

建筑工程混凝土施工裂缝成因及防控措施研究

靖 洁

山东科信达工程咨询有限公司 山东 济南 250000

摘 要：本文系统分析了建筑工程混凝土施工裂缝的主要成因，将其归纳为材料因素、配合比因素、施工工艺因素、环境与养护因素以及结构设计约束因素等五大类，并对每类因素的微观机理和宏观表现进行了深入剖析。在此基础上，从材料优选与配合比优化、施工工艺控制、温控与养护管理、设计构造优化以及全过程质量管理等五个维度提出了系统性的防控措施。研究表明，混凝土裂缝的防控是一项系统工程，需要从技术、管理、材料等多个层面协同发力，将裂缝控制贯穿于混凝土施工的全过程。本文的研究成果可为建筑工程混凝土施工裂缝的预防与治理提供理论指导和技术参考。

关键词：建筑工程；混凝土施工；裂缝成因；防控措施

引言

混凝土是现代建筑工程中用量最大、应用最广的材料，其性能直接影响结构安全与耐久性。我国混凝土年产量长期居世界首位，但裂缝问题始终是工程中的顽疾，广泛存在于地下室底板、楼板、基础及剪力墙等构件中。尽管多数为非结构性微裂缝，若控制不当，会成为侵蚀介质通道，引发钢筋锈蚀、碳化、冻融等耐久性问题，影响寿命并增加维护成本。混凝土抗拉强度仅为抗压强度的1/10至1/20，属脆性多相复合材料，一旦内部拉应力超过抗拉强度即开裂。裂缝成因分为荷载与非荷载两类，后者包括收缩、温度变化和均匀沉降等引起的约束变形应力。实践中，大量裂缝在施工阶段、未受设计荷载前就已产生，称为施工期裂缝。因此，深入研究其成因并采取有效防控措施，具有重要工程意义。

1 混凝土施工裂缝的主要成因分析

1.1 材料因素引起的裂缝

水泥中C3A和C3S含量高，水化热大、温升快，易导致温度裂缝；水泥细度过大则加剧早期收缩。为追求早强而使用高细度、高C3S水泥，虽提升强度却增加开裂风险。骨料含泥量高会削弱界面粘结、增大干缩；级配不良降低密实度；含活性二氧化硅可能引发碱-骨料反应，造成膨胀裂缝；其弹性模量或热膨胀系数与水泥石不匹配时，温度变化易在界面产生应力集中。外加剂使用不当亦会诱裂：减水剂过量或缓凝剂选择错误可致凝结异常，影响早期强度；膨胀剂掺量不准，膨胀不足或过度均会开裂。此外，粉煤灰、矿渣粉等掺合料品质波动，也会改变混凝土收缩特性，影响抗裂性能。

1.2 配合比因素引起的裂缝

水胶比过大会显著增加干缩，研究表明，水胶比每

提高0.05，干缩率上升15%~20%，同时降低抗拉强度和弹性模量，削弱抗裂能力。为追求流动性而过度增加用水量和水泥用量，会大幅提升水化热总量，导致温升加剧、温度收缩与自收缩增大；尤其在高强混凝土中，虽水胶比较低，但因胶凝材料总量大，自收缩更显著。砂率过高会增加骨料总表面积，需更多浆体包裹，从而增大干缩；砂率过低则导致拌合物粘聚性差，易离析泌水，引发表面塑性收缩裂缝^[1]。此外，粗细骨料级配不良会增加孔隙率，降低密实度和抗裂性能。因此，优化配合比对控制裂缝至关重要。

1.3 施工工艺因素引起的裂缝

拌制不当如搅拌时间不足或过长，会导致混合料不均或外加剂失效；运输中离析和坍落度损失则降低入模工作性。浇筑速度过快、分层间隔过长易形成冷缝或内部空洞；振捣不足造成孔隙多、收缩开裂，过度振捣则致骨料下沉、表面富浆层干缩开裂。不同部位浇筑时间差过大，也会形成施工缝裂缝。模板刚度不足、漏浆或拆模过早，会使未硬化的混凝土受拉开裂或强度不足而开裂。钢筋保护层不足或间距过密，既削弱握裹力，又阻碍混凝土流动，易在钢筋附近产生缝隙。因此，规范施工操作对防控裂缝至关重要。

1.4 环境与养护因素引起的裂缝

高温施工加速水化，导致内外温差大、表面拉应力高；低温或寒流使表面急剧收缩，而内部仍热，易产生贯穿裂缝；昼夜温差大则加剧温度梯度变化，提升开裂风险。干燥多风环境下，表面水分蒸发快，形成“干缩梯度”，引发塑性及干缩裂缝，尤其在板类和地坪中常见；当蒸发速率超 $0.5\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，风险显著上升。养护不足或不当是裂缝的直接诱因：时间不够致水化不充分、

强度低；洒水频次不足造成干湿交替，反而加剧收缩；覆盖材料保水性差或未保温保湿，均削弱效果^[2]。更甚者，为赶工期完全省略养护，使混凝土在塑性阶段即产生大量不可逆裂缝。

1.5 结构与约束因素引起的裂缝

混凝土构件常受边界约束（如墙体受底板、楼板受梁柱约束），收缩时因变形受限而产生拉应力，约束越强，拉应力越大。若设计未合理设置收缩缝或后浇带，应力集中易引发开裂。配筋对裂缝控制具双重作用：配筋率过低，裂缝宽而稀；过高且钢筋过细，则产生更多细密裂缝；保护层过厚使表层混凝土缺乏约束，易出现表面裂缝；缺少温度筋或抗裂构造筋的部位裂缝更密集。此外，大平面、超长结构若伸缩缝缺失或间距过大，温度与收缩应力累积易超限；截面突变、孔洞周边及转角等应力集中区，若无加强措施，常成为裂缝起始点。合理设计对防控裂缝至关重要。

2 混凝土施工裂缝的防控措施

2.1 原材料优选与配合比优化

水泥应选用水化热低、C3A和C3S含量适中的品种；大体积混凝土宜用中热或矿渣硅酸盐水泥，普通结构应避免早强型水泥，并在满足强度前提下尽量降低水泥用量，掺入粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料以减少水化热、改善和易性与后期强度。骨料需级配良好、含泥量低、针片状颗粒少；粗骨料在构件尺寸和钢筋间距允许下宜选用较大粒径，以降低浆骨比、减小收缩；细骨料宜用细度模数2.3~3.0的中粗砂，并严格控制泥块含量；预湿处理可减少吸水导致的工作性损失。外加剂方面，高效减水剂可显著降低水胶比与用水量，减小干缩，但需通过试验验证其与水泥适应性；膨胀剂可用于补偿收缩，但须精准控制掺量并保证充分湿养；粉煤灰掺量一般为15%~30%，过高会削弱早期强度并增加碳化风险。配合比设计应遵循“低水胶比、低用水量、合理砂率、适宜胶凝材料总量”原则：水胶比不宜大于0.50，抗裂或干燥环境建议 ≤ 0.45 ；单位用水量不超过175kg/m³；砂率经试验确定，普通混凝土宜为35%~42%。最终配合比须通过试配，在满足强度的同时兼顾工作性与抗裂性。

2.2 施工工艺精细控制

混凝土拌制应确保计量准确、搅拌均匀。各种原材料的称量偏差不得超过规范允许范围，特别是水和外加剂的计量要精确。搅拌时间应根据搅拌机类型和混凝土坍落度确定，一般不应少于90秒，掺加掺合料或外加剂时应适当延长。运输过程中应保持搅拌筒缓慢转动，防止离析和坍落度损失过大。从出机到浇筑完毕的时间应

控制在混凝土初凝之前，高温天气应进一步缩短。浇筑作业应遵循“分段定点、一个坡度、薄层浇筑、循序推进、一次到顶”的原则。对于大体积混凝土，应采用分层连续浇筑法，每层厚度控制在300~500mm，确保上层混凝土在下层初凝前覆盖。对于墙体、柱等竖向构件，应控制浇筑速度，每层浇筑高度不宜超过500mm，待下层混凝土振捣密实后再继续浇筑上层。浇筑过程中应避免混凝土产生离析，自由倾落高度超过2m时应设置串筒或溜槽。振捣是保证混凝土密实性、消除内部孔隙的关键工序。应采用插入式振捣器与平板振捣器相结合的方式，振捣点间距不超过振捣棒作用半径的1.5倍。快插慢拔是基本要求，每个振捣点的持续时间以混凝土表面不再显著下沉、不出现气泡、泛出灰浆为宜，一般为20~30秒^[3]。严禁漏振、欠振或过振。对钢筋密集区、预埋件周边等振捣困难部位，应采用小直径振捣棒或辅以人工插捣。模板工程应保证足够的刚度、强度和稳定性。模板拼缝严密，防止漏浆。拆模时间应根据混凝土强度发展情况和环境温度确定，侧模一般在混凝土强度达到2.5MPa以上且不损坏棱角时方可拆除，底模则应达到设计强度的75%~100%后方可拆除（具体视结构类型和跨度而定）。过早拆模会使混凝土过早承受温度应力和收缩应力，显著增大裂缝风险。

2.3 温度控制与养护管理

大体积混凝土的温度控制应从配合比设计开始，并通过施工中的温控措施予以落实。混凝土入模温度不宜超过28℃，高温季节施工可采用冰水拌和、骨料预冷等措施降温。浇筑后应及时进行内部温度监测，当混凝土内部温度与表面温差、表面温度与环境温差超过20~25℃时，应采取保温措施。常用的温控措施包括：覆盖保温材料（如草袋、岩棉被）、设置冷却水管通水冷却、分层浇筑以降低一次浇筑厚度等。养护的根本目的是为混凝土水化提供充足的湿度和适宜的温度条件，使混凝土强度正常发展、体积稳定增长。塑性阶段应防止表面水分过快蒸发，浇筑后应及时覆盖塑料薄膜或喷洒养护剂。终凝后应立即开始湿养护，可采用覆盖湿麻袋、蓄水养护、不间断洒水等方式。养护用水应与拌合用水水质相同，水温与混凝土表面温度之差不得超过15℃。普通混凝土的湿养护时间不应少于7天，对抗裂要求高或掺有粉煤灰的混凝土，养护时间应延长至14天以上。冬季施工时，应采取防冻保暖措施。混凝土浇筑后应立即覆盖保温材料，必要时搭设暖棚或采用蒸汽加热养护。应特别注意避免温度骤变，拆模时混凝土表面温度与环境温度之差不得超过15℃，否则应对混凝土表面进行包裹

过渡。夏季施工则要防止暴晒和干燥,浇筑前应对模板和钢筋洒水降温,浇筑后及时覆盖遮阳网并加强洒水养护。

2.4 设计构造优化与裂缝控制

结构布置应尽量规则、对称,避免截面突变、刚度突变。对于超长结构,应合理设置伸缩缝、沉降缝或后浇带,以释放收缩应力和温度应力。伸缩缝间距应符合规范要求,对于现浇混凝土框架结构,室内或土中不宜超过55m,露天不宜超过35m。后浇带的位置和宽度应根据计算确定,一般在结构受力较小处设置,间距为30~40m,后浇带保留时间不少于40天,且宜在两侧混凝土收缩基本稳定后再浇筑膨胀混凝土封闭。配筋设计应重视抗裂构造钢筋的设置。在混凝土板、墙等易裂构件中,应配置双向双层钢筋网,钢筋直径不宜过小(不小于6mm),间距不宜过大(不大于200mm)^[4]。在结构转角、孔洞周边、截面变化处等应力集中部位,应设置放射状或斜向附加钢筋。屋面、地下室顶板等受温度变化影响大的部位,可适当提高配筋率。保护层厚度应符合设计和规范要求,过大或过小均不利于裂缝控制。对于有特殊抗裂要求的工程,可考虑采用预应力技术。通过对混凝土施加预压应力,抵消或部分抵消收缩、温度等产生的拉应力,从而有效控制裂缝的产生和开展。无粘结预应力、有粘结预应力均可根据具体情况选用。

2.5 全过程质量管控体系

施工前应编制专项裂缝防控方案,内容包括裂缝风险分析、防控技术措施、温控与养护计划、应急处理预案等。方案应经过技术负责人审批,并对全体作业人员进行技术交底,使每个岗位都明确自己的职责和操作要求。施工过程中应加强质量检查与监测。对原材料的进场检验、配合比的执行情况、浇筑和振捣质量、养护措施落实情况,应有专人进行检查记录。对大体积混凝土和重要结构部位,应埋设温度传感器和应变计,实时监测温度场和应变发展,为调整温控措施提供依据。发现异常情况时,应及时分析原因并采取补救措施。质

量验收阶段应对裂缝情况进行全面检查。对于已产生的裂缝,应依据规范判定其是否超出允许范围。宽度小于0.2mm的非结构裂缝可视为无害裂缝,可不作处理或仅做表面封闭;宽度超过限值或贯穿性裂缝,则必须进行修补处理,采用表面涂刷、压力注浆、开槽填补等方法恢复结构整体性和耐久性。同时,还应建立裂缝信息数据库和质量追溯机制。对出现的裂缝类型、部位、时间、规模以及当时的施工条件、环境参数等进行系统记录,积累经验数据,用于指导后续工程的裂缝防控工作,形成持续改进的良性循环。

3 结语

混凝土施工裂缝是涉及材料、设计、施工、养护等多因素的系统性难题。本文研究表明:材料方面,应优选低热水泥、掺加矿物掺合料、控制水胶比以提升抗裂性;施工方面,需规范拌制、浇筑、振捣及拆模操作,强化过程控制;环境与养护方面,须重视温湿度管理,确保充分湿养护,防止早期收缩开裂;设计方面,应合理设置配筋、伸缩缝和构造措施,降低约束应力;管理方面,要建立覆盖全过程的质量控制体系,实现责任闭环。裂缝防控必须坚持“预防为主、综合治理”,将材料优化、工艺控制、科学养护、设计改进与精细管理深度融合,构建全链条防控体系,方能有效保障工程结构安全与耐久性。

参考文献

- [1]庄榕.建筑混凝土结构施工裂缝成因与防控措施研究[J].居业,2026,(01):88-90.
- [2]刘歌,王海平.建筑工程施工技术中混凝土裂缝的成因与应对措施[J].中华建设,2025,(07):142-144.
- [3]李兆帅,王继龙.建筑工程施工中混凝土裂缝的成因与防治措施[J].陶瓷,2025,(06):111-114.
- [4]胡友田.建筑工程施工中混凝土裂缝的成因与应对措施[J].全面腐蚀控制,2024,38(12):28-30.