

新型储能设施消防工程设计要点及气体灭火系统应用

刘慧

山东道成泰和智能科技有限公司

摘要：新型储能设施因其高能量密度和复杂结构，在运行过程中存在较高的火灾风险，传统消防系统在储能火灾扑救中存在适应性不足的问题。本文分析了储能设施的火灾特点，探讨了消防工程设计的关键要点，包括防火分区、早期火灾探测、被动防护及灭火系统优化等内容，并重点研究了气体灭火系统的应用及工程设计。研究表明，气体灭火系统因其高效、无残留、对设备损害小的优势，在储能设施消防中具有较大应用价值。未来，需进一步优化气体灭火系统的设计与运维，提高储能设施的消防安全性，为新能源行业的可持续发展提供安全保障。

关键词：新型储能设施；火灾风险；消防工程设计；气体灭火系统；安全防护

近年来，随着新能源技术的快速发展，各类新型储能设施被广泛应用于电力系统、工业生产以及数据中心等领域。然而，储能设备在运行过程中可能面临高温、过充、短路等问题，尤其是锂离子电池等储能技术，其热失控风险较高，一旦发生火灾，极易引发爆炸和有毒气体泄漏，给人员安全和设备运行带来严重威胁。因此，如何针对储能设施的火灾特性进行科学合理的消防工程设计，成为当前研究的重要课题。

现有消防系统多采用水基或干粉灭火方式，但在储能设施内部环境复杂、电气设备密集的情况下，这些传统方式的灭火效率和适应性存在一定局限。相比之下，气体灭火系统以其良好的灭火性能和对设备损害较小的优势，在储能设施消防工程中展现出较大的应用潜力。本文将分析储能设施的火灾风险，探讨其消防工程设计要点，并重点研究气体灭火系统的应用，为新型储能设施的消防安全提供科学依据。

1 新型储能设施的火灾风险分析

随着新能源产业的快速发展，各类新型储能设施广泛应用于电网调峰、电动汽车充换电站及数据中心等领域。然而，由于储能设备本身的特殊性，其运行过程中可能面临高温、过充、短路等风险，特别是锂离子电池等储能技术在极端情况下容易发生热失控，引发燃烧甚至爆炸。一旦火灾发生，火势蔓延迅速，且伴随有毒气体释放，给人员安全和设备稳定性带来严重威胁。因此，深入分析储能设施的火灾风险，明确火灾发生的诱因和传播机制，对于优化消防设计、提升整体安全性具有重要价值。目前，常见的消防系统多采用水基或干粉灭火方式，但这些传统方式在应对储能设备火灾时存在一定局限，气体灭火系统作为一种较为适用于储能环境的灭火方式，逐渐受到关注。

1.1 新型储能设施的类型及特性

新型储能设施主要包括锂离子电池、液流电池、氢燃料储能和超导储能等多种形式。其中，锂离子电池因其能量密度高、充放电效率高，在储能市场占据主导地位。然而，锂离子电池对温度和电压较为敏感，在高温、短路、过充或物理损坏的情况下容易发生热失控，从而引发火灾或爆炸。相比之下，液流电池储能系统使用液态电解质进行能量存储，虽然热失控风险较低，但其电解液可能具有腐蚀性，存在泄漏风险。氢燃料储能则通过氢气的存储和燃烧实现能量转换，其火灾风险主要源于氢气的易燃易爆特性，一旦泄漏遇到明火，可能造成严重爆炸事故。此外，储能设施通常采用模块化设计，电池单元排列紧密，一旦某个单元发生燃烧，火势可能迅速向周围扩散，使得火灾扑救变得极为困难。因此，针对不同储能类型的特点，需要有针对性的消防设计，以降低事故发生的可能性，并提高火灾应急响应能力。

1.2 储能设施火灾事故特点

近年来，多起国内外储能火灾事故表明，储能设备的火灾具有以下显著特点。首先，火灾早期难以察觉，部分储能火灾由电池内部短路或热失控引发，最初可能仅表现为温度缓慢上升，并不会产生明火，而传统烟雾探测器和温感探测器难以在早期精准识别火灾风险，导致扑救的时间窗口较短。其次，火势蔓延速度极快，储能单元内部温度一旦超过临界点，热失控会在极短时间内导致连锁反应，进而引发周围电池单元相继燃烧，火灾发展迅猛，短时间内可能导致整个储能系统报废。第三，灭火难度较大，储能电池燃烧时可能产生高温熔融物和大量可燃气体，如电池内部的电解质在高温下可能裂解生成可燃气体，而部分灭火

方式(如水基灭火)可能导致电解液泄漏,加剧电气短路风险,甚至导致二次燃烧。此外,储能火灾可能释放大量有毒气体,例如锂离子电池燃烧时会释放氢氟酸、一氧化碳、二氧化硫等有害气体,对人员安全和环境造成严重威胁。特别是在封闭的储能机房或地下储能站中,气体积聚可能进一步加剧火灾救援的复杂性。

1.3 现有消防系统的适用性分析

目前,储能设施的消防系统主要包括水基、泡沫、干粉及气体灭火,但传统方式在储能火灾扑救中存在诸多局限。水基灭火依靠喷水冷却和隔氧灭火,但其导电性可能加剧短路,导致二次火灾,同时可能引发电解液泄漏,污染环境。泡沫灭火适用于液体燃料火灾,但难以渗透电池内部,无法有效抑制火势。干粉灭火可快速覆盖火源,阻断燃烧链,但无法降低电池内部温度,容易导致复燃,且灭火剂残留影响设备后续使用。

相比之下,气体灭火系统因无残留、对设备损害小、适用于封闭环境,在储能设施消防中应用前景较大。七氟丙烷灭火系统可通过降低氧浓度和化学抑制作用迅速灭火,对设备影响小,但系统设计需考虑密闭性和灭火剂存储。二氧化碳灭火虽灭火效果较好,但高浓度可能对人员造成窒息风险,适用于无人值守区域。氮气灭火系统通过降低氧浓度和吸收热量灭火,适合密闭储能机房,但灭火时间较长。综合来看,气体灭火系统在储能设施消防中具有较大的应用价值,需结合场景合理选择灭火方案。

2 新型储能设施的消防工程设计要点

储能设施的火灾风险较高,其消防工程设计需综合考虑火灾预防、早期探测、灭火系统及消防联动控制等方面。由于储能设备结构紧密、热失控易导致连锁反应,消防设计不仅要符合安全规范,还应结合储能设施的运行特点,确保消防系统高效、精准、可靠。

2.1 消防工程设计的总体要求

储能设施的消防设计应满足国家和行业相关安全标准,如《建筑设计防火规范》《电化学储能电站安全规范》等,确保设施具备完善的火灾防护能力。首先,应合理划分防火分区,采用耐火隔离墙或防火门将储能单元与其他区域隔离,防止火灾蔓延。其次,储能机房应采用耐高温、阻燃材料,以减少火势扩大风险。此外,消防系统应具备自动报警、应急疏散及火灾联动控制功能,确保火灾发生时能迅速响应并采取有效措施。

2.2 早期火灾探测技术

由于储能设施火灾具有隐蔽性,早期探测系统对

消防安全至关重要。目前,先进的火灾探测手段包括多传感器融合探测、红外热成像监测和AI智能分析。多传感器融合技术可通过烟雾、温度、气体传感器的综合分析,提高火灾探测的准确性。红外热成像可实时监测电池温度变化,提前发现过热隐患,而AI智能分析结合大数据建模,可识别异常温度变化趋势,提供火灾预警。

2.3 被动防火措施

被动防火措施主要包括防火隔离、阻燃材料应用及通风散热设计。在储能单元间设置耐火分隔,采用防爆墙或阻燃柜体,可有效控制火势蔓延。储能机房应选用低烟无卤阻燃材料,防止燃烧时释放有毒气体。此外,良好的通风系统能降低电池内部温度,减少热失控风险,并在火灾发生时加快有害气体的排放,提高灭火效果。

2.4 主动灭火系统

针对储能设施火灾特点,传统的洒水、泡沫、干粉灭火系统在应用上存在一定局限性。气体灭火系统因其高效、无残留、对电气设备损害小,成为储能设施消防的优选方案。常见的气体灭火剂包括七氟丙烷、二氧化碳和氮气,它们通过降低氧浓度或吸热作用实现灭火。在封闭的储能机房中,气体灭火系统可在火灾初期迅速灭火,防止火势蔓延。然而,气体灭火需考虑灭火剂的浓度、释放时间及安全性,避免对设备和人员造成不良影响。

2.5 消防联动控制系统

消防联动系统可整合火灾探测、自动报警、灭火系统及应急排烟功能,实现火灾发生后的快速响应。在储能设施中,消防系统应能自动联动通风设备,防止气体积聚,并在必要时启动灭火装置。同时,系统应具备远程监测能力,确保管理人员能够随时掌握储能设备的消防状态,及时采取应对措施。

3 气体灭火系统在新型储能设施中的应用

随着储能技术的发展,传统灭火方式在储能设施火灾扑救中的局限性日益凸显。气体灭火系统因其高效、无残留、对电气设备损害小等优势,在储能消防设计中逐渐受到重视。

3.1 气体灭火系统的基本原理

气体灭火系统主要通过窒息、冷却或化学抑制作用灭火,不会造成水渍或固体残留,适用于封闭环境。常见的灭火剂包括七氟丙烷、二氧化碳、氮气及混合气体。七氟丙烷通过吸热降温 and 化学抑制燃烧链反应来灭火,灭火效率高,且不会影响储能设备的运行。二氧化碳灭火系统则依靠降低氧气浓度灭火,但在密

闭空间可能对人员造成窒息风险,因此应用时需谨慎。氮气等惰性气体通过降低氧浓度和热量吸收来灭火,适用于无人值守储能机房。

3.2 气体灭火系统的工程设计

针对储能设施的火灾特点,气体灭火系统的设计需要考虑灭火剂类型、喷放方式、灭火浓度及密封性等因素。首先,应根据储能单元的规模和环境特点选择合适的灭火剂。其次,灭火系统应确保灭火剂能够均匀覆盖整个火源区域,避免因喷放不均匀导致灭火效果不佳。通常,气体灭火系统采用管网式或预制灭火装置,其中管网式适用于大规模储能设施,而预制灭火装置则更适用于独立储能柜或模块化系统。此外,灭火剂的浓度应满足相关标准,确保在规定时间内迅速灭火,同时系统应具备足够的密封性,以防止灭火剂过快泄漏,降低灭火效果。

3.3 气体灭火系统的实施案例

在部分数据中心、能源站和电网调峰项目中,七氟丙烷气体灭火系统已成功应用于储能设施消防。例如,某大型储能电站采用管网式七氟丙烷灭火系统,结合温度传感器和烟雾探测器,实现火灾的快速响应和自动灭火。该系统在一次储能电池过热事故中迅速释放灭火剂,在数秒内扑灭火源,有效避免了火灾蔓延。另一案例中,某光伏储能站采用氮气灭火系统,因其无毒无害、适用于长期封闭环境,确保了储能设备的安全运行。通过这些实际案例可见,合理设计和应用气体灭火系统能够有效提高储能设施的消防安全水平。

3.4 气体灭火系统的运维管理

为了确保气体灭火系统的长期稳定运行,定期维护和检测至关重要。首先,应对灭火剂储存量进行定期检查,防止泄漏或浓度不足影响灭火效果。其次,管道和喷头应定期清理,避免堵塞影响灭火剂释放。此外,系统的自动控制单元、探测器和联动装置应保持良好状态,确保火灾发生时能够迅速响应并正确启动灭火程序。同时,应制定详细的应急预案,并定期开展消防演练,提高人员对灭火系统的熟悉度和应急

处置能力。

4 结论

新型储能设施因其高能量密度和复杂结构,在运行过程中存在较高的火灾风险,火灾一旦发生,易造成严重损失。针对储能设施的消防设计,应结合防火分区、早期探测、灭火系统及联动控制等多方面措施,以降低火灾发生率并提高扑救效率。传统灭火方式在储能环境中的适用性有限,而气体灭火系统因其高效、无残留、对设备损害小的优势,在储能设施消防中具有较大应用价值。通过合理的工程设计、科学的实施方案及完善的运维管理,可确保气体灭火系统的稳定性和灭火效果。未来,应进一步优化储能消防技术,提升智能监测能力,以提高整体安全性,为储能产业的健康发展提供有力保障。

参考文献:

- [1] 宋天伟,岳炜杰.电气柜火灾极早期预警及气体灭火系统探讨[J].中国设备工程,2024,(20):147-149.
- [2] 冯凯.高压细水雾灭火系统与气体灭火系统的对比分析[J].产业科技创新,2024,6(05):50-53.
- [3] 陈树屹,巩建宇,刘婷,等.低温环境储能预制舱气体消防工程应用探讨[J].四川建筑,2024,44(05):66-68.
- [4] 荆永昌.锂离子电池电化学储能电站消防安全影响因素分析[J].电力安全技术,2024,26(11):61-68.
- [5] 韩钰,韩子忠.基于火灾分析的光伏储能电站消防安全对策研究[J].消防科学与技术,2024,43(10):1473-1476.
- [6] 伏铜洲.储能电站消防安全相关措施探讨[C]//冶金工业教育资源开发中心,中国钢协职业培训中心.第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会——电力工程与技术创新论文集.甘肃国能风力发电有限公司,2024:3.
- [7] 尹有余.电化学储能电站中的消防安全系统设计[J].集成电路应用,2024,41(09):126-127.
- [8] 陶致格,朱顺兵,侯双平,等.锂电池储能电站火灾与消防安全防护技术综合研究[J].储能科学与技术,2024,13(02):536-545.