



“放任燃烧”为何并非电池储能系统的有效处置方案

由于依靠灭火抑制的消防方案存在局限性，电池储能系统（BESS）必须采用多层级防护体系。



目录

引言	3
标准规范解读	5
“放任燃烧” 方案的问题	7
切实可行的解决方案	8
结论	10

引言

应对气候变化的诸多举措，核心在于推广可再生能源的应用。太阳能板与风力发电机已随处可见，随之而来的问题是如何储存其所产生的富余电能。

在美国，电池储能系统（BESS）近年发展迅猛。2019 年，其装机规模尚十分有限，如今已达到数十吉瓦；相关预测显示，电网层面的储能装机规模还将持续大规模扩容。

大多数 BESS 均采用锂离子电池。这些电池成本相对较低，具有较高的能量密度，并且可快速充电。然而，BESS 的投建速度远超消防安全层面的充分评估进度，这使得众多辖区权责主管单位（AHJ）面临大量悬而未决的问题。

BESS 存在切实的消防安全隐患，已有多起事故案例记录在案。自 2017 年起，仅韩国就发生了超过二十三起 BESS 火灾事故。美国同样发生过多起相关事故，其中，2019 年亚利桑那州的事故被广泛引用：BESS 储能舱内部积聚的可燃气体引发爆燃，造成多名消防员受伤。



该事故表明，即便灭火抑制系统按设计正常启动，储能系统内部仍可能产生安全险情。

美国国家消防协会（NFPA）为此制定了针对 BESS 运行与消防安全防护的相关标准。然而，部分机构对上述标准存在片面解读，认为任由 BESS 起火后不实施灭火处置是可行的做法，也就是所谓的“放任燃烧”处置方案。

与此同时，行业针对 BESS 事故的分析表明，相当一部分起火源头并非电芯本身，故障多源自配套系统组件，例如电气设施、控制装置、或系统集成相关问题。部分分析指出，此类系统层面诱因是多数事故的成因；其中一份被广泛引用的数据显示，约 89% 的事故起火点并非电芯本体¹。上述研究结果表明，BESS 消防安全风险并非仅由电芯故障引发，更多源于整套系统各类综合工况³。

在解读标准时，如果仅聚焦起火后的处置手段，却忽视各类隐患的形成过程，所制定的消防防护方案将会存在疏漏。

“放任燃烧”处置方案仅可作为特定有限场景下的最后应急手段，不得作为 BESS 装置防护的主要方案。

1. 基于对公开报告的 BESS 事故的分析。来源：美国电力科学研究院（EPRI），《电池储能系统（BESS）故障事故数据库 - 故障根本原因分析》，2024 年。本参考资料仅供参考，不代表我方认可其观点。

关键概念：BESS 事故隐患常在起火前便已滋生

多数 BESS 事故源于异常运行工况或系统层面故障 - 多发生于电芯以外部位 - 并且，隐患会持续发展一段时间后才引发起火。



处置此类早期隐患，是实现有效消防安全防护的关键。

标准规范解读

与 BESS 相关的主要 NFPA 标准共有三项：

- **NFPA 855 – 固定式储能系统安装标准**
- **NFPA 1 – 消防规范**
- **NFPA 70 – 国家电气规范**



NFPA 855 是针对性最强的 BESS 专用标准，旨在为辖区权责主管单位（AHJ）提供评估这些系统的指南。

NFPA 1 广泛引用 NFPA 855，这意味着，执行 NFPA 1 标准的辖区在许多方面也在执行 NFPA 855 标准的各项要求。

NFPA 1

当锂离子电池容量超过 20 kWh 时，NFPA 1 适用。该阈值涵盖了几乎所有商用 BESS 装置。

其中一项核心要求为编制应急处置预案，且预案必须包含以下内容：

- **紧急情况处理程序**
- **检查和测试规程**
- **通知程序**
- **火灾和爆炸响应程序**
- **事故后管理**
- **培训和演练**

重要的是，如果决定不配置灭火系统，该方案必须写入预案，并取得辖区权责主管单位（AHJ）审批。

NFPA 1 未授予运营方单方面不设置灭火措施的权限。

NFPA 855

NFPA 855 针对消防防护要求作出更为详尽的规定，并引入了大规模火灾试验的相关规范。

灭火设施配置要求根据系统构造与布设场地而异。虽存在少数可豁免灭火设施配置要求的情形，但仅限以下情况：

- 具有高度特定性
- 须经 AHJ 批准
- 取决于性能验证是否达标

即使在这些情况下，不设置灭火措施也会带来重大风险隐患。

NFPA 855 确定了多种合规可用的灭火技术，包括：

- 冷凝气溶胶系统
- 二氧化碳系统
- 水喷雾
- 细水雾
- 洁净灭火剂



“放任燃烧”方案的问题

“放任燃烧”方案侧重于仅在起火后管理火灾状况。然而，许多 BESS 事故存在渐进发展过程：先出现异常运行工况，继而发生系统级故障，最终引燃起火。如果仅着眼于起火后的处置，将无法管控前期隐患，而早期阶段往往是干预效果最佳的时期。

灭火设施虽对火情控制至关重要，但是，如果单纯采用被动式“放任燃烧”处置方案，无法覆盖完整风险演化链条。将“放任燃烧”策略作为保护 BESS 装置的主要方案缺乏可靠的技术依据。

“放任燃烧”方案的风险



应急响应人员面临更高风险



环境和公共卫生暴露风险



潜在的监管和法律后果



延长的停机时间和运营损失

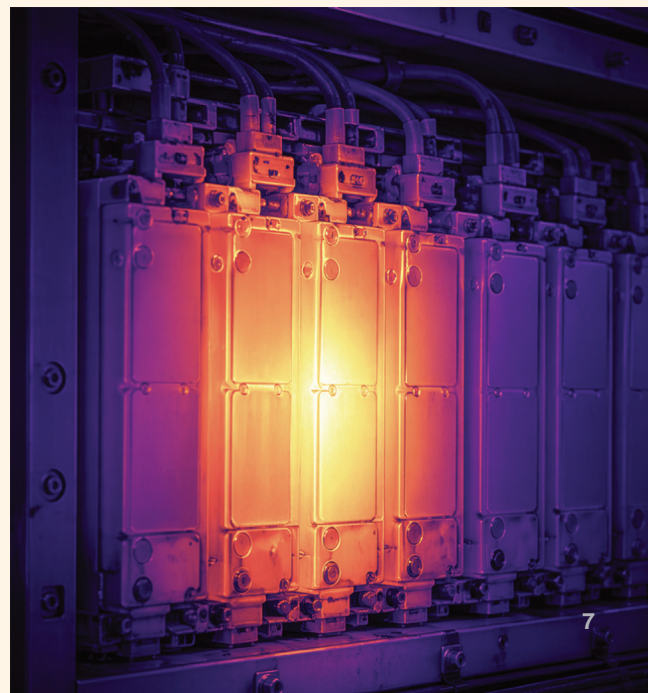
首先，该决定不能单方面作出，必须获得 AHJ 批准。其次，此类策略会给应急响应人员带来重大风险。如果应急响应人员不了解该策略，他们可能会在未落实适当缓解措施的情况下尝试处置火灾。

第三，不受控制的火灾会带来环境和公共安全风险，包括：

- 有毒烟雾排放
- 径流受到污染
- 社区潜在暴露风险

第四，“放任燃烧”策略与清洁能源部署相关的更广泛环境目标不一致。最后，BESS 火灾的经济后果不仅限于设备损失，还包括：

- 停机时间
- 更换成本
- 储能容量损失





切实可行的解决方案

在许多情况下，认为有必要采取“放任燃烧”策略，源于对灭火系统成本过高、安装运维复杂的主观预判。

然而，**BESS 的有效消防保护并不单纯依赖灭火**。一整套更完善的管控思路可以完整梳理火灾风险演化全过程：从运行异常、隐患逐步滋生直至起火；并在每个阶段配套对应的防护措施。预防和监测管控策略可尽早识别异常工况，降低险情升级概率，发挥关键作用。

在这套完整风险管控体系中，灭火设施仍是关键组成部分，尤其用于起火后控制火情和遏制事态进一步升级。

分层防护方案

有效的消防防护体系需覆盖风险演化的多个阶段：

预防

识别异常运行工况

检测

识别正在形成的危险

灭火

控制火灾事件并遏制事态进一步升级

仅关注一个阶段会在保护措施中留下关键缺口。

NFPA 855 确定了几种既有效又实用的灭火方案。凝聚型气溶胶灭火系统是其中一种方案。

这些系统：

- 无需布设管道
- 结构紧凑，易于安装
- 可独立运行，也可作为系统的一部分运行
- 提供快速灭火效果

启动后，凝聚气溶胶会干扰燃烧反应过程，实现灭火，并抑制火情扩大，并有助于限制系统内火势扩大和潜在蔓延。

这些灭火系统已完成广泛测试，包括多项大规模测试，并已证明其在控制 BESS 环境内火灾状况方面的有效性。



冷凝气溶胶发生器可为 BESS 提供全淹没式灭火保护

除性能优势外，凝聚气溶胶系统还具有环境和运行优势，包括：

- 臭氧消耗潜能值为零
- 全球变暖潜能值为零
- 大气寿命为零
- 使用寿命长，维护要求低

结论

“放任燃烧”方案不应作为保护 BESS 装置的主要策略。放任火情不受控燃烧，会对救援人员、公众及环境造成不必要的安全风险，同时加剧运营损失与经济损失。

因此消防防护方案应着重于降低风险、及早识别正在形成隐患，并在事故发生时实施有效控险处置。

BESS 的有效消防防护方案不应仅依靠单一处置手段。相反，应构建分层防护体系，融合风险预防、早期探测与灭火控险多重手段。通过在多个风险阶段（从早期异常工况到起火和火灾全过程）开展风险管控，运营方可大幅降低事故发生概率，并减轻事故造成的各类后果。

深入了解清洁能源分层式消防防护相关内容

Fireaway 公司研发专用于电气场景与清洁能源基础设施的消防防护技术，包含可识别早期预警信号的先进传感设备、以及应用于全球各地电池储能系统、风力发电机组与光伏电站的冷凝气溶胶灭火系统。

了解更多



ultrasense.net



statx.com