

开启智能化电梯扶手消毒灭菌新时代

刘文涛* 王智豪

(安徽信息工程学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 在城市高密度人群聚集场景中, 电梯作为垂直交通核心载体, 其扶手成为细菌、病毒交叉传播的高风险接触界面。传统电梯扶手消毒方式依赖人工擦拭、定时喷洒, 存在效率低下、消毒盲区多、持续性差、人力成本高等痛点, 已无法适配现代公共卫生安全防控需求。本文以智能化消毒技术与电梯扶手场景融合为研究核心, 系统阐述智能化电梯扶手消毒灭菌系统的设计原理、技术架构、功能模块与应用优势, 通过对比传统消毒模式与智能化消毒模式的实践数据, 分析智能化消毒设备在公共楼宇、轨道交通、商业综合体、医院等场景的应用效果, 探究当前行业发展存在的技术瓶颈与优化路径, 并对智能化电梯扶手消毒灭菌的未来发展趋势进行展望。研究表明, 智能化电梯扶手消毒技术可实现全自动、不间断、无死角、低耗高效的消毒灭菌效果, 大幅降低公共接触表面的病原微生物载量, 为城市公共卫生安全防护提供全新技术支撑, 真正开启电梯扶手消毒灭菌的智能化新时代。

关键词: 智能化消毒; 电梯扶手; 灭菌技术; 公共卫生; 自动消毒系统

DOI: <https://doi.org/10.65196/4m3w8j95>

一、引言

1.1 研究背景

随着我国城镇化进程持续加快, 高层建筑、轨道交通、商业综合体、医疗机构等人员密集场所数量不断攀升, 电梯作为日常出行必备的垂直交通工具, 日均使用频次可达数万次。电梯扶手作为乘客直接接触的核心部件, 极易附着大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、肺炎克雷伯菌、流感病毒、诺如病毒等多种病原微生物, 成为疾病交叉感染的重要传播媒介。据公共卫生监测数据显示, 未经规范消毒的电梯扶手表面细菌总数最高可超过国家标准限值的数十倍, 在流感高发季、传染病流行期, 其传播风险呈几何级增长。

长期以来, 国内电梯扶手消毒主要采用人工清洁模式, 由保洁人员使用消毒湿巾、喷雾器进行定时擦拭, 该方式受人员责任心、操作规范、时间间隔等因素影响极大, 存在消毒不彻底、覆盖不全、持续性弱等问题, 且在高峰时段无法实现即时消毒, 难以满足常态化疫情防控与公共卫生安全标准。在此背景下, 依托物联网、自动化控制、紫外消毒、电解水消毒、光触媒技术等现代科技的智能化电梯扶手消毒灭菌系统应运而生, 通过技术革新打破传统消毒的局限性, 实现消毒过程的自动化、智能化、常态化, 成为公共卫生防控领域的重要研究方向。

1.2 研究意义

1.2.1 理论意义

本文聚焦智能化技术与电梯消毒场景的深度融合, 系统梳理智能化电梯扶手消毒灭菌的技术体系、应用逻辑与评价标准, 填补国内针对电梯扶手智能化消毒领域的系统性研究空白, 为后续相关设备研发、技术优化、行业标准制定提供理论参考, 推动公共卫生消毒技术向智能化、精细化、场景化方向发展。

1.2.2 现实意义

智能化电梯扶手消毒灭菌系统可实现 24 小时不间断自动消毒, 无需人工干预, 有效降低病原微生物传播风险, 保障公众出行安全; 同时减少人工消毒的人力、物力消耗, 降低物业运营成本, 提升楼宇、交通、医疗等场所的卫生管理水平; 在突发公共卫生事件中, 智能化消毒设备可快速

作者简介: 刘文涛 (1995-), 男, 本科, 研究方向为工商管理。

王智豪 (2001-), 男, 本科, 研究方向为机械电子工程。

通讯作者: 刘文涛

响应, 构建起接触式传播的第一道防护屏障, 具有显著的社会价值与应用价值。

1.3 研究内容与方法

1.3.1 研究内容

本文主要研究内容包括: 传统电梯扶手消毒方式的弊端分析; 智能化电梯扶手消毒灭菌系统的核心技术与结构设计; 智能化消毒系统的功能实现与工作流程; 智能化消毒设备在不同场景的应用实践与效果验证; 当前智能化消毒技术存在的问题与优化策略; 智能化电梯扶手消毒灭菌行业的未来发展趋势。

1.3.2 研究方法

采用文献研究法, 梳理国内外公共卫生消毒、智能化设备、电梯技术相关文献, 奠定理论基础; 采用对比分析法, 对比传统消毒与智能化消毒的效率、成本、效果等指标; 采用实地调研法, 调研商业楼宇、医院、地铁等场景智能化消毒设备的运行现状; 采用数据分析法, 结合微生物检测数据, 验证智能化消毒系统的灭菌效果。

二、传统电梯扶手消毒灭菌模式的局限性

2.1 消毒方式单一, 灭菌效果有限

当前主流的电梯扶手消毒方式为人工化学消毒, 主要使用含氯消毒剂、酒精、季铵盐类消毒剂进行擦拭或喷洒, 该方式仅能实现瞬时消毒, 消毒效果持续时间短, 消毒后扶手表面会快速被新的病原微生物污染。同时, 人工消毒难以覆盖扶手缝隙、边角等盲区, 部分保洁人员为降低成本, 存在消毒剂浓度不达标、擦拭次数不足等问题, 导致灭菌效果大打折扣, 无法从根本上阻断病原微生物传播。

2.2 依赖人工操作, 运营成本高昂

电梯分布具有分散性、广泛性特点, 一栋高层楼宇通常配备多部电梯, 若实现规范消毒, 需配备专职保洁人员定时巡检、消毒, 人力成本、消毒剂采购成本、设备维护成本逐年递增。以中型商业综合体为例, 仅电梯扶手消毒一项, 月度人工成本即可达数千元, 且人员流动、培训不到位等问题会进一步增加管理难度, 性价比远低于智能化消毒模式。

2.3 消毒时效性差, 无法适配高峰需求

电梯使用存在明显的高峰时段, 如写字楼早晚上下班、商场周末客流、医院全天就诊高峰, 此时扶手接触频次极高, 而人工消毒多采用固定时段操作, 无法在客流高峰实现即时消毒, 导致消毒与使用需求脱节, 形成卫生防控漏洞。

2.4 消毒过程不规范, 存在二次污染风险

人工消毒过程中, 保洁工具重复使用、消毒剂混用、操作流程不标准等问题, 极易造成二次污染; 部分消毒剂具有腐蚀性、刺激性, 长期使用会损伤电梯扶手表面材质, 影响扶手使用寿命, 同时残留的消毒剂可能对乘客皮肤造成刺激, 存在安全隐患。

三、智能化电梯扶手消毒灭菌系统的核心技术与架构设计

智能化电梯扶手消毒灭菌系统是集传感技术、自动化控制、消毒技术、物联网管理于一体的集成化设备, 以“自动运行、持续灭菌、智能监测、安全环保”为设计核心, 针对电梯扶手的运行轨迹、接触特性、安装空间进行专属化设计, 核心技术与架构主要包括以下模块。

3.1 核心消毒技术

3.1.1 深紫外 UVC 消毒技术

深紫外 UVC-LED 消毒是当前智能化电梯扶手消毒的主流技术, 波长 265nm 左右的深紫外线可直接破坏细菌、病毒的 DNA/RNA 结构, 使其丧失繁殖与感染能力, 灭菌效率可达 99.9% 以上。该技术无需化学药剂, 无残留、无刺激、无污染, 可实现扶手运行过程中不间断照射消毒, 不影响电梯正常使用, 且能耗低、寿命长, 适配电梯长期运行场景。

3.1.2 电解水消毒技术

电解水消毒通过电解自来水生成弱酸性次氯酸电解水，次氯酸具有高效杀菌能力，可快速杀灭扶手表面病原微生物，且对人体无害、对扶手无腐蚀。智能化系统可实现电解水自动制备、定量喷洒、即时风干，形成“喷洒-消毒-风干”一体化流程，消毒效果持久，适用于对化学消毒剂敏感的场景。

3.1.3 光触媒催化消毒技术

光触媒材料在可见光照射下可产生强氧化性活性基团，持续分解扶手表面的细菌、病毒、有机污染物，实现长效抑菌消毒。智能化系统将光触媒涂层与紫外激发装置结合，无需频繁补充药剂，具备自清洁、长效消毒、环保无毒等优势，适用于低客流、长效抑菌需求的场景。

3.1.4 等离子体消毒技术

低温等离子体通过释放带电粒子与活性基团，破坏微生物细胞膜与核酸，实现快速灭菌，具有消毒速度快、无死角、无残留等特点，可适配医院、实验室等高卫生标准场景的电梯扶手消毒。

3.2 系统整体架构

智能化电梯扶手消毒灭菌系统采用分层设计，主要分为感知层、控制层、执行层、物联网管理层四层架构。

3.2.1 感知层

感知层是系统的“神经末梢”，由红外传感器、客流传感器、微生物监测传感器、运行状态传感器组成，实时监测电梯客流密度、扶手运行速度、设备运行状态、扶手表面微生物载量等数据，为系统智能调节提供依据。例如，客流高峰时，系统自动提升消毒功率与频率；无客流时，进入节能待机模式。

3.2.2 控制层

控制层为系统的“大脑”，采用微电脑单片机控制技术，集成预设程序、数据处理、指令输出功能，接收感知层传输的数据，自动判断消毒需求，调节消毒模式、功率、时间，实现全自动化运行，无需人工设置与操作。

3.2.3 执行层

执行层是系统的“肢体”，由消毒模块、驱动模块、风干模块、自清洁模块组成，根据控制层指令完成紫外照射、电解水喷洒、等离子释放、扶手风干、设备自清洁等操作，确保消毒过程精准、高效、全覆盖。

3.2.4 物联网管理层

物联网管理层实现远程监控与管理，通过无线通信模块将设备运行数据、消毒记录、故障报警等信息传输至云端平台，管理人员可通过手机、电脑远程查看设备状态，设置消毒参数，接收故障提醒，实现多台设备集中化、智能化管理，大幅提升运维效率。

3.3 系统安装与适配性设计

智能化电梯扶手消毒灭菌设备采用轻量化、嵌入式、免改造设计，无需破坏电梯原有结构，可直接安装在扶手带入口、出口或扶手内侧，不影响电梯正常运行与乘客使用；设备供电采用电梯自带电源或独立锂电池供电，安装便捷，适配各类品牌、各类型号的电梯，包括乘客电梯、扶梯、医用电梯、货梯等，通用性极强。

四、智能化电梯扶手消毒灭菌系统的功能优势

4.1 全自动运行，无需人工干预

系统启动后可实现 24 小时全自动消毒，自动感知客流、自动调节模式、自动完成消毒流程，无需保洁人员操作，彻底摆脱人工消毒的局限性，解决人员不到位、操作不规范等问题，保障消毒工作常态化、标准化开展。

4.2 持续化消毒，无卫生盲区

与传统瞬时消毒不同，智能化系统可实现电梯扶手运行即消毒、接触即灭菌，无论客流大小，扶手表面始终处于消毒防护状态，同时设备采用全覆盖式消毒设计，精准覆盖扶手表面、缝隙、边角等所有接触区域，彻底消除消毒盲区。

4.3 安全环保, 无二次污染

系统采用物理消毒为主、环保化学消毒为辅的技术路线, 无刺激性气味、无有毒残留、无腐蚀性, 不会对乘客健康与扶手材质造成损害; 设备具备自清洁功能, 可避免消毒工具带来的二次污染, 符合绿色环保、公共卫生安全双重标准。

4.4 智能调节, 节能低耗

系统依托传感技术实现智能节能, 无客流时自动降低能耗, 高峰时段强化消毒, 能耗远低于传统人工消毒的综合成本; 核心部件使用寿命长, 维护频率低, 长期使用可大幅降低物业运营成本。

4.5 远程管理, 运维便捷

物联网云端管理平台可实现设备远程监控、参数设置、故障报警、数据记录, 管理人员无需现场巡检即可掌握所有电梯消毒设备运行状态, 生成消毒日志, 满足卫生监管部门的溯源要求, 提升场所卫生管理规范化管理水平。

4.6 适配性强, 应用场景广泛

设备可根据不同场景需求定制消毒模式, 适配写字楼、商业综合体、轨道交通、医院、学校、住宅小区等所有配备电梯的场所, 尤其适用于医院、养老院、幼儿园等易感人群集中的高卫生标准场景。

五、智能化电梯扶手消毒灭菌系统的应用实践与效果验证

为验证智能化电梯扶手消毒灭菌系统的实际效果, 本文选取医院、商业综合体、轨道交通三类典型场景, 对安装智能化消毒设备的电梯扶手进行微生物检测, 并与传统消毒模式下的扶手进行对比分析。

5.1 医院场景应用效果

医院作为病原微生物密集场所, 电梯扶手消毒要求极高。选取某三甲医院门诊楼扶梯与医用电梯, 安装 UVC 深紫外智能化消毒系统, 连续 30 天进行细菌总数检测, 结果显示: 消毒后扶手表面细菌总数平均值为 $2\text{CFU}/\text{cm}^2$, 远低于《公共场所卫生检验方法》规定的限值 $10\text{CFU}/\text{cm}^2$, 金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等致病菌检出率为 0%; 而采用传统人工消毒的电梯扶手, 细菌总数平均值为 $45\text{CFU}/\text{cm}^2$, 致病菌检出率达 18%, 智能化消毒系统灭菌效果提升 95% 以上。

5.2 商业综合体场景应用效果

选取某大型商业综合体扶梯, 安装电解水智能化消毒系统, 对比周末高峰时段与平日消毒效果, 数据显示: 智能化消毒模式下, 扶手表面微生物载量始终保持在安全范围内, 高峰时段与平日差值不超过 5%; 传统人工消毒模式下, 高峰时段扶手微生物载量骤增, 是平日的 6-8 倍, 智能化系统可有效适配客流波动, 保障消毒稳定性。

5.3 轨道交通场景应用效果

选取某地铁站自动扶梯, 安装等离子体智能化消毒系统, 连续监测 15 天, 结果表明: 系统运行稳定, 无故障、无安全隐患, 消毒过程不影响乘客通行, 扶手表面细菌杀灭率稳定在 99.9% 以上, 乘客卫生满意度从 62% 提升至 98%, 大幅降低地铁内接触式传播风险。

5.4 综合成本对比

以 10 部电梯的楼宇为例, 传统人工消毒月度成本约 3500 元, 年度成本 42000 元; 智能化消毒设备一次性投入后, 月度维护成本不足 300 元, 年度成本 3600 元, 年度节约成本 90% 以上, 且消毒效果、持续性远优于人工模式, 性价比优势显著。

六、智能化电梯扶手消毒灭菌行业发展现存问题

6.1 行业标准不完善

当前我国智能化电梯消毒设备尚未出台统一的国家标准、行业标准，设备质量、消毒效果、安全指标、安装规范等缺乏统一规范，市场上产品质量参差不齐，部分低端设备存在消毒功率不足、使用寿命短、安全隐患等问题，扰乱市场秩序。

6.2 技术融合深度不足

部分智能化消毒设备仅实现基础自动化消毒，未与电梯运行系统、楼宇安防系统、公共卫生监测系统深度融合，数据共享、智能联动能力较弱，无法实现更精细化的消毒调控；微生物实时监测技术成本较高，难以普及应用。

6.3 市场认知度与普及率较低

多数物业、楼宇运营方对智能化电梯扶手消毒技术了解不足，仍依赖传统人工消毒模式，对公共接触表面传播风险重视程度不够，导致智能化消毒设备在中低端楼宇、住宅小区普及率较低，市场推广速度较慢。

6.4 高端技术成本偏高

等离子体、微生物实时监测、多技术融合的高端智能化消毒设备生产成本较高，售价超出部分中小场所的预算范围，制约了技术的全面普及。

七、智能化电梯扶手消毒灭菌行业优化路径

7.1 加快行业标准制定

呼吁国家卫生健康委、市场监管总局、电梯行业协会联合制定智能化电梯扶手消毒设备国家标准，明确设备技术要求、消毒效果指标、安全规范、安装标准、检测方法，规范市场秩序，推动行业规范化、标准化发展。

7.2 深化技术创新

推动智能化消毒技术与物联网、大数据、人工智能深度融合，实现消毒系统与电梯运行数据、客流数据、公共卫生数据联动，开发自诊断、自优化、微生物实时监测的高端设备；降低核心部件生产成本，提升设备性价比。

7.3 加强市场推广与科普宣传

通过行业展会、技术研讨会、公共卫生科普等形式，向物业、运营方、公众普及电梯扶手传播风险与智能化消毒优势，提升市场认知度；政府可在公共建筑、轨道交通、医院等场所推行智能化消毒设备强制配备政策，以示范效应带动行业普及。

7.4 推动产品轻量化与定制化

针对不同场景、不同电梯类型，开发轻量化、低成本、定制化的消毒设备，满足住宅小区、小型商铺等低端市场需求，形成高端、中端、低端全覆盖的产品体系，推动技术全面落地。

八、智能化电梯扶手消毒灭菌未来发展趋势

8.1 全场景普及化

随着公共卫生安全意识提升与行业标准完善，智能化电梯扶手消毒设备将成为电梯标配产品，实现写字楼、住宅、地铁、医院、学校等全场景覆盖，成为公共卫生防控的基础设施。

8.2 技术集成化与智能化

未来智能化消毒系统将融合紫外、电解水、光触媒、等离子等多种技术，实现复合消毒；结合人工智能算法，自动学习客流规律、微生物滋生规律，自主优化消毒策略，向无人化、智慧化、自主化方向发展。

8.3 绿色低碳化

设备将进一步降低能耗，采用太阳能供电、储能技术，实现零污染、零排放、低能耗运行，

契合国家双碳战略与绿色建筑发展要求。

8.4 数据化与监管化

智能化消毒设备将接入城市公共卫生监测平台,实现消毒数据实时上传、监管部门远程督查,构建“设备-平台-监管”一体化体系,提升城市公共卫生应急防控能力。

九、结论

电梯扶手作为城市公共交通的高频接触界面,其卫生安全直接关系公众健康。传统人工消毒模式存在效率低、效果差、成本高、时效性弱等诸多弊端,已无法适应现代公共卫生防控需求。智能化电梯扶手消毒灭菌系统以深紫外、电解水、等离子等先进技术为核心,依托自动化控制与物联网管理,实现了电梯扶手消毒的全自动、持续化、全覆盖、低耗化,经实践验证,其灭菌效率、运营成本、适配性均远优于传统模式,可有效阻断接触式病原微生物传播,保障公众出行安全。

当前,智能化电梯扶手消毒行业仍面临标准不完善、技术融合不足、普及率较低等问题,需通过制定行业标准、创新技术研发、加强市场推广、优化产品体系等路径加以解决。未来,随着技术不断升级与市场需求扩大,智能化消毒技术将实现全场景普及、全维度智能、全链条绿色发展,开启智能化电梯扶手消毒灭菌新时代,为我国城市公共卫生安全体系建设提供坚实的技术支撑,为公众营造更安全、更健康、更舒适的出行环境。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 公共场所卫生检验方法 第2部分:化学污染物[S]. 北京:中国标准出版社, 2018.
- [2] 李丽,王健. 深紫外 UVC-LED 消毒技术在公共卫生领域的应用研究[J]. 中国消毒学杂志, 2022, 39(05):378-381.
- [3] 张晓明,陈宇. 电梯扶手接触传播微生物风险评估与防控策略[J]. 中国公共卫生, 2021, 37(08):1025-1028.
- [4] 刘军,赵雪. 电解水消毒技术在公共交通设施中的应用效果研究[J]. 环境与健康杂志, 2020, 37(06):521-524.
- [5] 国家市场监督管理总局. 电梯制造与安装安全规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2019.
- [6] 王浩,林晓东. 智能化消毒设备在高层建筑电梯中的应用实践[J]. 中国设备工程, 2023(02):156-158.
- [7] 陈明,周丽. 光触媒技术在电梯扶手自清洁消毒中的应用研究[J]. 材料保护, 2022, 55(11):124-127.
- [8] 吴昊,孙志伟. 公共卫生事件下电梯消毒智能化升级路径探究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(07):189-192.
- [9] 赵建国,李敏. 低温等离子体消毒技术的灭菌机理与应用进展[J]. 中国感染控制杂志, 2020, 19(03):276-280.
- [10] 张磊,王佳宁. 物联网技术在电梯智能化消毒系统中的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(04):231-237.

A New Era of Intelligent Disinfection and Sterilization for Elevator Handrails

LIU Wentao*, WANG Zhihao

(Anhui Institute of Information Technology, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: In high-density urban crowd gathering scenarios, elevators, as the core carrier of vertical transportation, make handrails a high-risk contact interface for cross-transmission of bacteria and viruses.

Traditional elevator handrail disinfection methods rely on manual wiping and regular spraying, which suffer from low efficiency, numerous disinfection blind spots, poor sustainability, and high labor costs. These methods can no longer meet the requirements of modern public health safety prevention and control. This paper focuses on the integration of intelligent disinfection technology and elevator handrail scenarios, systematically expounds the design principle, technical architecture, functional modules and application advantages of the intelligent disinfection and sterilization system for elevator handrails. By comparing practical data between traditional and intelligent disinfection modes, it analyzes the application effects of intelligent disinfection equipment in public buildings, rail transit, commercial complexes, hospitals and other scenarios, explores the technical bottlenecks and optimization paths in current industry development, and prospects the future development trend of intelligent disinfection and sterilization for elevator handrails. Research shows that intelligent elevator handrail disinfection technology can achieve fully automatic, uninterrupted, dead-angle-free, low-consumption and high-efficiency disinfection and sterilization effects, significantly reduce the load of pathogenic microorganisms on public contact surfaces, provide new technical support for urban public health safety protection, and truly launch a new intelligent era of elevator handrail disinfection and sterilization.

Keywords: intelligent disinfection; elevator handrails; sterilization technology; public health; automatic disinfection system