

T/JXAS

团 体 标 准

T/JXAS XXXX—2025

钠离子电池热失控试验方法

Test method for thermal runaway of sodium-ion batteries

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

嘉兴市标准化协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和缩略语 2

5 原理 2

6 试验条件 2

7 试验准备 4

8 试验步骤 5

9 结果计算 8

10 测试报告 8

附录 A（规范性） 钠离子电池热失控产气量的计算过程 10

附录 B（资料性） 测试报告 11

参考文献 12

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。

本文件由嘉兴市标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：嘉兴威凯检测技术有限公司、浙江钠创新能源有限公司、浙江华宇钠电新能源科技有限公司、国科炭美新材料（湖州）有限公司。

本文件主要起草人：黄鲲、唐昕雅、陈军、张思瑶、林磊。

钠离子电池热失控试验方法

1 范围

本文件规定了钠离子电池热失控测试的术语和定义、原理、设备、试验条件、试验准备、试验步骤、结果计算及测试报告。

本文件适用于钠离子电池单体或模组。

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 38031-2025 电动汽车用动力蓄电池安全要求
- GB/T 16839.1-2018 热电偶第1部分：电动势规范和允差
- GB/T 36276-2023 电力储能用锂离子电池
- GB/T 44265 电力储能电站钠离子电池技术规范
- DL/T 2528-2022 电力储能基本术语

3 术语和定义

GB 38031、DL/T 2528-2022、GB/T 44265界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

荷电状态 state-of-charge

当前电池单体或模组按照规定的放电条件可以释放的容量占实际容量的百分比。

3.2

健康状态 state-of-health

当前电池单体或模组按照规定放电条件可以释放的容量占额定容量的百分比。

3.3

绝热加速量热仪 adiabatic-accelerating rate calorimeter

一种用于评估化学物质热安全性和反应动力学的设备。

3.4

防爆气体收集系统 explosion-proof gas collection system

一种用于收集易燃、易爆气体且具有防爆性能的设备。

3.5

热电偶 thermocouple

由一对不同材料的导体构成，其一端相互连接，利用热电效应实现温度测量的一种温度检测器。

[来源：GB/T 16839.1-2018，2.3]

3.6

热失控起始温度 initial temperature of thermal runaway

电池在特定条件下开始出现自放热反应的温度。

3.7

热失控触发温度 thermal runaway triggering temperature

电池内部的化学反应从缓慢的自产热阶段迅速进入不可控的快速反应阶段的温度。

3.8

热失控最高温度 maximum temperature of thermal runaway

电池热失控过程中达到的最高温度值。

3.9

燃烧产物 combustion product

电池发生热失控时伴随的所有气体、细粒或悬浮微粒。

3.10

绝热温升 adiabatic temperature riset

电池单体在绝热环境条件下, 由其内部产生或从其外部吸收的热量使电池单体表面温度升高的现象。

4 符号和缩略语

4.1 符号

下列符号适用于本文件。

I_1 : 1 h率放电电流 (A), 其数值等于额定容量值。

I_3 : 3 h率放电电流 (A), 其数值等于额定容量值的1/3。

T_1 : 热失控起始温度。

T_2 : 热失控触发温度。

T_3 : 热失控最高温度。

4.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件

ARC: 绝热加速量热仪 (Adiabatic-accelerating rate calorimeter)

SOC: 荷电状态 (State of Charge)

SOH: 健康状态 (State of Health)

FS: 满量程 (Full Scale)

5 原理

通过模拟装置对电池施加机械滥用 (如挤压、穿刺)、电滥用 (如过充、短路) 及热滥用 (如高温环境、外部加热) 等典型失效工况, 诱导电池内部发生剧烈放热反应, 导致温度持续升高并触发起火、爆炸等热失控行为。测试过程中, 通过监测和分析温度变化曲线、电压变化曲线、腔内压力值、气体释放速率、燃烧产物成分及爆炸极限等关键参数, 最终实现对钠离子电池热安全性能的系统评估。

6 试验条件

6.1 环境要求

除非另有规定, 试验环境温度为 $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 10%~90%, 大气压强为 86 kPa~106 kPa 的环境中进行。

6.2 测量设备、仪器准确度

6.2.1 测量设备

本文件的测量设备主要包括绝热加速量热仪、防爆气体收集装置、数据采集仪器及热电偶。

6.2.2 仪器精准度

测试设备、仪器精准度应不低于以下要求：

- a) 电压测量装置：±0.5% FS；
- b) 电流测量装置：±0.5% FS；
- c) 温度测量装置：±1℃；
- d) 湿度测量装置：±0.5%（相对湿度）；
- e) 时间测量装置：±1s；
- f) 压力测量装置：±1% FS；
- g) 尺寸测量要求：±1% FS；
- h) 质量测量装置：±1% FS。

6.3 测试过程的误差

控制值(实际值)与目标值之间的误差要求如下：

- a) 电压：±1%；
- b) 电流：±1%；
- c) 温度：±2℃；
- d) 时间：±0.1s。

6.4 数据记录与间隔

除另有规定外，测试数据(如电压、电流、温度、时间等)的记录间隔应不大于1s。

6.5 热失控触发判定条件：

- a) 触发对象产生电压降，且下降值超过初始电压的25%；
 - b) 监测点温度达到制造商规定的最高工作温度；
 - c) 监测点的温升速率 $dT/dt > 1^{\circ}\text{C/s}$ ，且持续3s以上。
- 当a)和c)或者b)和c)发生时，判定发生热失控。

6.6 调整SOC值至试验目标值n%的方法

按照制造商提供的充电方式将电池单体或电池模组充满电，静置1h后，以 $1\ I_3$ 恒流放电，放电时间为 t ， t 按照公式(1)计算得到，或者按照制造商提供的方法调整SOC。每次SOC调整后，在新的测试开始前实验对象应静置30 min。

$$t = \frac{100-n}{100} \times 3 \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 t ——放电时间，单位为小时(h)；
 n ——试验目标值的百分数值。

6.7 调整SOH值至试验目标值n%的方法

明确电池的标称容量 C_{rated} （该值由制造商提供），通过公式(2)计算目标SOH下的截止容量 C_n ，按照制造商提供的充放电方式对电池进行充放电循环，直到电池容量调整至 C_n ，此时 $\text{SOH} = n\%$ 。

$$C_n = C_{nom} \times \frac{n}{100} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 C_n ——截止容量，单位为安时(Ah)；

C_{nom} ——标称容量，单位为安时（Ah）。

7 试验准备

7.1 电池充电准备

以制造商规定且不小于 $1I_3$ 的电流放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压，静置1h（或制造商提供的不大于1h的静置时间），然后按制造商提供的充电方法进行充电，充电后静置1h（或制造商提供的不大于1h的静置时间）。

若制造商未提供充电方法，则由检测机构和制造商协商确定合适的充电方法，或依据以下方法充电：

以制造商规定且不小于 $1I_3$ 的电流恒流充电至制造商技术条件中规定的充电终止电压时转恒压充电，至充电电流降至 $0.05I_1$ 时停止充电，充电后静置1h（或制造商提供的不大于1h的静置时间）。

7.2 预处理

正式测试开始前，电池应先进行预处理循环。步骤如下：

- 按照7.1.1对电池进行标准充电；
- 以制造商规定的且不小于 $1I_3$ 的电流放电至制造商规定的放电终止条件；
- 静置1h（或制造商提供的不大于1h的静置时间）；
- 重复步骤a)~c)不超过5次。

如果电池连续3次的放电容量极差小于额定容量的3%，则认为电池完成了预处理，预处理循环可终止，取最后3次试验结果平均值作为实际容量。

7.3 热电偶布置

7.3.1 热电偶类型

热电偶类型选择薄片热电偶或K型热电偶。

7.3.2 热电偶布置步骤

热电偶的布置方式如下：

- 将热电偶布置于上述电池表面特定位置时，先使用高温胶粘贴于该位置，将热电偶放置该位置后，再粘贴一层高温胶，保证热电偶稳固、不脱落。热电偶与加热件不宜重合，防止热电偶测量温度不准；
- 热电偶的布置方式也可按照制造商的方式进行，将热电偶布置在两卷绕极芯中间或者叠片极芯中间。

7.4 加热方式

7.4.1 外部加热

7.4.1.1 加热套筒加热

可以根据电池尺寸定制加热套对电池进行加热，加热套的直径和高度不宜超过电池各向尺寸的1 mm，根据热电偶布置要求开设孔，孔径宜设置在直径为10 mm，或者将热电偶布置于正负极两侧，则不用开设放置热电偶的孔。加热套筒的使用也可以根据制造商的规定进行。

7.4.1.2 加热丝表面缠绕加热

将加热丝缠绕在电池表面进行加热时，加热丝之间的距离宜间隔5 mm，并用铝带进行固定，防止加热丝脱落及对电池加热不均匀。加热丝可以缠绕在电池的上方、中间或者下方，也可以对电池表面全部包围加热，应采用图1方式进行缠绕。加热丝表面缠绕加热的布局也可以根据制造商的要求进行。

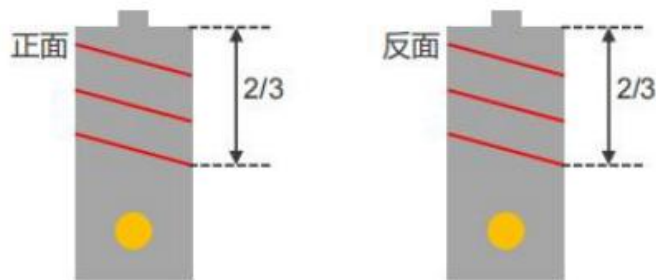


图1 电池的加热丝布置示意图

7.4.1.3 加热薄片单侧加热

将加热薄片置于电池单侧进行加热时，应将加热薄片与电池一侧紧紧贴合，加热片四角使用铝箔进行固定，加热薄片另外一侧应放置隔热材料，避免热源扩散。

7.4.1.4 置于可控温的温箱内加热

将电池放置在可控温的温箱内进行加热时，应注意在接近温箱底部放置隔热面板，防止热量流失，将电池放置在箱体中心位置后，设置一定的升温速率对电池进行缓慢、持续和充分地加热。

7.4.2 内部加热

内部加热方式根据制造商规定的方法进行，或满足GB 38031 C.5.3.6的要求。

7.5 加热部件选择

电池热失控试验加热部件要求宜按表1进行。

表 1 电池热失控试验加热片要求

试验样品额定放电能量 (E_{rd}) Wh	加热部件功率 W
$E_{rd} < 50$	250
$5 \leq E_{rd} < 100$	450
$100 \leq E_{rd} < 400$	650
$400 \leq E_{rd} < 800$	800
$800 \leq E_{rd} < 1000$	1000
$E_{rd} > 1000$	>1000

8 试验步骤

8.1 安装步骤

8.1.1 防爆气体收集系统

对于防爆气体收集系统，按照以下步骤进行测试准备：

a) 在待测电池表面准备贴热电偶的位置粘贴一层高温胶，然后将热电偶放置在高温胶上，再用一层高温胶进行固定；

b) 将待测电池放置于防爆气体收集系统的绝热板上，将电压线与其正负极进行连接，将热电偶与电压线连接到数据采集仪器，打开数据采集仪器，观察并记录此时的电压和温度；

c) 将加热线缠绕或加热套件套在待测电池上，加热线的另一端连接插头，插头与线路之间放置空开，避免电流过大造成其他线路跳闸，插头插入装有控制开关的插座，通过控制开关对加热片进行加热；

d) 线路连接好后，关闭密封系统门，对系统进行抽真空，然后再通入氮气，重复3次，确保系统内空气含量小于0.5%，保持系统内的气压在合适的范围内，该气压的调整与电池产生的气体量相关，通常1 Ah 电池产气量为 5~20 mol左右，根据理想气体方程（式3）计算出电池热失控后的产气量。

$$PV = nRT \quad (1)$$

式中：

P为系统的压强（kPa）；

V为系统的体积（V）；

n为物质的量（mol）；

R为气体常数（J/(mol.K)）；

T为温度（K）。

e) 连接好线路后，开启控制开关上的按钮，进行加热。

详细的计算方法见资料性附录A。

注1：在试验开始前，应排除电池等部件后系统内部的净体积。

注2：初始压强应根据系统体积和电池爆炸后产气的最大体积设置。

8.1.2 绝热加速量热仪

对于绝热加速量热仪，整体是由保护箱和炉体组成，炉体包含加热器和温度器，通过“加热(Heat)-等待(Wait)-搜寻(Seek)”模式进行台阶式加热，控制炉体与测试对象保持统一温度从而模拟绝热环境完成测试。

8.1.2.1 内部需布线

按照以下步骤进行测试准备：

a) 在进行待测电池热失控测试前，需先进行校准。采用标准铝合金（质量比热容为0.896 J/(g.k)）对设备进行校准，先称取铝合金的质量，然后用即将用在待测电池的相同规格的加热片（记录功率）放置在标准铝合金上，将加热线和热电偶布置在铝块表面，用铝箔胶带进行固定，然后进行比热容测试。根据公式4计算出铝块的标准比热容，然后再计算出仪器校准系数k；

$$C_p = \frac{p}{m} \times \frac{1}{\Delta T / \Delta t} \quad (1)$$

b) 将加热线布置在待测电池上，然后用铝箔胶带进行固定。利用高温胶将热电偶固定于待测电池的中心或特定位置。随后将待测电池放置在绝热加速量热仪支架中心，支架四角应用绝热棉进行隔离。或者将样品悬挂在上盖上进行，悬挂的位置应处于腔体中心，且与铝标定时位置保持一致。悬挂可以使用钢丝绳或玻纤胶带连接，但要求样品测试时，垂直位置变化小于5 mm，建议预裁剪较多的钢丝绳或直接沿用标定的钢丝绳；

c) 将电压线、热电偶的连接线与数据采集器连接，关闭腔体，进行程序设置。

8.1.2.2 内部无需布线

对于通过直接通过腔体对电池进行加热的绝热加速量热仪，进行8.1.2.1的a) 步骤后，将电池放置在腔体内指定的位置，连接测试线路，关闭腔体，进行程序设置。

8.2 参数设置

8.2.1 防爆气体收集系统的参数设置

防爆气体收集系统的参数设置如下：

a) 表面加热速率应设置为4 °C/min~7 °C/min加热；

b) 冷却方式：自然冷却。

8.2.2 绝热加速量热仪的参数设置

绝热加速量热仪参数设置见表2。

表 2 电化学储能用电池热失控的绝热加速量热仪参数设置

设置名称	定义	建议值
初始温度	第一次进入搜索阶段的温度值	40 ℃
温度台阶	不同次搜寻阶段的温度调整值	5 ℃
等待时间	被测对象与腔体进行热平衡的时间	见表 2
搜寻时间	判定电池的自产热温升速率是否超过阈值的时间	10 min
自产热温升速率阈值	判定电池进入自产热阶段的温升速率值	0.02 ℃/min
电压采样频率	使用数据记录仪记录电压值	100 ms
冷却温度	ARC 开启冷却的温度值	300 ℃

不同电池容量下绝热加速量热仪的建议等待时间设置见表3。

表 3 不同电池容量下绝热加速量热仪的建议等待时间

电池容量（Ah）	等待时间（min）
1~5	30
6~20	45
21~60	55
61~120	60
120 以上	65

8.3 测试步骤

8.3.1 防爆气体收集系统的测试步骤

防爆气体收集系统的测试步骤如下：

- a) 所有线路连接好后，利用插座上的开关开启加热，对被测电池进行加热，观察数据采集仪器上的热电偶温度和电池两端的电压，同时通过计算机观察系统内电池的情况和系统的压强变化情况；
- b) 电池以4 ℃/min~7 ℃/min加热，当数据采集仪器上的两端电压发生突然压降超过初始电压的25%或电池冒烟、起火爆炸时停止加热；
- c) 观察数据采集仪器的温度到室温时，可用单阀铝袋进行气体收集。

8.3.2 绝热加速量热仪的测试步骤

绝热加速量热仪的测试步骤如下：

- a) 量热仪腔体开启加热模式，对被测电池单体进行加热，直到被测电池单体上的主热电偶温度达到设定的初始温度 40 ℃；
- b) 按照表 2 设置的台阶温度整体温升一个温度台阶 5℃，按照设置的时间等待电池温度平衡到目标温度；
- c) 在搜寻时间 10 min 内，ARC 自动计算被测电池单体的温升速率，若被测电池单体在10 min 内的平均自产热温升速率不大于 0.02 ℃/min，则进入台阶加热模式；

- d) 在台阶加热模式中，腔体整体升温一个温度台阶 5℃，并重复 b) 和 c) 步骤，直到被测电池单体在搜寻时间10 min内的平均自产热温升速率大于 0.02 ℃/min，此时电池单体进入自产热阶段，量热腔体进入绝热追踪阶段；
- e) 可用单阀铝袋收集此时的气体G₁；
- f) 绝热追踪阶段，量热腔对电池单体的温度进行绝热追踪，直到主热电偶温度大于300 ℃，然后开启冷却阶段；
- g) 在冷却阶段，加热腔停止加热，开启 ARC 内的冷却系统对腔体进行降温。
- h) 可用单阀铝袋收集测试的气体G₂。

9 结果计算

获取电池的热失控特征温度点T₁、T₂和T₃，系统的初始压强、最大压强、达稳定状态后的压强、初始温度、最大压强对应的温度、稳定状态的温度、初始体积、产气气体、总产热量等。

在特征温度达到前，若存在一个搜寻阶段或者多个搜寻阶段，应根据最后一个搜寻阶段测得的电池内部的温度来确定该特征温度。

通过数据采集仪器获取的电压、温度数据判定T₁、T₂和T₃，当测试温升速度达0.02 ℃/min时，则判定电池进入自加热状态，当电池温升速度达到1 ℃/s时，则电池进入T₂，为热失控起始温度。T₁发生的时间越久代表该电池热稳定性越强，也表明该电池的安全性越高。提取温度、电压和时间的数据，绘制电池热失控温度-时间曲线图及电压-时间曲线图。数据记录的表格如表4所示。

表 4 电池热失控数据表

电池编号	热失控起始温度 T ₁ (℃)	热失控起始温度 T ₂ (℃)	热失控最高温度 T ₃ (℃)	热失控时间 (h)	压强变化 (kPa)
1					
...					
n					

电池产生的气体通过铝袋进行收集，采用气相色谱仪进行气体成分分析。

记录压强的变化后可通过理想气体方程（公式3）计算气体的产气总量。

电池产热量可根据公式5和公式6进行计算。

$$Q = k \cdot C_p \cdot M \cdot \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta T = T_3 - T_1 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Q——放热量，单位为焦耳（J）；

k——修正系数，经验值为 0.9；

C_p——极芯比热容，单位为焦耳每千克开尔文（J/（kg•K））；

M——极芯质量，单位为千克（kg）；

ΔT——温升，单位为摄氏度（℃）；

T₃——电池热失控内置热电偶最高温度，单位为摄氏度（℃）；

T₁——电池热失控内置热电偶自产热起始温度，单位为摄氏度（℃）。

10 测试报告

电化学储能用电池热失控测试报告详见附录B，应至少包括以下内容：

a) 产品基本信息，包括产品型号、容量和尺寸。

- b) 制造商的信息，包括制造商名称和地址；
- c) 使用的测试设备信息，包括设备名称、设备型号、出厂编号及出厂日期；
- d) 热失控温度-时间，电压-时间图，标明T1、T2和T3三个温度点；
- e) 初始温度、初始压强、最高压强、气体总量及产热总量；
- f) 测试日期；
- g) 测试人员；
- h) 电池比热容；
- i) 测试的环境条件；
- j) 其他。

附录 A
(规范性)

钠离子电池热失控产气量的计算过程

A.1 钠离子电池：3 V，10 Ah，70% SOC， 100% SOH。

按照8.1.1操作后，其产气详细计算方法示例：

热失控前的压强为-29.8 kPa，温度为20.6 °C，热失控平稳后的压强为-15.6 kPa，温度为25.4 °C，根据理想气体方程及产气前后的压强变化计算出产气量，见式子7。

$$V_{gas} = V_m \left(\frac{P_1 \times V_0}{R \times T_1} - \frac{P_0 \times V_0}{R \times T_0} \right) \dots\dots\dots (7)$$

式中 V_{gas} 为产气量， V_m 为气体摩尔体积，在 25 °C 和 1.01325×10^5 Pa 下为 24.5 L/mol， P_1 为热失控后稳定的压强， V_0 为初始体积， T_1 为热失控后稳定的温度（单位为开尔文，K），R 为摩尔气体常数，为 8.31 J/（mol · K），计算后获得 V_{gas} 为 12.05 L。

附录 B
(资料性)
测试报告

B.1 电池热失控测试报告详见表B.1。

表 B.1 测试报告

产品名称		产品型号		产品容量		产品尺寸	
制造商名称				制造商地址			
设备名称		设备型号		出厂编号		出厂日期	
测试人员				测试日期			
测试环境							
电池比热容 (J/g.K)							
初始温度 (℃)		初始压强 (Pa)		最高压强 (Pa)		气体总量 (mol)	
产热总量 (J)							
热失控温度-时间曲线图				热失控电压-时间曲线图			

参 考 文 献

- [1] UL 9540A 评估电池储能系统中热失控火灾传播的测试方法
-