

水利工程施工中混凝土裂缝防治技术应用研究

顾宇

常熟市中江建设工程有限公司 江苏常熟 215500

摘要:随着水利工程建设规模的不断扩大,混凝土裂缝问题也愈发严重,混凝土裂缝的存在会降低工程结构的耐久性、安全性,还会造成巨大的经济损失。因此深入研究混凝土裂缝防治技术的应用有着十分重要的现实意义。本文就水利工程施工中混凝土裂缝防治技术展开系统的研究,从混凝土裂缝产生的原因入手,分析了材料性能、施工工艺、环境等各方面因素;再从混凝土裂缝防治技术的应用角度出发,阐述了预防措施、治理技术、智能监测与预警技术等内容,为水利工程施工中混凝土裂缝的有效防治提供理论支持和实践指导。

关键词:水利工程施工;混凝土;裂缝防治;技术应用

引言

在水利工程中,混凝土是主要的建筑材料,混凝土的质量稳定直接影响到整个工程的安全、耐久。但是由于材料性能、施工工艺和环境因素等的影响,混凝土裂缝问题一直是工程实践中难以回避的技术难题。传统防治手段大多只注重某一环节的局部修复,缺少系统的解决办法,致使裂缝不断出现,治理费用一直很高。近些年来,材料科学,信息技术以及工程管理相互融合,混凝土裂缝防控技术朝着细致化,智能化的方向发展。

一、混凝土裂缝防治技术概述

水利工程混凝土结构长期受到水荷载、温度变化、复杂地基约束等共同作用,裂缝控制是保证工程安全、耐久的技术难题。现代裂缝防治已由原来的被动修补转变为“防患于未然”的主动防控体系,形成了包含材料科学、结构设计、施工工艺和智能监测在内的综合性技术领域。该技术体系以材料本性改良为根基,依靠改善配合比削减收缩变形的潜能,以精细施工为关键,经由过程控制清除质量瑕疵,以智能养护为保证,经由环境调控遏制裂缝发展。按照“抗放并举”的原则,一方面提高混凝土自身抗裂性,另一方面利用构造措施释放约束应力,达到无害化裂缝精准控制的目的。

二、混凝土裂缝产生的原因分析

(一) 材料性能因素

1. 水泥及外加剂的影响

水泥的化学组成和细度直接影响水化热特性以及收缩变形行为。高碳酸三钙含量水泥会导致大体积混凝土早期水化放热快,内外温差超限;细度模数过高水泥自干燥收缩大,开裂风险高。外加剂选择不当会引发连锁反应:减水剂和水泥适应性不好会导致拌合物泌水离析,引气剂过量会引入气泡,削弱混凝土抗拉强度,早强剂过快放热会激化温度应力矛盾。这些材料面上的隐性缺陷,为之后的裂缝出现埋下了祸根。

2. 砂、石骨料的性能

骨料级配不良,属于产生裂缝的原因。间断级配砂石会增大浆骨比,增大收缩应变;针片状颗粒超标会降低骨架支撑作用,增大塑性沉降裂缝的概率。骨料-浆体界面过渡区属于力学薄弱环节,该处性能受骨料含泥量影响较大,泥份包裹骨料表面妨碍水泥浆体粘结,产生应力集中源。另外活性骨料和碱溶液发生化学反应产生膨胀,在运行期造成网状裂缝的破坏。

(二) 施工工艺因素

1. 混凝土浇筑工艺

浇筑过程中质量控制不到位造成结构出现裂缝。分层浇筑时如果层间间歇时间过长,已经初凝的下层混凝土就会对新浇层形成刚性约束,产生冷缝缺陷。振捣操作不当会出现两种极端情况,欠振造成气泡无法排出形成强度薄弱区,过振引发骨料下沉浆体上浮产生分层裂缝。钢筋密集处,如果混凝土下落高度控制不好,粗骨料和钢筋碰撞会造成浆骨分离,沿钢筋走向形成沉降裂缝。

2. 混凝土养护过程

养护制度是否恰当,决定混凝土微观构造是否完整。传统洒水养护存在表面干湿交替,混凝土表层湿度反复

作者简介:顾宇(1988.01--),男,汉族,江苏常熟人,学历:本科,高级工程师,研究方向:水利施工建设。

变化,造成混凝土表层胀缩反复,龟裂发展。对于大体积混凝土,如果只重视表面保湿,不重视内部降温,核心区积蓄的水化热无法及时散发,就会产生贯穿性的温度裂缝。拆模时间的选择要把握准确,过早拆模混凝土强度达不到抵抗温度应力的要求,过晚拆模表面水分补充困难,自收缩加剧。

(三) 环境因素

1. 温度、湿度变化

环境温湿度剧变是引起裂缝的最主要外部驱动力。昼夜温差会使得混凝土表面和内部产生非线性的温度梯度,当受到内部约束的时候就会变成拉应力。干燥的环境下新浇混凝土表面水分迅速蒸发,产生的毛细管张力大于早期混凝土的抗拉强度,造成塑性收缩裂缝蔓延。冬季施工时若保温不到位,混凝土内部的自由水冻结结晶压力就能破坏尚未完全发展的微观结构。

2. 地震、荷载等外部影响

运营期动态荷载对混凝土裂缝的发展起催化作用。地基不均匀沉降造成结构出现附加弯矩,在抗拉薄弱处就会产生结构性裂缝。周期性水位变动造成坝体长久处在干湿循环之中,这样的周期性应力加快了微裂缝延伸贯通的速度。钢筋混凝土结构在地震多发区,反复的动力荷载会使钢筋和混凝土之间的粘结力下降,原裂缝会顺着主应力方向发展,最后危及整个结构的安全。

三、混凝土裂缝防治技术应用

(一) 预防措施

1. 配合比设计优化

现代混凝土配合比设计理念的核心就是低热积温,用一系列技术手段来实现混凝土本质抗裂性能。为了达到此目的,设计师们采用多元胶凝体系重构混凝土,用这种重构来降低混凝土的水化热,从而减少温度变化引起裂缝问题。

在具体实施过程中,设计师们用大掺量的粉煤灰或者矿粉代替部分水泥,不仅可以降低混凝土水化热峰值,还能改善浆体流变性,使混凝土施工时更易操作。除此之外,为了进一步抑制混凝土的自收缩,设计师还加入了内养护材料,轻砂、SAP高吸水树脂等,在混凝土内部形成一个“微型水库”,可以有效地抑制混凝土的自收缩。

同时设计师们也使用了收缩补偿型外加剂,该外加剂通过生成钙矾石来抵消混凝土的干燥收缩,进而减少混凝土的裂缝问题。骨料体系选择上,设计师采用了三级配优化,用最密实堆积理论来减少浆体需求,从根本上减少混凝土的收缩源

2. 施工工艺改进

智能化施工系统给裂缝预防提供坚实的技术支撑和保障。就建筑信息模型(BIM)技术的浇筑模拟功能而言,可以准确预判混凝土浇筑过程中温度场的分布情况,从而科学指导冷却水管的布置方案,保证温度控制得当。另外,自动喷雾系统根据湿度传感器数据实时调节施工现场的表面微环境,可以防止由于湿度变化造成的裂缝。同时无线温度监测网络的使用,让施工人员可以实时了解混凝土核心部位的温升曲线,根据监测到的数据随时调整保温层的厚度,保证温度处于一个合理的范围之内。振捣环节施工人员使用了带有加速度传感器的智能振捣棒,可以量化振捣过程中的质量,实时反馈振捣效果,避免欠振、过振现象的发生,提高混凝土结构的密实度和耐久性,从根本上防止裂缝的产生。

3. 养护管理强化

养护技术的进步正向更主动的调控、全过程的覆盖迈进。养护技术初期,利用自控养护棚可以创造出一个恒温恒湿的环境,给养护对象提供最好的生长或者养护条件。中期阶段新型养护剂的使用已经占主导地位,这些养护剂可以在养护对象表面形成一层保水膜来防止水分过度蒸发,保持养护对象内部的水分平衡。后期阶段,利用相变材料毯进行智能温控的技术日趋成熟,相变材料毯会随环境温度变化自动改变自身的相变状态,从而实现了对养护对象周围温度的智能调控。

对水工结构等特殊部位由于特殊的保湿要求,可以采用内贴式湿度控制膜定向保湿。湿度控制膜可以直接贴附在水工结构内部,通过控制膜内湿度变化来达到对某一部分精确保湿的目的。定向保湿技术可以有效地防止水工结构内部由于湿度变化而产生裂缝、渗水等各种问题。

大体积混凝土养护中引入了“温度轨迹追踪”的思想。通过建立冷却通水系统,实时监测混凝土内部温度变化,与理论降温曲线进行匹配控制。温度轨迹追踪技术可以保证混凝土在养护过程中一直保持最佳温度,提高混凝土质量及耐久性。

(二) 治理技术

1. 表面裂缝修补技术

根据裂缝不同的特点,专门研发并发展出了一系列专项的处治工艺。对微裂缝即宽度小于0.2毫米的裂缝采用渗透结晶材料进行处理,该材料可以渗入到裂缝中去,通过结晶反应实现自修复,封闭裂缝。对于活动裂缝,考虑到其具有动态变化的特点,我们采用柔性密封胶进

行随动密封,即裂纹发生多大变化,柔性密封胶就随之变化多少,保证裂纹时刻处于密封状态。在水下环境下的裂缝处理中,使用的是水反应型聚氨酯材料,该材料和水接触后能迅速反应并固化,从而达到快速止水的目的。

另外,还使用了新型仿生修复材料,微生物矿化修复剂,在裂缝内部,微生物矿化作用生成碳酸钙,实现裂缝的自愈合,修复效果很好。表面裂缝处理用表面封闭法,用碳纤维布加固,复合处理不但可以恢复结构的防水性能,而且可以提高结构的抗裂能力,保证结构的长期稳定、安全。利用这些专项处理工艺的综合应用,可以对各种类型的裂缝给出科学、有效的处理方法。

2. 内部裂缝注浆加固技术

注浆技术由最初的粗放式填充方式,逐渐发展为更加精细、高效的精准修复技术。在这个过程之中,超声波成像技术得到广泛的应用,凭借其高精度的成像性能,可以精确地判定裂缝在空间当中的形态以及散布状况,进而给注浆孔的改良安排赋予科学的根据。另外,低粘度环氧浆料的开发与应用,使注浆技术可以灌注宽度只有0.05mm的狭小裂缝,大大提高了修复的精细度。更先进的就是形状记忆聚合物浆液的应用,该浆液在一定的温度激活下可以实现二次膨胀,使裂缝的填充更加密实。与此同时智能注浆系统采用压力和流量的耦合控制技术,不仅可以定向输送浆液沿裂缝走向,还可以实时监测充填度,保证注浆过程的准确性和高效性。这一系列技术的综合使用,就表示注浆技术向着智能化,精细化的方向有了明显的提高。

3. 结构加固技术

对于出现的重大裂缝问题,必须要采用一套系统化、体系化的加固方案进行处理。其中预应力锚杆加固技术是预先施加预应力,有效地抑制裂缝的扩展和蔓延,从源头上控制裂缝的发展。另外,采用外包钢套箍加固法可以对结构进行全方位的包裹和加固,恢复并提高结构的整体性和稳定性,保证其承载能力不受影响。同时碳纤维网格加固,利用高强度的碳纤维材料,不但大幅提高结构的抗裂能力,而且大大提高结构的耐久性,达到抗裂和耐久性双重提高的效果。

为了使加固方案更加科学准确,使用数字孪生技术来创建能够进行裂缝发展、加固效果等实时监测和模拟的动态预测模型。依据实时数据,对裂缝发展走向以及加固成效改变状况进行预测,给加固方案的改良和调节给予有力的数据支撑和决策依据,保证加固工作能够有序开展并使加固成效达到最佳状态。

(三) 智能监测与预警技术

1. 裂缝全过程监测体系

建立一个涵盖施工期及运营期的全寿命周期监测网络系统。在这一体系当中,分布式光纤传感系统被广泛使用,可以准确地找到结构里面微裂缝的确切产生位置,从而为早期预警给予可信的依照。同时利用无人机搭载的红外热成像技术,定期对结构表面进行全方位扫描,以获取裂缝分布的详细图像,保证没有遗漏地监测到表面裂缝的情况。另外,在关键部位装有内置式压电传感器阵列,对裂缝的动态发展进行监测,记录裂缝扩展的速度与走向。所有的这些监测数据经由先进的物联网平台做到实时传送,不间断地接入数字孪生系统,进而达成对裂缝发展进程的可视化跟踪与管理,给结构健康状况评定及决策给予强大的数据支撑。

2. 智能诊断与预警平台

根据机器学习算法,建立智能化的裂缝诊断模型。该模型通过对历史监测数据进行深度学习可以准确地分辨出温度裂缝、干缩裂缝、荷载裂缝等各种不同类型裂缝的特征模式。为评价裂缝发展概率,采用贝叶斯网络技术,实现对裂缝风险的预警。另外还结合了结构计算模型,预测裂缝对长期安全的影响,精准防治。利用该智能诊断模型可以较为准确地预测、诊断裂缝问题,对工程安全有保障。

结语

因此,水利工程施工中混凝土裂缝的防治是项系统复杂的工作,必须从材料性能改善、施工工艺改进、养护管理加强、智能监测预警等多方面采取综合措施。对混凝土裂缝形成的原因做深入的研究,利用针对性地防治技术可以减少裂缝的发生,提高水利工程结构的安全性及耐久性。未来科技不断发展,新型材料不断出现并投入使用,混凝土裂缝防治技术也将会变得越来越智能化、精细化,为水利工程建设提供保障。

参考文献

- [1] 秦松林.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术及应用案例分析[J].数字农业与智能农机,2025(01):70-73.
- [2] 时旭东,李亚强,李俊林,等.不同超低温温度区间冻融循环作用混凝土受压强度试验研究[J].工程力学,2020,37(04):153-164.
- [3] 孟翔.水利工程施工中混凝土裂缝防治技术分析[J].水上安全,2025(01):183-185.