

ICS 29.220.99

CCS K 82



团体标准

T/CEATEC XXX—2025

二次水系锌基电池循环寿命与容量保持率测试方法

Test method for cycle life and capacity retention rate of secondary

zinc-based battery

(征求意见稿)

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 试验条件 4

 4.1 环境条件 4

 4.2 供电条件 5

 4.3 场地条件 5

5 设备要求 5

 5.1 充放电测试系统 5

 5.2 环境试验箱 5

 5.3 内阻测试仪 6

 5.4 温度监测设备 6

 5.5 数据记录与处理设备 6

 5.6 辅助设备 6

6 试验样品 7

 6.1 样品规格 7

 6.2 样品数量 7

 6.3 样品预处理 7

 6.4 样品状态 7

7 循环寿命测试 7

 7.1 试验准备 7

 7.2 试验步骤 8

8 容量保持率测试 8

 8.1 基准容量测试 8

 8.2 循环过程中容量测试 8

 8.3 试验步骤 9

9 数据处理 9

 9.1 数据筛选与预处理 9

 9.2 核心参数计算 9

 9.3 数据验证与修正 9

10 试验报告 10

 10.1 试验概况 10

 10.2 试验结果与数据 10

10.3 试验结论 10

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

二次水系锌基电池循环寿命与容量保持率测试方法

1 范围

本文件规定了二次水系锌基电池的试验条件、设备要求、试验样品、循环寿命测试、容量保持率测试、数据处理和试验报告。

本文件适用于额定容量1 Ah~100 Ah的二次水系锌基单体电池及模块的循环寿命与容量保持率测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 6587 电子测量仪器 环境试验要求和试验方法
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温
- GB/T 28816 蓄电池 术语
- JJG 229 工业铂、铜热电阻检定规程

3 术语和定义

GB/T 28816界定的以及术语和定义适用于本文件。

3.1

二次水系锌基电池 secondary aqueous zinc-based battery

以锌及其合金为负极、水系电解液为离子传输介质，可实现电能与化学能可逆转换的二次储能器件。

3.2

循环寿命 cycle life

规定条件下，电池容量衰减至初始基准容量80%（或产品规定值）时的充放电循环次数。

3.3

容量保持率 capacity retention rate

某循环次数下实际放电容量与初始基准容量的百分比值。

4 试验条件

4.1 环境条件

4.1.1 温度

25℃±5℃。

4.1.2 湿度

45%~75%。

4.1.3 大气压力

86 kPa~106 kPa。

4.2 供电条件

试验设备的供电电源应符合下列要求：

- a) 电压：AC 220 V $\pm$ 10%，频率50 Hz $\pm$ 1 Hz；
- b) 供电稳定性：电压波动幅度不超过 $\pm$ 5%，频率波动不超过 $\pm$ 0.5 Hz；
- c) 配备稳压电源或不间断电源（UPS）。

4.3 场地条件

场地条件如下：

- a) 试验场地应保持清洁、干燥、无粉尘、无腐蚀性气体、无强电磁干扰；
- b) 应避免阳光直射电池和试验设备，远离热源和火源；
- c) 锌空气二次电池等对氧气浓度敏感的电池类型，试验环境的氧气浓度应控制在20% $\pm$ 2%。

5 设备要求

5.1 充放电测试系统

5.1.1 充放电测试系统应具备恒流充电、恒压充电、恒流放电等多种工作模式，且支持模式间的自动切换。

5.1.2 技术参数

技术参数如下：

- a) 电流范围：0.01 A~100 A，可根据测试样品额定容量选择适配量程，量程调节精度 $\geq$ 0.1% FS（满量程）；
- b) 电压范围：0 V~10 V，电压测量精度 $\geq$ $\pm$ 0.05% FS，电压纹波系数 $\leq$ 0.1%；
- c) 电流精度：恒流模式下，电流稳定性 $\leq$ $\pm$ 0.1% FS，电流调节步长 $\leq$ 0.01 A；
- d) 计时精度：时间控制误差 $\leq$ $\pm$ 0.1%，支持静置时间、充放电时间的精准设定与自动控制；
- e) 数据采集：具备自动采集充放电过程中的电流、电压、时间、容量等参数的功能，采集频率可调节，最小采集间隔 $\leq$ 1 s，数据存储精度 $\geq$ 0.001 Ah（容量）、0.001 V（电压）、0.01 A（电流）；
- f) 保护功能：具备过流、过压、欠压、过温保护功能，当测试参数超出设定阈值时，系统应能自动切断回路并报警，保护阈值可根据测试需求自定义设置；
- g) 通道数量：至少具备4个独立测试通道，支持多组样品同时测试，各通道间的相互干扰误差 $\leq$ $\pm$ 0.5%；
- h) 校准：充放电测试系统应按GB/T 6587的要求进行定期校准，校准周期 $\leq$ 12个月，校准合格后方可使用。

5.2 环境试验箱

5.2.1 环境试验箱应能精准控制箱内温度、湿度。

5.2.2 技术参数

技术参数如下：

- a) 温度范围：-40℃~85℃，温度波动度 $\leq$ $\pm$ 0.5℃；
- b) 湿度范围：10% RH~95% RH，湿度控制精度 $\leq$ $\pm$ 5% RH；
- c) 升降温速率：从25℃升至60℃的时间 $\leq$ 30 min，从25℃降至-20℃的时间 $\leq$ 60 min；
- d) 工作室尺寸：应能容纳至少4组测试样品及配套的充放电测试夹具，样品与箱壁、样品之间的距离 $\geq$ 5 cm，确保箱内气流顺畅；
- e) 控制与监测：具备可编程温度、湿度控制功能，支持设定恒温时间，配备独立的温度、湿度监测传感器，监测数据可实时显示并记录，记录间隔 $\leq$ 30 min；
- f) 安全保护：具备超温、过载、缺相保护功能，当箱内温度超出设定安全范围时，应能自动切断加热/制冷回路并发出声光报警；

g) 校准：环境试验箱应按照GB/T 2423.1、GB/T 2423.2的要求定期校准，校准周期 ≤ 12 个月，校准合格后方可投入使用。

5.3 内阻测试仪

5.3.1 内阻测试仪用于测试电池初始内阻及循环过程中内阻变化，应采用交流阻抗法测试，测试频率可调节。

5.3.2 技术参数

技术参数如下：

- a) 测试范围：0 m Ω ~ 1000 m Ω ，测试精度 $\geq \pm 1\%$ FS；
- b) 测试频率：可选择1 kHz、10 kHz等常用频率，频率误差 $\leq \pm 1\%$ ；
- c) 测试电压：交流测试电压峰值 ≤ 1 V，避免对电池内部结构造成损伤；
- d) 数据显示与存储：具备数字显示功能，显示分辨率 ≥ 1 m Ω ，支持测试数据的保存与导出；
- e) 探头：配备专用的电池内阻测试探头，探头与电池极耳的接触电阻 ≤ 5 m Ω ；
- f) 校准：内阻测试仪应按照GB/T 6587的要求定期校准，校准周期 ≤ 12 个月，校准合格后方可投入使用。

5.4 温度监测设备

5.4.1 温度监测设备用于监测电池表面温度及试验环境温度，应选用高精度温度传感器（如热电偶、铂电阻传感器）。

5.4.2 技术参数

技术参数如下：

- a) 测量范围：-50 $^{\circ}\text{C}$ ~ 100 $^{\circ}\text{C}$ ，测量精度 $\geq \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 响应时间： ≤ 5 s，确保能及时捕捉温度变化；
- c) 数据记录：支持多点温度同时监测，至少具备8个监测通道，记录间隔可调节（最小间隔不超过1 s），数据可导出为通用格式（如Excel、CSV）；
- d) 安装要求：监测电池表面温度时，传感器应通过导热胶固定在电池最大表面积的中心位置，避免与极耳直接接触，传感器外部应做好绝缘防护，防止短路；
- e) 校准：内阻测试仪应满足JJG 229要求定期校准，校准周期 ≤ 12 个月，校准合格后方可投入使用。

5.5 数据记录与处理设备

数据记录与处理设备应满足下列要求：

- a) 硬件配置：CPU主频 ≥ 2.5 GHz，内存 ≥ 8 GB，硬盘存储空间 ≥ 500 GB，配备高清显示屏及打印机；
- b) 软件功能：具备数据采集、实时显示、曲线绘制、数据统计与计算功能，支持数据的筛选、导出与备份；
- c) 稳定性：具备良好的运行稳定性，能连续72 h以上稳定记录数据，无数据丢失、卡顿等现象；
- d) 安全防护：安装正版操作系统及杀毒软件，定期进行系统更新与病毒查杀，确保数据安全。

5.6 辅助设备

5.6.1 电池夹具

应根据电池尺寸和极耳类型选用适配的测试夹具，夹具材质应具备良好的导电性和耐腐蚀性（如铜合金、不锈钢），夹具与电池极耳的接触应牢固、可靠，接触电阻不超过10 m Ω 。

6.6.2 稳压电源/不间断电源（UPS）

额定输出功率不低于试验设备总功率的1.5倍，备用供电时间不小于30 min，确保突发停电时试验数据不丢失、试验样品不受损坏。

6.6.3 通风设备

试验场地应配备强制通风设备，尤其是在进行高温试验或测试大容量电池时，确保试验过程中产生的热量及时排出，维持环境温度稳定。

6.6.4 消防器材

配备干粉灭火器、二氧化碳灭火器等消防设备，放置在试验场地显眼且易取用的位置，定期检查消防器材的有效性。

6 试验样品

6.1 样品规格

样品规格要求如下：

- a) 试验样品应与制造商提供的产品技术规格一致，明确标注电池类型（如锂离子电池、锌空气二次电池等）、额定容量、额定电压、尺寸规格、正负极材料、电解液类型等关键参数；
- b) 单体电池样品尺寸偏差应不超过设计尺寸的 $\pm 2\%$ ；
- c) 电池模块应提供模块的总容量、总电压、单体数量及连接方式等信息。

6.2 样品数量

每组试验应至少选取3个同批次、同规格的二次水系锌基电池作为测试样品。

6.3 样品预处理

6.3.1 存储条件

试验样品在测试前应按照制造商规定的存储条件进行存放，若制造商未明确规定，应将样品置于 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度45%~75%的环境中存储，存储时间不少于24 h且不超过72 h。

6.3.2 清洁处理

试验前应用干燥、无绒的软布擦拭样品表面，去除灰尘、油污等杂质。锌空气二次电池应在试验开始前安装空气电极或打开透气孔。

6.3.3 静置平衡

清洁后的样品应置于规定的室温试验环境中静置2 h以上，使样品内部温度与环境温度达到平衡。

6.4 样品状态

6.4.1 样品外观

无损伤、变形、漏液、鼓包现象，极耳无氧化、无松动，标识清晰完整。

6.4.2 初始电压测试

使用精度不低于0.001 V的直流电压表测量样品的开路电压（OCV），记录测量数据。对于单体电池，开路电压偏差应不超过同批次样品平均开路电压的 $\pm 2\%$ ；对于电池模块，开路电压应符合模块设计的理论电压值，偏差不得超过 $\pm 3\%$ 。

6.4.3 初始内阻测试

采用内阻测试仪，在1 kHz测试频率下测量样品的初始内阻，每个样品应在极耳的不同位置测量3次，取平均值作为初始内阻数据，测量误差不超过 $\pm 5\%$ 。记录每个样品的初始内阻值，作为后续循环过程中内阻变化分析的基准。

6.4.4 初始容量核查

对样品进行1次充放电循环，测量首次放电容量。若首次放电容量低于制造商规定的额定容量的90%，应视为样品初始性能不合格，不得用于后续循环寿命测试，需重新选取同批次样品进行测试，并在试验报告中说明情况。

6.4.5 初始状态

详细记录样品的外观信息、开路电压、初始内阻、首次放电容量初始状态数据。

7 循环寿命测试

7.1 试验准备

7.1.1 设备核查

设备核查步骤如下：

a) 核查充放电测试系统、环境试验箱、温度监测设备等所有试验设备的运行状态，确认设备已按要求完成校准且校准合格；

b) 对充放电测试系统进行空载测试，检查电流、电压输出精度及稳定性；

c) 环境试验箱提前开启并预热/预冷至设定试验温度，恒温1 h以上。

7.1.2 样品安装

样品安装步骤如下：

a) 将样品固定在电池夹具上，使夹具与电池极耳接触牢固、导电良好，安装过程中避免损伤极耳和电池外壳；

b) 对于锌空气二次电池，确保透气孔畅通，试验环境氧气浓度符合4.3的规定。

7.1.3 传感器布置

传感器布置步骤如下：

a) 在每个样品最大表面积的中心位置使用导热胶固定温度传感器，传感器与极耳距离 ≥ 2 cm，做好绝缘防护；

b) 连接环境温湿度传感器、样品温度传感器与数据记录设备，调试确保数据采集正常。

7.1.4 参数录入

参数录入步骤如下：

a) 在充放电测试系统及数据处理软件中录入样品信息、试验条件、充放电参数；

b) 设置数据采集频率为1 s/次，循环次数初始值设为0。

7.2 试验步骤

7.2.1 充放电循环设置

充放电循环流程应为“充电-静置-放电-静置”，具体设置如下：

a) 充放电方式：应采用恒流-恒压（CC-CV）充电方式、恒流放电方式；

b) 电流：充放电电流均应为0.5 C~1 C；

c) 充电终止条件：充电电流衰减至0.05 C时，停止充电；若恒压充电时间超过12 h电流仍未衰减至0.05 C，也应停止充电，并记录该异常情况；

d) 放电终止条件：当电池电压降至放电截止电压时，自动停止放电；若放电时间超过12 h电压仍未降至截止电压，应停止放电并记录异常；

e) 静置时间要求：样品安装完成后，首次充电前静置30 min；充电与放电结束后，静置15 min~30 min。

7.2.2 启动循环

接入充放电测试系统，启动充放电循环，循环次数自动累加。

7.3.3 记录

记录样品总循环次数、终止时放电容量、容量保持率、内阻变化量（与初始内阻对比）及终止原因。

8 容量保持率测试

8.1 基准容量测试

基准容量测试规定如下：

a) 在循环寿命测试前，接入充放电测试系统进行3次充放电循环，取第3次循环的放电容量作为该样品的初始基准容量 C_0 ；

b) 若前3次循环的放电容量偏差超过 $\pm 3\%$ ，应增加1次充放电循环，取最后2次偏差不超过 $\pm 3\%$ 的放电容量平均值作为基准容量；

c) 记录每次充放电容量、充放电时间、电压曲线。

8.2 循环过程中容量测试

容量保持率测试应在循环寿命测试过程中定期进行，具体次数规定如下：

a) 循环初期（1~100次循环）：每20次循环进行1次容量测试；

b) 循环中期（101~1000次循环）：每50次循环进行1次容量测试；

- c) 循环后期（超过1000次循环或容量保持率降至90%以下）：每10次循环进行1次容量测试；
- d) 特殊情况：若某一阶段容量衰减速率突然加快（单次循环容量衰减超过2%），应加密测试频次至每5次循环1次，直至容量衰减速率恢复稳定或达到循环寿命终止条件。

8.3 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 进行基准容量测试；
- b) 进行循环过程中容量测试：
 - 暂停常规循环；
 - 对样品进行满电充电；
 - 充电后静置15 min~30 min；
 - 放电；
 - 记录放电电压、电流、时间数据，计算本次放电容量（ C_n ）；
- c) 恢复常规循环：容量测试完成后，若未达到循环寿命终止条件，按常规充放电制度恢复循环测试，循环次数连续累加，不得重新计数。

9 数据处理

9.1 数据筛选与预处理

9.1.1 原始数据核查

对充放电测试系统、温度监测设备等采集的原始数据进行完整性核查，确保数据连续无断点、无重复记录。

9.1.2 异常数据识别与剔除

对超出阈值的数据，结合试验过程记录追溯原因，确认为设备故障、操作失误等非电池性能因素导致的异常数据，可予以剔除。异常数据判定阈值如下：

- a) 电压单次突变幅度超过 0.2 V；
- b) 单次循环容量波动幅度超过 $\pm 10\%$ ；
- c) 电池表面温度上升速率超过 5℃/min 或温度超过 60℃。

9.1.3 数据格式

将不同设备采集的异构数据转换为统一格式，电流（A）、电压（V）、容量（Ah）、温度（℃）、循环次数（次）。

9.2 核心参数计算

9.2.1 循环寿命

读取样品总循环次数。

9.2.2 容量保持率

采用公式 $\eta = \frac{C_0}{C_n} \times 100\%$ 计算单个样品在各测试频次下的容量保持率。

9.2.3 平均容量保持率

采用公式 $\eta_{avg} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_k}{k}$ 计算平均容量保持率，保留1位小数，其中k为每组样品数量， $k \geq 3$ ， η_k 为第1~k个样品在该循环次数下的容量保持率。

9.3 数据验证与修正

9.3.1 重复性验证

计算每组样品在相同循环次数下容量保持率的相对标准偏差（RSD），若 $RSD > 5\%$ ，需重新核查原始数据、试验设备运行状态及操作流程，必要时补充1次平行试验进行验证。

9.3.2 计算修正

对计算过程中发现的公式应用错误、数据代入偏差等问题，及时修正并重新计算，同时记录修正原因、修正过程及前后数据对比结果。修正后的结果需再次进行重复性验证，确保准确性。

10 试验报告

10.1 试验概况

试验概况应包括以下内容：

- a) 报告编号：采用“试验单位缩写-年份-月份-序列号”格式编制（示例：XXTC-2025-12-001）；
- b) 样品信息：明确记录样品名称、型号规格、电池类型、额定容量、额定电压、生产批次、制造商名称及样品编号；
- c) 试验相关信息：注明试验依据、试验目的、试验单位名称、试验地点、试验起止日期、操作人员及审核人员签字；
- d) 试验条件：试验采用的环境条件（温度、湿度、大气压力）、供电条件；
- e) 试验设备：主要试验设备名称、型号规格、校准证书编号及校准有效期，包括充放电测试系统、环境试验箱、内阻测试仪、温度监测设备等；

10.2 试验结果与数据

试验概况应包括以下内容：

- a) 原始数据汇总：以表格形式呈现各样品的原始测试数据，包括各循环次数下的充放电容量、充放电时间、电池表面温度、环境温湿度，标注异常数据及处理说明；
- b) 核心参数结果：汇总各样品在关键循环节点的容量保持率，每组样品的平均容量保持率，以及各样品的循环寿命终止次数；
- c) 结果表示：附上容量保持率-循环次数曲线（标注每组样品的单次数据及平均数据），明确曲线横坐标（循环次数）、纵坐标（容量保持率，%）及图例说明。

10.3 试验结论

明确样品在试验条件下的循环寿命及容量保持率水平。