

# Evaluation of disinfection intervention effect on microbial contamination characteristics of centralized air conditioning systems in public places

Tao Ling Xiaolu Cheng Fu Liao Wenchen Wang

湖北普林标准技术服务有限公司, 武汉, 湖北, 430000, 中国

## Abstract

There is a risk of microbial contamination when improving indoor environment with centralized air conditioning systems in public places. This study collected and analyzed samples of return air, supply air, and condensate water from centralized air conditioning systems in hospitals, shopping malls, office buildings, and other places to evaluate the levels and distribution characteristics of bacterial, fungal, and pathogenic microbial contamination. The applicability of three disinfection methods, ultraviolet radiation, chemical disinfectants, and ozone, was compared. The results indicate that hospital microbial contamination is the most severe and requires special attention; Ultraviolet radiation has the highest removal rate for bacteria, chemical disinfectants have better inhibitory effects on fungi, and ozone disinfection has a shorter duration of action. This study provides practical basis for the selection of cleaning and disinfection strategies and microbial risk prevention and control for centralized air conditioning systems.

## Keywords

public places; Central air conditioning system; Microbial contamination characteristics; Disinfection intervention; effect evaluation

# 公共场所集中空调系统微生物污染特征消毒干预效果评估

凌涛 程小璐 廖赋 汪文辰

湖北省普林标准技术服务有限公司, 中国·湖北 武汉 430000

## 摘要

公共场所集中空调系统改善室内环境时存在微生物污染风险。本研究采集分析医院、商场、办公楼等场所集中空调的回风、送风及冷凝水样本，评估细菌、真菌及致病微生物污染水平与分布特征，对比紫外线、化学消毒剂和臭氧三种消毒方法适用性。结果表明，医院微生物污染最严重，需重点关注；紫外线对细菌去除率最高，化学消毒剂对真菌抑制效果更好，臭氧消毒作用持续时间短。本研究为集中空调系统清洁、消毒策略选择及微生物风险防控提供实践依据。

## 关键词

公共场所；集中空调系统；微生物污染特征；消毒干预；效果评估

## 1 引言

集中空调系统作为现代公共场所的关键设施，微生物污染问题正不断引发人们关注，超过 60% 的公共场所集中空调出现微生物超标现象。其中回风管道、冷凝水盘和过滤器等位置污染极为严重，容易引发呼吸道感染以及过敏等状况。目前，因缺少对污染特征的全面系统认知，消毒方法的选择与应用效果参差不齐，本文借助实地取样和实验剖析，全面探究集中空调微生物污染规律和消毒成效，以给优化消毒策略、保障空气健康提供科学凭据。

【作者简介】凌涛（1994-），男，中国湖北黄冈人，本科，从事质量检测研究。

## 2 公场所集中空调系统微生物污染特征分析

### 2.1 不同场所类型的微生物污染差异

对商场、综合医院、写字楼、酒店这四类公共场所的集中空调系统开展抽样调查，采集到 240 份样本，检测结果表明不同场所微生物污染程度有明显差异。综合医院集中空调系统污染情况最为严峻，细菌总数平均达  $580 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，真菌总数平均为  $320 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，同时有 20% 的样本被检测出含有军团菌；由于商场人员流动频繁、空气流通状况复杂，细菌平均总数达  $420 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，真菌总数平均为  $280 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，未检测到致病菌；写字楼与酒店的污染状况相对缓和，平均细菌总数分别达  $250 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 、 $280 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，真菌总数平均分别为  $180 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 、 $200 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，都没有检测到致病菌<sup>[1]</sup>。差异的主要成因是医院有大量病原微生物携带者，同时室内环境湿度偏高，利于微生物繁殖；写字楼和酒店的人员密集

程度相对不高，日常清洁频次高，面临的污染风险较小。

## 2.2 空调系统不同部件的微生物分布规律

开展了针对集中空调系统的回风管道、送风管道、冷凝水盘以及过滤器四个关键部件的微生物检测，发现冷凝水盘受微生物污染程度最深，细菌总数平均达  $850 \text{ CFU}/\text{cm}^2$ ，真菌总数平均为  $620 \text{ CFU}/\text{cm}^2$ 。原因是冷凝水盘长期处于潮湿环境，并且极易积聚灰尘与污垢，造就了适宜微生物生长的“温床”；回风管道相对稍差，细菌总数平均达  $480 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，平均真菌总数是  $350 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，主要由于回风直接与室内空气接触，易吸附空气中微生物及颗粒物；过滤器与送风管道受污染程度不高，过滤器平均细菌总数为  $220 \text{ CFU}/\text{m}^2$ ，真菌总数平均达  $150 \text{ CFU}/\text{m}^2$ ，送风管道细菌总数平均达  $180 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，真菌总数平均为  $120 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，过滤器的过滤效应在一定程度上降低了微生物向送风管道的传播量。

## 2.3 主要污染微生物的种类与特性

借助微生物的分离培养与鉴定工作，厘清公共场所集中空调系统中的主要污染微生物类型，细菌种类主要为革兰氏阴性菌，有军团菌、大肠埃希菌、*Pseudomonas aeruginosa*（铜绿假单胞菌）等。而军团菌致病性显著，可借空气传播引发军团菌肺炎，还能在潮湿环境存活数月；真菌主要包含曲霉菌、青霉菌和酵母菌，这类真菌容易生成孢子，孢子会顺着空调送风向室内扩散，引发哮喘、过敏性鼻炎等过敏性疾病；还检测到少量如金黄色葡萄球菌这类革兰氏阳性菌，虽说被检测出的比率不高，然而拥有一定的致病特性，可能会引发皮肤感染等问题<sup>[2]</sup>。多数污染的微生物有耐低温、耐干燥的特性，能在空调系统中长久存活，而且繁殖速度迅猛，当温湿度适宜（温度  $20 - 30^\circ\text{C}$ ，相对湿度  $60\% - 80\%$ ），24小时内数量能增加至  $10 - 100$  倍。

# 3 公共场所集中空调系统消毒干预方法选择与实施

## 3.1 常见消毒干预方法的原理与适用场景

公共场所集中空调系统常见的消毒手段主要有紫外线消毒、化学消毒剂消毒和臭氧消毒这三种，其原理和适用场景有显著不同。紫外线消毒借助波长在  $200 - 280 \text{ nm}$  的紫外线杀菌能力，使微生物的 DNA 结构受损，让其无法繁殖。该方式操作简便、无化学残余，可用于空调系统送回风管道内壁及过滤器等部件消毒，特别适合那些对化学消毒剂敏感的地方，例如医院儿科病房、食品商场。化学消毒剂借助含氯消毒剂、过氧乙酸等与微生物蛋白质起反应，破坏细胞的结构，以此实现杀菌，杀菌范围广、效果好。适用于冷凝水盘、空调机组内部等既潮湿又污染严重的部件，经常用于医院、商场等污染风险高的地方；臭氧消毒借助臭氧强大的氧化能力，促使微生物的细胞膜与酶系统发生氧化分解，达成消毒目的。它穿透能力强，能用于空调系统管道的深处和隐蔽部

位消毒，但由于臭氧具有刺激性，得在无人环境使用，消毒后需充分换气通风。

## 3.2 消毒干预方案的制定与优化

在制定消毒干预方案时，要依据场所类型、空调系统污染程度以及部件特性，消毒干预方案制定应遵循“针对性、安全性、有效性”原则，根据前期污染监测成果明确消毒关键。比如，医院空调系统，要重点对冷凝水盘和回风管道实施消毒，并且要挑选对致病菌（军团菌）杀灭效果佳的方法；界定消毒参数，紫外线消毒时，需把控照射强度，化学消毒要确定消毒剂浓度，臭氧消毒则需调控臭氧浓度；由于消毒安全性，化学消毒剂切勿直接与金属部件接触，臭氧消毒要精准把控通风时间，保证室内臭氧浓度降到  $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$  以下才能使用。依据实际应用成效，优化调整消毒方案，考虑到商场空调系统人员流动性大、无法长时间停机开展消毒工作的难题，把紫外线消毒和过滤器更换相融合，运用“夜间紫外线消毒 + 每周过滤器更换”的方式，既能够保障消毒效果，又降低对正常运营的干扰；考虑到写字楼空调系统污染程度不高的特性，减少消毒频率，把每月消毒一次改为每季度消毒一次，且采用“低浓度化学消毒剂擦拭 + 自然通风”的方法，降低化学残留风险。

## 3.3 消毒干预实施过程中的质量控制

消毒干预执行过程的质量把控是保障消毒成效的核心，应从人员、设备、操作三方面推进<sup>[3]</sup>。针对人员要求，消毒操作人员应接受专业培训，掌握消毒方法的原理、操作流程以及安全注意要点，还须具备相关资质证书，操作前要检查个人防护用具（像防护服、口罩、手套）是否完好；按时对消毒设备（例如紫外线灯、臭氧发生器、消毒剂喷雾器）开展维护与校准工作，保障设备正常运转，紫外线灯每季度得检测其照射强度，臭氧发生器每月得检测臭氧浓度，消毒剂喷雾器每次使用前都要检查喷雾均匀度；严格依照消毒方案开展作业，详细记录消毒的时间、部位及参数等信息，同时在消毒进程中对关键环节实施监督检查，如使用化学消毒剂消毒时，检查消毒剂浓度是否合乎标准，当进行紫外线消毒时，查看紫外线灯能否全面覆盖消毒区域，杜绝出现消毒死角。构建消毒效果预评估体系。在完成消毒干预后，随机抽取部分样本开展微生物检测，若检验结果显示微生物数量未达标准规定（细菌总数  $\leq 500 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，真菌总数  $\leq 300 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，未检出致病菌，便要分析缘由，调整消毒策略后再次实施消毒，直至达标。

# 4 公共场所集中空调系统消毒干预效果评估

## 4.1 微生物去除率的检测与分析

消毒干预效果的核心评估指标为微生物去除率，借助对比集中空调系统消毒前后微生物数量，按公式（去除率 =  $(\text{消毒前数量} - \text{消毒后数量}) / \text{消毒前数量} \times 100\%$ ）算出去除率。对运用三种消毒方式的空调系统样本开展检测，检测

发现紫外线消毒对细菌的去除率最高，平均可达 92.3%，对真菌去除率为 85.6%；采用化学消毒剂消毒，对真菌的去除成效最优，平均可达 90.5%，对细菌的去除率为 88.2%；臭氧消毒对细菌、真菌的去除率分别是 86.8% 和 83.4%<sup>[4]</sup>。根据不同的场所，医院空调系统消毒后，细菌的平均去除比例为 89.7%，真菌平均去除率达 86.3%，且后续检测未发现军团菌；商场空调系统平均能去除 91.2% 的细菌，真菌平均可被去除 88.5%；写字楼与酒店的空调系统对微生物的去除率均超 90%，消毒效果佳。

经进一步剖析可知，微生物去除率受消毒方法选择的影响十分明显，要针对不同的微生物种类选用恰当的消毒方法。例如针对军团菌污染，化学消毒剂（含氯消毒剂）消毒的去除率比紫外线消毒高 5.8 个百分点；针对曲霉菌污染，紫外线消毒的去除效果比臭氧消毒高出 4.2%，消毒参数的恰当性同样会影响去除效果，如紫外线照射时间若未达 20 分钟，细菌去除率仅达 75.3%，当照射时间延长到 30 分钟，去除率提高到 92.3%。

## 4.2 消毒效果的持续时间评估

消毒效果的持续时间影响着消毒频率的界定。针对消毒后的空调系统进行 1 - 3 个月的跟踪检测，解析微生物数量随时间的变化走向，不同消毒手段的效果持续时间有差别。紫外线消毒的效果持续时长最长，在清洁状况良好的写字楼空调系统中，能让微生物数量 2 个月内不超标（细菌总数  $\leq 500 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，真菌总数  $\leq 300 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ），然而在污染严重的医院空调系统中，效果只能维持约 1 个月；化学消毒剂的消毒效果持续时长排第二，写字楼空调系统可维持 1.5 个月，医院空调系统大概是 25 天；臭氧消毒效果的持续时长最短，不论处于何种场所，其效果仅能维持 15 - 20 天，主要是因为臭氧在空气中容易分解，还无法在空调系统部件表面形成持久的抗菌防护层。

针对空调系统的部件，冷凝水盘消毒效果维持的时间最短，平均大概 20 天。鉴于此部件易再度累积水分与污垢，微生物繁殖速度迅猛；回风管道和过滤器消毒成效的持续时间偏长，平均约达 1 个月，主要缘由是过滤器可阻拦部分微生物进入系统，降低二次污染概率，室内环境状况也会影响消毒效果的持续时间，如人员密集且湿度大的室内场所，消毒效果持续时长会缩短 5 - 7 天。

## 4.3 消毒干预对空调系统运行的影响评估

评估消毒干预效果时，应剖析其对空调系统运行产生的影响，涵盖系统能耗、部件使用寿命以及室内舒适程度。从系统能耗角度而言，紫外线消毒和化学消毒剂消毒对能耗几乎没有影响，而臭氧消毒由于要关闭空调系统并营造密闭环境，会造成消毒时空调无法运转。若处于夏季或冬季的使用高峰期，会加大后续系统的负担，造成能耗短期内提升约 5%~8%，但消毒完毕后能耗可恢复常态；从部件使用寿命角度而言，若化学消毒剂消毒操作有误，会对空调系统中的金属部件（如送风管道内壁、冷凝水盘）产生腐蚀，长期使用可能让部件寿命减少约 1 - 2 年。而紫外线消毒与臭氧消毒对部件没有明显的腐蚀现象，只有紫外线灯需定期更换；从室内人员舒适度方面考量，紫外线消毒与臭氧消毒要求在无人环境开展，消毒后不影响室内温湿度。若化学消毒剂消毒时通风不足，会残留刺鼻气味，降低室内人员的舒适体验，然而将通风时间延长到不少于 2 小时，能有效去除气味。

## 5 结语

本文深入考察了公共场所集中空调系统的微生物污染特点、消毒方式及效果。研究发现：医院污染状况最为严峻，主要的污染位置是冷凝水盘，军团菌、曲霉菌等存活及繁殖能力颇为突出；紫外线、化学消毒剂以及臭氧等方式各有利弊，应依据实际污染特征与场所类别来挑选；消毒成效会被方法、参数以及环境所影响。该研究为集中空调微生物防控提供支撑，却未开展成本效益分析，样本仅涉及四类场所，未来可拓展应用至机场、地铁等场所，同时开展经济效益的对比分析，为制定更精确的消毒策略提供支撑。

## 参考文献

- [1] 周晓红,李晓君,郭健芬,等.一起胃肠镜终末漂洗水微生物检测超标事件的干预处置报告[J].中国消毒学杂志, 2022(003):039.
- [2] 孙渭歌,程慧娟,席丽娟,等.靶向高通量测序技术在纤维支气管镜引发的龟分枝杆菌医院感染暴发事件调查中的应用[J].华西医学, 2025(3).
- [3] 江宁,钱子煜,黄钰亮,等.电解微酸性次氯酸水对口腔综合治疗台水路消毒效果观察[J].中国消毒学杂志, 2022(007):039.
- [4] 李云玲.口腔综合治疗台水路微生物污染情况调查分析[J].山东医学高等专科学校学报, 2023, 45(3):219-220.