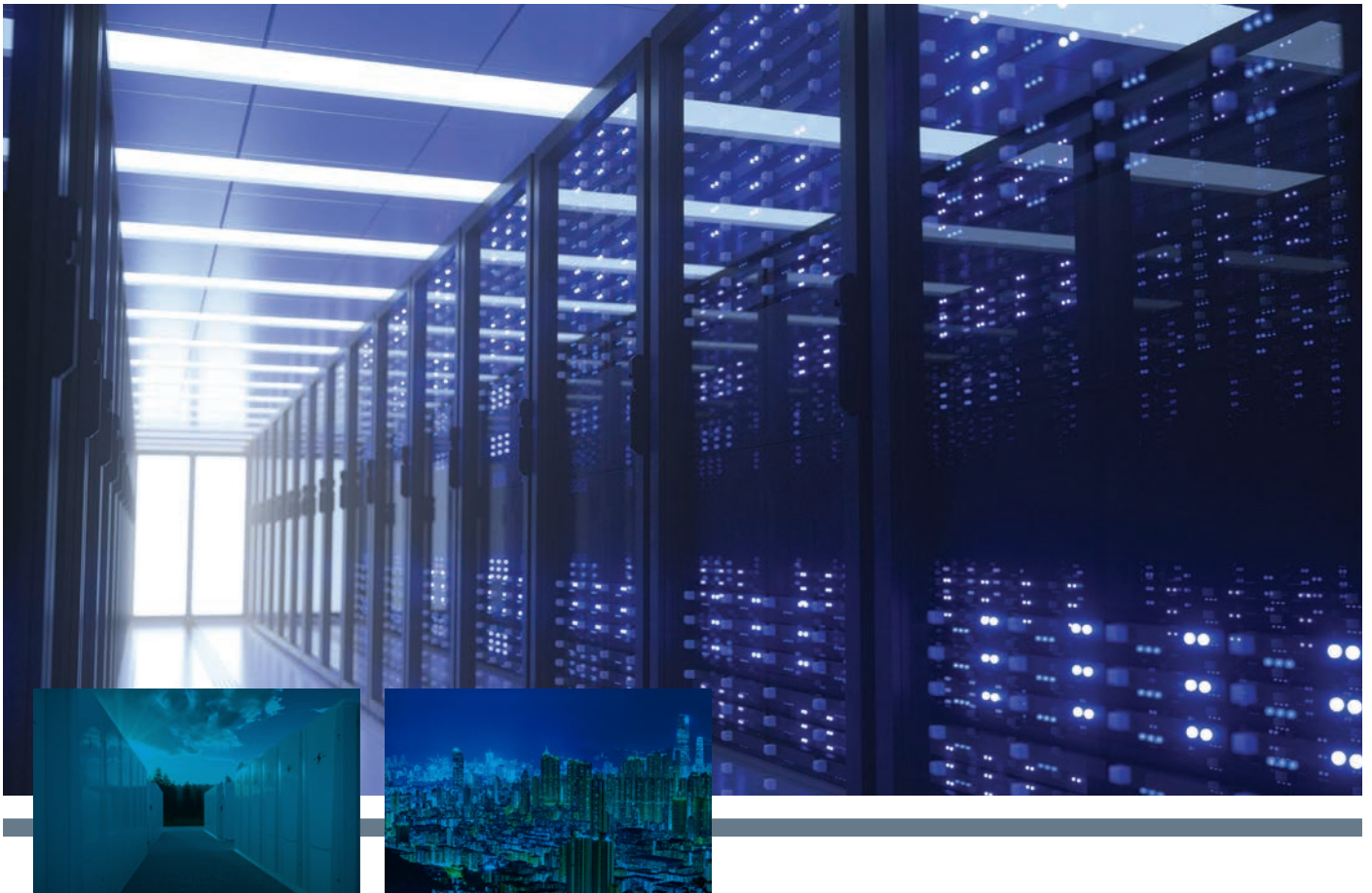




LI-ION TAMER®



如何防止数据中心发生锂离子电池火灾



利用逸出气体探测技术防止热失控

免责声明

本档为初稿，仅供参考之用。文中提及的信息是第三方取得的研究成果，按“原样”提供，不作任何明示或暗示的陈述或保证。本档可能出现变更，恕不另行通知，文中所载内容不构成或不用于构成任何类型的建议。

本档还包含属于霍尼韦尔公司专有机密财产的一些信息。接受本条款即表示接收者同意仅出于霍尼韦尔公司预期的目的使用本档所载信息，并且在未经霍尼韦尔公司书面同意的情况下，不得向他人披露、不得复制或翻印本档的任何部分。

版权所有 © 2021 霍尼韦尔公司 保留所有权利。

1. 引言

2. 单片锂离子电池为什么是火灾隐患？

3. 锂离子电池发生火灾的后果

4. 面向数据中心应用环境的消防安全规范、标准与法规

5. 电池管理系统 (BMS)，传统探测与灭火方法：锂离子应用面临的关键挑战

- 5.1 电池管理系统 (BMS)
- 5.2 探测技术
- 5.3 灭火系统

6. 什么是逸出气体探测？

7. 逸出气体探测如何协助防止热失控？

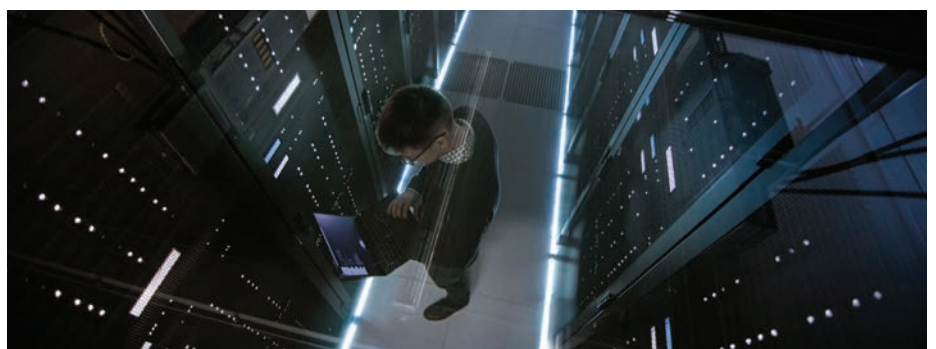
8. 结论

锂离子电池正在成为数据中心首选的储能技术。此类电池可用于不间断供电 (UPS) 系统，正在迅速取代传统阀控式铅酸 (VRLA) 电池。

据彭博新能源财经报道，到 2025 年，数据中心的电池备用容量将有 5.6 千兆瓦时由锂离子电池提供，由传统 VRLA 电池提供的备用容量为 8.3 千兆瓦时。¹

数据中心采用锂离子电池获得明显收益，但也面临潜在的重大缺陷。锂离子电池构成严重的火灾隐患，可能危及关键任务电源。

本指南着眼于和数据中心的锂离子电池储能系统 (BESS) 相关的主要风险。它检查了传统火灾探测和灭火技术的局限性，并说明了如何通过检测在锂离子电池发生故障的早期阶段发生的电解质溶剂蒸气（逸出气体阶段）来克服这些局限性。





单片锂离子电池为什么是火灾隐患？

随着客户对锂离子电池的需求持续上升，其价格不断下降。虽然 VRLA 技术可能仍然会更为便宜，但随着时间的推移，锂离子电池可以显著节约成本。相比 VRLA 电池，锂离子电池：

- 预期寿命延长两到三倍；
- 具有更高的功率密度；
- 两到三个小时即可完全充电（VRLA 为 10-12 个小时）；
- 占用空间大幅减少；并且
- 可在更高温度下工作，冷却需求降低。

尽管具备所有这些优势，锂离子电池仍可构成火灾风险。这主要是由于它们采用高度易燃的有机电解液并存储大量能量。由于此原因，必须始终以特定电气参数将锂离子电池持续保持在特定的环境条件下。即使配备电池管理系统 (BMS)，仍可能发生故障。

一个单片锂离子电池发生故障就足以触发所谓的热失控过程。发生此情况时，周围的单片电池也迅速开始变得过热并进入热失控状态，从而快速引发破坏性火灾。

热失控是一种放热反应，导致锂离子电池内部温度升高，并最终点燃电解液。如果电解液着火，可引发灾难性火灾，此类火灾可能极难扑灭。

“一个单片电池发生故障可迅速造成周围的单片电池过热，导致它们进入热失控状态”

电池故障分为四个阶段：

1. 滥用因素

可能由于电气、受热或机械因素，导致电解液从液态变为气态。在充电或放电期间超过电池电压极限可导致电气滥用。

工作温度超过电池温度极限可导致热滥用。

诸如挤压、凹陷或穿孔等物理或机械损伤可导致机械滥用。

2. 电池电解液溶剂蒸释放 (逸出气体)

如果滥用因素持续存在，更多的电解液将不断从液态转化为气态，导致电池内部压力积聚。

逸出气体在 NFPA 855² 中定义为电池外壳由于电池内部压力升高而排出电解质溶剂蒸汽的事件。

3. 烟雾

如果滥用因素持续存在，单片电池中的反应将不断增大放热量，导致释放烟雾。此阶段即将发生热失控，无法再有效防止。

4. 起火

此阶段，电池着火并进入热失控状态。此时的温度可能通常会超过 1000°C，但受到热滥用的电池可能在温度达到 130°C 时便进入热失控状态。



锂离子电池发生火灾的后果

锂离子电池火灾产生独特的挑战。

根据美国保险商实验室(UL)消防员安全研究所的一项研究,挑战包括:³

- 热失控期间释放的气体和蒸汽具有爆炸性;
- 蒸汽云形成并扩散;
- 爆燃与爆炸波传播具有动力特性;并且
- 灭火措施无效

热失控引发的火灾可能后果非常严重。数据中心员工可能暴露在有毒气体泄漏、火灾甚至爆炸的环境中。

电池火灾还可能造成意想不到的经济与社会影响。这可能导致整个数据中心设施停运,影响数据处理、存储与传输。此类火灾甚至可能损坏服务器和其他必要硬件,导致关键数据丢失。⁴

数据中心运营商在火灾后可能还面临罚款和其他法律后果,尤其是出现人身伤害时。

声誉受损可能还会带来持久的经济损失。

面向数据中心应用环境的消防安全规范、标准与法规

数据中心的最低消防安全要求由标准和法规决定。这些规范及准则可能随地区而异。



“无约束锂离子电池的防火测试表明,单片电池爆炸可导致抛射体飞行长达 40 米的距离⁵”

然而,这些规范及准则的采纳周期可能很缓慢,平均至少需要三年。这意味着就消防安全技术或方法取得的进步而言,可能出现标准滞后。应将此类标准视为起点,并以此为基础研制其他解决方案。

需要考虑的一些重要规范及准则如下:

- 诸如 UL 1642 / IEC 62133 等单片锂离子电池相关标准
- 诸如 UL 1973 等电池模块相关标准
- 诸如 UL 9540 / IEC 62619 等电池机架等级标准
- 诸如 NFPA 855 / IFC 第 12 章等系统等级标准
- 安装标准 - NFPA 75 (信息技术设备防火标准)

在很多国家,打入其市场往往有赖于遵守这些标准。

需要记住的最新、最重要的标准之一是 UL 9540A。它由 NFPA 855² 授权,涉及 BESS 的大规模防火测试。

电池管理系统 (BMS)，传统探测与灭火方法：锂离子应用面临的关键挑战



BMS

电池管理系统 (BMS) 的主要用途是监测电压、电池和温度，并防止电池受到滥用。仅凭此项技术不足以最大程度降低热失控风险。

主要原因是 BMS 无法解析单片电池的温度或电压。即使每个单片电池均配备温度传感器，仍可能无法探测到热点。对于依靠数百个单片锂离子电池和传感器运行的典型数据中心，不难想像在某些时刻如何发生故障。

探测技术

传统探测技术包括：烟雾探测、火灾探测、一氧化碳监测和氢气监测。每项技术均发挥重要作用，均应成为综合安全解决方案的一部分。然而，这些技术的主要缺陷在于，它们无法及时在热失控发生前发挥作用，这对于防止烟气进一步扩散为时已晚。

UL 最近发布的一份报告显示，探测一氧化碳和氢气等气体的传统气体探测器以及烟雾探测技术在发生热失控之前，无法及时指示电池系统出现异常情况。⁶

这是因为如上文所述。在单片电池达到热失控状态前不会出现排烟和起火现象。在多个单片电池发生故障前，甚至释放的一氧化碳和氢气的浓度也通常不足以被探测到。

灭火系统

灭火系统是数据中心抵御火灾的最后一道防线。

然而，去年发表于《电化学学会杂志》上的一项近期研究指出，任何一种主要的灭火方法均无法完全有效地遏制锂离子电池火灾。⁷

DNV 在 2019 年的一项研究中得出类似结论，发现接受分析的所有灭火系统均无法提供抵御锂离子电池火灾的“独特”解决方案。⁸



什么是逸出气体探测？

逸出气体探测是指在锂离子电池开始出现故障时立即检测电池电解液蒸汽，这是防止热失控的关键及最终避免破坏性火灾而言非常关键。UL 消防员安全研究所的一项近期研究发现，在执行的三种测试中，单片电池均在发生热失控之前排放气体。⁶

这个时间点正是逸出气体探测的切入点。

逸出气体探测解决方案针对 BESS 的具体特征量身定制而成，包括几何形状、容积、单片电池类型、空间布局和气流模式。经巧妙布置的气体传感器分布网络使数据中心运营商能够及早接收故障指示并执行干预，以防出现热失控。

“逸出气体探测解决方案针对环境的具体特征研制而成”

传感器的位置和数量经优化，可利用最少数量的传感器执行及早探测，为数据中心提供卓具成本效益的解决方案。

电池电解液蒸气（逸出气体阶段）的探测如何防止热失控？

DNV[®] 在一项近期研究中对三种技术执行测试，旨在评估它们对于探测热失控早期迹象的有效性。

- 爆炸下限 (LEL) 传感器
- 专用逸出气体传感器
- 单片电池电压传感器。

如下表所示，测试表明 LEL 传感器和电压传感器均无法及时在热失控发生前启用。相比之下，逸出气体探测器在电解质溶剂蒸汽开始释放后平均仅 10 秒就启动，比热失控发生时间提前 6 分钟以上。

	电解质溶剂蒸气释放	逸出气体传感器	热失控	单片电池电压	LEL 传感器
相对于热失控的平均发生时间 (秒)	-381	-371	0	+7	+28

表2：在基于单片电池的测试中，不同被测传感器和指示机制的平均响应时间（来源：DNV[®]）

测试还显示了一旦探测到电解质溶剂蒸汽，如何通过电气隔离电池系统。由此证明在及早接收到存在逸出气体的指示时采取正确的缓解措施非常有效。



结论

随着锂离子电池变得更具经济效益并可节约运营成本，数据中心可能会在未来几年中加速从采用 VRLA 电池向采用锂离子电池过渡。

电解液蒸气（逸出气体阶段）的探测是提供电池故障最早迹象的关键解决方案，成为防止热失控并避免由此引发灾难性后果的一道屏障。

得益于逸出气体探测技术，数据中心现在可以安全地部署锂离子电池并利用其独特优势。

关于如何高效安装并使用逸出气体探测技术的更多信息，请下载我们的[电池机架监测系统设计指南](#)。

关于本主题的更深入信息，请下载[锂离子电池储能系统终极防火指南](#)。



关于作者



Richard Taylor 担任 Xtralis 先进探测业务全球总监。他长期从事极早期烟雾探测预警技术的开发与应用，至今已逾 25 年之久。

关于XTRALIS



Xtralis 致力于为烟雾、火灾和气体威胁提供强劲而可靠的极早期探测解决方案，成为该领域全球领先的解决方案供应商。我们的技术可给予用户更多时间，确保用户在生命、关键基础设施或业务连续性受到损害前做出响应，从而预防灾难。

我们为属于世界顶级政府与企业的高价值资产和基础设施提供强大保护。

如需了解更多信息，请访问我们的官网 www.xtralis.com

¹ <https://blog.se.com/datacenter/2017/07/20/bloomberg-forecasts-li-ion-batteries-data-center/>

² NFPA 杂志，新发布的储能系统安装标准 NFPA 855 的一些亮点，2019 年 5 月 1 日，Brian O'Connor [2020 年 12 月 17 日可供参阅]

³ UL 消防员安全研究所，美国亚利桑那州锂离子电池储能系统爆炸，四名消防员受伤，2020 年 7 月 28 日，Mark B. McKinnon et al [2020 年 12 月 17 日可供参阅]

⁴ 英国皇家工程院，计算成本：英国电力短缺的经济和社会成本，2014 年 [2021 年 1 月 21 日可供参阅]

⁵ 消防研究基金会，锂离子电池储能系统的危险性评估，2016 年 2 月，Andrew F. Blum et al [2020 年 12 月 17 日可供参阅]

⁶ https://fsri.org/sites/default/files/2021-07/UL9540AInstallationDemo_Report_Final4-12-21.pdf

⁷ 美国能源部，微电网工作原理，2014 年 6 月 17 日 [2020 年 12 月 16 日可供参阅]

⁸ DNV-GL，关于锂离子电池爆炸风险与灭火的技术参考，2019 年