

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2177—2024

防雷元件测试仪校准规范

Calibration Specification for Lightning Protection Component Testers

2024-10-19 发布

2025-04-19 实施

国家市场监督管理总局 发布

防雷元件测试仪校准规范
Calibration Specification for Lightning
Protection Component Testers

JJF 2177—2024

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：山东省计量科学研究院

云南省计量测试技术研究院

参加起草单位：湖南省计量检测研究院

湖北省计量测试技术研究院

北京市计量检测科学研究院

武汉市康达电气有限公司

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

汪心妍（山东省计量科学研究院）

高志尚（山东省计量科学研究院）

王玉元（云南省计量测试技术研究院）

参加起草人：

徐 昱（湖南省计量检测研究院）

李 艳（湖北省计量测试技术研究院）

王亚军（北京市计量检测科学研究院）

胡晓晖（武汉市康达电气有限公司）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 起始动作电压	(2)
5.2 恒流电流	(2)
5.3 直流漏电流	(2)
5.4 直流击穿电压	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果表达	(9)
9 复校时间间隔	(9)
附录 A 校准原始记录格式	(10)
附录 B 校准证书内页格式	(12)
附录 C 防雷元件测试仪直流漏电流示值误差不确定度评定示例	(14)
附录 D 脉冲波型测试仪直流漏电流测量数据的处理方法示例	(17)
附录 E 电压击穿模拟装置示意图	(19)
附录 F 选用 MOV	(20)

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》、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规范。

本规范为首次发布。

防雷元件测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于恒流电流为 1 mA、起始动作电压和直流击穿电压均不大于 2 000 V 的数字式防雷元件测试仪的校准，具有本规范中的部分功能和相同测量范围的压敏电阻测试仪、电涌保护器测试仪等，可参考本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 9043 通信设备过电压保护用气体放电管通用技术条件

GB/T 18802.311 低压电涌保护器元件 第 311 部分：气体放电管（GDT）的性能要求和测试回路

GB/T 18802.331 低压电涌保护器元件 第 331 部分：金属氧化物压敏电阻（MOV）规范

GB/T 21431 建筑物雷电防护装置检测技术规范

GB/T 27746 低压电器用金属氧化物压敏电阻器（MOV）技术规范

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 恒流电流 constant current

防雷元件测试仪测量金属氧化物压敏电阻的压敏电压时，输出的直流参考电流，其标称值为 1 mA。单位：mA。

3.2 起始动作电压 initial operate voltage

防雷元件测试仪测量金属氧化物压敏电阻器的压敏电压时的电流达到恒流电流时输出的直流电压。单位：V。

3.3 直流漏电流 DC leakage current

防雷元件测试仪施加于金属氧化物压敏电阻的电压为规定直流电压（通常为 0.75 倍起始动作电压）时回路中的直流电流。单位： μA 。

3.4 直流击穿电压 DC breakdown voltage

防雷元件测试仪施加于气体放电管的直流电压以一定上升速率缓慢升高至气体放电管从高阻抗状态转变为导通状态时，测试仪输出的直流电压。单位：V。

注：又称直流放电电压、直流点火电压。

4 概述

防雷元件测试仪（以下简称测试仪），用于金属氧化物压敏电阻（MOV）、气体放

电管（GDT）等过压防护元件的直流参数（压敏电压、直流漏电流、直流击穿电压等）的测量，由试验电源、恒流源、恒压源、斜波电压发生器、电流表、电压表、峰值电压表等组成。

测试仪测试电压限制型元器件时，恒流源产生电流施加在被测元器件（以下简称 DUT）上并从低值上升至恒流电流时，电压表测得的 DUT 两端的电压即为其压敏电压；之后，恒压源继续产生规定的直流电压施加在 DUT 上，电流表测量流过 DUT 的电流，即为 DUT 的直流漏电流。

测试仪测试电压开关型元器件时，斜波电压发生器产生直流电压并以一定的上升速率（一般为 100 V/s）升至 DUT 发生击穿，峰值电压表记录的击穿时的电压即为 DUT 的直流击穿电压。

测试仪按测试方式，可分为手动测试型与自动测试型；按可否调节电压限值，可分为可调型与不可调型；按输出波形，可分为脉冲波型与持续波型。自动测试型测试电压限制型元器件时，整个测量过程连续进行不可中断。脉冲波型的电流上升阶段、直流漏电流测量阶段持续时间通常小于 400 ms。

5 计量特性

5.1 起始动作电压

测量范围：(5~2 000) V；

最大允许误差：±(0.5%~5%)。

5.2 恒流电流

恒流电流的最大允许误差：±(0.5%~3%)。

5.3 直流漏电流

(1~20) μA 内的最大允许误差：±1 μA。

5.4 直流击穿电压

测量范围：(75~2 000) V；

最大允许误差：±(1%~2%)。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：23 °C ± 5 °C；

相对湿度：≤75%。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 校准的主要设备

a) 直流数字电压测量仪器

测量范围：(5~1 000) V。

输入阻抗：不低于 10 MΩ。

功能：校准直流击穿电压、脉冲波型测试仪的起始动作电压等快速上升信号类参数

时，应具有测量和记录最大值功能。

采样间隔：校准直流击穿电压、脉冲波型测试仪的起始动作电压时，采样间隔应不大于该参数最大允许误差绝对值与其信号上升阶段持续时间乘积的 1/4，即

$$\Delta t \leq \frac{1}{4} |\Delta V_{\text{MPE}}| \times T \quad (1)$$

式中：

Δt ——采样间隔，ms；

ΔV_{MPE} ——测试仪被校参数的最大允许误差，%；

T ——测试仪信号上升阶段持续时间，ms。

注：例如，当测试仪起始动作电压最大允许误差为±2%，电压上升阶段持续时间为 400 ms 时，校准起始动作电压时的采样间隔应不大于 2 ms，即每秒不少于 500 次读数。

b) 电阻型直流分压器

额定电压：不低于 2 000 V；

分压比：2~10 000；

输入阻抗：不低于 10 MΩ。

c) 直流数字电流测量仪器

测量范围：1 μA~1 mA；

内阻：采用电流表法测量起始动作电压时，内阻应不大于起始动作电压最大允许误差绝对值与标准高值电阻器阻值乘积的 1/10，即：

$$R_{\text{IN}} \leq \frac{1}{10} |\Delta V_{\text{MPE}}| \times R_{\text{Z0}} \quad (2)$$

式中：

R_{IN} ——直流数字电流测量仪器内阻，Ω；

ΔV_{MPE} ——测试仪起始动作电压的最大允许误差，%；

R_{Z0} ——校准起始动作电压时使用的标准高值电阻器阻值，Ω。

功能：校准脉冲波型测试仪的起始动作电压、恒流电流等快速上升信号类参数时，应具有测量和记录最大值功能。校准脉冲波型测试仪的直流漏电流时，应具有数据存储功能。

采样间隔：校准脉冲波型测试仪的起始动作电压、恒流电流时，采样间隔应不大于该参数最大允许误差绝对值与其信号上升阶段持续时间乘积的 1/4，见公式 (1)；校准脉冲波型测试仪的直流漏电流等短时恒定信号类参数时，采样间隔与数据存储间隔应不大于电流持续时间的 1/10。

注：例如，当测试仪直流漏电流持续时间为 200 ms 时，校准时的采样间隔与数据存储间隔应不大于 20 ms，即每秒不少于 50 次读数。

d) 负载电阻器及标准高值电阻器

校准起始动作电压、恒流电流时，应能允许通过 1 mA 直流电流。

校准直流漏电流时，能承受的直流电压应不低于所并联的 MOV 的压敏电压的 1.2 倍。

e) MOV

压敏电压：在（100~1 000）V 之间，推荐采用 500 V；

额定直流漏电流：（0.5~20） μA 。

f) 电压击穿模拟装置

输入阻抗：不低于 10 G Ω ；

响应时间：不大于 10 ms；

击穿电压设定范围：（75~2 000）V。

电压击穿模拟装置的示意图见附录 E。

g) 其他设备：示波器（带电压、电流采样装置）

注：示波器为非必备设备。可以使用示波器（带电压、电流采样装置）进行校准前的预先检查，用于检查测试仪工作全过程的电压、电流的波形和信号持续时间，以便于在校准直流击穿电压项目、脉冲波型测试仪时，能够快速为直流数字电压、电流测量仪器选择合适的功能和采样间隔，但不适用于示值误差的校准。

6.2.2 校准时由标准器、辅助设备及环境条件所引起的扩展不确定度（包含因子 $k=2$ ）应不大于被校测试仪最大允许误差绝对值的 1/3。

注：直流数字电压测量仪器、直流数字电流测量仪器在快速采样时有附加误差，采样速度越快附加误差越大，进行不确定度分析时可查阅其使用说明书。

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 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款	计量特性条款
1	起始动作电压	7.2.2	5.1
2	恒流电流	7.2.3	5.2
3	直流漏电流	7.2.4	5.3
4	直流击穿电压	7.2.5	5.4

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

测试仪的外形结构应完好。标志清晰明确，外露件不应有松动和机械损伤。外壳上应标明其名称、制造单位、型号、出厂编号等信息。通电预热后测试仪各个功能应显示正常，各个开关和按键应能正常工作。

7.2.2 起始动作电压

7.2.2.1 电流表法

在测试仪测量范围内均匀选取（3~5）个点进行校准。

已知回路电流标称值为 1 mA，根据校准点电压值的大小，由欧姆定律计算标准高值电阻器阻值 R_{z0} ，调整标准高值电阻器阻值至 R_{z0} 。选择测试仪压敏电压功能，可以

调节电压限值的测试仪，设置电压限值至略大于校准点电压值。

校准接线图见图 1。将标准高值电阻器与直流数字电流测量仪器依次串联联接在测试仪正负极两端。

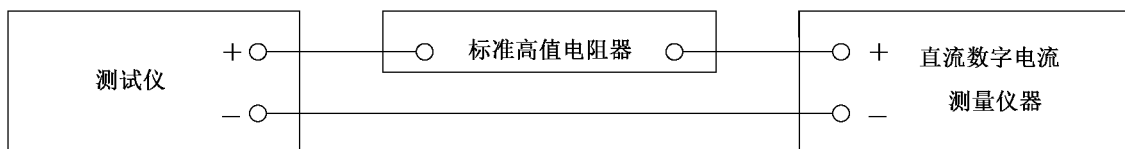


图 1 电流表法校准起始动作电压接线图

对于持续波型测试仪，启动测试仪输出，待工作状态稳定后，读取测试仪起始动作电压显示值 U_x ，同时读取直流数字电流测量仪器的示值 I_0 。

对于脉冲波型测试仪，按 6.2.1c) 的要求设置直流数字电流测量仪器采样间隔，并启动其最大值测量功能，启动测试仪输出，待工作状态稳定后，读取测试仪起始动作电压显示值 U_x ，读取直流数字电流测量仪器记录的最大值 I_0 。

重复以上步骤测量两次，计算两次 U_x 、 I_0 的平均值 $\overline{U_x}$ 、 $\overline{I_0}$ 。

记录标准高值电阻器阻值 R_{z0} ，按公式 (3) 计算测试仪起始动作电压实测值 U_n 。

$$U_n = \overline{I_0} \times R_{z0} \quad (3)$$

式中：

U_n ——起始动作电压实测值，V；

$\overline{I_0}$ ——两次 I_0 的平均值，mA；

R_{z0} ——标准高值电阻器阻值，k Ω 。

起始动作电压的相对误差按公式 (4) 计算。

$$\gamma_v = \frac{\overline{U_x} - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

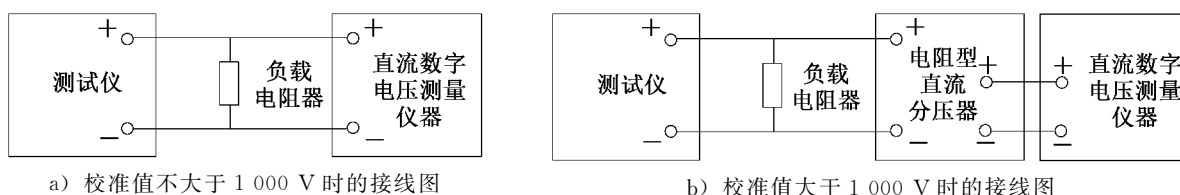
γ_v ——测试仪起始动作电压的相对误差；

$\overline{U_x}$ ——测试仪起始动作电压显示值的平均值，V。

7.2.2.2 电压表法

在测试仪测量范围内均匀选取 (3~5) 个点进行校准。

校准接线图见图 2，校准值不大于 1 000 V 时，将直流数字电压测量仪器与负载电阻器并联，见图 2a)；校准值大于 1 000 V 时，将电阻型直流分压器一次端与负载电阻器并联，将直流数字电压测量仪器接在电阻型直流分压器二次端，见图 2b)。



a) 校准值不大于 1 000 V 时的接线图

b) 校准值大于 1 000 V 时的接线图

图 2 电压表法校准起始动作电压接线图

按公式 (5) 计算负载电阻器阻值 R_z ，调整负载电阻器阻值至 R_z 。选择测试仪压

敏电压功能，对于可以调节电压限值的测试仪，将限值设定至略大于校准点电压值。

$$R_z = \frac{1\,000R_U \times U}{I_c \times 1\,000R_U - U} \quad (5)$$

式中：

R_z ——负载电阻器阻值，k Ω ；

U ——起始动作电压校准点电压值，V；

I_c ——测试仪恒流电流理论值，取值为 1，mA；

R_U ——直流数字电压测量仪器或电阻型直流分压器的输入阻抗，M Ω 。

对于持续波型测试仪，启动测试仪输出，待工作状态稳定后，读取测试仪起始动作电压显示值 U_x ，同时读取直流数字电压测量仪器的示值 U_0 。

对于脉冲波型测试仪，按 6.2.1a) 的要求设置直流数字电压测量仪器采样间隔，启动其最大值测量功能，启动测试仪输出，待工作状态稳定后，读取测试仪起始动作电压显示值 U_x ，并读取直流数字电压测量仪器记录的最大值 U_0 。

重复以上步骤测量两次，计算两次 U_x 、 U_0 的平均值 $\overline{U_x}$ 、 $\overline{U_0}$ 。按公式 (6) 计算测试仪起始动作电压实测值 U_n 。

$$U_n = \overline{U_0} \times m \quad (6)$$

式中：

$\overline{U_0}$ ——两次 U_0 的平均值，V；

m ——电阻型直流分压器的分压比，若不使用则取 1。

起始动作电压的相对误差按公式 (4) 计算。

7.2.3 恒流电流

将负载电阻器与直流数字电流测量仪器依次串联联接在测试仪正负极两端，校准接线图见图 3。

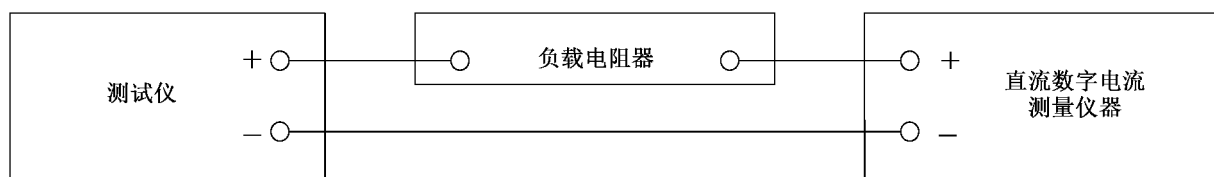


图 3 校准恒流电流接线图

负载电阻器阻值范围在 (100~1 000) k Ω 之间，推荐选取 500 k Ω 。选择测试仪压敏电压功能，对于可以调节电压限值的测试仪，将限值设定至略大于恒流电流与负载电阻器阻值的乘积，使测试仪电流输出可以达到其恒流电流。

对于持续波型测试仪，启动测试仪输出，待工作状态稳定后，读取测试仪恒流电流显示值 I_{cx} ，没有恒流电流显示功能的记录恒流电流标称值 I_{cx} ，同时读取直流数字电流测量仪器的示值即为恒流电流实测值 I_{cn} 。

对于脉冲波型测试仪，按 6.2.1c) 的要求设置直流数字电流测量仪器采样间隔，启动其最大值测量功能，启动测试仪输出，待工作状态稳定后，读取测试仪恒流电流显示值 I_{cx} ，没有恒流电流显示功能的记录恒流电流标称值 I_{cx} ，并读取直流数字电流测量仪器记录的最大值，即为恒流电流实测值 I_{cn} 。

重复以上步骤测量两次，计算两次 I_{cx} 、 I_{cn} 的平均值 $\overline{I_{cx}}$ 、 $\overline{I_{cn}}$ 。

恒流电流的相对误差按公式 (7) 计算。

$$\gamma_I = \frac{\overline{I_{cx}} - \overline{I_{cn}}}{\overline{I_{cn}}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

γ_I ——恒流电流的相对误差，%；

$\overline{I_{cx}}$ ——测试仪恒流电流显示值或标称值的平均值，mA；

$\overline{I_{cn}}$ ——两次恒流电流实测值的平均值，mA。

7.2.4 直流漏电流

在 (1~20) μA 内均匀选取不少于 3 个点进行校准，其中 20 μA 点必选。

按图 3 连接各个设备。根据校准点电流值 I 的大小，由欧姆定律计算负载电阻器阻值，推荐选取使负载电阻器两端电压约为 500 V 的阻值，可以使用其他阻值的负载电阻器但阻值宜使其两端电压在 (100~1 000) V 之间。可以调节电压限值的测试仪，调节电压限值至略大于校准点电流值与负载电阻器阻值的乘积。

对于按图 3 加载负载电阻、启动测试仪后，测试仪显示错误或报警，不能进行直流漏电流校准的测试仪，则按图 4 连接各个设备，选择符合 6.2.1e) 要求的 MOV (选用 MOV 的原因见附录 F)，且选取的 MOV 的直流漏电流小于当前校准点，按公式 (8) 计算负载电阻器阻值 R ，调整负载电阻器阻值至 R 。

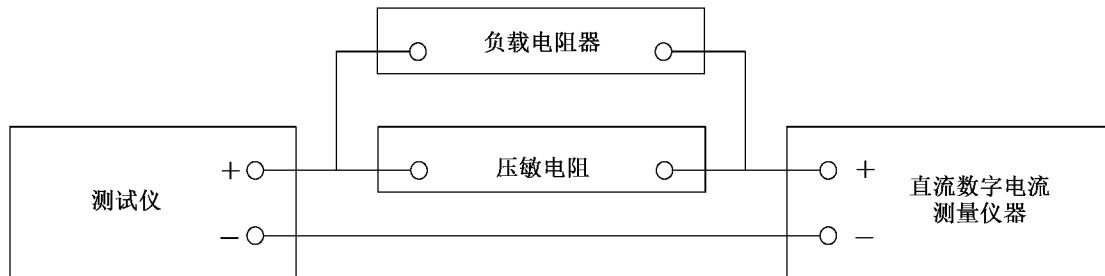


图 4 校准直流漏电流接线图

$$R \approx \frac{0.75U_N}{I - I_N} \quad (8)$$

式中：

R ——负载电阻器阻值， $\text{M}\Omega$ ；

U_N ——MOV 的压敏电压，V；

I ——直流漏电流校准点电流值， μA ；

I_N ——MOV 的额定直流漏电流， μA 。

对于持续波型测试仪，启动测试仪输出，待工作状态稳定后，读取测试仪直流漏电流显示值 I_x ，同时读取直流数字电流测量仪器的示值即为直流漏电流实测值 I_n 。

对于脉冲波型测试仪，按 6.2.1c) 的要求设置直流数字电流测量仪器采样间隔，启动其数据存储功能，并迅速启动测试仪输出，测试过程结束后，读取测试仪直流漏电流显示值 I_x ，将直流数字电流测量仪器存储的测量数据进行处理，得到直流漏电流实

测值 I_n ，数据处理方法示例见附录 D。

重复以上步骤测量两次，计算两次 I_x 、 I_n 的平均值 $\overline{I_x}$ 、 $\overline{I_n}$ 。

直流漏电流的绝对误差按公式 (9) 计算。

$$\Delta I = \overline{I_x} - \overline{I_n} \quad (9)$$

式中：

ΔI ——直流漏电流的绝对误差， μA ；

$\overline{I_x}$ ——测试仪直流漏电流显示值， μA ；

$\overline{I_n}$ ——直流漏电流实测值， μA 。

7.2.5 直流击穿电压

在测试仪测量范围内均匀选取不少于 (3~5) 个点进行校准。

直流击穿电压的校准采用电压表法，校准接线图见图 5，校准值不大于 1 000 V 时，直流数字电压测量仪器与电压击穿模拟装置并联，见图 5a)；校准值大于 1 000 V 时，将电阻型直流分压器一次端与电压击穿模拟装置并联，将直流数字电压测量仪器接在电阻型直流分压器二次端，见图 5b)。设置电压击穿模拟装置的动作电压至校准点电压值。

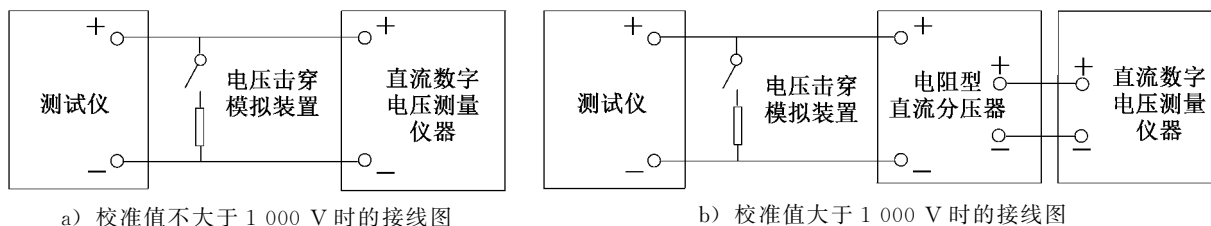


图 5 电压表法校准直流击穿电压接线图

选择测试仪放电管功能，按 6.2.1a) 的要求设置直流数字电压测量仪器采样间隔，启动其最大值测量功能，启动测试仪输出，电压击穿模拟装置动作后，读取测试仪直流击穿电压显示值 U_{bx} ，读取直流数字电压测量仪器记录的最大值 U_0 。重复以上步骤测量两次，计算两次 U_{bx} 、 U_0 的平均值 $\overline{U_{bx}}$ 、 $\overline{U_0}$ 。按公式 (10) 计算测试仪直流击穿电压实测值 U_{bn} 。

$$U_{bn} = \overline{U_0} \times m \quad (10)$$

式中：

U_{bn} ——直流击穿电压实测值，V；

$\overline{U_0}$ ——直流数字电压测量仪器记录的最大值，V；

m ——电阻型直流分压器的分压比，若不使用则取 1。

直流击穿电压的相对误差按公式 (11) 计算。

$$\gamma_{vb} = \frac{\overline{U_{bx}} - U_{bn}}{U_{bn}} \times 100\% \quad (11)$$

式中：

γ_{vb} ——直流击穿电压的相对误差，%；

$\overline{U_{bx}}$ ——测试仪直流击穿电压显示值，V。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性或应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对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) 校准证书和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，不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 A，校准证书（报告）内页格式见附录 B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。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

校准原始记录格式

防雷元件测试仪校准原始记录

证书编号：

送校仪器信息：				
委托单号		送校单位		
名称		制造单位		
型号/规格		出厂编号		
送校单位地址		校准日期		
校准环境条件及地点：				
温度		℃	地点	
相对湿度		%	其他	
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

第 页 共 页

防雷元件测试仪校准原始记录

证书编号：

校准结果记录

一、恒流电流						单位为 mA
显示值/标称值			实测值			扩展不确定度 ($k=2$)
1	2	平均值	1	2	平均值	

二、起始动作电压

电流表法：

显示值			直流数字电流测量仪器 示值/最大值			标准高值 电阻器阻值	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)
1	2	平均值	1	2	平均值			

电压表法：

显示值			直流数字电压测量仪器 示值/最大值			分压器的 分压比	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)
1	2	平均值	1	2	平均值			

三、直流漏电流

单位为 μA

显示值			实测值			扩展不确定度 ($k=2$)
1	2	平均值	1	2	平均值	

四、直流击穿电压

显示值			直流数字电压测量仪器 示值/最大值			分压器的 分压比	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)
1	2	平均值	1	2	平均值			

第 页 共 页

附录 B

校准证书内页格式

证书编号 ××××××-××××

<校准机构授权说明>				
校准环境条件及地点：				
温度		℃	地点	
相对湿度		%	其他	
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

第 页 共 页

证书编号 ××××××-××××

校 准 结 果

一、恒流电流			单位为 mA
显示值/标称值	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)	
二、起始动作电压			单位为 V
显示值	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)	
三、直流漏电流			单位为 μA
显示值	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)	
四、直流击穿电压			单位为 V
显示值	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)	
说明： 根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下_____个月校准一次。			
声明： 1. 仅对加盖“×××××校准专用章”的完整证书负责。 2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。			

校准员：

核验员：

第 页 共 页

附录 C

防雷元件测试仪直流漏电流示值误差不确定度评定示例

C.1 测量方法

以校准脉冲波型防雷元件测试仪的直流漏电流为例，按规范 7.2.4 的方法进行测量，负载电阻器与漏电流 $5\ \mu\text{A}$ 的 MOV 并联，再与数字多用表串联，数字多用表设为常规采样速率。

C.2 测量模型

校准直流漏电流示值误差的测量模型见公式 (C.1)：

$$\Delta I = \overline{I_x} - \overline{I_n} \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔI ——直流漏电流的绝对误差， μA ；

$\overline{I_x}$ ——直流漏电流显示值的平均值， μA ；

$\overline{I_n}$ ——直流漏电流实测值的平均值， μA 。

C.3 输入量标准不确定度评定

在本规范要求的环境条件下，温度和相对湿度稳定，对防雷元件测试仪直流漏电流进行测量。由测量模型可知，直流漏电流示值误差的测量不确定度分别由 $\overline{I_x}$ 、 $\overline{I_n}$ 引入。本示例中以直流漏电流 $20\ \mu\text{A}$ 点为例进行分析。

C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\overline{I_x})$

对直流漏电流 $20\ \mu\text{A}$ 点在重复性条件下测量 10 次，由测量重复性引入的不确定度采用 A 类方法评定。测量结果见表 C.1。

表 C.1 10 次测量结果

单位： μA

测量次数	显示值	实测值	误差 ΔI
第 1 次	20.0	19.92	0.08
第 2 次	19.8	19.86	-0.06
第 3 次	19.9	19.84	0.06
第 4 次	19.8	19.87	-0.07
第 5 次	20.0	19.92	0.08
第 6 次	19.9	20.01	-0.11
第 7 次	19.9	19.96	-0.06
第 8 次	19.8	19.85	-0.05
第 9 次	20.0	19.93	0.07
第 10 次	20.0	19.97	0.03
平均值	19.91	19.913	-0.003

单次测量值的实验标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta I_{x_i} - \overline{\Delta I_{x_i}})^2}{10-1}} = 0.074 \mu\text{A}$ ，由于实际校准

中以两次测量平均值作为实测值，则 $u_1(I_x) = s/\sqrt{2} = 0.052 \mu\text{A}$ 。

C.3.2 测试仪分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\overline{I_x})$

测试仪电流显示分辨力为 $0.1 \mu\text{A}$ ，区间半宽为 $0.05 \mu\text{A}$ ，在此区间服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则 $u_2(\overline{I_x}) = \frac{0.05 \mu\text{A}}{\sqrt{3}} \approx 0.029 \mu\text{A}$ 。

$u_1(\overline{I_x})$ 、 $u_2(\overline{I_x})$ 不相关， $\overline{I_x}$ 引入的标准不确定度 $u(\overline{I_x}) = \sqrt{u_1^2(\overline{I_x}) + u_2^2(\overline{I_x})} = 0.060 \mu\text{A}$ 。

C.3.3 数字多用表准确度引入的标准不确定度 $u_1(\overline{I_n})$

测量直流漏电流 $20 \mu\text{A}$ ，数字多用表设置在常规采样速率模式，其准确度为 $\pm(0.05\% \text{读数值} + 0.025 \mu\text{A}) = 0.035 \mu\text{A}$ ，区间半宽为 $0.035 \mu\text{A}$ ，在此区间估计为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则 $u_1(\overline{I_n}) = \frac{0.035 \mu\text{A}}{\sqrt{3}} \approx 0.020 \mu\text{A}$ 。

C.3.4 数据处理引入的标准不确定度 $u_2(\overline{I_n})$

数据处理过程中，电流下降至直流漏电流测量阶段的转折点与直流漏电流测量结束时的转折点之间的电流最大值与最小值之差为 $0.03 \mu\text{A}$ ，区间半宽为 $0.015 \mu\text{A}$ ，在此区间估计为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则 $u_2(\overline{I_n}) = \frac{0.015 \mu\text{A}}{\sqrt{3}} \approx 0.0087 \mu\text{A}$ 。

$u_1(\overline{I_n})$ 、 $u_2(\overline{I_n})$ 不相关， $\overline{I_n}$ 引入的标准不确定度 $u(\overline{I_n}) = \sqrt{u_1^2(\overline{I_n}) + u_2^2(\overline{I_n})} = 0.022 \mu\text{A}$ 。

C.4 合成标准不确定度的计算

各标准不确定度分量见表 C.2。

表 C.2 不确定度分量汇总

输入量	来源	标准不确定度
$u(\overline{I_x})$	—	$0.060 \mu\text{A}$
$u_1(\overline{I_x})$	测量重复性	$0.052 \mu\text{A}$
$u_2(\overline{I_x})$	测试仪分辨力	$0.029 \mu\text{A}$
$u(\overline{I_n})$	—	$0.022 \mu\text{A}$
$u_1(\overline{I_n})$	数字多用表准确度	$0.020 \mu\text{A}$
$u_2(\overline{I_n})$	数据处理	$0.0087 \mu\text{A}$

各不确定度分量不相关，合成标准不确定度为：

$$u(\Delta I) = \sqrt{u^2(\overline{I_n}) + u^2(\overline{I_x})} = 0.064 \mu\text{A}$$

C.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$ ，直流漏电流示值误差的扩展不确定度为：

$$U=2\times 0.064\ \mu\text{A}\approx 0.13\ \mu\text{A},\ k=2$$

附录 D

脉冲波型测试仪直流漏电流测量数据的处理方法示例

D.1 数据处理的顺序

数字多用表存储器中的直流漏电流测量数据需要依次经过数据转存、剔除无用数据及异常值、求平均值等步骤，得到直流漏电流实测值 I_n 。

D.2 数据转存

可利用多种方式将数字多用表存储的测量数据转存至外部或计算机。如 USB 存储器、USB 接口、串行接口、网络接口、GPIB 接口、数字多用表显示器等。具体方法参考所用数字多用表的使用说明书。某些数字多用表转存至计算机的数据以某些特定格式的文件存储，如 CSV 文件等，这些文件通常可以用文字处理软件进行编辑和处理。

以 34410A 型数字多用表为例，通过前面板或远程接口，设置远程接口的参数（如 LAN 接口的 IP 地址、子网掩码、网关等，GPIB 接口的 GPIB 地址，USB 接口不需要配置参数）建立与计算机的连接。从计算机的 web 浏览器输入 34410A 的 IP 地址启用其 web 界面，即可对 34410A 进行控制或读取存储器数据；也可编写计算机程序通过 GPIB 接口或 USB 接口对 34410A 进行控制或读取存储器数据。

D.3 剔除无用值及异常值

由于进行数据存储时会将整个测量过程的全部数据进行存储，在直流漏电流测量阶段之前的电流上升、下降阶段以及直流漏电流测量阶段结束后的电流下降阶段的数据也将被存储，所以首先要将直流漏电流测量阶段之外的数据进行剔除。图 D.1 是在 MS Excel 软件中将某一脉冲波型测试仪的全部电流测量数据以折线图的形式绘制出来的数据图表的实例，直观表示了整个测量过程的电流变化曲线。两条竖线 1、2 之间的部分为直流漏电流测量数据，需要保留，其余数据则需要剔除。竖线 2 从左侧无限接近直流漏电流测量结束时的转折点，竖线 1 为竖线 2 左侧不少于 10 个数据点的位置，且在电流下降至直流漏电流测量阶段的转折点的右侧。

按 6.2.1c) 的要求设置数字多用表数据存储功能的采样间隔，且剔除无用值后宜保留至少 10 个数据，否则需要重新设置采样间隔后再次测量。

剔除无用值后需要剔除明显偏离测量序列的异常值，可根据测量次数的多少选择相应法则，包括莱依达法则、狄克松法则、格罗布斯法则、罗曼诺夫斯基法则等，利用文字处理软件中的图表功能、宏命令、VBA 程序也可以在文件中快速地剔除异常值。

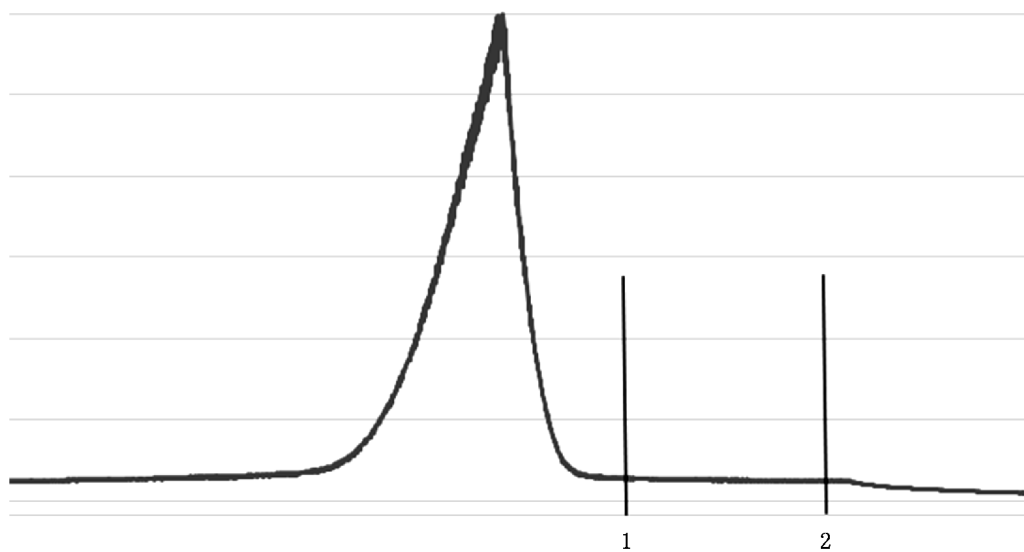


图 D.1 直流漏电流测量曲线

D.4 求平均值

剔除异常值后，将剩余的数据求平均值，即得到直流漏电流实测值 I_n 。

附录 E

电压击穿模拟装置示意图

如图 1 所示，电压击穿模拟装置由高压继电器、击穿控制单元和短路保护电阻组成，实现模拟放电管击穿功能，配合电压测量装置，实现防雷元件测试仪直流击穿电压的校准。

高压继电器实现线路的开合，应能承受的介电强度不低于直流 2 000 V，开路状态时输入阻抗应不小于 10 G Ω 。

击穿控制单元将击穿触发信号转变为高压继电器合闸信号，击穿触发信号可以由按键产生，也可以由单片机等控制单元产生。击穿控制与高压继电器响应的总时间应不超过 10 ms。

短路保护电阻起限流保护作用，能承受瞬时接入直流 2 000 V 时不损坏。

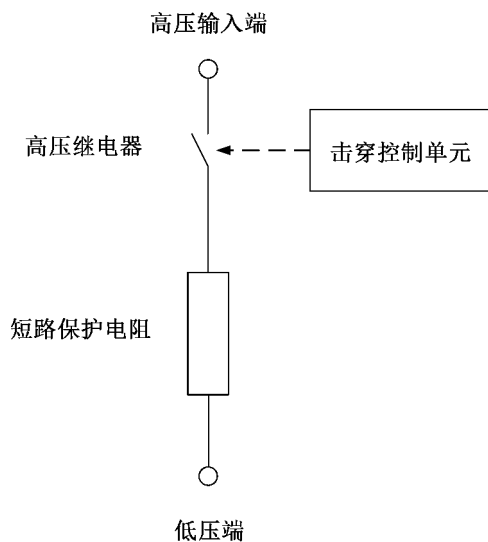


图 E.1 电压击穿模拟装置示意图

附录 F

选用 MOV

校准某些自动测试型测试仪的直流漏电流时，因为恒流电流的校准过程连续不可中断，若仅使用低阻线性负载，回路电流将达到 $750\ \mu\text{A}$ ，测试仪将超量限，即使不超量限，也因电流远超实际情况而没有校准意义；而若仅加载高阻线性负载，测试仪受额定电压限制，回路电流不能达到恒流电流，会自动保护、停止输出。因此，只加载线性负载无法使这类测试仪正常完成直流漏电流测量。

选用适当的 MOV，利用其两端电压等于压敏电压 U_N 时电阻为低阻、接近短路状态的特性，在压敏电压测量阶段使回路电流能够达到恒流电流；利用其两端电压低于压敏电压 U_N 时电阻为高阻、接近断路状态的特性，在直流漏电流测量阶段，测试仪输出电压为 $0.75 U_N$ 时，并联后的总阻值可使回路电流达到校准点，从而正常进入并完成直流漏电流测量过程。

为使本规范公式（8）的计算结果有意义，选用的 MOV 的额定直流漏电流应小于直流漏电流校准点电流值。