

贵州省地方计量技术规范

JJF (黔) XXXX-2020

工频火花试验机校准规范

Calibration Specification for Power Frequency
Cable and Wire Spark Tester

(报批稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

贵州省市场监督管理局 发布

工频火花试验机校准规范

Calibration Specification for

Power Frequency Cable and Wire Spark Tester

JJF(黔) XXXX—2020

归口单位：贵州省市场监督管理局

主要起草单位：贵州省计量测试院

参加起草单位：广州市日新电器设备厂

本规范委托贵州省计量测试院负责解释

本规范主要起草人：

王嵘瑜（贵州省计量测试院）

杜鸿程（贵州省计量测试院）

王庆举（贵州省计量测试院）

参加起草人：

陈光贵（贵州省计量测试院）

谢 鑫（贵州省计量测试院）

杨 丁（贵州省计量测试院）

吴永辉（广州市日新电器设备厂）

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 试验电极.....	(2)
5.2 保护电极.....	(3)
5.3 试验电压.....	(3)
5.4 灵敏度试验.....	(3)
5.5 稳定性试验.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 测量条件.....	(3)
6.2 测量标准及其他设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 校准项目.....	(4)
7.2 校准方法.....	(5)
8 校准结果表达.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(8)
附录 A 校准不确定度评定示例.....	(9)
附录 B 校准记录格式.....	(13)
附录 C 校准证书内页格式.....	(15)

引 言

本规范依据 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》和 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》进行编制。

工频火花试验机校准规范

1 范围

本规范适用于频率 50Hz 或 60Hz，电压 500V～50kV 的电线电缆检测设备工频火花试验机（以下简称火花试验机）的校准。

不适用于直流火花试验机、脉冲式火花试验机、高频火花试验机、火花检漏仪和其他特殊用途火花试验机的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 3048.1-2007 电线电缆电性能试验方法 第 1 部分：总则

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 8170-2008 数据修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 26873-2011 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范；凡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

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 击穿计数装置 breakdown counter

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 灵敏度试验 sensitivity test

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。

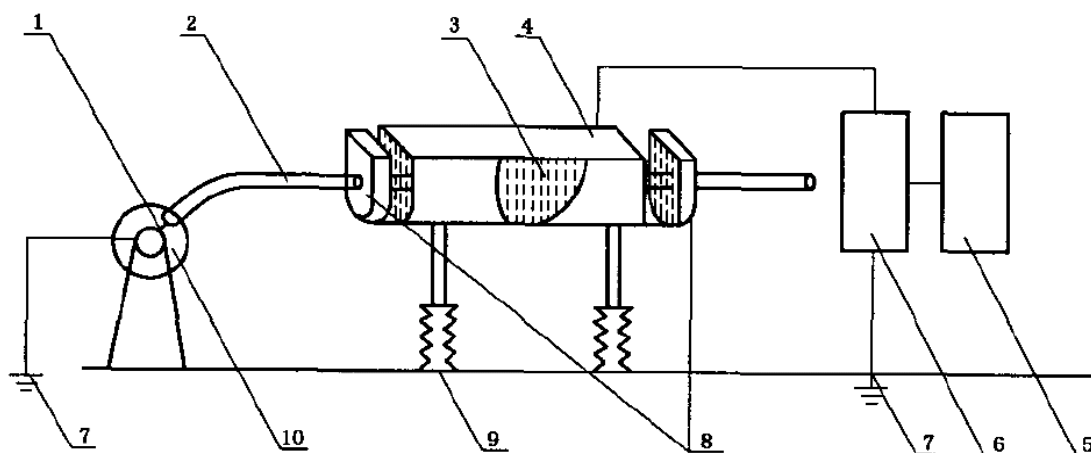
3.3 稳定度试验 stability test

在最高标称值试验电压下，其击穿计数装置对试品的高压击穿放电。

4 概述

火花试验机由高压发生器、试验电极、保护电极、电压表、击穿指示器和必要的控制电路组成，用于线缆缺陷检测的专用计量设备。火花试验机机构示意图见图 1。

火花试验机高压电源产生一个高电压，通过试验电极施加到绝缘试品，当试品出现缺陷被击穿时，火花试验机报警、记录击穿，并进行相应的连锁动作。



说明：1——试验导体；2——被试绝缘线芯（电线）；3——试验电极；4——试验电极箱；5——检测控制装置；6——高压电源；7——接地；8——保护电极；9——绝缘子；10——收线盘。

图 1 火花试验机的示意图

5 计量特性

5.1 试验电极

5.1.1 试验电极有效宽度应不小于最大被试验品外径加 30 mm。试验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 形底部电极的深度。

5.1.2 珠链的间距应符合表 1 的规定。一串珠链上相邻两颗珠子的间距应不大于 2.5 mm。

表 1 珠链间距

珠子直径 d/mm	珠链的间距/ mm
$2 \leq d \leq 3$	≤ 5
$3 < d \leq 4$	≤ 6
$4 < d \leq 4.5$	≤ 7
$4.5 < d \leq 5$	≤ 8

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

5.1.4 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。

5.1.5 试验电极的有效长度应能满足火花试验机在最大走线速度下，电线绝缘表面走过电极时间不小于 0.05 s。

5.2 保护电极

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

5.3 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，输出电压等级指数与最大允许误差应符合表 2 的规定。

表 2 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。			

5.4 灵敏度试验

工频高压电源在空载电压 3kV（有效值）时，短路稳态电流限制在 600 μA 以下，进行 20 次人工击穿，每次时间间隔为 1 s，击穿指示器记录下的次数应与实际击穿次数一致。

5.5 稳定性试验

在最高标称试验电压下，进行 20 次人工击穿，每次时间间隔为 1 s，击穿指示器记录下的次数应与实际击穿次数一致。

6 校准条件

6.1 测量条件

6.1.1 工作环境条件

温度：20℃±15℃；相对湿度：≤80%。

6.1.2 工作电源条件

供电的电源应满足电压：220V±22V，频率：50Hz±2.5Hz。

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 测量标准及其他设备

6.2.1 标准器及配套设备

6.2.1.1 标准器

数字高压表、电压互感器和交流电压，所引起的扩展不确定度（ $k=2$ ）不应大于被校火花试验机输出试验电压允许误差限的 1/3。

6.2.1.2 配套设备

游标卡尺、钢卷尺、电子秒表、工击穿装置的技术指标应满足表 3 要求。

表 3 配套设备的要求

序号	配套设备名称	要求
1	游标卡尺	测量范围 200 mm，分度值 0.02 mm
2	钢卷尺	测量范围 2 m，分度值 1 mm，准确度 II 级
3	电子秒表	测量范围（0~1740）s，分辨率 0.01 s
4	人工击穿装置	每次持续时间为 0.025 s±0.0025 s，金属针的锥度应≤60°

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目一览表见表 4。

表 4 校准项目一览表

序号	校准项目
1	试验电极检查
2	保护电极检查
3	试验电压示值误差测量

表 4 (续) 校准项目一览表

4	灵敏度试验
5	稳定性试验

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

7.2.1.1 外观检查

外观指示应清晰，不应有影响使用的明显缺陷。各零部件装备应牢固，功能开关、按钮、旋钮应灵敏可靠。外壳上应有明显的接地端子和接地标识。

7.2.1.2 标志检查

火花试验机的铭牌上应有的主要标志：产品名称、规格型号、出厂编号、制造厂名（或商标）、生产日期、准确度等级、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。

7.2.1.3 安全性检查

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。

7.2.2 试验电极

7.2.2.1 根据 5.1 的规定对试验电极的外观结构进行检查，可与外观检查同时进行。

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。

$$t = \frac{L}{v} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

t ——被试品绝缘导线每点通过电极的时间，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 用游标卡尺测量两链的间距及珠环直径。

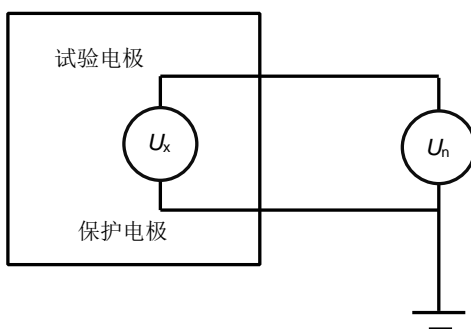
7.2.3 保护电极

用游标卡尺测量保护电极的有效宽度，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

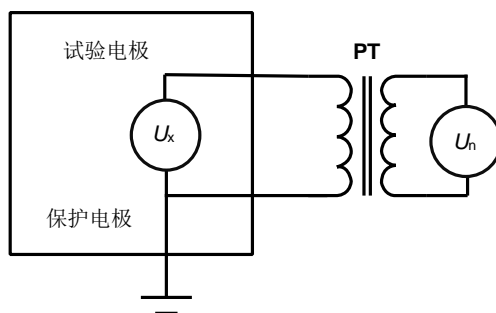
a) 采用数字高压表作标准器校准火花试验机电压示值误差，线路图见图 2。



说明： U_x ——火花试验机电压示值； U_n ——数字高压表电压示值。

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。



说明： U_x ——火花试验机电压示值； U_n ——电压互感器二次端交流电压表电压示值； 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

校准点应覆盖所有量程，兼顾各量程之间的覆盖性及量程内的均匀性，同时应参考被校火花试验机使用说明书中对校准点的建议，可根据实际情况或送校单位的要求选取校准点。

a) 指针式火花试验机选取指示仪表每个带数字分度的电压值为校准点。

b) 数字式火花试验机，在 40%~100%满量程内均匀选取不少于 4 个电压值

进行校准。

c) 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) 或 b) 选取校准点，其他量程选取满量程的 40%、70%、100% 进行校准。

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。输出试验电压示值误差按公式 (3) 计算。

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

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。

7.2.5 灵敏度试验

在高压端与地之间接入灵敏度试验用的人工击穿装置，将试验电压调整至 3 kV，串联可调节的限流电阻，将短路稳态电流限制在 600 μ A 以下。启动人工击穿装置，旋转 20 次。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。

7.2.6 稳定性试验

在火花试验机的试验电极之间接入一个 500 pF 高压电容器；在高压电极与地之间接入人工击穿装置，使其限流电阻短接。将输出电压调至最高值，启动人工击穿装置，旋转 20 次，分别记录火花试验机 and 人工击穿装置的击穿次数。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准原始记录格式见附录 B。

8.2 校准证书

校准证书内页格式见附录 C。校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包含以下信息：

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) 本次测量所用的测量标准的溯源性和有效性的说明；
- 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) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8.3 数据修约

按 GB 8170-2008 的规定。

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、仪器本身质量等诸多因素所决定，因此，送校单位也可以根据实际使用情况决定复校时间间隔。建议复校的时间间隔为一年。

附录A

试验电压示值误差测量结果的不确定度评定示例

A.1 概述

A.1.1 测量依据

JJF (黔) **—2020 工频火花试验机校准规范。

A.1.2 环境条件

温度：20.0℃ 相对湿度：55%。

A.1.3 测量标准

标准器：数字高压表（用具有高压测量功能的耐电压测试仪校验装置）。

准确度等级：0.5 级。

测量范围：（0.1~20）kV，（0.01~400）mA。

A.1.4 被测对象

工频火花试验机：准确度等级为 5 级，测量范围为（0.5~15）kV

A.2 测量方法

将耐电压测试仪校验装置的电压测量端与工频火花试验机的电压输出端连接，调节工频火花试验机的电压输出至试验电压值，读取耐电压测量仪校验装置上显示的电压值，作为被测电压的实际值。

A.3 数学模型

依据测量方法，输出试验电压示值误差可表示为公式（A.1）。

$$\Delta U = U_x - U_n \quad (\text{A.1})$$

式中：

U_x ——输出试验电压的示值，kV；

U_n ——耐电压测试仪校验装置的示值，kV。

A.4 方差及传播系数

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

由公式 (A.1) 得:

输出试验电压示值误差的标准不确定度 $u_c(\Delta U)$ 为:

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

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

A.5 不确定度来源

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来源:

——输入量 U_x 引入的标准不确定度 $u(U_x)$;

——校准装置的准确度引入的标准不确定度 $u(U_n)$ 和分辨力引入的标准不确定度 $u(U_z)$ 。

A.6 各分量的标准不确定度评定

A.6.1 被校仪器 U_x 引入的标准不确定度 $u(U_x)$

被校仪器 U_x 的标准不确定度主要是输出电压测量重复性引起的, 在重复性条件下, 用耐电压测试仪校验装置对火花试验机输出电压 6kV 示值进行 10 次重复性测量, 测量结果如表 A.1。

表 A.1 10 次的测量结果

测量次数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实际值/kV	5.98	5.96	5.97	6.04	6.02	5.96	5.98	5.95	6.02	5.97

平均值: $\bar{U} = 5.981\text{kV}$ 。

$$\text{单次测量实验标准差: } s(U) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{n-1}} = 0.030\text{kV}$$

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标准不确定度为:

$$u(U_x) = \frac{s(U)}{\sqrt{2}} = 0.022\text{kV}$$

A.6.2 校准装置的准确度引入的标准不确定度 $u(U_n)$

使用说明书中技术指标给出耐电压测试仪校验装置在 6kV 点最大允许误差： $\pm (0.2\% \times 6\text{kV} + 0.1\% \times 10\text{kV}) = \pm 0.022\text{kV}$ ，半宽为 0.022kV，属于均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，故准确度引入的标准不确定度为：

$$u(U_n) = \frac{0.022\text{kV}}{\sqrt{3}} = 0.013\text{kV}$$

A.6.3 校准装置的分辨力引入的标准不确定度 $u(U_z)$

耐电压测试仪校验装置在 6kV 点的分辨力 0.001kV，半宽为 0.0005kV，属于均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，故分辨力引入的标准不确定度为：

$$u(U_z) = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} \text{kV} = 0.00029\text{kV}$$

A.7 标准不确定度汇总表

标准不确定度汇总表见表 A.2。

表 A.2 标准不确定度汇总表

分量	不确定度来源	概率分布	不确定度分量 u_i
$u(U_x)$	火花试验机测量重复性	正态	0.022kV
$u(U_n)$	耐电压测试仪检验装置 准确度	均匀	0.013kV
$u(U_z)$	耐电压测试仪检验装置 分辨力	均匀	0.00029kV

根据表 A.1，各分量不相关，被校火花试验机分辨力引入的不确定度及重复测量引入的不确定度二者取大的原则，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(U_x) + u^2(U_n)} = 0.026\text{kV}$$

A.8 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，电压示值误差测量结果扩展不确定度为：

$$U=k\times u_c=2\times 0.026\text{kV}=0.06\text{kV} \quad (k=2)$$

附录 B

校准原始记录记录格式

第 页 共 页

委托单位		原始记录编号	
单位地址		仪器名称	
仪器型号		出厂编号	
制造单位		校准依据	
环境温度	℃	相对湿度	%

校准用计量标准

名 称	型号规格	不确定度或准确度等级或最大允许误差	出厂编号	证书编号	有效期

一、一般检查（外观、标志、安全性）：☐符合要求；☐不符合要求。

二、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)	最大走线读数 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

三、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

四、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 ($k=2$)

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

六、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。

校准员:

核验员:

日期:

附录 C

校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明：				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
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	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

校准结果

一、一般检查（外观、标志、安全性）：☐符合要求；☐不符合要求。

二、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)	$L_x - L_0 > 30\text{mm}$	宽度 L_y (mm)	最大走线读 数 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

三、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 ($k=2$)

四、灵敏度试验：试验电压空载 3 kV，稳态短路电流限定在 600 μA 以下时，人工击穿装置持续选择 20 次，火花试验机击穿指示仪记录_____次；报警提示：☐有；☐无。

五、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：

根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下_____个月校准一次。

声明：

1. 仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

