

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] 弋瑞.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].智能城市,2022,3(7):268.