

室内环境检测中甲醛采样位置及控制技术探究

刘 飞

忻州市炬监工程质量检测有限公司 山西忻州 034000

摘 要: 城市化推进与居住品质提升使室内环境健康备受关注, 甲醛作为主要挥发性有机污染物, 超标问题已成为威胁人体健康的突出隐患。本文系统分析甲醛来源与扩散规律, 针对住宅、办公、特殊场所提出采样位置优化方案, 建立基于季节、时间等因素的动态调整机制, 同时从源头、物理、化学、生物维度梳理控制技术并构建协同治理体系。这些研究为室内甲醛精准检测提供科学依据, 有效提升治理效率与长效性, 为保障居民健康、改善室内人居环境质量提供有力支撑。

关键词: 室内环境检测; 甲醛; 采样位置; 控制技术; 污染治理

引言

《2024年中国室内空气健康白皮书》显示, 我国新装修住宅甲醛超标率达70%~80%, 长期接触超标甲醛会损害呼吸系统、神经系统, 甚至诱发恶性疾病, 世界卫生组织已将其列为I类致癌物。甲醛检测是污染治理的前提, 但采样位置不科学导致的“假达标”“假超标”现象频发, 市场上控制技术效果参差不齐也加剧了治理难题。精准确定采样位置、筛选适宜控制技术, 对提高检测准确性、推动治理规范化、保障居民健康具有重要现实意义, 也是当前室内环境治理领域的迫切需求。

1 甲醛采样的基本原理与技术要求

室内甲醛采样主要采用固体吸附法与溶液吸收法, 其核心原理是通过吸附剂或吸收液捕获空气中的甲醛分子, 再利用分光光度法进行定量分析。根据GB 50325-2020要求, 甲醛采样需满足: 采样点距房间地面高度0.8m~1.5m, 距房间内墙面不应小于0.5m, 并应避开通风道和通风口; 采样时间不少于20min, 采样流量控制在1.0L/min; 采用自然通风时, 对甲醛、氨、苯、甲苯、二甲苯和TVOC浓度检测时, 应在对外门窗关闭1h后进行。民用建筑工程验收时, 应抽检每个建筑单体有代表性的房间室内环境污染物浓度, 抽检量不得少于房间总数的5%, 每个建筑单体不得少于3间, 当房间总数少于3间时, 应全数检测。但现有标准仅规定了基础采样要求, 未充分考虑不同室内空间的功能差异、污染源分布等因素, 导致实际采样中存在数据代表性不足的问题。例如住宅卧室的衣柜旁与客厅中央浓度差异明显, 办公区文件柜密集处与过道的污染程度也不相同, 统一化采样易

遗漏高浓度区域, 无法为后续治理提供精准的数据支撑, 亟需针对性优化采样方案^[1]。

2 不同室内空间的采样位置优化方案

2.1 住宅空间采样位置优化

住宅空间功能分区明确, 污染源分布具有显著差异性, 优化采样位置需严格遵循《民用建筑工程室内环境污染控制规范》的基本要求, 紧密结合各房间实际使用功能与人体主要活动轨迹进行科学布点。卧室作为人员长时间停留的区域, 采样点应按照规范要求距内墙面不小于0.5米、高度在0.8~1.5米的呼吸带范围内设置, 具体点位需重点考虑木质衣柜、复合木地板及床垫等主要污染源的影响, 可在距衣柜门或侧墙约0.5~1米处设置点位捕捉污染源释放特征, 在床头附近人员长期停留区域设置代表性点位, 同时在房间中央或对角线交点设置参考点位以反映整体浓度水平, 若卧室面积超过50平方米则应按规范要求增设采样点以确保数据的代表性。客厅空间相对开阔, 采样点应均匀分布且避开通风口, 围绕沙发、电视柜、地毯等潜在污染源进行布设, 在人员常坐位置附近设置核心监测点, 在主要家具前方适当位置设置辅助监测点, 在空间过渡区域设置补充监测点, 形成完整的空间覆盖网络。厨房环境具有高温高湿特性, 可能加速橱柜等板材中甲醛的释放, 采样点应设置在橱柜密集区域附近但需避开油烟直接干扰, 同时在厨房中央和靠近门窗处分别设点以全面了解空间浓度分布特征和通风影响, 所有采样点的布设均需确保在检测前按要求封闭相应时间, 且保持固定式家具处于正常使用状态, 从而获得真实可靠的室内甲醛浓度数据^[2]。

2.2 办公空间采样位置优化

办公空间因其开放式布局、人员流动频繁及通风系统复杂等特点, 采样位置优化需依据国家标准并结合空间功能特性与污染源分布规律进行系统设计。开放式办公区可考虑以 20-30 平方米为一个采样单元, 按照规范要求的布点原则在办公桌上方 0.5-1.5 米高度的人员操作呼吸带设置监测点, 在文件柜集中摆放区域设置污染源监测点, 在空调送风口或回风口附近设置通风影响监测点, 通过这些点位的合理配置形成对工作区域空气质量的全方位评估。独立办公室的采样布局应重点考虑木质办公家具、壁柜等固定污染源的分布特征, 在办公桌前人员主要工作区域设置核心监测点, 在沙发休憩区设置辅助监测点, 在房间角落或靠近书柜处设置补充监测点, 所有点位均需满足距墙面不小于 0.5 米、高度在呼吸带范围的基本要求, 以确保采集的数据能真实反映工作人员在不同活动区域的甲醛暴露水平。会议室作为人员密集且使用时间集中的特殊空间, 采样点应设置在会议桌中央区域的人员聚集核心区、投影设备柜等潜在污染源附近以及门口通风区域, 采样时间可根据实际使用特点安排在会议活动时段内或结束后短时间内进行, 以获取最贴近实际使用状态的浓度数据, 同时需注意避开通风口和确保采样前空间的规范封闭, 从而为办公环境健康风险评估提供准确可靠的数据支撑。

2.3 特殊场所采样位置优化

幼儿园、医院等特殊场所的使用人群对甲醛更为敏感, 采样位置优化必须突破常规标准, 紧密结合特殊人群的生理特点与活动范围来确定点位布设细节。幼儿园采样点高度充分适配儿童 0.5 - 1.0m 的呼吸带范围, 将其调整至 0.7 - 0.9m, 这个高度能精准捕捉儿童实际吸入的空气浓度; 采样点重点设置在教室玩具柜附近的污染源区、午睡区床位中央的人体停留区及儿童日常活动区, 每个教室的采样点数量保证不少于四个, 实现全方位覆盖。医院病房的污染源包括木质病床、医疗器械及消毒剂, 采样点设置在病床床头距地面零点八米处, 这个位置对应患者卧床时的呼吸区域, 同时在病房门口及卫生间门口各设一个采样点; 布设过程中特意避开医疗设备, 防止其对采样过程造成干扰, 确保最终获取的数据能真实反映患者实际接触的甲醛浓度。

2.4 采样位置的动态调整策略

室内甲醛浓度会随温度、通风等环境因素呈现动态波

动, 采样位置优化不能采用固定模式, 必须建立基于环境条件变化的动态调整机制以保证数据准确性。季节变化时, 夏季高温高湿的环境会加速甲醛释放, 工作人员在污染源附近额外增设采样点以捕捉升高的浓度; 冬季供暖期室内密闭性增强, 通风效果减弱, 采样点则向窗户附近调整, 以此反映通风对浓度的稀释作用^[3]。时间维度上, 新装修房屋在装修完成一周内甲醛释放最为剧烈, 采样点按每十平方米一个的标准密集布置; 装修完成一个月后释放速率趋于稳定, 采样点可按常规方案布设。通风状态调整方面, 检测前按标准要求关闭门窗十二小时, 若需对比通风效果, 开窗通风三十分分钟后在门窗附近增设采样点, 通过前后数据差异呈现通风的净化作用。

3 室内甲醛控制技术的分类与应用探究

3.1 源头控制技术: 甲醛污染治理的根本手段

在室内甲醛污染治理体系中, 源头控制技术凭借经济高效的核心优势占据根本地位, 该技术以削减甲醛释放源数量、降低释放强度为核心目标, 需贯穿材料选用至施工落地的全流程。工作人员选用环保材料时, 优先采用无醛胶黏剂生产的人造板材、水性涂料及天然壁纸, 严格参照绿色建筑评价标准, 将住宅室内人造板材用量控制在每人五平方米以内, 且确保材料达到 E0 级环保要求^[4]。针对人造板材这类重点污染源, 工作人员在其表面均匀涂刷甲醛封闭剂, 通过形成致密保护膜阻断甲醛挥发路径, 经实验验证这种预处理方式能使板材甲醛释放速率降低 60% - 80%, 保护效果可维持一至两年。同时推动家具企业优化生产工艺, 通过改良胶黏剂配方、提升板材压制温度等举措实现无醛添加生产, 国内头部企业已据此实现量产, 其产品甲醛释放量稳定在 0.02mg/m³ 以内, 远优于 0.07mg/m³ 的国家标准。

3.2 物理控制技术: 高效捕获与分离甲醛

3.2.1 吸附技术

作为物理控制技术中应用最广泛的分支, 吸附技术以材料自身孔隙结构捕获甲醛分子, 其核心在于通过技术改良提升吸附性能并规避传统材料缺陷, 工作人员需精准掌握材料选择与使用要点以保障效果^[5]。普通活性炭虽成本低廉但吸附容量有限, 吸附饱和后易出现甲醛二次释放问题, 工作人员当前更倾向采用改性活性炭, 这类材料通过在表面负载纳米二氧化钛或分子筛, 吸附容量与选择性得到显著提升。硅藻泥、沸石等天然矿物材料也常被选用, 它们可直接作为

墙面装饰材料实现边装饰边净化。工作人员根据室内面积确定用量,活性炭用量为 $1\text{--}2\text{kg}/10\text{m}^2$,普通活性炭每月更换一次,改性活性炭则 $2\text{--}3$ 个月更换一次,更换间隙可将材料置于阳光下晾晒以部分恢复吸附能力。

3.2.2 通风换气技术

通风换气技术凭借成本低廉、操作简便的优势成为物理控醛的基础手段,该技术通过构建合理气流组织加速室内外空气交换,工作人员需结合季节特点与室外环境制定针对性通风方案。室外空气质量良好时优先选择自然通风,工作人员开窗通风 30min 就能使室内甲醛浓度降低 $50\%\text{--}70\%$;室外污染严重或空间密闭时则采用机械通风,安装新风系统实现 24h 持续净化,住宅用新风系统需满足风量不低于 $150\text{m}^3/\text{h}$ 、甲醛过滤效率不低于 85% 的指标。夏季高温环境下,工作人员采用白天关窗降温、夜间开窗通风的模式,避免高温加速甲醛释放;冬季则实施短时间多次通风策略,每次通风 $10\text{--}15\text{min}$ 以减少热量流失,通风时配合使用风扇引导气流,加速甲醛向门窗方向聚集扩散

3.3 化学控制技术:彻底分解甲醛分子

3.3.1 光触媒技术

在化学控制技术体系中,光触媒技术凭借长效分解甲醛的突出优势占据重要地位,该技术以催化剂激发化学反应将甲醛转化为无害物质,工作人员需掌握材料升级要点与施工规范以保障治理效果。光触媒技术核心材料为纳米二氧化钛,传统材料需依赖紫外线照射才能产生强氧化性羟基自由基分解甲醛,催化剂本身不消耗可长期起效,但室内紫外线不足常限制其作用发挥。工作人员当前多选用可见光响应型光触媒,这类材料通过在纳米二氧化钛中掺杂氮或碳元素拓展响应波长至可见光区域,在室内自然光环境下就能高效启动反应。施工时工作人员采用墙面喷涂方式作业,确保涂层均匀覆盖污染源表面,将涂层厚度严格控制在 $5\text{--}10\mu\text{m}$,新装修住宅采用该方式后, 72h 内甲醛浓度可从 $0.21\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$,6个月后浓度仍稳定在安全范围。

3.3.2 化学试剂分解技术

化学试剂分解技术以反应速度快的特性成为甲醛应急治理的优选方案,该技术通过试剂与甲醛定向反应实现污染去除,工作人员需精准选择试剂类型并控制用量以规避二次风险。工作人员常选用氨基化合物或二氧化氯两类试剂,氨基化合物中的尿素、乙二胺能与甲醛结合生成稳定氮杂环化

合物,整个过程无二次污染产生;二氧化氯则依靠强氧化性将甲醛先氧化为甲酸,进而分解为二氧化碳与水。使用氨基类除醛剂时,工作人员采用喷雾方式对污染区域进行处理,某甲醛浓度为 $0.18\text{mg}/\text{m}^3$ 的办公室经该方式处理后, 2h 内浓度便降至 $0.07\text{mg}/\text{m}^3$ 。工作人员严格控制试剂用量,避免过量使用产生刺激性气体,处理完成后还需开窗通风 2h ,彻底消散可能残留的试剂气味。

3.3.3 催化氧化技术

催化氧化技术作为化学控醛的高效分支,通过催化剂在温和条件下驱动甲醛氧化反应,该技术因净化效率高且无二次污染,常被集成于各类空气净化设备,工作人员需关注催化剂选型与应用场景匹配。工作人员选用铂、钯等贵金属或过渡金属氧化物作为催化剂,这些材料能在常温或低温环境下促使甲醛氧化为水和二氧化碳,特别适用于新风系统与空气净化器的核心净化模块。近年来纳米钯与二氧化钛复合催化剂应用日益广泛,这类催化剂在室温环境下对甲醛的去除率能达到百分之九十九以上,使用寿命可延长至 2000h 以上,已实现规模化工业生产与设备集成,为密闭空间持续净化提供稳定技术支撑。

3.4 生物控制技术:绿色环保的净化手段

3.4.1 植物净化技术

在生物控制技术体系中,植物净化技术以绿色环保、兼具装饰性的特点成为室内甲醛治理的辅助优选,该技术依托植物生理代谢过程实现甲醛转化,工作人员需科学选择植物种类并规范布置以发挥最佳效果。部分植物可通过叶片气孔主动吸收空气中的甲醛,吸收后的甲醛在植物体内经代谢作用转化为有机酸、糖类等无害物质。工作人员优先选用绿萝、吊兰、常春藤等净化效果突出的植物,考虑到植物净化效率有限,工作人员将其定位为辅助治理手段,按每 10m^2 空间放置 $2\text{--}3$ 盆冠幅 30cm 以上植物的标准布置,同时搭配通风措施提升整体净化效果。

3.4.2 微生物净化技术

微生物净化技术借助特定菌株的代谢功能实现甲醛彻底降解,该技术在低浓度污染治理中优势显著,工作人员需完成菌株筛选、载体固定等关键步骤以构建高效净化系统。工作人员以假单胞菌、芽孢杆菌等甲醛降解菌为核心,这些菌株能将甲醛作为生长所需碳源,通过自身代谢将其分解为二氧化碳与水。技术实施时,工作人员先筛选出降解效率高

的菌株，再将其固定在活性炭或陶粒等载体上，制成便于使用的生物净化装置。这类装置对甲醛的去除率可达85%以上，在0.05–0.1mg/m³的低浓度环境中仍能稳定起效，有效弥补化学技术在该浓度区间的治理短板。

4 结束语

室内甲醛治理需兼顾检测精准性与技术适配性，文章提出的采样位置优化方案与多技术协同策略，为污染治理提供了系统解决方案，有效破解了单一技术局限与检测数据失真问题。未来室内甲醛治理领域应向智能化、高效化方向发展，需加快研发物联网智能采样设备实现精准采样，攻克新型高效催化剂与吸附材料以提升治理效能。同时应完善细分空间治理标准，加强环保宣传引导，构建政府监管、企业研发、居民参与的协同体系，共同推动室内人居环境品质持续

提升。

参考文献：

- [1] 李亚河. 室内环境检测中甲醛采样位置及控制技术探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024,5(24):150–152.
- [2] 王翠桦. 我国民用建筑室内环境检测的发展现状 [J]. 中华建设, 2021,(08):114–115.
- [3] 王斌. 室内环境检测的影响因素分析与控制研究 [J]. 房地产世界, 2021,(01):123–125.
- [4] 高燕哺, 吉军凯, 张敏利, 等. 室内环境检测的常见问题分析和防治措施 [J]. 化工管理, 2020,(18):39–40.
- [5] 蔡昱. 室内环境检测中甲醛采样位置和控制对策探讨 [J]. 建材与装饰, 2019,(21):48–49.