



中华人民共和国纺织行业计量技术规范

JJF(纺织) 117—2024

纺织品静电衰减性能试验仪校准规范

Calibration Specification for

Textile Electrostatic Decay Performance Testers

(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

纺织品静电衰减性能试验 仪校准规范

Calibration Specification for Textile
Electrostatic Decay Performance Testers

JJF（纺织） 117—2024

归口单位：中国纺织工业联合会

起草单位：山东省纺织科学研究院

苏州赛宝校准技术服务有限公司

江苏省纺织产品质量监督检验研究院

河北省产品质量监督检验研究院

温州方圆仪器有限公司

南通宏大实验仪器有限公司

温州市大荣纺织仪器有限公司

莱州元茂仪器有限公司

本规范委托全国纺织计量技术委员会负责解释

本规范起草人：

王 慧（山东省纺织科学研究院）
张 彤（江苏省纺织产品质量监督检验研究院）
张 雪（河北省产品质量监督检验研究院）
杨成丽（山东省纺织科学研究院）
徐华东（温州方圆仪器有限公司）
杨卫林（南通宏大实验仪器有限公司）
葛哲忠（温州市大荣纺织仪器有限公司）
陈万松（苏州赛宝校准技术服务有限公司）
李春钢（莱州元茂仪器有限公司）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
5 校准条件.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(3)
7 校准结果表达.....	(6)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 纺织品静电衰减性能试验仪校准记录格式	(7)
附录 B 纺织品静电衰减性能试验仪校准证书内页格式	(9)
附录 C 纺织品静电衰减性能试验仪测量不确定度评定示例	(10)
附录 D 校准金属板	(24)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列文件。

本规范参考了 GB/T 33728—2017《纺织品 静电性能的评定 静电衰减法》中有关试验仪器的相关技术指标及试验方法。

本规范为首次发布。

纺织品静电衰减性能试验仪校准规范

1 范围

本规范适用于纺织品静电衰减性能试验仪（以下简称静电衰减仪）的校准。其他工作原理相同、结构类似的检测仪器校准可参照本规范执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

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 概述

静电衰减仪用于测定静电防护材料在表面被充电至 $\pm 5000\text{V}$ 后，接地时静电防护材料能够消除诱导到材料表面的电荷的能力（即静电衰减性能）。静电衰减仪主要由试验箱（其中包含感应探头，试样夹持装置）高压发生器以及测控系统组成（见图1）。工作原理：高压发生器产生一定高压通过试样夹持装置施加到试样，用感应探头测量试样表面静电电压，待试样表面静电电压稳定后停止施压，测定试样通过接地后试样表面静电电压衰减至一定电压所需的静电衰减时间。

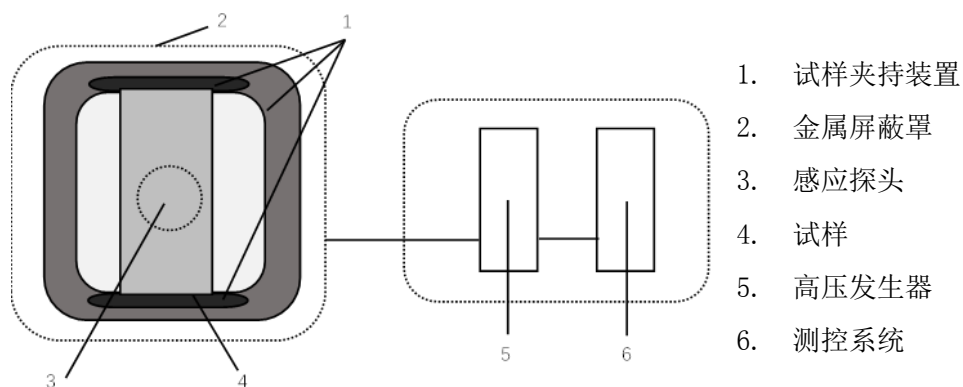


图 1 静电衰减仪结构示意图

4 计量特性

- 4.1 感应探头距试样表面距离调整块尺寸：（25±1）mm。
- 4.2 夹持试样两端距离：（130±5）mm。
- 4.3 感应电压示值误差：±5%。
- 4.4 静电衰减时间示值误差：±50ms（静电衰减时间<1s）和
±0.5s（静电衰减时间≥1s）。

5 校准条件

5.1 环境要求

环境温度：（20±2）℃；

环境相对湿度：（35±5）%。

5.2 其他条件

5.2.1 静电衰减仪应置于稳固的水平基础上，周围应清洁，无腐蚀性介质，无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2.2 校准金属板与被校仪器需在 5.1 环境条件下平衡 4h。

5.3 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 1。

表 1 测量标准及其他设备

序号	测量标准及其他设备名称	测量范围、分度值或分辨力	不确定度或准确度等级或最大允许误差	数量
1	数字高压表	测量范围：（0~10）kV，分辨力：1V	±0.5%	1
2	示波器（配高压差分探头具备记忆功能）	测量范围：1ms~60s，分度值：1ms	±2%	1
3	电子秒表	测量范围：（0.1~60）s，分辨力：0.01s	±0.10s/h	1
4	游标卡尺	测量范围：（0~150）mm，分度值：0.02mm	±0.03mm	1
5	校准金属板	由纯铝板或纯铜板等良导体制成，尺寸为（70±5）mm×（140±5）mm。		1

注 1：校准用测量标准可选用本表所列，也可选用测量范围覆盖被校准量的测量范围，其测量结果扩展不确定度 $U(k=2)$ 不大于校准量最大允许误差绝对值 1/3 的测量标准。

注 2：校准金属板选择详见附录 D。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前准备

6.1.1 仪器在适当的位置应装有铭牌，铭牌上需标明型号、制造商、设备编号等信息。

6.1.2 静电衰减仪各开关、按键、旋钮应灵活可靠，零部件应紧固无松动，表面光洁均匀，无碰伤、毛刺、裂纹、漆层或镀层脱落、锈蚀等缺陷。

6.1.3 通电状态下，电压指示灯正常工作，亮度均匀，数据显示字迹清晰。

6.1.4 检查屏蔽罩应为金属材质。

6.2 校准项目

静电衰减仪校准项目对应本规范计量特性条款和校准方法条款见表 2。

表 2 静电衰减仪校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	感应探头距试样表面距离调整块尺寸	4.1	6.3.1
2	夹持试样两端距离	4.2	6.3.2
3	感应电压示值误差	4.3	6.3.3
4	静电衰减时间示值误差	4.4	6.3.4

6.3 校准方法

6.3.1 感应探头距试样表面距离调整块尺寸

使用游标卡尺外量爪测量调整块两端距离，重复测量 3 次，取 3 次测量结果的算数平均值作为感应探头距试样表面距离调整块尺寸。

6.3.2 夹持试样两端距离

使用游标卡尺外量爪直接测量试样夹持装置中间及两端位置夹持距离，重复测量 3 次，取 3 次测量结果的算数平均值作为夹持试样两端距离。

6.3.3 感应电压示值误差

6.3.3.1 将校准金属板安装到静电衰减仪试样夹持装置中，把数字高压表高压测试线连接在校准金属板上。数字高压表调节到直流电压档，并把数字高压表与静电衰减仪共地（见图 2），静电衰减仪高压发生器通过试样夹持装置给校准金属板施加电压，静电衰减仪通过感应探头感应校准金属板表面电压。

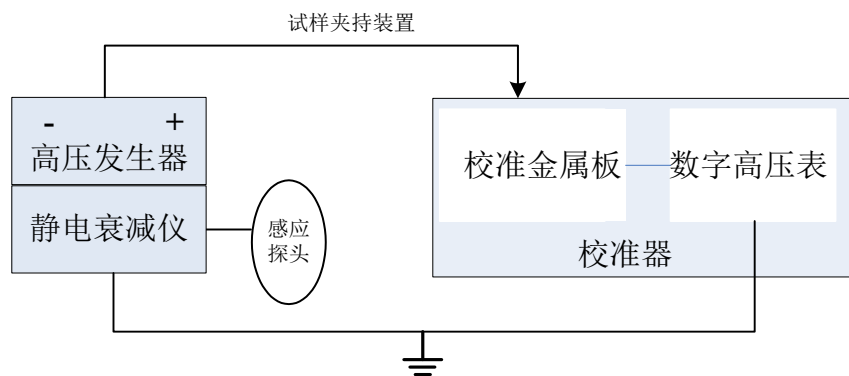


图2 静电衰减仪感应电压校准示意图

6.3.3.2 选取+5000V、+500V、-5000V 和-500V 四个校准点，给校准金属板供电，使数字高压表电压示值为校准点电压值，待感应电压示值稳定后，同时记录静电衰减仪电压示值和数字高压表电压实测值，按公式（1）计算感应电压示值误差，每个校准点重复测量3次，3次测量结果平均值为该校准点感应电压示值误差，取感应电压示值误差最大值为静电衰减仪感应电压示值误差。

$$\delta = \frac{V - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ ——感应电压示值误差，%；

V ——静电衰减仪电压示值， V ；

V_s ——数字高压表电压实测值， V 。

6.3.4 静电衰减时间示值误差

静电衰减时间<1s的示值误差，使用示波器及高压差分探头作为标准器进行计量校准，静电衰减时间≥1s的示值误差，使用电子秒表作为标准器进行计量校准。

6.3.4.1 静电衰减时间<1s 示值误差

将校准金属板安装到静电衰减仪试样夹持装置中，将高压差分探头一端连接到示波器，另一端连接到校准金属板上（见图3）。调节示波器，选择合适的电压、时间档及正确的触发模式，使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。记录感应电压示值。

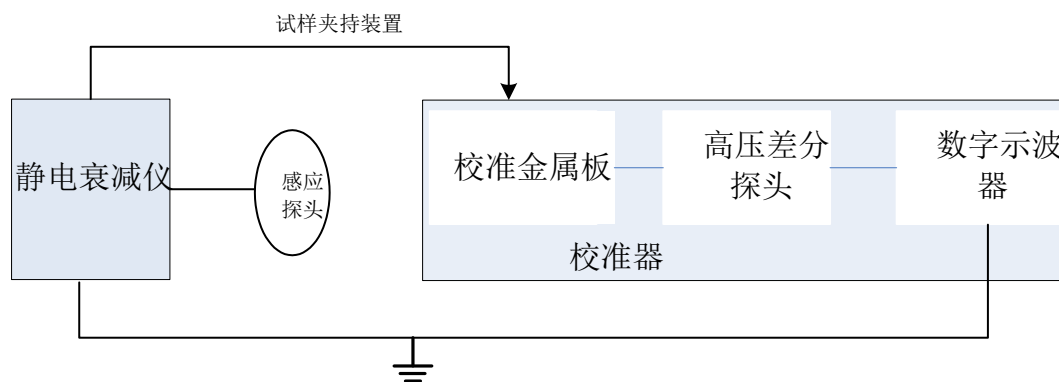


图3 静电衰减仪静电衰减时间校准示意图

测试前确保校准金属板电荷释放完全。启动被校仪器高压给校准金属板充电至静电衰减仪感应电压示值+5000V，待感应电压示值稳定后，点击仪器接地按钮，使校准金属板接地释放电压，通过示波器监测电压变化波形，记录校准金属板上电压从初始电压+5000V 接地瞬间的时间 t_{s1} 衰减到+500V 的时间 t_{s2} ，按公式（2）计算静电衰减时间示值误差。

$$\Delta t = t - (t_{s2} - t_{s1}) \quad (2)$$

式中：

Δt ——静电衰减时间示值误差，ms；

t ——静电衰减仪静电衰减时间示值，ms；

t_{s1} ——示波器电压从+5000V 衰减起始时间读数，ms；

t_{s2} ——示波器电压衰减至+500V 时间读数，ms。

按上述步骤重复测量3次，3次静电衰减时间示值误差的平均值，为静电衰减仪静电衰减时间（<1s）示值误差。

6.3.4.2 静电衰减时间 $\geq 1s$ 示值误差

选取静电衰减时间在1s~60s范围内的试样进行测试，试样裁取3块。

将试样放入试样夹具中，启动被校仪器高压使静电衰减仪感应电压示值+5000V，待感应电压示值稳定后，点击仪器接地按钮，同时启动电子秒表，当静电衰减仪显示电压从+5000V衰减至+500V时按停电子秒表计时，读取静电衰减仪静电衰减时间 t 和电子秒表读数 t_x ，按公式（3）计算静电衰减时间（ $\geq 1s$ ）示值误差。

$$\Delta t = t - t_x \quad (3)$$

式中:

Δt ——静电衰减时间示值误差, s;

t ——静电衰减仪静电衰减时间示值, s;

t_x ——电子秒表实测值, s。

按上述方法重复测量 3 次, 3 次静电衰减时间示值误差平均值为静电衰减仪静电衰减时间 ($\geq 1s$) 示值误差。

7 校准结果

7.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果。推荐的校准记录格式见附录 A。

7.2 校准证书

经校准的静电衰减仪应出具校准证书, 校准结果应在校准证书上反映。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071—2010 中 5.12 的要求, 推荐的校准证书内页格式见附录 B。

7.3 不确定度

校准证书应给出各校准结果的扩展不确定度, 评定示例见附录 C。

8 复校时间间隔

在定期进行期间核查的条件下, 建议复校时间间隔一般不超过 1 年。

注: 由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

纺织品静电衰减性能试验仪校准记录参考格式

委托方：设备编号：原始记录号：

型号规格：产品编号：出厂日期：发证编号：

制造厂：温度：℃湿度：%RH

校准日期：年 月 日校准地点：

校准依据:JJF（纺织） xxx—xxxx 纺织品静电衰减性能试验仪校准规范

一、校准前准备：

二、计量特性校准：

序号	校准项目	技术要求			实测结果				
1	感应探头距试样表面距离调整块尺寸（mm）	(25±1) mm			1	2	3	平均值	$U(k=2)$
2	夹持试样两端距离（mm）	(130±5) mm			1	2	3	平均值	$U(k=2)$
3	感应电压示值误差（%）	±5%	校准点		1	2	3	平均值	$U(k=2)$
			+5000V	示值					
				实测值					
				误差值 δ					
			+500V	示值					
				实测值					
				误差值 δ					
			-5000V	示值					
				实测值					
				误差值 δ					
			-500V	示值					
				实测值					
				误差值 δ					
4	静电衰减时间示值误差	测量范围<1s	±50ms	校准点	1	2	3	平均值	$U(k=2)$
				示值					
				实测值					

				误差值 $\overline{\Delta t}$					
		测量范围 $\geq 1s$	$\pm 0.5s$	校准点	1	2	3	平均值	$U(k=2)$
				示值					
				实测值					
				误差值 $\overline{\Delta t}$					
备 注									

使用主要计量标准器具：

设备名称/型号

编号

证书号/有效期

技术特征

器具状态

校准单位：

校准员：

审核员：

附录 B

纺织品静电衰减性能试验仪校准证书内页参考格式

校 准 结 果

证书编号：原始记录编号：第 页，共 页

校准项目		技术要求	校准结果	扩展不确定度 $U(k=2)$
感应探头距试样表面距离调整块尺寸		$(25\pm1)\text{ mm}$		
夹持试样两端距离		$(130\pm5)\text{ mm}$		
感应电压示值误差		$\pm 5\%$		
静电衰减时间示值误差	测量范围<1s	$\pm 50\text{ ms}$		
	测量范围≥1s	$\pm 0.5\text{ s}$		

以下空白

附录 C

纺织品静电衰减性能试验仪测量不确定度评定示例

C.1 感应探头距试样表面距离调整块尺寸校准不确定度的评定

C.1.1 概述

使用测量范围为(0~150)mm,分度值为0.02mm,最大允许示值误差为 ± 0.03 mm的游标卡尺直接测量测量块两端距离,重复测量三次,取三次测量结果的算术平均值作为感应探头距试样表面距离调整块尺寸。

C.1.2 测量模型

$$l = b \quad (\text{C.1})$$

式中:

l ——感应探头距试样表面距离调整块尺寸, mm;

b ——游标卡尺3次实测值算术平均值, mm。

由于游标卡尺与静电衰减仪彼此独立,互不相关,因此,感应探头距试样表面距离调整块尺寸标准不确定度可由式(C.2)计算:

$$u_c(l) = u(b) \quad (\text{C.2})$$

C.1.3 感应探头距试样表面距离调整块尺寸测量结果的不确定度评定

输入量 b 的标准不确定度 $u(b)$ 来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(b)$ 、游标卡尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(b)$ 和游标卡尺分度估读化误差引起的标准不确定度 $u_3(b)$ 。

C.1.3.1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(b)$ 的评定

可采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度,即采用A类方法进行评定。

在重复性条件下用游标卡尺直接测量测量块两端距离,连续10次测量,得到一测量列(单位: mm): 25.02、25.06、25.00、25.08、25.00、25.04、25.10、25.00、25.06、25.04。

则测量结果的试验标准偏差 s_p 为:

$$\text{平均值} \quad \bar{b} = \frac{\sum_{i=1}^{10} b_i}{10} = 25.04 \text{mm} \quad (\text{C. 3})$$

$$\text{标准偏差} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (b_i - \bar{b})^2}{10-1}} = 0.0353 \text{mm} \quad (\text{C. 4})$$

实际测量情况: 在重复性条件下连续测量 3 次 ($m=3$), 以 3 次测量算术平均值为测量结果, 则可得到测量块测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(b) = \frac{S_p}{\sqrt{m}} = \frac{0.0353}{\sqrt{3}} = 0.02038 \text{mm} \quad (\text{C. 5})$$

C. 1. 3. 2 游标卡尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(b)$ 的评定

游标卡尺示值误差引起的标准不确定度可根据检定证书或校准证书给出的该游标卡尺的最大允许误差来评定, 属均匀分布, 可采用 B 类方法评定。

游标卡尺最大允许误差为 $\pm 0.03 \text{mm}$, 即 $a = 0.03 \text{mm}$, 通常认为在区间内服从均匀分布, 即包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则游标卡尺在校准点示值的标准不确定度 $u_2(b)$:

$$u_2(b) = \frac{a}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.0173 \text{mm} \quad (\text{C. 6})$$

C. 1. 3. 3 游标卡尺分度值量化误差引起的标准不确定度 $u_3(b)$ 的评定

游标卡尺分度值为 0.02mm , 按 1 分度进行估读, 其估读误差分布在半宽度为 $a = \frac{0.02 \text{mm}}{2} = 0.01 \text{mm}$ 的区间内, 属均匀分布, 即包含因子 $k = \sqrt{3}$, 故引入的不确定度为:

$$u_3(b) = \frac{a}{k} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{mm} \quad (\text{C. 7})$$

为避免重复计算, 在测量重复性与分度值量化误差引入的标准不确定度中选取较大值合成。

C. 1. 3. 4 标准不确定度分量汇总

由于游标卡尺与静电衰减仪彼此独立, 互不相关, 标准不确定度 $u_1(b)$ 、 $u_2(b)$ 和 $u_3(b)$ 也相互独立, 各分量的标准不确定度汇总如表 C. 1 所示。

表 C. 1 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度 (mm)	备注
1	测量重复性	$u_1(b)$	A	正态	1	0.02038	
2	游标卡尺示值误差	$u_2(b)$	B	均匀	1	0.0173	
3	游标卡尺分度值估读误差	$u_3(b)$	B	均匀	1	0.0058	忽略

C.1.4 感应探头距试样表面距离调整块尺寸标准不确定度来源计算

$$\begin{aligned}
 u(b) &= \sqrt{u_1^2(b) + u_2^2(b)} \\
 &= \sqrt{0.02038^2 + 0.0173^2} \\
 &= 0.0267\text{mm}
 \end{aligned}
 \tag{C.8}$$

感应探头距试样表面距离调整块尺寸测量的标准不确定度:

$$u_c(l) = u_c(b) = 0.0267\text{mm} \tag{C.9}$$

C.1.5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(l) = 2 \times 0.0267 = 0.0534\text{mm} \approx 0.1\text{mm} \tag{C.10}$$

C.1.6 测量结果不确定度的报告与表示

感应探头距试样表面距离调整块尺寸测量扩展不确定度为:

$$U = 0.1\text{mm} \quad k = 2。$$

C.2 感应电压示值误差测量不确定度的评定

C.2.1 概述

用测量范围 0-10000V，分辨率：1V，最大允许误差 $\pm 0.5\%$ 的数字高压表作为标准校准器，测量静电衰减仪感应电压示值误差。

校准的试验操作：以+5000V 校准点为例。将校准金属板安装到静电衰减仪试样夹持装置中，把数字高压表高压测试线连接在校准金属板上。数字高压表调节到直流电压档，并把数字高压表与静电衰减仪共地。将静电衰减仪高压发生器设定好，给校准金属板供电，使数字高压表电压示值为校准点电压值，待感应电压示值稳定后，同时记录静电衰减仪电压示值 U 和数字高压表电压实测值 U_s ，按公式 (C.11) 计算感应电压示值误差。

C.2.2 测量模型

$$\Delta V = V - V_s \quad (\text{C. 11})$$

式中:

ΔV ——感应电压示值误差, V ;

V ——静电衰减仪电压示值, V ;

V_s ——数字高压表电压实测值, V 。

由于标准校准器与静电衰减仪彼此独立, 互不相关, 因此, 静电衰减仪感应电压示值误差标准不确定度可由式 (C. 12) 计算:

$$u_c^2(\Delta V) = c^2(V)u^2(V) + c^2(V_s)u^2(V_s) \quad (\text{C. 12})$$

灵敏系数: $c(V) = 1$, $c(V_s) = -1$

C.2.3 测量重复性标准不确定度评定

静电衰减仪感应电压测量重复性引起的标准不确定度。可采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 即采用 A 类方法进行评定。

在校准点+5000V 处, 重复性条件下连续重复测量 10 次, 得到一组测量结果, 如表 C. 2 所示:

表 C. 2 校准点+5000V 重复性测量数据

感应电压 (V)	测量次数										平均值 (V)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
静电衰减仪示值 V	4981	4976	4997	5009	5021	4979	5003	5027	4983	4979	4995.5
数字高压表实测值 V_s	4997	4995	4999	5000	5005	4998	5003	5006	4997	4999	4999.9
感应电压示值误差 ΔV	16	19	2	-9	-16	19	0	-21	14	20	4.4

被校静电衰减仪感应电压示值误差的试验标准偏差 s_{pt} 为:

$$\text{平均值} \quad \overline{\Delta V} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta V_i}{10} = 4.4V \quad (\text{C. 13})$$

$$\text{标准偏差 } s_{pt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta V_i - \overline{\Delta V})^2}{n-1}} = 15.5V \quad (\text{C. 14})$$

校准点+5000V 处, 实际校准时, 在重复性条件下连续测量三次, 静电衰减仪感应电压测量重复性引起的标准不确定度为:

$$u_1(\Delta V) = \frac{s_{pt}}{\sqrt{3}} = \frac{15.5V}{\sqrt{3}} = 8.95V \quad (\text{C. 15})$$

C. 2. 4 标准器标准不确定度评定

标准器数字高压表数字高压表分辨力引入的标准不确定度 $u_1(V_s)$ 和数字高压表系统误差引起的标准不确定度 $u_2(V_s)$ 。

(1) 数字高压表分辨力引起的标准不确定度分项 $u_1(V_s)$ 的评定

数字高压表分辨力为 1V, 其量化误差以等概率分布在半宽为 $a = 0.5V$ 的区间内, 属均匀分布, 即包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则数字高压表分辨力引起的标准不确定度为:

$$u_1(V_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289V \quad (\text{C. 16})$$

为避免重复计算, 在测量重复性与分度值量化误差引入的标准不确定度中选取较大值合成。

(2) 数字高压表系统误差引起的标准不确定度 $u_2(V_s)$ 的评定

数字高压表系统误差 $\pm 0.5\%$, 在测量点+5000V 处的最大允许误差为 $\pm 25V$, 即 $a = 25V$, 通常认为在区间内服从均匀分布, 即包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则数字高压表系统误差引起的标准不确定度为:

$$u(V_s) = u_2(V_s) = \frac{a}{k} = \frac{25}{\sqrt{3}} = 14.434V \quad (\text{C. 17})$$

C. 2. 5 标准不确定度分量汇总

各分量的标准不确定度汇总如表 C. 3 所示。

表 C. 3 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度(V)	备注
----	--------	----	----	----	------	-----------	----

1	感应电压示值误差测量重复性	$u_1(\Delta V)$	A	正态	1	8.95	
2	数字高压表分辨力	$u_1(V_s)$	B	均匀	-1	0.289	忽略
3	数字高压表系统误差	$u_2(V_s)$	B	均匀	-1	14.434	

C.2.6 合成标准不确定度的计算

由于标准校准器与静电衰减仪彼此独立，互不相关，标准不确定度 $u_1(\Delta V)$ 和 $u(V_s)$ 彼此独立不相关，由式 (C.12) 得静电衰减仪感应电压示值误差合成标准不确定度：

$$u_c(\Delta V) = \sqrt{u_1^2(\Delta V) + u^2(V_s)} = \sqrt{8.95^2 + 14.434^2} = 16.98361V \quad (\text{C.18})$$

因为数字高压表实测平均值 $\overline{V_s} = 4999.9V$ ，因此由式 (C.19) 得感应电压的相对示值误差合成标准不确定度：

$$u_{crel}(\delta) = \frac{u_c(\Delta V)}{\overline{V_s}} \times 100\% = \frac{16.984}{4999.9} \times 100\% = 0.3397\% \quad (\text{C.19})$$

C.2.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U_{rel} = k \times u_{crel}(\delta) = 2 \times 0.3397\% = 0.6794\% \approx 0.7\% \quad (\text{C.20})$$

C.2.8 测量结果不确定度的报告与表示

静电衰减仪感应电压示值误差测量扩展不确定度为：

$$U_{rel} = 0.7\% \quad k = 2$$

C.3 静电衰减时间 $<1s$ 示值误差测量不确定度的评定

C.3.1 概述

用测量范围 $1ms \sim 60s$ ，最小分度值 $1ms$ ，最大允许误差 $\pm 2\%$ 的示波器及高压差分探头连接校准金属板组成标准校准器，测量静电衰减仪静电衰减时间 $<1s$ 时的示值误差。

校准的试验操作：将校准金属板安装到静电衰减仪试样夹持装置中，将高压差分探头一端连接到示波器，另一端连接到校准金属板上。调节示波器，选择合适的电压、时间档及正确的触发模式，使一个完整的脉冲波形显示于屏幕中央。记录感应电压示值。

测试前确保校准金属板电荷释放完全。启动被校仪器高压给校准金属板充电至静电衰减仪感应电压示值+5000V,待感应电压示值稳定后,点击仪器接地按钮,使校准金属板接地释放电压,通过示波器监测电压变化波形,记录校准金属板上电压从初始电压+5000V接地瞬间的时间 t_{s1} 衰减到+500V的时间 t_{s2} ,按公式(C.21)计算静电衰减时间示值误差。

C.3.2 测量模型

$$\Delta t = t - (t_{s2} - t_{s1}) \quad (\text{C.21})$$

式中:

Δt ——静电衰减时间示值误差, ms;

t ——静电衰减仪静电衰减时间示值, ms;

t_{s1} ——示波器电压从+5000V衰减起始时间读数, ms;

t_{s2} ——示波器电压衰减至+500V时间读数, ms。

由于标准校准器与静电衰减仪彼此独立,互不相关,因此,静电衰减仪静电衰减时间示值误差标准不确定度可由式(C.22)计算:

$$u_c^2(\Delta t) = c^2(t)u^2(t) + c^2(t_{s1})u^2(t_{s1}) + c^2(t_{s2})u^2(t_{s2}) \quad (\text{C.22})$$

灵敏系数: $c(t) = 1$, $c(t_{s1}) = -1$, $c(t_{s2}) = 1$

灵敏系数代入公式(C.22)得:

$$u_c^2(\Delta t) = u^2(t) + u^2(t_{s1}) + u^2(t_{s2}) \quad (\text{C.23})$$

因 t_{s1} 和 t_{s2} 均为示波器实测值,其标准不确定度相等 $u(t_{s1}) = u(t_{s2})$,则公式(C.23)可简化为:

$$u_c^2(\Delta t) = u^2(t) + 2u^2(t_{s1}) = u^2(t) + 2u^2(t_{s2}) \quad (\text{C.24})$$

C.3.3 静电衰减时间<1s 示值误差测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\Delta t)$ 的评定

连接好示波器,静电衰减仪在重复性条件下给校准金属板施加+5000V直流电压,稳定10s后给校准金属板接地,记录校准金属板上电压从+5000V衰减到+500V的衰减时间,连续重复测量10次,得到一组测量结果,如表C.4所示:

表 C.4 静电衰减时间<1s 示值误差重复性测量数据

静电衰减时间 (ms)	测量次数										平均值 (ms)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
静电衰减仪示值 t	24	19	17	19	13	26	12	21	17	12	18
示波器实测值 ($t_{s2} - t_{s1}$)	19	15	16	18	19	20	19	19	22	17	18.4
静电衰减时间 示值误差差值 Δt	5	4	1	1	-6	6	-7	2	-5	-5	-0.4
备注	因为示波器波形可移动, 均将 t_{s1} 移至时基线处, 则读取 $t_{s1} = 0$										

则静电衰减时间示值误差测量结果的试验标准偏差 s_p 为:

$$\text{平均值} \quad \overline{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta t_i}{10} = -0.4ms \quad (C. 25)$$

$$\text{标准偏差} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta t_i - \overline{\Delta t})^2}{10-1}} = 4.904ms \quad (C. 26)$$

实际测量情况: 在重复性条件下连续测量 3 次 ($m=3$), 以 3 次测量算术平均值为测量结果, 则可得到:

$$u_1(\Delta t) = \frac{S_p}{\sqrt{m}} = \frac{4.904}{\sqrt{3}} = 2.831ms \quad (C. 27)$$

C. 3. 4 输入量 t 标准不确定度评定

输入量 t 的标准不确定度 $u(t)$ 来源主要是静电衰减仪感应电压分辨力引起的标准不确定度 $u(t)$ 。

静电衰减仪静电衰减时间分辨力为 1ms, 其量化误差以等概率分布在半宽为 $a=0.5ms$ 的区间内, 属均匀分布, 即包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则静电衰减仪静电衰减时间分辨力引起的标准不确定度为:

$$u(t) = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289ms \quad (C. 28)$$

为避免重复计算,在测量重复性与分辨力引入的标准不确定度中选取较大值。静电衰减仪感应电压分辨力引起的标准不确定度可以忽略。

C.3.5 输入量 t_s 标准不确定度评定

C.3.5.1 输入量 t_s 标准不确定度来源分析

输入量 t_s 的标准不确定度 $u(t_s)$ 来源主要是,示波器游标测量分辨力引入的不确定度分项 $u_1(t_s)$ 、示波器瞬态响应时间引入的不确定度分项 $u_2(t_s)$ 和高压差分探头瞬态响应时间引入的不确定度分项 $u_3(t_s)$ 。

C.3.5.2 输入量 t_s 各分项标准不确定度评定

(1) 示波器游标测量分辨力引起的标准不确定度分项 $u_1(t_s)$ 的评定

设读取电压脉冲幅度的 10% 和 100% 时因游标测量分辨力相对误差分别为 ε_1 和 ε_2 , 读取电压脉冲幅度的 10% 和 100% 时因对应的时间刻度游标测量分辨力相对误差分别为 ε_3 和 ε_4 , 设 4 次的判读误差均相等, 即 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \varepsilon = 2\%$, 测试使用 50ms/div 档, 则判断误差为 $\delta = 2\% \times 50\text{ms} = 1\text{ms}$, 通常认为在区间内误差服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则 $u_{11}(t_s) = u_{12}(t_s) = u_{13}(t_s) = u_{14}(t_s) = \frac{\delta}{k} = \frac{1\text{ms}}{\sqrt{3}} = 0.577\text{ms}$ 。示波器游标测量分辨力引入的不确定度分量为:

$$u_1(t_s) = \sqrt{u_{11}^2(t_s) + u_{12}^2(t_s) + u_{13}^2(t_s) + u_{14}^2(t_s)} = 1.154\text{ms} \quad (\text{C.29})$$

为避免重复计算,在测量重复性与分辨力引入的标准不确定度中选取较大值。因此示波器游标测量分辨力引起的标准不确定度可以忽略。

(2) 示波器瞬态响应时间引入的标准不确定度分项 $u_2(t_s)$ 的评定

示波器带宽为 25MHz, 因此它的瞬态响应时间为:

$$t_r = \sqrt{\frac{0.35}{25 \times 10^6}} = 0.118\text{ms} \quad (\text{C.30})$$

通常认为在区间内服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则示波器瞬态响应时间引入的

标准不确定度 $u_2(t_s)$:

$$u_2(t_s) = \frac{t_r}{k} = \frac{0.118}{\sqrt{3}} = 0.068ms \quad (C.31)$$

(3) 高压差分探头瞬态响应时间引入的标准不确定度分项 $u_3(t_s)$ 的评定

高压差分探头带宽为 2MHz, 因此它的瞬态响应时间为:

$$t_{r'} = \sqrt{\frac{0.35}{2 \times 10^6}} = 0.418ms \quad (C.32)$$

通常认为在区间内服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则高压差分探头瞬态响应时间引入的标准不确定度 $u_3(t_s)$:

$$u_3(t_s) = \frac{t_{r'}}{k} = \frac{0.418}{\sqrt{3}} = 0.241ms \quad (C.33)$$

C.3.5.3 输入量 t_s 标准不确定度计算

合成输入量 t_s 标准不确定度 $u(t_s)$ 计算

$$\begin{aligned} u(t_s) &= \sqrt{u_2^2(t_s) + u_3^2(t_s)} \\ &= \sqrt{0.068^2 + 0.241^2} \\ &= 0.25ms \end{aligned} \quad (C.34)$$

C.3.6 标准不确定度分量汇总

各分量的标准不确定度汇总如表 C.5 所示。

表 C.5 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度 (ms)	备注
1	静电衰减时间示值误差测量重复性	$u_1(\Delta t)$	A	正态	1	2.831	
2	静电衰减仪静电衰减时间分辨力	$u(t)$	B	均匀	1	0.289	忽略
3	示波器游标测量分辨力	$u_1(t_s)$	B	均匀	-1	1.154	忽略
4	示波器瞬态响应时间	$u_2(t_s)$	B	均匀	-1	0.068	

5	高压差分探头瞬态响应时间	$u_3(t_s)$	B	均匀	-1	0.241	
---	--------------	------------	---	----	----	-------	--

C.3.7 合成标准不确定度的计算

由于标准校准器与静电衰减仪彼此独立, 互不相关, 标准不确定度 $u(t)$ 和 $u(t_s)$ 彼此独立不相关, 由式 (C.24) 得合成标准不确定度:

$$\begin{aligned}
 u_c(\Delta t) &= \sqrt{u_1^2(\Delta t) + 2u^2(t_{s1})} \\
 &= \sqrt{2.831^2 + 2 \times (0.25^2)} \\
 &= 2.853 \text{ms}
 \end{aligned} \tag{C.35}$$

C.3.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$, 扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\Delta t) = 2 \times 2.853 = 5.706 \approx 6 \text{ms} \tag{C.36}$$

C.3.9 测量结果不确定度的报告与表示

静电衰减仪静电衰减时间 $< 1\text{s}$ 时示值误差测量扩展不确定度为:

$$U = 6 \text{ms} \quad k = 2$$

C.4 静电衰减时间 $\geq 1\text{s}$ 示值误差校准不确定度的评定

C.4.1 概述

用测量范围为 $(0.1 \sim 60)\text{s}$, 分辨力为 0.01s , 在 10min 测量间隔的最大允许误差为 $\pm 0.1\text{s}$ 的电子秒表测量静电衰减时间。校准的试验操作: 以 5s 校准点为例, 选取静电衰减时间大概在 5s 左右的试样, 将试样放入试样夹具中, 给其施加 $+5000\text{V}$ 直流电压, 电压稳定后, 点击接地按钮, 同时启动电子秒表, 观察静电衰减仪显示电压至 $+500\text{V}$ 时停止电子秒表计时, 读取静电衰减仪静电衰减时间 t 和电子秒表静电衰减时间 t_x 按公式 (C.37) 计算静电衰减时间示值误差。

C.4.2 测量模型

静电衰减时间:

$$\Delta t = t - t_x \tag{C.37}$$

式中:

Δt ——静电衰减时间示值误差, s;

t ——静电衰减仪静电衰减时间示值, s;

t_x ——电子秒表实测值, s。

由于电子秒表与静电衰减仪彼此独立, 互不相关, 因此, 静电衰减时间标准不确定度可由式 (C. 38) 计算:

$$u_c^2(\Delta t) = c^2(t)u^2(t) + c^2(t_x)u^2(t_x) \quad (\text{C. 38})$$

灵敏系数: $c(t) = 1, c(t_x) = -1$

C. 4. 3 静电衰减时间 $\geq 1\text{s}$ 示值误差测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\Delta t)$ 的评定

采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 即采用 A 类方法进行评定。

在重复性条件下静电衰减仪连续 10 次测量, 得到一组测量结果, 如表 C. 6 所示:

表 C. 6 静电衰减时间 $\geq 1\text{s}$ 示值误差重复性测量数据

静电衰减时间 (s)	测量次数										平均值 (s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
静电衰减仪示值 t	5.47	5.53	5.60	5.47	5.53	5.47	5.47	5.53	5.47	5.47	5.501
秒表实测值 t_x	5.39	5.41	5.51	5.38	5.45	5.41	5.52	5.62	5.38	5.49	5.456
静电衰减时间示值误差差值 Δt	0.08	0.12	0.09	0.09	0.08	0.06	-0.05	-0.09	0.09	-0.02	0.045

则静电衰减时间示值误差测量结果的试验标准偏差 s_p 为:

$$\text{平均值} \quad \overline{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta t_i}{10} = 0.045\text{s} \quad (\text{C. 39})$$

$$\text{标准偏差} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta t_i - \overline{\Delta t})^2}{10-1}} = 0.071\text{s} \quad (\text{C. 40})$$

实际测量情况: 在重复性条件下连续测量 3 次 ($m=3$), 以 3 次测量算术平均值为测量结果, 则可得到:

$$u_1(\Delta t) = \frac{S_p}{\sqrt{m}} = \frac{0.071}{\sqrt{3}} = 0.041s \quad (C.41)$$

静电衰减仪静电衰减时间示值分辨力为 1ms，其引入的标准不确定度远小于测量重复性引入的标准不确定度，因此可以忽略。

C.4.4 输入量 t_x 标准不确定度来源分析

输入量 t_x 的标准不确定度 $u(t_x)$ 来源主要是电子秒表示值误差引起的标准不确定度分项 $u_1(t_x)$ 和电子秒表分辨力量化误差引起的标准不确定度 $u_2(t_x)$ 。

C.4.4.1 电子秒表示值误差引起的标准不确定度分项 $u_1(t_x)$ 的评定

电子秒表示值误差引起的标准不确定度可根据检定证书或校准证书给出的该电子秒表的允许误差来评定，属均匀分布，可采用 B 类方法评定。

电子秒表在 10min 测量间隔的最大允许误差为 $\pm 0.1s$ ，即 $a = 0.1s$ ，通常认为在区间内服从均匀分布，即包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则电子秒表在 10min 测量间隔内示值误差引起的标准不确定度 $u_1(t_x)$ ：

$$u_1(t_x) = \frac{a}{k} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.0577s \quad (C.42)$$

C.4.4.2 电子秒表分辨力量化误差引起的标准不确定度 $u_2(t_x)$ 的评定

电子秒表分辨力为 0.01s，其量化误差以等概率分布在半宽为 $a = 0.005s$ 的区间内，属均匀分布，即包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，故引入的不确定度为：

$$u_2(t_x) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029s \quad (C.43)$$

为避免重复计算，在测量重复性与分辨力引入的标准不确定度中选取较大值。示波器游标测量分辨力引起的标准不确定度可以忽略。因此：

$$u(t_x) = u_1(t_x) = 0.0577s \quad (C.44)$$

C.4.5 标准不确定度分量汇总

由于电子秒表与静电衰减仪彼此独立，互不相关，标准不确定度 $u_1(t_x)$ 和 $u_2(t_x)$ 也相

互独立，各分量的标准不确定度汇总如表 C. 7 所示。

表 C. 7 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	标准不确定度 (s)	备注
1	静电衰减时间示值误差测量重复性	$u_1(\Delta t)$	A	正态	0.041	
2	电子秒表示值误差	$u_1(t_x)$	B	均匀	0.0577	
3	电子秒表分辨力量化误差	$u_2(t_x)$	B	均匀	0.0029	忽略

C. 4. 5 静电衰减时间标准不确定度来源计算

$$\begin{aligned}
 u(\Delta t) &= \sqrt{u_1^2(\Delta t) + u^2(t_x)} \\
 &= \sqrt{0.041^2 + 0.0577^2} \\
 &= 0.0708\text{s}
 \end{aligned}
 \tag{C. 45}$$

C. 4. 6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta t) = 2 \times 0.0708 = 0.1416\text{s} \approx 0.14\text{s} \tag{C. 46}$$

C. 4. 7 测量结果不确定度的报告与表示

静电衰减仪静电衰减时间 $\geq 1\text{s}$ 时示值误差测量扩展不确定度为：

$$U=0.14\text{s} \quad k=2$$

附录 D

校准金属板

校准金属板如图 D.1 所示,校准金属板模拟试样安装在试样夹持装置中,静电衰减仪高压发生器通过试样夹持装置将高压直流电施加到校准金属板上,模拟试样上所带静电电压。

校准时,将校准金属板安装在试样夹持装置中,将数字高压表高压测试接头(校准感应电压)或者示波器的高压差分探头(校准静电衰减时间)直接连接在校准金属板上,并将静电衰减仪与数字高压表或示波器良好共地,启动仪器进行相关特性的计量校准。

校准金属板可以选用与试样尺寸($(70\pm 5)\text{ mm}\times(140\pm 5)\text{ mm}$)相同的纯铝板或纯铜板等良导体。

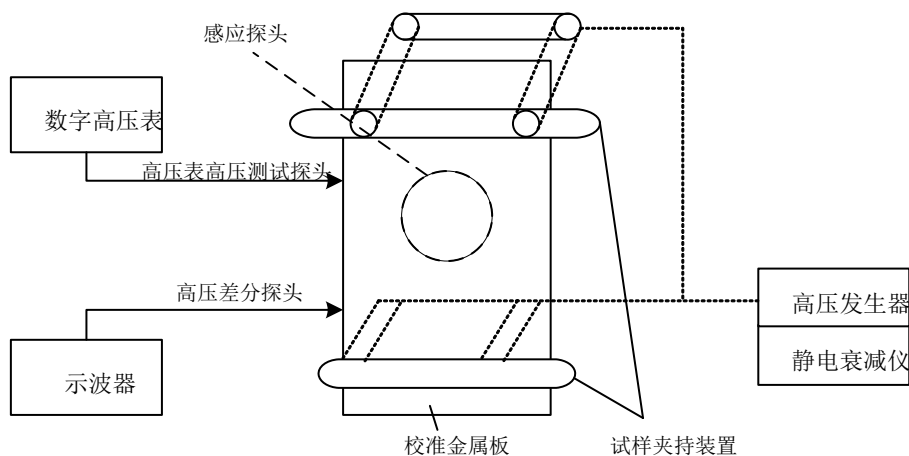


图 D.1 校准金属板应用示意图