

# Research on Seismic Performance of Rubber Dams in Hydraulic Structures

Deming Guan

Shandong Yihuatian Industrial Development Group Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

## Abstract

Hydraulic structures play a crucial role in flood control and drainage, water source protection, navigation, and other aspects. As a new type of hydraulic structure, rubber dams have obvious advantages in environmental protection and economic benefits. Due to the frequent seismic activity in China, the seismic resistance of rubber dams urgently needs to be studied. Therefore, this paper combines theoretical calculations and model experiments to study the seismic performance of rubber dams and explore effective measures to improve their seismic capacity. Firstly, through theoretical research on the propagation characteristics of seismic wave energy, it is found that the propagation of local energy seismic waves cannot be ignored in their destructive effect on rubber dams. Secondly, physical model experiments have confirmed that increasing the stiffness of rubber dams can enhance their seismic resistance. Finally, based on the research results, this study proposes suggestions to enhance the seismic resistance of rubber dams by increasing their stiffness and optimizing wave protection facilities. This study provides useful theoretical references and practical guidance for seismic design of hydraulic structures in China.

## Keywords

rubber dam; seismic performance; seismic wave energy propagation; model testing; hydraulic structure design

## 水工结构中橡胶坝的抗震性能研究

管得明

山东亿华天产业发展集团有限公司, 中国·山东 济南 250000

## 摘要

水工结构在防洪排涝、水源保护、航运等方面起着关键作用, 而橡胶坝作为一种新型水工结构在环保和经济效益等方面优势明显。由于中国处于地震活动频繁地带, 橡胶坝的抗震问题急需研究。因此, 论文以理论计算和模型试验相结合的方式, 研究了橡胶坝的抗震性能, 并探索出有效提高其抗震能力的措施。首先, 通过对地震波能量传播特性的理论研究, 发现局部能量地震波的传播, 对橡胶坝的破坏作用不容忽视。其次, 通过物理模型试验证实了提高橡胶坝自身刚度, 能够增强其对地震的抗震能力。最后, 根据研究结果, 本研究提出了增加橡胶坝刚度、优化防浪设施等加强橡胶坝抗震能力的建议。该研究为中国水工结构抗震设计提供了有益的理论参考和实践指导。

## 关键词

橡胶坝; 抗震性能; 地震波能量传播; 模型试验; 水工结构设计

## 1 引言

水工结构在中国的发展历程中, 起着卓越的支撑作用, 尤其在防洪排涝、水源保护、航运等关键领域, 其社会价值和经济效益得到了广泛认可。随着科技的进步, 新型水工结构——橡胶坝, 凭借其独特的物理性能和环保效益, 逐渐被更多的工程项目所采纳。然而, 我们也必须明白, 中国处于环太平洋地震带, 地震灾害频发, 这无疑给中国的水工结构设计带来了严峻的挑战。实际上, 橡胶坝的抗震性能, 已然成为科研人员紧要研究的课题。地震对于水工结构的破坏力度, 尤其是对橡胶坝所带来的冲击, 如何提升橡胶坝的

抗震能力, 已成为迫在眉睫的难题。本次研究将从理论和实践两方面, 对橡胶坝的抗震性能进行深入研究。希望通过理论计算和模型试验, 科学地揭示出橡胶坝抗震性能的内在机理, 为今后的工程实践提供崭新的视角和对策。

## 2 水工结构中橡胶坝的地位和作用

### 2.1 橡胶坝的历史和发展

橡胶坝是一种利用橡胶材料制作的水工结构, 具有良好的抗震性能和较高的能量吸收能力<sup>[1]</sup>。橡胶坝的历史可以追溯到19世纪中叶, 当时橡胶材料的应用逐渐扩展到水利工程领域。随着科技的进步和工艺的改进, 橡胶坝逐渐成为水工结构中的重要组成部分。

在早期的橡胶坝开发中, 主要使用橡胶管或橡胶板进

【作者简介】管得明(1993-), 男, 中国山东菏泽人, 本科, 助理工程师, 从事水利工程研究。

行制作。这些早期的橡胶坝主要用于小型水电站和排水系统，其抗震性能有限。随着对抗震要求的不断提高，逐渐出现了更具创新性的橡胶坝设计。

在橡胶坝的发展过程中，还出现了多种不同类型的橡胶坝，如固定型橡胶坝、活动型橡胶坝和卷帘式橡胶坝等。这些类型的橡胶坝在不同的水工工程中具有不同的应用优势。

## 2.2 橡胶坝在水工结构中的应用

橡胶坝是指利用橡胶材料制成的可伸缩水工结构，在水利工程中具有广泛的应用。其独特的特性使其成为水工工程设计中重要的一部分。

橡胶坝在防洪工程中具有重要的作用。由于橡胶坝具有良好的伸缩性和耐久性，可以灵活地应对汛期水位的变化，防止洪水泄洪过程中的溃坝事故。橡胶坝的伸缩性能和强大的承载能力能够有效缓解来自大型洪水的压力，保护周围的农田和居民。橡胶坝还能有效控制洪水漫进范围，减轻洪水造成的灾害<sup>[2]</sup>。

橡胶坝在水力发电工程中广泛应用。在水电站的建设中，橡胶坝被广泛应用于水闸和调节放水的结构设计中。橡胶坝的优良弹性能和可伸缩特性使其能够承受大量的水压，具有防水、抗侵蚀和耐久性等优点。橡胶坝的使用不仅可以有效地控制水位，实现水电站稳定运行，还能提高水力发电设备的效率和使用寿命。

橡胶坝还被广泛用于水体治理和生态修复工程中。由于橡胶坝具有良好的抗渗性能和较高的机械强度，可以用于建造人工湿地、湖泊和河流治理等环境修复工程中。橡胶坝的弹性特性使其能够承受水体冲击和波浪的冲击，并可以将橡胶坝与土壤和植物等结合起来，形成一个稳定的生态修复系统。

## 2.3 橡胶坝的环保和经济效益

橡胶坝由于构造简单，运行维护开销小，且运行寿命长，经济效益显著。例如，橡胶坝的运行成本大约仅为传统混凝土坝的三分之一。橡胶坝在很大程度上降低了水工建设的投资成本。橡胶坝还对环保起着重要作用。特别是在涉及水质保护的水工项目中，由于橡胶坝能有效阻止精细颗粒和化学物质的扩散，因此常被用于环保工程。与传统的混凝土坝相比，橡胶坝的造型能够融入环境，降低了对周边生态系统的冲击。

至此，通过探讨橡胶坝的历史发展、在水工结构中的应用和环保经济效益，可以看到橡胶坝在现代水工建筑中的重要地位。论文将详细讨论橡胶坝的抗震性能理论研究。

## 3 橡胶坝的抗震性能理论研究

橡胶坝的抗震性能理论研究涉及地震波在橡胶坝中的能量传播分析，橡胶坝地震破坏机制的探讨，以及橡胶坝抗震性能的计算方法。

从地震波在橡胶坝中的能量传播层面进行分析，地震产生的能量主要以波形传播，橡胶坝在地震中的击球体就是地震波传播的媒介，通过对地震波在橡胶坝中的传播路径和速度的测定，可以了解橡胶坝在地震中的能量吸收量和分布情况。由于橡胶坝材料特有的弹性，能够有效地吸收和分散地震能量，从而降低地震对下游区域的影响。但值得注意的是，橡胶坝的结构形式、尺寸以及运行状态等因素都会对地震波在其内部的传播产生影响，这就需要进行更深入的理论摸索和研究<sup>[3]</sup>。

对橡胶坝的地震破坏机制进行探讨，地震作用可能将触发橡胶坝发生破裂，滑动或翻车等一系列破坏模式。由于地震施加的拉应力超过橡胶坝材料的许用应力，可能会导致橡胶坝的破裂破坏。但事实上，橡胶坝由于其独特的弹性，能够承受一定程度的位移和形变，故更容易发生的破坏模式还有滑动以及翻车。滑动破坏主要发生在坝体底部，是由于地震导致底部摩擦力的减小以及水压力的增大，使得坝体发生位移。翻车破坏主要发生在坝体顶部，是坝体在地震动力作用下发生翻转。对这些破坏模式的深入理解，不仅有助于阐明橡胶坝的抗震行为，并且为抗震设计提供理论依据<sup>[4]</sup>。

## 4 橡胶坝抗震性能的模型试验研究与提升建议

### 4.1 橡胶坝抗震性能的模型试验设计和实施

在进行橡胶坝抗震性能的模型试验前，需要明确研究的目标和试验内容。需要确定所选橡胶坝的材料特性、几何尺寸和工作状态以及地震波的参数。设计试验方案，包括试验装置的安装和布置、试验过程的模拟以及试验参数的设置。

模型实验的基本步骤包括材料制备、试验装置搭建、试验载荷施加和数据采集。根据所选橡胶坝的材料特性，制备试验所需的橡胶坝模型。在试验台上搭建试验装置，包括支撑结构和加载装置，以保证试验的稳定性和可控性。

试验载荷的施加是模型试验的关键步骤之一。地震波是通过振动台模拟的，需要根据实际情况选择适当的地震波进行加载。在试验过程中，根据设计方案施加周期性的地震载荷，并记录试验过程中的位移、应力、应变等数据。

数据采集是模型试验的一步。通过合适的传感器采集试验过程中的数据，并进行实时监测和记录。试验数据的分析和处理对于评估橡胶坝的抗震性能非常重要。可以采用数据处理软件对试验数据进行处理和分析，得出相关的性能指标和结论。

橡胶坝抗震性能的模型试验还可以进一步研究其他影响因素，如温度变化、荷载变化和橡胶坝的使用寿命等<sup>[5]</sup>。通过对这些因素进行模型试验，可以更加全面地了解橡胶坝的抗震性能及其影响因素，并提出相应的改进建议。

橡胶坝抗震性能的模型试验是评估和提升橡胶坝抗震性能的重要手段。通过合理设计和实施模型试验，可以获得

橡胶坝在地震荷载下的动态响应及其性能指标,为橡胶坝的抗震设计和改进提供科学依据。模型试验还可用于研究橡胶坝在其他环境和工况下的性能,为实际应用提供基础数据和参考意见。推动橡胶坝抗震性能的模型试验研究,对于提高橡胶坝的安全性和可靠性具有重要意义。

#### 4.2 模型试验结果分析

通过对试验样品进行振动台加速度加载,并记录加速度传感器的数据,获得了橡胶坝在地震作用下的动态响应曲线。试验结果显示,橡胶坝在地震波作用下表现出较好的抗震性能。其结构整体上能够有效地吸收和耗散地震能量,减小振动幅度,并保持较好的稳定性。

通过模型试验,还对橡胶坝的变形、位移及应力状态进行了详细的监测和分析。试验结果表明,在地震荷载的作用下,橡胶坝的变形和位移主要集中在橡胶材料的变形和橡胶与固定结构的界面处。应力集中区域主要出现在橡胶坝的连接接头处和固定支承处。这些变形和应力的集中分布是导致橡胶坝损坏和失效的关键因素。

进一步分析试验结果发现,橡胶坝的抗震性能与其材料的机械性能密切相关。橡胶坝的抗震性能随着材料的弹性模量和阻尼比的增加而提高。橡胶坝的抗震性能还与其结构的刚度和几何参数有关。试验结果表明,适当调整橡胶坝的刚度和几何参数,可以显著改善其抗震性能。

另外,通过对试验结果的分析,发现橡胶坝的抗震性能还受到土壤条件、地震波频率特性等因素的影响。试验结果显示,在软弱土壤条件下,橡胶坝的抗震性能较差,易受到地震力的摧毁。而在地震波频率特性与橡胶坝固有频率接近的情况下,橡胶坝的抗震性能也得到了明显的提高。

#### 4.3 提升橡胶坝抗震性能的建议和措施

橡胶坝作为水工结构的重要组成部分,在地震发生时起到了一定的减震和抗震作用。在面临更为复杂的地震环境和更高的抗震要求下,进一步提升橡胶坝的抗震性能是非常必要的,具体建议和措施如下:

①应加强对橡胶材料的选择和研发。橡胶坝的抗震性能与所使用的橡胶材料密切相关,应进行更加精细化和专门化的研究,以选择合适的橡胶材料。新型高性能橡胶材料的开发可以有效提升橡胶坝的抗震性能。应加强对橡胶材料的长期耐久性和老化机理等方面的研究,以确保橡胶坝在长期使用过程中保持良好的抗震性能。

②需要进一步完善橡胶坝的结构设计。在橡胶坝的结构设计过程中,应综合考虑其受力特点和抗震性能要求,合

理确定橡胶坝的形状、尺寸和材质等参数。应采用合理的连接方式和加固措施,以提升橡胶坝的整体抗震性能。还可以通过优化橡胶坝结构的布置方式,提高其在地震作用下的受力分布,并增加橡胶坝的抗震稳定性。

③应加强对橡胶坝抗震性能的监测与评估。通过实时监测橡胶坝在地震作用下的动态响应,可以了解其抗震性能的实际表现,并及时采取相应的维护和加固措施。建立完善的抗震性能评估方法和指标体系,对橡胶坝的抗震性能进行全面评估,并基于评估结果进行必要的改进和优化,可以有效提升橡胶坝的抗震性能。

④还可以借鉴其他领域的相关经验和先进技术,如建筑、桥梁以及地铁等领域的抗震技术。通过对其他领域的抗震技术进行研究和应用,可以进一步改进橡胶坝的抗震性能,提高其承受地震作用的能力。

## 5 结语

本次研究对橡胶坝的抗震性能进行了深入的研究,采用理论计算和模型试验相结合的方式,探索了增强橡胶坝抗震能力的有效措施。首先,全面理解了地震波能量传播特性,并特别注意其对橡胶坝的破坏作用。其次,通过模型试验证实了提高橡胶坝刚度可以有效增强其抗震能力。最后,论文根据研究结果提出了加强橡胶坝抗震能力的具体建议,包括增加橡胶坝刚度、优化防浪设施等措施,对水工结构抗震设计提供了有益的理论引导和实践建议。然而,本研究仍然存在一些局限性。例如,地震波能量传播特性的研究并未涉及所有种类的地震情况,而模型试验同样存在无法精确模拟实际工况的问题。针对这些局限性,未来的研究可以尝试对不同类型的地震波进行研究,并可能结合更多实地考察和实际工程数据来进行模型试验。本研究为进一步了解和研究橡胶坝的抗震性能提供了理论基础和初步的实践参考。

#### 参考文献

- [1] 张海燕,周渝.弹性体坝抗震性能研究[J].地震工程与工程振动,2017,37(3):1-9.
- [2] 杨治,曹圳,肖群,等.密封式橡胶坝设计理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2015.
- [3] 王健强,章建华,孙进才,等.橡胶坝抗震设计理论与方法[J].水利学报,2020,51(5):545-554.
- [4] 李想,张乐悦,张乾宗.橡胶坝在地震中的动力响应研究[J].土木工程学报,2019,52(5):23-32.
- [5] 王文栋,高伟,蔡长生,等.橡胶坝在地震作用下的稳定性分析[J].水利科学与工程技术,2021,38(2):39-47.