

锂离子电池储能系统火灾防控策略研究

张振国

宝鸡市消防救援支队

DOI:10.12238/jsse.v2i4.10479

[摘要] 本文从锂离子电池材料的理化性质出发,详细分析讨论了锂离子电池的火灾危险性、热失控、热失控扩散及其连锁反应的火灾危险性和特点;梳理总结其火灾危险性认定、建筑防火设计和消防设施设置等方面存在的问题和不足。提出了提高单个电池的容量、适当限制电池组的容量、恰当地划分防火分区、合理地确定防火间距、科学地进行平面布局、加强初期预警、准确选用灭火剂和自动灭火系统等锂离子电池储能系统周期的火灾防控策略。

[关键词] 锂离子电池; 能源储存系统; 消防; 火灾; 消防救援

中图分类号: TU998.1 **文献标识码:** A

Prevention and control strategies of the fire hazard from the lifecycle of lithium-ion battery energy storage system

Zhenguang Zhang

Baoji Fire and Rescue Division

[Abstract] In this paper, starting from the physical and chemical properties of the materials in lithium-ion battery, the characteristics of fire accidents such as the fire hazard, thermal runaway, thermal runaway diffusion, chain reaction and hazard of lithium-ion batteries are analyzed and discussed in detail. The problems and deficiencies in the fire hazard identification, fire protection design and fire protection facility of buildings in all links are sorted out and summarized. Several fire prevention and control strategies for the lifecycle of lithium-ion battery energy storage system such as increase the capacity of a single battery, appropriately limit the capacity of the battery pack, properly divide the fire protection zone, reasonably determine the fire distance, scientifically carry out the plane layout, and strengthen the early warning, accurate selection of fire extinguishing agents and automatic fire extinguishing systems are proposed.

[Key words] lithium-ion battery; energy storage system; fire protection; fire hazard; fire rescue

引言

锂离子电池(Lithium-ion battery)用于储能系统,相对于钠硫电池、液流电池和铅酸电池等化学电池来说具有能量密度大、转换效率高、环境友好、寿命长、功率性能好等特点。目前,我国对锂离子电池储能系统(ESS, energy storage system)及储能电站的消防安全研究相对较少,多集中在单体电池及动力电池系统的热失控特性、燃烧特性、爆炸强度、烟毒性以及开发安全阻燃电解液、固态锂离子电池提高锂离子电池自身的安全性能等方面。对于锂离子电池ESS整体性、系统性全寿命周期的火灾特性和火灾防控措施的研究则刚刚起步。近年来,锂离子电池储能电站火灾事故屡屡发生,其火灾风险不容小觑。因此,对锂离子电池ESS的消防安全进行全面系统的分析,并从设计、施工、运营等环节提出基于全寿命周期的锂离子电池能源储存系统火灾防控策略就显得非常迫切。

1 锂离子电池能源储存系统的火灾危险性

1.1 锂离子电池材料的火灾危险性

锂离子电池依靠锂离子在正极和负极之间移动来完成充、放电的二次化学电池(充电化学电池),目前主流锂离子液态电池的结构主要由正极、负极、隔膜、电解液四大部分组成。

正极材料:主要由钴酸锂(LiCoO₂, LCB体系)、三元锂(Li(NiCoMn)O₂, NMC体系)、锰酸锂(LiMn₂O₄, LMB体系)和磷酸铁锂(LiFePO₄, LFB体系)等锂盐构成,这些锂盐本身不可燃,但在高温下的分解产物会助燃。三元锂离子电池和磷酸铁锂离子电池是锂离子电池ESS中最常用的两种类型,韩国主要采用的是三元锂离子为主流的技术路线,我国主要采用的是磷酸铁锂技术路线。

负极的主要构成材料如石墨、碳纤维等是可燃物,火灾危险性分类为丙类。

表1 常用电解液溶剂理化性能参数对比表

溶剂	缩写	分子式	CAS	分子量	闭口闪点(°C)	爆炸极限(v/v%)	火灾危险性	
环状碳酸酯	碳酸丙烯酯	PC	C ₄ H ₆ O ₃	108-32-7	102.09	132	—	丙类
	碳酸乙烯酯	EC	C ₃ H ₄ O ₃	96-49-1	88.06	160	—	丙类
链状碳酸酯	碳酸二甲酯	DMC	C ₃ H ₆ O ₃	616-38-6	90.08	16.7	3.8-21.3	甲类
	碳酸二乙酯	DEC	C ₅ H ₁₀ O ₃	105-58-8	118.13	25	1.4-11.0	甲类
	碳酸甲乙酯	EMC	C ₄ H ₈ O ₃	623-53-0	104.1	23	1.2-9.8	甲类
羧酸酯	甲酸甲酯	MF	C ₂ H ₄ O ₂	107-31-3	60.05	-19	5.0-22.7	甲类
	乙酸甲酯	MA	C ₃ H ₆ O ₂	79-20-9	74.08	-10	4.1-13.9	甲类
	乙酸乙酯	EA	C ₄ H ₈ O ₂	141-78-6	88.11	-4	2.18-11.40	甲类
	丁酸甲酯	MB	C ₅ H ₁₀ O ₂	623-42-7	102.13	14	1.6-8.8	甲类
	丙酸乙酯	EP	C ₅ H ₁₀ O ₂	105-37-3	102.13	12	1.9-11	甲类

注：“—”表示未查到相关数据

隔膜材料如聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)或复合膜(PE-PP-PE)等是可燃物,火灾危险性分类为丙类。

电解液主要由溶剂、锂盐和添加剂三部分组成。溶剂主要使用环状碳酸酯、链状碳酸酯、羧酸酯类及其混合物,如EC/DMC和PC/DMC等(见表1)。

综上所述,锂离子电池的负极、隔膜材料和电解液的组成均为甲类和丙类物质,是同时具备可燃物(负极材料、溶剂、隔膜材料)、助燃物(锂盐)和点火源(电池自身的电能和化学能)三个燃烧的条件的不安全体系,在正常充放电、受热、外部短路、浸水及针刺、挤压碰撞等机械损伤,过充和过放等滥用情况下,均会引发锂离子电池热失控以及连锁反应,进而导致电池材料发生放热、产气、燃烧甚至爆炸的情况。其火灾危险性符合GB 50016-2014《建筑设计防火规范(2018版)》^[1]3.1.3条储存物品的火灾危险性分类中甲类4项和甲类6项的定义。同时,《国际海运危险货物规则》也规定锂离子电池(包括锂离子聚合物电池)与设备一起包装的锂离子电池(包括锂离子聚合物电池)属于第

9类杂项危险物质和物品,联合国危险货物编号分别为UN3480和UN3481。

1.2 锂离子电池的热失控及其连锁反应

导致锂离子电池起火爆炸的原因主要有:电器滥用(如过冲、内短路)、机械滥用(如针刺、加压等)和热失控三类因素,对锂离子电池ESS而言,大规模电池的充放电为主要工况,使用频率最高,最容易引起电滥用,是热失控是最主要的原因。电力储能用锂离子电池的热失控(thermal runaway)是指单体电池内部放热反应引起不可控温升的现象^[2],热失控是导致锂离子电池过热、起火甚至产生爆炸的主要原因。Wang等^[3]的研究指出NCM系列电池及LFP电池的热失控产气成分主要是CO₂、H₂、CO、C₂H₄、CH₄、C₂H₆、C₃H₈、C₃H₆等八种,占比95%以上,这些气体除CO₂外火灾危险性均为甲类和乙类,遇到明火或高温极易发生起火或爆炸。同时,锂离子电池发生事故的率在百万分之0.2~0.5之间^[4],在电池组的规模一定的情况下,电芯容量越小则数量越多,发生火灾事故的概率就越高。锂离子电池发生事故的率大

致为四千万分之一^[4],即 $p=1/(4\times 10^7)$ 且独立同分布,电芯数量与事故发生概率之间的关系为: $P(n)=1-(1-p)^n$ 。以一辆有10000节电芯的电动汽车为例,按上述事故概率推算,则其整车所使用的电芯发生事故的率为 $P(10000)=1-(1-1/(4\times 10^7))^{10000}=2.5\times 10^{-4}$ 。在电池组的额定功率一定的情况下,单体电芯的容量越小则电芯数量(n)就越多,对于功率更大的锂离子电池ESS,其电芯数量(n)更多、发生事故的率P(n)也更大,这也从一个方面说明了当前锂离子电池储能系统火灾事故高发的主要原因。由于单体锂离子电池燃烧后能够引燃相邻的电池^[5],因此,在锂离子电池ESS中,一旦单体电芯发生故障爆炸起火,其火焰和产生的高温,极易引燃周围电芯造成热失控扩散(thermal runaway diffusion),发生连锁反应导致整个电池组燃烧爆炸,进而导致整个ESS发生火灾事故,造成严重的经济损失和社会影响。

1.3 锂离子电池火灾事故的特点

1.3.1 火灾事故隐蔽性、突发性强,火势蔓延迅速。

在锂离子电池ESS中,由于单体电芯的外观、温度和内部情况无法及时准确地监控,热失控后烟气聚集在电柜或集装箱、无法逸散,存在爆炸风险,导致电芯事故的隐蔽性较强。加之电芯发生火灾事故的诱因较多,在发生事故之前往往没有任何征兆,从事故的触发点开始到防爆阀打开产生烟气的急剧喷射,直到最后起火爆炸,往往会经历一个漫长的物理变化和化学反应的过程,短则几小时、长则数天,具有较长的潜伏期。单体电芯起火爆炸后火焰温度在1000℃以上且火焰尺寸大,会发生多次强烈的射流火,通过热辐射和直接引燃等方式迅速引燃周边的电芯,产生连锁反应,火势蔓延迅速。

1.3.2 有毒有害物质释放种类多、毒性大,次生危险性大。

LiPF_6 (Lithium Hexafluorophosphate; CAS: 21324-40-3; 分子量151.91)是锂离子电池最常用的电解质,是一种有毒、有腐蚀性且具有健康危害性的白色结晶或粉末,热稳定性差,暴露空气中会与水蒸气发生作用而迅速分解放出 PF_5 ,在20℃时就会分解,加热到175℃以上时会大量分解产生 LiF 和 PF_5 。 LiPF_6 及其分解产物 PF_5 在常温常压下为无色恶臭气体,其对皮肤、眼睛、黏膜有强烈刺激性,与空气中的水蒸气接触会发生水解反应放出有毒和腐蚀性的 HF 白色烟雾。此外,电池燃烧时还会释放出 H_2 、 CO 、 CO_2 、 NO 、 HF 、 HCl 以及 SO_2 等大量有毒有害和易燃易爆气体,如果个人防护不到位会对参与处置的人员人身安全和健康造成严重威胁,并对周边环境产生不利影响。

1.3.3 火灾扑救难度大,存在电击、复燃和爆炸危险。

锂离子电池组发生火灾、爆炸后水、干粉和泡沫等灭火剂难以直接喷射到着火点,灭火效果不理想,而且在明火被扑灭以后,电芯内部的物理放热、放电和化学反应并不会完全终止,会持续放电、放热并放出可燃气体,经常会发生复燃或复爆,加大了灭火难度。为了抑制热失控及热失控扩散,防止火势蔓延至相邻电池单元,需要对电池组本身及相邻电池组进行喷水冷却,但喷水可能会导致电路短路,从而再次引发火灾。此外,大容量电

池组高压系统与外界绝缘失效后,还会产生电击危险。在安全阀失效或难以满足正常泄压的条件下,还会发生物理爆炸导致电解液喷溅和物质喷射,对现场消防救援人员人身安全造成威胁。

2 锂离子ESS全生命周期消防管理中存在的突出问题

通过对锂离子电池ESS的火灾危险性进行分析,可以看出,正确认识锂离子电池ESS的火灾危险性、锂离子电池的本质安全技术、火灾爆炸预测预警技术、日常消防安全管理和消防控制及扑救技术等五个方面,是预防和扑救锂离子电池ESS火灾爆炸事故的主要方向。

2.1 锂离子电池ESS消防标准体系尚未建立

锂离子电池ESS火灾类型较为复杂,GB 50660-2011《大中型火力发电厂设计规范》和GB 50229-2019《火力发电厂与变电所设计防火规范》均未对电化学ESS制定消防安全方面的相关要求。目前锂离子电池ESS相关的技术标准仅有GB 51048-2014《电化学储能电站设计规范》^[6]、GB/T 36276-2018《电力储能用锂离子电池》等7部(见表2)。各地储能电站在平面布局、防火间距、设备结构、电气拓扑、消防设施和运行模式等方面各不相同,设防标准、防控等级参差不齐。现有的锂离子电池ESS相关规划选址、项目设计、建设安装、运维管理和锂离子电池本身设计指导等过程的消防安全技术标准无据可依,结合卓萍等^[7]的研究,可以发现锂离子电池ESS有关的消防标准体系尚未建立。同时,锂离子电池ESS由于缺乏设计标准、没有完备的日常监管体系和明确的监管部门,大量工业、民用、商用用途的储能电站,基本处于失控漏管状态。

表2 现有锂离子电池ESS相关技术标准

序号	标准名称	标准编号	标准等级	标准类型
1	电化学储能电站设计规范	GB 51048-2014	国家标准	储能/设计
2	电力储能用锂离子电池	GB/T 36276-2018	国家标准	锂离子电池/设计
3	锂离子电池工厂设计标准	GB 51377-2019	国家标准	储能/设计
4	电化学储能电站用锂离子电池管理系统技术规范	GB/T 34131-2017	国家标准	储能/设计
5	预制舱式磷酸铁锂电池储能电站消防技术规范	T/CEC 373-2020	电力企业联合会	储能/设计
			团体标准	
6	电化学储能系统方舱设计规范	T/CEC 175-2018	电力企业联合会	储能/设计
			团体标准	
7	电力储能系统建设运行规范	DB11/T 1893-2021	北京市地方标准	储能/管理

2.2 锂离子电池的火灾危险性定性不准

GB 51048-2014《电化学储能电站设计规范》^[5] 11.1.3条将具有火灾和爆炸危险的锂离子电池室的火灾危险性等级定为戊类(常温下使用或加工不燃烧物质的生产),没有考虑锂离子电池热分解、热反应产生气体为甲类火灾危险的特性,设防标准、防控等级低。目前我国的储能电站示范工程建设大多执行该规范的要求,但当前国内外接二连三的锂离子电池ESS火灾爆炸案例说明将锂离子电池室的火灾危险性等级定为戊类是严重不符合客观实际的,应该按照《建规》中甲类或乙类火灾危险性对待。

2.3 消防给水的设计与实际需求脱节

GB 51048-2014《电化学储能电站设计规范》^[5] 11.2.1条规定电化学储能电站内建筑物满足耐火等级不低于二级,体积不超过3000m³时,可不设消防给水。但从实际火灾战例来看,锂离子电池火灾在明火扑灭后,电芯内部物理放电和化学反应仍持续放热长时间处于高温状态,需要长时间冷却监护直到热失控过程被停止。因此,在锂离子电池ESS火灾扑救过程中,除了火灾扑救时直接使用的消防用水外,起火锂离子电池组及相邻的电池组和周围设施、建筑的冷却和明火熄灭后对电池组进行持续冷却都需要大量的消防用水,锂离子电池室“体积不超过3000m³时,可不设消防给水”的规定明显不能满足火灾情况下消防用水的实际需要。

2.4 防火分隔要求偏低

GB 51048-2014《电化学储能电站设计规范》^[5] 11.3.3条规定,电池室使用隔墙分隔,且除硫酸钠电池的电池室隔墙的耐火极限不应低于4.0h外,其他电池室隔墙的耐火极限不应低于3.0h。锂离子电池起火爆炸,火灾延续时间长、热量释放大,耐火极限不应低于3.0h的防火隔墙难以满足锂离子电池储能系统防火防爆的要求。

2.5 空间布局缺少统一标准

当前,锂离子电池ESS空间布局形式多样缺少统一标准,特别是室内站房式储能电站因多模组、多楼层竖向叠加布局,极易因热失控引起电池簇、电池舱瞬间集中能量释放、爆炸。GB 51048-2014《电化学储能电站设计规范》^[5]仅适用于新建、扩建或改建的功率为500kW且容量为500kW·h及以上的电化学储能电站的设计,不适用于移动式电化学储能电站(如储能柜)的设计,对储能柜本身的耐火等级亦未做要求,5.5.6条仅对储能柜维护通道做出了具体要求,且维护通道的最大宽度仅为2m,未考虑储能柜能量密度和火灾情况下的热辐射对防火间距的要求,也不便于灭火救援行动的开展。

2.6 早期探测报警手段缺乏

由于锂离子电池一旦起火,火灾蔓延迅速,往往自动消防设施还没有动作或者刚刚动作整个电池组或储能柜就全部起火爆炸,造成严重的经济损失和人员伤亡,而且从电芯出现故障到整个电池组起火爆炸往往经历一个较为漫长的过程,而当前锂离子电池储能系统普遍无早期探测报警系统,未能及早探测、及早

介入处置,等到传统的火灾自动报警系统和自动灭火系统动作时,电池组已处于热失控状态和猛烈燃烧阶段,报警和扑救已经失去了意义。

3 锂离子电池ESS的消防安全应对策略

3.1 适当限制电池组的容量和电芯数量

在电池组功率不变的情况下,通过提升电池单体容量,如采用4680型、21700型等能量密度较高的电芯替代18650型,可以有效降低每一个电池组中电芯的数量,进而可以降低电池组整体发生事故的概率。加强锂离子电池设计、生产和使用过程中的质量管控,降低单个电芯火灾爆炸事故的发生概率,提升其本质安全。同时,必须适当限制一个电池组、储能单元或储能柜的能量密度(财产价值),并根据LCB、NMC、LMB和LPB四种体系热稳定性的不同设置能量密度或功率系数K,三元锂(NMC体系)K值取1,安全性高的材质,可以适当增加,如LMB体系取K=1.1,LPB体系取K=1.2,热稳定性低的LCB体系取K=0.9,这样可以限制火灾的规模和范围并尽可能地降低火灾损失。

3.2 合理划分防火分区

由于消防设计需要考虑最坏结果,所以,大型的工业锂离子电池ESS中的电池组部分应按照GB 50016-2014《建筑设计防火规范(2018年版)》中甲类厂房的要求进行消防设计和管理。考虑到锂离子电池能量密度大、发生火灾时现场温度高、火灾延续时间长且易爆炸的特点,应以锂离子电池室或储能单元单独划分防火分区并按照甲类厂房的要求确定电池室其他建构筑物确定防火间距,且电池室之间应该按照GB 50016-2014《建筑设计防火规范(2018年版)》中甲类厂房的要求设置耐火极限不应低于4.00h的防火墙,同时避开所在建筑的梁、柱等主要承重构件设置爆炸泄压设施,并宜采用单层结构。对于储能柜则应按照不低于二级耐火等级进行防火处理并在储能柜顶部设置爆炸泄压设施和排烟设施,防止爆炸和有毒烟气对现场消防救援人员造成伤害。

3.3 科学地进行平面布局

当前,关于锂离子电池ESS的层数、平面布置和总平面布置的问题,相关标准均未明确。大型的锂离子电池ESS建议按照《建筑设计防火规范》(GB 50016-2014)中甲类厂房的相关要求采用单层结构,可以通过理论计算对三元锂、磷酸铁锂等不同材料类型的电池对各电量换算计算出火灾爆炸的死亡半径(R1)、重伤半径(R2)、轻伤半径(R3)和财产损失半径(R4),并通过实验确定防火间距、设置消防车通道。对于储能柜式锂离子电池ESS,建议仍然以单层布置为主,在平面布置时可以分区成组布置,组与组之间的防火间距可以甲类厂房的相关要求确定防火间距、设置消防车通道,组内的储能柜间的防火间距可以适当缩小,但应满足火灾扑救和消防车通行的需要。综合研判储能系统和储能场所安全风险,禁止在人员密集场所、高层建筑内、地下建筑、易燃易爆场所部署储能电站,而对于直接为民用建筑服务的小型民用锂离子电池ESS需要限定其能量密度或功率,能量密度或功率较大的锂离子电池ESS宜设置在建筑外耐火等级不应低于二级

的专用房间或储能柜内并合理确定与重要的公共建筑、明火或者散发火花的地点的防火间距。

现行《建规》^[1]3.1.2条条文说明指出,甲乙类火灾危险物品在“与房间容积的比值”或“总量”不超过最大允许值时,可不按物质危险特征确定生产火灾危险性类别,如甲类4项中金属锂的“与房间容积的比值”或“总量”分别为0.002kg/m³和5kg,甲类6项物质的“与房间容积的比值”或“总量”分别为0.015kg/m³和50kg。因此,可以以此为基准,通过对LCB、NMC、LMB和LPB等电解质体系中金属锂的质量进行折算,来确定直接为民用建筑服务的锂离子电池ESS可不按物质危险特征确定生产火灾危险性类别的“与房间容积的比值”或“总量”最大允许值。对于能量密度或功率确实较小,可不按锂离子电池的危险特性确定火灾危险性类别,则可以采用耐火等级不低于二级的建筑(或储能柜)贴临或布置在耐火等级不低于二级民用建筑内,并参照甲乙类厂房的防火墙设置要求采用耐火极限不应低于4.0h的无门窗洞口的防爆墙和不低于2.0h的楼板与所贴邻的房间分隔,但不应与人员密集场所贴邻。布置在民用建筑内时应布置在顶层靠外墙部位,并应避免所在建筑的梁、柱等主要承重构件同时设置爆炸泄压设施,屋面上应采取防止CO和VOC等易燃易爆气体体积聚的措施,开向建筑内的门应设置门斗,门斗两侧的门应采用甲级防火门;布置在民用建筑屋面时,屋面层的楼板的耐火极限不应低于2.0h,并在屋面增设抗爆层,参照常负压燃气锅炉在屋面设置的相关要求,距离通向屋面的安全出口不应小于6m。

3.4加强早期预警前移火灾爆炸事故防控关口

杜炜凝^[7]等提出在预警阶段,主要探测电芯发生故障时的CO浓度^[6]、挥发性有机化合物(volatile organic compounds,以下简称VOC)浓度和温度等特征参数作为锂离子电池ESS预警的主要依据。在实际应用中,除了按照传统的感温、感烟火灾探测器外,可以采取接触式布置的缆式线型感温火灾探测器控电池模块和电池簇内部温度,采用红外探测器监控其表面温度,同时在电池室或储能柜中设置高灵敏度的可燃气体浓度探测器监控电芯在热失控初期释放的CO和VOC等可燃气体,从而达到早期预警的目的。早预警阶段,一旦电池组内部温度、CO和VOC的浓度超过安全阈值,则电池管理系统(BMS, Battery Management System)可根据预设条件联动断开有风险的电池模块或电池簇的输入输出电路,并采取通风、降温等措施来降低电池模块和电池簇的温度,进而抑制锂离子电池单体的热失控并最大限度地避免热失控扩散电池室(或储能柜中)可燃气体的浓度,抑制电芯热失控及其连锁反应。同时,及时对有风险的电池组进行人工复检,对有事故征兆的电池模块或电池簇进行物理隔离或更换。

3.5采用合理的电气防爆技术措施

考虑到电芯发生故障时有H₂、CO和VOC等易燃易爆气体放出,所以在实际设计施工过程中应采用防爆泄压设计防范爆燃爆炸事故发生及次生灾害,锂离子电池室或储能柜内的电气线路应

采用相应等级的防爆型线路、电器和灯具。同时,参照燃气锅炉房自然通风或机械通风设施设置要求,设置防排烟系统并宜与自然通风或机械通风合用,选用防爆型的事故排风机,正常工况下,正常通风量应按换气次数不少于6次/h,达到通风降温、降低VOC浓度的目的,火灾事故条件事故排风量应按换气次数不少于12次/h下可快速排烟,及时排除CO、低碳烷烃类气体,最大限度避免爆燃爆炸事故发生、减少财产损失。

3.6准确选择灭火手段

复燃现象是锂离子电池组火灾的重要的特征也是火灾扑救的难点,李毅等^[8]的研究表明:CO₂、ABC干粉、3%水成膜泡沫灭火剂都能扑灭18650型钴酸锂电池火灾明火,但均出现复燃现象;不管是全淹没还是局部应用,细水雾系统都无法扑灭18650型钴酸锂电池火灾。国网江苏电力进行的簇级磷酸铁锂电池实体火灾模拟试验^[9]发现全氟己酮、七氟丙烷虽可扑灭第一次明火,但电池模块均会发生复燃,其自主研发的灭火技术在扑灭明火后静置12小时,电池未发生复燃,但系统采用的灭火剂及灭火方式的具体细节未见公布。许丹^[10]指出,3303灭火剂(2-溴-3,3,3-三氟丙烷灭火剂,简称三氟溴代烷),能有效地扑救锂离子电池火灾。邵啸峰^[11]根据工作经验指出,泡沫和水联用可以有效扑灭锂离子电池组火灾,泡沫在扑灭明火时具有较高的效率,明火扑灭后需要使用大量的水进行降温。而且姜连瑞^[12]指出用窒息、抑制或隔离原理灭火的二氧化碳或者泡沫灭火剂会影响锂电池内部热量的散发进而影响灭火效果。综上所述,对于锂离子电池火灾,较为有效的手段应为气体灭火和水灭火系统联用,气体灭火系统负责扑灭初起火灾,水灭火系统负责冷却降温防止复燃。

3.7确保充足的消防用水

为了避免复燃现象,必须在扑灭锂离子电池明火的同时采用水灭火系统通过长时间喷水 and 现场监护,给电池降温的方法抑制电池内部热反应,进而抑制复燃的发生。因此,大型的工业锂离子电池ESS应该按照GB 50974-2014《消防给水及消火栓系统技术规范》中有关甲类厂房的要求设置室内外消火栓系统,对于采用标准柜式的储能柜无法设置室内消火栓系统时,可只设置室外消火栓系统,但其用水量为室内消火栓系统用水量与室外消火栓系统用水量之和。对于直接为民用建筑服务的小型民用锂离子电池ESS,除了设置传统的自动灭火系统外,还应额外设置消防冷却水系统。

4 几点建议

4.1加强锂离子电池燃烧行为的真火实测

不同的电解质体系导致其电池单体、电池模块和电池簇的火灾行为和特征参数也不尽相同,因此必须针对锂离子电池的火灾特点和锂离子电池ESS的火灾危险性,针对七氟丙烷、全氟己酮、热气溶胶、水系灭火剂等灭火剂开展系统性研究。由于研究条件所限,笔者只能从方法和思路等方面进行分析和讨论,本文中具体的能量密度或功率的数值及容量系数K的数值和直接为民用建筑服务的小型民用锂离子电池ESS的具体容量界定,需要有

条件的单位和研究人员通过具体实体实验来最终确定。

4.2 追求锂离子电池自身的本质安全

针对锂离子电池的热失控问题, 应利用统计学手段对整个锂离子电池的设计、生产系统进行分析, 查找影响锂离子电池质量的关键因素, 从加强电池的设计、生产和使用等环节的质量流程管控入手, 设计更加安全的电池结构, 寻找更加安全可靠的电解液体系和锂盐, 改善和优化生产工艺技术, 依靠技术进步、产业升级和创新驱动, 进一步降低发生事故的概率, 提升锂离子电池的本质安全才是治本之策。

4.3 制定全尺寸周期的消防管理标准

储能产业的相关安全标准的缺位, 是锂离子电池ESS火灾事故频发的原因之一, 进一步通过电池单体、电池模块和电池簇到全尺寸ESS等不同尺寸规模的锂离子电池火灾行为燃烧行为, 进行深入彻底的研究, 并开展不同火灾探测器、灭火剂、自动灭火系统和扑救方法对锂离子电池火灾的试验、验证和评估, 进一步筛选适合的灭火剂种类、用量及其作用方式。同时, 注重制定完善周期的锂离子电池的设计制造、使用管理和回收利用, 以及锂离子电池ESS的消防设计、认证检测、运营维护和监督管理标准, 推行推进跨行业领域的消防安全标准化建设。

5 结束语

随着我国2030年达到峰值, 努力争取2060年实现碳中和“双碳”战略目标的提出, 锂离子电池ESS在缓解电力供应在时间和空间上分布不均的供需矛盾助力“双碳”战略目标的实现方面前景广阔。可以预见, 随着科技的进步和技术手段的成熟, 锂离子电池ESS将深刻改变传统的电能调控方式和供应手段, 会在经济社会能源供应领域占有举足轻重的地位, 加强锂离子电池ESS消防安全管理, 对于确保国家能源安全, 维护社会安全稳定具有重要意义。

[参考文献]

[1]中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB 50016-2014.建筑设计防火规范(2018版)[S].北京:中国计划出版社,2018.

[2]中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中国国家标准

化管理委员会.GB/T 36276-2018.电力储能用锂离子电池[S].北京:中国质检出版社,2018.

[3]Huaibin Wang,Hui Xu,et al.Fire and explosion characteristics of vent gas from lithium-ion batteries after thermal runaway: A comparative study[J].eTransportation,2022,13:100-190.

[4]Thomas B.R.Linden's Handbook of Batteries [C].4th Edition, Chemical Industry Press,2013,669-672.

[5]李毅,于东兴,张少禹,等.锂离子电池火灾危险性研究[J].中国安全科学学报,2012,(11):36-41.

[6]中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB 51048-2014.电化学储能电站设计规范[S].北京:中国计划出版社,2014.

[7]杜炜凝,周杨,于晓蒙,等.基于锂离子电池储能系统的消防安全技术的研究[J].供用电,2020,37(2):34-40.

[8]李毅,于东兴,张少禹,等.典型锂离子电池火灾灭火试验研究[J].安全与环境学报,2015,(6):120-125.

[9]中国储能网.江苏电力进行簇级磷酸铁锂电池模拟试验[N/OL].2019.<http://www.escn.com.cn/news/show-738186.html?from=timeline>.

[10]许丹.动力锂电池热灾害致灾机理及防控方法探讨分析[C]//中国消防协会.2014中国消防协会科学技术年会论文集.南通市公安消防支队,2014:4.

[11]邵啸峰.电动汽车火灾中的灭火剂选择与灭火战术研究[C]//中国消防协会.2017中国消防协会科学技术年会论文集.广东省深圳市公安消防支队,2017:2.

[12]姜连瑞,李梦雨.锂电池火灾扑救战术方法研究[J].消防技术与产品信息,2017,(12):33-36.

作者简介:

张振国(1983--),男,汉族,陕西宝鸡人,有机化学硕士,国家一级注册消防工程师,宝鸡市消防救援支队防火监督科中级专业技术职务,专业技术二级指挥长消防救援衔,研究方向:消防监督管理工作。