# **防雷元件测试仪校准测量不确定度评定**

1 概述

1.1 测量设备

主要测量设备为数字多用表、标准电阻分压器、兆欧表检定装置，其技术指标见表1

表1主要测量设备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测量设备 | 测量范围 | 技术指标 |
| 34410A  数字多用表 | （0~1000）V | 0.01 V~0.1 V（含）：±（0.0050%读数值+0.0235%量程值）（采样间隔1 ms）  0.01 V~0.1 V（含）：±（0.0050%读数值+0.0035%量程值）（采样间隔≥20 ms）  100 V（不含）~1000 V：±（0.004%读数值+0.008 V）（采样间隔3.33 ms） |
| 1 μA~3 A | 1 μA~100 μA（含）：±（0.05%读数值+0.025 μA）（采样间隔≥20 ms）  100 μA（不含）~1 mA：±（0.15%读数值）（采样间隔1 ms）  100 μA（不含）~1 mA：±（0.05%读数值+0.06 μA）（采样间隔≥20 ms） |
| 标准电阻分压器 | 6 kV | 分压比10000:1；0.01级 |
| ZX119-10  高阻箱 | (0~1111111.1110)MΩ; (0～10000)V | 10 kΩ~10 MΩ：±0.2% |

1.2 被测对象

表2被测对象

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 被测设备 | 测量范围 | 技术指标 |
| 脉冲波型防雷元件测试仪 | 起始动作电压（0～1900）V | ±（2%读数+1个字） |
| 漏电流（0.1～199.9）μA | ±（3%读数+3个字） |
| 恒流电流1000 μA | ±（3%读数+3个字） |
| 直流击穿电压（0～1900）V | ±（2%读数+1个字） |
| 持续波型防雷元件测试仪 | 起始动作电压（0～1900）V | ±（2%读数+1个字） |
| 漏电流（0.1～199.9）μA | ±（3%读数+3个字） |
| 恒流电流1000 μA | ±（3%读数+3个字） |
| 直流击穿电压（0～1900）V | ±（2%读数+1个字） |

1.3 环境温度：22.0 ℃，相对湿度：56 %

2 测量模型

采用电流表法校准起始动作电压的测量模型见公式（1）：

*V*n= *I*0×*R*Z （1）

式中：

*V*n ——起始动作电压实际值，V；

*I*0 ——数字多用表的电流读数值，mA；

*R*Z——标准高值电阻阻值，kΩ。

采用电流表法校准恒流电流、泄漏电流的测量模型见公式（2）：

*I*n = *I*0 （2）

式中：

*I*n ——恒流电流或泄漏电流实际值，μA。

采用电压表法校准起始动作电压、直流击穿电压的测量模型见公式（3）、（4）：

*V*n =k×*V*0 （3）

*V*b =k×*V*0 （4）

式中：

*V*b ——直流击穿电压实际值，V；

*V*0 ——数字多用表的电压读数值，V；

k——若使用标准电阻分压器，其分压倍率，不使用则为1。

3 电流表法校准起始动作电压的测量不确定度评定

在本规范要求的环境条件下，温度和相对湿度稳定，对防雷元件测试仪起始动作电压进行测量。由测量模型可知，起始动作电压的测量不确定度分别由*I*0、*R*引入。本评定中分别以脉冲波型和持续波型的起始动作电压1000 V点为例进行分析。

3.1测量重复性引入的相对标准不确定度*u*r1(*I*0)

对起始动作电压1000 V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3：

表3起始动作电压1000 V点，电流表10次测得值（mA）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 脉冲波型 | | | | | | | | | |
| 1.005 | 1.007 | 1.006 | 1.006 | 1.006 | 1.004 | 1.007 | 1.008 | 1.006 | 1.005 |
| 持续波型 | | | | | | | | | |
| 1.002 | 1.002 | 1.001 | 1.002 | 1.003 | 1.001 | 1.001 | 1.002 | 1.001 | 1.001 |

单次测量值的标准偏差：脉冲波型：*s* =0.0012 mA，持续波型：*s* =0.00070 mA。由于实际校准中以一次测量的测得值作为实测值，则

脉冲波型：*u*r1(*I*0)= ×100%=0.12%；

持续波型：*u*r1(*I*0)= ×100%=0.070%。

3.2分辨力引入的相对标准不确定度*u*r2(*I*0)

电流显示分辨力为0.001 mA，区间半宽为0.0005 mA，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则*u*r2(*I*0)= ×100%=0.029%；

取重复性与分辨力引入的标准不确定度的最大者*u*r1(*I*0)。

3.3 数字多用表准确度引入的相对标准不确定度*u*r3(*I*0)

测量起始动作电压1000V时，数字多用表测量流经标准高值电阻的电流值为1 mA，其准确度在采样间隔1 ms时为±0.15%读数值=1.5 μA，区间半宽为1.5 μA，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则脉冲波型：*u*r3(*I*0)= ×100%=0.087%；准确度在常规采样间隔时为±（0.05%读数值+0.06 μA）=0.56 μA，区间半宽为0.56 μA，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则持续波型：*u*r3(*I*0)= ×100%=0.032%。

3.4数字多用表采样间隔引入的相对标准不确定度*u*r4(*I*0)

测量脉冲波型起始动作电压1000V时，数字多用表采样间隔为1 ms，信号持续时间为400 ms，采样分辨率为0.25%，区间半宽为0.125%，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则

脉冲波型：*u*r4(*I*0) ==0.072%。

3.5标准高值电阻准确度引入的相对标准不确定度*u*r(*R*Z)

标准高值电阻的准确度等级为0.2级，服从均匀分布，包含因子*k* =，则

*u*r(*R*Z) =0.2% /=0.12%。

3.6标准不确定度分量

3.6.1各标准不确定度分量见表4：

表4不确定度分量汇总

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 来源 | 相对标准不确定度 | |
| 脉冲波型 | 持续波型 |
| *u*r1(*I*0) | 测量重复性 | 0.12% | 0.070% |
| *u*r3(*I*0) | 数字多用表准确度 | 0.087% | 0.032% |
| *u*r4(*I*0) | 数字多用表采样间隔 | 0.072% | / |
| *u*r(*R*Z) | 标准高值电阻准确度 | 0.12% | 0.12% |

3.6.2 合成相对标准不确定度，则起始动作电压合成标准不确定度：脉冲波型：*u*r = 0.20%；持续波型：*u*r = 0.14%。

3.7扩展不确定度

取*k*=2，起始动作电压测量不确定度：

脉冲波型：*U*rel=0.20%×2≈0.40%，*k*=2；持续波型：*U*rel=0.14%×2≈0.28%，*k*=2。

被校测试仪的MPE为：起始动作电压±（2%读数+1个字），满足，校准可行。

4 电流表法校准恒流电流、泄漏电流的测量不确定度评定

在本规范要求的环境条件下，温度和相对湿度稳定，对防雷元件测试仪恒流电流、泄漏电流进行测量。由测量模型可知，恒流电流、泄漏电流的测量不确定度由*I*0引入。本评定中分别以脉冲波型和持续波型的恒流电流1 mA、泄漏电流20 μA点为例进行分析。

4.1测量重复性引入的相对标准不确定度*u*r1(*I*0)

对恒流电流1 mA、泄漏电流20 μA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5：

表5 电流表10次测得值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 脉冲波型：恒流电流1 mA实际值（mA） | | | | | | | | | |
| 1.005 | 1.008 | 1.006 | 1.008 | 1.006 | 1.007 | 1.006 | 1.007 | 1.008 | 1.006 |
| 脉冲波型：泄漏电流20 μA实际值（μA） | | | | | | | | | |
| 20.06 | 20.04 | 20.04 | 20.03 | 20.04 | 20.08 | 20.06 | 20.03 | 20.07 | 20.08 |
| 持续波型：恒流电流1 mA实际值（mA） | | | | | | | | | |
| 1.003 | 1.002 | 1.003 | 1.004 | 1.003 | 1.002 | 1.002 | 1.003 | 1.002 | 1.003 |
| 持续波型：泄漏电流20 μA实际值（μA） | | | | | | | | | |
| 20.02 | 20.00 | 20.01 | 20.00 | 20.02 | 20.01 | 20.01 | 20.00 | 20.02 | 20.02 |

单次测量值的标准偏差：

恒流电流1 mA：脉冲波型：*s* =0.0011 mA，持续波型：*s* =0.00067 mA；

泄漏电流20 μA：脉冲波型：*s* =0.019 μA；持续波型：*s* =0.0087 μA；

实际校准中以一次测量的测得值作为实测值，则

恒流电流1 mA：脉冲波型：*u*r1(*I*0)= ×100%=0.11%；持续波型：*u*r1(*I*0)= ×100%=0.067%；泄漏电流20 μA：脉冲波型：*u*r1(*I*0)= ×100%=0.097%；持续波型：*u*r1(*I*0)= ×100%=0.044%

4.2分辨力引入的相对标准不确定度*u*r2(*I*0)

电流显示分辨力恒流电流为0.001 mA，泄漏电流为0.01 μA，区间半宽分别为0.0005 mA、0.005 μA，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则

恒流电流1 mA：*u*r2(*I*0)= ×100%=0.029%；

泄漏电流20 μA：*u*r2(*I*0)= ×100%=0.014%。

取重复性与分辨力引入的标准不确定度的最大者*u*r1(*I*0)。

4.3 数字多用表准确度引入的相对标准不确定度*u*r3(*I*0)

测量恒流电流1 mA时，数字多用表准确度在采样间隔1 ms时为±0.15%读数值=1.5 μA，区间半宽为1.5 μA，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则

脉冲波型：*u*r3(*I*0)= ×100%=0.087%；

测量恒流电流1 mA时，数字多用表准确度在常规采样间隔时为±（0.05%读数值+0.06 μA）=0.56 μA，区间半宽为0.56 μA，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则持续波型：*u*r3(*I*0)= ×100%=0.032%。

测量泄漏电流20 μA，数字多用表准确度在常规采样间隔时为±（0.05%读数值+0.025 μA）=0.035 μA，区间半宽为0.035 μA，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则

*u*r3(*I*0)= ×100%=0.10%。

4.4数字多用表采样间隔引入的相对标准不确定度*u*r4(*I*0)

测量脉冲波型恒流电流1 mA时，数字多用表采样间隔为1 ms，信号持续时间为400 ms，采样分辨率为0.25%，区间半宽为0.125%，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则脉冲波型恒流电流1 mA：*u*r4(*I*0)==0.072%。

4.5标准不确定度分量

4.5.1各标准不确定度分量见表6：

表6不确定度分量汇总

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 来源 | 相对标准不确定度（脉冲波型） | |
| 恒流电流 | 泄漏电流 |
| *u*r1(*I*0) | 测量重复性 | 0.11% | 0.097% |
| *u*r3(*I*0) | 数字多用表准确度 | 0.087% | 0.10% |
| *u*r4(*I*0) | 数字多用表采样间隔 | 0.072% | / |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 输入量的不确定度 | 来源 | 相对标准不确定度（持续波型） | |
| 恒流电流 | 泄漏电流 |
| *u*r1(*I*0) | 测量重复性 | 0.067% | 0.044% |
| *u*r3(*I*0) | 数字多用表准确度 | 0.032% | 0.10% |

4.5.2 合成相对标准不确定度，则

恒流电流合成标准不确定度：脉冲波型：*u*r = 0.15%；持续波型：*u*r = 0.075%；

泄漏电流合成标准不确定度：脉冲波型：*u*r = 0.14%；持续波型：*u*r = 0.11%。

4.6 扩展不确定度

取*k*=2，恒流电流测量不确定度：脉冲波型：*U*rel=0.15%×2≈0.30%，*k*=2；

持续波型：*U*rel=0.075%×2≈0.15%，*k*=2。

泄漏电流测量不确定度：脉冲波型：*U*rel=0.14%×2≈0.28%，*k*=2；

持续波型：*U*rel=0.11%×2≈0.22%，*k*=2

被校测试仪的MPE为：恒流电流、漏电流±（3%读数+3个字），满足，校准可行。

5 电压表法校准起始动作电压、直流击穿电压的测量不确定度评定

在本规范要求的环境条件下，温度和相对湿度稳定，对防雷元件测试仪起始动作电压、直流击穿电压进行测量。由测量模型可知，起始动作电压、直流击穿电压的测量不确定度由*V*0*、k*引入。本评定中分别以脉冲波型和持续波型的起始动作电压1000 V、直流击穿电压200 V点为例进行分析。

5.1测量重复性引入的相对标准不确定度*u*r1(*V*0)

对起始动作电压1000 V、直流击穿电压200 V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7：

表7 电压表10次测得值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 脉冲波型：起始动作电压1000 V实际值（V） | | | | | | | | | |
| 0.1006 | 0.1004 | 0.1005 | 0.1006 | 0.1005 | 0.1007 | 0.1004 | 0.1004 | 0.1006 | 0.1005 |
| 脉冲波型：直流击穿电压200 V实际值（V） | | | | | | | | | |
| 200.2 | 200.6 | 200.4 | 200.8 | 200.3 | 200.8 | 200.5 | 200.4 | 200.9 | 200.5 |
| 持续波型：起始动作电压1000 V实际值（V） | | | | | | | | | |
| 0.1002 | 0.1002 | 0.1003 | 0.1004 | 0.1003 | 0.1003 | 0.1002 | 0.1003 | 0.1003 | 0.1004 |
| 持续波型：直流击穿电压200 V实际值（V） | | | | | | | | | |
| 200.2 | 200.3 | 200.1 | 200.4 | 200.5 | 200.2 | 200.3 | 200.5 | 200.1 | 200.5 |

单次测量值的标准偏差：

起始动作电压1000V：脉冲波型：*s* =0.00010 V，持续波型：*s* =0.000074 V;

由于实际校准中以一次测量的测得值作为实测值，则

起始动作电压1000 V：脉冲波型：*u*r1(*V*0)= ×100%=0.10%，持续波型：*u*r1(*V*0)= ×100%=0.074%。

单次测量值的标准偏差：

直流击穿电压200 V：脉冲波型：*s* =0.23 V，持续波型：*s* =0.16 V；

由于实际校准中以一次测量的测得值作为实测值，则

直流击穿电压200 V：脉冲波型：*u*r1(*V*0)= ×100%=0.12%，持续波型：*u*r1(*V*0)= ×100%=0.080%。

5.2分辨力引入的相对标准不确定度*u*r2(*V*0)

电压显示分辨力为0.0001 V，区间半宽为0.00005 V，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则起始动作电压1000V：*u*r2(*V*0)= ×100%=0.029%

电压显示分辨力为0.1 V，区间半宽为0.05 V，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，直流击穿电压200V：*u*r2(*V*0)= ×100%=0.014%

取重复性与分辨力引入的标准不确定度的最大者*u*r1(*V*0)。

5.3 数字多用表准确度引入的相对标准不确定度*u*r3(*V*0)

测量起始动作电压1000V时，数字多用表测量标准电阻分压器二次端电压值为0.1 V，采样间隔1 ms时其准确度为±（0.0050% +0.0235%） =±0.0285%，区间半宽为0.0285%，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则

脉冲波型：*u*r3(*V*0)= =0.016%；

数字多用表测量0.1 V，常规采样间隔时其准确度为±（0.0050%+0.0035%） =±0.0085%，区间半宽为0.0085%，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则

持续波型：*u*r3(*V*0)= =0.0049%；

测量直流击穿电压200 V，数字多用表采样间隔3.33 ms时准确度为±（0.004%×200 V +0.008 V）=0.016 V，区间半宽为0.016 V，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则

*u*r3(*V*0)= ×100%=0.0046%。

5.4数字多用表采样间隔引入的相对标准不确定度*u*r4(*V*0)

测量脉冲波型起始动作电压1000V时，数字多用表采样间隔为1 ms，信号持续时间为400 ms，采样分辨率为0.25%，区间半宽为0.125%，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则脉冲波型起始动作电压1000V：*u*r4(*V*0)==0.072%；

测量直流击穿电压200 V，数字多用表采样间隔为3.33 ms，信号持续时间为2 s，采样分辨率为0.167%，区间半宽为0.083%，此区间服从均匀分布，包含因子*k* =，则

直流击穿电压200 V：*u*r4(*V*0)==0.048%。

5.5标准电阻分压器引入的相对标准不确定度*u*r4 (k)

标准电阻分压器分压倍率的准确度等级为0.01级，服从均匀分布，包含因子*k* =，则，*u*r4 (*k*)=0.01% /=0.0058%。

5.6标准不确定度分量

5.6.1各标准不确定度分量见表8：

表8不确定度分量汇总

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 来源 | 相对标准不确定度（脉冲波型） | |
| 起始动作电压 | 直流击穿电压 |
| *u*1(*V*0) | 测量重复性 | 0.10% | 0.12% |
| *u*3(*V*0) | 数字多用表准确度 | 0.016% | 0.0046% |
| *u* 4(*V*0) | 数字多用表采样间隔 | 0.072% | 0.048% |
| *u*(*k*) | 标准电阻分压器准确度 | 0.0058% | / |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 来源 | 相对标准不确定度（持续波型） | |
| 起始动作电压 | 直流击穿电压 |
| *u*1(*V*0) | 测量重复性 | 0.074% | 0.080% |
| *u*3(*V*0) | 数字多用表准确度 | 0.0049% | 0.0046% |
| *u* 4(*V*0) | 数字多用表采样间隔 | / | 0.048% |
| *u*(*k*) | 标准电阻分压器准确度 | 0.0058% | / |

5.6.2 合成相对标准不确定度



起始动作电压合成标准不确定度：脉冲波型： *u*r = 0.13%，持续波型：*u*r = 0.075%。



直流击穿电压合成标准不确定度: 脉冲波型：*u*r = 0.13%，持续波型：*u*r = 0.093%。

5.7 扩展不确定度

取*k*=2，起始动作电压测量不确定度：脉冲波型：*U*rel=0.13%×2≈0.26%，*k*=2；

持续波型：*U*rel=0.075%×2≈0.15%，*k*=2；

直流击穿电压测量不确定度：脉冲波型：*U*rel=0.13%×2≈0.26%，*k*=2；

持续波型：*U*rel=0.093%×2≈0.19%，*k*=2。

被校测试仪的MPE为±（2%读数+1个字），满足，校准可行。

《防雷元件测试仪》校准规范编写组

2021年08月22日