

土木工程建筑中混凝土裂缝的施工控制与修复技术研究

文 / 李建强 山东思达人才管理集团有限公司

孙德华 青岛城阳开投工程有限公司

摘要: 混凝土裂缝是土木工程建筑中常见的问题,裂缝的产生不仅影响建筑结构的的外观,还会导致结构耐久性和承载能力下降。裂缝的形成主要由温度变化、收缩作用和外部荷载等因素引起,控制裂缝的关键在于施工过程中对原材料、配合比和工艺的严格管理。同时,针对已产生的裂缝,修复技术如表面封闭、注浆、结构补强等具有显著效果,能够延长建筑物的使用寿命。通过对裂缝的成因和修复方法进行系统分析,有助于提高建筑工程的质量与安全性。本文旨在探讨混凝土裂缝的施工控制与修复技术。

关键词: 土木工程建筑; 混凝土裂缝; 施工控制; 修复技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.031

引言

混凝土作为建筑结构中广泛应用的材料,其自身的脆性和体积变形特性使得裂缝问题难以避免。裂缝不仅影响建筑结构的的安全性,还会导致外界介质渗入,造成进一步的结构损伤。为确保混凝土结构的长期稳定性,施工过程中的裂缝控制至关重要。同时,裂缝修复技术的合理应用可以恢复结构功能并提高其耐久性。因此,裂缝的预防与修复是土木工程中的重要研究内容。

一、混凝土裂缝的分类与成因分析

混凝土裂缝的成因复杂多样,通常可分为温度裂缝、收缩裂缝和荷载裂缝三大类。温度裂缝主要由水化热引起的内部温度梯度与外界环境温差导致,当混凝土内部因升温与降温不均匀而产生较大的温度应力时,混凝土材料难以承受这些应力,最终形成裂缝。收缩裂缝则与混凝土在硬化过程中体积变化相关,塑性收缩裂缝往往发生在初期,由表面水分蒸发过快引起,而干缩裂缝多发生在后期,水分流失使混凝土体积收缩,产生内应力并导致开裂。此外,自收缩是由水泥水化过程中的体积缩减引发。荷载裂缝通常发生在结构承载力达到极限时,外部荷载、应力集中或地基不均匀沉降会导致混凝土内部产生拉应力超过材料的抗拉强度,形成裂缝^[1]。

二、土木工程建筑中混凝土裂缝的施工控制技术

(一) 原材料选择与配合比优化

1. 原材料质量控制

在混凝土施工中,原材料质量的控制对裂缝的产生和防止起着决定性作用。水泥是混凝土的主要胶凝材料,其强度等级、细度和水化反应速率直接影响混凝土的强度和体积稳定性。使用质量优异的低热水泥可以有效降低水化热峰值,从而减少因温度梯度引起的裂缝风险。骨料的选择也至关重要,骨料的级配、最大粒径、含泥量和颗粒形状等特性对混凝土的收缩和强度发展有重要影响。适当的骨料级配能降低混凝土中的孔隙率,提高密实度,进而提升抗裂性能。最大粒径通常控制在20~40mm之间,较大的骨料有助于减少混凝土的收缩开裂倾向。此外,骨料的含泥量应严格控制在0.5%以下,过多的泥质杂质会降低骨料与水泥浆体的界面黏结性,

增加裂缝形成的风险。水作为混凝土的必要组成部分,其质量亦须符合施工标准,必须采用洁净水,严禁使用含有机物、酸性物质或硬度过高的水源,以免引发混凝土的内部反应或体积不稳定,导致裂缝产生。

2. 混凝土配合比的优化

优化混凝土配合比是防止裂缝产生的关键措施之一,其核心在于调整各组分的比例以实现混凝土的最优强度和抗裂性。水灰比是配合比设计中的重要参数,直接影响混凝土的强度和耐久性。研究表明,水灰比控制在0.4~0.6之间,既可以确保充足的水泥水化反应,又能够减少多余水分蒸发导致的塑性收缩开裂。此外,添加适量的外加剂如减水剂、引气剂和膨胀剂可以进一步提高混凝土的工作性能和抗裂性能。减水剂通过减少混凝土中的拌合水含量,保持低水灰比的同时不影响混凝土的和易性,从而增强混凝土的致密性,减小干缩裂缝的风险。引气剂的使用则能够在混凝土中形成均匀分布的微小气泡,减缓温度应力和体积变化,增强其抗冻融能力。膨胀剂则通过形成微膨胀补偿混凝土收缩,有效减少早期收缩裂缝。此外,细骨料与粗骨料的级配应通过实验确定,合理控制砂率在35%~45%之间,可以优化混凝土的内摩擦阻力,减少离析和泌水现象,进一步提高混凝土的抗裂性能^[2]。

(二) 混凝土施工工艺控制

1. 浇筑工艺与振捣技术

混凝土的浇筑工艺与振捣技术是确保其密实度、均匀性及抗裂性能的重要环节。合理的浇筑速度和方式可以有效避免混凝土在结构内产生分层或离析现象,从而提升结构的整体性。通常,浇筑高度控制在1.5m以内,以避免混凝土自由下落时产生的过大冲击力对内部结构的破坏。在大体积混凝土施工中,分层浇筑尤为重要,分层厚度应控制在30~50cm之间,确保上下层混凝土能够充分融合。振捣技术的质量直接影响混凝土的密实度与抗裂性能。振捣不足会导致混凝土内部产生气泡和蜂窝状空隙,降低结构强度,并易引发收缩裂缝;而振捣过度则会引起粗细骨料分离或浆体上浮,导致混凝土表面出现泌水、离析现象,影响抗裂性。通常采用机械振捣工具,如插入式振捣器,振捣时间应控制在5~15s之

表 1 机械振捣工具性能参数对比

振捣器类型	振动频率（次 / 分钟）	振幅（mm）	适用混凝土种类	推荐振捣时间（秒）
插入式振捣器	12000 ~ 15000	0.8 ~ 1.2	高流动性混凝土	5 ~ 15
高频振捣器	17000 ~ 20000	0.6 ~ 1.0	自密实混凝土	5 ~ 15
表面振捣器	4000 ~ 6000	1.5 ~ 2.5	薄层或表面层混凝土	10 ~ 20
深层振捣器	10000 ~ 12000	1.0 ~ 1.5	大体积或深层混凝土	15 ~ 25

间，以保证气泡排除充分且混凝土不发生分离。机械振捣工具性能参数如表1所示。

2. 施工温度与湿度控制

施工温度与湿度控制是影响混凝土裂缝的重要因素之一，尤其在大体积混凝土施工中，温度梯度容易引发裂缝。混凝土在水化反应过程中释放大量热量，当内外温差超过25℃时，极易产生温度应力裂缝。因此，控制温度梯度是防止裂缝的关键措施之一。为此，施工应尽量避免在高温或低温环境下进行，夏季施工时可采用降温措施如覆盖保温材料或在浇筑前对原材料进行降温处理，控制混凝土入模温度不超过30℃；冬季施工则应通过覆盖保温层或蒸汽养护等手段，防止混凝土受冻并保持适宜的內部温度。湿度控制同样至关重要，施工现场的湿度水平直接影响混凝土的蒸发速度及其收缩程度。湿度过低会加速水分蒸发，导致混凝土表面产生塑性收缩裂缝；而湿度过高则会影响混凝土的早期强度发展。

3. 养护措施的强化

养护措施在混凝土施工后期对裂缝防控起到关键作用，养护的目的在于保持混凝土的湿润状态和适宜温度，确保其持续水化并达到设计强度。标准的养护时间应为7~14天，但大体积混凝土或气候特殊情况下，养护时间可延长至28天，以防止温度应力和干缩裂缝。常见的养护方式包括覆盖湿草帘、洒水、塑料膜覆盖和蒸汽养护等。其中，洒水养护需保持持续均匀的湿润，防止局部干燥导致表面裂缝，洒水频率视气温和湿度而定，高温干燥条件下，建议每隔2~4h洒水一次。蒸汽养护主要用于寒冷气候或预制构件施工，通过加速水化反应，提高早期强度，防止裂缝产生^[3]。

(三) 裂缝预防技术

1. 钢筋配置与受力优化

钢筋配置与受力优化是控制混凝土裂缝产生的有效技术手段。合理的钢筋配置能够有效分散外部荷载，减轻局部应力集中，防止裂缝的形成。首先，应根据荷载分布、结构类型及构件尺寸合理布置钢筋。主筋的间距应满足受力要求，通常控制在15~30cm之间，以确保混凝土与钢筋之间有足够的黏结力，减少受拉区域的裂缝产生。同时，箍筋作为剪力构件的重要组成部分，其布置间距应在10~20cm之间，能够有效增强构件的抗剪能力，防止剪切裂缝的出现。其次，钢筋直径的选择需考虑构件承载能力及外部荷载的大小，主筋直径通常在12~25mm之间，通过调节钢筋直径和数量，可以改善混凝土的应力分布情况。此外，钢筋的锚固长度对结构的抗裂性能也有显著影响，锚固长度不足会导致钢筋与混凝土之间的黏结失效，引发裂缝。

2. 防裂设计与接缝控制

防裂设计与接缝控制是避免混凝土因温度变形、干缩或不均匀沉降等因素引发裂缝的重要措施。在结构设计阶段，应充分考虑混凝土的变形特性与温度变化的影响，合理布置伸缩缝、沉降缝和施工缝。伸缩缝的设置目的是吸收因温度变化和湿度变化引起的体积变形，通常间距为30~50m，缝宽在20~30mm之间，以确保结构在热胀冷缩过程中不会产生过大的内部应力，导致开裂。沉降缝则用于应对建筑物不均匀沉降，尤其在高层建筑和基础条件复杂的地区，沉降缝应贯穿整个结构以避免地基不均匀沉降引发的结构性裂缝。此外，施工缝的设置应确保混凝土浇筑的连续性和整体性，通常在结构受剪力较小的部位设置，如梁的1/3跨度处或墙体下端，避免应力集中。

三、混凝土裂缝的修复技术

(一) 裂缝修复的原则与标准

混凝土裂缝修复的原则与标准应依据裂缝的宽度、深度、走向及其对结构性能的影响进行综合评估，最终确定修复方案。首先，根据裂缝的宽度分类，裂缝宽度小于0.2mm时，一般不影响结构安全，可以通过简单的表面处理进行封闭；当裂缝宽度在0.2~0.5mm之间时，需考虑修复方法对结构的长期耐久性影响；而裂缝宽度大于0.5mm时，则需要采取增强性修复措施，如注浆或加固。其次，裂缝的走向决定了其修复难度与方法，贯穿裂缝会影响混凝土的整体承载能力，修复时需采用结构加固措施，确保其功能恢复。此外，修复标准应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）中的要求，保证裂缝修复后达到设计荷载和耐久性标准。

(二) 表面封闭法

表面封闭法是一种适用于细小裂缝的修复技术，通常应用于裂缝宽度小于0.3mm的表面裂缝，以防止外界水分或有害介质通过裂缝进入混凝土内部，从而保护混凝土的耐久性。表面封闭材料主要包括环氧树脂、丙烯酸类涂料和聚合物砂浆等，具有良好的黏结性、耐水性及抗腐蚀性。修复时需先对裂缝进行表面清理，确保表面无灰尘、油污和松散颗粒，以增强封闭材料的黏结效果。封闭材料的施工方式通常为刷涂或喷涂，根据裂缝的形态和施工条件，施工厚度一般控制在1~3mm之间，确保材料充分覆盖裂缝区域并形成密实的保护层。

(三) 注浆法修复裂缝

1. 注浆材料的分类与应用

注浆法修复裂缝是通过向裂缝内部注入具有流动性的材料来填充并修复裂缝，达到密封、防水和增强结构

的目的。注浆材料根据其成分和性能可分为水泥基材料、环氧树脂、聚氨酯和丙烯酸酯等。水泥基注浆材料以水泥为主要成分，具有良好的可操作性和经济性，常用于大体积混凝土的裂缝修复，尤其适用于宽度大于0.5mm的结构裂缝。然而，水泥基材料流动性较差，难以注入微细裂缝。环氧树脂注浆材料具有极高的强度、黏结性能和耐腐蚀性能，适用于结构性裂缝的修复，尤其是对承载力要求较高的工程，但其成本较高且固化时间较长。聚氨酯注浆材料以其优异的弹性和防水性著称，适用于动态裂缝或有水渗透的裂缝修复，能迅速反应并形成坚固的防水层。丙烯酸酯注浆材料则具备极高的渗透性，能够注入极细的裂缝并实现完全封堵，常用于细小裂缝或地下工程的防渗水修复^[4]。

2. 注浆技术的施工流程

注浆技术的施工流程包括裂缝清理、钻孔布设、注浆和养护四个步骤。首先，需对裂缝表面进行清理，确保无松散物、灰尘和油污，以保证注浆材料与裂缝之间的黏结强度。对于宽度较大的裂缝，需进行封闭处理，以避免注浆材料外漏。其次，布设注浆孔，钻孔位置应与裂缝的走向一致，通常间隔20~50cm，每孔深度应达到裂缝底部以确保材料能够完全充填裂缝内部。钻孔完成后，需安装注浆嘴并进行密封处理，防止注浆过程中材料泄漏。注浆过程中应采用低压缓慢注入（如图1所示），避免高压导致混凝土进一步开裂或材料未能充分填充裂缝。注浆压力通常控制在0.2~0.5MPa范围内，确保浆液均匀扩散并完全充填裂缝。



图1 低压缓慢注浆

以保证材料充分固化和黏结。

（四）结构补强与加固修复

1. 碳纤维加固技术

碳纤维加固技术是一种高效的补强方法，常用于修复混凝土裂缝及增强构件的整体强度和耐久性。碳纤维材料因其优异的强度重量比、耐腐蚀性和高弹性模量，被广泛应用于结构修复和加固工程中。碳纤维布或碳纤维板是最常用的形式，其强度可达到钢材的10

倍，但密度仅为钢材的1/5，适用于空间有限、荷载要求高的结构补强场景。在施工中，碳纤维布通过环氧树脂等黏结剂直接粘贴在混凝土裂缝处或受力较大的构件表面，形成一层高强度的复合材料，与原结构共同承载荷载。此加固方法适用于梁、板、柱等受弯或受拉构件的裂缝修复和补强，特别是在抗弯和抗剪加固方面效果显著。碳纤维加固的施工过程简便，不需要大型施工设备，且施工周期较短，能够在不中断结构使用的情况下完成加固。

2. 钢筋补强技术

钢筋补强技术通过在混凝土结构中增加钢筋或钢板，以增强结构的抗裂能力和承载能力，是常见且成熟的结构加固修复技术。钢筋补强通常用于裂缝较大或结构受力状态发生显著变化的情况，通过在裂缝处或应力集中的部位布设附加钢筋，改善结构的应力分布，防止裂缝进一步扩展。补强方式主要包括外包钢加固、植筋补强和钢板粘贴法等。外包钢加固通过在构件外围包覆钢板或钢筋网，提高混凝土的抗压和抗弯能力，常用于柱、梁等受力构件的补强。植筋补强则通过钻孔将钢筋植入混凝土内部，增强裂缝处的承载能力和整体刚度，适用于桥梁和大型基础设施的裂缝修复。钢板粘贴法通过将钢板直接粘贴于混凝土表面，增强其抗剪、抗拉能力，适用于承载力不足或裂缝较严重的构件。钢筋补强技术相对于碳纤维加固具有更强的刚性和耐久性，尤其适合大型重载结构和长期受荷载的工程，但施工难度较大，需对结构进行详细分析和设计，确保补强措施与原有结构的协调性，避免因钢筋或钢板的布置不当导致新的应力集中或裂缝问题^[5]。

结语

总而言之，混凝土裂缝在土木工程建筑中是一个普遍且重要的问题，直接影响结构的安全性和耐久性。通过优化施工中的各项技术措施，如严格控制原材料质量、合理配制混凝土、采用有效的浇筑工艺与振捣技术，并强化温湿度控制及养护措施，能够有效减少裂缝的产生。同时，对于已产生的裂缝，采取适当的修复技术，如注浆法、表面封闭法、碳纤维加固和钢筋补强等，能够修复裂缝并提高结构的抗裂性能和耐久性，从而保障建筑物的安全性与长期使用性能。

参考文献

- [1] 顾少刚. 建筑施工中混凝土裂缝的处理技术[J]. 建筑机械化, 2024, 45(08): 115-118.
- [2] 刘恩泽. 土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术研究[J]. 四川建材, 2024, 50(08): 110-112.
- [3] 赵非. 土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术研究[J]. 四川建材, 2024, 50(08): 155-157.
- [4] 刘春玲. 土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (19): 204-206.
- [5] 葛雪峰. 土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术分析[J]. 中国高新科技, 2024, (08): 51-53.