

# 引领储能直流拉弧安全革新

ArcDefender™ 储能直流拉弧技术白皮书



# 前言

## PREFACE

随着全球能源结构的加速转型，储能是可再生能源大规模发展的关键支撑技术。在大型新能源发电、分布式发电、电力系统场景中，储能系统的应用已经成为提升新能源消纳、平衡能源供需、保障电力供应安全与稳定等方面的重要手段。据彭博新能源财经（BloombergNEF）预测，到2030年全球年新增储能装机量达136.4GW/445.2GWh。

然而，储能安全是行业可持续规模化发展的基础，尤其是储能系统直流侧安全一直是行业关注焦点。随着大容量、长时储能系统的应用，直流侧电流/电压不断上升，电池及电气连接点数量大幅增加，导致直流侧拉弧故障风险极大提升。直流拉弧事故轻则导致设备损害，重则引发火灾，对人员、资产安全构成威胁。值得注意的是，针对储能直流拉弧安全问题，业界尚未形成有效的解决方案，使得人身、资产和设备安全暴露于风险中，限制了储能技术的规模化应用和发展。

为了让行业更全面了解并解决储能系统中拉弧安全问题，阳光电源联合鉴衡发布《阳光电源ArcDefender™储能直流拉弧技术白皮书》。该白皮书旨在探讨储能拉弧安全挑战和发展现状，提出面向未来储能发展的创新技术理念和方向。我们期望白皮书能为行业提供参考，引导行业标准制定，并激发更多的行业对话和合作，共同推动储能行业迈向规模化、高质量发展。



# 目录

## CONTENTS

<b>01</b>	<b>储能发展势头好，拉弧风险引关注</b>	
	1.1 全球储能高歌勇进 .....	4
	1.2 安全事故时有发生 .....	4
	1.3 直流拉弧亟需重视 .....	6
<b>02</b>	<b>储能直流拉弧检测与分断技术原理及挑战</b>	
	2.1 技术原理 .....	10
	2.2 技术开发与应用挑战 .....	11
<b>03</b>	<b>ArcDefender™储能直流拉弧技术方案</b>	
	3.1 技术方案 .....	14
	3.2 方案优势 .....	17
<b>04</b>	<b>ArcDefender™储能直流拉弧技术验证</b>	
	4.1 应用需求和技术方案评审 .....	19
	4.2 性能验证方法及结果 .....	20
	4.3 综合评定 .....	24
<b>05</b>	<b>结语与展望</b>	25

# 01

## 储能发展势头好 拉弧风险引关注



## 1.1 全球储能高歌猛进

随着全球范围内对碳中和目标的达成，能源行业正加速向清洁和低碳化转型，极大推动储能产业的快速发展。据彭博新能源财经（BloombergNEF）最新数据<sup>①</sup>显示，自2020年以来，全球储能装机容量显著增长，2023年新增装机量达95.8GWh，期间的复合增长率（CAGR）约达70%。BNEF预计到2030年，全球储能市场年新增装机136.4GW/445.2GWh。

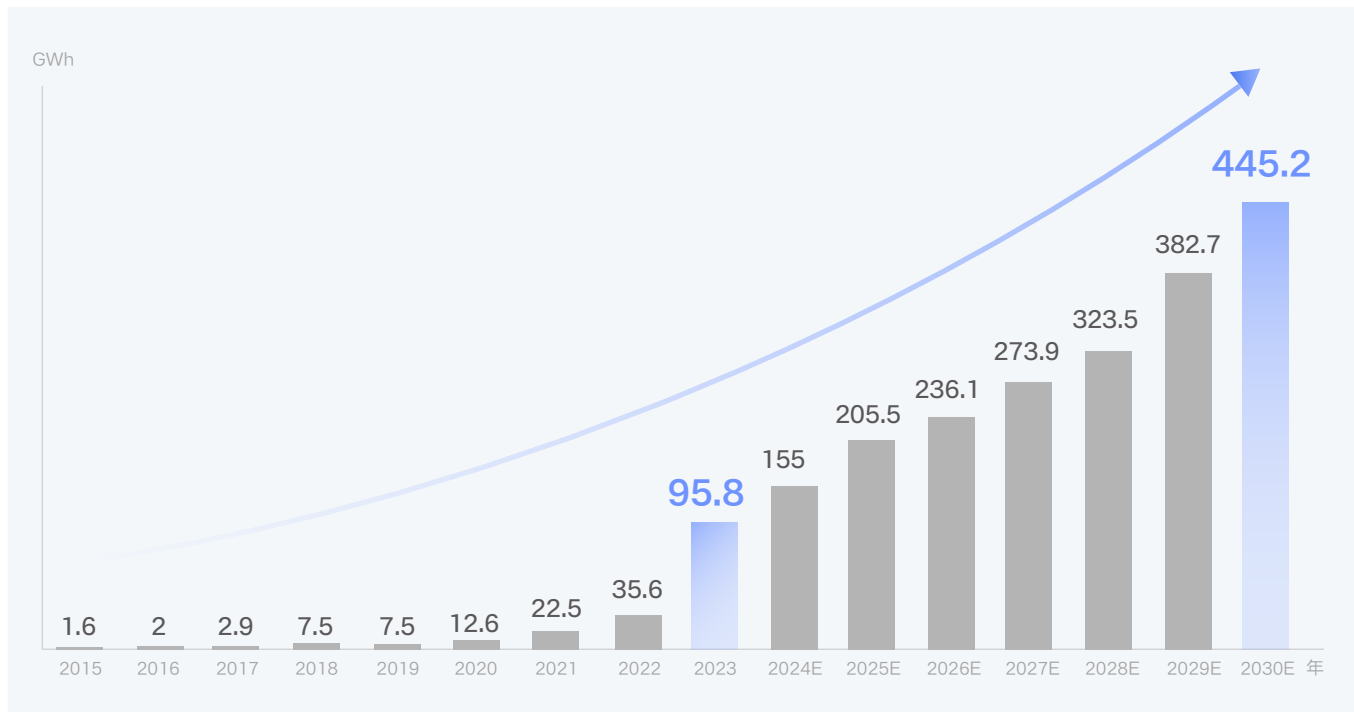


图1 2015~2030年全球储能年新增装机统计及预测

储能市场需求不断上升，储能赛道参与者不断涌入，近两年储能企业迅速增至15万家。然而，在过度竞争的环境下，参与者参差不齐、低价竞争频繁，加之行业标准不完善，导致储能安全面临诸多挑战。

## 1.2 安全事故时有发生

据行业公开信息显示，2017至2023年七年间，全球累计发生储能事故约100起，其中火灾事故约59起。例如，2022年5月，A国某大型储能电池项目因液体泄露导致绝缘保护失效，引发拉弧火灾事故；同年10月，B国重要数据中心储能火灾事故，导致A国金融、交通运输、互联网等几乎所有部门受到严重影响，关联企业股价下跌。因此，储能安全事故仍不时发生，其中火灾事故对人身、资产安全及社会影响严重。

<sup>①</sup> 数据引自BloombergNEF-《1H 2024 Energy Storage Market Outlook》，2024-04-25



液冷系统泄露（绝缘保护失效）导致电池模块内产生电弧，由此产生的热量引发了电芯热失控。

Investigation confirms cause of fire at Victorian Big Battery in Australia  
 By Andy Colthorpe  
 May 11, 2022  
 It was a 'leak failure,' with no injuries reported to site personnel, first responders or the general public and the multi-team investigation commenced almost immediately, on 3 August.  
 The investigation largely confirmed what was found by Energy Safe Victoria, the state's regulatory body, as it cleared the project to resume testing and commissioning, but added more details as they became known.  
 Site personnel noticed smoke emanating from a Megapack at around 10am on the day in question, and once emergency crews arrived, a perimeter was established around the unit, and water was applied to cool it. Fire then spread to the adjacent Megapack, which was ahead Blast away.  
 Fisher and ESCC said that a hot within the first Megapack's liquid cooling system caused arcing within the battery modules. Heat caused these back battery cells into thermal runaway.

图2 某大型储能电池项目拉弧引发火灾事故媒体报道<sup>②</sup>

行业专家指出，储能安全事故起因包括系统设计不合理、实施过程不规范、电池本体缺陷和配套措施不充分等<sup>③</sup>。根据事故案例分析和行业报告显示，因实施过程不规范导致的短路与拉弧故障，是引发储能电站火灾的两大主要原因。

综合考虑未来技术发展和产品演进的趋势，大容量、长时储能等应用场景变得更加复杂；直流侧电流/电压不断上升，电池及电气连接点的数量翻倍增加等，这些都将加剧直流侧故障拉弧风险。

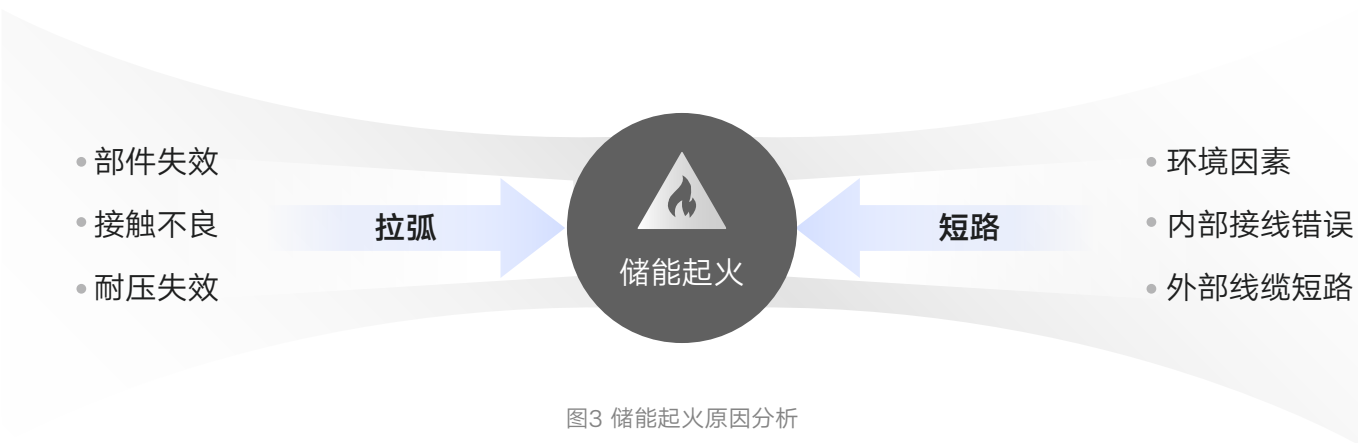


图3 储能起火原因分析

② 事故分析信息来自Energy Storage News网站, Andy Colthorpe, 2022-05-11, <https://www.energy-storage.news/investigation-confirms-cause-of-fire-at-teslas-victorian-big-battery-in-australia/>

事故图片来自The Guardian News网站, <https://www.theguardian.com/australia-news/2021/aug/02/tesla-big-battery-fire-in-victoria-burns-into-day-three#img-1>

③ 周喜超,王楠,徐街明,赵梦欣,张晨光,磷酸铁锂电池管理技术及安全防护技术研究现状[J]. 热力发电, 2021,50(06):14

## 1.3 直流拉弧亟需重视

### 1. 储能拉弧

拉弧是发生在带电导体与导体（或地）距离较近时，导体间的电压击穿气体，使气体电离而产生的一种持续放电现象。在储能系统中，因连接点接触不良、绝缘材料老化或损坏、电路突然断开等原因，都会导致拉弧的产生。

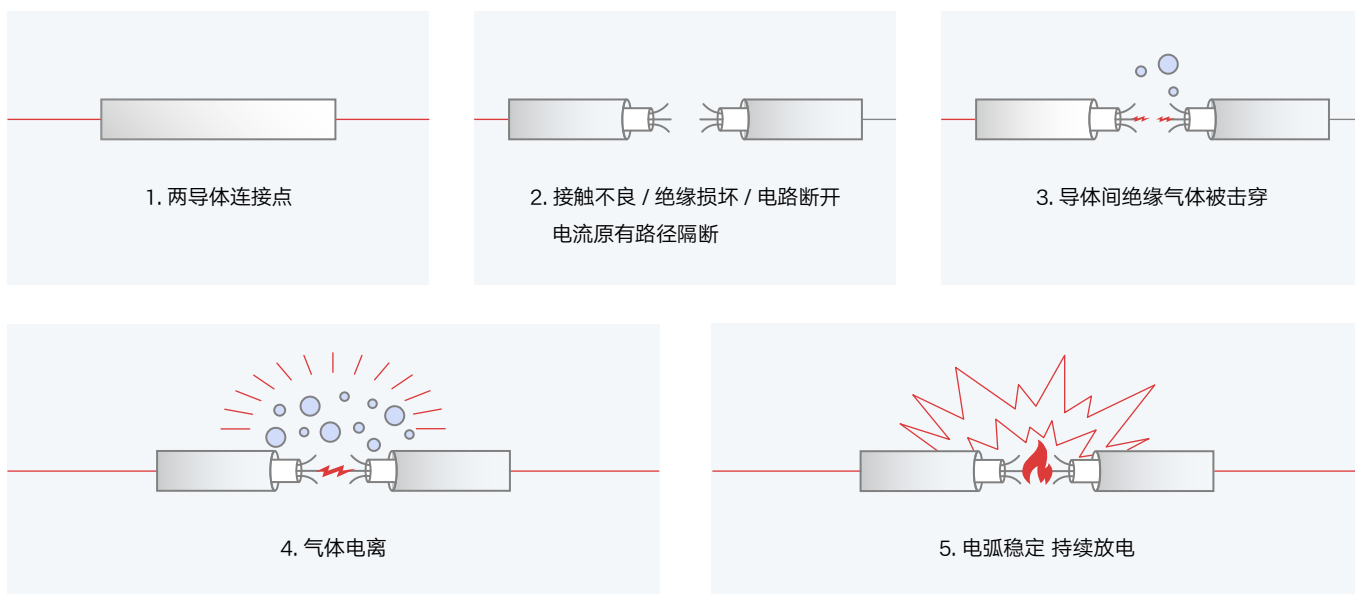


图4 拉弧产生过程

#### • 交流侧拉弧和直流侧拉弧

拉弧现象同时存在于交流和直流电源系统中，受交流电流和强度的周期性变化影响，交流侧拉弧在电流过零点时自然熄灭，在电流波峰时再次点燃，弧的产生具有间歇性，呈现出断断续续的脉冲状态，灭弧更容易，火灾风险小。相反，直流侧拉弧由于电流和强度的稳定性，拉弧产生稳定持久且难以熄灭，火灾风险高。

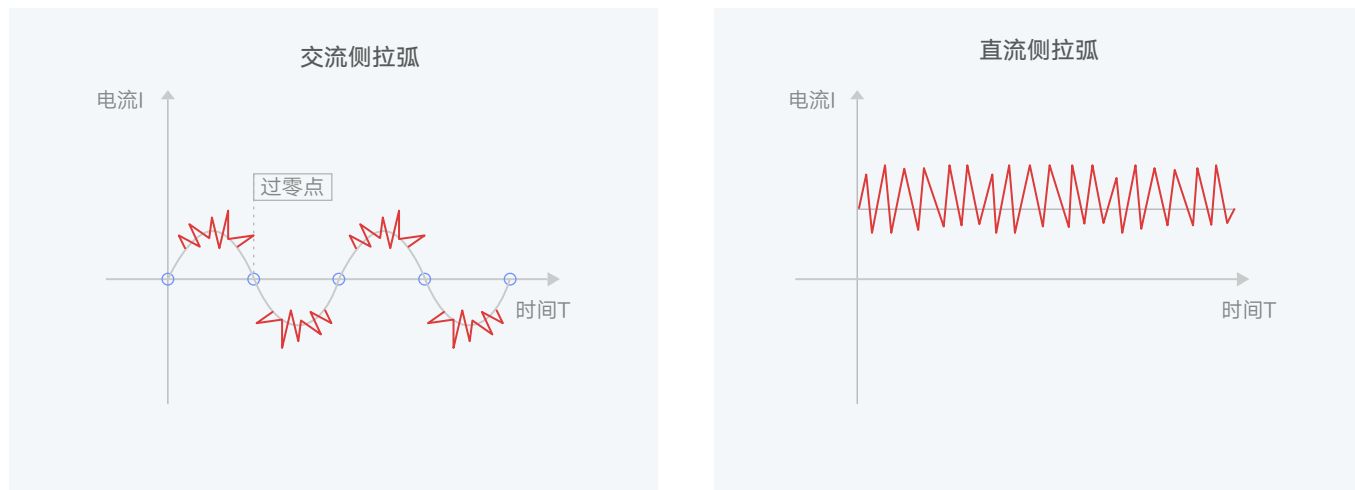


图5 直流侧与交流侧的拉弧特征差异

- **串联拉弧和并联拉弧**

根据电路连接方式和拉弧位置，储能拉弧可分为串联拉弧和并联拉弧（接地拉弧可视为一种特殊的并联拉弧）。串联拉弧通常发生在单一带电导体内部，因导体间间距小且数量多，发生频次较高；又因串联弧信号微弱，易被噪声覆盖，导致检测困难，如果处理不及时则易引发火灾。并联拉弧通常发生在不同带电导体之间，因导体间距大且路径复杂，发生频次少，目前通过熔丝和断路器等保护措施，可有效控制并联拉弧的影响。

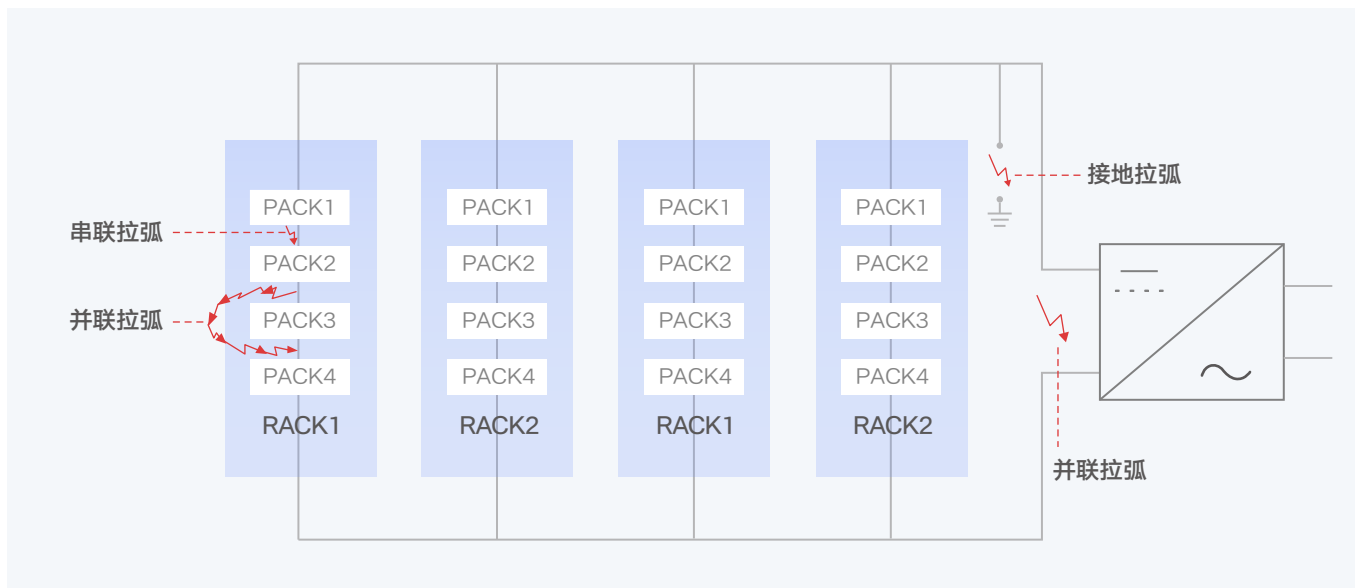


图6 储能系统中的串联拉弧和并联拉弧位置

目前，直流侧拉弧风险已引起行业广泛关注。一些国家和地区的储能安全标准，如GB/T42288-2022-5.2.1、IEC62933-5-2和IEC62485-2等，均涉及直流拉弧风险，但尚未提出明确要求和规定。由于直流侧串联拉弧的火灾风险大、发生频率高且暂无有效应对方案，本白皮书将重点讨论储能系统中直流侧串联拉弧的风险及其解决方案，并联合权威认证机构，共同制定相关规范。

## 2. 储能直流拉弧的特点与危害

- **储能直流拉弧的特点**

**高电压、大电流:** 为满足高能量密度存储和快速动态响应的需求，储能系统通常采用更高电压和电流设计。然而，这种系统设计不仅增加拉弧的触发概率，还由于直流侧电流的稳定性，使拉弧持续稳定且难以熄灭。

**起弧风险大:** 储能系统直流侧电路上分布着数以万计的连接点，这些连接点由于松动等原因，都可能成为潜在拉弧故障点，增加起弧风险。以5MWh储能系统为例（参见图7），直流侧连接点约超11,016个（12个电池簇，每簇918个连接点），而交流侧连接点仅有216个（12个PCS，每个PCS线路有18个连接点）；直流侧连接点数量是交流侧的50多倍，由此直流侧拉弧风险也相应高出数十倍。



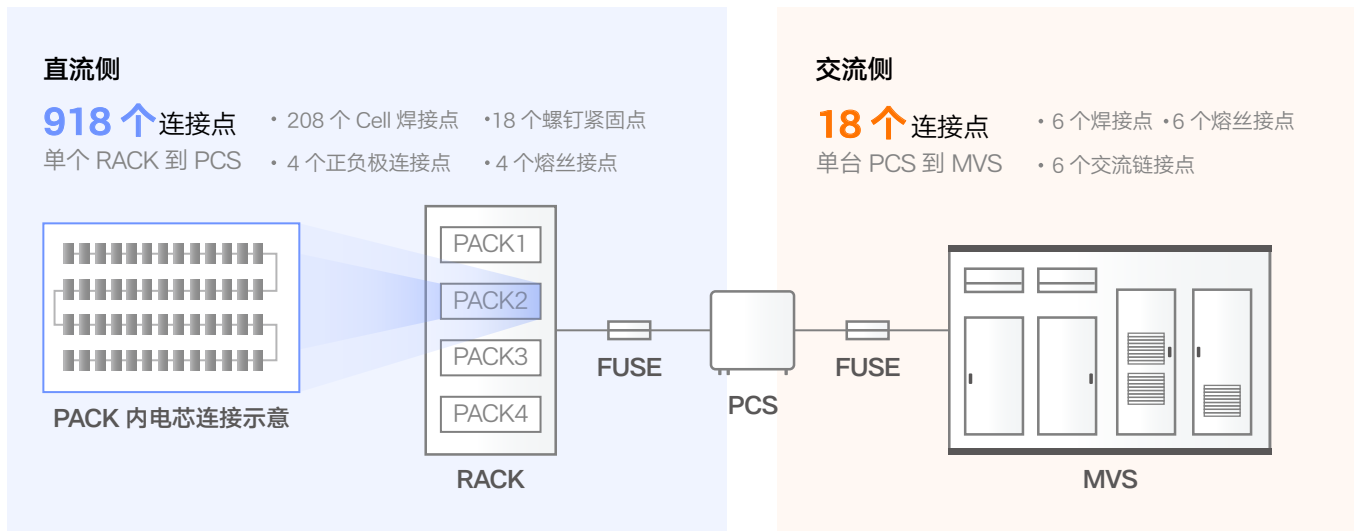


图7 直流侧与交流侧单簇电池的连接点<sup>④</sup>

## • 储能直流拉弧的危害

由于高电压、大电流运行等特点，储能直流侧拉弧发生时会释放巨大能量，弧心温度可高达3000~20000°C（在空气介质下）。这种高温会迅速传导至电芯内部，可能引发发热失控和释放可燃气体，进而导致火灾和燃爆，对人员、资产和设备构成严重威胁。

**人员伤害:** 火灾及燃爆产生的高温热浪、有毒气体、飞溅物等，对周围工作人员健康及安危构成威胁。

**设备损坏:** 拉弧不仅产生高温，还可能导致电压和电流异常，对电池和其他电气设备造成损害，影响电站的运行效率和寿命。严重时，可能需要更换大量受损设备，增加运营成本。

**影响电网:** 对于连接到电网的储能电站，拉弧故障可能导致电站输出功率突然下降，影响电网的稳定性和供电可靠性，尤其是在电力需求高峰期。

**经济赔偿:** 拉弧故障导致的设备损坏、生产中中断、电网不稳定等将给事故后的修复、善后和法律赔偿增加额外经济负担。

综上所述，储能系统作为全球能源转型的关键组成部分，具有广阔的应用前景。然而由于储能系统直流侧具有高电压、大电流、多连接点的特点，更容易触发拉弧事件。一旦发生拉弧，可能迅速导致系统热失控，释放大量热能，对人员、资产和设备构成严重威胁。因此，在储能系统的风险管理中，防止由直流拉弧引发火灾至关重要，以确保系统安全运行。

④ 参照416s 12p储能系统进行计算

# 02

## 储能直流拉弧检测与分断技术原理及挑战



## 2.1

# 储能拉弧检测与分断技术原理

为更好分析和理解拉弧行为及过程，我们可以将电弧近似等效为一个可变阻抗与电压源串联的模型。拉弧视为一个电压源，电位差使电流通过电弧路径流动，拉弧路径越长，维持拉弧所需的电压和电流越大。

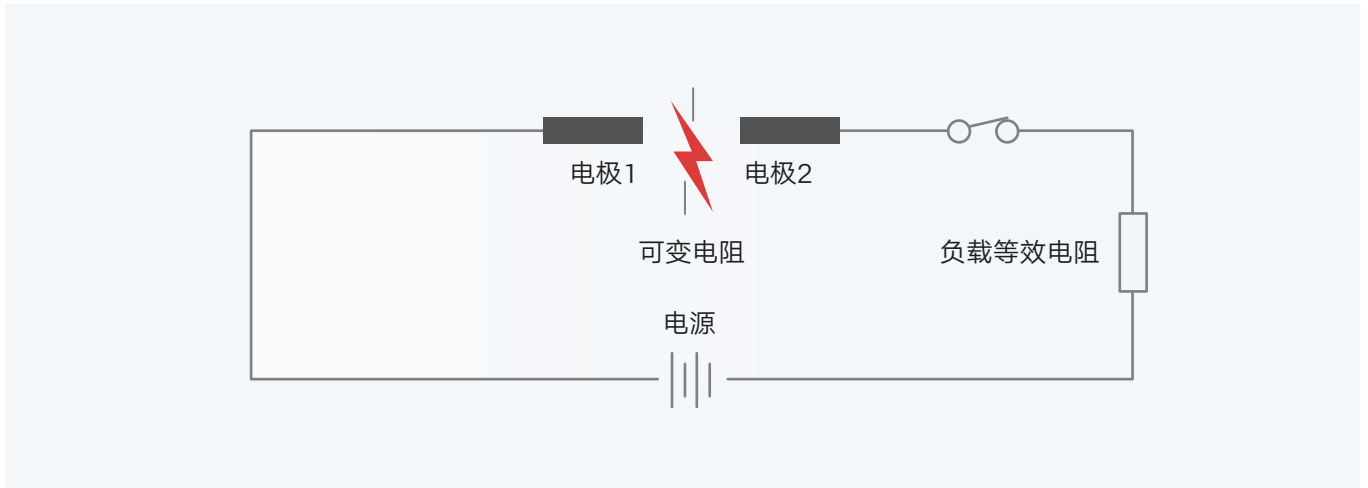


图8 可变阻抗与电压源串联模型图

当直流电弧故障发生时，电弧电流在频域上的幅值特征显著高于正常运行时的电流幅值。行业通常通过比较这些幅值特征的变化来判断系统中是否出现拉弧故障。一旦检测到拉弧故障，系统将发出警报和分断电路，防止危险扩大。

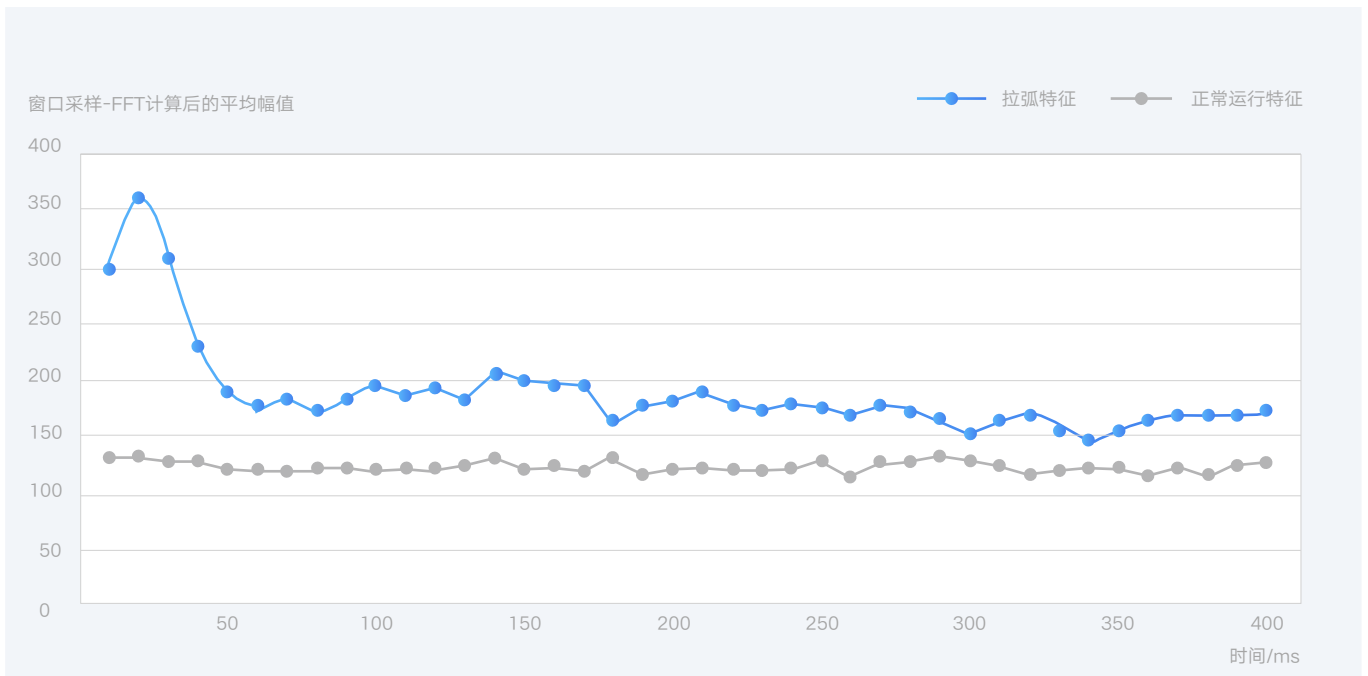


图9 拉弧特征幅值变化

## 2.2 技术开发与应用挑战

目前，光伏直流故障拉弧的研究已相对成熟。然而，针对储能系统中直流拉弧领域的研究仍处于初级阶段，尤其在储能拉弧特征提取方面尚属空白。部分储能厂商尝试利用弧光、热和噪声等物理特性及电磁辐射现象来识别拉弧故障，但这些方法的检测范围有限，不适用于密闭的电池舱体中。

储能直流拉弧技术难以攻克，主要原因在于储能系统的复杂性。传统储能系统中的电池、储能变流器（以下简称PCS）、电池管理系统（BMS）等核心部件通常来自不同制造商，缺乏一体化系统设计，这直接影响系统整体控制逻辑的一致性和数据传输效率，进而制约拉弧检测和分断的准确度和速度。其次，结合储能直流拉弧的特点、拉弧检测和分断原理及当前技术水平等，储能拉弧检测与分断技术开发面临以下挑战：

### 1. 噪声干扰大，拉弧识别不精准

在光伏领域，一种较为成熟的拉弧检测技术包含以下关键环节：首先使用电流传感器采集电流的时域波形信号；接着采用傅里叶变换（FFT）方法对这些信号进行频域提取、分析和处理；最后对拉弧故障的进行准确判断，并执行关断操作。

数据采集

数据处理

拉弧判断

执行关断

图10 光伏拉弧检测原理图

然而，将此技术应用于储能系统中时，会存在噪声适应性差、频域特征不明显等问题。具体表现在，光伏拉弧检测的最大直流电流通常在20~30A，储能拉弧检测的最大直流电流却达到200A以上。直流电流的增加导致电流频域特征的噪声也成倍增加。如图11所示，在30~100kHz频段内，光伏拉弧频域特征非常明显，而储能频域特征完全被噪声掩盖，难以检测到频谱变化。

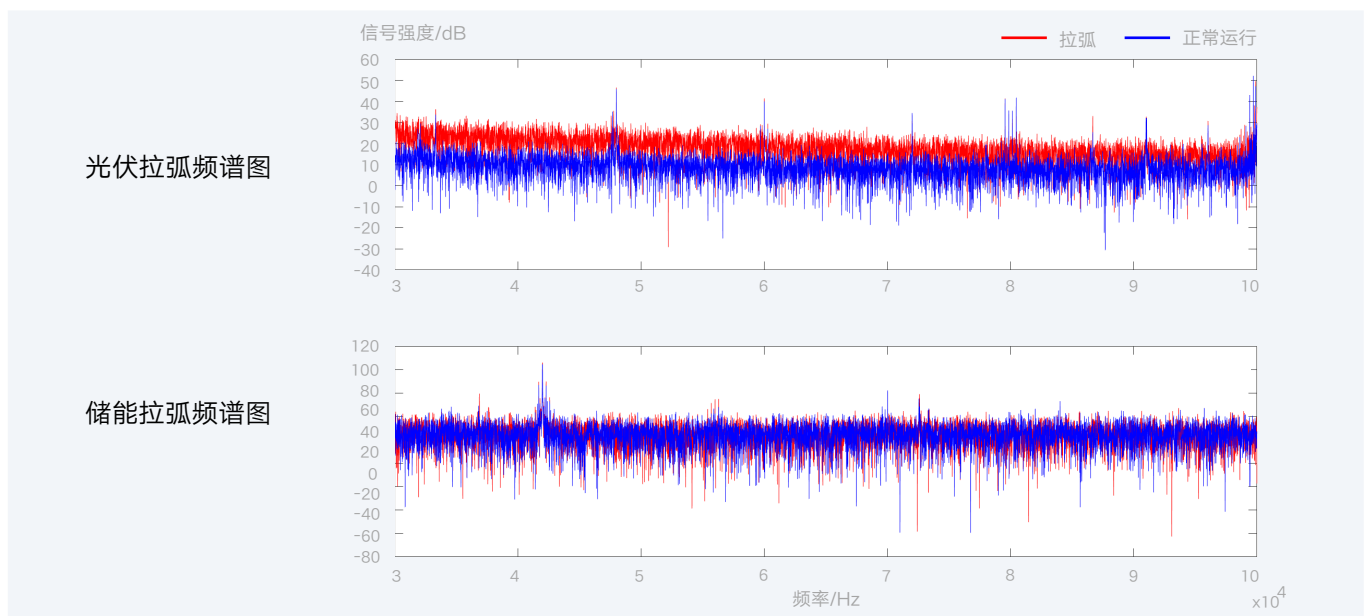


图11 光伏-储能拉弧频谱对比图

## 2. 燃弧能量大，留给灭弧时间少

根据CGC/GF208:2022规范，光伏系统的直流拉弧关断时间限制为不超过2.5s。然而，现有的拉弧关断技术无法应对储能系统中的灭弧挑战。

储能系统直流侧的工作电流和电压高，当发生拉弧故障时，产生的能量更大、温度更高，易迅速引发热失控。根据拉弧能量计算公式，在相同的电弧持续时间 $t_2-t_1$ 内，储能拉弧能量 $Q_{arc}$ 比光伏拉弧能量增大了约20倍，短时间内的能量聚集极易引发热失控，加剧了灭弧的紧迫性。

参数 \ 场景	光伏	储能
直流侧工作电流 $I_{arc}$	20~30A	$\geq 200A$
拉弧两端电压 $U_{arc}$	10V	$\geq 20V$

$$Q_{arc} = \int_{t_1}^{t_2} U_{arc} \cdot I_{arc} \cdot dt$$

$Q_{arc}$ ：电弧能量，单位为焦耳（J）

$t_1$ ：电弧电压为10V的时刻，单位为秒（S）

$U_{arc}$ ：电弧间电压，单位为伏特（V）

$t_2$ ：电弧电流低于250mA的时刻，单位为秒（S）

$I_{arc}$ ：电弧电流，单位为安培（A）

因此储能系统灭弧时间面临更为严苛的要求，必须具备更快速的响应能力，且确保不误报、不漏报，以最大限度地降低拉弧引起的损害。由于缺乏相关标准，目前行业尚未对储能系统安全灭弧时间进行明确规定。

此外，储能系统复杂的应用场景及环境因素增加了拉弧发生的可能性和复杂性，对拉弧检测的准确性和响应能力均提出了更高要求。例如，在高湿度和盐雾环境环境中，湿气和盐分会加速绝缘腐蚀化，增加拉弧故障风险。此外，在离网型场景中，由于没有电网电压支撑，各种负载特性会导致更为复杂的电流频域特征，使得储能拉弧故障的检测和识别更加困难。

# 03

## ArcDefender™ 储能直流拉弧技术方案



针对上述挑战，阳光电源坚持“三电融合 智储一体”核心理念，充分发挥在电化学、电力电子、电网支撑技术的深度融合优势，结合其在数智化储能系统开发方面的丰富经验，推出集储能拉弧风险预测、感应及抑制功能于一体的综合性解决方案。

作为储能系统功率转换的核心设备，PCS起到连接电池和电网的作用，对直流侧安全管理和整个系统可靠性至关重要。为了更好地实现电弧检测、分析以及系统封波判断等核心功能，可以将拉弧检测和控制单元集成在PCS内。

### 3.1 技术方案

阳光电源ArcDefender™储能直流拉弧技术是一项基于PCS的创新集成解决方案，旨在解决储能直流拉弧引发的安全隐患。通过TMR高精度传感、风险数据监测和弧识别动态算法等核心技术，实时识别和控制直流拉弧现象，实现全面防弧、精准识弧、极速灭弧，确保储能系统在高电压、大电流的复杂环境中的安全稳定运行，帮助投资者降低风险并提高全生命周期运营收益。



图12 ArcDefender™储能直流拉弧技术方案

## 1. 全面防弧：让拉弧少发生乃至不发生

预防大于治理。为了让拉弧少发生乃至不发生，阳光电源通过电气结构优化设计，源头上减少拉弧的可能性；通过电气隐患实时监测，确保了对潜在问题的及时发现和处理。

### • 电气结构优化设计

在最新推出的PowerTitan 2.0大型储能系统及PowerStack 200CS工商业储能系统产品中，阳光电源推动AC存储技术在全场景中的普及和应用，构建储能本体安全。针对拉弧安全，AC存储通过嵌入PCS设计，实现直流不出柜、直流线缆短、多支路难起弧，以及出厂免直流侧安装和接线等优势，大幅降低因绝缘失效导致的直流拉弧风险。

## • 电气隐患实时监测

储能系统中由绝缘失效引发的拉弧现象较为常见，特别是在高湿度和高盐雾环境下，绝缘问题更加突出。阳光电源PCS的绝缘诊断功能，支持系统启机前检测直流侧阻抗，并进行24小时交流侧阻抗监测；阻抗数据实时上传和分析，主动预警绝缘故障风险，有效提升系统的安全性和可靠性。

## 2. 精准识弧：拉弧故障不漏报、不误报

储能系统直流侧具有高电压、大电流和多连接点的特点，为防止火灾安全事故的发生，从信号传感到运算决策，必须要做到精准识别和判定，确保不漏报、不误报。

## • 拉弧信号采集环节

通过集成TMR隧道磁阻电流传感器<sup>⑤</sup>、高性能模拟滤波器等核心器件，PCS能够以高灵敏度和高信噪比采集直流侧电流数据，并对拉弧信号特征进行放大和分析，从而实现对微弱电流信号的高精度监控。

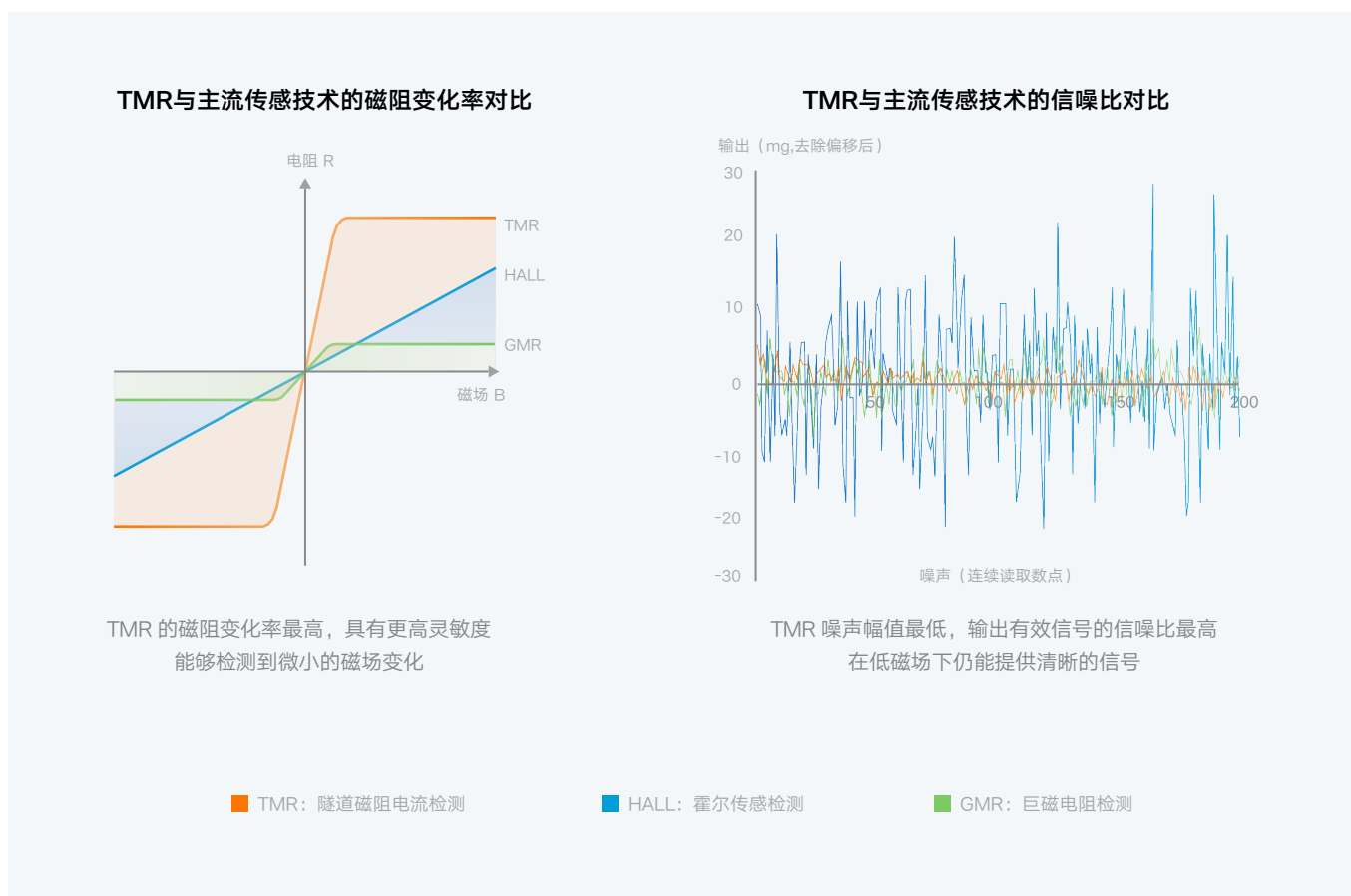


图13 TMR与主流传感技术性能对比

<sup>⑤</sup> TMR隧道磁阻电流传感器（Tunneling Magnetoresistance, TMR）是一种利用隧道磁阻效应来测量电流的传感器，具有高灵敏度、高精度、低功耗和宽频带等优势。多用于医疗、通信等领域，首次用于储能领域。



## 拉弧信号识别和判定环节

阳光电源基于全球515GW光伏和超20GWh储能项目应用数据，构建PCS拉弧识别动态算法，以“短时、频域触发+变增益积分判定算法”，取代传统的“长时频域特征提取、比对、积分判定算法”，显著提高拉弧故障识别速度和精度。此外，依托高算力处理器及AI深度学习技术，增强拉弧识别模型的泛化能力，能够主动识别并适应各种环境噪声的变化，有效避免误报和漏报。

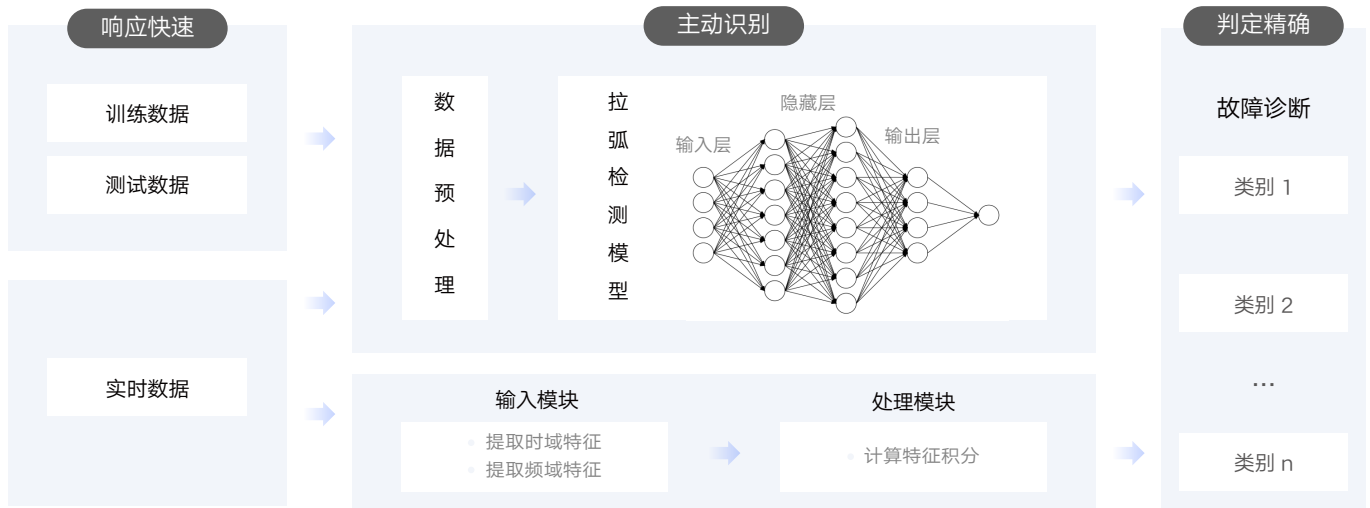


图14 ArcDefender™拉弧识别算法框架

## 3. 极速灭弧：毫秒级分断快、准、稳

阳光电源利用PCS与电池之间的深度耦合和数据互通优势，判定为拉弧风险后，PCS快速制定策略并下达灭弧指令，主动封波、关断，从而实现高效、精确的灭弧。

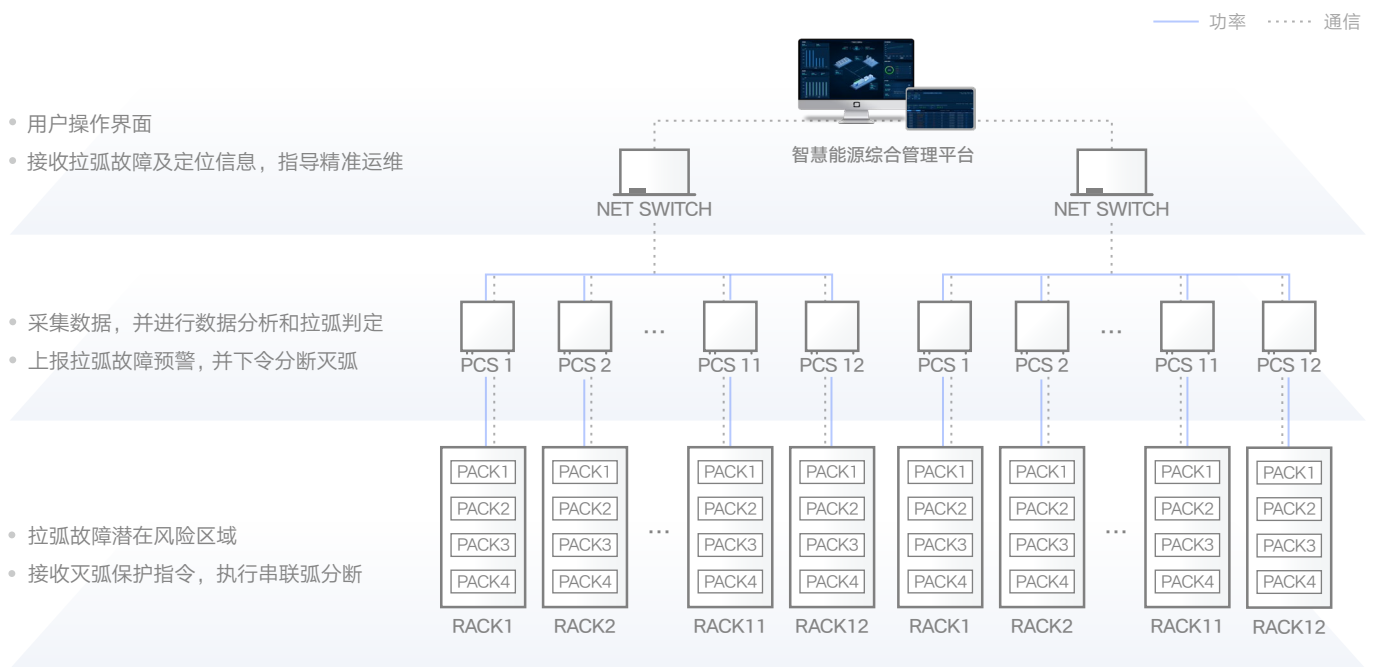


图15 ArcDefender™储能直流拉弧技术特性组网<sup>⑥</sup>

⑥ 特性组网图，参考PowerTitan2.0储能系统绘制

## 3.2 方案优势

阳光电源ArcDefender™储能直流拉弧技术在实际测试中表现出色，性能稳定。在210A最大电流水平下，系统能够精准捕捉到拉弧的发生，覆盖1500J最大能量范围内的各类串联拉弧事件。

### 1. 指导高效运维，降低维护成本

针对绝缘风险发出预警，指导运维人员识别潜在故障，进行预防性维护。针对拉弧故障，通过毫秒级识别和定位拉弧故障点，为运维人员减少不必要的检查和维修时间，降低维护成本。

### 2. 高标准风险控制，提升系统可靠性

电弧检测准确率100%，零误报、零漏报，0.2s内快速分断，防止由于拉弧导致更大范围的损害，保障生命、资产安全。



# C4

## ArcDefender™ 储能直流拉弧技术验证



## 4.1

# 应用需求和技术方案评审

为深入理解阳光电源ArcDefender™储能直流拉弧技术的性能水平，2024年5月，受阳光电源委托，鉴衡组成验证小组，对ArcDefender™储能直流拉弧技术进行了全面验证和评估。

### 01 需求评审

#### 评审分析内容

- 拉弧风险存在的区垣以及场景是否明确 · 所确定的应用需求是否适宜 · 所制定的应对策略是否适宜

评审方式：文件评审

### 02 方案评审

#### 评审内容

- 预期的防护以及实现目标是否明确
- 是否可满足预订的目标需求(主要包括功能的基本响应、所实现的保护范围、可支持的工作模式以及抗干扰的条件)、响应时间等
- 所采用的技术方案是否可实现预期目标的能力如硬件配置、软件策略、系统保护设计方案等

评审方式：文件评审+现场验证

### 03 功能验证

#### 现场验证内容

- 检测范围(可涵盖的检测及保护范围) · 支持系统类型(不同系统结构) · 响应精度(保护时间及保护能量的精度)
- 支持的工作模式 · 抗干扰的类型

验证方式：目击测试

### 04 性能评价

#### 评定内容

- 技术方案以及性能指标是否满足现有规范中所规定的等级 · 技术先进性以及所适配的应用前景
- 技术革新的潜力

## 4.2 性能验证方法及结果<sup>⑦</sup>

本次测试全面考虑了储能系统的实际应用场景，验证设备在并网、离网、充电及放电模式下，支持单支路及双支路系统类型，涵盖不同电弧电流条件下的基本功能和抗干扰能力等累计45种工况，详见图16。由于篇幅有限，本白皮书仅展示部分工况的实验过程及结果。

工作模式	系统类型	测试位置	最小电弧电流 (A)	检测模块的工作电流 (A)	拉弧速率 (mm/s)	电弧间距 (mm)
并/离网	单支路	正/中间/负	0.1I <sub>max</sub>	0.1I <sub>max</sub>	5.0	1.5
并/离网	单支路	正/中间/负	0.3I <sub>max</sub>	0.3I <sub>max</sub>	5.0	2.5
并/离网	单支路	正/中间/负	0.5I <sub>max</sub>	0.5I <sub>max</sub>	5.0	2.5
并/离网	单支路	正/中间/负	I <sub>max</sub>	I <sub>max</sub>	5.0	2.5
并/离网	双支路	正/中间/负	0.5I <sub>max</sub>	I <sub>max</sub>	5.0	2.5

图16 45种工况实验关键参数

### 工况1：并网充电模式

起弧电路工作电流	总电流	测试位置	工作电压 (V)	拉弧速率 (mm/s)	拉弧间距 (mm)	电弧能量 (J)	分断时间 (ms)
0.5I <sub>max</sub>	0.5I <sub>max</sub>	正	1299	5.0	2.5	118.3	55



图17 并网充电模式下实验波形图

<sup>⑦</sup> 波形图中，Ch1-代表电弧电流，Ch2-代表PCS交流侧输出电流，Ch3-代表电弧电压，Ch4-代表PCS直流侧两端电压

## 工况2：并网充电单支路最大电流模式

起弧电路 工作电流	总电流	测试位置	工作电压 (V)	拉弧速率 (mm/s)	拉弧间距 (mm)	电弧能量 (J)	分断时间 (ms)
I <sub>max</sub>	I <sub>max</sub>	正	1310	5.0	2.5	169	47



图18 并网充电单支路最大电流模式下实验波形图

## 工况3：并网充电双支路最大电流模式

起弧电路 工作电流	总电流	测试位置	工作电压 (V)	拉弧速率 (mm/s)	拉弧间距 (mm)	电弧能量 (J)	分断时间 (ms)
0.5I <sub>max</sub>	I <sub>max</sub>	中间	1307	5.0	2.5	114	141

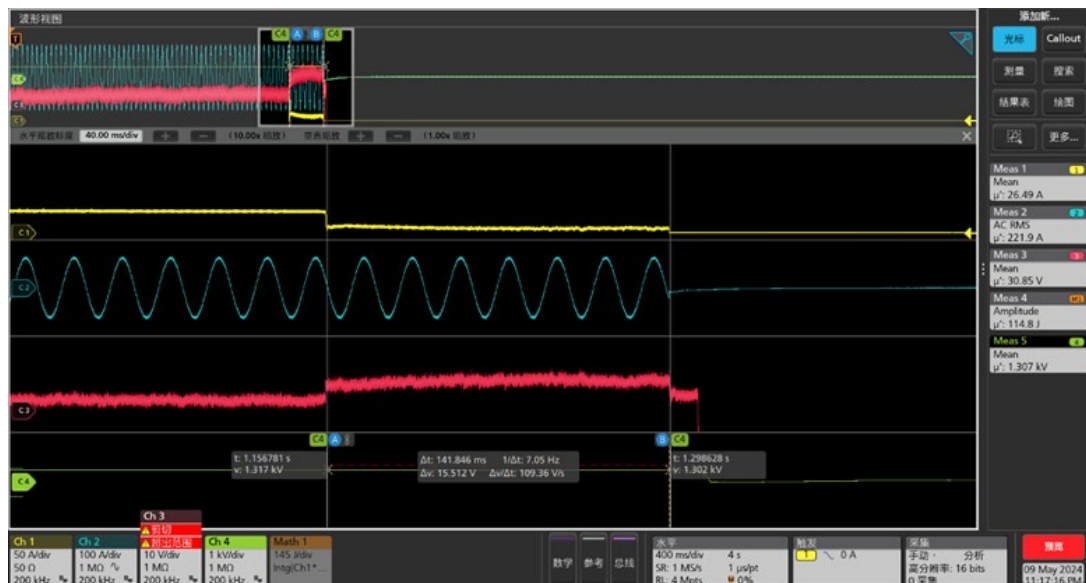


图19 并网充电双支路最大电流模式下实验波形图

## 工况4：离网放电单支路模式

起弧电路 工作电流	总电流	测试位置	工作电压 (V)	拉弧速率 (mm/s)	拉弧间距 (mm)	电弧能量 (J)	分断时间 (ms)
0.3I <sub>max</sub>	0.3I <sub>max</sub>	正	1204	5.0	2.5	79	72



图20 离网放电单支路模式下实验波形图

基于行业发展需求，鉴衡联合阳光电源及其他相关方，经过深入调研和广泛讨论，制定了CGC/GF 240:2024《储能系统直流电弧检测及分断评价技术规范》（以下简称《技术规范》），规范详细描述了测试方法和评价标准。针对未来储能技术发展需要，在更宽评价维度提出更高要求，《技术规范》对储能拉弧检测与分断技术核心性能分级评价要求，详见图21。

要求	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
可检出电弧种类	串联弧				预留 (根据电弧种类及其它抗干扰能力等)
可检出故障位置	PCS正极、负极、电池模块之间				
可适配的工作场景	并网	并网	并网、离网 (阻性负载等)	并、离网全覆盖	
支持的系统形式	单路输入	双支路	双支路	双支路	
电弧检测准确率	80%	90%	100%	100%	
电弧检测误报次数	2	1	0	0	
分断时间	1s	0.5s	0.3s	0.2s	
电弧能量	< 7500J	< 3750J	< 2250J	< 1500J	
可适配最大工作电流	0.9I <sub>max</sub>	1.0I <sub>max</sub>	1.0I <sub>max</sub>	1.0I <sub>max</sub>	

图21 《技术规范》对储能拉弧检测与分断技术核心性能分级评价要求

依据《技术规范》，验证小组按照上述评价要求，对采用了储能拉弧检测与分断技术的PCS变流器产品进行了现场测试和验证，得到如下各项验证结果：

项目	结果
可检出电弧种类	串联弧
可检出故障位置	PCS正极、PCS负极、电池模块之间
可适配的工作场景	并、离网全覆盖
支持的系统形式	单支路/双支路
电弧检测准确率	100%
电弧检测误报次数	0
关断时间	< 0.2s
电弧能量	< 1500J
可适配最大工作电流	1.0I <sub>max</sub>
等级评定结果	Level 4

图22 《技术规范》对储能拉弧检测与分断技术核心性能分级评价要求



## 4.3 综合评定

根据测试和验证结果，阳光电源采用ArcDefender™储能直流拉弧技术性能达到CGC/GF 240:2024《储能系统直流电弧检测及分断评价技术规范》中的“Level 4”水平等级：

- (1) 具备高灵敏度和快速响应能力，有效防范拉弧危害的发生；
- (2) 采用先进的检测算法和智能分析系统，可以实现拉弧故障的精准识别、判定；
- (3) 经过严格的实验室认证和实际应用验证，认证及应用结果均证明了该技术的有效性和可靠性。



图24 鉴衡Level 4等级认证



图25 ArcDefender™储能直流拉弧技术在实际储能项目应用成功

# 05

## 总结和展望

阳光电源坚持“三电融合 智储一体”理念，在电化学、电力电子、电网支撑技术深度融合基础上，依托大数据分析、机器学习等AI技术，打造一体化的专业储能系统，重构储能系统安全，并在电芯全息管理、储能拉弧感应与抑制、簇级保护等技术领域持续创新，提升系统运行效率和可靠性。

此外，阳光电源将积极推动与产业界的协同合作，致力于完善安全系统的顶层设计，加强基础研究和底层支撑技术的开发和应用，与行业共同进步，打造更安全可靠的储能系统，为全球能源转型贡献力量。



阳光电源股份有限公司  
中国合肥市高新区习友路1699号  
邮编：230088  
总机：0551- 6532 7878, 7877  
网址：www.sungrowpower.com  
销售热线：  
400 1197799  
邮箱：sales@sungrowpower.com



阳光 光储充抖音号



阳光 光储充小程序



阳光 光储充官方微信