

混凝土结构裂缝控制技术与施工质量保障措施研究

李月肖

中土大地国际建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]混凝土结构因其承载能力高、材料易得、施工便捷等优势被广泛应用于各类工程建设中。然而,混凝土在硬化与服役过程中极易出现裂缝,而裂缝不仅影响结构耐久性,还可能降低承载能力,甚至导致结构安全隐患。裂缝是多因素作用下的结果,包括材料性能、环境温度变化、结构设计缺陷以及施工工艺不足等。随着工程建设规模日益增大,对混凝土裂缝控制提出更高要求。文中从混凝土结构裂缝形成机理出发,系统分析材料收缩、温度应力、外部荷载与结构约束等因素对裂缝产生的影响,在此基础上探讨裂缝控制的关键技术,包括配合比优化、裂缝控制设计方法以及高效施工工艺。同时,文章进一步分析施工质量管理措施对裂缝控制的重要作用,提出全过程质量保障体系。研究表明,通过科学设计、优化材料、规范施工与强化管理,可显著降低裂缝发生概率,提高结构耐久性与安全性。本研究旨在为工程实践中的混凝土裂缝控制提供技术参考与理论依据。

[关键词]混凝土裂缝; 裂缝控制; 施工质量; 温度应力; 材料收缩

DOI: 10.33142/aem.v8i2.19034

中图分类号: TU755

文献标识码: A

Research on Crack Control Technology and Construction Quality Management Measures for Concrete Structures

LI Yuexiao

Zhongtu Dadi International Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Concrete structures are widely used in various engineering constructions due to their high bearing capacity, easy availability of materials, and convenient construction. However, concrete is prone to cracking during the hardening and service process, which not only affects the durability of the structure, but may also reduce its load-bearing capacity and even lead to structural safety hazards. Cracks are the result of multiple factors, including material properties, environmental temperature changes, structural design defects, and inadequate construction techniques. With the increasing scale of engineering construction, higher requirements have been put forward for concrete crack control. Starting from the mechanism of crack formation in concrete structures, this article systematically analyzes the effects of material shrinkage, temperature stress, external loads, and structural constraints on crack formation. Based on this, key technologies for crack control are explored, including mix proportion optimization, crack control design methods, and efficient construction techniques. At the same time, the article further analyzes the important role of construction quality management measures in crack control and proposes a whole process quality assurance system. Research has shown that through scientific design, material optimization, standardized construction, and strengthened management, the probability of crack occurrence can be significantly reduced, and the durability and safety of structures can be improved. This study aims to provide technical reference and theoretical basis for concrete crack control in engineering practice.

Keywords: concrete cracks; crack control; construction quality; temperature stress; material shrinkage

引言

混凝土结构在工程建设中占据主导地位,但裂缝问题一直是困扰设计、施工与运营管理的关键技术难题。裂缝不仅影响结构外观品质,还会加速水分、氯离子等侵蚀介质的渗入,导致钢筋腐蚀、混凝土剥落等耐久性问题,严

重时可能影响结构安全性与使用功能。混凝土裂缝的产生具有多重原因,包括材料自身的收缩变形、温度梯度引起的应力变化、结构约束作用下的受力不均以及施工阶段的工艺缺陷。近年来,随着高性能混凝土、大体积混凝土及超长结构等工程类型的不断应用,裂缝控制难度进一步加

大。因此,有必要从材料、设计、施工与管理等多个角度系统研究裂缝控制技术,加强全过程质量保障,构建科学合理的裂缝防治体系。本文旨在通过裂缝机理分析、控制技术研究和施工质量保障措施论述,为提升混凝土结构的耐久性与安全性提供技术支持。

1 混凝土结构裂缝产生的机理分析

1.1 材料收缩因素对裂缝的影响机制

混凝土材料在硬化及长期服役过程中会出现塑性收缩、干燥收缩和自收缩。塑性收缩主要发生在混凝土浇筑后初凝前,由于水分蒸发导致表面收缩变形,在表层产生细微裂缝;干燥收缩主要是由于混凝土暴露在空气中水分持续蒸发引起的体积减小,若受到结构约束,则易产生贯穿性裂缝;自收缩多与低水胶比混凝土相关,水化过程中体积收缩可能在混凝土早期引发裂缝。材料收缩具有不可逆性,其产生的应力往往在未被及时释放时形成裂缝。因此,如何降低材料收缩量、提高混凝土早期强度与抗裂能力是控制裂缝的重要途径。

1.2 温度效应与结构约束对裂缝的影响

温度变化导致混凝土体积膨胀或收缩,形成温度应力。对于大体积混凝土,内部水化热积聚使内外温差较大,易导致温度裂缝;外界环境温度的日夜变化及季节变化同样会导致温度应力集中。当混凝土体积变形受到约束时,内部拉应力超过其抗拉强度即产生裂缝。例如,与基础、柱子或其他构件的连接处由于刚度差异产生约束应力,因此往往成为裂缝集中区域。温度裂缝通常呈贯穿性,对结构安全和防水性能影响显著,是混凝土工程中重点防治的裂缝类型之一。

1.3 荷载作用与结构设计缺陷导致的裂缝

荷载作用下的裂缝主要包括受弯裂缝、剪切裂缝及扭转裂缝等。当结构设计不合理、荷载超出设计范围或构件截面尺寸不足时,容易出现超应力裂缝。另外,混凝土结构中若钢筋布置不当,特别是受力钢筋未满足规范要求、保护层厚度不足、未设置足够的分布筋与温度筋,也会导致裂缝产生。结构设计中的薄弱构造,例如孔洞周边、截面变化处等,往往应力集中明显,是裂缝易发部位。设计缺陷是结构裂缝的重要诱因之一,应在设计阶段予以严格控制。

2 混凝土结构裂缝控制的材料技术

2.1 优化配合比以增强混凝土抗裂性能

混凝土配合比直接决定其强度、弹性模量、抗裂性能及耐久性。降低水胶比可减少混凝土收缩,但过低的水胶比会降低可施工性,因此需通过减水剂等外加剂改善工作性能。骨料级配合理可减少空隙率,提高材料整体性,有

助于降低裂缝风险。掺加粉煤灰、矿渣粉等矿物掺和料可改善水化热过程,减少温度升高幅度,从而降低温度裂缝风险。适量加入纤维材料(如聚丙烯纤维、玄武岩纤维等)可分散裂缝,提升混凝土的抗裂与抗冲击性能。科学的配合比设计是防止裂缝的基础技术。

2.2 外加剂技术在抑制裂缝中的作用

外加剂可显著改善混凝土性能,降低裂缝产生概率。例如,高效减水剂可减少用水量,提高密实性;引气剂可提高抗冻性能,减少冻融裂缝;膨胀剂可补偿部分收缩应变,有效抑制干缩裂缝;缓凝剂可降低水化热峰值,使温度上升速度减缓,从而减少温度裂缝。渗透结晶型外加剂可提高抗渗能力,减少因渗水导致的结构裂缝。合理选择与使用外加剂可从源头降低裂缝风险,是现代混凝土技术的关键部分。

2.3 新型抗裂材料技术的发展方向

近年来,抗裂材料技术发展迅速。例如,自愈合混凝土可通过内嵌胶凝剂微胶囊或微生物作用实现裂缝自动修复,有助于提高结构长期耐久性;纳米材料可改善混凝土微观结构,提高密实性;纤维增强复合材料(如碳纤维混凝土、碳纤维增强混凝土等)可提高抗拉强度并显著抑制裂缝发展。未来材料技术将向绿色环保、高效抗裂及智能修复方向发展,为裂缝控制提供更加可靠的材料支撑。

3 结构设计中的裂缝控制技术

3.1 基于结构性能的裂缝控制设计原则

裂缝控制设计需遵循结构受力规律,通过控制应力水平与限制裂缝宽度来提高结构耐久性。设计阶段应充分考虑结构受力特性与环境因素,使结构在使用阶段保持适宜的应力状态。合理的结构形式选择、截面尺寸布置以及钢筋配置是减少裂缝的关键。例如,在梁、板等受弯构件中,通过增加受拉钢筋或提高截面高度可有效减少裂缝宽度;在墙体构件中,通过增加水平分布筋和竖向钢筋可防止温度裂缝和收缩裂缝的产生。裂缝控制设计是结构安全的基础,也是耐久性设计的重要组成部分。

3.2 钢筋配置优化与应力分布控制技术

钢筋在混凝土结构中起着分散应力、限制裂缝开展和提高结构延性的作用。合理配置钢筋可有效控制裂缝宽度与间距。例如,在温度裂缝易发部位应增设附加钢筋,提高混凝土的约束能力;通过采用钢筋锚固优化设计可提高连接处抗裂能力;提高钢筋保护层厚度可延缓钢筋腐蚀导致的裂缝问题。不同构件区域的应力特性不同,钢筋布置应根据实际情况进行优化,以确保应力合理传递并降低集

中应力区裂缝风险。

3.3 结构细部构造优化与裂缝风险降低

结构细部构造如洞口、连接部位、截面突变处易出现应力集中，是裂缝高发区域。为降低裂缝风险，可通过增加附加钢筋、采用圆角过渡、合理设置伸缩缝、防止刚度突变等方法进行构造优化。同时，需要特别关注温度缝与沉降缝的设置，使结构在温度变化与地基变形作用下能够自由伸缩，避免因刚性约束导致裂缝产生。细部构造优化不仅能够提高抗裂能力，还可延长结构使用寿命，是裂缝控制不可或缺的技术内容。

4 施工阶段裂缝控制技术与质量保障措施

4.1 混凝土施工环节中的裂缝风险分析

施工阶段是裂缝产生的重要时期。浇筑过程中的不合理操作，如泌水、离析、振捣不足或过度振捣，会导致内部孔隙率增大或骨料分布不均，从而降低抗裂性能；早期养护不足会导致水分蒸发过快，引发收缩裂缝；模板支撑不稳可能导致构件变形，从而产生结构裂缝；浇筑温度过高也可能引发温度裂缝。施工阶段的裂缝不仅影响早期性能，还可能对结构全生命周期产生影响，因此需加强施工技术控制。

4.2 关键施工工艺优化以减少裂缝产生

为降低施工阶段裂缝风险，可采取以下措施：严格控制混凝土入模温度，避免高温导致早期收缩裂缝；采用分层浇筑并进行适度振捣，避免混凝土结构分层与弱界面；加强养护，采用覆盖养护、喷洒养护等方法防止水分流失，特别是对于气候干燥地区；控制浇筑速度，避免大面积一次性浇筑引起温差裂缝；在早期采用保温毯等材料进行温控措施，可有效减少大体积混凝土温度裂缝。施工工艺的规范化不仅能减少裂缝，也能提升工程质量与耐久性。

4.3 施工质量管理体系与全过程控制机制

施工质量管理是保障结构性能与耐久性的重要基础，需要依托完善的技术标准与有效的监督机制，确保施工过程严格落实设计要求与规范标准。通过系统化的施工技术交底，可使施工人员充分理解设计意图与关键控制要点，减少操作偏差带来的质量隐患。健全的质量验收与试验检测制度，有助于对材料性能与施工成果进行全过程核查，为结构实体质量提供客观依据。施工过程中的详细记录，为问题追溯与质量评估提供了可靠数据支撑。数字化施工管理平台的应用，使施工参数、工序状态与检测结果得以实时采集与分析，提升质量控制的及时性与精准性。对钢筋保护层厚度、混凝土振捣密实度及表面成型质量等关键节点进行重点检查，可有效降低裂缝产生风险。通过落实

质量责任制度与风险预警机制，施工管理由被动纠偏转向主动防控，为结构形成高质量状态提供有力保障。

5 裂缝控制的工程应用与后期维护策略

5.1 裂缝检测评价方法与性能诊断技术

裂缝检测在结构质量评估与维护决策中具有重要意义，是判断结构安全状态的重要依据。通过裂缝宽度与长度的精确测量，可直观反映裂缝的表观特征与变化情况。超声检测与雷达检测技术能够获取构件内部信息，对裂缝深度、内部损伤及潜在缺陷进行分析，提高检测结果的全面性。电化学检测方法可用于评估钢筋腐蚀状态，辅助判断裂缝对结构耐久性的影响。裂缝成因诊断需要结合服役环境、结构受力特点与材料性能等多方面因素，通过综合分析识别裂缝产生的内在机制与发展趋势。在此基础上，针对不同裂缝类型制定相应的控制与修复策略，可有效避免问题进一步恶化。科学、系统的评价方法，为后续维护管理提供可靠依据，有助于提升结构长期安全性与使用性能。

5.2 基于裂缝发展的维护与修复策略

裂缝出现后，需要结合裂缝性质、成因及发展趋势，制定具有针对性的修复与处理方案。对于不影响承载性能的非结构性裂缝，可采用表面防护涂层、压力灌浆或封闭处理等方法，恢复构件的完整性并阻止水分和有害介质进入结构内部。此类措施有助于改善外观质量并延缓耐久性劣化过程。当裂缝已对结构受力性能产生不利影响时，应通过粘钢、外包钢或粘贴碳纤维布等加固技术，提高构件承载能力与整体稳定性，使结构安全水平得到有效恢复。裂缝治理的重点不仅在于修补裂缝本身，还应着眼于消除促使裂缝扩展的外部条件，如完善排水系统、降低环境侵蚀强度并改善使用条件。通过科学、系统的维护管理，可有效延长结构服役年限，提升工程的安全性与可靠性，为结构长期稳定运行提供保障。

5.3 工程全生命周期裂缝管理机制构建

结构裂缝控制应贯穿于设计、施工、验收与运营各阶段，形成连续完整的管理体系。通过引入全生命周期管理理念，可在结构服役的不同时期对裂缝风险进行识别、干预与控制，使裂缝治理由事后修补转向前期预防与动态管理。在设计阶段开展裂缝预测分析，有助于提前识别高风险部位并优化构造措施。施工阶段通过严格的工艺控制与质量管理，可减少施工因素对裂缝形成的不利影响。结构投入使用后，建立定期巡检制度与监测系统，能够持续掌握裂缝变化情况并及时采取维护措施。数字化建模技术在裂缝管理中发挥着重要作用，通过对裂缝位置、宽度与发展趋势进行记录与分析，可提升管理的精度与效率。全生

命周期裂缝控制模式,有助于保持结构性能稳定,延长使用寿命,为工程建设的可持续发展提供坚实保障。

6 结论

混凝土结构裂缝的产生往往源于材料特性、结构受力、施工条件及环境作用等多重因素的共同影响,需要从系统角度进行综合控制。通过优化混凝土配合比、选用性能稳定的原材料并合理应用外加剂技术,可有效降低收缩变形与温度应力带来的不利影响,从源头减少裂缝产生的可能性。在结构设计阶段,合理配置钢筋、优化构件截面形式与细部构造,有助于改善受力状态并提升整体抗裂能力。施工过程中,对浇筑工艺、养护条件与施工质量进行精细化管理,可显著降低施工诱发裂缝的风险。结构投入使用后,借助检测手段对裂缝进行持续监测与评估,并采取针对性的修复措施,可防止裂缝进一步发展,延长结构服役

年限。随着智能监测技术、自修复材料及全生命周期管理理念的不断成熟,裂缝控制将更加科学高效。本研究提出的相关策略与措施,可为工程实践中的裂缝防控与耐久性提升提供有益参考。

[参考文献]

- [1]李志强,王海军.混凝土结构裂缝形成机理与防治技术研究[J].土木工程学报,2020,53(4):85-92.
- [2]陈亮,刘振华.混凝土裂缝控制的材料与结构设计方法探讨[J].建筑技术开发,2021,48(6):42-48.
- [3]张蕾,李峰.混凝土结构施工质量控制与裂缝防治措施[J].建筑施工,2019,41(9):66-70.

作者简介:李月肖(1983.5—),女,汉族,毕业院校:河北工业大学;现就职单位:中土大地国际建筑设计有限公司。