

## 屏蔽对称电缆的耦合损耗测量

朱荣华 叶菁蓁 李谦若

目前等同采用 IEC 61196-1(1995)的国家标准 GB/T 17737.1-2000 标准中，关于屏蔽效率（SCREENING EFFECTIVENESS）有以下几种方法：表面转移阻抗——注入线法（频域，几千赫兹至 3 千兆赫兹）、表面转移阻抗——三同轴法（100MHz 以下）、容性耦合导纳——电容法（约 1000Hz 频率）、屏蔽衰减——吸收钳法（30~2500MHz）以及屏蔽衰减—测量达到和超过 3GHz 的屏蔽衰减  $\alpha_s$  的试验方法等。

我们通过对三同轴测试系统测量对称电缆的研究，设计并组建了三同轴测试系统。同时对 SPT、FPT、SFPT 结构的五类、六类等屏蔽对称电缆进行了测试和分析，总结出了一些影响对称电缆耦合损耗性能的因素。

### 一、测试原理

差分模式下的平衡电缆会辐射一部分输入功率，大小取决于电缆均匀性。对于非屏蔽平衡电缆（UTP）来说这种辐射就是不平衡衰减  $\alpha_u$ 。对带屏蔽平衡电缆（STP）来说，这些自线对的干扰功率被外屏蔽附加衰减，这种不对称使屏蔽产生电流，并且通过转移阻抗和容性耦合阻抗耦合到外电路中。所以通常带屏蔽平衡电缆（STP）的抗电磁干扰效率是由线对不平衡衰减  $\alpha_u$  和屏蔽层的屏蔽衰减  $\alpha_s$  相加而成的。

测试装置是由被测电缆和金属管组成的三同轴系统，由信号发生器激励的匹配被测电缆的内电路或主电路会产生干扰信号，外电路或二次电路的干扰是由被测电缆的外导体(多层屏蔽电缆的最外层)和中心轴放置被测电缆的金属管引起的，测试装置原理图见图 1。二次电路远端的峰值电压需要测量，而二次回路近端是短路的，因此测试中接收机的匹配不是必须的。如果接收机的阻抗要比二次回路特性阻抗小，远端的峰值电压与接收机的输入阻抗无关。但是，为了减小失配，对不同外径的电缆可以选用不同直径范围的铜管。

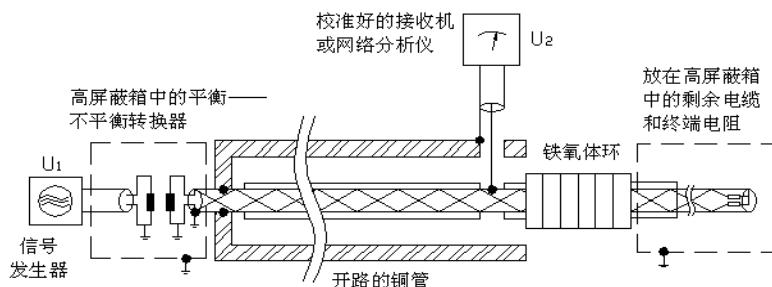


图 1 测试装置原理图

### 二、测量装置的设计

根据测试原理，我们设计并加工了实际的测量装置。设计过程中，我们重点关注以下几个方面因数。

- a. 电缆尽可能至于金属管中心位置以获取均匀的电磁波传播。
- b. 为了减小失配，对不同外径的电缆选用不同直径范围的四氟介质管。
- c. 放置转换器和端接负载的屏蔽箱应具有良好的屏蔽效果。
- d. 试样的屏蔽外导体与三同轴系统的外铜管的连接既方便又可靠。

具体的耦合损耗测量系统总装配图见图 2。

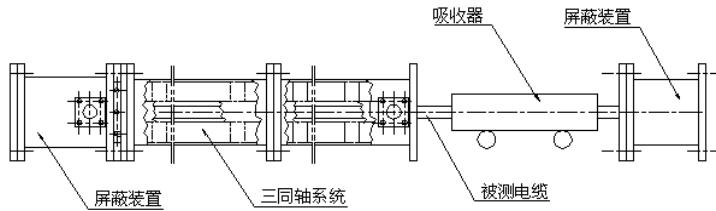


图 2 耦合损耗测量系统总装配图

以上测试系统特点：

1. 整个系统从“始端”到“末端”全由金属屏蔽罩和外铜管包裹，这样外界干扰信号无法介入，测试环境比较稳定，不确定因素影响小。
2. 外钢管的长度选用了 6 米（在三同轴法里约为 1 米），这样更接近与被测电缆在低频段时的波长，使测得的耦合损耗值更准确合理。

### 三、测量系统的连接

根据耦合损耗测量方法（三同轴法），测量系统中的外钢管由 3 根 2m 长的圆钢管连接而成，外钢管内选用相应尺寸的由聚四氟垫片支撑于中央的聚四氟长管，被测电缆穿过聚四氟长管并处在外钢管的中心处。连接信号发生器（或网络分析仪）输出端口的被测电缆的一端称为三同轴系统的始端，始端是短路的，而在外钢管近末端处称为三同轴系统的末端，见图 1。

信号发生器（或网络分析仪）的输出通过转换器 BALUN（ $50\Omega$  同轴转  $100\Omega$  对称）把信号馈入到被测对称电缆始端的其中一对芯线，其余各对的芯线分别通过阻值为  $50\Omega$  的电阻接地。被测对称电缆的末端的所有线芯通过阻值为  $50\Omega$  的电阻接地，见图 3 被测电缆端接图。

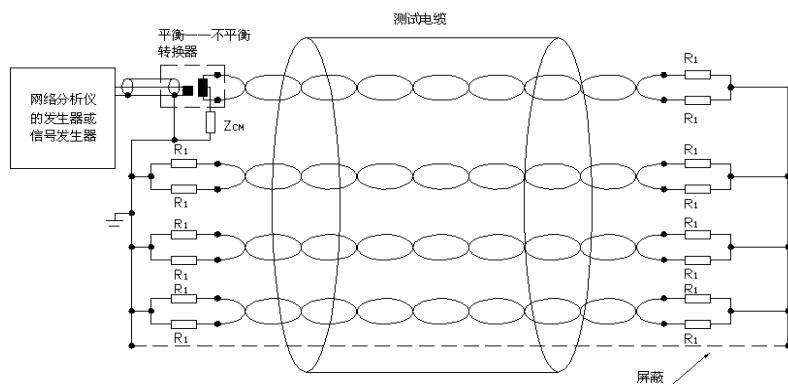


图 3 被测电缆端接图

转换器 BALUN 放置于金属屏蔽箱内加以屏蔽，始端的被测对称电缆外导体（即屏蔽层）由铜夹板与外铜管始端短路端以及放 BALUN 的金属屏蔽箱夹紧。在外铜管近末端处，用接收机(或网络分析仪)的信号输入端连接三同轴系统末端处的被测电缆外导体与外铜管，测量外回路的干扰功率。

剩余被测电缆放置于屏蔽的金属箱内，外铜管和被测对称电缆的末端之间放置一个吸收衰减器（吸收衰减 $\geq 10\text{dB}$ ），该吸收衰减器尽量靠近外铜管的接收端以吸收反向传输波的干扰。末端金属屏蔽箱和被测缆外导体应紧密连接并接地。

实际的耦合损耗测量系统见图 4。



图 4 耦合损耗实际测量系统

#### 四、对称电缆耦合损耗的测量

在完成耦合损耗测量系统的设计、安装、调试和对比试验后，我们对 SFTP（屏蔽结构：铜丝编织加铝塑薄膜）、FTP（屏蔽结构：铝塑薄膜）、STP（屏蔽结构：铜丝编织）等五类、超五类和六类等电缆样品进行了测试。

根据耦合损耗测量方法（三同轴法）的结果表达，耦合衰减  $a_c$  的计算必须以  $Z_s = 150\Omega$  为归一化阻值。即：

$$\begin{aligned} a_c &= 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \lg \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_s}{R} \right| \\ &= 20 \lg \left| \frac{U_1}{U_{2,\max}} \right| + 10 \lg \left| \frac{300\Omega}{Z_1} \right| = a_{m,min} - a_Z + 10 \lg \left| \frac{300\Omega}{Z_1} \right| \end{aligned} \quad (1)$$

其中： $a_{m,min}$  为以测量值的最小包络曲线的衰减记录； $a_Z$  为不能由其他方法（如校准）消除的，最终插入的适配器的附加衰减，现采用 NORTH HILLS 公司的 BALEN，其测试频率范围为 10~600MHz，全频段的插入损耗  $a_Z$  约为 2.8dB 左右； $Z_1$  为被测电缆主电路特性阻抗，此处为  $100\Omega$ 。全部代入上式得：

$$a_c = a_{m,min} + 2 \quad (2)$$

为了方便，暂以  $a_c = a_{m,min}$  简化，这样可用网络分析仪的测量曲线作为耦合损耗的测量结果，精确测量计算时再以公式（2）代之。

一个典型的 SFTP 屏蔽结构对称电缆测试结果见表 1。

表 1 SFTP 屏蔽结构对称电缆测试结果

编号	测试频段内耦合损耗最差值 (dB)
1#	66
2#	77
3#	70
4#	85
5#	69
6#	69
7#	83
8#	85

由上表可见，SFTP 屏蔽结构对称电缆的耦合损耗最小值最差为 65dB 左右，最大为 85 dB 左右。综合平均水平在 80~90dB 间。图 5 为其测试典型波形。

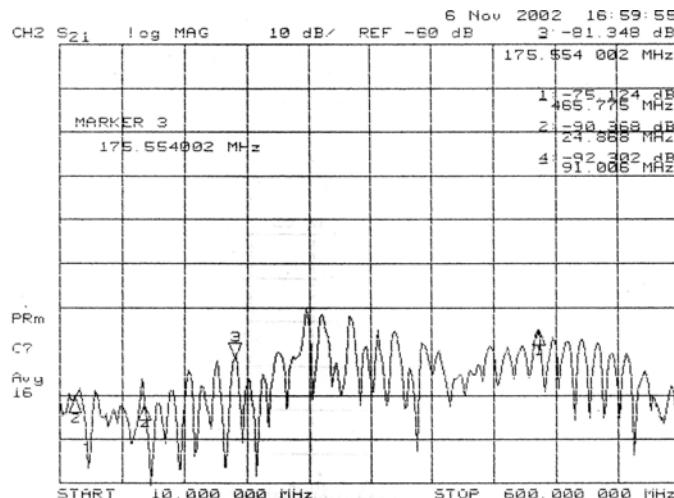


图 5 SFTP 屏蔽结构对称电缆的耦合损耗

## 五、测试关键

通过上述的对比试验以及数据分析，为了能更准确地检测对称电缆的屏蔽性能，还应当注意以下几点：

1. 网络分析仪或频谱分析仪的测试动态范围应足够大，以避免仪器引起的噪声电平干扰。
2. 被测电缆始末端的金属屏蔽盒应密封严紧，金属屏蔽罩与外铜管间亦应连接紧密。
3. 被测电缆始端的屏蔽层应与外铜管接触良好，必要时用专用夹具紧固避免产生缝隙，而末端的电缆屏蔽层亦应与金属屏蔽罩接触良好且紧密。
4. 被测电缆始末端的各组对绞线均应通过  $50\Omega$  电阻接地，其中的连接部位最好采用

焊接工艺或制成电路模块，负载电阻最好采用射频 SMD（表面贴装器件）电阻，以改善其高频性能。

5. 测试仪器信号输出端口的转换装置或阻抗转换器等应保证接触良好，仪器的信号接收端口亦应与外铜管末端引出口紧密连接。

#### 6. 阻抗转换器（BALEN）的插入损耗

NORTH HILLS 公司的 BALEN，其测试频率范围分别是 0~300MHz，全频段的插入损耗最大约为 2.8dB 左右。精确测量时，应根据 IEC TECHNICAL COMMITTEE No.46 文献中规定耦合损耗测试的最终结果应当扣除阻抗转换器的插入损耗  $\alpha_Z$ ，并考虑到采用归一化阻值  $Z_s = 150\Omega$ 。

#### 参考文献：

1. Coupling attenuation, triaxial method. IEC Technical committee No.46, Working group 5, Screening effectiveness.
2. Coupling attenuation – Injection clamp method. IEC Committee Draft.
3. IEC 61196-1 1995 Radio-frequency cables part 1 : Generic specification General, definitions, requirements and test methods-Screening Attenuation, Absorb Clamp method
4. E.F.Vance(U.S.A.) Coupling to shielded cables.
5. 耦合损耗测量方法（三同轴法）