

# 民用住宅室内空气污染物检测及污染特征分析

陈露

浙江新世纪工程检测有限公司 浙江 杭州 310015

**【摘要】**：民用住宅室内空气污染对健康构成威胁，了解污染物类型及分布特征是改善室内空气质量的关键。通过对典型住宅进行空气污染物检测，分析甲醛、挥发性有机物、颗粒物及二氧化碳等指标的浓度水平及分布规律。结果显示，不同房间及通风条件下污染物浓度存在明显差异，部分指标超过健康标准。结合数据统计与特征分析，明确了主要污染源及高风险区域，为有效调控室内空气质量提供科学依据。

**【关键词】**：室内空气污染；民用住宅；污染特征；空气质量；检测分析

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.079

## 引言

室内环境质量直接关系居住者健康，民用住宅中多种化学污染物与颗粒物长期积累，可能引发呼吸道疾病及过敏反应。不同建筑结构、装修材料及通风方式对空气污染物浓度和分布产生影响，但当前对住宅室内空气污染的特征系统分析仍有限。通过精确检测和数据分析，可以揭示污染物的种类、浓度水平及空间分布特征，为污染控制提供参考。识别高风险区域与主要污染源，有助于制定有效的空气改善策略，提升居民的居住环境安全性和舒适度。

## 1 住宅室内空气污染物类型及浓度特征

### 1.1 化学污染物分布及浓度水平

住宅室内化学污染物主要包括甲醛、挥发性有机物（VOCs）、苯系物及氨类物质，其浓度受装修材料、家具释放特性及空气流动方式影响显著。甲醛在木质家具和装饰板材释放过程中呈持续性扩散，形成室内空间浓度梯度，客厅和卧室的水平差异明显。VOCs种类繁多，苯、甲苯和二甲苯在空气中呈短时高峰并随温湿度变化而波动，厨房及储物间污染水平相对集中。检测结果显示，不同化学污染物浓度呈非均匀分布，部分指标在通风不良区域超过健康参考限值，提示化学污染在室内空气中呈动态演变特征。通过对各类化学污染物的空间与时间分布规律分析，可为精确控制和优化室内空气质量提供科学依据。

### 1.2 颗粒物与生物污染物检测分析

室内颗粒物以 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 为主，其浓度与室外环境渗入、室内活动强度及空气循环方式密切相关。高浓度颗粒物多集中于通风不足和空气滞留区域，形成局部污染“热点”，对呼吸道健康风险具有直接影响。生物污染物包括真菌孢子、细菌及尘螨颗粒，其浓度与室内温湿度条件及表面积尘量呈正相关，卧室和储藏室为生物污染物累积的关键空间<sup>[1]</sup>。颗粒物和生物污染物呈现时空波动特征，夜间和封闭空间浓度高峰明显，昼间通风改善后呈下降趋势。通过系统检测和特征分析，可揭示室内微粒及生物污染物的形成机制与扩散模式，为室内

空气净化策略提供数据支撑。

### 1.3 污染物在不同房间和环境条件下的差异

室内污染物浓度受房间功能、布局及通风条件影响显著，卧室、厨房和储物间呈现不同污染特征。卧室内化学污染物长期累积，温湿度适宜促进挥发物扩散，而颗粒物在空气流动缓慢区域停留时间长。厨房中烹饪活动产生的颗粒物和部分化学物质短时浓度高峰明显，通风系统效率低的房间污染水平持续升高。储物间由于空气交换受限，甲醛及VOCs积累突出，生物污染物如霉菌孢子呈高浓度集中状态。环境条件变化，如温度升高或湿度增加，会加速化学物质释放和微生物繁殖，形成空间污染梯度。对不同房间及环境条件下污染物的定量分析，可为分区治理和空气质量精细管理提供科学基础。

## 2 室内空气污染检测方法与分析流程

### 2.1 采样方案与监测设备选择

室内空气污染物采样方案需兼顾空间分布代表性和时间动态特征。采样点的布设应覆盖不同功能区，包括卧室、客厅、厨房及储物间，以反映各区域空气质量的空间差异，同时考虑风向、空气流动和通风口位置对污染物迁移的影响。采样时间应覆盖日间与夜间、不同活动状态及季节变化，以揭示污染物浓度的短期波动和长期累积特性。监测设备的选择需符合污染物种类及浓度范围要求，化学污染物采用高灵敏度气相色谱或光离子化检测器，颗粒物使用激光散射法或 $\beta$ 射线法测量，生物污染物通过空气采样器结合培养或分子检测方法实现精确计数。设备校准和维护需保证测量精度，采用自动化数据记录系统可实现连续监测并降低人为干扰。多参数协同采样策略与高精度设备结合，可为精细化分析室内空气污染物提供可靠基础，实现污染源识别和动态特征分析的科学目标。

### 2.2 污染物分析与数据处理方法

采集的室内空气样品需经过系统化分析以获得污染物种类、浓度及分布特征。化学污染物通过气相色谱-质谱联用或高效液相色谱实现组分分离与定量分析，颗粒物采用质量浓度与粒径分布联合检测，生物污染物结合培养法和分子生物学手段

获得多指标定量信息<sup>[2]</sup>。数据处理需建立统一数据库,将各类污染物浓度按空间和时间维度进行归一化处理,采用统计分析方法识别数据分布规律和异常点。进一步利用多变量分析、主成分分析及空间插值技术,对污染物浓度与环境条件、建筑特性及通风模式关系进行定量评估。时间序列分析可揭示短期波动和长期累积趋势,空间分析则可明确高风险区域和污染梯度。结合智能化数据处理与可视化技术,可实现污染特征直观呈现,为室内空气管理和污染控制提供精准决策依据,同时为未来室内环境优化和健康风险评估提供方法学支撑。

### 2.3 监测结果的可靠性与误差控制

室内空气污染监测结果的科学性依赖于数据可靠性和误差控制策略。监测过程中需建立标准操作规程,包括采样时间、采样流量及设备布设规范,以减少人为操作引入的偏差。设备定期校准及标准物质验证可控制系统性误差,连续采样与重复测量则可降低随机误差的影响。数据分析中采用异常值识别、数据滤波及统计显著性检验方法,可保证结果的可信度,并通过多点、多时段监测验证数据一致性。误差来源需分类管理,分别分析采样误差、设备精度限制、环境干扰及样品处理影响,形成误差评估模型。对不同污染物类型建立差异化控制策略,可实现对化学、颗粒及生物污染物监测结果的综合校正与验证。高标准的误差控制与数据质量管理体系,可为室内空气污染特征分析提供坚实的数据支撑,确保结论科学可靠,为后续空气治理策略制定提供精准依据。

## 3 主要污染源识别与影响因素

### 3.1 装修材料与家具释放污染物分析

室内装修材料和家具是主要化学污染物的来源,甲醛、苯、甲苯和挥发性有机物在新装修住宅中释放显著。木质板材、胶合板和装饰涂料中的胶粘剂及溶剂在温湿度适宜条件下持续释放有机化学物质,形成空气中浓度梯度。家具表面及内部构件的材料组成直接影响挥发速率,不同密度板材和油漆处理方式产生的污染物种类和浓度存在差异。空气流动模式与局部滞留区可改变污染物扩散路径,使部分房间出现高浓度累积。长期累积效应导致低浓度但持续暴露的状态,可能对室内空气整体质量产生潜在影响。通过对装修材料和家具释放特性的定量监测和分析,可精确识别污染源特征,为高效污染控制措施和材料选择提供科学依据。

### 3.2 通风条件对污染物浓度的影响

室内通风效率直接决定污染物的扩散、稀释及累积水平。自然通风受窗户布局、风速及温差影响,空气流动不均导致局部污染物滞留,形成浓度高峰。机械通风系统的风量、过滤效率及循环模式对室内污染物削减效果显著,不同系统设计对甲醛和 VOCs 浓度控制差异明显<sup>[3]</sup>。通风频率与持续时间对颗粒物浓度的动态变化产生直接作用,高效换气能够减少累积效应

并降低微生物滋生环境。空气流动路径与房间功能区相互作用,影响污染物在各空间的分布规律。通过对不同通风条件下的监测数据分析,可明确空气交换模式与污染物浓度的关系,为优化通风设计和空气质量改善提供科学依据和技术指导。

### 3.3 居民行为与日常活动对空气质量的作用

室内居民活动对空气污染物浓度产生明显影响,行为模式改变空气流动和污染物释放速率。烹饪、清洁及储物操作可能导致颗粒物和 VOCs 短时高峰,空气局部浓度快速上升。家居物品的移动、开关门窗以及通风系统调节均改变室内空气循环,影响污染物在各空间的分布与累积。衣物、书籍及纺织品释放的微量化学物质在封闭空间中长期累积,与环境温湿度共同作用,加剧空气污染特征。日常活动频率和强度与微生物污染水平呈正相关,湿度高、空气滞留区域微生物繁殖条件优越。通过分析居民行为模式与污染物浓度关系,可识别空气质量波动规律,为科学管理室内环境和制定针对性改善策略提供参考依据。

## 4 污染特征分析及空间分布规律

### 4.1 污染物在住宅不同区域的分布模式

住宅内污染物在空间上的分布呈现明显非均匀性,不同功能区的空气质量特征差异显著。卧室和客厅等长期使用空间甲醛及 VOCs 浓度持续累积,而厨房和储物间则呈现短时高峰,颗粒物浓度随活动频率和空气流动变化而波动。污染物在空间中扩散受气流模式、房间布局及家具阻挡影响,形成局部滞留区。高密度材料和低通风区容易形成污染积聚,导致水平和垂直方向浓度梯度明显。通过监测不同区域的空气质量数据,可识别污染物扩散路径及累积规律,为分区治理和精准控制提供科学依据,同时揭示空气污染在住宅空间内的动态分布模式,为室内空气优化提供定量参考。

### 4.2 高浓度污染区域特征及规律

住宅内高浓度污染区域通常表现为通风受限、空气滞留和污染源密集的空间。甲醛和 VOCs 在密闭或低气流房间持续释放并累积,颗粒物在厨房及活动频繁区域短时峰值明显<sup>[4]</sup>。空间温湿度变化显著影响污染物释放速率和扩散特征,高温高湿条件下化学物质挥发加快,微生物生长活跃。污染物在高浓度区域呈现局部累积趋势,形成污染热点,其水平与垂直分布特征受房间功能和布局约束。通过分析多空间监测数据,可以明确污染物累积机制及影响因素,为空气治理策略提供针对性指导,同时为改善局部空气质量和优化室内布局提供科学参考。

### 4.3 污染物时间变化趋势及关键因素

室内空气污染物浓度随时间呈动态变化,短期波动与长期累积共同作用。日间活动、烹饪和通风调整引起颗粒物和挥发性化学物质短时浓度峰值,而夜间低通风状态下污染物缓慢累积。季节性温湿度变化对化学物质挥发速率和生物污染物繁殖

速率具有显著影响,高温高湿环境促进 VOCs 释放和微生物生长,低温低湿则减缓挥发物释放。空气流动路径和房间使用模式对污染物浓度时序变化产生调节作用,不同区域污染物响应速度存在差异。通过长期动态监测和时间序列分析,可识别污染物浓度变化规律及关键驱动因素,为精细化控制和空气质量管理提供数据支撑与方法指导。

## 5 室内空气质量改善策略与效果评估

### 5.1 通风、空气净化及材料优化措施

室内空气质量改善应从通风效率、空气净化技术及材料选择三方面同步推进。高效自然通风与机械换气系统的组合能够增强空气流通,减少污染物在局部滞留区的累积,并维持空气流速均匀性以降低颗粒物和挥发性有机物浓度。空气净化设备通过高效过滤器、活性炭吸附及光触媒等技术,可精确去除室内化学污染物和微粒,实现污染物分级控制。装修材料和家具的优化包括低挥发性甲醛板材、环保涂料及绿色建材的使用,减少污染物源头释放。通风与净化系统结合优化材料选择,可形成多层次、可控的空气改善体系,既削减化学物质累积,也抑制微生物滋生,为室内空气持续改善提供可行性路径和科学依据。

### 5.2 改善措施对污染物浓度的影响分析

空气质量改善措施在不同空间和时间尺度下对污染物浓度呈现差异化影响。通风改善可快速降低室内甲醛和 VOCs 的瞬时浓度,颗粒物浓度随空气流动增强呈明显下降趋势,尤其在高滞留区域效果突出。空气净化设备对微粒和可吸入颗粒物

的去除效率在持续运行中保持稳定,而化学吸附和光触媒处理对低浓度 VOCs 具有累积抑制作用<sup>[5]</sup>。材料优化措施在长期运行中显著减少新污染物释放速率,降低整体累积水平。多措施协同应用产生的效果具有叠加性,可形成污染物浓度梯度下降和高峰削减的空间特征,为室内空气管理提供科学量化依据,实现改善措施效果的精细化评估。

### 5.3 综合评价与空气质量提升效果

通过系统监测和数据分析可对空气质量改善效果进行综合评价。多空间、多指标的空气质量数据经过标准化处理与时间序列分析,可量化各措施对甲醛、VOCs、颗粒物及生物污染物浓度的削减幅度及空间均衡性。污染物高峰期在持续改善下显示显著下降,空气质量分布趋于均匀。不同改善策略的综合作用不仅抑制了化学污染物释放,还优化了微生物生长环境,降低了长期累积风险。效果评价结果可指导通风系统调节、净化设备配置及材料选择的优化,形成科学的室内空气管理方案,为民用住宅空气质量持续提升提供数据支撑和可操作的技术路径。

## 6 结语

住宅室内空气污染物呈复杂的种类和空间分布特征,关键污染源包括装修材料释放、通风条件不足及室内活动引发的污染物浓度波动。空气质量改善措施如优化通风系统、空气净化与环保材料应用,可显著影响污染物浓度分布,并提升整体空气质量管理效果,为构建健康居住环境提供科学依据和策略建议。

## 参考文献:

- [1] 王媛媛.民用建筑室内环境空气污染物的检测分析[J].城市情报,2022(19):127-129.
- [2] 李璐,戴文婷,李建军,牛馨祎,李丽娟,张艺凡,苏慧,李丹,曹军骥.住宅室内空气羰基化合物的污染特征及健康影响[J].环境化学,2023,42(6):1813-1824.
- [3] 冷峻.基于空气污染分析的民用建筑室内环境检测技术[J].皮革制作与环保科技,2022,3(15):102-104.
- [4] 傅丛莲.基于空气污染分析的民用建筑室内环境检测技术研究[J].当代化工研究,2022(10):53-55.
- [5] 叶文浙.基于空气污染分析的室内环境检测技术[J].科学与信息化,2025(16):13-15.