

储能系统安全可靠 白皮书



目录

一、储能系统现状	
1.1 储能市场发展趋势	01
1.2 应用场景	02
1.2.1 发电侧(源)	02
1.2.2 输配电(网)	02
1.2.3 用户侧(荷)	03
1.3 储能系统	04
二、储能系统安全挑战	
2.1 储能系统安全问题	05
2.2 储能系统安全分析	08
2.3 储能系统风险识别	09
2.3.1 热失控危险	09
2.3.2 电气危险	10
2.3.3 其他危险	10
2.4 储能系统风险评估	11
2.5 储能系统风险降低措施	12
三、天合储能系统安全解决方案	
3.1 产品安全	15
3.1.1 天合电芯安全	15
3.1.2 天合电池舱安全	17
3.2 质量体系	25
3.2.1 体系介绍	25
3.2.2 系统研发质量管理流程	26
3.2.2.1 产品认证	27
3.2.3 供应链质量管理	27
3.2.4 过程质量管理	28
3.2.5 交付质量管理	29
3.2.6 客户质量管理	30
四、天合储能安全性验证	
4.1 电芯安全实证	31
4.2 电气安全验证	31
4.3 结构安全验证	32
4.4 热失控安全验证	33
4.5 消防安全验证	34
4.6 天合系统验证平台	35
五、第三方机构及行业专家观点	
5.1 TÜV NORD检测助力储能安全	36
5.2 质量控制和产品检测方案	37
六、总结	40

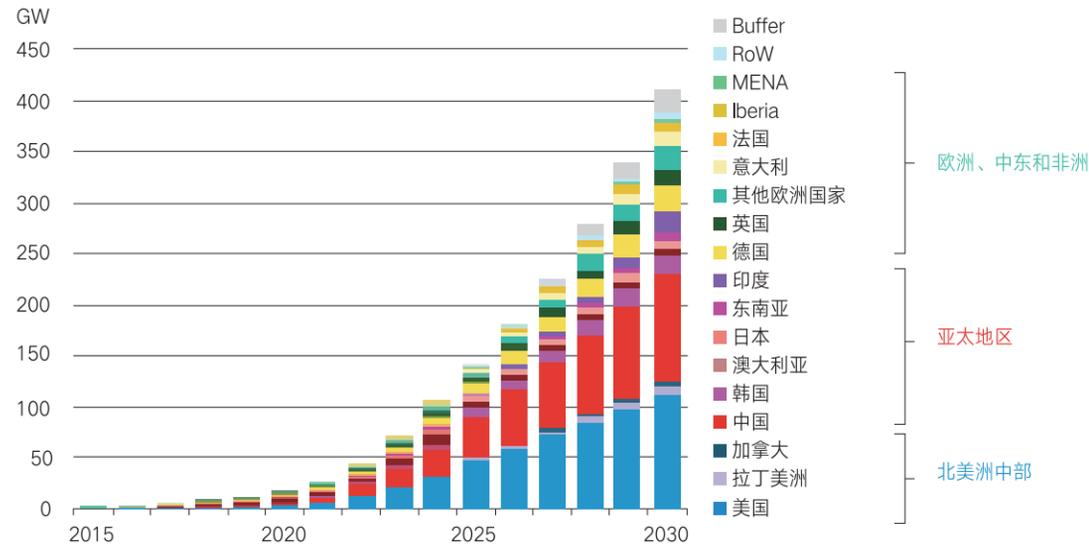


储能系统现状

1.1 储能市场发展趋势

随着全球能源迅速向清洁和可再生能源转型，储能市场正面临前所未有的发展机遇。在接下来的几年中，储能技术将成为推动可再生能源大规模并网、增强电网韧性及实现分布式能源管理的关键。储能系统将在发电调频、调峰、备用容量及用户侧和输配电侧的多样化应用中发挥重要作用。技术进步和成本降低将促进储能系统的广泛应用，智能化和数字化技术的发展则将提升其效率、安全性和经济性。总体来看，储能市场将向规模化、商业化和多样化方向发展，成为全球能源转型的关键力量。

根据BNEF数据，2023年全球储能市场规模几乎增长了两倍，创下了有史以来最大的同比增长。到2030年全球储能装机量预计将达到411GW（1,194GWh），该规模是2021年的15倍。随着企业和工业设施对降低能源成本、提高能源效率和增强能源可靠性等的市场需求可见对全球工商业储能需求还会持续增长。



来源BloombergNEF。Note: “MENA”指中东和北非；“RoW”指的是世界其他地区。“Buffer”是指BNEF因缺乏可见性而无法预测的市场和用例。

图1 (2015-2030年全球累计储能装置装机量)

从全球储能市场的区域分布来看，亚太、北美和欧洲目前仍然是主要市场。其中，中国不仅在亚太地区占据了最大市场份额，在全球范围内也处于领先地位。中国的储能市场发展迅速，得益于其庞大的能源需求和政策支持。

在亚太地区，日本的储能市场也值得关注。由于日本面临着电力供应方面的挑战，尤其是在自然灾害频发的情况下，储能系统作为备用电源的重要性愈加突出。

北美市场的储能行业发展同样迅猛，得益于联邦和州政府提供的多种激励政策，如税收抵免、补贴以及储能标准等，有效推动了储能技术的推广和应用。此外，北美地区的电力市场相对更加成熟，储能系统的商业化应用也更为广泛。

在欧洲，德国、英国和法国作为较早进入储能市场的国家，凭借其在可再生能源领域的领先地位，积极推动了储能技术的发展及其在本地的广泛应用。

值得注意的是，南非的储能市场在过去一年中展现出显著的发展潜力和机遇。随着可再生能源项目的增加和电力市场的改革，南非对储能系统的需求正在逐步增长，为市场带来了新的发展契机。

总体而言，各个地区的储能市场发展受到当地政策、能源需求和市场环境的影响，而全球储能市场正呈现出多样化和动态发展的趋势。

1.2 应用场景

从整个电力系统的角度看，储能的应用场景可以分为发电侧储能、输配电侧储能和用户侧储能三大场景。储能系统作为关键调节手段，能够在源、网、荷之间灵活调配电力资源，提高了能源的使用效率，实现了“源网荷储”的一体化。

1.2.1 发电侧（源）

储能系统在发电侧的应用主要包括平滑输出、系统调频、备用容量等。

— 平滑输出：由于可再生能源发电（如风电和光伏发电）具有间歇性和不稳定的特点，储能系统能够平滑发电输出，减少电力波动对电网的冲击，确保供电稳定性。

— 系统调频：电网频率的变化会影响发电设备和用电设备的安全、高效运行及其使用寿命。储能系统可以快速响应电网的需求，提供电压和频率调节，从而提高电能质量和系统稳定性。

— 备用容量：储能系统可作为备用容量，在电力负荷高峰时为电网提供必要的有功功率储备，保障电力设备的稳定运行，提升电网的可靠性和应变能力。

1.2.2 输配电（网）

储能系统在输配电侧的应用主要包括缓解输配电瓶颈和提高输配电效率的作用。

— 缓解输配电瓶颈：在输电线路或变电站面临高负荷运行时，储能系统能够提供额外的电力支持，缓解输配电的阻塞，防止线路过载，提高电网的可靠性和稳定性。

— 提高输配电效率：通过储能系统的充放电操作，可以优化输电线路上的无功功率，校正功率因数，从而提高输配电系统的整体效率和稳定性。

1.2.3 用户侧（荷）

储能系统在用户侧的应用作为主要场景，主要分为光伏类和非光伏类两种。随着市场需求的不断增长，储能产品的应用也从最初的备用电源和应急电源储备，逐步扩展到更加多元化的场景。

对于非光伏类储能系统，例如家庭、商业楼宇、学校等不适合大规模光伏安装的场景，这些系统可通过独立配置来存储能量，在低需求期储电，在高峰期释放，从而有效减少峰值负荷。得益于国内电价政策及峰谷价差的不断扩大，用户能够利用电价差来降低电费成本。此外，在基站、数据中心等场景中，储能系统可作为关键设施的备用电源，以应对自然灾害和其他电力中断，提高供电的稳定性和弹性。

光伏类储能系统则利用用电高峰与光伏发电高峰重合的特点，通过“光储（充）一体化”模式，将光伏发电、储能和充电功能相结合。太阳能被光伏组件转化为电能，多余的电力可以通过储能系统存储起来，供电动汽车等设备充电，实现自发自用的能源管理。

此外，在可再生能源高渗透率地区，如海岛、工业园区和偏远地区，储能系统与可再生能源发电设施相结合，为没有电网覆盖的区域提供独立的供电解决方案。在此类场景中建立独立于电网的微电网系统，并与工商业储能结合，可显著提升供电的可靠性和灵活性。

电源侧

- 电力调峰：
通过储能的方式实现用电负荷的削峰填谷，即发电厂在用电负荷低谷时段对电池充电，在用电负荷高峰时段将存储的电量释放。
- 提供容量：
通过储能提供发电容量以应对发电尖峰负荷，提升传统发电机组的运行效率。
- 调频：
储能调频速度快，可以灵活地在充放电状态之间转换，在电源侧保障电压和频率的稳定，提高电力供应质量。



电网侧

- 缓解电网阻塞：
将储能系统安装在线路上游，当发生线路阻塞时可以将无法输送的电能储存到储能设备中，等到线路负荷小于线路容量时，储能系统再向线路放电。
- 延缓输配电设备扩容升级：
在负荷接近设备容量的输配电系统内，可以利用储能系统通过较小的装机容量有效提高电网的输配电能力，从而延缓新建输配电设施，降低成本。



用户侧

- 峰谷价差套利：
在实施峰谷电价的电力市场中，通过低电价时给储能系统充电，高电价时储能系统放电，实现峰谷电价差套利，降低用电成本。
- 提升供电可靠性：
发生停电故障时储能系统能够将储备的能量供应给终端用户，避免故障修复过程中的电能中断，以保证供电可靠性。
- 电力自发自用：
安装光伏的工商业用户通过配置储能电站可以更好地利用光伏电力，提高自发自用水平，降低用电成本。

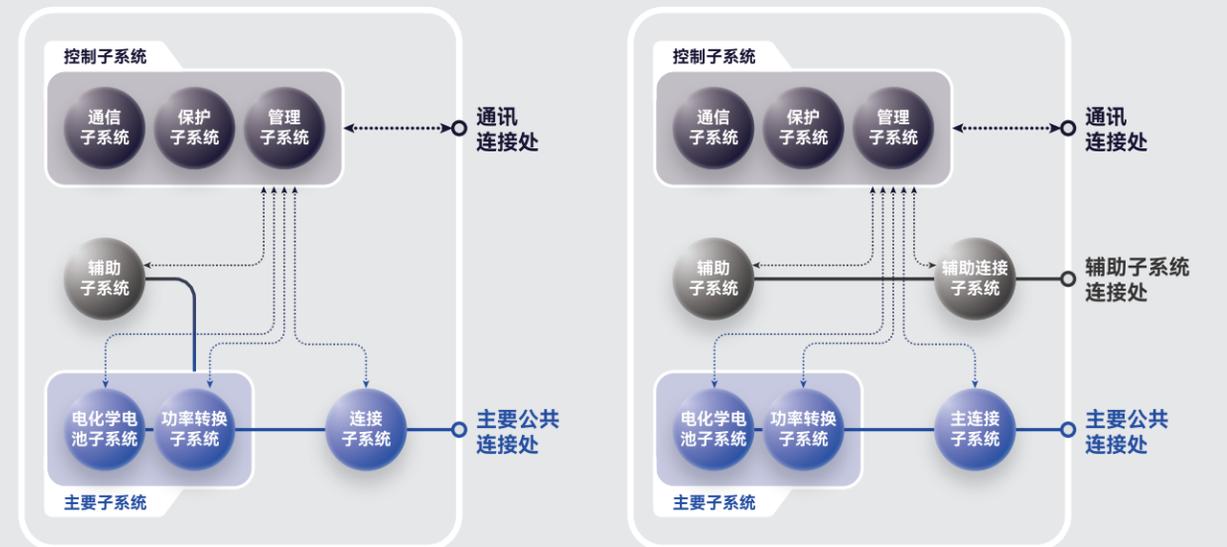


图2

1.3 储能系统

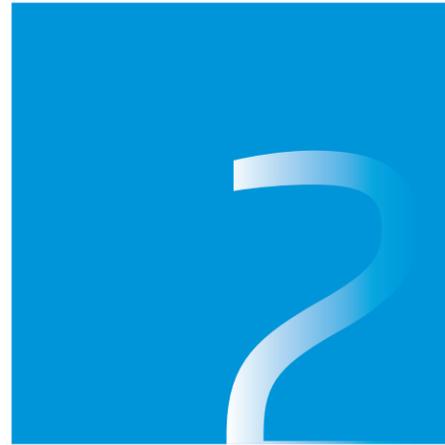
储能系统是一个复杂的综合体，由多个关键子系统和组件组成，这些部分协同工作才能确保储能系统的高效、可靠和安全运行。根据IEC 62933-5-2标准中对储能系统架构的定义，其包括主要子系统（电化学系统、能量转换系统）、控制子系统（通讯系统、能量管理系统、热管理系统、安全保护系统）、辅助子系统等。以下是对这些子系统的详细扩展说明：

子系统	部件
管理子系统	系统控制和/或能量管理系统
通信子系统	系统内部各组件之间以及系统与外部环境的数据传输和信息交换，包括操作面板（人机界面）、系统通信和/或监控、仪表通讯等
保护子系统	预防和应对系统运行中的各种潜在故障和异常情况，包括过压保护、过流保护、短路保护、过热保护等功能
辅助子系统	火灾、热量和/或烟雾探测系统、灭火系统、HVAC（供暖、通风和空调）、辅助变压器、辅助配电开关设备、辅助电源不间断电源（UPS）
辅助连接端子	连接端子、电缆（类型、防火等级、耐热等级、化学等级、尺寸和灵活性）
电化学电池子系统	电池（包括电池管理系统）、通信设备、保护装置、机械固定、电缆
电力转换系统	变压器、AC/DC转换器、逆变器、PCS控制器、开关
主连接端子	连接端子、电缆（类型、耐热等级、化学等级、尺寸和灵活性）
其他	房间和/或建筑物/外壳、地基、供水、建筑物的HVAC系统、保险丝、安全标识



来源:IEC 62933-5-2:2020.6.1.1

图3



储能系统安全挑战

2.1 储能系统安全问题

随着可再生能源的发展，储能系统在电力系统中的应用越来越广泛。然而，储能系统的安全问题也随之凸显。

储能电池种类繁多，包括铅酸电池、锂离子电池、钠离子电池、液流电池和钠硫电池等，各具特点，适用于不同场景。其中锂离子电池以其高能量密度、长寿命、高效率 and 快速响应，已成为储能领域的主流技术路线。锂离子电池广泛应用于电动车、消费电子产品以及大规模储能系统中，推动了相关技术和应用的发展。

然而，锂离子电池也存在一些显著的挑战，特别是在热稳定性方面。锂离子电池在高温、过充或短路等极端条件下，可能会发生热失控现象，从而引发火灾或爆炸。这些安全隐患使得锂离子电池在储能系统中面临较高的风险，成为引发安全事故的主要原因之一。

据不完全统计，在过去五年（2019年至2024年）期间，全球范围内发生了数十起储能电站起火或爆炸事故。其中，由锂离子电池引发的事故占比高达80%。这些事故不仅造成了财产损失，还可能危及人员安全，引发了对锂离子电池安全性的广泛关注和研究。为应对这些挑战，行业内正在积极探索提升锂离子电池热稳定性的技术方案，并开发新型储能电池技术，以期实现更高的安全性和可靠性。

地区	事件	事故原因
美国	美国 APS 储能电站火，燃烧五天后仍未完全扑灭	电芯缺陷，产生锂枝晶造成内部短路
韩国	韩国蔚山南区 SK 能源公司电池储能大楼50MW电池储能设备发生火灾	电击保护系统不良；运营操作环境管理不善，安装疏忽，储能系统集成控制保护系统管理不善
韩国	庆尚北道军威都牛宝郡新谷里太阳能发电站发生火灾	锂离子电池因过充或缺陷导致内部短路
中国	北京大红门储能电站爆炸	单体磷酸铁锂电池发生内短路故障，引发电池及电池模组热失控扩散起火
德国	德国尼尔莫尔(里尔区)商业区的锂电池储能集装箱起火	电池发生内短路故障，引发电池及电池模组热失控扩散起火
德国	德国图林根州 Suncycle 工程测试中-集装箱式电池储能系统发生火灾	运营操作环境管理不善；储能系统集成控制（EMS，PCS）保护系统管理不善
英国	英国沃里克郡的 Warwick（沃维克大学）储能项目起火	电池发生内短路故障，引发电池及电池模组热失控扩散起火

表1



图4

根据中国电科院的北京丰台区储能电站起火爆炸事故调查报告，北京集美大红门电站于4月16日发生事故，报告列出了造成事故的八个诱因：

- 一、储能电池的安全质量
- 二、储能系统的电气拓扑
- 三、电池管理系统（BMS）
- 四、电缆和线束的现场布局
- 五、电站的防火设计
- 六、电站配套的监控、预警和灭火系统
- 七、气象环境因素
- 八、人员现场操作和管理制度



图5 北京大红门安全事故照片

来源：电科院北京集美大红门25MWh 直流光储充一体化电站项目事故分析报告

从发生的故事来看，引发储能系统安全事故的原因可以总体归纳为以下四类：储能系统本征安全风险、外部安全风险、安全设计防护不够、运行管理系统因素。

1.电池本征安全风险：

- 制造缺陷：如金属毛刺或涂层不良引发的内部短路。
- 锂枝晶：电芯内部锂枝晶的生成可能刺穿隔膜，导致内短路。
- 电池老化：电池本身的老化问题可能影响储能系统的安全性。

2.外部安全风险：

- 电气危险：包括过充电、过放电和外部短路等。
- 机械危险：如挤压或针刺造成的损伤。
- 电磁危险：电磁干扰可能影响系统运行。
- 温度危险：包括过冷或过热对电池性能和安全的影响。
- 爆炸危险：电池可能因某些因素发生爆炸。
- 不合适的环境：不适宜的环境条件可能导致安全隐患。

3.安全设计防护不足：

- 绝缘检测不足：绝缘保护措施不足，例如直流感触器击穿、Busbar与外部绝缘失效导致电弧，或交流输入端电线烧坏可能降低电池直流感触器的绝缘性能，进而引发火灾。
- 系统保护配合不佳：系统保护措施未能有效配合，影响整体安全。
- 系统控制故障：如热管理系统或其他管理系统的故障，可能导致电池起火等问题。
- 辅助设备故障：辅助设备的故障也可能影响系统的安全性。

4.运行管理系统因素：

- 系统之间协调不足：例如，电池管理系统（BMS）、功率管理系统（PMS）和能源管理系统（EMS）之间的信息共享不充分，或者过程控制系统（PCS）与电池保护系统操作顺序未能协调好。PCS故障排除后未检查电池状态即重启系统，可能导致交流侧（AC）与直流侧（DC）之间的冲突。
- 管理系统失效：包括管理体系缺陷、使用环境管理不善、环境湿度和粉尘含量超标，导致绝缘性能下降。此外，异常现象的报告可能不够全面，影响系统的及时维护和修复。
- 储能电站的管理和维护不足：储能电站建成后的管理和维护工作不够充分，可能导致系统运行中的问题得不到及时解决

2.2 储能系统安全分析

什么是安全：通常来说我们定义是指人没有受到威胁，危险，危害，损失。

IEC 62933	电化学储能系统对人的安全方面考虑，避免系统故障而导致的不合理风险。
ISO 26262	避免因为电气/电子系统故障而导致的不合理风险。

伤害

- 对人体健康的损害或损伤，对财产或环境的损害

危险

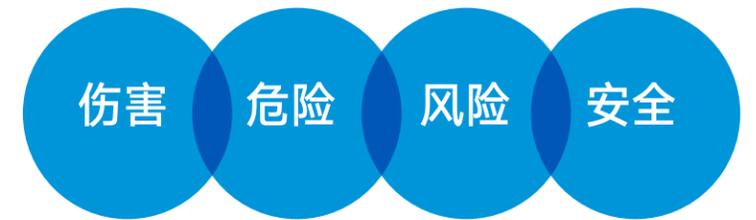
- 可能导致伤害的潜在根源

风险

- 伤害发生概率和伤害严重程度的组合

安全

- 免除了不可接受的风险的状态



储能系统的安全是需要在产品设计的概念阶段就满足系统层面的安全目标，同时确保所开发的安全防护机制符合设计阶段的安全要求。此外，还需要验证储能系统中软件和硬件的需求，确保其能够达到最低可容忍风险的标准。

为了解决电池储能系统的安全问题，需要在储能系统生命周期的各个阶段对潜在的安全风险进行严格把控。根据IEC 62933-5-1标准中的安全评估和风险降低指南，储能系统应开展全面且有效的风险评估，包括三个关键步骤：风险识别、风险评估和风险降低。



首先，需要确定储能系统在其预期使用寿命内可能遇到的所有可预见的危险和事故。其次，对这些危险的发生概率及其潜在严重性进行风险评估。在设计过程中，应努力消除或减少这些风险的发生概率和严重性，并对剩余风险进行评价。如果评估结果显示储能系统的风险水平超出可接受的最低标准，则必须进一步采取措施降低风险，直到达到可接受的程度。最后，对残余风险进行评估和测试验证，以确保储能系统达到了预期的安全状态。

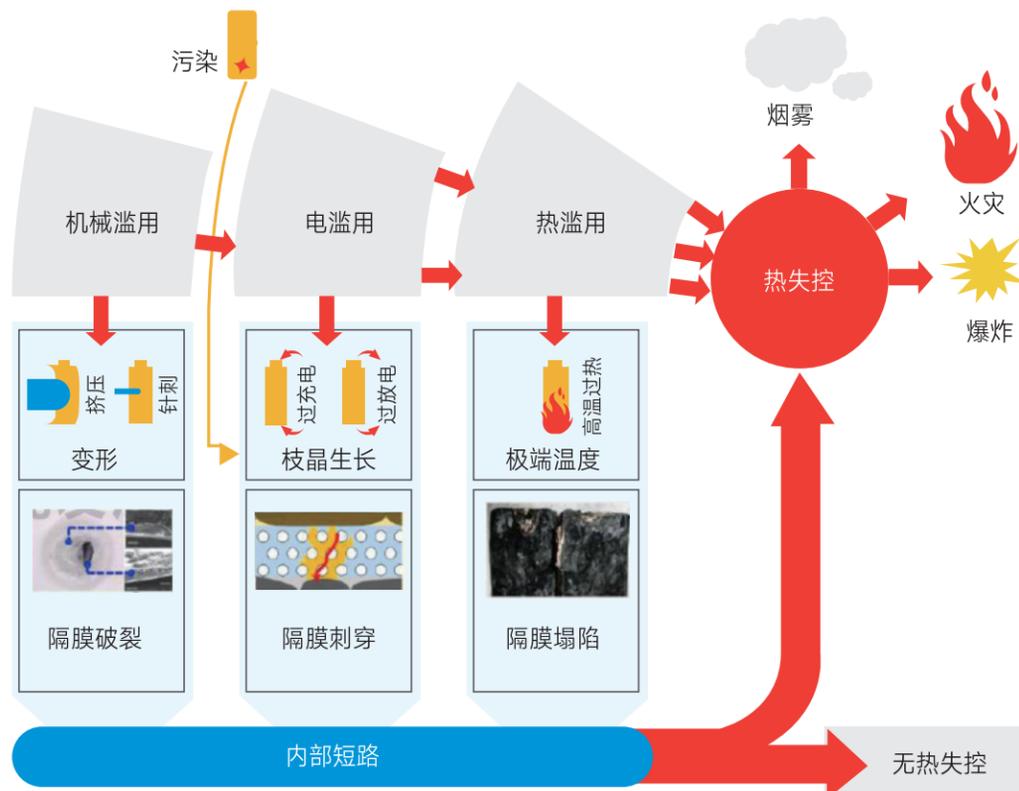
2.3 储能系统风险识别

2.3.1 热失控危险

热失控：指电池内部的发热速率显著超过其散热速率，导致大量热量在系统内迅速累积而无法及时散发，从而引发系统温度失去控制的现象。

GBT36276	电池单体内部放热反应引起不可控温升的现象
IEC62619	电芯内由放热反应引发的不可控制剧烈温升
UL9540A	电化学电池以不可控制的方式通过自加热升高其温度的事件。当电池产生的热量高于它可以消散的热量时，则会发生热失控。这可能导致火灾，爆炸和气体排放

电池热失控的过程通常如下：单体电池由于机械滥用或电气滥用，产生过多的自发热。这种过热现象导致电池温度升高，进入热滥用阶段，从而引发热失控。热失控过程会释放出可燃气体和烟雾，电池开始燃烧，并引发连锁反应，最终可能导致储能电站的火灾甚至爆炸。



图片来源:Feng X等人。电动汽车锂离子电池热失控机理: A review. Energy Storage Materials, 2018, 10: 246-267

除了电池老化和内部缺陷外，以下因素也可能导致热失控：

- 过充电或过放电：电池充电或放电超出设计范围。
- 关键连接失效：电气连接点出现故障。
- 管理系统失效：电池管理系统（BMS）未能有效监控和控制电池状态。
- 制造缺陷：如内部短路或其他制造缺陷。
- 电池老化：随着时间推移，电池性能下降，可能导致内部短路。
- 电芯保护装置失效：保护装置出现变形或失效。
- 高温或低温运行：极端温度条件影响电池安全。
- 电池变形和漏液：电池外壳变形或液体泄漏。
- 气体泄漏或可燃气体释放：电池在燃烧过程中释放可燃气体。

2.3.2 电气危险

电气危险是储能系统最严重的安全隐患之一。随着储能系统的容量电压不断提升，与此同时，系统电压也由过去的低压逐步提升到1500Vd.c.高压，在电气安全城，电压超过60Vd.c.的线路就被认为是危险电压，误触带电体将会导致触电危险。

因此储能系统需要有有效的电气隔离措施，防止在工作过程中对线路直接或间接接触。例如，系统的绝缘阻抗降低可能带来的人身触电风险。绝缘阻抗值表示绝缘材料的完整性，当电缆或接头出现破损、绝缘层老化等问题时，会导致绝缘阻抗降低。这种情况下，绝缘层破损可能导致线缆内部导体裸露，进而引发系统漏电。这种漏电现象会增加运维人员触电的风险。

此外，储能系统中通常包含大量附属电气设备并且安装环境复杂。如果出现高电压、大电流（如雷电或浪涌）、或设备和线缆老化导致保护元件失效等意外情况，造成保护功能失效或绝缘异常导致电击等安全事故。

2.3.3 其他危险

此储能系统中还存在机械危险，爆炸危险，电磁兼容危险，温度危险，化学危险，不合适工作环境等一些容易被忽视的其他隐患。

- 机械危险：可移动的部件、尖锐的表面、强度较弱的安装支架等因素均有可能导致机械危害。
- 温度危险：系统在运行过程中，部分元器件，尤其电池会产生较高的温度，一旦超过其能承受的温度范围，就会产生起火的风险。同时，可接触表面也会产生较高温度，进而会对人员造成烫伤危害。
- 化学危险：储能系统在运行过程中存在大量的化学反应，会产生化学物质的释放。例如，电容、电池故障情况时，其中的电解液泄漏，导电部件因电化学反应而腐蚀等。
- 噪声危险：系统在运行过程中会产生过大的噪声，应采取降噪措施进行降噪，确保不会对人员和环境造成噪声危害。
- 电磁兼容及无线电危害：储能系统运行时所收发的电磁波可能干扰周边其他电子电气产品，也会受到周围设备的影响，在复杂的电磁环境中，子系统相互间的电磁骚扰，使储能系统不能正常运转，恶劣的电磁环境还会对人类及生态产生不良的影响。

— 功能安全危险：功能安全是储能系统安全的重要组成部分，由于受控设备及其相关系统在故障或者失效的情况下导致的风险。

— 不合适的工作环境：

电化学储能系统危险考量

- 电气
- 机械
- 爆炸
- 电磁兼容
- 火灾
- 温度
- 化学
- 不适合的工作环境
-

2.4 储能系统风险评估

储能系统的安全性是一个全面且复杂的课题，贯穿适用于电化学储能系统整个周期，即从储能系统概念设计开发阶段，系统生产制造阶段，产品运行使用阶段，服务维护阶段直到末期停用退役阶段的全生命周期等：



储能系统安全风险可能取决于许多因素，包括安装地点、化学和大小/规模(如电力)，并需要进行相应的评估。储能系统的安全位置可以家庭使用，工商业应用，到电网大规模系统；这些风险都需要进行相应评估。

分类特征	类别代码	说明
系统连接点电压	V-L	低压 : $V \leq 1 \text{ kV AC or } 1.5 \text{ kV DC}$
	V-H	高压 : $V > 1 \text{ kV AC or } 1.5 \text{ kV DC}$
能量容量	E-S	小 : $E \leq 20 \text{ kWh}$
	E-L	大: $E > 20 \text{ kWh}$
电化学电池子系统所在场地	S-O	居民区
	S-U	非居民区
电化学电池子系统化学体系	C-A	非水电解质电池
	C-B	水性电解质电池
	C-C	高温电池
	C-D	液流电池
	C-Z	其他

来源：IEC 62933-5-2:2020

在做系统风险分析的时候，IEC 62933-5-1标准提供了很多方法：有自上而下的分析方法，也有自下而上的分析方法，比如常见的FMEA分析，故障树分析，HAZOP分析，STAMP。通过一系列的分析方法对潜在风险识别，再通过安全系统设计和电子电路开发出来的安全保护机制，降低措施使它达到我们可以接受的程度。

- 自下而上的风险分析
 - 失效模式和影响分析，FMEA，见IEC 60812
- 自上而下的风险分析
 - 故障树分析，FTA，见IEC 61025
- 组合式的风险分析
 - 危险与可操作性研究，HAZOP，见IEC 61882
 - 系统理论事故模型与过程STAMP

2.5 储能系统风险降低措施

安全问题是产品质量的红线，确保储能系统的安全性成为了储能行业可持续发展的重大挑战。由于储能产品的特殊性，其安全性需要结合多项安全功能来实现，正如ISO/IEC指南51中所描述的，在储能设计过程中采取的风险降低措施是“固有的”、“安全设计”、“防护装置”和“最终用户信息”。额外的使用阶段的措施(生命周期安全管理)也在ISO/IEC 51指南中有描述。

储能系统的设计不仅仅需要从系统和部件的技术层面设计出发，更应该考虑的是如何提前预测、识别潜在风险，提供主动防护，如何在故障发生时在前端解决问题，甚至是在事故发生的极端情况下也能提供兜底能力，保障人员和财产的安全性。

内在的安全设计

- 合理的选取子系统
- 保护功能设计
- 系统功能安全设计
- 结构设计
- 电气设计
- 消防设计
- 通风泄爆设计等

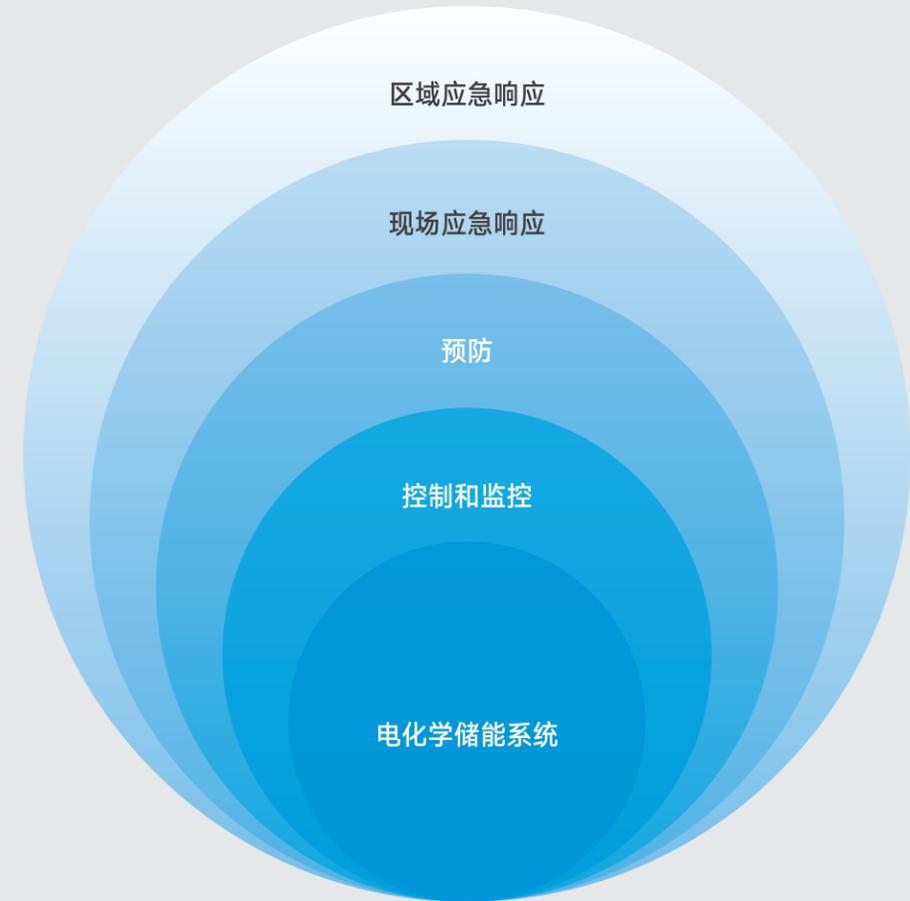
保障及保护措施

- 子系统内部故障不能扩散到子系统外部
- 高压系统，防止远程危险操作
- 所有单一绝缘故障存在危险电压的部件必须依据相关标准接地、防雷评估
- 电池子系统对外连接处必须提供过流保护
- 储能系统各子系统连接故障不得造成危险情况、电池的装卸必须可以使用合适的起重设备
- 系统外壳或支架必须是不燃材料；系统内部必须将电池区域、充电设备区域和分断及放电回路区域进行防火分区
- 辅助、控制和通信系统故障防护；必须满足单一故障安全、即使供电中断或波动也不会发生危险
- 环境危害防护；户外储能系统至少满足IPX4、靠海安装需防盐雾
- 直流和交流侧都必须有接地故障保护和告警功能
- 电池发生过充时必须要有声光告警；电池子系统内部的过流情况必须上报
- 系统必须随系统配备可燃气体检测系统并提供声光告警
- 系统应安装通风系统并满足；通风系统必须保证柜体内合适的温度；自然通风不足时必须提供强排风；通风口必须能防止火灾蔓延以及水的流入

运维、员工培训、提供给终端用户的信息

- 提供给用户的安全信息；警告标识和信号、现场指示危险部件的标签、声光告警装置、安全设计流程框图
- 现场操作优先级必须高于远程操作以保护现场作业人员安全；应编制安全应急预案；电池子系统对外连接处必须提供过流保护
- 应向业主提供运行和维护手册，制造厂或系统集成商必须制定定期维护计划
- 制造商必须提供操作设备或安全系统人员能力和授权要求的指导

从过程控制的角度来看，首先需要识别和监控潜在的风险点，并采取相应的预防措施。如果问题已经显现，应立即实施缓解措施。如果缓解措施未能奏效，则需要启动应急响应机制。这包括从现场的即时响应到更大范围的区域性应急处理，确保整个保护措施形成闭环。



来源：IEC 62933-5-2:2020

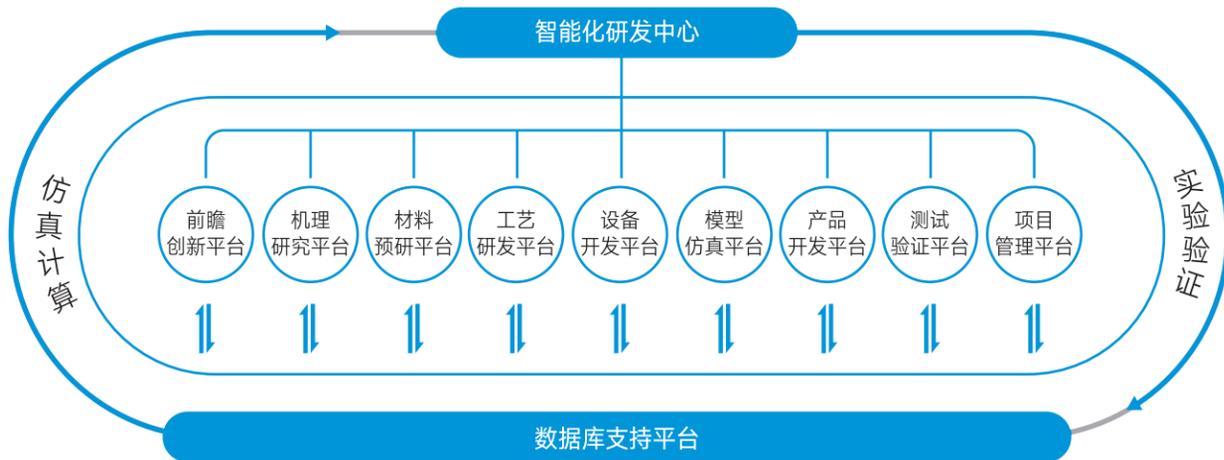


天合储能系统安全解决方案

3.1 产品安全

3.1.1 天合电芯安全

电芯本征安全是储能系统安全的核心，电化学体系的选择、结构设计、制造过程环境管控以及缺陷电芯的检出环环相扣，都是实现本征安全不可或缺的一部分。天合储能坚持电芯全栈自研，研发与制造团队从产品开发、量产、交付，制定了严格的天合开发流程与标准。以前瞻创新、机理研究、材料预研、产品开发、工艺研发、设备开发、模型仿真、测试验证及项目管理九大平台为基础，展开“机理、关键材料基础研究及电芯设计”三大关键技术研究，结合“仿真+测试”两大保障，形成了“9平台+3技术+2保障”的强大研发能力。团队掌握了锂离子电池电化学体系、电芯结构以及制造的核心技术，高质量的保障极致安全电芯交付落地。



a) 本征安全 (材料)

电化学体系开发是实现电芯本征安全的关键技术途径，天合研发团队基于储能大容量电芯安全失效的分析，从机理研究出发建立了LiFePO₄、电解液以及隔膜的物性性质与滥用安全的本征构效关系，开发了极致安全的活性材料、隔膜以及电解液。

天合研发团队通过正极材料体相掺杂原子掺杂、表面改性及包覆等原子尺度的界面调控技术，实现了800°C惰性氛围下难分解、“正极材料-电解液”界面双电层结构可调等关键技术的应用。通过合理的配比、颗粒粒径搭配配方设计，优化电芯过电压充电反应特性，减少过充时有害气体的产生，杜绝过充失效。

高热稳定性电解液与高破膜温度隔膜的开发是提高电芯本征的热安全性能，减少滥用与火灾等事故中电芯热失控的概率的关键。热失控过程中，电解液耦合满电负极放热反应的剧烈程度，直接关系到热失控的电芯温升与可燃气体的比例。针对热失控产生的高风险CO、H₂及C₂H₄等高燃爆性可燃气体与副反应产热机理，积累了强大的“极片&电解液”高温产热产气数据库，识别关键的热失控产热产气因子。结合材料本征物性优化与界面调控设计，实现了满电正极高温还原气体氛围下的超高稳定性，热失控中ppb级释氧，有效减少热失控中热量与可燃气体的产生。隔膜耐热收缩与破膜温度的提高，是降低电芯热滥用发生内短路的有效途径。新型复合涂层隔膜设计，较普通隔膜提高抗热收缩40°C，极大的降低了因隔膜热收缩破裂导致的内短路风险。

b) 滥用安全 (测试)

机械滥用、电滥用、热滥用引起的内短路是热失控最主要的原因。提高电芯的耐电压、受热能力，实现电芯的滥用不起火、不爆炸的本征安全，安全测试验证是本征安全最有力的证据。天合储能电芯测试中心取得CNAS、CQC、UL、TUV南德、IEC实验室的权威认证。在安全性能测试方面，中心具备GB/T 36276、UL1973、IEC 62619、JISC 8715-2、UN38.3、UL 9540A等一系列国内外标准检测能力，涵盖针刺、过充、热失控、过放、短路、挤压、跌落、热失控等多种测试项目，验证电芯在各种滥用条件下安全性能。



通过电化学体系与电芯结构的优化，对生产制造过程ppb级缺陷的电芯的检测，保证了从设计到生产到交付使用的极致安全。天合芯在UL、TÜV NORD、中国电科院等权威机构通过GB/T 36276、UL 9540A、UL 1642、UL 1973、UN 38.3、IEC 62619等海内外标准认证。在过充、过放、过载、高/常温外短、内短、挤压、跌落、冲击、针刺、绝热温升等机械、电及热滥用模拟工况安全测试中，电芯本征不起火、不爆炸，已获得了海内外客户广泛认可。在国际人员伤亡超压标准中，天合电芯在极端事故中为人员安全保障提供了最大的安全距离。



图6 天合芯获得权威检测认证

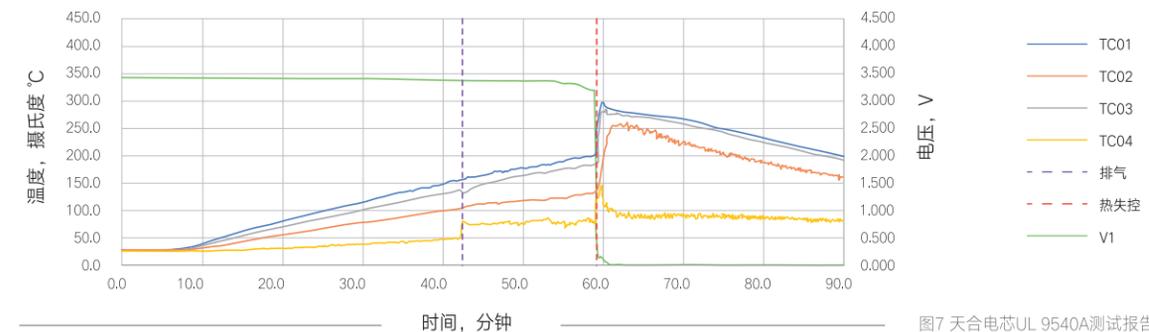


图7 天合电芯UL 9540A测试报告电压、温度曲线展示

3.1.2 天合电池舱安全

3.1.2.1 电气安全

a) 弧闪和协调性分析防护

弧闪是指电气系统内不良的电阻连接通过大气向另一电压相位或地面产生不必要的放电。储能电气设备弧闪发生时温度、压力、辐射、弧根效应会造成设备的损害、同时高温、高压气体伴随电弧效应产生炽热的金属和非金属颗粒由柜体溢出，造成人身伤害，甚至引起储能设备的火灾。

弧闪可能会导致电气火灾、压力波、飞行弹片等严重的伤害，天合储能对储能电气设备常见的弧闪原因进行了分析，这种分析对于确保电气系统的安全运行至关重要。

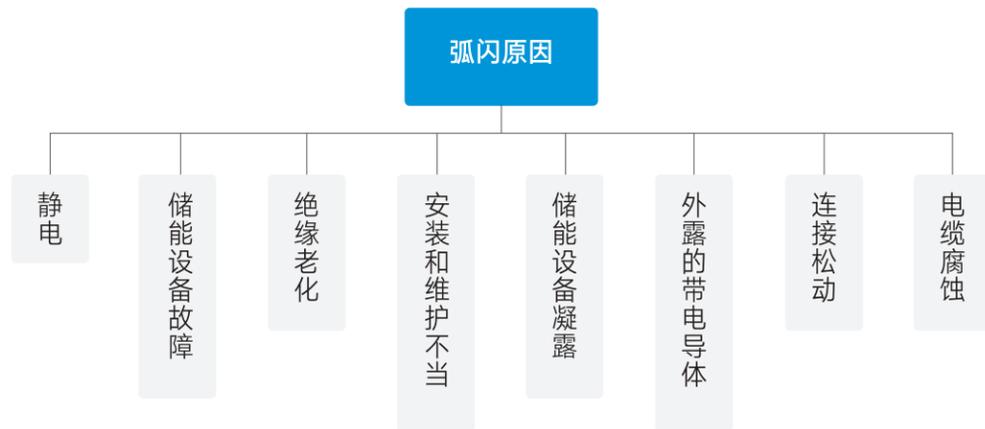


图8 弧闪的常见原因

弧闪和储能系统安全性直接相关，天合储能产品通过对电气安全协调性分析防护，针对不同储能子系统发生线路故障、短路故障、接地异常故障等协调分析，实现不同零部件上下级匹配保护、限流保护、选择性保护、实现快速切断故障回路保证产品安全。

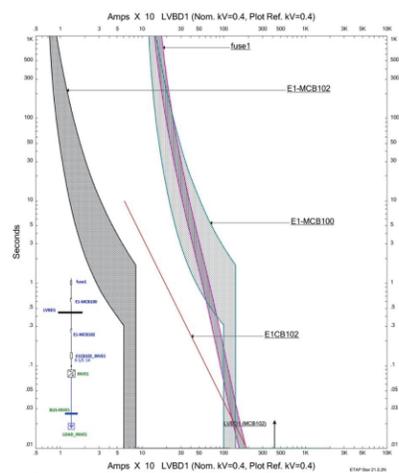


图9 不同断路器和熔断器的匹配

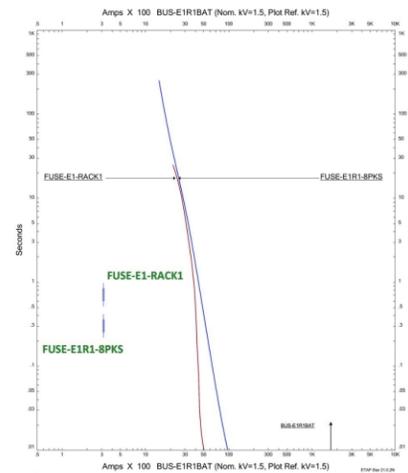


图10 上下级熔断器的短路匹配

传统的储能系统通常对弧闪分析不够重视，欠缺对周围人员人身安全考虑和设计分析，同时未提供给明确的警示标语和防护用具。在极端情况下弧闪导致的冲击会对运维人员和消防人员的人身安全构成重大威胁。

天合储能产品通过NFPA70E和IEEE1584严苛标准评估高压电弧危险距离和入射能量，并从五个维度给出产品警示标签和产品安全建议。

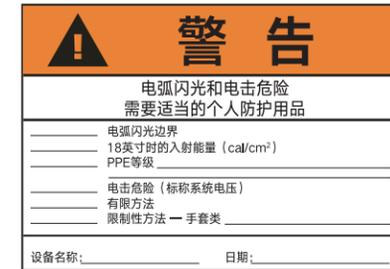


图11 弧闪分析标签



图12 弧闪分析的价值

b) 防凝露安全设计

储能系统运行过程中可能会面临高温高湿较恶劣的环境条件，如储能舱内部出现湿度超限，发生凝露现象，凝露水分会加速设备的腐蚀，影响储能舱使用寿命，其次凝露对储能系统中电气设备影响很大，凝露会降低电气设备绝缘性能，增加设备发生漏电、短路事故的风险。为有效规避这些风险，天合储能配备智能除湿装置，综合产品工况、舱内空气域特征，寻优布置除湿点位，立体送风设计，循环风整体覆盖；同时，选型防火阻燃的优质产品，配备低温保护、超温保护、过载自断电功能等多重安全守护，智慧监控舱内环境，湿度指标随心调节，打造一流环控。

c) 直流短路防护

随着储能系统容量的不断增大，储能系统的电池簇并联越来越多，储能系统故障发生的短路电流不断增大，巨大的短路电流对熔断器分断能力要求越来越高，开关器件的动稳定和热稳定面临很大的挑战，如何降低储能系统的短路电流；天合储能采用簇级控制器可以有效地降低系统的最大故障短路电流，快速切除故障簇，提高储能系统的稳定性，另外簇级控制器可以有效地解决直流并联的环流问题，避免电芯成组的木桶效应，提高产品使用的循环寿命。

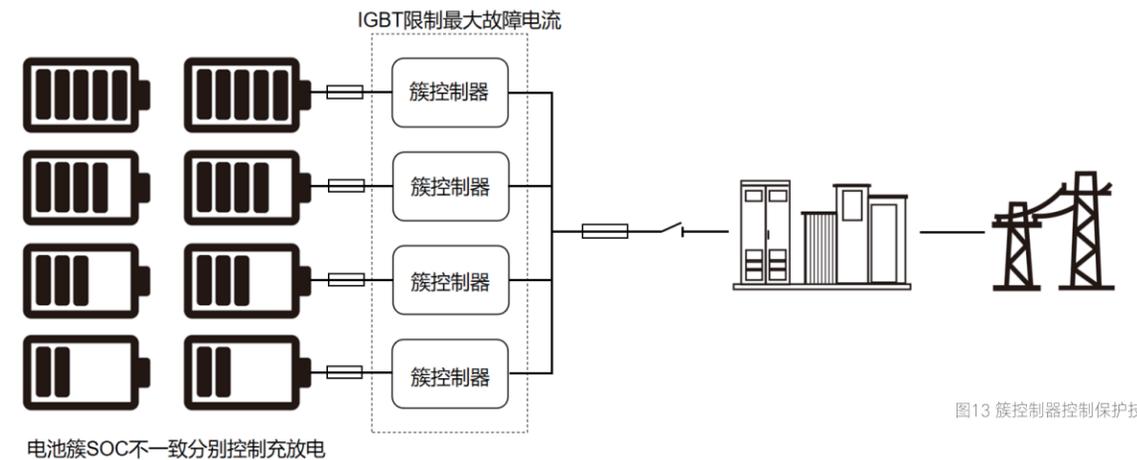
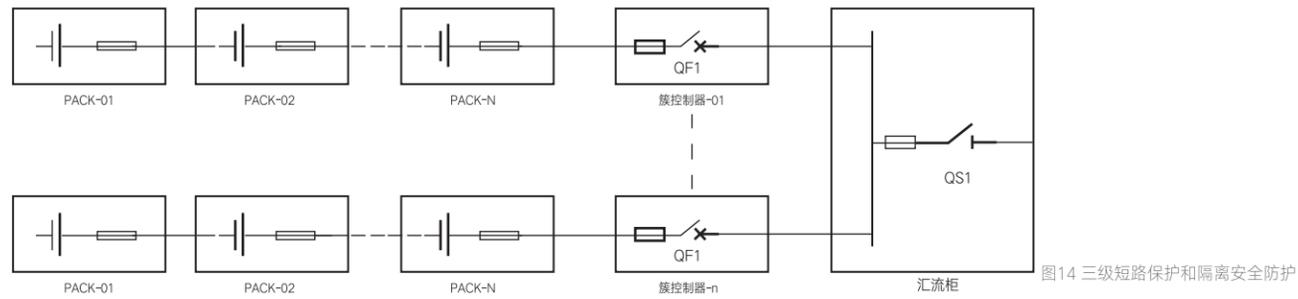


图13 簇控制器控制保护技术

电池簇SOC不一致分别控制充放电

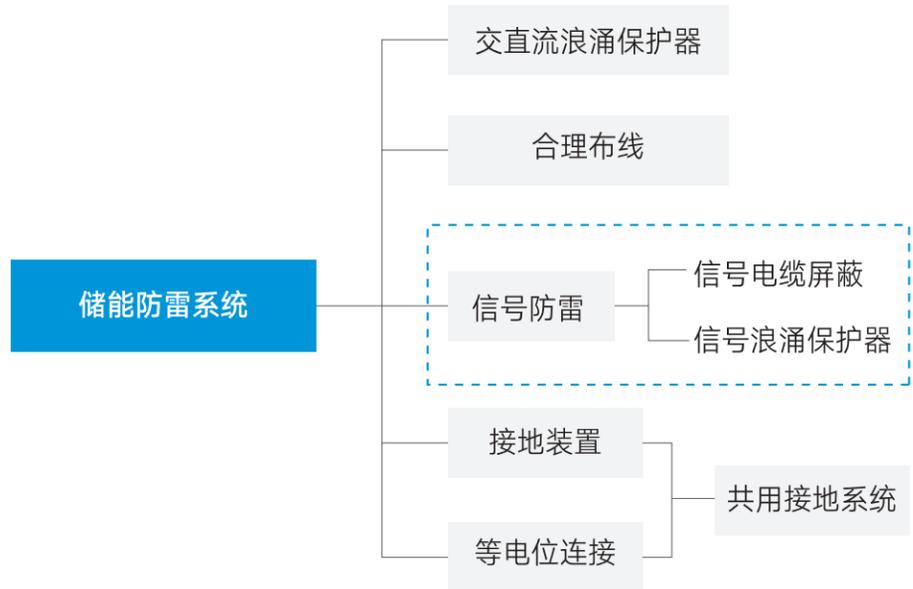
d) 三级电气保护和多级隔离

针对事故频发的短路故障，储能电气设备面临着很大的安全挑战，如何更有效地控制故障电流和隔绝安全风险，天合储能针对电池模块、电池簇和储能系统三个层面，从电池模块到系统设置有三级短路保护装置，避免故障电流事故的扩大升级；另外从电池模块到储能系统设置有操作隔离装置、遵循每一级安全隔离分断点，为装配、运输、维护提供多重绝缘隔离安全断点，多级有效的保护人身安全。



e) 防雷系统防护

由于储能系统外部环境的多样性、由外部原因造成的直击雷、感应雷、雷击传导、地电位反击产生的冲击电流等；由内部原因引起的操作过电压、短路故障电磁脉冲干扰等会对储能设备造成不可恢复的损伤，天合储能电池舱、交直流及通讯对外接口均设置浪涌保护和接地装置、保护关键设备的安全和稳定运行。



3.1.2.2 结构安全

a) 防水防护

储能系统的应用场景往往在室外，为防止外部进水，对电池舱的防水要求提出了很高的要求。常规电池舱要求是达到IPX4的防护等级，天合储能能在舱内设置二次迷宫式防水结构，搭配结构防水密封设计，达到IPX5等级，能够耐受暴雨天气下的正常运行和安全性能。此外，舱内具备独特的斜坡结构，旨在疏水和引流，可以有效除去舱内非正常状态下可能出现的水汽凝露等。

b) 防腐防护

为确保储能系统长期适应严寒酷暑、高温高湿等恶劣气候，天合储能系统从电池模块到系统框架，由内至外，不同层级保护设计：选用高耐候、高强度钢材料，舱体内外涂防腐配套保护；并经历盐雾、耐老化、附着力等一系列试验测试，确保保护层的可靠性，最高能达到ISO12944中对应的C5-VH的防腐等级，保证舱体15~25年以上的使用寿命。

c) 高强度安全

天合储能电池舱体、电池模块均采用高强度钢设计，设计上灵活运用仿真工具，选择最合适的吊装方式，使得模型的应力和应变满足要求，并用实际吊装、承重和路跑试验验证。在满载工况下，可以保证吊装运输和地震烈度8级机械强度满足要求，为装配、运输、现场固定提供保障，保证了设备的可靠运行。

d) 防火设计

储能系统的防火设计是不容忽视的防范要点。场站方面，电池预制舱的排布严格按照防火间距布置，避免局部“热岛”效应，防止火势蔓延。舱体方面，整体外壳填充隔热保温材料，电池室和电气室增加防火隔离，耐火极限超过相关标准要求。电池模块方面，采用耐高温隔热防护不起火技术，耐高温高达1200℃以上。高耐热电芯材料设计，有效改善且增强电芯的热稳定性。电池模块的六重防护：传感器可靠性安全预警/监控，电芯间的隔热设计，模组间增加耐高温隔热防护，热失控排气特定通道，防爆阀选型气压平衡设计以及电池模块内在一定压力下快速排气，全覆盖集成液冷板+高导热材料实现主动降温功能；大幅降低电池模块热蔓延。

3.1.2.3 热管理安全

a) 液冷防漏液缺液安全设计

储能系统的安全运行，需要各类二次辅助系统的稳定支撑，热管理系统是其中的重要一环，是储能系统安全运行的重要基石。当前液冷技术因其优异的集成度、均温性等优势受到广泛应用，但液冷系统在实际应用中，可能面临漏液、缺液失效风险，防漏液设计及缺液保护设计是液冷系统可靠性的重要考核指标，该设计的失效会直接导致液冷系统故障下线，进而导致电芯温度无法有效控制，严重危害储能系统的安全运行。

为避免漏液、缺液问题影响储能系统安全运行，天合储能液冷系统秉持无泄漏设计原则，从设备材质选用，到连接方式设计，均采用高可靠性设计，如采用内衬耐水耐乙二醇性能优异、广温域适应性的优质材料的多层管路，增加仿生波浪结构，可靠性更高，寿命更长。为实现电芯温场每一度的控制，生产注液工序把控至每一升，实现产品下线全流程全参数掌握；液冷系统对关键指标均具备实时监测功能，数据同步上传储能决策控制平台，精益求精，以实现全生命周期无泄漏风险。

在秉持无泄漏设计的基础上，液冷系统从生产源头把控缺液风险，相较于非标的冷却液加注工作，天合储能对冷却液容量精准校核，定量控制；同时对冷却液压力进行即时监控，将生产一致性最大化。此外液冷系统配备智能补液系统，设计冷却液储备系统、单向止逆系统、智控充注系统及完善的控制保护系统，共同实现在线智能补液功能，实时控制系统压力，有效避免液冷系统缺液问题出现，为液冷系统的安全高效运行保驾护航。

b) 温控安全设计

温控效果是储能系统热管理水平的直观体现，良好的温控效果不仅可以避免电芯热失控的发生，有利于储能系统的运行安全，也可以提升电芯群的温度一致性，有助于储能系统的寿命提升，从而带来更高的可靠性和更高的经济性回报。

天合储能热管理系统全流程确保安全高效运行。在产品层面，通过管径设计、管路形式、阀门管件调节等手段，寻优设计，提升管路流量分配均匀性效果。在运行策略方面，相较于常规热管理控温运行策略，天合储能热管理系统配备自研决策程序，通过区分电芯所有工作情况，以及监控电芯温场表现，针对不同情况提供不同的运行模式及供水温度支持，精细化智慧控制每一度水温，实时响应实时调控。热管理监测系统与消防安全系统联动，耦合预测电芯安全状态，实现风险早发现，发现早消除，长期无风险。



图16 多方位热管理系统设计

3.1.2.4 消防安全

传统空间级的消防设计具有滞后性，储能消防系统应在电芯热失控时就及时介入进行排气、灭火，将事故扼杀在热失控的初期阶段，以降低系统损失。天合储能消防系统通过多传感器多层级感知热失控事故，在热失控初期及时进行气体灭火，实现靶向防护，减少故障损失。



图17 消防安全示意图

a) 多传感器特征信号提取防护

采用多传感器分级探测，传感系统对储能电站内电池箱内电解液泄漏、热失控数据进行全周期、连续性监测，保证对储能站电池工作状况的完整监控，并实现本地和远端后台系统数据存储，为大数据分析提供有效数据。天合储能消防系统对模块级和储能舱内的温度、烟雾、可燃气体等进行探测，当模块内复合探测器发现火情时，可联动启动排风系统和灭火抑制系统，进行快速精准模块级灭火。或储能舱内多探测器探测到舱级火灾时，可联动启动空间级全淹没灭火剂灭火喷头，实现空间全淹没抑制灭火，有效保障储能集装箱的消防安全。

b) 靶向防护

为应对储能行业日益发展的消防安全需求，天合储能消防系统采用新型锂电池火灾抑制装置，配备大容量灭火剂，能够实现储能模块级的锂电池火灾快速扑救和长效抑制。在模组内部安装复合探测器，实现模块级的高精度灭火防护。天合储能消防系统将模块作为最小防护单元，实现精准探测和定向灭火。当电池发生热失控时，包内复合探测器将火情发送至消防控制主机，精准启动模块内的灭火装置，实现快速灭火和持续抑制。

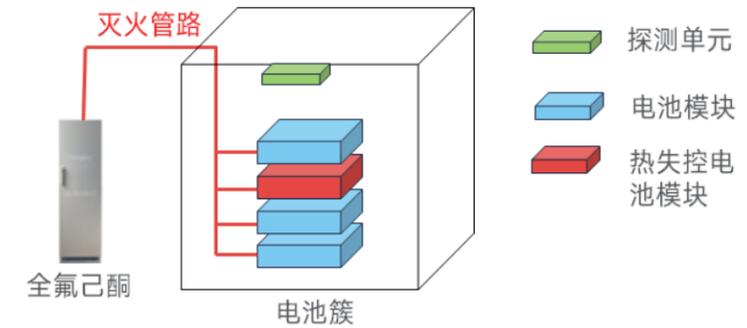


图18 消防靶向灭火示意图

c) 防爆防护

锂电池热失控会产生大量可燃气体（CO、H₂、甲烷、VOC），混合气体浓度达到一定限度，会产生燃爆的风险。天合储能集装箱配置了防爆排气系统，该系统具备通风换气、保温、防爆、消防联动关闭外气流通道和有害气体排出等特性。

储能集装箱排气系统基于可燃气体检测系统，当集装箱内部可燃气体浓度达阈值时，排气防爆模块打开以降低储能电池舱内可燃气体浓度。并且可根据电池热失控的特征气体特性，通过仿真评估储能集装箱的排气防爆通风功能。防爆排风系统需保证在触发可燃探测器报警开启排气通风后，电化学储能系统外壳内累积的可燃混合气体的体积分数将保持在 25% LFL(燃烧下限) 限值以下。

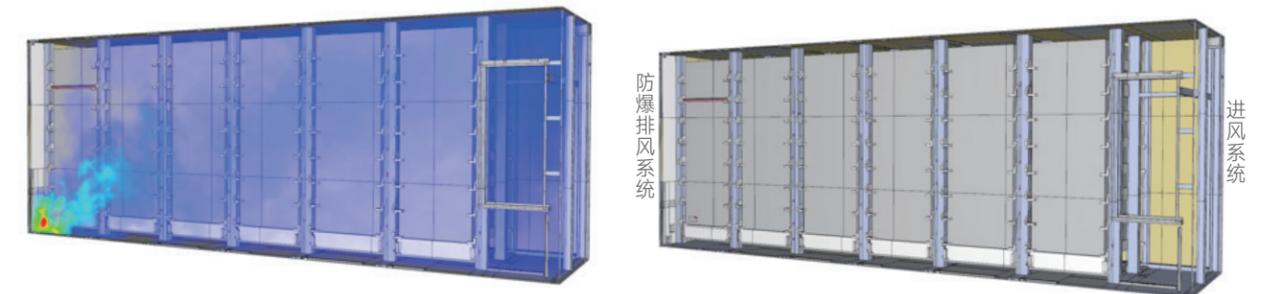


图19 机械排气系统启动几分钟后柜体可燃气体浓度

d) 泄爆防护

储能集装箱极端燃爆情况下会对周围电池预制舱和运维人员的人身安全构成重大威胁。天合储能集装箱配备了满足NFPA68安全设计理念的泄爆面板。若前期的防爆通风和灭火策略未能控制住储能集装箱的火势蔓延，储能系统的泄爆系统可以产生定向压力泄放。从而避免储能集装箱本体解体，危及周围集装箱。且天合储能可针对电池热失控可燃气体的燃爆风险进行仿真分析，通过仿真分析储能集装箱内部不同位置的气体分布和压力分布，从而指导储能集装箱泄爆板面积和位置选型。

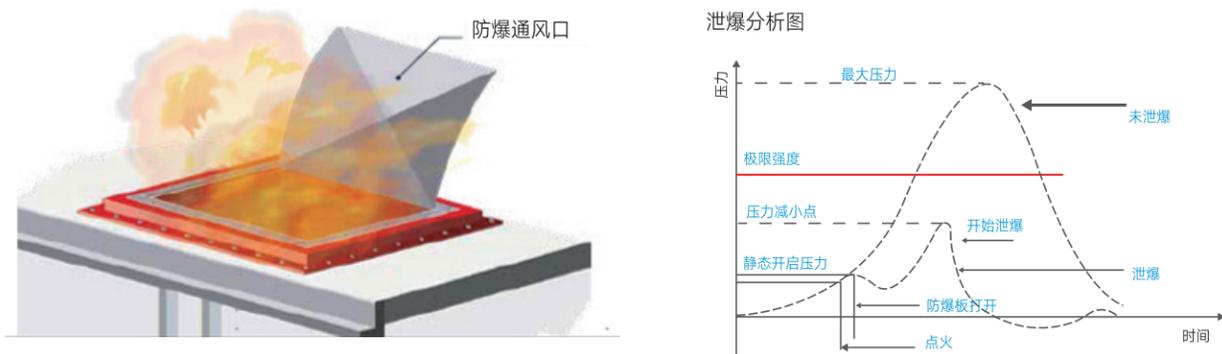


图20 泄爆示意图

e) 水消防安全设计

由于锂离子电池热失控的特性，虽通过喷洒灭火药剂可对电池表面进行降温，但是电池内部的化学反应会持续进行。仅通过灭火药剂的喷洒不能完全阻止电池的热失控蔓延，仍有引发大型火灾的可能性。为保证储能电站绝对消防安全，天合储能配备了外置水消防接口，并且在集装箱顶部设置了水消防管路，可实现水消防漫灌，快速扑灭火灾。

3.1.2.5 数据功能安全

a) 离群电芯检测

电芯作为电池的基本单元，其内部故障可能引发电池组的整体性能下降甚至安全事故。即使是同一批次生产的电芯也可能存在微小差异，离群电芯通常表现为电压、内阻等参数与其他电芯存在显著差异，这些差异随着时间推移可能会加剧，导致电池组内部的不均衡，进而引发过充、过放、过热等问题，严重影响电池的安全性。因此，通过离群检测及时发现并处理这些异常电芯，对于防止电池安全事故具有重要意义。

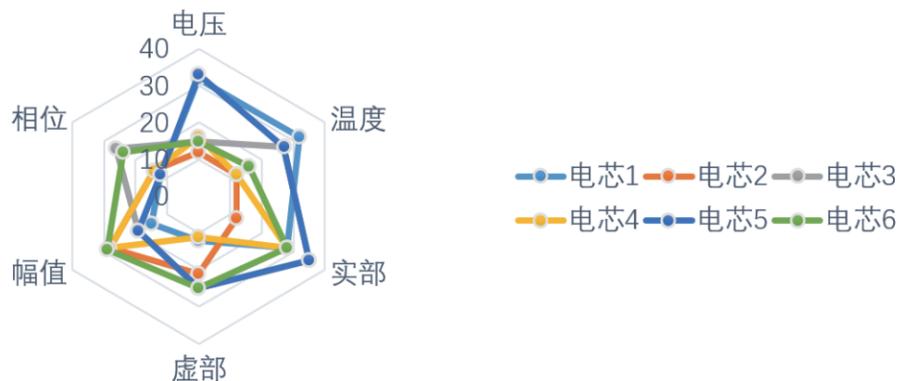


图21 离群检测算法模型

BMS将基于电化学阻抗检测等先进技术的离群检测方法应用于电池管理系统中，通过在线阻抗检测设备，实现对电芯离群现象的智能提前预警，将故障隐患扼杀在早期阶段，保障了新能源系统全生命周期的安全。

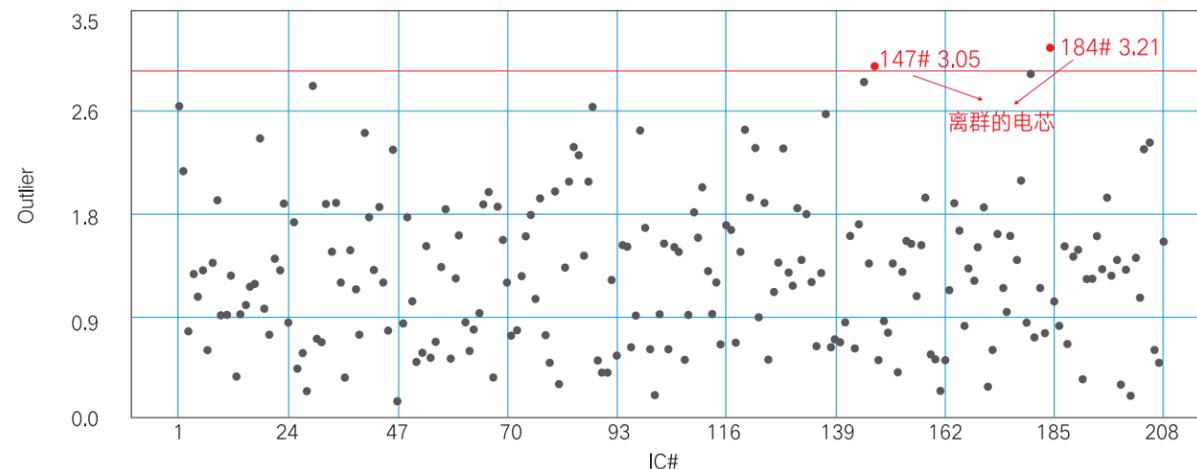


图22 离群电芯检测结果图

BMS集成的离群检测算法可以持续监测电池组的状态，通过聚类分析根据阻抗特征自动分组，从而简化离群检测的过程，能够更精准地检测电芯的状态和性能差异，可对电池模块出厂前及运行过程中的电芯进行离群检测，识别异常电芯，并采取相应措施（如隔离故障电芯），为电池组的优化和管理提供了有力支持。

b) BMS安全预警算法

锂离子电池在使用过程中会逐渐老化，导致容量衰减、内阻增加等问题，老化会影响电池的性能和寿命，从而影响整个系统的性能，还可能引发安全问题。电池管理系统（BMS）需要实时监控电池的状态，并根据SOH的变化调整充电策略、负载分配等。SOH预测算法为BMS提供了重要的数据支持，可以实时了解锂电池内部的状态信息，对电芯进行充放电管理和安全状态预警，同时预测电池的寿命信息。因此，准确预测电芯的SOH对于指导电池管理系统的设计、优化电池使用和维护策略具有重要意义。

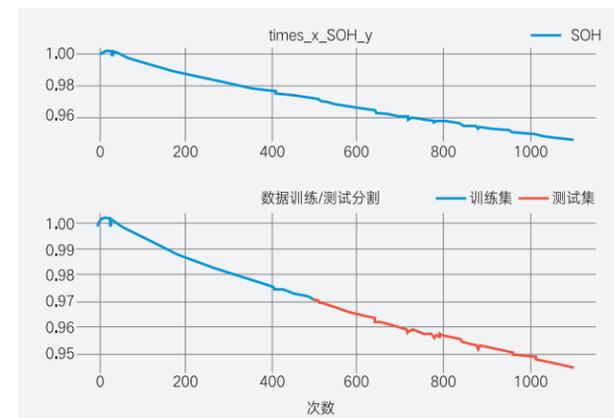


图23 SOH预测模型

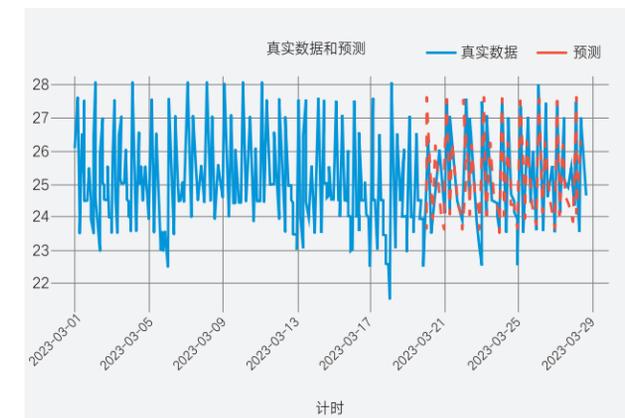


图24 温度实际值与预测值

BMS采用数据驱动的方法，并基于机器学习算法生成预测算法模型，与云平台联动，部署实现实时预测未来数据，实现对电芯未来24小时温度数据的预测以及电芯SOH数据的预测。

c) 设备智能监控

为从源头加强储能安全管理，天合储能采用“三位一体”的解决方案，本地控制器、储能管理系统（EMS）和云平台的联合使用，实现多端数据安全、场站安全、能量安全保障。全方位数据实时监控，云端数字孪生动态展现，以强大数据分析采集能力实时上传电芯级数据，精准高效监控设备关键参数，为及时发现设备运行异常或故障提供高可靠数据支撑，实现储能全生命周期安全监控。



d) 故障告警诊断

为提升储能系统安全问题的及时解决效率，避免可能导致事故的故障发生，天合储能在采用全方位数据实时监控的同时，对检测到任何异常或潜在故障迹象，系统能立即触发告警，并通过数据分析初步判断故障类型、位置及可能的影响范围，辅以云端强大的数据处理与分析能力，深入分析故障告警信息，结合历史数据、设备运行状态及环境因素等多维度信息，进行精准故障定位，通过故障处理专家系统，输出诊断报告，及时推送提醒相关运维人员，有效防止了故障扩大化，保障了场站的安全稳定运行，做到故障最小化，运维轻量化，高效显著降低运维成本。

e) 多端融合预警防护

为能够保障设备安全，提升储能系统的安全稳定性，提前发现潜在问题，促进快速响应，及时采取措施，避免可能导致的设备损坏或安全事故。在EMS和云端充分利用统计分析、机器学习和深度学习等方法，对大数据进行深入分析，训练预警模型，辅以智能算法调控策略，做到多重防护，提前识别出潜在的安全隐患或运行异常，这种前置性预警机制，使得运维团队能够在问题实际发生之前采取措施，避免事态扩大，有效防止了安全事故的发生。同时，能够打破信息孤岛，实现各子系统之间的数据共享和协同管理，优化资源配置，提高应对效率。在紧急情况下，精准的风险定位可以大幅缩短响应时间，维护整站系统安全。

3.2 质量体系

3.2.1 体系介绍

天合储能已经通过了ISO9001标准的国际质量体系认证，并按照质量体系标准的要求，对标HW流程体系，持续优化储能产品全生命周期的质量管理体系。实验室通过了ISO17025实验室管理体系认证、使各项检测服务提供过程更加规范。同时通过了ISO45001职业健康安全管理体系认证、ISO14001环境管理体系认证和ISO27001信息安全管理体系认证等帮助提高内部管理水平和整体绩效，提供既满足顾客要求又满足适用法规要求的产品和服务的能力，为推动组织可持续发展奠定良好基础。



3.2.2 系统研发质量管理流程

公司开发流程借鉴标杆公司IPD开发管理流程，并结合自身行业特点与经验，刷新项目开发流程，共分5个阶段：概念阶段、计划阶段、开发阶段、验证阶段、发布/量产阶段：



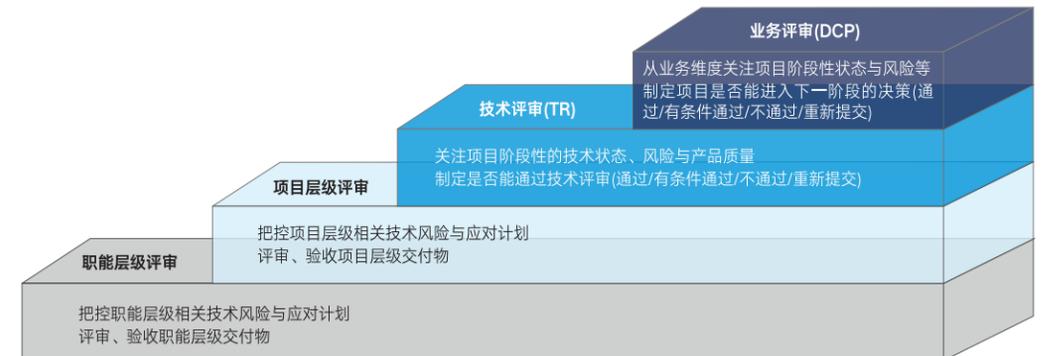
概念阶段：产品开发中心根据市场部及MU提供信息，进行初步设计。该阶段重点评估产品设计需求，审查可行性报告和风险评估，识别关键(技术)风险并制定解决方案。

计划阶段：确定新产品开发计划，敲定质量目标。该阶段重点审查项目计划、项目目标的完整性及准确性等。

开发阶段：细化具体设计方案，并进行A/B样试制。该阶段重点评估产品A/B样达成情况，分析技术风险，并根据当前测试/质量数据决定是否进入下一阶段。

验证阶段：优化设计方案，并在量产线进行C样试制验证。该阶段重点评估设计方案与产线适配性，以及产线能力。

发布阶段：冻结设计方案，并进行正式量产。该阶段重点评估分析技术风险，并根据当前测试/质量数据决定是否进行产能爬坡。



3.2.2.1 产品认证

部件	电芯	电池簇	电池舱
标准	IEC 62619:2022	IEC 60529:2013	IEC 60529:2013
	UL 1973:2022	IEC 60730-1:2013	IEC 60730-1:2013
	UL 9540A	IEC 62477-1:2012	IEC 61000-6-2/-4:2019
	UN38.3	IEC62619:2022	IEC62619:2022
	Rohs	IEC63056:2020	IEC 62933-5-2:2020
	GB/T 36276-2018	UL 1973:2022	IEC63056:2020
		UL 9540A	UL 1973:2022
		UN38.3	UL9540:2020
		GB/T 36276-2018	UN38.3
	CE	CE	



3.2.3 供应链质量管理



新供应商的导入:

1.初审:

通过《潜在供应商开发问卷调查》进行调查,进一步确认潜在供应商资质,评估是否需要继续开发。

2.体系审核:

确定待开发的潜在供应商后,采购部召集跨部门小组会议,确定对潜在供应商的评估方式;跨部门评估小组包含采购管理、储能质量管理、先进储能产品研究院。

3.过程审核:

主要为质保协议签订&新零件/材料批准,包含样品评估、第三方认证、批量试产等相关流程。

4.PPAP提交:

当样品评估及批量和可靠性验证、PPAP审核通过,由相关职能部门会签后,完成合格供应商资质认可。

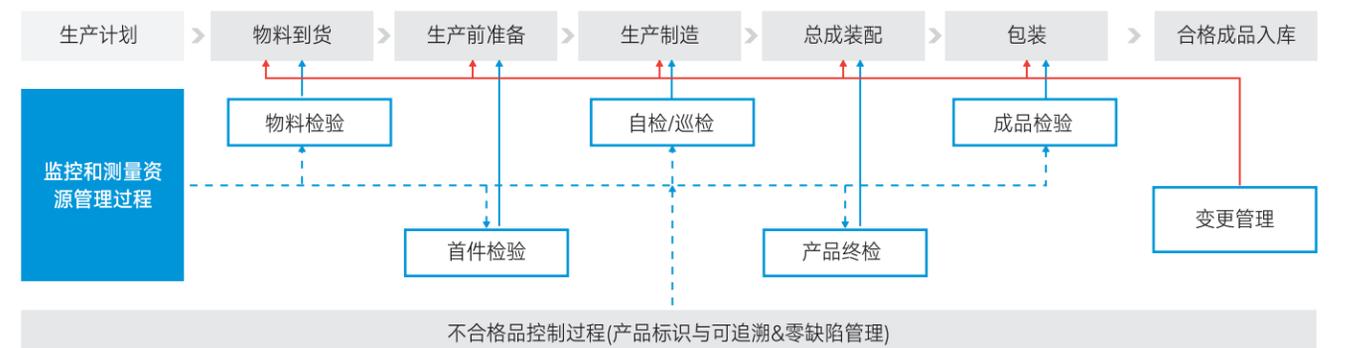
5.量产供应商管理:

- 1) 供应商绩效考核与管理:包含供应商月度&年度绩效考核、供应商绩效考核措施、8D管理等。
- 2) 供应商年度审核:质量部制定年度现场审核计划并实施,当不合格问题发生时,按需要随时安排稽核和辅导。
- 3) 供应商变更管理:供应链管理是供应商变更管理的唯一窗口,供应商变更由储能质量管理发起《变更申请单》流程给天合储能供应链管理受理。
- 4) 供应商可靠性管理:产品规格书&技术协议定义的可靠性要求,供应商提供年度可靠性报告给先进储能产品研究院,先进储能产品研究院组织研发、研发质量、供应商质量等部门评审,通过后由储能实验室管理存档。
- 5) 供应商发展管理:为使供应商能提供更低成本的产品、保证更好的质量、交期和服务,基于共同的目标,在供应商合作的基础上,供应商质量负责对供应商实施辅导改善。

3.2.4 过程质量管控

天合储能质量中心构建了完善的过程质量管理体系,从物料到货至成品合格入库分阶段开展质量检验与管控,将质量监控与测量按照来料物料检验、生产制造首件检验、生产制造过程中自检/巡检、总装完成后产品检验、包装入库前成品检验五大节点穿插在整个制造过程中。制造过程中严格执行天合产品监控与测量控制流程,工艺变更流程,不合格品控制流程,确保产品质量达到最优。

在生产过程及出货环节,依托MES集成工艺路线实施产品的流转管控,有效管理储能产品工艺控制点;同时,通过MES系统进行实时追溯管理,实现产品溯源管控。质量中心不合格品管理系统、变更管理系统的应用,全面解决了制造质量异常、产品工艺变更“数据”的存储及统计分析难题,质量报表自动化生成及导出,变更履历的自动化更新及保存,保证了制造过程质量异常数据、工艺变更信息的可追溯,提升了数据的安全性。



3.2.4.1 过程质量管理（工厂出厂测试）

质量中心拥有完善的产品出厂试验能力，能够自主针对不同的产品搭建相应的测试环境。中心拥有35KV电站3套，高精度电能质量分析仪器多套，安规测试仪器多套，气密测试仪器，辅助测试设备多套，可以独立开展产品安规测试、辅助功能测试、联调测试、电能质量测试、老化测试等常规出厂测试以及系统功能测试。

1.系统清单

- 集装箱
- 储能逆变器
- 电池
- 电池支架
- 空调
- 低压柜
- 消防系统
- 照明系统

2.测试环境

- 集装箱
- 储能逆变器
- 电池
- 电池支架
- 空调
- 低压柜
- 消防系统
- 照明系统

3.系统常规测试

- 集装箱
- 储能逆变器
- 电池
- 电池支架
- 空调
- 低压柜
- 消防系统
- 照明系统

4.安规测试

- 集装箱
- 储能逆变器
- 电池
- 电池支架
- 空调
- 低压柜
- 消防系统
- 照明系统

5.辅助系统功能测试

- 照明系统
- 应急照明系统
- 空调系统测试
- 消防功能测试
- 行程开关
- 摄像头
- EXIT
- 温度湿度探头测试

6.储能系统功能测试

- 照明系统
- 应急照明系统
- 空调系统测试
- 消防功能测试
- 行程开关
- 摄像头
- EXIT
- 温度湿度探头测试

7.电能质量

- 空调系统测试
- 谐波
- 电压偏差
- 直流分量

8.追溯信息

- 空调系统测试
- 谐波
- 电压偏差
- 直流分量



3.2.5 交付质量管理

客户新项目导入：

1.合同评审：

在项目导入前期，依据天合协议评审流程对招标协议与项目协议中体现的质量部分做审核，给出应答意见。

2.项目导入差异化识别：

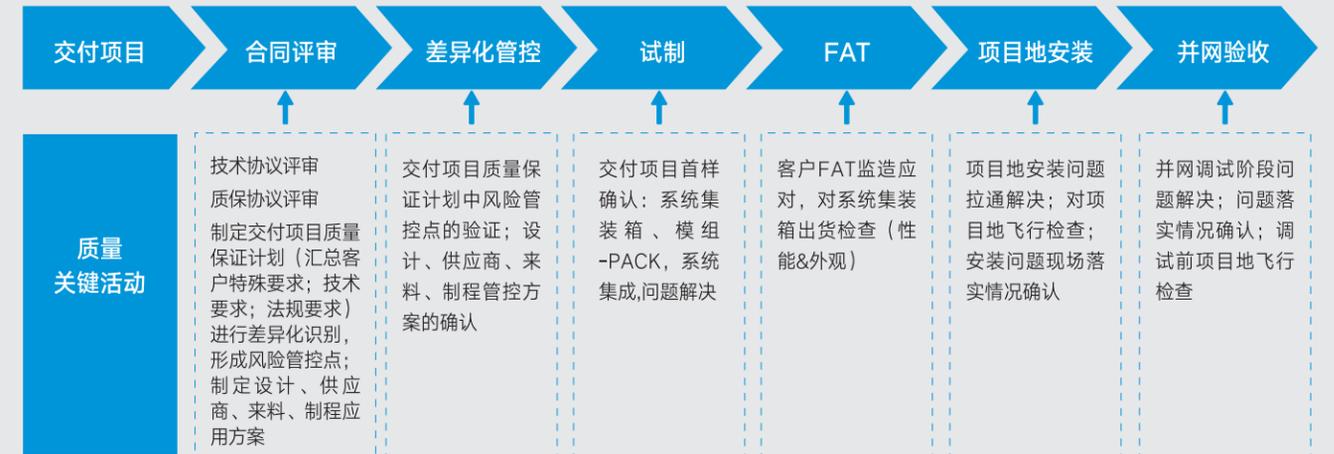
项目确定后，商务依据客户交付时间，确定内部排产，系统设计根据客户项目与平台项目给出差异识别，质量组织设计、供应商、来料、制成确定对差异项的管控方案。

3.FAT：

出货前,依据评审认可的FAT检验测试清单对产品进行出货检验。

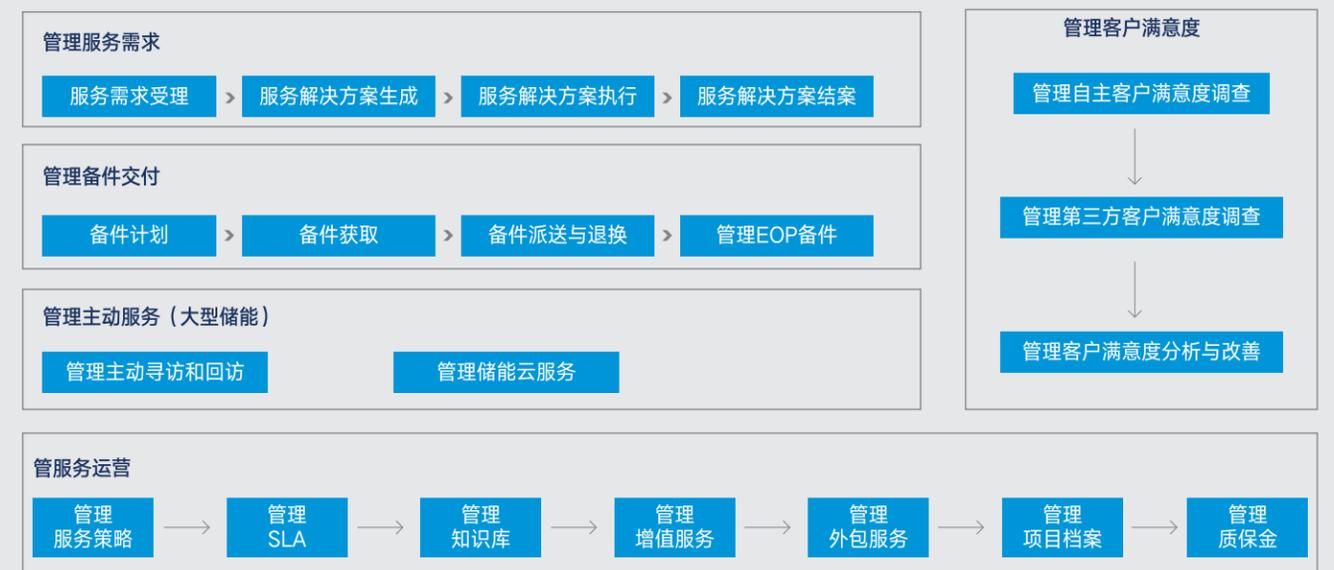
4.项目地问题解决：

项目地安装问题拉通解决；对项目地飞行检查；安装问题现场落实情况确认。



3.2.6 客户质量管理

等级分类	首次响应	抵达现场时间(非必要)	给出解决方案
部件咨询、远程支持	2天	/	/
一般客诉	1天	2天	5天
特殊需求客户	依据销售合同	依据销售合同	依据销售合同
重大客诉	立即处理	与客户沟通决定	根据实际情况加急





天合储能安全性验证

随着行业的不断发展，储能系统也日益复杂，为规避储能系统可能存在的安全功能失效，天合储能基于IEC 61508《电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全》标准体系要求，从硬件、软件两方面，规范产品生命周期各阶段的设计、验证和管理，以保障产品的安全性、可靠性。

4.1 电芯安全实证

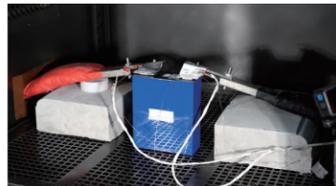
天合通过对电芯进行“机械安全”、“电气安全”、“热安全”等试验，确保电芯在各种工况条件下的安全性能，为天合电芯在多种应用场景中的广泛使用提供安全保障。



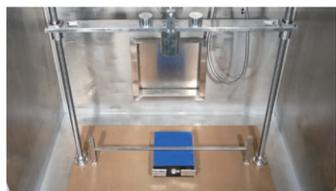
过充热失控电性能试验



过充非热失控电性能试验



短路性能试验



撞击试验



挤压性能试验



喷射试验

4.2 电气安全验证

绝缘和耐压测试是保障储能系统安全运行的重要举措，能够预防潜在的电气故障，提高设备使用寿命，保障人员安全。天合储能从电池模块、电池簇、电池舱、各电气设备及线路进行了绝缘和耐压测试。同时，为确保电池舱中所有导电性部件能够可靠地连接到接地点，避免漏电、静电和电击风险，天合储能对电池舱进行了接地连续性测试，确保接地系统符合安全标准，保障用户的安全和设备的正常运行。

4.3 结构安全验证

4.3.1 IP防护等级测试

IP防护等级由两个数字组成，分别代表了防尘与防水的能力，也是衡量储能系统安全可靠性的核心指标之一。天合储能电池舱整体通过了IP55的防护等级测试验证，电池模块更是达到了IP67以上的防护等级要求，能够有效抵御灰尘与水分的入侵，使电池舱即使处在恶劣的工作环境中，也能保持良好的安全性和性能，为客户创造价值。



图25 电池舱IPX5防水产品评估IEC 60529测试



图26 电池舱IP5X防尘测试

4.3.2 运输安全

运输安全是储能系统交付必不可少的一环，在国内，储能系统通常由货运卡车进行道路运输。在运输前，箱内各设备已完成安装固定。运输过程中，储能系统不需要特制工装，集装箱底部角件配合束带完成箱体固定，可保证运输途中集装箱整体结构的稳定，排除结构损伤风险。天合储能通过振动及路跑测试的验证，保障了运输过程中的安全。



图27 电池模块振动试验（图片来源：天合储能实测拍摄）

4.3.3 吊装安全

储能系统在转运过程中常涉及吊装作业，若系统结构刚度、强度设计不合理，吊装后极易产生箱体变形、舱门开启困难等问题。为避免此类问题发生，天合储能针对集装箱进行了吊装试验，通过增加斜撑结构等方式，提升横向、纵向刚度，在保证吊装平稳、不倾斜的同时，箱体强度可靠、弹性变形较小，且无永久形变产生。

4.3.4 抗震

除了满足基础的结构安全性能外，抗震性能也是必须满足的重要性能之一。作为全球性的产品，天合储能严格按照海外各区域的规范，对储能系统进行抗震性能验证，已经通过了北美、欧洲等国家或地区的抗震要求，保证系统结构的安全性能。

天合储能对于国内储能系统同样开展抗震性能验证工作，满足GB 50260等标准的强度要求，达到8级烈度的抗震设计水平，可布置在国内各地区。

4.4 热失控安全验证

- a) **测试目的:** 在电池系统内部制造单点失效的场景，观察储能电池柜内部是否发生大规模的电池热失控扩散及起火爆炸现象，从而验证电池舱的安全可靠性；
- b) **测试条件:** 室温户外环境，采用加热的方式模拟储能系统内单一电芯失效的场景；
- c) **台架展示:** 试验过程中高还原度模拟电池舱内部的热传导场景；

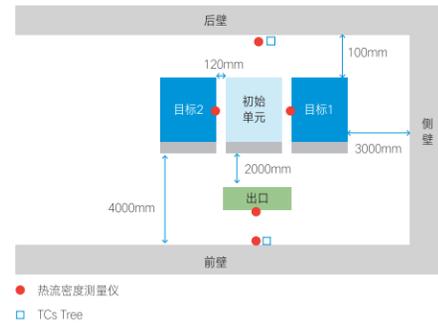


图28 热失控试验布置示意图 (图片来源: 天合储能实测拍摄)

- d) **过程表现:** 电芯热失控后，电池包泄压阀正常启动泄爆；电池系统内部热失控扩散自动停止，并未出现打火、起火、爆炸等安全事故现象；

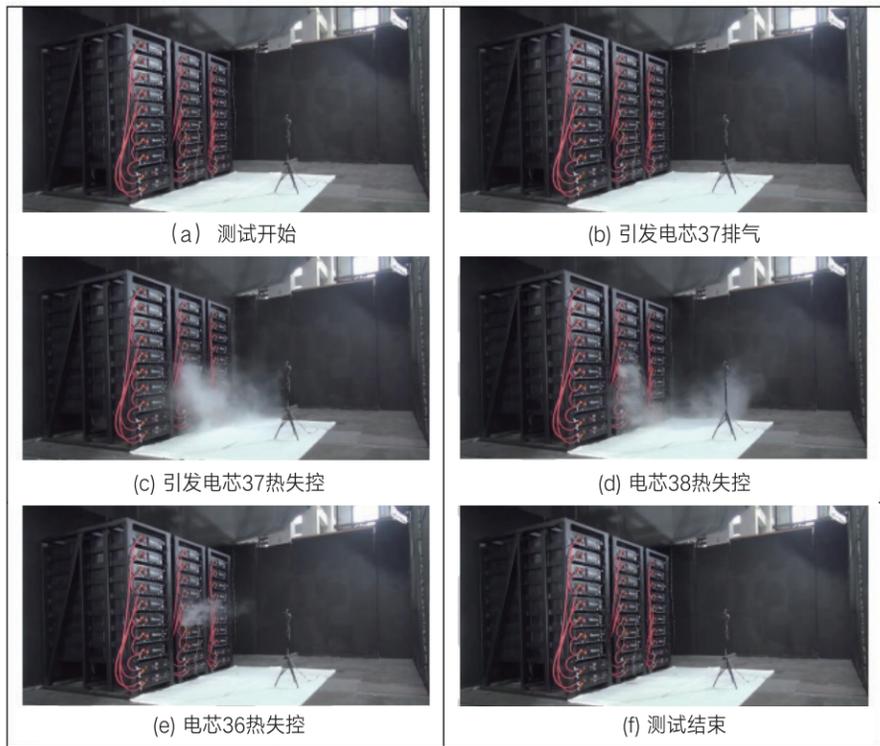
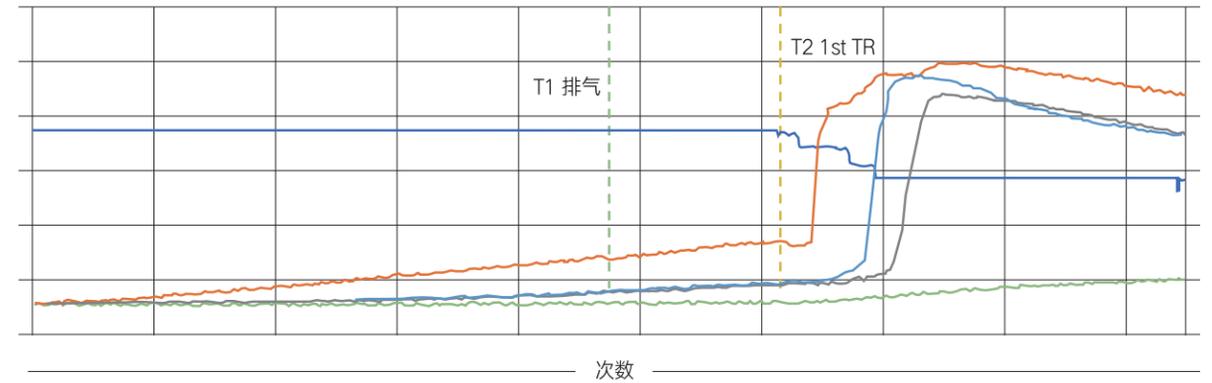


图29 热失控试验过程图示 (图片来源: 天合储能实测拍摄)

- e) **温度数据:**



- f) **试验结果:** 系统级部件失效情况下不起火、不爆炸、不会引发大面积热失控扩散。

4.5 消防安全验证

消防系统在储能产品全生命周期中起着至关重要的作用，是为了保护人们的生命安全和财产安全而设计的一套系统。

消防系统包含对火灾的探测、报警、灭火三个关键要素，由于子部件较多，多设备交互响应，所以消防系统整体是否可靠成为重中之重。

天合储能针对消防系统设计了一系列全方位的测试环节，通过检测消防设备和系统，可以及时发现和解决潜在的安全隐患，有效地预防火灾事故的发生。从早期的探测响应到发出火情预警联动相关设备，到最终通过逻辑判定自动触发消防火灾抑制设备，通过人为模拟最真实的火灾场景，完成消防系统整体联动测试。

同时天合储能建议通过实体火灾试验验证消防设计的可靠性，将电池模块置于热失控状态以触发消防系统，使其达到自动喷放状态，通过对电池模块及舱内的温度监控，确定消防系统是否能够有效地持续抑制热失控。

烧舱实验



4.6 天合系统验证平台

天合储能不仅聚焦于电池产品、系统集成、软件与云平台等关键环节的研发，还尤为重视通过实验室的验证来确保产品的安全性和可靠性。

江苏天合储能有限公司储能产品检测中心（以下简称检测中心）从管理体系与技术实力两方面严格要求，建立有完善的实验室管理体系、配备有先进的测试设备并组建专业的技术团队，以确保试验结果的准确、可靠。



图30 检测中心

检测中心包含了储能电芯、电池模块、电池簇、BMS以及电池舱的产品链检测能力，覆盖GB/T 36276、GB/T 34131、IEC 62619、IEC 63056、IEC 62477-1等多项国内外标准，不仅展现了其检测技术水平的全面性和先进性，也为其在全球储能市场中赢得了更多的合作机会和竞争优势。



图31 产品链检测能力

检测中心在2023年1月取得了中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可资质。同年6月检测中心取得了中国质量认证中心（CQC）首家储能目击实验室资质，在8月进一步取得了TUV南德储能行业首家TMP目击实验室资质和美国保险商实验室（UL）目击实验室资质，意味着检测中心能够为全球客户提供符合国际标准要求的储能产品检测服务，为客户保驾护航。



CNAS认可资质证书

CQC现场检测实验室资质

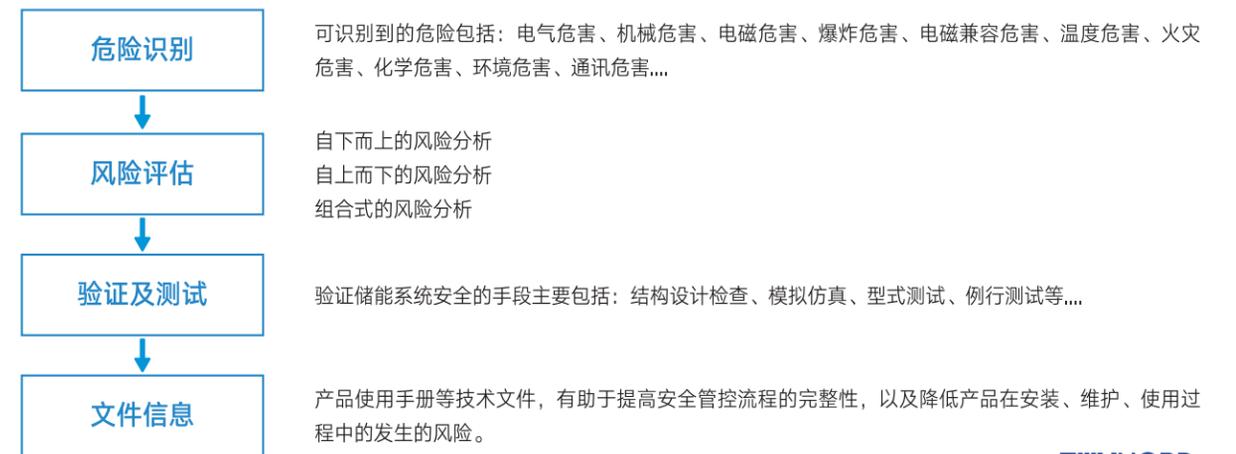
TUV南德TMP目击实验室资质

UL目击实验室资质

第三方机构及行业专家观点

5.1 TÜV NORD检测助力储能安全

储能系统安全评估思路



TUVNORD

储能系统安全评价维度



TUVNORD

储能系统全生命周期安全管控



5.2 质量控制和产品检测方案

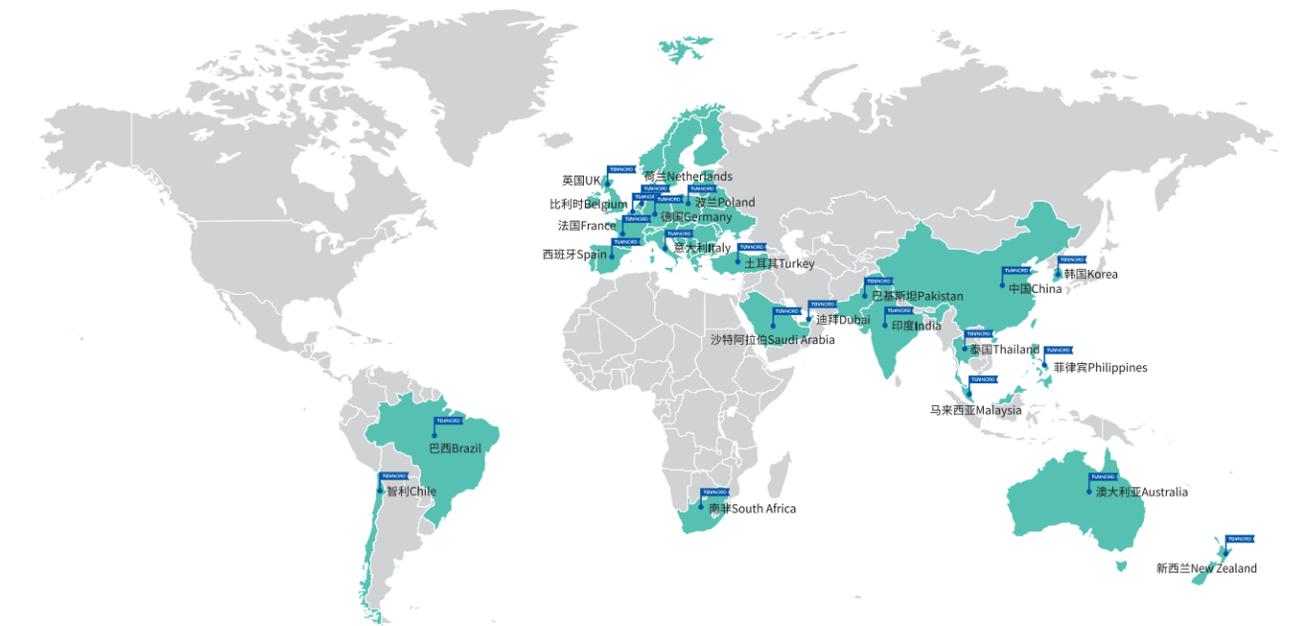
有效的安全检测和管理措施可以大幅降低潜在风险，确保储能系统的安全运行。TÜV NORD作为专业的技术服务公司，提供了CE、IEC、CB体系等全面的全球准入标准认证服务，确保电池和储能系统符合国际市场的安全以及合规要求，帮助客户提升产品的国际竞争力和市场认可度。

储能产品全球市场准入要求

测试类别	欧洲及其IEC体系国家	北美	澳洲	中国
安全	IEC62619 IEC63056	UL 1973 UL 2743 UL 9540 UL 9540A	AS IEC 62619 UL 1973	GB/T 36276
性能	IEC 62620 IEC 62933-2-1	—	—	GB/T 18278
安规	IEC EN 62477-1 IEC EN 62040-1 IEC 62933-5-2 VDE-AR-E 2510-50	UL 1642 UL 2054	AS IEC 62040-1	GB/T 36558
电磁兼容	IEC 61000-6-x series	FCC	IEC 61000-6-x series	GB/T 36558
运输		UN38.3 海运IMDG 海运IATA		
安装	VDE-AR-N 4105(德国) PGS 37-1(荷兰) NFC15-100(法国) BS 61427(英国)	NFPA 70 NFPA 855	AS/NZS 3000 AS/NZS 3011	
功能安全	IEC 60730-1 IEC 61508	UL 991 UL 1998		GB/T 34131
环境	RoHS REACH			



TÜV NORD 全球储能市场准入服务



近年来电化学储能与新能源结合的项目趋势发展迅猛，从户用储能到大型储能电站屡见不鲜。目前，电化学储能系统被广泛运用于发电侧，并网侧以及用户侧。由于其运用场景复杂，在设计、运行及维护中存在很多挑战。TÜV NORD 基于丰富的储能产品、零部件认证、现场检验、系统验收等项目经验，帮助降低产品交付到现场或使用中出现运行故障的概率，避免发生连接故障，容量大幅衰减以及运输安装使用过程中损坏等情况。TÜV NORD 为储能企业提供涵盖整个生命周期的一站式解决方案，从检测、检验、认证，到可行性和融资评估，风险分析和缓解方案，性能评估，项目认证和运维支持等。

售前

- 技术服务：提供标准与法规的解读，帮助客户了解目标市场的相关标准与法规；并且根据自身产品特点，制定合适的合规的策略和认证方案。
- 培训服务：提供标准内容和认证流程的培训，以及相关人员资质的培训。
- 研发支持：提供产品设计评审服务，确保设计符合相关标准要求；提供技术支持和指导，帮助解决研发过程中遇到的技术难题。

售中

- 检测服务：提供产品安全、性能、安规等各项检测服务。
- 检验服务：提供生产过程监造、工厂审核、现场目击。
- 认证服务：提供符合全球市场准入要求等各项认证服务。

售后

- 后续服务：为产品迭代更新提供持续的认证支持，帮助客户了解和应对市场监管的变化。



**标准
全覆盖**

- ✓ 欧盟认证
- ✓ CB互认
- ✓ 北美认证
- ✓ 澳洲认证
- ✓ 日本认证
- ✓ 国标认证
- ✓ 市场列名
- ✓ 电池法规
- ...

**产品
全覆盖**

- ✓ 锂离子电芯
- ✓ 移动式储能
- ✓ 户用储能
- ✓ 工商业储能
- ✓ 集装箱储能
- ✓ 储能电站
- ✓ 充电桩
- ✓ 电池管理系统
- ✓ 能量转换系统
- ✓ 消防系统
- ...

**生命周期
全覆盖**

- ✓ 研发支持
- ✓ 工厂审核
- ✓ 生产过程监造
- ✓ 产品测试
- ✓ 出货前检验
- ✓ 到货检验
- ✓ 现场评估
- ...

TUVNORD

总结



储能是推动能源转型的重要支撑技术，有助于构建清洁低碳、安全高效的能源体系。

在全球推动碳中和的大背景下，全球储能行业发展十分迅猛，储能技术已成为新能源领域的重要支柱，其广泛的应用场景与可再生能源的紧密结合，为解决能源供需矛盾、提高能源利用效率、减少对传统能源的依赖以及实现能源的可持续发展提供了有力支持。对稳定电网、提升能源效率具有举足轻重的战略意义。在储能技术强势发展的同时，随着储能系统的大量安装，发生事故的危险性也有一定程度增加，储能系统发生安全异常时，将会导致潜在的危害事件，特别是火灾和爆炸等事故，已成为行业当前急需攻克的安全技术难题。

安全是新能源行业的发展之本，白皮书重点突出了储能安全的重要性，探讨了储能系统安全设计、安全分析、安全验证的关键性，以及随着储能技术快速发展所带来的安全挑战和解决方案，希望通过这份白皮书，为储能行业的健康发展起到助力。