

ICS 27.180
CCS F 19



中华人民共和国国家标准

GB/T 44265—2024

电力储能电站 钠离子电池技术规范

Electrical energy storage power station—Technical specifications for sodium
ion battery

2024-08-23 发布

2025-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
4 编码	2
5 技术要求	4
6 试验方法	14
7 检验规则	50
8 标志、包装、运输和贮存	56
附录 A (资料性) 电池规格参数表	57
附录 B (规范性) 电池工作参数	66

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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电力储能标准化技术委员会(SAC/TC 550)归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、深圳市比亚迪锂电池有限公司坑梓分公司、华为数字能源技术有限公司、浙江华云清洁能源有限公司、惠州亿纬锂能股份有限公司、北京理工大学重庆创新中心、双登集团股份有限公司、浙江宇钠科技有限公司、东北电力大学、瑞浦兰钧能源股份有限公司。

本文件主要起草人：官亦标、沈进冉、叶永煌、江钰锋、张业正、许君杰、许文成、苏岳锋、杨宝峰、陈永红、于圣明、刘铖、张亦弛、曾忠、渠展展、刘小锋、郭翠静、杨金星、刘皓、董栋、刘家亮、祝媛、于冉、陈来、魏斌、蔡先玉、王金钻。

电力储能电站 钠离子电池技术规范

1 范围

本文件规定了电力储能用钠离子电池(简称“钠离子电池”)外观、尺寸和质量、电性能、环境适应性、耐久性能、安全等要求,描述了相应的试验方法,规定了编码、一般要求、正常工作环境、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容。

本文件适用于电力储能用钠离子电池的设计、制造、试验、检测、运行、维护和检修。

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 191 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 4857(所有部分) 包装 运输包装件

GB/T 5398 大型运输包装件试验方法

GB/T 16471 运输包装件尺寸与质量界限

GB/T 44026 预制舱式锂离子电池储能系统技术规范

DL/T 2528 电力储能基本术语

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

DL/T 2528 和 GB/T 44026 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

额定功率充放电循环次数 **rated power charging-discharging cycles**

规定条件下,电池以额定功率循环充放电时,充放电能量衰减至额定充放电能量时的循环次数保证值。

3.1.2

电池标称电压 **nominal voltage of battery**

标志或识别一种电池的电压值。

3.1.3

初始化充电 **initialized charging**

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。

3.1.4

初始化放电 **initialized discharging**

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。

3.1.5

倍率充放电 rate 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。

3.1.6

壳体 shell

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。

3.1.7

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。

3.1.8

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。

3.1.9

漏液 liquid leakage

电池内部液体泄漏到壳体外部的现象。

3.1.10

绝热温升 adiabatic temperature rise

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。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

E_{ic} :初始充电能量。

E_{id} :初始放电能量。

E_{rc} :额定充电能量。

E_{rd} :额定放电能量。

P_{rc} :额定充电功率。

P_{rd} :额定放电功率。

t :标称充电时间。

t' :标称放电时间。

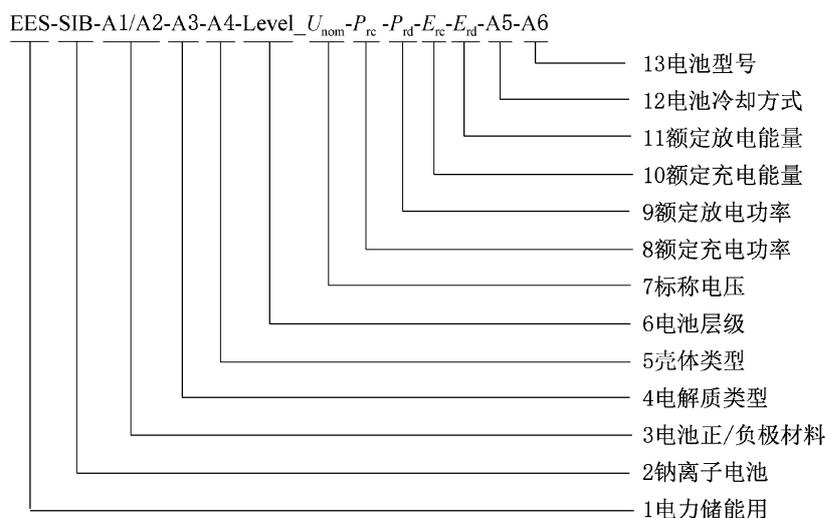
U_{nom} :标称电压。

w_{vd} :体积能量密度。

w_{gd} :质量能量密度。

4 编码

电力储能用钠离子电池编码规则见图 1。



标引序号说明：

- 1 ——“EES”表示电力储能用。
- 2 ——“SIB”表示钠离子电池。
- 3 ——A1 表示正极材料,包含:TMO—过渡金属氧化物类、POM—聚阴离子类、HCF—普鲁士蓝类、ORG—有机类、X—其他;A2 表示负极材料,包含:AC—无定型碳类、AM—合金类、ORG—有机类、X—其他。
- 4 ——A3 表示电解质类型,包含:L—液态、S—固态、SL—固液混合。
- 5 ——A4 表示壳体类型,仅适用于电池单体、电池模块、电池簇、直流舱不适用,包含:HS—硬壳方形、HC—硬壳圆柱、SP—软包、X—其他。
- 6 ——Level 表示电池层级,包含:Cell—电池单体、Module—电池模块、Cluster—电池簇、DC—直流舱。
- 7 —— U_{nom} 表示标称电压,由数值和单位组成。
- 8 —— P_{rc} 表示额定充电功率,由数值和单位组成。
- 9 —— P_{rd} 表示额定放电功率,由数值和单位组成。
- 10 —— E_{rc} 表示额定充电能量,由数值和单位组成。
- 11 —— E_{rd} 表示额定放电能量,由数值和单位组成。
- 12 ——A5 表示电池冷却方式,仅适用于电池模块、电池簇、直流舱,电池单体不适用,包含:AC—风冷、LC—液冷、ALC—风液组合、X—其他。
- 13 ——A6 表示电池型号,由 4~15 位字母、数字或符号组成。

图 1 电力储能用钠离子电池编码规则

示例 1:

电力储能用钠离子电池,以过渡金属氧化物为正极材料、无定型碳为负极材料、液态电解质的硬壳方形电池单体,标称电压 3.5 V,额定充电功率 80 W,额定放电功率 160 W,额定充电能量 320 Wh,额定放电能量 300 Wh,型号为 A1B2C3,编码为:EES-SIB-TMO/AC-L-HS-Cell_3.5 V-80 W-160 W-320 Wh-300 Wh-A1B2C3。

示例 2:

电力储能用钠离子电池,以聚阴离子为正极材料、合金为负极材料、固态电解质的硬壳圆柱形电池单体组成的风冷电池模块,标称电压 48 V,额定充电功率 1.5 kW,额定放电功率 3 kW,额定充电能量 6 kWh,额定放电能量 5.8 kWh,型号为 D1E2F3,编码为:EES-SIB-POM/AM-S-Module_48 V-1.5 kW-3 kW-6 kWh-5.8 kWh-AC-D1E2F3。

示例 3:

电力储能用钠离子电池,以锰基普鲁士蓝为正极材料、无定型碳为负极材料、固液混合电解质的软包电池单体组成的液冷电池簇,标称电压 650 V,额定充电功率 250 kW,额定放电功率 500 kW,额定充电能量 1 000 kWh,额定放电能量 950 kWh,型号为 G1H2I3,编码为:EES-SIB-HCF/AC-SL-Cluster_650 V-250 kW-500 kW-1 000 kWh-950 kWh-LC-G1H2I3。

示例 4:

电力储能用钠离子电池,以金属氧化物为正极材料、合金为负极材料、固态电解质的硬壳圆柱形电池单体组成的风冷直流舱,标称电压 1 000 V,额定充电功率 500 kW,额定放电功率 1 000 kW,额定充电能量 1 000 kWh,额定放电能量 1 000 kWh,型号为 J1K2L3,编码为:EES-SIB-TMO/AM-S-DC_1 000 V-500 kW-1 000 kW-1 000 kWh-1 000 kWh-AC-J1K2L3。

5 技术要求

5.1 一般要求

电池模块由满足本文件型式检验要求的同一编码的电池单体组成,电池簇由满足本文件型式检验要求的同一编码的电池模块组成,直流舱由满足本文件型式检验要求的同一编码的电池簇组成。

5.2 正常工作环境

正常工作环境应满足下列要求。

- a) 电池单体、电池模块、电池簇温度:5 °C~45 °C。
- b) 带电部位无凝露。
- c) 海拔高度:不大于 2 000 m;当大于 2 000 m 时,满足本文件中高海拔性能要求。
- d) 电池单体、电池模块、电池簇工作环境中不含有影响正常工作的沙尘及具有导电性、腐蚀性、爆炸性的颗粒和气体。

5.3 外观、尺寸和质量

5.3.1 电池单体

电池单体外观、尺寸和质量应满足下列要求:

- a) 外观无划痕、变形及破损,正负极无锈蚀,标识正确、清晰;
- b) 厚度绝对偏差 ≤ 2 mm,其他尺寸相对偏差 $\leq 1.0\%$;
- c) 质量相对偏差 $\leq 1.5\%$;
- d) 体积能量密度 \geq 体积能量密度标称值;
- e) 质量能量密度 \geq 质量能量密度标称值。

5.3.2 电池模块

电池模块外观、尺寸和质量应满足下列要求:

- a) 外观无变形及破损,结构完整,铭牌和标识正确、清晰;
- b) 外形尺寸绝对偏差满足表 1 的要求;
- c) 质量相对偏差 $\leq 1.5\%$;
- d) 体积能量密度 \geq 体积能量密度标称值;
- e) 质量能量密度 \geq 质量能量密度标称值。

表 1 外形尺寸绝对偏差要求

单位为毫米

外形尺寸 L	$L \leq 200$	$200 < L \leq 500$	$500 < L \leq 2\ 000$	$L > 2\ 000$
尺寸绝对偏差	2	5	10	15

5.3.3 电池簇

电池簇外观、尺寸应满足下列要求：

- a) 外观无变形及破损,结构完整,铭牌和标识正确、清晰;
- b) 尺寸绝对偏差满足表1的要求;
- c) 体积能量密度不小于体积能量密度标称值。

5.3.4 直流舱

直流舱外观、尺寸应满足下列要求：

- a) 外观完整、无变形、剥落、锈蚀及裂痕等现象;
- b) 舱门和开关操作灵活;
- c) 铭牌、标志、标记完整清晰;
- d) 尺寸绝对偏差满足表1的要求。

5.4 电性能

5.4.1 初始充放电性能

5.4.1.1 电池单体

电池单体在额定功率条件下初始充放电性能应满足下列要求：

- a) 初始充电能量不小于额定充电能量;
- b) 初始放电能量不小于额定放电能量;
- c) 5℃条件下初始充放电能量效率不小于83.0%;
- d) 25℃条件下初始充放电能量效率不小于93.0%;
- e) 45℃条件下初始充放电能量效率不小于93.0%;
- f) 25℃条件下初始充电能量极差不大于初始充电能量平均值的4.0%;
- g) 25℃条件下初始放电能量极差不大于初始放电能量平均值的4.0%。

5.4.1.2 电池模块

电池模块在额定功率条件下初始充放电性能应满足下列要求：

- a) 初始充电能量不小于额定充电能量;
- b) 初始放电能量不小于额定放电能量;
- c) 5℃条件下初始充放电能量效率不小于85.0%;
- d) 25℃条件下初始充放电能量效率不小于94.0%;
- e) 45℃条件下初始充放电能量效率不小于94.0%;
- f) 25℃条件下初始充电能量极差不大于初始充电能量平均值的4.5%;
- g) 25℃条件下初始放电能量极差不大于初始放电能量平均值的4.5%。

5.4.1.3 电池簇

电池簇在额定功率条件下初始充放电性能应满足下列要求：

- a) 初始充电能量不小于额定充电能量;
- b) 初始放电能量不小于额定放电能量;
- c) 初始充放电能量效率不小于95.0%;

- d) 充电结束时电池单体电压极差不大于 250 mV；
- e) 放电结束时电池单体电压极差不大于 300 mV；
- f) 充电结束时电池单体温度极差不大于 6 ℃；
- g) 放电结束时电池单体温度极差不大于 6 ℃；
- h) 充电结束时电池模块电压极差不大于电池模块标称电压的 5.0%；
- i) 放电结束时电池模块电压极差不大于电池模块标称电压的 5.0%。

5.4.1.4 直流舱

直流舱在额定功率条件下初始充放电性能应满足下列要求：

- a) 初始充电能量不小于额定充电能量；
- b) 初始放电能量不小于额定放电能量；
- c) 初始充放电能量效率不小于 90.0%；
- d) 充电结束时任一电池簇内电池单体电压极差均不大于 250 mV；
- e) 放电结束时任一电池簇内电池单体电压极差均不大于 300 mV；
- f) 充电结束时任一电池簇内电池单体温度极差均不大于 6 ℃；
- g) 放电结束时任一电池簇内电池单体温度极差均不大于 6 ℃；
- h) 充电结束时任一电池簇内电池模块电压极差均不大于电池模块标称电压的 5.0%；
- i) 放电结束时任一电池簇内电池模块电压极差均不大于电池模块标称电压的 5.0%。

5.4.2 功率特性

5.4.2.1 电池单体

电池单体功率特性应满足下列要求：

- a) 不同充放电功率下充电能量不小于额定充电能量；
- b) 不同充放电功率下放电能量不小于额定放电能量；
- c) 不同充放电功率下能量效率不小于 93.0%。

5.4.2.2 电池模块

电池模块功率特性应满足下列要求：

- a) 不同充放电功率下充电能量不小于额定充电能量；
- b) 不同充放电功率下放电能量不小于额定放电能量；
- c) 不同充放电功率下能量效率不小于 94.0%。

5.4.3 倍率充放电性能

5.4.3.1 电池单体

电池单体倍率充放电性能应满足下列要求：

- a) $2P_{rc}$ 充电能量相对于 P_{rc} 充电能量的能量保持率不小于 95.0%；
- b) $2P_{rd}$ 放电能量相对于 P_{rd} 放电能量的能量保持率不小于 95.0%；
- c) $2P_{rc}$ 、 $2P_{rd}$ 恒功率充放电能量效率不小于 90.0%。

5.4.3.2 电池模块

电池模块倍率充放电性能应满足下列要求：

- a) $2P_{rc}$ 充电能量相对于 P_{rc} 充电能量的能量保持率不小于 98.5%；
- b) $2P_{rd}$ 放电能量相对于 P_{rd} 放电能量的能量保持率不小于 97.5%；
- c) $2P_{rc}$ 、 $2P_{rd}$ 恒功率充放电能量效率不小于 90.0%。

5.4.4 能量保持与能量恢复能力

5.4.4.1 电池单体

电池单体在 100% 能量状态下静置 30 d 后能量保持与能量恢复能力应满足下列要求：

- a) 能量保持率不小于 95.0%；
- b) 充电能量恢复率不小于 95.0%；
- c) 放电能量恢复率不小于 95.0%。

5.4.4.2 电池模块

电池模块在 100% 能量状态下静置 30 d 后能量保持与能量恢复能力应满足下列要求：

- a) 能量保持率不小于 95.0%；
- b) 充电能量恢复率不小于 95.0%；
- c) 放电能量恢复率不小于 95.0%。

5.5 环境适应性

5.5.1 高温适应性

5.5.1.1 电池单体

电池单体从高温环境恢复至室温后充放电性能应满足下列要求：

- a) 充电能量不小于额定充电能量；
- b) 放电能量不小于额定放电能量；
- c) 能量效率不小于 93.0%。

5.5.1.2 电池模块

电池模块从高温环境恢复至室温后充放电性能应满足下列要求：

- a) 充电能量不小于额定充电能量；
- b) 放电能量不小于额定放电能量；
- c) 能量效率不小于 94.0%。

5.5.1.3 直流舱

直流舱在额定功率条件下高温适应性应满足下列要求：

- a) 充电能量不小于额定充电能量；
- b) 放电能量不小于额定放电能量；
- c) 能量效率不小于 85.0%。

5.5.2 低温适应性

5.5.2.1 电池单体

电池单体从低温环境恢复至室温后充放电性能应满足下列要求：

- a) 充电能量不小于额定充电能量；
- b) 放电能量不小于额定放电能量；
- c) 能量效率不小于 93.0%。

5.5.2.2 电池模块

电池模块从低温环境恢复至室温后充放电性能应满足下列要求：

- a) 充电能量不小于额定充电能量；
- b) 放电能量不小于额定放电能量；
- c) 能量效率不小于 94.0%。

5.5.2.3 直流舱

直流舱在额定功率条件下低温适应性应满足下列要求：

- a) 充电能量不小于额定充电能量；
- b) 放电能量不小于额定放电能量；
- c) 能量效率不小于 85.0%。

5.5.3 高海拔初始充放电性能

高海拔环境下,电池单体在额定功率条件下初始充放电性能应满足下列要求：

- a) 初始充电能量不小于额定充电能量；
- b) 初始放电能量不小于额定放电能量；
- c) 能量效率不小于 93.0%。

5.6 耐久性能

5.6.1 贮存性能

5.6.1.1 电池单体

电池单体在 50% 能量状态下贮存 30 d 后应满足下列要求：

- a) 充电能量恢复率不小于 96.5%；
- b) 放电能量恢复率不小于 96.5%。

5.6.1.2 电池模块

电池模块在 50% 能量状态下贮存 30 d 后应满足下列要求：

- a) 充电能量恢复率不小于 97.0%；
- b) 放电能量恢复率不小于 97.0%。

5.6.2 循环性能

5.6.2.1 电池单体

电池单体在额定功率条件下循环性能应满足下列要求：

- a) 单次循环充电能量损失平均值不大于基于额定充电能量的单次循环充电能量损失平均值；
- b) 单次循环放电能量损失平均值不大于基于额定放电能量的单次循环放电能量损失平均值；

- c) 所有充放电循环能量效率之间的极差不大于 2%。

5.6.2.2 电池模块

电池模块在额定功率条件下循环性能应满足下列要求：

- a) 单次循环充电能量损失平均值不大于基于额定充电能量的单次循环充电能量损失平均值；
- b) 单次循环放电能量损失平均值不大于基于额定放电能量的单次循环放电能量损失平均值；
- c) 所有充放电循环能量效率之间的极差不大于 2%；
- d) 循环充放电过程中,充电结束时电池单体电压极差平均值不大于 250 mV；
- e) 循环充放电过程中,放电结束时电池单体电压极差平均值不大于 350 mV。

5.7 安全

5.7.1 电气安全

5.7.1.1 过充电

5.7.1.1.1 电池单体

电池单体初始化充电后以 P_{rc}/U_{nom} 恒流充电至电压达到其充电截止电压的 1.5 倍或时间达到 1 h,不应起火、不应爆炸、不应在防爆阀或泄压点之外的位置发生破裂。

5.7.1.1.2 电池模块

电池模块初始化充电后以 P_{rc}/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,不应起火、不应爆炸。

5.7.1.2 过放电

5.7.1.2.1 电池单体

电池单体初始化放电后以 P_{rd}/U_{nom} 恒流放电至电压达到 0 V 或时间达到 1 h,不应漏液、不应冒烟、不应起火、不应爆炸、不应在防爆阀或泄压点之外的位置发生破裂。

5.7.1.2.2 电池模块

电池模块初始化放电后以 P_{rd}/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,不应漏液、不应冒烟、不应起火、不应爆炸。

5.7.1.3 过载

5.7.1.3.1 电池单体

电池单体在 $4P_{rc}$ 、 $4P_{rd}$ 条件下充放电,不应漏液、不应冒烟、不应起火、不应爆炸、不应在防爆阀或泄压点之外的位置发生破裂。

5.7.1.3.2 电池模块

电池模块在 $4P_{rc}$ 、 $4P_{rd}$ 条件下充放电,不应漏液、不应冒烟、不应起火、不应爆炸。

5.7.1.4 短路

5.7.1.4.1 电池单体

电池单体初始化充电后以 1 mΩ 外部线路短路 10 min, 不应起火、不应爆炸、不应在防爆阀或泄压点之外的位置发生破裂。

5.7.1.4.2 电池模块

电池模块初始化充电后以 1 mΩ 外部线路短路 10 min 或以 30 mΩ 外部线路短路 30 min, 均不应起火、不应爆炸。

5.7.1.5 绝缘

5.7.1.5.1 电池模块

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的试验电压应满足表 2 的要求, 绝缘电阻与标称电压的比值均不应小于 1 000 Ω/V。

表 2 绝缘电阻试验电压要求

试验样品充电截止电压(U) V	试验电压 V
$U < 500$	500
$500 \leq U \leq 1\,000$	1\,000
$1\,000 < U \leq 2\,500$	2\,500
$2\,500 < U \leq 5\,000$	5\,000

5.7.1.5.2 电池簇

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的试验电压应满足表 2 的要求, 绝缘电阻与标称电压的比值均不应小于 1 000 Ω/V。

5.7.1.5.3 直流舱

直流舱绝缘应满足下列要求:

- a) 直流舱的直流端口正极与直流舱体保护接地极之间、直流端口负极与直流舱体保护接地极之间施加的试验电压应满足表 2 的要求, 绝缘电阻与标称电压的比值均不小于 1 000 Ω/V;
- b) 辅助供电端口与直流舱体保护接地极之间施加的试验电压应满足表 2 的要求, 绝缘电阻不小于 1 MΩ。

5.7.1.6 耐压

5.7.1.6.1 电池模块

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的试验电压应满足表 3 的要求, 不应发生击穿或闪络现象, 直流耐压漏电流应小于 10 mA。

表 3 耐压试验电压要求

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
$U \leq 60$	1 760	1 240
$60 < U \leq 300$	2 000	1 410
$300 < U \leq 690$	2 390	1 690
$690 < U \leq 800$	2 500	1 770
$800 < U \leq 1\ 000$	2 700	1 910
$1\ 000 < U \leq 1\ 500$	3 200	2 260
$1\ 500 < U \leq 2\ 000$	5 517	3 913
$2\ 000 < U \leq 2\ 500$	6 787	4 813
$2\ 500 < U \leq 3\ 000$	8 056	5 714
$3\ 000 < U \leq 3\ 500$	9 326	6 614
$3\ 500 < U \leq 4\ 000$	10 595	7 514
$4\ 000 < U \leq 4\ 500$	11 865	8 415
$4\ 500 < U \leq 5\ 000$	13 134	9 315

5.7.1.6.2 电池簇

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的试验电压应满足表 3 的要求,不应发生击穿或闪络现象,直流耐压漏电流应小于 10 mA。

5.7.1.6.3 直流舱

直流舱耐压应满足下列要求:

- 直流舱直流端口正极与直流舱体保护接地极之间、直流端口负极与直流舱体保护接地极之间施加的试验电压应满足表 3 的要求,不应发生击穿或闪络现象,直流耐压漏电流小于 10 mA;
- 直流舱辅助供电端口与直流舱体保护接地极之间施加的试验电压应满足表 4 的要求,不应发生击穿或闪络现象,直流耐压漏电流小于 10 mA。

表 4 直流舱辅助供电系统耐压试验电压要求

辅助供电系统端口 电压(U) V	基本绝缘电路		双重绝缘或加强绝缘电路	
	交流电压有效值 V	直流电压 V	交流电压有效值 V	直流电压 V
$U \leq 50$	1 250	1 770	2 500	3 540
$50 < U \leq 100$	1 300	1 840	1 600	3 680
$100 < U \leq 150$	1 350	1 910	2 700	3 820
$150 < U \leq 300$	1 500	2 120	3 000	4 240
$300 < U \leq 600$	1 800	2 550	3 600	5 090
$600 < U \leq 1\ 000$	2 200	3 110	4 400	6 220

5.7.2 机械安全

5.7.2.1 挤压

5.7.2.1.1 电池单体

电池单体初始化充电后在 50 kN 的挤压力下保持 10 min,不应漏液、不应冒烟、不应起火、不应爆炸、不应在防爆阀或泄压点之外的位置发生破裂。

5.7.2.1.2 电池模块

电池模块初始化充电后在 50 kN 的挤压力下保持 10 min,不应漏液、不应冒烟、不应起火、不应爆炸。

5.7.2.2 跌落

5.7.2.2.1 电池单体

电池单体初始化充电后由 1.5 m 高度处自由跌落到水泥地面,不应冒烟、不应起火、不应爆炸、不应在防爆阀或泄压点之外的位置发生破裂。

5.7.2.2.2 电池模块

电池模块初始化充电后由 2 m 高度处自由跌落到水泥地面,不应起火、不应爆炸。

5.7.2.3 振动

电池模块初始化充电后在 X、Y、Z 三个方向随机振动,不应漏液、不应冒烟、不应起火、不应爆炸,绝缘应满足 5.7.1.5.1 的要求,耐压应满足 5.7.1.6.1 的要求。

5.7.2.4 液冷管路耐压

5.7.2.4.1 电池模块

电池模块液冷管路内压强在达到最大工作压强的 1.5 倍时静置 10 min,管路不应变形、不应破裂。

5.7.2.4.2 电池簇

电池簇液冷管路内压强在达到最大工作压强的 1.5 倍时静置 10 min,管路不应变形、不应破裂。

5.7.2.4.3 直流舱

直流舱液冷管路内压强在达到最大工作压强的 1.5 倍时静置 10 min,管路不应变形、不应破裂。

5.7.3 环境安全

5.7.3.1 盐雾

电池模块初始化充电后经喷雾-贮存循环,外壳不应破裂、不应漏液、不应起火、不应爆炸,绝缘应满足 5.7.1.5.1 的要求,耐压应满足 5.7.1.6.1 的要求。

5.7.3.2 交变湿热

电池模块初始化充电后经交变湿热循环,外壳不应破裂、不应漏液、不应起火、不应爆炸,绝缘应满

足 5.7.1.5.1 的要求,耐压应满足 5.7.1.6.1 的要求。

5.7.3.3 高海拔绝缘

5.7.3.3.1 电池模块

高海拔环境下,电池模块绝缘应满足 5.7.1.5.1 的要求。

5.7.3.3.2 电池簇

高海拔环境下,电池簇绝缘应满足 5.7.1.5.2 的要求。

5.7.3.3.3 直流舱

高海拔环境下,直流舱绝缘应满足 5.7.1.5.3 的要求。

5.7.3.4 高海拔耐压

5.7.3.4.1 电池模块

高海拔环境下,电池模块耐压应满足 5.7.1.6.1 的要求。

5.7.3.4.2 电池簇

高海拔环境下,电池簇耐压应满足 5.7.1.6.2 的要求。

5.7.3.4.3 直流舱

高海拔环境下,直流舱耐压应满足 5.7.1.6.3 的要求。

5.7.4 热安全

5.7.4.1 绝热温升特性

电池单体绝热温升特性应满足下列要求:

- a) 表面温度不大于电池单体高温一级报警温度时,温升速率小于 $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$;
- b) 不应起火、不应爆炸、不应在防爆阀或泄压点之外的位置发生破裂。

5.7.4.2 热失控

电池单体在全寿命周期内,热失控时表面温度应大于 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$,热失控后不应起火、不应爆炸、不应在防爆阀或泄压点之外的位置发生破裂。

5.7.4.3 热失控扩散

5.7.4.3.1 电池模块

电池模块内任一电池单体温度升高后,不应触发其他电池单体发生热失控,不应起火、不应爆炸,绝缘应满足 5.7.1.5.1 的要求。

5.7.4.3.2 直流舱

直流舱内任一电池单体发生热失控后,不应触发其他电池模块发生热失控,不应起火、不应爆炸,电池模块绝缘应满足 5.7.1.5.1 的要求。

5.7.5 报警和保护功能

5.7.5.1 电池簇

电池簇运行过程中电压、电流、温度、电压极差、温度极差、绝缘电阻等参数达到报警值时,应发出报警信号并执行相应保护动作。

5.7.5.2 直流舱

直流舱报警和保护应满足下列要求:

- 具备电池电压越限、电压极差越限、簇电流越限、温度越限、簇内电池单体温度极差越限、绝缘电阻越限、通信异常等报警和保护功能;
- 具备在短路、起火等紧急情况下快速断开直流回路的保护功能;
- 具备热管理系统异常报警和保护功能;
- 具备可燃气体浓度越限及火灾报警和保护功能,火灾报警采用声、光等提示方式。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 试验环境

除另有规定外,试验应在温度 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\leq 80\%$ 、大气压为 $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 的环境中进行。

6.1.2 试验设备

6.1.2.1 测量仪器

测量仪器主要技术指标应满足表 5 的要求。

表 5 测量仪器主要技术指标要求

测量仪器	参数类型	参数范围	精度
量具	尺寸(L) mm	$0 < L < 5$	± 0.02
		$5 \leq L \leq 1\ 000$	± 0.07
		$L > 1\ 000$	± 0.2
衡器	质量(m) kg	$0 < m < 3$	$\pm 1 \times 10^{-4}$
		$3 \leq m \leq 6$	$\pm 2 \times 10^{-4}$
		$6 < m \leq 15$	$\pm 5 \times 10^{-4}$
		$15 < m \leq 300$	± 0.02
		$m > 300$	± 0.2
温度计	环境温度(T) $^{\circ}\text{C}$	$-20 \leq T \leq 40$	± 0.5
湿度计	环境相对湿度(RH) %	$0 \leq \text{RH} \leq 100$	± 2

6.1.2.2 充放电装置

充放电装置主要技术指标应满足表 6 的要求。

表 6 充放电装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
充放电装置	电压(U) V	—	满量程(F.S.)的 $\pm 0.1\%$
	电流(I) A	—	$\pm 0.1\%$ F.S.
	功率(P) W	—	$\pm 0.1\%$ F.S.
	温度(T) $^{\circ}\text{C}$	$-40 \leq T \leq 150$	± 1
	时间(t) s	—	± 0.1

6.1.2.3 环境模拟装置

环境模拟装置主要技术指标应满足表 7 的要求。

表 7 环境模拟装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
环境模拟装置	温度(T) $^{\circ}\text{C}$	$-40 \leq T \leq 100$	± 2
	温度波动度(T_f) ^a $^{\circ}\text{C}$	—	± 1
	温度波动度(T_f) ^b $^{\circ}\text{C}$		± 2
	温度均匀度(T_u) $^{\circ}\text{C}$	—	≤ 2
	环境相对湿度(RH) %	$10 \leq \text{RH} \leq 98$	± 3
^a 容积 $< 100 \text{ m}^3$ 。 ^b 容积 $\geq 100 \text{ m}^3$ 。			

6.1.2.4 绝热模拟装置

绝热模拟装置主要技术指标应满足表 8 的要求。

表 8 绝热模拟装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
绝热模拟装置	温度(T) ℃	$20 \leq T \leq 300$	± 2
	温度波动度(T_f) ℃	$20 \leq T_f \leq 150$	± 0.05
		$150 < T_f \leq 300$	± 0.08
	时间(t) s	—	± 0.1

6.1.2.5 绝缘耐压试验装置

绝缘耐压试验装置主要技术指标应满足表 9 的要求。

表 9 绝缘耐压试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
绝缘耐压试验装置	电压(U) V	$0.5 \leq U \leq 6\,000$	$\pm 2\% \text{ F.S.}$
	绝缘电阻(R_i) M Ω	$50 \leq R_i < 1\,000$	$\pm (2\% \text{ rdg} + 0.02)$
		$1\,000 \leq R_i < 1.0 \times 10^4$	$\pm (5\% \text{ rdg} + 0.2)$
		$1.0 \times 10^4 \leq R_i < 5.0 \times 10^4$	$\pm (15\% \text{ rdg} + 2)$
	时间(t) s	—	± 0.1

6.1.2.6 短路试验装置

短路试验装置主要技术指标应满足表 10 的要求。

表 10 短路试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
短路试验装置	外部线路电阻(R) m Ω	$0 < R \leq 10$	± 0.2
		$10 < R \leq 50$	± 3
	电压(U) V	$0 \leq U \leq 1\,000$	± 0.1
		$U > 1\,000$	± 0.5
	电流(I) A	$0 \leq I \leq 16\,000$	$\pm 1\% \text{ F.S.}$
		$I > 16\,000$	$\pm 2\% \text{ F.S.}$
	时间(t) s	—	± 0.1
	温度(T) ℃	$0 \leq T \leq 1\,000$	± 2

6.1.2.7 挤压试验装置

挤压试验装置主要技术指标应满足表 11 的要求。

表 11 挤压试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
挤压试验装置	挤压速度(v) mm/s	$1 \leq v \leq 6$	± 0.5
	挤压力(F) kN	$0 \leq F \leq 100$	$\pm 1.0\%$ F.S
	电压(U) V	$0 \leq U \leq 1\ 000$	± 0.1
		$U > 1\ 000$	± 0.5
	时间(t) s	—	± 0.1
温度(T) $^{\circ}\text{C}$	$0 \leq T \leq 1\ 000$	± 2	

6.1.2.8 跌落试验装置

跌落试验装置主要技术指标应满足表 12 的要求。

表 12 跌落试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
跌落试验装置	高度(h) mm	—	± 1

6.1.2.9 振动试验装置

振动试验装置主要技术指标应满足表 13 的要求。

表 13 振动试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
振动试验装置	频率(f) Hz	$f < 100$	± 0.5
		$f \geq 100$	$\pm 0.5\%$
	随机加速度功率谱密度值控制精度 dB	—	± 3

6.1.2.10 气体增压试验装置

气体增压试验装置主要技术指标应满足表 14 的要求。

表 14 气体增压试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
气体增压试验装置	气压(p) kPa	$10 \leq p \leq 800$	$\pm 0.5\%$ F.S.
	时间(t) s	—	± 0.1

6.1.2.11 低气压试验装置

低气压试验装置主要技术指标应满足表 15 的要求。

表 15 低气压试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
低气压试验装置	气压(p) kPa	$40 \leq p \leq 101$	± 2
	温度(T) ℃	$0 \leq T \leq 100$	± 2
	时间(t) s	—	± 0.1

6.1.2.12 盐雾试验装置

盐雾试验装置主要技术指标应满足表 16 的要求。

表 16 盐雾试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
盐雾试验装置	温度(T) ℃	$25 \leq T \leq 60$	± 2
	相对湿度(RH) %	$10 \leq RH \leq 98$	± 3
	喷雾量(u) mL/(80 cm ² ·h)	$1 \leq u \leq 2$	—
	时间(t) s	—	± 0.1

6.1.2.13 热失控试验装置

热失控试验装置主要技术指标应满足表 17 的要求。

表 17 热失控试验装置主要技术指标要求

试验设备	参数类型	参数范围	精度
热失控试验装置	温度(T) ℃	$0 \leq T \leq 1\,000$	± 2
	时间(t) s	—	± 0.1

6.2 试验准备

6.2.1 试验样品准备

试验样品准备应满足下列要求：

- 样品数量满足检验规则要求；
- 提供电池规格参数表,详细信息见附录 A 的表 A.1、表 A.2、表 A.3、表 A.4；
- 提供电池单体防爆阀或泄压点位置的书面说明文件；
- 电池单体试验过程中,除外观、尺寸和质量、高温适应性、低温适应性、贮存性能、挤压性能、跌落性能及绝热温升特性检验项目外,其他检验项目可选择使用实心钢或铝材质的夹具；
- 通过外部连接件与试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；
- 试验前针对试验样品的安全风险编制试验方案,制定安全防护措施,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试验样品对应所有检验项目。

6.2.2 试验线路连接

6.2.2.1 电池单体

除另有规定外,电池单体试验线路连接应符合下列规定：

- 根据试验温度、湿度以及电池单体尺寸、电压、功率等参数选择试验设备；
- 电池单体正负极与试验设备通过输入输出线缆连接,形成电流回路；
- 电池单体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；
- 电池单体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,对不使用夹具的检验项目,电池单体的温度采样点为电池单体表面面积较大的平面中心位置,对使用夹具的检验项目,电池单体的温度采样点为电池单体侧面中心位置。

6.2.2.2 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：

- 根据试验温度、湿度以及电池模块尺寸、电压、功率等参数选择试验设备；
- 电池模块正负极与试验设备通过输入输出线缆连接,形成电流回路；
- 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；
- 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；

- e) 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,外观、尺寸和质量、高温适应性试验、低温适应性试验、贮存性能试验、液冷管路耐压试验前放空冷却液,其他试验项目试验前注满冷却液并断开液冷系统。

6.2.2.3 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集线连接,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集线连接,形成温度数据采集回路。

6.2.2.4 直流舱

除另有规定外,直流舱试验线路连接应符合下列规定:

- a) 根据试验温度、湿度以及直流舱尺寸、电压、功率等参数选择试验设备;
- b) 直流舱主回路的输入输出端口正负极与试验设备通过输入输出线缆连接,热管理系统、消防系统等辅助系统与辅助供电系统的输入输出端口连接,形成电流回路;
- c) 数据采集装置与直流舱主回路和辅助供电系统的输入输出端口连接,采集记录电流、电压、充放电能量、辅助用电能量;
- d) 试验设备与直流舱的电池管理系统通过通信线连接,采集记录电池单体、电池模块、电池簇的电压、温度,形成数据采集和控制保护回路。

6.2.3 试验参数设定

电池试验参数设定应满足下列要求:

- a) 试验参数设定值满足附录 B 中表 B.1 的要求;
- b) 电池单体、电池模块、电池簇和直流舱的工作参数值唯一,且与电池实际使用时的工作参数值一致;
- c) 除另有规定外,电池单体和电池模块的电性能、环境适应性及耐久性能试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;
- d) 除另有规定外,电池簇的电性能、直流舱的电性能和环境适应性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、电池簇充放电电压极差二级报警值、电池簇充放电电压极差二级报警值、电池簇充放电电压极差二级报警值作为试验保护设定值。

6.2.4 初始化充放电

6.2.4.1 初始化充电

6.2.4.1.1 电池单体

电池单体初始化充电按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.2.1 的要求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)°C下静置 5 h；
- d) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- e) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- f) 初始化充电结束。

6.2.4.1.2 电池模块

电池模块初始化充电按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.2.2 的要求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)°C下静置 5 h；
- d) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- e) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- f) 初始化充电结束。

6.2.4.1.3 电池簇

电池簇初始化充电按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.2.3 的要求将试验样品与充放电装置连接；
- b) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池簇放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、电流、温度、电池模块电压极差、电池单体电压极差、电池单体温度极差、放电能量；
- c) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池簇充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、电流、温度、电池模块电压极差、电池单体电压极差、电池单体温度极差、充电能量；
- d) 初始化充电结束。

6.2.4.1.4 直流舱

直流舱初始化充电按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.2.4 的要求将直流舱与充放电装置连接,开启热管理系统、电池管理系统及消防系统,闭合开关 S；
- b) 以 P_{rd} 恒功率放电至直流舱放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、放电能量、辅助供电系统能量；
- c) 以 P_{rc} 恒功率充电至直流舱充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、充电能量、辅助供电系统能量。
- d) 初始化充电结束。

注：对于辅助能耗由自身供应的直流舱,辅助供电系统能量记为 0。

6.2.4.2 初始化放电

6.2.4.2.1 电池单体

电池单体初始化放电按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.2.1 的要求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) 在(25±2)℃下静置 5 h；
- d) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- e) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- f) 初始化放电结束。

6.2.4.2.2 电池模块

电池模块初始化放电按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.2.2 的要求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) 在(25±2)℃下静置 5 h；
- d) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- e) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- f) 初始化放电结束。

6.2.4.2.3 电池簇

电池簇初始化放电按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.2.3 的要求将试验样品与充放电装置连接；
- b) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池簇充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、电流、温度、电池模块电压极差、电池单体电压极差、电池单体温度极差、充电能量；
- c) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池簇放电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、电流、温度、电池模块电压极差、电池单体电压极差、电池单体温度极差、放电能量；
- d) 初始化放电结束。

6.2.4.2.4 直流舱

直流舱初始化放电按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.2.4 的要求将直流舱与充放电装置连接，开启热管理系统、电池管理系统及消防系统，闭合开关 S；
- b) 以 P_{rc} 恒功率充电至直流舱充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、充电能量、辅助供电系统能量；
- c) 以 P_{rd} 恒功率放电至直流舱放电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温

度极差、放电能量、辅助供电系统能量；

d) 初始化放电结束。

注：对于辅助能耗由自身供应的直流舱，辅助供电系统能量记为0。

6.2.5 试验数据记录

试验数据记录应满足下列要求：

a) 除另有规定外，数据采样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%；

b) 检测报告内容详实准确，包含电池规格参数表和试验数据记录表。

6.3 外观、尺寸和质量检验

6.3.1 电池单体

电池单体外观、尺寸和质量检验按照下列步骤进行。

a) 在良好的光线条件下，目测检验电池单体的外观，记录检验结果，包括划痕、变形及破损、正负极锈蚀、标识。

b) 用量具测量电池单体投影对应部位的最大尺寸，测量范围包含极柱但不包含软包电池的极耳，记录测量结果。

c) 用衡器测量电池单体的质量，记录测量结果。

d) 计算每个试验样品的厚度绝对偏差，见公式(1)：

$$t_a = |t_m - t_n| \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

t_a ——厚度绝对偏差；

t_m ——厚度测量值；

t_n ——厚度标称值。

e) 计算每个试验样品的其他尺寸相对偏差，见公式(2)：

$$L_r = |L_m - L_n| / L_n \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

L_r ——其他尺寸相对偏差；

L_m ——其他尺寸测量值；

L_n ——其他尺寸标称值。

f) 计算每个试验样品的体积。

g) 计算每个试验样品的体积能量密度，见公式(3)：

$$w_{vd} = E_{rd} / v_m \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

w_{vd} ——体积能量密度；

E_{rd} ——额定放电能量；

v_m ——体积。

h) 计算每个试验样品的质量相对偏差，见公式(4)：

$$m_r = |m_m - m_n| / m_n \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

m_r ——质量相对偏差；

m_m ——质量测量值；

m_n ——质量标称值。

- i) 计算每个试验样品的质量能量密度,见公式(5):

$$w_{gd} = E_{rd}/m_m \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- w_{gd} ——质量能量密度;
- E_{rd} ——额定放电能量;
- m_m ——质量测量值。

- j) 计算所有试验样品的体积能量密度平均值以及质量能量密度平均值。

6.3.2 电池模块

电池模块外观、尺寸和质量检验按照下列步骤进行。

- a) 在良好的光线条件下,目测检验电池模块的外观,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。
- d) 计算每个试验样品各维度的尺寸绝对偏差,见公式(6):

$$L_a = |L_m - L_n| \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- L_a ——尺寸绝对偏差;
- L_m ——尺寸测量值;
- L_n ——尺寸标称值。

- e) 计算每个试验样品的体积。
- f) 计算每个试验样品的体积能量密度,见公式(3)。
- g) 计算每个试验样品的质量相对偏差,见公式(4)。
- h) 计算每个试验样品的质量能量密度,见公式(5)。
- i) 计算所有试验样品的体积能量密度平均值以及质量能量密度平均值。

6.3.3 电池簇

电池簇外观、尺寸检验按照下列步骤进行:

- a) 在良好的光线条件下,用目测法检验电池簇的外观,记录检验结果;
- 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;
- c) 计算试验样品各维度的尺寸绝对偏差,见公式(6);
- d) 计算试验样品的体积能量密度,见公式(3)。

6.3.4 直流舱

直流舱外观、尺寸检验按照下列步骤进行:

- a) 检查外观的形变、剥落、锈蚀及裂痕现象;
- b) 检查柜门、开关的灵活性;
- c) 检查铭牌、标志和标记的完整性和清晰度;
- d) 用量具测量直流舱投影对应部位的最大尺寸,记录测量结果;
- e) 计算试验样品各维度的尺寸绝对偏差,见公式(6)。

6.4 电性能试验

6.4.1 初始充放电性能试验

6.4.1.1 25℃初始充放电性能试验

6.4.1.1.1 电池单体

电池单体 25℃初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.2.1 进行电池单体初始化放电；
- b) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、初始充电能量；
- c) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件，记录功率、时间、电压、温度、初始放电能量；
- d) 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；
- e) 重复步骤 a)~d) 至所有试验样品完成试验；
- f) 以步骤 b) 的初始充电能量和步骤 c) 的初始放电能量计算每个试验样品初始充放电能量效率；计算所有试验样品的初始充电能量平均值、初始放电能量平均值、初始充放电能量效率平均值、初始充电能量极差、初始放电能量极差；计算初始充电能量极差与初始充电能量平均值的百分比、初始放电能量极差与初始放电能量平均值的百分比。

6.4.1.1.2 电池模块

电池模块 25℃初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.2.2 进行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，记录功率、时间、电压、温度、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，记录功率、时间、电压、温度、初始放电能量；
- d) 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；
- e) 重复步骤 a)~d) 至所有试验样品完成试验；
- f) 以步骤 b) 的初始充电能量和步骤 c) 的初始放电能量计算每个试验样品初始充放电能量效率；计算所有试验样品的初始充电能量平均值、初始放电能量平均值、初始充放电能量效率平均值、初始充电能量极差、初始放电能量极差；计算初始充电能量极差与初始充电能量平均值的百分比、初始放电能量极差与初始放电能量平均值的百分比。

6.4.1.1.3 电池簇

电池簇 25℃初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.2.3 进行电池簇初始化放电；
- b) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池簇充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、电流、温度、电池模块电压极差、电池单体电压极差、电池单体温度极差、初始充电能量；
- c) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池簇放电截止条件，记录功率、时间、电压、电流、温度、电池模块电压极差、电池单体电压极差、电池单体温度极差、初始放电能量；
- d) 断开试验样品和充放电装置的连接，断开电池管理系统与充放电装置的连接；
- e) 以步骤 b) 的初始充电能量和步骤 c) 的初始放电能量计算初始充放电能量效率，分别计算充放电结束时电池模块电压极差与电池模块标称电压的百分比。

6.4.1.1.4 直流舱

直流舱 25℃初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.2.4 进行直流舱初始化放电；
- b) 设置环境模拟装置温度为 25℃,在(25±2)℃下静置 5 h；
- c) 以 P_{rc} 恒功率充电至直流舱充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、充电能量、辅助供电系统能量；
- d) 以 P_{rd} 恒功率放电至直流舱放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、放电能量、辅助供电系统能量；
- e) 重复步骤 c)~d)两次；
- f) 断开直流舱和充放电装置的连接；
- g) 以步骤 c)的充电能量加上辅助供电系统能量计算每次初始充电能量,步骤 d)的放电能量减去辅助供电系统能量计算每次初始放电能量,并计算每次初始充放电能量效率。

注：对于辅助能耗由自身供应的直流舱,辅助供电系统能量记为 0。

6.4.1.2 45℃初始充放电性能试验

6.4.1.2.1 电池单体

电池单体 45℃初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.2.1 进行电池单体初始化放电；
- b) 设置环境模拟装置温度为 45℃,在(45±2)℃下静置 16 h；
- c) 在(45±2)℃下,以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- d) 在(45±2)℃下,以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- e) 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；
- f) 重复步骤 a)~e)至所有试验样品完成试验；
- g) 以步骤 c)的充电能量和步骤 d)的放电能量计算每个试验样品的能量效率。

6.4.1.2.2 电池模块

电池模块 45℃初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.2.2 进行电池模块初始化放电；
- b) 设置环境模拟装置温度为 45℃,在(45±2)℃下静置 16 h；
- c) 在(45±2)℃下,以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- d) 在(45±2)℃下,以 P_{rd} 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；
- e) 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；
- f) 以步骤 c)的充电能量和步骤 d)的放电能量计算能量效率。

6.4.1.3 5℃初始充放电性能试验

6.4.1.3.1 电池单体

电池单体 5℃初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.2.1 进行电池单体初始化放电；
- b) 设置环境模拟装置温度为 5℃,在(5±2)℃下静置 20 h；
- c) 在(5±2)℃下,以 P_{cc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- d) 在(5±2)℃下,以 P_{cd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- e) 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；
- f) 重复步骤 a)~e)至所有试验样品完成试验；
- g) 以步骤 c)的充电能量和步骤 d)的放电能量计算能量效率。

6.4.1.3.2 电池模块

电池模块 5℃初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.2.2 进行电池模块初始化放电；
- b) 设置环境模拟装置温度为 5℃,在(5±2)℃下静置 20 h；
- c) 在(5±2)℃下,以 P_{cc} 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；
- d) 在(5±2)℃下,以 P_{cd} 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；
- e) 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；
- f) 以步骤 c)的充电能量和步骤 d)的放电能量计算能量效率。

6.4.2 功率特性试验

6.4.2.1 电池单体

电池单体功率特性试验按照下列步骤进行。

- a) 按照 6.2.4.1.1 进行电池单体初始化充电。
- b) 以 100% P_{nd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,静置 10 min。
- c) 以 100% P_{nc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量。
- d) 以 100% P_{nd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、放电能量。
- e) 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,重复步骤 b)~d)。
- 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) 重复步骤 a)~f)至所有试验样品完成试验。
- h) 以步骤 c)的充电能量和步骤 d)的放电能量计算每个试验样品不同功率充放电能量效率,计算所有试验样品同一功率条件下的充放电能量效率平均值;计算所有试验样品同一功率条件下的充电能量平均值、放电能量平均值。
- i) 以步骤 h)的充电能量平均值分别与额定充电能量的百分比作为不同功率条件下的充电特性

特征值,以步骤 h)的放电能量平均值分别与额定放电能量的百分比作为不同功率条件下的放电特性特征值。

- j) 以额定功率的百分数为横轴,以步骤 i)的充电特性特征值和放电特性特征值、步骤 h)的充放电能量效率平均值为纵轴,绘制电池单体的功率特性曲线图。

6.4.2.2 电池模块

电池模块功率特性试验按照下列步骤进行。

- a) 按照 6.2.4.1.2 进行电池模块初始化充电。
- b) 以 $100\%P_{rd}$ 恒功率放电至电池模块放电截止条件,静置 10 min。
- c) 以 $100\%P_{rc}$ 恒功率充电至电池模块充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量。
- 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,记录功率、时间、电压、温度、放电能量。
- e) 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 b)~d)。
- 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) 以步骤 c)的充电能量和步骤 d)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。
- h) 以额定功率的百分数为横轴,以步骤 g)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。

6.4.3 倍率充放电性能试验

6.4.3.1 电池单体

电池单体倍率充放电性能试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.2.1 进行电池单体初始化放电;
- b) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- c) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- d) 以 $2P_{rc}$ 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- e) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- f) 以 $2P_{rd}$ 恒功率放电至电池单体放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- g) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- h) 以 $2P_{rc}$ 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- i) 以 $2P_{rd}$ 恒功率放电至电池单体放电截止条件,记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- j) 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;

- k) 重复步骤 a)~j)至所有试验样品完成试验;
- l) 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。

6.4.3.2 电池模块

电池模块倍率充放电性能试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.2.2 进行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,记录功率、时间、电压、温度、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,记录功率、时间、电压、温度、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,记录功率、时间、电压、温度、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,记录功率、时间、电压、温度、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,记录功率、时间、电压、温度、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,记录功率、时间、电压、温度、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,记录功率、时间、电压、温度、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) 断开试验样品和充放电装置连接,拆除数据采样线,取出试验样品;
- k) 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。

6.4.4 能量保持与能量恢复能力试验

6.4.4.1 电池单体

电池单体能量保持与能量恢复能力试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.1.1 进行电池单体初始化充电;
- b) 设置环境模拟装置温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $(45\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置 30 d;
- c) 设置环境模拟装置温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置 5 h;
- d) 在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- e) 在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- f) 在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件;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连接,拆除数据采样线,取出试验样品;
- h) 重复步骤 a)~g)至所有试验样品完成试验;

- i) 以 25 °C 初始放电能量和步骤 d) 的放电能量计算每个试验样品能量保持率,以 25 °C 初始充电能量和步骤 e) 的充电能量计算每个试验样品充电能量恢复率,以 25 °C 初始放电能量和步骤 f) 的放电能量计算每个试验样品放电能量恢复率。

6.4.4.2 电池模块

电池模块能量保持与能量恢复能力试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.1.2 进行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 P_{d1} 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 P_{c1} 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 P_{d2} 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。

6.5 环境适应性试验

6.5.1 高温适应性试验

6.5.1.1 电池单体

电池单体高温适应性试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.1.1 进行电池单体初始化充电;
- 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 P_{d1} 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 P_{c1} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,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 P_{d2} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,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) 重复步骤 a)~g) 至所有试验样品完成试验;
- i) 以步骤 e) 的充电能量和步骤 f) 的放电能量计算每个试验样品的能量效率。

6.5.1.2 电池模块

电池模块高温适应性试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.1.2 进行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 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{nd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件,静置 10 min;
- e) 在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- f) 在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{nd} 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连接,拆除数据采样线,取出试验样品;
- h) 以步骤 e)的充电能量和步骤 f)的放电能量计算能量效率。

6.5.1.3 直流舱

直流舱高温适应性试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.1.4 进行直流舱初始化充电;
- b) 设置环境模拟装置温度为 50°C ,在 $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下静置 5 h;
- c) 在 $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{nd} 恒功率放电至直流舱放电截止条件,静置 10 min;
- d) 在 $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{rc} 恒功率充电至直流舱充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、充电能量、辅助供电系统能量;
- e) 在 $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{nd} 恒功率放电至直流舱放电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、放电能量、辅助供电系统能量;
- f) 重复步骤 d)~e)两次;
- g) 断开直流舱和充放电装置连接;
- h) 以步骤 d)的充电能量加上辅助供电系统能量计算每次初始充电能量,步骤 e)的放电能量减去辅助供电系统能量计算每次初始放电能量,并计算每次初始充放电能量效率。

注:对于辅助能耗由自身供应的直流舱,辅助供电系统能量记为 0。

6.5.2 低温适应性试验

6.5.2.1 电池单体

电池单体低温适应性试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.1.1 进行电池单体初始化充电;
- b) 设置环境模拟装置温度为 -30°C ,在 $(-30\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下静置 24 h;
- c) 设置环境模拟装置温度为 25°C ,在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下静置 24 h;
- d) 在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{nd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,静置 10 min;
- e) 在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- f) 在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,以 P_{nd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件,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连接,拆除数据采样线,取出试验样品;
- h) 重复步骤 a)~g)至所有试验样品完成试验;
- i) 以步骤 e)的充电能量和步骤 f)的放电能量计算每个试验样品的能量效率。

6.5.2.2 电池模块

电池模块低温适应性试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.4.1.2 进行电池模块初始化充电；
- b) 设置环境模拟装置温度为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在 $(-30\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置 24 h；
- c) 设置环境模拟装置温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置 24 h；
- d) 在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件，静置 10 min；
- e) 在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- f) 在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 P_{rd} 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) 以步骤 e) 的充电能量和步骤 f) 的放电能量计算能量效率。

6.5.2.3 直流舱

直流舱低温适应性试验按照下列步骤进行：

- a) 按照 6.2.4.1.4 进行直流舱初始化充电；
- b) 设置环境模拟装置温度为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在 $(-30\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置 5 h；
- c) 在 $(-30\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 P_{rd} 恒功率放电至直流舱放电截止条件，静置 10 min；
- d) 在 $(-30\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 P_{rc} 恒功率充电至直流舱充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、充电能量、辅助供电系统能量；
- e) 在 $(-30\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 P_{rd} 恒功率放电至直流舱放电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、电流、温度、每个电池簇内电池模块电压极差、每个电池簇内电池单体电压极差、每个电池簇内电池单体温度极差、放电能量、辅助供电系统能量；
- f) 重复步骤 d)~e) 两次；
- g) 断开直流舱和充放电装置的连接；
- h) 以步骤 d) 的充电能量加上辅助供电系统能量计算每次初始充电能量，步骤 e) 的放电能量减去辅助供电系统能量计算每次初始放电能量，并计算每次初始充放电能量效率。

注：对于辅助能耗由自身供应的直流舱，辅助供电系统能量记为 0。

6.5.3 高海拔初始充放电性能试验

电池单体高海拔初始充放电性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.2.1 完成了初始化放电的电池单体放入低气压试验装置并与充放电装置连接；
- b) 将充放电装置的电压和温度数据采样线分别与电池单体正负极和电池单体的温度采样点连接；
- c) 依据试验样品最大应用海拔高度按表 18 要求设置试验气压值，在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置 6 h；
- d) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、初始充电能量；
- e) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件，记录功率、时间、电压、温度、初始放电能量；
- f) 恢复至正常大气压，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) 重复步骤 a)~f) 至所有试验样品完成试验；
- h) 以步骤 d) 的初始充电能量和步骤 e) 的初始放电能量计算每个试验样品初始充放电能量效率。

表 18 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
$2\ 000 < h \leq 4\ 000$	62
$h > 4\ 000$	54

6.6 耐久性能试验

6.6.1 贮存性能试验

6.6.1.1 电池单体

电池单体贮存性能试验按照下列步骤进行：

- 按照 6.2.4.1.1 进行电池单体初始化充电；
- 以 P_{nd} 恒功率放电至放电能量达到该电池单体初始放电能量的 50%，记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- 设置环境模拟装置温度为 50℃，在 (50 ± 2) ℃ 下贮存 30 d；
- 设置环境模拟装置温度为 25℃，在 (25 ± 2) ℃ 下静置 5 h；
- 在 (25 ± 2) ℃ 下，以 P_{nd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- 在 (25 ± 2) ℃ 下，以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- 在 (25 ± 2) ℃ 下，以 P_{nd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件，记录功率、时间、电压、温度、放电能量；
- 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；
- 重复步骤 a)~h) 至所有试验样品完成试验；
- 以 25℃ 初始充电能量和步骤 f) 的充电能量计算每个试验样品充电能量恢复率，以 25℃ 初始放电能量和步骤 g) 的放电能量计算每个试验样品放电能量恢复率。

6.6.1.2 电池模块

电池模块贮存性能试验按照下列步骤进行：

- 按照 6.2.4.1.2 进行电池模块初始化充电；
- 以 P_{nd} 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；
- 设置环境模拟装置温度为 50℃，在 (50 ± 2) ℃ 下贮存 30 d；
- 设置环境模拟装置温度为 25℃，在 (25 ± 2) ℃ 下静置 5 h；
- 在 (25 ± 2) ℃ 下，以 P_{nd} 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；
- 在 (25 ± 2) ℃ 下，以 P_{rc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件，静置 10 min，记录功率、时间、电压、温度、充电能量；
- 在 (25 ± 2) ℃ 下，以 P_{nd} 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；

- 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 25℃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℃初始放电能量和步骤 g)的放电能量计算放电能量恢复率。

6.6.2 循环性能试验

6.6.2.1 电池单体

电池单体循环性能试验按照下列步骤进行。

- a) 按照 6.2.4.2.1 进行电池单体初始化放电。
- b) 以 P_{rc} 恒功率充电至电池单体充电截止电压,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、充电能量。
- c) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止电压,静置 10 min,记录功率、时间、电压、温度、放电能量。
- d) 重复步骤 b)~c)至充放电次数达到 1 000 次。
- e) 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。
- f) 重复步骤 a)~e)至所有试验样品完成试验。
- g) 以步骤 b)的充电能量和步骤 c)的放电能量计算每个试验样品每 50 次循环充放电结束时的能量效率,计算 1 000 次循环充放电的能量效率极差。
- h) 计算每个试验样品单次循环充电能量损失平均值,见公式(7):

$$\Delta E_c = (E_{c500} - E_{c1000})/500 \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- ΔE_c —— 单次循环充电能量损失平均值;
- E_{c500} —— 循环第 500 次充电能量;
- E_{c1000} —— 循环第 1 000 次充电能量。

- i) 计算每个试验样品基于额定充电能量的单次循环充电能量损失平均值,见公式(8):

$$\Delta E_{rc} = (E_{c500} - E_{rc})/(C_r - 500) \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

- ΔE_{rc} —— 基于额定充电能量的单次循环充电能量损失平均值;
- E_{c500} —— 循环第 500 次充电能量;
- E_{rc} —— 额定充电能量;
- C_r —— 额定功率充放电循环次数。

- j) 计算每个试验样品单次循环放电能量损失平均值,见公式(9):

$$\Delta E_d = (E_{d500} - E_{d1000})/500 \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

- ΔE_d —— 单次循环放电能量损失平均值;
- E_{d500} —— 循环第 500 次放电能量;
- E_{d1000} —— 循环第 1 000 次放电能量。

- k) 计算每个试验样品基于额定放电能量的单次循环放电能量损失平均值,见公式(10):

$$\Delta E_{rd} = (E_{d500} - E_{rd})/(C_r - 500) \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

- ΔE_{rd} —— 基于额定放电能量的单次循环放电能量损失平均值;
- E_{d500} —— 循环第 500 次放电能量;
- E_{rd} —— 额定放电能量;
- C_r —— 额定功率充放电循环次数。

- l) 以额定充放电能量为起始值,以额定充放电能量的5%为步长,递增至所有试验样品循环第500次充放电能量与5℃初始充放电能量的最小值作为充放电能量系列保证值,计算电池单体充放电能量系列保证值对应的额定功率充放电循环次数系列保证值,见公式(11):

$$C_{rx} = (E_{d500} - E_{dx}) / \Delta E_{rd} + 500 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- C_{rx} ——额定功率充放电循环次数系列保证值;
 E_{d500} ——循环第500次放电能量;
 E_{dx} ——放电能量系列保证值;
 ΔE_{rd} ——基于额定放电能量的单次循环放电能量损失平均值。

- m) 作电池单体充放电能量系列保证值与额定功率充放电循环次数系列保证值数据表,作为电池单体循环性能系列保证值特征关系表;以额定充放电能量的百分数为横轴,以额定功率充放电循环次数系列保证值为纵轴,绘制电池单体循环性能系列保证值曲线图,作为电池单体循环性能系列保证值特征曲线。

6.6.2.2 电池模块

电池模块循环性能试验按照下列步骤进行:

- a) 按照6.2.4.2.2进行电池模块初始化放电;
- b) 以 P_{rc} 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;
- c) 以 P_{rd} 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;
- d) 重复步骤b)~c)至充放电次数达到1 000次;
- e) 断开试验样品和充放电装置的连接,拆除数据采集线,取出试验样品;
- f) 以步骤b)的充电能量和步骤c)的放电能量计算每50次循环充放电结束时的能量效率,计算1 000次循环充放电的能量效率极差,计算充放电结束时电池单体电压极差平均值;
- g) 计算单次循环充电能量损失平均值,见公式(7);
- h) 计算基于额定充电能量的单次循环充电能量损失平均值,见公式(8);
- i) 计算单次循环放电能量损失平均值,见公式(9);
- j) 计算基于额定放电能量的单次循环放电能量损失平均值,见公式(10);
- k) 以额定充放电能量为起始值,以额定充放电能量的5%为步长,递增至循环第500次充放电能量与5℃初始充放电能量的较小值作为充放电能量系列保证值,计算电池模块充放电能量系列保证值对应的额定功率充放电循环次数系列保证值,见公式(11);
- l) 作电池模块充放电能量系列保证值与额定功率充放电循环次数系列保证值数据表,作为电池模块循环性能系列保证值特征关系表;以额定充放电能量的百分数为横轴,以额定功率充放电循环次数系列保证值为纵轴,绘制电池模块循环性能系列保证值曲线图,作为电池模块循环性能系列保证值特征曲线。

6.7 安全试验

6.7.1 电气安全试验

6.7.1.1 过充电试验

6.7.1.1.1 电池单体

电池单体过充电试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.1 完成了初始化充电的电池单体与充放电装置连接；
- b) 按照 6.2.2.1 将充放电装置的电压和温度数据采样线与电池单体连接；
- c) 以 $I=P_{rc}/U_{nom}$ 恒流充电至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、外壳破裂及破裂位置；
- e) 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；
- f) 重复步骤 a)~e) 至所有试验样品完成试验。

6.7.1.1.2 电池模块

电池模块过充电试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块与充放电装置连接；
- b) 按照 6.2.2.2 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 $I=P_{rc}/U_{nom}$ 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；
- e) 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。

6.7.1.2 过放电试验

6.7.1.2.1 电池单体

电池单体过放电试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.2.1 完成了初始化放电的电池单体与充放电装置连接；
- b) 按照 6.2.2.1 将充放电装置的电压和温度数据采样线与电池单体连接；
- c) 以 $I=P_{rd}/U_{nom}$ 恒流放电至电压达到 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、外壳破裂及破裂位置；
- e) 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；
- f) 重复步骤 a)~e) 至所有试验样品完成试验。

6.7.1.2.2 电池模块

电池模块过放电试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.2.2 完成了初始化放电的电池模块与充放电装置连接；
- b) 按照 6.2.2.2 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 $I=P_{rd}/U_{nom}$ 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；
- e) 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。

6.7.1.3 过载试验

6.7.1.3.1 电池单体

电池单体过载试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.2.1 完成了初始化放电的电池单体与充放电装置连接；

- b) 按照 6.2.2.1 将充放电装置的电压和温度数据采样线与电池单体连接；
- c) 以 $4P_{rc}$ 恒功率充电至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 $4P_{rd}$ 恒功率放电至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、外壳破裂及破裂位置；
- 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) 重复步骤 a)~f) 至所有试验样品完成试验。

6.7.1.3.2 电池模块

电池模块过载试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.2.2 完成了初始化放电的电池模块与充放电装置连接；
- b) 按照 6.2.2.2 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 $4P_{rc}$ 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 $4P_{rd}$ 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。

6.7.1.4 短路试验

6.7.1.4.1 电池单体

电池单体短路试验按照下列步骤进行。

- a) 调节短路试验装置与电池单体正极连接处中心位置到短路试验装置与电池单体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) 将按照 6.2.4.1.1 完成了初始化充电的电池单体与短路试验装置连接。
- c) 按照 6.2.2.1 将短路试验装置的电压和温度数据采样线与电池单体连接。
- d) 测量电池单体正极极柱中心点到短路试验装置与电池单体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单体正极的连接状态至正极接触电阻不大于 $0.1 m\Omega$ ，记录正极接触电阻。
- e) 测量电池单体负极极柱中心点到短路试验装置与电池单体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单体负极的连接状态至负极接触电阻不大于 $0.1 m\Omega$ ，记录负极接触电阻。
- f) 计算外部线路电阻，见公式(12)：

$$R_e = R_t + R_p + R_n \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中：

R_e ——外部线路电阻；

R_t ——试验装置电阻；

R_p ——正极接触电阻；

R_n ——负极接触电阻。

- g) 启动短路试验装置，在电池单体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、外壳破裂及破裂位置。
- i) 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。

j) 重复步骤 a)~i)至所有试验样品完成试验。

6.7.1.4.2 电池模块

电池模块短路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) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块与短路试验装置连接；
- c) 按照 6.2.2.2 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不大于 $0.1 m\Omega$,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不大于 $0.1 m\Omega$,记录负极接触电阻；
- f) 计算外部线路电阻,见公式(12)；
- 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。

6.7.1.5 绝缘试验

6.7.1.5.1 电池模块

电池模块绝缘试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块的正极、外部裸露可导电部分与绝缘试验装置连接,关闭电池模块的绝缘电阻监测功能；
- b) 按表 2 的要求施加试验电压,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,断开绝缘试验装置与电池模块的连接；
- c) 将电池模块的负极、外部裸露可导电部分与绝缘试验装置连接；
- d) 按表 2 的要求施加试验电压,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。

6.7.1.5.2 电池簇

电池簇绝缘试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.3 完成了初始化充电的电池簇的正极、外部裸露可导电部分与绝缘试验装置连

接,关闭电池簇的绝缘电阻监测功能;

- b) 按表 2 的要求施加试验电压,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试验装置连接;
- d) 按表 2 的要求施加试验电压,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。

6.7.1.5.3 直流舱

直流舱绝缘试验按照下列步骤进行:

- a) 将直流舱按照 6.2.4.1.4 完成初始化充电,断开直流舱与充放电装置的连接;
- b) 断开直流舱的压敏电阻等过电压保护器件;
- c) 将直流舱直流端口正极、直流舱体保护接地极连接至绝缘试验装置,关闭绝缘电阻检测功能;
- d) 按表 2 的要求施加试验电压,持续 1 min,记录试验电压与绝缘电阻数值;
- e) 断开绝缘试验装置与直流舱的连接;
- f) 将直流舱直流端口负极、直流舱体保护接地极连接至绝缘试验装置,重复步骤 d)~e);
- g) 将直流舱辅助供电系统端口、直流舱体保护接地极连接至绝缘试验装置,重复步骤 d)~e);
- h) 分别计算正负极与直流舱体保护接地极间的绝缘电阻和标称电压的比值。

6.7.1.6 耐压试验

6.7.1.6.1 电池模块

电池模块耐压试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块的正极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接;
- b) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 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,断开耐压试验装置与电池模块的连接;
- c) 将电池模块的负极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接;
- d) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 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耐压试验装置连接;
- f) 按表 3 的要求施加频率为 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耐压试验装置连接;
- h) 按表 3 的要求施加频率为 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,断开耐压试验装置与电池模块的连接。

6.7.1.6.2 电池簇

电池簇耐压试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.3 完成了初始化充电的电池簇的正极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接;

- b) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 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耐压试验装置连接;
- d) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 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耐压试验装置连接;
- f) 按表 3 的要求施加频率为 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耐压试验装置连接;
- h) 按表 3 的要求施加频率为 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,断开耐压试验装置与电池簇的连接。

6.7.1.6.3 直流舱

直流舱耐压试验按照下列步骤进行:

- a) 将直流舱按照 6.2.4.1.4 完成初始化充电,断开直流舱与充放电装置的连接;
- b) 断开直流舱的压敏电阻等过电压保护器件;
- c) 将直流舱直流端口正极、直流舱体保护接地极连接至耐压试验装置;
- d) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 50% 试验电压开始,10 s 之内增加至试验电压,持续 1 min,记录试验电压与漏电流数值,记录试验现象,包括击穿、闪络;
- e) 按表 3 的要求施加频率为 45 Hz~62 Hz 的正弦交流试验电压,持续 1 min,记录试验电压与漏电流数值,记录试验现象,包括击穿、闪络;
- f) 断开耐压试验装置与直流舱的连接;
- g) 将直流舱直流端口负极、直流舱体保护接地极连接至耐压试验装置,重复步骤 d)~f);
- h) 将直流舱辅助供电系统端口、直流舱体保护接地极连接耐压试验装置;
- i) 按表 4 的要求施加频率为 45 Hz~62 Hz 的正弦交流试验电压或直流试验电压,持续 1 min,记录试验电压与漏电流数值,记录试验现象,包括击穿、闪络;
- j) 断开耐压试验装置与直流舱的连接。

6.7.2 机械安全试验

6.7.2.1 挤压试验

6.7.2.1.1 电池单体

电池单体挤压试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.1 完成了初始化充电的电池单体放置于挤压试验装置的挤压台,面积最大的外表面正对挤压头,连接电压和温度数据采样线;
- b) 选取半径 R 为 75 mm、长度 L 大于试验样品被挤压面尺寸的半圆柱体挤压头,见图 2,将挤压速度的初始值设置为 5 mm/s;
- c) 启动挤压试验装置,挤压力达到 50 kN 时保持该挤压力 10 min,停止挤压,观察 1 h,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、外壳破裂及破裂位置;

- e) 将挤压试验装置的挤压头复位,拆除数据采样线,取出试验样品;
- f) 重复步骤 a)~e)至所有试验样品完成试验。

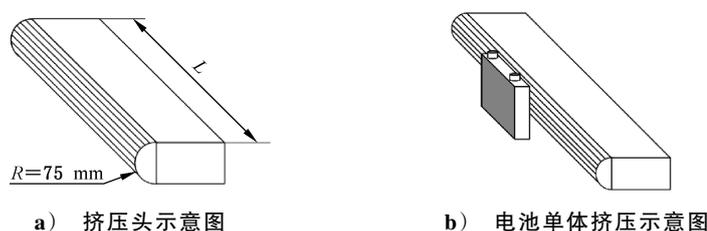


图 2 挤压头和电池单体挤压示意图

6.7.2.1.2 电池模块

电池模块挤压试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块以重心最低的摆放方式置于挤压试验装置的挤压台,面积较大的外表面正对挤压头,连接电压和温度数据采样线;
- b) 选取半径 R 为 75 mm、长度 L 大于试验样品被挤压面尺寸的半圆柱体挤压头,见图 3,将挤压速度的初始值设置为 5 mm/s;
- c) 启动挤压试验装置,挤压力达到 50 kN 时保持该挤压力 10 min,停止挤压,观察 1 h,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;
- e) 将挤压试验装置的挤压头复位,拆除数据采样线,取出试验样品。

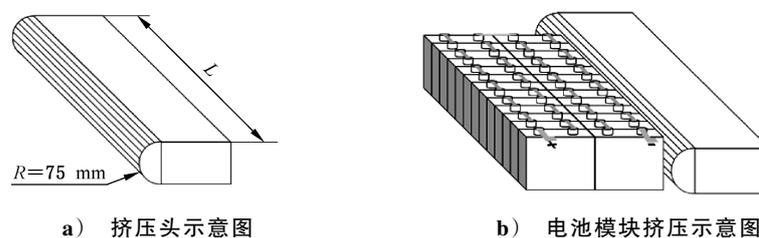


图 3 挤压头和电池模块挤压示意图

6.7.2.2 跌落试验

6.7.2.2.1 电池单体

电池单体跌落试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.1 完成了初始化充电的电池单体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 1.5 m 高度处自由跌落到水泥地面;
- c) 观察 1 h;
- d) 记录试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸、外壳破裂及破裂位置;
- e) 重复步骤 a)~d)至所有试验样品完成试验。

6.7.2.2.2 电池模块

电池模块跌落试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块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 1 h;
- d) 记录试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸。

6.7.2.3 振动试验

电池模块振动试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块置于振动试验装置上并固定;
- b) 设置随机振动波谱参数,见表 19,在 X、Y、Z 轴三个方向分别进行随机振动,观察 1 h,记录试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸;
- c) 取出试验样品,按照 6.7.1.5.1 和 6.7.1.6.1 依次进行绝缘试验和耐压试验。

表 19 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	0.003 1
	6	0.000 72
	12	0.000 72
	16	0.003 6
	25	0.003 6
	30	0.000 72
	40	0.003 6
	80	0.003 6
	100	0.000 36
	200	0.000 018
	加速度均方根	0.51
振动时间	180 min	

6.7.2.4 液冷管路耐压试验

6.7.2.4.1 电池模块

电池模块液冷管路耐压试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.2.2 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 1.5 倍,稳压 2 min 后停止充气,记录气压值,静置 10 min 再次记录气压值,按照 2 次记录值计算气压降,记录试验现象,包括变形、破裂;
- c) 恢复至正常大气压,断开与气体增压试验装置连接。

6.7.2.4.2 电池簇

电池簇液冷管路耐压试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.2.3 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 1.5 倍,稳压 2 min 后停止充气,记录气压值,静置 10 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,包括变形、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。

6.7.2.4.3 直流舱

直流舱液冷管路耐压试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.2.4 完成了初始化放电的直流舱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 1.5 倍,稳压 2 min 后停止充气,记录气压值,静置 10 min 再次记录气压值,按照 2 次记录值计算气压降,记录试验现象,包括变形、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。

6.7.3 环境安全试验

6.7.3.1 盐雾试验

电池模块盐雾试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块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 $(5\pm 1)\%$ 的氯化钠溶液,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 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 93%,试验装置内温度达到 $(40\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度达到 $(93\pm 3)\%$ 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 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 50%,试验装置内温度达到 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度达到 $(50\pm 3)\%$ 时启动贮存程序,贮存时间达到 3 d 时停止贮存;
- g) 重复步骤 c)~f)至喷雾-贮存-贮存循环次数达到 4 次;
- h) 观察 1 h;
- i) 记录试验现象,包括外壳破裂、膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸;
- j) 取出试验样品,30 min 内按照 6.7.1.5.1 和 6.7.1.6.1 依次进行绝缘试验和耐压试验。

6.7.3.2 交变湿热试验

电池模块交变湿热试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块置于环境模拟装置内;
- b) 设置试验温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 95%、升温速率为 $12.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$,温度达到 $(70\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度达到 $(95\pm 3)\%$ 时保持当前温湿度,静置 6 h;
- c) 设置试验温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 95%、降温速率为 $12.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$,温度达到 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度达到 $(95\pm 3)\%$ 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 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 70%,温度达到 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度达到 $(70\pm 3)\%$ 时保持当前温湿度;
- f) 观察 1 h;
- g) 记录试验现象,包括外壳破裂、膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸;
- h) 取出试验样品,30 min 内按照 6.7.1.5.1 和 6.7.1.6.1 依次进行绝缘试验和耐压试验。

6.7.3.3 高海拔绝缘试验

6.7.3.3.1 电池模块

电池模块高海拔绝缘试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块置于低气压试验装置内；
- b) 将电池模块的正极、外部裸露可导电部分与绝缘试验装置连接,关闭电池模块的绝缘电阻监测功能；
- c) 依据试验样品最大应用海拔高度按表 18 的要求设置试验气压值,在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,静置 6 h；
- d) 按表 2 的要求施加试验电压,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,断开绝缘试验装置与电池模块的连接；
- e) 将电池模块的负极、外部裸露可导电部分与绝缘试验装置连接；
- f) 按表 2 的要求施加试验电压,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,断开绝缘试验装置与电池模块的连接,恢复至正常大气压,取出试验样品；
- g) 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。

6.7.3.3.2 电池簇

电池簇高海拔绝缘试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.3 完成了初始化充电的电池簇置于对应低气压试验环境；
- b) 将电池簇的正极、外部裸露可导电部分与绝缘试验装置连接,关闭电池簇的绝缘电阻监测功能；
- c) 按表 2 的要求施加试验电压,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,断开绝缘试验装置与电池簇的连接；
- d) 将电池簇的负极、外部裸露可导电部分与绝缘试验装置连接；
- e) 按表 2 的要求施加试验电压,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,断开绝缘试验装置与电池簇的连接,取出试验样品；
- f) 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。

6.7.3.3.3 直流舱

直流舱高海拔绝缘试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.4 完成了初始化充电的直流舱置于对应低气压试验环境,断开直流舱与充放电装置的连接；
- b) 断开直流舱的压敏电阻等过电压保护器件；
- c) 将直流舱直流端口正极、直流舱体保护接地极连接至绝缘试验装置,关闭绝缘电阻检测功能；
- d) 按表 2 的要求施加试验电压,持续 1 min,记录试验电压与绝缘电阻数值；
- e) 断开绝缘试验装置与直流舱的连接；
- f) 将直流舱直流端口负极、直流舱体保护接地极连接至绝缘试验装置,重复步骤 d)~e)；
- g) 将直流舱辅助供电系统端口、直流舱体保护接地极连接至绝缘试验装置,重复步骤 d)~e)；
- h) 分别计算正负极与直流舱体保护接地极间的绝缘电阻和标称电压的比值。

6.7.3.4 高海拔耐压试验

6.7.3.4.1 电池模块

电池模块高海拔耐压试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的电池模块置于低气压试验装置内；
- b) 将电池模块的正极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接；
- c) 依据试验样品最大应用海拔高度按表 18 的要求设置试验气压值,在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下,静置 6 h；
- d) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 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,断开耐压试验装置与电池模块的连接；
- e) 将电池模块的负极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接；
- f) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 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,断开耐压试验装置与电池模块的连接；
- g) 将电池模块的正极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接；
- h) 按表 3 的要求施加频率为 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,断开耐压试验装置与电池模块的连接；
- i) 将电池模块的负极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接；
- j) 按表 3 的要求施加频率为 45 Hz~62 Hz 的正弦交流试验电压,记录试验电压,记录试验现象,包括击穿、闪络,断开耐压试验装置与电池模块的连接；
- k) 恢复至正常大气压,取出试验样品。

6.7.3.4.2 电池簇

电池簇高海拔耐压试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.3 完成了初始化充电的电池簇置于对应低气压试验环境；
- b) 将电池簇的正极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接；
- c) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 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,断开耐压试验装置与电池簇的连接；
- d) 将电池簇的负极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接；
- e) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 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,断开耐压试验装置与电池簇的连接；
- f) 将电池簇的正极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接；
- g) 按表 3 的要求施加频率为 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,断开耐压试验装置与电池簇的连接；
- h) 将电池簇的负极、外部裸露可导电部分与耐压试验装置连接；
- i) 按表 3 的要求施加频率为 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,断开耐压试验装置与电池簇的连接。

6.7.3.4.3 直流舱

直流舱高海拔耐压试验按照下列步骤进行：

- a) 将按照 6.2.4.1.4 完成了初始化充电的直流舱置于对应低气压试验环境,断开直流舱与充放电装置的连接；
- b) 断开直流舱的压敏电阻等过电压保护器件；
- c) 将直流舱直流端口正极、直流舱体保护接地极连接至耐压试验装置；

- d) 按表 3 的要求施加直流试验电压,以不大于 50% 试验电压开始,10 s 之内增加至试验电压,持续 1 min,记录试验电压与漏电流数值,记录试验现象,包括击穿、闪络;
- e) 按表 3 的要求施加频率为 45 Hz~62 Hz 的正弦交流试验电压,持续 1 min,记录试验电压与漏电流数值,记录试验现象,包括击穿、闪络;
- f) 断开耐压试验装置与直流舱的连接;
- g) 将直流舱直流端口负极、直流舱体保护接地极连接至耐压试验装置,重复步骤 d)~f);
- h) 将直流舱辅助供电系统端口、直流舱体保护接地极连接至耐压试验装置;
- i) 按表 4 的要求施加频率为 45 Hz~62 Hz 的正弦交流试验电压或直流试验电压,持续 1 min,记录试验电压与漏电流数值,记录试验现象,包括击穿、闪络;
- j) 断开耐压试验装置与直流舱的连接。

6.7.4 热安全试验

6.7.4.1 绝热温升特性试验

电池单体绝热温升特性试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.1 完成了初始化充电的试验样品置于绝热模拟装置内,连接温度数据采样线;
- b) 设置绝热模拟装置试验起始温度为 40 °C、试验温升步长为 5 °C、试验终止温度为 130 °C、温度数据采样周期为 0.01 min;
- c) 加热试验样品至表面温度达到 40 °C 时保持当前温度,静置 5 h,记录时间、温度;
- d) 继续加热试验样品至表面温度达到 45 °C 时保持当前温度,静置 1 h,记录时间、温度;
- e) 控制试验装置恒定当前温度 20 min,记录时间、温度,计算温升速率;
- f) 以 5 °C 为步长逐次递增试验样品表面温度至 130 °C,重复步骤 d)~e);
- g) 停止加热,待试验样品表面温度恢复至室温,拆除数据采样线,取出试验样品;
- h) 记录试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸、外壳破裂及破裂位置;
- i) 重复步骤 a)~h) 至所有试验样品完成试验。

6.7.4.2 热失控试验

6.7.4.2.1 初始热失控试验

电池单体初始热失控试验按照下列步骤进行:

- a) 将按照 6.2.4.1.1 完成了初始化充电的试验样品置于热失控试验装置中;
- b) 选取相应加热部件和温度传感器并布置于试验样品表面,见表 20,设置温度采样周期为 1 s,设定连续监测到 3 个温升速率值均 ≥ 3 °C/s 或起火或爆炸为发生热失控的判定条件;
- c) 连接试验样品与充放电装置及其电压数据采样线;
- d) 以 $I=P_{rc}/U_{nom}$ 恒流充电,启动加热,记录时间、电压、电流、温度、温升速率,记录试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸、外壳破裂及破裂位置;
- e) 触发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 时,停止充电和加热,观察 1 h,记录时间、电压、温度、温升速率,记录试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸、外壳破裂及破裂位置;
- f) 断开试验样品和充放电装置的连接,拆除加热部件和数据采样线,取出试验样品;
- g) 记录发生热失控时的温度为热失控温度;
- h) 重复步骤 a)~g) 至所有试验样品完成试验。

表 20 热失控性能试验加热及采样要求

试验样品额定放电能量(E_{rd}) Wh	加热部件功率 W	加热部件形状及布置位置		温度传感器规格及布置位置	
		棱柱形或软包 试验样品	圆柱形试验 样品	棱柱形或软包 试验样品	圆柱形试验 样品
$E_{rd} < 50$	250	片状,布置于试验样品面积较大的平面,尺寸不大于被加热面尺寸	线状,布置于试验样品侧面,覆盖高度不大于被加热面高度	感温头直径 ≤ 1 mm,布置于被加热面对侧中心位置	感温头直径 ≤ 1 mm,布置于试验样品底部或顶部中心位置
$5 \leq E_{rd} < 100$	450				
$100 \leq E_{rd} < 400$	650				
$400 \leq E_{rd} < 800$	800				
$800 \leq E_{rd} < 1\ 000$	1\ 000				
$E_{rd} \geq 1\ 000$	$> 1\ 000$				

6.7.4.2.2 循环后热失控试验

将按照 6.6.2.1 完成了循环性能试验的电池单体按照 6.7.4.2.1 进行热失控试验。

6.7.4.3 热失控扩散试验

6.7.4.3.1 电池模块

电池模块热失控扩散试验按照下列步骤进行:

- 将按照 6.2.4.1.2 完成了初始化充电的试验样品置于热失控试验装置中;
- 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;
- 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 1 s,设定连续监测到 3 个温升速率值均 ≥ 3 °C/s 或起火或爆炸为发生热失控的判定条件;
- 以与触发对象相邻的 2 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;
- 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;
- 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 1 h,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;
- 按照 6.7.1.5.1 进行绝缘试验;
- 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;
- 以发生热失控的判定条件判定监测对象是否发生热失控。

6.7.4.3.2 直流舱

直流舱热失控扩散试验按照下列步骤进行。

- 选取直流舱中 1 个电池簇,按照电池簇在电池阵列中的布置方式放置于直流舱的空舱体中位置,保留直流舱中电池簇间、电池模块间的隔离或防护装置。

- b) 选取电池簇中心位置的电池模块作为热失控触发电池模块,选取触发电池模块中心位置的电池单体或最小并联单元作为热失控触发对象。
- c) 选取与电池簇内结构相同的电池模块作为热失控扩散监测电池模块,布置于触发电池模块周围,其布置方式与电池阵列中布置方式一致,纵向安装电池簇的监测电池模块布置于触发电池模块的左、右、后三侧,横向安装电池簇的监测电池模块布置于触发电池模块的上、下、后三侧。
- d) 利用充放电装置以电池簇额定充放电功率进行充放电,调整电池簇的能量状态为额定充电能量的 50%。
- e) 利用充放电装置以触发对象额定充放电功率进行充放电,调整触发对象的能量状态为额定充电能量的 95%。
- f) 利用电池模块充放电装置以电池模块 P_n 恒功率充电至监测电池模块达到电池模块充电截止条件。
- g) 将温度传感器布置于触发电池模块内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。
- h) 将温度传感器布置于监测电池模块内与触发电池模块相邻一侧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。
- i) 连接电池簇与充放电装置,连接电池管理系统与充放电装置,屏蔽电池管理系统对触发对象的电压报警和保护功能,屏蔽电池管理系统的温度报警和保护功能,闭合开关 S。
- j) 利用充放电装置将电池簇以额定功率与其标称电压的比值作为电流值对电池簇进行恒流充电,设定连续监测到 3 个温升速率值均 $\geq 3\text{ }^\circ\text{C/s}$ 或起火或爆炸为发生热失控的判定条件。记录触发对象的电压、温度、温升速率,记录试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸。
- k) 当触发电池模块内任一电池单体温度达到 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 或试验时间达到 4 h 或任一电池单体达到发生热失控的判定条件时,停止充电,观察 24 h,记录触发电池模块内所有电池单体、监测电池模块内与触发电池模块相邻一侧所有电池单体的电压、温度、温升速率,记录试验现象,包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸。
- l) 断开电池簇与充放电装置的连接。
- m) 按照 6.7.1.5.1 对触发电池模块和监测电池模块进行绝缘试验,记录测试电压、绝缘电阻数值。

6.7.5 报警和保护功能试验

6.7.5.1 电池簇

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压极差一级、二级、三级报警设定值,逐一触发电压极差报警,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;
- g) 依次调整电池簇管理系统中一级、三级报警绝缘电阻设定值,逐一触发绝缘电阻报警,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。

6.7.5.2 直流舱

直流舱报警和保护试验按照下列步骤进行:

- a) 按照 6.2.2.4 连接直流舱与充放电装置,开启电池管理系统、热管理系统及消防系统,闭合开关 S;
- b) 记录电池簇实时电压值、初始电池簇充电电压一级报警值及实时报警信息;
- c) 设置电池管理系统电池簇充电电压一级报警值低于电池簇实时电压值的 95%;
- d) 检查并记录直流舱报警信息和保护动作;
- e) 恢复电池管理系统报警值为初始报警值,重启电池管理系统;
- f) 记录电池簇实时电压值、初始电池簇放电电压一级报警值及实时报警信息;
- g) 设置电池管理系统电池簇放电电压一级报警值高于电池簇实时电压值的 105%,重复步骤 d)~e);
- h) 记录电池簇实时单体电池电压极差、初始电池簇充电电池单体电压极差一级报警值及实时报警信息;
- i) 设置电池管理系统电池簇充电电池单体电压极差一级报警值低于电池簇内单体电池间实时电压极差值的 95%,重复步骤 d)~e);
- j) 记录电池簇实时单体电池电压极差、初始电池簇放电电池单体电压极差一级报警值及实时报警信息;
- k) 设置电池管理系统电池簇放电电池单体电压极差一级报警值低于电池簇内单体电池间实时电压极差值的 95%,重复步骤 d)~e);
- l) 记录电池簇实时电池单体温度值、初始电池单体低温一级报警值及实时报警信息;
- m) 设置电池管理系统电池单体低温一级报警值高于实时电池单体温度最大值的 110%,重复步骤 d)~e);
- n) 记录电池簇实时电池单体温度值、初始电池单体高温一级报警值及实时报警信息;
- o) 设置电池管理系统电池单体高温一级报警值低于实时电池单体温度最小值的 90%,重复步骤 d)~e);
- p) 记录电池簇实时电池单体温度极差、初始电池簇充电电池单体温度极差一级报警值及实时报警信息;
- q) 设置电池管理系统电池簇充电电池单体温度极差一级报警值低于实时电池单体温度极差,重复步骤 d)~e);
- r) 记录电池簇实时电池单体温度极差、初始电池簇放电电池单体温度极差一级报警值及实时报警信息;
- s) 设置电池管理系统电池簇放电电池单体温度极差一级报警值低于实时电池单体温度极差,重复步骤 d)~e);
- t) 断开开关 S;
- u) 记录电池簇实时绝缘阻值、初始电池簇绝缘阻值一级报警值及实时报警信息;

- v) 设置电池管理系统电池簇绝缘阻值一级报警值高于实时绝缘阻值的 110%，重复步骤 d)~e)；
- w) 闭合开关 S，利用充放电装置以 50% 额定功率将直流舱充电；
- x) 记录电池簇实时充电电流、初始电池簇充电电流一级报警值及实时报警信息；
- y) 设置电池管理系统电池簇充电电流一级报警值低于电池簇实时充电电流的 90%，重复步骤 d)~e)；
- z) 利用充放电装置以 50% 额定功率将直流舱放电；
 - aa) 记录电池簇实时放电电流、初始电池簇放电电流一级报警值及实时报警信息；
 - bb) 设置电池管理系统电池簇放电电流一级报警值低于电池簇实时放电电流的 90%，重复步骤 d)~e)；
 - cc) 设置充放电装置停止直流舱放电；
 - dd) 记录电池簇实时通信状态及实时报警信息；
 - ee) 断开电池管理系统内部通信线缆连接，重复步骤 d)；
 - ff) 恢复电池管理系统内部通信线缆连接，重启电池管理系统；
 - gg) 记录消防系统火灾报警信息及实时报警信息；
 - hh) 触发消防系统火灾报警信号，重复步骤 d)；
 - ii) 恢复消防系统至初始状态，重启消防系统；
 - jj) 记录消防系统火灾报警信息及实时报警信息；
 - kk) 断开火灾探测器与消防系统的连接，重复步骤 d)；
 - ll) 恢复火灾探测器与消防系统的连接，重启消防系统；
 - mm) 记录直流舱电池管理系统与消防系统实时通信状态及实时报警信息；
 - nn) 断开消防系统与电池管理系统间通信线缆连接，重复步骤 d)；
 - oo) 恢复消防系统与电池管理系统间的通信线缆连接，重启电池管理系统与消防系统；
 - pp) 记录直流舱热管理系统的实时报警信息；
 - qq) 关闭液冷热管理系统，抽出部分冷却液，开启热管理系统，重复步骤 d)；
 - rr) 关闭液冷热管理系统，恢复冷却液至初始状态，开启热管理系统，重启热管理系统；
 - ss) 记录直流舱电池管理系统与热管理系统实时通信状态及实时报警信息；
 - tt) 断开热管理系统与电池管理系统间通信线缆连接，重复步骤 d)；
 - uu) 恢复热管理系统与电池管理系统间的通信线缆连接，重启电池管理系统与热管理系统。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为出厂检验、型式检验及抽样检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 出厂检验规则

每个生产批次产品出厂前应按检验次序进行出厂检验，出厂检验应满足表 21 的要求。

表 21 出厂检验规则

检验次序	检验项目	技术要求 (章条号)	试验方法 (章条号)	检验比例
1	外观检验 ^a	5.3	6.3	100%
2	尺寸检验 ^a	5.3	6.3	GB/T 2828.1 S-4级标准
3	25℃初始充放电性能试验 ^a	5.4.1	6.4.1.1	GB/T 2828.1 II级标准
4	报警和保护功能试验 ^b	5.7.5	6.7.5	GB/T 2828.1 II级标准
^a 适用于电池单体、电池模块、电池簇、直流舱。 ^b 仅适用于电池簇、直流舱。				

7.2.2 判定规则

出厂检验中,所有试验样品进行的检验项目全部满足要求,判定为出厂检验合格;任一试验样品的任一检验项目不满足要求,判定为出厂检验不合格。

7.3 型式检验

7.3.1 需进行型式检验的情形

有下列情形之一应进行型式检验:

- 新产品投产;
- 厂址变更;
- 停产超过一年后复产;
- 结构、工艺或材料有重大改变;
- 合同约定。

7.3.2 型式检验规则

直流舱型式检验前应完成电池簇型式检验,电池簇型式检验前应完成电池模块型式检验,电池模块型式检验前应完成电池单体型式检验,型式检验应按检验次序进行,应符合表 22 的检验规则。

表 22 型式检验规则

检验样品 类型	检验 次序	检验项目	技术要求 (章条号)	试验方法 (章条号)	样品数量及编号	
电池单体	1	外观、尺寸和质量检验	5.3.1	6.3.1	样品数量:33个 样品编号:1#~33#	
	2	初始充放电性能试验	5.4.1.1	25℃初始充放电性能试验		6.4.1.1.1
				45℃初始充放电性能试验	6.4.1.2.1	1#、2#、3#
				5℃初始充放电性能试验	6.4.1.3.1	4#、5#、6#
	3	高海拔初始充放电性能试验 ^a	5.5.3	6.5.3	31#、32#、33#	
	4	功率特性试验	5.4.2.1	6.4.2.1	7#、8#、9#	
	5	倍率充放电性能试验	5.4.3.1	6.4.3.1	10#、11#、12#	
6	能量保持与能量恢复能力试验	5.4.4.1	6.4.4.1	13#、14#、15#		

表 22 型式检验规则 (续)

检验样品类型	检验次序	检验项目	技术要求(章条号)	试验方法(章条号)	样品数量及编号
电池单体	7	高温适应性试验	5.5.1.1	6.5.1.1	1#、2#、3#
	8	低温适应性试验	5.5.2.1	6.5.2.1	4#、5#、6#
	9	贮存性能试验	5.6.1.1	6.6.1.1	16#、17#、18#
	10	循环性能试验	5.6.2.1	6.6.2.1	19#、20#、21#
	11	过充电试验	5.7.1.1.1	6.7.1.1.1	7#、8#、9#
	12	过放电试验	5.7.1.2.1	6.7.1.2.1	10#、11#、12#
	13	过载试验	5.7.1.3.1	6.7.1.3.1	1#、2#、3#
	14	短路试验	5.7.1.4.1	6.7.1.4.1	4#、5#、6#
	15	挤压试验	5.7.2.1.1	6.7.2.1.1	22#、23#、24#
	16	跌落试验	5.7.2.2.1	6.7.2.2.1	25#、26#、27#
	17	绝热温升特性试验	5.7.4.1	6.7.4.1	28#、29#、30#
	18	热失控试验	5.7.4.2	6.7.4.2	31#、32#、33#
电池模块	1	外观、尺寸和质量检验	5.3.2	6.3.2	样品数量:11个 样品编号:1#~11#
	2	初始充放电性能试验	25℃初始充放电性能试验	6.4.1.1.2	1#
			45℃初始充放电性能试验	6.4.1.2.2	
			5℃初始充放电性能试验	6.4.1.3.2	
	3	功率特性试验	5.4.2.2	6.4.2.2	3#
	4	倍率充放电性能试验	5.4.3.2	6.4.3.2	4#
	5	能量保持与能量恢复能力试验	5.4.4.2	6.4.4.2	5#
	6	高温适应性试验	5.5.1.2	6.5.1.2	1#
	7	低温适应性试验	5.5.2.2	6.5.2.2	2#
	8	贮存性能试验	5.6.1.2	6.6.1.2	6#
	9	循环性能试验	5.6.2.2	6.6.2.2	7#
	10	绝缘试验	5.7.1.5.1	6.7.1.5.1	8#
	11	耐压试验	5.7.1.6.1	6.7.1.6.1	
	12	高海拔绝缘试验 ^a	5.7.3.3.1	6.7.3.3.1	
	13	高海拔耐压试验 ^a	5.7.3.4.1	6.7.3.4.1	
	14	过充电试验	5.7.1.1.2	6.7.1.1.2	3#
	15	过放电试验	5.7.1.2.2	6.7.1.2.2	4#
	16	过载试验	5.7.1.3.2	6.7.1.3.2	1#
17	短路试验	5.7.1.4.2	6.7.1.4.2	2#、5#	
18	挤压试验	5.7.2.1.2	6.7.2.1.2	6#	

表 22 型式检验规则（续）

检验样品类型	检验次序	检验项目	技术要求 (章条号)	试验方法 (章条号)	样品数量及编号
电池模块	19	跌落试验	5.7.2.2.2	6.7.2.2.2	8#
	20	振动试验	5.7.2.3	6.7.2.3	9#
	21	液冷管路耐压试验 ^b	5.7.2.4.1	6.7.2.4.1	
	22	盐雾试验 ^c	5.7.3.1	6.7.3.1	10#
		交变湿热试验 ^d	5.7.3.2	6.7.3.2	
	23	热失控扩散试验	5.7.4.3.1	6.7.4.3.1	11#
电池簇	1	外观、尺寸检验	5.3.3	6.3.3	样品数量:1个 样品编号:1#
	2	报警和保护功能试验	5.7.5.1	6.7.5.1	
	3	初始充放电性能试验	5.4.1.3	6.4.1.1.3	
	4	绝缘试验	5.7.1.5.2	6.7.1.5.2	
	5	耐压试验	5.7.1.6.2	6.7.1.6.2	
	6	液冷管路耐压试验 ^b	5.7.2.4.2	6.7.2.4.2	
直流舱	1	外观、尺寸检验	5.3.4	6.3.4	样品数量:1个 样品编号:1#
	2	报警和保护功能试验	5.7.5.2	6.7.5.2	
	3	初始充放电性能试验	5.4.1.4	6.4.1.1.4	
	4	高温适应性试验	5.5.1.3	6.5.1.3	
	5	低温适应性试验	5.5.2.3	6.5.2.3	
	6	绝缘试验	5.7.1.5.3	6.7.1.5.3	
	7	耐压试验	5.7.1.6.3	6.7.1.6.3	
	8	液冷管路耐压试验 ^b	5.7.2.4.3	6.7.2.4.3	
	9	热失控扩散试验	5.7.4.3.2	6.7.4.3.2	
^a 仅适用于高海拔条件应用的电池。 ^b 仅适用于采用液体冷却方式的电池。 ^c 适用于海洋性与非海洋性气候条件应用的电池。 ^d 仅适用于非海洋性气候条件应用的电池。					

7.3.3 判定规则

型式检验中,所有试验样品进行的检验项目全部满足要求,判定为型式检验合格;任一试验样品的任一检验项目不满足要求,判定为型式检验不合格。

7.4 抽样检验

7.4.1 需进行抽样检验的情形

有下列情形之一应进行抽样检验:

- a) 验证工程实际使用产品与对应型式检验产品关键性能的一致性;

- b) 验证批次产品与对应型式检验产品关键性能的一致性；
- c) 验证更换产品与对应型式检验产品关键性能的一致性；
- d) 合同约定。

7.4.2 抽样检验规则

抽样检验应按检验次序进行,应符合表 23 的检验规则及下列规定:

- a) 直流舱抽样检验前完成电池簇抽样检验,电池簇抽样检验前完成电池模块抽样检验,电池模块抽样检验前完成电池单体抽样检验；
- b) 不同型号产品均单独进行抽样检验；
- c) 常规抽样检验的检验项目和样本量作为必要检验项目和最小样本量,见表 23,仲裁等其他需进行抽样检验的情形可根据实际需要在表 23 的基础上增加抽样检验项目和样本量；
- d) 电池批量的额定能量总和不大于 100 MWh 时,以该批量为抽样单元,抽取相应的样本量进行检验,见表 23；
- e) 电池批量的额定能量总和大于 100 MWh 时,以 100 MWh 为一个抽样单元,不足 100 MWh 的部分按 100 MWh 计,以表 23 要求的样本量为一个批次,按比例抽取相应的样本量,分批次进行检验。

表 23 抽样检验规则

检验样品类型	检验次序	检验项目		技术要求 (章条号)	试验方法 (章条号)	样本量及编号
电池单体	1	外观、尺寸和质量检验		5.3.1	6.3.1	样本量:15个 样本编号:1#~15#
	2	初始充放电性能试验	25℃初始充放电性能试验	5.4.1.1	6.4.1.1.1	
			45℃初始充放电性能试验		6.4.1.2.1	
			5℃初始充放电性能试验		6.4.1.3.1	4#、5#、6#
	3	高海拔初始充放电性能试验 ^a		5.5.3	6.5.3	13#、14#、15#
	4	倍率充放电性能试验		5.4.3.1	6.4.3.1	7#、8#、9#
	5	高温适应性试验		5.5.1.1	6.5.1.1	1#、2#、3#
	6	低温适应性试验		5.5.2.1	6.5.2.1	4#、5#、6#
	7	过充电试验		5.7.1.1.1	6.7.1.1.1	1#、2#、3#
	8	过载试验		5.7.1.3.1	6.7.1.3.1	4#、5#、6#
	9	短路试验		5.7.1.4.1	6.7.1.4.1	7#、8#、9#
10	绝热温升特性试验		5.7.4.1	6.7.4.1	10#、11#、12#	
11	热失控试验		5.7.4.2	6.7.4.2.1	13#、14#、15#	
电池模块	1	外观、尺寸和质量检验		5.3.2	6.3.2	样本量:5个 样本编号:1#~5#
	2	初始充放电性能试验	25℃初始充放电性能试验	5.4.1.2	6.4.1.1.2	
			45℃初始充放电性能试验		6.4.1.2.2	
			5℃初始充放电性能试验		6.4.1.3.2	2#
3	倍率充放电性能试验		5.4.3.2	6.4.3.2	3#	
4	高温适应性试验		5.5.1.2	6.5.1.2	1#	

表 23 抽样检验规则（续）

检验样品类型	检验次序	检验项目	技术要求 (章条号)	试验方法 (章条号)	样本量及编号
电池模块	5	低温适应性试验	5.5.2.2	6.5.2.2	2#
	6	绝缘试验	5.7.1.5.1	6.7.1.5.1	4#
	7	耐压试验	5.7.1.6.1	6.7.1.6.1	
	8	高海拔绝缘试验 ^a	5.7.3.3.1	6.7.3.3.1	
	9	高海拔耐压试验 ^a	5.7.3.4.1	6.7.3.4.1	
	10	过充电试验	5.7.1.1.2	6.7.1.1.2	1#
	11	过载试验	5.7.1.3.2	6.7.1.3.2	2#
	12	液冷管路耐压试验 ^b	5.7.2.4.1	6.7.2.4.1	3#
	13	短路试验	5.7.1.4.2	6.7.1.4.2	3#,5#
	14	热失控扩散试验	5.7.4.3.1	6.7.4.3.1	4#
电池簇	1	外观、尺寸检验	5.3.3	6.3.3	样本量:1个 样本编号:1#
	2	报警和保护功能试验	5.7.5.1	6.7.5.1	
	3	初始充放电性能试验	5.4.1.3	6.4.1.1.3	
	4	绝缘试验	5.7.1.5.2	6.7.1.5.2	
	5	耐压试验	5.7.1.6.2	6.7.1.6.2	
	6	高海拔绝缘试验 ^a	5.7.3.3.2	6.7.3.3.2	
	7	高海拔耐压试验 ^a	5.7.3.4.2	6.7.3.4.2	
	8	液冷管路耐压试验 ^b	5.7.2.4.2	6.7.2.4.2	
直流舱	1	外观、尺寸检验	5.3.4	6.3.4	样本量:1个 样本编号:1#
	2	报警和保护功能试验	5.7.5.2	6.7.5.2	
	3	初始充放电性能试验	5.4.1.4	6.4.1.1.4	
	4	绝缘试验	5.7.1.5.3	6.7.1.5.3	
	5	耐压试验	5.7.1.6.3	6.7.1.6.3	
	6	高海拔绝缘试验 ^a	5.7.3.3.3	6.7.3.3.3	
	7	高海拔耐压试验 ^a	5.7.3.4.3	6.7.3.4.3	
	8	液冷管路耐压试验 ^b	5.7.2.4.3	6.7.2.4.3	
^a 仅适用于高海拔条件应用的电池。 ^b 仅适用于采用液体冷却方式的电池。					

7.4.3 判定规则

抽样检验中,所有试验样品进行的检验项目全部满足要求,判定为抽样检验合格;任一试验样品的任一检验项目不满足要求,判定为抽样检验不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

产品铭牌和标识应满足下列要求：

- a) 电池单体外表面包含极性、产品信息唯一识别码等标识；
- b) 电池模块、电池簇、直流舱的铭牌包含商标、产品名称、编码、型号、制造商名称、出厂编号、生产日期或批号等内容；
- c) 电池模块外表面包含极性、当心触电等标识；
- d) 电池簇外表面包含极性、当心触电、高压危险、接地、电池簇内电池模块布置示意图等标识；
- e) 直流舱外表面包含极性、当心触电、高压危险、接地、直流端口标称电压、直流舱防护等级、直流舱重量、直流舱内电池簇布置示意图、直流舱内消防布置示意图等标识。

8.2 包装

产品包装应满足下列要求：

- a) 图示标志和警示标志满足 GB/T 191 的要求；
- b) 包装内含产品清单、产品说明书、产品合格证、出厂检验报告等随行文件；
- c) 运输包装件满足 GB/T 4857(所有部分)、GB/T 5398 及 GB/T 16471 的要求。

8.3 运输

产品运输过程应满足下列要求：

- a) 电池能量状态为 20%~50%，电池簇、直流舱断开电池模块间电气连接；
- b) 产品运输过程轻搬轻放，严防摔掷、翻滚、重压；
- c) 产品运输过程防止剧烈振动、倒置、冲击、挤压，电池单体、电池模块、电池簇防止日晒雨淋，直流舱做好通风口、孔洞、门、线缆端口等与外部相通部位封闭的措施；
- d) 直流舱带电池运输时，直流舱体上具有钠离子电池标志、总能量标识、总重量标识。

8.4 贮存

产品贮存满足下列要求：

- a) 初始能量状态宜为 30%~50%，每贮存 6 个月宜进行能量状态维护；
- b) 贮存环境温度宜为 20℃~35℃，且不高于 50℃、不低于 -30℃；
- c) 空气相对湿度宜小于 95%；
- d) 贮存环境保持清洁、干燥、通风，远离火源、热源、腐蚀性介质及重物隐患，配备消防灭火措施；
- e) 电池单体、电池模块、电池簇应防止日晒雨淋。

附 录 A
(资料性)
电池规格参数表

A.1 电池单体规格参数见表 A.1。

表 A.1 电池单体规格参数表

电池单体型号			
电池单体编码			
项目	符号	单位	数值
最大应用海拔高度	h	m	
电池单体标称充电时间 ^a	t	h	
电池单体标称放电时间 ^a	t'	h	
电池单体额定充电功率 ^a	P_{rc}	W	
电池单体额定放电功率 ^a	P_{rd}	W	
电池单体额定充电能量 ^a	E_{rc}	Wh	
电池单体额定放电能量 ^a	E_{rd}	Wh	
电池单体额定功率充放电循环次数 ^b	—	次	
电池单体标称充电容量	C_{rc}	Ah	
电池单体标称放电容量	C_{rd}	Ah	
电池单体标称电压	U_{nom}	V	
电池单体尺寸	—	mm	(长×宽×高):(× ×)/ (长×宽×厚):(× ×)/ (直径×高):(×)
电池单体体积能量密度标称值	—	Wh/L	
电池单体质量	—	kg	
电池单体质量能量密度标称值	—	Wh/kg	
电池单体充电电压一级报警值	—	V	
电池单体充电电压二级报警值	—	V	
电池单体充电电压三级报警值	—	V	
电池单体充电截止电压	—	V	
电池单体放电截止电压	—	V	
电池单体放电电压三级报警值	—	V	
电池单体放电电压二级报警值	—	V	
电池单体放电电压一级报警值	—	V	
电池单体高温一级报警温度	—	℃	
电池单体高温二级报警温度	—	℃	

表 A.1 电池单体规格参数表（续）

项目	符号	单位	数值
电池单体高温三级报警温度	—	°C	
电池单体高温截止温度	—	°C	
电池单体低温截止温度	—	°C	
电池单体低温三级报警温度	—	°C	
电池单体低温二级报警温度	—	°C	
电池单体低温一级报警温度	—	°C	
使用夹具项目	<input type="checkbox"/> 初始充放电性能试验 <input type="checkbox"/> 功率特性试验 <input type="checkbox"/> 倍率充放电性能试验 <input type="checkbox"/> 能量保持与能量恢复能力试验 <input type="checkbox"/> 高海拔初始充放电性能试验 <input type="checkbox"/> 循环性能试验 <input type="checkbox"/> 过充电试验 <input type="checkbox"/> 过放电试验 <input type="checkbox"/> 过载试验 <input type="checkbox"/> 短路试验 <input type="checkbox"/> 热失控试验		
泄压方式	<input type="checkbox"/> 防爆阀 <input type="checkbox"/> 泄压点(无防爆阀)		
^a 数值小数点后位数不超过2位。 ^b 在25℃条件下,电池单体以额定功率循环充放电至充放电截止条件,充放电能量衰减至额定充放电能量时的循环次数保证值。			

A.2 电池模块规格参数见表 A.2。

表 A.2 电池模块规格参数表

电池模块型号			
电池模块编码			
电池单体型号			
电池单体编码	电池模块内单体串并联方式:___并___串		
电池管理系统型号	电池管理系统软件版本号		
项目	符号	单位	数值
最大应用海拔高度	h	m	
电池模块标称充电时间 ^a	t	h	
电池模块标称放电时间 ^a	t'	h	
电池模块额定充电功率 ^a	P_{rc}	kW	
电池模块额定放电功率 ^a	P_{rd}	kW	
电池模块额定充电能量 ^a	E_{rc}	kWh	
电池模块额定放电能量 ^a	E_{rd}	kWh	
电池模块额定功率充放电循环次数 ^b	—	次	
电池模块标称充电容量	C_{rc}	Ah	
电池模块标称放电容量	C_{rd}	Ah	
电池模块标称电压	—	V	

表 A.2 电池模块规格参数表（续）

项目	符号	单位	数值
电池模块尺寸(长×宽×高)	—	mm	__×__×__
电池模块体积能量密度标称值	—	Wh/L	
电池模块质量	—	kg	
电池模块质量能量密度标称值	—	Wh/kg	
电池模块充电电压一级报警值	—	V	
电池模块充电电压二级报警值	—	V	
电池模块充电电压三级报警值	—	V	
电池模块充电截止电压	—	V	
电池模块放电截止电压	—	V	
电池模块放电电压三级报警值	—	V	
电池模块放电电压二级报警值	—	V	
电池模块放电电压一级报警值	—	V	
电池单体充电电压一级报警值	—	V	
电池单体充电电压二级报警值	—	V	
电池单体充电电压三级报警值	—	V	
电池单体充电截止电压	—	V	
电池单体放电截止电压	—	V	
电池单体放电电压三级报警值	—	V	
电池单体放电电压二级报警值	—	V	
电池单体放电电压一级报警值	—	V	
电池单体高温一级报警温度	—	℃	
电池单体高温二级报警温度	—	℃	
电池单体高温三级报警温度	—	℃	
电池单体高温截止温度	—	℃	
电池单体低温截止温度	—	℃	
电池单体低温三级报警温度	—	℃	
电池单体低温二级报警温度	—	℃	
电池单体低温一级报警温度	—	℃	
电池模块液冷管路最大工作压力	—	kPa	
^a 数值小数点后位数不超过2位。 ^b 在25℃条件下,电池模块以额定功率循环充放电至充放电截止条件,充放电能量衰减至额定充放电能量时的循环次数保证值。			

A.3 电池簇规格参数见表 A.3。

表 A.3 电池簇规格参数表

电池簇型号			
电池簇编码			
电池模块型号			
电池模块编码			
电池单体型号		电池簇内模块串并联方式：___并___串	
电池单体编码		电池模块内单体串并联方式：___并___串	
电池管理系统型号			电池管理系统软件版本号
项目	符号	单位	数值
最大应用海拔高度	h	m	
电池簇标称充电时间 ^a	t	h	
电池簇标称放电时间 ^a	t'	h	
电池簇额定充电功率 ^a	P_{rcn}	kW	
电池簇额定放电功率 ^a	$P_{rdn'}$	kW	
电池簇额定充电能量 ^a	E_{rcn}	kWh	
电池簇额定放电能量 ^a	$E_{rdn'}$	kWh	
电池簇标称充电容量	C_{rcn}	Ah	
电池簇标称放电容量	$C_{rdn'}$	Ah	
电池簇标称电压	—	V	
电池簇尺寸(长×宽×高)	—	mm	___×___×___
电池簇体积能量密度标称值	—	Wh/L	
电池簇充电电压一级报警值	—	V	
电池簇充电电压二级报警值	—	V	
电池簇充电电压三级报警值	—	V	
电池簇充电截止电压	—	V	
电池簇放电截止电压	—	V	
电池簇放电电压三级报警值	—	V	
电池簇放电电压二级报警值	—	V	
电池簇放电电压一级报警值	—	V	
电池模块充电电压一级报警值	—	V	
电池模块充电电压二级报警值	—	V	
电池模块充电电压三级报警值	—	V	
电池模块充电截止电压	—	V	
电池模块放电截止电压	—	V	
电池模块放电电压三级报警值	—	V	
电池模块放电电压二级报警值	—	V	

表 A.3 电池簇规格参数表（续）

项目	符号	单位	数值
电池模块放电电压一级报警值	—	V	
电池单体充电电压一级报警值	—	V	
电池单体充电电压二级报警值	—	V	
电池单体充电电压三级报警值	—	V	
电池单体充电截止电压	—	V	
电池单体放电截止电压	—	V	
电池单体放电电压三级报警值	—	V	
电池单体放电电压二级报警值	—	V	
电池单体放电电压一级报警值	—	V	
电池簇充电电流一级报警值	—	A	
电池簇充电电流二级报警值	—	A	
电池簇充电电流三级报警值	—	A	
电池簇充电电流截止值	—	A	
电池簇放电电流一级报警值	—	A	
电池簇放电电流二级报警值	—	A	
电池簇放电电流三级报警值	—	A	
电池簇放电电流截止值	—	A	
电池单体高温一级报警温度	—	°C	
电池单体高温二级报警温度	—	°C	
电池单体高温三级报警温度	—	°C	
电池单体高温截止温度	—	°C	
电池单体低温截止温度	—	°C	
电池单体低温三级报警温度	—	°C	
电池单体低温二级报警温度	—	°C	
电池单体低温一级报警温度	—	°C	
电池簇充电电池模块电压极差一级报警值	—	mV	
电池簇充电电池模块电压极差二级报警值	—	mV	
电池簇充电电池模块电压极差三级报警值	—	mV	
电池簇充电电池模块电压极差截止值	—	mV	
电池簇放电电池模块电压极差一级报警值	—	mV	
电池簇放电电池模块电压极差二级报警值	—	mV	
电池簇放电电池模块电压极差三级报警值	—	mV	
电池簇放电电池模块电压极差截止值	—	mV	
电池簇充电电池单体电压极差一级报警值	—	mV	

表 A.3 电池簇规格参数表（续）

项目	符号	单位	数值
电池簇充电电池单体电压极差二级报警值	—	mV	
电池簇充电电池单体电压极差三级报警值	—	mV	
电池簇充电电池单体电压极差截止值	—	mV	
电池簇放电电池单体电压极差一级报警值	—	mV	
电池簇放电电池单体电压极差二级报警值	—	mV	
电池簇放电电池单体电压极差三级报警值	—	mV	
电池簇放电电池单体电压极差截止值	—	mV	
电池簇充电电池单体温度极差一级报警值	—	°C	
电池簇充电电池单体温度极差二级报警值	—	°C	
电池簇充电电池单体温度极差三级报警值	—	°C	
电池簇充电电池单体温度极差截止值	—	°C	
电池簇放电电池单体温度极差一级报警值	—	°C	
电池簇放电电池单体温度极差二级报警值	—	°C	
电池簇放电电池单体温度极差三级报警值	—	°C	
电池簇放电电池单体温度极差截止值	—	°C	
电池簇三级报警绝缘电阻	—	kΩ	
电池簇一级报警绝缘电阻	—	kΩ	
电池簇液冷管路最大工作压强	—	kPa	
* 数值小数点后位数不超过2位。			

A.4 直流舱规格参数见表 A.4。

表 A.4 直流舱规格参数表

直流舱型号			
直流舱编码			
电池簇型号			
电池簇编码			
电池模块型号			
电池模块编码	直流舱内簇串并联方式：___并___串		
电池单体型号	电池簇内模块串并联方式：___并___串		
电池单体编码	电池模块内单体串并联方式：___并___串		
电池管理系统型号	电池管理系统软件版本号		
项目	符号	单位	数值
最大应用海拔高度	h	m	
直流舱标称充电时间 ^a	t	h	

表 A.4 直流舱规格参数表（续）

项目	符号	单位	数值
直流舱标称放电时间 ^a	t'	h	
直流舱额定充电功率 ^a	P_{rcn}	kW	
直流舱额定放电功率 ^a	$P_{rdn'}$	kW	
直流舱额定充电能量 ^a	E_{rcn}	kWh	
直流舱额定放电能量 ^a	$E_{rdn'}$	kWh	
直流舱标称充电容量	C_{rcn}	Ah	
直流舱标称放电容量	$C_{rdn'}$	Ah	
直流舱标称电压	—	V	
直流舱尺寸(长×宽×高)	—	mm	___×___×___
电池簇充电电压一级报警值	—	V	
电池簇充电电压二级报警值	—	V	
电池簇充电电压三级报警值	—	V	
电池簇充电截止电压	—	V	
电池簇放电截止电压	—	V	
电池簇放电电压三级报警值	—	V	
电池簇放电电压二级报警值	—	V	
电池簇放电电压一级报警值	—	V	
电池模块充电电压一级报警值	—	V	
电池模块充电电压二级报警值	—	V	
电池单体充电电压三级报警值	—	V	
电池单体充电截止电压	—	V	
电池单体放电截止电压	—	V	
电池单体放电电压三级报警值	—	V	
电池单体放电电压二级报警值	—	V	
电池单体放电电压一级报警值	—	V	
直流舱充电电流一级报警值	—	A	
直流舱充电电流二级报警值	—	A	
直流舱充电电流三级报警值	—	A	
直流舱充电电流截止值	—	A	
直流舱放电电流一级报警值	—	A	
直流舱放电电流二级报警值	—	A	
直流舱放电电流三级报警值	—	A	
直流舱放电电流截止值	—	A	
电池簇充电电流一级报警值	—	A	

表 A.4 直流舱规格参数表（续）

项目	符号	单位	数值
电池簇充电电流二级报警值	—	A	
电池簇充电电流三级报警值	—	A	
电池簇充电电流截止值	—	A	
电池簇放电电流一级报警值	—	A	
电池簇放电电流二级报警值	—	A	
电池簇放电电流三级报警值	—	A	
电池簇放电电流截止值	—	A	
电池单体高温一级报警温度	—	℃	
电池单体高温二级报警温度	—	℃	
电池单体高温三级报警温度	—	℃	
电池单体高温截止温度	—	℃	
电池单体低温截止温度	—	℃	
电池单体低温三级报警温度	—	℃	
电池单体低温二级报警温度	—	℃	
电池单体低温一级报警温度	—	℃	
电池簇充电电池模块电压极差一级报警值	—	mV	
电池簇充电电池模块电压极差二级报警值	—	mV	
电池簇充电电池模块电压极差三级报警值	—	mV	
电池簇充电电池模块电压极差截止值	—	mV	
电池簇放电电池模块电压极差一级报警值	—	mV	
电池簇放电电池模块电压极差二级报警值	—	mV	
电池簇放电电池模块电压极差三级报警值	—	mV	
电池簇放电电池模块电压极差截止值	—	mV	
电池簇充电电池单体电压极差一级报警值	—	mV	
电池簇充电电池单体电压极差二级报警值	—	mV	
电池簇充电电池单体电压极差三级报警值	—	mV	
电池簇充电电池单体电压极差截止值	—	mV	
电池簇放电电池单体电压极差一级报警值	—	mV	
电池簇放电电池单体电压极差二级报警值	—	mV	
电池簇放电电池单体电压极差三级报警值	—	mV	
电池簇放电电池单体电压极差截止值	—	mV	
电池簇充电电池单体温度极差一级报警值	—	℃	
电池簇充电电池单体温度极差二级报警值	—	℃	
电池簇充电电池单体温度极差三级报警值	—	℃	

表 A.4 直流舱规格参数表（续）

项目	符号	单位	数值
电池簇充电电池单体温度极差截止值	—	°C	
电池簇放电电池单体温度极差一级报警值	—	°C	
电池簇放电电池单体温度极差二级报警值	—	°C	
电池簇放电电池单体温度极差三级报警值	—	°C	
电池簇放电电池单体温度极差截止值	—	°C	
电池簇三级报警绝缘电阻	—	kΩ	
电池簇一级报警绝缘电阻	—	kΩ	
直流舱液冷管路最大工作压强	—	kPa	
°数值小数点后位数不超过2位。			

附 录 B
(规范性)
电池工作参数

电池工作参数应满足表 B.1 的要求。

表 B.1 电池工作参数表

电池层级	工作参数类型	工作参数要求
电池单体	—	与电池单体规格参数表一致
	电压限值	充电电压一级报警值>充电电压二级报警值>充电电压三级报警值>充电截止电压
		放电电压一级报警值<放电电压二级报警值<放电电压三级报警值<放电截止电压
	温度限值	高温一级报警温度>高温二级报警温度>高温三级报警温度>高温截止温度
		低温一级报警温度<低温二级报警温度<低温三级报警温度<低温截止温度
	充电截止条件	同时设定下列所有条件并监测是否达到下列任一条件： a) 电池单体电压达到电池单体充电截止电压； b) 电池单体温度达到电池单体高温截止温度； c) 电池单体温度达到电池单体低温截止温度
放电截止条件	同时设定下列所有条件并监测是否达到下列任一条件： a) 电池单体电压达到电池单体放电截止电压； b) 电池单体温度达到电池单体高温截止温度； c) 电池单体温度达到电池单体低温截止温度	
电池模块	—	与电池模块规格参数表一致
	额定充放电功率	\leq 电池单体型式检验报告中额定充放电功率 \times 电池模块中电池单体个数
	额定充放电能量	\leq 电池单体型式检验报告中额定充放电能量 \times 电池模块中电池单体个数
	电压限值	充电电压限值<电池单体充电电压限值 \times 电池模块中电池单体串联个数
		放电电压限值>电池单体放电电压限值 \times 电池模块中电池单体串联个数
		充电电压一级报警值>充电电压二级报警值>充电电压三级报警值>充电截止电压
		放电电压一级报警值<放电电压二级报警值<放电电压三级报警值<放电截止电压
	电池单体工作参数	与电池单体规格参数表一致
充电截止条件	同时设定下列所有条件并监测是否达到下列任一条件： a) 电池模块电压达到电池模块充电截止电压； b) 任一电池单体电压达到电池单体充电截止电压； c) 任一电池单体温度达到电池单体高温截止温度； d) 任一电池单体温度达到电池单体低温截止温度	
放电截止条件	同时设定下列所有条件并监测是否达到下列任一条件： a) 电池模块电压达到电池模块放电截止电压； b) 任一电池单体电压达到电池单体放电截止电压； c) 任一电池单体温度达到电池单体高温截止温度； d) 任一电池单体温度达到电池单体低温截止温度	

表 B.1 电池工作参数表（续）

电池层级	工作参数类型	工作参数要求	
电池簇	—	与电池簇规格参数表一致	
	额定充放电功率	\leq 电池模块型式检验报告中额定充放电功率 \times 电池簇中电池模块个数	
	额定充放电能量	\leq 电池模块型式检验报告中额定充放电能量 \times 电池簇中电池模块个数	
	电压限值	充电电压限值	$<$ 电池模块充电电压限值 \times 电池簇中电池模块串联个数
		放电电压限值	$>$ 电池模块放电电压限值 \times 电池簇中电池模块串联个数
		充电电压一级报警值	$>$ 充电电压二级报警值 $>$ 充电电压三级报警值 $>$ 充电截止电压
		放电电压一级报警值	$<$ 放电电压二级报警值 $<$ 放电电压三级报警值 $<$ 放电截止电压
	电流限值	充电电流一级报警值	$>$ 充电电流二级报警值 $>$ 充电电流三级报警值 $>$ 充电电流截止值
		放电电流一级报警值	$>$ 放电电流二级报警值 $>$ 放电电流三级报警值 $>$ 放电电流截止值
	电池模块电压极差限值	电池簇充电电池模块电压极差一级报警值	$>$ 电池簇充电电池模块电压极差二级报警值 $>$ 电池簇充电电池模块电压极差三级报警值 $>$ 电池簇充电电池模块电压极差截止值
		电池簇放电电池模块电压极差一级报警值	$>$ 电池簇放电电池模块电压极差二级报警值 $>$ 电池簇放电电池模块电压极差三级报警值 $>$ 电池簇放电电池模块电压极差截止值
	电池单体电压极差限值	电池簇充电电池单体电压极差一级报警值	$>$ 电池簇充电电池单体电压极差二级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体电压极差三级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体电压极差截止值
		电池簇放电电池单体电压极差一级报警值	$>$ 电池簇放电电池单体电压极差二级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体电压极差三级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体电压极差截止值
	电池单体温度极差限值	电池簇充电电池单体温度极差一级报警值	$>$ 电池簇充电电池单体温度极差二级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体温度极差三级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体温度极差截止值
电池簇放电电池单体温度极差一级报警值		$>$ 电池簇放电电池单体温度极差二级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体温度极差三级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体温度极差截止值	
绝缘电阻限值	电池簇一级报警绝缘电阻 $<$ 电池簇三级报警绝缘电阻		
电池模块工作参数	与电池模块规格参数表一致		
电池单体工作参数	与电池单体规格参数表一致		
充电截止条件	同时设定下列所有条件并监测是否达到下列任一条件： a) 电池簇电压达到电池簇充电截止电压； b) 任一电池模块电压达到电池模块充电截止电压； c) 任一电池单体电压达到电池单体充电截止电压； d) 电池簇电流达到电池簇充电电流截止值； e) 电池簇内电池模块电压极差达到电池簇充电电池模块电压极差截止值； f) 电池簇内电池单体电压极差达到电池簇充电电池单体电压极差截止值； g) 任一电池单体温度达到电池单体高温截止温度； h) 任一电池单体温度达到电池单体低温截止温度； i) 电池簇内电池单体温度极差达到电池簇充电电池单体温度极差截止值		

表 B.1 电池工作参数表（续）

电池层级	工作参数类型	工作参数要求
电池簇	放电截止条件	同时设定下列所有条件并监测是否达到下列任一条件： a) 电池簇电压达到电池簇放电截止电压； b) 任一电池模块电压达到电池模块放电截止电压； c) 任一电池单体电压达到电池单体放电截止电压； d) 电池簇电流达到电池簇放电电流截止值； e) 电池簇内电池模块电压极差达到电池簇放电电池模块电压极差截止值； f) 电池簇内电池单体电压极差达到电池簇放电电池单体电压极差截止值； g) 任一电池单体温度达到电池单体高温截止温度； h) 任一电池单体温度达到电池单体低温截止温度； i) 电池簇内电池单体温度极差达到电池簇放电电池单体温度极差截止值
直流舱	—	与直流舱规格参数表一致
	额定充放电功率	\leq 电池簇型式检验报告中额定充放电功率 \times 直流舱中电池簇个数
	额定充放电能量	\leq 电池簇型式检验报告中额定充放电能量 \times 直流舱中电池簇个数
	电压限值	与电池簇电压限值一致
	电流限值	充电电流一级报警值 $>$ 充电电流二级报警值 $>$ 充电电流三级报警值 $>$ 充电电流截止值
		放电电流一级报警值 $>$ 放电电流二级报警值 $>$ 放电电流三级报警值 $>$ 放电电流截止值
	电池簇内电池模块电压极差限值	电池簇充电电池模块电压极差一级报警值 $>$ 电池簇充电电池模块电压极差二级报警值 $>$ 电池簇充电电池模块电压极差三级报警值 $>$ 电池簇充电电池模块电压极差截止值
		电池簇放电电池模块电压极差一级报警值 $>$ 电池簇放电电池模块电压极差二级报警值 $>$ 电池簇放电电池模块电压极差三级报警值 $>$ 电池簇放电电池模块电压极差截止值
	电池簇内电池单体电压极差限值	电池簇充电电池单体电压极差一级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体电压极差二级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体电压极差三级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体电压极差截止值
		电池簇放电电池单体电压极差一级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体电压极差二级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体电压极差三级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体电压极差截止值
	电池簇内电池单体温度极差限值	电池簇充电电池单体温度极差一级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体温度极差二级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体温度极差三级报警值 $>$ 电池簇充电电池单体温度极差截止值
		电池簇放电电池单体温度极差一级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体温度极差二级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体温度极差三级报警值 $>$ 电池簇放电电池单体温度极差截止值
	绝缘电阻限值	电池簇一级报警绝缘电阻 $<$ 电池簇三级报警绝缘电阻
电池簇工作参数	与电池簇规格参数表一致	
电池模块工作参数	与电池模块规格参数表一致	
电池单体工作参数	与电池单体规格参数表一致	

表 B.1 电池工作参数表（续）

电池层级	工作参数类型	工作参数要求
直流舱	充电截止条件	同时设定下列所有条件并监测是否达到下列任一条件： a) 任一电池簇电压达到电池簇充电截止电压； b) 任一电池簇内电池模块电压达到电池模块充电截止电压； c) 任一电池簇内电池单体电压达到电池单体充电截止电压； d) 直流舱电流达到直流舱充电电流截止值； e) 任一电池簇电流达到电池簇充电电流截止值； f) 任一电池簇内电池模块电压极差达到电池簇充电电池模块电压极差截止值； g) 任一电池簇内电池单体电压极差达到电池簇充电电池单体电压极差截止值； h) 任一电池单体温度达到电池单体高温截止温度； i) 任一电池单体温度达到电池单体低温截止温度； j) 任一电池簇内电池单体温度极差达到电池簇充电电池单体温度极差截止值
	放电截止条件	同时设定下列所有条件并监测是否达到下列任一条件： a) 任一电池簇电压达到电池簇放电截止电压； b) 任一电池簇内电池模块电压达到电池模块放电截止电压； c) 任一电池簇内电池单体电压达到电池单体放电截止电压； d) 直流舱电流达到直流舱放电电流截止值； e) 任一电池簇电流达到电池簇放电电流截止值； f) 任一电池簇内电池模块电压极差达到电池簇放电电池模块电压极差截止值； g) 任一电池簇内电池单体电压极差达到电池簇放电电池单体电压极差截止值； h) 任一电池单体温度达到电池单体高温截止温度； i) 任一电池单体温度达到电池单体低温截止温度； j) 任一电池簇内电池单体温度极差达到电池簇放电电池单体温度极差截止值