

锂离子电池电动自行车充电状态下火灾风险评价

梁 栋 范文东 张 显
中检西部检测有限公司 陕西 西安 710032

摘 要：本文全面剖析了锂离子电池电动自行车充电时的火灾风险。探讨了锂离子电池类型、工作原理、充电模式及其关键安全要素；深入分析过充、短路、电弧等火灾成因，以及充电器质量、电池老化、充电环境等影响因素。提出风险评价框架、流程与指标体系，并从产品标准完善、充电行为规范、电气防火配置加强等方面给出防控对策。典型火灾案例突显了加强充电安全管理的紧迫性和重要性。

关键词：锂离子电池；电动自行车；充电状态；火灾风险评价

1 锂离子电池电动自行车充电特性分析

1.1 锂离子电池类型及工作原理

锂离子电池（LIB, Lithium Ion Battery）是电动自行车中最常见的电池类型，它具有高能量密度、长寿命和低自放电率等优点。锂离子电池的工作原理主要基于锂离子在正负极之间的可逆迁移。当电池充电时，锂离子从正极材料中脱离出来，通过电解液迁移到负极，并嵌入到负极材料的晶格中，同时电子从正极经过外部电路到达负极，形成电流。这个过程使得电池储存了电能。而在放电时，锂离子从负极材料中脱嵌出来，通过电解液返回到正极，电子则从负极经过外部电路回到正极，释放出电能供电动自行车使用。这种正负极之间的锂离子迁移过程是可逆的，因此锂离子电池可以反复充放电使用。

1.2 充电模式及过程

锂离子电池电动自行车的充电模式主要包括恒流充电、恒压充电和智能充电等几种方式。恒流充电阶段，充电器以恒定的电流为电池充电，直至电池电压达到某一预设值。随后进入恒压充电阶段，此时充电器维持一个恒定的电压，电流逐渐减小，直至电池充满。智能充电则结合了恒流和恒压充电的特点，并根据电池的实时状态调整充电参数，以优化充电效率和安全性。充电过程中，电池的温度、电压和电流等参数需要密切监控，以防止过充、过放、高温等异常情况的发生。过充可能导致电池内部短路、电解液分解，进而引发火灾或爆炸；过放则会损害电池的结构和性能，缩短电池寿命^[1]。因此，电动自行车充电器通常配备有智能管理系统，能够实时监测电池状态，并在必要时自动调整充电策略，确保充电过程的安全和高效。

1.3 充电设施及安全性

充电设施通常包括充电器、充电接口、电源线和安

全防护装置等部分，充电器作为连接电源和电池的桥梁，其性能直接影响到电池的充电效率和安全性，优质的充电器具有精确的电流和电压控制能力，能够根据电池的实时状态调整充电参数，确保充电过程的安全稳定。充电接口和电源线则需要具备良好的导电性和绝缘性能，以防止电流泄露和短路等安全隐患；安全防护装置则包括过流保护、过温保护、短路保护等功能，能够在充电过程中出现异常时迅速切断电源，防止事故扩大。另外，充电设施的安装和使用也需要遵循一定的安全规范。例如，应避免在潮湿、高温或易燃易爆的环境中充电，避免使用破损的充电器或电源线，以及定期检查和维修充电设施等。

2 锂离子电池电动自行车充电状态下的火灾风险

2.1 火灾成因分析

锂离子电池电动自行车在充电状态下发生火灾的成因多种多样，其中过充、短路和电弧是三种主要的致灾因素。过充是指电池在充电过程中，由于充电器失控或电池管理系统失效，导致电池电压和电量超过其设计的极限值。这种情况下，电池内部会产生大量的热和气体，造成电池鼓胀、电解液泄漏，甚至引发电池短路，进而产生火花或高温，点燃电池内部的可燃物质，导致火灾。（1）短路是锂离子电池火灾的另一种常见成因。当电池的正负极之间直接接触，或者通过某种导电物质（如电解液、金属碎片等）间接接触时，就会形成短路。短路会产生大量的电流和热量，迅速加热电池内部的材料和电解液，导致电池热失控，甚至爆炸^[2]。（2）电弧也是锂离子电池火灾的一种潜在成因。当电池内部或外部存在破损、松动或接触不良时，就可能产生电弧放电。电弧的高温足以点燃电池内部的可燃物质，从而引发火灾。

2.2 火灾风险的影响因素

锂离子电池电动自行车充电状态下的火灾风险受到多种因素的影响,其中充电器质量、电池老化和充电环境是三个主要的因素。(1)充电器质量是影响火灾风险的关键因素之一。优质的充电器具有精确的电流和电压控制能力,能够根据电池的实时状态调整充电参数,确保充电过程的安全稳定。而劣质的充电器则可能因电流和电压控制不准确,导致电池过充、过热,进而引发火灾。充电器的安全防护功能(如过流保护、过温保护等)也是影响火灾风险的重要因素。(2)电池老化也是增加火灾风险的重要因素。随着使用时间的增长,锂离子电池的性能会逐渐下降,包括电池容量减小、内阻增大等。这些变化会导致电池在充电过程中更容易过热、过充,进而引发火灾;电池内部的电解液也会随着使用时间的增长而逐渐分解,产生可燃气体和腐蚀性物质,进一步增加了火灾的风险。(3)充电环境对火灾风险的影响同样不容忽视。高温、潮湿、通风不良等不利条件会加剧电池在充电过程中的热失控和短路风险。例如,高温环境下电池的散热效率会降低,导致电池温度更容易升高;潮湿环境下电池内部的金属部件容易腐蚀,增加短路的风险;通风不良则可能导致电池产生的热量无法及时散发,进而引发火灾。

3 锂离子电池电动自行车充电火灾风险评价方法

3.1 风险评价的基本框架与流程

锂离子电池电动自行车充电火灾风险评价的基本框架应涵盖风险识别、风险分析、风险评价和风险控制四个环节。风险识别阶段需要明确潜在的火灾风险因素,如电池质量、充电器性能、充电环境等。风险分析阶段则要对这些因素进行详细的定性和定量分析,以评估其可能导致火灾的可能性及后果严重程度。风险评价阶段基于分析结果,给出风险等级,通常包括低、中、高和极高四个等级。最后,风险控制阶段依据评价结果制定相应的风险控制措施,如加强设备维护、优化充电环境等。整个评价流程应遵循科学、客观、系统的原则,确保评价的准确性和有效性。在实际操作中,可通过组建跨学科的评价团队,运用专业的技术手段和工具,结合实地考察、专家咨询、数据分析等方法,进行全面细致的风险评价^[3]。

3.2 风险评价指标体系的构建

构建锂离子电池电动自行车充电火灾风险评价指标体系是风险评价的关键步骤。该体系应综合考虑影响火灾风险的各类因素,包括但不限于电池特性(如类型、容量、老化程度)、充电器质量(如保护功能、电流电压控制精度)、充电环境(如温度、湿度、通风情

况)、用户行为(如充电时间管理、充电器与电池匹配度)等。为构建科学合理的评价指标体系,可采用文献回顾、专家咨询、案例分析等方法,确定评价指标的具体内容和量化标准;要注意指标的可操作性和数据的可获得性,确保评价工作的可行性和效率。通过构建的指标体系,可以对充电火灾风险进行定量描述,为后续的风险评价和模型建立提供基础。

4 锂离子电池电动自行车充电状态下火灾风险防控对策

4.1 完善产品标准

为了有效防控锂离子电池电动自行车在充电状态下的火灾风险,首要任务是完善相关产品标准。产品标准的完善需要从电池、充电器、充电接口以及整车等多个层面着手。对于锂离子电池,应设定严格的生产和检测标准,确保其具有足够的循环寿命、安全性能和热稳定性。电池在设计和制造过程中,需采用高质量的材料,并经过严格的测试和验证,以防止因材料或工艺问题导致的火灾风险。同时,标准中还应明确规定电池在极端条件下的安全性能要求,如高温、低温、过充、短路等,确保电池在各种环境下都能安全可靠地工作。充电器作为锂离子电池电动自行车充电过程中的关键环节,其性能直接影响到电池的充电效率和安全性。因此,充电器的设计和制造也需遵循严格的标准,这包括充电器的电流电压控制精度、过流保护、过温保护、短路保护等功能的设定和实现。同时,充电器还需具备与不同品牌和型号电池的兼容性,以确保在各种充电场景下都能保持安全、稳定的充电性能;充电接口是连接充电器和电池的重要部件,其质量和安全性同样不容忽视。标准中应明确规定充电接口的电气性能、物理尺寸、插拔力等要求,以防止因接口不匹配或质量问题导致的充电故障和火灾风险。通过完善产品标准,可以从源头上提高锂离子电池电动自行车及其充电设施的安全性能,为减少火灾风险提供有力保障。

4.2 规范充电行为

充电时应尽量在通风良好、温度适宜且远离易燃易爆物品的环境中进行,避免在密闭空间或高温环境下充电,以防止电池因散热不良而过热,从而引发火灾。同时,应选择专业的充电站或配备专业充电设施的停车场所进行充电,以确保充电过程的安全可靠;在充电前,应仔细阅读充电器的使用说明书,了解充电器的性能特点和安全要求。充电时,应按照充电器的指示进行操作,并密切关注电池的充电状态。避免使用不兼容的充电器或过度延长充电时间,以防止电池因过充而导致

火灾风险。另外，还需避免不当的充电行为；如不在充电时使用电动自行车，避免在充电过程中移动或晃动电池，不随意拆卸或更换电池组件等。这些行为都可能对电池的安全性产生影响，从而增加火灾风险^[4]。通过规范充电行为，可以有效降低锂离子电池电动自行车在充电过程中的火灾风险，确保充电过程的安全和高效。

4.3 加强电气防火配置

在充电设施方面，应配备专业的电气防火设备，如过流保护器、过温保护器、短路保护器等。这些设备能够在充电过程中实时监测电流、电压和温度等参数，一旦发现异常情况，立即切断电源，防止火灾事故的发生；充电设施还应具备防雷击、防静电等功能，以提高设备的整体安全性。在充电环境方面，也需加强电气防火配置。例如，在充电区域设置烟雾探测器、火焰探测器等火灾报警设备，以便在火灾发生时能够及时发现并采取措。同时，充电区域还应保持整洁有序，避免堆放易燃易爆物品或杂物，以减少火灾隐患；提高设备的防火性能也是加强电气防火配置的重要方面。充电设施、电池和电线等部件应采用高质量、耐高温的材料制造，并经过严格的防火测试和验证。这些材料能够在高温下保持稳定性能，不易燃烧或产生有毒气体，从而降低火灾的风险和危害。

5 锂离子电池电动自行车充电火灾案例分析

在2022年10月的一个深夜，某城市的一个居民小区发生严重的火灾事故，起火源是一辆正在充电的锂离子电池电动自行车。据现场数据统计，该火灾造成了至少15辆电动自行车被完全烧毁，3栋居民楼的外墙受到不同程度的损坏，直接经济损失超过50万元人民币。幸运的是，由于消防部门迅速响应，火灾在短短20分钟内被扑灭，未造成人员伤亡。

事后调查发现，起火车辆使用的锂离子电池因长时间过充导致内部短路，从而引发火灾。据车主反映，他使用的是一款非原装的快速充电器，且充电时间长达8小时，远超过电池制造商推荐的4小时充电时间。此外，事故发生时，充电区域并未安装有效的烟雾报警器和自动喷水灭火系统，导致火势初期未能及时得到控制。根据对锂离子电池的详细检测，发现该电池已使用超过3年，存在明显的老化迹象，如电池外壳变形、电解液泄漏

等。据相关数据显示，锂离子电池在使用3-5年后，其性能会大幅下降，火灾风险显著增加^[5]。另外，事故中充电器的质量检测也显示，其电流电压控制精度不符合国家标准，存在严重安全隐患。

这次火灾事故不仅给居民带来巨大的经济损失和心理压力，也引发社会对锂离子电池电动自行车充电安全的广泛关注。为了避免类似事故的再次发生，相关部门和企业需要采取更加严格的监管措施，加强锂离子电池和充电器的质量检测，规范用户的充电行为，同时提高充电区域的消防安全水平。据不完全统计，近年来，因锂离子电池电动自行车充电不当引发的火灾事故已在全国范围内造成数百万元的直接经济损失和数十起人员伤亡事件，加强锂离子电池电动自行车充电安全管理刻不容缓。

结束语

综上所述，锂离子电池电动自行车在充电状态下的火灾风险不容忽视。通过科学的风险评价和有效的防控对策，可以显著降低火灾事故的发生率。未来，应进一步加强相关技术研发和标准制定，提高电池和充电器的安全性能，优化充电环境和用户行为，确保锂离子电池电动自行车的安全使用。同时，社会各界也应共同努力，提升公众的安全意识，共同营造安全的电动自行车充电环境。

参考文献

- [1]陈锋,邵丹,唐贤文,等.电动自行车电池充电安全分析[J].质量与市场,2023(12):13-16.
- [2]邓成智,刘玉,李桂发,等.铅酸电池和锂离子电池并联的复合电池电流分布研究[J].蓄电池,2021,58(02):61-64+96.
- [3].智慧社区下的电动自行车安全管理[J].中国建设信息化,2021(07):77-79.
- [4]战乃岩,谷城放,马鸿轩.多层楼梯间锂离子电池电动自行车火灾数值模拟研究[J].安全,2024,45(8):35-42. DOI:10.19737/j.cnki.issn1002-3631.2024.08.006.
- [5]李青蔚,杨智翔,邓军,等.电动自行车燃烧特性及简易分隔防火效果试验研究[J].安全与环境学报.2023,23(12). DOI:10.13637/j.issn.1009-6094.2022.2193.