

土木工程大体积混凝土裂缝控制技术研究

郭志海

宁波交通工程建设集团有限公司 浙江 宁波 315000

摘要: 大体积混凝土在土木工程中应用广泛,但易产生裂缝,裂缝会削弱结构安全性、增加后期运维成本。本文分析裂缝形成原因,包括温度应力、收缩变形、施工因素及材料性能。提出基于材料优化、施工工艺、养护管理的裂缝控制技术,如胶凝材料选择、浇筑过程控制、保湿保温养护等,为大体积混凝土裂缝控制提供理论支持与实践指导,进而提升工程质量与耐久性。

关键词: 大体积混凝土; 裂缝控制; 材料优化; 施工工艺; 养护管理

引言: 土木工程中,大体积混凝土因结构厚、体形大,施工时易产生裂缝,影响结构承载力与耐久性,严重时可能引发安全事故。裂缝成因复杂,涉及温度应力、收缩变形、施工操作及材料性能等多方面。裂缝控制需综合考虑材料、施工、养护等因素,采取针对性措施。研究大体积混凝土裂缝控制技术,对提升工程质量、保障结构安全具有重要意义。

1 大体积混凝土裂缝形成的核心原因分析

1.1 温度应力引发裂缝

大体积混凝土浇筑后,水泥水化反应会释放大热量,因混凝土导热性能较差,热量集中在内部难以快速散发,导致内部温度在浇筑后数天内持续升高并达到峰值。若环境温度较低或存在强风天气,混凝土表面热量散失会更快,内外温差与温度梯度进一步加大。温度梯度会使混凝土内部产生膨胀趋势、表面产生收缩趋势,两者相互约束形成拉应力^[1]。这种拉应力在结构边角、截面突变处更易集中,成为裂缝萌发的薄弱区域。当拉应力超过混凝土在相应龄期的抗拉强度时,混凝土表面或内部便会出现裂缝,且温差越大、温度变化越剧烈,裂缝产生的概率与扩展程度也会随之增加。

1.2 收缩变形引发裂缝

混凝土硬化过程中多种收缩变形均可能引发裂缝。干燥收缩多发生在混凝土浇筑完成后初期,此时混凝土表面水分向外界蒸发,内部水分逐渐减少导致体积收缩,若水分散失速度过快,表面收缩受到内部约束会产生拉应力;自生收缩伴随水泥水化全过程,反应消耗内部水分形成毛细孔负压,引发的体积变化虽缓慢但持续时间长,此过程伴随的收缩应力易在混凝土内部产生微小裂缝,这些裂缝在后续荷载或温度变化下可能进一步扩展;塑性收缩发生在混凝土初凝前,此时混凝土尚未形成强度,若表面受风吹、日晒等影响失水过快,表

面体积收缩会产生裂纹,这些裂纹后续可能发展为明显裂缝。

1.3 施工因素引发裂缝

施工过程中的不当操作会直接增加裂缝风险。浇筑工艺不当方面,分层浇筑时若间隔时间过长,先浇筑的混凝土已初凝并产生一定强度,后续浇筑的混凝土难以与前期形成整体,易在结合面产生薄弱层进而引发裂缝;振捣不密实会导致混凝土内部存在空隙,降低结构密实度与抗拉能力,在应力作用下空隙易发展为裂缝,尤其在钢筋密集区域更易因振捣不到位留下隐患。养护措施缺失会使混凝土表面水分快速流失,加剧收缩变形,且无法为混凝土强度发展提供适宜的温湿度环境,导致抗拉强度增长缓慢且不足。模板拆除过早时,混凝土强度尚未达到设计要求,无法承受自身重量与外部荷载,易因结构受力不均产生裂缝。

1.4 材料性能引发裂缝

混凝土材料自身性能缺陷是裂缝产生的基础诱因。配合比不合理时,若水泥用量过高,不仅增加水化热生成量加剧温度应力影响,还会提升混凝土干燥收缩率;骨料级配不佳会导致混凝土密实度下降,不仅降低抗渗性与耐久性,还会使内部应力分布不均,易在骨料间隙或薄弱部位产生裂缝,若骨料中含有软弱颗粒更会加剧这一问题。外加剂适配性差也会影响混凝土性能,如缓凝剂用量不当可能延长初凝时间,使混凝土暴露在不利环境中的时间增加,增加塑性收缩风险;减水剂效果不足会导致水胶比偏大,既增加干燥收缩量,又降低混凝土强度与抗裂能力,为裂缝产生创造条件。

2 基于材料优化的裂缝控制技术

2.1 胶凝材料选择与配比优化

胶凝材料的合理选择与配比调整是降低水化热、控制温度裂缝的关键。选用低热矿渣水泥、粉煤灰水泥等

低热型水泥,这类水泥水化反应速率较慢,能减少单位时间内的热量释放,从源头降低混凝土内部温度升高幅度。同时掺入粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料替代部分水泥,掺合料需经过活性检测,确保其能与水泥水化产物发生二次反应提升混凝土后期强度,还能稀释水泥浓度、延长水化热释放周期,避免热量集中积聚^[2]。控制水泥用量需以混凝土设计强度为基础,在满足强度要求的前提下,结合工程所处环境温度调整用量,通过减少水泥用量进一步降低水化热生成量,平衡混凝土强度发展与水化热控制的需求,避免因水泥用量过高导致温度应力超标引发裂缝。

2.2 骨料选择与级配调整

骨料作为混凝土的主要组成部分,其选择与级配直接影响混凝土密实度与抗裂性能。选用连续级配的粗骨料,如花岗岩碎石、石灰岩碎石等,需控制粗骨料最大粒径,避免粒径过大影响混凝土和易性,连续级配能使不同粒径的骨料相互填充,减少骨料间空隙率,提升混凝土整体密实度,进而增强混凝土抗渗性与抗裂能力。搭配优质细骨料时,优先选用中砂,中砂颗粒级配合理,需检测含泥量与泥块含量,避免杂质影响混凝土强度,能与水泥浆体更好地包裹结合,避免细骨料过细导致需水量增加或过粗影响混凝土和易性。控制骨料含水率需保持稳定,含水率波动过大会导致混凝土配合比失真,影响工作性与强度;同时控制骨料温度,夏季避免骨料受高温暴晒可采取遮阳洒水措施,冬季防止骨料冻结需提前预热,避免骨料温度异常引发混凝土内部温度波动,减少温度应力对裂缝的影响。

2.3 外加剂合理选用

外加剂通过调节混凝土性能,针对性缓解裂缝产生风险。添加缓凝剂需根据施工环境温度与浇筑速度确定掺量,能延长混凝土初凝时间,减缓水泥水化反应速度,使水化热释放时间分散,避免混凝土内部温度在短时间内达到峰值,缩小内外温差,降低温度裂缝产生概率。使用高效减水剂可在保证混凝土工作性的前提下,显著降低水胶比,需检测减水剂与胶凝材料的相容性,避免出现离析现象,减少混凝土内部毛细孔隙,提升混凝土密实度与抗拉强度,增强混凝土抵抗收缩应力与温度应力的能力,从根本上提升抗裂性能。掺加膨胀剂能在混凝土硬化过程中产生适度体积膨胀,需根据混凝土收缩量计算膨胀剂掺量,补偿混凝土干燥收缩与自生收缩产生的体积减小,抵消收缩应力,避免收缩变形引发的裂缝,膨胀剂的选用需匹配混凝土强度等级与使用环境,确保膨胀效果与混凝土性能适配。

3 基于施工工艺的裂缝控制技术

3.1 浇筑过程控制

浇筑过程需通过工艺优化减少混凝土内部应力集中与密实度缺陷。采用分层浇筑时,需根据混凝土初凝时间、浇筑速度确定每层浇筑厚度,一般每层厚度控制在合理范围以保障散热效率,避免厚度过大导致内部热量积聚;分段浇筑需规划合理分段长度,确保各段混凝土在初凝前完成衔接,减少结合面裂缝风险。控制分层间隔时间至关重要,需确保后一层浇筑时前一层混凝土仍处于塑性状态,便于两层融合形成整体。选用泵送或布料机布料时,需均匀移动设备避免混凝土堆积,使混凝土在模板内分布均匀,确保各部位密实度一致^[3]。振捣操作需控制振捣频率与插入深度,振捣棒需插入下层混凝土一定深度以消除层间缝隙,同时避免振捣时间过长导致骨料离析或过短造成漏振,防止因密实度不均引发局部应力集中产生裂缝。

3.2 温度控制工艺

温度控制需贯穿浇筑前后,通过多环节调控缩小混凝土内外温差。浇筑前对骨料、拌合水采取预冷措施,夏季可将骨料存放在遮阳棚内避免高温暴晒,或向骨料喷洒冷水降温;拌合水可选用低温水,必要时加入碎冰调节温度,通过降低原材料温度间接降低混凝土入模温度,减少初始温度基数。浇筑后需及时在混凝土表面覆盖土工布、保温被等保温层,保温层需覆盖完整且固定牢固,减少表面热量快速散失,减缓温度下降速率,避免表面因快速收缩产生拉应力。对于体积较大的混凝土结构,需在浇筑前预埋冷却水管,水管需按一定间距均匀布设并确保通畅,浇筑完成后通入循环水,通过水流带走混凝土内部积聚的热量,有效控制内部温度上升幅度,缩小内外温度梯度,降低温度应力引发裂缝的可能性。

3.3 模板与拆模控制

模板选择与拆模时机直接影响混凝土结构稳定性与应力状态。选用刚度足够的模板,模板材质与支撑体系需满足承载要求,避免浇筑过程中因混凝土侧压力导致模板变形,进而使混凝土表面出现凹凸或内部产生应力集中,为裂缝产生埋下隐患。模板安装时需确保拼接严密,防止漏浆影响混凝土外观与密实度。拆模时间需综合混凝土强度发展情况与环境温度确定,需通过同条件养护试块检测混凝土强度,待强度达到设计要求的拆模强度后再进行操作;低温环境下需适当延长拆模时间,避免因混凝土强度增长缓慢,过早拆模后无法承受自身重量与外部荷载,导致结构受力不均产生裂缝,拆模过程需遵循对称、缓慢的原则,减少对混凝土结构的冲击。

4 基于养护管理的裂缝控制技术

4.1 保湿养护

保湿养护的核心是维持混凝土表面持续湿润,减缓水分蒸发引发的干燥收缩。采用洒水养护时,需根据环境温度与风速调整洒水频率,高温或大风天气需增加洒水次数,洒水间隔需控制在混凝土表面不出现发白现象的范围内,确保混凝土表面始终处于湿润状态,避免水分快速散失导致表面开裂;洒水时需控制水流强度,采用雾化喷头或低压水管,避免水流冲刷混凝土表面造成砂浆流失。覆盖保湿膜养护需在混凝土初凝后及时铺设,膜体需紧密贴合混凝土表面,边缘采用重物压实密封,防止空气进入形成局部干燥区域,保湿膜可选用不透水的塑料膜或兼具保湿与保温功能的复合膜,确保水分留存于混凝土表面。蓄水养护适用于平面结构,需在结构周边砌筑高度适宜的挡水坎,挡水坎需密实无渗漏,注入适量清水形成稳定水层,水层深度需保持均匀且覆盖整个结构表面,通过持续接触水层为混凝土提供充足水分,减缓内部水分迁移速率,降低干燥收缩速率^[4]。养护期间需监测环境湿度,若遇湿度骤降天气,需及时增加保湿措施,如加密洒水或覆盖多层保湿材料,避免湿度波动引发表面裂缝。

4.2 保温养护

保温养护需通过调控混凝土表面温度,缩小内外温差,减少温度应力。根据环境温度变化动态调整保温措施,冬季施工时需在保湿层外侧增加保温层厚度,可选用岩棉被、聚苯板等保温材料,保温层搭接处需重叠紧密,必要时搭建保温棚封闭施工区域,棚内可设置临时加温设备维持温度稳定,通过多层保温减缓热量散失,维持混凝土表面温度稳定;夏季高温时需避免混凝土表面直接受阳光直射,可在保温层外侧覆盖遮阳布,遮阳布需固定牢固且覆盖完整,降低环境温度对混凝土表面的影响。保温养护期间需结合温度监测数据优化方案,通过预埋温度传感器实时采集混凝土内部与表面温度,传感器布设需覆盖结构不同区域,若发现内外温差超出合理范围,需及时调整保温层厚度或覆盖范围,如增加表面保温层减少散热,或适当打开部分保温层调节散热速率,确保温差始终控制在安全区间,避免温度应力超

过混凝土抗拉强度引发裂缝。

4.3 养护周期控制

养护周期需根据混凝土强度发展规律与收缩特性确定,确保混凝土在抗裂性能稳定后结束养护。延长养护周期能为混凝土强度增长与收缩变形稳定提供充足时间,一般需持续至混凝土强度达到设计要求且收缩速率明显减缓,对于大体积混凝土结构,养护周期可适当延长,避免过早停止养护导致后期收缩裂缝。重点强化早期养护,浇筑后7-14天内混凝土处于强度快速增长期且抗裂性能较弱,此阶段需严格执行保湿与保温措施,不得随意中断养护作业,如遇降雨天气需及时覆盖防雨布,防雨布需具备一定防水性与透气性,防止雨水冲刷表面或导致局部温度骤降^[5]。养护周期内需定期检查混凝土表面状态,检查频率可根据环境条件调整,观察是否出现细微裂缝,若发现裂缝迹象需及时补充养护措施并分析原因,确保养护效果覆盖混凝土收缩关键期,从时间维度为裂缝控制提供保障。

结束语

大体积混凝土裂缝控制是土木工程中的关键问题。通过材料优化、施工工艺改进及养护管理强化,可有效减少裂缝产生,延长结构使用寿命。未来需进一步研究新型材料与智能监测技术,提升裂缝控制水平。同时应加强施工过程管理,确保各项措施落实到位,为大体积混凝土结构长期稳定运行提供保障,推动土木工程高质量发展。

参考文献

- [1]楼炳炳,童毅成,范淑青.土木工程中大体积混凝土结构施工技术[J].中国科技纵横,2025(12):135-137.
- [2]牛永昌,杨瑞,刘光玉.土木工程设计中大体积混凝土裂缝控制研究[J].模型世界,2024(12):41-43.
- [3]闫生,郭松硕,马高.大体积混凝土施工裂缝产生机理分析与控制措施[J].建筑机械化,2025,46(1):50-53.
- [4]尹锡江.建筑工程大体积混凝土裂缝预防与处理措施[J].中国建筑装饰装修,2025(6):111-113.
- [5]赵远,黄帅刚.土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术标准[J].大众标准化,2025(12):28-30.