

# 如何在实验桌上进行传导和辐射摸底

---



敏业信息科技（上海）有限公司

黄小文

2021年3月24日

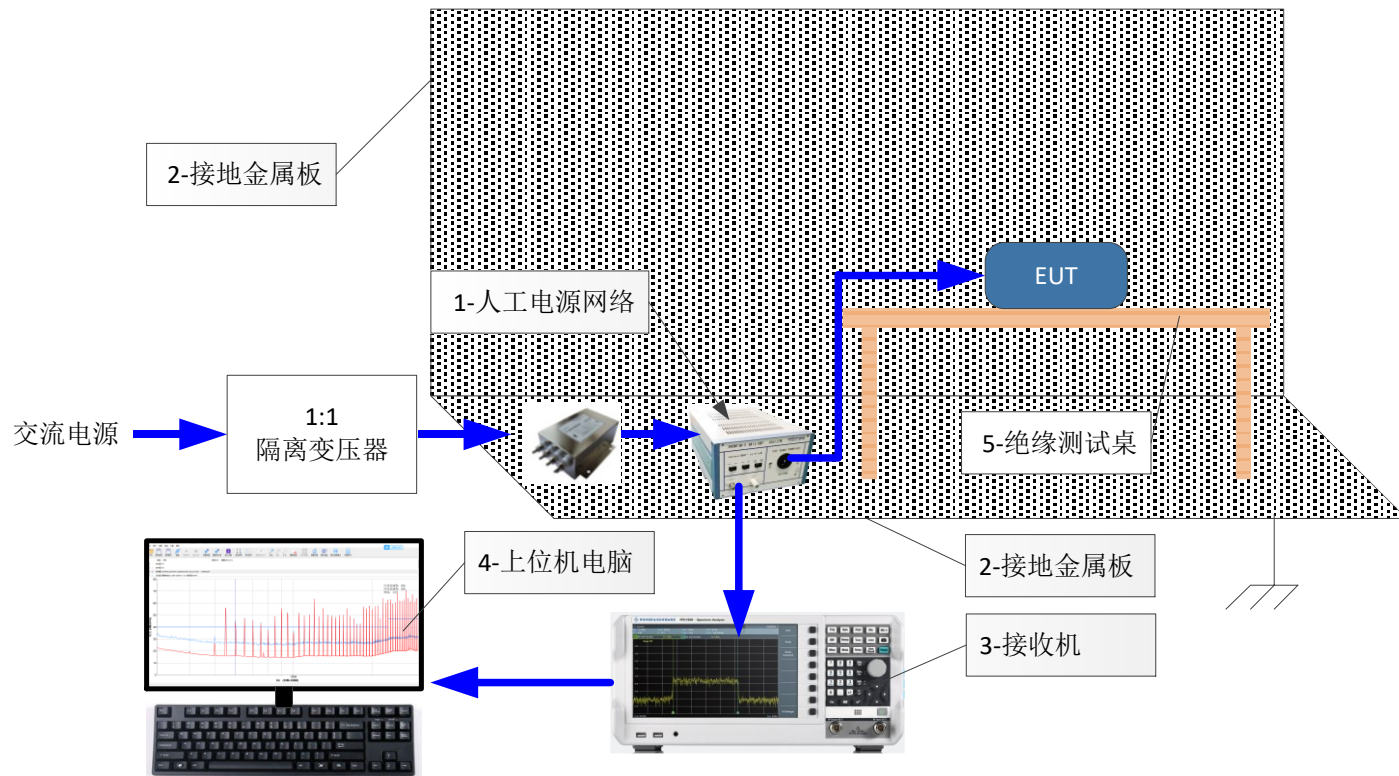
# 目录

---

1. EMI测试的目的
2. 传导发射的诊断工具和方法
3. 辐射发射的诊断工具和方法
4. 机箱辐射问题的摸底
5. 线缆辐射问题的摸底

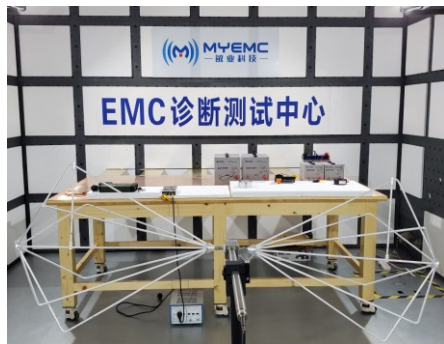
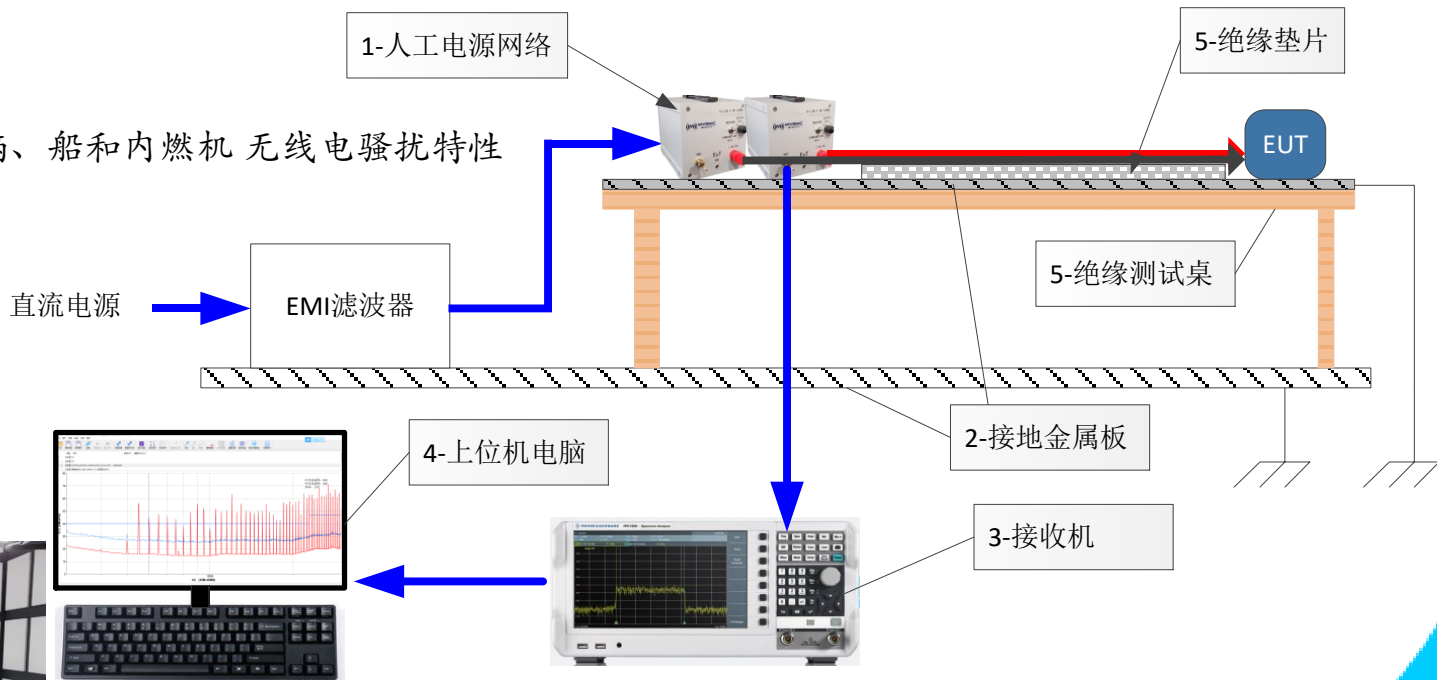
# 1, EMI测试的目的是什么?

GB 9254-2008 信息技术设备的无线电骚扰限值 and 测量方法



# 1, EMI测试的目的是什么?

GBT 18655-2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性



# 1, EMI测试的目的是什么?

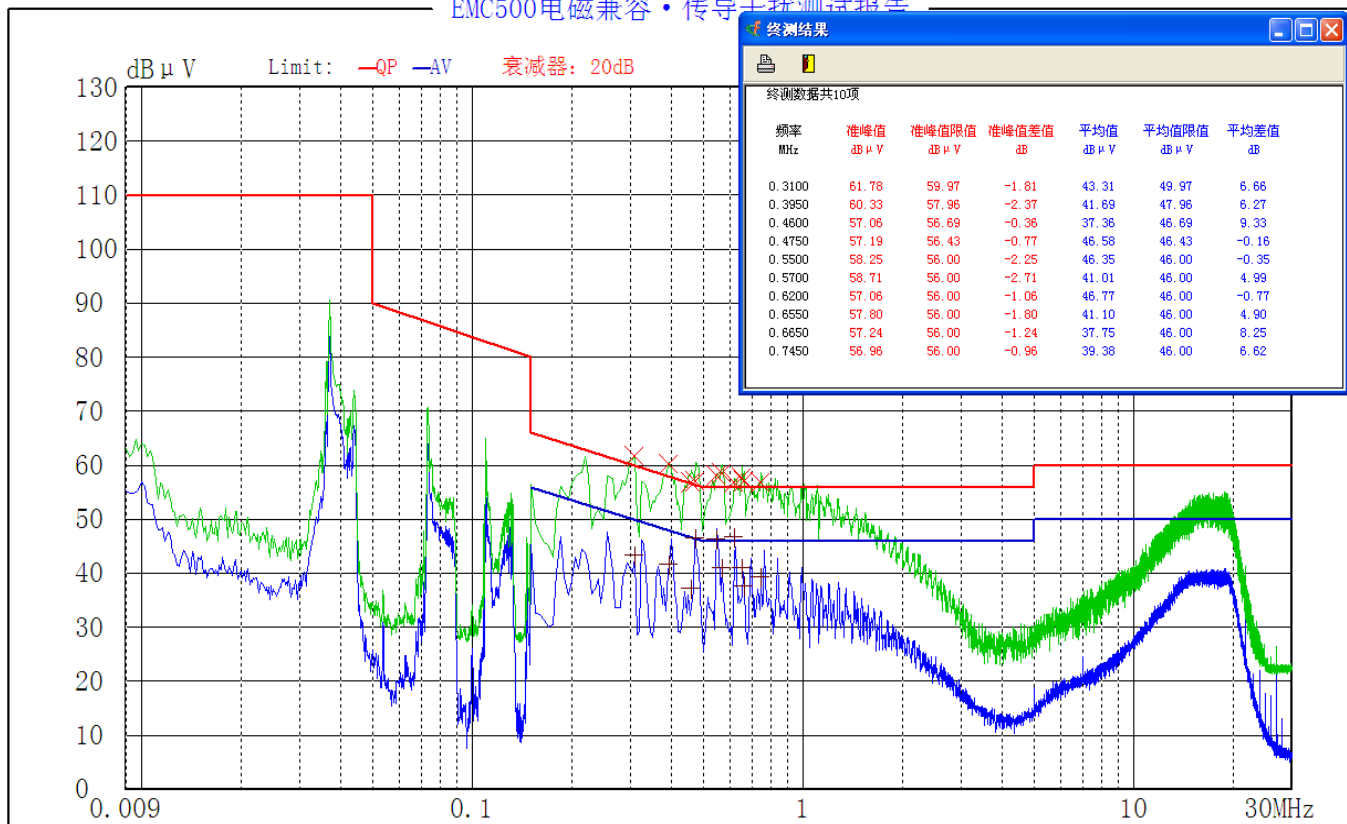
术语、定义

CISPR11	工、科、医射频设备电磁骚扰特性限值和测量方法	GB 4824
CISPR12	车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车外接收机的限值和测量方法	GB 14023
CISPR13	收音机和电视接收机及有关设备的无线电骚扰特性的测量方法和限值	GB 13837
CISPR14	家用和类似用途的电动、电热器具、电动工具的无线电骚扰特性的测量方法和限值	GB 4343
CISPR15	荧光灯和照明装置无线电骚扰特性的测量方法	GB 17743
CISPR22	信息技术设备的无线电骚扰的测量方法和限值	GB 9254
CISPR25	车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法	GB 18655
CISPR32	多媒体设备的电磁发射限值和测量方法	

EMI

# EMI限值的含义是什么？

EMC500电磁兼容·传导干扰测试报告



# 电磁干扰到底有多大?

$$dB = 20 \lg A$$

$$dBuV = 20 \lg\left(\frac{V_o}{1\mu V}\right)$$

$$V_o = 10^{\frac{dBuV}{20}} (\mu V)$$

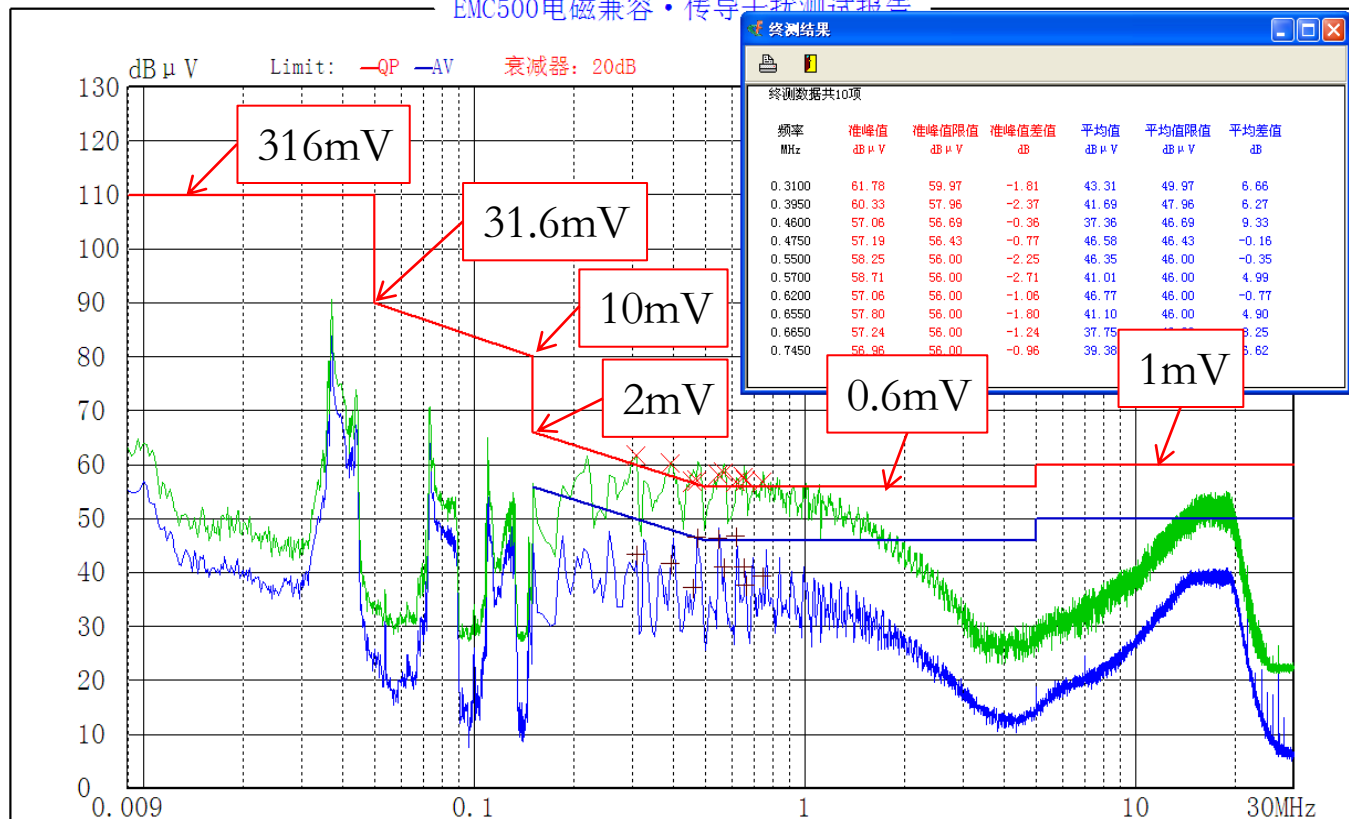
$$0dBuV = 1\mu V$$

$$40dBuV = 100\mu V$$

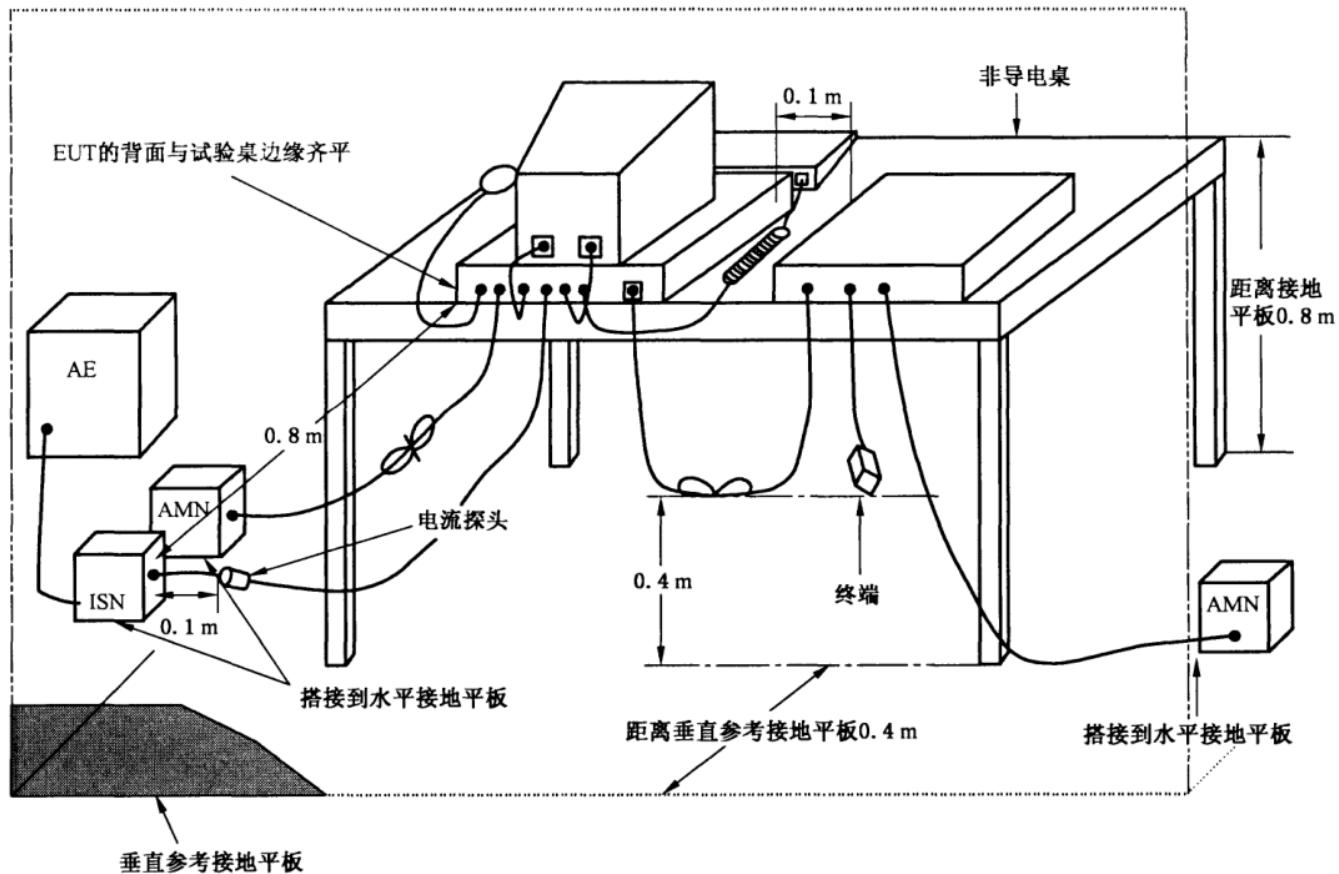
$$6dBuV = 2\mu V$$

$$110dBuV = 316mV$$

EMC500电磁兼容·传导干扰测试报告



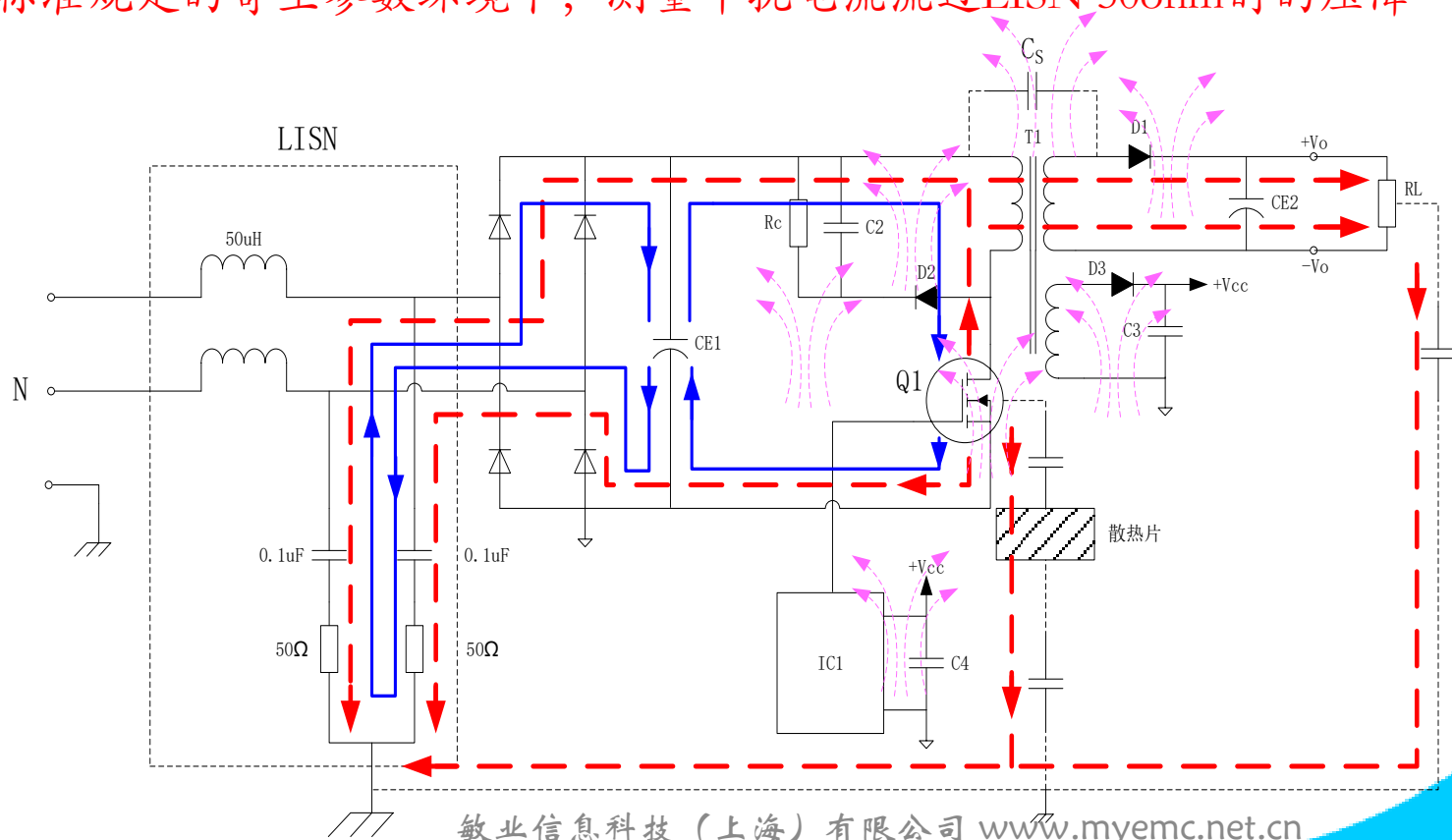
# 传导测试的本质是什么



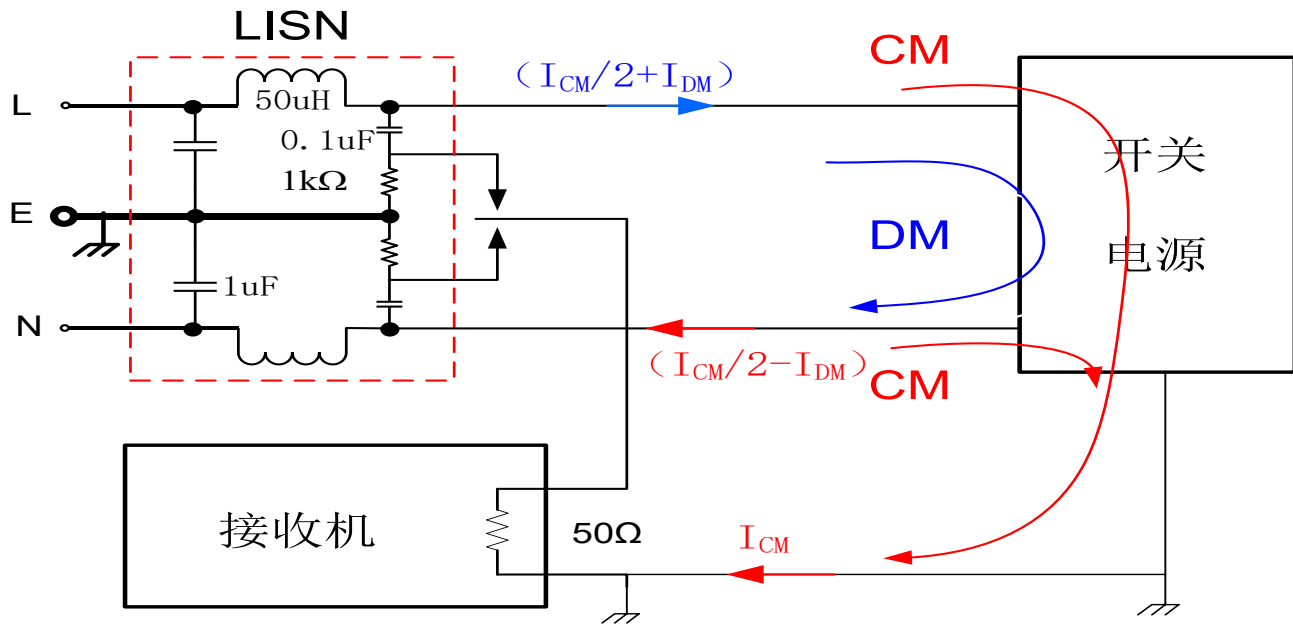


# 传导发射测试的本质

在标准规定的寄生参数环境下，测量干扰电流流过LISN 50ohm时的压降



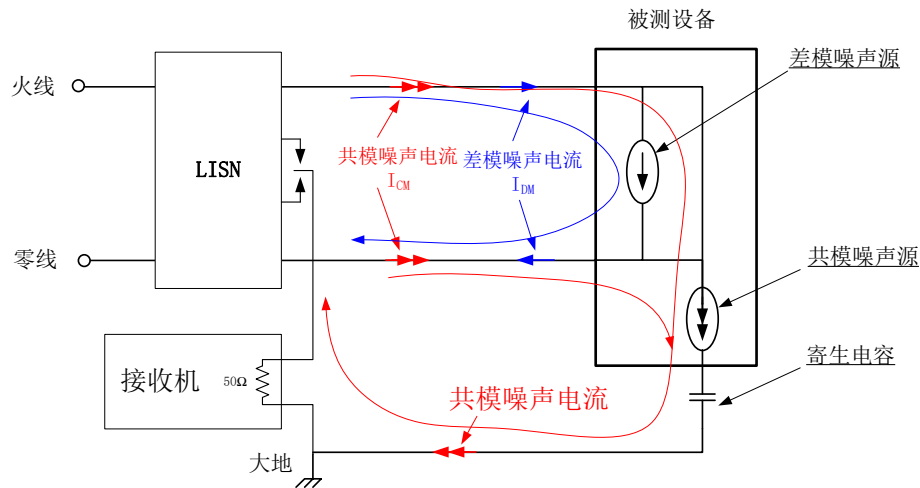
# 传导发射测试的本质



# 传导干扰测试中的差共模分离技术及应用

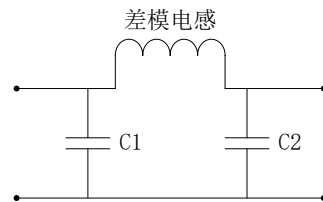
## 1. 差共模噪声原理及法规依据

- 共模噪声电流（红色）同向，流经大地；
- 差模噪声电流（蓝色）异向，流经火线和零线；
- 法规依据：CISPR16-1

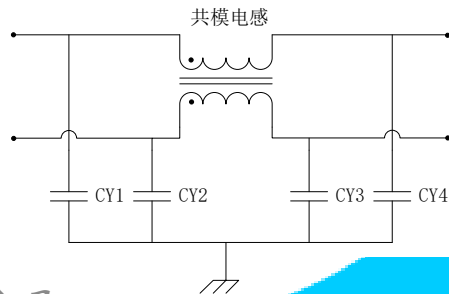


## 2. 差模和共模EMI滤波器

- 差模EMI滤波器抑制差模噪声，由差模电感和电容组成。

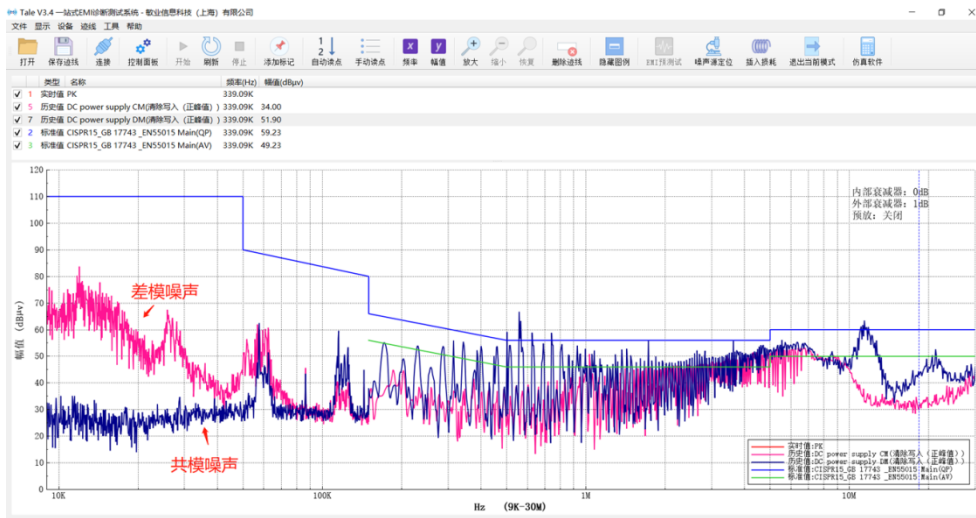


- 共模EMI滤波器抑制共模噪声，由共模电感和Y电容组成。

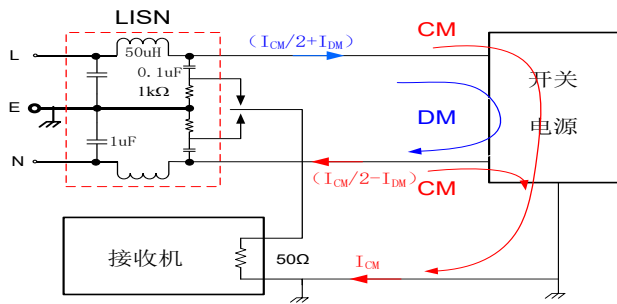


# 传导发射的诊断工具和方法-差共模分离

## CISPR11/CISPR14/ CISPR15 CE

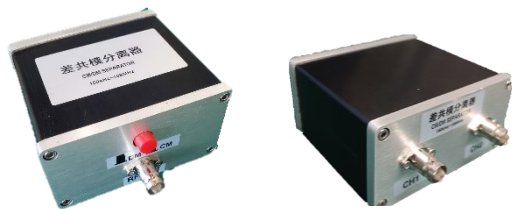
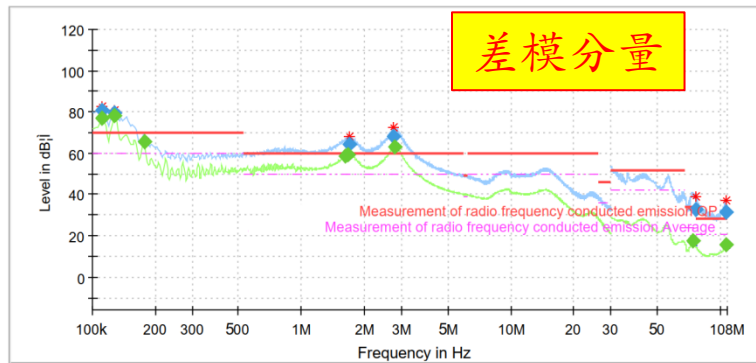
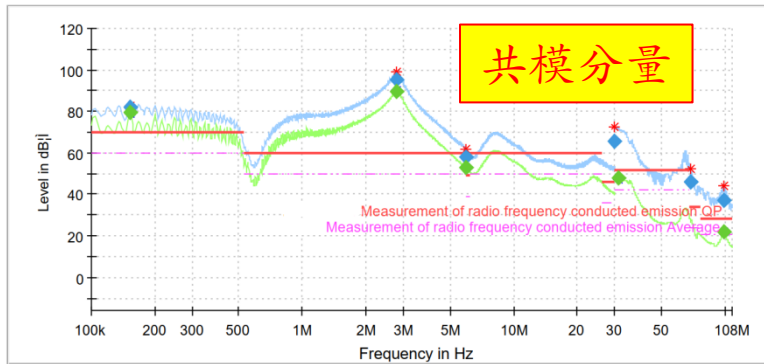
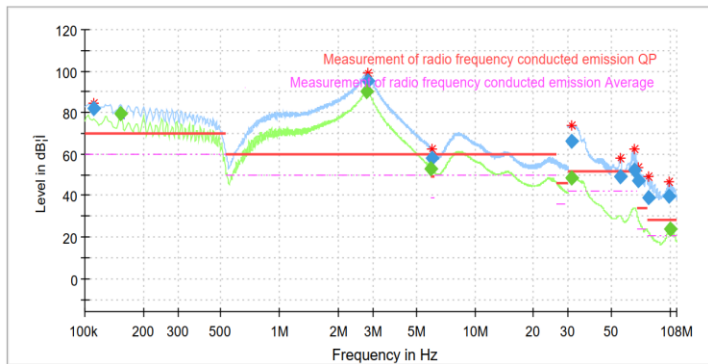


两线V型网络LISN—MYL16AA



# 传导发射的诊断工具和方法-差共模分离

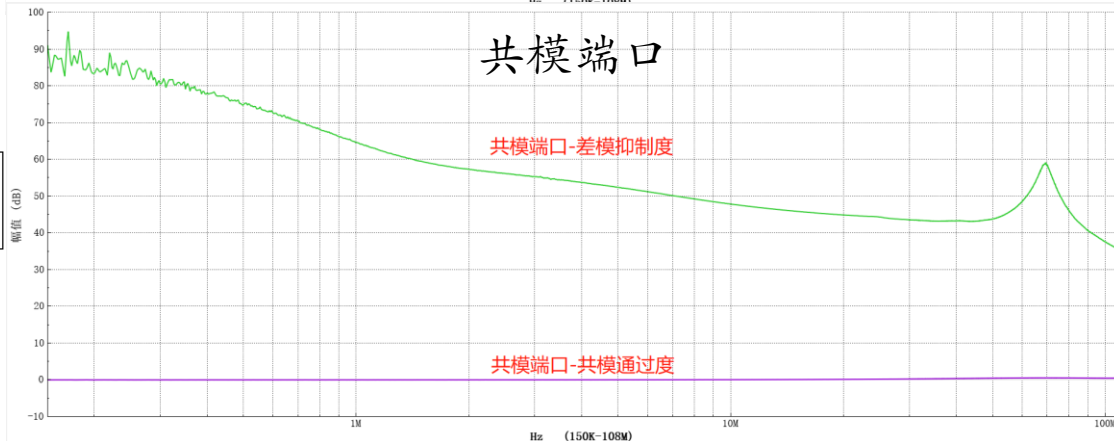
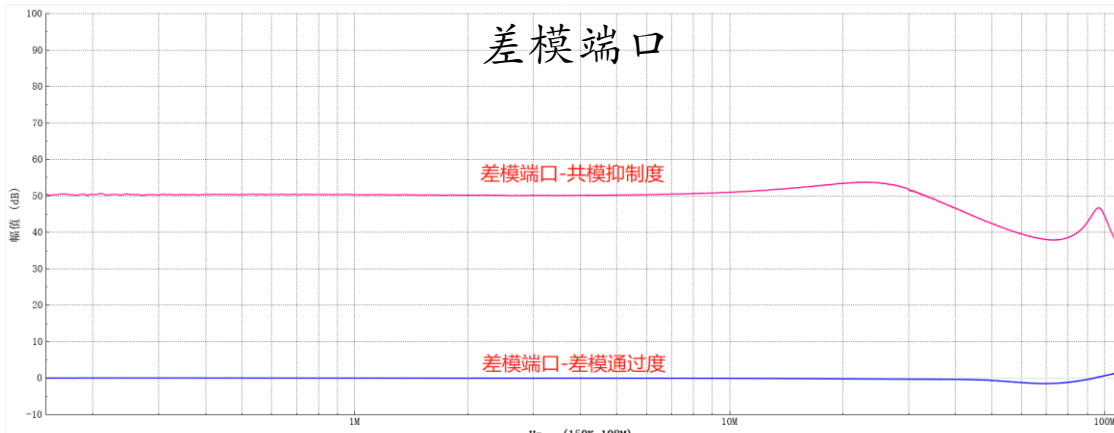
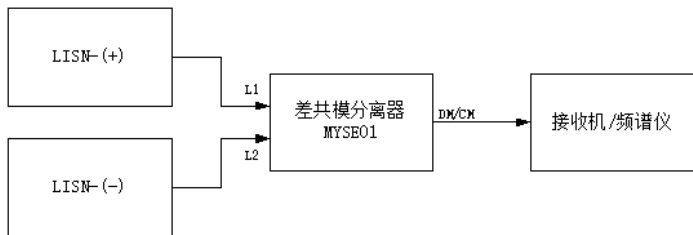
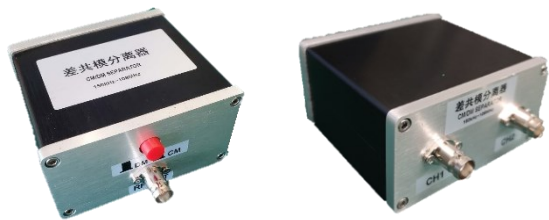
## CISPR25 VCE



差共模分离器—MYSE01

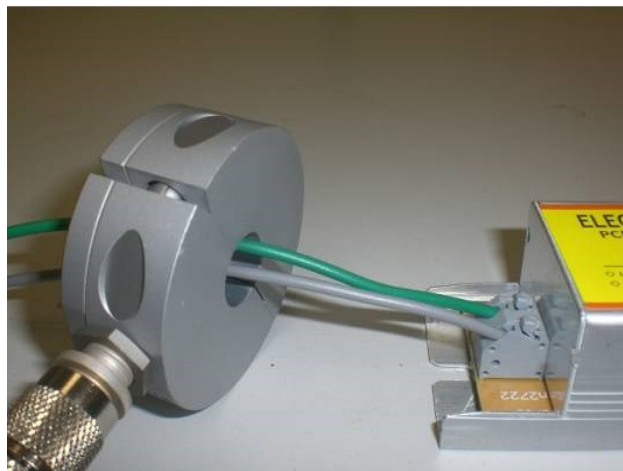
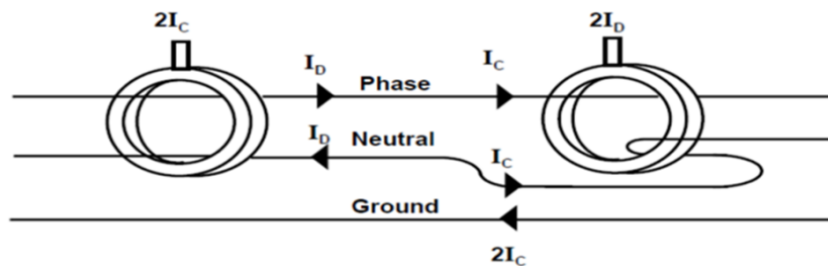
# 隔离度的评价

## 差共模分离器—MYSE01

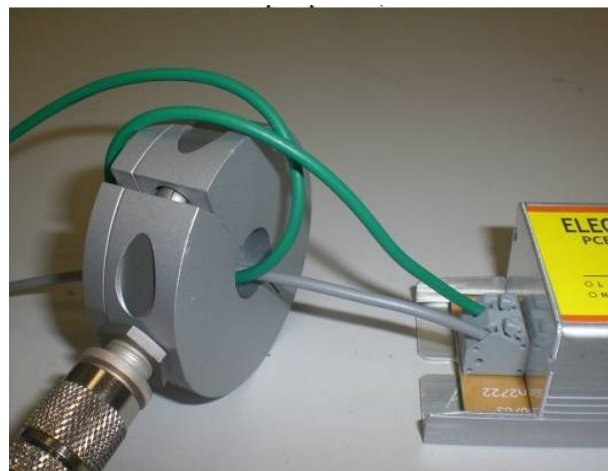


# 利用射频电流探头进行差共模分离

MYCP01

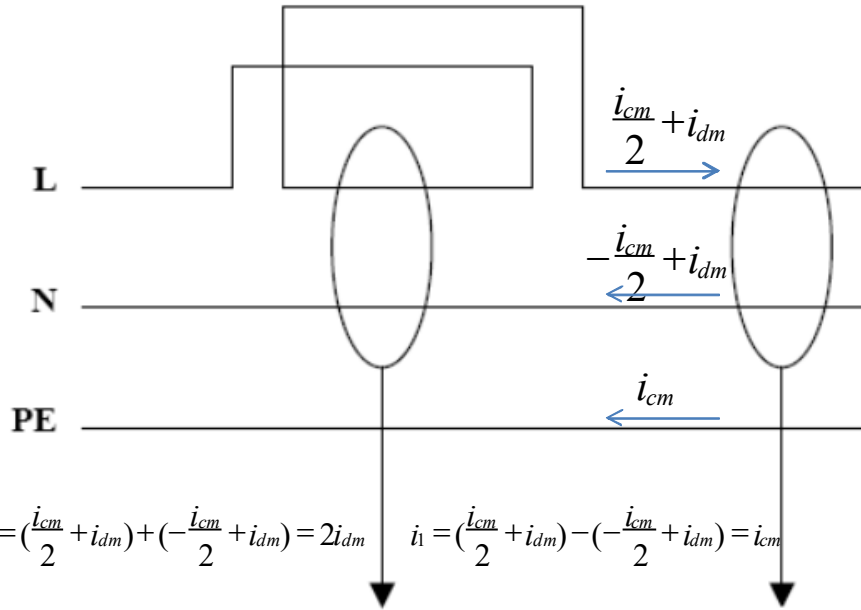
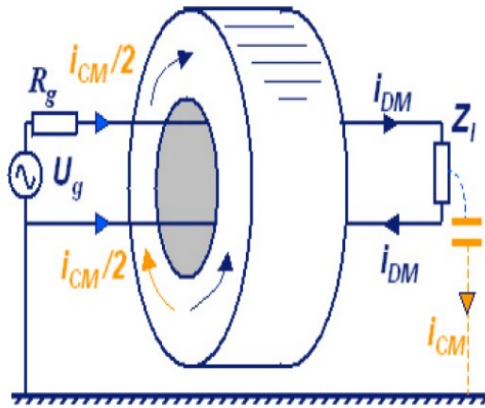


共模电流采集



差模电流采集

# 计算

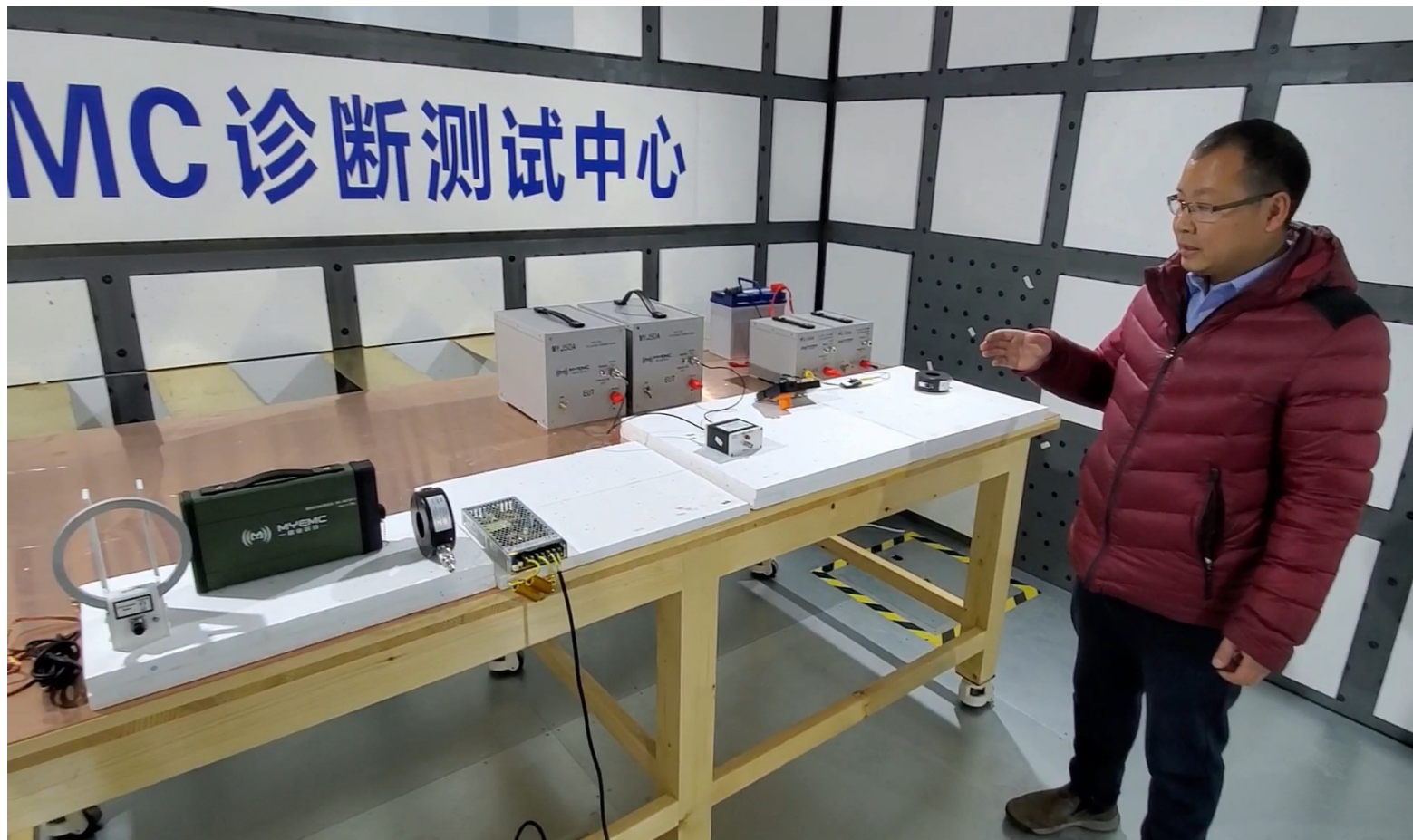


$$i_1 = \left(\frac{i_{cm}}{2} + i_{dm}\right) + \left(-\frac{i_{cm}}{2} + i_{dm}\right) = 2i_{dm}$$

$$i_2 = \left(\frac{i_{cm}}{2} + i_{dm}\right) - \left(-\frac{i_{cm}}{2} + i_{dm}\right) = i_{cm}$$



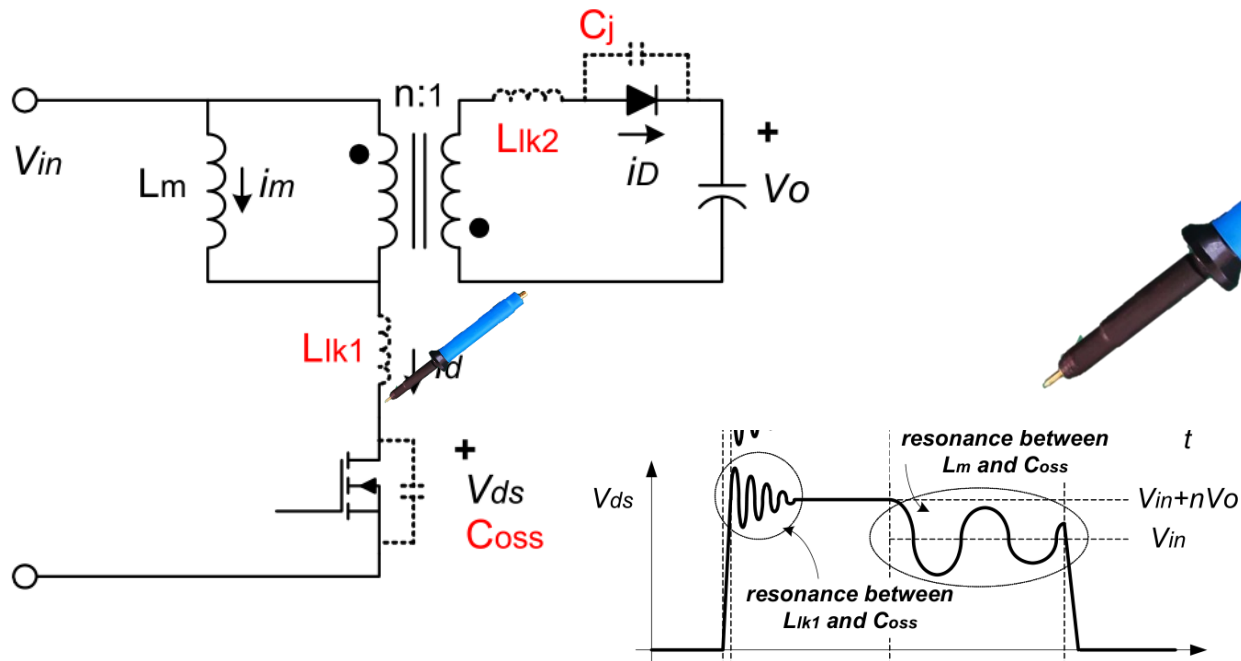
# 差共模分离工具演示



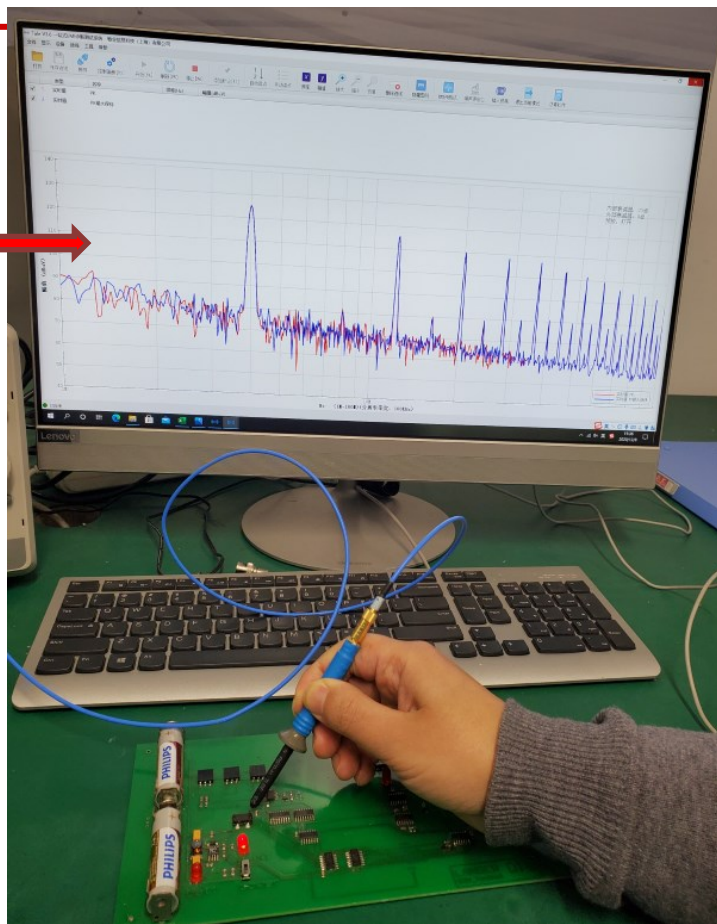
# 传导发射的诊断工具和方法-共模噪声探头

接触式共模电压探头寻找噪声源头

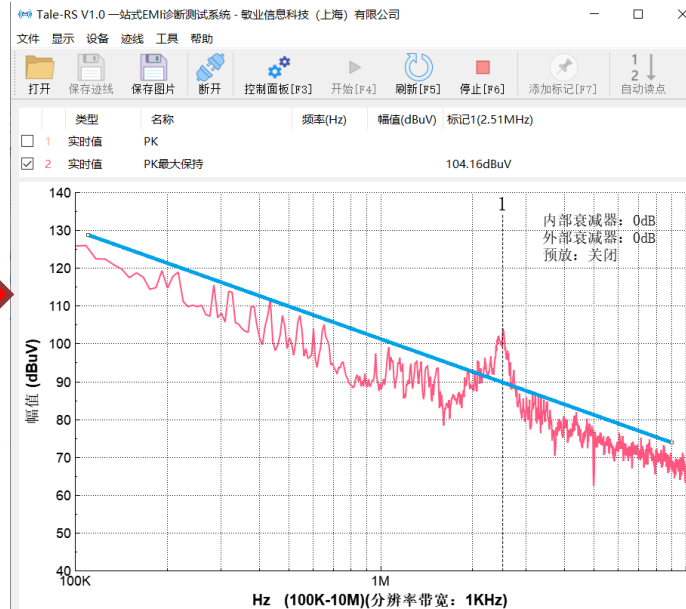
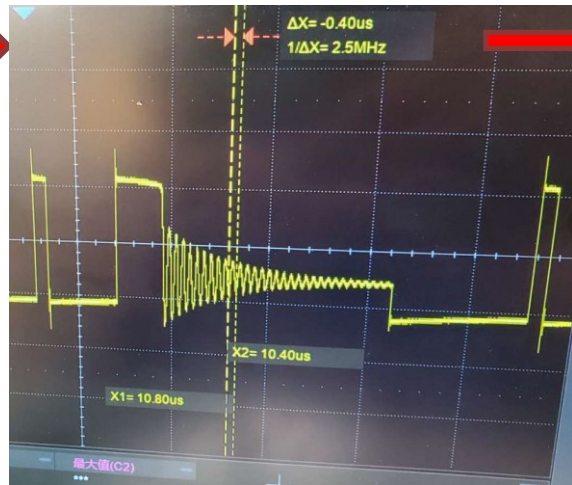
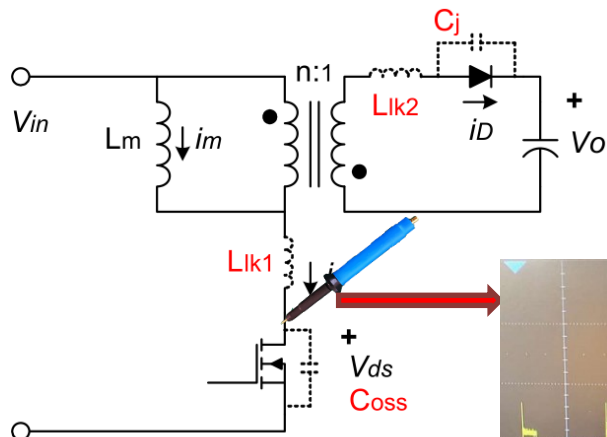
共模噪声探头MYCM01



# 传导发射的诊断工具和方法-共模噪声探头



# 接触式共模电压探头可用于噪声源精确定位

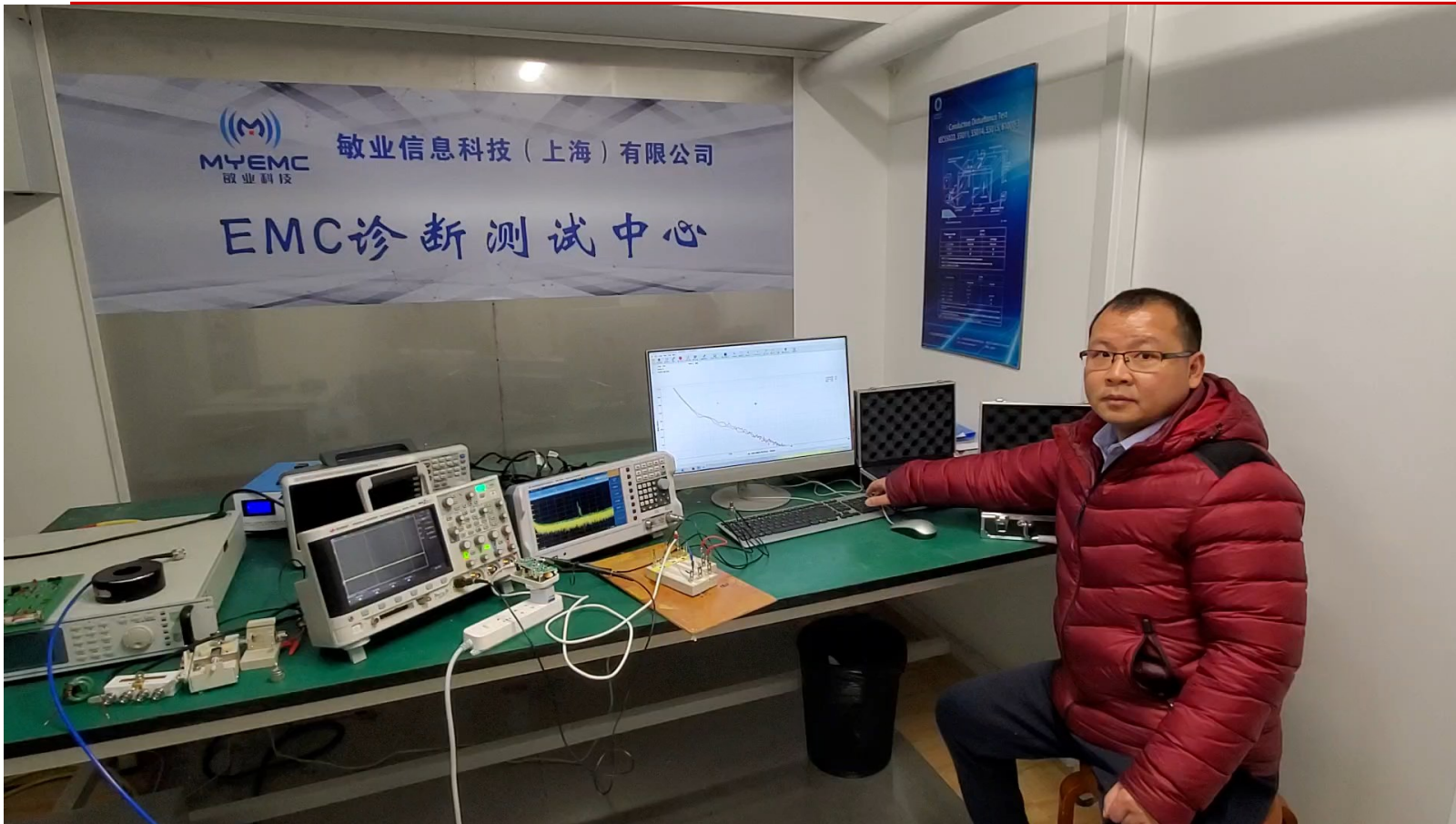


# 共模噪声探头演示



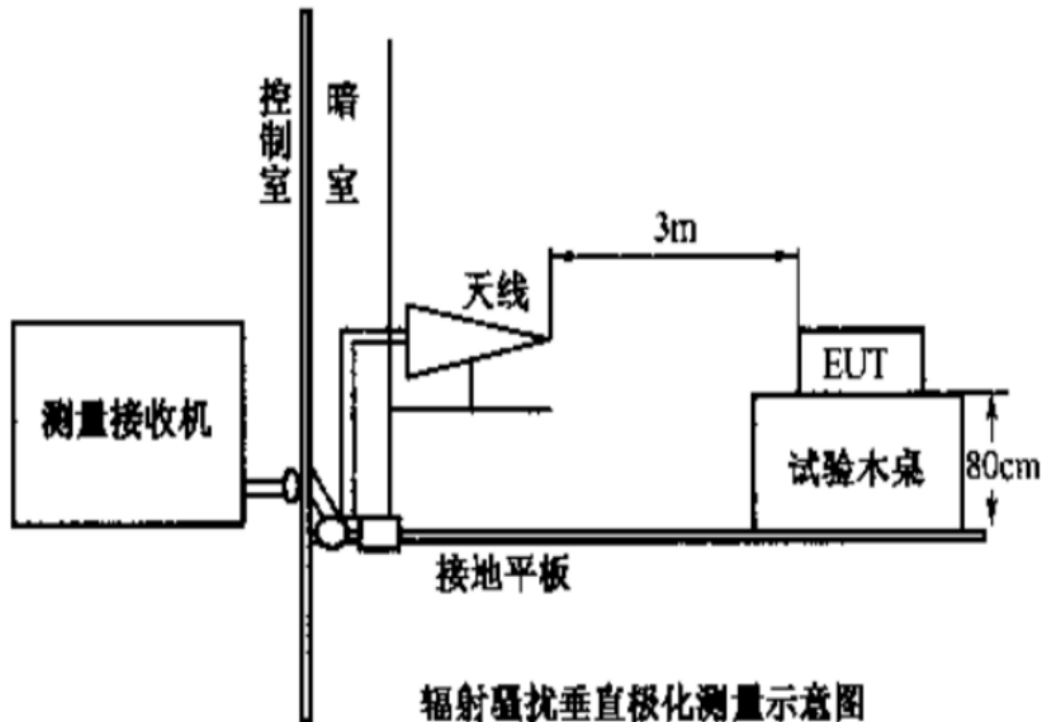
敏业信息科技（上海）有限公司

EMC诊断测试中心

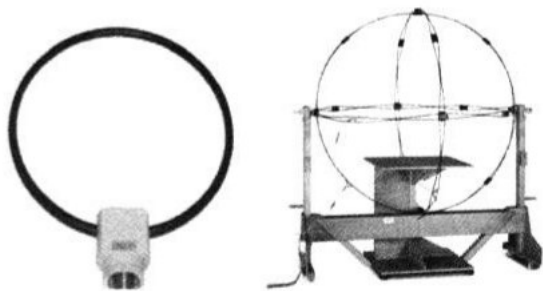


# 辐射发射测试的本质

- 开阔场
- 电波暗室
- 带状线法
- 功率吸收钳
- 1m法
- 3m法
- 10m法



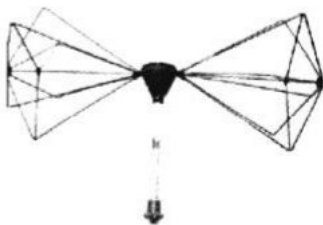
# 各种测量天线



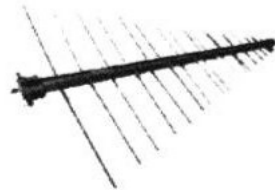
环形磁场天线 (9kHz~30MHz)



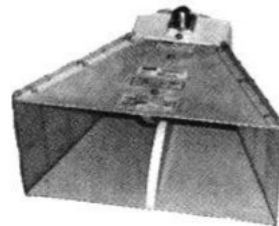
鞭状天线 (150kHz~30MHz)



双锥天线 (30~300MHz)



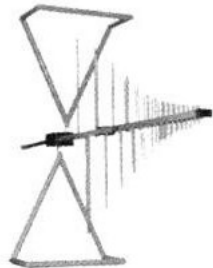
对数周期天线 (200~1000MHz)



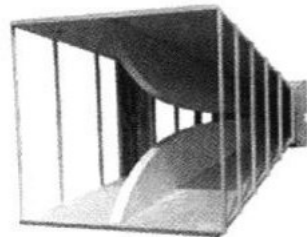
喇叭天线 (1MHz~18GHz)



偶极子天线 (30~1000MHz)



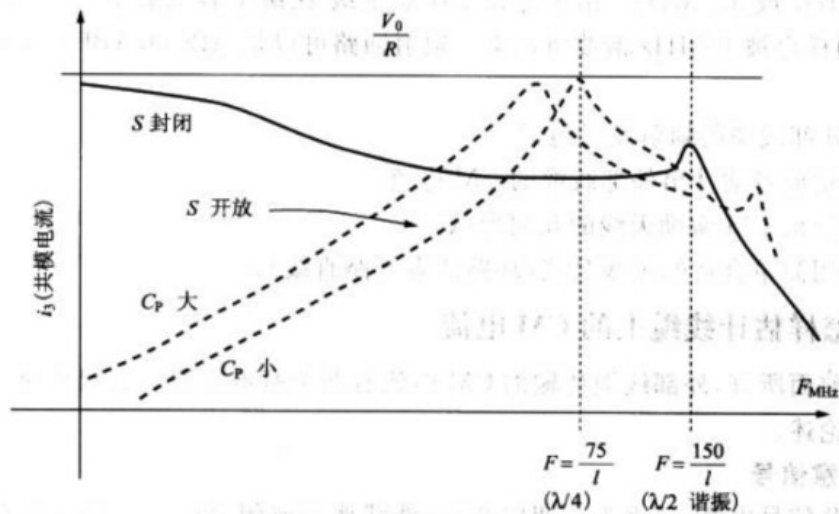
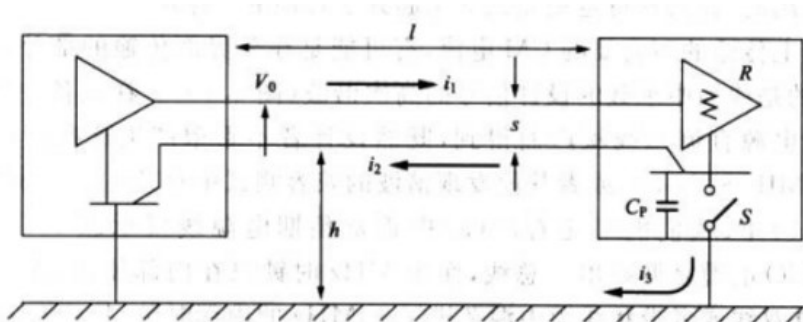
复合天线 (30~3000MHz)



大喇叭口天线 (200~2000MHz)

图 1-7 各种测量天线

# 辐射发射的本质-共模电流流过等效天线





# 磁偶极子(电流环)

- 近场:  $D < \lambda/2\pi$  或  $D < 48/f_{MHz}$

$$H = \frac{IA}{4\pi D^3} (A/m) = \frac{0.0796IA}{D^3} (A/m)$$

$$E = \frac{Z_0 IA}{2\lambda D^2} (V/m) = \frac{0.63IAf_{MHz}}{D^2} (V/m)$$

$$Z_w = Z_0 \frac{2\pi D}{\lambda} (\Omega) = 7.89D f_{MHz} (\Omega) < 377(\Omega) \text{ (随频率、距离增加而增加)}$$

- 远场:  $D > \lambda/2\pi$  或  $D > 48/f_{MHz}$

$$H = \frac{\pi IA}{\lambda^2 D} (A/m) = \frac{35 \times 10^{-6} IA f_{MHz}^2}{D} (A/m)$$

$$E = \frac{Z_0 \pi IA}{\lambda^2 D} (V/m) = \frac{0.013 IA f_{MHz}^2}{D} (V/m)$$

$$Z_w = \frac{E}{H} = Z_0 = 120\pi = 377(\Omega) = 51.5dB$$

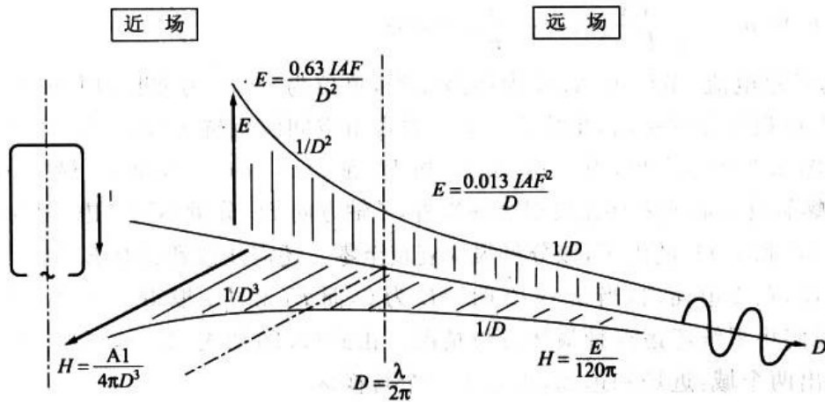
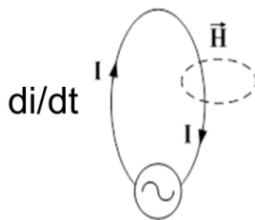


图 2.2 理想环路产生的 E 场和 H 场



# 电偶极子

- 近场:  $D < \lambda/2\pi$  或  $D < 48/f_{\text{MHz}}$

$$\bullet H = \frac{IL}{4\pi D^2} \text{ (A/m)} = \frac{0.0796IL}{D^2} \text{ (A/m)}$$

$$\bullet E = \frac{Z_0 IL}{\lambda 8\pi^2 D^3} \text{ (V/m)} = \frac{0.0159ILf_{\text{MHz}}}{D^3} \text{ (V/m)}$$

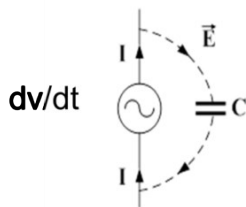
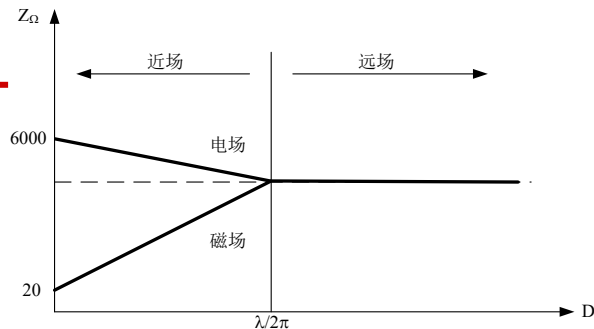
$$\bullet Z_w = Z_0 \frac{\lambda}{2\pi D} \text{ (\Omega)} = \frac{18009}{Df_{\text{MHz}}} \text{ (\Omega)} > 377 \text{ (\Omega)} \text{ (随频率、距离增加而减小)}$$

- 远场:  $D > \lambda/2\pi$  或  $D > 48/f_{\text{MHz}}$

$$\bullet H = \frac{IL}{2\lambda D} \text{ (A/m)} = \frac{0.00167ILf_{\text{MHz}}}{D} \text{ (A/m)}$$

$$\bullet E = \frac{Z_0 IL}{2\lambda D} \text{ (V/m)} = \frac{0.628ILf_{\text{MHz}}}{D} \text{ (V/m)}$$

$$\bullet Z_w = \frac{E}{H} = Z_0 = 120\pi = 377 \text{ (\Omega)} = 51.5 \text{ dB}$$



# 0.15M-30M的棒状天线测试的本质

---

## 1，远场还是近场？

距离 $D = 1\text{m} < 1.6\text{m} = \frac{48}{f_{\text{MHz}}} = \frac{48}{30}$ ，所以是近场

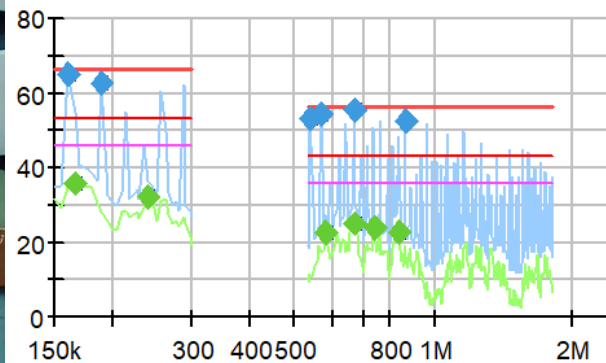
## 2，电场还是磁场？

棒状天线属于单极天线，测试的是近场电场

# 棒状天线如何在研发实验桌上诊断



CISPR25 RE level3



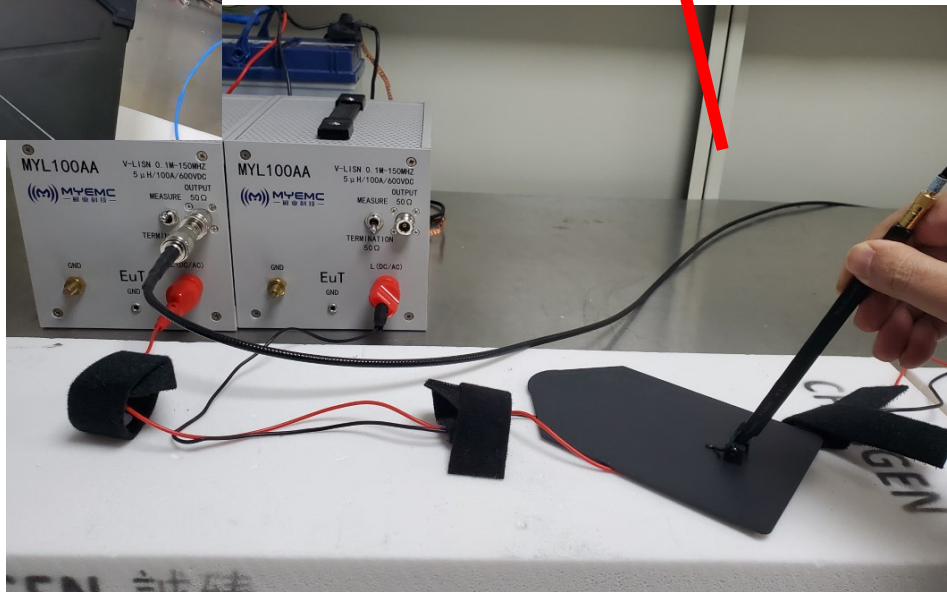
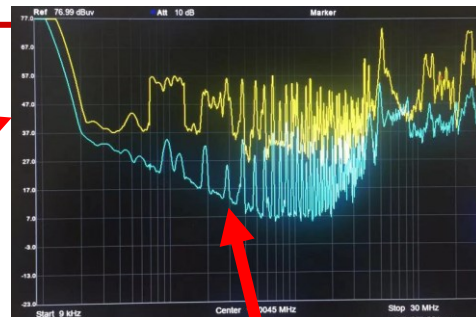
# 辐射发射的诊断工具和方法-电场探头

## MYNP02 电场探头组件

- ◆ 频率范围10kHz至3GHz
- ◆ 低频增益（1cm距离）>-20dB
- ◆ SMB快速接头
- ◆ 绝缘强度>2kV



# MYNP02 应用场景



# 棒状天线测试结果

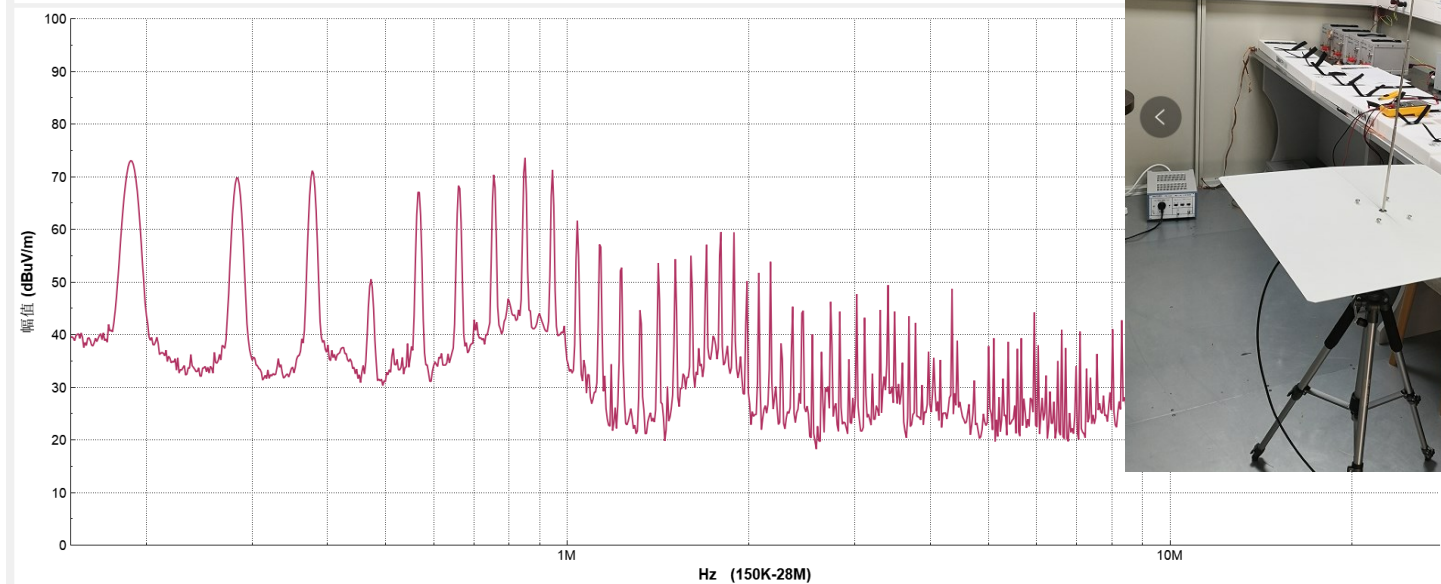
## 实例

Tale-AI V1.4 一站式EMI智能诊断测试系统 - 敏业信息科技(上海)有限公司

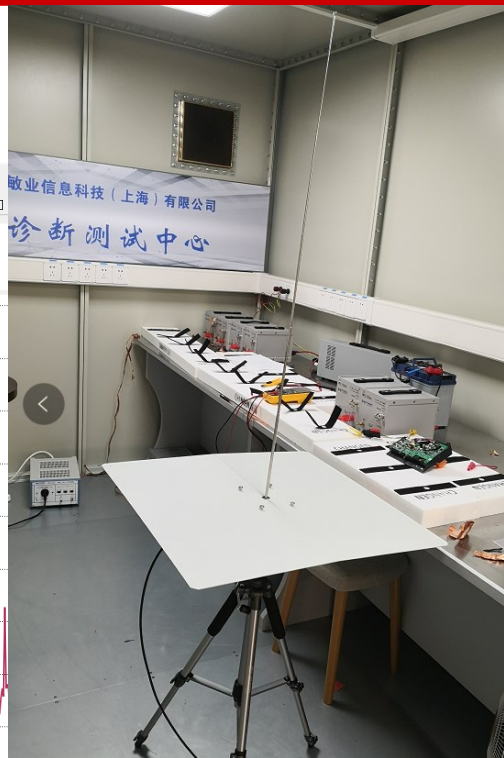
文件 显示 设备 边线 工具 帮助



	类型	名称	频率(Hz)	幅值(dBuV/m)
<input type="checkbox"/>	历史值	电场探头(PK)	28.57M	
<input type="checkbox"/>	历史值	电场探头(AV)	28.57M	



● 未连接



# 电场探头测试结果

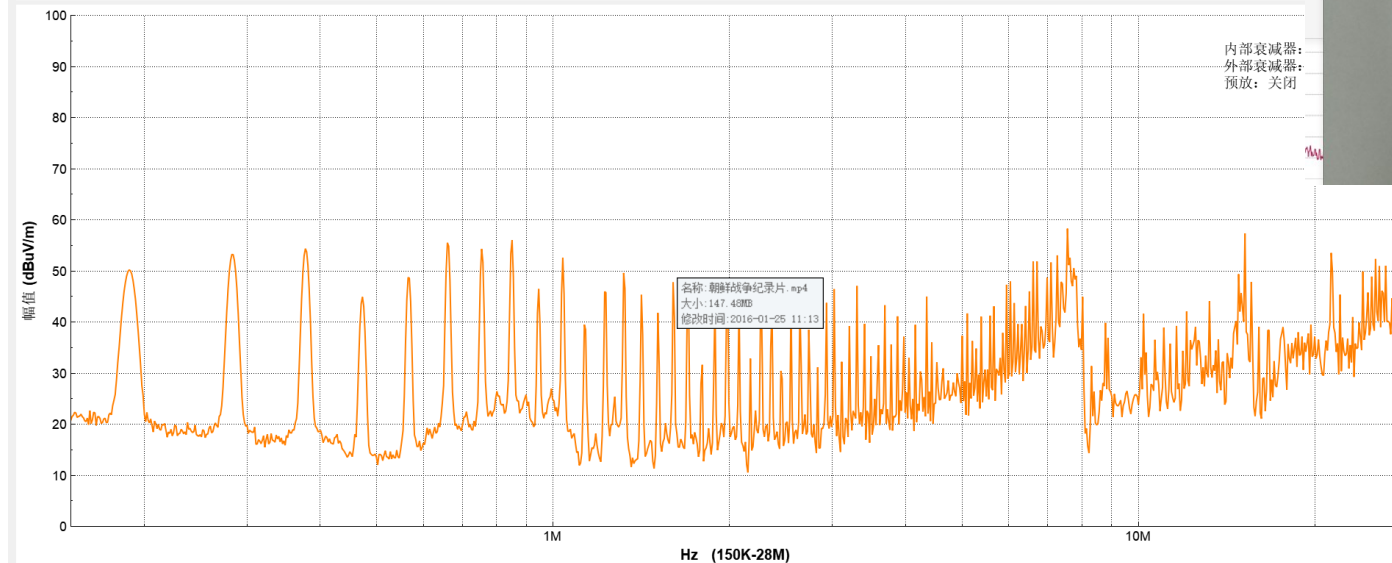


Tale-AI V1.4 一站式EMC智能诊断测试系统 - 敏业信息科技有限公司 (上海) 有限公司

文件 显示 设备 迹线 工具 帮助



- | 类型                       | 名称  | 频率(Hz) | 幅度(dBuV/m) |
|--------------------------|---|--------|------------|
| <input type="checkbox"/> | 3 标准值 汽车/RE/CISPR25_GB18655 RE 150k-30M 棒状天线 Level3(PK) |        |            |
| <input type="checkbox"/> | 4 标准值 汽车/RE/CISPR25_GB18655 RE 150k-30M 棒状天线 Level3(QP) |        |            |



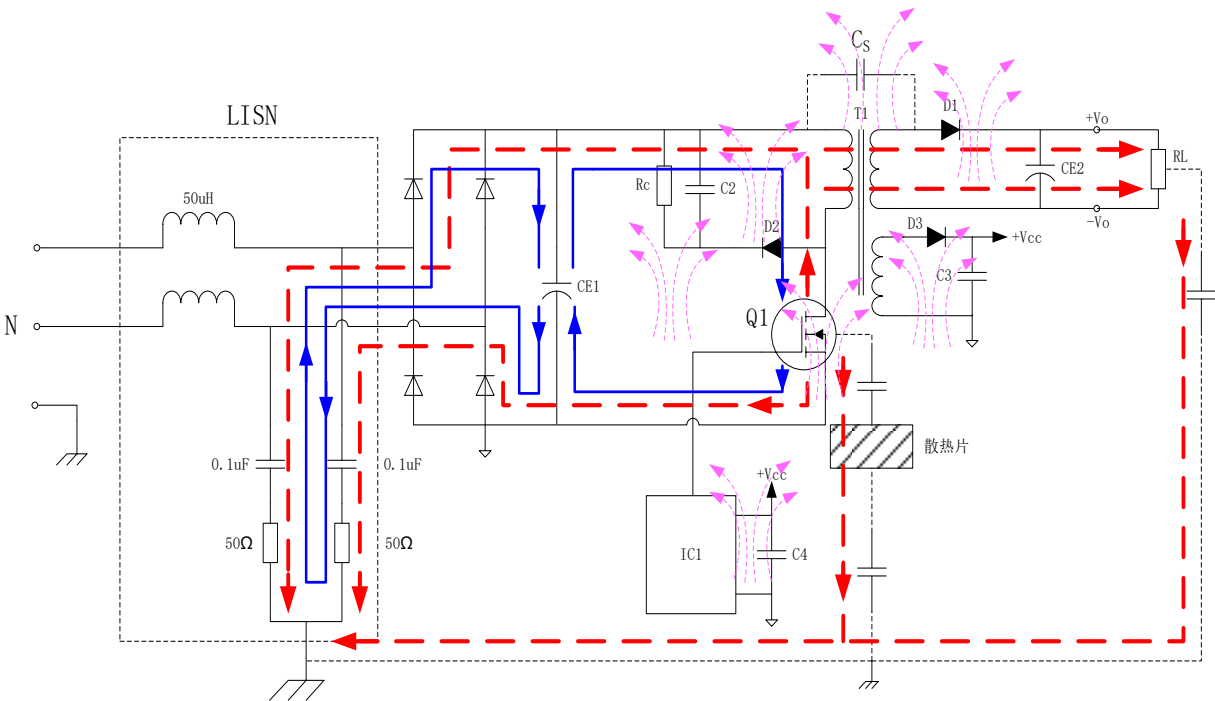
内部衰减器:  
外部衰减器:  
预放: 关闭



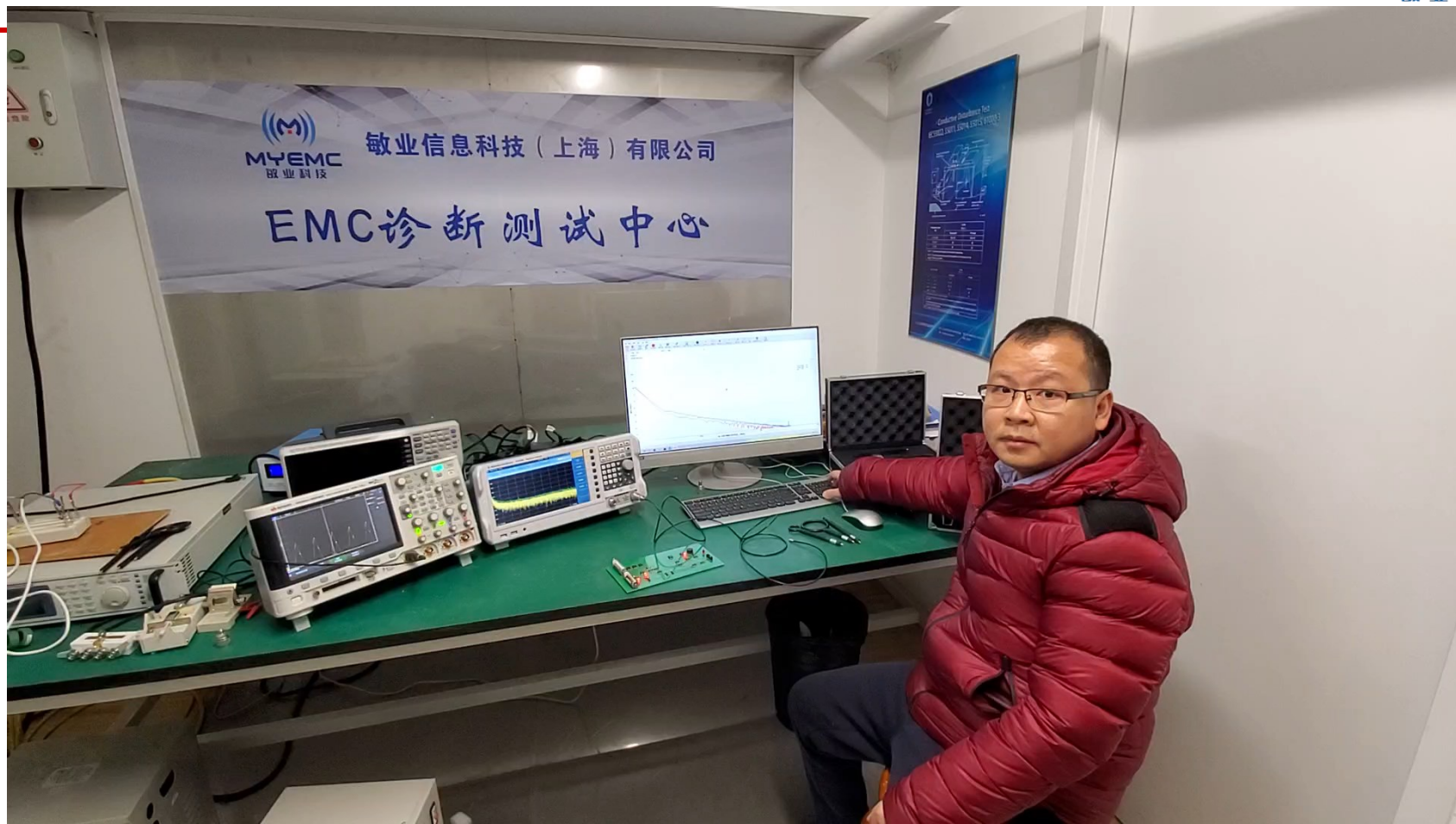
# 辐射发射的诊断工具和方法-近场磁场探头

MYNP01

## 磁场环路用近场磁场探头

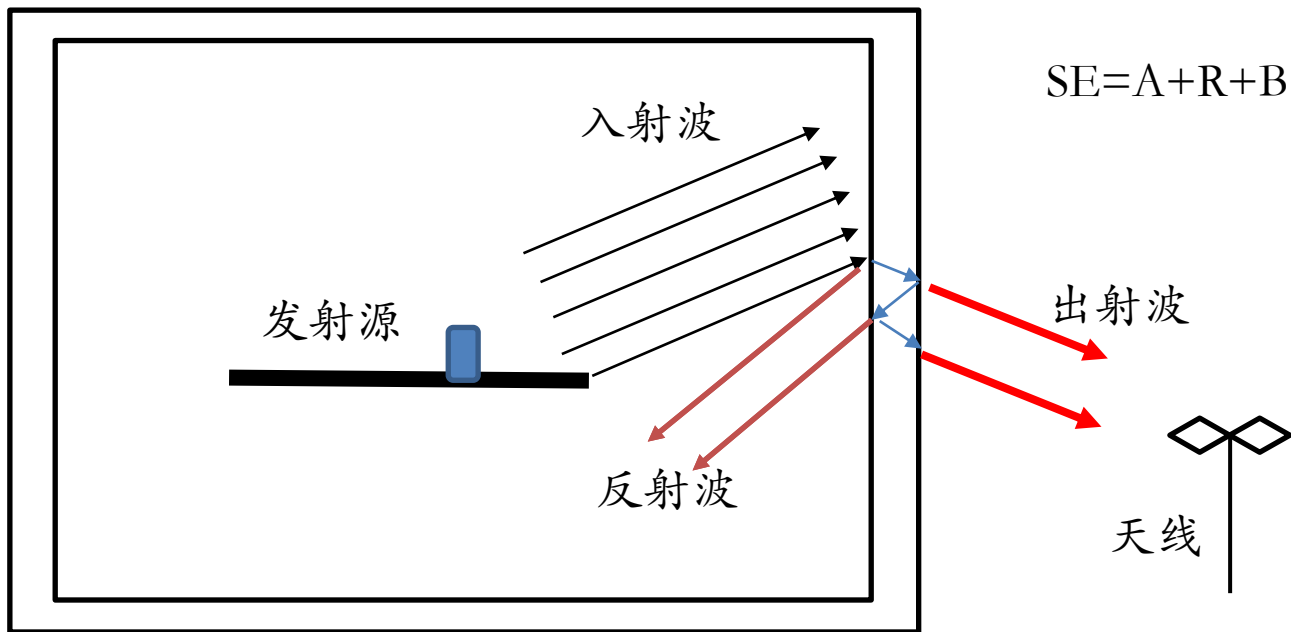


# 近场磁场探头演示



# 关于机壳的屏蔽

屏蔽效能=吸收损耗+反射损耗+反射修正因子



# 吸收损耗

$$\text{吸收损耗} A = 1.31 * t * \sqrt{f * \mu_r * \sigma_r}$$

其中：

t为材料厚度cm

$\mu_r$ 为材料磁导率

$\sigma_r$ 为材料电导率

结论：

- 1，低频时吸收损耗小，高频时吸收损耗大。
- 2，磁导率越大、电导率越大、厚度越厚，吸收损耗越大。

# 反射损耗

$$\text{反射损耗 } R = 20 \lg \frac{Z_w}{4Z_s}$$

其中：

$Z_w$  是电磁波的波阻抗：

材料	f(Hz)	d(m)	平面波 阻抗 $Z_w$	磁场波阻 抗 $Z_w$	电场波阻抗 $Z_w$	材料阻抗 $Z_s$
铜	100,000	0.05	377.00	0.04	3601800.00	0.0001164
铝	100,000	0.05	377.00	0.04	3601800.00	0.0001490
铁	100,000	0.05	377.00	0.04	3601800.00	0.0089253
铜	10,000,000	0.05	377.00	3.95	36018.00	0.0011637
铝	10,000,000	0.05	377.00	3.95	36018.00	0.0014900
铁	10,000,000	0.05	377.00	3.95	36018.00	0.0892531

远场平面波  $Z_w = 377$ ，电场波  $= Z_0 \frac{\lambda}{2\pi d} > 377$ ，磁场波  $= Z_0 \frac{2\pi d}{\lambda} < 377$

$$Z_s \text{ 材料阻抗: } Z_s = 3.68 * 10^{-7} * \sqrt{f * \mu_r / \sigma_r}$$

- 结论：1、电场波的反射损耗大，磁场波的反射损耗小。  
2、频率越低，这种反差越大。

# 屏蔽效能 = 吸收损耗 + 反射损耗 + 反射修正因子

$$\text{远场电磁波: } S = 1.31 * t * \sqrt{f * \mu_r * \sigma_r} + 168 + 10lg \frac{\sigma_r}{\mu_r f}$$

$$\text{近场电场波: } S = 1.31 * t * \sqrt{f * \mu_r * \sigma_r} + 321.7 + 10lg \frac{\sigma_r}{\mu_r f^3 d^2}$$

$$\text{近场磁场波: } S = 1.31 * t * \sqrt{f * \mu_r * \sigma_r} + 14.6 + 10lg \frac{f d^2 \sigma_r}{\mu_r}$$

近场结论：1、高频时，金属外壳的吸收损耗都高，所以屏蔽效能高。

2、低频时，电场的反射损耗高，吸收损耗低。

3、低频时，磁场的反射损耗和吸收损耗都低，只能提高 $\mu_r$ 。

# 举例

材料	相对电导率 $\sigma_r$	相对磁导率 $\mu_r$	f	吸收损耗A (dB)	磁场波反射损耗R (dB)	电场波反射损耗R (dB)
2mm铝壳 距离源5cm	0.61	1	100kHz	64.7	36.4	138.5
2mm铁壳 距离源5cm	0.17	1000	100kHz	1080.3	0.9	163.0
2mm铝壳 距离源5cm	0.61	1	100MHz	2046.3	66.4	108.5
2mm铁壳 距离源5cm	0.17	1000	100MHz	34160.6	30.9	133.0

# 孔洞对屏蔽效能的影响

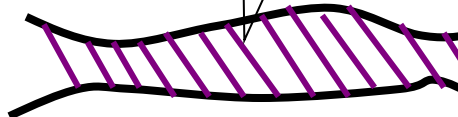
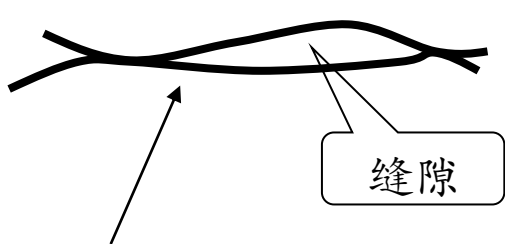
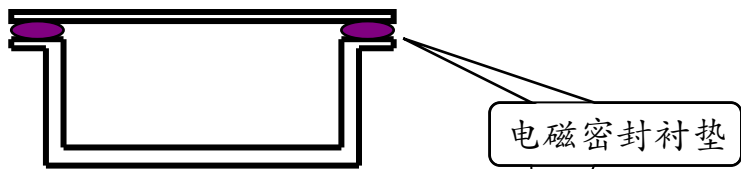
孔洞对电场源的屏蔽效能 $SE = \lambda D/A$ ，所以同样面积开小孔没用。

孔洞对磁场源的屏蔽效能 $SE = \frac{3\pi}{4} * \left(\frac{D}{A}\right)^3$ ，所以多开小孔，屏蔽效能会增加





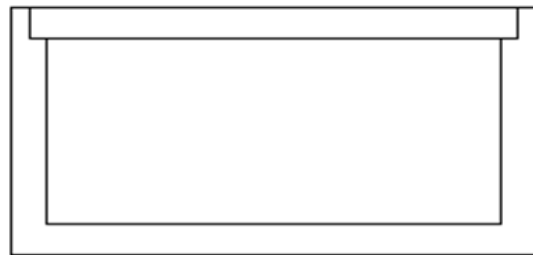
# 机壳泄露-缝隙的处理



接触电阻和等效电容



剖面分解图



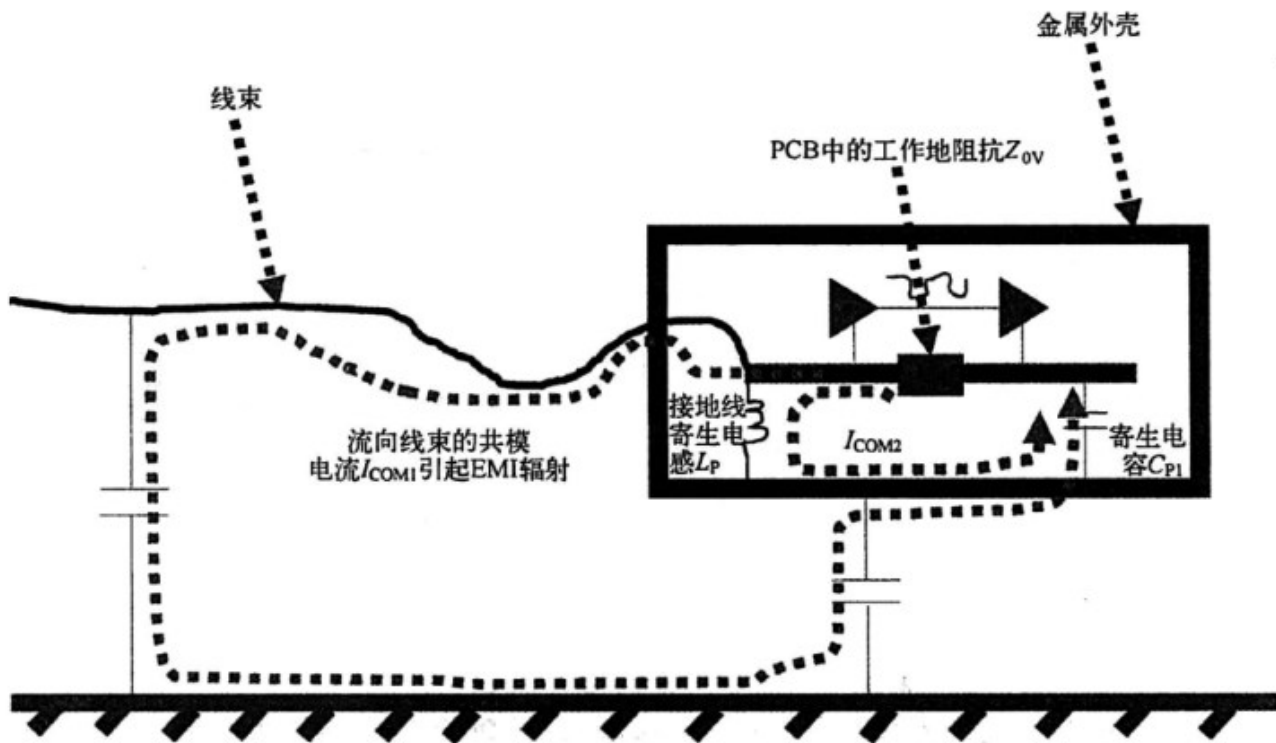
剖面安装图

## 线束的辐射

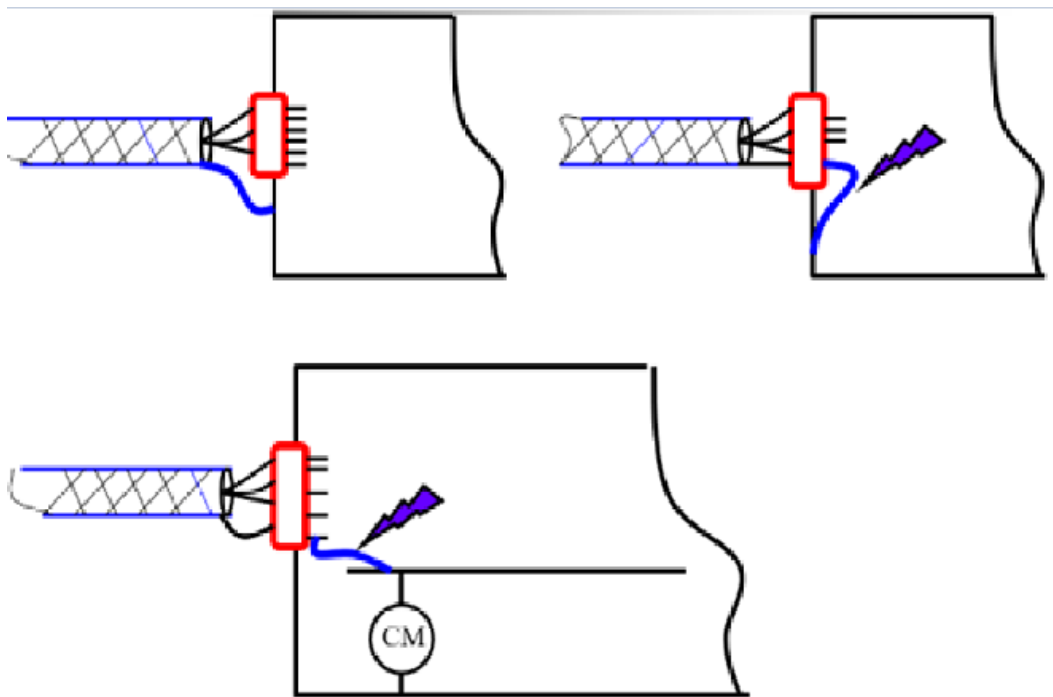
---

- 源头是共模电流，用电流探头间接判断。
- 屏蔽层需要注意端接方式（电流法和辐射的权衡）

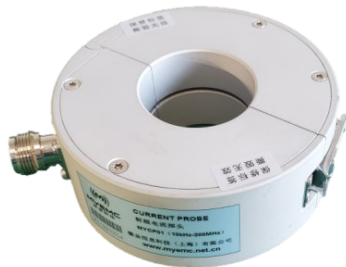
# 接地影响



# 屏蔽层错误的端接



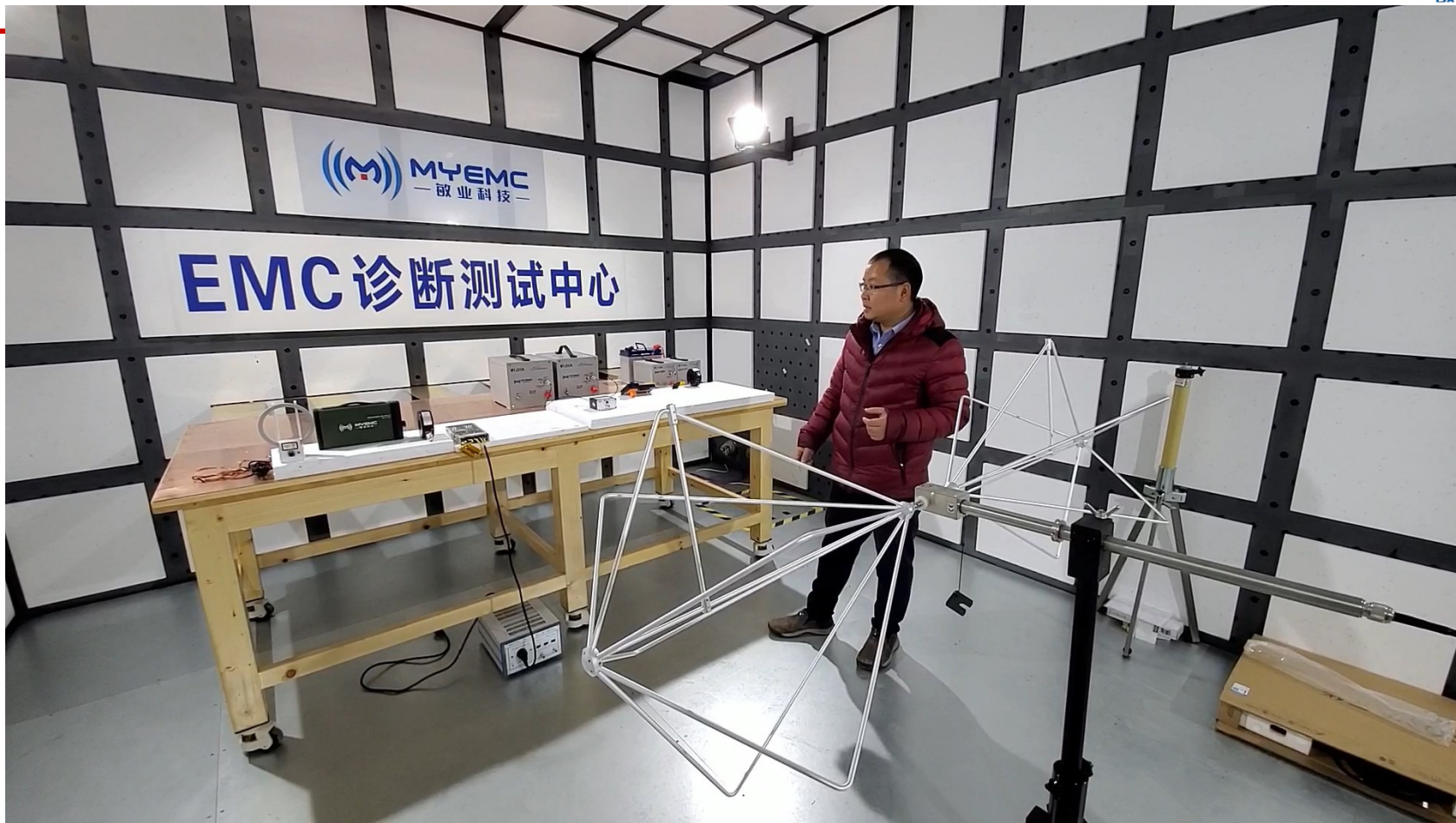
# 辐射摸底-通过测量线束上的共模电流



射频电流探头—MYCP01



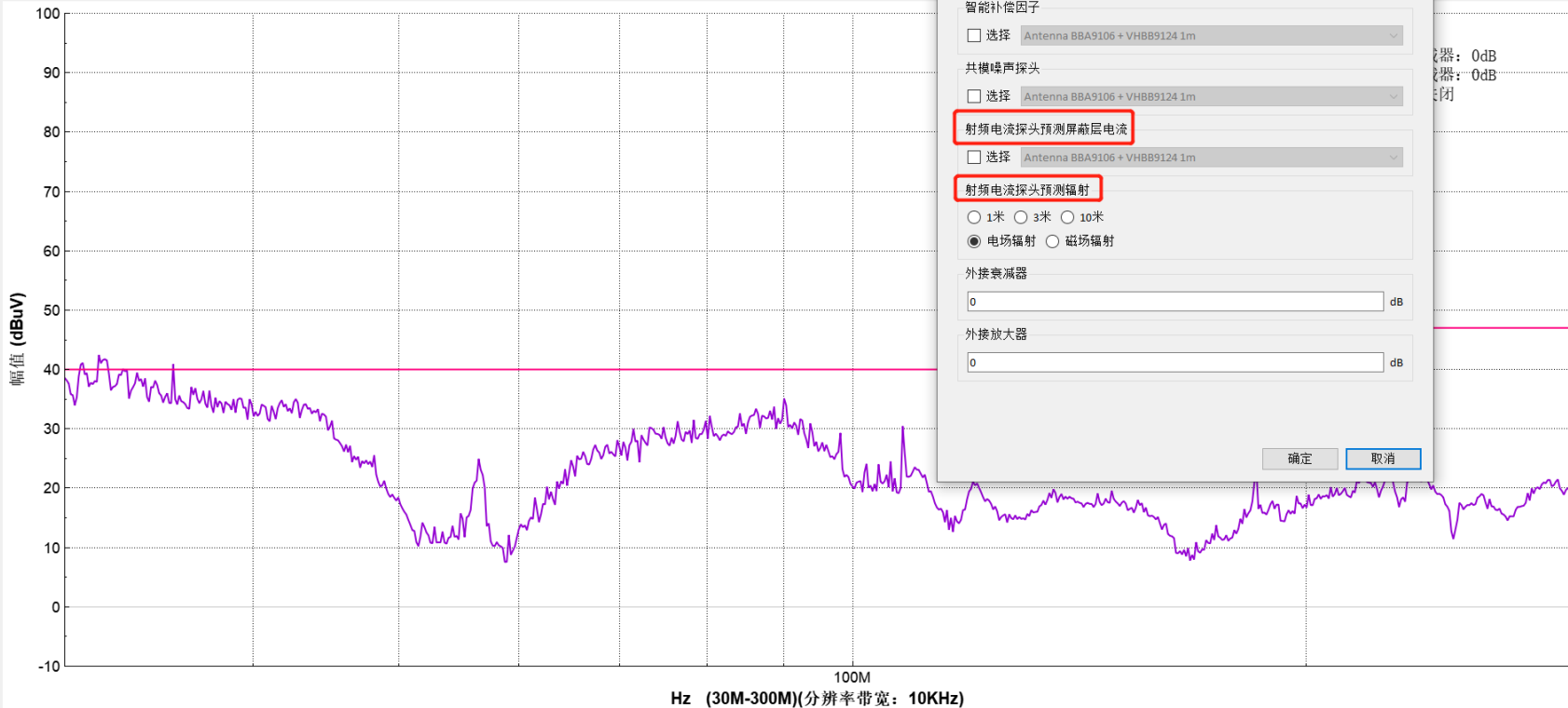
# 辐射摸底-通过测量线束上的共模电流



# 用电流探头进行输入/出线共模电流测试

Tale-AI V1.4 一站式EMI智能诊断测试系统 - 敏业信息科技(上海)有限公司

文件 显示 设备 迹线 工具 帮助



控制面板 - 补偿与计算

LISN/天线/电流探头补偿因子

选择 MYCP01 校准生成

智能补偿因子

选择 Antenna BBA9106 + VH889124 1m

共模噪声探头

选择 Antenna BBA9106 + VH889124 1m

射频电流探头预测屏蔽层电流

选择 Antenna BBA9106 + VH889124 1m

射频电流探头预测辐射

1米  3米  10米

电场辐射  磁场辐射

外接衰减器

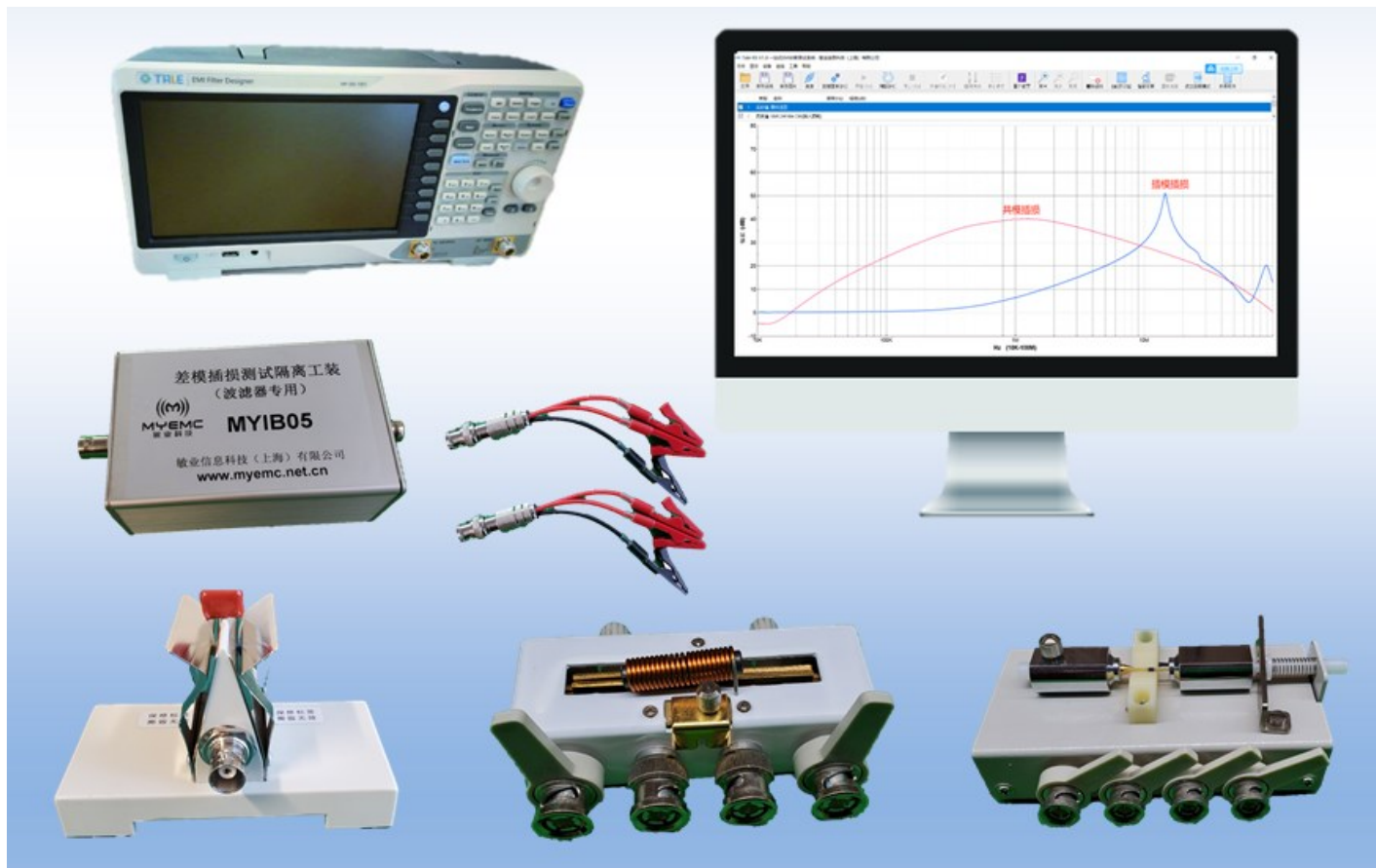
0 dB

外接放大器

0 dB

确定 取消

# 线束共模电流的抑制-磁环（插损测试仪）

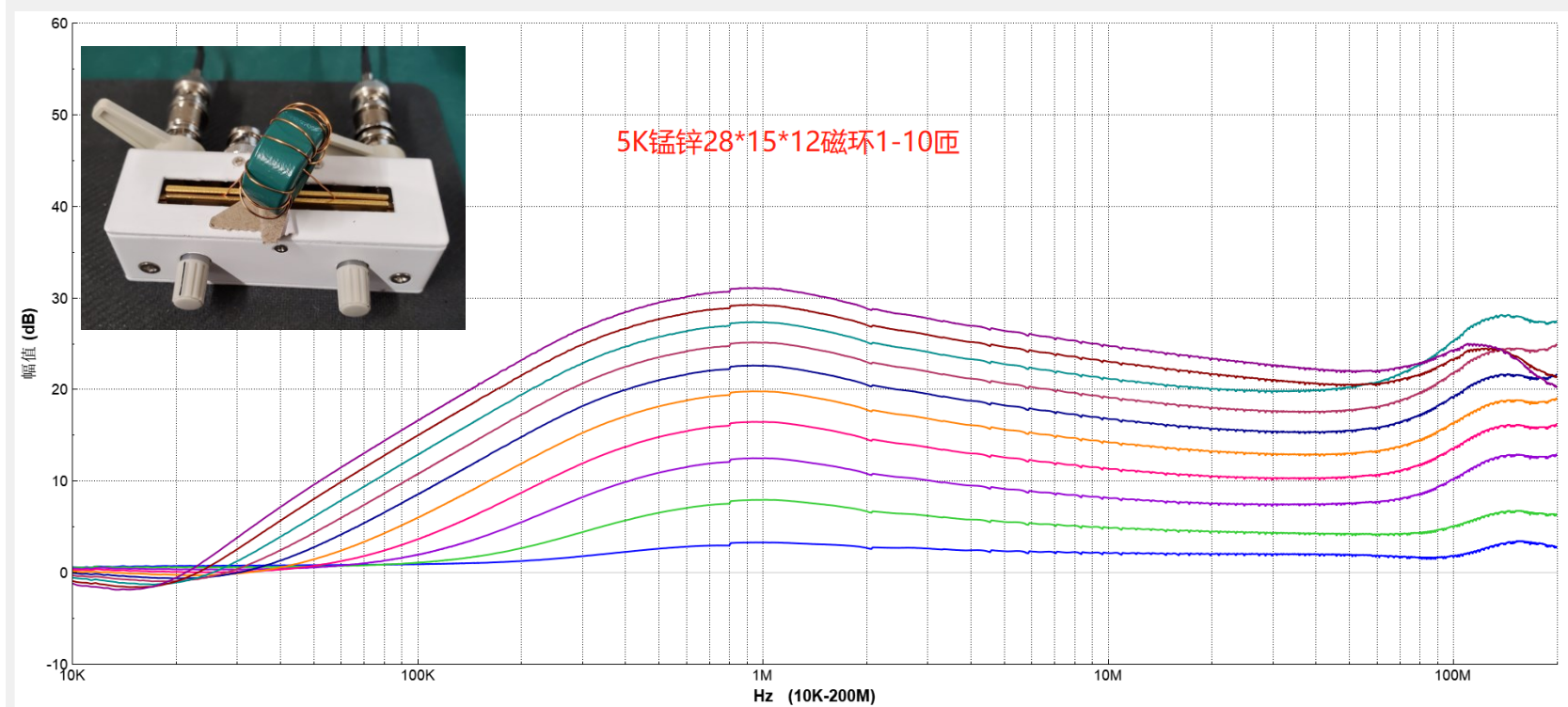




# 线束-滤波磁环的选型和测试

Tale-AI V1.4 一站式EMI智能诊断测试系统 - 敬业信息科技 (上海) 有限公司

文件 显示 设备 迹线 工具 帮助

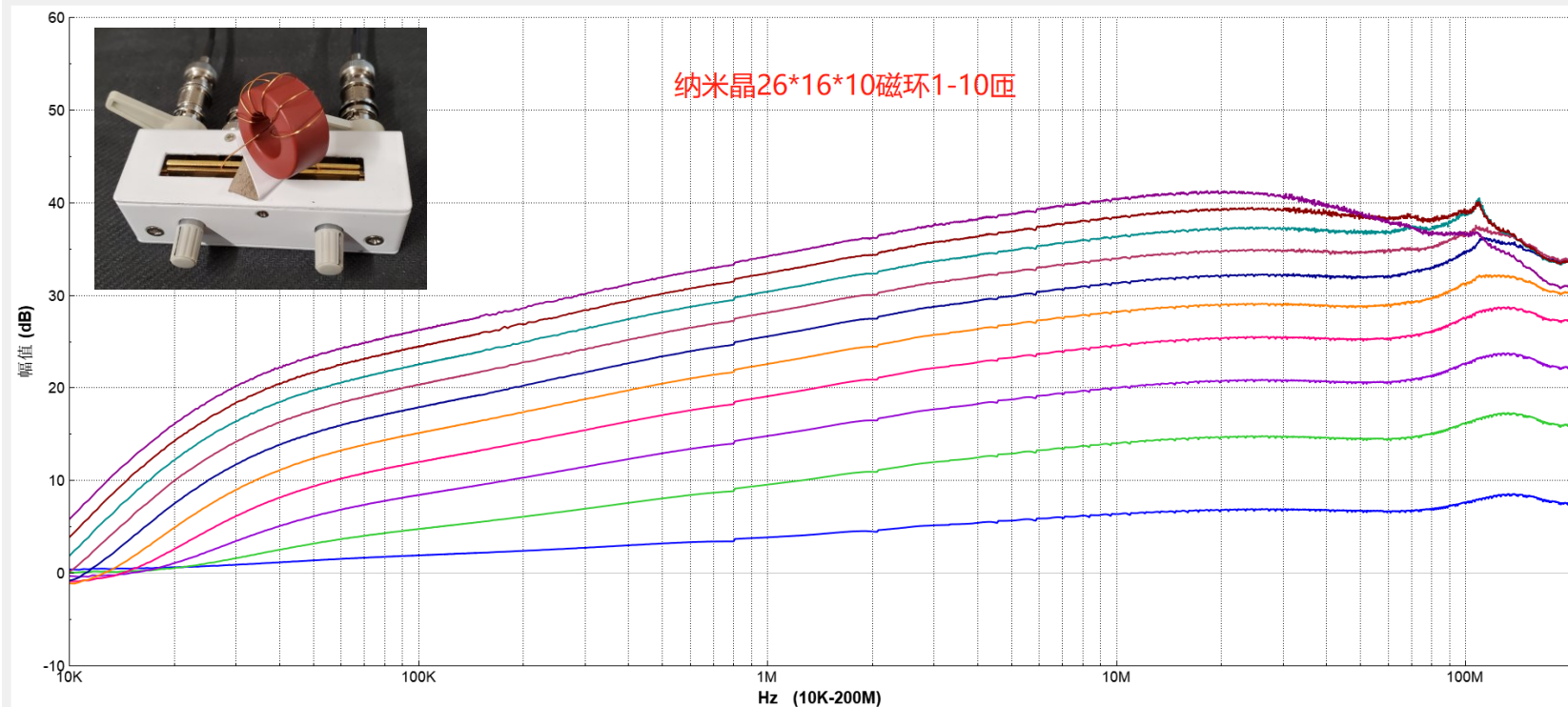


● 未连接

# 线束-滤波磁环的选型和测试

Tale-AI V1.4 一站式EMI智能诊断测试系统 - 敬业信息科技(上海)有限公司

文件 显示 设备 迹线 工具 帮助

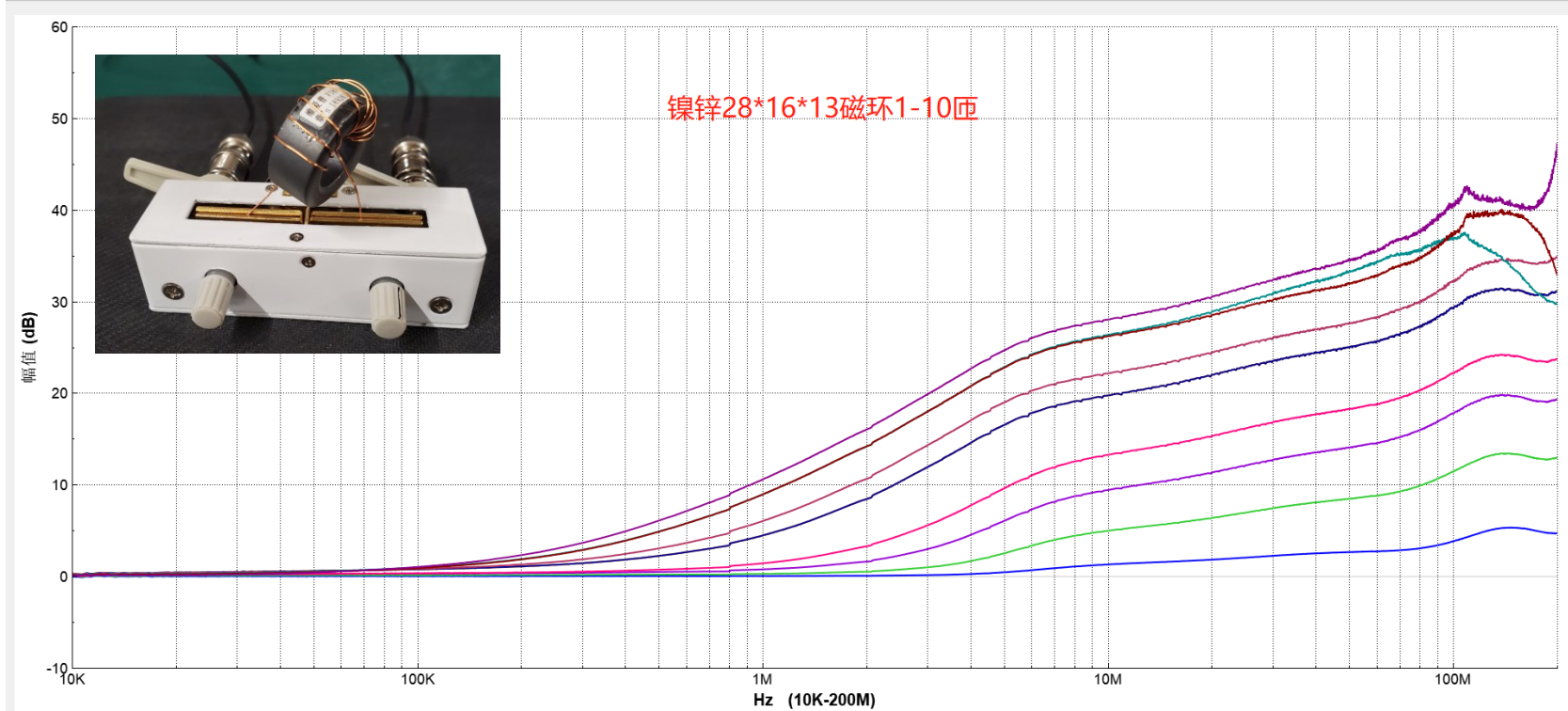


● 未连接

# 线束-滤波磁环的选型和测试

Tale-AI V1.4 一站式EMI智能诊断测试系统 - 敬业信息科技(上海)有限公司

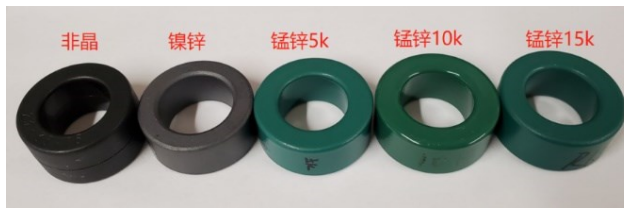
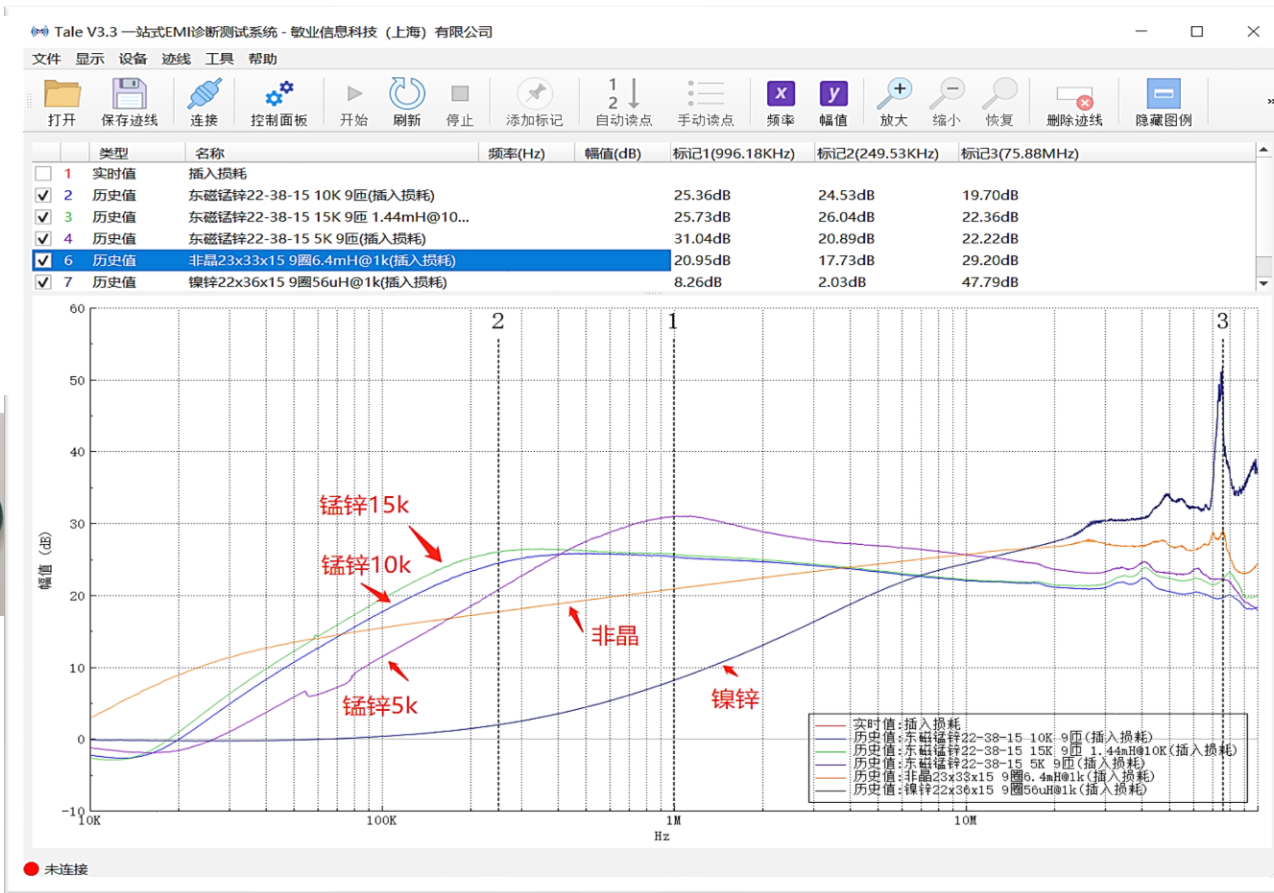
文件 显示 设备 边线 工具 帮助



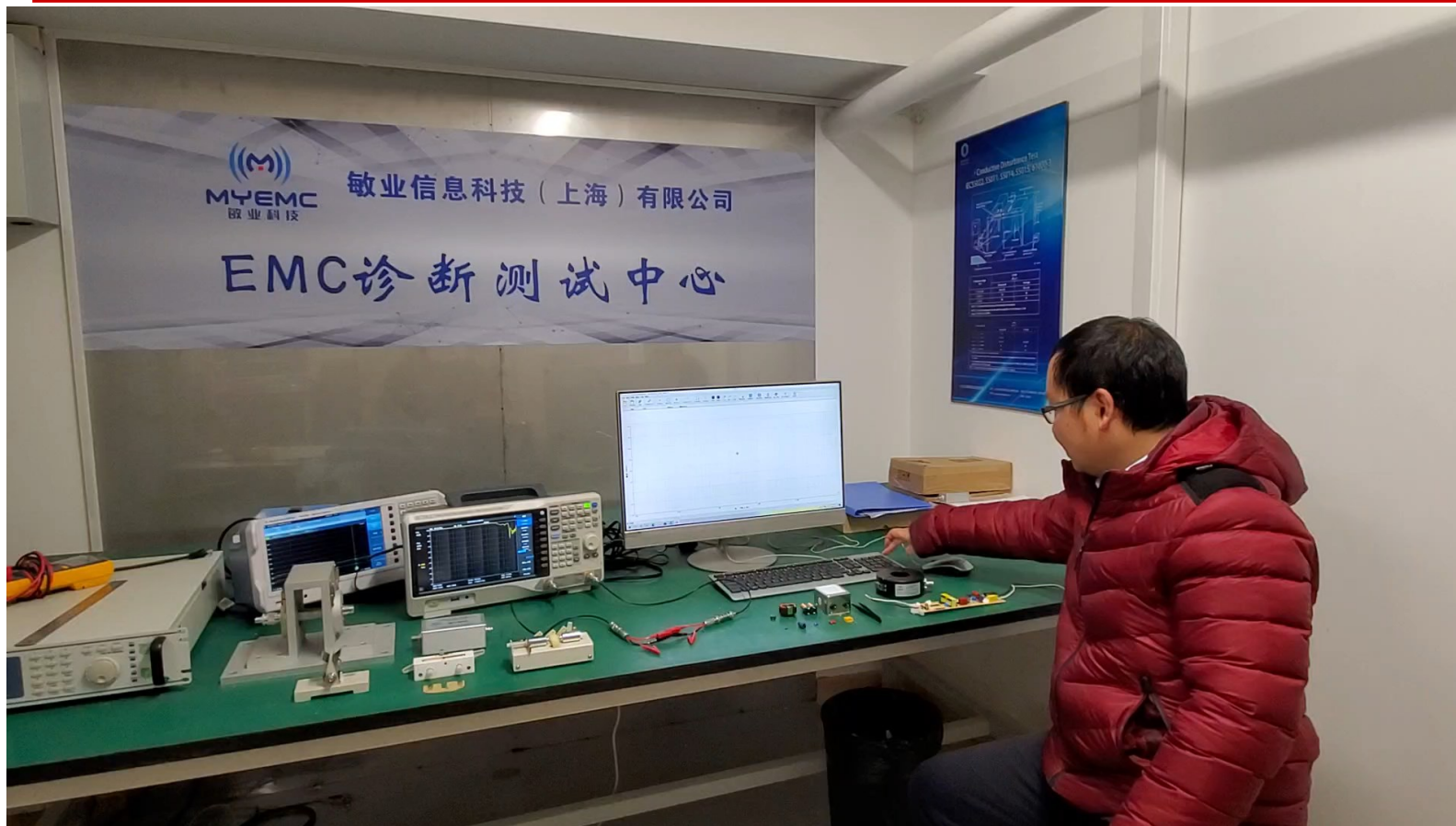
● 未连接

# 5k, 7k, 10k锰锌、镍芯、非晶电感 (9匝)

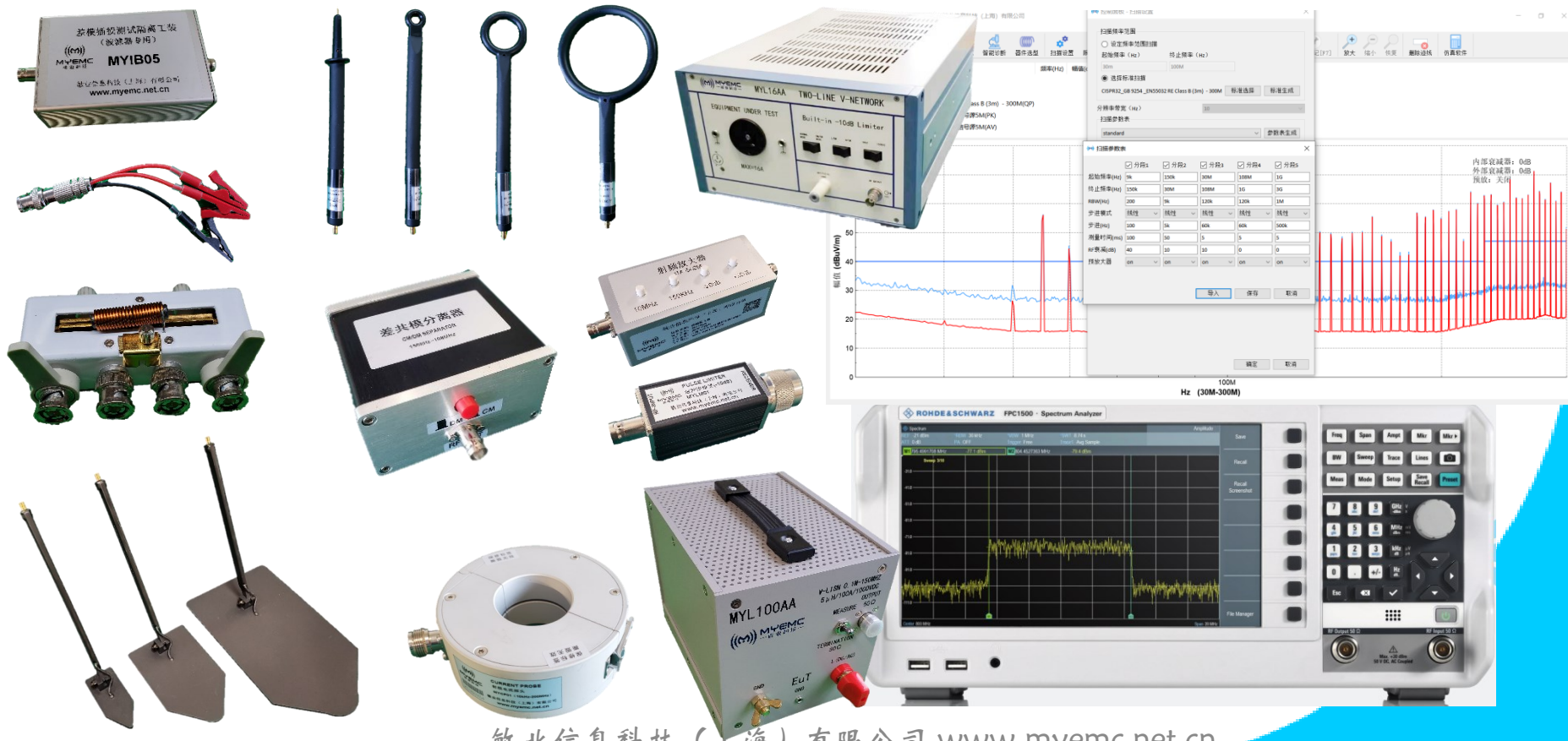
1. 非晶: 2.47mH (黄色)
2. 镍芯: 50uH (黑色)
3. 锰锌5K: 574uH (紫色)
4. 锰锌10K: 1.14mH (蓝色)
5. 锰锌15K: 1.44mH (绿色)



# 插损测试仪简介



# 实验桌EMI摸底工具



# 敏业信息科技（上海）有限公司简介

敏业成立于2014年的技术型企业，以黄敏超博士为首的EMC专家团队专注于EMC技术的研究及创新，为工、科、医、军工及电动汽车等各行各业的企业提供EMC诊断测试、正向设计服务以及解决方案。公司于2018年推出的一站式EMC诊断测试系统填补了EMC诊断仪器领域空白，为电子产品产业链上下游企业提供了最合适和量身定制的诊断设备，能快速解决相关的电磁兼容问题。

## 公司主营：

- 电磁兼容诊断仪器及系统集成
- 电磁兼容诊断测试服务
- 电磁兼容正向设计服务
- 电磁兼容专业培训



# Thank you

## Q & A

敏业公众号



敏业信息科技有限公司（上海）有限公司

myemc@myemc.net.cn

微信



13661606860