

新能源产业的消防安全风险与灭火救援对策

陈 虎

联检（江苏）科技股份有限公司 江苏 常州 213000

摘 要：在全球能源转型的大背景下，我国新能源电池储能产业规模实现了跨越式增长，截至2023年底，已投运新型储能项目装机规模达18.9GW，同比激增126%。然而，产业高速发展的同时，消防安全问题愈发突出，锂电池储能站和液流电池储能系统面临电气和可燃物火灾的双重威胁。借助国家政策引导，通过强化消防设施建设、人员培训与应急演练，以及安全管理和技术创新，能有效防控火灾风险，提升灭火救援能力，推动新能源电池储能产业安全、可持续发展。

关键词：新能源储能系统；锂电池火灾；液流电池安全

引言

伴随全球清洁能源需求的不断攀升，我国新能源电池储能产业迅猛发展，新型储能装机规模快速增长。然而，锂电池储能站、液流电池储能系统等设施的广泛应用，也带来了消防安全的严峻挑战。一旦发生火灾，扑救难度大且易引发连锁反应，危及周边安全。在此背景下，深入分析消防安全风险，制定科学灭火救援对策，对于推动产业健康发展、保障社会安全稳定具有至关重要的意义。

1 新能源产业的消防安全的重要性

近年来，其装机规模呈现爆发式增长，2021至2023年间，新型储能装机规模由4.6GW迅速跃升至18.9GW，年均复合增长率高达102%。但在产业规模迅速扩张的背后，消防安全问题愈发突出。以锂电池储能站为例，站内配置的高能量密度锂电池在充放电过程中，受制造工艺、使用操作和设备故障等多重因素影响，极易触发不可逆的热失控反应。锂电池热失控时，电池内部会发生复杂的化学反应，致使电池温度在极短时间内飙升至1000℃以上，同时释放出大量易燃易爆气体。研究表明，单个锂电池热失控所产生的热量，足以引燃周边3-5个电池，形成连锁反应，致使火势迅速蔓延。据《2023年储能火灾事故统计报告》显示，锂电池储能火灾平均直接经济损失达520万元，火势蔓延速率较传统火灾提升3-5倍，其带来的经济损失和安全威胁不容小觑。面对如此严峻的火灾形势，研发适配的灭火技术与装备、构建完善的消防安全管理体系迫在眉睫。在灭火技术层面，全氟己酮（C₆F₁₂O）灭火剂因其高热吸收率、电绝缘性及环保特性，可快速中断锂电池热失控链式反应，抑制复燃。通过系统开展人员消防安全培训，不仅提升人员对火灾风险的识别能力，还能增强其应急处置的实操技

能，确保在火灾发生时能够迅速、有效地应对。

2 新能源电池储能的消防安全风险

2.1 电气火灾风险

2.1.1 锂电池储能站

锂电池单体受制造工艺与材料特性影响，一致性存在偏差，导致充放电性能各异。部分电池在充电时易过早满充，若充电管理系统无法精准调控，过充现象便会发生；长期使用后，电极材料结构劣化，放电时又易出现过放。过充与过放均能打破电池内部化学反应平衡，触发内部短路。短路瞬间，化学能急剧转化为热能，促使电池温度迅猛升高，进而触发热失控。当电池温度达到一定阈值，电池内部的电解液会发生分解，产生氢气、甲烷等可燃气体，这些可燃气体与空气混合后，形成易燃易爆混合气，遇火源便会引发剧烈燃烧。热管理系统如果故障，如散热风扇停转、冷却液泄漏，便难以有效疏散电池产生的热量，致使电池持续升温。高温环境加速电池内部副反应，削弱电池外壳抗压性，导致外壳破裂，释放可燃气体与电解液。二者在高温下与空气混合形成易燃易爆混合气，遇火源即引发剧烈燃烧。加之储能站内电池布局紧凑，热失控产生的热量与可燃气体极易在电池间传导，引发连锁反应，使整个储能站迅速陷入火灾危机。电池模组间连接线、汇流排等电气连接部位长期承载高电流，接触不良会增大电阻，依焦耳定律，电阻增大导致产热增加，使连接部位温度上升。且长期受环境因素作用，连接部位易老化、腐蚀，恶化接触状况。高电流通过时，接触不良处会产生高温电弧，足以点燃周边可燃绝缘材料，如橡胶绝缘层、塑料支架等，严重威胁锂电池储能站安全^[1]。

2.1.2 液流电池储能系统

（1）电气设备如泵、逆变器长时间运转会因电流热

效应而发热,若散热系统设计不当或故障,元件温度将持续上升。高温会导致绝缘材料性能下降,引发短路,产生电火花。若电火花接触到液流电池中挥发的易燃电解液蒸汽,极易引发火灾。(2)液流电池的电极与电解液之间的电化学反应在某些异常状况下,会出现不稳定的电流波动。当电解液浓度不均匀、电极表面出现杂质,或是电池充放电速率过快时,电化学反应无法稳定进行,导致局部过热。这种局部过热现象若未得到及时控制,会使周边的电解液温度升高,加速电解液挥发,增大火灾发生的风险。(3)液流电池储能系统中的电缆长期处于高负荷运行状态,会因电流的长期作用而发热,加速绝缘层老化。若电缆受到外力挤压,如安装过程中操作不当,或是周边物体的挤压,以及受到环境中的化学物质腐蚀,绝缘层会遭到损坏。绝缘层损坏后,电缆内部的导体直接暴露,极易引发短路起火,对整个储能系统的安全稳定运行构成严重威胁,导致火灾事故的发生,造成巨大损失。

2.2 可燃物火灾风险

2.2.1 锂电池储能站

在新能源产业中,可燃物火灾风险是一个不容忽视的重要议题,尤其在锂电池储能站方面,其潜在的危险性尤为显著。锂电池储能站作为电能存储的关键设施,集中了大量高能量密度的锂电池。这些电池在储存和运行过程中,若管理不善或遭遇异常情况,便可能引发火灾。锂电池储能站的可燃物火灾风险主要来源于电池本身及其附属材料。电池外壳虽起到保护作用,但在高温或火源作用下,其材料可能迅速燃烧,加剧火势蔓延。电解液作为锂电池的重要组成部分,具有易燃易爆的特性。在电池热失控时,电解液会迅速蒸发并燃烧,产生有毒有害气体,如一氧化碳、氟化氢等,对人员和环境构成严重威胁。储能站中用于保温、隔热的材料同样存在火灾风险。这些材料在长时间高温作用下,可能逐渐老化、变质,失去原有的防火性能,成为火灾蔓延的助燃物。为了降低这些风险,储能站设计时需采用防火材料,并设置有效的火灾探测与灭火系统。定期维护和检查电池及其附属设备,确保其处于良好状态,也是预防火灾的关键措施。通过这些综合措施,可以提高锂电池储能站的安全性,保障人员和环境的安全^[2]。

2.2.2 液流电池储能系统

液流电池储能系统所使用的电解液,多为有机或无机易燃液体,且具备腐蚀性特征。在电池的日常充放电循环中,密封部件承载着防止电解液泄漏的重任。然而,这些部件长期暴露于复杂多变的工况下,易受到环

境侵蚀和机械磨损,出现老化、损坏的现象。如果密封失效,电解液便有可能发生泄漏,遇明火、高温或与空气中的某些成分发生化学反应,将迅速燃烧并产生有毒气体,威胁人员生命安全,还会对周边设备、建筑结构造成严重的腐蚀性损害。由于电解液的易燃性和腐蚀性,如果发生火灾,火势将迅速蔓延,难以有效控制,给灭火救援工作带来困难和挑战。液流电池储能系统的设计和维护必须采取严格的安全措施。除了选用高质量的密封材料,还需定期进行检查和更换,以确保其性能稳定。建立完善的应急预案和安全培训,对于操作人员来说至关重要,以确保在紧急情况下能够迅速采取措施,最大限度地减少潜在风险。研发新型的非易燃、低腐蚀性电解液,也是提高液流电池储能系统安全性的关键方向。

3 灭火救援对策

3.1 加强消防设施建设与维护

(1)加强消防设施建设是保障新能源电池储能设施安全的关键。应依据行业标准,构建专用的消防设施体系。在火灾探测方面,需安装高灵敏度的烟雾探测器、高精度的温度监测器以及高效的气体探测器,以实时捕捉电池热失控初期的烟雾、监测温度变化并检测有毒有害气体,为灭火救援赢得时间。(2)利用物联网、大数据、人工智能等先进技术,搭建智能化火灾报警系统。该系统能实时监测电池储能设施的运行状态,通过智能算法准确评估火灾风险,实现远程全方位监控,提高火灾预警的准确性和及时性。(3)灭火系统的选择需根据电池储能设施的特性进行优化。对于锂电池储能站,可采用干粉灭火器和全氟己酮灭火系统;而对于液流电池储能系统,则需选用专门适配的泡沫灭火剂,其能够在燃烧的电解液表面形成覆盖层,隔绝空气,达到灭火目的。为确保灭火设备始终处于最佳状态,要建立严格的定期检查与维护制度。检查内容包括设备的外观完整性,确保无损坏、变形;压力指标,保证灭火设备内的压力处于正常工作范围;喷管畅通性,防止堵塞影响灭火效果。对于气体灭火系统,要定期检测气体泄漏情况,及时补充气体,确保储存压力稳定。干粉灭火器则要检查干粉是否结块、喷射阀门是否灵活,保证在紧急情况下能够正常使用^[2]。在设计电池储能设施的消防方案时,必须综合考虑各种因素,包括电池类型、储能规模以及环境条件。对于大型锂离子电池储能系统,除了干粉和全氟己酮灭火系统外,还可以考虑安装自动喷水灭火系统,以提供更快速的响应。对于液流电池,除了泡沫灭火剂,还可以结合使用水幕系统来隔离热源,增强

安全性。

3.2 强化人员培训与应急演练

在专业知识培训方面,针对新能源电池储能设施的特点,深入讲解电池的工作原理、火灾风险产生的机制以及预防措施。对于锂电池储能站,要详细介绍电池热失控的原因、过程及危害,教导员工如何通过日常巡检发现潜在风险,如检查电池外观是否有鼓包、发热现象,监测电池管理系统数据是否异常等。对于液流电池储能系统,要讲解电解液的性质、电气设备的运行维护要点以及泄漏后的应急处理方法。邀请消防领域专家,结合实际案例,生动传授初期火灾扑救技巧,如针对不同类型火灾选择合适的灭火器材、正确的灭火操作姿势等,同时强化员工的逃生技能培训,包括熟悉应急疏散通道位置、掌握在烟雾环境中的自我防护方法等,全面提升员工的消防安全意识与应急处置能力。应急演练是提升应急响应能力的关键环节。制定详细的应急预案,涵盖火灾报警、人员疏散、灭火救援等各个环节。在火灾报警方面,明确员工发现火灾后的报警流程,包括使用何种报警设备、向哪些部门报告以及报告的具体内容等。根据电池储能设施的布局,合理规划多条疏散路线,并设置明显的疏散指示标志,对不同区域的员工疏散顺序、集合地点作出明确规定。在灭火救援环节,针对锂电池火灾、液流电池火灾等不同场景,制定相应的灭火战术与人员分工。定期组织实战演练,模拟逼真的火灾场景,如锂电池热失控引发的火灾、液流电池电解液泄漏起火等,让员工在实践中熟悉操作流程,检验应急预案的科学性与可行性^[3]。

3.3 优化安全管理与技术创新

(1) 高层管理人员需制定消防安全战略规划,统筹资源配置,确保消防安全与企业发展相协调。基层员工则需严格执行日常检查、维护保养及规范操作,从源头预防火灾。通过签订责任书,将责任层层落实,形成全

员参与的格局。(2) 在项目全生命周期中,消防安全监管至关重要。规划设计阶段需充分考虑火灾风险,合理布局设施,确保安全间距和消防通道符合标准。建设过程中要严格把控消防设施的安装质量,确保设施完好可用。运营阶段则要建立常态化的安全检查机制,定期对项目进行全面检查,及时发现并整改火灾隐患,确保项目安全稳定运行。(3) 技术创新是提升新能源电池储能消防安全的核心动力。应持续加大研发投入,充分利用人工智能技术的优势,开发智能火灾预警系统,实现对火灾风险的精准预测和早期预警。要积极研发新型高效灭火剂,特别是针对锂电池火灾的抑制性灭火剂,以迅速控制火势,降低损失,确保新能源电池储能设施的安全稳定运行^[4]。

结束语

新能源电池储能产业的快速发展,对消防安全提出了更高的要求。尽管当前新能源消防救援仍处于探索阶段,但通过系统性地加强消防设施建设、人员培训和技术创新,能够显著提升火灾防控与灭火救援的能力。未来,随着技术的持续进步和管理体系的不断完善,新能源电池储能产业将在安全的轨道上实现高质量发展,为全球能源转型提供有力支撑。

参考文献

- [1]安海荣.新发展理念下新能源发电企业消防安全管理对策研究[J].消防界(电子版),2024,10(13):16-18.
- [2]杨琦琦,相坤.深汕特别合作区火灾风险及消防安全对策措施[J].安全,2024,45(4):11-15.
- [3]石朝阳.张家口市国家级可再生能源示范区新能源产业火灾风险和灭火救援研究[J].消防界(电子版),2023,9(7):119-121.
- [4]杨旭,张亮,胡博恺,周会会,刘敏,蒋睿倡.新发展理念下新能源行业消防安全的主要风险与对策[J].中国应急救援,2022(1):35-40.