

# Seismic safety evaluation method and engineering application of high dam

Guohao Xian

Guangdong Yuantian Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511340, China

## Abstract

The seismic safety of high dams is a critical issue in the design and operation of water conservancy projects, especially in earthquake-prone regions, where the seismic performance of high dams directly affects the safety of people's lives and property. This paper systematically analyzes the methods for evaluating the seismic safety of high dams, introducing commonly used evaluation techniques and analysis models, and discussing the framework and steps for seismic safety evaluation. By analyzing various factors such as seismic motion characteristics, dam structure, and geological and hydrological conditions, and combining advanced technologies such as numerical simulation and physical model testing, the paper proposes seismic safety evaluation strategies for high dams at different stages.

## Keywords

High dam seismic safety; Safety evaluation; Numerical simulation; Dynamic analysis; Engineering applications

## 高坝抗震安全评价方法与工程应用

冼国浩

广东省源天工程有限公司, 中国·广东广州 511340

## 摘要

高坝抗震安全是水利工程设计与运行中的重要问题,尤其在震害多发地区,高坝的抗震性能直接关系到人民生命财产的安全。本文针对高坝抗震安全评价方法进行系统分析,介绍了当前常用的评价技术与分析模型,探讨了高坝抗震安全的评价框架与步骤。通过分析地震动特征、坝体结构及地质水文条件等多方面因素,结合数值模拟、物理模型试验等先进技术,提出了适用于不同阶段的高坝抗震安全评价策略。

## 关键词

高坝抗震; 安全评价; 数值模拟; 动力分析; 工程应用

## 1 引言

随着我国水利工程建设不断发展,高坝的数量逐年增加,如何保障高坝在地震等自然灾害中的安全,成为了当前水利工程领域的重要研究课题。高坝作为重要的水利基础设施,其抗震安全性直接影响着堤坝、下游地区及人民生命财产的安全,因此,开展高坝抗震安全评价是确保其安全运行的必要手段。目前,高坝抗震安全评价方法已逐步从传统的静力分析向动态分析、数值模拟及结构可靠性分析等技术手段转变。通过准确评估高坝在地震作用下的稳定性与安全性,可以有效预测可能的风险,为高坝的设计、施工和运营提供科学依据。

## 2 高坝抗震安全评价方法的基本概述

### 2.1 高坝抗震安全评价的定义与意义

高坝抗震安全评价是指在地震等自然灾害发生时,评估高坝及其周围环境对地震作用的响应能力和抗震稳定性的过程。此评价不仅关乎坝体本身的结构稳定性,还涉及对下游水库及周围生态环境的安全影响。通过对高坝的抗震性能进行科学评价,可以有效预防地震带来的潜在风险,降低事故发生的概率,保障人民生命财产安全以及生态环境的稳定。特别是在地震多发区域,实施高坝抗震安全评价已成为工程设计、建设与运营的必要环节。科学的抗震安全评价能够为决策者提供可靠依据,指导高坝的抗震加固与防护措施的选择,保障水利工程的长期安全运行。

### 2.2 高坝抗震安全评价的基本框架与步骤

高坝抗震安全评价的基本框架通常包括数据采集、模型构建、地震作用分析、抗震性能评估和风险评估等环节。首先需要进行详细的坝体及周围环境的地质、水文、气象等

【作者简介】冼国浩(1997-),男,中国广东茂名,本科,助理工程师,从事建筑工程研究。

数据的收集。随后,通过建立高坝的抗震分析模型,结合数值模拟和物理模型试验等方法,对地震作用下的坝体响应进行分析。地震动特征、坝体结构、基础条件等因素都会被纳入考虑范围。抗震性能评估是关键环节,通过模拟不同强度的地震作用,评估坝体在震动下的稳定性与承载能力。最后,基于评估结果,进行风险评估,判断高坝在地震条件下的安全性,为后续的防护措施和工程优化提供依据。

### 2.3 常见的高坝抗震安全评价方法分析

高坝抗震安全评价方法主要包括静力分析法、动力分析法、数值模拟法等。静力分析法通过考虑坝体的静态荷载情况,对坝体的抗震稳定性进行初步评价。尽管该方法较为简便,但其适用范围有限,无法充分考虑地震动的动态特征。动力分析法则采用地震动作为外部输入,分析坝体在动态荷载作用下的响应,能够更真实地反映地震对坝体的影响。数值模拟法则通过建立更为复杂的有限元模型,模拟不同地震情景下的坝体响应,具有更高的精确度和适应性,尤其适用于复杂的坝体结构和地质条件。每种方法各有优劣,具体选择时需根据高坝的具体情况进行综合评估,以获得更加准确和可靠的抗震安全评价结果<sup>[1]</sup>。

## 3 高坝抗震安全评价的影响因素

### 3.1 地震动特征与震源分析

地震动特征对高坝抗震安全性影响重大,地震的震源、震级、震中距等因素决定了地震波传播的特性和强度。以某地区为例,震源距高坝20公里处发生了7.2级地震,地震波通过区域地质结构传播后,波幅在坝体下游地区达到了1.5倍的初始强度。通过分析地震的频率特性、持续时间及振幅变化,可以预测震动对坝体的冲击力度。例如,强震时,地震波频率可能导致坝体的共振现象,增加结构损害的风险。对于大坝的影响,还需要考虑地震波传播的深度、震源的倾角及断层的运动模式。这些因素共同作用,决定了地震动对坝体的具体影响,因此在高坝抗震安全评价中,需综合考虑这些影响因素,进行动态响应分析,评估不同地震情境下坝体的安全性能。

### 3.2 坝体结构特性与稳定性分析

坝体结构的稳定性与坝体的形状、材料、结构类型及设计方案息息相关。例如,在某高坝的稳定性分析中,坝体材料为混凝土,坝高达80米,坝体宽度为50米,采用了重力坝结构。该结构能较好地承受来自水压力和地震荷载的影响。然而,在实际分析中,考虑到地震荷载的作用,坝体的动态特性显现出较大的波动性。通过计算坝体在地震波作用下的振动周期和响应幅度,可以确定其抗震能力。若坝体存在结构缺陷,如裂缝、沉降不均等问题,可能导致坝体整体稳定性下降。特别是在复杂地质条件下,坝体的基础沉降或滑坡风险更为突出。因此,在高坝抗震安全评价过程中,坝体结构特性与稳定性分析是核心部分,需详细评估每一部分

的承载力及稳定性,确保抗震性能满足设计标准。

### 3.3 坝区地质条件与水文环境影响

坝区的地质条件和水文环境对坝体抗震安全的影响不可忽视。坝区地质层的组成、土壤的类型、地质构造的复杂性直接影响坝体的稳定性。例如,在某高坝项目中,坝基岩层为中等强度的页岩,坝基与岩层的粘结力较弱,导致地震波传播时,坝体容易发生滑坡。在水文环境方面,水库的水位变化、蓄水量及水流动方向等因素会改变坝体的荷载条件,影响坝体的稳定性。以某水库为例,地震发生时,水位上升至最大蓄水位,这增加了坝体的浮力作用,从而降低了坝体在地震作用下的稳定性。此外,坝区周围的地下水位变化也会对坝体产生影响,可能引发坝基的软化,进而增加地震引发的失稳风险。因此,在抗震安全评价中,坝区的地质条件和水文环境必须综合考虑,以确保评价的准确性和全面性。

## 4 高坝抗震安全评价的分析模型与技术分析

### 4.1 高坝抗震安全评价的动力分析模型

动力分析模型在高坝抗震安全评价中起着关键作用,能够准确模拟坝体在地震荷载下的响应。采用有限元法进行坝体的动力分析时,通常需要输入高坝的几何参数、材料特性、边界条件等。以某高坝为例,坝高120米,坝体重量为500万吨,采用土坝结构,分析结果显示,在6.8级地震作用下,坝体的最大水平位移为0.9米,垂直位移为0.4米。该模型考虑了坝体的非线性特性以及地震波的频率特征,通过时间历程分析,模拟了不同震级和震中距条件下的动态响应。结果表明,坝体的抗震能力在设计标准范围内,未出现失稳现象。动力分析模型能够揭示高坝在强震下的动态行为,为高坝的抗震设计和加固措施提供科学依据。

### 4.2 高坝抗震安全评价的地震响应分析技术

地震响应分析技术在高坝抗震安全评价中被广泛应用,旨在评估地震作用下坝体的结构反应。采用地震响应分析时,首先需要获取地震动输入数据,并结合高坝的结构特性、基础条件等进行数值模拟。例如,某高坝的地震响应分析中,输入了一次7.2级地震的地震波,坝体的最大加速度为 $1.8\text{m/s}^2$ ,基坑底部最大应力为 $15\text{MPa}$ 。通过分析,发现坝体在地震波作用下的响应主要表现为水平位移和剪切应力的增加,而坝基的应力集中过大区域可能会导致结构破坏。地震响应分析技术能够帮助设计人员预测高坝在地震作用下的脆弱区域,进而采取相应的抗震加固措施,保障工程的安全性<sup>[2]</sup>。

### 4.3 高坝抗震安全评价的结构可靠性分析技术

结构可靠性分析技术在高坝抗震安全评价中用于评估坝体在地震作用下的失效概率。该技术通过考虑坝体的各种不确定性因素,如材料强度、荷载变化、地震动特性等,进行概率分析。例如,在对某重力坝的可靠性分析中,通过蒙特卡洛模拟法对1000次地震情境进行仿真,计算出在7.5

级地震作用下,坝体失稳的概率为0.2%。通过进一步分析,发现坝基的不均匀沉降和坝体材料的疲劳是主要的失效因素。结构可靠性分析技术为高坝抗震设计提供了依据,能够有效评估坝体在不同条件下的安全性,为优化设计方案提供数据支持。

## 5 高坝抗震安全评价的工程应用策略

### 5.1 高坝抗震安全评价在设计阶段的技术应用

在设计阶段,高坝抗震安全评价技术用于评估坝体在地震作用下的稳定性和抗震能力。通过使用数值模拟与地震响应分析技术,设计人员能够预测高坝在不同震级和震中距离下的动态响应。例如,在某高坝设计过程中,采用了有限元分析方法,计算得到该坝体在6.5级地震下的最大水平位移为0.8米,垂直位移为0.3米,符合设计安全规范。进一步的结构分析表明,坝体的应力分布在设计极限范围内。基于这些评估结果,设计团队对坝体进行了优化设计,增加了抗震加固措施,如采用高强度混凝土材料,并加厚坝体底部结构,以提高整体稳定性。通过应用这些抗震安全评价技术,确保了设计方案能够应对潜在地震风险,最大程度减少可能的灾害影响。

### 5.2 高坝抗震安全评价在施工阶段的技术应用

在施工阶段,抗震安全评价技术被用于实时监控坝体的动态响应,并对施工过程中的风险进行预警。例如,在某高坝建设过程中,安装了多个位移计和应变传感器,实时监控坝体的位移和应力变化。通过与地震动监测数据对比,发现施工过程中一部分区域的位移超过了设计容许范围,最大位移达到0.4米。根据实时数据分析,施工方立即调整了施工方案,减少了坝体某些部位的荷载,并加固了关键结构部位。通过动态评估,施工方能够有效避免了潜在的风险,确保了施工过程中坝体的稳定性。在施工阶段应用高坝抗震安全评价技术,有效提升了施工过程的安全性与稳定性<sup>[3]</sup>。

### 5.3 高坝抗震安全评价在运营阶段的技术应用

在运营阶段,高坝抗震安全评价技术主要用于持续监

测坝体的动态响应,并评估其长期抗震性能。通过实时监控和定期检查,能够及时发现坝体在运行过程中可能出现的安全隐患。例如,某高坝运行5年后,利用传感器数据对坝体进行了抗震安全评估。监测数据显示坝体的水平位移为0.2米,应力最大值为8MPa,均在设计标准以内。然而,通过对比历史数据,发现坝体部分区域存在轻微的应力积聚。通过进一步分析,确定了需要加强的区域,并采取了局部加固措施。这些技术应用使得坝体在运营阶段始终保持在安全的抗震范围内,有效延长了高坝的使用寿命,确保了水库的安全运营<sup>[4]</sup>。

## 6 结语

通过对高坝抗震安全评价方法与工程应用策略的深入分析,可以看出,抗震安全评价在高坝设计、施工及运营中的重要性。科学的抗震安全评价不仅能够提前识别潜在风险,还能高坝的优化设计和加固措施提供数据支持,确保工程的长期稳定性与安全性。随着抗震分析技术的不断发展,数值模拟、地震响应分析以及结构可靠性分析等手段的应用,极大提升了高坝抗震安全评价的准确性与可操作性。特别是在施工与运营阶段,实时监控与动态评估能够有效预防地震带来的风险,确保高坝在各个阶段的安全性。未来,随着技术的进步和管理措施的完善,高坝抗震安全评价方法将更加精确和全面,为水利工程的可持续发展和生态环境保护提供更有力的保障。

## 参考文献

- [1] 李太阳.堆石混凝土在某高坝上的应用研究与抗震分析[D].导师:唐晓玲.贵州大学,2024.
- [2] 宋业传.溶蚀与冻融循环作用下混凝土重力坝抗震性能研究[D].导师:张宇;杨宇.东北石油大学,2023.
- [3] 邓铭江,孙奔博,许佳.高沥青混凝土心墙坝抗震安全评估研究进展[J].水力发电学报,2023,42(03):82-91.
- [4] 张宇,张雪,李黄河,宋业传,王铭明.考虑冻融和紫外线双因素影响的寒区混凝土坝抗震性能研究[J].实验力学,2023,38(01):101-108.