



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

电池充放电测试系统校准规范（修订）

Calibration Specification for Battery Charge & Discharge Test System

（报批稿）

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

电池充放电测试系统校准规范
(修订)

Calibration Specification for Battery
Charge & Discharge Test 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：中国电子技术标准化研究院

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：

裴静（中国电子技术标准化研究院）

宋文（中国电子技术标准化研究院）

王宇航（中国电子技术标准化研究院）

参加起草人：

安泽强（中国电子技术标准化研究院）

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
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	3
7.1 校准前备	3
7.2 电压设置和电压测量	3
7.3 充放电电流设置和充放电电流测量	5
7.4 恒阻放电电阻设置	9
7.5 保护板过充过放电流	10
7.6 放电容量设置	10
7.7 恒流充电电流上升时间	11
7.8 充放电时间	11
7.9 脉冲充电	12
7.10 终止充电电流	12
7.11 温度示值误差	13
8 校准结果表达	14
9 复校时间间隔	14
附录 A 原始记录格式	15
附录 B 测量不确定度评定示例	18

引言

本校准规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编写，相关术语和不确定度评定遵循 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》两个文件。

本校准规范是对 JJF (电子) 0016-2018《电池充放电测试系统校准规范》的修订，相对于原规范，本规范的主要技术变化如下：

- 1、增加温度示值误差的校准；
- 2、脉冲充电电流的校准范围由 1000A 扩大到 3000A；
- 3、修订完善了引用文件和术语；
- 4、放电容量校准方法增加了功率分析仪法；
- 5、计量特性中增加了恒功率放电。

电池充放电测试系统校准规范

1 范围

本规范适用于新制造、使用中及修理后的充放电电压 $\leq 1000V$ ，电流 $\leq 3000A$ 的电池充放电测试系统的校准，电池保护板测试仪、电池过充过放测试仪、电池容量测试仪、脉冲充电测试仪可参照本规范对应的校准项目校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 2900.41-2008 电工术语 原电池和蓄电池

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

3.1 电池容量 capacity for cells or batteries

在规定放电条件下电池所能输出的电量。电池容量单位通常为安时 (Ah)或毫安时 (mAh)。

3.2 电池充电 charging of a battery

外电路给蓄电池提供电能，使电池内发生化学变化，从而将电能转化为化学能而储存起来的操作。

3.3 电池放电 discharging of a battery

将蓄电池里贮存的化学能以电能的方式释放出来的过程。

3.4 恒流充电 constant current charge

在截止电压和允许温度内，蓄电池以某个设定的恒定电流进行充电。

3.5 恒压充电 constant voltage charge

在截止电流和允许温度内，蓄电池以某个设定的恒定电压进行充电。

3.6 恒流放电 constant current discharge

蓄电池以某个设定的恒定电流进行放电。

3.7 恒阻放电 constant resistance discharge

蓄电池以某个恒定的电阻值进行放电。

3.8 充电终止电流 end-of-charge current

蓄电池正常恒压充电过程中，终止充电的最小限制电流。

3.9 恒流充电电流上升时间 constant charge current rise time

恒流充电电流由设定值的 10%上升到 90%所用时间。也指从一个恒流充电设定值到第二个恒流充电设置值的 10%上升到 90%所用时间。

3.10 过充电 overcharge

完全充电的蓄电池或电池组的继续充电。

4 概述

电池充放电测试系统主要由微机控制单元，充电单元(直流稳定电源)，放电单元(直流电子负载)，充电/放电切换单元，测量单元，温度传感器单元等组成。见图 1。

电池充放电测试系统是通过给电池设置充放电参数，对电池的充放电进行控制保护的设备。在电池充放电过程中，可以设置电压的正常范围，防止电池的过充或过放，可以设置电流的正常范围，试验达到设置值时自动终止试验。

电池充放电测试系统主要用于检测电池的电流、电压、容量、内阻、充电、放电温度、电池循环寿命等，有多个通道可供选择，可同时测不同型号、不同类型的电池。

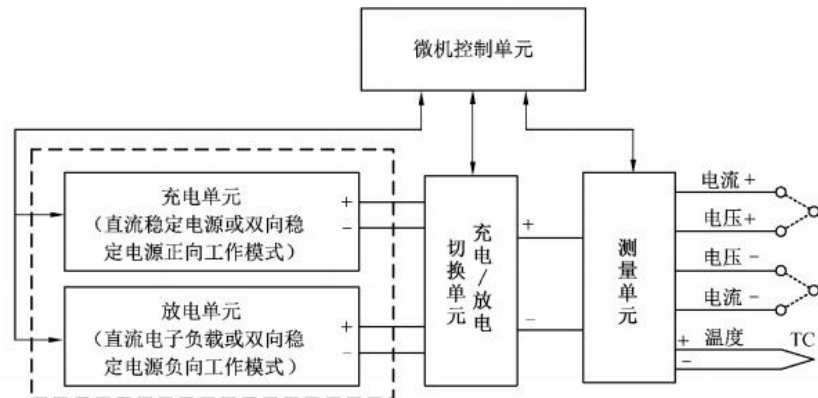


图 1 电池充放电测试系统原理框图

5 计量特性

5.1 电压设置值

范围：100 mV ~ 1000 V，最大允许误差： $\pm(0.02\% \sim 5\%)FS$ 。

5.2 电压测量

范围：100 mV ~ 1000 V，最大允许误差： $\pm(0.02\% \sim 5\%)FS$ 。

5.3 充放电电流设置值

范围：10 mA ~ 1500 A，最大允许误差： $\pm(0.05\% \sim 5\%)FS$ 。

5.4 充放电电流测量

范围：10 mA ~ 1500 A，最大允许误差： $\pm(0.05\% \sim 5\%)FS$ 。

5.5 恒功率放电功率

范围：1 mW ~ 30 kW，最大允许误差： $\pm(0.05\% \sim 5\%)FS$ 。

5.6 恒阻放电电阻设置值

范围：10 m Ω ~ 2 k Ω ，最大允许误差： $\pm(0.1\% \sim 5\%)FS$ 。

5.7 保护板过充过放电流

范围：10 mA ~ 500 A，最大允许误差： $\pm(0.1\% \sim 3\%)$ 。

5.8 放电容量

范围：10 mAh ~ 1000 Ah，最大允许误差： $\pm(0.1\% \sim 5\%)$ 。

5.9 恒流充电电流上升时间

范围：10 μ s ~ 100 ms，最大允许误差： $\pm(0.1\% \sim 5\%)$ 。

5.10 充放电时间

范围：10 s ~ 100 h，最大允许误差： $\pm(0.01\% \sim 1\%)$ 。

5.11 脉冲充电

幅度范围：10 A ~ 3000 A，最大允许误差： $\pm(0.1\% \sim 5\%)$ ；

宽度范围：1 s ~ 120 s，最大允许误差： $\pm 4\%$ 。

5.12 终止充电电流

幅度范围：1 mA ~ 10 A，最大允许误差： $\pm(0.02\% \sim 2\%)$ 。

5.13 温度示值误差

测量范围：-40 $^{\circ}$ C ~ 120 $^{\circ}$ C，最大允许误差： $\pm(1^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C})$

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: $\leq 75\%$ 。

6.1.3 供电电源: $(220 \pm 22)\text{V}$; $(50 \pm 1)\text{Hz}$ 。

6.1.4 周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其它设备

校准用设备应经过计量技术机构检定或校准, 满足校准使用要求, 并在有效期内。校准设备各参数的测量范围应覆盖被校电池充放电测试系统的测量范围; 校准设备的扩展不确定度应不大于被校电池充放电测试系统的最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

6.2.1 直流数字电压表

测量范围: $\pm (0.1\text{ V} \sim 1000\text{ V})$;

最大允许误差: $\pm (0.005\% \sim 1\%)$;

输入阻抗: $\geq 10\text{ M}\Omega$ 。

6.2.2 标准电压源、直流稳定电源

6.2.2.1 标准电压源

测量范围: $\pm (0.1\text{ V} \sim 1000\text{ V})$;

最大允许误差: $\pm (0.005\% \sim 1\%)$ 。

6.2.2.2 直流稳定电源

稳定电压设定值范围: $\pm (0.1\text{ V} \sim 1000\text{ V})$;

最大允许误差: $\pm (0.01\% \sim 1\%)$ 。

稳定电流设定值范围: $\pm (0.1\text{ A} \sim 1000\text{ A})$;

最大允许误差: $\pm (0.01\% \sim 1\%)$ 。

6.2.3 直流数字电流表, 直流分流器或电流传感器

6.2.3.1 直流数字电流表

测量范围: $10\text{ mA} \sim 10\text{ A}$;

最大允许误差: $\pm 0.01\% \sim 1\%$ 。

6.2.3.2 直流分流器

测量范围: $10\text{ A} \sim 1500\text{ A}$ (直流), 阻值范围: $10\text{ }\mu\Omega \sim 12\text{ }\Omega$;

最大允许误差: $\pm (0.05\% \sim 0.3\%)$ 。

6.2.3.3 电流传感器

测量范围: $10\text{ mA} \sim 1500\text{ A}$;

最大允许误差: $\pm (0.01\% \sim 1\%)$ 。

6.2.4 时间间隔测量仪、计时器或秒表

6.2.4.1 时间间隔测量仪

时间: $1\text{ s} \sim 1000\text{ s}$; 最大允许误差: $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。

6.2.4.2 计时器或秒表

测量范围: $10\text{ s} \sim 100\text{ min}$, 最大允许误差: $\pm 1\%$ 。

6.2.5 数字示波器

频带宽度: $\text{DC} \sim 500\text{ MHz}(-3\text{ dB})$;

垂直偏转因数: $1\text{ mV/div} \sim 10\text{ V/div}$ 。

最大允许误差: $\pm 2\%$ 。

扫描时间因数: $0.5\text{ ns/div} \sim 50\text{ s/div}$;

最大允许误差： $\pm(0.3\% \sim 1\%)$ 。

6.2.6 直流电子负载或滑线变阻器

6.2.6.1 直流电子负载

额定功率：1 W~10 kW

电压设定范围： $\pm(0.1 \text{ V} \sim 1000 \text{ V})$ ；

最大允许误差： $\pm(0.005\% \sim 1\%)$ 。

电流设定范围： $\pm(10 \text{ mA} \sim 1500 \text{ A})$ ；

最大允许误差： $\pm(0.005\% \sim 1\%)$

6.2.6.2 滑线变阻器

额定功率：1 W~10 kW

阻值范围： $10 \mu\Omega \sim 100 \Omega$

最大允许误差： $\pm(0.01\% \sim 1\%)$ 。

6.2.7 取样数字电压表

幅度范围： $\pm(0.1 \text{ V} \sim 10 \text{ V})$ ，最大允许误差： $\pm 0.05\%$ ；

采样速率： $\geq 5 \times 10^4 \text{ Sa/s}$ 。

6.2.8 脉冲分流器

测量范围：100 A ~ 3000 A (脉冲)，带宽： $\geq 35 \text{ kHz}$ ，阻值范围： $10 \mu\Omega \sim 1 \Omega$ ；

最大允许误差： $\pm(0.1\% \sim 0.3\%)$ 。

6.2.9 功率分析仪

测量范围：0~1 MAh；最大允许误差： $\pm(0.05\% \sim 1\%)$

6.2.10 脉冲充电电池

充电范围：100 A ~ 3000 A (脉冲)，作为脉冲充电负载，电池容量满足脉冲充电要求。

6.2.11 温度校验仪

测量范围： $-40^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$ ，最大允许误差： $\pm(0.05^\circ\text{C} \sim 1^\circ\text{C})$ 。

6.2.12 标准温度计

测量范围： $-40^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$ ，最大允许误差： $\pm(0.05^\circ\text{C} \sim 1^\circ\text{C})$ 。

6.2.13 恒温槽

水平温差： $\leq 0.05^\circ\text{C}$ ，最大温差： $\leq 0.1^\circ\text{C}$ ，温度波动性： $\leq 0.1^\circ\text{C}/10\text{min}$ 。

7 校准项目和校准方法

校准项目如表 1 所示。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	电压设置和电压测量	7.2
2	充放电电流设置和充放电电流测量	7.3
3	恒阻放电电阻设置	7.4
4	保护板过充过放电流	7.5
5	放电容量设置	7.6
6	恒流充电电流上升时间	7.7
7	恒功率放电功率	7.8

8	充放电时间	7.9
9	脉冲充电	7.10
10	终止充电电流	7.11
11	温度示值误差	7.12

7.1 校准前的准备

7.1.1 外观和附件检查

被校电池充放电测试系统(以下简称被校系统)的仪器名称、型号、制造厂名或商标、出厂编号、额定输入电压和频率等信息齐全，开关、旋钮、按键、插接及连接器应通断分明，旋转灵活平滑、换位准确、插接正确、连接牢固，无松动、损伤、脱落；各种功能标志应齐全清晰。

7.1.2 工作正常性检查

被校系统的各开关和指示灯功能应正常，通电后应能正常工作，各种指示应正确。电池充放电测试系统软件功能正常，接口通信正常。

7.1.3 预热

标准设备以及被校系统按说明书要求开机预热，无要求时，预热时间应不少于 30min。将结果记录在附录 A 表 A.1 中。

7.2 电压设置和电压测量

7.2.1 校准点的选取

被校系统每个量程均匀选取 3 至 5 个校准点，包括量程的 10%、50%、100%点。

注：可根据客户实际需要选择校准点。

电压测量采用标准电压源法或标准电压表法，电压设置采用标准电压表法。两种方法任选其一。

7.2.2 标准电压源法进行电压测量校准

7.2.2.1 连接如图 2 所示。将被校系统的电压采样端与标准电压源的电压输出端相连接。根据选取的校准点，设置标准电压源的电压值 U_0 并输出，读取被校系统的电压示值 U_x ，分别记录在附录 A 表 A.2 中。



图 2 标准电压源法校准连接图

7.2.2.2 按式(1)计算被校系统电压测量误差 ΔU ，并记录在附录 A 表 A.2 中。

$$\Delta U=U_x-U_0 \tag{1}$$

式中：

ΔU ——被校系统电压测量误差，单位：V；

U_x ——被校系统电压测量值，单位：V；

U_0 ——标准电压源的输出值，单位：V。

7.2.3 标准电压表法进行电压设置校准

7.2.3.1 连接如图 3 所示。

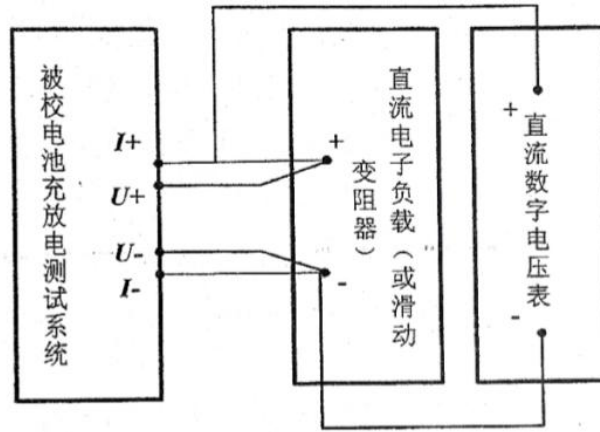


图3 标准电压表法校准连接图

7.2.3.2 设置被校系统为恒压充电模式。

设置直流电子负载为恒阻模式，根据恒压充电终止电流 I_E 和最小电压校准点 $U_{\min}$ ，按式(2)计算被校系统的负载电阻值 R_L ，使直流电子负载(或滑动变阻器)设置值 R_s 小于 R_L 。

$$R_L = \frac{U_{\min}}{I_E} \quad (2)$$

式中：

R_L ——被校系统的负载电阻值，单位： Ω ；

$U_{\min}$ ——被校系统的电压量程最小电压校准点，单位：V；

I_E ——恒压充电终止电流值，单位：A。

接通直流电子负载。设置被校系统的电压设置值 U_{x1} ，输出并读取被校系统电压示值 U_x 以及直流数字电压表的示值 U_0 ，分别记录在附录 A 表 A.2 中。

7.2.3.3 按 7.2.2 中式(1)计算被校系统电压测量误差 ΔU ，按式(3)计算电压设置误差 ΔU_1 ，并分别记录在附录 A 表 A.2 中。

$$\Delta U_1 = U_{x1} - U_0 \quad (3)$$

式中：

ΔU_1 ——被校系统电压设置误差，单位：V；

U_x ——被校系统电压设置值，单位：V；

U_0 ——直流数字电压表的指示值，单位：V。

7.3 充放电电流设置和充放电电流测量

7.3.1 校准点的选取

按 7.2.1 选取校准点。

7.3.2 充电电流设置和充电电流测量

设置被校系统为恒流充电模式。

可采用标准电流表法、直流分流器法和电流传感器法三种方法进行校准。当被校电流小于 10 A 建议采用标准电流表法，当被校电流大于 10 A 时，可以采用直流分流器法或电流传感器法。

7.3.2.1 标准电流表法

a)连接如图 4(a)所示。

b)设置直流电子负载为恒阻模式，根据恒流充电终止电压 U_E 和最大电流校准点 $I_{\max}$ 按式(4)计算被校电池充电测试系统的负载电阻值 R_L ，使直流电子负载(或滑动变阻器)设置值 R_s 小于 R_L 。也可以使用充放电电流等于最大电流校准点的可充放电电池作为负载。

$$R_L = \frac{U_E}{I_{\max}} \quad (4)$$

式中:

R_L ——被校系统的负载电阻值, 单位: Ω ;

U_E ——被校系统的恒流充电终止电压值, 单位: V;

$I_{\max}$ ——被校系统的电流量程最大电流校准点, 单位: A。

接通直流电子负载。设置被校系统的充电电流并输出。读取被校系统的充电电流设置值 I_{x1} , 充电电流示值 I_x 以及直流数字电流表的示值 I_0 。并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

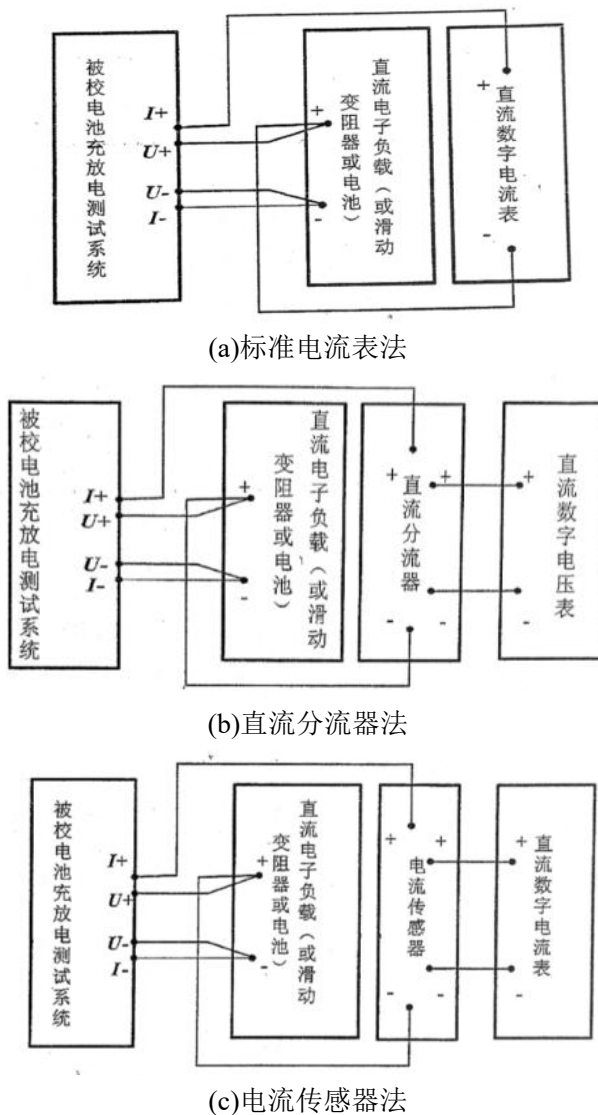


图4 恒流充电电流校准连接图

c)按式(5)计算被校系统充电电流设置误差 ΔI_1 , 按式(6)计算充电电流测量误差 ΔI , 并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

$$\Delta I_1 = I_{x1} - I_0 \quad (5)$$

$$\Delta I = I_x - I_0 \quad (6)$$

式中:

ΔI_1 ——被校系统充电电流设置误差, 单位: A;

I_{x1} ——被校系统的充电电流设置值, 单位: A;

ΔI ——被校系统充电电流测量误差, 单位: A;

I_x ——被校系统的充电电流测量值, 单位: A;

I_0 ——直流数字电流表的示值, 单位: A。

7.3.2.2 直流分流器法

a)连接如图 4(b)所示。

b)按 7.3.2.1 b)设置直流电子负载。

接通直流电子负载。设置被校系统的充电电流并输出。读取被校系统的充电电流设置值 I_{x1} ，充电电流示值 I_x 以及标准数字电压表测量值 U_0 ，按式(7)计算直流电流标准值 I_0 并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0} \quad (7)$$

式中：

I_0 ——直流电流标准值，单位：A；

U_0 ——直流分流器采样端的直流数字电压表示值，单位：V；

R_0 ——直流分流器的电阻值，单位： Ω 。

c)按式(5)计算被校系统充电电流设置误差 ΔI_1 ，按式(6)计算充电电流测量误差 ΔI ，并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

7.3.2.3 电流传感器法

a)连接如图 4(c)所示。

b)按 7.3.2.1b)设置直流电子负载。

接通直流电子负载。设置被校系统的输出电流并输出。读取被校系统的充电电流设置值 I_{x1} ，充电电流测量值 I_x 及电流传感器二次电流表测量值 I_n ，按式(8)计算直流电流标准值 I_0 并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

$$I_0 = KI_n \quad (8)$$

式中：

I_0 ——直流电流标准值，单位：A；

I_n ——标准电流表读取的电流传感器二次端电流值，单位：A；

K ——电流传感器的电流变比。

c)按式(5)计算被校系统充电电流设置误差 ΔI_1 ，按式(6)计算充电电流测量误差 ΔI ，并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

7.3.3 放电电流设置和放电电流测量

设置被校系统为恒流放电模式。

采用标准电流表法、直流分流器法或电流互感器法。可根据具体情况选用其中一种方法进行校准。

7.3.3.1 标准电流表法

a)连接如图 5(a)所示。

b)设置直流稳定电源为恒压模式，设置输出电压大于放电终止电压 U_E ，设置电流大于被校电流量程上限值。也可以使用充放电电流等于最大电流校准点的可充放电电池作为电源。使直流稳定电源输出，启动被校系统恒流放电。读取并记录被校系统的放电电流设置值 I_{d1} ，放电电流示值 I_d 以及直流数字电流表的示值 I_0 。并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

c)按式(9)计算被校系统放电电流设置误差 ΔI_{d1} ，按式(10)计算放电电流测量的误差 ΔI_d ，并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

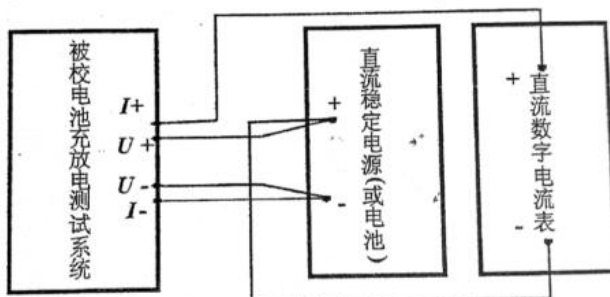
c)按式(9)计算被校系统放电电流设置误差 ΔI_{d1} ，按式(10)计算放电电流测量的误差 ΔI_d ，并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

$$\Delta I_{d1} = I_{d1} - I_0 \quad (9)$$

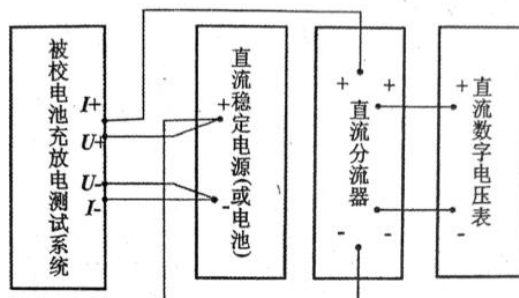
$$\Delta I_d = I_d - I_0 \quad (10)$$

式中：

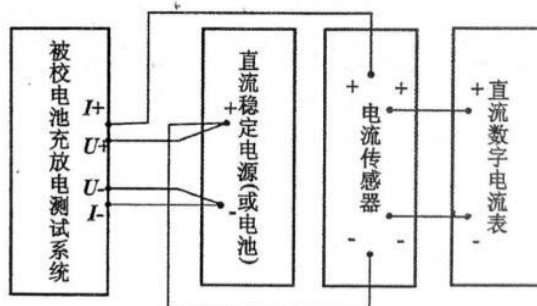
- ΔI_{d1} ——被校系统放电电流设置误差, 单位: A;
 I_{d1} ——被校系统的放电电流设置值, 单位: A;
 ΔI_d ——被校系统放电电流测量误差, 单位: A;
 I_d ——被校系统的放电电流测量值, 单位: A;
 I_0 ——直流电流标准值, 单位: A。



(a)标准电流表法



(b)直流分流器法



(c)电流传感器法

图 5 恒流放电电流校准连接图

7.3.3.2 直流分流器法

a)连接如图 5(b)所示。

b)按照 7.3.3.1 b)设置直流稳定电源。

使直流稳定电源输出, 启动被校系统恒流放电。读取并记录被校系统的放电电流设置值 I_{d1} , 放电电流示值 I_d 以及直流数字电压表测量值 U_0 , 按式(7)计算直流电流标准值 I_0 。并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

c)按式(9)计算被校系统放电电流设置值误差 I_{d1} , 按式(10)计算放电电流测量值误差 I_d , 并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

7.3.3.3 电流传感器法

a)连接如图 5(c)所示。

b)按照 7.3.3.1 b)设置直流稳定电源。

使直流稳定电源输出，启动被校系统恒流放电。读取并记录被校系统的放电电流设置值 I_{d1} ，被校系统的放电电流测量值 I_d 以及电流传感器二次电流表测量值 I_n ，按式(8)计算直流电流标准值 I_0 并分别记录在附录 A 表 A.3 中。

c)按式(9)计算被校系统放电电流设置误差 I_{d1} ，按式(10)计算放电电流测量的误差 I_d ，并分别记入附录 A 表 A.3 中。

7.4 恒阻放电电阻设置

电池充放电测试系统恒阻放电电阻设置，在恒阻放电模式下，采用间接测量法校准。其中电压测量采用标准表法，电流测量有标准电流表法、直流分流器法和电流传感器法三种方法。当被校电流小于 10A 建议采用标准电流表法，当被校电流大于 10A 时，可以采用直流分流器法或电流传感器法。

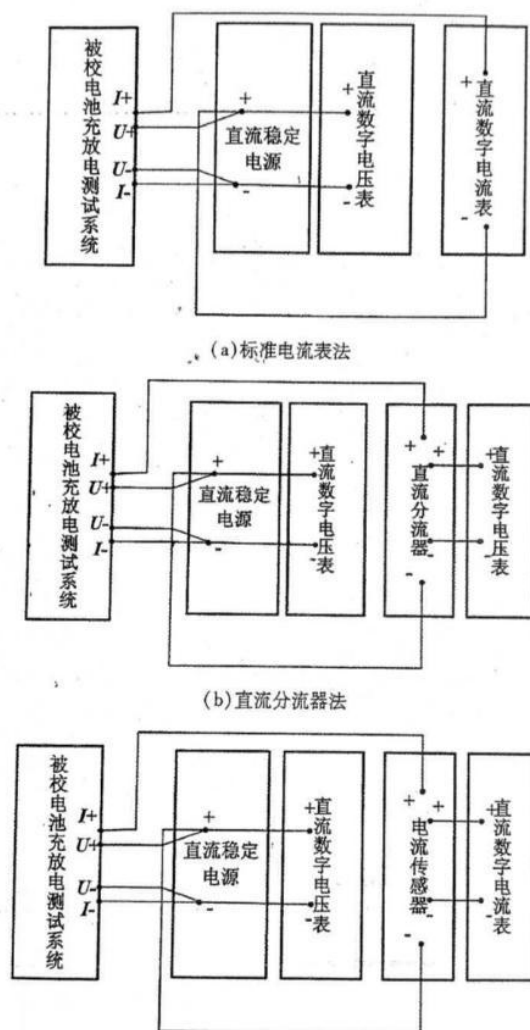


图 6 恒阻放电校准连接图

a)校准点的选取

在恒阻放电模式下，均匀选取不少于 3 个校准点，通常选取电阻量程的 10%、50%，100%为校准点。

b) 连接如图 6 所示。

c)设置被校系统为恒阻放电模式。

设置直流稳定电源恒压状态，输出电压大于放电终止电压，输出电流大于被校系统电流量程的

上限值。

设置被校系统放电电阻值 R_x ，使直流稳定电源输出。启动被校系统恒阻放电，读取直流数字电压表的示值 U_0 ，以及直流数字电压表的示值 U_0 ，按式(11)计算电阻测量标准值 R_0 ，记入附录 A 表 A.4 中。

$$R_0 = \frac{U_0}{I_0} \quad (11)$$

式中：

U_0 ——直流数字电压表示值，单位：V；

I_0 ——直流数字电流表的示值，单位：A；

R_0 ——电阻测量标准值，单位： Ω 。

d)按式(12)计算被校系统恒阻放电电阻设置的误差 ΔR ，并记录在附录 A 表 A.4 中。

$$\Delta R = R_x - R_0 \quad (12)$$

式中：

ΔR ——被校系统恒阻放电电阻设置误差，单位： Ω ；

R_x ——被校系统的放电电阻设置值，单位： Ω ；

R_0 ——电阻测量标准值，单位： Ω 。

7.5 保护板过充过放电流

保护板过充过放电流，可采用标准电流表法、直流分流器法和电流传感器法三种方法进行校准。当被校电流小于 10 A 建议采用标准电流表法，当被校电流大于 10 A 时，可以采用直流分流器法或电流传感器法。

7.5.1 校准点的选取

均匀选取不少于 3 个校准点，包括量程的 10%、50%、100%点 7.5.2 保护板过充电流连接如图 4，校准方法同 7.3.2。

7.5.2 保护板过放电流

连接如图 5，校准方法同 7.3.3。

读取被校系统的过放电流设置值 I_{d1} ，过放电流示值 I_d 以及直流数字电流表的示值 I_0 ，分别记录在附录 A 表 A.5 中。

按式(9)计算过放电流设置误差 I_{d1} 。按式(10)计算过放电流测量误差 I_d 。并分别记入附录 A 表 A.5 中。

7.6 放电容量设置

校准点的选取：均匀选取不少于 3 个校准点，通常选取电流量程的 10%、50%，100%为校准点。

7.6.1 采用电流时间积测量放电容量，连接如图 7 所示。

a)设置电池充放电测试系统为恒流放电模式。

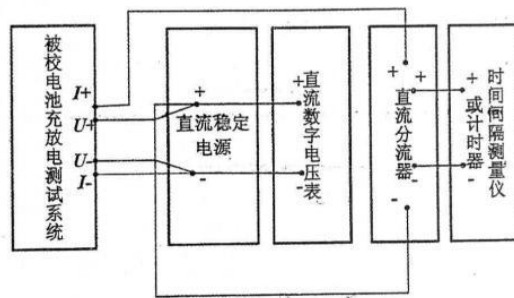


图 7 放电容量设置校准连接图 (1)

b)设置直流稳定电源输出电压大于放电终止电压，输出电流大于被校系统电流量程的上限值。

c)设置时间间隔测量仪的启动电压和停止电压为直流分流器阻值和放电电流值乘积的一半。

接通直流稳定电源输出。启动被校系统。试验停止后,读取被校测试系统的容量设置值 C_x , 直流数字电压表读数 U_0 , 直流分流器的标准电阻值 R_0 , 及时间间隔测量仪的测量值 T_0 , 按式(13)计算电池容量标准值 C_0 。并分别记录在附录 A 表 A.6 中。

$$C_0 = \frac{U_0}{R_0} T_0 \quad (13)$$

式中:

C_0 ——电池容量标准值, 单位: Ah;

U_0 ——直流分流器采样端的直流数字电压表示值, 单位: V

T_0 ——时间间隔测量仪的测量值, 单位: h;

R_0 ——直流分流器的电阻值, 单位: Ω 。

d)按式(14)计算被校系统放电容量设置的误差 ΔC , 并记录在附录 A 表 A.6-1 中。

$$\Delta C = C_x - C_0 \quad (14)$$

式中:

ΔC ——被校系统放电容量设置误差, 单位: Ah;

C_x ——被校系统放电容量设置值, 单位: Ah;

C_0 ——电池容量标准值, 单位: Ah。

7.6.2 采用功率分析仪测量放电容量, 连接如图 8 所示。

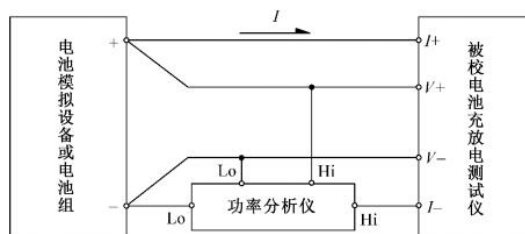


图 8 放电容量设置校准连接图 (2)

a) 设置被校电池充放电测试仪为恒流放电模式, 同时设置放电电流、放电电压、放电终止电压、放电终止电流、放电时间间隔等相关参数, 其中放电时间间隔 $\geq 10 \text{ min}$;

d) 设置功率分析仪为容量测量模式;

c) 启动被校电池充放电测试仪进行放电, 读取被校测试系统的放电容量设置值 C_x 、功率分析仪的放电容量测量值 C_0 , 记录在附录 A 表 A.6-2 中;

按公式 (15) 计算被校电池充放电测试仪放电容量设置误差 ΔC 。

$$\Delta C = C_x - C_0 \quad (15)$$

式中:

ΔC ——被校系统放电容量设置误差, 单位: Ah;

C_x ——被校系统放电容量设置值, 单位: Ah;

C_0 ——电池容量标准值, 单位: Ah。

7.7 恒流充电电流上升时间

a)连接如图 9 所示。

b)设置被校系统为恒流充电模式。设置充电电流值为额定值。采用数字示波器测量恒流充电电流上升时间。

按 7.3.2.1 b)设置直流电子负载 R_s 。

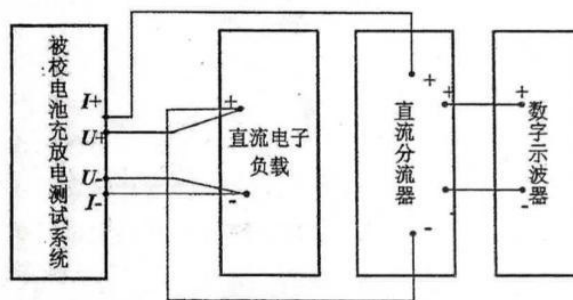


图9 恒流充电电流上升时间校准连接图

根据被校系统的额定电流值和直流分流器的电阻值乘积，设置数字示波器垂直偏转系数。根据被校系统的技术指标，设置示波器水平偏转系数。选择示波器上升时间测量功能，设为单次触发。接通直流电子负载。启动被校系统恒流充电。读取示波器上升时间 T_0 ，并记录在附录 A 表 A.7 中。

7.8 恒功率放电功率

a) 连接如图 5 所示。

b) 在恒功率放电模式下，各量程均匀选取不少于 3 个校准点，通常选取电阻量程的 10%、50%，100% 为校准点。

c) 设置被校电池充放电测试仪为恒功率放电模式，按校准点设置放电功率值 P_S ；

d) 启动被校电池充放电测试仪恒功率放电，待放电电压和放电电流稳定后，将被校电池充放电测试仪放电功率设置值 P_S 和测量值 P_R ，直流数字电压表读数 V_0 和直流电流测量仪表的读数 I_0 记录在附录 A 表 A.8 中；

e) 按公式 (16) 计算被校电池充放电测试仪放电功率设置值示值误差 ΔP_S ；按公式 (17) 计算被校电池充放电测试仪放电功率测量值示值误差 ΔP_R ，分别记录在附录 A 表 A.8 中。

$$\Delta P_S = P_S - V_0 I_0 \quad (16)$$

式中：

ΔP_S ——被校电池充放电测试仪放电功率设置值示值误差，单位：W；

P_S ——被校电池充放电测试仪放电功率设置值，单位：W；

V_0 ——直流数字电压表读数，单位：V；

I_0 ——直流电流测量仪表的读数，单位：A。

$$\Delta P_R = P_R - V_0 I_0 \quad (17)$$

式中：

ΔP_R ——被校电池充放电测试仪放电功率测量值示值误差，单位：W；

P_R ——被校电池充放电测试仪放电功率测量值，单位：W；

V_0 ——直流数字电压表读数，单位：V；

I_0 ——直流电流测量仪表的读数，单位：A。

7.9 充放电时间

a) 校准点的选取

通常选取 60s 为校准点，充放电电流设置值为充放电电流量程的 10%。也可根据用户要求增加校准点。

b) 连接如图 5 所示。

c) 设置电池充放电测试系统为恒流充电或放电模式(任选一种)。采用电子秒表测量充放电时间。

d) 按 7.3.2.1 b) 设置直流电子负载 R_s 或按照 7.3.3.1 b) 设置直流稳定电源。

接通直流电子负载或直流稳定电源，设置被校系统恒流充放电时间。启动时同时按下电子秒表，设置时间到，再次按下电子秒表，读取被校系统的充放电时间设置值 T_x ，电子秒表的测量值 T_0 。并分别记录在附录 A 表 A.9 中。

e)按式(18)计算被校系统充放电时间设置误差 ΔT ，并分别记录在附录 A 表 A.9 中。

$$\Delta T = T_x - T_0 \quad (18)$$

式中：

ΔT ——被校系统电池充放电时间设置误差，单位：s；

T_x ——被校系统充放电时间设置测量值，单位：s；

T_0 ——电子秒表的测量值，单位：s。

7.10 脉冲充电

a)校准点的选取

通常选取电流量程的 10%、50%，100%为校准点。校准点不少于 3 个。

b)连接如图 10 所示。

采用脉冲分流器法测量脉冲充电电流。

设置被校系统为脉冲充电模式，设置脉冲充电电流并输出。读取被校系统的脉冲充电电流设置值 I_{ms} 。以及脉冲分流器 R_f ，电压采样端取样数字电压表测量值 U_c ，按式(19)计算被校系统脉冲充电电流设置的误差 ΔI_p ，并分别记录在附录 A 表 A.10 中。

$$\Delta I_p = I_{ms} - \frac{U_c}{R_f} \quad (19)$$

式中：

ΔI_p ——脉冲充电电流设置误差，单位：A；

I_{ms} ——被校系统脉冲充电电流的设置值，单位：A；

U_c ——取样数字多用表的电压测量值，单位：V；

R_f ——脉冲分流器的阻值，单位： Ω ；。

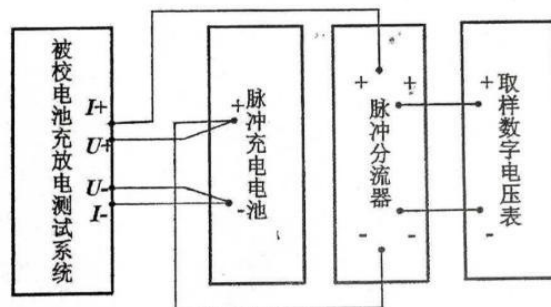


图 10 脉冲充电电流校准连接图

7.11 终止充电电流

a)校准点的选取

通常选取电流量程的 10%为校准点。也可根据用户要求增加校准点。

b)连接如图 4 所示。

c)设置被校系统为恒压充电模式。可采用标准电流表法、直流分流器法和电流传感器法三种方法进行校准。当被校电流小于 10 A 建议采用标准电流表法，当被校电流大于 10 A 时，可以采用直流分流器法或电流传感器法。

按 7.3.2.1 b)设置直流电子负载 R_s 。

接通直流电子负载。启动被校系统。缓慢增大直流电子负载的电阻值，使充电回路中的电流减小至充电终止电流值 I_E ，试验停止。读取被校系统的恒压充电终止电流值 I_E ，标准电流表示值 I_0 ，并分别记录在附录 A 表 A.11 中

d)按式(19)计算被校系统恒压充电终止电流设置误差 ΔE ，并记录在附录 A 表 A.11 中。

$$\Delta E = I_E - I_0 \quad (20)$$

式中：

ΔE ——被校系统恒压充电终止电流设置误差, 单位: A;

I_E ——被校系统恒压充电终止电流设定值, 单位: A;

I_0 ——标准数字电流表示值, 单位: A。

7.12 温度示值误差

温度示值误差的校准分为仅校准温度二次仪表(温度传感器另行单独计量)、温度传感器与二次仪表整体校准两种方式, 可按用户要求选择其中一种方式校准。

选择校准点: 校准点覆盖被测对象的上下限, 中间均匀选点, 或者按用户的要求进行选点。

7.12.1 温度二次仪表校准

a)按图 11 接线。

b)开启被校电池充放电测试系统的温度测量功能。

c)按校准点设置温度校准仪的输出温度值。

d)将温度校准仪的温度标准值 T_0 和被校电池充放电测试系统温度测量值示值 T_x 记录于附录 A 表 A.12-1 中。

e)按公式(21)计算被校电池充放电测试系统温度测量值示值误差 ΔT , 并记录在附录 A 表 A.12-1 中。

$$\Delta T = T_x - T_0 \quad (21)$$

式中:

ΔT ——被校充放电测试仪温度测量示值误差, 单位: $^{\circ}\text{C}$;

T_x ——被校充放电测试仪温度测量示值, 单位: $^{\circ}\text{C}$;

T_0 ——温度校准仪输出的标准温度值, 单位: $^{\circ}\text{C}$ 。

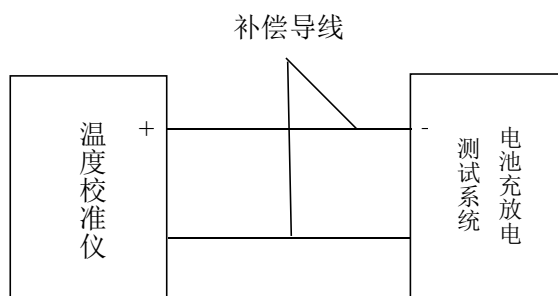


图 11 二次仪表校准连接图

7.12.2 温度整体校准

a)按图 12 接线。

b)开启被校电池充放电测试系统的温度测量功能。

c)将被测温度传感器和标准温度计放置在同一干井炉底部或恒温槽内, 按校准点设置干井炉或恒温槽的温度。

d)干井炉或恒温槽内的温度到达校准点后需要稳定 10 min, 待内部温场稳定后依次记录标准温度计测量的温度标准值 T_{01} 、被校温度测量值示值 T_{x1} 、被校温度测量示值 T_{x2} 、标准温度计测量的温度标准值 T_{02} 于附录 A 表 A.12-2, 等待 30 s 后再次依次记录标准温度计测量的温度标准值 T'_{01} 、被校温度测量值示值 T'_{x1} 、被校温度测量示值 T'_{x2} 、标准温度计测量的温度标准值 T'_{02} 附录 A 表 A.12-2。

e)按公式 (18)计算被校电池充放电测试系统温度测量值示值误差 ΔT , 其中被校电池充放电测试系统温度测量示值 T_x 按公式 (22)计算, 标准温度计测量的标准值 T_0 按公式 (23)计算。

$$T_x = \frac{T_{x1} + T_{x2} + T'_{x1} + T'_{x2}}{4} \quad (22)$$

$$T_0 = \frac{T_{01} + T_{02} + T'_{01} + T'_{02}}{4} \quad (23)$$

式中：

T_{x1} 、 T_{x2} 、 T'_{x1} 、 T'_{x2} ——分别为被校电池充放电测试系统 4 次温度测量示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_{01} 、 T_{02} 、 T'_{01} 、 T'_{02} ——分别为标准温度计 4 次温度标准值， $^{\circ}\text{C}$ 。

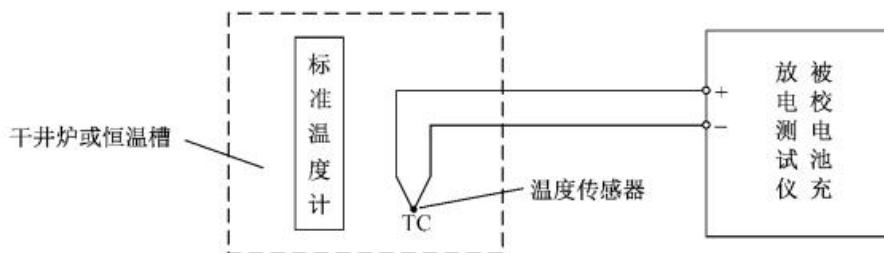


图 12 温度整体校准连接图

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

- 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)校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- 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)对校准规范的偏离的说明；
- m)校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n)校准结果仅对被校对象有效的说明；
- o)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

建议复校的时间间隔为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器使用情况、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情况自主决定复校时间间隔。

附录 A 原始记录格式

附录 B 不确定度评定示例

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

项目	检查结果
外观检查	
功能性检查	

二、电压设置和电压测量

表 A.2 电压设置和电压测量

单位: V

量程	设置值	示值	标准值	设置误差	$U(k=2)$	测量误差	$U(k=2)$

三、充放电电流设置和电流测量

表 A.3 充放电电流设置和电流测量

单位: A

量程	设置值	示值	标准值	设置误差	$U(k=2)$	测量误差	$U(k=2)$

四、恒阻放电电阻设置

表 A.4 恒阻放电电阻设置

单位: Ω

量程	设置值	电压测量值	电流测量值	设置误差	$U(k=2)$

五、保护板过充过放电流

表 A.5 保护板过充过放电流

单位: A

量程	设置值	示值	标准值	设置误差	$U(k=2)$	测量误差	$U(k=2)$

六、放电容量

表 A.6-1 放电容量(电流时间积法)

分流器阻值: _____ Ω

量程/Ah	设置值/Ah	电压测量值/V	时间测量值/s	设置误差/Ah	$U(k=2)/Ah$

表 A.6-2 放电容量(功率分析法)

单位: Ah

量程	设置值	标准值	设置误差	$U(k=2)$

七、恒流充电电流上升时间

表 A.7 恒流充电电流上升时间

单位: s

上升时间	$U(k=2)$

八、恒功率放电功率

表 A.8 恒功率放电功率

单位: W

量程/W	设置值/W	示值/W	电压/V	电流/A	设置误差/W	测量误差	$U(k=2)/W$

九、充放电时间

表 A.9 充放电时间

单位: s

量程	设置值	标准值	设置误差	$U(k=2)$

十、脉冲充电

表 A.10 脉冲充电电流

分流器阻值: _____ Ω

量程/A	设置值/A	电压测量值/V	电流测量值/A	设置误差/A	$U(k=2)/A$

十一、终止充电电流

表 A.11 终止充电电流

单位: A

量程	设置值	标准值	设置误差	$U(k=2)$

十二、温度示值误差

表 A.12-1 二次仪表校准

单位：℃

量程	示值	标准值	示值误差	$U(k=2)$

表 A.12-2 温度整体校准

单位：℃

量程	示值 1	示值 2	示值 3	示值 4	示值平 均值	标准 值 1	标准 值 2	标准 值 3	标准 值 4	标准 值平 均值	示值 误差	$U(k=2)$

附录 B

测量不确定度评定示例

本附录以直流电压、直流电流、恒阻放电电阻、放电容量设置、恒流充电电流上升时间、脉冲充电电流、温度示值误差、恒功率放电功率的测量不确定度评定为例，说明电池充放电测试系统校准项目测量不确定度评定的程序。其它项目的测量不确定度评定可参照上述项目进行。

B.1 直流电压校准结果的测量不确定度评定

B.1.1 校准方法

校准连接如图 3 所示。设置被校系统为恒压充放电模式。设置被校系统的输出电压并输出。读取被校系统的充放电电压测量值 U_x ，以及直流数字电压表的示值 U_0 ，误差为 ΔU ，获得数学模型。

B.1.2 测量模型

$$\Delta U = U_x - U_0 \quad (\text{B.1})$$

式中：

ΔU ——被校系统电压测量误差，单位：V；

U_x ——被校系统电压测量值，单位：V；

U_0 ——标准电压源的输出值，单位：V。

B.1.3 不确定度来源

- a) 直流数字电压表电压测量不准引入的不确定度分量 u_{B1} ；
- b) 直流数字电压表电压测量分辨力引入的不确定度分量 u_{B2} ；
- c) 被校系统的充放电电压测量分辨力引入的不确定度分量 u_{B3} ；
- d) 被校系统测量重复性引入的不确定度分量 u_{A2}

B.1.4 不确定度评定

- a) 直流数字电压表电压测量不准引入的不确定度分量 u_{B1}

按 B 类进行评定。以测量充放电电压 10V 为例进行分析。直流数字电压表在 10 V 量程测量 10 V 电压时的允许误差极限为 $\pm(00.0030\% \text{ reading} + 0.0005\% \text{ range})$ ，即为 $\pm 350 \mu\text{V}$ ；则其区间半宽度为 $a_1 = 350 \mu\text{V}$ ，认为在该区间内服从均匀分布，包含因子 $k_1 = \sqrt{3}$ ，则 $u_{B1} = \frac{a_1}{k_1} = 202 \mu\text{V}$ ，相对值为 0.0021%。

- b) 直流数字电压表电压测量分辨力引入的不确定度分量 u_{B2}

按 B 类进行评定。直流数字电压表在 10V 量程其分辨力为 1mV，则其区间半宽度为 $a_2 = 500 \mu\text{V}$ ，认为在该区间内服从均匀分布，包含因子 $k_2 = \sqrt{3}$ ，则 $u_{B2} = \frac{a_2}{k_2} = 289 \mu\text{V}$ ，相对值为 0.006%。

- c) 被校系统电压测量分辨力引入的不确定度分量 u_{B3}

按 B 类进行评定。根据被校系统的技术说明书可知，在 10 V 量程其分辨力为 1 mV，则其区间半宽度为 $a_3 = 500 \mu\text{V}$ ，认为在该区间内服从均匀分布，包含因子 $k_3 = \sqrt{3}$ ，则 $u_{A1} = \frac{a_3}{k_3} = 289 \mu\text{V}$ ，相对值为 0.006%。

- d) 被校系统测量重复性引入的不确定度分量 u_{A2}

按 A 类进行评定。用直流数字电压表对稳定的被校系统的充放电电压(10V)进行短期重复测量，独立测量 $n=10$ 次，重复性测试数据见表 B.1， $u_{A2} = s_n(x)/\sqrt{n} \approx 0.02\%$ 。

表 B.1 电池充放电测试系统充放电电压重复测量 10 次数据

单位：V

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$\bar{x}$	$s_n(x)$
10.001	10.001	10.002	9.999	10.000	10.002	10.001	10.001	10.003	10.002	10.0012	0.00114

B.1.5 合成不确定度

电池充放电测试系统充放电电压校准结果的测量不确定度的来源及数值汇总于表 B.2 中。

表 B.2 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
u_{B1}	直流数字电压表电压测量不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0021%
u_{B2}	直流数字电压表电压分辨力	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.006%
u_{B3}	被校系统充放电电压分辨力	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.006%
u_{A2}	被校系统充放电电压测量重复性	A 类	/	/	0.02%

合成时，舍去电池充放电测试系统充放电电压分辨力 u_{A1} 和电池充放电测试系统充放电电压测量重复性 u_{A2} 之中较小值，则有

$$u_c = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{A2}^2} = 0.02\%$$

B.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k \times u_c=0.04\%$

B.2 充电电流设置校准结果的测量不确定度评定

以充电电流 1A 点为例

B.2.1 测量方法

仪器连接如图 4 所示。将直流数字电流表和被校系统的充电电流输出端相连。当被校系统输出电流值 1A 时，使用直流数字电流表进行测量。

B.2.2 数学模型

$$\Delta I_1 = I_{x1} - I_0 \quad (B.2)$$

式中：

ΔI_1 ——被校系统充电电流设置误差，单位：A；

I_{x1} ——被校系统的充电电流设置值，单位：A；

I_0 ——直流数字电流表的示值，单位：A。

B.2.3 不确定度来源

a) 直流数字电流表直流电流测量不准引入的不确定度分量 u_{B1} ；

b) 直流数字电流表测量分辨率所引入的不确定度分量 u_{B2} ；

c) 测量重复性变化引入的不确定度分量 u_A 。

B.2.4 标准不确定度评定

a) 直流数字电流表直流电流测量不准引入的不确定度分量 u_{B1} ；

用 B 类标准不确定度评定。以 1A 测试点进行分析。直流数字电流表在 1A 量程 1A 测试点，其允许误差极限为 $\pm(0.100\% \times \text{读数} + 0.010\% \times \text{量程})$ ，所以 1A 的允许误差极限为 0.0011A，即 $a=0.0011A$ ，估计为均匀分布，则 $k=\sqrt{3}$ ，则 $u_{B1} = \frac{a_1}{k} = 0.0007 A$ ，相对值为 0.007%。

b) 直流数字电流表测量分辨率所引入的不确定度分量 u_{B2} ；

用 B 类标准不确定度评定。直流数字电流表在 1A 量程的分辨率为 1 μA ，区间半宽为 0.5 μA ，即 $a=0.5 \mu A$ ，估计为均匀分布，则 $k=\sqrt{3}$ ，故其不确定度分量 $u_{B1} = \frac{a_1}{k} = 0.29 \mu A$ ，相对值为 0.0000029%。

c)测量重复性变化引人的不确定度分量 u_A

按 A 类评定, 用直流数字电流表对被校系统的充电电流(1A)进行独立重复测量 10 次, 重复性测试数据见表 B.3, $u_A=s_n(x)/\bar{x}\approx 0.001\%$

表 B.3 电池充放电测试系统充电电流设置重复测量 10 次数据

单位: A

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$\bar{x}$	$s_n(x)$
1.00003	1.00004	1.00002	1.00001	1.00002	1.00003	1.00004	1.00004	1.00003	1.00003	1.000029	0.0000099

B.2.5 合成标准不确定度 u

电池充放电测试系统充放电电流校准结果的测量不确定度的来源及数值汇总于表 B.4 中

表 B.4 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
u_{B1}	直流数字电流表电流测量不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.007%
u_{B2}	直流数字电流表电流分辨力	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0000029%
u_A	被校测试系统充电电流设置测量重复性	A 类	/	/	0.001%

以上各不确定度分量独立不相关, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_A^2} = 0.0012\%$$

B.2.6 扩展不确定度

取 $k=2$, 则扩展不确定度 $U_{rel}=k \times u_c = 0.0024\%$ 。

B.3 恒阻放电校准结果的测量不确定度评定

B.3.1 校准方法

校准连接如图 6 所示。设置被校系统为恒阻充放电模式。设置被校系统放电电阻值 R_x , 使直流稳定电源输出。启动被校系统恒阻放电, 读取直流数字电流表的示值 I_0 , 以及直流数字电压表的示值 U_0 , 通过间接测量法进行校准。

B.3.2 测量模型

$$\Delta R = R_x - \frac{U_0}{I_0} \quad (B.3)$$

式中:

ΔR ——被校系统恒阻放电电阻设置误差, 单位: Ω ;

U_0 ——直流数字电压表示值, 单位: V;

I_0 ——直流数字电流表的示值, 单位: A;

R_x ——被校系统的放电电阻设置值, 单位: Ω ;

B.3.3 不确定度来源

假设直流数字电压表和直流数字电流表同时读数, 忽略电流和电压不同步引入的误差。

a)直流数字电压表引人的测量不确定度分量 u_{B1} ;

b)直流数字电流表引入的测量不确定度分量 u_{B2} ;

c)被校系统恒阻放电测量重复性引入的不确定度分量 u_A

B.3.4 标准不确定度评定

本次评定以设定电阻 $R_x = 10 \Omega$ 、电流表示值 $I_0 = 1 A$ 、电压表示值 $U_0 = 10 V$ 为典型测量点。

B.3.4.1 各输入量灵敏系数

由测量模型 $\Delta R = R_x \frac{U_0}{I_0}$ 求偏导, 代入 $U_0 = 10 \text{ V}$, $I_0 = 1 \text{ A}$, 则各输入量灵敏系数见表 B.5:

B.5 各输入量灵敏系数表

输入量	符号	灵敏系数 $c_i = \partial \Delta R / \partial x_i$	数值 (本示例)
电压表示值	U_0	$-1/I_0$	$-1 \text{ } \Omega/\text{V}$
电流表示值	I_0	$U_0/I_0^2 = R_{\text{实测}}/I_0$	$10 \text{ } \Omega/\text{A}$

B.3.4.2 直流数字电压表引入的测量不确定度分量 $u(U_0)$

a) 直流数字电压表电压测量不准引入的不确定度分量 u_{B1} 。按 B 类进行评定。直流数字电压表在 10 V 量程测量 10 V 电压时的允许误差极限为 $\pm(0.0030\% \text{ reading} + 0.0005\% \text{ range})$, 即为 $\pm 350 \text{ } \mu\text{V}$; 则其区间半宽度为 $350 \text{ } \mu\text{V}$, 认为在该区间内服从均匀分布, 包含因子 $k_1 = \sqrt{3}$, 则 $u_{B1} = \frac{a_1}{k_1} = 202 \text{ } \mu\text{V}$ 。

b) 直流数字电压表电压测量分辨力引入的不确定度分量 u_{B2}

按 B 类进行评定。直流数字电压表在 10 V 量程其分辨力为 1 mV , 则其区间半宽度为 $a_2 = 500 \text{ } \mu\text{V}$, 认为在该区间内服从均匀分布, 包含因子 $k_2 = \sqrt{3}$, 则 $u_{B2} = \frac{a_2}{k_2} = 289 \text{ } \mu\text{V}$ 。

$$u(U_0) = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 353 \text{ } \mu\text{V}$$

B.3.4.3 直流数字电流表引入的测量不确定度分量 $u(I_0)$

a) 直流数字电流表直流电流测量不准引入的不确定度分量 u_{B1} :

用 B 类标准不确定度评定。直流数字电流表在 5 A 量程 1 A 测试点, 其允许误差极限为 $\pm(0.3\% \times \text{读数} + 10 \text{ 字})$, 所以 1 A 的允许误差极限为 0.004 A , 估计为均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则 $u_{B1} = \frac{a_1}{k} = 0.00231 \text{ A}$ 。

b) 直流数字电流表测量分辨率所引入的不确定度分量 u_{B2} :

用 B 类标准不确定度评定。直流数字电流表在 5 A 量程的分辨率为 0.1 mA , 区间半宽为 0.05 mA , 估计为均匀分布, 则 $k = \sqrt{3}$, 故其不确定度分量 $u_{B1} = \frac{a_1}{k} = 0.0289 \text{ mA}$ 。

$$u(I_0) = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 2.31 \text{ mA}$$

B.3.4.4 被校系统恒阻放电测量重复性引入的测量不确定度分量 u_A

按 A 类进行评定。设定值 $R_x = 10.000 \text{ } \Omega$, $n = 10$ 次独立重复测量, 重复性测试数据见表 B.6。

表 B.6 电池充放电测试系统恒阻放电电阻重复测量 10 次数据

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$s_n(x)$
$U_i(\text{V})$	10.002	10.005	9.998	10.003	10.000	10.006	9.999	10.004	10.001	10.002	/
$I_i(\text{A})$	1.0001	1.0003	0.9999	1.0002	1.0000	1.0005	1.0000	1.0003	1.0002	1.0001	/
$\Delta R_i(\text{ } \Omega)$	0.0000	-0.0020	0.0010	-0.0010	0.0000	-0.0010	0.0010	-0.0010	0.0010	0.0000	9.43×10^{-4}

B.3.5 合成标准不确定度

B.3.5.1 标准不确定度分量表

电池充放电测试系统恒阻放电电阻校准结果的测量不确定度的来源及数值汇总于表 B.7 中。

表 B.7 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	标准不确定度值	灵敏系数 C_i	$ c_i \cdot u(x_i)$
$u(V_0)$	直流数字电压表	B 类	353 μV	-1 Ω/V	0.353 m Ω
$u(I_0)$	直流数字电流表	B 类	2.31 mA	10 Ω/A	23.1 m Ω
u_A	测量重复性	A 类	$9.43 \times 10^{-4} \Omega$	1	0.943 m Ω

B.3.5.2 合成标准不确定度分量

$$u_c = \sqrt{0.353^2 + 23.1^2 + 0.943^2} = 23.1 \text{ m}\Omega$$

B.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k \times u_c=46 \text{ m}\Omega$ ；相对不确定度 $U_{\text{rel}}=0.46\%$ ， $k=2$ 。

B.4 放电容量校准结果的测量不确定度评定

B.4.1 校准方法

采用功率分析仪测量放电容量，校准连接如图 8 所示。设置被校系统为恒流放电模式，设置功率分析仪为容量测量模式，启动被校电池充放电测试仪进行放电，读取被校测试系统的放电容量设置值 C_x 、功率分析仪的放电容量测量值 C_0 。

B.4.2 测量模型

$$\Delta C = C_x - C_0 \quad (\text{B.4})$$

式中：

ΔC ——被校系统放电容量设置误差，单位：Ah；

C_x ——被校系统放电容量设置值，单位：Ah；

C_0 ——电池容量标准值，单位：Ah。

B.4.3 不确定度来源

- a) 功率分析仪容量测量不准引入的不确定度分量 u_1 ；
- b) 被校系统放电容量测量分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- d) 被校系统放电容量测量重复性引入的不确定度分量 u_A

B.4.4 标准不确定度评定

用功率分析仪的容量测量功能直接校准 100 Ah 放电容量设置值误差为例进行不确定度评定。

- a) 功率分析仪容量测量最大允许误差引入的不确定度分量 u_{B1}

按 B 类进行评定。功率分析仪的最大允许误差限为 $\pm 0.1\%$ ，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_1 = \frac{100 \times 0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ Ah}。$$

- b) 被校系统放电容量设置分辨力引入的不确定度分量 u_{B2}

按 B 类进行评定。根据被校系统的技术说明书可知，放电容量设置分辨力为 0.01 Ah，则其区间半宽度为 $a=0.005 \text{ Ah}$ ，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则 $u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ Ah}。$

- c) 被校系统放电容量测量重复性引入的不确定度分量 u_A

按 A 类进行评定。用功率分析仪对被校系统的放电容量进行短期重复测量，独立测量 $n=10$ 次，重复性测试数据见表 B.8。

表 B.8 电池充放电测试系统放电容量重复测量 10 次数据

单位：Ah

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$\bar{x}$	$S_n(x)$
100.33	100.35	100.30	100.22	100.25	100.30	100.31	100.35	100.29	100.34	100.304	0.043

B.4.5 合成标准不确定度

电池充放电测试系统充放电电压校准结果的测量不确定度的来源及数值汇总于表 B.2 中。

表 B.9 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度 /Ah
u_{B1}	功率分析仪测量不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.058
u_{B2}	被校系统放电容量设置分辨力	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029
u_A	被校系统放电容量测量重复性	A 类	/	/	0.043

合成时，舍去电池充放电测试系统放电容量设置分辨力 u_2 和电池充放电测试系统充放电容量测量重复性 u_A 之中较小值，则有

$$u_c = \sqrt{u_{B1}^2 + u_A^2} = 0.072 \text{ Ah}$$

B.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k \times u_c=0.15 \text{ Ah}$ ；相对不确定度为 $U_{\text{rel}}=0.15\%$ ， $k=2$ 。

B.5 恒流充电上升时间校准结果的测量不确定度评定

B.5.1 校准方法

校准连接如图 9 所示。设置被校系统为恒流充电模式，设置充电电流值为额定值，采用数字示波器测量恒流充电电流上升时间。

B.5.2 测量模型

$$T_x = T_0 \quad (\text{B.5})$$

式中：

T_x ——被校系统恒流充电上升时间，单位：s；

T_0 ——数字示波器上升时间读数，单位：s。

B.5.3 不确定度来源

- a) 数字示波器水平时基准确度引入的不确定度分量；
- b) 数字示波器带宽引入的不确定度分量；
- c) 数字示波器垂直增益误差引入的不确定度分量；
- d) 数字示波器采样率引入的不确定度分量；
- e) 电流探头带宽；
- f) 测量重复性引入的不确定度分量；

根据经验和数字示波器的技术指标，以上不确定度来源 a)、b)、d)、e) 四项可忽略不计。

B.5.4 标准不确定度评定

以恒流充电上升时间为 1 ms 为例进行不确定度评定。

- a) 数字示波器垂直增益误差引入的不确定度分量 u_{B1}

按 B 类进行评定。数字示波器的垂直增益最大允许误差典型值为 $\pm 2\%$ ，则其区间半宽度为 $a_1 = \pm 2\%$ ，

服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则 $u_{B1} = \frac{1 \times 2\%}{\sqrt{3}} = 0.01155 \text{ ms}$ 。

- b) 被校系统恒流充电电流上升时间测量重复性引入的不确定度分量 u_A

按 A 类进行评定。用数字示波器对稳定的被校充放电测试系统的恒流充电上升时间进行短期重复测量，独立测量 $n=10$ 次，重复性测试数据见表 B.10。

表 B.10 电池充放电测试系统恒流充电上升时间重复测量 10 次数据

单位：ms

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$\bar{x}$	$S_n(x)$
1.002	1.005	0.998	1.003	1.000	1.006	0.999	1.004	1.001	1.002	1.002	0.00258

B.5.5 合成标准不确定度

电池充放电测试系统恒流充电上升时间校准结果标准不确定度来源及数值汇总于表 B.11 中。

表 B.11 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
u_{B1}	数字示波器垂直增益误差	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.01155 ms
u_A	被校系统充放电电压测量重复性	A 类	/	/	0.00258 ms

$$u_c = \sqrt{u_{B1}^2 + u_A^2} = 0.00283 \text{ ms}$$

B.5.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k \times u_c=0.006 \text{ ms}$ ；相对不确定度为 $U_{\text{rel}}=0.6\%$ ， $k=2$ 。

B.6 温度示值误差校准结果的测量不确定度评定

B.6.1 校准方法

温度二次仪表校准，按图 11 接线，开启被校电池充放电测试系统的温度测量功能。按校准点设置温度校准仪的输出温度值。

B.6.2 测量模型

$$\Delta T = T_x - T_0 \quad (\text{B.6})$$

式中：

ΔT ——被校充放电测试系统温度测量示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_x ——被校充放电测试系统温度测量示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_0 ——温度校准仪输出的标准温度值， $^{\circ}\text{C}$ 。

B.6.3 不确定度来源

a) 温度校准仪输出的标准温度值引入的不确定度分量；

b) 被校充放电测试系统温度测量重复性引入的不确定度分量。

B.6.4 标准不确定度评定

以温度测量值 25°C 为例进行不确定度评定。

a) 温度校准仪输出的标准温度值引入的不确定度分量 u_{B1}

按 B 类进行评定。温度校验仪溯源证书不确定度为 0.1°C ， $k=2$ ，则 $u_{B1} = \frac{0.1}{2} = 0.05^{\circ}\text{C}$ 。

b) 被校充放电测试系统温度测量重复性引入的不确定度分量。 u_A

按 A 类进行评定。用温度校准仪对稳定的被校充放电测试系统温度测量功能短期重复性测量，独立测量 $n=10$ 次，重复性测试数据见表 B.12。

表 B.12 电池充放电测试系统温度重复测量 10 次数据

单位： $^{\circ}\text{C}$

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$\bar{x}$	$s_n(x)$
25.0	25.2	25.5	25.1	25.5	25.4	25.1	25.2	25.3	25.5	25.28	0.1874

B.6.5 合成标准不确定度

电池充放电测试系统恒流充电上升时间校准结果标准不确定度来源及数值汇总于表 B.13 中。

表 B.13 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	k 值	标准不确定度
u_{B1}	温度校准仪输出的标准温度值	B 类	2	0.05°C
u_A	温度测量重复性	A 类	/	0.1874°C

$$u_c = \sqrt{u_{B1}^2 + u_A^2} = 0.194 \text{ } ^\circ\text{C}$$

B.6.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k \times u_c=0.4 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

B.7 脉冲充电校准结果的测量不确定度评定

B.7.1 校准方法

采用脉冲分流器法测量脉冲充电电流。校准连接如图 10 所示。设置被校系统为脉冲充电模式，设置脉冲充电电流并输出。读取被校系统的脉冲充电电流设置值 I_{ms} 。以及脉冲分流器 R_f ，电压采样端取样数字电压表测量值 U_c ，通过间接测量法进行校准。

B.7.2 测量模型

$$\Delta I_p = I_{ms} - \frac{U_c}{R_f} \quad (\text{B.7})$$

式中：

ΔI_p ——脉冲充电电流设置误差，单位：A；

I_{ms} ——被校系统脉冲充电电流的设置值，单位：A；

U_c ——取样数字多用表的电压测量值，单位：V；

R_f ——脉冲分流器的阻值，单位： Ω 。

B.7.3 不确定度来源

a) 取样数字多用表的电压测不准引入的测量不确定度分量 u_{B1} ；

b) 脉冲分流器的阻值不准引入的测量不确定度分量 u_{B2} ；

c) 被校系统脉冲充电电流测量重复性引入的不确定度分量 u_A

B.7.4 标准不确定度评定

本次评定以设定脉冲充电电流 $I_{ms} = 3000 \text{ A}$ 、 $U_0 = 30 \text{ V}$ 、 $R_f = 0.01 \Omega$ 为例进行不确定度评定。

B.7.4.1 各输入量灵敏系数

由测量模型 $\Delta I_p = I_{ms} - \frac{U_c}{R_f}$ 求偏导，代入 $U_0 = 30 \text{ V}$ ， $I_0 = 0.01 \Omega$ ，则各输入量灵敏系数见表 B.14：

B.14 各输入量灵敏系数表

输入量	符号	灵敏系数 $c_i = \partial \Delta I_p / \partial x_i$	数值（本示例）
电压表示值	U_0	$-1/R_f$	-100 A/V
电阻值	R_f	$U_0/R_f^2 = I_{\text{实测}}/R_f$	$300\,000 \text{ A}/\Omega$

B.7.4.2 取样数字多用表引入的测量不确定度分量 u_{B1}

按 B 类进行评定。取样数字多用表电压测允许误差极限为 $\pm 0.3\%$ ，服从均匀分布，包含因子

$$k_1 = \sqrt{3}, \text{ 则 } u_{B1} = \frac{30 \times 0.3\%}{\sqrt{3}} = 0.05196 \text{ V}。$$

B.7.4.3 脉冲分流器的阻值不准引入的测量不确定度分量 u_{B2}

用 B 类标准不确定度评定。脉冲分流器阻值 0.01Ω ，其允许误差极限为 $\pm 0.2\%$ ，服从为均匀分

$$\text{布, } k = \sqrt{3}, \text{ 则 } u_{B2} = \frac{0.01 \times 0.2\%}{\sqrt{3}} = 1.155 \times 10^{-5} \Omega。$$

B.7.4.4 脉冲充电电流测量重复性引入的测量不确定度分量 u_A

按 A 类进行评定。设定值 $R_x=3000\text{ A}$, $n=10$ 次独立重复测量, 重复性测试数据见表 B.15。

表 B.15 电池充放电测试系统充放电电压重复测量 10 次数据

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$s_n(x)$
$U_i(\text{V})$	30.006	30.015	29.994	30.009	30.000	30.018	29.997	30.012	30.003	30.006	/
$\frac{U_i}{R_f}(\text{A})$	3000.6	3001.5	2999.4	3000.9	3000.0	3001.8	2999.7	3001.2	3000.3	3000.6	/
$\Delta I_{pi}(\text{A})$	-0.6	-1.5	0.6	-0.9	0.0	-1.8	0.3	-1.2	-0.3	-0.6	0.775

B.7.5 合成标准不确定度

B.7.5.1 标准不确定度分量表

电池充放电测试系统脉冲充电校准结果的测量不确定度的来源及数值汇总于表 B.16 中。

表 B.16 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	标准不确定度值	灵敏系数 C_i	$ C_i \cdot u(x_i)$
u_{B1}	取样数字多用表	B 类	0.05196 V	-100 A/V	5.196 A
u_{B2}	脉冲分流器的阻值	B 类	$1.155 \times 10^{-5} \Omega$	300 000 A/ Ω	3.465 A
u_A	测量重复性	A 类	0.775 A	1	0.775 A

B.7.5.2 合成标准不确定度分量

$$u_c = \sqrt{5.196^2 + 3.465^2 + 0.775^2} = 6.29 \text{ A}$$

B.7.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为: $U=k \cdot u_c=12.6 \text{ A}$; 相对不确定度 $U_{\text{rel}}=0.42\%$, $k=2$ 。

B.8 恒功率放电功率设置值校准结果的测量不确定度评定

B.8.1 校准方法

连接如图 5 所示。设置被校电池充放电测试系统仪为恒功率放电模式, 按校准点设置放电功率值 P_S ; 启动被校电池充放电测试仪恒功率放电, 待放电电压和放电电流稳定后, 读取直流数字电压表读数 V_0 和直流电流测量仪表的读数 I_0

B.8.2 测量模型

$$\Delta P_S = P_S - V_0 I_0 \quad (\text{B.8})$$

式中:

ΔP_S ——被校电池充放电测试仪放电功率设置值示值误差, W;

P_S ——被校电池充放电测试仪放电功率设置值, W;

V_0 ——直流数字电压表读数, V;

I_0 ——直流电流测量仪表的读数, A。

B.8.3 不确定度来源

- a) 直流数字电压表测不准引入的测量不确定度分量 u_{B1} ;
- b) 直流电流测量仪表不准引入的测量不确定度分量 u_{B2} ;
- c) 被校系统恒功率放电功率测量重复性引入的不确定度分量 u_A

B.8.4 标准不确定度评定

本次评定以脉冲充电电流 $P_S = 50 \text{ W}$, $V_0 = 5 \text{ V}$ 、 $I_0 = 10 \text{ A}$ 为例进行不确定度评定。

B.8.4.1 各输入量灵敏系数

由测量模型 $\Delta P_S = P_S - V_0 I_0$ 求偏导, 代入 $V_0 = 5 \text{ V}$, $I_0 = 10 \text{ A}$, 则各输入量灵敏系数见表 B.17:

B.17 各输入量灵敏系数表

输入量	符号	灵敏系数 $\partial\Delta P_S/\partial x_i$	数值（本示例）
数字电压表示值	V_0	$-I_0$	-10 W/V
电流测量仪示值	I_0	$-V_0$	-5 W/A

B.8.4.2 直流数字电压表引入的测量不确定度分量 u_{B1}

按 B 类进行评定。直流数字电压表 5V 量程允许误差限为 $\pm(0.025\% + 2\text{ 字})$ ，5V 读数时最大允许误差为 $\pm 0.00145\text{ V}$ ，服从均匀分布，包含因子 $k_1=\sqrt{3}$ ，则 $u_{B1}=\frac{0.00145}{\sqrt{3}}=0.000837\text{ V}$ 。

B.8.4.3 直流电流测量仪不准引入的测量不确定度分量 u_{B2}

用 B 类标准不确定度评定。直流电流测量仪 10A 量程允许误差极限为 $\pm(0.3\% + 2\text{ 字})$ ，10A 读数时最大允许误差为 $\pm 0.032\text{ A}$ ，服从为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则 $u_{B2}=\frac{0.032}{\sqrt{3}}=0.01848\text{ A}$ 。

B.8.4.4 脉冲充电电流测量重复性引入的测量不确定度分量 u_A

按 A 类进行评定。设定值 $P_S = 50\text{ w}$ ， $n=10$ 次独立重复测量，重复性测试数据见表 B.18。

表 B.18 电池充放电测试系统恒功率放电功率重复测量 10 次数据

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$s_n(x)$
$V_{0i}(\text{V})$	5.0015	5.0032	4.9988	5.0021	5.0000	5.0045	4.9975	5.0028	5.0008	5.0020	/
$I_{0i}(\text{A})$	10.001	10.004	9.998	10.002	10.000	10.006	9.997	10.003	10.001	10.002	/
$\Delta I_{pi}(\text{W})$	-0.020	-0.052	0.023	-0.031	0.000	-0.075	0.030	-0.043	-0.013	-0.030	0.03108

B.8.5 合成标准不确定度

B.8.5.1 标准不确定度分量表

电池充放电测试系统脉冲充电校准结果的测量不确定度的来源及数值汇总于表 B.19 中。

表 B.19 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	标准不确定度值	灵敏系数 C_i	$ C_i \cdot u(x_i)$
u_{B1}	数字电压表示值	B 类	0.000837 V	-10 w/V	0.00837 W
u_{B2}	电流测量仪示值	B 类	0.01848 A	-5 W/A	0.0924 W
u_A	测量重复性	A 类	0.03108 w	1	0.03108 W

B.8.5.2 合成标准不确定度分量

$$u_c=\sqrt{0.00837^2 + 0.0924^2 + 0.03108^2}=0.101\text{ W}$$

B.8.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k \times u_c=0.2\text{ W}$ ；相对不确定度 $U_{\text{rel}}=0.4\%$ ， $k=2$ 。