

JJF (皖)

安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 13—2020

火花试验机校准规范

Calibration Specification of Testing Machine of Spark

2020-11-30 发布

2021-01-01 实施

安徽省市场监督管理局 发布

火花试验机校准规范
Calibration Specification of Testing
Machine of Spark

JJF (皖) 13-2020
代替 JJG (皖) 13-2004

归 口 单 位：安徽省市场监督管理局
主要起草单位：安徽省计量科学研究院

本规范委托安徽省计量科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

罗朝玉（安徽省计量科学研究院）

郭 军（安徽省计量科学研究院）

吴 勇（安徽省计量科学研究院）

马 驭（安徽省计量科学研究院）

参加起草人：

王 亮（安徽省计量科学研究院）

目 录

引 言.....	(III)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(1)
4.1 输出电压.....	(1)
4.2 试验电极.....	(2)
4.3 保护电极.....	(2)
4.4 击穿计数器.....	(2)
4.5 灵敏度.....	(2)
4.6 稳定性.....	(3)
4.7 绝缘电阻.....	(3)
4.8 工频耐压试验.....	(3)
5 通用技术要求.....	(3)
5.1 外观.....	(3)
5.2 安全保护联锁功能.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 供电电源条件.....	(4)
6.3 校准标准器及辅助设备.....	(4)
7 校准项目.....	(5)
8 校准方法.....	(5)
8.1 外观及通电检查.....	(5)
8.2 绝缘电阻.....	(5)
8.3 工频耐压试验.....	(5)
8.4 电极检验.....	(5)
8.5 交/直流输出电压.....	(6)
8.6 直流电压纹波系数.....	(8)

8.7 灵敏度.....	(8)
8.8 稳定性.....	(9)
9 校准结果表达.....	(10)
9.1 校准证书.....	(10)
9.2 数据处理原则.....	(10)
10 复校时间间隔.....	(10)
附录 A 测定不确定度评定示例	(11)
附录 B 火花试验机校准记录.....	(14)

引 言

本规范依据国家计量技术规范JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制而成。

本规范是对JJG（皖）13-2004《火花试验机》的修订发布。

火花试验机校准规范

1 范围

本规范适用于电线电缆检测用的模拟式或数字式的交流（工频）、直流火花试验机的校准，火花试验机的最高输出电压为 30kV。

本规范不适用于脉冲式火花试验机和 3000Hz 高频火花试验机的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

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

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

GB/T 3048.9-2007 电线电缆电性能试验方法 第 9 部分：绝缘线芯火花试验

GB/T 26873-2011 火花试验机

JB/T 4278.10-2011 橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法 第 10 部分：火花试验机

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 概述

火花试验机是线缆缺陷检测的专用计量设备，火花试验机按其输出的高压电源分为工频火花试验机和直流火花试验机。火花试验机产生一个 50Hz 交流高压（或直流高压），经高压试验电极对线缆进行电性能动态测试。当线缆缺陷被击穿后，被测线缆导体与电极间产生一个放电火花，由此形成的击穿脉冲，经滤波、整形除去干扰信号后，送入分辨率控制电路进行击穿信号同步处理，使线缆上一个击穿点只记录一次，且控制计数电路工作。计数电路同时输出报警驱动电压，由报警电路完成击穿报警、复绕击穿并停车的工作程序。

4 计量特性

4.1 输出电压

交、直流火花试验机电压示值最大允许误差：

$$\Delta U = \frac{U_x - U_s}{U_s} \times 100\%$$

式中： ΔU —— 输出试验电压的相对误差，%；

U_x ——火花试验机输出示值, kV;

U_s ——火花试验机输出电压实际测量值, kV。

火花试验机输出试验电压准确度等级与最大允许误差应符合表 1 的规定。

表 1 输出电压等级指数与最大允许误差的要求

等级指数	2 级	5 级	10 级
最大允许误差	±2%	±5%	±10%

4.2 试验电极

4.2.1 电极的有效长度应满足在最大走线速度下, 被试品绝缘表面通过电极的时间不少于 0.05s (工频火花试验机) 和 0.001s (直流火花试验机)。试验电极底部可制成“V”形或“U”形。试验电极有效宽度大于最大被试品外径 30mm。

4.2.2 电极为金属制成的珠链或环链式接触电极, 链长应大于 V 形或 U 形底部深度。

4.2.2.1 珠子直径 2.5mm, 相邻两链的间距应不大于 5mm; 珠子直径 5mm, 相邻两链的间距应不大于 8mm。一串珠子上相邻两颗珠子的间距应不超过 2.5mm。

4.2.2.2 环由直径大于 0.8mm 金属丝构成, 环的外径(狭边)不大于 5mm, 每 100mm 长的环链上, 环数不少于 20 个。

4.2.2.3 链上的珠或环应分布均匀, 表面光滑, 不应有可能刮伤被试品的任何毛刺, 珠或环每一节应灵活可绕。

4.3 保护电极

试验电极的两端应有带接地的保护电极。保护电极宽度不小于试验电极有效宽度, 长度不小于 15mm。

4.4 击穿计数器

击穿计数器能准确记录火花击穿的次数。

4.5 灵敏度

4.5.1 当高压电源试验电极与地之间连接人工击穿装置检查时, 火花试验机应有击穿指示。

4.5.2 工频火花试验机, 试验电压 3kV, 当人工击穿装置的火花间隙临时被跨接短路时, 稳定电流应不超过 600 μ A。人工击穿装置连续旋转 20 次, 火花试验机击穿计数器所计次数应与实际击穿次数完全一致。

4.5.3 直流火花试验机, 试验电压 5kV, 当人工击穿装置的火花间隙临时被跨接短路时, 稳定电流应不超过 600 μ A。人工击穿装置连续旋转 20 次, 火花试验机击穿

计数器所计次数应与实际击穿次数完全一致。

4.6 稳定性

4.6.1 在最高标称试验电压下,用人工击穿装置检查,火花试验机击穿计数器所计次数应与实际击穿次数完全一致。

4.6.2 工频火花试验机,在工频高压电源试验电极与地之间放入一段没有缺陷的具有最大电容值的被试品,连接人工击穿装置,连续旋转人工击穿装置 20 次,火花试验机击穿计数器所计次数应与实际击穿次数完全一致。

4.6.3 直流火花试验机,在直流高压电源试验电极与地之间连接人工击穿装置,连续旋转人工击穿装置 20 次,火花试验机击穿计数器所计次数应与实际击穿次数完全一致。

4.7 绝缘电阻

4.7.1 火花试验机的高压输出端子对机壳的绝缘电阻不应小于 $100\text{M}\Omega$ 。

4.7.2 火花试验机的电源输入端子对机壳的绝缘电阻不应小于 $50\text{M}\Omega$ 。

4.8 工频耐压试验

对火花试验机电源输入端子和机壳之间施加 1.5kV 的试验电压,历时 1min ,应无击穿或飞弧现象发生。

注:校准工作不判断合格与否,上述计量特性要求仅供参考。

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 火花试验机的面板、机壳或铭牌上应有以下主要标记和符号:

产品名称、型号规格、制造厂名、出厂编号、生产日期、等级指数、被试品最大走线速度、最大试品外径、电源电压、输出试验电压范围等。

5.1.2 高压输出端必须有明显的输出标记。应具备启动、复位功能,各功能开关、按键应灵敏可靠。

5.1.3 火花试验机外壳必须有明显的接地端子和接地标志。

5.1.4 电极的珠链(或环链)不得有影响火花试验机正常工作的短缺、腐蚀。

5.2 安全保护联锁功能

安全保护联锁装置应保证开启试验电极箱时,火花试验机能自动切断电源,并将试验电极自动接地。

6 校准条件

6.1 环境条件

- 6.1.1 环境温度：(0~40) °C
- 6.1.2 相对湿度：≤85%RH
- 6.1.3 周围无影响测量的强电磁场，接地可靠。
- 6.2 供电电源条件
- 6.2.1 电源电压：(220±22) V
- 6.2.2 电源频率：(50±0.5) Hz
- 6.3 校准标准器及辅助设备
- 6.3.1 可选用高压分压器作为测量标准。

测量标准见表 2

表 2 测量标准

序号	测量标准	计量特性
1	直流标准分压器	直流电压测量不确定度优于被校试验装置最大允许误差的 1/3，且准确度最低不得低于 0.5 级，其中直流标准电压表的准确度等级不低于 0.5 级
2	交流标准分压器	交流电压测量范围应能覆盖被校试验装置的电压输出范围，电压测量不确定度优于被校试验装置最大允许误差的 1/3。

- 6.3.2 人工击穿装置
- 6.3.2.1 人工击穿装置分为用于灵敏度试验与用于稳定性试验两种。用于稳定性试验的人工击穿装置能在火花试验机最高标称电压下安全使用。
- 6.3.2.2 人工击穿装置由一构成高压试验电极的金属板与一金属针、微安表、必要的限流阻抗组成。
- 6.3.2.3 金属板与金属针作相对旋转动作，针尖掠越平板频率 1 次/秒。工频高压电源时，每次持续时间为 0.025s；直流高压电源时，每次持续时间为 0.0005s。金属板与金属针之间隙为 (0.25±0.05) mm。
- 6.3.2.4 交流或直流微安表，量程合适，用于测量工频高压电源 3kV 时短路稳态电流，为将短路稳态电流限制在 600μA 以下，可以串接限流阻抗。
- 6.3.3 绝缘电阻表，测试电压 1000V 以上，测量误差为±10%。
- 6.3.4 耐电压测试仪，电压示值误差为：±5%。
- 6.3.5 游标卡尺：200mm，分度值：0.02mm。
- 6.3.6 钢卷尺：2m，分度值：1mm。
- 6.3.7 高压电容，500pF，额定工作电压不低于工频火花机检定时最高试验电压。

6.3.8 通用示波器，DC~50MHz (-3dB)；2mV/div~5V/div，电压示值误差为 $\pm 1\%$ 。

7 校准项目

火花试验机校准项目见表 3

表 3 校准项目

序号	校准项目
1	外观及通电检查
2	绝缘电阻
3	工频耐压试验
4	电极检验
5	交/直流输出电压
6	直流电压纹波系数
7	灵敏度
8	稳定性

8 校准方法

8.1 外观及通电检查

根据本规范第 5.1~5.2 条的规定进行外观检查；检查高压电源的接地端与火花试验机外壳接地端的连接是否良好；检查火花试验机的接地是否良好。仅在火花试验机接地良好的情况下才进行后续项目校准。

依据使用说明书的要求，通电后仪器应能正常工作。如发现工作不正常，则应修复后再进行检定。

8.2 绝缘电阻

8.2.1 将高压输出端子中的接地端与机壳断开，使用绝缘电阻表，一段接高压输出端子，另一端接火花试验机外壳，所测得的绝缘电阻应符合 4.7.1 要求。

8.2.2 使用绝缘电阻表，测量电源输入线（相中线连接到一起）与火花试验机外壳间的绝缘电阻，所测得的绝缘电阻应符合 4.7.2 要求。

8.3 工频耐压试验

耐电压试验仪的高压输出端分别接于被检火花试验机的电源输入端与外壳；高压输出端子与外壳。按 4.8 条的规定施加电压，持续时间 1min，应无击穿或飞弧现象发生。

8.4 电极检验

8.4.1 电极的珠链（或环链）不得有影响火花试验机正常工作的短缺、腐蚀。测量

相邻两链间距、珠链（或环链）的有关尺寸，检查珠链（或环链）的分布及表面情况，结果应符合 4.2.2 条的规定。

8.4.2 试验电极检验

8.4.2.1 用游标卡尺测量试验电极的有效宽度，结果应符合第 4.2.1 条规定。

8.4.2.2 被试品通过电极的最高速度检查

8.4.2.2.1 工频高压电源

用钢卷尺测量试验电极的有效长度，当被试品绝缘每一点通过电极的时间不少于 $t=0.05\text{s}$ 时，即经受 50Hz 电源电压 2.5 个全周期数。按公式（1）计算被试品通过工频火花试验机电极的最高速度。

$$V_{\max} = \frac{L}{t} \times 60 \quad (1)$$

式中

V_{\max} ——最大走线速度，m/min；

L ——电极有效长度，m；

t ——时间，s。

8.4.2.2.2 直流高压电源

用钢卷尺测量试验电极的有效长度，当被试品绝缘每一点通过电极的时间不少于 $t=0.001\text{s}$ 时，按公式（2）计算被试品通过直流火花试验机电极的最高速度。

$$V_{\max} = \frac{L}{t} \times 60 \quad (2)$$

式中

V_{\max} ——最大走线速度，m/min；

L ——电极有效长度，m；

t ——时间，s。

8.4.3 保护电极检验

8.4.3.1 保护电极与外壳应连接可靠。

8.4.3.2 用游标卡尺测量保护电极的宽度与长度，应符合第 4.3 条要求。

8.5 交/直流输出电压

8.5.1 对火花试验机每一个输出电压量程档都应进行校准。指针式火花试验机，每个带数字的刻度为校准点；数字式火花试验机，检定点不少于 5 个。

8.5.2 输出电压的校准按图 1 连接测量电路。

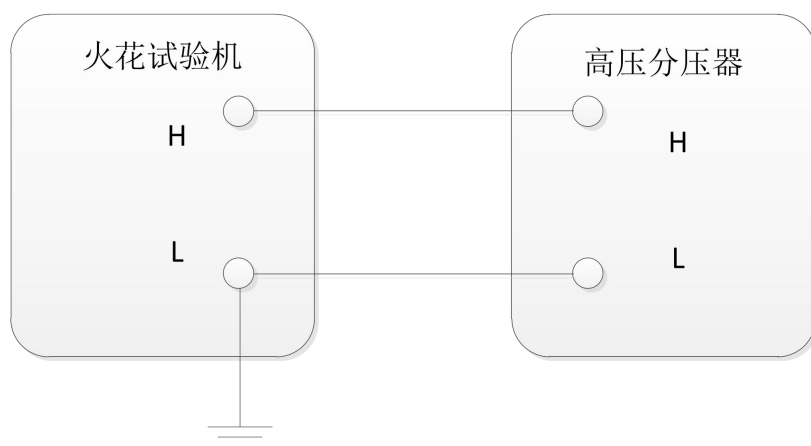


图 1 火花试验机输出电压的校准原理图

8.5.2.1 对指针式的火花试验机应校正输出指示，使指针位于零位后通电稳定。

8.5.2.2 将火花试验机输出电压调至校准点进行校准，读取高压分压器电压示值。

8.5.2.3 指针式火花试验机校准输出电压时应由小至大，然后由大至小各校准一次，取其平均值作为输出电压实际值；数字式火花试验机校准输出电压时应对校准点校准两次，取其平均值作为输出电压实际值。

8.5.2.4 数字式火花试验机电压示值的绝对误差按 (3) 式计算

$$\Delta = U - U_0 \quad (3)$$

式中： Δ ——火花试验机电压示值的绝对误差；

U ——火花试验机电压显示值；

U_0 ——火花试验机电压实测值。

数字式火花试验机电压示值的相对误差按 (4) 式计算

$$\delta = \frac{U - U_0}{U_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中： δ ——火花试验机电压示值的相对误差；

U ——火花试验机电压显示值；

U_0 ——火花试验机电压实测值。

绝对误差 Δ 、相对误差 δ 应满足表 1 的要求。

8.5.2.5 指针式火花试验机电压示值的引用误差按 (5) 式计算

$$\xi = \frac{U - U_0}{U_m} \times 100\% \quad (5)$$

式中： ξ ——输出电压引用误差；

U ——输出电压指示值；

U_0 ——输出电压实际值；

U_m ——火花试验机电压满量程值。

引用误差 ζ 应满足表 1 的要求。

8.6 直流电压纹波系数

8.6.1 试验电压空载，将高压电容器的一端接试验电极，另一端接通用示波器输入端，如图 2 所示：

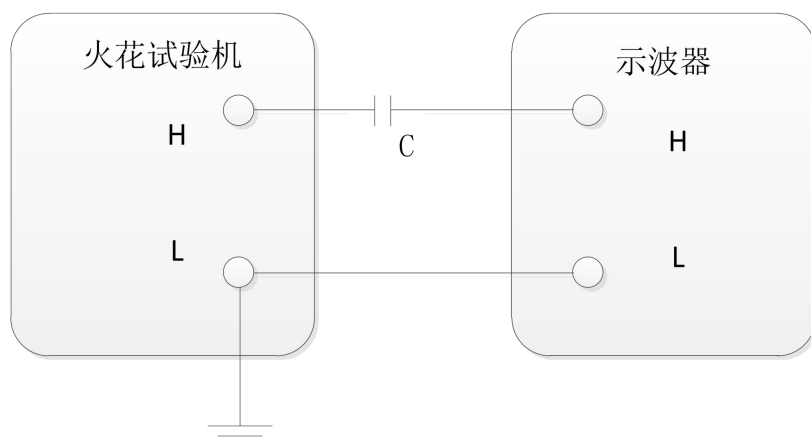


图 2 火花试验机直流输出电压纹波系数的校准原理图

8.6.2 接通直流火花试验机电源，将输出电压调整至 1kV 左右，用通用示波器测量纹波电压峰峰值 ζ 。

8.6.3 按 (6) 式计算直流火花试验机输出电压纹波系数。

$$R = \frac{\zeta}{2U} \times 100\% \quad (6)$$

式中： R ——纹波系数；

ζ ——纹波峰峰值电压；

U ——输出直流电压平均值；

8.7 灵敏度

8.7.1 交流（工频）火花试验机

8.7.1.1 在高压端与地之间接入灵敏度试验用人工击穿装置，按图 3 连接测量电路，将试验电压调至 3kV，串接限流阻抗，使短路稳态电流限制在 600 μ A 以下。

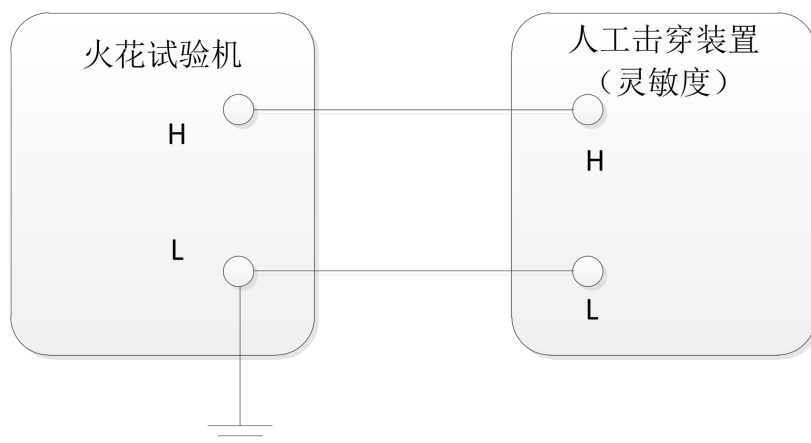


图3 火花试验机灵敏度的校准原理图

8.7.1.2 启动人工击穿装置，旋转 20 次。工频火花试验机的击穿计数器所计次数应与实际击穿次数一致。

8.7.2 直流火花试验机

8.7.2.1 在高压端与地之间接入灵敏度试验用人工击穿装置，按图 3 连接测量电路，将试验电压调至 5kV，串接限流阻抗，使短路稳态电流限制在 $600\mu\text{A}$ 以下。

8.7.2.2 启动人工击穿装置，旋转 20 次。直流火花试验机的击穿计数器所计次数应与实际击穿次数一致。

8.8 稳定性

在高压端和地之间接入用于稳定性试验的人工击穿装置，按图 4 连接测量电路，将试验电压调整到最高标称电压。启动人工击穿装置，旋转 20 次，火花试验机击穿计数器所计次数应与实际击穿次数一致。

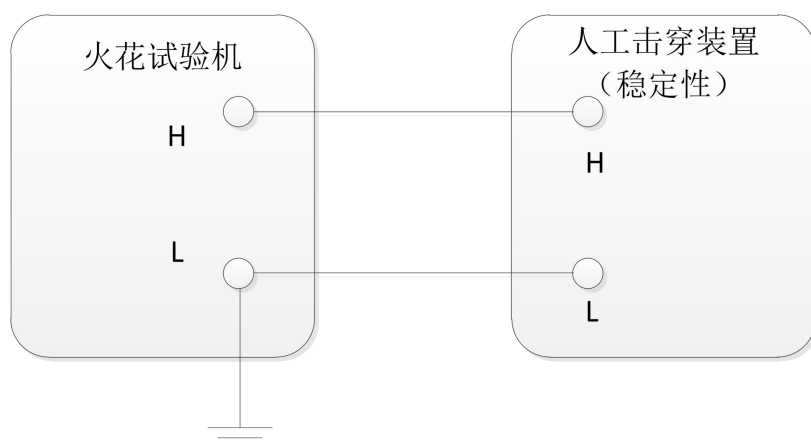


图4 火花试验机稳定性的校准原理图

9 校准结果表达

9.1 校准证书

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；
- 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) 进行校准的日期；
- g) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- h) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- i) 校准环境的描述，物品状态的描述；
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- k) 被校对象的描述和明确标识；
- l) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- 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说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

不确定度的评定示例见附录A，校准原始记录格式见附录B。

9.2 数据处理原则

校准结果小数点后保留的位数应与扩展不确定度有效位数一致。

10 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

测量不确定度评定示例

A.1 概述

A.1.1 计量标准：主要计量标准设备为交直流高压分压器，其技术性能如下

序号	标准设备名称	技术指标
1	交直流高压分压器	测量范围：(0~100) kV MPE：±1%
2	数字多用表	测量范围：(0~1000) V MPE：±0.1%

A.1.2 被测对象：

序号	被测设备名称	技术指标
1	火花试验机	输出范围：(0~25) kV 分辨力：0.1kV 准确度等级：5 级

A.1.3 校准方法

采用交直流高压分压器作为标准器，对火花试验机在环境温度为 (0~40) °C，相对湿度小于 85% 的条件下进行校准。

A.2 测量模型

火花试验机输出电压相对误差：

$$\lambda_u = \frac{(U_x - U_s)}{U_s} \times 100\%$$

式中： λ_u —电压示值相对误差，%；

U_x —电压显示值,kV；

U_s —电压标准值,kV。

A.3 不确定度传播率

由于各分量相互独立，故可用相对值表示的合成标准不确定度为

$$u^2_c(y) = c_1^2 u^2(y_0)$$

式中，灵敏系数 $c_1 = \partial y / \partial y_0 = 1$ 。

A.4 不确定度评定

当被校火花试验机设定输出值 10kV 时，对被校火花试验机电压值展开不确定度评定。

A.4.1 由测量重复性引入的不确定度分量 u_{Arel} 。

对被校火花试验机在 10kV 测量点进行 10 次重复测量, 数据如下: (kV)

测量序号	1	2	3	4	5
实测值	10.01	10.02	10.03	10.00	10.01
测量序号	6	7	8	9	10
实测值	10.01	10.01	10.00	10.01	10.02

$$\text{算术平均值 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 10.012 \text{ kV},$$

$$\text{单次实验结果的标准偏差 } s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.00919 \text{ kV},$$

测量重复性引入的不确定度分量

$$u_{Arel} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} / \bar{x} = 9.18 \times 10^{-4}$$

A.4.2 由标准设备示值误差引入的不确定度分量。

由数字多用表最大允许误差 $\pm 0.1\%$ 引起的测量不确定度 u_{B1rel} 。按均匀分布, 取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则相对标准不确定度 u_{B1rel} 为

$$u_{B1rel} = 0.1\% / \sqrt{3} = 5.78 \times 10^{-4}$$

由交直流高压分压器最大允许误差 $\pm 1\%$ 引起的测量不确定度 u_{B2rel} 。按均匀分布, 取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则相对标准不确定度 u_{B2rel} 为

$$u_{B2rel} = 1\% / \sqrt{3} = 5.78 \times 10^{-3}$$

标准设备示值误差引入的不确定度分量

$$u_{Brel} = \sqrt{u_{B1rel}^2 + u_{B2rel}^2} \approx 5.78 \times 10^{-3}$$

A.4.3 由被校火花试验机测量分辨力引入的不确定度分量 u_{B3rel} 。

被校火花试验机的输出电压分辨率为 0.1kV, 按均匀分布, 取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则相对标准不确定度 u_{B3rel} 为

$$u_{B3rel} = \frac{0.1 \text{ kV}}{2 \times \sqrt{3}} \div 10.012 \text{ kV} = 2.89 \times 10^{-3}$$

A.5 合成标准不确定度的评定

A.5.1 主要标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	ci	测量结果分布	标准不确定度分量值
u_{Arel}	测量重复性	1	正态	9.18×10^{-4}
u_{Brel}	标准设备最大允许误差	1	均匀	5.78×10^{-3}
u_{B3rel}	被校火花试验机分辨力	1	均匀	2.89×10^{-3}

A.5.2 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关,且 $u_{Arel} < u_{B3rel}$,则合成标准不确定度为:

$$u_{Crel} = \sqrt{u_{Brel}^2 + u_{B3rel}^2} = 6.46 \times 10^{-3}$$

A.5.3 扩展不确定度: $U_{rel} = k u_{Crel} \approx 1.3 \times 10^{-2}$ ($k=2$)

同样方法可得出交流高压试验装置其他校准点的不确定度。

附录 B

火花试验机校准记录

证书编号: _____

共 页 第 页

送校单位: _____ 委托方地址: _____

仪器名称: _____ 制造单位: _____

规格型号: _____ 器具编号: _____ 准确度: _____

被校仪器状态 (完好“√”): 校准前: _____ 校准后: _____

校准依据: _____ 环境条件: 温度: _____ °C 相对湿度: _____ %

标准器名称	规格型号	出厂编号	有效期	备注

1.外观及通电检查: _____

2.绝缘电阻: 高压输出端子对机壳: ___MΩ; 电源输入端子对机壳: ___MΩ。

3.工频耐压试验: 电源输入端与机壳之间施加1.5kV试验电压, 历时1min, ___击穿或飞弧现象发生。

4.电极检验:

试验电极: 电极长L=___ (mm), 电极宽W=___ (mm), 珠链: _____

保护电极: 电极长L=___ (mm), 电极宽W=___ (mm), 珠链: _____

5.交/直流输出电压:

示值 (kV)	实测值 (kV)		平均值 (kV)

6.纹波系数：在输出直流电压 $U=1000V$ 下，测得纹波电压峰峰值 $\zeta=$ _____ V_{p-p} ，则纹波系数 $R = \zeta / 2U \times 100\% =$ _____ %

7.灵敏度：试验电压设置为_____ kV ，稳态短路电流不超过 $600\mu A$ ，人工击穿装置连续旋转_____次，火花试验机_____报警计数误差。

8.稳定性：试验电压设置为_____ kV ，人工击穿装置连续旋转_____次，火花试验机_____报警计数误差。

测量不确定度：_____ 校准地点：本院_____ 现场_____

校准员：_____ 核验员：_____ 校准日期：_____年_____月_____日

