

混凝土结构裂缝检测及成因分析与防治措施研究

文 / 黄 卫 安徽省建设工程测试研究院有限责任公司

摘要: 混凝土结构在各类建筑工程中广泛应用,但裂缝问题一直是影响其性能和耐久性的关键因素。本文研究混凝土结构裂缝检测方法、成因分析及防治措施。在裂缝检测方面,详细阐述了目视检测、无损检测以及局部破损检测的原理、适用范围与优缺点,并通过相关数据对比展示其检测效果。对于裂缝成因,从材料因素、施工因素、结构设计因素以及环境因素进行全面剖析,并引用数据说明各因素对裂缝产生的影响程度。基于成因分析,提出一系列针对性的防治措施,涵盖材料选择与控制、施工过程优化、结构设计改进以及环境影响应对等方面,旨在提高混凝土结构的质量和耐久性。

关键词: 混凝土结构; 裂缝检测; 成因分析; 防治措施

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.025

引言

混凝土结构以其强度高、耐久性好、可塑性强等优点在建筑工程领域占据重要的地位,广泛应用于高层建筑、桥梁、隧道、水利工程等各类基础设施建设中。然而,混凝土结构裂缝是一个普遍存在且不容忽视的问题。裂缝的出现不仅会影响结构的外观,更削弱结构的承载能力、降低结构的耐久性,甚至引发安全事故。据相关统计数据显示,在一些老旧混凝土桥梁结构中,由于裂缝导致的结构病害占比可达30%-40%,严重影响桥梁的使用寿命和行车安全。因此,深入研究混凝土结构裂缝检测方法、准确分析裂缝成因并制定有效的防治措施具有极为重要的现实意义。

一、混凝土结构裂缝检测方法

(一) 目视检测

目视检测是最为直观和简便的裂缝检测方法,检测人员凭借肉眼直接观察混凝土结构表面是否存在裂缝,并对裂缝的位置、走向、长度、宽度等基本特征进行初步记录。这种方法适用于裂缝较为明显、表面暴露且规模较大的情况。在一些大型混凝土挡土墙工程中,对于宽度大于0.2毫米的裂缝,目视检测较为容易发现。其优点是操作简单、成本低,不需借助特殊的仪器设备;缺点是对于细微裂缝(宽度小于0.1毫米)难以察觉,且无法了解裂缝的内部情况,如裂缝深度、是否贯穿等^[1]。

(二) 无损检测

1. 超声波检测

当超声波在混凝土中传播时,遇到裂缝等缺陷会发生反射、折射和散射现象,采取检测超声波的传播时间、波幅、频率等参数的变化,推断混凝土内部是否存在裂缝以及裂缝的位置和大致尺寸。一般来说,在正常混凝土中,超声波的传播速度约为3500-4500米/秒。当存在裂缝时,传播速度会明显降低,例如在有深度为20厘米裂缝的混凝土试件中,超声波传播速度可能降至2000-3000米/秒。该方法的优点是检测混凝土内部较深部位的裂缝,对结构损伤小;缺点是检测结果受混凝土原材料、内部钢筋等因素干扰较大,且对操作人员的技术水平要求较高^[2]。

2. 显微摄像技术检测

显微摄像技术是利用高清摄像显微探头对混凝土表

面裂缝进行检测,测量时程序自动扫描捕获裂缝并在显示屏上实时显示裂缝的宽度数值,并可以对需要的裂缝进行拍照。该方法的测量精度为0.01毫米,量程范围为0毫米-10毫米,工作温度为-10摄氏度-55摄氏度。该方法的优点是操作简便、快捷,可对大面积混凝土结构进行快速检测;缺点是只能反映混凝土表面的情况,对于内部裂缝的检测准确性有限^[3]。

3. 红外线检测

当混凝土结构存在裂缝时,在外界环境温度变化时,裂缝处的热传导性能与正常部位不同,会导致表面温度分布不均匀。利用红外线热像仪可捕捉到这种温度差异,从而显示出裂缝的位置和形状。在夏季高温时段,对某混凝土屋面进行红外线检测,发现有裂缝处的表面温度比周围正常部位高出3-5℃。红外线检测的优点是快速、非接触检测大面积混凝土结构,可在不影响结构正常使用的情况下进行检测;缺点是受环境温度、湿度等因素影响较大,对于较深裂缝的深度检测不够准确。

(三) 局部破损检测

在混凝土结构上钻取一定直径的芯样,观察芯样的完整性、裂缝分布情况,并可对芯样进行抗压强度等试验,以确定混凝土的实际质量状况和裂缝对结构强度的影响。钻芯法直接获取混凝土内部的真实信息,从某混凝土桥墩钻取的芯样中发现,在深度为1.5米处存在一条宽度为0.3毫米的裂缝,且该部位混凝土的抗压强度比设计值低15%。其优点是检测结果直观、准确;缺点是对结构造成局部破坏,检测后需要对钻芯部位进行修补,且取样数量有限,可能无法全面反映整个结构的情况^[4]。

二、混凝土结构裂缝成因分析

(一) 材料因素

材料的品质与特性是引发混凝土结构裂缝的关键因素之一,水泥作为主要胶凝材料,其水化热对大体积混凝土影响显著。通硅酸盐水泥水化时释放大量热量,在混凝土内部散热不畅的情况下,会形成较大的温度梯度,致使混凝土因温度应力而开裂。据研究,水泥水化热引起的混凝土内部温升可达30-50℃,当温度应力超过混凝土抗拉强度时,裂缝便随之产生。骨料的质量同样不容忽视,若骨料含泥量过高,会削弱水泥与骨料间

的黏结力，降低混凝土强度，使裂缝更易出现^[5]。

(二) 施工因素

混凝土配合比设计不合理是常见问题，水灰比过大时，多余水分蒸发后留下孔隙，致使混凝土强度与抗裂性下降水灰比每增加0.1，混凝土收缩率上升5%-10%。浇筑工艺对裂缝也有重要影响，浇筑速度过快或未分层浇筑、分层厚度过大，都使混凝土振捣不密实，内部存在缺陷，在受力或环境作用下产生裂缝。振捣过程中，若振捣不足或过度振捣，会分别导致混凝土内部气泡孔隙多或离析，均不利于抗裂。养护环节至关重要，养护不足时，混凝土表面水分散失过快，干缩裂缝极易出现。在高温干燥环境下，若浇筑后2-3小时内未养护，干缩裂缝发生率可超50%。具体的施工因素如图1所示：

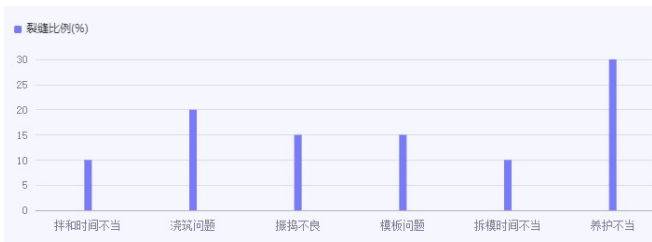


图1 混凝土裂缝的施工因素

(三) 结构设计因素

不同的结构形式有不同的受力特点，大跨度梁结构因承受较大弯矩和挠度，在跨中或支座附近易出现裂缝，调查显示，裂缝出现在跨中部位的比例约为60%。薄板结构则因厚度薄，抵抗温度变化和收缩变形能力弱，易产生贯穿裂缝。受力分析不准确会导致配筋设计不合理，配筋不足使混凝土抗拉强度不足而开裂，配筋过多则会在混凝土收缩时因钢筋约束产生裂缝。例如，某框架结构因风荷载考虑不足配筋少，在强风下梁柱节点处出现裂缝。结构设计因素如图2所示：

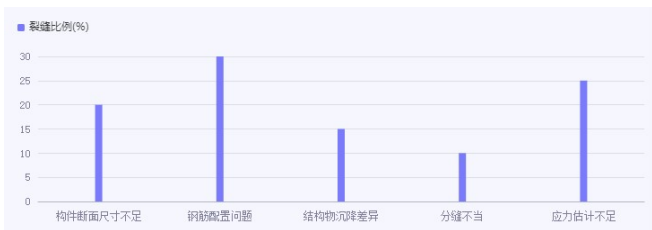


图2 裂缝产生的结构设计因素

(四) 环境因素

温度变化会使混凝土产生热胀冷缩现象，当结构受到较大约束时，如基础或内部钢筋的限制，温度应力可能超过混凝土抗拉强度，导致裂缝。研究表明，当混凝土结构内外温差超过25℃时，温度裂缝风险显著增加。湿度影响主要体现在干燥收缩方面，在干燥环境中，混凝土内部水分散失引发收缩应变，当湿度从70%降至30%时，收缩应变可能增加0.05%-0.1%，足以产生裂缝。

三、混凝土结构裂缝防治措施

(一) 材料选择与控制

1. 水泥的优化选用

水泥作为混凝土的关键胶凝材料，其品种与性能对

混凝土裂缝的产生有着深远影响。在预防裂缝方面，对于大体积混凝土工程，如大型水坝、高层建筑基础等，应优先选用低热水泥，像矿渣硅酸盐水泥，其水化热相对较低。以某大型水坝工程为例，采用普通硅酸盐水泥时，混凝土内部温升可达50-60℃，而换用矿渣硅酸盐水泥后，温升控制在30-40℃，有效降低了因水化热导致的温度裂缝风险。

2. 骨料质量的把控

粗骨料应具备良好的颗粒形状，尽量减少针片状颗粒含量，因为针片状颗粒含量过高会削弱混凝土的抗裂能力。当粗骨料针片状含量从10%增加到20%时，混凝土的抗裂强度可能会降低10%-15%。细骨料则宜选用中粗砂，其含泥量必须严格控制在较低水平，一般不应超过3%。含泥量过高会影响水泥与骨料间的黏结力，增加裂缝产生概率。此外，通过优化骨料级配，可使混凝土更加密实，减少孔隙率，从而增强抗裂性。

3. 外加剂的合理应用

外加剂在现代混凝土配制中不可或缺，但需合理使用。减水剂有效降低混凝土的水灰比，在不影响工作性的前提下提高强度并减少收缩。不过，减水剂的掺量必须精准控制，若超量使用，导致混凝土离析、泌水，反而增加裂缝风险。某工程中减水剂掺量超出正常范围15%时，混凝土表面出现了明显的泌水裂缝。膨胀剂的使用旨在补偿混凝土的收缩，应选择质量稳定、膨胀性能符合要求的产品，并严格按照规定掺量添加。正确使用膨胀剂可显著减少收缩裂缝，如在一些地下工程墙体混凝土中，合理掺加膨胀剂使收缩裂缝数量减少40%-50%。

(二) 施工过程优化

1. 混凝土配合比的科学设计

混凝土配合比关系其性能与裂缝产生倾向，水灰比是关键参数之一，水灰比过大将导致混凝土孔隙增多、强度降低、收缩增大。一般情况下，水灰比宜控制在0.4-0.6之间。通过试验确定合理的水泥用量，既能满足强度要求，又能避免因水泥过多产生大量水化热。例如，在某桥梁工程中，原设计水灰比为0.65，混凝土浇筑后出现较多裂缝，经调整水灰比至0.5后，裂缝明显减少。同时，可适量掺入粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料，改善混凝土的微观结构，降低水化热，提高抗裂性。如掺入20%-30%的粉煤灰，可使混凝土收缩率降低15%-20%。

2. 浇筑工艺的规范执行

在混凝土浇筑过程中，浇筑速度应合理控制，避免过快或过慢。过快的浇筑速度使模板承受过大侧压力而变形，导致混凝土结构出现裂缝；过慢则影响混凝土的整体性。在某高层建筑柱浇筑时，因浇筑速度过快，模板发生局部变形，混凝土柱表面出现竖向裂缝。分层浇筑是确保混凝土质量的重要措施，每层厚度一般不宜超过30-50厘米，并要保证在下层混凝土初凝前完成上层混凝土的浇筑，防止出现冷缝。

3. 振捣与养护的加强管理

振捣不足会使混凝土内部存在蜂窝、麻面等缺陷，

降低强度，增加裂缝风险；过度振捣则导致混凝土离析。应选择合适的振捣设备和方法，振捣时间以混凝土表面不再显著下沉、不再出现气泡、表面泛浆为准。对于大体积混凝土或高温干燥环境下的混凝土，可采用蓄水、喷雾、覆盖保湿材料等养护方法，保持混凝土表面湿润，减少水分蒸发导致的干缩裂缝。如在夏季高温施工的混凝土板，若未及时养护，2-3天内就可能出现干缩裂缝，而采用保湿养护后，裂缝得到有效控制。

（三）结构设计改进

1. 结构形式的合理规划

在结构设计初期，应根据工程的功能需求、使用环境和场地条件等因素，审慎选择合适的结构形式。对于大跨度结构，如体育馆、展览馆等，可考虑采用预应力混凝土结构、钢结构或钢-混凝土组合结构。预应力混凝土结构通过预加应力，可有效抵消部分使用荷载产生的拉应力，减少裂缝产生。某跨度为60米的体育馆屋盖，采用预应力混凝土结构后，在使用过程中未出现明显裂缝，而类似规模采用普通混凝土结构的建筑，屋盖往往会出现较多裂缝。对于形状复杂、受力不均匀的结构，应进行详细的受力和模拟计算，优化结构布局，避免应力集中导致裂缝。

2. 配筋设计的优化完善

配筋设计对混凝土结构的抗裂性有着关键作用。应合理确定钢筋的数量、直径、间距和布置位置。适当增加配筋率可提高混凝土的抗拉能力，但配筋率过高也会带来不利影响，如增加施工难度和成本，且可能导致混凝土在收缩时受到钢筋较大约束而产生裂缝。一般而言，全截面配筋率宜在0.3%-0.5%之间。在混凝土构件的易裂部位，如梁的跨中、支座处，板的四角等，应加强配筋，可采用加密箍筋、增设附加钢筋等方式。在某混凝土梁的支座处，通过加密箍筋并增设弯起钢筋，有效提高该部位的抗裂能力，在承受较大剪力和弯矩时未出现裂缝。

3. 构造措施的合理设置

合理设置构造措施有助于减少混凝土结构裂缝，设置伸缩缝可有效释放因温度变化、收缩等产生的变形应力。伸缩缝的间距应根据结构类型、材料特性和环境条件等确定，一般现浇混凝土框架结构伸缩缝间距不宜超过55米，装配式结构可适当放宽。在混凝土结构中设置后浇带也是常用的构造措施，后浇带应在两侧混凝土浇筑一段时间后，一般不少于42天再进行浇筑，其宽度一般为70-100厘米，通过后浇带可减少混凝土早期收缩和温度变化对结构的影响。此外，在结构的转角、边缘等部位，可设置加强带或暗梁，增强这些部位的整体性和抗裂性。

（四）环境影响应对

1. 温度变化的应对策略

混凝土结构在使用过程中会经历不同季节和昼夜的温度变化，由此产生的温度应力可能导致裂缝。在设计和施工阶段，可采取多种措施应对。在大体积混凝土施工中，可采用预埋冷却水管的方法，通过循环水带走混

凝土内部的热量，降低温升。对于冬季施工的混凝土，要做好保温措施，防止混凝土受冻，因为混凝土受冻后会导致强度降低、孔隙增多，增加裂缝风险。可采用覆盖草帘、棉被等保温材料，并适当延长养护时间。

2. 湿度影响的防控措施

湿度变化对混凝土裂缝的影响主要体现在干燥收缩方面。在干燥环境中，混凝土水分散失快，收缩增大。为减少这种影响，可在混凝土表面涂刷养护剂，形成一层保护膜，减少水分蒸发。例如，在沙漠地区的混凝土工程中，涂刷养护剂后，混凝土的干燥收缩率降低20%-30%。在混凝土配合比设计中，可适当增加矿物掺合料的用量，提高混凝土的保水性。同时，加强混凝土的早期养护，保持环境湿度，如采用喷雾加湿等方法，可有效缓解干燥收缩裂缝的产生。

3. 地基沉降的预防与处理

地基沉降是导致混凝土结构裂缝的重要因素之一，尤其是对于大型建筑物或地基条件复杂的工程。在设计阶段，应进行详细的地质勘察，准确了解地基的承载力、沉降特性等信息，根据地质情况选择合适的基础形式。对于软土地基，可采用桩基础、筏板基础等形式，提高基础的稳定性和承载能力。在施工过程中，要严格控制施工质量，避免因施工不当导致地基沉降不均匀。如在基础开挖过程中，要防止超挖和扰动基底土；在回填土施工时，要保证回填土的压实度。

结论

混凝土结构裂缝问题的研究与防治对于确保建筑结构安全、耐久至关重要，对裂缝检测方法的深入探究，如目视检测、无损检测及局部破损检测等，能精准定位与评估裂缝状况。全面剖析裂缝成因，涵盖材料、施工、设计及环境等多方面因素，明确了各因素对裂缝产生的作用机制。基于此，提出的防治措施包括科学的材料选择与控制、优化施工过程、改进结构设计以及有效应对环境影响等多个维度。合理运用这些防治策略，可显著降低混凝土结构裂缝出现的概率。在未来工程实践中，需持续关注裂缝问题的新动态，不断完善检测与防治手段，以推动混凝土结构工程质量的稳步提升。

参考文献

- [1] 汪星星. 混凝土结构检测鉴定及裂缝成因与防治研究[J]. 安徽建筑, 2024, 31(7): 185-186.
- [2] 詹明才. 工程检测中混凝土结构裂缝成因分析与防治策略[J]. 建筑与施工, 2024, 3(15): 123-124.
- [3] 邱昊. 混凝土配合比优化及结构早期裂缝防治研究[J]. 房地产导刊, 2015(33): 437.
- [4] 王玉. 现浇混凝土结构早期裂缝原因浅析及防治[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015(25): 3874-3875.

[5] 肖于秋男, 汪清海, 于江龙. 混凝土结构裂缝产生原因及预防[J]. 房地产导刊, 2018(8): 89.

作者简介: 黄卫(1987-07), 男, 汉族, 安徽亳州人, 硕士学历, 高级工程师, 研究方向: 建(构)筑物结构检测鉴定。