



# 新疆维吾尔自治区地方计量技术规范

JJF（新）140—2024

## 电气安全综合分析仪校准规范

Calibration Specification for  
Electrical Safety Comprehensive Analyzers

2024-12-31 发布

2025-06-30 实施

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 发布

# 电气安全综合分析仪校准规范

Calibration Specification for Electrical  
Safety Comprehensive Analyzers

JJF（新）140—2024

归口单位：新疆维吾尔自治区市场监督管理局

主要起草单位：新疆维吾尔自治区计量测试研究院

参加起草单位：新疆维吾尔自治区产品质量检验监督研究院

上海市质量监督检验技术研究院

中国计量科学研究院

新特能源股份有限公司

本规范委托新疆维吾尔自治区电磁计量技术委员会解释

**本规范主要起草人：**

杰恩斯·木卡依（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

史鹏飞（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

陈中原（新疆维吾尔自治区产品质量监督检验研究院）

**参加起草人：**

马腾（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

倪华（上海市质量监督检验技术研究院）

罗力生（中国计量科学研究院）

吕彦能（新特能源股份有限公司）

# 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 )
4.1 交直流输出电压.....	( 2 )
4.2 交直流泄漏电流（耐电压）.....	( 2 )
4.3 绝缘电阻试验端子输出电压.....	( 2 )
4.4 绝缘电阻.....	( 3 )
4.5 接地导通试验电流.....	( 3 )
4.6 接地导通电阻.....	( 3 )
4.7 泄漏试验电压（直流或 50Hz）.....	( 3 )
4.8 泄漏电流（直流或 50Hz）.....	( 3 )
4.9 输出电压持续（保持）时间.....	( 3 )
5 校准条件.....	( 3 )
5.1 环境条件.....	( 3 )
5.2 校准所用测量标准及设备.....	( 4 )
6 校准项目和校准方法.....	( 4 )
6.1 校准项目.....	( 4 )
6.2 校准方法.....	( 5 )
7 校准结果.....	( 177 )
8 复校时间间隔.....	( 188 )
附录 A 原始记录参考格式.....	( 19 )
附录 B 校准证书内页格式.....	( 222 )
附录 C 电气安全综合分析仪交流输出电压校准结果不确定度评定.....	( 255 )
附录 D 电气安全综合分析仪交流泄漏电流校准结果不确定度评定.....	( 288 )
附录 E 电气安全综合分析仪电压持续（保持）时间校准结果不确定度评定.....	( 311 )
附录 F 电气安全综合分析仪绝缘电阻校准结果不确定度评定.....	( 344 )
附录 G 电气安全综合分析仪接地导通试验电流校准结果不确定度评定.....	( 38 )
附录 H 电气安全综合分析仪接地导通电阻校准结果不确定度评定.....	( 41 )

# 引 言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制订的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

# 电气安全综合分析仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于最高输出工频（直流）电压不高于 15kV，测量范围不大于 100G $\Omega$ 、额定电压 5000V 及以下的绝缘电阻，测量下限范围不大于 650m $\Omega$ 、试验电流 40A (50Hz) 及以下的交直流接地导通电阻，工频（直流）高压泄漏电流不大于 20mA 的一个或多个测量网络的有源或无源泄漏（接触）电流测试仪功能基于一个测量系统的电气安全综合分析仪（以下简称分析仪）的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG795 耐电压测试仪检定规程

JJG843 泄漏电流测试仪检定规程

JJG984 接地导通测试仪检定规程

JJG1005 电子式绝缘电阻表检定规程

GB/T4706.1 《家用和类似用途电器的安全通用要求》

GB 4793.1 《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第 1 部分：通用要求》

GB/T13870.1 《电流对人和家畜的效应 第 1 部分：通用要求》

凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

## 3 概述

电气安全综合分析仪是一种功能强大而灵活的测试设备，常用于测试各类电气设备和器材的安全性能。分析仪一般具有耐电压、绝缘电阻、漏电流、接地导通等测试功能，可以有效地检测电气设备的各种电气性能。目前国内外多数生产厂家采用图 1 所示的测量系统。系统由单片机产生数字正弦波 50/60Hz 信号，由大功率线性功放驱动输出，经过转换电路生成耐电压、接地导通和绝缘测试的源输出信号。源输出信号经过控制继电器输出到外部接线盒。源输出信号和被测电压或电流信号由测量电路进

行检测，通过显示电路将检测结果显示出来。泄漏电流的源输出信号是电网电压经隔离变压器产生，若隔离变压器输入用稳压电源则效果更好。

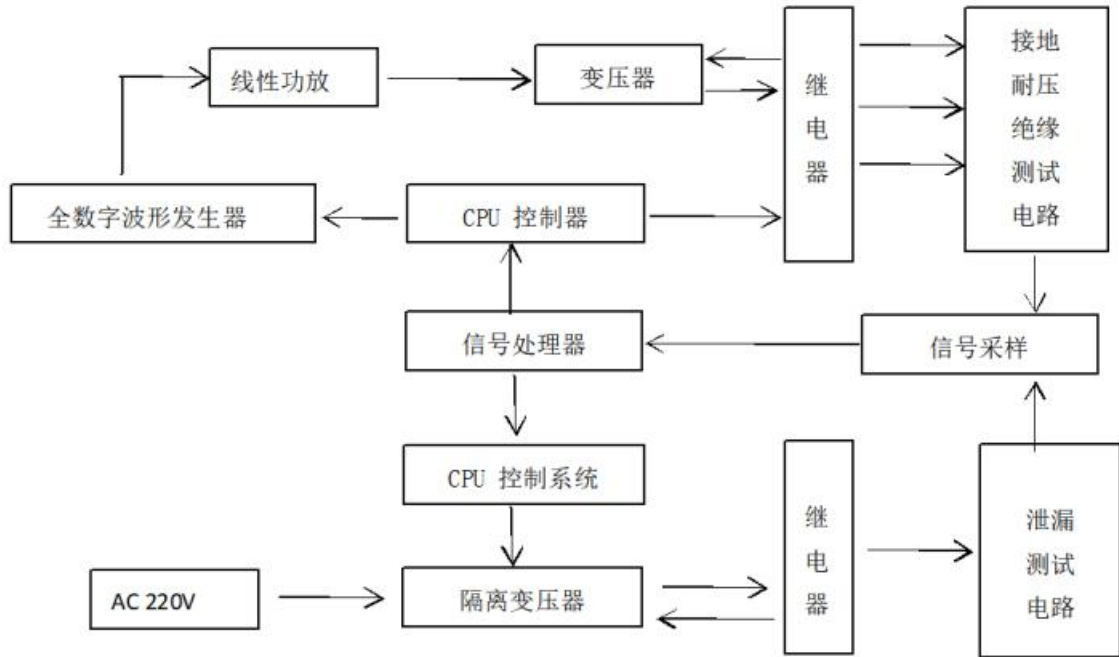


图1 测试电路原理图

## 4 计量特性

### 4.1 交直流输出电压

范围：0.1kV~10kV；

最大允许误差：±1%~±10%；

### 4.2 交直流泄漏电流（耐电压）

范围：0.5mA~100mA；

最大允许误差：±1%~±10%；

### 4.3 绝缘电阻试验端子输出电压

范围：10V~5000V；

最大允许误差：±2%~±20%；

#### 4.4 绝缘电阻

测量范围：0.1M $\Omega$ ~100G $\Omega$ ；

最大允许误差： $\pm 2\%$ ~ $\pm 20\%$ ；

#### 4.5 接地导通试验电流

测量范围：1A~40A (直流或 50Hz)；

最大允许误差： $\pm 1\%$ ~ $\pm 10\%$ ；

#### 4.6 接地导通电阻

测量范围：1m $\Omega$ ~650m $\Omega$ ；

最大允许误差： $\pm 1\%$ ~ $\pm 10\%$ ；

#### 4.7 泄漏试验电压 (直流或 50Hz)

测量范围：30V~300V；

最大允许误差： $\pm 1\%$ ~ $\pm 10\%$ ；

#### 4.8 泄漏电流 (直流或 50Hz)

测量范围：0.05mA~20mA；

最大允许误差： $\pm 1\%$ ~ $\pm 10\%$ ；

#### 4.9 输出电压持续 (保持) 时间

测量范围：1s~999.9s；

最大允许误差：大于 20s 时 $\pm 1\%$ ，小于等于 20s 时  $\pm 0.2s$ ；

注：以上指标不是用于合格判定依据，仅供参考。

### 5 校准条件

#### 5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：(20 $\pm$ 5)  $^{\circ}\text{C}$

5.1.2 相对湿度：20%~80%



5.1.3 电源电压：220V±22V

5.1.4 电源频率：50Hz±0.5Hz

5.1.5 电源电压谐波畸变率：≤5%

5.1.6 校准场所没有可察觉的振动和影响仪器正常工作的电磁干扰。

## 5.2 校准所用测量标准及设备

### 5.2.1 耐电压测试仪校验仪或者交直流数显分压器

输出电压校准推荐两种标准器：

a) 耐电压测试仪校验仪，其测量范围：耐电压 ACV/DCV：(0.1~15)kV，ACI/DCI：0.1mA~200mA，时间：(0.1~999.9)s；

b) 交直流数显分压器、负载箱、多用表与电子计时器组合，耐电压 ACV/DCV：(0.1~15)kV，ACI/DCI：0.1mA~200mA，时间：(0.1~999.9)s；

准确度或最大允许误差应达到：ACV：0.5级，DCV：0.2级，ACI/DCI：±0.2%，时间：±0.2%。

c) 高压交直流负载箱，阻值范围：6kΩ~2MΩ；最大允许误差：±0.5%。

### 5.2.2 绝缘电阻测试仪校准装置（高阻箱）

绝缘电阻测量范围：R：(0~100)GΩ，电压：(10~5000)V，准确度：(0.2~5.0)级。

### 5.2.3 泄漏电流校准装置

测量范围(50Hz/60Hz 或直流)：ACI/DCI：0~2mA，0~20mA；R：12kΩ~1.2MΩ，准确度：ACI：0.1级，DCI：0.05级，R：±2%。

### 5.2.4 接地导通电阻校准装置

接地导通电阻标准电阻器测量范围：1mΩ~650mΩ（电流1A~40A直流或50Hz），最大允许误差：±0.2%~±0.5%。

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准项目

校准项目见表1。

表1 校准项目

序号	校准项目
1	交直流输出电压

2	交直流泄漏电流（耐电压）
3	绝缘电阻试验端子输出电压
4	绝缘电阻
5	接地导通试验电流
6	接地导通电阻
7	泄漏试验电压（直流或 50Hz）
8	泄漏电流（直流或 50Hz）
9	输出电压持续（保持）时间

## 6.2 校准方法

### 6.2.1 校准前准备

分析仪应有正确使用的必要标识，不应有引起测量错误和影响安全性能的缺陷，应具有预置功能、切断功能和报警功能，并记录于附录 A 表 A.1 中。

### 6.2.2 交直流电压

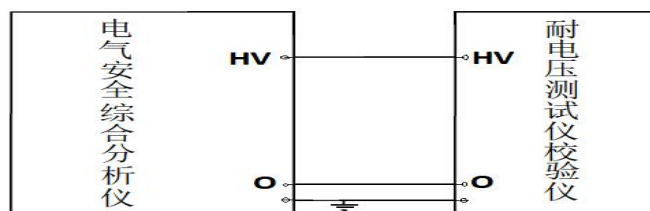


图 2 耐电压测试仪校验仪校准输出电压接线图

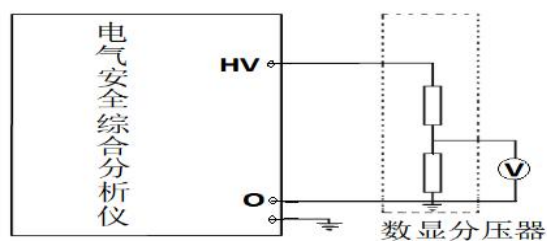


图 3 交直流分压器、交直流电压表校准输出电压接线图

6.2.2.1 被校分析仪交直流输出电压的校准可按图 2、图 3 两种方法进行。耐电压测试仪校验仪校准输出电压接线按图 2 接线，交直流分压器、交直流电压表校准输出电压按图 3 接线。

6.2.2.2 选取最高量程为全校量程，其他量程选点校准。全校量程应在  $40\%U_m \sim$

100% $U_m$  范围均匀选取校准点, 且不少于四点, 其余量程选取 40% $U_m$ 、70% $U_m$ 、100% $U_m$  三点。

6.2.2.3 设定被校分析仪输出电压至校准点  $U_s$ , 读取校准装置交流或直流电压示值  $U_n$ ,

图 2 中输出电压测量值按公式 (1) 计算, 并将数据记录于附录 A 表 A.2 或 A.4 中。

$$\delta_{U_s} = \frac{U_s - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$\delta_{U_s}$  — 设定电压相对误差, %;

$U_s$  — 设定电压示值, kV;

$U_n$  — 输出电压实际值, kV;

### 6.2.3 交直流泄漏电流 (耐电压)

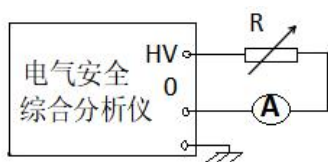


图 4 (a)

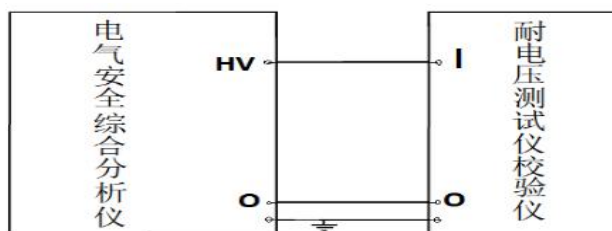


图 4 (b)

图 4 耐电压交直流泄漏电流校准接线图

6.2.3.1 按图 4 (a)、(b) 将被校分析仪交直流电压输出端经高压负载电阻与电流表测量端或耐电压测试仪校验仪泄漏电流测量端连接成闭合回路。

6.2.3.2 根据被校分析仪交直流泄漏电流在每个电流量程的 20% $I_m$ ~100% $I_m$  范围内均匀选取至少 3 个校准点。

6.2.3.3 选择高压负载电阻, 应使得回路电流达到交直流泄漏电流校准点时, 被校分析仪的输出电压不大于高压负载电阻的额定电压, 不小于被校分析仪额定电压的十分之一, 且不小于 500V。

6.2.3.4 设置被校分析仪为交流输出或直流输出，电流表或耐电压测试仪校验仪泄漏电流测量设置为交流电流测量或直流电流测量。

6.2.3.5 设定被校分析仪输出电压加在负载电阻上，并注意观察校准装置电流显示值，当回路电流增大到被校仪泄漏电流校准点  $I_s$  时读取电流表电流测量值  $I_n$ ；或设置电流表或校验仪泄漏电流测量功能保持当前回路最大电流值，被校分析仪输出校准电流值  $I_s$  时电流表或校验仪所保持示值即为电流测量值  $I_n$ 。图 4 中分析仪泄漏电流测量值按公式（2）计算，并将数据记录于附录 A 表 A.3 或 A.5 中。

$$\delta_{I_s} = \frac{I_s - I_n}{I_n} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\delta_{I_s}$  — 设定泄漏电流相对误差，%；

$I_s$  — 泄漏电流示值，mA；

$I_n$  — 输出电压实际值，mA。

#### 6.2.4 绝缘电阻试验端子输出电压

6.2.4.1 开路电压采用直接测量法测量，按图 5 将被校分析仪绝缘输出端与交直流高压分压器的高电压测量端直接连接。在开关 K 断开的状态下，数显分压器测得电压值为被校分析仪绝缘电阻测试功能开路电压值。

6.2.4.2 根据被校分析仪的绝缘试验电压范围如果有足够大的电压，应选取 250V、500V、1000V、2500V、5000V 等校准点。设置试验电压并启动被校分析仪输出电压，读取分压器法电压测量值。

6.2.4.3 测量跌落电压时，按照图 5 将被校分析仪绝缘输出端与交直流高压分压器的高电压测量端直接连接。在开关 K 接通状态下，高压高阻标准器 R 的电阻调至被校准分析仪绝缘电阻功能的跌落电阻值（一般为额定电压下最小量程上限的 1%，或参照制造厂家给出的值），数显分压器测得电压值为被校分析仪绝缘电阻测试功能跌落电压值。

6.2.4.4 电气安全综合分析仪绝缘电阻测量部分额定电压下测量绝缘电阻跌落电压不

应低于额定电压的 90%；被校分析仪绝缘电阻功能跌落电阻由制造厂提供的电阻值，绝缘电阻测量端子接入跌落电阻时，跌落电压不应低于额定电压的 90%。

图 5 中分析仪开路电压误差按公式（3）计算，并将数据记录于附录 A 表 A.6 中。

$$\delta_{U_I} = \frac{U_I - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\delta_{U_I}$  — 设定绝缘输出端子开路电压相对误差，%；

$U_I$  — 绝缘输出端子开路电压设定值，V；

$U_n$  — 绝缘输出端子开路电压实际值，V；

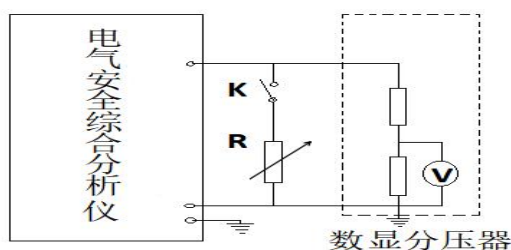


图 5 分析仪绝缘电阻测量端子开路、跌落电压校准接线图

## 6.2.5 绝缘电阻

6.2.5.1 采用标准电阻器法，按图 6 将被校分析仪的绝缘电阻测量端及屏蔽端与兆欧表标准电阻器的电阻端及屏蔽端分别连接。

6.2.5.2 绝缘电阻校准点选取，在不同的试验电压量程内均匀的选取不少于 5 个校准点，应并包括量程的 10%、50%、90%接近的值。

6.2.5.3 调节兆欧表标准电阻器的电阻值至校准点  $R_s$ ，读取被校分析仪的示值  $R_x$ ，按公式（4）计算示值误差，将数据记录于附录 A 表 A.7 中。

$$\delta_{R_x} = \frac{R_x - R_s}{R_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\delta_{R_x}$  —分析仪绝缘电阻值相对误差，%；

$R_x$  —绝缘电阻示值， $\Omega$ ；

$R_s$  —绝缘电阻实际值， $\Omega$ ；

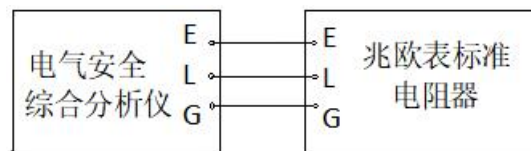


图6 分析仪绝缘电阻测量功能校准接线图

#### 6.2.6 接地导通试验电流

6.2.6.1 分析仪接地导通试验电流校准，可采用电阻电压法或标准电流表法。可调试的电流源应在量程的20%~100%之间均匀选取3~5个校准点。

6.2.6.2 电阻电压法校准时，分析仪接地导通试验电流输出端及电压采样端分别与标准电阻器的电流端和电压端相接，标准电阻器阻值调节为测试仪的测量上限值，标准电压表与标准电阻器的电压端并联。接通测试开关，试验电流从标准电阻器流过。记下此时标准电压表的读数  $U_o$  和测试仪的试验电流  $I_o$ ，如图7所示。试验电流的实际值按公式（5）计算，并将数据记录于附录A表A.8中。

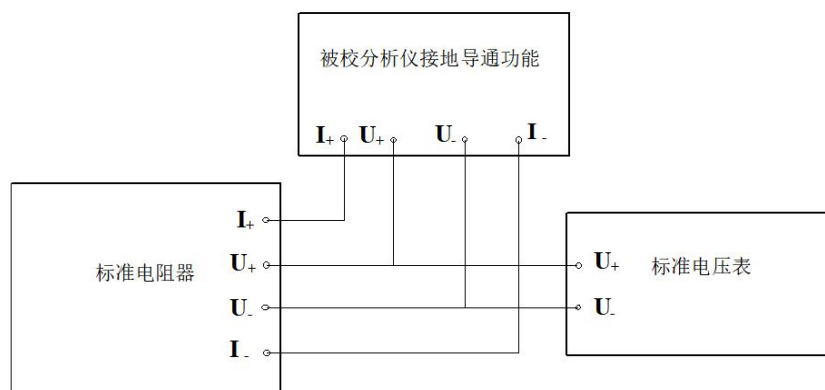


图7 标准电阻电压法校准分析仪接地导通试验电流校准接线图

$$I_o = \frac{U_o}{R_o} \quad (5)$$

式中：

$I_o$  —试验电流的实际值，A；

$U_o$  —标准电压表的读数, V;

$R_o$  —标准电阻器的实际值,  $\Omega$ ;

试验电流的示值误差按式 (6) 计算。

$$\gamma_I = \frac{I - I_o}{I_o} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

$\gamma_I$  —分析仪接地导通试验电流的相对误差, %;

$I$  —试验电流的示值, A;

$I_o$  —标准电流表的读数值, A;

6.2.6.3 标准电流表法接线图 8 所示。将标准电流表、负载电阻与分析仪的电流输出端串联, 负载电阻取分析仪接地导通电阻的测量上限值; 测试仪的电压采样端与负载电阻并联, 接通测试仪的测试开关, 由标准电流表测量出测试仪输出的试验电流的实际值。试验电流的示值误差按式 (6) 计算, 并将数据记录于附录 A 表 A.8 中。

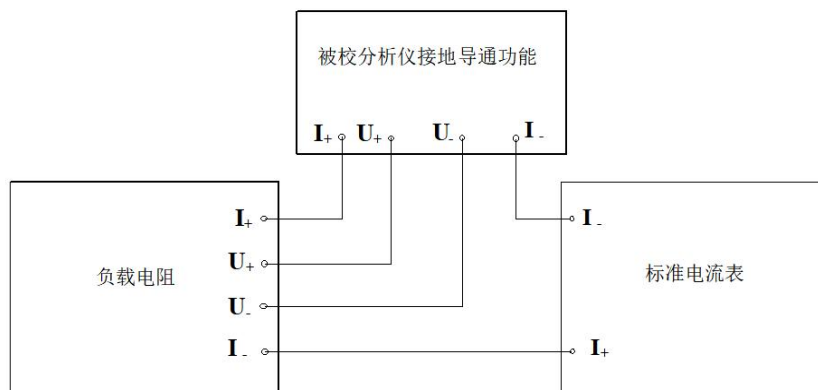


图 8 标准电流表法校准分析仪接地导通试验电流校准示意图

### 6.2.7 接地导通电阻

6.2.7.1 接地导通电阻的校准, 可以采用标准电阻器法、电流电压法、标准电压源法。

6.2.7.2 校准点在量程的 2% ~ 100% 之间均匀选取, 在基本电流量程 (没有特别说明时, 一般以 25A 为基本电流量程), 对于模拟式测试仪, 有数字的刻度必须校准; 对于数字式测试仪, 校准点不少于 5 个点。在其他电流量程电阻示值的校准点不少于 2

个点。

### 6.2.7.3 标准电阻器法

标准电阻器法校准原理线路如图 9 所示。被校准分析仪接地导通电阻的电流输出端和电压采样端分别与标准电阻器的电流端和电压端相接，调节标准电阻器至分析仪校准点相应的标称值，当被校准分析仪的输出电流稳定后，读取被校准分析仪的指示值。电阻示值的相对误差按式（7）计算，并将数据记录于附录 A 表 A.9 中。

$$\gamma_R = \frac{R - R_o}{R_o} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

$\gamma_R$  — 分析仪接地导通电阻的相对误差，%；

$R$  — 分析仪接地导通电阻标称值， $\Omega$ ；

$R_o$  — 标准电阻器的实际值， $\Omega$ ；

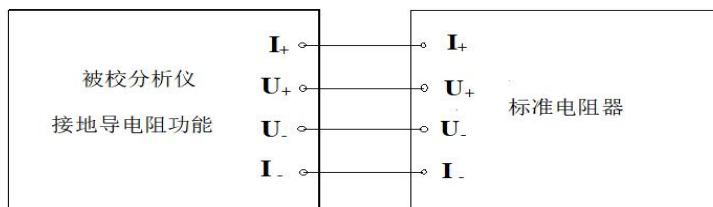


图 9 标准电阻器法校准分析仪接地导通电阻示值原理线路图

### 6.2.7.4 电流电压法

电流电压法校准分析仪接地导通电阻示值原理线路图 10 所示，电流电压法校准时，分析仪接地导通电流输出端和电压采样端分别接负载电阻  $R$  的电流端和电压端，标准电流表串联在电流回路，标准电压表并联在电压回路。分析仪输出相应的试验电流，记录此时分析仪电阻示值、标准电流表和标准电压表的读数，则分析仪电阻示值的实际值按式（8）计算：

$$R_o = \frac{U_o}{I_o} \quad (8)$$



式中：

$R_o$ —分析仪示值电阻的实际值， $\Omega$ ；

$U_o$ —标准电压表的读数值，V；

$I_o$ —标准电流表的读数值，A；

改变负载电阻  $R$ ，可测得不同校准点的实际值。

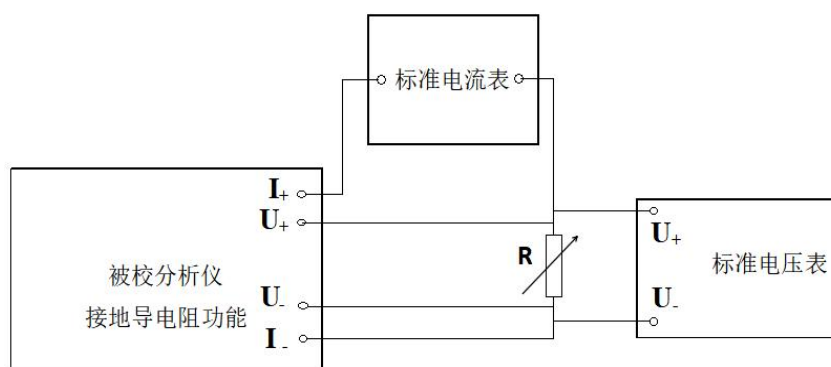


图 10 电流电压法校准分析仪接地导通电阻示值线路图

#### 6.2.7.5 标准电压源法

标准电压源法的校准原理线路图如图 11 所示。分析仪的电流输出端串联一相应的负载电阻  $R$ ，然后接标准电流表；电压采样端接标准电压源。分析仪输出相应的试验电流，调节标准电压源使分析仪显示相应的标称电阻值，记下此时分析仪电阻示值、标准电流表和标准电压源的读数，则分析仪电阻值的实际值按式（9）计算。

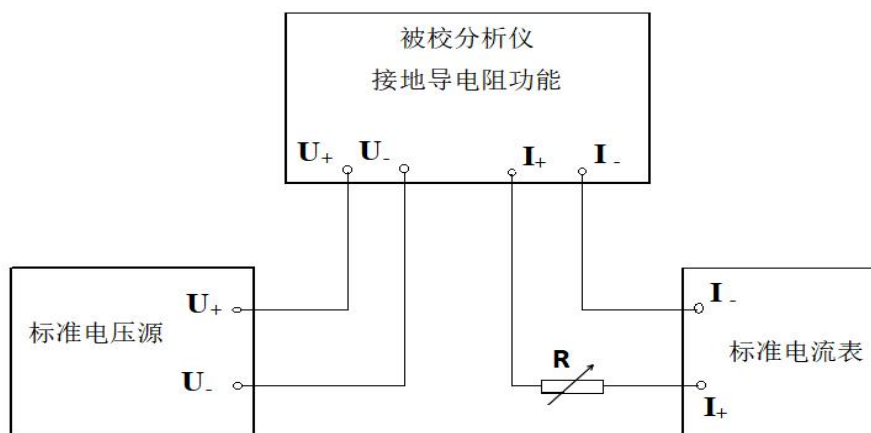


图 11 标准电压源法校准分析仪接地导通电阻示值线路图

$$R_o = \frac{U_o}{I_o} \quad (9)$$

式中：

$R_o$ —分析仪示值电阻的实际值， $\Omega$ ；

$U_o$ —标准电压源的读数值，V；

$I_o$ —标准电流表的读数值，A；

分析仪接地导通电阻的示值误差按式(7)计算，并将数据记录于附录 A 表 A.9 中。

#### 6.2.8 泄漏试验电压（直流或 50Hz）

6.2.8.1 对于具有试验电压显示的被校分析仪，应进行试验电压校准。试验电压至少校准两个点，其中包括 1.06 倍额定电压值。

对自身提供试验电压的分析仪，采用标准表法校准，校准线路如图 12 所示。L 和 N 为分析仪试验电压输出端。设定分析仪的试验电压输出至校准点，利用标准电压表读取电压实际值。

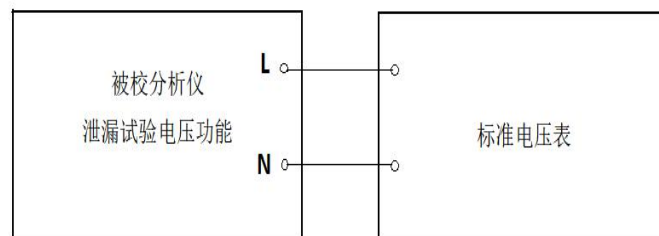


图 12 自身提供试验电压的分析仪的试验电压校准线路图

对于自身不提供试验电压但具有试验电压输入端子的分析仪，校准线路图如图 13 所示。L 和 N 为分析仪试验电压输出端。调节可调稳压电源输出至校准点，利用标准电压表读取电压实际值。

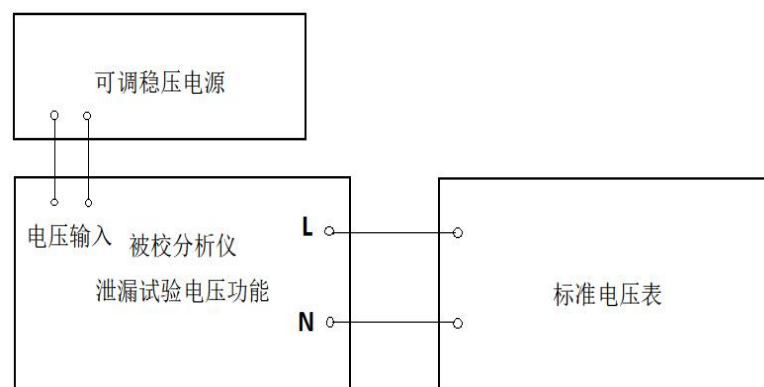


图 13 自身不提供试验电压的分析仪的试验电压校准线路图

试验电压指示仪表的误差，根据分析仪是数字式或模拟式，分别按公式（10）或公式（11）计算，并将数据记录于附录 A 表 A.10 中。

$$\text{数字式: } \gamma_v = \frac{U_x - U_o}{U_o} \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{模拟式: } \gamma_{v_m} = \frac{U_x - U_o}{U_m} \times 100\% \quad (11)$$

式中：

$\gamma_v$  — 试验电压指示仪表相对误差，%；

$\gamma_{v_m}$  — 试验电压指示仪表引用误差，%；

$U_x$  — 试验电压指示仪表示值，V；

$U_o$  — 试验电压实测值，V；

$U_m$  — 试验电压指示仪表相应量程上限值，V；

#### 6.2.9 泄漏电流（直流或 50Hz）

对于同时具有直流和交流测试功能的被校分析仪，应分别在直流和交流状态下进行校准。对于交流测试功能，应在 50Hz 频率下进行校准，客户有特殊要求的协商确定测量频率。

对分析仪每一个电流量程都进行校准。选取准确度最高的量程为全校量程，其余量程为非全校量程。对于全校量程，在  $20\%I_m \sim 100\%I_m$  范围内，均匀选取校准点（或最近刻度点），且不少于 4 点；对于其他量程，在  $20\%I_m \sim 100\%I_m$  范围内，均匀选取校准点（或最近刻度点），且不少于 3 点。

对于具有多个测量网络的分析仪，应分别进行校准。

#### 6.2.9.1 标准电流源法

标准电流源法的校准原理线路如图 14 所示。

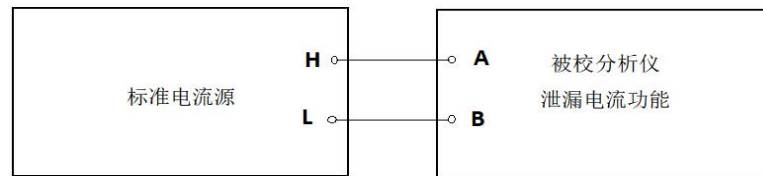


图 14 标准电流源法校准分析仪泄漏电流示值线路图

根据分析仪的测试功能（DC 或 AC）选择相应的标准电流源，将分析仪的 A、B 测量端连接到标准电流源的输出端。调节标准电流源输出至分析仪的各校准点，记录标准电流源的设定输出值（测量网络的输入电流值） $I_{in}$ 。对于具有直流功能的分析仪， $I_{in}$  即为泄漏电流标准值  $I_o$ 。对于具有交流功能的分析仪，泄漏电流标准值  $I_o$  按公式(12) 计算。

$$I_o = K_I \cdot I_{in} \quad (12)$$

式中：

$I_o$ —分析仪泄漏电流标准值，mA；

$K_I$ —泄漏电流与输入电流比值的标称值；

$I_{in}$ —测量网络的输入电流值，mA；

不同测量网络的泄漏电流与输入电流比值的标称值  $K_I$  见表 2。

表 2 测量网络的泄漏电流与输入电流比值的标称值

测量网络	电灼伤 测量网络	感知/反应 电流测量网络	摆脱电流 测量网络	潮湿接触 电流测量网络	直流与低频 测量网络
$K_I$	1	0.997 4	0.997 9	1	1

分析仪的泄漏电流示值，根据分析仪是数字式或模拟式，分别按公式（13）计算相对误差或按公式（14）计算引用误差，并将数据记录于附录 A 表 A.11 中。

$$\text{数字式: } \gamma_I = \frac{I_x - I_o}{I_o} \times 100\% \quad (13)$$

$$\text{模拟式: } \gamma_{I_m} = \frac{I_x - I_o}{I_m} \times 100\% \quad (14)$$

式中：

$\gamma_1$ —分析仪泄漏电流示值的相对误差，%；

$\gamma_{I_m}$ —分析仪泄漏电流示值的引用误差，%；

$I_m$ —分析仪相应量程的上限值，mA。

#### 6.2.9.2 标准电压表法

当电流源输出电流准确度不能满足标准电流源法的校准要求时，可采用图 15 的方法。图 15 中用标准电压表测量已知电阻上的压降，测量网络的输入电流值  $I_{in}$  按公式（15）计算。图 16 中测量网络的输入电流值  $I_{in}$  为标准电流表的读数值。对于具有直流功能的分析仪， $I_{in}$  即为泄漏电流标准值  $I_0$ ；对于具有交流功能的分析仪，泄漏电流标准值  $I_0$  按公式（12）计算。根据分析仪是数字式或模拟式，分别按公式（13）计算相对误差或按公式（14）计算引用误差。

$$I_{in} = \frac{U_V}{R_V} \quad (15)$$

式中：

$U_V$ —标准电压表示值，V；

$R_V$ —无感标准电阻或交流标准电阻箱实际值，取值范围为  $10\Omega \sim 100\Omega$ ；

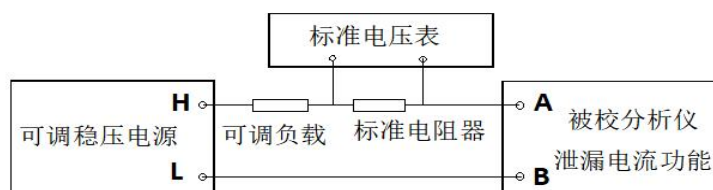


图 15 标准电压表法

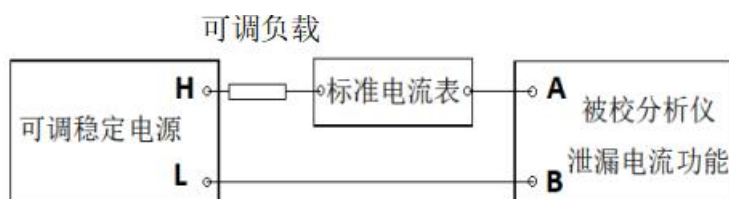


图 16 标准电流表法

对于能输出试验电压的分析仪，可用自身提供的电压输出代替可调稳定电源。

#### 6.2.10 输出电压持续（保持）时间

6.2.10.1 大于 20s 范围内选择至少 1 个校准点，其中 60s 为必校点。小于等于 20s 范围内选择至少 1 个校准点。

6.2.10.2 按图 17（a）、（b）将被校分析仪电压输出端与校验仪的高压端或者交直流高压分压器（加电子计时器）的高压测量端直接连接。



图 17 输出电压持续（保持）时间校准线路图

6.2.10.3 将分析仪时间控制置于定时方式。调整输出电压至  $0.1U_H$ ，但不能低于 500V。按下输出“启动”键，当分析仪输出电压达到稳定时自动或手动启动标准计时器，当发出切断信号时，自动终止计时。持续（保持）时间设定值的相对误差用公式（16）计算，并将数据记录于附录 A 表 A.12 中。

$$\delta_t = \frac{T_x - T_n}{T_n} \times 100\% \quad (16)$$

式中：

$T_x$ —分析仪输出电压持续（保持）时间设定值，s；

$T_n$ —分析仪输出电压持续（保持）时间实际值，s；

$\delta_t$ —分析仪输出电压持续（保持）时间相对误差，%；

## 7 校准结果

电气安全综合分析仪校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- a)标题：“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应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h)如果与校准结果的有效性和应用有关时，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说明；
- p)未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

电气安全综合分析仪校准原始记录格式见附录 A，校准证书内页格式见附录 B，测量不确定度评定示例见附录（C～H）。

## 8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年，送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

---

附录 A

原始记录参考格式

委托单号：\_\_\_\_\_证书编号：\_\_\_\_\_第    页 共    页  
送校单位：\_\_\_\_\_地    址： \_\_\_\_\_  
仪器名称：\_\_\_\_\_生产厂家： \_\_\_\_\_  
型号/规格：\_\_\_\_\_出厂编号： \_\_\_\_\_  
技术依据：\_\_\_\_\_校准日期： \_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日  
标准器信息：

名称	测量范围	不确定度或等 级或最大允差	证书编号	有效期至

环境温度： \_\_\_\_\_℃  环境湿度： \_\_\_\_\_%RH    校准地点\_\_\_\_\_  
校准员： \_\_\_\_\_    核验员： \_\_\_\_\_

A.1    外观及功能正常性检查：

A.2    交流输出电压校准

量程范围	示值 (kV)	实际值 (kV)	扩展不确定度 $U_{rel}, k=2$

A.3    耐电压交流泄漏电流校准

量程	显示值 (mA)	实际值 (mA)	扩展不确定度 $U_{rel}, k=2$



## A.4 直流输出电压校准

量程范围	示值 (kV)	实际值 (kV)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## A.5 耐电压直流泄漏电流校准

量程	显示值 (mA)	实际值 (mA)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## A.6 绝缘电阻试验电压校准

标称值 (V)	实际值 (V)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## A.7 绝缘电阻校准

标准值 (M $\Omega$ )	显示值 (M $\Omega$ )			扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$
	电压 1:	电压 2:	电压 3:	

## A.8 接地导通试验电流校准

标称值 (A)	实际值 (A)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## A.9 接地导通电阻校准

量程	标准值 (mΩ)	显示值 (mΩ)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## A.10 泄漏电流试验电压（直流或 50Hz 测量）校准

显示值 (V)	实际值 (V)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## A.11 泄漏电流（直流或 50Hz 测量）校准

量程	显示值 (mA)	实际值 (mA)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## A.12 耐电压持续（保持）时间校准

量程	设定值 (s)	实际值 (s)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及功能正常性检查：

B.2 交流输出电压校准

量程范围	示值 (kV)	实际值 (kV)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

B.3 耐电压交流泄漏电流校准

量程	显示值 (mA)	实际值 (mA)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

B.4 直流输出电压校准

量程范围	示值 (kV)	实际值 (kV)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

B.5 耐电压直流泄漏电流校准

量程	显示值 (mA)	实际值 (mA)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

--	--	--	--

## B.6 绝缘电阻试验电压校准

标称值 (V)	实际值 (V)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## B.7 绝缘电阻校准

标准值 (M $\Omega$ )	显示值 (M $\Omega$ )			扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$
	电压 1:	电压 2:	电压 3:	

## B.8 接地导通试验电流校准

标称值 (A)	实际值 (A)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## B.9 接地导通电阻校准

量程	标准值 (m $\Omega$ )	显示值 (m $\Omega$ )	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## B.10 泄漏电流试验电压（直流或 50Hz 测量）校准

显示值 (V)	实际值 (V)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## B.11 泄漏电流（直流或 50Hz 测量）校准

量程	显示值 (mA)	实际值 (mA)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## B.12 耐电压持续（保持）时间校准

量程	设定值 (s)	实际值 (s)	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}, k=2$

## 附录 C

## 电气安全综合分析仪交流输出电压校准结果不确定度评定

## C.1 概述

C.1.1 测量依据：测量依据：JJF（新）140—2024《电气安全综合分析仪校准规范》

C.1.2 环境条件：环境温度（20±5）℃，相对湿度：≤75%RH

C.1.3 测量标准：多功能电气安全校准器 5320A，测量范围：ACDCV：0~10kV（适配器），0~40kV（80k-40 高压探头），最大允许误差：ACDCV：±0.5%rd+10V；

C.1.4 被测对象：安气安全综合分析仪耐压部分，型号：CS9933S 型程控安规综合测试仪，准确度级别：5 级

## C.1.5 测量过程

用多功能电气安全校准器校准，首先选择分析仪交流电压输出部分，将设定好输出电压校准点，按下“启动”键，电压稳定后读取标准器上的电压显示值，此时被校准分析仪耐压部分输出电压示值与标准器上的电压显示值之差即为被校分析仪耐压部分输出电压的示值误差。

C.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定方法，其中输出电压 1kV，2kV，3kV，4kV，5kV 可直接使用本不确定度的测量结果。

## C.2 建立测量模型

C.2.1 测量模型： $\Delta V = V_x - V_s$

式中： $\Delta V$ — 分析仪耐压部分输出交流电压示值误差

$V_x$ — 分析仪耐压部分输出交流电压示值

$V_s$ — 标准器读数值

C.2.2 灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta V}{\partial V_x} = 1$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta V}{\partial V_s} = -1$$

C.2.3 传播率公式：因各输入量彼此独立不相关，故

$$u_c^2(\Delta V) = u^2(V_x) + u^2(V_s)$$

### C.3 输入量的不确定度评定及其相应自由度

#### C.3.1 输入量 $V_x$ 的标准不确定度 $u(V_x)$ 的评定

该不确定度分项采用 A 类方法进行评定。

1kV 点：

输入量  $V_x$  的标准不确定度  $u(V_x)$  主要是测量不重复, 通过连续测量得到测量列, 10 次重复性测量, 得到数据: (kV)

1.005, 1.004, 1.005, 1.004, 1.003, 1.004, 1.005, 1.004, 1.004, 1.005

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 1.0043 \text{ kV}$$

$$\text{单次测量的标准差 } s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} = 0.00067 \text{ kV}$$

实际测量时进行 3 次, 取 3 个测得值的平均值作为测量结果, 则

$$u(V_x) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.00039 \text{ kV}$$

#### C.3.2 输入量 $V_s$ 的标准不确定度 $u(V_s)$ 的评定

##### C.3.2.1 输入量 $V_{s1}$ 的标准不确定度 $u(V_{s1})$ 主要由校验装置测量误差引起。

标准器最大允许误差为读数的  $\pm 0.5\% \text{rd} + 10 \text{V}$ , 即半宽为  $\Delta = 1 \text{ kV} \times 0.5\% + 10 \text{V} = 0.015 \text{ kV}$ , 在此区间可认为服从均匀分布, 包含因子  $k = \sqrt{3}$ 。

$$u(V_{s1}) = \frac{0.015 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 0.00866 \text{ kV}$$

##### C.3.2.2 校准装置分辨率引入的标准不确定度分量 $u(V_{s2})$ 的评定

校准装置测量交流电压的分辨力为 0.001kV, 则:

$$u(V_{s2}) = \frac{0.001 \text{ kV}}{2\sqrt{3}} = 0.00029 \text{ kV}$$

##### C.3.2.3 校准装置的标准不确定度为

$$u(V_s) = \sqrt{u^2(V_{s1}) + u^2(V_{s2})} = 0.00866 \text{ kV} \approx 0.009 \text{ kV}$$

#### C.4 合成标准不确定度的评定

由 C.3.1 和 C.3.2.3, 合成标准不确定度为:

$$u_c(\Delta V) = \sqrt{u^2(V_x) + u^2(V_s)} = 0.009 \text{ kV}$$

#### C.5 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U$  为:

$$U = ku_c(\Delta V) = 2 \times 0.009 \text{ kV} = 0.018 \text{ kV}$$

相对扩展不确定度表示

$$U_{\text{rel}} = \frac{U}{X} \times 100\% = \frac{0.0018 \text{ kV}}{1.0043 \text{ kV}} \times 100\% = 0.18\%$$

#### C.6 其他测量点的测量不确定度评定

根据上述同样的评定方法, 对其他测量点进行不确定度评定, 得到结果见表 C.1。

表 C.1 测量不确定度汇总表

校准点	不确定度分量		$u_c$ (kV)	$U$ (kV)	$U_{\text{rel}}$ (%)
	测量重复性 $u(V_x)$ (kV)	标准器 $u(V_s)$ (kV)			
1kV	0.00104	0.009	0.0090	0.018	0.18
2kV	0.0015	0.009	0.0091	0.0182	0.91
3kV	0.0022	0.009	0.0093	0.0186	0.62
4kV	0.0051	0.009	0.0103	0.0206	0.52
5kV	0.0062	0.009	0.0109	0.0218	0.44



## 附录 D

## 电气安全综合分析仪交流泄漏电流校准结果不确定度评定

## D.1 概述

D.1.1 测量依据：测量依据：JJF（新）140—2024《电气安全综合分析仪校准规范》

D.1.2 环境条件：环境温度（20±5）℃，相对湿度：≤75%RH

D.1.3 测量标准：多功能电气安全校准器 5320A，测量范围：ACDCI：0.1mA~30A，最大允许误差：±0.15%rd+0.15mA；漏电流：0.1mA~30mA，不确定度 0.3%+2μA（交流+直流）RMS，电压表 10V~1000V RMS（交流或直流），最大允许误差：0.20%读数±550mV；FLUKE287C 型数字多用表交流电流在量程 500μA~10A 的最大允许误差为±0.7%，直流电流在量程 500μA~10A 的最大允许误差为±0.15%。

D.1.4 被测对象：电气安全综合分析仪泄漏电流部分，型号：DY9860 型程控安规综合测试仪，准确度级别：5 级

## D.1.5 测量过程

将电气安全综合分析仪外接负载箱，串联数字多用表，设定好 600V 左右输出电压，选好负载产生泄漏电流校准点，“启动”输出，显示电流稳定后读取数字多用表上的电流示值，此时被校准分析仪上的电流示值与数字多用表上的电流示值之差即为被校准分析仪泄漏电流的示值误差。

D.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定方法，其中泄漏电流 0.5mA, 1mA, 2mA, 5mA, 10mA, 20mA, 50mA, 100mA 可直接使用本不确定度的测量结果。

## D.2 建立测量模型

## D.2.1 测量模型

$$\delta_I = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\%$$

式中：

$\delta_I$  ——电气安全综合分析仪泄漏电流示值相对误差，%；

$I_x$  ——电气安全综合分析仪泄漏电流示值，mA；

$I_s$  ——数字表的电流参考值, mA。

#### D.2.2 灵敏系数

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta_I}{\partial I_x} = \frac{1}{I_x}, \quad c_2 = \frac{\partial \delta_I}{\partial I_s} = -\frac{1}{I_s}$$

由于可以认为  $I_x \approx I_s$ , 则有

$$c_1 = \frac{\partial \delta_I}{\partial I_x} = \frac{1}{I_x} \approx \frac{1}{I_s}, \quad c_2 = \frac{\partial \delta_I}{\partial I_s} = -\frac{I_x}{I_s^2} \approx -\frac{1}{I_s}$$

#### D.2.3 传播律公式

由于两个分量相互独立, 故有

$$u_c(\delta_I) = \sqrt{c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(I_s)} \approx \sqrt{\frac{u^2(I_s)}{I^2} + \frac{u^2(I_s)}{I_s^2}} = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(I_x) + u_{\text{rel}}^2(I_s)}$$

### D.3 全部输入量的标准不确定度评定

#### D.3.1 测量重复性引入的相对标准不确定度 $u(I_x)$ 的评定

在规程要求的环境条件下, 温度和相对湿度稳定, 选择 50mA 点, 用数字多用表对电气安全综合分析仪的泄漏电流进行独立的重复测量 10 次, 获得 1 组测量值 (mA), 测量的结果如下: 51.2, 50.9, 51.0, 50.8, 51.4, 50.9, 51.1, 51.1, 51.2, 50.9

平均值:  $\bar{I} = 51.15\text{mA}$

实验标准差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{xi} - \bar{I})^2}{n-1}} = 0.12\text{mA}$$

测量一次, 则:

$$u(I_x) = s = 0.12\text{mA}$$

实际测量时进行 3 次测量, 取 3 个测得值的平均值作为测量结果, 则

$$u(I_x) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.12\text{mA}$$

#### D.3.2 数字多用表准确度引入的标准不确定度 $u(I_s)$ 的评定

FLUKE287C 数字多用表交流电流在量程  $500\ \mu\text{A}\sim 10\text{A}$  的最大允许误差为  $\pm 0.7\%$ ，测量  $50\text{mA}$  时为  $\pm 50 \times 0.7\% = \pm 0.35\text{mA}$ ，则半宽度  $a = 0.35\text{mA}$ ，在区间内可认为服从均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u(I_s) = \frac{0.35\text{mA}}{\sqrt{3}} = 0.202\text{mA}$$

#### D.4 合成标准不确定度的评定

由 D.2.3，可得合成标准不确定度为：

$$u_c(\delta_1) = \sqrt{u^2(I_x) + u^2(I_s)} = \sqrt{0.202^2 + 0.13^2} = 0.24\text{mA}$$

#### D.5 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k = 2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c(\delta_1) = 2 \times 0.24 = 0.48\text{mA}$$

相对扩展不确定度表示

$$U_{\text{rel}} = \frac{U}{I} \times 100\% = \frac{0.48\text{mA}}{51.15\text{mA}} \times 100\% = 0.938\% \approx 0.9\%$$

#### D.6 其他测量点的测量不确定度评定

根据上述同样的评定方法，对其他量程区间的测量点进行不确定度评定，得到结果见表 D.1。

表 D.1 常用校准点的测量不确定度计算结果

测量点/mA	不确定度分量		$u_c(\delta_1)$	$U$ ( $k=2$ )	$U_{\text{rel}}$ ( $k=2$ )
	$u(I_x)$	$u(I_s)$			
0.5	0.00147	0.002	0.00248	0.00496	1.0%
1	0.00067	0.004	0.00406	0.0081	0.8%
2	0.0126	0.00808	0.015	0.030	1.5%
5	0.00117	0.0202	0.0202	0.0404	0.8%
10	0.0020	0.0404	0.0404	0.0809	0.8%
20	0.0193	0.0808	0.083	0.166	0.8%
50	0.12	0.202	0.24	0.48	0.9%
100	0.074	0.404	0.467	0.93	0.9%

## 附录 E

## 电气安全综合分析仪电压持续（保持）时间校准结果不确定度评定

## E.1 概述

E.1.1 测量依据：测量依据：JJF（新）140—2024《电气安全综合分析仪校准规范》

E.1.2 环境条件：环境温度（20±5）℃，相对湿度：≤75%RH

E.1.3 测量标准：多功能电气安全校准器，测量范围：耐压保持时间测量：0.1~999s，准确度：0.02%+20ms（AC）。

E.1.4 被测对象：电气安全综合分析仪电压保持时间部分，型号：DY9860 型程控安规综合测试仪，准确度级别：5 级

## E.1.5 测量过程

设定电气安全综合分析仪的输出电压保持时间，输出电压设定为 500V，并输出端接入标准器的交流/直流电压输入端，同时按下电气安全综合分析仪耐压保持时间启动键，观察秒表的示值，直至被校仪输出电压保持时间到时，发出报警声并切断输出电压，此时被校仪上的时间设定值与标准器上的时间示值之差即为被校仪耐压部分电压保持时间的示值误差。

E.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定方法，其中时间 20s，60s，300s 可直接使用本不确定度的测量结果。

## E.2 建立测量模型

E.2.1 测量模型：
$$\Delta T = T_x - T_s$$

式中： $\Delta T$  — 电气安全综合分析仪电压保持时间误差

$T_x$  — 电气安全综合分析仪电压保持时间示值

$T_s$  — 标准器上时间读数值

E.2.2 灵敏系数：
$$c_1 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_x} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_s} = -1$$

E.2.3 传播率公式：因输入量彼此独立不相关，故

$$u_c^2(\Delta T) = u^2(T_x) + u^2(T_s)$$

### E.3 输入量的不确定度评定及其相应自由度

E.3.1 输入量  $T_x$  的标准不确定度  $u(T_x)$  的评定

该不确定度分项采用 A 类方法进行评定。

20s 点：

输入量  $T_x$  的标准不确定度  $u(T_x)$  主要是测量重复性，通过连续重复测量 10 次，得到测量列，如：(s)

20.06, 20.10, 20.07, 20.09, 20.05, 20.07, 20.08, 20.10, 20.07, 20.09

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i = 20.078s$$

单次测量标准差  $s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)} = 0.0169 s$

实际测量 3 次，则：

$$u(T_x) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.0169}{\sqrt{3}} = 0.010s$$

E.3.2 输入量  $T_s$  的标准不确定度  $u(T_s)$  的评定

输入量  $T_s$  的标准不确定度  $u(T_s)$  主要由秒表的示值误差和分辨率引起的，采用 B 类方法评定。

标准器的准确度引起的不确定度  $u(T_s)$

耐压保持时间测量：0.1~999s，准确度：0.02%+20ms（AC），在此区间可认为服从均匀分布， $\pm 20s \times 0.02\% + 20ms = \pm 0.024s$ ，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ， $u(T_s) = \frac{0.024s}{\sqrt{3}} = 0.014s$

相对标准不确定度

$$u_{rel}(T_s) = \frac{0.014 \times 100\%}{20.078s} = 0.07\%$$

### E.4 标准不确定度汇总表

表 E.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(T_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	概率分布	$c_i$	$ c_i u(T_i)$	自由度 $\nu$
$u(T_x)$	测量重复性	0.010s	均匀	1	0.010	9
$u(T_s)$	标准器	0.014s	均匀	-1	0.014	50

E.5 合成标准不确定度

E.5.1 由  $u_c^2(\Delta T)=u^2(T_x)+u^2(T_s)$  代入得到:

$$u_c(\Delta T)=\sqrt{c_1^2u^2(T_x)+c_2^2u^2(T_s)}=\sqrt{u^2(T_x)+u^2(T_s)}=0.017s$$

E.6 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度为:

$$U=ku_c(\Delta T)=2\times 0.017s=0.034s$$

E.7 其他测量点的测量不确定度评定

根据上述同样的评定方法, 对其他测量点进行不确定度评定, 得到结果见表 E.2。

表 E.2 常用校准点的测量不确定度计算结果

校准点/s	不确定度分量		$u_c(\Delta T)$	$U$ ( $k=2$ )	$U_{rel}$ ( $k=2$ )
	$u(T_x)$	$u(T_s)$			
20	0.010	0.014	0.017	0.034	0.17%
60	0.029	0.032	0.043	0.086	0.14%
300	0.125	0.080	0.15	0.30	0.10%

## 附录 F

## 电气安全综合分析仪绝缘电阻校准结果不确定度评定

## F.1 概述

F.1.1 测量依据：测量依据：JJF（新）140—2024《电气安全综合分析仪校准规范》

F.1.2 环境条件：环境温度（20±5）℃，相对湿度：≤75%RH

F.1.3 测量标准：兆欧表标准电阻器，型号：ZX119-8，测量范围：（0～211111.111）MΩ，最大允许误差：±（0.2%～5%）。

F.1.4 被测对象：电气安全综合分析仪绝缘电阻测试部分，型号：DY9860 型程控安规综合测试仪，准确度级别：10 级

F.1.5 测量过程：校准是采用直接比较法，兆欧表标准电阻器的 L，D，G 三个端用高压线与被校准仪的相应端连接，调节兆欧表标准电阻器的电阻值，在被校仪上读出显示值，可得到显示值与实际值之差。

F.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定方法，其中 1MΩ，2MΩ，5MΩ，10MΩ，20MΩ，50MΩ，100MΩ，200MΩ，500MΩ，1000MΩ，2000MΩ 点可直接使用本不确定度的评定结果。

## F.2 建立测量模型

## F.2.1 测量模型

$$\delta R = \frac{R_x - R_s}{R_s} \times 100\%$$

式中：δR—被校仪绝缘电阻显示值的相对误差，%；

$R_x$ —被校仪绝缘电阻的显示值，Ω；

$R_s$ —兆欧表标准电阻器示值，Ω。

## F.2.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta R}{\partial R_x} = \frac{1}{R_s}, \quad c_2 = \frac{\partial \delta R}{\partial R_s} = \frac{1}{R_x}$$

由于可以认为  $R_x \approx R_s$ ，则有

$$c_1 = \frac{\partial \delta R}{\partial R_x} = \frac{1}{R_s} \approx \frac{1}{R_x}, \quad c_2 = \frac{\partial \delta R}{\partial R_s} = -\frac{R_x}{R_s^2} \approx -\frac{1}{R_s}$$

### F.2.3 传播律公式

由于两个分量相互独立，故有

$$u_c(\delta R) = \sqrt{c_1^2 u^2(R_x) + c_2^2 u^2(R_s)} \approx \sqrt{\frac{u^2(R_x)}{R_x^2} + \frac{u^2(R_s)}{R_s^2}} = \sqrt{u_{rel}^2(R_x) + u_{rel}^2(R_s)}$$

## F.3 输入量的标准不确定度的评定

### F.3.1 输入量 $R_x$ 引入的相对标准不确定度 $u_{rel}(R_x)$ 的评定

$u_{rel}(R_x)$  的来源是被测电子式绝缘电阻表的测量重复性。

被校仪绝缘电阻校准功能测量标准器的  $100\text{M}\Omega$  点，在重复性条件下连续测量 10 次，获得 1 组测量值 ( $\text{M}\Omega$ )：99.9, 99.9, 99.8, 100.0, 99.9, 100.0, 99.8, 99.9, 99.9, 100.0。

$$\bar{R} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_i = 99.91\text{M}\Omega$$

单次实验标准差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{xi} - \bar{R}_x)^2}{n-1}} = 0.074\text{M}\Omega$$

实际测量一次，则

$$u_{rel}(R_x) = \frac{s}{R_x} = \frac{0.074}{100} = 0.074\%$$

### F.3.2 输入量 $R_s$ 引入的相对标准不确定度 $u_{rel}(R_s)$ 的评定

$u_{rel}(R_s)$  来源为兆欧表标准电阻器的测量误差带来的影响。

#### F.3.2.1 兆欧表标准电阻器的测量误差引入的相对标准不确定度 $u_{rel}(R_s)$ 的评定

兆欧表标准电阻器在量程为 (100~900)  $\text{M}\Omega$  的最大允许误差为  $\pm 1.0\%$ ，在区间内可认为服从均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_{rel}(R_s) = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.577\%$$



## F.4 标准不确定度汇总表

表 F.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	概率分布	$c_i$	$ c_i u(x_i)$
$u_{\text{rel}}(R_x)$	测量重复性	0.074%	正态	1	0.074%
$u_{\text{rel}}(R_s)$	标准的不确定度	0.577%	均匀	1	0.577%

## F.5 合成标准不确定度的评定

由 F.2.3, 合成标准不确定度为

$$u_c(\delta R) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(R_x) + u_{\text{rel}}^2(R_s)} = \sqrt{0.074^2 + 0.577^2} \% = 0.58\%$$

## F.6 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U$  为

$$U = ku_c(\delta R) = 2 \times 0.58\% = 1.16\% \approx 1.2\%$$

## F.7 其他测量点的测量不确定度评定

根据上述同样的评定方法, 对其他测量点进行不确定度评定, 得到结果见表 F.2。

表 F.2 常用校准点的测量不确定度计算结果

测量点 (MΩ)	不确定度分量 (%)		$u_c$ (%)	$U$ (%)
	$u_{\text{rel}}(R_x)$	$u_{\text{rel}}(R_s)$		
1	0.085	0.115	0.143	0.3
2	0.072	0.115	0.136	0.3
5	0.080	0.115	0.140	0.3
10	0.081	0.289	0.300	0.6
20	0.075	0.289	0.299	0.6
50	0.072	0.289	0.298	0.6
100	0.074	0.577	0.582	1.2
200	0.072	0.577	0.581	1.2
500	0.065	0.577	0.581	1.2
1000	0.044	1.154	1.154	2.4

2000	0.056	1.154	1.154	2.4
------	-------	-------	-------	-----

## 附录 G

## 电气安全综合分析仪接地导通试验电流

## 校准结果不确定度评定

## G.1 概述

G.1.1 测量依据：测量依据：JJF（新）140—2024《电气安全综合分析仪校准规范》

G.1.2 环境条件：环境温度（20±5）℃，相对湿度：≤75%RH

G.1.3 测量标准：多功能电气安全校准器，测量范围：ACDCI：0.1mA~30A，最大允许误差：±0.15%rd+0.15mA；接地导通电阻：25mΩ~1Ω（端电流40A），1.8Ω~1.8kΩ（端电流0.15A至30A之间），最大允许误差：±5mΩ~±10mΩ（1Ω），±20mΩ~±10Ω。

G.1.4 被测对象：CS9933S 安规仪的接地导通电阻部分端电流，最大允许误差 ±(0.2%~5%)

G.1.5 测量过程：用直接比较法。调节调压器，使得被校准仪接地导通测试功能输出稳定的电流，读出被校准仪接地导通部分电流示值，与校准器显示值比较，两个值的差值为测量误差。

G.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定方法，其中 3A，10A，25A，30A 点可直接使用本不确定度的评定结果。

## G.2 建立测量模型

## G.2.1 测量模型

$$\Delta I = I_n - I_x$$

式中：  $I_x$  — 被校准仪接地导通电阻测试显示电流值

$I_n$  — 标准器电流显示值

$\Delta I$  — 被校仪接地导通电阻测试时的电流误差值

## G.2.2 灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_n} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_x} = -1$$

G.2.3 传播率公式:

$$u_c^2(I_x) = u^2(I_n) + u^2(\Delta I)$$

### G.3 输入量的不确定度评定及其相应自由度

G.3.1 输入量  $\Delta I$  的标准不确定度  $u(\Delta I)$  的评定

该不确定度分项采用 A 类方法进行评定。被校准仪端电流的 30A 点, 在重复性条件下连续测量 10 次 (每次测量均重新接线), 得到测量列 (A): 29.8, 29.7, 30.0, 30.1, 29.7, 29.9, 30.0, 29.8, 29.7, 29.9。

平均值:

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i = 29.86 \text{ A}$$

$$\text{单次实验标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} = 0.143 \text{ A}$$

实际测量 1 次, 则  $u(\Delta I) = 0.143 \text{ A}$

相对误差形式表示  $u_{\text{rel}}(\Delta I) = 0.48 \%$

G.3.2 输入量  $I_n$  的标准不确定度  $u(I_n)$  的评定

输入量  $I_n$  的标准不确定度  $u(I_n)$  主要由标准电阻器的准确度引起的, 采用 B 类方法进行评定。标准电阻器最大误差为 ACDCI: 0.1mA~30A :  $\pm 0.15\% \text{rd} + 0.15 \text{ mA}$ , 即半宽为  $a = 30 \text{ A} \times 0.15\% + 0.15 \text{ mA} = 0.04515 \text{ A}$ , 在此区间可认为服从均匀分布, 包含因子  $k = \sqrt{3}$ 。当被检仪器输出电流为 30A 时, 标准电阻器引起的标准不确定度

$$u(I_n) = \frac{0.04515 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 0.026 \text{ A}$$

相对标准不确定度为

$$u_{\text{rel}}(I_n) = \frac{0.026 \text{ A}}{29.86} \times 100\% = 0.087\%$$

### G.4 标准不确定度汇总表

表 G.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	概率分布	$c_i$	$ c_i u(x_i)$	自由度
----------	--------	--------	------	-------	---------------	-----

$u(\Delta I)$	测量重复性	0.143A	正态	1	0.143A	9
$u(I_n)$	标准器的 不确定度	0.026A	均匀	1	0.026A	50

G.5 合成标准不确定度

由 G.2.3 条得

$$u_c^2(I_x) = u^2(I_n) + u^2(\Delta I)$$

$$u_c^2(I_x) = 0.021125 \text{ A}^2$$

$$u_c(I_x) = 0.145 \text{ A} = 0.14 \text{ A}$$

G.6 扩展不确定度的评定

取  $k = 2$ ，扩展不确定度

$$U = ku_c(I_x) = 2 \times 0.14 \text{ A} = 0.28 \text{ A} \approx 0.3 \text{ A}$$

相对形式  $U_{\text{rel}} = 1.0\%$

G.7 其他测量点的测量不确定度评定

根据上述同样的评定方法，对其他测量点进行不确定度评定，得到结果见表 G.2。

表 G.2 常用校准点的测量不确定度计算结果

测量点 (A)	不确定度分量 (%)		$u_c$ (%)	$U$ (%) $k = 2$
	$u_{\text{rel}}(I_x)$	$u_{\text{rel}}(I_n)$		
3	0.18	0.089	0.20	0.40
10	0.085	0.087	0.12	0.24
25	0.0135	0.087	0.088	0.18
30	0.48	0.087	0.49	1.0

## 附录 H

## 电气安全综合分析仪接地导通电阻校准结果不确定度评定

## H.1 概述

H.1.1 测量依据：测量依据：JJF（新）140—2024《电气安全综合测分析校准规范》

H.1.2 环境条件：环境温度（20±5）℃，相对湿度：≤75%RH

H.1.3 测量标准：多功能电气安全校准器 5320A，接地导通电阻测量范围：25mΩ~1Ω（端电流 40A），1.8Ω~1.8kΩ（端电流 0.15A 至 30A 之间），最大允许误差：±5mΩ~±10mΩ（1Ω），±20mΩ~±10Ω；模拟交直流标准电阻器，测量范围：（0.01m~5.200）Ω，最大允许误差：5×10<sup>-4</sup>。

H.1.4 被测对象：CS9933S 安规仪的接地导通电阻部，最大允许误差 ±（0.2%~5%）

H.1.5 测量过程：用直接比较法。被校准仪和标准器端子连接，启动被校准仪的开关，测量标准器的导通电阻值，此时标准器显示某一个测量值，测量值减去标准值就是测量误差。

H.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定方法，其中 10mΩ，20mΩ，50mΩ，100mΩ，200mΩ，300mΩ，400mΩ，500mΩ，600mΩ 点可直接使用本不确定度的评定结果。

## H.2 建立测量模型

H.2.1 测量模型：
$$\Delta R = R_x - R_n$$

式中： $R_x$ —被校仪接地导通电阻的示值；

$R_n$ —标准电阻器的实际值；

$\Delta R$ —被校准仪的示值与标准电阻器值差值

H.2.2 灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial R_x}{\partial R_n} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial R_x}{\partial \Delta R} = 1$$

H.2.3 传播率公式：
$$u_c^2(R_x) = u^2(R_n) + u^2(\Delta R)$$

相对形式：
$$u_{\text{crel}}^2(R_x) = u_{\text{rel}}^2(R_n) + u_{\text{rel}}^2(\Delta R)$$

### H.3 输入量的不确定度评定及其相应自由度

#### H.3.1 输入量 $\Delta R$ 的标准不确定度 $u(\Delta R)$ 的评定

该不确定度分项采用 A 类方法进行评定。被校仪接地导通电阻的 100m $\Omega$  点, 在重复性条件下连续测量 10 次 (每次测量均重新接线), 得到测量列 (m $\Omega$ ) : 100.1, 100.2, 100.4, 100.2, 100.5, 100.2, 100.3, 100.1, 100.2, 100.4。

计算平均值, 得

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = 100.26 \text{ m}\Omega$$

$$\text{单次实验标准差} \quad s = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = 0.135 \text{ m}\Omega$$

实际测量 1 次, 则  $u(\Delta R) = 0.135 \text{ m}\Omega$

相对误差形式表示  $u_{\text{rel}}(\Delta R) = 0.14\%$

#### H.3.2 输入量 $R_n$ 的标准不确定度 $u(R_n)$ 的评定

输入量  $R_n$  的标准不确定度  $u(R_n)$  主要由标准电阻器的准确度引起的, 采用 B 类方法进行评定。多功能电气安全校准器接地导通电阻: 25m $\Omega$ ~1 $\Omega$  (端电流 40A), 1.8 $\Omega$ ~1.8k $\Omega$  (端电流 0.15A 至 30A 之间), 最大允许误差:  $\pm 5 \text{ m}\Omega$ ~ $\pm 10 \text{ m}\Omega$  (1 $\Omega$ ); 当被校准仪测量 100m $\Omega$  时, 用多功能电气安全校准器校准, 其他量程用国产接地导通标准电阻器比较好点。多功能电气安全校准器在此区间可认为正态分布, 包含因子  $k=2$ 。当被校准低电阻在 100m $\Omega$  点时, 标准电阻器引起的标准不确定度

$$u(R_n) = \frac{5 \text{ m}\Omega}{2} = 2.5 \text{ m}\Omega$$

相对标准不确定度表示:

$$u_{\text{rel}}(R_n) = \frac{2.5 \text{ m}\Omega}{100.26} \times 100\% = 2.5\%$$

国产接地导通标准电阻器最大误差为  $\pm 5 \times 10^{-4}$ , 即半宽为  $5 \times 10^{-4}$ , 在此区间可认为服从均匀分布, 包含因子  $k=\sqrt{3}$ 。当被校准仪测量在 10m $\Omega$  点以上时, 标准电阻器

引起的标准不确定度  $u(R_n) = \frac{5 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} \times 100 \text{ m}\Omega = 0.029 \text{ m}\Omega$

### H.4 标准不确定度

表 H.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	灵敏度系数	$ c_i u(x_i)$	自由度
$u(\Delta R)$	测量重复性	0.14%	1	0.14%	9
$u(R_n)$	标准器的不确定度	2.5%	1	2.5%	50

H.5 合成标准不确定度

由 H.2.3 条得

$$u_{\text{crel}}^2(R_x) = u_{\text{rel}}^2(R_n) + u_{\text{rel}}^2(\Delta R)$$
$$u_{\text{crel}}(R_x) = 2.5\%$$

H.6 扩展不确定度的评定

取  $k = 2$ ，扩展不确定度

$$U = ku_{\text{crel}}(R_x) = 2 \times 2.5\% = 5.0\%$$

H.7 其他测量点的测量不确定度评定

根据上述同样的评定方法，对其他测量点进行不确定度评定，得到结果见表 H.2。

表 H.2 常用校准点的测量不确定度计算结果

测量点 ( $m\Omega$ )	不确定度分量 (%)		$u_c$	$U$ (%) $k = 2$
	$u(\Delta R)$	$u(R_n)$		
10	0.50	0.0289	0.50	1.0
20	0.26	0.0289	0.26	0.52
30	0.28	0.0289	0.28	0.56
40	0.13	0.0289	0.13	0.26
50	0.15	0.0289	0.15	0.30
60	0.087	0.0289	0.092	0.18
70	0.061	0.0289	0.067	0.13
80	0.084	0.0289	0.089	0.18



0	0.071	0.0289	0.077	0.15
100	0.14	2.5	5.0	5.0
150	0.055	0.0289	0.062	0.13
190	0.071	0.0289	0.077	0.15
200	0.049	0.0289	0.057	0.11
300	0.055	0.0289	0.062	0.12
400	0.13	0.0289	0.13	0.26
500	0.15	0.0289	0.15	0.30

新疆维吾尔自治区  
地方计量校准规范

电气安全综合分析仪校准规范  
JJF(新) 140—2024

新疆维吾尔自治区市场监督管理局发布

\*

版权所有 不得翻印

\*

880mm×1230mm 16 开本

2024 年 12 月第 1 版 2024 年 12 月第 1 次印刷

印数 1-100