

团体标准

T/JSREA XXXX—XXXX

储能电站电池热失控预警与处置规范

Specification for thermal runaway warning and disposal of the battery in energy
storage power stations

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 风险评估 1

5 预警指标 2

6 预警系统 4

7 处置措施与应急预案 5

8 运行维护与管理 7

9 监督检查与改进 8

参考文献 10

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。

本文件由江苏省可再生能源行业协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

储能电站电池热失控预警与处置规范

1 范围

本文件规定了储能电站全生命周期内电池热失控的风险评估、预警指标、预警系统、处置措施与应急预案、运行维护与管理以及监督检查与改进评估相关技术与管理要求。

本文件适用于采用锂离子电池、铅酸电池、液流电池等电化学储能技术的电站。

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 2887 计算机场地通用规范
- GB/T 5023.5 额定电压 450/750V 及以下聚氯乙烯绝缘电缆第 5 部分：软电缆（软线）
- 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 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 19826 电力工程直流电源设备通用技术条件及安全要求
- GB/T 29639 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则
- GB/T 34131 电化学储能电站用锂离子电池管理系统技术规范
- GB/T 36276 电力储能用锂离子电池
- GB/T 38031 电动汽车用动力蓄电池安全要求
- GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范
- GB 55037 建筑防火通用规范
- NB/T 10320 电化学储能电站设计规程

3 术语和定义

DL/T 2528界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电池热失控 thermal runaway of the battery

电化学电池在热滥用、电滥用或机械滥用等触发条件下，内部发生不可控链式放热反应，导致温度急剧升高，伴随电压崩塌、气体释放、电芯膨胀鼓包，最终引发冒烟、起火、爆炸的现象。

3.2

预警系统 early warning system

用于实时监测电池状态参数（温度、电压、电流、气体浓度等），通过数据采集、分析及智能算法，在热失控发生前分级发出预警信号的系统，由传感器、数据采集传输单元、数据分析软件及预警发布装置组成。

4 风险评估

4.1 储能电站应采用参数监测—趋势分析—风险分级相结合的方式，对电池系统的热失控风险进行定量评估。评估应以运行数据为基础，结合设备结构、运行环境及控制逻辑，形成动态、可追溯的风险识别体系。

4.2 风险评估应以单体、模组、电池簇及系统层级为对象，识别下列主要风险因素：

- a) 温度异常（散热不足、自热反应或环境影响）；
- b) 电压异常（过充、短路或均衡失效）；
- c) 电流异常（过流、极化、短时冲击）；

- d) 内阻异常（老化、极化、隔膜损伤）；
- e) 气体析出（副反应、电解液分解、泄漏）；
- f) 压力变化（腔体积聚、循环阻塞、阀门失效）。

4.3 典型参数的风险分析应关注下列要点：

- a) 应检查单体及模组温度的均匀性、变化速率和梯度分布。当出现持续升温、局部热点或散热不均时，应结合温升速率与环境温差判断热积聚风险。温度波动与电压变化同步加剧时，应检查散热系统及 BMS 控制策略的有效性；
- b) 应分析单体间电压偏差及变化趋势，判断是否存在过充、短路或均衡失效等问题。对异常单体，应结合温度与内阻数据，区分电化学劣化与外部接触不良；
- c) 应关注充放电电流的稳定性与瞬态波动特征，尤其在负载切换、策略变更阶段。短时大电流冲击应与电压骤降、温升信号联动分析，以识别短路或极化风险；
- d) 应对比历史基线数据，监测内阻增长率及波动特性。内阻突增伴随温升、压差扩大或气体上升时，应视为热失控早期信号。液流电池应关注膜污染或电极钝化引起的阻抗增加趋势；
- e) 应监测气体浓度变化速率及特征组分（如 H₂、CO、烃类、氯气等）。气体浓度持续上升或出现特征性异常组分时，应结合温度、电压变化综合分析副反应风险。液流电池中检测到氯气等组分时，应立即评估化学泄漏风险；
- f) 应监测舱体、模组或循环系统的压力变化趋势。压力上升应与气体浓度和温度变化同步分析，以识别因气体积聚、管路堵塞或阀门失效导致的风险。液流电池应关注循环泵出口压力异常升高现象。

4.4 趋势性指标分析应采用滑动平均或差分算法计算温升率、电压衰减率、气体增长率等动态指标，识别渐进性风险。趋势性指标应作为风险等级动态修正的依据，纳入预警系统风险判断逻辑。

4.5 风险评估结果：

- a) 一级高风险：当监测参数表明系统存在热失控或链式反应的较高可能性，且温度、电压、压力等指标呈持续恶化趋势时，应判定为一级高风险。
- b) 二级中风险：当系统出现热积聚、异常扩散或早期副反应迹象，温度、电压等关键参数接近上限且波动加剧时，应判定为二级中风险。
- c) 三级低风险：当系统运行基本稳定，监测参数在正常范围内，仅存在轻微波动时，应判定为三级低风险。

4.6 风险评估体系应具备动态更新机制，依据运行数据、事故调查和设备改进结果，对风险权重、阈值及判断逻辑进行校正。

5 预警指标

5.1 应针对每种类型的电池分别建立多参数融合的预警指标。

5.2 锂离子电池的技术指标应符合 GB/T 36276、GB/T 38031 的规定，热失控典型预警参数及阈值见表 1。

表1 锂离子电池热失控预警指标

指标类型	正常范围	二级预警阈值	一级预警阈值
温度	0°C-45°C	单体温度 $\geq 55^{\circ}\text{C}$ 或温升速率 $\geq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$	单体温度 $\geq 80^{\circ}\text{C}$ 或温升速率 $\geq 3^{\circ}\text{C}/\text{min}$
电压	单体2.5~3.65V	电压偏差 $\geq \pm 50\text{mV}$ 或缓慢下降	电压骤降接近0V（过充后崩塌/隔膜熔化）

电流	0.5C~1C	>1.2倍额定电流持续>5min	>1.5倍额定电流或瞬时>2倍 (>100ms)
内阻	初始5~20mΩ	较初始值增加≥20%	24h内突增≥10%或绝对值>50mΩ
气体	正常无明显释放	H ₂ ≥0.5%或CO≥50ppm	H ₂ ≥1%或CO≥150ppm
压力	电池包内接近101kPa	腔体压力≥120kPa	≥150kPa或触发安全阀

5.3 铅酸电池的典型预警参数及阈值见表2。

表2 铅酸电池热失控预警指标

指标类型	正常范围	二级预警阈值	一级预警阈值
温度	-20~45℃	≥50℃或温升速率≥1℃/min	≥70℃
电压	单体2.0~2.4V	单体电压>2.45V（持续10min以上）	单体电压>2.6V或突降<1.8V
电流	0.2C~0.3C	>1.5倍额定电流	>2倍额定电流
内阻	新电池<5mΩ	较初始值上升≥30%	突然升高或>50%
气体	正常充电有少量H ₂	H ₂ ≥1%	H ₂ ≥2%
压力	电池舱近似常压	≥120kPa	≥150kPa

5.4 液流电池的典型预警参数及阈值见表3。

表3 液流电池热失控预警指标

指标类型	正常范围	二级预警阈值	一级预警阈值
温度	电解液工作温度 10~40℃	≥45℃	≥60℃

电压	单体堆压差 $\leq\pm 50\text{mV}$	偏差 $\geq\pm 80\text{mV}$	偏差 $\geq\pm 120\text{mV}$ 或堆压下降超10%
电流	额定 $\leq 0.5\text{C}$	>1.2 倍额定电流	>1.5 倍额定电流
内阻	正常 $0.2\sim 0.5\ \Omega$ (单堆)	增加 $\geq 20\%$	增加 $\geq 40\%$
气体	正常状态几乎无析气	$\text{H}_2/\text{Cl}_2\geq 0.2\%$	$\text{H}_2/\text{Cl}_2\geq 0.5\%$
压力	循环泵出口 $0.1\sim 0.3\text{MPa}$	$\geq 0.4\text{MPa}$	$\geq 0.6\text{MPa}$

6 预警系统

6.1 设计要求

6.1.1 预警系统应符合 GB/T 34131 的规定。

6.1.2 预警系统应具备实时监测、数据采集与传输、智能分析、分级预警、信息联动等功能。

6.1.3 预警系统应能实时、连续地监测电池状态参数，数据采集频率不低于 1Hz。

6.1.4 大规模储能电站（单站容量 $\geq 100\text{MWh}$ ）的电池监测系统布局设计应符合 NB/T 10320 的规定。

6.1.5 每 50~100kWh 储能单元（如电池簇或机柜）应至少配置 1 个温度传感器、1 个电压监测点及 1 个气体采样点。传感器分布密度需满足监测区域无盲区，相邻温度传感器间距不超过 1.5m，气体传感器覆盖半径不超过 3m。

6.1.6 系统应具备冗余设计，关键传感器与通信链路应双路配置。

6.1.7 环境与电磁兼容设计要求：

- 系统应能在 $-20^\circ\text{C}\sim +60^\circ\text{C}$ 环境温度范围内正常工作，相对湿度范围为 5%~95%（无凝露）；
- 系统应具备防尘、防水能力，其外壳防护等级不应低于 IP54，安装于户外或高湿环境时宜达到 IP65；
- 通信设备及信号采集模块的抗电磁干扰能力应符合 GB/T 17626.6 规定的 III 级水平，不得因外部干扰引起数据丢失或误报警；
- 系统应具备防雷、防浪涌设计，电源及通信线路应符合 GB/T 17626.5 的浪涌抗扰度要求。

6.2 硬件选型

6.2.1 温度传感器精度应达到 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内，采样频率 $\geq 1\text{Hz}$ 。

6.2.2 电压传感器精度应达到 $\pm 0.2\%\text{FS}$ 以内，电流传感器精度应达到 $\pm 0.2\%\text{FS}$ 以内，采样频率 $\geq 10\text{Hz}$ 。

6.2.3 气体传感器应能检测 CO 、 CO_2 、 H_2 、 HF 等，响应时间 $\leq 10\text{s}$ 。

6.2.4 数据采集传输设备应符合 GB/T 2887 的规定，应支持 ≥ 1000 通道并行采集，数据传输丢失率 $\leq 0.01\%$ 。

6.2.5 预警系统电源应符合 GB/T 19826 的规定。系统供电应具备防反接、防过压、防欠压及绝缘监测功能，输出电压稳定度 $\leq \pm 1\%$ ，纹波系数 $\leq 2\%$ 。应配置独立后备电源或 UPS，保证断电后可连续工作不少于 4 小时。

6.3 软件功能

6.3.1 预警系统软件应具备数据显示、存储、分析及处理以及预警信息发布等功能。

6.3.2 显示功能应能实时显示电池状态参数、历史数据曲线、预警信息等内容，并具备数据查询、报

表生成等功能。

6.3.3 存储功能应能保存不少于3年的电池状态数据，以便后续分析和查询。

6.3.4 数据分析处理功能应预设算法和模型，对采集的数据进行实时分析，判断电池热失控风险，并及时发出预警信号，系统算法优化周期不超过3个月，适配电池老化特性。

6.3.5 预警响应时间不应超过50ms，报警信号应在1s内传达到中控室。

6.3.6 预警信息发布功能应能够通过多种方式，如声光报警、短信通知、平台推送等，及时将预警信息传达给相关人员。

6.4 硬件安装

6.4.1 温度传感器

6.4.1.1 每块单体电池表面积 $\geq 0.01 \text{ m}^2$ 时应至少配置1个温度传感器，传感器与电池表面贴合度 $\geq 90\%$ ，采用导热硅胶固定。相邻单体电池温度传感器间距偏差不得超过 $\pm 5\text{cm}$ 。

6.4.1.2 每10-15节电芯组成的模块应内置2-3个温度传感器，分布在模块中心及两端电芯位置，传感器插入深度为电芯高度的 $1/3-1/2$ 。

6.4.1.3 舱体容积 $\leq 50 \text{ m}^3$ 时至少安装4个分布式温度传感器，分别位于舱内顶部（距离天花板 $30\text{cm} \pm 5\text{cm}$ ）、底部（距离地面 $20\text{cm} \pm 5\text{cm}$ ）及两侧角落，传感器覆盖半径不超过5m，舱内温度监测盲区面积占比 $\leq 5\%$ 。

6.4.2 电压电流传感器

6.4.2.1 电压传感器应并联在电池组正负极输出端，与汇流排连接点的接触电阻 $\leq 1\text{m}\Omega$ ，测量范围不小于电池组额定电压的1.5倍。

6.4.2.2 电流传感器采用穿芯式安装，孔径比电缆直径大 $5\text{mm}-10\text{mm}$ ，与电缆同轴度偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，安装位置距离电池组输出端子 $\leq 30\text{cm}$ ，在0-2倍额定电流范围内测量精度 ≥ 0.5 级。

6.4.3 气体浓度传感器

6.4.3.1 每2个相邻电池模块之间应安装1个气体传感器，距离模块表面 $30 \pm 5\text{cm}$ ，高度与模块中心平齐，对氢气的检测下限 $\leq 100\text{ppm}$ ，一氧化碳检测下限 $\leq 10\text{ppm}$ 。

6.4.3.2 每个通风口（面积 $\geq 0.1 \text{ m}^2$ ）应在进/出风口处安装1个气体传感器，距离风口边缘 $50\text{cm} \pm 10\text{cm}$ ，采样频率与通风量匹配，舱内气体浓度变化监测滞后时间 $\leq 15\text{s}$ 。

6.4.4 电缆选型与敷设

6.4.4.1 传感器信号电缆应符合GB/T 5023.5、GB 50168的规定，宜采用截面积 $\geq 0.5\text{mm}^2$ 的屏蔽双绞线，屏蔽层覆盖率 $\geq 90\%$ ，绝缘层耐温等级 $\geq 105^\circ\text{C}$ 。

6.4.4.2 动力电缆与信号电缆间距 $\geq 20\text{cm}$ ，交叉敷设时采用垂直交叉方式，夹角 $\geq 90^\circ$ ，平行敷设长度超过5m时需增加金属隔板隔离，隔板厚度 $\geq 1\text{mm}$ 。

6.4.4.3 电缆敷设时拉力不超过电缆额定拉力的80%。

6.4.4.4 明敷电缆应采用厚度 $\geq 1.2\text{mm}$ 的镀锌线槽或直径 $20\text{mm}-50\text{mm}$ 的镀锌钢管保护，线槽/钢管支架间距 $\leq 1.5\text{m}$ ，固定点抗震等级 ≥ 6 级。

6.4.4.5 穿越舱体隔墙的电缆孔洞需用防火密封胶封堵，防火性能应符合GB 55037的规定。密封胶膨胀倍率 $\geq 250\%$ ，耐火极限 $\geq 1\text{h}$ ，电缆外层需缠绕防火包带，缠绕重叠率 $\geq 50\%$ ，长度 $\geq 30\text{cm}$ 。

6.4.4.6 每段电缆两端应加装标识牌，标明电缆型号、用途、起止点，标识牌间距 $\leq 5\text{m}$ ，在转弯处、分支处增设标识，字体高度 $\geq 5\text{mm}$ ，清晰可见。

6.4.4.7 屏蔽层单端接地，接地电阻 $\leq 4\Omega$ ，接地线截面积 $\geq 1.5\text{mm}^2$ ，与接地端子连接牢固，扭矩符合端子规格要求。

6.4.4.8 所有布线金属构件（线槽、钢管、支架）应可靠接地，形成等电位联结，接地连续性电阻 $\leq 0.1\Omega$ ，每5m设置1个接地连接点。

7 处置措施与应急预案

7.1 处置措施

7.1.1 紧急停机

7.1.1.1 当预警系统发出二级及以上热失控预警信号或检测到明火、爆炸等紧急情况时，应立即启动紧急停机程序。

7.1.1.2 从热失控信号触发到停机指令执行完毕应 $\leq 500\text{ms}$ ，其中 BMS 发出停机信号应 $\leq 300\text{ms}$ ，主断路器分闸动作应 $\leq 200\text{ms}$ 。

7.1.1.3 自动停机系统应能够通过 BMS 联动储能变流器 (PCS) 立即切断充放电回路，同时断开电池组总开关，切断直流侧与交流侧连接，保证电池组输出电流迅速降至 0A。

7.1.1.4 当自动系统失效时，运维人员应在 3min 内到达紧急停机按钮位置，按下物理急停按钮，同时通过后台监控系统确认停机状态，记录停机时间及电流、电压变化曲线。

7.1.2 故障电池隔离

7.1.2.1 自动隔离系统应在接收到一级预警信号时，电池簇级隔离装置应在 300ms 内动作，通过熔断式熔断器或快速接触器切断故障电池与相邻电池的电气连接，隔离范围应覆盖故障电池所在模块及上下游各 1 个模块。

7.1.2.2 自动隔离失效后，运维人员应穿戴绝缘手套（耐压等级 $\geq 1000\text{V}$ ）和隔热服（耐温 $\geq 300^\circ\text{C}$ ），在 30min 内使用专用绝缘操作杆断开故障电池组的机械连接，隔离区域设置绝缘挡板（耐电压 $\geq 500\text{V}$ ），故障电池与正常电池间距离应 $\geq 1.5\text{m}$ 。

7.1.2.3 隔离后需通过红外测温仪检测故障区域与正常区域温差 $\geq 50^\circ\text{C}$ ，且无电流泄漏（泄漏电流 $\leq 5\text{mA}$ ）。

7.1.3 灭火系统

7.1.3.1 锂离子电池火灾：优先启动全氟己酮灭火系统，系统应在 1s 内完成启动，灭火剂喷射时间 $\geq 30\text{s}$ ，灭火浓度维持在 5%~8%（体积比），覆盖所有电池模块表面。辅助启动超细干粉灭火装置，干粉喷射强度 $\geq 0.5\text{kg}/\text{m}^2$ ，喷射覆盖半径 $\geq 3\text{m}$ 。

7.1.3.2 铅酸电池火灾：启动水基灭火系统，喷雾水枪流量 $\geq 5\text{L}/\text{min}$ ，喷射距离 $\geq 6\text{m}$ ，对电池组进行冷却降温，控制舱内温度 $\leq 80^\circ\text{C}$ 。

7.1.3.3 灭火结束后立即启动强制通风系统，换气次数 ≥ 10 次/小时（即每小时将储能舱内空气彻底更换 10 次以上），持续通风 $\geq 30\text{min}$ 。换算为风量参数时，应满足实际通风量（ m^3/h ） \geq 储能舱体积（ m^3 ） $\times 10$ 次/小时。例如，容积为 50m^3 的储能舱，通风系统风量应 $\geq 500\text{m}^3/\text{h}$ ，确保舱内一氧化碳浓度 $\leq 24\text{ppm}$ 、氢气浓度 $\leq 0.4\%$ （体积比）后方可停止通风。

7.1.4 人员疏散与警戒

7.1.4.1 站内人员应在 3min 内撤离至安全集合点，集合点距离事故区域 $\geq 50\text{m}$ ，且位于上风向。

7.1.4.2 应预设 2 条以上独立疏散通道，通道宽度 $\geq 1.2\text{m}$ ，沿途设置应急照明（照度 $\geq 5\text{lux}$ ）和疏散指示标志（间距 $\leq 10\text{m}$ ），确保无障碍物。

7.1.4.3 事故发生后需在 15min 内设置警戒区，警戒半径 $\geq 30\text{m}$ （小规模火灾）或 $\geq 50\text{m}$ （大规模火灾），由安全保卫组使用警戒线和警示标志隔离，禁止无关人员进入。

7.2 应急预案

7.2.1 应急组织机构与职责

7.2.1.1 应急组织机构应由应急指挥中心、抢险救援组、医疗救护组、后勤保障组等组成。

7.2.1.2 应急指挥中心由储能电站负责人担任总指挥，在事故发生后 10min 内到达指挥位置，负责统筹应急决策，协调各小组行动。

7.2.1.3 抢险救援组应配置不少于 5 名持证人员（持低压电工证、消防设施操作员证），携带绝缘工具、灭火器材在 15min 内到达事故现场实施处置。

7.2.1.4 医疗救护组应配备急救箱（含烧伤、中毒急救药品）和 AED 设备，在 20min 内完成伤员初步救治并联系医疗救援。

7.2.1.5 后勤保障组应确保应急物资（备用电池、灭火药剂、防护装备）储备充足，其中全氟己酮药剂储备量 \geq 设计用量的1.5倍，防护装备满足每人1套。

7.2.2 应急响应程序

7.2.2.1 根据事故严重程度分为三级响应。

7.2.2.2 三级响应：单模块热失控未蔓延，无人员伤亡。响应措施：启动自动隔离和局部灭火，运维人员现场监控，每15分钟汇报情况。

7.2.2.3 二级响应：多模块热失控或出现明火，无人员被困。响应措施：启动全站停机，全区域灭火，人员疏散至警戒区，通知消防部门（报警时间 \leq 5min）。

7.2.2.4 一级响应：火灾蔓延至储能舱外或发生爆炸，有人员受困。响应措施：启动最高级别应急，协调专业消防救援，医疗救护组优先救治伤员，切断周边电力供应。

7.2.3 应急演练

7.2.3.1 每季度至少开展1次桌面演练，每半年至少开展1次实战演练，演练参与率 \geq 90%（含所有运维人员）。

7.2.3.2 演练内容应覆盖热失控预警响应、紧急停机、灭火操作、人员疏散等全流程，其中实战演练需模拟至少2种故障场景（如过充热失控、短路热失控）。

7.2.3.3 每次演练后应在72小时内完成评估报告，评估指标包括响应时间、处置流程准确率、人员疏散速度，针对问题制定整改措施并跟踪落实。

7.2.4 应急预案管理

7.2.4.1 应急预案应每两年评审1次，当储能电站电池类型变更、容量扩容（ \geq 20%）或相关标准修订时，需在30日内完成预案修订并重新备案。

7.2.4.2 应急演练记录、事故处置报告等资料需保存至少3年，包括演练视频、人员签到表、评估报告等原始文件，存档格式符合GB/T 29639中的要求

8 运行维护与管理

8.1 日常检查要求

8.1.1 巡检周期与内容

8.1.1.1 正常运行期间每周至少开展1次日常巡检，恶劣天气（高温 \geq 35 $^{\circ}$ C、暴雨、大风 \geq 6级）后2h内增加1次专项巡检；重要节假日及负荷高峰期前24h内完成全面巡检。

8.1.1.2 温度传感器外观完好无破损，显示值与环境温度偏差 \leq \pm 0.5 $^{\circ}$ C；气体传感器无堵塞，采样口清洁度达标；数据采集终端无故障报警。

8.1.1.3 按照本文件4.2条中的电池风险指标检查。

8.1.1.4 灭火系统压力表指示在正常范围（全氟己酮系统工作压力0.8MPa-1.2MPa），紧急停机按钮防护罩完好，隔离装置手动操作机构灵活。

8.1.1.5 巡检结果需实时录入管理系统，保存电子记录 \geq 3年，纸质记录存档 \geq 5年。

8.1.2 风险处理流程

8.1.2.1 三级低风险：记录监测结果，持续跟踪参数变化，纳入日常巡检台账。

8.1.2.2 二级中风险：立即通知运维负责人，实施现场复核与临时管控措施。

8.1.2.3 一级高风险：立即停止相关系统运行，启动应急预案并上报主管部门。

8.2 预警系统定期测试与校准

8.2.1 测试周期与项目

8.2.1.1 月度测试：对预警系统报警功能进行模拟测试，触发10%的传感器预警信号，系统响应率100%，报警信息上传延迟 \leq 10s；检查灭火系统启动逻辑，确保联动正常。

8.2.1.2 季度测试：开展电池组充放电循环测试（20%额定容量循环），监测电压、电流一致性，单体电压偏差 $\leq 50\text{mV}$ ；测试紧急停机功能，连续3次操作成功率100%，分闸时间 $\leq 1\text{s}$ 。

8.2.1.3 年度全检：委托第三方机构进行全面检测，包括传感器精度校准（温度误差 $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、气体浓度测量误差 $\leq \pm 5\%$ ）、灭火系统喷射均匀性测试（覆盖面积 $\geq 95\%$ ）、绝缘电阻测试（ $\geq 500\text{M}\Omega$ ）。

8.2.2 校准方法

8.2.2.1 温度传感器：采用恒温槽校准，在 0°C 、 25°C 、 50°C 、 80°C 四个点校准，误差超限时进行修正，修正后最大误差 $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，校准记录保存 ≥ 2 年。

8.2.2.2 气体传感器：使用标准气体（如1%氢气、50ppm一氧化碳）进行标定，响应时间 $\leq 30\text{s}$ ，示值误差 $\leq \pm 10\%$ ，每6个月更换一次传感器滤膜。

8.2.2.3 电流/电压传感器：通过标准源校准，在0-120%额定量程内选取5个点测试，测量误差 $\leq \pm 0.2\%FS$ ，校准合格后张贴标识，有效期6个月。

8.3 维护保养要求

8.3.1 设备维护

8.3.1.1 电池系统：每半年进行一次电池模块清洁，采用压缩空气（压力 $0.2\text{--}0.3\text{MPa}$ ）吹扫灰尘；检查连接端子，涂抹抗氧化剂，接触电阻 $\leq 10\mu\Omega$ ；每年检查冷却系统，冷却液液位偏差 $\leq 5\%$ ，流量偏差 $\leq 10\%$ 。

8.3.1.2 预警系统：每月清洁传感器表面，每季度检查线缆固定情况，拉力测试 $\geq 50\text{N}$ 无松动；每年更换数据采集终端蓄电池，备用电源续航时间 $\geq 4\text{h}$ 。

8.3.1.3 灭火系统：每月检查灭火剂液位（全氟己酮余量 \geq 设计量的90%），每半年进行管网压力测试（保持 1.0MPa 压力30 min无泄漏），每年更换启动器保险装置。

8.3.2 备件管理

8.3.2.1 建立备件库，储备关键备件清单：温度传感器（数量 \geq 在用总数的10%）、气体传感器（ $\geq 5\%$ ）、紧急停机按钮（ ≥ 3 个/站）、灭火系统启动阀（ ≥ 2 个/系统）。

8.3.2.2 备件应存储在温度 $0\text{--}30^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 60\%$ 的环境下，远离火源和腐蚀性物质。需定期检查备件状态，损坏或保质期（如有）不足3个月的备件提前更换。

8.4 人员培训与管理

8.4.1 运维人员需持双证上岗：电工特种作业操作证（低压或高压）和储能电站运维资格证。

8.4.2 新员工需完成不少于80学时的培训，内容包括电池原理、预警系统操作、应急处置流程等，考核合格后方可上岗。

8.4.3 每月开展1次技术培训（不少于4学时），每季度组织1次应急技能演练，培训覆盖率100%，员工年度培训学时 ≥ 40 学时。

8.4.4 当系统升级或设备更换后，72 h内完成针对性培训，考核通过后方可操作新设备，培训效果评估达标率 $\geq 95\%$ 。

9 监督检查与改进

9.1 监督检查机制

9.1.1 检查主体与职责

9.1.1.1 储能电站运营单位应设立安全监督部门，配置不少于2名专职监督人员（持注册安全工程师证书），负责日常监督检查的组织实施、问题整改跟踪及记录归档。

9.1.1.2 每年至少开展1次专项监督检查，委托第三方机构每2年开展1次全面合规性评估。

9.1.2 检查周期与方式

9.1.2.1 日常监督：安全监督部门每日抽查巡检记录完整性，每周核查预警系统运行日志，每月现场验证维护保养记录的真实性（抽查比例 $\geq 30\%$ ）。

9.1.2.2 专项检查：针对高温季节（6月-9月）、重大活动前15日内开展热失控风险专项检查，重点核查灭火系统压力、气体传感器校准状态等关键指标。

9.1.2.3 飞行检查：随机开展不预先通知的飞行检查，每年不少于2次，检查覆盖≥30%的储能单元。

9.1.3 检查内容与要求

9.1.3.1 制度合规性：核查应急预案完整性（包含全部三级响应场景）、维护规程与本标准的符合性（条款符合率≥95%）、培训档案的规范性（记录完整率100%）。

9.1.3.2 设备有效性：按本文件7.2.1.2季度测试的要求执行。

9.1.3.3 记录规范性：巡检记录、校准证书、演练报告等技术文件的存档完整性100%，关键数据可追溯期限≥3年。

9.2 持续改进机制

9.2.1 运营单位每3年开展1次标准适应性评估，分析技术发展（如新型电池技术应用）、法规更新对本标准执行的影响，形成评估报告并报主管部门。

9.2.2 当发生重大热失控事故或行业标准修订时，应在6个月内完成标准符合性复核，保证与最新要求保持一致。

参 考 文 献

- [1] DL/T 2528 电力储能基本术语