

# 水利水电工程中坝肩边坡抗滑稳定的方法与技术

李邦伟 魏潇 譙乾银

贵阳市水利水电勘测设计研究院有限公司

DOI:10.12238/hwr.v7i8.4962

**[摘要]** 本文旨在探究水利水电工程中坝肩边坡抗滑稳定分析的新方法与技术。随着水利水电工程的不断发展,确保坝肩边坡的稳定性变得至关重要。传统的稳定性分析方法在解决实际工程问题时存在一定局限性。为此,本研究介绍了一些新颖的方法与技术,以提高坝肩边坡抗滑稳定性分析的精度和可靠性。通过地质与地形数据的获取与处理技术,岩土参数测试与分析技术的创新,以及数值模拟与计算方法的应用,本研究致力于为水利水电工程提供更为准确和全面的坝肩边坡稳定性评估手段。此外,监测与预警技术在该领域的引入,进一步加强了对坝肩边坡稳定性的实时监控与风险预测能力。

**[关键词]** 水利水电工程; 坝肩边坡; 抗滑稳定分析; 数值模拟; 监测与预警技术

中图分类号: TV 文献标识码: A

## Method and Technology for Anti-slip Stability of Dam Abutment Slope in Water Conservancy and Hydropower Engineering

Bangwei Li Xiao Wei Qianyin Qiao

Guiyang Water Conservancy and Hydropower Survey, Design and Research Institute Co., Ltd

**[Abstract]** This article aims to explore new methods and techniques for analyzing the anti-slip stability of dam abutment slopes in water conservancy and hydropower engineering. With the continuous development of water conservancy and hydropower engineering, ensuring the stability of dam abutment slopes has become crucial. Traditional stability analysis methods have certain limitations when solving practical engineering problems. Therefore, this study introduces some novel methods and technologies to improve the accuracy and reliability of anti-slip stability analysis of dam abutment slopes. This study provides more accurate and comprehensive methods for evaluating the stability of dam abutment slopes in water conservancy and hydropower projects through the acquisition and processing of geological and topographic data, innovation in geotechnical parameter testing and analysis technology, and application of numerical simulation and calculation methods. In addition, the introduction of monitoring and early warning technology in this field further strengthens the real-time monitoring and risk prediction capabilities of dam abutment slope stability.

**[Key words]** water conservancy and hydropower engineering; dam abutment slope; anti-slip stability analysis; numerical simulation; monitoring and early warning technology

### 引言

水利水电工程作为重要的基础设施,不仅为人类提供了丰富的水资源和清洁能源,还在社会经济发展中发挥着关键作用。然而,随着工程规模的不断扩大,工程安全问题日益引起人们的关注。坝肩边坡的抗滑稳定性作为工程安全的重要保障因素,直接关系到工程的长期稳定运行。传统的坝肩边坡抗滑稳定性分析方法在实际应用中逐渐显露出一些不足之处,例如在考虑地质复杂性、参数不确定性和动力荷载等方面存在局限性。因此,探索新的方法与技术,提高坝肩边坡抗滑稳定性分析的精度和可靠性,具有重要的理论和实际意义。

### 1 坝肩边坡抗滑稳定性分析方法综述

#### 1.1 传统方法存在的问题与局限性

传统稳定性分析方法在解决复杂水利水电工程中坝肩边坡抗滑稳定性问题时存在一些局限性。首先,这些方法往往忽略了地质条件的复杂性,无法准确描述不均质地质体的力学行为。其次,传统方法在考虑参数不确定性和动力荷载时表现不足,无法提供可靠的工程决策依据。此外,对于动态荷载和非线性变形等问题,传统方法往往难以精确预测工程的稳定性。

#### 1.2 新方法与技术的出现和发展趋势

为了克服传统方法的局限性,近年来涌现了许多新的方

法与技术,用于坝肩边坡抗滑稳定性分析。这些新方法包括但不限于:

(1)物理模型试验与数值模拟相结合:将物理试验与数值模拟相结合,能够更准确地模拟地质体的力学行为,提高分析结果的可靠性。

(2)概率与风险分析:引入概率与风险分析方法,考虑参数不确定性和动态荷载,能够更全面地评估坝肩边坡的稳定性。

(3)人工智能与数据驱动方法:利用人工智能技术,结合大量实测数据进行分析,能够发现潜在的规律和趋势,提高分析的准确性和可预测性。

(4)多物理耦合模拟:将地质、水文、渗流等多个物理过程进行耦合模拟,能够更全面地分析坝肩边坡的稳定性问题。

综上所述,新方法与技术的出现为坝肩边坡抗滑稳定性分析提供了新的思路和工具,有望克服传统方法的局限性,提高工程的安全性和可靠性。未来的发展趋势将更加注重新兴学科交叉融合,以及理论与实际应用相结合,为水利水电工程的稳定性分析提供更为科学的支持。

## 2 地质与地形数据获取与处理技术

### 2.1 遥感技术在地质数据获取中的应用

遥感技术是一种非接触式的数据获取方法,通过卫星、飞机等平台获取地表信息,可以在大范围和复杂地质环境下获取高分辨率的数据。在坝肩边坡抗滑稳定性分析中,遥感技术能够获取地形、地貌、植被覆盖等信息,为工程地质模型的建立提供基础数据。高分辨率遥感影像能够准确描述地表形态,卫星雷达数据则能够穿透植被覆盖,获取地表和地下的信息。此外,红外外遥感技术还可以检测地表温度分布,揭示可能存在的地质问题。

### 2.2 地面勘测技术及数据处理方法

地面勘测技术是直接获取地质信息的重要手段。全站仪、激光扫描仪等现代测量仪器能够高精度地获取地表和地下的数据,包括地形、地貌、地下水位等。通过建立数字地形模型(DTM)和数字高程模型(DEM),可以准确地重构地形的三维信息。此外,地面勘测数据的处理方法,如数据插值、平滑处理、误差修正等,能够提高数据的精度和可靠性。

### 2.3 数值地质建模方法及其在坝肩边坡稳定性分析中的应用

数值地质建模是将地质信息转化为计算机模型的过程,可以更精细地描述地质体的几何形状和性质分布。地质信息建模的方法包括基于面元的建模、体元网格建模等。这些方法能够有效地表达地质体的非均质性和复杂性。在坝肩边坡抗滑稳定性分析中,数值地质建模可以为地质参数的确定提供更准确的依据,同时为后续的数值模拟提供输入。

通过综合运用遥感技术、地面勘测技术和数值地质建模方法,可以获取丰富的地质与地形数据,为坝肩边坡抗滑稳定性分析提供精确的基础。这些先进的技术在现代水利水电工程中的应用,为工程设计、施工和运营提供了更可靠的地质信息支持,从而提高了工程的稳定性和安全性。

## 3 岩土参数测试与分析技术的创新

### 3.1 岩土力学参数测试新技术

传统的岩土参数测试方法如直剪试验、三轴试验等在实验设备和操作存在一定的局限性,而新技术的引入为参数测试带来了创新。例如,微观颗粒尺寸分析技术能够通过颗粒的细微特征,准确预测土体的力学性质。此外,超声波、雷达等非破坏性测试技术可以实时监测地下介质的变化,进而反推岩土参数。

### 3.2 参数获取与不确定性分析

岩土参数的获取常常受到不确定性的影响,而不确定性分析是一个重要的领域。蒙特卡洛模拟、贝叶斯方法等统计学和数值方法可以量化不确定性,并提供参数的概率分布。这有助于更全面地了解岩土参数的真实范围,为抗滑稳定性分析提供更可靠的输入。

### 3.3 参数反演与模型验证方法

参数反演技术能够从现场监测数据中推测出合适的岩土参数,进一步优化分析结果。遗传算法、粒子群优化等方法能够自动搜索参数空间,使模拟结果与实测数据吻合。模型验证是参数反演的重要环节,通过与实测结果的对比验证模型的可靠性。

岩土参数是抗滑稳定性分析的关键输入,其准确性对于工程安全至关重要。新技术的引入为参数测试和分析带来了新的可能性,能够提高参数的精确性和可靠性。不仅可以从微观角度更好地了解土体特性,还可以通过实时监测和统计方法准确获取参数。不确定性分析和参数反演等方法则进一步提高了参数的可信度,使得抗滑稳定性分析更加准确和可靠。

## 4 数值模拟与计算方法在坝肩边坡稳定性分析中的应用

### 4.1 有限元法在坝肩边坡稳定性分析中的应用

有限元法是一种常用的数值模拟方法,广泛应用于坝肩边坡抗滑稳定性分析。该方法能够将复杂的地质体和工程结构划分为离散的有限单元,通过求解强度平衡方程,评估坝肩边坡的稳定性。通过引入不同的材料模型、加载条件和边界条件,有限元法能够模拟不同工况下的边坡响应,为工程设计提供全面的稳定性评估。

### 4.2 计算流体力学模拟技术的创新应用

计算流体力学(CFD)模拟技术在坝肩边坡稳定性分析中得到越来越多的应用。CFD技术不仅可以模拟地下水流动和渗流问题,还能够考虑水流对边坡稳定性的影响。通过模拟不同水位和渗流条件下的边坡响应,可以更准确地评估边坡的抗滑稳定性。此外,CFD技术还能够考虑地下水位和土体饱和度的变化对边坡稳定性的影响,为工程设计提供更全面的信息。

### 4.3 数据驱动的模拟方法与实例分析

数据驱动的模拟方法通过利用大量的实测数据,建立预测模型,用于模拟边坡的稳定性。机器学习算法、人工神经网络等方法可以从数据中学习出边坡的稳定性模式,为不同工况下的抗滑稳定性分析提供预测。这种方法能够较好地解决传统数值

模拟方法中参数不确定性和模型假设的问题,从而提高分析结果的可靠性。

数值模拟与计算方法的应用为坝肩边坡抗滑稳定性分析带来了更高的精度和准确性。通过有限元法的离散化和求解,可以模拟不同工况下的边坡行为;计算流体动力学模拟技术可以考虑水流对边坡稳定性的影响;数据驱动的模拟方法则能够更好地捕捉实际工程中的复杂性。这些方法的创新应用为工程设计和施工提供了更准确的信息,为坝肩边坡的稳定性分析提供了更可靠的科学依据。

## 5 监测与预警技术在坝肩边坡稳定性分析中的新进展

### 5.1 实时监测技术的应用

实时监测技术在坝肩边坡稳定性分析中发挥着关键作用。借助现代传感器技术,可以对边坡的变形、应力、水位等参数进行实时监测。位移传感器、应变计、压力传感器等设备能够提供准确的数据,帮助工程师了解边坡的实际变化情况。通过与预设阈值比较,及时发现异常变化并采取措施,以防止潜在的灾害事件。

### 5.2 遥感监测技术的创新应用

遥感监测技术在坝肩边坡稳定性分析中的应用越来越广泛。卫星遥感图像能够高效地获取大范围内的地表信息,通过多期影像对比,可以识别出边坡的变化趋势。此外,高分辨率遥感图像和激光扫描技术能够提供精细的地表形态和变形信息,为边坡稳定性的监测和分析提供更详细的数据。

### 5.3 数据融合与模型预测

监测数据的融合与分析是实现准确预警的关键。将不同传感器获得的数据进行融合,可以综合考虑多个因素对边坡稳定性的影响。同时,基于监测数据的变化趋势,可以建立数学模型进行预测,预测边坡可能发生的变形和破坏情况。这种数据融合与模型预测相结合的方法,能够提高预警的准确性和及时性。

### 5.4 智能预警与决策支持系统

随着人工智能和大数据技术的不断发展,智能预警和决策支持系统在坝肩边坡稳定性分析中发挥着越来越重要的作用。利用机器学习和数据挖掘技术,可以从海量监测数据中挖掘出潜在的规律和趋势,实现智能预警。决策支持系统则能够根据预警信息和分析结果,为工程师提供合理的决策建议,以减少潜在的风险。

实时监测技术的应用使得工程师可以随时了解边坡的变化情况,及时采取措施;遥感监测技术的创新应用能够提供更全面、精细的数据;数据融合与模型预测则提高了预警的精确性和准确性;智能预警与决策支持系统的引入使得预警和决策更加科学和智能化。这些技术的应用,有助于提高坝肩边坡的稳定性分析水平,为工程的安全运行提供更为可靠的保障。

## 6 结束语

水利水电工程作为国家基础设施的重要组成部分,对于促进经济发展和人民生活水平提升具有不可替代的作用。在工程建设和运营过程中,保障坝肩边坡的抗滑稳定性显得尤为重要。通过本论文的研究,我们为水利水电工程中坝肩边坡抗滑稳定性分析提供了新的思路和方法,为工程的安全运行和可持续发展提供了有力的支持。希望这些新方法与技术能够在实际工程中得到广泛应用,为工程的安全性和稳定性保驾护航,同时也为相关领域的研究者提供了有益的参考和借鉴。

## [参考文献]

- [1]李明,陈刚,赵宏宇.水电工程中坝肩边坡稳定性分析方法与应用研究[J].岩土力学,2020,41(6):2302-2311.
- [2]谢志辉,刘勇,王建中.水利工程中坝体边坡稳定性分析与评价方法[J].水力发电学报,2018,37(4):57-65.
- [3]张红梅,张磊,田永东.坝体边坡稳定性分析及监测技术综述[J].水力发电,2019,45(1):127-135.
- [4]陈新,姜秀荣,姚波.水库大坝坝肩边坡稳定性分析方法综述[J].岩土力学,2017,38(4):1161-1171.
- [5]刘华,孙威,谢云云.坝肩边坡抗滑稳定性分析中影响因素的研究[J].水利学报,2021,52(6):676-684.
- [6]姚勇.基于三维工程地质模型的边坡稳定性分析[D].辽宁工程技术大学,2009.
- [7]塔娜.苹果叶片长势信息高光谱遥感监测技术研究[D].西北农林科技大学,2022.
- [8]朱冠美,李家正,王迎春.丹江口大坝后期加高工程现场原位抗剪试验研究[J].长江科学院院报,1999,(03):22-25.
- [9]曾滨,许庆,王浩.围护结构对单层轻钢厂房动力特性影响分析[J].哈尔滨工程大学学报,2022,43(05):657-666.
- [10]曾松林.基于加权残值法锚索抗滑桩受力变形计算[D].湖南大学,2018.