

# 湖北省地方计量技术规范

JJF(鄂) \*\*\*—\*\*\*\*

## 电池内阻测试仪校准装置校准规范

Calibration Specification for Calibrators of Battery Internal  
Resistance Testers

(征求意见稿)

202\*-\*\*-\*\*发布

202\*-\*\*-\*\*实施

湖北省市场监督管理局发布



# 电池内阻测试仪校准装置 校准规范

Calibration Specification for Calibrators  
of Battery Internal Resistance Testers

JJF(鄂) \*\*\*—\*\*\*\*

归口单位：湖北省市场监督管理局

主要起草单位：湖北省计量测试技术研究院

参加起草单位：

本规范委托湖北省计量测试技术研究院负责解释



本规范主要起草人：

参加起草人：



# 目 录

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 引言 .....                           | (Ⅱ)  |
| 1 范围 .....                         | (1)  |
| 2 引用文件 .....                       | (1)  |
| 3 术语 .....                         | (1)  |
| 3.1 电池内阻 .....                     | (1)  |
| 4 概述 .....                         | (1)  |
| 5 计量特性 .....                       | (2)  |
| 5.1 示值误差 .....                     | (2)  |
| 5.2 交流电阻 .....                     | (3)  |
| 5.3 直流电阻 .....                     | (3)  |
| 5.4 直流电压 .....                     | (3)  |
| 6 校准条件 .....                       | (3)  |
| 6.1 环境条件 .....                     | (3)  |
| 6.2 测量标准及其他设备 .....                | (3)  |
| 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 .....                     | (8)  |
| 9 复校时间间隔 .....                     | (9)  |
| 附录 A 校准原始记录格式 .....                | (10) |
| 附录 B 校准证书内页格式 .....                | (12) |
| 附录 C 电池内阻测试仪校准装置交流电阻不确定度评定示例 ..... | (13) |

# 引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定评定与表示》等共同构成支撑校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。



# 电池内阻测试仪校准装置校准规范

## 1 范围

本规范适用于电池内阻测试仪校准装置的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 166—2022 直流电阻器检定规程

JJF 1620—2017 电池内阻测试仪校准规范

JJF 1636—2017 交流电阻箱校准规范

JJF 1638—2017 多功能标准源校准规范

JJF 1723—2018 交直流模拟电阻器校准规范

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

### 3.1 电池内阻 battery internal resistance

规定条件下的电池电压变化与相应的放电电流变化之比，又称表观内阻。[JJF 1620-2017, 术语和计量单位 3.1]

## 4 概述

电池内阻测试仪校准装置（以下简称“校准装置”）是用于校准电池内阻测试仪的标准装置，从功能上可分为有源型校准装置和无源型校准装置，有源型校准装置又分为分离型有源校准装置和串联型有源校准装置；从电阻类型上可分为交流型校准装置、直流型校准装置和综合型校准装置（同时包含交流电阻和直流电阻）；从电阻实现方式上可分为模拟型校准装置和实物型校准装置。其中串联型有源校准装置一般适

用于校准直流充放电法原理的电池内阻测试仪,分离型有源校准装置和无源型校准装置适用于校准交流注入法原理的电池内阻测试仪。

有源型校准装置主要由电阻单元和直流电压单元构成,分离型校准装置的电阻单元和直流电压单元为两个独立部分,无电气连接。串联型有源校准装置的电阻单元和直流电压单元串联在同一电气回路中。无源型电池内阻测试仪校准装置仅包含电阻单元。

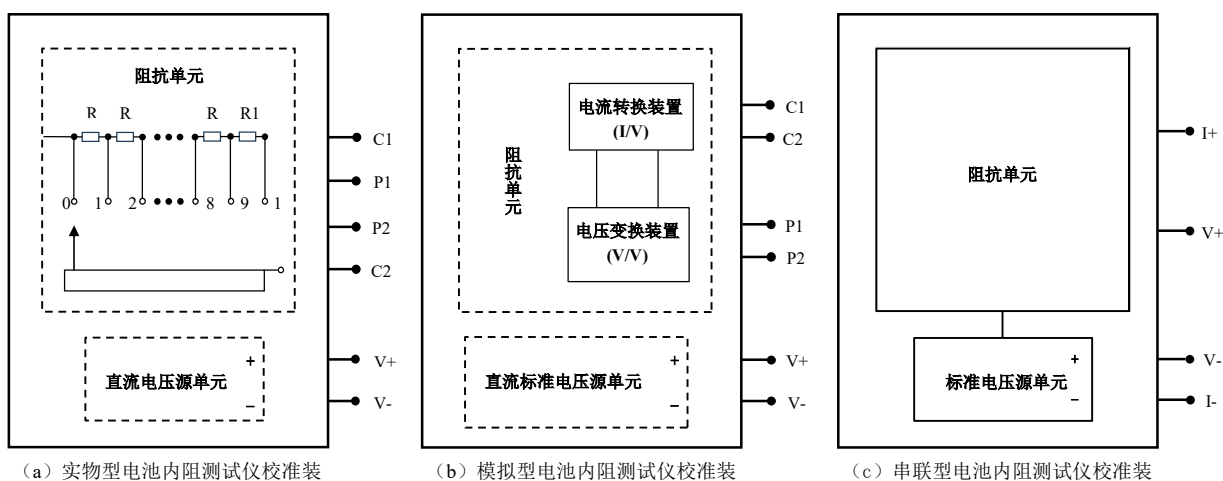


图 1 电池内阻测试仪校准装置原理图

## 5 计量特性

### 5.1 示值误差

校准装置的示值误差用绝对误差表示时,由式(1)表示:

$$\Delta = A_N - A_x \quad (1)$$

式中:

$\Delta$  ——校准装置的标称值或显示值绝对误差,  $\Omega$  或 V;

$A_N$  ——校准装置的标称值或显示值,  $\Omega$  或 V;

$A_x$  ——校准装置的实测值,  $\Omega$  或 V。

校准装置的示值误差用相对误差表示时,由式(2)表示:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_x} = \frac{A_N - A_x}{A_x} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$\delta$  ——校准装置标称值或显示值相对误差；%。

## 5.2 交流电阻

测量范围：1 m $\Omega$ ~10 k $\Omega$ ，频率 1 kHz。

最大允许误差： $\pm$ （0.05%~3%）。

## 5.3 直流电阻

测量范围：1 m $\Omega$ ~10 k $\Omega$ 。

最大允许误差： $\pm$ （0.05%~3%）。

## 5.4 直流电压

测量范围： $\pm$ （0.1~1000）V。

最大允许误差： $\pm$ （0.003%~3%）。

注：具体计量特性，可参照被校校准装置的技术要求。以上要求不适用于合格性判别，仅供参考。

# 6 校准条件

## 6.1 环境条件

环境温度：（20 $\pm$ 5）℃；

环境湿度：（35%~75%）RH；

电源电压及频率：（220 $\pm$ 22）V，（50 $\pm$ 0.5）Hz；

周围无影响校准系统正常工作的无强电磁场干扰及机械振动。

可采用电池供电方式，以降低电源电压及频率的影响。

## 6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 校准用标准器应经计量检定或校准，并在有效期内。标准设备的测量范围应覆盖仪校准装置的测量范围，并具有足够高的分辨力、准确度和稳定性。校准用标准器、环境条件及其他影响因素引起的扩展不确的扩展不确定度（ $k=2$ ）应不大于校准装置各参数最大允许误差绝对值的 1/3。

6.2.2 校准时所需的标准器：直流电压测量仪器或装置；交流标准电流源；交流电

压测量仪器或装置；交流电流测量仪器或装置；直流电阻测量仪器或装置，交流电阻测量仪器或装置、交流标准电阻器等组成。

6.2.3 其他设备：负载（由校准装置的电压、电阻及所能承受的放电电流确定）。

## 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 | 计量特性条款 | 校准方法条款 |
|----|------|--------|--------|
| 1  | 交流电阻 | 5.2    | 7.2.2  |
| 2  | 直流电阻 | 5.3    | 7.2.3  |
| 3  | 直流电压 | 5.4    | 7.2.4  |

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前准备

##### 7.2.1.1 外观及通电检查

a) 校准装置外形结构应完好，外露件等不应损坏或脱落，机壳、端钮等不应有影响正常使用的机械碰伤，按键无卡死或接触不良的现象；

b) 校准装置应设有接地端子，并标明接地符号；

c) 校准装置上产品名称、制造厂名（或商标）、型号、编号、标称（或）最大使用功率（电流或电压）和十进盘电阻标称值等均应有明确标记；

d) 通电预热后，校准装置各功能应显示正常，开关、按键应能正常工作。

7.2.1.2 校准装置应放置平稳，周围环境应清洁无明显震动，无影响校准的磁场和电场。

#### 7.2.2 交流电阻

##### 7.2.2.1 直接测量法

采用交流电阻测量仪器分别测量无源型校准装置各步进盘的阻值,接线方法如图 2 所示。若采用 LCR 测试仪测量,被校电阻低于  $100\ \Omega$  时可采用串联等效模型,被校电阻高于  $100\ \Omega$  时可采用并联等效模型。交流电阻校准频率一般为  $1\ \text{kHz}$ 。

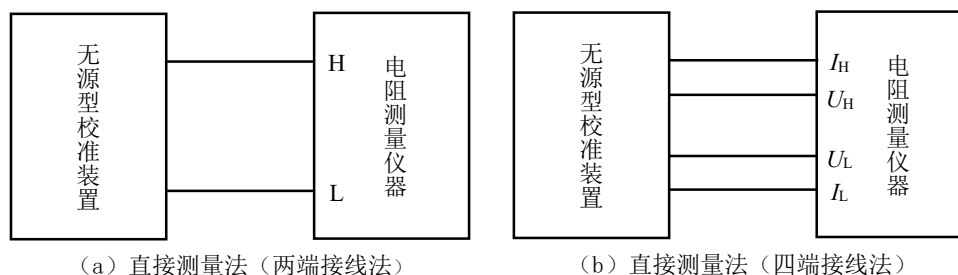


图 2 直接测量法校准电阻接线图

测量低值电阻时应采用四端接线法,如图 2 (b) 所示。

校准装置交流电阻示值误差按公式(1)计算。

#### 7.2.2.2 标准源表法

按图 3 接线,通过向无源型校准装置施加频率为  $1\ \text{kHz}$  的标准正弦电流,用交流电压测量仪器同步测量交流电阻两端电压,依据欧姆定律计算其电阻值。

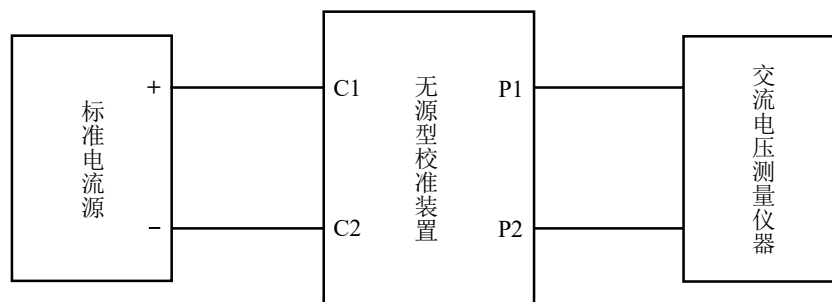


图 3 标准源表法校准接线图

测量过程中施加标准电流源的有效值一般不超过电阻额定电流阈值,同时应考虑校准装置因标准电流源产生的交流电压在可溯源的范围内。校准装置的交流电阻值按式 (3) 计算:

$$Z_x = \frac{U_x}{I_x} \quad (3)$$

式中:

$Z_x$  ——校准装置交流电阻实测值,  $\Omega$ ;

$U_x$  ——交流电压测量仪器显示值或修正值, V;

$I_x$  ——标准电流源显示值或修正值, A。

校准装置交流电阻示值误差按第 5.1 条计算。

### 7.2.2.3 同标称值替代法

采用交流电阻测量仪分别测量标准电阻值 $Z_1$ 和被校校准装置的交流电阻值 $Z_2$ , 校准结果如式(4)所示。

$$Z_x = Z_0 + (Z_2 - Z_1) \quad (4)$$

式中:

$Z_x$  ——校准装置电阻实测值,  $\Omega$ ;

$Z_0$  ——标准电阻修正值或标称值,  $\Omega$ ;

$Z_1$  ——标准电阻被测值,  $\Omega$ ;

$Z_2$  ——校准装置被测值,  $\Omega$ 。

校准装置交流电阻示值误差按第 5.1 条计算。

## 7.2.3 直流电阻

### 7.2.3.1 直接测量法

当直流电阻测量仪器的准确度等级比校准装置直流电阻准确度高两个等级时, 无源型校准装置可采用直接测量法校准。按图 4 接线, 此时校准装置直流电阻值示值误差按第 5.1 条计算。

常用的直流电阻测量仪器: 直流电桥、直流电流比较仪电桥和数字多用表等。

测量低值电阻时应采用四端接线法, 如图 2 (b) 所示。

### 7.2.3.2 同标称值替代法

当直流电阻测量仪器的准确度等级无法满足比校准装置直流电阻准确度高两个等级, 而又有与被校同标称值的、比校准装置直流电阻高两个准确度等级的直流电阻时, 可采用同标称值替代法。同标称值替代法是用直流电阻测量(或比较)仪器依次测量标准直流电阻和校准装置直流电阻值。校准装置直流电阻值的校准结果由式 (5)

表示:

$$R_x = R_s + (B_x - B_s) \quad (5)$$

式中:

$B_x$  ——测量 $R_x$ 时测量仪器的测得值,  $\Omega$ ;

$B_s$  ——测量 $R_s$ 时测量仪器的测得值,  $\Omega$ ;

$R_s$  ——标准校准装置的修正值或标称值,  $\Omega$ ;

$R_x$  ——校准装置直流电阻的实际值,  $\Omega$ 。

校准装置直流电阻示值误差按第 5.1 条计算。

### 7.2.3.3 间接测量法

间接测量法适用于校准串联型有源校准装置。首先按图 4 接线, 通过直流电压测量装置直接测量校准装置电压输出端开路电压 $U_0$ ; 随后按图 5 接线, 在该校准装置的电压输出端接入直流电子负载, 通过数字电压表与电流表同步测量输出端电压 $U_L$ 及负载回路电流 $I_L$ 。

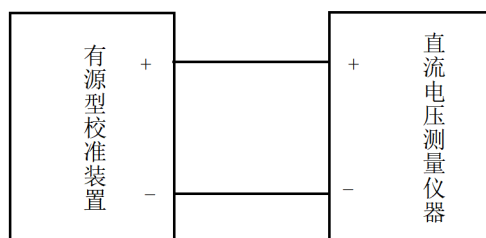


图 4 开路电压校准接线图

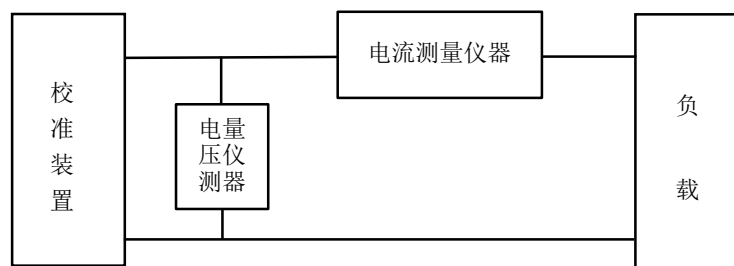


图 5 间接测量法负载接线图

按图 4 接线, 根据校准点设置校准装置直流电压输出, 待稳定后, 记录直流电压测量仪器的电压显示值, 校准装置直流电压示值误差按第 5.1 条计算。

校准装置直流电阻 $R_x$ 可按式 (5) 计算:

$$R_x = \frac{U_0 - U_L}{I_L} \quad (6)$$

式中:

$R_x$  ——校准装置直流电阻实测值,  $\Omega$ ;

$U_0$  ——校准装置开路电压实测值, V;

$U_L$  ——校准装置负载电压实测值, V;

$I_L$  ——校准装置负载电流实测值, A;

校准装置直流电阻示值误差按第 5.1 条计算。

#### 7.2.4 直流电压

直流电压可调节的校准装置, 每个量程均匀选取 (3~5) 个校准点, 包括量程的 10%、50%、100%点; 直流电压为固定点的校准装置, 校准点为其标称值。

注: 可根据客户实际需要选择校准点。

按图 4 接线, 根据校准点设置校准装置直流电压输出, 待稳定后, 记录直流电压测量仪器的电压显示值, 校准装置直流电压示值误差按第 5.1 条计算。

### 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书 (报告) 上反映, 校准证书 (报告) 应至少包括以下信息:

- a) 标题, 如 “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或应用有关时, 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，不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 A，校准证书（报告）内页格式见附录 B。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。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

## 电池内阻测试仪校准装置校准原始记录参考格式

|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------|
| 委托方                           |                       |                         |                       |                               |                 |
| 样品名称                          |                       | 样品型号                    |                       |                               |                 |
| 样品制造厂商                        |                       | 样品出厂编号                  |                       |                               |                 |
| 技术依据                          |                       |                         |                       |                               |                 |
| 标准器名称                         |                       |                         |                       |                               |                 |
| 标准器型号                         |                       |                         |                       |                               |                 |
| 标准器出厂编号                       |                       |                         |                       |                               |                 |
| 标准器证书号                        |                       |                         |                       |                               |                 |
| 标准器有效期                        |                       |                         |                       |                               |                 |
| 标准器状况                         | 使用前 □ 正常 □ 不正常        |                         |                       |                               |                 |
| 标准器测量范围                       |                       |                         |                       |                               |                 |
| 标准器不确定度/准确度等级、最大允许误差          |                       |                         |                       |                               |                 |
| 1. 交流电阻测量：（测量频率： kHz）         |                       |                         |                       |                               |                 |
| 直接测量法：                        |                       |                         |                       |                               |                 |
| 被校标称值（ $\Omega$ ）<br>（或被校显示值） | 实测值（ $\Omega$ ）       |                         |                       | 测量不确定度 $U_{rel}$<br>（ $k=2$ ） |                 |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
| 标准源表法：                        |                       |                         |                       |                               |                 |
| 被校标称值（ $\Omega$ ）<br>（或被校显示值） | 电流值（A）                | 电压值（V）                  | 实测值（ $\Omega$ ）       | 测量不确定度 $U(k=2)$               |                 |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
| 同标称值替代法：                      |                       |                         |                       |                               |                 |
| 被校标称值（ $\Omega$ ）<br>（或被校显示值） | 标准电阻<br>（ $\Omega$ ）值 | 标准电阻<br>测量值（ $\Omega$ ） | 被校测量值<br>（ $\Omega$ ） | 实测值<br>（ $\Omega$ ）           | 测量不确定度 $U(k=2)$ |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
|                               |                       |                         |                       |                               |                 |
| 试验地点                          |                       | 校准员                     |                       | 校准日期                          |                 |
| 温度/相对湿度                       |                       | 核验员                     |                       |                               |                 |

共 × 页 第 × 页

## 电池内阻测试仪校准装置校准原始记录参考格式（附页）

|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2. 直流电阻测量：                    |                       |                         |                       |                               |                               |
| 直接测量法：                        |                       |                         |                       |                               |                               |
| 被校标称值（ $\Omega$ ）<br>（或被校显示值） | 实测值（ $\Omega$ ）       |                         |                       | 测量不确定度 $U_{rel}$<br>（ $k=2$ ） |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
| 标准源表法：                        |                       |                         |                       |                               |                               |
| 被校标称值（ $\Omega$ ）<br>（或被校显示值） | 电流值（A）                | 电压值（V）                  | 实测值（ $\Omega$ ）       | 测量不确定度 $U(k=2)$               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
| 同标称值替代法：                      |                       |                         |                       |                               |                               |
| 被校标称值（ $\Omega$ ）<br>（或被校显示值） | 标准电阻<br>（ $\Omega$ ）值 | 标准电阻<br>测量值（ $\Omega$ ） | 被校测量值<br>（ $\Omega$ ） | 实测值<br>（ $\Omega$ ）           | 测量不确定度 $U(k=2)$               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
| 间接测量法                         |                       |                         |                       |                               |                               |
| 被校标称值（ $\Omega$ ）<br>（或被校显示值） | 开路电压<br>（V）           | 负载电压<br>（V）             | 负载电流<br>（A）           | 实测值<br>（ $\Omega$ ）           | 测量不确定度 $U_{rel}$<br>（ $k=2$ ） |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
| 3. 直流电压测量：                    |                       |                         |                       |                               |                               |
| 被校标称值（V）<br>（或被校显示值）          | 实测值（V）                |                         |                       | 测量不确定度 $U_{rel}$<br>（ $k=2$ ） |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |
|                               |                       |                         |                       |                               |                               |

共    页 第    页

## 附录 B

## 校准证书内页格式参考格式

|                            |     |                               |
|----------------------------|-----|-------------------------------|
| 1. 交流电阻测量：（测量频率：      kHz） |     |                               |
| 被校显示值<br>（或被校标称值）          | 实测值 | 测量不确定度 $U(k=2)$               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
| 2. 直流电阻测量：                 |     |                               |
| 被校显示值<br>（或被校标称值）          | 实测值 | 测量不确定度 $U_{rel}$<br>（ $k=2$ ） |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
| 3. 直流电压测量：                 |     |                               |
| 被校显示值<br>（或被校标称值）          | 实测值 | 测量不确定度 $U(k=2)$               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |
|                            |     |                               |

## 附录 C

## 电池内阻测试仪校准装置交流电阻不确定度评定示例

## C.1 概述

C.1.1 环境条件：环境温度：22.3 ℃；相对湿度：65%。

C.1.2 被测对象：电池内阻测试仪校准装置。

C.1.3 标准器：交流测量标准、标准电流源。

表 C.1 标准器

| 设备名称   | 测量范围                            | 测量不确定度                                 |
|--------|---------------------------------|--|
| 交流测量标准 | ACV: 10 mV~1000 V (10 Hz~1 MHz) | ACV: $(3\sim200)\times10^{-5}$ , $k=2$ |
| 标准电流源  | ACI: 1 mA~2 A (50 Hz~10 kHz)    | ACI: $(5\sim10)\times10^{-5}$ , $k=2$  |

C.1.4 测量方法：标准源表法。通过向电阻元件施加频率为 1 kHz 的标准正弦电流，用交流测量标准同步测量交流电阻两端电压，依据欧姆定律计算其电阻值。

## C.2 测量模型

根据测量方法，电池内阻测试仪校准装置交流电阻  $Z$  的示值表达式为：

$$Z = \frac{U_x}{I_x}$$

式中：

$Z$  ——校准装置电阻值， $\Omega$ ；

$U_x$  ——交流测量标准修正值，V；

$I_x$  ——标准正弦电流源修正值，A。

## C.3 不确定度传播律

由于各分量相互独立，则合成标准不确定度  $u_c(Z)$  为：

$$u_c^2(Z) = c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(U_x)$$

其中灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial Z}{\partial I_x} = -\frac{U_x}{I_x^2} \quad c_2 = \frac{\partial Z}{\partial U_x} = \frac{1}{I_x}$$

合成标准不确定度  $u_{\text{crel}}(Z)$  为：

$$u_{\text{crel}}^2(Z) = \frac{u_c^2(Z)}{Z^2} = \frac{\left(-\frac{U_x}{I_x^2}\right)^2 u^2(I_x) + \left(\frac{1}{I_x}\right)^2 u^2(U_x)}{\left(\frac{U_x}{I_x}\right)^2} = \frac{u^2(I_x)}{I_x^2} + \frac{u^2(U_x)}{U_x^2} = u_{\text{rel}}^2(I_x) + u_{\text{rel}}^2(U_x)$$

## C.4 标准不确定度分量来源

C.4.1 标准电流源分量引入的标准不确定度分量  $u(I_x)$ 

- 1) A 类分量：输出重复性引入的标准不确定度分量  $u_1(I_x)$ ；
- 2) B 类分量：标准电流源不确定度引入的标准不确定度分量  $u_2(I_x)$ ；
- 3) B 类分量：标准电流源分辨力引入的标准不确定度分量  $u_3(I_x)$ 。

C.4.2 电压分量引入的标准不确定度分量  $u(U_x)$ 

- 1) A 类分量：测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1(U_x)$ ；
- 2) B 类分量：交流测量标准不确定度引入的标准不确定度分量  $u_2(U_x)$ ；
- 3) B 类分量：交流测量标准分辨力引入的标准不确定度分量  $u_3(U_x)$ 。

## C.4.3 其他影响量

环境条件影响、电源稳定度影响量引入的不确定度分量忽略不计。

## C.5 测量不确定度评估

以下针对电阻盘  $\times 10 \text{ m}\Omega$  盘第 10 点为例，对测量结果有主要影响的各标准不确定度分量进行评估。校准过程中，采用标准电流源输入频率 1 A (1 kHz) 的电流，使用八位半交流测量标准测量电阻盘端电压 (1 kHz)，并通过欧姆定律计算电阻值。测量数据如表 1 所示。

表 C.2 测量重复性数据

| 测量次数   | 电流值/A   | 电流修正值/A | 电压值/mV  | 电压修正值/mV | 电阻值/ $\text{m}\Omega$ |
|--------|---------|---------|---------|----------|-----------------------|
| 1      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0003 | 10.0001  | 10.0000               |
| 2      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0004 | 10.0002  | 10.0001               |
| 3      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0005 | 10.0003  | 10.0001               |
| 4      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0005 | 10.0003  | 10.0000               |
| 5      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0004 | 10.0002  | 10.0001               |
| 6      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0005 | 10.0003  | 10.0000               |
| 7      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0004 | 10.0002  | 9.9998                |
| 8      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0002 | 10.0000  | 10.0000               |
| 9      | 1.00000 | 1.00002 | 10.0004 | 10.0002  | 9.9999                |
| 10     | 1.00000 | 1.00002 | 10.0003 | 10.0001  | 10.0000               |
| 平均值    | 1.00000 | 1.00002 | 10.0004 | 10.0002  | 10.0000               |
| 实验标准偏差 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00010 | 0.00010  | 0.00009               |

C. 5.1 标准电流源分量引入的标准不确定度分量  $u(I_x)$ C. 5.1.1 标准电流源输出重复性引入的标准不确定度分量  $u_1(I_x)$ 

根据实际测量, 用标准电流源输入频率 1 A (1 kHz) 的电流进行 10 次等精度输出, 数据见表 C.1 计算的实验标准偏差即为由测量重复性引入的不确定度分量。

由贝塞尔公式, 计算得:

$$u_1(I_x) = s = 0.00000 \text{ A}$$

C. 5.1.2 标准电流源不确定度引入的标准不确定度分量  $u_2(I_x)$ 

标准电流源采用修正值进行计算, 查标准电流源溯源证书, 交流电流 2 A 量程 1.0 A (1 kHz) 点, 置信水平 95% ( $k=2$ ) 条件下, 修正值不确定度为 0.00005A, 则标准电流源修正值引入的标准不确定度分量为:

$$u_2(I_x) = \frac{I_x}{k} = \frac{50 \mu\text{A}}{2} = 25 \mu\text{A}$$

C. 5.1.3 标准电流源分辨力引入的标准不确定度分量  $u_3(I_x)$ 

查标准电流源技术说明书, 标准电流源输出 1 A (1 kHz) 时分辨力为 10  $\mu\text{A}$ 。按均匀分布, 则标准电流源分辨力引入的标准不确定度分量为:

$$u_3(I_x) = \frac{10 \mu\text{A}}{2\sqrt{3}} = 2.9 \mu\text{A}$$

C. 5.1.4 合成标准不确定度分量  $u_{\text{rel}}(I_x)$ 

在测量不确定评定过程中, 重复性和分辨力引入的不确定度, 只考虑其最大值。因此在标准电流源合成分量中只用考虑年不确定度分量和分辨力分量。且  $u_2(I_x)$ 、 $u_3(I_x)$  独立不相关, 则合成标准不确定度为:

$$u_c(I_x) = \sqrt{u_2(I_x)^2 + u_3(I_x)^2} \approx 25 \mu\text{A}$$

$$u_{\text{rel}}(I_x) = \frac{u_c(I_x)}{I_x} = 0.0025\%$$

C. 5.2 电压分量引入的标准不确定度分量  $u(U_x)$ C. 5.2.1 交流测量标准测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1(U_x)$ 

根据实际测量, 用交流测量标准进行 10 次等精度测量, 数据见表 C.1, 计算实验标准偏差即为由测量重复性引入的不确定度分量。

由贝塞尔公式, 计算得:

$$u_1(U_x)=s=0.0001 \text{ mV}$$

#### C. 5. 2. 2 交流测量标准不确定度引入的标准不确定度分量 $u_2(U_x)$

交流测量标准采用修正值进行计算，查交流测量标准溯源证书，交流电压 22 mV 量程 10 mV (1 kHz) 点，置信水平 95% ( $k=2$ ) 条件下，修正值不确定度为 100ppm，则交流测量标准不确定度引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(U_x)=\frac{U_x}{k}=\frac{0.0010 \text{ mV}}{2}=0.0005 \text{ mV}$$

#### C. 5. 2. 3 交流测量标准分辨力引入的标准不确定度分量 $u_3(U_x)$

交流测量标准测量电压 10 mV 时分辨力为 0.0001mV。则标准电流源分辨力引入的标准不确定度分量为：

$$u_3(U_x)=\frac{0.0001 \text{ mV}}{2\sqrt{3}}=0.000029 \text{ mV}$$

#### C. 5. 2. 4 合成标准不确定度分量 $u_{\text{rel}}(U_x)$

在测量不确定评定过程中，重复性和分辨力引入的不确定度，只考虑其最大值。因此在电压测量合成分量中只用考虑年不确定度分量和重复性分量。且 $u_1(U_x)$ 、 $u_2(U_x)$ 独立不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c(U_x)=\sqrt{u_1(U_x)^2 + u_2(U_x)^2}\approx 0.0005 \text{ mV}$$

$$u_{\text{rel}}(U_x)=\frac{u_c(U_x)}{U_x}=0.005\%$$

#### C. 5. 3 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总表如下所示。

表 C. 3 不确定度分量汇总表

| 标准不确定度分量 | 不确定度来源      | 分类 | 分布   | 分量值               |
|----------|-------------|----|------|-------------------|
| $u(I_x)$ | 标准电流源不确定度   | B  | 正态分布 | 25 $\mu\text{A}$  |
|          | 标准电流源分辨率    | B  | 平均分布 | 2.9 $\mu\text{A}$ |
| $u(U_x)$ | 交流测量标准测量重复性 | A  | 正态分布 | 0.0001 mV         |
|          | 交流测量标准不确定度  | B  | 平均分布 | 0.0005 mV         |

#### C. 5. 5 交流电阻合成标准不确定度



由不确定度传播率，可得

$$u_{\text{crel}}(Z)=\sqrt{u_{\text{rel}}^2(I_x)+u_{\text{rel}}^2(U_x)}=0.0056\%$$

#### C.6 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}(Z)=k\times u_{\text{crel}}(Z)=0.0112\%\approx 0.012\%$$

---



