



中华人民共和国工业和信息化部 机械计量技术规范

JJFZ（机械）XXXX-XXXX

锂离子电池储能系统性能测试装置校准规范

Calibration Specification of Performance Testing Device of Lithium Ion
Battery Energy Storage System
(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

锂离子电池储能系统性能测试装
置校准规范

Calibration Specification of Performance
Testing Device of Lithium Ion Battery
Energy Storage System

JJFZ (机械) XXXX-XXXX

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：威凯检测技术有限公司

参加起草单位：嘉兴威凯检测技术有限公司

广州苏试众博环境实验室有限公司

云南电力试验研究院（集团）有限公司

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司大理局

本规范委托全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

周李渊（威凯检测技术有限公司）

李斌诚（威凯检测技术有限公司）

杨继鑫（嘉兴威凯检测技术有限公司）

戴兴学（威凯检测技术有限公司）

参加起草人：

万祺伟（嘉兴威凯检测技术有限公司）

袁 辉（广州苏试众博环境实验室有限公司）

杜宗强〔云南电力试验研究院（集团）有限公司〕

李 阳（中国南方电网有限责任公司超高压输电公司大理局）

目 录

引 言.....	I
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 测试电源要求.....	3
6.3 测量标准及其他设备.....	3
7 校准项目与校准方法.....	4
7.1 校准项目.....	4
7.2 校准方法.....	4
8 校准结果表达.....	21
9 复校时间间隔.....	22
附录 A 测量结果不确定度分析示例.....	23
附录 B 校准记录格式.....	36
附录 C 校准证书结果页格式.....	36

引 言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编写的基础性规范。

本规范为首次发布

锂离子电池储能系统性能测试装置校准规范

1 范围

本校准方法适用于额定功率不小于 100 kW 且额定能量不小于 200 kW·h 的预制舱式锂离子电池储能系统充放电性能、热管理机组性能测试装置及其他类似试验装置的校准。

2 引用文件

JJF 1858-2020 《空调器空气焓值法能效测量装置校准规范》

JJF（机械）1005-2018 《焓差试验室校准规范》

JJG（军工）77-2015 《直流稳压电源检定规程》

GB/T 44026-2024 《预制舱式锂离子电池储能系统技术规范》

GB/T 7725-2004 《房间空气调节器》

GB/T 4793.1-2007 《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求第 1 部分：通用要求》

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

预制舱式锂离子电池储能系统 prefabricated cabin type lithium ion battery energy storage system

在预制舱体中集成安装锂离子电池阵列、电池管理系统和辅助系统，结合布置在该预制舱体内部或外部的储能变流器变压器等设备，能够独立实现电能存储、转换及释放的设备组合。[GB/T 44026]

4 概述

锂离子电池储能系统性能测试装置主要用于对储能电池在不同工作条件下的性能指标进行综合测试与验证。装置集成了高精度充放电测试装置、环境模拟系统及热管理机组测试装置，可实现对预制舱式锂离子电池储能系统电池容量、能量效率、热管理性能等关键参数的测试。

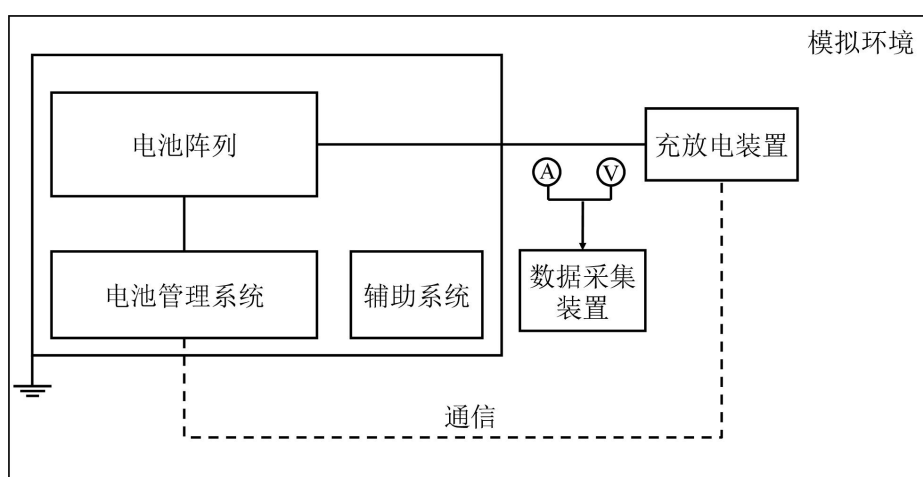


图1 锂离子电池储能系统性能测试装置

5 计量特性

锂离子电池储能系统性能测试装置各项目的测量范围和允许误差见表1。

表1 主要计量特性技术指标

条款	项目		测量范围	最大允许误差
5.1	热管理系统测试电压		单相或多相中的一相： (50~280) V	$\pm 0.5\%$
5.2	热管理系统测试电流		单相或多相中的一相： (0.5~550) A	$\pm 0.5\%$
5.3	热管理系统测试功率		单相或多相中的一相： 100W~110KW	$\pm 0.5\%$
5.4	充放电系统电压		(1~2000) V	$\pm 0.1\%FS$
5.5	充放电系统电流		(1~3000) A	$\pm 0.1\%FS$
5.6	充放电容量		(1~6000) Ah	$\pm 5\%$
5.7	温度	铂电阻温度	(-50~150)°C	$\pm 0.1^{\circ}C$ (0~60)°C $\pm 0.2^{\circ}C$ 其它温度
		热电偶温度	(-50~300)°C	$\pm 0.5^{\circ}C$ (0~50)°C $\pm 1.0^{\circ}C$ 其它温度
5.8	相对湿度传感器		(0~100) %RH	$\pm 3\%RH$
5.9	压力	冷媒压力	(-0.1~15)MPa	$\pm 0.5\%FS$
		载冷剂压差	(0~1) MPa	$\pm 0.5\%FS$
		微差压	(0~5)Pa	$\pm 0.25Pa$
			(5~500) Pa	$\pm 2.5Pa$
			500Pa 以上	$\pm 25Pa$
		大气压	(80~120) kPa	$\pm 0.1\%$

表 1 (续)

5.10	风速	湿球温度计取样风机处的风速	$\geq 5 \text{ m/s}$
5.11	流量	体积流量: $(0.2 \sim 30) \text{ m}^3/\text{h}$	$\pm 0.5\%$
5.12	工况环境	温度: $(-20 \sim 60)^\circ\text{C}$	温度偏差: $\pm 2^\circ\text{C}$ 温度波动度: $\pm 2^\circ\text{C}$ 温度均匀度: $\leq 2^\circ\text{C}$
		湿度: $20\%\text{RH} \sim 95\%\text{RH}$	$\pm 5\%$

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $18^\circ\text{C} \sim 28^\circ\text{C}$;

6.1.2 相对湿度: $< 80\%$;

6.1.3 周围应无影响装置正常工作的机械振动、冲击和外电磁场。

6.2 测试电源要求

6.2.1 电源的输出功率应能供给被校装置在额定电压及额定电流下所消耗的功率。

6.2.2 电源输出功率在 3min 内的最大相对变化值应小于被校装置最大允许误差绝对值的 1/5。

6.2.3 电源电压及电流应能够调节至被校装置对应的电压和电流, 其调节细度应小于被校装置最大允许误差绝对值的 1/5。

6.2.4 电源频率每三分钟的最大相对变化量和调节细度应小于被校装置频率最大允许误差绝对值的 1/5。

6.2.5 电源电压或电流波形失真度应小于 3%。

6.2.6 电源各电流回路及电压回路之间, 在电气上应该是绝缘的, 以便各电流与电压回路之间能作任意的电气连接。

6.2.7 被校装置的电网电压应符合, 频率: $(50 \pm 2)\text{Hz}$, 电压: $(220 \pm 11) \text{ V} / (380 \pm 19) \text{ V}$ 。

6.3 测量标准及其他设备

标准设备(或装置)的扩展不确定度应小于被校装置各参量最大允许误差绝对值的 1/3。
标准设备(装置)的功能和测量范围要完全覆盖被校准装置的功能和测量范围。标准设备的选用可参照以下:

- 6.3.1 交直流数字电压表
- 6.3.2 交直流电流测量仪表
- 6.3.3 功率分析仪
- 6.3.4 二等标准铂电阻温度计
- 6.3.5 铂电阻温度显示系统
- 6.3.6 恒温槽或恒温装置
- 6.3.7 冰点器
- 6.3.8 湿度发生器、湿度传感器
- 6.3.9 压力校准仪
- 6.3.10 微压校准仪
- 6.3.11 风速仪
- 6.3.12 标准流量装置

7 校准项目与校准方法

7.1 校准项目

锂离子电池储能系统校准项目见表 2。

表2 校准项目

序号	项目名称	计量特性条款	校准方法条款
1	交流电压	5.1	7.2.2
2	交流电流	5.2	7.2.3
3	交流功率	5.3	7.2.4
4	充电电流	5.4	7.2.5
5	充电电压	5.5	7.2.6
6	放电电流	5.5	7.2.7
7	充电容量	5.6	7.2.8
8	放电容量	5.6	7.2.9
9	温度	5.7	7.2.10
10	湿度	5.8	7.2.11
11	压力	5.9	7.2.12
12	风速	5.10	7.2.13
13	流量	5.11	7.2.14

7.2 校准方法

7.2.1 外观与工作正常性检查

7.2.1.1 外观检查

被校装置外观应整洁完好，无影响装置计量特性和安全性能的机械损伤；铭牌上应清晰标明装置名称、规格型号、制造厂名（或商标）、出厂编号、出厂日期等信息；应有明显的接地端钮及接地标志。

7.2.1.2 工作正常性检查

通电检查，被校装置电气工作性能正常，开关、按键工作灵活，显示装置应显示清晰、正确无误。带自检功能的装置自检应能正常通过。

7.2.2 交流电压

交流电压校准点的选择：a) 通常选取 50Hz 作为校准频率点，在被校装置 10%~100% 的测量范围内均匀选取不少于 5 个电压校准点。b) 对有扩展频率范围的被校装置，选取包含最大频率点和最小频率点在内，不少于 5 个频率点，并在常用一个电压点进行示值误差校准。

7.2.2.1 标准表法

a) 接线如图 2 所示。

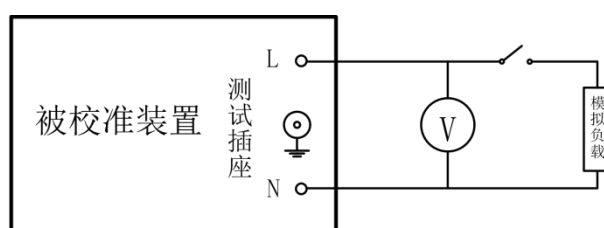


图 2 标准表法电压校准接线图

b) 开启被校装置的电压和电流自动量程功能，如果被校系统不具备自动量程功能，则手动调节校准点至合适量程，当被校装置测量量程超过标准仪表直接测量范围时，应配合经校准的电压转换装置。

c) 连接好线路，选择好测试模式，闭合开关 K，调节输出电压至校准点，并调节模拟负载，为满负荷的 90%，同时读取被校装置和标准电压表的显示值为 U_X 。

d) 按公式（1）计算被校装置交流电压的示值误差：

$$\Delta_U = U_X - U_N \dots\dots\dots (1)$$

按公式（2）计算被校装置交流电压的相对误差：

$$\gamma_U = \frac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中： U_X ——被校装置的显示值，V；

U_N ——标准电压表的读数值，V；

Δ_U ——被校装置交流电压示值误差，V；

γ_U ——被校准装置测试电压相对误差，%。

7.2.2.2 标准源法

a) 接线如图 3 所示的电压部分。

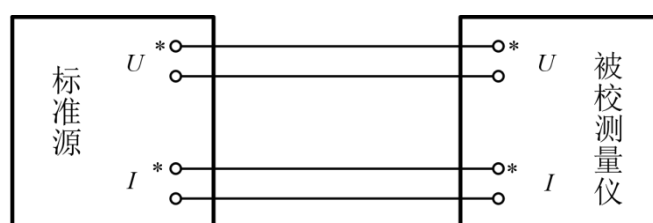


图 3 标准源法校准连接图

b) 将被校装置的功率测量端与能效测量装置断开，然后与标准功率源对应的电流、电压端子连接，确保各部件外壳与地电位连接。

c) 将被校装置功率开启电流和电压的自动量程功能，如果被校装置不具备自动量程功能，校准时应根据校准点手动调节至合适量程，按照电压渐升顺序，依次平稳地将标准源调整至校准点，稳定后同时读取被校装置的电压显示值 U_X 。

d) 按公式（1）、（2）计算被校装置测试电压的示值误差和相对误差。

7.2.3 交流电流

a) 通常选取 50Hz 作为频率校准点，在被校装置 10%~100%测量范围内，均匀选取 5~8 个电流校准点，或根据用户的要求选点对被校装置的电流示值误差进行校准。

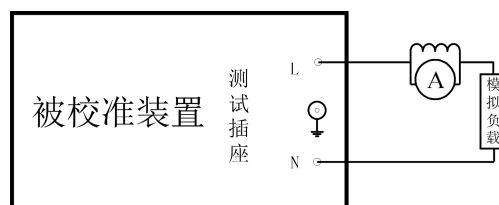
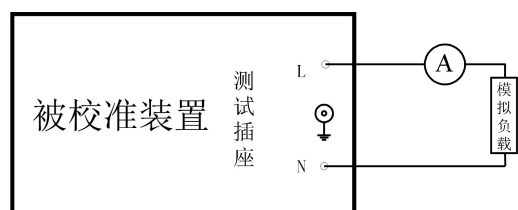
b) 对有扩展频率范围的被校准装置，在装置频率范围内均匀选取包括最大频率点和最小频率点至少 5 个频率点，对交流电流的一个常用点进行示值误差校准。

7.2.3.1 标准表法

a) 使用等效稳定的模拟负载（由电阻、电抗及调压器组成），功率因数大于 0.2。

b) 当标准电流表的测量范围能满足被校装置的要求，接线如图 4-1 所示，当标准电流

表的测量范围不能满足被校装置的要求，则加上电流互感器接线如图 4-2 所示。



4-1

4-2

图 4 电流校准连接图

c) 连接好线路，选择好测试模式，闭合开关 K，调节模拟负载，使标准表的读数至校准点，同时读取被校装置和标准电流表的显示值。

d) 按公式（3）计算被校装置测试电流的示值误差：

$$\Delta_I = I_X - I_N \dots\dots\dots (3)$$

按公式（4）计算被校装置测试电流的相对误差：

$$\gamma_I = \frac{I_X - I_N}{I_N} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中： I_X ——被校装置电流显示值，A；

I_N ——标准表电流标准值，A；

Δ_I ——被校准装置测试电流示值误差，A；

γ_I ——被校准装置测试电流相对误差，%。

7.2.3.2 标准源法

a) 接线如图 2 所示。

b) 将被校装置的功率测量端与能效测量装置断开，再与功率标准源的对应端子连接，确保各部件外壳与地电位连接。

c) 将被校装置的电流缩放功能关闭，开启电压和电流的自动量程功能。如果被校装置不具备自动量程功能，校准时根据校准点手动调节至合适量程。按照电流渐升顺序，依次平稳地将标准源调整至校准点，稳定后同时读取被校装置的显示值 I_X 。

d) 按公式（3）、（4）计算被校装置测试电流的示值误差和相对误差。

7.2.4 交流功率

a) 校准点的选择

校准点应在被校装置测量范围的 10%~100%均匀选取 5~8 个校准点,也可按负载电流的 10%、20%、50%、80%、100%选点或根据用户要求进行取点。

b) 对有扩展频率范围的被校准装置,可参照 7.2.2。

7.2.4.1 标准表法

7.2.4.1.1 三相功率

a) 接线如图 5 所示(三相四线功率),或如图 6 所示(三相三线功率)。

b) 当 $\cos\varphi=1$ 时,选择三相测试模式,按下测试开关,改变模拟负载,调节功率至被校准点,同时读取标准功率表和被校装置的功率显示值。

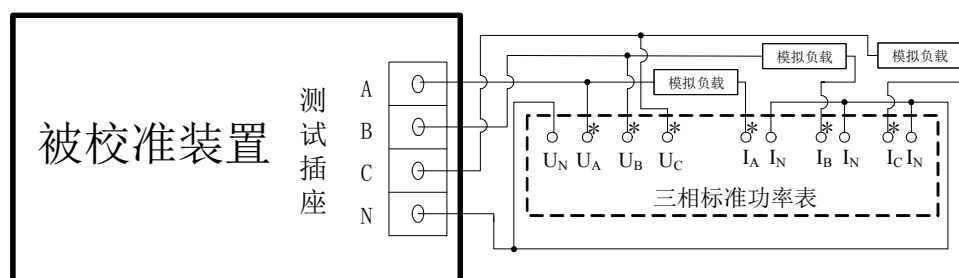


图 5 三相四线功率标准表接线法

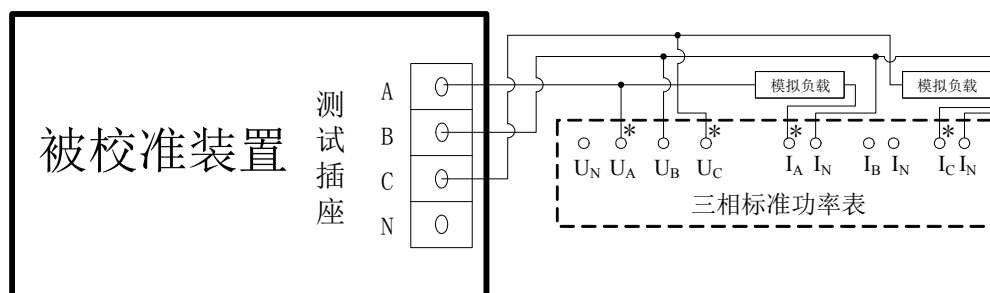


图 6 三相三线功率标准表接线法

c) 按公式 (5) 计算被校装置测试功率的示值误差:

$$\Delta_P = P_X - P_N \dots\dots\dots (5)$$

按公式 (6) 计算被校装置测试功率的相对误差:

$$\gamma_P = \frac{P_X - P_N}{P_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中: P_X ——被校装置功率显示值, W;

P_N ——标准功率表标准值, W;

Δ_P ——被校准装置测试功率示值误差, W;

γ_P ——被校准装置测试功率相对误差, %。

7.2.4.1.2 单相功率

按图 7 连接好线路, 选择单相测试, 校准方法同 7.2.4.1.1。

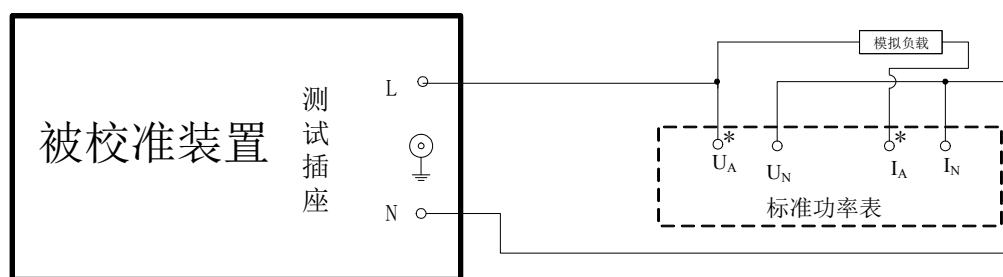


图 7 单相功率标准表接线法

7.2.4.2 标准源法

7.2.4.2.1 三相功率

a) 接线如图 8 所示（三相四线功率），或如图 9 所示（三相三线功率）。

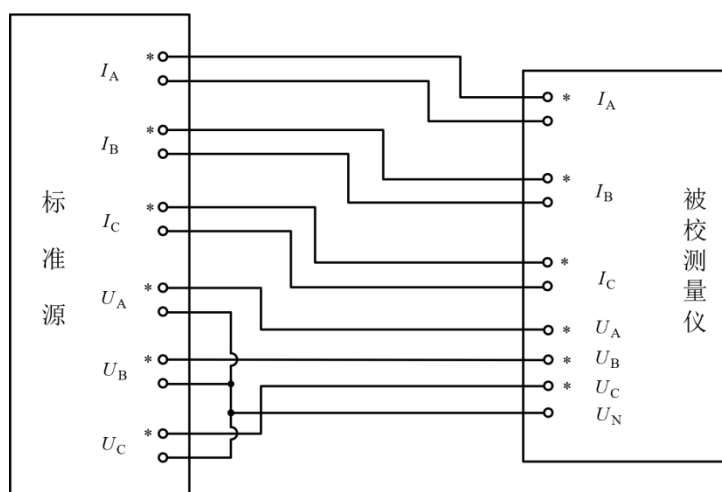


图 8 三相四线功率标准源接线法

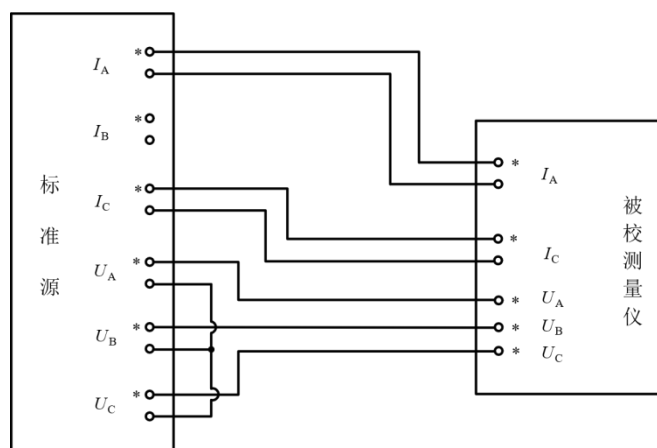


图 9 三相三线功率标准源接线法

b) 将被校电参数测量系统的功率计测量端与能效测量装置断开，然后与功率标准源的对应端子连接，并确保各部件外壳与地电位连接。

c) 将被校功率计的电流缩放功能关闭，并开启电压和电流的自动量程功能。如果被校功率计不具备自动量程功能，校准时根据校准点手动调节至合适量程。按照功率渐升顺序，依次平稳地将功率标准源调整至校准点并待其足够稳定，同时读取被校装置的显示值。

d) 按公式（5）、（6）计算被校装置测试电流的示值误差和相对误差。

7.2.5 充电电流

按照图 10 进行接线，校准时性能测试装置中的充电电流测量与控制单元应处于校准模式或独立可控输出状态，能够按设定值输出恒定充电电流。每量程至少选 3 个校准点，应包含量程的 10%、50%和 100%的接近值。设置被校装置为恒流充电模式，按校准点设置充电电流值 I_s^+ ；设置被校装置的充电终止电压 V_E^+ 大于电池模拟设备或电池组的正负极端电压，使校准过程中被校装置不因达到终止条件而停止工作；先接通电池模拟设备或电池组，再启动被校装置，待充电电流稳定后，记录直流电流测量仪表读数 I_0 和被校装置充电电流的测量值 I^+ ，按公式（7）计算恒流充电电流测量值示值误差。

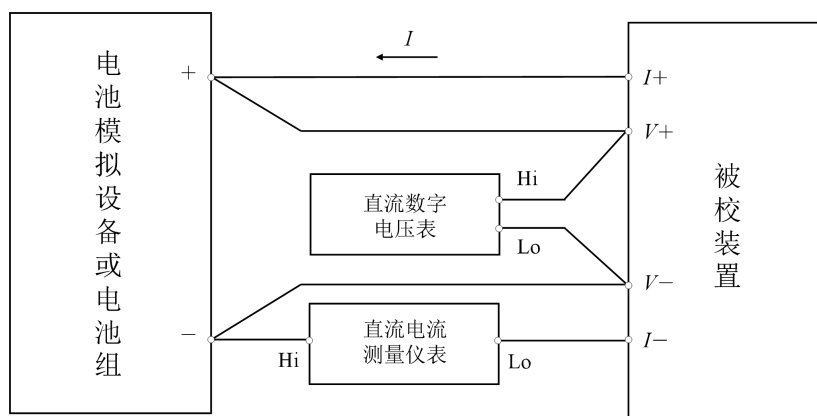


图 10 充电校准接线图

$$\Delta I^+ = I^+ - I_0 \dots\dots\dots (7)$$

式中： ΔI^+ ——被校装置恒流充电电流测量值示值误差，A；

I^+ ——被校装置恒流充电电流测量值，A；

I_0 ——直流电流标准值，A。

7.2.6 充电电压

按照图 10 进行接线，校准时性能测试装置中的充电电压测量与控制单元应处于校准模式或独立可控输出状态，能够按设定值输出恒定充电电压。每量程至少选 3 个校准点，应包含量程的 10%、50%和 100%的接近值。设置装置为恒压充电模式，按校准点设置充电电压值 V_S ；设置电池模拟设备或电池组的充电电流值大于被校装置的充电终止电流 I_E ，使校准过程中被校装置不因达到终止条件而停止工作；先接通电池模拟设备或电池组，再启动被校装置，待充电电压稳定后，记录直流数字电压表读数 V_0 和被校装置充电电压的测量值 V ，按公式（8）计算恒流充电电流测量值示值误差。

$$\Delta V = V - V_0 \dots\dots\dots (8)$$

式中： ΔV ——被校装置恒压充电电压设置值示值误差，V；

V ——被校装置恒压充电电压设置值，V；

V_0 ——直流电压标准值，A。

7.2.7 放电电流

按照图 11 进行接线，校准时性能测试装置中的放电电流测量与控制单元应处于校准模

式或独立可控输出状态，能够按设定值输出恒定放电电流。每量程至少选 3 个校准点，应包含量程的 10%、50%和 100%的接近值。设置被校装置为恒流放电模式，按校准点设置放电电流值 I_S ；设置被校装置的放电终止电压 V_E 大于电池模拟设备或电池组的正负极端电压，使校准过程中被校装置不因达到终止条件而停止工作；先接通电池模拟设备或电池组，再启动被校装置，待放电电流稳定后，记录直流电流测量仪表读数 I_0 和被校装置放电电流的测量值 I^- ，按公式（9）计算恒流放电电流测量值示值误差。

$$\Delta I^- = I^- - I_0 \dots\dots\dots (9)$$

式中： ΔI^- ——被校装置恒流放电电流测量值示值误差，A；

I^- ——被校装置恒流放电电流测量值，A；

I_0 ——直流电流标准值，A。

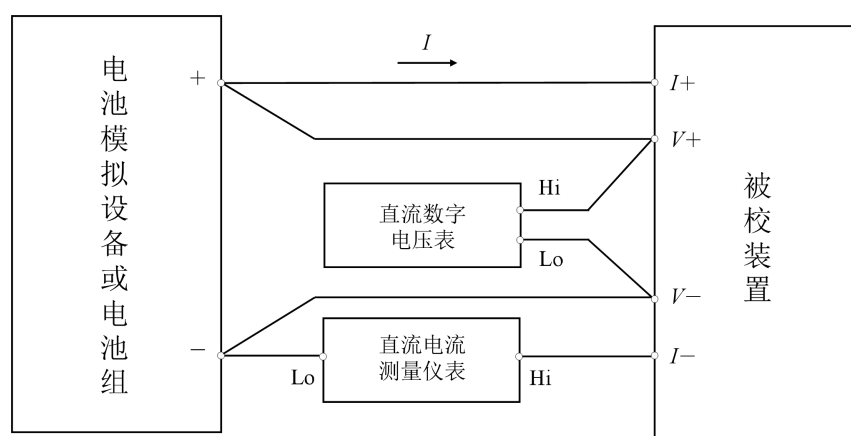


图 11 放电校准接线图

7.2.8 充电容量

按照图 12 的接线方式，将被校装置、功率分析仪和电池模拟设备或电池组正确连接。校准对象为性能测试装置中的充放电容量测量与计算单元，校准时该单元应处于校准模式或独立可控输出状态。将被校装置设置为恒流充电或恒压充电模式，参考 7.2.5 设置被校装置设置和电池模拟设备，使被校装置校准过程中不停止工作。在开始充电前，将被校装置的容量累计值清零。

启动充电过程，记录被校装置显示的充电容量值 Q ，以及功率分析仪的充电电容测量值 Q_0 ，按公式（10）计算被校装置的充电容量测量值的示值误差。

$$\Delta Q = Q - Q_0 \dots\dots\dots (10)$$

式中： ΔQ ——被校装置充/放电容量测量值示值误差，Ah；

Q ——被校装置充/放电容量测量值，A；

Q_0 ——电池充/放容量标准值，Ah。

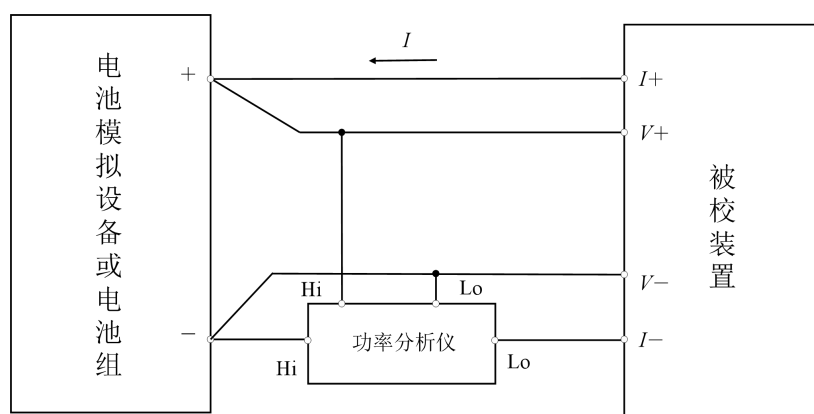


图 12 充电容量校准接线图

7.2.9 放电容量

按照图 13 的接线方式，将被校装置、功率分析仪和电池模拟设备或电池组正确连接。校准对象为性能测试装置中的充放电容量测量与计算单元，校准时该单元应处于校准模式或独立可控输出状态，能够按设定值进行恒流放电并对容量进行累计计算。将被校装置设置为恒流放电模式，参考 7.2.6 将放电终止电压设置为不影响校准过程连续进行的数值。在开始放电前，将被校装置的容量累计值清零。

启动放电过程，记录被校装置显示的充电容量值 Q ，以及功率分析仪的充电电容测量值 Q_0 。按公式（10）计算被校装置的放电容量测量值的示值误差。

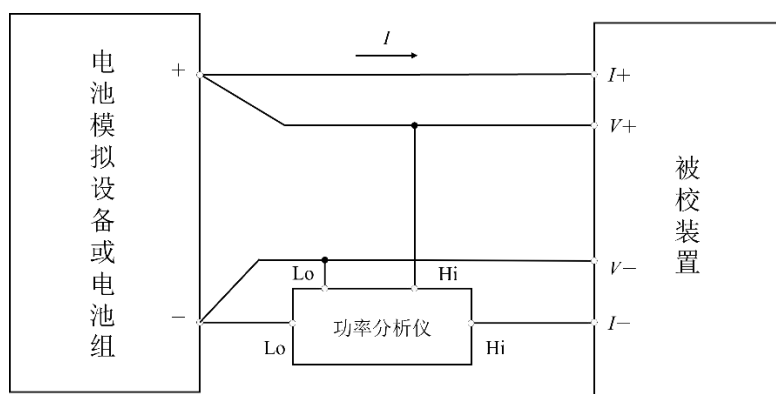


图 13 放电容量校准接线图

7.2.10 温度校准

a) 系统温度校准方法

根据温度测量系统的特殊性，在校准前需要对温度测量系统进行调校，调校方法参考试验室制造商的调校方法进行，通常情况只进行零位及满度的调整，调整完成后再进入校准程序进行温度测量系统误差的校准。

进行温度测量误差校准时，将温度传感器放进恒温槽中，恒温槽的设定温度应在校准温度点的 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 范围内，待恒温槽的温度恒定后（通常需要稳定 10min 以上），用标准温度计读取恒温槽中的温度 T_B ，温度传感器的显示系统显示的温度为 T_X ，每个温度校准点的读数不少于 2 次，计算其平均值，校准点按照要求选择，校准点测量误差的计算公式为：

$$\Delta_T = T_X - (T_B + T_B') \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

T_X ——温度测量系统的显示平均值， $^{\circ}\text{C}$

T_B ——标准温度计的读数平均值， $^{\circ}\text{C}$

T_B' ——标准温度计的修正值， $^{\circ}\text{C}$

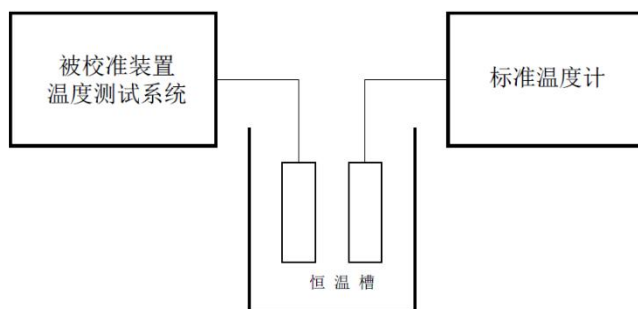


图 14 系统温度测试校准示意图

b) 测量通道测量误差校准方法

将温度标准源放置在校准的工作环境下，保证环境温度变化不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的条件下，恒定 2 小时，标准源采用环境温度补偿方式输出标准信号，接线方式如图 15 所示。

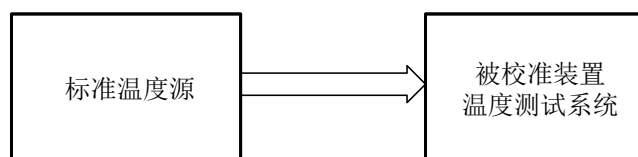
校准点测量误差的计算公式为：

$$\Delta t = t_X - t_B \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

Δt ——测量误差， $^{\circ}\text{C}$

t_X ——温度测量系统的显示平均值， $^{\circ}\text{C}$



t_B ——标准温度计的修正值， $^{\circ}\text{C}$

图 15 温度通道测试校准示意图

c) 温度传感器校准方法

温度测量系统中铂电阻适用于中低温测量，热电偶适用于高温测量，测温元件的选择应与测量温度范围相匹配。铂电阻校准方法：铂电阻校准依据 JJG 229 工业铂、铜热电阻检定规程进行校准，只校准 0°C 、 100°C 时的电阻值（分三线法、四线法）并计算出 α 值，校准结果应该符合 JJG 229 工业铂、铜热电阻检定规程规定的相应等级要求（见表 3）。

表 3 铂电阻技术指标要求

项目	标准值	允许误差		
		AA	A	B
R(0℃)	100.000Ω	±0.039Ω(±0.1℃)	±0.059Ω(±0.15℃)	±0.117Ω(±0.30℃)
R(100℃)	138.506Ω	±0.102Ω(±0.27℃)	±0.133Ω(±0.35℃)	±0.303Ω(±0.80℃)
α	$3.851 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\geq 3.835405 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\geq 3.829541 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\geq 3.804549 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
		$\leq 3.866608 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\leq 3.872485 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\leq 3.89756 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

热电偶的校准方法：热电偶的校准根据不同型号的热电偶选择依据 JJG 351 工作用廉金属热电偶检定规程或 JJG 368 工作用铜-铜镍热电偶检定规程进行校准，只校准 0℃、100℃时热电偶的感应电动势，并换算为对应的温度值，温度值的测量误差应满足表 4 要求。

表4 热电偶技术指标要求

热电偶型号	T		
校准点 (℃)	标准值 (mV)	允许误差	
		(mV)	(℃)

表 4（续）

0	0.000	±0.016	±0.416
100	4.279	+0.024	+0.522
		-0.024	-0.511

热电偶型号	K		
校准点 (℃)	标准值 (mV)	允许误差	
		(mV)	(℃)
0	0.000	±0.059	±1.5
100	4.096	±0.062	±1.5

热电偶型号	J		
校准点 (℃)	标准值 (mV)	允许误差	
		(mV)	(℃)
0	0.000	±0.076	±1.5
100	5.269	±0.082	±1.5
注:表 4 列出常用的热电偶型号，其它未列出的可参照热电偶检定规程。			

7.2.11 湿度校准

7.2.11.1 校准点的选择

选择至少 3 个试验室常用工作点，负温条件下至少 1 个点。参考点见表 5。

表5 相对湿度参考校准点

校准点	70%RH	30%RH	60%RH	90%RH
温度	-15℃	20℃	20℃	20℃

7.2.11.2 校准方法

a) 负温条件的相对湿度校准，选择准确度等级优于 1.5%RH 的湿度测量仪或露点仪作为标准器，将标准器测量探头和被校准的相对湿度传感器放置到试验室的取样风机处，将试验室工况开至-15℃，待工况稳定后读取标准器的读数和被校准相对湿度传感器的读数，计算出被校准传感器的修正值。

$$H_X = H_B - H_S \quad (13)$$

式中： H_B ——标准器的读数，%RH；

H_S ——被校准相对湿度传感器的读数，%RH；

H_X ——被校准传感器的修正值，%RH。

b) 常温条件下的相对湿度校准:选用标准湿度发生器，将被校准的湿度传感器放置到标准湿度发生器的测量孔，将湿度发生器的温度设置到 20℃，相对湿度设置到需要的校准点（如 30%RH），启动标准湿度发生器，待湿度发生器的设定参数运行稳定后读取标准湿度发生器的标准器读数及被校准相对湿度传感器的读数，计算出被校准传感器的修正值，用同样的方法校准其它校准点。

7.2.12 压力校准

压力分为微差压、水压差、大气压力、系统压力等。

7.2.12.1 校准点的选择

压力校准点应该选择不少于 5 点（含零点），所选取的校准点应较均匀地分布在全量程范围内。

7.2.12.2 压力示值误差校准

压力标准器最大允许误差应优于被校准压力允许误差的三分之一；

压力示值校准，如发现压力示值超差时，需要通过装置的软件或硬件调整机构，将压

力示值调整到最佳值，再进行示值误差校准。

示值误差计算：

$$\Delta P = P_R - P_S \quad (14)$$

式中： ΔP ——各校准点的压力示值误差，Pa，kPa，或 MPa；

P_R ——各校准点的正、反行程示值，Pa，kPa，或 MPa；

P_S ——标准器各校准点的标准示值，Pa，kPa，或 MPa。

压力传感器的示值误差校准按图 16 所示的方式连接。

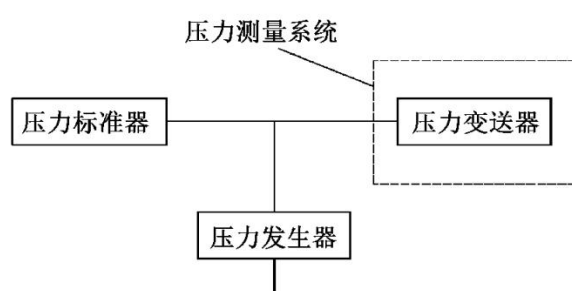


图 16 压力测试系统校准示意图

a) 零位校准（适用：微差压、水压差）

将压力传感器的高压端（H）和低压端（L）相连通，通过三通连接施加额定压力，待压力稳定后，读取压力传感器的零位示值。零位示值超差时，可调节压力传感器的零位旋钮使零位示值为最佳值，重复测量 3 次，取平均值为零位示值。

b) 单向压差示值误差校准

低压端(L)通大气，高压端(H)与校准装置相连接，示值误差按公式（14）计算。

c) 双向压差示值误差校准

先进行低压端(L)通大气，高压端(H)与校准装置相连接，然后再进行高压端(H)通大气，低压端(L)与校准装置相连接，示值误差计算按公式（14）计算。

7.2.13 风速测试

选用最大允许误差 $\pm 3.0\%$ 的标准风速计，测量取样风机湿球温度计位置的风速，旋转风速计使风速计测得值为最大值的位置，重复测量 3 次，取 3 次平均值为当前取样风机的风速值，其风速值应 $\geq 5\text{m/s}$ 。

7.2.14 流量校准

当能效测量装置未预留在线校准端口时，应送计量机构检定或校准。当能效测量装置预留在线校准端口时，可采用下述方法对流量计进行在线校准。

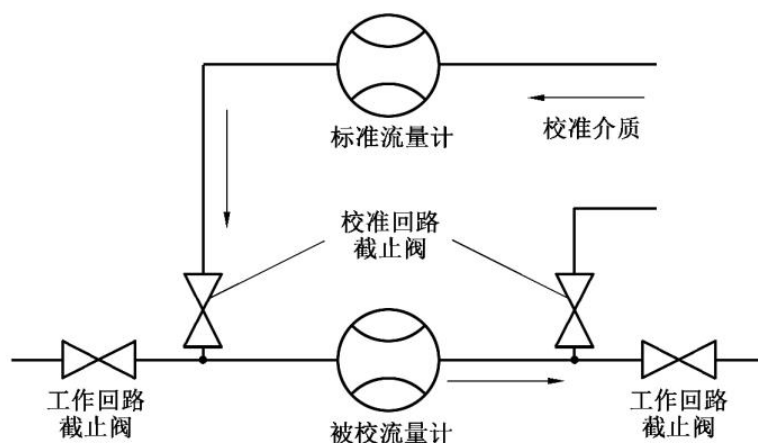
7.2.14.1 校准点确定

应根据实际流量测量范围合理确定校准范围和校准点，校准点原则上应覆盖测量范围且一般不少于 5 个。必要时，可根据客户需求调整或增加校准点。

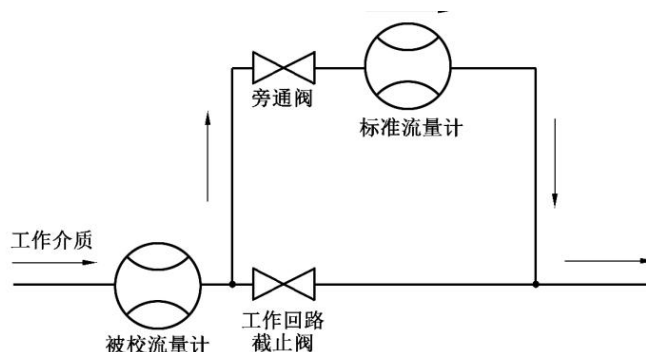
7.2.14.2 校准步骤

a) 可选择图 17 中的一种连接方式串联标准流量计与被校流量计，并充分排空管路中的空气。

b) 依次调节校准回路工作介质流量至校准点，待流量稳定后同时读取标准流量计和流量测量系统的示值（10min 累积值）。



(a) 被校流量计串入校准回路



(b) 标准流量计串入工作回路

图 17 流量测量系统校准连接示意图

7.2.15 工况环境

7.2.15.1 校准点确定

校准温度、湿度点通常情况选择试验室使用的上限、下限及中间点，也可以根据用户选点。

7.2.15.2 校准方法

测量点的位置应布放在试验室的三个校准面上，中层为通过试验室几何中心的平行于底面的校准工作面，测量点与试验室内壁的距离不小于各边长的十分之一，此距离不能大于 500mm。测量点布置图见图 18。

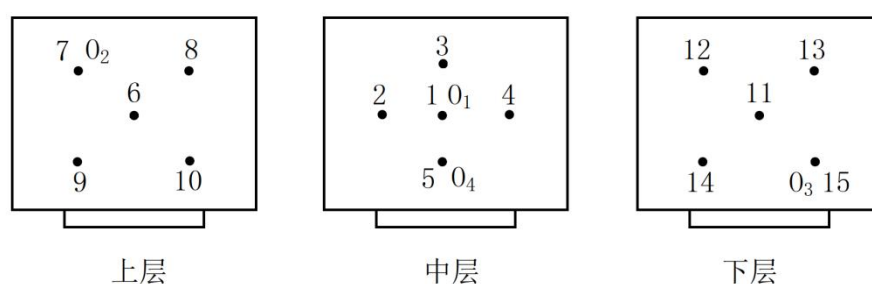


图 18 测量布点示意图

按照图 18 布置温度、湿度传感器，温度传感器最大允许误差不大于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度传感器最大允许误差不大于 $\pm 1.5\%\text{RH}$ ，将试验室的温度、湿度控制器设定到需要校准的温度、湿度工况，使试验室正常工作。待试验室工况稳定后开始读数，每 2min 记录所有测量点的温度、湿度示值，记录 15 组数据。

温度偏差计算：

$$\Delta t_d = t_d - t_0 \dots\dots\dots (15)$$

式中： Δt_d ——温度偏差， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_d ——设备显示温度平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_0 ——中心点 n 次测量的温度平均值， $^{\circ}\text{C}$ 。

温度波动度计算：

温度波动度为工况稳定状态下，工作空间中心点温度随时间的变化量，即中心点在 30min 内，每 2min 测试一次，实测最高温度与最低温度之差的一半。

$$\Delta t_f = \pm \frac{(t_{0\max} - t_{0\min})}{2} \dots\dots\dots (16)$$

式中: Δt_f ——温度波动度, °C;

$t_{0\max}$ ——中心点 n 次测量中的最高温度, °C;

$t_{0\min}$ ——中心点 n 次测量中的最低温度, °C。

温度均匀度计算:

温度均匀度为工况在稳定状态下, 在 30min 内, 每 2min 测试一次, 每次测试中实测最高温度与最低温度之差的算术平均值。

$$\Delta t_u = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{i\max} - t_{i\min})}{n} \dots\dots\dots (17)$$

式中: Δt_u ——温度均匀度, °C;

n ——测量次数;

$t_{i\max}$ ——各测量点在第 i 次测得的最高温度, °C;

$t_{i\min}$ ——各测量点在第 i 次测得的最低温度, °C。

相对湿度计算:

$$\Delta h_d = h_d - h_0 \dots\dots\dots (18)$$

式中: Δh_d ——湿度偏差, %RH;

h_d ——设备显示湿度平均值, %RH;

h_0 ——中心点 n 次测量的湿度平均值, %RH。

8 校准结果表达

校准证书至少应包含以下信息:

- 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说明;
- 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

测量结果不确定度分析示例

引言

锂离子电池储能系统性能测试装置的校准项目中电流、电压、温度是最主要的参数。本附录以交流电流测量示值误差、交流电压测量示值误差、充电电压测量示值误差、温度测量示值误差的校准测量不确定度评定为例，说明锂离子电池储能系统性能测试装置校准项目的测量不确定度评定的程序。

A.1 交流电压测量示值误差不确定度分析

A.1.1 测量方法：采用直接比较法，用真有效值数字电压表直接校准热管理电压测量示值误差为例进行不确定度评定。

A.1.2 测量模型：

$$\Delta_U = U_X - U_N \quad \text{..... (A.1)}$$

式中： U_X ——被校装置的显示值，V；

U_N ——标准电压表的标准值，V；

Δ_U ——被校准装置测试电压示值误差，V。

A.1.3 标准不确定度分量计算：

A.1.3.1 由被校装置读数引入的标准不确定度 $u(U_X)$ A.1.3.1.1 由被校装置重复性引入的标准不确定度 $u(U_{X1})$

校准时考虑到采样的同步性及电源的不稳定性这两方面引入的不确定度都包含在复现性中，因此，对这两方面不再独立分析。

以 220V 点为例进行分析。重复测量 10 次，所得数据如表 A.1。

表 A.1

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
读数(V)	220.5	220.6	220.5	220.6	220.4	220.5	220.7	220.4	220.5	220.6

①平均值： $\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n = 220.53\text{V}$

②求单次测量的标准偏差： $S = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} = 0.0949\text{V}$ ；

因此 $u(U_{X1}) = S = 0.0949\text{V}$ ；

A.1.3.1.2 由被校装置分辨力引入的不确定度分量 $u(U_{x2})$

被校装置在示值为 220.0V 时的分辨力为 0.1V，其在 $\pm 0.05V$ 的区间为均匀分布。故：

$$u(U_{x2}) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029V$$

注：由于重复性测量和被校准装置显示值分辨力对测量不确定度的贡献存在重复，因此，这两个分量在计算合成不确定度时，只取其中的最大，所以，本次评定只取由重复测量引入的不确定度。故重复性标准不确定度为：

$$u(U_x) = u(U_{x1}) = S = 0.0949V \dots\dots\dots (A.2)$$

A.1.3.2 由标准表引入的标准不确定度 $u(U_N)$

标准表的最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，标准表在测量 220.53V 时产生的最大误差为：

$$a = 0.05\% \times 220.53V = 0.1102V \dots\dots\dots (A.3)$$

属均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则由标准表示值误差引入的不确定度 $u(U_N)$ 为：

$$u(U_N) = 0.1102/\sqrt{3} = 0.0636V \dots\dots\dots (A.4)$$

A.1.3.3 环境温湿度的影响

整个校准过程按照校准规范规定的条件进行，由环境温湿度引入的测量不确定度可以忽略不计

A.1.3.4 合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{c^2(U_x)u^2(U_x) + c^2(U_N)u^2(U_N)} = 0.1143V \dots\dots\dots (A.5)$$

A.1.3.5 扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.1143 \approx 0.23V \quad (\text{取 } k=2)$$

A.2 交流电流示值误差测量不确定度分析：

A.2.1 测量方法：采用直接比较法，用标准电流表直接校准热管理电流测量示值误差为例进行不确定度评定。

A.2.2 测量模型：

$$\Delta_I = I_x - I_N \dots\dots\dots (A.6)$$

式中： I_x ——被校装置电流显示值，A；

I_N ——标准电流表读数值，A；

Δ_I ——被校准装置测试电流示值误差，A；

A.2.3 标准不确定度分量计算：

A.2.3.1 由被校装置读数引入的标准不确定度 $u(I_X)$ A.2.3.1.1 由被校装置重复性引入的标准不确定度 $u(I_{X1})$

校准时考虑到采样的同步性及电源的不稳定性这两方面引入的不确定度都包含在复现性中，因此，对这两方面不再独立分析。

以 10A 点为例进行分析。重复测量 10 次，所得数据如表 A.2：

表 A. 2

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
读数 (A)	10.02	10.01	10.02	10.02	10.02	10.01	10.02	10.02	10.02	10.02

①求平均值： $\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n = 10.018A$

②求单次测量的标准偏差： $S = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} = 0.00422A$

因此 $u(I_{X1}) = S = 0.00422A$ ；

A.2.3.1.2 由被校装置的分辨力引入的不确定度分量 $u(I_{X2})$

被校装置在示值 10.00A 时的分辨力为 0.01A，其在 $\pm 0.005A$ 的区间为均匀分布。故：
 $u(I_{X2}) = 0.005A / \sqrt{3} = 0.0029A$ 。

注：由于重复性测量和被校准装置显示值分辨力对测量不确定度的贡献存在重复，因此，这两个分量在计算合成不确定度时，只取其中的最大，所以，本次评定只取由重复测量引入的不确定度。故重复性标准不确定度为：

$$u(I_X) = u(I_{X1}) = S = 0.00422A \quad \text{..... (A.7)}$$

A.2.3.2 由标准电流表引入的标准不确定度 $u(I_N)$

标准表的最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，标准表在测量 10.018A 时产生的最大误差为：

$$a = 0.05\% \times 10.018A = 0.005A \quad \text{..... (A.8)}$$

属均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则由标准表示值误差引入的不确定度 $u(I_N)$ 为：

$$u(I_N) = 0.005A / \sqrt{3} = 0.0029A \quad \text{..... (A.9)}$$

A.2.3.3 环境温湿度的影响

整个校准过程按照校准规范规定的条件进行，由环境温湿度引入的测量不确定度可以忽略不计

A.2.3.4 合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{c^2(I_X)u^2(I_X) + c^2(I_N)u^2(I_N)} = 0.0051\text{A} \dots\dots\dots (\text{A.10})$$

A.2.3.5 扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.0051 \approx 0.010\text{A} \quad (\text{取 } k=2)$$

A.3、充电电压测量示值误差测量不确定度分析

A.3.1 测量方法：采用直接比较法，用直流标准电压表校准恒压充电直流电压测量示值误差为例进行不确定度评定。

A.3.2 测量模型：

$$\Delta_V = V_X - V_N \dots\dots\dots (\text{A.11})$$

式中： Δ_V ——被校装置充电直流电压测量值示值误差，V；

V_X ——标准装置直流电压测量值的示值，V；

V_N ——直流标准电压表读取的直流电压标准值，V。

A.3.3 标准不确定度分量计算：

A.3.3.1 由被校装置读数引入的标准不确定度 $u(V_X)$

A.3.3.1.1 由被校装置重复性引入的标准不确定度 $u(V_{X1})$

以校准 100V 为例进行分析。重复测量 10 次，所得数据如表 A.3：

表 A.3

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
读数(V)	100.05	100.09	100.02	100.06	100.08	100.06	100.02	100.05	100.03	100.04

①平均值： $\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n = 100.07\text{V}$

②求单次测量的标准偏差： $S = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} = 0.0408$ ；

因此 $u(V_{X1}) = S = 0.0408\text{V}$ ；

A.3.3.1.2 由被校装置的分辨力引入的不确定度分量 $u(V_{X2})$

被校装置在示值为 100 时的分辨力 0.01V，其在 $\pm 0.005\text{V}$ 区间为均匀分布。故：

$$u(V_{X2}) = 0.005\text{V} / \sqrt{3} = 0.0029\text{V}$$

注：由于重复性测量和被校准装置显示值分辨力对测量不确定度的贡献存在重复，因此，这两个分量在计算合成不确定度时，只取其中的最大，所以，本次评定只取由重复测量引入的不确定度。故重复性引入的标准不确定度为：

$$u(V_X)=u(V_{X1}) = 0.0408V \dots\dots\dots (A.12)$$

A.3.3.2 环境温湿度的影响

整个校准过程按照校准规范规定的条件进行，由环境温湿度引入的测量不确定度可以忽略不计。

A.3.3.3 由标准电压表引入的标准不确定度 $u(V_0)$

标准表的最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，标准表在测量 100.07V 时产生的最大误差为：

$$a=0.05\% \times 100.07V = 0.0500V \dots\dots\dots (A.13)$$

属均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则由标准表示值误差引入的不确定度 $u(V_0)$ 为：

$$u(V_0)=0.005V/\sqrt{3}=0.0029V \dots\dots\dots (A.14)$$

A.3.3.4 合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(V_X) + c_2^2 u^2(V_0)} = 0.0500V \dots\dots\dots (A.15)$$

A.3.3.5 扩展不确定度为：

$$U=2 \times 0.0500=0.1V \quad (k=2)$$

A.4 温度测量系统(铂电阻)测量结果不确定度分析

A.4.1 测量方法：将被校准铂电阻温度计放入略大于感温元件直径的玻璃试管中，管口用棉絮塞紧与标准温度计一同放入冰点槽或恒温槽中，待温度稳定后分别读取标准温度计示值与被测铂电阻温度计并记录。

测量点为：

-20℃、-10℃、0℃、10℃、20℃、30℃、40℃、50℃、60℃；

每个测量点读数 6 次，读数间隔为 1 分钟，读数分辨力为 0.01℃，用读数平均值计算各测试点的示值。

A.4.2 测量模型

$$\Delta t = t_s - t_R \dots\dots\dots (A.16)$$

式中：

Δt —被校准铂电阻温度测量系统的示值误差 $^{\circ}\text{C}$;

t_s —被校准铂电阻温度测量系统的示值, $^{\circ}\text{C}$ 。

t_R —标准温度计示值, $^{\circ}\text{C}$

A.4.3 输入量的标准不确定度的评定

A.4.3.1 铂电阻温度测量系统重复测量引入的不确定度分量 (u_1)

测量重复性引入的不确定度分量通过连续测量得到, 采用 A 类方法进行评定。各测量点作 6 次重复性测量, 所得数据如下表所示。

表 A. 4

测量点 ($^{\circ}\text{C}$)	1	2	3	4	5	6	平均值 ($^{\circ}\text{C}$)
-20	-19.98	-19.99	-19.97	-19.98	-19.97	-19.99	-19.98
-10	-9.99	-9.97	-9.98	-9.98	-9.97	-9.99	-9.98
0	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
10	10.01	10.02	10.01	10.02	10.03	10.03	10.02
20	19.98	19.99	19.97	19.97	19.98	19.99	19.98
30	30.00	30.01	29.99	29.99	30.00	30.01	30.00
40	39.98	39.97	39.99	39.99	39.98	39.97	39.98
50	49.99	50.00	50.01	50.00	50.01	49.99	50.00
60	60.02	60.02	60.03	60.01	60.03	60.01	60.01

$$\text{平均值: } \bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

$$\text{标准偏差为: } s_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{(n-1)}}$$

$$\text{标准不确定为: } u_1 = S(\bar{t}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}}$$

重复测量引入的标准不确定分量见下表:

表 A. 5

测量点	平均值	标准不确定度 u_1
-----	-----	--------------

(°C)	(°C)	(mK)
-20	-19.98	8.9
-10	-9.98	8.9
0	0.01	8.9
10	10.02	8.9
20	19.98	8.9
30	30.00	8.9
40	39.98	8.9
50	50.00	8.9
60	60.01	8.9

A.4.3.2 铂电阻温度测量系统分辨力引入的不确定度分量 (u_2)

铂电阻温度测量系统的显示分辨力为 0.01°C ，且均匀分布，则由铂电阻温度测量系统分辨力误差造成的标准不确定度分量为：

$$u_2(t_R) = \frac{0.01}{2 \times \sqrt{3}} = 0.0029^\circ\text{C} = 2.9 \text{ mK} \dots\dots\dots (\text{A.17})$$

A.4.3.3 铂电阻温度测量系统 PRT 迟滞现象引入的不确定度分量 (u_3)

根据测试结果两次零度平均数相差为 2mK 所以由这个迟滞现象引入的不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{20}{\sqrt{3}} = 1.2 \text{ mK} \dots\dots\dots (\text{A.18})$$

A.4.3.4 标准温度计稳定性引入的标准不确定度 (u_4)

标准温度计稳定性不能超过 10 mK ，由稳定性引入的不确定度分量为：

$$u_4 = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ mK} \dots\dots\dots (\text{A.19})$$

A.4.3.5 标准温度计传递不确定度 (u_5)

查标准温度计证书，得到标准温度计传递不确定度 u_5 如下表：

表 A. 6

测量点 (℃)	传递不确定度 U (mK)	k	标准不确定度 u_5 (mK)
-20	8	2	4
-10	8	2	4
0	2	2	1
10	3.6	2	1.8
20	3.6	2	1.8
30	3.6	2	1.8
40	3.6	2	1.8
50	3.6	2	1.8
60	3.6	2	1.8

A.4.3.6 标准温度计自热效应引入的不确定度 (u_6)

标准温度计(二等标准铂电阻)自热效应 ≤ 4 mK, 其引入的标准不确定度为:

$$u_6 = \frac{4}{\sqrt{3}} = 2.31 \text{ mK} \dots\dots\dots (\text{A.20})$$

A.4.3.7 标准温度计重复测量 (u_7):

标准温度计重复测量引入的标准不确定度见下表:

表 A. 7

测量点 (℃)	1	2	3	4	5	6	平均值	标准不 确定度 u_7 (mK)
-20	-19.9516	-19.9516	-19.9513	-19.9510	-19.9520	-19.9521	-19.9516	0.17
-10	-9.9950	-9.9943	-9.9948	-9.9948	-9.9963	-9.9966	-9.9953	0.38
0	0.0102	0.0101	0.0100	0.0101	0.0100	0.0102	0.0101	0.04
10	9.9950	9.9943	9.9948	9.9948	9.9963	9.9966	9.9953	0.38
20	19.9827	19.9847	19.9819	19.9826	19.9828	19.9826	19.9829	0.39
30	30.0101	30.0102	30.0101	30.0100	30.0102	30.0100	30.0101	0.04
40	40.0028	40.0018	40.0034	40.0014	40.0029	40.0023	40.0024	0.30
50	49.8827	49.8847	49.8819	49.8826	49.8828	49.8826	49.8829	0.39
60	60.0029	60.0029	60.0040	60.0010	60.0011	60.0041	60.0027	0.55

A.4.3.8 电测设备误差引入的标准不确定度 (u_8):

为了简化计算, 选取对应温度段的最大允许误差为电测设备误差引入计算标准不确定度分

量的值，其引入的标准不确定度如下表：

表 A. 8

测量点 (℃)	允许误差 (℃)	包含因子 k	标准不确定度 (mK)
-20	±0.006	$\sqrt{3}$	3.5
-10	±0.006		3.5
0	±0.006		3.5
10	±0.009		5.2
20	±0.009		5.2
30	±0.009		5.2
40	±0.009		5.2
50	±0.009		5.2
60	±0.009		5.2

A.4.3.9 标准温度计分辨力引入的标准不确定度 (u_9)

标准温度计的显示分辨力为 0.0001℃，且均匀分布，则由标准温度计分辨力引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(t_R) = \frac{0.0001}{2 \times \sqrt{3}} = 0.00003 \text{ } ^\circ\text{C} = 0.03 \text{ mK} \dots\dots\dots (\text{A.21})$$

A.4.3.10 恒温槽均匀度引入的标准不确定度 (u_{10})

恒温槽均匀度为：≤10 mK；

水三相点瓶证书的扩展不确定度为： $U=2 \text{ mK}$ ($k=2$)

由此引入的标准不确定度见下表：

表 A. 9

测量点 (℃)	均匀度 (mK)	包含因子 k	标准不确定度 u_{10} (mK)
-20	10	$\sqrt{3}$	5.8
-10	10	$\sqrt{3}$	5.8
0	2	2	1.0
10	10	$\sqrt{3}$	5.8
20	10	$\sqrt{3}$	5.8
30	10	$\sqrt{3}$	5.8
40	10	$\sqrt{3}$	5.8

50	10	$\sqrt{3}$	5.8
60	10	$\sqrt{3}$	5.8

A.4.3.11 恒温槽温度波动度引入的标准不确定度 (u_{11})

恒温槽的波动度 ≤ 10 mK；水三相点瓶证书的复现性为：0.11 mK。

由此引入的标准不确定度见下表：

表 A. 10

测量点 ($^{\circ}\text{C}$)	均匀度 (mK)	包含因子 k	标准不确定度 u_{11} (mK)
-20	10	$\sqrt{3}$	5.8
-10	10	$\sqrt{3}$	5.8
0	0.11	$\sqrt{3}$	0.06
10	10	$\sqrt{3}$	5.8
20	10	$\sqrt{3}$	5.8
30	10	$\sqrt{3}$	5.8
40	10	$\sqrt{3}$	5.8
50	10	$\sqrt{3}$	5.8
60	10	$\sqrt{3}$	5.8

A.4.4 合成标准不确定度

A.4.4.1 标准不确定度汇总表

铂电阻温度测量系统重复测量引入的不确定度分量 (u_1) 和铂电阻温度测量系统分辨率引入的不确定度分量 (u_2) 存在重复，取大值为 u_{12} ，标准温度计重复测量 (u_7) 和标准温度计分辨率引入的标准不确定度 (u_9) 存在重复，取大值为 u_{79} ，由此得各标准不确定度分量如下表：

表 A. 11

测量点	取 u_1 u_2 的 较大 值 u_{12}	标准 不确 定度 (u_3)	标准 不确 定度 (u_4)	标准 不确 定度 (u_5)	标准 不确 定度 (u_6)	标准 不确 定度 (u_8)	取 u_7 u_9 的 较大 值 u_{79}	标准 不确 定度 (u_{10})	标准 不确 定度 (u_{11})
($^{\circ}\text{C}$)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)
-20	8.9	1.2	5.77	4	2.31	3.5	3.5	5.8	5.8
-10	8.9	1.2	5.77	4	2.31	3.5	3.5	5.8	5.8

0	8.9	1.2	5.77	1	2.31	3.5	3.5	1.0	0.06
10	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8
20	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8
30	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8
40	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8
50	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8
60	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8

A.4.4.2 合成标准不确定度的计算

因各分量彼此独立，所以合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_{12}^2 u_{12}^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2 + c_{79}^2 u_{79}^2 + c_{10}^2 u_{10}^2 + c_{11}^2 u_{11}^2}$$

则各测量点合成不确定度如下表：

表 A. 12

测 量 点	取 u_1 u_2 的 较大 值 u_{12}	标准 不确 定度 (u_3)	标准 不确 定度 (u_4)	标准 不确 定度 (u_5)	标准 不确 定度 (u_6)	标准 不确 定度 (u_8)	取 u_7 u_9 的 较大 值 u_{79}	标准 不确 定度 (u_{10})	标准 不确 定度 (u_{11})	合成 标准 不确 定度
($^{\circ}\text{C}$)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)
-20	8.9	1.2	5.77	4	2.31	3.5	3.5	5.8	5.8	15
-10	8.9	1.2	5.77	4	2.31	3.5	3.5	5.8	5.8	15
0	8.9	1.2	5.77	1	2.31	3.5	3.5	1.0	0.06	12
10	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8	16
20	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8	16
30	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8	16
40	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8	16
50	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8	16
60	8.9	1.2	5.77	1.8	2.31	5.2	5.2	5.8	5.8	16

A.4.5 扩展不确定度评定

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

可得各测量点的扩展不确定度如下表：

表 A. 13

测量点(℃)	合成标准不确定度 (mK)	k	扩展不确定度 U (℃)
-20	15	2	0.03
-10	15	2	0.03
0	12	2	0.02
10	16	2	0.03
20	16	2	0.03
30	16	2	0.03
40	16	2	0.03
50	16	2	0.03
60	16	2	0.03

A.5 功率测量示值误差不确定度分析

A.5.1 测量方法：采用直接比较法，用标准功率表进行直接校准热管理功率测量示值误差为例进行不确定度评定。

A.5.2 测量模型：

$$\Delta_P = P_X - P_N \dots\dots\dots (A.21)$$

式中： Δ_P ——被校装置的显示值，V；

P_X ——标准电压表的标准值，V；

P_N ——被校准装置测试电压示值误差，V。

A.5.3 标准不确定度分量计算：

A.5.3.1 由被校装置读数引入的标准不确定度 $u(P_X)$

A.5.3.1.1 由被校装置重复性引入的标准不确定度 $u(P_{X1})$

以 1000W 点为例进行分析。重复测量 10 次，所得数据如表 A.14。

表 A. 14

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
读数 (W)	1000.3	1001.1	1000.8	1001.4	1000.2	1001.2	1000.2	1000.4	1000.5	1000.8

①平均值： $\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n = 1000.71W$

②求单次测量的标准偏差： $S = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} = 0.436W$ ，相对误差为 0.044%。

因此 $u(P_{x1})=S=0.044\%$;

A.5.3.1.2 由被校装置分辨力引入的不确定度分量 $u(P_{x2})$

被校装置在示值为 1000W 时的分辨力为 0.1W，其在 $\pm 0.05W$ 的区间为均匀分布。故：
 $u(U_{x2}) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029W$ ，相对误差为 0.0029%。

注：由于重复性测量和被校准装置显示值分辨力对测量不确定度的贡献存在重复，因此，这两个分量在计算合成不确定度时，只取其中的最大，所以，本次评定只取由重复测量引入的不确定度。故重复性标准不确定度为：

$$u(P_x) = u(P_{x1}) = S = 0.044\% \quad \text{..... (A.22)}$$

A.5.3.2 由标准表引入的标准不确定度 $u(P_N)$

标准功率表由上一级计量校准机构传递，其标准不确定度由其校准证书提供，为 0.03%，则由标准表引入的不确定度 $u(P_N)$ 为：

$$u(P_N) = 0.03\%/\sqrt{3} = 0.015\% \quad \text{..... (A.23)}$$

A.5.3.4 合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{c^2(P_x)u^2(P_x) + c^2(P_N)u^2(P_N)} = 0.046\% \quad \text{(A.24)}$$

A.5.3.5 扩展不确定度为：

$$U_{rel} = 2 \times 0.046 = 0.092\% \quad (\text{取 } k=2)$$

附录 B

校准记录格式

表1 外观和工作正常性检查

记录序号	项目名称	检查记录	
1	外观检查		
2	工作正常性检查		

表2 测试电压的校准记录

一、三相： (测试频率：)											
(一) 空载电压											
1、第一相				2、第二相				3、第三相			
示值 (V)	标准值 (V)	误差 (%)		示值 (V)	标准值 (V)	误差 (%)		示值 (V)	标准值 (V)	误差 (%)	
(二) 带载电压											
1、第一相				2、第二相				3、第三相			
带载百分比	示值 (V)	标准值 (V)	误差 (%)	带载百分比	示值 (V)	标准值 (V)	误差 (%)	带载百分比	示值 (V)	标准值 (V)	误差 (%)
二、单相电压： (测试频率：)											
1、空载电压				2、带载电压							
示值 (V)	标准值 (V)	误差 (%)		带载百分比	示值 (V)	标准值 (V)	误差 (%)				

JJFZ (机械)XXXX-XXXX

扩展不确定度:								

表3 测试电流的校准记录

一、三相: (测试频率:)								
1、第一相			2、第二相			3、第三相		
示值 (A)	标准值 (A)	误差 (%)	示值 (A)	标准值 (A)	误差 (%)	示值 (A)	标准值 (A)	误差 (%)
二、单相: (测试频率:)								
示值 (A)	标准值 (A)	误差 (%)	示值 (A)	标准值 (A)	误差 (%)	示值 (A)	标准值 (A)	误差 (%)
扩展不确定度:								

表4 充放电校准记录

充电电流示值误差			
示值 (A)	标准值 (A)	示值误差 (A)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (A)
充电电压示值误差			
示值 (V)	标准值 (V)	示值误差 (V)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (V)
放电电流示值误差			
示值 (A)	标准值 (A)	示值误差 (A)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (A)

表5 充放电容量校准记录

充电容量示值误差			
示值 (Ah)	标准值 (Ah)	示值误差 (Ah)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (Ah)
放电容量示值误差			
示值 (Ah)	标准值 (Ah)	示值误差 (Ah)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (Ah)

表6 铂电阻校准记录

名称：				
型号：		出厂编号：		
测量范围：				
校准点 (℃)	测量误差 (℃)	允许误差 (℃)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (℃)	

表7 热电偶校准记录

名称:	
型号:	允许误差: ± 0.5 °C

JJFZ (机械)XXXX-XXXX

测量范围： (-20 ~ 150)℃						单位： ℃			
校准点	-20	0	20	40	60	80	100	120	150
通道号	测量 误差								
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
...									
20									
扩展不确定度 $U(k=2)$									

表8 湿度传感器校准记录

名称：					
型号：			出厂编号：		
测量范围：（0 ～ 100 ）%RH					
校准点 (%RH)	示值 (%RH)	修正值 (%RH)	允许误差 (%RH)	扩展不确定度 U ($k=2$) (%RH)	备注
30（20℃）			± 5		
60（20℃）			± 5		
90（20℃）			± 5		
75（-15℃）			± 5		

表9 压力校准记录

名称:				
型号:		出厂编号:		
测量范围:		允许误差:		
校准点 (Pa 或 kPa 或 MPa)	示值 (Pa 或 kPa 或 MPa)	误差 (%FS)	扩展不确定度 U ($k=2$) (%FS)	备注

表10 取样风机风速测试记录

测量位置	技术要求 (m/s)	实测值 (m/s)	扩展不确定度 U ($k=2$) (m/s)	备注
室外侧进风湿球处	≥ 5			
室内侧进风湿球处	≥ 5			
风量出风湿球处	≥ 5			

表11 流量校准记录

名称:	
型号:	出厂编号:
测量范围:	允许误差:
原仪表系数: $K=$	新仪表系数: $K=$
水流稳定度:	水温:

标准值 (kg/h 或 m³/h)	示值 (kg/h 或 m³/h)	示值误差 (%FS)	重复性 (%FS)	扩展不确定度 U_{rel} ($k=2$)	备注
$q_{\max}$					
$q_{\min}$					
$0.1q_{\max}$					
$0.25q_{\max}$					
$0.5q_{\max}$					
$0.75q_{\max}$					

表12 试验室工况校准记录

项目	设定值	示值
温度	℃	℃
湿度	%RH	%RH

项目	测量点	测量值	扩展不确定度 U ($k=2$)
温度	1	℃	
	2	℃	
	3	℃	
	4	℃	
	5	℃	
	6	℃	
	7	℃	
	8	℃	
	9	℃	
	10	℃	
	11	℃	
	12	℃	
	13	℃	
	14	℃	

JJFZ (机械)XXXX-XXXX

	15	℃	
湿度	O1	%RH	
	O2	%RH	
	O3	%RH	
	O4	%RH	

项目		测量结果	技术要求	扩展不确定度 U ($k=2$)
温度	偏差		$\pm 2^{\circ}\text{C}$	
	均匀度		$\leq 2^{\circ}\text{C}$	
	波动度		$\pm 2^{\circ}\text{C}$	
湿度	偏差		$\pm 5\%\text{RH}$	

附录 C

校准证书结果页格式

1.外观检查 _____

2.工作正常性检查 _____

3. 测试电压 单位 V

通道	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

4.测试电流 单位 A

通道	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

5.测试功率 单位 W

通道	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

4.充放电性能

充电电流示值误差			
示值 (A)	标准值 (A)	示值误差 (A)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (A)
充电电压示值误差			
示值 (V)	标准值 (V)	示值误差 (V)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (V)
放电电流示值误差			
示值 (A)	标准值 (A)	示值误差 (A)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (A)

5.温度

测量范围:			
校准点 (℃)	测量误差 (℃)	允许误差 (℃)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (℃)

6.湿度

测量范围:			
校准点 (%RH)	测量误差 (%RH)	允许误差 (%RH)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (%RH)

7.压力

测量范围:			
校准点 (Pa 或 kPa 或 MPa)	测量误差 (Pa 或 kPa 或 MPa)	允许误差 (Pa 或 kPa 或 MPa)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (Pa 或 kPa 或 MPa)

8.风速

测量位置	技术要求 (m/s)	实测值 (m/s)	扩展不确定度 U ($k=2$) (m/s)	备注
室外侧进风湿球处	≥ 5			
室内侧进风湿球处	≥ 5			
风量出风湿球处	≥ 5			

9.流量

测量范围:			
校准点 (kg/h 或 m ³ /h)	测量误差 (kg/h 或 m ³ /h)	允许误差 (kg/h 或 m ³ /h)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (kg/h 或 m ³ /h)

10. 工况环境

项目		测量结果	技术要求	扩展不确定度 U ($k=2$)
温度	偏差		$\pm 2^{\circ}\text{C}$	
	均匀度		$\leq 2^{\circ}\text{C}$	
	波动度		$\pm 2^{\circ}\text{C}$	
湿度	偏差		$\pm 5\%\text{RH}$	