

混凝土裂缝的成因及其在建筑施工中的预防措施

王奇涛

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：在建筑工程中，混凝土作为核心材料，其裂缝问题直接威胁结构耐久性与安全性。本文立足于混凝土裂缝类型，剖析裂缝对混凝土结构带来的危害。在此基础上，从材料特性、施工操作、设计参数、环境条件四维度分析成因，提出建筑施工全阶段预防技术，包括材料选型优化、浇筑振捣控制、养护监测管理。希望通过本文的探究，可将裂缝发生率控制在规范允许范围，为建造高质量工程项目提供可靠的保障。

【关键词】：混凝土裂缝；成因分析；预防措施；养护技术

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.068

引言

随着建筑工程逐渐朝着高层化、大跨度的方向发展，混凝土结构用量也随之增加，混凝土裂缝成为了影响工程质量的核心隐患。裂缝不仅加速钢筋锈蚀与混凝土碳化，削弱结构耐久性，还可能引发承载安全风险，增加后期维护成本。当前部分工程“重进度、轻预防”，导致裂缝修补频繁、寿命缩短。因此，系统分析裂缝成因，构建全阶段预防体系，对保障建筑安全、提升工程质量具有重要意义。本文通过梳理裂缝成因，围绕裂缝预防技术展开探讨，旨在为施工企业提供可行性施工方案。

1 混凝土裂缝的基础概述

1.1 混凝土裂缝的分类

混凝土裂缝是指混凝土硬化过程或硬化后，内部应力超过材料抗拉强度（普通混凝土抗拉强度 2-4MPa）产生的微观或宏观缝隙，宽度从微米级至毫米级^[1]。根据裂缝成因不同，可分为荷载型与非荷载型裂缝，其中荷载型裂缝由外部荷载（自重、活荷载、地震荷载）引发，如梁底受弯裂缝、梁端斜剪裂缝，形态与荷载方向一致，多出现于受力关键部位；非荷载型裂缝由混凝土自身变形受约束产生，占比超 80%，包括温度裂缝（水化热、环境温差导致）、干缩裂缝（水分蒸发引发体积收缩）、碳化收缩裂缝（与二氧化碳反应）、沉缩裂缝（浇筑后骨料下沉受钢筋阻挡）^[2]。按形态可分为表面裂缝（深度≤50mm，表层干缩或温度变化引发，影响较小但易扩展）、深层裂缝（贯穿截面 1/3-2/3，内部温度应力或沉缩不均引发，削弱承载力需处理）、贯穿裂缝（贯穿整个截面，严重温度应力或荷载超标导致，破坏结构整体性，属危险性裂缝）。

1.2 混凝土裂缝的主要危害

混凝土裂缝产生的危害主要体现在以下方面：其一，削弱结构耐久性。裂缝会成为水分、氯离子及二氧化碳等侵蚀介质的渗透通道，加速钢筋锈蚀进程，钢筋锈蚀后体积会膨胀 2 至

4 倍，进而进一步扩大裂缝宽度，同时裂缝还会加剧混凝土碳化，碳化深度每增加 1mm，混凝土强度约下降 5%，最终导致结构强度随服役时间逐渐衰减；其二，影响承载安全。荷载型裂缝持续扩展会降低截面有效受力面积，引发应力集中，如梁体受弯裂缝宽度超 0.3mm 时，抗弯承载力下降 10%-15%，严重时致结构变形坍塌；第三，增加维护成本。裂缝需表面封闭、压力灌浆等修补，单条贯穿裂缝修补成本达数千元，修补不及时引发二次损伤时，成本增加 30%以上，还影响交付进度^[3]。

2 混凝土裂缝形成的多维度成因分析

混凝土裂缝的产生源于材料、施工、设计、环境因素的共同作用，各维度影响因素、作用机制及对应裂缝类型如表 1 所示：

表 1 混凝土裂缝形成的多维度成因及作用机制表

成因类别	具体影响因素	作用机制	典型裂缝类型
材料维度	1.水泥品种与用量 2.骨料质量 3.外加剂选型 4.配合比设计	1.高热水泥/用量大→水化热集中→温度梯度大→温度应力裂 2.骨料级配差/含泥量高→和易性差→振捣不密实→收缩裂 3.外加剂掺量超标→离析/收缩增大→沉缩裂/干缩裂 4.水灰比过大→密实度低→干缩率高→干缩裂	温度裂缝、干缩裂缝、沉缩裂缝
施工维度	1.搅拌与运输 2.浇筑与振捣 3.养护措施	1.搅拌不足→骨料不均；运输过长→坍落度损失→浇筑难→密实度差 2.分层过厚→振捣不	沉缩裂缝、干缩裂缝、荷载型裂

	4.模板拆除	到位→空洞；振捣过度→离析 →表面裂缝 3.养护不及时→水分快蒸→干 缩应力超抗拉强度 4.拆除过早→强度不足→承自 重裂	缝
设计 维度	结构刚度设计 配筋率控制 3. 荷载计算 4.构造措施	1.刚度突变→应力集中→裂缝 2.抗裂配筋率不足→难抗收缩 应力→干缩/温度裂 3.荷载取 值低→实际超设计→荷载型裂 缝 4.未设后浇带/伸缩缝→变 形受约束→温度裂	温度裂缝、 荷载型裂 缝、收缩裂 缝
环境 维度	温度变化 湿度条件 冻融循环 4.化学侵蚀	1.环境温差大→表层骤降→温 度应力裂 2.湿度低→水分快蒸→干缩裂 3.冻融循环→水分结冰膨胀→ 表层剥落/裂缝 4.化学侵蚀→表层酥松→裂缝 扩展	温度裂缝、 干缩裂缝、 冻融裂缝

3 建筑施工全阶段混凝土裂缝预防技术

3.1 材料与设计优化

3.1.1 材料选型与质量控制

材料选型与质量管控是混凝土裂缝预防的基础环节，需从材料选型、配合比设计、进场检验三方面系统把控。水泥选型需匹配工程类型：大体积混凝土优先选用低热矿渣硅酸盐水泥、低热粉煤灰硅酸盐水泥（水化热峰值≤300kJ/kg），通过掺加 20%-30%粉煤灰或矿粉等量替代水泥，将每立方米混凝土水泥用量控制在 300-350kg，从源头降低水化热释放量。骨料需选用连续级配类型，粗骨料粒径控制在 5-31.5mm，细骨料细度模数维持在 2.6-3.0，含泥量需严格限制（粗骨料≤1%、细骨料≤3%），严禁使用风化骨料或针片状骨料（针片状含量≤15%），避免因骨料性能缺陷增大混凝土干缩率^[4]。外加剂选用缓凝型高效减水剂（减水率≥25%），延长水化热释放时间；配合比设计中，水灰比控制在 0.4-0.5（泵送混凝土不超过 0.55），砂率维持在 35%-40%，在保障混凝土和易性的同时，实现低干缩性能。

3.1.2 设计参数优化

设计参数优化是从根源降低混凝土裂缝风险的核心手段，需围绕结构刚度、抗裂配筋、构造措施三方面开展。结构刚度设计应避免突变现象，在梁柱节点、墙板交接等易产生应力集中的部位，设置半径 50-100mm 的倒角实现渐变过渡，减少局部应力峰值。抗裂配筋需针对性布置：混凝土表层结构（如楼板、墙板）应铺设直径 6-8mm、间距 150-200mm 的抗裂钢筋网；大体积混凝土需沿截面高度均匀配置配筋率 0.15%-0.2% 的温度应力钢筋，通过钢筋的约束作用抑制混凝土收缩变形。混凝土温度应力计算需采用式（1）计算：

$$\sigma_t = \alpha \times E \times \Delta T \times K \quad (1)$$

式中， σ 为混凝土温度应力（MPa）； α 为混凝土线膨胀系数，取值 $1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ； E 为混凝土弹性模量（MPa），其中 C30 混凝土弹性模量取 $3 \times 10^4 \text{MPa}$ ； ΔT 为混凝土内外温差（ $^{\circ}\text{C}$ ）； K 为约束系数，刚性约束条件下取值 0.8-1.0。构造措施需同步完善：超长结构（长度超过 55m）应设置间距 30-40m 的伸缩缝，或宽度 800-1000mm 的后浇带（后浇带浇筑时间间隔≥28 天）；大体积混凝土需布设管径 50mm、间距 1.5-2m 的循环冷却水管，通过通水调控使混凝土内外温差≤25 $^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 浇筑与振捣控制技术

3.2.1 搅拌与运输控制

混凝土搅拌与运输环节直接影响材料均匀性与和易性，需严格把控关键技术参数。搅拌时长需结合混凝土配比动态调整：普通混凝土搅拌时长为 90-120 秒，掺外加剂时延长至 120-150 秒，确保骨料、水泥与外加剂充分混合，避免因搅拌不充分导致局部性能不均。每工作班检测坍落度不少于 2 次，泵送混凝土坍落度控制在 120±20mm，若坍落度偏离控制范围，需通过调整外加剂用量修正，严禁直接加水改变配比^[5]。

运输时长需结合环境温度动态调整，避免混凝土在运输过程中出现初凝：夏季环境温度>30 $^{\circ}\text{C}$ 时，运输时长≤60 分钟；冬季环境温度<5 $^{\circ}\text{C}$ 时，运输时长≤90 分钟。运输过程中，罐车需以 2-4r/min 的转速低速转动，防止混凝土离析。混凝土运至施工现场后，需先检查和易性，若出现离析现象，需进行 30-60 秒的二次搅拌，待和易性达标后方可入模。

3.2.2 浇筑与振捣技术

混凝土浇筑与振捣质量直接决定结构密实度，是预防内部空洞及表面裂缝的核心环节，需遵循“分层浇筑、精准振捣”原则。浇筑采用“斜面分层、循序渐进”方式，分层厚度需根据振捣设备类型精准控制：采用插入式振捣器时，分层厚度≤500mm；采用平板振捣器时，分层厚度≤200mm。相邻分层

浇筑间隔时间需控制在混凝土初凝时间以内（通常为2-3小时），避免形成施工冷缝^[6]。

振捣操作采用“快插慢拔”工艺：插入式振捣器的振捣点间距 $\leq 400\text{mm}$ （即不超过振捣半径的1.5倍），振捣时长控制在10-30秒，直至混凝土表面泛浆且无气泡溢出，严禁漏振（避免形成内部空洞）或过振（防止骨料离析）。特殊部位需强化振捣措施：梁柱节点、钢筋密集区域采用直径30mm的小型振捣棒，确保振捣到位；楼板部位采用平板振捣器振捣后，需配合人工找平，确保表面平整度偏差 $\leq 5\text{mm}$ （采用2m靠尺检测），减少局部应力集中隐患。

3.3 养护与监测技术

3.3.1 养护技术控制

混凝土养护是预防干缩裂缝与温度裂缝的关键工序，需精准把控养护启动时机与养护方式。养护启动时机需结合环境温度灵活调整：夏季混凝土浇筑完成后12小时内、冬季24小时内，需覆盖土工布进行保湿；大体积混凝土浇筑完成后6小时内启动养护，避免表面水分快速蒸发引发干缩。

养护方式需按混凝土类型分类实施：普通混凝土采用“覆盖保湿+洒水养护”模式，养护时长 ≥ 7 天，掺加粉煤灰或矿粉的混凝土养护时长 ≥ 14 天，夏季每天洒水 ≥ 4 次、冬季 ≥ 2 次，确保养护材料始终处于湿润状态，维持混凝土表面湿度稳定；大体积混凝土采用“覆盖保温+蓄水养护”（蓄水深度50-100mm）或循环冷却水管通水养护（进水温度 $\leq 25^\circ\text{C}$ ），实时监测并控制混凝土内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ 、表面与环境温差 $\leq 20^\circ\text{C}$ 。每日需检查养护材料湿度与混凝土表面温度，建立养护记录台账，避免因养护中断导致裂缝。

3.3.2 模板拆除控制

模板拆除需严格依据混凝土强度等级及规范拆除顺序执

行，防止因拆除过早或操作不当引发裂缝。拆除时间需以同条件养护试块的强度检测结果为依据：板类构件（跨度 $\leq 2\text{m}$ ）需达到设计强度的50%，板类构件（跨度2-8m）、梁类构件（跨度 $\leq 8\text{m}$ ）需达到设计强度的75%，梁类构件（跨度 $> 8\text{m}$ ）及悬臂构件需达到设计强度的100%。冬季低温环境下需延长拆除时间，以C30混凝土为例，在 5°C 环境下达到75%设计强度需14天（较常温环境延长5天）。

3.3.3 裂缝监测技术

混凝土裂缝实时监测是及时发现结构隐患、避免裂缝扩展的重要手段，需明确监测点位、内容与频率。监测点需精准布设于结构关键受力部位：大体积混凝土筏板中心、梁跨中、墙板转角处，每 50m^2 布置监测点不少于1个，所有监测点需统一编号并记录位置。

监测内容包括裂缝宽度（采用精度为 0.02mm 的裂缝宽度仪检测）、裂缝长度及深度；监测频率根据混凝土龄期调整：浇筑完成后前7天每天监测1次，7-28天每3天监测1次。当一类环境下裂缝宽度超过 0.3mm 时，需立即停止施工、疏散作业人员，采用环氧树脂胶表面封闭结合压力灌浆法进行修补；修补完成后需持续监测7天，确认无裂缝扩展趋势后方可恢复施工。

4 结语

总之，混凝土裂缝预防是贯穿施工全阶段的系统工程，需从材料选型、设计优化，到浇筑振捣、养护监测全程严格把控。本文通过多维度成因分析，提出针对性技术与对策，注重“源头-过程-监测”协同，以降低裂缝发生率、提升混凝土结构耐久性。未来探究中，需推动智能监测与材料深度融合，研发自修复混凝土、智能温控系统，为裂缝预防提供更先进支撑，进而助力建筑行业高质量发展。

参考文献：

- [1] 祝志荣,卢日新,叶锦鹏,陈兴竹,何智洋.建筑工程中混凝土裂缝成因及裂缝预处理分析[J].中国建筑装饰装修,2024,(14):105-107.
- [2] 李正.混凝土裂缝预防和处理措施分析[J].建材发展导向,2024,22(07):99-101.
- [3] 李胜伟,魏茂彬.关于混凝土结构裂缝成因及预防措施研究[J].建筑结构,2023,53(S1):1608-1611.
- [4] 张晓辉.浅析混凝土裂缝成因及控制方法[J].冶金管理,2023,(08):99-101.
- [5] 王梦磊.建筑工程混凝土裂缝成因分析及控制措施[J].陶瓷,2023,(04):138-140.
- [6] 姚剑平.混凝土裂缝成因及防治措施探析[J].江西建材,2023,(01):186-187+190.