



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31723.406—2015/IEC 62153-4-6:2006

---

## 金属通信电缆试验方法 第 4-6 部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法

Metallic communication cable test methods—  
Part 4-6: Electromagnetic compatibility (EMC)—  
Surface transfer impedance—Line injection method

(IEC 62153-4-6:2006, IDT)

2015-06-02 发布

2016-02-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 通则 .....	1
4.1 内部和外部电路 .....	1
4.2 转移阻抗 $Z_T$ .....	1
4.3 样品长度 .....	2
5 试验装置 .....	2
5.1 概述 .....	2
5.2 设备 .....	3
5.3 发射器 .....	4
5.4 阻抗匹配电路 .....	6
6 试验样品的准备 .....	8
6.1 概述 .....	8
6.2 屏蔽对称电缆 .....	9
6.3 屏蔽多芯电缆 .....	9
7 测量 .....	9
7.1 概述 .....	9
7.2 测量注意事项 .....	9
7.3 校准 .....	10
7.4 测量程序 .....	10
7.5 试验结果的评估 .....	11
8 测试结果的表示 .....	12
8.1 表示 .....	12
8.2 温度修正 .....	12
8.3 试验报告 .....	12
9 要求 .....	12

## 前 言

GB/T 31723《金属通信电缆试验方法》的电磁兼容部分已经或计划发布以下部分：

- 第 4-0 部分：电磁兼容 表面转移阻抗和屏蔽衰减之间的关系 推荐限值；
- 第 4-1 部分：电磁兼容 屏蔽测量的介绍；
- 第 4-2 部分：电磁兼容 屏蔽和耦合衰减 注入钳方法；
- 第 4-3 部分：电磁兼容 表面转移阻抗 三同轴法；
- 第 4-4 部分：电磁兼容 屏蔽衰减 高达 3 GHz 及以上频率的屏蔽衰减测量法；
- 第 4-5 部分：电磁兼容 耦合或屏蔽衰减 吸收钳法；
- 第 4-6 部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法；
- 第 4-7 部分：电磁兼容 转移阻抗、屏蔽或耦合衰减 管中管法；
- 第 4-8 部分：电磁兼容 容性耦合导纳。

本部分为 GB/T 31723 的第 4-6 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 62153-4-6:2006《金属通信电缆试验方法 第 4-6 部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法》。

本部分做了下列编辑性修改：

- 将原文中所有的外部电路及外部系统的相关参数用下标 1 表示，所有内部电路及内部系统的相关参数用下标 2 表示；
- 将 5.4.4 中的“负载阻抗  $R_1$ ”更改为本部分中的“负载阻抗  $R_2$ ”。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本部分由全国电子设备用高频电缆及连接器标准化技术委员会(SAC/TC 190)归口。

本部分负责起草单位：中国电子技术标准化研究院。

本部分主要起草人：张鹏、吴正平。

# 金属通信电缆试验方法

## 第 4-6 部分:电磁兼容

### 表面转移阻抗 线注入法

#### 1 范围

GB/T 31723 的本部分通过把规定的电压和电流施加到电缆的屏蔽层并测量感应电压获得表面转移阻抗的方法,来确定金属通信电缆的屏蔽效率。

使用常用的高频测量仪器进行测量,频率范围可从几千赫兹到 1 GHz 或以上。

#### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 17737.1—2013 同轴通信电缆 第 1 部分:总规范 总则、定义和要求(IEC 61196-1:2005, IDT)

IEC 62153-4-3 金属通信电缆试验方法 第 4-3 部分 电磁兼容 表面转移阻抗 三同轴法  
[Metallic communication cable test methods—Electromagnetic Compatibility(EMC)—Surface transfer impedance—Triaxial method]

#### 3 术语和定义

GB/T 17737.1—2013 中给出的术语和定义适用于本文件。

#### 4 通则

##### 4.1 内部和外部电路

外部电路(线注入电路)是馈入电路,由屏蔽层表面和注入线组成,相关参数用下标 1 表示。内部电路(被测电缆,以下简称 CUT)是测量感应电压的电路,相关参数用下标 2 表示。

##### 4.2 转移阻抗 $Z_T$

屏蔽层的转移阻抗  $Z_T$  是确定电缆屏蔽效率的重要参数。

对于一段电气长度短的均匀电缆,转移阻抗定义为单位长度上内部电路中 CUT 的纵向感应电压与外部电路(线注入电路)电流的比值,反之亦然。

大部分电缆的容性耦合是可忽略不计的。但对于单层松编织屏蔽电缆,容性耦合不能忽略。通过屏蔽小孔的耦合,用通过电容  $C_T$  或容性耦合导纳  $Y_C$  描述。对于一段电气长度短的均匀电缆来说,  $Y_C$  定义为单位长度上内部电路电流与外部电路电压的比值,反之亦然。

当容性耦合不可忽略时,屏蔽效率由等效的转移阻抗  $Z_{TE}$  表示。

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \dots\dots\dots (1)$$

$$Z_F = j\omega C_T Z_2 Z_1 = Y_C Z_2 Z_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\omega$  ——角频率;
- $\pm$  ——近端测量用+,远端测量用-;
- $C_T$  ——通过电容;
- $Y_C$  ——容性耦合导纳;
- $Z_2$  ——内部电路(CUT)的特性阻抗;
- $Z_1$  ——注入电路的特性阻抗;
- $Z_F$  ——容性耦合阻抗;
- $Z_T$  ——转移阻抗;
- $Z_{TE}$  ——等效的转移阻抗。

### 4.3 样品长度

CUT 的长度应满足在规定的频率范围内测量所需的耦合长度以及与测试仪器连接所需的长度。耦合长度与被测的最高频率有关。最小耦合长度应为 0.3 m。

对于匹配电路,最大耦合长度由式(3)计算:

$$L_{c,max} \leq \frac{c}{\pi \times f_{max} \times |\sqrt{\epsilon_{r2}} \pm \sqrt{\epsilon_{r1}}|} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $\epsilon_{r1}$  ——注入电路介质的相对介电常数;
- $\epsilon_{r2}$  ——电缆介质的相对介电常数;
- $\pm$  ——近端测量用+,远端测量用-;
- $c$  ——光速,  $3 \times 10^8$  m/s;
- $f_{max}$  ——最高测量频率,单位为赫兹(Hz);
- $L_{c,max}$  ——最大耦合长度,单位为米(m)。

匹配电路的条件:

- a) 注入电路的特性阻抗等于发生器的输出阻抗和负载阻抗  $R_2$ ;
- b) 注入电路的特性阻抗不随耦合长度(反射系数小于 0.1)和负载阻抗  $R_1$  的变化而变化;
- c) 每个发射器的反射系数均小于 0.1;
- d) CUT 的特性阻抗应等于接收机的输入阻抗和负载阻抗  $R_2$ , 当不匹配时, CUT 可通过一个阻抗匹配电路与接收机相连。

对于试验装置中不匹配的部分,在确定的耦合长度可测的最高频率通常小于计算值。在这种情况下,最高频率在图表中曲线的线性变化可能会有 6 dB 的偏差,曲线中  $x$  轴是频率的对数表示, $y$  轴是电压比值( $U_{\text{接收机}}/U_{\text{发生器}}$ )的对数表示。

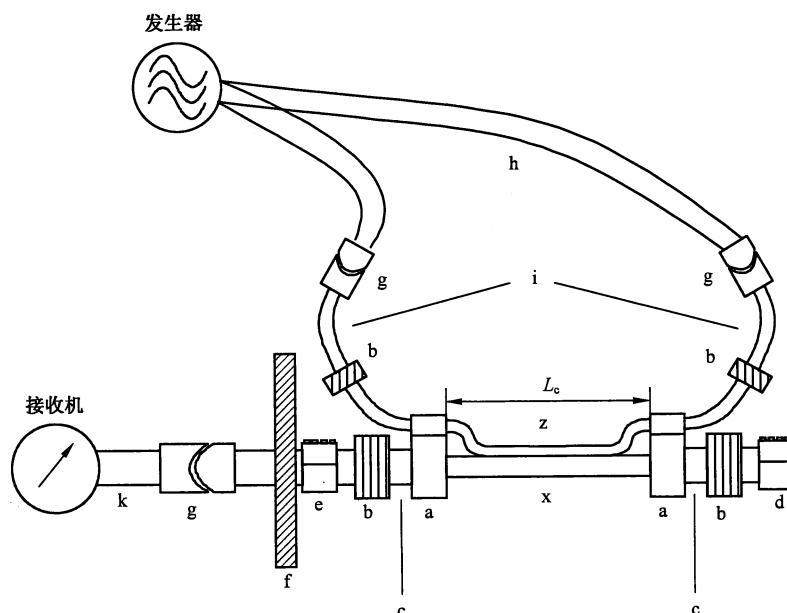
## 5 试验装置

### 5.1 概述

如图 1 所示,注入电路是用一根或多根平行导线、皱纹铜带或平的铜编织带和 CUT 外导体所组成的一段传输线组成。注入电路通过发射器与同轴电缆两端连接。注入线应沿着耦合长度紧贴电缆样品(例如,用有黏性的胶布)。注入电路的特性阻抗应等于发生器的输出阻抗和负载阻抗  $R_2$ ,这可以通过选择合适的注入线的导体尺寸和绝缘类型来实现。

与发生器输出阻抗相比而言,沿耦合线方向的发射器的反射系数和注入电路的反射系数应小于

0.1,例如,回波损耗应大于 20 dB。



说明:

- a —— 发射器；
- b —— 铁氧体；
- c —— 用于附加屏蔽的黄铜/铜管；
- d —— CUT 匹配电阻的屏蔽盒；
- e —— 连接 CUT 和接收机的屏蔽盒；
- f —— 有屏蔽同轴馈通的屏蔽室的墙面；
- g —— 连接器(SMA,N 等)；
- h —— 从发生器引出的馈线；
- i —— 注入电缆的馈线；
- k —— 与接收机连接的电缆；
- x —— CUT；
- z —— 注入线；
- $L_c$  —— 耦合长度。

图 1 安装图

## 5.2 设备

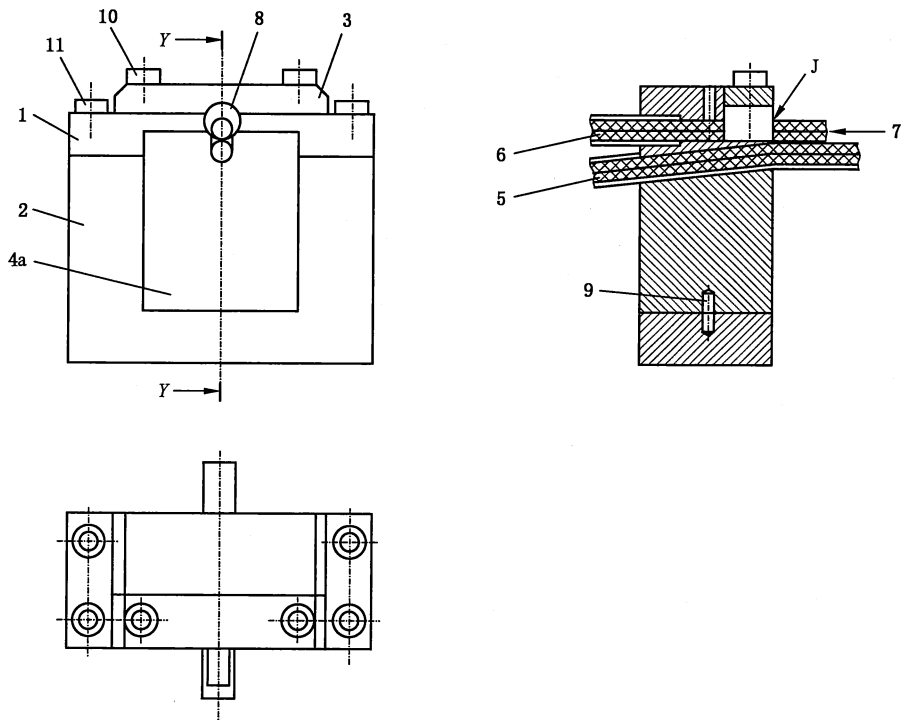
测量设备包括:

- a) 网络分析仪或以下两种设备的组合,二选一:
- 信号发生器:具有与 CUT 的(准)同轴系统相同的特性阻抗,或带有阻抗适配器,如转移阻抗较低,必要时应使用功率放大器进行补偿;
  - 接收机:具有经校准的步进衰减器。如转移阻抗较低,应使用低噪声放大器进行补偿。
- b) 上升时间小于 350 ps 的时域反射计(TDR),或具有将回波损耗测量转化为时域状态的网络分析仪(至少 3 GHz);
- c) 打印设备;
- d) 阻抗匹配电路(需要时)。外部电路标称阻抗等于发生器的标称阻抗。内部电路标称阻抗等于 CUT 的(准)同轴系统的标称阻抗(见 5.4)。从外部电路测量的回波损耗应不小于 10 dB。

5.3 发射器

应调节发射器结构,使同轴馈电电缆和端接电缆中的对称 TEM 波与沿平行线的不对称场得到最佳匹配,并在反复使用时保持良好的机械强度。在图 2~图 6 中给出了可行的发射器的细节。不连续性的精细调整可用改变泡沫衬垫(图 2 部位 8)的办法来进行。

或者,可用搭于 CUT 上的小型连接器(焊接型)来做发射器,或用更简便的方法即把具有合适特性阻抗的小同轴电缆的外导体捆在剥掉护套的 CUT 上。在试验区域,同轴电缆的内导体用 2 根或 4 根平行线、皱纹铜带或扁平铜带编织来延续。发射器不连续性的微调可通过把接点和注入线与试验区的 CUT 护套靠得更紧的办法来实现。



数量	部件	部位	备注、材料
4	公制螺钉 M3×M10	11	
2	公制螺钉 M3×M6	10	
1	销钉 $\phi 2 \times 8$ (mm)	9	
1	泡沫介质	8	$\epsilon_r$ 接近 1
1	注入线	7	
1	50 $\Omega$ 同轴电缆	6	阻抗按要求
1	被测电缆(CUT)	5	
1	CUT 插入衬垫	4a	黄铜
1	阻抗匹配部件	3	黄铜
1	下部件	2	黄铜
1	上部件	1	黄铜
测试发射器(需 2 个)			

图 2 传输型线注入法用发射器装配图——列举表

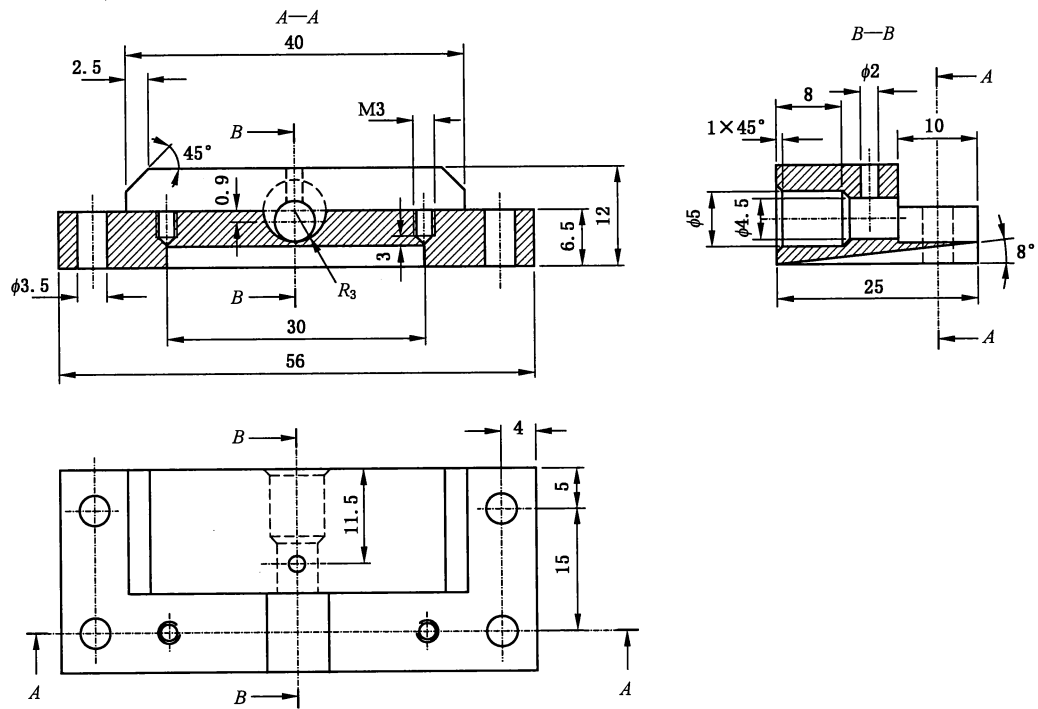


图 3 发射器的上部件——部位 1

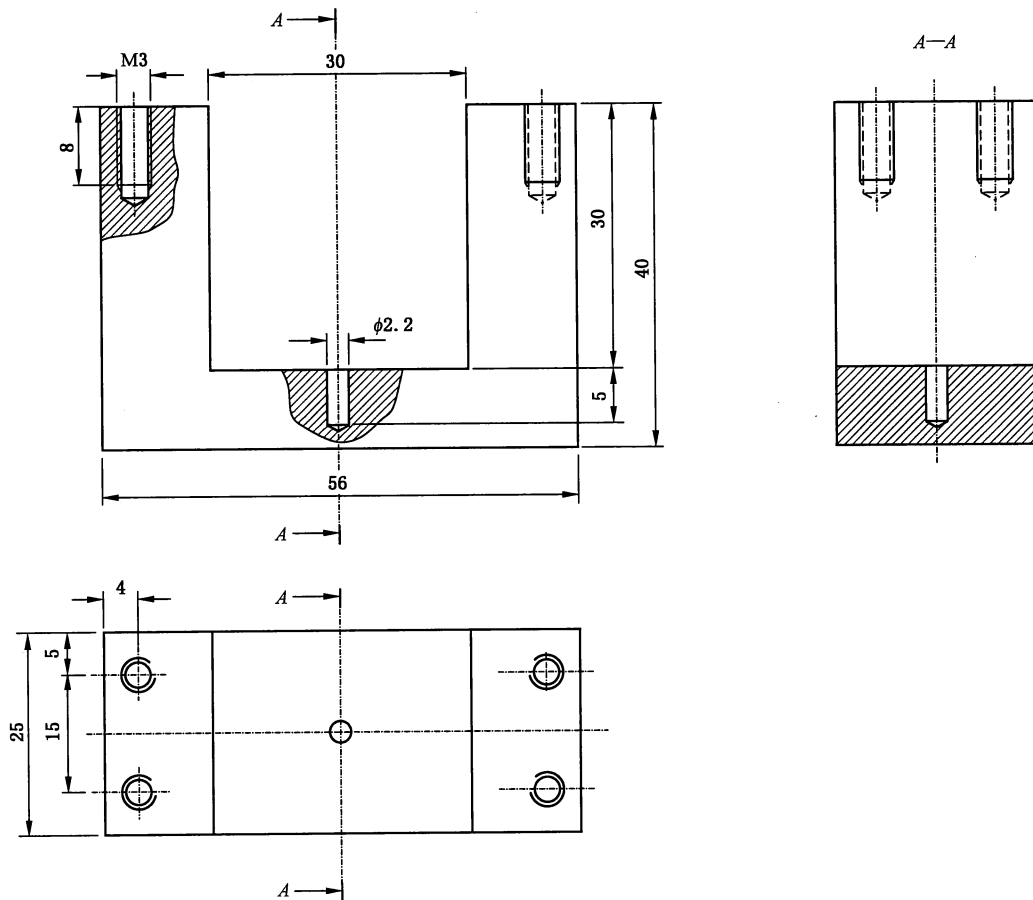


图 4 发射器的下部件——部位 2



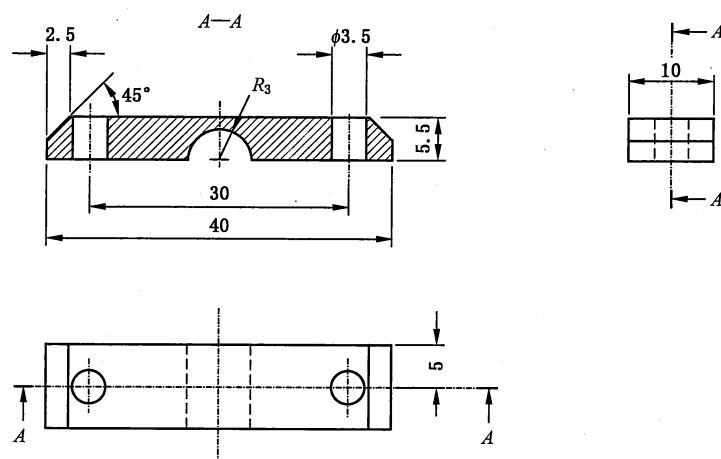


图 5 发射器的阻抗匹配部件——部位 3

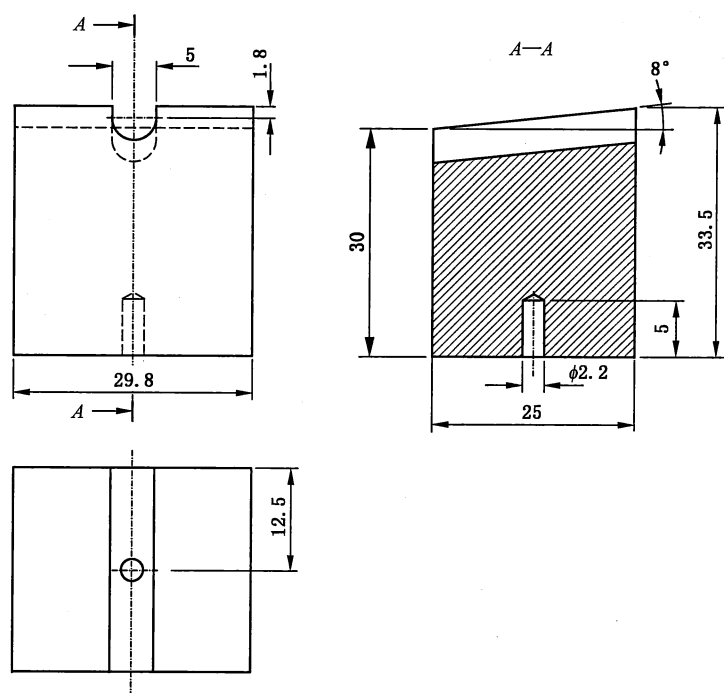


图 6 CUT 不同尺寸转换衬垫——部位 4

## 5.4 阻抗匹配电路

### 5.4.1 概述

如果 CUT 的阻抗  $Z_2$  不等于接收机输入阻抗 (通常为  $50 \Omega$ )，则需要一个阻抗匹配电路。该电路应由一个串联电阻  $R_s$  和一个并联电阻  $R_p$  组成。电阻值和结构见 5.4.2~5.4.5。

### 5.4.2 内部系统阻抗

如果不知道内部系统 (同轴或准同轴) 的阻抗  $Z_2$ ，则应用时域反射计或以下方法确定。

网络分析仪应在连接器端口进行阻抗测量的校准。将待测样品一端与网络分析仪连接。测试频率应为样品长度  $1/8 \lambda$  的近似频率， $\lambda$  为波长。

$$f_{\text{test}} = \frac{c}{8 \times L_{\text{sample}} \times \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$f_{\text{test}}$  ——测试频率,单位为赫兹(Hz);

$c$  ——光速,  $3 \times 10^8$  m/s;

$L_{\text{sample}}$  ——样品长度,单位为米(m)。

在远端将样品短路。测量短路阻抗  $Z_{\text{short}}$ 。

在与短路处相同位置将样品开路。测量开路阻抗  $Z_{\text{open}}$ 。

$Z_2$  定义为

$$Z_2 = \sqrt{Z_{\text{short}} \times Z_{\text{open}}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

#### 5.4.3 $Z_2 < 50 \Omega$ 时的匹配电路

如果内部系统的阻抗  $Z_2$  和负载阻抗  $R_1$  小于  $50 \Omega$  时,则应使用式(6)、式(7):

$$R_s = 50 \times \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$R_p = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

其配置详见图 7。

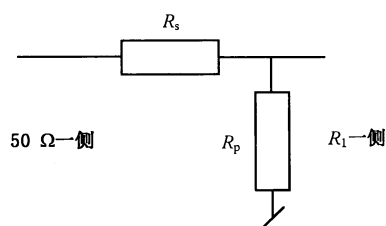


图 7  $Z_2 < 50 \Omega$  时的匹配电路

电路的电压增益  $k_m$  为:

$$k_m = \frac{R_1 R_p}{R_1 R_p + R_p R_s + R_1 R_s} \quad \dots\dots\dots (8)$$

#### 5.4.4 $Z_2 > 50 \Omega$ 时的匹配电路

如果内部系统的阻抗  $Z_2$  和负载阻抗  $R_2$  大于  $50 \Omega$  时,则应使用式(9)、式(10):

$$R_s = R_2 \sqrt{1 - \frac{50}{R_2}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$R_p = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_2}}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

其配置详见图 8。

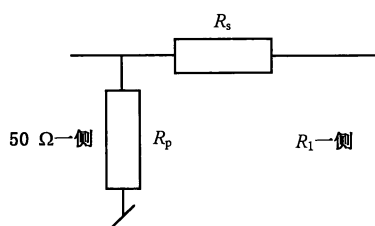


图 8  $Z_2 > 50 \Omega$  时的匹配电路

电路的电压增益  $k_m$  为:

$$k_m = \frac{R_2}{R_s + R_2}$$

.....( 11 )

6 试验样品的准备

6.1 概述

当频率上限到 1 GHz 时,两个发射器间推荐的试样长度为 0.5 m(参见 4.3)。对于 5.3 中所述的发射器,试验段长度以外的 CUT(被测电缆)应用黄铜或铜管进行屏蔽(见图 9 的  $h_1$  和  $h_2$ )。屏蔽管应采用焊接或压接的方式在 E 点处与电缆屏蔽 S 接触。如果采用焊接方式,应注意防止电缆绝缘过热。较好方法是选择管子的直径,从而使剥去外护套的 CUT 能插入管内,并用标准的压接工具固定。这种方法的优点是管子的紧密安置,可防止在 CUT 的试验段附近电缆编织 S 发生松散现象。另一种方法是用楔子来接触不可焊接的铝箔或编织电缆。

恰当的连接器(N,SMA)应连在 CUT 两端。它们被连接到终端负载和接收机电缆,并固定于屏蔽盒中(见图 10)。用 TDR 测试被测电缆(CUT)自身的电气性能。为防止机械损伤,在管子和 CUT 的试验部分直接的接点上应避免弯曲力。

为减少电磁能对自由端产生的不必要的耦合, $l_1$  和  $l_2$  的和不应超过 CUT 测试部分的长度。

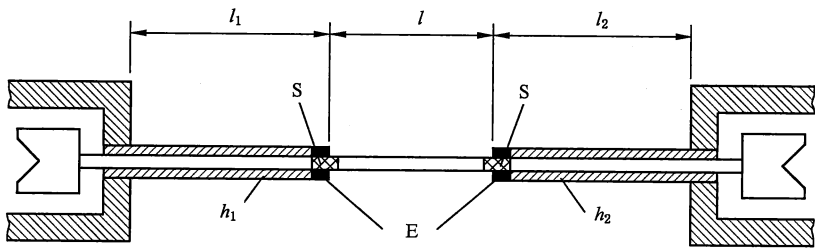


图 9 被测电缆(CUT)的制备

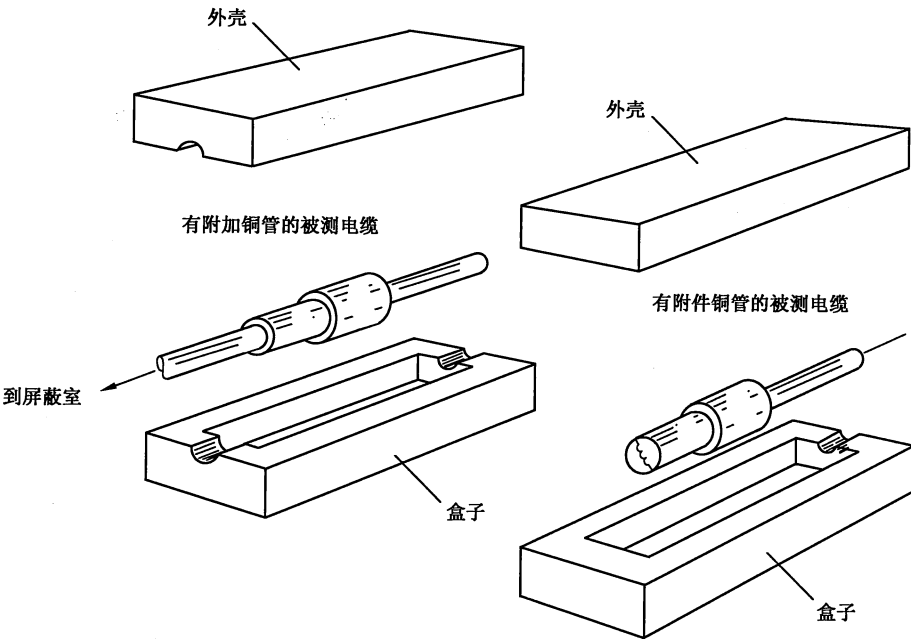


图 10 被测电缆(CUT)连接器的附加屏蔽

## 6.2 屏蔽对称电缆

屏蔽对称电缆应视为一个准同轴系统。因此,所有绞合线对的所有导体应在其两端分别连接在一起。所有屏蔽部分包括对绞线或星绞线的独立屏蔽层,应在两端都连接在一起。在整个周围都应保证屏蔽。

对称电缆样品的制备原则见图 11。

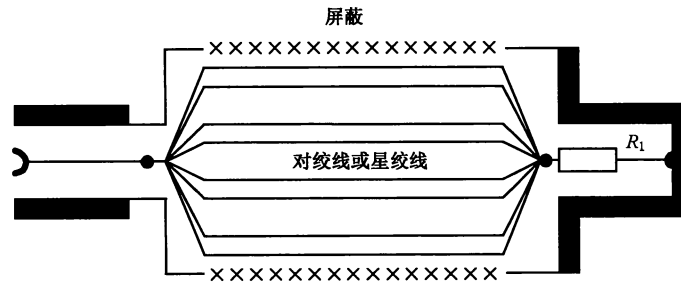


图 11 对称电缆样品的制备

## 6.3 屏蔽多芯电缆

屏蔽多芯电缆样品制备与屏蔽对称电缆样品制备相同。

# 7 测量

## 7.1 概述

按图 1 组装试验装置。需要时,应分别使用阻抗匹配器对 CUT 与接收机和负载进行匹配。

## 7.2 测量注意事项

### 7.2.1 外部电路电流的减小

当使用常规同轴设备进行远端测量时,接收机通常应接地。在低频段,当阻性影响超过感性影响,或在千赫兹的高频段部分产生谐振时,部分注入电流不会通过 CUT 的屏蔽层返回,而是直接流向大地。如果屏蔽层的电流不直接通过测试部分,这将会降低灵敏度,甚至导致测量误差。此问题可做如下解决:

- 避免在低频段进行远端测量(主要是指千赫兹频段);
- 在注入线的同轴馈线处使用共模扼流圈(在千赫兹高端和更高的频段);
- 如果发生器和接收机不在同一机架内时,其主电源上应使用隔离变压器,或给注入线的同轴馈线处加个隔离变压器(这种措施对从低频段开始的测量非常有效,但要注意避免纵向谐振)。

### 7.2.2 非受控电流

应特别注意在低频段不通过同轴馈路返回的接地电流。这种电流是流经非试验部分的设备,特别是接收机机架。所以,当测量高屏蔽衰减时,将不能得到所需的灵敏度。此时最好使用 7.2.1 中的隔离变压器的方法。

### 7.2.3 电缆屏蔽圆周方向不均匀性

由于注入线不覆盖整个电缆屏蔽四周,因此对于不均匀的电缆屏蔽,测试结果与注入线位置有关。为了充分覆盖圆周,应至少测量4次,每次相隔90°,其覆盖角度为60°~120°。当电缆直径大于10 mm时,可进行更多次测量。

### 7.3 校准

应在相关电缆规范中规定的转移阻抗的频率范围内,优先使用对数频率扫描法测量连接线和注入回路的复合损耗。应保存校准数据,以便可以对测量结果进行修正。

$$a_{\text{cal}} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{\text{gen,cal}}}{U_{\text{rec,cal}}} \right| \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

$U_{\text{gen,cal}}$ ——校准时发生器的输出电压;

$U_{\text{rec,cal}}$ ——校准时接收机的输入电压。

校准测量原理装置图见图12。

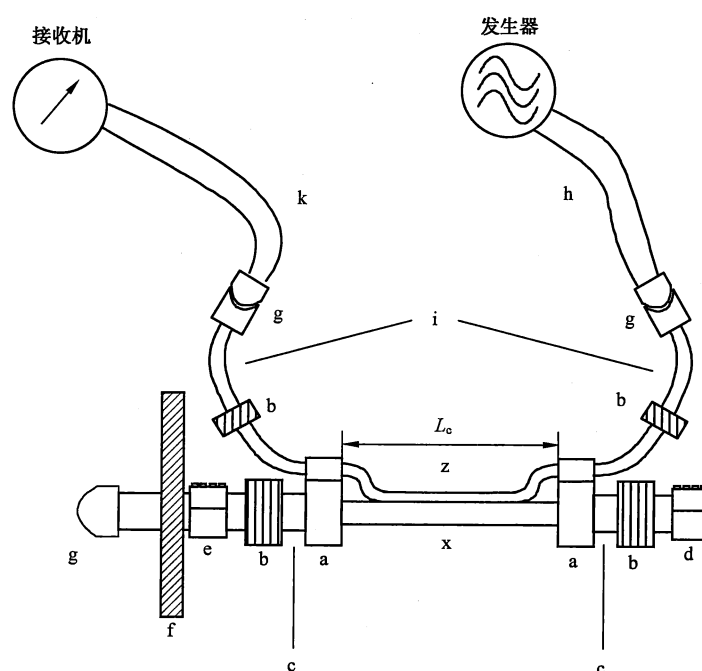


图 12 校准装置

### 7.4 测量程序

在确定转移阻抗的三同轴测量法(IEC 62153-4-3)中,通过对外部电路近端进行短路来实现通过电容的短路。在线注入电路中,转移阻抗  $Z_T$  和容性耦合阻抗  $Z_F$  在线缆上共同作用产生等效的转移阻抗  $Z_{TE}$ 。因此,应进行远端测量和近端测量。

衰减应在整个频段内优先采用对数频率扫描进行测量,测量频点应与校准频点相同。

考虑到电缆屏蔽圆周方向的不均匀性,应至少进行4次测量,相隔90°。

远端测量的原理装置图如图13所示。

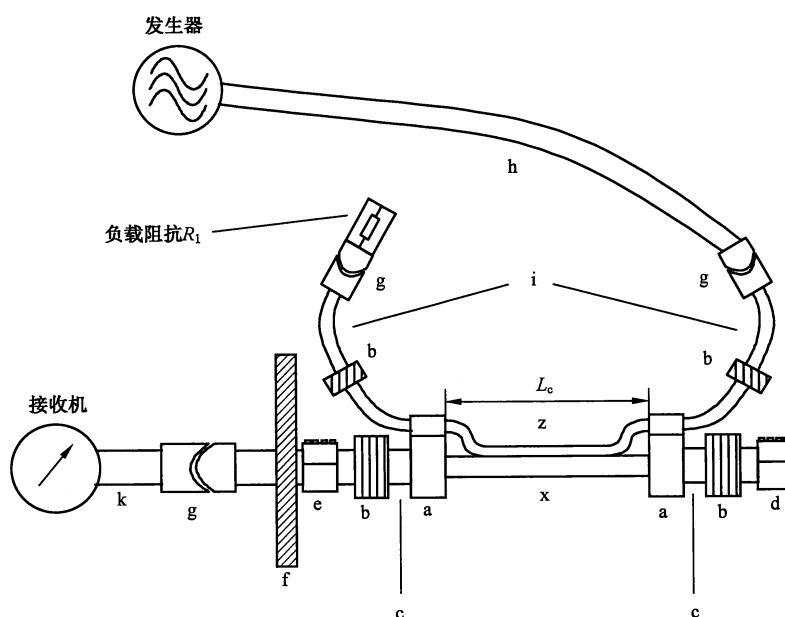


图 13 远端测量试验装置

$$a_{\text{meas}_f^n} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{\text{gen, meas}_f^n}}{U_{\text{rec, meas}_f^n}} \right| \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$U_{\text{gen, meas}}^n$ ——近端(n)或远端(f)测量时发生器的输出电压;

$U_{\text{rec, meas}}^n$  ——近端(n)或远端(f)测量时接收机的输入电压。

## 7.5 试验结果的评估

定义:

$$Z_{TE_f^n} \times L_c = \frac{2 \times U_{1_f^n}}{k_m \times I_2} = (Z_F \pm Z_T) \times L_c \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$I_2 = \frac{U_{2,n}}{R_{2,f}} \text{ pour } Z_T \times L_c \ll R_1 \dots\dots\dots (15)$$

$$Z_{TE_i^n} \times L_c = \frac{2 \times U_{1_i^n}}{k_m \times U_{2_n}} \times R_2 = (Z_F \pm Z_T) \times L_c \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$Z_{TE_f^n} = \frac{2R_2}{L_c k_m} 10^{\frac{-Ar_f^n}{20}} \dots\dots\dots (17)$$

$$A_{T_f^n} = a_{\text{meas}_f^n} - a_{\text{cal}} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$U_{1n}^n$  ——在 CUT 测量到近端(n)或远端(f)的感应电压;

$Z_{TE_i^n}$  ——近端(n)或远端(f)测量的等效转移阻抗;

$a_{\text{meas}}^{\text{n}}$ ——近端(n)或远端(f)测量的衰减,单位分贝(dB);

± ——近端测量用+,远端测量用-;

$a_{\text{cal}}$  ——校准过程中测得的复合损耗,单位分贝(dB);

$I_2$  ——注入回路在屏蔽层中产生的电流；

- $k_m$  ——阻抗匹配回路中的电压增益(见 5.4.3 和 5.4.4);  
 $L_c$  ——耦合长度,单位为米(m);  
 $R_2$  ——注入回路中的负载电阻(50  $\Omega$ ),单位欧姆( $\Omega$ );  
 $Z_F$  ——容性耦合阻抗;  
 $Z_{TE}$  ——等效的转移阻抗。

## 8 测试结果的表示

### 8.1 表示

等效转移阻抗的值在规定频率下用单位长度的  $Z_{TE}$  表示,频率应在相关电缆规范中规定。

### 8.2 温度修正

无需进行温度修正。

### 8.3 试验报告

应记录相关电缆规范规定的频率下的单位长度等效转移阻抗最大值,该值是在近端或远端至少进行 4 次测量获得。

## 9 要求

最大等效转移阻抗的结果应符合相关电缆规范中的规定值。

---

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准

金属通信电缆试验方法

第 4-6 部分:电磁兼容

表面转移阻抗 线注入法

GB/T 31723.406—2015/IEC 62153-4-6:2006

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)  
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

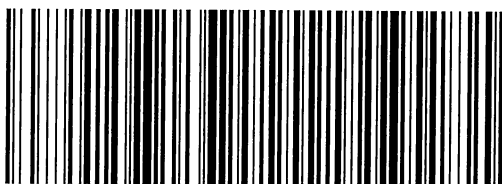
\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 26 千字  
2015 年 6 月第一版 2015 年 6 月第一次印刷

\*

书号: 155066 • 1-51052 定价 21.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 31723.406-2015