构网型储能安全白皮书

编制单位（排名不分先后）：

华为数字能源技术有限公司
欧阳明高院士工作站（国家市场监督管理总局储能与动力电池安全重点实验室）
应急管理部天津消防研究所
西藏开发投资集团有限公司
华电海外投资有限公司
三峡国际能源投资集团有限公司
山东电力工程咨询院有限公司
山东电力建设第三工程有限公司
中国电建集团国际工程有限公司
中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司
四川赛科检测技术有限公司
德国莱茵 TÜV 集团
北京鉴衡认证中心有限公司
韦莱保险经纪有限公司
中国人民财产保险股份有限公司深圳分公司

编制人员（排名不分先后）：

陈　伟　代增丽　董景林　蔡　洪　华剑锋　郭富民　郝应涛　贾英峰　李华锋　李石头　李斯胜
李卫春　刘加进　孟元东　彭　勇　祁腾武　宋礼伟　徐汇智　谭志谋　王海云　卫冰原　尹立坤
叶万祥　张光青　张顾篷　张　岩　郑　越　钟明明　卓　萍

前言

❯ 在全球携手推进可持续发展、能源转型向纵深突破的今天，储能已成为衔接风光等绿电与全球电网的核心纽带，更是守护人类能源安全、助力气候治理的战略基石。

❯ 当前储能产业正向规模化、高压化、构网型趋势加速发展，但电芯到电网的全链条风险、全生命周期的动态隐患也愈发突出，传统被动防护模式已无法应对。

❯ 为此，本白皮书锚定不起火、不爆炸、不扩散、不伤人目标，系统提出“全架构安全设计、全链路数字化防护、全场景主动攻防、全维度安全量化、全周期安全管理体系”五大核心理念，构建系统性安全解决方案。期望凝聚全球行业共识，推动储能产业从“规模扩张”转向“安全提质”，为清洁低碳的全球能源新秩序筑牢根基。

CONTENTS
目录

01

储能安全成为行业关注重点 01

02

储能系统全生命周期安全风险特征 02

2.1 储能系统热失控触发因素 02

2.2 储能产品安全风险源 03

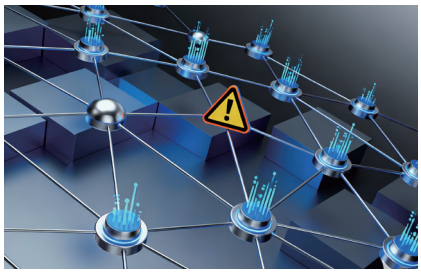
2.3 储能全链路风险源 04

2.4 储能行业痛点与风险管控困境 05

03

储能产品安全理念 06

04



储能全架构安全设计与全链路数字化防护 07

4.1 储能产品全架构安全设计 07

4.2 储能全链路数字化防护 09

05

储能安全攻防测试体系 10

5.1 储能安全攻防测试理念 10

5.2 储能安全攻防测试 11

06

储能全周期安全管理体系 12

6.1 研发领域安全管理体系 13

6.2 采购领域安全管理体系 13

6.3 制造领域安全管理体系 15

6.4 供应领域安全管理体系 15

6.5 营销和服务领域安全管理体系 16

6.6 安全治理 16

07

储能安全量化评估体系 17

7.1 储能系统安全风险地图 18

7.2 储能安全量化评估模型 18

7.3 储能安全量化评估模型应用 19

倡议与展望 20

01

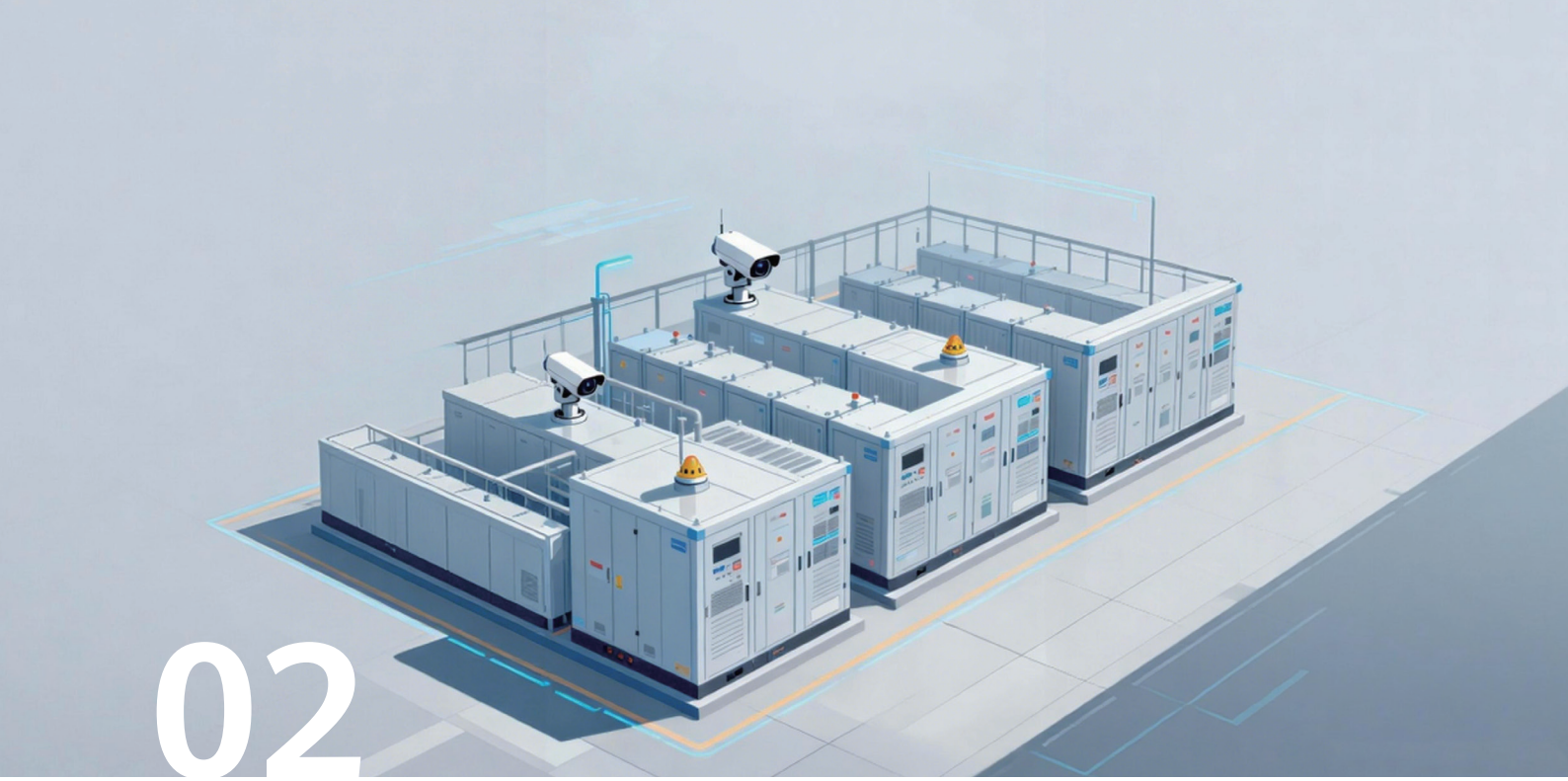
储能安全成为行业关注重点

全球能源变革深入推进，构建清洁低碳、安全高效的新型能源体系已成共识，储能系统作为核心组成部分，兼具稳定电网与优化能源结构的战略价值。全球储能产业正高速增长，未来五年年复合增长率预计 25%-30%，到 2030 年新增装机有望超 500GWh。但装机规模扩张的同时，安全隐忧凸显，截至 2025 年 11 月全球储能安全事故累计超 200 起，不仅造成人身财产损失，也制约了行业大规模应用；如表 1 事故列举所示：

表 1 近年重大储能安全事故举例

事故时间	事故地点	造成的后果
2021 年 4 月	中国	某光储充项目发生火灾爆炸，造成 4 人伤亡，预估财产损约 2 千万元。
2021 年 7 月	澳大利亚	某项目在调试期间发生火灾，至少 2 个储能舱烧毁。
2023 年 4 月	中国	某储能电站因电芯过充引发热失控，直接经济损失约 400 万元。
2023 年 6 月	美国	两处储能电站因强降雨漏水短路起火，持续燃烧 3 天，推动纽约强化储能安全审查。
2024 年 5 月	美国	某储能电站起火，燃烧 11 天多次复燃，造成周边电力供应中断和交通拥堵。
2025 年 1 月	韩国	储能系统发生火灾，财产损失约 2500 万韩元，初步调查指向电芯热失控。
2025 年 1 月	美国	某储能电站发生火灾，电芯热扩散并失控，约 2000 人紧急疏散，公路关闭，70% 设施损毁；多日后电芯复燃，消防耗时 8 小时扑灭。
2025 年 3 月	韩国	储能设施火灾，财产损失约 100 亿韩元，1 人受伤。初步判断因电芯过热引发热失控
2025 年 6 月	韩国	储能电站起火，因高温和复燃风险，完全扑灭耗时超 24 小时。这是韩国 2025 年第五次储能安全事故。
2025 年 8 月	美国	某储能系统起火，数百名居民疏散，公路部分封闭，部分储能舱完全报废，区域电网调度紧张。
2025 年 9 月	韩国	某项目储能火灾导致政府 IT 系统瘫痪，交通和金融服务中断，消防耗时 22 小时扑灭

备注 1：数据来源综合行业报告及权威媒体等，经济损失和原因可能存在预估差异。
备注 2：电芯指电池单体，下文均简称电芯；



02

储能系统全生命周期安全风险特征

电化学储能系统作为长周期运行的能源装备，其安全风险源呈现全生命周期覆盖、动态性演变的特征。从设计的缺陷，到建设安装的过程风险，再到长周期运维的隐患，安全挑战贯穿始终，且随工况、环境、运行时长动态变化，形成持续存在的安全压力。

2.1 储能系统热失控触发因素

储能热失控是能量失衡 – 热蔓延 – 链式反应的递进过程，电化学储能电站的安全问题是系统性问题，事故的发生往往由多因素交互作用导致。其触发因素可归纳为电气、热、机械滥用三大类型，如图 1 所示：

- **电气滥用：**电气滥用是指电池在超出正常电气工作参数范围下运行，导致内部电化学反应异常并可能引发安全风险的状态。如过充放、短路、过电流使用、强制放电、外部高压等。

- **热滥用：**热滥用是指电池暴露在超出正常工作温度范围的环境中，或内部产热速率超过散热能力，导致温度持续升高并引发安全风险的状态。

- **机械滥用：**机械滥用是指电池受到外部机械力作用导致物理变形、结构损坏或内部短路的状态，是引发电池热失控的重要诱因之一。如在制造、运输、安装过程中因外部机械力导致结构破坏或内部缺陷。

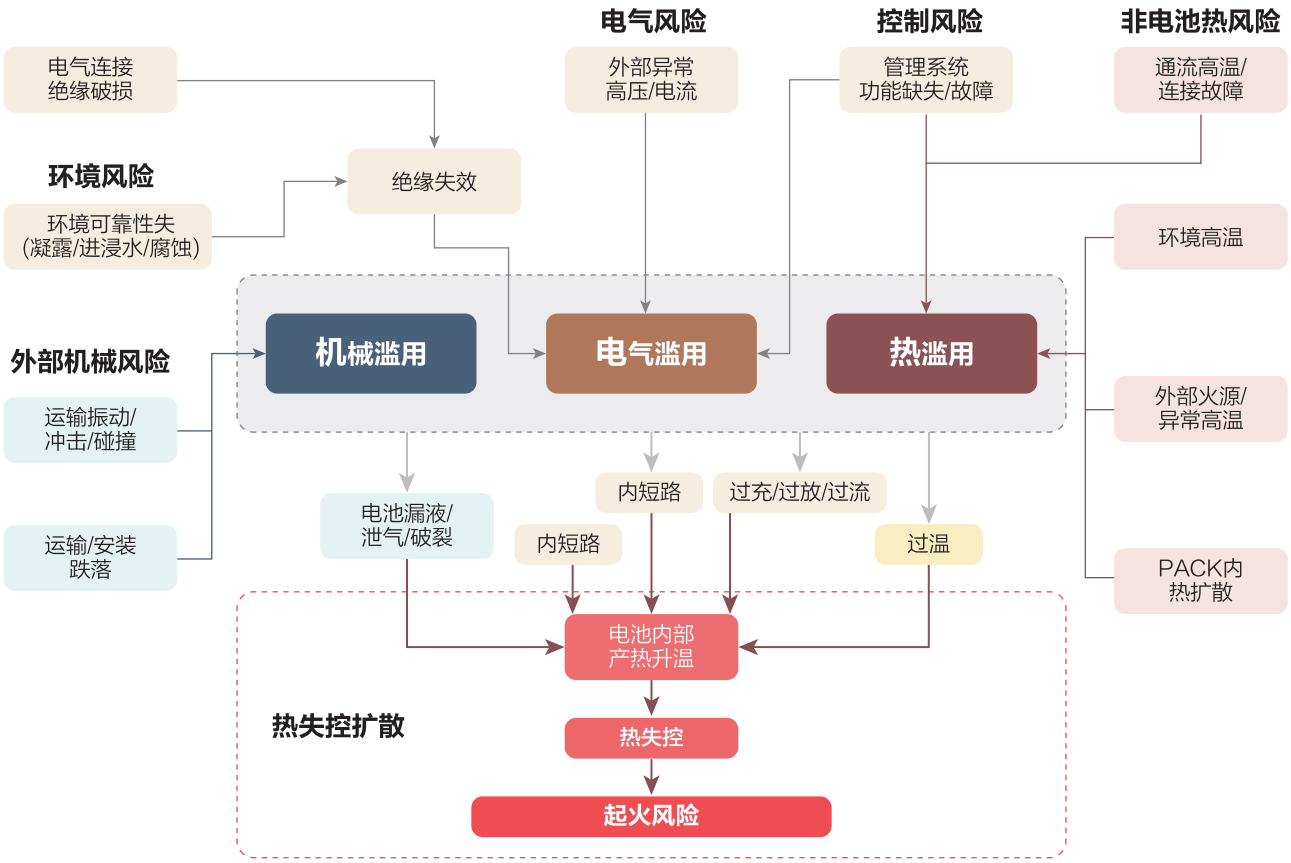


图 1 储能系统热失控触发因素

2.2 储能产品安全风险源

结合储能产品各关键组成部分分析，安全风险源主要如下：

电芯风险源

电芯作为储能系统的核心部件之一，受当前生产制造能力与质量管控水平所限，仍无法完全杜绝热失控风险。其核心诱因多为设计或工艺缺陷导致的本体异常（如杂质、毛刺、析锂）引发内短路，触发热失控链式反应。随着电芯能量密度与单体容量的持续攀升，热失控发生后的能量释放强度、可燃气体生成量及跨电芯、跨电池模块的连锁蔓延风险会进一步增加。

电池模块风险源

电池模块作为电芯集群的最小管理与核心防护单元，其设计冗余与结构完整性直接决定热失控风险的管控能力。若存在冗余设计不足、隔热设计不足、结构缺陷等问题，不仅可能直接诱发电芯热失控，更会加速热失控从单电芯向多电芯、单电池模块向多电池模块的链式蔓延，最终升级为系统层级的热失控。

当前，为适配高能量密度与高集成效率需求，行业在向大电池模块演进，使电池模块的防护难度进一步加大；部分厂家为了追求极致成本，采用无电池模块设计，热隔离难度显著增加，进一步放大了热失控的触发概率与扩散速度。

储能舱风险源

储能舱是电池模块、功率和温控等部件的集合体，制造焊接、部件安装、箱体运输、现场安装等带来的应力问题，

各类绝缘失效带来的电气问题，散热能力不足带来热累积等问题，均会引发热失控；热失控后可燃气体在舱内堆积，易触发燃爆事故。

随着储能舱向高密大容量演进，高密度布局使线缆、部件更密集，箱体自重增加让运输安装碰撞冲击更大，部件承压更高，机电热滥用更容易触发；加上部分厂家为追求极致密度，易出现安全冗余设计不足、防护不到位等问题，进一步放大风险，最终可能导致整舱燃爆，威胁人身和财产安全。

储能场站风险源

储能场站核心风险聚焦于内部故障与外部冲击两大维度，具体场景可精准对应：外部受电网高电压、大电流冲击，或内部防护、熔断设计冗余不足，均易直接诱发热失控；内部储能舱防火设计缺陷、电缆沟防火封堵不达标，会通过相邻舱体热辐射传导引发连锁热扩散；地基不均匀沉降等外部环境因素致舱体变形，破坏内部结构同样触发热失控。

当前储能系统正朝高压化、构网型等方向加速演进，多重技术特性叠加，不仅提高了上述风险的触发概率，更显著放大了风险爆发后的危害程度，对安全防控形成更高挑战。

2.3 储能全链路风险源

除产品本身的技术设计风险外，物料来料、生产制造、运输存储、场站建设、运维运营等环节中，任一环节的管控疏漏均可能引入风险并形成连锁传导。各环节核心风险点如下：

物料来料环节风险源

物料管控作为安全管控的底层根基，物料质量直接决定风险起点，若存在物料生产标准不完善、检测执行不到位、未充分经验证随意变等问题，不合格物料可能会流入生产环节，从源头埋下安全隐患。

生产制造环节风险源

生产环节的管控缺失会消耗设计阶段预留的安全冗余，产生安全风险，包括不限于来料检验缺失 / 流于形式、制造工艺不完善、生产工艺波动、质量管控标准宽松或流程执行不到位等。

运输存储环节风险源

该环节易因外部环境冲击造成物理损伤。如运输中的碰撞冲击、挤压变形、搬运坠落，或存储环节的高温高湿、通风不良等，均可能导致电芯隐性结构损伤、绝缘层破损、电解液泄漏等问题，易触发热失控。

建设环节风险源

场站建设的质量直接影响系统安全。若施工标准不明确、验收流程简化，易出现电缆压接不牢、接地不良、通风管道布局不合理等问题，为后期运行埋下电气短路、热积聚、火灾蔓延等隐患。

运维运营环节风险源

作为储能全生命周期持续时间最长、变数最多的环节，当前许多项目仍依赖传统人工“看仪表”式巡检，难以精准捕捉电芯一致性衰减、绝缘老化、触点松动等隐性隐患，小问题累积演变为燃爆、触电等恶性事故。

2.4 储能行业痛点与风险管控困境

储能行业在规模化扩张与技术快速迭代的同时，也面临显著的行业痛点与风险管控困境。当前行业存在精准安全量化体系缺失、测试机制存在固有局限的情况，难以适配规模化后的复杂安全需求，为行业高质量发展埋下隐性隐患。具体表现如下：

测试局限性

当前行业测试验证多采用小规模抽样模式，受限于样本数量、检测项目覆盖范围及测试环境模拟程度，难以全面排查量产产品中的潜在缺陷。在规模化量产阶段，各种因素导致的产品材料、工艺等变更未充分验证，量产产品与测试样品存在差异，使检测结果无法真实反映实际产品的安全质量水平。

安全评估体系局限性

当前行业安全评估体系本质为通过性测试，依赖专家经验和样品测试，较难实现全面和准确评估不同危害等级的安全风险概率，已难以适配精细化风险管控需求。

03

储能产品安全理念

在全球能源转型与新型电力系统建设背景下，储能安全已从单点防护升级为执行 + 评估双轮驱动的系统工程。面对全链条、全周期动态风险，需以不起火、不爆炸、不扩散、不伤人为核心，构建多维度防护体系，五大理念是从被动合规迈向主动防控的关键：

- **全架构安全设计：**以“电芯 – 模块 – 储能舱 – 系统 – 电网”五级架构为核心，搭建纵深防御体系，强化层级协同与冗余设计，实现从芯到网无断点防护。
- **全链路数字化防护：**数字化贯穿全生命周期，联动五级架构数据，构建 “采集 – 分析 – 预警 – 优化” 管控链，推动安全管理从事后补救转向事前预判。
- **全场景主动攻防：**紧扣多元应用场景，引入 TTF/WST 攻防逻辑，模拟极端工况测试，以攻促防、优化设计，锻造场景适配韧性。
- **全周期安全管理体系：**构建端到端体系，贯通需求到价值与战略到执行双闭环，覆盖全业务环节，为安全落地提供体系化支撑。
- **全维度安全量化：**构建全工况、全生命周期量化评估体系，将安全指标转化为“严重等级 + 发生概率”数据，形成风险矩阵，实现安全管理有数可依。

04 储能全架构安全设计与全链路数字化防护

4.1 储能产品全架构安全设计

储能产品是一个多部件协同的复杂系统产品，为实现储能安全的目标，需构建“电芯→电池模块→储能舱→储能系统→电网”的五级纵深防御体系，要做好层层防御，确保每一道防线有效阻隔风险。

一、电芯安全

电芯安全的目标是实现可控安全。为了达成该目标，需从两个方面进行展开：提升电芯本身鲁棒性，提升全链路生产管控的一致性。

1. 提升电芯鲁棒性

- 进行场景化应用研究，识别不同工况下的潜在风险；同步迭代升级测试标准，让测试更贴合实际应用需求，提升产品准出门槛。
- 开展 SOA（安全运行区域）边界研究，厘清全场景下的系统安全应用边界，为电池模块及系统侧实施精细化防护设计提供科学依据，确保防护措施与实际工况适配。

2. 提升电芯一致性

- 应基于 IATF16949 质量体系中 APQP 和 PPAP 的理念，白盒化管理电芯规格定义、产品设计、产品测试验证、工艺制定、小批量试制、量产爬坡等全过程，确保产品生的好、产的优。
- 强化生产过程工艺执行与变更管控，严格按标准落地生产流程；对于材料、工艺变更需充分验证；为识别过程波动对一致性的影响；实施生产大数据记录，做到全流程可追溯。

二、电池模块安全

电池模块安全以在电芯热失控时，只冒烟、不起火、不扩散为安全目标，需做好主被动安全冗余设计。

1. **被动安全：**提升电池模块抗冲击能力，增强鲁棒性，通过热管理、绝缘防护、压力泄放等设计，构建“电芯隔离 – 热蔓延阻断 – 能量泄放”三重防护体系。
2. **主动安全**：依托多维传感器实时探测，准确捕捉热失控前兆信号，实现风险提前预警与主动切断，从源头遏制热失控扩散。

三、储能舱安全设计

储能舱体设计以电池模块发生热失控为假设前提，确立舱体不起火、可燃气体不堆积、不燃爆，起火不扩散的安全目标。聚焦机械、电、热三维防护设计与故障预测能力，兼顾极端情况下的风险与范围管控，构建全场景安全兜底体系。

1. **热防护设计：**箱体采用耐火冗余设计，确保单箱热失控时，不向相邻箱体扩散；储能箱应具备精准温度控制能力，实时调控箱内环境温度，防止热量聚集超出电池包安全工作阈值。
2. **电防护设计：**采用水电隔离布局，避免冷却液泄露引发电气短路；箱体需具备电池包的热失控后烟气及时排出的能力，并将电气部件与电池包隔离布置，防止可燃气体在箱内引起电气短路及拉弧导致烟气爆燃的风险；
3. **机械防护设计：**箱体应配置专用泄爆结构，在热失控极端工况下实现压力与能量安全泄放；结构强度需按海 / 陆运极限工况设计，具备优异的防撞击性能与防积水能力，抵御全生命周期机械风险。

四、储能场站安全设计

储能场站安全目标核心为：避免场站级火灾等恶性事故，全面保障人员与设备安全，具体落地关键设计如下：

1. **电安全防护：**以外部电网异常不反灌、系统内部异常不扩散为核心，构建多层级电气安全防护体系，实现故障的源头遏制与隔离；强化短路故障快速响应能力，任意位置发生短路时，快速熔断切断故障源，阻断故障扩散路径；提升系统抗电网冲击韧性，抵御电网高压等外部电气扰动，保障极端电网工况下的运行安全；
2. **场站选址防护：**立足风险前置规避原则，从选址、布局、环境适配三方面，全面排查安全隐患，规避先天安全风险，夯实系统安全基础。

4.2 储能全链路数字化防护

数字化与 AI 技术的深度融合及全链路数字化体系的构建，已成为储能安全的关键补充，具体要求如下：

一、来料阶段数字化

储能生产商需对供应商严格管控，需搭建来料大数据记录与质量闭环平台，数据全量记录，覆盖物料生产关键指标。需通过 AI 技术实现物料风险自动识别、主动预警，从源头保障物料来料一致性。

二、生产阶段数字化

储能生产商需具备全流程生产大数据监控记录平台，基于大数据、机理模型与 AI 技术，耦合各工序测试数据开展分析 / 预警，提升生产质量。结合现网运行数据，实现电芯、电池模块、储能舱等产品潜在问题提前发现与拦截。

三、运输 / 建设阶段数字化

建立完善的运输、安装标准并严格落地，形成全量运输、安装交付履历，确保过程数据可追溯、风险可管控。

四、运维运营阶段数字化

储能系统应具备全链路数据采集能力，结合数字技术、AI 技术与大数据分析，实现从电芯级、电池模块级、储能舱级、系统级到电网级的分层分级极致防护。需具备实时诊断各类故障的能力，达到准确识别、全面覆盖、快速响应的目标，实现诊断、预警、故障定位一体化，打造无死角的储能安全保护网。

05

储能安全攻防测试体系

5.1 储能安全攻防测试理念

当前，储能领域已构建起较为完备的安全标准体系，涵盖电芯、电池模块、储能舱 / 系统、并网运行等环节，为行业高质量发展起到了关键作用。面对储能全链路、全生命周期中多维度系统性挑战， 传统安全测试理念（SST）并不能充分识别产品的安全薄弱点，将无法满足要求。

引入 TTF 和 WST 两级安全攻防理念，从 SST 到 TTF 和 WST 的理念升级，实现从被动满足标准到主动攻击验证的思维革命，推动储能安全从符合标准向本征安全跃迁，最终构建抵御未知风险的安全体系。如图 2 所示：

图 2 储能攻防测试理念

5.2 储能安全攻防测试

基于 TTF 和 WST 理念，构建新型储能安全攻防测试规则，总体要基于不信任原则，模拟最严酷场景，沿着储能事故演化路径，去除层层防护，对产品进行攻防，保障每一层防护手段失效后，依然有兜底拦截措施，确保恶性事故不发生。相关示意如图 3：

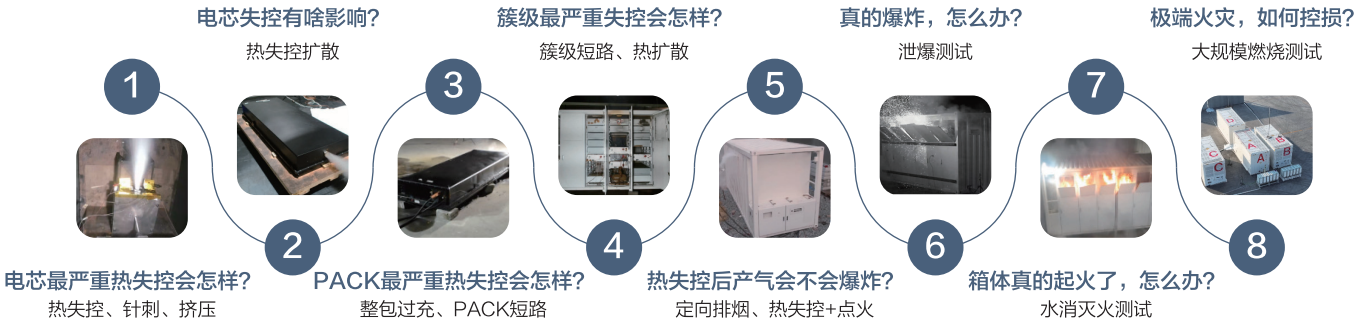


图 3 储能安全攻防测试示意图

基于攻防测试原则，部分典型攻防测试示例如下：

- **电芯析锂测试：**析锂是电芯常见的安全隐患之一，与设计及制程均相关，少量的抽样无法准确评估制程波动带来的影响。为此参考中国质量协会 AQL 取值要求，在量产前、产线切换等各类变更时，需对前 10 批按照 AQL=0.1 的数量进行拆解，后续逐步降低抽检比例，并持续监控。抽检比例如图 4 所示：

检查水平	AQL（合格质量水平）															
批量范围	0.01	0.015	0.025	0.04	0.065	0.1	0.15	0.25	0.4	0.65	1	1.5	2.5	4	6.5	10
2~8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5	3	2	2
9~15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8	5	3	2	2
16~25	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	8	5	3	3	2	
26~50	*	*	*	*	*	*	*	*	32	20	13	8	5	5	5	3
51~90	*	*	*	*	*	*	80	50	32	20	13	8	7	6	5	4
91~150	*	*	*	*	*	125	80	50	32	20	13	12	11	7	6	5
151~280	*	*	*	*	200	125	80	50	32	20	20	19	13	10	7	6
281~500	*	*	*	315	200	125	80	50	48	47	29	21	16	11	9	7
501~1200	*	800	500	315	200	125	80	75	73	47	34	27	19	15	11	8
1201~3200	1250	800	500	315	200	125	120	116	73	53	42	35	23	18	13	9
3201~10000	1250	800	500	315	200	192	189	116	86	68	50	38	29	22	15	9
10001~35000	1250	800	500	315	300	294	189	115	108	77	60	46	35	29	15	9
35001~150000	1250	800	500	490	476	294	218	170	123	96	74	56	40	29	15	9
150001~500000	1250	800	750	715	476	345	270	200	156	119	90	64	40	29	15	9
≥500001	1250	1200	1112	715	556	435	303	244	189	143	102	64	40	29	15	9

图 4 AQL 抽检参照表

- **电池模块外短路安全测试：**在长期运行的过程当中，可能出现各种类型的短路，阻抗值差异性较大。为此需在当前单点测试基础上，进行低阻抗到中高阻抗的全量测试，以验证电池模块的保护功能。
- **模拟冷却液泄露测试：**储能系统遇到机械冲击等异常情况，可能造成冷却液泄露，导致产品绝缘失效。该场景的模拟测试，在储能相关安全测试规范中尚未引入，故参考动力电池相关测试规范，验证冷却液泄露的安全风险。
- **储能舱热失控 + 点火测试：**储能舱内的电池模块 / 电芯热失控后，会释放 H2、CO、烷类等可燃气体，若未及时排出，可能出现起火、燃爆的风险。需增加热失控点火测试，主动触发电芯热失控后，在舱内点火，储能舱不能燃爆。

06 储能全周期安全管理体系

储能系统作为典型强电系统，其安全风险贯穿全生命周期。除产品本身的技术安全隐患外，物料来料、生产制造、运输仓储、现场建设、运维运营等任一环节的疏漏，均可能引入风险并引发连锁反应。为实现端到端全链路安全管控，需构建覆盖全生命周期的安全保障体系，核心在于贯穿两大“端到端”逻辑，如图 5 所示：

1. **业务端到端：**从客户需求拆解、产品安全定义、研发验证，到供应链管控、生产、运输安装、运维运营直至客户满意，形成全业务安全闭环；
2. **管理端到端：**将安全战略、标准化流程、专业组织、人才储备深度融入各业务环节，实现管理与业务无缝衔接以保障体系落地。

图 5 安全架构图（参考）

6.1 研发领域安全管理体系

储能产品不应仅追求技术先进性，还需将产品质量置于首位，追求可靠性能，为客户交付极致安全的产品。储能安全管理需率先根植于研发体系，涵盖流程规范、组织保障、数字化支撑平台等核心要素，并深度嵌入产品全周期开发流程，实现安全管理与产品开发的同步推进。

- **流程与机制：** 融合功能安全理念，构建储能安全专项流程与管理机制，覆盖需求定义、设计开发、验收验证、生产制造、爬坡上量等全流程，实现安全需求、交付件标准、安全问题的全要素显性化管控，将安全管控贯穿端到端各关键节点，确保安全管理无死角。
- **安全理论 / 技术 / 工程能力：** 进行储能安全理论研究，构建覆盖全层级的安全需求定义、设计落地、测试验证、生产管控、消防兜底及容灾应急全链条能力，同步完成针对性容灾设计，形成全维度安全防护体系。
- **安全组织建设：** 组建储能安全专项组织，同步设立独立的安全攻防团队，形成专业分工明确、权责清晰的安全管理与技术攻坚体系。
- **数字化作战平台：** 将安全需求、安全策划、安全评估全流程纳入 IT 化管理体系，实现数字化闭环管控，提升安全管理的高效性与可追溯性。

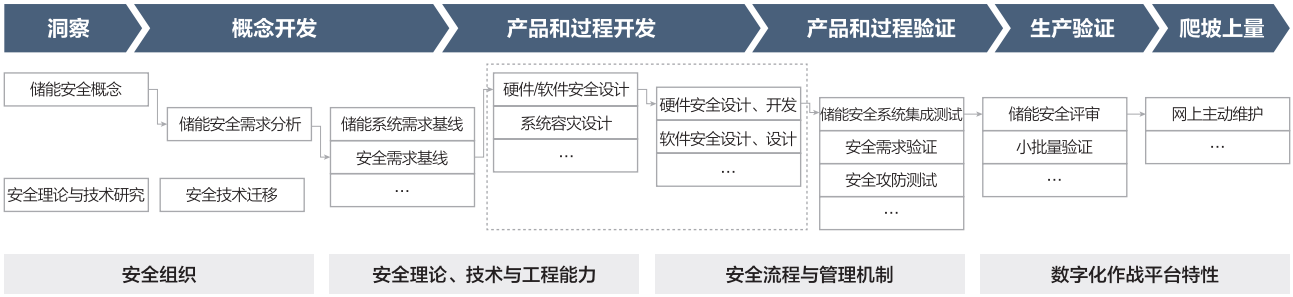


图 6 研发领域安全流程（参考）

6.2 采购领域安全管理体系

储能安全要深度融入到采购战略中，并将安全要求其从成本考量转变为核心价值选择。采购领域要系统性构建安全 Safety 管理体系，围绕供应商安全管理作业流、物料安全管理作业流、采购物料安全应用场景多方面开展供应商生命周期管理和物料安全管理。致力于构建一套可追溯的安全显性化管理体系，通过将安全要求量化为具体的、可执行的供应商准入标准、部件技术规格与验收准则，从体系上确保每一级供应商都能稳定交付符合高安全标准的部件。

- 安全在评估供应商选择认证流程，物料选型认证流程强应用，并作为红线项管理。在供应商选择认证阶段，要把安全的合规性、安全质量文化体系、历史安全问题纳入到核心评估维度；在物料导入过程中，强化安全专项审核，涵盖设计安全、来料安全、生产过程安全质量管理、变更管理、现场 SOP 执行、安全检验测等关键节点，确保准入供应商完全满足安全相关规范与要求。

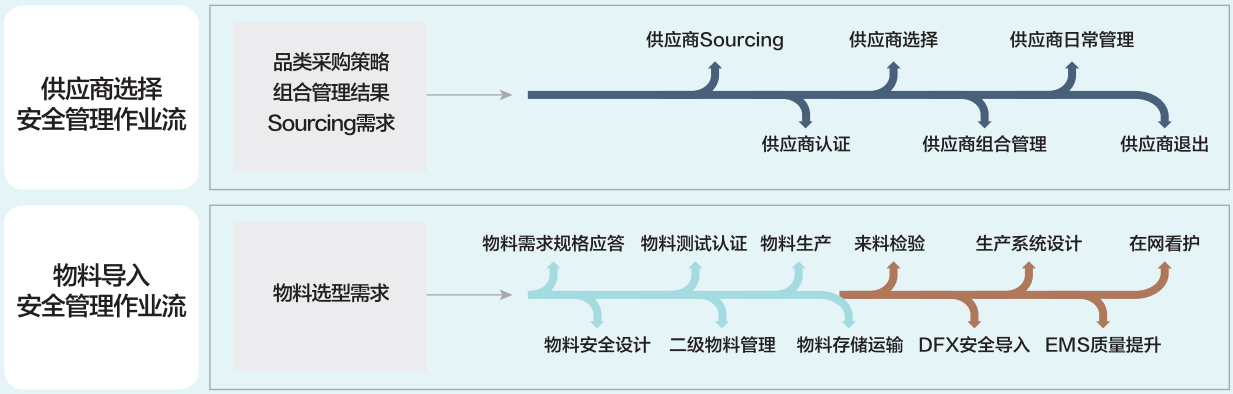


图 7 采购领域安全管理体系（参考）

》面向供应商要定期开展体系认证，确保符合安全体系相关要求。安全体系要持续性构建及优化，通过定期审核，不断提升供应商安全管控能力，持续稳定的保证全生命周期的部件 / 器件安全交付。

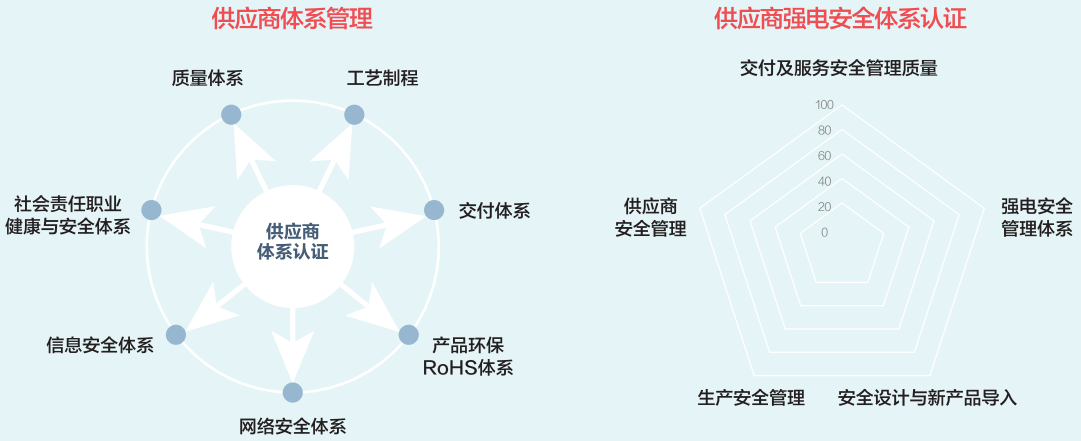


图 8 供应商质量体系认证要求（参考）

》面向供应商投入足够的资源，围绕安全和质量开展精细化的过程质量管理，同时搭建覆盖产品全生命周期可追溯的 IT 管理系统，形成“过程严控 + 全程追溯”的双重管控机制。

》安全产品出货拦截，必须以“零容忍”的要求强化各类拦截手段的落地，守住质量安全的最后防线。

图 9 物料端到端严出拦截手段（参考）

6.3 制造领域安全管理体系

储能产品的制造商、供应商需要以安全标准为基座，从制造 DFX 设计、制造专项能力、安全管理等维度明确在流程中安全相关的角色、活动、交付件，将新产品导入过程安全显性化，从设计源头构建本质安全。

构建覆盖全流程的生产大数据系统，实现生产过程中的关键数据全面记录与关联，将质量管理从事后检验的被动模式，升级为实时监控、主动预警、持续优化的主动管理，为制造卓越与产品可靠性构筑坚实的数据基石。

图 10 制造领域安全管理体系（参考）

6.4 供应领域安全管理体系

为支撑储能产业的全球化发展与极致安全追求，需全面构建体系化的供应链 Safety 工程能力，将安全管控前置并嵌入供应链的每一个环节，以实现供应链 0 Safety 事件的目标。需做以下关键动作：

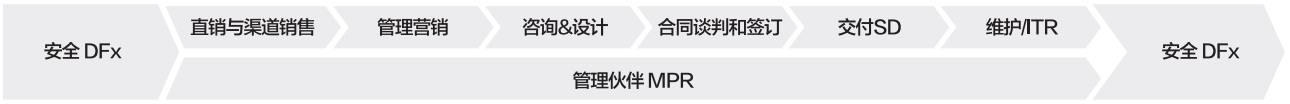
- 运输前需完成产品包装验证，确保抗冲击与防漏电能力。运输过程中，采用专用设备与实时监控，避免不当操作。
- 仓储管理则需控制温度、湿度，防止电池老化或漏液，并定期巡检消防设施。此外，危险品分类存储与应急预案制定是关键，如泄爆设计与消防抑制系统。
- 需建立正向与逆向物流能力：正向物流保障物料与产品高效、无损地流通全球；逆向物流则实现对问题物料的快速召回、返修与质量闭环管理。

产品集成设计	陆运	海运	外堆场	仓储	逆向	渠道/站点
· **基线:** DFX基线 · **测试:** 振动测试 · **编码:** 编码申请 …	· **车:** 危险品专车 · **货:** 危普不混运 · **单:** 危险品提醒 …	· **应急预案:** 适配产品制定应急预案 …	· **主动预防:** 高温监控、积水告警、喷淋降温； …	· 资质强校验 · 好坏件分流 · 现场分区/分仓隔离 · 合规交接 …	**坏件不进仓库** · 非原包装不回退 · 报废路径不经仓库 …	· 落实渠道商危险品资质 · 标准/赋能/持证/稽查; · RFI后发货机制 · 风险管理 …

图 11 供应领域安全管理体系（参考）

6.5 营销和服务领域安全管理体系

安全需成为营销与服务领域的核心价值主张，应将其深度融入从产品上市、伙伴赋能、咨询设计到交付建设、维护保障及客户满意管理的全业务流。需要在 IT 系统架构与组织职责设计中，系统性嵌入安全要求与校验节点，确保安全在每一个客户触点上都被可感知、可验证、可信任。最终，通过将安全从“隐性承诺”转化为“显性能力”，为客户提供贯穿产品全生命周期的确定性安全保障，真正做到让客户安心、放心。



安全DFX	产品上市	伙伴使能	咨询设计	合同评估	交付作业	维护保障	客满管理
· 安全真实需求 · 安全显性化 · 伙伴、一线安全验证 …	· 安全上市策略 · 上市KCP · 安全上市决策 · 伙伴上市赋能 …	· 安装商认证 · CSP/ASP选择 · 人员资质 · 激励&奖惩 …	· 安全设计有标准 · 安全设计能认证 · 安全设计要交底 …	· 合同评估 …	· 早期介入打点 · 项目建立有计划 · 施工工艺、标准 · 强电质量交底 …	· 安全类问题单处理机制 · 风险巡检&整改机制 …	· 客满早介入 · 客户关怀机制 …

图 12 营销和服务领域安全管理体系（参考）

6.6 安全治理

要实现安全管理体系在业务中真正落地，要设置安全组织，构建安全流程，建立安全管理机制，制定应急管理体系，提升安全工程能力，打造安全第一、质量优先的文化，将安全文化融入到公司生产和经营管理的各个环节。

07

储能安全量化评估体系

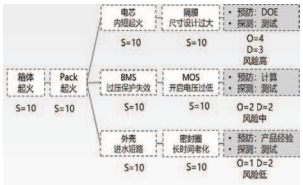
目前储能主要有四大类评估方法如图 13 所示，当前方法对专家经验和有限测试数据过度依赖，评估的全面性与量化精度存在不足。为此，需融合传统分析手段与先进仿真建模技术，构建系统化的储能安全量化评估体系，实现全工况、全生命周期范围内的安全风险概率评估。

该体系可覆盖当前最主流的锂离子与钠离子电化学体系储能系统，适配不同厂商的储能产品安全评估需求，包含“储能系统安全风险地图“和“储能系统安全量化评估模型”两部分。

第一类：
基于样品测试判定安全等级

- GB/T36276：电芯、PACK和电池组级别热失控安全测试
- UL9540A：电芯、系统到场站布局热扩散测试
- 团标：电芯和储能系统安全分级标准（基于测试结果）

第二类：
经典可靠性分析方法（如FMEA）



第三类：
NOSA五星安全管理系统

基于“5x72要素”的审计体系

- 人身安全（16）：高风险作业许可、等。
- 防火与消防安全（10）：消防设施、火灾风险、应急准备等。
- 事故记录与调查（10）：事故报告流程、调查深度、纠正措施的落实等。
- 机械与电气安全（21）：评估机器防护、上锁挂牌、电气安全等。
- 工场管理与整洁（15）：评估工作环境、内务管理、物料存放、标识系统等。

第四类：
经典风险矩阵分析法

参考标准：IEC31010

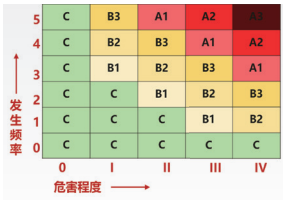


图 13 储能安全评估方法调研

7.1 储能系统安全风险地图

基于行业安全风险地图（R-MAP），结合储能产品长生命周期、全链路风险、危害传导复杂的特性，构建适配储能场景的安全量化评估体系（储能 R-MAP）。产品安全等级由事故严重等级和事故的发生概率两个维度进行评估，如图 14 所示：

- **事故严重等级：**将储能安全事故按照事故严重等级分为 0 无事故，I 部件级起火，II pack 级起火，III 舱级起火，IV 电站起火。
- **事故发生概率：**从低到高依次为分别 6 个等级。

基于储能事故严重程度及相应的事故发生概率，将储能产品安全等级分为 A（不可接受）、B（风险缓解）、C（可接受）三个等级，并明确了各等级对应的失效概率要求。其中，A 级风险极高，系统安全风险完全不可控，重大安全事故概率极高；B 级风险较高，需通过持续优化产品设计与引入创新技术以降低风险；C 级为安全风险总体可控，可有效避免整站火灾等严重后果。

安全失效率 [次/年]		产品安全等级					
$P > 10^{-2}$	频发	C1	B3	A1	A2	A3	A区域 不可接受
$10^{-3} < P \le 10^{-2}$	经常	C1	B2	B3	A1	A2	
$10^{-4} < P \le 10^{-3}$	偶尔	C1	B1	B2	B3	A1	
$10^{-5} < P \le 10^{-4}$	罕见	C1	C3	B1	B2	B3	B区域 风险缓解
$10^{-6} < P \le 10^{-5}$	极少	C1	C2	C3	B1	B2	
$P \le 10^{-6}$	几乎不可能	C1	C1	C2	C3	B1	C区域 可接受
事故严重度等级		无事故 (0)	部件级碳化 (I)	Pack起火 (II)	箱级起火 (III)	电站起火 (IV)	

图 14 储能系统安全风险地图 (R-Map)

7.2 储能安全量化评估模型

为精准评估不同事故严重等级的发生概率，构建了基于仿真和建模的通用安全分级量化概率评估。该模型包含模型输入，主模型（核心安全事件建模和危害演化与消减建模）和模型输出三部分，如图 15 所示：

- **模型的输入：**涵盖但不限于产品安全设计方案、安全测试报告、失效模式库、运行数据库等多维度数据，为评估提供全面数据支撑。
- **核心安全事件建模：**核心安全事件指可能引发不同严重等级危害的热、电类失效事件，如电芯内短路、绝缘失效、过充等。

》**危害演化与消减建模：**通过事件树分析（ETA）完成建模，明确不同核心事件到危害事件的演化路径及对应概率；结合系统设计方案，量化主动安全防护与被动安全防护措施对风险概率的消减有效性。

》**模型输出：**最终输出储能安全风险矩阵中各严重度等级的发生概率，为风险管控决策提供量化依据。

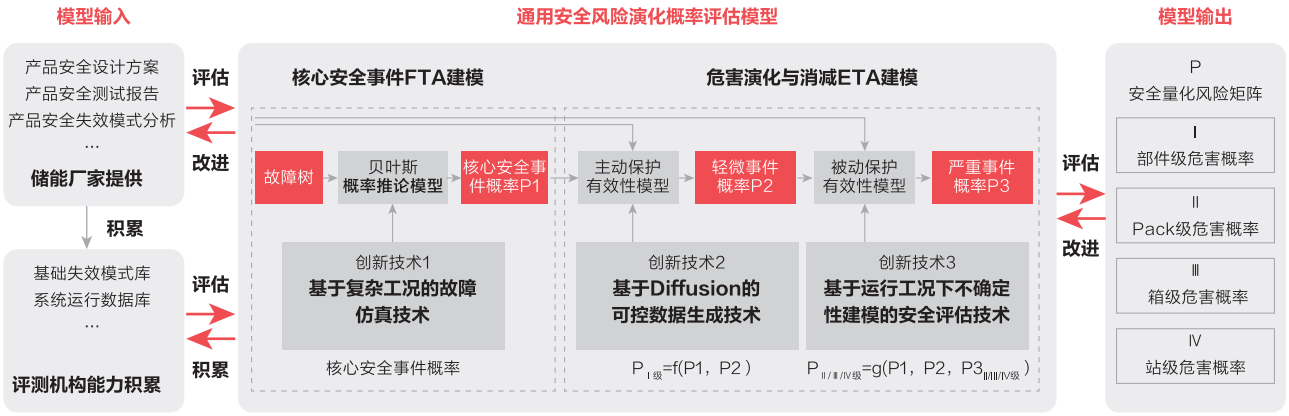


图 15 基于 R-Map 的储能安全风险量化评估模型

7.3 储能安全量化评估模型应用

借助储能安全量化评估模型，可输出不同设计方案下各层级危害的发生概率；通过迭代调整方案、评估优化效果，直至精准达成预设安全设计目标。如图 16 所示的电芯内短路应用示例。

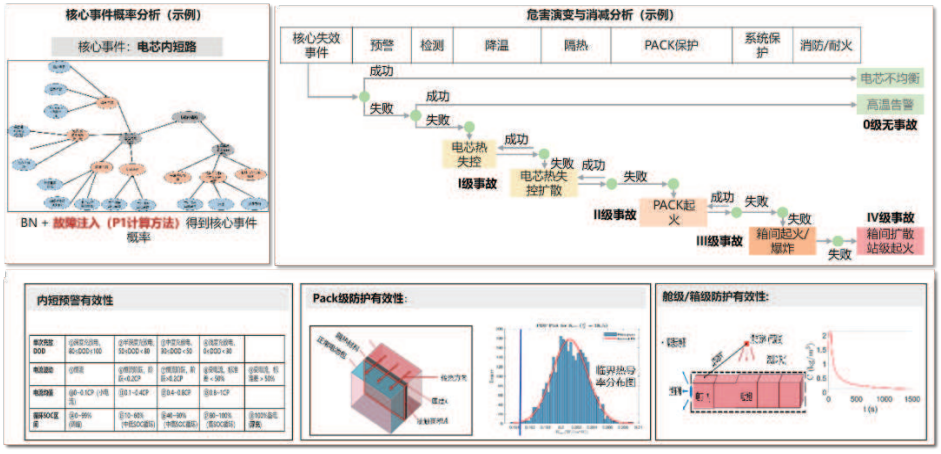


图 16 储能安全风险量化评估模型应用示例

倡议与展望

立足全球能源转型与可持续发展大局，储能作为关键支撑，其安全发展关乎人类共同未来。为推动全球储能产业安全有序进阶，现向全行业发出倡议：

1. 坚守核心准则，将 “安全为首、质量第一” 贯穿研发、生产、建设、运维全生命周期，以高标准严控产品与工程质量。
2. 强化技术赋能，深化产学研用协同，攻坚安全核心技术瓶颈，加速创新成果转化，筑牢能源转型安全屏障。
3. 健全治理体系，构建端到端全链条安全管理体系，完善标准规范与精细化管控流程，推广安全量化评估与保险融合机制。
4. 凝聚发展合力，秉持协同共治、行稳致远理念，强化行业自律与国际联动，凝聚全球共识、共促行业规范，推动安全标准落地。

让我们以安全筑基、以协同聚力、以创新赋能，护航全球储能产业高质量发展，为应对气候变化、实现人类可持续发展注入持久动能，共塑安全、高效、绿色的全球储能发展新格局。

版权所有 © 华为技术有限公司【2025 年】。保留一切权利。
非经华为技术有限公司书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明
、HUAWEI、华为、 是华为技术有限公司的商标或者注册商标。
在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其他商标、产品名称、服务名称以及公司名称，由其各自的所有人拥有。

免责声明
本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。