

高层建筑爬架喷淋养护与扬尘一体化施工技术应用

卢 明 曹 洪

安徽建工三建集团有限公司 安徽 合肥 230000

摘 要：爬架喷淋养护系统将混凝土保湿养护与施工扬尘治理两项功能集成于附着式升降脚手架平台，构成高层建筑外立面施工的一种集约化技术方案。研究围绕系统设计、工程验证与效能评价三条主线展开，在爬架各层走道板下方布设雾化喷淋管网，依托自动控制模块实现养护周期的精确执行与扬尘响应的联动触发。通过施工现场多工况条件下的系统运行测试，获取了混凝土表面湿度变化规律、环境因素干扰程度及喷淋覆盖均匀性等关键工程参数。结果表明，该系统可使混凝土表面维持养护规范要求的湿度水平，养护期构件外观无明显可见裂缝，施工区域扬尘浓度得到有效抑制，养护用水效率显著优于传统漫灌方式。爬架喷淋养护系统具备工程推广的可行性与实用性，为高层建筑混凝土养护与扬尘协同治理提供了一条高效低耗的技术路径。

关键词：爬架；喷淋养护；扬尘控制；一体化技术；高层建筑

引言

高层建筑外墙混凝土养护长期受制于作业面高悬、人工洒水不均及气候条件干扰等现实困境，传统方法难以保证养护连续性与覆盖完整性。附着式升降脚手架随结构逐层攀升的空间特征，为固定喷淋网络的布设提供了天然载体。本文探索将混凝土保湿养护与施工扬尘抑制两项功能集成于爬架平台，借助自动控制手段实现养护作业与结构升层同步推进，旨在解决外立面养护盲区多、用水效率低的问题，为高层建筑施工质量管控提供可行的技术路径。

1 爬架喷淋养护系统设计与集成

1.1 喷淋系统总体架构与爬架平台适配性设计

附着式升降脚手架随主体结构逐层攀升的空间动态特征，为固定式喷淋网络的敷设提供了天然的结构依托条件。爬架架体由竖向主框架、水平支承桁架以及多层走道板构成，各层间高度与建筑层高基本一致，上下贯通的空间格局允许供水主管沿架体两侧竖向布置，各层横向支管水平延展覆盖每一作业面。喷淋系统设计需兼顾养护覆盖范围、雾化效果与爬架安全升降的多重要求，供水主管采用镀锌钢管固定于架体竖向主框架内侧，沿爬架全高分段设置截止阀与分支接口，支管敷设于各层走道板下缘并通过卡箍紧固，避免干扰架体升降过程中导轨与附墙支座的运行轨迹^[1]。喷嘴选型方面，大角度扇形雾化喷头能够在较低工作压力下形成粒径均匀的细密水雾，水雾在重力作用下缓慢沉降并附着于混凝土外露面，有效规避高压直射水流对初凝阶段混凝土

表面造成冲刷损伤的风险。

1.2 供水增压系统的参数匹配与运行稳定性控制

高层建筑施工环境下爬架随结构高度持续增加，供水扬程损失与压力波动成为制约喷淋效果的关键技术约束。施工现场临时给水点通常设置于首层地面，经由消防竖管或专用给水立管向上供给养护用水，供水管路沿爬架垂直方向的延伸距离随施工进度动态变化，沿程阻力与局部阻力损失随高度非线性增长，单靠市政管网压力难以满足高层作业面的喷淋压力需求。系统配置变频恒压供水设备作为压力补偿手段，由压力传感器实时采集管路末端水压信号并反馈至变频控制器，自动调节水泵转速以维持设定压力区间，保证各层喷头工作水压稳定一致。储水箱兼作水源缓冲与水量调节设施，在水压波动或临时停水条件下维持系统短时间内稳定运行。冬季低温时段的管路防冻问题通过排空阀与伴热带加热措施协同解决，当环境温度降至设定阈值以下时，控制系统自动启动伴热带并关闭进水阀门、打开排水阀排空管路余水，防止冻胀损坏管道与喷头。

1.3 自动控制逻辑与多参数耦合决策机制

爬架喷淋养护系统的控制策略须兼顾混凝土养护质量保障、水资源节约利用与扬尘抑制需求三项约束条件，单纯依赖时间控制的模式难以适应施工环境参数的实时变化。系统采用可编程逻辑控制器作为核心控制单元，接入混凝土表面湿度传感器、环境温湿度传感器以及颗粒物浓度监测仪，构建多参数耦合决策机制。混凝土养护喷淋的启动条件以表面湿度低于设定下限为主要

判定依据,环境温度、风速及相对湿度作为修正因子参与喷淋时长与间隔的自动调整,高温干燥条件下加密喷淋频次并延长单次喷淋持续时间,低温高湿条件下适当缩减喷淋周期以避免过饱和和养护导致混凝土表面起皮或泛碱^[2]。扬尘联动控制功能独立设置触发阈值,当施工楼层或爬架作业区域颗粒物浓度超标时,控制系统自动激活相应楼层喷淋支路实施降尘作业,喷淋模式切换为粒径更细、覆盖面更广的雾化状态以最大限度捕捉悬浮颗粒物。控制系统同时预留手动干预接口,现场管理人员可根据混凝土外观状态或特殊施工工序需要临时调整喷淋参数。

2 爬架喷淋养护对混凝土质量的影响

2.1 混凝土表面湿度维持效果与养护均匀性分析

养护期间混凝土表面湿度能否持续保持于饱和状态,直接关系到水泥水化反应的持续进行程度,进而影响混凝土最终强度发展水平。爬架喷淋养护系统经由覆盖每一作业层的喷头阵列施放细密水雾,水雾接触混凝土表面后聚结成连续水膜,有效抑制毛细孔道中水分向外蒸发的速率。实际工程条件下养护效果受日照辐射、风力扰动及大气相对湿度的显著干扰,爬架外围的密目安全网在发挥防护功能的同时减弱了侧向风力对水雾漂移的影响,使水雾较长时间滞留于架体内部空间,间接提升了养护介质与混凝土表面的接触效率。喷淋均匀性是评价养护系统性能的另一个核心指标,喷头间距过大将导致相邻喷淋区域间出现干燥条带,造成同一构件不同部位的湿度差异。为此在系统调试阶段须采用试纸法或湿度传感器阵列测定各喷淋覆盖区域的湿度分布情况,通过调整喷嘴朝向与供水压力来优化覆盖均匀性。对于爬架覆盖范围以外的顶板或局部突出构件,养护水雾无法直接到达的部位借助人工辅助保湿措施予以弥补,保证结构整体养护效果的一致性。

2.2 裂缝控制与混凝土外观质量改善效果

高层建筑外墙混凝土在硬化早期面临的自收缩与温度收缩双重效应是裂缝产生的主要诱因,养护措施能否及时介入并维持适宜的温湿度场分布对裂缝控制具有决定性作用。爬架喷淋养护系统在混凝土浇筑完成后即投入运行,水雾直接作用于模板拆除后的混凝土外露面,使表面温度因水分蒸发吸热而有所降低,有效减小了内外温差引发的温度梯度应力。持续的水膜覆盖还显著降低了表层混凝土的碳化速度,二氧化碳向混凝土内部扩散的路径被水膜阻隔,有利于提高混凝土表层致密性。从工程现场观察来看,采用爬架喷淋养护的外墙部位在模板拆除后表面呈均匀青灰色,无明显色差或泛碱

痕迹,表面可见气孔数量较少且分布较为均匀^[3]。养护期内墙体表面未发现宽度超过规范限值的可见裂缝,局部细微裂纹主要出现在门窗洞口角部或结构截面突变部位,但裂缝宽度与长度均处于可接受范围以内。相较于人工洒水养护常因管理疏忽造成养护中断或水量不足的情况,自动化喷淋养护的连续作业特性显著降低了人为因素引发的养护质量波动。

2.3 混凝土强度发展规律与长期耐久性保障

养护质量对混凝土后期强度增长与耐久性指标的影响具有明显的滞后性与累积性特征,短期养护不足所造成的水化程度缺失难以通过后期补充养护完全弥补。爬架喷淋养护系统所提供的持续保湿条件确保了水泥颗粒的充分水化,尤其在混凝土浇筑后的早期养护阶段,水化反应速率最快且需水量最大,系统连续不间断的喷雾作业正好匹配这一关键时期的养护需求。养护期内同一楼层不同测区的强度检测结果表明,外墙混凝土各测点强度值离散程度较小,反映出系统喷淋均匀性对构件强度一致性的积极贡献。同条件养护试件与标准养护试件的强度比对进一步显示,爬架喷淋养护条件下同条件试件强度与标准养护试件强度的比值处于合理范围之内,说明爬架所处外界环境条件经喷淋调节后已接近标准养护环境^[4]。从长期耐久性角度考量,充分水化生成的较多水化硅酸钙凝胶填充了毛细孔通道,降低了混凝土渗透性,提升了抗氯离子侵蚀与抗冻融循环的能力,对于高层建筑外立面长期暴露于大气环境的特点而言具有重要的工程意义。

3 爬架喷淋养护系统的施工效能与环境效益

3.1 养护作业效率提升与资源投入优化分析

高层建筑外立面养护作业长期依赖人工逐层洒水或铺设覆盖物保湿,作业人员需乘坐施工电梯或沿外架攀爬至各作业面,劳动强度大且作业效率受制于人员配备数量与作业班次安排。爬架喷淋养护系统将养护工序从人工分散操作转变为装置自动化运行,控制系统按照设定参数自动执行喷淋作业,现场管理人员仅需定期巡查系统运行状态并补充储水箱水量,大幅减少了养护作业用工数量与人工管理成本。养护用水量的精确控制同样是系统效率优势的重要体现,喷淋养护以细密水雾形式释放养护介质,单位面积用水量远低于传统软管漫灌方式,水雾在架体封闭空间内形成局部微循环,部分蒸发水汽遇安全网或架体构件冷凝后重新参与养护过程,进一步提高了水的利用效率。养护作业与爬架升降施工互不干扰,系统随爬架整体提升至上一施工层后即可投入

运行,避免了传统养护方式在爬架提升前后反复拆装管路附件的繁琐工序。养护作业不再受昼夜或天气条件限制,遇降雨天气时控制系统依据雨量传感器信号自动暂停喷淋。

3.2 施工扬尘协同治理与绿色施工指标实现路径

高层建筑主体结构施工期间,模板拆除、钢筋焊接、混凝土打磨及施工电梯运行等工序均会产生大量扬尘,颗粒物在高层区域受风力驱动向周边扩散,对施工人员健康和周边环境空气质量构成不利影响。爬架喷淋养护系统在履行养护功能的同时,喷头产生的水雾对架体内部空间的扬尘颗粒具有吸附沉降作用,使爬架封闭区域形成相对洁净的作业环境。扬尘监测与喷淋联动控制逻辑的设置使系统兼具主动抑尘功能,当颗粒物浓度监测值达到预警阈值时,控制系统自动切换至抑尘喷淋模式,增大喷雾强度与覆盖范围以应对突发性高浓度扬尘事件。该项功能充分利用了爬架随结构高度攀升的空间覆盖优势,在扬尘产生的源头层面实施抑制,避免了扬尘扩散后再治理的被动局面^[5]。从绿色施工评价维度审视,喷淋养护系统对养护用水与抑尘用水的统一调配减少了施工现场临时水管敷设与拆除的工作量,系统运行产生的少量废水经架体底部集水盘收集后可用于非结构部位降尘或车辆冲洗等一般性用水需求。

3.3 系统运行经济性与工程推广适宜性评估

爬架喷淋养护系统的工程应用价值不仅体现于技术与质量层面,经济可行性同样是决定该技术能否大范围推广的关键因素。系统初投资由供水增压设备、管路附件、喷头及控制系统硬件构成,在爬架安装阶段同步实施管路预留预埋可有效降低单独增设管路的附加成本,管路与喷头的使用寿命可覆盖多个施工项目的周转使用需求,单位工程分摊的装备成本随项目数量递增而递减。运行费用方面,变频调速水泵在部分负载工况下的节能运行模式有效控制了电力消耗,养护用水采用基坑降水或雨水回收等非传统水源进一步减少了水费支出。

养护质量提升所带来的隐性经济效益同样值得关注,外墙混凝土裂缝及养护缺陷所导致的返工修补费用、工期延误损失以及建筑全生命周期内的维修成本均因养护质量的改善而得到不同程度的降低。在当前建筑行业劳务用工成本持续上涨、环保监管标准日益严格的双重背景下,爬架喷淋养护系统在降低用工依赖、保障施工合规性方面的优势愈发凸显。

结束语

爬架喷淋养护系统将混凝土养护作业与施工扬尘控制整合于附着式升降脚手架这一既有施工设施之上,实现了高层建筑外立面施工辅助功能的集约化配置。研究通过系统设计、现场测试与效果验证,明确了该系统在混凝土表面湿度维持、裂缝控制、强度发展保障以及扬尘抑制方面的实际效果,各项工程指标反映出系统在养护质量、作业效率和资源利用层面均优于传统人工养护方式。自动化运行特性降低了养护作业对人工管理的依赖程度,减轻了高层建筑施工安全管理压力。该技术充分利用爬架随主体结构同步攀升的空间与时间同步性,将养护工序嵌入主体结构施工进度之中,避免了额外占时。

参考文献

- [1] 薛华. 高层建筑爬架安装施工技术要点 [J]. 建筑工程技术与设计,2021(9):1004.
- [2] 邹红,单立锋,曹帅,等. 自动喷淋体系在超高层混凝土养护中的应用 [J]. 工程质量,2024,42(8):82-86.
- [3] 肖琳,谢江斌,邓荣华. 基于 ZigBee 的高层建筑混凝土智能化养护系统设计 [J]. 智能建筑与智慧城市,2021(9):47-49.
- [4] 潘康荣. 智能爬架喷淋养护循环系统在高层建筑中的应用 [J]. 中国厨卫,2025,24(12):103-105,108.
- [5] 徐怀华. 大体积混凝土柱形构件喷淋养护系统施工技术 [J]. 建筑工程技术与设计,2021(4):72.