

水利施工中混凝土防裂缝技术控制

文 / 张华龙 青岛鑫泽地质基础工程有限公司

姜建胜 青岛市崂山区人民政府北宅街道办事处

摘要:水利工程是国家重点建设工程项目,有利于规避水害发生,提升水资源利用效率。从我国水利施工现状来看,混凝土结构在整个工程结构中仍是核心部分,而裂缝则是混凝土施工最常见的质量缺陷,直接影响整个水利工程的质量。因此,工程施工单位必须加强对混凝土防裂缝施工的重视,结合工程实际情况对混凝土裂缝的类型及成因进行深入分析,秉持从源治理的原则提出更具针对性的防治措施。为进一步解决混凝土施工裂缝问题,本文通过对实际工程混凝土裂缝的分析,细化混凝土防裂缝施工技术,基于对混凝土选材、配合比设计、施工、养护等环节的优化,探索出一套更有效的混凝土防裂缝施工技术,效果明显。

关键词:水利工程;建设;混凝土裂缝;技术控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.083

引言

水利工程在发展经济、维护社会稳定等方面都扮演着极为重要的角色,因此,一旦水利工程出现质量问题,影响将是极为严重的。混凝土是建筑工程施工中的常用材料,对整个工程的质量具有直接影响,而和混凝土施工有关的质量问题较多,其中裂缝是比较普遍的一种。裂缝不仅会损害工程外观,而且工程的耐久性会在后续使用中明显下降,直至在某个时间节点引发严重事故。为了提高水利工程的施工质量,有效控制混凝土裂缝,非常有必要对此进行分析。导致裂缝的因素较多,如不均匀沉降、温度和湿度变化、荷载、混凝土材料及施工过程中的操作等,因此,为了有效控制裂缝,需充分了解这些因素,并采用相应的技术手段加以控制。

一、混凝土裂缝的成因分析

(一) 水泥水化热引起的裂缝

在水利施工中,混凝土的裂缝问题一直是工程师们关注的焦点,尤其是由水泥水化热引起的裂缝。水泥在水化过程中会释放出大量的热量,这一过程被称为水泥的水化热效应。在大型水利结构如大坝、桥梁等的施工过程中,由于结构体积庞大,水泥水化热的累积效应会导致混凝土内部温度显著升高,从而引起混凝土内部与外部的温差,产生热应力。当这种热应力超过混凝土的抗拉强度时,就会产生裂缝。如在某大型水电站的建设中,工程师们发现,在混凝土浇筑后的初期,由于水泥水化热的集中释放,混凝土表面温度与内部温度差可达到 20°C 以上,这直接导致了表面裂缝的产生。

低热膨胀系数的水泥可以减少因温度变化引起的体积膨胀,从而降低裂缝发生的概率。在实际工程应用中,通过采用低热水泥或掺加粉煤灰、矿渣等矿物掺合料,可以有效降低混凝土的水化热。如一项研究表明,掺加20%粉煤灰的混凝土,其水化热可降低约20%。优化混凝

土的配合比设计,如增加骨料的用量、使用粒径较大的骨料,也有助于减少水泥水化热的影响。

(二) 收缩裂缝的形成机制

混凝土在硬化过程中,由于水分的蒸发和化学反应导致体积缩小,这种现象称为自收缩。自收缩在混凝土内部产生拉应力,当这种拉应力超过混凝土的抗拉强度时,就会导致裂缝的产生。根据美国混凝土协会的研究,自收缩引起的裂缝通常在混凝土浇筑后的几天到几周内出现,尤其是在干燥和高温的环境中更为显著。如在一项针对大坝施工的研究中发现,混凝土在早期硬化阶段的自收缩可以达到总收缩量的30%至50%。因此,控制混凝土的自收缩是预防早期裂缝的关键措施。温度收缩也是混凝土收缩裂缝形成的一个重要因素,混凝土在冷却过程中体积会缩小,如果收缩受到约束,同样会在混凝土内部产生拉应力。

针对混凝土强度进行分析,混凝土若出现裂缝则此时的拉应力大于同期的实际抗拉强度,根据裂缝产生的机理可以分析出其中的因果关系,详见图1。

(三) 外部环境因素对裂缝的影响

混凝土在硬化过程中,由于水泥水化热的释放,内部温度升高,而外部环境温度较低时,混凝土表面与内部的温差会导致热应力的产生,进而引起裂缝。根据相关研究,混凝土内部与外部的温差超过 25°C 时,裂缝发生的概率显著增加。因此,在施工过程中,必须采取措施控制混凝土的温度变化,如采用冷却水管、覆盖保温材料等方法,以减少温度应力对混凝土结构的影响。

混凝土在干燥的环境中会失水收缩,而收缩受到内部钢筋或周围结构的约束时,就会产生拉应力,导致裂缝的形成。在极端情况下,如沙漠或干旱地区,混凝土结构的裂缝问题。为了应对湿度变化带来的影响,施工时应采取适当的养护措施,如喷水养护、覆盖湿布等,以保持混凝土表面的湿润状态,减少因湿度变化引起的收缩裂缝。

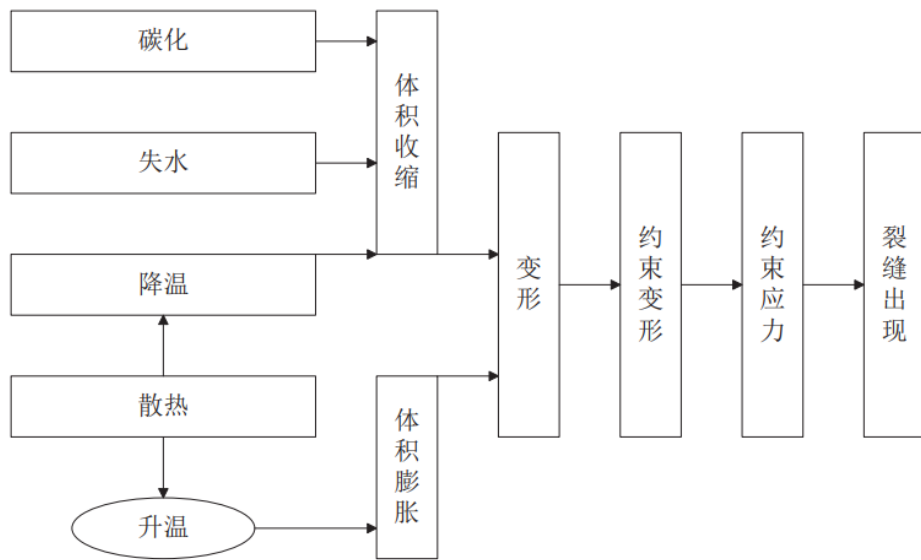


图1 混凝土裂缝因果关系

(四) 荷载作用下的裂缝产生

荷载作用下的裂缝通常分为静态荷载裂缝和动态荷载裂缝。静态荷载，如结构自重、水压力、土压力等，往往导致混凝土结构产生缓慢发展的裂缝。如一座大坝在长期水压力作用下，其混凝土结构可能会出现沿水流方向的裂缝。动态荷载，如地震、波浪冲击等，可能导致混凝土结构出现突发性的裂缝。在分析模型中，如有限元分析（FEA）可用于模拟这些荷载作用下的应力分布，从而预测可能的裂缝位置和扩展路径。

二、水利施工中混凝土防裂缝技术控制要点

(一) 原材料质量控制

水利工程施工期间，提前掌握工程资料信息，根据现场条件、工艺技术种类来做好原材料选型工作。例如，采取大体积混凝土浇筑技术时，应选择低水化热品种的水泥材料，选用缓凝剂与减水剂作为外加剂、粉煤灰当作掺合料、连续级配碎石当作粗骨料、中砂作为细骨料。同时，不推荐使用低热矿渣硅酸盐水泥，此类水泥材料的析水性过强，混凝土浇筑振捣过程中，浇筑层表面持续析出大量水，存在泌水问题，造成降低结构观感质量与施工效率的现实影响。随后，入场环节与混凝土拌制前，重复检查各批次原材料的质量状态，随机挑选一批样品，检测影响混凝土结构开裂性能的原材料性能，判断实际性能是否满足设计要求，禁止使用劣质原材料。例如，对于42.5级普通硅酸盐水泥材料，以凝结时间、安定性、细度、抗压强度与抗析强度作为检测内容，要求初凝时间不少于45min，终凝时间不超过10h，安定性不超过5mm，80 μ m筛余细度不超过10%，3d龄期时的抗压强度与抗析强度不低于16MPa和3.5MPa，28d龄期时的抗压强度与抗析强度不低于42.5MPa和6.5MPa。

(二) 注浆修补技术

水利工程混凝土裂缝采用注浆修补技术的情况也比较常见，这种技术是指将水泥砂浆物质注入进裂缝中，待其凝固后会自然硬化，从而形成堵塞裂缝的机理，修补后的裂缝不仅能够增强承载力，还会优化防水特性，但实际施工难度颇高，因此更适合用在较大混凝土裂缝的问题中。注浆过程中还会使用到加压设备，将修补的浆液压入进裂缝，保证内部切实充盈，才能起到良好的修复效果。注胶修补混凝土裂缝的具体操作步骤包括五点：①开展裂缝位置的清理，主要使用钢丝刷清理掉污渍与碎屑，确保裂缝位置的洁净和干燥；②在裂缝表面粘贴上注浆咀，其应当同裂缝边缘对齐，方便后续开展导浆操作，促使裂缝深处实现有效注浆；③开展试漏操作，对相关注浆设备进行试漏，以检验其是否漏气或漏浆，确认密封良好后才能注浆；④实施压力注浆，将补强处理的砂浆材料放入到压力灌浆机设备内，在缓慢通过注浆咀注入裂缝内部即可，当发现邻近的注浆咀有浆液冒出后即可停下操作；⑤注浆完成后进行清理，主要是清理干净周边残留的浆液和各种杂物，确保修补后的混凝土结构面保持平整状态。此外，注浆法除了直接对缝隙部位进行压力注浆操作之外，对于一些特殊位置的裂缝也可先进行钻孔，再从孔注入浆液，以保证修补的效果更佳，但该项技术对于使用的专业设备和人员能力都有着很高要求。

(三) 湿度裂缝的控制

结合前文的分析可以得知，因为湿度而导致混凝土结构会出现收缩膨胀，进而引发裂缝，如果不能及时处理，或者有效控制湿度裂缝，那么随着时间延长，裂缝也会逐渐扩展，甚至会在工程投入使用后引发严重的安全问题。因此，如果发现混凝土结构出现了湿度裂缝必

须及时修复，修复过程中首先要了解这些裂缝的特点，选择相对应的修复技术，从而避免裂缝进一步扩展。主要应关注：1) 混凝土的性能，应以水工程混凝土施工技术标准为基础严格控制水灰比，或者通过其他添加剂尝试替代水泥；2) 严格控制配筋率，提高配筋的合理性，以增加整个结构的抗拉强度和荷载能力，从而避免产生裂缝或者阻止裂缝发展；3) 认真开展养护工作，以施工环境混凝土结构等多种因素为基础确定养护周期，并在周期内合理开展养护工作，例如在结构表面浇水等。

(四) 纤维抗裂

纤维抗裂措施强调改变材料特性来强化抗裂性能，在常规配合比方案基础上，额外掺加少量纤维材料，如聚丙烯纤维、钢纤维，纤维与水泥基料共同组成复合材料，纤维体在混凝土结构内部横向网状分布，起到延缓裂缝形成时间的作用。等待混凝土结构开裂后，纤维还会抑制裂缝继续发育，并替代水泥基料承受主要外力。纤维抗裂措施实施期间，重点关注纤维种类选择、确定纤维最佳掺量两项问题。第一，纤维种类选择。主流纤维材料为聚丙烯纤维、钢纤维2种，根据往期施工情况来看，二者分布状态、拌和工艺、结构外观、用水量要求存在明显差异。聚丙烯纤维在混凝土拌合物内均匀分布，对拌和设备无特殊要求，拌和时间与用水量无需调整，也不会降低结构观感质量，推荐使用此类纤维材料。钢纤维容易出现结团现象，必须使用到强制式拌和机，拌和时间延长10~30s，根据纤维掺加量来调整单位用水量与砂率，钢纤维生锈时还会在结构表面形成锈蚀污点。第二，确定纤维最佳掺量。提前制备掺入纤维与未掺入纤维的混凝土试件，开展大圆环试验，模拟混凝土结构在约束情况下的裂缝形成发展过程，掌握纤维掺量与裂缝宽度减小程度、初始裂缝发生时间的关系，从而确定最佳掺量。例如，对于C40混凝土，聚丙烯纤维掺量控制在 $1.2\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 水准，28d龄期时仍未出现开裂情况，如果掺量低于这一标准，虽然仍旧取得一定程度的抗裂效果，但在7~28d龄期期间会形成裂缝。

(五) 填充修补技术

针对混凝土裂缝尺寸较大，但分布不广的情况，则可采用填充修补技术，其基本原理即为将合适的材料填充进裂缝当中，通常填入的材料包括沥青、聚合物以及导热膏等，其成本较低且修补效果较佳。填充处理时先是在裂缝处实施开槽，一般槽的长度控制在1m左右，形成一种具有机械特征的键槽，之后进行嵌槽填充，以保证裂缝得到有效修补，若裂缝的缝隙小到无法顺利填充，则建议人工适当扩大处理，方便后续填充。此外，填充修补混凝土裂缝的方法不太适合一些特殊位置或裂缝过于宽的情况，否则会导致结构修补后也无法达到承载要求。

(六) 施工缝和后浇带的合理设置

在一项大型水利枢纽工程中，通过精确计算和模拟分析，施工团队在设计阶段就确定了施工缝和后浇带的位置，以减少由于温度变化和混凝土收缩引起的应力集中。根据经验，施工缝的间距通常控制在15至30m之间，而具体数值则根据混凝土的种类、浇筑温度和环境条件等因素进行调整。后浇带的设置则更为细致，通常在结构的薄弱部位，如梁、板的跨中，以及结构长度超过40m时设置，以确保结构的整体性和稳定性。施工缝和后浇带的处理工艺也至关重要，必须确保新旧混凝土之间有良好的结合力，避免因结合不良而产生裂缝。

(七) 修补后的养护与检测

施工人员在完成裂缝部位修补后，需要对其进行细致的养护和检查，通过养护和检测能够客观评价裂缝修补情况、水利工程混凝土结构的性能。如果检测结果没有达到标准要求，那么施工人员需要进行再次修补和调整，直到达到规范标准要求。

修补后的混凝土养护是保证修补材料充分固化硬化的重要步骤，具体来讲，施工人员通常会采取湿法养护避免修补材料在养护时出现开裂等问题。在后续养护过程中，技术人员要密切注意环境温湿度，适当延长养护时间，使养护工作取得最佳效果。在混凝土裂缝修补后的检测阶段，技术人员可以利用激光扫描技术对修补处不同深度的混凝土内部缺陷进行检测和定位，还可以采用多种测试方法，如硬度、密封性、外观及黏接强度等，全面评价修复区的硬度、封闭性、外观质量及黏接性能。根据检测结果，施工人员可以及时调整、完善加固技术，保证加固效果满足设计要求，延长结构服役年限。

结语

综上所述，裂缝防治处理已成为当前水利工程施工体系的重要组成部分，也是改善水工建筑物使用体验、延长结构体系使用寿命的重要前提。施工单位必须提高对裂缝防治问题的重视程度，全面掌握裂缝形成原因，并行落实原材料质量控制、优化配合比、优化结构设计方案、纤维抗裂、控制施工过程和处理早期裂缝等防治技术措施，建设高品质水利工程。

参考文献

- [1] 苏述文. 水利施工中混凝土裂缝的防治技术分析[J]. 产业创新研究, 2023(14): 147-149.
- [2] 刘翠. 水利工程塑性混凝土防渗墙施工裂缝防治技术[J]. 地下水, 2023, 45(03): 275-277.
- [3] 商福海. 水利施工中混凝土裂缝产生的原因及防治措施[J]. 工程技术研究, 2022, 7(12): 146-148.
- [4] 季海斌, 李浩. 水利施工中混凝土裂缝的防治技术[J]. 石油化工建设, 2021, 43(06): 136-137.