



黑龙江省地方计量技术规范

JJF (黑) xx-202x

绝缘油耐压测试仪校准规范

Calibration Specification for
Insulating Oils Withstanding Voltage Tester
(审定稿)

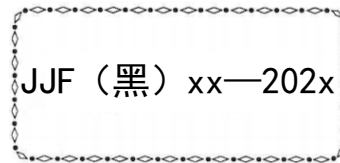
202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

黑龙江省市场监督管理局 发布

绝缘油耐压测试仪
校准规范

Calibration Specification for
Insulating Oils Withstanding Voltage Tester



归口单位：黑龙江省市场监督管理局

主要起草单位：黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司

本规范委托黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司负责解释

本规范主要起草人：

薛 燕（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

张鹏翼（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

李绍华（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

曹贺春（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

马国英（佳木斯电机股份有限公司）

杨睿童（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

黄 河（黑龙江省医院）

参加起草人：

安少华（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

王 野（齐齐哈尔建华机械有限公司）

尹承楠（黑龙江华安精益计量技术研究院有限公司）

目录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
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 交流输出电压示值误差.....	(5)
7.3 电压持续(保持)时间.....	(5)
7.4 升压速度.....	(5)
7.5 总谐波失真度.....	(6)
7.6 绝缘电阻.....	(6)
7.7 工频耐压.....	(6)
8 校准结果表达.....	(6)
9 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 校准记录(推荐)格式.....	(8)
附录 B 校准证书内页(推荐)格式.....	(10)
附录 C 绝缘油耐压测试仪交流输出电压示值测量不确定度评定示例.....	(12)
附录 D 绝缘油耐压测试仪电压持续(保持)时间测量不确定度评定示例.....	(15)
附录 E 绝缘油耐压测试仪升压速度测量不确定度评定示例.....	(18)

引言

本规范依据 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。

本规范参考了 JJF(机械)1062-2021《绝缘油耐压测试仪校准规范》、JJG(冀)112-2012《绝缘油介电强度测试仪检定规程》、GB/T 507-2002《绝缘油击穿电压测定法》、DL/T1694.4-2017《高压测试仪器及设备校准规范》第4部分：绝缘油耐压测试仪中的技术要求和方法进行制定。

本规范为首次发布。

绝缘油耐压测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于电压不高于80kV的绝缘油耐压测试仪、绝缘油介电强度测试仪等仪器的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 795—2016 耐电压测试仪检定规程

GB/T 507—2002 绝缘油击穿电压测定法

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术第1部分：一般试验要求

DL/T1694.4—2017 高压测试仪器及设备校准规范第4部分：绝缘油耐压测试仪

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（包括所有修改单）适用于本规范。

3 术语

以下术语和定义适用于本规范。

3.1 电压持续(保持)时间 voltage duration

绝缘油耐压测试仪输出电压稳定阶段所经历的时间，不包括电压上升和下降的时间。

3.2 升压速度 voltage boosting speed

电压的规定值与上升至规定值所用时间的比值。

3.3 总谐波失真度 total harmonic distortion

信号全部谐波能量与基波能量之比的平方根。

3.4 介电强度 dielectric strength

试样被击穿时，单位厚度承受的最大电压。物质的介电强度越大，它作为绝缘体的质量越好。

4 概述

绝缘油耐压测试仪(以下简称测试仪)是对绝缘油的介电强度进行检测的仪器，用于确定变压器绝缘油的耐压值或测量击穿电压值。测试仪通常由升压单元、测量单元及试验组件组成，是一种源、测一体型测量仪器。

测试仪工作原理通常是按绝缘油相关标准设定试验电压值，对放在试样杯里的被测绝缘油施加一个按设定速率连续上升的试验电压直到设定值为止，并持续标准规定的时

间，或按设定速率连续上升直至绝缘油击穿为止，以确定绝缘油的击穿电压值。

5 计量特性

5.1 交流输出电压示值误差

测试仪交流输出电压的示值误差用公式（1）表示：

$$\Delta = U_x - U_n \quad (1)$$

式中： Δ ——示值误差，kV；

U_x ——被校绝缘油耐压测试仪的示值，kV；

U_n ——被校绝缘油耐压测试仪的实际值，kV。

最大允许误差用公式（2）表示，相对形式用公式（3）表示：

$$\Delta_{\text{MPE}} = \pm(a\%Y_x + b\%Y_n) \quad (2)$$

式中： Δ_{MPE} ——最大允许误差，kV。

a ——与绝缘油耐压测试仪示值相关的系数；

b ——与绝缘油耐压测试仪量程相关的系数；

Y_x ——绝缘油耐压测试仪的电压示值，kV；

Y_n ——绝缘油耐压测试仪的电压量程值，kV。

$$\gamma_{\text{MPE}} = \frac{\Delta_{\text{MPE}}}{Y_x} \times 100\% = \pm(a\% + b\% \frac{Y_n}{Y_x}) \quad (3)$$

式中： γ_{MPE} ——相对最大允许误差。

表 1 交流输出电压准确度等级及最大允许误差

准确度等级	1 级	2 级	5 级
最大允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$

5.2 电压持续（保持）时间

最大允许误差不应超过 $\pm 5\%$ 。

5.3 升压速度

最大允许误差应不超过 $\pm 10\%$ 。

5.4 总谐波失真度

测试仪输出电压的总谐波失真度不应超过 $\pm 5\%$ 。

5.5 绝缘电阻

测试仪的电源输入端与机壳及地之间的绝缘电阻应不小于 $20\text{M}\Omega$ 。

5.6 工频耐压

测试仪电源输入端对机壳及地之间施加 2kV 的工频电压，历时 1min ，应无击穿或飞弧现象。

注：校准工作不判定符合与否，上述计量特性的指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；

6.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ ；

6.1.3 供电电压 $(220\pm 22)\text{V}$ ，频率 $(50\pm 2.5)\text{Hz}$ ，谐波总含量不大于 3% 。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 校准时所需的标准器及配套设备如下表：

表 2 测量标准及要求

测量标准	要求
绝缘油耐压测试仪校准装置	测量范围：交流电压 $(1\sim 100)\text{kV}$ (50Hz)； 由校准装置示值最大允许误差引入的测量不确定度 应不超过被校测试仪最大允许误差的 $1/3$ 。
秒表	测量范围： $(0\sim 100)\text{s}$ ； 分辨力：不大于 0.1s ； 最大允许误差：优于 $\pm 0.1\%$ 。
失真度测量仪	测量范围： $0.1\%\sim 30\%$ ； 最大允许误差：优于 $\pm 10\%$
绝缘电阻表	额定电压不低于 500V ，准确度等级优于 10 级。
耐电压测试仪	测量范围不低于 2000V 工频电压，准确度等级优于 5 级。

注：允许使用满足上述技术指标要求的其他设备。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

测试仪的校准项目见表 2。

表 2 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	交流输出电压示值误差	7.2	5.1
2	电压持续（保持）时间	7.3	5.2
3	升压速度	7.4	5.3
4	总谐波失真度	7.5	5.4
5	绝缘电阻	7.6	5.5
6	工频耐压	7.7	5.6

7.2 交流输出电压示值误差

按图1所示原理图接线,校准点为被校绝缘油耐压测试仪额定输出电压的10%、20%、40%、60%、80%和100%。

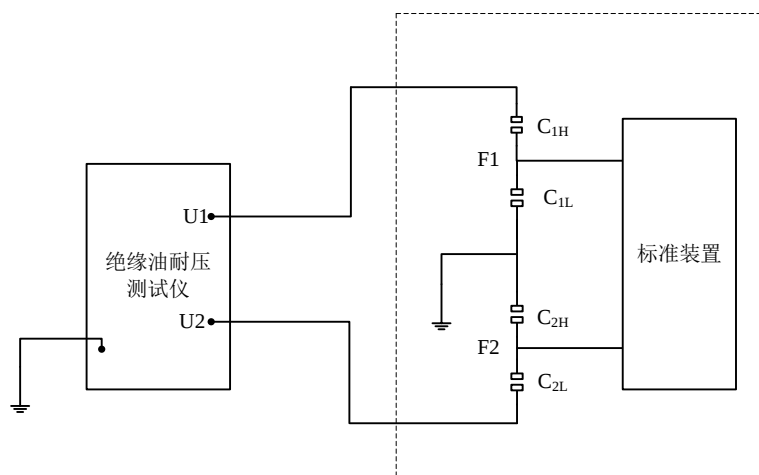


图1 示值误差校准原理图

图中：

U_1 ， U_2 ——被校测试仪输出端子；

F_1 ——交流高压分压器或数字高压表1；

F_2 ——交流高压分压器或数字高压表2；

C_{1H} ——高压标准分压器2高压标准电容；

C_{2H} ——高压标准分压器1高压标准电容；

C_{1L} ——高压标准分压器1高压标准电容；

C_{2L} ——高压标准分压器2高压标准电容。

按公式(1)计算示值误差。

7.3 电压持续（保持）时间

测试仪在输出电压稳定阶段所持续的时间，不包括电压上升和下降的时间。当测试仪输出电压稳定保持60s时秒表停止计时，通过计算得到电压持续时间误差。示值误差用公式（5）表示：

$$\Delta_t = T_x - T_n \quad (4)$$

式中： Δ_t ——示值误差，s；

T_x ——被校测试仪的时间显示值，s；

T_n ——被校测试仪的实际值，s。

7.4 升压速度

按图 1 所示原理图接线。应分别在被校测试仪最高输出电压 U_t 的 50%和 100%两点进行测量。设置升压速度为 2kV/s 或 3kV/s（或根据需要的其它值，如 2.5kV/s）后，启动测试仪进行升压，用电子秒表分别读取从零到 50% U_t 持续的时间 T_1 、零到 100% U_t 持续的时间 T_2 ，升压速度按式（7）计算，试验结果应符合 5.3 的要求。

$$V_1 = (50\%U_t) / T_1 \quad (5)$$

$$V_2 = (100\%U_t) / T_2 \quad (6)$$

$$V_n = (V_1 + V_2) / 2 \quad (7)$$

式中：

V_1 ——被校测试仪试验电压从零升压到 50%最高输出电压的升压速度测量值，kV/s；

V_2 ——被校测试仪试验电压从零升压到 100%最高输出电压的升压速度测量值，kV/s；

V_n ——被校准测试仪升压速度平均值，kV/s。

7.5 总谐波失真度测量

按图 1 所示原理图接线。使用失真度测试仪分别在被校测试仪最大输出电压的 50%和 100%两个点进行测量。测试结果应符合 5.3 的要求。

7.6 绝缘电阻

测试仪处于非工作状态，开关置于接通位置，测量电源输入线（相中线连接到一起）与机壳之间的绝缘电阻，测量结果应符合 5.5 的要求。

7.7 工频耐压

测试仪处于非工作状态，开关置于接通位置，对电源输入端与机壳之间施加 2000V 的工频电压，保持 1min，不应出现击穿或飞弧现象。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

- 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

复校时间间隔建议为 12 个月。

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

绝缘油耐压测试仪校准原始记录格式(推荐性)

委托单位		记录编号	
仪器名称		温度	
型号规格		相对湿度	
出厂编号		校准依据	
制造厂		校准地点	
校准人员		校准日期	
核验人员		备注	

校准使用的计量标准器具

标准器名称	型号/规格	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号及 有效期

1. 交流输出电压示值误差

单位: kV

显示值	标准值	示值误差	$U(k=2)$

2. 电压持续时间

单位: s

设定值	标准值			示值误差	$U(k=2)$
	1	2	平均值		

3. 升压速度

显示值/ (kV/s)	1 次		2 次		平均值/ (kV/s)	误差/ (kV/s)	U (kV/s) ($k=2$)
	升压电压 /kV	升压时间 /s	升压电压 /kV	升压时间 /s			

4. 总谐波失真度

电压/kV	失真度	U ($k=2$)

5. 绝缘电阻:

6. 工频耐压:

校准员:

核验员:

附录 B

绝缘油耐压测试仪校准证书格式（推荐性）

委托单位		记录编号	
仪器名称		温度	
型号规格		相对湿度	
出厂编号		校准依据	
制造厂		校准地点	
校准人员		校准日期	
核验人员		备注	

校准使用的计量标准器具

标准器名称	型号/规格	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号及 有效期

1. 交流输出电压示值误差

单位：kV

显示值	实际值	示值误差	$U(k=2)$

2. 电压持续时间

单位：s

显示值	实际值	示值误差	$U(k=2)$

3. 升压速度

单位: kV/s

显示值	实际值	误差	$U(k=2)$

4. 总谐波失真度

电压/kV	失真度	$U(k=2)$

5. 绝缘电阻:

6. 工频耐压:

校准员:

核验员:

附录 C

绝缘油耐压测试仪交流输出电压示值误差测量不确定度评定示例

C.1 概述

使用绝缘油耐压测试仪校准装置对绝缘油介电强度测试仪的交流输出电压示值误差进行校准，以一台型号为 LYJJ-II 型，测量范围 (0~80) kV，准确度等级为 1 级的绝缘油耐压测试仪为例，对其交流输出电压 10kV 点的示值误差校准结果进行不确定度评定。

C.2 测量模型

C.2.1 示值误差测量模型：

$$\Delta = U_x - U_n \quad (C.1)$$

式中： Δ ——示值误差，kV；

U_x ——被校测试仪的示值，kV；

U_n ——被校测试仪的实际值，kV。

C.2.2 不确定度传播公式

$$u_c^2(\Delta) = \left(\frac{\partial \Delta}{\partial U_x} \right)^2 u^2(U_x) + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial U_n} \right)^2 u^2(U_n) \quad (C.2)$$

灵敏系数：

$$\frac{\partial \Delta}{\partial U_x} = 1 \quad (C.3)$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial U_n} = -1 \quad (C.4)$$

C.3 不确定度来源

C.3.1 校准装置允差引入的不确定度；

C.3.2 测量重复性引入的不确定度；

C.3.3 被校准仪器分辨力引入的不确定度。

C.4 不确定度评定

C.4.1 校准装置允差引入的标准不确定度 u_1

以电压值 10kV 为例，由校准装置的技术指标可知 MPE: $\pm 0.2\%$ ，则

$$u_1 = \frac{0.2\% \times 10\text{kV}}{\sqrt{3}} = 0.012\text{kV} \quad (\text{C.5})$$

C.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

对交流输出电压 10kV 重复测量 10 次，具体测量数据列于表 C.1。

表 C.1 重复性测量结果 (kV)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
示值	10.15	10.13	10.08	10.06	10.03	10.05	10.11	10.13	10.12	10.06	10.092

标准不确定度按式 (C.6) 计算。

$$u_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{(n-1)}} = 0.041\text{kV} \quad (\text{C.6})$$

C.4.3 仪器分辨力引入的标准不确定度 u_3

被校仪器的分辨力为 0.1 kV，则其引入的不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029\text{kV} \quad (\text{C.7})$$

因仪器分辨力引入的不确定度分量小于重复性引入的不确定度分量，所以用重复性引入的不确定度分量进行不确定度合成。

C.4.4 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度一览表

校准点	标准不确定度分量	不确定度来源	灵敏系数
10kV	u_1	校准装置引入的不确定度	-1
	u_2	测量重复性引入的不确定度	1

C.4.5 合成标准不确定度

各不确定度分量互不相关, 得

$$u_c^2(\Delta) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{C.8})$$

$$u_c(\Delta) = \sqrt{0.012^2 + 0.041^2} = 0.043 \text{ kV} \quad (\text{C.9})$$

C.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则校准点示值误差的扩展不确定度按式 (C.10) 计算:

$$U = 0.043 \text{ kV} \times 2 = 0.086 \text{ kV} \quad (\text{C.10})$$

附录 D

绝缘油耐压测试仪电压持续（保持）时间测量不确定度评定示例

D.1 概述

使用校准装置对测试仪的电压持续（保持）时间进行校准，以一台型号为 LYJJ-II 型，时间测量范围（0~600）s，准确度等级为 1 级的测试仪为例，对其电压持续（保持）时间进行不确定度评定。

D.2 测量模型

D.2.1 电压持续（保持）时间误差测量模型：

$$\Delta = t_s - t_n \quad (D.1)$$

式中： Δ ——示值误差，s；

t_s ——被校绝缘油耐压测试仪的示值，s；

t_n ——被校绝缘油耐压测试仪的实际值，s。

D.2.2 不确定度传播公式

$$u_c^2(\Delta) = \left(\frac{\partial \Delta}{\partial t_s} \right)^2 u^2(t_s) + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial t_n} \right)^2 u^2(t_n) \quad (D.2)$$

灵敏系数：

$$\frac{\partial \Delta}{\partial t_s} = 1 \quad (D.3)$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial t_n} = -1 \quad (D.4)$$

D.3 不确定度来源

D.3.1 标准器引入的不确定度；

D.3.2 测量重复性引入的不确定度；

D.3.3 被校仪器分辨力引入的不确定度。

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 绝缘油介电强度测试仪校准装置引入的标准不确定度 u_1

以测量时间 60s 为例，由标准器的技术指标可知 $MPE = \pm 0.1\%$ 。则

$$u_1 = \frac{0.1\% \times 60s}{\sqrt{3}} = 0.035s \quad (D.5)$$

D.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

选择电压持续（保持）时间 60s 点，重复测量 10 次，具体测量数据列于表 D.1。

表 D.1 重复性测量结果 (s)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
示值	59.8	59.9	59.9	60.0	59.9	60.0	59.9	60.0	59.9	59.9	59.92

不确定度按式 (E.5) 计算。

$$u_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{(n-1)}} = 0.063s \quad (D.6)$$

D.4.3 仪器分辨力引入的标准不确定度 u_3

被校仪器的分辨力为 0.1s，则其引入的不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.1s}{2\sqrt{3}} = 0.029s \quad (D.7)$$

因仪器分辨力引入的不确定度分量小于重复性引入的不确定度分量，所以用重复性引入的不确定度分量进行不确定度合成。

D.4.4 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 D.2。

表 D.2 标准不确定度一览表

校准点	标准不确定度分量	不确定度来源	灵敏系数
60 s	u_1	标准器引入的不确定度	1
	u_2	测量重复性引入的不确定度	-1

D.4.5 合成相对标准不确定度

各不确定度分量互不相关，得

$$u_c^2(\Delta) = \sqrt{u^2(t_s) + u^2(t_n)} \quad (D.8)$$

$$u_c(\Delta) = \sqrt{0.035^2 + 0.063^2} = 0.073s \quad (D.9)$$

D.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则校准点的扩展不确定度按式 (D.10) 计算：

$$U = 0.073s \times 2 = 0.15s \quad (D.10)$$

附录 E

绝缘油耐压测试仪升压速度测量不确定度评定示例

E.1 概述

使用校准装置对测试仪的升压速度进行校准，以一台型号为 LYJJ-II型，测量范围（0~80）kV，准确度等级为 1 级，升压速度为 2kV/s±1%的测试仪为例，对其升压速度进行不确定度评定。

E.2 测量模型

E.2.1 升压速度误差测量模型：

$$\Delta = V_s - V_n \quad (\text{E. 1})$$

式中：Δ——示值误差，kV/s；

V_s ——被校绝缘油耐压测试仪的示值，kV/s；

V_n ——被校绝缘油耐压测试仪的实际值，kV/s。

E.2.2 不确定度传播公式

$$u_c^2(\Delta) = \left(\frac{\partial \Delta}{\partial V_s} \right)^2 u^2(V_s) + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial V_n} \right)^2 u^2(V_n) \quad (\text{E. 2})$$

灵敏系数：

$$\frac{\partial \Delta}{\partial V_s} = 1 \quad (\text{E. 3})$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial V_n} = -1 \quad (\text{E. 4})$$

E.3 不确定度来源

E.3.1 校准装置引入的不确定度；

E.3.2 测量重复性引入的不确定度；

E.3.3 被校仪器分辨力引入的不确定度。

E.4 标准不确定度评定

E.4.1 绝缘油介电强度测试仪校准装置引入的标准不确定度 u_1

以升压速率 2kV/s 为例，由校准装置的技术指标可知 $MPE=\pm 0.2\%$ 。则

$$u_1 = \frac{0.2\% \times 2\text{kV/s}}{\sqrt{3}} = 2.3 \times 10^{-3} \text{kV/s} \quad (\text{E. 5})$$

E.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

选择交流输出电压 10kV，升压速度 2kV/s，重复测量 10 次，取两次 ($m=2$) 测得值的平均值作为测量结果，具体测量数据列于表 E.1。

表 E.1 重复性测量结果 (kV/s)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
示值	1.996	1.996	1.996	1.998	1.997	1.996	1.997	1.997	1.998	1.996	1.9967

不确定度按式 (E.6) 计算。

$$u_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{m(n-1)}} = 5.5 \times 10^{-4} \text{kV/s} \quad (\text{E. 6})$$

E.4.3 仪器分辨力引入的标准不确定度 u_3

被校仪器的分辨力为 0.001kV/s，则其引入的不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-4} \text{kV/s} \quad (\text{E. 7})$$

因仪器分辨力引入的不确定度分量小于重复性引入的不确定度分量，所以用重复性引入的不确定度分量进行不确定度合成。

E.4.4 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 E.2。

表 E.2 标准不确定度一览表

校准点	标准不确定度分量	不确定度来源	灵敏系数
10kV	u_1	校准装置引入的不确定度	1
	u_2	测量重复性引入的不确定度	-1

E.4.5 合成相对标准不确定度

各不确定度分量互不相关，得

$$u_c^2(\Delta) = \sqrt{u^2(V_s) + u^2(V_n)} \quad (\text{E. 8})$$

$$u_c(\Delta) = \sqrt{0.0023^2 + 0.00055^2} = 0.0024 \text{ kV/s} \quad (\text{E. 9})$$

E. 4. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则校准点示值误差的扩展不确定度按式 (E. 10) 计算：

$$U = 0.0024 \text{ kV/s} \times 2 = 0.0048 \text{ kV/s} \quad (\text{E. 10})$$
