



福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1083—2017

工频火花试验机校准规范

Calibration Specification of Power Frequency

Cable and Wire Spark Tester

2017-04-07发布

2017-07-07实施

福建省质量技术监督局 发布

工频火花试验机校准规范

Calibration Specification of Power Frequency

Cable and Wire Spark Tester

JJF (闽) 1083—2017

规范经福建省质量技术监督局于 2017 年 04 月 07 日批准，并自 2017 年 07 月 07 日起施行。

归口单位：福建省质量技术监督局

主要起草单位：南平市计量所

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

孙峰生（南平市计量所）

参加起草人：

叶昆满（南平市计量所）

吴隆建（南平市计量所）

江迎春（南平市计量所）

叶 萍（南平市计量所）

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 一般检查	(2)
5.2 试验电极	(2)
5.3 保护电极	(3)
5.4 试验电压	(3)
5.5 灵敏度试验.....	(3)
5.6 稳定性试验.....	(4)
5.7 绝缘电阻	(4)
5.8 工频耐压试验.....	(4)
6 校准条件.....	(4)
6.1 环境条件	(4)
6.2 标准装置	(4)
6.3 辅助设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(5)
7.1 校准项目	(5)
7.2 校准方法	(5)
8 校准结果表达.....	(8)
9 复校时间间隔	(8)
附录 A 工频火花试验机校准原始记录.....	(9)
附录 B 校准证书校准结果内页内容.....	(10)
附录 C 工频火花试验机试验电压测量结果的不确定度评定示例.....	(12)

引 言

JJF 1071-2010《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》共同构成支撑本校准规范制定的基础性系列规范。

本规范主要参考 JJG 795-2004《耐电压测试仪》、GB/T 26873-2011《火花试验机》、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》、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》编制而成。

本规范为首次发布。

工频火花试验机校准规范

1 范围

本规范适用于电线电缆生产过程中检测绝缘层质量用的工频火花试验机(以下简称火花试验机)的校准。

不适用于直流火花试验机、高频火花试验机、火花检漏仪和其他用途的火花试验机的校准。

2 引用文件

JJG 795-2004《耐电压测试仪》

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》

JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》

GB/T 26873-2011《火花试验机》

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》

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本规则；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规则。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 灵敏度试验 sensitivity test

检测火花试验机在一定试验电压和小于规定的放电稳态电流下，其击穿计数装置对试品的高压击穿放电现象的响应情况。

3.1.2 稳定度试验 stability test

检测火花试验机在最高标称试验电压下，其击穿计数装置对试品的高压击穿放电现象的响应情况。

3.1.3 击穿计数装置 breakdown counter

击穿计数装置由显示计数器和讯响报警器组成，能准确记录火花击穿的次数并报警。

3.2 计量单位

试验电压使用的法定计量单位为 V（伏特），或是它的十进倍数单位 kV；电极长度使用的法定计量单位为 m（米），或是它的分数单位 mm（毫米）、cm（厘米）。

4 概述

用途：火花试验机是用以检测线缆缺陷的专用计量设备，它通过高压电源产生交流高压，经试验电极对线缆进行电性能动态测试。

原理：当通过高压区的线缆缺陷被击穿后，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控制电路进行击穿信号同步处理，使线缆上一个击穿点在计数器上记录一次，同时也驱动报警电路完成击穿报警、停机等工作程序。

结构：火花试验机主要由高压电源、试验电极、保护电极、安全保护连锁装置、试验电压表、击穿计数指示器、报警装置和必要的控制电路等部分组成，见图 1。

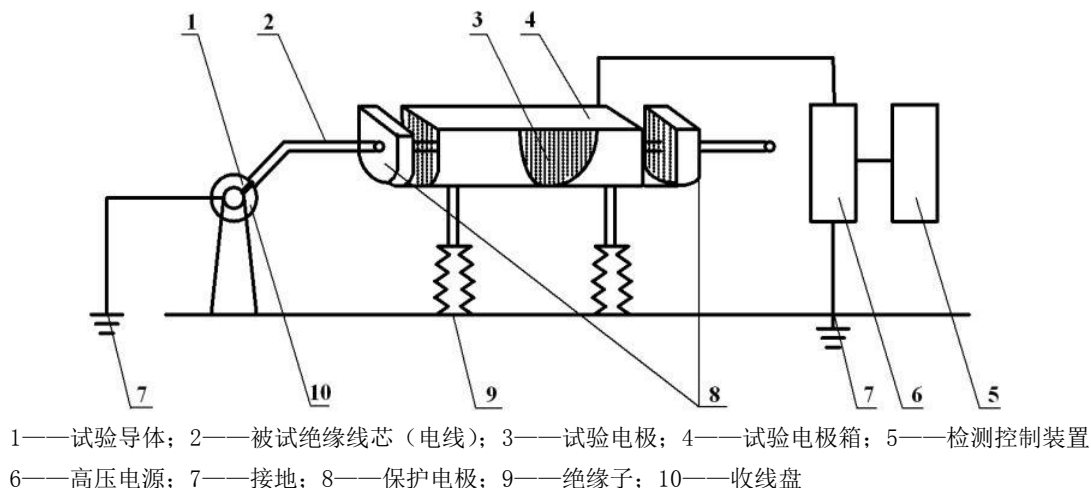


图 1 火花试验机的示意图

5 计量特性

5.1 一般检查

5.1.1 外观

5.1.1.1 外观指示应清晰，不应有影响使用的明显缺陷。

5.1.1.2 各零部件装配应牢固，功能开关、按键、旋钮应灵敏可靠。

5.1.1.3 外壳上应有明显的接地端子和接地标识。

5.1.2 标志

火花试验机的铭牌上应有以下主要标志：产品名称、型号规格、出厂编号、制造厂名（或商标）、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、试验电压表变比等。

5.1.3 安全性

安全保护连锁装置应保证在开启试验电极箱时，能自动切断高压电源，且试验电极自动接地。

5.2 试验电极

5.2.1 试验电极底部应制成“V”形或“U”形，对地应保持良好绝缘，保证在最高试验电压下，当绝缘端子受潮时火花试验机也应正常运行，试验电极的有效宽度应大于最大被试品外径 30mm，试验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。

5.2.2 电极应为金属制成的珠链式或环链式接触电极，链长应大于“V”形或“U”形底部电极的深度。

5.2.2.1 珠链上的珠子直径为(2~3)mm时，相邻两链的间距不大于5mm；珠子直径为(3~4)mm时，相邻两链的间距不大于6mm；珠子直径为(4~4.5)mm时，相邻两链的间距不大于7mm；珠子直径为(4.5~5)mm时，相邻两链的间距不大于8mm。一串珠子上相邻两颗珠子间的间距应不超过2.5mm。

5.2.2.2 环链的环应由直径大于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。

5.2.2.3 链上的珠或环应分布均匀，表面光滑，试验时电线绝缘线芯应能顺利通过电极链区，电极链珠或环不应有严重腐蚀或刮伤被试品绝缘的任何毛刺，且每一节珠或环应灵活可绕。

5.3 保护电极

试验电极的两侧应有带接地的保护电极，电极箱壳体应有效接地，保护电极的宽度不小于试验电极的有效宽度，长度不小于15mm。保护电极上的珠链与环链要求应与试验电极一致，保护电极与试验电极之间的距离应保证在最高试验电压下，不发生试样绝缘表面飞弧。

5.4 试验电压

火花试验机输出试验电压示值误差以相对误差表示，按式(1)计算：

$$\gamma = \frac{U_x - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (1)$$

式中： γ ——输出试验电压示值的相对误差，%；

U_x ——输出电压示值，kV；

U_n ——输出电压实际值，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%
注：通常应满足2级火花试验机电压范围在6kV以下；5级火花试验机电压范围在30kV以下；10级火花试验机电压范围在50kV以下。			

5.5 灵敏度试验

火花试验机输出试验电压3kV，当人工击穿装置的火花间隙临时被跨接短路时，短路稳态电流限制在600μA以下，进行20次人工击穿，每次时间间隔为1s，击穿计数器所记录下的次数应与实际击穿次数一致。

5.6 稳定性试验

在火花试验机输出电压调至最高标称电压，且将人工击穿装置的限流电阻短接、火花间隙并接 500pF 高压电容的状态下，进行 20 次人工击穿，每次时间间隔为 1s，击穿计数器记录下的次数应与实际击穿次数一致。

5.7 绝缘电阻

5.7.1 火花试验机的电源输入端子对机箱外壳的绝缘电阻应不小于 50MΩ。

5.7.2 火花试验机的高压电极对机箱外壳的绝缘电阻应不小于 100MΩ。

5.8 工频耐压试验

对火花试验机电源输入端与机箱外壳之间施加 1.5kV 的试验电压，历时 1min，应无击穿或飞弧现象。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 工作环境条件

温度：(0~40)℃；相对湿度：≤85%RH。

6.1.2 工作电源条件

供电的电源应满足电压：220(1±10%)V，频率：50(1±5%)Hz。

6.1.3 其他条件

周围应无影响正常校准工作的外界电磁干扰。

6.2 标准装置

6.2.1 可选用数字高压表（由高压分压器、传输电缆和低压数字表组成）作测量标准。

6.2.2 可选用满足测量要求的电压互感器和交流电压表作测量标准。

6.2.3 选用的标准器所引起的扩展不确定度（ $k=2$ ）不应大于被校准火花试验机输出试验电压允许误差限的 1/3。

6.3 辅助设备

辅助设备主要包括游标卡尺、钢卷尺、绝缘电阻表、工频耐压测试仪、交流微安表、人工击穿装置、高压电容等，其技术指标应优于以下要求。

6.3.1 所使用的部分辅助设备的要求见表 2

表 2 部分辅助设备的要求

辅助设备名称	要求	辅助设备名称	要求
游标卡尺	200mm，分度值 0.02mm	工频耐压测试仪	(0~5kV)，(0~20mA)，5 级
钢卷尺	2m，分度值 1mm，II 级	绝缘电阻表	1000V，不低于 10 级

交流微安表	(0~1) mA, 不低于 2.5 级	秒表	(0~900) s, 0.1s
-------	---------------------	----	-----------------

6.3.2 人工击穿装置的要求

人工击穿装置由构成高压试验电极的金属板与一个金属针、微安表、必要的限流阻抗组成。

a) 金属板与金属针之间作相对旋转运动, 针尖掠越平板周期为每秒一次, 每次持续时间为 $0.025(1 \pm 10\%)s$, 该持续时间即为人工击穿持续时间。金属板与金属针间隙为 $(0.25 \pm 0.05)mm$, 该间隙用 $0.25mm$ 塞尺片调整。

b) 用于灵敏度试验的金属针针尖的锥度应不大于 60° ; 直径应不大于 $2mm$ 。

c) 用于稳定性试验的人工击穿装置应能在火花试验机最高标称输出电压下安全使用。为防止针尖熔化, 金属针可用较粗的铜丝或采用 HB 铅笔芯代替。

6.3.3 高压电容的要求:

额定容量为 $500pF$, 额定工作电压不应低于被校火花试验机的最高试验电压。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

推荐的校准项目见表 3, 当用户有特殊要求时, 可按照用户要求从表 3 中选择校准项目。

表 3 火花试验机的校准项目表

序号	校准项目
1	一般检查
2	试验电极检查
3	保护电极检查
4	试验电压示值误差测量
5	灵敏度试验
6	稳定性试验
7	绝缘电阻测量
8	工频耐压试验

7.2 校准方法

7.2.1 一般检查

7.2.1.1 外观、标志、安全性

根据 5.1.1、5.1.2、5.1.3 条的规定进行检查。

7.2.2 试验电极检查

7.2.2.1 根据 5.2 的规定对电极的外观结构进行检查, 可与一般检查同时进行。

7.2.2.2 关闭火花试验机电源，开启电极箱，用游标卡尺测量试验电极的有效宽度。

7.2.2.3 用钢卷尺测量试验电极的有效长度，按公式（2）计算被试品绝缘导线每点通过电极的时间 t 。

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

式中： t ——时间，s

L ——电极有效长度，m

v ——铭牌标识的被试品最大走线速度，m/min

7.2.2.4 用游标卡尺测量珠环直径及两链的间距。

7.2.3 保护电极检查

7.2.3.1 保护电极应与外壳连接可靠，且机箱外壳应有效接地。

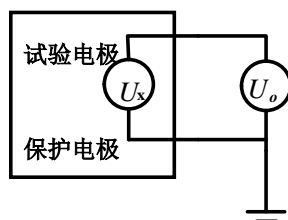
7.2.3.2 用游标卡尺测量保护电极的有效宽度。

7.2.3.3 用钢卷尺测量保护电极的有效长度。

7.2.4 试验电压示值误差校准

7.2.4.1 试验电压示值误差校准方法

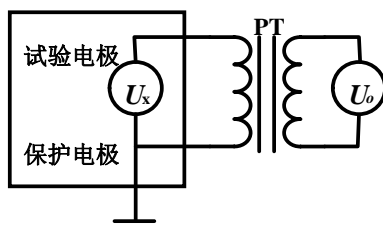
a) 采用数字高压表作标准器校准火花试验机电压示值误差，线路图见图 2。



图中： U_x ——火花试验机电压指示； U_o ——数字高压表电压指示。

图 2 采用数字高压表作标准器校准火花试验机的线路图

b) 采用电压互感器及交流电压表作标准器校准火花试验机电压示值误差，线路图见图 3。



图中： U_x ——火花试验机电压指示；

U_o ——电压互感器二次端接交流电压表电压指示；

PT——电压互感器。

图 3 采用电压互感器及交流电压表作标准器校准火花试验机的线路图

7.2.4.2 校准试验点的选取

a) 火花试验机在试验电压 3kV 及以上至满量程范围内均匀选取不少于 4 个电压值进行校准。

b) 对于多量程火花试验机, 选取一个常用量程作为主要量程, 按 a) 选取校准点, 其他量程选取满量程的 40%、60%、100% 三点进行校准。

c) 用户有特殊要求时, 试验电压允许校准到低于该火花试验机实际输出的最高电压, 但不低于最小灵敏度所要求的试验电压。

7.2.4.3 输出试验电压测量应由小至大, 每个校准点测量 2 次, 取其平均值, 即为输出电压实际值 U_n 。

输出试验电压示值误差用相对误差表示, 其计算方法见公式 (3)。

$$\gamma = \frac{U_x - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (3)$$

式中: γ ——输出试验电压示值的相对误差, %;

U_x ——输出电压示值, kV;

U_n ——输出电压实际值, kV。

当按图 2 接线, 采用直接测量法测量时, 标准数字高压表显示值 U_0 的平均值 $\overline{U_0}$ 即为输出电压实际值 U_n 。

当按图 3 接线测量时, 输出电压实际值可按下式计算:

$$U_n = k \times \overline{U_0} \quad (4)$$

式中: k ——电压互感器变比;

$\overline{U_0}$ ——标准电压表示值的平均值, kV。

注: 1. 电压互感器空载时准确度等级应高于被校火花试验机准确度等级的十分之一。

2. 标准电压表示值误差应不超过被校火花试验机输出电压最大允许误差的五分之一。

7.2.5 灵敏度试验

在火花试验机的高压试验电极与地之间接入灵敏度试验用的人工击穿装置, 将试验电压调至 3kV, 串联可调节限流电阻, 将短路稳态电流限制在 600 μ A 以下。启动人工击穿装置, 使金属板与金属针之间作相对旋转, 并持续 20 次, 分别记录火花试验机和人工击穿装置的击穿数。

7.2.6 稳定性试验

在火花试验机的高压试验电极与地之间接入稳定性试验用的人工击穿装置, 将限流电阻

短接，在金属板与金属针之间并联一个 500pF 高压电容器。将输出电压升至最高标称试验电压值，启动人工击穿装置，使金属板与金属针之间作相对旋转，并持续 20 次，分别记录火花试验机和人工击穿装置的击穿数。

7.2.7 绝缘电阻测量

7.2.7.1 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，绝缘电阻不小于 50MΩ。

7.2.7.2 用绝缘电阻表测量高压电极与火花试验机外壳间的绝缘电阻，绝缘电阻不小于 100MΩ。

7.2.8 工频耐压试验

用耐电压测试仪对被校准火花试验机进行工频耐压试验。耐电压测试仪击穿报警电流设置为 5mA，在火花试验机的电源输入端和机箱外壳之间施加 1.5kV 试验电压，持续时间 1min。

8 校准结果表达

8.1 校准数据处理

火花试验机校准记录(式样)见附录 A。所有数据应先计算后修约，出具的校准数据均保留不超过 2 位小数。

8.2 校准证书

火花试验机校准后出具校准证书，校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 B。

8.3 校准结果的不确定度评定

校准结果的不确定度评定按照 JJF1059.1-2012《测量不确定度的评定与表示》进行评定，不确定度评定示例见附录 C。当用户要求时，可以根据用户提供的计量特性最大允许误差进行符合性判定，并将判定结论于校准证书。进行符合性判定应考虑测量结果的扩展不确定度。

9 复校时间间隔

复校时间间隔建议为 1 年。

复校时间间隔的长短取决于其使用情况，如环境条件、测量对象、使用频度等，因此，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔，但复校时间间隔最长不超过 1 年。

附录 A

火花试验机校准原始记录

委托单位名称					记录编号	
样品	计量器具名称	<input type="checkbox"/> 工频火花机 <input type="checkbox"/> _____			型号/规格	
	制造厂				出厂编号	
标准器	名称	型号规格	仪器编号	技术特征	证书编号	
标准器状态	使用前： <input type="checkbox"/> 正常； <input type="checkbox"/> 不正常_____			使用后： <input type="checkbox"/> 正常； <input type="checkbox"/> 不正常_____		
校准技术依据						
环境条件	温度：_____℃；	相对湿度：_____ %RH	校准地点			

一、一般检查（外观、标志、安全性检查）：符合要求；不符合要求。

二、绝缘电阻测量：1.电源输入端对机箱外壳_____MΩ；2.高压电极对机箱外壳_____MΩ。

三、工频耐压试验：电源输入端和机箱外壳之间施加 1.5kV 试验电压，持续时间 1min，符合要求；不符合要求。

四、电极检查：

1.珠子直径_____mm，相邻两链间距_____mm。

2.试验电极：

宽度 L_x (mm)	最大试品外径 L_0 (mm)	$L_x - L_0 > 30\text{mm}$	长度 L_y (mm)	最大走线速度 v (m/min)	时间 $t(L_y/v)$ (s)	$t \geq 0.05\text{s}$
		<input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否				<input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否

3.保护电极：

宽度 (mm)	大于等于试验电极宽度	长度 (mm)	大于等于 15mm
	<input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否		<input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否

五、试验电压示值误差测量：

量程	示值 (kV)	实测值 (kV)	平均值 (kV)	不确定度 U (kV) ($k=2$)

六、灵敏度试验：试验电压空载 3kV，稳态短路电流限定在 600 μ A 以下时，人工击穿装置持续旋转 20 次，火花试验机击穿指示器记录_____次；报警提示：有；无。

七、稳定性试验：当试验电压升至最高_____kV 时，人工击穿装置持续旋转 20 次，火花试验机击穿指示器记录_____次；报警提示：有；无。

说明			证书编号		
校准		核验		校准日期	

(第 页 共 页)

附录 B

校准证书校准结果内页内容

B.1 校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 证书编号、页码及总页数；
- c) 校准实验室的名称和地址；
- d) 进行校准的日期；
- e) 进行校准的地点（如果不在实验室内校准）；
- f) 送校单位的名称和地址；
- g) 被校火花试验机的描述和明确标识；
- h) 校准所依据的校准规范名称和代号；
- i) 校准所用计量标准的名称、技术参数及有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准结果；
- l) 校准结果的测量不确定度；
- m) 复校时间间隔的建议；
- n) 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- o) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

B.2 推荐的火花试验机校准证书内页格式如下：

火花试验机校准证书内页格式 (式样)

一、一般检查 (外观、标志、安全性检查):

二、绝缘电阻测量: 1. 电源输入端对机箱外壳_____MΩ; 2. 高压电极对机箱外壳_____MΩ。

三、工频耐压试验:

四、电极检查:

1. 珠子直径_____mm, 相邻两链间距_____mm。

2. 试验电极:

宽度 L_x (mm)	最大试品外径 L_0 (mm)	$L_x - L_0 > 30\text{mm}$	长度 L_y (mm)	最大走线速度 v (m/min)	时间 $t (L_y/v)$ (s)	$t \geq 0.05\text{s}$
		<input type="checkbox"/> 是; <input type="checkbox"/> 否				<input type="checkbox"/> 是; <input type="checkbox"/> 否

3. 保护电极:

宽度 (mm)	大于等于试验电极宽度	长度 (mm)	大于等于 15mm
	<input type="checkbox"/> 是; <input type="checkbox"/> 否		<input type="checkbox"/> 是; <input type="checkbox"/> 否

五、试验电压示值误差测量:

量程	示值 (kV)	实测值 (kV)	不确定度 U (kV) ($k=2$)

六、灵敏度试验: 试验电压空载 3kV, 稳态短路电流限定在 $600 \mu\text{A}$ 以下时, 人工击穿装置持续旋转 20 次, 火花试验机击穿指示器记录_____次; 报警提示: 有; 无。

七、稳定性试验: 当试验电压升至最高_____kV 时, 人工击穿装置持续旋转 20 次, 火花试验机击穿指示器记录_____次; 报警提示: 有; 无。

附录 C

工频火花试验机试验电压测量结果的不确定度评定示例

1 概述

- 1.1 测量依据：JJF (闽) XXXX-201X 工频火花试验机校准规范。
- 1.2 环境条件：温度：(0~40) °C，相对湿度：≤85%RH。
- 1.3 测量标准：测量范围 (0~30) kV、准确度等级 1.0 级 SGB-30 型数字高压表。
- 1.4 被测对象：测量范围 (0~15) kV、MPE：±5%、GP-15-400-I 型工频火花试验机输出试验电压 6kV 的示值误差测量。
- 1.5 测量过程：采用数字高压表作为标准直接测量工频火花试验机输出电压的示值。调节试验电压，使火花试验机电压指针指在某分度线上，读出数字高压表的电压读数，即为被检火花试验机输出电压的实际值。火花试验机输出电压的示值与实际值之差，为火花试验机输出电压的示值误差。
- 1.6 评定结果的使用：在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

2 数学模型：

依据测量方法，输出试验电压示值误差 ΔU 可表示为：

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

式中： U_x — 输出试验电压的示值，kV；

U_n — 标准数字高压表的显示值，kV。

3 方差及传播系数：

依据方差公式：
$$u^2_c(y) = \sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)$$

由 (1) 式得：

输出试验电压示值误差的标准不确定度 $u_c(\Delta U)$ 为：

$$u_c^2(\Delta U) = c_1^2 u^2(U_x) + c_2^2 u^2(U_n)$$

传播系数：
$$c_1 = \frac{\partial(\Delta U)}{\partial U_x} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial(\Delta U)}{\partial U_n} = -1$$

4 各分量的标准不确定度评定：

根据数学模型, 输出试验电压示值误差的测量结果不确定度主要取决于输入量 U_x 和 U_n 引入的不确定度。

4.1 输入量 U_x 引入的标准不确定度 $u(U_x)$

输入量 U_x 的标准不确定度主要由输出电压测量不重复引起的, 考虑到在重复性测量中已包含了输出电压的读数误差和分辨率以及输出电压的调节细度、稳定度, 故不另作分析。

在重复性条件下, 用 SGB-30 型数字高压表对火花试验机输出电压 6kV 示值进行 10 次重复测量, 测量结果如下表:

测量次数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 kV	5.97	5.95	5.98	6.02	5.98	5.95	5.94	5.97	5.96	6.01

平均值 $\bar{U}=5.9735$ kV

$$\text{单次测量实验室标准差 } s(U) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{n-1}} = 0.026 \text{ kV}$$

在实际测量中, 在重复性条件下连续测量 2 次, 以 2 次测量值的算术平均值为测量结果, 故测量重复性引入的不确定度为:

$$u(U_x) = \frac{s(U)}{\sqrt{2}} = 0.019 \text{ kV}$$

4.2 输入量 U_n 引入的标准不确定度 $u(U_n)$

4.2.1 数字高压表准确度引入的不确定度 $u_1(U_n)$

由证书得知: 数字高压表 MPE 为 $\pm 1.0\%$, 以矩形分布估计, 于是:

$$u_1(U_n) = \frac{1.0\% \times 6 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = \frac{0.06 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 0.035 \text{ kV}$$

4.2.2 数字高压表分辨率引入的不确定度 $u_2(U_n)$

该数字高压表的分辨率为 0.01kV, 以矩形分布估计, 于是:

$$u_2(U_n) = \frac{0.01 \text{ kV}}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{0.005 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ kV}$$

由于以上两项分量不相关, 则:

$$u(U_n) = \sqrt{u_1^2(U_n) + u_2^2(U_n)} = 0.035 \text{ kV}$$

5 合成标准不确定度

标准不确定度汇总表:

分量 $u(x_i)$	不确定度来源	影响量	k_i	$u(x_i)$
$u(U_x)$	火花机测量重复性	0.019kV	1	0.019kV
$u_1(U_n)$	数字高压表准确度	$1.0\% \times 6\text{kV}$	$\sqrt{3}$	0.035kV
$u_2(U_n)$	数字高压表分辨率	0.005kV	$\sqrt{3}$	0.0029kV

由于以上各不确定度分量之间不存在任何相关性, 故合成标准不确定度为:

$$u_c(\Delta U) = \sqrt{c_1^2 u^2(U_x) + c_2^2 u^2(U_n)} = 0.040 \text{ kV}$$

6 扩展不确定度 U

在置信概率约 95% 的情况下, 包含因子 k 取 2, 则

$$U = k u_c = 2 \times 0.04 \text{ kV} = 0.08 \text{ kV}$$

$$\text{相对扩展不确定度 } U_{rel} = \frac{0.08 \text{ kV}}{6 \text{ kV}} = 1.4\%$$

7 扩展不确定度的报告与表示

用标准数字高压表测量火花试验机输出电压 6kV 示值的测量值为 5.97 kV, 其测量结果的扩展不确定度 $U = 0.08 \text{ kV}$, $k=2$ 。

8 对火花试验机输出试验电压值测量结果的不确定度评估

8.1 根据校准规范的规定, 常规校准应对火花试验机的每一个有分度值的测量点进行校准, 即需校准 3kV、6kV、9kV、12kV、15kV 共 5 个点。其测量不确定度见下表:

校准点 (kV)	不确定度分量 (kV)			u_c (kV)	U (kV) ($k=2$)
	$u(U_x)$	$u_1(U_n)$	$u_2(U_n)$		
3	0.012	0.018	0.0029	0.022	0.044
6	0.019	0.035	0.0029	0.040	0.08
9	0.021	0.052	0.0029	0.056	0.11
12	0.022	0.070	0.0029	0.073	0.15
15	0.023	0.087	0.0029	0.090	0.18

8.2 数字高压表的测量范围为 (0~30) kV, 对于不同型号的火花试验机分度值不尽相同, 还存在以下二组分度值, 因此对其全部校准点的测量不确定度评估如下:

校准点 (kV)		不确定度分量 (kV)			u_c (kV)	U (kV) ($k=2$)
		$u(U_x)$	$u_1(U_n)$	$u_2(U_n)$		
A	5	0.016	0.029	0.0029	0.034	0.07
	10	0.021	0.058	0.0029	0.061	0.12
	15	0.023	0.087	0.0029	0.090	0.18
	20	0.024	0.116	0.0029	0.118	0.24
	25	0.025	0.145	0.0029	0.147	0.30
B	2	0.008	0.012	0.0029	0.015	0.03
	4	0.014	0.023	0.0029	0.027	0.06
	6	0.019	0.035	0.0029	0.040	0.08
	8	0.020	0.046	0.0029	0.050	0.10
	10	0.021	0.058	0.0029	0.061	0.12
	12	0.022	0.070	0.0029	0.073	0.15
	14	0.022	0.081	0.0029	0.084	0.17

9 校准和测量能力 (CMC)

以上为用数字高压表校准火花试验机试验电压各分度值测量结果不确定度汇总，因此该项目的 CMC 为：测量范围：(2~25) kV， $U_{rel} = 1.5\% \sim 1.2\%$ ， $k=2$ 。