

大坝混凝土结构抗裂性能分析与优化研究

邱峰

万安县水利水电服务中心

DOI:10.12238/hwr.v8i11.5870

[摘要] 大坝混凝土结构面临抗裂性能挑战,影响安全与耐久性,当前研究表明裂缝受多因素影响,现有抗裂技术有不足,优化混凝土配比与施工方法、采用新型材料技术是有效途径。加强抗裂机理研究,有利于制定科学标准规范,文章旨在探索抗裂性能优化策略,为大坝工程可持续发展提供理论基础与实践指导,以提升大坝抗裂性能,保障工程质量。

[关键词] 大坝结构; 抗裂性能; 混凝土; 优化研究; 工程安全

中图分类号: TV698.2+3 **文献标识码:** A

Analysis and Optimization of Crack Resistance Performance of Concrete Structures in Dams

Feng Qiu

Wan'an County Water Resources and Hydropower Service Center

[Abstract] The concrete structure of dams faces challenges in crack resistance, affecting safety and durability. Current research shows that cracks are affected by multiple factors, and existing crack resistance technologies have shortcomings. Optimizing concrete mix proportions and construction methods, and adopting new material technologies are effective ways. Strengthening the research on crack resistance mechanism is conducive to formulating scientific standards and specifications. The article aims to explore optimization strategies for crack resistance performance, provide theoretical basis and practical guidance for the sustainable development of dam engineering, improve dam crack resistance performance, and ensure engineering quality.

[Key words] dam structure; crack resistance; concrete; optimization research; engineering safety

引言

在水利工程领域,大坝作为重要基础设施,其安全性和耐久性至关重要,混凝土结构抗裂性能是设计与施工关键因素,虽然工程技术发展使抗裂设计理论与方法丰富,但实际应用中裂缝问题仍常见,既影响大坝寿命,又给维护管理带来挑战。深入研究混凝土抗裂性能,分析当前设计及施工不足,具有现实意义,探讨优化策略可为提高大坝安全性和可靠性提供可行方案,推动水利工程可持续发展,保障周边生态及人们生命财产安全。

1 大坝混凝土抗裂性能的现状与挑战

1.1 材料特性对抗裂性能的影响

混凝土的抗裂性能深受多种材料特性影响,水泥种类、骨料类型、配合比以及外加剂使用,皆对混凝土的抗裂能力起着直接作用,普通硅酸盐水泥于较高温度下,易出现温度裂缝,且高水胶比会使混凝土强度降低,进而使裂缝风险有所增加。骨料的粒径与级配,亦对混凝土的密实性与强度产生重要影响。较大的骨料颗粒,或许会导致混凝土的连通性降低,从而形成裂缝,近些年来,虽高性能混凝土因着其优越的物理性能,逐渐被应用于

大坝建设,然而其长期耐久性以及抗裂性能的实际表现,仍需进一步加以研究。

1.2 施工工艺对抗裂性能的影响

施工工艺同样在影响混凝土抗裂性能方面,扮演着重要角色,于混凝土浇筑过程中,施工温度、湿度以及养护方式等,皆对最终结构的抗裂能力产生显著影响,高温与低湿的环境,易使混凝土表面快速失水,进而产生干缩裂缝。据研究表明,干缩裂缝的形成,主要与混凝土的水化过程相关,水分蒸发过快,会导致混凝土内部产生应力,从而增加裂缝风险。此外,施工过程中若未能及时且有效地进行养护,会使混凝土缺乏必要水分,影响强度的增长,施工过程中的振捣不均匀以及模板变形等问题,亦可能导致混凝土结构出现缺陷,进一步加剧抗裂性能不足。对于大坝这类大型工程而言,任何细微的施工瑕疵,皆可能在后期使用中放大,进而影响结构的安全性与耐久性。

1.3 外部环境因素的影响

大坝混凝土结构的抗裂性能,亦受到外部环境因素影响,温度变化、湿度波动以及冻融循环等自然条件,对混凝土的性能起着重要作用,在寒冷地区,混凝土于冻融循环过程中,会受到反

复的体积变化,致使裂缝产生。研究显示,冻融循环会引起混凝土内部水分的膨胀与收缩,导致结构应力增加,并最终引发裂缝,此外,湿度的变化同样会引起混凝土的收缩与膨胀,增加结构内部应力。化学侵蚀、土壤沉降等环境因素,亦会对大坝结构造成破坏性影响,例如,硫酸盐对混凝土的侵蚀,不仅会导致表面剥落,还会在内部形成裂缝,影响其整体结构强度。这些外部因素的复杂性与多变性,使得大坝混凝土抗裂性能的维护更为困难,因此,全面评估大坝所处环境条件及其对混凝土抗裂性能的影响,是确保大坝长期安全的重要环节^[1]。

1.4 长期使用中的性能衰退

大坝混凝土结构在长期使用过程中,其性能衰退问题不容小觑,随着使用时间的延长,混凝土内部的微裂缝会逐渐扩展,致使强度降低以及抗裂性能下降,具体而言,微裂缝的扩展,不仅会影响混凝土的物理性能,还可能导致水分和化学物质的渗透,进一步加剧裂缝的形成。此外,水中的腐蚀性物质(如氯离子、硫酸盐等),亦会引发混凝土的化学反应,形成裂缝和剥落,进一步加剧结构的劣化。由于大坝结构的复杂性,传统的维护和监测手段,往往难以全面掌握其长期性能变化,现有的监测技术虽在不断发展,但仍然存在对长期性能评估不足问题,尤其是在深层裂缝的检测和评估方面。

2 优化大坝混凝土抗裂性能的措施与技术

2.1 材料特性优化

针对材料特性对混凝土抗裂性能的影响而言,优化混凝土的组成是提升其抗裂能力的关键所在,采用高性能混凝土(HPC),无疑是当前优化的主要方向,HPC通常是降低水胶比(W/C比)、提高水泥强度以及使用优质骨料来得以实现。研究已然表明,将W/C比降低至0.4以下,能够显著提升混凝土的强度与抗裂性能,应用硅酸盐水泥、矿物掺合料(诸如粉煤灰、矿渣)以及合成纤维等,亦可有效改善混凝土的耐久性与抗裂能力。具体步骤包括:于选材阶段,需精心选择具有良好抗裂性能的水泥与骨料,务必确保其化学性质稳定;在混合设计中,试验确定最佳配比,优先采用低水胶比与高强度水泥,辅以适量的矿物掺合料,以增强混凝土的结构密实性。此外,使用合适的外加剂(例如减水剂、抗裂剂),能够进一步改善混凝土的性能,譬如,添加纤维材料(如聚丙烯纤维或钢纤维),能够显著提高混凝土的抗裂能力,减少干缩裂缝的形成,根据实验数据可知,使用聚丙烯纤维的混凝土,其抗拉强度提高了20%-30%,并有效延缓裂缝的发生^[2]。

2.2 施工工艺优化

施工工艺对混凝土抗裂性能的影响断不可忽视,改进施工流程与技术手段,能够有效减少因施工而引起的裂缝,严格控制混凝土浇筑的环境条件至关重要。在高温或低湿环境下进行施工时,必须采取适当的防护措施,诸如使用遮阳帆、洒水养护等,以确保混凝土的水分蒸发速率处于可控范围内。此外,选择合适的养护方法亦极为关键,采用湿养护或使用养护剂,能够有效避免早期干缩裂缝的产生,施工过程中,振捣技术的应用同样关键非凡。采用适当的振捣器,确保混凝土充分振动,避免离析现象

的发生,提高混凝土的密实度与整体性,在模板安装方面,应确保模板的刚度与稳定性,避免在施工过程中因模板变形而致使混凝土产生缺陷。浇筑后,应及时进行养护,保持混凝土表面湿润,至少养护7天,以促进水泥的水化反应,从而提高混凝土的强度与抗裂能力。

2.3 外部环境适应性增强

针对外部环境因素的影响,需要采取有效的适应性技术来增强混凝土结构的抗裂能力,首先,考虑到冻融循环对混凝土的影响,采用抗冻剂以及改善混凝土孔结构的技术显得尤为重要。抗冻剂能够降低混凝土的冰点,提高其抗冻性能。研究显示,添加适量的抗冻剂后,混凝土的抗冻性可提高至-20°C,显著减少冻融过程中裂缝的形成。同时,采用低透水性混凝土(如自密实混凝土)可有效降低水分和化学物质的渗透,优化混凝土的配合比以及骨料选择,提高混凝土的密实性,减少孔隙率,达到降低水渗透性的效果。根据实验数据,低透水性混凝土的渗透率可降低至普通混凝土的40%左右,从而有效防止水中的腐蚀性物质对混凝土结构的侵害。对大坝结构表面进行防水处理亦是提升其抗裂性能的重要手段,采用高性能防水涂料或防水膜,能够有效阻止水分渗入混凝土内部,延缓材料劣化。

2.4 长期性能监测与维护

为应对长期使用中的性能衰退,建立完善的监测与维护体系至关重要,首先,采用现代传感技术(如光纤传感器、超声波测量等)实时监测混凝土内部的应力、温度和湿度变化。这些数据可为后续的维护和管理提供科学依据。设置智能监测系统,对大坝的整体状态进行动态评估,能够及时发现潜在的裂缝和劣化问题,在维护方面,建立定期巡检制度,特别是针对已知的裂缝和潜在风险区域,进行重点监测。对于出现裂缝的部位,应及时采取加固措施,如注浆修复、粘钢加固等,防止裂缝的扩展,此外,定期进行混凝土的养护和清洗,清除表面污垢和化学物质,保持结构的良好状态。同时,结合历史数据和使用经验,对大坝的维护和管理策略进行优化,确保在不同环境和使用条件下,都能保持混凝土的最佳性能,科学的维护管理,能够有效延长大坝混凝土结构的使用寿命,提高其抗裂能力,从而保障其安全性与稳定性^[3]。

3 实践案例分析与抗裂性能提升效果评估

3.1 某大型水库大坝

在某大型水库大坝的建设进程中,为有效解决传统混凝土抗裂性能欠佳问题,采用了高性能混凝土以及先进的施工工艺,在此项目里,混凝土的配合比设定为水泥:骨料:水等于1:2.5:0.4,水胶比为0.38,并且添加了适量的聚丙烯纤维与减水剂。于施工阶段,对环境因素予以严格控制,持续的湿养护,确保了混凝土处于良好的水化条件下,依据监测数据所显示,该大坝在建成后的两年时间里,其表面裂缝宽度被控制在0.1毫米以内,远远低于设计标准。对比可知,该大坝的抗裂性能相较于传统混凝土提升了约30%,监测数据表明,混凝土的抗压强度达到了55MPa,而传统混凝土的抗压强度通常为40MPa。

表1 某大型水库大坝抗裂性能对比

参数	传统混凝土	高性能混凝土	提升效果
水胶比	0.45	0.38	提高约16%
抗压强度	40MPa	55MPa	提高约37.5%
裂缝宽度	≥0.3mm	≤0.1mm	降低约66.7%
使用年限	10年	预计20年以上	延长使用年限

3.2 某城市防洪大坝

在某城市防洪大坝的建设当中，针对冻融循环所导致的抗裂性能下降问题，应用了改进后的抗冻混凝土，以确保其在严酷的气候条件下，仍能保持良好的抗裂性能。在采用的抗冻混凝土中加入了氯化钙抗冻剂，增强了混凝土的抗冻性能，同时降低了混凝土的渗透性，根据后期的监测数据可知，在连续经历多次冻融循环后，该防洪大坝的裂缝宽度始终保持在0.05毫米以下，此表明其抗裂性能极为优越。对比分析可得，抗冻混凝土的抗压强度亦提高至60MPa，相较于传统混凝土的50MPa，其提升效果达到了20%，在冻融循环实验当中，抗冻混凝土的抗冻等级达到F150，而传统混凝土的抗冻等级仅为F100。

3.3 某水电站大坝

某水电站大坝在施工过程中，采用了智能监测系统对混凝土的温湿度变化进行实时监控，以优化养护措施，在项目中所使用的混凝土配合比为水泥：骨料：水等于1：3：0.5，水胶比为0.45，并添加了适量的聚合物乳液，以增强混凝土的粘结性与抗

裂能力。智能监测，施工团队能够实时调整养护策略，确保混凝土始终处于最佳的水分条件下，监测结果显示，项目完成后的大坝抗压强度达到了62MPa，裂缝宽度控制在0.02毫米以内，显著低于国家标准的允许值。表1中所列的数据充分显示了该水电站大坝在抗裂性能提升方面的显著成果，为今后类似工程提供了有力的参考依据。综合分析可知，采用高性能材料、先进施工工艺以及实时监测手段，各个案例均在抗裂性能方面取得了明显的改善，满足了设计标准和长期使用要求。

4 结语

深入分析大坝混凝土抗裂性能，可见采用高性能混凝土、改进施工工艺及实施智能监测等，可显著提升抗裂能力，实践案例验证理论有效性，提供经验与数据支持。优化抗裂性能利于延长大坝寿命，保障水利工程安全。面对复杂环境，综合运用先进材料与技术为大坝建设奠定基础，持续关注和研究混凝土抗裂性能提升，在未来工程实践中意义重大。

[参考文献]

- [1]丁晓.大体积混凝土结构水管冷却问题的研究[D].华北电力大学(北京),2010.
- [2]王立.解析水利施工中大体积混凝土抗裂技术[C]//旭日华夏(北京)国际科学技术研究院.首届国际信息化建设学术研讨会论文集(一).天津市水利工程有限公司,2016:1.
- [3]董福品,丁晓,李赵宇.细骨料品种对混凝土大坝温度应力的影响[J].水利水电科技进展,2010,30(01):11-13+55.

作者简介:

邱峰(1988—),男,汉族,江西吉安人,中级职称,硕士研究生,研究方向:水利水电工程。