

水利工程施工中控制混凝土裂缝技术

於金松

南通通源建设监理有限公司 江苏 南通 226006

摘要：水利工程中混凝土裂缝影响结构安全与耐久性。本文分析裂缝主要成因，涵盖材料特性、施工过程及环境作用。提出控制裂缝的技术策略，包括材料优化，如胶凝材料选型、骨料优选、外加剂选用；施工管控，涉及浇筑前准备、温度控制、模板拆除与后续保护；养护强化，包含养护时机与方式选择、养护周期与质量管控。通过多维度技术措施，有效降低水利工程混凝土裂缝产生概率。

关键词：水利工程；混凝土裂缝；材料优化；施工管控；养护强化

引言：水利工程中，混凝土裂缝问题普遍存在，严重影响工程结构安全与使用寿命。混凝土裂缝成因复杂，涉及材料特性、施工过程及环境作用等多方面因素。裂缝一旦产生，会降低结构耐久性，引发渗漏等次生灾害。因此，深入研究水利工程混凝土裂缝控制技术，采取有效措施预防和减少裂缝产生，对保障水利工程质量、提高工程效益具有重要意义。

1 水利工程混凝土裂缝的主要成因分析

1.1 材料特性相关因素

混凝土自身组分对裂缝产生存在显著影响。水泥品种不同，其水化反应速度与放热程度存在差异，部分水泥水化过程中释放热量较多，易使混凝土内部温度快速升高，为后续裂缝形成埋下隐患。骨料特性同样关键，骨料的级配、粒径大小及强度会影响混凝土整体结构稳定性，级配不合理或粒径过大过小，都可能导致混凝土内部应力分布不均，进而增加裂缝出现概率^[1]。外加剂适配性也不容忽视，若外加剂与水泥、骨料搭配不当，可能改变混凝土的凝结时间与收缩性能，破坏混凝土原有结构稳定性。同时，材料收缩是引发裂缝的重要内在机制，干燥收缩是混凝土在水分蒸发过程中体积缩小产生的现象，此过程中混凝土内部易形成拉应力；塑性收缩多发生在混凝土浇筑初期，表面水分快速散失而内部水分补充不及时，导致表面出现收缩裂缝；徐变收缩则是混凝土在长期荷载作用下发生的缓慢变形，持续变形会使混凝土内部应力逐渐累积，当应力超过材料承受极限时，裂缝便会产生。

1.2 施工过程关键诱因

施工环节中的操作不当会直接推动裂缝形成。配合比设计若缺乏合理性，水泥用量、水灰比等参数设置不当，会影响混凝土的强度与抗裂性能，水泥用量过多易加剧水化热效应，水灰比过大则会降低混凝土密实度。

搅拌过程中若均匀度不足，混凝土各组分分布不均，会导致局部强度偏低，成为裂缝萌发的薄弱区域。浇筑顺序与速度控制不当，可能使先浇筑的混凝土与后浇筑的混凝土之间结合不紧密，形成施工缝，后续在荷载或环境作用下易发展为裂缝；浇筑速度过快还可能导致混凝土内部出现气泡或空隙，削弱结构整体性。振捣密实度不足会使混凝土内部存在孔隙，降低混凝土的承载能力与抗渗性，而过度振捣则可能破坏骨料与水泥浆的粘结结构，同样不利于混凝土抗裂。模板安装若存在偏差或固定不牢固，会导致混凝土浇筑过程中出现变形，拆除时机不合理也会产生影响，过早拆除模板，混凝土强度尚未达到设计要求，难以承受自身重量与外部荷载，易出现裂缝；过晚拆除则可能因模板与混凝土之间粘结力过大，拆除时对混凝土表面造成损伤。

1.3 环境作用影响

环境因素通过诱发混凝土内部应力变化促使裂缝产生。温度变化是重要影响因素，昼夜温差会使混凝土表面与内部出现温度梯度，表面温度下降较快时体积收缩，而内部温度较高仍处于膨胀状态，这种温差产生的应力会作用于混凝土结构；季节温差带来的温度波动更为显著，长期反复的温度变化会使混凝土内部应力不断交替变化；水化热温差则是混凝土内部水化反应放热与外部环境散热不均衡形成的温差，这些温差都会导致混凝土内部产生拉应力，当拉应力超过混凝土抗拉强度时，裂缝便会出现。湿度波动会使混凝土内部水分含量发生变化，水分的增减会引起混凝土体积收缩或膨胀，频繁的体积变化会使混凝土结构持续承受应力作用；风力侵蚀会加速混凝土表面水分蒸发，导致表面干燥收缩速度加快，增加表面裂缝出现的可能性；冻融循环则是混凝土内部水分结冰膨胀，融化后体积收缩，反复的冻融作用会使混凝土内部结构逐渐受损，形成微小裂缝，

这些微小裂缝不断发展扩大,最终会形成明显的裂缝。

2 水利工程混凝土裂缝控制的材料优化技术

2.1 胶凝材料选型与配比调整

胶凝材料选型需紧密结合工程所处环境条件。在温度变化剧烈或大体积混凝土工程中,优先选用低热水泥,这类水泥水化反应过程中释放热量较少,能减缓混凝土内部温度上升速度,减少因温度差异引发的应力集中^[2]。对于存在硫酸盐侵蚀风险的水利工程,抗硫酸盐水泥是更适配的选择,其成分特性可增强混凝土抵御硫酸盐破坏的能力,降低因材料腐蚀导致裂缝出现的可能。合理掺加矿物掺合料是调整胶凝材料配比的关键手段,粉煤灰可改善混凝土的和易性,减少水泥用量,同时降低水化热峰值;矿渣粉能提升混凝土后期强度,优化内部结构密实度;硅灰则可填充混凝土内部孔隙,增强界面粘结性能,三种掺合料根据工程需求按不同比例添加,均能从不同维度改善混凝土性能,为控制裂缝提供基础保障。

2.2 骨料优选与级配优化

骨料质量直接影响混凝土抗裂性能,筛选优质骨料需严格把控多项指标。含泥量需控制在较低水平,过多泥土会削弱骨料与水泥浆的粘结强度,导致混凝土结构整体性下降,增加裂缝产生风险;粒径分布需符合工程设计要求,粒径过大可能造成混凝土浇筑时离析,粒径过小则会增加水泥用量,加剧收缩现象;强度指标需与混凝土设计强度相匹配,强度不足的骨料易在受力过程中破碎,形成内部薄弱点。优化骨料级配通过调整不同粒径骨料的比例实现,使骨料形成更紧密的堆积状态,减少混凝土内部空隙,降低干燥收缩和塑性收缩的程度,同时提升混凝土密实度,增强抵御外部环境作用的能力,从结构层面减少裂缝产生的可能性。

2.3 外加剂科学选用

外加剂选用需兼顾施工需求与混凝土性能目标。减水剂的应用可在保证混凝土工作性的前提下减少用水量,降低水灰比,提升混凝土强度与密实度,同时减少因水分蒸发产生的干燥收缩;缓凝剂适用于高温环境或长距离运输场景,能延长混凝土凝结时间,避免浇筑过程中因初凝过快出现施工冷缝,为混凝土振捣、养护等后续工序预留充足时间;膨胀剂可在混凝土硬化过程中产生适度膨胀,补偿混凝土收缩变形,抵消收缩产生的拉应力,有效抑制收缩裂缝形成;抗裂纤维掺入混凝土后,能均匀分布在内部结构中,增强混凝土抗拉强度,阻止微小裂缝的扩展与延伸,提升混凝土整体抗裂性能。不同外加剂的选择与掺量需根据具体工程条件通过

试验确定,确保与胶凝材料、骨料形成良好适配性,充分发挥调控混凝土工作性与抗裂性能的作用。

3 水利工程混凝土裂缝控制的施工管控技术

3.1 浇筑前准备与浇筑过程管控

浇筑前需完成多项准备工作以保障施工质量。模板检查需关注拼接缝隙严密性与支撑稳定性,缝隙过大易导致混凝土浇筑时漏浆,形成蜂窝麻面,支撑不稳则可能在浇筑过程中出现模板变形,影响混凝土结构形态;钢筋布设复核需核对钢筋规格、间距与位置,确保符合设计要求,钢筋位置偏差可能导致混凝土受力不均,增加局部裂缝产生风险;基层处理需清理表面杂物与积水,保证基层平整洁净,杂物残留会削弱混凝土与基层的粘结力,积水则可能改变局部混凝土水灰比^[3]。浇筑过程中分层厚度控制需结合混凝土坍落度与振捣设备性能确定,厚度过大易导致振捣不充分,出现内部疏松;浇筑速度调节需与振捣节奏匹配,速度过快可能使先浇筑混凝土初凝后与后浇筑部分形成冷缝;振捣方式优化需采用合适的振捣机械与振捣时间,确保混凝土密实的同时避免漏振与过振,漏振会导致混凝土内部存在孔隙,过振则可能使骨料与水泥浆分离,破坏混凝土结构整体性。

3.2 温度控制技术应用

温度控制需通过多环节技术措施降低混凝土内外温差与温度变化速率。降低原材料初始温度可采用骨料预冷与冷水拌合方式,骨料预冷通过遮阳、喷水或风冷等手段降低温度,冷水拌合则直接使用低温水参与混凝土搅拌,两种方式均能减少混凝土初始温度,为后续温度控制奠定基础;设置冷却水管需在混凝土内部按设计间距布设管道,通过循环冷水带走内部热量,缓解水化热积聚导致的温度升高,管道进出口水温需定期监测,根据温差变化调整水流速度,确保散热效果稳定;分层分块浇筑将大体积混凝土划分为多个小单元依次浇筑,每个单元浇筑完成后预留散热时间,减少整体温度集中现象,单元间需设置后浇带,待两侧混凝土温度稳定后再进行浇筑;覆盖保温层需在混凝土浇筑完成后及时覆盖保温材料,减缓表面温度下降速度,避免表面与内部形成过大温差,降低温度应力引发裂缝的可能性,保温材料厚度需根据环境温度动态调整,低温环境下适当增加厚度。

3.3 模板拆除与后续保护

模板拆除需依据混凝土强度发展规律与环境条件确定合理时间。通过现场取样检测混凝土强度,只有当强度达到设计规定的拆模强度要求时方可拆除,过早拆模会因混凝土强度不足,无法承受自身重量与外部荷载,

导致结构变形甚至出现裂缝；不同部位模板拆除顺序也需遵循规范，避免因拆除顺序不当对混凝土结构造成冲击，承重模板拆除需滞后于非承重模板，确保结构受力均衡。模板拆除后的后续保护同样重要，需采取措施避免混凝土表面受到碰撞，碰撞可能导致表面出现破损，进而发展为裂缝；在大风天气需对混凝土结构边缘、棱角进行包裹防护，防止风力加速表面水分蒸发；同时需防止混凝土表面长期暴晒，暴晒会加速表面水分蒸发，引发干燥收缩裂缝，可通过覆盖保湿材料或喷水养护等方式，维持混凝土表面湿度，保障混凝土强度稳定发展，养护过程中需避免水分过多导致表面起砂。

4 水利工程混凝土裂缝控制的养护强化技术

4.1 养护时机与养护方式选择

混凝土浇筑完成后，养护时机的把握对预防裂缝至关重要。需在混凝土初凝后适时启动养护工作，此时混凝土表面开始硬化但尚未完全定型，及时覆盖保温保湿材料或进行洒水操作，可有效减少表面水分蒸发速度，避免因早期水分流失过快引发塑性收缩裂缝^[4]。若养护启动过晚，混凝土表面已出现干燥迹象，即使后续补充养护，也难以修复前期水分缺失造成的内部结构损伤，增加裂缝产生风险。养护方式的选择需结合实际环境条件灵活调整。在空气湿度较低、风力较大或日照强烈的环境中，喷雾养护可通过持续向混凝土表面喷洒细水雾，形成均匀水膜，既能补充水分，又能减缓水分蒸发，保持表面湿润状态；覆膜养护则适用于大面积混凝土结构，利用塑料薄膜的密闭性将混凝土与外界环境隔离，减少水分散失，同时可阻挡外界温度剧烈变化对混凝土表面的影响，尤其适合低温或高温环境下使用；蓄水养护多用于平面混凝土结构，通过在混凝土表面形成一定深度的积水层，持续为混凝土提供水分，满足水泥水化反应需求，且积水层能起到一定保温作用，降低内外温差，该方式对养护质量的保障更为稳定，适合对裂缝控制要求较高的水利工程部位。

4.2 养护周期与质量管控

养护周期的确定需综合考虑混凝土强度等级、胶凝材料类型及环境温湿度等因素。不同强度等级的混凝土，水泥水化反应所需时间存在差异，强度等级越高，

通常需要更长养护周期以确保强度充分发展，减少因强度不足引发的裂缝；胶凝材料类型也会影响养护需求，采用掺合料的混凝土，水化反应速度相对较慢，需适当延长养护时间，保证掺合料充分参与反应，提升混凝土抗裂性能；环境温湿度对养护周期影响显著，低温环境下水化反应减缓，需延长养护周期以弥补反应效率不足，而高湿度环境可减少水分流失，养护周期可根据实际情况适当调整。养护过程中的质量管控是保障养护效果的关键。需建立定期检查机制，确保混凝土表面在整个养护周期内持续保持湿润状态，避免出现局部干燥区域。检查过程中需关注混凝土表面是否存在发白、起砂等水分不足迹象，一旦发现需及时补充水分或调整养护方式。同时需避免养护过程中对混凝土表面造成损伤，如洒水时控制水流强度，防止冲刷表面；覆膜养护时避免薄膜破损导致水分快速散失，通过严格的质量管控，确保养护工作落到实处，有效降低裂缝产生概率。

结束语

水利工程混凝土裂缝控制是一项系统性工程，需从材料、施工、养护等多方面协同发力。材料优化为混凝土性能提升奠定基础，施工管控确保各环节规范操作，养护强化保障混凝土强度稳定发展。通过实施这些技术策略，能有效减少裂缝产生，提高水利工程混凝土结构的耐久性与安全性。未来，随着材料科学与施工技术的不断进步，水利工程混凝土裂缝控制技术将更加完善，为水利事业发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]王文宏.水利工程施工中的混凝土裂缝控制要点[J].黑龙江水利科技.2021(15):203-204.
- [2]孙健.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术探讨[J].农业科技与信息.2021(16):224-225.
- [3]曹丛俊.水利施工中混凝土裂缝产生的原因及防治技术分析[J].广西城镇建设,2021,(06):71-72+78.
- [4]杨信国.水利水电施工中混凝土裂缝的主要原因及防治技术[J].中国高新科技,2021,(12):123-124.