

基于案例统计的城市电动自行车充电火灾致因研究

徐勇¹, 唐思远^{2,*}

1. 桂林市消防救援支队雁山区消防救援大队, 广西 桂林, 541006
2. 桂林电子科技大学, 建筑与交通工程学院, 广西 桂林, 541004

摘要: 为识别城市电动自行车充电火灾的直接触发环节及后果放大条件, 收集并筛选 2020—2025 年政府、消防救援、应急管理部门及权威媒体公开发布的 26 起事故案例, 建立结构化编码表, 采用“直接触发环节—关联诱因/条件—后果放大条件”三级框架开展内容分析与描述统计。结果显示, 事故多发生于充电过程中, 直接触发环节以电池内部故障或短路为主, 充电器故障或不匹配、供电线路短路及不规范充电等亦有涉及; 人员行为、电池状态和空间环境因素常在同一事故中共现。死亡事故均发生于室内或半室外场所, 并伴有严重烟气, 部分案例存在疏散受阻。案例证据提示, 城市电动自行车充电火灾及其后果受到设备、行为、空间环境和管理条件的共同影响, 防控应从产品与参数匹配、异常监测与断电、防火分隔、蔓延控制及疏散保障等方面构建多层安全屏障。

关键词: 电动自行车; 充电火灾; 事故案例; 致因分析; 消防安全

Causal Analysis of Urban Electric Bicycle Charging Fires Based on Case Statistics

Yong Xu¹, Siyuan Tang^{2,*}

1. Yanshan District Fire and Rescue Brigade, Guilin Fire and Rescue Detachment, Guilin, China, 541006
2. School of Architecture and Transportation Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, China, 541004

Abstract: To identify the immediate triggers and consequence-amplifying conditions of urban electric bicycle charging fires, 26 publicly reported incidents that occurred between 2020 and 2025 were collected and screened from government departments, fire and rescue services, emergency management authorities, and authoritative media. A structured coding form and a three-level framework comprising immediate triggers, associated factors or conditions, and consequence-amplifying conditions were used for content analysis and descriptive statistics. Most incidents occurred during charging, with internal battery failure or short circuit being the most frequently reported immediate trigger. Charger failure or mismatch, short circuits in supply wiring, and improper charging practices were also identified. Human behavior, battery condition, and spatial environment frequently co-occurred within individual incidents. All fatal incidents occurred in indoor or semi-outdoor settings and involved severe smoke, while evacuation obstruction was explicitly reported in some cases. The case evidence suggests that the occurrence and consequences of urban electric bicycle charging fires reflect the combined influence of equipment, behavior, spatial environment, and management conditions. Prevention should therefore establish multiple safety barriers through product and parameter compatibility, abnormal-condition monitoring and automatic power cutoff, fire compartmentation, fire-spread

control, and evacuation safety.

Keywords: Electric bicycle; Charging fire; Accident case; Causal analysis; Fire safety

随着城市电动自行车保有量和充电需求增长, 电池、充电器与高密度居住空间之间的安全矛盾日益突出。国家消防救援局统计显示, 2024年7月全国共发生电动自行车火灾1402起, 其中充电状态起火314起, 占22.4%; 在查明为电池故障的火灾中, 热失控占65.6%^[1]。充电状态火灾在全部电动自行车火灾中并非占多数, 但一旦发生在住宅、商铺或疏散通道附近, 烟气积聚、发现延迟和出口受阻可能使局部故障迅速演变为人员伤亡事故。

现有研究已从材料稳定性、电滥用和链式放热反应等方面解释锂离子电池热失控机理^[2-4], 并通过电动自行车实体或电池组试验揭示射流火、快速升温、烟气毒性和相邻车辆蔓延等特征^[5-7]。相关强制性标准分别规定了整车电气安全、充电器和锂离子蓄电池的安全要求^[8-10]。相较于实验研究和单起事故调查, 公开事故案例在直接触发环节、使用行为、空间环境与后果链条方面的结构化比较仍不充分。本文据此对可追溯公开案例进行分层编码和描述统计, 重点识别直接触发环节与后果放大条件的共现模式, 为城市充电场所治理和消防设施配置提供案例证据。

1 数据与方法

1.1 数据来源与检索策略

本研究于2026年8月20日前完成资料检索, 将事故发生时间限定为2019年1月1日至2025年12月31日。资料主要来自各级人民政府、消防救援机构和应急管理部门发布的事故调查报告、警情通报及典型案例^[11-12]; 仅在原始政务发布可追溯时, 使用中央或省级权威媒体补充细节。采用政府网站站内检索与搜索引擎定向检索, 组合使用“电动自行车/电动车”、“充电”、“火灾/爆燃”、“事故调查报告”、“典型案例”、“亡人”等关键词。对同一事故的多篇资料按时间、地点、起火对象和伤亡信息合并, 证据优先顺序依次为正式调查报告、消防或应急通报、其他政府发布和权威媒体。最终纳入事件发生于2020—2025年的26起事故。

1.2 案例纳入与排除标准

纳入标准为: 起火对象明确为电动自行车整车、蓄电池或充电器; 事故发生于充电过程中, 或充电刚结束且原始资料明确指出与充电有关; 事故时间、地点和充电关联性可核验, 并至少披露直接原因、关联条件或事故后果中的一类信息。排除新能源汽车、电动摩托车等非研究对象, 无法确认充电关联、仅有无法追溯的转载、关键信息相互矛盾且不能校核, 以及同一事故的重复记录。由此形成目的性公开案例样本, 不属于概率抽样。

1.3 数据提取与变量编码

围绕事故识别、资料来源、车辆与电池、充电行为、起火原因、空间环境、火势蔓延、人员伤亡和管理条件设置55个字段。为避免将物理起火机制、促成条件和后果放大因素混为一谈, 采用“直接触发环节—关联诱因/条件—后果放大条件”三级框架。一级为每案单选的主要直接触发环节, 按高等级来源中最接近起火启动的表述归为电池内部故障或短路、充电器故障或不匹配、供电线路短路、过充或长时间充电、非法改装电池和原因未查明6类; 二级设置电池本体、充电器、线路电气、人员行为、环境空间和管理6类多重响应字段, 采用1/0/9编码(1=明确存在, 0=明确不存在, 9=资料不足); 三级记录起火场所、邻近可燃物、火势蔓延、烟气影响、疏散受阻、报警和灭火设施等后果

放大条件。公开资料仅笼统表述“电池故障”时，不进一步推断电芯层面的失效机理。来源冲突时采用证据等级较高且细节可核验的记录；未披露信息记为“未知”，不按零值处理。编码完成后依据来源链接逐案回溯复核。

1.4 统计分析方法

采用频数、构成比和交叉分类进行描述统计。一级直接触发环节、起火场所等互斥变量按 $P=n_i/26\times100\%$ 计算；蔓延等存在未知值的变量同时报告全样本比例和有明确记录子样本比例。二级关联因素按 26 起逐项进行多重响应计数，同一案例可同时编码多项，各项比例不求和。进一步交叉核对直接触发环节、空间类型和死亡后果，仅用于描述共现关系。鉴于样本为目的性公开案例且缺少暴露量，不实施显著性检验、风险率计算或总体外推。

2 结果与分析

2.1 样本总体特征

26 起案例中，正式事故调查报告（A 级）3 起，消防或应急官方通报（B 级）12 起，其他政府部门发布（C 级）9 起，权威媒体补充资料（D 级）2 起；A—C 级资料合计 24 起，占 92.3%。事故年份分布为 2020 年 2 起、2021 年 1 起、2022 年 2 起、2023 年 6 起、2024 年 13 起和 2025 年 2 起。24 起明确发生于充电中，占 92.3%；另 2 起发生在充电刚结束阶段。年份分布主要反映公开资料可得性和筛选结果，不能据此判断事故年度变化趋势。

2.2 主要直接触发环节分布

一级主要直接触发环节中，电池内部故障或短路 14 起，占 53.8%；充电器故障或不匹配 4 起，占 15.4%；供电线路短路 3 起，占 11.5%；过充或长时间充电 2 起，占 7.7%；非法改装电池 1 起，占 3.8%；另有 2 起原因未查明，占 7.7%。将电池内部故障、非法改装和过充/长时间充电归入广义“电池及充电状态相关”上位类时，共 17 起，占 65.4%；该归并仅用于概括样本结构，不改变每案单选的一级编码。直接触发环节及二级关联因素见表 1。

表 1 电动自行车充电火灾主要直接触发环节及关联因素分布

Table 1 Distribution of primary ignition triggers and associated factors of electric bicycle charging fires		
项目	案例数/起	构成比/%
一级：主要直接触发环节（互斥）		
电池内部故障或短路	14	53.8
充电器故障或不匹配	4	15.4
供电线路短路	3	11.5
过充或长时间充电	2	7.7
非法改装电池	1	3.8
原因未查明	2	7.7
一级合计	26	100.0
二级：关联诱因与条件（多重响应）		
电池本体因素	18	69.2
充电器因素	5	19.2
线路电气因素	5	19.2

项目	案例数/起	构成比/%
人员行为因素	20	76.9
环境空间因素	19	73.1
管理因素	4	15.4

2.3 起火场所与蔓延特征

住宅室内 10 起，占 38.5%；商铺或仓库 5 起，占 19.2%；室外临时充电点 4 起，占 15.4%；集中充电车棚 3 起，占 11.5%；楼梯间或前室、架空层和地下空间各 1 起，另有 1 起具体场所不明。按空间封闭程度编码，室内 16 起、半室外 5 起，合计 21 起，占 80.8%；室外 3 起，另 2 起室内外属性不明。17 起记录到火势蔓延，占全样本 65.4%；在 22 起有明确蔓延记录的案例中占 77.3%，另 4 起未说明。蔓延对象主要为同室家具、货物、装修材料或相邻车辆。住宅室内插座和公共区域插座分别涉及 10 起和 9 起，表明样本风险分布于多种充电场景。起火场所与火势蔓延情况见图 1。

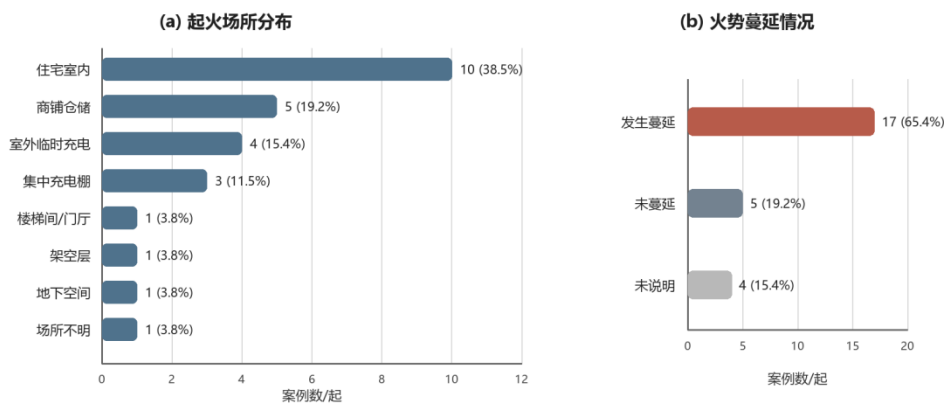


图 1 事故起火场所及火势蔓延情况
Fig. 1 Accident locations and fire spread

2.4 关联因素与事故后果

二级关联因素中，人员行为因素见于 20 起（76.9%），环境空间因素 19 起（73.1%），电池本体因素 18 起（69.2%），充电器和线路电气因素各 5 起（19.2%），管理因素 4 起（15.4%）。上述变量允许同一案例多项并存，比例之和不等于 100%，也不与一级直接触发环节相加。充电时长方面，9 起明确为长时间充电，1 起为正常时长，另 16 起未披露。后果方面，15 起明确无人员伤亡，7 起死亡事故造成已知 22 人死亡，另 4 起后果信息不完整。7 起死亡事故均发生于室内或半室外空间，其中 6 起的一级触发环节为电池内部故障，1 起为充电器故障或不匹配；7 起均记录严重烟气，其中 3 起明确存在疏散受阻，其余 4 起未披露该变量。

3 致因机制讨论

样本中电池内部故障或短路占 53.8%，为最常见的一级触发环节。既有研究表明，制造缺陷、老化、碰撞损伤、进水、过充或不规范改装可诱发内短路和持续放热，并进一步发展为热失控、射流火和快速燃烧。该机制与公开案例中“电池故障”“热失控”等调查表述相符，但案例资料通常不能识别具体电芯缺陷、荷电状态或温升过程。因此，本研究只在公开证据所允许的层级编码，不据此比较电池品牌或化学体系的风险。

3.1 电池故障

样本中电池内部故障或短路占 53.8%，为最常见的一级触发环节。既有研究表明，制造缺陷、老化、碰撞损伤、进水、过充或不规范改装可诱发内短路和持续放热，并进一步发展为热失控、射流火和快速燃烧。该机制与公开案例中“电池故障”“热失控”等调查表述相符，但案例资料通常不能识别具体电芯缺陷、荷电状态或温升过程。因此，本研究只在公开证据所允许的层级编码，不据此比较电池品牌或化学体系的风险。

3.2 充电设备与使用行为

充电器故障或不匹配、线路短路、过充或长时间充电和非法改装在一级分类中共 10 起，但二级编码显示，相关案例还常伴随人员操作、插座使用、散热条件或电池状态等因素。案例文本呈现的常见路径为：参数或保护功能异常导致持续通电和局部升温，随后引发电池、充电器或连接线路故障。住宅室内插座与公共区域插座共涉及 19 起，提示充电场景和使用方式是设备故障转化为火灾的重要条件。由于 16 起案例未披露充电时长，不能将夜间或长时充电概括为普遍原因；更稳妥的防控重点是参数匹配、异常识别和自动断电。

3.3 空间环境与后果严重程度

住宅、商铺仓储和楼梯间等场所可能同时存在可燃物集中、排烟条件不足和夜间发现延迟。实体试验显示，电动自行车火灾可出现高温射流火、快速烟气生成和相邻车辆蔓延；临床回顾研究也提示相关烧伤事件多发生于夜间及高密度居住环境^[13]。本样本中室内或半室外事故占 80.8%，7 起死亡事故全部集中于此，并均记录严重烟气。该结果提示直接触发环节与严重后果之间还存在空间和疏散条件的放大作用，但目的性样本不能估计这种作用的独立效应。上海静安“8·7”和北京通州“9·20”等资料呈现的入户充电、烟气扩散和疏散困难链条亦支持这一解释^[14-15]。综合致因与后果演化链见图 2。

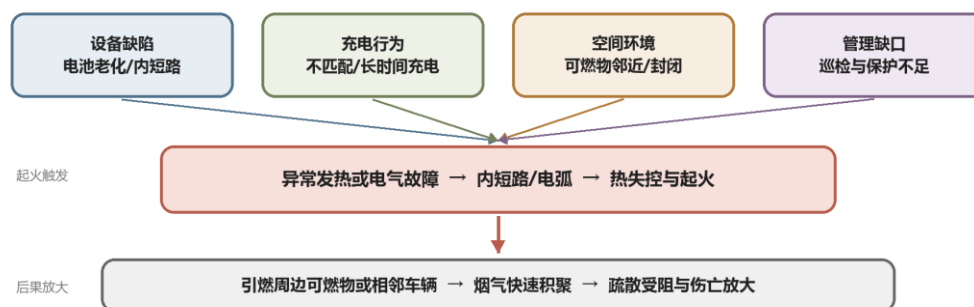


图 2 城市电动自行车充电火灾致因与后果演化链

Fig. 2 Causal and consequence evolution chain of urban electric bicycle charging fires

3.4 管理缺口贯穿事故链

公开资料仅在 4 起案例中明确记录管理因素，明显少于人员行为和环境空间因素。该差异更可能反映调查范围和信息披露程度，而不能解释为管理风险较低。17 起记录到火势蔓延，说明充电区域还需为单车故障设置分隔、探测、断电和初起抑制等屏障；商铺兼作仓库、维修与充电混用时，还应控制电池存量和邻近可燃物。治理目标应是将设备故障视为可预见的初始事件，降低其发展为多车蔓延或人员伤亡事故的可能性。

4 城市充电火灾防控对策

4.1 强化电池与充电器源头控制

样本中电池内部故障、充电器故障和线路短路合计 21 起, 源头治理应覆盖电池、充电器及连接线路。落实电动自行车电气安全、充电器和锂离子蓄电池强制性标准, 加强生产、销售、维修、回收环节的一致性和追溯管理; 通过接口、通信或标识校验降低充电器参数不匹配风险, 限制拆改限速、扩容换电池和使用来源不明电池。对鼓包、进水、碰撞、异味、异常发热或充电时间明显延长的电池, 应停止使用并交由专业机构检测或回收。

4.2 提升集中充电设施的失效容错能力

针对 17 起火势蔓延案例, 集中充电设施应优先设置在室外独立区域, 或与主体建筑采取可靠防火分隔, 并避免贴邻疏散出口。按车位或小单元实施分组供电, 配置过载、短路、故障电弧、温度或烟雾探测和异常自动断电, 缩小故障影响范围; 结合场所规模和风险评估设置有效冷却或灭火设施。实体试验表明, 简易水喷淋能够降低车体温度并抑制相邻车辆蔓延^[16], 但工程应用仍应满足相应设计、联动和维护要求。设施评价除端口数量外, 还应考察故障隔离、报警响应、蔓延控制和日常运维。

4.3 住宅与经营场所实施分类治理

室内或半室外事故占 80.8%, 且全部死亡事故发生于此, 住宅与经营场所应作为空间治理重点。高层民用建筑公共门厅、疏散走道、楼梯间和安全出口不得停放电动自行车或充电^[17]; 住宅小区应通过可达、可负担的集中充电服务减少入户充电, 并持续清理疏散通道。商铺、仓库和维修点应将销售、维修、存储与充电分区, 限制同一防火分区内的电池集中存量, 避免与可燃货物混放; 出租屋和沿街店铺可采用清单化检查、限期整改和复核销项, 与全链条整治要求衔接^[18]。

4.4 完善预警处置与事故数据治理

人员行为和环境空间因素在样本中分别出现 20 起和 19 起, 居民、物业及经营单位应掌握异常征兆识别、断电、撤离和报警程序; 电池喷烟、爆鸣或快速升温后不宜冒险搬运。与此同时, 16 起案例未披露充电时长, 4 起未说明蔓延情况, 显示公开事故信息仍缺少统一字段。建议调查和通报至少记录电池类型及使用年限、是否改装、充电器参数、充电时长、保护装置动作、空间位置、邻近可燃物、报警与疏散时间及伤亡口径, 并保留可追溯来源, 以支持城市风险分级和设施标准迭代。

5 结论

(1) 26 起目的性公开案例中, 24 起 (92.3%) 发生于充电中。一级直接触发环节以电池内部故障或短路最多, 为 14 起 (53.8%); 充电器故障或不匹配和线路短路分别为 4 起和 3 起。

(2) 室内或半室外事故共 21 起 (80.8%), 17 起记录到火势蔓延; 7 起死亡事故造成已知 22 人死亡, 均发生于室内或半室外并记录严重烟气, 提示空间和疏散条件是后果分析的重要层级。

(3) 人员行为、环境空间和电池本体因素分别在 20、19 和 18 起案例中被明确记录。样本证据支持采用“源头控制—异常断电—防火分隔—蔓延抑制—疏散保障”的多层防控路径。

(4) 受公开资料选择偏倚、变量缺失、缺少暴露量和未开展双人独立编码等限制, 本文结论仅适用于样本结构及共现关系描述。后续研究应基于统一事故记录扩大样本, 并与电气鉴定或实验数据交叉验证。

参考文献

- [1] 国家消防救援局. 7 月份全国发生电动自行车火灾 1402 起[EB/OL]. (2024-08-16)[2026-08-24].
- [2] Wang Q S, Ping P, Zhao X J, et al. Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery[J]. Journal of Power Sources, 2012, 208: 210-224.
- [3] Feng X N, Ouyang M G, Liu X, et al. Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review[J]. Energy Storage Materials, 2018, 10: 246-267.
- [4] Liu K, Liu Y, Lin D C, et al. Materials for lithium-ion battery safety[J]. Science Advances, 2018, 4(6): eaas9820.
- [5] 饶球飞, 甘卫锋. 电动自行车起火风险分析和起火特征研究[J]. 消防科学与技术, 2023, 42(11): 1597-1602.
- [6] 何学超, 刘振飞, 何瑾. 三元锂电池电动自行车火灾燃烧特性研究[J]. 消防科学与技术, 2024, 43(5): 722-725.
- [7] Yu Z L, Shen X L, Xu R, et al. Understanding the combustion behavior of electric bicycle batteries and unveiling its relationship with fire extinguishing[J]. Journal of Energy Chemistry, 2024, 91: 609-618.
- [8] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 电动自行车电气安全要求: GB 42295—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [9] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 电动自行车用充电器安全技术要求: GB 42296—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [10] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 电动自行车用锂离子蓄电池安全技术规范: GB 43854—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [11] 银川市人民政府. 兴庆区富宁街自强巷 3 号楼“4·2”较大火灾事故调查报告[R/OL]. 2023.
- [12] 大理市人民政府. 大理市太和街道大关邑村“5·20”较大火灾事故调查报告[R/OL]. 2024.
- [13] Wang X Q, Tian M, Zheng L Q, et al. Characterization and prevention of flame burns caused by electric bicycle battery chargers: Results from a 7-year experience[J]. Journal of International Medical Research, 2024, 52(4): 1-11.
- [14] 上海市静安区人民政府. 静安区永兴路 928 弄中海万锦城 35 号 909 室“8·7”火灾事故调查报告[EB/OL]. (2021-03-03)[2026-08-24].
- [15] 应急管理部. 国新办举行加快推进应急管理体系和能力现代化发布会[EB/OL]. (2021-11-09)[2026-08-24].
- [16] 刘振飞, 何学超, 冯小军. 电动自行车燃烧特性及火灾抑制效果试验研究[J]. 消防科学与技术, 2025, 44(1): 48-53.
- [17] 应急管理部. 高层民用建筑消防安全管理规定: 应急管理部令第 5 号[Z]. 2021.
- [18] 国务院办公厅. 电动自行车安全隐患全链条整治行动方案: 国办发〔2024〕19 号[Z]. 2024.

基金项目: 广西研究生教育创新计划项目 (JGY2024151)。

¹ 第 1 作者简介: 徐勇 (1986-), 男, 学士, 研究方向: 消防监督、防灾减灾。E-mail: ysqxfjydd@guilin.gov.cn

***通讯作者简介:** 唐思远 (1989-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 现代竹木结构、高等教育教学。E-mail: tangsiyuan@guet.edu.cn。