声，而这些噪声在项目后期会引起错误或不稳定的软件操作——这个阶段的延迟和设计变化也是最贵的。

这些上升/下冲或者振荡意味着会产生强烈的发射（和发射频点处的低抗扰度），如[2]中所示。抑制它们可以取得良好的EMC，要么通过在它们驱动处进行滤波，要么用匹配的传输线来减少“意外天线”效应并防止谐振，由此可以产生很低的上升/下冲和无振荡。这也可以减少串扰并使（无缺陷！）软件可靠的工作。

关于什么时候将PCB导线或者电缆作为一个匹配传输线，在EMC教材中有叙述。但是数字设备（脉冲）上升和下降时间都很短（74级胶合逻辑小于0.5毫微秒，而对微处理器和内存则小于0.2毫微秒），因此几乎所有走线和电缆要么需要用滤波来减少它们的频率分量，要么将其按匹配阻抗的传输线处理。

设计匹配传输线更多详情请见[7]中的4.7和7.6，[12]中的6。

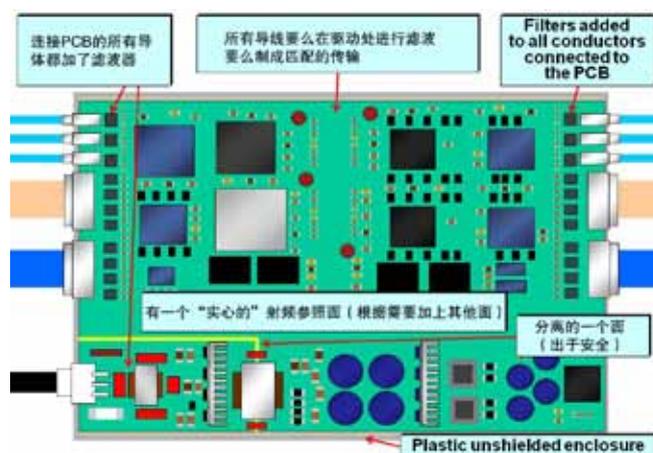


图18 改进后的PCB组装实例

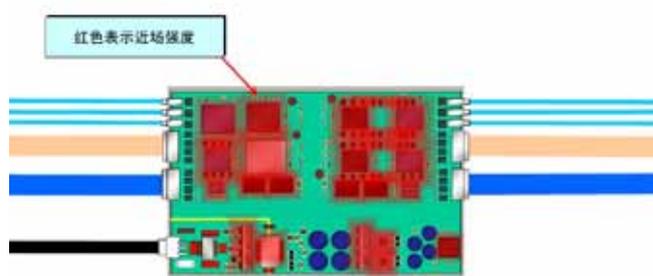


图19 改进后PCB组装的近场图（用近场探头模仿或测量）

8.6改进实例

图18代表了上文中8.2到8.5提及的PCB改进实例。值得注意的是，在主安全隔离变压器下，仍然有一个平面分割——这是不可避免的。

无论是增加提供射频参照和电源层的板层，以及增加额外控制传输线阻抗的层数，还是增加去耦电容和滤波器，总的生产成本（不是物料清单）仍然较低也是相当正常的。这是因为移除了板间的连接器和电缆——而连接器和电缆往往会造成组装错误及返工；性能不可靠及退货。

图19是改进后的PCB组装20mm以上的近场图，我们可以看到只在元件周围存在一些小的红色区域。这些完全是想要的能量和信号产生的DM场，在没有消除能量或信号本身的情况下我们不能消除它们。

记住，所有的波动电流（无论是能量，信号或是噪声）实际上都是以波的形式传播的电磁能量，所以我们最好是提供一个可以允许这些电流自然地流进低阻抗（高导纳）回路的结构，以此来创造小的局部场分布，这对SI、PI和EMC很有好处。当我们完成了这些，如

图 19 所示，我们可以发现 CM 噪声电流产生的场分布很小。

8.7 采用屏蔽电缆

当采用滤波器和无屏蔽的电缆（[7] 中 4.4，[12] 中 2 及 [10] 中 13.1.8）不能充分抑制电缆周围的 DM 或 CM 场时，就需要对一些（或全部）电缆和 / 或 PCB 组装的一部分（或全部）进行屏蔽。

9. 总结

所有的电气和电子行为都是电磁波形式传播电磁能量，而安全地的连接对它们没有影响，所以这种连接对于 SI、PI 和 EMC 是不重要也是没有必要的。

我们可以简单地设计电路和 PCB，为想要的 DM 和杂散 CM 电流创造小的，低阻抗的电流回路，电磁波自然而然地喜欢沿这些路径流动。所以，通过物理定律的作用，我们自动地就实现了非常紧密的场型，并且这种场型最利于内外部 EMC 和最终的盈利。

因为这些工艺通过控制场型来减少了多余的“噪声”耦合，也正是这个工艺利用了互易定理来提高了抗扰度，比如减小多余“噪声”耦合。

良好的 SI、PI 和 EMC 设计原则非常清晰，易懂，并且在实际中很容易以较低的成本进行修改。产品实际上是在竭尽全力帮我们通过 EMC 测试和满足 EMC 要求规范——我们要做的就是它们在设计的开始给予小小的帮助。

参考文献

[1]. Armstrong, K. “Key knowledge for the efficient design of electronic products and their EMC – that we were never taught at university”, Keith Armstrong, ANSYS Seminar “Next Generation Signal Integrity and EMI Simulation”, 23rd March 2011, Oxford, UK. www.ansys.com/staticassets/ANSYS%20UK/staticassets/Keith_Armstrong_Presentation_ANSYS_March_23%202011.pdf

[2]. Armstrong, K. “EMC and Signal Integrity,” Compliance Engineering, March/April 1999.

[3] “The Consumer Electronics Boom-How Semiconductor and Consumer Electronics Companies Can Improve Cost, Time-to-Market, and Product Quality,”

KPMG LLP’s Information, Communication and Entertainment (ICE) Practice, 2008.

[4] Armstrong, K. “BOM cost, and profitability,” The EMC Journal, May 2009, pp 32-34.

[5] Armstrong, K. “Maxwell’s Equations, Quantum Electrodynamics, and good installation practices for SI, PI and EMC,” The EMC Journal, Issue 91, November 2010.

[6] Armstrong, K. “The Physical Basis of EMC,” Armstrong/Nutwood UK, October 2010, ISBN: 978-0-9555118-3-7.

[7] Armstrong, K. “EMC Design Techniques for Electronic Engineers,” Nutwood UK November 2010, ISBN: 978-0-9555118-4-4.

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_state

[9] Feynman, R.P. “QED The Strange Theory of Light and Matter,” Penguin Books, 1990, ISBN: 0-14-012505-1.

[10] Williams, T. “EMC for Product Designers, 4th Edition,” Elsevier 2007, ISBN-10: 0-750-68170-5, ISBN-13: 978-0-75-068170-4.

[11] Klinger, M. “Modeling and Simulation of Powertrains for Electric and Hybrid Vehicles,” Workshop FR-AM-4-1, IEEE 2009 International Symposium on EMC, Austin, TX, Aug 17-21, 2009.

[12] Armstrong, K. “EMC for Printed Circuit Boards – Basic and Advanced Design and Layout Techniques,” Nutwood UK December 2010, ISBN 978-0-9555118-5-1.

[13] Archambeault, B. “The ‘Ground’ Myth”, 18 November 2008, <http://ewh.ieee.org/r6/phoenix/phoenixemc/PCB-Design.pdf>

Keith Armstrong 毕业于伦敦帝国理工学院，1972 年获得了电子工程专业的荣誉学士。他从 1977 年就是 IEEE 的成员了，1978 年成为英国特许工程师，并且是 1988 年的第一批欧洲工程师。1990 年他创立了 Cherry Clough 咨询公司。他的联系方式是：keith.armstrong@cherryclough.com

翻译：石丹

校对：高攸纲



▲ 反馈服务代码: IC1105

TDK 电波暗室技术的领航者

TDK作为电波暗室的承建商、使用者、对策产品的生产商，为您提供全方位的EMC解决方案！

- TDK，1969年开发出适用于电波暗室的铁氧体，同年，开发出复合型吸波材料构造的电波暗室
- 四十多年交付千座以上电波暗室的建造经验值得信赖
- 2009年，超高性能电波暗室（NSA $\pm 1.5\text{dB}$）已经在日本八幡TDK技术中心问世（如上图）



咨询信息

TDK株式会社 中国电波部
TDK（上海）国际贸易有限公司
 地址: 上海市延安西路2201号2201
 邮编: 200336
 电话: +86-21-61962424
 传真: +86-21-62709900
 北京office
 电话: +86-10-85866277 Ext: 226

TDK苏州EMC中心
TDK（苏州）电子有限公司
 地址: 苏州市工业园区星海街226号
 邮编: 215021
 电话: +86-512-62568660 Ext: 228
 传真: +86-512-62561173

TDK华南EMC中心
 地址: 广东省东莞市长安镇振安科技工业园
 邮编: 523875
 电话: +86-769-85644678 Ext: 222
 传真: +86-769-85644499

电磁屏蔽技术的理论 分析与应用

3M中国研发中心
魏 崑

摘要：随着电子产品的广泛应用和电磁环境污染的加重，对电磁兼容性设计的要求也越来越高，对电磁兼容设计的主要技术之一的屏蔽技术的分析与研究也就愈显得重要。本文通过对电场屏蔽和磁场屏蔽原理的理论分析，有助于明确屏蔽的概念及其内涵，有利于 EMC 工程师深入理解屏蔽技术分类和屏蔽材料选择时需要遵循的原则。

关键词：电场屏蔽 磁场屏蔽 屏蔽材料

屏蔽原理

电磁波是电磁能量传播的主要方式，高频电路工作时，会向外辐射电磁波，对邻近的其它设备产生干扰。另一方面，空间的各种电磁波也会感应到电路中，对电路造成干扰。电磁屏蔽的作用是切断电磁波的传播途径，从而消除干扰。在解决电磁干扰问题的诸多手段中，电磁屏蔽是最基本和有效的。用电磁屏蔽的方法来解决电磁干扰问题的最大好处是不会影响电路的正常工作，因此不需要对电路做任何修改屏蔽就是用电或导磁材料制成的盒、壳、板、栅等结构形式，将电磁干扰场限制在一定的空间范围内，使干扰场经过屏蔽体时受到很大衰减，从而抑制电磁干扰源对相关设备或空间的干扰。具体讲，就是用屏蔽体将元部件、电路、组合件、电缆或整个系统的干扰源包围起来，防止干扰电磁场向外扩散；用屏蔽体将接收电路、设备或系统包围起来，防止它们受到外界电磁场的影响。因为屏蔽体对来自导线、电缆、元部件、电路或系统等外部的干扰电磁波和内部电磁波均起着吸收能量如涡流损耗、反射能量如电磁波在屏蔽体上的界面反射以及抵消能量如电磁感应在屏蔽层上产生反向电磁场，可抵消部分干扰电磁波的作用，所以屏蔽体具有减弱电磁干扰的功能。

屏蔽的理论基础是电磁波的反射与吸收，投射到屏蔽罩上的电磁能量一部分被反射回去，另一部分被屏蔽罩吸收。屏蔽的效果一般是用屏蔽前后同一点场强的比

值来表征，称为屏蔽效能 SE (Shielding Effectiveness)：屏蔽体的性质的定量评价。从屏蔽的侧重范围则可大体分为电场屏蔽、磁场屏蔽和电磁场屏蔽三种，本文重点对电场屏蔽和磁场屏蔽技术进行理论分析：

电屏蔽效能为

$$SE = \frac{E_0}{E_1}$$

$$SE(\text{dB}) = 20 \log \frac{E_0}{E_1}$$

磁屏蔽效能为

$$SE = \frac{H_0}{H_1}$$

$$SE(\text{dB}) = 20 \log \frac{H_0}{H_1}$$

E_0 、 H_0 分别是未加屏蔽时空间中某点的电场和磁场
 E_1 、 H_1 分别是施加屏蔽后空间中该点的电场和磁场
屏蔽前后场强度衰减量与屏蔽效能的关系如表 1 所示：

表1 衰减量和屏蔽效能的关系

无屏蔽场强	有屏蔽场强	屏蔽效能SE (dB)
10	1	20
100	1	40
1000	1	60
10000	1	80
100000	1	100
1000000	1	120

电场屏蔽

从场的观点看, 电场屏蔽实质是干扰源发出的电力线被终止于屏蔽体, 切断易感受器与干扰源的联系。从电路的观点看, 屏蔽体起着避免或减少干扰源与感受器之间分布电容的耦合作用。电场屏蔽又可以细分为静电场屏蔽和交变电场屏蔽。

1. 静电场屏蔽

在静电场中, 导体处于静电平衡状态时具有如下性质: 导体内部场强为零; 导体表面任一点的电场强度矢量与表面相垂直; 导体表面是等势面; 电荷智能分布在导体表面上。电场线起始于正电荷, 终止于负电荷。静电屏蔽关键就是设法使电场线终止于屏蔽体的表面, 抑制静电场的影响。当屏蔽带电体的电场时, 除了要用导体空腔将带电体屏蔽起来外, 还必须将屏蔽空腔接地。如图 1 中屏蔽腔不接地状态下的电场线分布情况, 屏蔽腔的内表面感应出与带电体等量的负电荷,

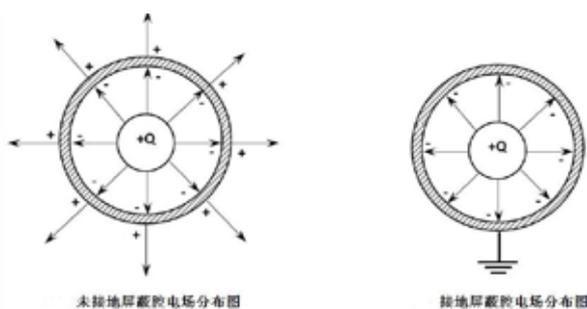


图1 屏蔽腔电场线分布示意图

外表面则感应出等量的正电荷。在屏蔽体上电场线中断, 导体内部没有电场线存在。但是屏蔽空腔外的空间中仍然存在着感应电荷产生的静电场, 所以, 不接地的屏蔽空腔是不能起到静电屏蔽作用的。若将屏蔽空腔接地, 如图所示屏蔽空腔外表面所感应的电荷将通过接地线流入大地, 外部电场消失, 电场线被限制在屏蔽空腔内部, 起到了屏蔽作用。由分析可知, 静电屏蔽需要具备两个基本条件: 导体空腔和良好的接地。静电屏蔽最常用的材料为导电良好的铜或铝, 要求不高时也可采用薄钢板。对于有源静电屏蔽, 其屏蔽效果主要取决于金属壳体的接地质量。屏蔽体与地面间的阻抗越小, 屏蔽效果越好。

2. 交变电场屏蔽

交变电场屏蔽的实质是抑制低频电容性耦合干扰, 由电磁场原理易知, 低频交变电场的骚扰源与接受器之间的电场感应耦合可以用它们之间的耦合电容进行描

述, 因此低频交变电场的屏蔽可采用电路理论加以进行理论推导分析。如图 2 所示, 设干扰场源为 S, 接受器为 R 且与地之间的耦合电容为 C_R , S 与 R 之间的耦合电容为 C_{SR0} , 则 R 受 S 的影响而产生的感应电压 U_{N0} 可近似为:

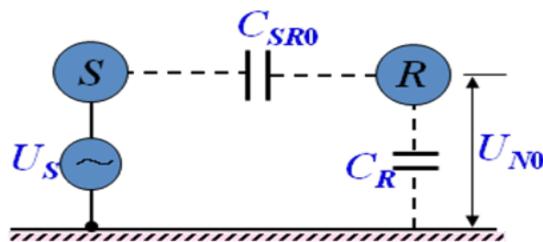


图2 未加屏蔽时电场感应耦合等效电路

$$U_{N0} = \frac{C_{SR0} U_S}{C_{SR0} + C_R} = \frac{U_S}{1 + C_R / C_{SR0}}$$

从上式可见, S、R 间的耦合电容 C_{SR0} 越大, 两者的电场感应就越严重。减小电场感应效果即为了减小 S 对 R 的影响, 应设法使 C_{SR0} 尽可能小。如图 3 所示,

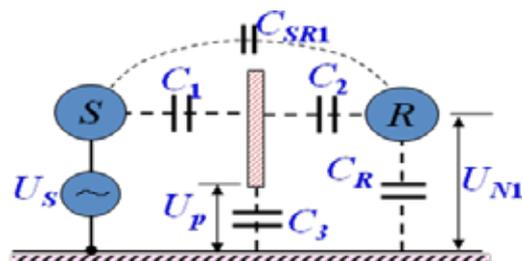


图3 加入屏蔽体后电场感应耦合等效电路

在 S 与 R 之间插入屏蔽体后, C_{SR1} C_{SR0} , 可忽略 C_{SR1} , 则可得:

$$U_{N1} = \frac{C_1 \cdot C_2}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_R)}$$

由于屏蔽体与 S 之间的距离小于 S 与 R 之间的距离, 而屏蔽体的面积通常会大于 R 的面积, 因此 C_1 和 C_2 均大于 C_{SR0} , 比较上述两个公式不难发现: 屏蔽体若不接地, S 与 R 之间的电场感应强度仍然很强, 甚至会比无屏蔽体时更强。如图 4 所示,

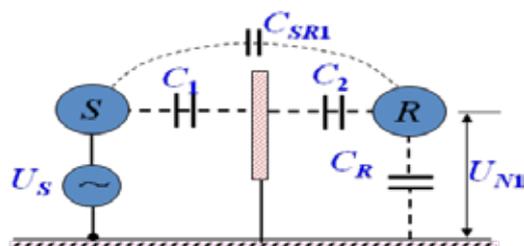


图4 屏蔽体不接地后电场感应耦合等效电路

在保证屏蔽体金属体良好接地后， C_1 和 C_2 的影响可略去不计，可得：

$$U_{N1} = \frac{C_{SR1}U_S}{C_2 + C_R + C_{SR1}} \approx \frac{C_{SR1}U_S}{C_2 + C_R}$$

此时主要是 S 和 R 之间迂回金属板的电场所形成的分布电容 C_{SR1} 造成的耦合。若金属板足够大， C_{SR1} 趋于零，则 U_{N1} 也将趋于零，即金属屏蔽体屏蔽了 S 干扰场源的电场对 R 的影响。另外，由上式分析易知金属屏蔽体越是接近 R， C_2 就越大，则 U_{N1} 就越小，故而金属屏蔽体要尽量靠近被屏蔽体。所以电路中常用接地良好的编织线作为屏蔽层将导线包围起来，能保护线路避免外部电场干扰，同时防止导线本身产生的电力线向外泄漏。

磁场屏蔽

磁场屏蔽可分低频磁场屏蔽和高频磁场屏蔽两类。任何载流导体或线圈周围都会产生磁场，磁场随导体电流的变化而变化，这种变化的磁场常对周围的电子线路或敏感器件造成干扰。电子线路中常存在有环形布线线圈、信号环路等，强信号环路易形成磁场发射，而弱信号环路则更易受周围交变磁场的干扰。

1. 低频磁场屏蔽

电场有电力线，磁场有磁力线，磁力线通过的路径称为磁路。磁路与电路有类似的特征。磁路具有磁阻，磁阻与磁路的长短、磁路的截面积及相对磁导系数相对磁导率金属的磁导率与空气的磁导率之比有关。磁导率越大，磁阻就越小，磁通主要选择通过高磁导率材料。如果磁场中存在高磁导率的磁场通路，则磁通相对通过周围空气的部分变小，使得周围空间的磁场干扰也同时减少，可以等效为起到了磁场屏蔽作用。

对于低频磁场含恒定磁场，其屏蔽体的屏蔽效能远不如电屏蔽和电磁屏蔽。当磁场频率低于 100K HZ 时，屏蔽措施主要有赖于高磁导率材料所起到的磁分路作用，低频磁场屏蔽的机理是利用高导磁材料所具有的低磁



图5 低频磁场屏蔽原理示意图

阻特性，使磁场通过磁阻小的通路而不扩散到周围空间去，从而起到磁场屏蔽的作用。如图 5 所示，磁屏蔽材料的磁阻与其磁导率成反比，磁导率越大，磁阻越小，因此，磁屏蔽通常选用铁磁材料，如铁、硅钢片、坡莫合金等。使用磁屏蔽体时磁屏蔽材料的磁导率越高，屏蔽体越厚，磁阻就越小，屏蔽效果也越好；制作磁屏蔽体时，开口或缝隙不应切割磁感线，否则会增加磁阻，降低屏蔽效果；磁材料不能屏蔽高频磁场，因为高频时磁材料的磁性损耗很大，导致磁导率下降。

值得注意的是，高磁导材料如铁镍合金等磁导率会随外加磁场强度的变化而变。当外加磁场强度较低时，磁导率会随磁场强度的增加而升高，而当外加的磁场强度超过某限值时，磁导率将会急剧下降，称此时磁导材料发生了磁导饱和，也意味着该材料同时失去了磁屏蔽性能。磁导率越高，越容易饱和，所以选择具有足够磁导率和饱和特性的磁导材料是低频磁场屏蔽的关键。

2. 高频磁场屏蔽

高频磁场的屏蔽原理是屏蔽体利用电磁感应现象所产生的涡流反磁场对原干扰磁场的排斥作用来达到屏蔽目的的。屏蔽体材料采用的是低电阻率的良好导体，如铜、铜镀银等。由根据法拉第电磁感应定律和楞次定律，屏蔽体中的感应电流方向与线圈中的电流方向相反，因而在屏蔽体以外空间中，线圈磁场和屏蔽体感应电流产生的磁场相互抵消，透过的磁感线仅仅是线圈所产生的磁感线中的极小部分。在屏蔽体与线圈之间，两者产生的磁感线方向是一致的，线圈所产生的磁通量很少泄漏到屏蔽体外边，所以起到了磁屏蔽的作用。另外，在线圈内部，由于线圈磁感线与感应电流产生的磁感线方向相反，导致线圈内部磁场有所减少，结果线圈的电感量减少。如图 6 所示，选择产生感生电势的载体为良导体的金属板，则感应电流阻抗近乎于短路而产生涡流，此涡流产生的反磁场将抵消穿过此金属板的原磁场。反磁场的作用增强了金属板四周的磁场，看起来就像原磁场从金属板四周绕行而过。

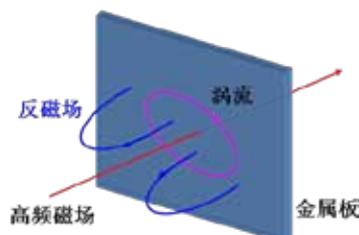
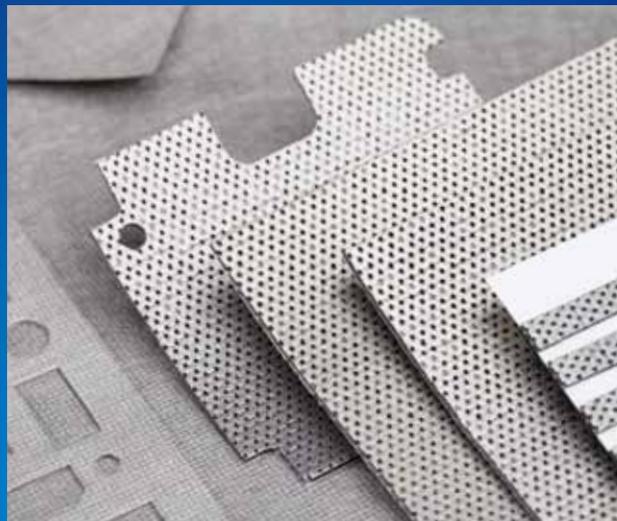


图6 涡流效应及其反磁场对原磁场的排斥作用

研发生产EMI系列产品



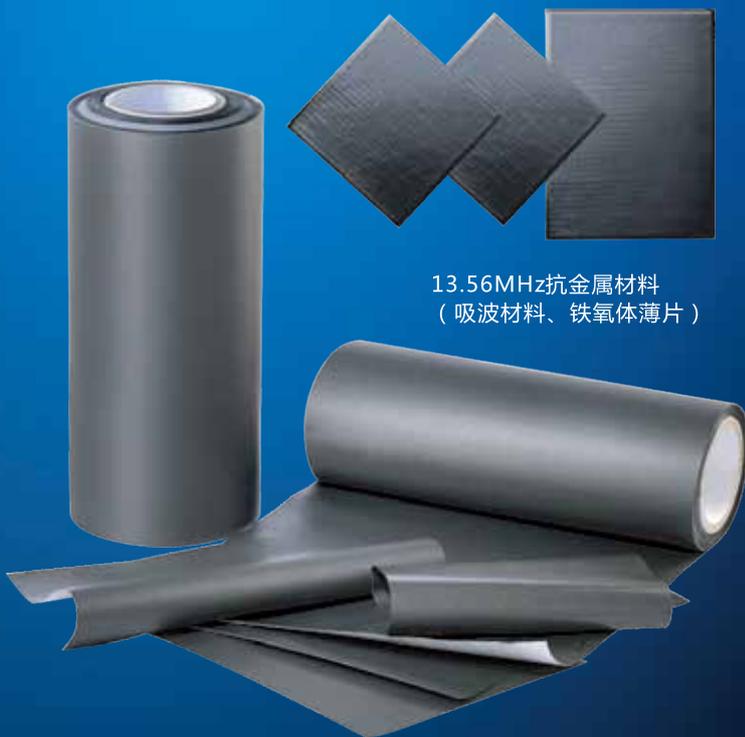
导电橡胶



导电PE、无纺布



导电泡棉衬垫



13.56MHz抗金属材料
(吸波材料、铁氧体薄片)



深圳市鸿富诚屏蔽材料有限公司

地 址：深圳市宝安区福永镇凤凰第三工业区C栋 518103

电 话：86-755-27327247 27327249

传 真：86-755-27306260

联系人：郑先生

Http: //www.emigasket.com

E-mail: hfc@szemi.cn

▲ 反馈服务代码：IC1033

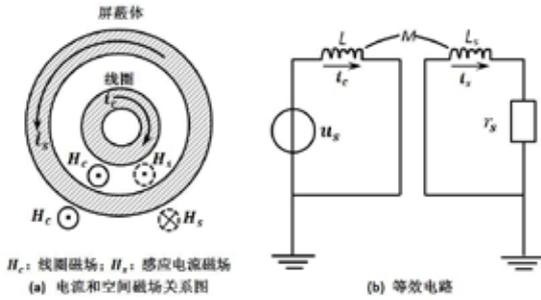


图7 高频磁场屏蔽原理示意图

通过上述分析可以清楚的看到，高频磁屏蔽的必要条件是在屏蔽体内部产生高频感应电流，感应电流的大小直接影响屏蔽效果。根据图7分析可知，屏蔽体中的感应电流为：

$$i_s = \frac{j\omega M i_c}{r_s + j\omega L_s}$$

式中： i_c ：线圈中的电流，A；

r_s ：屏蔽体的电阻， Ω ； L_s ：屏蔽盒电感，Wb/A；

M ：线圈与屏蔽盒导体之间的互感，mH

对公式进行分析后可知：在高频情况下，由于 $i_s \ll \omega L_s$ ，于是

$$i_s \approx \frac{M}{L_c} \cdot i_c = K \cdot \frac{n_c}{n_s} \cdot i_c$$

式中 k ：线圈与屏蔽体的耦合系数； n_c ：线圈匝数； n_s ：屏蔽体的匝数；对于常用的屏蔽罩，取 $n_s = 1$

由上式可得，屏蔽体的感应电流值与线圈中的电流和耦合系数 k 的乘积成正比，与频率无关。这一方面说明高频情况下感应电流产生的磁场足以抵消线圈的干扰，起到屏蔽的作用，同时也表明，当频率高到一定程度时，感应电流就不再随着频率提高而继续增大。

在低频情况下，由于 $i_s \gg \omega L_s$ ，则：

$$i_s = \frac{j\omega M}{r_s} \cdot i_c$$

可见此时屏蔽体内的感应电流比较小，不能完全抵消线圈磁场的干扰。因此，在低频时利用这种方法进行磁屏蔽，效果是很差的。

以上分析表明，对高频磁场的屏蔽，越小越好，这就意味着高频磁场的屏蔽材料需要用良导体，以减小涡流阻抗，减小发热和损耗，例如铜、铝或铜镀银等。同时，要尽量避免在垂直于涡流的方向上有缝隙，以免阻碍涡流电流的流动，影响屏蔽效能。由于高频电流的集肤效应，高频屏蔽盒无需太厚另外，屏蔽体接地与否不

影响磁屏蔽的效果，但是如果接地，可以同时起到电场磁场屏蔽的作用，所以实际中屏蔽体使用大都是接地的。

电磁场屏蔽

以上的分析是分别从电场和磁场屏蔽展开的，下面将简要介绍电磁场的屏蔽，即电磁屏蔽。顾名思义，电磁屏蔽是指利用金属和磁性材料同时抑制或削弱电场和磁场，即对电磁波进行隔离，有效控制电磁波从一个区域向另一个区域的辐射传播。电磁屏蔽一般是指10kHz以上交变电磁场的屏蔽。交变电磁场中，电场和磁场总是同时存在于同一空间的，因此必须同时考虑电场和磁场的屏蔽。

由于频率的不同，交变电磁场的干扰效应区也不同，实际中可以区别对待。

频率较低时，电磁干扰主要表现在近场区即辐射场，磁场能量脱离辐射体向外发射。在近场区中，随着干扰源性质的不同，电场和磁场的大小也有很大差别。高电压小电流干扰源以电场为主，可以只考虑电场屏蔽而忽略磁场干扰；低电压大电流干扰以磁场为主，可以只考虑磁场屏蔽而忽略电场干扰。随着频率的提高，电磁辐射能力增强，电磁干扰趋向于远场区即感应场，电磁场能量在辐射源周围空间及辐射源之间周期性来回流动，不向外发射。在远场区中，电场干扰和磁场干扰都不可忽略，需要同时是对电场和磁场实施屏蔽。如前所述，采用导电材料制作的且接地良好的屏蔽体，就可同时起到电场屏蔽和磁场屏蔽的作用。

结语

工程实践表明抑制电磁辐射干扰的最直接有效的方法是对电磁场进行屏蔽，用导体把两个带电体之间的电力线截断，或用高导磁率的磁性材料把产生干扰磁场的物体进行屏蔽。值得注意的是用于电场屏蔽的导体需要良好接地才能有效，否则，屏蔽电场的导体不但起不到屏蔽作用，反而会因为电场也会通过感应使屏蔽导体带电。另外，由上文理论分析可知用导体对磁感应干扰进行屏蔽，也会产生意想不到的作用：磁力线穿过导体的时候也会产生感应电流即涡流，涡流又会产生磁场，这个新产生的磁场的方向正好与干扰磁场的方向相反，两者正好可以互相抵消。

抢先预订IWS 2013展位!

加速中国业务拓展:

国际无线年会(IWS 2013)令参展商更贴近快速增长的无线、射频及微波产品市场客户。展会将包含来自世界各地从事对华进出口的产品制造商与服务提供商,旨在吸引无线射频与微波社团各个领域的参会参展。

参展商将展示无线系统物理层方面当前及新兴的最新产品与服务,包括而限于RFID、UWB、ZigBee及蓝牙等。参展商将涵盖RFIC、微波/射频元件、测试与测量设备、电子设计软件、无线系统等广阔的应用领域。IWS 2013, 打造国际主流无线盛会!

海外

Rich Knight
MP Associates, Inc.
1721 Boxelder St., Suite 107
Louisville, CO 80027 USA
Tel: 1-303-530-4562
rich@mpassociates.com

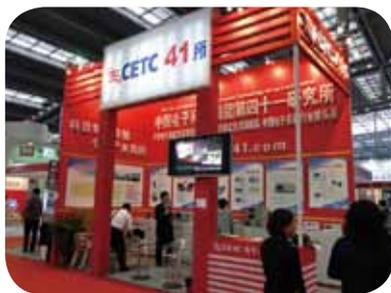
中国

中国贸促会商业行业分会秘书长
Zhao Jin-Chang, Secretary
General, CCPIT Commercial Sub-Council
地址: 北京复兴门内大街45号:
No.45 Fuxingmennei St. Beijing China
邮编: 100801
电话: 86-10-6609 4237
移动电话: 1350 117 0307
传真: 86-10-66016043
网址: www.ciect.com
jin-chang-zhao@vip.163.com

即刻预订, 获得最佳展位!

展会时间: 2013年4月16-18日

地点: 中国国家会议中心(CNCC)5号厅



无与伦比的技术盛会 IWS 2013等您来参与!

IWS 2013: 全球无线产业技术 汇聚中国

除展会外, IWS 2013还将举办多场技术会议, 包括论文演讲、专题研讨会、学生竞赛等。这是IEEE 2013年在中国举行的唯一的微波与无线会议。IEEE对所有提交的论文进行严格评审, 而只有高品质的论文才可入选IEEE Xplore数据库。

汇聚无线系统各领域最新开发成果, 与产业领导者、官方及学术界关系紧密, IWS 2013, 带给您无限惊喜。

完整会议资讯请访问:

[HTTP://IWS-IEEE.ORG/](http://IWS-IEEE.ORG/)

在高频段关键元件的 评估和高电流的设计中 穿心电容的精确测量

George M.Kauffman (乔治·考夫曼)

在几乎所有的低通滤波器中，并联电容器都是关键元件。穿心电容器具有的形式为一接地壳体中心有一电极穿过，从电极到接地外壳间形成它所需的电容值，几乎消除了引线电感的影响。本文将介绍穿心电容器的重要性，并给出改进的方法以实现关键部件的高频性能测试。对于设计、应用条件、进货检验或质量审核中进行穿心电容的评估，需要用到一个可重复使用的装置来测试其插入损耗性能。高电流和高性能滤波器的测试对于元件测试具有特殊的挑战性。这里的高电流指的是额定电流大大超过 30 安培，并直到和超过 400 安培。高性能一般是指频率至少高达 1GHz 时，其插入损耗大于 30dB。

具有串联电感及并联电容是低频特性所要求的。例如，这些元件可以根据巴特沃斯准则来布置以降低它的截止频率，并使插入损耗曲线的斜率最大化。例如，用的较多的 Π 型滤波器具有 16 kHz 的 -3dB 截止频率、每十倍频程其插入损耗降 60dB，它的元件组成见图 2。



图1 典型的穿心电容安装例子

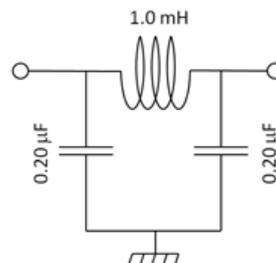


图2 16kHz的 Π 型滤波器

虽然最优化的 II 型滤波器中电感器有一个恒定的关系 $\mu\text{H} = 5 \times \mu\text{F}$ ，但在许多实际使用过程中，由于重量、尺寸、或成本限制，电感的值比最优化的值要小。电感容易在高电流时饱和，需要进一步减小电感值。串联电感的其它好处是增加了高频性能，高于单独的电容可实现的水平。穿心电容器基本上不受通过电流的任何影响，随着外加电压只有轻微的和可预见的变化。穿心电容有着最低的成本和尺寸，并能消除电流变化造成的影响，是高电流和高频率滤波设计的首选或初步解决的方案。

现在已经有一些文章，是关注滤波器低频性能测试的改进方法。其中一个好的建议，是根据 IEEE1560 方法 10.5 在满电流时使用电流注入，特别是应用在频率低于 100kHz 时。由于高性能穿心电容的功能远远超过 100MHz，因而准确地测量元件是保证质量的重要因素。本文将关注一些在 30 MHz 以上滤波器的高频插入损耗和高电流情况。

图 3 展示了一种工业标准的插入损耗测量装置，已成功应用于 300KHz 到 30MHz 频段内。该测试装置所面临的问题是使用超过 30 安培或更大的电流，并且频段远大于 100MHz。即使测试电路位于一个接地平面上，电源插件的高频耦合仍可以明显的影响测试结果。图 4 给出了高频耦合情况。

被测设备 (DUT) 区如果是“开放”的，可能会在高频段导致测量受到一些限制。尤其是对于大电流滤波器，作为电极端面结构和长达 2.0” (50mm) 或更长连接线的每一个面上，这种情况都会发生的。通常频率超过 30MHz 的滤波器 (从电容器的一端到另一端) 的寄生电容可在滤波器周围引起显著的耦合。



图3 根据MIL-STD-220B使用负载电流和缓冲网络的插入损耗测试设备



图4 当测量插入损耗时通过DUT的耦合

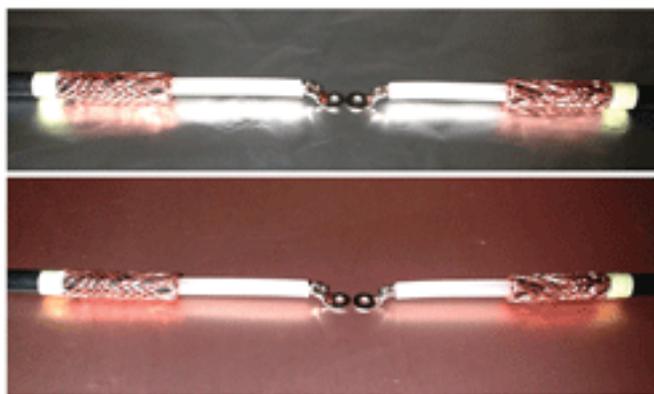


图5 接地DUT的连接测试导线

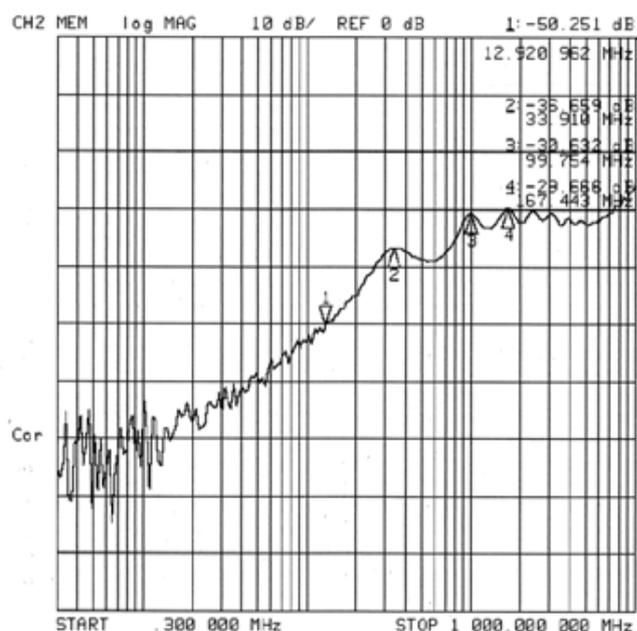


图6 接地DUT连接测试导线之间的隔离度

考虑到穿心式电容能够从导体的中心到地面进行有效地分流，从而导致形成一个反向的行波天线情况。

滤波器周围的耦合可以建模为电容或者是天线耦合。图 4 中所示的寄生电容在滤波器周围耦合出现在更高的频率，如图中心位置所示。寄生电容正比于几个因素，包括裸露的区域、及滤波器两边间距的倒数。滤波器周围类似天线型的耦合与几个因素相关，主要为间距和裸露长度。自由路径损耗与间距和频率成反比关系，即耦合信号随距离的增大而减小。辐射表面的天线效率比较复杂，提高到最大的 $\lambda/4$ 时就会出现谐波。这个因素连同其他几个，在一个频率上阵列能产生出最大的耦合。为了得到这个耦合效应的估计值，在图 5 中给出了用来测量隔离度的 DUT 连接引线。该图给出了两条

测试导线，它们既与屏蔽体同轴平行又短接到一个铝制接地面上。裸露的长度大约为 50mm (2.0") 长，并且距离接地平面的距离大约是 13mm (1/2")。如果测量这些线之间的隔离度，我们就能对穿心电容周围的引入线和引出线间耦合情况作一个粗略的估计。图 5 中所示的接地线之间的隔离度如图 6 所示。低于 1 MHz 频段有超过 70 dB 的隔离度，频率高于 1 MHz 时隔离度明显减小，在 13MHz 时只有 50dB。按照这种减少的趋势，在 100MHz 时大约为 30dB。隔离度在 1GHz 内始终保持大于 30dB，而超过 1GHz 时则显著下降。实际上这意味着，与 DUT 连接的“开路导线”产生的噪声底线在高频时大约为 30dB。标准 MIL-STD-220B 在测试较低频率性能，包括有效的电压和电流时是有效的，但在测量高于 10MHz 时则受到内线间耦合的“噪声底线”影响而变差。

NexTek 已开发出紧凑型高电流穿心滤波器电容的引线。由于 C 型馈电引线的插入损耗基本上不受电流大小的影响，因此它的优点是能准确评估高电流滤波器的性能，而这些滤波器使用了低于满量程的测试技术。NexTek 还开发了一种准确测量元件级插入损耗的方法（不要求加载电流），是一种具有准确测量高频结果的方法。

电容的高频性能测试时需要有好性能的全屏蔽外壳，包括从滤波器的一端到另一端的屏蔽。图 7 中给出其固定装置，可以在 www.nexteklightning.com/FilterTest Fixture.html 找到相关内容。

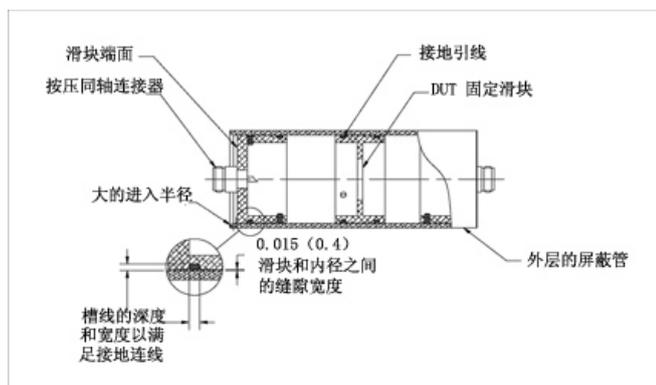


图7 穿心电容器屏蔽性能的测试装置

TEM 室的官方测试装置外部有一个屏蔽导管，便于于金属管的直径能符合所测试的最大滤波器，内部一般经过精密车削和抛光，内部边缘打磨圆滑。固定装置内部有三个滑块，类似于活塞形状。而目前由镀镍铝制作

的滑块和导管已获得良好的结果。滑块终端接有同轴连接器，可用来连接网络分析仪或信号源和检测器。同轴连接器含有小弹簧，利用弹簧单高跷销或通过焊接到内侧中心引脚的圆环与测试设备（DUT）进行连接。DUT 的滑块充当一侧具有圆锥面的电容器，并具有与元件匹配的通孔。三个滑块都有外周槽，其接地线保持在适当位置，并且有孔通过活塞的内径以便于固定接地线的端面。槽有足够的深度和宽度，滑块和屏蔽管的内径之间有一个小的间隙，而且在滑块和屏蔽管之间至少有两个完整的环屏蔽接地。目前使用螺旋编织网型接地线已经取得较好的结果，但是，有机硅泡沫双层 SnCuFe 网的效果似乎最好。中间滑块的左侧与右侧的接地引线进行了有效的隔离，而且测试固定件内部结构与外部环境也是有效隔离的。穿心式电容器安装在中间的滑块上，插入在屏蔽管的中点附近。在进行测试时，边端的滑块插入并移动，直到与滤波器的端部电极相接触为止。



图8 安装在测试固定件中的一个HPR滤波器

图 8 给出了 HPR 140 安培滤波器，该滤波器被固定在 DUT 移动滑块上，可以滑进外屏蔽管。一个接地编织环穿过外屏蔽管，而另一个编织环则接近于入口。连接有螺旋接地线滑块的端面如图所示，当 DUT 滑块插入到外屏蔽管大约中部时再安装上去。每个端面上的 N 型接头将连接到通过了校准的网络分析仪，以非常高的精度来测量滤波器的插入损耗。

测量滤波性能的技巧

A. 不同滤波技术的性能可以进行评定。例如，可

以对含铅的电容器和陶瓷或金属化的塑料穿心电容进行比较。图9表明含铅元件在约3.3MHz处有一谐振，这相当于约10nH的ESL。金属化薄膜电容的插入损耗在约20MHz有一低点，在这个低点可以得到更大的电容值。

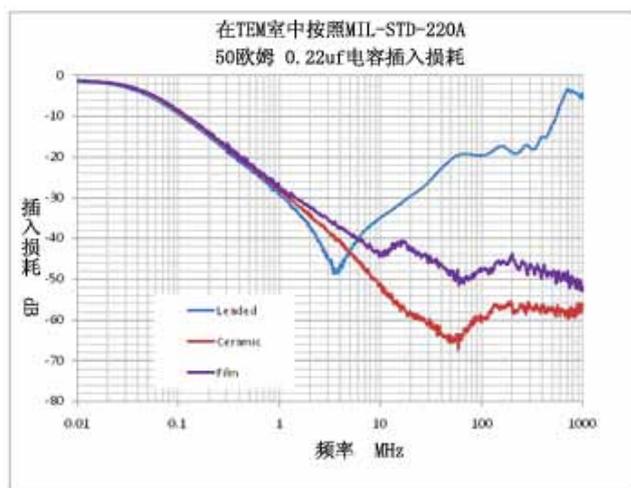


图9 比较各种滤波电容器

B. 估算电容的寄生特性。穿心电容的插入损耗在高频段是一段高而且稳定的曲线。在越来越高的频率上，电容的等效串联电阻（ESR）限制了分流特性在更高频率上的持续改善。通过图10中的曲线可以看出，电容的高稳定性与ESR密切相关。金属化薄膜电容的ESR约0.075欧姆。陶瓷穿心电容的ESR约为0.03欧姆。ESR值可以用来评估高频上的损耗或其他参数。

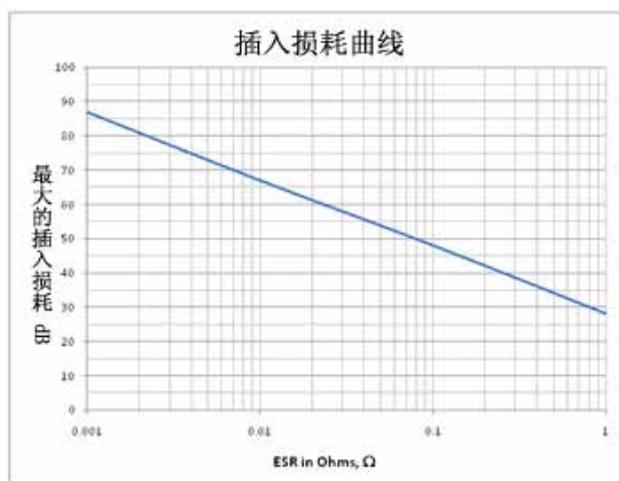


图10 最大插入损耗与ESR的关系

C. 屏蔽与滤波的相互配合。滤波器性能测量中导致结果变差的耦合因素同样也影响屏蔽盒的隔离度测量精度。一般的经验法则是，沿轴向排列的线之间的耦合度

是-30dB。需要注意的是耦合度的大小与频率是相关的，而当导线长度大于 $\lambda/20$ 时，较好初始估计值是-30dB。因而外壳的屏蔽效能可能稍微小于滤波器的插入损耗值，但仍保持隔离性能。如果30分贝屏蔽性能小于滤波器的插入损耗，那么两个相同路径得到的隔离度可能减小3dB。

D. 具有串联电感的滤波器建模。某些应用中需要通过使用串联电感器来提升滤波器性能。准确地对穿心电容和串联电感建模才能得到可预测的和准确的结果。在高电流情况下有两种常用的电感：卷绕型和铁氧体通孔型。卷绕型电感通常具有较高的电感，从而有更好的低频性能，但这些都是以尺寸、重量和成本、以及自谐振特性为代价的。简单而有用的卷绕型电感的电路分析模型是电感和电容并联。当测量出自谐振频率后，电容值就可以被估计出来。此外，在满负载电流情况下可以使用简化电感，以替代常态电感。电容和电感的参数可以相当准确的进行建模。图11给出了一个220nF/40uH/220nF滤波器模型。陶瓷电容的特性在图9中给出，卷绕型电感的自谐振频率为23MHz，此时对应于并联电容1.2pF，在峰值电流时电感下降到30uH。



图11 22 μ F/40 μ H/22 μ F滤波器的插入损耗

铁氧体芯电感器结构紧凑，成本低，易于安装在高电流导体上，而且往往是耗散射频功率。这种耗散可以把不想要的射频能量转化为热能，而不是反射或在系统内能量进行循环。然而这些优点换来的代价是由于饱和大幅减小了全电流时的电感，一般以减小电感开始。通过开缝技术，可以最大限度地减少饱和效应，同时更加稳定，但这会进一步降低电感。电感是铁氧体芯类型，其电路分析模型可以表示为电阻和电感并联。图12给

出了一个型滤波器，和前面的例子中一样有相同的电容，其铁氧体芯为 28A5131-0A2。该铁氧体芯尺寸在间隙为 0.4mm (.016") 满负载时的电感为 160 nH。

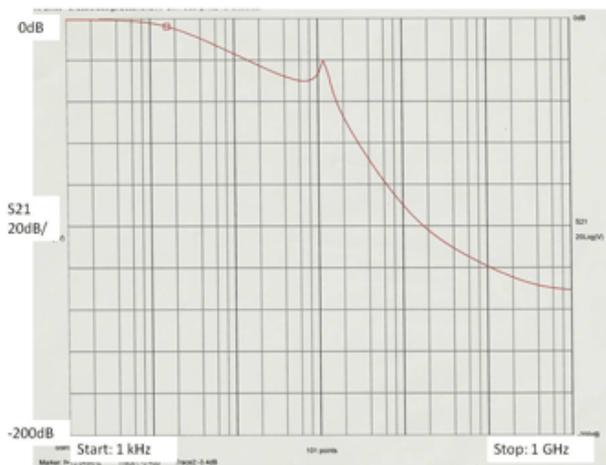


图12 22 μ F/160nH/.22 μ F滤波器插入点

在更高的频段建模插入损耗不仅可以做到精确的测量，而在较低的频段上建模几乎是没有误差的，可以用来提供全电流电感参数。

E. 对测试装置进行完全和隔离的测试是好的选择。图 13 中给出了固定件测试结果的一个例子，测试件内径为 51mm (2.0")，如图 13 所示，腔室为在中间 DUT 滑块两侧有长 75 毫米 (3.0") 的两个腔体。

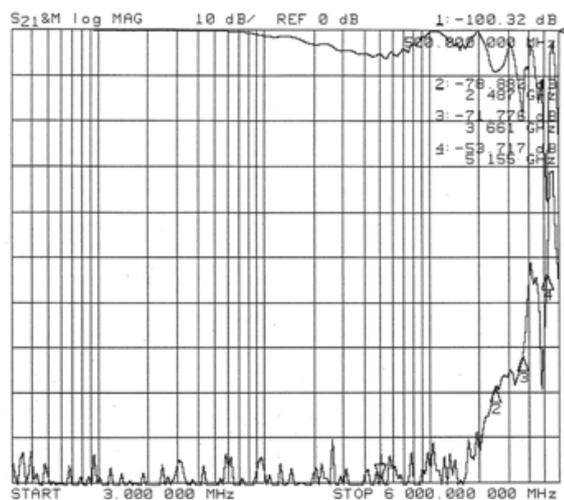


图13 测试腔体的校准结果

请注意，这条曲线覆盖了从 3MHz 到 6GHz 的频段。最上面的曲线代表通过中间 DUT 滑块上孔的连接线的插入损耗。由于穿心导线的阻抗远高于 50Ω，在 500MHz 范围内能保持一个非常低的插入损耗，谐波也是这样。当然测得的插入损耗在 500MHz 有可能夸大了

一些。第一个有问题的谐振似乎发生在约 3.7GHz 的地方。下面的曲线是具有实心的中间滑块时的隔离度。此插入损耗取决于腔室谐振、滑块和电缆连接（连分析仪）的屏蔽度、以及内部连接导线的长度。约 25 毫米 (1") 短引线在 2GHz 时表现出高的隔离度，在 3.5GHz 变到合理的隔离度。当第一个有问题的隔离度级别发生在约 4GHz 左右时，显示出这种测试固定件结构能够在 2GHz 以上准确地测量插入损耗。

结论

在测量滤波性能和 / 或设计滤波器时，能够准确的进行穿心插入损耗的测量，特别是在高频率，对了解元件的参数是至关重要的。这里展示的屏蔽腔体已用于超过 1GHz 的测试中，并且很容易制造和使用。

参考文献

- [1] The Engineering Handbook, Richard C. Dorf, CRC Press, 2005 Section 113.5 provides a good overview of the low frequency short comings of MIL-STD-220-B, and explains IEEE P1560, Method 10.5
- [2] Phipps, Keebler, and Connatser, "Improving the Way We Measure Insertion Loss" Item Publications Nov., 2008. Print.

George M. Kauffman, PE, 持有机械工程学士和位于阿默斯特的美国马萨诸塞大学工程管理硕士学位。他负责带领 NexTek's 的设计和工程团队。Kauffman 拥有丰富的电磁兼容和微波设计经验。他在射频防护和相关技术上拥有多项专利。可以通过 engineering@nexteklightning.com 和他进行联系。

* 译者注：原文中在文末作者简介后还有一段话，用来描述图 8 所表达意思，在翻译为中文后，经过考虑，将该段文章移至第四页图 8 下面，以符合原文的完整性和连贯性。

** 译者注：原文第二页图 2 下的第一段中，作者给出关系式 $\mu H = 5 \times \mu F$ ，但该关系式无论从内容还是等式两边单位一致性方面都有些不妥当，与图 2 中的模型对比也无法看出该公式正确，请编辑着重考虑一下该处。

翻译：任武

审核：高本庆

微波 microwave 高速数字式 high speed digital 电磁兼容性 EMC

EDI CON Electronic Design Innovation Conference

电子设计创新会议 2013

了解GHz和Gbps速率的创新.....

EDI CON是设计工程师和系统集成商了解针对当今通信、计算、RFID、工业无线监控、导航、航空航天及相关市场最新的RF/微波和高速数字产品、设计工具和技术的一次机会。专注于加强物理设计、新兴技术和实用工程解决方案，让中国创新最前沿和世界领先的技术公司的设计师汇集一堂。

2013年3月12日至14日
中国北京

www.EDICONCHINA.com

赞助商



Agilent Technologies
白金



ROHDE & SCHWARZ



CST



Anritsu

ANSYS

媒体合作伙伴

Microwave
JournalChina
微波杂志

便携产品设计
PORTABLE DESIGN CHINA

便携产品设计资源

主办



Frequency Matters.



合作伙伴

interference
THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY
technology

非自动秤电磁兼容性 试验及其对策

上海凌世电子有限公司 总工程师 徐强华

主题：本文逐一介绍 JJG 555《非自动秤通用鉴定规程》所涉及的电磁兼容性试验项目，列出了抗扰度试验的有关参数。作者结合近年来在非自动秤试验和抗扰度方面的经验，针对非自动秤特性，给出了一些提高产品抗干扰性能的对策。以帮助非自动秤生产厂家，加深对电磁兼容抗扰度的理解，为在以后的产品设计、制造时提供参考。

关键词：非自动秤 电磁兼容性抗扰度 抗干扰对策

一、概述

JJG 555《非自动秤通用鉴定规程》(General Verification Regulation for Nonautomatic Weighing Instrument)(以下简称“规程”)是由国家技术监督局批准的强制性技术规范。“规程”给出了非自动秤的计量要求、技术要求、试验条件、试验项目和试验方法及试验结果的判定原则。“规程”第 12.3 条提出的有关电磁兼容性项目，对长期从事非自动秤生产厂家来说是一个比较陌生的内容。为此本文将“规程”所涉及的电磁兼容性抗扰度试验项目，逐一介绍、分析并给出相应的对应措施，相信通过本文能有助于非自动秤生产厂家，对这些电磁兼容性项目的进一步了解和获得解决问题的对策。

二、非自动秤电磁兼容性试验项目

电磁兼容性 Electromagnetism Compatibility (EMC)，国际电工委员会 (IEC) 名词术语 IEC60050 (161)《电磁兼容术语》的解释为：设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰能力。电磁兼容试验可分为：空间辐射试验；线路传导试验。从干扰对象分类又可分为：检测设备骚扰源特性的干扰试验；检测设备抗干扰能力的抗扰度试验。“规程”给出的电磁兼容性试验项目属抗扰度试验范畴。其中，电快速瞬变脉冲群（脉冲串）和电压暂降、短时中断和电压变化（短时电源电压降低）抗扰度试验是线路传导抗扰度试验；射频电磁场辐射（抗

电磁场辐射)和静电放电抗扰度试验是空间辐射试验(静电放电抗扰度试验暂界定为空间辐射试验)。下面将非自动秤电磁兼容性试验项目及判定准则一一列出。

1. 电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度

“规程”12.3.1条给出的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度要求,所引用的国际标准目前为IEC61000-4-11,与之相对应的国家标准为:GB/T17626.11电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验。电压暂降试验等级为50%Ut(Ut为非自动秤的标称电压)级:一周电压幅度减少50%,持续时间为1个周期;电压短时中断:一周电压幅度减少100%,持续时间为0.5个周期。试验按GB/T17626.11中规定进行。对进行的每一种规定的电压变化,都必须进行10次试验。每二次试验之间的时间间隔为10秒。

2. 电快速瞬变脉冲群抗扰度

“规程”12.3.2条给出的电快速瞬变脉冲群抗扰度要求,所引用的前国际标准IEC801-4,目前国际标准

IEC801-4已被IEC61000-4-4所替代,与之相对应的国家标准为:GB/T17626.4电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。试验等级为2级(在供电电源端口,开路输出电压峰值为 $\pm 1\text{kV} \pm 10\%$,脉冲重复频率为 $5\text{kHz} \pm 20\%$;在I/O信号、数据和控制端口,开路输出试验电压峰值为 $\pm 0.5\text{kV} \pm 10\%$,脉冲重复频率为 $5\text{kHz} \pm 20\%$);(对I/O信号、数据和控制端口的试验,只在数据线、信号线和控制线长度超过1m时进行)。试验按GB/T17626.4中规定进行。在每一选定的试验状态,向试品的电源端口施加电快速瞬变脉冲群,每次施加时间不小于60秒。

3. 静电放电抗扰度

“规程”12.3.3条给出的静电放电抗扰度要求,所引用的前国际标准IEC801-2,目前国际标准IEC801-2已被IEC61000-4-2所替代,与之相对应的国家标准为:GB/T17626.2静电放电抗扰度试验。试验等级为3级(La-空气放电:试验电压 $\pm 8\text{kV} \pm 10\%$;Lb-接触放电:试验电压 $\pm 6\text{kV} \pm 10\%$)。试验按GB/T17626.2中规定进行。

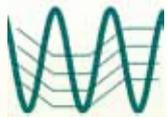
▲反馈服务代码:IC1056

北京精准贸易有限公司
程熙贸易(上海)有限公司
东莞程熙贸易有限公司

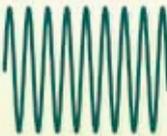
PIC PRECISION INTERNATIONAL CORP.
since 1981

抗扰度综合发生器 TRA3000

第三代全新的TRA3000,具备IEC 61000-4-X系列多种标准测试功能



低频传导共模
IEC61000-4-16



电压变动/工频磁场
IEC61000-4-11
IEC61000-4-8



AC/DC 电压暂降/中断
IEC61000-4-11
IEC61000-4-29



具备网络伺服器的多功能抗扰度综合发生器



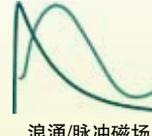
网络伺服器



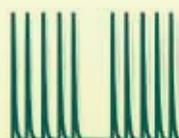
环境温度/压力/湿度监测



ESD/静电
IEC61000-4-2



浪涌/脉冲磁场
IEC61000-4-5
IEC61000-4-9



EFT/脉冲群
IEC61000-4-4

EMC - PARTNER

Made in Switzerland

- 功能模块化设计
- 校正或维修,只须寄回模块
- 直接功能升级、操作简单
- 以太网接口及USB接口
- 原厂独特综合机整合设计有CM测试功能
- 具有GENECS软件,可选购其他配件

诚征全国各地经销商

since 1981

★ 原厂授权翻译之版权著作,严禁影印、盗印及转载使用。★ Specifications subject to change without notice.

PIC
PRECISION INTERNATIONAL CORP.
仪测科技集团

北京公司:100080 中国北京市海淀区中关村天创科技大厦东门1211室
上海公司:200052 中国上海市长宁区延安西路1088号1605室(长峰中心)
华南公司:523850 中国广东省东莞市长安镇长青南路303号长安商业广场第四区2007单元

TEL: 86-10-6268-2257
TEL: 86-21-6211-5111
TEL: 86-769-8115-4567

FAX: 86-10-6268-4237
FAX: 86-21-6211-5811
FAX: 86-769-8115-7799

E-mail: picbj@picbj.com.cn
E-mail: picsh@picsh.com.cn
E-mail: picn@picn.com.cn

“规程”规定：每一极性，在 10 秒的时间内，向操作者容易接触的被试品的表面至少放电 10 次。

4. 射频电磁场辐射抗扰度

“规程”12.3.4 条给出的射频电磁场辐射抗扰度要求，所引用的前国际标准 IEC801-3，目前国际标准 IEC801-3 已被 IEC61000-4-3 所替代，与之相对应的国家标准为：GB/T17626.3 射频电磁场辐射抗扰度试验。试验等级为 2 级；频率范围为 80MHz-1000MHz，试验场强为 3V/m。试验按 GB/T17626.3 中规定进行。天线与试品的距离为 3 米，并分别以水平和垂直极化方式，对试品的每一面进行射频电磁场辐射。

以上各项试验时的判据相同，即：最大允许变化量：全部功能符合设计要求。在干扰和无干扰情况下，其示值之差应不大于 e （如：检定分度值 $e=1/2/5g$ 等）；或者秤能测出并反应显著干扰误差。

三、非自动秤电磁兼容性抗扰度试验及提高产品抗干扰性能的对策

一般来说，对电磁兼容性抗扰度试验制定相应对策时，必须先了解抗扰度试验的干扰源、试验方法等。下面将简略介绍抗扰度试验的干扰源、试验方法，然后给出与之相适应的抗扰度方法。

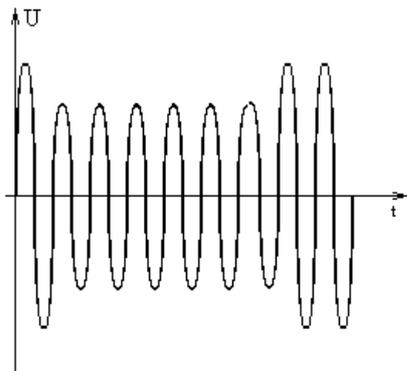


图1 电压暂降波形示意图

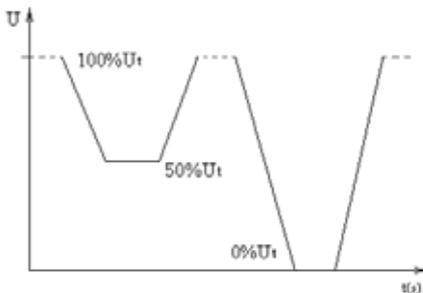


图2 电压变化波形示意图

1. 关于电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验及对策

- 1) 电压暂降、短时中断和电压变化波形参数
- 2) 试验时的环境气候条件

GB/T17626.11 对电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验时的环境气候条件要求为：温度：15℃ -35℃；湿度 25%-75%；大气压强：86 kPa-106 kPa。

3) 对策

用电池对 CPU、液晶显示器（的字体笔划）供电。选取合适的电源整流电容器，将负载（如液晶背光等）的容量与直流电源的整流电容器的容量大小相匹配。以保证在电压暂降、短时中断和电压变化期间，直流电源的输出电压变化，避免对负载（如液晶背光等）产生明显的影响。

2. 关于电快速瞬变脉冲群抗扰度试验及对策

1) 电快速瞬变脉冲群波形参数

电快速瞬变脉冲群发生器特性参数：

- a. 单个脉冲的上升时间为 $5ns \pm 30\%$ ；
- b. 脉冲持续时间（半峰值）为 $50ns \pm 30\%$ ；
- c. 与电源同步；
- d. 脉冲群持续时间为 $15ms \pm 20\%$ ；
- e. 脉冲群周期为 $300ms \pm 20\%$ ；
- f. 脉冲重复率开路电压为 $\pm 1 kV$ 时为 $5kHz \pm 20\%$ 。

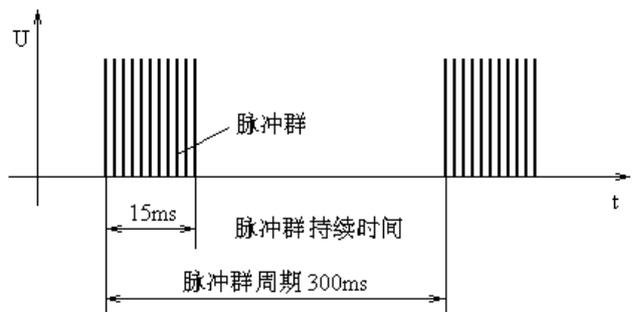


图3 电快速瞬变脉冲群示意图

试验时将电快速瞬变脉冲群试验电压，经耦合 / 去耦网络直接耦合至被试品供电电源端口，对每一试验状态，试验施加干扰脉冲时间至少一分钟。

2) 试验时的环境气候条件

GB/T17626.4 对电快速瞬变脉冲群抗扰度试验时的环境气候条件要求为：温度：15℃ -35℃；湿度 25%-75%；

大气压强：86 kPa-106 kPa。

3) 对策

电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，是电磁兼容性传导抗扰度典型的和具有代表性的试验。可以用来作为对策的方法也很多，对于 1 kV、5kHz±20% 的干扰脉冲来说，抑制它的较好措施是：采用二级电源滤波器。就非自动秤而言，可从以下几个方面来抑制或预防电快速瞬变脉冲群，对敏感电路（如：传感器信号线等）的侵入：

- a. 在电源的输入端口接入电源滤波器，或接入三端骚扰抑制电容器、套接磁环等。
- b. 对传感器的信号线进行屏蔽，串接磁珠。输入、输出线不能平行走线，更不能捆扎在一起，以防高频骚扰源的直接耦合。
- c. 对线路版图进行分类走线，必要时可对弱电连接线进行屏蔽、去耦处理。
- d. 按电快速瞬变脉冲的频谱特性，建议在电源的输入端口使用镍锌铁氧体磁环（导磁率为 1-1.5K），在传感器输出端使用锰锌铁氧体磁环（导磁率为 4-6K）。磁

环的内径要尽量小，紧紧包住电缆，铁氧体磁环的外径和长度尽量大（在满足空间要求的条件下）。将电缆在磁环上绕多匝，可以提高低频的效果，但高频的效果会变差。铁氧体磁环的安装位置要靠近电缆的两端。

3. 关于静电放电抗扰度试验及对策

1) 静电放电波形参数

静电放电波形参数如下：

等级	1	2	3	4
电压 (kV)	2	4	6	8
放电的第一个峰值电流 (±10%) A	7.5	15	22.5	30
放电开关操作时的上升时间 tr ns	0.7-1	0.7-1	0.7-1	0.7-1
在30 ns时的电流 (±30%) A	4	8	12	16
在60 ns时的电流 (±30%) A	2	4	6	8



北京大泽科技有限公司

(原北京无线电仪器二厂新技术研究所)



EMC干扰抗扰度测试产品系列 ▲反馈服务代码：IC1052



**ZN3750CDN (16A:两相)
ZN3751CDN (16A:三相)**
耦合去耦网络
 • 频率范围: 150 kHz~230 MHz
 • 信号端口: BNC 50Ω



ZN23203电磁钳

- 注入频率150kHz~400MHz
- 耦合退耦方向系数大于10dB>10MHz
- 注入功率最大100W (5分钟)



ZN23100电流钳
 • 频率范围: 20Hz~100kHz
 • 测试口径: Φ60 (mm)
 • 电流钳可承受5W功率

**ZN30303辐射环
ZN30304环传感器**

- ZN30303辐射环
- 直径: 120mm
- 匝数: 20
- 频率范围: 20Hz~100kHz



ZN30505E对数周期天线
 • 频率范围: 30MHz~3000MHz
 • 极化隔离: >20dB
 • 输入功率: 200W (典型值)
 • 增益: 8dB (典型值从200M开始)



- ZN30304环传感器
- 直径: 40mm
- 匝数: 51
- 频率范围: 20Hz~100kHz

ZN30303辐射环和ZN30304环传感器为执行军标GJB151A-97、GJB152A-97中的RS101, 25Hz~100kHz磁场辐射敏感度而研制的, 用来检测被测器具是否能够承受RS101中规定的要求。

天线/电磁屏蔽效能测试系统/干扰场强测量仪/EMC传导干扰测试系统/实验室电磁兼容实验设备

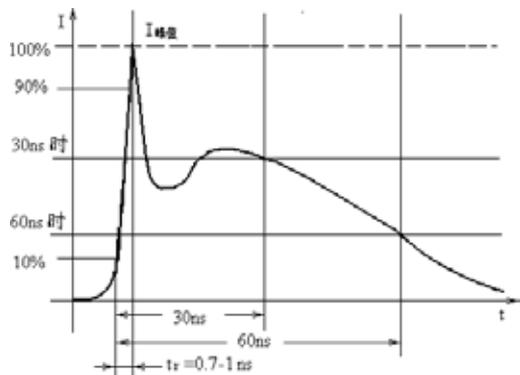


图4 静电放电发生器输出的电流波形

2) 试验时的环境气候条件

GB/T17626.2 对静电放电抗扰度试验时的环境气候条件要求为：温度：15℃ -35℃；湿度 30%-60%；大气压强：86 kPa-106 kPa。

3) 放电部位的选取

非自动秤的静电放电抗扰度试验，接触放电为优选项，放电电压：±6 kV。直接放电部位：钥匙孔表面、外壳、外露螺钉及其它金属外露部分；间接放电部位：垂直耦合板（VCP），控制面板、显示面板等。水平耦合板（HCP），非自动秤各侧面 0.1m 处。对不能做直接放电试验的部位，进行空气放电试验。放电电压：±8 kV。空气放电部位：秤盘、控制面板、显示面板、缝隙、电源线、信号线等。

4) 对策

静电放电产生的是一种高频电磁场。静电放电对电路造成的影响有两个机理，一个是静电放电电流直接流进电路，对电路的工作，乃至损坏电路硬件；另一个是静电放电路径附近产生很强的电磁场，对电路造成影响。

对静电放电的防护通常采用二种方法：一是堵，即堵渗式防护，加强介质绝缘不让静电放出。二是疏，即导流式防护，用外壳良好接地，让静电在建立起足以能达到危害程度的电磁场前，直接导入大地。通过长期对非自动秤静电放电的测试结果表明：秤电路对稳定强电场的敏感度要远小于突变电场。因此，对秤电路的防突变脉冲设计显得尤为重要。而对秤电路的防重点又在于传感器输出电路。鉴于静电放电抗扰度试验时对放电部位的选择和放电电压等级，为防止放电火花至非自动秤内部，建议采取下列对应措施和设计原则：

a. 非自动秤应具备良好的接地条件，接地线截面大

于等于电源线截面。机内各接地点采用单点接地。接地线不与控制线、信号线平行敷设。

b. 对主控箱（或显示面板）外壳四周缝隙，应进行延长爬电距离设计或进行电密封设计。若主控箱（或显示面板）外壳是由金属制成的，则一定要求有专用的接地屏蔽线与机壳的接地端联接。

c. 在电路中加强对传感器输出电路和 CPU 周围的去耦设计等。不让外界产生的放电脉冲经耦合导入，使传感器输出端的放大电路误动作或出现 CPU 复位或死机的状况。通常要求对传感器输出端的放大电路和 CPU 周围的控制电路进行电磁防护，实践表明：加金属板外壳防护是一种比较有效的方法。

d. 软键盘及塑贴控制面板的介电强度应大于 10kV。软键盘及塑贴控制面板与控制线路板之间，必须要有良好的绝缘层。

e. 对与电源线、接地线平行敷设的控制线、信号线（如传感器输出线）等应进行屏蔽处理。

f. 各接地部位（点）应考虑防震设计，保证接地线、点的金属接触面积，金属接触面积的大小应满足第 a 条中的有关描述。

g. 对进、出主板的所有线缆（12VAC 进线、6VDC 进线、传感器输出线、显示板数据线等）进行去耦处理，如套接磁环、磁套和设置去耦电容等。

h. 设计时应将秤体内主板的安放位置远离缝隙周边和不骑于金属秤盘的投影边界。

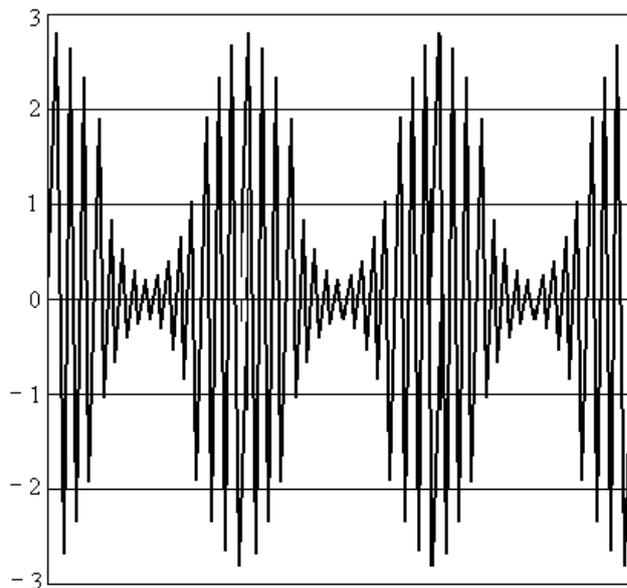


图5 射频电磁场辐射信号发生器输出端的波形

Second Call for Papers

The 6th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM'2012/Shanghai)
&
International Exhibition on EMC

Nov. 6 -9, 2012 Shanghai, China



IEICE

Topics

This meeting will treat a wide range of Environmental Electromagnetics & EMC Technology. Authors are invited to submit original & unpublished papers in the areas listed below:

Antenna
Probe & Sensor
CAD in Antenna
Electromagnetic Field Theory
Transmission Lines & Cables
EM Wave Propagation
Scattering
EMI Sources
EM Environment
Coupling & Crosstalk
EM Calculation
EMC Modeling Techniques
Non-Ionizing Radiation & EM Bioeffect
ESD, Lightning, Transient & EMP

Seismo-Electromagnetic Phenomena
Signal Integrity & Power Integrity
Filtering
Shielding & Grounding
Immunity & Susceptibility
EMI Prediction Analysis, Reduction Technique
EMC in Communications
EMC in Transportation
EMC in Power Engineering
Numerical Modeling of Circuits & PCBs
EMC standards & Regulation
Test Chambers
Spectrum Management
EMC Measurement

● Executive Committee

General chairman Gao Yougang (China)
General co-chairmen Koga R (Japan) Zhou Bihua (China)

● International Advisory Committee

Co-Chairmen Nitta S.(Japan) Zhang Lingchang(China)
Members Fang Dagang (China) Goldblum R.(USA) Ianoz M.(Switzerland) Liu Shanghe(China) Qiu Aici(China) Radasky W.A.(USA)
Yoshino T.(Japan) Zhang Mingao(China)

● Technical Program Committee

Chairman Yang Qianli (China)
Co-chairmen Fujiwara O. (Japan) Shi Lihua (China)
Members Chen Q.(Japan) Guo Guozheng(China) Liang P.(HK,China) Sokolov S.A.(Russia) Chen X.D.(UK) Han F.(USA) Liu Yuanan(China)
Song Xiaoting(China) Chen Z.Y.(China) Huang Y.(UK) Lu Yinghua(China) Su Donglin(China) Fang Dagang(China) Ianoz M(Switzerland) Nitta S.(Japan) Trzaska H.(Poland) Fichte L.O.(Germany) Kim J.H.(Korea) Piette M.(Belgium) Wang J.Q.(Japan) Gao Benqing(China) Koga R.(Japan)
Rakov V.A.(USA) Gao Yougang(China) Koshevaya S. V. (Mexico) Ruan Fangming(China) Gavan J.(Israel) Kubina S.(Canada) Shi Xiaowei(China)

● Organizing Committee

Co-chairmen Chen Bing (China) Shi Dan (China)
Members Zhen Guiling (China) Zhang Suhui(China) Xu Yiming(China) Zhou Yinghui(China)

● Important Dates

Preliminary Paper Submission Deadline: Aug. 20, 2012
Notification of Acceptance: Aug. 31, 2012
Camera-Ready Manuscript Deadline: Sept. 30, 2012
All submissions must be electronic, the paper in PDF and MS word version is preferred. No hardcopies shall be accepted.
All accepted papers will be indexed by EI Compendex. The address of the mailbox is ceem2012@gmail.com. More details are given on the symposium website:
www.emc2012beijing.com.

For further information, please contact

Prof. Gao Yougang, Beijing University of Posts and Telecommunications P. O .Box 171, Beijing, 100876, China
Phone: +8610 6228 2343 Fax: +8610 6228 3322
E-mail: ceem2012@gmail.com www.emc2012beijing.com
Prof. Shi Lihua, National Key Lab of Environmental Electromagnetic Effects and Electro-optical Engineering
Email: shilih@tom.com
For EMC Exhibition, please contact Mr. Xu Yimin via expo@vtexpo.com.cn.

i. 编写、选择合理的 CPU 工作程序。简化 CPU 的初始化程序，如：简化或合理设置“看门狗”；将程序编写为：在 CPU 的工作空余时段，不断地对当前的地址进行扫描、记忆，以期电子秤能在被突变的静电场干扰复位后，产品能迅即进入受干扰复位前的工作状态。也可将程序设置为：在进入稳定计量后，CPU 对来自于传感器的数据进行“误码识别”，即对明显与稳定值不同的数据在规定的时段内“不予理睬”等。

4. 关于射频电磁场辐射抗扰度试验及对策

1) 射频电磁场辐射波形参数

试验等级：

等级	试验场强V/m
1	1
2	3
3	10
X	特定

验时用 1kHz 的正弦波对未调制信号进行 80% 的幅度调制，来模拟实际情况。调制后的波形见图 5。

2) 试验时的环境气候条件

GB/T17626.3 对射频电磁场辐射抗扰度试验时的环境气候条件要求为：试验应在受试设备的运行规程和气候条件下进行。

3) 对策

在通常情况下，3V/m 的射频电磁场辐射，对直流 5V 供电的电子线路不易产生较明显的干扰，但对传感器的信号线，在某些频段可能产生干扰。为确保电子计数器能正常工作，建议在设计时考虑采取以下措施：

- a. 在电源的输入端和传感器的引出线端串接磁珠，要对传感器的引出线进行屏蔽。
- b. 在 CPU 线路板设计时，避免长线条或多回路设计。对 CPU 的电源要进行退耦处理。
- c. 电子线路板上的直接引出线要短，电子线路板外壳采用屏蔽设计并良好接地。
- d. 对非自动秤内部的金属体采取“等势屏蔽”措施，

并与电池极板相连。

e. 在考虑秤内的电气接地点时，必须注意防止接地电回路的现象发生。

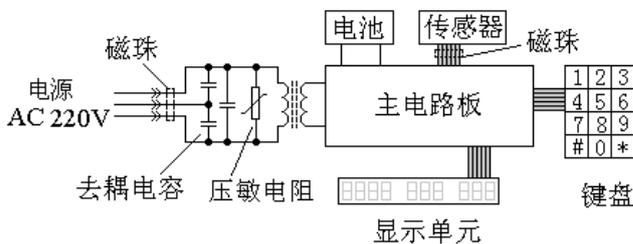


图6 非自动秤抗干扰措施原理图

四、电源线输入端的典型线路

综合上述各项对 JJG 555-96 《非自动秤通用鉴定规程》中抗扰度试验的对策。图 6 给出了非自动秤抗电快速瞬变脉冲群和射频电磁场辐射典型的抗干扰措施原理图，以供各非自动秤生产厂家在电路设计时参考。

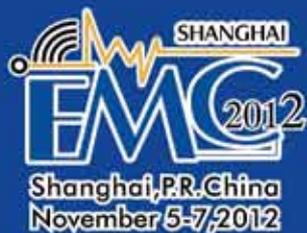
通常，电磁兼容问题只用一种措施往往不能取得预期的效果，最好用几种方法相结合。一个产品在设计定型的初级阶段，采用合适的电磁兼容性对策并采取恰当的措施，对保证产品的技术可靠性、控制产品成本是至关重要的。

五、结束语

一个产品在设计定型的初级阶段，采用合适的电磁兼容性对策并采取恰当的措施，对保证产品的技术可靠性、控制产品成本是至关重要的。通过这篇文章对非自动秤抗扰度对策的一些介绍，希望以此能为有关的非自动秤生产厂家，在今后设计、制造产品时提供一些有益的帮助。

参考文献：

- [1] JJG 555-96 非自动秤通用鉴定规程；
- [2] 国家标准 GB/T17626.11 电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验；
- [3] 国家标准 GB/T17626.4 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验；
- [4] 国家标准 GB/T17626.2 静电放电抗扰度试验；
- [5] 国家标准 GB/T17626.3 射频电磁场辐射抗扰度试验；



技术 Technology
产品 Product
标准 Standard
市场 Marketing
.....

EMC/China2012

第十一届国际电磁兼容与安规测试暨微波展览会

同期举办：第十一届中国电磁兼容技术论坛 / 汽车电子与电磁兼容技术论坛

2012年11月5日~7日 上海光大会展中心



欲了解有关展会详情，请浏览大会网站
www.emcexpo.com

EMC/China主办机构：
上海优创展览服务有限公司
联系人：徐以敏先生
电话：+86 21 32516618
传真：+86 21 32516698
电邮：expo@vtexpo.com.cn

株式会社噪声研究所



新产品 EPS-02 系列, 是用数码相机图像来进行磁场探头位置的检测, 在解析磁场探头测试到的数据的频率的同时, 在电脑上可显示和数码相机图像相吻合的磁场场强分布的可视化系统。通过对 ICNIRP (国际非电离放射线保护委员会)

公布的和人体辐射相关的参考等级的测试、解析、可视化分析, 来消减采取对策的工时数。

特征: 可进行针对人体辐射要求的 IEC62233 (以及 JISTSC0044) 的测试。不仅可直接读取探头的显示数据, 还可以显示频率解析 (频谱)。不依赖于探头一部分的形状、颜色, 实现了追踪性良好的图像识别技术。

应用例: 汽车、铁道、家电 (IH 调理器等)、电力等领域。

电话 / 传真: 021-54069653

邮箱: zq-lu@noiseken.com 网址: cn.noiseken.com

北京大泽科技有限公司



ZN30303 辐射环和 ZN30304 环传感器为执行军标 GJB151A-97、GJB152A-97 中的 RS101, 25Hz ~ 100kHz 磁场辐射敏感度而研制的, 用来检测被测器具是否能够承受 RS101 中规定的要求。

技术要求

ZN30303 辐射环: •直径: 120mm; •匝数: 20; •导线规格: $\Phi 2.0\text{mm}$ 漆包线; •频率范围: 20Hz ~ 100kHz

ZN30304 环传感器: •直径: 40mm; •匝数: 51; •导线规格: $7 \times \Phi 0.07$ 多股绝缘线; •屏蔽: 静电; •频率范围: 20Hz ~ 100kHz

电话: 010-64357789/64371084 传真: 010-64373942

邮箱: zn734@sina.com 网址: www.zn734.com.cn

深圳市力征科技有限公司



电源滤波器 EMI Filter, 带插座式及 SPST I/O 开关, 锁螺丝式, SW(S) case I/O 开关与交流输入插座、滤波器模块组合一体化。额定电流 1A-10A, 标准型滤波功效多种电路结构变化, 可与不同负载设计做搭配多种内部零件组合, 可适用于不同电磁兼容问题的解决方案。通用型滤波器

对差模与共模干扰具有良好的抑制效果。常规产品均已通过 UL, cUL, VDE, CQC, CE 认证可满足医疗低漏电流要求。

力征 SS3 系列电源滤波器 EMI filters 设计多样电源模块式 Power entry module 的电源滤波器。结合了 IEC 插座 (IEC inlet socket) 及电源开关 (power switch) 设计的 EMI/RFI filters 电源滤波器。

电话: 0755-21382095-99 (5 线) 传真: 0755-21382094

邮箱: service@hal-china.com

网址: www.hal-china.com

北京泰派斯特电子有限公司



用于军用方舱车上的空调、燃机加热器滤波器组件 TPF CXH540JDL-3 是低通滤波器的一种, 是空调电源、空调控制、燃机加热和 24VDC 4 路滤波电路组成。每路滤波电路都利用阻抗失配原理抑制电源线上的干扰。其滤波频率范围在 15KHz-

18GHz 之间高达 70dB 以上衰减。

电话: 010-58895330

传真: 010-58895369

Email: bjtempest@163.com

网址: www.tempest-emc.com

深圳市飞荣达科技股份有限公司



导电塑料可以广泛应用在电子/微电子元件、通讯器件、医疗机械、石油化工、军工、航天航空等领域中的电子电气元件中的抗电磁波干扰 (EMI/RFI) 和抗静电 (ESD)。

屏蔽效能 (30MHz-10GHz): 60-85dB; 表面电阻: 0.5-250 Ω /sq; 密度低, 使产品重量减少达 75%; 防腐性能好, 使用寿命长; 无需二次加工, 浪费少, 交货迅速, 降低生产成本; 符合 RoHS、无卤等环保要求; 阻燃等级为 UL94-V0。

电话: 0755-86081680

传真: 0755-86081689

邮箱: info@frd.cn

网址: www.frd.cn

上海普锐马电子有限公司



普锐马公司 EED2007C 多功能 EMS 测试仪完美适用于各方面的需求。组合式干扰发生器 EED2007C 功能包括静电放电、电快速瞬变脉冲群、雷击浪涌三项测试功能, 产品符合 IEC61000-4-2、4、5 和 GB/T17626.2、4、5 最新标准。

EED2007C 自身配备多种语言操作系统, 可适用于不同的国家与市场。EED2007C 是国内唯一能够与国外组合式相媲美的产品, 同时该产品的成功推出, 打破了国外技术的优势, 填补了国内技术的空白。EED2007C 高性价比、高稳定性能将是客户的首选。

全国免费客服热线: 4006 021 806

电话: 021-51877625

传真: 021-33522759

邮箱: prima@emcprima.com 网址: http://www.emcprima.com

上海凌世电子有限公司



EMC PUZZLE(“EMC魔方”)系统是根据IEC61000-4-X (GB/T17626.X)标准设计, 可完成包括符合CE标识和ANSI C62.41标准的多项测试的高端电磁兼容抗扰度测试系统, 采用模块化、智能化设计, 拥有极强的通信程控和扩展能力, 使其能够根据用户需要灵活配置来适应更广阔的测试应用。

使其能够根据用户需要灵活配置来适应更广阔的测试应用。

- 独有的“主-从”结构设计, 自由实现多维度抗扰度模块的扩展;
- 校准模块化, 服务更便捷;
- 超高对比度的7"彩色触摸屏提供友好强大的人机操控界面;
- 界面直接快速编写测试程序, 真正实现测试操作智能化;
- 标准RS232接口, 提供Windows软件并实现上位机操作, 自动生成测试报告。

电话: 021-66309055

传真: 021-56775110

邮箱: sales@emclioncel.com 网址: www.emclioncel.com

苏州泰思特电子科技有限公司



S20-200CA通信浪涌冲击抗扰度测试系统是针对信息网络产品对于浪涌测试的特殊要求而专门设计的高端智能化测试设备, 该通信浪涌冲击抗扰度测试系统要求基本满足FCC part 68, ITU K44, Bellcore GR-1089-core要求, 系统采用

模块化设计, 多功能组合, 根据实际需要最多可以内置12种浪涌模块, 产生12种浪涌脉冲, 智能化人机界面, 计算机控制。国际先进, 替代进口。

附件: 通信类浪涌耦合/去耦网络需另外选配。

免费热线: 4006-0512-77

电话: 0512-68413700 传真: 0512-68079795

邮箱: info@3ctest.cn 网址: www.3ctest.cn

北京科环世纪电磁兼容技术有限责任公司



针对GB17743标准中附录B的要求, 我公司新推出了频段为30-300MHz的KH3963型全自动EMI测试接收机, 搭配CDN就可满足测试要求, 推出此频段的接收机主要是为了方便之前购买我公司生产传导干扰测试设备的客户, 其他品牌的传导干扰测试设备由于不方便升级频段, 也

可以购买该频段的接收机进行补充。另外我公司也提供相应的双线、三线的耦合去耦网络CDN进行配套。欢迎广大客户来电咨询。

主要技术指标:

- 频率范围: 30MHz~300MHz; ● 测量误差: $\pm 2\text{dB}$; ● 测量范围: $0\text{dB} \sim 120\text{dB}$; ● 输入阻抗: 50Ω ; ● 测试模式: 平均值 准峰值 峰值;
- 脉冲特性: 完全满足GB6113.1; ● 操作方式: 全自动扫描、点频。

电话: 010-64363390 / 51395131 传真: 010-64363390

网址: www.kh-emc.com

邮箱: kurtxu@kh-emc.com

瑞士EM测试有限公司



OCS 500N6F 系列模拟器能够按照 EN/IEC 61000-4-18 标准产生最高电压 3kV、频率为100kHz/1MHz 的慢速阻尼振荡波波形, 以及最高电压 4.4kV、频率为 3MHz/10MHz/30MHz 的快速阻尼振荡波波形; 还可依照 EN/IEC 61000-4-12 标准产生最高电压为 6kV 的振铃波波形。此外, 该模拟器还可满足 ANSI/IEEE C37.90、ANSI/IEEE C62.41、EN /IEC61000-4-10、IEC 60255-22-1、IEC 61850-3 等标准。模拟器内置单相或三相耦合网络, 电流可达 32A, 能够满足单相/三相测试应用的需求。

电话: 010-82676027/28/29

邮箱: emtestbj@public.bta.net.cn

网址: http://www.emtest.com

程熙贸易(上海)有限公司



TRA3000系列是瑞士著名的EMC设备生产厂商EMC PARTNER公司最新推出的新一代综合抗扰度测试系统, 即插即用的模块化设计方便用户现场升级; USB和LAN接口方便用户连接PC, 读取测试数据和故障信息; 温湿压传感器方便用户监

测环境资讯;

目前, TRA3000系列可完成的测试项目如下:

- IEC61000-4-2&GB/T17626.2 静电放电抗扰度测试
- IEC61000-4-4&GB/T17626.4 电快速瞬变脉冲群抗扰度测试
- IEC61000-4-5&GB/T17626.5 雷击浪涌抗扰度测试
- IEC61000-4-8&GB/T17626.8 工频磁场抗扰度测试
- IEC61000-4-9&GB/T17626.9 脉冲磁场抗扰度测试
- IEC61000-4-11&GB/T17626.11 电压暂降、短时中断、电压变化抗扰度测试
- IEC61000-4-16&GB/T17626.16 0-150kHz共模传导骚扰抗扰度测试
- IEC61000-4-29&GB/T17626.29 直流中断和电压变化测试

电话: 021-62115111

传真: 021-62115811

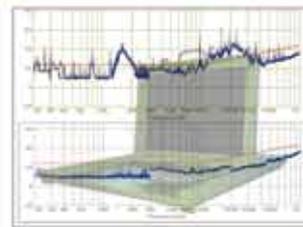
网址: www.picsh.com.cn 邮箱: picsh@picsh.com.cn

更多产品与企业信息, 请登录

www.interferencetechnology.cn

屏蔽系列 屏蔽材料 滤波器 测试设备 测试系统 测试仪器 EMC测试服务 EMC诊断设备 EMC诊断系统 暗室 变压器 测试软件 导热材料 电容 发生器 仿真软件 放大器 接收机 连接器 屏蔽室 天线 吸波材料 其他

产品还没有通过EMC测试？
没问题，泰派斯特为您整改！



我们的服务包括：

- 电磁兼容（EMC）技术咨询、培训；
- 产品电磁兼容（EMC）现场通过方案和设计；
- 产品电磁兼容（EMC）诊断、测试和加固；
- 推广电磁兼容（EMC）预测试技术及其系统；
- 板级核心PCB电磁兼容（EMC）设计；
- 产品电磁兼容（EMC）认证、整改一条龙服务；
- EMC工程、方案设计。

北京泰派斯特电子技术有限公司

地址：北京市海淀区永定路88号长银大厦11B08

电话：+86 10-5889 5330

传真：+86 10-5889 5369

网址：www.tempest-emc.com / www.chinatpst.com

邮箱：bjtempest@163.com

▲反馈服务代码：IC0907

公司已通过ISO9001：2000质量管理体系认证



泰派斯特公司专业提供完整的电磁兼容项目解决方案

全国服务网点：北京 南京 深圳 武汉 成都 西安



咨询热线：010-58895330

索引

罗德与施瓦茨中国有限公司	封二
北京特测电子仪器有限公司	01
AR嘉兆科技有限公司	02
北京森馥科技有限公司	03
安捷伦科技有限公司	05
苏州泰思特电子科技有限公司	07
上海普锐马电子有限公司	09
深圳市力征科技有限公司	11
Noise Laboratory Co.,Ltd	15
瑞士EM测试有限公司北京代表处	17
嘉善法兰克尼亚电磁兼容有限公司	19
EM Software & Systems-China (PTY) Ltd	21
奥尔托射频科技(上海)有限公司	23
北京科环世纪电磁兼容技术有限责任公司	29
TDK株式会社	39
深圳市鸿富诚屏蔽材料有限公司	43
IWS 2013	45
EDICON China 2013	51
程熙贸易(上海)有限公司	53
北京大泽科技有限公司	55
CEEM Metco (Canada) Inc.	57
EMC/China 2012 Shanghai	59
北京泰派斯特电子技术有限公司	62
深圳市飞荣达科技股份有限公司	64
上海凌世电磁技术有限公司	封三
陕西海泰电子有限责任公司	封底

中国机械

主管：中国工业经济联合会
主办：《中国机械》杂志社

社长 总编：王军
常务副社长：丁明
副社长：孙宁松
编审委员会主任：高攸纲、常若艇、高本庆
熊蕊、周璧华、苏东林

国际标准刊号：ISSN1003-0086

国外发行：中国国际图书贸易总公司

国外发行代号：BM 4449

国内统一刊号：CN11-5417/TH

邮发代号：46-264，随刊赠阅

广告经营许可

证号：京海工商广字第8081号

地址：北京市海淀区中关村南大街
甲6号B座1704

邮编：100086

内容翻译：ITEM® Publications

Contact: Belinda Stasiukiewicz

Email: bstas@item-media.net

本增刊面向 EMC 2012，致力于提供准确的信息，但是它不对在它的技术文章中的错误或漏洞负责。另外文章的观点仅代表技术专家的意见，任何人没有书面许可不得复制本文中的任何内容。

本增刊随刊向在电子元件、系统、材料、设备及相应的服务领域的应用、选材、设计、试验、规范或采购工程师和经理免费提供。

声 明

本增刊版式设计和内容受国家《著作权法》保护。未经书面许可，不得转载和使用本刊所发表的文章、图片。如发现有未经许可而擅自转载和使用，将依据版权法之规定，追究其法律责任。



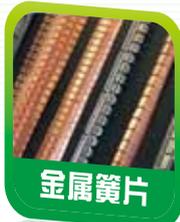
屏蔽·导热·吸波 材料专家

专业生产EMI电磁干扰屏蔽材料

飞荣达为您提供全系列的专业EMI屏蔽解决方案:
FRD can provide you with all the professional EMI Shielding solutions.



导电泡棉



金属簧片



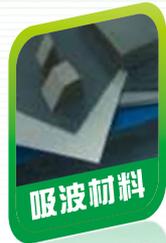
导电橡胶



导热材料



导电塑料



吸波材料

ISO 9001 ISO 14001 QC 080000 OHSAS 18001 ISO/TS 16949 UL CSA

理想的EMI屏蔽产品 / Ideal for EMI Shielding

国家高新技术企业

- 导电泡棉 Fabric-Over-Foam (FoF)
- 金属簧片 Metal Fingerstock
- 导电橡胶 Conductive Elastomer
- 导电塑料 Conductive Plastics
- 吸波材料 Microwave Absorbing Material
-

- ▣ 屏蔽材料
- ▣ 导热材料
- ▣ 吸波材料

▲反馈服务代码: IC1040

全新一代智能化抗扰度测试系统



- ◆国内率先的EMS测试监控系统
- ◆实测被试品的响应电压电流
- ◆突破性地实现被试品的失效、判断及报警功能
- ◆建立电脑分析模型
- ◆判断被试品的抗扰度趋势.....

专利技术 侵权必究

创新，我们的目标不仅仅是中国制造，更是中国创造！

EMC PUZZLE("EMC魔方")系统是根据IEC61000-4-X (GB/T17626.X) 标准设计，可完成包括符合CE标识和ANSI C62.41标准的多项测试的高端电磁兼容抗扰度测试系统，采用模块化、智能化设计，拥有极强的通信程控和扩展能力，使其能够根据用户需要灵活配置来适应更广阔的测试应用。

特点：

- ◆独有的“主-从”结构设计，自由实现多维度测试模块的扩展；
- ◆校准模块化，服务更便捷；
- ◆超高对比度的彩色触摸屏提供友好强大的人机操控界面；
- ◆界面直接快速编写测试程序，真正实现测试操作智能化；
- ◆标准RS232接口，提供Windows软件并实现上位机操作，
- ◆自动生成测试报告。

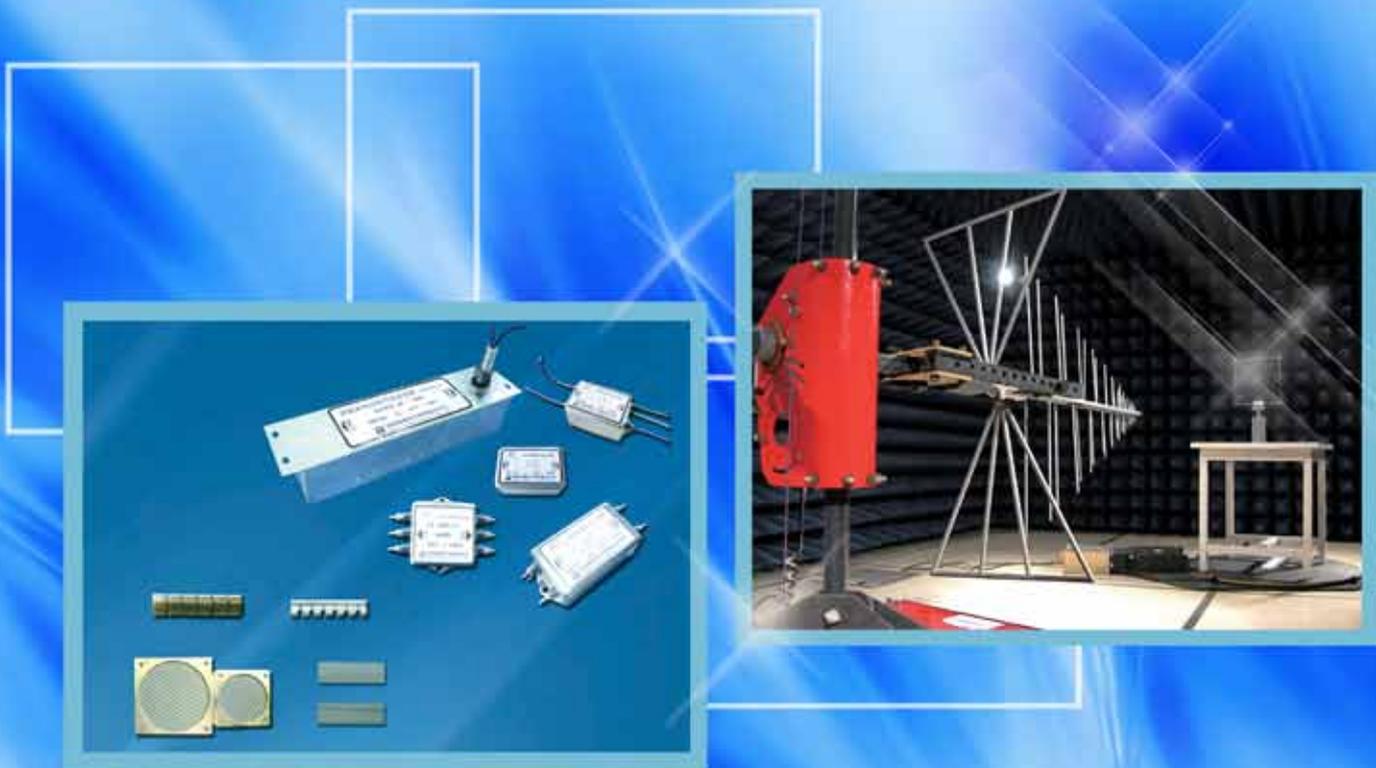
模块分类：

- ◆静电放电发生器模块
- ◆电快速瞬变脉冲群发生器模块
- ◆雷击浪涌发生器模块
- ◆振铃波发生器模块
- ◆电压跌落模拟发生器模块
- ◆阻尼振荡波发生器模块
- ◆车载电子抗扰模拟测试系统



电磁兼容故障整改产品及服务

整改服务/技术咨询服务/滤波器



更多信息，请访问网站 www.hitai.com.cn

 **电磁兼容全面供应商**

陕西海泰电子有限责任公司

总部地址：陕西省西安市高新区团结南路35号 航海科技园 710075

北京：TEL (010) 58970632

上海：TEL (021) 54157369

成都：TEL (028) 66645682

电话：(029) 82300360-369

武汉：TEL (027) 87172856

▲反馈服务代码：IC0123