



TÜVRheinland®
Precisely Right.

由华为数字能源与德国莱茵 TÜV 联合发布



工商业储能 C2C 双链安全 白皮书

构建从电芯到应用的全面安全

前言

PREFACE

随着碳中和成为全球发展共识，全球低碳能源转型投资正在加速。2023 年全球低碳能源转型投资增长 17%，达到 1.77 万亿美元，创下了年度投资的新纪录¹。同时，碳税及补贴政策加速了企业的低碳转型。截止目前，中国已有 17 个省市出台了储能相关补贴政策。随着用电电价上涨，光储能成本下降，光储部署已实现商业闭环，工商业储能项目的投资回报显著提高。2023 年，全球工商业储能的需求开始爆发，其装机增速超越了源网侧储能和户储，实现了翻倍的增长²。

然而，随着全球工商业储能的需求爆发，安全事故的发生频率也急剧上升。据 CESA 储能应用分会产业数据库不完全统计，自 2009 年 11 月以来在全球范围内共发生 117 起储能相关事故，其中近 3 年以来就发生了 61 起事故，占比超一半，且事故发生频率还在不断上升中。2024 年前 10 个月所发生的储能相关事故已超过 2023 年全年数据³。其中，工商业储能事故占比达到了四分之三。事故频发的原因包括企业间因低成本竞争而牺牲产品质量和安全标准；非专业的集成商跨行参与项目导致项目的事故风险增加；以及行业缺乏严格的安全规范和标准。

工商业储能直面工厂、医院、商场、园区等应用场景，较传统电站储能场景更复杂、消防难度更大、人员资产更密集，其对于安全的需求尤为凸显。为避免行业安全事故的频发，引导行业实现更高的安全标准，华为数字能源和 TÜV 莱茵联合发布“工商业储能 C2C 双链安全白皮书”。本白皮书旨在指出电芯及系统的安全设计对于工商业储能系统建设的重要性，指出目前行业安全标准的不足，和面向未来的创新技术理念和方向，供行业参考。

1-数据引自：<<https://energy.pku.edu.cn/tzgg/yjyxw/da500e29ab3e40a49e3aff9aee3fa7ae.htm>>

2-数据引自：中关村储能产业技术联盟<https://www.cnesa.org/information/detail/?column_id=1&id=6708>

3-数据引自：<<https://finance.sina.com.cn/roll/2024-11-19/doc-incwqkxu2986592.shtml>>

目录

CONTENTS

前言	01
01. 安全是工商业储能发展的基石	02
1.1 工商业储能市场快速增长	02-03
1.2 工商业储能安全尤为重要	04-05
1.3 全球储能安全事故案例分析	06-07
02. 工商业储能安全风险分析与挑战	08
2.1 安全风险源和热失控发展机理	08-10
2.2 传统安全设计的不足和挑战	10-16
03.C2C 双链安全，构建全面安全架构	17
3.1 C2C 双链安全架构理念 – 天生安全，一生安全	17
3.2 电链路安全 – 预防隔离，防短路	18-21
3.3 热链路安全 – 消减抑制，防起火	22-26
3.4 构筑以强电安全为核心的质量体系	27-29
04. 安全分级是行业可持续发展的关键	30
4.1 行业安全标准现状	30
4.2 储能安全分级必要性	31
4.3 等级划分与标准介绍	32-33
05. 严苛安全测试，行业最高安全等级	34
5.1 全面安全测试，严于行业标准	34
5.2 极端热失控测试：不扩散、不燃爆、不伤人	35-42
5.3 卓越安全：业界首个最高安全等级认证	43
06. 总结与展望	44

安全是 工商业储能发展的基石

01

1.1 工商业储能市场快速增长

全球工商业储能的需求从 2023 年开始爆发，其装机增速超越了源网侧储能和户储，实现了翻倍的增长。储能系统价格直接影响工商业储能项目的投资总额和经济性。2023 年以来，碳酸锂价格回落，叠加市场参与方快速增加、竞争激烈程度不断提高，推动着各类储能系统价格快速下降，降幅普遍超过了 50%，这使得工商业储能项目的投资回报显著提高。工商业储能的主要需求从最初的应急备电的刚需，逐渐转变为工商业节能减排、降低用电成本、光储充一体化等多元且成熟的商业场景。

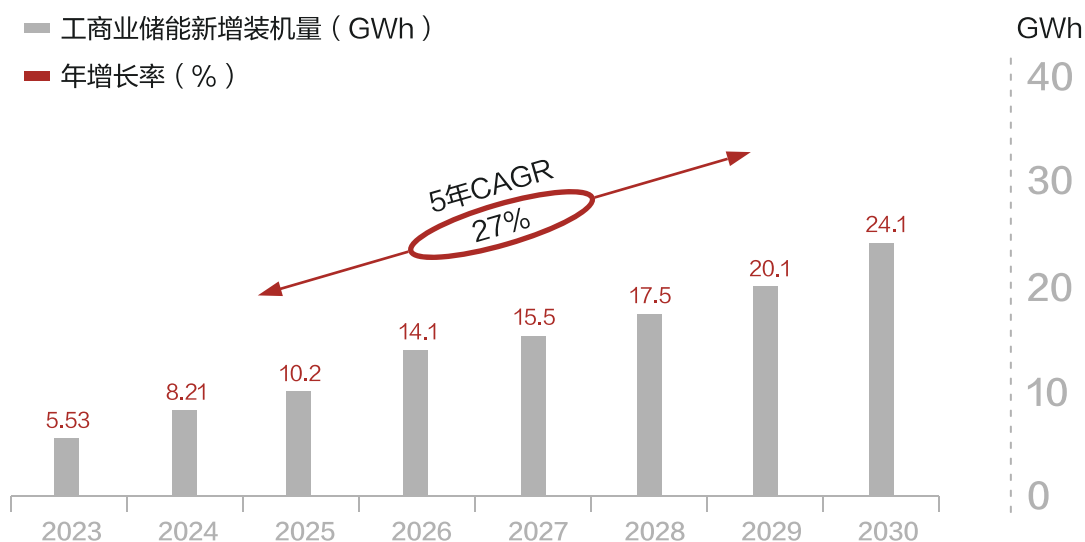


图1.工商业储能近年增长数据⁴

⁴—数据引自：中国储能网讯<<https://finance.sina.cn/2024-11-19/detail-incwqkxu2986592.d.html>,2024-11-19>< Wood Mackenzie >,2024

预计至 2025 年，全球工商业储能累计装机可达 11.5GW，中国和欧洲等区域的装机占全球工商业储能的比例将超过 50%⁵。

这些地区的工商业比较发达，工商业储能支持政策力度较高，推动了工商业储能的快速发展。同样随着组件价格下降，以及光储 ROI 的缩短，分布式光伏配储刺激了工商储新增装机规模增长。欧盟通过了“Fit for 55”计划和 REPower EU 计划，明确了可再生能源发展目标，到 2030 年可再生能源发电量占比提升至 45%，并提出从 2026 年开始，屋顶面积大于 250 平方米新建的公共建筑和商业楼宇，必须安装屋顶光伏系统，这些措施直接促进了储能装机需求的提升⁶。近两年，中国工商业储能政策呈现“国家顶层设计 + 地方灵活创新”的特点，通过电价改革、财政补贴、市场准入和技术标准多维度发力，推动行业从试点示范向规模化发展转型。2024 年 1 月至 4 月，国家发改委、国家能源局连续发布储能相关政策文件，完善分时电价机制，提升储能项目收益，并且鼓励企业建设分布式能源和储能设施。同时，地方也密集出台补贴政策，2022 年至今，浙江、广东、江苏、重庆、安徽、天津等地陆续发布超 40 个工商业储能直接补贴政策，推动了工商业储能项目的落地⁷。

同时，随着能源价格波动的加剧、同时电池技术的不断改进和成本的降低，商业和工业部门更经济地采用储能系统。在欧洲，许多公司已经开始使用储能来推动生产过程的电气化，例如德国、英国和荷兰等国家，越来越多的中小型企业和工业厂房将逐步实现能源自给自足。

5-数据引自：中国化学与物理电源行业协会《2023中国工商业储能发展白皮书》

6-数据引自：<<https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>>

7-数据引自：<<https://www.escn.com.cn/news/show-2066389.html>; <https://www.desn.com.cn/news/show-1616404.html>>

1.2 工商业储能安全尤为重要

1.2.1 储能安全成为行业关注重点

根据 TÜV 莱茵的一项跟踪调查显示，随着储能行业的发展，近 5 年来，市场对“储能安全问题”和“行业标准缺失问题”的关注明显上升⁸。

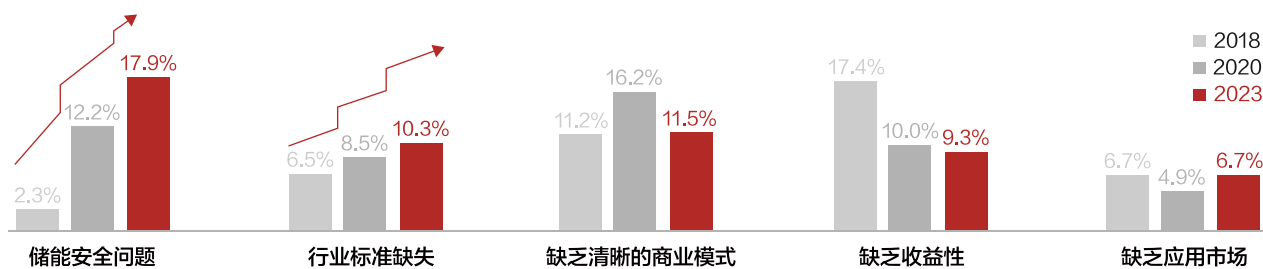


图2. 储能发展关键制约因素

1.2.2 储能产品本身具有较高安全风险

储能系统由于电池自身特点，本身安全风险就很高。目前储能产品主要采用磷酸铁锂电芯。由于锂离子的活跃性很高，锂离子电芯一旦因为外部或者内部的原因触发电芯内部正负极物质的剧烈反应，产生的热失控是非常难控制的。尤其众多的电芯组成的储能系统，具有容量大、电压高等特点，热失控的威力更是巨大，储能系统的安全风险尤为突出。



8-数据引自：<大东时代 & 电池中国网 CBEA.com>，《2024年全球储能行业趋势预测报告》，2023-12

1.2.3 工商业场景储能安全挑战更大

与传统地面电站场景不同，工商业场景储能应用环境更加复杂，消防难度更大，人员、资产更密集。储能系统距离资产人员更近、使用频率更高，一旦发生安全风险，造成的损失和社会影响也更大。工商业储能建设有以下特征及痛点：

01 环境复杂

工商业储能应用在工厂、医院、商场、园区等用电场景，同时不同场景下储能系统部署的位置也不相同，有些储能系统所在的位置存在四周空间狭小、消防道路曲折不通畅、旁边有重资产等情况，所以进一步增加了消防的难度。



02 人员密集

相比大多建在远离人口密集区域的源网侧的储能电站，工商业储能电站往往更靠近人们的生活与工作场所。因此必须尽最大努力降低其事故率和事故危害程度，确保设施周围人员的人身安全。



03 资产密集

在工商业储能应用中，储能系统直接关系到企业的核心资产和运营。资产密集区域的储能系统一旦发生故障，不仅威胁人员安全，还可能导致巨大的经济损失。目前资产密集区域包括精密制造工厂及充电站等。



1.3 全球储能安全事故案例分析

根据中国化学与物理电源行业协会（CESA）储能应用分会的统计，自 2009 年 11 月以来在全球范围内共发生 117 起储能相关事故，其中工商业储能事故占到了约四分之三。

2024 年 9 月，仅在半个月内，包括澳大利亚、法国、德国、奥地利等地就连续发生 8 起储能安全事故。上至源头锂电生产基地起火，下到终端数据中心火灾。在更早前，德国尼尔莫尔商业区发生储能起火及二次爆炸导致 2 名消防员受伤，韩国工厂事故更是造成 23 人死亡。

通过事故原因分析，这些事故主要是由于电气绝缘失效、短路故障扩散等引发的。同时由于热失控抑制和消防措施不足，导致事故范围扩大，损失陡增，甚至出现人员伤亡风险。



图3. 德国尼尔莫尔商业区储能起火
柜门炸开导致2名消防员受伤⁹



图4.法国Saint-Esprit养鸡场爆炸造
成财产损失上百万欧元¹⁰



图5.美国亚利桑那州McMicken
2MW/2.47MWh储能站事故¹¹



图6.韩国忠南光伏太阳能电站
储能项目火灾现场¹²

9-10-数据引自：中国储能网新闻中心

11-数据引自：FOX News

12-数据引自：韩国消防局

表1：近年来重大储能安全事故统计¹³

事故时间	事故地点	事故名称	造成后果	事故原因
2025年3月9日	韩国全罗南	康津洞	500多平方米的储能设施和3852个储能模块全部被烧毁，造成约5000万元人民币的财产损失	电池包内部短路扩散持续过热，电芯对地短路快速起火
2025年9月29日	中国福建	某储能电池生产基地起火事故	损坏建筑约5万平米，资产损失预估超3亿元	电池过度充放电而引起电池自燃
2024年9月10日	新加坡	某数据中心锂电池爆炸事故	火灾持续超过36小时，严重影响了科技公司的正常服务	电池内部绝缘失效导致热失控爆炸，导致火灾扩散和高温
2024年6月24日	韩国京畿道华城市	Aricell锂电池工厂爆炸事故	造成23人死亡，8人受伤	锂电池内短路扩散导致热失控发生火灾，并引发工厂二楼储存的3.5万块锂电池中的部分电池发生一系列爆炸
2024年5月15日	法国Saint-Esprit	养鸡场光伏储能起火爆炸事故	剧烈爆炸损毁附近300多户房屋窗户，经济损失上百万欧元	缺乏故障预警，未即时切断故障单体电池导致故障蔓延至周围电池，导致可燃气体大量聚集，遇电火花引发爆炸
2024年4月27日	德国不莱梅	尼尔莫尔商业区储能起火爆炸事故	2名消防人员受伤，造成50万欧元的经济损失	锂电池热失控后，电池包破损，内部可燃气体泄露，引发二次爆炸，柜门炸开
2021年9月20日	澳大利亚维多利亚州	Victorian Big Battery 电池储能项目火灾	造成了价值3800万美元的损失	液体冷却系统漏液导致电气之间产生电弧和火花，造成系统热失控，随即起火并蔓延
2021年4月16日	中国北京	福威斯油气公司光储充一体化项目火灾爆炸	造成1名电工遇难，2名消防员牺牲，1名消防员受伤，直接财产损失超过1600万元人民币	电池内短路导致热失控，产生大量可燃气体聚集，可燃气体蔓延导致二次爆炸
2019年4月19日	美国亚利桑那州	APS储能电站爆炸事故	储能系统损毁，4名消防人员受伤	电池内部产生枝晶导致内部短路故障；无排气泄爆设计

这些储能事故案例中，所采用的储能产品通常都经过了常规标准的检测认证，有些还通过了当前的欧洲标准或北美标准，但仍然不能避免事故的发生。由此可见，目前储能市场上的标准并不能满足储能设施的安全需求，还有很大的细化和提升空间。

13-数据引自：美国电力研究院（EPRI）BESS Failure Incident Database

工商业储能安全风险分析与挑战

02

2.1 安全风险源和热失控发展机理



2.1.1 储能系统安全风险源

储能热失控风险触发原因根据机理特点，可以分为机械滥用、电气滥用、热滥用三类。

机械滥用：储能设备在制造、运输、安装过程中因外部机械力（跌落、振动、碰撞、挤压、穿刺等）导致电池结构破坏或内部缺陷，如电芯壳体变形、隔膜破坏、电解液漏液等。

电气滥用：因不当的电气操作或电路故障（如过充、过放、绝缘失效、控制失效、外部短路等）导致的电池内短路安全风险；

热滥用：因外部高温环境或内部热扩散等导致的电池异常高温及热失控风险。

表2. 储能安全风险源分析

机械滥用	电气滥用	热滥用
PACK密封缺陷	雷击能量注入	通流高温/链接故障
运输/安装跌落	高压回路故障	环境高温
运输振动/冲击/碰撞	电气链接绝缘破损	外部火源/异常高温
PACK结构强度不足	外部异常高压/电流	PACK内热扩散

2.1.2 储能系统热失控发展机理

01 电链路短路故障，是储能系统热失控产生的源头

电气短路等电链路故障是造成储能安全风险的源头，从电芯、电池包、系统内部电路、外部电路，任何环节出现短路故障，都可能扩散，从而引发热失控。

电气短路产生的原因通常包括：外部和环境风险、电气风险、内部缺陷故障和控制失效风险等多种因素。如原因导致电芯内部短路失效（如被撞击，过充过放等），生产缺陷导致模组内部或外部短路，或者更进一步的系统失效（如 BMS 失效、功能安全失效、操作失误等）。



图7. 电气短路故障产生的原因

02 热链路热失控扩散，扩大储能安全风险损失

热失控扩散是储能安全风险扩大的过程。热失控一般从电芯热失控开始，逐渐扩大范围，造成电池包起火、系统柜内燃爆、爆炸解体和柜间扩散，波及周边资产和人员。

我们知道，锂离子电池热失控过程会发生剧烈的产热反应，加速热失控过程。一般来说，单个电池包内有约 60-100 个电芯，单个电芯之间排布紧密，单个电芯热失控后会迅速热蔓延，导致其他电芯热失控，进一步扩散至电池包及整个储能系统。锂离子电池的热失控过程反应剧烈、发生迅速，发热量可使电池温度快速升高到 400-1000℃。同时，锂离子电池热失控过程中会产生大量可燃气体（CO、H₂ 等），可燃气体与空气中的氧气结合，浓度达到爆炸极限时，遇高温或明火易点燃，从而发生爆炸和火灾蔓延。

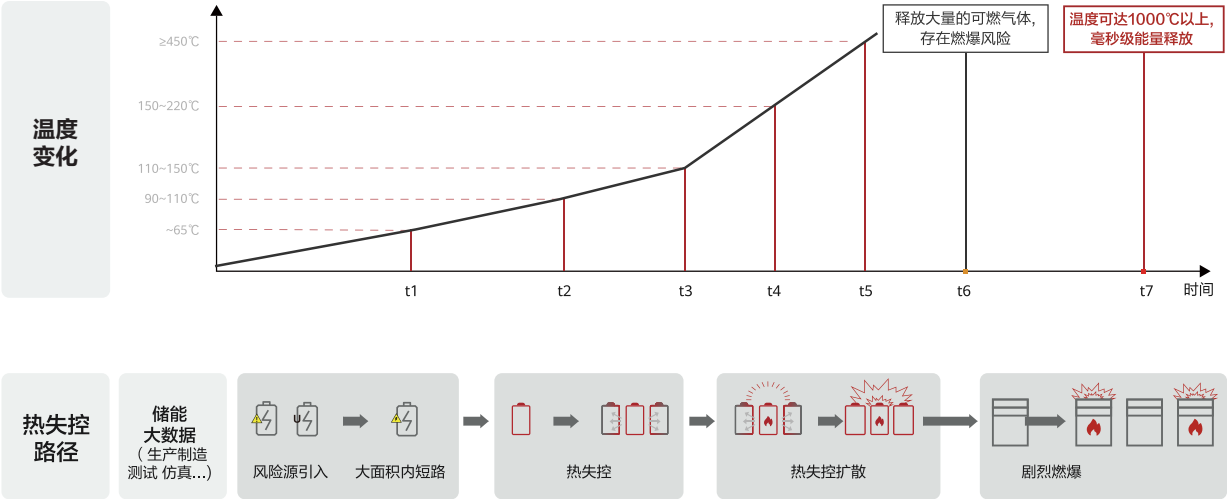


图8. 热失控扩散过程

2.2 传统安全设计的不足和挑战

工商业储能系统复杂, 对系统集成设计要求非常高。随着电芯技术发展越来越成熟, 储能系统的安全更依赖于系统集成设计。经分析, 电链路电气短路防护、热链路热失控抑制措施等系统设计方面的不足是当前储能系统安全风险产生和扩大的主要原因, 也是目前工商业储能安全设计面临的行业痛点和挑战。

2.2.1 电链路短路防护设计的不足和挑战

当前, 业界传统的储能系统在电气短路防护方面存在如下痛点和问题:

01 电芯内部短路, 需精准识别预警; 传统方案电芯数据分析和故障预警能力弱

储能热失控最开始一般是由电芯内短路故障导致的。电芯外壳破损、枝晶穿刺、漏液等故障很容易造成电芯内短路故障, 电芯内短路故障会首先体现在电芯参数异常上。

电芯内短路等故障的识别预警, 需要对大量电芯数据进行采集和分析, 采集的数据精度及速率依赖于数据采集芯片的能力。目前应用在储能系统中的传统数据采集芯片, 采集数据量少、误差大。

同时, 传统的板端告警算法对电芯异常进行告警提示, 存在误差大、速度慢、能力上限低等问题。这些都制约了电芯故障风险的提前识别和预警能力。

02 PACK绝缘失效易导致PACK内部短路故障；普通绝缘材料易漏液失效

在电池包 PACK 层面, PACK 绝缘失效或绝缘隔离范围不足, 容易造成 PACK 内部电芯之间、电芯和 PACK 壳体之间电气接触, 进而会引发电池包的内部短路故障。

在储能系统设计里, 电池包的绝缘保护相当关键, 需要通过对电池包加强绝缘设计, 防止绝缘失效, 增强保护效果。

传统的电池包绝缘设计, 通常只考虑外壳的部分绝缘, 而忽视了电池包内部电芯、模组之间的绝缘, 容易出现搭接短路, 拉弧击穿, 短路起火等电气故障, 甚至进一步造成电气故障扩散, 引发储能系统短路。而且, 普通绝缘材料无法保障电芯热失控后的绝缘, 在电芯热失控后, 存在高温和电解液腐蚀, 绝缘材料很容易遭到破坏, 导致绝缘失效。



图9: 电池包绝缘保护重要性分析

传统电池包绝缘设计缺陷:

- 1) 传统电池包一般只考虑底部和外壳之间的绝缘, 而忽视了相邻电芯、相邻模组、电芯与上盖之间的绝缘保护。
- 2) 通常, 电芯漏液会持续腐蚀绝缘层, 由于腐蚀缓慢, 可能无法及时发现。当绝缘层被电解液持续腐蚀时, 会导致绝缘层碳化气泡, 引发绝缘失效, 造成系统破坏。传统电池包采用普通绝缘漆, 其耐电解液腐蚀能力弱, 仅能耐 7 天电解液腐蚀。
- 3) 传统电池包部分采用塑料外壳, 当电池包出现热失控时, 高温环境下外壳易熔融, 破坏绝缘层, 导致大范围绝缘失效。

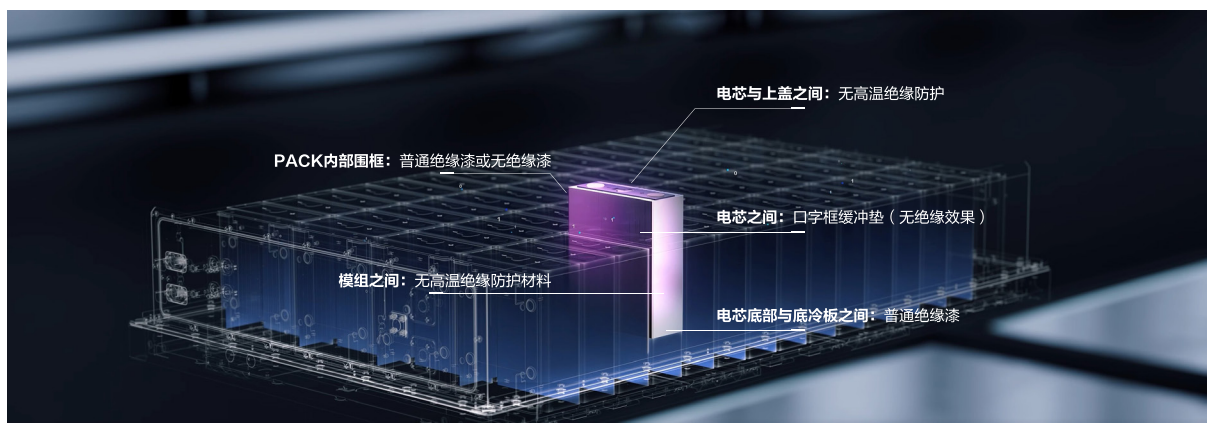


图10.传统电池包内部绝缘设计

03 系统部件多，各环节都可能发生短路故障；大电流短路若不快速关断，容易快速起火

对于储能系统而言，储能系统从直流到交流都可能会出现短路风险。除了电芯内短路故障、电池包内部搭接短路等，还存在不同电气部件连接不良导致的短路故障。在储能柜内部，电气部件通过线缆连接问题，不同位置的端口或线缆出现破损、搭接，也可能导致不同类型的短路故障，如直流正负母线之间的短路、PCS 内部器件失效短路、大电流电芯对地短路等。电气连接不良或器件失效等问题通常是由于产品自身缺陷、运输安装破坏、安装维护不规范、器件长期运行工况不良等原因造成。

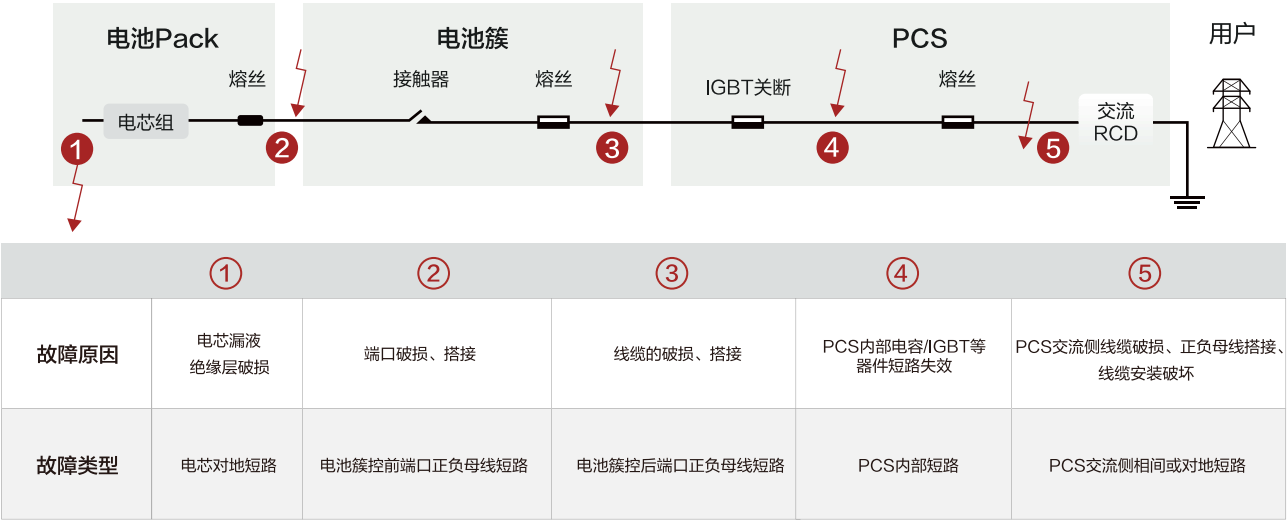


图11 .储能系统电气短路故障分类

传统保护方案缺陷：

1) 传统保护方案存在保护盲区

首先，传统熔丝和传统接触器的保护范围相对较小，在 1.2~1.6kA 之间存在保护盲区。当外短路电阻 0.4~0.6Ω 时无法保护（一般外短路电阻 0.1~1Ω）。

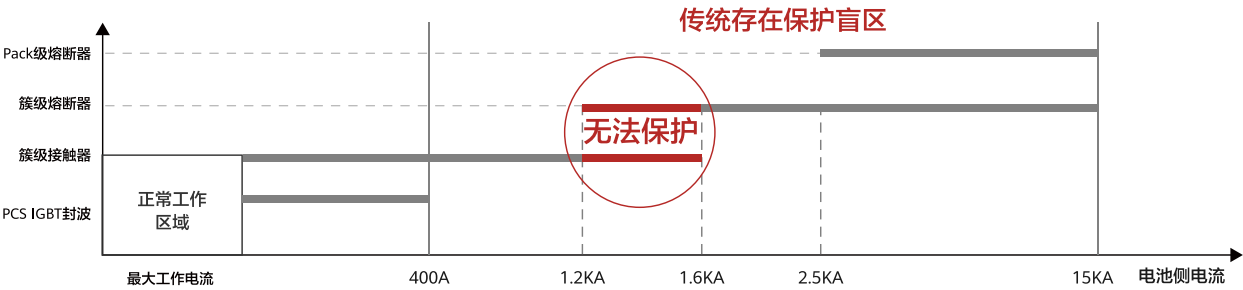


图12. 传统方案短路电流识别盲区示意

2) 针对电芯对地短路等大电流故障, 无法实现快速关断。

传统熔丝反应时间秒级以上, 关断时间长。传统方案只能检测与分断异常差模电流(正负母线之间的短路), 差模电流相对较小, 起火反应时间较长, 传统熔丝可以保护。但对于异常共模电流(如电芯蓝膜破损, 汇流排对地短接, 电芯外壳对地短接造成的电芯对地短路), 短路电流大, 数十毫秒内可能发生起火, 传统熔丝方案无法快速检测并进行分断保护。

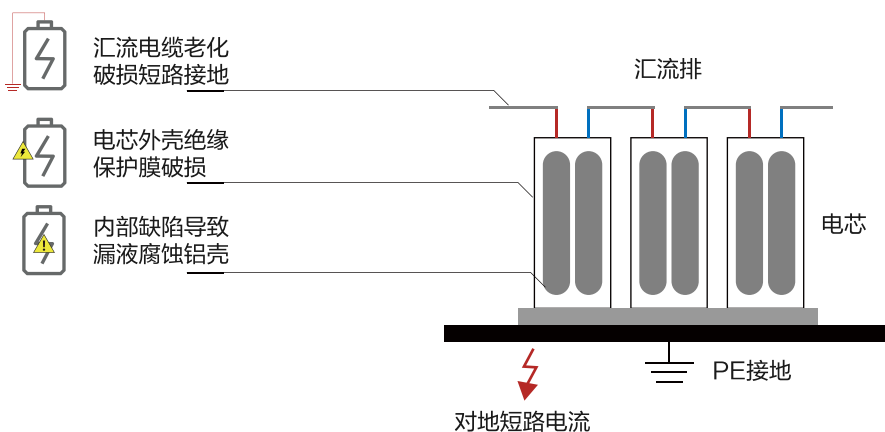


图13. 电芯对地短路故障原因分析示意

04 外部电缆破损接地导致漏电伤人; 传统漏电流检测方法范围小、风险大

在应用层面储能柜与外部配电柜通过线缆连接, 外部线缆容易出现因动物撕咬雨水浸泡等造成线缆破损, 出现线缆搭接或对地短路等问题, 进而可能导致柜外交流侧、辅电侧的短路漏电, 易导致人员触电受伤、设备损坏等风险。



图14. 漏电流产生原因及风险分析

传统方案通常采用 PCS 重启的方式检测对地绝缘阻抗或漏电, 仅能检测直流侧漏电, 无法有效检测交流侧、辅电侧漏电风险。针对外部漏电短路无法进行快速关断, 容易导致人员触电受伤和大电流冲击损坏储能器件。

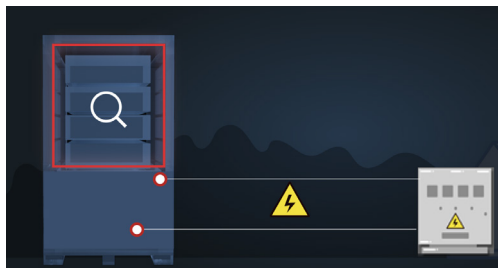


图15. 传统方案存在漏电流无法监测风险

2.2.2 热链路热失控抑制安全设计的挑战

01 隔热设计缺陷，导致电芯间热蔓延

电芯隔热设计的重要性：

在锂电池储能系统中，电芯间隔热设计起着至关重要的作用，一旦出现缺陷，将会引发严重后果。当电芯间隔热设计存在不足时，热量在电芯之间的传递得不到有效阻隔，极易造成电芯间热蔓延现象。

在正常情况下，电芯在充放电过程中会产生一定热量，而合理的隔热设计能够确保这些热量被控制在单个电芯范围内，避免对相邻电芯产生影响。

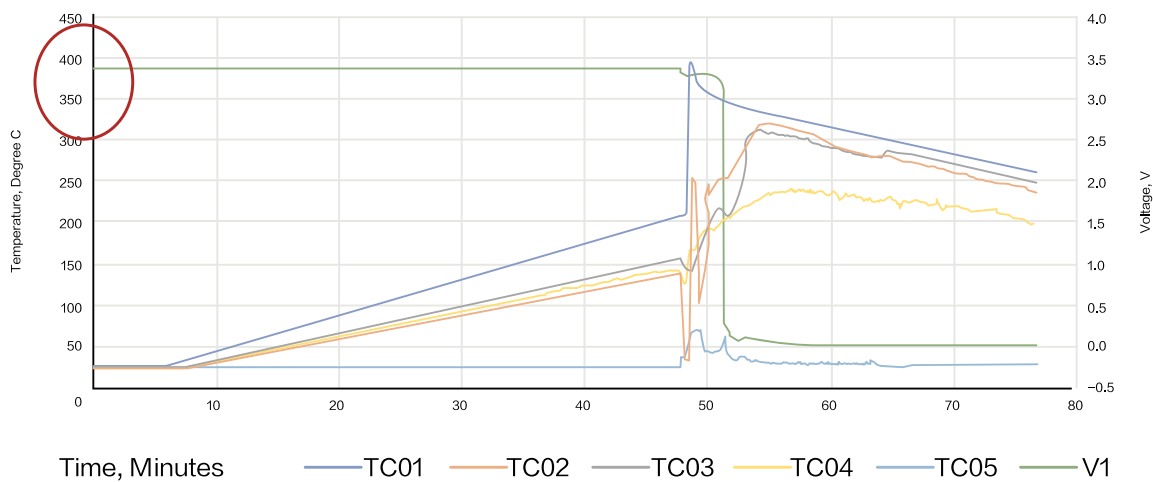


图16. 热失控过程电芯温度变化

传统方案隔热设计缺陷：

传统方案，无电芯隔热设计或采用普通的隔热材料，无法起到良好的隔热效果，热量就会迅速向周边电芯扩散。此外，传统方案隔热结构的设计存在漏洞，如电芯之间的间隙过小，导致隔热材料无法充分填充，使得相邻电芯直接“接触”，热传递的路径被大大缩短，热蔓延的速度也随之加快。

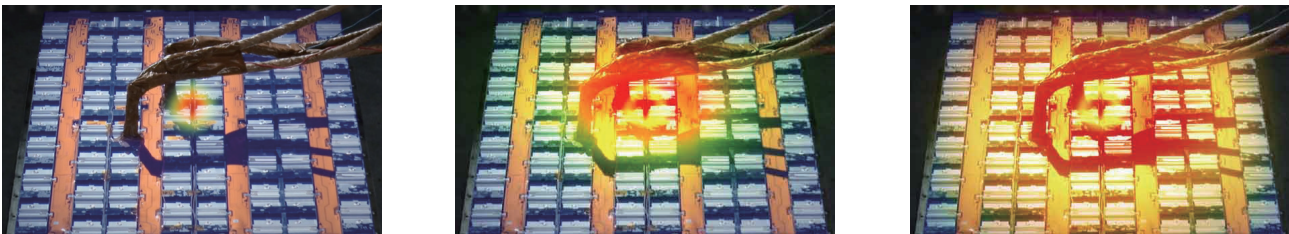


图17. 电芯热失控扩散示意图

02 电池热失控遇氧气，易造成电池包内迅速起火

电池燃烧时产生的可燃气体主要包括氢气、乙烷和乙炔等。这些气体在特定条件下会引发爆炸或燃烧，对电池生产和存储过程构成严重威胁。

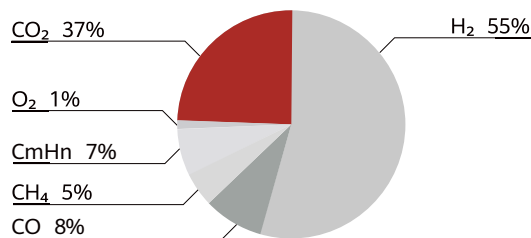


图18. 电芯产气组成及爆炸浓度范围

我们知道燃烧的三要素为可燃气体、氧气、燃点。只有当可燃气体、氧气和燃点这三个要素同时具备，并相互作用时，燃烧才能发生。在防火设计中，通过破坏其中任何一个要素，就可以达到防止燃烧或扑灭火灾的目的。

磷酸铁锂电池在热失控进程中会有可燃气体逸出，这些可燃气体通常是电解液受热分解等过程产生的诸多有机化合物，像乙烯、甲烷等。磷酸铁锂电池热失控时自身近乎不产生氧气，这意味着外部空气成为氧气的主要来源。

当外部空气通过电池包的缝隙、破损处等途径涌入，使得可燃气体与氧气得以混合，在高温环境中或是遇到电气系统故障产生的明火，会造成电池包内部瞬间起火燃烧。

传统电池包设计缺陷：

传统方案采用采用塑胶外壳熔点小于 400℃，高温易熔融导致密封失效。而密封一旦失效，可燃气体将与外界空气迅速混合。此时，电池短路产生的电火花、过热元件产生的高温热点，甚至是相邻部件摩擦产生的微小火花，即可瞬间点燃可燃混合气，火势随即迅猛发展。



塑料外壳



高温熔融



密封失效

图19. 电池包热失控熔融示意图

03 储能系统热失控，柜内烟气难排出，易燃爆

储能系统一旦发生热失控，会产生大量爆炸性可燃气体。如果烟气无法快速排出，会在柜内积聚，达到爆炸极限范围，遇火源或能量激发源极易爆炸，还会因电池紧密排列，在一处发生燃烧或爆炸后引发连锁反应。

传统储能系统排气设计方案缺陷：

无防护：电池包内电芯热失控持续产生可燃气体，高温遇氧气起火

电池包泄压阀：可燃气体排至柜内，柜内浓度达到爆炸极限起火爆炸

柜级排气：无法快速排除柜内可燃气体，热失控范围扩大

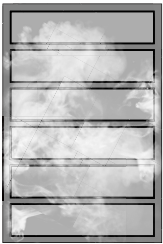


图20. 传统方案无法快速排气

04 储能柜体爆炸解体，易伤人

储能柜体一旦发生爆炸解体，其产生的破坏力将带来巨大的安全威胁，会对周围人员造成伤害。

在储能系统运行过程中，倘若内部电池出现热失控状况，大量高温烟气会在柜体内部迅速积聚，一方面，可燃气体与空气混合形成的易爆混合气，在达到爆炸极限后，遇到火源，如电池短路产生的电火花、线路老化引发的漏电火花等，瞬间便会引发剧烈爆炸；此外，电池热失控产生的电解液蒸汽云喷发后，将会影响柜体内部电气绝缘。另一方面，柜体本身长期承受内部压力冲击，结构强度逐渐下降，当爆炸发生时，难以承受强大的冲击力，进而破碎解体。

此时，高速飞溅的柜体碎片，将会四处散落，其威力足以穿透人体，造成严重的创伤。同时，爆炸产生的冲击波，带着巨大的能量向四周扩散，也可直接将人直接掀翻在地。

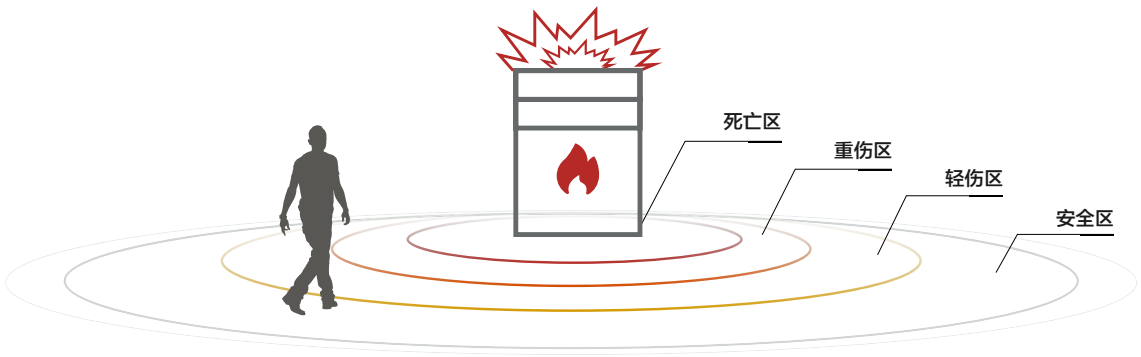


图21. 储能柜体燃爆区域示意

传统储能系统泄爆设计方案缺陷：

1) 传统方案的 PCS (电力转换系统) 以及液冷空调普遍采用顶部布置的方式，这一布局使得柜体在面临内部压力骤升，如电池热失控引发爆炸风险时，完全没有可供泄压泄爆的有效路径。气体无法顺畅排出，压力持续累积，极大地增加了柜体爆炸解体的危险系数。

2) 部分方案仅具备顶部泄压阀，泄爆面积不够，当柜体内部压力因各种故障因素急剧攀升时，有限的泄爆面积无法及时将高压气体排出，使得内部压力持续累积，难以阻止柜体爆炸。

C2C

双链安全，构建全面安全架构

03

3.1 C2C 双链安全架构 – 天生安全，一生安全



工商业储能系统产生热失控的两大关键路径分别为电链路和热链路。

沿着电链路来看，从基础的电芯、到电池包、系统内部母线电路、应用侧外部电路，任何环节出现短路，都可能发生短路扩散，对设备造成不可逆的损坏，此外短路电流的冲击还可能直接诱发电芯短路，进而引发灾难性的热失控，甚至会对现场人员造成触电伤害。

热链路方面，热失控扩散是储能安全风险扩大的最主要过程，热失控一般从电芯热失控开始，逐渐扩大范围，造成电池包起火、系统柜内燃爆、爆炸解体和柜间扩散，波及周边资产和人员。

因此，保障两条链路的安全性尤为重要。我们创新性地提出了“C2C 双链安全”架构（Cell to Consumption）。围绕电链路和热链路两条关键路径上的各个环节进行保护设计，重构电热双链安全DNA，从电芯到电池包到系统到应用级别提供全方位的保护，构建从电芯到应用的全面安全。

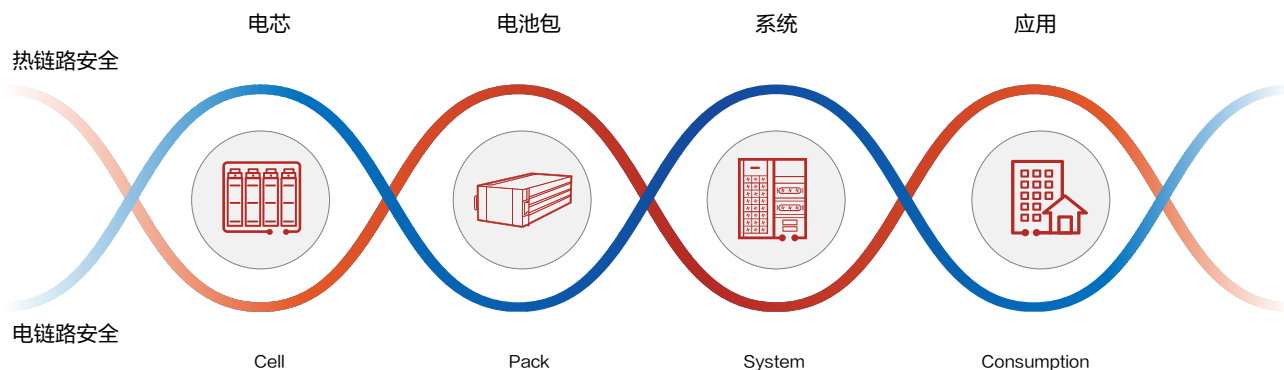


图22. C2C双链安全架构示意图

3.2 电链路安全 – 预防隔离，防短路

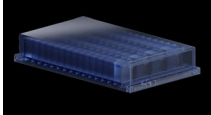
电芯	电池包	系统	应用
		 一级：包级熔丝 二级：簇级加强熔丝 三级：簇级加强接触器 四级：PCS级IGBT分断 五级：PCS级瞬时断路器	
双重智监测 电芯故障提前预警	首创 六面强绝缘 电池包短路不扩散	首创 五级全保护 大电流短路快速关断	首创 24h长保障 外部漏电不伤人
端云结合，13+电芯故障识别	专利绝缘层，耐30天电解液腐蚀	交直无盲区，ms级关断（VS行业秒级）	交/直/辅三重RCD，24h在线检测

图23. C2C双链安全-电链路安全设计理念

在电链路维度，我们依托前沿技术与创新理念，通过多级预防隔离设计，减少短路风险发生的可能性，通过这一严密且环环相扣的多级预防隔离机制，保障电链路全面安全。

01 电芯级：双重智检测

电芯管理芯片和告警算法，影响电芯状态监控和安全风险识别的准确性。

在电芯安全管控层面，我们运用端云结合模式，为电芯的稳定运行保驾护航。一方面采用车规级电池管理芯片，对电芯的各项关键参数进行实时、精准监测。另一方面，通过电芯大数据分析学习系统，收集海量电芯的运行数据，分析典型故障原因，对内阻异常、温度采样异常、过充过放等超过 13 类的电芯故障，进行检测预警。

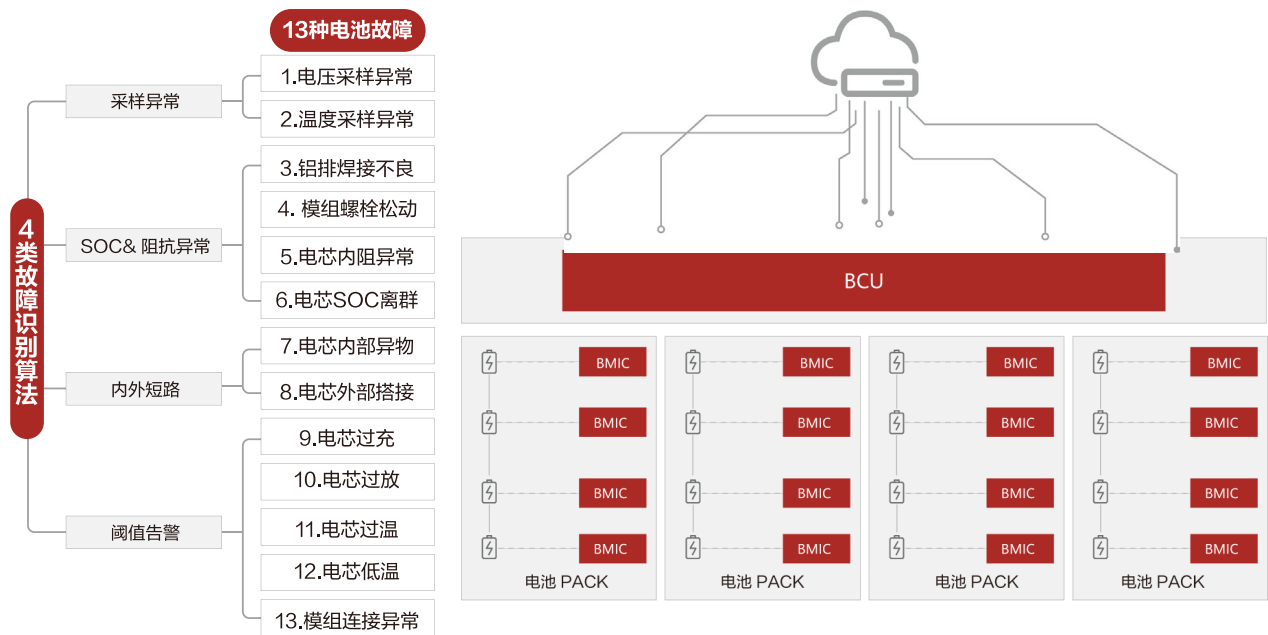


图24. 电芯监测架构示意

02 电池包级：六面强绝缘

全面可靠的绝缘设计对电链路保护非常重要。从电芯之间，模组之间，电芯和上盖、底板之间，均需要全方位筑牢绝缘防线，保障储能系统安全、稳定运行。

• 电芯及电池包六面均有绝缘保护设计

通过在电芯与电芯之间，电芯与上盖，电芯与底板之间，模组之间，均采用了耐高温的绝缘材料进行防护。可以避免相邻电芯之间出现搭接短路，电芯与电池包外壳之间出现拉弧击穿打火等故障。

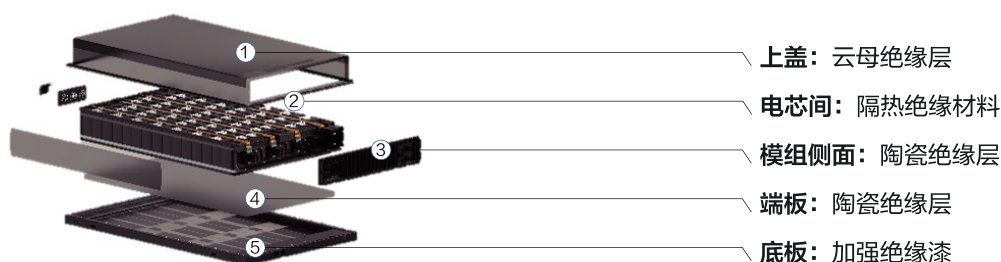


图25. 电池包六面绝缘设计

• 加强绝缘漆设计，耐电解液腐蚀

此外，针对传统绝缘层材料耐腐蚀能力弱的痛点，我们通过对绝缘漆材料配方的研究，研发一款具备超强耐受性的专利绝缘漆材料，可以耐受 30 天以上的电解液腐蚀，实际测试可以浸泡 1000h 以上无任何变化。



图26. 加强绝缘漆图层

• 采用金属外壳，高温密封不失效

针对传统塑胶外壳高温熔融易导致绝缘失效的特点，我们特地采用合金类金属外壳材料，当电芯热失控或者处于环境高温时，仍可以确保壳体完整和绝缘不失效。

03 系统级：五级全保护

针对储能系统总各种短路故障，尤其是大电流电芯对短路，实现全方位和快速的关断保护，是避免系统短路故障扩散的关键。

• 五级全范围保护措施，交直流无盲区

传统方案仅具备 3-4 级保护，保护存在盲区的问题。我们通过 5 级全范围保护措施，来防范系统各个环节的短路风险，并实现 5ms 快速关断。

因此，我们通过对簇级接触器和熔断器进行加强设计，提升保护范围，覆盖 1.2kA-1.6kA 的保护盲区。同时具备独有的瞬时断路器，实现从电池包熔断器到簇级加强接触器，簇级加强熔断器，PCS 内 IGBT 封波，PCS 瞬时断路器的五级保护措施，避免电芯对地短路、电池簇前后端口正负母线短路，PCS 内部短路和交流侧相间短路等各类电气故障，实现直流侧到交流侧的全范围保护。

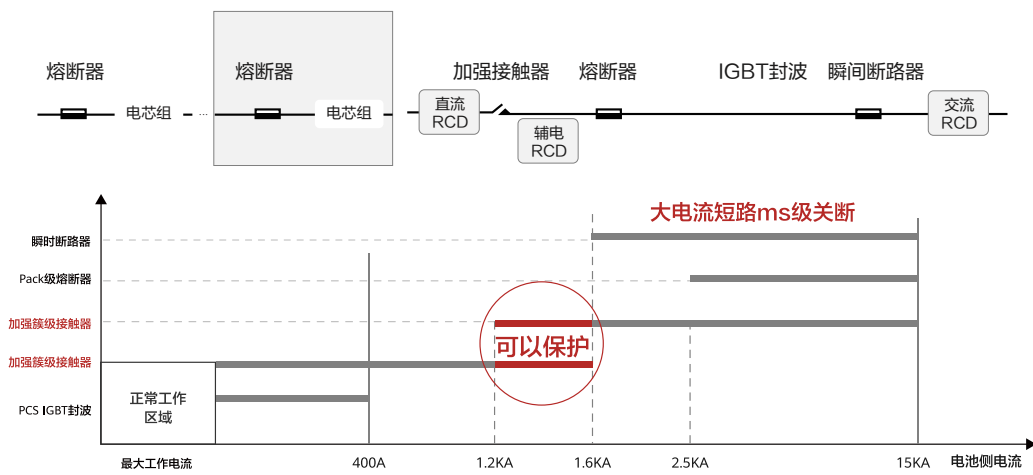


图27. 系统级五级全保护原理图

• 毫秒级电芯对地短路，实现大电流快速关断

传统的熔断器和接触器开关，主要是用于隔离正负极短路。然而，针对大电流对地短路，则需要较长的响应时间，多为秒级。我们采用独有的瞬时断路器，能够实现毫秒级快速关断。除了能够有效保护 PCS 内部短路、PCS 交流侧相间对地短路等造成的风险。对于更易起火的大电流电芯对地短路，也能在 5ms 内快速关断，解决了行业电芯对地大电流短路无法保护的痛点。

>1s

熔丝关断

传统方案

VS

≤5ms

瞬时断路器关断

华为方案



专利保护

04 应用级：24小时长保障，漏电不伤人

在应用上，行业传统储能通常只考虑直流侧的漏电监测，而忽略了交流侧和辅电侧。我们通过独有的交流、直流、辅电三重 RCD (Residual Current Device) 全方位保护，有效防止运行过程中外部电路漏电伤人的风险。不管是储能系统内部直流线路，还是储能系统到外部配电柜之间的交流线路和辅助供电电路，出现漏电时，都能够快速检测到电路中出现的剩余电流，在极短的时间内自动切断电路，从而避免人体触电时电流对人体造成伤害，保障人身安全。

同时，三重 RCD 还可以及时保护设备安全。在设备漏电时迅速切断电源，防止设备进一步损坏，避免因漏电引发的电气火灾等安全事故，延长设备的使用寿命，保护电气设备和财产安全。

此外，当线路绝缘性能下降，导致出现轻微漏电时，RCD 可以监测线路绝缘状况并及时告警，减少因漏电等故障导致的停电范围和时间，提高供电可靠性。

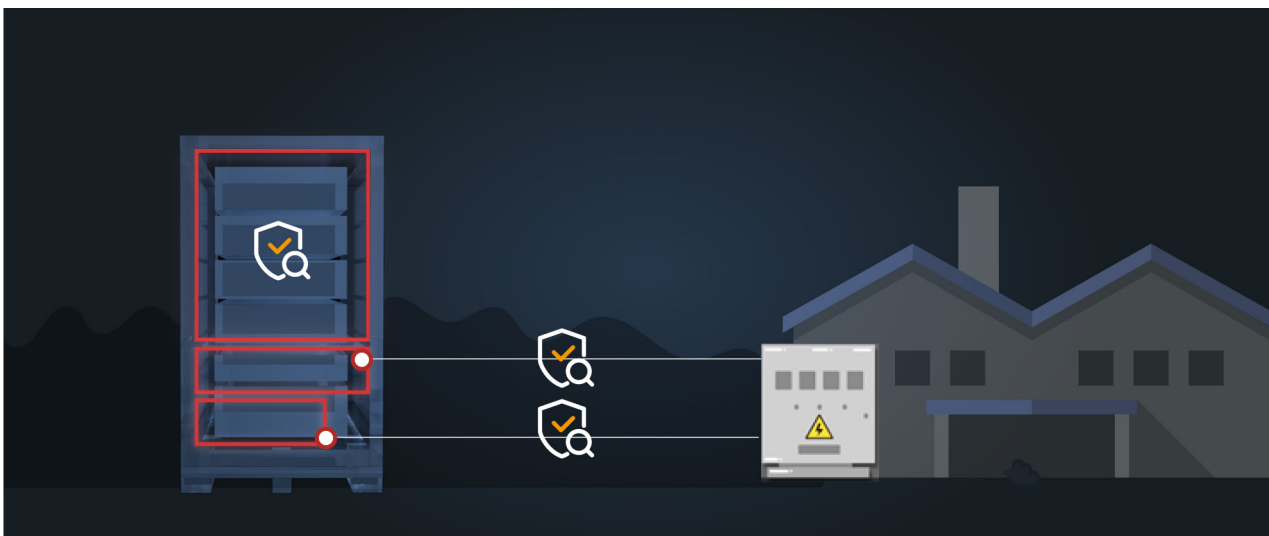


图28. 三重RCD保护示意图

3.3 热链路安全 – 消减抑制，防起火

同样在热链路上，从电芯到应用，通过热消减抑制措施，最大程度地降低热失控的影响，从而实现电芯不扩散、电池包不起火、系统不燃爆、应用不伤人。

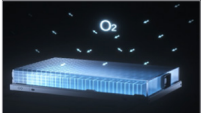
隔热抑制 电芯不热扩散	领先 正压阻氧 电池包不起火	首创 定向排烟 系统不燃爆	领先 顶部泄爆 应用不伤人
电芯间隔热+液冷急速降温	耐高温IP65防护，阻止氧气进入	L形定向烟道，可燃气体排出柜外	顶部泄压窗+小时级耐火
			

图29. C2C双链安全-热链路安全设计理念

01 电芯级：隔热抑制，防止电芯间热扩散

在电芯级热失控抑制设计上，我们采用电芯隔热设计和液冷急速降温技术，有效控制电芯温度，确保单电芯热失控不扩散。

• 电芯间隔热设计

电芯隔热是抑制电芯热蔓延，保障电池系统安全的重要技术措施。我们采用先进的耐高温绝缘隔热材料（耐温 >350℃，导热系数低 $\leq 0.1W/(m \cdot K)$ ），根据电池系统进行隔热层的厚度和材料的优化设计，在电芯之间形成物理屏障，依据热传递的三种基本方式（热传导、热对流和热辐射）进行阻断。避免热失控电芯影响相邻电芯，导致其发生热失控连锁反应。



图30：电芯间隔热设计

• 液冷急速降温

工商业场景因其用电负荷多变，在工商日间生产时，用电需求激增，储能系统处于持续高功率充放电状态，电芯内部电化学反应加剧，热量迅速累积。

电芯底部液冷板采用双回路散热设计，保障电芯散热效果。当电芯温度过高时，液冷机组会工作在最大输出模式，快速带走电芯热量，有效减缓和抑制电芯热失控发展的速度。

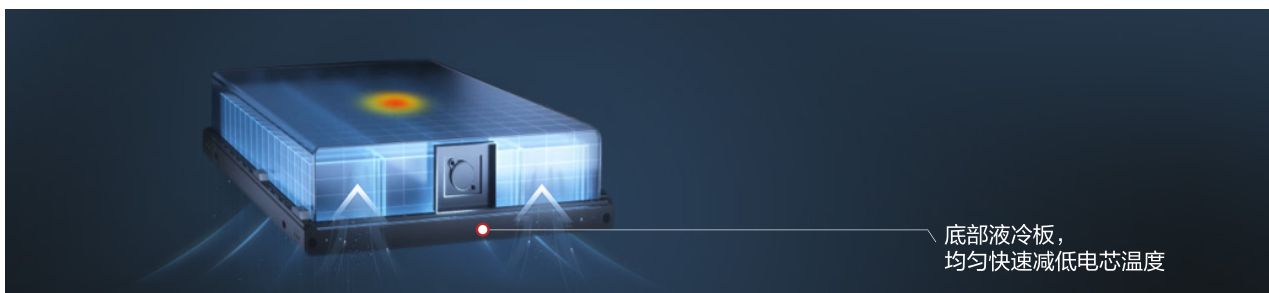


图31: 液冷板急速降温设计示意图

02 电池包级：正压阻氧，防止电池包起火

我们采用正压阻氧设计，使得外部气体在压力差的作用下难以逆向进入电池包内空间，有效阻止氧气进入电池包，降低了电池包起火的可能性，同时通过耐高温的 IP65 的防护设计，做到高温情况下密封不失效，真正实现了电池包级不起火。

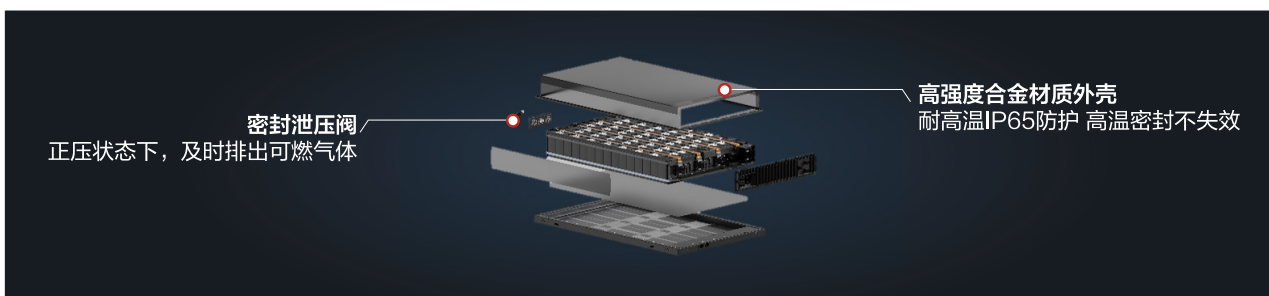


图32.电池包正压阻氧设计结构

电池包背部采用密封的泄压阀设计。正常运行工况下，泄压阀处于关闭状态，避免外部水汽等进入电池包，减少短路风险。热失控情况下，电池包内会迅速产生可燃气，压力持续上升，电池包内保持正压状态，同时阻止外部氧气进入电池包，降低起火燃烧风险。当压力超过一定限值时，泄压阀将迅速自动开启，将可燃气及时排出，防止因压力过高引发的结构性破坏。

此外，金属壳体选用高强度合金材质，具备卓越的耐高温和高强度性能。经严苛测试验证，电池包壳体可以长时间处于 350℃以上的高温环境，以应对热失控的高温冲击和电芯产气的高压冲击，能够有效避免壳体出现变形、开缝、开裂等结构性损坏，确保在高温情况下仍然保持 IP65 的高密封性和高防护性，确保正压阻氧的效果。



正常状态，泄压阀处于关闭状态。
热失控时，泄压阀开启压力是 $4 \pm 1\text{kpa}$



金属上盖壳体采用高强度合金材质，耐高温
上壳体材料长时间耐温 $\geq 1500^{\circ}\text{C}$ ，
且在电芯产气直接冲击下避免壳体开缝、开裂

实际测试显示，电池包热失控后内部仍保持正压，氧气无法进入，壳体未产生开裂。

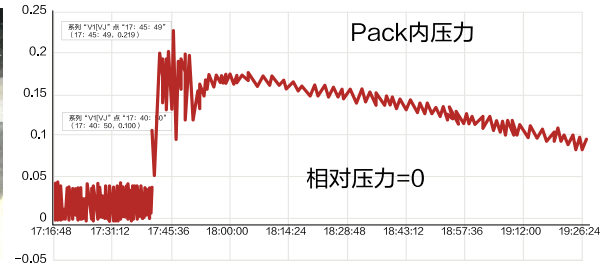
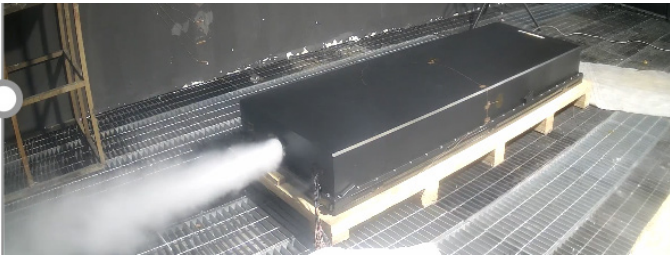


图33：电池包热失控测试内部压力变化图

03 系统级：定向排烟，防止柜内燃爆

传统方案下，当电池包产生热失控时，可燃气体直接排到柜内，会导致积聚造成起火燃爆风险。我们通过独有的定向排烟技术，将电池包背部泄压阀与背部排烟烟道连接，形成 L 型的定向烟道。当电池包出现热失控时，可燃性气体（氢气、一氧化碳等）从泄压阀排出，经过烟道排至柜外，无烟气溢出至柜内，柜体内部可燃气体浓度远低于爆炸极限。

定向烟道设计需要满足耐高温、高密封、高可靠的安全特性。根据电池包热失控产气量进行烟道排气面积设计，确保可燃气体及时排出。此外，烟道内部保持高防护等级水平，烟道密封结构件满足耐温 $\geq 200^{\circ}\text{C}$ ，耐高温烟气腐蚀，确保烟道密封可靠性。

L 型定向烟道：防燃爆

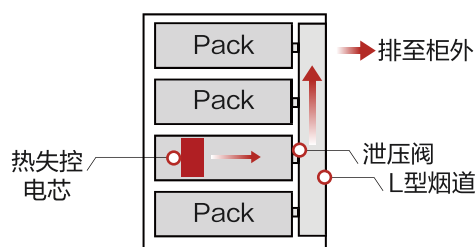


图34. 定向排烟设计示意图

实际测试中，我们通过在柜内不同位置加装气体浓度检测传感器。当电池包热失控发生后，可燃气体通过定向烟道排出。测试结果显示，柜内可燃气体浓度低于燃爆极限。

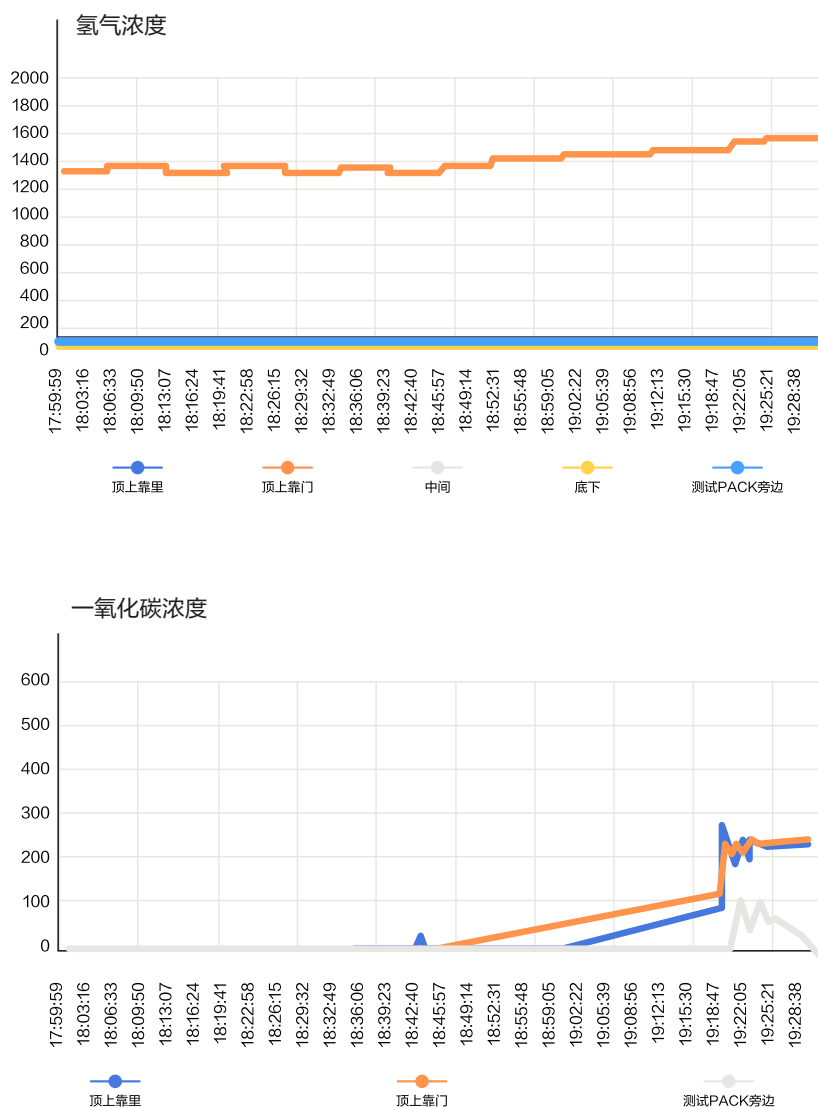


图35. 定向排烟效果测试及柜内可燃气体浓度检测

04 应用级：顶部泄爆，应用不伤人

传统的储能柜体无专门的泄爆设计或正面 / 背面泄爆方式，存在柜内起火爆炸甚至柜体解体的风险。高温 气体、碎屑、燃烧的电芯和柜体碎片会朝着四周喷射，对周围人员的生命安全构成威胁。

我们的储能柜体采用顶部泄爆设计，柜体内部一旦发生热失控，在极短时间内可以将热气流以垂直向上的 方向引导排出。通过专业的泄爆仿真，确定合理的泄爆面积和压力，保障泄爆效果。上盖与泄爆板采用一体化 设计，确保正常运行的密封性。同时泄爆窗口四周均有铰链牵引，在泄爆过程中，有效牵制泄爆上盖的运动轨迹， 防止其在巨大冲击力下脱离柜体，飞出伤人。



图36. 顶部泄爆设计示意

3.4 强电安全

— 构筑以产品为核心的质量体系

随着储能行业技术不断迭代，未来将会朝着低成本、高储能密度、高循环稳定性、长周期存储的趋势发展。储能安全作为储能产业发展的重要基石，仍是行业面临的严峻挑战，未来或将成为行业最大竞争力。一旦安全出现大问题，负面影响会持续数年，关系到整个行业的兴衰。

高功率	能量体	人身安全	操作规程严
电压高、电流大、高功率	储能是能量体	涉及人身安全	强电操作规程严格
· 接触不良拉弧、碳化 · 电容和功率模块失效会爆炸 · 新能源并网需跟电网协同	· 自带能量 · 对充放电要求高 · 失效易起火、爆炸、难扑灭	· 功率和能量密度越来越大 · 距离近、密不可分 · 事故危害人身安全	· 操作规程要求严 · 对人员资质要求高 · 对操作防护等级高

图37.储能行业以强电为核心，质量风险大

华为在行业已有的经验教训基础上，从产品设计、制造、产业链、安全评价、仓储物流、运维管理、应急处置端到端环节，构建起端到端强电安全体系能力，支撑产品和解决方案实现全面安全。



图38. 强电安全端到端管理流程

一般而言，强电安全常常被行业内的厂家视作基础质量进行管理，以失效率作为考核指标。然而，当下行业发展态势要求我们必须转变思路。华为围绕强电的各个环节，夯实核心基础质量，构筑储能安全管理体系，将安全打造为核心竞争力。通过显性化管理与红线化管理，将强电安全的各项标准、操作流程、风险隐患等清晰呈现，便于储能设计、生产、加工、制造、销售等各个环节的从业者遵循与监督。



图39. 强电安全体系原则

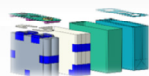
此外，将安全要素全面融入到端到端（E2E）的组织架构、业务流程、人员能力建设、运行机制以及安全作 业工具链之中，以此构建起一套完备且严谨的强电安全 质量管理体系，全方位保障储能在强电领域的质量与 安全，推动行业稳健前行。



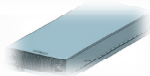
图40. 强电安全体系架构

华为本着以质量优先，依托标准化、模块化的平台化架构，实现硬件和器件的通用化与可替换性。运用严 格的质量管控体系 端到端保障产品可靠。此外，我们打造‘安全攻防实验室’，对安全进行测试验证，保 障安全设计可靠落地。通过多层次设计及验证，确保储能产品高质量、高安全性、高可靠性。

安全设计



电芯



电池包

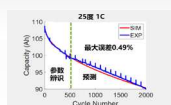


系统

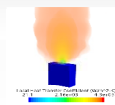
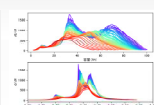


应用

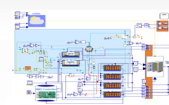
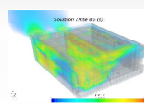
安全仿真



生命周期寿命



电池安全



系统安全

安全测试与验证



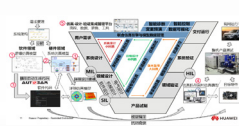
- 100+ 电芯测试项目
- 300+ 电池包测试项目
- 严苛的系统安全测试



不同国家标准设计及认证
(UL, NPFA, IEC, GB, UN etc)



安全攻防测试



可靠性测试
基于模型的缺陷注入

图41. 强电安全设计与验证

安全分级是 行业可持续发展的关键

04

4.1 行业安全标准现状

目前各个国家对工商业储能的安全标准要求不一，中国以 GB 国标为主，欧洲以 EN 为主，美洲以 UL 为主，同时还有 IEC 等国际通用标准，同时系统内电芯、电池包、PCS、系统每一项也存在着多种安全标准。尽管目前行业中存在很多的安全标准，但是从近年来储能系统发生事故的数据上来看，现在的标准等级是达不到彻底消除安全隐患的级别，同时一些标准的制定是存在滞后性，往往事故发生后才会将标准等级提高。

表3：全球储能标准统计

类别	标准	内容
储能电芯及模组	· IEC 62619（国际通用） · UL 1973（美标） · GB/T 36276（国标）	关注电芯及模组，机械，电气，环境等方面安全， 功能安全接受IEC60730-1 Annex H
储能系统	· IEC 62477-1（国际通用） · UL 9540（美标） · EN 62933-5-1（欧标） · GB/T 36929（国标）	关注系统电气，热，机械，结构， 环境等方面安全

在当前工商业场景下，以上这些标准仅为最基础层面的规范要求。虽然严格遵循这些基础标准能够在一定程度上降低风险，但是这并不意味着整个系统在各种应用环境下可以安全稳定长久运行，做到事前“防风险”、事中“止损失”、事后“定故障”。

4.2 储能安全分级必要性

当前，整个储能行业缺乏统一的安全分级标准，企业在储能系统的设计、建设和运营过程中没有明确的规范可循，导致市场上的储能产品和服务质量参差不齐，不利于行业技术的进步和市场的健康发展，也影响了储能行业在能源领域的竞争力和可持续发展能力。

此外，监管部门难以对不同风险水平的储能项目进行有针对性的监管。对于高风险项目监管不足，容易引发安全事故；对低风险项目过度监管，则会增加企业的合规成本。

细化储能安全标准，针对不同应用场景分层分级，不仅可以实现精准防护，又有助于建立应急响应机制，让救援更高效。此外，也有助于保险机构与企业基于等级精准评估风险、制定与选择方案，降成本、保障人身财产安全。

表4：储能安全分级重要性

精准防护	应急响应
针对不同安全级别的系统制定精准的安全防护措施。 在高风险的储能系统中，可设置更严格的人员准入制度，配备更完善的个人防护装备，从而最大程度减少人员的安全风险。	清晰的安全分级有助于建立与之对应的应急响应机制。 当事故发生时，救援人员能根据储能系统的安全等级，快速判断危险程度和可能的危害范围，制定更科学、有效的救援方案，提高救援效率。
差异化维护	风险评估与保险
安全分级可以使维护策略更具针对性。 对于高风险的储能系统，可安排更频繁、更细致的设备检查和维护，及时发现并处理潜在问题，降低设备故障故障和安全事故概率。	安全分级有助于保险机构进行准确的风险评估。 保险机构可以依据储能系统的安全等级更准确地评估风险，制定合理的保险费率。企业也能根据自身储能系统的安全状况，选择合适的保险方案，降低保险费用。

4.3 等级划分与标准介绍

TÜV 莱茵在现行标准基础上，从场景出发细化安全定义，基于对当下工商业储能产品应用安全的痛点及终端用户的关注点，设计了一套用于评定储能系统安全的等级划分规则。

标准共分为 3 个等级：基础安全、强化安全和卓越安全。

▶ 基础安全（Basic）

- 储能系统满足基础法规、标准要求，达到市场准入，是为底线；

▶ 强化安全（Plus）

- 在机械防护、电气防护、热防护、环境保护等方面进行了一定的安全强化提升。

▶ 卓越安全（Prime）

- 要求在极端场景下，实现电池包级热失控不扩散、不燃爆、不伤人。

基础安全是底线，强化安全是进阶之举，通过防护提升，控灾减损。只有卓越安全才能全方位、无死角地构筑安全防线，保障系统长久稳定运行。

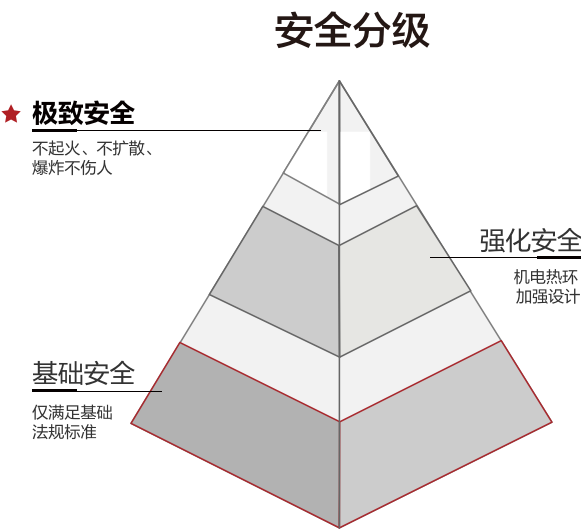


表5：安全分级介绍

项目	基础法规要求	强化安全要求	极致安全要求
电气安全	EN/IEC 62477 或 UL 9540 或 UL 1973	★ 直流侧绝缘监测功能或 电芯和输出端口之间加强绝缘	☆ 残余电流模拟测试
运输和结构安全	UN 38.3	☆ PACK泡水，50%高度 ☆ 整机外壳满足IP55 ☆ 内部模组满足IP66/67 ☆ 分仓设计	☆ 防护外壳耐火测试 (工商业为1h)
EMC	IEC 61000-6-X		
功能安全	IEC 60730-1 annexH 或ISO 13849或IEC 61508	☆ ISO 13849-1 PLc 或等同 ☆ 电流检测冗余 ☆ 温度监测比例50%或以上	☆ ISO 13849 PLd或等同
消防安全	UL 9540A NFPA 855 NFPA 68 或 69	★ 使用消防相关器件 ★ 热失控后电解液不得流向 PCB和带电导体，不能流出 ★ 热蔓延电芯数量不超过两颗， 总热失控数量不超过五颗	☆ 热蔓延电芯数量≤1， 总热失控数量不超过三颗 ☆ 热蔓延+ 点火测试 ☆ 泄爆测试
电池安全	IEC 62619,IEC 63056 或 UL 1973		☆ 整组过充
化学物质安全	新电池法规,有害物质限定 ROHS+Reach(适用时)	☆ Reach SVHC 240类	
电芯安全	IEEE 1625,用于确认电芯内部结构 检查的基础要求，极片，极耳，隔膜， 内部的绝缘/隔离，热性能，安全措施	☆ 挤压穿刺测试-电芯，不起火	
功能要求	声光告警	★ 声光告警	

注

- 强化安全要求的选择性满足项目，至少满足 5 项才能视作强化安全
- 卓越安全要求的选择性满足项目，至少满足 3 项才能视作卓越安全

严苛安全测试， 行业最高安全等级

05

5.1 全面安全测试，严于行业标准

为验证华为储能系统 C2C 双链安全的可靠性，华为数字能源委托 TÜV 莱茵针对电链路和热链路安全问题有针对性的开展了一系列严苛的验证测试，且产品已经通过测试，下面将具体展示 C2C 双链安全的测试结果，以下图表及数据皆截取自德国 TÜV 莱茵权威报告及证书。



5.2 极端热失控测试： 不扩散、不燃爆、不伤人

01 热蔓延点火测试

在电芯级热失控抑制设计上，我们采用电芯隔热设计和液冷急速降温技术，有效控制电芯温度，确保单电芯热失控不扩散。

• 测试目的：

验证华为工商业储能系统可以有效抑制热失控后的热蔓延，以及可以及时排出柜内可燃气体。

• 测试方法：

1) 测试前给电池系统充电，以恒定电流 56A 充至电压 216V，然后转为恒压充电，充至截止电流 5.6A 后停止。

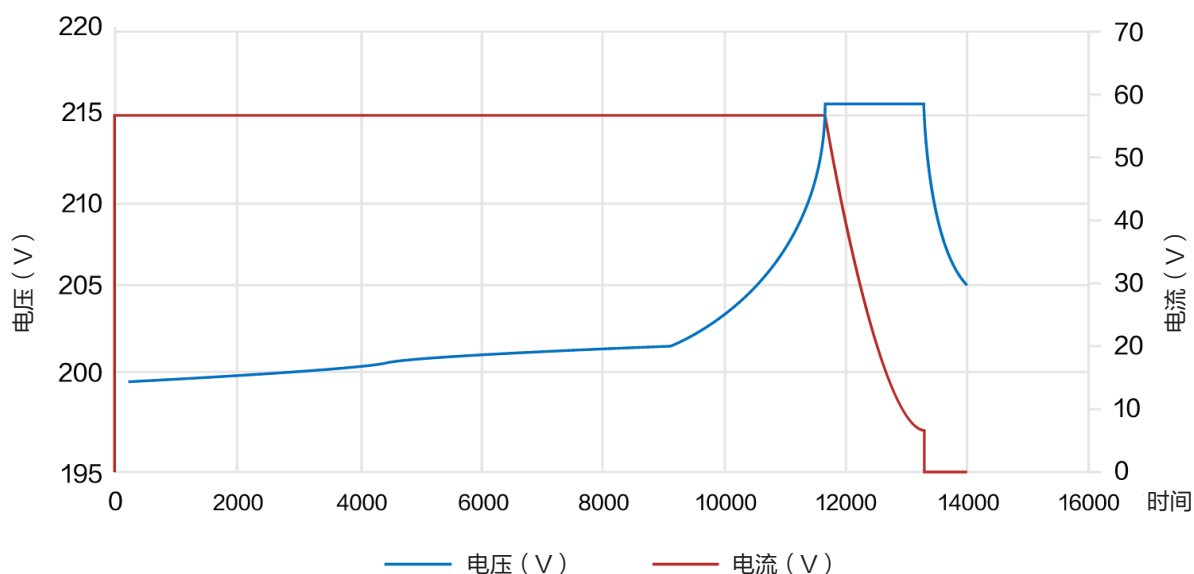


图42. 储能系统过充测试过程

- 2) 电芯 cell23 为触发电芯, 以 4-7℃ /min 使用加热膜加热 cell 23, 直至 cell23 发生热失控。
- 3) 电芯失控后, 激活机柜内安装的点火器。

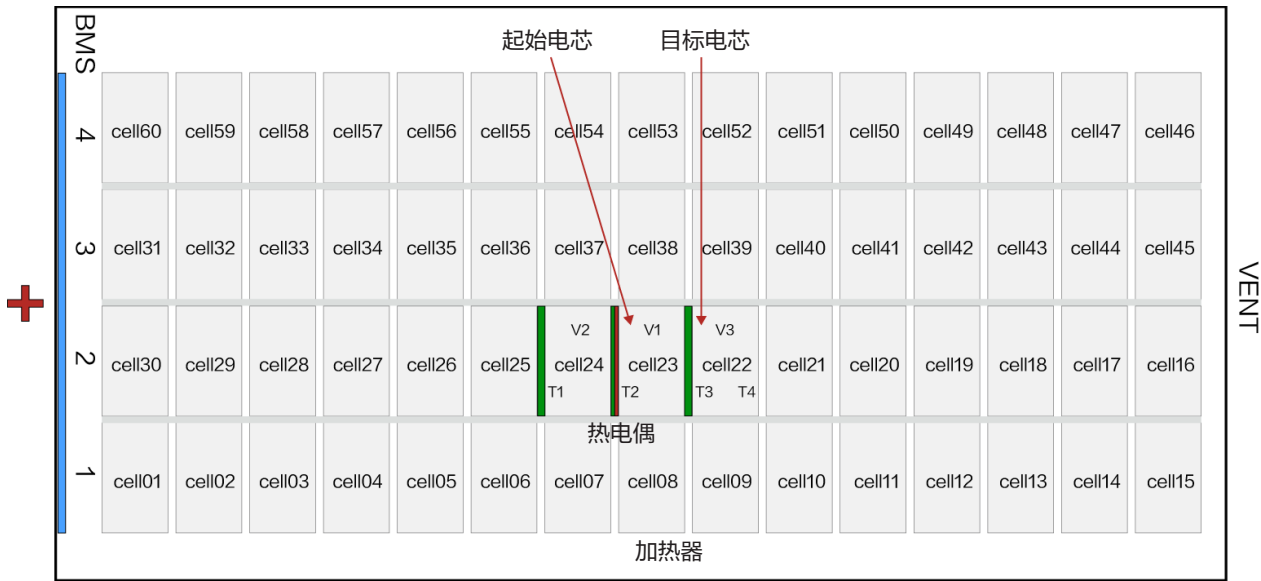


图43. 热电偶和加热器的位置设置

• 测试过程中:

V1 为 cell 23 电压, V2 为 cell 22 电压, V3 为 cell 24 电压。由于发生热失控, 测试过程中 cell 23、cell 22 电压先后降至 0V。

测试过程中, 机柜内 H₂ 与 CO 浓度始终为零。

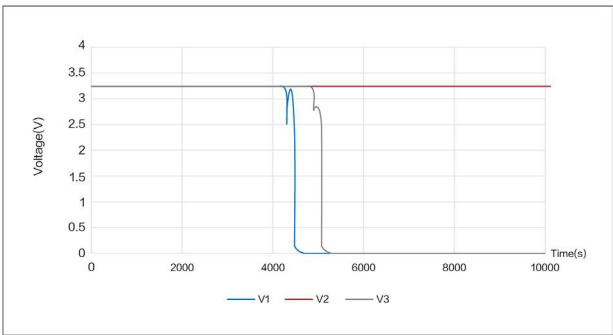


图44. 测试电芯的电压变化情况

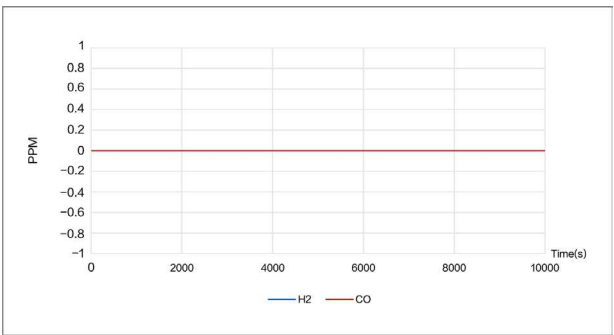


图45. 氢气和一氧化碳浓度变化情况

由于电芯发生了热失控，其温度和模组电压发生剧烈波动，温度在 5000 秒左右时间内从 0℃ 升高到 500℃，之后逐渐降低；模组电压从 200V 降低到 193.5V。

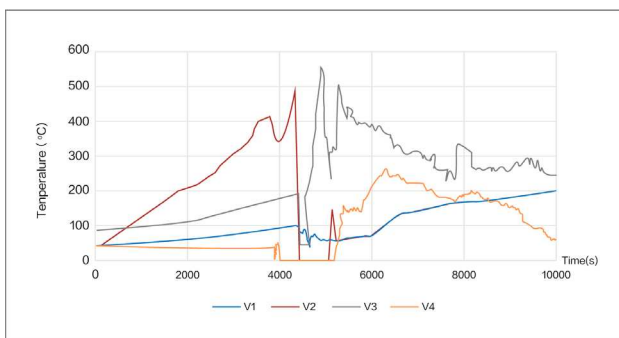


图46. 测试电芯温度变化情况

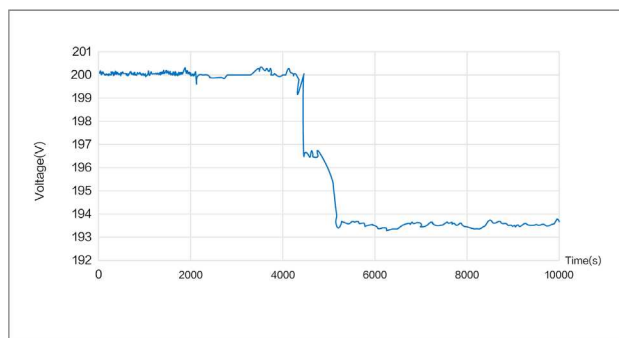


图47. 模组电压变化情况

结果显示，热失控仅发生在加热电芯 cell23，有效的抑制了进一步蔓延，且电芯蔓延产生的可燃气体通过风道排出，柜内可燃气体含量不足以点燃，测试后整柜外观完整，无破坏性危害产生。



图48. 测试前产品示例



图49. 测试后产品示例

华为储能系统成功通过热蔓延点火测试，获得德国 TÜV 莱茵签发的符合性证书，充分证明华为为工商储能系统在热蔓延抑制及内部排烟系统上的优越性。

02 泄爆测试

• 测试目的:

验证爆炸压力能否经爆燃泄压板正常释放, 确保产品周围无危险冲击波。柜内应该具有定向排烟管道设计, 可燃气体不会积聚。

• 测试方法:

模拟电池柜内的电池热失控, 通过设置在电池柜内的点火器, 点燃柜内可燃气体, 观察机柜的泄压通风口能否正常打开, 对周围环境是否产生危害。

1) 测试前设置好假人站立的位置。



图50. 测试前假人的放置位置

2) 进行点火测试实验。



图51. 泄爆测试进行中

测试过程中，当触发电芯发生热失控后，机柜内气体传感器监测到气体浓度急速上升，很快达到气体传感器的量程，随着气体被点燃后，柜内气体浓度下降。

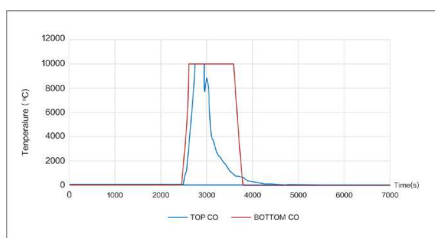


图52. 柜内一氧化碳浓度变化情况

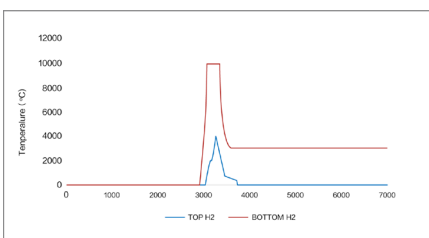


图53. 柜内氢气浓度变化情况

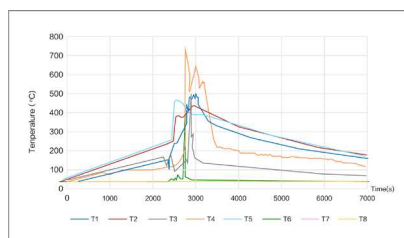


图54. 触发电芯温度变化情况

• 测试结果：

爆炸压力经爆燃泄压板正常释放，产品周围无危险冲击波，柜子 3 米外无碎片，1 米处假人无损。假人未受爆炸冲击波影响而受伤，保障了周边人员和环境的安全。



图55. 测试前产品示例



图56. 测试后产品示例

华为储能系统成功通过泄爆测试，获取德国 TÜV 莱茵签发的符合性证书，由此证明华为工商业储能系统，不仅具备有效的抑制起火爆炸风险的能力，而且在起火爆炸后有能力将危害及风险降至最低。

03 外壳耐火测试

- **测试目的:**

验证华为工商业储能系统外壳的耐火程度, 主要关注箱体材质的隔热性及测试过后箱体的完整性, 确保在高温情况下箱体能隔绝大部分温度, 承受高温后保证箱体不破裂, 内部有害物质不过度外露。

- **测试方法:**

将机柜柜壁进行耐火性能测试。

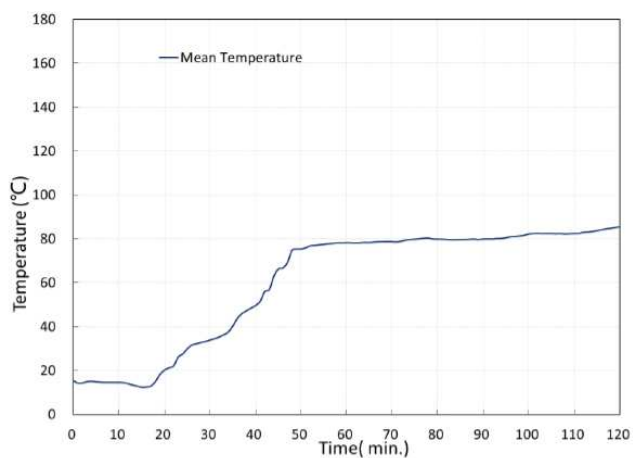


图57. 非暴露面的平均温度

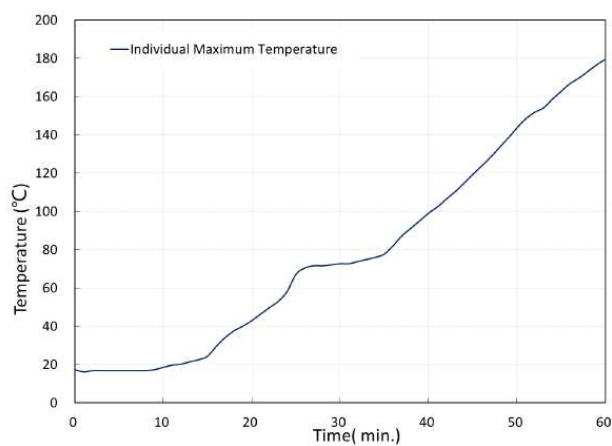


图58. 非暴露面的最高温度

• 测试结果：

炉内 60 分钟火暴露后，未暴露面结构完整无任何破损开裂，火焰暴露面除有部分形变外，整体结构保持完整，暴露过程中无持续燃烧至箱外火焰。

根据标准要求，非火焰暴露面平均温度与初始温度差值需低于 140 摄氏度，最高温度与初始温度差值需低于 180 摄氏度，从数据可以看出远远优于标准给出的限值，在隔热性能上华为储能系统表现优良。

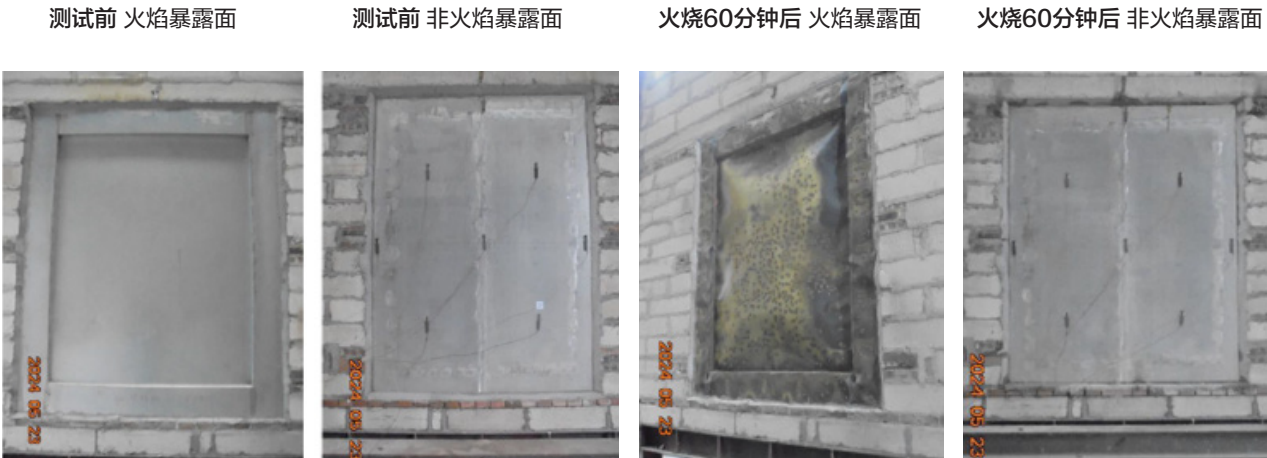


图59. 测试前后试件对比

华为工商业储能系统在外壳火烧测试中的优良表现得到了德国 TÜV 莱茵的认可，获得 TÜV 莱茵签发的符合性证书，也验证了华为工商业储能系统在火灾无可避免的情况下对周围人员和环境的保护能力。



5.3 卓越安全： 业界首个最高安全等级认证



图61：华为工商业储能平台获最高安全等级认证

储能安全是新能源产业持续高质量发展的基石，在储能技术快速发展的当下，华为数字能源在质量和安全领域坚定投入，通过持续的技术创新和严格的安全标准，不断推动储能系统的安全性和可靠性提升。

华为数字能源将传统的柜级热失控不扩散，升级至电池包级热失控不扩散，助力储能产业安全升级，实现更高维度的安全防护。华为数字能源坚持以卓越安全的理念，引领储能产业健康、可持续发展，为构建清洁低碳、安全高效的新型电力系统贡献力量，为全球储能行业的规范化和标准化发展提供了重要参考和借鉴。

安全分级是趋势

工商业储能的持续部署是实现能源绿色低碳化转型的重要手段。在这过程中，安全性是最重要前提和基本条件。当下，工商业储能正处于高速发展的阶段，行业基础安全设计标准已达不到确保储能设施周边的人员及财产安全的需求，需要更高级别的安全标准来保驾护航。针对储能安全分级的行业标准是未来的趋势。

全面安全是保障

对于部署在人员密集地区的设备来说，设备的全面安全是对周边的人员和财产的重要保障。工商业储能设施需要在满足最基本的安全标准基础上，进一步达到强化安全要求，甚至是卓越安全要求，才可以保障储能设备长久平稳运行，确保万无一失。

储能安全看华为

华为致力于从设备、资产和人身三个维度对工商业储能进行系统化的安全设计。华为工商业储能解决方案，实现全场景灵活运用，只需一个管理平台，实现全生命周期智能。我们以行业卓越安全标准，为您的人身、资产和设备安全保驾护航。

双链安全护千行

华为的C2C双链安全架构，从电芯到应用，重构电热双链DNA，引领工商业储能安全新标杆。在上下求索的道路上，华为将与业界同仁一起，继续推动工商业储能安全标准的不断完善，打造极致安全、可靠的储能设施，让绿色电力惠及千行百业。