

管中管测试法

尽管用户经常需要通过屏蔽衰减指标来了解产品的屏蔽性能，但是对于接插件等短器件或短电缆，在 GHz 频段以下，应用当前的测试方法只能测试出转移阻抗。而运用新开发的管中管测试方法可以将测试转移阻抗和屏蔽衰减之间的截止频率降低到很低的频段，也就是说可以在很低的频段（低于 100 MHz）测试屏蔽衰减。

1. 总论

随着各种电器和电子设备的广泛应用，电磁污染日益加剧。为了减少这种电磁污染，在整个电子系统中，所有单元组件尤其是连接电缆及接插件应当采取屏蔽措施。

为了对各种不同的屏蔽结构进行屏蔽效果的比较，就需要一个标准化的测量方法，来进行对屏蔽衰减的测试，从而代替对转移阻抗的测试。而与以 $m\Omega/m$ 或 $m\Omega$ 为计量单位的转移阻抗相比，RF 电缆、电缆组件和接插件的用户也更加关注以分贝（dB）计量单位的屏蔽性能，即屏蔽衰减。

本文将主要介绍对于短电器元件比如接插件和组合电缆进行屏蔽衰减测试（代替转移阻抗测试）的方法，该方法简便易行，具有高精度度和高重复性，被称为“管中管测试法”。

根据 IEC 61196-1 和 EN 50289-1-6（见 wire 04/2000），管中管测试法是三同轴测试法的延伸，专门用于对接插件和组合电缆屏蔽性能的测试。

IEC TC46/WG 正在将该管中管测试法制定成测试屏蔽性能的国际标准

2. 物理理论基础

2.1 表面转移阻抗 Z_T

一个短电缆（ $l < \lambda/10$ ）屏蔽网上的表面转移阻抗 Z_T 定义为单位长度上电缆一端屏蔽层上的感应电压与电缆另一端屏蔽层上的干扰电流的比值，其单位为 $[m\Omega/m]$ 或以相对于 1Ω 的分贝 dB 值表示，如图 1 所示：

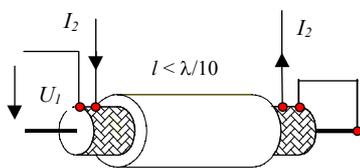


图 1-表面转移阻抗 Z_T 的定义

$$Z_T = \frac{U_1}{I_2} \quad m\Omega/m \quad (1a)$$

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = +20 \cdot \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1\Omega} \right) \quad (1b)$$

注：对于单个电器件（比如接插件或连接器件）而言，该转移阻抗就是该电器件的表面转移阻抗。

2.2 屏蔽衰减

在同轴器件及以共模形式工作的带有屏蔽的对称器件上，输入功率 P_{feed} 与由在外部回路上的最大感应电压产生的最大散射功率 $P_{rad,max}$ 的对数比率被定义为屏蔽衰减 a_s 。

由此，一段长电缆 ($l > \lambda / 10$) 如同轴电缆的屏蔽衰减就被定义为电缆输入功率 P_{feed} 与最大散射功率 $P_{rad,max}$ 的对数比率，如公式 (2) 所示：

$$a_s = 10 \cdot \log_{10} \left(Env \left| \frac{P_{feed}}{P_{rad,max}} \right| \right) \quad (2)$$

2.3 耦合转移函数

被屏蔽器件如同轴电缆或同轴接插件的耦合转移函数 $T_{n,f}$ (n =近端, f =远端) 定义了其屏蔽衰减 a_s 与转移阻抗 Z_T 的关系。

在低于截止频率 $f_{cn,f}$ 的低频段，电缆的电长度较短，可以测出表面转移阻抗 Z_T 。而在高于截止频率 $f_{cn,f}$ 的电波传播频段，则将屏蔽衰减 a_s 作为衡量电缆屏蔽效果的参数。对于电缆而言，截止频率 $f_{cn,f}$ 随被测电缆的长度变化。

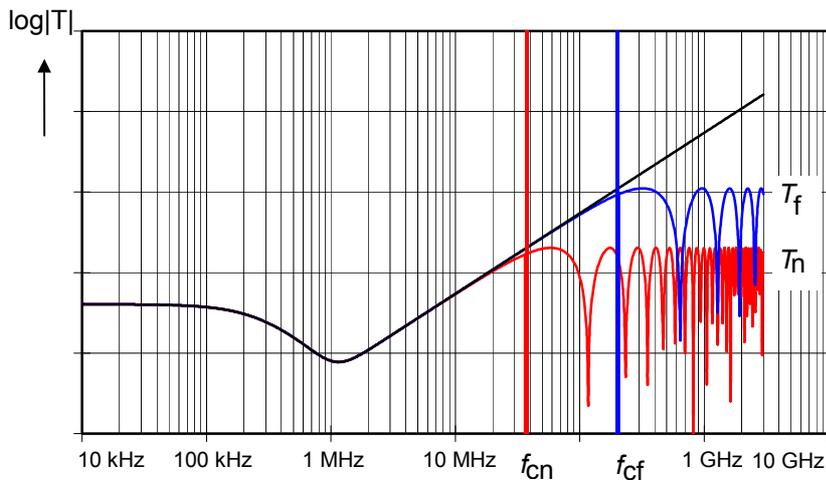


图 2-耦合转移函数 $T_{n,f}$ 的计算结果

在国际标准 IEC 61196 和 EN50289-1-6 中描述了有关通讯电缆转移阻抗，屏蔽衰减和耦合衰减的三同轴测试方法。

2.4 器件长度与屏蔽性能测试之间的关系

被测器件的有效耦合长度和电磁波波长之间的关系对屏蔽性能测试结果影响很大。在有效耦合长度相对电磁波波长较短的频率范围内，所测得的屏蔽性能随有效耦合长度的递增而减弱。因此，在测试时相关长度的设定是非常必要的，对电缆的测试结果就是在整段电缆上的测试结果与 1 m 的比值，其单位用 $[m\Omega/m]$ 表示。

对于固定器件如接插件或连接器件，其屏蔽性能与长度无关，测试结果即为器件本身的性能。但对其进行屏蔽性能测试时，应考虑到与其连接的电缆和接触电阻对测试结果产生的影响。

在有效耦合长度相对电磁波波长较长的范围内，即在电波传播频段，屏蔽性能通过最大包络曲线形式的屏蔽衰减来描述。因此只有在高于截止频率的高频段，才能定义屏蔽衰减的概念。

我们将低频与高频渐近线交叉点的频率值定义为截止频率 f_c ，其定义也给出了电气长度长电缆的条件，公式如下：

$$f_c \cdot l \geq \frac{c_0}{\pi \cdot \left| \sqrt{\varepsilon_{r1}} \pm \sqrt{\varepsilon_{r2}} \right|} \quad (3)$$

公式中 ε_{r1} 、 ε_{r2} 分别为内部回路和外部回路的介电常数， l 为被测电缆或器件的长度。

通常高频接插件的轴向长度在 10 mm 至 50 mm 之间，根据上述公式 (3) 可以得出其截止频率为 3 GHz 或更高。对高于该频率的信号来说，这些器件是电气长度长器件。

因为只有在高于截止频率时才能定义屏蔽衰减的概念，所以只有在大于 3 GHz 时才能测试高频接插件的屏蔽衰减。

但是因为屏蔽衰减指标比转移阻抗更便于直接描述和计算电磁波的散射损失和辐射，高频接插件及组合电缆的用户还是希望了解该类器件在 MHz 频段上的屏蔽衰减指标。

3. 管中管测试法

采用管中管测试法可以解决这个问题。在一个高频密闭的金属管中，将短电气长度的被测高频接插件与一根长电气长度的电缆进行连接，这样就延长了被测器件的电气长度，也就降低了截止频率，使我们可以较低的频率上测得屏蔽衰减。

在用管中管测试法对接插件进行测试时，测得的结果为接插件与其匹配接头和连接电缆的组合屏蔽衰减指标，而不仅仅只是接插件的屏蔽衰减指标。这个测试结果也符合接插件的实际应用，对无连接电缆的接插件的屏蔽性能测试毫无意义。

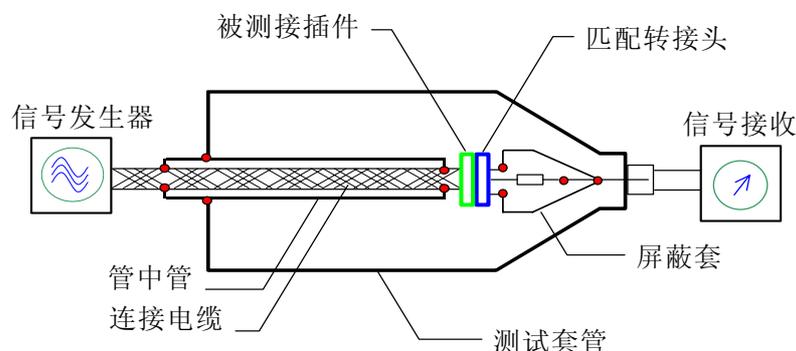


图 3-管中管测试法对接插件屏蔽衰减指标的测试原理图示

3.1 测试过程

被测接插件或被测电缆的一端与连接电缆相连，并与高频密闭套管安装在一起上，然后插入测试套管中。信号发生器产生的高频信号就通过该连接电缆传输给被测器件。被测器件的另一端与测试头中的匹配接头相连接，而该匹配接头则连接了与被测器件相配的特性阻抗。测试套管的另一端与信号接受器连接。

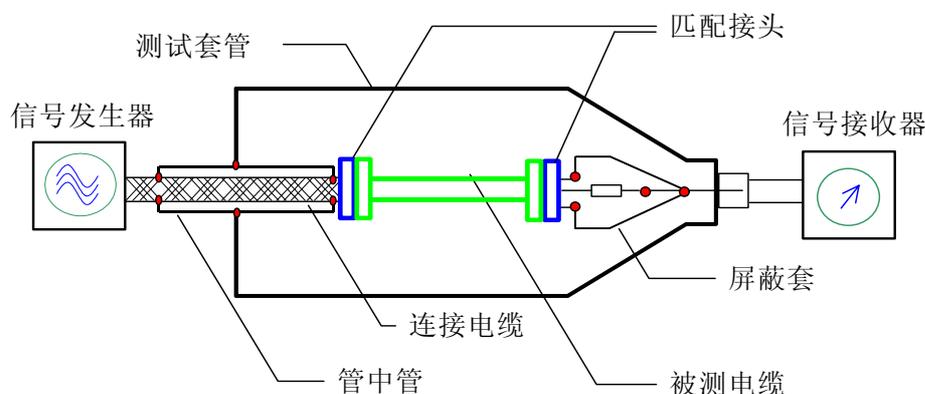


图 4-管中管测试法对组合电缆屏蔽衰减指标的测试原理图示

在管中管测试法中被测接插件件、连接电缆与高频密闭的管中管构成内部系统，其中高频密闭的管中管延长了短电气长度的被测接插件。而被测器件的外导体与管中管和测试套管则构成外部系统。

从内部系统中的被测器件耦合到外部系统的高频信号能量在内外系统之间双向传输，在近端短路处会被反射，这样在远端就可以测得两个不同方向电磁波的叠加信号。输入电压与远端测得的电压的对数比率即为屏蔽衰减指标。

同样的测试方法也适用于对转移阻抗的测试。

管中管测试结果的精确程度取决于管中管的高频密闭性，CoMeT 测试系统在 3 GHz 频率以下可以测试到大于 125 分贝的屏蔽衰减。

3.2 匹配接头

在采用管中管测试法对接插件进行测试时，与接插件进行连接的匹配部件也将对测试结果产生影响，要将这种影响单独分离开来或单独对匹配部件进行校准是不可能的。

因此，在测试报告中要务必说明连接接插件的匹配部件的类型和生产商，不同的类型和出自不同生产商的匹配部件将有可能导致不同的测试结果。

CoMeT 管中管测试法所采用的耦合测试套管系统由 Rosenberger HF-Technik GmbH 公司生产，由 *bedea* Berkenhoff & Drebes GmbH 公司进行销售及提供服务。

4. 测量结果

图 5 为在标准套管中采用标准三同轴测试法对长度为 10 cm 的接插件的转移函数的测试结果，转移阻抗和屏蔽衰减之间的截止频率为 3 GHz。

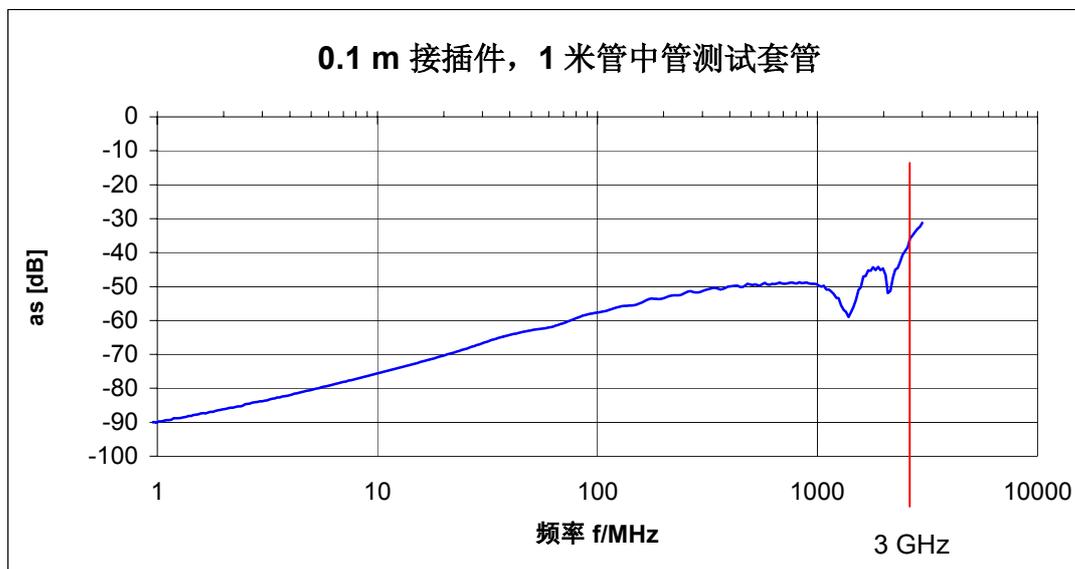


图 5-采用标准三同轴测试法测得的长度为 10 cm 的接插件的转移函数图

图 6 为采用管中管测试法用 1 米长的测试套管对与图 5 中相同的接插件的测试结果，转移阻抗和屏蔽衰减之间的截止频率从 3 GHz 降低为 150 MHz。

如果使用 3 米长的测试套管测试，截止频率更可以降为 50 MHz。

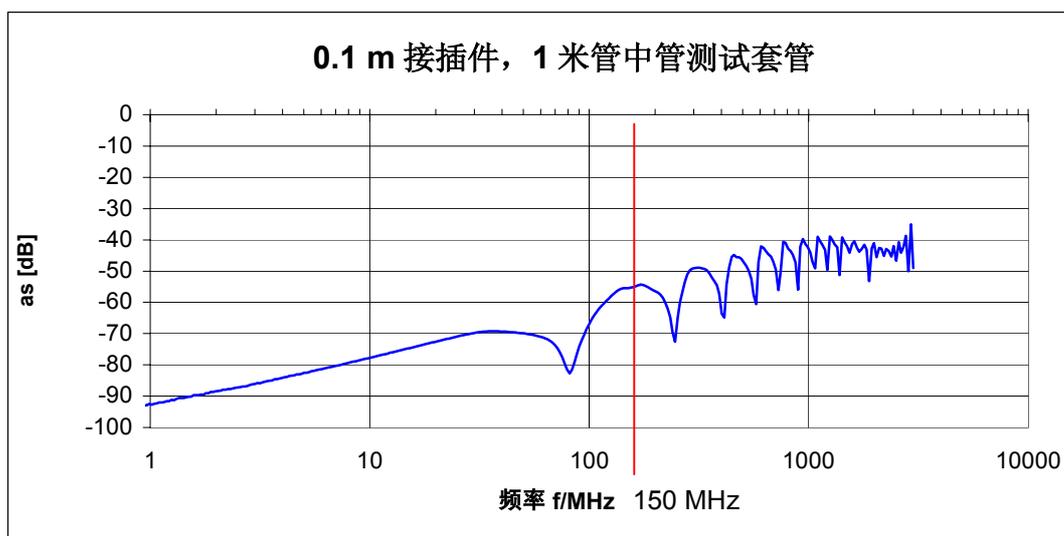


图 6-采用管中管测试法测得的长度为 10 cm 的接插件的转移函数图

5. 连接器件测试

结合三同轴测试法原理的 CoMeT 测试系统可以经过改进测试多管脚连接器及用于有线电视、数据传输网络的连接器件的屏蔽性能。此拓展后的带有管中管测试系统的三同轴测试装置具有一个可以容纳多种被测连接器件的密封测试盒。

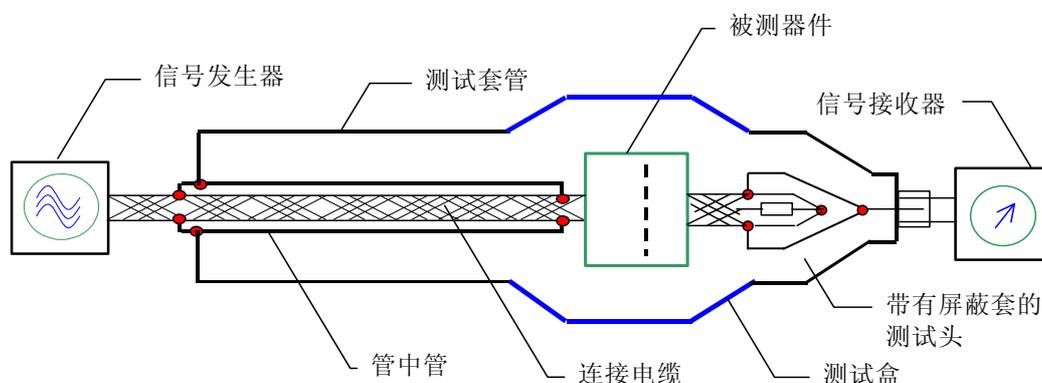


图 7-管中管测试法对连接器件屏蔽衰减指标的测试原理图示

通过改变管中管的长度，可以测得转移阻抗、屏蔽衰减及耦合衰减多种指标。

参考文献：

- [1] Breitenbach, O./Hähner T.: Kabelschirmung im Übergang von MHz- zu GHz-Frequenzen. ntz Bd. 46(1993) H.8, S. 602-608.
- [2] Halme, L./Szentkuti, B.: The background for electromagnetic screening measurements of cylindrical screens. Tech. Rep. PTT(1988) Nr. 3.
- [3] L. Halme, R. Kytönen, "Background and introduction to EM screening (shielding) behaviours and measurements of coaxial and symmetrical cables, cable assemblies and connectors", Colloquium on screening effectiveness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452.
- [4] O. Breitenbach, T. Hähner, B. Mund, "Screening of cables in the MHz to GHz frequency range extended application of a simple measuring method", Colloquium on screening effectiveness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452.
- [5] T. Hähner, B. Mund, "Test methods for screening and balance of communication cables", 13th international Zurich EMC Symposium, February 16-18 1999
- [6] T. Hähner, B. Mund, "Measurements of the screening effectiveness of connectors and cable assemblies", EMC 2002, International Wroclaw symposium and exhibition on electromagnetic compatibility, June 25 – 28, 2002, Wroclaw, Poland
- [7] IEC 61196-1, Radio-frequency cables Part 1: Generic specification - General Definitions, requirements and test methods.
- [8] EN 50289, Communication cables - Specifications for test methods, Part 1-6: Electrical test methods - Electromagnetic performance

作者简介:

Bernhard Mund: 1984 年取得 Gießen-Friedberg 应用科技大学的通讯及微处理器工艺专业硕士学位, 1985 年进入生产通讯电缆的 *bedea* Berkenhoff & Drebes GmbH 公司, 负责研制开发通讯电缆及高频电磁兼容性产品。

Bernhard Mund 是 CENELEC SC 46XA 组织负责同轴电缆部门的负责人, 及多家国家与国际标准组织的成员, 如 IEC TC46/WG5 工作组负责屏蔽性能标准制定部门。

联系方式: bmund@bedea.com