

Research on Seismic Design of Sand and Gravel Face Dam for Water Conservancy Hub Project

Yanchang Liu

Xinjiang Changji Fanghui Hydropower Design Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

With the continuous advancement of water conservancy hub projects in China, the seismic performance of gravel faced dams, as one of the important forms of dam bodies, has become a core issue in engineering design. Due to its special material composition and structural form, the sand and gravel panel dam has unique characteristics in response to earthquakes compared to traditional dam bodies. This article focuses on the seismic design of gravel faced dams. Firstly, the requirements and influencing factors of seismic design in water conservancy hub projects are analyzed. Then, the seismic performance requirements of gravel faced dams are discussed in depth. Finally, design optimization strategies to enhance the seismic performance of gravel faced dams are proposed. This article focuses on the seismic performance requirements of gravel faced dams and explores their design optimization strategies under strong earthquake conditions.

Keywords

water conservancy hub project; Sand and gravel panel dam; seismic design

水利枢纽工程砂砾石面板坝抗震设计研究

刘彦昌

新疆昌吉方汇水电设计有限公司, 中国·新疆 昌吉 831100

摘要

随着我国水利枢纽工程的不断推进,砂砾石面板坝作为重要的坝体形式之一,其抗震性能已成为工程设计中的核心问题。砂砾石面板坝因其特殊的材料构成和结构形式,对地震的响应与传统坝体相比具有独特性。本文围绕砂砾石面板坝的抗震设计展开研究,首先分析了水利枢纽工程中抗震设计的需求及其影响因素,进而深入探讨了砂砾石面板坝的抗震性能要求,最后提出了加强砂砾石面板坝抗震性能的设计优化策略。本文围绕砂砾石面板坝的抗震性能要求,探讨了其在强震作用下的设计优化策略。

关键词

水利枢纽工程; 砂砾石面板坝; 抗震设计

1 引言

水利枢纽工程在防洪、灌溉及水电等方面具有重要作用,其中坝体的抗震设计尤为关键。随着地震灾害频率的增加,水利工程的抗震设计面临越来越大的挑战。砂砾石面板坝作为一种常见坝型,因其构造的特殊性和材料的独特性,在抗震设计中具有不同于其他坝型的复杂性。砂砾石面板坝由砂砾石和混凝土面板组成,其抗震性能不仅受坝体本身结构的影响,还与坝体与基础的相互作用、地震波传播特性等多种因素密切相关。

2 砂砾石面板坝的基本概述与发展

在水利枢纽工程中,砂砾石面板坝作为一种重要的坝

体结构形式,得到了广泛应用。这类坝体的构造以砂砾石和混凝土面板为基础,具备良好的水流通透性和适应性,特别是在大规模水利工程中,具有成本优势和施工灵活性。与传统重力坝相比,砂砾石面板坝能够更好地适应地质条件变化,尤其在软土或不稳定地基的地区,砂砾石层可以有效分散坝体负荷,减小土压力。然而,随着水利枢纽工程规模的不断增大,特别是在地震带或高烈度地震区域的设计要求愈发严格,砂砾石面板坝的抗震性能成为评估其适用性和安全性的关键因素。

砂砾石面板坝的抗震设计并非单纯依赖传统的设计经验与标准,更需要结合当地的地震动特性与坝体结构的自身特点进行综合分析,其抗震能力不仅受到材料的强度和弹性模量的影响,还与坝体整体结构的动态响应密切相关。由于砂砾石面板坝的上部由混凝土面板构成,下部为砂砾石填料,面板的刚度和填料的密实度对于其抗震性能具有决定性

【作者简介】刘彦昌(1980-),男,中国新疆昌吉人,本科,副高级工程师,从事水库枢纽工程设计研究。

作用。尤其是在强震发生时,面板的屈服和填料的变形可能导致坝体的局部失稳,因此必须采用更为精细的数值模拟与分析方法,如有限元分析等技术,来预测坝体在地震作用下的响应行为。此外,当前的研究也逐步聚焦于如何通过优化砂砾石的粒径分布和填料的压实度来增强坝体的整体抗震性能。这种精细化设计将不仅有助于提高坝体的稳定性,还能有效减少地震过程中可能出现的裂缝和局部失稳现象,从而保障水利枢纽工程在地震灾害中的安全性和可靠性。

3 水利枢纽工程中的抗震设计需求

3.1 水利枢纽工程的抗震重要性及风险分析

水利枢纽工程作为关键的基础设施承担着调节水资源、发电、灌溉等多重功能,同时还肩负着防洪和抗灾的重大责任。在这样的工程体系中,抗震设计的意义不言而喻。地震带区域的水利枢纽工程,特别是大坝的抗震能力,直接关系到工程自身的安全与下游区域的灾难防控。如果大坝在地震中失稳或破裂,可能引发山洪暴发,甚至造成下游的毁灭性洪灾。因此,水利枢纽的抗震设计不仅是对自然灾害的预防,更是对公众生命财产安全的保障^[1]。近年来,随着地震预测技术的进步和抗震设计理念的不断更新,水利枢纽工程的抗震要求也日益严格。水利枢纽工程的抗震风险分析还需要基于地震活动的规律性与多变性进行精准的评估。地震动的特性、频率与持续时间对坝体的影响各不相同,尤其是面板坝结构相较于传统重力坝具有独特的响应特性。在震动过程中,坝体上部的混凝土面板和下部的砂砾石填料可能会出现不同程度的相对运动,形成裂缝或滑移,进而影响大坝的整体稳定性。特别是砂砾石面板坝,因其填料材料的流动性和结构的相对柔性,在地震中可能会面临更为复杂的变形模式,这些变形往往难以通过简单的经验公式进行准确预测。因此,抗震设计不仅要考虑地震的基本强度,还应评估其在特定地质环境中的实际效应,包括地震波在坝体中的传播与反射特性,以及坝体的非线性响应。

3.2 抗震设计对水利枢纽工程的影响因素

在水利枢纽工程中,特别是涉及砂砾石面板坝的结构时,抗震设计需要应对多种复杂的地质和力学条件,这种坝体主要由砂砾石和混凝土板构成,其受地震波作用时的响应,受多方面因素影响。首先,不同的土层结构、地下水位以及坝体基础的类型,都可能影响地震波在坝体中的传播速度和传播模式。这些因素不仅会影响地震荷载的传递,还会在一定程度上加剧坝体的震动响应,导致结构的变形或破坏。因此,地震波传播特性的分析必须在具体的地质条件下进行,合理模拟地震波的传播路径和波速分布,以便制定出适宜的抗震设计方案。其次,坝体的施工质量、材料选择以及坝体的本身稳定性也极大地影响着其抗震能力。砂砾石面板坝的抗震性能不仅取决于基础设施的强度,还需要综合考虑坝体的整体刚度与材料的弹性特性。

水利枢纽工程中抗震设计的影响因素不仅仅限于物理结构的本身,还与许多外部和环境因素密切相关,特别是在考虑到砂砾石面板坝的抗震能力时,如何评估不同地震烈度下的坝体反应,成为关键的一步。在设计过程中,工程师需要预见不同震级和震中距离下的极限工况,进而采用适宜的建模和分析方法进行模拟。除此之外,坝体受水库水位变化、沉降和水流的作用影响也不可忽视。这些因素在长期运行过程中可能会导致坝体的老化和性能衰退,从而对抗震能力造成潜在的隐患。在实际的抗震设计中,除了考虑地震本身的因素外,水流波动、坝体变形以及地震后对水流动力学的影响都需要被精确建模,确保设计方案的全面性与可操作性。

3.3 砂砾石面板坝的抗震性能要求

与传统坝体不同,砂砾石面板坝依赖于材料的颗粒相互作用来维持稳定,因此其抗震性能的要求远不止于抗拉、抗压强度的简单提升。其抗震性能的关键在于坝体在地震作用下的整体变形能力与局部抗震能力的平衡。由于砂砾石面板坝具有较强的颗粒间摩擦特性,这使得它在地震动作用下呈现出较为复杂的响应。坝体需要具备足够的变形能力以吸收地震能量,但又不能过度变形导致结构破坏,尤其是在长期震动积累的条件下^[2]。因此,砂砾石面板坝的抗震性能要求不仅仅是抗震荷载的承载能力,还包括其在震后恢复能力的评估。为了满足这些要求,坝体的设计不仅需要综合考虑砂砾石的粒度、密度及相互连接性,还必须在结构层面进行细致的加固和优化。

此外,在设计砂砾石面板坝时,需要特别关注坝体与基础的相互配合,确保其在地震作用下能够通过适当的设计来消耗地震能量,而不是让这些能量转化为结构的损伤。同时考虑到水利枢纽工程的特殊性,坝体的防渗性能与抗震性能必须达到一种兼容的状态,这意味着设计过程中不仅要保证坝体的抗震能力,还要确保其在抗震过程中各项指标稳定在允许的安全标准值内,不会造成结构变形和破坏,从而导致工程出现安全隐患或造成重大工程事故等。

4 砂砾石面板坝抗震设计的关键技术

4.1 地震波传播特性对砂砾石面板坝的影响

地震波在传播过程中,其不同频率和能量的分布直接影响坝体的响应,尤其是在砂砾石面板坝这种由松散材料和混凝土面板组合而成的复合结构中。砂砾石层与混凝土面板的结合方式导致坝体在地震波的作用下表现出明显的非线性响应。地震波在坝体中的传播,尤其是纵波和横波的相互作用,会通过坝基与填料之间的相互作用产生复杂的变形行为。砂砾石层的松散性和非均匀性,结合地震波的频率特性,可能引发坝体的局部不均匀沉降或者填料流动,进而导致坝体面板的错位或开裂。在强烈地震动的作用下,低频地震波往往对坝体底部的影响最为显著,这一层通常由较为松散的砂砾石填料构成,容易引发液化现象或剪切破坏,从而加剧

坝体的震动反应。

在砂砾石面板坝的抗震分析中,除了要精确模拟地震波的传播路径外,还要考虑到坝体不同部位的共振现象。特别是在坝体的某些共振频率范围内,地震波可能会导致坝体局部放大震动,形成更加剧烈的动态效应^[1]。面对这种情况,砂砾石面板坝的设计必须充分考虑到坝体的频率响应特性,避免设计上产生共振现象,这对优化坝体的抗震性能至关重要。此外,地震波的传播特性还要求设计者对坝基和坝体之间的相互作用进行更加精细的模拟,确保坝体的地震响应能够通过合理的加固措施或优化设计来有效缓解。砂砾石层的压实度、粒径分布以及填料的粘聚性等因素,都直接影响地震波在坝体中的传播效率及其对结构的作用,因此在抗震设计中,这些因素需要被科学地纳入考量,以保证设计的合理性与坝体的长期稳定性。

4.2 砂砾石面板坝抗震分析方法与模型选择

现代抗震分析方法要求对坝体材料进行精确建模,还需考虑到地震波在坝体中的传播特性和其与基础的相互作用。常见的分析方法包括有限元法(FEM)和离散元法(DEM)。有限元法能够有效模拟坝体和基础的整体响应,通过细致的网格划分对结构的非线性行为进行精确计算,尤其适用于复杂几何形状和多种材料的组合。然而,有限元法虽然能够反映坝体的整体响应,却往往无法充分描述砂砾石颗粒之间的相互作用和局部的细节变化。离散元法则侧重于模拟颗粒之间的力学行为,更能准确揭示砂砾石面板坝在地震作用下的局部响应,尤其是在地震引起的颗粒滑动和振动传递方面。

在选择抗震分析模型时,地震波的特性和坝体的动态响应是必须重点考虑的因素。砂砾石面板坝不仅受到水平地震波的影响,还受到竖向波动、面内剪切等多维度的作用。不同类型的地震波,其传播方式、波速和频率特性均存在差异,这将直接影响到坝体的振动模式和能量吸收能力。为了更真实地模拟这种多维度的地震作用,必须通过数值模拟来精确刻画地震波与坝体之间的相互作用。例如,可以通过设计多层土-坝体-基础模型,模拟地震波的传播过程,进而得到坝体在不同地震条件下的动态反应。针对砂砾石面板坝

的抗震分析,还需要考虑到坝体的非线性变形特性。地震荷载可能导致坝体出现一定程度的塑性变形,特别是在强震情况下,坝体的稳定性可能受到威胁。

4.3 加强砂砾石面板坝抗震性能的设计优化策略

优化砂砾石面板坝的抗震性能要求对砂砾石进行合理的筛选和分级,还需要考虑填料的压实程度和土工布的增强效果。在砂砾石面板坝的抗震设计中,精准的材料选用和合理的构造布局,使得坝体在受到地震冲击时能够通过颗粒间的摩擦力和弹性变形吸收大部分地震能量,从而避免出现剧烈震动或局部失稳现象。与此同时,砂砾石面板坝的抗震性能优化,还应从结构层面进行深入的调整。传统的砂砾石面板坝设计,常常偏重于坝体的整体性和基础的稳定性,但在面对强震时,这些设计策略往往存在一定的局限性。例如,基础与坝体之间的剪切传递和摩擦力的合理设计至关重要。地震波传递过程中,坝体与基础之间的不均匀变形可能引发局部滑移和失稳,进而威胁到整体的稳定性。因此,在抗震设计中,考虑如何加强坝体与基础之间的相互作用,并合理设计其连接节点,确保两者在地震动中能够协同工作,避免因局部断裂或过度变形而导致大范围的破坏,显得尤为重要。

5 结语

综上所述,砂砾石面板坝作为水利枢纽工程中的重要坝体形式,其抗震设计的重要性日益凸显。通过优化砂砾石的材料特性、改进坝体与基础之间的相互作用,并结合先进的抗震分析方法,能够有效提高砂砾石面板坝的抗震能力,确保水利枢纽工程的长期稳定运行。然而,当前的抗震设计优化仍处于不断发展之中,未来需要更多的实践数据与理论支持,以进一步完善设计策略。

参考文献

- [1] 杨林,李禄禄,郭玉鑫,等.黑河黄藏寺水利枢纽工程砂砾石骨料碱活性试验研究[J].人民黄河,2023,45(S2):16-18.
- [2] 张科亮.水利枢纽排水工程中砂砾石层导流技术的设计研究[J].水利科技与经济,2021,27(07):95-99.
- [3] 热合曼·喀迪尔,郑澄锋.大石峡水利枢纽工程混凝土面板砂砾石坝渗流安全评价[J].小水电,2021,(01):44-49+66.