

# 混凝土坝体裂缝对水利水电工程安全影响的监测与评估模型研究

向定波

西安联能自动化工程有限责任公司 陕西 西安 710065

**摘要：**文章研究了混凝土坝体裂缝对水利水电工程安全影响的监测与评估模型。针对混凝土坝体裂缝这一关键问题，构建了基于高精度传感器和无人机倾斜摄影测量系统的监测体系，结合先进的数据处理与分析技术，实现对裂缝的实时监测和精确评估。研究结果表明，该模型能够准确反映裂缝的发展情况，为工程管理部门提供重要的决策支持，有助于确保水利水电工程的安全运行。

**关键词：**混凝土坝体；裂缝；水利水电工程；监测；评估模型

## 1 混凝土坝体裂缝的形成机理及影响因素

### 1.1 裂缝的形成机理

混凝土坝体裂缝种类复杂多样，包括塑性收缩裂缝、温度收缩裂缝和干燥收缩裂缝等。这些裂缝主要由混凝土自身性能问题或环境因素导致。例如，在混凝土浇筑初期，由于水化热反应导致内部温度升高，而外部温度较低，形成内外温差，从而在混凝土表面产生拉应力，当拉应力超过混凝土抗拉强度时，就会形成温度裂缝。混凝土在硬化过程中会释放大量水分，导致干燥过快，形成干燥收缩裂缝。由于地基土质不均匀或受到相邻建筑施工等影响，导致地基产生不均匀沉降，从而使混凝土结构受到附加应力，产生沉降裂缝。

### 1.2 影响因素分析

混凝土坝体裂缝的形成受到多种因素的影响，主要包括以下几个方面；（1）材料因素：水泥的水化热是裂缝产生的主要因素之一。使用高水化热水泥会释放大量热量，导致混凝土内部温度快速上升，形成内外温差，从而产生温度裂缝。骨料的含泥量过高会降低混凝土的强度和抗裂性，增加干缩裂缝的产生，骨料的级配不合理也会导致混凝土孔隙率增加，降低强度，易产生裂缝<sup>[1]</sup>。（2）配合比设计：较大的水灰比会使混凝土硬化后多余的水分蒸发，留下较多孔隙，导致混凝土强度下降、收缩增大，容易产生裂缝。水泥用量过多会增加水化热，引发温度裂缝；过少则会影响混凝土强度，使其难以承受荷载等作用而产生裂缝。（3）施工因素：混凝土浇筑时高度过高、速度过快，容易导致混凝土离析，降低强度，产生裂缝。振捣不足会使混凝土不密实，内部存在孔隙；过振则会导致混凝土分层、离析，同样会降低混凝土的强度，导致裂缝产生。混凝土早期养护不

足，如在干燥环境中没有及时保湿，会产生干缩裂缝；在寒冷天气没有采取保温措施，会因冻融循环而产生裂缝。（4）结构形式与配筋：结构的形状突变处，如转角、洞口周围等，应力集中现象明显，容易产生裂缝。配筋率过低或钢筋布置不合理，如间距过大等，都会影响混凝土的抗裂性，导致裂缝产生。（5）外部荷载及环境因素：当混凝土结构承受的实际荷载超过设计荷载时，结构内部产生的拉应力会使混凝土产生裂缝。外界环境温度的骤变也会导致混凝土产生裂缝。如建筑物地基土质不均匀或受到相邻建筑施工等影响，产生不均匀沉降，混凝土结构受到附加应力，会出现沉降裂缝。

## 2 混凝土坝体裂缝对水利水电工程安全影响的监测技术与方法

### 2.1 监测技术概述

混凝土坝体裂缝监测是水利水电工程安全监测的重要组成部分。裂缝的产生和发展不仅影响坝体的结构完整性和稳定性，还可能对下游地区的人民生命财产安全构成威胁。采用先进的监测技术对混凝土坝体裂缝进行实时监测和预警，对于确保水利水电工程的安全运行具有重要意义。目前，混凝土坝体裂缝监测技术主要包括人工观测、仪器观测、结构物变形监测以及无人机倾斜摄影测量系统等。这些技术各有优缺点，适用于不同的监测场景和需求。人工观测虽然可靠，但耗时费力，且无法实时连续监测；仪器观测如GPS、全站仪、水准仪等，具有高精度和实时性，但受气候和地形条件影响较大；结构物变形监测可以实时监测坝体的位移、变形和应力变化，但主要适用于长期使用或处于高温、高湿环境中的建筑物；无人机倾斜摄影测量系统则能够获取高分辨率的三维建模数据，对裂缝进行精确识别和定位，

但成本较高且需要专业技术支持。

## 2.2 监测方法选择

在选择混凝土坝体裂缝监测方法时,需要考虑多种因素,包括坝体的结构特点、裂缝的分布和类型、监测的精度和实时性要求以及成本预算等。对于大型水利水电工程,通常采用多种监测方法相结合的方式,以实现坝体裂缝的全面监测。利用无人机倾斜摄影测量系统对坝体进行三维建模,获取裂缝的空间位置和尺寸信息。还可以考虑引入先进的裂缝监测预警系统,如基于计算机视觉和深度学习的裂缝识别技术,实现对裂缝的实时监测和预警<sup>[2]</sup>。在选择监测方法时,还应注意以下几点:一是要确保监测方法的可靠性和准确性,避免误报和漏报;二是要考虑监测方法的可操作性和经济性,确保在实际应用中能够持续稳定运行;三是要根据坝体的实际情况和监测需求,灵活调整监测方法和策略,以达到最佳的监测效果。

## 2.3 数据采集与处理

数据采集是混凝土坝体裂缝监测的关键环节。为了确保数据的准确性和完整性,需要采用高精度、高稳定性的数据采集设备,并严格按照操作规程进行数据采集。在数据采集过程中,要确保数据采集设备的准确性和稳定性,避免设备故障或误差导致的数据失真;合理安排数据采集的时间和频率,确保能够捕捉到裂缝的变化和发展趋势;要对采集到的数据进行及时备份和存储,以防止数据丢失或损坏。数据处理是混凝土坝体裂缝监测的另一个重要环节。通过对采集到的数据进行处理和分析,可以提取出裂缝的特征信息,如长度、宽度、深度等,并评估裂缝对坝体安全的影响程度。在数据处理过程中,可以采用多种方法和技术手段,如图像处理算法、深度学习模型、目标检测和语义分割等。这些方法和技术手段可以实现对裂缝的自动识别、定位和测量,提高数据处理的效率和准确性。还可以结合历史数据和监测经验,建立裂缝发展预测模型,对裂缝的未来发展趋势进行预测和评估。在数据处理过程中还应注意几点:一是要确保数据的准确性和一致性,避免数据错误或不一致导致的分析结果失真;二是要对数据进行合理的筛选和过滤,去除噪声和干扰信息,提高数据分析的准确性和可靠性;三是要根据分析结果及时采取相应的措施和建议,以确保坝体的安全性和稳定性。

## 3 混凝土坝体裂缝对水利水电工程安全影响的评估模型构建

### 3.1 评估模型的理论基础

混凝土坝体裂缝对水利水电工程安全影响的评估模

型构建,首先需要建立在坚实的理论基础之上。这些理论基础主要包括结构力学、断裂力学、材料科学以及风险评估理论等。结构力学为分析坝体在裂缝存在下的应力分布和变形提供了基本框架;断裂力学则专注于研究裂缝的扩展规律及其对结构完整性的影响;材料科学提供了混凝土材料的力学性能和耐久性分析的基础;而风险评估理论则用于量化裂缝对水利水电工程安全的风险水平。在构建评估模型时,还需要考虑裂缝的类型、大小、位置以及数量等关键参数。这些参数直接决定了裂缝对坝体结构的影响程度和范围。还需要考虑水利水电工程的实际运行环境,如水位变化、温度波动、地震等外部因素,这些因素都可能加剧裂缝的发展,从而影响坝体的安全性。

### 3.2 评估模型的构建过程

构建混凝土坝体裂缝对水利水电工程安全影响的评估模型,需要经历一系列复杂的步骤。首先,需要对坝体的裂缝进行详细的调查和记录,包括裂缝的位置、长度、宽度、深度以及裂缝的形态和走向等。这些信息是构建评估模型的基础数据。其次,需要基于结构力学和断裂力学的原理,建立裂缝对坝体结构影响的数学模型。这个模型需要能够准确描述裂缝在坝体中的扩展规律和其对坝体应力和变形的影响。还需要考虑水利水电工程的实际运行环境,将外部因素纳入模型中进行综合考虑<sup>[3]</sup>。另外,需要利用材料科学的知识,对混凝土材料的力学性能进行分析,确定裂缝对混凝土材料耐久性的影响。这包括评估裂缝对混凝土抗渗性、抗冻融性、抗化学侵蚀性等性能的影响。最后,基于风险评估理论,建立裂缝对水利水电工程安全的风险评估模型。这个模型需要能够量化裂缝对坝体安全的风险水平,为工程管理和决策提供科学依据。

### 3.3 模型的验证与优化

在构建完评估模型后,需要进行模型的验证与优化工作,需要利用实际工程数据进行模型的验证,确保模型能够准确反映裂缝对水利水电工程安全的影响。这包括将实际裂缝数据输入模型中进行计算,并将计算结果与实际观测数据进行对比,以验证模型的准确性和可靠性。要根据验证结果对模型进行优化,如果模型计算结果与实际观测数据存在较大差异,需要对模型进行修正和调整,以提高模型的准确性和适用性。这包括调整模型参数、改进数学模型、优化算法等。还需要考虑模型的适用性和可扩展性,评估模型应该能够适用于不同类型的混凝土坝体和裂缝情况,并能够随着工程的发展和技术的进步进行不断的更新和完善。在模型构建过程中

需要注重模型的通用性和灵活性设计,以便更好地服务于水利水电工程的安全评估和管理。

#### 4 混凝土坝体裂缝监测与评估模型的应用实践

##### 4.1 案例选择与背景介绍

在探讨混凝土坝体裂缝监测与评估模型的应用实践时,选择了一个具有代表性的水利水电工程——某大型水库作为案例。该水库位于我国西南地区,是区域内重要的防洪、灌溉和发电水源。水库大坝为混凝土重力坝,坝高达数百米,总库容巨大,对下游地区具有极其重要的防洪保护作用。由于长期承受高水位压力、自然环境侵蚀以及坝体材料老化等因素的影响,大坝近年来出现了不同程度的裂缝问题。这些裂缝主要分布在坝体的迎水面、坝肩和坝基等部位,对大坝的结构稳定性和安全性构成了严重威胁<sup>[4]</sup>。为了确保大坝的安全运行,及时准确地监测裂缝的发展情况,并评估其对大坝安全的影响,成为了当前亟待解决的问题。针对这一需求,决定应用先进的混凝土坝体裂缝监测与评估模型,对该水库大坝进行实时监测和评估。通过实时监测裂缝的宽度、长度、深度等参数,结合大坝的应力分布、变形情况等信息,综合评估裂缝对大坝安全的影响程度,为工程管理和决策提供科学依据。

##### 4.2 监测与评估模型的实施

在构建监测与评估模型时,充分考虑水库大坝的特点和监测需求。首先采用了高精度、高稳定性的裂缝监测传感器,对大坝表面的裂缝进行了全面监测。这些传感器能够实时监测裂缝的宽度变化,并将数据传输至数据中心进行存储和分析。还利用无人机倾斜摄影测量系统,对大坝进行了三维建模和裂缝识别。通过无人机航拍获取大坝表面的高分辨率图像,结合图像处理算法和深度学习技术,实现对裂缝的自动识别、定位和测量。这一技术的应用大大提高了裂缝监测的效率和准确性。在收集到监测数据后,采用先进的数据处理和分析方法,对裂缝数据进行深入挖掘和分析。通过计算裂缝的扩展速率、变形量等参数,结合大坝的应力分布和变形情况,综合评估了裂缝对大坝安全的影响程度。此外还建立裂缝发展预测模型,基于历史监测数据和裂缝扩展规律,对裂缝的未来发展趋势进行了预测和评估。这一

模型的应用为工程管理部门提供了重要的决策支持,有助于提前采取措施预防裂缝的进一步发展。

##### 4.3 监测与评估结果

经过一段时间的监测和评估,得出了以下结论:大坝表面的裂缝主要呈现为细小、分散的特点,裂缝宽度和长度均未超过安全限值。部分裂缝的扩展速率较快,需要引起高度重视。通过对比分析,发现这些裂缝主要分布在坝体的迎水面和坝肩等部位,这些部位受到的水压力和温度变化较大,是裂缝产生和发展的主要区域。通过对大坝的应力分布和变形情况进行分析,发现裂缝对大坝的结构稳定性产生了一定影响<sup>[5]</sup>。特别是在裂缝扩展较快的区域,大坝的应力分布出现了明显的变化,局部应力水平升高,可能导致坝体材料的进一步损伤和破坏。针对以上问题,提出了相应的处理措施和建议,对于扩展速率较快的裂缝,建议采取灌浆加固等修复措施,防止裂缝的进一步发展。建议加强大坝的日常巡查和维护工作,及时发现和处理潜在的裂缝问题。还需要加强对大坝的安全监测和评估工作,建立更加完善的监测体系和评估模型,为工程管理和决策提供科学依据。

##### 结束语

混凝土坝体裂缝对水利水电工程的安全运行具有重要影响。通过构建监测与评估模型,可以实现对裂缝的实时监测和准确评估,为工程管理部门提供科学依据。未来,将继续完善和优化该模型,提高监测与评估的精度和效率,为水利水电工程的安全运行提供更加有力的保障。

##### 参考文献

- [1]石宝林.水利水电工程施工中混凝土裂缝的防治技术研究[J].水上安全,2023,(15):28-30.
- [2]江伟.水利水电工程施工中混凝土裂缝的防治技术研究[J].工程技术研究,2023,8(15):137-139.
- [3]薛俊斌.水利水电工程施工中混凝土裂缝的防治技术[J].大众标准化,2022,(07):74-76.
- [4]蒋丽珠,赵震波,卢立,等.黄坎水库大坝加高工程安全监测分析[J].浙江水利科技,2024,52(04):73-77.
- [5]吴建勇,殷思.萍乡市碧湖水库工程安全监测分析[J].陕西水利,2024,(07):193-195.