房建工程施工中大体积混凝土裂缝成因及控制技术

李　芳
中扬（天津）工程技术有限公司　天津　300392

摘　要：大体积混凝土是房建工程核心施工材料，但其易产生裂缝的问题严重影响建筑结构安全与使用寿命。本文依托现行施工规范，系统梳理大体积混凝土裂缝的分类与危害，从原材料、施工工艺、温度养护、结构地基四大维度深度剖析裂缝核心成因。同时针对性提出原材料优化、配合比精细化设计、施工过程防控、温控养护强化等专项控制技术，旨在有效规避裂缝病害，提升房建工程混凝土施工质量与结构稳定性。

关键词：房建工程施工；大体积混凝土；裂缝成因；控制技术

引言：随着高层建筑、大型配套建筑项目持续增多，大体积混凝土在房建工程中的应用愈发广泛。受材料特性、施工环境、工艺把控等多重因素影响，大体积混凝土极易产生温度、收缩、沉降等各类裂缝，不仅破坏结构整体性，还会缩短建筑耐久年限、增加施工成本。为有效解决这一施工难题，保障工程施工质量与安全，本文结合工程实际，深入探究大体积混凝土裂缝形成机理，制定科学可行的裂缝防控技术方案，为同类房建施工项目提供参考。

1 房建工程大体积混凝土及裂缝基础理论

1.1 大体积混凝土定义及工程特性

（1）行业规范中大体积混凝土的界定标准，房建工程中大体积混凝土常用应用场景。根据《大体积混凝土施工标准》（GB50496），大体积混凝土指结构物实体最小尺寸不小于 1m，或预计会因水泥水化热引起内外温差而导致有害裂缝产生的混凝土结构。房建工程中，大体积混凝土广泛应用于高层建筑筏板基础、桩基承台、大直径灌注桩、转换层厚板及大型设备基础等场景。（2）大体积混凝土水化热高、内外温差大、收缩变形明显、结构约束性强的核心工程特性。水泥水化反应集中释放大量热量，因结构截面厚大、表面系数低，内部热量难以散失，导致内外温差显著。同时，混凝土硬化过程中伴随干燥收缩和温度收缩，加之地基、钢筋及相邻构件的强约束作用，内部产生较大拉应力，为裂缝形成提供了内在条件[1]。

1.2 房建工程大体积混凝土裂缝分类

（1）按裂缝形态划分：表面裂缝、深层裂缝、贯穿性裂缝。表面裂缝多发生于混凝土表层，深度较浅；深层裂缝切入结构内部一定深度；贯穿性裂缝则完全贯穿构件截面，对结构整体性危害最大。（2）按形成时间划分：塑性阶段裂缝、硬化阶段裂缝、后期服役裂缝。塑性阶段裂缝出现在混凝土初凝前，主要由塑性沉降和塑性收缩引起；硬化阶段裂缝发生于混凝土凝结硬化过程中，与温度应力和自收缩密切相关；后期服役裂缝则在使用阶段因荷载、环境等因素逐渐发展。（3）按成因划分：温度裂缝、收缩裂缝、沉降裂缝、外力荷载裂缝。温度裂缝由水化热引起的温差应力导致；收缩裂缝源于混凝土硬化过程中的体积收缩受阻；沉降裂缝因地基不均匀沉降引发；外力荷载裂缝则由施工荷载或使用荷载超过混凝土抗拉强度造成。

1.3 大体积混凝土裂缝危害

（1）结构安全危害：裂缝破坏混凝土结构整体性，减小有效受力截面，降低结构承载力和稳定性，贯穿性裂缝的扩展可能引发严重安全隐患。（2）耐久性能危害：裂缝为水汽、氯离子、二氧化碳等腐蚀性介质提供渗入通道，加速钢筋锈蚀和混凝土碳化，显著缩短建筑使用寿命。（3）工程经济危害：裂缝处理涉及返工、修补等额外工序，大幅增加施工成本，同时延误工期，造成较大的经济损失。

2 房建工程大体积混凝土裂缝核心成因分析

2.1 材料自身因素引发的裂缝

（1）水泥性能影响：水泥水化热过高、安定性不达标，导致混凝土内部温差应力过大。水泥中 C_3S 和 C_3A 含量直接决定水化放热速率，含量越高，早期温升越快，内部热量积聚与表面快速散热形成显著温差，产生较大拉应力。此外，安定性不良的水泥中游离 CaO 和 MgO 在硬化后缓慢水化，产生不均匀体积膨胀，破坏浆体结构的完整性，引发微裂纹扩展。（2）骨料与

外加剂影响：骨料级配不合理、含泥量超标，外加剂选型不当、掺量失衡。骨料级配不良导致空隙率增大，需增加水泥浆用量，加剧收缩变形；含泥量超标时，泥土吸附拌和水并削弱骨料—水泥石界面粘结强度，形成强度薄弱区。外加剂与水泥适应性差或超掺，可能造成泌水、过度缓凝或引入有害气泡，降低密实度与抗裂性能[2]。（3）配合比设计不合理：水胶比过大、砂率失衡，混凝土收缩率超标，抗裂性能不足。水胶比过大使硬化浆体孔隙率增加，干燥失水时毛细管压力增大，干缩应变显著上升；砂率偏高则粗骨料用量减少，而粗骨料对收缩具有约束抑制作用，其含量降低直接削弱混凝土抗变形能力，在约束条件下更易开裂。

2.2 施工工艺因素引发的裂缝

（1）拌合与运输问题：混凝土拌合不均匀、运输过程离析、坍落度损失过大。拌合时间不足或顺序不当使水泥浆分布不均，局部富浆或缺浆区力学性能差异显著；长距离运输中的振动造成粗细骨料分层离析，匀质性下降；坍落度经时损失过大导致入模工作性差，振捣困难，排气不充分，形成内部缺陷。（2）浇筑与振捣问题：浇筑分层厚度不合理、振捣不密实或过振，混凝土内部存在空隙缺陷。分层厚度过大时，下层混凝土在覆盖前已接近初凝，形成无法融合的施工冷缝；振捣不密实使气泡滞留、骨料架空；过振导致骨料下沉、浮浆过厚，浮浆层水胶比高、收缩大，硬化后极易产生龟裂[3]。（3）施工间歇与拆模不当：浇筑间歇时间过长产生施工冷缝，拆模过早引发结构应力裂缝。设备故障或供料中断使间歇超时，已浇混凝土初凝后与新鲜混凝土无法有效粘结，冷缝成为结构薄弱面；过早拆模时混凝土抗拉强度尚低，表面失去保温保湿保护，在温度应力与自重力联合作用下产生裂缝。

2.3 温度与养护因素引发的裂缝

（1）水化热温差裂缝：混凝土内部水化热积聚、外部散热快，内外温差超标产生温度应力裂缝。大体积混凝土截面厚、表面系数小，内部热量难以导出形成高温核心区，表面散热迅速，内外温差超过 25℃时，温度应力即可超过该龄期混凝土的抗拉强度，由表及内形成裂缝。（2）养护工艺缺失：养护时间不足、洒水不及时、保温保湿措施不到位，引发干缩裂缝。大体积混凝土养护不应少于 14d，若养护时间不足或覆盖保湿不到位，表面水分急剧蒸发，毛细管负压产生较大干缩拉应力，形成密集网状浅层裂缝。保温措施欠缺时内外温差失控，裂缝进一步扩展。（3）环境温度影响：高温、低温、昼夜温差大等恶劣施工环境加剧混凝土变形开裂。高温使入模温度偏高，加剧内部温升和水分蒸发；低温延缓水化、增加冻胀风险；昼夜频繁的温度波动使混凝土反复胀缩，疲劳应力不断累积，开裂机率显著增大。

2.4 结构设计与地基因素引发的裂缝

（1）结构设计缺陷：配筋不合理、伸缩缝与后浇带设置不当，结构约束应力集中。构造钢筋配筋率不足或间距过大，无法有效约束温度收缩变形；伸缩缝间距超过规范限值时，累积变形量超越混凝土极限应变；后浇带位置不当或宽度不足，未能有效释放早期温度收缩，导致应力在薄弱截面集中而开裂。（2）地基基础问题：地基不均匀沉降、基础处理不达标，引发混凝土结构沉降裂缝。地基土层压缩性差异大或处理深度不足，在施工荷载作用下产生差异沉降，筏板基础承受附加弯矩与剪力，内部产生斜向拉应力集中，当拉应力超出极限抗拉强度时，即沿主拉应力方向形成贯穿性裂缝，且沉降持续时裂缝不断扩展。

3 房建工程施工中大体积混凝土裂缝控制关键技术

3.1 原材料质量优化控制技术

（1）优选低热、低水化热水泥，严控水泥进场质量指标，降低内部温升幅度。宜优先选用中热硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥，其 3d 水化热不大于 240kJ/kg、7d 水化热不大于 270kJ/kg。每批水泥进场须严格检测安定性、凝结时间及水化热等指标，安定性检验必须合格，游离氧化钙含量超标水泥严禁使用，从源头控制水化温升峰值。（2）优化骨料选型与级配，严控骨料含泥量、含水率，合理选用粉煤灰、矿粉等掺合料。粗骨料宜采用 5~31.5mm 连续级配碎石，含泥量不大于 1%；细骨料选用细度模数 2.6~3.0 的中砂，含泥量不大于 3%。堆场须硬化并设排水设施，严防泥土混入。粉煤灰宜选用 I 级或 II 级，烧失量不大于 5%，掺量 20%~30%；矿粉选用 S95 级以上，掺量 20%~40%，复合掺用协同降低水泥用量[4]。（3）科学适配外加剂，精准控制掺量，改善混凝土和易性，降低收缩变形值。选用缓凝型聚羧酸高效减水剂，减水率不低于 20%，含气量控制在 3.0%~5.5%。缓凝时间经试验确定，初凝控制在 6~8h。外加剂掺量以胶凝材料总量百分数计，误差控制在 ±0.1% 以内，严禁凭经验随意增减。

3.2 配合比精细化设计技术

（1）基于施工环境优化水胶比、砂率，减少混凝土自由收缩量。水胶比宜控制在 0.40~0.45 之间，取较低值以降低孔隙率；砂率宜为 38%~42%，粗骨料用量不低于 1050kg/m³，充分发挥骨架约束效应。夏季坍落度

取 160~180mm，冬季取 120~150mm，通过调整外加剂组分维持工作性。（2）通过掺加矿物掺合料替代部分水泥，降低整体水化热，提升混凝土抗裂性能。粉煤灰与矿粉双掺总替代量达胶凝材料 40%~50%，降低单方水泥用量 60~80kg，水化热峰值降低 15%~25%，峰值出现时间推迟 8~12h。掺合料的微集料填充效应改善界面过渡区，28d 抗拉强度提高 10%~15%。（3）开展试配试验，结合现场工况确定最优配合比，保障混凝土强度与抗裂性平衡。施工前不少于 28d 开展试配，设计不少于 3 组方案进行比选，测定坍落度、凝结时间、抗压强度、收缩率及绝热温升等指标。要求 28d 强度不低于设计等级 115%，56d 收缩率不大于 300×10^{-6}，绝热温升不大于 45℃。

3.3 施工过程精细化防控技术

（1）规范拌合、运输流程，保障混凝土均匀性与工作性能，杜绝离析、坍落度异常问题。强制搅拌时间不少于 60s，掺纤维时不少于 90s，各组分称量偏差 ±1% 以内。罐车装料前排尽积水，途中 2~4r/min 低速转动，严禁加水。到场逐车检测坍落度，偏差超过 ±20mm 作退货处理[5]。（2）优化分层分段浇筑、振捣工艺，严控浇筑厚度与振捣频次，保证混凝土密实度。采用斜面分层连续浇筑，每层厚度 300~500mm，层间间隔不超过初凝时间 2/3（≤ 4h）。振捣点呈梅花形布置，间距不大于 400mm，每点振捣 20~30s 至表面泛浆、无气泡逸出。振捣棒快插慢拔，插入下层 50~100mm。（3）合理设置后浇带、伸缩缝，优化拆模流程，释放结构约束应力。后浇带间距 30~40m，带宽 800~1000mm，设置于应力较小部位，60d 后封闭，浇筑温度低于两侧 2~3℃。伸缩缝按设计留设。侧模拆除强度不低于设计值 50%（≥ 3d），承重底模须达 100%且不宜早于 7d。

3.4 温控与养护强化控制技术

（1）实施全程温度监测，实时把控混凝土内外温差，及时调整温控措施。预埋热电偶传感器，沿厚度在表层、中心、底层布点，平面间距不大于 5m。前 3d 每 2h、3~7d 每 4h、7~14d 每 8h 记录一次。内外温差超过 25℃或降温速率超过 2℃/d 时立即启动预警。（2）采用保温覆盖、通水降温等温控手段，缩小内外温差，抑制温度裂缝产生。保温层采用草袋或棉被，厚度 20~50mm，搭接严密无缝隙。厚度大于 2m 构件预埋冷却水管，管径 25~50mm，间距 1.0~1.5m，进出水温差控制在 10℃以内，降温速率不超过 2℃/d。（3）落实长效保湿养护制度，根据环境温度调整养护时长与方式，预防干缩裂缝。保湿养护不少于 14d，特殊要求延长至 28d。采用蓄水养护（水深≥ 100mm）、覆盖湿麻袋或喷涂养护剂等方式。设专人定时巡查，高温干燥时每 1~2h 洒水一次，大风天气增设挡风围护，确保表面始终湿润。

结束语

大体积混凝土裂缝防控是房建工程施工质量管控的重点与难点，裂缝的产生是材料、施工、养护、设计多因素共同作用的结果。施工过程中需秉持预防为主、综合治理的原则，从源头优化原材料与配合比，严控施工各环节工艺标准，强化全程温控与养护管理。通过全方位、精细化的防控举措，可有效抑制裂缝产生与扩展，切实提升大体积混凝土施工质量，保障房建工程整体结构安全与长期使用性能。

参考文献

[1] 张勇, 刘阳. 建筑大体积混凝土早期裂缝成因及精细化施工控制策略 [J]. 建筑科学,2023,39(04):156-161.

[2] 赵亚峰, 陈铭. 基于温控优化的房建大体积混凝土抗裂施工技术 [J]. 混凝土,2022,23(09):134-138.

[3] 黄伟, 周凯. 房建大体积混凝土收缩裂缝机理及外加剂优化防控 [J]. 硅酸盐通报,2024,43(08):2789-2795.

[4] 王超. 房建工程大体积混凝土施工裂缝控制技术研究 [J]. 工程技术研究,2025,10(22):153-155.

[5] 叶培旭. 房建施工中大体积混凝土裂缝成因及防控措施探析 [J]. 工程建设与设计,2024,34(18):167-169.