

高层建筑混凝土浇筑施工技术优化及质量缺陷识别方法

彭焕东

512222*****6955

摘要: 高层建筑混凝土浇筑面临浇筑高度大、结构复杂、施工环境多变等挑战,易出现浇筑效率低、密实度不足、裂缝等质量问题。本文围绕高层建筑混凝土浇筑施工全流程,从施工技术优化与质量缺陷识别两方面展开研究。在技术优化层面,详细阐述混凝土配合比设计、浇筑设备选型、浇筑顺序规划、振捣工艺改进及养护措施完善等关键环节的优化路径;在质量缺陷识别层面,系统分析常见缺陷类型,构建涵盖外观检测、无损检测及数据化分析的多层级识别方法体系。希望本研究成果能够为高层建筑混凝土浇筑施工质量管控提供技术支撑,助力提升高层建筑结构安全性能与耐久性。

关键词: 高层建筑;混凝土浇筑;施工技术优化;质量缺陷识别;配合比设计;无损检测

DOI: 10.69979/3029-2727.25.12.021

引言

近年来,国家先后颁布《混凝土结构工程施工质量验收规范》《高层建筑混凝土结构技术规程》等标准文件,明确要求高层建筑混凝土浇筑施工需满足密实度、强度等级及耐久性等多项指标。但在实际施工中,受限于施工设备性能、人员操作水平、环境因素干扰等,技术标准落地效果不佳。例如,部分项目为追求施工进度,简化振捣流程,导致混凝土密实度不达标;部分项目因缺陷识别方法单一,无法及时发现内部裂缝,为建筑结构埋下安全隐患。因此,深入研究高层建筑混凝土浇筑施工技术优化路径,构建科学高效的质量缺陷识别方法,具有重要的现实意义。

1 高层建筑混凝土浇筑施工技术优化路径

1.1 混凝土配合比设计优化

配合比设计是决定混凝土性能的基础环节,高层建筑混凝土需同时满足高强度、高流动性、高耐久性要求,配合比设计需突破传统“强度优先”理念,实现多性能平衡。首先,在胶凝材料选择上,应优先采用 42.5 级及以上硅酸盐水泥,其强度发展快、水化热相对稳定,可减少因水化热过高导致的温度裂缝;同时,掺入适量矿物掺合料,如粉煤灰、矿渣粉,替代 15%-25% 的水泥——粉煤灰可改善混凝土和易性,降低水化热峰值,矿渣粉能提升混凝土后期强度与抗渗性,两者协同使用可使混凝土水化热峰值降低 15%-20%,28 天强度提升 10%-12%^[1]。

1.2 浇筑设备选型与布置优化

高层建筑混凝土浇筑高度大、工程量集中,设备选型与布置直接影响浇筑效率与质量。在输送设备选择上,应优先采用高压混凝土泵,其工作压力不低于 18 兆帕,理论输送量不小于 80 立方米/小时,可满足 300 米高度混凝土垂直输送需求;同时,配备车载泵作为备用设备,避免主泵故障导致浇筑中断。输送管道选择需与泵机性能匹配,垂直管道选用直径 150 毫米的耐磨钢管,水平管道选用直径 125 毫米的钢管,管道壁厚不小于 4 毫米,确保在高压输送下不发生变形或破裂。

管道布置需遵循“短路径、少转弯”原则,减少输送阻力与混凝土离析风险。垂直管道应附着在建筑结构外侧或内部电梯井道,每 3-5 米设置固定支架,避免管道振动影响结构或导致接头脱落;水平管道应沿施工平台铺设,坡度控制在 1%-2%,便于混凝土流动,同时在管道末端设置截止阀,便于调整浇筑速度。针对筒体、剪力墙等复杂结构,应在浇筑区域周边布置环形管道,每个浇筑点设置分支管道,确保混凝土能均匀输送至各个部位,避免因输送距离不均导致的浇筑时间差^[2]。

1.3 浇筑顺序与分层厚度优化

同一结构构件的浇筑顺序需结合构件形状优化。对于剪力墙,采用“分段分层、循序渐进”的方式,每段长度控制在 10-15 米,分层厚度不超过 500 毫米,浇筑至顶部后再转向下一段,避免因分段过长导致混凝土初凝;对于框架柱,采用“一次浇筑、分层振捣”的方式,浇筑高度不超过柱高的 1/3,待振捣密实后再继续浇筑,

防止混凝土离析或漏振；对于大面积楼板，采用“斜面分层、连续推进”的方式，分层厚度控制在 300-400 毫米，推进速度维持在 2-3 米/小时，确保上下层混凝土在初凝前完成结合，避免冷缝产生^[3]。

1.4 振捣工艺与养护措施优化

振捣是确保混凝土密实度的关键环节，高层建筑混凝土振捣需采用“精准定位、分层振捣”的工艺。振捣点布置需均匀有序，间距控制在振捣器作用半径的 1.5 倍以内，对于普通混凝土，振捣器作用半径约为 300-400 毫米，因此振捣点间距不超过 500 毫米；对于钢筋密集区域，如梁柱节点，需采用小型振捣棒（直径 30 毫米以下），振捣点间距缩小至 200-300 毫米，确保钢筋间隙内的混凝土能充分密实。振捣时间控制在 20-30 秒，以混凝土表面出现浮浆、不再下沉、无气泡逸出为宜，避免过振导致骨料离析或漏振导致密实度不足。

养护措施优化是防止混凝土裂缝、提升耐久性的重要保障。高层建筑混凝土养护需根据气候条件调整方案：夏季高温季节，浇筑完成后 1-2 小时内覆盖保湿膜，避免水分快速蒸发，同时每隔 2-3 小时洒水一次，保持混凝土表面湿润，养护时间不少于 14 天；冬季低温季节，采用覆盖保温被+电热毯的养护方式，确保混凝土核心温度不低于 5℃，养护时间延长至 21 天以上。对于大体积混凝土构件，如基础承台、核心筒墙体，需埋设温度传感器，实时监测内部温度，当内外温差超过 25℃ 时，采取内部通水降温或外部加热措施，控制温差在 20℃ 以内，避免温度应力导致裂缝^[4]。

2 高层建筑混凝土浇筑质量缺陷识别方法体系

2.1 常见质量缺陷类型与成因分析

高层建筑混凝土浇筑常见质量缺陷可分为表面缺陷与内部缺陷两类。表面缺陷主要包括蜂窝麻面、露筋、裂缝、缺棱掉角等：蜂窝麻面多因混凝土和易性差、振捣不充分或模板漏浆导致，表现为混凝土表面出现孔洞、麻点，影响外观质量与抗渗性；露筋多因钢筋保护层厚度不足、模板移位或混凝土浇筑高度过高导致，钢筋直接暴露在外，易受腐蚀影响结构承载力；表面裂缝多因养护不及时、温度应力或收缩应力过大导致，裂缝宽度超过 0.2 毫米时，会降低混凝土抗渗性与耐久性。

内部缺陷主要包括密实度不足、内部裂缝、空洞等：密实度不足多因振捣漏振、分层过厚或混凝土离析导致，

会使混凝土强度下降 10%-20%；内部裂缝多因温度控制不当、结构应力集中导致，裂缝隐藏在混凝土内部，初期难以发现，长期使用中可能逐渐扩展，影响结构安全；空洞多因浇筑中断、混凝土离析或杂物混入导致，是严重的内部缺陷，可能直接导致结构承载力不足。

缺陷成因分析需结合施工全流程：配合比设计不合理（如水胶比过大、骨料级配差）会导致混凝土和易性差，易出现蜂窝麻面与密实度不足；设备选型不当（如泵机压力不足、管道直径过小）会导致混凝土离析，引发内部空洞；施工工艺不规范（如振捣漏振、分层过厚）会导致密实度不足与裂缝；养护措施不到位会加剧收缩裂缝与表面缺陷。因此，缺陷识别需结合施工环节，实现“源头追溯+精准定位”。

2.2 外观检测方法优化

外观检测是质量缺陷识别的基础环节，需建立标准化检测流程，提升检测全面性与准确性。首先，检测时机选择在混凝土浇筑完成 7 天后（强度达到 70% 以上），此时表面缺陷已充分显现，且不影响后续检测操作。检测工具包括卷尺、游标卡尺、裂缝宽度检测仪等，检测前需清理混凝土表面灰尘、浮浆，确保缺陷清晰可见。

针对高层建筑高处构件（如外立面墙体、屋顶梁板），采用无人机辅助检测，无人机搭载高清摄像头与红外热成像仪，既能拍摄表面缺陷照片，又能通过热成像识别表面温度异常区域，间接判断是否存在内部空洞（空洞区域温度与周边混凝土差异超过 2℃）。无人机检测覆盖范围广、效率高，可弥补人工检测在高空作业中的局限性，使外观检测覆盖率从人工检测的 80% 提升至 95% 以上。

2.3 无损检测技术应用

超声波检测通过发射超声波穿透混凝土，根据声波传播速度与波形变化判断内部缺陷——当混凝土内部存在空洞或裂缝时，声波传播速度会降低 15%-20%，波形会出现反射或衰减，检测人员可根据数据绘制内部缺陷分布图，确定缺陷位置、大小与形态。

超声波检测需结合构件特点选择检测方式：对于墙体、柱等竖向构件，采用双面穿透法，在构件两侧对称布置换能器，间距控制在 200-300 毫米，逐点检测；对于楼板、梁等水平构件，采用单面反射法，在构件表面布置换能器，通过声波反射信号判断内部缺陷。检测前

需对混凝土表面进行打磨处理,确保换能器与混凝土良好耦合,检测误差控制在 5% 以内。

回弹法检测主要用于判断混凝土强度,间接反映密实度情况。检测时,回弹仪与混凝土表面垂直,每个测区布置 16 个回弹点,去除 3 个最大值与 3 个最小值后取平均值,结合混凝土碳化深度(采用酚酞试剂检测),通过回弹强度曲线计算混凝土强度。若检测强度低于设计值的 90%,需进一步采用钻芯法验证——钻取直径 100 毫米的混凝土芯样,进行抗压试验,精准判断混凝土强度与密实度,钻芯法检测结果误差可控制在 3% 以内。

雷达检测适用于大面积构件内部缺陷快速筛查,如楼板、地下室底板等。雷达通过发射高频电磁波,根据电磁波反射信号判断内部结构——钢筋会形成强反射信号,空洞或裂缝会形成弱反射信号,检测人员可实时观察雷达图像,快速定位内部缺陷。雷达检测速度快(可达 10 米/分钟)、范围广,可对高层建筑楼板进行全覆盖检测,发现直径大于 50 毫米的内部空洞。

2.4 数据化分析与缺陷预警

构建数据化分析平台,整合外观检测、无损检测数据,实现质量缺陷的量化分析与预警。平台需建立缺陷数据库,录入缺陷类型、位置、尺寸、检测时间及成因分析,通过大数据分析挖掘缺陷分布规律——如统计某楼层梁构件裂缝出现频率,判断是否与浇筑顺序或振捣工艺相关;分析不同季节缺陷发生率,优化养护措施。

数据化分析需设置缺陷预警阈值:对于表面裂缝,宽度超过 0.2 毫米或长度超过 1 米时触发一级预警,需立即整改;对于内部缺陷,空洞体积超过 0.001 立方米或裂缝长度超过 2 米时触发一级预警。平台可自动生成缺陷整改通知单,明确整改责任人与时限,并跟踪整改情况,形成“检测-分析-预警-整改-复查”的闭环管理。

此外,可引入机器学习算法,通过历史缺陷数据训练模型,实现缺陷自动识别与成因预判。例如,将超声波检测数据、施工参数(如配合比、振捣时间)输入模型,模型可自动识别内部缺陷类型,并预判类似施工条件下可能出现的缺陷,提前调整施工工艺,实现“事前预防”。

3 高层建筑混凝土浇筑施工质量管控建议

3.1 强化施工过程动态管控

混凝土进场时需检查坍落度(控制在 180 ± 20 毫米)与和易性,不合格混凝土严禁使用;振捣过程中需旁站监督,确保振捣点布置与时间符合要求。

采用物联网技术实现施工参数实时监测,在混凝土泵机、振捣器上安装传感器,实时采集输送量、振捣频率等数据,传输至管控平台;在混凝土构件上埋设温度、湿度传感器,监测养护环境参数。若数据超出预警范围(如振捣频率低于 8000 次/分钟),平台自动报警,管理人员及时调整施工方案。

3.2 完善质量缺陷整改与复查

建立缺陷整改责任制,明确整改责任人与时限,整改方案需经技术部门审核——如表面蜂窝麻面需采用高一强度等级的水泥砂浆修补,内部空洞需采用压力注浆填充,裂缝宽度超过 0.3 毫米需采用环氧树脂灌浆处理。整改完成后,需进行复查,采用相同检测方法验证整改效果,确保缺陷完全消除。

定期开展质量回访,在混凝土浇筑完成 3 个月、6 个月,对高层建筑混凝土结构进行复查,监测缺陷是否复发或扩展。对于重要构件(如核心筒、转换层),需每年进行一次无损检测,跟踪结构内部质量变化,确保建筑长期安全。

4 结束语

综上所述,本研究成果可直接应用于高层建筑混凝土浇筑施工实践,提升施工效率与质量,减少质量缺陷发生率,为高层建筑结构安全与耐久性提供技术保障。未来,可进一步结合 BIM 技术、人工智能等前沿技术,实现混凝土浇筑施工的智能化管控,推动高层建筑建造技术升级。

参考文献

- [1] 王建国. 高层建筑混凝土浇筑施工技术优化研究[J]. 施工技术, 2021, 50(15): 89-92.
- [2] 李明. 高层建筑混凝土施工设备选型与布置优化[J]. 建筑机械, 2020, 38(7): 65-68.
- [3] 张丽. 混凝土结构质量无损检测技术应用研究[J]. 工程质量, 2019, 37(10): 45-48.
- [4] 陈志强. 高层建筑混凝土浇筑质量缺陷预警与整改体系构建[J]. 建筑科学, 2022, 38(8): 76-79.