



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

大电流温升试验装置校准规范

Calibration Specification for High-Current Temperature Rise Testing
System

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

大电流温升试验装置校准 规范

Calibration Specification for High-Current
Temperature Rise Testing System

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：中航长城计量测试（南京）有限公司
中国电子技术标准化研究院
江苏省计量科学研究院
武汉众晟电力科技有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范起草人：

伍源（中航长城计量测试（南京）有限公司）
宋扬（中航长城计量测试（南京）有限公司）
赵昭（中国电子技术标准化研究院）
姜朝勇（中航长城计量测试（南京）有限公司）
吴融会（中航长城计量测试（南京）有限公司）
韩倩（中航长城计量测试（南京）有限公司）

参加起草人：

韦建（江苏省计量科学研究院）
何相（武汉众晟电力科技有限公司）

目 录

引 言	V
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量特性	2
4.1 交流电流	2
4.2 电流短期稳定性	2
4.3 失真度	2
4.4 温度测量	2
5 校准条件	2
5.1 环境条件	2
5.2 测量标准及其他设备	3
6 校准项目和校准方法	4
6.1 校准项目	4
6.2 校准方法	4
7 校准结果表达	9
8 复校时间间隔	10
附录 A	11
附录 B	13
附录 C	15

引 言

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

本规范为首次发布。

大电流温升试验装置校准规范

1 范围

本校准规范适用于输出频率为交流频率 50 Hz，输出范围为 0.1 kA~15 kA 的大电流温升试验装置的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF(机械)1037 大电流发生器校准规范

JJG(军工) 243 50Hz 交流标准大电流源检定规程

JJF 1171 温湿度巡回检测仪校准规范

GB/T 16927.4 高电压和大电流试验技术 第 4 部分：试验电流和测量系统的定义和要求

注：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 概述

大电流温升试验装置是一种用于模拟电气设备在大电流工作条件下温升特性的专用设备，其核心目的是验证设备在额定电流或过载条件下的发热情况和安全性。

试验装置通常由大电流发生器、温度传感器、数据采集系统、控制系统和冷却系统组成。系统内部的变压器、调压器或大功率电子电源将输入电压转换为所需的大电流输出，并通过闭环控制保持电流稳定；布置在设备表面或内部的热电阻、热电偶将温度信号转换为电信号，采集温度数据并传输至数据采集系统；通过模数转换器（ADC）将传感器采集的模拟信号转换为数字信号，并存储到计算机中。同时，系统一般基于 PLC（可编程逻辑控制器）或嵌入式系统，结合电流互感器和温度传感器的反馈信号进行闭环控制，根据预设参数自动调节电流，并在异常情况下（如过流、过热）触发保护机制。系统一般都配置有风冷或水冷方式散热，在试验过程中持续运行，确保系统稳定。

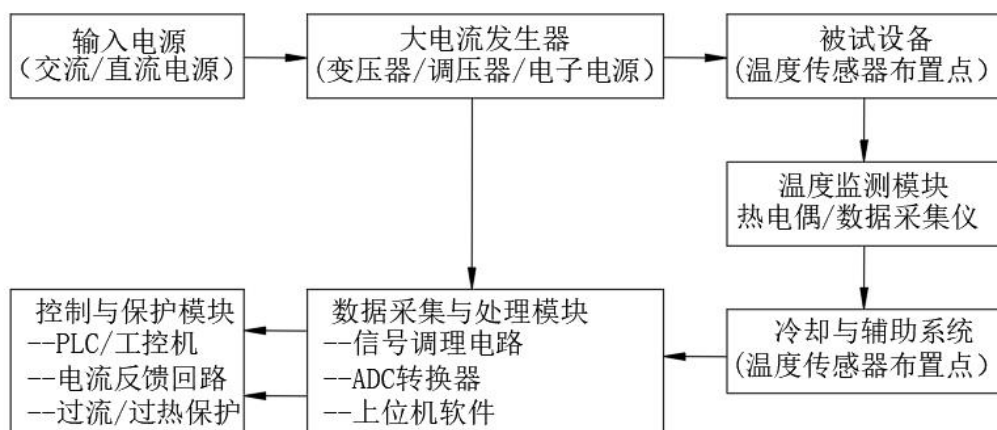


图 1 大电流温升试验装置原理图

4 计量特性

4.1 交流电流

输出范围：AC 50Hz 0.1 kA~15 kA；

最大允许误差：±1%FS。

4.2 电流短期稳定性

额定输出条件下短期稳定性：≤1%（稳定时间参照仪器说明书要求）。

若仪器说明书没有明确稳定时间，建议参考稳定时间为 20 min。

4.3 失真度

失真度<5%。

4.4 温度测量

测量范围：0℃~150℃；

最大允许误差：±1℃。

注：以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：23℃±10℃。

5.1.2 相对湿度：20%~80%。

5.1.3 供电电源：

交流供电电压：220 V±22 V；

频率：50 Hz±0.5 Hz。

5.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 交流标准大电流表

电流测量范围：10 A～2000 A；

其准确度等级优于 0.1 级。

5.2.2 交流电流互感器

电流测量范围：100 A～15000 A；

比例范围：100:1～5000:1；

其准确度等级优于 0.05 级。

5.2.3 交流电流传感器

电流测量范围：100 A～15000 A；

频率范围：10 Hz～1 kHz；

其准确度等级优于 0.05 级。

5.2.4 交流标准电流表

电流测量范围：1 mA～10 A；

频率范围：10 Hz～10 kHz；

最大允许误差：±（0.02%～0.1%）Rdg。

5.2.5 交流标准电压表

电压测量范围：100 mV～20 V；

频率范围：10 Hz～20 kHz；

最大允许误差：±（0.01%～0.1%）Rdg。

5.2.6 交流分流器

电流测量范围：0.1 A～5 A；

频率范围：50 Hz；

年稳定性不低于 0.02%。

5.2.7 失真度仪

频率范围：10 Hz～20 kHz；

测量范围：0.01%～30%。

相对最大允许误差：±10%。

5.2.8 功率分析仪

频率范围：10 Hz～20 kHz；

失真度测量范围：0.01%～30%。

相对最大允许误差：±10%。

5.2.9 标准铂电阻温度计

测量范围：（0～150）℃。

二等（也可以使用准确度等级和范围不低于上述要求的其他标准器）。

5.2.10 恒温槽

温度范围：（0~150）℃；

温度均匀性 ≤ 0.05 ℃；

温度波动性 ≤ 0.05 ℃/10 min。

5.2.11 干体式温度校准器

温度范围：（0~150）℃；

孔间差 ≤ 0.05 ℃；

温度波动性 ≤ 0.05 ℃。

5.2.12 电测设备

电阻测量范围：（0~400）Ω；

其准确度等级优于 0.005 级；

测量范围应与标准铂电阻温度计电阻值范围相适应。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 1：

表 1 大电流温升试验装置校准项目一览表

序号	项目名称
1	交流电流
2	电流短期稳定性
3	失真度
4	温度测量

注：应根据大电流温升试验装置的功能和客户需求选择校准项目。

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

a) 被校大电流温升试验装置仪器名称、型号、制造商、出厂编号、额定输入电压和频率、输出参数额定值、端钮标准等信息应齐全，接线端子、开关、按键、拨盘功能正常，无松动、损伤、脱落。各种功能标志应齐全完整；配备的专用测试线、温度传感器等附件应齐全。

b) 通电后，开关、按键、显示屏和各种状态指示灯（标志）应工作正常。

c) 在规定的环境条件下，测量标准和被校大电流温升试验装置按各自的说明书和实际工作需要预热；无要求时，开机预热时间不小于 15 min。

d) 按说明书要求连接试验回路, 将被试装置的输出端经交流电流比例标准后接入短接回路可靠连接, 启动装置, 缓慢调节输出电流, 实时监测装置面板显示的电流值及标准电流测量仪表的示值, 检查装置到达预置值时, 是否过流保护动作 (输出回路切断、出现声光报警或自动回零)。

e) 在切断装置主回路电源的安全条件下, 使用温度校准仪向温度监测通道输入模拟温度信号, 监测装置过热保护触发动作时的温度值, 检查装置到达预置值时, 是否过热保护动作 (输出回路切断、出现声光报警或自动回零)。

将检查结果记录在附录 A 的表 A.1 中。

6.2.2 交流电流

当交流标准大电流表测量范围能覆盖被校试验装置电流输出范围且试验装置为单相输出时, 采用方法 6.2.2.1, 其他情况采用方法 6.2.2.2 或 6.2.2.3。

6.2.2.1 标准表法

按照图 2 所示连接仪器, 每个量程内均匀选取 3~5 个校准点, 包括量程的 10%、50%、100% (或接近量程) 点, 调节试验装置输出电流为 I_x , 待稳定后读取交流标准大电流表的实测值 I_s , 试验装置输出电流的示值误差按公式 (1)、(2) 计算。

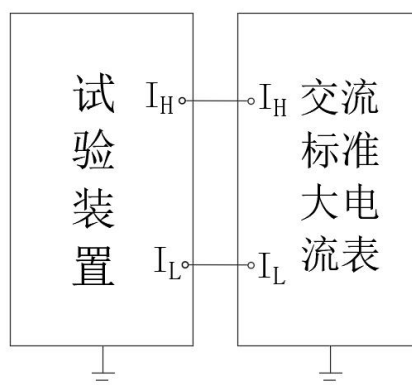


图 2 标准表法校准单相试验装置示意图

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

$$\gamma = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中: ΔI ——被校试验装置电流示值绝对误差, A;

γ ——被校试验装置电流示值相对误差, %;

I_x ——被校试验装置电流示值, A;

I_s ——交流标准大电流表实测值, A;

6.2.2.2 交流电流互感器法

按照图 3 或图 4 所示连接仪器, 三相电流输出时, 将被校试验装置的输出端经交

流电流互感器后接入短接回路可靠连接。每个量程内均匀选取 3~5 个校准点，包括量程的 10%、50%、100%（或接近量程）点，调节试验装置输出电流为 I_x ，待稳定后读取交流标准电流表的实测值 I_s ，试验装置输出电流的示值误差按公式（3）、（4）计算。

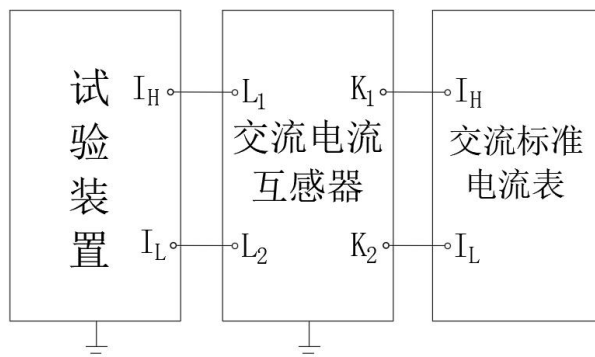


图 3 交流电流互感器法校准单相试验装置示意图

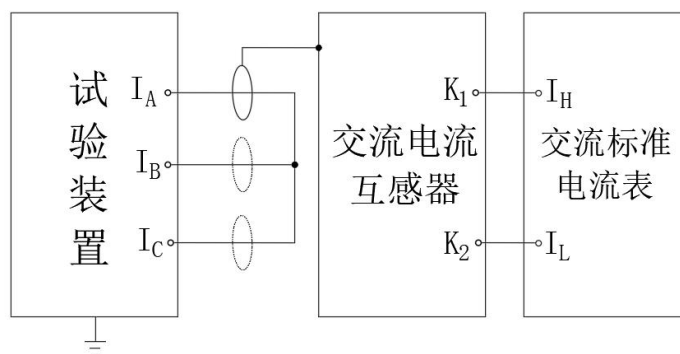


图 4 交流电流互感器法校准三相试验装置示意图

$$\Delta I = I_x - K_1 \cdot I_s \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{\Delta I}{K_1 \cdot I_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中： ΔI ——被校试验装置电流示值绝对误差，A；

I_x ——被校试验装置电流示值，A；

I_s ——交流标准电流表实测值，A；

K_1 ——交流电流互感器变比；

γ ——被校试验装置的电流示值相对误差；

6.2.2.3 交流电流传感器法

按照图 5 或图 6 所示连接仪器，三相电流输出时，将被校试验装置的输出端经交流电流传感器后接入短接回路可靠连接。每个量程内均匀选取 3~5 个校准点，包括量程的 10%、50%、100%（或接近量程）点，调节试验装置输出电流为 I_x ，待稳定后读取交流标准电压表的实测值 U_s ，试验装置输出电流的示值误差按公式（5）、（6）计算。

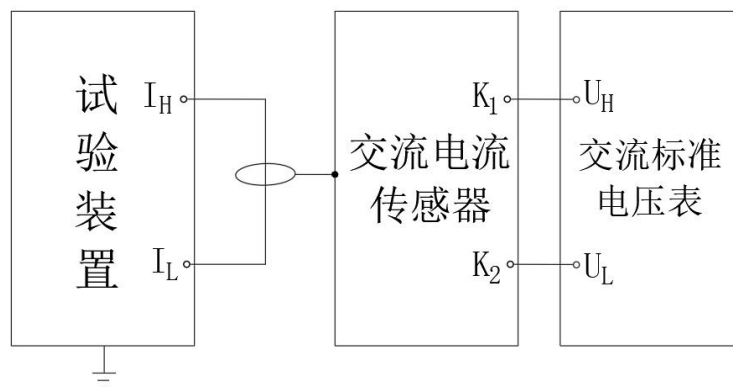


图 5 交流电流传感器法校准单相试验装置示意图

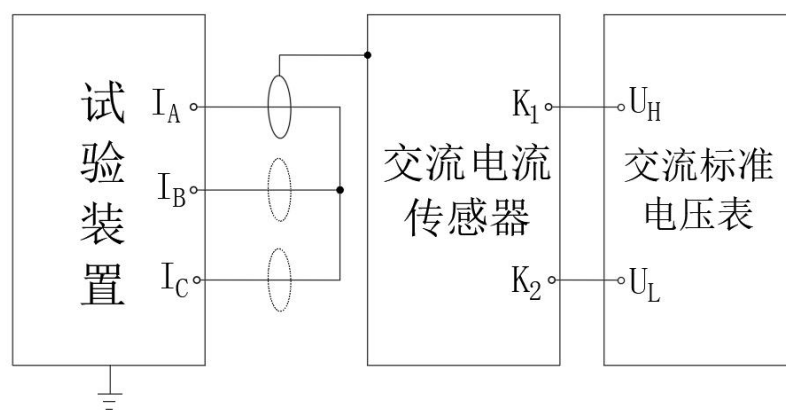


图 6 交流电流传感器法校准三相试验装置示意图

$$\Delta I = I_x - K_U \cdot U_s \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\Delta I}{K_U \cdot U_s} \times 100\% \quad (6)$$

式中： ΔI ——被校试验装置的电流示值绝对误差，A；

I_x ——被校试验装置的电流示值，A；

U_s ——交流标准电压表实测值，V；

K_U ——交流电流传感器的比例值；

γ ——被校试验装置的电流示值相对误差；

6.2.3 电流短期稳定性

按 6.2.2.1、6.2.2.2 或 6.2.2.3 方法接线，稳定时间 20min 内等时间间隔连续测量 10 个点，计算平均值 I_{AVG} ，取交流电流最大值 I_{max} 与最小值 I_{min} ，试验装置交流电流输出的短期稳定性 γ_{st} 按公式 (7) 计算。

$$\gamma_{st} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{AVG}} \times 100\% \quad (7)$$

6.2.4 失真度

6.2.4.1 失真度仪法

按照图 7 所示连接仪器，选取被校试验装置每个量程的满量程点校准，待稳定后读取失真度仪示值 K_S 。

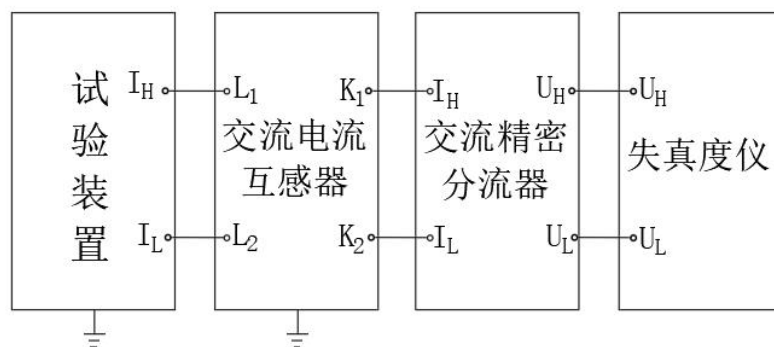


图 7 失真度仪法校准单相试验装置示意图

6.2.4.2 功率分析仪法

按照图 8 所示连接仪器，选取被校试验装置每个量程的满量程点校准，待稳定后读取失真度仪示值 K_S 。

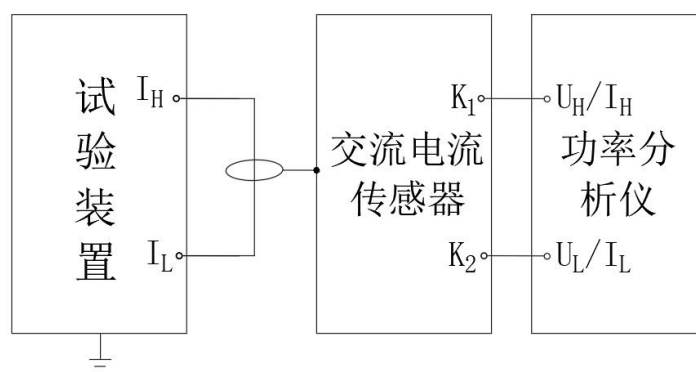


图 8 功率分析仪法校准单相试验装置示意图

被检试验装置为三相电流输出时，按照图 9 所示连接仪器，将被试装置的输出端经交流电流传感器后接入短接回路可靠连接，依次对各相所有量程满量程点校准，待稳定后读取失真度仪示值 K_S 。

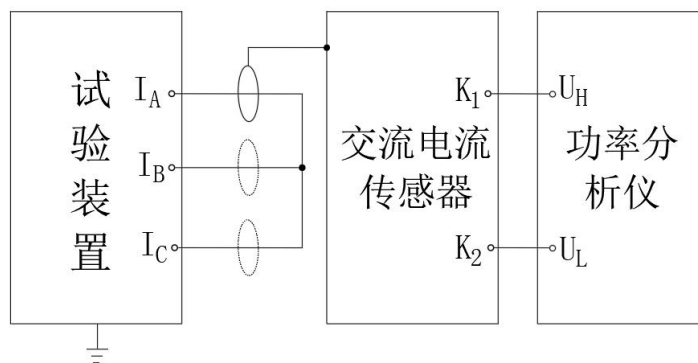


图 9 功率分析仪法校准三相试验装置示意图

6.2.5 温度测量示值误差

a) 使用恒温槽校准时，封装良好的温度传感器可直接插入恒温槽中。若温度传感器不能直接接触槽内介质，可将其放置在内径与传感器直径相适应的玻璃试管中，并在管内放入适当导热介质（可与恒温槽介质相同），介质高度约为温度传感器感温部分长度的 2/3。为消除玻璃试管内的空气对流，管口应用脱脂棉塞紧。传感器插入深度应不小于传感器感温部分长度的 2/3，测量标准与被校温度传感器的测温端尽可能处在恒温槽工作区域内的同一水平面上。待示值稳定后，按标准→被校→被校→标准的顺序，读取两个循环的数据，取 4 次读数平均值，试验装置温度测量示值误差按公式（8）计算。

$$\Delta t = \bar{t} - \bar{t}_o \quad (8)$$

式中： Δt ——被校试验装置温度测量示值绝对误差，℃；

$\bar{t}$ ——被校试验装置温度测量示值平均值，℃；

$\bar{t}_o$ ——标准温度计测量值平均值，℃；

b) 使用干体式温度校准器校准时，将标准铂电阻温度计与被校温度传感器置于恒温块内，标准铂电阻温度计应连接相对应的电测设备。干体式温度校准器偏离校准点温度在 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 以内、温度变化每分钟不超过 0.05°C （以标准铂电阻温度计为准），待示值稳定后，按标准→被校→被校→标准的顺序，读取两个循环的数据，取 4 次读数平均值，试验装置温度测量示值误差按（8）计算。

7 校准结果表达

校准结束后应出具校准证书。校准证书至少包含以下信息：

- 标题：“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 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。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般不超过 12 个月。送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。经修理或调整后的大电流温升试验装置应校准后再使用。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 交流电流

表 A.2 交流电流

频率/Hz	量程/A	标称值/A	实测值/A	误差/A	不确定度 ($k=2$)

A.3 电流短期稳定性

表 A.3 电流短期稳定性

序号	量程/A	时间间隔/min	示值/A	最大值 /A	最小值 /A	平均值 /A	稳定性 /%	不确定度 ($k=2$)
1								
2								
3								
...								
10								

A.4 失真度

表 A.4 失真度

基本满量程点/A	失真度/%	最大允许误差 /%	不确定度 ($k=2$)

A.5 温度测量

表 A.5 温度测量

标准仪器/℃		被校仪器通道 1/℃		被校仪器通道 2/℃		被校仪器通道 n/℃		不确定度 ($k=2$)
温度值	平均值	温度值	平均值	温度值	平均值	温度值	平均值	

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 交流电流

表 B.2 交流电流

频率/Hz	量程/A	标称值/A	实测值/A	误差/A	不确定度 ($k=2$)

B.3 电流短期稳定性

表 A.3 电流短期稳定性

序号	量程/A	时间间隔 /min	示值/A	稳定性/%	不确定度 ($k=2$)

B.4 失真度

表 A.4 失真度

基本满量程点/A	失真度/%	最大允许误差 /%	不确定度 ($k=2$)

B.5 温度测量

表 B.5 温度测量

标准仪器标准值 /℃	被校仪器通道 1 示 值/℃	被校仪器通道 2 示值/℃	被校仪器通道 n 示值/℃	不确定度 ($k=2$)

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 输出电流测量结果不确定度评定

C.1.1 测量方法

参照大电流温升试验装置校准规范，使用交流标准电流表测量输出电流。

C.1.2 测量模型

用交流标准电流表测量交流电流的测量模型为：

$$I_N = I_x \quad (C.1)$$

式中：

I_N ——交流电流标称值，A；

I_x ——交流电流实测值，A。

C.1.3 传播系数

$$u^2(I_N) = C_1^2 u^2(I_x)$$

灵敏系数为：

$$C_1 = \frac{\partial I_N}{\partial I_x} = 1$$

C.1.4 不确定度来源见表 C.1

表 C.1 不确定度来源

类别	不确定度分量来源
A 类方法	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类方法	交流标准电流表允差引入的不确定度 u_2
B 类方法	交流标准电流表分辨力引入的不确定度 u_3

C.1.5 标准不确定度评定

C.1.5.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用交流标准电流表对被测电流 1000A 测量点连续测量 10 次，测量结果见下表 C.2 所示

表 C.2 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/A	1000.076	1000.079	1000.068	1000.056	1000.067
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/A	1000.063	1000.048	1000.082	1000.075	1000.072

根据表中的数据，可由贝塞尔公式计算出交流电流的实验标准偏差：

$$u_1 = s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} = 0.0107 \text{ A} \quad (\text{C.2})$$

C.1.5.2 交流标准电流表允差引入的不确定度 u_2

对于交流电流 1000 A 点, 交流标准电流表的最大允许误差为 $\pm(0.05\%$ 读数 $+0.05\%$ 量程) $=\pm 1 \text{ A}$ 。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = \frac{1 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 0.5774 \text{ A} \quad (\text{C.3})$$

C.1.5.3 交流标准电流表分辨力引入的不确定度 u_3

对于交流电流 1000 A 点, 交流标准电流表的分辨力为 0.001 A。按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{0.001 \text{ A}}{2\sqrt{3}} = 0.00029 \text{ A} \quad (\text{C.4})$$

由分辨力引入不确定度分量与测量结果重复性引入的不确定度分量有重复, 根据“不重复、不遗漏”的原则, 且 $u_3 < u_1$, 故不考虑分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.1.6 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.3。

表 C.3 交流电流不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.0107 A
u_2	交流标准电流表最大允许误差	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.5774 A

各不确定度分量相互独立不相关, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.5775 \text{ A} \quad (\text{C.5})$$

C.1.7 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.5774 \approx 1.2 \text{ A} \quad (\text{C.6})$$

则相对扩展不确定度为:

$$U_r = \frac{1.2 \text{ A}}{1000 \text{ A}} \times 100\% \approx 0.12\% \quad (\text{C.7})$$

C.2 失真度测量结果不确定度评定

C.2.1 测量方法

参照大电流温升试验装置校准规范，使用失真度测量仪测量失真度。

C.2.2 测量模型

用失真度测量仪测量失真度的测量模型为：

$$K_S = K_0 \quad (C.8)$$

式中：

K_S ——被校失真度值；

K_0 ——失真度测量仪测量值。

C.2.3 传播系数

$$u^2(K_S) = C_1^2 u^2(K_0)$$

灵敏系数为：

$$C_1 = \frac{\partial K_S}{\partial K_0} = 1$$

C.2.4 不确定度来源见表 C.1

表 C.4 不确定度来源

类别	不确定度分量来源
A 类方法	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类方法	失真度测量仪允差引入的不确定度 u_2
B 类方法	失真度测量仪分辨力引入的不确定度 u_3

C.2.5 标准不确定度评定

C.2.5.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用失真度测量仪对被测大电流温升试验装置连续测量 10 次，测量结果见下表 C.5 所示

表 C.5 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/%	0.505	0.510	0.508	0.509	0.511
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/ %	0.512	0.506	0.507	0.508	0.508

根据表中的数据，可由贝塞尔公式计算出交流电流的实验标准偏差：

$$u_1 = s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} = 0.0022\% \quad (C.9)$$

C.2.5.2 失真度测量仪允差引入的不确定度 u_2

对于失真度 0.5%，失真度测量仪的最大允许误差为 $\pm 2\%$ 读数 $\pm 0.01\%$ 。按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.005774\% \quad (\text{C.10})$$

C.2.5.3 失真度测量仪分辨力引入的不确定度 u_3

对于失真度测量仪 0.5% 这个点，失真度测量仪的分辨力为 0.001%。按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_3 = \frac{0.001\%}{2\sqrt{3}} = 0.00029\% \quad (\text{C.11})$$

由分辨力引入不确定度分量与测量结果重复性引入的不确定度分量有重复，根据“不重复、不遗漏”的原则，且 $u_3 < u_1$ ，故不考虑分辨力引入的不确定度分量 u_3 。

C.2.6 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.3。

表 C.6 失真度不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.0022%
u_2	失真度测量仪最大允许误差	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.005774%

各不确定度分量相互独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.0062\% \quad (\text{C.12})$$

C.2.7 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0062\% \approx 0.013\% \quad (\text{C.13})$$

则相对扩展不确定度为：

$$U_r = \frac{0.013\%}{0.5\%} \times 100\% \approx 2.6\% \quad (\text{C.14})$$

C.3 温度测量结果不确定度评定

C.3.1 测量方法

参照大电流温升试验装置校准规范，使用标准铂电阻温度计测量温度。

C.3.2 测量模型

用标准温度计测量温度的测量模型为：

$$\bar{t} = \bar{t}_o \quad (\text{C.8})$$

式中：

$\bar{t}$ ——被校试验装置温度测量示值平均值，℃；

$\bar{t}_o$ ——标准温度计测量值平均值，℃。

C.3.3 传播系数

$$u^2(\bar{t}) = C_1^2 u^2(\bar{t}_o)$$

灵敏系数为：

$$C_1 = \frac{\partial \bar{t}}{\partial \bar{t}_o} = 1$$

C.3.4 不确定度来源见表 C.1

表 C.7 不确定度来源

类别	不确定度分量来源
A 类方法	测量结果重复性引入的不确定度 u_1
B 类方法	标准铂电阻温度计溯源引入的不确定度 u_2
B 类方法	标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度 u_3
B 类方法	水三相点电阻值变化引入的不确定度 u_4
B 类方法	电测设备测量误差引入的不确定度 u_5
B 类方法	恒温槽均匀度引入的不确定度 u_6

C.3.5 标准不确定度评定

C.3.5.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_1

用标准铂电阻温度计及配套电测设备、水三相点瓶和恒温槽对被测大电流温升试验装置连续测量 10 次，测量结果见下表 C.8 所示

表 C.8 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/℃	100.04	100.01	100.03	100.04	100.05
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/℃	100.02	100.03	100.04	100.05	100.02

根据表中的数据，可由贝塞尔公式计算出温度的实验标准偏差：

$$u_1 = s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} = 0.0134 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.9})$$

C.3.5.2 标准铂电阻温度计溯源引入的不确定度 u_2

标准铂电阻温度计的量值溯源引入, 100°C 时一等标准铂电阻温度计的不确定度为

$U = 3.6 \text{ mK}$, $k=2$, 则:

$$u_2 = \frac{3.6}{2} = 1.8 \text{ mK} = 0.0018 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.10})$$

C.3.5.3 标准铂电阻温度计稳定性引入的标准不确定度 u_3

一等标准铂电阻温度计检定规程规定的两相邻周期结果的差值(W_{sn})不超过 7.0 mK ,

采用B类评定方法, 估计为正态分布, 则标准不确定度为

$$u_3 = \frac{7.0}{2} = 3.5 \text{ mK} = 0.0035 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.11})$$

C.3.5.4 水三相点电阻值变化引入的不确定度 u_4

按标准铂电阻温度计检定规程要求, 水三相点变化不大于 3.0 mK , 使用铂电阻温度计前要测量水三相点值, 并使用新测量值进行计算, 这里取使用前后二次测量的差值约 1.5 mK , 采用B类评定方法, 估计为均匀分布, 则标准不确定度为

$$u_4 = \frac{1.5}{\sqrt{3}} = 0.87 \text{ mK} = 0.00087 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.12})$$

C.3.5.5 电测设备测量误差引入的不确定度 u_5

用1590超级测温仪作为电测仪器, 100°C 时标准铂电阻温度计标称值为 138.5Ω , 其最大误差为 $\pm 10 \times 10^{-6} \text{ RD}$, 采用B类评定方法, 估计为均匀分布, 则标准不确定度为

$$u_5 = \frac{10 \times 10^{-6} \times 138.5}{0.1 \times \sqrt{3}} = 0.00785 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.13})$$

C.3.5.6 恒温槽均匀度引入的不确定度 u_6

恒温槽在 100°C 时, 均匀性为 0.01°C , 采用B类评定方法, 估计为均匀分布, 则标准不确定度为

$$u_6 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.14})$$

C.3.6 合成不确定度

不确定度汇总表见表 C.3。

表 C.3 温度不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	测量重复性	A 类	/	1	0.0134 °C
u_2	标准铂电阻温度计溯源引入的不确定度	B 类	正态	2	0.0018 °C
u_3	标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度	B 类	正态	2	0.0035 °C
u_4	水三相点电阻值变化引入的不确定度	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.00087 °C
u_5	电测设备测量误差引入的不确定度	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.00785 °C
u_6	恒温槽均匀度引入的不确定度	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029 °C

各不确定度分量相互独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 0.0163 \text{ °C} \quad (\text{C.15})$$

C.3.7 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0163 \approx 0.033 \text{ °C} \quad (\text{C.16})$$