

建筑结构中混凝土材料裂缝的控制技术研究

濮利荣

(江苏金海宁新型建材科技有限公司, 江苏 南京 211500)

摘 要 混凝土作为建筑结构的主要承重材料, 其裂缝问题一直是影响工程耐久性和结构安全性的主要障碍, 裂缝的萌生、扩展、演化容易造成钢筋锈蚀、结构刚度降低等连锁病害, 严重时会导致结构失效。本文根据工程实践的特点, 对混凝土裂缝的固有特性及多元成因类型进行系统的分析, 从材料匹配、施工控制、结构设计、环境调节四个方面入手, 研究具有针对性和创新性的裂缝控制技术, 旨在解决不同场合下裂缝防控的技术难题, 为提高建筑结构混凝土构件的抗裂性能、延长工程服役寿命提供借鉴。

关键词 建筑结构; 混凝土材料; 裂缝特性; 裂缝类型; 控制技术

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.014

0 引言

混凝土由于抗压强度高、取材方便、可塑性好等优点, 在现代建筑工程中被广泛地用于高层建筑、桥梁、工业厂房等各种结构构件上。但是混凝土材料本身具有脆性, 在材料制备、施工成型、使用运维的全生命周期内, 受到多种因素耦合作用很容易产生裂缝, 不仅影响结构外观的完整性, 而且会降低构件的承载能力、抗渗性能和抗侵蚀性能, 增加工程维修成本和安全风险。随着建筑工程向大跨度、超高层、复杂环境方向发展, 混凝土裂缝的防控难度越来越大, 传统的防控手段已经不能满足高标准工程的使用需求。因此, 深入探究混凝土材料裂缝的特性、种类和控制技术, 冲破传统技术的束缚, 构建契合复杂工程场景的裂缝防控体系, 对改善建筑工程质量、保证结构长久稳定具有十分重要的现实意义。

1 建筑结构中混凝土材料裂缝的特性

建筑结构混凝土裂缝特性主要表现在多因素耦合诱发、动态演化规律复杂、危害传导具有隐蔽性三个方面, 其萌生和扩展不是单一机制作用的结果, 而是材料本构特性、外部荷载、环境作用、施工扰动等多维因素叠加的结果。裂缝的动态演化具有明显的阶段性, 早期主要是微观孔隙的扩展, 肉眼很难察觉, 此时如果不及时处理, 会在应力集中或者环境侵蚀的作用下逐渐发展成宏观裂缝, 裂缝的扩展速率和方向受混凝土内部骨料分布、界面黏结强度、外部约束条件

的影响而呈非线性变化。与其它材料裂缝不同的是, 混凝土裂缝的危害具有传导性, 宏观裂缝形成之后会破坏构件内部的受力平衡, 引起局部应力重分布, 同时给水分、氯离子等侵蚀介质提供渗透通道, 加快钢筋锈蚀和混凝土碳化的速度, 形成裂缝扩展、侵蚀加剧、结构损伤的恶性循环^[1]。另外, 混凝土裂缝的可控性有很强的场景依赖性, 不同工程类型、使用环境下裂缝的特性不一样, 给裂缝防控技术的精准适配带来困难, 要根据工程实际准确把握裂缝演化的规律, 才能实现有效控制。

2 建筑结构中混凝土材料裂缝的类型

2.1 材料自身引发的裂缝

材料自身引起的裂缝源于混凝土内部组分匹配失衡和体积变形不协调, 不是单纯由材料质量缺陷造成的, 主要原因是胶凝材料水化反应失衡、骨料与胶凝体系界面相容性不好、外加剂匹配不当等。胶凝材料水化时释放的水化热不能及时散发, 会造成混凝土内部与表面产生温差应力, 如果此时混凝土还没有形成足够强度, 就会产生温度收缩裂缝, 温度收缩裂缝多为不规则网状或放射状, 水化后期容易随体积收缩而扩展。骨料的级配、粒径和矿物成分对裂缝的形成有很大影响, 连续级配缺乏或者骨料粒径过大都会使混凝土内部密实度不均, 形成应力薄弱区, 而骨料与水泥石界面黏结性能不足, 在干燥收缩过程中由于界面剥离会产生微裂缝, 这些微裂缝虽然初期影响不大,

作者简介: 濮利荣 (1989-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 混凝土质量控制。

但会成为宏观裂缝的萌生起点。外加剂的不当使用会增加材料自身裂缝的风险,缓凝剂用量过多会延长水化时间,使混凝土早期强度增长缓慢,不能抵抗收缩应力。高效减水剂与胶凝材料适应性不好会导致离析、泌水,使混凝土表层形成疏松层,降低抗裂能力。这类裂缝的防控核心在于优化材料组分匹配,提高内部结构稳定性。

2.2 施工过程产生的裂缝

施工过程中产生的裂缝具有时效性以及人为扰动相关性,多出现在混凝土浇筑、振捣、养护、模板拆除等重要工序中。裂缝的产生与施工工艺参数控制、操作规范性、工序衔接合理性密切相关,而且容易因为施工的隐蔽性而造成后期难以整改。浇筑时布料不均会造成混凝土局部堆积或振捣盲区,引起密实度不均,在凝结硬化过程中产生收缩裂缝。振捣过度会破坏骨料级配,使水泥浆与骨料分离,表层水泥浆过厚,干燥收缩时产生起皮裂缝。模板支撑体系稳定性及拆除时机控制不当是造成裂缝的原因之一,支撑变形会使混凝土构件在凝结过程中受到附加应力,过早拆除模板会使混凝土强度不够,不能承受自身的重量和施工荷载,产生受力裂缝,这类裂缝多沿构件受力主筋方向延伸^[2]。养护不及时或者养护方式不合理会加剧裂缝的产生,混凝土浇筑完成后如果不能及时覆盖保湿,表层水分会迅速蒸发,造成干燥收缩速率过快,产生贯穿性裂缝。低温环境下养护措施不到位,会使混凝土受冻产生冻胀裂缝。这类裂缝的防控需要强化全工序工艺控制,实现施工参数与混凝土凝结特性精准匹配。

2.3 使用环境诱发的裂缝

使用环境诱发的裂缝是混凝土构件在使用过程中,由于外部环境因素的长期作用而产生的一种损伤。裂缝的形成与环境介质的性质、作用周期、构件的位置有关,裂缝的发展具有明显环境依赖性。干湿交替环境中,混凝土内部水分反复蒸发和渗入,引起体积胀缩循环,长期作用下会使内部微裂缝逐渐扩展,地下结构、屋面构件等地方尤其突出,并且容易和侵蚀介质一起加剧损伤。高温或者严寒环境会引发温度型环境裂缝,高温环境下混凝土表层因为热膨胀受到内部约束产生拉应力,严寒环境下内部孔隙水结冰膨胀会破坏混凝土微观结构,反复冻融后形成网状裂缝,降低构件整体性。腐蚀性环境通过化学作用诱发裂缝,工业环境中的酸性介质、海洋环境中的氯离子等,会

和混凝土中的成分发生化学反应,生成膨胀性产物,造成内部应力累积而产生裂缝,这类裂缝一般会伴随混凝土强度下降,防控难度比普通环境下的裂缝要大得多,需要根据环境特性采取相应的防护措施。

2.4 结构受力导致的裂缝

结构受力产生的裂缝是混凝土构件在荷载作用下,内部拉应力超过材料抗拉强度而产生的损伤,裂缝形态、位置与荷载类型、受力状态有关,裂缝扩展与荷载作用周期有明显的相关性。静力荷载作用下,受弯构件在受拉区容易产生垂直于主筋方向的正截面裂缝,裂缝从构件边缘向中和轴方向延伸,宽度随荷载增加而增大,当荷载超过设计限值时,就会发展成贯穿性裂缝,降低构件的承载能力。剪切荷载作用下,构件会出现斜裂缝,多呈 45° 左右倾斜角度,多见于梁端、柱节点等剪力集中部位,斜裂缝的扩展容易造成构件发生剪切破坏,危险性比正截面裂缝高^[3]。长期反复荷载作用下,混凝土会产生疲劳裂缝,疲劳裂缝初期宽度小,扩展慢,但是随着荷载循环次数的增加,裂缝会慢慢变深变宽,在应力集中部位容易产生,如构件孔洞、截面突变处。结构不均匀沉降会产生附加应力,使构件产生沉降裂缝,此类裂缝大多为贯穿性,方向与沉降变形方向一致,防控重点是改善结构受力设计,提高构件抗裂承载力和变形适应性。

3 建筑结构中混凝土材料裂缝的控制技术

3.1 材料优化适配技术

材料优化适配技术的核心是通过调整混凝土组分比例、改善材料性能,在源头上提高抗裂能力,打破传统单一材料调整的局限,实现组分协同优化和性能精准匹配。采用复合胶凝材料体系是重要技术路径,用矿粉、粉煤灰等掺合料按合理比例替代水泥,不仅可以降低水化热释放速率,减少温差应力,还可以改善混凝土的微观结构,提高界面粘结强度,抑制微裂缝的产生。针对骨料优化,采用连续级配骨料,合理调整粒径区间,掺加石粉,提高混凝土的密实度,选用与胶凝体系相容性好的骨料,通过表面改性处理提高骨料与水泥石的黏结性能,减少界面剥离裂缝。外加剂的精准适配是技术关键,根据工程需求选择高性能复合外加剂,通过试验确定最佳掺量,实现缓凝、减水、保塑等功能协同,避免单一外加剂使用带来的性能缺陷,同时可以掺入纤维材料,如钢纤维、聚丙烯纤维,利用纤维的桥接作用抑制裂缝扩展,提高混凝土抗拉韧性,从材料层面构建抗裂防护体系。

3.2 施工工艺管控技术

施工工艺管控技术以全工序参数精准控制为重心,根据混凝土凝结硬化规律来改进施工流程,削减人为扰动和工艺缺陷造成的裂缝,实现施工过程与材料性能的动态匹配。浇筑工艺采用分层布料、分层振捣,结合实时监测技术控制振捣频率和时长,防止振捣不足或者过度,同时大体积混凝土用跳仓浇筑技术,设置后浇带释放温度应力,配合预埋冷却水管系统,精准控制内部水化热散发速度,缩小内外温差^[4]。模板工程管控以支撑体系稳定性、拆除时机为核心,采用模块化支撑结构,加强节点固定,根据混凝土强度增长数据来确定合理的拆除时间,避免过早拆模造成的受力裂缝,优化模板周转工艺,减少模板变形对混凝土成型质量的影响。养护工艺要精细化管理,根据环境温度、湿度来调整养护方式,采用保湿覆盖材料结合喷淋养护技术来延长保湿周期,保证混凝土强度稳步增长。低温环境下采用保温养护措施,高温环境下采取遮阳降温措施,抑制温度和干燥收缩裂缝,形成全流程工艺控制闭环。

3.3 结构设计强化技术

结构设计强化技术通过改善结构布置、改进构件设计来提高结构整体抗裂能力,克服传统设计重承载轻抗裂的缺点,实现承载性能和抗裂性能的同步提高。优化结构受力布局,规避应力集中区域,在构件孔洞、截面突变处做圆角处理或者增加加强肋,分散局部应力,抑制裂缝萌生,采用协同受力设计理念,通过构件间合理传力来减少单一构件的受力负荷。改进构件截面设计,对于受弯、受剪构件,采用双层双向配筋,增加构件受拉区抗拉能力,合理控制配筋率,避免配筋不足或者配筋过量造成的裂缝。大跨度构件使用预应力技术,预先加压应力来抵消使用时产生的拉应力,从源头上抑制裂缝的产生。结合结构服役环境及荷载特性进行抗裂专项设计,地下结构增加抗渗配筋、屋面构件强化温度应力抵抗设计,预留合理的变形空间,减小结构约束带来的附加应力,提高结构对裂缝的容错能力。

3.4 环境适配调控技术

环境适配调控技术根据使用环境特点采取相应的防护和调控措施,切断环境因素对混凝土的侵蚀途径,抑制环境诱发型裂缝产生和扩展,使结构与环境相适应、相共生。对于干湿交替、腐蚀性环境,采用表面防护技术,在混凝土表层涂刷高性能防腐涂层、渗透

结晶型防水材料,形成致密的防护层,阻断水分和侵蚀介质的渗透通道,同时可以采用混凝土表面硅烷浸渍处理,提高表层的憎水性和抗侵蚀能力。在高温、严寒环境中使用温度调节技术,屋面、外墙构件增设保温隔热层,减小环境温度变化对混凝土内部温度的影响。严寒地区对暴露构件采取防冻保护措施,防止冻融循环引起裂缝。高温地区采用遮阳、通风设计,降低构件表面温度,减小温度应力。对长期处在复杂环境中的结构,构建环境监测及动态调控体系,对环境温湿度、侵蚀介质浓度等参数展开实时监测,依据监测数据来调节防护措施。对已经出现的微小环境裂缝,采用灌浆修补技术及时处理,防止裂缝继续扩大,构建主动防控和被动修补相结合的环境适配体系^[5]。

4 结束语

建筑结构混凝土裂缝的控制是一项系统工程,涉及材料、施工、设计、环境等诸多方面,关键之处在于准确掌握裂缝的特性及成因,构建全生命周期、多维度协同的防控体系。混凝土裂缝的防控不能依靠单一的技术手段,要结合工程实际情况,实现材料优化、工艺控制、结构设计、环境调控的有机融合,冲破传统技术的局限,革新防控思路和方法,才能从源头上抑制裂缝的产生,阻止裂缝的扩展。随着建筑结构越加复杂,标准也越来越高,因此对于混凝土裂缝控制技术也提出了新的挑战。未来需要加强对多学科交叉的研究,采用新型材料以及智能检测等技术来提高对混凝土裂缝的预防性。不断改进裂缝控制技术,完善防控体系,提高建筑结构的耐久性、安全性,延长工程的服役寿命,给建筑工程质量的提高提供有力保障,促进建筑行业的高质量发展。

参考文献:

- [1] 何梦诗. 建筑工程基坑支护结构钢筋混凝土支撑拆除技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2026, 25(01): 64-66.
- [2] 刘晨. 建筑结构设计混凝土结构的优化设计[J]. 新疆钢铁, 2025(04): 110-112.
- [3] 朱兴. 纤维增强混凝土材料在建筑结构中的应用研究[J]. 居舍, 2025(08): 84-86.
- [4] 姬广锋, 邵帅, 徐健鹏. 钢筋混凝土材料在建筑主体结构中的施工技术研究[J]. 居舍, 2025(04): 49-52.
- [5] 张坤. 建筑工程大体积混凝土材料的性能与结构施工工艺研究[J]. 居舍, 2023(22): 56-58.