

工商业储能

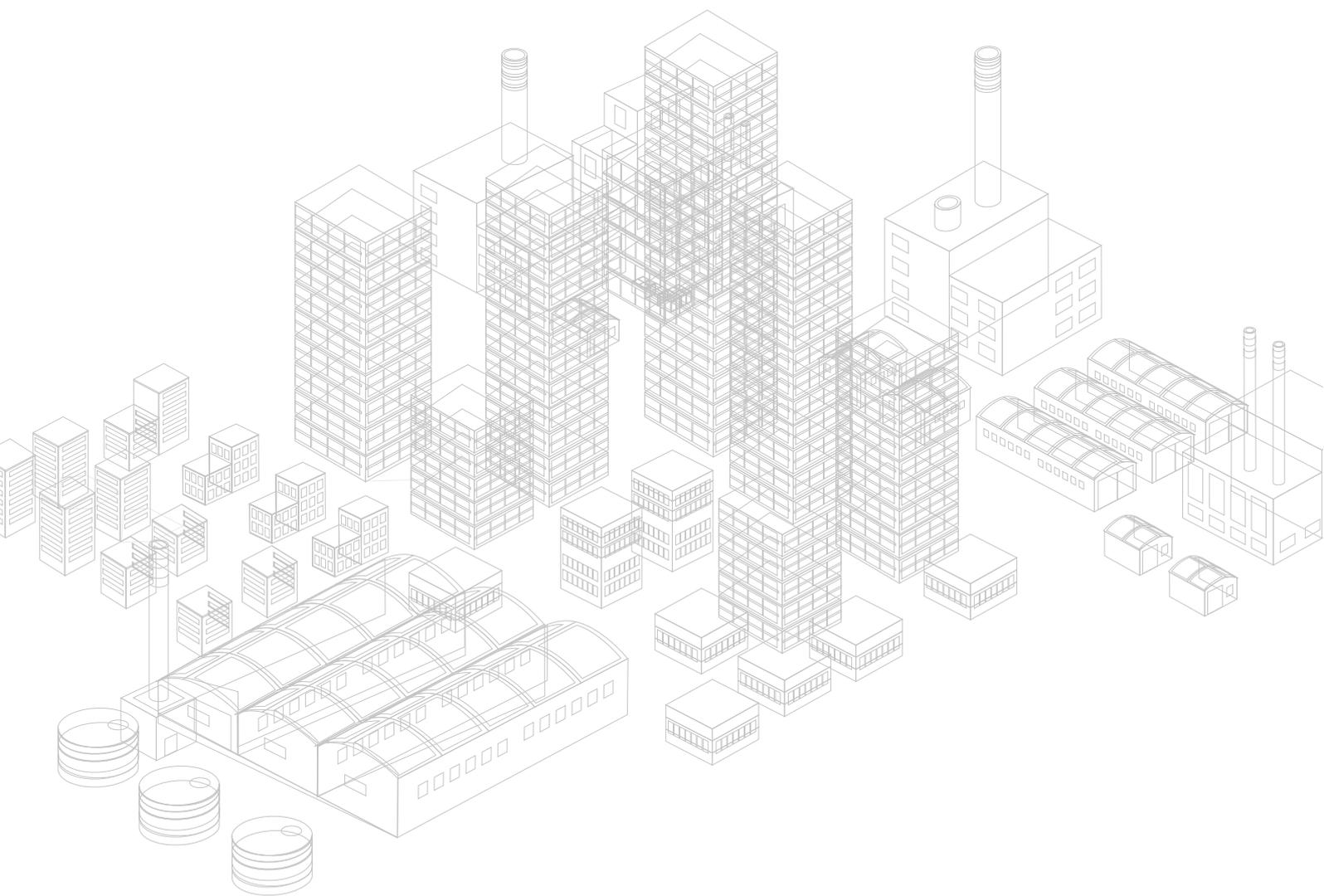
全方位安全防护解决方案白皮书

2025

思格新能源 & Intertek天祥集团

前言

随着全球能源转型加速及可再生能源渗透率持续提升,工商业储能系统(Commercial and Industrial Energy Storage System, C&I ESS)产业正迎来爆发式增长,其核心驱动力包括降低企业用电成本、应对电网不稳定性、实现碳中和目标以及政策激励(如税收抵免和补贴)。技术进步推动锂离子电池成本下降,同时新型电池技术(如固态电池、钠离子电池)和智能化能源管理系统的应用进一步提升了储能效率与经济性;然而,行业仍需克服高初始投资、供应链波动及安全风险(如热失控)等挑战。安全标准、循环经济与跨领域协同创新将是产业可持续发展的关键。



目录

1	安全考量	03	3	工商业储能 思格解决方案	09
1.1	工商业储能燃爆事件频发	03	3.1	思格模块化解决方案	09
1.2	电池热失控	04	3.2	思格电芯设计	10
1.3	电气危险	04	3.3	电池包级安全防护设计	10
1.4	设计与运维难度	05	3.4	思格系统设计	12
			3.5	思格云平台	13
2	传统解决方案及其局限性	05	4	关键安全和 可靠性测试	14
2.1	传统柜式储能方案	06	4.1	电芯级别	14
2.2	传统电芯设计	06	4.2	模组级别	15
2.3	传统电池包设计	06	4.3	系统级别	16
2.4	传统系统设计	08			
2.5	传统云平台	09	5	总结	18

1 安全考量

1.1

工商业储能燃爆事件频发

随着企业寻求降低能源成本、增强弹性和实现可持续发展目标，商业和工业（C&I）储能系统（ESS）行业正在迅速扩张。然而，安全问题仍然是此行业技术大规模

采用的关键障碍，解决这些风险对于确保长期增长和对这项技术的信任至关重要。以下为今年来发生的部分工商业储能燃爆事件：

时间	地点	意外内容
2025-02-21	英国苏格兰阿伯丁郡	在建50MW储能电站火灾，项目配备15排电池舱
2025-02-19	英国埃塞克斯郡	300MW/600MWh电池储能项目因预制舱电池单元故障起火，持续至次日
2025-02-18	美国加利福尼亚州莫斯兰丁	同一电站一个月内第二次起火，70%设备损毁，LG电池被指存在热失控风险
2025-01-16	美国加利福尼亚州莫斯兰丁	全球最大储能电站起火，火势蔓延，疏散2000名居民，释放有害气体

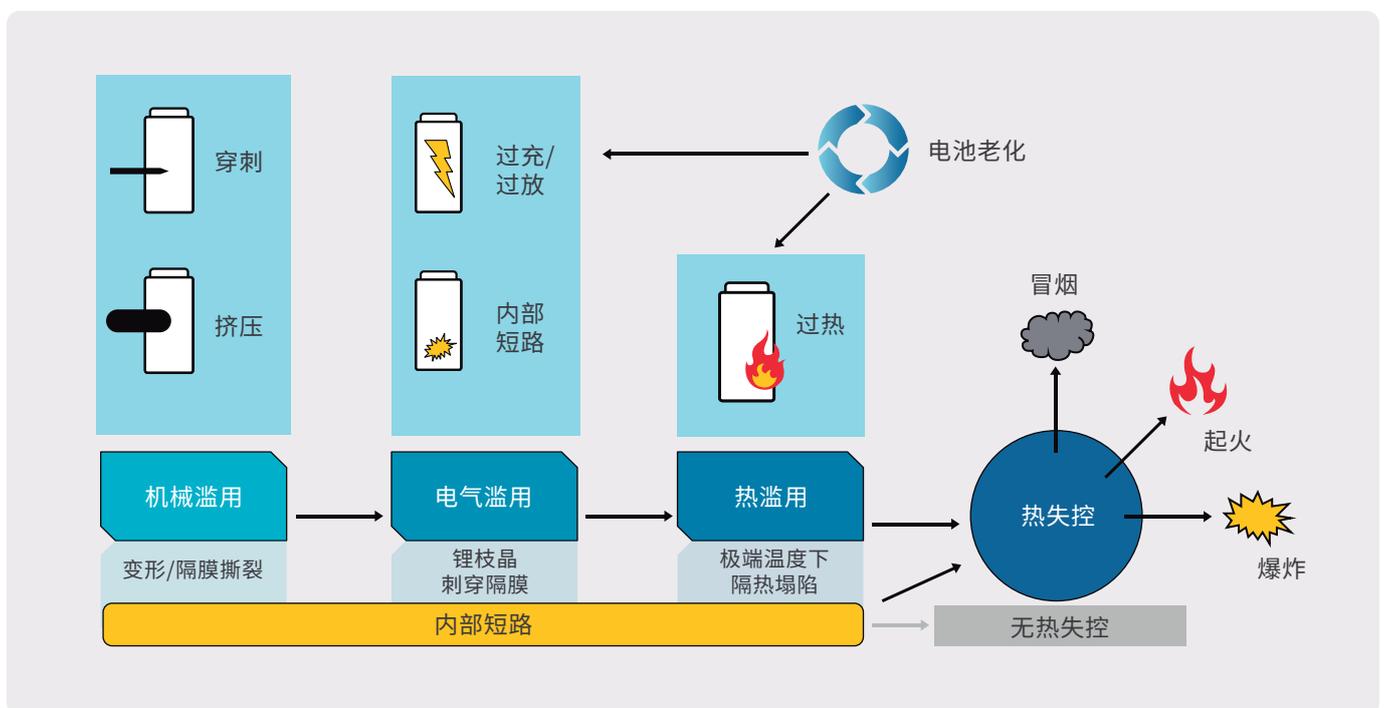


1.2

电池热失控

电池热失控是储能系统的核心安全隐患。锂离子电池在过充、高温、内部短路或机械损伤时，可能引发链式放热反应，导致温度急剧上升（在数分钟内增加到超过500℃）并释放可燃气体（如氢气、一氧化碳等，在高SOC的情况下，超过5%的浓度即被认为达到气体爆炸

极限）。若未及时抑制，可能引发火灾或爆炸。工商业储能系统规模较大，电池模组密集排布，局部热失控可能快速扩散至整个系统。预防措施需依赖电池管理系统（BMS）、高效热管理设计（液冷/风冷）以及消防阻燃材料。



1.3

电气危险

工商业储能系统通常采用高压直流架构，存在电击、电弧和短路风险。电气绝缘失效、接线错误或设备老化可能导致高压电弧放电，瞬间释放巨大能量并引燃周边设备。此外，电池簇并联运行时的环流问题可能加剧

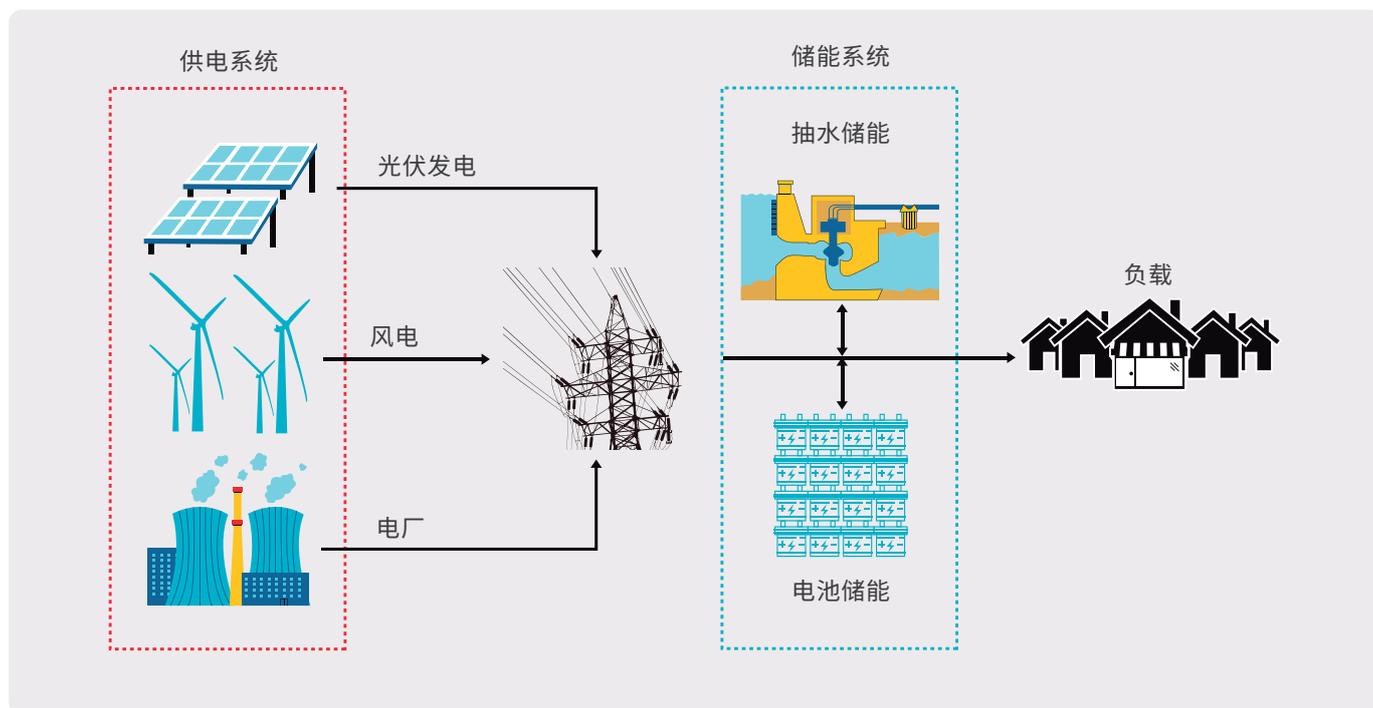
局部过热。防范需依赖绝缘监测系统、电弧检测装置、物理隔离设计以及定期维护，同时需严格遵循国际电气标准。

1.4

设计与运维难度

工商业场景的储能系统需适配复杂环境（如高温、粉尘、振动），设计难度高。电池一致性管理、通风散热设计、消防系统集成等环节稍有不慎即埋下隐患。运维阶段需持续监测电池健康状态（SOH）、均衡电芯电压并

更换老化组件，但专业技术人员短缺可能导致误操作。此外，多系统协同（如光伏+储能）增加了故障诊断复杂度。



2

传统解决方案及其局限性

随着全球能源转型加速，工商业储能作为用户侧能源管理的核心环节，其安全性成为行业发展的关键瓶颈。

热失控与火灾隐患、复杂场景下的消防难题，以及设计与运维缺陷，都阻碍着工商业储能的进一步发展。

2.1

传统柜式储能方案

传统柜式储能系统以集中式设计为主,通常将电池模组、PCS(储能变流器)、BMS(电池管理系统)、消防组件、温控系统等集成于单一柜体内。

2.2

传统电芯设计

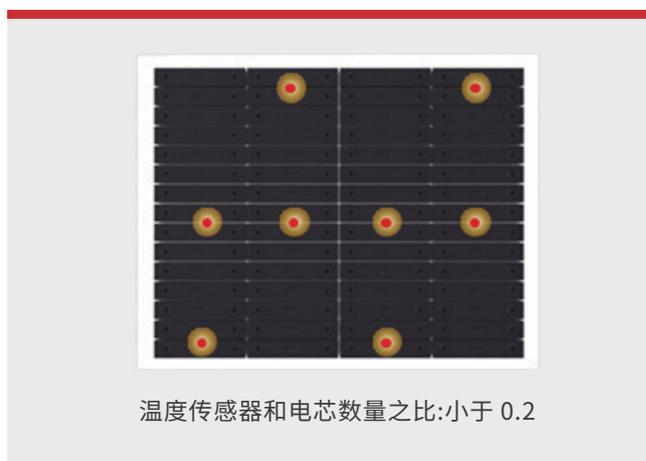
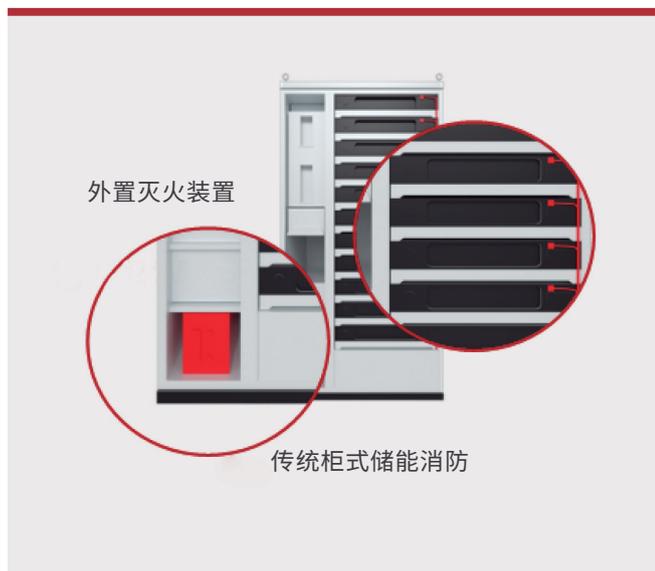
传统电芯安全依赖电芯厂规格书和质保,电芯规格宽松,以交付为主。

2.3

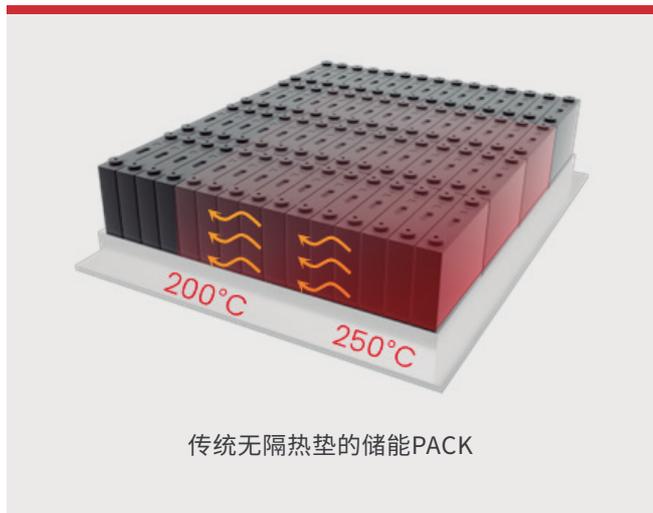
传统电池包设计

电池包的传统设计有以下缺点:

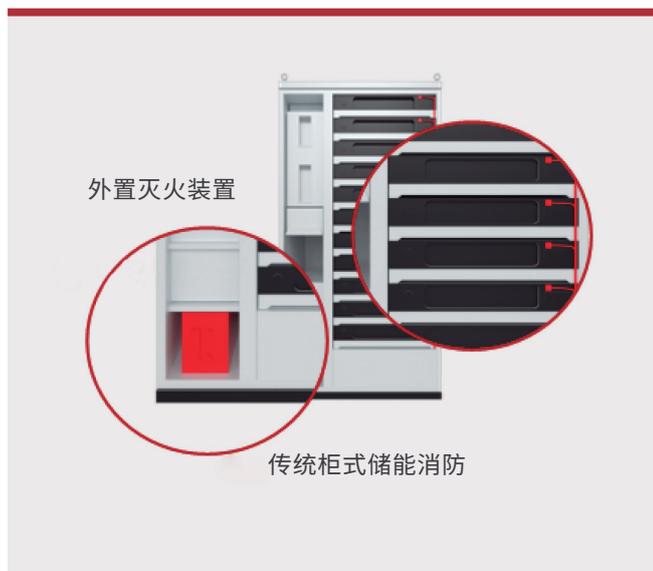
- 传统柜式储能的灭火装置外置,无法快速灭火。
- 传统柜式储能电池Pack温度传感器和电芯的比例较低,整个储能柜布置8-12个温度传感器,需检测52-60个电芯。



- 传统储能Pack不使用隔热垫,无法阻止热量传递。

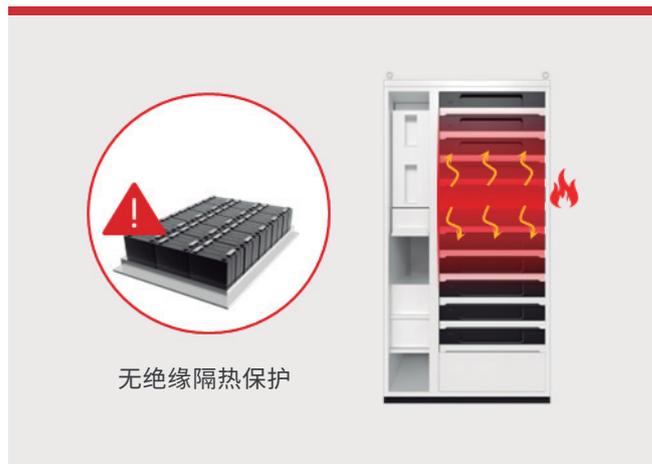


- 传统柜式储能以电池簇为一个防护单元,内置簇级探测器,外置消防钢瓶或泵组,通过管路喷头喷射到发生热失控的电池包内,此类消防方案的烟雾探测和温度传感精度不高,灭火时效慢,若外置消防钢瓶损坏,会严重影响消防系统的灭火效能,因此极度依赖日常运维和定期巡检。



- 传统电池储能系统中没有集成压缩阀。

- 传统柜式储能Pack内的电芯单元和外壳没有绝缘保护,在循环寿命中膨胀可能直接与金属外壳接触导致短路,缺乏从电芯单元到外壳的热扩散阻隔方法。

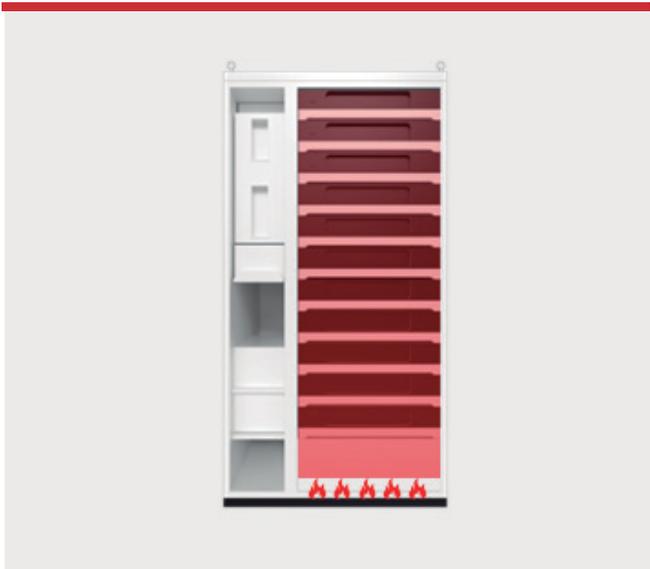


2.4

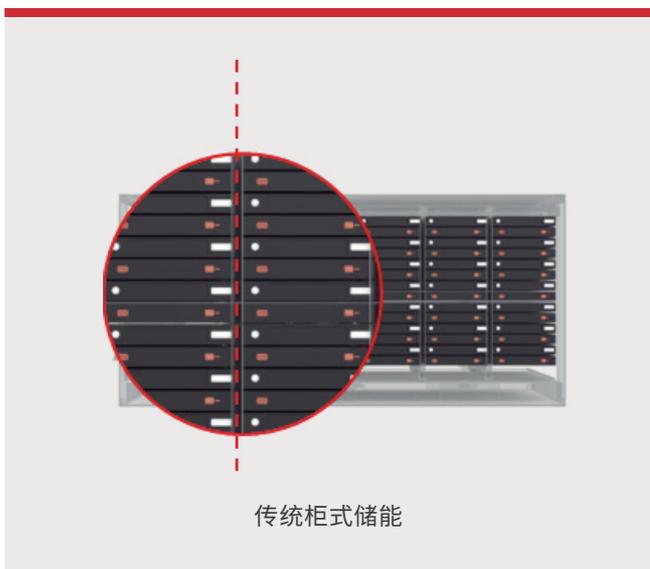
传统系统设计

储能系统的传统设计有以下缺点：

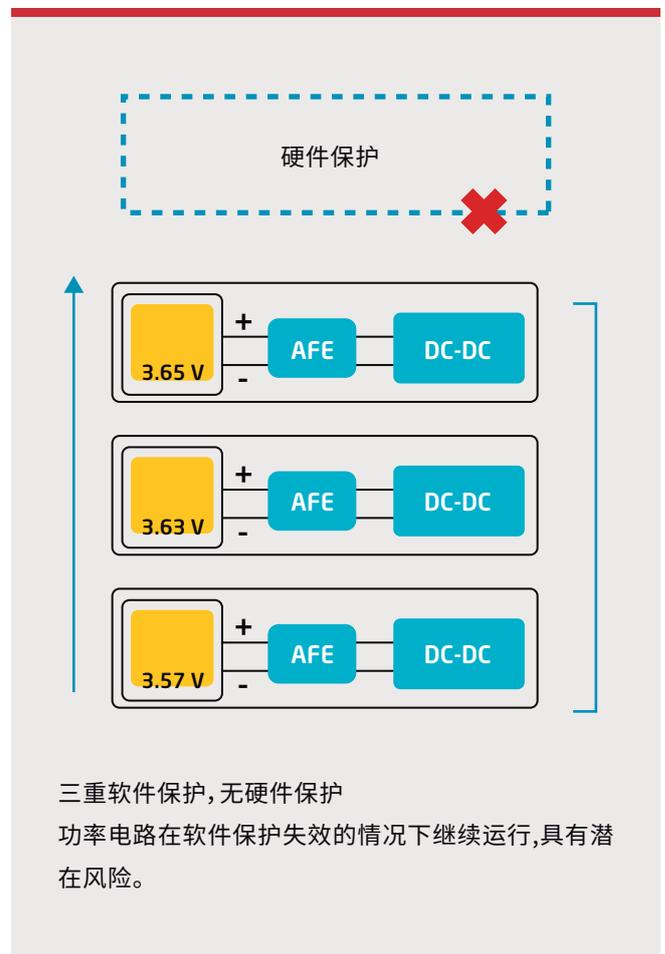
- 电池组和各系统全部集成在单一柜体内,受火灾影响的风险倍增。



- 传统方案忽略了电池簇之间的安全距离,一旦发生火灾,会迅速波及整个储能系统。



- 传统储能系统只有3重软件防护,无硬件冗余保护。一旦软件控制失效,整个电源电路将失去保护,可能导致系统在异常状态下持续工作,进而造成电路元件损坏甚至引发安全事故。



2.5

传统管理平台

储能系统的广泛应用同样也带来软件层面的安全问题。传统管理平台由于架构老化,无法高效应对大规模设备的高并发数据接入和实时处理需求,导致关键安全数据的监控延迟和响应不足,增加未能及时发现

安全隐患的风险。传统平台通常依赖低精度的参数采样(如电流、电压和表面温度),在电池热失控初期,难以精准识别潜在安全风险,增加了故障发生概率。

3

工商业储能思格解决方案

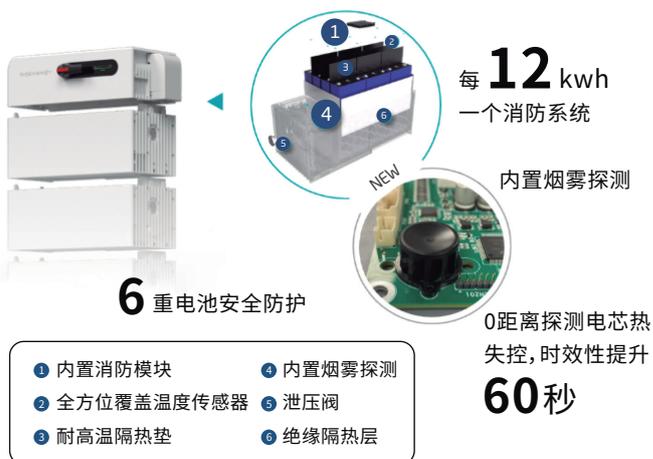
3.1

思格模块化解决方案

针对以上提到的安全性难题,思格新能源推出了SigenStack模块化储能解决方案,在模组Pack级别提供了多重的安全防护,专为工商业(C&I)应用而设计。

相比之下,传统储能系统在出现热失控时,往往会导致火灾蔓延至整个储能系统,影响范围大,防火装置的反应时间也较慢,无法做到及时遏制。SigenStack基于模块化设计理念,专为大型C&I项目量身定制,采用了包括全方位覆盖温度传感器、内置消防模块、耐高温隔热垫、绝缘隔热层、泄压阀和内置烟雾探测在内,零距离探测电芯热失控,电池热失控秒级响应。每个12kWh电池包内就有一个独立的防火装置,全方位守护系统安全。

思格解决方案,PACK级消防



3.2

思格电芯设计

SiGenStack在选用电芯方面，侧重于安全方面的保护考量，正极材料热稳定性高，使用阻燃电解液并且内部阻抗低的电芯供应商应当优先选择，选用的电芯，均符合各种电芯级别的国际安全标准。

- 运输安全: UN38.3认证保障电池在航空、海运等运输中的安全。

- 电气性能与安全领域: UL1973、IEC62619、IEC62281 等认证, 从不同维度确保电芯在各类应用场景的电气规范。
- 消防安全: 满足UL9540A针对储能系统消防安全规范。
- 电池单体安全: UL1642聚焦电池单体安全, 让产品从单体到系统皆安全可靠。



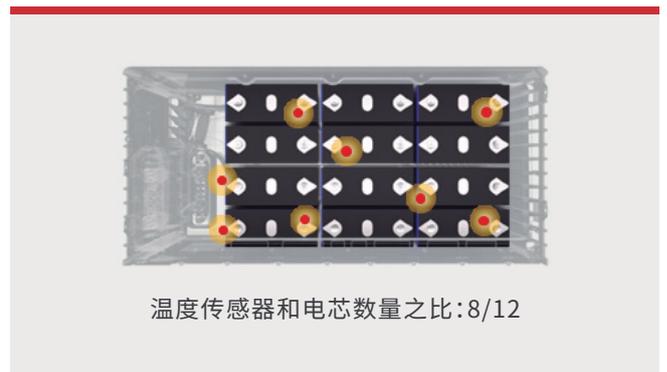
3.3

思格电池包设计

SiGenStack在电池包级别的设计上采用了6重安全防护:

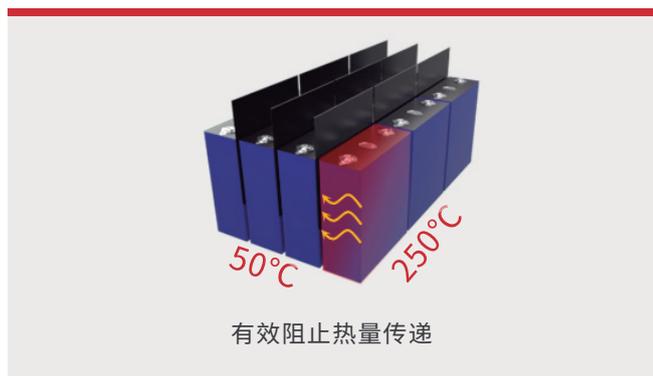
- 全方位覆盖温度传感器

SiGenStack的每个电池Pack内布置了8个温度传感器监测12个电芯, 温度传感器与电芯数量比达到0.67, 分布更广更均匀, 大幅度提高温度监测的全面性和准确性。基于NTC温度传感器采样, 实现实时检测端子过温状态, 更早地检测到异常温度升高, 从而采取预防措施。



• 耐高温隔热垫

SigenStack在电池包内部,电芯之间使用了耐高温隔热垫,提高了电芯之间阻燃、隔热和绝缘效果。该隔热垫的导热系数小于 $0.035\text{W/m}\cdot\text{K}$,有效阻止了电池单元间的热量传播,从而降低了热失控的风险。此外,隔热垫材料也有较好的绝缘性能,为电池系统提供了额外的电气安全保障。



• 内置式烟雾探测

SigenStack模块化储能以每个电池包为一个防护单元:内置烟雾探测器,“零距离”探测电芯热失控,时效性相较于传统柜式储能显著提升。



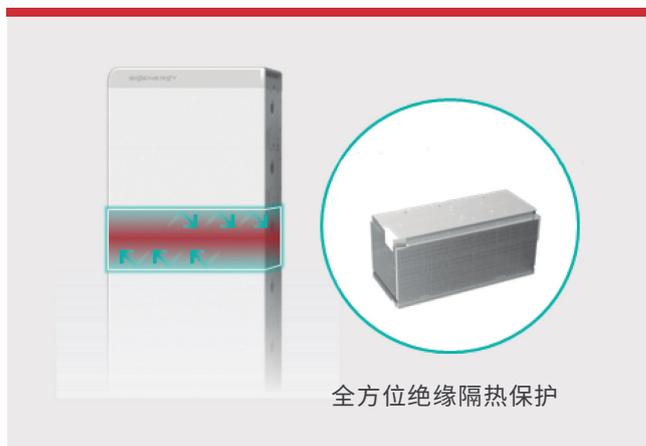
• 泄压阀

防止电池组爆炸的另一种方法是使用创新的泄压阀。这类泄压阀作为一种单向排气装置,常用于在电芯热失控时快速释放内部可燃气体,从而降低电池包结构内的压力,是防止电池组爆炸的重要安全设计。大多数电池储能系统不集成这类泄压阀。



• 高热耐火绝缘垫

SigenStack每个电池Pack内采用高温绝缘垫和金属外壳进行隔绝。该材料具有低于 $0.02\text{W/m}\cdot\text{K}$ 的热导率和超过 $500\text{M}\Omega$ 的绝缘阻抗,能够有效预防电池循环过程中因膨胀导致电池结构变形后引起的绝缘失效问题。此外,绝缘垫还能阻止热量从电芯单元向壳体的扩散,有助于控制电池的温度以及高温热失控的蔓延。



• 内置消防模块

SigenStack内置消防模块,在电芯单体热失控后,能够迅速响应并实现快速灭火,及时阻止火灾的蔓延。



3.4 思格系统设计

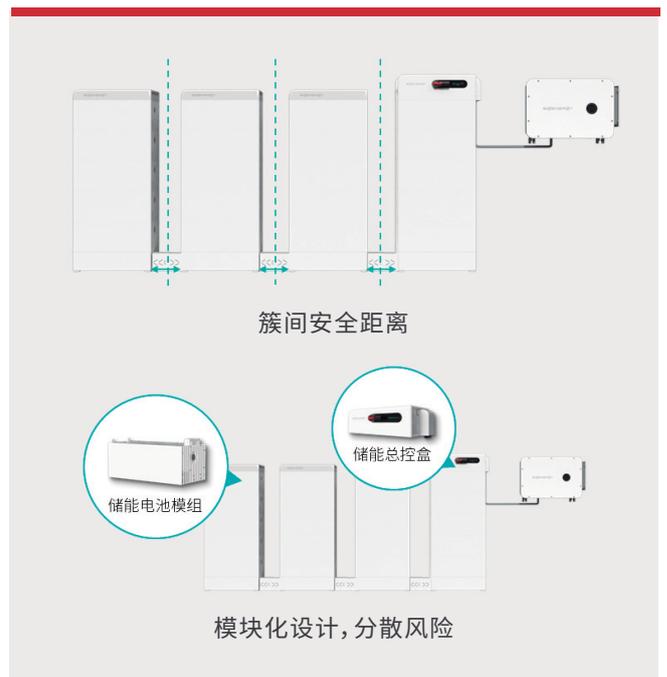
• 模块化设计,分散风险

针对电气安全风险,SigenStack产品的储能总控盒设计在储能电站的顶部,那么在发生火灾等紧急情况时,由于热气流上升的原理,火源和热量更可能向上扩散,而电池模块通常位于下方,因此理论上可以减少直接受到火灾影响的风险。此外,顶部的总控盒设计还便于快速切断电源,防止火势蔓延,同时也便于消防人员进行灭火操作,因为可以直接对火源进行扑救,而不需要深入到电池模块区域。



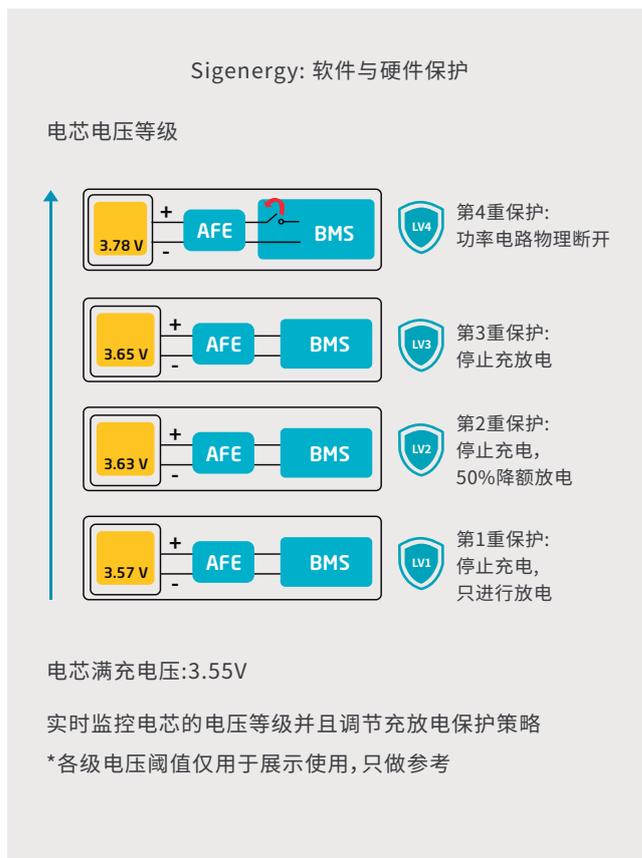
• 簇间物理隔离

SigenStack储能系统在设计时充分考虑了电池簇之间的安全距离,通过在簇和簇之间设置一定的间隔,可以在一定程度上有效防止燃烧蔓延和簇间转移。这种设计不仅提高了储能系统的安全性,还减少了火灾蔓延的风险,从而保护了整个储能系统。



• 四重过电压保护

三重软件保护+独立于软件策略的硬件保护电路，会在电压变大的时候触发不同的动作，若电压到某个绝对阈值，就会触发最高等级的硬件防护，关断整个电池PACK。



3.5

思格云平台

为应对上述提到的诸多软件层面的安全挑战，行业正逐步向基于云平台和人工智能的架构转型。

思格云平台通过结合云计算与人工智能技术，为储能管理系统的安全性提供了创新的解决方案，显著提升了系统的安全性能，确保储能系统的稳定与可靠运行。

• 智能故障检测与预警

平台实现高精度数据采集和10秒级的实时数据刷新，结合AI算法对电池运行状态进行监测，及时发

出安全预警，有效避免事故发生。

• 高精度监控与安全管理

支持对温度、电流、电压等多维度数据的精准采集与综合分析，确保能够及时发现潜在的安全问题。

• 安全事件闭环管理

提供实时数据回溯和故障定位功能，一旦发生安全事件，能够快速响应并启动应急处置流程，确保系统恢复。

4 关键安全和可靠性测试

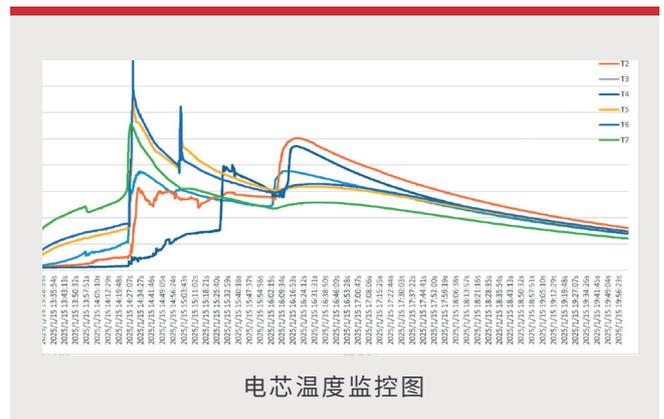
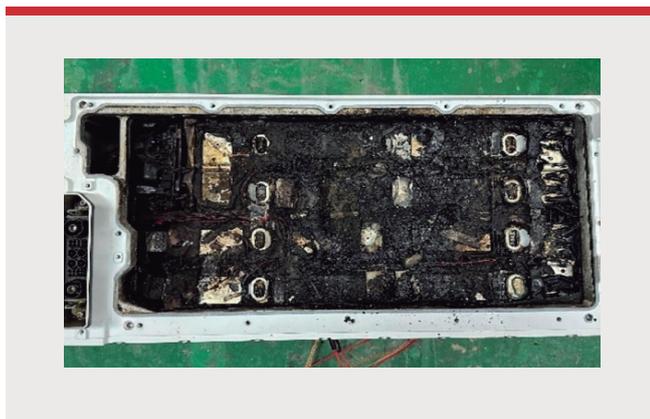
4.1 电芯级别

UL 9540A是针对储能系统(ESS)安全性的标准,其中电芯(Cell Level)测试的核心目的是评估电池在热失控(thermal runaway)等极端条件下的安全表现,防止因单体故障引发火灾或连锁反应,确保储能系统的整体安全。

在UL 9540A标准当中,与其说是要评估电芯的本征安全,更多是通过以下测试项来为后续的储能模组和单元设计提供指引。

热失控触发测试	通过加热、过充或针刺等方式触发电池单体热失控,记录温度、气体释放、火焰产生等数据。
热扩散抑制	评估单体热失控后是否引发相邻电池或模块的热扩散,需证明其影响范围可控。
安全阈值验证	单体的设计需满足特定安全阈值(如温度、压力上升速率),避免爆炸或剧烈燃烧。
数据记录与报告	需提供完整的测试数据、视频记录及分析报告,证明单体的安全设计符合标准。

电芯热失控后,防爆阀打开,电芯之间热蔓延情况良好。



4.2

电池包级别

IEC 62619 是针对工业用锂离子电池和电池系统的国际标准,其模组级别 (Module Level) 评估的核心目的是确保电池模组在电气安全、机械可靠性、热管理等方面的综

合性能,防止因设计缺陷或运行异常导致的安全事故(如短路、过热、结构失效等),并提升系统长期运行的稳定性。其要求包括但不限于:

热失控触发测试

- ▶ 过充/过放测试:在 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下,对电池进行过充/过放,测试样品不得起火或爆炸。
- ▶ 外部短路测试:将充满电的电池放置在 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下,通过连接正负端子来短路电池,测试样品不得起火或爆炸。

机械可靠性测试

- ▶ 撞击测试:达到额定容量50%的测试样品放置在平坦的混凝土或金属地板上,将 9,1 kg 的刚性质量从 $610\text{ mm} \pm 25\text{ mm}$ 的高度跌落至放置的样品上,撞击后测试样品不得起火或爆炸。

热管理测试

- ▶ 热失控测试:在 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下,充满电的电池系统中的一个电池单元被激光加热,直到电池进入热失控状态。电池系统无外部起火,电池系统外壳无破裂。

模组热蔓延后,外壳保持完整,无破裂



4.3

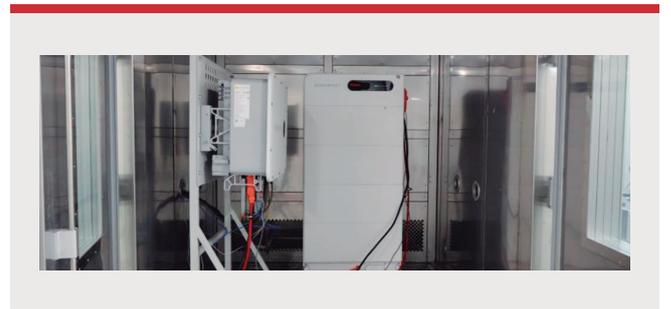
系统级别

GB/T 36276 是中国针对电力储能用锂离子电池制定的技术规范,其核心目的是规范锂离子电池在储能应用中的设计、生产、测试和验收要求,确保电池的安全性、可靠

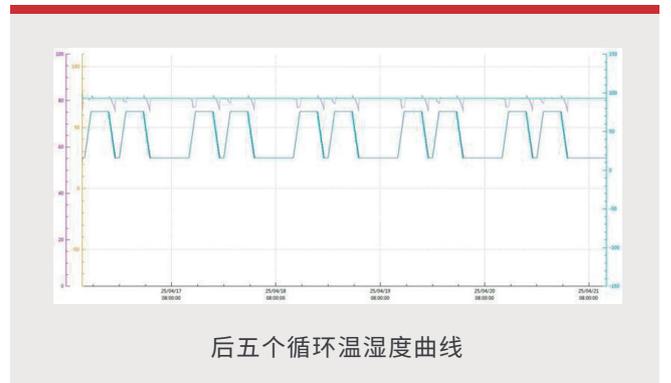
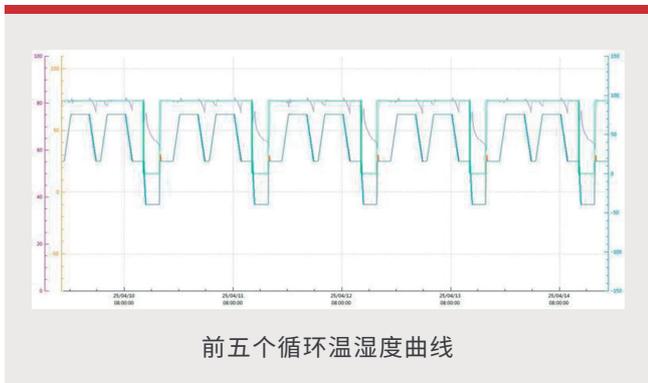
性和性能一致性,降低储能系统因电池故障引发的火灾、爆炸等风险,同时推动储能技术的标准化和产业化发展。

车规级湿热附霜冻测试

基本情况:2025年4月9号,思格与Intertek在思格上海研发中心实验室共同验证系统级别全环境测试。



验证方法:按vw8000K-09湿热循环(霜冻)(Damp heat, cyclic (with frost))测试要求,进行全环境测试,最高环境温度 63°C ,最低环境温度为 -10°C ,湿度设定93%。



经过 $24\text{h} \times 10$ 循环后,设备能够正常工作。



24小时泡水测试

基本情况:

2025年4月10号, 思格与Intertek在思格上海研发中心实验室共同验证24小时泡水测试。

验证方法: 被测设备由底座+2个pack+bcu组成

将被测设备置于水槽。向水槽中缓慢注水, 模拟下雨情况。当水位淹没底座和底部第一个pack(此时水位高度为49.5cm), 停止注水, 此时设备可正常充放电。

维持该水位24h(期间设备处于待机状态)。

24h后, 对设备进行充放电测试, 设备能够正常工作, 且试验过程中和结束后不爆炸, 不冒烟, 不起火, 不漏液。



被测设备



水位图



泡水结束后测试: 充电工况(绿灯)



泡水结束后测试: 放电工况(蓝灯)

5 总结

从各项安全指标来看, SigenStack与传统柜式工商业储能系统相比, 提供更加完善的安全保护:

安全指标	SigenStack模块化解决方案	传统柜式工商业储能系统
电芯间隔热	具备	不具备
电池包间隔热绝缘	具备	不具备
温度传感器	8个温度传感器检测12个电芯, 精度较高	8个温度传感器检测52个电芯, 精度低
烟雾探测器	Pack级别	柜级别/簇级别
泄压阀	具备	不具备
消防模块	Pack级别	柜级别
外壳完整性	Pack热失控后外壳仍保持完整	Pack热失控后外壳被破坏
全天候环境适应性	车规级测试	工业级测试

随着工商业 (C&I) 储能系统 (ESS) 行业的规模扩大以满足不断增长的需求, 安全将成为其可持续发展的基石。模块化解决方案, 能够从结构上解决传统柜式工商业储能系统的潜在的安全设计问题。其灵活的布置方案以及安全保护上的潜力, 能够为将来的工商业储能系统设计方案提供方向。

C&I ESS行业的成功取决于积极的安全创新、更严格的法规以及制造商、政策制定者和最终用户之间的合作。随着系统变得越来越大和越来越复杂, 整合安全设计原则将确保该行业成为可靠、低风险的能源转型推动者。不优先考虑安全可能会破坏市场信心和需要更长时间的脱碳日程。

