

中华人民共和国工业和信息化部 机械计量技术规范

JJF（机械）XXX-XXXX

非接触式静电电压表校准装置校准规范

Calibration Specification for Non-Contact Static Voltmeter
Calibration Device

XXXX-XX-批准

XXXX-XX-实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

非接触式静电电压表校准装 置校准规范

Calibration Specification for
Non-Contact Static Voltmeter
Calibration Device

JJF（机械）XXX-XXXX

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：成都三方电气有限公司

中国测试技术研究院

成都市计量检定测试院

参加起草单位：四川蜀能电力有限公司清洁能源分公司

本规范委托全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

黄 震 成都三方电气有限公司

唐 俊 中国测试技术研究院

王 安 成都市计量检定测试院

参加起草人：

贾文杰 成都三方电气有限公司

黄胜翠 成都三方电气有限公司

孙国浩 成都三方电气有限公司

徐志向 四川蜀能电力有限公司清洁能源分公司

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 电压.....	2
5.2 距离.....	2
5.3 短时稳定性.....	2
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 测量标准及其他设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	4
8 校准结果表达.....	7
9 复校时间间隔.....	8
附录 A 测量不确定度评定示例.....	9
附录 B 原始记录格式.....	15
附录 C 校准证书内页格式.....	16

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规范。

本规范为首次发布。

非接触式静电电压表校准装置校准规范

1 范围

本规范适用于输出电压范围为 $\pm 20\text{kV}$ 的非接触式静电电压表校准装置(以下简称校验仪)的校准。输出电压范围超过 $\pm 20\text{kV}$ 的校验仪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 1517—2015 非接触式静电电压测量仪校准规范

GJB/J 5972—2007 非接触式静电电压表校准规范

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

标准平板电极 standard plate electrode

一个连接标准高电压源的、对地绝缘且边缘经过圆滑处理的金属平板。在平板中心靠近平板表面处,有平行于法线方向的均匀静电场存在,金属平板上的电压可以通过标准电压表读数或标准高压电源的设定来确定。

[来源: GJB/J 5972—2007 非接触式静电电压表校准规范 第 2.2]

4 概述

校验仪是用于非接触式静电电压表的校准,它是由直流高压电源、绝缘支架、标准平板电极、距离调节装置等组成。其工作原理见图 1,

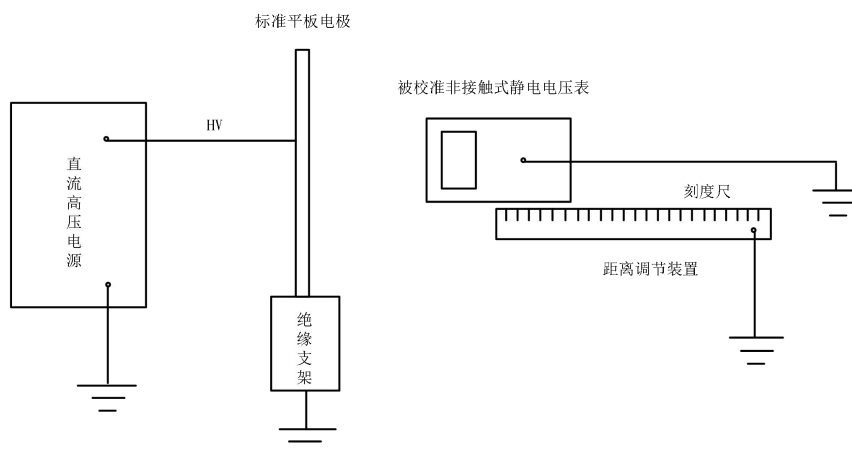


图1 校验仪原理框图

5 计量特性

5.1 电压

输出电压范围： $-20\text{kV}\sim-100\text{V}$ ， $+100\text{V}\sim+20\text{kV}$ ；

最大允许误差： $\pm 0.5\%$ 。

5.2 距离

距离调节范围： $(1\sim 150)\text{mm}$ ，

最大允许误差： $\pm 0.2\text{mm}$ 。

5.3 短时稳定性

校验仪输出电压（包含正负极性）短时稳定性应不大于 $0.05\%/5\text{min}$ 。

5.4 纹波系数

校验仪输出电压（包含正负极性）纹波系数应不大于 1% 。

注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

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

相对湿度： $\leq 80\%$

供电电源： $220\text{ V}\pm 22\text{ V}$ ， $50\text{ Hz}\pm 1\text{ Hz}$

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 直流标准分压器

电压测量范围应覆盖校验仪电压输出范围，最大允许误差绝对值应不大于校验仪最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

6.2.2 数字高压表

电压测量范围应覆盖校验仪电压输出的范围，最大允许误差的绝对值应不大于校验仪最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

6.2.3 直流电压表

电压测量范围： $10\text{ mV}\sim 1000\text{ V}$ ，最大允许误差 $\pm 0.01\%$ 。

6.2.4 量块

3 级或 5 等量块。

6.2.5 直角尺

$15\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 直角尺，2 级。

6.2.6 交流分压器

电压测量范围应覆盖校验仪电压输出范围，最大允许误差 $\pm 0.5\%$ 。

6.2.7 交流电压表

电压测量范围： $10\text{ mV}\sim 1000\text{ V}$ ，最大允许误差 $\pm 0.05\%$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校验仪校准项目见表 1。

表 1 校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	电压	5.1	7.2.2
2	距离	5.2	7.2.3
3	短时稳定性	5.3	7.2.4
4	纹波系数	5.4	7.2.5

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的准备

- a) 校验仪的外观应完好，无影响工作的机械损伤，不缺少影响正常工作的附件。
- b) 采用直角尺测量平板电极与非接触式静电表支架之间垂直度，间隙不能有光透过。

7.2.2 电压

电压校准接线如图 2 所示。

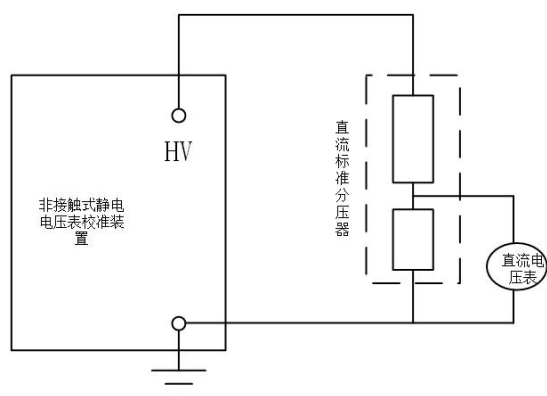


图2 (a) 采用直流标准分压器接线图

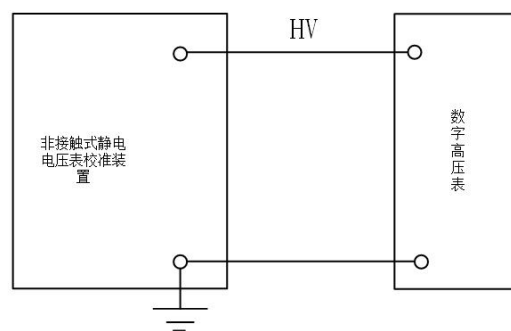


图2 (b) 采用数字高压表接线图

图 2 电压测量校准接线图

7.2.2.1 直流标准分压器法

按图 2 (a) 接线，有预热要求的校验仪应先预热处理。启动校验仪（距离调节到最大）输出电压在额定电压范围内选择 10%，20%，50%，80%，100%共五个点进行校准，其它校准点可根据用户要求进行增补。待输出稳定后，读取直流电压表电压显示值。按公式（1）计算电压示值相对误差。

$$\delta = \frac{U_x - KU_n}{KU_n} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

δ ——校验仪的电压示值相对误差;

U_x ——校验仪的电压显示值, V;

U_n ——直流电压表的电压显示值, V;

K ——直流标准分压器额定分压比。

7.2.2.2 数字高压表法

按图 2 (b) 接线, 有预热要求的校验仪应先预热处理。启动校验仪 (距离调节到最大) 输出电压在额定电压范围内选择 10%, 20%, 50%, 80%, 100% 共五个点进行校准, 其它校准点可根据用户要求进行增补。待输出稳定后, 读取数字高压表电压显示值。按公式 (2) 计算电压示值相对误差。

$$\delta = \frac{U_x - U_m}{U_m} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

U_m ——数字高压表的电压显示值, V。

7.2.3 距离

距离测量校准接线如图 3 所示。

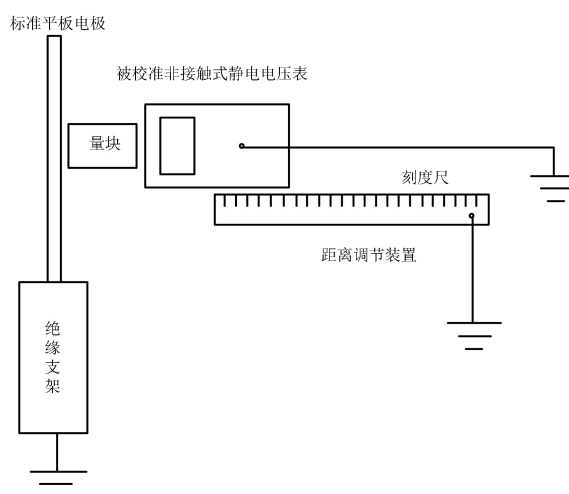


图 3 距离测量校准接线图

- 将量块和校验仪置于同一环境下不少于 2 小时。
- 如图 3 所示, 将静电电压表牢靠安装在距离调节装置上, 启动校验仪距

离调节功能并清零，调节测量距离大于所选量块长度，量块分别选取 10mm，25mm，100mm。将量块放置于标准平板电极与静电电压表之间。调节测量距离，使平板电极、量块，静电电压表互相接触。读取距离测量装置上距离显示值。按公式 (3) 计算距离示值误差。

$$\Delta_l = L_x - L_n \quad (3)$$

式中：

Δ_l ——校验仪距离测量误差，mm；

L_x ——校验仪距离显示值，mm；

L_n ——量块长度，mm。

7.2.4 短时稳定性

a) 按图 2 (a) 或图 2 (b) 接线，有预热要求的校验仪应先预热处理。

b) 调整校验仪输出电压分别为额定电压的 5% 和 100%，在 5min 内，间隔测量输出电压值次数不少于 15 次，选取最大值和最小值(推荐采用直流电压表最大值和最小值测量功能，可在 5min 测量完成后读取最大值和最小值即可)。

按公式 4 计算输出电压的短时稳定性。

$$S_D = \left| \frac{U_{max} - U_{min}}{U_0} \right| \times 100\% \quad (4)$$

式中：

S_D ——输出电压短时稳定性；

U_{max} ——在规定时间内输出电压最大测量值，V；

U_{min} ——在规定时间内输出电压最小测量值，V；

U_0 ——校验仪输出电压示值，V。

7.2.5 纹波系数

纹波系数校准接线如图 4 所示。

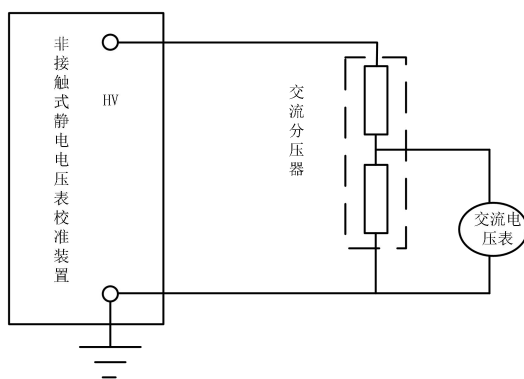


图4 输出电压纹波系数校准接线图

调节校验仪输出电压至额定电压，从交流电压表读取电压有效值（交流电压表的频带宽度不小于 10kHz），乘以分压器分压比 K ，即为输出电压的纹波电压有效值。

按公式 5 计算输出电压的纹波系数。

$$D_{DCW} = \frac{U_W}{U_d} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

D_{DCW} ——输出电压的纹波系数，%；

U_W ——输出电压的纹波电压有效值，V；

U_d ——校验仪输出电压显示值，V。

8 校准结果

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或应用有关时，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) 校准证书或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，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

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。

建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

测量不确定度评定示例

A. 1 距离测量不确定度评定

A. 1.1 概述

依据本规范的方法对非接触式静电电压表校准装置（校验仪）100mm 点进行校准。

A. 1.2 测量模型

在参考温度 $t_0=20^\circ\text{C}$ 下，校验仪的示值误差 E_X 可表示为

$$E_X = l_{ix} - l_s + L \cdot \Delta t + \delta l_{ix} + \delta l_M \quad (\text{A1})$$

式中：

l_{ix} —校验仪距离的示值，mm；

l_s —量块在参考温度 20°C 下的长度，mm；

L —量块的标称长度，mm；

Δt —测距组件和量块的温度差；

δl_{ix} —校验仪分辨力对测量结果的影响；

δl_M —机械效应，如测量力、阿贝误差、静电电压表平面度和平行度误差等对测量结果的影响。

A. 1.3 不确定度的主要来源

距离测量不确定度的主要来源包括：

- a) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- b) 量块准确定引入的标准不确定度 u_2 ；
- c) 温度差引入的标准不确定度 u_3 ；
- d) 校验仪分辨力引入的标准不确定度 u_4 ；
- e) 机械效应引入的标准不确定度 u_5 。

根据测量模型得到灵敏系数

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{\partial E_X}{\partial l_{ix}} = 1 \\ c_2 &= \frac{\partial E_X}{\partial l_s} = 1 \\ c_3 &= \frac{\partial E_X}{\partial (\bar{\alpha} \times \Delta t)} = L \end{aligned}$$

$$c_4 = \frac{\partial E_X}{\partial l_{iX}} = 1$$

$$c_5 = \frac{\partial E_X}{\partial l_M} = 1$$

A. 1. 4 各分量标准不确定度评定

A. 1. 4. 1 测量 l_{ix}

进行了若干次重复测量, 未发现测量结果有任何发散, 故读数并不引入任何有意义的不确定度分量。校验仪的测量结果为 100. 11mm, 示值误差 E_x 以及读数引入的标准不确定度为:

$$E_x = 100. 11 - 100 = 0. 11\text{mm}$$

$$u(l_{ix}) = 0$$

故对应的不确定度分量为:

$$u_1 = u(l_{ix}) = 0$$

A. 1. 4. 2 量块 l_x

由证书可知 5 等量块中心长度的偏差为+0.8 μm , 并假定其满足矩形分布。标准不确定度为:

$$u(l_s) = \frac{U(l_s)}{k} = \frac{0.8\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.462\mu\text{m}$$

故对应的不确定度分量为:

$$u_2 = u(l_s) = 0.462\mu\text{m}$$

A. 1. 4. 3 温度差 Δt

由于温度差的数字期望为零, 故其模 $|\Delta t|$ 远小于其标准不确定度 $u(\Delta t)$ 。而平均线膨胀系数 $\bar{\alpha}$ 的标准不确定度 $u(\bar{\alpha})$ 则远小于数学期望 $\bar{\alpha}$ 。即符合条件 $|\Delta t| \ll u(\Delta t)$ 和 $u(\bar{\alpha}) \ll \bar{\alpha}$, 可得乘积项 $\bar{\alpha} \times \Delta t$ 的标准不确定度为:

$$u^2(\bar{\alpha} \times \Delta t) = \Delta t^2 u^2(\bar{\alpha}) + (\bar{\alpha})^2 u^2(\Delta t) + u^2(\bar{\alpha}) u^2(\Delta t)$$

$$\approx (\bar{\alpha})^2 u^2(\Delta t) + u^2(\bar{\alpha}) u^2(\Delta t)$$

$$\approx (\bar{\alpha})^2 u^2(\Delta t)$$

$$u(\bar{\alpha} \times \Delta t) = \bar{\alpha} \times u(\Delta t)$$

即:

校验仪和量块的平均线膨胀系数为 $\bar{\alpha} = 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 测量时校验仪和量块的温度差 Δt 在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 范围内, 并假定为矩形分布, 温度差的标准不确定度为:

$$u(\Delta t) = \frac{a}{k} = \frac{2^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 1.15^\circ\text{C}$$

故对应的不确定度分量为:

$$u_3 = L\bar{\alpha}u(\Delta t) = 100 \times 11.5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \times 1.15^\circ\text{C} = 1.33\mu\text{m}$$

A. 1. 4. 4 校验仪的分辨力 δl_{ix}

校验仪的分辨力为 0.01mm, 矩形分布。对应的不确定度分量为:

$$u_4 = u(\delta l_{ix}) = \frac{0.005\text{mm}}{\sqrt{3}} = 3\mu\text{m}$$

A. 1. 4. 5 机械效应 δl_M

机械效应包括: 测量力、阿贝误差、静电电压表平面度和平行度误差等对测量结果的影响, 这些影响最大估计为 $\pm 50\mu\text{m}$, 并假定满足矩形分布, 对应的不确定度分量为:

$$u_5 = u(\delta l_M) = \frac{50\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 28.9\mu\text{m}$$

A. 1. 5 不确定度分量汇总表

不确定度分量见表 A. 1:

表 A. 1 不确定分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	分布类型	标准不确定度 u
u_2	量块 l_x	矩形分布	$0.462\mu\text{m}$
u_3	温度差 Δt	矩形分布	$1.33\mu\text{m}$
u_4	分辨力 δl_{ix}	矩形分布	$3\mu\text{m}$
u_5	机械效应 δl_M	矩形分布	$28.9\mu\text{m}$

A. 1. 6 合成标准不确定度的计算

根据表 A. 1 的不确定度分量表, 其合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{c_2 u_2^2 + c_3 u_3^2 + c_4 u_4^2 + c_5 u_5^2} \approx 30\mu\text{m}$$

A. 1. 7 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U = k u_c = 2 \times 30\mu\text{m} = 60\mu\text{m}$$

A.2 电压测量不确定度评定

A.2.1 概述

依据本规范的方法对非接触式静电电压表校准装置（校验仪）10kV 点进行校准。

A.2.2 测量模型

$$\Delta_U = U_x - KU_n \quad (\text{A2})$$

式中：

Δ_U —校验仪电压测量误差，V；

U_x —校验仪电压测量显示值，V；

K —直流标准分压器分压比；

U_n —直流电压表电压显示值，V。

A.2.3 不确定度的主要来源

电压测量不确定度的主要来源包括：

- a) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- b) 直流标准分压器的准确度引入的标准不确定度 u_2 ；
- c) 直流电压表的准确度引入的标准不确定度 u_3 ；
- d) 校验仪的分辨力引入的标准不确定度 u_4 。

根据测量模型得到灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta_U / \partial U_x = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta_U}{\partial K} = -U_n$$

$$c_3 = \frac{\partial \Delta_U}{\partial U_n} = -K$$

A.2.4 各分量的标准不确定度评定

A.2.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

测量重复性数据见表 A.2。

电压测量重复性不确定度由实验标准差来表示，根据表 A.2 中的数据，电压连续测量 10 次的实验标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{xi} - \bar{U}_x)^2}{n-1}} = 0.0032 \text{ kV}$$

即：

$$u_1 = 3.2 \text{ V}$$

表 A.2 10kV 点测量重复性数据

测量次数	实际值/ kV
第 1 次	10.012
第 2 次	10.019
第 3 次	10.011
第 4 次	10.015
第 5 次	10.011
第 6 次	10.011
第 7 次	10.019
第 8 次	10.015
第 9 次	10.017
第 10 次	10.016

A.2.4.2 直流标准分压器准确度引入的标准不确定度 u_2

直流标准分压器分压比为 100000，准确度等级为 0.01 级，则最大允许误差为 $a=100000 \times 0.01\% = \pm 10$ ，在此区间内服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.8$$

A.2.4.3 直流电压表准确度引入的标准不确定度 u_3

直流电压表最大允许误差 $\pm 2 \times 10^{-5}$ ，在 0.1V 测量点的最大允许误差为 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ V}$ ，均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，标准不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ V}}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-6} \text{ V}$$

A.2.4.4 校验仪的分辨力引入的标准不确定度 u_4

校验仪 10kV 处分辨力为 0.001 kV，在 $\pm 0.0005 \text{ kV}$ 区间内为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = \frac{0.0005 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 0.00029 \text{ kV}$$

考虑到被校数字高压表读数的重复性和分辨力存在重复，将二者中较小值 u_4 舍去。

A.2.5 不确定度分量汇总表

不确定度分量见表 2:

表 A.2 不确定分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	标准不确定度 u
u_1	重复性	A	正态	3.2 V
u_2	直流标准分压器准确度	B	均匀	5.8
u_3	直流电压表准确度	B	均匀	1.2×10^{-6} V

A.2.5.1 合成标准不确定度的计算

由于各个不确定度分量不相关，合成标准不确定度计算公式为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2} = 3.25 \text{ V}$$

A.2.5.2 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 2 \times 3.25 \text{ V} = 6.5 \text{ V}$$

换算至相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}}=0.07\%$ ， $k=2$ 。

附录 B

原始记录格式

委托单位:		校准证书编号:	
委托单位地址:		校准依据:	
仪器名称:	型号/规格:	出厂编号:	
制造单位:			
校准地点:		环境温度: ℃	相对湿度: %

校准用主要标准器具

名称	型号/规格	编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	证书有效期

1 校准前的准备_____

2 纹波系数_____

3 短时稳定性 (5min)

显示值/kV	测量次数	实际值/kV	稳定性

4 电压

显示值/kV	实际值/kV	误差	不确定度 $U_{rel} (k=2)$

5 距离

显示值/mm	实际值/mm	误差	不确定度 $U (mm) (k=2)$

校准员:

核验员:

附录 C

校准证书内页格式

本次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	编 号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	有效期至		
校准机构授权说明：							
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求							
地 点：							
环境温度：		相对湿度：		其它：			
证书有效性说明：							
其它说明：							
校 准 数 据 / 结 果							
1.校准前的准备_____							
2.纹波系数_____							
3.短时稳定性_____							
4. 电压							
显示值/ kV							
实际值/ kV							
不确定度 U_{rel} ($k=2$)							
5. 距离							
显示值/ mm							
实际值/ mm							
不确定度 U (mm) ($k=2$)							
说明：根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下 1 年校准一次。							

校准员：

核验员：