

建筑工程中混凝土施工质量控制策略研究

李小兰

武汉市洪山区市政工程质量安全中心 湖北 武汉 430071

摘要: 建筑工程中混凝土施工质量关乎工程整体安全与耐久性。本文深入剖析混凝土质量影响因素,涵盖原材料、配合比设计、施工工艺、环境与管理等方面。基于此构建质量控制策略体系,包括原材料、配合比、施工过程、养护与成品保护等环节的精准控制。同时探讨智能化技术应用,如物联网、大数据与AI分析、无人机巡检、BIM技术等,为混凝土质量控制提供创新手段,旨在全面提升建筑工程混凝土施工质量。

关键词: 建筑工程; 混凝土施工; 质量控制

引言: 在建筑工程领域,混凝土作为关键结构材料,其施工质量直接关乎工程整体的安全性与耐久性。然而,混凝土施工过程复杂,受原材料质量、配合比设计、施工工艺、环境条件及管理水平等诸多因素影响,任何一个环节出现问题,都可能引发质量隐患。因此,深入剖析这些影响因素,构建科学有效的质量控制策略体系,并探索智能化技术的应用,成为提升混凝土施工质量的关键所在。

1 建筑工程中混凝土质量影响因素分析

1.1 原材料质量影响

混凝土原材料涵盖水泥、骨料、外加剂、掺合料与水,其质量直接决定混凝土最终性能。水泥的强度等级、安定性及凝结时间是关键指标,强度等级不够会使混凝土承载力下降,安定性不佳会导致结构开裂。骨料方面,颗粒级配、含泥量与针片状含量影响和易性与强度,连续级配可减少空隙率,含泥量超3%会削弱骨料与水泥石粘结力,针片状过多影响密实度。外加剂种类与掺量要精准,减水剂不足增水灰比,引气剂过量降强度。掺合料如粉煤灰要控烧失量和细度。水纯度至关重要,含油污、盐分的水会腐蚀钢筋、降低水泥水化效果,原材料质量是混凝土质量控制的基础。

1.2 配合比设计影响

配合比设计是混凝土质量控制的关键,决定着混凝土和易性、强度、耐久性等核心性能。水灰比是核心参数,过大使水泥浆体稀释,水化产物粘结力弱,降低强度与耐久性,还导致泌水、离析;过小则混凝土和易性差,施工振捣难,易出现蜂窝、麻面。砂率选择要合理,过高增加水泥用量、降低流动性,过低影响密实度与抗渗性^[1]。水泥用量要满足强度要求,不足强度低,过多增水化热、引发温度裂缝。掺合料和外加剂掺量需试验确定,合理掺加可改善性能,如粉煤灰替代部分水泥可降

低水化热,减水剂可降水灰比。

1.3 施工工艺影响

施工工艺贯穿混凝土制备至浇筑成型全过程,每个环节操作质量均对最终质量产生关键影响。搅拌环节中,搅拌时间不足会导致原材料混合不均,出现局部强度偏低;搅拌时间过长则会增加混凝土坍落度损失,影响施工和易性。运输过程需控制时间和温度,夏季高温时若运输时间过长,混凝土易发生初凝,冬季低温时则易受冻,同时运输过程中过度颠簸会导致骨料与水泥浆体分离,出现离析现象。浇筑环节需按顺序分层进行,分层厚度过大且振捣不密实会形成内部空隙,振捣过度则会使骨料下沉、浆体上浮,产生分层离析。振捣操作需掌握频率和时间,插入式振捣器应快插慢拔,确保振捣范围覆盖整个浇筑层,漏振会导致混凝土密实度不足,影响强度和抗渗性。

1.4 环境与管理影响

环境条件与管理水平对混凝土质量影响重大,关乎其性能能否正常发挥。环境因素中,温度作用明显。夏季高温会加速水泥水化,缩短混凝土初凝时间,易引发表面干缩裂缝;冬季低温使水化反应迟缓,若不保温,混凝土受冻,内部冰晶会破坏结构,致强度大幅降低。湿度不足会使混凝土表面水分快速蒸发,水化反应不充分,出现表面起砂、强度降低等问题;雨天施工若未防雨,会增加实际水灰比,降低强度。管理方面,原材料进场检验不严,会让不合格材料流入使用;施工人员技术欠缺,会出现振捣不到位、浇筑顺序错误等不规范操作;质量检测环节缺失,如未按规定制作试块或试块养护不当,就无法及时察觉并整改质量问题,难以真实反映混凝土强度。

2 混凝土施工质量控制策略体系构建

2.1 原材料质量控制策略

构建原材料质量控制策略需建立全流程管控机制,

从采购、进场检验到储存环节严格把关。采购阶段应选择具备资质、信誉良好的供应商,签订采购合同明确质量标准,如水泥需提供强度等级、安定性等检验报告,骨料需明确颗粒级配、含泥量等指标要求^[2]。进场检验实行“批批检验”制度,水泥每200吨为一批,检测强度、安定性等指标;骨料每400立方米为一批,检测颗粒级配、含泥量、针片状含量;外加剂和掺合料按产品标准规定批次检测,不合格材料严禁进场。储存环节需分类存放,水泥采用防雨、防潮仓库储存,堆放高度不超过10袋,避免受潮结块;骨料按品种、规格分区堆放,设置隔离设施防止混杂,同时做好排水措施,避免含水率波动过大;外加剂储存需避光、密封,防止变质。建立原材料质量追溯体系,记录采购批次、检验结果、使用部位等信息,一旦发现质量问题可及时追溯源头,确保投入使用的原材料全部符合质量要求。

2.2 配合比优化策略

配合比优化需结合工程需求、原材料性能及施工条件,遵循“性能达标、经济合理”原则。首先开展原材料性能试验,明确水泥强度、骨料级配、外加剂减水率等参数,为配合比设计提供基础数据。针对不同工程部位需求优化设计,如承重结构需重点保证强度,地下结构需强化抗渗性,大体积混凝土需控制水化热。采用正交试验法调整水灰比、砂率、水泥用量及掺合料掺量等参数,确定最优组合。配合比设计完成后需进行试配验证,检测混凝土和易性、凝结时间、强度等指标,若达不到需调整参数重新试配。施工过程中若原材料性能发生变化,如骨料含水率波动,需及时调整配合比,确保混凝土性能稳定。建立配合比数据库,记录不同工程、不同条件下的最优配合比,为后续工程提供参考。

2.3 施工过程控制策略

施工过程控制需细化各环节操作标准,强化现场监督与检测。搅拌环节采用自动化搅拌设备,严格按配合比精准计量原材料,水泥、外加剂计量误差控制在 $\pm 1\%$ 以内,骨料、水计量误差控制在 $\pm 2\%$ 以内,搅拌时间根据混凝土类型确定,普通混凝土搅拌时间不少于90秒。运输环节选用密闭式罐车,夏季运输时对罐车采取遮阳措施,冬季采取保温措施,运输时间控制在混凝土初凝前,到达施工现场后检测坍落度,若不符合要求需经技术人员同意后调整,严禁私自加水。浇筑环节划分浇筑区域,明确浇筑顺序和厚度,采用分层浇筑法,每层厚度不超过500毫米,使用插入式振捣器振捣,振捣至混凝土表面泛浆、无气泡冒出为止,振捣间距控制在振捣器作用半径1.5倍以内,避免漏振和过振。浇筑过程中按规

范制作混凝土试块,每组试块不少于3块,用于检测28天强度。现场设立质量监督小组,对施工人员操作进行全程监督,发现违规操作立即制止并整改,同时做好施工记录,详细记录搅拌、运输、浇筑等环节的参数和情况。

2.4 养护与成品保护策略

养护与成品保护是保障混凝土后期性能的关键,需制定针对性措施并严格执行。养护时间根据混凝土类型确定,普通硅酸盐水泥混凝土养护时间不少于14天,大体积混凝土养护时间不少于28天。养护方式需结合环境条件选择,高温干燥环境采用覆盖土工布并洒水养护,确保混凝土表面始终保持湿润;冬季低温环境采用覆盖保温被并铺设加热管养护,保证养护温度不低于 5°C ;地下结构采用蓄水养护,提高混凝土抗渗性。养护过程中定期检测混凝土表面温度和湿度,及时调整养护措施,避免温度骤变引发裂缝。成品保护方面,混凝土强度未达到1.2MPa前严禁人员走动和堆放材料,达到设计强度70%后可承受少量荷载,达到100%后方可进行后续施工。设置成品保护标识,严禁碰撞、敲击混凝土结构,对边角等易受损部位采取包裹防护措施。对于已浇筑的楼板、梁等结构,严禁超载堆放施工材料,若需堆放需铺设垫板分散荷载。建立养护与成品保护责任制度,明确专人负责,定期巡查,发现问题及时处理,确保混凝土在养护期内不受损坏,充分发展强度和耐久性。

3 智能化技术在混凝土质量控制中的应用

3.1 物联网(IoT)技术

物联网技术通过各类传感器和网络传输,实现混凝土质量全流程实时监控。原材料管理阶段,在水泥、骨料等原材料仓库安装温湿度传感器,实时监测储存环境参数,当湿度超过60%或温度异常时,系统自动发出预警,避免原材料受潮变质;在运输车辆上安装GPS定位和温湿度传感器,实时追踪原材料运输路线和环境条件,确保运输过程符合要求^[3]。搅拌环节,在搅拌设备上安装重量传感器和转速传感器,精准计量原材料用量并监测搅拌转速和时间,数据实时传输至控制中心,若出现计量偏差或搅拌参数异常,系统立即报警并暂停搅拌。浇筑和养护阶段,在混凝土内部植入温度传感器和湿度传感器,实时监测水化热变化和内部湿度,通过无线传输将数据上传至平台,技术人员可远程掌握混凝土内部状态,及时调整养护措施。在施工现场安装视频监控和门禁系统,实现施工人员操作规范监控和人员进出管理,通过物联网技术构建“感知-传输-分析-预警”的闭环管控体系,大幅提升混凝土质量控制的精准性和效率。

3.2 大数据与AI分析

大数据与AI分析技术通过挖掘海量数据,为混凝土质量控制提供智能化决策支持。首先构建混凝土质量数据库,整合原材料性能数据、配合比参数、施工工艺数据、环境数据及混凝土强度检测数据等,形成多维度数据资源。利用大数据技术对数据进行清洗、整合和分析,挖掘各影响因素与混凝土质量的关联规律,如通过分析不同水灰比、砂率与强度的对应数据,优化配合比设计参数。AI算法应用于质量预测和缺陷诊断,采用机器学习算法构建混凝土强度预测模型,输入原材料性能、配合比及施工环境等数据,可提前预测混凝土28天强度,若预测值不达标,及时调整配合比;利用深度学习算法对混凝土表面图像进行分析,识别裂缝、蜂窝、麻面等缺陷,自动标注缺陷位置、大小和类型,并生成缺陷分析报告,为整改提供依据。通过AI算法对施工过程数据进行实时监测,当数据超出正常范围时,系统自动发出预警,如搅拌时间过短、养护湿度不足等。

3.3 无人机巡检与图像识别

无人机巡检与图像识别技术突破传统人工巡检局限,实现混凝土结构质量高效、精准检测。针对高层建筑、桥梁等大型混凝土结构,人工巡检存在效率低、风险高、盲区多等问题,无人机可搭载高清摄像头、红外热像仪等设备,按预设航线自动巡检,覆盖结构各个部位,尤其是高空、外墙等不易到达区域。巡检过程中,高清摄像头拍摄混凝土表面图像,红外热像仪检测混凝土内部温度分布,数据实时传输至地面终端。利用图像识别技术对采集的图像进行处理分析,通过深度学习算法训练的模型,可自动识别混凝土表面裂缝、剥落、露筋等缺陷,精准测量裂缝宽度、长度等参数,相比人工巡检,识别精度更高,且可避免人为判断误差。对于大体积混凝土结构,红外热像仪检测的温度数据可结合图像识别结果,分析内部是否存在空鼓、孔洞等缺陷。巡检完成后,系统自动生成巡检报告,包含缺陷位置、类型、尺寸及整改建议,技术人员可根据报告制定针对性整改措施。

3.4 BIM技术应用

BIM技术以三维数字化模型为核心,实现混凝土质量

控制的可视化、协同化管理。在设计阶段,基于BIM模型进行混凝土配合比模拟分析,结合工程结构特点和受力要求,优化配合比参数,将配合比信息关联至模型对应部位,为施工提供精准依据。施工阶段,BIM模型与施工进度计划关联,形成4D施工模拟,直观展示混凝土浇筑顺序、时间和范围,避免施工冲突^[4]。将物联网采集的施工数据如搅拌参数、浇筑时间、养护数据等关联至BIM模型,实现施工过程数据与模型的实时同步,技术人员通过模型可快速查询任意部位的施工信息和质量数据。在混凝土浇筑前,利用BIM模型进行碰撞检查,排查钢筋与预埋件、管线等的碰撞问题,避免因设计缺陷导致混凝土浇筑后出现质量问题。浇筑完成后,将混凝土试块强度检测结果、缺陷整改记录等信息录入BIM模型,形成混凝土质量信息档案,实现质量全生命周期追溯。通过BIM协同平台,设计、施工、监理等各方共享模型数据,实时沟通质量问题,协同制定整改方案,提升质量控制的协同效率,确保混凝土质量符合设计和规范要求。

结束语

建筑工程混凝土施工质量控制是保障工程质量的核心要点。通过全面分析质量影响因素,构建系统且细致的质量控制策略体系,并积极引入智能化技术,可实现对混凝土质量从原材料到成品全流程的精准把控。这不仅有助于减少质量隐患,提升工程安全性与耐久性,还能推动建筑行业向智能化、精细化方向发展。未来,应持续探索创新,完善质量控制手段,为建筑工程高质量发展筑牢根基。

参考文献

- [1]冯遥,强裔.建筑工程中混凝土结构的施工质量控制[J].砖瓦,2023,(11):116-118+121.
- [2]成城.房屋建筑工程中混凝土施工质量控制[J].中国住宅设施,2023,(02):133-135.
- [3]张珂,黄宁宁.清水混凝土施工技术 in 建筑装饰中的应用[J].居舍,2025,(25):66-68.
- [4]何宝权.房建工程混凝土建筑结构模板施工技术研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(14):28-30.