

# T/CAEE

团 体 标 准

T/CAEE XXX—202X

## 人工智能数据中心用储能系统技术规范

Technical specification for energy storage system in artificial intelligence data center

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中国电子装备技术开发协会 发布

# 目 次

前 言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 系统组成与架构 .....	2
5 技术要求 .....	3
6 安全要求 .....	4
7 试验方法 .....	5
8 检验规则 .....	8
9 标志、包装、运输和贮存 .....	9
10 安装、运维与退役 .....	10
附录 A（资料性） 典型 AI 负载功率曲线示例 .....	12
附录 B（资料性） 定期维护项目内容及判定标准 .....	14

## 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。

本文件由中国电子装备技术开发协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布



# 人工智能数据中心用储能系统技术规范

## 1 范围

本文件规定了人工智能数据中心用储能系统的术语和定义、系统组成、技术要求、安全要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存、安装、运维及退役回收要求。

本文件适用于单机柜功率密度不小于50 kW的人工智能数据中心用储能系统。

对于单机柜功率密度小于50 kW的其他高功率密度数据中心，或虽未达到该功率密度但负载特性相似的应用场景，可参照本文件执行。

## 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 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 191-2025 包装储运图形符号标志

GB/T 34015.5-2025 车用动力电池回收利用 梯次利用 第5部分：可梯次利用设计指南

GB/T 34120-2023 电化学储能系统储能变流器技术要求

GB/T 34133-2023 储能变流器检测技术规程

GB/T 36276-2023 电力储能用锂离子电池

GB/T 44132-2024 车用动力电池回收利用 通用要求

GB 44240-2024 电能存储系统用锂蓄电池和电池组安全要求

GB/T 51048-2025 电化学储能电站设计标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

DL/T 2528-2022界定的电池健康状态(SOH)、热失控适用于本文件。

### 3.1

**人工智能数据中心 Artificial Intelligence Data Center (AIDC)**

专门用于承载人工智能训练、推理等高算力负载的数据中心，具有单机柜功率密度高、负载波动剧烈、对电能质量敏感等特征。

### 3.2

**AI 负载波动率 AI Load Fluctuation Rate**

表征人工智能计算任务引起的数据中心负载功率在短时间内变化幅度的指标，通常以单位时间内功率变化的百分比表示。

### 3.3

**零中断切换时间 Zero-Interruption Switching Time**

在市电异常或负载突变工况下，储能系统从检测到异常到输出稳定电能，且后端IT负载电压未发生中断或超出允许偏差范围的最大时间间隔。

### 3.4

#### 功率型储能系统 Power-Oriented Energy Storage System

以满足高倍率充放电、快速动态响应为主要设计目标的储能系统，适用于支撑AIDC瞬时功率冲击及频率调节。

### 3.5

#### 算力 - 能源协同控制 Compute-Energy Coordination Control

储能管理系统（EMS）与数据中心算力调度系统之间，基于任务预测进行能量预留、功率预热及动态调度的交互控制机制。

### 3.6

#### 荷电状态 stage-of-charge;SOC

当前蓄电池中按照规定放电条件可以释放的容量占可用容量的百分比

### 3.7

#### 往返效率 Round-Trip Efficiency (RTE)

在特定工况下，储能系统完成一个完整充放电循环后，输出能量与输入能量的比值，以百分比表示。

## 4 系统组成与架构

### 4.1 系统架构

人工智能数据中心用储能系统（以下简称“系统”）系统应包含储能电池单元、储能变流器（PCS）、电池管理系统（BMS）、能量管理系统（EMS）、热管理系统、消防系统及通讯接口单元。针对单机柜功率密度高、负载波动剧烈的AIDC场景，宜采用直流耦合架构或直接接入高压直流母线（HVDC）。

### 4.2 关键组件通用要求

4.2.1 储能电池单元、PCS、BMS、EMS、热管理系统、通讯接口单元应分别符合 GB/T 36276-2023、GB/T 34120-2023、GB/T 34133-2023、GB/T 34131-2023 等标准的规定。消防系统应符合 GB/T 51048-2025（2026年4月1日实施）的规定。

4.2.2 对于 Tier III 及以上等级的人工智能数据中心，储能变流器（PCS）应采用组串式或多模块并联的冗余架构。系统应具备 N+1 或 N+N 冗余能力，单台 PCS 故障不应导致整个储能系统停机，且故障隔离时间应小于 10ms。

4.2.3 系统应支持直流耦合（HVDC），并配置直流绝缘监测及交直流串扰监测装置。

4.2.4 蓄电池组宜采用物理隔离布置。不同电池簇的直流电缆应敷设于独立的电缆桥架或采取防火隔板隔离措施，严禁共沟敷设。

### 4.3 AIDC 特定要求

#### 4.3.1 架构与耦合方式

针对AIDC应用，系统架构与电气耦合方式应满足以下要求：

- 系统应采用构网型 PCS，以满足 AI 负载剧烈波动的需求。
- 推荐采用直流耦合架构或直接接入高压直流母线（HVDC），以减少能量转换环节，提升系统整体效率与动态响应速度。
- 系统应具备与数据中心基础设施管理系统（DCIM）及 AI 算力调度系统进行实时数据交互与协同控制的能力。

### 4.3.2 热管理

针对AIDC高功率密度场景，系统热管理应满足以下要求：

- a) 对于单机柜功率密度大于或等于 50 kW 的 AIDC 场景，储能系统应采用强制液冷散热方式。
- b) 液冷系统应具备冗余设计，确保冷却可靠性。

## 5 技术要求

### 5.1 环境适应性

5.1.1 工作温度范围应符合以下要求：

- a) 室内安装型系统：-10 °C~+55 °C。
- b) 室外安装型系统：-30 °C~+55 °C。

注：工作温度指设备进风口处或制造商规定的测温点的温度。

5.1.2 相对湿度范围应为 5%~95%，且设备内部不应出现凝露。

5.1.3 系统在海拔高度不超过 2000 m 的环境下应能正常工作。当安装地点海拔高度超过 2000 m 时，系统应降额使用，海拔每升高 1000m，额定输出功率降额不低于 10%。

### 5.2 性能指标

#### 5.2.1 能量密度

- a) 系统级质量能量密度不应低于 160 Wh/kg。
- b) 系统级体积能量密度不应低于 280 Wh/L。

注：系统级能量密度计算包含电池、PCS、BMS、热管理及机柜等所有必要组成部分。

#### 5.2.2 循环寿命与容量保持率

在环境温度为 25 °C 的条件下，以 80% 放电深度 (DOD) 进行充放电循环测试，系统的循环寿命不应低于 6000 次。循环寿命终止判定条件为：放电容量首次低于初始额定容量的 80%。

#### 5.2.3 充放电倍率

- a) 持续放电倍率不应低于 2C，持续充电倍率不应低于 1C（或根据实际需求设定为 2C）。
- b) 峰值放电倍率不应低于 4C，持续时间不应大于 1 min；峰值充电倍率不应低于 2C（建议值，需与电池特性匹配），持续时间不应大于 1 min。
- c) 系统应支持在满功率充电状态下无故障运行，且充电过程中电池温升及电压波动应符合相关安全标准。

#### 5.2.4 系统效率

系统效率应符合 GB/T 34133-2023 的规定。在额定工况下，系统从交流电网侧输入到交流电网侧输出的一个完整充放电循环的往返效率 (RTE) 不应低于 92%。

#### 5.2.5 响应时间

- a) PCS 从接收功率调节指令开始，到其输出功率达到目标值 90% 所需的时间，不应大于 10 ms。
- b) 系统从并网模式切换至离网模式，或从离网模式切换回并网模式，其零中断切换时间不应大于 4 ms。

### 5.3 电能质量与动态支撑

#### 5.3.1 电压暂降耐受与支撑

在母线电压跌落至额定值的70%时，系统应能维持其输出端电压在额定值的±10%以内，且支撑时间不应小于200 ms。

#### 5.3.2 谐波抑制

系统在满载运行时，其交流侧电流总谐波畸变率（THDi）不应大于3%。

#### 5.3.3 无功补偿

PCS应能在-1.0~+1.0的功率因数范围内连续可调。

### 5.4 兼容性与协同控制

#### 5.4.1 通信协议兼容性

储能系统应通过干接点或通信协议（如Modbus TCP/IEC 61850）与UPS、柴发及配电系统建立标准接口，实时交互关键信号并采集母线电气量，确保多源数据链路可靠互通。

#### 5.4.2 算力-能源协同

能量管理系统（EMS）应接收算力调度信号，交互延迟不应大于500ms，数据刷新频率不应低于1Hz。

#### 5.4.3 黑启动功能

系统应具备黑启动能力。在市电完全中断且无其他启动电源的情况下，系统应能依靠自身储能建立稳定的交流或直流母线电压，并按预设顺序逐步恢复数据中心关键负载。

### 5.5 热管理要求

5.5.1 电池模组内，各电芯之间的最大温差不应大于3℃。

5.5.2 循环泵组应采用N+1或2N配置。

## 6 安全要求

### 6.1 电气安全

系统电气安全应符合GB/T 34120-2023及相关电气安全标准的规定。

### 6.2 消防安全

系统消防安全应符合GB/T 51048-2025的规定，并满足以下AIDC增强要求：

#### 6.2.1 火灾探测与灭火

部署有GPU服务器等高价值负载区域的储能系统，其火灾探测信号应与数据中心总消防系统联动，并应符合下列规定：

- 探测信号传输至总消防控制室的通信延迟不应大于100 ms；
- 系统在接收到确认火警信号后，应在3 s内完成联动逻辑判断并下发执行指令；
- 联动过程应具备优先级中断功能，优先执行火灾应急控制指令。

#### 6.2.2 热失控防护

6.2.2.1 在电池系统处于额定工作状态且电池单体温度达到最高允许工作温度上限(或环境温度 45℃±2℃)的条件下,触发单个电芯发生热失控后,系统在 3 min 内应满足以下要求:

- a) 电池舱/柜外部无明火;
- b) 电池舱/柜无爆炸;
- c) 热失控未蔓延至相邻电池模组或舱外区域。

6.2.2.2 热失控产生的气体排放路径应远离数据中心核心 IT 设备进风口。

### 6.3 电磁兼容 (EMC)

系统电磁兼容 (EMC) 应符合GB/T 17626.2~GB/T 17626.5系列标准的规定,且其发射限值应满足数据中心内对GPU服务器等敏感设备的严苛电磁环境要求。

### 6.4 网络安全

#### 6.4.1 一般要求

网络安全防护应符合GB/T 36572-2018、GB/T 22239-2019的规定。

#### 6.4.2 具体要求

- a) 远程及关键内部通信应采用 TLS 1.3 或 IPSec 等高强度加密协议,严禁使用明文传输;
- b) 应建立基于角色的访问控制 (RBAC) 机制,支持强身份认证,并具备登录失败处理和会话超时自动退出功能;
- c) 系统应记录所有关键操作日志,日志留存时间不应少于 6 个月,并具备防篡改能力;
- d) 固件升级包应进行数字签名验证;制造商应建立漏洞响应机制,及时提供高危漏洞修复补丁;
- e) 应遵循“最小化原则”,默认关闭非必要的网络端口和服务。

注:对于接入人工智能数据中心核心网络的储能系统,其网络安全等级保护级别应与数据中心主体系统保持一致。

## 7 试验方法

### 7.1 环境适应性试验

7.1.1 低温工作试验按 GB/T 2423.1-2008 的规定进行,试验温度按 5.1.1 的要求,试验中系统应能正常启动和运行。

7.1.2 高温工作试验按 GB/T 2423.2-2008 的规定进行,试验温度按 5.1.1 的要求,试验中系统应能正常启动和运行。

7.1.3 恒定湿热试验按 GB/T 2423.3-2016 的规定进行,试验严酷等级按 5.1.2 的要求,试验后系统内部不应出现凝露,且绝缘电阻应符合 GB/T 34120-2023 的要求。

7.1.4 查阅具备资质的第三方检测机构出具的检验报告(依据 GB/T 2423.21-2025 进行低气压试验)报告应包括:

- a) 报告中应包含海拔 2000m 及以下环境下的全功率运行测试项,且结果合格;
- b) 报告中应包含海拔 3000m、4000m (或更高) 环境下的运行测试项。检查报告数据,确认系统在对应该海拔高度下的最大允许输出功率应满足 5.1.3 规定的降额要求;
- c) 若报告数据完整且满足上述要求,则判定合格。

### 7.2 性能试验

### 7.2.1 能量密度试验

系统级质量能量密度和体积能量密度的测量与计算按GB/T 36276-2023中规定的方法进行，结果应符合5.2.1的要求。

### 7.2.2 循环寿命试验

系统的循环寿命试验按GB/T 36276-2023中规定的方法进行，试验条件应符合5.2.2的要求。

### 7.2.3 充放电倍率试验

#### 7.2.3.1 持续放电/充电倍率试验：

- a) 系统以 2C 倍率持续放电至截止条件，过程中系统应工作正常，无保护动作。
- b) 系统以 1C（或您设定的数值）倍率持续充电至截止条件，过程中系统应工作正常，无保护动作，且电池温升符合 5.5 的要求。

#### 7.2.3.2 峰值放电/充电倍率试验：

- a) 系统以 4C 倍率放电，持续时间 1 min，过程中系统输出电压波动应在额定值的±10%以内。
- b) 系统以 2C（或您设定的数值）倍率充电，持续时间 1 min，过程中系统输入电压波动应在允许范围内，且无过压保护误动作。

### 7.2.4 系统效率试验

系统效率试验应按GB/T 34133-2023规定的方法执行。

### 7.2.5 动态响应时间试验

#### 7.2.5.1 功率响应时间试验（阶跃负载法）按以下步骤进行：

- a) 系统在并网模式下稳定运行于 10%额定功率点。
- b) 向 PCS 发送阶跃功率指令，使其目标功率跃变至 90%额定功率。
- c) 使用高速录波装置记录 PCS 输出功率的变化曲线。
- d) 测量从指令发出时刻到输出功率首次达到目标功率值 90%的时刻之间的时间间隔，结果应符合 5.2.5. a) 的要求。

#### 7.2.5.2 零中断切换时间试验按以下步骤进行：

- a) 在系统交流输出端连接模拟 IT 负载和采样率不低于 10 kHz 的高速电压记录仪。
- b) 系统在并网模式下带载运行。
- c) 模拟市电中断，触发系统切换至离网运行模式。
- d) 分析记录的负载侧电压波形，测量从切换触发时刻到负载电压恢复到额定值±10%范围内并保持稳定的时刻之间的最大时间间隔，结果应符合 5.2.5. b) 的要求。

## 7.3 电能质量与动态支撑试验

### 7.3.1 电压暂降耐受与支撑试验

按GB/T 17626.34-2012的规定进行，试验等级按5.3.1的要求，试验中系统输出端电压应符合规定。

### 7.3.2 谐波抑制试验

谐波电流发射试验按GB/T 36548-2024的规定进行，结果应符合5.3.2的要求。

### 7.3.3 无功补偿试验

无功调节能力试验按GB/T 34133-2023的规定进行，验证PCS在5.3.3规定的功率因数范围内的连续可调能力。

## 7.4 兼容性与协同控制试验

### 7.4.1 算力-能源协同试验

#### 7.4.1.1 试验条件

搭建包含“算力调度模拟器”与“能量管理系统（EMS）”的通信测试环境，两者通过实际工程采用的通信协议（如 TCP/IP、Modbus TCP 等）连接。

#### 7.4.1.2 试验步骤

- a) 延迟测试：
  - 1) 模拟器以 1 Hz 频率连续发送 20 条带微秒级时间戳的功率调节指令；
  - 2) 记录每条指令的发送时刻 ( $T_1$ ) 与 EMS 响应/执行时刻 ( $T_2$ )。
- b) 频率测试：
  - 1) 模拟器以 1 Hz 频率持续发送指令 5 分钟；
  - 2) 统计 EMS 成功接收并响应的指令总条数。
- c) 合格判定：同时满足以下两点即为合格：
  - 1) 交互延迟：所有测试指令中，( $T_2$ )-( $T_1$ ) 的最大值  $\leq 500$  ms；
  - 2) 刷新频率：5 分钟内成功响应次数  $\geq 300$  次（即平均频率  $\geq 1$  Hz，且无丢包）。

### 7.4.2 无柴发黑启动试验

7.4.2.1 初始状态：系统处于待机状态，SOC 不低于 50%。断开所有外部电源。

#### 7.4.2.2 试验步骤：

- a) 启动系统的黑启动程序；
- b) 观察系统能否首先建立稳定的交流或直流母线电压；
- c) 在母线电压稳定后，按预设顺序逐步接入负载，直至达到目标带载量。

#### 7.4.2.3 成功判据：

- a) 黑启动过程成功，系统建立稳定微网。
- b) 所有接入的负载均能正常启动并运行。
- c) 微网电压和频率在负载投入过程中保持稳定。

## 7.5 热管理试验

7.5.1 在  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  环境下，以最大持续工作电流对模组进行连续充/放电，全程记录各电芯温度。计算试验全过程中，同一时刻模组内最高与最低电芯温度的差值。

7.5.2 通过目视核查泵组配置数量，并在系统额定运行工况下人为模拟主泵故障，验证备用泵自动投入的响应时间及系统流量保持率。

## 7.6 电气安全试验

系统的电气安全试验按GB/T 34120-2023的规定进行。

## 7.7 消防安全试验

7.7.1 火灾探测与自动灭火系统的配置及通信联动性能，应按 GB/T 51048-2025 第 6 章规定的方法进

行试验。

7.7.2 电池模组的热失控扩散特性及防护效果试验，应按 GB 44240-2024 第 8 章规定的方法执行。

## 7.8 电磁兼容 (EMC) 试验

电磁兼容 (EMC) 试验应按 GB/T 17626.2~GB/T 17626.5 系列标准规定的方法执行。

## 7.9 网络安全试验

应按 GB/T 36572-2018 和 GB/T 22239-2019 规定的测评流程执行，结果符合 6.4 的要求。

## 7.10 AI 负载冲击模拟试验

7.10.1 模型构建：基于历史数据或典型场景，构建一个大模型训练任务的负载功率模型。该模型应包含毫秒级、秒级和分钟级的功率波动，波动幅度可达额定功率的 50% 以上。

7.10.2 试验系统搭建：将受试储能系统接入一个包含模拟电网、模拟 IT 负载及 DCIM/EMS 的试验平台。

7.10.3 试验与验证：

- 在负载发生阶跃变化后的动态调节过程中，并网点的功率波动幅度不应超过额定功率的  $\pm 5\%$ （或根据实际项目要求设定为  $\pm X\%$ ）；
- 平滑后的输出功率变化率（ $dp/dt$ ）不应大于额定功率的  $10\%/s$ ；
- 系统从检测到负载冲击到功率输出稳定在目标范围内的调节时间不应大于  $100\text{ ms}$ 。

## 8 检验规则

### 8.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

### 8.2 出厂检验

出厂检验应逐台进行，检验项目应符合表 1 的规定。所有项目合格方可判定产品出厂检验合格。

表 1 出厂检验项目

序号	检验项目	技术要求章条号	试验方法章条号	备注
1	外观与结构检查	9.1	目视检查	必测
2	绝缘电阻测试	6.1	7.1	必测
3	接地连续性测试	6.1	7.1	必测
4	基本充放电功能	5.2.3	7.2.3	必测
5	通信接口测试	5.4.1	协议通信测试	必测

### 8.3 型式检验

#### 8.3.1 检验时机

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品设计定型或老产品转厂生产时。
- 产品正式投产后，结构、材料、工艺有重大改变时。
- 产品停产一年以上恢复生产时。
- 正常生产时，每三年进行一次。

#### 8.3.2 检验项目

型式检验项目应符合表2的规定。

表 2 型式检验项目

序号	检验项目	技术要求章条号	试验方法章条号	检验类别	备注
1	环境适应性	5.1	7.1	必测	
2	能量密度	5.2.1	7.2.1	必测	
3	循环寿命	5.2.2	7.2.2	必测	
4	充放电倍率	5.2.3	7.2.3	必测	
5	系统效率	5.2.4	7.2.4	必测	
6	响应时间	5.2.5	7.2.5	必测	
7	电能质量	5.3	7.3	必测	
8	兼容性与协同控制	5.4	7.4	必测	
9	热管理	5.5	7.5	必测	
10	电气安全	6.1	7.6	必测	
11	消防安全	6.2	7.7	必测	含热失控扩散试验
12	电磁兼容	6.3	7.8	必测	
13	网络安全	6.4	7.9	选测	
14	无柴发黑启动	5.4.3	7.4.2	必测	
15	标志、包装	第9章	目视检查	必测	

### 8.3.3 判定规则

型式检验的所有必测项目必须合格。若出现不合格，允许加倍抽样对不合格项复检一次，复检合格则判定型式检验合格，否则判定不合格。破坏性试验项目不合格，不允许复检。

注：本规范所述的“破坏性试验项目”是指会导致被测样品发生不可逆物理/化学变化、结构性损毁或存在重大安全隐患，致使样品无法恢复至初始状态进行再次测试的项目。具体包括但不限于以下项目：

表 3 破坏性项目列表

序号	检验项目	技术要求章条号	试验方法章条号	备注
1	循环寿命	5.2.2	7.2.2	必测
2	消防安全	6.2	7.7	含热失控扩散试验

## 9 标志、包装、运输和贮存

### 9.1 标志

#### 9.1.1 产品铭牌

每套系统应在明显位置设置永久性铭牌。铭牌应至少包含以下信息：

- a) 产品名称；
- b) 产品型号；
- c) 额定容量，单位为千瓦时（kWh）；
- d) 额定功率，单位为千瓦（kW）；
- e) 额定输入/输出电压；
- f) 制造商名称或商标；
- g) 生产日期或出厂编号；
- h) 执行标准编号；
- i) 重量，单位为千克（kg）；

- j) 外形尺寸，单位为毫米（mm）；
- k) 电池类型；
- l) 标称电压；
- m) SOC 工作范围；
- n) SOH 初始值。

### 9.1.2 安全警示标志

系统上的安全警示标志应符合GB/T 2893.1-2013和GB/T 2893.2-2020的规定。

### 9.1.3 包装标志

产品包装箱外表面的标志应符合GB/T 191-2025的规定。

## 9.2 包装

系统的包装应符合GB/T 191-2025的规定，并应保证产品在正常的运输和贮存条件下免受损伤。若系统包含锂电池，其包装还应符合GB/T 45915-2025的规定。

### 9.2.1 运输

产品的运输应符合GB/T 191-2025及GB/T 45915-2025的相关规定。运输过程中应避免产品受到剧烈振动、碰撞及恶劣环境条件的影响。

## 9.3 贮存

产品应贮存在清洁、干燥、通风良好的仓库内，避免受到强烈的机械振动、冲击和电磁场干扰。对于含锂电池的系统，贮存条件应符合电池制造商的要求。

## 10 安装、运维与退役

### 10.1 安装要求

10.1.1 安装场地的承重能力应大于系统满载运行时的最大重量，并留有安全余量。安全余量应不低于20%。

10.1.2 设备四周应预留足够的操作、维护和散热空间。维护通道宽度不应小于0.8 m。

10.1.3 安装场所的环境温度、湿度应符合5.1的要求。

10.1.4 系统接入数据中心母线时，应确保电压等级、频率、相序正确。

10.1.5 电力电缆与通信控制电缆应分开敷设。通信线缆应采用屏蔽双绞线或光缆。当平行敷设时，其净距不宜小于0.5m；当受场地限制无法满足时，应采取穿金属管、加装隔板或使用屏蔽电缆等抗干扰措施，此时净距不应小于0.25m。交叉敷设时，净距不应小于0.25m。

10.1.6 系统所有金属外壳、柜体等必须可靠接地，接地电阻应符合设计要求。

10.1.7 机柜应牢固固定。液冷系统连接应确保密封可靠，无泄漏。

### 10.2 运行维护

#### 10.2.1 日常巡检

应每日对系统进行巡检。巡检内容应包括系统运行状态、外观、环境及消防状态。

#### 10.2.2 定期维护

定期维护分为月度、季度和年度三个层级。运维人员宜按照附录B规定的操作内容执行，并依据判定标准记录结果。若判定结果为“不合格”，应立即启动整改或报修流程。预测性维护应基于BMS、EMS运行数据开展预测性维护，定期分析电池一致性、内阻及SOH衰减趋势。

### 10.3 故障处理

应建立分级故障响应与处理机制。

10.3.1 故障应根据对系统功能和数据中心运行的影响程度进行分级，分为：一级故障(紧急)、二级故障(重要)、三级故障(一般)，其判定依据、响应时间、处理措施等如表 1。

10.3.2 应制定应急处理流程，包括紧急停机、故障隔离等措施。

10.3.3 所有故障应详细记录并定期分析。

表 4 故障分级

故障等级	判定依据	响应时间	处理措施
一级	系统停机、热失控报警、漏液报警，影响 AI DC 核心算力	≤5min	立即触发紧急停机，隔离故障系统，启动备用储能
二级	局部性能劣化（如单模组 SOC 偏差大,大于 3%），不影响核心算力	≤30min	远程排查，制定停机维护计划，避开 AI DC 业务高峰
三级	轻微告警（如环境温度偏高），无性能影响	≤2h	现场排查，调整运行参数，无需停机

### 10.4 退役与回收

#### 10.4.1 退役条件

当系统出现以下情况之一时，应考虑退役：

- a) 系统整体健康状态（SOH）低于 70%。
- b) 关键性能指标持续劣化，无法满足第 5 章的要求。
- c) 达到制造商声明的设计寿命。

#### 10.4.2 退役程序

退役工作应安全、有序进行，包括数据清除、电气隔离与放电、组件拆卸等步骤。

#### 10.4.3 回收处置

退役储能系统的回收处置应符合国家循环经济和环境保护相关法律法规。退役锂离子电池应按照《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》及相关国家标准进行合规处置。

附录 A  
(资料性)  
典型AI负载功率曲线示例

### A.1 AI 训练任务启停曲线参数

为验证储能系统在AI训练任务突发高负载下的响应能力及热稳定性，本试验采用标准化的“梯形脉冲”波形。

#### A.1.1 波形定义

单次测试循环周期为60 s，连续执行10个循环，其各阶段参数定义如表A.1所示。

表 A.1 梯形脉冲波形参数定义

阶段	时间区间 t	功率目标值 P	功率变化梯度 dP/dt	持续时间要求
待机期	0 s ~ 10 s	0.2C	—	10 s
上升沿	10 s ~ 15 s	0.2C → 4.0C	0.8 C/s (目标)	5 s
峰值期	15 s ~ 45 s	4.0C	—	30 s
下降沿	45 s ~ 50 s	4.0C → 0.2C	-0.8 C/s (目标)	5 s
恢复期	50 s ~ 60 s	0.2C	—	10 s

注1：表中C为被测储能系统的额定功率。功率目标值为以额定功率为基准的标么值。

注2：上升沿与下降沿的功率梯度目标值为0.8 C/s。若受储能变流器（PCS）物理限制无法达到此梯度，应以设备允许的最大速率进行，但需在测试报告中注明实际达到的梯度值。

#### A.1.2 合格判定标准

在完成10次连续循环后，系统需同时满足以下指标方可判定为合格：

- a) 功率跟踪精度：在每个循环的峰值期(15 s~45 s)内，实际输出功率的平均值与目标功率(4.0C)的偏差绝对值应 $\leq 5\%$ 。
- b) 温升控制：
  - c) 1) 电芯最高温度  $T_{\max} \leq 55^{\circ}\text{C}$ ；
  - d) 2) 模组内最大温差  $\Delta T \leq 5^{\circ}\text{C}$ 。
- e) 电压稳定性：在每次循环的上升沿（10 s~15 s）和下降沿（45 s~50 s）突变瞬间（0.5 s内），直流母线电压波动幅度应 $\leq$ 标称值的 $\pm 10\%$ ，且不得触发过压或欠压保护停机。

### A.2 动态波动测试典型值

针对AI推理及数据预处理阶段的频繁波动特性，本附录规定以下典型测试工况作为型式检验的依据。测试应在SOC 50% $\pm 5\%$ 状态下进行。

#### A.2.1 典型测试参数组合

为确保测试结果的可比性与一致性，推荐采用表A.2中的典型数值进行测试。这些数值在原标准允许范围内选取，作为必测点。

表 A.2 动态波动测试典型参数

测试场景	规范允许范围	推荐典型测试值（必测点）	波形特征描述
小幅高频波动	幅度：10%~30% C 周期：1 s~10 s	幅度：20% C 周期：5 s	模拟推理任务的小颗粒度请求波动，建议使用正弦波。
大幅低频波动	幅度：50%~100% C 周期：30 s~60 s	幅度：80% C 周期：30 s	模拟模型切换或断点续训的大负载调整，建议使用方波或正弦波。
随机阶跃冲击	响应时间 < 1 s	阶跃量：+2.0C 响应时间：≤0.5 s (从 1.0C 基线跳至 3.0C，保持 2s 后回落)	模拟不可预测的突发高负载请求，测试系统的瞬时响应能力。

注：表中“幅度”指波动幅值相对于波动中心功率的百分比。测试时，波动中心功率可设置为1.0 C。

### A.2.2 综合测试波形示例

对于系统性验证或深度评估，建议采用复合波形进行长时间测试。示例如下：

- a) 基础负载：恒定功率 1.0C。
- b) 叠加波动：在基础负载上，叠加一个振幅为 0.5C、周期为 10 s 的正弦波。
- c) 随机阶跃：在复合波形测试期间，随机插入至少 5 次如 A.2.1 所述的随机阶跃冲击。
- d) 总测试时长：不少于 30 min。

### A.2.3 判定要求

对于A.2.1和A.2.2规定的动态波动测试，主要评估功率跟随性（相关系数 $\geq 0.95$ ）、动态精度（误差RMS $\leq 5\%$ ）和热安全边界（ $T_{\max} \leq 55^{\circ}\text{C}$ ）。对于复合波形测试，其判定可综合参考各波动成分的测试结果。

附录 B  
(资料性)  
定期维护项目内容及判定标准

表 B.1 定期维护项目内容及判定标准

维护周期	维护项目	具体操作内容	判定标准 (合格)
月度	设备清洁	<ol style="list-style-type: none"> <li>清除 PCS、电池柜、空调进出风口的灰尘及杂物。</li> <li>检查并清洁机柜顶部及底部散热风扇滤网。</li> <li>擦拭显示屏及指示灯表面。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>进出风口无遮挡，滤网透光率正常。</li> <li>设备表面无明显积尘 (厚度 &lt;1mm)。</li> <li>散热风扇运转无异响。</li> </ol>
	外观与环境	<ol style="list-style-type: none"> <li>检查柜体有无变形、锈蚀、漏水痕迹。</li> <li>检查电缆进出口封堵是否完好。</li> <li>确认机房温湿度在设定范围内。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>柜体完好，IP 防护等级未受损。</li> <li>封堵严密，无鼠患痕迹。</li> <li>温度：5℃~40℃；湿度：≤90% (无凝露)。</li> </ol>
季度	电气连接检查	<ol style="list-style-type: none"> <li>使用力矩扳手抽检直流端子、交流断路器接线端子紧固情况。</li> <li>红外热成像扫描大电流连接点 (母排、接触器)。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>力矩值符合厂家标识 (偏差 ≤ ±5%)。</li> <li>连接点温升 ≤ 40K，且相对温差 ≤ 20%。</li> </ol>
	线缆敷设检查	<ol style="list-style-type: none"> <li>检查电力电缆与控制电缆是否有混放、破损。</li> <li>确认强弱电分离距离及屏蔽接地情况。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>线缆外皮无老化、龟裂。</li> <li>平行间距 ≥ 500mm (或采取有效屏蔽措施)。</li> </ol>
年度	系统性能评估	<ol style="list-style-type: none"> <li>容量测试：进行一次完整充放电循环，计算实际容量。</li> <li>一致性分析：记录满充/满放时的单体最高/最低电压。</li> <li>绝缘检测：断开电源，测量直流正/负极对地绝缘电阻。</li> <li>效率测试：统计一次完整循环的交流侧输入/输出电量。</li> <li>热管理验证：高倍率运行下，记录模组间最大温差。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>容量保持率 ≥ 80% (或符合质保协议)。</li> <li>单体压差 ≤ 50mV。</li> <li>绝缘电阻 ≥ 1 MΩ/V (且 ≥ 500kΩ)。</li> <li>系统往返效率 ≥ 85%。</li> <li>模组间温差 ≤ 5℃。</li> </ol>
	安全功能验证	<ol style="list-style-type: none"> <li>模拟 BMS 过温、过压故障，验证 PCS 停机及告警上传。</li> <li>测试急停按钮功能有效性。</li> <li>检查消防系统联动信号 (如有)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>保护动作准确率 100%，响应时间 &lt; 100ms。</li> <li>急停功能即时生效。</li> <li>声光报警及联动信号正常。</li> </ol>