

团 体 标 准

T/CET 404-2023

储能系统梯次利用磷酸铁锂电池的 技术要求与试验方法

Technical requirements and test methods of LiFeP04 batteries for cascade
utilization of energy storage systems

2023-6-30 发布

2023-6-30 实施

中国电力技术市场协会 发布

目 次

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
4 规格	3
5 技术要求	4
6 检验规则	8
7 标志、包装、运输和贮存	11
附录 A	12

前 言

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

本文件根据国家能源局《关于加强储能标准化工作的实施方案》精神，中国电力技术市场协会根据行业需求制订。

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。

本文件由中国电力技术市场协会提出。

本文件由中国电力技术市场协会储能设备技术专业委员会归口。

本文件主要起草单位：华富（江苏）锂电新技术有限公司、浙江新时代中能科技股份有限公司、贵州中伟资源循环产业发展有限公司、深圳市比亚迪锂电池有限公司、安徽理士资源循环利用科技有限公司、国能合纵（北京）能源电力技术中心、徐州市恒源电器有限公司。

本文件参编单位：东莞新能安科技有限公司、星恒电源股份有限公司、上海电气集团电池科技有限公司、杭州高特电子设备股份有限公司、江苏华友能源科技有限公司、南德新能源汽车检测（江苏）有限公司、河南环宇惠能能源有限公司、上海循道新能源科技有限公司、江苏为恒智能科技有限公司。

本文件主要起草人：朱明海、黄毅、周寿斌、侯晓川、应旭峰、肖超、张日阳、阎硕、刘永良、王冰涛、董捷、张树祥、郭云高、李洋、孙欢欢、王刚、肖质文、骆耀康、谈亚军、王建、曹旭东、万黎豪、徐剑虹、谢建江、钱龙、许浩、张敏、徐霁旸、秦会同、杨坤鹏、余建东、郑中策、滕坤、徐江涛。

本文件在执行过程中如有意见和建议，请反馈至中国电力技术市场协会标准化技术委员会秘书处。
(地址：北京市西城区广安门外大街 168 号朗琴国际大厦 A 座 806，邮编：100055)

储能系统梯次利用磷酸铁锂电池的技术要求与试验方法

1 范围

本文件规定了退役磷酸铁锂电池梯次利用于储能系统的相关术语、定义和符号、规格、技术要求、检验规则，以及标志、包装、运输和储存。

本文件适用于退役磷酸铁锂电池梯次利用于储能系统相关的且备电时长不小于 2 小时的场景。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文的应用是必不可少的，凡是注明日期的引用文件，仅注明日期的文件适用于本文件。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T191 包装储运图示标志

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第 1 部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 2408-2008 塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法

GB/T 36276-2018 电力储能用锂离子电池

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

GB/T 36276-2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

磷酸铁锂电池 lifepo4 battery cell

磷酸铁锂电池是指用磷酸铁锂作为正极材料，碳作为负极材料的锂离子电池，由电极、电解质、容器、极柱、以及隔离层组成的基本功能单元。

3.1.2

终止电压 end of voltage

电池单体/电池模块要求停止充电/放电的电压。

3.1.3

容量保存率 save rate of capacity

电池模块在规定环境条件下，存储一定时间后，在规定充放电条件下，电池模块放出可用容量的能力。

3.1.4

内阻 internal resistance

电流流过电池单体/电池模块时，电池单体/电池模块输出端的电压变化所反应出来的阻值，用 R_i 表示，单位为欧姆 (Ω) 或毫欧 ($m\Omega$)。

3.1.5

额定电流 rated current

在规定试验条件和试验方法下，电池可持续工作一定时间的电流，包括额定充电电流、额定放电电流。

3.1.6

额定充电容量 rated charging capacity

在规定试验条件和试验方法下，初始化放电的电池以额定充电电流充电至充电终止电压时的充电容量。

3.1.7

额定放电容量 rated discharging capacity

在规定试验条件和试验方法下，初始化充电的电池以额定放电电流放电至放电终止电压时的放电容量。

3.1.8

初始充电容量 initial charging capacity

梯次利用电池在规定试验条件和试验方法下测得的充电容量。

3.1.9

初始放电容量 initial discharging capacity

梯次利用电池在规定试验条件和试验方法下测得的放电容量。

3.1.10

容量效率 capacity efficiency

在规定试验条件和试验方法下，电池放电容量与充电容量比值，用百分数表示。

3.1.11

倍率充放电 rate charging/discharging

在规定试验条件和试验方法下，以额定电流的倍数对电池进行充放电的方式。

3.1.12

容量保持率 retention rate of capacity

在规定试验条件和试验方法下，电池充电容量、放电容量分别与初始充电容量、初始放电容量的比值，用百分数表示。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

C_N : 新电芯出厂标称容量，即新电芯产品规格书中出厂标称容量，新电芯在规定试验条件和试验方法下，初始化充电的电池以额定放电电流放电至放电终止电压时的放电容量。

C_e : 实测基准容量（退役电芯当前初始容量），按照充放电电流要求（LFP-Gr 体系）：充放电电流范围：0-1.0 C_N ，充电默认值：0.25 C_N ，放电电流默认值为：0.25 C_N 。完全充满电方式：在环境 $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 条件下，以规定电流充电，当电池单体/电池组电压达到规定上限电压时，搁置 1 h（或企业提供的不高于 1h 的搁置时间），进行充放电要求循环 5 次，当连续 3 次试验结果的极差小于额定容量的 7%，可提前结束试验，取样品后三次测试容量平均值作为该单体电池/电池模块的实测基准容量 C_e 。

I_5 : 5h 率放电电流用 I_5 表示，即 0.2 C_e ，单位为安培（A）。

C_5 : 额定容量，按照工厂规定的测试方法或保证电池在 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 下，用 I_5 放电电流、截至电压 2.7V 时放出的容量，数值为 1.0 C_5 ，单位为安时（Ah）。

SOC: 荷电状态，反映电池的剩余容量，其数值定义为电池剩余容量占电池容量的比值。

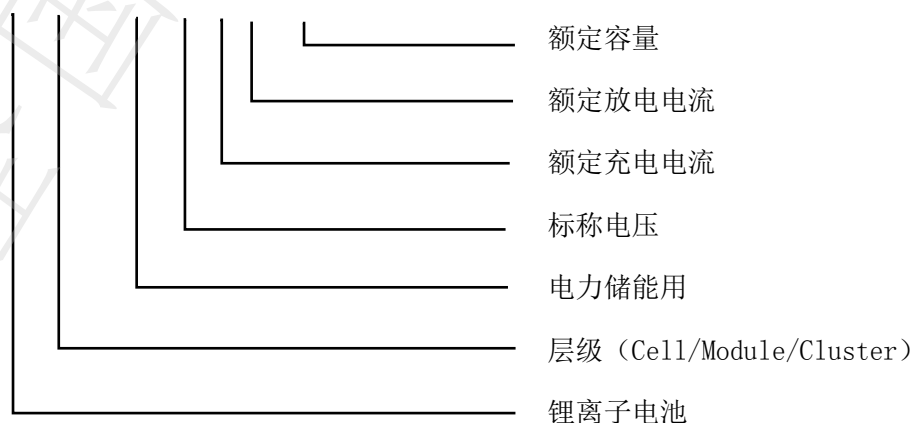
DCIR: 支流内阻（DC internal resistance），分为放电 DCIR 和充电 DCIR。

ACIR (AC internal resistance): 交流内阻。

4 规格

储能系统梯次利用磷酸铁锂电池的规格信息应采用下列标记方式：

Li-Level-EES V- I_p - I_p' - C_5



示例 1:

锂离子电池单体, 电力储能用, 标称电压 3.2V, 额定充电电流 40A, 额定放电电流 40A, 额定容量 200Ah, 标记为: Li-Cell-EES 3.2V-40A-40A-200Ah。

示例 2:

锂离子电池模块, 电力储能用, 标称电压 51.2V, 额定充电电流 40A, 额定放电电流 40A, 额定容量 200Ah, 标记为: Li-Module-EES 51.2V-40A-40A-200Ah。

示例 3:

锂离子电池簇, 电力储能用, 标称电压 512V, 额定充电电流 40A, 额定放电电流 40A, 额定容量 200Ah, 标记为: Li-Cluster-EES 512V-40A-40A-200Ah。

5 技术要求

5.1 外观

- a) 电池单体表面应干燥、平整无毛刺、无外伤、无污物, 且标识清晰、正确;
- b) 电池模块表面应清洁, 无明显变形, 无机械损伤, 接口触点无锈蚀;
- c) 电池模块表面应有必需的产品标识, 且标识清楚;
- d) 电池模块的正、负极端子及极性应有明显标记, 便于连接;
- e) 电池模块的电源接口、通讯或告警接口应有明确标识;
- f) 电池单体及电池模块连接线、控制线布局应美观、整齐;
- g) 电池簇设备零部件及辅助设施表面应干燥、无外伤、无污物, 排列整齐、连接可靠, 且标识清晰、正确。

5.2 初始充放电容量要求

5.2.1 电池模块

电池模块初始充放电容量应符合下列规定:

- A) 初始充电容量不应小于额定充电容量;
- b) 初始放电容量不应小于额定放电容量;
- c) 容量效率不应低于 90%;
- d) 初始充电容量的极差平均值不应大于初始充电容量平均值的 7%;
- e) 初始放电容量的极差平均值不应大于初始放电容量平均值的 7%。

5.2.2 电池簇

电池簇初始充放电容量应符合下列规定：

- a) 初始充电容量不应小于额定充电容量；
- b) 初始放电容量不应小于额定放电容量；
- c) 能量效率不应小于 88%。

5.3 倍率充放电性能

电池模块倍率充放电性能按照 A.3.12 步骤进行测试，应符合表 1 规定：

表 1 倍率充放电性能要求

环境温度	放电电流	电池容量要求
25℃	0.25C _N	记录放电容量 C _e 不应小于 60%C _N ，电池应无变形、无爆裂。
	1.0I ₅	记录放电容量 C ₅ ，电池应无变形、无爆裂。
	2.0I ₅	放电容量不应低于 C ₅ 的 95%，电池组外观应无变形、无爆裂
	4.0I ₅	放电容量不应低于 C ₅ 的 90%，电池组外观应无变形、无爆裂

5.4 高温放电性能

按照 A.3.13 步骤进行测试，55℃±2℃下放电容量不应低于初始容量的 90%，且电池模块外观应不变形、无爆裂。

5.5 低温放电性能

电池模块低温充放电性能按照 A.3.14 步骤进行测试，应符合下列规定：

- a) 0℃±2℃下放电容量不应低于初始容量的 80%，且电池模块外观应不变形、无爆裂；
- b) -10℃±2℃下放电容量不低于初始容量的 70%，且电池模块外观应不变形、无爆裂。

5.6 荷电保持与容量恢复能力

按照 A.3.15 步骤进行测试电池模块室温荷电保持与容量恢复能力应符合下列要求：

- a) 容量保持率不应小于 93%；
- b) 容量恢复率不应小于 96%。

5.7 循环性能

电池模块循环性能应符合下列要求：

循环次数达到 500 次时，容量保持率不应小于 85%。

5.8 绝热温升

绝热温升应提供绝热条件下电池单体不同温度点对应的温升速率数据表，且应提供根据记录的试验数据作出的温度-温升速率曲线。

5.9 一致性要求

5.9.1 电池模块

电池模块内各电池单体应为同一原始生产厂家、型号规格相同、材料相同的产品，且应符合下列规定：

a) 静态开路电压差：电池模块完全充电后，静置 1h，电池单体之间的静态开路电压最大值与最小值的差值不应大于 150mV；

b) 单体容量差：电池模块内电池单体之间容量的最大值、最小值的差值和平均值的比不应大于 15% 。

5.9.2 电池簇

电池簇内各电池单体应为同一原始生产厂家、型号规格相同、材料相同的产品，且应符合下列规定：

a) 静态开路电压差：电池簇完全充电后，静置 1h，电池单体之间的静态开路电压最大值与最小值的差值不应大于 150mV；

b) 电池模块容量差：电池簇内电池模块之间容量的最大值、最小值的差值和平均值的比不应大于 20% 。

5.10 安全性能

5.10.1 过充电

过充电试验应符合下列规定：

a) 将电池单体按照 A. 2. 2 规定进行试验，不应起火、爆炸；

b) 将电池模块按照 A. 3. 3 规定进行试验，不应起火、爆炸。

5.10.2 过放电

过放电试验应符合下列规定：

a) 将电池单体按照 A. 2. 3 规定进行试验，不应起火、爆炸；

b) 将电池模块按照 A. 3. 4 规定进行试验，不应起火、爆炸。

5.10.3 短路

短路试验应符合下列规定：

a) 将电池单体按照 A. 2. 4 规定进行试验，不应起火、爆炸；

b) 将电池模块按照 A. 3. 5 规定进行试验，不应起火、爆炸。

5.10.4 挤压

将电池单体按照 A. 2. 5 规定进行试验，不应起火、爆炸。

5.10.5 跌落

跌落试验应符合下列规定：

- a) 将电池单体按照 A. 2. 6 规定进行试验，不应起火、爆炸；
- b) 将电池模块按照 A. 3. 6 规定进行试验，不应起火、爆炸。

5. 10. 6 低气压

将电池单体按照 A. 2. 7 规定进行试验，不应起火、爆炸。

5. 10. 7 加热

将电池单体按照 A. 2. 8 规定进行试验，不应起火、爆炸。

5. 10. 8 热失控

触发单体达到热失控的判定条件时，不应起火、爆炸。

5. 10. 9 盐雾与高温高湿

盐雾与高温高湿试验应符合下列规定：

- a) 在海洋性气候条件下应用的电池模块应满足盐雾性能要求，在喷雾-贮存循环条件下，不应起火、爆炸；
- b) 在非海洋性气候条件下应用的电池模块应满足高温高湿性能要求，在高温高湿贮存条件下，不应起火、爆炸。

5. 10. 10 绝缘性能

绝缘性能试验应符合下列规定：

- a) 按标称电压计算，将电池模块按照 A. 3. 9 规定进行试验，电池模块正极与外部裸露可导电部分之间、电池模块负极与外部裸露可导电部分之间的绝缘电阻均不应小于 $1000 \Omega / V$ ；
- b) 按标称电压计算，将电池簇按照 A. 4. 1 规定进行试验，电池簇正极与外部裸露可导电部分之间、电池簇负极与外部裸露可导电部分之间的绝缘电阻均不应小于 $1000 \Omega / V$ 。

5. 10. 11 耐压性能

耐压性能试验应符合下列规定：

- a) 将电池模块按照 A. 3. 2 规定进行试验，在电池模块正极与外部裸露可导电部分之间、电池模块负极与外部裸露可导电部分之间施加相应的电压，不应发生击穿或闪络现象；
- b) 在电池簇正极与外部裸露可导电部分之间、电池簇负极与外部裸露可导电部分之间施加相应的电压，不应发生击穿或闪络现象。

5. 10. 12 阻燃性能

对于塑料外壳和保护盖的电池模块，按照 A. 3. 10 规定进行测试，外壳应符合 GB/T 2408-2008 中 HB（水平级）和 V-0（垂直级）的规定。

5.11 内阻要求

内阻试验应符合下列规定：

在 25%SOC 下，单体电池放电 DCIR 不应大于出厂值 3 倍，ACIR 不应大于出厂值 2 倍。

DCIR 内阻测试方法：

a) 调整电池指定荷电态：环境温度为 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ ，对电池进行标准充电，搁置 30 分钟，以标准放电至指定荷电态；

b) 将电池在 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 储存至少 4h；

c) 使用指定的电流 $6I_4$ （最高不超过 200A）对电池进行充电或者放电，时间 t 间隔为 30S；

d) 使用数据采集仪器记录过程中电压的变化，频率至少 0.2s/次；

e) 通过下式计算其等效电阻：

$$\text{放电内阻} = \Delta V_{\text{放电}} / \Delta I_{\text{放电}} = - (V_{t1} - V_{t0}) / (I_{t1} - I_0)$$

$$\text{充电内阻} = \Delta V_{\text{充电}} / \Delta I_{\text{充电}} = - (V_{t3} - V_{t2}) / (I_{t3} - I_2)$$

ACIR 内阻测试方法：

a) 调整电池指定荷电态：环境温度为 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ ，对电池进行标准充电，搁置 30 分钟，以标准放电至指定荷电态；

b) 将电池在 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 储存至少 4h；

c) 采用内阻测试仪对电池单体进行内阻测试。

6 检验规则

6.1 检验分类和检验项目

检验分为出厂检验和型式试验，检验分类和检验项目应符合表 2 的规定，试验方法应符合附录 A。

表 2 检验分类和检验项目

检验样品	序号	检验项目	出厂检验	型式试验
电池单体	1	外观试验	√	√
	2	极性检测	√	√
	3	过充电试验		√
	4	过放电试验		√
	5	短路试验		√
	6	挤压试验		√
	7	跌落试验		√

表2 检验分类和检验项目（续）

检验样品	序号	检验项目	出厂检验	型式试验
电池单体	8	低气压试验		√
	9	加热试验		√
	10	热失控试验		√
电池模块	1	外观检验	√	√
	2	极性检测	√	√
	3	初始充放电容量试验		√
	4	倍率充放电性能试验		√
	5	荷电保持与容量恢复能力试验		√
	6	绝缘性能实验		√
	7	耐压性能试验		√
	8	循环性能试验		√
	9	过充电试验		√
	10	过放电试验		√
	11	短路试验		√
	12	跌落试验		√
	13	盐雾与高温高湿试验		√
电池簇	1	外观检测	√	√
	2	初始充放电容量试验		√
	3	绝缘性能试验		√
	4	耐压性能试验		√

注：电池簇检验根据出厂时电池簇形态选择。

6.2 出厂检验

每批产品出厂前应进行出厂检验，出厂检验应符合表3的规定。

表3 出厂检验要求和样品数量

序号	检验项目	要求（章条号）	试验方法（章条号）	样品抽样比例
1	电池单体、电池模块、电池簇外观检测	5.1	A.2.1、A.3.1	100%
2	电池单体、电池模块极性检测	5.1	A.2.1、A.3.1	100%
3	电池模块初始充放电容量	5.2.1	A.3.11	GB/T 2828.1 级标准

6.3 型式试验

6.3.1 需进行型式试验的情形

有下列情况之一应进行型式试验：

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定时；

- b) 停产超过一年后，恢复生产时；
- c) 结构、工艺或材料有重大改变，可能影响产品性能时；
- d) 合同约定。

6.3.2 型式试验要求和样品数量

型式检验应符合表 4 的规定。

表 4 型式试验要求的样品数量

试验样品	序号	试验项目	样品数量及编号
电池单体	1	外观试验	1#~16#
	2	极性检测	
	3	过充电试验	1#、2#
	4	过放电试验	3#、4#
	5	短路试验	5#、6#
	6	挤压试验	7#、8#
	7	跌落试验	9#、10#
	8	低气压试验	11#、12#
	9	加热试验	13#、14#
	10	热失控试验	15#、16#
电池模块	1	外观检验	1#~12#
	2	极性检测	
	3	初始充放电容量试验	1#
	4	倍率充放电性能试验	2#
	5	荷电保持与容量恢复能力试验	3#~4#
	6	绝缘性能试验	5#
	7	耐压性能试验	6#
	8	循环性能试验	7#
	9	过充电试验	8#
	10	过放电试验	9#
	11	短路试验	10#
	12	跌落试验	11#
	13	盐雾与高温高湿试验	12#
电池簇	1	外观检测	1#
	2	初始充放电容量试验	
	3	绝缘性能试验	
	4	耐压性能试验	

注：型式试验共需电池单体 16 个，电池模块 12 个，电池簇 1 个。

6.3.3 判定规则

型式试验中，所有试验样品进行的试验项目全部满足要求，则判定为型式试验合格；若有 1 个试验样品或 1 项试验项目不满足要求，则判定为型式试验不合格。

7 标志、包装、运输和贮存

标志、包装、运输和贮存应符合 GB/T 3627-2018 规定，且在运输过程中须加装阻挡外部火源接触的装置。

全国团体标准信息平台

附录 A
(规范性附录)
试验方法

A.1 试验条件

A.1.1 试验环境

试验环境应符合下列要求：

- a) 除另有规定外，试验应在相对湿度 $\leq 90\%$ 、大气压力为 86 kPa~106 kPa 的环境中进行；
- b) 试验场地应具备完善的防火、防爆和应急措施；
- c) 试验人员应配备个人防护用具。

A.1.2 测量仪表

测量仪表应符合表 5 的要求：

表 5 测量仪表要求

项 目	要 求
电压表	精度应不低于 0.5 级，内阻应不小于 $10\text{k}\Omega/\text{V}$ 。
电流表	精度应不低于 0.5 级。
测量时间的仪表	精度应不低于 $\pm 0.1\%$ 。
恒流源	电流连续可调，在充电或放电过程中，其电流变化应在 $\pm 1\%$ 范围内。
恒压源	电压连续可调，其电压变化应在 $\pm 0.5\%$ 范围内。
电池内阻测试仪	精度应不低于 $0.1\text{m}\Omega$ 。
点温计或者温度计	精度应不低于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。
电池充放电测试仪	电压电流连续可调，电压输出和检测精度不低于 $\pm 0.5\%$ ，电流输出和检测精度不低于 $\pm 0.1\%$ 。

A.1.3 试验准备

A.1.3.1 初始化充电

电池的初始化充电按照下列步骤进行：

- a) 电池单体初始化充电
 - 1) 在 $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ 下搁置 5h；
 - 2) 以 $1.0I_5$ 恒流放电至电池单体的放电终止电压，静置 30min；
 - 3) 以 $1.0I_5$ 恒流充电至电池单体的充电终止电压，静置 30min。
- b) 电池模块初始化充电
 - 1) 在 $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ 下搁置 5h；

- 2) 以 $1.0I_5$ 恒流放电至任一单体或模块的放电终止电压, 静置 30min;
- 3) 以 $1.0I_5$ 恒流充电至任一单体或模块的充电终止电压, 静置 30min。

A. 1. 3. 2 初始化放电

电池的初始化放电应按照下列步骤进行:

a) 电池单体初始化放电

- 1) 在 (25 ± 2) °C 下搁置 5h;
- 2) 以 $1.0I_5$ 恒流充电至电池单体的充电终止电压, 静置 30min;
- 3) 以 $1.0I_5$ 恒流放电至电池单体的放电终止电压, 静置 30min。

b) 电池模块初始化放电

- 1) 在 (25 ± 2) °C 下搁置 5h;
- 2) 以 $1.0I_5$ 恒流充电至任一单体或模块的充电终止电压, 静置 30min。
- 3) 以 $1.0I_5$ 恒流放电至任一单体或模块的放电终止电压, 静置 30min。

A. 1. 3. 3 基本要求

电池安全性能试验应在有强制排风条件及防爆措施的装置内进行;

所有电池均应按 A. 1. 3. 1 规定充满电后, 并静置 6h 后再进行以下试验。

A. 2 电池单体试验

A. 2. 1 外观及极性检验

- a) 在良好的光线条件下, 用目测法检验电池单体的外观;
- b) 用电压表检测电池单体的极性。

A. 2. 2 过充电试验

电池单体按 A. 1. 3. 1 规定充满电后, 将恒流恒压源电压设定为电压 6V, 以 $1.0I_5$ A 电流继续对其充电 1h, 电池应符合 5. 10. 1 的要求。

A. 2. 3 过放电试验

电池单体按 A. 1. 3. 1 规定充满电后, 以 $1.0I_5$ A 电流放电至 0. 1V, 电池应符合 5. 10. 2 的要求。

A. 2. 4 短路试验

电池单体按 A. 1. 3. 1 规定充满电后, 将电池的正负极用 $0. 1 \Omega$ 电阻器短路, 试验过程中用具有连续记录功能的点温计监测电池温度变化, 当温度下降到低于峰值 10°C 时结束试验, 应符合 5. 10. 3 的要求。

A. 2. 5 挤压试验

电池单体按 A. 1. 3. 1 规定充满电后, 电池两个最大面积的表面之间进行压缩, 压缩力通过一个直径为 32mm 的液压活塞施加, 压缩持续进行直至压力达到 17. 2Mpa, 施加的压力为 13kN, 当达到最大压力

后泄压，应符合 5.10.4 的要求。（挤压方向参照标准 GB/T 36276-2018 中 A.2.15 挤压实验）

A.2.6 跌落试验

电池单体按 A.1.3.1 规定充满电后，将电池单体的正极或负极端子朝下从 1.5 m 高度处自由跌落到水泥地面上 1 次，应符合 5.10.5 的要求。

A.2.7 低气压试验

电池单体按 A.1.3.1 规定充满电后，将电池单体放入低气压箱中，将气压调节至 11.6 kPa，温度为 $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，静置 6 h，应符合 5.10.6 的要求。

A.2.8 加热试验

电池单体按 A.1.3.1 规定充满电后，将电池单体放入加热试验箱。以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率由环境温度升至 $(130 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 并保持 30 min，应符合 5.10.7 的要求。

A.2.9 热失控

电池单体热失控实验参照标准 GB/T 36276-2018 中 A.2.19 热失控实验，应符合 5.10.8 的要求。

A.3 电池模块试验

A.3.1 外观及极性检验

- a) 在良好的光线条件下，用目测法检验电池模块的外观；
- b) 用电压表检测电池模块的极性。

A.3.2 耐压性能试验

1) 电池模块按 A.1.3.1 规定充满电后，将电池模块的电源断开，主电路的开关和控制设备应闭合或旁路；对半导体器件和不能承受规定电压的元件，应将其断开或旁路；安装在带电部件和裸露导电部件之间的抗扰性电容器不应断开；试验开始时施加的电压不应大于规定值的 50%，然后在几秒钟之内将试验电压平稳增加至规定的最大值并保持 5S；

2) 试验电压施加部位应包括电池模块正极与外部裸露可导电部分之间和电池模块负极与外部裸露可导电部分之间；

3) 可采用交流电压或等于规定交流电压峰值的直流电压进行试验，交流或直流试验电压有效值不应大于规定值的 5%；

4) 交流电源应具有足够的功率以维持试验电压，可不考虑漏电流，此试验电压应为正弦波，且频率为 45Hz~62Hz；

5) 由主电路直接供电的辅助电路，试验电压值应参照标准 GB/T 36276-2018 中 A.3.11 表 A.3 选取，不适用于由主电路直接供电的辅助电路，应参照标准 GB/T 36276-2018 中 A.3.11 表 A.4 选取；

6) 记录是否有击穿或闪络现象。

A.3.3 过充电试验

电池模块按 A.1.3.1 规定充满电后,以 $1.0I_5A$ 电流继续对其充电 1h,电池应符合 5.10.1 的要求。

A.3.4 过放电试验

电池模块按 A.1.3.1 规定充满电后,以 $1.0I_5A$ 电流放电时间达到 90 min 或任一电池单体电压达到 0.1V 时停止放电,电池模块应符合 5.10.2 的要求。

A.3.5 短路试验

电池模块按 A.1.3.1 规定充满电后,将电池的正负极用 0.1Ω 电阻器短路,试验过程中用具有连续记录功能的点温计监测电池温度变化,当温度下降到低于峰值 10°C 时结束试验,应符合 5.10.3 的要求。

A.3.6 跌落试验

电池单体按 A.1.3.1 规定充满电后,将电池模块的正极或负极端子朝下从 1.2 m 高度处自由跌落到水泥地面上 1 次,应符合 5.10.5 的要求。

A.3.7 盐雾试验

- 1) 电池模块按 A.1.3.1 规定充满电;
- 2) 采用氯化钠(化学纯或分析纯)和蒸馏水(或去离子水)配置盐溶液,浓度为 $(5\pm 0.1)\%$ (质量分数),温度为 $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ 时,溶液的 pH 值应为 6.5~7.2;
- 3) 将电池模块放入盐雾箱,在 $15^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$ 下喷盐雾 2 h;
- 4) 喷雾结束后,将电池模块转移到湿热箱中贮存 20 h~22 h,完成 1 次喷雾-贮存循环,湿热箱温度设定为 $(40\pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度设定为 $(93\pm 3)\%$;
- 5) 将步骤 3)~4) 共循环 4 次;
- 6) 将电池模块在温度为 $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 45%~55% 的条件下贮存 3d;
- 7) 将步骤 3)~6) 共循环 4 次;
- 8) 应符合 5.10.9 的要求。

注:此实验适用于海洋气候条件下的应用场景。

A.3.8 高温高湿试验

电池模块按 A.1.3.1 规定充满电,将电池模块放入湿热箱中,在温度为 $(45\pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(93\pm 3)\%$ 的条件下贮存 3d,应符合 5.10.9 的要求。

注:此实验适用于非海洋气候条件下的应用场景。

A.3.9 绝缘性能试验

电池模块按 A.1.3.1 规定充满电后,将电池模块的正、负极与外部装置断开,如电池模块内部有接

触器应将其处于吸合状态；如电池模块附带绝缘电阻检测系统，应将其关闭；对不能承受绝缘电压的元件，测量前应将其短接或拆除；按照标准 GB/T 36276-2018 中 A.3.10 绝缘性能试验中表 A.2 选择合适电压等级的绝缘电阻测量仪进行测试，试验电压施加部位应包括电池模块正极与外部裸露可导电部分之间和电池模块负极与外部裸露可导电部分之间；记录实验结果。

A.3.10 阻燃性能试验

对于有塑料外壳和保护盖的电池模块按下列步骤进行试验：

- 1) 按 GB/T 2408-2008 标准中的第 6 章进行取样制备；
- 2) 被试样品应在温度 (15~35) °C、相对湿度 45%~75%条件下放置 24h 开始试验；
- 3) 水平法按 GB/T 2408-2008 中的第 8 章进行；
- 4) 垂直法按 GB/T 2408-2008 中的第 9 章进行；
- 5) 试验结果应符合 5.10.12 的要求。

A.3.11 初始充放电容量试验

在 (25±2) °C 下，电池模块初始充放电容量试验按照下列步骤进行：

- 1) 电池模块初始化放电；
- 2) 电池模块以 1.0I₅ 恒流充电至单体的充电终止电压，静置 60 min；
- 3) 电池模块以 1.0I₅ 恒流放电至单体的放电终止电压，静置 60 min；
- 4) 重复步骤 2) -3) 5 次，当连续 3 次试验结果的极差小于额定容量的 7%，可提前结束试验，取样品后三次测试容量平均值作为该电池模块的 5 小时率实测基准容量 C₅。

A.3.12 倍率充放电试验

在 (25±2) °C 下，电池模块倍率充放电试验按照下列步骤进行：

- 1) 电池模块按照 A.1.3.1 方法充电；
- 2) 电池模块以 0.25C_N 电流放电至任一单体电池电压达到放电终止电压；
- 3) 重复 1) -2) 步骤，2) 步骤电流分别用 1.0I₅、2.0I₅、4.0I₅ 放电，计量放电容量（以 Ah 计），记录实验结果。

A.3.13 高温放电试验

- 1) 在 (25±2) °C 环境下搁置 6h，电池模块按照 A.1.3.1 方法充电；
- 2) 在 (55±2) °C 环境下静置 4h，电池模块以 1.0I₅ 电流放电至任一单体电池电压达到放电终止电压或者电池模块下限截止电压停止测试，记录放电容量（以 Ah 计）。

A.3.14 低温放电试验

- 1) 在 (25 ± 2) °C 环境下搁置 6h, 电池模块按照 A.1.3.1 方法充电;
- 2) 在 (0 ± 2) °C 环境下静置 6h (建议适当延长), 电池模块以 $1.0I_5$ 电流放电至任一单体电池电压达到放电终止电压或者电池模块下限截止电压停止测试;
- 3) 在 (25 ± 2) °C 环境下搁置 6h, 电池模块按照 A.1.3.1 方法充电后, 在 (-10 ± 2) °C 的低温箱中静置 6h, 电池模块以 $1.0I_5$ 电流放电至任一单体电池电压达到放电终止电压或者电池模块下限截止电压停止测试, 记录放电容量 (以 Ah 计)。

A.3.15 荷电保持与容量恢复能力试验

电池模块荷电保持与容量恢复能力试验按照下列步骤进行:

- 1) 电池模块初始化充电, 按照 A.1.3.1 方法充电;
- 2) 电池模块在 (25 ± 2) °C 储存 28d;
- 3) 在 (25 ± 2) °C 下, 电池模块以 $1.0I_5$ 恒流放电至电池单体的放电终止电压, 静置 60 min;
- 4) 在 (25 ± 2) °C 下, 电池模块以 $1.0I_5$ 恒流充电至电池单体的充电终止电压, 静置 60 min;
- 5) 在 (25 ± 2) °C 下, 电池模块以 $1.0I_5$ 恒流放电至电池单体的放电终止电压; 记录放电容量 (以 Ah 计)。

A.3.16 循环性能试验

在 (25 ± 2) °C 下, 电池模块循环性能试验按照下列步骤进行:

- 1) 电池模块初始化放电;
- 2) 电池模块以 $1.0I_5$ 恒流充电至任一单体或模块的充电终止电压, 静置 60 min;
- 3) 电池模块以 $1.0I_5$ 恒流放电至任一单体或模块的放电终止电压, 静置 60 min;
- 4) 按照 2) ~3) 连续循环 500 次;
- 5) 根据试验数据做容量、容量保持率及库伦效率随循环次数变化的曲线图。

A.4 电池簇试验

A.4.1 绝缘性能试验

电池簇绝缘性能试验按照下列步骤进行:

- 1) 电池簇初始化充电;
- 2) 将电池簇的正、负极与外部装置断开, 如电池簇内部有接触器应将其处于吸合状态; 如电池簇附带绝缘电阻监测系统, 应将其关闭; 对不能承受绝缘电压试验的元件, 测量前应将其短接或拆除;
- 3) 按照标准 GB/T 36276-2018 中 A.4.3 绝缘性能试验中表 A.5 选择合适电压等级的绝缘电阻测量仪进行测试, 试验电压施加部位应包括电池簇正极与外部裸露可导电部分之间和电池簇负极与外部裸露可导电部分之间。

A. 4.2 耐压性能试验

电池簇耐压性能试验按照下列步骤进行：

1) 电池簇初始化充电，将电池簇的电源断开，主电路的开关和控制设备应闭合或旁路；对半导体器件和不能承受规定电压的元件，应将其断开或旁路；安装在带电部件和裸露导电部件之间的抗扰性电容器不应断开；试验开始时施加的电压不应大于规定值的 50%，然后在几秒钟之内将试验电压平稳增加至规定的最大值并保持 5S；

2) 试验电压施加部位应包括电池簇正极与外部裸露可导电部分之间和电池簇负极与外部裸露可导电部分之间；

3) 可采用交流电压或等于规定交流电压峰值的直流电压进行试验，交流或直流试验电压有效值不应大于规定值的 5%；

4) 交流电源应具有足够的功率以维持试验电压，可不考虑漏电流，此试验电压应为正弦波，且频率为 45Hz~62Hz；

5) 由主电路直接供电的辅助电路，试验电压值应按照标准 GB/T 36276-2018 中 A. 4. 4 耐压性能试验中表 A. 6 选取；不适于由主电路直接供电的辅助电路，应按照标准 GB/T 36276-2018 中 A. 4. 4 耐压性能试验中表 A. 7 选取；

6) 记录是否有击穿或闪络现象。
