



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX—20XX

保险丝熔断特性测试仪校准规范

Calibration Specification for Fuse Fusing Characteristics Tester

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

保险丝熔断特性测试仪 校准规范

Calibration Specification for Fuse Fusing
Characteristics Tester

JJF(电子) XXXX—20XX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所
石家庄海山实业发展总公司

参加起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

邓志勇（工业和信息化部电子第五研究所）
许泳彬（工业和信息化部电子第五研究所）
杨宝林（石家庄海山实业发展总公司）

参加起草人：

魏付东（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
朱明民（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
古媛（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

目录

1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 熔断时间	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 直流电流示值误差	2
5.2 电流稳定度	2
5.3 熔断时间示值误差	2
5.4 设定时间示值误差	2
5.5 直流电压示值误差	2
6 校准条件	2
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 校准方法	4
8 校准结果表达	9
9 复校时间间隔	10
附录 A 原始记录格式	11
附录 B 校准证书内页格式	13
附录 C 测量不确定度评定示例	15
附录 D 熔断模拟装置设计示例	30

引言

本规范依据 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》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次在国内发布。

保险丝熔断特性测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于电流范围为 1mA~2000A 的保险丝熔断特性测试仪的校准，具有相同原理的熔断器、熔断体熔断和耐久性测试仪可参考使用。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 9364.1-2015 小型熔断器第一部分：小型熔断器定义和小型熔断体通用要求

GB/T 9364.3-2018 小型熔断器第三部分：超小型熔断体

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

3.1 熔断时间 fusing time

从电流值大到足够使保险丝熔断的起始瞬间到保险丝熔断的瞬间所间隔的时间。

[来源：GB/T 9364.1-2015，3.22]

4 概述

保险丝熔断特性测试仪主要用于保险丝熔断测试、耐久性测试、电压降测试。测试仪主要由电流源、电流测量电路、电压测量电路、输出电路、按键、显示电路、定时、计时电路和控制电路组成。熔断测试时，测试仪给保险丝施加一定倍数的额定电流直至保险丝发生熔断，计时单元记录熔断时间。耐久性测试时，测试仪通过设定好电流通电、断电时间及循环次数，对保险丝反复施加一定倍数的额定电流。电压降测试用于测量各种试验前后保险丝两端的电压降，以判断其变化。

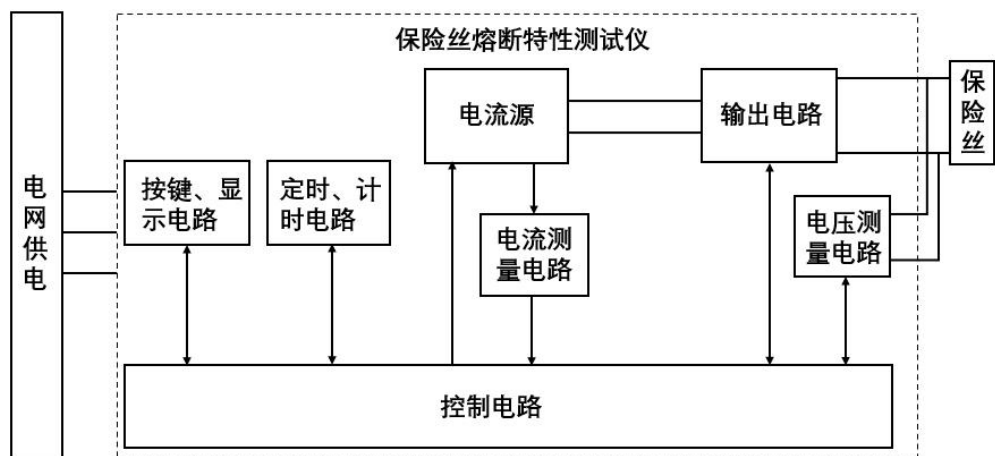


图 1 保险丝熔断特性测试仪结构图

5 计量特性

5.1 直流电流示值误差

设定范围：1mA~2000A；

最大允许误差： $\pm(0.3\%\sim 1\%)$ 。

5.2 电流稳定度

输出电流范围： $\leq 15\text{A}$ ，稳定度：优于 1%/1h；

15A~200A，稳定度：优于 1%(稳定时间参照仪器说明书要求)。

5.3 熔断时间示值误差

测量范围：1s~60min；

$<10\text{s}$ ，最大允许误差： $\pm(0.3\%\sim 5\%)$ ；

$\geq 10\text{s}$ ，最大允许误差： $\pm(0.3\%\sim 2\%)$ 。

5.4 设定时间示值误差

设定范围：10min~10h；

最大允许误差： $\pm(0.5\%\sim 2\%)$ 。

5.5 直流电压示值误差

测量范围：10mV~30V；

最大允许误差： $\pm(1\%+1\text{mV})$ 。

注：因不同被校设备的性能指标各不相同，具体的计量特性应以被校设备生产厂家的技术手册及该设备的具体选件配置为参考。以上计量特性不用于合格性判别，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：20%~80%；

6.1.3 供电电源：标称电压的 $\pm 10\%$ ；频率 $(50\pm 0.5)\text{Hz}$ ；

6.1.4 其他：周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动，并具有良好的接地。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 直流标准电流表

测量范围：1mA~2000A；

最大允许误差： $\pm(0.05\%\sim 0.2\%)$ 。

6.2.2 直流分流器

测量范围: (10A~2000A);

阻值范围: $25\mu\Omega\sim 10\text{m}\Omega$

最大允许误差: $\pm(0.05\%\sim 0.2\%)$ 。

6.2.3 直流电流比较仪

测量范围: 10A~2000A;

最大允许误差: $\pm(0.02\%\sim 0.2\%)$ 。

6.2.4 标准电阻器

阻值范围: $0.01\Omega\sim 100\Omega(0.01\text{A}\sim 1\text{A})$;

最大允许误差: $\pm(0.01\%\sim 0.1\%)$ 。

6.2.5 数字多用表

直流电压: 10mV~10V;

最大允许误差: $\pm(0.01\%\sim 0.05\%)$ 。

直流电流: 10mA~20A;

最大允许误差: $\pm(0.05\%\sim 0.2\%)$ 。

6.2.6 数字式毫秒仪

时间: 1ms~9999s;

最大允许误差: $\pm(0.01\%\sim 0.5\%)$ 。

6.2.7 直流标准电压源

直流电压: 10mV~30V;

最大允许误差: $\pm(0.01\%\sim 0.2\%)$ 。

6.2.8 电子秒表

时间: 5min~10h;

最大允许误差: $\pm 0.05\%$ 。

6.2.9 大功率采样电阻

阻值范围: $10\text{m}\Omega\sim 1\Omega$;

额定电流: $\geq$ 被校测试仪电流量程的 10%。

6.2.10 熔断模拟装置

导通电阻: 不大于 $10\text{m}\Omega$;

响应时间：不大于 1ms；

额定电流大于被校测试仪电流量程的 10%。

熔断模拟装置的示意图见附录 D。

注：上述直流电流示值误差的测量标准无需全部都具备，只需具备其中部分测量标准覆盖电流范围即可。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	直流电流示值误差	7.2.2
2	电流稳定度	7.2.3
3	熔断时间示值误差	7.2.4
4	设定时间示值误差	7.2.5
5	直流电压示值误差	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

- 被校保险丝熔断特性测试仪（以下简称被校测试仪）的外形结构应完好，不应有影响计量特性和操作安全的外观缺陷；
- 被校测试仪的产品名称、制造厂家、仪器型号和编号等均应有明确标识；
- 供电电压和频率等应有保证正确使用的必要标识；
- 被校测试仪直流电流输出功能、输出直流电流定时切断功能、熔断时间测试功能、直流电压测试功能应可正常工作；
- 应按照被校测试仪使用说明书的要求和规定进行预热。

检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.2.2 直流电流示值误差

校准点的选取，应在每个量程的 10%~100%量程范围内均匀选取不少于 5 个校准

点，或根据用户实际应用需求选择其他校准点。

方法一：标准表法

标准表法，按图 2 所示连接仪器，根据校准点，设置被校测试仪相应直流电流输出，分别读取被校测试仪的电流示值 I_x 和直流标准电流表的示值 I_s ，并记录于附录 A 的表 A.2.1 中，直流电流示值误差按式 (1) 计算，并记录于附录 A 的表 A.2.1 中。

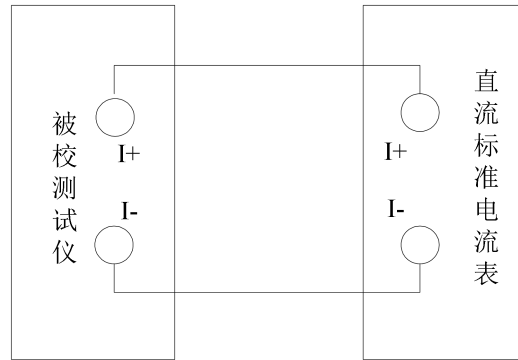


图 2 标准表法校准连接示意图

$$\Delta I = I_x - I_s \quad (1)$$

式中：

ΔI —被校测试仪直流电流示值误差，A；

I_x —被校测试仪直流电流示值，A；

I_s —直流标准电流表的示值，A。

方法二：电流电压转换法

电流电压转换法，按图 3 所示连接仪器，根据校准点，选择合适阻值的直流分流器 R_s （应考虑直流分流器的额定功率及采样端电压是否在直流标准电压表溯源范围内），设置被校测试仪输出直流电流，分别读取被校测试仪的电流示值 I_x 和直流标准电压表的示值 V_s ，并记录于附录 A 的表 A.2.2 中，直流电流示值误差按式 (2) 计算，并记录于附录 A 的表 A.2.2 中。

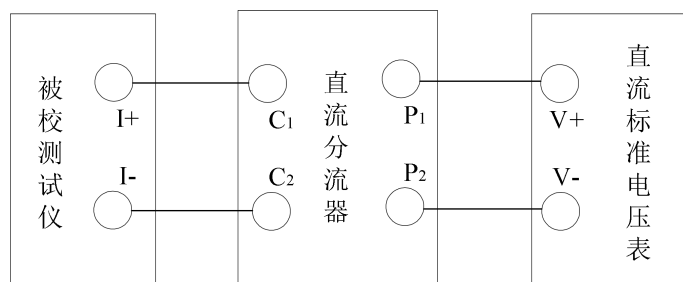


图 3 电流电压转换法校准示意图

$$\Delta I = I_x - \frac{V_s}{R_s} \quad (2)$$

式中:

ΔI —被校测试仪直流电流示值误差, A;

I_x —被校测试仪直流电流示值, A;

V_s —直流标准电压表的示值, V;

R_s —直流标准分流器的阻值, Ω 。

方法三: 直流电流比较仪法

直流电流比较仪法, 按图 4 所示连接仪器, 根据校准点, 选择合适的直流电流比较仪 K_s 及四端标准电阻器 R_s (直流电流比较仪变比的选择应考虑四端标准电阻器的额定功率及采样端电压是否在直流标准电压表溯源范围内), 设置被校测试仪输出直流电流, 分别读取被校测试仪的电流示值 I_x 和直流标准电压表的示值 V_s , 并记录于附录 A 的表 A.2.3 中, 直流电流示值误差按式 (3) 计算, 并记录于附录 A 的表 A.2.3 中。

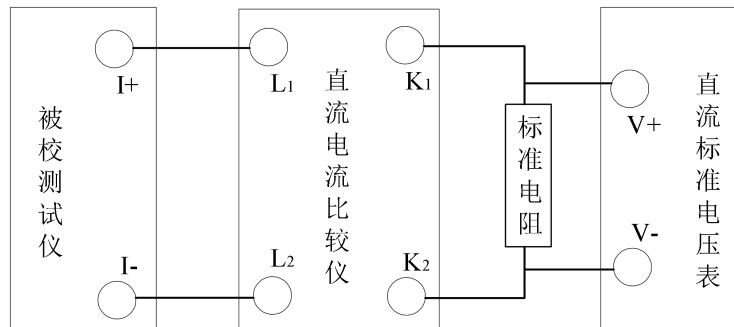


图 4 直流电流比较仪法校准示意图

$$\Delta I = I_x - K_s \times \frac{V_s}{R_s} \quad (3)$$

式中:

ΔI —被校测试仪直流电流示值误差, A;

I_x —被校测试仪的直流电流示值, A;

K_s —直流电流比较仪的比例系数;

V_s —直流标准电压表的示值, V;

R_s —标准四端电阻器的阻值, Ω 。

7.2.3 电流稳定度

按 7.2.2 节中所述方法接线，被校测试仪的试验电流设置为其说明书规定的可长时间持续输出的最大电流输出，在周围环境条件不变和输出不作任何调整的情况下保持 1h，具体时间不能超过仪器本身试验电流持续输出能力，按均匀时间间隔读取直流电流的实测值，并记录于附录 A 的表 A.3 中，记录次数不少于 6 次，计算平均值 $\bar{I}$ ，并从所有实测值中选取最大值 $I_{\max}$ 和最小值 $I_{\min}$ ，电流稳定度按公式 (4) 计算，并记录于附录 A 的表 A.3 中。

$$S_{\text{ev}} = \left| \frac{I_{\max} - I_{\min}}{\bar{I}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

式中：

S_{ev} —被校测试仪试验电流的稳定度；

$\bar{I}$ —被校测试仪电流实测值的平均值，A；

$I_{\max}$ —被校测试仪电流实测值的最大值，A；

$I_{\min}$ —被校测试仪电流实测值的最小值，A。

7.2.4 熔断时间示值误差

熔断时间校准点应选取不少于 4 个校准点，建议在 1s、3s、5s、10s、20s、2min、5min、30min 中优先选取，或根据用户实际应用需求选择其他校准点。

按图 5 所示连接仪器，被校测试仪设置为熔断测试模式，采用熔断模拟装置来模拟保险丝的熔断动作（熔断模拟装置可由电流开关替代，手动控制开关模拟保险丝的熔断动作，优先采用附录 D 熔断模拟装置的方法）。被校测试仪的试验电流设置在最小工作电流和可长时间持续输出的最大电流之间，建议设置为满量程的 10%，数字式毫秒仪设置为单路正脉冲宽度触发模式，大功率采样电阻阻值的选择，应保证通过试验电流时其采样端的电压大于毫秒仪的触发电压。熔断模拟装置初始为导通状态，启动试验电流输出，数字毫秒仪接收到触发信号开始计时，根据待校准熔断时间值，触发熔断模拟装置变为断开状态，试验电流回路断开，电流停止输出，触发信号消失，毫秒仪终止计时，读取毫秒仪的时间示值 T_s 及被校测试仪熔断时间示值 T_x ，并记录于附录 A 的表 A.4 中，熔断时间示值误差按公式 (5) 计算，并记录于附录 A 的表 A.4 中。

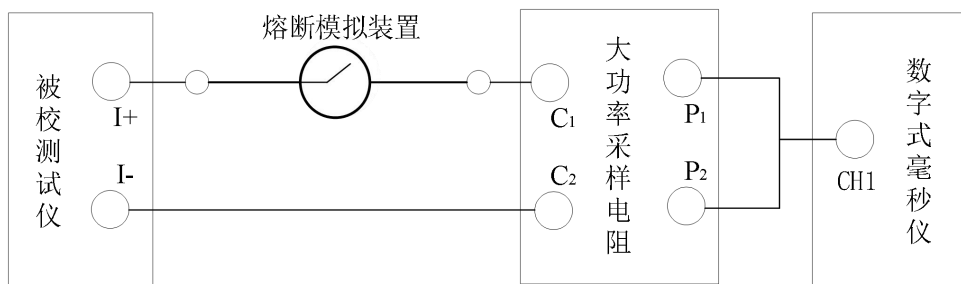


图 5 熔断时间示值误差校准连接示意图

$$\Delta T = T_x - T_s \quad (5)$$

式中：

ΔT —被校测试仪熔断时间示值误差，s；

T_x —被校测试仪的熔断时间示值，s；

T_s —毫秒仪的时间示值，s。

7.2.5 设定时间示值误差

设定时间校准点应选取不少于 3 个校准点，其中 15min 和 1h 为必选校准点，或根据用户实际应用需求选取其他校准点。

被校测试仪设定为耐久性测试模式，采用标准计时器直接测量。将被校测试仪的试验电流输出端短接，设置被校测试仪试验电流大小为 10% 满量程，周期数设定为 1 次，根据校准点设定每周期通电时间 T_x ，在启动被校测试仪输出电流的同时按下电子秒表开始计时，当到达设定时间时，试验电流输出自动停止，终止电子秒表计时，读取电子秒表计时值，并记录于附录 A 的表 A.5 中。

设定时间示值误差按公式 (6) 计算，并记录于附录 A 的表 A.5 中。

$$\Delta T = T_x - T_s \quad (6)$$

式中：

ΔT —被校测试仪设定时间示值误差，s；

T_x —被校测试仪每周期通电时间设定值，s；

T_s —电子秒表的时间测量值，s。

7.2.6 直流电压示值误差

校准点的选取，应在每个量程内的 10%~100% 量程范围内均匀选取不少于 5 个校准点。

采用标准源法，按照图 6 所示连接仪器，直流标准电压源输出相应直流电压 V_s ，

读取被校测试仪的直流电压示值 V_x ，并记录于附录 A 的表 A.6 中，直流电压示值误差按公式 (7) 计算，并记录于附录 A 的表 A.6 中。

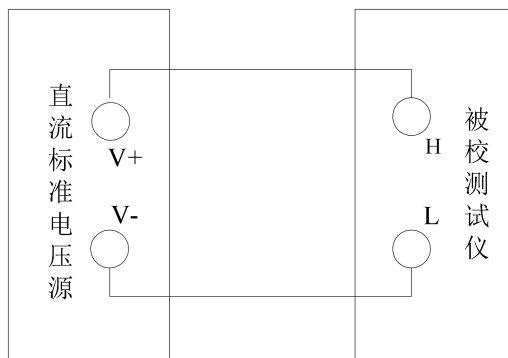


图 6 直流电压示值误差校准连接示意图

$$\Delta V = V_x - V_s \quad (7)$$

式中：

ΔV —被校测试仪直流电压示值误差，V；

V_x —被校测试仪直流电压测量值，V；

V_s —直流标准电压源输出的直流电压示值，V。

8 校准结果表达

校准完成后的仪表应出具校准证书。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），每页和总页数的标识；
- 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

建议复校时间间隔不超过 1 年。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的, 送校的单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

原始记录格式

一 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

外观检查:	合格 ☐	不合格 ☐
工作正常性检查:	合格 ☐	不合格 ☐

二 直流电流示值误差

表 A.2.1 标准表法直流电流示值误差

量程/A	示值/A	标准值/A	示值误差/A	测量不确定度 $U(k=2)/A$

表 A.2.2 电流电压转换法直流电流示值误差

量程 /A	示值 /A	标准电压值 /V	标准电阻值 / Ω	标准值 /A	示值误差 /A	测量不确定度 $U(k=2)/A$

表 A.2.3 直流电流比较仪法直流电流示值误差

量程 /A	示值 /A	标准电压 值/V	标准电阻 值/ Ω	标准变 比	标准值 /A	示值误 差/A	测量不确定度 $U(k=2)/A$

三 电流稳定度

表 A.3 电流稳定度

量程/A	记录时间间隔/min	电流值/A	电流稳定度/%	测量不确定度 $U(k=2)/\%$

四 熔断时间示值误差

表 A.4 熔断时间示值误差

量程/s	示值/s	标准值/s	示值误差/s	测量不确定度 $U(k=2)/s$

五 设定时间示值误差

表 A.5 设定时间示值误差

量程/min	设定值/min	标准值/min	示值误差/min	测量不确定度 $U(k=2)/min$

六 直流电压示值误差

表 A.6 直流电压示值误差

量程/V	标准值/V	示值/V	示值误差/V	测量不确定度 $U(k=2)/V$

附录 B

校准证书内页格式

一 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

外观检查:	合格 ☐	不合格 ☐
工作正常性检查:	合格 ☐	不合格 ☐

二 直流电流示值误差

表 B.2 直流电流示值误差

量程/A	示值/A	标准值/A	示值误差/A	测量不确定度 $U(k=2)/A$

三 电流稳定度

表 B.3 电流稳定度

量程/A	电流值/A	电流稳定性/%	测量不确定度 $U(k=2)/\%$

四 熔断时间示值误差

表 B.4 熔断时间示值误差

量程/s	示值/s	标准值/s	示值误差/s	测量不确定度 $U(k=2)/s$

五 设定时间示值误差

表 B.5 设定时间示值误差

量程/min	设定值/min	标准值/min	示值误差/min	测量不确定度 $U(k=2)$ /min

六 直流电压示值误差

表 B.6 直流电压示值误差

量程/V	标准值/V	示值/V	示值误差/V	测量不确定度 $U(k=2)$ /V

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 直流电流示值误差测量不确定度评定

C.1.1 方法一：标准表法

C.1.1.1 测量方法

按规范中 7.2.2 校准，采用标准表法。

C.1.1.2 测量模型

在标准条件下，忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响，有：

$$\Delta I = I_x - I_s$$

式中：

ΔI —被校测试仪直流电流示值误差，A；

I_x —被校测试仪直流电流示值，A；

I_s —直流标准电流表的示值，A。

C.1.1.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(I_s)}$$

式中灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_s} = -1$ ， 则： $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(I_x) + u^2(I_s)}$ 。

C.1.1.4 主要不确定度来源

- 直流标准电流表不准确引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$ ；
- 直流标准电流表分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$ ；
- 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_2(I_x)$ 。

C.1.1.5 标准不确定度评定

C.1.1.5.1 直流标准电流表不准确引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$

直流标准电流表经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，直流电流 10A 的最大允许误差为 $\pm 0.0054A$ ，则区间半宽度为 0.0054A，认为服从均匀分布，包

含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(I_s) = \frac{0.0054\text{A}}{\sqrt{3}} = 0.0032\text{A}$$

C.1.1.5.2 直流标准电流表分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$

直流标准电流表的分辨力为 0.0001A，则区间半宽度为 0.00005A，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(I_x) = \frac{0.00005\text{A}}{\sqrt{3}} = 0.000029\text{A}$$

C.1.1.5.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_2(I_x)$

在重复性条件下，用直流标准电流表对被校测试仪进行重复测量 10 次，测得数据如下表 1：

表 1 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (A)	9.9932	9.9926	9.9921	9.9877	9.9912
次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (A)	9.9923	9.9856	9.9865	9.9878	9.9881

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 9.9897\text{A}$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.0029\text{A}$$

取单次测量值作为测量结果，则： $u_2(I_x) = s(x_i) = 0.0029\text{A}$ 。

C.1.1.6 标准不确定度一览表

表 2 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(I_s)$	直流标准电流表不准确	均匀	B	-1	0.0032A
$u_1(I_x)$	直流标准电流表分辨力不足	均匀	B	-1	0.000029A
$u_2(I_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.0029A

C.1.1.7 合成标准不确定度

考虑到重复性和分辨力为同种影响量且相互影响，存在重复，在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u^2(I_s) + u_2^2(I_x)} = \sqrt{(0.0032\text{A})^2 + (0.0029\text{A})^2} \approx 0.0044\text{A}$$

C.1.1.8 扩展不确定度

取 $k = 2$ ，则直流电流 10A 测量点校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.0044\text{A} = 0.0088\text{A}, \quad k = 2$$

换算至相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = 0.09\%$ ， $k = 2$ 。

C.1.2 方法二：电流电压转换法

C.1.2.1 测量方法

按规范中 7.2.2 校准，采用电流电压转换法。

C.1.2.2 测量模型

在标准条件下，忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响，有：

$$\Delta I = I_x - \frac{V_s}{R_s}$$

式中：

ΔI —被校测试仪直流电流示值误差，A；

I_x —被校测试仪直流电流示值，A；

V_s —直流标准电压表的示值，V；

R_s —直流标准分流器的阻值， Ω 。

C.1.2.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(V_s) + c_3^2 u^2(R_s)}$$

式中灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial V_s} = -\frac{1}{R_s}$ ， $c_3 = \frac{\partial \Delta}{\partial R_s} = \frac{V_s}{R_s^2}$ ， 则：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(I_x) + \frac{1}{R_s^2} \times u^2(V_s) + \left(\frac{V_s}{R_s^2}\right)^2 \times u^2(R_s)}。$$

C.1.2.4 主要不确定度来源

a. 直流标准电压表不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$ ；

- b. 直流标准分流器不准确引入的标准不确定度分量 $u(R_s)$;
- c. 标准器测量分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$;
- d. 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(I_x)$ 。

C.1.2.5 标准不确定度评定

C.1.2.5.1 直流标准电压表不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$

测量直流电流 10A 时, 选用的直流标准分流器阻值为 10mΩ, 则分流器采样端的电压为 100mV, 直流标准电压表经上级计量机构量值传递合格, 根据说明书技术指标, 直流电压 100mV 的最大允许误差为 ±0.0085mV, 则区间半宽度为 0.0085mV, 认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(V_s) = \frac{0.0085\text{mV}}{\sqrt{3}} = 0.0050\text{mV}$$

C.1.2.5.2 直流标准分流器不准确引入的标准不确定度分量 $u(R_s)$

直流标准分流器经上级计量机构量值传递合格, 根据说明书技术指标, 标称值为 10mΩ 的直流标准分流器的最大允许误差为 ±0.001mΩ, 则区间半宽度为 0.001mΩ, 认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(R_s) = \frac{0.001\text{m}\Omega}{\sqrt{3}} = 0.00058\text{m}\Omega$$

C.1.2.5.3 标准器测量分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$

标准器测量的分辨力为 0.0001A, 则区间半宽度为 0.00005A, 认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1(I_x) = \frac{0.00005\text{A}}{\sqrt{3}} = 0.000029\text{A}$$

C.1.2.5.4 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(I_x)$

在重复性条件下, 用直流标准电压表和直流标准分流器对被校测试仪进行重复测量 10 次, 测得数据如下表 3:

表 3 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (A)	9.9944	9.9931	9.9934	9.9912	9.9918
次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (A)	9.9934	9.9873	9.9878	9.9889	9.9885

测量结果的平均值: $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 9.9910\text{A}$

单次测量值的实验标准偏差: $s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.0027\text{A}$

取单次测量值作为测量结果, 则: $u_2(I_x) = s(x_i) = 0.0027\text{A}$ 。

C.1.2.6 标准不确定度一览表

表 4 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(V_s)$	直流标准电压表不准确	均匀	B	$-100\Omega^{-1}$	0.0050mV
$u(R_s)$	直流标准分流器不准确	均匀	B	$1000\text{V} \cdot \Omega^{-2}$	0.00058m Ω
$u_1(I_x)$	标准器测量分辨力不足	均匀	B	-1	0.000029A
$u_2(I_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.0027A

C.1.2.7 合成标准不确定度

考虑到重复性和分辨力为同种影响量且相互影响, 存在重复, 在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去, 则:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(V_s) + c_3^2 u^2(R_s)} \approx 0.0029\text{A}$$

C.1.2.8 扩展不确定度

取 $k=2$, 则直流电流 10A 测量点校准结果的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.0029\text{A} = 0.0058\text{A}, \quad k=2$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = 0.058\%$, $k=2$ 。

C.1.3 方法三: 直流电流比较仪法

C.1.3.1 测量方法

按规范中 7.2.2 校准, 采用直流电流比较仪法。

C.1.3.2 测量模型

在标准条件下, 忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响, 有:

$$\Delta I = I_x - K_s \times \frac{V_s}{R_s}$$

式中:

ΔI —被校测试仪直流电流示值误差, A;

I_x —被校测试仪的直流电流示值, A;

K_s —直流电流比较仪的比例系数;

V_s —直流标准电压表的示值, V;

R_s —标准四端电阻器的阻值, Ω 。

C.1.3.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关, 对上式求偏导, 则不确定度传播律为:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(V_s) + c_3^2 u^2(R_s) + c_4^2 u^2(K_s)}$$

式中灵敏系数: $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_x} = 1$, $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial V_s} = -\frac{K_s}{R_s}$, $c_3 = \frac{\partial \Delta}{\partial R_s} = K_s \times \frac{V_s}{R_s^2}$, $c_4 = \frac{\partial \Delta}{\partial K_s} = -\frac{V_s}{R_s}$,

$$\text{则: } u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(I_x) + \frac{K_s^2}{R_s^2} \times u^2(V_s) + \left(K_s \times \frac{V_s}{R_s^2}\right)^2 \times u^2(R_s) + \frac{V_s^2}{R_s^2} u^2(K_s)}。$$

C.1.3.4 主要不确定度来源

- 直流标准电压表不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$;
- 标准四端电阻器不准确引入的标准不确定度分量 $u(R_s)$;
- 直流电流比较仪的比例系数不准确引入的标准不确定度分量 $u(K_s)$;
- 标准器测量分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$;
- 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(I_x)$ 。

C.1.3.5 标准不确定度评定

C.1.3.5.1 直流标准电压表不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$

测量直流电流 1000A 时, 选用的直流电流比较仪比例为 1000: 1, 则直流电流比较仪输出的二次电流为 1A, 标准四端电阻器阻值为 100m Ω , 则标准四端电阻器采样

端的电压为 100mV，直流标准电压表经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，直流电压 100mV 的最大允许误差为 $\pm 0.0085\text{mV}$ ，则区间半宽度为 0.0085mV，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(V_s) = \frac{0.0085\text{mV}}{\sqrt{3}} = 0.0050\text{mV}$$

C.1.3.5.2 标准四端电阻器不准确引入的标准不确定度分量 $u(R_s)$

标准四端电阻器经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，标称值为 100m Ω 的标准四端电阻器的最大允许误差为 $\pm 0.01\text{m}\Omega$ ，则区间半宽度为 0.01m Ω ，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(R_s) = \frac{0.01\text{m}\Omega}{\sqrt{3}} = 0.0058\text{m}\Omega$$

C.1.3.5.3 直流电流比较仪的比例系数不准确引入的标准不确定度分量 $u(K_s)$

直流电流比较仪经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，比例系数为 1000 的直流电流比较仪的最大允许误差为 ± 0.1 ，则区间半宽度为 0.1，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(K_s) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058$$

C.1.3.5.4 标准器测量分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$

标准器测量的分辨力为 0.01A，则区间半宽度为 0.005A，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(I_x) = \frac{0.005\text{A}}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{A}$$

C.1.3.5.5 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(I_x)$

在重复性条件下，采用直流电流比较仪法对被校测试仪进行重复测量 10 次，测得数据如下表 5：

表 5 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (A)	999.94	999.45	999.54	999.32	999.82
次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (A)	999.68	999.23	999.05	999.63	999.12

测量结果的平均值: $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 999.48\text{A}$

单次测量值的实验标准偏差: $s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.30\text{A}$

取单次测量值作为测量结果, 则: $u_2(I_x) = s(x_i) = 0.30\text{A}$ 。

C.1.3.6 标准不确定度一览表

表 6 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(V_s)$	直流标准电压表不准确	均匀	B	$-10000\Omega^{-1}$	0.0050mV
$u(R_s)$	标准四端电阻器不准确	均匀	B	$10000\text{V} \cdot \Omega^{-2}$	0.0058m Ω
$u(K_s)$	直流电流比较仪比例系数不准确	均匀	B	-1	0.058
$u_1(I_x)$	标准器测量分辨力不足	均匀	B	-1	0.0029A
$u_2(I_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.30A

C.1.3.7 合成标准不确定度

考虑到重复性和分辨力为同种影响量且相互影响, 存在重复, 在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去, 则:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(V_s) + c_3^2 u^2(R_s) + c_4^2 u^2(K_s)} \approx 0.32\text{A}$$

C.1.3.8 扩展不确定度

取 $k=2$, 则直流电流 1000A 测量点校准结果的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.32\text{A} = 0.64\text{A}, \quad k=2$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = 0.064\%$, $k=2$ 。

C.2 熔断时间示值误差测量不确定度评定

C.2.1 测量方法

按规范中 7.2.4 校准, 采用直接测量法。

C.2.2 测量模型

在标准条件下, 忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响, 有:

$$\Delta T = T_x - T_s$$

式中:

ΔT —被校测试仪熔断时间示值误差, s;

T_x —被校测试仪的熔断时间示值, s;

T_s —数字毫秒仪的时间示值, s。

C.2.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关, 对上式求偏导, 则不确定度传播律为:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(T_x) + c_2^2 u^2(T_s)}$$

式中灵敏系数: $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial T_x} = 1$, $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial T_s} = -1$, 则: $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(T_x) + u^2(T_s)}$ 。

C.2.4 主要不确定度来源

- 数字毫秒仪测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(T_s)$;
- 被校测试仪分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(T_x)$;
- 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_2(T_x)$ 。

C.2.5 标准不确定度评定

C.2.5.1 数字毫秒仪测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(T_s)$

数字毫秒仪经上级计量机构量值传递合格, 根据说明书技术指标, 测量熔断时间 10s 的最大允许误差为 $\pm 0.00015\text{s}$, 则区间半宽度为 0.00015s , 认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(T_s) = \frac{0.00015\text{s}}{\sqrt{3}} = 0.000087\text{s}$$

C.2.5.2 被校测试仪分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(T_x)$

被校测试仪分辨力为 0.01s，则区间半宽度为 0.005s，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(T_x) = \frac{0.005s}{\sqrt{3}} = 0.0029s$$

C.2.5.3 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(T_x)$

在重复性条件下，用数字毫秒仪对被校测试仪进行重复测量 10 次，测得数据如下表 7：

表 7 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (s)	9.99	9.99	10.01	10.00	9.99
次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (s)	9.99	9.98	9.99	10.01	10.00

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 9.995s$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.01s$$

取单次测量值作为测量结果，则： $u_2(T_x) = s(x_i) = 0.01s$ 。

C.2.6 标准不确定度一览表

表 8 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(T_s)$	数字毫秒仪测量不准确引入	均匀	B	-1	0.000087s
$u_1(T_x)$	被校测试仪分辨力不足	均匀	B	1	0.0029s
$u_2(T_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.01s

C.2.7 合成标准不确定度

考虑到测量重复性和分辨力为同种影响量且相互影响，存在重复，在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u^2(T_s) + u_1^2(T_x)} = \sqrt{(0.000087s)^2 + (0.01s)^2} = 0.01s$$

C.2.8 扩展不确定度

取 $k = 2$ ，则熔断时间示值误差 10s 校准点的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.01s = 0.02s, \quad k = 2$$

换算至相对扩展不确定度为： $U_{rel} = 0.2\%$ ， $k = 2$ 。

C.3 设定时间示值误差测量不确定度评定

C.3.1 测量方法

按规范中 7.2.5 校准，采用直接测量法，使用电子秒表做为标准器。

C.3.2 测量模型

在标准条件下，忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响，有：

$$\Delta = T_x - T_s$$

式中：

ΔT —被校测试仪设定时间示值误差，s；

T_x —被校测试仪每周期通电时间设定值，s；

T_s —标准器的时间测量值，s。

C.3.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(T_x) + c_2^2 u^2(T_s)}$$

式中灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial T_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial T_s} = -1$ ，则： $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(T_x) + u^2(T_s)}$ 。

C.3.4 主要不确定度来源

a. 电子秒表测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(T_s)$ ；

b. 测量重复性引入的标准不确定分量 $u(T_x)$ 。

C.3.5 标准不确定度评定

C.3.5.1 电子秒表测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(T_s)$

电子秒表经计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，测量时间 15min 的最大允许误差为 $\pm 0.10s$ ，则区间半宽度为 0.10s，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(T_s) = \frac{0.10s}{\sqrt{3}} = 0.058s$$

C.3.5.2 测量重复性引入的标准不确定分量 $u(T_x)$

在重复性条件下，用电子秒表对被校测试仪进行重复测量 10 次，测得数据如下表 9：

表 9 测得数据记录表

次数	1	2	3	4	5
测得值 (min)	15.045	15.046	15.050	15.047	15.051
次数	6	7	8	9	10
测得值 (min)	15.048	15.046	15.051	15.046	15.048

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 15.048 \text{min}$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.0022 \text{min}$$

取单次测量值作为测量结果，则： $u(T_x) = s(x_i) = 0.0022 \text{min}$ 。

C.3.6 标准不确定度一览表

表 10 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(T_s)$	电子秒表测量不准确引入	均匀	B	-1	0.058s
$u(T_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.0022min

C.3.7 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u^2(T_s) + u^2(T_x)} = \sqrt{(0.058s)^2 + (0.0022\text{min})^2} = 0.15s$$

C.3.8 扩展不确定度

取 $k = 2$ ，则设定时间示值误差 15min 校准点的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.15s = 0.3s, \quad k = 2$$

C.4 直流电压示值误差测量不确定度评定

C.4.1 测量方法

按规范中 7.2.6 校准，采用标准源法直接测量。

C.4.2 测量模型

在标准条件下，忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响，有：

$$\Delta = V_x - V_s$$

式中：

ΔV —被校测试仪直流电压示值误差，V；

V_x —被校测试仪直流电压测量值，V；

V_s —直流标准电压源输出的直流电压示值，V。

C.4.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(V_x) + c_2^2 u^2(V_s)}$$

式中灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial V_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial V_s} = -1$ ， 则： $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(V_x) + u^2(V_s)}$ 。

C.4.4 主要不确定度来源

- 直流标准电压源不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$ ；
- 被校测试仪分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(V_x)$ ；
- 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(V_x)$ 。

C.4.5 标准不确定度评定

C.4.5.1 直流标准电压源不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$

直流标准电压源经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，直流电压 10V 的最大允许误差为 $\pm 0.00014V$ ，则区间半宽度为 $0.00014V$ ，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(V_s) = \frac{0.00014V}{\sqrt{3}} = 0.000081V$$

C.4.5.2 被校测试仪分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(V_x)$

被校测试仪的分辨力为 $0.001V$ ，则区间半宽度为 $0.0005V$ ，认为服从均匀分布，

包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(V_x) = \frac{0.0005V}{\sqrt{3}} = 0.00029V$$

C.4.5.3 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(V_x)$

在重复性条件下，用直流标准电压源对被校测试仪进行重复测量 10 次，测得数据如下表 11：

表 11 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (V)	10.000	10.000	10.001	10.001	10.002
次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (V)	10.001	10.001	10.001	10.001	10.002

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{x=1}^{10} x_i = 10.001V$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.0007V$$

取单次测量值作为测量结果，则： $u_2(V_x) = s(x_i) = 0.0007V$ 。

C.4.6 标准不确定度一览表

表 12 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(V_s)$	直流标准电压源不准确引入	均匀	B	-1	0.000081V
$u_1(V_x)$	被校测试仪分辨力不足	均匀	B	1	0.00029V
$u_2(V_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.0007V

C.4.7 合成标准不确定度

考虑到被校测试仪的重复性和分辨力为同种影响量且相互影响，存在重复，在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u^2(V_s) + u_2^2(V_x)} = \sqrt{(0.000081V)^2 + (0.0007V)^2} \approx 0.0008V$$

C.4.8 扩展不确定度

取 $k = 2$ ，则直流电压 10V 测量点校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.0008 \text{V} = 0.0016 \text{V}, \quad k = 2$$

换算至相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = 0.016\%$ ， $k = 2$ 。

附录 D

熔断模拟装置设计示例

D.1 熔断模拟装置示意图

熔断模拟装置示意图

如图 D.1 所示，熔断模拟装置由开关单元和熔断控制单元组成，用于模拟保险丝熔断动作。

熔断模拟装置实现线路的开合，额定电流应大于被校测试仪电流量程的 10%，导通电阻应不大于 $10\text{m}\Omega$ ，开关单元的响应时间应不大于 1ms 。

熔断控制单元将熔断触发信号转变为开关单元的断开信号，熔断触发信号可以由手动按键产生，也可以由自动定时控制单元产生。

自动定时控制单元主要由取样单元和定时单元组成，定时单元时间设置为待校准熔断时间值，开关单元初始为导通状态，施加电流时，取样单元采样端电压触发定时单元开始计时，到达定时时间时，由定时单元发出熔断触发信号触发开关单元断开回路，模拟保险丝熔断动作。

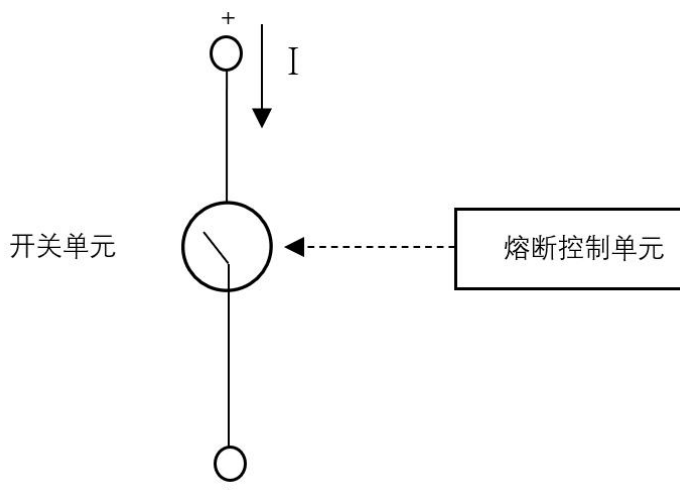


图 D.1 熔断模拟装置示意图

D.2 基于 MOS 管开关单元的熔断模拟装置

如图 D.2 所示，主要由 MOS 管、PLC 控制器和电流比较仪组成的熔断模拟装置，可供参考，或采用别的方案能满足 D1 中要求即可。

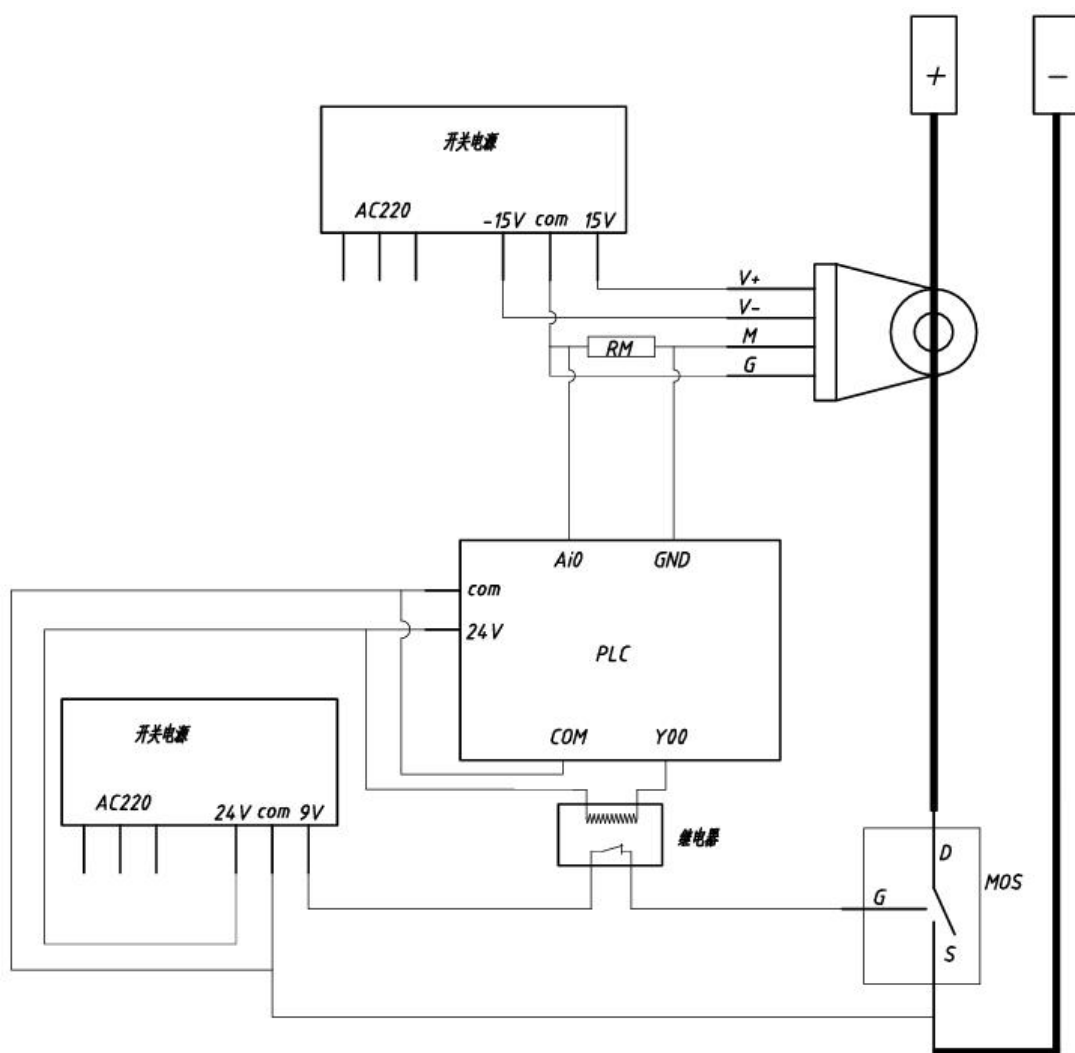


图 D.2 基于 MOS 管开关单元熔断模拟装置示意图