

水利工程施工中混凝土裂缝控制技术探讨

徐进健

江苏力恒工程咨询有限公司 江苏 南京 210000

摘要：随着水利工程建设步伐的不断加快，各类大型水利工程如雨后春笋般涌现，混凝土作为水利工程的主要结构材料，其施工质量至关重要。本文围绕水利工程施工中混凝土裂缝控制技术展开探讨。首先分析了裂缝产生的原因，包括温度变化、湿度变化、施工工艺不当、原材料质量问题及地基变形等。随后从优化混凝土配合比、控制浇筑温度、加强振捣与养护、强化施工管理与质量控制以及采用表面修补法、灌浆修补法、结构加固法等裂缝处理技术方面，阐述了具体的控制措施。研究旨在为水利工程混凝土裂缝的有效防控提供参考，以保障工程结构的安全性和耐久性。

关键词：水利工程施工；混凝土裂缝；控制技术

引言：在水利工程施工中，混凝土裂缝是影响工程质量的突出问题，会降低结构的承载能力、抗渗性和耐久性，甚至威胁工程的安全运行。混凝土裂缝的产生与温度、湿度变化，施工工艺、原材料质量及地基状况等多种因素相关。随着水利工程建设的发展，对混凝土质量要求日益提高，裂缝控制愈发重要。深入分析混凝土裂缝产生的原因，详细探讨相应的控制技术，为提升水利工程施工质量、减少裂缝危害提供借鉴，具有重要的工程实践意义。

1 水利工程施工中混凝土裂缝产生的原因

1.1 温度变化

温度变化是导致水利工程混凝土裂缝的主要因素之一。混凝土浇筑后，水泥水化反应会释放大量热量，使内部温度快速升高，而表面因与空气接触散热较快，形成显著的内外温差。当温差产生的温度应力超过混凝土的抗拉强度时，便会引发表面裂缝。此外，水利工程多处于露天环境，受昼夜温差、季节交替影响，混凝土长期承受温度循环作用，易产生温度疲劳裂缝。

1.2 湿度变化

混凝土硬化过程中对湿度变化极为敏感。若环境湿度较低，混凝土表面水分蒸发过快，会导致体积收缩，而内部湿度较高、收缩较慢，表面收缩受到内部约束，易产生干缩裂缝。在水利工程中，混凝土结构常与水体接触，干湿交替频繁，例如堤坝迎水面与背水面的湿度差异、渠道水位涨落导致的湿度变化等。这种反复的湿胀干缩会使混凝土内部产生交变应力，长期作用下可能引发耐久性裂缝，降低结构的抗渗性能和抗冻性能。

1.3 施工工艺

施工工艺不当是引发混凝土裂缝的重要人为因素。

混凝土浇筑过程中，若浇筑速度过快、分层厚度过大，会导致振捣不密实，形成蜂窝、麻面，后期易在此处发展为裂缝；振捣不足或过度振捣则会造成骨料离析，影响混凝土匀质性。浇筑后若养护不及时或养护措施不到位，如覆盖不严密、洒水不足，会加剧表面水分流失，引发早期收缩裂缝。

1.4 原材料质量

原材料质量直接影响混凝土的抗裂性能。水泥品种选择不当，如使用水化热过高的水泥，会加剧内部温升，增加温度裂缝风险；水泥安定性不合格则可能导致混凝土后期不均匀膨胀，引发裂缝。骨料级配不合理，如细骨料过多或粗骨料粒径过大，会使混凝土和易性变差，施工中易产生离析，同时影响体积稳定性。砂石含泥量超标会降低混凝土强度和耐久性，增加收缩裂缝的可能性。

1.5 地基变形

地基不均匀变形是水利工程混凝土结构产生裂缝的关键诱因。水利工程多建于地质条件复杂的区域，若地基处理不彻底，存在软土地基、溶洞或断层等隐患，在混凝土结构自重及水压力作用下，地基易发生不均匀沉降。混凝土结构与地基变形不协调时，会产生附加应力，当应力超过混凝土抗拉极限时，便会出现沉降裂缝。此类裂缝多呈斜向或纵向分布，往往贯穿结构整体，对工程安全性影响极大^[1]。

2 水利工程施工中混凝土裂缝控制技术

2.1 优化混凝土配合比

2.1.1 水泥选择

水泥选择是优化混凝土配合比的基础环节，直接影响水化热和抗裂性能。优先选用水化热较低的水泥品

种，如矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥，可减少混凝土内部温升，降低温度裂缝风险。对于大体积混凝土结构，应避免使用快硬水泥或高强度等级水泥（如42.5级以上），因其水化反应剧烈、放热集中。同时，需严格控制水泥用量，在满足强度要求的前提下尽量减少水泥掺量，通常每立方米混凝土水泥用量不宜超过300kg，通过降低水化热总量缓解温度应力。

2.1.2 骨料级配调整

合理的骨料级配能提高混凝土密实度，减少水泥用量，增强体积稳定性。粗骨料宜选用连续级配的碎石或卵石，粒径控制在5-31.5mm范围内，最大粒径不超过结构截面最小尺寸的1/4，且不大于钢筋净距的3/4，以保证混凝土浇筑密实性。细骨料应采用级配良好的中砂，细度模数控制在2.3-3.0之间，含泥量不超过3%，通过减少空隙率降低水泥浆体用量，从而减少收缩。

2.1.3 掺和料使用

掺入矿物掺和料是改善混凝土抗裂性能的有效手段，既能降低水化热，又能优化微观结构。常用掺和料包括粉煤灰、矿渣粉、硅灰等，其中Ⅰ级或Ⅱ级粉煤灰可替代15%-30%的水泥，其球形颗粒能改善混凝土和易性，减少用水量；矿渣粉活性较低，水化热小，替代20%-50%水泥时可显著降低内部温升，适用于大体积混凝土。

2.1.4 外加剂添加

科学添加外加剂可针对性改善混凝土性能，降低裂缝风险。减水剂是核心外加剂，高效减水剂可减少15%-30%的用水量，在保证和易性的同时降低水胶比，提高混凝土强度和抗渗性；缓凝剂适用于高温环境施工，能延长凝结时间，避免因浇筑间隔过长产生冷缝。对于有抗冻要求的水利工程，可掺入引气剂，引入均匀分布的微小气泡，缓解冻融循环产生的应力。外加剂掺量需严格控制，如减水剂掺量通常为胶凝材料总量的1%-3%，过量可能导致离析或缓凝过度。

2.2 控制混凝土浇筑温度

2.2.1 原材料降温措施

原材料降温是控制混凝土浇筑温度的基础工作。水泥应存放在遮阳棚或冷却仓内，避免阳光直射导致温度升高，高温季节可提前储备，利用自然散热降低初始温度。粗骨料堆放在遮阳棚内，必要时通过喷洒冷水或冷风机降温；细骨料设置防雨棚，防止含水率波动影响降温效果。拌合水可通过冷却装置降温，或直接掺入碎冰，确保冰水混合物完全融化后再参与搅拌。

2.2.2 混凝土搅拌与运输控制

搅拌过程中通过工艺优化减少温度回升。采用强制式搅拌机缩短搅拌时间，避免机械摩擦产热过多；搅拌前可向搅拌机内喷洒冷水预冷，降低设备初始温度。运输环节采取保温隔热措施，运输罐车外壳包裹保温棉或反光隔热膜，罐体内壁涂刷隔热涂料，减少外界环境吸热。高温天气运输时，罐车顶部覆盖遮阳罩，同时缩短运输时间。若运输过程中温度回升较明显，需在浇筑前加入适量冷却水（按配合比调整）重新搅拌，并检测坍落度是否符合要求。

2.2.3 浇筑时间选择

合理选择浇筑时间可有效规避高温环境影响。优先在气温较低的时段施工，如夏季选择夜间，此时环境温度较低，能减少混凝土浇筑后的温度回升；春秋季节可选择早晨或傍晚，避开正午高温时段。遇极端高温天气时，应暂停浇筑作业，或采取搭设防雨遮阳棚、喷雾降温等措施，将作业面环境温度控制在合理范围。冬季施工则需避免在低温时段浇筑，必要时采用热水拌合、骨料预热等方式提高入模温度，确保混凝土入模温度适宜，防止因温度过低导致强度增长缓慢。

2.3 加强混凝土振捣与养护

2.3.1 振捣工艺控制

振捣是保证混凝土密实性的关键环节，需严格控制振捣方式与时间。采用插入式振捣棒时，应遵循“快插慢拔”原则，插入点呈梅花形布置，间距不超过振捣棒作用半径的1.5倍，确保振捣范围无死角。振捣过程中，振捣棒需插入下层混凝土5-10cm，使上下层混凝土充分结合，避免出现分层裂缝。振捣时间以混凝土表面泛浆、不再下沉、无气泡逸出为宜，过短易导致密实度不足，过长则可能引发骨料离析。对于钢筋密集区域，应选用小型振捣棒重点振捣，防止因漏振形成蜂窝麻面，为后期裂缝埋下隐患。振捣完成后，及时清理表面浮浆，减少收缩应力集中^[2]。

2.3.2 养护措施实施

科学养护可有效减少混凝土收缩裂缝，需根据环境条件制定针对性方案。浇筑完成后，待表面初凝即可覆盖保湿材料，如塑料薄膜、土工布或麻袋，确保混凝土表面始终处于湿润状态。养护时间需满足规范要求，普通混凝土不少于7天，掺加掺和料的混凝土不少于14天，大体积混凝土应延长至21天以上。高温或大风天气，需增加洒水频次，保持覆盖物湿润；低温环境则需采取保温措施，如覆盖保温被或搭设暖棚，防止温度骤降引发温度裂缝。对于薄壁结构或立面，可采用喷涂养护剂的方式，形成封闭薄膜减少水分蒸发，确保混凝土强度稳

步增长。

2.4 加强施工管理与质量控制

2.4.1 施工人员培训与管理

施工人员的专业能力直接影响混凝土施工质量，需建立系统化的培训与管理制度。岗前培训需涵盖混凝土施工规范、裂缝防控要点及操作技能，通过理论考核与实操演练确保施工人员掌握关键工艺，如振捣频率控制、养护时机判断等。实行岗位责任制，明确振捣工、养护工等关键岗位的职责，将质量指标与绩效挂钩，强化责任意识。定期组织技术交底会，针对不同施工环节（如大体积混凝土浇筑、薄壁结构施工）的特点，讲解抗裂技术要点，同时鼓励施工人员反馈现场问题，形成“培训-实践-改进”的闭环管理模式。

2.4.2 施工过程质量监测

建立全流程质量监测体系，实时把控混凝土施工关键参数。在拌合环节，监测混凝土坍落度、和易性，每批次进行取样检测，确保配合比严格执行；浇筑过程中，采用温度传感器监测混凝土内部温度，记录温升曲线，当内外温差超过阈值时及时采取降温措施。设置专职质量检查员，对振捣密实度、施工缝处理等进行旁站监督，发现漏振、过振等问题立即要求整改。养护阶段定期检查覆盖情况与表面湿度，记录养护天数，确保养护措施落实到位。

2.4.3 应急预案制定与实施

针对施工中可能引发裂缝的突发情况，需提前制定应急预案。针对极端天气，如暴雨、高温、寒潮，明确停工标准与防护措施，例如暴雨前对未凝固混凝土覆盖防雨布，高温时增加遮阳设备；针对混凝土供应中断，制定备用搅拌站联络机制，确保浇筑连续性，避免出现冷缝。预案中需明确各岗位应急职责，定期组织演练，提升快速响应能力。发生裂缝险情时，按“先控制、后处理”原则，立即启动对应措施，如表面裂缝采用封闭法临时处理，贯穿裂缝及时上报并启用加固方案，防止险情扩大。

2.5 裂缝处理技术

2.5.1 表面修补法

表面修补法适用于处理深度较浅、未贯穿结构的表面裂缝，主要作用是阻止水分渗透和减缓裂缝发展。施工时先清理裂缝表面的浮灰、杂物，用高压水枪冲洗干净并晾干；对于较宽的裂缝（宽度大于0.2mm），可沿裂

缝走向凿出V形槽，槽深和槽宽根据裂缝大小确定，通常为5-10mm。随后采用聚合物砂浆、环氧树脂胶泥等材料填充修补，涂抹时需压实抹平，确保与基层紧密结合。对于防水要求较高的部位，可在修补层表面涂刷防水涂料或粘贴防水卷材，形成双重防护。

2.5.2 灌浆修补法

灌浆修补法多用于处理深度较大、影响结构整体性的裂缝，通过注入胶结材料恢复混凝土的受力性能和密实性。首先确定裂缝走向、深度和宽度，采用钻孔或埋管的方式设置灌浆通道，确保浆液能充分填充裂缝。根据裂缝性质选择合适的灌浆材料，如水泥浆适用于宽度较大的裂缝，环氧树脂浆液适用于细微裂缝和有防渗要求的部位。灌浆过程中控制压力和流量，从裂缝低端向高端逐步推进，直至浆液从裂缝另一端溢出，确保裂缝内无空气残留。

2.5.3 结构加固法

当裂缝严重影响结构承载能力或稳定性时，需采用结构加固法进行处理。常用方法包括增大截面法、粘贴钢板法和碳纤维布加固法等。增大截面法是在裂缝所在结构构件表面浇筑新的混凝土层，并配置附加钢筋，通过扩大截面尺寸提高承载能力；粘贴钢板法是将钢板用环氧树脂胶粘贴在裂缝附近受拉区域，利用钢板与混凝土的协同工作传递应力，限制裂缝扩展；碳纤维布加固法则通过粘贴高强度碳纤维布，发挥其抗拉性能增强结构整体性^[3]。

结束语

综上所述，水利工程混凝土裂缝控制是一项系统性工程，需从成因分析到技术实施形成闭环管理。温度、湿度等自然因素与施工工艺、材料质量等人为因素的叠加作用，决定了裂缝防控需兼顾技术创新与管理优化。通过优化配合比、严控浇筑温度、强化振捣养护等综合措施，可显著降低裂缝风险，而科学的裂缝处理技术则为工程安全提供最后保障。

参考文献

- [1] 娄东升,李永静,钱伟.水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术研究[J].低碳世界,2021,9(5):77-78.
- [2] 戈瑞.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术分析[J].工程建设与设计,2021(21):215-217.
- [3] 宋金玲.水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术分析[J].智慧城市,2022,3(7):268.