

锂离子电池储能系统（**BESS**）消防安全 标准终极指南

固定式电池储能系统（BESS）气体释放早期探测最新法规要求概述





简介

固定式锂离子电池储能系统（BESS）行业正在快速扩张，其增长受全球气候目标以及人工智能革命推动的能源需求激增所驱动。根据 **Global Market Insights¹** 的数据，这一价值 **1,087 亿美元** 的市场预计从现在到 **2034 年** 将以超过 **18.5%** 的年增长率持续增长。

直到最近，这一新兴市场仍基本处于监管不足的状态。2020 年，随着 **Li-ion Tamer[®]** 的推出，这一局面发生了变化。**Li-ion Tamer** 是一种能够探测电解液溶剂蒸气（逸出气体）的新技术，可为锂离子电池储能系统即将发生的火灾提供早期预警。这一创新技术推动了针对锂离子电池储能系统独特火灾风险，特别是热失控风险的消防安全标准和建筑规范的发展。

在这一快速演变的行业环境中，及时了解法规发展动态比以往任何时候都更为重要。遵循最新标准是构建面向未来的电池储能系统、支持韧性强且低碳能源体系的关键。本指南旨在帮助消防安全工程师、**BESS** 运营商、**OEM** 制造商以及系统集成商了解相关关键标准和规范，以及 **Li-ion Tamer** 如何帮助其在不断发展的监管环境中实现合规。

I. 推动安全人工智能革命的新NFPA和UL标准

美国国家消防协会（NFPA）总部位于美国，在全球范围内享有广泛认可，其标准在北美以外地区也被广泛采用。现有文件的最新修订以及新规范的出台，反映出多个行业对 BESS 火灾风险日益增长的关注。

NFPA 855² 于 2019 年发布，是固定式电池储能系统消防安全领域具有里程碑意义的标准文件。该标准于 2023 年进行了重大修订，更新了以下方面的要求：

- 火灾探测与灭火
- 爆炸控制
- 排风通风
- 气体探测
- 热失控

附录 G（第 G.7.3.6.1 节）强调，仅依靠爆炸下限（LEL）传感器和电芯电压水平不足以防止热失控。相比之下：

1. “锂离子电池（LIB）系统防护的一个重要方面是……逸出气体监测或逸出气体颗粒探测可能是最有效的方法。”
2. 逸出气体监测器或探测器……可为调查和干预提供长达 30 分钟的提前预警时间。
3. “在受影响模块附近或内部进行电芯级探测，已被证明是热失控发生前最可靠的预警手段。”
“热失控的早期探测还证明，可以将故障电芯断开，从而有效阻止过热过程的发展。”

“

经验证，在受影响模块附近或内部进行电芯级探测，是热失控发生前最可靠的预警手段。

NFPA 75³ 2024 版针对不断扩张的数据中心基础设施中部署的锂离子不间断电源（UPS）所带来的更高火灾风险进行了规定。虽然第 11 章已删除所有锂离子电池相关要求（这些要求已由 NFPA 855 涵盖），但首次新增了逸出气体探测要求（第 11.5.4.1 节）³：

- “用于监测热失控发生前释放的电解液蒸气的逸出气体探测系统，应经过认证或批准，并按照制造商发布的安装说明进行安装。”

该标准还强调，传统可燃气体传感器无法替代逸出气体探测（第 A.11.5.4.1 节）³：

1. “以探测可燃或爆炸性浓度气体为目的的气体探测系统，不应作为热失控探测手段。热失控发生前的逸出气体阶段所产生的气体具有可燃性。然而，在这一早期逸出气体阶段，所产生的气体量非常有限，无法被旨在防止爆炸性环境形成的可燃气体传感器检测到。在逸出气体阶段，需要采用专用探测设备，以探测低至 ppm（百万分之一）甚至 ppb（十亿分之一）浓度水平下存在的痕量汽化电解液。”
2. “对于逸出气体探测，探测设备应安装在电池架附近或直接安装于电池架上，以探测来自电池架的逸出气体事件。虽然传感器运行并不要求气流条件，但在确定探测设备安装位置时，应充分考虑气流流动模式。”

NFPA 76⁴（适用于电信设施）也于 2024 年进行了类似修订，以更具体的逸出气体探测指导要求取代了 NFPA 855 中已涵盖的锂离子电池相关要求（第 6.10.8.3.1 节）：

- “对于总容量达到或超过 20kWh，且相互间距小于 3 英尺（0.9 米）的电池系统所在电力系统区域，应配备经过认证或批准的系统，以监测热失控发生前释放的电解液蒸气。”
- “在探测到电解液蒸气后，应执行以下所有措施：
 1. 受影响的电池应立即停止充电
 2. 受影响的电池应与其负载断开连接
 3. 向受监控位置发送监管信号”

A.6.10.8.3.1.3 节与前述 NFPA 75 的 A.11.5.4.1 节内容基本一致，明确指出不应将传统可燃气体传感器作为热失控探测器使用。

Li-ion Tamer 等逸出气体探测解决方案已能够满足这些标准要求。

另一项重要的法规贡献是《NFPA 400 危险材料规范》⁵（2025 版），其适用于 IT 和电信领域之外的多种 BESS 应用。第 6 章规定：“排风通风系统的设计应考虑潜在释放烟雾或蒸气的密度。” Li-ion Tamer 等逸出气体监测系统可通过在探测到电解液蒸气时自动触发通风，帮助满足这一要求。

除最新的 NFPA 法规更新外，UL 2075《气体与蒸气探测器及传感器》⁶ 产品标准近期也进行了修订。该标准针对气体和蒸气可靠探测设备的设计、结构及性能提出了新的要求。Li-ion Tamer 是首个获得 UL 2075 认证、可同时探测氢气、一氧化碳以及锂离子电池电解液蒸气（DEC、DMC、EC）的系统。



2. 保险行业的经验借鉴FM GLOBAL最新要求与实践经验

保险公司也在推动提升锂离子电池储能系统的消防安全水平。FM Property Loss Prevention Data Sheets 5-33⁷ 就是一个典型例子。这些文件为固定式锂离子电池储能系统的设计、运行、防护、检查、维护和测试提供了损失预防建议。

2023 年修订版新增了有关热失控预防的建议，并于 2025 年 4 月进一步扩展。根据第 2.5.3.3 节要求，当出现以下情况时，应采用“早期干预系统，自动以电气方式隔离”受影响的锂离子电池：

- 电芯温度超过设定阈值。
- 检测到挥发性有机化合物（VOC）释放，表明发生了热失控前排气（Pre-Thermal Runaway Venting）。

此外，Data Sheets 5-33 要求使用经 FM 认证的 VOC 探测器，并提供了参考传感器的应用指导，以防止误报警（第 3.4.2.2 节）。

Li-ion Tamer 于 2025 年初成为首批获得 FM 认证的系统之一⁸。该探测器不仅能够精确探测痕量电解液蒸气，其系统还集成了参考传感器。FM 还通过制定 FM Approvals Standard 6540⁶，进一步推动 BESS 消防安全产品标准的发展。该标准针对逸出气体探测器制定了严格的测试和认证要求。标准涵盖的性能测试包括：

- | | |
|-------------------------------------|--|
| • 灵敏度（Sensitivity） | • 功能性（Functionality） |
| • 响应速率验证（Rate of Rise Verification） | • 耐久性（Durability） |
| • 重复性（Repeatability） | • 无需现场校准的探测器性能验证（Detector Without Field Calibration） |

成功完成上述所有测试后，Li-ion Tamer 被认证为“能够在严苛环境下按照预期稳定运行”⁸。

3. 欧洲案例：最新安装指南

在欧洲，英国消防安全行业较早采用了逸出气体探测技术。

2020 年，英国消防行业协会（FIA）发布的《锂离子电池火灾指南》⁹（第 6.3 节）指出：

- “能够探测低浓度逸出气体的系统，可对即将发生的热失控提供早期预警，并触发关断系统，对单个电芯、电池组或电池架进行电气隔离，从而避免热失控的发生。”

同一章节还强调，在安装过程中，应结合电池冷却产生的气流情况合理布置传感器，并配置参考传感器以防止误报警。Euralarm 于 2022 年发布的《锂离子电池综合消防防护解决方案指南》¹⁰（第 4.3.1、7.2 和 9.2.5 节）也提出了与 FIA 相同的建议。英国消防防护协会（FPA）于 2022 年底发布的《RE1 了解指南：电池储能系统》¹¹，同样提出了类似指导意见（第 3.7 章）：

- “对于关键和重要的 BESS 装置，应安装针对热失控事件产生的逸出气体/电解液蒸气的早期探测系统，并与停机及 BESS 断连功能联动。”

Li-ion Tamer 已获得 VdS¹² 锂离子电池逸出气体探测认证（212092-AU01）¹³。该认证表明，该系统已在真实应用条件下经过严格的可靠性和性能测试。VdS 认证为 Li-ion Tamer 符合高水平安全性和有效性要求提供了第三方验证，相关主管部门（AHJ）可据此将其作为满足上述安全要求的合规依据。



“

能够探测低浓度逸出气体的系统，可对即将发生的热失控提供早期预警。



4. 本地规范：率先采用逸出气体探测技术的先行者

近年来，新的建筑规范也推动了 BESS 安全标准的发展。其中较早的案例之一是2022年《康涅狄格州消防安全规范》¹⁴（新增条款1207.6.6），该规范要求安装能够实现以下功能的系统：

- 在电池排气事件开始阶段检测到电解液蒸气时启动响应
- 自动关闭受影响的 BESS 电池架，并发送火灾报警信号
- 自动启动机械通风系统

在城市层面，奥斯汀市议会发布的《2024 年技术建筑规范》¹⁵（将于 2025 年 7 月 10 日生效）也纳入了类似要求（第1207.6.6节），包括：

- 容量超过20 kWh的锂离子电池储能系统（Li-ion BESS）必须配备逸出气体探测装置
- 探测器必须独立于BESS管理系统运行
- 探测器必须能够识别发生热失控的BESS电池架

Li-ion Tamer等解决方案符合这些地方规范的要求，而此类规范很可能将在美国乃至全球范围内得到更广泛的推广和采纳。

最新研究：提升产品标准

研究持续证明了早期探测的重要性。DNV 的一项研究发现，当 Li-ion Tamer 等系统与停机保护程序相结合时，能够有效防止热失控的发生。另一项于 2024 年发布的研究证实，即使在大型电池组中，VOC 传感器也能够电芯排气阶段持续可靠地触发报警¹⁶。ESRI 在 UL Research Institutes 的支持下，也正在推进针对 BESS 应用中逸出气体监测技术的研究¹⁷。

结论

近年来，锂离子电池储能系统行业在消防安全标准和建筑规范方面取得了显著的法规进展。行业已充分认识到热失控带来的风险，以及通过规范化安装和应用逸出气体探测技术来预防热失控的重要性。

Li-ion Tamer 等技术在这一领域的法规环境方面发挥了重要作用。随着 BESS 基础设施持续增长并拓展至更多应用领域，行业必须结合最新技术进步，不断提高电池储能系统消防安全标准。

欲了解有关 Li-ion Tamer GEN 3 和 Li-ion Tamer Sensor Multi Output Solution（MOS）的更多信息，以及如何为您的 BESS 构建全面合规、面向未来的早期探测基础设施，请[访问](#)相关页面。

¹ Global Market Insights, 《固定式锂离子电池储能市场规模：按化学体系、按应用划分的分析、市场份额及增长预测（2025-2034）》，2024年12月 [访问日期：2025年5月15日]
² NFPA, 《NFPA 855 固定式储能系统安装标准》，2023版 [访问日期：2025年5月15日]
³ NFPA, 《NFPA 75 信息技术设备消防防护标准》，2024版 [访问日期：2025年5月15日]
⁴ NFPA, 《NFPA 76 电信设施消防防护标准》，2024版 [访问日期：2025年5月15日]
⁵ NFPA, 《NFPA 400 危险材料规范》 [访问日期：2025年5月15日]
⁶ UL, 《UL 2075 气体与蒸气探测器及传感器》 [访问日期：2025年6月17日]
⁷ FM, 《FM 财产损失预防数据手册 5-33：锂离子电池储能系统》，2025年4月 [访问日期：2025年5月14日]
⁸ FM, 《获得 FM 认证的锂离子电池逸出气体探测器助力预防热失控并降低火灾风险》，2025年2月28日 [访问日期：2025年5月15日]
⁹ FIA, 《锂离子电池火灾指南》，2020年12月 [访问日期：2025年5月15日]
¹⁰ Euralarm, 《锂离子电池综合消防防护解决方案指南》，2022年2月15日 [访问日期：2025年5月15日]
¹¹ FPA, 《RE1 了解指南：电池储能系统（商业锂离子电池安装）》，2022年12月13日 [访问日期：2025年5月15日]
¹² VdS 认证预计将于 2026 年第二季度获得，前提是顺利完成 VdS 工厂审核。
¹³ VdS 测试程序编号：212092-AU01《用于监测锂离子电池系统初始逸出气体的装置》
¹⁴ 康涅狄格州行政服务部（Connecticut Department of Administrative Services），《2022 年康涅狄格州消防安全规范》，2022年10月1日 [访问日期：2025年5月15日]
¹⁵ 奥斯汀市议会（Austin City Council），《奥斯汀市采纳 2024 年技术建筑规范（自 2025 年 7 月 10 日起生效）》，2025年4月10日 [访问日期：2025年5月15日]
¹⁶ 《电化学学会期刊》（Journal of The Electrochemical Society），Loraine Torres-Castro 等，《利用商用诊断技术实现锂离子电池热失控的早期探测》，2024年2月13日 [访问日期：2025年5月15日]
¹⁷ UL Research Institutes, 《安全发现资助计划（Discoveries in Safety Grants）》，2025年 [访问日期：2025年5月15日]

关于XTRALIS



Xtralisis 是专注于提供极早期报警，可靠的烟雾探测，火灾和气体威胁解决方案的全球领先的提供商。我们的技术通过给用户时间在生命，关键基础架构或业务连续性受到损害之前做出响应来预防灾难。我们保护着属于世界顶级政府和企业的价值资产和基础设施。

要瞭解更多資訊, 請造訪我們網站 www.xtralisis.com