



HUAWEI



TÜVRheinland®

Exatamente certo.

Lançado em conjunto pela Huawei Digital Power e a TÜV Rheinland



White Paper de Segurança de Ligação Dupla C2C de sistema de armazenamento de energia C&I

Segurança abrangente da célula ao consumo

PREFÁCIO

À medida que a neutralidade de carbono se tornou uma missão compartilhada do mundo, o investimento está acelerando a transformação global de energia de baixo carbono. Em 2023, o investimento global nesse setor cresceu 17%, atingindo um recorde anual de US\$ 1,77 trilhão. Além disso, os impostos sobre o carbono e as políticas de subsídios impulsionaram ainda mais as empresas em direção à transformação de energia de baixo carbono¹. Até agora, 17 províncias e cidades da China emitiram políticas de subsídio para armazenamento de energia. Com o aumento dos preços da eletricidade e o declínio dos custos dos sistemas FV e dos sistemas de armazenamento de energia (ESSs), a implantação de FV+sistema de armazenamento de energia criou valor comercial, e o retorno sobre o investimento (ROI) dos projetos de sistemas de armazenamento de energia C&I aumentou significativamente. Em 2023, a demanda global por sistemas de armazenamento de energia C&I teve um crescimento explosivo. A taxa de crescimento da capacidade instalada de sistemas de armazenamento de energia C&I superou a de sistemas de armazenamento de energia residenciais e de escala de serviços públicos, dobrando em escala².

No entanto, com o crescimento explosivo dos requisitos globais de sistemas de armazenamento de energia C&I, a frequência de acidentes de segurança também aumentou consideravelmente. De acordo com as estatísticas incompletas do banco de dados de indústrias da Energy Storage Application Branch (CESA) da China Chemical and Physical Power Industry Association (a Agência de Aplicação de Armazenamento de Energia da Associação de Indústrias Químicas e de Energia Física da China), 117 acidentes relacionados a armazenamento de energia ocorreram em todo o mundo desde novembro de 2009. Entre eles, 61 acidentes ocorreram nos últimos três anos, representando mais da metade do total de acidentes.¹ Além disso, a frequência de ocorrência de acidentes ainda está crescendo. O número de acidentes de armazenamento de energia nos primeiros 10 meses de 2024 ultrapassou o total de 2023³. A porcentagem de acidentes com sistemas de armazenamento de energia C&I atinge três quartos. Acidentes ocorrem frequentemente porque as empresas sacrificam os padrões de qualidade e segurança dos produtos em prol da concorrência de preços, da participação intersetorial de integradores não profissionais em projetos e da falta de regulações e normas rígidas de segurança no setor.

Em comparação com os sistemas de armazenamento de energia em escala de serviços públicos, os sistemas de armazenamento de energia C&I são aplicados em cenários mais complexos, como fábricas, hospitais, shoppings e campi, onde a segurança contra incêndios é mais desafiadora e a população e os ativos são mais densos, tornando as demandas de segurança particularmente críticas. Para evitar acidentes de segurança frequentes no setor e direcioná-lo para padrões de segurança mais altos, a Huawei Digital Power e a TÜV Rheinland lançaram em conjunto o White Paper de Segurança de Ligação Dupla C2C de sistemas de armazenamento de energia C&I. Esse white paper enfatiza a importância do design de segurança para células e sistemas de baterias na construção de sistemas de armazenamento de energia C&I. Ele destaca as deficiências atuais nos padrões de segurança da indústria, ao mesmo tempo em que oferece conceitos tecnológicos inovadores voltados para o futuro e direções para a referência da indústria.

1-Fonte de dados: <<https://energy.pku.edu.cn/tzgg/jjyxw/da500e29ab3e40a49e3aff9aee3fa7ae.htm>>

2-Fonte de dados: China Energy Storage Alliance (Aliança de Armazenamento de Energia da China) https://www.cnesa.org/information/detail/?column_id=1&id=6708>

3-Fonte de dados: <<https://www.escn.com.cn/news/show-2066389.html>>; <<https://www.desn.com.cn/news/show-1616404.html>>

ÍNDICE

Prefácio	01
01. A segurança é a base do desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia C&I	02
1.1 Rápido crescimento do mercado de sistemas de armazenamento de energia C&I	02-03
1.2 Importância da segurança de sistemas de armazenamento de energia C&I	04-05
1.3 Análise global de acidentes de segurança de sistemas de armazenamento de energia	06-07
02. Análise e desafios de riscos de segurança de sistemas de armazenamento de energia C&I	08
2.1 Fontes de risco de segurança e mecanismos de fuga térmica	08-10
2.2 Deficiências e desafios do design de segurança convencional	10-16
03. Arquitetura de segurança de ligação dupla C2C	17
3.1 Arquitetura de segurança de ligação dupla C2C: nascimento seguro, vida segura	17
3.2 Segurança de ligação elétrica: prevenção e isolamento de curto-circuito	18-21
3.3 Segurança de ligação térmica: mitigação e supressão de fuga térmica	22-26
3.4 Construindo um sistema de qualidade centrado na segurança	27-29
04. Classificação de segurança: a chave para o desenvolvimento sustentável da indústria	30
4.1 Padrões de segurança existentes na indústria	30
4.2 Necessidade de classificação de segurança para sistemas de armazenamento de energia	31
4.3 Classes e padrões	32-33
05. Testes rigorosos de segurança: o mais alto nível de segurança do setor	34
5.1 Testes de segurança abrangentes com requisitos mais rigorosos do que os padrões do setor	34
5.2 Testes de fuga térmica extrema: sem difusão, sem explosão e sem lesão	35-42
5.3 Segurança superior: A primeira certificação de segurança mais alta do setor	43
06. Resumo e perspectiva	44

A segurança é a base do desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia C&I

01

1.1 Rápido crescimento do mercado de sistemas de armazenamento de energia C&I



Desde 2023, a demanda global por sistemas de armazenamento de energia C&I teve um crescimento explosivo. A taxa de crescimento da capacidade instalada de sistemas de armazenamento de energia C&I superou a de sistemas de armazenamento de energia residenciais e de escala de serviços públicos, dobrando em escala. O preço do sistema de armazenamento de energia afeta diretamente o investimento total e a viabilidade econômica dos projetos de sistema de armazenamento de energia C&I. Desde 2023, os preços do carbonato de lítio diminuíram significativamente, juntamente com um rápido aumento no número de participantes do mercado e aumento da concorrência. Esses fatores reduziram os preços de vários sistemas de armazenamento de energia em mais de 50%, aumentando significativamente o retorno sobre o investimento dos projetos de sistemas de armazenamento de energia C&I. Inicialmente, a principal demanda por sistemas de armazenamento de energia C&I girava em torno da energia de reserva de emergência. Com o passar do tempo, essa demanda evoluiu para cenários de negócios diversos e maduros, como economia de energia e redução de emissões por C&I, redução de custos de consumo de energia e integração FV+sistema de armazenamento de energia+carregador.

- Capacidade de sistema de armazenamento de energia C&I recém-instalado (GWh)
- Taxa de crescimento anual (%)

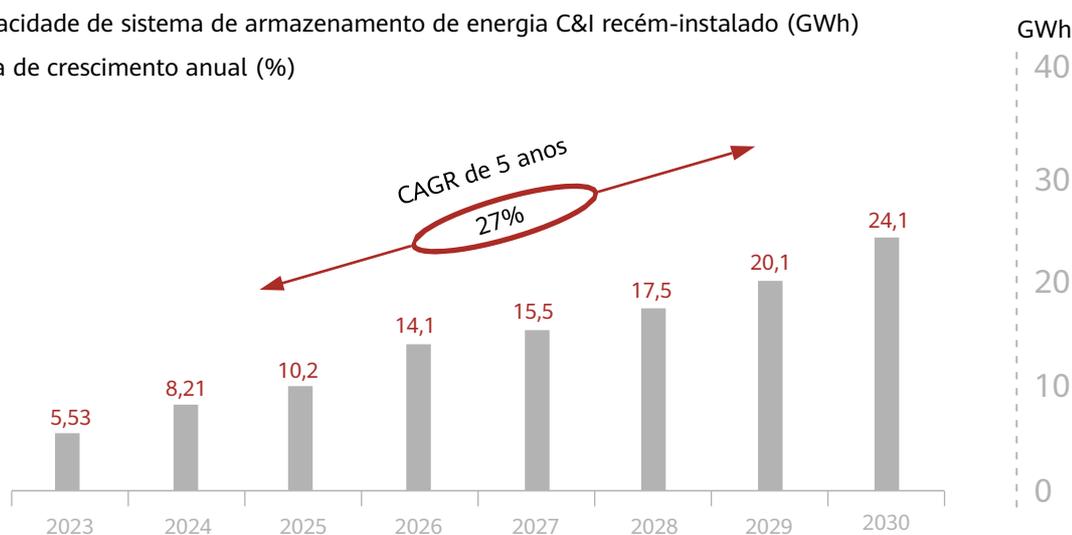


Figura 1 Dados de crescimento de sistemas de armazenamento de energia C&I nos últimos anos⁴

4-Fonte de dados: China Energy Storage Network (Rede de Armazenamento de Energia da China) (<https://finance.sina.cn/2024-11-19/detail-incwqkxu2986592.d.html>, 19/11/2024) e Wood Mackenzie, 2024

Até 2025, espera-se que a capacidade instalada acumulada de sistemas de armazenamento de energia C&I globais atinja 11,5 GW, com a China e a Europa representando mais de 50% da capacidade global⁵.

Isso é atribuído aos seus setores avançados de C&I e ao forte apoio político para os sistemas de armazenamento de energia C&I. Além disso, a diminuição dos custos dos módulos FV e a redução de tempo do ROI dos sistemas FV+sistema de armazenamento de energia estimularam o crescimento dos sistemas FV+sistema de armazenamento de energia distribuídos, o que, por sua vez, impulsiona um aumento na capacidade recém-instalada dos sistemas de armazenamento de energia C&I. Por exemplo, o Objetivo 55 e o Plano REPowerEU da União Europeia (UE) estabeleceram metas ambiciosas de energia renovável, visando a geração de eletricidade renovável de 45% até 2030. A partir de 2026, todos os novos edifícios públicos e comerciais com uma área de telhado superior a 250 m² deverão instalar sistemas FV no telhado, impulsionando diretamente as demandas de armazenamento de energia⁶. Nos últimos dois anos, as políticas de sistemas de armazenamento de energia C&I da China apresentam uma combinação de planejamento estratégico de nível nacional e inovações localizadas. Medidas como reformas no preço da eletricidade, subsídios financeiros, melhorias no acesso ao mercado e padronizações técnicas estão acelerando a transição das demonstrações piloto para a implantação em grande escala.

Entre janeiro e abril de 2024, a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma e a Administração Nacional de Energia da China lançaram quatro políticas para sistemas de armazenamento de energia. Elas incluem as Diretrizes para Reforço da Construção de sistemas de armazenamento de energia de Corte de Pico e Recursos de Agendamento Inteligente, o Comunicado sobre o Estabelecimento e a Melhoria do Mecanismo de Preço de Mercado para Serviços Auxiliares de Energia Elétrica, as Diretrizes para o Funcionamento de Energia em 2024 e o Comunicado sobre a Promoção da Conexão à Rede Elétrica e Expedição de Novos sistemas de armazenamento de energia, melhorando o mecanismo de preço da eletricidade por tempo de uso (TOU) e incentivando as empresas a construir instalações de energia distribuída e de armazenamento de energia. Desde 2022, mais de 40 políticas de subsídios diretos para sistemas de armazenamento de energia C&I foram implementadas, incluindo Zhejiang, Guangdong, Jiangsu, Chongqing, Anhui e Tianjin, conduzindo a implementação do projeto⁷.

Além disso, com o aumento da volatilidade do preço da energia, os avanços contínuos nas tecnologias de baterias e as reduções de custos, tornou-se mais econômico para os setores de C&I adotarem sistemas de armazenamento de energia. Na Europa, muitas empresas em países como Alemanha, Reino Unido e Países Baixos começaram a integrar sistemas de armazenamento de energia para promover a eletrificação dos processos de produção. Mais e mais empresas de pequeno e médio porte e instalações industriais estão se movendo progressivamente em direção à autossuficiência energética.

5-Fonte de dados: 2023 China C&I ESS Development White Paper released by the China Industrial Association of Power Sources (White Paper de Desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia C&I da China 2023, lançado pela Associação Industrial de Fontes de Energia da China)

6-Fonte de dados: <<https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>>

7-Fonte de dados: <<https://www.esn.com.cn/news/show-2066389.html>; <https://www.desn.com.cn/news/show-1616404.html>>

1.2 Importância da segurança de sistemas de armazenamento de energia C&I



1.2.1 A segurança de sistemas de armazenamento de energia se torna a preocupação do setor

De acordo com uma pesquisa de acompanhamento realizada pela TÜV Rheinland, os últimos 5 anos tiveram um aumento significativo nas preocupações sobre problemas de segurança de sistemas de armazenamento de energia e sobre a falta de padrões do setor⁹.

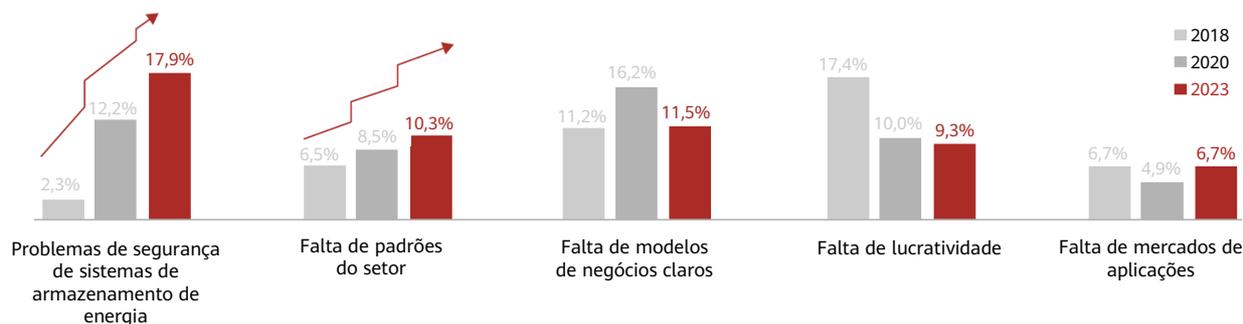


Figura 2 Principais restrições no desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia

1.2.2 Os produtos de sistemas de armazenamento de energia apresentam altos riscos de segurança

Os sistemas de armazenamento de energia inerentemente apresentam altos riscos de segurança devido às características de suas baterias. Atualmente, a maioria dos sistemas de armazenamento de energia usa células de fosfato de ferro de lítio (LFP). Como os íons de lítio são altamente ativos, se fatores internos ou externos desencadearem uma reação violenta entre os materiais positivos e negativos dentro das células da bateria, a fuga térmica resultante será extremamente difícil de controlar. Esse risco é ampliado ainda mais em sistemas de armazenamento de energia compostos por várias células de bateria, que apresentam grande capacidade e alta tensão. O potencial destrutivo da fuga térmica torna os riscos de segurança dos sistemas de armazenamento de energia particularmente críticos.



⁹-Fonte de dados: Dadong Times, Community of Battery Enterprise Advancement (Comunidade de Avanço Corporativo de Baterias, cbea.com) e Global Energy Storage Industry Trend Prediction Report 2024 (Relatório de Previsão de Tendências do Setor de Armazenamento de Energia Global, lançado em dezembro de 2023)

1.2.3 Os sistemas de armazenamento de energia C&I enfrentam maiores desafios de segurança

Em comparação com os sistemas de armazenamento de energia convencionais em escala de serviços públicos, os sistemas de armazenamento de energia C&I são aplicados em cenários mais complexos, onde a segurança contra incêndios é mais desafiadora e a população e os ativos são mais densos. Normalmente, os sistemas de armazenamento de energia são posicionados mais próximos de pessoas e ativos, e sua frequência de uso é maior. Como resultado, quando surgem riscos de segurança, os danos potenciais e os impactos sociais podem ser muito maiores. Os principais recursos e desafios da construção de sistemas de armazenamento de energia C&I incluem:

01 Ambiente complexo

Os sistemas de armazenamento de energia C&I são aplicados em vários cenários de uso de eletricidade, como fábricas, hospitais, shoppings e campi. Os locais de implantação dos sistemas de armazenamento de energia diferem nesses cenários. Alguns estão situados em espaços com áreas circundantes limitadas, estradas de acesso obstruídas e sinuosas para aparelhos de incêndio ou adjacentes a ativos de alto valor. Essas condições tornam o combate a incêndios mais desafiador.



02 População densa

Em comparação com as instalações de sistema de armazenamento de energia do lado da rede elétrica localizadas em áreas pouco povoadas, os sistemas de armazenamento de energia C&I geralmente estão muito mais próximos dos locais em que as pessoas vivem e trabalham. Isso aumenta a importância de minimizar a frequência de acidentes e a gravidade dos perigos potenciais para garantir a segurança do pessoal ao redor da instalação.



03 Ativos intensivos

Os sistemas de armazenamento de energia C&I estão intimamente ligados aos principais ativos e operações de uma empresa. Em áreas com muitos ativos, qualquer falha nos sistemas de armazenamento de energia apresenta riscos significativos, não apenas colocando em risco a segurança pessoal, mas também levando a perdas econômicas substanciais. Essas áreas geralmente incluem instalações de fabricação de precisão e estações de carregamento.



1.3 Análise global de acidentes de segurança de sistemas de armazenamento de energia



De acordo com o CESA, desde novembro de 2009, houve 117 acidentes relacionados a sistemas de armazenamento de energia em todo o mundo, com aproximadamente três quartos ocorrendo em sistema de armazenamento de energia C&I.

Somente em setembro de 2024, em apenas meio mês, oito acidentes de segurança relacionados a sistemas de armazenamento de energia foram relatados em países como Austrália, França, Alemanha e Áustria. Eles variaram de incêndios em instalações de produção de baterias de lítio a incêndios em data centers. Acidentes anteriores incluem um incêndio e uma explosão secundária na área comercial de Nemours, na Alemanha, ferindo dois bombeiros, e um acidente de fábrica na Coreia do Sul que tragicamente resultou em 23 mortes.

A análise desses acidentes revela que eles foram causados principalmente por fatores como falha de isolamento elétrico e disseminação de curtos-circuitos. Medidas inadequadas de supressão de fuga térmica e supressão de incêndio exacerbaram esses acidentes, levando a danos em maior escala e até mesmo a mortes.



Figura 3 Dois bombeiros feridos pela explosão da porta de sistemas de armazenamento de energia na área comercial de Nemours, Alemanha⁵



Figura 4 Explosão em uma granja de galinhas em Saint-Esprit, França, causando uma perda de ativos de milhões de euros⁶



Figura 5 Acidente de uma estação de sistema de armazenamento de energia de 2 MW/2,47 MWh em McMicken, Arizona, EUA⁶



Figura 6 Um incêndio de sistema de armazenamento de energia em uma instalação FV em Chungcheong-namdo, Coreia do Sul⁷

10-11-Fonte de dados: Energy Storage China Network News Center (Central de Notícias da Rede de Armazenamento de Energia da China)

12-Fonte de dados: FOX News

13-Fonte de dados: National Fire Agency of South Korea (Agência Nacional de Incêndios da Coreia do Sul)

Tabela 1 Estatísticas dos principais acidentes de segurança de sistemas de armazenamento de energia nos últimos anos¹⁴

Hora do Acidente	Local do Acidente	Nome do Acidente	Impacto	Causa
9 de março de 2025	Província de Jeolla do Sul, Coreia do Sul	Gangjin-gun	Mais de 500 metros quadrados de instalações de sistema de armazenamento de energia e 3.852 módulos de sistema de armazenamento de energia foram queimados, causando uma perda de propriedade de cerca de CNY 50 milhões.	O curto-circuito dentro de um conjunto de baterias se espalhou e o conjunto de baterias foi superaquecido continuamente. A célula teve um curto-circuito com o aterramento e um incêndio ocorreu rapidamente.
29 de setembro de 2024	Fujian, China	Incêndio em uma base de produção de baterias de sistemas de armazenamento de energia	Cerca de 50.000 metros quadrados de edifícios foram danificados, e a perda estimada de ativos excedeu CNY 300 milhões.	A combustão espontânea da bateria ocorreu devido a carga e descarga excessivas.
10 de setembro de 2024	Singapura	Explosão de baterias de lítio em um data center	O incêndio durou mais de 36 horas, afetando gravemente os serviços normais das empresas de tecnologia.	A falha de isolamento interno da bateria causou fuga térmica e explosão, levando à propagação do fogo e à alta temperatura.
24 de junho de 2024	Coreia do Sul Hwaseong, Gyeonggi-do	Explosão na fábrica de baterias de lítio Aricell	A explosão resultou em 23 mortes e 8 feridos.	Curto-circuitos nas baterias de lítio causaram um incêndio devido à fuga térmica, e algumas das 35.000 baterias de lítio armazenadas no segundo andar da fábrica explodiram.
15 de maio de 2024	Saint-Esprit, França	Incêndio e explosão em uma granja de galinhas FV+sistema de armazenamento de energia	A explosão danificou gravemente as janelas de mais de 300 casas próximas, causando perdas econômicas de mais de 1 milhão de euros.	O aviso de falha não estava disponível. A bateria defeituosa não foi desconectada em tempo hábil. Como resultado, a falha se espalhou para as baterias circundantes, fazendo com que uma grande quantidade de gases combustíveis se acumulasse. Ocorreu uma explosão devido a faíscas elétricas.
20 de setembro de 2021	Victoria, Austrália	Incêndio no projeto Victorian Big Battery (Grande Bateria de Victoria)	A perda foi de 38 milhões de dólares.	Após a fuga térmica das baterias de lítio, o conjunto de baterias foi danificado e os gases combustíveis internos foram liberados. Como resultado, uma explosão secundária ocorreu e a porta do gabinete explodiu.
16 de abril de 2021	Pequim, China	Incêndio e explosão em um projeto integrado de FV+sistema de armazenamento de energia+carregador de Full Service	Por causa do acidente, um electricista perdeu sua vida, dois bombeiros se sacrificaram e um bombeiro ficou ferido. Os danos diretos à propriedade excederam CNY 16 milhões.	O sistema de refrigeração líquida vazou, causando arcos elétricos e faíscas entre os dispositivos elétricos. Como resultado, o sistema sofreu uma fuga térmica, causando a propagação de um incêndio.
Abril de 2019	Arizona, EUA	Explosão na instalação de sistema de armazenamento de energia APS	O sistema de armazenamento de energia foi danificado e quatro bombeiros ficaram feridos.	Um curto-circuito dentro de uma bateria causou fuga térmica. Como resultado, uma grande quantidade de gases combustíveis foi liberada e acumulada. A propagação de gases combustíveis causou uma explosão secundária.
2024	Bremen, Alemanha	Acidente de incêndio e explosão no sistema de armazenamento de energia na área comercial de Nemours	Dois bombeiros ficaram feridos, e uma perda econômica de 500.000 euros foi causada.	Dendritos dentro de uma bateria causaram curtos-circuitos internos. Nenhum design de alívio de explosão estava disponível.

Esses casos de acidentes com sistemas de armazenamento de energia geralmente envolvem produtos que haviam sido submetidos a testes e certificações padronizados, com alguns até mesmo atendendo aos padrões europeus ou norte-americanos atuais. Ainda assim, acidentes ainda ocorreram, o que indica que os padrões existentes no mercado de sistemas de armazenamento de energia são inadequados para atender plenamente aos requisitos de segurança das instalações de sistema de armazenamento de energia. Há espaço significativo para melhorias e mais refinamento.

14-Fonte de dados: American Electric Power Research Institute (EPRI)'s BESS Failure Incident Database (Banco de Dados de Incidentes de Falha de Sistemas de Armazenamento de Energia de Bateria do Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica Americano)

Análise e desafios de riscos de segurança de sistemas de armazenamento de energia C&I

02

2.1 Fontes de risco de segurança e mecanismos de fuga térmica

■ 2.1.1 Fontes de riscos de segurança de sistemas de armazenamento de energia

Os riscos de fuga térmica em sistemas de armazenamento de energia podem ser categorizados em três tipos principais com base em seus mecanismos subjacentes: abuso mecânico, abuso elétrico e abuso térmico.

Abuso mecânico: durante a fabricação, o transporte ou a instalação, forças mecânicas externas, como quedas, vibrações, colisões, esmagamentos ou penetrações, podem danificar a estrutura da bateria ou criar defeitos internos. Isso pode resultar em deformação do invólucro da célula, danos ao separador ou vazamento de eletrólitos.

Abuso elétrico: operações elétricas inadequadas ou falhas de circuitos, incluindo carga e descarga excessiva, falha de isolamento, falha de controle ou curto-circuito externo, podem levar a curtos-circuitos internos nas baterias.

Abuso térmico: ambientes externos de alta temperatura ou difusão térmica interna podem causar temperaturas anormalmente altas dentro das baterias, levando a riscos de fuga térmica.

Tabela 2 Análise das fontes de riscos de segurança de sistemas de armazenamento de energia

Abuso mecânico	Abuso elétrico	Abuso térmico
Defeito de vedação do conjunto	Injeção de energia relâmpago	Calor devido ao fluxo de corrente/Falha de conexão
Queda durante o transporte/instalação	Falha no loop de alta tensão	Alta temperatura ambiente
Vibração/Impacto/Colisão durante o transporte	Danos no isolamento da ligação elétrica	Fonte de incêndio externa/temperatura anormalmente alta
Estrutura fraca do conjunto	Tensão/corrente externa anormalmente alta	Difusão térmica no conjunto

2.1.2 Mecanismos de fuga térmica do sistema de armazenamento de energia

01 Curtos-circuitos: a principal causa da fuga térmica

Falhas de ligações elétricas, como curtos-circuitos, são a causa principal dos riscos de segurança nos sistemas de armazenamento de energia. Curtos-circuitos podem ocorrer em qualquer ligação, incluindo células de baterias, conjuntos de baterias, circuitos internos do sistema ou circuitos externos. Quando um curto-circuito acontece, ele tem o potencial de se espalhar e, finalmente, desencadear uma fuga térmica.

Curtos-circuitos geralmente ocorrem devido a riscos externos e ambientais, riscos elétricos, defeitos internos e falhas de controle. Por exemplo, curtos-circuitos internos dentro das células de bateria causados por colisão, carga ou descarga excessiva, bem como defeitos de fabricação, podem levar a curtos-circuitos internos ou externos em nível de conjunto, ou até mesmo escalar para falhas de sistema de armazenamento de energia (como falhas de BMS, falhas de segurança funcional e operações incorretas).

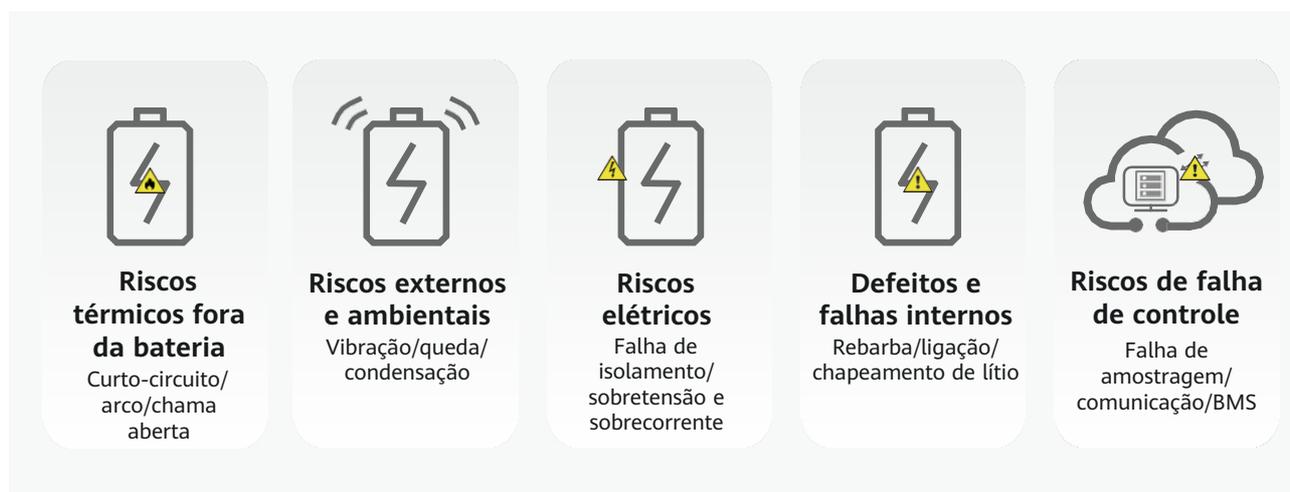


Figura 7 Causas de curtos-circuitos elétricos

02 Difusão de fuga térmica: escalada dos riscos de segurança do sistema de armazenamento de energia

A propagação de fuga térmica representa a escalada dos riscos de segurança em sistemas de armazenamento de energia. Normalmente, a fuga térmica começa no nível da célula, que gradualmente se espalha para uma área mais ampla, potencialmente causando incêndios, combustão ou explosões em conjuntos de baterias dentro dos gabinetes do sistema de armazenamento de energia e até se espalhando entre os gabinetes. Isso pode afetar gravemente os ativos e a equipe em volta.

A fuga térmica da bateria de lítio envolve reações exotérmicas intensas, acelerando a fuga térmica. Em média, um conjunto de baterias contém cerca de 60 a 100 células, que são densamente embaladas. Quando uma célula sofre uma fuga térmica, o calor se espalha rapidamente para as células vizinhas, desencadeando mais fuga térmica e estendendo-se a todo o conjunto de baterias e até mesmo a todo o sistema de armazenamento de energia. A reação é violenta e rápida, com a geração de calor fazendo com que as temperaturas da bateria subam rapidamente para entre 400 °C e 1.000 °C. Além disso, o processo de fuga térmica produz um grande volume de gases combustíveis (como CO e H₂). Quando esses gases se misturam com o O₂ no ar e atingem o limite de explosão, eles podem se inflamar quando expostos a altas temperaturas ou chamas abertas, resultando em explosões e propagação de incêndio.

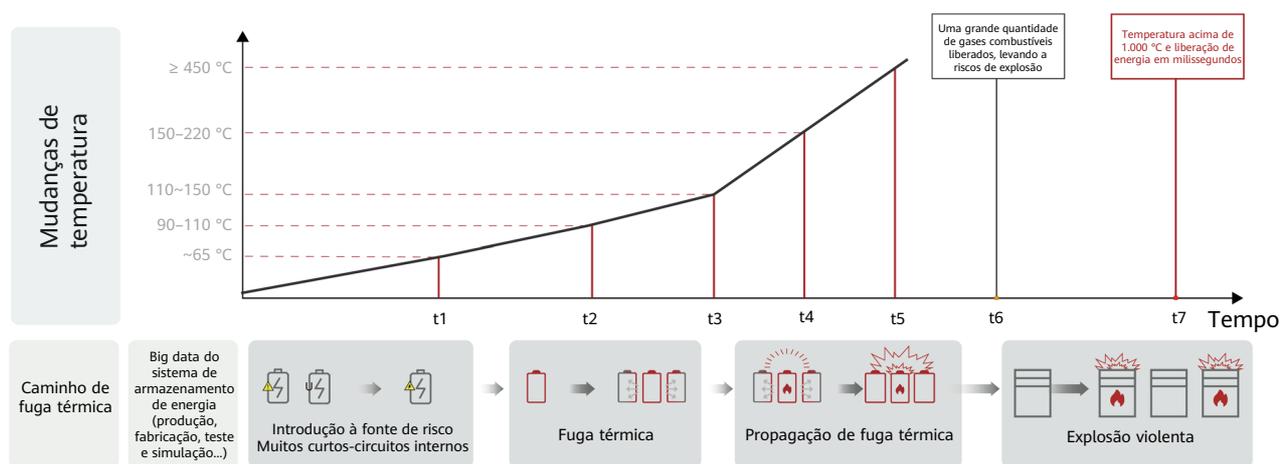


Figura 8 Propagação de fuga térmica

2.2 Deficiências e desafios do design de segurança convencional



Os sistemas de armazenamento de energia C&I são altamente complexos, impondo requisitos rigorosos ao design de integração de sistemas. À medida que as tecnologias de células de bateria se tornam cada vez mais maduras, a segurança do sistema de armazenamento de energia agora depende mais do design de integração de sistemas. Deficiências no design de sistemas, como proteção contra curtos-circuitos elétricos para ligações elétricas e medidas de supressão de fuga térmica para ligações térmicas, são as principais razões para a geração e escalada de riscos de segurança em sistemas de armazenamento de energia. Eles também são os pontos problemáticos e os desafios enfrentados pelo design de segurança do sistema de armazenamento de energia C&I.

2.2.1 Deficiências e desafios do design de proteção contra curtos-circuitos para ligações elétricas

Atualmente, os sistemas de armazenamento de energia convencionais do setor têm os seguintes pontos problemáticos sobre a proteção contra curtos-circuitos:

01 Detecção e avisos precisos para curtos-circuitos internos em células de bateria: resolução de deficiências em análise de dados e aviso de falhas de soluções convencionais

A fuga térmica do sistema de armazenamento de energia geralmente é causada por um curto-circuito na célula. Curtos-circuitos internos da célula provavelmente ocorrerão devido a danos no invólucro da célula, penetração dendrítica ou vazamento de eletrólitos. Curtos-circuitos internos da célula são refletidos principalmente por parâmetros anormais da célula.

Identificar e avisar sobre os curtos-circuitos internos da célula requer ampla coleta e análise de dados em várias células de bateria. A precisão e a velocidade dessa coleta de dados dependem muito das capacidades dos chips de coleta de dados. No entanto, os chips convencionais de coleta de dados atualmente utilizados em sistemas de armazenamento de energia geralmente enfrentam limitações, como baixa capacidade de coleta de dados e erros significativos.

Além disso, os algoritmos convencionais de aviso em nível de placa usados para anormalidades da célula têm desvantagens notáveis, incluindo altas margens de erro, velocidade lenta e limite máximo de baixa capacidade. Esses fatores restringem a capacidade de identificar e avisar com eficiência as falhas da célula da bateria com antecedência.

02 Falha de isolamento em conjuntos levando a curtos-circuitos internos: vulnerabilidade de materiais de isolamento comuns que resultam em vazamento e falha de isolamento

No nível do conjunto de baterias, se o isolamento do conjunto falhar ou a faixa de isolamento for inadequada, poderá ocorrer contato elétrico entre as células no conjunto ou entre as células e o invólucro do conjunto, causando curtos-circuitos internos de um conjunto de baterias.

No design do sistema de armazenamento de energia, a proteção de isolamento dos conjuntos de baterias é fundamental. O design de isolamento precisa ser aprimorado para evitar falhas de isolamento e aumentar o efeito de proteção.

O design de isolamento do conjunto de baterias convencional geralmente se concentra exclusivamente no isolamento do invólucro externo, negligenciando o isolamento entre as células da bateria e os módulos dentro do conjunto. Como resultado, podem ocorrer falhas elétricas, como curtos-circuitos, devido a conexões anormais, arcos e curtos-circuitos, que podem se espalhar e causar falha elétrica do sistema de armazenamento de energia. Além disso, os materiais de isolamento comuns não fornecem proteção adequada durante a fuga térmica da célula. Se ocorrer fuga térmica da célula, as altas temperaturas e os eletrólitos corrosivos poderão danificar gravemente os materiais de isolamento, levando à falha do isolamento.

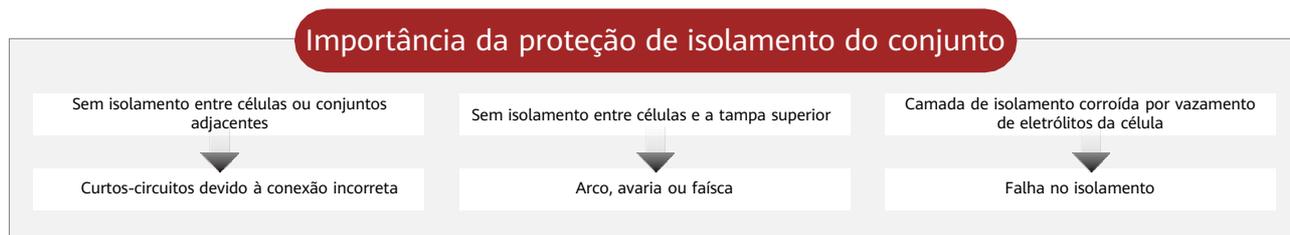


Figura 9 Importância da proteção de isolamento do conjunto de baterias

Defeitos do design de isolamento do conjunto convencional:

1) Os conjuntos de baterias convencionais geralmente se concentram apenas no isolamento entre a parte inferior e o invólucro, negligenciando o isolamento entre as células adjacentes, os módulos adjacentes e entre as células e a tampa superior.

2) Geralmente, os eletrólitos da célula vazados corroem continuamente a camada de isolamento. No entanto, devido ao processo lento, a corrosão pode não ser detectada a tempo. A corrosão contínua devido à exposição aos eletrólitos pode levar à carbonização e ao borbulhamento da camada de isolamento, resultando em falha de isolamento e danos ao sistema. Os conjuntos de baterias convencionais usam tinta de isolamento comum com baixa resistência à corrosão eletrolítica, que pode resistir à corrosão eletrolítica por apenas sete dias.

3) Os conjuntos de baterias convencionais usam invólucro de plástico, que é propenso a derreter sob altas temperaturas causadas por fuga térmica. Isso compromete ainda mais a camada de isolamento e pode resultar em falha de isolamento em grande escala.



Figura 10 Design de isolamento interno de um conjunto de baterias convencional

03 Risco de incêndio devido a curtos-circuitos de alta corrente que não são desligados rapidamente: endereçamento de vulnerabilidades em componentes do sistema de armazenamento de energia em várias fases

Para o sistema de armazenamento de energia, podem ocorrer curtos-circuitos nos lados CC e CA. Além do curto-circuito interno da célula e do curto-circuito interno do conjunto devido à conexão incorreta, existem outros curtos-circuitos causados pela má conexão de diferentes componentes elétricos. Dentro do sistema de armazenamento de energia, podem ocorrer curtos-circuitos de diferentes tipos devido a conexões incorretas de cabos de componentes elétricos. Por exemplo, se portas ou cabos em posições diferentes estiverem danificados ou conectados incorretamente, poderão ocorrer curtos-circuitos, como curtos-circuitos entre barramentos CC positivos e negativos, curtos-circuitos causados por falhas de componentes internos de um PCS e curtos-circuitos da célula para o aterramento de alta corrente. Problemas como má conexão elétrica ou falha de componente geralmente são causados por defeitos do produto, danos durante o transporte e a instalação, instalação e manutenção fora do padrão e componentes que operam em condições de funcionamento precárias por muito tempo.

Os curtos-circuitos comuns são os seguintes.

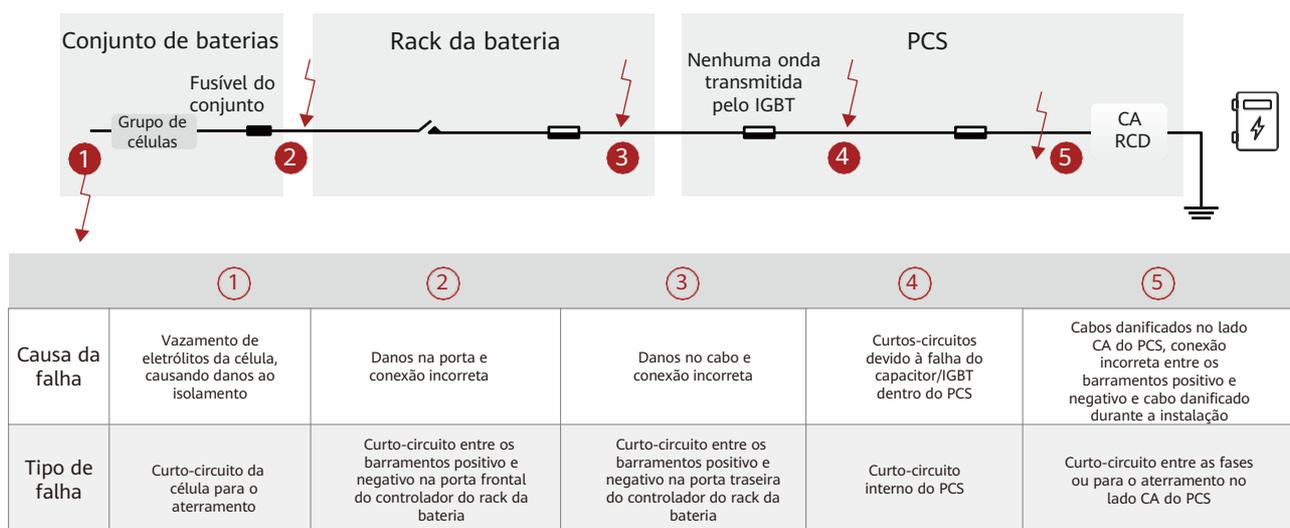


Figura 11 Classificação dos curtos-circuitos do sistema de armazenamento de energia

Deficiências das soluções de proteção convencionais:

1) Pontos cegos de proteção

Fusíveis e contatos convencionais têm faixas de proteção relativamente limitadas, deixando pontos cegos de proteção dentro da faixa de corrente de 1,2-1,6 kA. A proteção não pode ser implementada dentro da faixa de resistência de curto-circuito externo de 0,4 Ω a 0,6 Ω (geralmente, a resistência de curto-circuito externo varia de 0,1 Ω a 1 Ω).

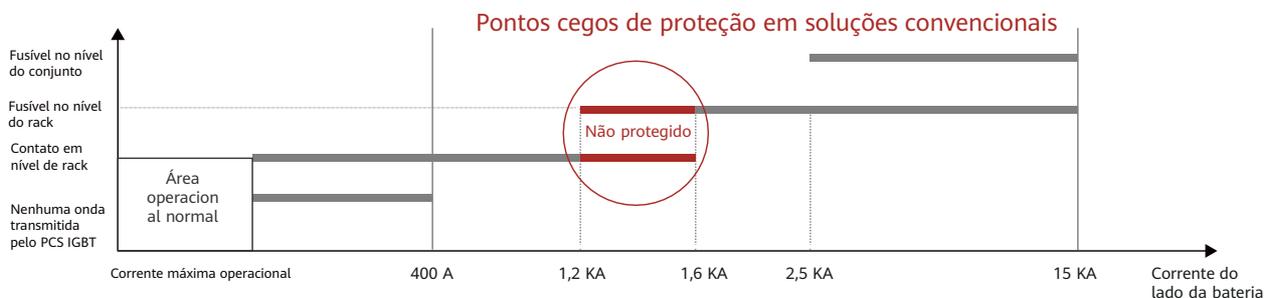


Figura 12 Pontos cegos de proteção para identificação de corrente de curto-circuito em soluções convencionais

2) Falha ao executar desligamento rápido para falhas de alta corrente, como curtos-circuitos da célula para o aterramento

Os fusíveis convencionais levam mais de segundos para responder, resultando em desligamento lento. As soluções convencionais só podem detectar e quebrar correntes de modo diferencial anormais (curtos-circuitos entre os barramentos positivo e negativo), que normalmente têm correntes relativamente pequenas e reação ao fogo mais lenta. Nesses casos, os fusíveis convencionais podem fornecer proteção. No entanto, para correntes de modo comum anormais, como um curto-circuito da célula para o aterramento causado por dano no filme azul da célula, um curto-circuito do barramento para o aterramento ou um curto-circuito do invólucro da célula para o aterramento, a corrente de curto-circuito é alta. Incêndios podem ocorrer em dezenas de milissegundos, e as soluções convencionais não conseguem detectar e implementar rapidamente a desconexão para proteção.

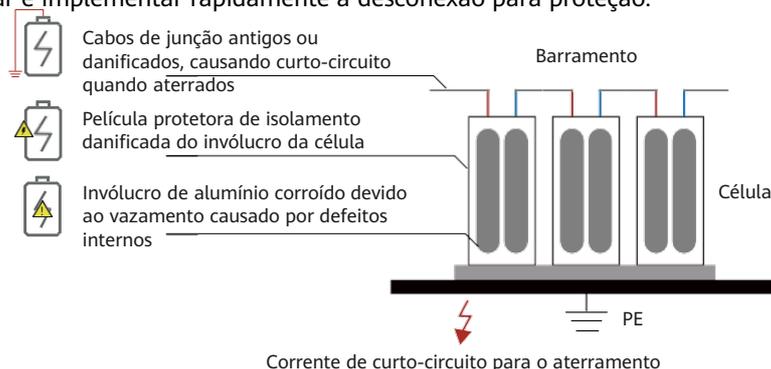


Figura 13 Análise de causa do curto-circuito da célula da bateria para o aterramento

04 Danos ao cabo externo e aterramento causando vazamento e ferimentos: limitações e riscos dos métodos convencionais de detecção de vazamento de corrente

Na camada de aplicação, o sistema de armazenamento de energia é conectado ao gabinete de distribuição de energia externa por meio de cabos. Os cabos externos são propensos a danos causados por fatores como mordidas de animais ou infiltração de água. Esses problemas podem resultar em conexão de cabo incorreta ou curtos-circuitos para o aterramento. Consequentemente, isso pode causar curtos-circuitos ou vazamento de corrente no lado CA externo ou no lado de alimentação auxiliar do gabinete. Além disso, pode causar ferimentos por choque elétrico e danos ao equipamento.

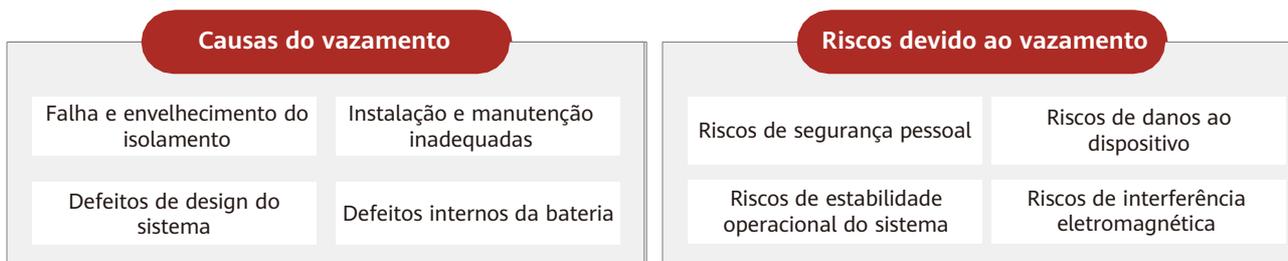


Figura 14 Análise de causa e risco das correntes de vazamento

Na maioria das soluções convencionais, o PCS é reiniciado para detectar a impedância do isolamento do aterramento ou o vazamento de corrente. No entanto, apenas o curto-circuito do lado CC pode ser detectado, e o curto-circuito de aterramento do lado CA, o vazamento de corrente de aterramento e o vazamento de corrente do lado auxiliar não podem ser detectados de forma eficaz. O desligamento rápido não pode ser realizado para vazamento de corrente externo e curtos-circuitos, o que pode causar choques elétricos e danos aos componentes do sistema de armazenamento de energia devido às altas correntes

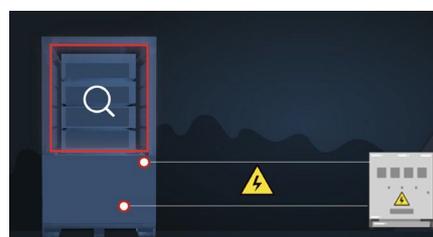


Figura 15 Riscos de não monitorar a corrente de fuga em soluções convencionais

2.2.2 Desafios da supressão de fuga térmica

01 Defeitos no design de isolamento térmico, causando difusão térmica entre as células

Importância do design de isolamento térmico de células:

Em sistemas de armazenamento de energia que usam baterias de lítio, o design de isolamento térmico entre as células desempenha um papel importante. Uma vez que um defeito ocorre, sérias consequências serão causadas. O design de isolamento térmico defeituoso não consegue bloquear efetivamente a propagação do calor entre as células, o que é propenso à propagação de fuga térmica da célula.

Em condições normais, as células da bateria geram uma quantidade específica de calor durante o carregamento e o descarregamento. Uma camada de isolamento bem projetada garante que o calor seja confinado às células individuais, impedindo que ele se espalhe para as células vizinhas.

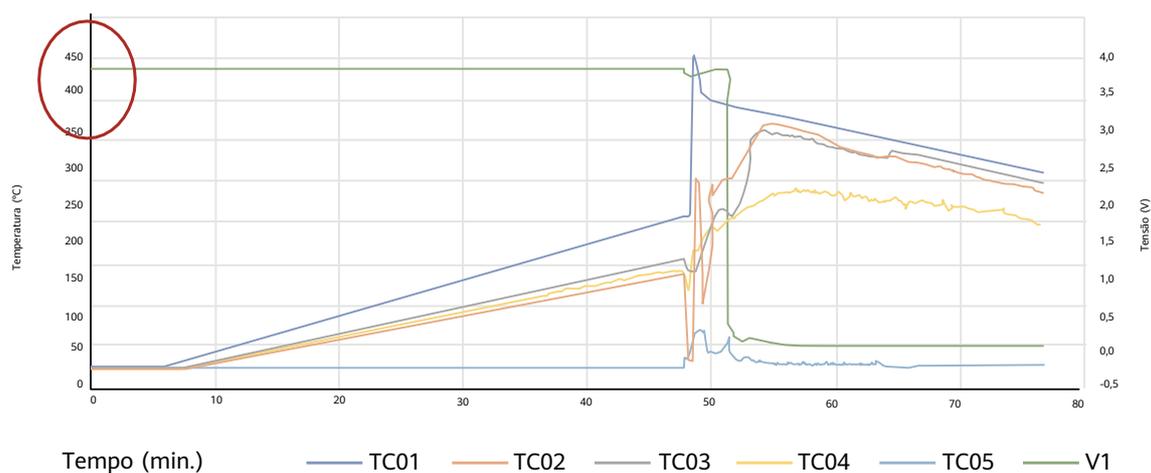


Figura 16 Mudança de temperatura das células durante a fuga térmica

Defeitos no design de isolamento térmico de soluções convencionais:

As soluções convencionais geralmente não têm um design de isolamento térmico dedicado para células de bateria ou dependem de materiais de isolamento térmico comuns que não fornecem isolamento térmico eficaz. Como resultado, o calor gerado por uma célula pode se espalhar rapidamente para as células vizinhas. Além disso, existem falhas de design em estruturas de isolamento térmico convencionais. Por exemplo, como as lacunas entre as células da bateria são muito pequenas, os materiais de isolamento térmico preenchidos nas lacunas são inadequados, deixando as células em contato direto. Isso cria um caminho curto para a transferência de calor, encurtando drasticamente o tempo para que o calor se espalhe e acelerando a taxa de difusão de fuga térmica.

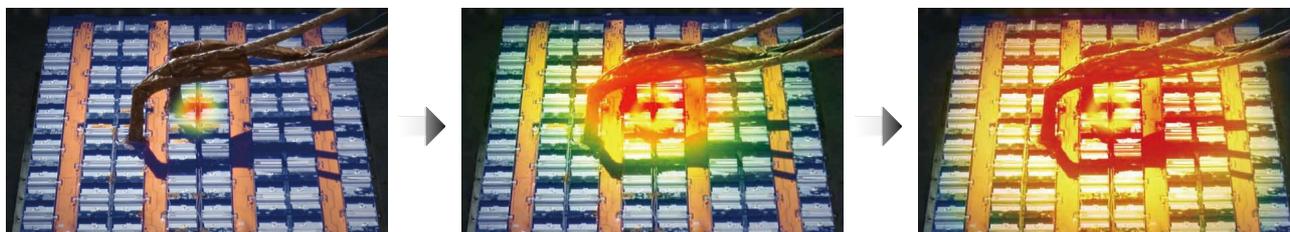


Figura 17 Derretimento do conjunto devido à fuga térmica

02 Fuga térmica em conjuntos: ignição rápida induzida por O₂ dentro dos conjuntos de baterias

Quando as baterias queimam, elas liberam gases combustíveis, como H₂, C₂H₆ e C₂H₂. Sob condições específicas, esses gases podem levar a explosões ou combustão, representando ameaças significativas aos processos de produção e armazenamento de baterias.

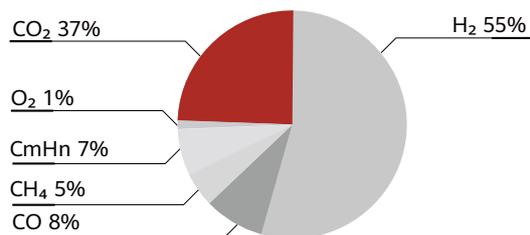


Figura 18 Composição dos gases produzidos pelas células e seus limites explosivos

Os três principais elementos necessários para a combustão são gases combustíveis, O₂ e ponto de combustão. A combustão só pode ocorrer quando esses três elementos estão simultaneamente presentes e interagem. No design de prevenção de incêndio, interromper qualquer um desses elementos pode efetivamente impedir a combustão ou extinguir um incêndio.

Durante a fuga térmica das baterias LFP, gases combustíveis são liberados. Esses gases normalmente incluem vários compostos orgânicos, como C₂H₄ e CH₄, produzidos por meio da decomposição dos eletrólitos devido ao calor. No entanto, as baterias LFP quase não produzem O₂ durante a fuga térmica, o que significa que o ar externo se torna a principal fonte de O₂.

Quando o ar externo entra através de lacunas ou posições danificadas em um conjunto de baterias, os gases combustíveis são misturados com O₂. Em um ambiente de alta temperatura ou na presença de faíscas de falhas no sistema elétrico, essa mistura pode incendiar-se, fazendo com que o conjunto de baterias pegue fogo quase que instantaneamente.

Defeitos de design do conjunto convencional:

As soluções convencionais geralmente usam invólucros de plástico com pontos de fusão abaixo de 400 °C. Sob condições de alta temperatura, o invólucro é propenso a derreter, levando à falha do selo. Quando a vedação falha, os gases combustíveis podem se misturar rapidamente com o ar externo. Nesse ponto, os pontos quentes de alta temperatura, como faíscas elétricas causadas por curtos-circuitos da bateria, componentes superaquecidos ou até mesmo microatrito entre partes adjacentes, podem facilmente inflamar a mistura gás-ar.



Figura 19 Derretimento do conjunto devido à fuga térmica

03 Fuga térmica em gabinetes: gases não esgotados dos gabinetes e riscos aumentados de combustão e explosão

Quando a fuga térmica ocorre em um sistema de armazenamento de energia, ela gera uma quantidade significativa de gases explosivos e combustíveis. Se esses gases não puderem ser ventilados rapidamente, eles poderão se acumular dentro do gabinete, chegando ao limite de explosão. Qualquer fonte de ignição ou gatilho de energia pode facilmente causar uma explosão. Além disso, devido à disposição densa das baterias, um incêndio ou explosão em uma área pode desencadear uma reação em cadeia.

Defeitos no design de soluções convencionais:

Cenário desprotegido: quando ocorre uma fuga térmica nas células da bateria dentro de um conjunto de baterias, ela produz continuamente gases combustíveis. Se expostos a altas temperaturas e O₂, os gases combustíveis se inflamarão.

Válvula de alívio de pressão do conjunto de baterias: os gases combustíveis são ventilados no gabinete, e os gases acumulados podem atingir rapidamente os limites de explosão.

Ventilação no nível do gabinete: se os gases combustíveis não forem rapidamente esgotados do gabinete, a fuga térmica poderá se espalhar ainda mais.

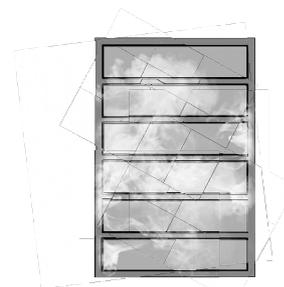


Figura 20 Ventilação rápida de gás indisponível em soluções convencionais

04 Altos riscos de lesões pessoais causadas por explosão e desintegração do sistema de armazenamento de energia

Se um sistema de armazenamento de energia sofrer uma explosão e desintegração estrutural, a força destrutiva representará uma ameaça significativa à segurança, potencialmente causando graves ferimentos aos indivíduos próximos.

Durante a operação do sistema de armazenamento de energia, se as baterias internas sofrerem fuga térmica, um grande volume de gases de alta temperatura rapidamente se acumulará dentro do gabinete. Por um lado, os gases combustíveis se misturam com o ar para formar uma mistura explosiva. Ao atingir os limites de explosão e encontrar uma fonte de ignição, como faíscas elétricas de curtos-circuitos da bateria ou faíscas de vazamento de corrente devido ao envelhecimento da fiação, a mistura pode se inflamar instantaneamente, causando uma explosão violenta. Além disso, nuvens de vapor de eletrólitos liberadas durante a fuga térmica podem comprometer o isolamento elétrico dentro do gabinete. Além disso, a estrutura do gabinete, submetida a choques de pressão internos prolongados, experimenta uma redução gradual na resistência. Quando ocorre uma explosão, o gabinete pode não suportar a imensa força, levando à fragmentação.

Os estilhaços de alta velocidade do gabinete podem se espalhar amplamente, com força suficiente para penetrar no corpo humano e causar ferimentos graves. Além disso, a onda de choque da explosão, carregando imensa energia, pode derrubar as pessoas.

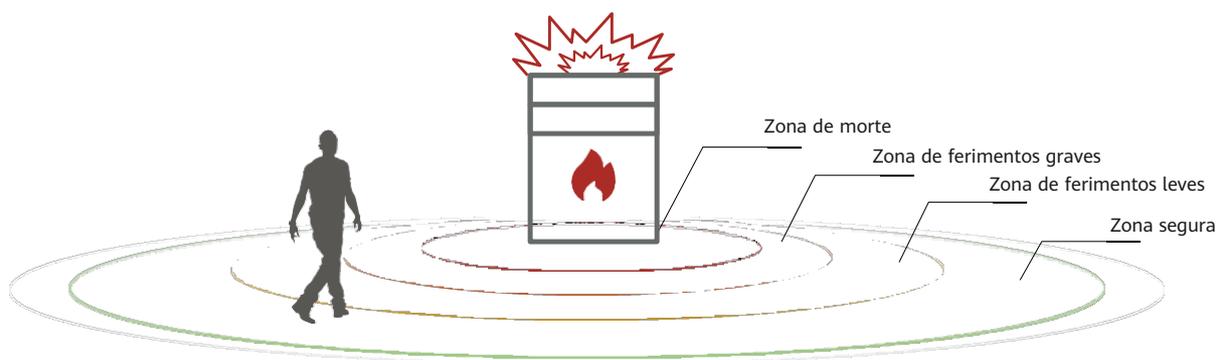


Figura 21 Zonas de explosão de um sistema de armazenamento de energia

Defeitos de soluções de sistema de armazenamento de energia convencionais:

1 Em soluções convencionais, o PCS e os ares condicionados de resfriamento líquido são implantados na parte superior do gabinete. Esse layout não deixa caminhos efetivos de ventilação ou alívio de pressão quando o gabinete enfrenta um rápido aumento na pressão interna, como durante um evento de fuga térmica que desencadeia um risco de explosão. Como não há caminho para a saída de gases, a pressão continua a aumentar dentro do gabinete, aumentando significativamente a probabilidade de explosão e desintegração do gabinete.

2 Algumas soluções fornecem aberturas de alívio de pressão montadas na parte superior com área de alívio de explosão limitada. Quando a pressão dentro do gabinete aumenta acentuadamente devido a várias falhas, a área limitada de alívio de explosão não pode exaustar gases de alta pressão em tempo hábil. Como resultado, a pressão interna se acumula continuamente, tornando quase impossível evitar a explosão do gabinete.

Arquitetura de segurança de ligação dupla C2C

03

3.1 Arquitetura de segurança de ligação dupla C2C: nascimento seguro, vida segura

As duas principais ligações para fuga térmica em sistemas de armazenamento de energia C&I são a ligação elétrica e a ligação térmica.

Do ponto de vista da ligação elétrica, qualquer curto-circuito que ocorra em uma célula, conjunto de baterias, circuito de barramento interno ou circuito externo no lado do consumo pode se espalhar, causando danos irreversíveis ao dispositivo. Além disso, o impacto da corrente de curto-circuito pode causar diretamente um curto-circuito na célula, resultando em uma fuga térmica catastrófica e até mesmo choques elétricos para o pessoal no local.

Do ponto de vista da ligação térmica, o espalhamento da fuga térmica é o principal processo de exacerbação dos riscos do sistema de armazenamento de energia. A fuga térmica geralmente começa no nível da célula, que gradualmente se espalha para uma área mais ampla, potencialmente causando incêndios, combustão ou explosões em conjuntos de baterias dentro dos gabinetes do sistema de armazenamento de energia e até se espalhando entre os gabinetes. Isso pode afetar gravemente os ativos e a equipe em volta.

Portanto, é particularmente importante garantir a segurança dessas duas ligações. A Huawei Digital Power propõe de forma inovadora a arquitetura de segurança de ligação dupla C2C (C2C: da célula ao consumo). A arquitetura integra o design de proteção em cada estágio ao longo da ligação elétrica e da ligação térmica, reconstruindo o DNA da segurança elétrica e da segurança térmica. Ela garante proteção abrangente, desde o nível da célula da bateria até os níveis de conjunto e sistema de armazenamento de energia e, finalmente, estendendo-se ao nível de consumo, criando um escudo de segurança holístico em todo o sistema de armazenamento de energia.

Segurança de ligação térmica

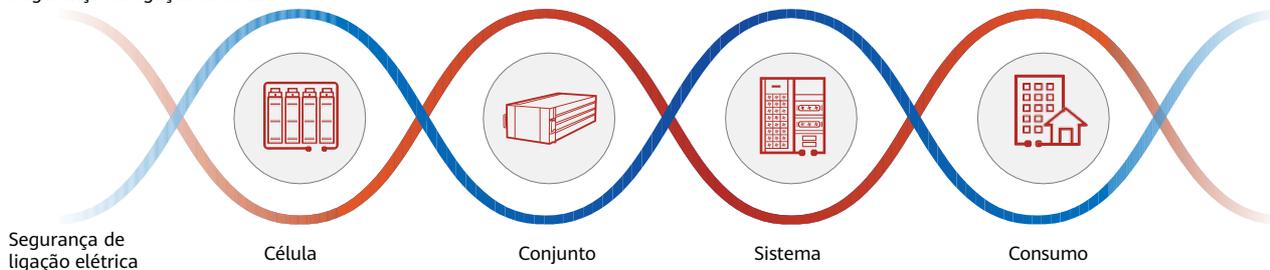


Figura 22 Arquitetura de segurança de ligação dupla C2C

3.2 Ligação elétrica: prevenção e isolamento de curto-circuito

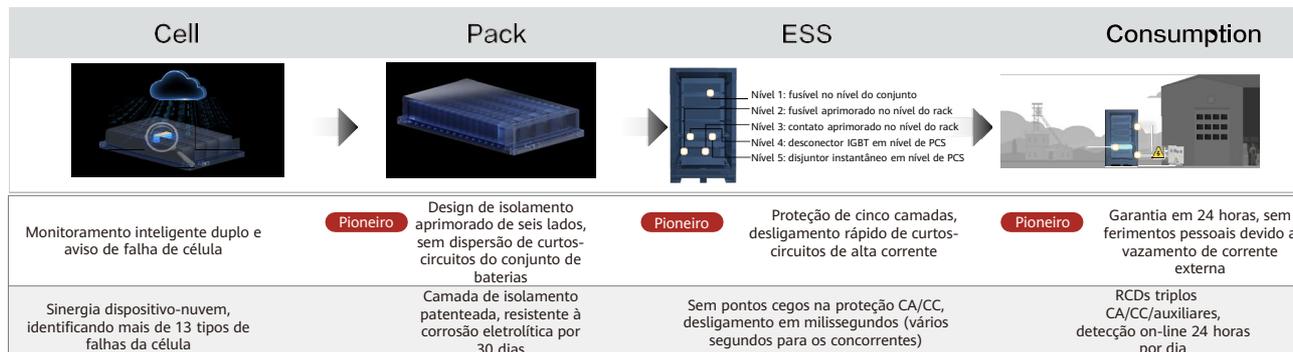


Figura 23 Segurança de ligação dupla C2C: arquitetura de segurança de ligação elétrica

Em termos de segurança elétrica, a Huawei Digital Power usa tecnologias de ponta e conceitos inovadores para reduzir a possibilidade de riscos de curto-circuito por meio de designs de prevenção e isolamento em vários níveis. Esse mecanismo rigoroso e interligado de prevenção e isolamento em vários níveis garante a segurança elétrica geral.

01 Nível de célula: detecção inteligente dupla

Os chips de gerenciamento de células e os algoritmos de alarme afetam a precisão do monitoramento do status da célula e da identificação de risco de segurança.

Para garantir a segurança e a estabilidade da célula, a Huawei Digital Power usa o modo de sinergia dispositivo-nuvem. Chips de gerenciamento de bateria de nível automotivo são usados para monitorar os principais parâmetros da célula em tempo real e com precisão. Além disso, o sistema de análise e aprendizado de big data de células coleta dados massivos de execução de células, analisa as causas de falhas típicas e detecta e alerta sobre mais de 13 tipos de falhas de células, como resistência interna anormal, amostragem de temperatura anormal, carga e descarga excessiva.

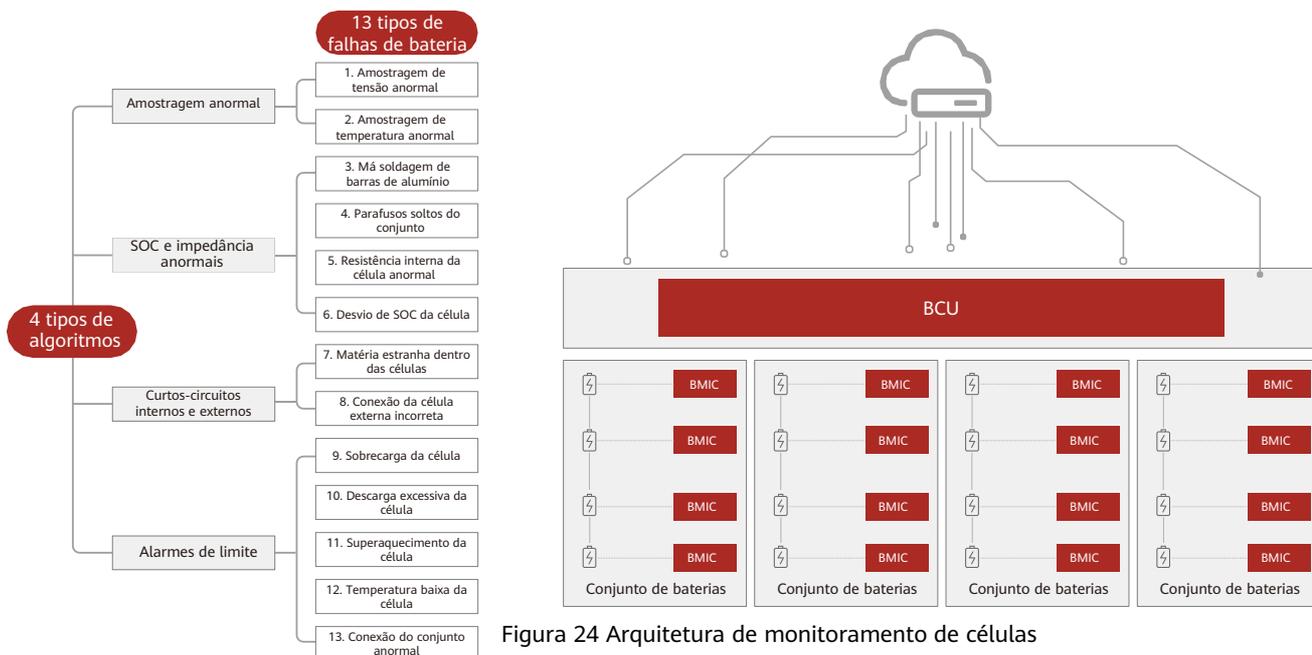


Figura 24 Arquitetura de monitoramento de células

02 Nível de conjunto: isolamento forte de seis lados

Um design de isolamento abrangente e confiável é fundamental para a segurança elétrica. O isolamento deve ser assegurado entre as células, entre os conjuntos, entre a célula e a tampa superior e entre a célula e a placa inferior, para garantir o funcionamento seguro e estável do sistema de armazenamento de energia.

• Isolamento em seis lados das células e conjuntos de baterias

Os materiais de isolamento resistentes a altas temperaturas estão entre as células, entre uma célula e uma tampa superior, entre uma célula e uma placa inferior e entre os conjuntos. Isso evita curtos-circuitos devido à conexão incorreta entre células adjacentes e arcos, quebras e faíscas entre as células e os invólucros de conjuntos de baterias.



Figura 25 Isolamento de seis lados para o conjunto de baterias

• Tinta de isolamento aprimorada: resistente à corrosão eletrolítica

Além disso, para resolver o problema da baixa resistência à corrosão dos materiais de isolamento tradicionais, a Huawei Digital Power desenvolveu uma tinta de isolamento patenteada com super-resistência à corrosão. A tinta de isolamento pode suportar a corrosão eletrolítica por mais de 30 dias, e nenhuma mudança é observada após ser imersa por mais de 1.000 horas em testes reais.

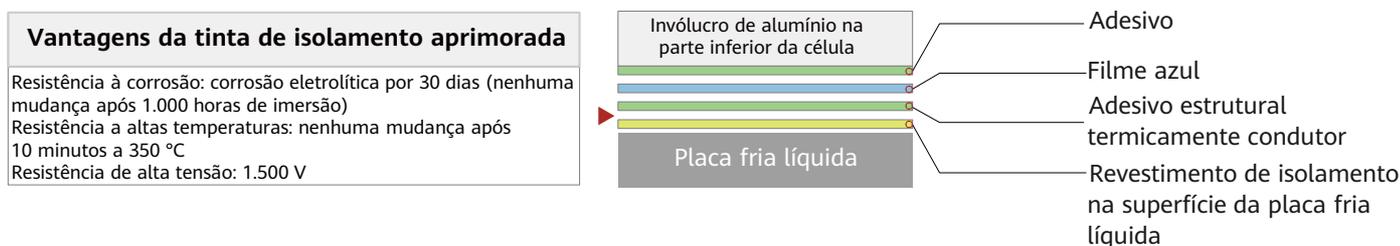


Figura 26 Camada de tinta isolante reforçada

• Invólucro de metal: nenhuma falha de vedação em altas temperaturas

Para resolver o problema de que o invólucro de plástico convencional é propenso a falhas de isolamento devido ao derretimento de alta temperatura, a Huawei Digital Power usa um invólucro de liga de metal. Se ocorrer a fuga térmica da célula ou alta temperatura, a integridade e o isolamento do invólucro serão garantidos.

03 Nível de sistema: proteção total de cinco níveis

A chave para evitar a disseminação de falhas de curto-circuito em sistemas de armazenamento de energia é implementar desligamento rápido e completo para curtos-circuitos, especialmente o curto-circuito de pares de células de alta corrente.

• Proteção total de cinco níveis: eliminando pontos cegos de CA e CC

A solução convencional oferece apenas três a quatro níveis de proteção, e há pontos cegos de proteção. Medidas de proteção completa de cinco níveis são usadas para evitar curtos-circuitos em cada fase do sistema e implementar o desligamento rápido dentro de 5 ms.

Portanto, a Huawei Digital Power aprimora o design de contatos e fusíveis no nível do rack para expandir a faixa de proteção para cobrir o ponto cego de proteção de 1,2 kA a 1,6 kA. O único disjuntor instantâneo é usado. A proteção de cinco níveis consiste no fusível do conjunto de baterias, no contato aprimorado no nível do rack, no fusível aprimorado no nível do rack, nenhuma onda transmitida pelo IGBT do PCS e no disjuntor instantâneo do PCS. Isso evita falhas elétricas, como curtos-circuitos de célula para o aterramento, curtos-circuitos dos barramentos positivo e negativo entre as portas frontal e traseira do rack da bateria, curtos-circuitos dentro do PCS e curtos-circuitos entre as fases no lado CA, alcançando proteção total do lado CC para o lado CA.

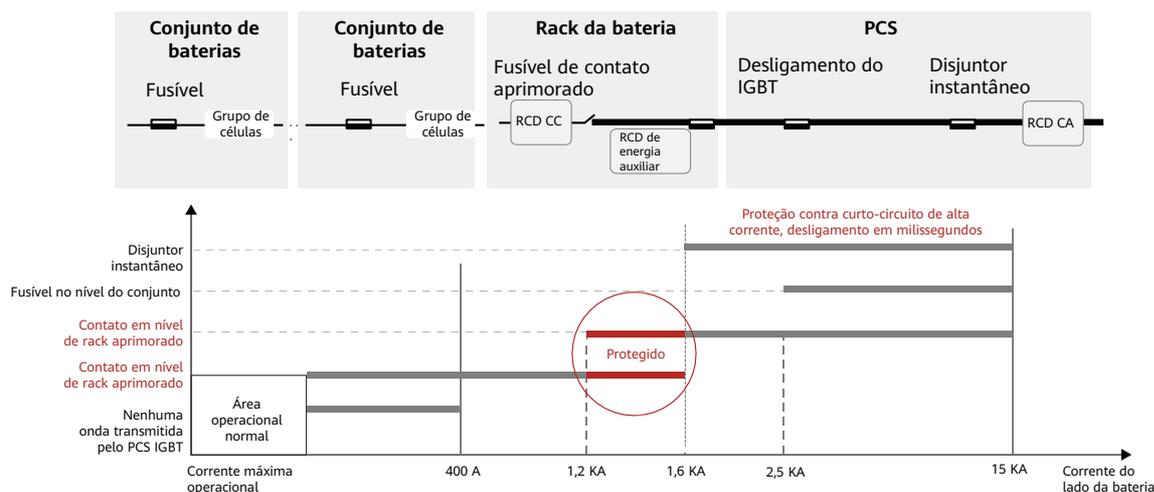


Figura 27 Proteção de cinco níveis do sistema

• Desligamento rápido para curtos-circuitos de célula para o aterramento de alta corrente em milissegundos

Fusíveis e contatos convencionais são usados principalmente para isolar curtos-circuitos entre eletrodos positivos e negativos. No entanto, para um curto-circuito para o aterramento de alta corrente, é necessário um tempo de resposta relativamente longo, que geralmente é em segundos. O único disjuntor instantâneo é usado para implementar o desligamento rápido em nível de milissegundos. Ele pode efetivamente proteger o PCS de curtos-circuitos internos e curtos-circuitos entre as fases no lado CA do PCS para o aterramento. Além disso, para um curto-circuito da célula para o aterramento de alta corrente com maior probabilidade de pegar fogo, o desligamento rápido pode ser realizado em até 5 ms. Isso resolve o problema de que o curto-circuito da célula para o aterramento de alta corrente não pode ser protegido na indústria.

<p>> 1s</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Tempo de desligamento</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Soluções convencionais</div>	VS	<p>≤ 5ms</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Tempo de desligamento</div> <div style="background-color: #c00000; color: white; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Solução da Huawei</div>	 <p>Proteção patenteada</p>
---	----	--	--

04 Nível de consumo: proteção 24 horas, impedindo que o vazamento elétrico machuque as pessoas

Em termos de consumo, os sistemas de armazenamento de energia convencionais do setor geralmente monitoram apenas a corrente de fuga no lado CC e ignoram a corrente de fuga no lado CA e no lado da energia auxiliar. O exclusivo RCD da Huawei Digital Power oferece proteção abrangente para fontes de alimentação CA, CC e auxiliares, evitando efetivamente o vazamento elétrico de circuitos externos durante a operação. Quando ocorrer vazamento de corrente no circuito CC interno do sistema de armazenamento de energia, no circuito CA entre o sistema de armazenamento de energia e o gabinete de distribuição de energia externo ou no circuito CA entre o sistema de armazenamento de energia e o circuito da fonte de alimentação auxiliar, a corrente residual no circuito pode ser rapidamente detectada e o circuito é automaticamente desconectado em um tempo muito curto. Isso evita choques elétricos e garante a segurança pessoal.

Além disso, os RCDs triplos podem proteger os dispositivos em tempo hábil. Quando ocorre vazamento de corrente, a fonte de alimentação é desconectada rapidamente para evitar mais danos aos dispositivos, evitar acidentes de segurança, como incêndios elétricos causados por vazamento de corrente, prolongar a vida útil dos dispositivos e proteger o dispositivo elétrico e a segurança da propriedade.

Além disso, quando o desempenho de isolamento da linha se deteriora e ocorre um leve vazamento de corrente, os RCDs podem monitorar o status de isolamento da linha e gerar um alarme em tempo hábil. Isso reduz o alcance e a duração da interrupção de energia causada por falhas, como vazamento de corrente, e melhora a confiabilidade da fonte de alimentação.

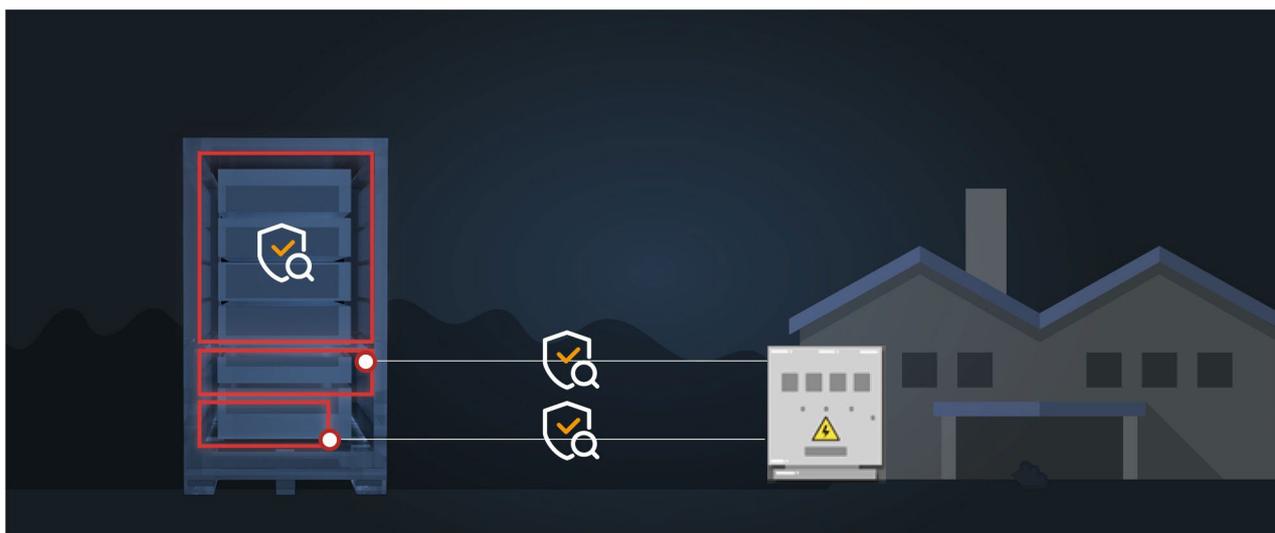


Figura 28 Proteção tripla de RCD

3.3 Segurança de ligação térmica: mitigação e supressão de fuga térmica

Medidas de mitigação e supressão de incêndio são tomadas das células para o consumo, minimizando o impacto da fuga térmica, que pode atingir quatro objetivos: sem difusão da fuga térmica da célula, sem incêndio nos conjuntos de baterias, sem explosão no sistema de armazenamento de energia, e nenhum ferimento pessoal no lado do consumo.



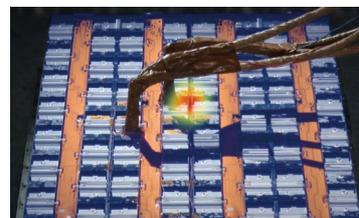
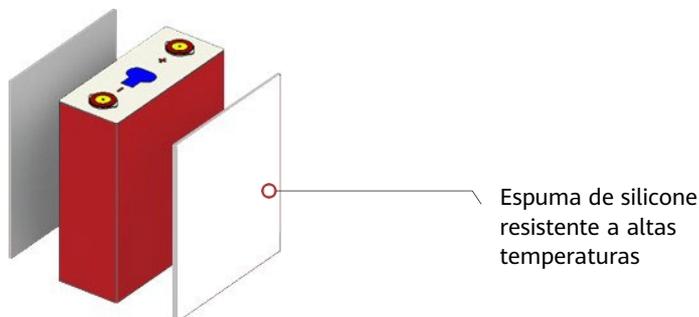
Figura 29 Segurança de ligação dupla C2C: arquitetura de segurança de ligação térmica

01 Nível de célula: isolamento e supressão de calor, impede a difusão de calor entre células

Em termos de supressão de fuga térmica em nível de célula, a Huawei Digital Power usa o design de isolamento térmico da célula e a tecnologia de resfriamento líquido rápido para controlar efetivamente a temperatura da célula e garantir que a fuga térmica de uma única célula não se propague.

• Design de isolamento térmico em nível de célula

O isolamento térmico da célula é uma medida técnica importante para suprimir a propagação da fuga térmica de células e garantir a segurança da sistema de armazenamento de energia. A Huawei Digital Power usa materiais avançados de isolamento resistentes a altas temperaturas com resistência à temperatura > 350 °C e condutividade térmica $\leq 0,1 \text{ W / (m}\cdot\text{K)}$. A espessura e os materiais da camada de isolamento são otimizados com base no sistema de armazenamento de energia para uma barreira física entre as células. A camada de isolamento bloqueia a propagação da fuga térmica com base em três modos básicos de transferência de calor: condução de calor, convecção de calor e radiação de calor. Isso impede que a fuga térmica da célula afete as células vizinhas e cause reações em cadeia de fugas térmicas.



Isolamento térmico entre células, impedindo a propagação de fuga térmica em um longo período

Figura 30 Isolamento térmico entre células

• **Resfriamento rápido da placa fria líquida**

No cenário C&I, as cargas variam muito. Durante o período de produção durante o dia, a demanda por eletricidade aumenta acentuadamente, e os sistemas de armazenamento de energia são continuamente carregados e descarregados em alta potência. Como resultado, a reação eletroquímica dentro das células se intensifica e o calor se acumula rapidamente.

A placa fria líquida na parte inferior das células adota o design de dissipação de calor de loop duplo para garantir o efeito de dissipação de calor para as células. Se a temperatura da célula for muito alta, o sistema de gerenciamento térmico líquido (LTMS) funcionará no modo de saída máxima para remover rapidamente o calor da célula, o que efetivamente diminui a velocidade e suprime a fuga térmica das células.



Figura 31 Resfriamento rápido da placa fria líquida

02 Nível de conjunto: bloqueio de oxigênio por pressão positiva, evitando incêndio no conjunto de baterias

O design de bloqueio de oxigênio por pressão positiva impede que gases externos entrem no conjunto de baterias devido a uma diferença de pressão, impedindo efetivamente a entrada de oxigênio no conjunto de baterias e reduzindo a possibilidade de incêndio no conjunto de baterias. Além disso, o conjunto de baterias é protegido com IP65, que é resistente a altas temperaturas e garante que a vedação não falhe em altas temperaturas. Dessa forma, o conjunto de baterias não pega fogo.

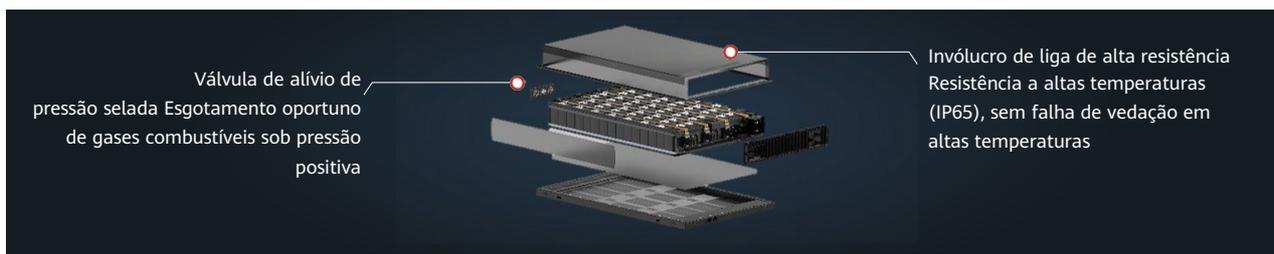


Figura 32 Design de bloqueio de oxigênio por pressão positiva para o conjunto de baterias

Uma válvula de alívio de pressão selada é montada na parte traseira do conjunto de baterias. Em condições normais de operação, a válvula de alívio de pressão é fechada para evitar que a umidade externa entre no conjunto de baterias, reduzindo o risco de curto-circuito. No caso de fuga térmica, gases combustíveis são gerados rapidamente no conjunto de baterias, resultando em aumento de pressão. A pressão positiva é mantida dentro do conjunto de baterias, impedindo que o oxigênio externo entre no conjunto de baterias, reduzindo o risco de incêndio. Quando a pressão excede um determinado limite, a válvula de alívio de pressão se abre automaticamente para descarregar os gases combustíveis a tempo, evitando danos estruturais causados pela alta pressão.

Além disso, o invólucro de metal é feito de um material de liga de alta resistência, que oferece excelente resistência a altas temperaturas e desempenho de alta resistência. Os resultados de testes rigorosos mostram que o invólucro do conjunto de baterias pode permanecer intacto em um ambiente de alta temperatura acima de 350 °C por um longo tempo. O invólucro pode lidar com o impacto de alta temperatura da fuga térmica e impacto de alta pressão dos gases produzidos pelas células sem danos estruturais, como deformação, costuras e rachaduras. Mesmo em altas temperaturas, o invólucro oferece proteção IP65 e alto desempenho de vedação, garantindo bloqueio de oxigênio por pressão positiva.



Estado normal: a válvula de alívio de pressão está fechada.
Fuga térmica: a válvula de alívio de pressão é aberta se a pressão for de 4 ± 1 kPa.



A tampa superior do invólucro de metal é feita de liga de alta resistência e é resistente a altas temperaturas. O material da tampa superior do invólucro pode resistir a uma temperatura de $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou maior por muito tempo. Além disso, o invólucro não costura ou racha sob o impacto direto dos gases liberados pelas células (ponto de fusão da liga de alumínio: $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $650\text{ }^{\circ}\text{C}$).

De acordo com o resultado real do teste, a pressão positiva ainda é mantida dentro do conjunto de baterias após a fuga térmica. Como resultado, o oxigênio não pode entrar no conjunto de baterias e o invólucro não racha.

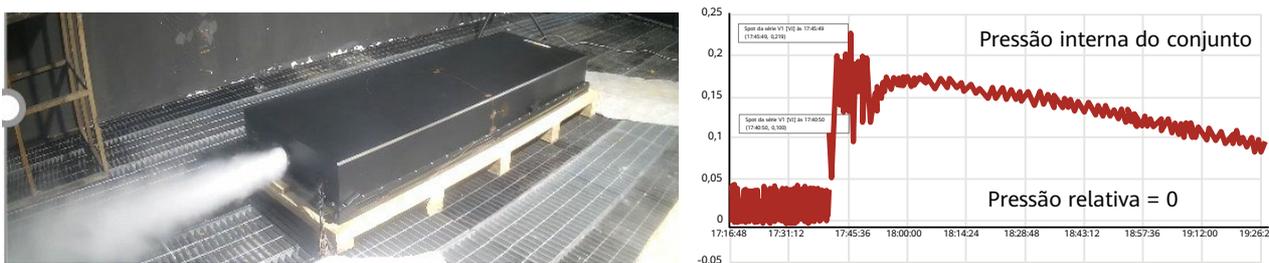


Figura 33 Mudança de pressão interna do conjunto de baterias durante um teste de fuga térmica

03 Nível de sistema: escape direcional de gás, evita a explosão dentro do gabinete

Em soluções convencionais, se ocorrer fuga térmica em um conjunto de baterias, os gases combustíveis serão descarregados diretamente dentro do gabinete. Depois que os gases se acumulam, podem ocorrer incêndios e explosões. A exclusiva tecnologia de exaustão direcional é usada para conectar a válvula de alívio de pressão na parte traseira do conjunto de baterias ao duto na parte traseira para formar um duto direcional em forma de L. Se ocorrer fuga térmica no conjunto de baterias, os gases combustíveis (como H_2 e CO) serão esgotados da válvula de alívio de pressão e, em seguida, para o exterior do gabinete através do duto. Nenhum gás transborda para o gabinete, garantindo que a concentração de gases combustíveis no gabinete esteja muito abaixo do limite de explosão.

O duto direcional deve atender aos requisitos de segurança de resistência a altas temperaturas, alto desempenho de vedação e alta confiabilidade. A área da seção transversal do duto direcional é projetada com base no volume de gases produzidos durante a fuga térmica do conjunto de baterias, garantindo a exaustão oportuna de gases combustíveis. Além disso, um alto nível de classificação IP é mantido dentro do duto. A vedação de partes mecânicas do duto pode suportar uma temperatura de pelo menos $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ e corrosão por fumaça a alta temperatura, garantindo uma vedação confiável do duto.

Duto direcional em forma de L: prevenindo explosão

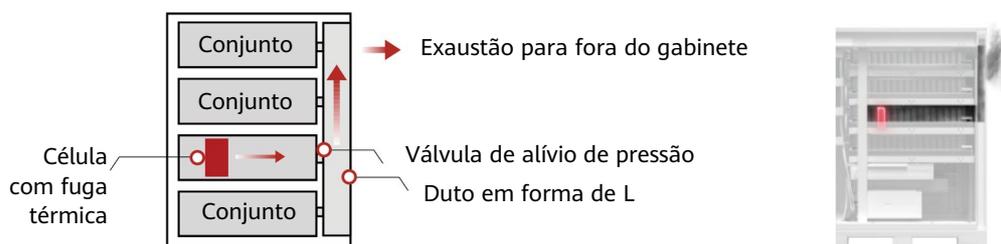


Figura 34 Design de duto direcional

No teste real, os sensores de detecção de concentração de gás são instalados em diferentes posições no gabinete. Quando ocorre uma fuga térmica no conjunto de baterias, os gases combustíveis são descarregados através do duto direcional. O resultado do teste mostra que a concentração de gases combustíveis no gabinete é inferior ao limite de explosão.

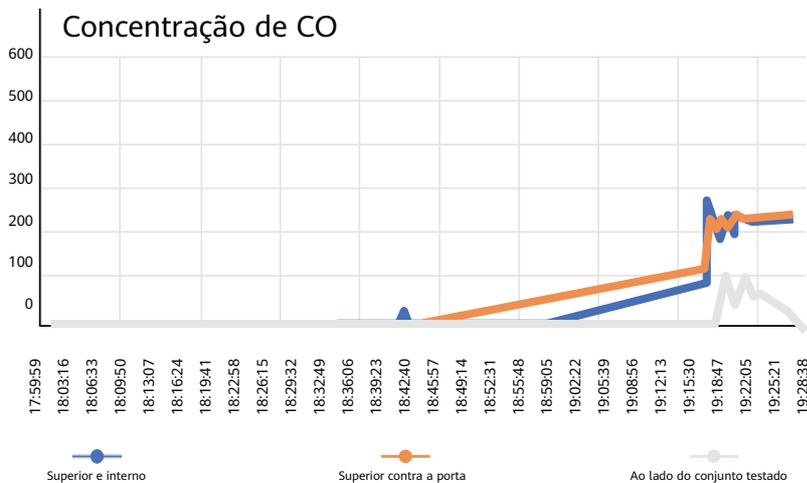
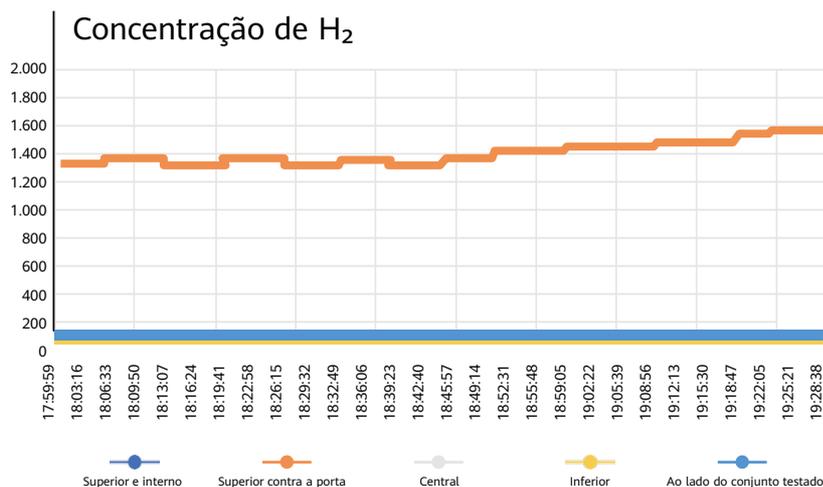


Figura 35 Detecção de concentração de gás dentro do gabinete

04 Nível de consumo: ventilação de explosão superior que previne lesões pessoais

Os gabinetes de sistema de armazenamento de energia convencionais não fornecem um design dedicado de alívio de explosão ou adotam um alívio de explosão montado na parte frontal/traseira, o que pode causar incêndio e explosão no gabinete ou até mesmo desintegrar o gabinete. Gases de alta temperatura, detritos e detritos de chips queimados podem ser ejetados em todas as direções, apresentando uma ameaça à segurança das pessoas próximas.

O sistema de armazenamento de energia da Huawei Digital Power adota o design de alívio de explosão montado na parte superior. Uma vez que a fuga térmica ocorre dentro do sistema de armazenamento de energia, o ar quente pode ser descarregado verticalmente em um tempo muito curto. A simulação profissional de alívio de explosão é usada para determinar a área de alívio de explosão e a pressão adequadas para garantir o efeito de alívio de explosão. A tampa superior e o painel de alívio de explosão são integrados para garantir a hermeticidade durante a operação normal do sistema de armazenamento de energia. Além disso, há dobradiças ao redor do painel de alívio de explosão. Durante o processo de alívio de explosão, as dobradiças controlam efetivamente a faixa de movimento da tampa de alívio de explosão, evitando que a tampa caia do gabinete sob grande impacto. Isso evita ferimentos pessoais.



Figura 36 Design de ventilação de explosão superior

3.4 Construindo um sistema de qualidade centrado na segurança

Com a iteração contínua das tecnologias de armazenamento de energia, o setor de armazenamento de energia se desenvolverá em direção a baixos custos, alta densidade de armazenamento de energia, alta estabilidade de ciclo e armazenamento em longo prazo. Como um importante pilar do desenvolvimento da indústria de armazenamento de energia, a segurança do armazenamento de energia ainda é um sério desafio para a indústria e pode se tornar a maior competitividade para as empresas do setor no futuro. Uma vez que um grande problema de segurança ocorre, seu impacto negativo pode durar vários anos e até influenciar a trajetória de toda a indústria.

Alta potência	Alta intensidade energética	Segurança pessoal	Procedimento de operação rigoroso
Alta tensão, alta corrente e alta potência	sistemas de armazenamento de energia com alta intensidade energética	Segurança pessoal envolvida	Regulamentos rigorosos de operação elétrica
<ul style="list-style-type: none"> ·Arqueamento e carbonização devido ao mau contato ·Explosão devido a falhas no capacitor e no módulo de alimentação ·Integração de energias renováveis que exige sinergia com a rede elétrica 	<ul style="list-style-type: none"> ·Energia incorporada ·Altos requisitos de carregamento e descarregamento ·Fácil de pegar fogo, explodir e grande esforço necessário para extinção em caso de falhas 	<ul style="list-style-type: none"> ·Aumento na potência e na energia ·Distância curta ·Acidentes que colocam em risco a segurança pessoal 	<ul style="list-style-type: none"> ·Altos requisitos em procedimentos de operação ·Altos requisitos de qualificações para a equipe ·Altos requisitos de proteção de operação

Figura 37 Segurança elétrica: o núcleo da indústria de armazenamento de energia

Com base nas experiências e lições passadas do setor, a Huawei estabeleceu um sistema abrangente de segurança elétrica E2E. Esse sistema abrange todas as etapas críticas, incluindo design de produto, fabricação, cadeia de suprimentos, avaliação de segurança, armazenamento e logística, O&M e resposta a emergências. Dessa forma, a Huawei garante a segurança abrangente de seus produtos e soluções.

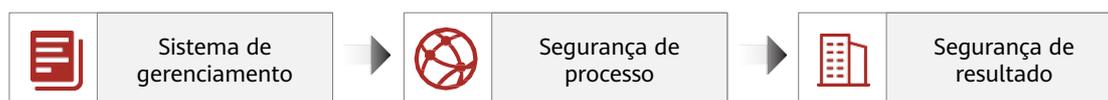


Figura 38 Processo de gerenciamento E2E do sistema aprimorado de segurança elétrica

Tradicionalmente, a segurança elétrica tem sido tratada pelos fabricantes do setor como uma métrica básica de qualidade, geralmente medida usando taxas de falha. No entanto, o ritmo atual de desenvolvimento da indústria exige uma mudança de conceito. A Huawei se concentrou no fortalecimento da qualidade fundamental em todos os aspectos da segurança elétrica, estabelecendo um sistema robusto de gerenciamento de segurança de armazenamento de energia e posicionando a segurança como uma importante vantagem competitiva. Implementando um gerenciamento explícito e políticas claras de linha vermelha, a Huawei apresenta padrões de segurança, procedimentos operacionais, riscos potenciais e perigos de forma transparente. Essa abordagem garante que os profissionais envolvidos em todas as etapas, design, produção, processamento, fabricação e vendas, possam aderir e monitorar essas diretrizes com facilidade.

Forte controle de risco e tolerância zero para problemas de segurança				
Conformidade com leis e regulamentos	Eliminando riscos que colocam em perigo a segurança pessoal	Eliminando acidentes acidentados maliciosos de qualidade	Eliminando a retificação da rede em lote	Eliminando riscos à segurança cibernética e à privacidade

Figura 39 O princípio do sistema de segurança elétrica aprimorado

Além disso, a Huawei integra elementos de segurança na estrutura organizacional E2E, processos de negócios, desenvolvimento de capacidade da equipe, mecanismos operacionais e cadeia de ferramentas de operação de segurança. Fazendo isso, estabeleceu um sistema abrangente e rigoroso de segurança elétrica e gerenciamento de qualidade. Esse sistema garante a qualidade elétrica e a segurança dos sistemas de armazenamento de energia, impulsionando o progresso estável e sustentável do setor.

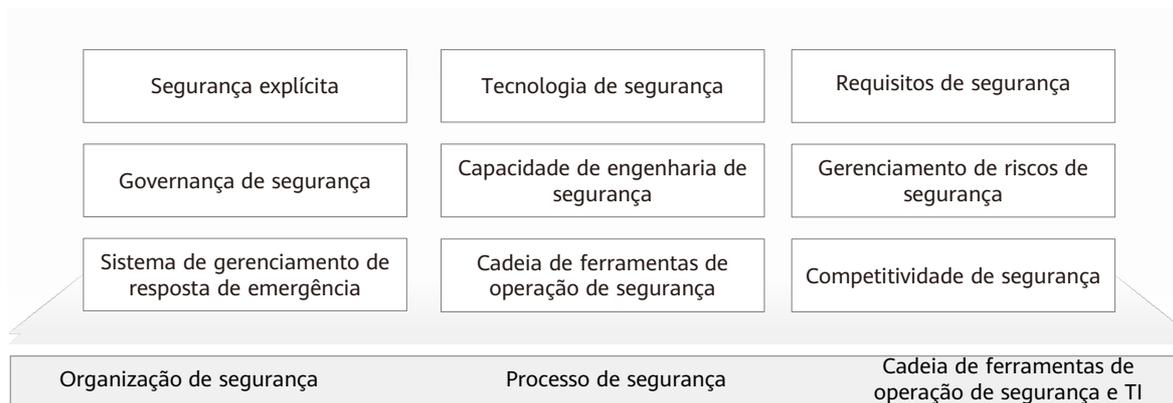


Figura 40 Arquitetura aprimorada do sistema de segurança elétrica

Aderindo a um princípio de qualidade em primeiro lugar, a Huawei usa uma arquitetura padronizada, modular e baseada em plataforma para obter padronização e capacidade de intercambiamento de hardware e componentes. Ela emprega um rigoroso sistema de controle de qualidade E2E para garantir a confiabilidade do produto. Além disso, a Huawei estabeleceu um laboratório de defesa contra ataques de segurança de terceiros para realizar testes independentes de aceitação de segurança para garantir a implementação confiável do design de segurança. O design e a verificação em vários níveis garantem alta qualidade, segurança e confiabilidade dos produtos de armazenamento de energia.



Figura 41 Design e verificação do sistema de segurança elétrica aprimorado

Classificação de segurança: a chave para o desenvolvimento sustentável da indústria

04

4.1 Padrões de segurança existentes no setor



Atualmente, os padrões de segurança para sistemas de armazenamento de energia C&I variam entre os países. Na China, os padrões GB são predominantemente usados, enquanto a Europa adere aos padrões EN, as Américas à UL e também há padrões IEC reconhecidos internacionalmente. Além disso, os componentes dentro dos sistemas de armazenamento de energia, como células, conjuntos de baterias e PCSs, podem ser regidos por vários padrões de segurança. Embora existam muitos padrões de segurança na indústria, de acordo com os dados de acidentes de sistema de armazenamento de energia nos últimos anos, a saída dos níveis padrão não pode eliminar completamente os riscos de segurança. Além disso, a formulação de alguns padrões geralmente fica aquém da realidade, e o nível padrão geralmente é aumentado após a ocorrência de um acidente.

Tabela 3 Estatísticas de padrões globais do sistema de armazenamento de energia

Categoria	Padrão	Descrição
Célula e conjunto de baterias	·IEC 62619 (internacional) ·UL 1973 (padrão dos EUA) ·GB/T 36276 (padrão chinês)	Segurança mecânica, elétrica e ambiental de células e conjuntos. A segurança funcional está em conformidade com a IEC 60730-1, Anexo H.
Sistema de armazenamento de energia	·IEC 62477-1 (internacional) ·UL 9540 (padrão dos EUA) ·EN 62933-5-1 (padrão europeu) ·GB/T 36929 (padrão chinês)	Segurança elétrica, térmica, mecânica, estrutural e ambiental do sistema de armazenamento de energia

No cenário atual de C&I, os padrões anteriores são apenas especificações básicas. A conformidade estrita com esses padrões básicos pode reduzir os riscos até certo ponto, mas isso não significa que os sistemas de armazenamento de energia podem ser executados de forma segura e estável por um longo período em vários ambientes de aplicação. A prevenção proativa de riscos, a mitigação oportuna de perdas e o diagnóstico eficaz de falhas ainda não foram implementados.

4.2 Necessidade de classificação de segurança para sistemas de armazenamento de energia

Atualmente, o setor de sistema de armazenamento de energia carece de padrões unificados de classificação de segurança. As empresas não têm padrões claros para cumprir durante o design, a construção e a operação de sistemas de armazenamento de energia, levando a uma qualidade inconsistente em produtos e serviços de armazenamento de energia no mercado. Essa inconsistência dificulta o progresso das tecnologias da indústria e o desenvolvimento saudável do mercado, além de enfraquecer a competitividade da indústria e o potencial de desenvolvimento sustentável no setor de energia.

Além disso, as autoridades reguladoras lutam para fornecer supervisão direcionada para projetos de armazenamento de energia de diferentes níveis de risco. A regulamentação inadequada de projetos de alto risco pode levar a acidentes de segurança, enquanto a regulamentação excessiva de projetos de baixo risco aumenta os custos de conformidade para as empresas.

Padrões de segurança de sistema de armazenamento de energia refinados e padrões classificados para diferentes cenários de aplicação não apenas implementam proteção precisa, mas também ajudam a estabelecer um mecanismo de resposta a emergências, chegando ao resgate

Tabela 4 Importância da classificação de segurança do sistema de armazenamento de energia

Proteção precisa	Resposta de emergência
<p>Por meio da classificação de segurança, medidas de proteção precisas podem ser adaptadas para diferentes níveis de sistema. Por exemplo, em sistemas de armazenamento de energia de nível 1 de alto risco, controles mais rigorosos de acesso da equipe podem ser implementados, juntamente com equipamentos de proteção individual (EPI) mais avançados. Essas medidas visam minimizar a exposição dos indivíduos a ambientes perigosos.</p>	<p>Uma classificação de segurança clara desempenha um papel crucial no desenvolvimento de mecanismos de resposta a emergências correspondentes. Em caso de acidente, a equipe de resgate pode avaliar rapidamente o nível de perigo e o alcance potencial dos danos com base na classificação de segurança do sistema de armazenamento de energia. Isso permite o desenvolvimento de planos de resgate mais cientificamente sólidos e eficazes, aumentando a eficiência da resposta e garantindo a segurança da equipe de resgate e das pessoas próximas.</p>
Manutenção diferenciada	Avaliação de risco e seguro
<p>A classificação de segurança permite estratégias de manutenção mais direcionadas. Para sistemas de armazenamento de energia com níveis de segurança mais altos, em que as falhas podem resultar em perdas substanciais de propriedade, devem ser implementadas inspeções e manutenção de dispositivos mais frequentes e meticulosas. Essa abordagem proativa ajuda a identificar e resolver possíveis problemas em tempo hábil, reduzindo a probabilidade de falhas de dispositivos e protegendo ativos valiosos para as empresas.</p>	<p>As seguradoras podem aproveitar a classificação de segurança dos sistemas de armazenamento de energia para avaliar os riscos com mais precisão e definir taxas premium razoáveis. As empresas, por sua vez, podem selecionar planos de seguro que se alinham à classificação de segurança de seus sistemas de armazenamento de energia. Essa abordagem não só ajuda a reduzir os custos de seguro, mas também garante uma compensação financeira adequada em caso de acidente, minimizando as perdas de propriedade.</p>

4.3 Classes e padrões



A TÜV Rheinland desenvolveu um sistema de classificação de segurança para avaliar a segurança do sistema de armazenamento de energia. Com base nos padrões existentes, este sistema aborda os pontos problemáticos na segurança dos produtos atuais de sistema de armazenamento de energia C&I, bem como as preocupações dos usuários finais, refinando as definições de segurança e adaptando a classificação a vários cenários.

O padrão é dividido em três classes: segurança básica, segurança adicional e segurança superior.

▶ Segurança básica

- Atender aos regulamentos e padrões básicos para alcançar a entrada no mercado é a linha de base para os sistemas de armazenamento de energia.

▶ Segurança adicional

- Além disso, segurança adicional em áreas como proteção mecânica, elétrica, térmica e ambiental.

▶ Segurança superior

- Em cenários extremos, quando um sistema de armazenamento de energia é inflamado passivamente, a fuga térmica no nível do conjunto de baterias não deve se propagar ou resultar em ferimentos pessoais.

A segurança básica serve como a linha de base fundamental, enquanto a segurança adicional representa um passo à frente por meio de medidas de proteção aprimoradas para controlar desastres e minimizar perdas. No entanto, apenas a segurança superior pode estabelecer uma defesa abrangente e contínua, garantindo a operação estável em longo prazo do sistema de armazenamento de energia.

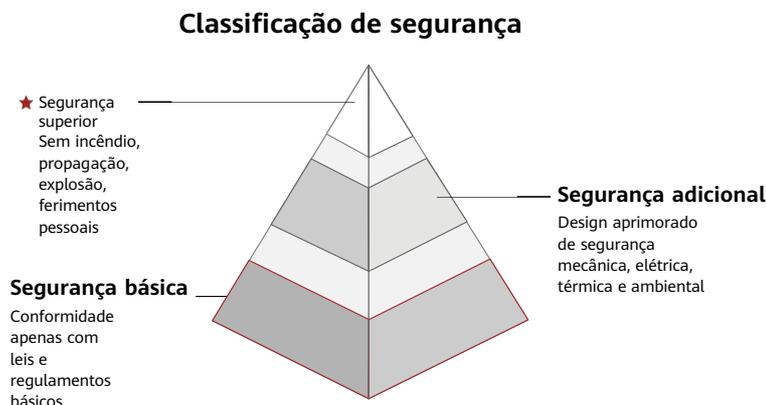


Tabela 5 Classes de segurança

Item	Requisitos de segurança básica	Requisitos de segurança adicional	Requisitos de segurança superior
Segurança elétrica	EN/IEC 62477 ou UL 9540 ou UL 1973	★ Função de monitoramento de isolamento do lado CC ou isolamento aprimorado entre as células e as portas de saída	☆ Teste de simulação de vazamento de eletrólitos
Segurança do transporte e da estrutura	UN 38.3	☆ Conjunto mergulhado em água, 50% de altura ☆ Invólucro do dispositivo que atende ao IP55 ☆ Módulos internos que atendem ao IP66/67 ☆ Design de armazenamento	☆ Teste de resistência ao fogo do invólucro de proteção (C&I: 1 hora)
EMC	IEC 61000-6-X		
Segurança funcional	IEC 60730-1 Anexo H ou ISO 13849 ou IEC 61508	☆ ISO 13849-1 PLC ou equivalente ☆ Redundância de detecção de corrente ☆ Taxa de detecção de temperatura 50%	☆ ISO 13849 PLD ou equivalente
Segurança em incêndios	UL 9540A NFPA 855 NFPA 68 ou 69	★ Usando dispositivos de supressão de incêndio ★ Após a fuga térmica, os eletrólitos não devem fluir para qualquer PCB ou condutor eletrificado. ★ Número de células sob difusão de fuga térmica: ≤ 2; Número de células sob fuga térmica: ≤ 5	☆ Número de células sob difusão de fuga térmica: ≤ 1; Número de células sob fuga térmica: ≤ 3 ☆ Difusão de fuga térmica + teste de ignição ☆ Teste de explosão
Segurança da bateria	IEC 62619, IEC 63056 ou UL 1973		☆ Todos os módulos sobrecarregando
Segurança das substâncias químicas	Regulamentação da bateria INew, RoHS+ REACH (quando aplicável)	☆ REACH SVHC 240	
Segurança da célula	IEEE 1625, usado para confirmar os requisitos básicos para verificar a estrutura interna de uma célula, incluindo a placa do eletrodo, o talão do eletrodo, o separador, o isolamento/isolamento interno, desempenho térmico e medidas de segurança	☆ Testes de esmagamento e penetração de unhas para células: sem incêndio	
Requisitos funcionais		★ Alarme visual e sonoro	

Notas:

- Os requisitos de segurança adicional são de pelo menos 5 itens de teste opcionais.
- Os requisitos de segurança superior são de pelo menos 3 itens de teste opcionais.

Testes rigorosos de segurança: o mais alto nível de segurança do setor

05

5.1 Testes de segurança abrangentes com requisitos mais rigorosos do que os padrões do setor

Para verificar a confiabilidade da segurança elétrica e térmica C2C dos sistemas de armazenamento de energia da Huawei, a Huawei Digital Power contratou a TÜV Rheinland para realizar uma série de testes de verificação rigorosos sobre segurança elétrica e térmica. Os produtos passaram nos testes. As figuras e os dados a seguir foram obtidos dos relatórios e certificados autoritários da TÜV Rheinland.





5.2 Testes extremos de fuga térmica: sem difusão, sem explosão e sem lesão

01 Testes de propagação térmica e ignição

Em termos de supressão de fuga térmica em nível de célula, a Huawei Digital Power usa o design de isolamento térmico da célula e a tecnologia de resfriamento líquido rápido para controlar efetivamente a temperatura da célula e

• Objetivo do teste

Verificar se os sistemas de armazenamento de energia C&I da Huawei podem efetivamente suprimir a propagação de fuga térmica após a ocorrência da fuga térmica e exaustão de gases combustíveis e tóxicos no gabinete em tempo hábil.

• Método de teste

1) Antes do teste, carregue o sistema de armazenamento de energia com uma corrente constante de 56 A até que a tensão atinja 216 V. Em seguida, carregue o sistema de armazenamento de energia com uma tensão constante até que a corrente atinja 5,6 A (corrente de fim de carga).

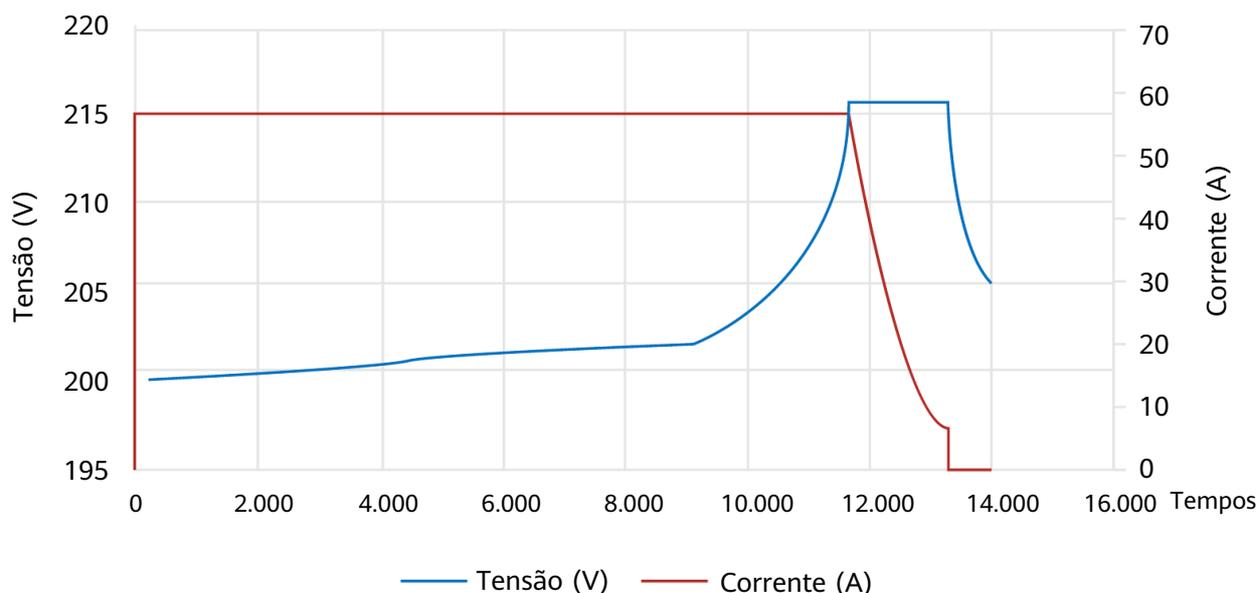


Figura 42 Processo de teste de sobrecarga do sistema de armazenamento de energia

- 2) A célula 23 é a célula de início. A célula 23 é aquecida pelo aquecedor a uma taxa de 4–7°C/minuto até que ocorra uma fuga térmica nela.
- 3) Depois que a fuga térmica ocorre na célula, o acionador de ignição instalado no gabinete é ativado.

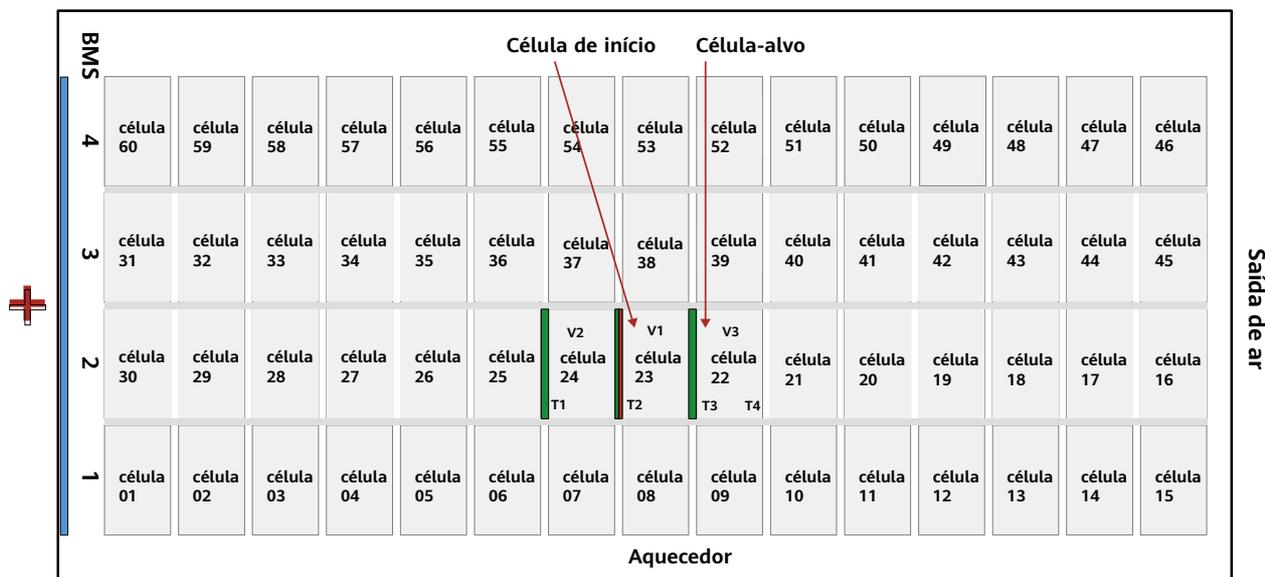


Figura 43 Posições do termopar e do aquecedor

• **Durante o teste:**

V1 é a tensão da célula 23, V2 é a tensão da célula 22 e V3 é a tensão da célula 24. Devido à fuga térmica, as tensões das células 23 e 22 diminuiram para 0 V em sequência durante o teste.

Durante o teste, as concentrações de H2 e CO no interior do gabinete foram sempre 0.

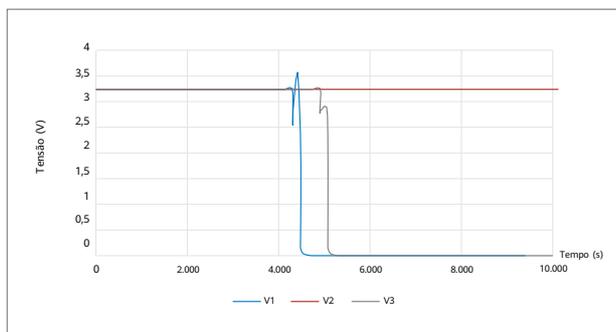


Figura 44 Mudanças de tensão das células

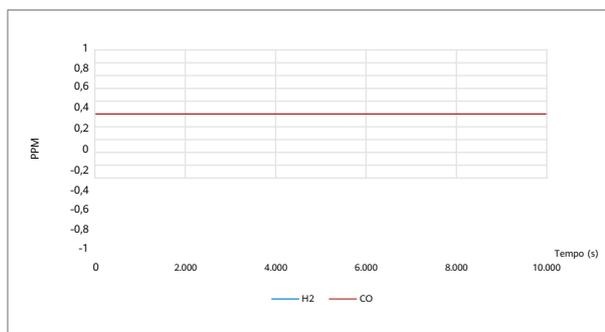


Figura 45 Mudanças nas concentrações de H2 e CO

Os sistemas de armazenamento de energia da Huawei passaram nos testes de propagação de fuga térmica e ignição e obtiveram o certificado de conformidade emitido pela TÜV Rheinland, que comprova totalmente as vantagens dos sistemas de armazenamento de energia C&I da Huawei na supressão da propagação de fuga térmica e no sistema de exaustão de gases internos.

Como a fuga térmica ocorreu nas duas células, a temperatura e a tensão do conjunto flutuaram acentuadamente. A temperatura aumentou de 0 °C para 500 °C em cerca de 5.000 segundos e depois diminuiu gradualmente. A tensão do conjunto diminuiu de 200 V para 193,5 V.

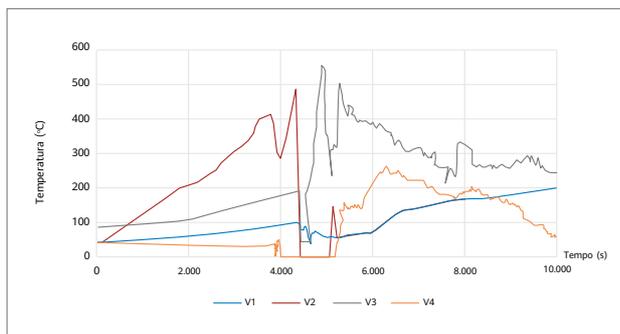


Figura 46 Mudanças de temperatura nas células 23, 22 e 24

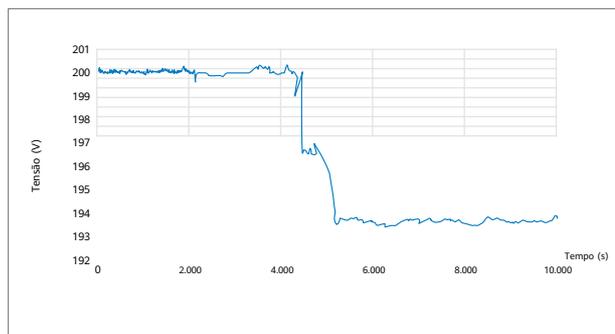


Figura 47 Mudanças de tensão do conjunto de início

Os resultados mostram que a fuga térmica ocorre na célula aquecida 23 e no alvo de propagação de fuga térmica (célula 22), e a propagação de fuga térmica adicional é efetivamente suprimida. Além disso, os gases combustíveis gerados pela propagação de fuga térmica da célula são esgotados através do duto, e a concentração de gases combustíveis no gabinete é insuficiente para a ignição. Após o teste, a aparência do gabinete está intacta e nenhum dano destrutivo ocorre.



Figura 48 Produto antes do teste



Figura 49 Produto depois do teste

Os sistemas de armazenamento de energia da Huawei passaram nos testes de propagação de fuga térmica e ignição e obtiveram o certificado de conformidade emitido pela TÜV Rheinland, que comprova totalmente as vantagens dos sistemas de armazenamento de energia C&I da Huawei na supressão da propagação de fuga térmica e no sistema de exaustão de gases internos.

02 Teste de alívio de explosão

- **Objetivo do teste**

Verificar se a pressão explosiva pode ser normalmente liberada através do painel de alívio de explosão e se não há nenhuma onda de choque perigosa ao redor do produto. O gabinete deve fornecer um duto direcional para evitar o acúmulo de gases combustíveis.

- **Método de teste**

O teste simula a fuga térmica da bateria no gabinete do sistema de armazenamento de energia. Um acionador de ignição é usado para acender gases combustíveis no gabinete. A equipe de teste verifica se o painel de alívio de pressão do gabinete pode ser aberto corretamente e se o ambiente está danificado.

- 1) Antes do teste, defina a posição onde um manequim está.

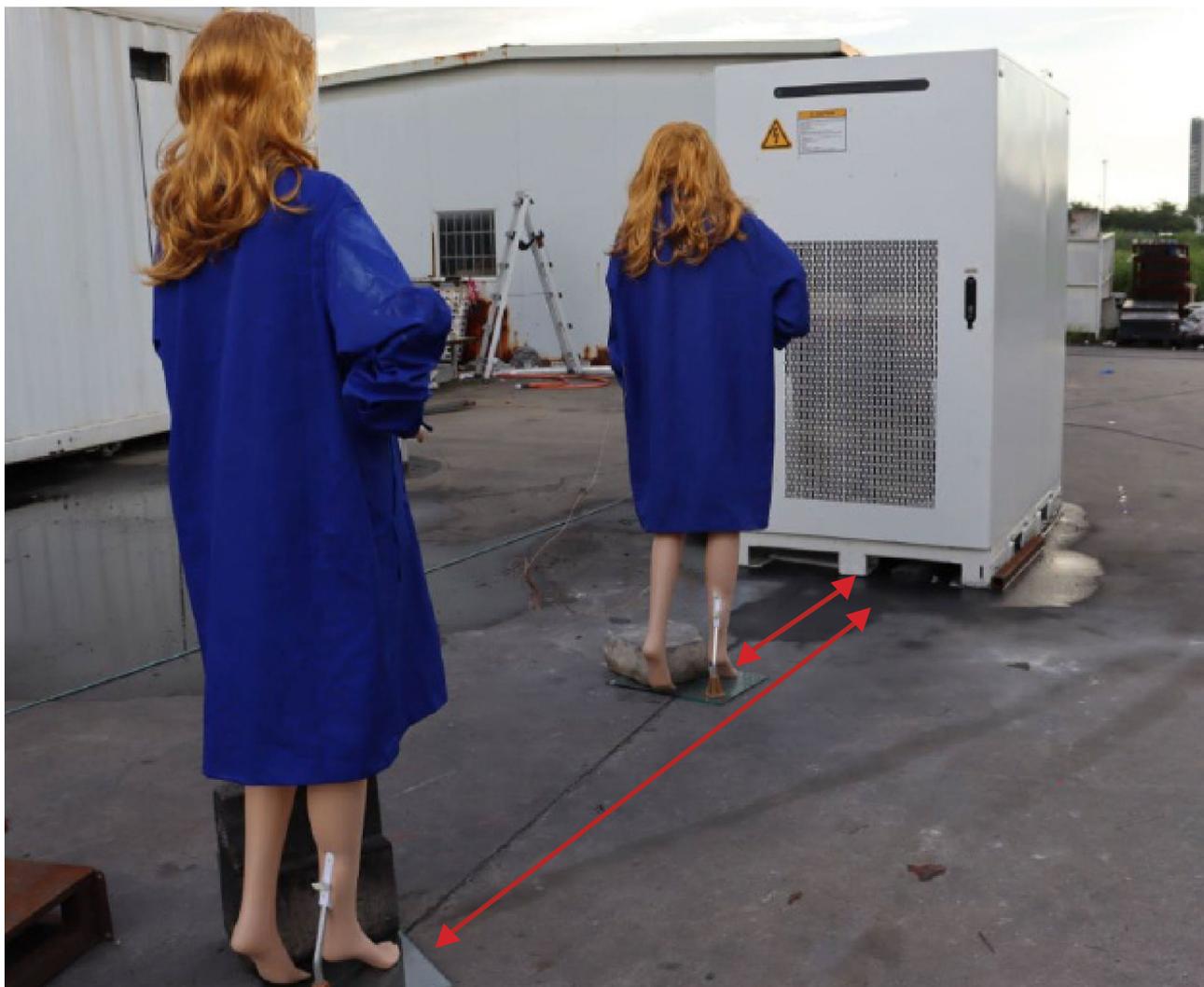


Figura 50 Posição do manequim antes do teste

2) Realize o teste de ignição.



Figura 51 Teste de alívio de explosão em andamento

Durante o teste, após a ocorrência de fuga térmica na célula, o sensor de gás no gabinete detecta que a concentração de gás aumenta rapidamente e atinge rapidamente o limite da faixa de medição do sensor de gás. Depois que o gás é inflamado, a concentração de gás no gabinete diminui.

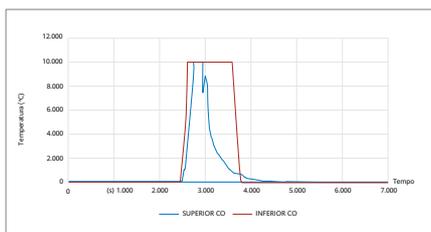


Figura 52 Mudanças na concentração de CO dentro do gabinete

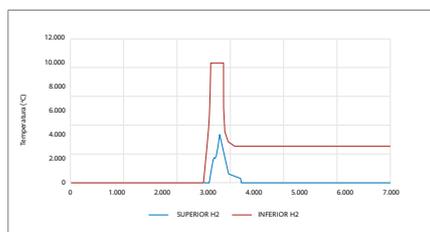


Figura 53 Mudanças na concentração de H2 dentro do gabinete

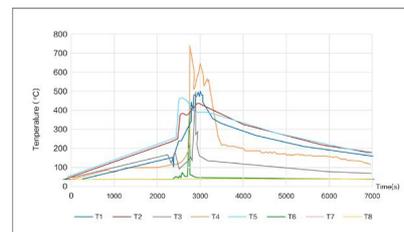


Figura 54 Mudanças de temperatura da célula

• **Resultado do teste**

A pressão de explosão é normalmente liberada através do painel de alívio de explosão. Nenhuma onda de choque perigosa existe ao redor do produto. Não há detritos a 3 m de distância do gabinete. O manequim a 1 m de distância do produto não está danificado. O manequim não é ferido pela onda de choque da explosão, demonstrando que a segurança da equipe ao redor e do ambiente é garantida.



Figura 55 Produto antes do teste



Figura 56 Produto depois do teste

Os sistemas de armazenamento de energia da Huawei passaram no teste de alívio de explosão e obtiveram o certificado de conformidade emitido pela TÜV Rheinland. Isso prova que os sistemas de armazenamento de energia C&I da Huawei são capazes de suprimir efetivamente os riscos de incêndio e explosão e minimizar os perigos e riscos após incêndio e explosão.

03 Teste de queima do invólucro

- **Objetivo do teste**

Verificar a resistência ao fogo do invólucro do sistema de armazenamento de energia C&I da Huawei. O foco do teste é o isolamento térmico dos materiais do invólucro e a integridade do invólucro após o teste. Certifique-se de que o invólucro possa isolar a maior parte do calor em altas temperaturas, suportar o calor extremo sem rachaduras e evitar a liberação excessiva de substâncias nocivas de dentro do invólucro.

- **Método de teste**

Teste a resistência ao fogo da parede do gabinete.

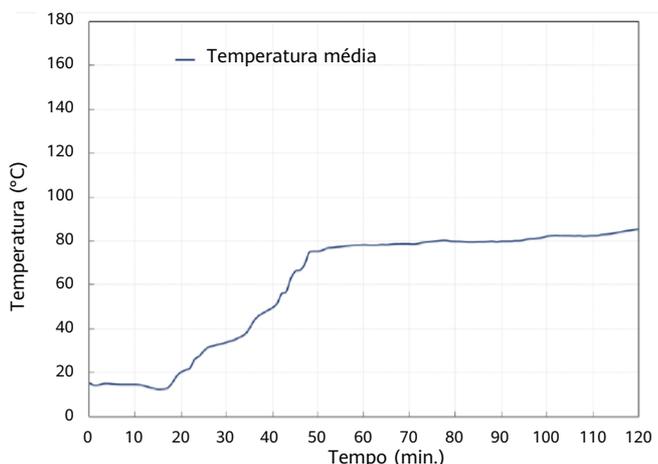


Figura 57 Mudanças de temperatura média da superfície não exposta

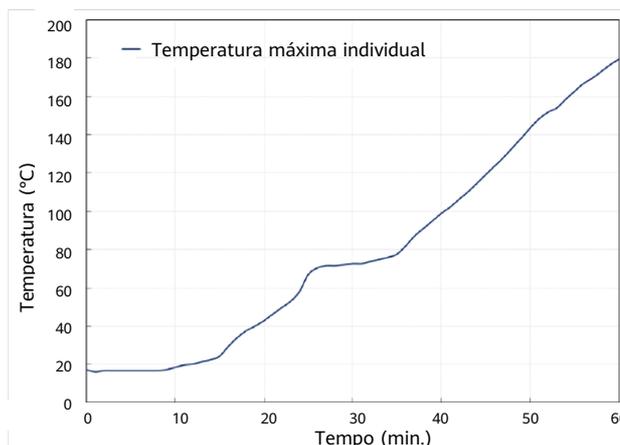


Figura 58 Variações individuais de temperatura máxima da superfície não exposta

- **Resultado do teste**

Depois que o sistema de armazenamento de energia é exposto ao fogo por 60 minutos no forno, a superfície não exposta fica intacta, sem qualquer dano ou rachadura. Além da deformação parcial da superfície exposta, toda a estrutura permanece intacta. Durante a exposição, não há propagação de chama fora do gabinete.

De acordo com os requisitos do padrão, a diferença entre a temperatura média e a temperatura inicial da superfície não exposta deve ser inferior a 140 °C, e a diferença entre a temperatura máxima e a temperatura inicial deve ser inferior a 180 °C. Os dados mostram que as diferenças de temperatura são muito menores do que os limites padrão, provando que os sistemas de armazenamento de energia da Huawei fornecem excelente desempenho de isolamento térmico.

Superfície exposta antes do teste

Superfície não exposta antes do teste

Superfície exposta após 60 minutos de queima

Superfície não exposta após 60 minutos de queima



Figura 59 Amostras antes e depois do teste

Os sistemas de armazenamento de energia C&I da Huawei são reconhecidos pela TÜV Rheinland pelo excelente desempenho no teste de queima do invólucro e obtiveram o certificado de conformidade emitido pela TÜV Rheinland, o que prova que os sistemas de armazenamento de energia C&I da Huawei podem proteger a equipe ao redor e o ambiente no caso de um incêndio inevitável.



Testes de difusão de fuga térmica e ignição

Teste de alívio de explosão

Teste de resistência ao fogo

Figura 60 Certificados emitidos pela TÜV Rheinland

5.3 Segurança superior: A primeira segurança mais alta do setor



Figura 58: o sistema de armazenamento de energia C&I da Huawei obteve a mais alta certificação de nível de segurança

A segurança do armazenamento de energia é o pilar do desenvolvimento sustentável e de alta qualidade da indústria. Com o rápido desenvolvimento das tecnologias de armazenamento de energia, a Huawei Digital Power investiu no campo da qualidade e segurança e promoveu continuamente a segurança e a confiabilidade do sistema de armazenamento de energia por meio de inovação tecnológica contínua e padrões de segurança rigorosos.

A Huawei Digital Power atualiza o tradicional sistema de fuga térmica sem difusão no nível do gabinete para o sistema de fuga térmica sem difusão no nível do conjunto de baterias, ajudando o setor de armazenamento de energia a atualizar a segurança e a obter proteção de segurança de nível mais alto. A Huawei Digital Power adere ao conceito de segurança máxima, lidera o desenvolvimento saudável e sustentável do setor de armazenamento de energia, contribui para a construção de um novo sistema de energia limpo, de baixo carbono, seguro e eficiente, e fornece referência importante para a padronização e desenvolvimento do setor global de armazenamento de energia.

Resumo e perspectiva

06

Classificação de segurança: uma tendência crescente

A implantação contínua de sistemas de armazenamento de energia C&I é fundamental para alcançar uma transformação ecológica e de baixo carbono. Nesse processo, a segurança é o pré-requisito mais importante e um requisito básico. Atualmente, os sistemas de armazenamento de energia C&I estão em rápido desenvolvimento, e os padrões básicos de design de segurança do setor não são mais adequados para garantir a segurança de pessoas e propriedades em torno das instalações de sistema de armazenamento de energia. São necessários padrões de segurança de nível mais elevado para proporcionar uma proteção mais forte. A classificação dos padrões de segurança na indústria deve se tornar uma tendência fundamental no futuro.

Segurança abrangente: a garantia

Para dispositivos implantados em áreas densamente povoadas, garantir a segurança abrangente é crucial para proteger pessoas e propriedades próximas. As instalações de sistema de armazenamento de energia C&I devem cumprir não apenas os padrões de segurança mais básicos, mas também os requisitos de segurança adicional e, idealmente, os padrões de segurança superior. Isso é essencial para garantir o funcionamento estável e em longo prazo dos sistemas de armazenamento de energia.

Segurança do sistema de armazenamento de energia: a busca da Huawei

A Huawei está comprometida com o design sistemático de segurança para sistemas de armazenamento de energia C&I em três dimensões: equipamentos, ativos e equipe. A solução de sistema de armazenamento de energia da Huawei permite a aplicação flexível em todos os cenários. Com apenas uma plataforma de gerenciamento, ela oferece gerenciamento inteligente durante todo o ciclo de vida. Aderindo aos padrões de segurança superior do setor, a solução garante proteção abrangente para sua equipe, ativos e dispositivos.

Segurança de ligação dupla: para todas as empresas

A arquitetura de segurança de ligação dupla C2C da Huawei abrange a segurança da célula ao consumo, estabelecendo uma nova referência para a segurança de sistemas de armazenamento de energia C&I. No caminho da busca pela segurança, a Huawei continuará a colaborar com seus pares do setor para avançar no refinamento dos padrões de segurança para sistemas de armazenamento de energia. Juntos, o objetivo é criar instalações de sistema de armazenamento de energia que sejam seguras e confiáveis, disponibilizando eletricidade verde para todas as empresas.

Huawei Technologies Co., Ltd.
Huawei Industrial Base, Bantian, Longgang,
Shenzhen
Tel: +86 755 28780808
Código postal: 518129



Lançado em conjunto pela Huawei Digital Power e a TÜV Rheinland

Marcas registradas e permissões

 HUAWEI ,  são marcas comerciais ou nomes comerciais da Huawei Technologies Co., Ltd. Todas as outras marcas comerciais, nomes de produtos, nomes de serviços e nomes de empresas mencionados neste documento são de propriedade de seus respectivos proprietários.

Isenção de responsabilidade

Este documento pode conter informações de previsão, incluindo, mas não limitado a, finanças futuras, operações, linhas de produtos e novas tecnologias. Devido a inúmeras incertezas na prática, os resultados reais podem diferir significativamente das informações previstas. Portanto, as informações contidas neste documento são apenas para referência e não constituem nenhuma oferta ou compromisso. A Huawei e a TÜV Rheinland se isentam de qualquer responsabilidade por ações tomadas com base neste documento. A Huawei e a TÜV Rheinland se reservam o direito de modificar as informações anteriores sem aviso prévio.

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2025. Todos os direitos reservados
Nenhuma parte deste documento pode ser reproduzida ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio sem consentimento prévio por escrito da Huawei Technologies Co., Ltd.