

混凝土面板堆石坝趾板裂缝成因分析与防治对策

刘 虎

云南建投第一水利水电建设有限公司 云南 昆明 650506

摘 要: 混凝土面板堆石坝的稳定性和安全性直接关系到下游民众的生命财产安全,趾板作为连接坝体与基岩的关键结构,其裂缝问题严重威胁大坝的整体安全性和使用寿命。本文详细分析了趾板裂缝的形成机制,并提出了分类与评估方法。针对不同类型的裂缝,本文提供了具体的处理措施,为趾板结构的安全性奠定基础。

关键词: 趾板裂缝; 防渗堵漏; 优化设计

混凝土面板堆石坝作为现代水利工程的重要结构形式,其稳定性和安全性直接关系到下游民众的生命财产安全。在众多结构部件中,趾板扮演着至关重要的角色^[1]。它不仅承担着直接传递面板荷载的重要任务,更是连接坝体与基岩的关键纽带。然而,趾板裂缝的出现严重威胁了大坝的整体安全性和使用寿命。裂缝不仅降低了趾板的整体强度和刚性,影响对面板的有效支撑,还可能成为水流渗透的通道,增加坝体渗漏的风险。因此,深入分析趾板裂缝的形成机制,制定并实施有效的预防和处理措施,对于确保大坝结构的安全性和长期稳定运行具有极其重要的意义。

1 趾板裂缝对坝体安全的影响

混凝土面板堆石坝,作为核心的水利工程结构,其稳定性和安全性直接关系到下游民众的生命财产安全,因此必须得到高度重视和严格管理。趾板在面板堆石坝结构中扮演着核心角色,它不仅承担着直接传递面板荷载的重要任务,更是连接坝体与基岩的关键纽带^[2]。然而,趾板裂缝的形成往往严重挑战大坝的整体安全性。

脚趾板上的裂纹会降低其整体强度和刚性,从而对面板的有效支撑。若观察到裂缝宽度明显扩大或裂缝总数众多,这可能预示着趾板存在局部甚至整体的功能失效风险,进而对大坝的整体稳定性构成重大挑战。此外,裂缝可能转变为水流渗透的通道,增加坝体出现渗漏的风险,从而加速坝体的恶化过程,并缩短其有效使用寿命。深入分析趾板裂纹的形成机制,进而制定并实施有效的预防和处理措施,对于确保大坝结构的安全性具有极其重要的意义。

2 趾板裂缝原因分析

2.1 塑性收缩裂缝

塑性收缩裂缝是混凝土在凝结初期由于表面水分快速蒸发而导致的一种常见裂缝类型^[3]。这种裂缝多出现在新浇注的混凝土表面,尤其是在干热或大风天气条件下

更为显著。塑性收缩裂缝的特点是中间宽、两端细,长度不一,通常为20-30cm至2-3m,宽度在1-5mm之间。裂缝产生的主要原因包括水灰比过高、环境因素和混凝土凝结时间。具体来说,过高的水灰比会导致混凝土表面水分蒸发速度加快,从而增加塑性收缩的风险。高温、低湿度和大风等恶劣环境条件会加剧混凝土表面的水分蒸发,导致塑性收缩裂缝的形成。

2.2 沉降收缩裂缝

沉降收缩裂缝是由于地基不均匀沉降或模板支撑不当等原因导致的裂缝。这种裂缝多为深进或贯穿性裂缝,呈梭形,裂缝走向与沉降情况有关,一般沿与地面垂直或呈30-45度角方向发展^[4]。较大的沉降裂缝往往伴有错位,裂缝宽度通常在0.3-0.4mm之间,受温度变化的影响较小。地基变形稳定后,沉降裂缝也会趋于稳定。地基土质不均、松软或回填土不实,容易导致不均匀沉降,这是沉降收缩裂缝的主要成因。

2.3 温度裂缝

温度裂缝多发生在大体积混凝土结构中,尤其是在温差变化较大的地区。混凝土浇筑后,水泥水化产生大量热量,导致内部温度升高,而表面散热较快,形成内外温差。较大的温差会使混凝土表面产生拉应力,当拉应力超过混凝土的抗拉强度极限时,就会产生裂缝。温度裂缝的走向通常无一定规律,大面积结构裂缝常纵横交错。梁板类长度尺寸较大的结构,裂缝多平行于短边,深入和贯穿性的温度裂缝一般与短边方向平行或接近平行。裂缝宽度大小不一,受温度变化影响较为明显,冬季较宽,夏季较窄。高温膨胀引起的温度裂缝通常中间粗两端细,而冷缩裂缝的粗细变化不太明显。混凝土结构成型后,如果没有及时覆盖,表面水分散失快,体积收缩大,而混凝土内部湿度变化小,收缩也小,因而表面收缩变形受到内部混凝土的约束,出现拉应力,引起混凝土表面的收缩。

2.4 综合分析

通过对车马碧水库趾板裂缝的现场调查和分析,我们发现裂缝多为贯通裂缝,且裂缝宽度大小趋于一致,未出现表面龟裂等现象。初步判断沉降收缩裂缝和温度裂缝是导致趾板混凝土出现裂缝的主要原因。沉降收缩裂缝通常是由于地基不均匀沉降或模板支撑不当引起的,而温度裂缝则多发生在温差变化较大的地区,尤其是在大体积混凝土结构中。因此,综合考虑地基条件、施工工艺、材料质量和环境因素,采取科学合理的预防措施,是保障趾板结构安全和延长使用寿命的关键。

3 趾板裂缝处理技术

3.1 裂缝分类与评估

为了科学有效地处理趾板裂缝,首先需要对裂缝进行分类和评估。根据裂缝的宽度、深度和位置等因素,可以将裂缝分为以下几类:Ⅰ类裂缝,宽度小于0.2mm,深度小于钢筋保护层的裂缝;Ⅱ类裂缝,宽度在0.2-0.3mm之间,深度大于钢筋保护层的裂缝;Ⅲ类裂缝,宽度大于0.3mm的通长、贯穿裂缝。裂缝分类的具体方法包括:采用游标卡尺测量裂缝宽度,裂缝深度以测量是否穿过钢筋保护层为准。并对裂缝进行标记,作好记录。裂缝分类和评估是裂缝处理的前提,通过详细的现场检查 and 记录,可以为后续的处理方案提供准确的数据支持。

3.2 裂缝处理原则

裂缝处理的主要目标是防渗堵漏和补强加固。具体处理原则包括:防渗堵漏要求缝内化灌后,充填密实,充填物有较高的抗渗性和抗老化性能,能阻止外来水汽碳化混凝土和锈蚀钢筋,满足结构耐久性和安全运行。补强加固要求缝面浆液固化后,与两侧混凝土有较高的粘结强度,最终恢复混凝土结构的整体性。特别是对于死水位以下的裂缝,水库蓄水后再无修补机会,应采用更为可靠的修补方案。处理过程中,还需要注意裂缝的动态变化,定期观察裂缝的发展情况,确保处理措施的有效性和持久性。裂缝处理的原则是既要确保裂缝得到有效封闭,又要恢复趾板的结构完整性和承载能力,保障大坝的安全运行。

3.3 具体处理方法

3.3.1 Ⅰ类裂缝

对于宽度小于0.2mm,深度小于钢筋保护层的裂缝,处理方法如下:首先,沿混凝土表面用钢丝刷打毛100mm宽,用水冲净后,再涂抹2-3mm厚的环氧树脂水泥,最后打磨平整。养护方面,气温低时采用加热保温法,养护温度控制在 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$,养护期为5-7天。修补部

位在养护的前3天内,不得被水浸泡或遭受其他冲击。这种方法适用于表面裂缝,能够有效封闭裂缝,防止水分渗透,提高趾板的耐久性。

3.3.2 Ⅱ类裂缝

对于宽度在0.2-0.3mm之间,深度大于钢筋保护层的裂缝,处理方法如下:首先,将裂缝附近混凝土凿成V型凹槽,槽深2cm,槽长按裂缝走向及长度方向延伸2-5cm。凿槽位置要准确,不能偏离裂缝。然后,槽内及两侧15cm范围混凝土表面用高压水清洗干净。接着,洗净后,在干燥条件下,分两次涂刷环氧树脂水泥,再抹环氧树脂砂浆。环氧砂浆填塞分层进行,每层填补厚度10-15mm,一边填补一边用锤头敲打,将填补的环氧砂浆分层捣实,使表面与原混凝土面齐平,再打磨处理^[5]。养护方法同Ⅰ类裂缝。这种方法适用于较深的裂缝,能够有效填充裂缝,恢复趾板的结构完整性和承载能力。

3.3.3 Ⅲ类裂缝

对于宽度大于0.3mm的通长、贯穿裂缝,处理方法如下:首先,安装灌浆口,采用斜孔灌浆,灌浆孔距裂缝约1m,孔距2m,孔径42mm,钻孔角度约 40° ,孔深以穿过裂缝缝面为准,灌浆压力控制在0.1-0.4Mpa,确保裂缝内灌浆密实,但又不至于揭顶。灌浆采用高压灌浆技术处理。裂缝灌浆后,凿除施工嵌缝混凝土,将凹槽清理后再填塞环氧砂浆。环氧砂浆填塞分层进行,每层填补厚度10-15mm,一边填补一边用锤头敲打,将填补的环氧砂浆分层捣实。表面处理方面,进行打磨处理。养护方法同Ⅰ类裂缝。这种方法适用于严重的裂缝,能够彻底封闭裂缝,恢复趾板的结构完整性和承载能力。

3.3.4 处理效果检测与验收

裂缝处理完成后,需要进行效果检测和验收,确保处理质量达到设计要求。主要检测方法包括压水检测。具体步骤如下:在距裂缝约30cm处钻斜孔,钻孔角度约 40° ,孔深以穿过缝面为准约43cm,孔距为2.5m。对斜孔进行注水,做压水试验检测裂缝处理成果,压水试验压力为0.4Mpa。若裂缝处无水渗出,说明裂缝处理效果理想;若不符合设计要求,需再次对不符合设计要求的部分进行处理。此外,还可以采用超声波检测、红外热像仪等现代检测技术,对裂缝处理后的趾板进行全面检查,确保裂缝得到有效封闭,结构完整性和承载能力恢复到设计要求。处理效果的检测和验收是裂缝处理的重要环节,通过科学的方法和技术手段,确保处理措施的有效性和可靠性,保障大坝的安全运行。

4 趾板裂缝防治措施

4.1 优化设计

在车马碧水库工程中,趾板裂缝的防治措施首先应从优化设计入手。设计阶段应充分考虑趾板的受力情况和环境因素,确保结构的安全性和耐久性。根据现有资料,趾板厚度为0.5m,1906.571m高程以下趾板宽度为6m,1906.571m~1940.208m高程以下趾板宽度为4m。局部基础超挖采用与趾板同等级混凝土回填,内侧边坡均为1:0.5,外侧垂直。趾板混凝土强度等级为C30,抗渗等级W10,抗冻等级F100。为了进一步优化设计,建议在设计阶段采用有限元分析方法,对趾板的应力分布进行详细计算,确保设计参数的合理性。应尽量避免结构突变,减少应力集中,例如在易产生应力集中的薄弱环节采取加强措施,如增加钢筋配置,提高混凝土的抗裂性能。

4.2 严格施工管理

施工管理是确保趾板裂缝防治措施有效实施的关键环节。在车马碧水库工程中,应严格控制混凝土的原材料质量和技术标准,选用低水化热水泥,粗细骨料的含泥量应尽量减少(1~1.5%以下)。应控制混凝土的水灰比,减少混凝土的坍落度,合理掺加塑化剂和减水剂。施工过程中,应严格按照设计要求进行,确保混凝土的浇筑质量。例如,混凝土浇筑后,应立即进行覆盖,防止表面水分过快蒸发,导致塑性收缩裂缝的产生。脱模时间应控制在12小时后,脱模完成后及时用土工布进行覆盖,并定时洒水养护,确保混凝土表面的湿润。在施工过程中,应加强现场管理,确保各项施工操作符合规范要求,避免因施工不当导致的裂缝问题。

4.3 采用新技术新材料

随着科技的不断进步,新型材料与技术在水工工程领域的应用日益广泛和普及。在车马碧水库项目中,已集成多项高级技术和材料,显著提升趾板的抗裂性能。例如,可选用高强度抗腐蚀混凝土,这类混凝土表现出色的硬度和防水性能,大幅减少了裂缝出现的频率。可选择应用微膨胀剂,此材料于混凝土硬化过程中能激发微小膨胀,有效对抗混凝土的收缩现象,从而减少裂缝的产生。在裂隙修复阶段,优选使用环氧树脂这类高品质修复材料。环氧树脂因其卓越的粘合性能和出色的防渗透特性,在修补过程中表现出色,能够迅速而有效地地填充并加固裂隙,恢复混凝土结构的完整性和稳定性。通过利用这些最新研发的技术与材料,增强趾板的抗裂

性能,从而大幅延长工程结构的使用寿命。

4.4 加强监测与维护

监督及维护对于确保趾板裂缝预防措施长期有效性极为关键。在车马碧水库工程中,需建立一套高效率的监控体系,定期对趾板进行检查和追踪。监控项目包括裂缝的数量、振幅、大小、深度、海拔和经纬度等数据,这些数值应作为处理裂缝时的重要依据。监测方法可以采用目测、采用多样化的技术手段,如应用游标卡尺进行精准测量,结合超声波检测等方法,确保监测结果的高度准确性。一旦检测到裂痕,应立即进行标记,并持续记录其变化情况。针对已完成修复的裂纹,需执行效果验证,确保修复结果达到既定标准。应制定详尽的维修规范,定期执行趾板的维护和润滑工作,从而提早发现并处理潜在问题。维护策略包括定期清理趾板表面的废弃物,保持其清洁和干燥状态,从而防止因外部因素导致的裂纹出现。加强监控及维护策略的实施对于确保趾板长期可靠运行至关重要,从而增强整个工程系统的稳定性与耐久性。

结束语

通过对混凝土面板堆石坝趾板裂缝的详细分析,我们不仅明确了裂缝对坝体安全的严重威胁,还深入探讨了裂缝的形成机制及其处理和预防措施。趾板裂缝不仅影响结构的整体强度和刚性,还可能成为水流渗透的通道,增加坝体渗漏的风险。因此,科学合理的裂缝处理和预防措施至关重要。通过优化设计、严格施工管理、采用新技术新材料以及加强监测与维护,可以有效减少趾板裂缝的出现,确保大坝的稳定运行。

参考文献

- [1]张永胜.混凝土面板堆石坝面板及趾板混凝土裂缝处理探讨[J].建材与装饰,2021,17(4):58-59.
- [2]周超洪,郑松,丁丹.浅谈预防砼面板堆石坝趾板混凝土裂缝产生的施工方法[J].科技资讯,2019,17(13):50,52.
- [3]叶南普.混凝土面板堆石坝趾板混凝土裂缝预防及处理[J].水利电力技术与应用,2023,5(1).
- [4]徐雪莲.混凝土面板堆石坝趾板混凝土裂缝控制分析研究[J].门窗,2022(4):223-225.
- [5]向辛.团山水库工程大坝面板、趾板裂缝的检查及处理成果[J].珠江水运,2023(11):71-74.