

不间断电源 UPS 对比 于储能系统 ESS

针对这两种电池应用，北美的规范和标准现状如何？

摘要



多年来，不间断电源 (UPS) 技术广泛用于多种应用场合，其能够在电网断电期间支持关键负荷持续运行。此类系统用于多种不同场合，为指定的负荷运行带来更强的抗扰性，使其免受电网断电干扰。UPS 系统常用于保护计算机、计算机设施和电信设备。

最近，新能源技术日新月异，储能系统 (ESS) 也突飞猛进。ESS (特别是使用电池技术的系统) 通常由可再生能源 (例如太阳能和风能) 供电，储存的能量可以在不同时间使用。储能系统的使用范围可受多种因素影响，包括产生能源方式受限 (例如太阳能发电取决于白天日照) 和能源消费者决策 (例如电网溢价) 等因素。

有关 UPS 和 ESS 的安全标准均已取得长足进展。对于不间断电源 UPS，美国现行 ANSI 标准是 UL 1778。加拿大现行标准是 CSA-C22.2 No. 107.3。对于 ESS，UL 9540 储能系统标准是美国和加拿大国家标准。近年来，在锂电池使用愈加广泛的情况下，这些标准及其他相关标准在不断发展更新。

虽然成熟的 UPS 产品与快速迭代的 ESS 系统在技术解决方案、操作和安装方面有一些共性，但也存在显著差异。本白皮书将介绍关键的区别，阐述相关且适用的产品安全要求，并概括说明管辖这两种设备的规范如何变化。

不间断电源系统 介绍



UPS 系统是一种电气系统，可在电网故障或其他电源失效模式下，无缝产生临时交流供电支持关键负荷。UPS 的容量预先设定，可无缝衔接、在指定的时间内持续提供预先确定的电能。这便能够让辅助电源（例如发电机）开始工作，继续提供备用电源。UPS 可以安全关闭非重要的负荷，同时继续为更重要的设备负荷供电。多年来，UPS 系统一直为多种应用提供这种关键支持。UPS 利用来自多种集成能源的方式储存能量，这些能量通常来自电池组、超级电容器或飞轮的机械运动。

使用电池组供电的典型 UPS 包括以下主要组件：

- 整流器/充电器——UPS 的这一部分从电网取用交流电，经过整流产生直流电压，用于电池充电。
- 逆变器——在电网供电故障情况下，逆变器将电池储能（直流电）转换为适用于目标设备的稳定交流电输出。
- 转换开关——一种自动瞬时开关设备，可将电源、UPS 逆变器和发电机等各种电源的电力传输至关键负载。
- 电池组——存储 UPS 执行预期功能所需的能量。

UPS 系统现行标准

对于 UPS，美国现行 ANSI 标准是 UL 1778/ C22.2 No. 107.3 不间断电源系统标准，它将 UPS 定义为“由转换器、开关和储能设备（例如电池）的组合而构成的一套供电系统，在输入电源故障情况下保持负荷供电的连续性。”正在制定的是新版 IEC 62040-1 和 IEC 62477-1 标准。UL/CSA 62040-1 标准（使用 UL/CSA 62477-1 作为参考标准）将与这些标准协调一致。



储能系统 (ESS) 介绍

当今能源市场的可用性和可靠性正面临诸多挑战，作为这些挑战的解决方案，ESS 正在引起关注。ESS（特别是使用电池技术的系统）有助于缓解可再生能源（例如太阳能和风能）可用性间歇性的问题。ESS 是用电高峰时段的可靠电源，有助于执行负荷管理、功率波动及其他电网相关功能。ESS 用于公共事业、商业、工业和住宅应用。

ESS 现行标准

对于 ESS，UL 9540 储能系统和设备标准是美国和加拿大国家标准。UL 9540 标准最初发布于 2016 年，其中包括电池储能系统 (BESS) 等多种 ESS 技术。还涉及其他储能技术，包括机械储能 ESS（例如与发动机相结合的飞轮储能）、化学储能 ESS（例如与燃料电池系统相结合的氢储能）和热能 ESS（例如与发动机相结合的潜热储能）。UL 9540 最新版是第二版，在 2021–2022 年该标准正在通过 UL 标准组织流程完成进一步更新。

UL 9540 将储能系统定义为“接收能量输入的设备，能以某种形式储存能量以供日后使用，在需要时输出电能。”第二版 UL 9540 标准进一步要求，如果需要跨越规范中的例外条件，那么 BESS 还要符合 9540A 评估电池储能系统中热失控火灾蔓延的测试方法标准。

ESS 与 UPS 比较

ESS 与 UPS 结构相似，但用途不同。ESS 与 UPS 一样包括诸如电池之类的能量存储机构、电源转换设备（例如逆变器）以及各种其他电子和控制元件。但与 UPS 不同的是，ESS 可以并网运行，由此产生远超 UPS 的系统循环利用性。ESS 既可以独立模

式使用，也可与电网交互协作使用，或同时使用二者，具体取决于所用电源转换系统的类型。ESS 甚至还可提供 UPS 功能，但这不是 ESS 的主要功能。



可再生能源使用愈加广泛

由于可再生能源使用愈加广泛，支持该行业储能的使用随之增加，此外还为传统形式的发电提供支持，特别是在用电高峰时间。经证明，与在用电需求最高且电价也可能最高的用电高峰时段去增加供电能力相比，储能成本低得多。大规模 ESS 也可提供

有助于保持电网稳定的其他服务。与 UPS 一样，ESS 也有多种规格，从不到 20 kWh 的小型住宅储能系统，到使用兆瓦级工业储能系统（箱体内有多个电池架）的公共事业应用，无所不包。

铅酸或镍镉电池用于 UPS

长久以来，用于 UPS 的典型电池化学成分一直是铅酸或镍镉。这两种都是不复杂且成熟的化学体系，多年来安全性能久经验证。对于非铅酸或镍镉技术以外的产品，成品依旧通过 UL 1778 不间断电源系统标准（通过对 UL 60950-1 内容的引用）进行评估，其中锂离子电池参考 UL 1973 用于固定和动力辅助电源应用的电池标准。

在某些设备中，用于 UPS 应用的独立外置的电池簇不包括在 UL 1778 标准认证之内。

消除/减少化学电池事故

大型 UPS 系统通常将铅酸电池簇放在单独的电池室内。由于这种拓扑结构存在火灾隐患，需要通过控制电池的容量（基本要求符合电池室内安装尺寸）和通风（来处理此类含水电解质电池可能排放的氢气）来解决消防安全问题。



ESS 锂离子电池使用愈加广泛

与 UPS 不同，BESS 从一开始就采用常用技术（例如锂离子电池），而不是老旧技术（例如铅酸电池），因为锂离子电池的循环性能更强，而且能量密度更高，也就能以更小的物理尺寸储存更多能量。与传统电池技术相比，锂离子电池的维护要求也低得多。

由于锂离子电池在电动汽车行业内使用愈加广泛，而且大规模生产，过去阻碍锂离子电池应用的高昂价格有所下降。基于这些进步，锂离子电池也更广泛地用于 UPS 应用。随着锂离子电池 UPS 的普及，出现了一种新的趋势，一些制造商针对 UPS 服务之外的应用提供 UPS 系统，因为现在可用能量更多。

使用锂离子电池的 UPS 能够像 ESS 那样拥有的更多的循环能力。虽然锂离子电池用于 UPS 应用的时间不久，但到目前为止，锂离子电池 UPS 系统有着良好的安全记录。用于 ESS 系统的锂离子电池也是如此。但这种化学电池也发生过一些事故，所以对其在 ESS 和 UPS 应用中的安全性也存在顾虑。



使用锂离子电池的 ESS 复杂性更高

与传统铅酸电池技术相比，锂离子电池有一个特有的安全问题，那就是锂离子电池系统的复杂性。与铅酸电池充电和放电使用的控制系统类型不同，锂离子电池系统需要 BMS 电池管理系统，密切监控锂离子电池的电压、温度和电流，使其保持在安全状态。对于电池簇上的电池模块，BMS 通常是安装在电池簇上的独立部件，用于监控电池簇中的个模块。如果锂离子电芯的电压和温

度未能保持在制造商规定的安全运行范围内，电芯就有可能发生热失控并蔓延到电池模块内部的其它电芯，进而可能殃及电池簇中的其他电池模块，甚至造成系统中的其他电池簇失控。

大型集装箱 BESS 通常有储能管理系统 (ESMS)，它从 BMS 和 BESS 中的其他设备获取电池和系统信息并协调各项控制活动。BESS 还必须与其所连接

的功率转换系统 (PCS) 配合工作，让它以符合预期用途的方式安全运行。所有这些不同的安全控制都会增加系统复杂性，而在安全系统设计和评估不当的情况下，发生问题的可能性也会随之增加。

对锂离子电池愈加关注

锂离子电池及其他新兴电池技术已经引起监管机构及其他关键利益相关者的关注，因为其整体火灾特性和安全性仍有许多未知因素。或许并不能代表全部，但人们之所以对使用锂离子电池系统有一些顾虑，可能是因为几起广泛传播的非固定式储能系统电池事故。以及包括一些涉及到消费类电子产品的电池事故，还有近期发生的电动滑板车和电动自行车问题。即使这些应用可能不使用与固定式储能应用相同类型的锂离子电池技术，但其可能让人产生联想。

然而，2019年，亚利桑那州公共事业应用的 ESS 发生了一起严重事故，导致多名消防人员重伤。无论是否与固定式电池储能直接相关，所有这些涉及到锂离子电池的事故均已引起监管机构和各种利益相关者（例如保险公司）的关注。要确保这一领域的发展不会受到本可避免的安全事故阻碍，就需要付出巨大努力来制定适用于 ESS 的规范和标准。为了鼓励适用于 ESS 的安全规范和标准的制定，2015 年美国能源部 (DOE) 首次针对 ESS 安全性和可靠性开展了讨论，这一讨论随后发展成为年度论坛。

新兴 ESS 规范和标准应运而生

首届美国能源部 (DOE) ESS 论坛推动 ESS 相关规范和标准工作取得了巨大进展。最值得一提的是制定 NEC 第 706 条和 NFPA 855 固定储能系统安装标准，对 ICC IFC 和 NFPA 1 中的固定电池系统标准直接产生了影响。首次 DOE 会议过后，UL 9540 于 2016 年作为标准发布。在撰写本文时，UL 9540 最新版是第二版，同时正在通过 2021-2022 年 UL 标准共识流程完成进一步对标准的更新。此外，2023 版 NEC 和 NFPA 855 也有更新。



标准越来越混乱

虽然此项规范和标准制定活动的目标是充分解决此类系统的安全问题，但遗憾的是，这些标准的制定给行业带来了一些歧义。2023 版 NEC（美国电工法）收到反馈意见指出，关于何时适用第 706 条相关 ESS 系统的条例，或者何时适用有关储能电池的第 480 条条列？造成了很多普遍困惑。同时有 NEC 的一些用户认为，第 480 条与第 706 条应该同时适用。自从 2017 版 NEC 第 706 条最初发布以来，关于哪一条适用于该系统的普遍困惑一直存在。



NFPA 855

对 BESS 和 UPS 有重要影响的文档可能就是 2020 版 NFPA 855 固定储能系统安装标准。NFPA 855 将储能定义为“一台或多台设备组装，可存储能量以供未来使用，为本地电力负荷和公共电网供电或为电网提供支持。”此定义将 UPS 和 ESS 这类型应用都包括在内。此外，NFPA 855 和消防规范还要求，按照 UL 9540 标准完成 ESS 系统评估和认证。这给行业带来一定程度的混乱，因为 UL 1778 一直是传统 UPS 产品的安全标准。列名认证是一个重要的步骤，它可确定系统经过独立评估，符合适用的安全要求，并可支持安全安装。然而，由于 UL 1778 一直是 UPS 的传统产品安全标准，因此对 UL 9540 的具体引用给行业带来了一些困惑。

在使用铅酸或镍铬电池的公共事业和电信应用领域内，NFPA 855 存在少数例外情况。2023 版 NFPA 855 有一种例外情况，即直流电压 (VDC) 小于或等于 600 伏特且专用于固定待机应用的铅酸或镍铬电池，且电池系统按照 UL 1973 标准通过 UL 列名认证。NFPA 855 将固定待机应用定义为“使用

电池的储能系统，其电池专门为保持连续充电或高荷电状态，以支持需要的放电事件”。UPS 属于此定义范畴之内。锂离子电池系统（无论是 UPS 还是 ESS）没有这种例外情况。

NFPA 855（和消防规范）的主要目标之一是解决与 UPS 或 BESS 相关的潜在火灾和爆炸危险问题。例如，为了控制这种危险，对此类系统施加非常严格的能量容量和间隔距离限制。其中一些限制如下文表 1 所述。如果储能电池系统按照 UL 9540A 标准进行大规模耐火测试 (LSFT)，根绝具体的结果，有些限制情况是可以豁免的。

适用于 ESS 的 UL 9540A 标准

从电芯层面直到系统安装层面，UL 9540A 是一种综合性分层分析方法，它首先确定电池技术是否可能发生热失控。如果有可能发生这种情况，那么系统的火灾和爆炸危险特性是什么？通过测试提供数据，以确定系统是否有足以解决这些危



险问题的充分保护。这种测试方法提供了基本信息，介绍了此类固定电池系统在发生故障时的特性以及它们如何与建筑环境安全集成。测试可评估灭火类型，以及安装层级所需的防爆设计（如有必要）。根据 NFPA 855 要求，在测试期间采集的气体数据可用于爆燃危险研究。在 UL 9540A 测试期间生成的所有关键数据全部纳入报告，以供司法管辖机关 (AHJ) 审核与批准设备。除非 BESS 或 UPS 设备符合限制条件（例如下文表 1 所述），否则必须按照 UL 9540A 标准完成大规模耐火测试，并给出可评估预期设备安全性的结果。

表 1——NFPA 855/NFPA 1 和 ICC IFC 对 ESS/UPS 的限制

参数	系统位置	限值	例外
最大规格	所有位置	50 kWh	LSFT ^a
	住宅	20 kWh	^b
与其他 ESS 间隔	室内和室外	3 英尺	LSFT (大规模火烧测试)
	室内和室外 (接近暴露的位置)	600 kWh	LSFT (大规模火烧测试)
最大储能容量	住宅	40–80 kWh	^b
	所有非住宅位置	0.3 gpm/英尺 ²	LSFT (大规模火烧测试)
爆炸控制	室内和室外——非住宅	NFPA 68 和 NFPA 69	LSFT

^a——LSFT 是指大规模耐火测试。UL 9540A 是经过批准的测试方法。

^b——如果住宅系统要在某一区域内提高规格或提升储能容量，那么适用于非住宅系统的所有标准（例如灭火和爆炸控制）都适用于这些住宅系统（包括 LSFT 在内）。

这些要求导致 UPS 系统受到过去不需要的上市标准的约束。对于 UPS 系统来说，使用更传统的电池技术也具有挑战性，因为现在将 UPS 纳入 ESS 标准和规范后，需要遵守过去不需要遵守的限制。上文提到了用于低压电信应用和公用事业应用的铅酸和镍镉技术的一些有限例外情况，可以不受现在将 UPS 纳入 ESS 标准和规范标准所施加的限制。随着 2023 版 NFPA 855 发布，对于铅酸和镍镉电池已经按照 UL 1973 标准通过 UL 列名认证的限制有所放宽。但使用传统技术的 UPS 系统以及使用锂离子电池技术的 BESS 需要符合此类 ESS 限制或通过大规模耐火测试。

理清混乱局面

自从这些为解决 ESS 安全问题而制定的不同规范和标准最初发布以来，人们一直努力以消除这种混乱情况，并纳入更好地说明各种电池储能应用和技术的规范/标准用语。虽然这些规范和标准制定活动是为了从整体上解决此类系统的安全问题，但确实给行业带来了一些混乱。因此，人们一直在考虑提高描述的准确性，利用来自现场的实践经验和深入见解，通过新增或修订规范要求来处理创新。2023 版 NEC 和

NFPA 855 都对 UPS 和 ESS 设备提出更高要求。2023 版 NEC 澄清了属于第 480 条范畴的设施以及属于第 706 条范畴的设施。在标准制定过程中收到了提议，试图解决有关储能系统的第 706 条何时适用或有关储能电池的第 480 条何时适用的混乱问题。NEC 的一些用户认为，第 480 条与第 706 条同时适用于特定的安装。2023 版 NEC 的修订将解决这一问题。

NEC 第 480 条

第 480 条更名为“固定待机电池”，其定义是“在大多数时间内保持连续浮充电或高荷电状态，随时准备应对放电事件的电池”。它包括以下说明性注释：“不间断电源 (UPS) 电池是属于此定义范畴之内的示例”。第 706 条的范围将表明，“本条适用于容量大于 3.6 MJ (1 kWh) 的所有储能系统 (ESS)，这些储能系统可能是独立的或与其他电力源产生交互的。在正常工作条件下，这些系统主要用于储能和供电”。适用范围还有以下说明性注释：“有关符合固定待机电池定义的设备，请参见第 480 条”。

UL 1973 附录 H

2023 版 NFPA 855 的修订也将带来更大的明确性。如果电池按照 UL 1973 标准通过列名认证，则对电压小于或等于 600 Vdc 且专用于固定待机应用的铅酸和镍铬电池而言，2023 版 NFPA 855 允许一种例外情况。NFPA 855 将固定备用应用定义为“使用电池的储能系统，其电池专门保持连续浮充电或高荷电状态，为需要放电的事件提供支持”。UPS 属于此定义范畴之内。然而，锂离子电池系统（无论是用于 UPS 还是 ESS）没有这种例外情况。2023 版 NFPA 855 的这一修订明确指出，电池按照 UL 1973 标准通过列名认证且专用于固定待机应用（例如 UPS）的这种特定的铅酸和镍铬电池（600 V 或以下）不需要按照 UL 9540 标准再做列名认证。为了更妥善地解决这些 ESS 规范中的老旧技术安全问题，铅酸和镍铬电池列名认证方案得以制定。在此项工作中，首先需要修订 UL 1973 标准，更妥善地处理铅酸和镍铬电池。作为弥补 UL 1973 铅酸和镍铬电池标准差距工作的一部分，UL 与来自 IEEE ESSB 委员会的行业利益相关者合作制定此类电池列名认证标准，使其能够在现场安全安装，而无论是用于 UPS 还是 ESS 应用。作为 2022 年 2 月发布的第三版 UL 1973 标准新增附录 H，此项



标准已发布。此项附录 H 计划是在电芯和多芯电池（单块）层面开展的全面评估，可让此类技术确立自身安全性，按照全面的安装、维护和操作说明即可完成现场安装。

这种方法适用于通常并不作为系统进行评估的电池，使其能够在现场安全安装。附录 H 也代表了在增加传统安装的电池的安全评估方面向前迈出了一步，让过去安装的电池也能获得这种全面评估的优势。过去，通常有一些房间里装满了

这些没有第三方安全认证的电池。它们通常不是 UPS 系统的 UL 1778 认证的一部分。

UL 1973 附录 H 测试计划如下文表 2 所述。过充电热失控测试方案已提请纳入 UL 9540A 标准，目前作为认证要求决策 (CRD) 发布，在其正式纳入 UL 9540A 标准之前适用。行业的目标是让 UL 1973 附录 H 标准也获得 UL 1778 UPS 标准引用，以弥补这些技术目前存在的安全标准差距。

表 2——UL 1973 附录 H 铅酸电芯和电池测试

测试	电芯或多芯电池	系统
过度充电	X	
短路	X	
过度放电	X	
温度	X	X
电介质耐压	X	X
连续性		X
静力 (系统外壳)		X
冲击 (系统外壳)		X
落锤冲击	X	
模压 (系统外壳)		X
支撑结构强度 (系统架)		X
盐雾	X	
过充电热失控	X	



结论

对于区分 UPS 与 ESS 安全设备要求而言，这些修订是积极的进展。所需的进一步工作包括更新 NEC 第 480 条内容，除了第 480 条最初关注的铅酸和镍镉电池技术，进一步阐明其他技术的设备要求。此外，还需要进一步的工作来更新 NFPA 855 中的标准，消防规范也可能进一步明确，特别是就用于固定应用（无论是 UPS 还是 ESS）的各种技术而言。

对于 ESS，我们正在更新 UL 9540 以解决各种问题，其中包括大型电网级集装箱 ESS 外部报警通信系统测试和标准更新。为改善多种类型的安装（包括住宅和大型电网级集装箱系统）以及各种技术（包括液流电池、高温钠及其他熔盐电池、铅酸和镍镉电池系统）测试方法，UL 9540A 标准也有相关提议。如上所述，适用于 UPS 的 UL/CSA 62040-1 标准协调工作应参考 UL 1973 附录 H 标准，以填补目前在 UPS 应用中使用的电池簇方面存在的空白，但这些电池簇不是最初 UL 1778 调查的一部分。作者希望，相关标准的持续修订将为行业带来更完善的安全性，而无论应用领域是传统 UPS 还是 ESS。随着储能系统解决方案取得意义重大且突飞猛进的发展，保持安全基础牢固对开拓安全创新和满足社会需求至关重要。

要了解更多信息，请访问 [UL.com/Solutions](https://ul.com/solutions)。



[UL.com/Solutions](https://www.ul.com/solutions)

© 2023 UL LLC 保留所有权利。未经许可，不得复制或散布本白皮书。本白皮书仅供一般信息用途，无意传达法律或其他专业性建议。