

建筑施工施工现场扬尘污染控制技术与措施研究

胡佳俊

安福县建筑工程质量检测中心 江西吉安 343000

摘 要: 建筑施工扬尘是城市大气颗粒物污染的主要来源之一,对空气质量、人体健康及生态环境造成严重影响。本文针对建筑施工全过程的扬尘产生特点,系统分析了扬尘污染的主要来源与影响因素,从源头控制、过程管控、末端治理三个维度,深入探讨了各类物理、化学及管理控制技术的原理、应用效果及局限性。研究表明,单一控制技术难以达到理想效果,需结合工程实际,构建“源头减量-过程阻断-末端净化-智能监管”的综合防控体系。通过优化施工工艺、采用新型环保材料、应用高效降尘设备、强化管理制度及引入智慧监测手段,可显著降低施工现场扬尘排放。最后,本文提出了未来扬尘控制技术的发展方向,为建筑行业绿色施工与可持续发展提供理论参考与技术支持。

关键词: 建筑施工; 扬尘污染; 控制技术; 综合措施; 绿色施工

引言

随着我国城市化进程的快速推进,建筑施工活动日益频繁,由此产生的扬尘污染问题愈发突出。施工现场扬尘主要包括施工扬尘、材料堆放扬尘、运输扬尘等,其主要成分为PM_{2.5}、PM₁₀等可吸入颗粒物,不仅降低大气能见度,影响城市形象,更会引发呼吸道疾病、心血管疾病等健康风险,对生态环境和人体健康构成双重威胁。近年来,国家及地方政府相继出台了《大气污染防治行动计划》《建筑施工场界环境噪声排放标准》等一系列政策法规,对施工现场扬尘控制提出了更为严格的要求。因此,深入研究建筑施工扬尘污染的产生机制,开发并应用高效、经济、可行的控制技术与措施,对于改善城市空气质量、保障公众健康、推动建筑业绿色转型具有重要的现实意义和理论价值。

一、建筑施工扬尘污染的来源与影响因素分析

(一) 扬尘污染的主要来源

建筑施工全过程均可能产生扬尘,其主要来源可归纳为以下几个方面。土方作业阶段,包括场地平整、基坑开挖、土方回填等工序,是扬尘产生量最大的环节之一。裸露地表在机械扰动、风力作用下极易产生大量扬尘。结构施工阶段,混凝土搅拌(若现场搅拌)、模板拆除、钢筋加工、脚手架搭设与拆除等作业过程中,建筑材料的碰撞、摩擦和切割会产生粉尘。装饰装修阶段,墙面打磨、地面找平、涂料喷涂、石材切割等工序会产生大量细微粉尘,且此类粉尘粒径较小,更易悬浮于空

气中^[1]。建筑材料堆放与运输过程中,砂石、水泥、石灰、渣土等易扬尘材料的露天堆放,在风力作用下会产生扬尘;材料在装卸、运输过程中,若覆盖不严或道路颠簸,也会造成扬尘散落。施工车辆行驶是另一重要来源,施工现场内及出入口道路因车辆行驶碾压,会使路面积尘二次扬起,尤其是在干燥天气条件下更为严重。

(二) 扬尘污染的主要影响因素

建筑施工扬尘的产生与扩散受多种因素综合影响。气象条件,如风速、风向、温度、湿度及降水等,直接影响扬尘的扩散范围和浓度。风速越大、湿度越小、温度越高,扬尘越易产生和扩散;降水则可有效抑制扬尘。施工工艺与管理水平同样关键,落后的施工工艺、不规范的作业行为(如无降尘措施的土方开挖)、缺乏有效的管理制度(如车辆未冲洗、材料未覆盖)等,均会导致扬尘污染加剧。物料特性也显著影响扬尘产生量,建筑材料的粒径、密度、含水率等物理特性中,粒径越小、密度越低、含水率越低的物料,越易产生扬尘。施工机械的作业强度和数量也不容忽视,大型施工机械(如挖掘机、推土机)的作业强度越大,扬尘产生量通常越多。此外,周边环境如地形地貌、建筑物布局及绿化程度等,会影响扬尘的扩散路径和沉降速率。

二、建筑施工扬尘污染控制技术

(一) 源头控制技术

源头控制是减少扬尘产生的根本途径,需采取措施从源头上降低粉尘产生量。优化施工工艺,推广预拌混凝土、预拌砂浆,减少现场搅拌作业;采用液压破碎锤

代替传统爆破进行基坑开挖。应用新型环保材料,选用低扬尘建筑材料,对易扬尘材料进行预处理^[2]。为确保施工现场的环境保护措施落实到位,必须对场地内所有裸露的地面及开挖的土方进行及时有效的防尘处理。在易产生大量扬尘的作业前,对作业面充分洒水预湿。

(二) 过程控制技术

过程控制旨在通过物理、化学方法在扬尘扩散过程中拦截、降尘,阻止其向外扩散。在土方作业等过程中,定期对作业面、道路洒水,遵循“少量多次”原则,可采用人工或自动喷淋系统。雾炮机适用于大面积、高浓度扬尘区域。施工现场设置连续封闭围挡,脚手架外侧满挂密目安全网。出入口设置车辆冲洗平台,运输易扬尘物料的车辆采用密闭式或覆盖篷布。装饰装修阶段的局部高浓度扬尘作业,采用局部排风罩收集粉尘并净化处理。

(三) 末端治理技术

末端治理是对已扩散到空气中的扬尘进行净化处理,是控制扬尘外排的最后一道屏障。在塔吊大臂上安装喷淋装置,可自动喷淋;沿围挡内侧或顶部设置喷淋管道和喷头形成水幕。封闭或半封闭作业空间采用移动式空气净化器等轴流风机配合滤网净化空气^[3]。安排专人清扫施工现场及周边道路,优先人工清扫配合洒水,条件允许时采用吸尘车清扫。

三、建筑施工扬尘污染管理措施

(一) 建立健全扬尘控制管理制度

施工单位需制定系统性扬尘污染防治专项方案,细化项目部、施工班组及各岗位人员的扬尘管控职责清单,将扬尘治理要求融入施工组织设计与日常管理流程。严格实施扬尘控制责任制,逐级签订目标责任书,明确考核指标与奖惩措施,将扬尘治理成效与部门绩效、个人薪酬直接挂钩^[4]。针对大风、持续干旱、高温低湿等极端气象条件,制定分级应急预案,预设雾炮增湿、裸土覆盖、临时停工等强化降尘措施,确保应急响应快速有效。

(二) 加强施工过程监管

定期组织施工人员开展扬尘防控专项培训与技术交底,通过案例教学、现场演示等方式提升其环保意识与规范操作技能。设立专职扬尘巡查小组,配备便携式监测设备,每日对施工现场出入口、材料堆场、土方作业区等关键区域进行巡查,详细记录降尘措施落实情况,建立问题整改台账并跟踪闭环。监理单位应将扬尘控制纳入日常监理细则,加大旁站监督频次,对未按方案施工的行为及时签发监理通知单,督促限期整改^[5]。

(三) 智慧化监测与预警

全面部署扬尘在线监测终端,实时采集PM_{2.5}、PM₁₀浓度、TSP值、风速风向、空气湿度及噪声等环境参数,数据通过5G网络实时上传至市级扬尘监管平台,实现多维度数据可视化分析。设置三级预警阈值,当监测值超限时,系统自动通过短信、平台弹窗向项目经理、环保负责人发送预警信息,同步触发现场雾炮联动降尘装置。结合高清视频监控系统,对施工扬尘重点区域进行24小时动态监控,实现“数据监测+视频复核”的智慧化监管闭环。

(四) 强化外部监督与公众参与

主动对接生态环境部门,定期报送扬尘治理方案与监测数据,积极配合专项执法检查,对提出的整改要求制定专项落实方案。在施工现场主出入口设置电子公示屏,实时滚动公示当日扬尘监测数据、治理措施及负责人联系方式,接受社会公众监督。开通24小时扬尘举报热线与微信小程序举报通道,对有效举报线索给予奖励,鼓励施工人员、周边社区居民参与扬尘治理监督,构建“政府监管+企业自治+公众监督”的多元共治格局。

四、综合防控体系构建与案例分析

(一) 综合防控体系的构建思路

建筑施工扬尘污染控制应遵循“预防为主、防治结合、综合治理”的原则,构建“源头减量-过程阻断-末端净化-智能监管”的综合防控体系。该体系以源头控制为核心,过程控制为关键,末端净化为保障,智能监管为手段,实现对扬尘污染的全过程、全方位控制。通过各环节技术与措施的优化组合,形成协同效应,最大限度降低扬尘排放^[6]。

(二) 工程案例分

以北京城市副中心某超大型建筑群项目(总建筑面积56万m²,含12栋高层建筑及地下综合管廊)为例,该项目地处人口密集区,对扬尘控制要求严苛,应用综合防控体系后成效显著:

1. 源头控制

100%使用预拌混凝土(替代现场搅拌,减少水泥扬尘90%)和预拌砂浆,砂石料采用封闭料仓储存(料仓内PM₁₀浓度控制在0.5mg/m³以下);

对2.8万m²裸露土方全覆盖2000目防尘网(覆盖率100%),并定期洒水保湿(含水率维持在15%-20%);

施工主干道采用20cm厚C30混凝土硬化(抗压强度≥30MPa),辅道铺设钢板(接缝处密封处理,减少缝隙扬尘)。

2. 过程控制

基坑开挖（深度12m）时，配置4台全自动雾炮机（覆盖半径30m），与扬尘监测仪联动（ $PM_{10} \geq 0.5mg/m^3$ 时自动启动），每小时喷淋15分钟；

塔吊大臂安装智能喷淋系统（射程50m），根据实时风速（ $\geq 3m/s$ 时增强喷淋频率）自动调节，每天喷淋覆盖面积达8万 m^2 ；

出入口设置三级冲洗平台（冲洗压力8MPa），配备水循环系统（日节水30t），确保车辆轮胎、底盘冲洗合格100%；

—装饰装修阶段，墙面打磨采用带集尘装置的电动砂纸机（粉尘收集率 $\geq 95\%$ ），石材切割区设置封闭防护罩（内置布袋除尘器，净化效率99%）。

3. 末端治理

2.5km围挡顶部安装旋转喷头（间距5m），形成1.5m高水幕（水压0.3MPa），拦截边界扬尘（围挡外 PM_{10} 浓度较内侧降低60%）；

地下车库施工区配置10台移动式空气净化器（CADR值 $\geq 300m^3/h$ ），使地下空间 $PM_{2.5}$ 浓度控制在0.075 mg/m^3 以下；

每日早晚采用吸尘车（吸力20kPa）配合人工洒水清扫，路面积尘负荷控制在5 g/m^2 以下（传统清扫方式为25 g/m^2 ）。

4. 管理措施

安装8套在线监测设备（监测频率1次/分钟），数据实时上传至北京市扬尘监管平台，超标（ $PM_{10} \geq 0.8mg/m^3$ ）时15分钟内响应；

配备6名专职扬尘巡查员，建立“问题—整改—复查”闭环台账（日均整改问题2—3项）。

该项目施工期间，场界 PM_{10} 平均浓度为0.42 mg/m^3 ，较北京市建筑施工场界标准（0.8 mg/m^3 ）降低46%，周边敏感点（500m内居民区） PM_{10} 浓度较项目开工前仅上升5%，获评“北京市扬尘治理示范项目”，其技术方案被纳入《绿色施工导则》地方实施指南。

结语

建筑施工扬尘污染的控制是一个复杂而系统的工程，需要从技术、管理、监督等多个层面进行综合施策。本

文通过对建筑施工扬尘污染源、影响因素及控制技术的全面分析，进一步验证了“源头减量—过程阻断—末端净化—智能监管”综合防控体系的科学性与可行性。实践表明，该体系不仅能有效降低施工现场扬尘排放，还能显著提升施工企业的环保管理水平，为绿色施工的推广提供了有力支撑。

未来，随着科技的进步和环保要求的不断提高，建筑施工扬尘污染控制技术将朝着更加智能化、精细化的方向发展。例如，基于人工智能和大数据的预测模型可以提前识别高风险扬尘时段；新型纳米材料的应用可能大幅提升防尘网和喷淋系统的效率；无人化设备的普及将进一步减少人为操作带来的不确定性。同时，政策法规的完善和社会公众环保意识的增强也将为扬尘治理提供更为有利的外部环境。

总之，建筑施工扬尘污染控制不仅是改善城市空气质量的重要举措，更是推动建筑业绿色转型的关键环节。通过持续的技术创新、管理优化和多方协作，我们有理由相信，未来的建筑施工将更加环保、高效，为实现可持续发展目标贡献更大力量。

参考文献

- [1] 崔冬冬, 薛海涛, 于振波. 城市扬尘污染控制技术[J]. 科学技术创新, 2020(1): 2. DOI: CNKI: SUN: HLKX.0.2020-01-011.
- [2] 韦古强, 胡从川, 李忠春. 基于物联网技术的集团化建筑工地环境监测及控制方法研究[J]. 环境科学与管理, 2022, 47(1): 129-133.
- [3] 郭秀秀. 建筑施工扬尘对生态环境的污染及整治措施研究[J]. 环境科学与管理, 2021. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2021.09.029.
- [4] 秦建新, 朱柯颖, 吴涛, 等. 长沙市城区施工扬尘和土壤扬尘污染时空特征研究[J]. 中国环境监测, 2020, 36(4): 11. DOI: 10.19316/j.issn.1002-6002.2020.04.09.
- [5] 杨森. 浅谈城市建筑施工扬尘污染治理现状及应对措施[J]. 轻松学电脑, 2021, 000(012): P.1-2.
- [6] 何子睿, 辛辉云, 刘广东. 绿色建筑工地污染物排放控制与治理研究[J]. 环境科学与管理, 2022(047-001). DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2022.01.024.