

土木工程大体积混凝土裂缝成因及控制措施

朱明星

湖北省高创公路工程咨询监理有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：大体积混凝土广泛应用于桥梁基础、高层建筑承台、水利工程和地下结构施工中，构件尺寸大、水泥水化热集中，容易形成较大温度应力。裂缝产生多与内外温差、材料收缩、施工组织不当和养护控制不足有关，直接影响结构承载性能和耐久性能。针对温度裂缝、收缩裂缝和约束裂缝，应从低热水泥选用、配合比优化、冷却降温、分层浇筑、振捣密实、保温保湿养护和全过程温度监测等方面实施控制。通过成因识别和措施细化，可减少裂缝扩展，提高混凝土密实度，保障土木工程结构安全稳定。

【关键词】：土木工程；大体积混凝土；裂缝成因；温度控制；养护措施

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.082

引言

大体积混凝土常出现在承台、筏板、桥墩基础和水利构筑物中，施工体量大、浇筑连续性强，内部水泥水化热不易散发，表层却容易受外界气温影响而快速降温。内外温度变化不同步时，混凝土内部膨胀和外部收缩之间形成拉应力，一旦超过抗拉强度，裂缝便会产生。裂缝不仅影响外观质量，还可能为水分、氯离子和其他有害介质进入结构内部提供通道，进而削弱钢筋保护层和结构耐久性。大体积混凝土裂缝控制不能只依赖后期修补，更需要在材料选择、配合比设计、浇筑工艺、温度监测和养护管理中提前介入。只有把裂缝成因和控制环节对应起来，才能提升施工质量，减少结构隐患。

1 大体积混凝土裂缝形成机理

1.1 水泥水化热积聚引发内部升温

大体积混凝土在水化过程中会释放大量的水化热，由于构件体量大、热量散发受限，内部温度迅速上升，形成温度梯度。温度升高使混凝土内部产生膨胀应力，若应力超过混凝土早期抗拉强度，即可引发微裂缝萌生。热量集中不仅加速水化速率，还可能导致局部水泥水化不均匀，增加裂缝风险。新型低热水泥和矿物掺合料的应用可以减缓水化热释放，但在大体积结构中仍需结合浇筑顺序、分层厚度和温控措施，实现热量均衡，防止内部应力过高。热应力控制与结构整体稳定性密切相关，是减少裂缝的关键环节。

1.2 内外温差变化造成温度应力

大体积混凝土构件表层与内部温度差异明显，外部环境冷却迅速，而内部水化热滞后释放，形成温度梯度。温差导致表层收缩与内部膨胀不同步，产生拉应力集中在表层或界面区域。当温度应力超过混凝土抗拉极限时，裂缝沿应力集中方向发展。通过温控布置、分层浇筑及内部冷却管系统，可以有效调节内外温差，降低应力集中程度^[1]。温度应力的演化规律需结合监测数据进行动态分析，以精确调整施工方案，实现裂缝风险的主动管控，提高大体积混凝土整体耐久性和结构完整

性。

1.3 混凝土收缩变形诱发拉应力

大体积混凝土在硬化过程中经历湿收缩、塑性收缩及干燥收缩，其体积减小会在受约束区域产生拉应力。结构自重、钢筋约束及模板限制加剧了收缩应力集中，促使裂缝沿薄弱面或界面产生。高性能掺合料及减水剂可改善混凝土收缩性能，但在大体积条件下仍需配合科学的养护措施，如湿养护和覆盖保温，以延缓表面水分蒸发并降低干缩速率。收缩变形与约束条件、材料特性和环境因素的综合作用决定裂缝分布和发展趋势，精细化控制收缩应力是裂缝防治的重要技术路径。

2 土木工程施工中裂缝主要成因

2.1 材料配合比控制不合理

材料配合比控制不合理是大体积混凝土裂缝产生的重要原因。水泥用量过高会增加水化热释放量，使混凝土内部升温加快，温度应力随之增大；水胶比偏大则会降低密实度，硬化后孔隙率增加，抗拉强度和抗渗性能下降。粗细骨料级配不连续，会削弱骨料嵌锁效果，导致浆体包裹不均，局部收缩差异明显。外加剂掺量控制不准，还可能造成凝结时间异常、泌水增多或早期强度发展不稳定。绿色低碳施工理念下，矿物掺合料的合理利用能够降低水泥用量，改善内部结构，但掺量过大或匹配性不足，也会影响早期抗裂能力。

2.2 浇筑振捣工艺控制不到位

浇筑振捣工艺控制不到位会直接影响大体积混凝土的均匀性和密实性。浇筑速度过快，混凝土内部热量集中，层间结合时间难以协调，容易形成冷缝和薄弱界面；分层厚度过大，振捣棒作用范围不足，下部混凝土气泡和泌水难以及时排出，内部孔隙增多^[2]。振捣时间不足会造成蜂窝、麻面和局部松散，振捣过度则可能引起骨料下沉、浆体上浮，导致材料分布不均。智能化施工管理中，浇筑节奏、振捣间距、插入深度和持续时间应形成全过程控制，保证混凝土连续成型，2.3 养护温湿度管理不精细

养护温湿度管理不精细会加剧大体积混凝土早期裂缝发展。混凝土浇筑完成后,表面水分蒸发速度过快,容易形成塑性收缩裂缝;外界温度骤降时,表层温度快速下降,而内部热量仍持续积聚,内外温差扩大,表面拉应力明显增加。保温覆盖不及时、洒水养护间隔过长、养护周期不足,都会削弱水泥水化的连续性,使表层强度发展滞后。精细化养护应结合实时测温数据、环境湿度和构件厚度确定覆盖材料、保湿频率和拆模时间,通过数字化监测与动态调控保持温湿度稳定,降低干缩裂缝和温度裂缝发生概率。

3 裂缝防控中的材料优化方法

3.1 选用低热水泥降低水化热

低热水泥能够从材料源头降低大体积混凝土水化热峰值,减缓内部温度上升速度,减少温度应力积聚。普通硅酸盐水泥早期水化反应较快,放热集中,容易造成内部温度持续升高,而低热水泥中矿物组成更加稳定,水化热释放过程相对平缓,可降低内外温差形成速度。材料选用时,应结合结构厚度、施工季节、环境温度和强度等级确定水泥品种,避免单纯追求早期强度导致热量集中。低热水泥与缓凝型外加剂配合使用时,可延长水化反应时间,改善浇筑连续性,降低早期裂缝风险。绿色建筑理念下,水泥用量控制还应兼顾碳排放降低和耐久性提升,通过低热化、低碳化和稳定化材料体系,形成适合大体积混凝土裂缝防控的基础条件。

3.2 掺加粉煤灰矿粉改善收缩性能

粉煤灰和矿粉能够改善大体积混凝土内部结构,降低水泥熟料用量,减少水化热释放强度,对控制温度裂缝和收缩裂缝具有直接价值。粉煤灰颗粒细小,具有一定填充效应,可改善浆体流动性,减少用水量,使混凝土孔隙结构更加致密;矿粉活性较高,后期反应可生成更多胶凝产物,提高密实度和抗渗能力。掺量控制应依据强度发展、凝结时间和温控需求进行优化,掺量过低难以发挥降热效果,掺量过高则可能影响早期强度,增加拆模和保温控制难度^[3]。复合掺料应用还需关注水泥、外加剂和骨料之间的适应性,防止泌水、离析和凝结异常。通过粉煤灰、矿粉协同调节,可实现低热、低收缩和高耐久的材料体系,符合节能降耗和资源循环利用的施工理念。

3.3 调整水胶比提高抗裂能力

水胶比直接影响大体积混凝土强度形成、孔隙结构和收缩变形,是提高抗裂能力的重要控制参数。水胶比过大时,多余水分蒸发后会留下连通孔隙,使混凝土密实度下降,抗拉强度降低,干燥收缩增大;水胶比过小时,拌合物流动性不足,施工振捣难度增加,局部密实不良同样会形成裂缝隐患。合理水胶比应在满足泵送性能、浇筑连续性和强度要求的基础上确定,并配合高性能减水剂减少单位用水量,提高浆体包裹能力和骨料黏结性能。配合比设计还应结合绝热温升、弹性模量、

收缩率和抗拉强度等指标进行综合校核,避免单一强度控制模式。数字化试配和性能模拟技术可用于预测早期温升和收缩趋势,使水胶比调整更具针对性,提升大体积混凝土抗裂控制精度。

4 施工过程中的温度控制措施

4.1 入模温度控制减少初始热量

大体积混凝土入模温度直接影响浇筑初期内部温度积聚,温度过高会加快水化反应速度,导致热应力迅速增大。通过控制混凝土浇筑前的原材料温度,包括骨料、掺合料及水的温度,可有效降低入模热量,使水化热释放过程更加均匀,减少早期裂缝产生。低温材料的使用应结合施工季节和环境温度,兼顾混凝土流动性和强度发展要求,同时需监测浇筑时间和运输过程中的温度波动,防止局部温度过高形成应力集中。入模温度控制还应与分层浇筑和冷却措施协同配合,通过材料温度优化降低结构整体温度梯度,为温度裂缝防控提供稳定基础。科学温控能够有效抑制混凝土内部峰值温度和温差扩展,显著改善早期结构性能和长期耐久性。

4.2 分层分段浇筑降低温度集中

分层分段浇筑能够控制大体积混凝土内部温度集中,防止单次浇筑过厚造成热量无法及时散发。分层高度应根据构件厚度、热导率和水化热释放速率确定,使每一层浇筑后充分达到温度平衡再进行下一层浇筑。分段施工还需保证振捣和密实度控制到位,以避免层间冷缝或材料分离造成局部弱区。浇筑顺序和间隔时间需要精确计算,使结构内部温度梯度平滑过渡,减少表层拉应力与内部膨胀应力之间的差异^[4]。采用分层分段方式可结合冷却管或保温覆盖措施形成综合温控体系,实现大体积混凝土温度场的动态平衡,提高构件早期稳定性,降低裂缝萌生概率。通过科学分层,可使混凝土硬化过程中的热应力分布更加均匀,保证整体结构性能稳定。

4.3 埋设测温系统掌握温差变化

埋设测温系统可实现对大体积混凝土内部和表层温度变化的实时监测,为温度裂缝控制提供数据支撑。测温点布置需覆盖关键厚度位置和可能产生应力集中区域,通过多点温度记录分析内部温差发展趋势。数据可用于动态调整施工方案,包括浇筑节奏、分层厚度、冷却管循环流量和保温覆盖措施,实现温度应力主动管控。测温系统还可与智能化管理平台结合,进行早期预警和决策支持,使温度控制更加精准和可量化。通过科学监测和数据分析,能够提前识别潜在高应力区,优化施工工序和养护方案,减少温差裂缝发生。温度监测不仅改善早期结构安全性,也为大体积混凝土施工质量管理提供精细化、数字化技术手段,提升工程耐久性和稳定性。

5 养护管理提升结构抗裂效果

5.1 覆盖保温降低表面降温速度

覆盖保温是降低大体积混凝土表面温度快速下降的关键措施,通过设置隔热材料或保温毯,可延缓表层热量散失速度,使内部和表层温差减小。表面温度下降过快会产生收缩拉应力,与内部膨胀应力叠加,易形成温度裂缝。保温覆盖应与混凝土浇筑顺序、分层厚度和外部环境温度协调,保证覆盖区域完整、紧密,减少局部热量流失。材料选择需具备良好隔热性能和透气性,避免水汽积聚引起表面湿损或冷凝。覆盖保温配合温度监测系统,可动态调整保温策略,使温度场平稳过渡,实现内部热量逐步释放,降低裂缝发生风险,同时提升混

持续保湿能够有效控制大体积混凝土表层水分蒸发速度,减缓干缩应力发展。干燥收缩是裂缝产生的重要因素,水分不足时,表层收缩超过内部约束,拉应力集中在表面,微裂缝易沿薄弱面扩展^[5]。科学养护应结合混凝土硬化阶段和环境湿度情况,采用定期洒水、湿麻袋覆盖或膜养护等手段,保持湿度稳定,减少表层裂缝萌生。湿度管理应与温度控制同步,确保收缩应力分布均匀。数字化监测可以实时反馈湿度变化,为养护措施调整提供数据支撑,优化保湿周期和覆盖策略。持续保

湿不仅降低干缩裂缝风险,也改善混凝土表层密实度,5.3 裂缝检查修补巩固施工质量

裂缝检查和及时修补是提升大体积混凝土施工质量的关键环节。通过早期裂缝监测和定期检查,可发现表面及微裂缝,判断裂缝性质、深度和分布范围,针对不同类型裂缝采取相应修补措施,如灌浆、表面密封或结构补强。修补应结合裂缝发展阶段和混凝土强度变化,保证材料与基体黏结良好,填充密实,恢复结构完整性。检查与修补过程应与温湿度管理、养护措施同步进行,以避免二次裂缝产生。智能监测和数据分析技术可辅助评估修补效果,优化修复方案,实现裂缝控制闭环。科学、系统的裂缝检查和修补可显著降低早期裂缝对结构安全和耐久性的影响,确保大体积混凝土整体质量稳定。

6 结语

大体积混凝土裂缝成因主要包括水化热积聚、内外温差以及混凝土收缩,应对裂缝的控制措施涵盖材料优化、施工温控及养护管理。低热水泥、矿物掺合料和水胶比调整可改善内部应力分布,分层分段浇筑和入模温度控制有效降低温差裂缝风险,覆盖保温和持续保湿强化养护效果。系统化裂缝监测和修补确保施工质量和结构稳定性,为大体积混凝土工程提供可操作的技术路径,提升结构耐久性和安全性。

参考文献:

- [1] 王锋.水运工程大体积混凝土裂缝成因及预防策略[J].运输经理世界,2025,(36):102-104.
- [2] 王文庆.建筑工程大体积混凝土裂缝成因及控制技术研究[J].新城建科技,2025,34(2):153-155.
- [3] 刘金雨.水运工程大体积混凝土裂缝成因及预防措施[J].珠江水运,2025,(4):60-62.
- [4] 张耀盛.建筑工程大体积混凝土裂缝成因及解决措施研究[J].散装水泥,2024,(2):38-40.
- [5] 王飞飞,赵明海,张心秋.水运工程大体积混凝土裂缝成因及预防措施[J].珠江水运,2024,(5):120-122.