

建筑室内环境污染物浓度检测与控制措施

聂凯敏

谷城县建设工程质量检测中心 湖北 襄阳 441700

【摘要】：针对民用建筑室内装修污染物超标、多污染物叠加形成复合型污染，进而危害人体健康、降低建筑使用性能的行业痛点，本文梳理国内三类室内环境检测标准，对比四种主流现场检测技术，明确标准化采样布点与质量控制规范，精准识别室内空气污染危害及叠加污染隐患。从源头材料管控、通风换气、末端净化三个维度，构建全流程室内污染物控制技术体系，同时制定治理后复测流程、超标溯源方案及闭环整改机制。研究结果表明，标准化检测搭配三级综合治理工艺，可有效消解室内复合型污染风险，规范复测整改流程能够保障空气质量持续达标，可为建筑室内空气环境管控提供完整技术参考。

【关键词】：建筑室内环境；污染物检测；空气污染；通风净化；闭环管控

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.042

引言

随着民用建筑装饰行业快速发展，各类装修建材释放的甲醛、苯系物、TVOC等污染物日益增多，密闭室内空间易形成多重污染叠加问题，严重威胁居住者与办公人员身体健康，同时影响建筑室内空间使用年限。现阶段室内环境检测存在标准选用混乱、检测技术选型盲目、采样质控不到位等问题，污染治理也存在重末端、轻源头，整改流程不完善等短板。基于此，本文系统梳理室内污染物检测标准与现场检测工艺，剖析污染物超标危害与复合污染隐患，搭建源头、通风、末端三位一体污染防控方案，并完善复测与闭环整改流程，为建筑室内空气质量规范化管控提供实操依据。

1 建筑室内环境污染物检测规范与检测方法

1.1 室内污染物检测依据标准划分

国内建筑室内环境污染物检测标准可按照使用场景与管控目的划分为工程竣工验收类、民用建筑日常运维检测类、单一污染物专项限值检测类三大类别。工程竣工验收类标准主要适配新建、改建及扩建民用建筑完工后的室内环境验收工作，针对住宅、办公楼宇、商业综合体等建筑划定强制验收浓度阈值，把控装修竣工阶段整体污染水平。民用建筑日常运维检测类标准面向投入使用后的建筑空间，结合室内通风时长、人员常驻密度动态调整污染物合格范围，适配长期人居空间的常态化检测需求^[1]。单一污染物专项限值检测类标准聚焦甲醛、苯系物、TVOC等危害程度较高的特征污染物，细化不同温度、湿度工况下的检测判定基准，弥补通用标准针对特殊环境检测精度不足的缺陷。

1.2 常用污染物现场检测技术对比

现阶段建筑室内环境常用现场检测方式涵盖光电光度法、电化学传感检测法、光离子化监测法、气相色谱快速检测法，光电光度法运行状态平稳，耐受粉尘与温湿度形成的环境扰动，甲醛测定结果趋近实验室基准数值，整机移动便利性偏弱，单次测定耗费时间偏久，电化学传感设备体型精简、信号反馈

迅速，适配大面积多点位摸排筛查，传感元件易受各类挥发性物质交叉干扰，长期使用逐步出现数值偏移问题。光离子化监测可全面测定总挥发性有机物，持续生成动态监测数据，无法对单一污染组分浓度做出独立判定。气相色谱快速检测具备最优测定精度，实现各类有机污染物有效拆分辨识，整套设备操作步骤繁琐，整体检测开支高于其余三类现场检测方案。各类技术差异化性能划定适用范围，现场工作人员依托实际监测需求匹配对应检测模式。

1.3 室内检测点位布设及采样质控要求

室内检测点位布设结合房间使用面积、空间层高、家具遮挡布局确定具体布点位置，封闭户型面积不足五十平方米设置单个检测点位，面积区间五十至一百平方米布设两组点位，超百平方米空间按照每五十平方米增设一处点位的规则排布测点，测点避开通风窗口、空调出风口、柜体背面等气流扰动与污染源遮挡区域，采样高度维持人体呼吸带零点八至一点五米区间。采样前密闭门窗时长严格遵循对应污染物规范限值，采样仪器提前完成流量校准与气密性校验，采样容器避光密封存放规避吸附干扰，同步记录环境温湿度、大气压强、现场密闭起止时间等原始参数，样品采集后即刻封装标识，转运过程隔绝高温暴晒，实验室分析同步设置空白对照样与平行双样抵消系统误差，全程留存原始台账满足检测溯源核查条件。

2 室内污染物浓度超标引发的环境及安全问题

2.1 超标污染物对人体健康的损伤机制

室内各类超标气态与颗粒污染物可通过呼吸道吸入、皮肤黏膜接触两大途径进入人体内部，不同污染物依托自身理化特性靶向攻击人体不同组织器官。甲醛具备强水溶性，可直接附着于呼吸道黏膜与眼结膜表层，持续破坏黏膜上皮细胞结构，诱发黏膜充血水肿与细胞变性坏死。苯系物可穿透人体血液循环屏障，侵入骨髓造血系统，干扰造血干细胞正常分裂分化流程，逐步破坏机体造血功能。TVOC会扰乱人体中枢神经递质分泌，破坏神经系统正常传导节律，引发神经功能紊乱。可吸

入颗粒物会沉积于肺部肺泡深处，阻碍气体交换，同时携带附着的有毒物质进入血液，加重肝肾代谢排毒负担，长期累积会造成脏器慢性器质性损伤。

2.2 污染物超标对建筑室内使用功能的影响

室内挥发性有机物、甲醛、苯系物与悬浮颗粒物超出限值后，会整体性耗损建筑室内预设使用效能，降低空间承载各类日常活动的适配基础，密闭办公区域不断累积各类污染组分，室内洁净水平随之下降，新风置换运转状态受到阻滞，整体空间达不到长时间伏案办公对应的环境使用要求，住宅户型卧室、客厅等核心活动区域出现污染物超标问题，原有舒适宜居的环境基底遭到破坏，休憩、睡眠对应的基础空间功能同步弱化。超标污染物质还会缓慢侵蚀木质柜体、墙面乳胶漆、织物软装等多种装修材料，加快装饰表层出现老化开裂、色泽褪变、表层脱落等损耗问题，装修构造整体可用年限随之缩减，建筑室内长期平稳运转的应用价值也会持续走低。

2.3 室内污染叠加带来的复合型环境隐患

室内空间密闭性较强，装修板材、墙面涂料、各类胶黏剂及软装布艺会长期持续释放甲醛、苯系物、TVOC、氨等多种气态污染物，各类污染物并非单独存在于室内空气中，极易产生交叉耦合作用，形成明显的污染叠加效应。即便单一污染物检测浓度符合限值标准，多种污染物协同作用仍会打破室内空气原有组分平衡，削弱人体呼吸道黏膜防护屏障，加剧污染物对人体呼吸系统、中枢神经系统的刺激与慢性损伤^[2]。密闭环境难以快速排出混合污染气体，污染物易吸附沉积在墙面、家具表面形成长效二次释放源，拉长室内污染净化周期。这类复合型污染隐蔽性突出，常规单一项目检测难以全面甄别混合污染隐患，长期隐匿在居住空间内持续累积，不断劣化室内人居环境品质，显著增加长期居住的环境健康风险。

3 建筑室内环境污染物专项控制技术措施

3.1 源头管控抑制污染物初始释放

工程施工阶段针对室内装修用材执行分级选材准入标准，优先选用无机环保基材、无醛添加板材、水性涂料及无溶剂胶黏剂等低挥发、低污染新型建材，严格限制高VOC溶剂型涂料、劣质人造板、非环保密封胶等高危污染材料投入室内施工场景。所有装修主材、辅材进场前统一开展第三方抽样复检工作，核验产品环保检测报告、有害物质限量合格证书，剔除检测数值超出国家室内装饰装修材料有害物质限量标准的不合格物料。建材仓储环节划分密闭专用仓储分区，人造板材、布艺软装、墙面腻子等易释放污染物材料分区架空堆放，保持仓储空间持续通风换气，避免材料密闭堆积造成有害物质提前富集。装修施工过程优化材料裁切、粘接、涂刷工艺，减少现场二次加工产生的粉尘与挥发性污染物，从材料生产、进场、存储到现场应用全链条阻断污染物初始释放路径。

3.2 通风换气削减室内污染物存量

结合建筑室内空间布局、污染物释放速率以及密闭空间密闭程度，针对性搭建自然通风与机械通风相结合的复合通风体系（见图1），依托空气对流置换作用持续稀释室内甲醛、苯系物、TVOC等气态污染物，逐步降低室内污染物累积浓度。针对大空间办公区域、密闭地下室、无外窗客房等无法实现有效自然通风的功能区域，匹配对应风量的机械排风设备与管道送风装置，依托定向气流组织，将墙体板材、地坪涂料、软装布艺持续释放的污染物直接输送至室外大气环境^[3]。根据室内温湿度变化动态调控通风设备运行档位，高温高湿环境下提升通风换气频次，规避温湿度升高加剧建材污染物挥发带来的浓度反弹问题。针对室内柜体夹缝、吊顶内部、卫生间死角等通风弱盲区，增设局部导流通风风口，消除空气滞留死角，避免污染物在局部空间聚集堆积，持续稳定降低整体室内污染物存量。

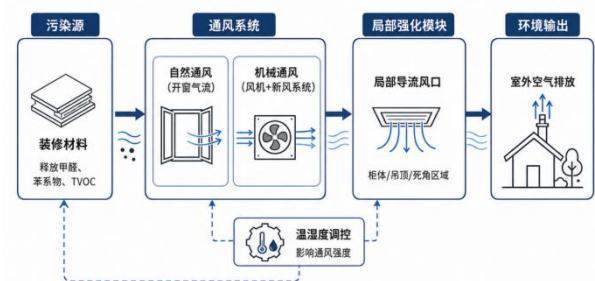


图1 室内空气污染物通风控制流程示意图

3.3 物理吸附与化学分解末端净化处理

物理吸附净化依托多孔介质吸附材料开展室内气态污染物截留治理，主流应用改性蜂窝活性炭、沸石分子筛、活性氧化铝复合型滤料，材料内部具备微米级贯通孔隙结构，依靠分子间范德华力持续捕捉空气中游离甲醛、苯系物、TVOC等有机挥发污染物，针对室内低浓度持续性散发的残留污染物具备稳定截留效果，可适配密闭办公空间、精装住宅等通风条件较差的室内场景。化学分解净化搭载光催化二氧化钛涂层、常温触媒分解模块，无需依托紫外强光即可在室内常温常态环境下，将吸附富集后的有机污染物彻底氧化分解为二氧化碳与水分子，杜绝吸附材料饱和后出现污染物二次脱附释放的问题。两种净化工艺组合配套安装于新风回风系统与室内独立空气净化设备内部，分层完成污染物吸附富集与无害化分解，精准弥补通风换气、源头材料管控前端治理手段的治理盲区，全面降低室内空气污染物瞬时浓度与日均累积浓度。

4 控制措施实施后的浓度复核与偏差整改

4.1 治理完成后污染物浓度复测流程

室内环境污染治理作业全部竣工之后,需要预留固定密闭静置周期,依据国标规范关闭建筑室内所有门窗、通风管道及新风系统,保持室内密闭环境持续12小时,还原建筑日常入住封闭工况。复测前期完成检测点位二次核验,结合室内户型格局、家具摆放位置、污染源集中区域,核对初检点位坐标与高度,保证前后检测点位完全一致,规避点位偏差带来的数据误差。检测设备开展开机自检与标准气体校准,确认分光光度计、大气采样仪等设备参数符合计量标准后开展现场采样工作^[4]。现场同步记录室内实时温度、相对湿度、大气压强等环境参数,所有样品采集完成后密封送检,依托实验室理化分析得出精准浓度数据,原始采样记录、环境工况数据与检测报告同步分类留存归档。

4.2 复测数据不合格成因排查分析

复测数据不合格成因排查需围绕检测条件、污染源变化、工况区别、环境干扰多维度展开。采样工况不一致为首要诱因,GB50325与GB/T18883在密闭时长(1小时、12小时)、布点位置、仪器校准上的差异,可造成同一空间甲醛检测数值偏差超30%。污染源释放强度动态变化同样显著,新增胶黏剂、软装织物、办公设备持续释放挥发性有机物,两千处办公场所监测数据表明,主要超标参数为总挥发性有机物(TVOC)和甲醛,超标率分别约为21%和15%,复测未清理临时污染源会叠加污染,遮蔽治理实际效果。通风系统工况不稳不容忽视,风口堵塞、新风供给不足易致污染物局部积聚。实验室检测差

异及温湿度对释放速率的影响,需借助空白平行样试验与现场温湿度台账交叉比对,方能精准锁定数据异常根源。

4.3 针对性整改优化及达标闭环处置

结合污染物复核超标数据、空间分布差异及污染源定位结论,依托室内功能分区、装修用材特性与通风结构制定差异化整改方案。甲醛、TVOC超标区域更换低效吸附材料,调试机械通风换气频率与新风配比,在柜体内部、墙体密闭缝隙等隐蔽污染源涂刷封闭阻隔涂层;苯系物、氨超标点位剔除残留劣质腻子、胶黏剂等污染源,搭配紫外催化装置实施局部专项净化^[5]。各项整改施工同步留存施工台账、设备运行参数及材料更换凭证,整改完毕后依照国家标准开展点位二次抽样复测,对比实测数据与限值要求,待所有点位污染物浓度稳定达标后,整理归档历次检测数据、整改资料与复测报告,实现室内污染物排查、治理、复检、归档的全过程闭环管控。

5 结语

建筑室内环境污染存在释放周期久、多污染物叠加、隐蔽性突出等特征,规范检测是把控室内空气质量、排查人居安全隐患的关键基础。运用标准化布点采样及适配现场检测技术,可精准判定污染物实际浓度,明晰污染超标对人体健康及建筑使用功能造成的负面影响。构建源头选材管控、复合通风置换、吸附分解末端净化协同的综合治理模式,全方位降低污染物释放与累积水平。辅以治理后复测核查及闭环整改机制,持续弥补治理薄弱环节,化解复合型污染隐患,为民用建筑竣工验收、日常运维阶段室内空气质量长效管控提供扎实技术保障。

参考文献:

- [1] 李文珠.民用建筑室内环境污染物检测存在的问题[J].石材,2024,(10):107-108+118.
- [2] 郭晶晶.民用建筑室内环境污染物检测存在的问题探讨[J].山西化工,2022,42(3):352-353+362.
- [3] 桑颖慧,李洋洋.民用建筑工程室内环境污染物检测系统设计与应用[J].山西建筑,2020,46(17):147-149.
- [4] 罗秋雪.学校建筑室内环境污染物检测方法标准研究[J].城市建设,2025,(18):98-100.
- [5] 吴茜茜.民用建筑室内环境污染物的检测及防治措施[J].中国住宅设施,2024,(3):7-9.