

团 体 标 准

T/JES XXX-XXXX

集成电化学阻抗芯片的电力储能用低压 磷酸铁锂电池管理系统技术规范

Technical Specification for Low-Voltage Lithium Iron Phosphate Battery
Management System Integrated with Electrochemical Impedance Chip

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

江苏省电工技术学会 发布

目次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总体原则	3
5 技术要求	3
5.1 基本要求	3
5.2 监测功能	4
5.3 EIS-BMS 预测功能	5
5.4 告警与管理功能	6
5.5 运行评估与维护	9
5.6 监控通信接口与电磁兼容性	11
5.7 EIS-BMS 预测性维护要求	11
5.8 EIS 芯片要求	12
6 试验方法	13
6.1 试验环境条件	13
6.2 测量仪表要求	13
6.3 基本项目	14
6.4 EIS-BMS 管理功能	14
6.5 电气性能	14
6.6 保护与告警功能	16
6.7 监控通讯接口	17
6.8 电磁兼容性	17
6.9 环境试验	17
6.10 EIS-BMS 预测性维护检测方法	18
6.11 应用验证	19
7 检验规则	19
7.1 检验分类	19
7.2 出厂检验	19
7.3 鉴定检验（型式检验）	21
8 标志、包装、运输、储存、安装	21
8.1 标志与包装	21
8.2 运输与储存	21
8.3 安装与验收	21
附录 A（资料性） 数据储存格式	23

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》的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由江苏省电工技术学会提出并归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司南京供电分公司、南京工业大学、南京大学、东南大学、新源智储能源发展（北京）有限公司、南京远能电力工程有限公司送变电分公司、南京电力设计研究院有限公司、南京华群能源集团有限公司、湖南理工大学、南京苏逸实业有限公司。

本文件主要起草人：许洪华、朱红、张玮亚、沈逸文、王强、崔向杰、徐印、王艳、陆奕、谭劼、朱兴龙、邴钰淇、杨栋、韩舒、王文帝、宋哲、杜力、张冲、孙丁、顾承阳、茅嘉毅、延巧娜、孙少斌、曹刚、嵇文路、马斌、周苏洋、程孟晗、张若微、马璘劼、张锐、邹宇、蔡成铭、赵锡正、张航通、朱宇超、王舒凡、许自强、纪业、朱正谊、高阳明、樊继利、牟润蕃、刘宝稳、皮一晨、施萱轩、钱欣、杨林青、韩硕、胡子健、孙凯、耿明昊、陈雪薇、王静萍、黄璜、徐萍、刘海、杨莉、潘歌。

本文件为首次发布。

集成电化学阻抗芯片的电力储能用低压磷酸铁锂电池 管理系统技术规范

1 范围

本文件规定了电力储能用低压（电压小于 1 kV）集成电化学阻抗芯片的锂离子电池管理系统（Electrochemical Impedance Chip Integrated Lithium-ion Battery Management System, EIS-BMS）的技术规范。

本文件适用于具有自主限流充电功能的电力储能用集成电化学阻抗芯片的低压磷酸铁锂电池组管理系统。其它正极材料体系的锂电池组管理系统也可参照使用。

2 规范性引用文件

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

GB/T 39482.1	涂漆和未涂漆金属试样的电化学阻抗谱（EIS） 第 1 部分：术语和定义
GB/T 39482.2	涂漆和未涂漆金属试样的电化学阻抗谱（EIS） 第 2 部分：数据采集
GB/T 39482.3	涂漆和未涂漆金属试样的电化学阻抗谱（EIS） 第 3 部分：从模拟电解池获得数据的处理和分析
GB/T 34131	电力储能用电池管理系统
GB/T 36276	电力储能用锂离子电池
GB 44240	电能存储系统用锂蓄电池和电池组 安全要求
GB/T 43555	智能服务 预测性维护 算法测评方法
GB/T 2423.1	电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温
GB/T 2423.2	电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温
GB/T 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 2829	周期检验计数抽样程序及表（适用于对过程稳定性的检验）
GB/T 17626.2	电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
GB/T 17626.5	电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
GB/T 17626.17	电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口纹波抗扰度试验
GB/T 13452.2	色漆和清漆漆膜厚度的测定
GB/T 9286	色漆和清漆 划格试验
GB/T 191	包装储运图形符号标志
GB/T 4208	外壳防护等级（IP 代码）
JJF 1910	电化学工作站校准规范
T/CNESA 1002	电化学储能系统用电池管理系统技术规范
T/CEPPC 25	储能锂离子电池热失控预警及防护技术要求
T/JES 013	电力储能用低压磷酸铁锂电池管理系统预测性维护与评估规范
YD/T 1363.3	通信局（站）电源、空调及环境集中监控管理系统 第 3 部分：前端智能设备协议

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电化学阻抗谱 **electrochemical impedance spectroscopy**

电化学阻抗谱定义为在电化学体系中，对一个工作电极施加小幅度的正弦波形交流电信号（通常是电势或电流），同时测量相应的响应信号（电流或电势），并分析这些响应随频率变化的特性。

3.2

电化学阻抗芯片 **Electrochemical impedance chip**

集成信号发生、阻抗采集、数据预处理功能，可向锂离子电池施加小振幅正弦波扰动信号，毫秒级提取阻抗特征参数，并支持与 BMS 主控制器实时通信的专用集成电路，是 EIS-BMS 的核心功能模块。

3.3

集成电化学阻抗芯片的电池管理系统 (**Electrochemical Impedance Chip Integrated Lithium-ion Battery Management System, EIS-BMS**)

以电力储能用锂离子电池组为管理对象，集成 EIS 芯片、主控制器、采集模块、通信模块、安全保护模块的一体化系统，可实现电池电压、电流、温度监测，基于 EIS 数据完成 SOC/SOH 估算、故障诊断及安全控制。

3.4

电池单体 **cell**

能够进行化学能和电能相互转换，实现充放电的基本单元，一般由正极、负极、隔膜、电解质和壳体等组成。不同类型电池单体有不同的标称电压，磷酸铁锂电池单体标称电压为 3.20 V，用 U_0 表示。

3.5

集成式电池组 **integrated battery set**

为满足低压储能电源后备式蓄电池工作电压，将 15—260 个电池单体串联起来，直接安放在集成设备柜模块中的电池组，标称电压为 nU_0 ($15 \leq n \leq 260$)。系统划分为 1—10 个模块集成一组电芯和一个电池组管理系统。可简称集成式电池组。

3.6

电池管理系统 **Battery Management System (BMS)**

是保证电池组和单体安全、可靠工作的电路系统的总称。该系统采集电池组总电压、单体电压、电量、充放电电流、电池环境温度等参数，对电池充电、放电过程和状态进行监控，并具有有效的保护和告警功能，由采集和监控保护电路、电气和通信接口及热管理等装置组成。

3.7

荷电状态 **State of Charge (SOC)**

电池单体/电池组实际所充入电量和额定容量的比值，即当前状态下以 10 h 率放电至截止电压时所能提供的电量与额定容量的比值，用 SOC 表示。可简称电池的荷电状态。

3.8

健康状态 **State of Health (SOH)**

电池从充满状态以一定倍率放电到截止电压放出的能量与其对应的标称额定充/放电能量的比值。用百分数表示。

3.9

欧姆电阻 **ohmic resistance (R_{ohm})**

电化学系统中由电解液、电极材料、集流体、极耳及连接部位产生的电阻，磷酸铁锂电池单体 R_{ohm} 典型值为 $5 \text{ m}\Omega \sim 50 \text{ m}\Omega$ ，对应 EIS Nyquist 图中高频段与实轴的交点值。

3.10

电荷转移电阻 charge transfer resistance (R_n)

电极/电解质界面发生电化学反应（锂离子脱嵌）时产生的电阻，磷酸铁锂电池单体的 R_n 典型值为 $10\text{ m}\Omega\sim 100\text{ m}\Omega$ ，对应 EIS Nyquist 图中中高频段半圆的直径。

3.11

固体电解质界面膜 Solid Electrolyte Interphase film (SEI 膜)

SEI 膜是锂离子电池在制造阶段的化成工序（首次充放电活化过程）中，负极表面与电解液发生电化学反应，直接在负极活性材料表面生成、紧密附着于电极界面的一层纳米级钝化薄膜。

3.12

SEI 膜阻抗 SEI film resistance (R_{sei})

磷酸铁锂电池负极表面固体电解质界面膜（SEI 膜）对离子传输产生的电阻，单体典型值为 $5\text{ m}\Omega\sim 30\text{ m}\Omega$ ，对应 EIS Nyquist 图中高频段小半圆的直径。

3.13

扩散阻抗 diffusion impedance (Z_0)

锂离子在电极活性材料内部固相扩散过程产生的电化学阻抗，半无限扩散条件下又称沃伯格阻抗（Warburg impedance），对应 EIS Nyquist 图中低频段的 45° 的斜线（半无限扩散）或低频圆弧（有限扩散），符号为 Z_0 。

3.14

原位检测 in-situ testing

在不拆分电池组的前提下，通过专用夹具接入组内指定单体，直接进行 EIS 测试的方法，确保电池组结构完整性和测试安全性。

3.15

等效电路 equivalent circuit

用于模拟被测样品的电化学阻抗的电路。

4 总体原则

4.1 EIS-BMS 应保证电池组适应现有在网运行的储能电源的各种工作状态，兼容集成式、分立式电池组结构。

4.2 EIS-BMS 应满足我国锂离子电池安全保护要求，集成 EIS 芯片后不降低原有安全防护等级。

4.3 EIS-BMS 应能适应户外恶劣环境，耐受宽温域、高电磁干扰、高湿度等工况。

4.4 EIS-BMS 应通过采集电池组基础参数与 EIS 数据，实现软件/算法的预测性维护与评估，提升状态估算精度和故障预警时效性。

4.5 EIS 芯片功能应与 BMS 现有模块无缝协同，不改变 BMS 原有安装接口且相对于同规格未集成 EIS 芯片的 BMS 外形尺寸增幅 $\leq 5\%$ 。

5 技术要求

5.1 基本要求

5.1.1 工作环境条件

- 推荐环境温度： $5\text{ }^\circ\text{C}\sim 45\text{ }^\circ\text{C}$ ，允许环境温度： $-30\text{ }^\circ\text{C}\sim +65\text{ }^\circ\text{C}$ ；
- 相对湿度： $5\%\sim 95\%\text{ RH}$ ($40\text{ }^\circ\text{C}\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$)；
- 大气压力： $70\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ ；

T/JES XXX—XXXX

- d) 电磁环境：电场强度 ≤ 10 V/m (80 MHz~1 GHz)。

5.1.2 储运环境条件

- a) 环境温度： -40 °C~ $+80$ °C；
b) 相对湿度： $\leq 95\%$ RH (40 °C ± 2 °C)。

5.1.3 外观要求

- a) 外观整洁，无明显变形及机械损伤；
b) 通讯接口、告警指示、状态指示工作正常且标识明确；
c) 电路板进行三防处理（防盐雾、防潮湿、防霉菌），三防涂层厚度符合 GB/T 13452.2 要求，附着力符合 GB/T 9286—2021 要求且 ≥ 1 级。

5.1.4 管理范围

- a) 管理单体数：15~260 节串联锂离子电池；
b) 标称电池组电压：48 V~832 V，正常电压范围：37 V~949 V；
c) 适配电池容量：50 Ah~300 Ah。

5.1.5 工作电源

EIS-BMS 应优先采用外电供电，无外电时由电池组供电。

5.1.6 功耗要求

EIS-BMS 功耗应满足在线非充放电状态 ≤ 8 W (含 EIS 芯片运行)，自动休眠状态 ≤ 50 mW，手动休眠状态 ≤ 30 mW。

5.1.7 休眠功能

- a) 离线状态（电池组正负极、通信接口断开）30 min（范围 5 min~24 h 可调）后自动休眠，在线状态（充电、放电、通信）自动激活；
b) 支持手动休眠与激活，激活响应时间 ≤ 1 s。

5.2 监测功能

5.2.1 信息采集管理要求

- a) 每个 EIS-BMS 独立管理一组电池单体；
b) 具备单体电压、单体组合单元表面温度、电池组总电压、充放电电流、环境温度检测功能，同时具备 EIS 参数采集功能；
c) 单体电压测量范围：0 V~5 V；总电压测量范围：0 V~1000 V；充电电流测量范围：0 I_{10} A~10 I_{10} A；放电电流测量范围：0 I_{10} A~30 I_{10} A；温度测量范围： -50 °C~ 130 °C；

注： I_{10} 为 10 小时率电流，指电池在规定环境温度下，以恒定电流连续放电 10 小时至单体截止电压时的电流值，数值上等于电池额定容量 (Ah) 除以 10 (h)。

- d) EIS 频率范围：在线快速检测模式为 10 Hz~1 kHz，检测时间 ≤ 100 ms；低频扩展检测模式为 1 Hz~1 kHz，检测时间 ≤ 200 ms；
e) 数据刷新周期：基础参数 ≤ 5 s，EIS 数据 ≤ 1 s (可配置)，SOC/SOH 更新频率 ≥ 1 Hz；
f) 存储功能：支持 ≥ 10000 条 EIS 谱图数据、告警数据及运行参数存储，存储内容采取先进先出原则，可通过监控接口读取，宜支持外接存储介质。

5.2.2 信息测量显示精度

EIS-BMS 应能测量蓄电池组的充/放电状况、电池单体电压、总电压、电流、电池组工作环境温度、 R_{ohm} 、 R_t 等各种参数值，且与电池组实际的参数值之间的误差应符合表 1 的要求。

表 1 EIS-BMS 测量显示精度

参数名称	技术要求
单体电压	50%量程以上误差 $\leq\pm 0.5\%$
总电压	50%量程以上误差 $\leq\pm 0.5\%$
充放电电流	50%量程以上误差 $\leq\pm 2\%$
环境温度	50%量程以上误差 $\leq\pm 2^{\circ}\text{C}$
R_{ohm} 、 R_t	25 $^{\circ}\text{C}$ 下相对误差 $\leq\pm 3\%$ ； 0 $^{\circ}\text{C}$ ~50 $^{\circ}\text{C}$ 区间相对误差 $\leq\pm 5\%$ ； -20 $^{\circ}\text{C}$ ~0 $^{\circ}\text{C}$ 及 50 $^{\circ}\text{C}$ ~60 $^{\circ}\text{C}$ 区间相对误差 $\leq\pm 7\%$
阻抗分辨率	$\leq 0.1\text{ m}\Omega$ （测量范围 1 $\text{ m}\Omega$ ~100 $\text{ m}\Omega$ ）

5.3 EIS-BMS 预测功能

5.3.1 电池组工作电流 (I) 估算

EIS-BMS 应具备动态电流估算功能，在线预判工作电流 I 的误差 $\leq\pm 0.5\%$ 。

5.3.2 电池组开路电压 (OCV) 估算

EIS-BMS 应具备动态开路电压估算功能，在线预判开路电压 OCV 的误差要求同一模组内电芯 OCV 最大偏差 $\leq 30\text{ mV}$ ，整包 OCV 最大偏差 $\leq 50\text{ mV}$ ，同一模组内电芯 OCV 差异月增长率 $< 10\text{ mV}$ 。

5.3.3 电池组荷电状态 (SOC) 估算

BMS 应具备动态荷电量 Q 计算功能及 SOC 估算功能，并且估算模型支持 EIS 参数与充放电积分法融合。

全工况 (0—100% SOC) 估算误差：电池单体 $\leq 5\%$ （动态平台期外）、 $\leq 8\%$ （动态平台期内）；
电池组 $\leq 8\%$ 。

5.3.4 电池组温度估算

EIS-BMS 应具备电池单体与电池组多位置的温度估算功能，温度估算准确度 $\leq\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.5 电池组健康状态 (SOH) 实时估算

- 在线预判 SOH 最大误差：0~2000 次循环 $\leq\pm 3\%$ ，2001~3000 次循环 $\leq\pm 4\%$ ；
- 输入参数包含 EIS 核心参数 (R_{ohm} 、 R_t)、循环次数、充放电容量、温度数据；
- 更新频率 ≥ 1 次/天，电池状态突变时实时更新。

注：本条款为短期实时估算精度，基于当前电池运行数据与 EIS 检测结果，反映电池当前健康状态。

5.3.6 电芯内部状态预警

5.3.6.1 SEI 膜异常预警

EIS-BMS 应具备电池 SEI 膜异常的预警功能，以电芯出厂校准基准值或静置稳定状态（连续 10 次 EIS 检测波动 $\leq 5\%$ ）的 R_{ct} 均值为基准，剔除温度、SOC、倍率修正后， R_{ct} 月相对增长 \geq 自适应阈值时触发预警（自适应阈值默认值：8%，支持按电芯厂家、型号、工况进行配置校准）。

注：8%默认阈值依据磷酸铁锂电池 EIS 老化诊断通用数据确定。

5.3.6.2 锂离子扩散效率预警

EIS-BMS 应具备锂离子扩散效率突变时的预警功能，以电芯出厂校准基准值或静置稳定状态（连续 10 次 EIS 检测波动 $\leq 5\%$ ）的 Z_0 均值为基准，剔除温度、SOC、倍率修正后， Z_0 相对突变 \geq 自适应阈值时触发预警（自适应阈值默认值：15%，支持按电芯厂家、型号、工况进行配置校准）。

注：突变定义：连续 3 次 EIS 检测（每次检测间隔 $\leq 5\text{ min}$ ）的 Z_0 均值，比最近一次稳定状态的 Z_0 均值变化 \geq 自适应阈值。15%默认阈值依据储能电池 EIS 故障诊断通用数据确定。

5.3.6.3 电极界面稳定性预警

在 10 Hz 测试频率下，相位角 5 min 内异常波动 $\geq 10^\circ$ 时，EIS-BMS 应触发预警。

注：5 min 内（含 60 个检测周期，按 EIS 数据刷新周期 $\leq 5\text{ s}$ 计算），相位角最大值与最小值的差值 $\geq 10^\circ$ 。

5.3.7 剩余使用寿命（RUL）预测

EIS-BMS 应具备电池剩余使用寿命预测功能，预测误差：优级算法 $\leq \pm 8\%$ ，合格算法 $\leq \pm 10\%$ ，支持按循环次数、运行时间、剩余容量三种维度输出，模型可用率 $\geq 99\%$ ，推理延迟 $P 95 < 100\text{ ms}$ 。

5.4 告警与管理功能

5.4.1 EIS-BMS 限流充电功能

EIS-BMS 具备自主限流充电功能，保证工作范围内的电压输入时，电池组能够正常充电，限流状态电流值不小于 $1 I_{10A}$ 。

5.4.2 EIS-BMS 单体均衡

环境温度 25°C 时，50%荷电状态的电池组，选择 4~16 个不连续排列单体，以 $2 I_{10}$ 放电率放电至最大压差 50 mV 以上或放出额定容量 5%（不小于 1 Ah）；

充电 30 h 后静置 30 min，单体间最大压差 $< 30\text{ mV}$ 或整组荷电量恢复至额定容量 98%。

5.4.3 EIS-BMS 温升要求

按 $10 I_{10}$ 电流持续放电试验，电路板正常工作且最大温升 $< 40^\circ\text{C}$ ，EIS 芯片工作时温升 $\leq 20^\circ\text{C}$ （环境 25°C ）。

5.4.4 过充电保护

电池组过充电时，EIS-BMS 应切断充电电路并告警，电压恢复正常值时，EIS-BMS 应能自动消除告警并恢复工作。

5.4.5 过放电保护

电池组放电至截止状态后，EIS-BMS 应能切断放电电路并告警；电压恢复正常值时，EIS-BMS 应能自动消除告警并恢复工作。

5.4.6 输出短路保护

输出端正负极直接短路时，EIS-BMS 应能瞬间切断电路并告警，EIS-BMS 和电池单体无损坏；短路排除后，EIS-BMS 应能手动或自动恢复工作。

5.4.7 输出过流保护

BMS 应具有能根据用户的需要设置的输出过流保护功能，延时保护设置范围： $5 I_{10} \sim 11 I_{10}A$ （可调），延时时间 $0 s \sim 60 s$ （可调），瞬时保护设置范围： $10 I_{10} \sim 30 I_{10}A$ （可调），且瞬时保护值大于延时保护值。保护 $2 min$ （可调）后，EIS-BMS 应能自动重启正常输出功能，连续 3 次过流保护后应人工重启。

5.4.8 抗过压防护

当对 EIS-BMS 输入端施加 2 倍额定电压时，EIS-BMS 应不损坏且进入切断保护状态。

5.4.9 防反接保护功能

当外接电源的正负极性与 EIS-BMS 的正负极性接反时，EIS-BMS 不损坏且进入切断保护状态。

5.4.10 失效保护

当电池单体电压低至 $2.5 V$ 或单体间压差 $> 1 V$ 时，EIS-BMS 不应启动均衡工作、不允许放电，应触发电池异常告警。

5.4.11 温度保护

EIS-BMS 应具备自身过温时的自我保护并告警功能；

电芯温度达到保护设定值时，EIS-BMS 应切断电路并告警；温度降至恢复设定值时自动恢复工作，保护与恢复值符合表 2 要求。

5.4.12 分级告警机制

EIS-BMS 应具备实时电池阻抗检测功能并根据阻抗相对偏差进行分级告警，分级告警标准如下：

表 2 EIS-BMS 分级告警表

告警等级	触发场景	响应措施
一级	单体阻抗相对于出厂校准基准值的相对偏差 $\geq 10\%$ 、SEI 膜增厚	自动记录告警日志及对应的 EIS 核心参数，巡检周期从每日一次缩短至每 12 小时一次，通过远程监测平台完成，重点核查 EIS 参数变化趋势及电池单体电压/温度一致性；持续监测至告警消除或升级，无需现场值守。
二级	单体阻抗相对偏差 $\geq 15\%$ 、析锂前兆、温升速率 $1 \sim 5^{\circ}C/min$	限制充放电功率至电池组额定充放电功率的 80%（限制后功率不得低于 $1 I_{10}A$ ，避免过度限制导致电池电压异常）；立即触发远程告警，同步推送至运维管理平台；加密 EIS 检测周期至 $10 s/次$ ，实时追踪异常参数变化。
三级	单体阻抗相对偏差 $\geq 20\%$ 、热失控前兆、极片微短路	立即切断充放电回路，启动消防联动系统；锁定 EIS 数据快照及近 72 小时历史趋势数据，便于故障溯源；触发紧急告警。

5.4.13 告警与保护参数设置范围

表3 EIS-BMS 告警、保护功能状态及设置范围汇总表

序号	检测项目	功能默认	设置范围	
1	正常充电电压	/	3.40 V~3.65 V	
2	充电总电压高保护及恢复功能	开启	告警值	1.10nU ₀ ~1.15nU ₀
			保护值	1.15nU ₀ ~1.22nU ₀
			恢复值	1.10nU ₀ ~1.15nU ₀
3	放电总电压低告警功能	开启	告警值	0.80nU ₀ ~0.95nU ₀
			保护值	0.78nU ₀ ~0.80nU ₀
			恢复值	0.85nU ₀ ~0.97nU ₀
4	单体电池电压低保护及恢复功能	开启	告警值	2.70 V~2.80 V
			保护值	2.50 V~2.70 V
			恢复值	2.50 V~3.20 V
5	单体电池电压高保护及恢复功能	开启	告警值	3.50 V~3.80 V
			保护值	3.80 V~3.90 V
			恢复值	3.00 V~3.60 V
6	充电过温保护及恢复功能	开启	告警值	35 °C~55 °C
			保护值	55 °C~60 °C
			恢复值	30 °C~50 °C
7	放电过温保护及恢复功能	开启	告警值	40 °C~55 °C
			保护值	55 °C~60 °C
			恢复值	35 °C~50 °C
8	充电低温保护及恢复功能	开启	告警值	-30 °C~10 °C
			保护值	-30 °C~10 °C
			恢复值	-25 °C~10 °C

表 3 EIS-BMS 告警、保护功能状态及设置范围汇总表（续）

序号	检测项目	功能默认	设置范围	
9	放电低温保护及恢复功能	开启	告警值	-30℃~10℃
			保护值	-30℃~10℃
			恢复值	-25℃~10℃
10	过流保护及恢复功能	开启	告警值	$1 I_{10} \sim 30 I_{10}$
			保护值	$1 I_{10} \sim 30 I_{10}$
			恢复值	$0 \sim 20 I_{10}$
11	析锂告警	开启	高频阻抗突增 $\geq 15\%$ 、中频半圆面积变化 $\geq 10\%$	
12	SEI 膜异常告警	开启	R_{ct} 月增长 $\geq 8\%$	
注 1：正常充电电压指单体平均电压； 注 2：温度保护点和恢复点也可由生产厂家或用户设置。				

5.5 运行评估与维护

5.5.1 电池组运行容量分级评估

EIS-BMS 应具备实时 SOC 估算功能并对各级工况进行预警及处理，更新频率不低于 1 Hz，全工况范围（0~100%SOC）估算误差限值符合 5.3.3 要求，分级评估标准如下：

表 4 EIS-BMS 电池组运行容量状态分级评估标准表

分级	容量状态	电压判据（单体/电池组）	EIS-BMS 响应措施
过充区	$\geq 100\%SOC$	单体电压 \geq 充电截止电压（3.65 V/Cell）；组端总电压 $\geq 1.22 nU_0$	立即切断充电回路，触发三级报警
高容量区	95%~100%SOC	单体电压 3.55 V~3.65 V；组端总电压 $1.18 nU_0 \sim 1.25 nU_0$	进入恒压/限流充电；触发二级预警
正常工作区	20%~95%SOC	单体电压 2.8 V~3.55 V；组端总电压 $0.88 nU_0 \sim 1.18 nU_0$	正常充放电，均衡管理；同步记录 EIS 核心参数
低容量区	5%~20%SOC	单体电压 2.55 V~2.80 V；组端总电压 $0.80 nU_0 \sim 0.88 nU_0$	限制放电功率，触发一级预警；加密 EIS 检测频次
过放区	$\leq 5\%SOC$	单体电压 $\leq 2.55 V$ ；组端总电压 $\leq 0.80 nU_0$	强制切断负载，进入保护模式；锁定 EIS 数据快照

注：n 为串联单体数量， U_0 为单体额定电压（磷酸铁锂 $U_0=3.2 V$ ）；预警分级（一级/二级/ 三级）对应提示→限制→保护停机三个等级。

5.5.2 电池组热失控分级评估

电池组热失控预警功能和逻辑应符合 T/CEPPC 25—2024 的评价要求，EIS-BMS 应具备实时温度估算与 EIS 参数融合预警功能，更新频率不低于 1 Hz，分级评估标准如下：

表 5 EIS-BMS 电池组热失控分级评估标准表

分级	温度/风险状态	判断标准	EIS-BMS 响应措施
低温保护	$\leq -20^{\circ}\text{C}$	内阻激增，充电效率 $< 50\%$ ； EIS 高频阻抗 R_{ohm} 增长 $\geq 30\%$	禁止充电，启动加热系统； 记录 EIS 阻抗谱图
正常	$-20^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$	温升速率 $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；EIS 参数 (R_{ohm} 、 R_t) 无异常波动	常规监控；按设定周期采集 EIS 数据
高温保护	$45^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$	温升速率 $1^{\circ}\text{C}/\text{min} \sim 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ； EIS 中频阻抗 R_t 增长 $\geq 15\%$	降载运行，强制风冷；缩短 EIS 检测周期至 10 s
热失控预警	$60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 且温升速率 $> 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$	电压突降 $\geq 15\%$ 、气体析出； EIS 低频扩散阻抗 Z_0 下降 $\geq 20\%$	启动消防系统，隔离故障单元； 上传 EIS 故障数据
热失控	$\geq 80^{\circ}\text{C}$ 且伴随喷烟/明火	温升速率 $\geq 1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ；EIS 阻抗谱 图出现异常畸变	执行毫秒级熔断，上报紧急 停机；固化 EIS 历史数据

5.5.3 电池组寿命分级评估

EIS-BMS 应具备实时 SOH 估算功能并对电池组寿命情况进行预警及处理，更新频率不低于 1 Hz，SOH 估算误差符合 5.3.5 要求，分级评估标准如下：

表 6 EIS-BMS 电池组寿命分级评估标准表

分级	健康度	判断标准	EIS-BMS 管理策略
全新	$\geq 95\%$ SOH	容量衰减 $\leq 2\%$ /年， R_{ohm} 增长 $\leq 5\%$ ； EIS 谱图拟合偏差 $\chi^2 \leq 10^{-3}$	优化充放电曲线，延长寿命； 按常规周期存储 EIS 数据
正常	$80\% \sim 95\%$ SOH	容量衰减 $2\% \sim 5\%$ /年， R_{ohm} 增长 $5\% \sim 15\%$ ； R_t 月波动 $\leq 3\%$	限制快充倍率，加强均衡；每 月生成 EIS 健康报告
低容量	$60\% \sim 80\%$ SOH	容量衰减 $\geq 5\%$ /年， R_{ohm} 增长 $\geq 15\%$ ； R_t 月波动 $\geq 5\%$	降额使用（限制 SOC 范围至 $30\% \sim 80\%$ ）；每周进行 EIS 全 频段检测
维修更换	$\leq 60\%$ SOH	循环寿命达上限（ ≤ 3500 次）；EIS 参数与初始值偏差 $\geq 30\%$	锁定系统，提示维护；导出完 整 EIS 历史数据供分析

5.5.4 维护要求

a) 硬件维护：采样端子接线电阻 $\leq 5 \text{ m}\Omega$ ，无松动腐蚀；电流采样电阻温升 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ （环境 25°C ）；温度探头同模块静态温差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ （间距 $\leq 10 \text{ cm}$ ）；均衡单元无异常噪音，温升 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ 。

b) 巡检周期：日常巡检每日 1 次（远程查状态码及 EIS 芯片工作状态）；定期巡检每月 1 次（现场实测 EIS 参数、硬件状态及校准情况）。

c) EIS 芯片校准：校准周期 ≤ 1 年，校准后核心参数测量精度维持时间 ≥ 1 年；异常时自动告警并记录校准日志。

5.6 监控通信接口与电磁兼容性

5.6.1 通信接口

外部通信接口协议采用 YD/T 1363.3—2023 中的蓄电池检测装置通信协议，对外通信接口类型至少包含 RS232、RS485、以太网口中的一种，数据传输延迟 ≤ 50 ms，数据传输正确率 $\geq 99.99\%$ 。

5.6.2 监控内容

- a) 遥测：电池组电压、SOC、SOH、单体电压/充放电电流、循环次数、环境/电池组温度、EIS 核心参数 (R_{ohm} 、 R_t)、历史数据、故障日志。
- b) 遥信：充放电状态、各级告警状态、保护动作状态、通信状态、EIS 芯片工作状态。
- c) 遥控：告警声音开/关、充放电启停、均衡功能启停、EIS 检测启停、智能间歇充电方式切换。
- d) 遥调：告警阈值、均衡阈值、EIS 采样周期、充放电限流值。

5.6.3 静电放电抗扰性

EIS-BMS 应满足 GB/T 17626.2—2018 等级 4 要求，试验后无损坏且正常工作。

5.6.4 浪涌（冲击）抗扰性

EIS-BMS 通信端口线对线、线对地应满足 GB/T 17626.5—2019 等级 2 要求，试验后无损坏且正常工作。

5.6.5 直流电源输入端口纹波抗扰度

满足 GB/T 17626.17—2005 等级 2 要求，试验后无损坏且正常工作。

5.6.6 抗电磁干扰

EIS-BMS 应满足在 10 V/m 电场强度（80 MHz~1 GHz）下，EIS 参数测量相对波动 $\leq \pm 3\%$ 。

5.7 EIS-BMS 预测性维护要求

5.7.1 EIS-BMS 硬件维护要求

- a) 采样端子无松动/腐蚀，接线电阻 ≤ 5 m Ω ；
- b) 电流采样电阻温升 ≤ 20 °C（环境 25 °C）；
- c) 温度探头贴合良好，同模块内探头静态温差 ≤ 1 °C（间距 ≤ 10 cm）；
- d) 主控板指示灯正常（电源常亮、均衡仪工作时闪烁、故障灯灭）；
- e) 均衡单元无异常噪音，温升 ≤ 30 °C；
- f) 巡检周期：日常（每日 1 次，远程查状态码）、定期（每月 1 次，现场实测记录）。

5.7.2 EIS-BMS 软件预测性维护要求

5.7.2.1 总体架构要求

- a) 构建“数据采集→状态估计→预测模型（SOC/SOH/RUL/故障概率）→告警与维护建议”闭环体系；
- b) 支持 SOC/SOH/温度预测、RUL 预测、异常/故障预警（内阻突增、温度异常、EIS 参数漂移等）；
- c) 支持物理模型、数据驱动模型及其混合模型并行运行。

5.7.2.2 数据集要求

T/JES XXX—XXXX

- a) 包含现场运行、实验室老化及注入/仿真数据，覆盖完整退化过程与典型工况；
- b) 训练/验证/测试集按设备级划分，测试集中含未见设备样本；
- c) 每类典型故障保留 ≥ 10 个独立样本，故障稀缺时可补充仿真/注入数据并注明来源；
- d) 数据集包含元数据（采样条件、故障标记等），并经质量检查与版本归档。

5.7.2.3 算法评估指标

- a) 回归类任务：采用平均绝对误差(MAE)、均方根误差(RMSE)、平均绝对百分比误差(MAPE)；
- b) 异常检测与分类任务：采用精确率(Precision)、召回率(Recall)、F1分数、误报率(FPR)；
- c) 统计平均提前告警时间，衡量告警及时性。

5.7.2.4 算法性能阈值

- a) 回归类指标：SOC估算（合格：动态平台期外 $\leq 5\%$ /动态平台期内 $\leq 8\%$ ）；SOH/RUL长期预测（基于1年/500次循环预测周期，合格 $\leq 8\%$ ）；
- b) 异常检测指标：召回率 $\geq 90\%$ ，误报率 $\leq 5\%$ ；
- c) 提前告警时间：储能场景平均 ≥ 48 h；
- d) 在线性能：模型可用率 $\geq 99\%$ ，推理延迟 P 95 < 100 ms。

注：本条款中 SOH 为长期预测精度，指预测未来特定周期后的电池健康状态，受使用工况、环境变量影响，精度要求与实时估算存在差异。

5.7.2.5 模型更新与处置策略

- a) 支持定期（季度/半年）与事件驱动更新；
- b) 更新流程遵循“开发—验证—灰度—全量”，支持异常回退至前版本；
- c) 所有模型需编号并记录数据集版本与适用场景。

5.7.2.6 预测性维护策略与处置要求

- a) 包含阈值型（兜底保护）与模型驱动（趋势预警）两类策略，并行运行；
- b) 结果冲突时优先执行阈值保护，同时上报冲突信息；
- c) 处置建议分为轻度退化（缩短巡检/优化策略）、中度退化（更换模组/热管理调整）、严重退化（停机保护或切换备用电源）。

5.7.2.7 安全与容错要求

- a) 模型预测功能不得降低系统安全，异常时自动回退至阈值保护；
- b) 预测结果需附置信度/健康等级，不得作为唯一依据；
- c) 通信中断时保证本地预测与存储功能；
- d) 推理超时/错误时， ≤ 500 ms 内触发容错并记录日志。

5.8 EIS 芯片要求

5.8.1 核心性能

- a) 响应时间：支持在线快速检测与低频扩展检测两种模式，单次 EIS 检测时间（扰动施加—数据输出）应满足：在线快速检测模式（10 Hz~1 kHz） ≤ 100 ms；低频扩展检测模式（1 Hz~1 kHz） ≤ 200 ms；
- b) 扰动信号：正弦波电压，幅值 5 mV~10 mV（可调），幅值精度 $\leq \pm 0.5$ mV，频率分辨率 ≤ 0.1 Hz；
- c) 全同步测量：电池组内所有单体/模块 EIS 检测时间差 ≤ 1 ms；
- d) 校准特性：支持静态与动态校准，具备校准异常自诊断及告警功能；
- e) 通道串扰：多通道并行采集时，通道间串扰应 ≤ -60 dB；

f) 扰动安全限制：内置硬件级过压 / 过流保护，扰动信号输出幅值最大不应超过 20 mV，输出电流最大不应超过 10 mA，确保不对电池造成电化学损伤。

5.8.2 算法集成

- 内置等效电路模型 ($R_{ohm}(Q(R_{ct}(Z_0)))$)，谱图拟合偏差 $\chi^2 \leq 10^{-3}$ ；
- 具备电化学指纹库自更新功能，适配不同厂家、批次磷酸铁锂电池；
- 支持 EIS 参数与电压、电流、温度数据融合，提升状态估算精度；
- 异常数据过滤：内置数据预处理算法，自动剔除因电磁干扰、接触不良等导致的异常 EIS 谱图，数据有效率应 $\geq 99.5\%$ ；
- 温度补偿：内置全温域 ($-30^\circ\text{C} \sim 65^\circ\text{C}$) 阻抗温度补偿模型，无需外部额外校准即可实现不同温度下的阻抗准确测量。

5.8.3 功耗要求

- 待机功耗：芯片未启动 EIS 检测时，功耗应 $\leq 10 \mu\text{W}$ ；
- 工作功耗：100 Hz~1 kHz 频段连续检测时，功耗应 $\leq 50 \text{ mW}$ ；
- 休眠功耗：芯片进入深度休眠模式时，功耗应 $\leq 1 \mu\text{W}$ 。

5.8.4 校准与溯源要求

- 出厂校准：每片芯片出厂前应经过符合 JJF 1587 溯源要求的标准阻抗箱校准，校准点应覆盖 1 m Ω ~100 m Ω 全量程；
- 校准数据存储：应内置校准系数存储区，存储至少 3 组不同温度下的校准系数；
- 在线校准：应支持通过 BMS 主控制器进行远程在线校准，校准过程无需断开电池连接；
- 校准有效期：校准后核心参数测量精度维持时间应 ≥ 1 年，超过有效期应自动触发校准提醒。

6 试验方法

6.1 试验环境条件

除特殊说明，各项试验在以下条件下进行：温度 $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度 45%~85%，大气压力 70 kPa~106 kPa。

6.2 测量仪表要求

项目	要求
电压表	精度不低于 0.5 级，内阻不小于 10 k Ω /V
电流表	精度不低于 0.5 级
测量时间的仪表	精度不低于 $\pm 0.1\%$
恒流源	电流连续可调，充放电过程中电流变化在 $\pm 1\%$ 范围内
恒压源	电压连续可调，电压变化在 $\pm 0.5\%$ 范围内
温度计	精度不低于 $\pm 1^\circ\text{C}$

项目	要求
电池充放电测试仪	电压电流连续可调，电压输出和检测精度不低于 $\pm 0.5\%$ ，电流输出和检测精度不低于 $\pm 0.1\%$
电化学工作站	符合 JJF 1587 校准要求，频率范围 $10\ \mu\text{Hz}\sim 1\ \text{MHz}$ ，阻抗测量精度 $\leq\pm 1\%$
标准电阻箱	0.1 级精度，量程 $1\ \text{m}\Omega\sim 100\ \text{m}\Omega$
电磁干扰模拟器	$80\ \text{MHz}\sim 1\ \text{GHz}$ ，电场强度 $1\ \text{V/m}\sim 10\ \text{V/m}$

6.3 基本项目

6.3.1 外观检查

目测 EIS-BMS 表面、端子、接口、标志标识，打开机箱外壳检查元件、线缆及电路板，结果应符合 5.1.3 要求。

6.3.2 管理单体数

打开 EIS-BMS 机箱，目测检查管理单体电池数量，确认符合 5.1.4 要求。

6.3.3 管理电压

使用可调输出电压的模拟电池组电源（模拟 15~260 节锂离子单体串联总电压），调节电源输出 $37\ \text{V}\sim 949\ \text{V}$ ，确认 EIS-BMS 管理电压范围符合 5.1.4 要求。

6.3.4 工作电源

在有外接电源无电池串联回路、有电池串联回路无外接电源两种工况下，分别 EIS-BMS 通电测试，确认工作电源符合 5.1.5 要求。

6.3.5 休眠功能

按 5.1.7 要求断开电池组正负极及通信接口，检查自动休眠功能；进入在线状态（充电、放电或通信），检查自动激活功能；

进行手动休眠与激活操作，检查功能实现情况，符合 5.1.7 要求。

6.4 EIS-BMS 管理功能

6.4.1 信息采集管理要求

- 检查确认每个 EIS-BMS 独立管理一组电池单体；
- 检查确认具备单体电压、温度、总电压、充放电电流、环境温度及 EIS 参数检测功能；
- 检查确认能准确记录保护与告警信息、各类参数，存储功能符合要求；
- 检查确认单体电压、总电压、电流、EIS 频率的测量范围及数据刷新周期符合 5.2.1 要求。

6.4.2 信息测量显示精度

检查确认单体电压、总电压、电流、温度及 EIS 核心参数的测量显示精度符合表 1 要求。

6.5 电气性能

6.5.1 EIS-BMS 限流充电功能

用假负载对电池组放电至截止状态，以开关电源正常输出电压充电（260 个单体组成的电池组宜采用 928 V），测试充电电流，符合 5.4.1 要求。

6.5.2 EIS-BMS 单体均衡

环境温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，以 $1\text{ }I_{10}$ 电流将单体额定容量相同的电池组充电至停止，再以 $2\text{ }I_{10}$ 电流放电至 50% 荷电状态；

选择 16 个不连续排列单体，以 $2\text{ }I_{10}$ 放电至最大压差 50 mV 以上或放出额定容量 5%（不小于 1 Ah）；用开关电源正常输出电压充电 30 h，静置 1 h，测试单体电压，最大压差 $< 30\text{ mV}$ ；以 $1\text{ }I_{10}$ 电流放电，放出容量 \geq 额定容量 98%。

6.5.3 EIS-BMS 放电能力

按 $10\text{ }I_{10}$ 电流持续放电试验，EIS-BMS 电路板正常工作且最大温升 $< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，EIS 芯片温升 $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.5.4 电池组荷电状态（SOC）计算

充电和放电过程中，通过外接电池容量测试仪测量充放电容量，核对 EIS-BMS 的 SOC 显示值（30%~90%），准确度符合 5.3.3 要求。

6.5.5 EIS-BMS 基本功耗

分别使 EIS-BMS 处于在线非充放电状态、自动休眠状态、手动休眠状态，测试各状态功耗，符合 5.1.6 要求。

6.5.6 EIS 芯片响应时间测试

接入 50 Ah 锂离子电池（50%SOC， $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），启动连续 EIS 检测，用数据采集仪记录“扰动发起—数据输出”时间，重复测试 100 次，取平均值，符合 $\leq 10\text{ ms}$ 要求。

6.5.7 EIS 芯片全同步测量测试

接入 20 节串联电池组，同步记录各单体 EIS 检测启动与完成时间，计算时间差，符合 $\leq 1\text{ ms}$ 要求。

6.5.8 EIS 参数采集精度试验

连接标准电化学阻抗模拟电池， $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下采集 EIS 数据，计算 R_{ohm} 、 R_{ct} 相对误差，符合 $\leq \pm 3\%$ 要求。调整恒温箱温度至 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，重复测试，验证温域精度要求。

6.5.9 EIS 芯片扰动信号特性测试

将 EIS 芯片连接至高精度示波器和信号分析仪，设置为 $100\text{ Hz}\sim 1\text{ kHz}$ 高频检测模式，分别测试 5 mV、7.5 mV、10 mV 三个幅值点及 10 Hz、100 Hz、500 Hz、1 kHz 四个频率点的输出特性，逐步增大幅值设定值直至触发硬件保护，记录最大输出幅值和电流，结果应符合 5.8.1b、5.8.1f 要求。

6.5.10 EIS 芯片通道串扰测试

选取 EIS 芯片任意相邻两个采集通道，通道 1 接入 $10\text{ m}\Omega$ 标准电阻，通道 2 开路，启动通道 1 进行连续 EIS 检测（ $100\text{ Hz}\sim 1\text{ kHz}$ ），同时测量通道 2 的感应信号幅值，计算通道串扰值，更换不同通道组合重复测试 3 次取最大值，结果应符合 5.8.1e 要求。

6.5.11 EIS 芯片校准特性测试

T/JES XXX—XXXX

接入 $1\text{ m}\Omega$ 、 $10\text{ m}\Omega$ 、 $50\text{ m}\Omega$ 、 $100\text{ m}\Omega$ 标准电阻，分别执行静态和动态校准命令，验证校准过程不中断正常数据采集；故意断开标准电阻连接模拟校准失败场景，检查芯片是否触发校准异常告警，结果应符合 5.8.1d 要求。

6.5.12 EIS 芯片等效电路模型拟合精度测试

搭建参数已知的标准等效电路模拟电池 ($R_{ohm} = 10\text{ m}\Omega$, $R_{ct} = 50\text{ m}\Omega$, $Z_o = 100\text{ m}\Omega$, $Q = 10^{-6}\text{ F}$)，用 EIS 芯片采集全频段 EIS 数据 ($10\text{ Hz} \sim 1\text{ kHz}$)，提取芯片内置算法输出的拟合参数并计算拟合偏差 χ^2 ，更换 3 组不同参数的等效电路重复测试，结果应符合 5.8.2a 要求。

6.5.13 EIS 芯片算法功能验证测试

向芯片导入 3 组不同厂家磷酸铁锂电池的标准 EIS 谱图，验证电化学指纹库自更新功能；注入幅值突变 $\geq 50\%$ 、相位角突变 $\geq 30^\circ$ 、全频段噪声三类异常 EIS 数据，检查异常数据过滤效果；将芯片和 $10\text{ m}\Omega$ 标准电阻置于恒温箱中，分别在 $-30\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 五个温度点测试阻抗测量误差，验证温度补偿效果，结果应符合 5.8.2b、5.8.2d、5.8.2e 要求。

6.5.14 EIS 芯片功耗测试

将高精度功率分析仪串联至 EIS 芯片电源回路，分别测试待机状态（未启动 EIS 检测） $100\text{ Hz} \sim 1\text{ kHz}$ 频段连续检测状态、深度休眠状态下的功耗，每个状态稳定 5 min 后记录数值，重复测试 3 次取平均值，结果应符合 5.8.3 要求。

6.5.15 EIS 芯片校准与溯源验证测试

查阅芯片出厂校准证书，确认校准用标准阻抗箱已通过 JJF 1587—2016 溯源且校准点覆盖 $1\text{ m}\Omega \sim 100\text{ m}\Omega$ 全程；通过 BMS 主控制器读取芯片内置校准系数，验证是否存储至少 3 组不同温度下的校准数据；发送远程在线校准命令，验证校准过程无需断开电池连接；将校准后的芯片在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 环境下连续运行 30 天，测试阻抗测量精度并推算 1 年有效期内的精度衰减率，结果应符合 5.8.4 要求。

6.6 保护与告警功能

6.6.1 过充电保护

对电池组充电至过充电状态，检查 EIS-BMS 切断充电电路及告警功能。放电至恢复电压，检查自动消除告警及恢复工作状态，试验结果应符合 5.4.4 要求。

6.6.2 过放电保护

开放环境下放电至截止状态，检查 EIS-BMS 切断放电电路及告警功能。充电至恢复电压，检查自动消除告警及恢复工作状态，试验结果应符合 5.4.5 要求。

6.6.3 输出短路保护

用电阻值 $\leq 0.1\text{ }\Omega$ 的导线短接输出端正负极，检查瞬间切断电路及告警功能，EIS-BMS 和电池单体无损坏。排除短路故障，检查手动或自动恢复功能，试验结果应符合 5.4.6 要求。

6.6.4 输出过流保护

按用户设定的过流保护参数测试，验证延时保护、瞬时保护功能；进入保护 2 min 后，EIS-BMS 应能自动重启，连续 3 次过流保护后应人工重启，试验结果应符合 5.4.7 要求。

6.6.5 抗过压能力

将外接电源电压升高至 2 倍额定电压，检查 EIS-BMS 不损坏且进入切断保护状态，试验结果应符合 5.4.8 要求。

6.6.6 防反接保护功能

将外接电源正负极与 EIS-BMS 正负极反接，检查不损坏且进入切断保护状态，试验结果应符合 5.4.9 要求。

6.6.7 失效保护

用 EIS-BMS 测试仪模拟单体电压低至 2 V 或单体间压差大于 1 V 时，检查 EIS-BMS 是否启动均衡、是否允许放电，是否触发电池异常告警，试验结果应符合 5.4.10 要求。

6.6.8 温度保护

对 EIS-BMS 电路板加热至过温保护门限，检查 EIS-BMS 自我保护及告警功能，温度降至恢复门限后自动恢复，试验结果应符合 5.4.11 要求；

对电芯温度传感器加热/降温至表 2 设定值，检查切断电路及告警功能，温度恢复后自动恢复，试验结果应符合 5.4.11 要求。

6.6.9 分级告警功能测试

模拟一级、二级、三级告警场景，检查 EIS-BMS 响应措施，试验结果应符合 5.4.12 要求；

模拟析锂、SEI 膜异常增厚场景，检查告警触发及时性及准确率，试验结果应符合 5.4.13 要求。

6.7 监控通讯接口

6.7.1 接口协议

检查 EIS-BMS 外部通信协议，确认符合 YD/T 1363.3 中的蓄电池检测装置通信协议要求。

6.7.2 监控内容

检查 EIS-BMS 遥测、遥信、遥控、遥调功能，确认均符合 5.6.2 要求；

检查核对 EIS-BMS 告警、保护功能状态及参数设置，符合表 2 要求。

6.8 电磁兼容性

6.8.1 静电放电抗扰性

按 GB/T 17626.2 等级 4 规定的试验方法测试，试验后外观无损坏、变形，能正常工作，符合 5.6.3 要求。

6.8.2 浪涌（冲击）抗扰性

按 GB/T 17626.5 等级 2 规定的试验方法，对通信端口线对线、线对地测试，试验后外观无损坏、变形，能正常工作，符合 5.6.4 要求。

6.8.3 直流电源输入端口纹波抗扰度

按 GB/T 17626.17 等级 2 规定的试验方法测试，试验后外观无损坏、变形，能正常工作，符合 5.6.5 要求。

6.8.4 抗电磁干扰试验

将 EIS-BMS 置于电磁干扰模拟器测试区域，设置电场强度 10 V/m (80 MHz~1 GHz)，启动 EIS 数据采集，持续 1 h，计算阻抗参数相对波动， $\leq \pm 3\%$ 且通信无丢包，试验结果应符合 5.6.6 要求。

6.9 环境试验

6.9.1 高温储存

T/JES XXX—XXXX

将 EIS-BMS 放入 $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温箱保持 48 h, 恢复至室温后, EIS-BMS 应能正常工作且无异常告警, 符合 5.1.2 要求。

6.9.2 低温储存

按 GB/T 2423.1 中“试验 Ab”规定, 将 EIS-BMS 放入 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温箱保持 16 h, 恢复至室温后, 能正常工作且无异常告警, 符合 5.1.2 要求。

6.9.3 高温工作

按 GB/T 2423.2 中“试验 Bd”规定, 将 EIS-BMS 放入 $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温箱并保持工作状态 2 h, 恢复至室温后, 能正常工作且无异常告警, 符合 5.1.1 要求。

6.9.4 低温工作

按 GB/T 2423.1 中“试验 Ad”规定, 将 EIS-BMS 放入 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温箱并保持工作状态 2h, 恢复至室温后, 能正常工作且无异常告警, 符合 5.1.1 要求。

6.9.5 恒定湿热

将 EIS-BMS 放入 $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 90%~95% 的恒温恒湿箱静 12 h, 取出后在 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境静置 2 h, 能正常工作且无异常告警, 试验结果应符合 5.1.1 要求。

6.9.6 振动

从 10 Hz~55 Hz、位移幅值(单振幅) 0.50 mm, 沿 X、Y、Z 三个方向扫频循环振动各 30 次, 静置 30 min 后, 能正常工作且无异常告警, 试验结果应符合 5.1.1 要求。

6.10 EIS-BMS 预测性维护检测方法

6.10.1 EIS-BMS 硬件维护检测方法

- a) 采样端子检测: 现场巡检结合万用表/微欧计测试, 接线电阻 $\leq 5\text{ m}\Omega$, 检测结果应符合 5.7.1 要求;
- b) 电流采样电阻检测: 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下以额定电流运行, 用热电偶/红外测温仪测量温升, $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 检测结果应符合 5.7.1 要求;
- c) 温度探头检测: 检查探头贴合电芯/模块情况, 同模块间距 $\leq 10\text{ cm}$ 的探头静态温差 $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 检测结果应符合 5.7.1 要求;
- d) 主控板指示灯检测: 通电运行, 电源灯常亮、均衡灯仅工作时闪烁、故障灯灭, 检测结果应符合 5.7.1 要求;
- e) 均衡单元检测: 在均衡功能运行过程中, 检查运行时有无异常噪音, 均衡单元温升应 $\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 检测结果应符合 5.7.1 要求;
- f) 巡检周期检测: 核查巡检记录, 日常巡检每日 1 次、定期巡检每月 1 次, 检测结果应符合 5.7.1 要求。

6.10.2 软件预测性维护功能

6.10.2.1 总体架构检测

通过查阅系统架构文档与运行日志, 验证系统是否构建了“数据采集→状态估计→预测模型(SOC/SOH/RUL/故障概率)→告警与维护建议”的闭环体系; 通过实际运行测试, 确认其具备 SOC、SOH、温度趋势预测、RUL 预测及异常/故障预警功能; 检查模型配置文件或运行记录, 确认支持混合模型与数据驱动模型并行运行。检测结果应符合 5.7.2.1 的要求。

6.10.2.2 数据集检测

查阅数据集说明文件和版本记录，确认数据覆盖范围；检查训练/验证/测试集划分方式，确认设备级独立及未见设备样本；抽样统计故障样本数量，验证 ≥ 10 个，稀缺故障注明来源；核查元数据记录和质量检查报告，检测结果应符合 5.7.2.2 要求。

6.10.2.3 预测算法指标检测

对 SOC、SOH、RUL 预测结果进行离线回归测试，计算 MAE、RMSE、MAPE；对异常检测与分类结果计算 Precision、Recall、F1、FPR；统计提前告警时间，检测结果应符合 5.7.2.3 要求。

6.10.2.4 性能阈值检测

标准工况和典型场景下运行模型，验证 SOC/SOH/RUL 预测误差、异常检测指标、提前告警时间、在线性能，检测结果应符合 5.7.2.4 要求。

6.10.2.5 模型更新与管理检测

查阅模型版本管理与更新记录，验证支持定期与事件驱动更新；抽查更新日志，确认流程符合“开发—验证—灰度—全量”；模拟错误更新，验证自动回退功能；检查模型编号、数据集版本和适用场景记录，检测结果应符合 5.7.2.5 要求。

6.10.2.6 策略与处置检测

模拟轻度、中度、严重退化场景，验证输出对应维护建议；结果冲突场景下，检查优先执行阈值保护并上报冲突；确认支持阈值型与模型驱动型预测并行运行，检测结果应符合 5.7.2.6 要求。

6.10.2.7 安全与容错检测

通过断开通信、注入异常、推理超时测试，验证系统能否自动回退至阈值保护；检查预测结果是否附带置信度/健康等级；检查通信中断时能否保证本地预测与存储功能；推理错误时，是否能在 ≤ 500 ms 内触发容错并记录日志，符合 5.7.2.7 要求。

6.11 应用验证

a) 将 EIS-BMS 接入储能电站实际锂离子电池组（额定电压 48 V~832 V，容量 50 Ah~300 Ah），确保与电站监测系统通信正常。

b) 电池组充放电至 50% SOC，静置 ≥ 4 h，启动连续监测（采样间隔=1 s），持续 24 h。

c) 同步用标准电化学工作站测试组内 3 只抽样单体的阻抗，EIS-BMS 数据与标准值相对偏差 $\leq \pm 5\%$ 。

d) 模拟单体微短路故障（外接电阻使 R_t 增至初始值 1.5 倍），EIS-BMS 故障诊断响应时间 ≤ 1 s，告警准确率 $\geq 97\%$ 。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

出厂检验按表 7 规定的项目进行；

所有检验项目满足要求为合格；若有不合格项目，暂停检验，分析原因并采取纠正措施后重新检验，重新检验合格判合格，仍不合格判不合格；

抽样方法：按 GB/T 2828.1，抽样水平 II，接收质量限（AQL）B 类=2.5，C 类=4.0；

关键项目（EIS 参数采集精度、响应时间、SOC 估算精度、过充/过放/短路保护）需逐台检验。

表 7 EIS-BMS 检验项目及判定

序号	检验项目	不合格类型	出厂检验	型式检验	要求条款	试验方法
1	外观检查	C 类	全检	√	5.1.3	6.3.1
2	管理单体数	B 类	抽检	√	5.1.4	6.3.2
3	管理电压范围	B 类	抽检	√	5.1.4	6.3.3
4	工作电源	B 类	抽检	√	5.1.5	6.3.4
5	休眠功能	B 类	抽检	√	5.1.7	6.3.5
6	信息采集管理要求	B 类	抽检	√	5.2.1	6.4.1
7	信息测量显示精度	B 类	全检	√	5.2.2	6.4.2
8	EIS 参数采集精度	B 类	全检	√	5.2.2	6.5.8
9	EIS 芯片响应时间	B 类	全检	√	5.8.1	6.5.6
10	EIS-BMS 限流充电功能	B 类	抽检	√	5.4.1	6.5.1
11	EIS-BMS 单体均衡	B 类	抽检	√	5.4.2	6.5.2
12	EIS-BMS 放电能力	B 类	抽检	√	5.4.3	6.5.3
13	SOC 估算精度	B 类	全检	√	5.3.3	6.5.4
14	SOH 估算精度	B 类	抽检	√	5.3.5	6.5.4
15	过充电保护	B 类	全检	√	5.4.4	6.6.1
16	过放电保护	B 类	全检	√	5.4.5	6.6.2
17	输出短路保护	B 类	全检	√	5.4.6	6.6.3
18	输出过流保护	B 类	抽检	√	5.4.7	6.6.4
19	抗过压能力	B 类	抽检	√	5.4.8	6.6.5
20	防反接保护功能	B 类	抽检	√	5.4.9	6.6.6
21	失效保护	B 类	抽检	√	5.4.10	6.6.7
22	温度保护	B 类	抽检	√	5.4.11	6.6.8
23	分级告警功能	B 类	抽检	√	5.4.12	6.6.9
24	通讯接口	B 类	抽检	√	5.6.1	6.7.1
25	监控内容	B 类	抽检	√	5.6.2	6.7.2
26	静电放电抗扰性	B 类	抽检	√	5.6.3	6.8.1
27	浪涌（冲击抗扰性）	B 类	抽检	√	5.6.4	6.8.2
28	纹波抗扰度	B 类	抽检	√	5.6.5	6.8.3
29	环境试验	B 类	抽检	√	5.1	6.9
30	硬件维护	B 类	抽检	√	5.7.1	6.10.1
31	软件预测性维护	B 类	抽检	√	5.7.2	6.10.2
32	EIS 芯片扰动信号特性	B 类	抽检	√	5.8.1b、f	6.5.9
33	EIS 芯片通道串扰	B 类	抽检	√	5.8.1e	6.5.10
34	EIS 芯片校准特性	B 类	全检	√	5.8.1d	6.5.11
35	EIS 芯片模型拟合精度	B 类	抽检	√	5.8.2a	6.5.12
36	EIS 芯片算法功能	B 类	抽检	√	5.8.2b、d、e	6.5.13
37	EIS 芯片功耗	B 类	抽检	√	5.8.3	6.5.14
38	EIS 芯片校准与溯源	B 类	全检	√	5.8.4	6.5.15

7.3 鉴定检验（型式检验）

- a) 鉴定检验按周期进行，一般1年1次；
- b) 具有下列情况之一需做鉴定检验：产品停产一个周期以上恢复生产、转厂生产试制定型、正式生产后结构/材料/工艺有较大改变、产品投产前鉴定或质量监督机构提出；
- c) 样品抽取：从出厂检验合格产品中随机抽取3台，批量<3台则全检；
- d) 检验项目：覆盖表7所有项目；
- e) 判定规则：3台试样全部符合要求判合格；1台不合格允许加倍抽样复检，复检全部合格判合格，否则判不合格；
- f) 不合格质量水平（RQL）：B类不合格质量水平RQL=100；C类不合格质量水平RQL=100。

8 标志、包装、运输、储存、安装

8.1 标志与包装

8.1.1 标志

- a) 每个EIS-BMS产品应有中文标志：产品型号、标称电压、适配电池容量、EIS芯片核心参数（频率范围、响应时间）、制造日期或批号、制造商名称、商标、警示说明；
- b) 包装盒或使用说明书中应注明执行标准编号、厂址、邮编、联系电话；
- c) 包装箱外标明产品名称、型号、数量、毛重、制造厂商、出厂日期，图示标志符合GB/T 191（小心轻放、怕湿、向上、怕火）。

8.1.2 包装

- a) 每个EIS-BMS产品应有外包装，内包装采用防静电袋，外包装为瓦楞纸箱，箱内填充缓冲材料；
- b) 包装箱内附有产品使用说明书、合格证、EIS芯片校准证书、接线图、备件清单。

8.2 运输与储存

8.2.1 运输

EIS-BMS包装成箱运输，防止剧烈振动、冲击、挤压及日晒雨淋；
可采用汽车、火车、轮船、飞机等交通工具运输，运输环境温度-40℃~80℃。

8.2.2 储存

- a) 储存于环境温度-5℃~35℃、相对湿度≤75%的清洁、干燥、通风室内；
- b) 避免与腐蚀性物质接触，远离火源及热源，堆放高度不超过5层；
- c) 储存期超过6个月时，出厂前需重新进行出厂检验。

8.3 安装与验收

8.3.1 安装

安装环境：通风良好，温度-5℃~40℃，湿度5%~95%RH。

8.3.1.1 室内安装

- a) 屋顶、楼板施工完毕无渗漏，地面基层完工，沟道无积水杂物，接地可靠；
- b) 设备基础及支架强度刚度达标，电缆桥、支架安装完毕且接地可靠；
- c) 电路连接前确认电池组正负极，接线牢固导电良好，电缆与端子连接有加固措施并留有余度，

T/JES XXX—XXXX

线缆穿孔处防腐封堵；

- d) 线路连接完成后校线，EIS-BMS 及电池组布置利于通风散热，满足防火防爆要求。

8.3.1.2 户外部署

- a) 防污、防盐雾、防风沙、防湿热、防水、防严寒性能适配当地环境；
- b) 外壳防护等级不低于 GB/T 4208 规定的 IP 54；
- c) 设备间距满足运输检修需求，电池短边间距不小于 3 m；
- d) 储能单元内设备布置综合考虑线缆损耗、散热、运维空间、占地面积；
- e) 电池组堆叠不超过两层，下部承重结构满足安全要求。

8.3.2 验收

- a) 安装完成后及时验收，由业主（或授权人员）组织，设计、安装、调试、供货单位参加；
- b) 安装过程实时质量检测，填写工作报表，加强组装过程监控；
- c) 验收时核实设备安装牢固、位置符合设计，检测记录、产品合格证、实物检查记录等资料完整；
- d) 验收资料包括质量检测记录、产品合格证、试验证明、安装图纸等技术文件；
- e) 现场实物检查记录包括部件安装位置、外观检查记录；
- f) 设备布置遵循安全、可靠、适用原则，便于搬运、安装、调试、操作和检修。

附 录 A
(资料性)
数据储存格式

数据储存格式见表 A.1。

序号	时间(年/月/日/时/分)	模式	电流(A)	总电压(V)	容量	告警类型	环境温度(°C)	最高/低单体电压	最高/低单体温度	单体电池温度 1	…	单体电池温度 65	单体电压 1	…	单体电压 260
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															