

标准类别：B类标准

Q/CALB
中创新航科技股份有限公司企业标准

Enterprise Standard of CALB Group Co., Ltd.

Q/CALB 0402017-2024

代替/Replace Q/CALB 0404001-2021

储能锂离子电池模块及电池簇测试方法

Test Method of Lithium-ion Battery Moudle and Rack
for Electrical Energy Storage

编 制车万豪

审 核靳国强

批 准徐旭

2024-11-30 发布/Issue

2024-12-05 实施/Implementation

中创新航科技股份有限公司

发 布

CALB Group Co., Ltd.

Issue

目 录

前 言.....	III
变更履历.....	IV
会签部门及人员审批意见记录表.....	VII
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 符号和缩略语.....	4
5 通用测试条件.....	5
5.1 一般条件.....	5
5.2 准确度要求.....	5
5.3 试验准备.....	6
5.3.1 试验样品准备.....	6
5.3.2 试验线路连接-电池模块.....	6
5.3.3 试验线路连接-电池簇.....	7
5.3.4 试验参数设定.....	7
5.4 初始化充电.....	7
5.5 初始化放电.....	8
5.6 数据记录和记录间隔.....	8
6 试验方法.....	8
6.1 电池模块试验.....	8
6.1.1 外观、尺寸和质量试验.....	8
6.1.2 电性能试验.....	9
6.1.3 环境适应性试验.....	11
6.1.4 耐久性能试验.....	12
6.1.5 电气安全性能试验.....	13
6.1.6 机械安全性能试验.....	17
6.1.7 环境安全性能试验.....	19

6.1.8 热安全性能试验.....	21
6.1.9 防护等级试验.....	24
6.1.10 电位均衡试验.....	25
6.1.11 Y电容试验	25
6.2 电池簇试验.....	25
6.2.1 外观、尺寸试验.....	25
6.2.2 初始充放电能量试验.....	26
6.2.3 绝缘性能试验.....	26
6.2.4 耐压性能试验.....	26
6.2.5 脉冲耐压试验.....	27
6.2.6 液冷管路耐压性能试验（仅适用于液冷系统）	28
6.2.7 高海拔绝缘耐压试验（仅适用于高海拔条件应用的电池）	28
6.2.8 报警和保护功能试验	29
6.2.9 电位均衡试验.....	29
6.2.10 Y电容试验	29
6.2.11 接地电阻试验.....	29
6.2.12 DCR试验.....	29
6.2.13 电池簇温升试验.....	30
6.2.14 抗震性试验.....	31
6.2.15 多簇堆管理试验.....	32
6.2.16 电磁兼容试验.....	32
6.2.17 SOC计算精度试验	32
6.2.18 交变湿热性能试验.....	33
6.2.19 稳态湿热性能试验	33
6.2.20 稳态干热性能试验	33
6.2.21 短路保护试验	34
6.2.22 热扩散试验.....	34
附录 A.....	35

前 言

本标准由中创新航科技股份有限公司系统检测实验室提出并起草。

本标准由中创新航科技股份有限公司质量归口。

本标准主要起草人：靳国强、胡海和车万豪。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——Q/CALB 0404001-2021。

变更履历

本文件是对Q/CALB 0404001-2021《储能电池系统测试方法》的修订。自本文件实施之日起，Q/CALB 0404001-2021《储能电池系统测试方法》作废。

本文件与Q/CALB 0404001-2021相比，主要变化如下：

- 修改标准名称为：储能锂离子电池模块及电池簇测试方法；
- 修改适用范围，将电池模块、电池插箱试验方法合并为电池模块试验方法（见1, 2021版的1）；
- 修改了规范性引用文件：GB/T 36276-2023，增加了规范性引用文件：DL/T 2528-2022、UL1973-2022、UL 9540A-2019、UN38.3、IEC 62477-1-2022、IEC60068-2-2-2007、IEC 63056-2020、VDE-AR-E 2510-2-50（见2, 2021版的2）；
- 修改了电池单体（见3.1, 2021版的3.1）、电池模块（见3.2, 2021版的3.2）、电池簇（见3.3, 2021版的3.4）、壳体（见3.14, 2021版的3.28）、起火（见3.15, 2021版的3.29）、爆炸（见3.16, 2021版的3.30）的定义；
- 删除了电池插箱（2021版的3.3）、能量型电池（见2021版的3.10）、功率型电池（见2021版的3.11）、初始充电容量（见2021版的3.20）、初始放电容量（见2021版的3.21）、能量效率（见2021版的3.22）、倍率充放电（见2021版的3.23）、能量保持率（见2021版的3.24）、能量恢复率（见2021版的3.25）、质量能量密度（见2021版的3.26）、体积能量密度（见2021版的3.27）、热失控扩散（见2021版的3.33）、绝热温升（见2021版的3.34）、能量恢复率（见2021版的3.25）、能量恢复率（见2021版的3.25）的定义；
- 修改了符号和缩略语（见4, 2021版的4）；
- 修改了一般条件中的环境温湿度和大气压力要求，并删除了电池模块、插箱、电池簇的低温静置试验要求。（见5.1, 2021版的5.1）；
- 修改并增加了测试设备的准确度要求（见5.2, 2021版的5.2）；
- 增加了通用测试条件中试验样品准备（见5.3.1）、试验线路连接-电池模块（见5.3.2）、试验线路连接-电池簇（见5.3.3）、试验参数设定（见5.3.4）章节；
- 修改了试验准备中充放电之间静置时间（见5.4、5.5, 2021版的5.3）；
- 删除了预处理（见2021版的5.4）；
- 修改了数据记录和记录间隔要求（见5.6, 2021版的5.5）；
- 修改了电池模块外观、尺寸和质量的试验方法（见6.1.1、6.2.1, 2021版的6.1.1、6.1.2、6.1.3、6.2.1、6.2.2、6.2.3）；

——修改了电池模块初始充放电性能试验的测试方法（见6.1.2.1、6.2.2，2021版的6.1.4、6.2.4、6.3.4）；
——增加了电池模块功率特性试验（见6.1.2.2）；
——修改了电池模块倍率充放电性能试验（见6.1.2.3，2021版的6.1.5、6.2.5）；
——修改了电池模块能量保持与能量恢复能力试验（见6.1.2.4，2021版的6.1.8、6.2.8）；
——删除了电池模块、电池插箱高温充放电性能试验（见2021版的6.1.6、6.2.6）；
——删除了电池模块、电池插箱低温充放电性能试验（见2021版的6.1.7、6.2.7）；
——增加了电池模块环境适应性试验（见6.1.3）；
——修改了电池模块贮存性能试验（见6.1.4.1，2021版的6.1.9、6.2.9）；
——修改了电池模块循环性能试验（见6.1.4.2，2021版的6.1.12、6.2.12）；
——修改了电池模块过充电性能试验（见6.1.5.1，2021版的6.1.13、6.2.13）；
——修改了电池模块过放电性能试验（见6.1.5.2，2021版的6.1.14、6.2.14）；
——增加了电池模块过载性能试验（见6.1.5.3）；
——修改了电池模块短路性能试验（见6.1.5.4，2021版的6.1.15、6.2.15）；
——增加了电池模块高温短路试验（见6.1.5.5）；
——增加了电池模块运输和安装过程中短路保护试验（见6.1.5.6）；
——修改了电池模块绝缘性能试验（见6.1.5.7，2021版的6.1.10、6.2.10）；
——修改了电池模块耐压性能试验（见6.1.5.8，2021版的6.1.11、6.2.11）；
——修改了电池模块挤压性能试验（见6.1.6.1，2021版的6.1.16、6.2.16）；
——修改了电池模块跌落性能试验（见6.1.6.2，2021版的6.1.17、6.2.17）；
——修改了电池模块振动试验（见6.1.6.3、6.1.6.4，2021版的6.1.19、6.2.19）；
——修改了电池模块机械冲击试验（见6.1.6.5，2021版的6.1.20、6.2.20）
——删除了电池模块、电池插箱翻转试验（见2021版的6.1.18、6.2.18）；
——增加了电池模块液冷管路耐压性能（仅适用于液冷系统）试验（见6.1.6.6）；
——修改了电池模块盐雾性能试验（见6.1.7.1，2021版的6.1.22、6.2.22）；
——增加了电池模块交变湿热试验（仅适用于非海洋性气候条件应用）（见6.1.7.2）；
——增加了电池模块高海拔绝缘耐压试验（仅适用于高海拔条件应用的电池）（见6.1.7.3）；
——修改了电池模块热失控扩散试验（见6.1.8.1，2021版的6.1.23、6.2.23）；
——增加了电池模块热蔓延试验（见6.1.8.2）；
——增加了电池模块热蔓延试验（见6.1.8.3）；

- 增加了电池模块外部火烧试验（见6.1.8.4）；
- 增加了电池模块防护等级试验（见6.1.9）；
- 删除了电池插箱温升试验（见2021版的6.2.26）；
- 修改了外观尺寸试验（见6.2.1，2021版的6.3.1、6.3.2、6.3.3）；
- 修改了初电池簇始充放电能量试验（见6.2.2，2021版的6.3.4）；
- 修改了电池簇绝缘性能试验（见6.2.3，2021版的6.3.6）；
- 修改了电池簇耐压性能试验（见6.2.4，2021版的6.3.7）；
- 增加了电池簇脉冲耐压试验（见6.2.5）；
- 增加了电池簇液冷管路耐压性能（仅适用于液冷系统）试验（见6.2.5）；
- 增加了电池簇高海拔绝缘耐压（仅适用于高海拔条件应用的电池）试验（见6.2.6）；
- 增加了电池簇报警和保护功能试验（见6.2.7）；
- 修改了电池簇抗震性试验（见6.2.13，2021版的6.3.13）。
- 修改了电池簇交变湿热性能试验（见6.2.18，2021版的6.3.7）；
- 增加了电池簇稳态湿热性能试验（见6.2.19）；
- 增加了电池簇稳态干热性能试验（见6.2.20）；
- 增加了电池簇热扩散试验（见6.2.21）。

会签部门及人员审批意见记录表

会签部门	会签人员	审批意见
系统产品设计	张瑞	同意，无异议
国际客户解决方案	蔡若愚	同意，无异议
储能系统平台技术	郭其鑫	同意，无异议

说明：会签部门若涉及多个基地，每个基地的二级部门负责人需同时并行会签，无先后顺序要求。

储能锂离子电池模块及电池簇测试方法

1 范围

本标准规定了电力储能用锂离子电池模块、电池簇的试验方法。

本标准适用于电力储能用锂离子电池模块、电池簇的研发与生产交付中涉及的测试。

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。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.1-2008 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 2423.2-2008 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 2423.3-2016 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.4-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db 交变湿热(12h+12h循环)

GB/T 2423.10-2019 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）

GB/T 2423.17-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾

GB/T 2423.18-2021 环境实验 第2部分：实验方法实验Kb：盐雾，交变(氯化钠溶液)

GB/T 2423.43-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 振动、冲击和类似动力学试验样品的安装

GB/T 2423.56 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fh：宽带随机振动(数字控制)和导则

GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB 18306-2015 中国地震动参数区划图

GB/T 36276-2023 电力储能用锂离子电池

GB/T 36558-2018 电力系统电化学储能系统通用技术条件

GB 50260-2013 电力设施抗震设计规范

GB/T 50572-2010 核电厂工程地震调查与评价规范

QC/T 743-2006 电动汽车用锂离子蓄电池

DL/T 2528-2022 电力储能基本术语

UL 1973-2022 Batteries for Use in Stationary and Motive Auxiliary Power Applications

UL 9540A-2019 Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems

Storage Systems

UN 38.3 Recommendations on the TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS Manual of Tests and Criteria

IEC 62477-1-2022 Safety requirement for power electronic converter systems and equipment-Part 1:General

IEC60068-2-2-2007 Environmental testing-Part 2-2:Test B:Dry heat

IEC 63056-2020 Secondary cells and batteries containing or other non-acid electrolytes-Safety requirements for secondary lithium cells and batteries for use in electrical energy storage systems

VDE-AR-E 2510-2-50 Stationary battery energy storage systems with lithium batteries Safety requirements

3 术语和定义

DL/T 2528-2022、GB/T 36276-2023 和 GB 18306-2015 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 电池单体 cell

能够进行化学能和电能相互转换，实现充放电的基本单元，一般由正极、负极、隔膜、电解质和壳体等组成。

3.2 电池模块 battery module

通过串联、并联或串并联方式连接，只有一对正负极输出端子的电池组合体。

3.3 电池簇 battery cluster

由电池模块采用串联、并联或串并联方式连接的电池组合体。

3.4 电池管理系统 battery management system

监测电池的电、热等参数，具有相应的控制、保护和通信等功能的装置。

3.5 电池标称电压 nominal voltage of battery

标志或识别一种电池或一种电化学体系的适当的电压近似值。

3.6 电池额定充电功率 rated charging power of battery

电池全寿命周期内均能满足的，可持续稳定吸收的功率保证值。

3.7 电池额定放电功率 rated discharging power of battery

电池全寿命周期内均能满足的，可持续稳定释放的功率保证值。

3.8 电池标称充电时间 nominal charging duration of battery

在电池全寿命周期内均能满足的，以额定充电功率稳定运行的持续充电时间。

3.9 电池标称放电时间 nominal discharging duration of battery

在电池全寿命周期内均能满足的，以额定放电功率稳定运行的持续放电时间。

3.10 电池额定充电能量 rated chargeing energe of battery

电池额定充电功率与标称充电时间的乘积。

3.11 电池额定放电能量 rated discharging energy of battery

电池额定放电功率与标称放电时间的乘积。

3.12 初始化充电 initial charge

规定条件下，电池放电至放电截止条件后，再充电至充电截止条件的过程。

3.13 初始化放电 initial discharge

规定条件下，电池充电至充电截止条件后，再放电至放电截止条件的过程。

3.14 倍率充放电 rated charging and discharging

规定条件下，以高于额定功率的功率值对电池进行充放电的过程。

3.15 壳体 case

用于防止电池单体内部材料和组件与外部直接接触的封装部件。

3.16 起火 fire

电池任何部位发生持续燃烧的现象。

注：起火不包括火花、闪燃及拉弧现象。

3.17 爆炸 explosion

壳体或电池模块外壳破裂，伴随响声，且有固体物质等主要成分抛射的现象。

3.18 漏液 leakage

电池内部液体泄漏到壳体外部的现象。

3.19 地震动 seismic ground motion

地震引起的地表及近地介质的振动。

3.20 地震动参数 seismic ground motion parameters

表征抗震设防要求的地震动物理参数，包括地震动峰值加速度和地震动加速度反应谱特征周期等。

3.21 地震动参数区划 seismic ground motion parameters zonation

以地震动参数为指标，将国土划分为不同抗震设防要求的区域。

3.22 地震动峰值加速度 seismic peak ground acceleration

表征地震作用强弱程度的指标，对应于规准化地震加速度反应谱最大值的水平加速度。

3.23 地震动加速度反应谱特征周期 seismic period of the acceleration response spectrum

表征地震作用强弱程度的指标，对应于规准化地震加速度反应谱最大值的水平加速度。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件：

Eic：初始充电能量，电池单体的单位为 $\text{W} \cdot \text{h}$ ，电池模块的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，电池簇的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 或 $\text{MW} \cdot \text{h}$ ，数值小数点后位数不超过 2 位。

Eid：初始放电能量，电池单体的单位为 $\text{W} \cdot \text{h}$ ，电池模块的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，电池簇的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 或 $\text{MW} \cdot \text{h}$ ，数值小数点后位数不超过 2 位。

Erc：额定充电能量，电池单体的单位为 $\text{W} \cdot \text{h}$ ，电池模块的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，电池簇的单位为

$\text{kW} \cdot \text{h}$ 或 $\text{MW} \cdot \text{h}$, 数值等于额定充电功率和标称充电时间的乘积, 数值小数点后位数不超过 2 位。

E_{rd} : 额定放电能量, 电池单体的单位为 $\text{W} \cdot \text{h}$, 电池模块的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 电池簇的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 或 $\text{MW} \cdot \text{h}$, 数值等于额定放电功率和标称充电时间的乘积, 数值小数点后位数不超过 2 位。

t : 标称充电时间, 数值小数点后位数不超过 2 位。

t' : 标称放电时间, 数值小数点后位数不超过 2 位。

P_{rc} : 额定充电功率, 电池单体的单位为 W , 电池模块的单位为 kW , 电池簇的单位为 kW 或 MW , 数值小数点后位数不超过 2 位。

P_{rd} : 额定放电功率, 电池单体的单位为 W , 电池模块的单位为 kW , 电池簇的单位为 kW 或 MW , 数值小数点后位数不超过 2 位。

U_{nom} : 标称电压, 单位为 V , 数值小数点后位数不超过 2 位。

W_{vd} : 体积能量密度, 单位为 $\text{W} \cdot \text{h/L}$, 数值小数点后位数不超过 2 位。

W_{gd} : 质量能量密度, 单位为 $\text{W} \cdot \text{h/kg}$, 数值小数点后位数不超过 2 位。

5 通用测试条件

5.1 一般条件

- a) 除另有规定外, 试验应在 15°C ~ 40°C , 相对湿度 $\leq 80\%$, 大气压力为 86kPa ~ 106kPa 的环境中进行
- b) 测试样品交付时需要包括必要的技术文件与操作文件, 以及和测试设备相连接所需的电力、通讯等接口部件, 如连接器、插头。制造商需要提供相关的工作限值, 以保证整个测试过程的安全。
- c) 当测试的目标环境温度改变时, 在进行测试前测试样品需要完成环境适应过程。

5.2 准确度要求

测量仪器、仪表准确度的要求如下:

- 电压测量装置: $\pm 0.1\% \text{F.S.}$;
- 电流测试装置: $\pm 0.1\% \text{F.S.}$;
- 功率测试装置: $\pm 0.1\% \text{F.S.}$;
- 温度测量装置: $\pm 1^{\circ}\text{C}$;
- 时间测量装置: $\pm 0.1\text{s}$;
- 尺寸测量装置: $0 < L < 5$, ± 0.02

$$5 \leq L \leq 1000, \pm 0.07$$

$L > 1000, \pm 0.2$

单位: mm

——质量测量装置: $0 < m < 3, \pm 1 \times 10^{-4}$

$3 \leq m \leq 6, \pm 2 \times 10^{-4}$

$6 < m \leq 15, \pm 5 \times 10^{-4}$

$15 < m \leq 300, \pm 0.02$

$m > 300, \pm 0.2$

单位: kg

——绝缘耐压装置: 电压U (V) : $0.5V \leq U \leq 6000V, \pm 2\%F.S.$

绝缘电阻R_i (MΩ) : $50 \leq R_i < 1000, \pm (2\%rdg+0.02)$

$1000 \leq R_i \leq 1 \times 10^4, \pm (5\%rdg+0.2)$

$1 \times 10^4 \leq m < 5 \times 10^4, \pm (15\%rdg+2)$

——盐雾试验装置: 温度T (℃) : $25 \leq T \leq 60, \pm 2$

环境相对湿度 (%) : $10 \sim 98, \pm 3$

——低气压试验装置: 气压p (kPa) : $40 \leq p \leq 101, \pm 2$

温度T (℃) : $0 \leq T \leq 100, \pm 2$

——振动试验装置: 频率f (Hz) : $f < 100, \pm 0.5;$

$f \geq 100, \pm 0.5\%$

随机加速度功率谱密度 (dB) : ± 3

5.3 试验准备

5.3.1 试验样品准备

试验样品准备应满足下列要求:

- a) 通过外部链接件与实验设备连接的试验样品, 外部连接件能承受试验过程中的最大电流且不熔断;
- b) 实验前针对试验样品的安全风险编制实验方案, 指定安全防护措施, 电性能试验、环境适应性试验、耐久性能试验过程中试验样品出现膨胀、破裂、漏液、冒烟、起火、爆炸等任一异常现象时终止该实验样品对应的所有检验项目。

5.3.2 试验线路连接-电池模块

除另有规定外, 电池模块试验线路连接应符合下列规定:

- a) 根据实验温度、湿度以及电池模块尺寸、电压、功率等参数选择试验设备;
- b) 电池模块和电池单体的正负极与试验设备通过电压数据采样线连接, 形成电压数据采集回路;
- c) 电池模块温度采样点与试验设备通过温度数据采样线连接, 形成温度数据采集回路, 电池模块温度采样点包括电池模块正极汇流排、负极汇流排的固定采样点和不少于2个有代表性的随机采样点;
- d) 采用液体冷却方式的电池模块, 功率特性试验、倍率充放电性能试验和循环性能试验中液冷系统可工作, 循环性能试验过程中样品端的进液温度与试验温度保持一致, 高温适应性、低温适应性、贮存性能试验、液冷管路奶阿姨性能实验前放空冷却液, 其他试验项目试验前注满冷却液并断开液冷系统。

5.3.3 试验线路连接-电池簇

除另有规定外, 电池簇试验线路连接应符合下列规定:

- a) 根据试验温度、湿度以及电池簇尺寸电压功率等参数选择试验设备;
- b) 电池簇正负极与试验设备通过输入输出线缆连接, 形成电流回路;
- c) 试验设备与电池簇的电池管理系统通过通信线连接, 形成控制保护回路;
- d) 电池簇、电池模块和电池单体的正负极与试验设备通过电压数据采样线连接, 形成电压数据采集回路;
- e) 电池簇温度采样点与试验设备通过温度数据采样线连接, 形成温度数据采集回路。

5.3.4 试验参数设定

电池试验参数设定应满足下列要求:

- a) 根据电池模块与电池簇的工作参数值唯一, 且与电池实际使用时的工作参数一致;
- b) 除另有规定外, 电池模块实验过程以充放电电压二级报警值、电池单体高低温二级报警温度作为试验保护设定值;
- c) 除另有规定外, 电池簇试验过程以充放电电压二级报警值、充放电电流二级报警值、电池单体高低温二级报警温度、电池簇充放电电池模块电压极差二级报警值、电池簇充放电电池单体电压极差二级报警值、电池簇充放电电池单体温度极差二级报警值作为试验保护设定值。

5.4 初始充电

- a) 电池模块初始化充电
 - 1) 在 $(25\pm2)^\circ\text{C}$ 下搁置5 h;
 - 2) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件, 静置10 min;

- 3) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体的充电截止条件，静置10 min。
- b) 电池簇初始化充电
 - 1) 在 (25 ± 5) °C下搁置5 h;
 - 2) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池簇放电截止条件，静置10 min;
 - 3) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池簇的充电截止条件，静置10 min。

5.5 初始放电

- a) 电池模块初始化充电
 - 1) 在 (25 ± 2) °C下搁置5 h;
 - 2) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10 min;
 - 3) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体的放电截止条件，静置10 min。
- b) 电池簇初始化充电
 - 1) 在 (25 ± 5) °C下搁置5 h;
 - 2) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池簇充电截止条件，静置10 min;
 - 3) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池簇的放电截止条件，静置10 min。

5.6 数据记录和记录间隔

除另有规定外，数据采集周期不大于预估的每个试验步骤的充电或放电时间的0.5%。

6 试验方法

6.1 电池模块试验

6.1.1 外观、尺寸和质量试验

电池模块外观检验按照下列步骤进行：

- a) 在良好光线条件下，目测检测电池模块的外观，记录检验结果，包括变形及破损、结构、铭牌和标识；
- b) 用量具测量电池模块投影对应部位的最大尺寸，记录测量结果；
- c) 用衡器测量电池模块的质量，记录测量结果；

6.1.2 电性能试验

6.1.2.1 初始充放电性能试验

6.1.2.1.1 25°C初始充放电性能试验

电池模块25°C初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化放电；
- b) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10min，记录初始充电能量；
- c) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10min，记录初始放电能量；
- d) 以b)、c) 步骤能量计算初始充放电能量效率。

6.1.2.1.2 45°C初始充放电性能试验

电池模块45°C初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化放电；
- b) 设置环境模拟装置温度为45°C，在(45±2) °C下静置16h；
- c) 在(45±2) °C下，以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10min，记录充电能量；
- d) 在(45±2) °C下，以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10min，记录放电能量；
- e) 以c)、d) 步骤能量计算充放电能量效率。

6.1.2.1.3 5°C初始充放电性能试验

电池模块5°C初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化放电；
- b) 设置环境模拟装置温度为5°C，在(5±2) °C下静置20h；
- c) 在(5±2) °C下，以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10min，记录充电能量；
- d) 在(5±2) °C下，以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10min，记录放电能量；
- e) 以c)、d) 步骤能量计算充放电能量效率。

6.1.2.2 功率特性试验

电池模块功率特性试验按照下列步骤进行：

- a) 将试验样品放置于环境模拟装置内并与充放电装置连接；
- b) 设置环境模拟装置温度为25°C；

- c) 在 (25 ± 2) ℃下静置5 h;
- d) 以 $100\%P_{rd}$ 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10 min;
- e) 以 $100\%P_{rc}$ 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10 min，记录充电能量;
- f) 以 $100\%P_{rd}$ 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10 min，记录放电能量;
- g) 以额定充放电功率的5%为步长，逐次递减充放电功率至5%额定充放电功率，重复试验步骤d)~f);
- h) 以步骤e)的充电能量和步骤f)的放电能量计算不同功率充放电能量效率；计算不同功率充电能量分别与额定充电能量的百分比作为充电特性特征值，计算不同功率放电能量分别与额定放电能量的百分比作为放电特性特征值；
- i) 以额定功率的百分数为横轴，以步骤h)的充电特性特征值、放电特性特征值和充放电能量效率为纵轴，绘制电池模块的功率特性曲线图。

6.1.2.3 倍率充放电性能试验

电池模块倍率充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化放电；
- b) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10 min，记录充电能量;
- c) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10 min，记录放电能量;
- d) 以 $2P_{rc}$ 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10 min，记录充电能量;
- e) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10 min，记录充电能量;
- f) 以 $2P_{rd}$ 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10 min，记录放电能量;
- g) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10 min，记录放电能量;
- h) 以 $2P_{rc}$ 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10 min，记录充电能量;
- i) 以 $2P_{rd}$ 恒功率放电至电池模块的放电截止条件，记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- j) 以步骤b)的充电能量和步骤d)的充电能量计算 $2P_{rc}$ 充电能量相对于 P_{rc} 充电能量的能量保持率，以步骤c)的放电能量和步骤f)的放电能量计算 $2P_{rd}$ 放电能量相对于 P_{rd} 放电能量的能量保持率，以步骤h)的充电能量和步骤i)的放电能量计算 $2P_{rc}$ 、 $2P_{rd}$ 恒功率充放电能量效率。

6.1.2.4 能量保持与能量恢复能力试验

电池模块高温充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电;
- b) 设置环境模拟装置温度为45 °C, 在(45±2) °C下静置30 d;
- c) 设置环境模拟装置温度为25 °C, 在(25±2) °C下静置5 h;
- d) 在(25±2) °C下, 以Prd 恒功率放电至电池模块放电截止条件, 静置10 min, 记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- e) 在(25±2) °C下, 以Prc 恒功率充电至电池模块充电截止条件, 静置10 min, 记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- f) 在(25±2) °C下, 以Prd 恒功率放电至电池模块放电截止条件, 记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- g) 断开试验样品和充放电装置的连接, 拆除数据采样线, 取出试验样品;
- h) 以25 °C初始放电能量和步骤d)的放电能量计算能量保持率, 以25 °C初始充电能量和步骤e)的充电能量计算充电能量恢复率, 以25 °C初始放电能量和步骤f)的放电能量计算放电能量恢复率。

6.1.3 环境适应性试验

6.1.3.1 高温适应性试验

电池模块高温适应性试验按照下列步骤进行:

- a) 电池模块初始化充电;
- b) 设置环境模拟装置温度为50 °C, 在(50±2) °C下静置24 h;
- c) 设置环境模拟装置温度为25 °C, 在(25±2) °C下静置12 h;
- d) 在(25±2) °C下, 以Prd 恒功率放电至电池单体放电截止条件, 静置10 min;
- e) 在(25±2) °C下, 以Prc 恒功率充电至电池单体充电截止条件, 静置10 min, 记录充电能量;
- f) 在(25±2) °C下, 以Prd 恒功率放电至电池单体放电截止条件, 记录放电能量;
- g) 以步骤e)的充电能量和步骤f)的放电能量计算能量效率。

6.1.3.2 低温适应性试验

电池模块低温适应性试验按照下列步骤进行:

- a) 电池模块初始化充电;
- b) 设置环境模拟装置温度为-30 °C, 在(-30±2) °C下静置24 h;

- c) 设置环境模拟装置温度为25 °C，在(25±2) °C下静置24 h;
- d) 在(25±2) °C下，以Prd 恒功率放电至电池单体放电截止条件，静置10 min;
- e) 在(25±2) °C下，以Prc 恒功率充电至电池单体充电截止条件，静置10 min，记录充电能量;
- f) 在(25±2) °C下，以Prd 恒功率放电至电池单体放电截止条件，记录放电能量;
- g) 以步骤e)的充电能量和步骤f)的放电能量计算能量效率。

6.1.4 耐久性能试验

6.1.4.1 贮存性能试验

电池模块贮存性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电;
- b) 以Prd 恒功率放电至放电能量达到该电池模块初始放电能量的50%，记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- c) 设置环境模拟装置温度为50 °C，在(50±2) °C下贮存30 d;
- d) 设置环境模拟装置温度为25 °C，在(25±2) °C下静置5 h;
- e) 在(25±2) °C下，以Prd 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置10min，记录放电能量;
- f) 在(25±2) °C下，以Prc 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置10min，记录充电能量;
- g) 在(25±2) °C下，以Prd 恒功率放电至电池模块放电截止条件，记录放电能量;
- h) 以25 °C初始充电能量和步骤f)的充电能量计算充电能量恢复率，以25 °C初始放电能量和步骤g)的放电能量计算放电能量恢复率。

6.1.4.2 循环性能试验

电池模块循环性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电;
- b) 设置环境模拟装置温度为45 °C，在(45±2) °C下静置5 h;
- c) 在(45±2) °C下，以Prc 恒功率充电至电池模块和任一电池单体的充电截止电压中的优先达到值，静置10 min，记录功率、时间、电压、温度、电池单体电压极差、充电能量;
- d) 在(45±2) °C下，以Prd 恒功率放电至电池模块和任一电池单体的放电截止电压中的优先达到值，静置10 min，记录功率、时间、电压、温度、电池单体电压极差、放电能量;
- e) 重复步骤c)~d)至充放电次数达到1000 次;

- f) 断开试验样品和充放电装置的连接，拆除数据采样线，取出试验样品；
- g) 在 (25 ± 2) °C下，以Prd 恒功率放电至电池模块放电截止条件，记录放电能量；
- h) 以25 °C初始充电能量和步骤f)的充电能量计算充电能量恢复率，以25 °C初始放电能量和步骤g)的放电能量计算放电能量恢复率。

6.1.5 电气安全性能试验

6.1.5.1 过充电性能试验

电池模块过充电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化充电的电池模块与充放电装置连接；
- b) 将充放电装置的电压和温度数据采样线与电池模块连接；
- c) 以 $I=I_{Prc}/U_{nom}$ 恒流充电至任一电池单体电压达到电池单体充电截止电压的1.5 倍或时间达到1 h时停止充电，观察1 h，记录电流、时间、电压、温度；
- d) 记录试验现象，包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸。

6.1.5.2 过放电性能试验

电池模块过放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化放电的电池模块与充放电装置连接；
- b) 将充放电装置的电压和温度数据采样线与电池模块连接；
- c) 以 $I=I_{Prd}/U_{nom}$ 恒流放电至任一电池单体电压达到0 V 或时间达到1 h 时停止放电，观察1 h，记录电流、时间、电压、温度；
- d) 记录试验现象，包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸。

6.1.5.3 过载性能试验

电池模块过载性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化放电的电池模块与充放电装置连接；
- b) 将充放电装置的电压和温度数据采样线与电池模块连接；
- c) 以 $4I_{Prc}$ 恒功率充电至电池模块或任一电池单体的充电截止电压，静置10 min，记录功率、时间、电压、温度；
- d) 以 $4I_{Prd}$ 恒功率放电至电池模块或任一电池单体的放电截止电压，观察1 h，记录功率、时间、

- 电压、温度；
- e) 记录试验现象，包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸；
 - f) 断开试验样品和充放电装置的连接，拆除数据采样线，取出试验样品。

6.1.5.4 短路性能试验

电池模块短路性能试验按照下列步骤进行：

- a) 调节短路试验装置与电池模块正极连接处中心位置到短路试验装置与电池模块负极连接处中心位置之间的试验装置电阻至 $[0.8,1.0]m\Omega$ ，记录试验装置电阻；
- b) 将完成了初始化充电的电池模块与短路试验装置连接；
- c) 将短路试验装置的电压和温度数据采样线与电池模块连接；
- d) 测量电池模块正极汇流排中心点到短路试验装置与电池模块正极连接处中心位置之间的正极接触电阻，调整短路试验装置与电池模块正极的连接状态至正极接触电阻小于等于 $0.1\text{ m}\Omega$ ，记录正极接触电阻；
- e) 测量电池模块负极汇流排中心点到短路试验装置与电池模块负极连接处中心位置之间的负极接触电阻，调整短路试验装置与电池模块负极的连接状态至负极接触电阻小于等于 $0.1\text{ m}\Omega$ ，记录负极接触电阻；
- f) 根据公式（1）计算外部线路电阻；

$$Re=Rt+Rp+Rn \quad \text{----- (1)}$$

式中：

Re ：外部线路电阻；

Rt ：试验装置电阻；

Rp ：正极接触电阻；

Rn ：负极接触电阻。

- g) 启动短路试验装置，在电池模块正极和负极之间形成电流回路，保持 10 min ，断开电流回路，观察 1 h ，记录电流、时间、电压、温度；
- h) 记录试验现象，包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸；
- i) 断开试验样品和短路试验装置的连接，拆除数据采样线，更换试验样品；
- j) 调节短路试验装置与电池模块正极连接处中心位置到短路试验装置与电池模块负极连接处中心位置之间的试验装置电阻至 $[27.0,32.8]m\Omega$ ，记录试验装置电阻；

- k) 重复步骤b)~f);
- l) 启动短路试验装置，在电池模块正极和负极之间形成电流回路，保持30 min，断开电流回路，观察1 h，记录电流、时间、电压、温度；
- m) 记录试验现象，包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸；
- n) 断开试验样品和短路试验装置的连接，拆除数据采样线，取出试验样品。

6.1.5.5 高温短路试验

电池模块运输和安装过程中的短路保护试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电后，在 (57 ± 4) °C环境下加热12h且样品外壳监测温度达到该区间；
- b) 外部线路电阻 $\leq 0.1\Omega$ ；
- c) 连接正负极端子将电池模块短路，直至温度下降至试验期间观察到的最大温升的一半，并保持在该值以下；
- d) 观察6h，并观察外部温度是否超过170°C、是否有解体、外壳破裂、起火现象。

6.1.5.6 运输和安装过程中短路保护试验

电池模块运输和安装过程中的短路保护试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电后，在环境温度下静置，直至其温度稳定在 (25 ± 2) °C；
- b) 调节试验装置电阻 $\text{MAX}\{(30 m\Omega \pm 10 m\Omega) \times \text{模块配置} (= \text{串联连接数}/\text{并联连接数}), \leq 5 m\Omega\}$ ，总外部电阻 $< 100 m\Omega$ ；
- c) 连接正负极端子将电池模块短路6h或直到外壳温度下降最大温升的80%；
- d) 观察是否有外壳破裂、起火或爆炸现象。

6.1.5.7 绝缘性能试验

电池模块绝缘性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电，将电池模块的正极外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接，关闭电池模块的绝缘电阻监测功能；
- b) 按表1施加试验电压，持续1 min，记录正极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压，断开绝缘耐压试验装置与电池模块的连接；

表1 绝缘电阻测量仪电压等级

试验样品充电截止电压 (U)	试验电压
----------------	------

V	V
U< 500	500
500≤U< 1 000	1000
U≥1000	2500

- c) 将电池模块的负极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接;
- d) 按表1施加试验电压,持续1 min,记录负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘耐压试验装置与电池模块的连接,取出试验样品;
- e) 分别计算正负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻和电池模块标称电压的比值。

6.1.5.8 耐压性能试验

电池模块耐压性能试验按照下列步骤进行:

- a) 电池模块初始化充电,将电池模块的正极外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接,关闭电池模块的绝缘电阻监测功能;
- b) 按表2施加直流试验电压,以小于或等于 50% 试验电压开始,10 s 之内增加至试验电压并保持 60 s,记录试验电压、漏电流,记录试验现象,包括击穿、闪络,断开绝缘耐压试验装置与电池模块的连接;

表2 直流/交流耐压测量仪电压等级

试验样品充电截止电压 (U) V	直流试验电压 V	交流试验电压 V
U≤60	1530	1080
60<U≤300	2010	1420
300<U≤690	2800	1970
690<U≤800	3000	2120
800<U≤1000	3390	2400
1000<U≤1500	4380	3100
U>1500	5730	3800

- c) 将电池模块的负极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接;
- d) 按表2施加直流试验电压,以小于或等于 50% 试验电压开始,10 s 之内增加至试验电压并保持 60 s,记录试验电压、漏电流,记录试验现象,包括击穿、闪络,断开绝缘耐压试验装置与电池模块的连接;
- e) 将电池模块的正极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接;
- f) 按表2施加频率为45 H2~62 H的正弦交流试验电压,保持 60 s,记录试验电压,记录试验现象,包括击穿、闪络,断开绝缘耐压试验装置与电池模块的连接;

- g) 将电池模块的负极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接；
- h) 按表2施加频率为45 H₂~62 H₁ 的正弦交流试验电压,保持 60 s,记录试验电压,记录试验现象,包括击穿、闪络,断开绝缘耐压试验装置与电池模块的连接。

6.1.6 机械安全性能试验

6.1.6.1 挤压性能试验

电池模块挤压性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电, 将模块以重心最低的摆放方式置于挤压台上, 面积较大的外表面正对挤压头, 连接电压和温度数据采集线;
- b) 按图1选取半径R为75mm、长度L大于试验样品被挤压面尺寸的半圆柱挤压头, 将挤压速度的初始值设置为5mm/s;

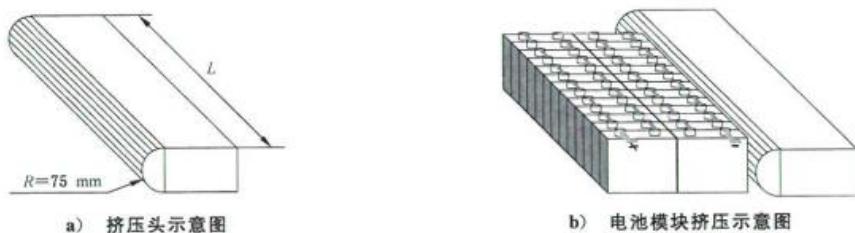


图1 挤压头和电池模块挤压示意图

- c) 启动挤压实验装置, 挤压力达到50kN时保持该挤压力10min, 停止挤压, 观察1h, 记录电压、温度、挤压力;
- d) 记录试验现象, 包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸。

6.1.6.2 跌落性能试验

电池模块跌落性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电后, 置于跌落试验装置的试验台;
- b) 将试验样品正极或负极朝下从 2.0 m 高度处自由跌落到水泥地面;
- c) 观察1h;
- d) 记录试验现象, 包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸。

6.1.6.3 振动性能-随机试验

电池模块随机振动性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电后，置于振动试验装置上并固定；
- b) 根据表3设置随机振动波谱参数，在X、Y、Z三个方向分别进行随机振动，观察1h，记录试验现象，包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸；

表3 随机振动波谱参数

	频率 Hz	加速度功率谱密度 g ² /Hz
加速度功率谱密度	5	0.0031
	6	0.00072
	12	0.00072
	16	0.0036
	25	0.0036
	30	0.00072
	40	0.0036
	80	0.0036
	100	0.00036
	200	0.000018
加速度均方根		0.51
振动时间		180 min

- c) 根据6.1.5.7，6.1.5.8进行绝缘耐压测试。

6.1.6.4 振动性能-正弦试验

电池模块正弦振动性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电后，测量电池模块开路电压以及重量，随后置于振动试验装置上并固定；
- b) 样品固定好后，进行正弦波形振动测试。频率在7和200赫兹之间摆动再回到7赫兹，对数扫频时长为15分钟。这一振动过程须对三个互相垂直的电池模块安装方位的每一个方向都重复进行12次，时间共计3小时。对数扫频为：从7赫兹开始保持1gn的最大加速度直到频率达到18赫兹。然后将振幅保持在0.8毫米(总偏移1.6毫米)并增加频率直到最大加速度达到2gn（此为大型

电池组参数) (频率约为50赫兹)。将最大加速度保持在 $2gn$ 直到频率增加到200赫兹;

- c) 测试完成后再次测量开路电压以及重量。

6.1.6.5 机械冲击试验

电池模块机械冲击性能试验按照下列步骤进行:

- a) 电池模块初始化充电后, 测量电池模块开路电压以及重量, 随后置于冲击试验装置上并固定;
- b) 样品固定好后, 进行半正弦脉冲冲击测试, 最大加速度 ($50gn$ 或公式2所得值中小值) 和脉冲持续时间 11ms 的半正弦波冲击。每个电池或电池组须在三个互相垂直的电池安装方位的正方向经受三次冲击, 接着在反方向经受三次冲击, 总共经受18次冲击。

$$\text{加速度 (gn)} = \sqrt{\frac{30000}{m}} \quad \text{----- (2)}$$

式中:

m : 样品质量, 单位kg;

- c) 测试完成后再次测量开路电压以及重量。

6.1.6.6 液冷管路耐压性能(仅适用于液冷系统) 试验

电池模块液冷管路耐压性能试验按照下列步骤进行:

- a) 将完成了初始化放电的电池模块液冷管路与气体增压试验装置连接;
- b) 向液冷管路增压至压强达到最大工作压强的1.2倍, 稳压 2 min 后停止充气, 记录气压值, 静置 1 min 再次记录气压值, 按照两次记录值计算气压降, 记录试验现象, 包括管路破裂;
- c) 恢复至正常大气压, 断开与气体增压试验装置的连接。

6.1.7 环境安全性能试验

6.1.7.1 盐雾性能试验(仅适用于海洋性或非海洋性气候条件应用)

电池模块盐雾性能试验按照下列步骤进行:

- a) 电池模块初始化充电后, 置于盐雾试验装置内;
- b) 以化学纯或分析纯的氯化钠、蒸馏水或去离子水配置质量浓度为($5\pm 1\%$)的氯化钠液, 并注入试验装置的水箱内;
- c) 设置试验温度为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 试验装置内温度达到($35\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)时启动喷雾程序, 喷雾时间达到 2 h 时, 停止喷雾;

- d) 设置试验温度为 40℃相对湿度为 93%，试验装置内温度达到(40±2)℃、相对湿度达到(93±3)%时启动贮存程序,贮存时间达到 22 h时停止贮存;
- e) 重复步骤 c)~d)至喷雾-贮存循环次数达到4次;
- f) 设置试验温度为 23℃、相对湿度为 50%，试验装置内温度达到(23±2)℃、相对湿度达到(50±3)%时启动贮存程序,贮存时间达到3d时停止贮存;
- g) 重复c) ~f) 至喷雾-贮存-贮存循环次数达到4次;
- h) 观察1h;
- i) 记录实验现象，包括外壳破裂、膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸;
- j) 取出样品，30min内进行根据6.1.5.7，6.1.5.8进行绝缘耐压测试。

6.1.7.2 交变湿热试验（仅适用于非海洋性气候条件应用）

电池模块交变湿热性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电后，置于环境试验装置内；
- b) 设置试验温度为 50℃，相对湿度为 95%、升温速率为 12.5 ℃/h,温度达到(50±2)℃相对湿度达到(95±3)%时保持当前温湿度，静置 6 h;
- c) 设置试验温度为 25℃相对湿度为 95%、降温速率为 12.5C/h,温度达到(25±2)℃相对湿度达到(95±3)%时保持当前温湿度,静置 6 h;
- d) 重复步骤 b)~c)至交变循环次数达到 6 次；
- e) 设置试验温度为 25℃，相对湿度为 70%,温度达到(25±2)℃相对湿度达到(70±3)%时保持当前温湿度；

6.1.7.3 高海拔绝缘耐压试验（仅适用于高海拔条件应用的电池）

电池模块高海拔绝缘耐压性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化充电的电池模块置于低气压试验装置内；
- b) 根据6.1.5.7，6.1.5.8进行绝缘耐压试验；
- c) 依据试验样品最大应用海拔高度，按照表4设置试验气压值，在 (25±2) ℃下，静置6 h；

表4 电池最大应用海拔高度对应试验气压值

电池最大应用海拔高度 (h) m	试验气压值 (p) kpa
2000<h≤4000	62

h>4000	54
--------	----

- d) 根据6.1.5.7, 6.1.5.8进行绝缘耐压试验;
- e) 分别计算正负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻和电池模块标称电压的比值。

6.1.8 热安全性能试验

6.1.8.1 热失控扩散试验

电池模块热安全性能试验按照下列步骤进行:

- a) 将完成了初始化充电的电池模块置于热失控试验装置内;
- b) 以电池模块中心位置的电池单体或最小并联单元为热失控触发对象,将其正负极与充放电装置及其电压数据采样线连接,并保持热失控触发对象与相邻电池的电气连接;
- c) 将温度传感器布置于触发对象所有电池单体的表面与正负极柱等距且离正负极柱最近的位置,设置温度采样周期为1s,设定连续监测到三个温升速率值均 $\geq 3^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 或起火或爆炸为发生热失控的判定条件;
- d) 以与触发对象相邻的两个电池单体为热失控监测对象,将温度传感器布置于紧邻触发对象的监测对象表面的对侧中心位置或监测对象正负极柱所在表面且与正负极柱等距的位置;
- e) 以触发对象的额定功率与其标称电压的比值作为电流值对触发对象进行恒流充电,记录触发对象的时间、电压、电流、温度、温升速率,记录监测对象的时间、电压、温度、温升速率,记录电池模块的试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸;
- f) 当触发对象所有电池单体达到发生热失控的判定条件或温度达到 300°C 或试验时间达到 4 h 或监测对象达到发生热失控的判定条件时,停止充电,观察 1h,记录时间、电压、温度、温升速率,记录电池模块的试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸;
- g) 按照6.1.5.7进行绝缘性能试验;
- h) 断开试验样品和充放电装置的连接拆除数据采样线,取出试验样品;
- i) 以发生热失控的判定条件判定监测对象是否发生热失控。

6.1.8.2 热蔓延试验

电池模块热蔓延试验按照下列步骤进行:

- a) 环境初始温度为 $(25 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, 模块样品在测试前应通过至少2个周期的充放电循环进行调节, 使用制造商指定的方法来验证模块的功能。每个周期定义为充电至100%SOC, 然后休息至多

- 8h，然后放电至模块制造商指定的放电终止电压；
- b) 需要测试的模块应在开始测试前充电至100%SOC，并休息最多8h，模块电压应通过在充电至充满状态后、测试开始前在模块端子处测量确定。样品模块在测试前应至少稳定1h；
 - c) 测试初始环境条件应为 (25 ± 5) °C和 $50 \pm 25\%$ RH，模块放置在非可燃水平表面上，其方向代表其最终安装的状态，并在适当大小的烟雾收集罩下进行，以此来收集模块产生的气体；
 - d) 测试前后需要测量记录样品的重量，以此来确定重量损失；
 - e) 强制触发热失控的电芯可以是一个或多个，取决于单个电芯所含能量。应强制足够数量的电芯发生热失控，以此在模块内创建电芯之间的热蔓延条件。例如：可能需要触发9只3Ah电芯触发热失控，而不是一个30Ah电芯，以此来形成电芯之间的热蔓延现象；
 - f) 根据以上要求，应通过持续高于热失控开始时的单元格表现温度来验证热失控的发生；
 - g) 应使用氧气消耗量热法测量模块在热失控时的化学热释放率，同时需要测量整个测试期间的化学热释放率；
 - h) 应使用外来的柔性薄膜加热片对电芯进行加热，以此实现单电芯的热失控，加热片应尽可能覆盖电芯外壳的大部分，但不覆盖隔热设计或正负极，加热片加热过程需要控制温升速率在 $4\text{--}7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 范围内；
 - i) 需要确定一个隔膜失效或电芯内短路的温度，因为在这个温度以上 $5\text{--}15^{\circ}\text{C}$ 内，可能会发生热失控。同时根据电芯设计和材料化学特性确定最终停止测试的温度。如果在4h后仍未达到该温度区间并未发生热失控，则应重新规定加热片的温升速率，直到发生热失控或证明无法通过加热触发热失控。若加热片无法使电芯产生热失控行为，应寻求其他方式来实现电芯的热失控行为（如针刺、过充等）。电芯热失控判定曲线如图2所示：

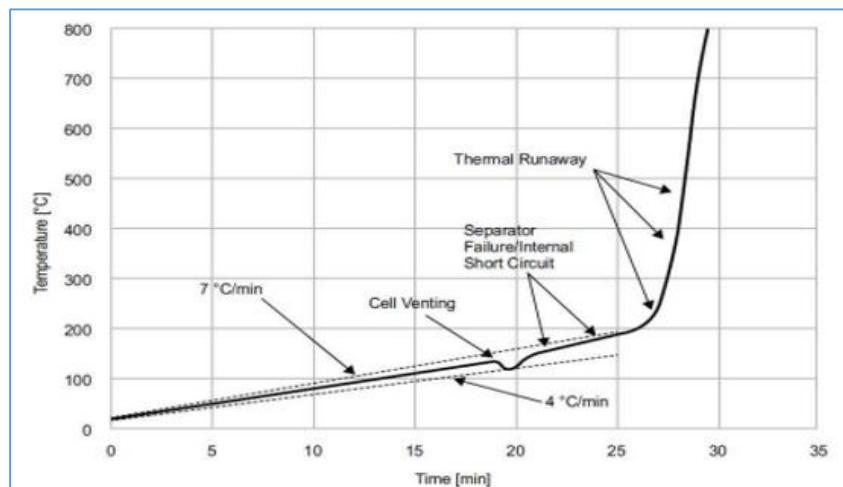


图2 热失控判定曲线图

- j) 应使用由24号或更细的K型热电偶制成的温度传感器，连续测量电芯外部表面温度，至少应将一个热电偶放置于电芯大面中心；
- k) 化学热释放率应通过以下测量系统进行测量：顺磁氧气分析仪、非分散红外二氧化碳和一氧化碳分析仪、速度探头和K型热电偶。测量应位于热量释放率量热计的排气管道中（整个测试期间，应使用白色光源和光电探测器测量光的透射率），该位置应最小化管道弯头或排气装置的影响；
- l) 气体组成应使用傅里叶变化红外光谱仪进行测量，分辨率至少为 1cm^{-1} ，光程至少为2m，或使用精度量程等效的气体分析仪；
- m) 排放气体中的烃类气体含量应使用火焰离子化检测方法进行测量，氢气气体含量应使用钯-镍薄膜固态传感器进行测量。

注：电池模块以完整状态进行测试（不可开箱盖且不可开启冷却系统）。

6.1.8.3 高温热失控试验

电池模块高温热失控试验按照下列步骤进行：

- a) 电池模块初始化充电后，将样品置于环境箱内加热至规定的最大工作温度后，取出进行试验，试验开始温度应在规定的最大工作温度±10°C区间内；
- b) 需连续测量电芯外部表面温度，至少应将一个热电偶放置于电芯大面中心，通过加热、过充等方式令其中一个电池热失控（产热速率远大于散热速率，出现温度骤升、电压降低、产气等现象），热失控触发后停止触发并静置24h；
- c) 观察是否起火、爆炸。

注：若样品存在冷却方式，可根据实际工作情况决定开启与否

6.1.8.4 外部火烧试验

电池模块外部火烧性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化充电的电池模块置于外部火烧台架上；
- b) 试验环境温度为0°C以上，风速不大于2.5km/h，以样品几何中心为圆心，在周边用尤其或类似标记材料标记出显示爆炸显示溅射物的圆形区域，圆形内周直径不超过（投影尺寸长边/2+1000）mm，标记宽度≤12mm；
- c) 测试中，盛放碳氢化合物的平盘尺寸超过实验对象水平投影尺寸20cm，不超过50cm/平盘高度

不高于汽油表面8cm。实验对象居中放置。汽油液面与实验对象底部的距离设定为50cm，或者为安装状态下实验对象地面的离地高度。平盘底层注入水，约15.24cm（6英寸）的水，外部火烧台架布置，如图3所示：

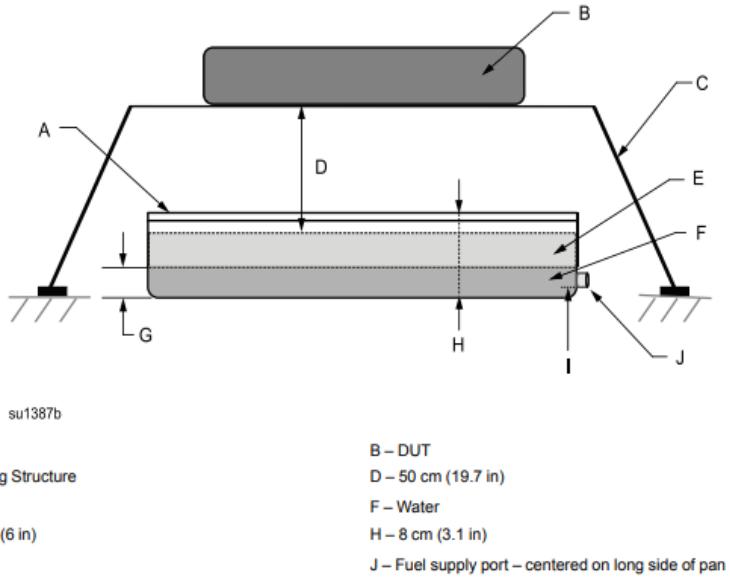


图3 外部火烧台架示意图

- d) 试验阶段：在碳氢化合物池中火灾20min，为保证安全，需用保护性试验箱或由阻燃材料制成的防护挡墙隔离出测试台架，隔离装置应超出b) 中安全圆形区域1.5m；
- e) 离开火源：将油盘或者实验对象在15s内移开，在试验环境温度下观察2h或实验对象外表温度降至45°C以下；
- f) 试验后灭火，测试人员在用内径38mm的水管，在样品水平仰角30° 位置，以517kPa， $\geq 4.7\text{L/s}$ 出水浇灭火情。

6.1.9 防护等级试验

6.1.9.1 IP6X防护等级试验

电池模块的IP6X防护等级试验参照标准GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）进行。

试验应在 $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下进行。测试对象以正常工作位置放入防尘试验箱，各端口可按照实际装配情况进行封堵。按照GB/T 4208-2017要求进行8 h防尘试验，拆盖检查电池包内部是否有粉尘进入。

6.1.9.2 IPX7防护等级试验

电池模块的IPX7防护等级试验参照标准GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）进行。

试验应在 $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下进行。将测试对象各处连接器安装至相应位置，并将除防水透气阀安装孔外所有的接插件接口部位进行封堵。

将测试对象以安装状态全部浸入水中，并满足以下条件：

- a) 高度小于850 mm的样品最低点，应低于水面1 000 mm;
- b) 高度等于或大于850 mm的样品最高点，应低于水面150 mm;
- c) 试验持续时间30 min;
- d) 水温和样品温差不大于5 K;
- e) 取出测试对象，用抹布抹去测试对象外表面及螺钉连接处的水，进行绝缘耐压测试，拆掉电池箱盖，检查电池模块内部是否有水渗入。

6.1.10 电位均衡试验

电池模块电位均衡试验按照下列步骤进行：

用微电阻测试仪测量电池模块和机架的电位均衡通路中任意两个可以被人同时触碰到的外露可导电部分之间的电阻。

6.1.11 Y电容试验

电池模块Y电容试验按照下列步骤进行：

用万用表测量电池模块高压端口（总正、总负）对壳体的Y电容值。

6.2 电池簇试验

6.2.1 外观、尺寸试验

电池簇外观检验按照下列步骤进行：

- a) 在良好光线条件下，目测检测电池簇的外观，记录检验结果，包括变形及破损、结构、铭牌和标识；
- b) 用量具测量电池簇投影对应部位的最大尺寸，记录测量结果。

6.2.2 初始充放电能量试验

在(25±2)°C下，电池簇初始充放电能量试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化放电；
- b) 以Prc恒功率充电至电池簇充电截止条件，静置10min，记录初始充电能量；
- c) 以Prc恒功率充电至电池簇充电截止条件，静置10min，记录初始充电能量；
- d) 以b)、c) 步骤能量计算初始充放电能量效率。

6.2.3 绝缘性能试验

电池簇绝缘性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化充电，将电池簇的正极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接，关闭电池簇的绝缘电阻监测功能；
- b) 按表1施加试验电压，持续1 min，记录正极、外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压，断开绝缘耐压试验装置与电池簇的连接；
- c) 将电池簇的负极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接；
- d) 按表1试验电压，持续1 min，记录负极、外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压，断开绝缘耐压试验装置与电池簇的连接，取出试验样品；
- e) 分别计算正负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻和电池簇标称电压的比值。

6.2.4 耐压性能试验

电池簇耐压性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化充电，将电池簇正极、与外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接，关闭电池簇的绝缘电阻监测功能；
- b) 按表5中基础绝缘列施加直流试验电压，以小于或等于 50% 试验电压开始，10 s（可根据施加电压的增加而增加）之内增加至试验电压并保持 60 s，记录试验电压、漏电流，记录试验现象，包括击穿、闪络，断开绝缘耐压试验装置与电池簇的连接；

表5 直流/交流耐压测量设备电压等级

工作电压 V	基础绝缘		加强绝缘	
	直流试验电压 V	交流试验电压 V	直流试验电压 V	交流试验电压 V
≤71	110	80	220	160
141	225	160	450	320

212	340	240	680	480
330	530	380	1100	760
440	700	500	1400	1000
600	960	680	1900	1400
1000	1600	1100	3200	2200
1600	2600	1800	4200	2900
2300	3700	2600	5900	4200
3000	4800	3400	7700	5400
4600	7400	5200	11800	8300
7600	12000	8500	19000	14000
16000	26000	18000	42000	29000
23000	37000	26000	59000	42000
30000	48000	34000	77000	54000
38000	61000	43000	98000	69000
50000	80000	57000	130000	91000
60000	99000	70000	154000	109000

- c) 将电池簇负极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接；
- d) 按表5基础绝缘列施加直流试验电压,以小于或等于 50% 试验电压开始,10 s (可根据施加电压的增加而增加) 之内增加至试验电压并保持 60 s,记录试验电压、漏电流,记录试验现象,包括击穿、闪络,断开绝缘耐压试验装置与电池簇的连接；
- e) 将电池簇的正极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接；
- f) 按表5基础绝缘列施加频率为45 Hz~62 Hz的正弦交流试验电压,保持 60 s,记录试验电压,记录试验现象,包括击穿、闪络,断开绝缘耐压试验装置与电池簇的连接；
- g) 将电池簇的负极、外部裸露可导电部分与绝缘耐压试验装置连接；
- h) 按表5基础绝缘列施加频率为45 Hz~62 Hz的正弦交流试验电压,保持 60 s,记录试验电压,记录试验现象,包括击穿、闪络,断开绝缘耐压试验装置与电池簇的连接；
- i) 若需进行电池簇正负极与通讯口线束耐压测试, 则按照表5中加强绝缘列进行测试。

6.2.5 脉冲耐压试验

电池簇脉冲耐压试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化充电, 将电池簇的正极、外部裸露可导电部分与脉冲耐压试验装置连接,关闭电池簇的绝缘电阻监测功能；
- b) 根据表6基础绝缘列选择最小开路峰值电压, 对待测回路施加三次1.2/50μs (前沿/半峰) 试验电压, 时间间隔≥1s, 观察是否有异响、击穿、闪络等现象, 断开绝缘耐压试验装置与电池簇的

连接；

表6 脉冲耐压峰值电压等级

试验样品额定电压 (U) V	基础绝缘 V	加强绝缘 V
≤75	500	800
150	800	1500
225	1500	2500
450	2500	4000
900	4000	6000
1250	6000	8000
1500	8000	10000
/	可进行插值	

- c) 将电池簇负极、外部裸露可导电部分与脉冲耐压试验装置连接，关闭电池簇的绝缘电阻监测功能；
- d) 根据表6基础绝缘列选择最小开路峰值电压，对待测回路施加三次1.2/50us试验电压，时间间隔 $\geq 1s$ ，观察是否有异响、击穿、闪络等现象，断开绝缘耐压试验装置与电池簇的连接；
- e) 若需进行电池簇正负极与通讯口线束耐压测试，则按照表6中加强绝缘列进行测试。

6.2.6 液冷管路耐压性能试验（仅适用于液冷系统）

电池簇液冷管路耐压性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化放电的电池簇液冷管路与气体增压试验装置连接；
- b) 向液冷管路增压至压强达到最大工作压强的1.2倍，稳压2 min 后停止充气，记录气压值，静置1 min 再次记录气压值，按照两次记录值计算气压降，记录试验现象，包括管路破裂；
- c) 恢复至正常大气压，断开与气体增压试验装置的连接。

6.2.7 高海拔绝缘耐压试验（仅适用于高海拔条件应用的电池）

电池簇高海拔绝缘耐压性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化充电的电池簇置于低气压试验装置内；
- b) 根据6.2.3, 6.2.4进行绝缘耐压试验；
- c) 依据试验样品最大应用海拔高度，按照表4设置试验气压值，在 (25 ± 2) °C下，静置6 h；
- d) 根据6.2.3, 6.2.4进行绝缘耐压试验；
- e) 分别计算正负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻和电池簇标称电压的比值。

6.2.8 报警和保护功能试验

电池簇报警和保护功能试验按照下列步骤进行：

- a) 依次调整电池簇管理系统中电池单体、电池模块与电池簇的充放电电压一级、二级、三级报警设定值，逐一触发电压报警，记录报警信息及对应动作，电池管理系统动作后恢复正常设置；
- b) 依次调整电池簇管理系统中充放电电流一级、二级、三级报警设定值，逐一触发电流报警，记录报警信息及对应动作，电池管理系统动作后恢复正常设置；
- c) 依次调整电池簇管理系统中电池簇充放电电池模块电压极差一级、二级、三级报警设定值，逐一触发电池模块电压极差报警，记录报警信息及对应动作，电池管理系统动作后恢复正常设置；
- d) 依次调整电池簇管理系统中电池簇充放电电池单体电压极差一级、二级、三级报警设定值，逐一触发电池单体电压极差报警，记录报警信息及对应动作，电池管理系统动作后恢复正常设置；
- e) 依次调整电池簇管理系统中电池单体高低温一级、二级、三级报警温度设定值，逐一触发电池单体高低温报警，记录报警信息及对应动作，电池管理系统动作后恢复正常设置；
- f) 依次调整电池簇管理系统中电池簇充放电电池单体温度极差一级、二级、三级报警设定值，逐一触发电池单体温度极差报警，记录报警信息及对应动作，电池管理系统动作后恢复正常设置。

6.2.9 电位均衡试验

电池簇电位均衡试验按照下列步骤进行：

用微电阻测试仪测量电池簇机架的电位均衡通路中任意两个可以被人同时触碰到的外露可导电部分之间的电阻，至少选择5组测试点。

6.2.10 Y电容试验

用万用表测量电池簇高压端口（总正、总负）对机架的Y电容值。

6.2.11 接地电阻试验

电池簇接地电阻试验按照下列步骤进行，用微电阻测试仪测量如下内容：电池簇的机架上裸露导体与其在机架上接地点之间的接地电阻。

6.2.12 DCR试验

电池簇DCR试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化放电；

- b) 电池簇以 P_{rcn} 恒功率充电至任一单体或模块的充电终止电压，静置30 min；
- c) 电池簇以 P_{rdn} 恒功率放电30 min，分别调整至20%、50 %、80%SOC状态下；
- d) 电池簇在 $(25\pm2)^\circ\text{C}$ 下静置5 h，达到热平衡状态；
- e) 电池簇在室温 $(25\pm2)^\circ\text{C}$ 下进行DCR测试，测试工步见下表7、表8：

表7 放电直流内阻测试工步

序号	工步名称	电流	时间增量	累计时间(s)	电压	电流
1	搁置	/	0	0	U_0	/
2	恒流放电	C_{idn}	18 s	18 s	/	/
3	恒流放电	$0.75C_{idn}$	102 s	120 s	U_{01}	I_{01}
4	静置	0	40 s	160 s	U_{02}	/

表8 充电直流内阻测试工步

序号	工步名称	电流	时间增量	累计时间(s)	电压	电流
1	搁置	/	0	0	U_0	/
2	恒流充电	C_{idn}	18 s	18 s	/	/
3	恒流充电	$0.75C_{idn}$	102 s	120 s	U_{01}	I_{01}
4	静置	0	40 s	160 s	U_{02}	/

通过公式 $(U_{02}-U_{01}) / I_{01}$ 计算充电/放电直流电阻，记录各电池簇的充电直流电阻和放电直流电阻。

6.2.13 电池簇温升试验

在 $(25\pm2)^\circ\text{C}$ 下，电池簇温升试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化放电；
- b) 电池簇以 P_{rc} 恒功率充电至任一单体或模块的充电终止电压，静置30 min；
- c) 电池簇以 P_{rd} 恒功率放电至任一单体或模块的放电终止电压，静置至室温；
- d) 电池簇以 $0.25P$ 充电至单体电池或电池模块的截至电压，静置30 min；
- e) 电池簇以 $0.25P$ 放电至单体电池或电池模块的截至电压，静置至室温；
- f) 电池簇以 $0.33P$ 充电至单体电池或电池模块的截至电压，静置30min；
- g) 电池簇以 $0.33P$ 放电至单体电池或电池模块的截至电压，静置至室温；
- h) 电池簇以 $0.5P_{rc}$ 恒功率充电至任一单体或模块的充电终止电压，静置 30min；
- i) 电池簇以 $0.5P_{rd}$ 恒功率放电至任一单体或模块的放电终止电压，静置至室温；

- j) 电池簇以 $1P_{rc}$ 恒功率充电至任一单体或模块的充电终止电压，静置 30min；
- k) 电池簇以 $1P_{rd}$ 恒功率放电至任一单体或模块的放电终止电压，静置至室温；
- l) 电池簇充放电过程中，电池簇的温控装置必须正常处于工作状态，即当监测到电池达到控制策略中的温度要求后，必须动作（开启或者关闭）风扇或者液冷等温控设备；
- m) 记录步骤b)~k)的所有温度监控点的温度、最高温度、最低温度、最高温度位置、最低温度位置、温升、温差。

6.2.14 抗震性试验

6.2.14.1 场地地震峰值加速度与地震烈度对应关系

当需要采用地震烈度作为地震危险性的宏观衡量尺度，用于工程抗震设防或防震减灾目的时，可根据表7确定地震动峰值加速度 a_{max} 与地震烈度的对应关系。

表9 II类场地地震峰值加速度与地震烈度对应关系

II类场地地震动 峰值加速度	$0.04g \leq a_{max} < 0.09g$	$0.09g \leq a_{max} < 0.19g$	$0.19g \leq a_{max} < 0.38g$	$0.38g \leq a_{max} < 0.75g$	$0.75g \leq a_{max}$
地震烈度	VI	VII	VIII	IX	X

根据表9地震烈度的峰值加速度范围查询地震动峰值加速度分区值，就高原则。

表10 地震动峰值加速度分区的峰值加速度范围

地震动峰值加速度 a_{max} 分区值	地震动峰值加速度 a_{max} 范围
0.05g	$0.04g \leq a_{max} < 0.09g$
0.10g	$0.09g \leq a_{max} < 0.14g$
0.15g	$0.14g \leq a_{max} < 0.19g$
0.20g	$0.19g \leq a_{max} < 0.28g$
0.30g	$0.28g \leq a_{max} < 0.38g$
0.40g	$0.38g \leq a_{max} < 0.75g$

6.2.14.2 地震动加速度反应谱特征周期值

根据GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》的附录C查询实际安装地的基本地震动加速度反应谱特征周期值，就高原则。

若能得知地震动加速度反应谱特征周期 T_g 范围，可根据表11查出地震动加速度反应谱特征周期值。

表11 地震动加速度反应谱特征周期值

地震动加速度反应谱特征周期值 T_g 分区值	地震动加速度反应谱特征周期 T_g 范围
--------------------------	------------------------

0.35 s	Tg≤0.40 s
0.40 s	0.40 s < Tg ≤ 0.45 s
0.45 s	Tg ≥ 0.45 s

6.2.14.3 试验方法及检验

将振动夹具固定安装在振动台的水平工作面上，再将准备好的电池簇固定在振动夹具上。按照抗震参数，对振动台的相关参数进行设定，试验时间设定为2 min（地震发生时间一般不会超过20 s），然后启动设备进行试验。在试验结束之后，检查电池簇的各个部分的结构连接情况。

6.2.15 多簇堆管理试验

在(25±2)°C下，两簇并联执行多簇堆管理试验：

- a) 多簇堆初始化放电；
- b) 多簇堆以P_{rc} 恒功率充电至任一单体或模块的充电终止电压，静置30 min；
- c) 多簇堆以P_{rd}恒功率放电至任一单体或模块的放电终止电压，静置30 min；
- d) 重复步骤b)~c)2次，以3次试验的均值作为结果；
- e) 多簇堆充放电过程中，多簇堆的温控装置必须正常处于工作状态，即当监测到电池达到控制策略中的温度要求后，必须动作（开启或者关闭）风扇或者液冷等温控设备；
- f) 记录步骤b)、c)的初始充电能量、初始放电能量、充电时间、放电时间、所有测试样本初始充电能量的极差、所有测试样本初始放电能量的极差、初始充电容量、初始放电容量、最高温度、最低温度、温差；计算质量能量密度、体积能量密度、能量效率、初始充电能量的极差平均值占所有测试样本初始充电能量平均值的百分比、初始放电能量的极差平均值占所有测试样本初始放电能量平均值的百分比。

6.2.16 电磁兼容试验

按照国标GB/T 17626.4中测试静电放电抗扰度、快速瞬变抗扰度、浪涌（冲击）抗扰度、工频磁场抗扰度、振荡波抗扰度。

6.2.17 SOC计算精度试验

分别在(25±2)°C下，电池簇SOC计算精度试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化放电；
- b) 电池簇以P_{rcn} 恒功率、10 %SOC为步长，从0% SOC充电至100 %SOC，同时观察记录BMS上

位机显示SOC值，静置30 min；

- c) 电池簇以Prdn恒功率、10 %SOC为步长，从100 % SOC放电至0 %SOC，同时观察记录BMS上位机显示SOC值，静置30 min；
- d) 对比实测计算SOC值和上位机SOC显示值是否一致。

6.2.18 交变湿热性能试验

电池簇耐湿热性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化充电；
- b) 将电池簇放入湿热箱中，环境温度设置为(65±2)°C、相对湿度设置为(95±3)%的条件下贮存9 h；
- c) 不改变相对湿度 (95±3)%的条件下，环境舱温度在3 h内由(65±2)°C恢复到(25±2)°C，并在该条件下贮存9 h；
- d) 电池簇进行三次初始充放电能量试验，确认功能正常。

6.2.19 稳态湿热性能试验

电池簇稳态湿热性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化充电；
- b) 稳态湿热过程以额定功率进行循环充放电；
- c) 按照表12中温湿度的推荐值调整湿热箱的环境，保持96h；

表12 温度与相对湿度推荐表

温度 °C	湿度 %RH
30±2	93±3
30±2	85±3
40±2	93±3
40±2	85±3

- d) 稳态湿热后在 (15~35) °C, (25~75)%RH, (86~106) kPa环境下干燥1h；
- e) 干燥后根据6.1.5.5, 6.1.5.6进行绝缘耐压测试；
- f) 电池簇再次进行三次初始充放电能量试验，确认功能正常。

6.2.20 稳态干热性能试验

电池簇稳态湿热性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电池簇初始化充电；

- b) 稳态干热过程以额定功率进行循环充放电;
- e) 以电池簇规定的最大工作温度作为稳态干热测试时的温度, 恒定湿度(35±3)%RH, 静置(16±1) h;
 - c) 稳态干热后在(15~35) °C, (25~75)%, (86~106) kPa环境下干燥1h
 - d) 干燥后根据6.1.5.5, 6.1.5.6进行绝缘耐压测试
 - e) 电池簇进行三次初始充放电能量试验, 确认功能正常

6.2.21 短路保护试验

在室温下, 电池簇短路保护试验按照下列步骤进行:

- a) 电池簇初始化充电;
- b) 将电池簇高压回路中的正、负极经外部短路10 min, 外部线路电阻应小于5 mΩ。如果有电池簇有多条含熔断器的高压回路, 短路保护测试则需要多次试验;
- c) 观察1 h;
- d) 观察是否有膨胀、冒烟、起火、爆炸现象;
- e) 记录测试过程电池簇电压, 单体电压, 温度, 电流曲线, 测试前后照片, 视频, 测试前后正、负极与壳体间的绝缘电阻。

6.2.22 热扩散试验

电池簇热扩散试验按照下列步骤进行:

- a) 电池簇初始化充电后, 检查电池簇声光报警功能是否正常, 将电池簇加热至样品规定的最大工作温度, 取出后在常温下进行试验;
- b) 标记电池簇定义的边界范围, 以此作为危险可控的区域;
- c) 将电池簇中散热位置最差的电池模块作为热失控触发模块, 需连续测量电芯外部表面温度, 至少应将一个热电偶放置于电芯大面中心, 通过加热、过充、内短路等方式令该电池模块内的电芯触发热失控(产热速率远大于散热速率, 出现温度骤升、电压降低、产气等现象), 以此形成该模块的热失控条件, 触发热失控后, 静置24h, 观察是否起火爆炸, 声光报警功能是否启动;
- d) 静置24h, 观察是否漏液, 以及漏液是否超出b) 中的危险可控区域, 检查其余模块是否发生热失控, 确认监测功能正常。

注: 不可开启冷却方式。

附录 A

(规范性附录)

储能电池系统测试项目表

储能电池系统通用测试标准项目包含一般性能、电性能、安全性，具体涉及的检验项目如表A.1所示，可根据具体项目进行裁剪。

表A.1 储能电池系统测试项目表

序号	试验样品	试验项目	试验章节号	厂内项目	外部项目
1.	电池模块	外观、尺寸和质量	6.1.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
2.		初始充放电性能试验	6.1.2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
3.		功率特性试验	6.1.2.2	<input checked="" type="checkbox"/>	
4.		倍率充放电性能	6.1.2.3	<input checked="" type="checkbox"/>	
5.		能量保持与能量恢复能力	6.1.2.4	<input checked="" type="checkbox"/>	
6.		高温适应性试验	6.1.3.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
7.		低温适应性试验	6.1.3.2	<input checked="" type="checkbox"/>	
8.		贮存性能试验	6.1.4.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
9.		循环性能试验	6.1.4.2	<input checked="" type="checkbox"/>	
10.		过充电性能	6.1.5.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
11.		过放电性能	6.1.5.2	<input checked="" type="checkbox"/>	
12.		过载性能	6.1.5.3	<input checked="" type="checkbox"/>	
13.		短路性能	6.1.5.4	<input checked="" type="checkbox"/>	
14.		高温短路试验	6.1.5.5		<input checked="" type="checkbox"/>
15.		运输和安装过程中短路保护试验	6.1.5.6		<input checked="" type="checkbox"/>
16.		绝缘性能	6.1.5.7	<input checked="" type="checkbox"/>	
17.		耐压性能	6.1.5.8	<input checked="" type="checkbox"/>	
18.		挤压性能	6.1.6.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
19.		跌落性能	6.1.6.2	<input checked="" type="checkbox"/>	
20.		振动性能-随机	6.1.6.3	<input checked="" type="checkbox"/>	
21.		振动性能-正弦	6.1.6.4	<input checked="" type="checkbox"/>	
22.		机械冲击	6.1.6.5	<input checked="" type="checkbox"/>	
23.		液冷管路耐压性能（仅适用于液冷系统）	6.1.6.6	<input checked="" type="checkbox"/>	
24.		盐雾性能（仅适用于海洋性或非海洋性气候条件应用）	6.1.7.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
25.		交变湿热（仅适用于非海洋性气候条件应用）	6.1.7.2	<input checked="" type="checkbox"/>	
26.		高海拔绝缘耐压（仅适用于高海拔条件应用的电池）	6.1.7.3	<input checked="" type="checkbox"/>	
27.		热失控扩散试验	6.1.8.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
28.		热蔓延实验	6.1.8.2	<input checked="" type="checkbox"/>	
29.		高温热失控试验	6.1.8.3	<input checked="" type="checkbox"/>	

30.		外部火烧试验	6.1.8.4		<input checked="" type="checkbox"/>
31.		防护等级试验	6.1.9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32.		电位均衡试验	6.1.10	<input checked="" type="checkbox"/>	
33.		Y 定容试验	6.1.11	<input checked="" type="checkbox"/>	
34.	电池簇	外观、尺寸试验	6.2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	
35.		初始充放电能量试验	6.2.2	<input checked="" type="checkbox"/>	
36.		绝缘性能试验	6.2.3	<input checked="" type="checkbox"/>	
37.		耐压性能试验	6.2.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
38.		脉冲耐压试验	6.2.5		<input checked="" type="checkbox"/>
39.		液冷管路耐压性能（仅适用于液冷系统）	6.2.6	<input checked="" type="checkbox"/>	
40.		高海拔绝缘耐压（仅适用于高海拔条件应用的电池）	6.2.7		<input checked="" type="checkbox"/>
41.		报警和保护功能	6.2.8	<input checked="" type="checkbox"/>	
42.		电位均衡试验	6.2.9	<input checked="" type="checkbox"/>	
43.		Y 电容试验	6.2.10	<input checked="" type="checkbox"/>	
44.		接地电阻试验	6.2.11	<input checked="" type="checkbox"/>	
45.		DCR 试验	6.2.12	<input checked="" type="checkbox"/>	
46.		电池簇温升试验	6.2.13	<input checked="" type="checkbox"/>	
47.		抗震性试验	6.2.14		<input checked="" type="checkbox"/>
48.		多簇堆管理试验	6.2.15		<input checked="" type="checkbox"/>
49.		电磁兼容试验	6.2.16		<input checked="" type="checkbox"/>
50.		SOC 计算精度试验	6.2.17	<input checked="" type="checkbox"/>	
51.		交变湿热性能试验	6.2.18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
52.		稳态湿热性能试验	6.2.19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
53.		稳态干热性能试验	6.2.20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
54.		短路保护试验	6.2.21	<input checked="" type="checkbox"/>	
55.		热扩散试验	6.2.22	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>