

建筑施工中大体积混凝土裂缝防治技术研究

刘 乐 陆雪菲

湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司 湖北 武汉 430070

摘 要：大体积混凝土因结构厚大、水化热积聚等特点，裂缝问题频发，严重影响建筑结构安全性与耐久性。本文系统分析裂缝产生的温度、材料、施工及其他相关原因，分类阐述原材料优化、配合比优化、施工过程控制等防治技术及实施要点，明确不同场景技术适配原则、协同应用方法与施工管控重点，探讨技术发展方向。通过多技术协同应用与精准管控，可有效降低裂缝产生概率，为建筑施工中大体积混凝土裂缝防治提供技术参考，助力提升工程施工质量。

关键词：大体积混凝土；裂缝防治；施工技术；温度控制；原材料优化

引言：随着建筑工程向大型化、高层化发展，大体积混凝土广泛应用于基础、桥墩等关键结构中。此类混凝土结构厚大，水化热释放集中且散热缓慢，易因温度应力、收缩变形等引发裂缝，裂缝会降低结构承载力，加剧钢筋锈蚀，缩短工程使用寿命，甚至引发安全隐患。当前裂缝防治技术仍存在适配性不足、管控不精准等问题，难以满足复杂施工场景需求。因此，深入研究大体积混凝土裂缝产生原因与防治技术，明确应用要点与发展方向，对保障工程结构安全、提升施工质量具有重要现实意义。

1 大体积混凝土裂缝产生的主要原因

1.1 温度因素相关原因

水泥水化反应进程中会持续释放大量热量，大体积混凝土结构厚大且导热性能偏低，热量易在内部积聚难以及时散发，直接造成内部温度显著升高，峰值可达70至80℃。内部高温区域与表层低温区域形成明显温度梯度，内部混凝土受热产生膨胀趋势，表层混凝土受环境影响收缩，这种变形差异会引发温度应力。当温度应力超过混凝土早期抗拉强度时，裂缝便会产生^[1]。环境温度的剧烈波动会加剧裂缝发展，外界气温骤降时，表层温度快速下降，内外温差进一步扩大，收缩应力随之增大，显著提升开裂概率。

1.2 材料因素相关原因

混凝土原材料的性能直接影响抗裂能力，水泥品种选择不当会导致水化热释放过快，骨料级配不合理或含泥量超标会降低密实度与抗裂性能。配合比设计不合理会加剧裂缝风险，胶凝材料用量过多会增大水化热总量，水胶比过低会提升自收缩程度，这些问题均会削弱结构抗裂能力。外加剂使用不当会破坏混凝土内部结构稳定性，缓凝剂、减水剂等掺量失衡会影响水化反应速率与

内部孔隙结构，导致收缩变形异常，最终诱发裂缝。

1.3 施工因素相关原因

搅拌与运输环节的技术疏漏会影响混凝土均匀性，搅拌时间不足会导致物料混合不均，运输过程中坍落度损失过大或离析，会造成浇筑后结构密实度差异，形成薄弱区域。浇筑工艺不合理会引发应力集中，分层厚度过大或浇筑速度过快会加剧内部热量积聚，入模温度过高会提升水化热峰值，增大内外温差。振捣作业不规范会降低结构密实度，振捣不足会导致内部出现蜂窝孔洞，振捣过度会造成骨料下沉、砂浆上浮，形成表层薄弱层，降低抗裂能力。养护措施不到位会影响强度发展与收缩控制，养护时间不足或保湿保温措施缺失，会导致表面水分蒸发过快，产生塑性收缩裂缝，同时阻碍内部热量散发，加剧温度应力。

1.4 其他相关原因

混凝土自身收缩特性是裂缝产生的内在诱因，硬化过程中内部游离水分蒸发会引发干燥收缩，低水胶比混凝土还会出现自收缩，收缩变形持续积累易产生裂缝。约束条件会限制混凝土自由变形，新浇筑混凝土与地基、老混凝土或相邻结构接触时，会受到外部约束作用，降温收缩时变形受阻会产生集中拉应力。内部不同区域的变形差异也会形成约束，进一步提升裂缝产生的可能性。

2 大体积混凝土裂缝防治技术分类及实施要点

2.1 原材料优化技术

胶凝材料的选择与优化需兼顾水化热释放速率与强度发展需求，优先选用低热矿渣硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥等低热型胶凝材料，通过掺加活性掺合料替代部分水泥，减少水化热总量，同时提升混凝土后期强度与抗裂性能。骨料的选择与处理重点控制级配合理性和杂

质含量,优先选用连续级配的粗骨料,降低空隙率以减少胶凝材料用量,对骨料进行清洗、筛分处理,去除含泥量与杂质,避免影响混凝土密实度和粘结性能^[2]。外加剂的合理选用与掺量控制需结合混凝土性能需求,选用缓凝型高效减水剂,延缓水化反应速率、降低水化热峰值,同时改善混凝土和易性,掺量需通过试验确定,避免掺量过高或过低引发收缩异常。拌合水的质量控制需符合混凝土拌合用水标准,控制水中杂质、氯离子含量,避免使用污水或含腐蚀性物质的水,防止破坏混凝土内部结构稳定性,间接降低抗裂能力。

2.2 配合比优化技术

胶凝材料用量的优化调整以控制水化热为核心,在满足混凝土设计强度和工作性能的前提下,合理减少胶凝材料总用量,通过掺加粉煤灰、矿渣粉等掺合料替代部分水泥,实现水化热总量的有效控制。水胶比的合理控制需兼顾强度与收缩性能,选取适宜的水胶比范围,避免水胶比过高导致混凝土密实度下降、强度降低,也避免水胶比过低引发自收缩过大,增加开裂风险。骨料级配的优化设计采用连续级配方式,合理搭配不同粒径的骨料,填充骨料空隙,提升混凝土密实度,减少收缩变形,同时降低胶凝材料用量,间接减少水化热产生。掺合料的合理参加与配比调整需根据掺合料种类和性能确定掺量,粉煤灰、矿渣粉等掺合料需控制掺加比例,确保其与水泥协同作用,提升混凝土抗裂性能、改善工作性能,避免掺量不当影响混凝土强度发展。

2.3 施工过程控制技术

搅拌工艺控制需严格把控搅拌时间和物料投放顺序,确保原材料混合均匀,避免搅拌不足导致混凝土匀质性差,形成薄弱区域,同时控制搅拌速度,减少骨料破碎,保障混凝土整体性能。运输过程中的温度与和易性控制需采取保温措施,降低环境温度对混凝土温度的影响,避免运输时间过长导致坍落度损失过大、和易性下降,必要时采取二次搅拌,确保混凝土入模性能符合要求。浇筑工艺优化重点推行分层、分段浇筑技术,根据混凝土结构尺寸和厚度确定分层厚度和分段长度,控制浇筑速度,避免一次性浇筑过多导致内部热量积聚,分层浇筑时确保上下层混凝土衔接紧密,减少层间缝隙。振捣技术规范与控制要点要求采用插入式振捣器,遵循快插慢拔原则,控制振捣频率和时间,确保混凝土密实,避免振捣不足产生蜂窝、孔洞,也避免振捣过度导致骨料下沉、砂浆上浮,形成表层薄弱层。浇筑后表面处理技术需在混凝土初凝前进行抹压,去除表面浮浆,填补表面缝隙,减少表面收缩裂缝,抹压后及时进

行覆盖,防止表面水分过快蒸发。

2.4 温度控制技术

浇筑前的原材料温度控制需对水泥、骨料、拌合水进行降温处理,水泥可提前存放降温,骨料可洒水降温或遮阳堆放,拌合水可采用冰水或冷却设备降温,有效降低混凝土入模温度。浇筑过程中的温度控制需监测入模温度,控制入模温度在合理范围,避免入模温度过高加剧内部水化热积聚,同时合理安排浇筑时间,避开高温时段,减少环境温度对浇筑过程的影响。浇筑后的内部降温技术可采用预埋冷却水管的方式,通过循环水带走内部积聚的热量,控制内部温度下降速率,缩小内外温差,避免温度应力过大引发裂缝。表面保温保湿技术需在浇筑完成后及时覆盖保温材料,减少表面热量散失,维持表面温度稳定,同时采取保湿措施,防止表面水分蒸发过快,缓解表面收缩,缩小内外温差,降低裂缝产生概率。

2.5 养护技术

养护时机的选择需遵循及时高效原则,在混凝土浇筑完成、表面初凝后立即开展养护工作,避免延误养护导致表面水分快速蒸发,产生塑性收缩裂缝,影响混凝土强度发展和抗裂性能^[3]。养护方式的选择与实施需结合环境温度和混凝土结构特点,采用覆盖保湿材料、洒水养护、蓄水养护等方式,确保混凝土表面持续处于湿润状态,减少水分蒸发,缓解收缩变形。养护周期的控制需满足混凝土强度发展和收缩稳定需求,普通大体积混凝土养护周期不少于14天,低热型混凝土养护周期可适当延长,确保混凝土强度充分发展,抗裂能力稳步提升。养护过程中的温度与湿度控制需实时监测,维持养护环境温度和湿度稳定,避免温度骤升骤降,控制湿度在适宜范围,减少温度应力和干燥收缩引发的裂缝。

3 大体积混凝土裂缝防治技术的应用要点

3.1 不同施工场景下的技术适配原则

技术适配需结合施工场景的环境条件、结构尺寸及工程要求,高温环境下侧重原材料降温、浇筑温度控制及表面保湿降温技术,降低内外温差与表面收缩速率。低温环境下重点强化保温养护与原材料预热,防止温度骤降引发裂缝,同时优化配合比提升混凝土抗冻性。大厚度结构优先采用预埋冷却水管降温与分层分段浇筑技术,配合低热型原材料与掺合料,控制内部水化热积聚。薄壁结构侧重减少胶凝材料用量、优化振捣工艺,强化表面抹压与早期保湿养护,降低干燥收缩影响。

3.2 防治技术的协同应用方法

防治技术需形成协同体系,原材料优化与配合比优

化紧密结合,通过低热型胶凝材料选用与掺合料合理掺加,搭配适宜水胶比与骨料级配,从源头减少开裂诱因。施工过程控制与温度控制同步推进,分层浇筑、规范振捣与原材料降温、内部冷却技术协同,有效控制温度应力与结构密实度。温度控制与养护技术相互配合,浇筑后内部降温与表面保温保湿同步实施,结合及时养护与周期管控,缓解收缩变形,提升混凝土抗裂能力,实现全方位裂缝防控。

3.3 施工过程中的技术管控重点

管控重点聚焦各环节关键参数,原材料进场需严格检验性能指标,确保符合优化设计要求,杜绝不合格材料投入使用。配合比需现场实时调整,根据原材料实际性能与环境温度,微调掺合料掺量与水胶比,保障工作性能与抗裂性能^[4]。施工过程中实时监测混凝土温度、坍落度等指标,及时调整搅拌、浇筑、振捣工艺,避免操作偏差引发质量隐患。养护期间持续监测温度与湿度,及时调整保温保湿措施,确保养护效果,同时把控养护周期,保障混凝土强度与抗裂性能稳步发展。

4 大体积混凝土裂缝防治技术的发展方向

4.1 新型原材料在裂缝防治中的应用趋势

新型原材料应用围绕低碳化与抗裂性提升展开,低热硅酸盐水泥凭借低水化热、高后期强度的优势,成为胶凝材料的核心发展方向,契合双碳目标下的行业需求。温升抑制剂逐步推广应用,可减缓水化热释放速率、降低内部温度峰值,减少冷却系统布设成本,优化温控效果。相变材料通过填充骨料实现保温蓄热,降低导热系数并增大比热容,有效减少水化放热量,缓解早期干燥收缩,适配高强大体积混凝土的抗裂需求。纤维与膨胀剂的合理应用逐步拓展,可提升混凝土抗拉强度与收缩补偿能力,通过多种新型原材料组合搭配,形成优势互补,进一步强化裂缝防控效果。

4.2 施工技术的创新与优化方向

施工技术创新聚焦高效化、精细化与绿色化,原材料预冷技术持续优化,风冷、水冷结合液氮预冷等方式逐步完善,更精准控制入模温度,且兼顾经济性与施工便捷性。冷却水管系统不断升级,通过科学设计管径、布设间距及水流参数,结合数值模拟技术,提升内部降温效率,精准控制降温速率。分层分段浇筑技术向智能

化适配升级,结合结构尺寸与环境条件动态调整分层厚度与浇筑速度,减少层间缝隙与应力集中。绿色施工理念融入施工全过程,工业废料替代部分胶凝材料,既降低碳排放,又提升资源利用率,推动施工技术向低碳高效转型。

4.3 智能化技术在裂缝防治中的应用前景

智能化技术逐步渗透到裂缝防治全流程,物联网监测系统实现温度、湿度等参数的实时采集与无线传输,构建闭环管理体系,及时捕捉参数异常并反馈调整^[5]。智能温控系统结合数值仿真与3D数字重构技术,实现温度场的精准模拟与动态调控,优化降温与保温措施。大数据技术整合原材料性能、施工参数与环境数据,建立裂缝风险预测模型,提前规避开裂隐患。智能化养护设备逐步推广,可自动调节养护温度与湿度,实现养护过程的精准管控,减少人为操作偏差,推动裂缝防治技术从被动处置向主动预判、智能调控转型。

结束语

大体积混凝土裂缝防治是一项系统性工程,涉及原材料选择、配合比设计、施工管控、温度调节及养护等多个环节,各环节相互关联、缺一不可。裂缝的产生并非单一因素作用的结果,需立足实际施工场景,实现各类防治技术的协同适配,强化全流程精细化管理,从源头规避开裂诱因,提升混凝土抗裂性能。通过优化原材料应用、创新施工技术、完善管控体系,可有效控制裂缝产生与发展,保障大体积混凝土结构的稳定性与耐久性,为各类建筑工程的高质量施工提供可靠支撑。

参考文献

- [1]何宇翔.水利建筑施工中大体积混凝土裂缝防治技术[J].建筑与装饰,2026,29(3):103-105.
- [2]李炳照.水利建筑施工中大体积混凝土裂缝防治技术研究[J].水上安全,2025(7):187-189.
- [3]刘耀龙.高层建筑工程中大体积混凝土施工裂缝防治技术研究[J].工程机械与维修,2024(3):26-28.
- [4]唐艺强.建筑施工混凝土裂缝产生机制及防治技术研究[J].工程技术研究,2024,9(19):132-134.
- [5]刘攀.大体积混凝土施工中裂缝防治技术研究[J].工程建设与设计,2025(3):220-222.