



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

直流保护电器级差配合测试仪
校准规范

Calibration Specification for DC Protective Electrical Differential
Testers
(报批稿)

202X-XX-XX发布

202X-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

直流保护电器级差配合测 试仪校准规范

Calibration Specification for DC Protective
Electrical Differential Testers

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：广电计量检测集团股份有限公司

广电计量检测（南宁）有限公司

湖南星途航空航天器制造有限公司

广州森宝电器股份有限公司

参与起草单位：广电计量检测集团股份有限公司

湖南星途航空航天器制造有限公司

广东省江门市质量计量监督检测所

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：

朱镇杰（广电计量检测集团股份有限公司）
邓光杨（广电计量检测（南宁）有限公司）
李源涛（湖南星途航空航天器制造有限公司）
施庆生（广州森宝电器股份有限公司）

参加起草人：

韦家挥（广电计量检测集团股份有限公司）
胡学斌（广东省江门市质量计量监督检测所）
陈旭（湖南星途航空航天器制造有限公司）

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 计量特性要求	2
5.1 直流电流	2
5.2 直流电压	2
5.3 延时整定误差	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	2
7.1 校准项目	2
7.2 外观及通电检查	3
7.3 直流电流	3
7.4 直流电压	4
7.5 延时整定误差	4
8 校准结果的处理	5
9 复校时间间隔	6
附录 A 校准原始记录格式	7
附录 B 校准证书内页格式	9
附录 C 测量结果的不确定度评定示例	10

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》、JJG1001-2011《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。

本规范为首次发布。

直流保护电器级差配合测试仪校准规范

1 范围

本校准规范适用于直流保护电器级差配合测试仪（以下简称测试仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

DL/T 1397.4-2014 电力直流电源系统用测试设备通用技术条件 第4部分：直流断路器动作特性测试系统

JJF1282-2025 时间继电器校准规范

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

3.1 延时整定误差 delay setting error

在规定使用条件下，整定值与实测延时平均值之差。

[JJF 1282-2025，术语和定义 3.11]

4 概述

直流保护电器级差配合测试仪是基于在真实直流馈线环境下模拟断路故障，通过构建与实际工况一致的短路条件，测试断路器在真实回路中的保护动作特性。测试仪主要由数据处理单元、ADC 模数转换器、信号调理单元、电流测量单元、电压测量单元、人机交互单元、供电单元、执行单元及保护单元等组成，其原理框图如下图 1 所示。

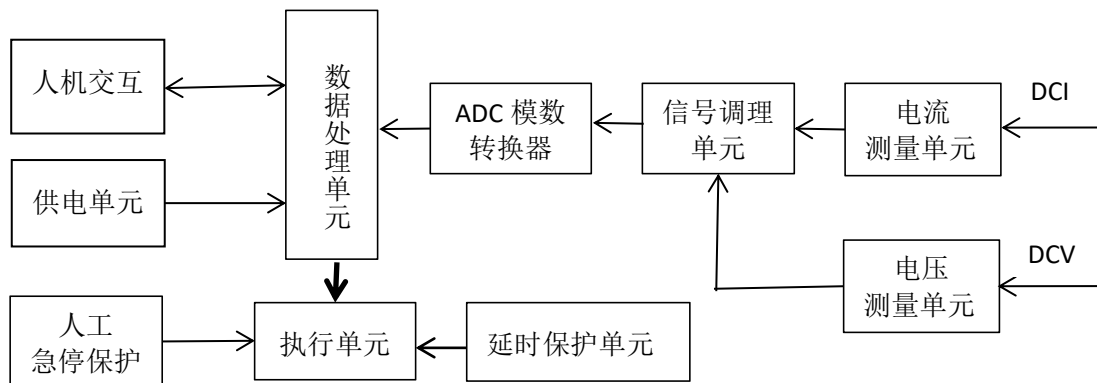


图 1 测试仪基本原理框图

5 计量特性要求

5.1 直流电流

测量范围: (1~2000)A, 最大允许误差: $\pm 0.5\%$ 。

5.2 直流电压

测量范围: (10~300)V, 最大允许误差: $\pm 0.5\%$ 。

5.3 延时整定误差

范围: (0.1~1) s, 最大允许误差: $\pm 1\%$ 。

注: 以上技术指标不作为合格性判断依据, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度: $\leq 80\%$ 。

6.1.3 供电电源: $220\text{V} \pm 22\text{V}$; 频率: $50\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$;

6.1.4 其他: 周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 直流标准电流源

测量范围: (1~2000)A, 最大允许误差: $\pm 0.1\%$ 。

6.2.3 直流标准电压源

输出范围: (0.1~300)V, 最大允许误差: $\pm 0.1\%$

6.2.4 数字式电秒表或数字式毫秒仪

测量范围: (0.1~1)s, 最大允许误差: $\pm 0.2\%$;

6.2.5 时间继电器测试仪

时间测量范围: (0.1~1)s, 最大允许误差: $\pm 0.2\%$;

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目如表 1 所示。

表 1 校准项目表

序号	校准项目	条款
1	外观及通电检查	7.2
2	直流电流	7.3
3	直流电压	7.5
4	延时整定误差	7.6

7.2 外观及通电检查

被校测试仪外观应整洁完好，无影响仪器正常工作的机械损伤；各种必要的标志应清晰准确；金属外壳或框架上应有明显的接地端钮及接地标志。检查各种调节旋钮、按键应灵活可靠。通电检查，仪器应能正常工作。检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.3 直流电流

7.3.1 接线如图 2 所示。

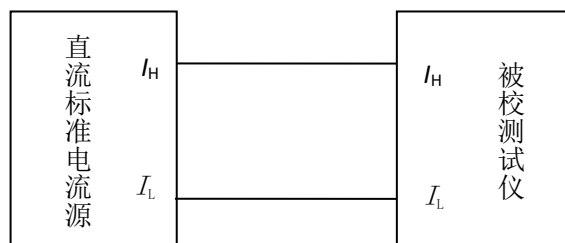


图 2 直流电流校准接线图

7.3.2 设置被校测试仪为“校准测试”模式，将被校测试仪的电流测量端连接直流标准电流源的电流输出端。被校测试仪直流电流测量量程一般为 100A、500A、1000A 或 2000A（具体直流电流量程参考厂家的技术说明书），应在被校测试仪的直流电流测量范围内均匀选取至少 5 个校准点。按照选取的校准点设置直流标准电流源输出直流电流值 I_s ，读取被校测试仪的电流示值 I_x ，数据记录于附录 A 表 A.2 中。按公式（1）或（2）计算直流电流示值误差。

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

$$\gamma_1 = \frac{\Delta I}{I_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

γ_1 ——直流电流的示值相对误差，用百分数表示；

ΔI ——直流电流的示值绝对误差, A;

I_x ——被校测试仪的电流示值, A;

I_s ——直流电流标准值, A。

7.4 直流电压

7.4.1 接线如图 4 所示。设置被校测试仪为“校准测试”模式。根据测量电压值选择适合量程的直流标准电压源, 被校测试仪的电压测量端连接直流标准电压源的电压输出端。

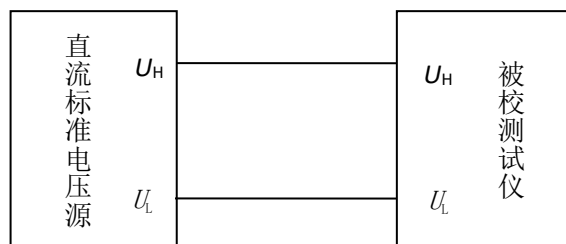


图 4 直流电压校准接线图

7.4.2 在被校测试仪的电压量程范围内均匀选取至少 5 个校准点, 应包括量程的 10%、50%、100%点或附近点。按照选取的校准点设置直流标准电压源输出直流电压值 U_s , 读取被校测试仪的电压示值 U_x , 数据记录于附录 A 表 A.4 中。按公式 (3) 或 (4) 计算直流电压示值误差。

$$\Delta U = U_x - U_s \quad (3)$$

$$\gamma_U = \frac{\Delta U}{U_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

γ_U ——直流电压的示值相对误差, 用百分数表示;

ΔU ——直流电压的示值绝对误差, V;

U_x ——被校测试仪的电压示值, V;

U_s ——直流电压标准值, V。

7.5 延时整定误差

在被校测试仪的延时时间量程范围内均匀选取至少 3 个校准点, 应包括量程的 10%、50%、100%点或附近点。如果外部无测试端的需要拆开外壳。

7.5.1 时间继电器测试仪法

7.5.1.1 用时间继电器测试仪校准，按图5 连接仪器。

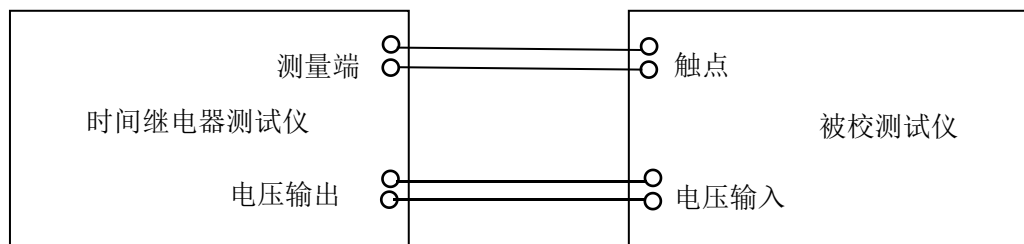


图5 电子式时间继电器校准连接示意图(时间继电器测试仪法)

7.5.1.2 将被校测试仪的时间继电器设置到需要校准的整定值 t_n 上，时间继电器测试仪选择电子式时间继电器类型，按下启动按钮。整定时间结束后，时间继电器测试仪所显示的值 t_i 即为被校测试仪的时间继电器整定时间的测量值。保持整定值不变，连续测量 3 次，每次测量之间的间隔时间应大于 10s（具体间隔时间可参考厂家的技术说明书中的恢复时间）。按公式（5）计算延时整定误差。

$$\Delta t = t_n - \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 t_i \quad (5)$$

式中：

t_i —— 单次测量值，s；

t —— 被校测试仪的时间继电器设置的延时整定值，s；

Δt —— 延时整定误差，s。

7.5.2 也可采用数字式电秒表和数字式毫秒仪，按照 JJF 1282 的 7.2.2.1 条款执行。

8 校准结果的处理

校准结果应子在校准证书(报告)上反映。校准证书(报告)应至少包括以下信息：

- 标题(如“校准证书”或“校准报告”)；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点；
- 证书或报告的唯一性标识(如编号)，每页及总页数的标识；
- 送校单位的名称和地址；
- 被校准对象的描述和明确标识；
- 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性有关时，应说明被校对象的接收日期；

- h) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 校准证书(或校准报告)签发人的签名、职位或等效标识，以及签发日期；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般为 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。

附录 A

校准原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

☐ 正常☐ 不正常：_____。

A.2 直流电流

标准源法

标准值	显示值	误差	测量不确定度($k=2$)

A.3 直流电压

标准值	显示值	误差	测量不确定度($k=2$)

A.4 延时整定误差

整定值	测量值	测量平均值	延时整定误差	测量不确定度($k=2$)

整定值	测量值	测量平均值	延时整定误差	测量不确定度($k=2$)

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

☐ 正常☐ 不正常：_____。

B.2 直流电流

标准源法

标准值	显示值	误差	测量不确定度($k=2$)

B.3 直流电压

标准值	显示值	误差	测量不确定度($k=2$)

B.4 延时整定误差

整定值	测量平均值	延时整定误差	测量不确定度($k=2$)

附录 C

测量结果的不确定度评定示例

C.1 直流电流测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

调节直流标准电流源输出至校准点，读取被校测试仪的电流示值。

$$I_n = I_x \quad (\text{C.1})$$

式中：

I_n ——被校测试仪的直流电流示值，A；

I_x ——直流标准电流源的输出电流标准值，A。

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源主要有：测量重复性，标准器引入的不确定度分量，被测仪器示值分辨力引入的不确定度分量，环境条件（温度、湿度、电源、电磁场）影响引起的误差等。测量是在规程规定的环境条件下进行，环境条件影响引起的误差可忽略不计。

C.1.3 标准不确定度的评定

C.1.3.1 测量重复性引入的不确定度 $u(I_n)$ 。

按上述方法，直流标准电流源输出直流电流 100A，对被校测试仪（型号 KC-AS 直流保护电器级差配合测试仪）在短时间内重复测量 10 次，被校仪器的示值如下：

序号	1	2	3	4	5	平均值
示值(A)	99.98	99.97	99.98	99.96	99.97	99.968
序号	6	7	8	9	10	
示值(A)	99.98	99.95	99.92	99.98	99.99	

根据贝塞尔公式：

$$s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.02 \text{ A}$$

因此重复性测量引入标准不确定度为：

$$u(I_n) = s_n(x) = 0.02 \text{ A}$$

C.1.3.2 直流标准电流源引入的标准不确定度 $u(I_s)$ 。

直流标准电流源经校准符合技术指标要求，在直流电流 100A 时的最大允许误差为：±0.1%，视其为均匀分布，置信因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此：

$$u(I_s) = (0.1\% \times 100A) / \sqrt{3} = 0.058A$$

C.1.3.3 被校测试仪示值分辨力引入的不确定度 $u(\delta I_x)$ 。

被校测试仪在直流电流 100A 时示值分辨力为 0.01A，视其为均匀分布，置信因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此：

$$u(\delta I_x) = 0.01A / 2\sqrt{3} = 0.0029A$$

由于测量重复性包含示值分辨力引入的不确定度分量，为避免重复计算，重复性和示值分辨力误差引入的不确定度分量取大者，因此舍去 $u(I_n)$ 。

C.1.4 合成标准不确定度

电流示值测量结果的不确定度分量如下表所示。

表 C1 标准不确定度分量一览表

输入量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
$u(I_n)$	测量重复性引入（舍去）	正态分布	1	0.02A
$u(I_s)$	直流标准电流源引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.058A
$u(\delta I_x)$	被校测试仪的分辨力引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0029A

则合成标准不确定为：

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2 u^2(I_s) + c_2^2 u^2(I_n)} = 0.06A$$

C.1.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$ ，则 $U = k u_c = 0.12A$

C.2 直流电压测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

调节直流标准电压源输出至校准点，读取被校测试仪的电压示值。

$$U_n = U_x \quad (C.2)$$

式中：

U_n ——被校测试仪的直流电压示值，V；

U_x ——直流标准电压源的输出电压标准值，V。

C.2.2 不确定度来源

不确定度来源主要有：测量重复性，标准器引入的不确定度分量，被测仪器示值分辨力引入的不确定度分量，环境条件（温度、湿度、电源、电磁场）影响引起的不确定度分量等。测量是在规程规定的环境条件下进行，环境条件影响引起的不确定度分量可忽略不计。

C.2.3 标准不确定度的评定

C.2.3.1 测量重复性引入的不确定度 $u(V_x)$

按上述方法，直流标准电压源输出直流电压 100V，对被校测试仪（型号 KC-AS 直流保护电器级差配合测试仪）在短时间内重复测量 10 次，实测值如下：

序号	1	2	3	4	5	平均值
实测值(V)	99.85	99.86	99.83	99.84	99.85	99.85
序号	6	7	8	9	10	
实测值(V)	99.85	99.84	99.87	99.86	99.84	

根据贝塞尔公式：

$$s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.02 \text{ V}$$

因此重复性测量引入标准不确定度为：

$$u(V_x) = s_n(x) = 0.02 \text{ V}$$

C.2.3.2 直流标准电压源引入的标准不确定度 $u(V_s)$

直流标准电压源经校准符合技术指标要求，通过查询说明书得知，在直流电压 100V 时的最大允许误差为：±0.1%，因此：

$$u(V_s) = 0.1\% \times 100 \text{ V} / \sqrt{3} = 0.058 \text{ V}$$

C.2.3.3 被校测试仪示值分辨力引入的不确定度 $u(\delta V_x)$

被校测试仪在直流电压 100V 时示值分辨力为 0.01V，视其为均匀分布，置信因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此：

$$u(\delta V_x) = 0.01 \text{ V} / 2\sqrt{3} = 0.0029 \text{ V}$$

由于测量重复性包含示值分辨力引入的不确定度分量，为避免重复计算，重复性和示值分辨力误差引入的不确定度分量取大者，因此舍去 $u(\delta V_x)$ 。

C.2.4 合成标准不确定度

直流电压示值测量结果的不确定度分量如下表所示。

表 C1 标准不确定度分量一览表

输入量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
$u(V_x)$	测量重复性引入	正态分布	1	0.02V
$u(V_s)$	直流标准电压源引入	正态分布	-1	0.058V
输入量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
$u(\delta V_x)$	被校测试仪示值分辨力引入（舍去）	均匀分布	1	0.0029V

由于重复性测量和被校测试仪分辨力对测量不确定度的贡献存在重复，因此在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去，则合成标准不确定为：

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2 u^2(V_x) + c_2^2 u^2(V_s)} = 0.07V$$

C.2.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$ ，则 $U = k u_c = 0.14V$ ，($k=2$)

C.3 时间测量结果不确定度评定

C.3.1 测量模型

调节被校测试仪的时间继电器的时间至校准点，读取时间继电器测试仪的时间示值。

$$t_x = t_s \quad (C.3)$$

式中：

t_x ——被校测试仪时间继电器的时间设定值，s；

t_s ——时间继电器测试仪的时间测量值，s。

C.3.2 不确定度来源

不确定度来源主要有：测量重复性，标准器引入的不确定度分量，被测仪器示值分辨力引入的不确定度分量，环境条件（温度、湿度、电源、电磁场）影响引起的误差等。测量是在规程规定的环境条件下进行，环境条件影响引起的误差可忽略

不计。

C.3.3 标准不确定度的评定

C.3.3.1 测量重复性引入的不确定度 $u(t_x)$ 。

按上述方法对时间 1s 连续测量 10 次，数据如下：

序号	1	2	3	4	5	平均值
实测值(s)	1.0006	1.0004	1.0004	1.0005	1.0006	1.0005
序号	6	7	8	9	10	
实测值(s)	1.0005	1.0004	1.0005	1.0004	1.0004	

根据贝塞尔公式：

$$s_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.0001s$$

因此重复性测量引入标准不确定度为 $u(t_x) = s_n(x) = 0.0001s$ 。

C.3.3.2 时间继电器测试仪引入的标准不确定度 u_1 。

时间继电器测试仪经校准符合技术指标要求，通过查询说明书得知，在测量 1s 时的最大允许误差为 $1 \times 10^{-3}s = 0.002s$ ，按照均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，因此不确定度为 $u_1 = \frac{0.002}{\sqrt{3}}s = 0.0012s$ 。

C.3.4 合成标准不确定度

时间示值测量结果的不确定度分量如下表所示。

表 C2 标准不确定度分量一览表

输入量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
$u(t_x)$	测量重复性引入	正态分布	1	0.0001s
u_1	示波器分辨力不准引入	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0012s

则合成标准不确定为：

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.0013s$$

C.3.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$ ，则 $U = k u_c = 0.003s$