



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

静电放电电流靶校准规范

Calibration Specification for ESD Current Targets

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

静电放电电流靶校准规范

Calibration Specification for
ESD Current Targets

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院
中国计量科学研究院
上海泰峰检测认证有限公司

参加起草单位：南京容向测试设备有限公司

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

滕玉龙（上海市计量测试技术研究院）

黄攀（中国计量科学研究院）

詹畅（上海泰峰检测认证有限公司）

参加起草人：

黄玉瑋（上海市计量测试技术研究院）

邢立文（南京容向测试设备有限公司）

万一彬（上海市计量测试技术研究院）

目录

引言.....	II
1. 范围.....	1
2. 引用文件.....	1
3. 术语和计量单位.....	1
3.1. 转移阻抗.....	1
4. 概述.....	1
5. 计量特性.....	2
5.1. 输入阻抗.....	2
5.2. 转移阻抗.....	2
5.3. 插入损耗.....	2
6. 校准条件.....	2
6.1. 环境条件.....	2
6.2. 校准用设备.....	2
7. 校准项目和校准方法.....	3
7.1. 校准项目.....	3
7.2. 校准方法.....	3
8. 校准结果表达.....	5
9. 复校时间间隔.....	6
附录 A 原始记录内页格式.....	7
附录 B 校准证书内页格式.....	8
附录 C 测量结果不确定度评定示例.....	9
附录 D 靶适配线结构.....	14

引言

JJF1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范参考了下列文件：

GB/T 17626.2-2018/IEC 61000-4-2:2008 电磁兼容 试验和测量技术静电放电抗扰度试验和 GB/T 19951-2019 道路车辆 电气/电子部件对静电放电抗扰性的试验方法。

本规范为首次发布。

静电放电电流靶校准规范

1. 范围

本规范适用于用来测量静电放电发生器放电电流的同轴静电放电电流靶本体及其测量链路（包含衰减器和电缆等）（以下简称为静电放电电流靶）的校准。

2. 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 17626.2-2018/IEC 61000-4-2:2008 电磁兼容 试验和测量技术静电放电抗扰度试验。

GB/T 19951-2019 道路车辆 电气/电子部件对静电放电抗扰性的试验方法。

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3. 术语和计量单位

3.1. 转移阻抗 transfer impedance

测量链路电流输出端 50Ω 精密负载上的电压和注入到静电放电电流靶输入端的电流之比，单位：V/A。

4. 概述

静电放电电流靶是用于校准静电放电发生器放电电流的同轴靶。靶面由内导体、环形绝缘间隙和接地结构三部分组成。典型的 2Ω 靶内部由大约 25 个电阻值为 51Ω 的电阻并联于内电极和接地结构之间。静电放电电流靶正面结构图如图 1 所示。

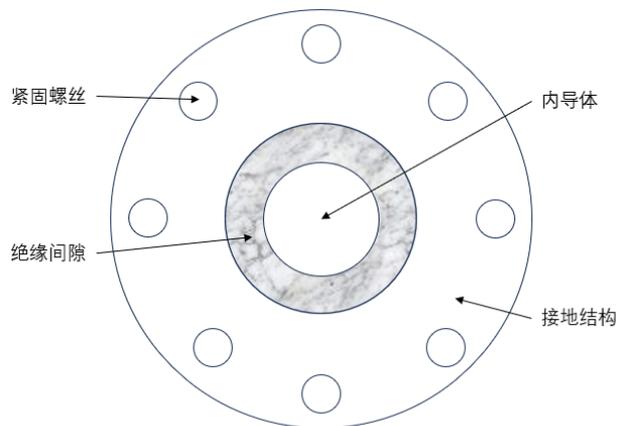


图 1 静电放电电流靶正面结构图

静电放电电流靶本体输出端接衰减器，衰减器的衰减量一般为 20dB，并与配套的同轴电缆共同组成测量链路。

5. 计量特性

5.1. 输入阻抗

直流阻抗：典型值为 1Ω 和 2Ω 。

5.2. 转移阻抗

直流转移阻抗： $(0.08\sim 0.25)\text{V/A}$ 。

注入正负电流下，测得的转移阻抗两者之间差值应小于 0.5%。

5.3. 插入损耗

在校准频率范围内，测量链路的插入损耗的变化量不应超过：

$\pm 0.5\text{dB}$, $f \leq 1\text{GHz}$;

$\pm 1.2\text{dB}$, $1\text{GHz} < f \leq 4\text{GHz}$ 。

6. 校准条件

6.1. 环境条件

a) 环境温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$;

b) 相对湿度： $(30 \sim 60)\%$;

c) 电源电压及频率： $(220 \pm 11)\text{V}$, $(50 \pm 1)\text{Hz}$;

d) 其他：周围无影响校准工作正常进行的电磁干扰及机械振动。

6.2. 校准用设备

6.2.1. 网络分析仪

频率范围： $9\text{kHz} \sim 4\text{GHz}$;

动态范围： $\geq 100\text{dB}$;

传输系数模值： $\pm 0.3\text{dB}$ 。

6.2.2. 靶适配线

一对靶适配线的总插入损耗： $\leq 0.3\text{dB}$, $9\text{kHz} \leq f \leq 4\text{GHz}$;

一对靶适配线的回波损耗： $\geq 30\text{dB}$, $9\text{kHz} \leq f \leq 1\text{GHz}$;

$\geq 20\text{dB}$, $1\text{GHz} < f \leq 4\text{GHz}$;

阻抗： $(50 \pm 1)\Omega$ 。

6.2.3. 直流电流源

直流电流范围： $(0.1 \sim 2)\text{A}$ ，最大允许误差： $\pm 0.2\%$ 。

6.2.4. 数字多用表

直流电压范围： $10\text{mV} \sim 10\text{V}$ ，最大允许误差： $\pm 0.1\%$;

电阻测量范围： $(0.1 \sim 10)\Omega$ ，最大允许误差： $\pm 0.5\%$ 。

6.2.5. 50Ω 负载

直流电阻： 50Ω ，最大允许误差： $\pm 1\%$ 。

6.2.6. 同轴衰减器

频率范围：9kHz~4GHz；
 衰减量：10dB，最大允许误差：±0.5dB；
 电压驻波比：≤1.2。

7. 校准项目和校准方法

7.1. 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	项目名称
1	输入阻抗
2	转移阻抗
3	插入损耗

7.2. 校准方法

7.2.1. 外观及工作正常性检查

被校静电放电电流靶-衰减器-电缆测量链路在使用和校准时，应始终视为一个整体，不应作单独或部分校准。

被校静电放电电流靶外观应完好，静电放电电流靶端面应平整，表面无明显锈蚀；检查完成后将结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.2.2. 输入阻抗

7.2.2.1 设置数字多用表为电阻测量功能，选择合适的量程，将表笔或测试线短接对电阻测量结果进行清零。

7.2.2.2 将测量链路的输出端开路，用数字多用表的表笔或测试线分别接触静电放电电流靶的内电极和接地结构，数字多用表的测量值即为测量链路的直流输入阻抗 R_{in} ，将结果记录于附录 A 表 A.2 中。

7.2.3. 转移阻抗

7.2.3.1 连接如图 2 所示

7.2.3.2 直流电流源输出正极端接静电放电电流靶的电流输入端内电极，静电放电电流靶-衰减器-电缆测量链路的输出端接 50Ω 负载，测量链路接地端和 50Ω 负载的电流输出端接直流电流源的回路端。

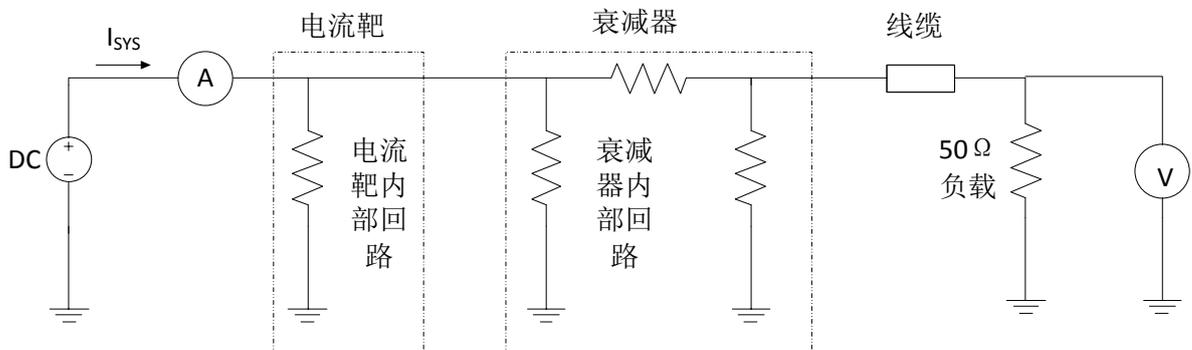


图 2 转移阻抗校准连接示意图

7.2.3.3 设置直流电流源输出电流 I_{sys} 为 1A (或按使用要求设置), 用数字多用表测量 50Ω 负载两端的电压 $V+$, 记录于附录 A 表 A.3 中。

7.2.3.4 用式(3)计算静电放电电流靶-衰减器-电缆测量链路的转移阻抗 Z_{sys+} , 将结果记录于附录 A 表 A.3 中。

$$Z_{sys} = \frac{V}{I_{sys}} \quad (3)$$

式中:

Z_{sys} ——测量链路的转移阻抗, V/A;

V ——测量链路电流输出端 50Ω 负载两端的电压, V;

I_{sys} ——注入到电静电放电电流靶输入端的电流, A。

7.2.3.5 交换直流电流源输出电流的极性, 重复上述步骤, 测量电压 $V-$ 和计算转移阻抗 Z_{sys-} , 将结果记录于附录 A 表 A.3 中。

7.2.3.6 按式(4)计算正负电流下转移阻抗的相对差值:

$$\Delta Z_{sys} = \left| \frac{Z_{sys+} - Z_{sys-}}{Z_{sys-}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

式中:

ΔZ_{sys} ——正负电流下转移阻抗的相对差值;

Z_{sys+} ——正电流下, 测得链路的转移阻抗, V/A;

Z_{sys-} ——负电流下, 测得链路的转移阻抗, V/A。

7.2.4. 插入损耗

7.2.4.1 设置网络分析仪的测量模式为传输测量 S_{21} , 扫描类型设置为对数频率, 源信号功率设置为 0dBm, 中频带宽设为不大于 100Hz, 起始频率为 9kHz, 终止频率大于等于 4GHz。

7.2.4.2 连接如图 3 所示, 将测试电缆和 10dB 衰减器接入网络分析仪的测试端口, 对网络分析仪进行 S_{21} 传输归一化校准。

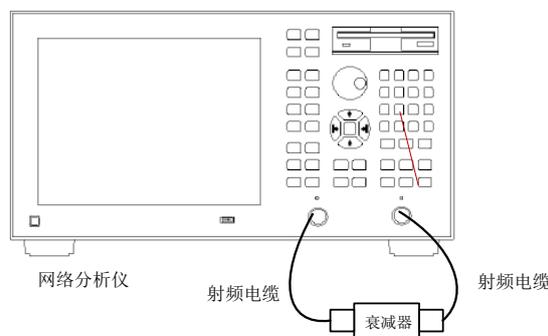


图 3 网络分析仪自校准连接示意图

7.2.4.3 连接如图 4 所示，将靶适配线和被校静电放电电流靶的端面对齐、紧密接触并固定后，接入自校完成后的网络分析仪测试电缆和衰减器之间。

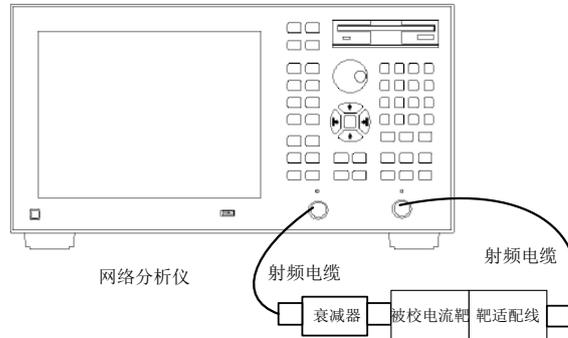


图 4 插入损耗校准连接示意图

7.2.4.4 在测量频率范围内均匀选取频率点，并用网络分析仪标记功能读取 9kHz~1GHz 和 1GHz~4GHz 范围内的插入损耗最大值和最小值，记录于附录 A 表 A.4 中。

7.2.4.5 用式(5)计算各个频率点的插入损耗，用式(6)计算插入损耗的变化量：

$$IL = A - IL_{ADT} \quad (5)$$

$$\Delta IL = 20 \log \left(\frac{2Z_{sys}}{R_{in} + 50} \right) - IL \quad (6)$$

式中：

IL ——被校静电放电电流靶的插入损耗值，dB；

A ——网络分析仪 S_{21} 测量结果，dB；

IL_{ADT} ——一个靶适配线的插入损耗值，可由原厂数据或单独校准得到，dB；

ΔIL ——插入损耗的变化量，dB；

Z_{sys} ——测量链路的转移阻抗，V/A；

R_{in} ——静电放电电流靶的输入阻抗， Ω 。

8. 校准结果表达

静电放电电流靶校准后，出具校准证书，校准证书至少应包含以下信息：

- 标题：“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同)；
- 证书的唯一性标识(如编号)，每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9. 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为 1 年。静电放电电流靶-衰减器-电缆测量链路在使用和校准时应始终视为一个整体，一旦一个部分变化了，全链需要重新校准来确保符合规范要求。

附录 A 原始记录内页格式

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

表 A.2 输入阻抗

标称值 (Ω)	测量值 (Ω)	不确定度 ($k=2$)

表 A.3 转移阻抗

电流源正极接内电极:

电流源输出电流(A)	负载两端电压 (V)	转移阻抗 (V/A)	不确定度 ($k=2$)

电流源正极接接地结构:

电流源输出电流(A)	负载两端电压 (V)	转移阻抗 (V/A)	不确定度 ($k=2$)

注入正负电流下,测得的转移阻抗两者之间差值_____。

表 A.4 插入损耗

插入损耗标准值: _____dB

校准频率 (MHz)	网络分析仪测量值 (dB)	靶适配线插入损 耗 (dB)	插入损耗变化量 (dB)	不确定度 ($k=2$)

附录 B 校准证书内页格式

表 B.1 输入阻抗

标称值 (Ω)	测量值 (Ω)	不确定度 ($k=2$)

表 B.2 转移阻抗

测量状态	测量值 (V/A)	不确定度 ($k=2$)	两者之间差值

表 B.3 插入损耗

插入损耗标准值: _____ dB

校准频率 (MHz)	插入损耗测量值 (dB)	插入损耗变化量 (dB)	不确定度 ($k=2$)

附录 C 测量结果不确定度评定示例

C.1 输入阻抗测量不确定度评定

C.1.1 测量模型

输入阻抗按式 (1) 计算:

$$R = R_i \quad (1)$$

式中:

R ——被校件的输入阻抗实测值, Ω ;

R_i ——数字多用表测量被校件的输入阻抗显示值, Ω 。

不确定度传播率按式 (2) 计算:

$$u_c = c_1 u(R_i) \quad (2)$$

其中, $c_1 = \frac{\partial R}{\partial R_i} = 1$ 。

C.1.2 不确定度来源

经分析, 不确定度来源如下:

- (1) 数字多用表阻抗测量误差引入的标准不确定度 u_1 ;
- (2) 数字多用表阻抗测量分辨力引入的标准不确定度 u_2 ;
- (3) 测量重复性引入的标准不确定度 u_3 。

C.1.3 标准不确定度分量评定

- (1) 数字多用表阻抗测量误差引入的标准不确定度 u_1

查阅数字多用表技术手册, 测量值为 2.017Ω 的直流阻抗的最大允许误差为 $\pm 0.5\%$, 即 $a_1 = 0.5\% \times 2.017\Omega = 1.01 \times 10^{-2}\Omega$, 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, 因此 $k_1 = \sqrt{3}$, 标准不确定度 $u_1 = 1.01 \times 10^{-2}\Omega / k_1 = 5.8 \times 10^{-3}\Omega$ 。

- (2) 数字多用表阻抗测量分辨力引入的标准不确定度 u_2

数字多用表测量值为 2.017Ω 的直流阻抗分辨力为 0.001Ω , 即 $a_2 = 0.0005\Omega$, 服从均匀分布, 取 $k_2 = \sqrt{3}$, 则标准不确定度 $u_2 = 0.0005\Omega / k_2 = 2.9 \times 10^{-4}\Omega$ 。

- (3) 测量重复性引入的标准不确定度 u_3

使用数字多用表对被校件的输入阻抗重复测量 10 次, 测量结果如表 C.1。

表 C.1 静电放电电流靶输入阻抗测量结果

测量次数	输入阻抗实测值 (Ω)
1	2.017
2	2.014
3	2.013
4	2.022
5	2.018
6	2.017
7	2.012
8	2.021
9	2.018
10	2.016

单次测量结果的实验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 3.2 \times 10^{-3}\Omega$ 。

标准测量不确定度使用实验标准差表示，则 $u_3 = s = 3.2 \times 10^{-3} \Omega$ 。

C.1.4 标准不确定度分量一览表

输入阻抗标准不确定度分量一览表如表 C.2。

表 C.2 输入阻抗标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数	输出量标准不确定度分类 (Ω)
	符号	数值 (Ω)		
数字多用表阻抗测量误差	u_1	5.8×10^{-3}	1	5.8×10^{-3}
数字多用表阻抗测量分辨力	u_2	2.9×10^{-4}	1	2.9×10^{-4}
测量重复性	u_3	3.2×10^{-3}	1	3.2×10^{-3}

C.1.5 合成标准不确定度

各不确定度分量彼此独立不相关，则合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 6.7 \times 10^{-3} \Omega$ 。

C.1.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U = ku_c = 0.02 \Omega$ 。

C.2 转移阻抗测量不确定度评定

C.2.1 测量模型

转移阻抗按式 (3) 计算：

$$Z_{\text{sys}} = \frac{V}{I_{\text{sys}}} \quad (3)$$

式中：

Z_{sys} ——测量链路的转移阻抗，V/A；

V ——测量链路电流输出端 50Ω 负载两端的电压，V；

I_{sys} ——注入到电静电放电电流靶输入端的电流，A。

不确定度传播率按式 (4) 计算：

$$u_c = c_1 u(V) + c_2 u(I_{\text{sys}}) \quad (4)$$

其中， $c_1 = \frac{\partial Z_{\text{sys}}}{\partial V} = \frac{1}{I_{\text{sys}}}$ ， $c_2 = \frac{\partial Z_{\text{sys}}}{\partial I_{\text{sys}}} = -\frac{V}{I_{\text{sys}}^2}$ 。

C.2.2 不确定度来源

经分析，不确定度来源如下：

- (1) 数字多用表直流电压测量误差引入的标准不确定度 u_1 ；
- (2) 数字多用表直流电压测量分辨力引入的标准不确定度 u_2 ；
- (3) 直流电流源输出电流测量误差引入的标准不确定度 u_3 ；
- (4) 直流电流源输出电流测量分辨力误差引入的标准不确定度 u_4 ；
- (5) 50Ω 负载阻值的误差引入的标准不确定度 u_5 ；
- (6) 测量重复性引入的标准不确定度 u_6 。

C.2.3 标准不确定度分量评定

- (1) 数字多用表直流电压测量误差引入的标准不确定度 u_1

查阅数字多用表技术手册，测量值为 191.19 mV 的直流电压的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ ，即 $a_1 = 0.1\% \times 0.19119 \text{ V} = 1.9 \times 10^{-4} \text{ V}$ ，测量值落在该区间内的概率分布为均匀

分布，因此 $k_1 = \sqrt{3}$ ，标准不确定度 $u_1 = 1.9 \times 10^{-4} \text{V}/k_1 = 1.1 \times 10^{-4} \text{V}$ 。

(2) 数字多用表直流电压测量分辨力引入的标准不确定度 u_2

数字多用表测量值为 191.19mV 的直流电压的分辨力为 0.01mV，即 $a_2 = 0.005 \text{mV}$ ，服从均匀分布，取 $k_2 = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度 $u_2 = 5 \times 10^{-6} \text{V}/k_2 = 2.9 \times 10^{-6} \text{V}$ 。

(3) 直流电流源输出电流测量误差引入的标准不确定度 u_3

使用数字多用表测量直流电源的输出电流，查阅数字多用表技术手册，测量值为 1.00004A 电流时的最大允许误差为 $\pm 0.2\%$ ，即 $a_3 = 0.2\% \times 1.00004 \text{A} = 2 \times 10^{-3} \text{A}$ ，测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布，因此 $k_3 = \sqrt{3}$ ，标准不确定度 $u_3 = 2 \times 10^{-3} \text{A}/k_3 = 1.2 \times 10^{-3} \text{A}$ 。

(4) 直流电流源输出电流测量分辨力误差引入的标准不确定度 u_4

使用数字多用表测量直流电源的输出电流，查阅数字多用表技术手册，测量值为 1.00004A 电流时的分辨力为 0.00001A，即 $a_4 = 5 \times 10^{-6} \text{A}$ ，服从均匀分布，取 $k_4 = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度 $u_4 = 5 \times 10^{-6} \text{A}/\sqrt{3} = 2.9 \times 10^{-6} \text{A}$ 。

(5) 50 Ω 负载阻值的误差引入的标准不确定度 u_5

根据转移阻抗校准连接图，被校靶、衰减器与 50 Ω 负载形成并联，50 Ω 负载阻值的最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，根据计算，负载的阻值误差对负载上所测得电压的影响为 $\pm 0.04\%$ ，服从均匀分布，取 $k_5 = \sqrt{3}$ ，对于值为 0.19119V/A 的转移阻抗，则标准不确定度 $u_5 = 0.19119 \text{V/A} \times 0.04\%/\sqrt{3} = 4.4 \times 10^{-5} \text{V/A}$ 。

(6) 测量重复性引入的标准不确定度 u_6 。

对被校设备的转移阻抗重复测量 10 次，测量结果如表 C.3。

表 C.3 静电放电电流靶转移阻抗测量结果

测量次数	转移阻抗实测值 (V/A)
1	0.19239
2	0.18825
3	0.19168
4	0.19561
5	0.19190
6	0.18933
7	0.19144
8	0.18795
9	0.19056
10	0.19274

单次测量结果的实验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.3 \times 10^{-3} \text{V/A}$ 。

标准测量不确定度使用实验标准差表示，则 $u_3 = s = 2.3 \times 10^{-3} \text{V/A}$ 。

C.2.4 标准不确定度分量一览表

转移阻抗标准不确定度分量一览表如表 C.4。

表 C.4 转移阻抗标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数	输出量标准不确定度分类 (V/A)
	符号	数值		
数字多用表电压测量误差	u_1	$1.1 \times 10^{-4}(\text{V})$	$1(\text{A}^{-1})$	1.1×10^{-4}
数字多用表电压测量分辨力	u_2	$2.9 \times 10^{-6}(\text{V})$	$1(\text{A}^{-1})$	2.9×10^{-6}
直流电流源输出电流测量误差	u_3	$1.2 \times 10^{-3}(\text{A})$	$-0.191(\text{V} \cdot \text{A}^{-2})$	-2.2×10^{-4}
直流电流源输出电流测量分辨力	u_4	$2.9 \times 10^{-6}(\text{A})$	$-0.191(\text{V} \cdot \text{A}^{-2})$	-5.5×10^{-7}
负载阻值的误差	u_5	$4.4 \times 10^{-5}(\text{V/A})$	1	4.4×10^{-5}
测量重复性	u_6	$2.3 \times 10^{-3}(\text{V/A})$	1	2.3×10^{-3}

C.2.5 合成标准不确定度

各不确定度分量彼此独立不相关，则合成标准不确定度： $u_c =$

$$\sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_1^2 u_2^2 + c_2^2 u_3^2 + c_2^2 u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 2.3 \times 10^{-3} \text{V/A}.$$

C.2.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U = k u_c = 0.005 \text{V/A}$ 。

C.3 插入损耗测量不确定度评定

C.3.1 测量模型

插入损耗按式 (5) 计算：

$$IL = A - IL_{\text{ADT}} \quad (5)$$

式中：

IL ——被校静电放电电流靶的插入损耗实测值，dB；

A ——网络分析仪 S21 测量结果，dB；

IL_{ADT} ——一个靶适配线的插入损耗值，可由原厂数据或单独校准得到，dB。

不确定度传播率按式 (6) 计算：

$$u_c = c_1 u(A) + c_2 u(IL_{\text{ADT}}) \quad (6)$$

其中， $c_1 = \frac{\partial IL}{\partial A} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial IL}{\partial IL_{\text{ADT}}} = -1$ 。

C.3.2 不确定度来源

经分析，不确定度来源如下：

- (1) 网络分析仪插入损耗测量误差引入的标准不确定度 u_1 ；
- (2) 网络分析仪插入损耗测量分辨力引入的标准不确定度 u_2 ；
- (3) 靶适配线入损耗误差引入的标准不确定度 u_3 ；
- (4) 测量重复性引入的标准不确定度 u_4 。

C.3.3 标准不确定度分量评定

- (1) 网络分析仪插入损耗测量误差引入的标准不确定度 u_1

查阅网络分析仪技术手册，在 1GHz 频率下测量值为 (40~50) dB 的传输系数时的不确定度为 0.3dB， $k_1 = 2$ ，标准不确定度 $u_1 = 0.3\text{dB}/k_1 = 0.15\text{dB}$ 。

- (2) 网络分析仪插入损耗测量分辨力引入的标准不确定度 u_2

网络分析仪在 1GHz 频率下测量值为 (40~50)dB 的传输系数的分辨力为 0.001dB，

即 $a_2 = 0.0005\text{dB}$ ，服从均匀分布，取 $k_2 = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度 $u_2 = 0.0005\text{dB}/k_2 = 2.9 \times 10^{-4}\text{dB}$ 。

(3) 靶适配线插入损耗误差引入的标准不确定度 u_3

靶适配线插入损耗标称值的不确定度为 0.1dB, $k_3 = 2$, 则标准不确定度 $u_3 = 0.1\text{dB}/k_2 = 0.05\text{dB}$

(4) 测量重复性引入的标准不确定度 u_4

使用网络分析仪对被校件的插入损耗重复测量 10 次, 测量结果如表 C.5。

表 C.5 静电放电电流靶插入损耗测量结果

测量次数	插入损耗实测值 (dB)
1	-43.105
2	-43.121
3	-43.093
4	-43.131
5	-43.127
6	-43.091
7	-43.142
8	-43.089
9	-43.113
10	-43.101

单次测量结果的实验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.018\text{dB}$ 。

标准测量不确定度使用实验标准差表示, 则 $u_3 = s = 0.018\text{dB}$ 。

C.3.4 标准不确定度分量一览表

插入损耗标准不确定度分量一览表如表 C.6。

表 C.6 插入损耗标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数	输出量标准不确定度分类 (dB)
	符号	数值 (dB)		
网络分析仪插入损耗测量误差	u_1	0.15	1	0.15
网络分析仪插入损耗测量分辨力	u_2	2.9×10^{-4}	1	2.9×10^{-4}
靶适配线插入损耗误差	u_3	0.05	1	0.05
测量重复性	u_4	0.018	1	0.018

C.3.5 合成标准不确定度

各不确定度分量彼此独立不相关, 则合成标准不确定度: $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} =$

0.159dB。

C.3.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 $U = ku_c = 0.32\text{dB}$ 。

附录 D 靶适配线结构

靶适配线的作用，是在几何上扩大同轴电缆的直径至被校静电放电电流靶的直径，因此，其一端应能连接到同轴电缆，另一端的内部导体的外直径应等于被校静电放电电流靶内电极的直径，并且能与被校靶紧密、牢固地连接。图 D.1 给出了一种靶适配线的正面图实例。

靶适配线的制作应通过选取合适的内导体外径与接地结构内径比及填充材料的介电常数，以使靶适配线的特性阻抗为 $50\ \Omega$ 。靶适配线应在 4GHz 带宽下保持 $(50\pm 1)\ \Omega$ 。两个面对面放置的靶适配线的回波损耗至 1GHz 时应优于 30dB，至 4GHz 时，应优于 20dB，总插入损耗至 4GHz 时应少于 0.3dB。

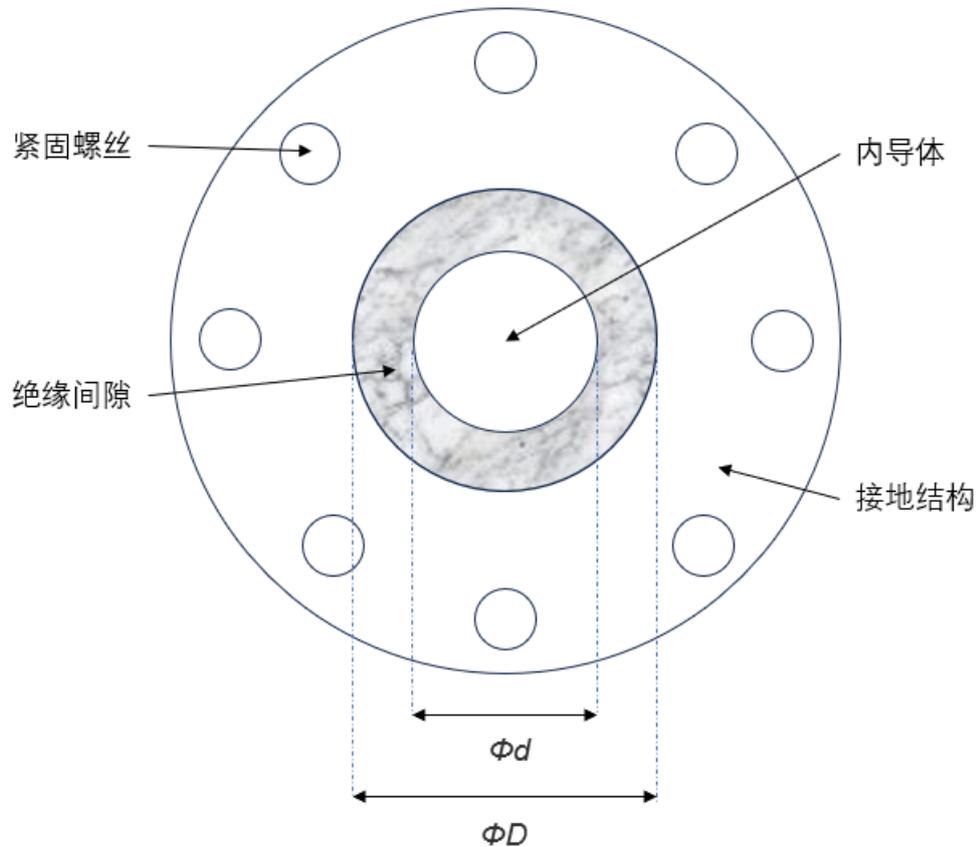


图 D.1 靶适配线正面图实例