 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i7.6696

The intelligent monitoring device of disinfection machine builds a new line of defense for precise sensing and control

Yuke Du

Hunan Provincial Children's Hospital, Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract

In the battle against hospital infections, disinfection machines act as silent guardians, safeguarding the respiratory health of both medical staff and patients. However, the 'lag' in traditional manual inspections and the 'isolation' of individual machine management often lead these guardians to malfunction. Each year, tertiary hospitals in China experience frequent hospital-acquired infection incidents due to disinfection equipment failures, resulting in significant direct and indirect economic losses. This situation has become particularly evident post-COVID-19, highlighting the vulnerability of traditional infection control methods in the face of sudden public health emergencies.

Keywords

disinfection machine; intelligent; data

消毒机智能监测装置构建新型精准感控新防线

杜昱铿

湖南省儿童医院，中国 · 湖南 长沙 410000

摘　要

在医院感染防控的战场上，消毒机如同静默的卫兵，守护着医患的呼吸安全。然而，传统人工巡检的“滞后性”与单机管理的“孤岛化”，却让这些卫兵时常陷入“失灵”困境。中国三级医院每年因消毒设备故障导致的院内感染事件屡有发生，造成的不可挽回的直接和间接经济损失。这种状况在新冠疫情后显得尤为突出，暴露出传统感控手段在面对突发公共卫生事件时的脆弱性。

关键词

消毒机；智能；数据

1 引言

针对这一行业痛点，一套融合精密感知、智能互联与数据驱动的新型消毒机智能监测装置应运而生。该装置基于物联网技术架构，通过构建 " 感知 - 分析 - 决策 - 执行 " 的闭环系统，在专业性与实用性之间找到理想平衡点。其创新价值不仅在于技术突破，更在于重构了医院感控的工作范式——从被动响应转向主动预防，从经验判断转向数据驱动，为现代医院打造更可靠的感控屏障。

2 精密架构：多维度感知的 " 数字听诊器 "

2.1 六维感知模块的技术突破

装置以 " 传感器矩阵 + 低功耗主控 + 蜂窝物联 " 为核心架构，如同为消毒机配备了一套精密的 " 数字听诊器 "。其六维感知模块采用军工级传感器阵列，每个传感器都经过严格的临床环境验证：

KUV254 紫外线传感器 采用第三代氮化镓光敏材料，精度达 ±10μW/cm²，可实时追踪杀菌紫外线强度，通过机器学习算法分析灯管老化曲线，提前 14 天捕捉灯管衰减的 " 蛛丝马迹 "，预测准确率达 92%。德国 hoentzsch 叶轮风速传感器基于微机电系统（MEMS）技术，分辨率达 0.1m/s，不仅能监测循环风量，还能通过频谱分析精准判断滤网堵塞或风机老化问题，误报率低于 0.5%。

MQ131 臭氧传感器 采用电化学原理，响应时间＜ 30s，动态监测范围覆盖 0-0.2mg/m³，内置温度补偿算法确保在极端环境下仍能严守 0.1mg/m³ 安全阈值。ML8511 泄漏传感器使用特殊光学滤光片，检测下限达 0.01mW/cm²，可穿透 3mm 厚的外壳缝隙，配合 360° 环形探测阵列，能全方位识别紫外线外泄隐患 [1]。

HCSR501 人体红外传感器 采用双元热释电元件，探测距离 7m，视场角达 110° ，通过行为模式识别算法，可区分医护人员常规操作与患者异常停留。AM2311 温湿度传感器基于电容式聚合物传感技术，精度 ±0.3℃ / ±2%RH，

【作者简介】杜昱铿（1983–），男，中国湖南人，本科，工程师，从事医学工程研究。

每 10 秒更新环境数据，构建动态的环境数据坐标系，为分析温湿度对消毒效率的影响提供可靠依据。

ML8511 泄漏传感器（检测下限 0.01mW/cm²）穿透外壳缝隙，识别紫外线外泄隐患；

HCSR501 人体红外传感器（探测距离 7m）记录人员流动，为动态调整消毒策略提供依据；

AM2311 温湿度传感器（精度 ±0.3℃ / ±2%RH）构建环境数据坐标系，关联分析温湿度对消毒效率的影响。

2.2 智能中枢与通信系统的创新设计

装置采用 STM32L4 系列低功耗单片机作为处理核心，该芯片基于 Cortex-M4 架构，运行频率 80MHz，待机功耗＜ 1mW，支持浮点运算和 DSP 指令集，可实时处理多源异构传感器数据。通信模块采用 BC95 NBIoT 模组，支持 Band5/Band8 双频段，通过运营商网络实现广域覆盖，单设备年流量消耗＜ 50MB。电源系统采用 CR2477 纽扣电池与太阳能双模供电，配合动态功耗管理算法，在典型工作模式下续航可达多年 [2]。

装置外壳符合 IP65 防护等级，通过 EMC Class B 电磁兼容测试，可在 -20℃至 60℃环境下稳定工作。安装方式采用磁吸 + 螺丝双固定设计，适配不同型号消毒机的结构特点。所有传感器接口均采用防水航空插头，支持热插拔更换，维护时无需断电停机。

3 系统革新：从 " 数据展示 " 到 " 决策赋能 "

3.1 实时监控与智能预警体系

配套软件系统突破传统监控的 " 可视化 " 局限，基于微服务架构开发，升级为具备分析、预测、干预能力的 " 感控大脑 "。系统采用 B/S 架构，前端使用 Vue.js 框架实现响应式设计，后端基于 Spring Cloud 构建分布式服务，数据库采用时序数据库 InfluxDB 与关系型数据库 MySQL 的组合方案，可支持每秒 10 万级的数据写入。

全院设备状态以三维热力图形式呈现，支持按科室、楼层、设备类型等多维度筛选。关键参数设置动态三级预警阈值：绿色安全区（参数在正常范围）、黄色预警区（达到设定值的 80%）、红色告警区（超过设定值）。系统采用复合告警策略，当某台设备臭氧浓度达 0.08mg/m³（接近国标限值）时，除推送弹窗提醒外，还会根据事件等级自动触发短信、邮件、钉钉等多通道报警，并同步向医工、院感科发送含设备位置、异常参数值、历史趋势对比的格式化报告，确保响应时间＜ 2 分钟。

3.2 数据挖掘与策略优化引擎

系统内置的LSTM时序预测模型采用注意力机制改进，对紫外线强度衰减趋势进行建模，预测准确率达 87%。基于空气置换量公式（置换量 = 风量 × 时间）与房间体积数据，系统自动计算达标消毒时长，并通过强化学习算法持续优化消毒策略，避免 " 过度消毒 " 或 " 消毒不足 "。人员流动分析模块采用改进的 DBSCAN 聚类算法，能准确识别查房、手术交接等高峰时段，动态调整消毒机运行功率，实测节能率达 15%-20%。

系统还创新性地引入数字孪生技术，为每台消毒机建立虚拟镜像，通过仿真模拟预测不同工况下的消毒效果。例如，在应对突发传染病时，可快速模拟调整消毒参数组合，找出最优的感控方案。这种 " 先模拟后执行 " 的工作模式，大大降低了实际运营中的试错成本 [3]。

4 临床实效：用数据重构感控效率

4.1 在医院的规模化应用

通过在医院环境中为期一年的规模化应用中，该装置展现出显著的临床价值。医院在多个病区部署了 50 套监测装置，覆盖手术室、ICU、新生儿病房等重点区域。实施前后对比数据显示：

效率提升方面：人工巡检频次从每日 2 次降至每周 1 次，单台设备巡检耗时从 15 分钟缩短至 3 分钟。通过移动端实现远程核查，全院年节省人力成本约 45 万元。设备管理效率提升带来的间接效益更为可观——工程师可集中处理真正需要干预的问题，而非耗费时间在例行检查上。

风险防控方面：装置部署后 6 个月内，成功预警紫外线泄漏事件 3 起、臭氧超标 17 起，相关科室消毒合格率从 89% 提升至 98.7%。通过持续监测数据分析发现，术后空气菌落数超标率下降 62%，导管相关感染率降低 41%，年避免感染相关直接医疗支出近百万元。

4.2 管理升级与资源配置优化

基于装置提供的《消毒机配置密度指南》，医院对设备布局进行了科学调整。数据分析显示，原有过密区域（如门诊大厅）存在设备利用率不足问题，而某些重点区域（如呼吸科病房）却存在消毒盲区。通过重新规划，医院在新生儿病房等重点区域新增设备 23 台，同时撤并低效设备 15 台。优化后，全院平均消毒时长缩短 28%，设备利用率提升 37%，避免了盲目采购造成的 12 万元设备闲置 [4]。

系统生成的《季度性能评估报告》为设备采购提供了客观依据。数据显示，某品牌设备的滤网堵塞率比平均水平高 23%，而另一品牌的紫外线灯管寿命显著优于行业均值。这些洞见帮助医院建立了基于全生命周期成本的采购评价体系，预计五年周期内可节约设备更新费用约 80 万元。如图 1

5 行业适配：标准化与灵活性的平衡

5.1 硬件兼容性设计

针对医疗行业设备品牌多、型号杂的特点，装置采用 " 硬件模块化 + 软件协议开放 " 的设计理念。硬件方面提供三种标准安装形态：壁挂式（尺寸 120×80×30mm，重量＜ 300g）、嵌入式（可集成到设备控制面板）、外置式（带可调节支架）。传感器接口采用标准化设计，支持即插即用，更换不同品牌设备时，参数校准周期从传统方法的 2 小时缩短至 15 分钟。

装置内置了包含市场上主流品牌、近百种型号的消毒机特征数据库。当接入新设备时，系统能自动识别设备类型，加载预设的监测方案。对于新型号设备，可通过手工输入或者拍照扫描设备铭牌，快速建立监测模板，大大降低了部署难度。如图 2

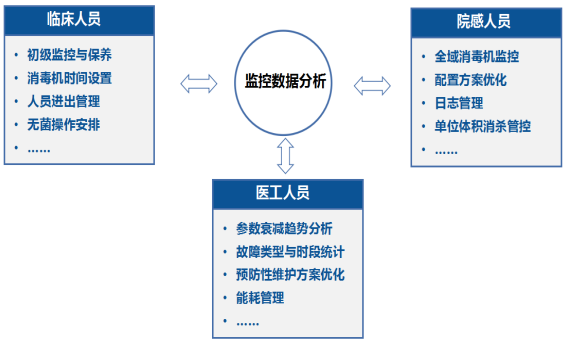


图 1 消毒机监控数据分析在医疗体系中的应用



图 2 全域空气消毒机监测系统示意图

5.2 软件互通性解决方案

软件系统支持多种 7 种工业协议，可无缝对接医院现有 HIS、HRP 等系统。特别开发的数据中间件能解决不同系统间的时序数据同步问题，确保监测数据与临床业务数据的时空一致性。开放平台提供完整的 API 文档和 SDK 工具包，医院信息科或第三方开发者可快速开发定制功能。

例如，某三甲医院将系统与手术室智能排班系统对接，实现了 " 手术结束 - 环境消毒 - 下一台手术准备 " 的全自动衔接，使手术室周转时间平均缩短 18 分钟。另一家医院开发了与后勤管理系统的接口，实现滤网等耗材的智能库存管理，库存周转率提升 40%[5]。

6 未来延伸：从 " 单机智能 " 到 " 感控网络 "

6.1 医疗物联网的集成前景

作为医疗物联网的基础节点，该装置预留了丰富的扩展接口。硬件上提供 RS485、Zigbee、蓝牙 5.0 等多种连接方式；软件上支持 OPC UA 等工业互联网标准协议，为构建全院级感控网络奠定基础。下一步计划分阶段接入医用冰箱、灭菌器、洁净空调等设备，最终形成覆盖全院关键设备的感控物联网。

典型的协同场景包括：当消毒机检测到某病房温湿度异常时，自动触发空调系统调节，同时延长消毒时长；当手术室人员流动激增时，联动净化系统提升换气次数；当检测到耐药菌暴发风险时，自动升级相关区域的消毒等级。这种跨设备的智能协同，正推动医院感控从 " 单点防御 " 迈向 " 系统作战 "。

6.2 与智慧医院建设的深度融合

该装置产生的高质量感控数据，可与医院其他智能系统产生协同效应。与院内导航系统结合，可优化患者分流，减少交叉感染风险；与医疗废物管理系统对接，可实现 " 消毒 - 污物处理 " 的全流程追溯；与能源管理系统融合，可挖掘更多节能潜力。这些应用场景展现了医疗物联网的无限可能。

系统平台已预留 5G 接入能力，未来可支持 AR 远程运维、高清视频监测等创新应用。边缘计算功能的加入，将使设备具备本地实时决策能力，即使在网络中断时也能保障基本感控功能。区块链技术的集成，则可确保监测数据的不可篡改性，为感控合规审计提供可靠依据。

7 结论：重新定义医疗感控的智能边界

在智慧医疗的浪潮中，这套新型监测装置不仅是一台设备，更是连接 " 人、设备、数据 " 的桥梁。它突破了传统感控技术的三大局限：在监测维度上，从单一参数转向环境全景感知；在响应速度上，从滞后处理转向实时干预；在管理方式上，从经验驱动转向数据决策。

该装置的成功实践揭示了一个趋势：医疗设备的智能化不应是技术的简单堆砌，而应着眼于解决真实的临床痛点。它既需要工程师对医疗场景的深刻理解，也需要医护人员对技术潜力的充分发掘。这种医工交叉的创新模式，正是现代医疗设备研发的理想路径——在严谨的技术逻辑中，始终跳动着守护生命的温度。

展望未来，随着 5G、AI、数字孪生等技术的深度融合，医院感控将进入 " 全域智能 " 时代。消毒机监测只是起点，一个覆盖全院、实时响应、自主决策的智能感控体系正在形成。这不仅是技术的进步，更是医疗质量与患者安全理念的升华，终将重新定义医疗感控的智能边界。

参考文献

[1] 肖丽佳,尹进,戴俊斌,等. 一种复合型空气消毒机对密闭小空间的消毒效果及其安全性研究 [J]. 中国消毒学杂志, 2025, 42 (06): 416-418+422.

[2] 杨琳. 5G+物联网技术在医院设备管理中的应用效果与质量提升研究 [J]. 中国设备工程, 2025, (10): 225-227.

[3] 孙春雷,毕宵涵. 物联网智慧医疗设备信息化的关键技术研究 [J]. 科技与创新, 2025, (07): 92-95.

[4] 刘建宇,池衡,吕小东. 基于物联网技术的医疗设备数据采集的研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2025, 9 (02): 134-136.

[5] 宋悦. 蒸汽消毒装置关键结构参数对红壤土加热效果的影响研究[D]. 云南农业大学, 2023