

ICS 27.180
CCS F19

团体标准

T/CIAPS0020—2022

储能用锂离子电池系统通用质量特性

General quality characteristics of lithium ion battery systems
for energy storage

2022年11月25日发布

2022年12月15日实施

中国化学与物理电源行业协会 发布

目 次

目 次	I
前 言	II
储能用锂离子电池系统通用质量特性	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号	3
5 通用测试条件	3
5.1 试验环境	3
5.2 试验容差	3
5.3 试验装置	3
5.4 试验准备	4
6 通用质量特性要求和试验方法	4
6.1 环境适应性	4
6.2 可靠性	11
6.3 测试性	13
6.4 维修性	15
6.5 保障性	17
6.6 安全性	19
6.7 电磁兼容性	21
附 录 A	23
附 录 B	25

前 言

本文件据GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

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这些专利的责任。

本文件由中国化学与物理电源行业协会提出并归口。

本文件主要起草单位：中认英泰检测技术有限公司、中国质量认证中心。

本标准参与起草单位：浙江南都电源动力股份有限公司、上海派能能源科技股份有限公司、腾讯科技（深圳）有限公司、蜂巢能源科技股份有限公司、湖北亿纬动力有限公司、新能安科技有限公司、上海电气国轩新能源科技有限公司、十堰猛狮新能源科技有限公司、通标标准技术服务有限公司、江西安驰新能源科技有限公司、杭州汉德质量认证服务有限公司、福建星云电子股份有限公司。

本文件主要起草人：蒋应龙、王树荣、李海鹏、陈威、李兰强、刘明爽、杨向丹、蒙玉宝、骆耀康、孙涛、林海生、唐勇、郑菁菁、宿斌、谢爱亮、王伟伟、王传奎、魏梦诗、刘震。

本文件为首次制定。



储能用锂离子电池系统通用质量特性

1 范围

本标准规定了储能用锂离子电池系统通用质量特性的要求和试验验证方法。

本标准适用于以储能为应用场景的锂离子电池系统(含电池簇/包及电池管理系统),包含固定式及可移动式应用场景下的锂离子电池系统(以下简称锂离子电池系统)。

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 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
- GB/T 2423.5-2019 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ea和导则:冲击
- 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 2423.22-2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验N:温度变化
- GB/T 2423.56-2018 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fh:宽带随机振动和导则
- GB/T 5080.7-1986 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- GB/T 9414.5-2018 维修性 第5部分:测试性和诊断测试
- GB/T 9414.9-2017 中文标准名称:维修性 第9部分:维修和维修保障
- GB/T 18387-2017 电动车辆的电磁场发射强度的限值和测量方法
- GB/T 18655-2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法
- GB/T 19951-2019 道路车辆 电气/电子部件对静电放电抗扰性的试验方法
- GB/T 21437.2-2008 道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第2部分:沿电源线的电瞬态传导
- GB/T 33014.2-2016 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第2部分:电波暗室法
- GBT 33014.4-2016 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第4部分:大电流注入(BCI)法
- GB/T 36276-2018 电力储能用锂离子电池
- GJB 2072 维修性试验与评定标准
- GJB 2547A-2012 装备测试性工作通用要求
- GJB 3872-1999 装备综合保障通用要求
- GJB/Z 99-1997 系统安全工程手册
- T/CEC 171-2018 电力储能用锂离子电池循环寿命要求及快速检测试验方法
- IEC 60706-5:2007 Maintainability of equipment - Part 5: Testability and diagnostic testing

3 术语和定义

3.1 电池簇 battery cluster

由电池模块采用串联、并联连接方式，且与储能变流器及附属设施连接后实现独立运行的电池组合体，还宜包括电池管理系统、监测和保护电路、电气和通讯接口等部件。

3.2 电池管理系统 battery management system

监测电池的电压、电流、温度等参数信息，并对电池状态进行管理和控制的装置。

3.3 环境适应性 environmental adaptability

产品在其寿命期间可能遇到的各种环境的作用下，实现其预定功能，或不被破坏的能力，是产品的重要质量特性之一，它是能否交付使用的设计特性。

3.4 寿命 life

3.4.1 日历寿命 calendar life

是指电池从生产之日起到寿命终止的这段时间以年为计量单位的时间。

3.4.2 循环寿命 cycle life

是指在一定的充放电条件下，电池容量衰减到某一规定值之前，电池能经受的充电与放电循环次数。

3.5 可靠性 reliability

产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。可靠性的概率度量亦称可靠度。

3.6 测试性 testability

产品能及时并准确而的确定其状态（可工作、不可工作或性能下降），并隔离其内部故障的一种设计特性。

3.7 维修性 maintainability

产品在规定的条件下和规定的时间内，按规定的程序和方法进行维修时，保持或恢复到执行规定状态的能力。维修性的概率度量亦称维修度。

3.8 保障性 supportability

系统的设计特性和计划的保障资源，包括人力能满足系统工作要求的程度。

3.9 安全性 safety

产品具有不导致人员伤亡、设备或系统损坏、重大财产损失、或不危及人员健康和环境的能力。

3.10 电磁兼容性 (EMC) electromagnetic compatibility

是指电子设备所产生的电磁能量既不对其它电子设备产生干扰，也不受其它电子设备的电磁能量干扰的能力。

3.11 现场可更换单元 (LRU) line replaceable unit

可由用户或维修支持方直接在设备上更换的可更换的硬件或软件单元。

3.12 车间可更换单源 (SRU) shop replaceable unit

可在用户库房/车间、同级的维修支持方或在供方车间可更换的硬件或软件单元。

3.13 机内测试 (BIT) built-in test

产品内在的能自动识别和定位故障的测试。

3.14 虚警 false alarm

由故障指示时未发现故障的情况。

3.15 平均修复时间(修复或复原) (MTTR) mean time to repair (or restoration or recovery)

产品维修特性的一种基本参数。其度量方法为：在规定的条件下和规定的时间内，产生一规定的维修级别上，修复性维修总时间与在该级别上被修复产品的故障总数之比。

3.16 平均无故障间隔时间 (MTBF) mean time between failure

可修复产品可靠性的一种基本参数。其度量方法为：在规定的条件下和规定的时间内，产品的寿命单位总数与故障总次数之比。

4 符号

4.1 Prcn

n小时率额定充电功率，电池模块的单位为kW，电池簇的单位为kW或MW。

4.2 Prdn'

n小时率额定放电功率，电池模块的单位为kW，电池簇的单位为kW或MW。

5 通用测试条件

5.1 试验环境

除另有规定外，试验环境应符合以下要求：

- a) 温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：25%~75%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa。

5.2 试验容差

除另有规定外，试验容差应符合以下要求：

- a) 温度：±2℃（样品经受不到循环气流的死角：±5℃）；
- b) 湿度：±5%；
- c) 加速度：±1dB；
- d) 功率谱密度(PSD)：±3dB。

5.3 试验装置

试验装置应符合下列要求：

- a) 充放电装置：电压、电流、功率的准确度 0.1%FS；
- b) 环境模拟装置（除有特殊规定的之外）：温度准确度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，湿度准确度 $\pm 3\%$ ，温度波动度 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度波动度 $\pm 3\%$ ；
- c) 电压测量装置：准确度 0.5%FS；
- d) 电流测量装置：准确度 0.5%FS；
- e) 温度测量装置：准确度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；
- f) 时间测量装置：准确度 $\pm 1\text{s}$ ；
- g) 尺寸测量装置：准确度 $\pm 1\text{mm}$ ；
- h) 质量测量装置：准确度 0.1%FS，样品测量误差 $\leq 0.5\%$ 。

5.4 试验准备

5.4.1 初始化充电

储能锂离子电池系统的初始化充电应按照下列步骤进行：

- a) 在 $(25\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 下搁置不小于 5h，或电池簇各部件温度均达到 $(25\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的时间，取较长者；
- b) 以 P_{rdn} 恒功率放电至任一单体、任一模块或簇的放电终止电压，静置 30min；
- c) 以 P_{rcn} 恒功率充电至任一单体、任一模块或簇的充电终止电压，静置 30min。

5.4.2 初始化放电

储能锂离子电池系统的初始化放电应按照下列步骤进行：

- a) 在 $(25\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 下搁置不小于 5h，或电池簇各部件温度均达到 $(25\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的时间，取较长者；
- b) 以 P_{rcn} 恒功率充电至任一单体、任一模块或簇的充电终止电压，静置 30min；
- c) 以 P_{rdn} 恒功率放电至任一单体、任一模块或簇的放电终止电压，静置 30min。

5.4.3 试验样品准备

试验样品准备应符合下列要求：

- a) 储能锂离子电池系统在进行试验时应将试验装置与电池的高低电压装置连接，开启电池系统的被动保护功能，电、热管理装置可根据需要工作；
- b) 试验装置应检测和控制电池系统的工作状态和电压、电流、温度等工作参数。

6 通用质量特性要求和试验方法

6.1 环境适应性

验证储能锂离子电池系统在其全寿命期间，对其可能遇到的振动、冲击、低气压、高温、低温、温度冲击（变化）、湿热、盐雾等环境的适应能力。

6.1.1 振动

6.1.1.1 目的

验证储能锂离子电池系统在全寿命期间，在运输过程中，经受振动环境应力影响的能力。

6.1.1.2 试验条件

优选采用随机振动试验方法。

6.1.1.2.1 固定使用

固定使用主要考虑储能锂离子电池系统在运往安装地点过程中的运输振动,并由制造商在下列随机振动或模拟运输选择一种进行。

注:超过35T振动台测试能力的一般采用模拟运输方式。

1) 试验室试验

固定使用时试验室用随机振动功率谱密度曲线见下图1,随机振动功率谱密度见表1:

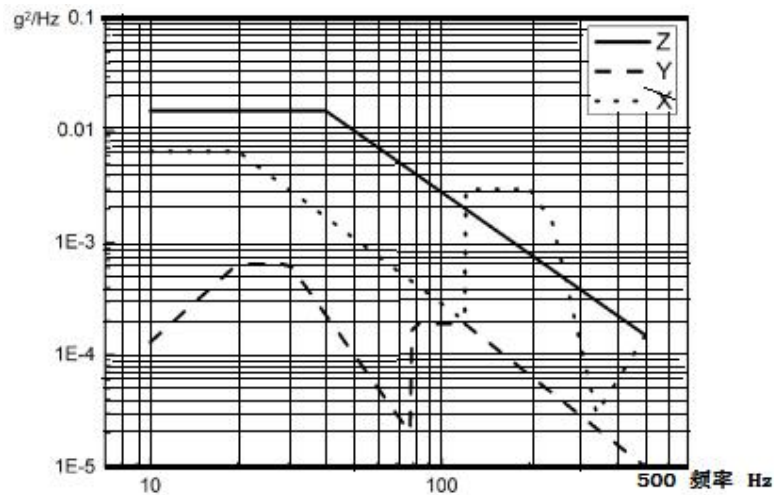


图1 随机振动功率谱密度曲线

表1 固定使用高速公路运输随机振动功率谱密度

Z 轴(垂向)		Y 轴(横向)		X 轴(纵向)	
频率 Hz	功率谱密度 (PSD) g^2/Hz	频率 Hz	功率谱密度值 (PSD) g^2/Hz	频率 Hz	功率谱密度值 (PSD) g^2/Hz
10	0.01500	10	0.00013	10	0.00650
40	0.01500	20	0.00065	20	0.00650
500	0.00015	30	0.00065	120	0.00020
		78	0.00002	121	0.00300
		79	0.00019	200	0.00300
		120	0.00019	240	0.00150
		500	0.00001	340	0.00003
				500	0.00015
RMS	1.04g	RMS	0.204g	RMS	0.74g
试验时间	每轴向: 1h (相当于运输 1600km)				

2) 现场试验

对于大型系统(超出振动台能力范围)可按照预计交付路径选择合适交通工具和路况、将处于交付运输状态(包装)下的储能锂离子电池系统在三级公路上进行200km现场运输试验。

6.1.1.2.2 可移动式(例如车载)使用

1) 可移动式: M1 和 N1 车辆使用的随机振动功率谱密度曲线见下图 2, 随机振动功率谱密度见表 2:

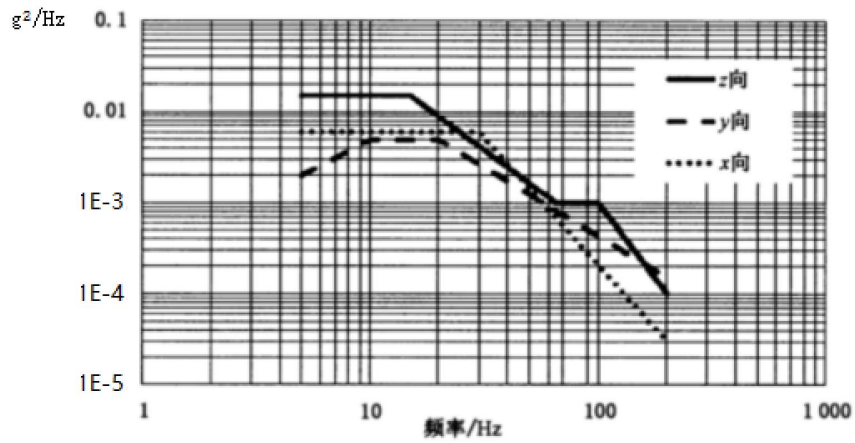


图2 可移动式：M1 和 N1 车辆的随机振动功率谱密度曲线图

表2 可移动式：M1 和 N1 车辆的随机振动功率谱密度

频率 Hz	功率谱密度 (PSD) Z 轴(垂向) g^2/Hz	功率谱密度 (PSD) Y 轴(横向) g^2/Hz	功率谱密度 (PSD) X 轴(纵向) g^2/Hz
5	0.015	0.002	0.006
10	-	0.005	-
15	0.015	-	-
20	-	0.005	-
30	-	-	0.006
65	0.001	-	-
100	0.001	-	-
200	0.0001	0.00015	0.00003
RMS	0.64g	0.45g	0.50g
试验时间	在三个互相垂直方向上每方向：12h		

2) 可移动式：M1 和 N1 以外车辆使用的随机振动功率谱密度曲线见下图 3，随机振动功率谱密度见下表 3：

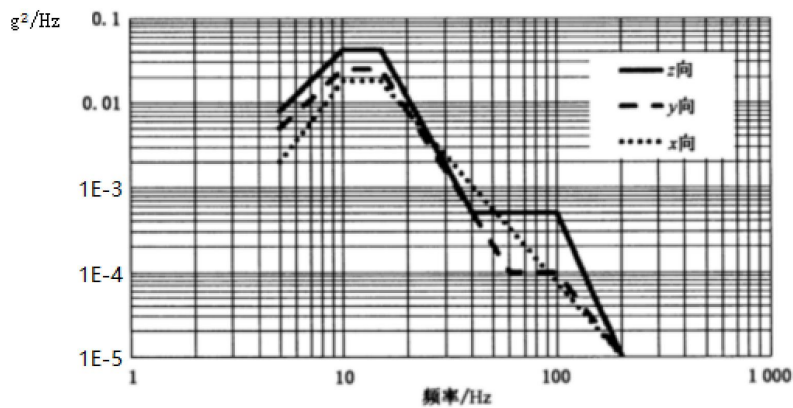


图3 M1 和 N1 以外车辆使用的随机振动功率谱密度曲线

表3 可移动式：M1和N1以外车辆使用的随机振动功率谱密度

频率 Hz	功率谱密度 (PSD) Z轴(垂向) g^2/Hz	功率谱密度 (PSD) Y轴(横向) g^2/Hz	功率谱密度 (PSD) X轴(纵向) g^2/Hz
5	0.008	0.005	0.002
10	0.042	0.0025	0.018
15	0.042	0.0025	0.018
40	0.0005	-	-
60	-	0.0001	-
100	0.0005	0.0001	-
200	0.00001	0.00001	0.00001
RMS	0.73g	0.57g	0.52g
试验时间	在三个互相垂直方向上每方向：12h		

6.1.1.3 安装

被试样品应牢固地固定在振动台的附加台面上，以确保振动直接传递到被测试样品上。当被测试样品根据运载工具上安装状态进行安装时，使其原始安装点和夹具进行安装，夹具应牢固地固定在振动试验台的附加台面上，以确保振动直接传递到被测样品的夹具上。

6.1.1.4 试验要求

- 试验应在标准大气的环境条件下进行；
- 试验前，样品应进行初始化充电，以便对振动试验前后的功能和性能进行对比和检查；
- 振动试验前后要进行振动响应检查，以便通过振动试验前后样品的响应的变化进行，为判断机械损伤提供更有力的支撑。

6.1.1.5 试验程序

- 固定使用在带包装状态下进行；
- 可移动式（如车载）使用，按可移动式上安装状态进行；
- 随机振动参照 GB/T 2423.56-2018 中的方法进行。

6.1.1.6 合格判据

试验结束后，观察 2h：

- 样品外观和结构：无变形与损坏、无冒烟、无火花、无起火爆炸、无活动部件飞出等现象；
- 样品声称的样品声称的功能、各项性能参数均应正常。。

6.1.2 冲击

6.1.2.1 目的

验证储能锂离子电池系统在全寿命期间，在运输过程中，经受冲击环境应力影响的能力。

6.1.2.2 试验条件

冲击试验采用：半正弦冲击脉冲，见下图4：

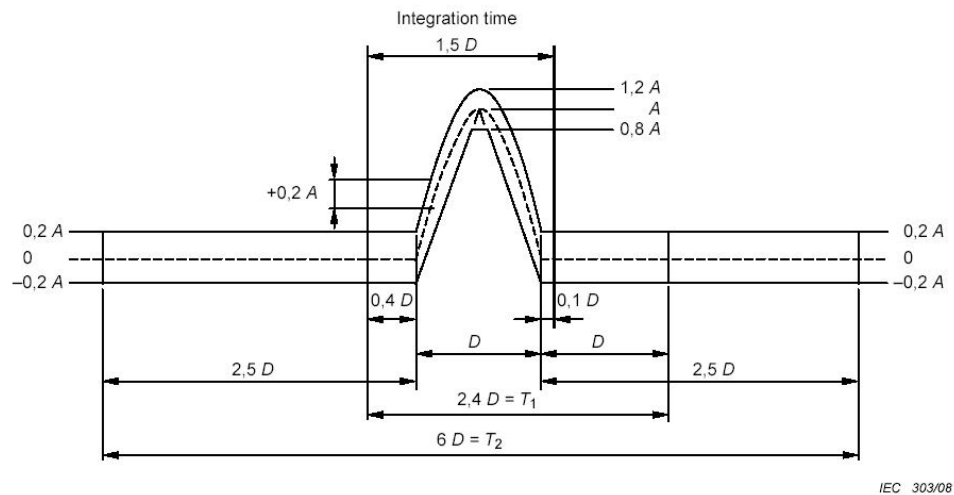


图4 标称半正弦冲击脉冲波形

1) 固定使用

冲击脉冲加速度： $7g_n$ ；

冲击脉冲持续时间：6ms；

冲击次数：在Z轴±方向各6次。

2) 可移动式（例如车载）使用

冲击脉冲加速度： $50g_n$ ，或按下式计算出的量值，二者取小者：

$$\text{加速度值 } g_n = \sqrt{\frac{30000}{kg}}$$

式中：

kg：样品重量；

冲击脉冲持续时间：11ms；

冲击次数：在三个互相垂直轴线的六个方向上各进行3次冲击，共18次冲击。

6.1.2.3 安装

被试样品应牢固地固定在振动台的附加台面上或冲击机的试验台面上，以确保冲击直接传递到被试样品上。当被试样品按照运载工具上安装状态进行安装时，使其原始安装点和夹具进行安装，夹具应牢固地固定在振动试验台的附加台面上或冲击机的试验台面上，以确保冲击直接传递到被试样品的夹具上。

6.1.2.4 试验要求

- 1) 试验应在标准大气的环境条件下进行。
- 2) 在试验开始时，影响样品功能并与试验结果相关的所有保护设备都应运行。
- 3) 试验前，样品应进行初始化充电，以便对冲击试验前后的功能和性能进行对比和检查。

6.1.2.5 试验程序

冲击试验参照 GB/T 2423.5-2019 中的方法进行。

6.1.2.6 合格判据

试验结束后，观察 2h：

- 1) 样品外观和结构：无变形与损坏、无冒烟、无火花、无起火爆炸、无活动部件飞出等现象。
- 2) 样品声称的功能、各项性能参数均应正常。

6.1.3 低气压

6.1.3.1 目的

验证储能锂离子电池系统经受低气压环境应力影响的能力。

本条款适用于海拔高于 2000m~5000m 地区使用的储能锂离子电池。

6.1.3.2 试验条件

- 1) 2000m<海拔高度≤4000m，压力：61.2kPa，温度：20±5℃，时间：5h。
- 2) 4000m<海拔高度≤5000m，压力：53.9kPa，温度：20±5℃，时间：6h。

6.1.3.3 试验要求

试验前，样品应进行初始化充电，以便对低气压试验前后的功能和性能进行对比和检查。

样品应在通电运行状态下进行试验。

6.1.3.4 试验程序

在室温下将样品放入低气压试验箱中，以 10kPa/min 速率降至 5.1.3.2 试验条件中规定的高度和温度进行试验。到 5.1.3.2 试验条件中规定时间后，以 10kPa/min 速率升至试验所在地气压值。

制造商应提供电流锐变限值，电压异常作为终止试验条件。

6.1.3.5 合格判据

试验结束后，观察 2h：

- 1) 样品外观和结构：无变形与损坏、无冒烟、无火花、无起火爆炸等现象；
- 2) 样品声称的功能、各项性能参数均应正常。

6.1.4 温度冲击（温度快速变化循环）

6.1.4.1 目的

验证储能锂离子电池系统在全寿命期间，经受温度快速变化环境应力影响的能力。

6.1.4.2 试验条件

温度范围：-40℃~+60℃ 在最高与最低温度值上各保持 8h，最高和最低温度值之间转换时间为：30min，循环 5 次。

6.1.4.3 试验要求

试验前，样品应进行初始化充电，以便对快速温变循环试验前后的功能和性能进行对比和检查。

样品应在非通电运行下进行试验。

6.1.4.4 安装

将样品放入快速温变箱中。

6.1.4.5 试验程序

本测试参照 GB/T 2423.22-2012 中的方法进行。

6.1.4.6 合格判据

试验结束后，观察 2h：

- 1) 样品外观与结构：外观无变形/损坏、无冒烟、无火花、无起火爆炸等现象；
- 2) 样品声称的功能、各项性能参数均应正常。
- 3) 符合 GB/T 36276-2018 中 5.4.3 耐压性能要求。

6.1.5 湿热

6.1.5.1 目的

验证储能锂离子电池系统经受湿热环境应力影响的能力。

6.1.5.2 试验条件

交变湿热，在最高温度 60℃，湿度 95%RH 的环境下循环 5 次，每次持续时间 24h。样品应在非通电运行状态下进行试验。

6.1.5.3 安装

将样品放入湿热试验箱中。

6.1.5.4 试验要求

试验前，样品应进行初始化充电，以便对湿热试验前后的功能和性能进行对比和检查。样品应在非通电运行状态下进行试验。

6.1.5.5 试验程序

按 GB/T 2423.4 试验 Db:交变湿热试验（12h+12h 循环）进行，其中最高温度 60℃，每循环 24h，共循环 5 次。在第 3 循环结束时进行中间检测。

6.1.5.6 合格判据

试验结束后，观察 2h：

- 1) 样品外观与结构：外观无变形/损坏、无冒烟、无火花、无起火爆炸等现象；
- 2) 样品声称的功能、各项性能参数均应正常。
- 3) 符合 GB/T 36276-2018 中 5.4.3 耐压性能要求。

6.1.6 盐雾

6.1.6.1 目的

验证储能锂离子电池系统直接暴露在盐雾大气环境中使用和储存时经受盐雾环境影响的能力。

6.1.6.2 试验条件

盐溶液采用氯化钠（化学纯、分析纯）和蒸馏水或去离子水配置，其浓度为 5%±1%（分子质量数）。35℃±2℃时测量 pH 值在 6.5~7.2 之间。

一个循环为 24h，其中 8h 为连续喷雾，在 40℃，93%RH 条件下存储 16h。

从下述两种方法中选择符合预期使用条件的试验方法：

- 1) 预期在非海洋性气候或 IP55 箱内条件下使用时，进行 2 个循环。
- 2) 预期在海洋性气候条件下使用时，进行 6 个循环。

6.1.6.3 安装

将样品放入盐雾试验箱中。

6.1.6.4 试验要求

试验前，样品应进行初始化充电，以便对盐雾测试前后的功能和性能进行对比和检查。
试验样品应在非通电运行状态下进行试验。

6.1.6.5 试验程序

按 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》进行。

6.1.6.6 合格判据

试验结束后，观察 2h：

- 1) 样品外观与结构：外观无腐蚀、无冒烟、无火花、无起火爆炸等现象；
- 2) 样品声称的功能、各项性能参数均应正常。

6.1.6.7 免测试对象

对完全安置在乘员舱、行李舱、货舱等经受不到盐雾影响的对象，可不要求进行盐雾试验。

6.2 可靠性

6.2.1 可靠性

6.2.1.1 试验目的

验证储能锂离子电池系统的可靠性水平指标是否达到任务书、合同、技术规范中规定的要求。

6.2.1.2 指标名称

1) 可靠度 $R(t)$ ：可靠度是指工作到某时刻 T 时尚未失效的产品，在该时刻 T 之后的某段时间内不发生失效的概率。即指执行其功能的能力的概率密度，可靠度是时间的函数，是小于1的数： $R(t) < 1$ 。

2) 基本可靠性 MTBF：指相邻两次故障之间的平均工作时间，也称为平均故障间隔，它反映了产品的时间质量，是体现产品在规定时间内保持功能的一种能力。它给出的主要是产品所需维修费用、维修人员和所需备件等方面的信息。

3) 任务可靠性 MTBCF：致命故障之间平均间隔时间，它给出的是能正常完成任务的信息。

6.2.1.3 指标设计值名称

1) 规定值

民用可靠性标准称：可接收的 MTBF 值，代号： m_0

2) 最低可接受值

民用标准称：不可接收 MTBF 值：代号： m_1

6.2.1.4 可靠性指标量值

$$MTBF = \frac{-t}{\ln R_s(t)}$$

例 1:

可靠度: $R(t) = 0.999$

假设任务时间: $t=16h$ (一次充放电时间)

$$MTBF = \frac{-t}{\ln R_s(t)} = \frac{16h}{\ln(0.999)} = \frac{16}{0.001} = 16000h$$

可接收的 MTBF 值: 即设计值 (规定值): $m_0 = \theta_0 = 16000h$

不可接收的 MTBF 值: 即不可接收的 MTBF 值, 最低可接收的 MTBF 值 = $\frac{m_0}{D_m} = \frac{\theta_0}{d}$, 假设 $D_m = d = 3$,

$$\text{则 } m_1 = \theta_1 = \frac{16000h}{3} = 5333h$$

6.2.1.5 可靠性定量指标验证

a) 实验室可靠性试验

按 GB/T 5080.7 中的规定进行。

b) 可靠性仿真

当产品技术状态固化后, 即设计定型、交付使用时, 它在移动式使用时受振动冲击等后的动力学响应和受温度等影响后的热分布, 即它们受环境影响后的概率密度函数等都已确定, 此时可通过可靠性仿真方法验证出产品在相应置信度下的可靠性指标。

c) 现场使用评估

按照 GB/T 5080.7 通过对使用工况、环境条件、故障与失效情况的统计分析, 进行评估得出具有一定置信度的可靠性指标。

6.2.2 寿命

本标准采用平均寿命。

6.2.2.1 目的

验证储能锂离子电池系统的日历寿命与循环寿命指标是否达到任务书、合同、技术规范中规定的要求。以及确定其是否需要更改设计。

6.2.2.2 指标要求

日历寿命不低于 10 年或循环寿命达到 2000 次时, 充\放电能量保持率不小于 60%。

6.2.2.3 验证方法

a) 循环寿命

按 T/CEC 171-2018 中的规定进行。

b) 日历寿命

参照 T/CEC 171-2018 中的有关规定进行。

6.2.2.4 循环和日历寿命的加速验证

为节省验证时间和费用，本标准允许采用加速模型进行验证。

- a) 温度加速可采用阿伦尼斯模型进行，加速前的正常大气温度取 25℃，能加速到的最高温度取 55℃，产品试验大纲，应根据试验经费、时间、置信度要求等来确定最高加速温度，40℃是一置信度高和更合适的温度；
- b) 用充放电倍率来进行加速时，应综合考虑验证经费、验证时间、产品特点等给出合适加速系数；
- c) 同时采用温度和充放电倍率加速，其加速系数可为二者之和。

6.3 测试性

6.3.1 目的

验证储能锂离子电池系统的测试性水平指标是否达到任务书、合同和技术规范中规定的要求。以及确定其是否需要更改设计。

6.3.2 测试性指标

1) 现场使用

表 4 测试性指标

指标	BIT 自动检测	BIT+现场人工检测
故障检测率（到单个 LRU）	90%	95%
故障隔离率（到单个 LRU）	95%	100%
虚警率	5%	

2) 内场级检测故障隔离定位要求如下：

隔离到一个 SRU 的概率为 90%；

隔离到二个 SRU 的概率为 95%；

隔离到三个 SRU 的概率为 100%。

6.3.3 测试要求

故障检测率和故障隔离率通常采用模拟故障的方法进行验证。

为保证所需的置信度需 3 块储能锂离子电池系统，每块储能锂离子电池模拟故障的样本量为：30 个，附表 A.1 中给出了测试性用模拟故障样本示例。

- 1) 可靠性试验、环境适应性、性能试验、使用试验数据均可收集作为计算测试性的数据。
- 2) 测试性可与维修性同时进行验证和评估时，检测与隔离故障的时间应计入测试性测试的时间中。
- 3) 单独测运行试时应作专门记录。

注：测试性模拟故障示例见附录 A。

6.3.4 测试方法

1) 启动储能锂离子电池系统的故障检测系统和 BIT，模拟各种故障，测试 LRU 或 SRU 的故障检测和故障隔离能力；

2) 对每个技术状态控制项目进行功能测试，发现设备异常能力；

3) BIT 的检测和隔离故障的能力；

4) 被测设备与测试设备的兼容性；

5) BIT 故障检测和故障隔离指示与脱机测试结果之间的符合程度。

6.3.5 测试性定量指标验证

1) 故障检测率：

$$r_{FD} = \frac{N_{FD}}{n} \times 100\%$$

式中：

r_{FD} — 故障检测率；

N_{FD} — 用规定的方法正确检测到的故障数；

n — 模拟的故障总数。

2) 故障隔离率（定位率）

$$r_{FIL} = \frac{N_{FIL}}{N_{FD}} \times 100\%$$

式中：

r_{FIL} ：故障隔离率；

N_{FIL} ：用规定方法正确隔离到不大于规定模糊故障度的故障数；

N_{FD} ：用规定方法实际检测出的故障数。

3) 虚警率

在规定期间内发生的虚警数与同一时间内故障指示总次数之比。

$$r_{FAS} = \frac{N_{FA}}{N} \times 100\% = \left(\frac{N_{FA}}{N_F + N_{FA}} \right) \times 100\%$$

式中：

r_{FAS} ：虚警率

N_{FA} ：虚警次数

N_F ：真实故障指示数

N ：指示（报警）总次数

6.3.6 测试定性评估

测试定性要求为简便、迅速、准确、经济地确定产品技术状态和诊断故障能力，评估应注意重点评估下列要素：

1) 功能划分

一个可更换单元是否只实现一个功能，如果一个可更换单元要实现多个功能，是否保证了每个功能都能单独测试。是否尽量将不能明确划分功能的一组电路装在同一可更换单元中。按各电池模块、电控、温控、预警、冷却、灭火划分是否最佳划分方案。

2) 电气划分

是否利用了利用阻塞门、三态器件或继电器把正在测试的电路，与不在测试的电路隔离，以缩短测试时间。

3) 结构划分

是否有利于故障隔离、被测单元的最多插针数是否与自动测试设备接口一致、是否在不影响功能划分的基础上，将模拟电路与数字电路的结构分开，并设置测试点，便于分别测试。

4) 测试点要求

a) 测试点是否足够多到能测量或激励内部各电路节点，从而使故障检测和隔离达到一个高的水平上；

b) 嵌入式诊断（性能监测、BIT、中央测试系统等）要求是否满足和合理；。

c) 故障信息的指示、报告、记录（存贮）直观、清晰、安全；

d) 有关外部诊断测试、兼容性、维修能力达到要求；

e) 测试点是否能方便通过系统或设备的插头或测试插头连接到自动化测试设备上；

f) 高电压或大电流的测试点在结构上是否与低电平的隔离了，是否要符合安全规定；

g) 是否消除了消除测试点与自动化测试设备之间的相互影响，以保证设备连接到自动化测试设备上后，性能不会降低；

h) 选择的测试点是否符合自动化测试设备的频率要求和测量精度；

i) 测试点的测量值是否以设备的公共地为基准。

6.3.7 参照标准

测试性验证与评估可参考 GB/T 9414.5-2018、IEC 60706-5:2007 或 GJB 2547A-2012 进行。

6.4 维修性

6.4.1 目的

任何产品都不可能完全可靠，随着使用和贮存时间的延长，总要出故障和失效，此时如果能通过维修，迅速和经济地恢复它的功能和性能指标，这就提高了产品的可用性，可见：能否快速、经济的修复，就是可维修性。它是可靠性的补充，它们是相互相成。

维修性的目的验证储能用锂离子电池簇(包)和管理系统的维修性水平指标是否达到任务书、合同和技术规范中规定的要求。

6.4.2 维修性指标

在规定的条件下和规定的时间内，储能锂离子电池在任一规定的维修级别上，修复性维修的总时间与在该级别上被修复产品故障总数之比。简言之：排除故障实际时间的平均值。即：

平均修复时间： 现场维修：MTTR：4h（从开始卸下故障件到更换上新件到能正常运行的时间）。

6.4.3 定量指标验证

现场维修指标计算：

假设服从常用正态分布。

1) 平均修复时间 MTTR 的观察值：

$$\hat{\theta} = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中：

$\hat{\theta}$ 、 \bar{X} ：平均维修时间的观察值（点估计值）

X_i ：每次的维修时间

n ：维修次数

2) 判决条件

$$\bar{X} \leq \mu_0 + Z_{1-\alpha} \frac{d}{\sqrt{n}}$$

判决：符合上式则接受,否则拒绝

式中：

μ_0 ：平均修复时间的规定值

$$\hat{d}^2 : \text{方差} \quad \hat{d}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln X_i - \bar{X})^2$$

3) 置信区间

$$\text{双侧置信下、上限: } \mu_L = \bar{X} + \frac{d}{\sqrt{n}} Z_{\alpha/2}, \quad \mu_U = \bar{X} + \frac{d}{\sqrt{n}} Z_{1-\alpha/2}$$

置信区间：[μ_L , μ_U]

式中：

α ：制造方风险；

β ：使用方风险，

可假设：制造方与使用方风险相同。

4) 样本量

维修性样本量需大于等于 30，当维修性样本量小于 30 时（通常都不够），需采行模拟故障补充样本。如果规定的自然样本量 = 30，则在验证实验前要准备 120 个模拟故障样本（为了确保置信度），当自然样本量不够，随时从模拟故障样本中抽取。

自然故障可从充放电模块、电控模块、温控模块、冷却模块、预警模块、灭火模块、等中得的功能试验、环境试验、试用或其它试验和使用中发生的故障统计收集。在自然故障所进行的维修作业次数不足时，可通过用模拟故障所进行的补足。

注：维修性模拟故障示例见附录B。

6.4.4 定性评估

1) 良好的可达性

需要经常维修的检查点、测试点、检查窗等的维护点的布局是否在便于接近和检查的位置，给维修设备、维修人员是否提供了适当的可达性、工作部位和操作空间。

2) 完善的防差错措施

对容易引起人为差错的因素，是否采取措施防止可能发生差错，做到即使发生差错也能立即发觉，避免损坏装备和发生事故的措施。

3) 明显的识别标记

维修标志、符号和技术数据清晰准确。铭牌的标志、符号及其颜色的含义是否符合有关文件规定。

4) 具有良好的互换性

采用标准化的设计和标准化的配制件，是否根据使用维修条件提供合理的使用容差，保证各可更换单元具有物理（结构、外形、材料）和功能上的互换性。

5) 具有良好的检测能力

各可更换单元是否具有自检测能力。无自检测装置的单元是否有适当的检测接口，实现对其进行迅速准确的原位检测。

6) 具有良好的维修安全性

是否有必要的安全措施，防止由于使用维修差错而伤害人员或损伤装备。在安装、操作、维修的技术文件资料中，凡与安全有关的维修，都应有注意事项。设备、设施有可能发生危险的部位，标有醒目的标记、符号和文字警告，以防止发生危及人员、设备安全的故事。

7) 具有良好的人素工程

维修工作条件是否符合人体的生理参数和能力，使操作者能在较好的环境条件下，以一种比较舒适的操作姿态进行维修工作。

8) 在每一维修级别上，是否应当综合 BIT、脱机自动测试、人工测试，以提供一个一致的完整的维修能力，提供自动化程度与维修水平的技能依=以及维修性和预防性维修要求一致。

6.4.5 维修性验证方法

维修性可与测试性同时进行，测试中得出的检测、隔离故障的时间应计入维修性试验的时间之中。单独进行时应专门记录。

6.4.6 参照标准

维修性评估与验证可参考 GB/T 9414.9-2017 或 GJB 2072 进行。

6.5 保障性

6.5.1 目的

验证储能锂离子电池簇（包）和管理系统的设计特性和计划的保障资源满足使用要求的能力及保障性水平指标是否达到任务书、合同、技术规范中规定的要求。

6.5.2 保障性指标

可用度：可用度的是指储能锂离子电池在任何需要执行任务时刻，处于可工作或可使用状态的程度。可用性的概率度量称为可用度。可用度是产品可靠性、维修性和综合保障水平的综合反映。储能锂离子电池保障性主要指：

1) 使用可用度：是表征储能锂离子电池效能计算的重要参数之一，又是储能完好性量化的根据，反映的是储能锂离子电池真实使用状况，即在长期运行的情况下储能锂离子电池处在正常状态的概率。

$$A_0 \geq 90\%$$

2) 备件利用率：为保证储能锂离子电池能快速维修所需的可更换单元等部件器材的品种和数量。

$$P_{UR} \geq 95\%$$

6.5.3 定量指标验证

$$1) A_0 = MTBMA + MTTR + MTTP + MTMLD$$

式中：

MTBMA：平均维修活动间隔时间

MTTR：平均修复时间

MTTP：预防性维修时间

MTMLD：平均管理和保障资源延误时间

$$2) P_{UR} = \frac{N_U}{n} \times 100\%$$

式中：

P_{UR} ：备件利用率

N_U ：实际使用的备件数

n ：拥有的备件数

6.5.4 定性评估

定性评估主要是对保障性资源的评估，以此保证资源是否达到规定的功能和性能要求。具体是指：确保保证资源与动力电池的匹配性、保障资源的协调性。

主要内容：

1) 人力和人员

评估人员配备的数量、专业、技术等级是否合适，是否符合合同要求。

2) 供应保障

评估备件和消耗品等的品种和数量的合理性，能否满足使用和维修要求。

3) 保障设备

验证保障设备的功能和性能是否满足要求，评价品种和数量的合理性，与储能锂离子电池系统的匹配性和有效性。

4) 训练和训练保障

评估训练的有效性以及训练装置的功能和数量是否满足训练要求和利用率。

5) 技术资料

评估技术资料对装备的使用和维修要求，其中包含：正确性、完整性、易理解性。检查对储能锂离子电池系统的设计更改是否已反映在技术资料中。

6) 保障设施

评估保障设施是否满足储能锂离子电池使用、维修、贮存要求

7) 包装、装卸、贮存、运输

评估储能锂离子电池能否经受包装、装卸、贮存、运输中各种环境条件下的安全性。

8) 计算机资源保障

评估用于保障计算机系统的硬件、软件、设施的使用性、文档的正确性和完整性。人员的数量和等级是否满足规定要求。

6.5.5 参照标准

保障性验证与评估可参考 GB/T 9414.9-2017 、 GJB 3872-1999 进行。

6.6 安全性

6.6.1 目的

验证储能锂离子电池安全性设计是否达到任务书、合同、技术规范中规定的要求。

安全性是指储能锂离子电池具有不发生灾难性事件，例如起火爆炸、导致人员伤亡、装备损坏、财产损失，或不危及人员健康和环境污染等意外事件的能力。

安全性与其它各特性一样，是通过设计赋予的，由生产实现的一种固有特性。是储能锂离子电池所有固有特性中最重要的一种质量特性。

6.6.2 安全性指标

安全性指标应根据：使用需求，寿命期剖面，技术基础，危险特性，可接受的风险水平，等综合分析权衡给出

1) 安全失效率

储能锂离子电池在规定条件下和规定时间内发生灾难性事件（例如：着火爆炸、人员伤亡、重大财产损失）的概率，即由设计引起的灾难性事故的概率（每小时）：

$$\lambda_p = \frac{1 \times 10^{-6}}{h}$$

2) 安全可靠度

锂离子电池在规定条件下和规定时间内不发生灾难性事件（例如：着火爆炸、人员伤亡、重大财产损失）的概率，即每小时的安全可靠度：

$$R_s = \frac{0.999999}{h}$$

3) 安全风险预警率（到可更换单元）：

锂离子电池本身能预警灾难性事件的能力，以“%”表示：

$$P_p = 99\%$$

6.6.3 安全性指标验证

对安全性指标的验证，由于灾难性事件是小概率事件，实验室验证的难度大，建议：

设计阶段：通过对设计的复核、技术评审进行；

使用阶段：通过对同一型号储能锂离子电池现场发生的灾难性事故数据的统计进行验证。其统计计算的数学模型为：

1) 安全失效率

$$\lambda_p = \frac{N_L}{N_T}$$

式中：

λ_p ：安全失效率

N_L ：灾难事故总数（循环寿命或日历寿命）；

N_T ：寿命单位（循环寿命或日历寿命）总次数。

2) 安全可靠度

$$R_S = \frac{N_W}{N_{T2}}$$

式中：

R_S ：安全可靠度

N_W ：不发生灾难事故的总数（循环寿命或日历寿命）

N_{T2} ：寿命单位总数（循环寿命或日历寿命）

3) 安全风险预警率

$$P_p = \frac{N_p}{N_A} \times 100\%$$

式中：

P_p ：预警率

N_p ：预警到灾难性事件的次数

N_A ：寿命期间发生的灾难性事件总次数（循环寿命或日历寿命）

6.6.4 抗恶劣环境的安全能力

组成储能锂离子电池系统的电池模块必须是已通过GB/T36276-2018《电力储能电池用锂离子电池》中5.3的安全性能相关试验（过充电、过放电、短路、挤压、跌落、热失控扩散）合格的产品；组成储能锂离子电池系统的电池簇（包）和管理系统必须是已通过GB/T 36276-2018《电力储能电池用锂离子电池》中5.4的安全性能相关试验（绝缘性能、耐压性能）合格的产品。

6.6.5 安全性定性评估

由于产品的安全性是一个小概率事件，所以产品的安全性要求一般都很高，如此高的要求，通过试验来验证几乎是不可能的。

安全性试验验证与评估，应与可靠性、测试性、维修性、保障性等综合考虑，目的是验证与评估关键性的硬件、软件和规程是否符合安全性要求。一般采用以下方法：

a) 工程分析法

工程分析法是对运输、贮存、使用过程中可能发生起火、爆炸等的定量设计、定性设计参数、定性设计准则、验证结果等进行分析、计算核实，以此进行安全性水平评估。其中包含：潜在能源设计、物质释放危险设计、隔离设计、故障安全设计、安全系数法、预警装置设计、标志设计、损伤抑制设计、逃逸、救生和营救设计、薄弱环节设计、残余风险可接受水平等。

b) 仿真法

利用仿真和虚拟技术，以此进行试验验证和评估。

c) 检查法

采用目视法和简单的测量，确定是否存在风险，以此进行安全性评估。检查时应列表形式进行，即首先设计出可能发生各种不安全要素的检查表，以此来识别和评价各种危险及相应的针对措施。

d) 评审法

组织相关有工程经验的专家通过评审，以此进行试验验证和评估。评审时注意：事故所能造成的损伤程度往往与储能锂离子电池中释放出来的未受控能量成比例，要参照相应的安全性历史资料进行审查。

e) 演示法

通过能检验安全功能系统的运行，例如按预设的故障和危险来检查：预警系统、故障检测显示系统、故障隔离系统是否能有效运行，潜在能源是否有抑制措施、绝缘物质是否不会易燃等，结论是通过与不通过。

f) 软件安全性

产品的安全性往往由于硬件、软件、人为差错所致。软件的安全性必须列为软件开发工作的一个重要部分。并加强对软件进行验证：

- 1) 要验证所有软件的安全性。可利用可追溯性矩阵使验证覆盖到所有软件；
- 2) 要验证关键软件在载荷、应力、硬件失效和操作员失误等多种条件下，是否都能正常运行；
- 3) 要验证其它非关键软件设计元素失效不会危及安全性关键功能的执行

g) 跟踪危险

在寿命周期年内，建立并非运行的危险跟踪系统：即建立危险清单、对每一危险、危险严重性及可能性、所采取的控制措施、验证方法及结论、危险消除和风险降低的措施及残余风险进行记录。

h) 安全性工作机构

是否建立了安全性常设机构，明确了职责，与外部机构（政府部门）的沟通机制。并以此对安全工作进行监督，参与安全性审查和使用阶段的安全保障。

6.6.6 参考标准

安全性验证与评估可参考：GJB/Z 99《系统安全工程手册》进行。

6.7 电磁兼容性

6.7.1 目的

验证储能锂离子电池满足电磁干扰和抗扰相关限值要求。

6.7.2 试验方法、程序及合格判据

- (1) 电磁干扰要求：

按照GB/T 18655-2018进行测试，满足辐射发射和传导发射等级三限值要求。

按照足GB/T 18387-2017进行测试，满足电磁场发射限值要求。

按照GB/T 21437.2-2008进行测试，满足瞬态传导发射 限值III要求。

(2) 电磁抗扰要求：

按照GB/T 33014.2-2016进行测试，强度100V/m，辐射抗扰度测试结果等级A要求。

按照GB/T 33014.4-2016进行测试， 强度100mA，大电流注入抗扰度测试结果等级A要求。

按照GB/T 21437.2-2008 进行测试，电源线瞬态抗扰度测试等级III要求。

按照GB/T 19951-2019进行测试， 静电放电试验符合接触放电和空气放电相关要求。

附录 A

(资料性附录)
测试性模拟故障示例

表 A.1 模拟故障示例

序号	故障内容	模拟方法	权重	识别及隔离情况	记分
1	BMU 通信中断	拔出任意一个 BMU 通信插头	2%		
2	BCU 通信中断	拔出任意一个 BCU 通信插头	2%		
3	BMS 与 EMS 通信中断	拔出 BMS 与 EMS 的通信插头	2%		
4	BMS 与 PCS 通信中断	拔出 BMS 与 PCS 的通信插头	2%		
5	EMS 与 PCS 通信中断	拔出 EMS 与 PCS 的通信插头	2%		
6	单体温度超高	使用工装模拟	3%		
7	单体温度超低	使用工装模拟	3%		
8	环境温度超高	使用工装模拟	3%		
9	环境温度超低	使用工装模拟	3%		
10	单体电压超高	使用工装模拟	3%		
11	单体电压超低	使用工装模拟	3%		
12	总电压超高	使用工装模拟	3%		
13	总电压超低	使用工装模拟	3%		
14	充电过流	使用工装模拟	3%		
15	放电过流	使用工装模拟	3%		
16	均衡故障	使用工装模拟	3%		
17	温差超限	使用工装模拟	3%		
18	压差超限	使用工装模拟	3%		
19	温度采集线损坏	模拟损坏	3%		
20	电压采集线损坏	模拟损坏	3%		
21	从控 BMU 损坏	用坏的 BMU 替换	5%		
22	主控 BCU 损坏	用坏的 BCU 替换	5%		
23	高压继电器故障	模拟高压继电器通断信号	5%		
24	断路器故障	模拟断路器分合闸信号	5%		
25	预充电路故障	模拟预充电路开路	3%		
26	干接点故障	模拟给出干接点信号	3%		

27	电池热失控	模拟电池热失控的电压、温度等条件	6%		
28	火灾（可燃性气体超标）	模拟火灾信号	8%		
29	死机-软件故障	模拟程序死机	3%		
30	管理系统 CAN 通信中断-软件故障	模拟管理系统 CAN 通信中断	2%		

附录 B

(资料性附录)
维修性模拟故障示例

表 B.1 维修性模拟故障示例

序号	故障内容	模拟维修方法	权重	维修时间	记分
1	BMU 通信中断	检查通信接口、通信线，更换	2%		
2	BCU 通信中断	检查通信接口、通信线，更换	2%		
3	BMS 与 EMS 通信中断	检查通信接口、通信线，更换	2%		
4	BMS 与 PCS 通信中断	检查通信接口、通信线，更换	2%		
5	EMS 与 PCS 通信中断	检查通信接口、通信线，更换	2%		
6	单体温度超高	隔离，更换电芯或模组	3%		
7	单体温度超低	停止充电或放电，检查加温设备	3%		
8	环境温度超高	检修空调	3%		
9	环境温度超低	检修空调或加热器	3%		
10	单体电压超高	隔离，更换电芯或模组	3%		
11	单体电压超低	隔离，更换电芯或模组	3%		
12	总电压超高	停止充电，检修充电部件	3%		
13	总电压超低	停止放电，检修放电部件	3%		
14	充电过流	限流或停止充电	3%		
15	放电过流	限流或停止放电	3%		
16	均衡故障	隔离，更换 BMU	3%		
17	温差超限	检修循环系统	3%		
18	压差超限	启用均衡	3%		
19	温度采集线损坏	更换或修复温度采集线	3%		
20	电压采集线损坏	更换或修复电压采集线	3%		
21	从控 BMU 损坏	更换从控 BMU	5%		
22	主控 BCU 损坏	更换主控 BCU	5%		
23	高压继电器故障	更换高压继电器	5%		
24	断路器故障	更换或检修断路器	5%		
25	预充电路故障	检修预充电路	3%		

26	干接点故障	模拟给出干接点信号	3%		
27	电池热失控	隔离, 灭火	6%		
28	火灾 (可燃性气体超标)	测试灭火设备	8%		
29	黑屏-软件故障	模拟-黑屏修复软件 BUG	3%		
30	死机-软件故障	模拟-死机	2%		