



清华大学

电磁实验中心

电磁兼容实验室



清华大学电磁实验中心电磁兼容实验室

目 录

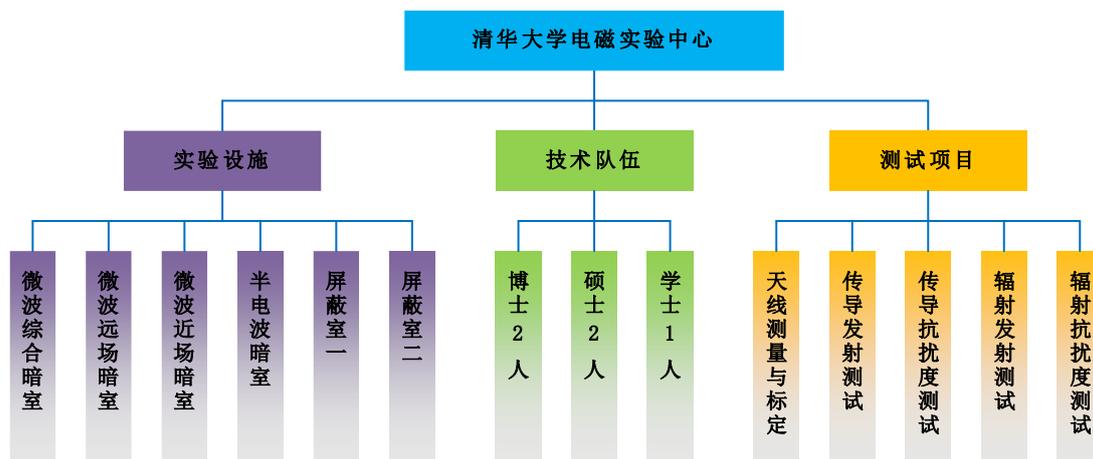
清华大学电磁实验中心	1
电磁兼容实验室	2
半电波暗室	2
屏蔽室一	4
屏蔽室二	4
检测项目及能力	5
民用标准	5
车用标准	9
军用标准	12
开发整改测试系统	13
电磁干扰扫描系统	13
近场测试系统	14
抗干扰开发测试系统	15
其它测试仪器	16

清华大学电磁实验中心

清华大学电磁实验中心位于电子工程馆罗姆楼，建制于 2017 年 9 月 29 日，是清华大学校级科研条件平台，由电子工程系、电机工程与应用电子技术系共同建设与运行管理，面向校内外用户开展测试服务。

清华大学电磁实验中心由微波实验室（微波综合测试暗室、微波远场暗室、微波近场暗室）、电磁兼容实验室（1 个 5 米法半电波暗室、2 个电磁屏蔽室）组成。实验中心配备检测人员 5 人，其中博士 2 人，硕士 2 人，本科 1 人。检测领域包括通信和电磁兼容检测领域，检测对象包括 16 类产品，测试内容主要包括：天线的测量与标定，设备的传导和辐射电磁兼容性测试。同时，可以为相关科研提供测试仪器和测试环境。

清华大学电磁实验中心通过国家合格评定国家认可委员会（CNAS）的实验室认可。



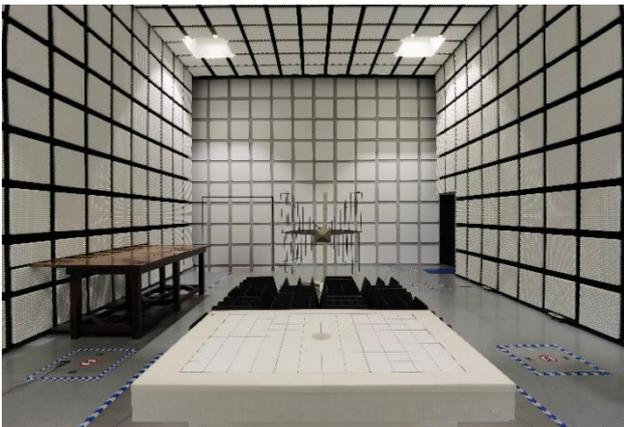
电磁兼容实验室

清华大学电磁实验中心电磁兼容实验室主要用于设备的电磁兼容检测，可以检测汽车电子产品、军用电子产品、民用产品。民用产品的检测主要包括一般电子产品，信息技术设备，家用电气、电动工具，工业、科学、医疗设备，电源，测量、控制和实验室用电气设备，居住、商业和工业环境设备，电磁屏蔽材料等。

半电波暗室

半电波暗室位于清华大学罗姆楼 B3-105，由 TDK 公司设计并承建，各项指标经中国计量科学研究院测试，满足相关标准要求，主要用于辐射发射、辐射抗扰、汽车电子传导发射等测试，暗室屏蔽效能： $0.01\text{MHz}\sim 1\text{MHz}$ ， $>60\text{dB}$ ； $1\text{MHz}\sim 40\text{GHz}$ ， $>90\text{dB}$ 。

半电波暗室包括：5 米法暗室本体、控制室、电源与负载室、功放室。半电波暗室净空尺寸 $11.2\text{m}(\text{L})\times 8.4\text{m}(\text{W})\times 6.6\text{m}(\text{H})$ ，大门尺寸 $2.0\text{m}(\text{W})\times 2.3\text{m}(\text{H})$ ，配有监控系统、语音传输系统、转台（直径 3m ，静区 2m ，最大承重 2.0T ）、汽车电子测试桌等。控制室（屏蔽室）放置测控仪器仪表，通过软件操作测试，功放室（屏蔽室）放置功率放大器，电源负载室放置交流电源（ 30kW ）、交流负载（ 30kW ）、直流电源（ 15kW ， 1000V ）、直流负载（ 15.6kW ， 1000V ）等。



暗室本体



电源与负载室



控制室



功放室



天线一



天线二

屏蔽室一

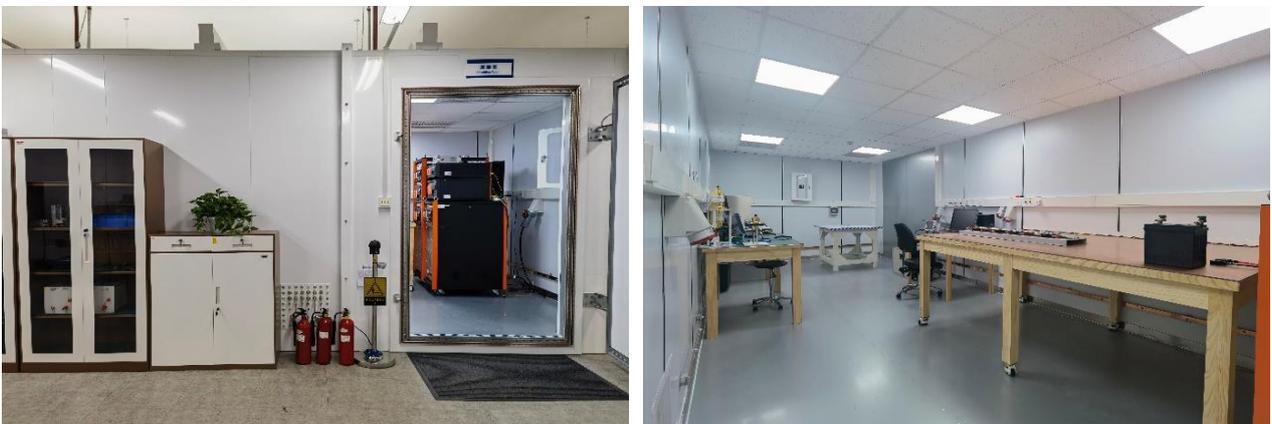
屏蔽室一位于清华大学罗姆楼 B1-111，屏蔽室尺寸为 $11\text{m} \times 5.6\text{m} \times 3\text{m}$ (L×W×H)，由安方高科电磁安全技术(北京)有限公司设计并承建，中国计量科学研究院测试屏蔽室各项指标满足相关标准要求，主要用于传导抗扰度测试，屏蔽效能： $10\text{kHz} \sim 150\text{kHz}$ ， $>80\text{dB}$ ； $150\text{kHz} \sim 18\text{GHz}$ ， $>90\text{dB}$ 。



屏蔽室一

屏蔽室二

屏蔽室二位于清华大学罗姆楼 B1-109，屏蔽室尺寸为 $9\text{m} \times 3.4\text{m} \times 2.7\text{m}$ (L×W×H)，由 TDK(苏州)电子有限公司设计并承建，中国泰尔实验室测试各项指标满足相关标准要求，主要用于军标、民标传导发射、汽车电子传导抗扰度等测试，屏蔽效能： $14\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$ ， $>90\text{dB}$ ； $1\text{MHz} \sim 18\text{GHz}$ ， $>100\text{dB}$ 。

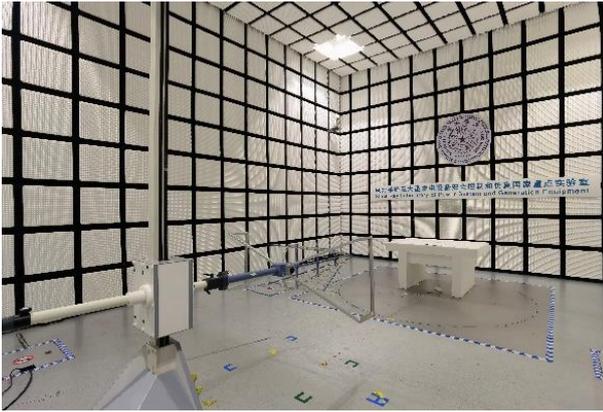


屏蔽室二

检测项目及能力

民用标准

检测项目	主要指标
电磁场辐射发射骚扰	9kHz~40GHz
辐射杂散	9kHz~40GHz
电源端子传导发射骚扰	9kHz~30MHz
骚扰功率	30MHz~1GHz
谐波电流发射	小于 16A 设备
电压变化、电压波动和闪烁	小于 16A 设备
静电放电抗扰度	±0.2~20kV
射频电磁场辐射抗扰度	80MHz~6GHz, 1~30V/m
音频突破	80MHz~6GHz, 1~30V/m
电快速瞬变脉冲群抗扰度	±0.2~8kV
浪涌（冲击）抗扰度	±0.3~6kV
射频场感应的传导骚扰抗扰度	150kHz~230MHz, 1~10V
工频磁场抗扰度	0~1200A/m
脉冲磁场抗扰度	0~1200A/m
阻尼振荡磁场抗扰度	0~100A/m
电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度	单相、三相、直流
振铃波抗扰度	0.25~6.0kV
0Hz~150kHz 共模传导骚扰抗扰度	持续骚扰: 30V, 短时骚扰: 300V
阻尼振荡波抗扰度	慢速振荡频率 100kHz/1MHz, 最高 3.3kV; 快速振荡频率 3MHz/10MHz/30MHz, 最高 4kV
屏蔽效能	30MHz~18GHz



检测项目：电磁场辐射骚扰/辐射杂散
检测能力：9kHz~40GHz
检测标准：GB/T 9254.1, GB 4824,
GB 4343.1, YY 9706.102,
YD/T 1483 等



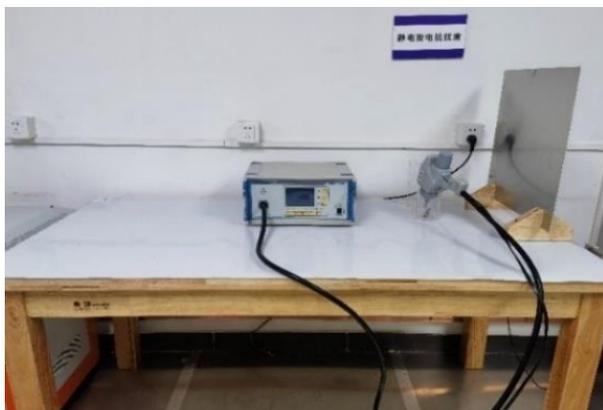
检测项目：电源端子传导骚扰
检测能力：9kHz~30MHz
检测标准：GB/T 9254.1, GB 4824,
GB 4343.1, YY 9706.102 等



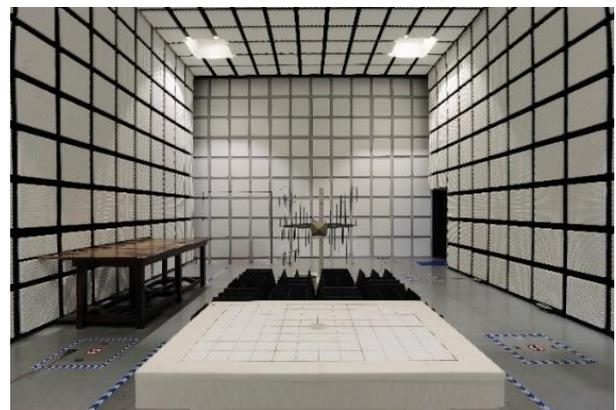
检测项目：骚扰功率
检测能力：30MHz~1GHz
检测标准：GB 4343.1



检测项目：谐波电流/电压波动和闪烁
检测能力：小于 16A 设备
检测标准：GB 17625.1, GB/T 17625.2



检测项目：静电放电抗扰度
检测能力： $\pm 0.2 \sim 20$ kV
检测标准：GB/T 17626.2



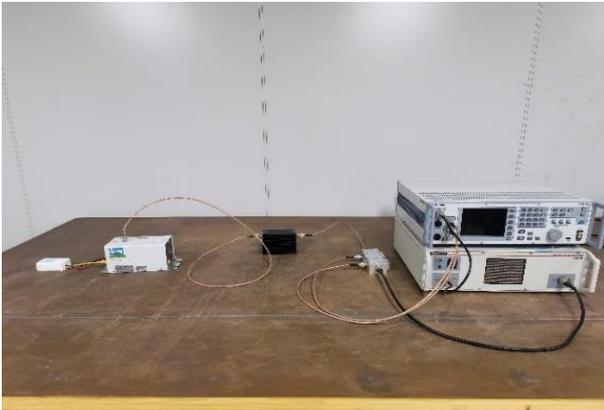
检测项目：射频电磁场辐射抗扰度/音频突破
检测能力：80MHz~6GHz, 1~30V/m
检测标准：GB/T 17626.3, YD/T 2583.6 等



检测项目：电快速瞬变脉冲群抗扰度
检测能力：±0.2~8kV，单相、三相、直流
检测标准：GB/T 17626.4



检测项目：浪涌（冲击）抗扰度
检测能力：±0.3~6kV，单相、三相、直流
检测标准：GB/T 17626.5



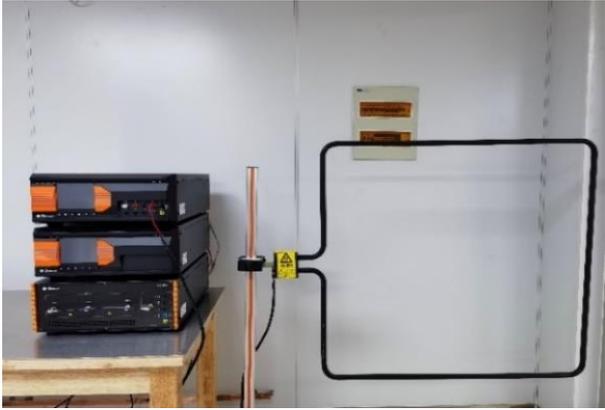
检测项目：射频场感应的传导骚扰抗扰度
检测能力：150kHz~230MHz，1~10V
检测标准：GB/T 17626.6



检测项目：工频磁场抗扰度
检测能力：0~1200A/m
检测标准：GB/T 17626.8



检测项目：脉冲磁场抗扰度
检测能力：0~1200A/m
检测标准：GB/T 17626.9



检测项目：阻尼振荡磁场抗扰度
检测能力：0~100A/m
检测标准：GB/T 17626.10



检测项目：电压暂降、短时中断和电压变化
抗扰度

检测能力：单相、三相、直流

检测标准：GB/T 17626.11



检测项目：振铃波抗扰度

检测能力：0.25~6kV，单相、三相

检测标准：GB/T 17626.12



检测项目：0Hz~150kHz 共模传导骚扰抗扰度

检测能力：持续骚扰 30V，短时骚扰 300V

检测标准：GB/T 17626.16



检测项目：阻尼振荡波抗扰度

检测能力：慢速 100kHz/1MHz，3.3kV；

快速 3MHz/10MHz/30MHz，4kV

检测标准：GB/T 17626.18



检测项目：屏蔽效能

检测能力：30MHz~18GHz

检测标准：GJB 6190，GB/T 30142 等

车用标准

检测项目	主要指标
辐射骚扰	150kHz~18GHz
传导骚扰电压	150kHz~108MHz
传导骚扰电流	150kHz~245MHz
辐射抗扰度	80MHz~6GHz, 最大 200V/m
大电流注入	1~400MHz
静电放电抗扰度	±0.2~30kV
磁场抗扰法	DC~150kHz 直流磁场强度: >3000A 交流磁场强度: ≥1000A/m@1kHz ≥28A/m@150kHz
瞬态传导发射	测试电压可达 60V DC, 持续电流 100A
瞬态传导抗扰性	脉冲 1, 脉冲 2, 脉冲 3, 脉冲 4 等波形



检测项目：辐射骚扰
检测能力：150kHz~18GHz
检测标准：GB/T 18655



检测项目：传导骚扰电压
检测能力：150kHz~108MHz
检测标准：GB/T 18655



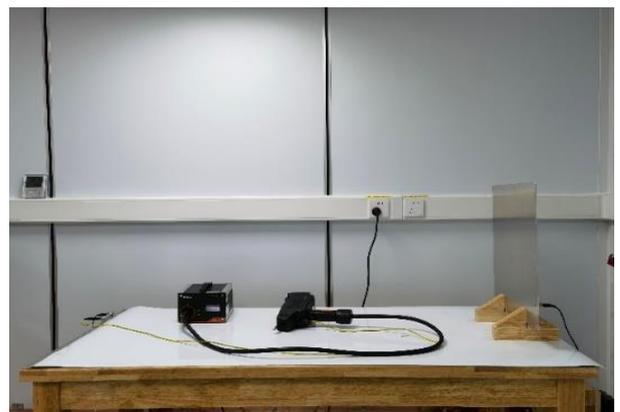
检测项目：传导骚扰电流
检测能力：150kHz~245MHz
检测标准：GB/T 18655



检测项目：辐射抗扰度
检测能力：80MHz~6GHz，最大 200V/m
检测标准：GB/T 33014.2



检测项目：大电流注入
检测能力：1~400MHz
检测标准：GB/T 33014.4



检测项目：静电放电抗扰度
检测能力： $\pm 0.2 \sim 30$ kV
检测标准：GB/T 19951



检测项目：磁场抗扰法
 检测能力：DC~150kHz
 直流磁场强度， $>3000A$
 交流磁场强度， $\geq 1000A/m@1kHz$
 $\geq 28A/m@150kHz$
 检测标准：GB/T 33014.8



检测项目：瞬态传导发射
 检测能力：测试电压 60V DC, 持续电流 100A
 检测标准：GB/T 21437.2



检测项目：瞬态传导抗扰性
 检测能力：脉冲 1，脉冲 2，脉冲 3，脉冲 4
 等波形
 检测标准：GB/T 21437.2, GB/T 21437.3,
 GB/T 28046.1

军用标准

检测项目	主要指标
CE101 25Hz~10kHz 电源线传导发射	25Hz~10kHz
CE102 10kHz~10MHz 电源线传导发射	10kHz~10MHz
RE101 25Hz~100kHz 磁场辐射发射	25Hz~100kHz
RE102 10kHz~18GHz 电场辐射发射	10kHz~18GHz



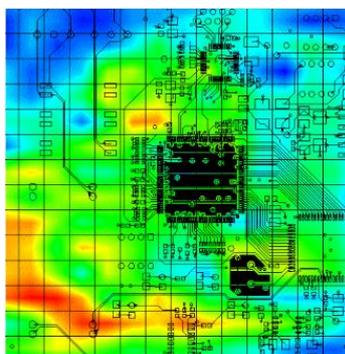
检测项目：CE101 CE102 RE101
 检测能力：25Hz~10kHz、10kHz~10MHz 、
 25Hz~100kHz
 检测标准：GJB 151B



检测项目：RE102
 检测能力：10kHz~18GHz
 检测标准：GJB 151B

开发整改测试系统

电磁干扰扫描系统



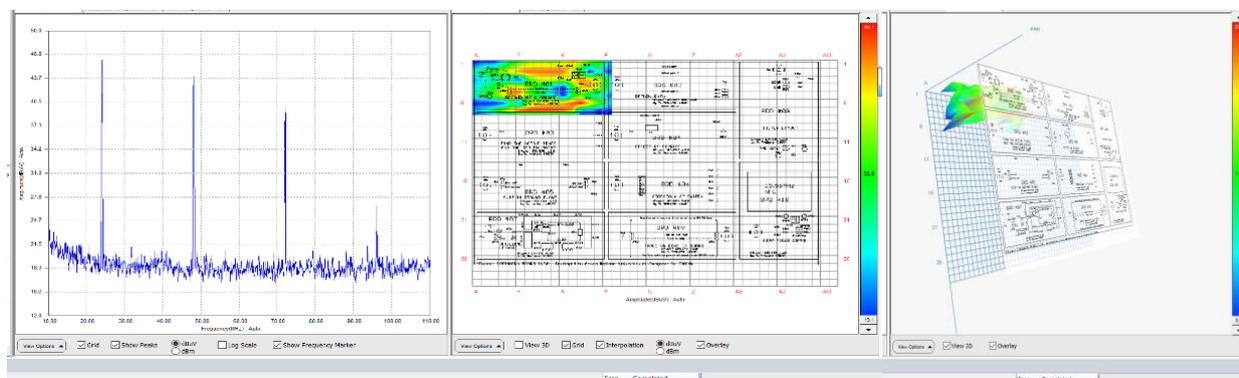
在 PCB 设计中，EMC 和信号完整性是主要考虑的问题，电磁干扰扫描系统由扫描板和频谱分析仪组成，在 150kHz 到 6GHz 的频率范围内诊断 EMC 问题。通过软件从图形化测试结果中看出 EMC 问题的根源。在新 PCB 设计过程中或者在测试 EMC 不通过时，可以使用本系统方便快捷的找出并分析定位 PCB 上的无意辐射源或射频泄露，以顺利完成 EMC 测试。

频谱扫描

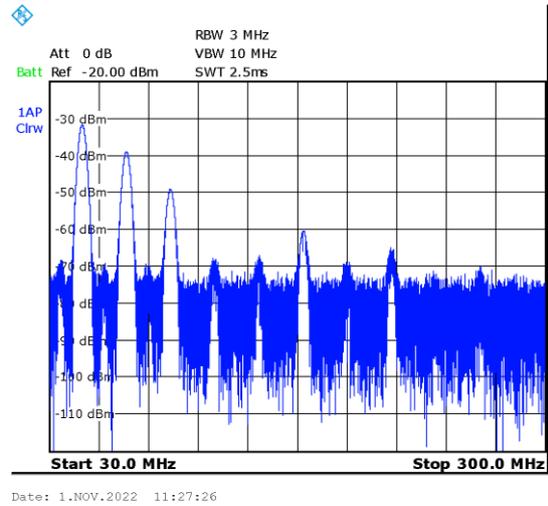
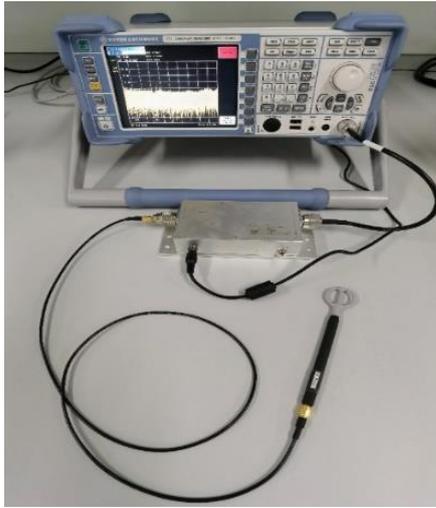
测量和画出选定频率范围内各频率的幅度峰值，从中可以看出电路板上问题的频率。

空间扫描

用来确定选定频率点的辐射源的具体位置及强度，给出 EMI 位置和强度的图形。不同的幅度以不同的颜色表示，形成一张地形图，可以实时看到电磁场。空间扫描的结果可以与 PCB 设计图或者机箱的结构图叠在一起显示，这样可以让我们更容易分析是什么部件产生的辐射。



近场测试系统



近场测试系统主要由 3 部分组成，1. 近场探头组，2. 放大器，3. 频谱分析仪。正常测试只需要探头加频谱分析仪，当设备的辐射特别微弱时，需要加放大器来放大信号。

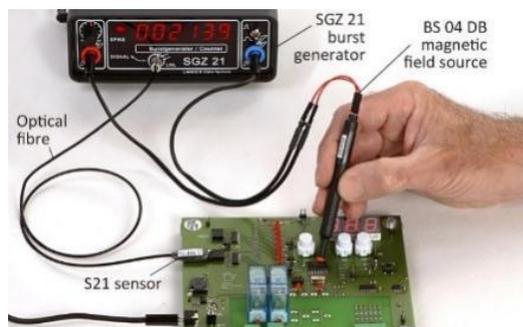
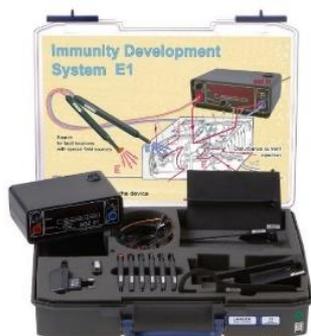
近场探头的用途：

- 主要应用于查找干扰源，判定干扰产生的原因；
- 可以检测器件或者是表面的磁场方向及强度；
- 可以检测磁场耦合的通道，从而调整连接器或者是线路的位置；
- 可以检测模块附近的磁场环境情况。

本近场测试系统共配有近场探头 3 组，覆盖频率范围 100kHz~6GHz，可以根据不同的频率选择适合的探头进行测试。

<p>低频通用探头组 LF1 频率范围 100kHz~50 MHz</p>	<p>通用探头组 RF2 频率范围 30MHz~3GHz</p>	<p>高频通用探头组 XF1 频率范围 30MHz~6GHz</p>

抗干扰开发测试系统



E1 抗干扰开发系统，采取特殊的瞬态信号发生器和瞬态电磁场探头组，能发出瞬态电磁场，评估电子产品内部关键电路的抗干扰能力，定位 PCB 上的电磁场敏感点，使工程师在设计阶段排除电磁敏感性问题，提高产品设计质量，增强产品的稳定性和可靠性。



P 系列迷你型脉冲发生器，在发生器的顶端，能发出强度很强而且很陡的脉冲信号，形成电磁场，这个电磁场能等效于在进行电快速瞬态试验或者静电放电试验中，分布到被测设备的电磁场。用小面积的电磁场，发射到被测设备各个空间位置上，找到导致测试通不过的薄弱点。由于 P 系列发生器能分别产生磁场脉冲和电场脉冲，因而易于区分薄弱点类型。

一般情况下，电磁薄弱点会限制在被测设备的一些小区域上。使用迷你型突发信号发生器的目的在于定位这些薄弱的区域，可能是元器件，也可能是布线或者电缆。利用这种方法，可以大大减少对屏蔽和滤波等手段的依赖性，从而降低研发和生产成本。

	<p>P11 迷你型磁场脉冲发生器在顶部产生一个直径约 3mm 的干扰磁场。将该干扰磁场施加到电路板及元器件的局部表面，从而探测出薄弱点，譬如导线段、元器件和元件接点。</p>
	<p>P12 迷你型磁场脉冲发生器按照耦合钳原理产生一个干扰磁场，这样就可以将干扰电流耦合注入到单个导线、IC 引脚、SMD 器件和细导线（扁形电缆）。测试时可以把 P12 发生器放置在受测设备上。</p>
	<p>P21 迷你型脉冲发生器的顶端，能发出电场信号，该电场信号可以耦合到布线、金属线、引脚和元器件中，尤其适于 SMD 元器件如电阻和电容等。该发生器同样也可以用于测试扁平电缆的单个芯线或者插头接点。</p>

其它测试仪器

阻抗分析仪 E4990A



阻抗分析仪具有 20Hz 至 120MHz 的频率范围，可在宽阻抗范围内提供出色的 0.045%（典型值）基本准确度，并内置 40V 直流偏置源，适用于元器件、半导体和材料测量。

测量参数： $|Z|$ 、 $|Y|$ 、 θ 、R、X、G、B、L、C、D、Q、复数 Z、复数 Y、Vac、Iac、Vdc、Idc

测试附件

A photograph of the 16047E Test Fixture, which is a grey metal device with two large, adjustable jaws for holding components. It has several screws and adjustment knobs on top.	<p>16047E 测试夹具 对导线类器件执行上限可达 120MHz 的抗阻评测，包括保护端子和短路板材。</p>
A photograph of the 16454A Magnetic Material Test Fixture, showing a small black component held within a grey metal fixture that is housed inside a blue carrying case.	<p>16454A 磁性材料测试夹具 频率：1kHz 至 1GHz 16454A 设计用于精确测量环形磁性材料的磁导率。</p>
A photograph of the 16451B Dielectric Material Test Fixture, featuring a grey metal base with two large, parallel plates and a central probe assembly. A cable with connectors is attached to the side.	<p>16451B 电介质材料测试夹具 频率：$\leq 30\text{MHz}$ 测量参数：电容 (C)、耗损因数 (D) 和介电常数 (ϵ_r', ϵ_r'') 被测材料的尺寸：厚度，$\leq 10\text{mm}$ 直径，10mm 至 56mm 16451B 采用平行板方法将材料夹在两个电极之间，以形成电容器。</p>
A photograph of the 16034G SMD Test Fixture, a grey metal device with two large, adjustable jaws and a central probe assembly, designed for surface-mount device testing.	<p>16034G SMD 测试夹具 频率：直流至 120MHz 16034G 设计用于 SMD 阻抗评估。该夹具适用于评估的最小 SMD 尺寸为 0.6mm×0.3mm (L×W)。</p>
A photograph of the 42941A Impedance Probe Kit, showing a grey metal probe head connected to a flexible cable with a connector at the other end.	<p>42941A 阻抗探头套件 42941A 阻抗探头套件可实现在线测量功能（印刷电路图案、电路的输入/输出阻抗等），精度更高，阻抗覆盖范围更广（20Hz 至 120MHz）。</p>

数字示波器 RTO2044



带宽：4GHz
 最大采样率：20 Gsample/s
 最大存储深度：2 Gsample
 垂直分辨率：16 位

测试附件



有源差分探头 RT-ZD40

带宽：4.5GHz
 最大电压：信号插座间： $\pm 5V$ ($\pm 5V$ 偏置补偿)；信号插座接地： $\pm 8V$ ($\pm 22V$ 偏置补偿)
 衰减因子：10:1
 输入阻抗： $1\text{ M}\Omega \parallel 0.4\text{ pF}$



多通道功率探头 RT-ZVC04A

带宽：1MHz
 通道数：4 个电压通道，4 个电流通道
 最大电压/电流： $\pm 1.8V$ 至 $\pm 15V$
 $\pm 4.5\ \mu\text{A}$ 至 $\pm 6A$
 输入阻抗： $10\text{ M}\Omega \parallel 48\text{ pF}$ ， $1\text{ M}\Omega \parallel$ 分流器



高压探头 RT-ZD01

带宽：100MHz
 最大电压：1kV (RMS) (CAT II)，1.4kV (峰值)
 类型：有源，差分
 衰减因子：100:1/1000:1
 输入阻抗： $8\text{ M}\Omega \parallel 3.5\text{ pF}$

矢量网络分析仪 E5063A



频率：100kHz~18GHz

输出功率：0dBm

动态范围：117dB

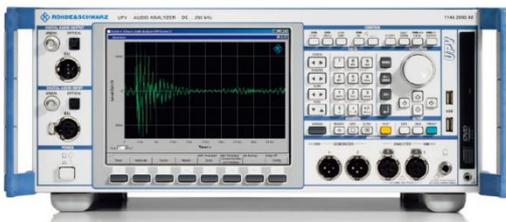
用于 S 参数的测量

无线综测仪 CMW500



支持多无线电接入技术的信令：LTE、WCDMA、TD-SCDMA、
GSM、WLAN、Bluetooth、NB-IoT

音频分析仪 UPV



用于音频信号的分析

清华大学电磁实验中心电磁兼容实验室

地址：北京市海淀区清华大学罗姆楼

邮编：100084

联系人：毕大强，13520913302，bidaiqiang@tsinghua.edu.cn

高胜友，13691484232，eeagsy@tsinghua.edu.cn